

# ศูนย์วิจัยและฟีกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม

เทคโนธานี ต.คลองท้า อ.คลองทลวง จ.ปทุมธานี 12120 โทร. 0 2577 1136-7, 0 2577 4182-91 โทรสาร. 0 2577 1138 www.ertc.deqp.go.th

# รายงานพลงานวิจัย

ศูนย์วิจัยและฟิกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม

พ.ศ. 2544–2546



กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม







#### รายงานพลงานวิจัยศูนย์วิจัยและฟิกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2544-2546

กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

พิมพ์เมื่อ ISBN จัดทำโดย พฤศจิกายน 2547 974-7529-93-9

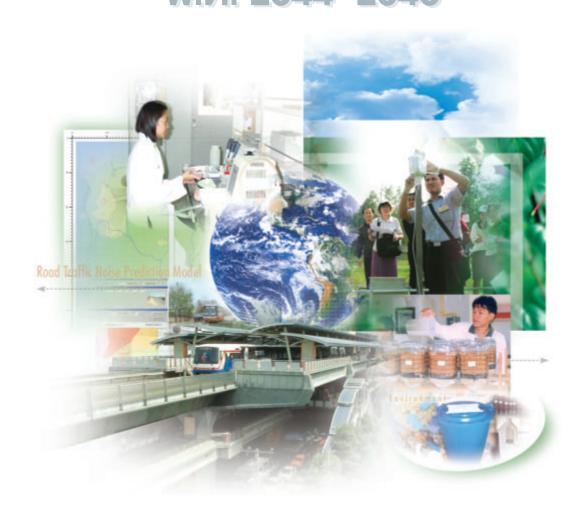
ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม

เทคโนธานี ต.คลองห้า อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120

โทร. 0 2577 4182-9 โทรสาร 0 2577 1138

www.ertc.deqp.go.th

# รายงานพลงานวิจัย ศูนย์วิจัยและฟิกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2544-2546





กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

# ที่ปรึกษา

#### นายสุวัช สิงหพันธุ์

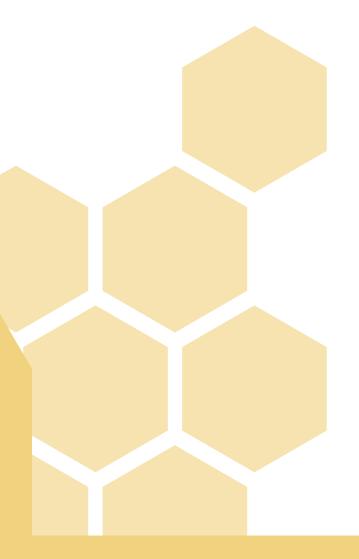
อธิบดีกรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม

#### นางพรทิพย์ ปั่นเจริญ

รองอธิบดีกรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม

#### นายประดิษฐ์ บุญตันตราภิวัฒน์

ผู้อำนวยการศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม



# คณะพู้จัดทำ

นางสาวสุกัญญา บุญเฉลิมกิจ
นางผกา สุขเกษม
นางนิตยา นักระนาด มิลน์
นางสาวหทัยรัตน์ การีเวทย์
นายประภาสสิทธิ์ ศิริโพธิ์
นายวิรัช เอื้อทรงธรรม
นางสาวจีระนันท์ พันธจักร
นางสาวชวนพิศ บุญย่อย
นางสาวแฟร์ดา มาเหล็ม
นางสาวจิตติมา จารุเดชา
นางสาวสุพัตรา คงสุข



**ศูนย์วิจัย**และฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริม คุณภาพสิ่งแวดล้อม กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและ สิ่งแวดล้อม มีบทบาทและหน้าที่ในการศึกษาวิจัยเทคโนโลยี สิ่งแวดล้อมด้านต่างๆ เช่น น้ำ อากาศ เสียง ความสั่นสะเทือน สารพิษ และชีวมวล และยังเป็นหน่วยงานที่ให้การฝึกอบรมเพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยี ด้านสิ่งแวดล้อมแก่องค์กรที่เกี่ยวข้องทั้งภาครัฐและเอกชน รวมทั้งการ ให้บริการข้อมูลทางวิชาการด้านการจัดการคุณภาพสิ่งแวดล้อม โดยมี เป้าหมายเพื่อให้มีการนำผลการศึกษาวิจัยไปใช้ในการสนับสนุนการกำหนด นโยบายการจัดการส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อม ฟื้นฟูและ ลดปัญหามลพิษทางสิ่งแวดล้อมด้วยเทคโนโลยีอย่างง่ายๆ ซึ่งประชาชน สามารถดำเนินการได้ด้วยตนเอง เพื่อสิ่งแวดล้อมและสุขอนามัยที่ดีของ ประชาชน

รายงานผลงานวิจัยฉบับนี้ เป็นการรวมรวมผลงานวิจัยเทคโนโลยี สิ่งแวดล้อมของศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม สาขาต่<mark>า</mark>งๆ ในช่วง ปี 2544 - 2546 ศูนย์วิจัยฯ หวั<mark>ง</mark>เป็นอย่างยิ่งว่ารายงานฉ<mark>บ</mark>ับนี้จะเป็น ประโยชน์ในการใช้เป็นเอกสารอ้<mark>า</mark>งอิงแก่นักวิชาการและนั<mark>ก</mark>วิจัยด้าน สิ่งแวดล้อม เพื่อศึกษา ค้นคว้า วิจัย พัฒนาเทคนิค อันจะนำไปสู่การ ร่วมกันป้องกัน บรรเทา และแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมของประเทศต่อไป

> กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม



#### โครงการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยี สิ่งแวดล้อมด้านน้ำ

- การพัฒนาเทคนิคการตรวจสอบการปนเปื้อน 1 ของสารอินทรีย์ระเหยในน้ำใต้ดินจากนิคม อุตสาหกรรม
- การย่อยสลายสารไตรคลอโรเอธิลีน (TCE) 8 โดยแบคทีเรียที่พบในประเทศไทย
- การจัดทำระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์บริเวณ 14 หลุมฝังกลบขยะคูคต (เก่า)
- Pollution Management and the Situation 20 at Slaughterhouses: Case Study on the Slaughterhouses of Lamphun and Chiang Mai Municipalities, Thailand

#### โครงการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยี สิ่งแวดล้อมด้านอากาศ

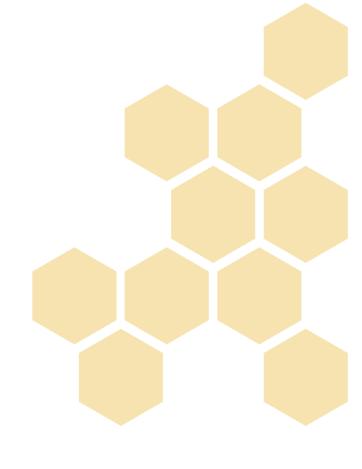
- การพัฒนาดิฟฟูซิพเซมเปลอร์สำหรับเก็บ ตัวอย่างสารอินทรีย์ระเหยในบรรยากาศ
- สภาวะคุณภาพอากาศในเขตเทศบาลนคร 39 นครราชสีมา จังหวัดนครราชสีมา
- Establishment of emission inventory data 45 for acidification modeling in Thailand

#### โครงการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยี สิ่งแวดล้อมด้านเสียงและความสั้นสะเทือน

- การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์คาดการณ์ 57 ระดับเสียงจากการจราจรทางราบ
- การศึกษาผลกระทบของระดับเสียงและความ 62 สั่นสะเทือนบริเวณสถานีรถไฟฟ้า
- การศึกษาระดับความสั่นสะเทือนบนโครงสร้าง 68 ของรางรถไฟฟ้าและที่พื้นถนนขณะรถไฟฟ้า แล่นผ่านด้วยความเร็วปกติ
- การศึกษาการกระจายของเสียงที่เกิดจากรถ 75
- แผนที่ระดับเสียงของกรุงเทพมหานคร ปี 80
- การตรวจวัดระดับเสียงในเขตเทศบาลนครตรัง 85 จังหวัดตรัง
- การตรวจวัดระดับเสียงในเขตเทศบาลนคร 89 นครราชสีมา จังหวัดนครราชสีมา



- Trend of Endocrine Disruptor Compounds 95 contamination in rivers and coastal areas of Thailand
- รายงานโครงการวิจัยและติดตามตรวจสอบ 109 สารพิษตกค้าง กลุ่ม Endocrine Disrupting Compounds ในตัวอย่างสิ่งแวดล้อม
- Monitoring of Organochlorine Pesticides 115 Residues in Green Mussels (Perna viridis) from the Coastal Area of Thailand
- Distribution of Toxic Compounds in 126 Green Mussels (Perna viridis) from Marine Estuaries in Thailand
- โครงการศึกษาการกระจายตัวของสารตกค้าง 142 กลุ่มโพลีไซคลิกอาโรมาติค โฮโดรคาร์บอน ในตะกอนดินบริเวณแม่น้ำเจ้าพระยา และ ชายฝั่งของประเทศไทย
- การศึกษาชนิดของแพลงก์ตอนสัตว์น้ำจืด 151 (Rotifer species) ในแหล่งน้ำที่มีการปนเปื้อน
- โครงการพัฒนาชุดกรองสารหนูในน้ำจากวัสดุ 157
- การบำบัดน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนโลหะหนักจาก 164 ห้องปฏิบัติการ



#### โครงการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยี ด้านการจัดการของเสียและชีวมวล

- Activated Char Production from Pyrolysis 173 of Coconut Husks
- Comparison of products from the pyrolysis 187 and catalytic pyrolysis of rice husks
- Influence of Steam on the Formation of 209 Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Zeolite Catalytic Upgrading of Biomass Pyrolysis oils





## การพัฒนาเทคนิคการตรวจสอบการปนเปื้อน ของสารอินทรีย์ระเหยในน้ำใต้ดินจากนิคมอุตสาหกรรม

Development of Technique on Investigation of Groundwater

Contamination by Volatile Organic Compounds (VOCs) from Industry

นายสีหนาถ ชาญณรงค์ นายมีศักดิ์ มิลินทวิสมัย นายพีรพงษ์ สุนทรเดชะ นางสาวสุวรรณี บุญส่งไพโรจน์





This research studied optimum conditions of the purge and trap gas chromatograph equipped with photo-ionization detectors for determining 12 volatile organic compounds in groundwater. The method was tested with samples collected from 255 well around 12 industrial areas. The results show that the developed method can be effectively used for detection contamination level of VOCs in groundwater. The results of method testing indicated that 10 types of VOCs compounds were detected in 50 wells from 255 investigated wells around 12 industrial areas. However, the contamination level is lower than groundwater quality standard.

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของ การวิเคราะห์สารอินทรีย์ระเหย 12 ชนิด ในน้ำใต้ดิน โดยใช้เทคนิค purge and trap-gas chromatograph



ซึ่งมี photoionization เป็นเครื่องวัด โดยศึกษาสภาวะ ที่เหมาะสมที่ใช้ในการทดลอง และนำวิธีที่พัฒนาได้มา ตรวจสอบปริมาณการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ระเหย ในบ่อน้ำใต้ดิน 255 บ่อ ที่เก็บรอบนิคม อุตสาหกรรม 12 แห่ง พบว่าสามารถใช้วิธีการที่พัฒนาขึ้นมาตรวจสอบ ระดับการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ระเหยในบ่อน้ำใต้ดิน และพบการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ระเหยชนิดต่างๆ จำนวน 10 ชนิด ในบ่อ 50 บ่อ ของบ่อบาดาลทั้งหมด ที่ทำการสำรวจ อย่างไรก็ตามความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยที่ตรวจสอบได้มีค่าต่ำกว่าที่กำหนดไว้ใน มาตรฐานคุณภาพน้ำใต้ดิน<sup>1</sup>

#### 1. unun

ในช่วง 10 ปีที่ผ่านมาประเทศไทยมีการพัฒนา นำน้ำบาดาลมาใช้อย่างแพร่หลายทั้งในชุมชนเมืองและ ชุมชนชนบท ทั้งนี้เนื่องจากแหล่งน้ำบาดาลเป็นแหล่งน้ำ ธรรมชาติขนาดใหญ่ที่นิยมนำมาใช้อุปโภคบริโภค และ ใช้ในภาคอุตสาหกรรม จากการขยายตัวของภาค อุตสาหกรรม มีการใช้สารอินทรีย์ระเหยในกระบวน การผลิตทางอุตสาหกรรมหลายชนิด เช่น อุตสาหกรรม

ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม เทคโนธานี ต.คลองห้า อ.คลองหลวง จ.บทุมธานี 12120 โทร. 0 2577 4182-9 โทรสาร 0 2577 1138 Environmental Research and Training Center, Department of Environmental Quality Promotion. Technopolis. Kolng 5 Klong Luang, Pathumthani 12120 อิเลคโทรนิค อุตสาหกรรมผลิตโลหะ อุตสาหกรรมผลิต ขึ้นส่วนและเครื่องจักร อุตสาหกรรม ชะล้าง เป็นต้น ซึ่งในปัจจุบันพบว่าการใช้สารอินทรีย์ระเหยมีปริมาณ เพิ่มมากขึ้น สารอินทรีย์ระเหยได้ก่อให้เกิดปัญหาการ ปนเปื้อนน้ำใต้ดินในเขตอุตสาหกรรมของหลายประเทศ จากผลดังกล่าวทำให้น้ำใต้ดินมีความเสี่ยงสูงต่อการ ปนเปื้อนจากสารอินทรีย์ระเหย ถ้าหากจัดการไม่ถูกวิธี<sup>2</sup>

เทคนิค purge and trap ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ประยุกต์จากหลักการวิเคราะห์โดยวิธีของ U.S.EPA. Method 502.2<sup>3</sup> ซึ่งใช้ photoionization and electrolytic conductivity เป็นตัวตรวจวัด และใช้ Adsorbance trap packing ซึ่งประกอบด้วย activated charcoal, silica gel, tenax อย่างไรก็ตามในการศึกษา ครั้งนี้ใช้เฉพาะ photoionization เท่านั้นเป็นตัว ตรวจวัดและใช้ Adsorbance trap packing ซึ่งมี Carbon molecular sieve และ graphitized carbon black เป็นองค์ประกอบที่สามารถทนความร้อนสูง<sup>4</sup> ทำให้เพิ่มประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ นอกจากนี้รูปร่าง และขนาดของ purging device มีความแตกต่าง จากที่กำหนดไว้ใน U.S.EPA. Method 502.2 ซึ่ง ประสิทธิภาพในการไล่สารอินทรีย์ระเหยออกจาก ตัวอย่างน้ำขึ้นอยู่กับรูปร่างและขนาดของ purging device ดังกล่าวข้างต้น

ดังนั้นจึงมีความจำเป็นในการพัฒนาเทคโนโลยี ที่เหมาะสมกับอุปกรณ์ที่มีอยู่ เพื่อใช้ในการติดตามตรวจ สอบการปนเปื้อนของน้ำใต้ดินเพื่อประเมินสถานการณ์ การปนเปื้อนของน้ำใต้ดินจากการใช้สารอินทรีย์ระเหย ของโรงงานอุตสาหกรรมซึ่งสามารถใช้เป็นข้อมูลสำหรับ กำหนดแนวทางในการบริหารจัดการเพื่อแก้ปัญหานี้ ต่อไป

#### 2. วัสดุอุปกรณ์และวิธีดำเนินการ

# 2.1 เครื่องมือและสารเคมี2.1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

- เครื่องล้างหลอด (Six Tube Conditioner) ผลิตโดยบริษัท Dynatherm Analytical Instrument, Inc. รุ่น 60
- เครื่อง Purge and Trap ผลิตโดยบริษัท Dynatherm Analytical Instrument, Inc. รุ่น 30

- เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟ ผลิตโดยบริษัท HNU System, Inc. รุ่น 321 โดยใช้ Photoionization Detector
- เครื่องควบคุมอุณหภูมิ (Microcontroller)ผลิตโดยบริษัท HNU System, Inc. รุ่น µP.
- เครื่องประมวลผล ผลิตโดยบริษัท PENelson รุ่น 1022
- เครื่อง Thermal Desorption Unit (TDU) ผลิตโดยบริษัท Dynatherm Analytical Instrument, Inc. รุ่น Acem 900
- ขวดแก้วเก็บน้ำตัวอย่าง (screw cap vial) ขนาด 25 มิลลิลิตร
- แผ่นยางรองทับขวดเก็บน้ำตัวอย่าง (PTFE faced silicone septum)
- ไมโครไซริง (Microsyring) ขนาด 10.00, 100.00, และ 250.00 ไมโครลิตร
- หลอดแก้วสำหรับบรรจุน้ำตัวอย่างสำหรับ เครื่อง purge and trap ขนาด 20มิลลิลิตร
- หลอดดูดซับสารตัวอย่าง (Adsorbent Tube) carbotrap 302 ,Supelco.

#### 2.1.2 สารเคมี

- สารอินทรีย์ระเหยมาตรฐาน 12 ชนิด ได้แก่ 1,1,1-ไตรคลอโรเอทธิลีน, 1,1,2-ไตรคลอโรเอทธิลีน, 1,1-ไดคลอโรเอทธิลีน, ซีส 1,2-ไดคลอโรเอทธิลีน, เบนซีน, ไตรคลอโรเอทธิลีน, โทลูอีน, เตตระคลอโรเอทธิลีน, เอทธิลเบนซีน, ไซลีน, และ สไตรีน จากบริษัท Chem Service.
- สารละลายเมทานอล 99.8 เปอร์เซ็นต์ เกรด HPLC จากบริษัท J.T Baker Chemical Company
- น้ำกลั่นที่ปราศจากไอออน ( Double distilled water)
- 2.2 วิธีการวิเคราะห์สารอินทรีย์ระเหย โดยใช้เทคนิค Purge and trap และ Thermal desorption unit-Gas chromatograph โดยใช้ photoionization detector เพื่อตรวจวัด และวิเคราะห์ชนิดรวมทั้งปริมาณของสารอินทรีย์ระเหย มีขั้นตอนดังนี้
- ล้างหลอดดูดซับสารตัวอย่าง (adsorbent tube) โดยใช้เครื่องล้างหลอด (six-tube conditioner)

โดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 390 องศาเซลเซียส ในช่วง เวลาที่เหมาะสมกับหลอดดูดซับ พร้อมกับผ่านก๊าซ ในโตรเจนที่มีอัตราการไหล 60 มิลลิลิตรต่อนาที ให้แก่ หลอดดูดซับสารตัวอย่างเพื่อไล่สิ่งสกปรกที่ไม่ต้องการออก

- ไล่และตักจับสารอินทรีย์ระเหยออกจาก ตัวอย่างน้ำด้วยเครื่อง purge and trap โดยใช้ หลอดแก้วบรรจุตัวอย่างน้ำขนาด 20 มิลลิลิตร ที่บรรจุ ตัวอย่างน้ำ 10 มิลลิลิตร พร้อมกับผ่านก๊าซไนโตรเจน ที่มีอัตราการไหล 50 มิลลิลิตรต่อนาที ในช่วงระยะเวลา ที่เหมาะสมเพื่อไล่สารอินทรีย์ระเหยจากตัวอย่างน้ำเข้าสู่ หลอดดูดซับสารตัวอย่าง หลังจากนั้นกำจัดไอน้ำออก จากหลอดดูดซับสารตัวอย่างโดยผ่านก๊าซไนโตรเจนที่มี อัตราการไหล 25 มิลลิลิตรต่อนาที และให้ความร้อนแก่ หลอดดูดซับสารตัวอย่างที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 นาที
- ไล่สารอินทรีย์ระเหยออกจากหลอดดูดซับสารตัวอย่างเข้าสู่คอลัมน์ของเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟ ด้วยเครื่อง thermal desorption unit โดยนำหลอด ดูดซับตัวอย่างติดตั้งในเครื่องthermal desorption unit เพิ่มความร้อนอย่างรวดเร็วจนอุณหภูมิมีค่า 375 องศา เซลเซียส และคงอุณหภูมิในช่วงเวลาที่เหมาะสม พร้อม กับผ่านก๊าซไนโตรเจนที่มีอัตราการไหล 10.5 มิลลิลิตร ต่อนาที เพื่อไล่สารอินทรีย์ระเหยจากหลอดดูดซับสาร ตัวอย่างผ่าน transfer line เข้าสู่คอลัมน์ของเครื่องก๊าซ โครมาโตกราฟ
- แยกสารอินทรีย์ระเหยแต่ละชนิดออกจาก กันด้วยเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟ ซึ่งใช้คอลัมน์ชนิด ultra alloy 502 (cyanopropyl phenyl) ยาว 30 เมตร มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 มิลลิเมตร ใช้ก๊าซไนโตรเจน ความบริสุทธิ์ 99.999% เป็นก๊าซตัวพา โดยมีอัตราการไหล 10.5 มิลลิลิตรต่อนาที อุณหภูมิของเตา (oven temperature) 55 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิของ ตัวตรวจวัด (detector temperature) 110 องศา เซลเซียสโดยใช้ตัวตรวจวัดแบบ photoionization detctor 2 ตัวต่อเชื่อมกันซึ่งมีพลังงาน 10.2 และ 11.7 อิเลคตรอนโวลท์ เมื่อสารอินทรีย์ระเหยที่ออกจาก คอลัมน์เข้าสู่ตัวตรวจวัด ตัวตรวจวัดจะทำให้เกิดการ เปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้า ซึ่งเป็นสัดส่วนโดยตรงกับ ปริมาณของสารอินทรีย์ระเหยที่ต้องการวิเคราะห์

■ สัญญาณไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะถูกส่งเข้าเครื่อง ประมวลผล (integrator) เพื่อระบุชนิดและคำนวณความ เข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหย

#### 2.3 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสม

- 2.3.1 ศึกษาเวลาที่เหมาะสมของเครื่องล้างหลอด (Six-tube conditioner) ในการล้างหลอดดูดซับตัวอย่าง ที่เวลา 15.30.45 และ 60 นาที
- 2.3.2 ศึกษาเวลาที่เหมาะสมของเครื่อง Purge and trap ในการสกัดสารอินทรีย์ระเหยออกจากน้ำ ตัวอย่างที่เวลา 10.15.20.25 และ 30 นาที
- 2.3.3 ศึกษาเวลาที่เหมาะสมของเครื่อง Thermal desorption unit ในการไล่สารอินทรีย์ระเหยออกจาก หลอดดูดซับสารที่เวลา 1,2,3,4,5 และ 6 นาที
- 2.3.4 ศึกษาค่าความเข้มข้นต่ำที่สุดที่เทคนิคนี้จะ วิเคราะห์ได้ (Method detection limit) โดยวิเคราะห์ ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยมาตรฐาน 10 ค่า ตั้งแต่ 0.1-1.0 ไมโครกรัมต่อลิตร คำนวณหาความเข้มข้นโดยใช้กราฟมาตรฐาน นำค่าความเข้มข้นที่ให้พื้นที่ ใต้ฟึกต่ำที่สุด วิเคราะห์ 7 ซ้ำ คำนวณหาค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน (standard deviation) ของความเข้มที่ วิเคราะห์ซ้ำ 7 ครั้ง ซึ่งสามารถหาค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่ เทคนิคนี้สามารถวิเคราะห์ได้ (MDL) = 3.143 x SD
- 2.3.5 ศึกษาความแม่นยำของการทดลอง (Precision)จากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (Relative standard deviation) ของการทดลอง โดยทำการ วิเคราะห์สารอินทรีย์ระเหยมาตรฐานความเข้มข้น 10 ไมโครกรัมต่อลิตร ทำการทดลอง 7 ครั้ง ที่สภาวะ เดียวกัน
- 2.3.6 ศึกษาประสิทธิภาพของการสกัดสาร อินทรีย์ระเหยออกจากน้ำตัวอย่างด้วยเทคนิค Purge and trap ก๊าซโครมาโตกราฟ โดยศึกษาจากค่า เปอร์เซ็นต์การได้กลับคืน (% Recovery) โดยทำการ ทดลองวิเคราะห์สารอินทรีย์ระเหยมาตรฐานความเข้มข้น 10 ไมโครกรัมต่อลิตร ทำการทดลอง 7 ครั้ง ที่สภาวะ เดียวกัน

#### 2.4 ศึกษาปริมาณสารอินทรีย์ระเหย ในตัวอย่างน้ำใต้ดินเพื่อประเมินสถานการณ์ การปนเปื้อนของน้ำใต้ดิน

จากงานวิจัยของสถาบันสิ่งแวดล้อมไทย<sup>5</sup> พบว่า ู้ มีการใช้และการจัดการสารคินทรีย์ระเหยในเขตนิคม อุตสาหกรรมบางแห่งในประเทศไทย งานวิจัยนี้จึงได้ เลือกนิคมอุตสาหกรรมที่มีการใช้สารอินทรีย์ระเหย จำนวน 12 แห่ง สำหรับติดตามตรวจสอบการปนเปื้อน ของน้ำใต้ดิน โดยทำการเก็บ ตัวอย่างน้ำบริเวณรอบ นิคมอุตสาหกรรม 12 แห่ง ได้แก่ นิคมอุตสาหกรรม ภาคเหนือ จำนวน 52 บ่อ, นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จำนวน 26 บ่อ, เขตประกอบการอุตสาหกรรม TPI จำนวน 22 บ่อ, นิคมอุตสาหกรรมอีสเทอร์นซีบอร์ด จำนวน 2 บ่อ, นิคมอุตสาหกรรมแหลมฉบัง จำนวน 14 บ่อ, นิคมอุตสาหกรรมชลบุรี จำนวน 15 บ่อ, สวน อุตสาหกรรมโรจนะ จำนวน 30 บ่อ, นิคมอุตสาหกรรม บางปะอิน จำนวน 4 บ่อ, นิคมอุตสาหกรรมบางปู จำนวน 16 บ่อ, นิคมอุตสาหกรรมบางชั้น จำนวน 7 บ่อ, นิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังจำนวน 47 บ่อ และเขต อุตสาหกรรม นวนคร จำนวน 20 บ่อ สำหรับสาร อินทรีย์ระเหยที่ทำการศึกษามี 12 ชนิด ได้แก่ 1.1.1-ไตรคลอโรเอทธิลีน, 1,1,2-ไตรคลอโรเอทธิลีน, 1.1-ไดคลอโรเอทธิลีน. ทราน 1.2-ไดคลอโรเอทธิลีน. ซีส 1.2-ไดคลอโรเอทธิลีน. เบนซีน. ไตรคลอโรเอทธิลีน. โทลูอีน, เตตระคลอโรเอทธิลีน, เอทธิลเบนซีน, ไซลีน, และ สไตรีบ

#### 2.5 การเก็บและรักษาน้ำตัวอย่างสำหรับ การวิเคราะห์

โดยทำการเก็บน้ำตัวอย่างจากบริเวณรอบนิคม อุตสาหกรรม วิธีการเก็บตัวอย่างน้ำจะใช้เครื่องสูบน้ำ สูบน้ำที่ค้างบ่อทิ้งประมาณ 30 นาที หรือสูบน้ำที่ค้าง อยู่ในท่อทางดูดเข้าเก็บถังพักประมาณ 30 นาที และ เก็บตัวอย่างที่ท่อทางดูด ณ จุดที่มีท่อแยก (by pass) หรือจุดที่มีวาวล์ป้องกันการย้อนกลับ (check valve) หรือเก็บที่ปลายท่อทางดูด เพื่อให้ได้ตัวอย่างน้ำที่เก็บ มาจากชั้นน้ำจริง นำน้ำตัวอย่างใส่ในขวดแก้วขนาด 25 มิลลิลิตร เติมสารละลายอิ่มตัวโซเดียมไบซัลเฟต 64 ไมโครลิตร ปิดฝาขวดแก้วโดยมีแผ่นยางรองทับ

ที่ฝาเพื่อป้องกันการระเหยของสารอินทรีย์ระเหย เก็บตัวอย่างน้ำให้เต็มขวดไม่ให้มีอากาศเหลืออยู่ในขวด เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จนกว่าจะทำการ วิเคราะห์

#### พลการทดลอง

#### 3.1 พลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสม

3.1.1 ผลการศึกษาเวลาที่เหมาะสมของเครื่อง ล้างหลอด ในการล้างหลอดดูดซับตัวอย่าง พบว่าเวลา ที่เหมาะสมในการล้างหลอดดูดซับตัวอย่างที่ทำให้ หลอดดูดซับตัวอย่างสะอาด ไม่มีสิ่งสกปรกค้างและ ไม่ปรากภูพีกของสารอินทรีย์ระเหยคือ 60 นาที

3.1.2 ผลการศึกษาเวลาที่เหมาะสมของเครื่อง purge and trap ในการสกัดสารอินทรีย์ระเหยออกจาก ตัวอย่างน้ำ พบว่าเวลาที่เหมาะสมของเครื่อง purge and trapในการสกัดสารอินทรีย์ระเหยออกจากน้ำ ตัวอย่างคือ 25 นาที เนื่องจากเป็นเวลาที่เหมาะสม ที่สามารถสกัดสารอินทรีย์ระเหย 12 ชนิด ออกจาก น้ำตัวอย่างได้ปริมาณมากและไม่ทำให้สารอินทรีย์ระเหย หลุดออกจากหลอดดูดซับสารตัวอย่าง

3.1.3 ผลการศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการให้ ความร้อนของเครื่อง thermal desorption unit ใน การไล่สารอินทรีย์ระเหยออกจากหลอดดูดซับตัวอย่าง พบว่าที่เวลา 3,4 และ 5 นาที เป็นเวลาที่สามารถไล่สาร อินทรีย์ระเหยออกจากหลอดดูดซับตัวอย่างได้หมด ไม่มีสารอินทรีย์ระเหยเหลือค้าง ดังนั้นจึงเลือกเวลาที่ 3 นาที เพราะให้ผลการวิเคราะห์ที่ถูกต้องและใช้เวลา ในการวิเคราะห์น้อยที่สุด

3.1.4 ผลการศึกษาค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่ วิเคราะห์ได้ของสารอินทรีย์ระเหย 12 ชนิด พบว่า ค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่วิเคราะห์ได้ของ 1,1,1-ไตรคลอ-โรเอทธิลีน, 1,1,2-ไตรคลอโรเอทธิลีน, 1,1-ไดคลอโรเอทธิลีน, ทราน 1,2-ไดคลอโรเอทธิลีน, ซีส 1,2-ไดคลอโรเอทธิลีน, เบนซีน, ไตรคลอโรเอทธิลีน, โทลูอีน, เตตระคลอโรเอทธิลีน, เอทธิลเบนซีน, ไซลีน, และ สไตรีน มีค่า 0.11, 0.18, 0.29, 0.09, 0.10, 0.09, 0.08, 0.10, 0.06, 0.03, 0.05, และ 0.03 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

3.1.5 ผลการศึกษาค่าความแม่นยำ (Precision) ของการทดลองโดยศึกษาจากค่าเปอร์เซ็นต์เบี่ยงเบน มาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD) ของการทดลอง โดยทำการทดลองที่สภาวะเดียวกัน 7 ซ้ำ พบว่าค่า % RSD ของ 1,1,1-ไตรคลอโรเอทธิลีน, 1,1,2-ไตรคลอโรเอทธิลีน, 1,1-ไดคลอโรเอทธิลีน, ทราน 1,2-ไดคลอโรเอทธิลีน, ซีส 1,2-ไดคลอโรเอทธิลีน, เบนซีน, ไตรคลอโรเอทธิลีน, โกลูอีน, เตตระคลอโรเอทธิลีน, เอทธิลเบนซีน, ไซลีน, และ สไตรีน มีค่า 15.96, 13.66, 17.83, 11.93, 12.25, 11.57, 11.5, 10.40, 13.85, 13.26, 13.60, และ 9.96 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่าการ ทดลองครั้งนี้มีความ แม่นยำในการทดลอง

3.1.6 ผลการศึกษาเปอร์เซ็นต์การได้กลับคืน (%Recovery) ของเทคนิค purge and trap พบว่า 1,1,1-ไตรคลอโรเอทธิลีน, 1,1,2-ไตรคลอโรเอทธิลีน,

1,1-ไดคลอโรเอทธิลีน, ทราน 1,2-ไดคลอโรเอทธิลีน, ซีส 1,2-ไดคลอโรเอทธิลีน, เบนซีน, ไตรคลอโรเอทธิลีน, โทลูอีน, เตตระคลอโรเอทธิลีน, เอทธิลเบนซีน, ไซลีน, และ สไตรีน มีค่า 80.85, 85.75, 85.81, 83.61, 83.20, 82.88, 85.72, 84.90, 87.32, 84.43, 86.20, และ 87.87 ตามลำดับ สรุปได้ว่าเทคนิค purge and trap มี ประสิทธิภาพในการสกัดสารอินทรีย์ระเหยออกจาก ตัวอย่างน้ำ

3.2 พลการศึกษาปริมาณสารอินทรีย์ ระเทยในตัวอย่างน้ำใต้ดินบริเวณรอบนิคม อุตสาหกรรม 12 แห่ง จำนวน 255 บ่อ โดยเก็บ ตัวอย่างน้ำจากบ่อบาดาลบ่อละ 2 ซ้ำ ในระหว่าง พ.ศ. 2543-2545 ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่1

**ตารางที่** 1 ผลการศึกษาปริมาณการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ระเหยในตัวอย่างน้ำใต้ดิน

	ความเข้มข้น (ไมโครกรัมต่อลิตร)											
นิคมอุตสาหกรรม	1,1,1- ไตร คลอโร เอทธิลีน	1,1,2- ไตร คลอโร เอทธิลีน	1,1- ได คลอโร เอทธิลีน	ทราน 1,2-ได คลอโร เอทธิลีน	ซีส 1,2-ได ลอโร เอทธิลีน	เบนซีน	ไตร คลอโร เอทธิลีน	โทลูอีน	เตตระ คลอโร เอทธิลีน	เอทธิล เบนซีน	ไซลีน	สไตรีน
นิคมอุตสาหกรรมภาคเหนือ												
L 4	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	27.50	ND	ND	ND	ND
L 14	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	23.10	ND
เขตประกอบการอุตสาหกรรม TPI												
TPI 11	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	21.02	ND	2.06	1.05	3.87
TPI 20	ND	ND	ND	22.20	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
นิคมอุตสาหกรรมแหลมฉบัง												
LCB 1	ND	ND	1.92	1.54	2.6	2.00	1.70	1.98	ND	ND	ND	2.63
LCB 9	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.84	ND	ND	ND	ND
นิคมอุตสาหกรรมชลบุรี												
CIE 8	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.61	ND	0.67	ND	ND	ND
CIE 9	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.60	ND	0.67	ND	ND	ND
CIE 11	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.60	ND	ND	ND	ND	ND
CIE 13	ND	ND	ND	ND	ND	1.99	ND	ND	ND	ND	ND	ND
CIE 14	ND	ND	ND	ND	ND	2.00	ND	ND	ND	ND	ND	ND
CIE 15	ND	ND	ND	ND	2.60	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
สวนอุตสาหกรรมโรจนะ												
R 2	ND	ND	ND	1.90	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
R 9	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	2.49	ND	ND	ND
R 10	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	3.46	ND	ND	ND
R 13	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	2.14	ND	ND	ND
R 25	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	2.24	ND	ND	ND

**ตารางที่** 1 (ต่อ) ผลการศึกษาปริมาณการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ระเหยในตัวอย่างน้ำใต้ดิน

	ความเข้มข้น (ไมโครกรัมต่อลิตร)											
นิคมอุตสาหกรรม	1,1,1- ไตร คลอโร เอทธิลีน	1,1,2- ไตร คลอโร เอทธิลีน	1,1- ได คลอโร เอทธิลีน	ทราน 1,2-ได คลอโร เอทธิลีน	ซีส 1,2-ได ลอโร เอทธิลีน	เบนซีน	ไตร คลอโร เอทธิลีน	โทลูอีน	เตตระ คลอโร เอทธิลีน	เอทธิล เบนซีน	ไซลีน	สไตรีน
นิคมอุตสาหกรรมบางปะอิน												
BI 1	ND	ND	3.59	ND	ND	3.16	ND	2.99	ND	ND	ND	ND
BI 2	ND	ND	3.41	ND	ND	ND	ND	3.01	ND	ND	ND	ND
BI 3	ND	ND	3.40	ND	ND	ND	ND	3.00	ND	ND	ND	ND
BI 4	ND	ND	3.40	ND	ND	ND	ND	3.00	ND	ND	ND	ND
นิคมอุตสาหกรรมบางปู												
B 2	ND	ND	ND	ND	ND	ND	1.80	ND	ND	ND	ND	ND
В 3	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	2.15	ND	ND	ND
นิคมอุตสาหกรรมบางชั้น												
BC 4	ND	ND	ND	ND	0.53	ND	0.60	1.08	ND	ND	ND	ND
BC 5	ND	ND	ND	ND	0.35	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
BC 6	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	1.32	ND	ND
BC 7	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	1.28	ND
นิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง												
LB 11	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	2.46	ND	ND	ND
LB 12	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	2.20	ND	ND	ND
LB 13	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	3.56	ND	2.11	4.00	ND
LB 17	ND	ND	ND	ND	ND	1.99	ND	ND	ND	ND	ND	ND
LB 18	ND	ND	ND	ND	ND	1.99	ND	ND	ND	ND	ND	ND
LB 19	ND	ND	ND	ND	ND	2.00	ND	ND	ND	ND	ND	ND
LB 21	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	2.36	ND	ND	ND
LB 23	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	2.88	ND	ND	ND
LB 25	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	5.43	ND	ND	ND
LB 26	ND	ND	ND	1.54	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
LB 27	ND	ND	ND	1.56	ND	3.17	ND	ND	ND	ND	ND	ND
LB 28	ND	ND	ND	1.54	ND	4.78	1.76	ND	ND	1.87	ND	ND
LB 31	ND	ND	ND	ND	ND	2.05	ND	ND	ND	ND	ND	ND
LB 34	ND	ND	ND	ND	ND	2.01	ND	ND	ND	ND	ND	ND
LB 41	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.93	ND	1.33	ND	ND
LB 43	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	1.26	ND

#### 4. สรุปพลและวิจารณ์พล

1) วิธีการที่พัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้ตรวจสอบสาร อินทรีย์ระเหยสามารถนำไปใช้วิเคราะห์สารอินทรีย์ระเหย ได้อย่างถูกต้อง เนื่องจากผลการศึกษาพบว่า ค่าเปอร์เซ็นต์ การได้กับคืน (% recovery) ของสารอินทรีย์ระเหย 12 ชนิด มีค่าอยู่ระหว่าง 80.85-87.87% ซึ่งอยู่ในข้อ กำหนดของวิธีการของ U.S.EPA. 502.2 ที่ให้มีค่าอยู่ ระหว่าง 80-120% และค่าเปอร์เซ็นต์เบี่ยงเบนมาตรฐาน สัมพัทธ์ (% RSD) มีค่าระหว่าง 9.96-17.83% ซึ่ง อยู่ในข้อกำหนดของวิธีการข้างต้นที่ให้ค่าน้อยกว่า 20%

2) จากการตรวจสอบเบื้องต้น (preliminary test) ของการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ระเหยในน้ำใต้ดิน โดยทำการเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินเพียง 1 ครั้ง เพื่อ วิเคราะห์สารอินทรีย์ระเหย สำหรับน้ำใต้ดินแต่ละบ่อ จากจำนวน 255 บ่อ พบการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ ระเหยชนิดต่างๆ จำนวน 10 ชนิด ใน 50 บ่อ ของ

พื้นที่ที่ทำการสำรวจ 9 แห่ง จากพื้นที่ศึกษา ที่มีการ ตรวจสอบทั้งหมดจำนวน 12 แห่ง ซึ่งความเข้มข้นของ สารอินทรีย์ระเหยทั้งหมดที่ตรวจพบมีค่าต่ำกว่าที่กำหนด ไว้ในมาตรฐานสารอันตรายในน้ำใต้ดินที่พบการปนเปื้อน ควรมีการยืนยันผลโดยมีการเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินจากบ่อ ข้างเคียงมาทำการวิเคราะห์ซ้ำ เพื่อเป็นการยืนยันผล (confirmation test) ต่อไป นอกจากนี้ควรศึกษา โครงสร้างทางธรณีวิทยา และอุทกวิทยา ในพื้นที่ที่มีการ ปนเปื้อนเพื่อใช้เป็นแนวทางในการศึกษาต่อไป

#### เอกสารอ้างอิง

- ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่
   (พ.ศ. 2543) เรื่องกำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำ
   ใต้ดิน
- มีศักดิ์ มิลินทวิสมัย, สีหนาถ ชาญณรงค์, พีรพงษ์ สุนทรเดชะ, วาลิกา เศวตโยธิน และจีรนันท์ พันธจักร (2544) การปนเปื้อนของสาร Chlorinated Ethylene ในดินและน้ำใต้ดิน และกรณีศึกษาของ

- ประเทศไทย, เอกสารเผยแพร่ ERTC-WT/44, ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม, กรมส่งเสริม คุณภาพสิ่งแวดล้อม, กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, 40 หน้า
- 3. Glaser, J.A., D.L. Forest, G.D. Mckee, S.A. Quave, and W.L. Budde, **Trace Analyses for Waste water**, Environ.sci.Technol.,15,1426,1981
- Thailand Environmental Institute. Study on Utilization and Management of Volatile Organic Compounds (VOCs) in Thailand. 1998
- 5. http://www.sisweb Scientific Instrument Services,Inc.
- U.S. Environmental Protection Agency, (1988),
   Volatile Organic Compounds in Water
   by Purge and Trap Capillary Column Gas
   Chromatography with Photoionization and
   Electrolytic Conductivity Detectors in Series,
   U.S. Environmental Protection Agency, U.S.
   EPA. Method 502.2



## การย่อยสลายสารไตรคลอโรเอธิลีน (TCE) โดยแบคทีเรียที่พบในประเทศไทย

#### Degradation of Trichloroethylene (TCE) by microbial found in Thailand

ปัญจา ใยถาวร สุดา อิทธิสุภรณ์รัตน์
และ สุนันทา บุญประคอง





#### **Abstract**

Trichloroethylene (TCE) has been widely used in degreasing electronic components and as a solvent of paints. Because of unsuitable waste management, TCE has been contaminating soil and groundwater resources. Furthermore TCE is suspected to be a carcinogenic compound. Nowadays, Bioremediation is a popular technique for treating TCE in many countries. This study was initiated by collecting 50 water samples from natural water and contaminated wastewater sources to select phenol-utilizing bacteria, which is able to degrade TCE by co-metabolism process. Result of isolation was shown that 4 effective phenol-utilizing bacteria were isolated from water sample of Central wastewater treatment plant of Northern Industrial Estate (WA), 10 and 3 m of groundwater depth from TCE contaminated site in Northern Industrial Estate (AWI and AWII) and wastewater sample of Central wastewater treatment plant of Chiengmai municipality (CM) which are capable TCE degradation. The bacteria were tested in phenol concentration of 600—1,600 mg/l. It was found that WA culture could tolerate phenol up to 1,600 mg/L. In addition to WA, AWI, AWII and CM culture could better grow in 800 mg/L of phenol. Efficiency of TCE degradation at concentration of 10 mg/L by using phenol concentration 800 mg/L of WA, AWI, AWII and CM culture are 59.9, 46.2, 51.8 and 42.5%, respectively within 72 hours.

#### บทคัดย่อ

สารไตรคลอโรเอธิลีน (Trichloroethylene, TCE) มีการใช้อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมประเภท ต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมประกอบชิ้นส่วนอิเลคทรอนิค อุตสาหกรรมสิ่งพิมพ์ เนื่องจากการจัดการที่ไม่เหมาะสม ทำให้เกิดการปนเปื้อนของสาร TCE ในดินและน้ำใต้ดิน ในบางบริเวณของประเทศไทย ซึ่งสามารถก่อให้เกิด

มะเร็งในสิ่งมีชีวิตได้ การกำจัดสาร TCE ที่ปนเปื้อน โดยการใช้เชื้อแบคทีเรียมาย่อยสลายสารดังกล่าว กำลัง ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในหลายๆ ประเทศ ดังนั้น ในการศึกษาครั้งนี้จึงได้ทำการเก็บตัวอย่างน้ำจำนวน 50 ตัวอย่างจากแหล่งต่างๆ ในธรรมชาติของประเทศไทย เพื่อนำมาคัดแยกเชื้อแบคทีเรียที่สามารถย่อยสลายสาร TCE ได้ พบว่าเชื้อแบคทีเรียที่คัดแยกได้จากตัวอย่างน้ำ จากระบบบำบัดน้ำเสียรวมของการนิคมอุตสาหกรรม ภาคเหนือ (WA) ตัวอย่างน้ำใต้ดินที่ระดับความลึก 10 เมตร และ 3 เมตร บริเวณที่มีการปนเปื้อนสาร TCE ในการนิคมอุตสาหกรรมภาคเหนือ (AWI และAWII ตามลำดับ) และตัวอย่างน้ำจากระบบบำบัดน้ำเสียรวม ของเทศบาลนครเชียงใหม่ (CM) สามารถย่อยสลาย สาร TCE ได้โดยขบวนการ co-metabolism โดยเชื้อ แบคทีเรียจากทั้ง 4 แหล่ง จะถูกกระตุ้นโดยสารฟืนอล เพื่อให้ผลิตเอ็นไซม์ที่สามารถย่อยสลายสาร TCE ได้ เมื่อทดสอบความทนทานต่อสารฟีนอลในระดับความ เข้มข้นต่างๆ กันตั้งแต่ 600-1,600 mg/l พบว่า ตัวอย่างเชื้อแบคทีเรียจาก WA จะสามารถทนทานต่อ ความเข้มข้นของสารฟีนอลได้สูงถึง 1,600 mg/l แต่ ตัวอย่างเชื้อแบคทีเรียจากทั้ง 4 แหล่ง WA. AWI. AWII และ CM จะเจริญเติบโตได้ดีที่ระดับความ เข้มข้นของสารฟินอลเท่ากับ 800 mg/l และเมื่อทดสอบ ประสิทธิภาพการย่อยสลาย TCE ที่ระดับความเข้มข้น 10 mg/l โดยใช้ความเข้มข้นของสารฟีนอลเป็น 800 mg/l พบว่าตัวอย่าง WA, AWI, AWII และ CM มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายได้ 59.9. 46.2. 51.8. และ 42.5 % ตามลำดับ ภายในระยะเวลา 72 ชั่วโมง

#### บทน่า

สาร Trichloroethylene (TCE) เป็นสาร ชนิดหนึ่งในกลุ่ม Chlorinated Aliphatic Hydrocarbons (CAHs) ซึ่งได้มีการสังเคราะห์และพัฒนา ขึ้นเพื่อใช้ในกิจการอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ เช่น ใช้ใน การชะล้างไขมันของอุปกรณ์อิเลคทรอนิค ซึ่งประเทศ ไทยเป็นประเทศหนึ่งที่ได้มีการนำเข้าสาร TCE เพื่อนำมา ใช้ในกิจการอุตสาหกรรมเป็นจำนวนมาก ในปี พ.ศ. 2544 ได้มีการสำรวจการปนเปื้อนสาร TCE ในดิน และน้ำใต้ดิน ในประเทศไทย พบว่ามีการปนเปื้อนของสาร TCE ใน แหล่งน้ำใต้ดินบริเวณโรงงานอุตสาหกรรมที่มีการใช้สาร

TCE ในปริมาณค่อนข้างสูงภายในนิคมอุตสาหกรรม บางแห่งแล้ว [1] ดังนั้นจึงควรที่จะต้องเริ่มมีการเตรียม แผนการจัดการเพื่อป้องกัน ควบคุม และแก้ไขการ ปนเปื้อนสาร TCE ในดินและน้ำใต้ดินในประเทศไทย เพื่อป้องกันมิให้เกิดเป็นปัญหาที่ลุกลามและรุนแรง มากขึ้นในอนาคต เนื่องจากสารดังกล่าวเป็นสารพิษก่อให้ เกิดมะเร็งได้ การบำบัดน้ำที่ถูกปนเปื้อนด้วยสาร TCE นั้น สามารถกระทำได้ด้วยกระบวนการทางชีววิทยา ซึ่ง สาร TCE สามารถที่จะถูกเปลี่ยนรูปได้โดยเชื้อแบคทีเรีย (Biotransformation) โดยกระบวนการ cometabolism หรือ cooxidation ในสภาพที่มีอากาศ โดยการใช้สาร ตั้งต้นกระตุ้นให้เชื้อแบคทีเรียผลิตเอ็นไซม์ที่ไม่จำเพาะ กับสารตั้งต้นและสามารถจะไปเปลี่ยนรูปของสาร TCE โดยการ oxidation สาร TCE ให้เป็นรูปที่ไม่ก่อให้ เกิดความเป็นพิษ หรือมีความเป็นพิษน้อยลงโดยเฉพาะ การใช้สารฟีนอลเป็นสารกระตุ้น ซึ่งจะมีประสิทธิภาพ ในการเปลี่ยนรูปสาร TCE ได้ดี [2] จึงได้มีการศึกษา กันอย่างกว้างขวางเพื่อคัดเลือกชนิดของเชื้อแบคทีเรีย ที่สามารถใช้สารฟืนอลได้ (Phenol utilizing bacteria) และสามารถผลิตเอ็นไซม์ที่มีประสิทธิภาพสูงในการ เปลี่ยนรูปสาร TCE เพื่อนำมาใช้ในกระบวนการบำบัดน้ำ ทิ้งที่มีการปนเปื้อนสาร TCE จากโรงงานอุตสาหกรรม และใช้ในกระบวนการบำบัดและฟื้นฟูแหล่งน้ำใต้ดิน ที่มีการปนเปื้อนสาร TCE ดังนั้นจึงทำการศึกษาเชื้อ แบคทีเรียในประเทศไทยที่สามารถใช้สารฟีนอลได้ และ สามารถเปลี่ยนรูปสาร TCE ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อนำมาใช้ในการพัฒนาเทคนิคในด้านการบำบัดสาร TCE ที่ปนเปื้อนในน้ำ ทั้งจากน้ำทิ้งจากโรงงาน อุตสาหกรรม และแหล่งน้ำใต้ดินที่มีการปนเปื้อนสาร TCE ซึ่งน่าจะเป็นแนวทางหนึ่งที่สำคัญ เพื่อป้องกัน ปัณหาการแพร่กระจาย และการปนเปื้อนของสาร TCE ในดินและแหล่งน้ำใต้ดินในคนาคตได้

#### วิธีการดำเนินการวิจัย

#### การคัดแยกเชื้อแบคทีเรียที่สามารถ ใช้สารฟีนอลเป็นแหล่งอาหารได้

ทำการเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินจากบริเวณนิคม อุตสาหกรรม, ตัวอย่างน้ำจากระบบบำบัดน้ำเสีย, และ ตัวอย่างน้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติ มาเลี้ยงในอาหาร enriched media: M-R2A [3] ที่อุณหภูมิ 30°C นาน 5 วัน และหลังจากนั้นนำเชื้อแบคทีเรียที่ได้ มา เลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อ Basal Salt (BS media) [3] โดยเติมสารฟินอลให้ได้ความเข้มข้น 100 mg/l เพื่อใช้ เป็นแหล่งสารอาหารประเภทสารคาร์บอนให้กับเชื้อ แบคทีเรีย นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 30°C นานประมาณ 15-20 วัน หรือจนกระทั่งสามารถสังเกตเห็นอาหารเลี้ยงเชื้อ ขุ่นขาวมาก

#### 2. การปรับสภาพเชื้อแบคทีเรียที่ สามารถใช้สารฟีนอลเป็นแหล่งอาหารได้

นำเชื้อแบคทีเรียที่คัดแยกได้จากขั้นตอนที่ 1 โดยเลือกเฉพาะตัวอย่างที่สามารถเจริญเติบโตได้ดี ซึ่งเมื่อวัดค่าการดูดกลืนแสง (OD) ที่ 420 nm แล้วได้ ไม่น้อยกว่า 1 มาทำการถ่ายเชื้อตัวอย่างซ้ำๆ จนกระทั่ง เชื้อแบคทีเรียที่สามารถใช้สารฟินอลได้ สามารถเจริญ เติบโตได้ดีในอาหารเลี้ยงเชื้อ Basal Salt ที่มีสาร ฟินอลเป็นแหล่งคาร์บอน และ สามารถวัดค่า OD ที่ 420 nm ได้ไม่น้อยกว่า 1 ภายในระยะเวลา 2-3 วัน

# 3. การทดสอบสภาวะการเจริญเติบโต ของเชื้อ แบคทีเรียที่สามารถใช้สารฟีนอลเป็น แหล่งอาหารที่ความเข้มขันของสารฟีนอล ใน ระดับต่างๆ กัน

นำเชื้อแบคทีเรียที่สามารถใช้สารฟินอลเป็น แหล่งอาหารได้ และผ่านการปรับสภาพให้เจริญเติบโตได้ ดีในอาหารเลี้ยงเชื้อ Basal Salt ที่มีสารฟินอลเป็นแหล่ง คาร์บอนมาทดสอบระดับความเข้มข้นของฟินอลที่ เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตตั้งแต่ 600-1600 mg/l โดยทำการวัดการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียโดยวัด ค่า OD ที่ 420 nm ทุกวัน

#### 4. การทดสอบประสิทธิภาพในการ สลายสาร TCE ของเชื้อแบคทีเรียที่สามารถใช้ สารฟีนอลเป็นแหล่งอาหารได้

นำเชื้อแบคทีเรียที่ได้จากขั้นตอนที่ 3 มา ทดสอบการย่อยสลายสาร TCE ที่ระดับ 10 mg/l ใน ขวด Septum serum bottle ซึ่งมีอาหารเลี้ยงเชื้อ Basal Salt และใช้สารฟินอลความเข้มขัน 800 mg/l เป็น แหล่งอาหารเนื่องจากเป็นระดับความเข้มขันที่ทำให้ เชื้อแบคทีเรียสามารถเจริญเติบโตได้ดีที่สุดและปิดผนึก ปากขวดด้วย PTFE/Silicone seal นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 30°C เป็นเวลา 3 วัน

#### 5. การวัดปริมาณสาร TCE

1. การทดสอบปริมาณ TCE จะใช้เทคนิค head space โดยทำการเก็บตัวอย่างน้ำจากขั้นตอนที่ 4 จำนวน 5 ml ใส่ลงในขวด Headspace vial ขนาด 10 ml ปิดผนึกปากขวดด้วย PTFE/Silicone seal แล้วนำขวด ไปบ่มที่อุณหภูมิ 25°C นานอย่างน้อย 60 นาที จากนั้น ใช้ microsyring ดึงอากาศที่อยู่ภายในขวด Headspace vial ปริมาณ 10 ul มาวิเคราะห์หาปริมาณ TCE ด้วย เครื่อง Gas Chromatograph Shimadzu GC-12A ซึ่งมีสภาวะของเครื่องดังนี้

Column Restex Rtx-5

Length 30 m, ID 0.53 mm

Film thickness 1 um

อุณหภูมิ injector 250°C

oven 120°C

detector 250°C

Detector ECD

Gas make up gas N 25 ml/min

carrier gas N 10 ml/min

2. ทำการวัดปริมาณสาร TCE ที่อยู่ในขวด ทดสอบทุกวัน

#### 6. การคำนวณเปอร์เซ็นต์การย่อย สลายสาร TCE ของเชื้อแบคทีเรีย

% การย่อยสลายสาร TCE ที่ 72 ชั่วโมง =

(ความเข้มข้น TCE เริ่มต้น - ความเข้มข้น TCE ที่ 72 ชั่วโมง) x 100 ความเข้มข้น TCE เริ่มต้น

#### พลการทดลอง

#### การคัดแยกเชื้อแบคทีเรียที่สามารถ ใช้สารฟีนอลเป็นแหล่งอาหารได้

จากผลการทดลองตัวอย่างเชื้อแบคทีเรียที่เก็บ จากธรรมชาติ และนำมาคัดแยกเชื้อแบคทีเรียที่สามารถ ใช้สารฟีนอลได้ ซึ่งเชื้อแบคทีเรียที่สามารถใช้สารฟีนอล ที่คัดแยกได้ในครั้งแรกนี้ จะยังไม่มีประสิทธิภาพในการ ใช้สารฟินอลเป็นแหล่งของธาตุอาหารคาร์บอนได้ดีนัก จึงทำให้มีอัตราการเจริญเติบโตค่อนข้างช้า โดยใช้เวลา มากกว่า 15 วัน จึงจะเห็นการเจริญเติบโตได้ชัดเจน จึงต้องนำเชื้อแบคทีเรียที่สามารถใช้สารฟินอลได้ที่คัดแยก ได้ในครั้งแรก มาทำการปรับสภาพเพื่อให้เชื้อแบคทีเรีย สามารถใช้สารฟินอลเป็นแหล่งของธาตุอาหารคาร์บอน ได้เป็นอย่างดีขึ้น โดยทำการเลี้ยงต่อเชื้อไปเรื่อยๆ ใน สูตรอาหารเลี้ยงเชื้อเฉพาะ ประมาณ 20-24 สัปดาห์ ซึ่งพบว่าเชื้อแบคทีเรียที่สามารถปรับสภาพให้ใช้สาร ฟินอลได้ดี สามารถที่จะเจริญเติบโตได้รวดเร็วขึ้นโดยใช้ เวลาประมาณ 2-3 วัน

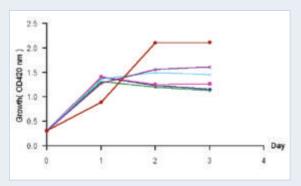
#### 2. การทดสอบสภาวะในการเจริญเติบโต ของเชื้อ แบคทีเรียในสารฟีนอล

จากผลการทดลองโดยใช้สารฟีนอล ในระดับ ความเข้มข้น 600, 800, 1000, 1200, 1400 และ 1600 mg/l ตัวอย่าง WA, CM, AWI, และ AWII, สามารถเจริญ เติบโตได้ในทุกระดับความเข้มข้นของสารฟีนอล แต่ การเจริญเติบโตจะช้าลงในระดับความเข้มข้นที่สูงขึ้น โดยในระยะเวลา 1 วัน ตัวอย่าง WA, CM, AWI, และ AWII จะมีการเจริญเติบโตที่ดีที่สุดที่ระดับความเข้มข้น ของฟีนอลเป็น 800 mg/l ส่วนในระยะเวลา 2 วัน ตัวอย่าง WA และ AWI จะมีการเจริญเติบโตที่ดีที่สุด ที่ระดับความเข้มข้นของฟีนอลเป็น 1,600 mg/l

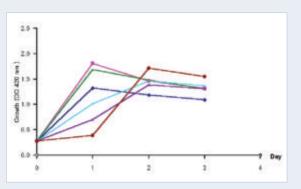
ส่วนตัวอย่าง CM และ AWII จะมีการ เจริญเติบโตที่ดีที่สุดที่ระดับความเข้มข้นของฟินอลเป็น 1,600 mg/l ในระยะเวลา 3 วัน (รูปที่ 1, 2, 3 และ 4) เมื่อเปรียบเทียบความทนทานของเชื้อแบคทีเรียต่อ ความเข้มข้นของสารฟินอล จะพบว่าตัวอย่าง WA จะ มีความทนทานต่อความเป็นพิษของสารฟินอลได้ดีที่สุด โดยจะเห็นได้ว่าในระดับความเข้มข้นของสารฟินอล เป็น 1,600 mg/l ตัวอย่าง WA จะสามารถเจริญเติบโต ได้ดีที่สุดโดยวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 420 nm ได้สูง มากกว่า 2

#### 3. ประสิทธิภาพในการย่อยสลายสาร TCE ของเชื้อแบคทีเรีย

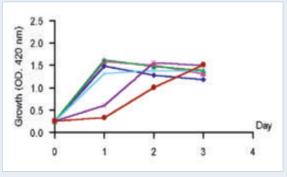
จากการทดสอบการย่อยสลายสาร TCE ของ เชื้อแบคทีเรีย WA, AWII, AWI และ CM นำมา



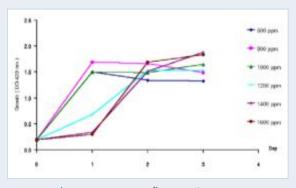
ร**ูปที่ 1** การเจริญของเชื้อ WA ที่ความเข้มข้น ของฟืนอลต่างๆ กัน



รูปที่ 2 การเจริญของเชื้อ AWII ที่ความเข้มข้น ของฟันอลต่างๆ กัน

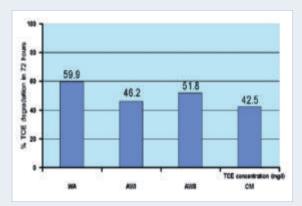


ร**ูปที่ 3** การเจริญของเชื้อ AWI ที่ความเข้มข้น ของฟีนอลต่างๆ กัน



ร**ูปที่ 4** การเจริญของเชื้อ CM ที่ความเข้มข้น ของฟีนอลต่างๆ กัน

คำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์ในการลดลงของสาร TCE เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการย่อยสลายสาร TCE ของเชื้อแบคทีเรีย พบว่าตัวอย่าง WA จะมีประสิทธิภาพ สูงสุดในการย่อยสลายสาร TCE รองลงมาคือ ตัวอย่าง AWII, AWI และCM ตามลำดับ ดังรูปที่ 5



ร**ูปที่ 5** เปอร์เซ็นต์การย่อยสลาย TCE ที่ 10 mg/l ของเชื้อ phenol-utilizing bacteria

#### สรุปพลและข้อเสนอแนะ

- 1. จากผลการศึกษาเชื้อแบคทีเรียในประเทศ ไทยที่สามารถย่อยสลายสาร TCE ได้ โดยการคัดเลือก เชื้อแบคทีเรียที่สามารถใช้สารฟีนอลเป็นแหล่งต้นตอของ สารคาร์บอนเพื่อการเจริญเติบโต เพื่อจะกระตุ้นให้เชื้อ แบคทีเรียผลิตเอ็นไซม์ที่ไม่จำเพาะ (non specific enzyme) ที่สามารถไปย่อยสลายสาร TCE ได้ด้วย พบว่าตัวอย่าง เชื้อแบคทีเรีย WA ซึ่งคัดแยกได้จากตัวอย่างน้ำจาก ระบบบำบัดน้ำเสียรวมของการนิคมอุตสาหกรรมภาคเหนือ จะมีประสิทธิภาพในการย่อยสลายสาร TCE ได้สูงสุด โดยที่ระดับความเข้มข้นของสาร TCE ที่ 10 mg/l จะให้ ประสิทธิภาพในการย่อยสลายสาร TCE ได้ดีที่สุด คือ 59.9 % ภายในระยะเวลา 72 ชั่วโมง และเมื่อ เปรียบเทียบกับเชื้อแบคทีเรียบางชนิดที่มีรายงานว่ามี ประสิทธิภาพในการย่อยสลายสาร TCE นั้นสามารถ ย่อยสลายสาร TCE ได้ที่ความเข้มข้น 1-30 mg/l ใน ระดับ 30-100% [2.4] ดังนั้นเชื้อแบคทีเรียจากตัวอย่าง WA จึงน่าจะมีประสิทธิภาพในการย่อยสลายสาร TCE ได้ดี และสามารถที่จะนำไปใช้พัฒนาในเรื่องของการใช้ เชื้อแบคทีเรียในการบำบัดสาร TCE ที่ปนเปื้อนในน้ำทิ้ง จากโรงงานอุตสาหกรรม หรือ ใช้ในการบำบัดน้ำใต้ดิน ที่มีการปนเปื้อนสาร TCE ได้
  - 2. เชื้อแบคทีเรียจากตัวอย่าง WA, CM, AWI

และ AWII ยังสามารถนำไปใช้ในการบำบัดสารฟินอล ที่ปนเปื้อนในน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมได้อย่างดีด้วย ทั้งนี้เนื่องจากเชื้อแบคทีเรียดังกล่าวสามารถทนทาน และเจริญเติบโตได้ดีที่ระดับความเข้มข้นของสารฟินอล ได้สูงถึง 1,600 mg/l จึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำเชื้อ แบคทีเรียดังกล่าว ไปใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพของ ระบบบำบัดน้ำทิ้งในการกำจัดสารฟินอลที่ปนเปื้อนใน น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมให้สูงขึ้นได้ ซึ่งมาตรฐาน ควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม และ นิคมอุตสาหกรรมได้กำหนดว่าจะต้องมีปริมาณของ สารประกอบฟินอลในน้ำทิ้ง ไม่มากกว่า 1 mg/l

3. ในการเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยสลายสาร TCE ของเชื้อแบคทีเรียจากตัวอย่าง WA ควรที่จะศึกษา อัตราส่วนที่เหมาะสมของสารฟีนอล / สาร TCE ใน แต่ละระดับความเข้มข้นของสาร TCE ทั้งนี้เนื่องจาก กระบวนการ cometabolism จะเกิดการแข่งขันกัน (competition) ระหว่างสารฟืนอล และสาร TCE ที่จะ เข้าไปทำ ปฏิกริยากับเอ็นไซม์ oxygenase ซึ่งเชื้อ แบคทีเรียถูกกระตุ้นให้สร้างขึ้นมาโดยสารฟีนอล แต่ เอ็นไซม์ดังกล่าวจะไม่มีความจำเพาะกับสารฟีนอลเท่านั้น แต่ยังสามารถเกิดปฏิกริยาย่อยสลายสาร TCE ได้ด้วย จึงก่อให้เกิดกระบวนการแข่งขันขึ้น โดยถ้าปริมาณสาร ฟืนอลมากเกินไป จะทำให้ประสิทธิภาพในการย่อยสลาย สาร TCE ลดลง และถ้าปริมาณสารฟีนอลน้อยเกินไป ก็จะไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรีย เนื่องจากเชื้อแบคทีเรียไม่สามารถใช้สาร TCE เป็นแหล่ง ของธาตุอาหารคาร์บอนเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตได้ ก็จะ ทำให้ประสิทธิภาพในการย่อยสลายสาร TCE ลดลง เช่นกัน [5] ดังนั้นจึงควรต้องศึกษาอัตราส่วนของสาร ฟีนอล / สาร TCE ที่จะทำให้ประสิทธิภาพในการ ย่อยสลายสาร TCE ดีที่สดในแต่ละระดับความเข้มข้น ของสาร TCE ได้มีรายงานว่าในระดับความเข้มข้นของ สาร TCE ที่ 26 mg/l อัตราส่วนของสารฟีนอล / สาร TCE ในถังปฏิกรณ์ชีวภาพจะต้องควบคุมให้อยู่ในอัตรา ส่วน 10 : 1 ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพในการย่อยสลาย สาร TCE สงสดถึง 95% (6)

4. ควรที่จะศึกษาเพื่อจำแนกชนิดของเชื้อ แบคทีเรียในแต่ละตัวอย่าง เพื่อที่จะได้ทราบว่าในแต่ละ ตัวอย่างประกอบด้วยเชื้อแบคทีเรียชนิดใดบ้าง เพื่อที่ จะนำไปสู่การศึกษาชนิด และปฏิกริยาของเอ็นไซม์

oxygenase ที่เชื้อแบคทีเรียแต่ละชนิดผลิตออกมา เพื่อย่อยสลายสารฟินอล และสามารถเกิดกระบวนการ cometabolism กับสาร TCE ได้ ซึ่งเอ็นไซม์ในกลุ่ม oxygenase จะมีเอ็นไซม์หลายชนิดที่เชื้อแบคทีเรีย สามารถผลิตขึ้นมา และสามารถเกิดกระบวนการ cometabolism กับสาร TCEได้ [7,8] ซึ่งในปัจจุบัน สามารถที่จะศึกษาถึงระดับยืน (gene) ที่ควบคุมการ ผลิตเอ็นไซม์เหล่านี้ และสามารถนำไปใช้ในการปรับปรุง พันธุกรรมของเชื้อแบคทีเรีย เพื่อให้มีประสิทธิภาพใน การย่อยสลายสาร TCE สูงขึ้นได้

#### เอกสารอ้างอิง

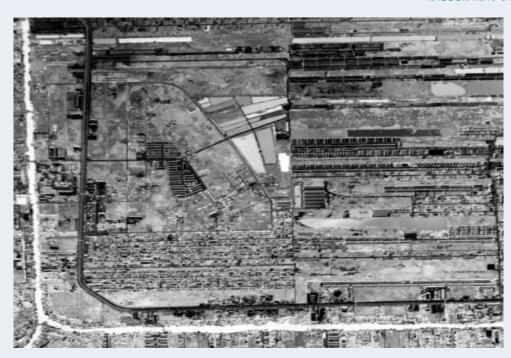
- 1. มีศักดิ์ มิลินทวิสมัย, สีหนาถ ชาญณรงค์, พีรพงษ์ สุนทรเดชะ, วาลิกา เศวตโยธิน และ จีระนันท์ พันธจักร (2544) การปนเปื้อนของสาร Chlorinated Ethylene ในดิน และน้ำใต้ดิน และกรณีศึกษา ของประเทศไทย, เอกสารเผยแพร่ ERTC-WT/441, ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม, กรมส่งเสริม คุณภาพสิ่งแวดล้อม, กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม. 40 หน้า
- Fujita, M. and M. Ike (1997) Trichloroethylene degradation by phenol degrading bacteria.
   Recent Res. Devel. In Microbiology (1) 333-343 p.
- 3. Fries, M. R. and G.O. Hopkin (1994) **Isolation**, characterization and distribution of denitrifying toluene degrader from a variety of habitat.

- Appl. Environ. Microbiol (60) 2802-2810 p.
- Hashimoto, A. (1999) Degradation of trichloroethylene by <u>Mycobacterium</u> sp. TA 27.
   Engineered Approaches for in situ Bioremediation Chlorinated Solvent Contamination.
   Andrea Lesson and Bruce. Battelle Press.
   Columbus. 89-94 p.
- McCarty, P. and L. Semprini (1994) Ground water treatment for chlorinated solvent. In Handbook of Bioremediation. Robert S. Kerr Environmental Research Laboratory. CRC. Press Inc. USA. 87-116 p.
- Shurtliff, M. M., G. F. Parkin, L. J. Weathers and D. T. Gibson (1996) Biotransformation of trichloroethylene by a phenol induced mixed culture. J. of Environmental Engineering. July 581-589 p.
- Nelson, M. J. K., S. O. Montgomery and P. H. Pritchard (1987) Biodegradation of trichloroethylene and involvement of an aromatic biodegradation pathway. Appl. Environ. Microbiol. (53) 949-954 p.
- Wackett, L. P. and D. T. Gibson (1988)
   Degradation of trichloroethylene by toluene dioxygenase in whole-cell studies with <u>Pseudomonas putida</u> F 1. Appl. Environ. Microbiol. 54: 1703-1708 p.



### การจัดทำระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์บริเวณหลุมฟังกลบขยะคูคต (เก่า) Geographic Information System for Old SiteKukot Sanitary Landfill

นายมีศักดิ์ มิลินทวิสมัย, นายสีหนาถ ชาญณรงค์ นายอ่อนจันทร์ โคตรพงษ์



#### **Abstract**

Geographic Information System (GIS) of Kukot sanitary landfill (old) was setup using thirty layers of database. Twenty-six layers were the database produced by Department of Environmental Quality Promotion, which were based on GIS database structures of 1:50,000 Pathumthani Province map. This study provided another four layers including the information of elevation, geophysics, geology, and hydrology. The database will be used for further study on the risk assessment from the landfill.

#### บทคัดย่อ

ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์บริเวณหลุมฝังกลบ ขยะคูคต (เก่า) ในจังหวัดปทุมธานีได้ถูกจัดทำขึ้นโดย มี จำนวนชั้นข้อมูล (layers) ทั้งหมด 30 ชั้นข้อมูล ซึ่ง ส่วนหนึ่งอ้างอิงจากโครงสร้างฐานข้อมูลสารสนเทศ ภูมิศาสตร์ มาตราส่วน 1:50,000 จังหวัดปทุมธานี จัดทำโดยกรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อมซึ่งมีชั้นข้อมูล จำนวน 26 ชั้นข้อมูล และอีกส่วนหนึ่งมาจากการสำรวจ วิจัยครั้งนี้เพื่อเพิ่มชั้นข้อมูลอีก 4 ชั้นข้อมูล อันได้แก่ ข้อมูลการวัดระดับความสูง ข้อมูลการสำรวจธรณีฟิสิกส์ ข้อมูลธรณีวิทยา และข้อมูลอุทกวิทยา ซึ่งข้อมูลดังกล่าว สามารถ นำมาใช้เป็นประโยชน์ในการประเมินความเสี่ยง ของชุมชนบริเวณรอบหลุมฝังกลบขยะ

#### 1. ค่าน่า

จากการที่ได้มีการจัดทำแผนงานโครงการศึกษา วิจัยเรื่อง "การประเมินความเสี่ยงจากการฝังกลบขยะ ในเมืองใหญ่ต่อสิ่งแวดล้อมและสุขอนามัยของประชาชน กรณีศึกษา : สถานที่ฝังกลบขยะ (เดิม) ของเทศบาล

เมืองคูคต อำเภอลำลูกกา จังหวัดปทุมธานี กรมส่งเสริม
คุณภาพสิ่งแวดล้อมจึงได้ทำการศึกษาวิจัยเพื่อประเมิน
ความเสี่ยงของการกำจัดขยะแบบฝังกลบของเมืองใหญ่
โดยเลือกสถานที่ทิ้งขยะเดิมของเทศบาลเมืองคูคต
จังหวัดปทุมธานี เป็นสถานที่ศึกษาวิจัยขึ้น

กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อมจึงได้ว่าจ้าง ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทำการวิจัยชั้นตอนแรก ในการจัดทำระบบสารสนเทศ ภูมิศาสตร์เพื่อเป็นการนำเอาข้อมูลด้านกายภาพ ด้าน อุทกวิทยา และด้านการพัฒนาพื้นที่ บริเวณรอบพื้นที่ หลุมฝังกลบขยะคูคต (เดิม) ที่ได้มีการศึกษามาก่อน ตลอดจนนำข้อมูลที่สำรวจเพิ่มเติมในส่วนที่ยังขาด หายไปในเบื้องต้น ซึ่งมีความสำคัญต่อการดำเนินการ ศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องกับโครงการได้แก่ การจัดทำแผนที่ ฐานแสดงลักษณะภูมิประเทศมาตราส่วน

#### 2. การดำเนินการ

# 2.1 เก็บและรวบรวมข้อมูลที่มีอยู่แล้ว ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับโครงการ ซึ่งประกอบด้วย

- ข้อมูลทางกายภาพ ได้แก่ สภาพภูมิประเทศ ระดับความสูง ชนิดของดิน คุณสมบัติทางกายภาพ โครงสร้างการวางตัวของชั้นดิน ความลึกและความหนา ของชั้นดิน ข้อมูลบ่อบาดาล ขอบเขตและความลึกของ ชั้นหินอุ้มน้ำ คุณสมบัติของกายภาพและทางเคมีของ ชั้นน้ำ การสูบน้ำจากบ่อ ค่าระดับน้ำปกติ ค่าระดับน้ำลด และข้อมูลทางชลศาสตร์ของชั้นดิน
- ข้อมูลด้านอุทกวิทยาและภูมิอากาศ ได้แก่ ปริมาณน้ำฝน ปริมาณและคุณภาพน้ำผิวดินจากแม่น้ำ ลำธาร อ่างเก็บน้ำ
- ข้อมูลด้านการพัฒนาพื้นที่ ได้แก่ การใช้ ประโยชน์ที่ดิน การกระจายตัวของโรงงานอุตสาหกรรม การกระจายตัวของหมู่บ้าน ขอบเขตการปกครอง จำนวนประชากร แหล่งศิลปกรรม แหล่งท่องเที่ยว แหล่งทรัพยากรธรรมชาติ นิคมอุตสาหกรรมและ สาธารณูปโภคพื้นฐาน

#### 2.2 การสำรวจข้อมูลเพิ่มเติมในส่วนที่ ขาดไป ประกอบด้วย

จัดหาแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศ มาตราส่วน

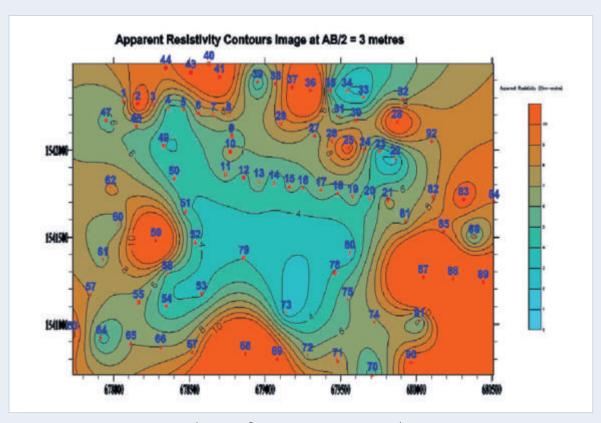
1:15,000 ครอบคลุมพื้นที่ศึกษาหลุมฝังกลบขยะ (เดิม) คูคต

- จัดทำแผนที่ฐานแสดงลักษณะภูมิประเทศ มาตราส่วน 1:4,000 รอบพื้นที่ 5 ตารางกิโลเมตร ที่มี ความเสี่ยงจากการฝังกลบขยะ โดยมีการสร้างหมุดหลัก ฐานจากหมุดอ้างอิงมาตรฐาน มีการรังวัดและค่าระดับ ในพื้นที่ศึกษา นำแผนที่เข้าสู่ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ โดย Software ArcView Version 3.1
- สำรวจจัดทำแผนที่สำรวจธรณีฟิสิกส์ โดย วิธี Resistivity Sounding² ในการสำรวจภาคสนาม ได้ทำการสำรวจด้วยวิธี Schlumberger โดยแบ่งการ สำรวจถึงระดับความลึก (AB/2) = 100 เมตร จำนวน 24 จุด และ AB/2 = 50 เมตร จำนวน 62 จุด รวมจุดสำรวจทั้งสิ้น 86 จุด รวมความลึก 5,500 เมตร แต่ละจุดจะอ่านค่าความต้านทานไฟฟ้าที่ระดับความลึก (AB/2) ดังนี้ คือ 1, 1.5, 2, 3, 5, 6, 7, 10, 15, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 60, 70, 80, 90 และ 100 เมตร จุดที่ได้ทำการสำรวจถึงระดับความลึก 100 เมตร ประกอบด้วยจุดสำรวจ 3, 11, 14, 17, 20, 30, 32, 35, 49, 50, 52, 53, 55, 58, 60, 62, 64, 68, 69, 72, 82, 84, 88, และ 90 ส่วนจุดสำรวจที่เหลือจะเป็นการสำรวจ ถึงระดับความลึก 50 เมตร จากนั้นนำผลที่ได้มาแปร ความหมายอยู่ในรูปของแผนที่ธรณีฟิสิกส์
- ประเมินผลทางธรณีวิทยาใต้ดินระดับ
  ภูมิภาค (Regional subsurface geology) เพื่อเป็น
  ข้อมูลในการกำหนดตำแหน่งการเจาะสำรวจตัวอย่าง
  ดินและน้ำ เพื่อการสำรวจการปนเปื้อนสารมลพิษและ
  เป็นการเตรียมข้อมูลในการสร้างแบบจำลองการไหลของ
  น้ำใต้ดินและการเคลื่อนย้ายของสารปนเปื้อนมลพิษ
  จากหลุมฝังกลบขยะในชั้นน้ำใต้ดินต่อไป

#### 2.3 จัดทำข้อมูลดังกล่างข้างตันให้อยู่ใน ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

#### 3. พลการดำเนินการ

จากการสำรวจพบว่า ค่าระดับความสูงในพื้นที่ สำรวจ มีค่าตั้งแต่ 1.6 เมตรถึง 4.8 เมตรเหนือระดับ น้ำทะเลปานกลาง โดยมีค่าเฉลี่ยความสูงโดยทั่วไปใน พื้นที่ประมาณ 2.2 เมตรเหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง และพื้นที่กองขยะจะมีระดับสูงที่สุดโดยมีระดับความสูง



รูป 1 แผนที่ธรณีฟิสิกส์โดยวิธี Apparent Resistivity ที่ระดับ 3 เมตร

ตั้งแต่ 2.4 เมตรถึง 4.8 เมตรเหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง หรือมีความสูงเฉลี่ยประมาณ 2.4 เมตร เอียงเทไป ทุกทิศทาง จากการสำรวจพบว่าบริเวณรอบกองขยะ ในรัศมี 5 ตารางกิโลเมตร เป็นเขตชุมชนที่อยู่อาศัย ค่อนข้างหนาแน่นมีการใช้น้ำบาดาลและน้ำประปาในการ อปโภคและบริโภค

การสำรวจ Resistivity แสดงผลโดย Apparent Resistivity Contour Image ซึ่งแสดงเป็นตัวอย่างใน รูป 1 จากการศึกษาพบว่า ที่ระดับความลึก (AB/2) เท่ากับ 1 และ 3 เมตร บริเวณกองขยะ บริเวณบ่อปลาที่ มีการขุดดินตอนล่างขึ้นมาทำเป็นคันดินมีค่าความต้านทาน ไฟฟ้าจำเพาะต่ำ (สีน้ำเงิน) ส่วนบริเวณที่มีค่าความ ต้านทานไฟฟ้าจำเพาะสูง (สีแดง) ได้แก่ พื้นที่บริเวณที่มี การถมดินเพื่อก่อสร้างอาคารที่อยู่อาศัย ถนน ท่อประปา เสาเข็ม หรือบริเวณเขตชุมชนที่อยู่อาศัย ซึ่งสอดคล้อง กับผลการแปลด้วยวิธี Matching Curve ซึ่งค่าความ ต้านทาน ไฟฟ้าสูง ได้แก่ดินถมเพื่อปลูกสิ่งก่อสร้างจะมี ความหนา น้อยกว่า 1 เมตร และดินเหนียวความชื้นต่ำมี ความหนา 4-5 เมตร ชั้นดินตอนล่าง ตลอดทั้งพื้นที่เป็น ดินเหนียวหรือดินเลน ที่อิ่มตัวด้วยน้ำเค็ม และน้ำกร่อย

สังเกตได้จากค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะต่ำกว่า 1 โอห์ม-เมตร และน้อยกว่า 4 โอห์ม-เมตร ตามลำดับ บางจุดสำรวจ มี Anomaly ของชั้นทรายบางๆ ที่ระดับ ความลึก 30-45 เมตร เนื่องจากชั้นดินตอนบนส่วนใหญ่ เป็นชั้นดินเหนียว ซึ่งคุณสมบัติมักจะเป็นตัวกักกั้นน้ำได้ เป็นอย่างดี (Impervious rock) ดังนั้นการแผ่กระจาย ของน้ำเสียจากกองขยะน่าจะเกิดได้ง่ายบนชั้นดินเหนียว หรือน้ำผิวดิน อาจจะมีอิทธิพลเป็นอย่างมากต่อบ่อ เลี้ยงปลา โดยรอบกองขยะถ้ามีธาตุโลหะหนักอยู่ ปริมาณมาก และเกิดมีปริมาณฝนตกมากและทำให้เกิด น้ำท่วม บริเวณรอบกองขยะ ประกอบด้วยสิ่งก่อสร้าง มากมาย เช่น ถนนและหมู่บ้าน ทำให้เป็นตัวขวางกั้น ทางน้ำไหล โดยเฉพาะพื้นที่ทางด้านทิศเหนือของ กองขยะ ดังนั้นหากเกิดน้ำท่วม การกระจายทิศทางไหล ของน้ำน่าจะเอ่อท่วมไปทางทิศตะวันออก ตะวันตก และ ทิศใต้ของกองขยะ

จากที่ได้มีการรวบรวมและทำการสำรวจข้อมูล เพิ่มเติมข้างต้น ได้นำเข้าสู่ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) โดยใช้ซอฟต์แวร์ ArcView Version 3.2 รวม ทั้งหมด 30 ชั้นข้อมูลโดยแบ่งเป็นข้อมูลฐานที่มีอยู่เดิม จำนวน 26 ชั้นข้อมูล (Layers) และข้อมูลที่สำรวจเพิ่ม เติมจำนวน 4 ชั้นข้อมูล ข้อมูลทั้งหมดสามารถอธิบาย หรือวิเคราะห์ได้เบื้องต้นเกี่ยวกับความสัมพันธ์กันใน เชิงพื้นที่ ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของระบบสารสนเทศ

ภูมิศาสตร์ โดยข้อมูลจะถูกออกแบบโครงสร้างเพื่อเชื่อม โยงกันระหว่างข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial Data) และ ข้อ มูลเชิงอรรถาธิบาย (Attribute Data) ซึ่งมีโครงสร้าง ดังแสดงในตาราง 1

ตาราง 1 โครงสร้างฐานข้อมูลระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

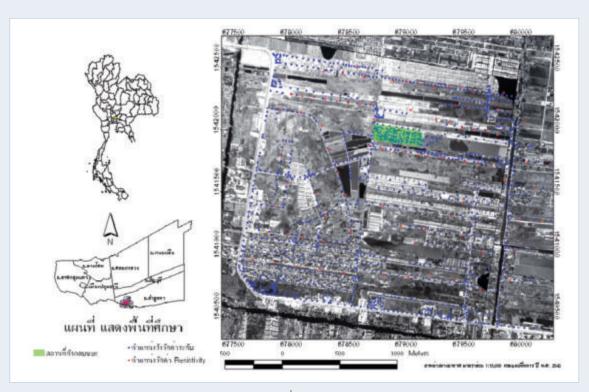
ชั้นข้อมูล	ลักษณะข้อมูล	แหล่งข้อมูล
ตำบล	polygon , arc	กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม
อำเภอ	polygon	กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม
เทศบาล - สุขาภิบาล	polygon	กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม
หมู่บ้าน	point	กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม
สถานีอุตุนิยมวิทยาจังหวัด	point	กรมอุตุนิยมวิทยา
ปริมาณน้ำฝน	arc	กรมอุตุนิยมวิทยา
Aspect	polygon	กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม
ค่าระดับ	polygon	กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม
ความลาดชั้น	polygon	กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม
เส้นทางน้ำ	polygon , arc	กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม
คุณภาพน้ำ	point	กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม
พื้นที่ลุ่มน้ำ	polygon	กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม
บ่อบาดาล	point	กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม
ฟอสซิล	point	กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม
ธรณีวิทยา	polygon	กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม
น้ำใต้ดิน	arc	กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม
ดิน	polygon	กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม
สัตว์ป่า	polygon	กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม
การใช้ประโยชน์ที่ดิน	polygon	กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม
ศิลปกรรม	point	กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม
ทรัพยากรธรรมชาติ	point	กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม
แหล่งท่องเที่ยว	point	กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม
นิคมอุตสาหกรรม	polygon	กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม
โรงงานอุตสาหกรรม	point	กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม
สาธารณูปโภคพื้นฐาน	Arc	กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม
เส้นทางคมนาคม	arc	กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม
ข้อมูลการสำรวจรังวัตระดับความสูง	point	สำรวจใหม่
ข้อมูลการสำรวจธรณีฟิสิกส์	point	สำรวจใหม่
้ ข้อมูลธรณีวิทยาและอุทกธรณีวิทยาในระดับภูมิภาค	point	กรมทรัพยากรธรณี
ข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศ	raster	กรมแผนที่ทหาร



รูป 2 ลักษณะข้อมูลเชิงพื้นที่ของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์



รูป 3 ลักษณะข้อมูลเชิงอรรถาธิบาย ของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์



รูป 4 ภาพถ่ายทางอากาศแสดงสถานที่ฝังกลบขยะ (เดิม) ของเทศบาลเมืองคูคต อำเภอลำลูกกา จังหวัดปทุมธานี

ฐานข้อมูลระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์สามารถ แสดงผลข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial Data) ของจังหวัด ปทุมธานี ดังแสดงเป็นตัวอย่างในรูป 2 โดยใช้โปรแกรม Arcview 3.2 เปิดเข้าสู่ฐานข้อมูลของระบบสารสนเทศ ภูมิศาสตร์บริเวณหลุมฝังกลบขยะคูคต (เก่า) จากรูป จะแสดงให้เห็นลักษณะของพื้นที่และเส้นแม่น้ำลำคลอง ในจังหวัดปทุมธานีและเมื่อคลิกเข้าในบริเวณของแผนที่ โปรแกรมจะแสดงข้อมูลเชิงอรรถาธิบาย (Attribute Data) ดังรูป 3 ซึ่งเป็นตัวอย่างข้อมูลพื้นฐานของอำเภอ ในจังหวัดปทุมธานี ส่วนรูป 4 เป็นการแสดงผลของ ภาพถ่ายทางอากาศแสดงสถานที่ฝังกลบขยะ (เดิม) ของ เทศบาลเมืองคูคต อำเภอลำลูกกา จังหวัดปทุมธานี จากการใช้โปรแกรม Arcview 3.2 เมื่อเข้าสู่ระบบ สารสนเทศภูมิศาสตร์บริเวณหลุมฝังกลบขยะคูคต (เก่า)

#### สรูป

การรวบรวมข้อมูลทั้งจากการสำรวจใหม่ซึ่ง เน้นถึงลักษณะทางอุทกธรณีวิทยา ซึ่งรวมถึงข้อมูล เกี่ยวกับลักษณะของชั้นดินและระดับความสูงของพื้นที่ ฝังกลบขยะ มาผนวกกับฐานข้อมูลที่มีอยู่เดิมซึ่งประกอบ

ด้วยข้อมูลทางกายภาพและการใช้พื้นที่ เพื่อนำมาเข้าสู่ ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ จะสามารถนำไปใช้ในการ วิเคราะห์เบื้องต้นเกี่ยวกับความสัมพันธ์เชิงพื้นที่เพื่อ ช่วยในการศึกษาการประเมินความเสี่ยง จากการฝังกลบ ขยะและเพื่อใช้เป็นแนวทางในการศึกษาหาทางป้องกัน และแก้ไขปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมที่จะเกิดขึ้นในอนาคต ต่อไป

#### เอกสารอ้างอิง

- กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม กระทรวง ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, (2545), รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการประเมินความเสียง จากการฝังกลบขยะในเมืองใหญ่ต่อสิ่งแวดล้อมและ สุขอนามัยของประชาชน กรณีศึกษา: สถานที่ฝัง กลบขยะ (เดิม) ของเทศบาลเมืองคูคต อำเภอ ลำลูกกา จังหวัดปทุมธานี, ศูนย์บริการวิชาการแห่ง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ, 2545.
- REYNOLDS, J.M. (1997), An Introduction to Applied and Environmental Geophysics, John Wiley&Sons.



## Pollution Management and the Situation at Slaughterhouses: Case Study on the Slaughterhouses of Lamphun and Chiang Mai Municipalities, Thailand

Ms. Somjai Simachaya<sup>a</sup>

Mr. Anukoon Suthaphan<sup>b</sup> and Ms. Kulyada Thornmaneeb<sup>b</sup>

Presented on the 2<sup>nd</sup> Asian-Pacific International Conference on Pollutants Analysis and Control, Ho Chi Minh City, Viet Nam, 1-3 December 2003.

