

คู่มือการใช้งาน

เครื่องมือประเมิน

การปล่อยก๊าซเรือนกระจก

ภาคอาคาร

(Building Emission Assessment Tool: BEAT)

BEAT Tool Handbook

ส่วนที่ 1: คู่มือแนวคิดหลักฉบับปรับปรุง

(Part 1: Updated Core Concept Guide)

กันยายน 2569

Copyright © 2026

Global Green Growth Institute (GGGI)
Jeongdong Building 19F,
21-15 Jeongdong-gil,
Jung-gu, Seoul 04518,
Republic of Korea

สถาบันการเติบโตสีเขียวโลก (GGGI) ไม่ให้การรับประกันใด ๆ ไม่ว่าโดยชัดแจ้งหรือโดยปริยาย และไม่รับผิดชอบหรือรับผิดชอบตามกฎหมายต่อความถูกต้องหรือความครบถ้วนของข้อมูล อุปกรณ์ ผลิตภัณฑ์ หรือกระบวนการที่กล่าวถึงในเอกสารฉบับนี้ รวมถึงการนำสิ่งดังกล่าวไปใช้โดยบุคคลที่สามหรือผลที่เกิดจากการใช้นั้น อีกทั้งไม่รับรองว่าการใช้งานดังกล่าวจะไม่ละเมิดสิทธิของเอกชน ความคิดเห็นและทัศนะของผู้เขียนที่ปรากฏในเอกสารฉบับนี้ไม่จำเป็นต้องเป็นความคิดเห็นหรือทัศนะของ GGGI

ผู้เขียน: Rohit Nepali, Maxine Chan, César Jiménez, Dirk Schwede, Dietram Oppelt และ Philipp Schreiber

คู่มือฉบับนี้เป็นส่วนที่ 1 ของชุดคู่มือสองส่วน โดยส่วนที่ 2 จะนำเสนอตัวอย่างการใช้ BEAT เพื่อประเมินผลกระทบด้านคาร์บอนโดยรวมของอาคาร พร้อมอธิบายวิธีใช้งานทุกฟังก์ชันอย่างเป็นขั้นตอน

เอกสารฉบับนี้จัดทำขึ้นภายใต้ โครงการเปลี่ยนผ่านอาคารคาร์บอนต่ำแห่งเอเชีย (Asia Low Carbon Buildings Transition: ALCBT) ซึ่งได้รับการสนับสนุนเงินทุนจากรัฐบาลเยอรมนี โดยกระทรวงสิ่งแวดล้อม การดำเนินงานด้านสภาพภูมิอากาศ การอนุรักษ์ธรรมชาติ และความปลอดภัยทางนิวเคลียร์แห่งสหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี (BMUKN) ผ่านโครงการริเริ่มด้านสภาพภูมิอากาศระหว่างประเทศ (IKI)

คำย่อและอักษรย่อ (Acronyms & Abbreviations)

AAC	Autoclaved Aerated Concrete	คอนกรีตมวลเบาอบไอน้ำ
AC	Air Conditioning / Air Conditioner	การปรับอากาศ / เครื่องปรับอากาศ
ACE	ASEAN Centre for Energy	ศูนย์พลังงานอาเซียน
AHU	Air Handling Unit	เครื่องส่งลมเย็น
ALCBT	Asia Low Carbon Buildings Transition	โครงการเปลี่ยนผ่านอาคารคาร์บอนต่ำ แห่งเอเชีย
ASEAN	Association of Southeast Asian Nations	สมาคมประชาชาติแห่งเอเชียตะวันออกเฉียงใต้
BEAT	Building Emission Assessment Tool	เครื่องมือประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ภาคอาคาร
BF-BOF	Blast Furnace-Basic Oxygen Furnace	กระบวนการผลิตเหล็กด้วยเตาสูงร่วมกับ เตาเป่าออกซิเจน
BMUKN	Federal Ministry for the Environment, Climate Action, Nature Conservation and Nuclear Safety	กระทรวงสิ่งแวดล้อม การดำเนินงานด้าน สภาพภูมิอากาศ การอนุรักษ์ธรรมชาติ และความปลอดภัยทางนิวเคลียร์แห่งสหพันธ์ สาธารณรัฐเยอรมนี
BoQ	Bill of Quantities	บัญชีแสดงปริมาณงาน
BRE	Building Research Establishment	องค์กรวิจัยด้านอาคารของสหราชอาณาจักร
CEA	Central Electricity Authority	หน่วยงานการไฟฟ้าส่วนกลางของอินเดีย
CFP	Carbon Footprint of Product	คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์
CFL	Compact Fluorescent Lamp	หลอดคอมแพกต์ฟลูออเรสเซนต์
COP	Coefficient of Performance	สัมประสิทธิ์สมรรถนะ
DCV	Demand-Controlled Ventilation	ระบบควบคุมการระบายอากาศตาม ความต้องการ
DOAS	Dedicated Outdoor Air System	ระบบจ่ายอากาศภายนอกโดยเฉพาะ
DX	Direct Expansion	ระบบทำความเย็นแบบขยายตัวโดยตรง
EAC	Electricity Authority of Cambodia	หน่วยงานกำกับดูแลกิจการไฟฟ้าของกัมพูชา