#### บทคัดย่อ

โรงฆ่าสุกรในประเทศไทยส่วนใหญ่มีขนาดเล็ก และขาดการจัดการด้านสิ่งแวดล้อมอย่างมีประสิทธิภาพ ในการศึกษาครั้งนี้ได้เลือกศึกษาโรงฆ่าสัตว์เทศบาลเมือง ลำพูนและโรงฆ่าสัตว์เทศบาลนครนครเชียงใหม่ที่มี ขนาดและกำลังผลิตแตกต่างกัน โดยพิจารณาลักษณะ น้ำทิ้งและของเสียรวมถึงการปฏิบัติงานของเจ้าหน้าที่ เปรียบเทียบกิจกรรมก่อนและหลังการประยุกต์ใช้ เทคโนโลยีสะอาด โรงฆ่าสัตว์เทศบาลเมืองลำพูนมี เพียงระบบบำบัดน้ำเสียขั้นต้น คุณภาพน้ำเสียก่อนนำ แนวทางเทคโนโลยีสะอาดมาจัดการมีค่า BOD, COD, TKN, SS และ Oil and Grease เฉลี่ยเท่ากับ 852, 1,153, 108, 237.3 และ 76.6 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ หลังการนำแนวทางเทคโนโลยีสะอาดมาใช้มีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 395, 534, 55.4, 101 และ 59.3 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ คุณภาพน้ำดีขึ้นร้อยละ 23-57 ขึ้นอยู่กับ พารามิเตอร์แต่ละชนิด ในขณะที่น้ำเสียจากโรงฆ่าสัตว์ เทศบาลนครนครเชียงใหม่ไม่มีระบบบำบัดน้ำเสียและ ปล่อยลงสู่คลองแม่ข่าโดยตรง ก่อนการใช้เทคโนโลยี สะอาดมีค่า BOD, COD, TKN, SS และ Oil and Grease เฉลี่ยเท่ากับ 1,620, 2,337, 237, 480 และ 193 มิลลิกรัม ต่อลิตรตามลำดับ หลังการใช้เทคโนโลยีสะอาดมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 1,250, 1,550, 178.8, 334.7 และ 135.6 มิลลิกรัม ต่อลิตร น้ำเสียมีคุณภาพดีขึ้น ร้อยละ 23-34 ค่าภาระ บรรทุกของ BOD (BOD loading) ก่อนปล่อยลงสู่ แหล่งน้ำสาธารณะมีค่าเท่ากับ 18 และ 193 กิโลกรัม ต่อวันตามลำดับ และปริมาณการใช้ทรัพยากรได้แก่ น้ำ ไฟฟ้าและก๊าซหุงต้มของโรงฆ่าสัตว์ลดลงร้อยละ 10-30 และ 10 ตามลำดับ สรุปได้ว่าโรงฆ่าสัตว์จำเป็นต้องมี การปรับปรุงหรือสร้างระบบบำบัดน้ำเสียขึ้นใหม่ และ การนำเทคโนโลยีสะอาดไปใช้ในโรงฆ่าสัตว์นั้นจะ ประสบความสำเร็จได้ก็ต่อเมื่อได้รับความร่วมมือจาก ผู้บริหารและเจ้าหน้าที่ในโรงฆ่าสัตว์

#### **Abstract**

Most of the pig slaughterhouses in Thailand are small and do not efficiently address environmental management. In this study, two different sized slaughterhouses were investigated: one in Lamphun Municipality, the other in Chiang Mai Municipality. The focus of the study was on the potential of cleaner technology to reduce the generation of wastewater and solid wastes, and the responsibility of staff prior to and after the application of such technology. Wastewater analysis included 5 parameters: BOD, COD, TKN, SS, and Oil and Grease. The Lamphun slaughterhouse already operated primary treatment facilities prior to this study. The results of wastewater for the five previously listed parameters before cleaner technology application were 38.9, 52.6, 4.9, 10.8, and 3.5 kg/day, respectively. A reduction of wastewater between 23-57%, depending upon the parameter, was realized after the adoption of clean technology. Chiang Mai Municipality's slaughterhouse had no primary treatment facilities. Wastewater quality before clean technology application was 120.5, 173.9, 17.6, 35.7, and 14.4 kg/day for the respective parameters. After the implementation of cleaner technology, there was a reduction of wastewater ranging between 23-34% for the various parameters. Moreover, there was a significant reduction in BOD at both slaughterhouses after the adoption of cleaner technology, although levels still remained high. BOD of wastewater before discharging into the receiving waters was reduced to 18.0 kg/day at Lamphun Municipality's slaughterhouse and 193 kg/day at Chiang Mai's slaughterhouse. In addition, Lamphun slaughterhouse's utilities were reduced by 10-30% while Chiang Mai slaughter house's utilities were reduced by 10%. In conclusion, cleaner technology application can be successfully applied to reduce wastewater in municipal slaughterhouses with the cooperation of municipality staff at the slaughterhouses.

#### 1. Introduction

Most slaughterhouses in Thailand are small and owned by municipalities. They do not efficient address environmental management nor do they tend to meet the standard requirements. Thus, the operation of the slaughterhouses tends to negatively impact the natural environment and the life of the people living nearby. Municipalities' slaughterhouses often release large amounts of waste into the environment, which contribute to the problems of land and surface water pollution and pose serious human health risks. Exacerbating this situation is that due to poor water supply infrastructure and the need for a great quantity of water for cleaning and sterilization, slaughterhouses often operate in urban settings where the discharges of blood, offal and other waste products are

totally uncontrolled. Consequently, the main problem arising from slaughterhouses is the wastewater generated, which contains a considerable concentration of organic compounds, such as fat, oil, and protein, which are all biodegradable compounds and lead to oxygen demand reduction, and high BOD. However, using simple technologies can often reduce the environmental impact. Thus, this study investigates the use of cleaner technology and cleaner production. Cleaner technology can be effective at reducing wastewater discharge and the use of water and utilities by adapting the pre-existing processes. The study area is located in the northern part of Thailand in Lamphun and Chiang Mai Municipalities' slaughterhouses, which differ in size of operation. Lamphun Municipality's slaughterhouse is representative of a small-sized operation while Chiang Mai Municipality's slaughterhouse is representative of a medium-sized operation. Meat production was 57 and 120 heads/day respectively. The objectives of this study are to investigate the status of environmental and related resource problems in the slaughterhouses and to apply and evaluate cleaner production in reducing waste loads from the slaughterhouses' operations.

#### 2. Methodology

Methodologies used in this study included surveys, interviews, observations, and sample collection both before and after cleaner technology application. In general, the operation of the two slaughterhouses selected were primitive, manually operated, and unsystematic. Moreover, most stages of the slaughtering process were carried out on the floor. The slaughtering process mainly covers the activities in the slaughterhouse including transportation and cleaning. The main sources of wastewater come from pigwashing, scalding, offal-cleaning, splitting-cleaning, and floor-cleaning.

Each stage releases wastewater into the same line. Therefore, wastewater samplers were collected in the line at the station before and after the treatment process. The five water quality parameters were observed in this study: BOD, COD, TKN, SS, and oil and grease. The sampling points selected were 1) where all the wastewater mixed before flowing into the treatment facilities, in the case of Lamphun's slaughterhouse, and 2) where the wastewater had been treated but not yet discharged into the receiving waters. Lamphun's slaughterhouse has primary treatment facilities such as course screening and sedimentation tank while Chiang Mai's slaughterhouse has no such treatment facility. The steps of this study are listed below:

- 1) Field Visits: The Cleaner Technology team met with the respective municipalities, staff in the slaughterhouses, and the pig owners to acquire their cooperation and to gather the necessary facility and process related information.
- 2) Understanding the Slaughtering Process: The slaughtering process while producing meat products also generates wastes. The production process for slaughtering involves a) landing, inspecting and cleaning b) stunning and exsanguination c) scalding and deharing d) splitting, and lastly e) distributing to the market. Since most of the process work is carried out on the floor of the slaughterhouse, meat products could potentially be contaminated. The stages of the slaughtering process are shown in Figure 1.
- 3) Transportation: Before transferring pigs to the slaughterhouse, pigs get stressed during transportation and resting. Therefore, spraying and drinking water are necessary. The stress can affect the quality of meat. After splitting, the pieces of shrinkage are distributed to the market. Some fresh blood is released onto the floor. Water

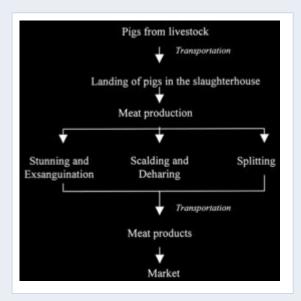


Figure 1 General flow diagram for slaughtering process

used for drinking and cleaning in this stage is approximately 5 liters/head.

- 4) Stunning and Exsanguination: Hitting the pigs with a stick is the favored method of stunning in Thailand's slaughterhouses. The fresh blood released is approximately 30 kg/ton of live pigs.
- 5) Scalding and Deharing: The shrinkage is scalded in water with a temperature of 54-67°C for 3-5 minutes and dehared. Waste from this stage include hair, skin and hot water of approximately 20 liters/ton of live pigs.
- 6) Splitting: Solid wastes from this process include offal, fresh blood, and wastewater. The water required for adequate cleaning is approximately 2 m<sup>3</sup>/ton of live pigs.
- 7) Characterization of wastewater: Wastewater was sampled and analyzed for 5 parameters: BOD, COD, SS, TKN and Oil and Grease. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater [1] were used for preservation and analysis of the wastewater samples. The sampling points are shown in Figure 2 and 3.

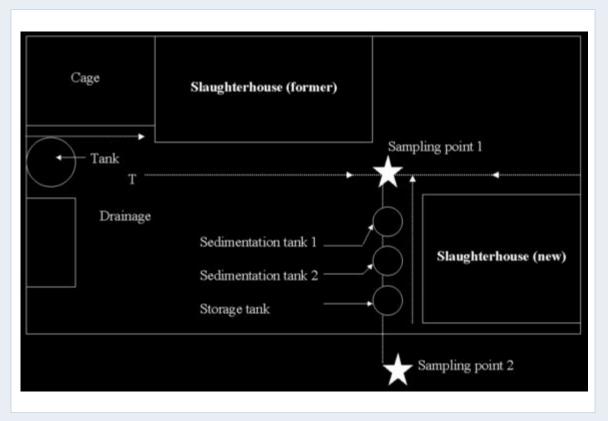


Figure 2 Sampling point of water collection at Lamphun Municipality's Slaughterhouse

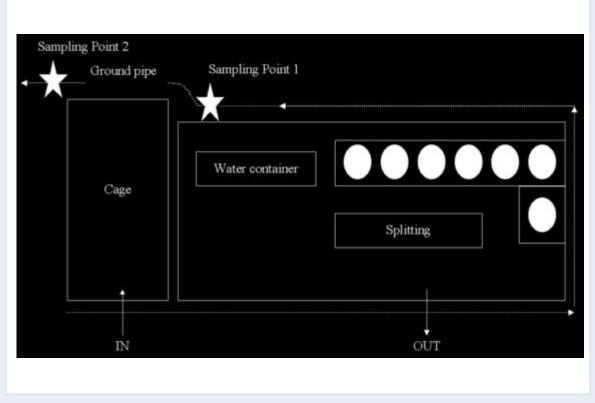


Figure 3 Sampling point of water collection at Lamphun Municipality's Slaughterhouse

After the field visits to the slaughterhouses, cleaner technology options were identified. Options considered including housekeeping improvements such as worker training on cleaner technology. Such activities could serve to increase knowledge and lead to better practices. Resources consumption can be reduced by optimizing existing processes or modifying equipment to increase efficiency and save water resources, such as controlling the flow of water for manual cleaning, using high pressure rather than high volumes of water for cleaning surfaces, decreasing the water container size in the cleaning stage and reusing relatively clean wastewater for other applications. Improved maintenance of equipment and using covers to prevent heat loss from devices can also improve energy efficiency.

#### 3. Results and Discussion

Based on the interviews and questionnaires, the main problems encountered by the slaughterhouses during the handling, processing and disposal of solid waste can be categorized as technical, managerial, operational, and health and pollution. These are detailed below:

#### a) Technical problems were;

- unskilled manpower
- lack of technical know-how on product development and environmental protection
- no waste treatment facilities
- lack of technological infrastructure
- poor maintenance and operation of equipment

#### b) Managerial problems included;

- poor knowledge on management of livestock products
- lack of financial support
- no support from decision-makers
- poor administration in the slaughterhouses

#### c) Operational problems in the slaughterhouses included

- primitive way of collecting and treating wastes from the slaughterhouses
- lack of personnel skill
- improper maintenance and operation of equipment

#### d) Health and pollution problems included;

- inefficient waste treatment facilities
- pollution problems in surrounding areas e.g. water, odour, noise, soil, nuisance
- no special handling equipment
- limited waste reuse and recycle

#### 3.1 Utilities and Waste Audits:

#### **Utilities Audits**

Table 1 and Table 2 show utility uses and wastewater characteristics before and after clean technology application in Lamphun and Chiang Mai Municipalities' Slaughterhouses. The details are provided below.

#### a) Water Audit

The existing water supply is trap water. The water is used throughout the line process by water container. The average water consumption before and after cleaner technology application was 0.80 and 0.56 m³/pig-head for Lamphun's slaughterhouse, and 0.62 and 0.54 m³ pig-head for Chiang Mai's slaughterhouse. The water audit showed that the highest water consumption for slaughtering occurred during the cleaning process. The reduction of water use after cleaner technology application in the slaughterhouses were 30.0 % and 12.9 % respectively.

#### b) Energy Audit

The electricity and fuel consumption for the whole process in Lamphun Municipality's slaughterhouse were 1.50 and 1.00 kWh./pig-head for electricity and 0.42 and 0.37 kg/pig-head for gas consumption before and after cleaner production application. The application of cleaner technology in Lamphun Municipality's slaughter-house reduced electricity and fuel consumption approximately 33.3 % and 11.9 % respectively. Electricity usage at Chiang Mai's slaughterhouse could not be evaluated since the facility has no meter. A reduction of fuel consumption was 12.2%.

#### **Waste Audits**

#### a) Solid wastes

The main types of solid waste from slaughtering operations are manure, residual matter, and offal [3]. All of the waste from Lamphun's slaughterhouse was collected and used to produce fertilizer while the waste from Chiang Mai's slaughterhouse was transferred to a sanitary landfill site with domestic compost. Solid waste produced from Lamphun's slaughterhouse was approximately 75.3 and 45.8 kg/pig-head before and after cleaner production. In Chiang Mai's slaughterhouse, solid waste produced were 79.1 and 62.6 kg/pig-head before and after cleaner production application. Waste reduction of both

slaughterhouses were approximately 29.5% and 20.9 % respectively.

#### b) Wastewater and its characteristic

Wastewater from slaughterhouses is mainly generated from spraying, cleaning, and washing the floor and equipment. The cleaning stage discharges the highest volume of wastewater with high concentrations of BOD, COD, TKN, SS, Oil and Grease. Wastewater characteristics before and after the application of cleaner technology at Lamphun and Chiang Mai Slaughterhouses are shown in Table 1. Wastewater at Lamphun's slaughterhouse passes through a primary treatment plant, which includes coarse screening and primary sedimentation tanks while Chiang Mai's slaughterhouse has no treatment process and all its wastewater is directly discharged into the natural receiving waters. Wastewater sampling points for the slaughtering process at Lamphun and Chiang Mai Municipalities' slaughterhouses are shown in Figures 2 and 3. The results of wastewater before cleaner technology application were 38.9, 52.6, 4.9, 10.8, and 3.5 kg/day and after cleaner production

Table 1 Utilities and Wastewater Characteristics at Lamphun Municipalities' Slaughterhouse

Lamphun Municipality's Slaughterhouse	Unit	Before Cleaner Technology Application	After Cleaner Technology Application	% of Reduction	
Utilities					
- Water Audit	m³/pig head	0.80	0.56	30.0	
- Electricity Audit	kwh/pig head	1.50	1.0	33.3	
- Fuel Audit	kg/pig head	0.42	0.37	11.9	
Solid waste	kg/ton	75.3	45.8	29.5	
Wastewater	m³/day	45.6	31.9	30.0	
- BOD	kg/day (mg/L)	38.9 (852)	18.0 (395)	53.7	
- COD	kg/day (mg/L)	52.6 (1,153)	24.4 (534)	53.6	
- TKN	kg/day (mg/L)	4.9 (108)	2.5 (55.4)	49.0	
- SS	kg/day (mg/L)	10.8 (237.3)	4.6 (101)	57.4	
- Oil & Grease	kg/day (mg/L)	3.5 (76.6)	2.7 (59.2)	22.8	

application were 18.0, 24.4, 2.5, 4.6 and 2.7 kg/day for BOD, COD, TKN, SS, and Oil and Grease, respectively, with a reduction of between 23-57% depending on the parameter. BOD before discharging was 395 mg/L.

Chiang Mai Municipality's slaughterhouse has no primary treatment facilities. Wastewater characteristics before and after the application of cleaner technology are shown in Table 2. The level of BOD, COD, TKN, SS, and Oil and Grease prior to the implementation of cleaner technology application were 120.5, 173.9, 17.6, 35.7, and 14.4 kg/day and after cleaner production application were 93.0, 115.3, 13.3, 24.9 and 10.1 kg/day, respectively, with a reduction of wastewater 23-34% depending on the parameter. BOD before discharging was 1,250 mg/L.

# 3.2 Analysis and identification of cleaner technology options

After evaluation of the existing slaughtering process, a number of cleaner technology options were identified and applied for energy, water conservation and solid waste management, including the use of new technology, modification of equipment, development of new product design, and improved housekeeping practices.

#### a) Energy conservation

Energy is often an area where substantial savings can be made almost immediately with no capital investment. Significant reductions in energy consumption are possible through improved housekeeping and optimization of existing processes, while additional savings can be made through the use of more energy efficient equipment. Steps taken at the slaughterhouses included reducing heat loss by covering heat devices, implementing switch-off programs, and installing sensors to turn off lights and equipment when not in use. Improved maintenance of the equipment also led to greater energy efficiency.

#### b) Water conservation

Water is used extensively in the slaughtering processing with the cleaning process approximately 99.5%. A number of water conservation initiatives were implemented

Table 2 Utilities and Wastewater Characteristics at Chiang Mai Municipalities' Slaughterhouse

Chiang Mai Municipality's Slaughterhouse	Unit	Before Cleaner Technology Application	After Cleaner Technology Application	% of Reduction
Utilities				
- Water Audit	m³/pig head	0.62	0.54	12.9
- Electricity Audit	kwh/pig head	-	-	-
- Fuel Audit	kg/pig head	0.49	0.43	12.2
Solid waste	kg/ton	79.1	62.6	20.9
Wastewater	m³/day	74.4	64.8	12.9
- BOD	kg/day (mg/L)	120.5 (1,620)	93.0 (1,250)	22.8
- COD	kg/day (mg/L)	173.9 (2,337)	115.3 (1,550)	33.7
- TKN	kg/day (mg/L)	17.6 (237)	13.3 (178.8)	24.4
- SS	kg/day (mg/L)	35.7 (480)	24.9 (334.7)	30.2
- Oil & Grease	kg/day (mg/L)	14.4 (193)	10.1 (135.6)	29.9





Figure 4 Slaughtering process before and after cleaner technology application

including the use of offal transport systems that minimize the use of water, the installation of fixtures that restrict or control the flow of water for manual cleaning processes, the installation of high-pressure rather than high volume equipment for cleaning surfaces, and the reuse of relatively clean wastewater for other applications, installing meters on high use equipment to monitor consumption, using closed circuit heat systems, pre-soaking floors and equipment to loosen dirt before the final cleaning, recalculating water used in non-critical applications, and reporting and fixing leaks promptly.

#### c) Process Improvement

Actions taken to improve the overall slaughtering process involved reducing the number of pigs per area during the transportation stage to approximately 0.4-0.5 m<sup>2</sup>/head, sweeping up solid materials for use as by-products as opposed to washing them down the drain, fitting drains with screens and/or traps to prevent solid materials from entering the effluent system, and using dry cleaning techniques where possible by scraping equipment before cleaning and cleaning spills on the floor with squeegees.

#### 4. Conclusion

Cleaner technology can be successfully applied to reduce waste loads from municipalities'

slaughterhouses. Cleaner technology comprises of various housekeeping and management procedures, such as covering heat devices to minimise heat loss and modifying equipment to conserve water during the production process. The adoption of cleaner technology as part of this study led to a reduction in electricity usage of approximately 33.3%, a reduction of water consumption of 13-30 %, and improvement of wastewater of between 3-68 %, depending upon the parameter. Although improved environmental management through the use of cleaner technology can be realized throughout the various stages of the slaughtering process, its implementation depends on many factors, such as cost, technology type (simple or advance technology), and the availability of responsible staff. Thus, a cost-benefit analysis should be a top priority in assessing cleaner technology options. The most significant cleaner technology benefits can be gained through lateral thinking, without adopting technological solution. A change on the part of slaughterhouse directors, managers and employee is crucial to gaining the most from cleaner technology. The most common benefits for applying cleaner technology in a slaughterhouse are reduced operation cost, improved worker safety, water and energy conservation, and increased environmental protection. In fact, air pollution and solid

waste are minor problems in comparison to the production of wastewater. Moreover, the use of by- products generated during the process can be quite valuable. Slaughterhouse waste can be composted and used as fertilizer or for fish food [6]. Recycling manure by using it as feed for other animals is practical, but only on a limited scale due to widespread reluctance. This reluctance originates from fear of health risks and from the low nutritive value of manure [5].

In general, cleaner technology can be applied to improve environmental management in slaughterhouses. Pollution produced from slaughterhouse operations can be reduced up to a certain level based upon waste loads, the support of decision- makers and municipal staff, and budget availability. However, other factors should be considered for cleaner technology application i.e.:

- Cleaner technology should be continually applied in slaughterhouses at Lamphun and Chiang Mai.
- Since the cleaner technology operation is a voluntary process. Thus, its adoption is very dependent on municipal decision-makers and their staff. These key people should fully support its use.
- A model or laboratory module should be set-up to test various cleaner technology methods prior to application in the field.
- Waste treatment facilities should be set up to treat waste from various sources to the minimum standard requirement.

#### Acknowledgement

We would like to express our sincere gratitude to Pollution Control Department (PCD) staffs, Lamphun and Chiang Mai Municipalities' officers for their support of this research. We wish also thank Dr. Sarah Hamza from PCD for editing the paper and special thank to Mekong River Commission Secretariat (MRCS) for financial support to Ms. Somjai Simachaya for participating in the 2<sup>nd</sup> Asian-Pacific International Conference on Pollutants Analysis and Control, 1-3 December 2003, Ho Chi Minh City, Viet Nam.

#### References

- APHA, AWWA and WEF. 1998. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20<sup>th</sup> ed. APHA Inc., New York.
- Arthur Wellinge. 1999. Process design of agricultural digesters. Nova Energie GmbH. Switzerland.
- Darmawan, R. and D.J. Lyons. 1981. Abattoir Designs and Design Concepts for ASEAN. ASEAN Food Handling Bureau, Kuala Lumpur, Malaysia.
- George Tchobanoglous, Edward D. Schroeder.
   1991. Water Quality. Addison-Wesley Publishing Company, Canada.
- 5. Hill, D.T. 1982. Optimum operation design criteria for anaerobic digestion of animal manure. Amer.Soc. Agr. Eng. 82:1029-1032.
- Ockerman, H.W. and C.L. Hansen. 2000. Animal By-Product. Processing and Utilization Technomic Publishing Company, Inc., Pennsylvania USA.





โครงการวิจัยและพัฒนา เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมด้านอากาศ

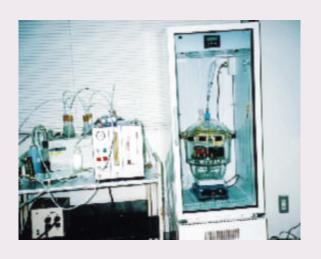


### การพัฒนาดิฟฟูชิพแชมเปลอร์สำหรับเก็บตัวอย่าง สารอินทรีย์ระเหยในบรรยากาศ

Development of a Diffusive Sampler for Volatile Organic Compounds in Ambient Air

W. Laowagul<sup>a</sup>, P. Sukasem<sup>a</sup>,
A.Mutchimwong<sup>b</sup>, P. Thavipoke<sup>b</sup>,
M. Hooper<sup>c</sup>

Published in Proceedings of the 2<sup>nd</sup> Regional Conference on Energy Technology Towards a Clean Environment, 12-14 February, 2003.





#### บทคัดย่อ

การพัฒนาดิฟฟูซิพแซมเปลอร์ที่เหมาะสม สำหรับการตรวจวัดสารอินทรีย์ระเหยในบรรยากาศได้ เน้นศึกษาการตรวจวัดสารเบนซิน โทลูอีน เอทธิลเบนซิน และไซลีน ในบรรยากาศ โดยดิฟฟูซิพแซมเปลอร์ที่ พัฒนาขึ้นนี้เป็นหลอดสเตนเลสซึ่งบรรจุด้วยคาร์โบกราฟ ทีดี-1 สามารถใช้กับเทคนิคเทอร์มอลดีซอพชั่นในการ สกัด สารอินทรีย์ระเหยโดยไม่ต้องใช้สารละลายในการ สกัด และสามารถนำหลอดดิฟฟูซิพแซมเปลอร์กลับไป ใช้ใหม่ได้ ผลจากการศึกษานี้พบว่าอุณหภูมิและความชื้น ไม่มีผลกระทบต่อดิฟฟูซิพแซมเปลอร์ ผลการทดสอบค่า ความถูกต้องและค่าความแม่นยำของการวิเคราะห์พบว่า อ ยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับของ NIOSH (1987) ค่า ประสิทธิภาพของการสกัดสารเบนซิน โทลูอีน เอทธิล

เบนซิน และไซลีนมีค่ามากกว่า 95 % จากการศึกษา พบว่าสามารถใช้ดิฟฟูชิพแซมเปลอร์สำหรับการติดตาม ตรวจสอบสารเบนซิน โกลูอีน เอทธิลเบนซิน และไซลีน ในบรรยากาศ โดยมีระยะเวลาที่เหมาะสมเป็นเวลา 7 วัน และอัตราการดูดซับของดิฟฟูชิพแซมเปลอร์ของสาร เบนซิน โกลูอีน เอทธิลเบนซิน และไซลีนคำนวณจาก เวลา 7 วันมีค่าเท่ากับ 2.16±0.29 นาโนกรัมต่อพีพีเอ็ม ต่อนาที 2.83±0.56 นาโนกรัมต่อพีพีเอ็มต่อนาที และ 2.84±0.46 นาโนกรัมต่อพีพีเอ็มต่อนาที ตามลำดับ

#### **Abstract**

The development of an appropriate diffusive sampler for investigation of VOCs,

ล ๆแย้วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม เทคโนธานี ต.คลองห้า อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120 โทร. 0 2577 4182-9 โทรสาร 0 2577 1138 e-mail : laowagul@deqp.go.th bคณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ศาลายา จ.นครปฐม 73170 <sup>C</sup>Gippsland Centre for Environmental Science, Monash university, Victoria 3842, Australia

especially benzene, toluene, ethylbenzene and xylene (BTEX) in ambient air has been carried out and trialed. This tube-type diffusive sampler was stainless steel tube, packed with Carbograph TD-1, can be extracted by a thermal desorption technique involving solvent free desorption. The sampling tube can be reused. The results of this study indicated that Carbograph TD-1 was unaffected by temperature and humidity. The results from accuracy and precision tests were in good agreement with the NIOSH (1987) acceptability criteria for these parameters. Desorption efficiencies of BTEX for the diffusive sampler were more than 95%. The study concluded that it is possible to use this tube-type diffusive sampler for monitoring BTEX in ambient air. A seven-day sampling period was suitable for collecting BTEX in ambient air. The diffusive uptake rates of benzene, toluene, ethylbenzene and xylene for 7 days were calculated to be 2.16±0.29 ngppm<sup>-1</sup>min<sup>-1</sup>, 2.83±0.56 ngppm<sup>-1</sup>  $min^{-1}$ , 2.75±0.67  $ngppm^{-1}min^{-1}$  and 2.84±0.46 ngppm<sup>-1</sup>min<sup>-1</sup>, respectively.

#### 1. Introduction

Currently, Volatile Organic Compounds (VOCs) are one of the important air pollutants that are presenting concerns in the worldwide environment. Firstly, VOCs have been found to be active in the formation of photochemical smog and ground level ozone production.[1] Secondly, several VOCs found in urban air are directly harmful to human health on neurological effect, carcinogenicity, tetratogenicity and mutagenicity. [2] To manage and control VOCs emission from any sources, it is necessary to monitor their emission in order to understand and obtain data from their source profiles and level that distribute to the environment. For the monitoring of VOCs, diffusive (or passive) sampling is one of alternative

techniques to active monitoring that can be used. The principle behind this technique is one of molecule diffusion from a region of high concentration to a region of low concentration. A diffusive sampler is capable of taking samples of gases or vapors from the atmosphere at a rate controlled by a physical process such as gaseous diffusion through a static air layer or a porous material and/or permeation through a membrane. It does not involve any active movement of air through the device by a pump. The diffusive samplers have specific advantages of low cost, ease of use, and no need for power supply. They are a cost-effective way of monitoring specific species on an urban, regional or even global scale. [3,4] They can be used in response to particular research needs, for instance, the study of the source/receptor relationship and validation of atmospheric dispersion model, etc. [5,6]

Numerous studies based on diffusive sampler for VOCs monitoring in ambient air have been conducted, however most of these have been conducted in more temperate, higher latitude environments. There is still scarce research on diffusive sampler for VOCs monitoring in tropical environment such as Thailand. Because Thailand is different in level of VOCs exposure to the environment, temperature, humidity and geography comparison to the others countries in Temperate Zone, therefore, testing trailing and modification of a diffusive sampler for VOCs monitoring in ambient air was carried out in this study. The overall goal was to be able to obtain an appropriate diffusive sampler for VOCs monitoring in Thailand.

#### 2. Materials and Method

To ensure the reliability and accuracy of modified diffusive sampler for collection of VOCs,

the validation and the determination of performance characteristics of modified diffusive sampler were carried out. Benzene, toluene, ethylbenzene and xylene (BTEX) were chosen as target compounds as they are often dominantly in urban environments and have toxic properties.

## 2.1 Preparation of modified diffusive sampler

Stainless steel tubes (8.9-cm long x 0.64-cm O.D) were packed with Carbograph TD-1, mesh size 40/60 (Figure 1). Various loadings were trialed and finally two sets; 150 mg and 450 mg of Carbograph TD-1, were adopted. Prior to use, these tubes were conditioned by cleaning tube system (Dynatherm Analytical Instruments, INC, Model 60 six-tube conditioner) at desorption temperature 350(C for 60-90 minutes with nitrogen gas (UHP grade, 99.999%) flow rate at least 60 ml/min.



Figure 1 Tube-type diffusive sampler

#### 2.2 Blank tests

Unexposed diffusive samplers were analyzed in triplicate with thermal desorption followed by GC-MS analysis. The thermal desorption/GC-MS conditions are described below.

# 2.3 Thermal desorption and GC-MS analysis

Analysis was carried out using thermal desorption (Unity)/GC-MS (Shimadzu QP-5000)

for all diffusive samples. The diffusive sampler tube was placed in a compatible thermal desorption unit and the air purged from the tube to avoid chromatographic artifacts at 35°C for 5 minutes. The tube was heated and a compatible flow of helium gas (UHP 99.999%) to extract BTEX by two stage desorption was adopted. Primary desorption was for 10 minutes at 250°C followed by secondary desorption from the cold trap at 310°C for 15 minutes. The desorption flow rate was 30 ml/min. The split flow rate was 70 ml/min. The split ratio depended on the concentration of BTEX in the samples. The amount of sample vapor was passed onto a transfer line at 120°C through a capillary column of GC-MS (SPB 624, 0.32-mm O.D, 60-m long and 1.8  $\mu$ m film thickness). The operating condition for the analytical column was based on a temperature ramp of 4°C/min from 35°C (10 minutes) to 200°C (8 minutes), with a helium gas flow rate of 2 ml/min.

### 2.4 Determination of method detection limit

A low level BTEX standard (10 ng) was injected onto an unexposed diffusive sampler in seven replicate and these were analyzed by thermal desorption/GC-MS. The standard deviation for the seven replicate concentrations was computed and multiplying this value by 3.14 (the student's t value for 99 percent confidence for seven value), gave the accepted detection limit.

# 2.5 Desorption efficiency of diffusive sampler

Known amounts of benzene (0.130  $\mu$ g), toluene (0.128  $\mu$ g), ethylbenzene (0.128  $\mu$ g) and xylene (0.128  $\mu$ g) were injected onto unexposed diffusive sampler in triplicate then analyzed by thermal desorption/GC-MS. Desorption efficiencies were calculated using equation (1).

$$D = \frac{M_r}{M_a} \times 100 \tag{1}$$

D = Desorption efficiency (%)

 $M_r$  = Mass recovered ( $\mu g$ )

 $M_a$  = Mass applied ( $\mu g$ )

# 2.6 Test environmental factor affecting

To assess the main effect that may be associated with modified diffusive sampler, orthogonal experimental design was conducted as shown in Table 1.

The BTEX were generated dynamically with Permeater (Gastec, Model PD-1B). Liquid standards of benzene, toluene, ethyl benzene and xylene (BTEX) were put into a diffusion tube and kept at a constant temperature in a water bath at 25 °C. Standard gases of BTEX were generated and their vapors were split into two streams. One stream was directed to the mixing chamber unit where it

was combined with the humidity system and exposure chamber. The second stream was directed to an exhaust part, which trapped with activated carbon. Temperature and humidity were measured by hygrometer. The desired concentration of BTEX was calculated from diffusion rate of diffusion tube and airflow rate throughout the system. Concentrations of standard gas from diffusive tube can be calculated as equation (2).

$$C = \frac{\text{Dr } x \text{ K } x \text{ 1000}}{\text{F}}$$
 (2)

C = Standard gas concentration (ppm)

Dr = Diffusion rate (g/min)

 K = Coefficient for converting gas weight to volume

F = Dilution gas flow rate (ml/min)

The diffusion rate can be calculated by the equation (3).

Table 1 Experimental design for testing environmental factor affecting, exposure time and quantity of sorbent

Treatment	Concentration (ppm)	Temperature (°C)	Humidity (%)	Exposure time	Quantity of sorbent (mg)
1	$A_1$	$B_1$	$C_1$	$D_1$	E <sub>1</sub> ,E <sub>2</sub>
2	$A_1$	$B_1$	$C_2$	$D_2$	E <sub>1</sub> ,E <sub>2</sub>
3	$A_1$	$B_2$	$C_1$	$D_2$	$E_1,E_2$
4	$A_1$	$B_2$	$C_2$	$D_1$	E <sub>1</sub> ,E <sub>2</sub>
5	$A_2$	$B_1$	$C_1$	$D_2$	E <sub>1</sub> ,E <sub>2</sub>
6	$A_2$	$B_1$	$C_2$	$D_1$	E <sub>1</sub> ,E <sub>2</sub>
7	$A_2$	$B_2$	$C_1$	$D_1$	E <sub>1</sub> ,E <sub>2</sub>
8	$A_2$	$B_2$	$C_2$	$D_2$	E <sub>1</sub> ,E <sub>2</sub>

 $A_1$  = Concentration of benzene 0.68 ppm, toluene 0.45 ppm, ethylbenzene 0.37 ppm and xylene 0.48 ppm.

A<sub>2</sub> = Concentration of benzene 1.08 ppm, toluene 0.84 ppm, ethylbenzene 0.65 ppm and xylene 0.74 ppm.

 $B_1$  = Temperature 25°C,  $B_2$  = Temperature 40°C

 $C_1$  = Relative humidity 50%,  $C_2$  = Relative humidity 80%

 $D_1$  = Exposure time 8 hrs,  $D_2$  = Exposure time 1 week

E1 = Quantity of sorbent 150 mg,  $E_2$  = Quantity of sorbent 450 mg

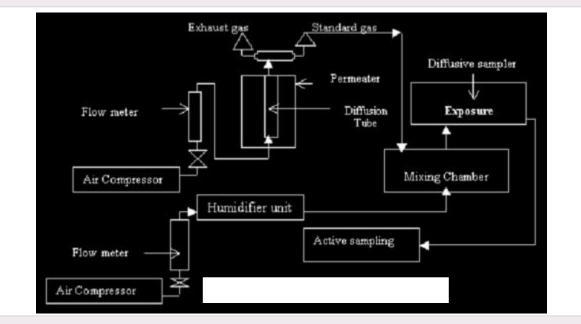


Figure 2. Diagram of exposure system

$$Dr = \frac{m \times 10^6}{Ti}$$
 (3)

m = Reduced weight of sample (g)

Ti = Interval of measuring weight (min)

A diagram of the exposure system is shown in Figure 2. Modified diffusive samplers were exposed simultaneously into exposure chamber and tested under condition as mentioned in Table 1 and analyzed by thermal desorption/GC-MS.

## 2.7 Determination of diffusive uptake rate

Modified diffusive samplers were exposed simultaneously in the exposure chamber, and at the same time the mass of BTEX from exposure chamber were sampled by pump. The uptake rate of BTEX was calculated using equation (4). The comparison between diffusive sampling and active sampling in laboratory was evaluated.

$$U_{p} = \frac{M_{o}}{TC \ x \ t}$$
 (4)

 $U_p$  = Diffusion uptake rate (ng.ppm<sup>-1</sup>min<sup>-1</sup>)

 $M_o$  = Mass observed (ng)

TC = True concentration (ppm)

t = Exposure time (min)

## 2.8 Comparison between diffusive sampler and Opsis instrument

During a part of the field trials, the diffusive samplers were set up at Environmental and Research Training Center, Pathumthani province, Thailand. This sampling site was adjacent to the receiver-monitoring path of an operating Opsis instrument. Exposure time was varied across 1 day, 7 days and 14 days. The concentration of BTEX in ambient air was calculated using equation (5).

$$C = \frac{m_d - m_b}{U_p \times t}$$
 (5)

C = Concentration of a compound interested (ppm)

 $m_d$  = Mass of analyze which is desorbed by diffusion (ng)

m<sub>b</sub> = Mass of analyze which is desorbed from the blank (ng)

U<sub>p</sub> = Diffusion uptake rate (ng.ppm<sup>-1</sup>min<sup>-1</sup>)

t = Exposure time (min)

#### 3. Result and Discussion

#### 3.1 Blank level

The blank level of Carbograph TD-1 adsorbent in diffusive sampler was evaluated. It was found that the mean mass of benzene, toluene, ethylbenzene and xylene were 0.68±0.02 ng, 3.21±0.08 ng, 0.41±0.02 ng and 0.26±0.02 ng, respectively. Comparing the blank level of Carbograph TD-1 with the studies of Brown [7], it was concluded that the blank levels of benzene and xylene were lower (3-6 ng benzene and 1-5 ng xylene) while the blank level for toluene was in the range 3-6 ng. Moreover, the blank levels compared well with the results reported in Method TO17[8] in which the mass of each analyze retained ranged from  $\approx 5$  ng to  $\approx 10 \mu g$  in most ambient air monitoring. Therefore, if the artifact levels are considerably above these values, the tube conditioning and storage procedure must be paid attention.

#### 3.2 Method detection limit

Table 2. showed the method detection limit of BTEX. These values were the minimum

concentration of BTEX which can be measured and reported with 99% confidence that the analyze concentration is greater than zero and can be determined from analysis of a sample.[9]

# 3.3 Desorption efficiency of diffusive sampler

The results showed desorption efficiencies for the modified diffusive sampler were greater than 95% for benzene, toluene, ethylbenzene and xylene. The desorption efficiencies observed in this study were in good agreement with the results reported in MDHS 80 [10] in which efficiencies greater than 95% were recommended.

## 3.4 Measurement of BTEX concentration from exposure chamber

The BTEX standards were generated by a dynamical system in the validation of the modified diffusive sampler. To check the accuracy of the BTEX concentration, the true concentration of BTEX in the exposure chamber was measured by active sampler, which used a battery-powered pump. The variations between calculated (desired concentration) and measured concentration for the BTEX have been calculated as percentages. The results showed relatively good agreement with differences of  $\leq$  25%. These data for BTEX concentrations demonstrated good agreement with the NIOSH acceptability criterion for accuracy of results within  $\pm$ 25%. [10]

Table 2 Method detection limit for BTEX

Compounds	MDL±SD (ng)		
Benzene	3.85±1.23		
Toluene	5.08±1.62		
Ethylbenzene	4.66±1.49		
o-Xylene	13.91±4.43		

#### 3.5 Repeatability test

The relative standard deviations of repeatability of diffusive sampling analysis in the triplicate analysis were mostly less than 10%. These results demonstrated good agreement with the NIOSH acceptability criterion for precision, with the results deviating less than 10%.[10]

# 3.6 The study of environmental factors affecting results temperature factor

A test of the significance of the difference of the mean BTEX concentration at temperature 25°C and 40°C were analyzed by the pairedsample test. Summary statistics for the two groups of the temperature all eight treatments indicated that there were no significant difference among the results obtained at temperature 25°C and 40°C. This finding implied that temperature did not effect the concentration of BTEX when using diffusive samplers. The study on temperature effecting the diffusive sampler (with Carbograph TD-1) could not be compared to other reported studies since there are still scarce information. However, in practice, temperature might cause some back diffusion (this is the same phenomenon involved in the thermal desorption process). [11,12] Therefore, it is suggested that sampling devices should be protected from heat sources such as direct sunlight in the field.

#### **Humidity factor**

A test of the significance of the difference of the mean BTEX concentration at relative humidity of 50% and 80% were analyzed by the paired-sample test. Summary statistics for the two groups of the relative humidity all eight treatments indicated that there were no significant difference among the results obtained at relative humidity 50% and 80%. This finding implies that

the humidity does not influence the efficiency of the diffusive samplers. A comparison with a study reported by De Bortoli et al [13] for humidity factor affecting to Carbotrap which its properties was equivalent to Carbograph TD-1, has been made and it is found that they obtained similar results. One can conclude that humidity has no effect on the diffusive sampler.

#### **Exposure time factor**

The effect of exposure time on the efficiency of the diffusive samplers (150 mg Carbograph TD-1 and 450 mg Carbograph TD-1) was tested. Two different time periods, 8 hrs and 7 days, were chosen for this experiment. It was found that the concentration of benzene in the 150 mg Carbograph TD-1 was reduced more than a factor of two when compared to the concentration of benzene in 450 mg Carbograph TD-1 as the concentration of benzene was more than 0.56 ppm and the exposure time 7 days. This finding might be caused by back diffusion phenomenon since the adsorbent may be saturated with benzene at the level  $\geq 0.56$  ppm. However exposure time did not appear to influence the efficiency of diffusive samplers for collecting toluene, ethylbenzene and xylene at the level of 0.69 ppm, 0.52 ppm and 0.66 ppm, respectively, which were generated in the exposure chamber.

#### Quantity of adsorbent factor

It was found that the quantity of adsorbent (Carbograph TD-1) might be depended on the concentration and exposure time. The findings from this study suggested that 150 mg Carbograph TD-1 can be applied for low concentration of BTEX at level concentration  $\leq 0.56$  ppm and 450 mg Carbograph TD-1 can be applied for high concentration of BTEX at level concentration  $\geq 0.56 \leq 1.13$  ppm. It is highly

unlikely that BTEX concentration greater than 0.56 ppm will be reached in ambient air. Provided sampling time is considered the lower quantity of adsorbent can be used.

#### 3.7 Diffusive uptake rate

Table 3. shows the diffusive uptake rates for the BTEX species. In comparison to diffusive uptake rate in this study with the studies of Brown [14,15] for benzene at exposure time for 1 week, it was found that the diffusive uptake rate for benzene at 2.16±0.29 ngppm<sup>-1</sup>min<sup>-1</sup> was within the range of 1.99 ngppm<sup>-1</sup>min<sup>-1</sup> to 2.28 ngppm<sup>-1</sup>min<sup>-1</sup> of the other studies. The diffusive uptake rate for toluene at 2.83±0.56 ngppm<sup>-1</sup>min<sup>-1</sup> was comparable with the range of 1.75 ngppm<sup>-1</sup> min<sup>-1</sup> to 2.57 ngppm<sup>-1</sup>min<sup>-1</sup>. The diffusive uptake rate for xylene at 2.84±0.46 ngppm<sup>-1</sup>min<sup>-1</sup> was comparable with the range of 2.16 ngppm<sup>-1</sup>min<sup>-1</sup> to 2.58 ngppm<sup>-1</sup>min<sup>-1</sup>. Therefore, the obtained diffusive uptake rates for benzene, toluene, ethylbenzene and xylene in this study were used for calculating the concentration of benzene, toluene, ethylbenzene and xylene in the diffusive sampler.

# 3.8 Comparison between diffusive sampling and active sampling in laboratory

The findings from the comparison between diffusive sampling and active sampling in laboratory by reliability analysis test indicated that there was good agreement in the measurement. The intra-class correlation coefficients (ICC) value between diffusive sampling and active sampling for investigation benzene, toluene, ethylbenzene and xylene were 0.878, 0.713, 0.718 and 0.830, respectively. These results indicate that the diffusive sampling technique can be used as well as active sampling. These results also support the use of the determined diffusive sampler uptake rate.

# 3.9 Comparison between diffusive sampling and Opsis instrument

Comparisons between the diffusive sampler and the Opsis instrument based on exposure times of 1 day, 7 days and 14 days were made for benzene and toluene. It was found that the 7 days results gave the best relationships (Figure 3). It seems appropriate, subject to further comparative study between the two methods, to recommend a 7 days sampling period as being optimum for the diffusive sampling unit. Reliability analysis test was also evaluated between diffusive sampler and Opsis instrument for investigation benzene and toluene at exposure time 7 days, it was found that the intra-class correlation coefficients value between diffusive sampler and Opsis instrument for investigation benzene and toluene were 0.423 and 0.418, respectively. These results indicated that there was a moderate agreement between the two measurement methods and that further parallel study is recommended.

Table 3. Uptake rate of BTEX from experimental at difference exposure time

Compound	Uptake rate (ng/ppm/min)			
Compound	Exposure time 8 hrs	Exposure time 7 days		
Benzene	2.09±0.44	2.16±0.29		
Toluene	2.46±0.53	2.83±0.56		
Ethylbenzene	3.11±0.67	2.75±0.67		
Xylene	2.95±0.40	2.84±0.46		

#### 4. Conclusion

A summary of the conclusion presented that it was possible to utilize diffusive sampling method as well as active sampling and also utilize this sampler in parallel to Opsis instrument for investigation BTEX in ambient air. The modified diffusive sampler could be applied for investigation BTEX in rural, sub-urban, urban area and indoor air. One hundred and fifty milligrams of Carbograph TD-1 is suitable for low concentration of BTEX at level ≤ 0.56 ppm. Four hundred and fifty milligrams of Carbograph TD-1 is suitable for higher concentration of BTEX at level  $\geq 0.56 \leq 1.13$  ppm. A seven day exposure time for collecting BTEX in ambient air is recommended. During sampling, the diffusive samplers in the field should be protected from heat source such as direct sunlight in order to eliminate the back diffusion affect from temperature that it might occurred. The sampling tubes used in this study are suitable for application to a wide range of VOC's and further research based on other atmospheric hydrocarbons is recommended.

#### 5. Acknowledgement

We are grateful and deep appreciate to Mr. Yoh-ichi Shimizu and Mr. Susumu Kanemaki, Overseas Division, Gastec Corporation, Japan for their support materials to generate standard gas. We wish to thank Prof. Shin'ichi Okamoto, Department of Environmental Information, Tokyo University of Information Science, Japan for his valuable guidance to design experiment and support the statistical analysis. We would like to thank Dr. Martin Ferm, IVL Swedish Environmental Research Institute Ltd., Sweden, for his valuable advice how to test diffusive sampler and how to equilibrate humidity in exposure chamber. We also thank to Dr. Matthew Bates, Markes International Limited, Mr. Rob Gillett, Principal Project Scientist,

CSIRO, Australia for providing technical support on VOCs diffusive sampler. We thank to Assoc. Prof. Dr. Witaya Yoosook and Assoc. Prof. Dr. Pronpimol Kongtip, Department of Occupational Health and Safety, Faculty of Public Health, Mahidol University, Thailand for valuable advice with respect to exposure chamber and technical support.

#### References

- DOE, Department of the Environment, Ozone in the United Kingdom 1993, Third report of the United Kingdom photochemical oxidants review group, DOE, London, 1993
- Department of the Environment: HMIP-Commissioned Research Environment Agency, The categorisation of volatile organic compounds, DOE, Report NO: DOE/HMIP/ RR/95/009, September, 1995, 1-54.
- Brown R.H, The use of diffusive samplers for monitoring of ambient air, Pure&Appl.Chem. 1993; 65(8): 1859-1874.
- Theo L. H. and Jacques M, Intercomparison of tube-type diffusive sampling for the determination of volatile hydrocarbons in ambient air, Analyst, Sep. 1996; 121: 1249-1252.
- CEN/TC 264/WG11, Ambient air qualitydiffusive samplers for the determination of gases and vapours-requirements and test methods, Part 1: General requirements, Jan, 1997.
- CEN/TC264WG11, Ambient air quality diffusive samplers for the determination of gases or vapors, Part 3, Guide for selection, use and maintenance, World Meteorological Organization, Global Atmosphere Watch, No. 122, Report
- Levin J.O., Lindahl R., Jillhag D.P, Sundgren M., Hagenbjork-Gustafsson A., Rhen M., and Sandberg H, Measurement of aldehydes and BTX from ethanol fuelled buses, Analyst, 1994; 119(1):79-83.

- Justic A. Manning, John O. Burckle and Frank F. McElroy, Compendium of methods for toxic organic air pollutants: Method TO17, Second ed. U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC 27711, EPA/625/ R-96/010b.
- Environmental Protection Agency, Appendix
  B TO Part 136-Defination and procedure for
  the determination of the method detection
  limit-Revision 1.11, Code of federal regulation
  40 Parts 100 TO 149 Revised as of July 1,
  1992:565-567.
- ASTM Designation: D6246-98, Standard practice for evaluating the performance of diffusive samplers, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States, 772-781.
- 11. Matthew B, Theory of diffusion and diffusive sampler. Markes International Limited, 2-1 2-53.

- 12. Nordstrand E, A computer program for simulating the performance of thick-sorbent bed diffusive samplers predicted and experimental sample loss due to reversible adsorption, J.Chrom A.1995; 709: 283-290.
- 13. De Bortoli M., Knoppel H., Pecchio E. and Vissers H, Performance of a thermally desorbable diffusion sampler for personal and indoor air monitoring, Environ Inter, 1989; 15: 427-434.
- 14. Brown R.H., Environmental use of diffusive samplers: evaluation of reliable diffusive uptake rates for benzene, toluene and xylene, J. Environment Monitor, 1999; 1: 115-116.
- Plant N.T. and Wright M.D., European diffusive sampling initiative: project report with status at March 1998, HSL International Report IACS 88/01, 1998.



### สภาวะคุณภาพอากาศในเขตเทศบาลนครนครราชสีมา จังหวัดนครราชสีมา

State of Air Quality in Nakhon Ratchasima Municipality, Nakhon Ratchasima Province

> วีระเทพ กีรติธาดานิยม<sup>1</sup>, ผกา สุขเกษม<sup>1</sup> ศิรพงศ์ สุขทวี<sup>1</sup>, นิรัน เปี่ยมใย<sup>1</sup>



#### **Abstract**

The study on state of air quality in Nakhon Ratchasima municipality was conducted to anticipate the air quality problem in Nakhon Ratchasima under Agenda 21. Ten major air pollutants were studied, such as sulfur dioxide ( $SO_2$ ), nitrogen dioxide ( $NO_2$ ), nitric oxide ( $NO_3$ ), nitrogen oxide ( $NO_3$ ), carbon monoxide ( $NO_3$ ), ozone ( $NO_3$ ), total hydrocarbon ( $NO_3$ ), methane ( $NO_3$ ), non-methane ( $NO_3$ ) and particulate matter ( $NO_3$ ). The mobile air quality monitoring

station was installed at 2 sites in Nakhon Ratchasima municipal area. The measurement was done continuously for 13 days. The results showed that the concentration of 5 major pollutants such as SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, O<sub>3</sub> and PM-10 were far lower than the national air quality standards except for the maximum value of 24 hours average of PM-10 wich was 0.25 time less than the standard in May 16, 2001 at K.S. Pavilion hotel, in which this hotel is located near the traffic intersection. It showed that traffic is an

<sup>&</sup>lt;sup>a</sup>ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม เทคโนธานี ต.คลองห้า อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120 โทร. 0 2577 4182-9 โทรสาร 0 2577 1138 Environmental Research and Training Center, Department of Environmental Quality Promotion. Technopolis. Kolng 5 Klong Luang, Pathumthani 12120

important source of PM-10 in the city and should be under control in the future. As for the other 5 pollutants, there are no national standards given for each pollutant. However the concentration of these pollutants are normally found throughout the atmosphere.

#### บทคัดย่อ

การศึกษานี้เป็นกิจกรรมหนึ่งภายใต้โครงการ แผนปฏิบัติการ 21 ระดับท้องถิ่น ความร่วมมือระหว่าง กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อมกับประเทศสวีเดนโดย ได้มีการติดตามตรวจสอบสารมลพิษทางอากาศที่สำคัญ ในบรรยากาศจำนวน 10 ชนิด ได้แก่ ก๊าซซัลเฟอร์ได-ออกไซด์ (SO<sub>2</sub>) ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO<sub>2</sub>) ก๊าซ ในโตรเจนไดออกไซด์ (NO<sub>2</sub>) ก๊าซไนตริกออกไซด์ (NO) ก๊าซโอโซน (O<sub>3</sub>) ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ก๊าซไฮโดรคาร์บอนทั้งหมด (THC) ก๊าซมีเทน (CH<sub>4</sub>) ก๊าซไฮโดรคาร์บอนที่ไม่ใช่มีเทน (Non-CH4) และฝุ่น ขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตร (PM-10) โดยทำการติดตั้ง สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศแบบเคลื่อนที่ในพื้นที่เขต เทศบาลนครนครราชสีมา จำนวน 2 แห่ง เป็นระยะ เวลาต่อเนื่อง 13 วัน ผลจากการศึกษาพบว่า สารมลพิษ 5 ชนิด ได้แก่  $SO_2$ ,  $NO_2$ , CO,  $O_3$  และ PM-10 มีค่า ความเข้มข้นในบรรยากาศอยู่ในระดับที่ไม่เกินค่ามาตรฐาน ทั้งนี้ค่าเฉลี่ยราย 24 ชั่วโมงของ PM-10 น้อยกว่าค่า มาตรฐานเพียง 0.25 เท่า ณ บริเวณโรงแรม เค.เอส. พาวิลเลี่ยน ในวันที่ 16 พฤษภาคม 2544 ซึ่งเป็นบริเวณ ที่อยู่ใกล้สัญญาณไฟจราจร ชี้ให้เห็นว่าการจราจรเป็น แหล่งกำเนิดฝุ่นขนาดเล็กที่สำคัญ และเป็นแหล่งกำเนิด ที่ควรมีการควบคุมในอนาคตเพื่อไม่ให้ PM-10 มีค่า เกินค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศต่อไป ส่วนสารมลพิษ ที่เหลืออีก 5 ชนิด ยังไม่มีมาตรฐานเปรียบเทียบ แต่เป็น ค่าที่มีอยู่ตามปกติทั่วไปในบรรยกาศ

#### 1. unun

สืบเนื่องจากประเทศไทยในฐานะสมาชิกของ สหประชาชาติได้ให้คำรับรองแผนปฏิบัติการ 21 เมื่อ วันที่ 14 มิถุนายน 2535 ที่กรุงริโอ เดอ จาเนโร ประเทศบราซิล ในการประชุมเรื่องสิ่งแวดล้อมและการ พัฒนา (United Nations Conference on Environment and Development) ซึ่งเป็นแผนการปฏิบัติการระดับ โลก โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้การพัฒนาเศรษฐกิจ สังคม และการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติรวมทั้ง สิ่งแวดล้อม ดำเนินไปอย่างยั่งยืนโดยปราศจากปัญหา ด้านทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ดังนั้นคณะ รัฐมนตรีจึงได้มีมติให้คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ซึ่งมีนายกรัฐมนตรีเป็นประธาน เป็นองค์กรรับผิดชอบ โดยมีกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม มีหน้าที่โดยตรงในการจัดทำแผนปฏิบัติการดังกล่าว

กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม ได้รับมอบ หมายให้เป็นหน่วยงานหลักในการเผยแพร่ความรู้ด้าน การพัฒนาที่ยั่งยืนสู่ท้องถิ่น ภายใต้แผนปฏิบัติการ 21 (Local Agenda 21) โดยความร่วมมือกับประเทศสวีเดน และมีเทศบาลนครตรังและเทศบาลนครราชสีมาเป็น หน่วยงานท้องถิ่นนำร่อง เพื่อให้โครงการดังกล่าวบรรลุ วัตถุประสงค์ ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อมได้ รับมอบหมายให้ทำการศึกษาสถานการณ์สิ่งแวดล้อม โดยการนำสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศเคลื่อนที่ จำนวน 1 สถานี มาทำการตรวจวัดคุณภาพอากาศในบรรยากาศ ในเขตเทศบาลนครนครราชสีมา จังหวัดนครราชสีมา ปี พ.ศ. 2544 เพื่อให้ทราบสถานการณ์คุณภาพอากาศ และเพื่อเป็นแนวทางในการกำหนดมาตรการป้องกัน ปัญหามลพิษทางอากาศในเขตเทศบาลนครนครราชสีมา ต่อไป

### 2. วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

### 2.1 เครื่องมือและวิธีการตรวจวัด

การตรวจวัดคุณภาพอากาศในบรรยากาศ สำหรับสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศเคลื่อนที่ มีประเภท สารมลพิษ และวิธีการตรวจวัด ดังแสดงในตารางที่ 1

#### 2.2 ตำแหน่งการตรวจวัด

การติดตั้งสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศเคลื่อนที่ใน พื้นที่เขตเทศบาลนครนครราชสีมา จำนวน 2 แห่ง คือ โรงแรม เค.เอส.พาวิลเลี่ยน ระหว่างวันที่ 16 - 21 พฤษภาคม 2544 และบริเวณอนุสาวรีย์ท้าวสุรนารี ระหว่างวันที่ 22-28 พฤษภาคม 2544 ดังแสดงในรูปที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงประเภทสารมลพิษ และวิธีการตรวจวัด

สารมลพิษ (Pollutants)	วิธีการตรวจวัด (Methods of measurement)
1. ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM-10)	Beta ray absorption
2. คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)	Non-dispersive infrared detection (NDIR)
3. ไนโตรเจนออกไซด์ ( $\mathrm{NO_2}$ , $\mathrm{NO}$ , $\mathrm{NO_x}$ )	Chemiluminescence
4. ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO <sub>2</sub> )	Ultraviolet Fluorescence
5. โอโซน (O <sub>3</sub> )	Ultraviolet Absorption
6. ไฮโดรคาร์บอน (HC, CH <sub>4</sub> , Non-CH <sub>4</sub> )	Flame Ionization Detection (FID)



รูปที่ 1 แสดงตำแหน่งติดตั้งสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ

### 2.3 ขั้นตอนการตรวจวัด

เมื่อเลือกจุดเก็บตัวอย่างที่เหมาะสมได้แล้ว ทำการติดตั้งเครื่องมือให้ถูกต้องสมบูรณ์ ขั้นตอนในการตรวจวัดของสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศเคลื่อนที่มีดังนี้ คือ ใช้ท่อเก็บตัวอย่างอากาศ (Probe) ดูดตัวอย่างอากาศที่อยู่สูงจากพื้นดินประมาณ 3 เมตร เข้าสู่เครื่องวิเคราะห์ก๊าซอัตโนมัติ ข้อมูลที่ได้จะถูกเก็บไว้ในเครื่องบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ (Data logger) โดยต่อเข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการประมวลผล

#### 3. พลการศึกษาและวิจารณ์

### 3.1 พลการตรวจวัดคุณภาพอากาศ ณ โรงแรม เค.เอส.พาวิลเลี่ยน

จากผลการตรวจวัดคุณภาพอากาศ ณ โรงแรม เค.เอส.พาวิลเลี่ยน ระหว่างวันที่ 16 - 21 พฤษภาคม

#### 2544 สรุปผลการตรวจวัดได้ดังนี้

3.1.1 ก๊าซในโตรเจนไดออกไซด์ (Nitrogen dioxide: NO<sub>2</sub>)

การตรวจวัดก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ พบว่า มีค่าไม่เกินมาตรฐาน คือ มีช่วงค่าความเข้มข้นเฉลี่ย 1 ชั่วโมง อยู่ระหว่าง 0.01 - 0.045 ppm (part per million) โดยมีค่าความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 0.045 ppm ในวันที่ 16 พฤษภาคม 2544 เวลา 8.00 น. เมื่อ เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานเฉลี่ย 1 ชั่วโมง ของก๊าซ ไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศของประเทศไทย พ.ศ. 2538¹ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.17 ppm จะเห็นว่าค่าสูงสุดยังคง มีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานมาก

3.1.2 ก๊าซไนตริกออกไซด์ (Nitric oxide: NO) ผลการตรวจวัดก๊าซไนตริกออกไซด์ พบว่ามีค่าอยู่ระหว่าง ตรวจวัดไม่พบถึง 0.066 ppm สำหรับก๊าซไนตริกออกไซด์ ไม่มีการกำหนดในค่ามาตรฐานของประเทศไทย และมีค่า

เฉลี่ย 1 ชั่วโมงสูงสุดของก๊าซไนตริกออกไซด์ที่พบมีค่า เท่ากับ 0.066 ppm ในวันที่ 16 พฤษภาคม 2544 เวลา 8.00 น.

3.1.3 ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (Nitrogen oxide: NO.)

ผลการตรวจวัดก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ พบว่า มีค่าอยู่ระหว่าง 0.007 - 0.111 ppm ก๊าซไนโตรเจน ออกไซด์ไม่มีการกำหนดค่ามาตรฐานของประเทศไทย ค่าเฉลี่ยที่พบ 1 ชั่วโมงสูงสุดของก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ มีค่าเท่ากับ 0.111 ppm ในวันที่ 16 พฤษภาคม 2544 เวลา 800 น

#### 3.1.4 ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)

ผลการตรวจวัดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ พบว่า มีช่วงค่าความเข้มข้นเฉลี่ย 1 ชั่วโมงอยู่ระหว่าง 0.6 - 2.4 ppm โดยมีค่าความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 2.4 ppm ซึ่ง มีอยู่ด้วยกันสามค่าคือ ในวันที่ 16 พฤษภาคม 2544 เวลา 18.00 น. 19.00 น. และในวันที่ 17 พฤษภาคม 2544 เวลา 16.00 น. แต่เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานเฉลี่ย 1 ชั่วโมงของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในบรรยากาศของ ประเทศไทย พ.ศ. 2538¹ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 30 ppm จะเห็น ว่าค่าสูงสุดยังคงมีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานมาก

#### 3.1.5 ก๊าซโอโซน (Ozone: O<sub>2</sub>)

ผลการตรวจวัดก๊าซโอโซน พบว่า มีก๊าซโอโซน ไม่เกินค่ามาตรฐาน คือ มีช่วงค่าความเข้มข้นเฉลี่ย 1 ชั่วโมง อยู่ระหว่าง 0.9 - 41.7 ppb (part per billion) พบค่าความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 41.7 ppb และ ในวันที่ 21 พฤษภาคม 2544 เวลา 18.00 น. เมื่อเปรียบ เทียบกับค่ามาตรฐานเฉลี่ย 1 ชั่วโมงของก๊าซโอโซนใน บรรยากาศของประเทศไทย พ.ศ. 2538<sup>1</sup> ซึ่งมีค่าเท่ากับ 100 ppb จะเห็นว่าค่าสูงสุดยังคงมีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐาน

3.1.6 ก๊าซไฮโดรคาร์บอน (Total hydrocarbons: THC)

ก๊าซไฮโดรคาร์บอนในการตรวจวัดนี้แบ่งออก เป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ ก๊าซมีเทนและก๊าซไฮโดรคาร์บอน ที่ไม่ใช่มีเทน จะเห็นว่าก๊าซไฮโดรคาร์บอนมีช่วงของ ค่าความเข้มข้นเฉลี่ย 1 ชั่วโมง ณ โรงแรม เค.เอส. พาวิลเลี่ยน ระหว่างวันที่ 16 - 21 พฤษภาคม 2544 มีค่าอยู่ระหว่าง 2.1 - 2.9 ppm พบค่าสูงสุดเท่ากับ 2.9 ppm วันที่ 16 พฤษภาคม 2544 เวลา 8.00 น. แม้ว่ากลุ่มก๊าซเหล่านี้ยังไม่มีการกำหนดค่ามาตรฐานใน

บรรยากาศของประเทศไทย แต่ข้อมูลที่ตรวจวัดได้ก็ยัง จัดอยู่ในช่วงเกณฑ์บรรยากาศทั่วไปในธรรมชาติ

ผลการตรวจวัดก๊าซมีเทนเฉลี่ย 1 ชั่วโมง พบว่า อยู่ในช่วงของค่าความเข้มข้นอยู่ระหว่าง 2.0 - 2.5 ppm และค่าสูงสุดที่พบมีค่าเท่ากับ 2.5 ppm ในวันที่ 16 พฤษภาคม 2544 เวลา 1.00 น.

ผลการตรวจวัดก๊าซไฮโดรคาร์บอนที่ไม่ใช่มีเทน ค่าเฉลี่ย 1 ชั่วโมง พบว่า อยู่ในช่วงความเข้มข้นระหว่าง 0.1 - 0.6 ppm ค่าสูงสุดที่พบมีค่าเท่ากับ 0.6 ppm มีจำนวนสามค่า พบในวันที่ 16 พฤษภาคม 2544 เวลา 8.00 น. 18.00 น. และพบในวันที่ 17 พฤษภาคม 2544 เวลา 18.00 น.

#### 3.1.7 ฝุ่นขนาดเล็กน้อยกว่า 10 ไมโครเมตร (PM-10)

ผลการตรวจวัดฝุ่นขนาดเล็กเฉลี่ย 24 ชั่วโมง พบว่า มีช่วงของค่าความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมง อยู่ ระหว่าง 0.04 - 0.09 mg/m³ (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานเฉลี่ย 24 ชั่วโมง ของฝุ่นขนาดเล็กในบรรยากาศของประเทศไทย พ.ศ. 2538¹ มีค่าเท่ากับ 0.12 mg/m³ จะเห็นว่า ค่าความ เข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงสูงสุดเท่ากับ 0.09 mg/m³ พบ ในวันที่ 16 พฤษภาคม 2544 ซึ่งมีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐาน เพียงร้อยละ 25 เท่านั้น

### 3.2 พลการตรวจวัดคุณภาพอากาศ ณ อนุสาวรีย์ท้าวสุรนารี

จากผลการตรวจวัดคุณภาพอากาศ ณ อนุสาวรีย์ ท้าวสุรนารี ระหว่างวันที่ 22 - 28 พฤษภาคม 2544 สรุปผลการตรวจวัดได้ดังนี้

# 3.2.1 ก๊าซในโตรเจนไดออกไซด์ (Nitrogen dioxide: $NO_2$ )

สำหรับผลการตรวจวัดก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ พบว่ามีค่าไม่เกินมาตรฐาน คือ มีช่วงค่าความเข้มข้น เฉลี่ย 1 ชั่วโมง อยู่ระหว่าง 0.008 - 0.031 ppm โดยมี ค่าความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 0.031 ppm ในวันที่ 22 พฤษภาคม 2544 เวลา 20.00 น. แต่เมื่อเปรียบเทียบ กับค่ามาตรฐานเฉลี่ย 1 ชั่วโมงของก๊าซไนโตรเจน-ไดออกไซด์ในบรรยากาศของประเทศไทย พ.ศ. 2538¹ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.17 ppm จะเห็นว่าค่าสูงสุดยังคงมีค่า ต่ำกว่าค่ามาตรฐานอยู่ประมาณ 5.5 เท่า

3.2.2 ก๊าซในตริกออกไซด์ (Nitric oxide: NO)

ผลการตรวจวัดก๊าซไนตริกออกไซด์ พบว่ามี ค่าอยู่ในช่วง ตรวจวัดไม่พบถึง 0.011 ppm ก๊าซไนตริก ออกไซด์ไม่มีการกำหนดค่ามาตรฐานของประเทศไทย พบค่าเฉลี่ย 1 ชั่วโมงสูงสุดของก๊าซไนตริกออกไซด์ มีค่าเท่ากับ 0.011 ppm พบในวันที่ 23 พฤษภาคม 2544 เวลา 8.00 น.

3.2.3 ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (Nitrogen oxide: NO<sub>v</sub>)

ผลการตรวจวัดก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ พบว่า มีค่าอยู่ระหว่าง 0.008 - 0.037 ppm ก๊าซไนโตรเจน ออกไซด์ ไม่มีการกำหนดค่ามาตรฐานของประเทศไทย พบค่าเฉลี่ย 1 ชั่วโมงสูงสุดของก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ มีค่าเท่ากับ 0.037 ppm ในวันที่ 22 พฤษภาคม 2544 เวลา 20.00 น.

#### 3.2.4 ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)

ผลการตรวจวัดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ พบว่า มีช่วงค่าความเข้มข้นเฉลี่ย 1 ชั่วโมงอยู่ระหว่าง 0.6 - 1.8 ppm โดยพบค่าความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 1.8 ppm ใน วันที่ 22 พฤษภาคม 2544 เวลา 20.00 น. แต่เมื่อ เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานเฉลี่ย 1 ชั่วโมงของก๊าซ คาร์บอนมอนอกไซด์ในบรรยากาศของประเทศไทย พ.ศ. 2538<sup>1</sup> ซึ่งมีค่าเท่ากับ 30 ppm จะเห็นว่าค่าสูงสุดยังคง มีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานมาก

#### 3.2.5 ก๊าซโอโซน (Ozone: O<sub>3</sub>)

ผลการตรวจวัดก๊าซโอโซน พบว่า มีก๊าซโอโซน ไม่เกินค่ามาตรฐาน คือ มีช่วงค่าความเข้มข้นเฉลี่ย 1 ชั่วโมง อยู่ระหว่าง 3.8 - 47 ppb โดยพบค่าความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 47 ppb ในวันที่ 23 พฤษภาคม 2544 เวลา 22.00 น. แต่เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานเฉลี่ย 1 ชั่วโมงของก๊าซโอโซนในบรรยากาศของประเทศไทย พ.ศ. 2538¹ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 100 ppb จะเห็นว่าค่าสูงสุด ยังคงมีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานอยู่ประมาณ 0.5 เท่า

3.2.6 ก๊าซไฮโดรคาร์บอน (Total hydrocarbons: THC)

ก๊าซไฮโดรคาร์บอนในการตรวจวัดนี้แบ่งออก เป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ ก๊าซมีเทนและก๊าซไฮโดรคาร์บอน ที่ไม่ใช่มีเทน และจากการตรวจวัดจะเห็นว่าก๊าซไฮโดร คาร์บอนมีช่วงค่าความเข้มข้นเฉลี่ย 1 ชั่วโมง มีค่าอยู่

ระหว่าง 2.1 - 2.9 ppm พบค่าสูงสุดเท่ากับ 2.9 ppm วันที่ 26 พฤษภาคม 2544 เวลา 11.00 น.

สำหรับผลการตรวจวัดก๊าซมีเทนค่าเฉลี่ย 1 ชั่วโมง พบว่าอยู่ในช่วงค่าความเข้มข้นระหว่าง 2.0 - 2.3 ppm ค่าสูงสุดที่พบมีค่าเท่ากับ 2.3 ppm มีจำนวน 3 ค่า คือ พบในวันที่ 22 พฤษภาคม 2544 เวลา 20.00 น. และในวันที่ 25 พฤษภาคม 2544 เวลา 6.00 น. และ 7.00 น.

ผลการตรวจวัดก๊าซไฮโดรคาร์บอนที่ไม่ใช่มีเทน ค่าเฉลี่ย 1 ชั่วโมง พบว่าอยู่ในช่วง ตรวจวัดไม่พบ ถึง 0.8 ppm ค่าสูงสุดที่พบมีค่าเท่ากับ 0.8 ppm ในวันที่ 26 พฤษภาคม 2544 เวลา 11.00 น.

3.2.7 ฝุ่นขนาดเล็กน้อยกว่า 10 ไมโครเมตร (PM-10)

ผลการตรวจวัดฝุ่นขนาดเล็กเฉลี่ย 24 ชั่วโมง จากผลพบว่ามีช่วงค่าความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมง อยู่ ระหว่าง 0.04 - 0.07 mg/m³ โดยพบค่าความเข้มข้น สูงสุดเท่ากับ 0.07 mg/m³ ในวันที่ 22 พฤษภาคม 2544 เวลา ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของฝุ่นขนาดเล็กในบรรยากาศของประเทศไทย พ.ศ. 2538¹ มีค่าเท่ากับ 0.12 mg/m³ จะเห็นว่าพบ ฝุ่นขนาดเล็กมีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานอยู่ประมาณ ร้อยละ 42

### 4. สรุป

จากผลการตรวจวัดมลพิษทางอากาศในเขต เทศบาลนครนครราชสีมา จังหวัดนครราชสีมา ช่วง ระหว่างวันที่ 16 - 28 พฤษภาคม 2544 สรุปได้ว่า สภาวะมลพิษทางอากาศในช่วงเวลาที่ทำการตรวจวัดนั้น ไม่มีสารมลพิษใดที่มีค่าสูงเกินกว่าค่ามาตรฐานคุณภาพ อากาศในบรรยากาศของประเทศไทย (พ.ศ. 2538) อย่างไรก็ตาม ปริมาณผุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตร เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ซึ่งตรวจพบมีค่าความเข้มขันค่อนข้าง สูง โดยเฉพาะวันที่ 16 พฤษภาคม 2544 ณ บริเวณ โรงแรม เค.เอส.พาวิลเลี่ยน มีค่าต่ำกว่ามาตรฐานอยู่ เพียงร้อยละ 25 เท่านั้น และยังพบว่าในแต่ละชั่วโมง ก็ยังพบค่าความเข้มขันเฉลี่ยของฝุ่นขนาดเล็กอยู่ใน ระดับค่อนข้างสูงโดยเฉพาะช่วงเวลากลางคืน ณ บริเวณ อนุสาวรีย์ท้าวสุรนารี นอกจากฝุ่นขนาดเล็กแล้วยังมี

ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และก๊าซโอโซนที่มีค่าเฉลี่ย 1 ชั่วโมงสูงสุดอยู่ในระดับค่อนข้างสูง แต่ก็ยังคงต่ำกว่า ค่ามาตรฐานโดยประมาณ 12-17 เท่า และ 1.9-2.4 เท่า ตามลำดับ ส่วนก๊าซชนิดอื่นๆ ยังคงต่ำกว่าค่ามาตรฐาน ค่อนข้างมากจัดอยู่ในระดับที่ไม่ก่อให้เกิดอันตราย และ สรุปได้ว่าคุณภาพอากาศในเขตเทศบาลนครนครราชสีมา ยังคงอยู่ในมาตรฐาน แต่ควรเริ่มมีการเฝ้าระวังสาร มลพิษที่จัดอยู่ในระดับค่อนข้างสูง เช่น ฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตร ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และก๊าซโอโซน โดยเฉพาะบริเวณที่มีการจราจรหนาแน่นซึ่งอาจมีค่าเกิน มาตรฐานคุณภาพอากาศได้ในอนาคต

#### กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้ศึกษาใคร่ขอขอบคุณ ผู้ประสานงานของ เทศบาลนครนครราชสีมา จังหวัดนครราชสีมา ทุกท่าน ที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการติดต่อประสานงาน ด้านสถานที่และอนุเคราะห์ด้านสาธารณูปโภคอย่างครบ ถ้วนสมบูรณ์เป็นอย่างดี จนทำให้การศึกษาในครั้งนี้ ประสบผลสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

#### เอกสารอ้างอิง

- คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ. ค่ามาตรฐาน คุณภาพอากาศในบรรยากาศของประเทศไทย (2538)
- Air Quality in Ontario 1994 Comprehensive Report. December 1995. Environment and Energy Ministry of Canada
- Dennis Atkinson. WRPLOT program.
   EPA-OAQPS Technology Transfer Network
- Quality Assurance/Quality Control Program for Hydro-Quebec's Ambient Air Monitoring Network. July 1993. Hydro-Quebec of Canada



# Establishment of emission inventory data for acidification modeling in Thailand

Dr. Hathairatana Garivait<sup>a</sup>, Mr. Sirapong Sooktawee<sup>a</sup>

#### บทคัดย่อ

ภายใต้ความร่วมมือไทย-สวีเดน กรมส่งเสริม คุณภาพสิ่งแวดล้อมได้ทำการศึกษาวิจัยเรื่องการ ตกสะสมของกรดในประเทศไทย (Study of Possible Acidification in Thailand) ร่วมกับ IVL, Swedish Environmental Research Institute และ Swedish Meteorological and Hydrological Institute (SMHI) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ทราบถึงปริมาณการตกสะสม ของสารกรดในสิ่งแวดล้อมของประเทศไทยอันเนื่องมา จากแหล่งกำเนิดทั้งภายในและภายนอกประเทศ

ในการศึกษาครั้งนี้จึงได้มีการจัดทำบัญชีการ ระบายสารกรดในบรรยากาศ โดยใช้เทคนิคการประเมิน การระบายสารกรดจากสถิติการใช้เชื้อเพลิงในภาค เศรษฐกิจต่างๆ และนำมาประเมินการระบายสารมลพิษ จากแหล่งกำเนิดต่างๆ ในภาพรวมของประเทศที่แสดง ถึงการระบายทั้งต่อพื้นที่ (Spatial distribution) และ ต่อเวลา (Temporally distribution) ทั้งนี้เพื่อจัดทำ รูปแบบข้อมูลนำเข้าด้านฐานข้อมูลการระบายของสาร กรด (emission database input) ให้แก่แบบจำลอง Multiple Scale Atmospheric Transport and Chemistry Model (MATCH) เพื่อประเมินการ ตกสะสมของสารกรดในประเทศไทยต่อไป แบบจำลอง ได้ทำการประเมินการตกสะสมของกรด โดยใช้ข้อมูล อุตุนิยมวิทยาในช่วงเวลา 12 เดือน (พฤษภาคม 2544 -มิถุนายน 2545) ของการติดตามตรวจสอบการตกสะสม ของกรดทั่วประเทศ เพื่อนำข้อมูลที่คำนวณได้จากแบบ จำลอง มาเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ตรวจวัดจริง ผลการ ศึกษาพบว่า ข้อมูลทั้งสองมีความสอดคล้องกันเป็นอย่างดี โดยค่าทั้งสองอยู่ในช่วงเดียวกันคือ 2 เท่าของค่าเฉลี่ย

#### **Abstract**

Within the framework of the Thai-Swedish Cooperative program, Department of Environmental Quality Promotion (DEQP), the Swedish Environmental Research Institute (IVL) and the Swedish Meteorological and Hydrological Institute (SMHI) have jointly performed a study on possible acidification in Thailand with the aim of determining the relative contribution from national emission sources to potential acidification in the country's ecosystem.

An emission inventory has been developed from a combination of top-down (sector statistics) and bottom up (local emission inventories) perspectives, the temporally and spatially resolved emission inventories for Thailand were established to provide a series of emission estimates which could be used as an input to a regional transport and dispersion model, namely, Multiple Scale Atmospheric Transport and Chemistry Model (MATCH). The model was driven by archived, high resolutions meteorological data extending over a 12 months period covering the monitoring campaign. The model output has been compared with measurement data to ensure realistic performance of the model and the uncertainty of the emission estimate compiled by ERTC. The results of

<sup>&</sup>lt;sup>a</sup>Environmental research and Training Centre, Department of Environmental Quality Promotion, Technopolis, Klong Luang, Pathumthani 12120 Tel: 0 2577 4182-9 Fax: 0 2577 1138

measured and modeled calculation concentration for air pollutant levels and deposition of acidification substances showed good agreement within a factor of two, which is considered a successful result.

#### I. Introduction

Emission data supply one of the most important pieces of data required by air quality dispersion models for atmospheric pollutants: the amount of pollutants emitted on each point in space at a given moment, i.e. the emission inventory. The elaboration of emission inventories for an urban area or on a national, regional or local basis is a necessary step when setting up plans to control the levels of pollutants.

Emission inventory is a compilation of pollutant emission estimates classified according to the different sources of emissions. Emission inventories contain data from three types of source emissions: point, area and mobile/line sources. Point source emission estimates are provided on an individual plant/facility or emission outlet in conjunction with data on geographical position, capacity, type of process, operating conditions, exit gas temperature and velocity, etc. Area sources deal with diffuse sources, where the necessary information is provided on area basis and is used to identify an aggregation of sources, which because of their size or number cannot be easily classified as point sources. Emission from area sources is assumed to be spread over a certain geographical area, where averaged values in space and time are used for each square of the grid system adopted. Mobile/line sources are used to estimate emission routs like streets, highway, waterways, etc.

A source emission relationship for atmospheric pollutants is necessary if the objectives are to obtain a better understanding of the causes of air pollution exceedences occurring in a determined area and to develop strategies for bringing the area into compliance with the air quality criteria. Emission inventory studies are imperative not only for computing the emissions, but also for providing guidance in organizing and presenting such data in a concise manner.

In our study, a regional transport and dispersion model, namely Multiple Scale Atmospheric Transport and Chemistry Model (MATCH), developed by Swedish Meteorological and Hydrological Institute (SMHI) will be used as a tool to estimate possible acidification in Thailand. The establishment of temporally and spatially resolved emission inventories for Thailand is necessary to provide a series of emission estimates, which could be used as an input to the modeling system.

#### II. Methodology

There are two different approaches to perform emission inventories, the top-down and the bottom-up approach. Depending on the emission source type and the availability of statistical data, either the bottom-up or the top-down approach may be more suitable. Unfortunately, emission inventories works from either approach is still scarce in Thailand.

For bottom-up approach, Pollution Control Department (PCD) in 1994 made the first attempt on emission inventory for air pollution in Thailand. The study aimed to establish an emission database for air quality management in Thailand. The main objective was to explore the major emission sources, collect source data and set up emission database in geographical information system (GIS) format. The work focused on 11 industrialized provinces out of 76 provinces in Thailand. The emission, in ton per year of sulfur dioxide (SO<sub>2</sub>), oxides of nitrogen (NO<sub>x</sub>), carbon monoxide (CO), suspended particulate matter (SPM) and hydrocarbon (HC)

were estimated for various sources, such as stationary, mobile and area sources. For stationary sources, 547 big point sources of industries and power plants were explored for the emission database. This is the most complete database for air emission in Thailand up to now.

Top-down statistic method uses available inventories for a greater emission area and disaggregates the overall emissions to sub-units using actual data for source strength and emission generating activities [1]. The underlying assumption for this approach is that the emission distribution follows the pattern of demographic and socioeconomic data. Based on this method, the stepwise procedures for emission inventory work in this study are as follows.

- Calculate national total emissions of the target pollutants based on energy consumption data. It should be noted that the problem of non-linear relationship between energy consumption and emissions was also considered in emission calculation by taking into account the different types of fuels used in different sectors.
- Placing known emissions and location of major point sources. The total emission of point sources can be determined by summing up all emissions from these major point sources.
- Determine the area emission by subtracting the total point source emissions from the corresponding national total emission.
- Disaggregate the area emission by population density and land use using geographical information system (GIS) approach.

In our study, we aim to establish the emission inventories of  $SO_2$  and  $NO_x$  using top-down approach, which could be used as an input to the MATCH model given the model approach (horizontal resolution, chemical scheme, etc.). The following sections describe and justify the methods and data used to estimate the magnitude of emissions and their spatial distribution in Thailand for the year 1994 and 2000. The emissions of the year 2000 will be used as the emission of the studied year according to the monitoring period (June 2001- June 2002) in this study. The base year of 1994 was chosen due to a higher degree of bottom-up data availability compared with the studied year.

# 2.1 Estimating $SO_2$ and $NO_x$ emissions in the year 1994

The estimation of SO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> emissions in 1994 was done based on the PCD database [2]. However, there are some data not available in the PCD database for some particular sectors. Such data will be replaced by the emission data reported by Department of Energy Development Promotion (DEDP) based on Thailand energy consumption 1994 [3]. The decision can be made since the total emissions of the target pollutants reported in the PCD database 1994 (1.2 Mton and 0.46 Mton of SO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub>, respectively) were consistent with those emissions reported by DEDP in the same year (1.3 Mton and 0.53 Mton of SO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub>, respectively).

#### 2.1.1 SO<sub>2</sub> emission in 1994

- National total emissions
  - 1,195,978 ton-SO<sub>2</sub>/year
- Total emissions from the major point sources 878,496 ton-SO<sub>2</sub>/year

 $\label{eq:according} According to the PCD database 1994, \\$  all point sources that emit more than 10 ton-SO2/

year are considered as major point sources in this study. These comprised of 194 point sources out of the total 547 point sources investigated in the PCD database 1994. The total emission of the major point sources was calculated by taking into account the emission amount of those 194 point sources.

#### ■ Total area emissions 449,482 ton-SO2/year

The total area emissions were calculated by subtracting the total point source emissions from the corresponding national total emissions plus the emission from transport sector which is estimated based on fuel consumption in the DEDP report (1,195,978 - 878,496 + 132,000 = 449,482 ton).

### ■ Spatial disaggregating of the area emissions

The principle of the disaggregation system is to relate emissions from various source categories to the areas where the emissions actually take place. In this study, the geographical information system (GIS) tool, namely, Arc view GIS 3.0a Patch, is applied to allocate emissions from the smallest administrative units to the actual relevant areas. The Arc view GIS 3.0a Patch is upgraded from the website www.esri.com. The script was downloaded from <a href="http://arcscripts.">http://arcscripts.</a> esri.com with extensions as follows; Geo-processing, Gridder Aide, Grid Utility 1.1, Spatial Analyst, Grid Transformation Tools (sample) and Surfer Extension 2.5. The spatial disaggregation of the area emission described in this study was done by two different methods: one is the disaggregating by population density and another one is the disaggregating by land use.

## Disaggregating of emission amount by population density:

The resolution of 5x5 km in the Arc view GIS 3.0a Patch was used for this purpose. The total grid number according to the resolution is 20,610

grids. Since the difference of population between 1994 and 2000 was only 3 millions, we assumed to use the population density data of the year 2000 for the disaggregating of emission by population of both years. The lowest possible administrative unit in this study, for which population data in the year 2000 are correctly available, is in the district level, as shown in figure 1. The sum of all the districts gives the total population of 60,869,899 heads. The emission (ton) in each grid was calculated as follows.

#### Emission (ton) in grid;

= Total area emission x Population in  $grid_i$ Total population

## Disaggregating of emission amount by land use:

The land use classification in the Arc view GIS 3.0a Patch consists of industrial area, urban area, water, forest, golf course, agricultural and miscellaneous, as shown in the figure 2. This is slightly different from the emission estimation by economic sectors reported in the PCD database 1994 which are industry, mining, residential, construction, agriculture and transport. To be consistent with the Arc view, the emission by economic sectors will be grouped to determine the total emission of each land use category as shown in Table 1. We assumed no SO2 emission from the land categories: forest, golf course, water and miscellaneous, in which these lands account for about 39% of the total area of Thailand.

In order to get the representativeness of the emissions disaggregating by land use, the resolution up to 1x1 km in the Arc view GIS 3.0a Patch is needed. The total grid number according to the resolution is 515,716 grids. It should be noted that there are many cases where the emission from land use categories are superimposed, especially the emission

Emission by economic Total emission in each Land use in Arc view sectors (ton) land use category (ton) Industry 302,495 301,676 Industrial area 819 Mining Resident & Com. 495 Urban area 6,126 Construction 5,631 Agriculture area Agricultural 8,859 8,859

132,000

Table 1 The total SO<sub>2</sub> emission of each land use category in 1994 (ton-SO<sub>2</sub>/year)

\* Data obtained from Thailand Energy Situation Report 1994. Department of Energy Development and Promotion (DEDP), Ministry of Science Technology and the Environment

Transport\*

from road network that passed through each land use category. In this regard, the emission disaggregating was made of three steps. In the first step the emission per grid of each land use category was calculated by taking into account the total emission in each land use category divided by the total number of grids corresponding to that category. In a second step, the emission per grid was calculated by taking into account only road emission. In the final step, the results of the first and the second steps were overlapped to make up the total emission in each grid. Figure 3 shows the GIS map of land use overlapped with the major road system in Thailand.

Transport area

#### 2.1.2 NO<sub>x</sub> emission in 1994

The estimation of  $NO_x$  emission in 1994 followed the same procedure as for  $SO_2$ . The  $NO_x$  emission amount by economic sectors was taken from the PCD database 1994 and the stepwise procedures for the emission estimation were done exactly the same procedure as  $SO_2$  emission.

- National total emission
  - 457,094 ton- $NO_x$ /year
- Total emission of the major point sources 175,963 ton-NO<sub>x</sub>/year

According to the PCD database 1994, all point sources that emit  $NO_x$  more than 10 ton/year are considered as the major point sources. These comprised of 174 point sources out of the total 547 point sources investigated in the PCD database 1994. The total emission of the major point sources was calculated by taking into account the emission amount of these 174 point sources.

132,000

- Total area emission

  281,131 ton-NO<sub>x</sub>/year

  (457,094 175,963 = 281,131 ton-NO<sub>x</sub>/year).
  - Spatial disaggregating of the area emission

Again, two completely different methods were considered.

#### Disaggregating by population density:

The  $\mathrm{NO}_{\mathrm{x}}$  emission (ton) in each grid was calculated as follows:

#### Emission (ton) in grid<sub>i</sub>

= Total area emission x Population in  $grid_i$ Total population

#### Disaggregating by land use:

To be consistent with the land use in Arc

Table 2 The total NO<sub>x</sub> emission of each land use category in 1994 (ton-NO<sub>x</sub>/year)

Land use in Arc view	Emission by economic sectors (ton)		nic	Total emission in each land use category (ton)
Industrial area	Industry Mining		23,532 1,603	25,135
Urban area	Resident & Com. Construction		1,096 14,732	15,828
Agriculture area	Agricultural	= 8	87,812	87,812
Transport area	Transport	= ;	152,356	152,356

view, the emission by economic sectors in the PCD database 1994 are grouped to determine the total  $\rm NO_x$  emission of each land use category as shown in Table 2. Again, we assumed no  $\rm NO_x$  emission from forest, golf course, water and miscellaneous, in which these lands account for about 39% of the total area of Thailand.

## 2.2 Estimating $SO_2$ and $NO_x$ emissions in the year 2000

Due to few consistent available data on point source inventories, the estimation of SO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> emissions in the year 2000 were done based on Thailand's energy consumption data (i.e., a top-down approach). Reference source of energy consumption data is from Thailand energy situation 2000 reported by the Department of Development and Promotion DEDP [4], Ministry of Science and Technology. To cover the problem of non-linear relationship between energy consumption and emissions, the emission calculation was done according to socio-economic activities and the major types of fuel. The socio-economic activities as air pollution sources were classified into 7 sectors: Transport, Power Plant, Manufacturing, Residential and Commercial, Agriculture, Construction, and Mining. Major fuels were

classified into petroleum products, natural gas, coal and its products and renewable energy in which their sub-types were also considered for the calculation.

#### 2.2.1 $SO_2$ emission in the year 2000

#### ■ Calculating total SO<sub>2</sub> emission.

Anthropogenic sulfur dioxide (SO<sub>2</sub>) emissions are mainly caused by the combustion of sulfur-containing fossil fuels (especially coal and oil products). The general equation for emission estimation is,

$$E = A \times EF \times (1-ER)$$
 .....(1)

Where: E = emissions, ton-SO2

A = activity rate (e.g., fuel consumption),

EF = emission factor, and

ER = overall emission reduction efficiency, %

Sulfur emission factors for fossils fuels and biomass fuels combustion depend on the sulfur content of each type of fuel and the proportion of sulfur retained in the waste ash after combustion. The emission factors for fuel were calculated by the following equation.

#### $EF = S \times (1-R) \times 1/C \times 10$ .....(2)

Where: EF = Emission factor (ton Sulfur PJ<sup>-1</sup>),

S = Sulfur content of fuel (%),

R = Retention factor (proportion of sulfur that is retained in the ash after combustion), kg kg<sup>-1</sup>,

C = Net calorific value (TJ t<sup>-1</sup>),

10 = (Unit) conversion factor.

All variables for the determination of emission factor in this study are described in Table 3-5 with reference sources.

The total SO2 emission of 497,351 ton/year was obtained from the calculation using equations 1 and 2. It should be noted that the overall emission reduction efficiency of 95% was considered in the SO2 emission calculation based on lignite consumption of Mae-Moh thermal power plant since the power plant has been equipped with flue gas de-sulfurization (FGD) units since 1997.

Table 3 Sulfur content of fuel

Fuel types	Sulfur content (weight %)	References
Petroleum Products		
Gasoline		
■ ULG	0.01	[5]
■ ULG 95	0.01	[5]
Diesel		
■ HSD	0.031	[5]
■ LSD	0.697	[5]
Kerosene	0.15	[5]
Fuel oil	1.70 (average value)	[5]
Coal and its products		
Coal	0.5	[4]
Lignite (Power Plant)	3.0	[4]
Lignite (Manufacturing)	2.0	[4]
Renewable energy		
Fuel wood	0.2	[6]
Charcoal	0.03	[6]
Paddy husk	0.03	[6]
Bagasse	0.03	[6]

Table 4 Retention in ash factors

Fuel	Sectors	Retention factor (R)
Hard coal (i.e. cooking coal, other	Power generation and Industry	0.050
bituminous coal and anthracite)	Transport, Agriculture, Residential	
	and Commercial	0.225
Brown coal (i.e. sub-bituminous		0.250
coal)/ Lignite		0.250
Petroleum products (residual fuel		
oil, gas-diesel oil, kerosene,		0
motor gasoline)		
Biomass fuel (wood fuel, other		0
biomass fuel)		U

Source: Harry W. Vallack, 2000 [7]

Table 5 Net calorific (thermal) values for fuels

Fuel	Net calorific value [C] (TJ t <sup>-1</sup> )		
Coal	0.03000		
Lignite	0.03000		
Residual fuel oil	0.04020		
Gas-diesel oil	0.04334		
Motor gasoline	0.04485		
Kerosene	0.04375		
Fuel wood	0.01500		
Other biomass	0.01200		

Source: Harry W. Vallack, 2000 [7]

#### ■ Major point sources emission of SO<sub>2</sub>

The major point sources emission of SO<sub>2</sub> for the year 2000 estimated in this study was from power generation sector only. The Thai government has a policy to promote the role of private sectors in power generation since 1994. In relation to this, the government will buy electricity from the power producers which are divided into two groups, namely, Independent Power Producers (IPP) and Small Power Producers (SPP). The power generation capacity of IPP is larger than SPP. Both IPP and SPP generate electricity using mainly natural gas and renewable

energy. Therefore, the emission calculation was done based on types of fuel consumption and the power generating capacity (MW) of each power plant. The detailed information was obtained from the web site of National Energy Policy Office <www.nepo.go.th>. It should be noted that some power plants use more than one type of fuels to generate electricity. In this regard, we assumed that each fuel type produced the same power generation capacity in Mega Watts (MW). It means the SO<sub>2</sub> emission (ton-SO<sub>2</sub>) for each point source can be drawn from the following equation.

# [SO2 emission, ton]<sub>j</sub> = $\underbrace{[\sum_{i} Mega Watts of fuel_{i}]_{j} \times Total SO_{2} emission of fuel_{i}}_{Total Mega Watts of fuel_{j}}$

Where subscript i = fuel type Subscript j = point source

The total  ${\rm SO}_2$  emission of 142,707.61 ton of the point sources emission estimated in the year 2000 was resulted from the above formula.

■ Total area emission 354,643.39 ton-SO<sub>2</sub>/year

 $(497,351 - 142,707.61 = 354,643.39 \text{ ton-SO}_2/\text{year}).$ 

■ Spatial disaggregation of the area emission

#### Disaggregating by population density:

The  $SO_2$  emission (ton- $SO_2$ ) in each grid was calculated based on the total population of 60.869,899 heads as follow.

#### Emission (ton) in gridi

= Total area emission x Population in  $grid_i$ Total population

#### Disaggregating by land use:

Similar to the emission estimated in the year 1994, the emission by economic sectors are grouped to determine the total SO<sub>2</sub> emission of

each land use category according to the Arc view application as shown in Table 6. We assumed no  $SO_2$  emission from forest, golf course, water and miscellaneous.

#### 2.2.2 NO<sub>x</sub> emission in the year 2000

The  $\mathrm{NO_x}$  emission in the year 2000 was calculated based on the same procedure as  $\mathrm{SO_2}$  emission for the same year. The calculation was done by the following equation.

#### No<sub>x</sub> emission

= Fuel consumption x Emission Factor ......(3)

Where, fuel consumption data were taken from DEDP report 2000. The regional emission factors in the paper of H. W. Vallack, 2000 (the paper entitled "Emission inventories for anthropogenic sources of  $SO_2$  and  $NO_x$  in developing country regions in 1995 and projected emissions of  $SO_2$ ,  $NO_x$  and  $NH_3$  for 2025 and 2050") were used in equation (3).

Table 6 The total SO<sub>2</sub> emission of each land use category in the year 2000

(ton-SO<sub>2</sub>/year)

Land use in Arc view	Emission by economic sectors (ton)	Total emission in each land use category (ton)
Industrial area	Industry = 298,630.97 Mining = 50.10	298,681
Urban area	Resident & Com. = 3,891.43 Construction = 933.03	4,824
Agriculture area	Agricultural = 10,348.11	10,348
Transport area	Transport = 40,789.75	40,790

The estimated national total  $NO_2$  emissions, which were calculated, based on fuel consumption by socio-economic sectors and the major fuel types using equation 3 are 709,395.50 ton- $NO_2$ /year.

#### ■ Major point sources emission of NO<sub>x</sub>

The same calculation method as  $SO_2$  point source emission was performed for  $NO_x$  emission. The total  $NO_2$  emission of 167,551.29 ton of the point sources emission estimated in the year 2000 was obtained.

# ■ Total area emission 541,844 ton-NO<sub>2</sub>/year (709,396 - 167,551 = 541,844 Ton/year).

### ■ Spatial disaggregating of the area emission

#### Disaggregating by population density:

The  $\mathrm{NO_x}$  emission (ton- $\mathrm{NO_2}$  per year) in each grid was calculated based on the total population of 60,869,899 heads as follow.

#### Emission (ton) in grid;

= Total area emission x Population in  $grid_i$ Total population

#### Disaggregating by land use:

Similar to the emissions estimated in the year 1994, the emissions by economic sectors

are grouped to determine the total  $NO_x$  emission of each land use category according the Arc view application as shown in Table 7. We assumed no  $NO_x$  emission from forest, golf course, water and miscellaneous.

#### III. Results and Discussion

It should be noted that SO2 has significantly decreased from 1994 to 2000. This is because Thailand has done a lot of efforts to control the SO2 emission after the SO2 emission episode caused by Mae-Moh thermal power plant in 1994 in the northern part of Thailand. While NO2 emission continues to increase year by year since 1994. This may due to the emission from mobile sources, which the number of vehicles registered have significantly increased in the major cities. The same emission trend has been found based on the emission estimates from other studies as shown in Figure 1.

In terms of the total emission estimates, the results of ERTC study are consistent with the emission estimated by the Department of Energy Development and Promotion. While the emission is found slightly high compare with the estimation in the Pollution Control Department report 2002 (studied by Japan International Cooperation Agency). The comparison results are shown in the Table 8.

Table 7 The total NO<sub>2</sub> emission of each land use category in the year 2000

(ton-SO<sub>2</sub>/year)

Land use in Arc view	Emission by economic sectors (ton)		omic	Total emission in each land use category (ton)
Industrial area	Industry Mining	=	178,859 157	179,016
Urban area	Resident & Com. Construction		41,012 2,122	43,134
Agriculture area	Agricultural	=	56,877	56,877
Transport area	Transport	=	262,818	262,818

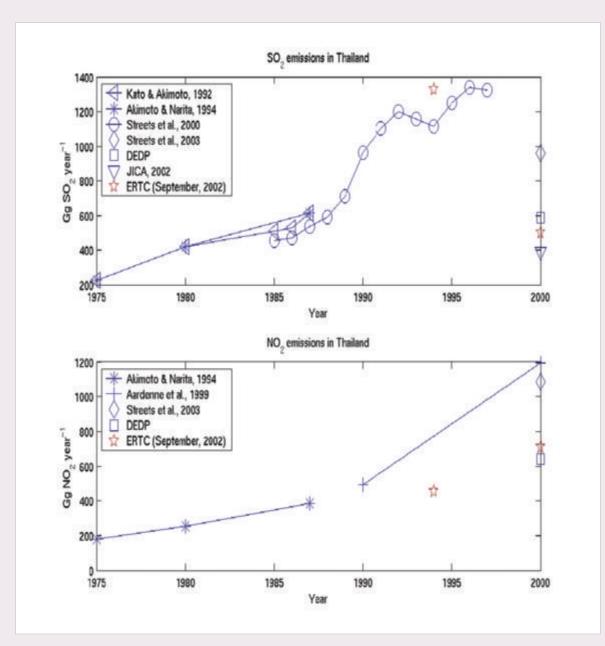


Figure 1. Trend of  $SO_2$  and  $NO_2$  emissions in Thailand based on different studies.

Table 8 Comparison of the total emission in the year 2000 with other studies

	Total SO <sub>2</sub> emission (ton)	Total NO <sub>2</sub> emission (ton)
ERTC study	497,351	709,396
DEDP <sup>(1)</sup>	587,000	640,000
JICA study <sup>(2)</sup>	387,888	NA*

- (1) Department of Energy Development and Promotion
- (2) Japan International Cooperation Agency report 2002.
- \* not available

#### IV. Conclusion

By using the emission inventory data of the year 2000 compiled by ERTC, a general feature is that  $SO_2$  concentrations were overestimate and  $NO_2$  concentrations were underestimate in the model at the seven regional monitoring sites. However, the measured and modeled results of air pollutant levels and deposition of  $SO_2$  and  $NO_2$  agree within a factor of two, which is considered a successful result. Contrary to the results of  $NH_3/NH_4^+$ , in which the emission inventory for Thailand has not been established, showed less good agreement in the study. It reveals that the more general emission data from a global emission inventory are less representative for the conditions in Thailand for the modeling.

#### References

- ISBN 1 853 12 5172 Computational Mechanics Publications, Southampton, UK and Boston, USA.
- Pollution Control Department, Air and Noise Pollution Emission Database 1994, PCD. 03-009.

- Department of Energy Development and Promotion (DEDP), Thailand Energy Situation 1994, ISSN 0857-8494.
- Department of Energy Development and Promotion (DEDP), Thailand Energy Situation 2000, ISSN 0857-8486.
- Pollution Control Department, The study on the Acid Deposition Control Strategy in the Kingdom of Thailand 2002, SUURI-KEIKAKU Co.,Ltd., Pacific Consultants International, under the support of Japan International Cooperation Agency (JICA).
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) 1996. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Reference manual vol.3.
- Vallack, H.W., 2000. Emission Inventories for Anthropogenic sources of SO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> in Developing Country Regions in 1995 and Projected Emissions of SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, and NH<sub>3</sub> for 2025 and 2050, Stockholm Environmental Institute at York (SEI-Y), University of York, York YO10 5YW, UK.
- 8. http://www.cgrer.uiowa.edu/emission\_data/index\_16.htm



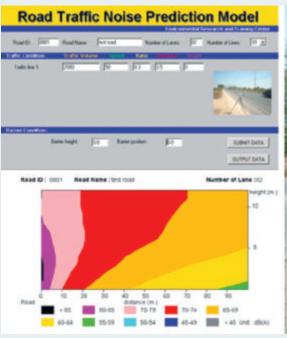




### การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์คาดการณ์ระดับเสียง จากการจราจรทางราบ

### The Development of Road Traffic Noise Prediction Model

ธนาพันธ์ สุกสอาด ผกา สุขเกษม ผัฐพงศ์ จันทร์สมบัติ วิรัช เอื้อทรงธรรม ธนาวุธ โนราช มนตรี จันเล็ก กิตติพันธ์ เชี่ยงเชียว





#### **Abstract**

Road Traffic Noise Prediction Model had been developed by Environmental Research and Training Center, Department of Environmental Quality Promotion, for Environmental Impact Assessment (EIA) in Thailand. By the noise level measurement of 5,330 running vehicles, the mathematical equation for noise prediction was established and tested for accuracy with the measurement data from 2, 4, 6, 8 and 10 lane roads. As the result, the prediction noise levels are almost the same as the measurement noise levels at the distance of 0 to 99 meters from roadside and at

the height of 1 to 12 meters. This model can be used with any traffic volume but the traffic velocity must be in between 30 km/hr. and 140 km/hr. Moreover, it is found that it has more accuracy than TNM 1.0 under the same traffic condition in Thailand.

#### บทคัดย่อ

ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม ได้ศึกษาและพัฒนาแบบ จำลองทางคณิตศาสตร์คาดการณ์ระดับเสียงจากการจราจรบนถนนทางราบ เพื่อใช้ในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมทางด้านเสียงจากการจราจรทางราบ โดย

<sup>&</sup>lt;sup>a</sup>ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม เทคโนธานี ต.คลองหัว อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120 โทร. 0 2577 4182-9 โทรสาร 0 2577 1138 Environmental Research and Training Centre, Department of Environmental Quality Promotion, Technopolis, Klong5, Klong Luang, Pathumthani 12120 E-mail: thanapan@deqp.go.th

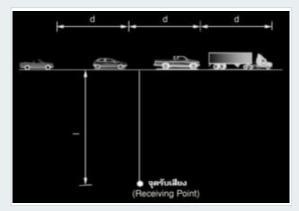
ทำการศึกษาระดับเสียงเฉลี่ยของรถยนต์แต่ละประเภท เพื่อแบ่งประเภทของรถยนต์และตรวจวัดระดับเสียงจาก รถยนต์ที่วิ่งบนท้องถนนจำนวน 5,330 คัน เพื่อหาค่า ความสัมพันธ์ของระดับเสียงและปัจจัยอื่นๆ สำหรับใช้ ในการสร้างสมการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ตลอด จนทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองฯ กับถนน 2 4 6 8 และ 10 เลน พบว่า ค่าระดับเสียงที่ได้จากการ คาดการณ์โดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ใกล้เคียงกับ ระดับเสียงที่ได้จากการตรวจวัดในพื้นที่จริง ซึ่งแบบ จำลองนี้สามารถใช้คาดการณ์ระดับเสียง ที่ระยะ 0 เมตร ถึง 99 เมตร จากบริเวณริมถนน และ ที่ระดับความสูง 1-12 เมตร และไม่จำกัดปริมาณการจราจร แต่จำกัด ความเร็วเฉลี่ยของการจราจร คือ มากกว่า 30 กิโลเมตร ต่อชั่วโมง และไม่เกิน 140 กิโลเมตรต่อชั่วโมง นอกจากนี้ ยังได้ทำการศึกษาการเปรียบเทียบผลการทำนายกับ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งผลการศึกษาพบว่า แบบจำลองฯนี้มีประสิทธิภาพ ในการทำนายได้ใกล้เคียงกว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ของประเทศสหรัฐอเมริกาภายใต้เงื่อนไขการจราจร เดียวกัน

### 1. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้น

การศึกษานี้เป็นการพัฒนาแบบจำลองทาง
คณิตศาสตร์คาดการณ์ระดับเสียงจากการจราจรโดย
ใช้ข้อมูลระดับเสียงที่ตรวจวัดจากรถยนต์บนถนนที่มี
รูปแบบค่อนข้างง่ายไม่พลุกพล่านและอยู่ภายใต้ข้อ
กำหนดดังนี้ คือ

- 1. ให้รถยนต์เป็นแหล่งกำเนิดเสียงที่มีทิศทาง โดยรอบและกระจายแบบครึ่งทรงกลม
  - 2. รถยนต์วิ่งบนถนนที่เป็นเส้นตรงและยาว
- 3. ความเร็วของรถยนต์คงที่และมีระยะห่าง ระหว่างรถเท่าๆ กัน
- 4. รถยนต์แต่ละคันมี Sound Power Level (PWL) เท่าๆ กัน
- 5. พื้นที่บริเวณรอบแหล่งกำเนิดเสียงเป็น พื้นที่เรียบและสะท้อนเสียง

รูปแบบของการสร้างสมการเพื่อพัฒนาแบบ จำลองทางคณิตศาสตร์ ระดับเสียงที่จุดรับเสียง (Receiving point) ได้จากการรวมระดับเสียง (เดซิเบล) ที่เกิดจากรถแต่ละคันที่แล่นผ่านจุดรับเสียงและจะได้ สมการพื้นฐาน ดังนี้



รู**ป** 1 แสดงรูปแบบของการสร้างแบบจำลอง ทางคณิตศาสตร์

$$L_{eq} = PWL - 10 log_{10} 2 ld$$

เมื่อ PWL = ระดับกำลังของแหล่งกำเนิดเสียงของ รถแต่ละคัน(dB(A))

1 = ระยะห่างจากแหล่งกำเนิดเสียงถึงจุดรับเสียง (m.)

d = ระยะห่างเฉลี่ยของรถแต่ละคัน (m.)

#### d = 1000 V/Q

เมื่อ V = ความเร็วเฉลี่ยของการจราจร (km/hr.)

Q = ปริมาณการจราจร (cars/hr.)

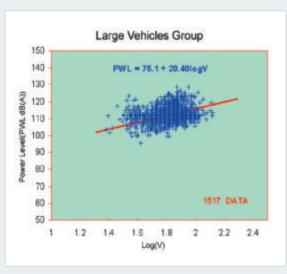
#### 2. พลการศึกษาวิจัย

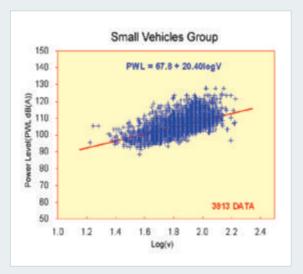
จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าระดับ กำลังของเสียงและประเภทของรถยนต์ในประเทศไทย สามารถแบ่งประเภทของรถยนต์ที่ใช้ในประเทศไทย ออกได้เป็น 2 กลุ่ม โดยใช้ค่าระดับเสียงเป็นเกณฑ์ คือ กลุ่มรถใหญ่ คือ รถยนต์ที่มีจำนวนล้อมากกว่า 4 ล้อ ขึ้นไป เช่น รถบรรทุก รถบัส เป็นต้น และกลุ่มรถเล็ก คือ รถยนต์ที่มีจำนวนล้อตั้งแต่ 4 ล้อลงมา เช่น รถ กระบะ รถยนต์นั่งส่วนบุคคล รถจักรยานยนต์ รถ สามล้อ เป็นต้น สำหรับค่า PWL ของรถยนต์แต่ละกลุ่ม เป็นดังต่อไปนี้

PWL (กลุ่มรถใหญ่) = 75.1 + 20.4logV

PWL (กลุ่มรถเล็ก) = 67.8 + 20.4logV

และ PWL (กลุ่มรถใหญ่) = PWL (กลุ่มรถเล็ก) + 7.3 dB





รูป 2 แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าระดับเสียง PWL กับค่าลอการิทึมของความเร็วรถยนต์ ของกลุ่มรถใหญ่และกลุ่มรถเล็ก

เมื่อให้ a = อัตราส่วนของจำนวนรถใหญ่ต่อจำนวนรถทั้งหมดจะได้ว่า

 $PWL = 67.8 + 20.4 \log V + 10 \log ((1-a) + 5.37a)$ 

และเมื่อนำไปแทนค่าในสมการพื้นฐานจะได้สมการที่ใช้ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นี้คือ

Leq = 
$$67.8 + 20.4 \log V + 10 \log ((1-a) + 5.37a) - 10 \log 21d + L_d + L_g$$

เมื่อ

Ld = The correction value by diffraction attenuation

Lg = The correction value by ground surface attenuation

# The correction value by diffraction attenuation $(L_a)$

เป็นค่าแก้อันเนื่องมาจากการเลี้ยวเบนของ เสียง ถ้ามีสิ่งกีดขวางเช่น กำแพง อาคาร เป็นต้น ใน ระหว่างที่เสียงเดินทางผ่านจากจุดรับเสียงไปยังจุดรับ เสียง เสียงสามารถเดินทางผ่านไปหลังสิ่งกีดขวางได้ ซึ่งเรียกว่า การเลี้ยวเบนของเสียง การเลี้ยวเบนของ เสียงก็เป็นค่าแก้ค่าหนึ่งซึ่งจะต้องคำนึงถึงในเรื่องของ ความสูงของสิ่งกีดขวาง ตำแหน่งของแหล่งกำเนิด เสียงและจุดรับเสียง และระยะห่างระหว่างสิ่งกีดขวาง กับถนน

สำหรับวิธีการคำนวณในการหาค่าแก้อันเนื่องมา จากการเลี้ยวเบนของเสียงเมื่อมีสิ่งกีดขวาง คณะผู้วิจัย ใช้ค่าที่ได้ทำการศึกษาและใช้อย่างแพร่หลายในประเทศ ญี่ปุ่น

# The correction value by ground surface attenuation $(L_a)$

เป็นค่าแก้อันเนื่องมาจากการดูดซับเสียงของ พื้นที่บริเวณจุดรับเสียง และปัจจัยอื่นๆ ค่า  $L_{\rm g}$  ที่ใช้เป็น ค่าที่ได้จากการศึกษาความสัมพันธ์ของค่าที่ได้จากการ คาดการณ์โดยแบบจำลองฯ กับค่าที่ได้จากการตรวจวัด ในพื้นที่จริง และสร้างสมการความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้น ซึ่ง ค่า  $L_{\rm g}$  แสดงในตาราง 1

### การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองทาง คณิตศาสตร์ (NMTHAI 1.20)

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นใช้ชื่อ ย่อว่า NMTHAI 1.20 จากการทดสอบความถูกต้อง ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กับถนน 2 4 6 8 และ 10 เลน ที่ระยะห่างจากริมถนน 1 2 5 10 20 40 60

ตาราง 1 แสดงค่าแก้อันเนื่องมาจากการดูดซับเสียงของพื้นที่จุดรับเสียงที่ความสูงต่างๆ

ความสูงของจุดรับเสียง	จำนวนข้อมูล	Regression Coefficient			
(m.)	พ โพ ายามคู่เต	$\mathfrak{b}_0$	<b>b</b> <sub>1</sub>		
1.2	570	-0.62	-0.11		
3.0	293	-0.59	-0.07		
5.0	57	-0.69	-0.04		
7.0	78	-0.80	-0.027		
10.0	46	-1.43	-0.01		

$$L_{\sigma} = b_0 + b_1(1)$$

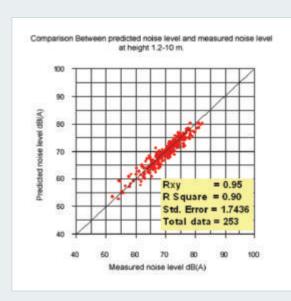
1 = distance from a line to a receiving point (m.)

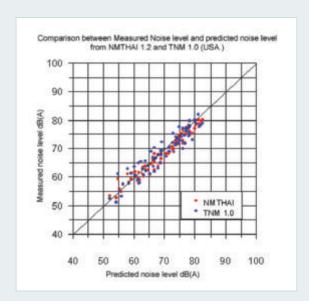
และ 80 เมตร และที่ระดับความสูง 1.2 ถึง 10 เมตร จำนวนข้อมูลทั้งหมด 253 ข้อมูล ซึ่งเมื่อนำข้อมูล ดังกล่าวมาเปรียบเทียบเพื่อหาค่าความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าที่ได้จากการตรวจวัดจริงกับค่าที่ได้จากการคำนวณ โดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้น ที่ระดับ ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ มีค่าเท่ากับ 0.95 ค่าความคาดเคลื่อนมาตรฐานของการ ประมาณเท่ากับ 1.74 และค่าประสิทธิภาพของการ ทำนายเท่ากับร้อยละ 90 ผลการเปรียบเทียบแสดงใน รูป 3 (ซ้าย) สำหรับการทดสอบแบบจำลองทาง คณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้น (NMTHAI 1.20) กับแบบ จำลองทางคณิตศาสตร์ของประเทศสหรัฐอเมริกา (TNM 1.0) นั้น ได้การทดสอบเปรียบเทียบนี้ที่ระดับความสูง 1.2 ถึง 1.5 เมตร ที่ระยะห่างจากริมถนน 1 2 5 10 20

40 60 และ 80 เมตร โดยนำข้อมูลที่ได้จากการคำนวณ โดยแบบจำลองฯทั้งสอง มาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จาก การตรวจวัดจริง ภายใต้เงื่อนไขการจราจรเดียวกัน (ใน ประเทศไทย) จำนวน 79 ครั้ง ดังแสดงในรูป 3 (ขวา) ซึ่งจากการทดสอบทางสถิติ linear regression ของ ค่าที่ได้จากการตรวจวัดจริงกับค่าที่ได้จากการคาดการณ์ โดยแบบจำลองทั้งสอง พบว่า NMTHAI 1.20 มีค่า สัมประสิทธิ์สัมพันธ์ ค่าประสิทธิภาพการทำนาย สูงกว่า TNM 1.0 ส่วนค่าความคาดเคลื่อนจากเส้นความสัมพันธ์ ของ NMTHAI 1.20 มีค่าน้อยกว่า TNM 1.0

## 3. สรูปพลการวิจัย

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นให้ชื่อว่า "โปรแกรมแบบจำลองทางคณิตศาสตร์คาดการณ์





รูป 3 (ซ้าย) แสดงผลการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (NMTHAI 1.20) ที่ระดับความสูงต่างๆ (ขวา) แสดงผลการเปรียบเทียบความถูกต้องระหว่าง NMTHAI 1.20 และ TNM 1.0

### ระดับเสียงจากการจราจรบนถนนทางราบ เวอร์ชั่น 1.20"

(Road Traffic Noise Prediction Model V.1.20) และมีชื่อย่อว่า NMTHAI 1.20 ซึ่งสามารถเรียกใช้งาน ได้ที่ http://www.ertc.deqp.go.th โปรแกรมนี้สามารถ คาดการณ์ระดับเสียงที่ระยะห่างจากริมถนน 0 ถึง 99 เมตร และที่ระดับความสูง 1-12 เมตร โดยมีค่าความ คาดเคลื่อนมาตรฐานประมาณ 1.7 dB(A) ที่ระดับความ เชื่อมั่น 95% โดยแบบจำลองฯ สามารถใช้กับถนน 2 4 6 8 และ 10 เลน ที่เป็นพื้นราบ และไม่จำกัดปริมาณการ จราจร แต่จำกัดความเร็วของรถยนต์เฉลี่ยที่วิ่งผ่าน คือ มากกว่า 30 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และไม่เกิน 140 กิโลเมตรต่อชั่วโมง โดยใช้คาดการณ์ที่ระดับความสูง 1-12 เมตรจากพื้นถนนเท่านั้น ซึ่งแบบจำลองฯที่พัฒนา ขึ้นนี้สามารถคาดการณ์ระดับเสียงได้ใกล้เคียงกับค่าที่ ได้จากการตรวจวัดจริงมากกว่าแบบจำลองทาง คณิตศาสตร์ของประเทศสหรัฐอเมริกา (TNM 1.0) ภายใต้เงื่อนไขการจราจรในประเทศไทย

### กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้ศึกษาใคร่ขอขอบคุณ Mr.Hideo TANAKA ผู้เชี่ยวชาญด้านเสียงและความสั่นสะเทือน จากประเทศญี่ปุ่นที่ให้การช่วยเหลือและคำแนะนำใน ด้านต่างๆ และใคร่ขอขอบคุณเจ้าของสถานที่ที่ให้ ความอนุเคราะห์ในการติดตั้งเครื่องมือเป็นอย่างดี ตลอดระยะเวลาการศึกษาจนทำให้การศึกษาครั้งนี้ ประสพความสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

#### เอกสารอ้างอิง

- 1. ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริม คุณภาพสิ่งแวดล้อม, การพัฒนาแบบจำลองทาง คณิตศาสตร์คาดการณ์ระดับเสียงจากการจราจร, ปทุมธานี ประเทศไทย (2538)
- สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, รายงานการฝึกอบรมเรื่องการศึกษาผลกระทบ ด้านสิ่งแวดล้อมด้านอากาศและเสียง โครงการถนน และทางด่วน ทางยกระดับ 4-5 กุมภาพันธ์ 2534 กรุงเทพฯ (2534)
- 3. Y. Adachi, M. Ishida, Some fundamental investigations on sound pressure level. Civil Engineering Journal 1981; 23(12)
- 4. K. Ishii, Prediction of road traffic noise (part 1) method of practical. The Journal of Acoustical



## การศึกษาพลกระทบของระดับเสียงและความสั่นสะเทือน บริเวณสถานีรถไฟฟ้า

Study on the effect of noise and vibration on the BTS platform

วิรัช เอื้อทรงธรรม ผกา สุขเกษม ณัฐพงศ์ จันทร์สมบัติ 
ธนาวุธ โนราช Ken OKADA



### **Abstract**

In this study, the Equivalent Sound Pressure Level ( $L_{eq}$ ) and Maximum Level ( $L_{max}$ ) were measured for noise measurement, and the Acceleration Vibration Level ( $L_{val}$ ) was measured for vibration measurement. The measurement points had been set at Saladaeng and Mo Chit station. As the result, the noise level at Saladaeng station (on the platform) was rather high. The main noise source is the reflected noise from the road traffic under the platform and the maximum noise level was about 85 dBA. The vibration level on the platform was rather low

which it has no effect to the station structure and human health. The vibration level on X axis was 63 dB, Y axis was 71.5 dB and Z axis was 75 dB. Under Saladaeng station, the noise level was rather high because the structure of station was built cover the road and it made the reflection of sound. Therefore, the noise level was increased. The equivalent sound pressure level (5 minutes) under the station was about 82 dBA.

### บทคัดย่อ

ในการศึกษานี้ ได้ทำการตรวจวัดระดับเสียงเป็น ค่าระดับเสียงเฉลี่ย ( $L_{\rm eq}$ ) และค่าระดับเสียงสูงสุด ( $L_{\rm max}$ )

<sup>a</sup>ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม เทคโนธานี ต.คลองหัก อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120 โทร. 0 2577 4182-9 โทรสาร 0 2577 1138 Environmental Research and Training Centre, Department of Environmental Quality Promotion, Technopolis, Klong5, Klong Luang, Pathumthani 12120 E-mail: wirach@deqp.go.th <sup>b</sup>ผู้เชี่ยวชาญด้านเสียงและความสั่นสะเทือนจากประเทศญี่ปุ่น JICA

สำหรับระดับความสั่นสะเทือนตรวจวัดเป็นค่าระดับ ความสั่นสะเทือนเนื่องจากความเร่ง (L<sub>val</sub>) โดยทำการ ศึกษาที่บริเวณสถานีรถไฟฟ้าศาลาแดงและสถานี หมกหิต ซึ่งค่าระดับเสียงบนชานชาลาสถานีมีค่า ค่อนข้างสง โดยแหล่งกำเนิดเสียงส่วนใหญ่มาจาก การจราจรใต้สถานีสะท้อนขึ้นมายังบนสถานี ค่าระดับ เสียงสูงสุดที่วัดได้เท่ากับ 85 เดซิเบลเอ ค่าระดับความ สั่นสะเทือนที่เกิดจากรถไฟฟ้าบนชานชาลาสถานีมีค่า ต่ำมาก ซึ่งค่าในระดับนี้จะไม่ส่งผลกระทบต่อโครงสร้าง ของสถานีและประชาชนที่ใช้บริการรถไฟฟ้า ค่าระดับ ความสั่นสะเทือนสูงสุดที่วัดได้ ในแนวแกน X เท่ากับ 63 เดซิเบล แกน Y เท่ากับ 71.5 เดซิเบล และแกน Z เท่ากับ 75 เดซิเบล สำหรับค่าระดับเสียงบริเวณใต้ สถานีรถไฟฟ้าศาลาแดงซึ่งปกติมีค่าสูงอยู่แล้ว ประกอบ กับโครงสร้างของสถานีรถไฟฟ้าทำให้ค่าระดับเสียงใต้ สถานีสูงขึ้นเนื่องจากเกิดการสะท้อนของเสียง โดยมีค่า ระดับเสียงเฉลี่ย 5 นาที เท่ากับ 82 เดซิเบลเอ

### 1. unun

ปัจจุบันกรุงเทพมหานครได้มีการนำระบบ ขนส่งมวลชนขนาดใหญ่ คือ ระบบขนส่งมวลชน กรุงเทพ (รถไฟฟ้าบีทีเอส) มาให้บริการแก่ประชาชน เพื่อแก้ปัญหาการจราจรในเขตกรุงเทพมหานคร ซึ่งใน แต่ละวันมีประชาชนในเขตกรุงเทพฯ และในเขต ปริมณฑล เดินทางมาใช้บริการรถไฟฟ้าเป็นจำนวนมาก ในปัจจุบันรถไฟฟ้าบีทีเอสแล่นผ่านเส้นทางที่มีการ จราจรหนาแน่น ซึ่งจากการตรวจวัดระดับเสียงพื้นฐาน (Background noise) ที่ผ่านมาพบว่าระดับเสียงใน บริเวณดังกล่าว มีระดับค่อนข้างสูงอันเนื่องมาจาก ปริมาณการจราจรบนถนนที่หนาแน่น การก่อสร้างรถไฟ ฟ้าบีทีเอสจะทำให้ปัณหาการจราจรคลี่คลายลงซึ่งจะ ช่วยทำให้ระดับเสียงจากการจราจรลดลงด้วยหรือไม่ ระดับเสียงและความสั่นสะเทือนบริเวณชานชาลาสถานี เมื่อรถไฟฟ้าแล่นเข้าและออกจะมีระดับสูงจนอาจส่ง ผลกระทบต่อผู้โดยสารด้วยหรือไม่นั้นเป็นสิ่งที่น่าสนใจ เนื่องจากรถไฟฟ้าบีทีเอสเป็นโครงการรถไฟฟ้าโครงการ แรกของประเทศไทย การศึกษาระดับเสียงและความ สั่นสะเทือนบริเวณสถานีรถไฟฟ้า และการประเมินผล กระทบต่อสุขภาพของประชาชนจึงเป็นสิ่ง จำเป็นเพื่อ ใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการควบคุมระดับเสียงและความ สั่นสะเทือนที่เกิดจากรถไฟฟ้าและจะเป็นประโยชน์อย่าง ยิ่งต่อการพิจารณาการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าอื่นๆ ต่อไป

### 2. วิธีการศึกษา

2.1 ตรวจวัดระดับเสียงบนชานชาลาสถานี รถไฟฟ้าศาลาแดง โดยติดตั้งไมโครโฟนสูงจากพื้น 1.2 เมตร ที่ระยะห่างจากขอบชานชาลา 2 เมตร จำนวน 4 จุด ดังแสดงในรูป 1 ตามความยาวของ รถไฟฟ้าโดยตรวจวัดระดับเสียงเป็นค่าระดับความดัน เสียง (Sound pressure level,  $L_p$ ) โดยตั้งค่า Time constant เป็น Fast และตั้งค่าวงจรถ่วงน้ำหนักเป็น Flat (F) มีหน่วยเป็น เดซิเบล (Decibel) และบันทึก สัญญาณเสียงลงเทป (Digital Audio Tape, DAT)

2.2 ตรวจวัดระดับความสั่นสะเทือนบน ชานชาลาสถานีรถไฟฟ้าศาลาแดง โดยวางอุปกรณ์ตรวจ วัดอัตราเร่งของความสั่นสะเทือน (Accelerometer) บนพื้นชานชาลาที่ระยะห่างจากขอบชานชาลา 1.5 เมตร จำนวน 4 จุด ดังแสดงในรูป 1 โดยตรวจวัดเป็นค่า ระดับความสั่นสะเทือนเนื่องจากความเร่ง (Acceleration vibration level,  $L_{val}$ ) ทั้ง 3 แกน ประกอบด้วยแกน X แกน Y และแกน Z มีหน่วยเป็น เดซิเบล โดยใช้ ค่าอ้างอิง  $a_0$ = $10^{-5}$  เมตร/วินาที $^2$ [1] พร้อมทั้งบันทึก สัญญาณระดับความสั่นสะเทือนลงเทป DAT กำหนด แนวแกน X คือ แนวขนานกับรางรถไฟฟ้า แนวแกน Y คือ แนวตั้งฉากในแนวนอนกับรางรถไฟฟ้าและแนว แกน Z คือ แนวตั้งฉากในแนวตั้งกับรางรถไฟฟ้า

2.3 ตรวจวัดระดับเสียงจากการจราจร บริเวณใต้สถานีรถไฟฟ้าศาลาแดง จำนวน 7 จุด ดังแสดงในรูป 1 โดยตรวจวัดในช่วงเวลาชั่วโมงเร่งด่วน และช่วงเวลาปกติ ช่วงละ 2 ครั้ง ครั้งละ 10 นาที และบันทึกสัญญาณเสียงลงเทป DAT

2.4 ตรวจวัดระดับเสียงจากการจราจรที่ใต้ สถานีรถไฟฟ้าหมอชิตจำนวน 1 จุด และที่ระยะ 50 เมตร จากตัวสถานี จำนวน 1 จุด โดยตรวจวัดในช่วงเวลาเช่น เดียวกับข้อ 2.3 ดังแสดงในรูป 2

2.5 นำข้อมูลเสียงที่ได้บันทึกลงเทปจากการ ตรวจวัดในข้อ 2.1 2.3 และ 2.4 มาหาค่า  $L_{max}$  และ  $L_{eq}$  (เฉพาะข้อ 2.4) เพื่อให้ทราบค่าระดับเสียงที่บน ชานชาลาสถานีรถไฟฟ้าและบริเวณใต้สถานีรถไฟฟ้า

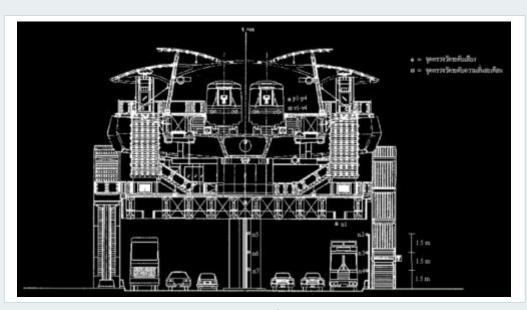
2.6 นำข้อมูลความสั่นสะเทือนที่ได้บันทึกลง เทป จากการตรวจวัดในข้อ 2 มาวิเคราะห์ความถี่โดยใช้ Real time frequency analyzer เพื่อให้ทราบค่า ระดับความสั่นสะเทือนแต่ละความถี่

2.7 ประเมินผลกระทบของเสียงและความ สั่นสะเทือนจากรถไฟฟ้าบนชานชาลาสถานีและบริเวณ ใต้สถานี ที่มีต่อประชาชนที่ใช้บริการหรือที่อาศัยอยู่ บริเวณใกล้เคียงสถานีรถไฟฟ้า

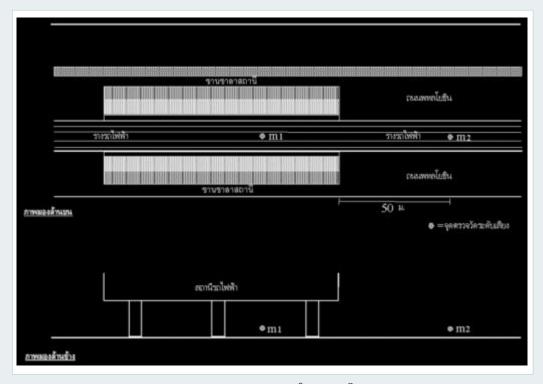
### 3. พลการศึกษาและวิจารณ์

3.1 ผลการตรวจวัดระดับเสียงบนชานชาลา สถานีรถไฟฟ้าศาลาแดง

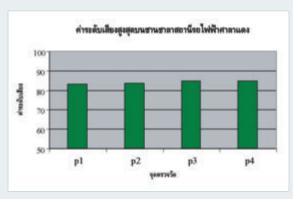
กราฟในรูป 3 แสดงค่าระดับเสียงสูงสุด  $(L_{max})$  บนสถานีรถไฟฟ้าศาลาแดง โดยคำนวณจากรถไฟฟ้า จำนวน 5 ขบวน และมีช่วงเวลาในการพิจารณาค่า ระดับเสียง ตั้งแต่รถไฟฟ้าเริ่มแล่นเข้าสถานี จอดรับส่ง ผู้โดยสาร จนกระทั่งแล่นออกจากสถานีประมาณ 1-



รูป 1 แสดงจุดตรวจวัดระดับเสียงและความสั่นสะเทือนบริเวณสถานีรถไฟฟ้าศาลาแดง



รูป 2 แสดงจุดตรวจวัดระดับเสียงใต้สถานีรถไฟฟ้าหมอชิต

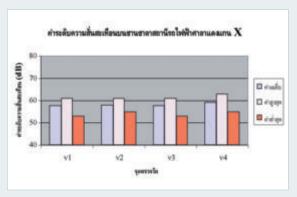


รูป 3 กราฟแสดงค่าระดับเสียงสูงสุด บนชานชาลาสถานีศาลาแดง

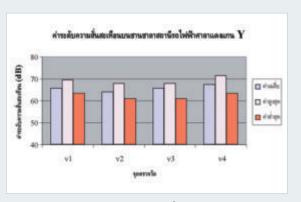
1.20 นาที ซึ่งเวลาอาจจะมากกว่าหรือน้อยกว่า พบว่ามี ค่าระดับเสียงสูงสุดอยู่ในช่วง 83-85 เดซิเบลเอ โดย ระดับเสียงที่เกิดขึ้นตลอดทั้งวันบนชานชาลาสถานี ส่วนใหญ่มาจากยานพาหนะที่แล่นผ่านไปมาใต้สถานี ซึ่งมีลักษณะเสียงที่ไม่คงที่ สำหรับเสียงที่เกิดจากรถไฟ ฟ้าจะเกิดขึ้นเฉพาะช่วงที่รถไฟฟ้าแล่นเข้าและแล่นออก จากสถานีเท่านั้น

3.2 ผลการตรวจวัดระดับสั่นสะเทือนบนชาน ชาลาสถานีรถไฟฟ้าศาลาแดง

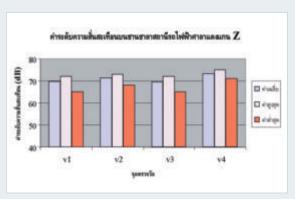
รูป 4 5 และ 6 แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือน เฉลี่ย ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุด โดยคำนวณค่าระดับความ สั่นสะเทือนจากรถไฟฟ้าที่เลือกมาศึกษาจำนวน 3 ขบวน ขณะที่รถไฟฟ้าแล่บเข้าและออกจากสถาบีเห็บว่าแรง สั่นสะเทือนในแกน Z มีค่าสูงสุด รองลงมาคือ Y และ X ตามลำดับ ค่าระดับความสั่นสะเทือนสูงสุดที่แกน X มีค่าเท่ากับ 63 เดซิเบล แกน Y มีค่าสูงสุดเท่ากับ 71.5 เดซิเบล และแกน Z มีค่าสูงสุดเท่ากับ 75 เดซิเบล ซึ่ง ค่าสูงสุดที่ตรวจวัดได้อยู่ที่บริเวณรอยต่อระหว่างพื้น ของแต่ละบล็อค (โครงสร้างบนชานชาลาของแต่ละ สถานีประกอบด้วยบล็อคคอนกรีตขนาดใหญ่มาวางต่อ กันไม่ได้เป็นเนื้อเดียวกัน) จึงทำให้มีค่าระดับความ สั่นสะเทือนสูงกว่าจุดตรวจวัดอื่นๆ เพราะเนื่องจากที่ บริเวณปลายของบล็อกคอนกรีตจะมีการสั่นสะเทือน มากกว่าที่ตรงส่วนกลางของบล็อคคอนกรีต สำหรับ ผลกระทบที่มีต่อคนจะพิจารณาที่ระยะเวลาของระดับ ความสั่นสะเทือนที่สามารถรับได้ในแต่ละความถี่ โดย เฉพาะแกน Z ซึ่งเป็นแกนที่ส่งผลกระทบกับคนมาก พบ ว่าค่าระดับความสั่นสะเทือนที่ตรวจวัดได้มีค่าต่ำกว่า มาตรฐาน (ISO 2631)[2] มาก



รูป 4 กราฟแสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนบนชานชาลา สถานีรถไฟฟ้าศาลาแดงแนวแกน X



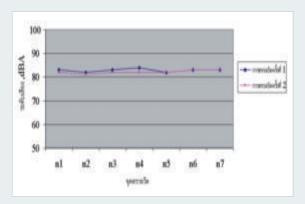
รูป 5 กราฟแสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนบนชานชาลา สถานีรถไฟฟ้าศาลาแดงแนวแกน Y



รูป 6 กราฟแสดงค่าระดับความสั่นสะเอนบนชานชาลา สถานีรถไฟฟ้าศาลาแดงแนวแกน Z.

3.3 ผลการตรวจวัดระดับเสียงบริเวณใต้สถานี รถไฟฟ้าศาลาแดง

รูป 7 และ 8 แสดงค่าระดับเสียง  $L_{eq}$  5 นาที ที่ คำนวณได้จากการตรวจวัดบริเวณใต้สถานีศาลาแดง โดยทำการตรวจวัดในชั่วโมงปกติและในชั่วโมงเร่งด่วน ตามลำดับ ซึ่งในแต่ละช่วงตรวจวัดระดับเสียง 2 ครั้ง พบว่าค่าระดับเสียง  $L_{eq}$  5 นาที ในชั่วโมงเร่งด่วนมีค่า เท่ากันเกือบทุกจุดและในชั่วโมงปกติก็มีค่าเกือบเท่ากัน



รูป 7 กราฟแสดงค่าระดับเสียง ( $L_{eq}$ ) บริเวณ ใต้สถานีศาลาแดงในชั่วโมงปกติ

ทุกจุด แสดงให้เห็นว่าเกิดการสะท้อนของเสียง (Reverberation field) จากการจราจรบริเวณใต้สถานี โดยมี โครงสร้างของสถานีรถไฟฟ้าและอาคารที่ตั้งอยู่ริมถนน เป็นตัวสะท้อนเสียง และจากการตรวจวัดได้ค่า  $L_{\rm eq}$  5 นาที เฉลี่ยเท่ากับ 82 เดซิเบลเอ

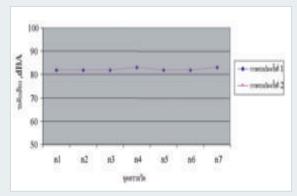
3.4 ผลการตรวจวัดระดับเสียงบริเวณใต้สถานี รถไฟฟ้าหมอชิต

รูป 9 แสดงค่าระดับเสียง  $L_{max}$  และ  $L_{eq}$  5 นาที เฉลี่ยที่คำนวณได้จากการตรวจวัดที่ใต้สถานี หมอชิตและที่ระยะ 50 เมตรจากตัวสถานีหมอชิต โดยตรวจวัดในชั่วโมงเร่งด่วนและชั่วโมงปกติ ช่วงละ 2 ครั้ง พบว่าค่าระดับเสียงเฉลี่ยที่ใต้สถานีมีค่ามากกว่า ระดับเสียงที่จุดนอกสถานี 2-4 เดซิเบลเอ ในช่วงเวลา ตรวจวัดเดียวกัน ยกเว้นค่าระดับเสียงสูงสุดของการ ตรวจวัดในชั่วโมงเร่งด่วนซึ่งมีค่าเท่ากัน

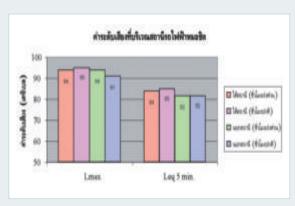
จากผลการศึกษาระดับเสียงและความสั่น สะเทือนทั้งที่บริเวณชานชาลาสถานีและใต้สถานีรถไฟฟ้า พบว่าค่าระดับเสียงมีค่าเกิน 80 เดซิเบลเอ แต่เกิดขึ้น ในช่วงเวลาสั้นๆซึ่งผลกระทบที่เกิดกับประชาชนที่ใช้ บริการหรือสัญจรผ่านไปมานั้นได้รับผลกระทบน้อยมาก สำหรับระดับความสั่นสะเทือนบนชานชาลาสถานีค่าที่ ตรวจวัดได้มีค่าต่ำซึ่งยังไม่ส่งผลกระทบต่อผู้ที่ใช้บริการ รถไฟฟ้า

## 4. สรุปพลการศึกษา

ในการศึกษาระดับเสียงและความสั่นสะเทือนบน ชานชาลาสถานีและระดับเสียงบริเวณใต้สถานีรถไฟฟ้า ศาลาแดง รวมทั้งระดับเสียงบริเวณใต้สถานีรถไฟฟ้า หมกชิต พบว่า



รูป 8 กราฟแสดงค่าระดับเสียง ( $L_{\rm eq}$ ) บริเวณ ใต้สถานีศาลาแดงในชั่วโมงเร่งด่วน



รูป 9 กราฟแท่งแสดงค่าระดับเสียง บริเวณสถานีรถไฟฟ้าหมอชิต

- 4.1 ค่าระดับเสียงบนชานชาลาสถานีมีค่า ค่อนข้างสูง โดยแหล่งกำเนิดเสียงส่วนใหญ่มาจาก การจราจรบริเวณใต้สถานี
- 4.2 ค่าระดับความสั่นสะเทือนที่เกิดจาก รถไฟฟ้าบนชานชาลาสถานีมีค่าต่ำมาก ซึ่งค่าในระดับนี้ จะไม่ส่งผลกระทบต่อโครงสร้างของสถานีและ ประชาชบที่ใช้บริการรถไฟฟ้า
- 4.3 ค่าระดับเสียงใต้สถานีรถไฟฟ้าศาลาแดง เกิดจากการจราจรซึ่งมีค่าสูงอยู่แล้ว แต่ตัวสถานี รถไฟฟ้าทำให้ค่าระดับเสียงใต้สถานีสูงขึ้นเนื่องจากเกิด การสะท้อนของเสียงบริเวณใต้สถานีรถไฟฟ้า
- 4.4 ค่าระดับเสียงใต้สถานีรถไฟฟ้าหมอชิต มีค่าสูงกว่าค่าระดับเสียงที่ระยะ 50 เมตรจากตัว สถานี อยู่ 2-3 เดซิเบลเอ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าบริเวณใต้ สถานี เกิดการสะท้อนของเสียงจริงซึ่งทำให้ระดับเสียง เพิ่มขึ้น

### กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้ศึกษาใคร่ขอขอบคุณ Dr.Ken OKADA ผู้เชี่ยวชาญด้านเสียงและความสั่นสะเทือนจากประเทศ ญี่ปุ่น (JICA) ที่ได้ให้ความรู้และคำแนะนำในการศึกษา ครั้งนี้และขอขอบคุณเจ้าของสถานที่บริษัทระบบขนส่ง มวลชนกรุงเทพ จำกัด ซึ่งอำนวยความสะดวกในการ ปฏิบัติงานและให้ความอนุเคราะห์สถานที่ในการติดตั้ง เครื่องมือเป็นอย่างดีตลอดระยะเวลาการศึกษา จนทำให้ การศึกษาครั้งนี้ประสพความสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

### เอกสารอ้างอิง

- Leo L. Beranek, Noise and Vibration Control, McGraw Hill, 1988
- Evaluation of Human Exposure to Whole-Body Vibration Part 1: General Requirement (ISO 2631/1), International Standard, 1985



## การศึกษาระดับความสั่นสะเทือนบนโครงสร้างของรางรถไฟฟ้า และที่พื้นถนนขณะรถไฟฟ้าแล่นพ่านด้วยความเร็วปกติ

Study of vibration level on railway structure and ground surface when electric train passing with normal speed

วิรัช เอื้อทรงธรรม<sup>\*</sup> ผกา สุขเกษม<sup>\*</sup> ณัฐพงศ์ จันทร์สมบัติ<sup>\*</sup> ธนาวุธ โนราช<sup>\*</sup> Ken OKADA<sup>b</sup>



### Abstract

The vibration level on BTS railway construction was studied in order to investigate the efficiency of isolation material and the vibration level on ground under the platform while BTS trains were passing with normal speed. The measuring point had been set at Saladaeng station on Silom road. The vibration level was measured as vibration acceleration level ( $L_{\rm val}$ ). The efficiency of isolation material can not reduce

the vibration level for parallel with railway line. The vibration level can be reduced about 4-5 decibel for horizontal perpendicular to railway line and about 10 decibel for vertical with railway line. For the vibration at the ground surface of road under BTS platform, the average maximum vibration level on Z axis was 80.2 decibel which consists of the frequency from 31.5 to 63 hertz. This level had no effect to the people who were under Saladeang station.

<sup>a</sup>ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม เทคโนธานี ต.คลองห้า อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120 โทร.0 2577 4182-9 โทรสาร 0 2577 1138 Environmental Research and Training Centre, Department of Environmental Quality Promotion, Technopolis, Klong 5, Klong Luang, Pathumthani 12120 E-mail: wirach@deqp.go.th <sup>b</sup>ผู้เชี่ยวชาญด้านเสียงและความสั่นสะเทือนจากประเทศญี่ปุ่น (JICA)

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาระดับความสั่นสะเทือน าเนโครงสร้างของรางรถไฟฟ้า เพื่อศึกษาประสิทธิภาพ ของวัสดุกันสะเทือนและความสั่นสะเทือนที่พื้นถนน ขณะรถไฟฟ้าแล่นผ่านด้วยความเร็วปกติ โดยเลือกพื้นที่ ศึกษาบริเวณสถานีรถไฟฟ้าศาลาแดง ถนนสีลม และ วัดค่าความสั่นสะเทือนเป็นระดับความสั่นสะเทือน เนื่องจากความเร่ง  $(L_{val})$  พบว่าประสิทธิภาพของวัสดุ กันสะเทือนที่นำมาใช้นี้ไม่สามารถลดค่าระดับความ สั่นสะเทือนได้ในแนวขนานกับรางรถไฟฟ้า สำหรับแนว ตั้งฉากในแนวนอนกับรางรถไฟฟ้าสามารถลดค่าระดับ ความสั่นสะเทือนได้ประมาณ 4 ถึง 5 เดซิเบล และ แนวตั้งฉากในแนวตั้งกับรางรถไฟฟ้าสามารถลดค่าระดับ ความสั่นสะเทือนได้ดีที่สุดประมาณ 10 เดซิเบล สำหรับ ความสั่นสะเทือนที่พื้นถนนในแนวตั้งฉากในแนวตั้งกับ รางรถไฟฟ้าซึ่งเป็นแกนที่ส่งผลกระทบกับคนมากที่สุด มีค่าระดับความสั่นสะเทือนเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 80.2 เดซิเบล ในช่วงความถี่ระหว่าง 31.5 ถึง 63 เฮิรตซ์ โดยความสั่นสะเทือนระดับนี้จะไม่ส่งผลกระทบต่อ ประชาชนที่สัญจรไปมาหรือประกอบกิจกรรมใดๆ ที่ ใต้สถาบีรถไฟฟ้า

### 1. บทน่า

ปัจจุบันกรุงเทพมหานครได้มีการนำระบบขนส่ง มวลชนขนาดใหญ่เข้ามาให้บริการประชาชน เพื่อแก้ไข ปัญหาการจราจรในเขตกรุงเทพมหานคร โดยระบบ ขนส่งมวลชนที่กล่าวถึงคือระบบรถไฟฟ้า BTS ของ บริษัท ระบบขนส่งมวลชนกรุงเทพ จำกัด หรือ BTSC ถึงแม้ว่าระบบรถไฟฟ้าจะถูกออกแบบให้มีอุปกรณ์ ป้องกันการเกิดเสียงรบกวนและความสั่นสะเทือนเป็น อย่างดีแล้วก็ตาม แต่ก็ควรมีการศึกษาระดับเสียงและ ความสั่นสะเทือนจากระบบดังกล่าวเพื่อเป็นข้อมูล พื้นฐาน การศึกษาในครั้งนี้เป็นการศึกษาระดับความ สั่นสะเทือนบนโครงสร้างของรางรถไฟฟ้าและความ สั่นสะเทือนที่ระดับพื้นถนนขณะรถไฟฟ้าแล่นผ่านด้วย ความเร็วปกติ โดยเลือกพื้นที่ศึกษาบริเวณสถานี รถไฟฟ้าศาลาแดง ถนนสีลม การศึกษานี้จะเป็นประโยชน์ ต่อการดำเนินงานของ BTSC และหน่วยงานราชการ ที่เกี่ยวข้อง ทั้งทางด้านนโยบายและการควบคุมดูแล สิ่งแวดล้อม

### 2. วิธีการศึกษา

2.1 ตรวจวัดระดับความสั่นสะเทือนที่ โครงสร้างฐานรางรถไฟฟ้า โดยนำอุปกรณ์ตรวจวัด อัตราเร่งของแรงสั่นสะเทือน (Accelerometer) ยึด ติดกับผิวด้านล่างของโครงสร้างฐานรางรถไฟโดยใช้กาว (Cyanoacrylate adhesive) เป็นจุด p1 โดยกำหนด ให้แนวแกน X คือ แนวเส้นทางขนานกับรางรถไฟฟ้า แนวแกน Y คือ แนวตั้งฉากในแนวนอนกับรางรถไฟฟ้า และแนวแกน Z คือแนวตั้งฉากในแนวตั้งกับรางรถไฟฟ้า ดังแสดงในรูป 1

2.2 ตรวจวัดระดับความสั่นสะเทือนที่โครงสร้าง ของเสารองรับตัวสถานี โดยวาง Accelerometer ไว้ บนด้านบนของเสา เป็นจุด p2 และที่ส่วนล่างของเสา ใกล้ระดับพื้นถนน โดยยึดติด Accelerometer ไว้ที่ผิว ด้านข้างของเสา เป็นจุด p3 โดยกำหนดแนวแกน X Y และ Z ตามข้อ 2.1

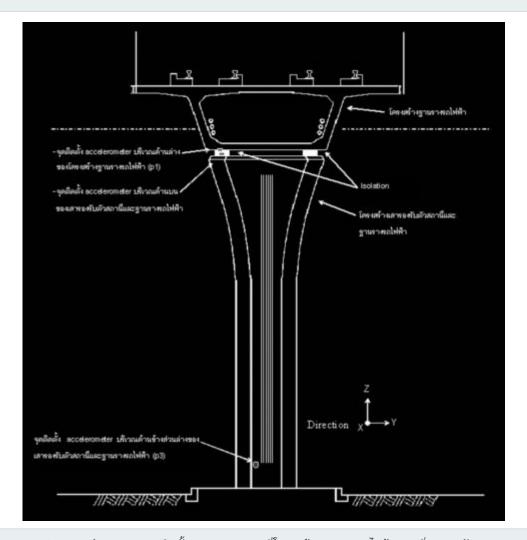
2.3 ตรวจวัดระดับความสั่นสะเทือนที่บริเวณ พื้นถนนที่เกาะกลางถนน 3 จุด เป็นจุด p4 p5 และ p6 และที่ทางเดินเท้าด้านตรงข้าม 1 จุด เป็นจุด p7 โดยกำหนดแนวแกน X Y และ Z ตามข้อ 2.1

2.4 ดำเนินการตรวจวัดระดับความสั่นสะเทือน 2 ครั้ง ครั้งที่ 1 ตรวจวัดระดับความสั่นสะเทือนที่จุด p1 และ p2 พร้อมกัน และครั้งที่ 2 ตรวจวัดระดับความสั่นสะเทือนที่จุด p3 ถึง p7 พร้อมกัน โดยตรวจ วัดระดับความสั่นสะเทือนทุกจุดตรวจวัด เป็นค่าระดับความสั่นสะเทือนทุกจุดตรวจวัด เป็นค่าระดับความสั่นสะเทือนเนื่องจากความเร่ง (Acceleration Vibration Level,  $L_{val}$ ) มีหน่วยเป็นเดซิเบล (decibel) โดยใช้ค่าอ้างอิง  $a_0 = 10^{-5}$  เมตร/วินาที $^2$  [1]

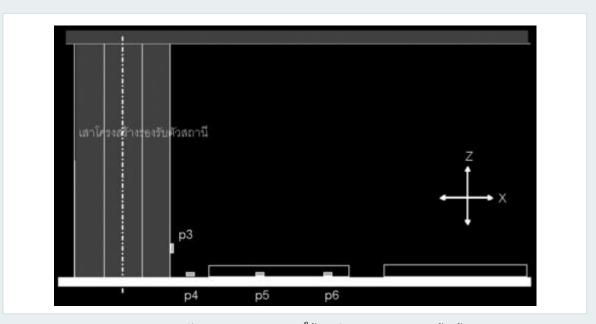
2.5 เปรียบเทียบผลการตรวจวัดระดับความ สั่นสะเทือนของแต่ละจุดตรวจวัด

2.5.1 เปรียบเทียบค่าระดับความสั่น สะเทือนระหว่างจุดตรวจวัดด้านล่างของโครงสร้างฐาน รางรถไฟฟ้า (p1) กับจุดตรวจวัดด้านบนของเสารองรับ ตัวสถานี (p2) เพื่อให้ทราบประสิทธิภาพของวัสดุ กันสะเทือน (Isolation material)

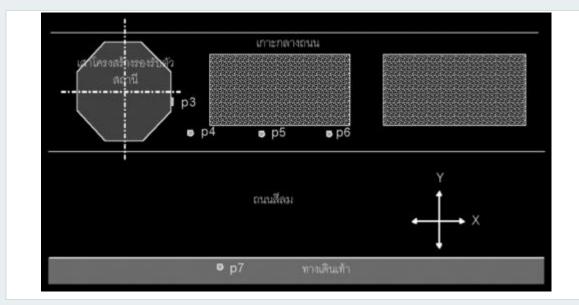
2.5.2 เปรียบเทียบค่าระดับความสั่น สะเทือนระหว่างจุดตรวจวัดที่ด้านข้างส่วนล่างของเสา รองรับตัวสถานี (p3) กับจุดตรวจวัดที่ระดับพื้นถนน (p4 ถึง p7) เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของระดับความ สั่นสะเทือน



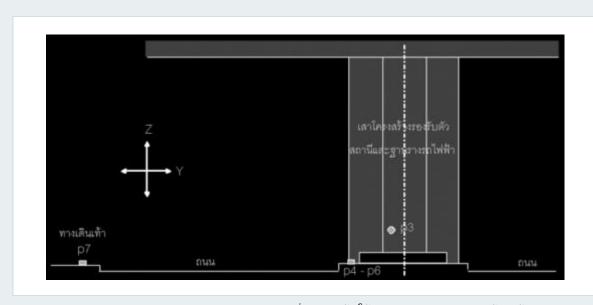
รูป 1 ภาพจำลองแสดงจุดติดตั้ง accelerometer ที่โครงสร้างฐานรางรถไฟฟ้า และที่เสารองรับฐาน รางรถไฟฟ้า บริเวณสถานีศาลาแดง (รูปแสดงด้านหน้า)



รูป 2 จุดตรวจวัดบริเวณเกาะกลางถนน ใต้สถานีศาลาแดง (รูปแสดงด้านข้าง)



รูป 3 จุดตรวจวัดบริเวณเกาะกลางถนนและที่ทางเดินเท้า ใต้สถานีศาลาแดง (รูปแสดงด้านบน)



รูป 4 จุดตรวจวัด บริเวณเกาะกลางถนนและที่ทางเดินเท้า ใต้สถานีศาลาแดง (รูปแสดงด้านหน้า)

2.6 วิเคราะห์ข้อมูลระดับความสั่นสะเทือน โดย ใช้เครื่องวิเคราะห์ความถี่ (1/3 octave band real time analyzer) เพื่อให้ทราบค่าระดับความสั่นสะเทือนใน แต่ละความถี่และให้ทราบช่วงความถี่ที่มีผลกระทบต่อคน

- 2.7 พิจารณาการส่งผ่านของความสั่นสะเทือน จากโครงสร้างฐานรางรถไฟฟ้าถึงระดับพื้นถนน
- 2.8 ประเมินผลกระทบของระดับความสั่น สะเทือนจากขบวนรถไฟฟ้า BTS ที่มีต่อประชาชนที่ อาศัย หรือประกอบกิจกรรมอยู่ใกล้ที่ตั้งเส้นทางเดิน รถไฟฟ้า BTS

## 3. พลการศึกษาและวิจารณ์

3.1 ผลการตรวจวัดระดับความสั่นสะเทือนที่ จุดตรวจวัดบริเวณด้านล่างของโครงสร้างฐานราง รถไฟฟ้า p1 กับที่จุดตรวจวัดด้านบนของเสารองรับฐานรางรถไฟฟ้า p2 ซึ่งเป็นบริเวณรอยต่อของฐาน รางรถไฟฟ้ากับเสารองรับซึ่งถูกคั่นไว้ด้วยวัสดุกันสะเทือน (Isolation material)

**ตาราง 1** แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนสูงสุดที่จุด p1 และ p2

	ค่าระดับความสั่นสะเทือน (เดชิเบล)											
รถไฟฟ้า ขบวนที่		แกน X			แกน Y		แกน Z					
	p1	p2	ค่า แตกต่าง	p1	p2	ค่า แตกต่าง	p1	p2	ค่า แตกต่าง			
1	79.8	81.0	-1.2	78.2	73.1	5.1	80.0	70.5	9.5			
2	70.0	71.5	-1.5	66.8	63.0	3.8	77.2	65.8	11.4			
3	71.3	71.0	0.3	73.6	67.8	5.8	84.3	77.6	6.7			
4	69.5	73.5	-4.0	67.0	61.2	5.8	79.4	67.3	12.1			
5	83.0	83.0	0	80.1	74.0	6.1	84.5	77.0	7.5			
6	70.8	74.0	-3.2	69.0	64.3	4.7	73.6	64.0	9.6			
7	81.4	82.1	-0.7	77.5	72.8	4.7	72.0	63.0	9.0			
8	74.2	76.1	-1.9	72.2	66.0	6.2	81.9	71.8	10.1			
ค่าเฉลี่ย	75.0	76.5	-1.5	73.1	67.8	5.3	79.1	69.6	9.5			

ตาราง 1 แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนสูงสุด ที่จุด p1 และจุด p2 ขณะที่มีรถไฟฟ้าแล่นผ่าน ซึ่ง ค่าระดับความสั่นสะเทือนสูงสุดขณะรถไฟฟ้าแล่นผ่านนี้ มีค่าสูงกว่าระดับความสั่นสะเทือนพื้นฐาน (Background Vibration) ขณะไม่มีรถไฟฟ้าแล่นผ่านอยู่ประมาณ 20-40 เดซิเบล

พิจารณาค่าระดับความสั่นสะเทือนในแนว แกน X พบว่าค่าระดับความสั่นสะเทือนของรถไฟฟ้าที่ จุด p2 มีค่าสูงกว่าที่จุด p1 เล็กน้อยหรือเกือบเท่ากัน แสดงว่าในแนวแกน X ค่าระดับความสั่นสะเทือนที่เกิด จากรถไฟฟ้าเมื่อส่งผ่านวัสดุกันสะเทือนแล้วระดับความ สั่นสะเทือนมีค่าไม่ลดลง

สำหรับค่าระดับความสั่นสะเทือนในแนวแกน Y ค่าระดับความสั่นสะเทือนที่จุด p2 มีค่าต่ำกว่าที่จุด p1 ประมาณ 4-6 เดซิเบล นั่นแสดงว่าในแนวแกน Y ค่า ระดับความสั่นสะเทือนเมื่อส่งผ่านวัสดุกันสะเทือนมีค่า ลดลงประมาณ 8 %

กรณีค่าระดับความสั่นสะเทือนในแนวแกน Z นั้นค่าระดับความสั่นสะเทือนที่จุด p2 มีค่าต่ำกว่าที่จุด p1 ประมาณ 7-10 เดซิเบล แสดงว่า ในแนวแกน Z ค่าระดับความสั่นสะเทือนเมื่อส่งผ่านวัสดุกันสะเทือนมี ค่าลดลงประมาณ 13 % ซึ่งลดลงมากกว่าในแนวแกน X และแกน Y

3.2 ผลการตรวจวัดระดับความสั่นสะเทือนที่ จุดตรวจวัดด้านข้างส่วนล่างของเสารองรับตัวสถานีกับ จุดตรวจวัดระดับพื้นถนน บริเวณใต้สถานีศาลาแดง

ตาราง 2 แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนสูงสุด ของรถไฟฟ้าแต่ละขบวนของจุดตรวจวัดบริเวณด้านข้าง ส่วนล่างของเสารองรับตัวสถานี (p3) จุดตรวจวัดบริเวณ เกาะกลางถนนใต้สถานีศาลาแดง (p4-p6) และจุดตรวจ วัดที่บริเวณทางเดินเท้า ใต้สถานีศาลาแดง (p7)

พิจารณาค่าระดับความสั่นสะเทือนเฉลี่ยในแนว แกน X พบว่าค่าระดับความสั่นสะเทือนมีค่าลดลง ตาม ลำดับเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้น ยกเว้นที่จุด p6 ค่า ระดับความสั่นสะเทือนมีค่าสูงขึ้นเกือบเท่าจุด p5 โดย ค่าระดับความสั่นสะเทือนลดลง 6 เดชิเบล/ระยะทางที่ เพิ่มขึ้นสองเท่า ในช่วงระยะทาง 1-15 เมตร

สำหรับค่าระดับความสั่นสะเทือนเฉลี่ยในแนว
แกน Y และแกน Z พบว่าค่าระดับความสั่นสะเทือน
ที่จุด p4 และ p5 มีค่าสูงกว่าที่จุด p3 ซึ่งค่าระดับ
ความสั่นสะเทือนที่สูงขึ้นนี้ อาจมีสาเหตุมาจากแรงสั่น
สะเทือนอื่นๆเข้ามาเสริม เช่น แรงสั่นสะเทือนจาก
ขบวนรถไฟฟ้าที่เคลื่อนที่มาตามเสาจนผ่านมาถึงฐาน
รากของเสาที่อยู่ใต้พื้นดินและส่งมายังจุดตรวจวัดหรือ
แรงสั่นสะเทือนที่เกิดจากรถโดยสารที่วิ่งผ่านจุดตรวจวัด
ขณะทำการตรวจวัด หรือเกิดปรากฏการณ์การสั่นพ้อง

	ค่าระดับความสั่นสะเทือน (เดชิเบล)														
รถไฟฟ้า ขบวนที่	แกน X				แกน Y					แกน Z					
	р3	p <b>4</b>	р5	p6	p7	р3	p <b>4</b>	p5	р6	p7	р3	p <b>4</b>	р5	р6	p7
1	70.2	65.5	58.1	57.8	46.2	61.6	75.6	67.1	59.4	54.5	71.0	81.4	72.0	59.1	54.0
2	73.0	67.6	60.8	60.0	48.5	60.2	75.2	66.0	57.4	51.8	74.5	84.2	75.6	62.6	56.7
3	67.0	61.5	53.8	52.5	47.2	56.6	71.1	62.1	55.6	50.6	67.2	77.0	68.0	60.2	55.1
4	64.3	57.5	51.6	54.0	44.6	55.4	71.0	61.1	53.9	50.5	70.0	79.3	70.1	60.7	55.2
5	72.3	66.0	57.3	57.5	47.2	55.0	68.6	62.2	53.6	47.3	67.6	79.2	67.8	56.5	57.0
ค่าเฉลี่ย	69.4	63.6	56.3	56.4	46.7	57.8	72.3	63.7	56.0	50.9	70.1	80.2	70.7	59.8	55.3

ตาราง 2 แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนสูงสุดที่จุด p3 และ p7

(Resonance effect) จึงทำให้ค่าระดับความสั่นสะเทือน มีค่าสูงขึ้น ในแนวแกน Y ค่าความสั่นสะเทือนลดลง 6 เดซิเบลต่อระยะทางที่เพิ่มขึ้นสองเท่า ในช่วง ระยะทาง 1-7 เมตร และลดลง 12 เดซิเบลต่อระยะ ทางที่เพิ่มขึ้นสองเท่า ในช่วงระยะทาง 7-15 เมตร และในแนวแกน Z ค่าระดับความสั่นสะเทือนลดลง 6 เดซิเบลต่อระยะทางที่เพิ่มขึ้นสองเท่า ในช่วงระยะทาง 1-4.5 เมตร และลดลง 12 เดซิเบลต่อระยะทาง ที่เพิ่มขึ้นสองเท่า ในช่วงระยะทาง 4.5-15 เมตร นั่น แสดงว่า ในแนวแกน X ค่าพลังงานของความสั่นสะเทือน ลดลงได้น้อยกว่าในแนวแกน Y และแกน Z เมื่อระยะ ทางที่เพิ่มขึ้นเท่ากัน

พิจารณาการส่งผ่านของความสั่นสะเทือนจาก โครงสร้างฐานรางรถไฟฟ้าถึงระดับพื้นถนนโดยเปรียบ เทียบค่าระดับความสั่นสะเทือนของจุด p3 กับ p2 ใน แนวแกน X พบว่าค่าระดับความสั่นสะเทือนที่จุด p3 ต่ำกว่าที่จุด p2 นั่นแสดงว่าในเสารองรับโครงสร้างฐาน รางรถไฟฟ้าค่าระดับความสั่นสะเทือนจากจุด p2 ไป ถึงจุด p3 ลดลงประมาณ 7 เดซิเบล หรือประมาณ 9% ในแนวแกน Y ค่าระดับความสั่นสะเทือนลดลงประมาณ 10 เดซิเบล หรือประมาณ 15% สำหรับแกน Z ไม่พบการลดลงของค่าระดับความสั่นสะเทือนภายในเสารองรับโครงสร้างฯ

สำหรับในการศึกษาผลกระทบของระดับความ สั่นสะเทือนที่มีต่อคนจะพิจารณาที่แกน Z เนื่องจาก เป็นแกนที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของคนมากที่สุด จาก

การศึกษาพบว่าค่าระดับความสั่นสะเทือนสูงสุดในแนว แกน Z ของจุดตรวจวัดที่พื้นถนน คือ 84.2 เดซิเบล จากการนำข้อมูลที่จุดนี้มาวิเคราะห์ความถี่จะได้ค่า ระดับความสั่นสะเทือนในแต่ละความถี่และเมื่อนำมา เปรียบเทียบกับกราฟแสดงเวลาสะสมของระดับความ สั่นสะเทือน[2] ตามมาตรฐาน ISO2631 จะทำให้ ทราบระยะเวลาที่คนเราสามารถรับระดับความสั่นสะเทือน ได้โดยไม่มีผลกระทบต่อร่างกาย ผลการเปรียบเทียบ ข้อมูลระดับความสั่นสะเทือนในแต่ละความถี่พบว่าที่จุด บริเวณใต้สถานีระดับความสั่นสะเทือนที่ตรวจวัดได้คือ 84.2 เดซิเบล มีค่า Exposure time มากกว่า 24 ชั่วโมง (นั่นคือที่ทุกความถี่ค่าระดับความสั่นสะเทือนมีค่าต่ำ กว่าเส้น 24 ชั่วโมง) นั่นแสดงว่าประชาชนทั่วไปสามารถ ประกอบกิจกรรมบริเวณใต้สถานีรถไฟฟ้าได้นานกว่า 24 ชั่วโมง โดยไม่ได้รับอันตรายจากแรงสั่นสะเทือนที่เกิดจาก รถไฟฟ้าขณะแล่นผ่านบริเวณสถานี

## 4. สรูปพลการศึกษา

4.1 การศึกษาระดับความสั่นสะเทือนจาก รถไฟฟ้า BTS พบว่าประสิทธิภาพของ Isolation material ที่ใช้ในการลดระดับความสั่นสะเทือนนั้น ไม่สามารถลดค่าระดับความสั่นสะเทือนได้ในแนวแกน X สามารถลดค่าระดับความสั่นสะเทือนได้ประมาณ 4-5 เดซิเบล สำหรับแนวแกน Y และสามารถลดค่าระดับความสั่นสะเทือนได้เกี่สุด คือประมาณ 10 เดซิเบล สำหรับแกน Z โดยช่วงความถี่ที่มีผลต่อค่าระดับความ

สั่นสะเทือนที่จุด p1 และจุด p2 ทั้ง 3 แกน คือ 40-63 เฮิรตซ์

4.2 สำหรับการศึกษาค่าระดับความสั่นสะเทือน ที่ระดับพื้นถนน ในแนวแกน X ค่าระดับความสั่นสะเทือน ลดลงเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้น แนวแกน Y ค่าระดับความ สั่นสะเทือนที่จุด p4 และ p5 มีค่าระดับความสั่นสะเทือน เฉลี่ย สูงกว่าที่จุด p3 และแนวแกน Z ค่าระดับความ สั่นสะเทือนที่จุด p4 และ p5 มีค่าระดับความสั่นสะเทือน เฉลี่ยสูงกว่าที่จุด p3 สำหรับค่าระดับความสั่นสะเทือน ที่จุด p4 ในแนวแกน Y และแกน Z ที่มีค่าสูงนั้นอาจ มีแรงสั่นสะเทือนจากแหล่งกำเนิดอื่นเข้ามาเสริมหรือ เกิด Resonance effect เพราะเนื่องจากบริเวณที่ทำการตรวจวัดมีรถยนต์แล่นผ่านไปมาเป็นจำนวนมากจึง ทำให้ค่าระดับความสั่นสะเทือนของ จุดตรวจวัดที่พื้นถนนคือ 31.5-63 เฮิรตซ์ ทั้ง 3 แกน

### กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้ศึกษาใคร่ขอขอบคุณ Dr.Ken OKADA ผู้เชี่ยวชาญด้านเสียงและความสั่นสะเทือนจากประเทศ ญี่ปุ่น (JICA) ที่ได้ให้ความรู้และคำแนะนำในการศึกษา ครั้งนี้ และขอขอบคุณเจ้าของสถานที่ บริษัทระบบ ขนส่งมวลชนกรุงเทพจำกัด ซึ่งอำนวยความสะดวกใน การปฏิบัติงานและให้ความอนุเคราะห์ใช้สถานที่ในการ ติดตั้งเครื่องมือเป็นอย่างดีตลอดระยะเวลาการศึกษา จน ทำให้การศึกษาครั้งนี้ประสพความสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

### เอกสารอ้างอิง

- Leo L. Beranek, Noise and Vibration Control, McGraw Hill, 1988
- 2. Evaluation of Human Exposure to Whole-Body Vibration Part I: General Requirement (ISO2631/1), International Standard, 1985



# การศึกษาการกระจายของเสียงที่เกิดจากรถไฟฟ้า

## Study on Noise Propagation from Electrical Train

วิรัช เอื้อทรงธรรม ผกา สุขเกษม ณัฐพงศ์ จันทร์สมบัติ ธนาวุธ โนราช Ken OKADA<sup>b</sup>



### **Abstract**

The noise theory had been applied for calculation of noise propagation from BTS electric train. The predicted noise level is calculated from two major noise sources; the noise from the BTS system (motor) and the friction between wheels and rail tracks, and the noise from the traffic under the BTS structure.

As the result, the sound power levels (PWL) of BTS trains were 94-100 dBA. The general noise levels from the calculation were 70-90 dBA depended on distance between source and receiving

point. The equivalent noise levels (1 hour) were 54-73 dBA depended on distance. The noise levels of the trains from the calculation were smaller than the traffic noise (calculated) with the difference of 10 dBA. Then, it could be concluded that the noise at road side near the BTS route may mainly came from the traffic. This study can predict the noise levels from the BTS train, help in preparing EIA (Environmental Impact Assessment). Moreover, people can use this prediction method to know the noise from BTS by themselves.