EAF	Electric Arc Furnace	เตาอาร์กไฟฟ้า
ECBC	Energy Conservation Building Code	ข้อกำหนดด้านการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร ของอินเดีย
ECM	Electronically Commutated Motor	มอเตอร์แบบควบคุมการสับเปลี่ยนกระแส ด้วยอิเล็กทรอนิกส์
EDGE	Excellence in Design for Greater Efficiencies	เครื่องมือและระบบรับรองอาคารเขียว EDGE
EER	Energy Efficiency Ratio	อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน
EESL	Energy Efficiency Services Limited	บริษัท Energy Efficiency Services Limited
EN	European Standard (European Norm)	มาตรฐานยุโรป
EPD	Environmental Product Declaration	เอกสารสำแดงข้อมูลสิ่งแวดล้อมของ ผลิตภัณฑ์
EPS	Expanded Polystyrene	พอลิสไตรีนชนิดขยายตัว
ESCO	Energy Service Company	บริษัทจัดการพลังงาน
FCU	Fan Coil Unit	เครื่องเป่าลมเย็น
GCCA	Global Cement and Concrete Association	สมาคมปูนซีเมนต์และคอนกรีตโลก
GGGI	Global Green Growth Institute	สถาบันการเติบโตสีเขียวโลก
GHG	Greenhouse Gas	ก๊าซเรือนกระจก
GLEC	Global Logistics Emissions Council	สภาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจาก โลจิสติกส์โลก
GWP	Global Warming Potential	ศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อน
HEAT	HEAT International GmbH	บริษัท HEAT International GmbH
HID	High-Intensity Discharge	หลอดปล่อยประจุความเข้มสูง
HVAC	Heating, Ventilation and Air Conditioning	ระบบทำความร้อน ระบายอากาศ และปรับอากาศ
IFC	International Finance Corporation	บรรษัทการเงินระหว่างประเทศ
IKI	International Climate Initiative	โครงการริเริ่มด้านสภาพภูมิอากาศ ระหว่างประเทศ

ILCD	International Reference Life Cycle Data System	ระบบข้อมูลอ้างอิงวัฏจักรชีวิตระหว่างประเทศ
ISEER	Indian Seasonal Energy Efficiency Ratio	อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานตามฤดูกาลของอินเดีย
ISO	International Organization for Standardization	องค์การระหว่างประเทศว่าด้วยการมาตรฐาน
LCA	Life Cycle Assessment	การประเมินวัฏจักรชีวิต
LCI	Life Cycle Inventory	บัญชีรายการตลอดวัฏจักรชีวิต
LED	Light Emitting Diode	ไดโอดเปล่งแสง
LPD	Lighting Power Density	กำลังไฟฟ้าแสงสว่างต่อหน่วยพื้นที่
LPG	Liquefied Petroleum Gas	ก๊าซปิโตรเลียมเหลว
MONRE	Ministry of Natural Resources and Environment	กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมของเวียดนาม
NDC	Nationally Determined Contribution	การมีส่วนร่วมที่ประเทศกำหนด
ÖKOBAUDAT	ÖKOBAUDAT (Germany's EPD database)	ฐานข้อมูลด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ก่อสร้างของเยอรมนี
RICS	Royal Institution of Chartered Surveyors	สถาบันวิชาชีพด้านการสำรวจและอสังหาริมทรัพย์แห่งสหราชอาณาจักร
TGO / อบก.	Thailand Greenhouse Gas Management Organization (Public Organization)	องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน)
VAV	Variable Air Volume	ระบบปรับปริมาณลม
VRF	Variable Refrigerant Flow	ระบบปรับอากาศแบบปรับปริมาณสารทำความเย็น
VSD	Variable-Speed Drive	ระบบปรับความเร็วรอบ
VVVF	Variable Voltage Variable Frequency	ระบบขับเคลื่อนแบบปรับแรงดันและความถี่
WRI	World Resources Institute	สถาบันทรัพยากรโลก
XPS	Extruded Polystyrene	พอลิสไตรีนชนิดอัดรีด