<sup>a</sup>ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม เทคโนธานี ต.คลองห้า อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120 โทร. 0 2577 4182-9 โทรสาร 0 2577 1138 Environmental Research and Training Centre, Department of Environmental Quality Promotion, Technopolis, Klong 5, Klong Luang, Pathumthani 12120 E-mail: wirach@deqp.go.th <sup>b</sup>ผู้เชี่ยวชาญด้านเสียงและความสั่นสะเทือนจากประเทศญี่ปุ่น (JICA)

### บทคัดย่อ

การศึกษาการกระจายของเสียงจากรถไฟฟ้า เป็นการนำทฤษฎีทางด้านเสียงมาช่วยในการคำนวณค่า ระดับเสียงจากแหล่งกำเนิดชนิดต่างๆ โดยได้ศึกษา แหล่งกำเนิดจากรถไฟฟ้า BTS คือเสียงที่เกิดจากตัว รถไฟฟ้าประกอบด้วยเสียงจากมอเตอร์ เสียงจากการ เสียดสีระหว่างล้อกับรางรถไฟฟ้าและเสียงที่เกิดจากการ จราจรที่อยู่ใต้เส้นทางรถไฟฟ้า

จากการศึกษาพบว่า ค่าระดับกำลังเสียงของ รถไฟฟ้ามีค่าอยู่ในช่วง 94-100 เดซิเบลเอ ค่าระดับเสียง โดยทั่วไปที่เกิดจากรถไฟฟ้าที่ได้จากการคำนวณตาม ทฤษฎีมีค่าอยู่ในช่วง 70-90 เดซิเบลเอ ขึ้นกับระยะทาง ที่ห่างจากรถไฟฟ้า และค่าระดับเสียงเฉลี่ย 1 ชั่วโมง มีค่าระดับเสียงอยู่ในช่วง 54-73 เดซิเบลเอ ขึ้นกับ ระยะทางเช่นกัน ซึ่งค่าระดับเสียงเฉลี่ยที่คำนวณได้ มีค่าต่ำกว่าระดับเสียงของการจราจรที่ได้จากการคำนวณ เช่นกัน โดยมีค่าต่างกันเกิน 10 เดซิเบล แสดงว่าค่า ระดับเสียงที่เกิดขึ้นบริเวณริมถนนที่มีรถไฟฟ้าผ่านมา จากการจราจร ซึ่งผลจากการศึกษาดังกล่าวสามารถ ใช้คาดการณ์ระดับเสียงจากรถไฟฟ้าได้ เป็นข้อมูลใน การประเมินจัดทำรายงานการประเมินผลกระทบด้าน สิ่งแวดล้อมได้ และประชาชนทั่วไปสามารถนำไปใช้เพื่อ ให้ทราบค่าระดับเสียงที่เกิดจากรถไฟฟ้าได้

### 1. unun

บัญหามลพิษทางเสียงถือได้ว่ากำลังเป็นบัญหา ที่จะทวีความรุนแรงมากยิ่งขึ้น ในสิ่งแวดล้อมของ ประเทศไทย ไม่ว่าจะเป็นเสียงที่มาจากการจราจร เสียง จากโรงงานอุตสาหกรรม เสียงจากระบบหรือโครงการ ก่อสร้างต่างๆ เป็นต้น โดยเฉพาะเสียงที่มาจากการ จราจรซึ่งระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชน (รถไฟฟ้า BTS) ของบริษัท ระบบขนส่งมวลชนกรุงเทพ จำกัด ก็เป็น การจราจรแบบหนึ่งที่อาจจะทำให้เกิดปัญหามลพิษทาง เสียงได้ ถึงแม้ว่าระบบดังกล่าวจะมีการออกแบบให้ลด ปัญหามลพิษทางเสียงอย่างดีแล้วก็ตาม แต่ก็จะต้องมี การทำรายงานประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม เสนอ ต่อหน่วยงานของรัฐที่มีหน้าที่กำกับดูแลในเรื่องนี้ โดย ในการศึกษานี้จะได้ทำการศึกษาระดับเสียงที่เกิดจาก รถไฟฟ้า เพื่อพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับ คาดการณ์ระดับเสียงจากรถ ไฟฟ้า ซึ่งแบบจำลองท

ดังกล่าวจะช่วยให้การจัดทำรายงานประเมินผลกระทบ สิ่งแวดล้อมได้รวดเร็วขึ้นและประชาชนทั่วไปสามารถ นำไปใช้ เพื่อให้ทราบค่าระดับเสียงที่เกิดจากรถไฟฟ้าได้ คณะผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่ารายงานการศึกษาฉบับนี้ จะเป็นประโยชน์ต่อบริษัทระบบขนส่งมวลชนกรุงเทพ หน่วยงานราชการที่กำกับดูแลด้านสิ่งแวดล้อมหรือ ที่เกี่ยวข้องและประชาชนทั่วไป ที่จะนำแบบจำลองฯ นี้ ไปให้ต่อไป

### 2. วิธีการศึกษา

2.1 ตรวจวัดระดับเสียงบนสะพานลอยคนข้าม หน้าตลาดนัดสวนจตุจักร โดยติดตั้งไมโครโฟนสูงจาก พื้นสะพานลอย 7 เมตร ที่ระยะห่างจากกำแพงกั้นเสียง 0.5 เมตร 1.5 เมตร และ 2.5 เมตร ตามลำดับ และ ติดตั้งไมโครโฟนสูงจากพื้นสะพานลอย 5 เมตร ที่ระยะห่างจากแนวดิ่งของกำแพงกั้นเสียง 2.5 เมตร ตรวจวัด ระดับเสียงเป็นค่าระดับความดันเสียง (Sound pressure level,  $L_p$ ) โดยตั้งค่า Time constant ของเครื่อง ตรวจวัดระดับเสียงเป็น Fast และตั้ง Weighting ของ การตรวจวัดเสียงเป็น Flat (F) มีหน่วยของระดับเสียง เป็นเดซิเบล (Decibel, dB)

2.2 ตรวจวัดระดับเสียงที่บริเวณลานจอดรถ ชั้น 5 และชั้น 6 ของโรงแรมแกรนด์แปซิฟิก โดยติดตั้ง ไมโครโฟนไว้กับแท่งไม้และยื่นไมโครโฟนออกไปตรวจวัด โดยมีระยะห่างจากตัวอาคารประมาณ 1.5 เมตร ซึ่ง ที่ชั้น 5 ได้ทำการตรวจวัดที่ด้านหน้าอาคาร จำนวน 1 จุด ที่ชั้น 6 ทำการตรวจวัดที่ด้านข้างของอาคาร จำนวน 4 จุด ซึ่งมีสูงจากพื้นดิน 20.6 เมตร ตรวจวัดระดับเสียง และตั้งค่าเครื่องตรวจวัดเช่นเดียวกับข้อ 2.1

2.3 นำสัญญาณเสียงที่บันทึกไว้ใน Digital audio tape ซึ่งได้จากการตรวจวัดในข้อ 2.1 และ 2.2 มาวิเคราะห์คำนวณหาค่าระดับเสียงแบบ A-weighting เพื่อสร้างเส้นกราฟแสดงการลดลงของระดับเสียงของ รถไฟฟ้า (Noise reduction curve)

2.4 คำนวณหาค่าระดับกำลังเสียง (Sound power level, PWL) ของรถไฟฟ้าโดยใช้ข้อมูลที่ได้จาก กราฟการลดลงของเสียง

2.5 คำนวณหาค่าคาดการณ์ระดับเสียงที่ ตำแหน่งระยะต่างๆ

2.6 ตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลระดับ

เสียงที่ได้จากการคำนวณกับข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัด จริงที่บริเวณโรงแรมแกรนด์แปซิฟิกและหน้ากรมการ ขนส่งทางบก (หมอชิต)

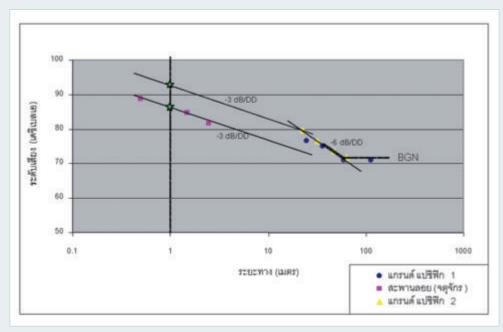
2.7 นำข้อมูลระดับเสียงที่ได้จากข้อ 2.5 มา สร้างแผนที่ระดับเสียง (Noise contour)

### 3. พลการศึกษาและวิจารณ์

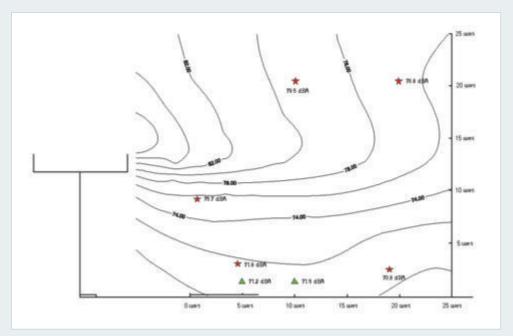
รูป 1 เป็นกราฟแสดงการลดลงของระดับเสียง ที่จุดตรวจวัดต่างๆ ที่ได้กำหนดไว้ เห็นว่าเส้นกราฟของ จุดตรวจวัดบริเวณโรงแรมแกรนด์แปซิฟิก 1 กับ 2 การ ลดลงของระดับเสียงจะได้ใกล้เคียงกัน และเมื่อลากเส้น การลดลงของระดับเสียงกลับไปที่ระยะ 1 เมตร โดยมี จุดเปลี่ยนของเส้นกราฟจาก -6 เดซิเบลต่อระยะทาง ที่เพิ่มขึ้นสองเท่า เป็น -3 เดซิเบลต่อระยะทางที่เพิ่มขึ้น สองเท่า ที่ระยะ 21 เมตรของแหล่งกำเนิดเสียงที่มี ความยาวเท่ากับ 66 เมตร (เนื่องจากแหล่งกำเนิดเสียง มีลักษณะเป็นแบบเส้นดังนั้นจุดเปลี่ยนเส้นกราฟจาก -3 เป็น -6 เดซิเบล คือที่ระยะ  $1/\pi$  เมื่อ 1 เท่ากับ ความยาวของแหล่งกำเนิดเสียง[1]) จะได้ค่าระดับกำลัง เสียง (Sound power level, PWL) เท่ากับ 100 เดซิเบลเอ สำหรับเส้นกราฟของจุดตรวจวัดบนสะพานลอยคนข้าม จตุจักร จะได้ค่าระดับกำลังเสียงเท่ากับ 94 เดซิเบลเอ ที่ระยะ 1 เมตร ซึ่งค่าระดับกำลังเสียงที่ได้จะนำไปใช้ใน การคำนวณค่าคาดการณ์ระดับเสียงต่อไป

### การคาดการณ์ระดับเสียงรถไฟฟ้า

การคำนวณค่าคาดการณ์ระดับเสียงจาก รถไฟฟ้าจะใช้ค่าระดับกำลังเสียง (Sound power level, PWL) ของรถไฟฟ้าที่ได้จากการตรวจวัดระดับเสียงซึ่ง ค่าระดับกำลังเสียงที่คำนวณได้จากการตรวจวัดจะ มีค่าอย่ในช่วง 94-100 เดซิเบลเอ ถ้าให้ระดับกำลังเสียง ของรถไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 100 เดซิเบลเอ ผลของการ คำบวญค่าคาดการณ์ระดับเสียงจากรถไฟฟ้าดังแสดงใบ รูป 2 ซึ่งเป็นแผนที่แสดงระดับเสียงขณะรถไฟฟ้าแล่น ผ่านจุดตรวจวัดและเนื่องจากใน 1 ชั่วโมงจะมีรถไฟฟ้า แล่นผ่านประมาณ 20 ขบวน ดังนั้นแผนที่แสดงค่า ระดับเสียงเฉลี่ย 1 ชั่วโมง จะแสดงในรูป 3 สำหรับ การคำนวณค่าระดับเสียงจากการจราจรนั้นจะใช้แบบ จำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการจราจรทางราบ[2] ซึ่งพัฒนาโดยศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อมมาใช้ ในการคำนวณ ซึ่งข้อมูลที่ต้องใช้สำหรับการคำนวณค่า ระดับเสียงโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ คือ จำนวนยานพาหนะในช่วงระยะเวลา 1 ชั่วโมง ความเร็ว เฉลี่ยของรถแต่ละชนิด จำนวนช่องทางเดินรถและ ผลการคำนวณค่าคาดการณ์ระดับเสียงโดยใช้แบบ จำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการจราจรนี้จะให้ค่าระดับ เสียงเป็นค่าระดับเสียงเฉลี่ยเช่นกัน ดังแสดงในรูป 4 ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จากการจราจรบริเวณหน้ากรมการ ขนส่งทางบก ถนนพหลโยลิน



รูป 1 กราฟแสดงการลดลงของเสียงที่จุดตรวจวัดบริเวณสถานที่ต่างๆ

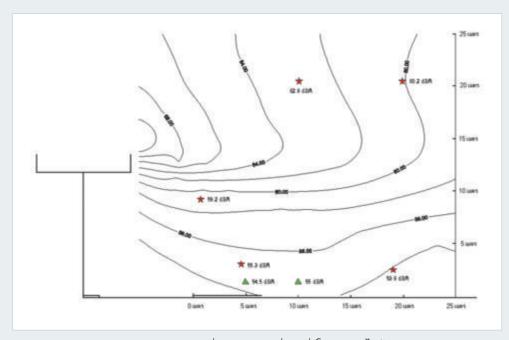


รูป 2 แสดงแผนที่ระดับเสียงของรถไฟฟ้า

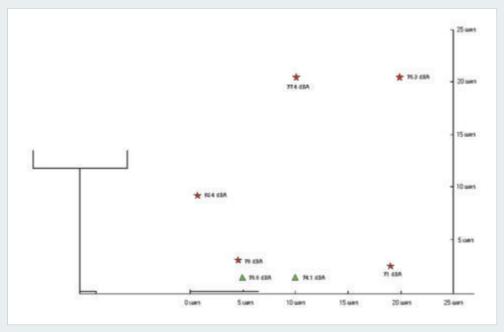
เมื่อพิจารณาค่าคาดการณ์ระดับเสียงเฉลี่ยที่คำนวณได้ จากแหล่งกำเนิดเสียงทั้งสองแหล่งกำเนิด เห็นว่าค่า ระดับเสียงจากการจราจรมีค่าระดับเสียงสูงกว่าค่าระดับเสียงจากรถไฟฟ้าค่อนข้างสูง กล่าวคือค่าระดับเสียงที่ ทุกๆตำแหน่งในแผนที่ระดับเสียงของการจราจรมีค่า สูงกว่า 10 เดซิเบลเอ เมื่อเทียบกับค่าระดับเสียงที่ได้ จากรถไฟฟ้าที่ตำแหน่งเดียวกัน ดังนั้นเมื่อนำค่าระดับ เสียงจากทั้งสองแหล่งกำเนิดมารวมกันที่ตำแหน่ง

เดียวกันก็จะได้ค่าระดับเสียงที่มีค่าเท่ากับระดับเสียงจาก การจราจรเพียงอย่างเดียว นั่นแสดงว่าค่าระดับเสียงจาก รถไฟฟ้าไม่มีผลต่อค่าระดับเสียงที่เกิดขึ้นจริง

เปรียบเทียบค่าระดับเสียงเฉลี่ย 1 ชั่วโมง ที่ได้ จากการคำนวณรวมค่าระดับเสียงทั้งสองแหล่ง กำเนิด(คือค่าระดับเสียงเฉลี่ยของการจราจรจุดสามเหลี่ยม 2 จุดในรูป 4) กับค่าระดับเสียงที่ได้จากการตรวจวัดจริง ที่หน้ากรมการขนส่งทางบก โดยติดตั้งเครื่องวัดสูงจากพื้น



รูป 3 แสดงแผนที่ระดับเสียงเฉลี่ย 1 ชั่วโมงของรถไฟฟ้า



รูป 4 แสดงค่าระดับเสียงของการจราจรคำนวณโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

1.2 เมตร ระยะห่างจากริมถนน 5 เมตรและ 10 เมตร จะได้ค่าระดับเสียงเท่ากับ 78.5 และ 74.6 เดซิเบลเอ ตามลำดับ จะเห็นว่าค่าระดับเสียงที่ได้จากการคำนวณ ต่ำกว่าค่าที่ได้จากการตรวจวัดจริง 1.9 และ 0.5 เดซิเบล เอ ที่ระยะห่าง 5 และ 10 เมตร ตามลำดับ

## 4. สรุปพลการศึกษา

จากผลการศึกษาและการคำนวณค่าคาดการณ์ ระดับเสียงทำให้ทราบได้ว่าค่าระดับกำลังเสียงของรถไฟ ฟ้ามีค่าระดับเสียงอยู่ในช่วง 94-100 เดซิเบลเอ และ ค่าระดับเสียงโดยทั่วไปที่เกิดจากรถไฟฟ้าที่ได้จากการ คำนวณจะมีค่าอยู่ในช่วง 70-90 เดซิเบลเอ ขึ้นกับ ระยะทางที่ห่างจากรถไฟฟ้า สำหรับค่าระดับเสียงเฉลี่ย 1 ชั่วโมง จะมีค่าระดับเสียงอยู่ในช่วง 54-73 เดซิเบลเอ ขึ้นกับระยะทางเช่นกัน ซึ่งค่าระดับเสียงเฉลี่ยที่ได้นั้น มีค่าน้อยกว่าค่าระดับเสียงเฉลี่ยที่คำนวณได้จากการ จราจรอยู่มาก โดยมีค่าน้อยกว่า 10 เดซิเบลเอ แสดงว่า ค่าระดับเสียงที่เกิดขึ้นบริเวณเส้นทางที่รถไฟฟ้าแล่น ผ่านเกิดจากเสียงที่มาจากการจราจรเท่านั้น แต่ถ้า ต้องการทราบค่าระดับเสียงหรือระดับเสียงเฉลี่ย 1 ชั่วโมงที่เกิดจากรถไฟฟ้าอย่างเดียวก็สามารถใช้แผนที่ ระดับเสียงคาดการณ์ได้

### กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้ศึกษาใคร่ขอขอบคุณ Dr.Ken OKADA ผู้เชี่ยวชาญด้านเสียงและความสั่นสะเทือนจากประเทศ ญี่ปุ่น (JICA) ที่ได้ให้ความรู้และคำแนะนำในการศึกษา ครั้งนี้ และขอขอบคุณเจ้าของสถานที่ บริษัทระบบ ขนส่งมวลชนกรุงเทพจำกัด ซึ่งอำนวยความสะดวกใน การปฏิบัติงานและให้ความอนุเคราะห์ใช้สถานที่ในการ ติดตั้งเครื่องมือเป็นอย่างดีตลอดระยะเวลาการศึกษา จน ทำให้การศึกษาครั้งนี้ประสพความสำเร็จลูล่วงไปด้วยดี

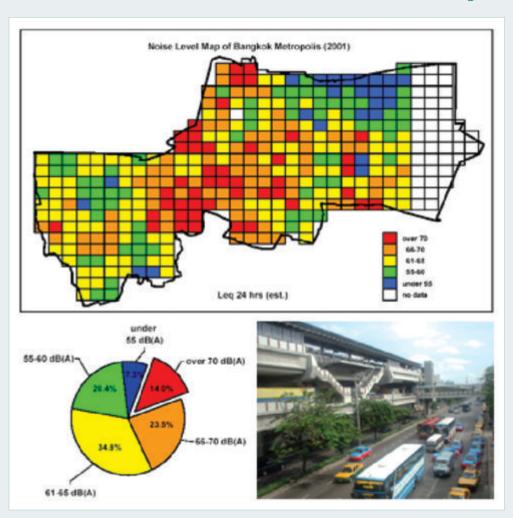
### เอกสารอ้างอิง

- Leo L. Beranek, Noise and Vibration Control, McGraw Hill, 1988
- 2. รายงานการศึกษาเรื่อง การพัฒนาแบบจำลองทาง คณิตศาสตร์คาดการณ์ระดับเสียงจากการจราจร, ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม



## แพนที่ระดับเสียงของกรุงเทพมหานคร ปี พ.ศ. 2544 Noise Mapping in Bangkok 2001

ณัฐพงศ์ จันทร์สมบัติ ผกา สุขเกษม ธนาพันธ์ สุกสอาด วิรัช เอื้อทรงธรรม ธนาวุธ โนราช มนตรี จันเล็ก กิตติพันธ์ เขียงเชียว ฏายิน แชมเพชร์



### **Abstract**

Bangkok noise mapping had been revised in 2001 after the first map came out in 1997 in order to investigate and update the noise level data in Bangkok area. In this study, Bangkok area had been divided into 329 squares (one square is 2 x 2 kilometers or 4 square kilometers) and 5

measurement points had been set in each square. By using data of  $L_{\rm eq}$  10 minutes and  $L_{\rm eq}$  30 minutes from each measurement point, the estimated  $L_{\rm eq}$  24 hours had been calculated and used for noise mapping. As the result, 14 percents of measurement areas, the noise level are exceeded 70 decibel(A). Most of them are in the inner area

<sup>&</sup>lt;sup>a</sup>ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม เทคโนธานี ต.คลองห้า อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120 โทร. 0 2577 4182-9 โทรสาร 0 2577 1138 Environmental Research and Training Centre, Department of Environmental Quality Promotion, Technopolis, Klong 5, Klong Luang, Pathumthani 12120 E-mail: nattapng@deqp.go.th

and around Don Muang airport. Moreover, the noise pollution in Bangkok is getting more serious in the area of Ladphrao, Bangkapi and Ram-indra due to many projects (such as sub-way, elevated road, O-ring road etc.) were constructing from the past 5 years, and also, the increasing of the population in those area. The result also shows that the main source of noise problem in Bangkok is the traffic noise.

### บทคัดย่อ

การศึกษาระดับเสียงเพื่อจัดทำแผนที่ระดับเสียง ในเขตกรุงเทพมหานคร ปี พ.ศ. 2544 เป็นการศึกษา ปัญหามลพิษทางเสียงต่อเนื่องจากการจัดทำแผนที่ ระดับเสียง ปี พ.ศ.2539[1] โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อ ทราบสถานการณ์ความรุนแรงของปัญหามลพิษทาง เสียงที่เกิดขึ้นในกรุงเทพมหานคร โดยแบ่งพื้นที่ กรุงเทพมหานครออกเป็น 329 ตาราง (หนึ่งตาราง ครอบคลุมพื้นที่ 4 ตารางกิโลเมตร) และในแต่ละตาราง มีจุดตรวจวัดระดับเสียง 5 จุด โดยตรวจวัดระดับเสียง  $L_{eq}$  10 นาที และ 30 นาที ในเวลากลางวันและกลางคืน จากนั้นนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาค่า  $L_{eq}$  24 ชั่วโมง เพื่อ จัดทำแผนที่ระดับเสียงของกรุงเทพมหานครต่อไป

จากการศึกษาระดับเสียงในเขตกรุงเทพมหานคร
ปี 2544 นี้ พบว่าร้อยละ 14 ของพื้นที่ที่ทำการตรวจวัด
มีค่าระดับเสียงสูงกว่าค่ามาตรฐาน (70 เดซิเบลเอ)[2]
ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในบริเวณกรุงเทพมหานครชั้นในและ
พื้นที่โดยรอบของสนามบินดอนเมือง สำหรับพื้นที่ใหม่
ที่มีแนวโน้มของปัญหามลพิษทางเสียงที่ทวีความ
รุนแรงขึ้นคือ บริเวณเขตลาดพร้าว บางกะปี รามคำแหง
ห้วยขวางและถนนรามอินทรา[3] เนื่องจากในช่วงเวลา
5 ปีที่ผ่านมา ในบริเวณดังกล่าวมีโครงการต่างๆ เกิดขึ้น
มากมาย เช่น โครงการรถไฟฟ้าใต้ดิน โครงการถนน
วงแหวนรอบนอก โครงการทางยกระดับพระราม 9 และ
รามคำแหง รวมทั้งบริเวณดังกล่าวนี้มีประชากรอาศัย
อยู่อย่างหนาแน่นทั้งนี้จากการวิเคราะห์แหล่งกำเนิด
เสียงหลัก พบว่าเสียงจากการจราจรยังคงเป็นปัญหา
หลักของมลพิษทางเสียงในกรุงเทพมหานคร

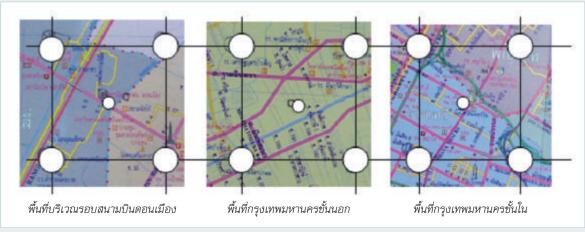
### 1. unun

เมื่อปี พ.ศ. 2539 ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้าน สิ่งแวดล้อม ได้จัดทำแผนที่ระดับเสียงขึ้นเพื่อทราบ สภาพปัญหาและสถานการณ์ปัจจุบันของมลพิษทางเสียง ในเขตกรุงเทพมหานคร ตลอดจนใช้เป็นข้อมูลพื้นฐาน ในการจัดการปัญหามลพิษสิ่งแวดล้อม และได้ข้อสรุป จากการตรวจวัดคือ ระดับเสียงในเขตพื้นที่ซึ่งประกอบ ไปด้วยกิจกรรมหลากหลายชนิด หรือพื้นที่ที่มีถนนซึ่ง มีการจราจรคับคั่งตัดผ่าน มีค่าสูงกว่า 70 เดซิเบลเอ ในขณะที่พื้นที่รอบนอกที่มีกิจกรรมที่เบาบางกว่า ระดับ เสียงส่วนใหญ่มีค่าต่ำกว่า 50 เดซิเบลเอ ซึ่งร้อยละ 70 ของจุดตรวจวัดมี แหล่งกำเนิดเสียงหลักมาจากการ จราจร[4] แต่เนื่องจากในช่วง 5 ปีที่ผ่านมา กรุงเทพ-มหานครมีการพัฒนาจึงทำให้มีโครงการและกิจกรรม เกิดขึ้นมากมาย ตัวอย่างเช่น โครงการรถไฟฟ้า (BTS) โครงการรถไฟฟ้าใต้ดิน ฯลฯ ซึ่งทำให้สถานการณ์มลพิษ ทางเสียงเปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นศูนย์วิจัยฯ จึงได้ตรวจ วัดระดับเสียงทั่วไปของกรุงเทพมหานครเพื่อจัดทำ แผนที่ระดับเสียงขึ้นมาใหม่ในปี พ.ศ. 2544 ทั้งนี้เพื่อ ให้ได้ข้อมูลที่ทันต่อเหตุการณ์ในอันที่จะนำไปแก้ปัญหา มลพิษทางเสียง เพื่อสุขภาพและคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้น ของประชาชนสืบไป การศึกษาแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 ศึกษาวิธีการตรวจวัดที่เหมาะสมและใช้ระยะ เวลาสั้นลงเพื่อผลจากการตรวจวัดสามารถใช้เป็น ตัวแทนสำหรับการวัดเสียงแบบต่อเนื่อง 24 ชั่วโมง และส่วนที่ 2 การประยุกต์ใช้วิธีการตรวจวัดระดับ เสียงแบบใช้ช่วงเวลาสั้นๆ กับการตรวจวัดระดับเสียง ในเขตกรุงเทพมหานคร

### 2. วิธีการและพลการศึกษา

ส่วนที่ 1 การศึกษาความเป็นไปได้ใน การตรวจวัดระดับเสียงช่วงเวลาสั้น เพื่อเป็น ตัวแทนของระดับเสียงต่อเนื่อง 24 ชั่วโมง

ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างระดับเสียง  $L_{\rm eq}$  10 นาที กับ  $L_{\rm eq}$  30 นาที และกับระดับเสียง  $L_{\rm eq}$  24 ชั่วโมงในพื้นที่นำร่อง 3 พื้นที่ คือ พื้นที่ 4 ตาราง กิโลเมตรในเขตกรุงเทพมหานครชั้นใน (อนุสาวรีย์ชัยฯ)



รูป 1 แสดงจุดตรวจวัดระดับเสียงของแต่ละพื้นที่

$$L_{eq}$$
 (24 ชั่วโมช) = 10 log 1/24(15\*10 $^{\text{Leq}(10\text{min})\text{day}/10}$  + 9\*10 $^{\text{Leq}(10\text{min})\text{night}/10}$ ) ......(1

$$L_{eq}$$
 (24 ชั่วโมช) = 10 log 1/24(15\*10 $^{\text{Leq(30min)day/10}}$  + 9\*10 $^{\text{Leq(30min)night/10}}$ ) ......(2

พื้นที่ 4 ตารางกิโลเมตรในเขตกรุงเทพมหานครชั้นนอก (เขตมีนบุรี) และพื้นที่ 4 ตารางกิโลเมตรบริเวณรอบ สนามบินดอนเมือง โดยในแต่ละพื้นที่มีจุดตรวจวัดระดับ เสียงต่อเนื่อง 24 ชั่วโมง จำนวน 5 จุด ดังแสดงในรูป 1

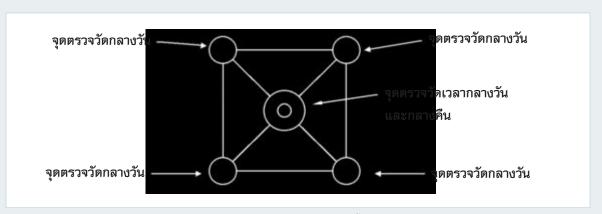
จากผลการศึกษาสรุปได้ว่า จุดตรวจวัดเสี้ยงใน พื้นที่นำร่องส่วนใหญ่มีค่าเฉลี่ยความแตกต่างระหว่างค่า ระดับเสียง  $L_{\rm eq}$  10 นาทีกับค่าระดับเสียงในตอนกลางวัน  $L_{\rm d}$  และกับตอนกลางคืน  $L_{\rm n}$  อยู่ระหว่าง  $\pm$  3 เดซิเบลเอ ซึ่งค่าความแตกต่างนี้เป็นค่าที่ยอมรับได้ในเรื่องของ การตรวจวัดเสียง หรืออาจกล่าวได้ว่า สามารถใช้ค่า ระดับเสียง  $L_{\rm eq}$  10 นาที เป็นตัวแทนค่าระดับเสียง  $L_{\rm d}$  และ  $L_{\rm n}$  ได้โดยมีค่าความแตกต่างอยู่ในช่วง  $\pm$  3 เดซิเบล เอ ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้ได้กับพื้นที่กรุงเทพมหานคร ชั้นในและชั้นนอก รวมถึงพื้นที่จุดตรวจวัดที่อยู่ในบริเวณ ใกล้กับถนน ซึ่งจะนำค่าระดับเสียง  $L_{\rm d}$  และ  $L_{\rm n}$  ที่ได้ ไปคำนวณหาค่า  $L_{\rm eq}$  24 ชั่วโมงจากสมการ (1)

สำหรับพื้นที่ที่อยู่อาศัยบริเวณรอบสนามบิน ตอนเมือง ควรใช้การตรวจวัดระดับเสียง  $L_{\rm eq}$  30 นาที เพื่อเป็นตัวแทนของระดับเสียง  $L_{\rm d}$  และ  $L_{\rm n}$  ซึ่งจะได้ค่า ความแตกต่างเฉลี่ยอยู่ในช่วง  $\pm$  3 เดซิเบลเอ เช่นกัน วิธี การคำนวณหาค่า  $L_{\rm eq}$  24 ชั่วโมงคำนวณได้จากสมการ (2)

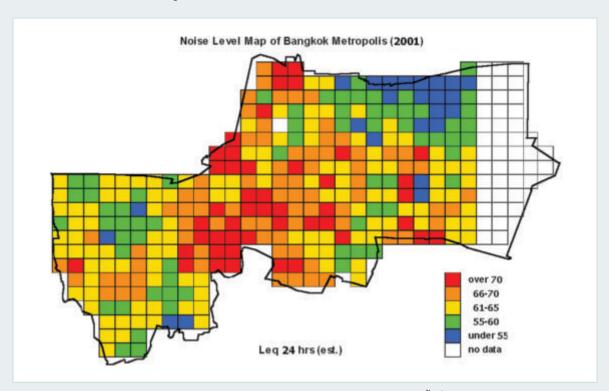
ในการศึกษานี้ได้กำหนดเวลาการตรวจวัดในช่วง เวลากลางวัน คือ ตั้งแต่เวลา 07.00 ถึง 22.00 นาฬิกา และ ในช่วงกลางคืน คือ ตั้งแต่เวลา 22.00 ถึง 07.00 นาฬิกา

## ส่วนที่ 2 การประยุกต์ใช้วิธีการตรวจวัดระดับ เสียงแบบใช้ช่วงเวลาสั้นๆ กับการตรวจวัดระดับ เสียงในเขตกรุงเทพมหานคร

จากผลการศึกษาในส่วนที่ 1 นำมาใช้เป็นวิธีการ ในการตรวจวัดระดับเสียงของกรุงเทพมหานครโดยแบ่ง พื้นที่กรุงเทพมหานครเป็น 329 ตาราง และใน 1 ตาราง มีพื้นที่ 4 ตารางกิโลเมตร กำหนดจุดตรวจวัดระดับเสียง โดยในพื้นที่ 1 ตาราง ประกอบด้วยจุดตรวจวัดเวลา กลางวัน 5 จุด และกลางคืน 1 จุด ซึ่งจุดกลางคืนเป็น จุดเดียวกับจุดวัดเสียงกลางวันในตำแหน่งกึ่งกลางของ ตาราง ดังแสดงในรูป 2 ตรวจวัดระดับเสียง  $L_{eq}$  10 นาที กับ พื้นที่กรุงเทพมหานครชั้นในและชั้นนอก รวมทั้งพื้นที่ที่อยู่ใกล้กับถนนหลัก และตรวจวัดระดับ เสียง  $L_{eq}$  30 นาที กับ พื้นที่ที่อยู่อาศัยโดยรอบสนามบิน ดอนเมือง นำค่าที่ได้จากการตรวจวัดมาคำนวณค่า ระดับเสียง  $L_{eq}$  24 hrs (est.) และจัดทำแผนที่ระดับเสียง ของกรุงเทพมหานคร



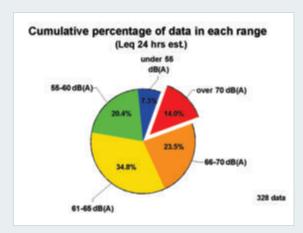
รูป 2 แสดงลักษณะของการตรวจวัดในพื้นที่แต่ละตาราง



รูป 3 แสดงค่าระดับเสียง  $L_{eq}$  24 hrs(est.) ของแต่ละพื้นที่

## 3. สรุปพลการศึกษา

จากการจัดทำแผนที่ระดับเสียงโดยใช้ค่าระดับ เสียงเฉลี่ย 24 ชั่วโมง (Leq 24 hrs) เป็นค่าตัวแทน ของแต่ละพื้นที่ ดังแสดงในรูป 3 ของปี พ.ศ. 2544 นี้ พบ ว่ามีพื้นที่ร้อยละ 14 มีค่าระดับเสียงสูงกว่า 70 เดซิเบลเอ หรือสูงกว่าค่ามาตรฐานเสียงทั่วไปที่กรมควบคุมมลพิษ กำหนดและต้องรีบดำเนินการป้องกันแก้ไข ดังแสดงใน รูป 4 โดยเสียงหลักที่ก่อให้เกิดมลพิษทางเสียงใน กรุงเทพมหานครคือ เสียงจากการจราจร ซึ่งพบว่ามี ถึงร้อยละ 50 ของการตรวจวัดในพื้นที่ทั้งหมด สำหรับ



รูป 4 แสดงจำนวนข้อมูลเป็นเปอร์เซ็นต์ ของช่วงระดับเสียง Leq 24 hrs(est.)

พื้นที่ที่พบว่ามีปัญหามลพิษทางเสียงมากคือ ในบริเวณ กรุงเทพมหานครชั้นใน บริเวณสนามบินดอนเมือง เมื่อ เปรียบเทียบกับแผนที่ระดับเสียงปี 2539 พบว่า มลพิษ ทางเสียงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นโดยสังเกตได้จากพื้นที่ที่เป็น สีแดงและสีส้มซึ่งมีค่าระดับเสียงตั้งแต่ 66 เดซิเบลเอ ขึ้นไป มีการแผ่ขยายจากบริเวณกรุงเทพมหานครชั้นใน ไปยังเขตที่พักอาศัยย่านลาดพร้าว บางกะปิ รามคำแหง ห้วยขวางและรามอินทรา ทั้งนี้เนื่องจากในช่วง 5 ปี ที่ผ่านมาในบริเวณดังกล่าวมีโครงการต่างๆเกิดขึ้นมากมาย เช่น โครงการก่อสร้างรถไฟฟ้าใต้ดิน โครงการก่อสร้าง ถนนวงแหวนรอบนอก โครงการทางยกระดับพระราม 9 และถนนทางยกระดับรามคำแหง ส่วนพื้นที่ในเขต ลาดกระบังซึ่งอยู่ทางด้านทิศตะวันออกเฉียงใต้ของ กรุงเทพมหานคร ก็ยังคงมีปัญหามลพิษทางเสียงจาก การจราจรเช่นเดิม สำหรับพื้นที่กรุงเทพมหานครตอนบน ซึ่งยังคงเป็นทุ่งโล่งส่วนใหญ่มลพิษทางเสียงยังคงมีน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับกรุงเทพมหานครชั้นใน

สำหรับโครงการนี้ เป็นการศึกษาปัญหามลพิษ ทางเสียงเพื่อประเมินสถานการณ์มลพิษทางเสียงใน พื้นที่อันกว้างใหญ่อย่างกรุงเทพมหานคร ซึ่งต้องใช้การ ศึกษาวิจัยแบบง่ายแต่มีประสิทธิภาพในการหาแนวทาง การแก้ไขอย่างทันท่วงทีกับปัญหามลพิษทางเสียงใน ปัจจุบัน

### กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้ศึกษาใคร่ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ตำรวจจราจร ตำรวจนครบาลและเจ้าหน้าที่ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อมทุกท่าน ซึ่งอำนวยความสะดวกและช่วยในการปฏิบัติงานอย่างดียิ่ง และใคร่ขอขอบคุณเจ้าของสถานที่ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการติดตั้งเครื่องมือเป็นอย่างดีตลอดระยะเวลาการศึกษา จนทำให้การศึกษาครั้งนี้ประสพความสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

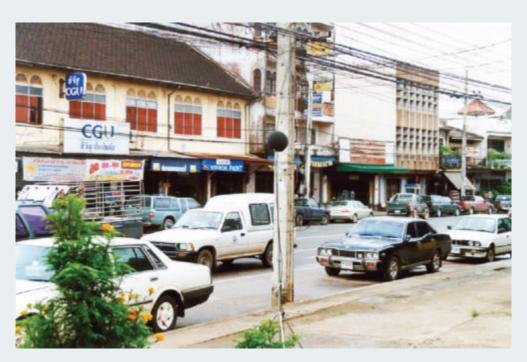
### เอกสารอ้างอิง

- N.Chansombat et al (ERTC) "Study on Environmental Noise and Monitoring Technique in Bangkok Metropolitan Area, Thailand" INTER-NOISE 97 Budapest Hungary August 25-27 pp 831-834
- ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 15 (พ.ศ.2540) เรื่อง กำหนดมาตรฐานระดับเสียงโดย ทั่วไป, คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ, 2540
- 3. กองจัดการคุณภาพอากาศและเสียง กรมควบคุม มลพิษ, สถานการณ์และการจัดการปัญหาพิษทาง อากาศและเสียง ปี 2539 หน้า 25-29
- ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม, เอกสาร ประกอบการสัมมนาทางวิชาการ เรื่อง "ปัญหามลพิษ ทางเสียงและการจัดการสิ่งแวดล้อมเมือง" วันที่ 27 พฤศจิกายน 2539 ณ ศาลาว่าการกรุงเทพมหานคร
- 5. ISO 1996/1 , "Description and Measurement of Environmental Noise". (1982)



## การตรวจวัดระดับเสียงในเขตเทศบาลนครตรัง จังหวัดตรัง Study on Noise Level in Trang Municipality, Trang Province

ธนาวุธ โนราช \* ณัฐพงศ์ จันทร์สมบัติ \* ธนาพันธ์ สุกสอาด \* วิรัช เอื้อทรงธรรม \* กิตติพันธ์ เชี่ยงเชียว \* มนตรี จั่นเล็ก \*



### **Abstract**

The study on noise measurement at Trang Municipality, Trang province, was done to anticipate the situation in Trang municipality under the Agenda 21 Project. The Continuous Equivalent Sound Pressure level ( $L_{\rm eq}$ ) 24 hrs and Maximum Sound Pressure Level ( $L_{\rm max}$ ) were studied for noise measurement in the communities, the hospitals, the schools, the government service and roadsides during July 4<sup>th</sup> - 6<sup>th</sup>. It was found that the  $L_{\rm eq}$  24 hrs were between 61 and 77 dBA. In this measurement, there are 5 measurement points which the noise levels were greater than General National Noise Standard of Thailand. And the maximum sound pressure level ( $L_{\rm max}$ )

were quite loud, between 85 and 109 dBA, but not exceeded the standard value (115 dBA). The noise levels at the roadside points were in quite high level, which is in between 74 and 80 dBA.

### บทคัดย่อ

การตรวจวัดระดับเสียงในเขตเทศบาลนครตรัง จังหวัดตรัง มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ทราบสถานการณ์ของ ระดับเสียงในเขตเทศบาลนครตรัง ซึ่งเป็นพื้นที่ตาม โครงการนำร่องของแผนปฏิบัติการ 21 หรือ Agenda 21 โดยการศึกษาครั้งนี้ได้ตรวจวัดระดับเสียงเฉลี่ย ( $L_{eq}$ ) 24 ชั่วโมง และระดับเสียงสูงสุด ( $L_{max}$ ) ในพื้นที่ชุมชน โรงพยาบาล สถาบันการศึกษา สถานที่ราชการ และ ริมถนนสายหลัก ระหว่างวันที่ 4-6 กรกฎาคม 2543 จากการศึกษาค่าระดับเสียงเฉลี่ยพบว่ามีค่าระหว่าง

<sup>a</sup>ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม เทคโนธานี ต.คลองห้า อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120 โทร. 0 2577 4182-9 โทรสาร 0 2577 1138 Environmental Research and Training Centre, Department of Environmental Quality Promotion, Technopolis, Klong 5, Klong Luang, Pathumthani 12120 E-mail: thanawut@deqp.go.th

61-77 เดซิเบลเอ มี 5 จุดตรวจวัดที่มีค่าเกินค่ามาตรฐาน ระดับเสียงโดยทั่วไป และระดับเสียงสูงสุดมีค่าระหว่าง 85-109 เดซิเบลเอ ซึ่งต่ำกว่าค่ามาตรฐานเสียงสูงสุด ของประเทศไทย สำหรับระดับเสียงที่ตรวจวัดได้ บริเวณริมถนนมีค่าค่อนข้างสูง คือมีค่าอยู่ระหว่าง 75-82 เดซิเบลเอ

### 1. unun

สืบเนื่องจากประเทศไทยได้เข้าร่วมรับรอง แผนปฏิบัติการ 21 หรือ Agenda 21 ในการประชุม สิ่งแวดล้อมและการพัฒนาที่ประเทศบราซิล ซึ่งมี ผลทำให้ประเทศไทยต้องก้าวสู่การพัฒนาที่จะไม่ก่อให้เกิด ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เพื่อนำประเทศไปสู่การพัฒนา ที่ยั่งยืน

ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรม ส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม จึงได้จัดทำโครงการฝึก อบรมเชิงปฏิบัติการ 21 ระดับท้องถิ่นขึ้น โดยได้รับ ความร่วมมือจากประเทศสวีเดน ซึ่งมีเทศบาลนครตรัง และเทศบาลนครนครราชสีมาเป็นโครงการนำร่องใน การเพิ่มสมรรถนะและศักยภาพของท้องถิ่น ในการ ดูแลรักษาสิ่งแวดล้อมเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน และหนึ่ง ในหลายกิจกรรมที่กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อมโดย ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อมได้เข้าร่วม

โครงการนี้ก็คือ การตรวจวัดระดับเสียงในเขตเทศบาล นครตรัง ระหว่างวันที่ 4-6 กรกฎาคม 2543 เพื่อให้ ทราบถึงสถานการณ์มลพิษทางด้านเสียง สำหรับใช้เป็น ข้อมูลในการวางแผนป้องกันและแก้ไขปัญหามลพิษทาง ด้านเสียงในเขตเทศบาลนครตรังต่อไป

### 2. วิธีการตรวจวัด

การตรวจวัดในครั้งนี้จะแบ่งการตรวจวัดเป็น 2 แบบ คือ

2.1 การตรวจวัดระดับเสียงเฉลี่ย 24 ชั่วโมง และระดับเสียงสูงสุด ในเวลา 24 ชั่วโมง

- ติดตั้งเครื่องมือวัดตามวิธีการตรวจวัด ระดับเสียงโดยทั่วไปของประกาศคณะกรรมการ สิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 15 พ.ศ. 2540 เรื่อง กำหนดมาตรฐานระดับเสียงทั่วไป [1] โดยติดตั้ง ไมโครโฟนสูงจากพื้นไม่น้อยกว่า 1.2 เมตร โดยในรัศมี 3.5 เมตร ตามแนวราบรอบไมโครโฟน ไม่มีกำแพงหรือ สิ่งอื่นใดที่มีคุณสมบัติในการสะท้อนของเสียงกีด ขวางอยู่
- ติดตั้งเครื่องมือวัดตามจุดตรวจวัดต่างๆ
   จุดตรวจวัด ที่ได้กำหนดไว้ดังแสดงในรูป 1 โดยทำการ
   ตรวจวัดวันละ 3 จุด



จุดที่ 1 บริเวณสามแยกหมี

จุดที่ 2 บริเวณศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก

จุดที่ 3 บริเวณโรงพยาบาลตรัง

จุดที่ 4 บริเวณโรงพยาบาลวัฒนแพทย์

จุดที่ 5 บริเวณสถานีรถไฟตรัง

จุดที่ 6 บริเวณสี่แยกท่าจีน

จุดที่ 7 บริเวณสถานีรถไฟตรัง

จุดที่ 8 บริเวณชุมชนบางรัก

จุดที่ 9 บริเวณหอนาฬิกาหน้าเทศบาล

รูป 1 แสดงจุดตรวจวัดระดับเสียงบริเวณเขตเทศบาลนครตรัง

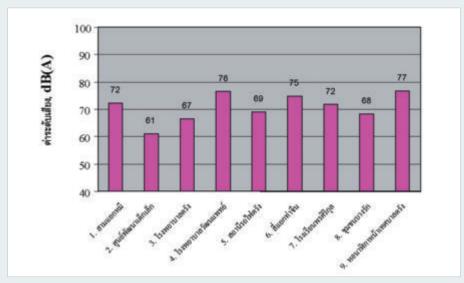
■ ตรวจวัดค่าระดับเสียงเฉลี่ย 24 ชั่วโมง และระดับเสียงสงสดไปพร้อมกัน

### 2.2 การตรวจวัดระดับเสียงริมถนน

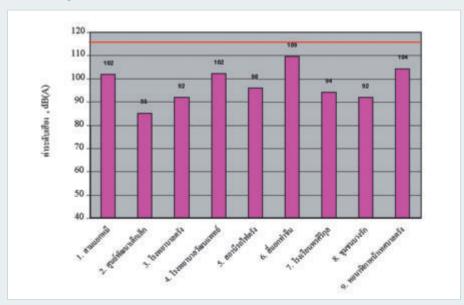
- ติดตั้งเครื่องมือวัดที่บริเวณริมถนน โดย หันไมโครโฟนเข้าหาและตั้งฉากกับเส้นทางการจราจร ซึ่งไมโครโฟนจะห่างจากขอบถนน 1 เมตร
- ติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดตามจุดต่างๆ จำนวน 3 จุด บริเวณริมถนนหัวยยอด เพลินพิทักษ์ และแยกท่าจีน โดยตรวจวัดวันละ 2 จุด และทำการ ตรวจวัด 3 ช่วงเวลาคือช่วงเช้า (7.00-8.00 น.) ช่วงบ่าย (12.00-14.00 น.) และช่วงเย็น (17.00-18.00 น.)
  - ตรวจวัดระดับเสียงเฉลี่ย 15 นาที

### 3. พลการตรวจวัด

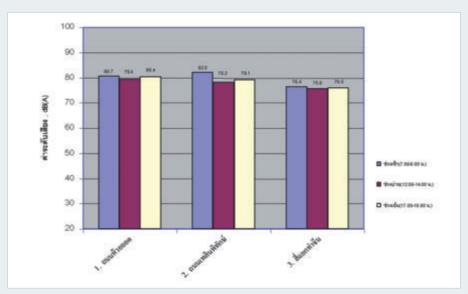
3.1 ผลการตรวจวัดค่าระดับเสียงเฉลี่ย ( $L_{\rm eq}$ ) 24 ชั่วโมง และระดับเสียงสูงสุด ( $L_{\rm max}$ ) ณ จุดตรวจวัด ทั้ง 9 จุดตรวจวัด ดังแสดงในรูป 2 และ 3 พบว่า ระดับเสียงเฉลี่ย ( $L_{\rm eq}$ ) 24 ชั่วโมง มีค่าอยู่ในช่วง 61- 77 เดซิเบลเอ และระดับเสียงสูงสุดมีค่าอยู่ระหว่าง 85-109 เดซิเบลเอ ซึ่งเมื่อเทียบกับมาตรฐานระดับเสียงทั่วไปและระดับเสียงสูงสุดของประเทศไทย แล้ว พบว่ามีอยู่ 5 จุด ที่มีระดับเสียงเฉลี่ย 24 ชั่วโมงเกิน ค่ามาตรฐาน 70 เดซิเบลเอ คือจุดตรวจวัดสามแยกหมี โรงพยาบาลวัฒนแพทย์ สี่แยกท่าจีน โรงเรียนพรศิริกุล และหอนาฬิกาหน้าเทศบาลนครตรัง ซึ่งจุดตรวจวัด



รูป 2 กราฟแสดงค่าระดับเสียงเฉลี่ย 24 ชั่วโมง ในเขตเทศบาลนครตรัง



รูป 3 กราฟแสดงค่าระดับเสียงสูงสุดในเขตเทศบาลนครตรัง



รูป 4 กราฟแสดงค่าระดับเสียงเฉลี่ย 1 ชั่วโมง บริเวณริมถนนในช่วงเวลาต่างๆ 24 ชั่วโมง ในเขตเทศบาลนครตรัง

ดังกล่าวนี้เป็นจุดตรวจวัดที่อยู่ใกล้กับถนนและค่าระดับ เสียงสูงสุดทั้ง 9 จุด ไม่พบว่าจุดตรวจวัดใดมีระดับเสียง เกินมาตรฐาน 115 เดซิเบลเอ

3.2 ผลการตรวจวัดระดับเสียงเฉลี่ย 15 นาที บริเวณริมถนนแสดงในรูป 4 พบว่าระดับเสียงเฉลี่ยที่ ตรวจวัดได้ในช่วงเวลาต่างๆ มีค่าค่อนข้างสูงอยู่ในช่วง 75-82 เดซิเบลเอ จากการพิจารณาเปรียบเทียบค่า ที่ตรวจวัดได้ในช่วงเวลาต่างๆ พบว่ามีค่าใกล้เคียงกันมาก ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระดับเสียงริมถนนสายหลักในเขตเทศบาล นครตรังจะมีค่าสูงและค่อนข้างคงที่อยู่ตลอดเวลา

## 4. สรปพลการตรวจวัด

จากผลการตรวจวัดระดับเสียงเฉลี่ย 24 ชั่วโมง และระดับเสียงสูงสุด ของจุดตรวจวัดทั้งหมด 9 จุด ใน เขตเทศบาลนครตรัง พบว่าค่าระดับเสียงอยู่ในช่วง 61-77 เดซิเบลเอ และ 83-102 เดซิเบลเอ ตามลำดับ และเมื่อเทียบกับมาตรฐานระดับเสียงโดยทั่วไปและ ระดับเสียงสูงสุดของประเทศไทยที่กำหนดค่าระดับ เสียงเฉลี่ย 24 ชั่วโมงไว้ไม่เกิน 70 เดซิเบลเอ พบว่ามี 5 จุด ที่มีค่าเกินมาตรฐาน คือจุดตรวจวัด สามแยกหมี โรงพยาบาลวัฒนแพทย์ สี่แยกท่าจีน โรงเรียนพรศิริกุล และหอนาหิกาหน้าเทศบาลนครตรัง ซึ่งจุดตรวจวัด ดังกล่าว เป็นจุดตรวจวัดที่อยู่ริมถนน ซึ่งอาจมีผล

กระทบของมลพิษทางด้านเสียงกับผู้ที่อาศัยอยู่บริเวณ ดังกล่าวได้ สำหรับระดับเสียงสูงสุดไม่พบว่ามีจุดตรวจ วัดใดที่มีค่าระดับเสียงเกินกว่ามาตรฐานที่กำหนด (115 เดซิเบลเอ) และในส่วนของการตรวจวัดระดับเสียงริม ถนนนั้นค่าระดับเสียงมีค่าค่อนข้างสูงคืออยู่ในช่วง 75-82 เดซิเบลเอ ซึ่งค่าระดับเสียงระดับนี้อาจมีผลกระทบ กับผู้ที่อาศัยอยู่ริมถนนเป็นเวลานานจนอาจเป็นอันตราย ต่อระบบการได้ยินได้

### กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้ศึกษาใคร่ขอขอบคุณท่านนายกเทศมนตรี เทศบาลนครตรัง ท่านผู้อำนวยการโรงพยาบาลตรัง ท่านผู้อำนวยการโรงพยาบาลวัฒนแพทย์ ท่านผู้อำนวยการ โรงเรียนพรศิริกุล ซึ่งอำนวยความสะดวกในการปฏิบัติ งานอย่างดียิ่ง และใคร่ขอขอบคุณเจ้าของสถานที่ที่ให้ ความอนุเคราะห์ในการติดตั้งเครื่องมือเป็นอย่างดีตลอด ระยะเวลาการศึกษาจนทำให้การศึกษาครั้งนี้ประสพความ สำเร็จลูล่วงไปด้วยดี

### เอกสารอ้างอิง

ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่
 (พ.ศ. 2540) เรื่อง กำหนดมาตรฐานระดับเสียง
 โดยทั่วไป, คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ, 2540



## การตรวจวัดระดับเสียงในเขตเทศบาลนครนครราชสีมา จังหวัดนครราชสีมา

Study on Noise Level in Nakhonrachasima Municipality, Nakhonrachasima Province



### **Abstract**

The study of noise measurement in Nakhonrachasima Municipality, Nakhonrachasima Province, was done to anticipate the noise situation in Nakhonrachasima Municipality under The Agenda 21 Project. The Continuous Equivalent Sound Pressure Level ( $L_{\rm eq}$ ) 24 hrs and Maximum Sound Pressure Level ( $L_{\rm max}$ ) were studied for noise measurement in the communities, the hospitals, the schools, the government service and at the roadsides during July 23-27, 2001. The results show that  $L_{\rm eq}$  24 hrs were between 53 and

70 dBA and  $L_{max}$  were between 83 and 102 dBA. Both of  $L_{eq}$  and  $L_{max}$  were lower than the National General Noise Standard of Thailand but the noise levels at the roadside points were quite high, between 74 and 80 dBA.

### บทคัดย่อ

การตรวจวัดระดับเสียงในเขตเทศบาลนคร นครราชสีมา จังหวัดนครราชสีมา มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ ทราบสถานการณ์ของระดับเสียงในเขตเทศบาลนคร นครราชสีมา ซึ่งเป็นหนึ่งในกิจกรรมด้านสิ่งแวดล้อม ภายใต้โครงการนำร่องของแผนปฏิบัติการ 21 หรือ

<sup>&</sup>lt;sup>a</sup>ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม เทคโนธานี ต.คลองหัว อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120 โทร. 0 2577 4182-9 โทรสาร 0 2577 1138 Environmental Research and Training Centre, Department of Environmental Quality Promotion, Technopolis, Klong 5, Klong Luang, Pathumthani 12120 E-mail: thanawut@deqp.go.th

Agenda 21 โดยการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการตรวจวัดระดับ เสียงเฉลี่ย (Continuous Equivalent Sound Pressure Level, L<sub>eq</sub>) 24 ชั่วโมง และระดับเสียงสูงสุด (L<sub>max</sub>) ในพื้นที่ชุมชน โรงพยาบาล สถาบันการศึกษา สถานที่ ราชการและริมถนนสายหลัก ระหว่างวันที่ 23-27 กรกฎาคม 2544 จากการศึกษาพบว่าในพื้นที่ทั่วไปที่ ไม่ได้อยู่ริมถนนมีค่าระดับเสียงเฉลี่ยระหว่าง 53-70 เดซิเบลเอ ซึ่งมีค่าไม่เกินมาตรฐานระดับเสียงโดยทั่วไป ของประเทศไทย (70 เดซิเบลเอ) ส่วนระดับเสียงสูงสุด มีค่าระหว่าง 83-102 เดซิเบลเอ ซึ่งต่ำกว่าค่ามาตรฐาน ระดับเสียงสูงสุด (115 เดซิเบลเอ) สำหรับระดับเสียง เฉลี่ยที่วัดได้บริเวณริมถนนมีค่าค่อนข้างสูง คือมีค่าอยู่ ระหว่าง 74-80 เดซิเบลเอ

### 1. unun

สืบเนื่องจากประเทศไทยได้เข้าร่วมรับรอง แผนปฏิบัติการ 21 หรือ Agenda 21 ในการประชุม สิ่งแวดล้อมและการพัฒนาที่ประเทศบราซิล ซึ่งมีผล ทำให้ประเทศไทยต้องก้าวสู่การพัฒนาที่จะไม่ก่อให้เกิด ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เพื่อนำประเทศไปสู่การพัฒนา ที่ยั่งยืน

ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรม ส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม จึงได้จัดทำโครงการ ฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ 21 ระดับท้องถิ่นขึ้น โดยได้รับ ความร่วมมือจากประเทศสวีเดน ซึ่งมีเทศบาลนครตรัง และเทศบาลนครนครราชสีมาเป็นโครงการนำร่องในการ เพิ่มสมรรถนะและศักยภาพของท้องถิ่นในการดูแลรักษา สิ่งแวดล้อมเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน และหนึ่งในหลาย กิจกรรมที่กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อมโดยศูนย์วิจัย และฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อมได้เข้าร่วมโครงการนี้คือ การตรวจวัดระดับเสียงในเขตเทศบาลนครนครราชสีมา ระหว่างวันที่ 23-27 กรกฎาคม 2544 เพื่อให้ทราบถึง สถานการณ์มลพิษทางด้านเสียง สำหรับใช้เป็นข้อมูลใน การวางแผนป้องกันและแก้ไขปัญหามลพิษทางด้านเสียง ในเขตเทศบาลนครนครราชสีมาต่อไป

### 2. วิธีการตรวจวัด

คือ

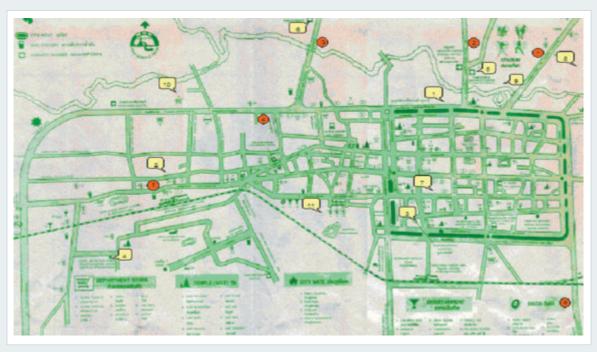
การตรวจวัดในครั้งนี้แบ่งการตรวจวัดเป็น 2 แบบ

- การตรวจวัดระดับเสียงเฉลี่ย 24 ชั่วโมง
   และระดับเสียงสูงสุด ในเวลา 24 ชั่วโมง
- ติดตั้งเครื่องมือตามวิธีการตรวจวัดระดับ เสียงโดยทั่วไปของประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อม แห่งชาติ ฉบับที่ 15 พ.ศ. 2540 เรื่อง กำหนดมาตรฐาน ระดับเสียงโดยทั่วไป[1] โดยติดตั้งไมโครโฟนสูงจากพื้น ไม่น้อยกว่า 1.2 เมตร โดยในรัศมี 3.5 เมตร ตามแนว ราบ รอบไมโครโฟนและไม่มีกำแพงหรือสิ่งอื่นใดที่มี คุณสมบัติในการสะท้อนของเสียงกีดขวางอยู่
- ติดตั้งเครื่องมือตามจุดตรวจวัดต่าง ๆ
   11 จุด ที่ได้กำหนดไว้ดังแสดงในรูป 1 โดยทำการตรวจ วัดวันละ 3 จุด
- ตรวจวัดค่าระดับเสียงเฉลี่ย 24 ชั่วโมง และระดับเสียงสูงสุดไปพร้อมกัน
  - 2) การตรวจวัดระดับเสียงริมถนน
- ติดตั้งเครื่องมือที่บริเวณริมถนน โดยหัน ไมโครโฟนไปในทิศทางของเส้นทางการจราจรและตั้งฉาก กับเส้นทางการจราจร โดยให้ไมโครโฟนอยู่ห่างจากขอบ ถนน 1 เมตร
- ติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดตามจุดต่างๆ จำนวน 6 จุด ที่ได้กำหนดไว้ดังแสดงในรูป 1 โดยตรวจ วัดวันละ 2 จุด และทำการตรวจวัด 2 ช่วงเวลาคือ ช่วงเวลาปกติ (9.00-15.00 น.) และช่วงเวลาเร่งด่วน (7.00-9.00 น. และ 15.00-18.00 น.)
- ตรวจวัดระดับเสียงเฉลี่ย 1 ชั่วโมง พร้อม
   ทั้งนับปริมาณการจราจร

## พลการตรวจวัด

3.1 ผลการตรวจวัดค่าระดับเสียงเฉลี่ย ( $L_{\rm eq}$ ) 24 ชั่วโมง และระดับเสียงสูงสุด ( $L_{\rm max}$ ) ณ จุดตรวจวัด ทั้ง 11 จุด ดังแสดงในรูป 2 และ 3 พบว่าระดับเสียง เฉลี่ย 24 ชั่วโมง มีค่าอยู่ในช่วง 53-70 เดซิเบลเอ และ ระดับเสียงสูงสุดมีค่าอยู่ระหว่าง 83-102 เดซิเบลเอ ซึ่ง เมื่อเทียบกับมาตรฐานระดับเสียงโดยทั่วไปและระดับ เสียงสูงสุดของประเทศไทย (70 และ 115 เดซิเบลเอ ตามลำดับ) พบว่าไม่มีจุดตรวจวัดใดที่มีค่าระดับเสียงเกิน ค่าที่มาตรฐานกำหนด

3.2 ผลการตรวจวัดระดับเสียงเฉลี่ย 1 ชั่วโมง บริเวณริมถนนในช่วงเวลาเร่งด่วนและช่วงเวลาปกติ แสดง ในรูป 4 พบว่าระดับเสียงเฉลี่ยในช่วงเวลาดังกล่าวมีค่า



รูป 1 แสดงจุดตรวจวัดระดับเสียงบริเวณเขตเทศบาลนครนครราชสีมา

### จุดตรวจวัดระดับเสียงทั่วไป

- 1. โรงเรียนอนุบาลนครราชสีมา
- 2. โรงเรียนเทศบาล 2 (วัดสมอราย)
- 3. สถานบริบาลเด็กปฐมวัย
- 4. ศูนย์การศึกษานอกโรงเรียน
- 5. โรงพยาบาลจิตเวช
- 6. โรงพยาบาลเซนต์เมรี่
- 7. สำนักงานสิ่งแวดล้อม เขต 5
- 8. ชุมชนมหาชัย
- 9. ชุมชนหลังวัดสามัคคี
- 10. ชุมชนสำโรงจันทร์
- 11. ชุมชนวัดหนองบัวรอง

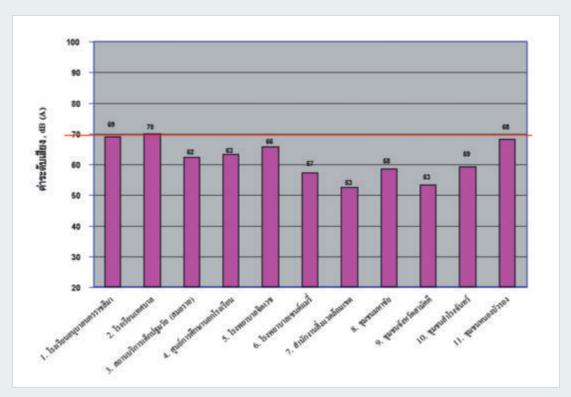
### จุดตรวจวัดระดับเสียงริมถนน

- 1. ถนนสุรนารายณ์
- 2. ถนนช้างเผือก
- 3. ถนนมิตรภาพ (ไปขอนแก่น)
- 4. ถนนมิตรภาพ (เข้านครราชสีมา)
- 5. ถนนมุขมนตรี
- 6. ถนนมิตรภาพ (ไปบุรีรัมย์)

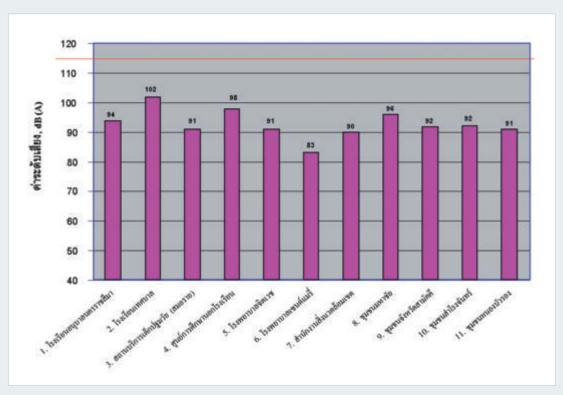
ค่อนข้างสูง อยู่ในช่วง 74-80 เดซิเบลเอ จากการ พิจารณาเปรียบเทียบค่าระดับเสียงเฉลี่ยในช่วงเวลาปกติ และช่วงเวลาเร่งด่วนพบว่ามีค่าใกล้เคียงกันมาก แม้ว่า ปริมาณรถจะเพิ่มขึ้นประมาณ 1.5-2 เท่าก็ตาม แสดงว่า ปริมาณของรถที่เพิ่มขึ้นไม่มีผลต่อระดับเสียงโดยรวมของ บริเวณจุดตรวจวัดริมถนน

## 4. สรุปพลการตรวจวัด

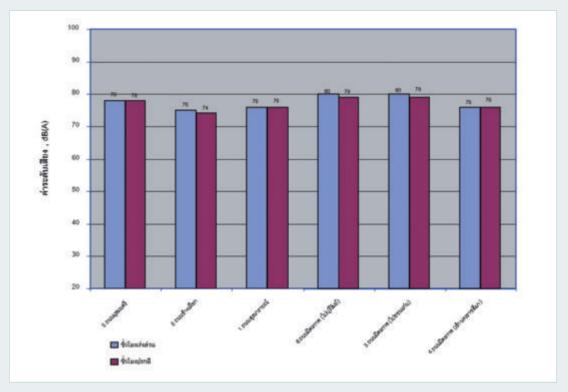
จากการตรวจวัดระดับเสียงเฉลี่ย 24 ชั่วโมง และ ระดับเสียงสูงสุด 11 จุด ในเขตเทศบาลนครนครราชสีมา พบว่ามีค่าระดับเสียงอยู่ในช่วง 53-70 เดซิเบลเอ และ 83-102 เดซิเบลเอ ตามลำดับ และเมื่อเทียบกับมาตรฐาน ระดับเสียงโดยทั่วไปและระดับเสียงสูงสุดของประเทศ ไทยซึ่งกำหนดค่าระดับเสียงเฉลี่ย 24 ชั่วโมงไว้ไม่เกิน 70 เดซิเบลเอ และ 115 เดซิเบลเอ สำหรับระดับเสียงสูงสุด ไม่พบจุดตรวจวัดใดที่มีค่าระดับเสียงเกินกว่าที่มาตรฐาน กำหนด ถึงแม้ว่าค่าระดับเสียงจากการตรวจวัดทั้ง 11 จุด จะไม่เกินค่ามาตรฐาน แต่ระดับเสียงที่จุดตรวจวัด โรงเรียนอนุบาลนครราชสีมา และโรงเรียนเทศบาล 2 (สมอราย) มีค่าค่อนข้างสูง ในช่วงเวลากลางวันที่มี



รูป 2 กราฟแสดงค่าระดับเสียงเฉลี่ย 24 ชั่วโมง ในเขตเทศบาลนครนครราชสีมา



รูป 3 กราฟแสดงค่าระดับเสียงสูงสุด ในเขตเทศบาลนครนครราชสีมา



รูป 4 กราฟแสดงค่าระดับเสียงเฉลี่ย 1 ชั่วโมง บริเวณริมถนน

การเรียนการสอน ซึ่งเสียงที่เกิดขึ้นนี้อาจมีผลกระทบต่อ ประสิทธิภาพในการเรียนรู้ของเด็กนักเรียนได้ ในส่วนของ การตรวจวัดระดับเสียงริมถนนนั้นค่าระดับเสียงเฉลี่ย มีค่าค่อนข้างสูงคืออยู่ในช่วง 74-80 เดซิเบลเอ ซึ่งเสียง ในระดับนี้อาจมีผลกระทบกับผู้ที่อาศัยอยู่ริมถนนเป็นเวลา นานจนอาจเป็นอันตรายต่อระบบการได้ยินได้

### กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้ศึกษาใคร่ขอขอบคุณท่านนายกเทศมนตรี เทศบาลนครนครราชสีมา ท่านผู้อำนวยการสำนักงาน สิ่งแวดล้อมเขต 5 ซึ่งอำนวยความสะดวกในการปฏิบัติ งานอย่างดียิ่ง และใคร่ขอขอบคุณเจ้าของสถานที่ที่ให้ ความอนุเคราะห์ในการติดตั้งเครื่องมือเป็นอย่างดีตลอด ระยะเวลาการศึกษาจนทำให้การศึกษาครั้งนี้ประสพความ สำเร็จ ลุล่วงไปด้วยดี

### เอกสารอ้างอิง

 ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 15
 (พ.ศ. 2540) เรื่อง กำหนดมาตรฐานระดับเสียงโดย ทั่วไป, คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ, 2540







## Trend of Endocrine Disruptor Compounds contamination in rivers and coastal areas of Thailand

Ruchaya Boonyatumanond<sup>a</sup>, Areerat Jaksakul<sup>a</sup>, Panomporn Wongpan<sup>a</sup>, Sutiab Srilachai<sup>a</sup>, Sukanya Boonchalermkit<sup>a</sup>

Summitted to the United Nation University (2002)

#### บทคัดย่อ

การปนเปื้อนของสารกลุ่ม Endocrine Disruptor Compounds (EDCs) ในสิ่งแวดล้อมได้รับการพิจารณา ว่าเป็นปัญหาที่สำคัญปัญหาหนึ่ง ซึ่งสารกลุ่มนี้ได้นำมา ใช้ในทางอุตสาหกรรม สิ่งที่เป็นกากจากผลิตภัณฑ์ ทางการเกษตร และการชะล้างจากน้ำฝน หรือน้ำ ธรรมชาติอื่น เช่น น้ำท่วม สารกลุ่มนี้เช่น PCBs สาร ฆ่าแมลงกลุ่มออร์กาโนคลอรีน สารกลุ่มฟืนอล และกลุ่ม พาทาเลท เป็นต้น เพื่อเป็นการทราบสถานการณ์และชนิด ของการปนเปื้อนสารเหล่านี้ บริเวณแม่น้ำสารหลัก และ ชายฝั่งทะเลของประเทศไทย ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้าน สิ่งแวดล้อม ร่วมกับ The United Nations University ภายใต้โครงการความร่วมมือ "Environmental and Governance: Endocrine Disrupter Compounds Pollution in the East Asian Coastal Hydrosphere" ตัวอย่างน้ำแม่น้ำ 4 สายหลัก และน้ำทะเลบริเวณชายฝั่ง ทะเลของประเทศจำนวน 100 ตัวอย่าง ในช่วง 3 ปี (พ.ศ.2541-2543) โดยแบ่งเป็นตัวอย่างหน้าแล้งและ หน้าน้ำ ทำการตรวจวิเคราะห์สารกลุ่มออร์กาโนคลอรีน ฟีนอล และพาทาเลท จากผลการตรวจวิเคราะห์สามารถ ตรวจพบสาร HCH-isomers aldrin endrin dieldrin และ P,P'- DDTและ isomers ซึ่งปริมาณที่ตรวจพบ อยู่ต่ำกว่าค่าที่มาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดินที่กรมควบคุม คุณภาพกำหนด และมีแนวโน้มลดลงเมื่อเทียบกับผลการ ตรวจวิเคราะห์ปี พ.ศ.2526-2534 สำหรับกลุ่มฟืนอล ตรวจพบ 4-t-butylphenol 4-n-pentylphenol 4-n-octylphenol และ bisphenolA สารกลุ่มพาทาเลท ตรวจพบ di-2-ethyl hexyl adipate และ di-2-ethyl hexyl phthalate.

#### **Abstract**

Contamination of Endocrine Disruptor Compounds (EDCs) in the environment has been recognized as the important issue of pollution problem. These compounds are found in industrial products, wastes as well as in agricultural runoff. such as PCBs, pesticides including organochlorine pesticides, phenols, phthalates, etc. In order to identify the situation of EDCs contamination in the river and coastal areas of Thailand, The Environmental Research and Training Center has cooperated with The United Nations University (UNU) to carry out the monitoring program of EDCs in the coastal hydrosphere of Thailand during 1999-2002 under the UNU project called "Environmental and Governance: Endocrine Disrupter Compounds Pollution in the East Asian Coastal Hydrosphere". 144 samples of water were collected during wet and dry season from rivers and coastal area in the upper Gulf of Thailand and the Andaman sea. The samples were analysed for organochlorine pesticides, phenol compounds and phthalate compounds. The results indicated that organochlorine pesticides residues found HCH-isomers, aldrin, endrin, dieldrin and p,p'-DDTisomers. It was found that the concentrations of the residues are lower than the Water Quality Standard of Thailand. The phenol and phthalates compounds found were 4-t-butylphenol, 2,4-

<sup>&</sup>lt;sup>a</sup>ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม เทคโนธานี ต.คลองห้า อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120 โทร 0 2577 4182-9 โทรสาร 0 2577 1138 Environmental Research and Training Centre, Technopolis, Klong 5, Klong Luang, Pathumthani, 12120 E-mail: ruchaya@deqp.go.th

dichlorophenol, 4-nonylphenol, 4-n-butylphenol, 4-n-pentylphenol, 4-n-octylphenol and bisphenol-A, di 2-ethyl hexyl adipate and di-2-ethyl hexyl phthalate. The results indicated the decreasing trend of EDCs contamination in river and coastal areas of Thailand in the period of 1999-2001 as compared to 1988-1995.

**Keywords**: Contamination, Endocrine Disruptor Compounds, pollution in Thailand

#### 1. Introduction

Endocrine Disrupter Compounds (EDC) such as organochlorine pesticides, polychlorinated biphenyls, phthalate compounds phenol compounds have been used for long time in Thailand. Thailand like other developing countries have benefited from the available pest control chemicals and has

also produced its share of pesticides poisoning. The trend of toxic chemical are increasing for supporting many kinds of agriculture products and industrial activity as shown in term of total quality in Table 1. The contaminations of chemical have transferred to the environment because of human activities [9,17,19]. These chemicals were discharged into the environment through industrial wastewater, municipal waste, agricultural runoffs, air [12,22] and eventually flow into rivers and coastal areas [6,15].

In addition, DDT have been used as Malaria vector control for long time in Thailand but banned the use for agriculture activity as shown in Table 2. However, Government tried to control the amount of some pesticides which are revealed by the decrease .

Table 1. Quality (a.i) of import pesticides (1985-2001)

Year			Quality (tons)		
Teat	Insecticide	Fungicide	Herbicide	Others	Total
1985	5,146	2,646	4,830	210	12,832
1986	5,799	2,512	4,262	204	12,777
1987	5,881	4,530	3,967	247	14,625
1988	7,050	4,362	5,596	205	17,213
1989	6,937	4,724	6,747	317	18,725
1990	7,176	2,800	8,272	346	18,594
1991	5,560	2,087	7,071	311	15,029
1992	6,098	3,513	8,450	418	18,479
1993	5,305	3,988	9,056	476	18,825
1994	5,252	4,885	9,554	640	20,331
1995	6,573	4,828	11,934	727	24,062
1996	6,608	4,446	14,041	446	25,541
1997	12,543	5,820	22,459	-	42,180
1998	12,823	3,683	15,108	-	32,977
1999	19.525	7,204	27,639	745	56,865
2000	12,532	7,392	29,714	657	52,738
2001	16,667	7,824	32,422	644	60,541

**Table 2.** Organochlorine pesticides banned and/or restricted under the Ministry of Agriculture and Cooperatives, Thailand

chemical	effect year
HCHs	1980
dieldrin	1981
DDTs	1983
aldrin	1983
endrin	1983
toxaphene	1983
heptachlor	1988

Many kind of chemicals were used as raw material in industrial factory and byproducts such as phenol and phthalate. Phenol is mainly a man-made chemical. It is widely used in the manufacturing process and in many products such as resins, plastic, insecticide, explosives, dye and detergent [15,23], etc. Therefore, the exposure of phenol can pass through human being and raised concern of impact on the environment. It can also be found in the air, drinking water, surface water, food, and groundwater, etc [13].

For example, phenol is widely used in the manufacturing process such as resins, plastic, insecticide. Bisphenol-A used in the manufacture of a variety of plastics. The Bisphenol-A is expected to exist almost entirely in the particulate phase in the atmosphere [7]. Nonylphenol ethoxylates which used as an ingredient of surfactant in various industrial and household application. 4-nonylphenol is as a biodegradation product of nonylphenol ethoxylates. Nonyl product is used in the preparation of lubricating oil additive, resins, surface active agent, antioxidants for rubber and plastic [1]. Nonylphenol will bioconcentrate in aquatic organisms [5] and 4-nonylphenol should occur rapidly in water. 2,4-Dichlorophenol's production and use in

organic synthesis may result in its release to the environment through various waste streams. 2,4-Dichlorophenol that has been detected in waste waters from bleaching process at pulp mills and runoff [10,13,17].

Phthalate compounds such as diethyl phthalate (DEP) and n-butyl phthalate (DBP) which are used as a plasticizer, solvent for resins, wetting agent and insect repellent may be released in to the environment through wastewater effluent. Bis 2-ethylhexyl phthalate (DEHP) is used as an insulating fluid in electrical transformers, industrial tubing and food packaging system including bis2-ethylhexyl adipate which released into the environment during PVC blending operations and consumer used of finished product. DBP is also exposured from using cosmetics and food wrapping. EDCs compounds effect to human and can accumulate in food chain [4,14,16,18,21].

This paper focused on concentration of EDCs in water sample from land-used to coastal area. And to identify the situation of EDCs contamination in the coastal area of Thailand and the source of pollutants, The results of organochlorine pesticides residues were compared with prior data from 1988-1995 [2].

#### 2. Materials and methods

The monitoring program started from May 1999 - December 2001. Sixty-six river water samples from 11 stations were collected at four main rivers namely The Chao Praya river, The Mae-kong river, The Bang pakong river and The Tha-chin river and seventy-eight sea water samples from 13 stations were collected from the West side of The Gulf of Thailand where connect with Andamun sea and the east side of the Gulf of Thailand as showed in Table 3.

The Chao Phraya river is the most important

river in Thailand, flow through several cities including Bangkok. There are industrial located along the river and a large number of inhabitants live along the river banks. The river, which discharges into the upper Gulf at Samutprakran province, has an average discharge varying from  $8,000 \times 10^6$  to  $34,000 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/year. The Bang pakong is the river received domestic sewage from several cities, and effluent from agro-industrials which has a flow of 3,000 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/year. The Tha-chin river which flow and discharges into the upper Gulf at Samut Sakhorn at a rate about 1,500 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/year. The Mae-kong river which discharges into the upper Gulf of Thailand at Samutsongkram from 9,000 to 16,000 x 10<sup>6</sup> m<sup>6</sup>/year. The wastewaters generated from these industries in Chonburi and Samut Prakharn province such as sugar, metal plating, paper mill and food industrial located along the river at a distance about 100 km upstream from the Gulf. The samples were collected in dry season (April-May) and wet season (September-December). The samples were analysed organochlorine pesticides (1999-2001), phenol compounds (2000-2001) and phthalate compounds (2001). The water sample for organochlorine pesticide analyses and phthalate compounds were kept at 4°C and especially sample for phenol analyses which were preserved with hydrochloric acid to pH 2-3 at the field and keep at the same temperature.

The quality control of sample analyses are followed the UNU method which used tap water as blank test and checked the reproducibility for 10% of total sample. The recovery test of all parameters were checked by surrogate spiking. The method of detection limit was determined by repeat of blank test for 7 times and calculated the relation by multiply with 3 times of standards deviation for integrate the result. For qualification by GC/MS of all

samples were used internal standard techniques by deuterium chemicals.

#### 2.1 Reagents

- a) Organochlorine pesticides standard (Accu Standard Inc. and Wako chemical industrial Ltd.)  $\alpha$ -HCH,  $\beta$ -HCH,  $\gamma$ -HCH,  $\delta$ -HCH, p,p'-DDE, p,p'-DDT, p,p'-DDD, Aldrin, Dieldrin, Endrin 10 mg of each standard was weighted accurately on an analytical balance, put it in volumetric flask with 100 ml and dissolve with 100 ml n-hexane-acetone for stock solution.
- b) Internal standard solution and surrogate compounds (Cambridge isotope laboratory, Inc) Phenanthrene d10, Pyrene d10, Naphthalene d8, Di n-butyl phthalate d4, Di 2-ethyl hexyl phthalate d4, n-pentyl phthalate, Bisphenol-A d16
- c) Phenol standard (Wako chemical industrial Ltd.) 4-t-Butylphenol, 2,4-Dichlorophenol, 4-n-Butylphenol, 4-n-Pentylphenol, 4-n-Hexylphenol, 4-n-Heptylphenol, 4-t-Octylphenol, 4-n-nonyltylphenol, 4-n-Octylphenol, Pentachlorophenol, Bisphenol-A
- d) Phthalate standard (Wako chemical industrial Ltd.) Di-ethyl phthalate, Di n-butyl phthalate, Di 2-ethyl hexyl adipate, Di 2-ethyl hexyl phthalate

#### 2.2 Sample preparation for organochlorine pesticides

1 liter of water sample added 30 g of sodium chloride, was extracted with 50 ml of n-hexane for 10 minutes by shaker. The hexane was transferred to erlenmeyer flask. The water sample was extracted repeatedly with 50ml of n-hexane. After shaking, the extractant was transferred into the same flask. The hexane was dehydrated with sodium sulfate before it was reduced the volume into 1 ml. It was transferred

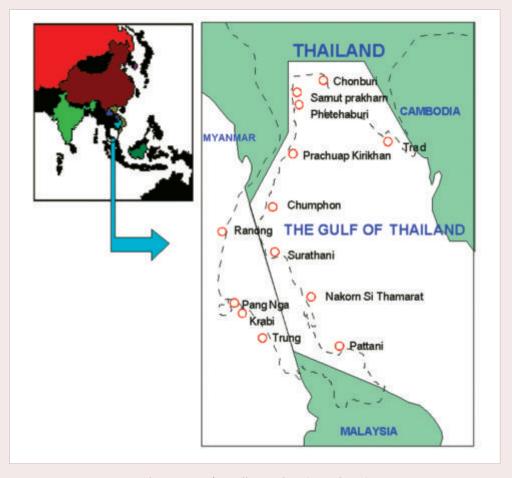


Fig. 1. Map of sampling stations (coastal area)



Fig. 2. Map of sampling stations (River Basin)

to silica gel cartridge for cleanup. The cartridge was washed with 5 ml of acetone and 15ml of n-hexane. Organochlorine pesticide residues was eluted with 5 ml of 5% acetone/n-hexane and was injected into GC/MS for measurement. This method and QA/QC were followed the UNU manual 1999.

## 2.3 Sample preparation for phenol compounds

500 ml of water sample was adjusted pH condition at pH 2-3 by using hydrochloric acid and add 30 g sodium chloride into separatory funnel. The sample was added 100 µl of 1ppm of

surrogate compound (Bisphenol-A d16) and was extracted with 25 ml of dichloromethane by shaker for 10 min. The organic layer was transferred to erlenmeyer flask and the water was repeatedly extracted again with 25 ml dichloromethane. The organic layer was transferred into the same flask. The extractant was dehydrated with sodium sulfate and concentrated to 0.5 ml by rotary evaporator and nitrogen. The extracting was added 100 µl BSTFA and stay for 1 hour at room temperature and added 100 µl of internal standard before inject into GC/MS. This method and QA/QC were followed the UNU manual 2000.

**Table 3.** Sampling collection information for EDC in water samples

Number of sample	Code number	Name of station	Remark
1	CH1	The Chao Praya river	Agricultural area
2	CH2	The Chao Praya river	Domestic area
3	CH3	The Chao Praya river	Domestic area
4	CH4	The Chao Praya river	Industrial area
5	CH5	The Chao Praya river	Industrial area
6	MK1	The Mae Klong river	Industrial area
7	MK2	The Mae Klong river	Domestic area
8	TR1	The Tha Chin river	Industrial area
9	TR2	The Tha Chin river	Domestic area
10	BP1	The Bang pakong river	Industrial area
11	BP2	The Bang pakong river	Domestic area
12	Trad	Trad province	Domestic area
13	Chonuri	Chonburi province	Domestic area
14	Samutprakharn	Samutprakarn province	Domestic area
15	Pattani	Pattani province	Domestic area
16	Petchaburi	Petchaburi province	Domestic area
17	Chumporn	Chumporn province	Domestic area
18	Surat-thani	Surat-thani province	Domestic area
19	Ranong	Ranong province	Domestic area
20	Trung	Trung province	Domestic area
21	Pang-ga	Pang-ga province	Domestic area
22	Krabi	Krabi province	Domestic area
23	Nakhorn-Srithammarat	Nakhorn-Srithammarat province	Domestic area
24	Prachub-kirikhan	Prachub-kirikhan province	Domestic area

## 2.4 Sample preparation for phthalate compounds

Add 100 ml of water sample into a 100 ml volumetric flask add surrogate compound (10  $\mu$ l of 10ppm of di n-pentyl phthalate d14) and add 5 ml of n-hexane. The internal standards were add 10  $\mu$ l of 10ppm and shake for 1 min for extraction. Transfer 1 ml of hexane layer from volumetric flask into vial for injection into GC-MS.

#### 2.5 GC-MS confirmation

Mass fragmentation data were obtained with Gas Chromatograph model GC-17A (Shimadzu) and interface equipped with Mass Spectrometer model QP-5050A (Shimadzu) and Electron impact mode (ion energy was 70 EV). The chromatography column bonded DB-5 fuse silica column (30m x 0.32 mm id x 0.25 mm film thickness) was used. The condition for inlet was splitless 2 min, injection volume was 2 µl. The carrier gas was helium with a flow rate of 2 ml/min. The temperature program of organochlorine pesticides for GC column was followed: The initial column temperature was 70°C (2min) and increase at 20°C/min to 150°C, increase at 5°C/min to 220°C and increase at 15°C/min to 300°C. Interface temperature at 280°C and injection inlet temperature was 280°C. The method detection limit and recovery of the analysed organochlorine pesticide compounds were at the range of 1 ppt (ng  $l^{-1}$ ) and 80-105%, respectively.

For 11 phenol compound condition were quatified by using the same column with organochlorine pesticides. The oven temperature program was 50°C for 1 min. to 200°C at the rate of 20°C. min-1, held 1 min and increased by 20°C.min-1 to 300°C and held 8 min. The carrier gas was helium (flow rate 1 ml min-1). The interface and injector temperature were 300 °C and 270°C and splitless mode (2 min). The method detection

limit and recovery of the analysed phenol compounds were at the range of  $0.01~\rm ppb~(ng~g^{-1})$  and 86-102%, respectively.

For 4 phthalate compounds analysed using the same column with organochlorine pesticides. The oven temperature program was 70°C for 1 min. to 120°C at the rate of 20°C. min<sup>-1</sup>, held 1 min and increased by 10°C min<sup>-1</sup> to 200°C, and the last step is 320°C at the rate of 5°C.min<sup>-1</sup>, held 3 min. The carrier gas was helium (flow rate 1 ml min<sup>-1</sup>). The interface and injector temperature were 300°C and 320°C and splitless mode (2 min). The method detection limit and recovery of the analysed phthalate compounds were at the range of 0.01 ppb (ng g<sup>-1</sup>) and 85-100%, respectively.

#### 3. Results and discussion

The 144 water samples were analysed for organochlorine pesticides, phenol compounds and phthalate compounds in dry season and wet season because chemical loading were significantly different from season. In order to understand the different environmental situation of contamination at present, the concentration of organochlorine pesticide compounds were compare with prior data from 1988-1993 as shown in Table 5 and Figure 3 [2]. Briefly, the water sample were only collected at the Chao Phraya River and analyzed for organochlorine pesticides during 1988-1995. HCH-isomers from The Chao Phraya River were detected at the range of 0.1-19.0 ppt (ng l<sup>-1</sup>) during 1988-1995 and the highest concentration among HCH-isomers is  $\beta$ -HCH in 1988. The frequency of organochlorine pesticide residues detection were 60-100%, 11-92%, 10-50%, and non detectable during 1988-1989, 1990-1991, 1992-1993, and 1994-1995, respectively. The result of this studies were shown in Table 6-9 for dry and wet season, Hexachlorocyclohexane (HCHs ; $\alpha$  , $\beta$  , $\gamma$  , $\delta$  isomer)

was found at the range of 5.0-17.0 ppt (ng 1<sup>-1</sup>). The highest concentration was (-HCH at Pang-ga station (sea water, dry season). HCH-isomers were found 12 samples from 144 samples (about 9% of total samples) as shown in Table 4. HCH-isomers were detected with higher frequency in river water more than sea water during 3 years, especially Tha-Chin River and Bang pakong River. This study show that the trend of HCH-isomers detection was declined in the Chao phraya River.

Dieldrin has been used in agriculture for the control of soil insects and several insect vectors of disease. Dieldrin has been banned in Thailand since 1981. In former time, it was used to control termites and wood borers and against textile pest. Dieldrin bind strongly to soil particles and hence is very resistant to leach into groundwater. The concentration of dieldrin were found at the range of 0.2-24 ppt (ng 1-1) during 1988-1995. The frequency of detection of dieldrin was at the range of 2.7-17 ppt (ng l<sup>-1</sup>), 6.7-24 ppt (ng l<sup>-1</sup>), and 2.8-7.4, ppt (ng 1<sup>-1</sup>) which were 80%, 80%, 100% and 92% of total samples in 1988, 1989, 1990, and 1991, respectively. In this study, the concentration of dieldrin was found at the range of 1.0-25 ppt (ng l<sup>-1</sup>) about 3% of total samples as shown in Table 4. Dieldrin was detected at several stations (i.e Ranong-2, Trung-2, CH4-2 and TR1-1). The highest concentration was detected at the Tha-chin River in dry season.

Aldrin is a pesticides used to control insects such as termites, corn rootworm. It has been widely used to protect crops such as potato and corn. Aldrin was found at the range of 0.1-22.0 ppt (ng l-1) during 1988-1995. The highest frequency detection was at the range of 4.7-22 ppt (ng l-1) and 1.3-8.1 ppt (ng l-1) which was 100% of total samples in 1989 and 1990, respectively. In this study, aldrin was found at the range of 2.2-5.4 ppt (ng l-1) in 1999 and 5.0-16.0 ppt (ng l-1)

in 2000 which is 2% and 4% of total sample, respectively as shown in Table 4. The highest concentration of aldrin was found in chumporn station in 2000 (dry season) and was not detected in 2001.

Endrin is a foliar insecticide used mainly on field crops such as cotton and grains. It has also used as a rodenticide to control mice and voles. It can contaminate surface water from water runoff. Endrin was not reported during 1989-1995. In this study, endrin was found 1.0-10 ppt (ng l<sup>-1</sup>) at Chonburi station, BK2-2 station CH4-1 station and CH3-2 station. The highest concentration of endrin was found at CH4-1 station which is an industrial area. And samples were collected during dry season. The percentage of endrin detection is 3% of total samples as shown in Table 4.

The frequency of detection of DDT-isomers (p,p'-DDD, p,p'-DDE, p,p'-DDT) were 70% to 100%, 11% to 59%, 8% to 25%, 50% and 10% to 20% of total samples in 1988-1989, 1990, 1991-1992, 1993 and 1999-2001, respectively. The relation of DDT-isomers detection is not systematic among p,p'-DDE, p,p'-DDT and p,p'-DDT but the trend of all DDT-isomers in water samples decreased during 1989-2001. The concentration range of DDT-isomers was 1.0-20 ppt (ng 1<sup>-1</sup>) during 1999-2001. The highest concentration of p,p'-DDE, p,p'-DDD and p,p'-DDT in 2001 were 15.0 ppt (ng l-1) at Krabi-2 station, 17 ppt (ng l<sup>-1</sup>) at SMP-1 station and 20 ppt (ng 1-1) at Krabi-2 station, respectively. The percentage of p,p'-DDE, p,p'-DDD and p,p-DDT detection were not significant distinguished, 2% to 5% during 1999-2001. The DDT-isomers detection were found in wet season higher frequency than dry season. May be because flood and a lot of water was flushed from many area. It would accumulated organic pollutants, transfer and discharge into river and finally to upper Gulf of Thailand. Other

Table 4. Summary of concentration of EDCS in water samples (1999-2001)

FDC		Concentration				
EDCs	1999	2000	2001			
Organochlorine pesticides						
(ng/L)	ND-6.1 (2/48)	ND	ND			
1. α-HCH	ND-15 (2/48)	ND-17 (1/48)	ND			
2. β-НСН	ND-5.0 (2/48)	ND-16 (1/48)	ND			
3. ү-НСН	ND-5.7 (4/48)	ND	ND-14 (1/48)			
4. δ-HCH	ND-6.2 (4/48)	ND-10 (1/48)	ND			
5. endrin	ND-6.2 (4/48)	ND-20 (6/48)	ND			
6. aldrin	ND	ND-1.0 (1/48)	ND-25 (1/48)			
7. dieldrin	ND-2.9 (3/48)	ND-1.0 (1/48)	ND-15 (1/48)			
8. p,p'-DDE	ND	ND	ND-17 (3/48)			
9. p,p'-DDD	ND-7.6 (2/48)	ND-18 (1/48)	ND-20 (1/48)			
10. p,p'-DDT						
Phenol compounds (ng/ml)						
1. 4-t-butylphenol	-	ND-15 (29/48)	ND-2.5 (34/48)			
2. 2,4-dichlorophenol	-	ND-19 (20/48)	ND-0.02 (12/48)			
3. 4-n-butylphenol	-	ND	ND-0.02 (1/48)			
4. 4-n-pentylphenol	-	ND	ND-0.02 (2/48)			
5. 4-n-hexylphenol	-	ND	ND			
6. 4-t-octylphenol	-	ND	ND			
7. 4-heptaphenol	-	ND	ND			
8. 4-n-octylphenol	-	ND-1.9 (29/48)	ND-2.1 (48/48)			
9. 4-n-octylphenol	-	ND	ND-0.13 (1/48)			
10. pentachlorophenol	-	ND	ND			
11. bisphenol-A	-	ND	ND-0.32 (4/48)			
Phthalate compounds (ng/ml)						
1. di-ethyl phthalate	-	-	ND			
2. di butyl phthalate	-	-	ND			
3. di ethyl hexyl adipose	-	-	ND-0.04 (1/48)			
4. di ethyl hexyl phthalate	-	-	ND-0.009 (8/48)			

#### Remark:

- : did not analyze

ND: non detectable or lower than method detection limit

 $(number/number)\,:\,(number\ of\ detected\ sample\ /\ total\ of\ samples)$ 

Table 5. Concentration (ng l-1) of organochlorine pesticides in the Lower Chao Phraya River (1989-1992)

Organochlorine compound	1988	1989	1990	1991	1992
HCHs	100*	90*	82*	90*	40*
(min-max)	(0.11-19.0)	(0.07-0.70)	(0.21-2.6)	(0.12-0.61)	(nd-5.0)
Aldrin	90*	100*	100*	92*	20*
(min-max)	(0.57-5.5)	(4.7-22)	(1.3-8.1)	(0.87-2.4)	(2.0-7.7)
Dieldrin	80*	80*	100*	92*	0*
(min-max)	(2.7-17)	(6.7-24)	(2.8-7.4)	(0.44-1.7)	nd
p,p'-DDE	100*	100*	53*	8*	50*
(min-max)	(0.20-18)	(0.30-1.5)	(0.27-0.94)	(nd-0.27)	(nd-4.25)
p,p'-DDD	100*	60	59*	8*	0*
(min-max)	(0.23-18)	(0.12-0.52)	(0.24-1.7)	(nd-0.48)	nd
p,p'-DDT	70*	70*	59*	25*	0*
(min-max)	(0.31-29)	(0.21-1.1)	(0.30-6.7)	(0.30-0.82)	nd

#### Remark

\* : Frequency of occurrence in %

(min-max) : concentration in minimum-maximum

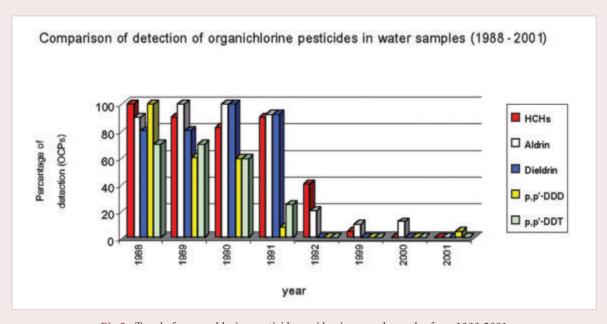


Fig 3. Trend of organochlorine pesticides residue in mussel samples from 1988-2001

reasons would explain that suspended solid which homogenize the organic matter into river water. As mention before the flow of water among 4 rivers are very high in wet season. Storm and depression usually attack Thailand during the rainy season (June-October). It can easily be seen

in the color of water that changed to red because organic matter that make the turbidity. The organic matter was commonly bind with organic pollutants. This purpose of this study is to collect the sediment at the same station, in order to explain the status of contamination of organic

pollutants in the future plan.

Phenol residue in river water and sea water samples were monitored for 11 phenol compounds in dry season and wet season during 2000-2001. Phenol residues were found 4-tbutylphenol, 4-n-pentylphenol, 4-n-butylphenol, 4-nonylphenol, 2,4-dichlorophenol and Bisphenol A. The method detection limit is 0.01 ng ml<sup>-1</sup> (ppb) and 86-102% recovery. The highest frequency detection of phenol compounds are 4-nonylphenol at the range of 0.03-1.9 ppb (ng ml<sup>-1</sup>) and 0.04-2.1 ppb (ng ml<sup>-1</sup>) in 2000 and 2001, respectively. 4-Nonylphenol was detected about 60% and 100% of total sample in 2000 and 2001, respectively. This compound was detected in river water at high frequency than sea water about one order of magnitude. The highest concentration of river water was 1.9 ppb (ng ml<sup>-1</sup>) at TR2-1 and TR2-2 station where were near estuary in dry and wet season in 2000 and also 2.1 ppb (ng ml-1) at TR2-1 in 2001. The sea water samples were found 0.78 ppb (ng ml<sup>-1</sup>) at TRUNG-1 station which was the highest concentration in dry season. 4-Nonylphenol was detected in domestic area and industrial area because of its various application use such as surfactant.

4-t-butylphenol was found at the range of 0.02-15 ppb (ng ml<sup>-1</sup>) and 0.02-0.92 ppb (ng ml<sup>-1</sup>) in 2000 and 2001, respectively. 4-t butylphenol was detected at about 70% in sea water samples and about 95% in river water samples but the high concentration of this compounds was detected in sea water such as , 15 ppb (ng ml<sup>-1</sup>) at Ranong-1 in 2000, 2.5 ppb (ng ml<sup>-1</sup>) at Nakhorn-1 in 2001, 4.4 ppb (ng ml<sup>-1</sup>) at Nakhorn-1 in 2000 and 1.2 ppb (ng ml<sup>-1</sup>) at Chump-1 in 2001. The percentage of detection was 60% and 70% of total samples in 2000 and 2001, respectively.

2,4-dichlorophenol was found 0.02-19.0 ppb (ng ml<sup>-1</sup>) and 0.01-0.03 ppb (ng ml<sup>-1</sup>) which

were 41% and 25% of the total samples in 2000 and 2001, respectively. The highest concentration of 2,4-dichlorophenol is 19 ppb (ng ml<sup>-1</sup>) at Ranong-2 station in 2000. If compared with the concentration of 2,4-dichlorophenol among 4 main rivers, TR1-1 station has detected 16 ppb (ng ml<sup>-1</sup>) which was the highest concentration in dry season. It may be indicated discharge of wastewater to Tha-chin Rver such as bleaching process from pulp mills factory.

Bisphenol-A was found 0.02-0.21 ppb (ng ml<sup>-1</sup>) and 0.02-0.40 ppb (ng ml<sup>-1</sup>) which are 80% and 90% of total samples in 2000 and 2001, respectively. The highest concentration was detected 0.21 ppb (ng ml<sup>-1</sup>) at Chump-1 for sea water and 0.20 ppb (ng ml<sup>-1</sup>) at MK1-1 for river water samples. The result indicated that the organic pollutants could detected in dry season higher frequency than wet season.

In case of Phathalate residues were selected 4 compounds were selected di ethyl phthalate (DEP), di n-butyl phthalate (DBP), di 2-ethylhexyl phthalate (DEHP) and di 2-ethylhexyl adipate (DEHA). This study used tap water for quality control of blank test. The method detection limit were at the range of 0.01 ppb (ng g-1) and recovery 85-100 %. In this study were found only DEHP and DEHA. The percentage of DEHA and DEHP detection were 0.04% and 14% of total samples. The concentration range of DEHA was nd-0.04 ppb which was detected only at one station at The Tha-Chin Rver station in dry season. The concentration range of DEHP was nd-0.09 ppb. The highest concentration was detected 0.09 ppb at The Tha-Chin Rver station in dry season. DEP could not detected, may because of the chemical property such as slowly volatilize from water surface and can adsorb to sediment or particulate matter given its measured Koc value.

This study also focused a source of pollutants from other river which are possible to contain organic pollutants. It can remark that Tha-chin Rver and Bang pakong River are point source from land-use pollutants. Because the result showed that the Tha-chin River and the Bang pakong River were contained with many kind of organic pollutants at high concentration such as 4-nonylphenol and HCH-isomers. However, The concentration of all pollutants are under the surface water and seawater quality standard by Notification of the National Environmental Board, No. 7-8, B.E. 2537 (1994). This may confirm the reason for decreasing of pesticide residues detection. DDT was used mainly for malaria vector control in boundary area. In addition, Department of Communicable Disease Control, Ministry of Public Health has introduced to use  $\delta$ -methrin and  $\theta$ -trihalothrin instead of DDT since 1995. There are many factors for transport of residues from the land area in the air and surface water to sea and ocean [6] such as structure of estuary and its hydrokinetic parameter effect the transport of contaminants in tropical coastal area [20]. The distribution of organochlorines in tropical and temperature regions showed that more volatile compounds such as HCHs tend to be prevalent in the air.

#### 4. Conclusion

This study is useful in understanding the distribution and try to define other point source of organic pollutants in Endocrine disrupter compounds by comparing the result from the previous data. In case of organochlorine pesticides compounds detected in this study although those were banned about 20 years ago. It may be illegally used and mix with other formula of pesticide products. However, the trend of organochlorine pesticide residues are decreasing as the result

under the surface water and seawater quality standard. The phenol compounds it indicated that river water may be a point source of this pollutants, especially the Tha-chin Rivers and good season for phenol monitoring is dry season. Phthalate compounds were detected very low concentration in water sample. The purpose of next research is analysis of sediment samples together with determination of suspended solid for water sample in order to explain more detail for contaminants in this area.

#### **Acknowledgements**

The authors would like to thank member of research and development of methodology for determination of toxic substances in Environmental sample section for assistance in water sampling. This work was supported in part by the United Nations University and Department of Environmental Quality Promotion, Ministry of Natural Resource and Environment, Thailand.

#### References

- Baumagartner F., 1997. Processing waste distribution residues from bisphenol manufacture with glance coal materials for foundry sands" Fuel and Energy 38, Issue 6, Nov, 444.
- Boonyatumanond, R., Tabucanon, S. Monthip., Siriwong, C. ., Prinyatanakun, P. .,1996. Concentrationof Organochlorine Pesticides in The Chao Phraya River, Thailand. Journal of Environmental Chemistry, 6, (2),195-201.
- 3. Boonyatumanond, R., Tabucanon, S. Monthip., Thongklieng, Sunitra., Boonchlaermkit, S., 1999. Persistent of organochlorine pesticides compound of green mussel(Perna Viridis) from marine estuaries in Thailand. Chemistry and Ecology, 17, 31-39.

- Boonyatumanond, R., Jaksakul, A., Pornthip, P., Tabucanon S. M.,2002. Monitoring of organochlorine pesticides residues in green mussels (Perna viridis) from the coastal area of Thailand, Environmental Pollution 119, 245-252
- 5. Ferreira-Leach A.M.R.and Hill E.M., 2001. Bioconcentration and distribution of 4-tertoctyl phenol residues in tissue of the rainbow trout (*Oncorhychus mykiss*) Marine Environmental Research 51(1), 75-89.
- Iwata, H., Tanabe, S., Sakai, N. and Tatsukawa, R., 1993. Distribution of persistent organochlorines in the oceanic air and surface seawater and the role of ocean on their golbal transport and fate. Environmental Science and Technology 27, 1080-1098
- Hirvonen, A., Marina T., Joknna H. and Juhani T., 2000. Formation of hydroxylated and dimeric intermediates during oxidation of chlorined phenols in aqueous solution" Chemosphere 41 (8) ,1211-1218.
- 8. Kannon. K; Tanabe, S; Williams and Tatsukawa, R. ,1994. Persistant organochlorine residues in foodstuffs from Austrial Papua New Guinea and the Solomon Islands: contamination levels and human dietary exposure. The Science of Total Environment 153, 29-49
- 9. Kannon. K; Tanabe, S; and Tatsukawa, R., 1995. Geographical distribution and Accumulation features of organochlorine residues in fish in Tropical Asia and Oceania . Environmental Science and Technology 29, 2673-2683
- Lin, L.Y., Yousef Y.A. and Fenerbacher, J.A., 1994..
   Fate of heavy metal and phenol in the bottom sediment of detention ponds receiving highway runoff Hazardous waste management Handbook, Prenrice-Hall, 180-192.
- 11. Notification of the National Environmental Board No.7-8, dated January 20, B.E.2537(1994), issued under the Enhancement and Conservation

- of National Environmental Quality Act B.E.2535(1992), published in the Royal Government Gazette 111, Part 16, dated February B.E.2537 (1994).
- Ogaki, Y., Yamaguchi, H; Okuyama, K; Hamaguchi, K and Shibuya, E.,1994. Enfulence of HCl on thermal decomposition of PCDD/ PCDFs in fly ash from incinerator. Chemosphere 29, (9-111) 1965-1970
- 13. Onstad, G.D.; Canfield, D.E.; Quay, P.D.; Hedges, J.I. 2000. Source of particulate organic matter in rivers from the continential usa: lignin phenol an stable carbon isotope composition" Geochemica et Cosmochimica Acta, Oct
- Phillips D. J. H., 1980. Quatitative Aquatic Biological Indicators, Alpplied Science Publishers, London
- Rengaraj, S.; MoonS-H.; Sivabalan, R.; Arabindoo,
   B. and Murugesan, V. 2002. Removal of phenol from aqueous solution and resin manufacturing industrial wastewater using an agricultural waste: rubber seed coat.. Journal of Hazardous Materials, 89, Issue 2-3, Jan, 185-196.
- Rice, C.D and Xiang, Y., 2000. Immune function, heptatic CYPIA and reproductive biomarker responses in the gulf killifish, fundulus, grandis during dietary exposure to endocrine disrupter" Marine Environmental Research 50, (1-5), 163-168.
- Rie, T.; Yuichi, S.; Takao Y. and yoshitaka, O., 2000. "Anarobic transformation of chlorophenols in methanogenic sludge unexposed to chlorophenol" Chemosphere 41(9), 1457-1662.
- Sericano, J. L., Wade., T. L., Jackson, T. J., Brooks. J.M., Tripp, B.W., Farrington . J. W., Mee , L. D., Readmann, J. W., Villenenve, J. P., Goldber, E. D., 1995. Trace Organic Contamination in the Americas: An overview of The U.S. Nation Status and Trends and the

- International Mussel Watch Programmes . Marine Pollution Bulletin. 31, 214-225.
- 19. Sisak, M.; Franek, M. and Hruska, K. "Application of radioimmunoassay in the screening of Polychlorinated biphenyls in cow's milk" Analyitica Chimica Acta vol 311, Issue 3, Aug 1995, pp 415-422.
- Takeoka, H., Ramesh, A., Iwata, H, Tatsukawa,
   S., Subramanian, A.N. D. Mohan, Magendran
   A., and Tatsukaw, a R.., 1991. Fate on the insecticide HCH in the tropical coastal area of south India. Marine Pollution Bulletin 22, 290-297
- 21. Tollefsen, K.-E., Joris F.A.M., Frydenlund, J and Stenersen, J., 2002. Environmental estrogens

- interest with and modulate the properties of plama sex stroid-binding proteins in Juvenile Atlantic Salmon (Salmo salar)" Marine Environmental Research 54 (3-5), 697-701
- 22. Watanabe, S.; Laovakul, W.; Boonyatumanond, R; Tabucanon, M.S. and Ohgaki S. 1996. Concentrations and composition of PCB congeners in the air around stored used capacitors containing PCBs insulator oil in a suburb of Bangkok, Thailand. Environmental Pollution . 92, (3), , pp 289-297
- 23. Shin Y-H. 2000. Sorption of non-ionis surfactants to soil: the role of soil mineral composition" Chemosphere 41(5), 711-716



## รายงานโครงการวิจัยและติดตามตรวจสอบสารพิษตกค้าง กลุ่ม Endocrine Disrupting Compounds ในตัวอย่างสิ่งแวดล้อม

รุจยา บุณยทุมานนท์ , นายสูเทียบ ศรีลาชัย

#### **Abstract**

In order to apply the methodology of organochlorine pesticides (OCPs) and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) analyse, 42 of green mussel samples were collected in 1999-2002 around coastal area of Thailand and to follow up the monitoring program of persistent of OCPs and PAHs by using green mussel as bioindicator. The result indicated that the mussel samples were detected P,P'-DDE range 0.8-43.4 ng g-1 (wet weight) and the trend of endosulfan sulfate was detected increasing. The concentration of PAHs residue in mussel samples detected low molecular weight higher than high molecular weight and the pattern of PAHs indicated that the possible sources of PAHs accumulate from combustion (petrogenic) and petroleum product (pyrogenic).

#### บทคัดย่อ

เพื่อประยุกต์ใช้วิธีการวิเคราะห์สารกลุ่มออร์กาโนคลอรีนและโพลีไซคลิกอาโรมาติคไฮโดรคาร์บอน
โดยเก็บตัวอย่างหอยแมลงภู่บริเวณชายฝั่งทะเลของ
ประเทศจำนวน 42 ตัวอย่าง ตามโครงการติดตามตรวจ
สอบสารกลุ่มออร์กาโนคลอรีนและโพลีไซคลิกอาโรมาติค
ไฮโดรคาร์บอน โดยใช้หอยแมลงภู่เป็นดัชนีชีวภาพ
ผลของการตรวจวิเคราะห์สามารถพบสาร P,P'-DDE
ช่วงความเข้มข้น 0.8-43.4 นาโนกรัม/กรัม (น้ำหนัก
แห้ง) และพบ endosulfan sulfate ในปริมาณที่เพิ่มขึ้น
จากเดิม

สำหรับสาร PAHs ที่ตกค้างในหอยแมลงภู่ที่ ตรวจระหว่างปี 2542-2543 นั้นพบว่าอยู่ในกลุ่ม low molecular weight มากกว่า high molecular weight และพบว่าการสะสม PAHs ในหอยแมลงภู่มีการสะสม ทั้งแบบแหล่งที่มาจากการเผาไหม้ (Pyrogenic) และจาก ผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมี (Petrogenic)

#### 1. unun

ปัจจุบันการพัฒนาประเทศในการเกษตรและ อุตสาหกรรม โดยการใช้สารเคมีหลายประเภท สารพิษที่ เกิดจากขบวนการผลิตต่างๆ รวมทั้งกากสารเคมีอาจก่อ ให้เกิดการเปลี่ยนถ่ายสารพิษสู่สิ่งแวดล้อมได้หลายทาง และหากมีปริมาณมากอาจมีผลต่อมนุษย์และสัตว์ ปัจจุบัน สารเคมีหลายชนิดได้ถูกจัดกลุ่มอยู่ในกลุ่ม Endocrine Disruptor Compound (EDCs) เป็นสารเคมีหลายกลุ่ม มีทั้งที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติและสังเคราะห์ขึ้นได้ ซึ่งจะมีผลกระทบต่อระบบฮอร์โมนต่างๆ ในร่างกาย เป็นสารก่อมะเร็ง เช่น กลุ่มโพลีไซคลิก อาโรมาติค ไฮโดรคาร์บอนสารกลุ่มออร์กาโนคลอรีน สารกลุ่ม ฟีนอล เป็นต้น ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม มีโครงการติดตามตรวจสอบสารกำจัดแมลงกลุ่ม ออร์กาโนคลอรีน โดยใช้หอยแมลงภู่เป็นดัชนีชีวภาพ ตั้งแต่ปี พ.ศ.2533-ปัจจุบัน เนื่องจากสารกลุ่มนี้ถูก ควบคุมการใช้และห้ามใช้เป็นเวลานาน การเปลี่ยน สภาพและปริมาณที่ตรวจพบลดลง จึงได้มีการพัฒนา วิลีการวิเคราะห์อย่างต่อเนื่องเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ การตรวจวัดให้มากขึ้น ดังแสดงในผลงานวิจัยนี้

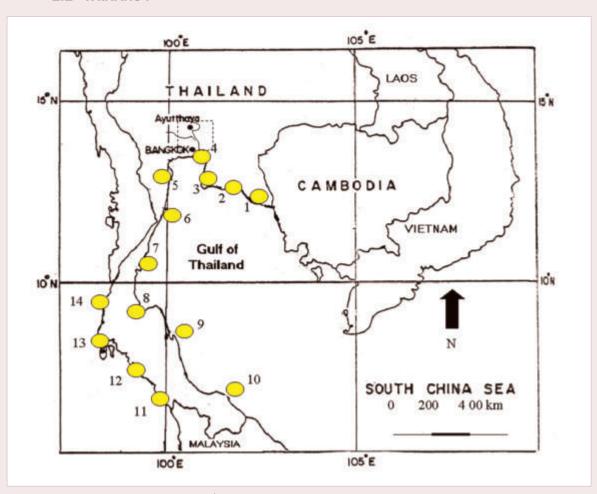
<sup>&</sup>lt;sup>a</sup>ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม เทคโนธานี ต.คลองห้า อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120 โทร 0 2577 4182-9 โทรสาร 0 2577 1138 Environmental Research and Training Centre, Department of Environmental Quality Promotion, Technopolis, Klong 5, Klong Luang, Pathumthani, 12120 E-mail: ruchaya@deqp.go.th

### 2. วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

#### 2.1 วัสดุอุปกรณ์

- 1. homogenizer
- 2. Gel Permeation Chromatograph (ยาว 100 ซม. x เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 2.5 ซม.)
- 3. Gas column chromatograph (ยาว 30 ซม. x เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 1.2 ซม.)
- 4. Rotary evaporator
- 5. GC/MS (shimadzu QP 5050A)

#### 2.2 พื้นที่ศึกษา



รูป 1 แผนที่แสดงจุดเก็บตัวอย่างหอยแมลงภู่ พ.ศ. 2544-2545

#### 2.3 วิธีการวิเคราะห์สาร OCPs

การวิเคราะห์ OCPs ในตัวอย่างหอยแมลงภู่ ในปี พ.ศ.2544-2545 ซึ่งแสดงพื้นที่เก็บตัวอย่างทั้ง 14 จุด ดังตาราง 1 และรูป 1 นี้จะต่างจากที่เคยวิเคราะห์ใน ปี 2533-2542 เนื่องจากใช้น้ำหนักแห้งในการคำนวณผล และใช้หอยแมลงภู่ป่นแห้งในการสกัดตัวอย่างด้วยเทคนิค freeze dry ดังข้อสรุปขั้นตอนการวิเคราะห์ดังนี้

- 1. ใช้ homogenizes สกัดหอยแห้งป่น 10 กรัม ด้วย hexane 2 ครั้ง และหาน้ำหนักไขมัน
- 2. ใช้เทคนิค Gel Permeation Choromatograph ในการแยกไขมันที่ไม่ต้องการออกจากสารที่สนใจ
- 3. ใช้เทคนิค Florisil chromatograph ในการ แยกสารที่ไม่ต้องการออกจากสารกลุ่มออร์กาโนคลอรีน และ PAHs

**ตาราง 1** พื้นที่ศึกษาชายฝั่งทะเล

จุดเก็บตัวอย่าง	พื้นที่ศึกษา	
St1	จ.ตราด	
St2	จ.ชลบุรี	
St3	จ.ระยอง	
St4	จ.สมุทรปราการ	
St5	จ.เพชรบุรี	
St6	จ.ประจวบคีรีขันธ์	
St7	จ.ชุมพร	
St8	จ.สุราษฎร์ธานี	
St9	จ.นครศรีธรรมราช	
St10	จ.ปัตตานี	
St11	จ.ตรัง	
St12	จ.กระบี่	
St13	จ.พังงา	
St14	จ.ระยอง	

การวิเคราะห์ทางคุณภาพและปริมาณวิเคราะห์โดยใช้ เครื่อง gas chromatography และ gas chromatography mass spectrometer (Shimadzu, QP 5050A) สำหรับเครื่อง GC/MS capillary column คือ DB-l (30 m length x 0.25 mm.id x 0.25 mm film thickness) injection temp 250°C interface temp 250°C oventemp program 70°C เพิ่มอุณหภูมิไปที่ 130°C ด้วยอัตรา 20°C/min และเพิ่มเป็น 250°C ด้วยอัตรา 10°C/min และเป็น 300°C ด้วยอัตรา 5°C/min

สำหรับ gas chromatograph และใช้ capillary Column คือ HP-1 Cross linked Methyl Silicone Gum (50m length x 0.25 mm.id x 0.25 mm film thickness) injection Temp 220°C Oven temp program 100°C และเพิ่มเป็น 180°C ด้วยอัตรา 20°C/min และเพิ่มเป็น 220°C ด้วยอัตรา 2 min/min และ เพิ่มเป็น 250°C ด้วยอัตรา 5°C/min

#### 2.4 วิธีวิเคราะห์สาร PAHs

การวิเคราะห์ PAHs ในตัวอย่างหอยแมลงภู่ ในปี พ.ศ.2542-2543 นี้จะใช้น้ำหนักหอยเปียกในการ คำนวณและการสกัดตัวอย่าง โดยสามารถใช้ขั้นตอนการ สกัดเหมือนกับ OCPs ทุกประการ ยกเว้นการแยกโดยใช้ Silica gel column และ elute ด้วย 40 ml ของ 25% dichromomethane/hexane การวิเคราะห์ทางคุณภาพ และปริมาณวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง gas chromatography mass spectrometer (Shimadzu, QP5050A) โดยใช้ capillary column คือ DB-5 (30 m length x 0.25 mm.id x 0.25 mm film thickness) injection temp 280°C interface temp 280°C oven temp program 70°C และเพิ่มเป็น 150°C ด้วยอัตรา 10°C/min และเพิ่มเป็น 250°C ด้วยอัตรา 5°C/min และเพิ่มเป็น 280°C ด้วยอัตรา 10°C/min

#### 3. พลการวิเคราะห์และวิจารณ์

การตรวจวิเคราะห์ในระหว่างปี 2544-2545 ตรวจพบสารกลุ่มออร์กาโนคลอรีนในปริมาณที่สูงกว่า ปีก่อน เนื่องจากมีการพัฒนาวิธีการวิเคราะห์โดยใช้ dry weight basis และ เทคนิค GPC เพื่อสามารถรองรับ Fat content ได้ในปริมาณสูง ทำให้สามารถเพิ่มน้ำหนัก เริ่มต้นจากเดิมได้ถึง 10-20 เท่า โดยน้ำหนักไขมันและ การใช้ GC/MS ช่วยในการพิจารณาผลวิเคราะห์ การ ตรวจสารในกลุ่มออร์กาโนคลอรีนในปี พ.ศ.2544-2545 ตรวจพบสาร aldrin dieldrin ช่วงความเข้มข้น 5.8-30.7 นาโนกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง คิดเป็น 16% ของจำนวน ตัวอย่างทั้งหมดที่วิเคราะห์ สำหรับ endosulfanlphaendosulfan ด และ endosulfan sulfate ตรวจพบ 3.4-27 นาโนกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง คิดเป็น 14% ของ ตัวอย่างทั้งหมด และ cis-Chlordane trans-Chlardane ตรวจพบ 5% ของจำนวนตัวอย่างทั้งหมด นอกจากนั้น ไม่พบ HCH-isomers heptachlor และ heptachlor spoxide ในตัวอย่างที่วิเคราะห์ รายละเอียดดังตาราง 2 ตรวจพบสารตกค้างในกลุ่ม P,P'-DDE ในปริมาณที่สูง และตรวจพบมากกว่า DDT-isomer ชนิดอื่น แสดงว่า ยังมีการสลายหรือเปลี่ยนสภาพจาก DDT อย่างต่อเนื่อง ที่น่าสังเกตอีกข้อคือตรวจพบ OCPs กลุ่ม endosulfan sulfate ในปริมาณความเข้มข้นที่สูงเช่นกัน แสดงว่า น่าจะมีการสะสมสารกลุ่ม endosulfan ในตะกอนดิน ในปริมาณที่สูงพอสมควร ในรูปของ endosulfan sulfate จึงตรวจพบการสะสมในหอยแมลงภู่ จากการสำรวจ การใช้สารเคมีกลุ่ม endosulfan มีการใช้ในปริมาณ ที่มากขึ้นเรื่อย ๆ จากสถิติการนำเข้า สำหรับสารกลุ่ม

ตาราง 2 ผลการวิเคราะห์สารกลุ่มออร์กาโนคลอรีน (2544-2545)

สารออร์กาในคลอรีน	ความเข้มข้นต่ำสุด-สูงสุด (นาโนกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง)	จังหวัดที่พบปริมาณสูงสุด (พ.ศ. ที่พบ)	จำนวนตัวอย่างที่พบ/จำนวน ตัวอย่างทั้งหมด (2544-2545) (% ตัวอย่างที่ตรวจพบ)
HCH-isomers	-	-	0/36 (0)
Aldrin Dieldrin และ	5.8-30.7	ตรัง (2544)	6/36 (16)
Endrin			
DDT-isomers	0.8-43.4	ชลบุรี (2544)	23/36 (63)
Heptachlor และ	-	-	0/36 (0)
Heptachlor epoxide			
Endosulfan α	3.4-27	ระนอง (2544)	5/36 (14)
Endosulfan β และ			
Endosulfan sulfate			
cis-Chlordane และ	0.6-29.2	สมุทรปราการ (2544)	2/36 (5)
trans-Chlorane			

### **ตาราง 3** ผลการวิเคราะห์สารกลุ่มโพลีไซคลิก อาโรมาติค ไฮโดรคาร์บอนที่ตรวจพบ พ.ศ.2544-2545

สารกลุ่ม PAHs	ความเข้มข้นต่ำสุด-สูงสุด (นาโนกรัม/กรัม-น้ำหนักเปียก)	จังหวัดที่พบปริมาณสูงสุด (พ.ศ.) ที่พบ	จำนวนตัวอย่างที่พบ/จำนวน ตัวอย่างทั้งหมด (% ตัวอย่างที่ตรวจพบ)
1. Naphthalene	0.9-6.0	ตราด (2544)	17/36 (47)
2. Acenaphthalene	0.2-5.5	กระบี่ (2544)	11/36 (30)
3. Acenaphthene	0.2-2.9	ระนอง (2544)	6/36 (16)
4. Fluorene	0.2-2.4	ตราด (2544)	6/36 (16)
5. Phenanthrene	0.2-5.4	ปัตตานี (2545)	14/36 (38)
6. Anthracene	0.1-4.0	กระบี่ (2544)	6/36 (16)
7. Fluoranthene	0.3-7.0	ปัตตานี (2545)	17/36 (47)
8. Pyrene	1.1-10	นครศรีธรรมราช (2545)	11/36 (30)
9. Benzo [a] anthracene	0.5-1.5	ตรับ (2544)	7/36 (19)
10. Chrysene	0.2-2.2	ปัตตานี (2545)	8/36 (22)
11. Benzo [b] Fluoranthene	1.4-1.5	ประจวบคีรีขันธ์ (2545)	2/36 (6)
12. Benzo [k] Fluoranthene	ไม่พบ/ต่ำกว่า MDL	-	-
13. Benzo [a] Pyrene	1.5	ประจวบคีรีขันธ์ (2545)	1/36 (3)
14. Benzo [ghi] Perylene	1.2-1.3	ตรับ (2544)	2/36 (6)
15. Benzo [ah] anthracene	Nd-1.3	ตรับ (2544)	1/36 (3)
16. Indeno [1,2,3-cd]	1.3-3.6	ชุมพร (2545)	5/36 (14)
Pyrene			

HCH-isomer ไม่พบในช่วงปี 2544-2545 แม้จะตรวจ โดยเทคนิค dry weight basis แสดงว่าสารกลุ่ม HCH-isomer น่าจะมีปริมาณลดลง เนื่องจากมีการห้ามใช้ สารในกลุ่มดังกล่าวในปี พ.ศ.2539 อย่างไรก็ตามการ ตรวจพบสารตกค้างอาจมีปริมาณลดลงเรื่อยๆ หาก หน่วยงานที่เกี่ยวข้องสามารถควบคุมการใช้สารเคมีให้ ถูกต้อง ไม่ใช้สารเคมีเกินความจำเป็น หรือห้ามใช้ สารเคมีอย่างผิดกฎหมาย การติดตามตรวจสอบโดย ใช้หอยแมลงภู่เป็นดัชนีชีวภาพก็เป็นทางหนึ่งที่สามารถ จะใช้ชี้วัดคุณภาพสิ่งแวดล้อมบริเวณนั้นได้

สำหรับการตรวจวิเคราะห์ PAHs ในตัวอย่าง หอยแมลงภู่ปี พ.ศ. 2542-2543 ซึ่งใช้ wet weight basis พบใน PAHs ปริมาณน้อย โดยเมื่อแบ่งกลุ่มเป็น low molecular weight (Naphthalene-Pyrene) และ high molecular weight B[a]A ถึง Indono[1,2,3-cd]P ส่วนมากจะพบ PAHs ส่วน low molecular weight ซึ่งแสดงเป็น % ตัวอย่างที่ตรวจพบดังตาราง 3 โดย ทั่วไปการพิจารณา PAHs ที่ตกค้างในสิ่งแวดล้อม สำหรับ low molecular weight ที่เสถียรนั้นนิยมใช้ความ เข้มข้นของ phenanthrene เป็นต้นไปจนถึง Pyrene ดังนั้นจากผลตาราง 3 จะพบความสัมพันธ์ของการตรวจ วิเคราะห์ระหว่างความแตกต่างของ Molecular weight ซึ่งสามารถชี้ถึงแหล่งการที่มาของการสะสมของสาร กลุ่ม PAHs ได้คือปริมาณที่ตรวจพบสาร PAHs กลุ่ม low molecular weight มีมากกว่ากลุ่ม high molecular weight ซึ่งหมายถึงการปนเปื้อนโดยสารกลุ่มนี้มาจาก กลุ่มการเผาไหม้เป็นแหล่งใหญ่ จากการแปรผล จาก ratio ต่าง ๆ เช่น H/L และ Fluo/Pyr น่าจะมีการสะสม PAHs ในหอยแมลงภู่แบบ Pyrogenic และ Petrogenic อย่างไรก็ตามผลการวิเคราะห์ยังให้ผลไม่ชัดเจนนัก ซึ่งจะ ได้ทำการพัฒนาวิธีการวิเคราะห์ต่อไปในโครงการศึกษา วิจัยและพัฒนาเทคนิคการติดตามสารกลุ่ม PAHs โดย ใช้ Molecular marker

### 4. สรุปพลการวิจัย

การศึกษาโครงการนี้มีความประสงค์จะเพิ่ม ประสิทธิภาพการตรวจวิเคราะห์สารกลุ่มออร์กาโนคลอรีน โดยการพัฒนาวิธีการวิเคราะห์และนำมาประยุกต์ใช้ ซึ่งพบว่าผลการใช้วิธีการวิเคราะห์ที่พัฒนานั้นสามารถ ตรวจพบสารกลุ่มออร์กาโนคลอรีนเพิ่มขึ้น แต่ปริมาณที่ พบยังอยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อผู้บริโภค สำหรับสารกลุ่ม PAHs เป็นการติดตามตรวจสอบหาปริมาณสารตกค้าง ในกลุ่มนี้เพื่อดูแนวโน้มด้านความปลอดภัยในการบริโภค เช่นกัน แต่เนื่องจากประเทศไทยยังไม่ได้กำหนด มาตรฐาน แต่ปริมาณที่ตรวจพบก็มีไม่สูงนักเมื่อเทียบ กับต่างประเทศ และผลจากการตรวจสาร PAHs ในครั้ง นี้จะได้นำไปใช้พัฒนางานวิจัยเพื่อหาแหล่งที่เป็นไปได้ ในการเป็นแหล่งที่มาของสารพิษในงานวิจัยต่อไป

#### เอกสารอ้างอิง

- Boonyatumanond. R., Monthip S. Tabucanon., Sunitra T., Boonchlaermkit S., 1999. Persistent of organochlorine pesticides compound of green mussel (Perna Viridis) from marine estuaries in Thailand. Chemistry and Ecology, 17, 31-39.
- 2. D. J. H. Phillip (1980). Quantitative aquatic biological indicators: Their use to monitor trace metal and organochlorine pollutions, London, Applied Science Publishes Ltd
- O 'Connor T. P., Beliaeff. B. Recent Trends in Coastal Environmental Quality, Result from the Mussel Watch Project, NOAA Silver Spring, MD, 40.
- 4. O' Connor. T. P., 1998. Mussel watch results from 1986-1996. *Marine Pollution Bullatin*, 37, 14-19..
- Thomas P. O' Connor et al, (1992)., National Oceanic and Atmospheric Administration, Mussel Watch Recent Trend in Coastal Environmental Quality
- Ruangwises . S., Ruangwises. N., Tabucanon S. M., 1994. Persistent Organochlorine Pesticides Residues in Green Mussel (*Perna veridis*) from the Gulf of Thailand 'Marine Pollution Bulletin. 28, 351- 355,
- Sericano. J. L., Wade. T. L., Brooks. J. M., Elliot. L. A., Fay. R. R., Wilkinson. D. L., 1993. National status and trends and mussel watch program: chlordane-relates compounds in gulf of Mexico oysters. Environmental Pollution., 82, 23-32.

- Sericano. J. L., Wade. T. L., Jackson. T. J., Brooks. J.M., Tripp . B.W., Farrington. J. W., Mee . L. D., Readmann. J. W., Villenenve J. P., Goldber E. D., 1995. Trace Organic Contamination in the Americas: An overview of The U.S. Nation Status and Trends and the International Mussel Watch Programmes. Marine Pollution Bulletin. 31, 214-225.
- Shinsuke. T., Tatuskawa. R., Phillips D. J. H., 1987. Mussel as Bio-indicators of PCB pollution; A case study on Uptake and Release of PCB isomers and Congeners in Green - lipped Mussels (*Perna viridis*) in Hong Kong Waters "Environmental Pollution 47, 41-62.
- Siriwong. C., Hironaka. H., Onodera S. and Tabucanon S. M.,1991. Organochlorine Pesticide Residues in Green Mussel (*Perna viridus*) from the Gulf of Thailand. *Marine Pollution Bulletin*, 22, 510-516.
- 11. Subramanian A.N., 2000." Global transport of bioaccumulative organic chemical effect on marine biodiversity" UNU International training workshop on methodologies for assessing biodivesity in estuaries, mangroves and coastal waters. March, 2-16
- Malaria Division (1989-1997) "Report on the use of DDT in Thailand in1989-1997" Department of Communicable Disease Control, Ministry of Public Health, Thailand

- National Research Council (1983) Polycyclic aromatic hydrocarbons: Evaluation of source and effects. National Academy Press, Washington, DC
- 14. Timothy, S. Bates., Paulette, P. Murphy., Herbert, C. Curl., Jr., and Richard, A. Feely. (1987) Hydrocarbon distributions and transport in an urban estuary Environmental Science and Technology, 21 193-198
- Yunker, M.B., Macdonald, R.W., Goyette, D., Paton, D.W., Fowler, B.R., Sullivan, D., Boyd, J.(1999) Natural and anthropogenic inputs of hydrocarbons to the strait of Georgia. The Science of total Environmental, 225, 181-209
- 16. Yunker, M.B., Macdonald, R.W., Vingarzan, R., Mitchell, H. R., Goyette, D., Sylvestre, S. (2002) PAHs in the Fraser River basin: a critical appraisal of PAH ratios as indictors of PAHs source and composition. *Organic Chemistry*, 33, 489-515
- 17. Broman, D., Naf, C., Lundbergh, I and Zebiihr, Y. (1990). An in situ study on the distribution, biotransformation and flux of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in an aquatic food chain (seston-Mytilau delis-Samateria mollissima) from the Baltic: An ecotoxicological perspectives. *Environmental Toxicology chemistry* 9, 429-442



# Monitoring of Organochlorine Pesticides Residues in Green Mussels (*Perna viridis*) from the Coastal Area of Thailand

Ruchaya Boonyatumanond<sup>a</sup>, Areerat Jaksakul<sup>a</sup>, Pornthip Puncharoen and Monthip Sriratana Tabucanon

Published in journal of Environmental Pollution 119 (2002) 245-252

#### บทคัดย่อ

การใช้สารกลุ่มออร์กาโนคลอรีนเป็นสารควบคุม หรือกำจัดแมลงในปริมาณที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้มีการตรวจ พบการปนเปื้อนของสารชนิดนี้ในตัวอย่างสิ่งมีชีวิต การวิเคราะห์หอยแมลงภู่ในโครงการติดตามตรวจสอบ โดยใช้หอยแมลงภู่เป็นดัชนีชีวภาพ เพื่อประเมินคุณภาพ น้ำบริเวณชายฝั่งทะเลบริเวณอ่าวไทย โดยการวิเคราะห์ หอยแมลงภู่ 36 ตัวอย่าง จาก 12 สถานี ที่เก็บตัวอย่าง พ.ศ. 2540-2542 จากการวิเคราะห์สารกลุ่มนี้ใน ตัวอย่างหอยแมลงภู่มีค่า detection limit ช่วง 0.1-8.3 นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักเปียก และค่า recovery ช่วง 75-95% ความเข้มข้นของสารกลุ่มนี้ที่ตรวจพบในหอย แมลงภู่มีค่าต่ำกว่าปริมาณที่อนุญาตให้พบได้ตาม มาตรฐานกระทรวงสาธารณสุข และพบว่าปริมาณสาร กลุ่มนี้ที่ตรวจพบมีปริมาณลดลงจากปี พ.ศ. 2530-2539

#### **Abstract**

The utilization of organochlorine pesticides for pest control chemical has been of great interest on residue contamination from biological organisms in the environment. Green Mussel (*Perna viridis*) samples were monitored as bioindicators for assessment of the water quality in coastal waters along the Gulf of Thailand. Thirty-six samples were collected from 12 stations during 1997-1999 and analysed for 26 organochlorine pesticide compounds. This paper focuses on the contamination of organochlorine pesticide residues in green mussel (*P. viridis*) during 1997-1999. The limit of

detection of all organochlorine pesticides compounds was at the range of 0.1-8.3 ng.g<sup>-1</sup> wet weight and recovery 75-95%. The concentration of organochlorine pesticides residues in green mussel was lower than the maximum residue limit for aquatic animals as recommended by the Ministry of Public Health of Thailand. The trend of organochlorine pesticide residue contamination in this area decreased from 1989 to 1999.

**Key words:** Organochlorine pesticides, monitoring, green mussel, distribution

#### 1. Introduction

In the past, organochlorine pesticides were extensively used as pest control chemicals for increased of agricultural product. Thailand is a tropical country where persistent insecticides like HCHs, DDTs, aldrin and dieldrin were used in large quantities for agriculture and public health. The total amount of pesticides used clearly showed a growing trend. The pest control chemical has produced its share of pesticide poisonings and wider environmental contamination, especially in the agricultural sector. In recent years usage of some imported pesticides such as DDT were banned in 1983. Endrin, aldrin, dieldrin and heptachlor were banned in 1988. The coastal pollutants are also varied to nature as they originate with variety of anthropogenic activities such as domestic sewage,

<sup>&</sup>lt;sup>a</sup>ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม เทคโนธานี ต. คลองห้า อ. คลองหลวง จ. ปทุมธานี 12120 โทร. 0 2577 4182-9 โทรสาร 0 2577 1138 Environmental Research and Training Centre, Technopolis, Klong 5 Klong Luang Pathumthani 12120 E-mail : ruchaya@deqp.go.th

agricultural activities, industrialization, etc. In order to assess the current status of organochlorine pesticide residue to the marine environment, the mussel watch program was established along the coastal area in Thailand by the Environmental Research and Training Center since 1989.

Monitoring of trace toxic substances in the aquatic environment using green mussel (*Perna viridis*) as a biological indicator is commonly used because of its advantages such as the wide geographical distribution, immobile, easy sampling, tolerance of a wide range of salinity and comparatively long life-span. The organs of mussels can accumulate chemicals from surrounding water

and water itself as state in the mussel watch concept (Phillip, 1980; O'Connor *et al.*,1992; Sericano *et al.*, 1993,1995). This paper highlighted their comparison of the concentration of organochlorine pesticide residues found during.

#### 2. Materials and methods

Thirty six green mussel samples were collected from 12 stations along the coastal area of Thailand during 1997-1999 as shown Fig 1. The samples were cleaned and frozen at -20  $^{\circ}$ C until analysis. The mussel samples were cleaned and removed carefully to avoid any contamination. The tissue was homogenized about 300-400 g in



Fig. 1. Map and sampling stations along the gulf of Thailand

each station. The samples were analysed for 26 compounds of organochlorine pesticides (e.g., aldrin ,dieldrin, endrin, hexachlorocyclohexane (HCHs ;  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$  isomer) heptachlor, heptachlor epoxide, mirex, chlordane (*cis*-and trans-isomer), hexachlorobenzen (HCB), and DDTs (*o,p'*- and *p,p'*- isomer). Moisture content of the mussel sample was determined by drying to a constant weight at 105°C. The method validation is used SRM IAEA142 mussel homogenate for repeat 8 times and spike samples. The method detection limit was determined by 3 times of standard deviation of variation of concentration in 8 times of spike sample.

Ten grams of mussel tissues were extracted with 100 ml hexane by using homogenization, centrifugation, filtration and concentration. The samples were concentrated until dryness to determine the fat content. The residue was cleaned up with florisil column and a solvent mixtures of hexane and diethyl ether.

Gel Permeation Chromatography technique (GPC) was used to eliminate the fat . The GPC column was prepared with biobeads, SX-3, 200-400 mesh in solvent mixture of cyclohexane : ethyl acetate (1:1). The gel material were packed into 600mm x 22mm i.d. The samples were eluted with 200 ml of solvent mixture of cyclohexane : ethyl acetate (1:1).

Florisil column (glass 30 cm x 1.2 cm i.d) was prepared by placing glass wool and packed with 10 g florisil® PR grade (activated 130°C, 3 hrs) in hexane and add about 2 g.Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> on the top of the upper florisil®. The hexane concentrate was quantitatively transferred to the column and eluted with 100 ml hexane (fraction 1) and 200 ml 20 % diethyl ether in hexane (fraction 2)

Quantification of organochlorine pesticides residues was performed by a gas chromatograph

(Hewlett Packard 5890 series II plus) equipped with a Ni<sup>63</sup> electron capture detector. The fuse silica capillary column was HP-1 (50 m length x 0.32 mm i.d., 0.25 µm film thickness of stationary phase) the oven temperature program was 70°C for 1 min to 150°C at the rate of 10°C min<sup>-1</sup>, held 1 min and increased by 3°C min<sup>1</sup> to 180°C and the last step increased by 10°C min<sup>-1</sup> to 220°C, held 20 min. The carrier gas was hydrogen (flow rate 1 ml .min<sup>-1</sup>). The detector make up gas was nitrogen at a flow rate ca 30 ml.min<sup>-1</sup>. The detector and injector temperature were 300°C and 220°C.

#### 3. Results and discussion

The concentration of organochlorine pesticides in green mussels (*Perna viridis*) from the coastal area of Thailand in 1997-1999 were analysed on wet weight basis. Biological information and concentration of organochlorine pesticides were shown in Table 1. The result of validation method by SRM IAEA 142 is in the range of IAEA142 requirement. The method detection limit and recovery of the analysed organochlorine pesticide residues by spike organochlorine standards in green mussel for 8 times were 3 times of standard deviation at the range of 0.1-8.0 ppb (ng.g<sup>-1</sup> wet weight) and 75-95 %, respectively.

Concentration of  $\beta$ -HCH was detected 5.0 ng.g<sup>-1</sup> only one station during these three years at Krabi station in 1998. The other isomers such as  $\alpha$ -HCH,  $\gamma$ -HCH and  $\delta$ -HCH were not detected . The data in 1989 and 1990 were detected  $\alpha$ -HCH and  $\gamma$ -HCH in 60% of total samples (Siriwongse *et al* 1991, Ruangwises *et al*, 1994). A number of sample and concentration of pesticides residues in 1997-1999 were decreased from pervious data in 1989-1996.

Table 1. Concentration and information of organochlorine pesticide residues in green mussel (Perna viridis) along the coastal area, Thailand during 1997-1999 (ng g<sup>-1</sup>)<sup>a</sup>

organochlorine	Prach	Prachuab kirikhan	ikhan	Sur	rachatani	ηi	Pet	Petchaburi		C	Chonburi			Trad			Ranong		MDL
pesticides	26	86	66	26	86	66	26	86	66	26	86	66	26	86	66	26	86	66	qdd
1. α-HCH	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	8.0
2. BHC	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	0.1
3. β-нсн	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	1.0
4. Y-HCH	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	0.5
5. δ-нсн	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	1.0
6. heptachlor	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	9.0
7. aldrin	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	1.0
8. heptachlor epoxide	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	3.0
9. oxychlordane	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	0.22	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	0.26	pu	0.1
10. trans-chlordane	pu	9:0	pu	pu	pu	pu	pu	0.38	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	0.3
11. o,p'-DDE	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	1.4	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	1.0
12. endosulfan I	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	5.5
13. cis-chlordane	1.6	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	1.0	1.0	pu	1.0
14. dieldrin	pu	pu	1.9	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	0.5
15. <i>p,p</i> '-DDE	pu	6:0	1.7	pu	pu	pu	pu	0.64	pu	pu	pu	pu	pu	1.3	pu	0.98	1.2	pu	0.5
16. o,p'-DDD	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	1.0
17. endrin	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	4.0
18. endosulfan II	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	2.0
19. p,p'-DDD	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	1.9	0.78	pu	0.7
20. o,p'-DDT	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	1.3	pu	pu	pu	pu	pu	0.5
21. endosulfan sulfate	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	3.2
22. p,p(-DDT	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	3.8	pu	5.7	1.0
23. methoxychlor	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	8.3
24. cis-nonachlor	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	1.0	pu	pu	pu	pu	pu	pu	0.5
25. trans-nonachlor	pu	9.4	1.4	pu	7.5	pu	1.7	9.4	pu	pu	pu	pu	pu	12	pu	pu	7.0	pu	1.0
26. mirex	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	pu	8.0
% fat content	1.0	1.7	1.4	0.79	1.0	0.73	96:0	1.3	98.0	1.9	1.0	1.2	1.6	0.93	98.0	1.2	0.94	1.1	,
% moisture content	83	78	20	87	88	87	82	82	98	81	87	83	81	85	98	83	83	87	,

98         99         97         98         99         90         90         90         90         90         90         90         90         90         90         90         90         90         90         90         90<	Prachuab kirikhan
nd         nd<	66 86 26 86
nd         nd<	pu pu pu pu
nd         nd<	pu pu pu pu
nd         nd<	nd nd nd 5.0 nd
nd         nd<	pu pu pu pu
nd         nd<	pu pu pu pu
nd         nd<	pu pu pu pu
nd n	pu pu pu pu
0.22         nd         n	pu pu pu pu
nd         nd<	pu pu pu
nd         nd<	pu pu pu pu
nd         nd<	pu pu pu pu
nd n	pu pu pu pu
nd         nd         nd         nd         nd         1.5         nd         1.9         2.9         nd           nd         n	nd nd 1.3 nd
nd nd nd nd 0.5 nd 1.5 nd	pu pu pu pu
hord but	nd nd nd 0.67
nd n	pu pu pu pu
nd n	pu pu pu pu
hor but	pu pu pu
nd n	nd nd 1.8 nd
bu b	pu pu pu pu
nd n	pu pu pu pu
pu	pu pu pu pu
pu pu pu pu pu pu pu pu	pu pu pu pu
	pu pu pu pu
nd 6.9 nd nd 7.4 1.8 2.7 nd nd nd 4.4	9.9 pu pu pu
pu pu pu pu pu pu pu	pu pu pu pu
1.64         0.88         1.26         0.73         0.91         0.85         1.73         1.69         0.98         0.94         1.02	1.50 1.68 0.87 0.94
82   88   83   86   80   90   86   80   82   85   86	82 84 85 84

<sup>a</sup> nd, : non detectable; MDL, method detection limit

2544 - 2546

Relatively of DDTs and isomers (o,p'- and p,p'- of DDT, DDE, DDD) were detected during 1997-1999, p,p'-DDE were found at the range of 0.50-1.7 ng.g $^{-1}$  in many stations. In these three years, the highest and lowest concentration was detected at Prachuab Kirikhan and Pang-nga stations in 1998, respectively. The p,p'-DDD were detected at the range of 0.78-1.9 ng.g $^{-1}$ , which the highest and lowest concentration are found at Ranong station in 1997 and 1998. Concentration of p,p'-DDT were detected at the range of 1.5-5.7 ng.g $^{-1}$ , which the highest and lowest concentration at Ranong station in 1999 and Trung station in 1998, respectively. The trend

of frequency of DDT-isomer were p.p'-DDE > p.p'-DDT > p.p'-DDD. The p.p'-DDE was major compound among organochlorine pesticides. The main source of p.p'-DDE is metabolic transformation of p.p'-DDT to p.p'-DDE isomer under oxidation condition. The results from 1989-1990 were found DDT-isomer in 100% of total samples at the range of 0.78-5.38 ng.g $^{-1}$  and 0.54-7.3 ng.g $^{-1}$ , respectively (Siriwongse  $et\ al.$ , 1991; Ruangwises  $et\ al.$ , 1994). A number of sample in 1997-1999 were detected only 20% of total samples. The trend of some organochlorine pesticide residues in green mussels were summarized as shown in Table 2 and Fig. 2, respectively.

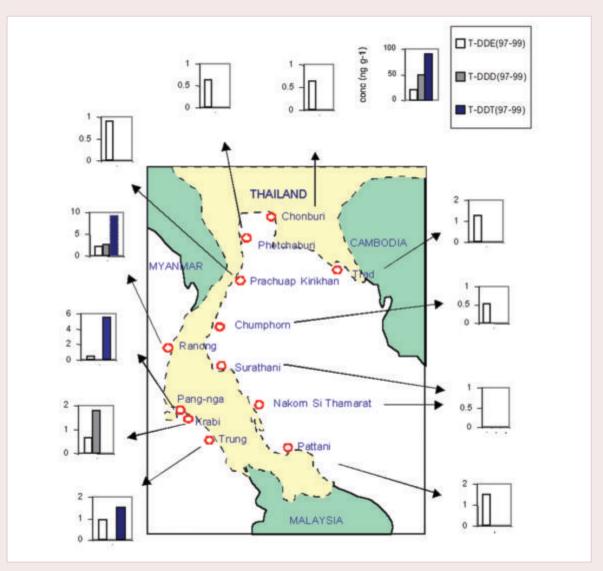


Fig. 2. Distribution of DDTs of green mussel (Perna viridis) from coastal area of Thailand during 1997-1999.

Table 2. The trend of organochlorine pesticide residues during 1989-1999a

Year	Trend of organochlorine pesticide residues
1989	DDTs > aldrin > dieldrin > HCB > heptachlor > HCHs
1990	DDTs > dieldrin > aldrin > HCHs
1991	DDTs > aldrin > dieldrin > heptachlor
1993 - 1996	$\beta$ -HCH > $\alpha$ -HCH > $\delta$ -HCH > endosulfan II
1997 - 1999	Nonachlordane > oxychlordane > DDTs

<sup>&</sup>lt;sup>a</sup> References of the data in 1989, Siriwongse *et al.* (1991); 1990, Tabucanon *et al.* (1990); 1991, Ruangwises *et al.* (1994); 1993-1996, Boonyatumanond *et al.* (1999).

Chlordane has been widely used to protect soil and house foundation against termite infestation. Chlordane could released into the environment primary from its application as an insecticide. It is applied directly to soil or foliage to control a variety of insect pest. Technical chlordane constituents cis and trans-nonachlor and cis-chlordane metabolites oxychlordane. It was directly applied to soil or foliage to control a variety of pests (Worthing et al., 1983). Artificial pollution source of chlordane may enter the atmosphere through volatilization from plants, soil or water. Significant correlation were found among cis, trans-nonachlor, cis-, trans-chlordane and oxychlordane in blood level whose home had been treated for termite control (Watshi et al., 1986). Environmental accumulation of total chlordane were detected in fish and shellfish sample (Miyazaki et al., 1980). In this study chlordane and metabolizes were detected in the green mussel sample. The concentration of cisand trans-chlordane during 1997-1999 were detected at the range of 0.38-1.6 ng g<sup>-1</sup>, where the highest concentration was at Prachuab kirikhan station in 1997. Oxychlordane was found at the range of 0.22-0.55 ng g<sup>-1</sup>, where the highest concentration was at Trung station in 1999. Cisand trans-nonachlor were 1.0-12.0 ng g<sup>-1</sup>, where the highest concentration is at Trad station in 1998.

Chlordane and isomers were shown in Fig. 3.

Dieldrin and aldrin have been applied extensively in the past. Dieldrin were detected at the range of 1.8-2.8 ng g<sup>-1</sup> at Pattani and Prachub Kirikhun station during 1998-1999. Aldrin were detected at the range of 0.69-1.3 ng g<sup>-1</sup> at Krabi and Pattani station in 1997-1998. The detection of dieldrin and aldrin in green mussel were declined from 100% during 1989-1990 (Siriwongse *et al.*, 1991) to 10% in 1997-1999.

Other organochlorine pesticide residues such as heptachlor, heptachlor epoxide, endrin, endosulfan-isomer and mirex were not detected or concentration of residues were lower than the detection limit during 1997-1999. A number of organochlorine pesticide residues found such as aldrin, dieldrin, DDTs,  $\alpha$ -HCH,  $\beta$ -HCH and heptachlor were mostly found. The concentration of pesticide residues were found higher than during the year 1993-1996. Comparison of the trend of organochlorine pesticide residue in green mussel found in the coastal area of Thailand during 1989-1995 are shown in Table 2. The residue levels were far below the US. FDA Action level, 1987

The Environmental Research and Training Center has monitored green mussel since 1989 and the result showed that all samples DDT and isomer DDT, dieldrin and HCHs were detected. Decreasing of pesticide residues were observed in

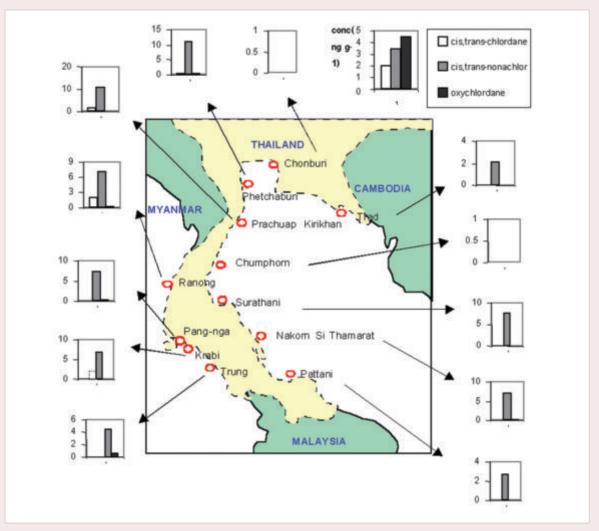


Fig. 3 Distribution of chlordane of green mussel (Perna viridis) from the coastal area of Thailand during 1997-1999.

1993. HCHs were banned for using in agricultural activities in 1980, DDT, dieldrin and endrin in 1983. It is a one reason for decreasing of pesticide residues detection. DDT was used mainly for malaria vector control in boundary area as shown in Table 3. Department of Communicable Disease Control, Ministry of Public Health has introduced to use  $\delta$ -methrin and  $\theta$ -trihalothrin instead of DDT since 1995.

The concentration of organochlorine pesticide residuesl were detected at lower level along the coastal area of Thailand if compared with other area in Table 4. The green mussel sample of Thailand was reported at low

concentration (Tanabe *et al*, 1998). The moisture content of wet mussel is about 80-85% and fat content about 0.15-0.25 g. fat/10 g wet weight. The transport of residues from the land area to the aquatic environment in the tropics and the bioavailbility to resident aquatic organisms is low. (Tanabe, 1991). The tropical climatic conditions favor rapid volatilization of the residues from the soil and heavy rain fall also facilitates the loss of residue, through water run off from the source area. The contamination of coastal species by pesticides in the tropical countries are not higher when compared to those of developed countries. (A.N. Subramanian, 1980).

Table 3. The usage of DDT 95% for malaria vector control in 1993-1998<sup>a</sup>

Location		Amo	unt of DD7	75% used	(kg)	
(provinces)	1993	1994	1995	1996	1997	1998
Phetchaburi	2476	1917	4468	3038	3024	3326
Prachuap Kirikhan	4432	4083	_b	-	1555	2121
Chumphon	22092	8161	4332	-	-	-
Nakhon SiThammarat	11816	7812	4101	-	-	7281
Pattani	-	-	-	-	-	-
Trung	7016	5241	432	400	257	2399
Ranong	8967	6668	5505	5052	4960	224
Chonburi	1880	1494	3193	-	1170	1124
Trad	5523	3957	1893	1552	1768	2640
Suratthani	26272	18905	13739	10334	8952	323
Krabi	N/A <sup>c</sup>	N/A	-	-	1336	-
Pung-nga	N/A	N/A	11504	1815	2062	2549

<sup>&</sup>lt;sup>a</sup> Source: Malaria Division (1993-1998), Department of Public Health, Thailand

 Table 4
 Concentration of organochlorine pesticides residue found in shellfish from different location.

Shellfish	Location	Compounds	References
Marine bivalves	East Java	DDE 0.01-2.0 µg <sup>-1</sup> g lipid wt	Boon <i>et al</i> , 1989
(Mytilus edulis)	Jakarta bay (Indonesia)	1.9-20.8 ng g <sup>-1</sup> wet wt	Razak et al, 1991
Oyster	Gulf of Mexico	Sum of heptachlor, heptachlor epoxide and	
		chlordane 1-590 ng g <sup>-1</sup> dry wet	Sericano et al, 1993
Mussel	Estuarine bays, (Spain)	Heptachlor 6.21-6.39 ng g <sup>-1</sup> wet wt	pineiro et al, 1995
(Mytilus edulis)	Perth,	DDT 0.2 ng g <sup>-1</sup> wet wt	Burt <i>et al</i> , 1995
	(Western Australia)	Chlordane 5.0-17.0 ng g <sup>-1</sup> wet wt	
Clam	Manukau Harbour,	Sum chlordane 103 ng g <sup>-1</sup> lipid wt	Simpson et al, 1996
(Mactra ovata)	(New Zealand)		
Oyster	Taiwan	HCHs 0-7 ng g <sup>-1</sup> dry wet	Ling <i>et al</i> , 1997
(Crassostrea gigas)		DDTs 0-131 ng g <sup>-1</sup> dry wet	
		Endosulfan sulfate 0-23 ng g <sup>-1</sup> dry wet	
Oyster	China	HCHs 0-0.0080 µg g <sup>-1</sup> wet wt	Guan, 1997
		DDTs 0-0.74 µg g <sup>-1</sup> wet wt	
Clam	The Red river	Sum HCHs 1.2 ng g <sup>-1</sup> dry wt	Dang et al, 1998
	(north Vietnam)	Sum DDTs 19.4 ng g <sup>-1</sup> dry wt	
Mussel	The marine coastal	DDTs 0.51-27.9 ng g <sup>-1</sup> dry wt	O'Cornnor et al, 1998
	(U.S.A.)	Chlordane 0.033-7.97 ng g <sup>-1</sup> dry wt	
Mussel	Coastal water of Thailand	Sum DDTs 0.39-0.41 ng g <sup>-1</sup> wet wt	Siriwong et al, 1991
(Perna viridis)		Sum HCHs < 0.02-0.09 ng g <sup>-1</sup> wet wt	
	Coastal water of Thailand	DDTs 0.09-0.32 ng g <sup>-1</sup> wet wt	Boonyatumanond et al, 1999
		HCHs < 0.02-1.6 ng g <sup>-1</sup> wet wt	
		Chlordane < 0.02-3.4 ng g <sup>-1</sup> wet wt	
	Coastal water of Thailand	DDTs 0.05-5.7 ng g <sup>-1</sup> wet wt	This study
		Chlordane 0.22-12.0 ng g <sup>-1</sup> wet wt	

b not used.

<sup>&</sup>lt;sup>c</sup> N/A, not available.

#### 4. Conclusion

Residues of organochlorine pesticides also remained widespread, but showed a significant decline from 1989 to 1999, especially HCHs, heptachlor, endrin, aldrin, dieldrin and DDT-isomer. The most persistant DDT and metabolise is p,p-DDE that is the major breakdown product of DDT. Recent evidence has shown that some of chlordane metabolize could detected in green mussel during 1997-1999. However, the concentration of residues were lower than the Maximum Residue Limit (MRL) for aquatic animal as recommended by The Ministry of Public Health of Thailand.

#### **Acknowledgements**

The authers wish to thank Mr. Panomporn Wongpan, Mr. Sutiab Srilachai and Mr. Prachuab Kunaake for sample collecting. Mr. Ouichai Pugapiboon, Department of Communicable Disease Control, Ministry of Public Health of Thailand whose supported the use of DDT for Malaria disease control in Thailand. This study was supported by Environmental Research and Training Center, Department of Quality Promotion, Ministry of Science Technology and Environment, Thailand.

#### References

- Action Level for Poisonous or Deleterious Substances in Human Food and animal Feed, 1987. US FDA, Washington, DC.
- Boon. J. P., Everarts. J. M., Kastoro. W. W., Rasak . H., Sumanta . I., Nelissen. P. H., Stefels . J., Hillebrand. M. T. J., 1989. Cyclic organochlorines in epibenthic organisms from coastal waters around east Java. Netherlands journal of Sea Research 427-439.
- Boonyatumanond. R., Monthip S. Tabucanon., Sunitra T., Boonchlaermkit S., 1999. Persistent of organochlorine pesticides compound of green

- mussel (*Perna Viridis*) from marine estuaries in Thailand. Chemistry and Ecology, 17, 31-39.
- Buret. J. S., Ebell. G. F., 1995. Organic pollutants in mussels and sediment of the coastal; waters off Perth, western Australia. Marine Pollution Bullatin, 30, 723-732.
- Dang. D. N., Nguyn . M. A., Nguyen. C. H., Luu.
  V. D., Carvalhos. F. P., Villeneuve . J. P., Cattini.
  C., 1998. Organochlorine pesticides and PCBs
  In the Red river delta, North Vietnam. Marine
  Pollution Bullatin. 36, 742-749.
- Jitpan Puangmalit., Patanan Sangkatawat., Boonsong Hutangkabordee, Niyom Ratanapong.," 1989 pesticides statistic (importation, exportation, formation, supply and use)" Department of Agriculture.
- Ling. Y-C., Teng. H-C., 1997. Supercritical fluid extraction and cleanup of organochlorine pesticides and polychlorinated biphenyls in mussel. Journal of chromatography *A*. 790, 153-160
- Miyazaki T; Tokyo Toritsu., 1980 EISEI KENKYUSHO KENKYO NEMPO (Annual Report Tokyo Metropolitant Research Laboratory Public Health) 31(1): 161-165
- O 'Connor T. P., Beliaeff. B. Recent Trends in Coastal Environmental Quality, Result from the Mussel Watch Project, NOAA Silver Spring, MD, 40.
- O 'Connor. T. P., 1998. Mussel watch results from 1986-1996. *Marine* Pollution Bullatin, 37, 14-19.
- Hamidah R. 1998 The occurrence organochlorines compound in Indonesia waters. Paper presented in the Marine Pollution Research and Monitoring Training Workshop on Toxic Contaminants, Thailand,
- Phillips D. J. H., 1980. Quatitative Aquatic Biological Indicators, Alpplied Science Publishers, London
- Phillip, D. J. H., Segar. D. A., 1986. Use of bio-

- indicators in monitoring conservative contaminants: programme design imperatives. Marine Pollution Bullatin, 17, 10-17.
- Pineiro. M. E. A., Lozano. J. S., Yusty. And M. A. L.,1995. Organochlorine compounds in mussels of the estuarine bays of galicia (worth-west Spain). Marine Pollution Bullatin, 30, 484-487.
- Ruangwises . S ., Ruangwises. N., Tabucanon S. M., 1994. Persistent Organochlorine Pesticides Residues in Green Mussel ( *Perna veridis* from the Gulf of Thailand "Marine Pollution Bulletin. 28, 351-355.
- Ramesh A., Tanabe., Murase H., Subranmanian A.N.,
  Tatsukawa R., 1991. Distribution and
  behaviour of persistant organochlorine
  insecticides in paddy soil and sediments in the
  tropical environment: A case study in South
  Indis. Environmental Pollution, 74, 293-307.
- Sericano. J. L., Wade. T. L., Brooks. J. M., Elliot. L. A., Fay. R. R., Wilkinson. D. L., 1993. National status and trends and mussel watch program: chlordane-relates compounds in gulf of Mexico oysters. Environmental Pollution., 82, 23-32.
- Sericano. J. L., Wade. T. L., Jackson. T. J., Brooks. J. M., Tripp . B.W., Farrington . J. W., Mee . L. D., Readmann. J. W., Villenenve J. P., Goldber E. D., 1995. Trace Organic Contamination in the Americas: An overview of The U.S. Nation Status and Trends and the International Mussel Watch Programmes. Marine Pollution Bulletin. 31, 214-225.
- Shinsuke. T., Tatuskawa. R., Phillips D. J. H., 1987. Mussel as Bio-indicators of PCB pollution; A case study on Uptake and Release of PCB

- isomers and Congeners in Green lipped Mussels (*Perna viridis*) in Hong Kong Waters Environmental Pollution 47, 41-62.
- Simpson. C. D., Wilkins. A. L., Langdon. A. G., Wilcock. R. J., 1996. Chlordane residues in Marine Biota and sediment from in intertidal sandbank in Manukau Harbour, New Zealand. Marine Pollution Bullatin, 32, 499-503.
- Siriwong. C., Hironaka . H., Onodera S. and Tabucanon S. M.,1991. Organochlorine Pesticide Residues in Green Mussel (Perna viridus) from the Gulf of Thailand. Marine Pollution Bulletin, 22, 510-516.
- Subramanian A.N., 2000." Global transport of bioaccumulative organic chemical effect on marine biodiversity" UNU International training workshop on methodologies for assessing biodivesity in estuaries, mangroves and coastal waters. March, 2-16.
- Tanabe S., Kan-Atireklap S., Prudente M.S., Subramanian, A., 1998. Mussel Watch marine pollution monitoring of butyltins and organochlorines in coastal water of Thailand, Philippines and India.
- In: Proceedings of the Fourth International Scientific Symposium: Role of Ocean Sciences for Sustainable Development, pp. 331-345.
- Watashi M., 1986. Bullein of Environmental Contamination Toxicology 36(5), 635-643.
- World Health Organization (WHO) 1988. International Programme on Chemical Safety (ICPS), 17, 1-10.
- Worthing CR, Walker SB., 1983 The Pest Manual seventh ed. British Crop Prote



# Distribution of Toxic Compounds in Green Mussels (*Perna viridis*) from Marine Estuaries in Thailand

Sukanya Boonchalermkit<sup>a</sup>, Sutiab Srilachai <sup>a</sup>

#### บทคัดย่อ

สถานการณ์การปนเปื้อนและแนวโน้มของ สารพิษกลุ่มโลหะหนักบริเวณชายฝั่งทะเลของประเทศ ไทยได้ทำการศึกษา โดยการใช้การสะสมในเนื้อเยื่อ ของตัวอย่างชีวภาพ คือ หอยแมลงภู่ (Perna viridis) ที่ทำการศึกษาได้เก็บจาก 13 สถานีตลอดชายฝั่งทะเล ของประเทศไทยระหว่างปี 1998 - 2003 พบว่าการ ปนเปื้อนของโลหะหนัก 8 ชนิด ซึ่งประกอบด้วย แคดเมียม โครเมียม ทองแดง ตะกั่ว นิกเกิล แมงกานีส สังกะสี และเหล็ก มีค่าการสะสมเฉลี่ยเท่ากับ 0.06 -2.10, 0.07 - 3.01, 0.28 - 6.52, 0.01 - 1.23, 0.08 - 1.12, 0.82 - 15.84. 2.18 - 16.89 และ 12.87 - 484.69 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักเปียก ตามลำดับ บริเวณที่ พบการปนเปื้อนของโลหะหนักชนิดต่างๆ ในปริมาณที่ มากที่สุด 3 อันดับแรก คือ บริเวณพื้นที่ จ.นครศรีธรรมราช จ.ประจวบคีรีขันธ์ และ จ.ตราด โดยพื้นที่ทั้งหมดอยู่ ในบริเวณอ่าวไทย ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีการประกอบกิจกรรม ต่างๆ เป็นจำนวนมาก ส่วนแนวโน้มของการปนเปื้อนใน แต่ละปีไม่มีความแตกต่างที่เด่นชัด และยังมีค่าค่อนข้าง ต่ำ แม้ว่าการปนเปื้อนยังมีค่าที่ค่อนข้างต่ำอย่ แต่ก็ได้มี การกำหนดมาตรการและแนวทางต่างๆ ในการที่จะทำให้ มีการปนเปื้อนของสารพิษชนิดต่างในสิ่งแวดล้อมให้ น้อยที่สุด เพื่อให้มีการใช้ทรัพยากรชายฝั่งอย่างยั่งยืนต่อไป

#### **Abstract**

Fate of trace metal contamination in the coastal area of Thailand was studied by means of bioaccumulation in green mussel (*Perna viridis*) samples. The samples were collected from 13 stations along the coastal area of Thailand during 1998 - 2003. It was found that, contamination of

8 types of trace metals, cadmium, chromium, copper, lead, nickel, manganese, zinc and iron, are 0.06 - 2.10, 0.07 - 3.01, 0.28 - 6.52, 0.01 - 1.23, 0.08 - 1.12, 0.82 - 15.84, 2.18 - 16.89 and 12.87 -484.69 mg/kg wet weight, respectively. The three-most contaminated areas are Nakhon Si Thammarat, Prachuab Khirikhan, and Trat Provinces, which are along the Gulf of Thailand, regarding those areas have high industrial activities. Signifiest difference of contamination between different years was not found. In addition, the levels of contamination are still very low. However, the responsible agencies of the Thai Government have set up guidelines and control measures in order to prevent future serious problem of toxic substances contamination to sustain natural resource management and protection.

#### Introduction

Coast means the land from the shoreline up to the land until the areas that the topography changes obviously. The wide of the coast is not stable. The coast of Thailand is 2,815 kilometers length. It comprises of 2 sides of shoreline i.e. on the gulf of Thailand close to the South China Sea in the Pacific Ocean with 1,878 length and on the Andaman Sea in the Indian Ocean with 937 kilometers. They have the characteristics as the follow.

1. Coastal on the gulf of Thailand is located in the South China Sea in Pacific Ocean.

<sup>&</sup>lt;sup>a</sup>ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม เทคโนธานี ต.คลองห้า อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120 โทร 0 2577 4182-9 โทรสาร 0 2577 1138 Environmental Research and Training Centre, Technopolis, Klong 5, Klong Luang, Pathumthani, 12120

It could be divided into 2 sides i.e. the east of the gulf of Thailand is in the middle of the Thachin river and the Chaopraya river to the east until the border of Cambodia at Ban Had Lek, Trat province. The total length is 544 kilometers approximately. And at the west of the gulf of Thailand, it is on between the middle of the Thachin river into the west until Malaysia at the river mouth of the Sughai Kolok river, Narathiwas province. The total length is about 1,334 kilometers.

2. Coastal on the Andaman Sea from the river mouth of Kraburi, Ranong province until the border of Burma and into the south until the border of Malaysia at Satun province in Malaca Streight. The total length is 937 kilometers. The Thai coastal lines are about 2,815 kilometers in total.

The marine areas, which are between the east of the gulf of Thailand at Samae San, Rayong province and the west of the gulf of Thailand at Amphoe Hua Hin, Prachuab Khirikhan province until the bottom of the gulf of Thailand is called "Historical Gulf". The bottom of the gulf of Thailand is between the river mouth of the Mae Klong river until the river mouth of the Bangpakong river. The areas are very productive and diversified.

The rapidly increasing population and development of agroindustrial activities in Thailand have created potential risks of contamination by toxic substances in the marine environment (Hungspreugs *et al.*, 1989). Most domestic wastes contain extremely high amounts of organic matter, which contribute to high BOD values. In addition, industrial wastewaters also contain other pollutants such as pesticides, PCBs and trace metals. Moreover, the other problems could be concluded into the main items as the following.

- 1. Community growth dramatically.
- 2. Utilization of the resources without careful.
- 3. Lack of awareness in capacity of the nature serving.
- Deterioration of mangrove forest, coral reefs and sea grass such as use of mangrove in shrimp farming.
- 5. Loss of beauty of natural in tourism site.
- Conflict in land use at the coastal areas such as waste land, extrusion of the land, old mining, and mangrove destroy.
- 7. Extrusion of coastal areas to construct such as construction of hotels and waste water drainage into water course and the sea, construction of high building and hind the beauty of the nature.
- 8. Destroy of aquatic life and buffer naturally.
- Water pollution and throw solid waste into the sea. (http://www.environ net.in.th/evdb/info/coast/coast6.html, 30.06.04)

Moreover, the marine pollution of the oil leak into the sea could impact the marine resources in quality, beach, corals, fishery and tourism (Office of the Environmental Policy and Planning, 2546)

Monitoring of trace toxic substances in the aquatic environment using green mussel (*Perna viridis*) as biological indicators are commonly used because of its advantages such as the wide geographical distribution, immobile, easy sampling, tolerance of a wide range of salinity and comparatively long life-span. The organs of mussels can accumulate chemicals from surrounding water and water itself as stated in the mussel watch concept (O' Conor *et al.*, 1992, Phillip, 1980, Sericano J.L.1995).

The aim of this study was to assess the current status of contamination by trace toxic substances in the coastal waters of Thailand by using green mussel as a biological indicator. This study also investigated whether contamination levels in the mussel tissues are still within the acceptable levels for human consumption.

#### **Materials and Methods**

Green mussel samples were collected from 13 stations along coastal areas of the Gulf of Thailand and the Andaman Sea once a year (Figure 1) during the dry season (March) from 1998 to 2003. At each station, approximately 5 kilograms of green mussels, 6-9 cm in length were collected. The mussels were rinsed for 2-3 times with water at the sampling station to wash off mud and remove barnacles, then washed by deionized distilled water and freshly packed in plastic bags. Samples were kept in iceboxes during transportation to the laboratory where they were frozen at-20°C until analysis.

In the laboratory, 50 - 100 mussels of the same size (6-9 cm. In length, 4-5.5 cm. In

width) were selected for each site. Whole soft tissues were separated carefully from the shell to avoid contamination. Samples at each station were ground in a glass blender equipped with a stainless steel cutter.

For trace metals determination, the samples were analyzed for 8 trace metals (cadmium, chromium, copper, nickel, lead, ion, manganese and zinc) approximately three grams of mussel tissue (wet weight) were digested with 20 mL concentrated HNO3 at room temperature for overnight, then heated about 130°C until the solution reduced to 5 mL. After that 5 - 10 mL HNO<sub>3</sub>, were added until clear solution were observed (add more HNO3 if necessary). Care was taken to avoid overheating and boiling during the digestion process. After digestion, the samples were cooled at room temperature and rinse with 10 - 20 mL DDW and followed by filtration with filter paper (No.5B). The filtrate solution was made up to 50 mL with double distilled water and measured using Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS).

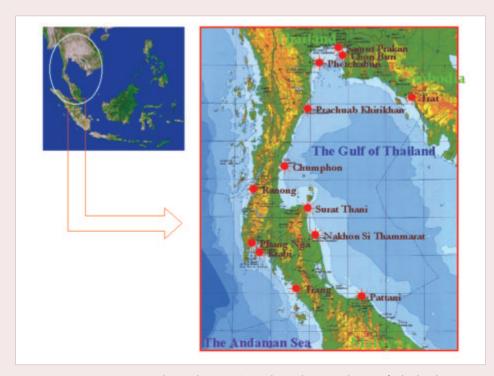


Figure 1 Map and sampling stations along the coastal area of Thailand

#### Results and discussion

The concentration of trace metals in green mussels from the coastal of Thailand during 1998-2003 were analysed. The concentration of each trace metal in mussel tissue was showed in table 1. It was founed the accumulated was different in each area, in each year (13 stations for 6 years). The concentration of cadmium was detected at the range of 0.06 - 2.10 mg/kg wet weight. The lowest and highest concentration were found at Pattani station in 2001 and Prachuab Khirikhan station in 2002 respectively. The chromium was detected at the range of 0.07 - 3.01 mg/kg wet weight, where the lowest and highest concentration were found at Samut Prakan in 2000 and Phetchaburi in 1999. The copper was detected at the range of 0.28 - 6.52 mg/kg wet weight, with the lowest concentration at

Chumphon in 2001 and highest concentration at Prachuab Khirikhan station in 1998. The lead was detected at the range of 0.05 - 1.23 mg/kg wet weight. The lowest and highest concentration were found at Surat Thani in 2000 and Phang Nga in 2001. Concentration of nickel was detected at the range of 0.08 - 1.12 mg/kg wet weight with the lowest and highest concentration at Ranong in 2001 and Phetchaburi in 1999. The concentration of manganese, zinc and iron were detected at the range of 0.82 - 15.84, 2.18 - 16.89 and 12.87 -484.69 mg/kg wet weight respectively. The lowest concentration of these trace metals were found at Prachuab Khirikhan in 2001, Chumphon in 2001 and Prachuab Khirikhan in 2001. The highest concentration were found at Phetchaburi in 1999, Surat Thani in 2000 and Nakhon Si Thammarat in 1998. (Table 1)

Table 1 Concentration of trace metal accumulation in green mussel tissue along the coastal area of Thailand

Station				Cd				Cr						
Station	1998	1999	2000	2001	2002	2003	Mean	1998	1999	2000	2001	2002	2003	Mean
Trat	0.31	0.22	0.28	0.71	0.59	0.39	0.42	0.91	0.64	0.37	0.23	0.59	0.48	0.54
Chon Buri	0.39	0.14	0.19	0.16	0.18	0.29	0.23	0.47	0.40	0.16	0.38	0.50	0.52	0.41
Samut Prakan	NA	NA	0.14	0.27	0.16	0.36	0.23	NA	NA	0.07	0.92	0.70	0.59	0.57
Phetchaburi	0.41	0.28	0.41	0.21	0.21	0.26	0.30	0.28	3.01	0.25	0.65	0.47	0.71	0.90
Prachuab Khirikhan	0.83	0.57	0.93	1.11	2.10	0.73	1.05	0.84	0.90	0.21	1.32	1.38	0.56	0.87
Chumphon	NA	0.42	0.89	0.77	0.89	0.73	0.74	NA	1.47	0.40	0.67	0.68	0.71	0.79
Surat Thani	NA	0.28	1.28	0.47	0.42	0.46	0.58	NA	0.73	0.10	0.66	0.68	0.82	0.60
Nakhon Si Thammarat	0.51	0.58	0.85	NA	0.25	0.30	0.50	1.32	0.41	0.50	NA	1.68	0.57	0.90
Pattani	0.24	0.32	0.24	0.06	0.19	0.77	0.30	0.51	1.63	0.19	0.50	0.96	0.83	0.77
Trang	0.20	NA	0.19	0.14	0.16	0.35	0.21	0.73	NA	0.40	0.39	NA	0.53	0.51
Krabi	0.20	0.17	0.18	0.12	0.18	0.11	0.16	0.43	0.62	0.40	0.23	0.46	0.77	0.48
Phang Nga	0.27	0.35	0.22	0.12	0.24	0.12	0.22	1.23	0.65	0.53	1.01	0.57	0.31	0.72
Ranong	0.16	0.23	0.10	0.08	0.06	0.06	0.11	0.38	0.97	0.33	0.60	0.44	0.74	0.58
Mean	0.35	0.32	0.45	0.35	0.43	0.38	0.39	0.71	1.04	0.30	0.63	0.76	0.63	0.66

Table 1 (Cont.)

Station				Cu				Pb						
Station	1998	1999	2000	2001	2002	2003	Mean	1998	1999	2000	2001	2002	2003	Mean
Trat	2.66	2.07	1.64	1.65	1.24	1.85	1.85	0.30	0.48	0.56	0.48	0.07	0.24	0.36
Chon Buri	1.68	6.34	2.84	0.91	1.27	1.06	2.35	0.40	0.45	0.71	0.40	0.05	0.13	0.36
Samut Prakan	NA	NA	1.97	1.29	0.97	1.03	1.32	NA	NA	0.76	0.51	0.07	0.17	0.38
Phetchaburi	1.34	1.61	1.52	1.02	0.89	0.68	1.18	0.50	0.53	0.70	0.34	0.08	0.08	0.37
Prachuab Khirikhan	6.52	1.70	1.82	0.35	1.42	0.81	2.10	0.32	0.55	0.58	0.57	0.04	0.18	0.37
Chumphon	NA	1.34	1.65	0.28	1.20	1.19	1.13	NA	0.72	0.97	0.55	0.06	0.08	0.48
Surat Thani	NA	1.19	1.54	0.30	1.64	2.06	1.35	NA	0.27	0.05	0.44	0.28	0.19	0.25
Nakhon Si Thammarat	3.94	1.18	3.36	NA	1.77	1.14	2.28	0.55	0.33	0.99	NA	0.15	0.23	0.45
Pattani	2.21	1.24	0.84	0.41	1.55	1.69	1.32	0.40	0.30	0.79	0.43	0.36	0.43	0.45
Trang	2.64	NA	1.67	0.49	NA	2.45	1.81	0.92	NA	0.46	0.53	NA	0.08	0.50
Krabi	1.22	0.73	1.27	0.32	0.44	1.04	0.84	0.29	0.35	0.81	0.61	0.03	0.18	0.38
Phang Nga	3.48	2.37	2.78	1.24	0.87	0.42	1.86	0.74	0.51	0.84	1.23	0.10	0.04	0.58
Ranong	2.03	2.66	2.25	1.22	1.11	1.10	1.73	0.59	0.40	1.19	0.75	0.01	0.08	0.50
Mean	2.77	2.04	1.93	0.79	1.20	1.27	1.62	0.50	0.44	0.72	0.57	0.11	0.16	0.42

Station				Ni				Mn						
Station	1998	1999	2000	2001	2002	2003	Mean	1998	1999	2000	2001	2002	2003	Mean
Trat	0.83	0.29	0.73	0.67	0.81	0.77	0.68	6.05	6.37	7.67	10.36	11.96	5.28	7.95
Chon Buri	0.56	0.42	0.31	0.24	0.29	0.47	0.38	6.64	13.83	9.17	2.56	14.24	7.83	9.04
Samut Prakan	NA	NA	0.28	0.60	0.16	0.41	0.36	NA	NA	4.72	11.70	7.73	7.87	8.01
Phetchaburi	0.16	1.12	0.20	0.14	0.26	0.26	0.36	7.44	15.84	7.54	8.27	14.21	3.81	9.52
Prachuab Khirikhan	0.34	0.53	0.48	0.32	0.61	0.57	0.48	13.71	8.66	5.96	0.82	5.94	5.82	6.82
Chumphon	NA	0.69	0.32	0.21	0.27	0.41	0.38	NA	12.82	11.37	1.80	9.02	10.07	9.01
Surat Thani	NA	0.46	0.30	0.32	0.24	0.53	0.37	NA	6.05	6.60	1.81	7.89	13.72	7.22
Nakhon Si Thammarat	0.99	0.37	0.81	NA	0.90	0.46	0.71	10.40	9.42	2.34	NA	7.56	8.22	7.59
Pattani	0.51	0.78	0.18	0.24	0.43	0.48	0.44	8.04	5.25	5.34	2.03	6.09	5.23	5.33
Trang	0.62	NA	0.32	0.26	NA	0.68	0.47	3.45	NA	4.86	1.32	NA	3.64	3.32
Krabi	0.15	0.40	0.19	0.09	0.44	0.33	0.27	5.47	2.91	6.19	1.42	9.21	1.01	4.37
Phang Nga	0.49	0.31	0.21	0.24	0.25	0.28	0.30	4.63	5.36	4.98	2.75	4.77	6.14	4.77
Ranong	0.14	0.28	0.11	0.08	0.33	0.35	0.22	3.68	10.38	7.49	6.81	14.58	4.53	7.91
Mean	0.48	0.52	0.34	0.29	0.42	0.46	0.42	6.95	8.81	6.48	4.30	9.43	6.40	6.99

Table 1 (Cont.)

Station				Zn				Fe						
Station	1998	1999	2000	2001	2002	2003	Mean	1998	1999	2000	2001	2002	2003	Mean
Trat	10.44	8.96	9.44	8.42	10.98	9.12	9.56	387.99	131.11	312.82	105.85	172.84	86.84	199.58
Chon Buri	5.88	7.75	8.21	4.11	8.60	7.53	7.01	53.85	90.59	55.72	35.59	91.47	53.48	63.45
Samut Prakan	NA	NA	12.05	8.12	8.44	7.71	9.08	NA	NA	32.98	114.78	82.17	96.23	81.54
Phetchaburi	7.44	11.35	9.12	6.07	9.19	5.81	8.16	79.88	141.98	126.27	66.89	97.77	67.65	96.74
Prachuab Khirikhan	12.09	11.29	8.61	4.00	11.39	6.80	9.03	368.34	65.70	89.29	12.87	106.74	65.91	118.14
Chumphon	NA	8.79	9.36	2.18	9.01	7.92	7.45	NA	141.11	169.95	42.61	117.07	142.79	122.70
Surat Thani	NA	13.94	16.89	3.30	9.21	15.02	11.67	NA	101.64	89.83	40.26	174.07	174.95	116.15
Nakhon Si Thammarat	12.91	8.88	13.61	NA	10.37	8.65	10.88	484.69	71.83	47.47	NA	224.57	133.07	192.33
Pattani	10.94	10.78	6.23	3.08	7.95	6.55	7.59	240.58	242.85	122.08	66.12	216.07	171.57	176.54
Trang	6.87	NA	7.73	3.40	NA	8.03	6.51	186.37	NA	108.64	17.41	NA	68.25	95.17
Krabi	8.85	6.75	9.93	2.69	8.66	2.35	6.54	78.80	72.56	124.72	30.82	48.97	36.10	65.33
Phang Nga	9.68	9.02	9.12	4.89	9.51	7.05	8.21	126.05	139.94	101.16	76.85	81.67	131.51	109.53
Ranong	6.45	8.81	6.97	4.61	10.28	7.53	7.44	67.17	111.52	56.56	33.46	93.00	104.16	77.65
Mean	9.16	9.66	9.79	4.57	9.47	7.70	8.40	207.37	119.17	110.58	53.63	125.53	102.50	116.53

The result could be used to predict the tendency of trace metals contamination. In each year, it has been found that the tendency has not been shown obviously, unless the tendency

of lead metal decreased dramatically in 2002 and 2003 (Table 2 and Figure 2). But the total tendency of every trace metal during the study period from 1998 to 2003 by using the

Table 2 Concentration (mg/kg wet wt.) and % of concentration of each element for study period

	Cor	icentra	tion (m	g/kg w	et wt.)	and %	of cor	ncentra	tion of	each e	lement	for stu	ıdy per	riod
Element	1998 19		99 2000		2001		20	02	20	03	SUM			
	Conc.	%	Conc.	%	Conc.	%	Conc.	%	Conc.	%	Conc.	%	Conc.	%
Cadmium	0.35	15.35	0.32	14.04	0.45	19.74	0.35	15.35	0.43	18.86	0.38	16.67	2.28	100
Chromium	0.71	17.44	1.04	25.55	0.30	7.37	0.63	15.48	0.76	18.67	0.63	15.48	4.07	100
Copper	2.77	27.70	2.04	20.40	1.93	19.30	0.79	7.90	1.20	12.00	1.27	12.70	10.00	100
Lead	0.50	20.00	0.44	17.60	0.72	28.80	0.57	22.80	0.11	4.40	0.16	6.40	2.50	100
Nickel	0.48	19.12	0.52	20.72	0.34	13.55	0.29	11.55	0.42	16.73	0.46	18.33	2.51	100
Manganese	6.95	16.40	8.81	20.79	6.48	15.29	4.30	10.15	9.43	22.26	6.40	15.11	42.37	100
Zinc	9.16	18.19	9.66	19.19	9.79	19.44	4.57	9.08	9.47	18.81	7.70	15.29	50.35	100
Ion	207.37	28.86	119.17	16.58	110.58	15.39	53.63	7.46	125.33	17.44	102.50	14.26	718.58	100
% Conc. of 6 yrs.	20.	.38	19.	36	17.	36	12.	47	16.	15	14.	28	10	00

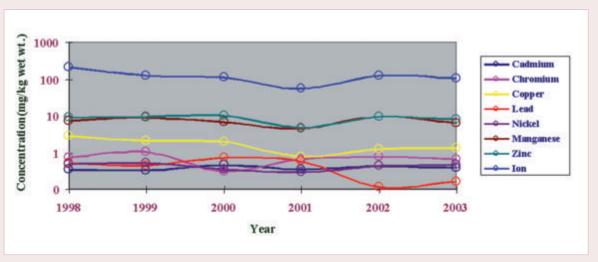


Figure 2 Concentration of trace metal accumulation in green mussel tissue (perna viridis)

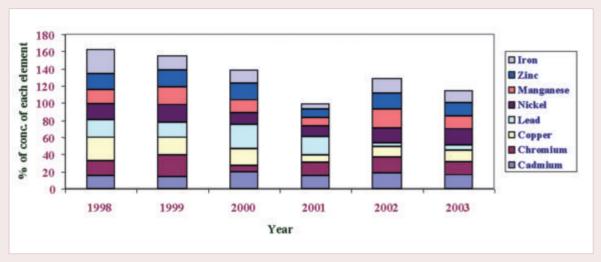


Figure 3 % of concentration of trace metal accumulation in green mussel tissue (perna viridis)

contamination values of trace metals to be calculated into percent in each year (as in equation 1). While the total of 8 metals have tendency to decrease slightly about 1 percent (Figure 3).

% of concentration of metal  $\bf A$  in year  $\bf B$  = (concentration of metal  $\bf A$  in year  $\bf B$  x 100) / total of metal  $\bf A$  concentration in the whole study year

when, A is type of trace metal and B is the year collecting the samples.

The contamination and distribution of each trace metal in each area during the study period has been found that the characteristic is different in each area and each trace metal. The contamination value in average from 6 years in each station of cadmium, copper, lead, nickel, manganese, zinc and iron are in the range of 0.11 - 1.05, 0.41 - 0.90, 0.84 - 2.35, 0.25 - 0.58, 0.22 - 0.71, 3.32 - 9.52, 6.51 - 11.67 and 63.45 - 199.58 mg/kg wet weight, respectively. The contamination values in 6 years, and the values of each trace metal are shown in Table 3. The distribution of each trace metal in each area is shown in Figure 4 -11.