หน่วยวัดและสัญลักษณ์ (UNITS & SYMBOLS)

°C	องศาเซลเซียส
%	ร้อยละ
CO ₂	คาร์บอนไดออกไซด์
kgCO ₂	กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์
kgCO ₂ e	กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า
kgCO ₂ e/kg	กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อกิโลกรัม
kgCO ₂ e/kWh	กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง
kgCO ₂ e/m ²	กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อตารางเมตร
kgCO ₂ e/m ³	กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อลูกบาศก์เมตร
kgCO ₂ e/ตัน-กิโลเมตร	กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อการขนส่งวัสดุหนึ่งตันเป็นระยะทางหนึ่งกิโลเมตร
kW	กิโลวัตต์ หน่วยกำลัง
kWh	กิโลวัตต์-ชั่วโมง หน่วยพลังงาน
lm	ลูเมน หน่วยฟลักซ์ส่องสว่าง
lm/W	ลูเมนต่อวัตต์ หน่วยประสิทธิภาพการส่องสว่าง
m ²	ตารางเมตร
m ³	ลูกบาศก์เมตร
m ³ /h หรือ CMH	ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง หน่วยอัตราการไหลของอากาศ
CFM	ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที หน่วยอัตราการไหลของอากาศ
KSC	กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร หน่วยที่ใช้ระบุกำลังอัดคอนกรีต
TR	ตันความเย็น หน่วยกำลังทำความเย็น
W	วัตต์ หน่วยกำลัง
W/CMH	วัตต์ต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ใช้แสดงกำลังไฟฟ้าต่ออัตราการไหลของอากาศ

สารบัญ (Table of Contents)

บทสรุปสำหรับผู้บริหาร (Executive Summary)	xi
1. แนะนำเครื่องมือ BEAT (Introduction to BEAT).....	1
1.1 BEAT คืออะไร?	1
1.2 ความสำคัญเชิงยุทธศาสตร์ของ BEAT.....	2
1.3 ผลลัพธ์จากการประเมินด้วย BEAT.....	3
2. วิธีการประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA) ของ BEAT	3
2.1 ขอบเขตการประเมินวัฏจักรชีวิต	4
2.2 การคำนวณคาร์บอนแฝง.....	5
2.3 การคำนวณคาร์บอนจากการดำเนินงาน	7
2.4 คาร์บอนก่อนเริ่มใช้งานอาคาร: การขนส่งวัสดุ (A4) และของเสียจากวัสดุระหว่างการก่อสร้าง (A5).....	11
3. พื้นฐานการใช้งาน BEAT	13
3.1 ระบบจำแนกประเภทอาคาร.....	13
A. นิยามและการจำแนกประเภทอาคาร (จำแนกตามระบบ EDGE สำหรับกรอกข้อมูล).....	13
B. การจัดกลุ่มประเภทอาคารเพื่อการวิเคราะห์ใน BEAT	19
3.2 ปัจจัยด้านภูมิอากาศ	20
4. เริ่มต้นใช้งาน BEAT.....	24
4.1 ภาพรวมหน้าจอการใช้งาน.....	24
4.2 การสร้างรายการประเมินอาคารใหม่.....	24
5. ข้อมูลที่ต้องใช้ในการประเมิน.....	24
5.1 ข้อมูลอาคาร	24
5.2 ข้อมูลการใช้งานอาคาร	25
6. การกรอกข้อมูลองค์ประกอบอาคารและวัสดุ.....	32