Table 3 Average concentration of trace metal accumulation in green mussel tissue (perna viridis)

Station			Concer	ntration (	mg/kg w	et wt.)		
Station	Cd	Cr	Cu	Pb	Ni	Mn	Zn	Fe
Trat	0.42	0.54	1.85	0.36	0.68	7.95	9.56	199.58
Chon Buri	0.23	0.41	2.35	0.36	0.38	9.04	7.01	63.45
Samut Prakan	0.23	0.57	1.32	0.38	0.36	8.01	9.08	81.54
Phetchaburi	0.30	0.90	1.18	0.37	0.36	9.52	8.16	96.74
Prachuab Khirikhan	1.05	0.87	2.10	0.37	0.48	6.82	9.03	118.14
Chumphon	0.74	0.79	1.13	0.48	0.38	9.01	7.45	122.70
Surat Thani	0.58	0.60	1.35	0.25	0.37	7.22	11.67	116.15
Nakhon Si Thammarat	0.50	0.90	2.28	0.45	0.71	7.59	10.88	192.33
Pattani	0.30	0.77	1.32	0.45	0.44	5.33	7.59	176.54
Trang	0.21	0.51	1.81	0.50	0.47	3.32	6.51	95.17
Krabi	0.16	0.48	0.84	0.38	0.27	4.37	6.54	65.33
Phang Nga	0.22	0.72	1.86	0.58	0.30	4.77	8.21	109.53
Ranong	0.11	0.58	1.73	0.50	0.22	7.91	7.44	77.65
Sum	5.04	8.62	21.10	5.41	5.41	90.85	109.14	1514.84

Figure 4 - 11 Distribution of average concentration of 8 elements along the coastal area of Thailand

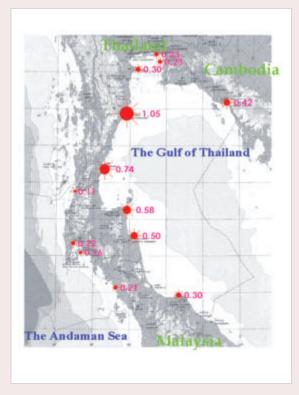


Figure 4 Cadmium

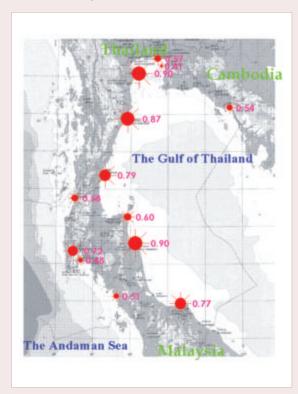


Figure 5 Chromium

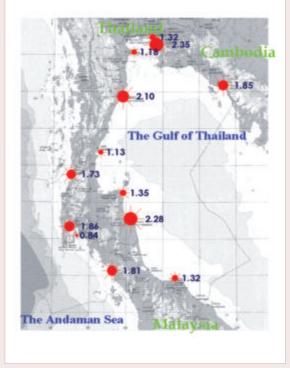


Figure 6 Copper Figure 7 Lead

The Andaman Sea

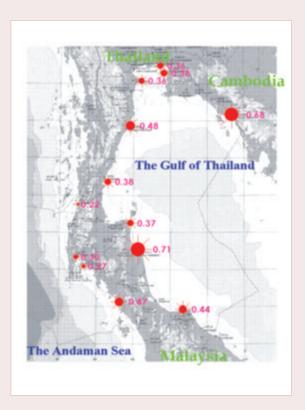
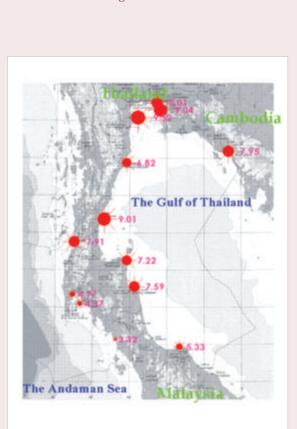


Figure 8 Nickel



The Gulf of Thailand

Figure 9 Manganese

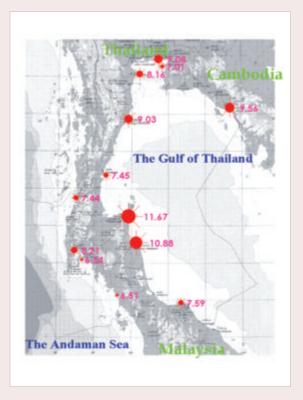


Figure 10 Zinc

Distribution of each trace metal in each area has been found that there is the significantly difference. But the perspective analysis of distribution of 8 trace metals in each area and using the percent values of contamination of each trace metal to be combined, it has been found that the area in the Gulf of Thailand has high values of contamination. The first three areas which have the highest values are NaKhon Si Thammarat, Prachuab Khirikhan and Trat (Table 4 and Figure 12-13). Those three areas are located on the coast of the gulf of Thailand. While the coast on the Andaman sea has the lower contamination of trace metals. The cause of the higher on coast of the gulf of Thailand than on the Andaman sea come from the areas have many activities such

as residents, industries i.e. eastern seaboard project

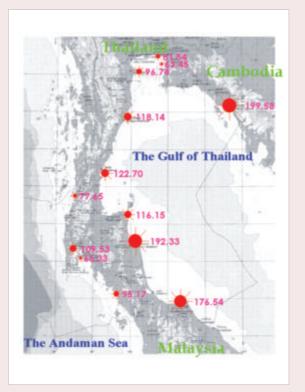


Figure 11 Iron

and southern seaboard project. These are the sources of the trace metals into the environment. While they emphasis on the tourism on the coast of the Andaman sea mainly. Moreover, the physical characteristic of the gulf of Thailand is close that the circulation of the pollutants is limited. The coast on the Andaman sea is open that the circulation and dilution of pollutants is better.

% of concentration of trace metal **A** in the area **C** = (concentration of trace metal **A** in area **C** x 100)/ total of concentration of trace metal **A** during the study

When, **A** is the type of trace metal and **C** is the sampling area.

**Table 4** % concentration of each element in each station for 6 yrs.

Station	% of concentration of each element for 6 yrs.											
Station	Cd	Cu	Ni	Pb	Ni	Mn	Zn	Fe	SUM %			
Trat	8.27	6.23	8.78	6.56	12.67	8.75	8.76	13.17	73.19			
Chon Buri	4.46	4.70	11.13	6.60	7.07	9.96	6.43	4.19	54.53			
Samut Prakan	4.62	6.60	6.23	6.98	6.68	8.81	8.32	5.38	53.63			
Phetchaburi	5.90	10.39	5.57	6.87	6.59	10.48	7.48	6.39	59.67			
Prachuab Khirikhan	20.73	10.10	9.97	6.92	8.80	7.51	8.27	7.80	80.09			
Chumphon	14.68	9.11	5.36	8.81	7.02	9.92	6.83	8.10	69.84			
Surat Thani	11.51	6.95	6.38	4.55	6.88	7.94	10.69	7.67	62.57			
Nakhon Si Thammarat	9.90	10.41	10.79	8.29	13.09	8.35	9.97	12.70	83.49			
Pattani	5.98	8.93	6.27	8.35	8.09	5.86	6.95	11.65	62.08			
Trang	4.11	5.94	8.58	9.16	8.64	3.65	5.96	6.28	52.33			
Krabi	3.21	5.63	3.96	6.97	4.98	4.81	5.99	4.31	39.86			
Phang Nga	4.36	8.33	8.81	10.63	5.50	5.25	7.53	7.23	57.63			
Ranong	2.27	6.68	8.19	9.30	3.99	8.71	6.82	5.13	51.08			
SUM %	100	100	100	100	100	100	100	100	800			



Figure 12 Average concentration of 8 trace metal accumulation in green mussel tissue (perna viridis)

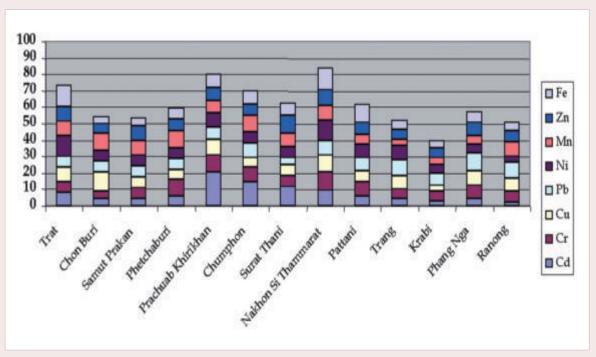


Figure 13 Sum % of concentration of each element in each station for 6 yrs.

Comparison with the average concentration for some trace metals which are defined by other agencies in table 5, and the Maximum Residue Limit (MRL) of trace metals in green mussel, it was found that the residue concentration were

still less than the standard (Table 5). Comparison of recommended for daily intakes with metals accumulation in mussel tissue. The concentrations in mussels tissue were in recommended for daily intakes. (Table 6).

Table 5 Standard for trace metal in food (mg/kg wet wt.)

Agency	Lead	Cadmium	Zinc	Copper
THE CANADIAN FOOD AND DRUG DIRECTORATE (UTHE AND BLIGH, 1974)	10	-	100	100
THE TASMANIAN PUBLIC HEALTH (FOOD AND DRUG STANDARD REGULATION) (EUSTACE, 1974)	-	5.5	40.0	30.0
THE NATIONAL HEALTH AND MEDICAL RESEARCH COUNCIL (EUSTACE, 1974)	-	2	1,000	-
Ministry of Public Health (1986)	1.0	-	100	20
Average value in study	0.57	0.38	8.39	1.82

Reference: Tongra-ar, V. 1991.

 Table 6
 Recommended for daily intakes compared with concentration from study.

Element	Recommend (mg/d)	Range of conc. from study (mg/kg wet wt.)	Remark
Cadmium	0.4 - 0.5	0.06 - 2.10	PTWI
Copper	2.0 - 3.0	0.28 - 6.52	ADI
Lead	3.0	0.01 - 1.23	PTWI
Manganese	2.5 - 5.0	0.82 - 15.84	ADI
Zinc	15.0	2.18 - 16.89	RDA
Iron	10.0	12.87 - 484.69	RDA

\* RDA = Recommended Daily Dietary Allowances (For male 25 - 30 years old, 75 kgs. body weight)

**ADI** = Adequate Daily Dietary Intakes

PTWA = Provisional Tolerable weekly Intakes

Reference: Wongpitak, U. et al. 1994.

# Implementation of the Thai government

Though the level of trace metals in the coastal areas of Thailand is low, the problems have been occurred as mentioned previously. For the sustainable utilization of coastal resource, the Thai government has defined the measures as the following.

1. Provide various agencies relating the coastal resource such as Office of the Environmental Policy and Planning to consult and coordinate the coastal management in perspective, Department of Forestry, Department of Land Development, and Department of Fishery to consult and be responsible for those areas. For example, Department of Forestry is responsible for marine national parks and mangrove forest, Department of Fishery is responsible for aquatic living conservation zone and coral reefs. Department of Land Development is responsible for coastal land use planning. The development agencies are responsible for the major projects such as the office of the National Economic and Social Development Board.

2. Publicize the regulations and laws such as Environmental Conservation Act B.E.2535,

Fishery Act B.E. 2490, National Park Act B.E. 2504, Thai Maritime Navigation Act B.E. 2456, Land Law B.E. 2497, cabinet approval concerning mangrove and coral reefs in land management. Coastal resources management lacks of integration. In B.E. 2545, the government reforms the system into the cluster such as coastal resources under the Ministry of Natural Resources and Environment in order that it could be planned the integration administration effectively.

- 3. Provide the conference at the ministerial level on sustainable development in marine in East Asia between 8-12 December B.E.2546. The Thai government has defined the strategies for sustainable development in marine in East Asia. The important contexts are as follow.
  - Give the importance of marine transportation, bio diversity conservation, marine pollution problems from land, fishery resources and aquatic culture, the importance of cooperation in local level, national level and regional level.
  - Provide the draft regulation of Office of the Prime Minister on policy and restoration of Thai Sea B.E.....

- 4. Provide the collection system and wastewater treatment system from domestic, coastal aquatic culture, fishery activities, pig farms and factories.
- 5. The Pollution Control Department proposes the measures to solve the problems effectively and the water quality is within the standards of effluent. (Appendix 1)

#### Conclusion

The result has been found that there is no trend of the accumulation of trace metals except lead, which tends to decrease obviously seen in 2002 and 2003. While the trace metals contamination on the coastal of the gulf of Thailand is more than the coast of the Andaman Sea. The reasons of this come from the various activities on the coast of the gulf of Thailand distribution of pollutants into the sea. Though such contamination is low compared with the standards, the monitoring and protection of the problems, which may increase in the future, is necessary.

#### References

- Draft Notification of Pollution Control Department, approved by the Environmental Committee on Water, dated November 14, B.E. 2534 (1992).
- 2. http://www.environnet.in.th/evdb/info/coast/coast6.html, 30.06.04
- 3. Hungspreugs, M. et al. 1989. *The present status of the aquatic environment of Thailand*, Marine Pollution Bulletin. Vol. 20 No.7, 327-332.
- 4. Ministry of Public Health. 1986. Residues in foods p.1123-1124. Notification of the Ministry of Public Health Part 23, vol.103, Special Issue, 16 February 1986, The Government Gazette.
- 5. Notification of the National Environmental Board No. 7, dated January 20, B.E. 2537 (1994), issued under the Enhancement and

- Conservation of national Environmental Quality Act B.E. 2535 (1992), published in the Royal Government Gazette vol. 111, Part 16, dated February B.E. 2537 (1994).
- 6. O'Connor T. P., Beliaeff. B. Recent Trends in Coastal Environmental Quality, Result from the Mussel Watch Project, NOAA Silver Spring, MD, 40.
- 7. Office of natural resource and environment. 2004. *Thailand state of the environment report 2002*. Ministry of Natural Resource and Environment, Bangkok, Thailand.
- 8. Phillips D. J. H., 1980. *Quatitative Aquatic Biological Indicators*, Applied Science Publishers, London.
- Ruangwises. S., Ruangwises. N., Tabucanon S.M., 1994. Persistent Organochlorine Pesticides Residues in Green Mussel (Perna veridis from the Gulf of Thailand) Marine Pollution Bulletin28, 351-355,.
- 10. Ruchaya Boonyatumanond, Areerat Jaksakul, Pornthip Puncharoen, Monthip Siratana Tabucanon., 2002. Monitoring of organochlorine pesticides residues in green mussel (Perna viridis) from the coastal area of Thailand. Environmental Pollution 119 (2002) 245-252.
- Sericano. J.L., Wade. T. L., Jackson. T. J., Brooks. J.M., Tripp. B.W., Farrington. J. W., Mee. L. D., Readmann. J. W., Villenenve J. P., Goldber E. D., 1995. Trace Organic Contamination in the Americas: An Overview of The U.S. Nation Status and Trends and the International Mussel Watch Programmes. Marine Pollution Bulletin. 31, 214-225.
- Tongra-ar, V. 1991. Proceeding the third technical conference on living aquatic resources, Chulalongkorn University, 17-18 January 1991, 359-370.
- 13. Wongphutpitak, U. et al. 1994. Food contamination: Thai health effect. Thai Health Research Institute, 1994, 125.

# [hsu

## Appendix 1

## Coastal Water Quality Standards

### Classification of Coastal Waters

Class	Description
1	Preservation areas
	The water is preserved as natural conditions and its beneficial uses include the following:
	1. Scientific research and/or demonstration. These activities, such as scientific observation,
	monitoring, etc., must not alter the natural surroundings.
	2. Activities related to aesthetic and natural beauty.
	3. Activities related to management and conservation which do not alter the environment.
2	Coral conservation in coral communities area.
3	Conservation of other natural resources such as mangrove, wildlife habitat, reproduction zone,
	nursery zone, and nutrition zone for marine organisms.
4	Areas for coastal aquaculture activities such as shellfish, prawns, fish.
5	Water contact sport, such as swimming.
6	Water proximity sport, such as sailing.
7	Industrial zone where water is used for industrial activities such as mining or used as receiving
	water for industrial effluent. After effluent discharge, the water quality must be within set
	standards.

## **Coastal Water Quality Standards**

Parameter	Unit	Class 1	Class 2	Class 3	Class 4	Class 5	Class 6	Class 7	Methods for Examination
1. Floatable solids	-	n	NOB*	NOB*	NOB*	NOB*	NOB*	NOB*	Visual Testing
2. Floatable oil/grease	-	n	NV	NV	NV	NV	NV	NV	Visual Testing
3. Color/odor	-	n	-	-	NOB	NOB	NOB	NOB	Color-Visual testing odor-
									Organolaptic
4. Temperature	°C	n	>>33.0	>>33.0	>>33.0	-	-	±3.0	Thermometer
5. pH	-	n	7.5-8.9	7.5-8.5	7.5-8.5	-	-	**	Electrometric pH Meter
6. Salinity	ppt	n	29-35	>>10%	>>10%	-	-	**	Refractometer
7. Transparency	m	n	±10%	±10%	±10%	±10%	-	**	White Secchi Disc,
									Diameter 30 cm.
8. Dissolved Oxygen (DO)	mg/l	n	<<4	<<4	<<4	-	-	**	Azide Modification
9. Total coliform	MPN/								
	100 ml	n	-	-	>>1,000	>>1,000	-	**	Multiple Tube
									Fermentation Technique
10. Fecal coliform Bacteria	MPN/	n	-	-	n	-	-	**	Multiple Tube
	100 ml								Fermentation Technique
11. NO <sub>3</sub> -N	mg/l	n	n	n	n	-	-	**	Cadmium Reduction
12. PO <sub>4</sub> -P	mg/l	n	n	n	n	-	-	**	Ascorbic Acid
13. Mercury (Hg)	mg/l	n	>>	>>	>>	-	-	>>	Atomic Absorption Cold
			0.0001	0.0001	0.0001			0.0001	Vapour Technique
14. Cadmium (Cd)	mg/l	n	>>0.005	>>0.005	>>0.005	-	-	>>0.005	Atomic Absorption
									Spectrophotrometry
									(Flameless Technique)
15. Chromium (Cr)	mg/l	n	>>0.1	>>0.1	>>0.1	-	-	**	Atomic Absorption
									Spectrophotrometry
									(Flameless Technique)

Parameter	Unit	Class	Class 2	Class 3	Class 4	Class 5	Class 6	Class 7	Methods for Examination
16. Chromium hexavalent	mg/l	n	>>0.05	>>0.05	>>0.05	-	-	>>0.1	Atomic Absorption Spectrophotrometry (Flameless Technique)
17. lead (Pb)	mg/l	n	>>0.05	>>0.05	>>0.05	-	-	**	Atomic Absorption Spectrophotrometry (Flameless Technique)
18. Copper (Cu)	mg/l	n	>>0.05	>>0.05	>>0.05	-	-	**	Atomic Absorption Spectrophotrometry (Flameless Technique)
19. Manganese (Mn)	mg/l	n	>>0.1	>>0.1	>>0.1	-	-	**	Atomic Absorption Spectrophotrometry (Flameless Technique)
20. Zinc (Zn)	mg/l	n	>>0.1	>>0.1	>>0.1	-	-	**	Atomic Absorption Spectrophotrometry (Flameless Technique)
21. Iron (Fe)	mg/l	n	>>0.3	>>0.3	>>0.3	-	-	**	Atomic Absorption Spectrophotrometry (Flameless Technique)
22. Fluoride (F)	mg/l	n	>>1.5	>>1.5	>>1.5	-	-	**	Colorimetric SPANDS with Distillation
23. Residue Cl <sub>2</sub>	mg/l	n	>>0.01	>>0.01	>>0.01	-	-	**	Iodometric Method
24. Phenols	mg/l	n	>>0.03	>>0.03	>>0.03	-	-	**	Distillation, 4-Amino antipyrene
25. NH <sub>3</sub>	mg/l	n	>>0.04	>>0.04	>>0.04	-	-	**	Distillation Nesslerization
26. Sulfide	mg/l	n	>>0.01	>>0.01	>>0.01	-	-	**	Colorimetric, Methylene Blue
27. CN	mg/l	n	>>0.01	>>0.01	>>0.01	-	-	**	Pyridine- Babituric Acid
28. PCB	mg/l	n	n	n	n	-	-	**	Gas-Chromatography
29. Total Chlorinated Pesticides	µg/l	n	>>0.05	>>0.05	>>0.05	-	-	**	Gas-Chromatography
30. Radioactivity						-	-	**	Low Background Proportional Counter
- Alpha Gross	Becquerel/1	n	>>0.1	>>0.1	>>0.1	-	-	**	
- Beta Gross	Becquerel/l	n	>>1.0	>>1.0	>>1.0	-	-	**	

Remarks: NOB = not objectionable

NV = not visible

n = natural condition

\* = natural floatable solids not included

\*\* = may be established as necessary

>> = not more than

<< = not less than

± = change from natural condition

Base on Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater recommended by APHA: American Public Health Association, AWWA: American Water Works Association and WPCF: Water Pollution Control Federation

Source: Notification of the National Environmental Board No. 7, dated January 20, B.E. 2537 (1994), issued under the Enhancement and Conservation of national Environmental Quality Act B.E. 2535 (1992), published in the Royal Government Gazette vol. 111, Part 16, dated February B.E. 2537 (1994).



## โครงการศึกษาการกระจายตัวของสารตกค้างกลุ่ม โพลีไซคลิก อาโรมาติค ไฮโดรคาร์บอน ในตะกอนดินบริเวณแม่น้ำเจ้าพระยา และชายฟั่งของประทศไทย

รุจยา บุณยทุมานนท์ , สุเทียบ ศรีลาชัย ่

2<sup>nd</sup> Asian Pacific International Conference on Pollutants Analysis and Control 1-3 December 2003, โฮจินินท์ ประเทศเวียดนาม

#### **Abstract**

The concentration of polycyclic aromatic hydrocarbon (PAHs) of surface sediment from canals, rivers, estuaries and coastal area in Thailand were investigated in 2003. In order to assess the status of the pollutants, thirty-five of sediment samples were collected and analysed from low to high molecular weight (3-7 rings) PAHs by gas chromatography mass spectrometer (GC/MS). Total concentration of PAHs in sediment range is 6-8399 ng g-1 (dry weight). The average of total PAHs concentration in sediment samples from canals, rivers, estuaries and coastal area are 2554, 226, 325, and 62 ng g-1 (dry weight), respectiverly. The composition of PAHs showed the patterns of PAHs and the ratios of methylphenanthrenes/phenanthrene (MP/P ration) are 0.27-3.10, Flu/Pyr are 0.58-1.45, and Flu/ Flu+Pyr ratio are 0.41-0.64, which all ratios indicated that the sources of pollutant are mixture of petrogenic and pyrogenic source. The recovery of all PAHs compounds is in the range of 75-110% and standard deviation 3.2-10.0%. The result from this study will be applied to investigate the source of pollutants in the future plan.

#### บทคัดย่อ

โครงการการศึกษาการกระจายตัวของสารกลุ่ม โพลีไซคลิกอาโรมาติคไฮโดรคาร์บอน (PAHs) ใน ตัวอย่าง ตะกอนดินบริเวณคลองที่เชื่อมต่อกับแม่น้ำเจ้าพระยา ตั้งแต่จังหวัดอยุธยาถึงปากแม่น้ำจังหวัดสมุทรปราการ และบริเณชายฝั่งทะเลของประเทศไทย มีจุดประสงค์ เพื่อประเมินสถานะการปนเปื้อนของสารกลุ่มดังกล่าว ในตะกอนดินผิวหน้า และเพื่อหาสาเหตุหลักและแหล่ง ที่มาของการปนเปื้อนดังกล่าว โดยศูนย์วิจัยและฝึก อบรมด้านสิ่งแวดล้อม ได้ทำการเก็บตัวอย่างจำนวน 35 ตัวอย่าง มาทำการตรวจวิเคราะห์สารกลุ่ม PAHs จาก 3-7 rings คือตั้งแต่ Phenanthrene ถึง coronene โดยใช้เครื่องก๊าซโครมาโตกราฟ แมสสเปคโตรมิเตอร์ ซึ่งพบว่าความเข้มข้นของสารกลุ่ม PAHs ในตะกอนดิน มีค่าอยู่ระหว่าง  $6 ext{-}8399 \text{ ng.g}^{-1}$  (dry weight) และมี ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยบริเวณคลอง แม่น้ำเจ้าพระยา ปากแม่น้ำ และชายฝั่ง ดังนี้ 2554, 226, 325 และ 62 ng.g-1 (dry weight) ตามลำดับ องค์ประกอบของ PAHs และ ratio ต่างๆ เช่น MP/P ratio คือ

0.27-3.10 Flu/pyr คือ 0.58-1.45 และ Flu/Flu+Pyr คือ 0.41-0.64 แสดงให้เห็นว่าแหล่งที่มาของ สาร PAHs มีโอกาสเป็นได้ได้ทั้ง petrogenic และ pyrogenic ผลจากการทดสอบ recomvery อยู่ในช่วง 75-110% และค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ย 3.2-10% ผลจากการ ศึกษาครั้งนี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการสำรวจหา แหล่งที่มาของสาร PAHs ได้ในอนาคต

<sup>&</sup>lt;sup>a</sup>ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม เทคโนธานี ต.คลองห้า อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120 โทร 0 2577 4182-9 โทรสาร 0 2577 1138 Environmental Research and Training Centre, Technopolis, Klong 5, Klong Luang, Pathumthani, 12120 E-mail : ruchaya@deqp.go.th

#### 1. unun

สารกลุ่ม Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) เป็นสารกลุ่มที่สะสมได้ดีในไขมันและมีอยู่ทั่วไป ในสิ่งแวดล้อม สารกลุ่มนี้อาจมาได้จากตามธรรมชาติ และที่มนุษย์สร้างขึ้น สารกลุ่ม PAHs ประกอบด้วยสาร hydrocarbon ตั้งแต่ 2 หรือมากกว่า 2 benzene ring ขึ้นไป สำหรับกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ที่ส่งผลให้เกิด สาร PAHs และปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมแบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ pyrogenic source เช่น ขบวนการเผาไหม้ต่างๆในอุตสาหกรรมเผาต่างๆ การใช้ ยานยนต์โดยน้ำมันเบนซินและดีเซล การเผาป่า เผาขยะ และ petrogenic source คือการใช้ผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม รวมทั้งการเกิดอุบัติเหตุการณ์รั่วไหลน้ำมัน เป็นต้น เนื่องจากสารดังกล่าวมีความเป็นพิษ มีผลต่อระบบ endocrine system ในร่างกาย เป็นสาเหตุของการ เกิดมะเร็ง ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงแบบผิดรูปในสัตว์ ทดลอง (mutation) ซึ่งอาจส่งผลในมนุษย์ด้วยเช่นกัน การศึกษาการกระจายตัวของสาร PAHs และหาแหล่ง ที่มาของสารพิษนี้ได้มีการใช้ ratio ต่างๆ มาช่วยในการ

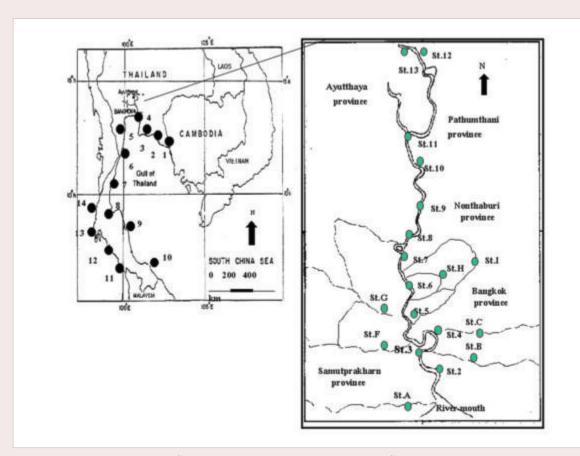
อธิบาย เช่น Pyrene/Fluoranthene sum of methylphenanthene/phenanthrene cyclopenta (def) methylphenanthrene/methyl phenanthrene และ high molecular weight/low molecular weight เป็นต้น การศึกษาการกระจายตัวของสารกลุ่มนี้เพื่อ ประเมินสถานการณ์และหาสาเหตุของการทำให้เกิดสาร ดังกล่าวปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม รวมทั้งหามาตรการ การลดการเกิดสาร PAHs เพื่อสิ่งแวดล้อมที่ดีขึ้น

## 2. วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

#### 2.1 วัสดุอุปกรณ์

- Ultrasonic
- Rotary evaporator
- Glass column
- Gas Chromatograph-Mass Spectrometer

### 2.2 พื้นที่ศึกษา



รูป 1 แผนที่แสดงพื้นที่ศึกษาตัวอย่างตะกอนดินบริเวณคลอง แม่น้ำเจ้าพระยา และชายฝั่งทะเล

**ตาราง** 1 พื้นที่ศึกษาและเก็บตัวอย่างตะกอนดิน

จุดเก็บตัวอย่าง	รหัสตัวอย่าง	จุดเก็บตัวอย่าง	รหัสตัวอย่าง
คลองสรรพสามิตร	St.A	ปากแม่น้ำ จ.สมุทรปราการ	GT4
คลองสำโรง	St.B	ปากแม่น้ำ จ.สมุทรปราการ	GT6
คลองพระโขนง	St.C	ปากแม่น้ำ จ.สมุทรปราการ	GT11
คลองบางกอกใหญ่	St.F	ปากแม่น้ำ จ.สมุทรปราการ	GT12
คลองบางกอกน้อย	St.G		
คลองบางลำพู	St.H		
คลองผดุงกรุงเกษม	St.I		
อ.พระสมุทรเจดีย์	St.2	จ.ตราด	CS1
จ.สมุทราปราการ			
		จ.ระยอง	CS2
อ.พระปะแดง จ.สมุทรปราการ	St.3	จ.ชลบุรี	CS3
ท่าเรือคลองเตย กรุงเทพฯ	St.4	จ.สมุทรปราการ	CS4
		จ.เพชรบุรี	CS5
ท่าเรือสี่พระยา กรุงเทพฯ	St.5	จ.ประจวบ	CS6
สะพานปิ่นเกล้า กรุงเทพฯ	St.6	จ.ชุมพร	CS7
สะพานพระราม 7 จ.นนทบุรี	St.7	จ.สุราษฎร์	CS8
ท่าน้ำปากเกร็ด จ.นนทบุรี	St.8	จ.นครศรีธรรมราช	CS9
สะพานนนทบุรี	St.9	จ.ปัตตานี	CS10
ต.สำแล จ.ปทุมธานี	St.10	จ.ตรัง	CS11
อ.บางไทร จ.อยุธยา	St.11	จ.กระบี่	CS12
อ.เมือง จ.อยุธยา	St12	จ.พังงา	CS13
อ.บางบาล จ.อยุธยา	St13	จ.ระนอง	CS14

#### 2.3 วิธีการวิเคราะห์

การวิเคราะห์สารกลุ่ม PAHs ในตะกอนดิน ได้มีการพัฒนาจากโครงการเดิมโดยใช้ตัวอย่างทำให้แห้ง ด้วย freeze dry และวิเคราะห์ด้วยเทคนิค sonication โดยใช้ ultrasonic จากนั้นทำการสกัดแยกสิ่งสกปรกด้วย silica gel column (5%  $\rm H_2O$  deactive) และแยก fraction ด้วย Fully activated silica gel column และ elute ด้วย 20 ml (3:1) hexane : dichloromethane

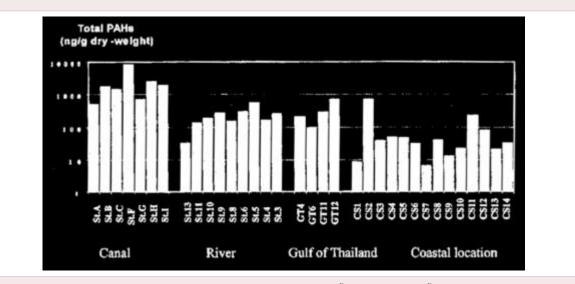
การหาปริมาณวิเคราะห์ด้วย GC/MS (Hewlett-Packard 5892 series II plus) และ Capillary column HP-5MS fuse silica column (30 m length x 0.25 mm.id x 0.25 um film thickness) inlet temp 310°C oven temp 70°C เพิ่มเป็น 150°C ด้วยอัตรา 30°C/min และเพิ่มเป็น 310°C ด้วยอัตรา 4°C/min การทำ QA/QC สำหรับงานนี้ใช้ surrogate compound คือ

Naphthalene d8 benzo[a]anthracene d12 Anthracene d10 Perylene d12 P-terphenyl d14

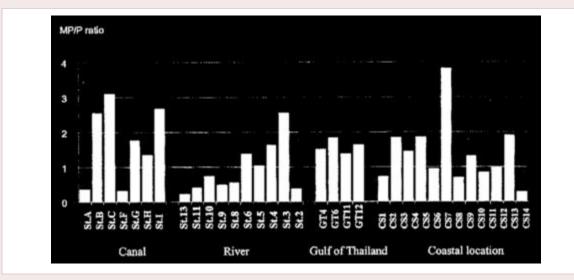
## 3. พลการวิเคราะห์และวิจารณ์

**ตาราง 2** ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของสารPAHs ในตัวอย่างตะกอนดินบริเวณ คลอง แม่น้ำเจ้าพระยา ปากแม่น้ำ และชายฝั่งของประเทศ (นาโนกรัม/กรัม ; น้ำหนักแห้ง) และเปรียบเทียบ ratio ต่าง ๆ

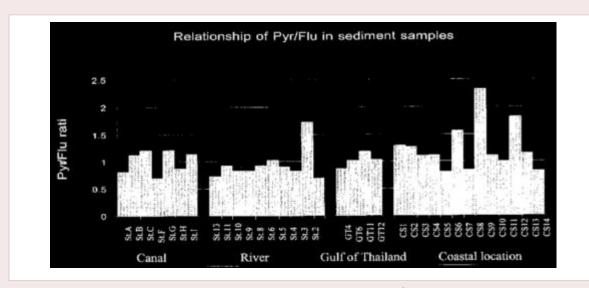
station	Total PAHs	perylene	MP/P ratio	CPP/MP ratio	Pyr/Flu ratio	Fluo/Fluo+Py ratio	H/L ratio
st.A	512	108	0.35	0.361	0.81	0.55	0.90
st.B	1735	107	2.54	0.103	1.12	0.47	0.51
st.C	1462	88	3.10	0.132	0.86	0.45	0.58
st.F	8399	168	0.31	0.248	0.69	0.59	0.92
st.G	708	184	1.76	0.502	1.20	0.45	1.37
st.H	2513	104	1.34	0.148	0.86	0.54	0.61
st.I	1958	111	2.66	0.091	1.14	0.47	0.69
st.13	33	44	0.22	0.573	0.73	0.58	0.33
st.11	134	67	0.39	0.328	0.92	0.52	0.54
st.10	187	189	0.73	0.492	0.82	0.55	1.15
st.9	268	67	0.48	0.553	0.83	0.55	0.83
st.8	150	100	0.54	0.382	0.92	0.52	1.00
st.6	285	182	1.36	0.266	1.02	0.49	1.56
st.5	570	107	1.04	0.236	0.90	0.53	1.33
st.4	157	230	1.63	0.383	0.81	0.55	0.96
st.3	251	156	2.55	0.235	1.71	0.37	1.06
GT4	724	156	1.63	0.317	0.73	0.54	1.53
GT6	285	182	1.36	0.266	0.86	0.49	1.56
GT11	88	105	1.84	0.129	1.02	0.46	1.60
GT12	207	134	1.52	0.208	1.17	0.49	1.45
CS1	9	7	0.71	0.609	1.29	0.44	0.64
CS2	24	1	1.83	0.114	1.03	0.44	0.66
CS3	39	8	1.45	0.172	0.82	0.48	1.31
CS4	49	67	1.85	0.154	1.10	0.48	1.19
CS5	46	34	0.93	0.184	1.10	0.55	0.41
CS6	32	2	3.82	0.119	1.10	0.39	0.35
CS7	6	3	0.67	0.442	0.85	0.54	0.72
CS8	39	6	1.31	0.220	1.56	0.30	0.91
CS9	13	10	0.83	0.537	1.10	0.48	1.21
CS10	22	7	0.96	0.185	2.31	0.50	0.90
CS11	228	7	0.43	1.761	0.73	0.58	1.41
CS12	82	4	1.90	0.114	1.81	0.36	0.52
CS13	21	3	1.08	0.425	1.14	047	0.83
CS14	33	5	0.27	0.450	0.80	0.55	0.30



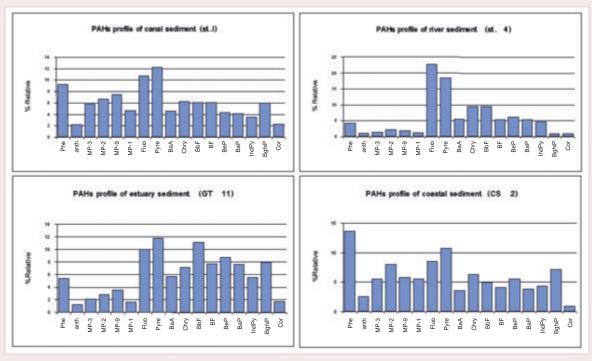
รูป 2 แสดงความเข้มข้นของ PAHs ในตัวอย่างตะกอนดินบริเวณคลอง แม่น้ำเจ้าพระยา ปากแม่น้ำ และชายฝั่งทะเลของประเทศ



รูป 3 แสดง MP/P ratio ของตัวอย่างตะกอนดินบริเวณคลอง แม่น้ำเจ้าพระยา ปากแม่น้ำ และชายฝั่งทะเลของประเทศ



รูป 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Pyrene และ Fluaranthene ในตัวอย่างตะกอนดิน



รูป 5 แสดง PAHs pattern ของผลการวิเคราะห์ในตัวอย่างตะกอนดิน

จากผลการศึกษาทั้ง 35 ตัวอย่างได้แสดงไว้ใน ตาราง 2 ซึ่งพอสรุปได้ดังนี้ ปริมาณความเข้มข้นที่ ตรวจพบ PAHs ในคลอง แม่น้ำเจ้าพระยา ปากแม่น้ำ และชายฝั่งทะเลมีค่าระหว่าง 512-8399 ng.g<sup>-1</sup> (dry weight) 33-570 ng.g<sup>-1</sup> (dry weight) 88-724 ng.g<sup>-1</sup> (dry weight) และ 6-228 ng.g-1 (dry weight) ตาม ลำดับดังแสดงในตาราง 2 และ รูป 2 (log scale) ซึ่งอธิบายว่า ตัวอย่างตะกอนดินจากคลองมีความเข้มข้น ของ PAHs สูงกว่าตัวอย่างจากที่อื่นๆ เช่น ตะกอนดิน จากแม่น้ำ ปากแม่น้ำ และชายฝั่งทะเล ทำให้สามารถ เข้าใจได้ว่าแหล่งที่มาของ PAHs อาจมีการถ่ายเทจาก คลองมาสู่สิ่งแวดล้อมอื่นๆ สำหรับค่า MP/P ratio มีค่าสูงบริเวณคลองโดยมีค่าสูงสุดที่สถานี C และ B ซึ่งเป็นพื้นที่ในเขตเมืองและใกล้เขตอุตสาหกรรมคือ บริเวณคลองเตยและสมุทรปราการ ซึ่งน่าจะได้รับ อิทธิพลจาก PAHs ในอากาศและการชะของน้ำจาก ผิวถนน เมื่อพิจารณาว่า MP/P จากรูป 3 จะเห็น profile ของค่า MP/P เปลี่ยนแปลงโดยมีแนวโน้มสูงขึ้นจากพื้นที่ อยุธยา และเมื่อผ่านเขตเมืองมี MP/P สูงขึ้น แสดงว่า มีความเป็นไปได้ที่ได้รับผลกระทบจากพื้นที่เขตเมืองอย่าง มากที่ทำให้เกิดการสะสม PAHs โดยเฉพาะ st4 และ st3 และมีการถ่ายเทสาร PAHs สู่บริเวณปากแม่น้ำ

ด้วยเช่น GT4 GT6 GT11 และ GT12 จากตาราง 2 การแปรผลด้วยการใช้ ratio ต่างๆ เพื่ออธิบายลักษณะ ของ PAHs ที่พบโดยใช้ Sum of methylphenanthrence/phenanthrene ratio (MP/P ratio > 1 เป็น petrogenic และ MP/P ratio <1 เป็น pyrogenic) cyclopenta (def)/methylphenanthrene ratio (CPP/ MP ratio > 0.2 เป็น pyrogenic และ CPP/MP ratio < 0.2 เป็น petrogenic) Fluoranthene/Fluoranthene+ Pyrene (Fluo/Fluo+Pyr>0.5 เป็น pyrogenic และ Fluo/Fluo+Pyr <0.5 เป็น petrogenic) high molecular weight PAHs/low molecular weight PAHs (H/L > 1 เป็น pyrogenic และ H/L < 1 petrogenic) ผลจาก การใช้ Pyr/Fluo ratio และ Fluo/Fluo+Pyr ratio ให้ผลที่สอดคล้องกันถึง 95% จากค่า ratio ต่างๆ ที่แสดงขอบเขตการพิจารณาแล้วนั้น เมื่อเทียบกับผล ในตาราง แสดงให้เห็นว่าแหล่งที่มาของการปนเปื้อน ในตะกอนดินมีโอกาสเป็นไปได้ทั้ง 2 แหล่ง คือ pyrogenic และ petrogenic ดังแสดงในรูปที่ 4 ซึ่ง อธิบาย ratio ระหว่าง Pyr/Flu (Pyr/Flu >1 = pyrogenic, Flu/Pyr < 1 = petrogenic) โดยจะเห็นว่า การกระจายตัวของสาร PAHs ในตะกอนดินมีความ เป็นไปได้ทั้งการปนเปื้อนจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ (Pyrogenic) และการปนเปื้อนจากแหล่งที่มาจาก ผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม โดยเฉพาะ st3 ซึ่งความสัมพันธ์ ระหว่าง ratio ต่างๆ โดย 3 ใน 5 ratio (MP/P ratio Pyr/Flu ratio และ Fluo/Pyr+Fluio ratio) รวมกัน และ 4 ใน 5 ratio (MP/P ratio H/L ratio Pyr/Flu ratio และ Fluo/Pyr+Fluio ratio) ที่นำมาเปรียบเทียบ นั้นมีผลไปทางเดียวกันถึง 70% นอกจากนั้นการใช้ composition ของ PAHs ดังแสดงตัวอย่าง pattern ในรูป 5 นั้น จะแสดงให้เห็นว่ามีความเป็นไปได้ของ แหล่งที่มาทั้ง 2 แบบ เช่นกัน กับการใช้ ratio พิจารณา ดังที่เสนอไว้แล้วข้างต้น อย่างไรก็ตามข้อมูลในโครงการ วิจัยนี้จะใช้ในการศึกษาต่อไปเพื่อหาแหล่งที่มาให้ชัดเจน มากขึ้น รวมทั้งศึกษาทิศทางการแพร่กระจายของ PAHs โดยจะทำการเก็บตัวอย่างสิ่งแวดล้อมอื่นๆ เพื่อนำผล มาเปรียบเทียบต่อไป

## 4. สรุปพลการศึกษา

จากการศึกษาการกระจายตัวของสาร PAHs ในตะกอนดินผิวหน้าบริเวณคลองต่างๆ แม่น้ำเจ้าพระยา ปากแม่น้ำและชายฝั่งทะเลของประเทศ พบว่ามีการ ปนเปื้อนและการสะสมในปริมาณค่อนข้างสูง โดยเฉพาะ บริเวณคลองต่างๆ ซึ่งเชื่อมต่อกับแม่น้ำ และมีแนวใน้ม ลดลงเมื่อเข้าสู่บริเวณแม่น้ำเจ้าพระยา และปากแม่น้ำ และมีปริมาณการสะสมสาร PAHs ต่ำที่สุดคือตะกอนดิน ชายฝั่ง จากผลการศึกษาน่าจะเห็นแนวใน้มการกระจาย ตัวและสาเหตุการปนเปื้อน อาจเนื่องจากปัญหา PAHs ในเมืองโดยมีการชะลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติโดยผ่าน คลองต่างๆ อย่างไรก็ตามสมมุติฐานดังกล่าวจะต้องใช้ เทคนิคอื่นเข้ามาอธิบายเพิ่มเติม รวมทั้งรายละเอียด สาเหตุและความเป็นไปได้ของที่มาของสาร PAHs โดย ผู้วิจัยจะทำการศึกษาต่อไป โดยใช้สาร molecular marker ในงานวิจัยขั้นต่อไป

#### หมายเหต

T-PAHs: sum (anthracene, phenanthrene, fluoranthene, pyrene, benzo[a]anthracene, chrysene, benzo[b]fluoranthene, benzo[j]fluoranthene, benzo[k] fluoranthene, benzo[e]pyrene, benzo[a]pyrene, benzo[a]pyrene, perylene, indeno[1,2,3-cd]pyrene, benzo[ghi]perylene, and coronene),MP/P:sum

(1-methylphenanthrene, 2-methylphenanthrene, 3-methylphenanthrene, 9-methylphenanthrene/ to phennanthrene, CCP/MP: cyclopenta(def)pyrene to sum(1-methylphenanthrene, 2- methylphenanthrene, 3-methylphenanthrene, 9-methylphenanthrene, 3-methylphenanthrene, 9-methylphenanthrene (H/L: sum(benzo[a]anthracene, chrysene, benzo[b]fluoranthene, benzo[e]fluoranthene, benzo[a]pyrene, benzo[a]pyrene, benzo[a]pyrene, benzo[a]pyrene, benzo[a]pyrene, benzo[ghi]perylene and coronene) to sum (anthracene, phenanthrene, fluoranthene, pyrene), Pyrene/ Fluoranthene (Pyr/Fluo), Fluoranthene/Fluoranthene+Pyrene (Fluo/Fluo+Pyr)

#### เอกสารอ้างอิง

Blumer, M (1976) Polycyclic aromatic compounds in nature, Scientific American 234, 34-35 National Research Council(1981) Health effects of exposure to diesel exhaust, Washington DC, National Academy press, Washington, DC

National Research Council (1983) Polycyclic aromatic hydrocarbons: Evaluation of source and effects. National Academy Press, Washington, DC

Timothy, S. Bates., Paulette, P. Murphy., Herbert, C. Curl., Jr., and Richard, A. Feely. (1987)
Hydrocarbon distributions and transport in an urban estuary Environmental Science and Technology, 21 193-198

M.T. Bomboi and A. Hernandez (1991) Hydrocarbons in urban runoff: Their contribution to the wastewaters. Water research , 25, 557-565 Baek, S.O., Field, A., Goldstone, M.E., Kirk, P.W., Lester, J. N. and Perry, R.(1991) Review of atmospheric polycylic aromatic hydrocarbons: sources, fate and behavior. Water, Air, Soil Pollution 20, 279-300.

Wen-Jhy Lee., Ya-Fen Wang, Ta-Chang Lin, Ying-Yuan Chen, Weng-Chang Lin, Chin-Chuen Ku, Juei,-Tang Cheng.(1995) PAH characteristics

- in the ambient air of traffic-source
- Jerina, D.M., Yagi, H., Lehr R.E., Thakker, D.R., Schafer Ridder, M., Karle, J.M., Levin W., Wood, A.W., Chang RL., conney A.H.(1978) The bay-region theory of carcinogensis by HV Gelboin, POP Ts'o. New York,: Academic.
- Neff, J.M., Anderson J.W., (1981) Responses of Marine animals to petroleum and specific petroleum hydrocarbons. London. *Applied Science*.
- International Agency for search in Cancer., IARC (1983). Monographs on the evaluation of the carcinogenic risk of chemical to humans Polycyclic aromatic compounds, Part I chemical, environmental and environmental data, Lyon, 32
- Hodgin, H.O., McCain, B.B., Hawkers J.W.(1977)

  Marine fish and invertebrate disease, host disease resistance and pathological effects of petroleum. In Effects of Petroleum on Organisms, 2 edit by DC Marine, 95-174 New York: Academic Yevich, P.P., Barsczc, C.A.(1977)

  Noplasia in soft-shell clam (Mya arenaria) collected from oil-impacted sites. Ann NY Academic Science. 298, 409-426
- R.Brewer., W.Belzer and Amy Poon.(1995)
  Assessment of PAHs level in atmospheric particulate from Burnaby Lake B.C. aquatic and atmospheric science division report 1994
  Annual report San Francisco Estuary and Regional Monitoring program for trace substances. Prepared by the San Francisco Estuary Institute, Oakland, Canada.
- Yunker, M.B., Macdonald, R.W., Goyette, D., Paton, D.W., Fowler, B.R., Sullivan, D., Boyd, J.(1999) Natural and anthropogenic inputs of hydrocarbons to the strait of Georgia. *The Science of total Environmental*, 225, 181-209
- Yunker, M.B., Macdonald, R.W., Vingarzan, R., Mitchell, H. R., Goyette, D., Sylvestre, S. (2002)

- PAHs in the Fraser River basin: a critical appraisal of PAH ratios as indictors of PAHs source and composition. *Organic Chemistry*, 33, 489-515
- Bouloubassi, I., Saliot, A.(1993) Dissolved, particulate and sedimentary naturally derived polycyclic aromatic hydrocarbons in a coastal environment; geochemical significance. *Marine chemistry* 42, 127-143.
- Grover, P.L., MacNicoll, A.D., Sim, P., Easty, G.C and Neville, A.M.(1980) Polycylic hydrocarbon activation and metabolism in epithelial cell aggregates prepared from human mammary tissue. *International Journal of Cancer*, 26, 467-479.
- Broman, D., Naf, C., Lundbergh, I and Zebiihr, Y. (1990). An in situ study on the distribution, biotransformation and flux of polycyclic aromatic hydrocarbons(PAHs) in an aquatic food chain (seston-Mytilau delis-Samateria mollissima) from the Baltic: An ecotoxicological perspectives. *Environmental Toxicology chemistry* 9, 429-442
- S.Thompson and G.Eglinton.(1983) Composition and sources of pollutant hydrocarbons in the Severn estuary. *Marine pollution Bulletin* 9, 133-136.
- Nytoft, H.P., Bojegen-Koefoed, J.A.(2001) 17α 21β (H)-hopanes: natural and synthetic. *Organic Geochemistry* 32, 841-856
- Marko Notar, Hermina Leskovsek, and Jadran Faganeli.(2001) Composition, distribution and source of hydrocarbons in sediments of the gulf of Trieste, North Adriatic sea. *Marine pollution Bulletin* 42, 36-44.
- Bates, T.S., Murphy, P.P., Curl H.C. and Ferly, R.A. (1987) Hydrocarbon distribution and transport in an urban estuary. 21, 193-198
- Volkman J.K., Revill A. T. and Murray A. P.(1997) Applications of biomarkers for identifying

- sources of natural and pollutant hydrocarbons in aquatic environments. Molecular markers in environmental geochemistry ed. ,Eganhouse R.P. Ed.; ACS symposium Series 671; American Chemical Society; Washington DC, 110-132.
- Lipiatou, E. and Saliot, A. (1991)Hydrocarbon contamination of the Rhone Delta and Western Mediterranean. *Marine pollution Bulletin*, 22, 297-304.
- Lipiatou, E., Marty, J.C., and Saliot, A. (1993). Sediment trap fluxes of polycyclic aromatic hydrocarbons in the Mediterranean Sea. *Marine Chemistry* 44, 43-54
- Grimmer, G., Jacob, J and Naujack, K.W., and Dettbarn, G(1983a) Determination of the polycyclic aromatic compounds from crude oil Part 3. Inventory by GC/MS-PAH in environment materials. *Fresenius Z.Anal. Chem.*, 314, 29-36
- Grimmer, G., Jacob, J and Naujack, K.W. (1983b (Determination of polycyclic aromatic compounds emitted from brown-coal-fired residential stoves by chromatography/mass spectrometry. Analytical chemistry., 892-900.
- Sporstol S., Gjos, N., Lichtenthaler, R.G., Gustavsen, K.O., Urdal, K., Oreld, F. and Skel,J. (1983) Source identification of aromatic hydrocarbons in sediments using GC/MS. *Environmental Science and Technology* 17,282-286
- Prahl, F.G and Carpenter, R.(1979) The role of Zooplankton fecal pellets in the sedimentation of polycyclic aromatic hydrocarbons in Dabob Bay, Washington. *Geochemistry et Cosmochemica Acta* 43, 1959-1972
- Kalgutkar, R,M (1997). Fossil fungi from the lower Tertiary Iceberg Bay formation. Eukeka Sound Group. Axel Heiberg Island, Northwest Territories, Canada. Review of Palaeobotany and Palynology 97, 197-226

- Chunqing Jiang, Robert Alexander, Robert I.Kagi, Andrew P. Murray (2000) Origin of perylene in ancient sediments and its geological significance. *Organic Geochemistry* 31, 1545-1559
- Venkatesan, M.I., (1988). Occurrence and possible sources of perylene in marine sediments. A review. *Marine Chemistry* 25, 1-27
- P. Garrigues, H. Budzinski, M.P. Manitz, and S.A. wise. (1995) Pyrolytic and petrogenic input in Recent sediments: A Definitive signature through phenanthrene and chrysene Compound distribution. *Polycyclic Aromatic Compounds*, 7, 275-284.
- I Laflamme, R.E. and Hites, R.A. (1978) The global distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in recent sediments. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 42, 289-303.
- Canton, L., Grimalt, J.O. (1992) Gas chromatographic-mass specetrometric characterization of polycyclic aromatic hydrocarbon mixtures in polluted coastal sediments. *Journal of Chromatography* 607, 279-286
- Suess, R.J. (1976). The environmental load and cycle of polycyclic aromatic hydrocarbons Science Total of Environment 6, 239-250
- Lunde, G., and A. Bjorseth (1977). Polycyclic aromatic hydrocarbon in long range Transported aerosols, *Nature* 268, 518-519.
- Wang, Z., Fingas, M., Shu, Y.Y., Sigouin, L., Landriault, "Lambert P., Turpin, R., Campagna P., Mullin, J., (1999). Quantitative characterization of PAHs in burn residue and soot samples and differentiation of pyrogenic PAH form petrogenic PAHs. The 1994 Mobile burn study. *Environmental Science and Technology* 33, 3100 3109



## การศึกษาชนิดของแพลงก์ตอนสัตว์น้ำจืด (Rotifer species) ในแหล่งน้ำที่มีการปนเปื้อนสารหนู

Study on Zooplankton (Rotifer species ) in the Arsenic Contaminated Water Resources

เจนวิทย์ วงษ์ศานูน 4, สุกัญญา บุญเฉลิมกิจ 4, พนมพร วงษ์ปาน 4

#### **Abstract**

Rotifers were considered as biological indicators of water quality. Rotifers can also be used as test organisms in toxicity test and heavy metal in water.

Two water resources were studied. They were similar in water characteristic but only the contamination of arsenic level in water and sediment. Rotifers were collected and identified from two water resources compare from the list of 11 selected species.

Some of Brachionous species, Lecane species were shown clearly different, and can be uses as biological indicator.

#### บทคัดย่อ

การประเมินทางชีวภาพ ด้วยการใช้สิ่งมีชีวิต เป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพน้ำ โดยพิจารณาจากการตอบสนอง ของสิ่งมีชีวิตต่อคุณลักษณะของน้ำที่เปลี่ยนแปลงไป และคัดเลือกสิ่งมีชีวิตที่เหมาะสม ในการศึกษาครั้งนี้ใช้ แพลงตอนสัตว์น้ำจืดสายพันธุ์โรติเฟอร์ (Rotifer sp.) เป็นดัชนีชี้วัด เนื่องจากมีข้อมูลจากการทบทวนเอกสาร ระบุว่า Rotifer sp. มีการตอบสนองที่ดีต่อการเปลี่ยนแปลง คุณภาพน้ำ นอกจากนี้ Rotifer species บางชนิดยังถูก ใช้ในการตรวจสอบความเป็นพิษ หรือการปนเปื้อนของ สารพิษรวมทั้งโลหะหนักในน้ำได้เป็นอย่างดี

การศึกษาโดยการคัดเลือกชนิดของ Rotifer จำนวน 11 ชนิด และตรวจหา Rotifer เหล่านี้ในแหล่งน้ำ 2 แหล่ง คือขุมเหมืองทุ่งน้ำจานและขุมเหมืองท้ายเรือ ซึ่งมีคุณลักษณะทางกายภาพคล้ายคลึงกันแต่แตกต่าง ในระดับการปนเปื้อนสารหนูในน้ำและตะกอนดิน ดังนั้น ชนิดของ Rotifer ที่ตรวจพบเมื่อนำมาเปรียบเทียบใน แง่ของการกระจายตัวและการคงอยู่แล้วจะนำมาเป็น ข้อมูลพื้นฐานในการใช้เป็นดัชนีซี้วัดการปนเปื้อนได้

ทางการศึกษา Rotifer ที่ตรวจพบแสดงให้ เห็นเด่นชัดว่ามีอยู่ในแหล่งน้ำหนึ่งแต่ไม่พบในอีกแหล่งน้ำ ซึ่งมีความแตกต่างกันในระดับการปนเปื้อนของสารหนู และสามารถใช้เป็นดัชนีชี้วัดเบื้องต้นได้แก่ Brachionus sp. (บาง species), Lecane sp. (บาง species)

## 1. unun

อ.ร่อนพิบูลย์ จ.นครศรีธรรมราช เคยเป็นพื้นที่ ทำเหมืองแร่ดีบุกมากว่า 100 ปี ลักษณะการทำเหมือง มีทั้งเหมืองเรือขุดและเหมืองอุโมงค์ ภายหลังจากการ ทำเหมืองเรือขุด พื้นที่ที่ผ่านการทำเหมืองจะถูกปล่อย ทิ้งว่างเปล่า ภายหลังจะเป็นแหล่งเก็บกักน้ำ ซึ่งมีเป็น จำนวนมากทั้งขนาดเล็กและขนาดใหญ่ การศึกษาของ ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม และ JICA ในปี 2543-2544 พบว่าบริเวณแหล่งน้ำหรือขุมเหมืองเหล่านี้ บางขุมเหมืองมีปริมาณของสารหนูปนเปื้อนอยู่ในน้ำ และตะกอนดินในระดับสูง แต่บางขุมเหมืองแม้จะอยู่ ใกล้เคียงกันมีสภาพทางภูมิศาสตร์ สภาพแวดล้อม คล้ายคลึงกัน พบว่าน้ำและตะกอนดินมีสารหนูปนเปื้อน ในระดับต่ำ ซึ่งหากไม่มีการตรวจวิเคราะห์ทางเคมีแล้ว จะไม่สามารถแยกขุมเหมืองที่มีการปนเปื้อนกับขุมเหมือง ที่ปราศจากสารหนูออกจากกันได้

<sup>&</sup>lt;sup>a</sup>ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม เทคโนธานี ต.คลองห้า อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120 โทร 0 2577 4182-9 โทรสาร 0 2577 1138 Environmental Research and Training Centre, Technopolis, Klong 5, Klong Luang, Pathumthani, 12120

แหล่งน้ำจำนวนหนึ่งซึ่งปราศจากสารหนู ปนเปื้อนสามารถนำมาใช้ประโยชน์เพื่อการอุปโภคได้ แต่ต้องมีการตรวจสอบโดยการวิเคราะห์ทางเคมี ซึ่ง ยุ่งยากใช้เวลาและค่าใช้จ่ายสูง ดังนั้นหากมีวิธีการอย่าง ง่ายในการบ่งชี้การปนเปื้อนของสารหนูในแหล่งน้ำ แล้วก็จะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการตรวจสอบการ ปนเปื้อนเบื้องต้น

การศึกษาวิจัยครั้งนี้มีจุดประสงค์เพื่อการ ประยุกต์ใช้ดัชนีชีวภาพ โดยเฉพาะแพลงตอนสัตว์น้ำจืด ชนิด Rotifer มาใช้ในการบ่งชี้การปนเปื้อนเบื้องต้น โดย Rotifer หลายชนิดได้ถูกใช้เป็นดัชนีบ่งชี้คุณภาพน้ำ ในหลากหลายดัชนี เช่น ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ ปริมาณโลหะหนัก ปริมาณรังสี ความเป็นกรดเป็นเบส ปริมาณสารอินทรีย์ปนเปื้อน รวมทั้งใช้ทดสอบความ เป็นพิษ (toxicity) อีกด้วย (21)

#### 2. วิธีการศึกษา

Rotifer เป็น Zooplankton ที่พบมากและ เติบโตได้ดีในแหล่งน้ำทั่วไป มีผลในระบบนิเวศน์สูง โดยเป็นตัวบริโภคอันดับแรกในห่วงโซ่อาหาร มีการ กระจายตัวค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับ Zooplankton กลุ่มอื่นๆ อาจพบตั้งแต่ 50-250 ชนิดในแหล่งน้ำเดียว ซึ่งสามารถนำมาเปรียบเทียบกับแหล่งน้ำอื่นๆ ได้ง่าย มีขนาดอยู่ระหว่าง 45 ไมครอน จนถึง 2.5 มิลลิเมตร ความยาวจะอยู่ระหว่าง 100-500 ไมครอน ส่วนใหญ่จะ เป็นเพศเมีย Rotifer จะมีการกระจายตัวอย่างกว้างขวาง และจัดเป็นกลุ่มของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังที่เก่าแก่ที่สุด ในสภาพทั่วไปจะพบอยู่ 50-500 ตัว ต่อน้ำ 1 ลิตร

Rotifer จะพบได้ในแหล่งน้ำทั่วไป ทะเลสาบ หนองบึง รวมทั้งในบ่อน้ำ น้ำใต้ดิน แต่โดยส่วนใหญ่ Rotifer จะพบในแหล่งน้ำนิ่งในเขต littoral zone ของ ทะเลสาบ เขื่อน บ่อปลา แม่น้ำ คลอง มีรายงานว่า 75% ของ Rotifer จะพบในเขต littoral zone (13)

ผลของ pH ที่มีต่อ Rotifer โดยทั่วไปน้ำที่มี คุณสมบัติเป็นเบส (pH>7.0) จะมีจำนวนชนิดของ Rotifer น้อย แต่จะมีจำนวนตัวต่อชนิดมาก ในขณะที่น้ำ ที่มีคุณสมบัติเป็นกรดจะพบว่ามีชนิดของ Rotifer มาก แต่มีจำนวนตัวต่อชนิดน้อยกว่า มีการกระจายตัวสูงกว่า ในน้ำที่มีคุณสมบัติเป็นเบส ได้สรุปผลของ pH ที่มีต่อ ชนิดของ Rotifer ว่า น้ำที่มีคุณสมบัติเป็นด่างจะมีชนิด

ของ Rotifer เช่น Asplanchra, Asplanchropus, Mytilina, Brachionus, Filinia, Lacinolaria, Sinantherina, Eosphora และ Nothalea ชนิดของ Rotifer ที่มีอยู่ได้ทั้งในน้ำที่เป็นเบสและกรดจะเป็นส่วน ใหญ่ของ Rotifer และชนิดของ Rotifer ที่อยู่ในน้ำ ที่มีฤทธิ์เป็นกรด เช่น Cephalocella, Lepadella, Lecane, Monostyla, Trichocerca และ Dicranophorus เป็นต้น (11) (12)

แต่โดยสภาพแท้จริงแล้ว Rotifer สามารถที่ จะกระจายตัวได้โดยลม น้ำ ดังนั้นจึงทำให้มีการแพร่ กระจายอย่างกว้างขวางโดยทั่วไป มีบางชนิดที่สามารถ กระจายตัวและพบได้ทั่วไปในทุกแหล่งน้ำ

Rotifer ถูกจัดเป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพน้ำที่ดี เมื่อเปรียบเทียบในลักษณะการปนเปื้อนด้วยอินทรียสาร มีการอ้างอิงถึงค่า BODs หรือค่าออกซิเจนละลายน้ำ มีการกล่าวถึงการใช้ Rotifer species ในการชี้วัด คุณภาพน้ำในแหล่งน้ำต่างๆ จำนวนหลายแหล่ง และ สามารถสรุปชนิดของ Rotifer ที่สามารถนำมาเป็น ดัชนีชีวภาพได้โดยมีความสัมพันธ์ในเชิงสถิติ (18) (21)

Rotifer ถูกใช้เป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพน้ำครั้งแรก ได้บันทึกชนิดของ Rotifer คือ Rotaria neptunia และ R.rotatoria ไว้เป็น Polysaprobic species ต่อมา ได้เพิ่ม Diplax trigona ใน Polysaprobic, Brachionus ureceolaris ใน Beta mesosaprobic, Filinia longiseta, Polyarthra platyptera, Kellatella longispina และ Keratella cochlearic เป็น Oligsaprobic (5) (6) (7) (25)

## 2.1 การคัดเลือกชนิดของ Rotifer ใน การศึกษา

มีการบันทึก Rotifer ไว้ 82 ชนิด ว่าเป็นดัชนี ชี้วัดที่ดีและมีความถูกต้องเมื่อเปรียบเทียบจากการ วิเคราะห์ทางเคมี (21) การศึกษาครั้งนี้ใช้ข้อมูลพื้นฐาน ดังกล่าวมาคัดเลือกโดยค้นคว้าอ้างอิงจากรายงานที่ ผ่านมา (2) (15) (16) (17) (21) (24) (26) โดยเป็นการ คัดเลือกเฉพาะ Rotifer ที่เป็นดัชนีตรวจสอบคุณภาพน้ำ ที่เกี่ยวข้องกับโลหะหนัก และมีอยู่ในประเทศไทย โดยจะ ต้องมีคุณสมบัติเฉพาะตัวสอดคล้องกับคุณภาพของ แหล่งน้ำที่เก็บตัวอย่าง นำมาคัดเลือกชนิดของ Rotifer ที่มีความเป็นไปได้จำนวน 11 ชนิด ซึ่งแต่ละชนิดมี

#### รายละเอียดคือ

Brachionus angularis angularis เป็น
Rotifer ที่อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำที่มีฤทธิ์เป็นด่าง เช่น ใน
สระน้ำ พบว่าเป็นหนึ่งในหกชนิดสุดท้ายที่หลงเหลืออยู่
ในน้ำที่มีสภาพที่มีมลภาวะสูง มีขนาดระหว่าง 160-200
ไมครอน มีปริมาณระหว่าง 5-100 ตัวต่อน้ำ 1 ลิตร (1)

Brachionus quadridentatus พบในน้ำ สภาพเป็นด่าง มีการกระจายตัวค่อนข้างสูงแต่มีปริมาณ น้อย และจะพบน้อยมากในแหล่งน้ำที่มีมลภาวะ เช่น ในบ่อบำบัดน้ำเสีย

Cephalodella uncinata bicuspidata เป็น ชนิดที่พบทั่วไปในแหล่งน้ำธรรมชาติ แต่สามารถปรับตัว ให้อยู่ในแหล่งน้ำที่มีมลภาวะได้เป็นอย่างดี

Platyias quadricornis พบได้ในเขตน้ำตื้น ตามแนวชายขอบแหล่งน้ำ เป็นชนิดที่มีการกระจายตัวสูง พบในบ่อปลา สระน้ำ และทะเลสาบขนาดเล็ก ทั่วไป

Keratella cochlearis เป็น Rotifer ที่ สามารถพบได้ทั่วไป มีการกระจายตัวสูงทั้งในแหล่งน้ำนิ่ง และแหล่งน้ำไหลช้า พบว่าสามารถกินอาหารได้ทั้ง แพลงก์ตอนพืชและแพลงก์ตอนสัตว์ (4)

Lecane bulla เป็น Rotifer ที่มีการกระจาย ตัวอยู่ทั่วไปและอยู่ในเขตชายน้ำของแหล่งน้ำ เช่น ชายทะเลสาบ บ่อ สระบางครั้งจะพบในบ่อบำบัด น้ำเสียซึ่งมีคุณภาพน้ำดีเป็นจำนวนมาก

Lecane luna เป็น Rotifer ที่ใช้ macrophyte เป็นแหล่งอาหารสามารถอยู่ได้ในน้ำที่มีมลภาวะแต่มีการเจริญเติบโตได้ดีในแหล่งน้ำสะอาด (22)

Lecane lunaris เป็น Rotifer ที่อาศัยอยู่ใน น้ำบริเวณขอบชายฝั่ง littoral zone ของบ่อปลา สระ แต่ก็สามารถพบได้บ้างในแหล่งน้ำของระบบบำบัดน้ำเสีย

Rotatoria rotatoria เป็น Rotifer ที่พบได้ โดยทั่วไปในทะเลสาบ สระ โดยส่วนมากจะพบบริเวณ ผิวน้ำในบางสถานที่จะพบว่ามีมากที่สุดในบรรดา Rotifer ในบริเวณนั้น พบว่ามีในบ่อบำบัดน้ำเสียจากโรงน้ำตาล เป็นชนิดที่พบเป็นจำนวนน้อยในบ่อที่มีสภาพเลว แต่จะ พบว่ามีจำนวนเพิ่มมากในบ่อที่มีน้ำคุณภาพดี (19) (20)

Lepadella acuminata พบได้ในแหล่งน้ำขัง ทั่วไป มีการกระจายตัวค่อนข้างดี สามารถพบได้แม้ ในพื้นที่ลุ่มน้ำหรือแหล่งน้ำขังขนาดเล็ก

Rotatoria nepturia พบในแหล่ง littoral zone อาจพบในโคลนบริเวณกันบ่อและพบในแหล่งน้ำ ที่มีการปนเปื้อนของเสียในบ่อบำบัด สามารถจำแนก ได้ง่าย มีลักษณะที่ชัดเจนและสามารถทนอยู่ในสภาวะที่ ปนเปื้อนสูง (23)

# 2.2 ขั้นตอนการเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่าง2.2.1 วิธีการเก็บตัวอย่าง

เก็บตัวอย่างในแหล่งน้ำ 2 แหล่ง คือ ขุม เหมืองเก่าทุ่งน้ำจาน และขุมเหมืองเก่าบริเวณท้ายเรือ ต.ร่อนพิบูลย์ เพื่อเป็นการเปรียบเทียบรายละเอียดใน ตารางที่ 1

ตัวอย่างรวมจำนวน 10 ตัวอย่าง บริเวณ littoral zone ของทั้งสองแหล่งน้ำจะเก็บโดยการใช้ Plankton net ขนาด 30 ไมครอน และอีก 10 ตัวอย่าง จะใช้ plankton trap ขนาด 20 ลิตร ดักจับโดยทิ้งไว้ 12 ชั่วโมงในแต่ละจุดเก็บ

จากนั้นตัวอย่างจะถูกบรรจุในขวดพลาสติกโดย เติมน้ำยา formalin เพื่อรักษาสภาพ คุณภาพน้ำ ณ จุด เก็บจะตรวจวัดและบันทึกอุณหภูมิ ความเป็นกรดเบส ความเค็ม การนำไฟฟ้า นอกจากนี้ยังเก็บตัวอย่างน้ำและ ดินตะกอนในแต่ละขุมเหมืองนำมาวิเคราะห์หาปริมาณ สารหนูปนเปื้อน ดังรายละเอียดในตารางที่ 2

**ตารางที่** 1 จุดเก็บตัวอย่าง วันเวลา จำนวนตัวอย่าง

สถานที่	วัน เวลา	จำนวนต์	หมายเหต		
9491 15971	d 140	Littoral zone	Plankton trap	7100 1207179	
ขุมเหมืองทุ่งน้ำจาน	29 ม.ค. 45	5	5	Uncontaminated	
ขุมเหมืองท้ายเรือ	30 ม.ค. 45	5	5	Contaminated	

ตารางที่ 2 คุณภาพน้ำ ณ จุดเก็บตัวอย่าง

		คุณภาพน้ำ					ปริมาณ As	
สถานที่	สถานะ	PH	Temp	Salinity	ORP	Conduc- tivity	ในน้ำ (ppb)	ในดิน ตะกอน (ppm)
ขุมเหมืองทุ่งน้ำจาน	Uncontaminated	6.99	28.6	0	13.55	76.4	8.02	30
ขุมเหมืองท้ายเรือ	Contaminated	7.56	29.3	0	12.41	82.5	164.10	185

#### 2.2.2 วิธีการวิเคราะห์ตัวอย่าง

- ตัวอย่างน้ำและดินตะกอนจะทำการ วิเคราะห์หาปริมาณสารหนูโดยใช้เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer
- ตัวอย่าง Rotifers จะจัดจำแนกเบื้องต้น และบันทึกเฉพาะชนิดที่ถูกคัดเลือกไว้แล้ว จากนั้นทำการถ่ายภาพโดยการคัดเลือกและ จำแนกชนิดจะใช้อนุกรมวิธาน (8) (9) (10) (14) (17)

#### พลการศึกษา

3.1 คุณลักษณะโดยทั่วไปของแหล่งน้ำเปรียบ เทียบ 2 แหล่ง (ตาราง 2) สามารถสรุปได้ว่า ทั่วไป มีคุณสมบัติทางภายภาพที่ใกล้เคียงกันเช่น PH, Salinity,

ORP, Conductivity แต่ความแตกต่างที่สังเกตได้คือ ปริมาณของสารหนูในน้ำซึ่งขุมเหมืองท้ายเรือมีค่าเป็น 20 เท่าของขุมเหมืองทุ่งน้ำจาน ส่วนในตะกอนดิน ปริมาณของสารหนูในขุมเหมืองท้ายเรือมีค่าเป็น 6 เท่า ของขุมเหมืองทุ่งน้ำจาน

3.2 จำนวนและชนิดของ Zooplankton ชนิด Rotifer ที่สามารถจำแนกจากขุมเหมืองทั้งสองโดย คัดเลือกเฉพาะชนิดที่ได้จัดทำรายการไว้ จากตาราง เปรียบเทียบระหว่างขุมเหมืองที่มีการปนเปื้อนของ สารหนูคือขุมเหมืองท้ายเรือกับขุมเหมืองที่ไม่มีการ ปนเปื้อนคือขุมเหมืองทุ่งน้ำจานจะสามารถสรุปได้จาก จำนวน Rotifer ที่ทำการทบทวนเอกสารและคัดเลือกไว้ 11 ชนิด สามารถพบเพียงบางชนิดแต่อย่างไรก็ตาม Rotifer ที่พบก็มีความแตกต่างดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงชนิดของ Rotifer ที่พบในแหล่งน้ำ

	Rotifer species	ขุมเหมืองทุ่งน้ำจาน Uncontaminated	ขุมเหมืองท้ายเรือ Contaminated
1.	Brachionus angularis angularis	-	-
2.	Br. quadridentatus	+	-
3.	Cephalodella uncinata bicuspidata	-	-
4.	Platyias quadricornis	+	+
5.	Keratella cochlearis	+	+
6.	Lecane bulla	+	+
7.	L. luna	+	-
8.	L. lunaris	+	-
9.	Lepadella acuminata	-	-
10.	Rotatoria nepturia	-	-
11.	Rotatoria rotatoria	-	-

จากผลการศึกษาพบว่า Zooplankton ที่ทำการ คัดเลือกไว้ จำนวน 11 ชนิด พบว่ามี 5 ชนิดที่ตรวจ ไม่พบในแหล่งน้ำทั้งสองแหล่ง คือ Brachionus angularis angularis, Cephalodella uncinata bicuspidata, Lepadella acuminata, Rotatoria nepturia และ Rotatoria rotatoria มี 3 ชนิดที่ตรวจพบในทั้งสอง แหล่งคือ Keratella cochlearis, Platyias quadricornis และ Lecane bulla ตรวจพบว่ามี rotifers จำนวน 3 ชนิดที่พบเฉพาะในแหล่งน้ำที่ไม่มีการปนเปื้อน คือ Brachionus quadridentatus, Lecane luna และ L. lunaris

#### 4. สรุป

จากการตรวจพบชนิดของ Rotifer ที่สามารถ
พบได้เฉพาะในแหล่งน้ำที่ไม่มีการปนเปื้อนด้วยสารหนู
เช่น Brachionus quadridentatus ซึ่งมีคุณสมบัติว่า
จะพบได้น้อยมากในแหล่งน้ำที่มีมลภาวะ หรือ Lecane
luna และ L. lunaris ที่จะพบมากในแหล่งน้ำที่สะอาด
เป็นข้อสังเกตได้ว่าอาจจะใช้เป็นดัชนีในการชี้วัด
เบื้องต้นได้

Rotifers ที่คัดเลือกในการศึกษาครั้งนี้จะ มีคุณสมบัติเฉพาะที่สอดคล้องกับแหล่งน้ำ มีรูปร่าง ทางกายภาพที่ง่ายต่อการจดจำและการจำแนกถึงชนิด อย่างไรก็ตามการใช้ Rotifers ในการตรวจวัดการ ปนเปื้อนของโลหะหนักในน้ำจำเป็นจะต้องมีการทดสอบ ทางพิษวิทยา เพื่อศึกษาผลของโลหะหนักที่มีต่อ Rotifer ชนิดนั้นๆ ในเรื่องของการเจริญเติบโต การขยายพันธุ์ การทนทาน และการตอบสนองต่อการได้รับโลหะหนัก ชนิดต่างๆ ในระดับความเข้มข้นต่างกัน อัตราการเจริญ เติบโต รวมถึงอัตราการตายในแต่ละช่วงเวลา และ ช่วงความเข้มข้นของโลหะหนักที่ได้รับ โดยต้องใช้ชนิด ที่ง่ายต่อการเพาะเลี้ยงในห้องปฏิบัติการ เจริญเติบโตได้ ในน้ำปริมาณน้อย สืบพันธุ์โดยไม่ต้องอาศัยเพศ และ สามารถสังเกตการณ์การตายได้อย่างชัดเจน

## 5. ข้อเสนอแนะ

Phytoplankton และ Macrophyte จะดูดซึม สารอาหาร และสารพิษเข้าสู่ตัวเองโดยผ่านทางน้ำ หรือจากตะกอนดิน โดยเฉพาะในรูปของสารละลาย ดังนั้นในสิ่งมีชีวิตที่สูงขึ้น เช่น Zooplankton จะได้รับ สารพิษโดยตรงจากน้ำ และได้รับจากอาหาร ซึ่งก็คือ Phytophankton และ Macrophyte นั่นเอง ขึ้นอยู่กับ ชนิดของ Rotifer และนิสัยการกินอาหาร รวมทั้งการ สะสมของสารพิษในร่างกาย ความคงทนต่อสารพิษ แต่ละชนิด รวมถึงความสามารถในการปรับตัวของ Zooplankton เหล่านั้น ซึ่งความแตกต่างนี้เองนำไปสู่ การคัดเลือกชนิดของ Zooplankton เพื่อเป็นดัชนี ตรวจวัดการปนเปื้อน

การใช้ดัชนีชีวภาพในการติดตามตรวจสอบ คุณภาพสิ่งแวดล้อม มีพื้นฐานขึ้นอยู่กับการคงอยู่หรือ การหายไปของสิ่งมีชีวิตชนิดที่ถูกระบุในสิ่งแวดล้อม หรือขึ้นอยู่กับการกระจายตัว ซึ่งการใช้ดัชนีชีวภาพแม้ ไม่ใช่วิธีการตรวจวัดโดยตรง แต่เป็นการประยุกต์ใช้ เฝ้าระวัง และติดตามความเปลี่ยนแปลงของคุณภาพ สิ่งแวดล้อม อาจจะใช้เป็นดัชนีของสัญญาณเตือน "warning signal" แต่อย่างไรก็ตามมีความจำเป็นที่จะ ต้องใช้วิธีการทางชีวภาพ และเคมีร่วมกัน เนื่องจากวิธี การหนึ่งจะไม่สามารถทดแทนอีกวิธีหนึ่งได้ (3)

#### เอกสารอ้างอิง

- Bartos, E., 1959. Virnici-Rotatoria. Fauna CSR15. NCSAV, Praka, 969 pp.
- Boonsom, J., 1984. The feshwater Zooplankton of Thailand (Rotifera and crustacea). Hydrobiologia 113: 223-229.
- Flanagan, P.J. & P.F. Toner. 1972. Notes on the chemical and biological analysis in Irish river waters. An Foras Forbartha, Water Resources Division. St. Martin's House, Dublin.
- 4. Gilbert, J.J. & Bogdan, K.G., 1981 Selectivity of Polyarthra and Keratella for flagellate and aflagellate cell. *Verh. Int. Ver.Limnol.* 21: 1515-1521.
- 5. Kolkwitz, R. & Marsson, M., 1909. ökologie der tierischen : *Saprobien. Int. Revue ges. Hydrobiol.* 2 : 126-152.
- 6. Kolkwitz, R., 1935. Pflanzenphysiologie. 3 Aufl.G.Fischer, Jena, 310 pp.
- 7. Kolkwitz,R., & Marsson, M., 1902. Grundsätze für die biologiche Bearteilang des Wassers

- nach sciner Flora and Fauna Mitt. Prüfungsanst. Wasserversorg. Abwass rbeseit. 1:33-72.
- 8. Koste, W. & R.J. Shiel, 1991. Rotifera from Australian Inland waters. VII. Notommatidae (Rotifera: Monogononta). *Trans. R.Soc.S. Aust.*115:111-159.
- Koste, W., 1978. Rotatoria. Die R\u00e4dertiere Mittele. Uropas. Bestimmungsawerk begrundet Von Max Voigt Bornstrager, Berlin, 2 vol : 673 pp. 4 (234 plates).
- Koste, W. & R.J. Shiel, 1987. Rotifera from Australian Inland waters. II Epiphanidae and Brachionidae (Rotifera: Monogononta). Invertebr. Toxon. 7: 949 - 1021.
- 11. Myers, F.J., 1931. The distribution of Rotifera on Mount Desert Island. *Am. Mus. Novit.* 494: 1-12.
- 12. Myers, F.J., 1934. The distribution of the Rotifera on Mount Desert Island. Part VII. *AM.Mus. Novit.* 761: 1-8.
- Pennak, R.W., 1953. Freshwater invertebrates of the United States. Ronald Press, New York, 769 pp.
- 14. Ruttner Kolisko, A., 1974. Planktonic rotifers: biology and taxonomy. *Die Bnnengew\_sser* (supplement) 26: 1-146.
- Sanoamuang, L., 1994. The Rotifera of Northeast Thailand. End-of-course report of ITC Zooplankton: A tool in lake management. 1993-1994.
- Segers, H., 1994a. Introduction to the practice of identifying Rotifera. ITC: Lake Zooplankton: A tool in lake management, 57 pp.
- 17. Segers, H., 1995. Rotifera. The Lecanidae (Monogonont). Guides to the Identification of

- the Microinvertebrates of the Continental waters of the world, 6.SPB, Acadamic Publishing b.v., 233 pp.
- 18. Sládecêk, V., 1983 Rotifers as indicators of water quality. Hydrobiologia 100, 169-201 (1983)
- Sládecêk, V., Cyrus, Z. & Borovickova, A., 1958. Hydrobiological investigations of a treatment of beet-sugar wastes in an experimentallagoon. Sci-Pap. Inst. Chem. Technol., Prague, Technol. Wat.22: 7-120.
- 20. Sládecêk, V., Fiala, L., & Sládeckova, A., 1959. Limnologische Forschangen am stausee Pastvingmit besonderer Berucksichtigung eines Kraftw-erkes. Sci-Pap. Inst. Chem. Technol. Prague, Technal. Wat. 3:431-595.
- Sládecêk, V.1956. Rotatoria-virniky. In:Hanuska,
   L. et.al: Biological method of investigation
   and evaluation of waters (in Slovakian): 358-367, pl.100-106, Bratislava.
- 22. Sudzuki, M., 1981. Periphytic biota (Aufwuchs) in sewages and park water. In: Sudzuki, M. (ed.). Some Approaches to Saprobiological Problems: 69-107, Senseido, Tokyo.
- 23. Sudzuki, M., 1981. Faunistic and ecological studies of the sewage biota in Japan. *Verk. int. Ver-Limnol*:21 1094-1100.
- 24. Ueno,M.,1966. Freshwater Zooplankton of Southeast Asia. *S.E. Asian studies* 3 : 94-109.
- Wetzel, A., 1969. Technische Hydrobiologie.
   Trink-, Brauch-, Abwasser-Biologie. Akadem.
   Verlagsges. Geest u. Portig, Leipzig, 407 pp.
- Wongsanoon, J., 1995 A preliminary study on Zooplankton in Pratumthani, Thailand. End-of course report of ITC Zooplankton: A tool in lake management. 1994-1995.



## โครงการพัฒนาชุดกรองสารหนูในน้ำจากวัสดุธรรมชาติ

สุเทียบ ศรีลาชัย 3, วรรณวิมล ภัทรสิริวงศ์ 3, สุกัญญา บุญเฉลิมกิจ 3

#### **Abstract**

Reddish soil (laterite) naturally can absorb arsenic in water because of its iron content. Two and a half kilograms of laterite was used as filter media in the laboratory-scale filter equipment made for absorption efficiency testing. It was found that, for the water sample containing arsenic 100 µg/l, the first 150 liters of filtrate contained arsenic less than 15 µg/l. After that absorption efficiency was decrease consequently. For the water sample containing 500 µg/l, the first 100 liters had arsenic concentration less than 100 µg/l, then the absorption efficiency was reduced fluctuated rate. When testing with natural water with arsenic contamination at concentration of about 200 µg/l, 15 kilograms of laterite was used and packed in twenty five liters of buckets were used for the test. It was found that after first filtration, the arsenic concentration in the filtrate was less than 100 µg/l. After the second filtration, the filtrate contained arsenic less than 1 µg/l. This figure is very much less than the standard of drinking water. The finding from this research was transferred to the public through workshop for the local community where arsenic contamination has been found.

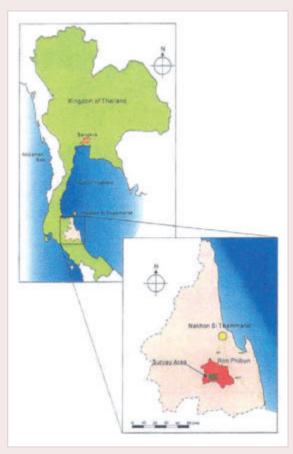
#### บทคัดย่อ

ดินแดงมีคุณสมบัติในการดูดซับสารหนูในน้ำ ได้เป็นอย่างดี เนื่องจากมีเหล็กเป็นองค์ประกอบ โดย เมื่อนำดินแดงจำนวน 2.5 กิโลกรัม มาใช้เป็นตัวกรอง ในชุดกรองสารหนูที่ประกอบขึ้น นำไปทดสอบกับ สารละลายสารหนูที่เตรียมในห้องปฏิบัติการความเข้มข้น 100 และ 500 ไมโครกรัมต่อลิตร พบว่า ที่ความเข้มข้น 100 ไมโครกรัมต่อลิตร น้ำที่ผ่านการกรอง 150 ลิตรแรก มีค่าเฉลี่ยการปนเปื้อนของสารหนูต่ำกว่า 15 ไมโครกรัม ต่อลิตร หลังจากนั้นประสิทธิภาพการกรองสารหนู ลดลง กรณีความเข้มข้น 500 ไมโครกรัมต่อลิตร น้ำที่ ผ่านการกรอง 100 ลิตรแรก มีค่าเฉลี่ยการปนเปื้อน ของสารหนูต่ำกว่า 100 ไมโครกรัมต่อลิตร หลังจากนั้น ประสิทธิภาพการกรองก็ลดลงคล้ายกรณีความเข้มข้น 100 ไมโครกรัมต่อลิตร จากนั้นได้ทดสอบประสิทธิภาพ การดูดซับสารหนุของดินแดงกับน้ำจากแหล่งธรรมชาติ ที่มีการปนเปื้อนของสารหนูประมาณ 200 ไมโครกรัม ต่อลิตร โดยใช้ดินแดง 15 กิโลกรัม ประกอบในภาชนะ กรองขนาด 25 ลิตร ทำการกรอง 2 ขั้นตอน พบว่า หลังการกรองครั้งที่ 1 สามารถลดสารหนูเหลือต่ำกว่า 10 ไมโครกรัมต่อลิตร และเมื่อนำมากรองซ้ำอีกครั้ง สามารถลดปริมาณสารหนูเหลือต่ำกว่า 1 ไมโครกรัม ต่อลิตร ซึ่งต่ำกว่ามาตรฐานน้ำดื่มที่กำหนดโดย กระทรวงสาธารณสุขและองค์การอนามัยโลก (WHO) ที่ยอมให้มีสารหนูในน้ำดื่มได้ไม่เกิน 10 ไมโครกรัม ต่อลิตร โดยผลจากการศึกษานี้ ผู้วิจัยได้นำไปถ่ายทอด ให้ชุมชนเพื่อให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการลดสารหนู ในน้ำต่อไป

#### 1. **unui**n

การปนเปื้อนของสารหนูในสิ่งแวดล้อมในพื้นที่ อ.ร่อนพิบูลย์ จ.นครศรีธรรมราช (รูป 1) ที่มีสาเหตุ มาจากการทิ้งกากขึ้แร่จากการทำเหมืองดีบุกที่ไม่มีการ จัดการที่ดีและเหมาะสม ทำให้มีการแพร่กระจายสู่ สิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะอย่างยิ่งในน้ำและดิน เมื่อราษฎร

<sup>&</sup>lt;sup>a</sup>ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม เทคโนธานี ต.คลองห้า อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120 โทร 0 2577 4182-9 โทรสาร 0 2577 1138 Environmental Research and Training Centre, Technopolis, Klong 5, Klong Luang, Pathumthani, 12120



รูป 1 พื้นที่ที่มีการปนเปื้อนของสารหนู ซึ่งตั้งอยู่ ในเขต อ.ร่อนพิบูลย์ จ.นครศรีธรรมราช

ในพื้นที่ดังกล่าวมีการใช้น้ำที่มีการปนเปื้อนสารหนูเข้าสู่ ร่างกาย ก็จะทำให้เป็นอันตรายต่อสุขภาพ โดยเฉพาะ อาการทางผิวหนังที่เรียกว่า "ไข้ดำ" (1)

จากปัญหาดังกล่าวได้กระตุ้นให้หน่วยงาน ต่างๆ ทั้งภาครัฐและเอกชน พยายามหาแนวทางในการ แก้ไขปัญหาโดยการจัดหาแหล่งน้ำให้ใช้ แต่ก็ยังพบว่า แหล่งน้ำที่จัดหาดังกล่าวยังไม่ครอบคลุมความต้องการ ใช้น้ำของราษฎร และบางแห่งก็ยังมีการปนเปื้อนของ สารหนูในระดับที่สูง เช่น การจัดทำระบบประปาภูเขา โดยจากการสำรวจพบว่าเป็นเพียงการต่อท่อน้ำจาก ลำธารบนภูเขาเพื่อให้ราษฎรได้ใช้สะดวกขึ้นเท่านั้น แต่ ไม่ได้ผ่านการบำบัดใดๆ

การแก้ไขปัญหาการปนเปื้อนของสารหนูในน้ำ ใช้ของราษฎรที่น่าจะเหมาะสมมากที่สุด สามารถทำได้ โดยการจัดทำระบบประปาที่ถูกต้องตามหลักวิชาการ แต่ การดำเนินการดังกล่าวนั้นอาจจะต้องใช้ระยะเวลาและ งบประมาณที่ค่อนข้างสูง ซึ่งก็จำเป็นที่จะต้องกำหนด เป็นแผนในการแก้ไขปัญหาในระยะยาวต่อไป ส่วนใน

ระยะเร่งด่วนนั้น การจัดหาน้ำสะอาดที่ปราศาจากสารหนู เพื่อให้ราษฎรใช้ก็มีความจำเป็นไม่น้อยไปกว่ากัน โดยควร จัดทำให้มีความเหมาะสมกับสภาพพื้นที่และความ จำเป็น รวมทั้งวิธีการหรืออุปกรณ์ที่จะนำมาใช้นั้น ควรจะมีราคาถูก ทำได้สะดวกและง่าย มีประสิทธิภาพ ที่ดี ใช้วัสดุในพื้นที่ และที่สำคัญคือราษฎรต้องยอมรับ ในวิธีการหรือเครื่องมือที่จัดสร้างขึ้นมา ดังนั้น ศูนย์วิจัย และฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพ สิ่งแวดล้อม ซึ่งมีหน้าที่หลักในการวิจัยและพัฒนา เทคโนโลยีในการป้องกัน แก้ไข และฟื้นฟูด้านสิ่งแวดล้อม จึงได้มีการวิจัยและพัฒนาการใช้ดินแดงที่มีอยู่ทั่วไป ในพื้นที่เพื่อประกอบเป็นชุดกรองในการลดการปนเปื้อน ของสารหนูในน้ำ เพื่อนำเสนอให้เป็นทางเลือกในการ จัดหาน้ำที่ปราศจากสารหนู สำหรับราษฎรที่ประสบ ปัญหาจากน้ำที่มีการปนเปื้อนของสารหนู

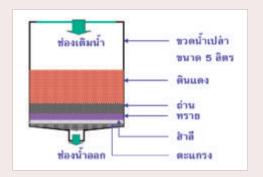
ข้อมูลสนับสนุนการใช้ดินแดงเพื่อลดสารหนู ได้มีการนำเสนอในหลายแหล่ง เช่น เอิบ เขียวรื่นรมณ์ ผู้เชี่ยวชาญด้านธรณีวิทยา ได้รายงานไว้ว่าการที่ดินที่ คัดเลือกมาเป็นส่วนประกอบของชุดกรองสามารถสังเกต เห็นเป็นสีแดงนั้น ก็มีผลพวงมาจากการที่มีเหล็กอยู่ ในรูปต่างๆ โดยเฉพาะกลุ่มแร่เหล็กออกไซด์ (Iron Oxides) เป็นกลุ่มแร่ที่สำคัญที่ทำให้เกิดสีน้ำตาลแดง และเหลืองของดินและพบโดยทั่วๆ ไป (2) แร่เหล็กเหล่า นี้ถ้าอยู่ในพื้นที่ที่มีสารหนูก็จะสามารถจับหรือรวมกับ สารหนูได้เป็นอย่างดี เช่น รวมกันอยู่ในรูปองค์ประกอบ ของ arsenopyrite (FeAsS) หรือ loellingite (FeAs2) (3) ซึ่งรายละเอียดการจับตัวกันระหว่างเหล็กและ สารหนูนี้ ก็ได้กล่าวในคำแนะนำของ Janet G. Hering และคณะ ว่าในกระบวนการหรือวิธีการกำจัดหรือลด สารหนในน้ำนั้น ส่วนมากก็นิยมจะให้ทำปฏิกิริยาโดย การตกตะกอนด้วยเหล็กซึ่งเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพ มาก (4)

## 2. วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

การศึกษาในครั้งนี้ได้มีการเก็บดินแดงจาก บริเวณเชิงเขาหมากของ ต.ร่อนพิบูลย์ อ.ร่อนพิบูลย์ จ.นครศรีธรรมราช (รูป 2) เพื่อนำมาประกอบชุดกรอง ในการทดสอบการดูดซับสารหนูทั้งในห้องปฏิบัติการและ ภาคสนาม และเมื่อได้ผลจากการทดสอบที่น่าเชื่อถือแล้ว ก็มีการนำชุดกรองไปสาธิตให้แก่ราษฎรโดยการจัดอบรม



รูป 2 เขาหมากซึ่งเป็นแหล่งที่เก็บดินแดงมาทำการทดสอบ



**รูป** 3 ส่วนประกอบของชุดกรอง



รูป 4 ทดสอบชุดกรองในห้องปฏิบัติการ

เชิงปฏิบัติการ โดยวิธีการและขั้นตอนทั้งหมด สามารถ แยกเป็น 4 ขั้นตอนหลัก ดังนี้

## 2.1 การทดสอบในห้องปฏิบัติการ

ทดสอบความเป็นไปได้ในการใช้ดินแดงเป็นตัว กรองของชุดกรองสารหนูต้นแบบที่จัดทำขึ้น โดยการใช้ ขวดน้ำเปล่าขนาด 5 ลิตรเป็นภาชนะบรรจุตัวกรอง ทำการ ประกอบส่วนต่างๆ ของชุดกรอง (รูป 3) จากนั้นนำไป ทดสอบประสิทธิภาพการกรอง (รูป 4)

## 2.2 การทดสอบในภาคสนามครั้งที่ 1

โดยใช้ชุดกรองคล้ายกับ 2.1 นำไปทดสอบกับ น้ำจากแหล่งธรรมชาติที่มีการปนเปื้อนของสารหนูใน พื้นที่ ต.ร่อนพิบูลย์ อ.ร่อนพิบูลย์ จ.นครศรีธรรมราช เพื่อทดสอบว่าเมื่อสภาพของน้ำที่ใช้ในการกรองเปลี่ยนไป ผลการทดสอบจะเป็นอย่างไรและเพื่อนำข้อมูลไปใช้ ประกอบในการตัดสินใจว่าจะนำชุดกรองดังกล่าวไปใช้ได้ หรือไม่ ซึ่งการทดสอบจะทำการกรอง 2 ขั้นตอน คือ เก็บน้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติที่มีการปนเปื้อนของ สารหนู (รูป 5) มากรองกับชุดกรองชุดที่ 1 หลังจากนั้น จะนำน้ำที่ผ่านการกรองในครั้งที่ 1 ไปกรองอีกครั้งกับ ชุดกรองอีกชุด และทำการกรองจนกระทั้งได้ปริมาตร 400 ลิตร (รูป 6 - 7) โดยเก็บตัวอย่างน้ำที่ผ่านการกรอง ทุกๆ 20 ลิตร ไปวิเคราะห์ปริมาณสารหนูที่เหลืออยู่



รูป 5 น้ำธรรมชาติซึ่งมีการปนเปื้อนสารหนู
และใช้ในการทดสอบ



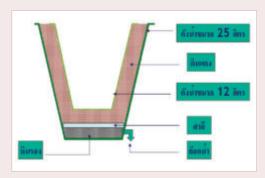
รูป 6 ภาชนะเก็บกักน้ำดิบระหว่างทำการทดสอบ ชุดกรองสารหนู



รูป 7 ทดสอบชุดกรอง โดยการกรอง 2 ชั้นตอน

## 2.3 การทดสอบภาคสนามครั้งที่ 2

โดยการเพิ่มขนาดของชุดกรองเป็นถังน้ำขนาด 25 ลิตรและใช้ดินแดง 15 กิโลกรัม (รูป 8 - 10) เพื่อ ต้องการเพิ่มประสิทธิภาพของชุดกรองในการกรองน้ำ ธรรมชาติที่มีการปนเปื้อนของสารหนูให้ได้ปริมาณ มากขึ้น โดยทำการกรอง 2 ขั้นตอนเช่นเดียวกับ 2.2 ในการทดสอบจะเติมน้ำทุกวันๆ ละประมาณ 12 ลิตร และทดสอบติดต่อกันเป็นเวลาประมาณ 2 เดือน



รูป 8 ส่วนประกอบของชุดกรอง ใช้ถังขนาด 25 ลิตร ดินแดง 15 ก.ก.