6.1 การกรอกข้อมูลจากบัญชีแสดงปริมาณงาน (BoQ)	32
6.2 การกรอกข้อมูลตามองค์ประกอบอาคาร	33
7. ประเภทพลังงานที่ใช้.....	34
8. เอกสารสำแดงข้อมูลสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ (EPDs).....	35
8.1 ทำความเข้าใจการใช้ EPD ใน BEAT.....	35
8.2 ข้อมูลคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์จากประเทศไทย (อบก.)	39
8.3 การจัดระดับคอนกรีตคาร์บอนต่ำ (GCCA A-G)	40
8.4 วัสดุพื้นถิ่นและวัสดุคาร์บอนต่ำในท้องถิ่น	40
เอกสารอ้างอิง	42

สารบัญรูป (List of Figures)

รูปที่ 1	ขั้นตอนประเมินวงจรชีวิตของอาคารตามมาตรฐาน EN 15978.....	4
รูปที่ 2	ขั้นตอนการคำนวณคาร์บอนแฝงอาคาร	6
รูปที่ 3	ขั้นตอนการคำนวณคาร์บอนจากการดำเนินงานของอาคาร	7

สารบัญตาราง (List of Tables)

ตารางที่ 1	ข้อมูลระบบอาคารที่ใช้ในการประเมินและวิธีประมาณการใช้พลังงานรายปีของ BEAT	9
ตารางที่ 2	ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการขนส่ง (A4) ของแต่ละประเทศภายใต้โครงการ ALCBT	12
ตารางที่ 3	การแบ่งเขตภูมิอากาศอย่างง่ายของประเทศภายใต้โครงการ ALCBT	22
ตารางที่ 4	ระบบทำความเย็น (Cooling Systems).....	26
ตารางที่ 5	ระบบระบายอากาศ (Ventilation Systems).....	28
ตารางที่ 6	ระบบแสงสว่าง (Lighting Systems)	29
ตารางที่ 7	ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของพลังงานแต่ละประเภท	34
ตารางที่ 8	ตัวคูณปรับข้อมูล EPD แบบทั่วไป จำแนกตามหมวดวัสดุและประเทศ	38
ตารางที่ 9	เกณฑ์การจัดระดับคอนกรีตคาร์บอนต่ำของ GCCA จำแนกตามชั้นกำลังอัด	40

บทสรุปสำหรับผู้บริหาร (Executive Summary)

คู่มือฉบับนี้เป็นส่วนที่ 1 ของชุดเอกสารประกอบการใช้งานเครื่องมือประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของอาคาร (Building Emission Assessment Tool: BEAT) โดยอธิบายคำศัพท์ นิยาม และวิธีการประเมินอย่างครอบคลุม เพื่อให้ผู้อ่านมีพื้นฐานความเข้าใจที่จำเป็นก่อนใช้งานเครื่องมือ

BEAT พัฒนาขึ้นภายใต้โครงการเปลี่ยนผ่านอาคารคาร์บอนต่ำแห่งเอเชีย (ALCBT) ซึ่งได้รับการสนับสนุนเงินทุนจากกระทรวงสิ่งแวดล้อม การดำเนินงานด้านสภาพภูมิอากาศ การอนุรักษ์ธรรมชาติ และความปลอดภัยทางนิวเคลียร์แห่งสหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี (BMUKN) ผ่านโครงการริเริ่มด้านสภาพภูมิอากาศระหว่างประเทศ (IKI) เครื่องมือนี้มุ่งช่วยให้ผู้ปฏิบัติงาน ผู้กำหนดนโยบาย และผู้เกี่ยวข้องในห้าประเทศของเอเชียที่กำลังพัฒนาอย่างรวดเร็ว ได้แก่ กัมพูชา อินโดนีเซีย ไทย และเวียดนาม สามารถประเมินปริมาณและหาแนวทางลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาคอาคาร ทั้งคาร์บอนแฝงและคาร์บอนจากการดำเนินงาน