รูป 9 ทดสอบ ณ บ้านราษฎรที่มีการใช้น้ำ จากแหล่งที่ปนเปื้อนสารหนู



รูป 10 ชุดกรองขนาด 25 ลิตรที่ทำการทดสอบ โดยการกรองน้ำ

## 2.4 จัดอบรมเชิงปฏิบัติการแก่ราษฎร

## ในพื้นที่

เพื่อให้ราษฎรได้รับความรู้ในด้านต่างๆ เช่น ความเป็นมาของการเกิดสารหนูในพื้นที่ การแพร่กระจาย ของสารหนูในสิ่งแวดล้อม และอันตรายต่อสุขภาพจาก การได้รับสารหนูเข้าสู่ร่างกายในปริมาณที่มากเกินไป รวมทั้งแนะนำวิธีการประกอบชุดกรองเพื่อให้ราษฎรมี ความเข้าใจและมีทักษะในการปฏิบัติเพื่อให้มีการนำชุด กรองไปประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันต่อไป (รูป 11 - 13)



รูป 11 เปิดการอบรมเชิงปฏิบัติการ



รูป 12 ราษฎรประกอบและทดสอบ ประสิทธิภาพชุดกรอง

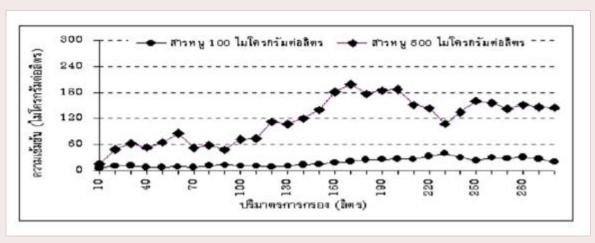


รูป 13 สาธิตการใช้ชุดทดสอบสารหนูในภาคสนาม

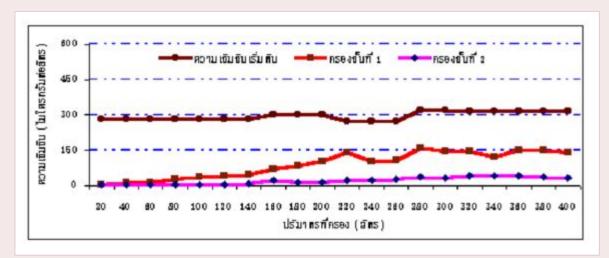
### พลการศึกษา

## 3.1 การทดสอบในห้องปฏิบัติการ

เมื่อนำสารละลายที่มีความเข้มข้น 100 ไมโครกรัม ต่อลิตร มากรองพบว่าที่ปริมาตรไม่เกิน 150 ลิตร ค่าเฉลี่ยหลังการกรองมีค่าต่ำกว่า 15 ไมโครกรัมต่อลิตร หลังจากนั้นประสิทธิภาพการดูดซับสารหนูจะมีแนวโน้ม



รูป 14 ค่าเฉลี่ยการตกค้างของสารหนูหลังจากผ่านชุดกรองสารหนู (ไมโครกรัมต่อลิตร)



รูป 15 สารหนูที่เหลือในสารละลายหลังจากการกรองผ่านชุดกรองทั้ง 2 ชั้นตอน (ไมโครกรัมต่อลิตร)

ลดลง ส่วนการกรองสารละลายความเข้มข้น 500 ไมโครกรัมต่อลิตร ที่ปริมาตรไม่เกิน 100 ลิตรแรก ค่าเฉลี่ยหลังการกรองมีค่าต่ำกว่า 100 ไมโครกรัม ต่อลิตร หลังจากนั้นประสิทธิภาพการกรองจะลดลง คล้ายกรณี 100 ไมโครกรัมต่อลิตร (รูป 14)

ซึ่งในการทดสอบนอกจากการวิเคราะห์สารหนู ในน้ำที่ผ่านการกรองแล้ว ยังมีการวิเคราะห์เหล็กและ แมงกานีสด้วย โดยพบว่ามีค่าต่ำกว่ามาตรฐานมาก และ ได้นำดินแดงที่ผ่านการทดสอบการกรองสารหนูมา ทำการสกัดด้วยวิธีสกัดสาร (Leachate extraction procedure) ด้วยน้ำสกัด (Leachant) หรือน้ำฝนกรด สังเคราะห์ (Synthetic acid rain extraction fluid) ตามวิธีมาตรฐานในประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540) เรื่องการกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุ ที่ไม่ใช้แล้ว พบว่าสารหนูที่ชะล้างออกมามีค่าต่ำกว่า 1.0 ไมโครกรัมต่อลิตร

## 3.2 การทดสอบชุดกรองในภาคสนาม ครั้งที่ 1

เมื่อทดสอบกับน้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติที่มีการปนเปื้อนของสารหนูประมาณ 300 ไมโครกรัม ต่อลิตร ทำการกรอง 2 ขั้นตอน ผลการทดสอบ พบว่า ในการกรองครั้งที่ 1 น้ำที่ผ่านการกรอง 200 ลิตรแรก สามารถลดสารหนูให้เหลือน้อยกว่า 100 ไมโครกรัม ต่อลิตรหลังจากนั้นจะมีแนวโน้มที่ไม่แน่นอน และเมื่อ นำน้ำที่ผ่านการกรองในครั้งที่ 1 ไปทำการกรองอีกครั้ง กับชุดกรองอีกชุด พบว่าที่ปริมาตรการกรอง 140 ลิตรแรก น้ำที่ผ่านการกรองมีสารหนูต่ำกว่า 10 ไมโครกรัมต่อ ลิตร (รูป 15)

## 3.3 การทดสอบในภาคสนามครั้งที่ 2

เมื่อเพิ่มดินแดงเป็น 15 กิโลกรัม บรรจุใน ภาชนะขนาด 25 ลิตร กรองน้ำธรรมชาติที่มีการ



รูปที่ 16 ค่าเฉลี่ยสารหนูหลังการกรองประมาณ 2 เดือน

ปนเปื้อนของสารหนูประมาณ 200 ไมโครกรัมต่อลิตร ทำการกรองประมาณวันละ 12 ลิตรเป็นระยะเวลาประมาณ 2 เดือน พบว่าน้ำที่ผ่านการกรองในครั้งที่ 1 มีค่าเฉลี่ย ต่ำกว่า 10 ไมโครกรัมต่อลิตร และเมื่อนำมากรองซ้ำอีก ครั้งมีค่าเฉลี่ยต่ำกว่า 1 ไมโครกรัมต่อลิตร (รูป 16 - 17)

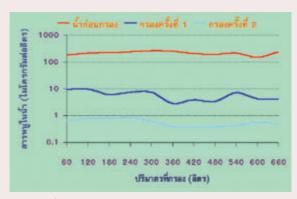
### 3.4 การอบรมเชิงปฏิบัติการ

ราษฎรที่เข้าร่วมการอบรมเชิงปฏิบัติการได้
ทำการฝึกปฏิบัติทุกขั้นตอน เริ่มตั้งแต่การจัดหาดินแดง
การประกอบชุดกรอง และทดสอบการกรองน้ำ นอกจาก
นี้ได้มีการสอนการใช้ชุดทดสอบสารหนูในภาคสนาม
เพื่อให้ราษฎรสามารถใช้เป็นเครื่องมือในการติดตาม
สถานการณ์การปนเปื้อนของสารหนูในน้ำของชุมชน
และเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของชุดกรองในระยะ
ต่างๆ โดยจากการจัดอบรมเชิงปฏิบัติการดังกล่าว ราษฎร
ได้ให้ความสนใจและความร่วมมืออย่างดียิ่ง และชุดกรอง
ที่ใช้ในการสาธิตก็ได้แจกจ่ายให้ราษฎรเพื่อนำไปใช้ใน
ชีวิตประจำวันต่อไป นอกจากนี้ราษฎรที่เข้าร่วมการ
อบรมเชิงปฏิบัติการมีความยินดีที่จะนำชุดกรองดังกล่าว
ไปแนะนำให้กับบุคคลอื่นที่ต้องการจะใช้ต่อไป

## 4. สรุปพลและข้อเสนอแนะ

จากผลการศึกษาที่ได้ทั้งจากการทดสอบใน ห้องปฏิบัติการและภาคสนาม รวมทั้งการจัดอบรม เชิงปฏิบัติการให้แก่ราษฎรในพื้นที่ สามารถที่จะสรุป และเสนอแนะ ได้ดังนี้

4.1 ชุดกรองดังกล่าวนี้ สามารถที่จะลดการ ปนเปื้อนของสารหนูในน้ำได้เป็นอย่างดี และมีความ เหมาะสมที่จะแนะนำให้ราษฎรที่ประสบปัญหาเกี่ยวกับ การปนเปื้อนของสารหนูในน้ำนำไปประยุกติ์ใช้ในชีวิต



**รูปที่ 17** ค่าเฉลี่ยสารหนูหลังการกรองแต่ละระยะ

ประจำวันได้ เพราะจากการทดสอบชุดกรองที่ใช้ดินแดง 15 กิโลกรัม สามารถลดสารหนูในน้ำธรรมชาติจาก ประมาณ 200 ไมโครกรัมต่อลิตรให้เหลือต่ำกว่า 1 ไมโครกรัมต่อลิตรในการกรอง 2 ขั้นตอน ซึ่งต่ำกว่า มาตรฐานของกระทรวงสาธารณสุขที่กำหนดให้มีค่า ไม่เกิน 10 ไมโครกรัมต่อลิตร โดยน้ำที่ผ่านการกรอง ผู้วิจัยแนะนำให้ใช้เพื่อการล้างอาหารหรือภาชนะใส่ อาหารต่างๆ เท่านั้น โดยไม่แนะนำให้บริโภคโดยตรง แต่หากจำเป็นจริงๆ อาจจะต้องนำไปผ่านความร้อนเพื่อ กำจัดจุลินทรีย์ เป็นต้น

4.2 จากประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับ ที่ 6 (พ.ศ. 2540) เรื่องการกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ ไม่ใช้แล้ว กำหนดว่าของเสียที่สามารถจะทิ้งได้โดยตรงนั้น ในส่วนของสารหนู (Arsenic total) จะมีได้ไม่เกิน 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตรหรือ 5000 ไมโครกรัมต่อลิตร โดย ของเสียนั้นต้องทำการสกัดด้วยวิธีสกัดสาร (Leachate extraction procedure) ด้วยน้ำสกัด (Leachant) หรือน้ำฝนกรดสังเคราะห์ (Synthetic acid rain extraction fluid) และจากการนำดินแดงที่ผ่านการ กรองแล้วมาทำการสกัดด้วยวิธีมาตรฐานดังกล่าว พบว่า มีการชะล้างสารหนออกมาในปริมาณที่ต่ำกว่ามาตรฐาน มาก คือมีการชะล้างออกมาต่ำกว่า 1.0 ไมโครกรัม ต่อลิตร ซึ่งต่ำกว่ามาตรฐานประมาณ 5,000 เท่า ซึ่ง จากข้อมูลดังกล่าวนี้จะพบได้ว่าดินแดงที่ผ่านการกรอง แล้วก็น่าจะสามารถที่จะนำไปกำจัดได้คล้ายกับของเสีย ทั่วๆ ไป แต่เพื่อป้องกันปัญหาที่อาจจะเกิดขึ้นใน อนาคต ก็ควรจะนำของเหลือดังกล่าวนี้ไปกำจัดตาม วิธีที่เหมาะสม เช่น ระบบฝังกลบที่ถูกหลักสุขาภิบาล (Sanitary landfill) เป็นต้น

4.3 การศึกษาดังกล่าวนี้ยังขาดรายละเอียด ของข้อมูลบางส่วนที่น่าจะอธิบายผลการศึกษาให้ชัดเจน ขึ้นได้ ซึ่งหากจะสรุปเพื่อให้เป็นแนวทางสำหรับการ ศึกษาเพิ่มเพื่อให้มีการขยายผลการศึกษาต่อไปนั้น ผู้วิจัย มีข้อเสนอและแนวทางปฏิบัติดังนี้

- รายละเอียดเกี่ยวองค์ประกอบของดินแดง
   รวมถึงกลไกการดูดซับสารหนูของดินว่ามี
   กลไกการดูดซับอย่างไร และหากทดสอบกับ
   ดินแดงจากแหล่งอื่นๆ ผลการศึกษาเป็น
   อย่างไร
- ปริมาณของจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ ในน้ำหลัง
   จากผ่านการกรอง
- ปริมาตรหรือระยะเวลาสูงสุดที่ยอมรับได้
   ในการกรอง
- วิธีการกำจัดวัสดุหลังการกรองที่ประหยัด
   สะดวก ง่าย และเหมาะสม ซึ่งจะไม่ก่อ
   ให้เกิดปัญหาในอนาคต
- พัฒนาเป็นสารที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยให้ใช้ปริมาณตัวกรองน้อยลงแต่สามารถ กรองสารหนูได้มากขึ้น

#### บรรณานุกรม

 กรมทรัพยากรธรณี. 2541. การศึกษาติดตาม ปัญหาและการแก้ไขการแพร่กระจายของสารหนู อ.ร่อนพิบูลย์ จ.นครศรีธรรมราช. ฝ่ายสิ่งแวดล้อม ทรัพยากรธรณี 1 กองสิ่งแวดล้อมทรัพยากรธรณี กรมทรัพยากรธรณี กรุงเทพฯ

- กระทรวงสาธารณสุข. 2534. ประกาศกระทรวง สาธารณสุขฉบับที่ 135 (พ.ศ. 2534) เรื่องน้ำ บริโภคในภาชนะที่ปิดสนิท (ฉบับที่ 2). กระทรวง สาธารณสุข กรุงเทพฯ
- กระทรวงอุตสาหกรรม. 2540. ประกาศกระทรวง อุตสาหกรรมฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540) ออกตามความ ในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 เรื่อง การ กำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุ ที่ไม่ใช้แล้ว. กระทรวง อุตสาหกรรม กรุงเทพฯ
- ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม และองค์การ
  ความร่วมมือแห่งประเทศญี่ปุ่น. ม.ป.ป. โครงการ
  ศึกษาวางแผนการสำรวจการจัดการการปนเปื้อน
  ของสารหนูในพื้นที่ จ.นครศรีธรรมราช. บริษัท
  อินทิเกรเต็ด โปรโมชัน เทคโนโลยี จำกัด, กรุงเทพฯ
- เอิบ เขียวรื่นรมณ์.2542. การสำรวจดิน มโนทัศน์ หลักการและเทคนิค. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์, กรงเทพฯ
- Faculty of science and technology university of Caimbra Portugal. http://nautilus.fis.uc.pt/ st2.5/scenes-e/elem/e03320.html, 28 Nov 2001.
- Janet G. Hering, Pen-Yuan Chen, Jennifer
   A. Wilkie, Menachem Elimelech. 1997.

   Arsenic removal from drinking water during coagulation. Journal of environmental engineering/August 1997.
- 8. United States Environmental Protection Agency. http://www.epa.gov/safewater/ars/treat.html, 28 Nov 2001.



# การบำบัดน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนโลหะหนักจากห้องปฏิบัติการ

(Treatment of Heavy metals from laboratory's wastewater)

สมใจ สิมาฉายา

#### **Abstract**

The major objective of this study is to investigate appropriate methodology for treatment of heavy metals from ERTC laboratory's wastewater. Wastewater was classified into 3 types including 1) wastewater from general analysis of heavy metals as Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb and Zn 2) wastewater from As analysis and 3) wastewater from COD analysis which included Ag, Cr, Fe and Hg. Each types of wastewater can be treated by precipitation process. The first type of wastewater was precipitated by NaOH with pH between 5 to 9 compared with adding NaHSO3 before setting with NaOH at pH 9. The second type of wastewater was precipitated by NaOH at pH 9 compared to adding NaOCl before hydroxide precipitation at pH 9. The third type of wastewater precipitated by NaCl-NaOH compared to NaOH-Na2S precipitation at Na<sub>2</sub>S 1.0 and 0.1 gm-equivalent, respectively.

The results of the study showed the various concentrations of heavy metals in wastewater and treatment efficiency of each treatment. The first type of wastewater was well precipitated by hydroxides at pH 9 and high efficiency when adding NaHSO<sub>3</sub>. The second type of wastewater was almost precipitated by hydroxide at pH 9 except Fe and Mn. The adding of NaOCl increased treatment efficiency especially for As. For the third of wastewater, the precipitation by

NaCl-NaOH at basic condition was higher than the acidic one especially for Ag and Cr. Adding 0.1 gm-equivalent of  $Na_2S$  was well sulfide precipitation.

#### บทคัดย่อ

การศึกษาเพื่อหาวิธีการที่เหมาะสมในการทำกัด น้ำเสียที่มีการปนเปื้อนของโลหะหนักจากห้องปฏิบัติการ ในศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม ซึ่งน้ำเสียถูก แยกเก็บแบ่งเป็น 3 ประเภท คือ 1). น้ำเสียจาก การวิเคราะห์โลหะหนักทั่วไป ซึ่งมีโลหะหนักอยู่ 8 ชนิด ตามมาตรฐานน้ำทิ้งโรงงานที่กระทรวงอุตสาหกรรม กำหนดขึ้น ได้แก่ Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb และ Zn 2). น้ำเสียที่ได้จากการวิเคราะห์สารหนู ซึ่งมี As เป็นองค์ประกอบที่สำคัญ และ3). น้ำเสียจากการ วิเคราะห์ซีโอดีที่มี Ag, Cr, Fe และ Hg เป็นองค์ประกอบ ซึ่งน้ำเสียแต่ละประเภทสามารถบำบัดโลหะหนักที่ ปนเปื้อน โดยการตกตะกอนด้วยสารเคมีที่แตกต่างกัน น้ำเสียประเภทแรกนำมาตกตะกอนไฮดรอกไซด์ ที่ pH ระหว่าง 5-9 เปรียบเทียบกับการเติม NaHSO3 ก่อนแล้ว จึงนำมาตกตะกอน NaOH ที่ pH 9 ส่วนน้ำเสียประเภท ที่ 2 นำมาตกตะกอนไฮดรอกไซด์ ที่ pH 9 เปรียบเทียบ กับการเติม NaOCl ก่อน แล้วจึงนำมาตกตะกอน ไฮดรอกไซด์ ที่ pH 9 น้ำเสียประเภทที่ 3 ทำการบำบัด โดยตกตะกอนด้วย NaCl-NaOH เปรียบเทียบกับวิธี การตกตะกอนด้วย NaOH-Na<sub>2</sub>S ที่ Na<sub>2</sub>S 1 และ 0.1 เท่ากรัมสมมูลย์ ตามลำดับ

ผลการศึกษาโดยพิจารณาจากความเข้มข้นของ โลหะหนักแต่ละตัวที่เหลืออยู่ในน้ำ และประสิทธิภาพการ บำบัดน้ำเสียแต่ละวิธีในน้ำแต่ละประเภท พบว่าน้ำเสีย ประเภทแรก ตกตะกอนไฮดรอกไซด์ได้ดีที่ pH 9 มี ประสิทธิภาพการบำบัดสูงกว่าที่ pH 5-8 และการเติม NaHSO3 ช่วยทำให้มีประสิทธิภาพการบำบัดดีขึ้น น้ำเสีย ประเภทที่ 2 พบว่าการตกตะกอนไฮดรอกไซด์ ที่ pH 9 สามารถตกตะกอนโลหะได้เกือบหมด ยกเว้น Fe และ Mn การเติม NaOCl ช่วยทำให้ประสิทธิภาพการบำบัด ดีขึ้น ปริมาณสารหนูที่เหลืออยู่ในน้ำต่ำกว่าเกณฑ์ มาตรฐานกำหนด น้ำเสียจากการวิเคราะห์ซีโอดี โดยเฉพาะ As พบว่า โลหะคลอไรด์ที่ตกตะกอนด้วย NaCl-NaOH ที่สภาวะด่าง มีประสิทธิภาพการบำบัด สูงกว่าที่สภาวะกรด โดยเฉพาะเงินและโครเมียม และการเติม Na<sub>2</sub>S ปริมาณ 0.1 เท่า เพียงพอสำหรับ การตกตะกอนซัลไฟด์

#### 1. unun

ประเทศไทยมีห้องปฏิบัติการทดลองที่ขึ้น ทะเบียนไว้กับกรมโรงงานอุตสาหกรรม ประมาณ 200 แห่ง และยังมีห้องปฏิบัติการทั้งที่เป็นของเอกชน หน่วยงานราชการและสถานศึกษาต่างๆ เป็นจำนวน มากที่ไม่ได้ขึ้นทะเบียน ซึ่งห้องปฏิบัติการแต่ละแห่งมี น้ำเสียที่เกิดขึ้น จากการวิเคราะห์ปริมาณค่อนข้างสูง เช่น น้ำเสียจากการวิเคราะห์หาโลหะหนัก และน้ำเสีย จากการวิเคราะห์หาซีโกดีโดยวิถีไดโครเมต น้ำเสียเหล่านี้ จะมีการปนเปื้อนของโลหะหนัก ซึ่งเป็นอันตรายต่อ สิ่งมีชีวิต จำเป็นต้องได้รับการบำบัดก่อนปล่อยทิ้ง นอกอาคาร แต่เนื่องจากยังไม่มีค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำ ทิ้งจากห้องปฏิบัติการฯ ออกมาใช้บังคับ จึงทำให้ห้อง ปฏิบัติการบางแห่งลักลอบปล่อยน้ำเสียลงในท่อ รวมกับน้ำทิ้งจากอาคารโดยไม่ผ่านการบำบัดใดๆ ก่อให้เกิดปัญหาการปนเปื้อนของโลหะหนักในแหล่งน้ำ ซึ่งส่งผลต่อสุขภาพอนามัยและสิ่งแวดล้อมได้ ดังนั้น ห้องปฏิบัติการทุกแห่งจึงควรมีวิธีการจัดการของเสียใน ห้องปฏิบัติการของตนเอง และผู้มีหน้าที่เกี่ยวข้องจะ ต้องเร่งกำหนดมาตรการ เพื่อเป็นแนวทางในการปฏิบัติ ต่อไป

น้ำเสียที่มีการปนเปื้อนโลหะหนักจากห้องปฏิบัติ การของศูนย์วิจัยฯ แต่เดิมมีการเก็บรวบรวมให้มีปริมาณ มากพอแล้วนำส่งบริษัท GENCO ทำการบำบัดต่อไป ซึ่งแต่ละครั้งต้องเสียค่าใช้จ่ายในการดำเนินการสูง ประกอบกับไม่มีสถานที่เก็บรวบรวมน้ำเสียจำนวนมาก ศูนย์วิจัยฯจึงมีแนวคิดที่จะทำการบำบัดน้ำเสียเหล่านี้ ภายในห้องปฏิบัติการของศูนย์วิจัยฯเอง โดยศึกษาหา วิธีการและเทคโนโลยีที่เหมาะสมสำหรับน้ำเสียที่มีการ ปนเปื้อนของโลหะหนักหลายๆชนิด ประโยชน์จากการ ศึกษาในครั้งนี้ นอกจากจะได้วิธีการบำบัดที่เหมาะสม แล้ว ยังใช้เป็นแนวทางในการจัดทำ Good Laboratory Practice สำหรับห้องปฏิบัติการของศูนย์วิจัยฯ ต่อไป และยังเป็นการลดค่าใช้จ่ายในการบำบัดอีกด้วย

# 2. วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

### 2.1 วัสดุและอุปกรณ์

- 1) Jar test
- 2) pH meter
- 3) Oxidation-Reduction Potential meter
- 4) เครื่องวิเคราะห์ชนิดและปริมาณโลหะหนัก
  - Graphite Atomic Absorption
     Spectrophotometer ยี่ห้อ Perkin
     Elmer รุ่น 4100 ZL
  - Flame Atomic Absorption Spectrophotometer ยี่ห้อ Perkin Elmer รุ่น 2100
  - Hydride Generation Atomic
     Absorption Spectrophotometer
     ขี่ห้อ Perkin Elmer รุ่น Analysis 310
  - Mercury Analyzer (Cold Vapor Technique)

#### 2.2 วิธีดำเนินการ

- 2.2.1) การเก็บตัวอย่าง เก็บตัวอย่างโดยแยก ชนิดของน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนของโลหะหนักที่เกิดขึ้น ระหว่างการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการของศูนย์วิจัยฯ แบ่งน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนโลหะหนักออกเป็น 3 ประเภท คือ
- 1) น้ำเสียจากการวิเคราะห์หาโลหะหนักทั่วไป 8 ชนิด ตามมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งของกระทรวง อุตสาหกรรม ได้แก่ Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb และ Zn
- 2) น้ำเสียจากการวิเคราะห์หาสารหนู ซึ่งมี โลหะหนักปนเปื้อน 9 ชนิดได้แก่ As, Cd, Cr, Cu, Fe,

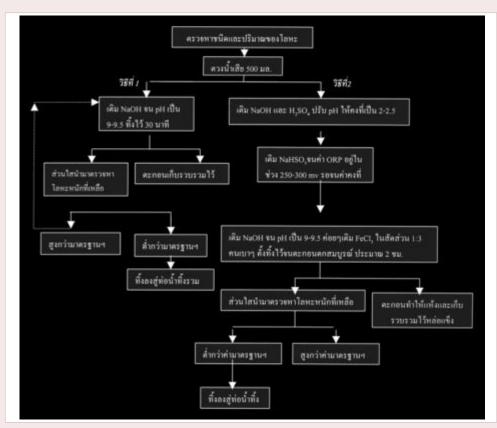
Mn, Ni, Pb และ Zn

3) น้ำเสียจากการวิเคราะห์หาซีโอดี โดยวิธี Dichromate, Closed System Reflux ซึ่งมีโลหะหนัก ที่ปนเปื้อนอยู่ 4 ชนิด ได้แก่ Ag, Cr, Fe และ Hg

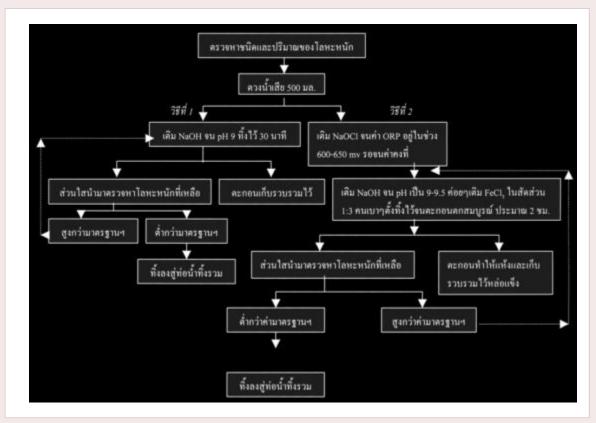
น้ำเสียเหล่านี้จะถูกรวบรวมตามประเภทของการวิเคราะห์ เพื่อเป็นตัวอย่างในการศึกษาครั้งนี้ รวมทั้งสารเคมีที่ใช้ สารมาตรฐานที่ผ่านเข้าเครื่องตรวจวัดชนิดและปริมาณโลหะหนัก และส่วนที่เหลือค้างในภาชนะ หลังทำการวิเคราะห์เสร็จ รวมถึงน้ำล้างครั้งแรกและครั้งที่สองของการล้างภาชนะที่ใช้ในการวิเคราะห์น้ำเสียทั้งหมดจะถูกเก็บไว้ในถังพลาสติค ขนาด 20 ลิตรมีฝาเกลียวปิดแน่น ด้านข้างติดฉลากบอกชนิดของโลหะหนัก ประเภทของการวิเคราะห์ ชื่อห้องปฏิบัติการปีที่เก็บและหมายเลขถัง เพื่อนำไปใช้ในการศึกษาหาประสิทธิภาพการบำบัดต่อไป

2.2.2) ตรวจวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณ โลหะหนักในน้ำเสียประเภทที่ 1) 2) และ 3) ก่อน ทำการบำบัดโดยวิธีการดังนี้

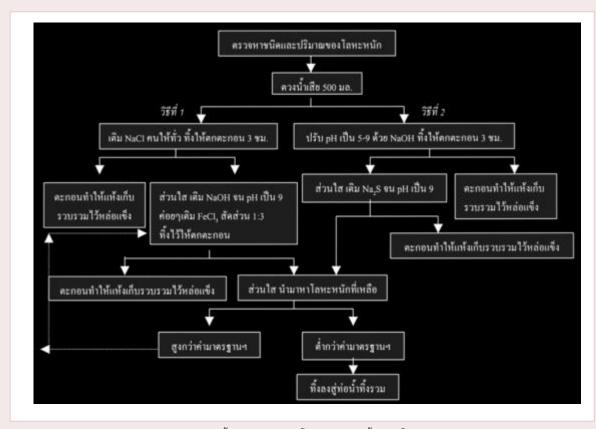
- 1) ทำการย่อยสลายน้ำตัวอย่าง แล้วนำ มาตรวจวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Graphite Atomic Absorption Spectrophotometer เพื่อวิเคราะห์หา Cd, Cr, Cu, Pb, Ni และ Zn
  - 2) นำน้ำตัวอย่างมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง
    - Flame Atomic Absorption
       Spectrophotometer เพื่อวิเคราะห์หา
       Ag Fe และ Mn
    - Hydride Generator Atomic
       Absorption Spectrophotometer
       เพื่อวิเคราะห์หา As
    - Mercury Analyzer เพื่อวิเคราะห์หา Hg
- 2.2.3) บำบัดน้ำเสียตามประเภทของน้ำเสีย ขั้นตอนการบำบัดแต่ละวิธีแสดงในรูป 1 2 และ 3 ตาม ลำดับ การทดลองทำ 3 ซ้ำ บันทึกค่าที่ได้ หาค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation; SD)
- 2.2.4) ตรวจวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณ โลหะหนักในน้ำเสียประเภทที่ 1 2 และ 3 หลัง ทำการบำบัด โดยทำตาม 2.2.2) หัวข้อ 1) และ 2) ตาม ลำดับ



รูป 1 ชั้นตอนการบำบัดโลหะหนักจากน้ำเสียที่มีโลหะหนักทั่วไป



รูป 2 ขั้นตอนการบำบัดโลหะหนักจากน้ำเสียที่มีสารหนู



รูป 3 ขั้นตอนการบำบัดโลหะหนักจากน้ำเสียซีโอดี

# 2.2.5) รวบรวมตะกอนของโลหะหนักไว้

ด้วยกัน และนำไปผสมปูนขาวในอัตราส่วนตะกอน: ปูนขาว 1:3 ผสมให้เข้ากันดีแล้วทิ้งไว้ให้แห้ง จากนั้นเก็บ ใส่ภาชนะปิดสนิท

## 3. พลการศึกษาและวิจารณ์

# 3.1 น้ำเสียจากการวิเคราะห์หาโลหะหนัก ทั่วไป

ก่อนน้ำน้ำเสียมาผ่านขบวนการบำบัดวัดค่า pH ได้ 2.14 ตรวจหาปริมาณ ของCd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb และZn มีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 43.87, 67.30, 11.39, 79.49, 65.48, 7.63, 24.82 และ 62.17 mg/l ตามลำดับ

### วิธีที่ 1 การบำบัดน้ำเสียด้วย NaOH ที่ pH 5-9

พบว่าที่ pH 5 Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Mn, Pb และ Zn มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 25.82, 2.69, 1.89, 1.19, 5.44, 1.05, 3.21 และ 3.98 mg/L คิดเป็น ประสิทธิภาพการบำบัดเท่ากับ 41.1, 96.0, 83.4, 98.5, 91.7, 86.3, 87.1 และ 93.6 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และ เมื่อค่า pH สูงขึ้น ปริมาณโลหะหนักที่เหลืออยู่ในน้ำเสีย ส่วนใหญ่ลดลง ยกเว้น Cr และ Fe และที่ pH 9 มีประสิทธิภาพการบำบัดเท่ากับ 98.7, 94.0, 94.1, 92.2, 96.9, 94.6, 94.2 และ 99.4 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จะเห็น ได้ว่าที่สภาวะดังกล่าวสามารถใช้บำบัด Cu , Mn และ Zn ให้เหลือต่ำกว่ามาตรฐานกำหนด ในขณะที่ Cd, Cr, Ni, และ Pb ยังคงเหลืออยู่ในน้ำในปริมาณสูง ดังแสดง ในตาราง 1

# วิธีที่ 2 การบำบัดน้ำเสียด้วย NaHSO<sub>3</sub> - NaOH ที่ pH 9

พบว่ามีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb และ Zn เท่ากับ 0.13, 0.04, 0.05, 0.10, 0.03, 4.10, 6.33 และ 3.26 mg/L ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดอยู่ในช่วง 46.3-99.9 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในตาราง 2

# เปรียบเทียบวิธีการที่เหมาะสมสำหรับบำบัด น้ำเสียจากการวิเคราะห์หาโลหะหนักทั่วไป

พบว่าการตกตะกอนด้วย NaHSO<sub>3</sub> -NaOH เหมาะสำหรับการบำบัดน้ำเสียที่มี การปนเปื้อนโลหะ หนักทั่วไปมากกว่าการเติม NaOH เพียงอย่างเดียว เนื่องจากประสิทธิภาพในการบำบัดของโลหะหนักเกือบ ทุกตัวสูงขึ้นโดยเฉพาะ Cr ที่มีเหลืออยู่ในน้ำต่ำกว่า มาตรฐานกำหนด ขณะที่ Fe, Mn และ Zn มี ประสิทธิภาพการบำบัดต่ำแต่ไม่เกินมาตรฐานน้ำทิ้ง กำหนดไว้ จากการทดลอง 3 ครั้ง พบว่าการบำบัดด้วย NaHSO3 มีประสิทธิภาพสูงใกล้เคียงกัน โดยมีค่า เบี่ยงเบนมาตรฐานต่ำระหว่าง 0.01-0.08 ยกเว้น Fe ที่มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงถึง 0.9 อีกทั้งการเติม NaHSO3 ช่วยลดความเป็นพิษของโลหะหนักที่บำบัด ขณะที่การตกตะกอนด้วย NaOH ที่ pH 9 สามารถบำบัด Cu, Mn และ Zn ได้ดี ปริมาณโลหะหนักที่เหลือ ในน้ำไม่เกินมาตรฐานน้ำทิ้งอุตสาหกรรมกำหนดไว้ แต่ ปริมาณ Cd, Cr, Ni และ Pb ที่เหลืออยู่ในน้ำยังสูงกว่า มาตรฐานฯ จึงควรนำน้ำเสียดังกล่าวมาบำบัดก่อนที่จะ ปล่อยลงสู่ท่อสาธารณะ เช่น บำบัดโดยวิธี chleate

### 3.2 น้ำเสียจากการวิเคราะห์หา As

ก่อนนำน้ำเสียมาผ่านขบวนการบำบัดวัดค่า pH ได้ 2.35 ความเข้มข้นเฉลี่ยของ As, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb และ Zn มีค่าเท่ากับ 267.8, 45.5, 22.8, 27.9, 158.1, 112.5, 46.8, 56.2 และ 65.7 mg/l ตามลำดับ

## วิธีที่ 1 การบำบัดน้ำเสียด้วย NaOH ที่ pH 9

หลังการบำบัดพบว่า As มีค่าความเข้มข้น เฉลี่ยเท่ากับ 6.6 mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัด 97.5 เปอร์เซ็นต์ ส่วน Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb และ Zn มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 0.68, 0.55, 2.3, 73.5, 23.9, 1.97, 2.53 และ 3.22 mg/L ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดเท่ากับ 98.5, 97.6, 92.0, 53.5, 78.8, 95.8, 95.5 และ 95.1 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งโลหะทุกตัวมีปริมาณโลหะที่เหลืออยู่ในน้ำสูงเกินกว่า มาตรฐานน้ำทิ้งกำหนด ยกเว้น Feและ Zn

# วิธีที่ 2 การบำบัดน้ำเสียด้วย NaOCI- NaOH ที่ pH 9

หลังการบำบัดพบว่า มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ย ของ As, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb และ Zn เท่ากับ 0.02, 0.09, 0.36, 1.4, 2.7, 4.4, 0.05,0.17 และ 1.53 mg/Lตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัด อยู่ในช่วง 95.0-100 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ปริมาณ As, Cr, Mn, Ni, Pb และ Zn ที่เหลือในน้ำมีค่าต่ำกว่า มาตรฐานน้ำทิ้งกำหนด ขณะที่ Cd และ Cu ที่เหลือ

ตาราง 1 บริมาณโลหะหนักที่เหลือและประสิทธิภาพหลังการบำบัดด้วย NaOH ที่ pH 5-9

ปริมาณโลหะหนัก	แคดเมียม (Cd)	(pa)	โครเมียม (Cr)	Cr)	ทองแดง (Cu)	Cu)	เหล็ก (Fe)		แมงกานีส (Mn)	(Mn)	นิเกิล (Ni)	(i)	ตะกั่ว (Pb)		สังกะสี (Zn)	Zu)
(mg/L)	X±SD.	%Eff.	X±SD.	%Eff.	X±SD.	%Eff.	X±SD.	%Eff.	X±SD.	%Eff.	X±SD.	%Eff.	X±SD.	%Eff.	X±SD.	%Eff.
ก่อนการบำบัด	43.87±0.14	,	67.30±0.05		11.39±0.01	1	79.49±0.15	1	65.48±0.10	1	7.63±0.18	1	24.82±0.14	,	62.17±0.12	1
ตกตะกอนไฮดรอกไซด์																
й pH 5	25.82±0.37		41.1 2.688±0.09	0.96	1.889±0.03	83.4	$1.192\pm0.00$	98.5	$5.44\pm0.04$	91.7	$1.0494\pm0.02$	86.3	91.7   1.0494±0.02   86.3   3.207±.0.02   87.1	87.1	$3.979\pm0.02$	93.6
9 Hd	23.40±0.16	46.7	$2.558\pm0.04$	96.2	1.230±0.02	89.2	$1.352\pm0.00$	98.3	4.71±0.03	92.8	92.8 0.9135±0.01	88.0	$3.150\pm.0.09$	87.3	$1.179\pm0.00$	98.1
pH 7	22.70±0.28		48.2 0.809±0.01	98.8	0.402±0.01	96.5	2.782±0.00	96.5	3.08±0.02	95.3	95.3 0.8563±0.02 88.8	88.8	3.825±.0.13	84.6	$0.933\pm0.01$	98.5
pH 8	1.58±.0.02	96.4	3.835±0.03	94.3	0.137±0.01	8.86	3.186±0.02	0.96	2.95±0.01	95.5	95.5 0.7223±0.02 90.5	90.5	$2.283\pm.0.01$	8.06	$0.747\pm0.01$	98.8
6 Hd	0.4829±0.01 98.7	286	4.037±0.08	94.0	0.678±0.01	94.1	6.224±0.06	92.2	2.04±0.02	6:96	96.9 0.4101±0.01 94.6	94.6	1.439±0.02   94.2   0.3774±0.01	94.2	$0.3774\pm0.01$	99.4

ตาราง 2 ปริมาณโลหะหน้าที่เหลือและประสิทธิภาพหลังการบำบัดด้วย NaHSO<sub>3</sub>- NaOH

ปริมาณโลหะหนัก	แคดเมียม (Cd)	(Cd)	โครเมียม (Cr)	Cr)	ทองแดง (Cu)	Cu)	เหล็ก (Fe)	<u> </u>	แมงกานีส (Mn)	Min)	นิเกิล (Ni)	(iz	ตะกั่ว (Pb)	[q.	สังกะสี (Zn)	(u2
(mg/L)	X±SD.	%Eff.	$X\pm SD$ . %Eff. $X\pm SD$ .	%Eff.	X±SD.	%Eff.	X±SD. %Eff.	%Eff.	X±SD.	%Eff.	X±SD.  %Eff.	%Eff.	X±SD.	%Eff.	X±SD.	%Eff.
ก่อนการบำบัด	43.87±0.14	1	67.30±0.05		11.39±0.01	1	79.49±0.15	1	65.48±0.10		7.63±0.18		24.82±0.14	1	62.17±0.12	
ใส่ NaHSO <sub>3</sub> ก่อน																
ตกตะกอนด้วย	0.1238±.0.01 99.7 0.04±0.01	266	$0.04\pm0.01$	99.5	$0.06\pm0.01$	6.86	0.10±0.90	78.66	$0.06\pm0.01$ $98.9$ $0.10\pm0.90$ $99.87$ $0.03\pm0.08$ $99.95$ $4.1\pm0.01$ $46.26$	99.95	4.1±0.01	46.26	6.3±0.01	2.66	3.2±.01	94.80
NaOH ที่ pH 9																

ราย 3 ปริมาณ As ที่เหลือและประสิทธิภาพหลังการบำบัดด้วย NaOH

โรมาณโลหะหนัก	สารหนู (As)	(SV	แคดเมียม (Cd)		โครเมียม (Cr)	Cr)	ทองแดง (Cu)	(Cu)	เหล็ก (Fe)		แมงกานีส (Mn)	Mn)	นิเกิล (Ni)	i) (i	ตะกัว (Pb)	(q	สังกะสี (Zn)	Zn)
(mg/L)	χ±SD.	%Eff.	X±SD.	%Eff.	X±SD.	%Eff.	X±SD.	%Eff.	$X\pm SD.  \%Eff.  X\pm SD.  X\pm $	%Eff.	X±SD.	%Eff.	X±SD.	%Eff.	X±SD.	%Eff.	χ±SD.	%Eff.
มการบำบัด	267.8±0.18	,	45.5±.0.07	1	22.8±0.04	,	27.9±0.18	1	- 158.1±0.10 - 112.5±0.09	,	112.5±0.09	,	46.8±0.13	'	56.2±0.01		65.7±0.13	,
่ 1 ตกตะกอนด้วย	6.6±0.29 97.5 0.68±0.00 98.5 0.55	97.5	0.68±0.00	98.5	0.55±0.02	9.76	2.3±0.02	92.0	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	53.5	23.9±0.08	78.8	1.97±0.02	8:26	2.53±0.07	95.5	3.22±0.09	95.1
HC																		
i 2 ใส่ NaOCI ก่อน 0.02±0.00 100 0.09±0.00 99.8 0.36.	0.02±0.00	100	0.09±0.00	8.66	0.36±0.02	98.4	1.4±0.04	95.0	0.02         98.4         1.4±0.04         95.0         2.7±0.02         98.3         4.4±0.03         96.1         0.05±0.00         99.9         0.17±0.01         99.7         1.53±0.0	98.3	4.4±0.03	96.1	0.05±0.00	6.66	$0.17\pm0.01$	2.66	1.53±0.0	2.76
าะกอนด้วย NaOH																		

NaO)

ในน้ำยังมีค่าสูงเกินกว่ามาตรฐานฯ ดังแสดงในตาราง 3

เปรียบเทียบวิธีการที่เหมาะสมสำหรับบำบัด

น้ำเสียจากการวิเคราะห์หา As

พบว่าวิธีเติม NaOCl ก่อนตกตะกอนไฮดรอกไซด์ เหมาะสมสำหรับการบำบัดน้ำเสียที่มีการปนเปื้อน As มากกว่าการตกตะกอนไฮดรอกไซด์เพียงอย่างเดียว เนื่องจากประสิทธิภาพในการบำบัดของโลหะหนักสูงขึ้น ทุกตัว โดยเฉพาะ As, Cr, Mn, Ni, Pb และ Zn มีปริมาณเหลือในน้ำไม่เกินมาตรฐานน้ำทิ้งกำหนดไว้

# 3.3 น้ำเสียจากการวิเคราะห์หาชีโอดี โดยวิธี Dichromate

ก่อนนำน้ำเสียมาผ่านขบวนการบำบัดวัดค่า pH ได้ 0.12 ความเข้มข้นเฉลี่ยของ Ag, Cr, Fe และ Hg เท่ากับ 1,634.9, 214.5, 352.7 และ 1,283.6 mg/l ตาม ลำดับ

วิธีที่ 1 การบำบัดน้ำเสียด้วย NaCl- NaOH ที่ pH 9

หลังการบำบัดพบว่า ความเข้มข้นเฉลี่ยของ Cr และ Fe เท่ากับ 1.72 และ 32.76 mg/L และสามารถ กำจัดได้ค่าต่ำ ดังแสดงในตาราง 4

# วิธีที่ 2 การบำบัดน้ำเสียด้วย NaOH ที่ pH 5 และ 9 แล้วเติม Na2S ที่ 1 และ 0.1 เท่า

พบว่า ที่ pH 9 สามารถกำจัดปรอทให้เหลือ ต่ำกว่าค่ามาตรฐานน้ำทิ้งฯ คือไม่เกิน 0.005 mg/l ส่วนโลหะหนักตัวอื่นๆที่ pH 5และ pH 9 มีค่าสูงเกิน มาตรฐานฯกำหนด และหลังจากเติม Na<sub>2</sub>S ในปริมาณ 1 เท่าที่ pH 5 พบว่า Ag, Cr, Fe และ Hg ที่เหลือ อยู่มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 29.34, 7.50, 0.694 และ 0.1639 mg/l ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่ามาตรฐาน น้ำทิ้งกำหนดไว้ ขณะที่ pH 9 การเติม Na<sub>2</sub>S ในปริมาณ 1 เท่า สามารถบำบัด Hgให้มีความเข้มข้นต่ำกว่า มาตรฐานฯกำหนด ส่วน Cr สามารถบำบัดได้ต่ำสุด เพียง 2.4 mg/L ส่วน Ag และ Fe ที่เหลือมีค่าต่ำมาก เปรียบเทียบกับการเติม  $\mathrm{Na}_2\mathrm{S}$  ในปริมาณ 0.1 เท่าที่ pH 9 ประสิทธิภาพการบำบัดใกล้เคียงกับการใช้ Na<sub>2</sub>S ในปริมาณ 1 เท่า และสามารถจับกับโลหะที่เหลือเกิด เป็นตะกอนซัลไฟด์ได้ทั้งหมด ซึ่งเป็นไปตามคำกล่าว อ้างของ [3] ที่เสนอให้มีการใช้ Na<sub>2</sub>S น้อยกว่าจำนวน สมมูลย์ที่ได้จากสมการ ดังแสดงในตาราง 4

ตาราง 4 ปริมาณโลหะหนักที่เหลือ และประสิทธิภาพหลังการบำบัด ด้วย NaCl และ NaOH

ปริมาณโลหะหนัก	เงิน (Ag	;)	โครเมียม (	Cr)	เหล็ก (Fe	2)	ปรอท (H	g)
(mg/L)	X±SD.	%Eff.	X±SD.	%Eff.	X±SD.	%Eff.	X±SD.	%Eff.
ก่อนการบำบัด	1634.9±3.15	-	214.5±0.21	-	352.7±0.57	-	1283.6±3.80	-
ตกตะกอนด้วย NaCl	84.8±0.29	94.8	117.1±0.08	45.4	139.0±0.20	60.6	0.037±0.01	100
ตกตะกอนด้วย NaCl								
และ NaOH ที่ pH 9	6.46±0.17	99.6	1.72±0.02	99.2	32.76±0.40	90.7	0.00±0.00	100

**ตาราง 5** ปริมาณโลหะหนักที่เหลือ และประสิทธิภาพหลังการบำบัดด้วย NaOH และ Na<sub>2</sub>S

ปริมาณโลหะหนัก	เงิน (Ag	;)	โครเมียม (	Cr)	เหล็ก (Fe	e)	ปรอท (H	g)
(mg/L)	X±SD.	%Eff.	X±SD.	%Eff.	X±SD.	%Eff.	X±SD.	%Eff.
ก่อนการบำบัด	1634.9±3.15	-	214.5±0.21	-	352.7±0.57	-	1283.6±3.80	-
วิธีที่ 1 ตกตะกอนด้วย NaOH ที่ pH 5	554.7±17.27	66.1	1.502±0.04	99.3	4.585±0.12	98.7	1.484±0.14	99.9
- ตามด้วย Na <sub>2</sub> S 1 เท่า	29.34±0.31	98.2	7.5±0.12	96.5	0.694±0.03	99.8	0.1639±0.02	100
วิธีที่ 2 ตกตะกอนด้วย NaOH ที่ pH 9	8.643±0.23	99.5	10.51±0.05	95.1	92.50±0.66	73.8	0.00	100
- ตามด้วย Na <sub>2</sub> S 1 เท่า	0.3032±0.06	100.0	2.4±0.10	98.9	0.233±0.02	99.9	0.00	100
- ตามด้วย Na <sub>2</sub> S 0.1 เท่า	0.3219±0.00	100.0	2.6743±0.04	98.8	0.2433±0.00	99.9	0.00	100

**ตาราง** 6 เปรียบเทียบวิธีการบำบัดน้ำเสียที่เหลือจากการวิเคราะห์ซีโอดี

ปริมาณโลหะหนัก	เงิน (Ag	<u>;</u> )	โครเมียม (	Cr)	เหล็ก (Fe	2)	ปรอท (H	g)
(mg/L)	X±SD.	%Eff.	X±SD.	%Eff.	X±SD.	%Eff.	X±SD.	%Eff.
NaCl - NaOH ที่ pH 9	6.46±0.17	99.6	1.72±0.02	99.2	32.76±0.40	90.7	0.0±0.0	100
NaOH - Na <sub>2</sub> S 1 เท่าที่ pH 5	29.34±0.31	98.2	7.5±0.12	96.5	0.69±0.03	99.8	0.164±0.02	100
NaOH - Na <sub>2</sub> S 1 เท่าที่ pH 9	0.303±0.06	100	2.4±0.10	98.9	0.23±0.02	99.9	0.00±0.0	100
NaOH - Na <sub>2</sub> S 0.1 เท่าที่ pH 9	0.322±0.00	100	2.67±0.04	98.8	0.24±0.00	99.9	$0.00 \pm 0.0$	100

เปรียบเทียบวิธีการที่เหมาะสมสำหรับบำบัดน้ำเสียจาก การวิเคราะห์ซีโอดี

จากการเปรียบเทียบทั้ง 2 วิธี พบว่าวิธีที่ 1 เหมาะสมสำหรับการบำบัดน้ำเสียจากการวิเคราะห์ซีโอดี มากกว่า เนื่องจากมีประสิทธิภาพการบำบัด Cr ได้ดีกว่า และทั้ง 2 วิธี มีประสิทธิภาพในการบำบัด Hg ได้ 100 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณ Cr ที่เหลือในน้ำมีค่าความเข้มข้น เฉลี่ยเท่ากับ 1.72, 7.5 และ 2.674 mg/L ที่ pH 5 และ pH 9 ตามลำดับ และปรอทซัลไฟด์มีค่าการละลายอยู่ที่ 9.0X10-20 mg/L แต่เนื่องจากสารซัลไฟด์ที่เติมมีกลิ่นเหม็น มีความเป็นพิษรุนแรง ดังนั้นจึงต้องมีระบบควบคุมที่ดี นอกจากนี้ NaCl ที่ใช้ในการตกตะกอนยังเป็นสารเคมี ที่คุ้นเคยเพราะใช้ในชีวิตประจำวันและมีราคาถูก

# 5. สรุปและข้อเสนอแนะ

- 1) การเติมสารช่วยเร่งให้ตกตะกอน (Coagulant) เช่น FeCl<sub>3</sub> จะทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดสูงขึ้น ความเร็วและเวลาของการคนสารละลายมีความสำคัญ ต่อการตกตะกอนของโลหะ การเติมสารเร่งการ ตกตะกอนต้องใช้ความเร็วของใบพัดระดับต่ำหรือ ปานกลาง ใช้เวลา 1-2 นาที เพื่อให้ตะกอนเบาจับตัวกัน ง่ายขึ้น ส่วนสารเคมีประเภทอื่นๆ ต้องใช้ความเร็วใบพัด สูงและใช้เวลานาน [3]
- 2) ตะกอนที่แยกออกมานำมาทำให้แห้งเพื่อ เก็บรวบรวมไว้ให้มีปริมาณมากพอ ก่อนนำไปทำให้อยู่ใน รูปของแข็ง (Solidification) ด้วยปูนขาวในอัตราส่วน ตะกอนต่อปูนขาว 1:3 [3]

2544 - 2546

- 3) เกลือไฮตรอกไซด์ มีราคาถูก มีคุณสมบัติ กึ่งโลหะ และสามารถละลายกลับได้ง่าย เมื่อ pH เปลี่ยนและเมื่อรวมตัวกับโลหะเกิดเป็นโลหะออกไซด์ที่มี ตะกอนมาก [1]
- 4) สารเคมีที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาจะต้องมี คุณสมบัติในการทำให้โลหะหนักตกตะกอน และตะกอน ที่ได้จะต้องไม่ละลายกลับ โลหะหนักบางชนิดอุณหภูมิ จะมีผลกับการละลาย โลหะหนักที่ผ่านการตกตะกอน แล้วจะมีเหลืออยู่ปริมาณเท่าใดขึ้นอยู่กับ ปัจจัยหลาย ด้าน เช่น ปริมาณโลหะที่มีตั้งต้นชนิดของสารตกตะกอน ที่ใช้ สภาวะที่ทำให้เกิดปฏิกิริยา โดยเฉพาะ pH สาร อื่นๆ ที่เจือปนอยู่ในน้ำซึ่งอาจมีตัวยับยั้งการเกิดตะกอน

#### ข้อเสนอแนะ

1) ควรมีการศึกษาน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการ แห่งอื่นๆ เปรียบเทียบกัน รวมทั้งทำการประเมินค่าใช้ จ่ายในการบำบัด นอกจากนี้อาจใช้สารเคมีที่มีคุณภาพ ต่ำลงมาเพื่อเป็นการลดต้นทุนและเป็นแนวทางให้ห้อง ปฏิบัติการอื่น สามารถนำไปใช้ได้ โดยจัดทำเป็นคู่มือ การบำบัดน้ำเสียภายในห้องปฏิบัติการ

2) ห้องปฏิบัติการที่ต้องการขอการรับรอง ความสามารถของห้องปฏิบัติการตามมาตรฐาน ISO/IEC 17025 สามารถนำวิธีการบำบัดน้ำเสียจากห้อง ปฏิบัติการไปประยุกต์ใช้ได้ เนื่องจากห้องปฏิบัติการ ที่อยู่ในมาตรฐานจะต้องจัดให้เป็น Good Laboratory Practice (GLP) ซึ่งจะต้องมีเรื่องของ Safty และ Waste Management

# เอกสารอ้างอิง

- เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2541. การบำบัดน้ำเสีย.
   มิตรนราการพิมพ์. หน้า 442.
- สุซาตา ชินะจิตร. อันตรายจากสารเคมี. โครงการ สนับสนุนเทคนิคอุตสาหกรรม สมาคมส่งเสริมไทย ญี่ปุ่น : สำนักพิมพ์ ที.พี.พริ้นท์ จำกัด พิมพ์ครั้งที่ 8 พฤษภาคม 2545.
- 3. Haruo Ando. 1996. Copy of Wastewater Management. 112p.
- Paul N. Chere Missionoff. 1995. Handbook of Water and Wastewater Treatment Technology. Marcel Dekker, Inc. 834p.







# Activated Char Production from Pyrolysis of Coconut Husks

Nittaya Nugranad Milne<sup>a</sup> Toru Ishii<sup>b</sup>, Yoshiaki Matsusawa<sup>b</sup>, Hiroshi Aramaki<sup>b</sup>, and Emi Yoshitaka<sup>b</sup>

#### บทคัดย่อ

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาการเผาเปลือกมะพร้าว ในเตาเผาไพโรไลซีส ในบรรยากาศที่ปราศจากออกซิเจน ที่อุณหภูมิ 400, 500 และ 600°ซ น้ำมันที่ได้ถูก ดักจับด้วยชุดดักจับไอน้ำอุณหภูมิต่ำ (4°ซ) กาซที่เกิดขึ้น นำไปวิเคราะห์องค์ประกอบด้วยเครื่องแกสโครมาโตกราฟ ถ่านนำไปปรับปรุงคุณภาพได้ถ่านกัมมันต์ และทดสอบ ประสิทธิภาพการดูดซับกาซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ เงื่อนไขต่างๆ ผลการศึกษาพบว่า เมื่ออุณหภูมิไพโรไลซีส สูงขึ้น จะได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นน้ำมันและกาซมากขึ้น ใน ขณะที่ผลผลิตที่เป็นของแข็งคือถ่านจะลดลง น้ำมันที่ ได้มีสีเหลืองอ่อน มีลักษณะไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกัน (heterogeneous) และมีส่วนผสมที่เป็น oxygenated compounds มาก ถ่านที่ได้เมื่อนำไปปรับปรุงคุณภาพ เป็นถ่านกัมมันต์ มีประสิทธิภาพในการดูดซับกาซ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์สูง ผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิวยืนยัน ว่าไอน้ำมีผลช่วยให้ได้ผลิตภัณฑ์ถ่านกัมมันต์ที่มีพื้นที่ผิว มากขึ้นและเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับ ผู้วิจัยได้นำ เสนอแนวคิดโรงงานต้นแบบสำหรับการขยายผลเชิง พาณิชย์

#### **Abstract**

Coconut husks were pyrolysed in a fixed bed reactor at 400, 500 and 600 °C. The pyrolysis oils were collected in a series of condensers and ice traps, and analysed to determined yield and properties in relation to process conditions. The pyrolysis vapours were analysed off-line by packed column chromatography. The char products from pyrolysis were activated and tested for

desulphurisation property under different conditions with and without steam at 800°C. Surface areas of the char samples were determined. The pyrolysis oils of coconut husks were light yellow heterogeneous, of low viscosity and highly oxygenated. The greater the temperature, the more percentage of oils and gases were produced, while char products were reduced as pyrolysis temperatures were increased. The char from coconut husks can be activated to give high quality activated carbon. The higher the pyrolysis temperatures, the better activated char were produced. The specific surface area increased significantly while water vapour was added to the activation system. The biomass utilisation system through pyrolysis, activation and desulphurisation processes for commercial pilot plant has been proposed.

#### 1. INTRODUCTION

Biomass is defined as: trees, grasses, and algae; agricultural and forest wastes; municipal solid wastes; and miscellaneous wastes which contain three major components: cellulose, hemicellulose and lignin.

Availability of biomass makes it having advantage for being used as energy source. Biomass fuels are renewable, and contain very low amounts of sulphur compared to fossil fuels. Biomass conversion technology is a low-temperature process

and there is negligible augmentation of the greenhouse effect compared to the burning of fossil fuel, as biomass synthesis is part of the natural carbon cycle (enhanced use may, however, cause temporary variation of CO<sub>2</sub> emissions).

Biomass energy has a number of additional benefits, including the provision of modern energy forms to rural communities, improved land management, job creation and the reduction of carbon dioxide emissions.

Advanced biomass technologies have also being developed in many countries in various parts of the world. Biomass is therefore one of the clean energy resources that shows high potential to supply the future increasing energy demand, and to substitute the use of existing depleted fossil energy with little negative effect on the world's environment.

Thailand is one of the World leaders on agricultural production and export. Agriculture is a large and an essential sector. Biomass resources especially agricultural residues are abundant. The EC-ASEAN COGEN Programme estimated that energy potential from four main agricultural residues: bagasse, rice husks, palm oil wastes, and wood residues; was 11,200 GWh/yr or 2,985 MW of power capacity. Apart from this, there is a substantial amount of unexploited agricultural residues that have not been accounted for. It was reported that in 1997 more than 100 million tons of agricultural products were produced. There were also about 61 million tons of residues, of which about 15 million tons was already used as fuel, and a small amount was used for other purposes. About 41 million tons, which is equivalent to about 426 PJ or 10.07 MTOE (Megaton oil equivalent) of energy, was left either on the field or at the processing plants.

This study was carried out under the joint research project on the "Development of Biomass Pyrolysis and Utilisation System" between the Ishikawajima-Harima Heavy Industries (IHI), Japan, and the Environmental Research and Training Centre (ERTC), Department of Environmental Quality Promotion (DEQP), Ministry of Natural Resources and Environment, Thailand, supported by the New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO), Japan.

This research project target technical development for the use of biomass not only as fuel but also advanced application for the use of char produced from slow pyrolysis as desulphurising agent. The pyrolysis conditions and desulphurisation test were investigated.

#### 2. MATERIALS AND METHODS

#### 2.1 Coconut husks

The coconut husks used were obtained from Thailand and were chopped to size  $1x1cm^2$  (see Figure 2.1-1). Table 2.1-1 shows the proximate, ultimate analyses and calorific value of the coconut husks.



Figure 2.1-1 Chopped coconut husks

Table 2.1-1 Properties of the coconut husks

Proximate analysi	s (wt%)	Ultimate analysis	s (wt%)
Volatiles	64.8	Carbon	50.8
Moisture	6.1	Hydrogen	5.4
Ash	2.9	Oxygen	40.3
Fixed carbon	26.2	Nitrogen	0.4
Gross calorific val	ue	18960	

#### 2.2 Pyrolysis test

#### 2.2.1 Pyrolysis reactor

The pyrolysis reactor was batch type reactor equipped with a chamber in which samples were placed, heated up by electric furnace with thermocouple. A series of condersers placed in a cool ice tank, were connected to collect pyrolysis vapours from the reactor. An activated carbon column and water bottle were connected to adsorb remaining hydrocarbon vapours. The details of pyrolysis reactor are as follows:

#### (1) Chamber

Size: 300mm diameter x 400mm height with the thickness of 4mm; Flange 10K thin type

Materials: Stainless steel SUS304

(2) Electric furnace

Size: Inner diameter 339mm, inner height 320 mm

Maximum temperature: 800°C

(3) Condensers

Column: Pyrex glass tube, 100mm diameter x 400 mm height x 3 units

Cooling tank: Acrylic resin, 1,000 mm length x 300 mm depth x 500 mm height; with cooling water circulating unit

(4) Activated carbon column: Acrylic resin, 60mm diameter x 770mm height

**Figure 2.2-1** and **2.2-2** show the schematic diagram of the pyrolysis process and the photograph of the pyrolysis equipment.

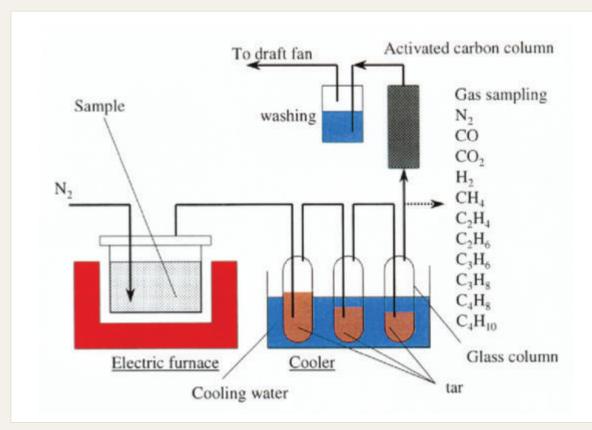


Figure 2.2-1 Schematic diagram of the pyrolysis process



Figure 2.2-2 Batch type pyrolysis reactor

#### 2.2.2 Methods

The coconut husks were dried prior to the experiment. The dried sample was placed in the chamber, and  $N_2$  was passed into the reactor to provide free-oxygen atmosphere and acted as a carrier gas, at the flow rate of 150 ml/min. Biomass sample was placed in the chamber. Then the chamber was heated by the electric furnace at a heating rate of  $5.3\,^{\circ}$ C/min until reaching specified maximum temperatures of 400, 500 and  $600\,^{\circ}$ C. The pyrolysis vapours were then passing

through a series of ice trap condensers of which condensate was trapped, the escape gas vapours were trapped by activated carbon column and water bottle. After finish the test, the chamber was removed from the electric furnace for cooling down. The weights of biomass sample, char and condensate were determined. Pyrolysis gas was analysed off-line for determination of gas composition.

The methods of analysis of char and condensate are as follows:

Industrial analysis (4 elements): JIS M 8812 C, H: JIS M 8813 (Liebig's method)

Sulphur (total): JIS M 8813 (Eschka method)

Chlorine (total): JIS M 8813 (Eschka method)

Calorific value: JIS M 8814 (Nekken type automatic calorimeter)

Specific surface area: JIS M 8830 (method of measuring specific surface area of powder (solid) through gas absorption)

Pyrolysis gas was analysed by gas chromatography. The conditions of gas chromatograph are indicated in Table 2.2-1.

Table 2.2-1 Conditions of gas analysis

Type of gas analysed	H <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> , CO	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub> , C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> , C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	$C_3H_6, C_3H_8,$ $i-C_4H_{10}, n-C_4H_{10},$ $i-C_4H_8$
GC type	Shimadzu GC-8A	Shimadzu GC-8A	YANAKO G2800	YANAKO G2800
Detector	TCD	TCD	FID	FID
Column packing material	MS-13X	Porapax Type Q	Porapax Type N	Chromatosorb
Carrier gas	Ar	Ar	N2	N2
Primary pressure, kg/cm <sup>2</sup>	3.2	3.2	-	-
Secondary pressure, kg/cm <sup>2</sup>	2.2	2.0	3.2	2.6
(specimen size)				
Secondary pressure, kg/cm <sup>2</sup> (reference size)	2.0	2.2	-	-
Injection/Detector temperature, °C	80	80	50	50
Column temperature, °C	80	80	45	45

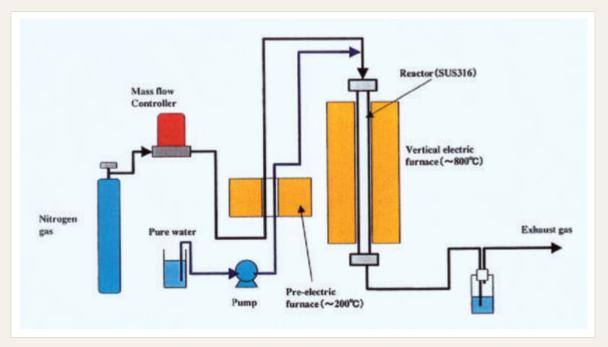


Figure 2.3-1 The schematic diagram of the activation process

# 2.3. Activation and desulphurisation test 2.3.1 Test equipment for activation process

A vertical tubular electric furnace in which an SUS reactor has been installed was used as the test equipment for the activation process. A pipe for supplying gas and water vapour was connected to the reactor. Figure 2.3-1 shows the schematic diagram of the activation process, and Figure 2.3-2 shows a photograph of the electric furnace. The detail specifications of the equipment are as follows:

Type: vertical tubular electric furnace (external temperature control at 3 points)

 $\label{eq:heating temperature:maximum temperature} \\ 800\,^{\circ}\mathrm{C}$ 

Reactor: SUS316 reactor, inner diameter (i.d.) 40mm; length 600 mm

Gas introduction: nitrogen gas, with mass flow control

Water vapour introduction: small electric furnace heating system for distilled water, with tube pump supply

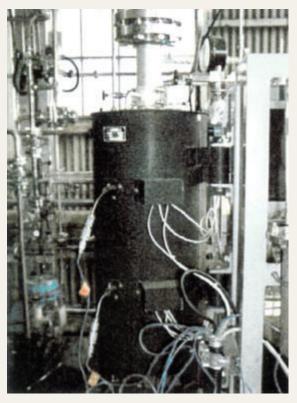


Figure 2.3-2 Photograph of the electric furnace

#### 2.3.2 Test equipment for desulphurisation

In the desulphurisation test, a nitrogen based standard sulfurous acid gas was introduced into the glass reactor with a diameter of 15 mm.

The gas outlet was measured using a SO<sub>2</sub> meter. Figure 2.3-3 shows a schematic diagram of the test equipment. The details of the test equipment are as follows:

Test equipment for desulphurisation Supplied standard gas: 486 ppm SO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>

 $\label{eq:Reactor:glass} Reactor: glass \ reator \ with \ i.d. \ 15 \ mm, \\ length \ 400 \ mm$ 

 ${
m SO}_2$  measurement equipment: Horiba VIA-510-SO $_2$ 

#### 2.3.3 Methods

#### 2.3.3.1 Activation process test

Twenty grams of the char sample was placed into the reactor and installed in the vertical tubular electric furnace. The reactor was then purged with nitrogen gas with a steady rate for one hour in order to eliminate the remaining air in the reactor. The reactor was then heated by the electric furnace to reach the activation temperature of 800°C, which the test was commenced. Water vapour was introduced to the reactor through the nitrogen gas pipe during the test. After completion of the test, the furnace

was opened to let the sample cool down to room temperature. The activated char was then remove and weighed. The activated char and the original pyrolysis char were analysed for specific surface area (BET method).

The activation process temperature was limited at  $800^{\circ}$ C due to limitations posed by the pyrolysis temperature and the heating capacity of the electric furnace. Assuming practical application, the process was limited to use only inert gas ( $N_2$ ) with addition of water vapour. Neither acid nor other chemicals preprocessing was used for conditioning of the test in this study. The test conditions are indicated in Table 3.2-1 in Section 3.

#### 2.3.3.2 Desuphurisation test

The desulphurisation tests were undertaken with respect to specimens obtained from the pyrolysis and the activation tests.

One gram of roughly powdered char specimen was placed at the centre of the glass reactor and standard sulfurous acid gas (486 ppm)

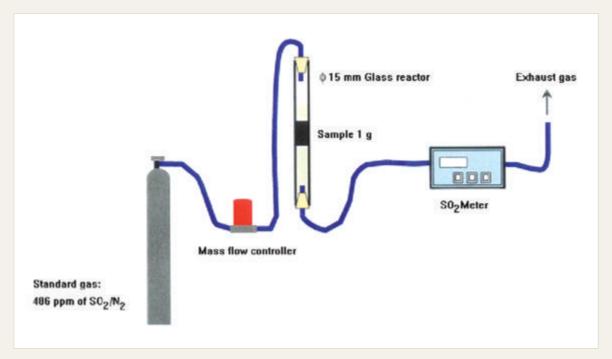


Figure 2.3-3 Schematic diagram of the desulphurisation equipment

was introduced into the reactor at flow rate of 500 ml/min. The concentration of sulfurous acid gas was measured continuously using  $SO_2$  meter to monitor absorption process. In order to prevent channeling during the test, the standard sulfurous gas was supplied into the reactor downward. The test run simultaneously for introduction of the standard gas until reaching breakthrough time that the concentration of the standard gas reached the halfway point (243 ppm), the test was ended.

#### 3. RESULTS AND DISCUSSION

#### 3.1 Pyrolysis of coconut husks

The mass and heat balance of pyrolysis of coconut husks at 400, 500 and 600°C show that product yields are about 99% by weight. As the pyrolysis temperature was increased, there was a marked increase in gaseous and liquid products, but decrease in char yields. This can be explained in that at higher temperature the biomass components become more volatile due to the severity of the pyrolysis which as the temperature is increased, the secondary cracking of tar to form gases will occur<sup>1</sup>. The decrease in the char yield as the temperature were increased could either be due to, at higher pyrolysis temperatures, the greater primary decomposition of the biomass to form gases and tar (see equations 3.1-1 and 3.1-2), then tar could undergo secondary cracking to form gases (equation 3.1-4), or through secondary decomposition of the char residue (equation 3.1-6). Since there is no obvious mechanism for carbon loss with increasing temperature, it is suggested that higher pyrolysis temperature volatilises some of the solid hydrocarbon content of the char<sup>2</sup>. The lower pyrolysis temperature will favour char formation (equation 3.1-3). Radlein<sup>3</sup> suggested that at higher temperature, the decomposition of biomass to form liquids and gases will become dominant. These observations are in agreement with the literatures (see Nugranad<sup>2</sup>).

#### Primary reactions:

Biomass 
$$\stackrel{k_1}{\longrightarrow}$$
 Gas (3.1-1)

Biomass 
$$\stackrel{k_2}{\longrightarrow}$$
 Tar (3.1-2)

Biomass 
$$k_3$$
 Char (3.1.3)

#### Secondary reactions:

Tar 
$$\stackrel{k_4}{\longrightarrow}$$
 Gas (3.1.4)

Tar 
$$\frac{k_5}{}$$
 Char (3.1-5)

Char 
$$\xrightarrow{k_6}$$
 Gas (3.1-6)

Mass and heat balance of a practical pyrolysis process was calculated to evaluate the possibility that energy of pyrolysis gas would be enough to run the process, based on the result of this experiment (see Figure 3.1-1). Figure 3.1-2 shows the process flow diagram of a possible pyrolysis process.

Columba DB and Russo G, "Modeling of transport phenomena and kinetics of biomass pyrolysis." in Advances in Thermochemical Biomass Cenversion (ed. AV Bridgwater), Vol. 2, Blackie Academic & Professional, London, pp. 906-921, 1994.

Nugranad N, Pyrolysis of Biomass, Ph.D. Thesis, University of Leed, UK (1997).

Radlein D, "The Chemistry of Fast Pyrolysis of Biomass" presented in PyNE Pyrolysis Network of Europe, Minutes of First Meeting, 29-31 May, Solihull, UK, 1995.

Table 3.1-1 Yield and calorific value from pyrolysis of coconut husks at  $400\,^{\circ}\text{C}$ 

**Conditions** Yield

Sample	Coconut husks (dry)		Weight (g)	wt%
Sumple	Coconat masks (ary)	Sample	504	100
Max. pyrolysis temp.	400°C	Char	263	52.2
Heating time and rate	72 min (5.3°C/min)	Condensate	150	29.7
Carrier gas	N <sub>2</sub> , 150 cc/min	Gas	84.7	16.8
Moisture content	20.8%	Total	498	98.7

# Calorific value data Energy

Sample	18960 kJ/kg		Calorific value (kJ)	wt%
Char	25080 kJ/kg	Sample	9958	100
Moisture in condensate	92.4%	Char	6598	69.0
TOC in moisture	15%	Condensate	1604	16.8
Oil in condensate (wet basis)	21030 kJ/kg	$H_2$	5	0.1
Moisture in oil	30.5%	$O_2$	0	0.0
$H_2$	68 kcal/mol	N <sub>2</sub>	0	0.0
O <sub>2</sub>	0 kcal/mol	СО	176	1.8
N <sub>2</sub>	0 kcal/mol	CO <sub>2</sub>	0	0.0
CO	68 kcal/mol	CH <sub>4</sub>	33	0.3
CO <sub>2</sub>	0 kcal/mol	$C_2H_4$	7	0.1
CH <sub>4</sub>	213 kcal/mol	$C_2H_6$	9	0.1
$C_2H_4$	337 kcal/mol	$C_3H_8$	3	0.0
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	373 kcal/mol	$C_3H_6$	8	0.1
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	531 kcal/mol	i-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0	0.0
C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	492 kcal/mol	n-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	1	0.0
i-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	688 kcal/mol	i-C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	4	0.0
n-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	688 kcal/mol	Total amount of gas	245	2.6
i-C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	649 kcal/mol	Total	8448	88.4

Table 3.1-2 Yield and calorific value from pyrolysis of coconut husks at  $500\,^{\circ}\text{C}$ 

**Conditions** Yield

Sample	Coconut husks (dry)		Weight (g)	wt%
Sumpre	Coconat masks (ary)	Sample	469	100
Max. pyrolysis temp.	500°C	Char	229	48.8
Heating time and rate	90 min (5.3°C/min)	Condensate	145	30.9
Carrier gas	N <sub>2</sub> , 150 cc/min	Gas	91.5	19.5
Moisture content	22.2%	Total	465	99.2

Calorific value data Energy

Sample	18960 kJ/kg		Calorific value (kJ)	wt%
Char	23930 kJ/kg	Sample	8885	100
Moisture in condensate	88.9%	Char	5470	61.6
TOC in moisture	15%	Condensate	1667	18.8
Oil in condensate (wet basis)	22990 kJ/kg	H <sub>2</sub>	19	0.2
Moisture in oil	25.9%	$O_2$	0	0.0
H <sub>2</sub>	68 kcal/mol	$N_2$	0	0.0
O <sub>2</sub>	0 kcal/mol	СО	182	2.0
N <sub>2</sub>	0 kcal/mol	CO <sub>2</sub>	0	0.0
СО	68 kcal/mol	CH <sub>4</sub>	67	0.8
CO <sub>2</sub>	0 kcal/mol	$C_2H_4$	12	0.1
CH <sub>4</sub>	213 kcal/mol	$C_2H_6$	25	0.3
$C_2H_4$	337 kcal/mol	$C_3H_8$	11	0.1
$C_2H_6$	373 kcal/mol	$C_3H_6$	20	0.2
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	531 kcal/mol	i-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0	0.0
C₃H <sub>6</sub>	492 kcal/mol	n-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	2	0.0
i-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	688 kcal/mol	i-C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	6	0.1
n-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	688 kcal/mol	Total amount of gas	344	3.9
i-C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	649 kcal/mol	Total	7481	84.2

Table 3.1-3 Yield and calorific value from pyrolysis of coconut husks at 600°C

**Conditions** Yield

Sample	Coconut husks (dry)		Weight (g)	wt%
Sumpre	coconat masks (ary)	Sample	356	100
Max. pyrolysis temp.	600°C	Char	157	44.1
Heating time and rate	108 min (5.3°C/min)	Condensate	121	33.9
Carrier gas	N <sub>2</sub> , 150 cc/min	Gas	75.8	21.3
Moisture content	13.8%	Total	353	99.3

# Calorific value data Energy

Sample	18960 kJ/kg		Calorific value (kJ)	wt%
Char	20900 kJ/kg	Sample	6744	100
Moisture in condensate	86.9%	Char	3277	48.6
TOC in moisture	15%	Condensate	1391	20.6
Oil in condensate (wet basis)	22720 kJ/kg	$H_2$	27	0.4
Moisture in oil	18.0%	$O_2$	0	0.0
$H_2$	68 kcal/mol	$N_2$	0	0.0
O <sub>2</sub>	0 kcal/mol	СО	146	2.2
$N_2$	0 kcal/mol	CO <sub>2</sub>	0	0.0
СО	68 kcal/mol	CH <sub>4</sub>	87	1.3
CO <sub>2</sub>	0 kcal/mol	$C_2H_4$	12	0.2
CH <sub>4</sub>	213 kcal/mol	$C_2H_6$	34	0.5
$C_2H_4$	337 kcal/mol	$C_3H_8$	14	0.2
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	373 kcal/mol	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	20	0.3
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	531 kcal/mol	i-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0	0.0
C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	492 kcal/mol	n-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	2	0.0
i-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	688 kcal/mol	i-C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	6	0.1
n-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	688 kcal/mol	Total amount of gas	346	5.1
i-C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	649 kcal/mol	Total	5015	74.4

Table 3.1-4 Results of analysis of condensate from coconut pyrolysis at different temperatures

	Coconut	400°C			500°C		600°C	
	husks	Char	Condensate	Char	Condensate	Char	Condensate	
Moisture, wt%	6.1	2.4	92.4	2.8	92.4	2.2	86.9	
			(inc. organic)		(inc. organic)		(inc. organic)	
Ash, wt%	2.9	15.4	-	24.1	-	36.8	-	
Volatile, wt%	64.8	24.5	-	13.6	-	8.1	-	
Fixed carbon, wt%	26.2	57.7	-	59.5	-	52.9	-	
Gross Calorific	18960	25080	30259	23930	31026	20900	27707	
value, kJ/kg	(wet)	(wet)	(dry)	(wet)	(dry)	(wet)	(dry)	
C, wt% (dry)	50.8	64.7	75.5	63.4	72.8	56.0	71.5	
H, wt% (dry)	5.4	3.5	6.46	2.6	7.02	1.9	6.85	
N, wt% (dry)	0.4	0.2	0.83	0.4	0.77	0.4	0.91	
O, wt% (dry)	40.3	15.8	17.0	8.8	19.3	4.1	20.6	
T-S, wt% (dry)	(0.1	(0.1	0.20	(0.1	0.13	(0.1	0.17	
T-Cl, wt% (dry)	0.9	1.0	-	0.83	-	0.77	-	
TOC in aqueous phase, wt%	-	-	15.0	-	15.0	-	15.0	
Specific surface area, m <sup>2</sup> /g	-	2.1	-	2.7	-	146	-	

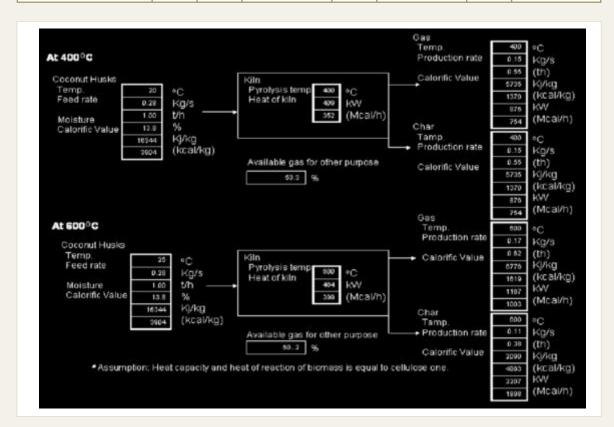


Figure 3.1-1 Mass and heat balance of coconut pyrolysis

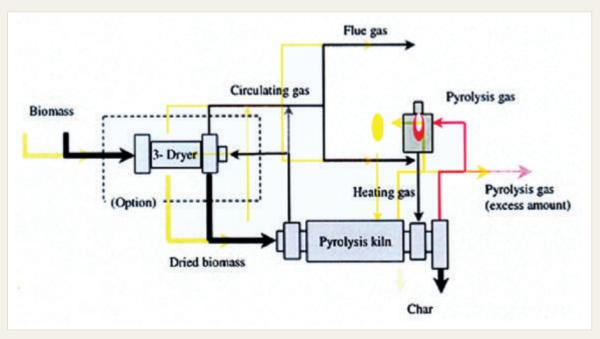


Figure 3.1-2 Flow diagram of biomass pyrolysis process

#### 3.2 Activation process test

The specific surface areas of specimen are summarised in **Table 3.2-1**. It can be seen that the specific surface area of the activated char was increased significantly as the steam was introduced to the activation process. In addition, the higher the pyrolysis and activation temperatures, the

higher specific surface areas were found. This could be explained that as the temperature increased, the organic compounds in the biomass sample undergone thermocracking/decomposition reactions to give more volatiles, leaves the residue char with less volatiles but remain the fixed carbon in the structure.

Table 3.2-1 Conditions and yields of activation process test

Pyrolysis Temperature	Activation condition	Activation yield (%)	Specific surface area (m³/g)
	-	-	2.1
400°C	800°C, N <sub>2</sub> 0.5hr <sup>(1)</sup>	76.8	2.5
400 C	800°C, N <sub>2</sub> 2.0hr <sup>(1)</sup>	72.6	<1
	800°C, N <sub>2</sub> + steam 0.5hr <sup>(2)</sup>	57.1	479
500°C	-	-	2.7
500 C	800°C, $N_2$ + steam 0.5hr <sup>(2)</sup>	67.6	616
	-	-	146
coo°C	800°C, N <sub>2</sub> 0.5hr <sup>(1)</sup>	81.1	10
600°C	800°C, N <sub>2</sub> 2.0hr <sup>(1)</sup>	87.2	9.8
	800°C, N <sub>2</sub> + steam 0.5hr <sup>(2)</sup>	83.5	642

Note:  $^{(1)}$   $N_2$  100 ml/min

 $<sup>^{(2)}</sup>$   $N_2$  100 ml/min,  $H_2O$  0.4 g/min (steam 83%)

Table 3.3-1 Results of desulphurisation test

Pyrolysis Temperature	Activation condition	Activation yield (%)	Specific surface area (m³/g)
	-	-	11.1
400°C	800°C, N <sub>2</sub> 0.5hr <sup>(1)</sup>	76.8	97.9
400 C	800°C, N <sub>2</sub> 2.0hr <sup>(1)</sup>	72.6	14.6
	800°C, $N_2$ + steam 0.5hr <sup>(2)</sup>	57.1	80.7
500°C	-	-	54.8
300 C	800°C, $N_2$ + steam 0.5hr <sup>(2)</sup>	67.6	102
	-	-	74.3
600°C	800°C, N <sub>2</sub> 0.5hr <sup>(1)</sup>	81.1	66.1
	800°C, N <sub>2</sub> 2.0hr <sup>(1)</sup>	87.2	42.6
	$800^{\circ}$ C, N <sub>2</sub> + steam $0.5$ hr <sup>(2)</sup>	83.5	101

Note:

Standard gas: 486 ppm of SO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>

Gas flow rate: 00 ml/min (downward)

Sample weight: 1.0 g

#### 3.3 Desulphurisation test

As indicated in Table 3.3-1, steam addition during activation process of the char has influence on the property of the activated char. At activation temperature of 800°C, with addition of 83% steam for 0.5hr, the efficiency of desulphurisation was found to be about 100 %.

# 3.4 Biomass utilisation system for commercial pilot plant

This research project combines two types of technology; the pyrolysis of biomass, and the use of char obtained from the pyrolysis in a simplified desulphurisation system at low cost as alternative way for traditional desulphurisation system (limestone/gypsum process) or other advance technologies. According to the study, we proposed the idea of the pilot scale for biomass utilisation through pyrolysis, activation

and desulphurisation processes. The biomass utilisation system consists of pyrolysis, activation, and desulphurisation for commercial pilot plant has been proposed as shown in Figure 3.4-1.

#### 4. CONCLUSIONS

The char obtained from the pyrolysis of coconut husks was activated then used for desulphurisation test under different conditions. It was confirmed that the activated char could absorb a maximum of 0.87 mol (64 g) of SO2 per kilogram of char. This value indicates that about 40 m3 of flue gas containing 500 ppm of SO2 could be treated using one kilogram of the char. The process conditions such as temperature, amount of steam and flow rate, have influence on the efficiency of pyrolysis and desulphurisation, and also on product yields and properties.

<sup>(1)</sup> N<sub>2</sub> 100 ml/min

 $<sup>^{(2)}</sup>$  N<sub>2</sub> 100 ml/min + H<sub>2</sub>O 0.4 g/min (steam 83%)

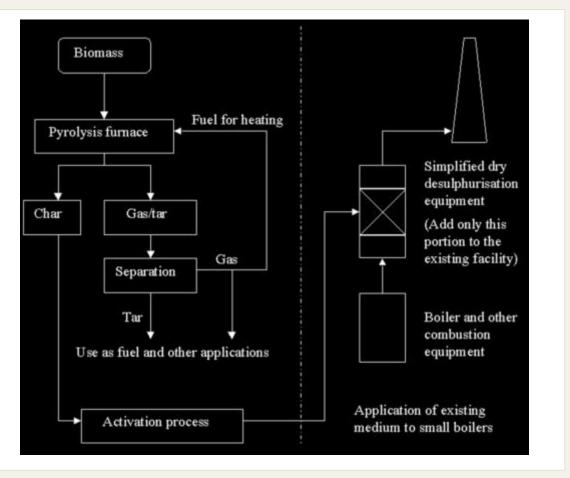


Figure 3.4-1 Biomass pyrolysis, activation and desulphurisation system

#### **ACKNOWLEDGEMENT**

This work was supported by the New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO), Japan, under the joint research scheme between the Ishikawajima-Harima Heavy Industries (IHI), Japan, and the Environmental Research and Training Centre (ERTC), Department of Environmental Quality Promotion, Ministry of Natural Resources and Environment, Thailand. The author would like to thank Dr Monthip S. Tabucanon for her advise. Many thanks are due to our friends at IHI, Japan.

#### **REFERENCES**

- Columba DB and Russo G, "Modeling of transport phenomena and kinetics of biomass pyrolysis." in Advances in Thermochemical Biomass Cenversion (ed. AV Bridgwater), Vol. 2, Blackie Academic & Professional, London, pp. 906-921, 1994.
- 2. Nugranad N, Pyrolysis of Biomass, Ph.D. Thesis, University of Leed, UK (1997).
- Radlein D, "The Chemistry of Fast Pyrolysis of Biomass" presented in PyNE Pyrolysis Network of Europe, Minutes of First Meeting, 29-31 May, Solihull, UK, 1995.



# COMPARISON OF PRODUCTS FROM THE PYROLYSIS AND CATALYTIC PYROLYSIS OF RICE HUSKS

Paul T. Williams<sup>a</sup> and Nittaya Nugranad<sup>b</sup>

Published in Energy, Volume 25, Issue 6, Pages 493-513.

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการเผาแกลบในเตาเผาไพโรไลซีส ชนิดฟลูอิไดซ์เบด ที่อุณหภูมิ 400, 450, 500, 550 และ 600° ซ เปรียบเทียบกับการเผาที่อุณหภูมิ 550° ซ และ ปรับปรุงคุณภาพ (catalysis) ของไอไพโรไลซีสโดยใช้ zeolite เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 400, 450, 500, 550 และ 600° ซ การเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์และคุณภาพ ของผลผลิตที่ได้พบว่า น้ำมันก่อนการปรับปรุงคุณภาพ มีสีน้ำตาลเข้ม ลักษณะหนืดและรวมเป็นเนื้อเดียวกัน มืองค์ประกอบที่เป็น oxygenated compounds อยู่ ในปริมาณสูง ซึ่งส่วนใหญ่เป็นพวก phenols, cresols, benzenediols, guaiacol และ อนุพันธ์ของ alkyl (alkylated derivatives) พบสารจำพวก polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) ในปริมาณเล็กน้อย และความ เข้มข้นของสาร PAH เพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับ การเพิ่มอุณหภูมิไพโรไลซีส เมื่อผ่านขบวนการปรับปรุง คุณภาพโดยใช้ zeolite พบว่าได้ผลิตภัณฑ์น้ำมัน ปริมาณลดลงมาก และมีสีจางลง อย่างไรก็ดีน้ำมันนี้ มีองค์ประกอบจำพวก oxygenated compounds น้อยลงเนื่องจากแปรสภาพเป็น coke เกาะอยู่บนผิว ของ catalyst ผลของขบวนการปรับปรุงคุณภาพต่อการ แปรรูปของชีวมวล คือ สาร oxygenated compounds จะถูกเปลี่ยนเป็นน้ำที่อุณหภูมิต่ำ และที่อุณหภูมิสูงจะ เปลี่ยนเป็น CO และ CO<sub>2</sub> จากการศึกษา molecular weight distribution พบว่า molecular weight distribution ของน้ำมันที่ได้ลดลงเมื่อผ่านขบวนการ ปรับปรุงคุณภาพ และเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น molecular weight distribution จะยิ่งลดลง น้ำมันที่ผ่านการ

ปรับปรุงคุณภาพมืองค์ประกอบที่เป็น single ring และ PAH เพิ่มขึ้นมากเมื่อเทียบกับน้ำมันที่ได้จากขบวนการ ไพโรไลซีสเพียงอย่างเดียว สำหรับความเข้มข้นของ สารจำพวก aromatic และ polycyclic aromatic จะ เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิของขบวนการปรับปรุงคุณภาพ

#### **ABSTRACT**

Rice husks were pyrolysed in a fluidised bed reactor at 400, 450, 500, 550 and 600°C. The rice husks were then pyrolysed at 550°C with zeolite ZSM-5 catalyst upgrading of the pyrolysis vapours at catalyst temperatures of 400, 450, 500, 550, and 600 °C. The pyrolysis oils were collected in a series of condensers and cold traps and analysed to determine their yield and composition in relation to process conditions. The gases were analysed off-line by packed column gas chromatography. The pyrolysis oils before catalysis were homogeneous, of low viscosity and highly oxygenated. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) were present in the oils at low concentration and increased in concentration with increasing temperature of pyrolysis. Oxygenated compounds in the oils consisted mainly of phenols, cresols, benzenediols and guaiacol and their alkylated derivatives. In the presence of the catalyst the yield of oil was markedly reduced, although the oxygen content of the oil was reduced with the formation

ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม เทคโนธานี ต.คลองห้า อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120 โทร. 0 2577 4182-9 โทรสาร 0 2577 1138 a Department of Fuel and Energy, University of Leeds, Leeds LS2 9JT, U.K. Corresponding author. Tel.: +44- 1132-332-504; fax: +44-1132-440-572; e-mail: p.t.williams@leeds.ac.uk

b Environmental Research and Training Centre, Technopolis, Klong 5, Klong Luang, Pathumthani, 12120, Thailand; e-mail: nittaya@deqp.go.th

of coke on the catalyst. The influence of the catalyst was to convert the oxygen in the pyrolysis oil to largely H2O at the lower catalyst temperatures and to largely CO and CO<sub>2</sub> at the higher catalyst temperatures. The molecular weight distribution of the oils was decreased after catalysis and further decreased with increasing temperature of catalysis. The catalysed oils were markedly increased in single ring and PAH compared to uncatalysed biomass pyrolysis oils. The concentration of aromatic and polycyclic aromatic species increased with increasing catalyst temperature.

#### 1. INTRODUCTION

Biomass is recognised as an important source of energy, particularly in developing countries where it may be used to reduce the reliance on imported forms of energy and conserve the limited supplies of fossil fuels [1-2]. Developing countries tend to have economies largely based on agriculture and forestry. Agricultural waste is one form of biomass which is readily available but is largely not utilised in energy recovery schemes. Rice husks are an agricultural waste produced as a by-product of the rice milling industry. The world wide annual production of rice husks is estimated to be about 100 million tonnes, 90% of which is generated in developing countries [3]. The utilisation of this source of biomass through energy recovery processes would solve both a disposal problem and also generate useful energy.

Pyrolysis is one form of energy recovery process which has the potential to generate a char, oil and gas product all of which have a potential end use. The process conditions of pyrolysis can be optimised to maximise the production of either pyrolytic char, oil or gas, all of which have potential uses as fuels [1-11]. The process parameters which have the largest influence on

the products produced from pyrolysis are the temperature and heating rate [10]. The oil produced has a high energy density and may be combusted directly or refined for the recovery of special valuable chemicals. The production of a liquid product has advantages in that it is easier to handle, store and transport and hence the product does not have to be used at or near the pyrolysis process plant [9-11].

However, a drawback in the utilisation of biomass pyrolysis oils in fuel applications are their chemical and physical characteristics. Biomass pyrolysis oils are highly oxygenated, viscous, corrosive, relatively unstable and chemically very complex [12-13]. The direct substitution of the biomass derived pyrolytic oils for conventional petroleum fuels may therefore be limited. Consequently, research has developed into upgrading the oils by catalytic treatment to produce a derived fuel product similar in quality to a refined petroleum fuel. Catalytic upgrading has been via for example, catalytic hydrotreatment of the oils with H<sub>2</sub> or N<sub>2</sub> and CO under high pressure and/ or in the presence of Hz donor solvents, or alternatively using zeolite type catalysts at atmospheric pressure to dehydrate and decarboxylate the oil [13-14]. The main zeolite catalyst used for upgrading biomass pyrolysis oils has been the hydrogen form of the zeolite, ZSM-5. The zeolite ZSM-5 catalysts have a strong acidity, high activities and shape selectivities which convert the oxygenated oil to a hydrocarbon mixture in the C1 to C10 range [13,15]. The resultant oil is highly aromatic with a dominance of single ring aromatic compounds similar in composition to gasoline [16-24].

The majority of catalytic pyrolysis work in relation to biomass pyrolysis oils has been with wood derived oils. However, there are less data on the influence of catalyst process parameters on

the yield and chemical composition of the derived products from other types of biomass. In this paper rice husks were pyrolysed in a fluidised bed reactor in relation to temperature at 400°C, 450°C, 500°C, 550°C and 600°C. The rice husks were then pyrolysed at 550°C with the freeboard of the fluidised bed containing a fixed bed of zeolite ZSM-5 catalyst. The catalytic upgrading of the pyrolysis vapours was carried out at catalyst temperatures of 400, 450, 500, 550, and 600°C. The results of oil composition in relation to the catalytic upgrading of rice husk pyrolysis oils are compared with the composition of uncatalysed rice husk pyrolysis oils. In particular, the aromatic and polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) contents of the oils are compared. PAH contents are important since some are known to be carcinogenic and/or mutagenic [5-6, 20-21] and their presence in biomass pyrolysis oils in significant concentrations may lead to problems with handling and utilisation.

#### 2. MATERIALS AND METHODS

#### 2.1 Rice husks

The rice husks used were obtained from Thailand and were sieved to size 0.25-1.0 mm to minimise elutriation of fines from the fluidised bed. Table 1 shows the proximate and ultimate analyses of the rice husks.

Zeolite ZSM-5 catalyst was used for the upgrading of the pyrolysis oils derived from rice husks. The zeolite ZSM-5 used was a high acidity, shape selective type with an elliptical pore size of 5,4 to 5.6 Angstroms diameter. The grain size of the catalyst was 0.2 cm diameter spheres which size prevented the fluidisation of the fixed catalyst bed and possible elutriation of the catalyst from the reactor. The silica/ alumina ratio was 50 and the binder was clay. The surface area of the ZSM-5 was 300 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>, the pore volume was 0.48 ml g<sup>-1</sup> and the average bulk density was 0.72 g ml<sup>-1</sup>. The catalyst was regenerated after each experiment in the form of heating at 550°C in the presence of air for 8 hours. These conditions were shown to remove the coke deposits easily from the catalyst.

# 2.3 Pyrolysis and pyrolysis/catalysis reactor

The rice husks were pyrolysed in a fluidised bed reactor, constructed of stainless steel and was 7.5 cm diameter x 100 cm high. The fluidisation gas used was nitrogen and this was preheated prior to its entry into the reactor. The flowrate of nitrogen used was sufficient to provide three times the minimum fluidising velocity (MFV) to the bed and to ensure good mixing of the rice husks within the sand bed. The bed material was quartz sand with a mean diameter of 250 pm

#### 2.2 Catalyst

Table 1. Properties of the rice husks

Proximate analysis (wt%)		Ultimate analy	ysis (wt%)	Component analysis (wt%)	
Volatiles	59.5	Carbon	44.6	Cellulose	34.4
Moisture	7.9	Hydrogen	5.6	Hemicellulose	29.3
Ash	7.1	Oxygen	49.3	Lignin	19.2
				Ash	17.1

with a static bed depth of 10 cm. The rice husks were fed to the reactor via a screw feeder to the top of the fluidised bed at a feedrate of  $0.200\pm0.015$  kg h<sup>-1</sup>. The residence time of the pyrolytic vapours in the hot reactor was approximately 5 seconds at a pyrolysis temperature of  $500^{\circ}$ C. The rice husks were fed for a period of 20 minutes.

Where pyrolysis/ catalysis was investigated, the same fluidised bed reactor was used but with the freeboard packed with zeolite ZSM-5 catalyst to form a fixed bed of catalyst, held in place with a flanged coarse distributor plate. For the catalysis part of the work, the fluidised bed pyrolysis temperature was maintained at 550°C for all the experiments and the fixed bed catalyst temperature was maintained at either 400°C, 450°C, 500°C, 550°C or 600°C. The calculated residence time of carrier gas over the 6.5 cm bed depth of the catalyst was 0.4 seconds.

The pyrolysis vapours on exiting the reactor were passed through a series of condensers. The initial condensation was provided by two stainless steel condensers which were water cooled both internally and externally with the catch pots for each condenser ice cooled. There followed a series of glass condensers containing loosely packed glass wool and cooled using a mixture of solid carbon dioxide and acetone which were used to remove any residual vapours from the gas stream. The condensation system was tested by evaporating known weights of toluene and water and passing them through the condensation system. The system was found to be 97% efficient in trapping the toluene and 99% efficient for the condensation of water. The pyrolysis condensate from all the condensers was mixed and stored at -10 °C. The oil from pyrolysis was a homogeneous oil containing water and the water fraction of the pyrolysis liquids was removed to leave the oil using the standard ASTM D244 and IP 29.1 methods. However, the derived pyrolysis/ catalysis oils after condensation consisted of distinct oil and aqueous phases, and were separated by removal of the oil layer by pipette. Several repeat runs were carried out under identical conditions to ensure the repeatability of the process. Figure 1 shows a schematic diagram of the reactor.

#### 2.4 Gas Analysis

The carrier gas stream was sampled after the condensation system at intervals by means of gas syringes and were analysed off line by packed column gas chromatography. Gas samples were taken every 2-3 minutes and analysed to produce a gas evolution versus time relationship over the duration of the experiment, that is until there was no significant yield of gas after discontinuation of feeding. The gases were analysed for CO,  $N_2$ , and CH<sub>4</sub> using a molecular sieve SA 60-80 column with argon as the carrier gas and a thermal conductivity detector. Carbon dioxide was determined using a silica column and argon as the carrier gas with a thermal conductivity detector. Gaseous hydrocarbons were determined on a Porosil C 80-100 column with nitrogen as the carrier gas, using a flame ionisation detector. Data manipulation was carried out using a Harley Peakmaster data analysis system. The total weight of gases produced was calculated by comparison to the known nitrogen flow rate, gas chromatographic analysis of concentration and known molecular weights of the gases and was used to determine the total mass balance.

#### 2.5 Oil Analysis

#### 2.5.1 Elemental analysis

The carbon and hydrogen content of the pyrolysis oils and pyrolysis/catalysis oils were determined using a Model 240C Perkin-Elmer

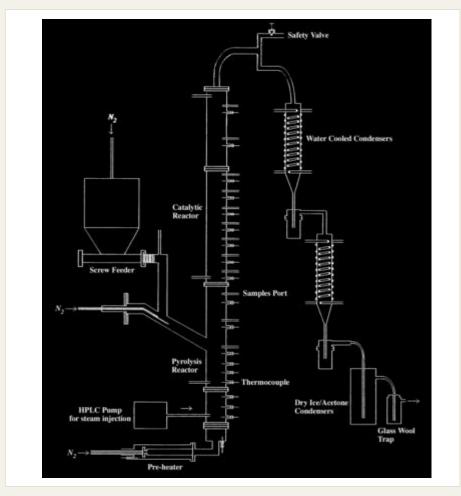


Figure 1 Schematic diagram of the fluidised bed reactor

Elemental Analyser. The oxygen content was found by difference.

#### 2.5.2 Functional group composition

Functional group compositional analysis of the oils after removal of water was carried out using Fourier transform infra-red spectrometry. A Perkin-Elmer 1750 spectrometer was used which had data processing and spectral library search facilities. A small amount of the oil was mounted on a hand made KBr disc which had been previously scanned as a background. The infra-red spectra of the sample were then taken.

#### 2.5.3 Molecular weight distribution

The molecular weight (MW) distribution of the oils was determined by size exclusion chromatography. The system incorporated two 150 mm x 4.6 mm i.d. columns with Polymer

Laboratories 5 µm RPSEC 100 A type packing. A third column of the same material was placed in line between the pump and the injection valve, to ensure pre-saturation of the solvent with the column packing material. The calibration system used was based on polystyrene samples of low polydispersity in the MW range of 800 to 860 000, also included was benzene for low MW calibration. Johnson and Chum [25] for biomass pyrolysis oils also used polystyrene MW fractions and showed that aromatic acids and naphthalenes significantly deviated from the calibration curve. Deviations from polystyrene calibration curves have also been shown previously for other model compounds [26-28]. However, in this work the size exclusion chromatography system was used to compare oils derived from different process temperatures rather than to determine the absolute MW. Samples were introduced through a 2 µl loop injection valve and tetrahydrofuran was used as the solvent mobile phase. Tetrahydrofuran has been shown by Johnson and Chum [25] to be suitable for the analysis of biomass pyrolysis oils. A two detector system was used consisting of an ultra-violet (uv) detector from Merck-Hitachi and a refractive index (RI) detector from Varian. The output from the detector was recorded on a micro-computer which analysed the data. The MW distribution was determined as number and weight average MW, in addition the polydispersity of the oils was also calculated. The number average molecular weight (M<sub>n</sub>) has been defined as the average molecular weight according to the number of molecules present of each species [29]. The weight average molecular weight (Mw) is defined as the sum of the product of the weight of each species present and its molecular weight divided by the sum of the weights of the species [29]. Polydispersity is defined as the difference in the values of M<sub>n</sub> and M<sub>w</sub>, where the closer the two measured average molecular weights, the narrower the molecular weight distribution. For example, the polydispersity of a single compound measured on the system used in this work would be about 1 to 1.1.

#### 2.5.4 Detailed oil analysis

The oils derived from the pyrolysis and pyrolysis/ catalysis of rice husks were fractionated into chemical classes using open tubular liquid chromatography and the fractions analysed for aromatic, polycyclic aromatic hydrocarbons and oxygenated aromatic hydrocarbons.

A sample of the oil was mixed with a solid adsorbent, inert Chromosorb G/ AW/ DMCS 60-80 support, and placed on the column. The column was then eluted with, n-pentane, benzene, ethyl

acetate and methanol (polarity relative to Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 0.00, 0.32, 0.58 and 0.95 respectively), to produce an aliphatic, aromatic, oxygenated-aromatic and polar chemical class fractions respectively. In previous work [20-24], the pentane fraction has been found to contain any aliphatic species present in the oils, however, for highly aromatic oils, such as in this work where the catalyst was used, low molecular weight aromatic species also elute into the pentane fraction. The efficiency of separation of the various fractions was verified by analysis of the fractions by Fourier transform infra-red spectrometry and gas chromatography/ mass spectrometry.

The concentration of single ring aromatic hydrocarbons and PAH in the benzene fractions of the uncatalysed oils and pentane and benzene fractions of the catalysed oils and the oxygenated 7 aromatic species present in the ethyl acetate fractions were determined. Analysis was by capillary column gas chromatography with flame ionisation detection. Identification and quantification was by the extensive use of relative retention indices [30-32] and the use of internal standards and response factors. In addition, the samples were analysed separately by gas chromatography/ mass spectrometry to confirm identification of aromatic species. The gas chromatograph/ flame ionisation system was a Carlo Erba 5300 chromatograph with cold on-column injection. The column used in the gas chromatograph was a 25 m x 0.3 mm fused silica capillary coated with DB5 and the temperature programme was 60°C for 2 minutes followed by a 5°C min-1 heating rate to 270°C. The carrier and make-up gas was helium with a carrier gas flow rate of 2 cm<sup>3</sup> min<sup>-1</sup> at 270°C. The gas chromatography/mass spectrometry system used for confirmation of compound identification was a Carlo-Erba Vega chromatograph also with

a DB5 capillary column and temperature programme identical to the gas chromatograph/flame ionisation system. The mass spectrometer was a Finnigan-MAT bench top ion trap detector with a mass range from 20 to 650 u with scan times between 0.125 and 2 s and was linked to a computer with a library containing 38752 mass spectra.

#### 3. RESULTS AND DISCUSSION

#### 3.1 Product yield

Table 2 shows the yield of the pyrolysis products from the fluidised bed pyrolysis and pyrolysis/ catalysis of rice husks. For the pyrolysis of rice husks in the absence of catalysis, the derived liquid was a brown homogeneous colour of low viscosity and showed a decrease in yield as the temperature of pyrolysis was increased from 400 to 600°C. There was a consequent increase in the gaseous product yield with increased pyrolysis temperature. The increase in gaseous products is attributed to be predominately through secondary cracking of the pyrolysis vapours at higher temperatures. Beaumont and Schwob [33] and Samolada et al. [34] also found for the flash pyrolysis of biomass that as the pyrolysis temperature was increased the gaseous yield increased. The increase in gas yield was suggested as being due to secondary reactions of the pyrolysis vapours in the reactor. The char yield was reduced as the pyrolysis temperature was increased, from 33.0 wt% at 400°C to 25.5 wt% at 600°C. The decrease in the char yield with increasing temperature could either be due to greater primary decomposition of the rice husks at higher temperatures or through secondary decomposition of the char residue. The secondary decomposition of the char at higher temperatures may also give non-condensable gaseous products which would also contribute to the increase in

gas yield with increasing temperature of pyrolysis.

Table 2 also shows the product yield from the pyrolysis/ catalysis of rice husks at a pyrolysis temperature of 550°C and catalyst temperature increasing from 400°C to 600°C. The liquid after catalysis consisted of two distinct phases, an oil phase and an aqueous phase. The oil phase was light brown in colour with a distinctive aromatic odour. The yield of oil after catalysis fell to 7.2 wt% at 400°C and was reduced further to 3.4 wt% as the catalyst temperature was increased to 600°C. The role of the catalyst in this work was to reduce the oxygen content of the oil and increase the aromatic content through the selectivity of the pore size and activity of the catalyst. As will be shown later, the oxygen content does become markedly reduced and the aromatic content of the oil increased, however, table 2 shows that there is a penalty of a reduced yield of the product oil. The conversion of the oil over the catalyst was from 28.5 wt% for the 550°C pyrolysis reaction condition to the upgraded yield of oil which represented a 25.2% conversion of the oil at 400°C to 11.9% conversion at 600°C. The low oil yields are as a result of oxygen removal to water, CO<sub>2</sub> and CO, to coke formation on the catalyst and an increase in hydrocarbon gas yield due to catalysis. Comparison of the oil yield after catalysis with those for biomass pyrolysis in the literature shows similar results. For example, Scahill et al. [18] reported an oil yield in the gasoline distillation range of 7 wt% for the zeolite catalytic upgrading of biomass. They also showed that the oil yield decreased to 4.4 wt% as the catalyst temperature was increased from 493-548°C. Williams and Home [20] pyrolysed biomass in the form of wood in a fluidised bed with catalytic upgrading. They also showed that there was a marked reduction in oil yield from 43.3 wt% for uncatalysed pyrolysis

reducing to 8.8 wt% at a catalyst temperature of  $400\,^{\circ}\text{C}$  and 5.2 wt% at a catalyst temperature of  $550\,^{\circ}\text{C}$ .

The gas yield from the pyrolysis of rice husks at 550°C was 25.4 wt%, after catalysis there was a small reduction in yield at a catalytic temperature of 400°C, followed by an increase in gas yield as the temperature of the catalyst was increased to 600°C.

Table 2 shows that the percentage mass yield of water for pyrolysis of rice husks and shows an increase as the temperature of pyrolysis was increased. After catalysis with a catalyst temperature of 400°C there was a marked increase in water yield. As the temperature of the catalyst was increased to 600°C, the yield of water reverted back to the value obtained for the uncatalysed pyrolysis.

The coke formation on the catalyst showed a decrease as the temperature of pyrolysis was increased, from 12.0 wt% at 400°C catalyst temperature decreasing to 7.8 wt% at 600°C. Evans and Milne [35] reported similar coke

formation of 10 wt% for the catalytic upgrading of wood pyrolysis oils.

#### 3.2 Gas composition

Table 3 shows the gas composition from the fluidised bed pyrolysis and pyrolysis/ catalysis of rice husks. The data represent on a nitrogen free basis the weight percent of each gas evolved and therefore correlate with the total gas yields of table 2. The gases consisted largely of carbon monoxide and carbon dioxide with lower concentrations of hydrogen, methane, ethane, ethene, propane and propene. There was a marked increase in the yield of each gas as the temperature of pyrolysis was increased, reflecting the increase in total gas yield shown in table 2. The increase in CO was far more pronounced in comparison to CO<sub>2</sub>, and of the hydrocarbon gases, methane showed by far the larger increase. The increase in the yield of gaseous species was, as discussed before, thought to be due to either the primary decomposition of the rice husks with increasing temperature, or through secondary reactions

Table 2 Product yield from the pyrolysis and pyrolysis / catalysis of rice husks (wt%)

Reactor	Temperature (°C)				
Temperature	Oil	Water	Gas	Char	Coke
Pyrolysis					
400°C	46.5	12.5	6.5	33.0	-
450°C	43.5	13.5	10.0	32.0	-
500°C	37.0	17.0	17.5	29.0	-
550°C	28.5	18.0	25.4	26.8	-
600°C	21.5	19.0	34.5	25.5	-
Pyrolysis/ catalysis					
550°C-400°C	7.2	28.1	22.2	30.5	12.0
550°C-450°C	6.7	25.2	26.6	30.3	10.7
550°C-500°C	4.4	19.5	36.2	29.6	9.7
550°C-550°C	3.8	18.4	39.7	29.5	9.6
550°C-600°C	3.4	18.3	41.0	29.3	7.8

Table 3 Gas composition from the pyrolysis and pyrolysis/ catalysis of rice husks (wt%)

Gas		Pyrolysis Temperature (°C)					
Gas	400	450	500	550	600		
CO	1.10	2.26	7.58	13.70	21.50		
$CO_2$	5.01	6.83	8.09	9.57	9.31		
$H_2$	0.01	0.01	0.04	0.11	0.20		
$\mathrm{CH}_4$	0.29	0.42	0.89	1.36	1.61		
$C_2H_6$	0.05	0.08	0.12	0.16	0.30		
$C_2H_4$	0.13	0.21	0.28	0.43	0.63		
$C_3H_8$	0.06	0.09	0.08	0.11	0.13		
$C_3H_6$	0.14	0.16	0.22	0.38	0.46		
Gas		Pyrolysis/ Catalysis Temperature (°C)					
Gas	550-400	EEO 4EO	EEO EOO	FEO FEO	<b>==</b> 0 (00		
	330-400	550-450	550-500	550-550	550-600		
СО	11.40	9.72	16.60	15.30	18.90		
CO CO <sub>2</sub>							
	11.40	9.72	16.60	15.30	18.90		
CO <sub>2</sub>	11.40 11.10	9.72 8.90	16.60 17.50	15.30 13.70	18.90 15.70		
$CO_2$ $H_2$	11.40 11.10 0.04	9.72 8.90 0.05	16.60 17.50 0.06	15.30 13.70 0.13	18.90 15.70 0.18		
$CO_2$ $H_2$ $CH_4$	11.40 11.10 0.04 0.72	9.72 8.90 0.05 0.63	16.60 17.50 0.06 0.95	15.30 13.70 0.13 1.48	18.90 15.70 0.18 1.50		
$CO_2$ $H_2$ $CH_4$ $C_2H_6$	11.40 11.10 0.04 0.72 0.15	9.72 8.90 0.05 0.63 0.12	16.60 17.50 0.06 0.95 0.16	15.30 13.70 0.13 1.48 0.23	18.90 15.70 0.18 1.50 0.21		

occurring, which are increased at higher temperatures. Beaumont and Schwob [33] and Scott and Piskorz [36] pyrolysed biomass in a fluidised bed reactor and found a similar increase in the production of carbon monoxide and carbon dioxide and the hydrocarbons gases with increased pyrolysis temperatures.

Table 3 also shows the gas composition from the pyrolysis of rice husks at  $550^{\circ}$ C with zeolite catalytic upgrading in relation to catalyst temperature. The marked increase in gas yield was mainly due to the increase in CO and  $CO_2$  with increasing catalyst temperature as has been shown before for the pyrolysis/ catalysis of wood [20].

The conversion of the oxygen in the pyrolysis oils from the fluidised bed is clearly to  ${\rm CO}$  and  ${\rm CO}_2$  as the temperature of the catalyst

was increased. Table 2 showed that at the lower catalyst temperatures conversion of the oxygen was to H<sub>2</sub>O mainly. The hydrocarbon gases after catalysis consisted mainly ofalkanes and alkenes. The hydrogen and hydrocarbon concentration of the gases increased as the temperature of the catalyst was raised. Alkane and alkene gases have been reported to be the main hydrocarbon gases from the zeolite catalyst upgrading of oils derived from pyrolysis of biomass [18-19, 35] and also from the zeolite catalytic upgrading of biomass liquefaction oils [37-38]. An increase in concentration of hydrocarbon gases with increasing catalyst temperature has been reported by Evans and Milne [35] and Mathews et al [38]. Mathews et al [38] also showed that as the reactor temperature was increased there was a decrease in the C<sub>3</sub> gases. Sharma and Bakhshi [37] have

shown that as the temperature of the zeolite catalyst was increased from  $370^{\circ}$ C to  $410^{\circ}$ C, the concentration of CO and CO<sub>2</sub> in the derived product gases increased. The conversion of the oxygen in the pyrolysis oil to CO and CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>O has been reported as the primary conversion oxygen species for zeolite catalytic upgrading [19, 35].

# 3.3 Analysis of the pyrolysis oils 3.3.1 Elemental analysis

Table 4 shows the elemental analysis of the oil separated from the aqueous fraction of the liquid product from the pyrolysis of rice husks and for the oil derived from the pyrolysis/ catalysis of rice husks. The elemental analyses of the pyrolysis oils in relation to pyrolysis temperature showed little variation but reflect the typically high content of oxygen found for biomass derived pyrolysis oils. For example, the composition of the oil compares well with that given by Churin [39] of carbon 52.6%, hydrogen 6.5% and oxygen 40.8% for the pyrolysis oils derived from other

biomasses. Table 4 shows that after catalysis the oxygen content fell to 14.5 wt% at 400°C catalyst temperature decreasing further to 8.2 wt% at 600°C catalyst temperature. Clearly, the action of the zeolite catalyst in removing the oxygen from the rice husk derived pyrolysis oils is evident from the much reduced oxygen content of the oils. The carbon:hydrogen ratio is consequently increased, being only 6.8 for the uncatalysed oil and increasing to 10.0 for the 400°C catalysed oil and further increasing to 11.0 at a catalyst temperature of 600°C. A similar trend was found for the catalytic pyrolysis of wood derived biomass pyrolysis oils [20]. Whilst oxygen levels in the catalysed oils are much reduced, oxygen is not completely eliminated. Therefore, the experimental system used here of fluidised bed with a fixed bed of catalyst may not be appropriate for the adequate reaction of pyrolysis vapours and catalyst. In the petroleum industry where catalytic cracking takes place, the catalyst reaction takes place in a fluidised bed catalytic cracking unit to ensure efficient catalytic reaction.

Table 4 Elemental analysis of the oil from the pyrolysis and pyrolysis/ catalysis of rice husks (wt%)

	Carbon	Hydrogen	Oxygen
Pyrolysis			
400°C	53.8	7.4	38.8
450°C	50.6	7.2	42.3
500°C	55.1	7.2	37.7
550°C	52.1	7.6	40.2
600°C	51.4	7.0	41.5
Pyrolysis/catalysis			
550°C-400°C	77.6	7.7	14.5
550°C-450°C	79.7	7.8	12.5
550°C-500°C	83.9	7.9	8.1
550°C-550°C	84.1	7.6	8.3
550°C-600°C	84.2	7.6	8.2

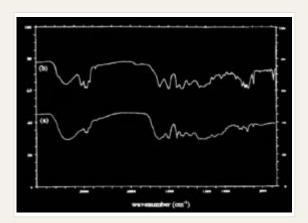


Figure 2 Typical Fourier transform infra-red spectra of the oils from (a) the pyrolysis and from (b) the pyrolysis/catalysis of rice husks.

# 3.3.2 Functional group compositional analysis

Functional group compositional analysis was determined by Fourier transform infra-red (FT-ir) spectrometry and the results are shown in figure 2 for a typical uncatalysed pyrolysis oil and typical pyrolysis/ catalysis oil. The spectra are normalised to the highest concentration peak.

The uncatalysed rice husk pyrolysis oil shows the presence of oxygenated groups. For example, peaks representing O-H vibrations between 3050 and 3600 cm<sup>-1</sup>, C-O stretching vibrations between 1650 and 1850 cm<sup>-1</sup>, C-O stretching vibrations between 850 and 950 cm<sup>-1</sup> and C-O stretching and O-H in-plane deformations between 950 and 1325 cm<sup>-1</sup> are all present in the uncatalysed oil. However, these oxygenated peaks are also present in the catalysed oil suggesting that the zeolite catalyst does not completely remove the oxygenated species, as has already been shown by the significant oxygen content in the oils shown in table 4. The oxygenated compounds represented by the functional groups discussed are represented by a wide range of oxygenated compounds which have been identified in biomass pyrolysis oils. These include primary, secondary and tertiary

alcohols such as methanol, propanol, butanol and furfuryl alcohols, carboxylic acids for example, formic, acetic, propionic, benzoic and butyric acids and their derivatives, ketones and aldehydes including, acetaldehyde, benzaldehydes, acetone, pentanone, indanone and alkylated derivatives, phenol, alkylated phenols and oxyphenols etc. [20, 40-41].

Also present in the uncatalysed and catalysed oils were peaks representative of nonoxygenated compounds. For example, the C-H stretching vibrations between 2800 and 3000 cm<sup>-1</sup> and C-H deformation vibrations between 1350 and 1475 cm<sup>-1</sup> indicate the presence of the chemical functional groups, -CH<sub>3</sub>, -CH<sub>2</sub> and -CH which are characteristic of alkane groups. The absorption peaks between 675 and 900 cm<sup>-1</sup> and 1575 and 1625 cm<sup>-1</sup> are characteristic of single ring aromatic compounds and polycyclic aromatic compounds. Alkanes, single ring aromatic compounds and polycyclic aromatic hydrocarbons have been detected in biomass pyrolysis oils but at low concentration [20, 40]. Therefore, the presence of these peaks in the uncatalysed oil are perhaps more likely to represent the presence of alkyi groups attached to oxygenated compounds and complex oxygenated compounds with attached aromatic groups, which have been detected in wood pyrolysis oils [40].

There are clear changes in the functional group composition of the oils before and after catalysis. The peaks at 3000 and 3050 cm<sup>-1</sup> and between 675 and 900 cm<sup>-1</sup> are characteristic of aromatic compounds and these peaks show a marked increase after catalysis compared to the uncatalysed oil. These compounds are representative of aromatic compounds, indicating that aromatic compounds are significantly increased in concentration in the pyrolysis/ catalysis oils.

The influence of increasing pyrolysis temperature and increasing catalyst temperature for the pyrolysis/ catalysis experiments was not large, however, a small increase in the intensity of the aromatic peaks on the spectra could be seen as the reaction temperature was increased.

#### 3.3.3 Molecular weight distribution

The oils derived from the pyrolysis of the rice husks were analysed for their molecular weight distribution and the results for the number average (MW<sub>n</sub>) and weight average (MW<sub>w</sub>) molecular weights for the oils are shown in table 5 for the RI and uv detectors. The uncatalysed pyrolysis oils all showed quite similar molecular weight distributions from 60 to over 1500 Daltons (Da) for both the RI and uv detectors. In addition, the RI and uv data showed that there was a small but significant shift to lower molecular weights, reflected in the number and weight averaged molecular weight data as the temperature of pyrolysis was increased from 400 to 600°C. The poly dispersity data for the oils are also shown in table 5 for the uncatalysed pyrolysis oils. Increasing polydispersity indicates a more complex array of compounds present in the oils. Table 5 shows that as the temperature of pyrolysis was increased the polydispersity of the derived pyrolysis oils showed a slight decrease, suggesting that thermal degradation of the rice husks at higher temperatures produces increasingly less complex oils.

Other researchers have carried out work on the molecular weight range of biomass pyrolysis oils [16-17]. For example, Diebold *et al.* [16] analysed oils derived from the flash pyrolysis of biomass at 625°C in a vortex reactor and found compounds in the oils with molecular weights up to 2000 Da. Other work [17] on the molecular weight distribution of the vapours within the pyrolysis reactor have shown much lower

molecular weights of between 100 and 150 Da. Diebold et al. [16] have, therefore, been suggested that the primary pyrolysis vapours generated within pyrolysis reactors are highly reactive and when condensation takes place they quickly polymerise to form higher molecular weight material.

After catalysis table 5 shows that the MW<sub>n</sub> and MWw were significantly reduced as recorded by the RI and uv detectors, and further reduced as the temperature of the zeolite catalyst was increased. The zeolite ZSM-5 catalyst has a specific pore size structure with a selectivity with an elliptical pore size of 5.4 to 5.6 Angstroms diameter which is shape selective. The particular pore size structure allows compounds of the approximate molecular size of a  $C_{10}$  molecule to enter and leave the structure. Therefore, the higher molecular weight material detected in the zeolite catalysed oils could either be unconverted pyrolysis vapours or catalysis products formed on the outer surface of the catalyst. In addition, as has been discussed above, it has been shown that condensation of biomass pyrolysis oils results in polymerisation to form higher molecular weight compounds. Consequently the pyrolysis vapours may enter the pore structure of the catalyst and react but subsequent polymerisation of species to increase the molecular weight range of the oils may occur on condensation.

The polydispersity data for the pyrolysis/ catalysis oils are also shown in table 5. The results show that for the refractive index detector which measures all the eluting species there was a small increase in polydispersity for the catalysed oils compared to the uncatalysed oils suggesting that a more complex array of chemical species was found after catalysis. However, the ultra-violet detector showed a comparative decrease. The uv detector detects the aromatic compounds in

Table 5 Molecular weight distribution from the pyrolysis and pyrolysis/ catalysis of rice husks (Daltons)

	Refractive Index Detector				
	MW <sub>n</sub> <sup>1</sup>	MW <sub>w</sub> <sup>2</sup>	Polydispersity		
Pyrolysis					
400°C	296	334	1.57		
450°C	267	322	1.52		
500°C	204	291	1.43		
550°C	195	271	1.39		
600°C	206	278	1.35		
Pyrolysis/catalysis					
550°C-400°C	182	259	1.43		
550°C-450°C	179	253	1.43		
550°C-500°C	174	248	1.43		
550°C-550°C	173	246	1.42		
550°C-600°C	172	243	1.42		
	Ultra-violet Detector				
	MW <sub>n</sub> <sup>1</sup>	MW <sub>w</sub> <sup>2</sup>	Polydispersity		
Pyrolysis					
400°C	234	377	1.74		
450°C	218	365	1.71		
500°C	211	258	1.70		
550°C	210	247	1.65		
600°C	192	224	1.69		
Pyrolysis/catalysis					
550°C-400°C	168	260	1.55		
550°C-450°C	162	257	1.62		
550°C-500°C	151	248	1.64		
550°C-550°C	147	235	1.59		
550°C-600°C	143	218	1.53		

 $MW_n^1$  = Number average molecular weight  $MW_w^2$  = Weight average molecular weight

the oils preferentially. This suggests that the aromatic species after catalysis were less complex than the uncatalysed oil. There appeared to be no significant trend with increasing catalyst temperature.

## 3.3.4 Detailed analysis of the oils.

The benzene fractions derived from the

chemical class fractionation of the uncatalysed pyrolysis oils and the pentane and benzene fractions of the pyrolysis/catalysis oils were analysed to determine their aromatic hydrocarbon composition. The uncatalysed pyrolysis oils for 400°C and 550°C and the pyrolysis/ catalysis oils for 550-400°C and 550-550°C were not analysed.

The major aromatic hydrocarbon compounds present in the oils are shown in table 6 for the single ring aromatic compounds and for PAH. Single ring aromatic compounds, including, toluene and alkylated benzenes were detected in the oils. The main PAH present in the oils were naphthalene, fluorene and phenanthrene and their alkylated derivatives. Also present were pyrene and chrysene and their alkylated derivatives at lower concentration. Lower concentrations of PAH have been found by other workers in uncatalysed biomass pyrolysis oils from other feedstocks. For example, Home and Williams [5] pyrolysed wood waste in a fluidised bed reactor at between 400 and 550°C and found that single ring aromatic compounds and PAH were present in the derived pyrolysis oils. For example, at 550°C, toluene was identified at a concentration of 67 ppm, naphthalene at 11 ppm, fluorene at 1 ppm, and phenanthrene at 11 ppm. Pakdel and Roy [41] analysed oil derived from the vacuum pyrolysis of biomass in the form of wood chips. They identified benzene and alkylated benzenes and naphthalene, phenanthrene and fluorene and their alkylated derivatives in the derived oils. They also quantified certain higher molecular weight four and five ring PAH including, benzo[a]pyrene, chrysene and benzo[k]fluoranthene, which were in concentrations of less than 5 ppm. However, biomass pyrolysis oils generated at higher pyrolysis temperatures have higher concentrations of PAH, for example. Home and Williams [5] showed

Table 6 Aromatic hydrocarbons in pyrolysis oils derived from the pyrolysis and pyrolysis/catalysis of rice husks (ppm)

Aromatic compounds	Pyrolysis	Temperature (°C)		Pyrolysis/Catalysis Temperature (°C)		
moniane compounds	450	500	600	550-450	550-500	550-600
Toluene	23	40	48	50540	34980	6320
Ethylbenzene	20	20	27	44350	43430	41850
Naphthalene	524	600	759	11750	20820	34000
Methylnaphthalenes	1922	1628	572	21310	33290	48600
Biphenyl	60	50	50	100	110	120
Dimethylnaphthalenes	201	504	783	10680	19920	23120
Acenaphthene	92	112	120	170	190	200
Trimethylnaphthalenes	123	179	312	2830	3670	5330
Tetramethylnaphthalenes	< 1	19	54	150	480	1950
Fluorene	16	26	15	80	510	1350
Methylfluorenes	102	123	194	420	1200	2470
Phenanthrene	< 1	94	97	400	1710	2590
Anthracene	< 1	96	97	1160	3290	5130
Methylphenanthrenes	< 1	143	180	2550	4060	7720
Dimethylphenanthrenes	20	42	86	410	1840	2080
Pyrene	16	50	68	190	1200	1400
Methylpyrene	17	20	22	310	1520	1970
Chrysene	10	10	10	60	160	310
Methylchrysene	30	29	40	150	310	450

a significant increase in PAH concentration in biomass pyrolysis oils as the temperature of pyrolysis was increased from 400 to 550°C. Elliott [42] has also shown that PAH are not significant in oils produced below 500°C, but are markedly increased in concentration in gasification tars produced above 700°C.

The above quoted literature analyses of biomass pyrolysis oils for PAH were for wood which has a low ash content. However, the rice husks have a very much higher ash content which may influence the thermal decomposition of the rice husks producing a relatively more aromatic oil compared to low ash biomass types such as wood. Examination of table 1 shows that the ash content of the rice husks was 17.1 wt% compared to typical ash concentrations for wood of about 1.5 wt% [5]. The high silica content of the rice husk ash [3] may influence the thermal degradation of the biomass. In addition, the presence of metal salts in the thermal degradation of cellulose has been shown to exhibit a catalytic effect resulting in a change in the yield and composition of the derived pyrolysis products [43]. Consequently, the high ash content of the rice husks may also influence the composition of the derived oils resulting in a catalytic process which increases the formation of PAH.

The detailed composition of the pyrolysis/ catalysis oils are also shown in table 6. The results show that single ring aromatic and PAH are in very high concentrations in the zeolite catalysed pyrolysis oils. Table 6 shows that in general, the single ring compounds show a decrease, and the polycyclic aromatic hydrocarbons show an increase as the catalyst temperature was increased from 450 to 600°C. The single ring aromatic compounds consist of toluene, alkylated benzenes, indene and methylindenes. The majority of the PAH are naphthalene, phenanthrene and fluorene,

and their alkylated homologues, whilst fluorene, pyrene and chrysene and their alkylated derivatives and benzopyrenes are also present in significant concentrations. Some of the PAH identified, such as phenanthrene, methylphenanthrenes, methyl fluorenes, chrysene and the benzopyrenes are carcinogen/ mutagenic [44-46]. The oils derived from the pyrolysis/catalysis of rice husks show significant concentrations of these hydrocarbons which may have consequences for the safe handling of such oils.

The influence of zeolite catalyst on oils derived from pyrolysis of other types ofbiomass has been shown by other researchers to significantly increase the concentration of aromatic compounds in derived pyrolysis oils. For example, Home and Williams [20] showed for the fluidised bed zeolite catalysed pyrolysis of wood that a very large increase in single ring aromatic compounds and also PAH occurred compared to the concentrations found in uncatalysed wood pyrolysis oils. Also, Scahill et al. [18] used a zeolite catalyst to upgrade wood pyrolysis oils and reported increased concentrations of benzene, toluene and alkylated benzenes. Others [35, 37-38] have also reported increased concentrations of single ring aromatic and PAH for zeolite catalysed upgrading of biomass pyrolysis oils.

Table 6 shows that as the temperature of pyrolysis was increased, the concentration of PAH in the oils also increased for both the pyrolysis and pyrolysis/ catalysis oils. The work of Home and Williams [20], Scahill et al. [18], Mathews et al. [38] and Evans and Milne [35] have all shown that increasing the temperature of the zeolite catalyst resulted in significant increases in the aromatic hydrocarbons in the derived oils.

Table 7 shows the oxygenated hydrocarbons present in the ethylacetate fraction of the chemical class fractionation for the uncatalysed rice husk

Table 7 Oxygenated compounds in pyrolysis oils derived from the pyrolysis/catalysis of rice husks (ppm)

Oxygenated compounds	Pyrolysis	Temperature (°C)		Pyrolysis/Catalysis Temperature (°C)		
Oxygenated compounds	450	500	600	550-450	550-500	550-600
Phenol	12870	15760	22710	44760	35870	32520
Cresols	25870	32590	56720	133680	92140	84130
Guaiacol	5700	2800	1520	2210	1410	720
Ethylphenols	1070	1730	1450	2680	1070	1360
Dimethylphenols	460	650	320	5720	6270	5070
Methylguiacols	540	230	10	20	90	150
Benzenediol	19740	19070	12010	1450	50	20
Trimethylphenols	12930	11220	7270	11670	10240	7820
Methylbenzenediols	710	1670	4050	2730	930	760
Tetramethylphenols	6030	4500	250	1230	1100	320
Syringol	2840	2220	2730	1520	1000	330
Propenylmethoxyphenols	12250	8830	2410	4780	3710	3000
Naphthols	2200	3120	1670	6270	5380	3790
Methylnaphthols	5330	5610	5530	10940	7340	6810
Dimethylnaphthols	10580	7890	1840	3380	2910	2200
Trimethlnaphthols	6600	4160	2400	3200	2400	1530

pyrolysis oils and the pyrolysis/ catalysis oils. The main compounds identified were phenol and alkylated derivatives of phenol, cresols, guaiacol, benzenediols and alklylated benzenediols, naphthols and alkylated naphthols. In the case of the uncatalysed pyrolysis oils in relation to temperature, the overall concentration of these compounds was not altered significantly. However, there were significant changes in the concentration of individual species. For example, phenol showed an increase in concentration as the pyrolysis temperature was increased, but the alkylated phenols, particularly the tri- and tetra-methylphenols showed a marked decrease in concentration. The dealkylation of these alkylated phenols as the temperature of pyrolysis was increased is suggested to lead to the increased formation of phenol. The naphthols and alkylated naphthols, benzenediol showed a general

decrease in concentration with increasing pyrolysis temperature, whilst the cresols and methylbenzenediols showed an increase in concentration.

The large concentrations of the identified compounds in the ethylacetate fraction reflect the highly oxygenated characteristic of biomass derived pyrolysis oils. The oxygen derived from the highly oxygenated structures present in the cellulose, hemicellulose and lignin of the rice husks. A large proportion, over 90 wt%, of the fractionated chemical classes of the pyrolysis oil occurred in the ethylacetate and methanol fractions, but only approximately 12 wt% was identified and presented in table 7 for the ethylacetate fraction. Other compounds in the ethylacetate fraction could not be identified or were represented by groups of compounds which could not be resolved using the chromatographic system. In addition, the methanol fraction could similarly not be

analysed using the present analytical system due to the very complex nature of the compounds present in this fraction. However, other analyses of biomass pyrolysis oils using different analytical techniques to those of this work have identified a variety of oxygenated aromatic compounds such as, levoglucosan, carboxylic acids such as acetic, propionic and butanoic acids, benzoic acid, acohols, such as furfuryl, coumaryl and coniferyl alcohols, aldehydes such as hydroxy, coniferyl and syringyl aldehydes, etc. [16, 41, 47-49].

The pyrolysis/ catalysis oils were analysed for their content of oxygenated species and the results are also shown in table 7. The main oxygenated compounds identified were as before, however table 7 shows that in some cases, after catalysis the concentration of oxygenated compounds decreased whilst for other species concentrations were increased. In addition, as the temperature of the catalyst was increased, the concentration of individual species decreased. Since the role of the zeolite catalyst was to deoxygenate the rice husk pyrolysis oils it may be surprising that the oxygenated species actually increase in concentration in this ethylacetate fraction after catalysis. However, table 4 has shown that the overall oxygen content of the oils is significantly reduced. Therefore, the de-oxygenation process whilst potentially reducing some of the species found in the ethylacetate fraction may also generate such oxygenated species by catalytic reactions of the higher molecular weight oxygenated species and more polar species which occur in the rice husk oils. The consequence of these two competing reactions is an overall increase in the particular oxygenated compounds which occur in the ethylacetate fraction. Williams and Home [20] have also shown that the zeolite catalytic upgrading of wood derived pyrolysis oils also produced a similar increase in the

concentration of oxygenated compounds compared to uncatalysed wood pyrolysis oils.

A number of chemical mechanisms have been suggested to account for the increase in aromatic content of biomass pyrolysis oils after zeolite catalytic upgrading. It has been suggested that the zeolite catalytic process forms low molecular weight hydrocarbon products which subsequently undergo further polymerisation and aromatisation in the catalytic process to form aromatic hydrocarbons [13,40]. The catalytic pyrolysis of biomass has been shown to produce increased concentrations of alkene gases. The catalysis of alkene gases such as, C<sub>3</sub>H<sub>6</sub> and C<sub>4</sub>H<sub>8</sub> over zeolite ZSM-5 catalyst have been found to produce a highly aromatic oil [41]. Similarly, the zeolite catalysis of methanol has been suggested to involve an intermediate formation of C<sub>2</sub> to C<sub>5</sub> alkenes which then react on the catalyst to form aromatic hydrocarbons [20].

Alternatively, the formation of aromatic compounds in zeolite catalyst upgraded biomass pyrolysis oils have been linked to the direct de-oxygenation of the large variety of oxygenated compounds found in biomass pyrolysis vapours. For example, Diebold et al. [9] suggest that PAH may be formed from the molecular remnants derived from carbohydrate and lignin pyrolysis through catalytic reactions with the zeolite catalyst. Similarly, larger molecular weight phenolic compounds present in the heavier fraction of the biomass oils have been suggested to form aromatic compounds over zeolite ZSM-5 catalyst [12]. The zeolite catalysis of simple model biomass compounds has also shown that aromatic and polycyclic aromatic hydrocarbons can be formed. For example, Chen et al. [42] examined the catalysis of acetic acid over zeolite ZSM-5 catalyst and detected large amounts of aromatic hydrocarbons in the product. Home and Williams [43] passed,

methanol, furfural, anisole and cyclopentanone as representative model oxygenated compounds found in biomass pyrolysis oils. They showed that single ring and PAH including alkylated benzenes, naphthalene, phenanthrene, fluorene and their alkylated derivatives were formed in significant concentrations.

A further point as to the possible reaction mechanisms for the formation of aromatic compounds and oxygenated compounds is that the mass yield of oil after catalysis is much reduced compared to the yield with uncatalysed pyrolysis. Consequently, the increased production of aromatic hydrocarbons and oxygenated compounds in the catalysed pyrolysis oils may be due to a concentration effect. However, for the case of aromatic hydrocarbon formation, much higher levels of single ring and polycyclic aromatic hydrocarbons are produced than would be the effect of mere concentration of species from the uncatalysed pyrolysis. Similarly, the increased levels of oxygenated compounds found in the catalysed oils are higher than could be due to a concentration effect.

Overall it has been shown that there is a large decrease in the yield of oil after catalysis, whilst an improved product is obtained with lower oxygen and high aromatic contents the oil yield represents an uneconomic return for the investment in a catalyst unit. However, Diebold et al. [50] have projected that potential yields of approximately 24 wt% of an aromatic oil can be derived from biomass pyrolysis/ catalysis. The potential yields were based on achieving 85% of the stoichiometric upper limit, based on an elemental balance of the pyrolysis vapours being converted to aromatic gasoline, water and carbon oxides. The analysis of Diebold et al. [50] however, was based on additional process units of an alkene alkylation reactor and distillation unit to maximise the yield of hydrocarbons which was not the case in this work. In addition, the feedstock chosen was wood and therefore the presence of a higher ash content for rice husks further reduces the available organic material for conversion using pyrolysis/catalysis and thereby reduces the viability of the process as applied to rice husks.

# 4. CONCLUSIONS

- The pyrolysis of rice husks in a fluidised bed reactor have been examined in relation to pyrolysis temperature and with zeolite catalytic upgrading.
- 2. For the uncatalysed reaction, there was a high conversion of the rice husks to a homogenous, low viscosity, highly oxygenated liquid which showed a decrease in yield with increasing pyrolysis temperature with a consequent increase in gas yield and decrease in char yield. The liquid had a high proportion of associated water.
- 3. For the catalysed reaction, the yield of oil was significantly reduced after catalysis, however, the oxygen content of the oils was also markedly reduced. The conversion of the oxygenated species in the oils was largely to H<sub>2</sub>O at lower catalyst temperatures and to CO and CO<sub>2</sub> at higher temperatures.
- 4. The uncatalysed pyrolysis oil separated from the liquid was analysed and found to be highly oxygenated, chemically very complex and with a molecular weight distribution from 60 to over 2000 Da. After catalysis, the molecular weight distribution of the oils after catalysis was shifted to lower molecular weights.
- 5. Detailed analysis of the oils identified significant concentrations of polycyclic aromatic hydrocarbons such as naphthalene, fluorene and phenanthrene and their alkylated derivatives which were in higher concentrations than has

been found for wood derived pyrolysis oils. The high ash content of the rice husks was suggested to catalyse the thermal degradation of the rice husks components and thereby influence the chemical composition of the derived pyrolysis oils. The oils after catalysis were found to be dramatically increased in their aromatic content and showed a further increase in aromaticity as the temperature of pyrolysis was increased.

6. The main oxygenated compounds identified in the oils consisted of phenols, cresols, alkylated phenols, guaiacol and alkylated guaiacols, benzenediols, alkylated benzenediols, naphthaols and alkylated naphthols. After catalysis, some of the oxygenated species identified were increased in concentration even though the overall oxygen content of the oils was decreased. This was attributed to the catalytic pyrolysis of higher molecular weight and polar compounds present in the oils producing lower molecular weight oxygenated species.

# **ACKNOWLEDGEMENTS**

This work was supported by the UK Science and Engineering Research Council under grant numbers GR/ F/ 06074 and GR/ F/ 87837. The award of a Thai Government Scholarship to NN is also gratefully acknowledged.

#### **REFERENCES**

- Strub, A., Chartier P., Schleser G., editors. Energy from Biomass, Elsevier Applied Science, London, 1983.
- Bridgwater, A.V., Kuester, J.L., editors. Research in Thermochemical Biomass Conversion, Elsevier Applied Science, London, 1988.
- Boateng, A. A., Walawender, W.P. and Fan L.T. Devolatilisation studies of rice hulls in a TGA and a fluidised bed reactor. In: Grassi

- G., Gosse G and dos Santos G. Editors Biomass for energy and industry. Elsevier Applied Science, London (1990). p. 536-340.
- Grassi, G., Gosse, G. and dos Stantos, G., editors.
   Biomass for Energy and Industry, Elsevier Applied Science, London, 1990.
- Horne, P.A. and Williams, P.T. Influence of temperature on the products from the flash pyrolysis ofbiomass. Fuel, 75, 1051-1059, 1996.
- Williams, P.T., and Besler, S., Influence of temperature and heating rate on the slow pyrolysis of biomass. Renewable Energy, 7, 233-250, 1996.
- Keirsse, H., Hartoyo, W., Buehens, A., Schoeters, J and Janssens, J. Preparation of activated carbon by the partial gasification of charcoal. In: Bridgwater, A. V. and Kuester, J. L. Editors., Research in Thermochemical Biomass Conversion, Elsevier Applied Science, London, 1988. p. 531-541.
- 8. Bridgwater, A.V., Economic and market opportunities for biomass derived fuels. In: Ferrero, G.L., Maniatis, Buekens, A. and Bridgwater, A.V., editors., Pyrolysis and Gasification,., Elsevier Applied Science, London, 1989. P. 347-371.
- Diebold, J. and Scahill, J. Production of primary pyrolysis oils in a vortex reactor. In: Soltes, J. and Milne, T. A. Editors. Pyrolysis Oils from Biomass; Producing, Analysing and Upgrading, American Chemical Society, Washington, 1988. p. 31-40.
- Bridgwater, A.V. Biomass pyrolysis technologies. In: Grassi, G., Gosse, G. and dos Stantos, G., Editors. Biomass for Energy and Industry, Elsevier Applied Science, London, 1990. p. 489-497.
- Esnouf, C., Francois, O. and Churin, D. A review of pyrolysis product characteristics and upgrading technologies to liquid fuels.

- In: Grassi, G., Gosse, G. and dos Stantos, G., Editors. Biomass for Energy and Industry, Elsevier Applied Science, London, 1990. p. 482-488.
- 12. Bridgwater, A.V. and Bridge, S.A., A review ofbiomass pyrolysis and pyrolysis technologies. In: Bridgwater A.V. and Grassi, G., Editors., Biomass Pyrolysis Liquids, Upgrading and Utilisation. Elsevier Applied Science, London, 1991. p. 11-92.
- 13. Stoikos, T., Upgrading ofbiomass pyrolysis liquids to high value chemicals and fuel additives. In: Bridgwater A.V. and Grassi, G. Editors, Biomass Pyrolysis Liquids, Upgrading and Utilisation. Elsevier Applied Science, London, 1991. p. 227-242.
- 14. Baker, E.G. and Elliott, D.C., Catalytic hydrotreating of biomass derived oils. In: Soltes J. and Milne T.A., Editors., Pyrolysis Oils from Biomass, Producing, Analysing and Upgrading. American Chemical Society, Washington, 1988. p. 228-240
- Costa, E., Aguado, J., Ovejero, G. and Canizares, P., Conversion of n-butanol-acetone mixtures to Cl to C10 hydrocarbons on HZSM-5 type catalysts. Ind. Eng.Chem.Res. 31, 1021-1025, 1992.
- Diebold, J.P., Chum, H.L., Evans, R.J., Milne, T.A, Reed, T.B. and Scahill, J.W., Low-pressure upgrading of primary pyrolysis oils from biomass and organic wastes. Energy, Biomass and Wastes, 10, 801-830, 1987.
- 17. Evans, R.J. and Milne, T.A., Molecular characterisation of the pyrolysis of biomass. Energy and Fuels, 1,125-134, 1987.
- 18. Scahill, J., Diebold, J. and Power A., Engineering aspects of upgrading pyrolysis oil using zeolites., In: Bridgwater A.V. and Kuester J.L., Editors, Research in thermochemical biomass conversion, Elsevier Applied Science, London, 1988. p. 927-940.

- 19. Chantal, P., Kaliaguine, S., Grandmaison, J.L. and Mahay A., Production of hydrocarbons from Aspen poplar pyrolytic oils over HZSM-5., Applied Catalysis, 10, 317-332, 1984.
- 20. Williams, P.T. and Horne, P.A. Characterisation of oils from the fluidised bed pyrolysis of biomass with zeolite catalyst upgrading. Biomass and Bioenergy, 7,223-236, 1994
- 21. Horne, P.A. and Williams, P.T., The effect of zeolite catalyst deactivation during the upgrading of biomass-derived pyrolysis vapours. J. Anal. Appl. PyroL, 34, 65-85, 1995.
- 22. Horne, P.A., Nugranad, N. and Williams, P.T., The influence of steam on the zeolite catalytic upgrading of biomass pyrolysis oils. In: Bridgwater A.V. and Boocock D.G.B. Editors., Developments in Thermochemical Biomass Conversion, Blackie Academic and Professional, London, 1997. p. 648-656.
- 23. Williams, P.T. and Horne, P.A., The influence of catalyst type on the composition of upgraded biomass pyrolysis oils. J. Anal. Appl. PyroL, 31, 39-61, 1995.
- 24. Williams, P.T. and Horne, P.A., The influence of catalyst regeneration on the composition of zeolite-upgraded biomass pyrolysis oils. Fuel, 74, 1839-1851, 1995.
- 25. Johnson, D.K. and Chum, H. L., Some aspects of pyrolysis oils characterisation by high-performance size exclusion chromatography. In: Soltes J. and Milne T.A., Editors, Pyrolysis Oils from Biomass; Producing, Analysing and Upgrading. ACS 376, American Chemical Society, Washington. 1988. p. 157-166.
- Bartle, K.D., Mulligan, M.J., Taylor, N., Martin, T.G. and Snape, C.E., Molecular mass calibration in size-exclusion chromatography of coal derivatives. Fuel, 63, 1556-1560, 1984.
- 27. Mulligan, M.J., Thomas, K.M. and Tytko, A.P., Functional group fractionation and

- characterisation of tars and pitches. Fuel, 66, 1472-1480, 1987.
- 28. Karlsson, O., The composition of peat liquids: Optimisation of g.p.c. parameters for the analysis of peat liquids. Fuel, 69, 608-611, 1990
- 29. Hatch, L.F. and Matar, S., From Hydrocarbons to Petrochemicals, Gulf Publishing Company, London,1981
- Vassilaros, D.L., Kong, R.C., Late,r D.W. and Lee, M.L.,, Linear retention index system for polycyclic aromatic compounds. J. Chromatogr., 252, 1-20, 1982
- 31. Rostad, C.E. and Pereira, W.E., Kovats and Lee retention indices determined by gas chromatography/ mass spectrometry for organic compounds of environmental interest. J. High Res. Chrom. & Chrom. Comm., 9, 328-333, 1986
- 32. Lee, M.L., Vassilaros, D.L., White, C.M. and Novotny, M., Retention indices for programmed-temperature capillary-column gas chromatography of polycyclic aromatic hydrocarbons. Anal. Chem., 51, 768-773, 1979
- Beaumont, O. and Schwob, Y., Influence of physical and chemical parameters on wood pyrolysis. Ind. Eng. Chem. Process Des. Dev., 23, 637-641, 1984.
- 34. Samolada, M.C., Stoicos, T. and Vasalos, I.A., An investigation of the factors controlling the pyrolysis product yield of Greek wood biomass in a fluidised bed. J. Anal. Appl. Pyrolysis,18, 127-141, 1990.
- 35. Evans, R.J. and Milne, T.A., Molecular beam mass spectrometric studies of wood vapour and model compounds over HZSM-5 catalyst. In: Soltes J. and Milne T.A., editors., Pyrolysis Oils from Biomass, Producing, Analysing and Upgrading. ACS Symposium Series 376, American Chemical Society, Washington, 1988. p. 311-327.

- 36. Scott, D. S. and Piskorz, J., The flash pyrolysis of Aspen-Poplar wood. Can. J. Chem. Eng., 60,1246-1254, 1987.
- 37. Sharma, R.K. and Bakhshi, N.N. Upgrading of wood derived bio-oil over HZSM-5., Bioresource Technology, 35, 57-66 (1991).
- 38. Mathews, J.F., Tepylo, M.G., Eager R.L. and Pepper, J.M., Upgrading of Aspen poplar wood oil over HZSM-5 zeolite catalyst., Canadian.J.Chem.Eng., 63, 686-689 (1985).
- 39. Churin, E., Catalytic Treatment of Pyrolysis Oils. Cat. No. CD-NA-12480-EN-C. Commission of the European Communities, 1990.
- 40. Desbene, P.L., Essayegh, M., Desmarazieres, B. and Basselier, J., Contribution to the analytical study of biomass pyrolysis oils., In: Bridgwater, A.V. and Grassi, G., Editors., Biomass Pyrolysis Liquids Upgrading and Utilisation. Elsevier Applied Science, 1991. p. 155-176.
- 41. Pakdel, H. and Roy, C., Hydrocarbon content of liquid products and tar from pyrolysis and gasification of wood., Energy and Fuels, 5, 427-436, 1991
- 42. Elliott, D.C., Relation of reaction time and temperature to chemical composition of pyrolysis oils. In: Soltes J. and Milne T.A., Editors., Pyrolysis Oils from Biomass; Producing, Analysing and Upgrading, American Chemical Society, ACS Syposium Series 376, Washington, DC, 1988. p. 55-78.
- 43. Williams, P.T. and Horne, P.A., The role of metal salts in the pyrolysis ofbiomass. Renewable Energy, 4, 1-13, 1994.
- 44. Lee, M.L., Novotny, M. and Bartle, K.D., Analytical chemistry of polycyclic aromatic compounds., Academic Press, New York, 1981.
- 45. Longwell, J.P., Polycyclic aromatic hydrocarbons and soot from practical combustion systems. In: Lahaye J. and Prado G., Editors, Soot in combustion systems and its toxic properties., Plenum Press, New York, 1983.

44 - 2546

- 46. Barfnecht, T.R., Andon, B.M., Thilly, W.G. and Hites, R.A., Soot and mutation in bacteria and human cells., In: Cooke M. and Dennis A.J. Editors., Chemical analysis and biological fate: Polycyclic aromatic hydrocarbons., Battelle Press, Columbus, Ohio, 1980.
- 47. Beaumont, O., Flash pyrolysis products from Beechwood. Wood and Fibre Science, 17, (2), pp. 228-239, 1985.
- Scott, D.S., Piskorz, J. and Radlein, D., Liquid products from the continuous flash pyrolysis of biomass. Ind. Eng. Chem. Process Des. Dev., 24, 581-588, 1985.
- 49. Pakdel, H., Zhang, H.G. and Roy, C. Detailed chemical characterisation ofbiomass pyrolysis oils, polar fractions. In: Bridgwater A.V., Editor., Advances in Thermochemical Biomass Conversion, Blackie Academic and Professional, Chapman and Hall, London, 1994. p. 1068-1085.
- 50. Diebold, J.P., Bridgwater, A.V., Beckman, D., Elliott, D.C. and Solantausta, Y., IEA technoeconomic analysis of the thermochemical conversion of biomass to gasoline by the NREL process. In, Bridgwater A.V., Editor., Advances in Thermochemical Biomass Conversion, Blackie Academic and Professional, Chapman and Hall, London, 1994. p. 1325-1342.



# Influence of Steam on the Formation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Zeolite Catalytic Upgrading of Biomass Pyrolysis oils

Paul T. Williams<sup>a</sup>, Nittaya Nugranad Milne<sup>b</sup> and Patrick A. Horne<sup>a</sup>

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการปรับปรุงคุณภาพ ของไอไพโรไลซีสโดยวิธีคะตะไลซีส (catalysis) โดยใช้ ซีโอไลท์ (zeolite) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อให้ได้ ผลิตภัณฑ์ไบโอออยล์ (bio-oil) ที่เป็นสารอะโรมาติก คุณภาพสูง อะตอมของออกซิเจนได้ถูกกำจัดออกจาก pyrolysis oil ในรูปของน้ำ (H2O), CO และ CO2 ปฏิกริยาการเกิดสารประกอบไฮโดรคาร์บอนถูกกำหนด โดยปริมาณของไฮโดรเจนอะตอมที่มีอยู่และการเกิดน้ำ การแก้ปัญหาสภาวะขาดแคลนไฮโดรเจนอะตอมสามารถ ทำได้โดยการฉีดพ่นไอน้ำเข้าสู่เตาปฏิกรณ์ไพโรไลซีส ก่อนที่จะให้ไอไพโรไลซีสผ่านเข้าสู่กระบวนการคะตะไลซีส อย่างไรก็ดี มีข้อสมมติฐานที่ว่าไอน้ำอาจทำให้เกิด สารประกอบจำพวก polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) ซึ่งเป็นสารพิษในปริมาณที่มากขึ้น และมักเกิดขึ้น ในกระบวนการคะตะไลซีสของไอไพโรไลซีส โดยใช้ ซีโอไลท์ ในการศึกษานี้ ของเสีย ชีวมวลได้ถูกแปรรูป โดยกระบวนการแฟลชไพโรไลซีส (flash pyrolysis) ใน เตาฟลูอิไดซ์เบดที่อุณหภูมิ 550°C โดยฉีดพ่นน้ำเข้าสู่ ระบบเพื่อเพิ่มไฮโดรเจนอะตอม จากนั้นไอไพโรไลซีสจะ ผ่านเข้าสู่คะตะไลซีสเบด ไบโอออยล์ที่ได้นำไปวิเคราะห์ หาชนิดและปริมาณของ PAH ด้วยเครื่อง gas chromatography/mass spectrometry ผลการศึกษา พิสูจน์สมมติฐานข้างต้นคือ ยืนยันว่าไอน้ำมีส่วนสำคัญ มากที่ทำให้เกิดสาร PAH เพิ่มมากขึ้นในกระบวนการ ปรับปรุงคุณภาพของไบโอออยล์

#### **ABSTRACT**

Zeolite catalytic upgrading of highly oxygenated biomass pyrolysis oils has been proposed as a means of producing an aromatic premium grade hydrocarbon oil product. The oxygen from the pyrolysis oil is removed in the catalytic reaction as water, CO and CO<sub>2</sub>. The reaction is hydrogen limited with the hydrocarbon product being limited by the availability of hydrogen for hydrocarbon and water formation. It has been proposed that the hydrogen deficit in the reaction may be overcome by the addition of steam to the pyrolytic vapours prior to upgrading and thereby increase hydrocarbon formation. However, the presence of steam may also influence the concentration of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH). PAH are environmentally hazardous and are known to form in high concentrations during the zeolite catalytic upgrading of biomass. In this paper, biomass was flash pyrolysed in a fluidised bed reactor at 550°C and the biomass pyrolysis vapours in the presence of steam have been passed over a zeolite catalyst. The oils were analysed using coupled gas chromatography/mass spectrometry to determine the concentration of PAH. The presence of steam was found to significantly increase the formation of PAH in the catalytic upgrading of biomass using the zeolite catalyst.

ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม เทคโนธานี ต.คลองห้า อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120 โทร. 0 2577 4182-9 โทรสาร 0 2577 1138 a Department of Fuel and Energy, University of Leeds, Leeds LS2 9JT, U.K.

b Environmental Research and Training Centre, Technopolis, Klong 5, Klong Luang, Pathumthani, 12120, Thailand.

#### 1. INTRODUCTION

Fast pyrolysis of biomass has been shown to produce a liquid product which may be used as a fuel and which has a much greater energy density than the original biomass. However, the oils can be highly oxygenated, viscous, corrosive, relatively unstable and chemically very complex [1, 2]. The direct substitution of biomass derived pyrolysis oils for petroleum fuels may therefore be limited. Consequently, catalytic upgrading of the oils to produce a premium quality fuel or high value chemical feed stock has received increasing attention [2]. The zeolite ZSM-5 catalysts have a strong acidity, high activities and shape selectivity's which convert the oxygenated oil to a light hydrocarbon mixture in the  $C_1$  to  $C_{10}$ range by dehydration and deoxygenation reactions [2, 3]. The oxygen in the oxygenated compounds of biomass pyrolysis oils is converted to largely CO, CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>O, and the resultant oil is highly aromatic with a dominance of single ring aromatic compounds [4, 5]. The reaction is hydrogen limited with the hydrocarbon product being limited by the availability of hydrogen for hydrocarbon and water formation. Therefore, it is preferable for the oxygen to be eliminated as CO or CO<sub>2</sub> rather than H<sub>2</sub>O to preserve the hydrogen for hydrocarbon forming reactions.

It has been proposed that the hydrogen deficit in the reaction may be overcome by the addition of steam to the pyrolytic vapours prior to upgrading and thereby increase hydrocarbon formation [6]. Diebold and Scahill [6] used steam as the carrier gas for the zeolite ZSM-5 catalytic upgrading of biomass pyrolysis oils. They found that with a catalyst temperature of 400°C, a yield of 10% oil was obtained and the major gaseous products were CO, CO<sub>2</sub>, and C<sub>2</sub> and C<sub>3</sub> alkenes. Churin [7] showed that for catalytic upgrading of biomass pyrolysis oils, the maximum

theoretical yield of hydrocarbons is best achieved by the removal of the oxygen as CO and CO<sub>2</sub>. In addition, he also showed that the greater the amount of hydrogen used in the expulsion of oxygen from the oils during catalysis the lower the potential yield of hydrocarbons. Horne *et al.*[8] have shown that catalytic upgrading of biomass pyrolysis oils in the presence of steam produced increased concentrations of H<sub>2</sub>, CO and CO<sub>2</sub> and that the derived upgraded oil contained much higher concentrations of single ring aromatic compounds than was the case in the absence of steam.

In addition, it is known that the zeolite catalytic process also produces significant concentrations of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH), whereas the uncatalysed oil shows only low levels of PAH [5]. PAH are of interest since amongst the environmental chemical groups they are known to be the most environmentally hazardous. Consequently, whilst steam may have benefits in maintaining the hydrogen content of the upgraded oils and increase their single ring aromatic content, the process may also increase the concentration of PAH in the oils and thereby have consequences for their safe handling and utilisation.

In this paper, biomass was flash pyrolysed in a fluidised bed reactor at 550°C and the biomass pyrolysis vapours in the presence of steam have been passed over a zeolite catalyst. The derived oils have been analysed for their concentration of PAH in relation to process conditions.

#### 2. EXPERIMENTAL

#### 2.1 Materials

The biomass used was a mixture of wood types obtained as waste shavings from a wood

working company. Table 1 shows the proximate and ultimate analyses of the biomass waste material pyrolysed.

The catalyst used was zeolite H-ZSM-5, obtained from BDH, Ltd. (UK). Conversion to the H-ZSM-5 form involved ion exchange of the Na-ZSM-5 form with an NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> solution, followed by washing and drying to produce the NH4-ZSM-5. The NH4-ZSM-5 catalyst was then heated at 350°C in a dry stream of nitrogen to produce the hydrogen form of ZSM-5. The zeolite catalyst consisted of 0.2 cm diameter spheres and the binder was clay. This grain size was chosen to prevent fluidisation of the fixed catalyst bed and elutriation of the catalyst from the reactor. The silica/alumina ratio was 50 and the elliptical pore aperture was 5.4 to 5.6 m<sup>-10</sup> diameter.

Table 1 Proximate and ultimate analysis of the biomass (wt%, as received)

Wood	Proximate Analysis		
Volatiles	91.0		
Moisture	7.5		
Ash	1.5		

Element	Ultimate Analysis
Carbon	45.88
Hydrogen	5.71
Oxygen	46.64
Nitrogen	0.18

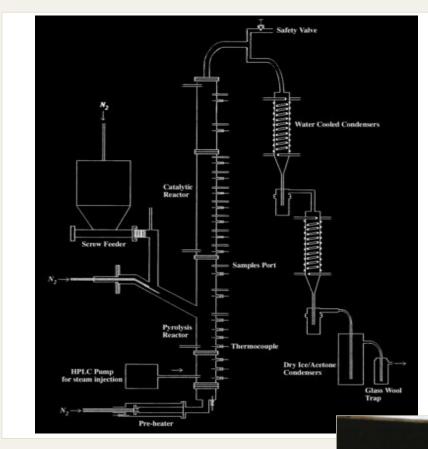
#### 2.2 Pyrolysis/Catalyst Reactor

The experimental system used was a combined fluidised bed pyrolysis unit with the freeboard of the fluidised bed packed with the catalyst to form a fixed catalyst bed (Figure 1 and 2). The on-line catalysis of the biomass pyrolysis vapours is preferred since it has been shown that condensed biomass pyrolysis oils are difficult to vaporise and also because they may thermally

degrade to either higher or lower molecular weight components or both [9]. The reactor was 7.5 cm diameter x 100 cm high, constructed of stainless steel with full gas flow and temperature control. The reactor was heated externally, and the fluidised bed and freeboard could be separately temperature controlled. The incoming fluidising gas was nitrogen and was preheated to a temperature of 400°C. The bed material was silica sand of mean size 250 µm diameter with a static bed depth of 8 cm. The fluidising velocity was 3 times the minimum fluidising velocity. The mass of catalyst used was 200 g and was 6.5 cm in bed depth. The biomass was fed via a screw feeder and nitrogen gas stream to the top of the fluidised bed at a feed rate between 0.216 and 0.228 kg h<sup>-1</sup>. The weight hourly space velocity (WHSV) representing the weight of reactant per hour/ weight of catalyst was between 1.05 and 1.14 h<sup>-1</sup>. The approximate ratio of carrier gas to pyrolysis vapour was 18:1, calculated from the mass of vapours and gases evolved during pyrolysis and assuming an average molecular mass. The primary fluidised bed temperature was maintained at 550°C and the fixed bed catalyst temperature was maintained at either 500 or 550°C. The 550°C primary bed pyrolysis temperature used has been shown in previous work to give the highest yields of oil product for the flash pyrolysis of biomass [10]. The catalysis temperature was chosen since previous work by the authors [11] where the catalyst temperature was varied between 400 and 550°C, has shown that the optimum catalysis temperature is between 500-550°C.

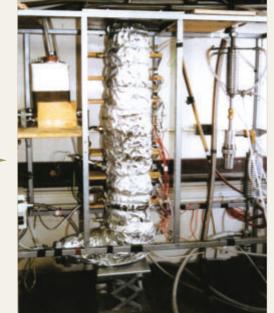
The outlet from the fluidised bed was passed to a series of condensers to trap the derived oils. Samples of pyrolytic oil without catalyst upgrading and in the absence of steam were taken by sampling the pyrolysis vapours

before the catalyst and condensing the oils using the condensation traps as before. The primary bed, uncatalysed oils consisted of a single liquid phase and were separated into oil and water fractions by benzene reflux, using the standard ASTM D244 and IP 29.1 methods. However, after catalysis the condensed phase consisted of distinct oil and aqueous phases, and were easily separated. The extracted oil samples were then analysed in detail as described below.



▲ Figure 1 Schematic diagram of the fluidised bed/ catalytic bed reactor

Figure 2 ►
The pyrolysis/catalysis reactor



#### 2.3 Oil analysis

Chemical class fractionation of the oils was performed by liquid chromatography. Glass columns of 10 cm x 1 cm were packed with silica, Bondesil (sepralyte) sorbent, pre-treated at 105°C for 2 h before use. A 250 mg sample of the oil was placed on the column. The column was then eluted with, n-pentane, benzene, ethyl acetate and methanol (polarity relative to Al2O3, 0.00, 0.32, 0.58 and 0.95, respectively), to produce an aliphatic, aromatic, oxygenated-aromatic and polar chemical class fractions, respectively. For the highly aromatic oils after catalysis there was some pre-elution of aromatic species into the n-pentane fraction. The concentration of, aromatic and polycyclic aromatic species in the pentane and benzene fractions were determined using coupled gas chromatography/mass spectrometry (GC/MS). The GC/MS system was a Carlo-Erba, Vega HRGC with cold on-column injection, coupled to a Finnigan Mat ion trap detector (ITD) via a heated transfer line. The ITD was linked to an IBN PC/XT computer with an NBS/EPA mass spectral library of 38752 mass spectra. Identification of PAH was determined by the GC/ MS. Single ion monitoring was carried out to confirm the presence of species and, in addition, retention indices were also used for identification. Details of the experimental and analytical systems have been reported before [5,8,10,11].

#### 3. RESULTS AND DISCUSSION

# 3.1 Polycyclic aromatic hydrocarbons in biomass pyrolysis oils

Table 2 shows the concentration of PAH in the oils derived from the fluidised bed pyrolysis of biomass at 550°C, without catalysis and in the absence of steam. The PAH found to be present in the pyrolysis liquids were naphthalene

and phenanthrene and their alkylated derivatives and minor concentrations of other compounds such as pyrene, and chrysene. Some of the PAH found in the pyrolysis oils have been shown to by carcinogenic and/or mutagenic for example, the methylphenanthrenes, chrysene, methylchrysenes and the methylfluorenes [12-14]. However, the total concentration of PAH quantified was less than 120 ppm.

PAH have been detected by other workers in biomass pyrolysis oils. For example, Pakdel and Roy (15) analysed oil from the pyrolysis of Aspen poplar wood chips in a vacuum pyrolysis unit. They found a wide range of PAH including naphthalene, phenanthrene and fluorine and their alkylated substituents, in addition to benzene and its alkylated substituents. In addition, they quantified certain PAH, some of which were biologically active, such as benzo[a]pyrene,

**Table 2** PAH in uncatalysed biomass pyrolysis oils in the absence of steam

РАН	Concentration (ppm) (Pyrolysis temperature 550°C)		
Naphthalene	11		
2-Methylnaphtahlene	9		
1-Methylnaphthalene	5		
Biphenyl	2		
Dimethylnaphthalene	15		
Acenaphthene	3		
Trimethylnaphthalene	7		
Fluorene	1		
Methylfluorene	<1		
Phenanthrene	11		
Anthracene	6		
Methylphenanthrene	16		
Dimethylphenanthrene	12		
Pyrene	1		
Chrysene	<1		
Methylchrysene	<1		

chrysene and benzo[k]fluoranthene, but were found to be in very low concentration at less than 55 ppm. Elliott [16] has also shown that PAH are not present in pyrolysis oils produced at temperatures below 500°C.

Table 3 shows the polycyclic aromatic hydrocarbons in the oils derived from the fluidised bed pyrolysis of biomass with catalytic upgrading but in the absence of steam. After catalysis there was a marked increase in concentration of PAH which were mainly naphthalene, phenanthrene and their alkylated homologues, whilst fluorine, pyrene and chrysene are also present in significant concentrations. In addition, the concentration of PAH increased as the catalyst temperature was increased from 500 to 550°C. PAH have been detected by other workers in the oils derived from the zeolite catalytic upgrading of biomass.

Scahill *et al.* [17] reported increased concentrations of benzene, toluene and alkylated benzenes for the catalytic upgrading of wood pyrolysis vapours using zelite ZSM-5. Sharma and Bakhshi [18] have also shown that PAH are formed on catalysis with zeolite ZSM-5. Mathews *et al.* [19] showed that zeolite ZSM-5 catalysed biomass oil produced naphthalenes and alkylated naphthalenes which increased with increasing catalyst temperature from 450°C to 650°C. Evans and Milne [20] also showed the formation of benzene, toluene and naphthalene with biomass pyrolysis catalysed with zeolite ZSM-5.

The mechanism for the formation of aromatic compounds in catalytic upgrading of biomass oils over zeolite ZSM-5 catalysts has been investigated by a number of workers. Sharma and Bakhsi [18] suggest that phenols are the primary

Table 3 PAH in catalysed biomass pyrolysis oils in the absence of steam

РАН	Concentration (ppm) (Pyrolysis temperature 550°C)		
TAII	Catalyst Temperature (500°C)	Catalyst Temperature (500°C)	
Naphthalene	5985	9550	
2-Methylnaphthalene	5480	4120	
1-Methylnaphthalene	2180	1945	
Biphenyl	180	70	
Dimethylnaphthalene	5415	7240	
Acenaphthene	95	110	
Trimethylnaphthalene	2085	1435	
Fluorene	710	855	
Methyldluorene	955	3715	
Phenanthrene	420	1370	
Anthracene	1675	2330	
Methylphenanthrene	2820	6050	
Dimethylphenanthrene	905	2310	
Pyrene	130	630	
Chrysene	80	120	
Methylchrysene	20	750	

product of upgrading, which are then deoxygenated to aromatic and polycyclic aromatic compounds as the reaction conditions become severe. Soltes et al. [21], for hydrogenating catalysts, also found that phenols are the intermediate products formed from the cracking of the heavier fraction of the biomass derived oils and are subsequently converted to aromatic and alkane compounds. Chantal et al. [22] also suggest that phenolic compounds present in the heavier fraction of the biomass oils form aromatic compounds over zeolite ZSM-5 catalyst which lead to the increased formation of coke on the catalyst. However, Chen and Yan [23] have suggested that aromatic compounds may also form from oligomerisation of alkenes followed by subsequent aromatisation over zeolite ZSM-5 catalysts. Condensation reactions would lead to the formation of PAH. However,

Evans and Milne [20] suggest that since there are a higher proportion of aromatic compounds compared to alkenes for wood pyrolysis vapours, a direct formation path not involving alkenes is more likely. In addition, Diebold et al. [4] suggest that the formation of PAH such as naphthalenes, indene and benzofuran are thought to originate primarily from the catalytically altered remnants of carbohydrate and lignin derived pyrolysis products rather than products of alkene oligomerisation and subsequent aromatisation. Williams and Horne have also shown that increasing the catalyst temperature markedly increases the concentration of single ring aromatic compounds and PAH in the derived biomass pyrolysis oil [11]

Table 4 show the PAH present in the biomass pyrolysis oils with zeolite catalytic

Table 4 PAH in zeolite catalysed biomass pyrolysis oils and in the presence of steam

РАН	Concentration (ppm) (Pyrolysis temperature 550°C)		
TAII	Catalyst Temperature (500°C)	Catalyst Temperature (500°C)	
Naphthalene	8840	11625	
2-Methylnaphthalene	10460	18085	
1-Methylnaphthalene	3460	6790	
Biphenyl	50	140	
Dimethylnaphthalene	7860	16860	
Acenaphthene	95	235	
Trimethylnaphthalene	1655	3760	
Fluorene	640	2150	
Methyldluorene	2065	3100	
Phenanthrene	1095	1850	
Anthracene	2220	6885	
Methylphenanthrene	7335	11715	
Dimethylphenanthrene	2055	2580	
Pyrene	335	940	
Chrysene	260	465	
Methylchrysene	<5	40	

upgrading and in the presence of steam. Previous work [8] has shown that where steam is also present with the zeolite catalytic upgrading, then increased concentrations of single ring aromatic compounds are formed. However, table 4 shows that the concentration of PAH in the oils have increased and also increase as the catalytic temperature is raised from 500 to 550 °C. The presence of steam is clearly increasing the formation of PAH. Consequently, whilst steam addition may improve aromatic hydrocarbon formation by maintaining the availability of hydrogen, it also results in the formation of increased PAH.

## 4. CONCLUSIONS

PAH are in low concentration in uncatalysed biomass pyrolysis oils. However, upgrading of the oils using zeolite catalysis produces a marked formation of PAH in the oils and the concentrations of PAH reached are high. When steam is also used to improve the formation of hydrocarbons, increased concentrations of PAH are also found.

# **ACKNOWLEDGEMENT**

This work was supported by the UK Science and Engineering Research Council under grant numbers GR/F/06074 and GR/F/87837.

#### **REFERENCES**

- Bridgwater A.V. and bridge S.A., In, Biomass pyrolysis Liquids, Upgrading and Utilisatin. (Eds. A.V. Bridgwater and G. Grassi) Elsevier Applied Science, London, 1991.
- Stoikos T., In, Biomass Pyrolysis Liquids, Upgrading and Utilisation. (Eds. A.V. Bridg water and G. Grassi) Elsevier Applied Science, London, 1991.
- 3. Costa E., Aguado J., Ovejero G. and Canizares P., Ind. Eng. Chem. Res. 1992,31,1021.

- 4. Diebold J.P., Chum H.L., Evans R.J., milne T.A., Reed T.B. and Scahill J.W., In,
- Williams P.T. and Horn P.A., J.Anal. Appl. Pyrolysis, 31, 15-37, 1995.
- Diebold J.P. and Scahill J. In, Pyrolysis Oils from Biomass, Producing, Analysing and Upgrading. (Eds. J. Soltes and T.A. Milne) American Chemical Society, Washington, 1988.
- Churin E. Energy: Catalytic treatment of Pyrolysis Oiks. Published by the Commission of the European Communities, Cat. No CD-NA-12480-EN-C, Luxemboug, 1990.
- 8. Horne P.A., Nugranad N. and Williams P.T., In, Developments in Thermochemical Biomass Conversion, Bridgwater A.V. and Boocock D.G.B. (Eds.), Blackie Academic and Professional, London, 1997.
- Johnson D.K. and Chum H.L., In, Pyrolysis Oils from Biomass, Producing, Analysing and Upgrading. (Eds. J. Soltes and T.A. Milne) American Chemical Society, Washington, 1988.
- Horne P.A. and Williams P.T., Fuel, 75, 1051-1059, 1996
- 11. Williams P.T. and Horne P.A., Biomass and Bioenergy, 7, 223-236,1994
- Lee M.L., Novotny M., and Bartle K.D., Analytical Chemistry of Polycyclic Aromatic compounds, Academic Press, New York, 1981
- Longwell J.P., In, J. Lahaye and G. Prado (Eds.), soot on combustion Systems and its Toxic Properties, Plenum Press, New York, 1983.
- Barfnecht T.R., Andon B.M., Thilly W.G. and Hites R.A., In, M. Cooke and A.J. Dennis (Eds.0, Chemical Analysis and Biological Fate: Polymuclear Aromatic Hydrocarbons, Batelle Press, Columbus, OH, 1981.
- Pakdel H. and Roy C., Energy and Fuels, 1991,
   427-436.
- 16. Elliott D.C., In, j. Soltes and T.A. Milne, (Eds.), Pyrolysis Oils from Biomass; Producing,

- Analysing and Upgrading, American Chemical Society, ACS Syposium Series 376, Washington, DC, 1988.
- 17. J. Scahill, J. Diebold and A. Power. In, A.V. Bridgwater and J.L. Kuester, (Eds.), Research in thermochemical biomass conversion, Elsevier Applied Science, London, (1988).
- 18. R.K. Sharma and N.N. Bakhshi. Bioresource Technology, 35, 57-66 (1991).
- 19. J.F. mathews, M.G. Tepylo, R.L. Eager and J.M. Pepper., Canadian.J.Chem.Eng., 63, 686-689 (1985).
- 20. R.J. Evans and T. Milne. In, J. Soltes and T.A. Milne, (Eds.), Pyrolysis Oils from Biomass, Producing, Analysing and Upgrading. ACS Symposium Series 376, American Chemical Society, Washington, (1988).
- 21. E.J. Soltes, S.C.K. Lin and Y.H.E. Sheu, American Chemical Society, Div. Fuel Chem. 32 2, 229-239 (1987).
- 22. P. Chantal, S. Kaliaguine, J.T. Grandmaison and A. Mahay., Applied Catalysis, 10, 317-332 (1984).
- 23. N.Y. Chen and T.Y. Yan., ind. Eng. Chem. Process Des. Dev. 25, 151-155 (1986).