สาระสำคัญของคู่มือ

- **คำศัพท์และนิยาม:** อธิบายความหมายของคำศัพท์สำคัญอย่างชัดเจน เช่น คาร์บอนแฝง คาร์บอนจากการดำเนินงาน และการประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA) รวมถึงแนวคิดพื้นฐานอื่น ๆ พร้อมรวบรวมคำอธิบายอักษรย่อและคำย่ออย่างละเอียด เพื่อให้ผู้ใช้ทุกกลุ่มเข้าใจตรงกัน
- **กรอบวิธีการประเมิน:** อธิบายวิธีการประเมินวัฏจักรชีวิตที่ BEAT ใช้ รวมถึงขอบเขตและขั้นตอนที่ครอบคลุมในการประเมิน โดยอ้างอิงมาตรฐานยุโรป EN 15978
- **ประเภทอาคารและปัจจัยด้านภูมิอากาศ:** อธิบายระบบจำแนกประเภทอาคารของ BEAT ซึ่งปรับจากรอบ IFC EDGE ทั้งสำหรับการกรอกข้อมูลและการวิเคราะห์ พร้อมอธิบายการเทียบเคียงเขตภูมิอากาศ เพื่อให้การประเมินเหมาะสมกับแต่ละพื้นที่และสะท้อนความหลากหลายของสภาพภูมิอากาศในประเทศภายใต้โครงการ ALCBT
- **แนวทางการใช้งานและข้อมูลที่ต้องเตรียม:** แนะนำขั้นตอนเริ่มต้นใช้งาน BEAT ตั้งแต่การใช้งานหน้าจอ การสร้างโครงการ ไปจนถึงการเตรียมข้อมูลที่จำเป็นต่อการประเมินอย่างแม่นยำ ครอบคลุมวิธีการกรอกข้อมูลองค์ประกอบอาคาร และวัสดุ ตลอดจนประเภทพลังงานและค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ใช้ในการคำนวณ
- **เอกสารสำแดงข้อมูลสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ (EPDs):** อธิบายบทบาทของ EPD ใน BEAT และการใช้ข้อมูลทั้งแบบเป็นทางการ แบบทั่วไป และแบบที่ผู้กำหนดเองซึ่งจะเพิ่มในรุ่นถัดไป เพื่อรองรับกรณีข้อมูลที่ข้อมูลยังไม่ครบถ้วน และช่วยให้จัดทำแบบจำลองคาร์บอนได้อย่างน่าเชื่อถือในบริบทตลาดที่แตกต่างกัน

เนื้อหาในคู่มือส่วนที่ 2

คู่มือ BEAT ส่วนที่ 2 จะอธิบายการใช้งานในเชิงลึกยิ่งขึ้น ครอบคลุมการอ่านและตีความผลการประเมิน การใช้งานแดชบอร์ด แสดงผล การวิเคราะห์และจัดทำรายงาน การใช้งานฟังก์ชันขั้นสูง และการเปรียบเทียบทางเลือกต่าง ๆ พร้อมกรณีศึกษาและตัวอย่างการใช้งานจริง

1. แนะนำเครื่องมือ BEAT (Introduction to BEAT)

1.1 BEAT คืออะไร?

BEAT (Building Emission Assessment Tool) คือ แพลตฟอร์มบนเว็บแอปพลิเคชันสำหรับประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกภาคอาคาร พัฒนาโดย HEAT GmbH ภายใต้โครงการเปลี่ยนผ่านอาคารคาร์บอนต่ำแห่งเอเชีย (Asia Low Carbon Building Assessment: ALCBT) เครื่องมือนี้ใช้ประเมินปริมาณคาร์บอนแฝง (embodied carbon) และคาร์บอนจากการดำเนินงาน (operational carbon) ตลอดวงจรชีวิตของอาคารใน 5 ประเทศเป้าหมาย ได้แก่ อินเดีย อินโดนีเซีย ไทย กัมพูชา และเวียดนาม

เครื่องมือนี้เป็นก้าวสำคัญในการนำวิธีการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment: LCA) ที่ซับซ้อนมาใช้ในการปฏิบัติงานของผู้ประกอบวิชาชีพด้านอาคารในอินเดีย อินโดนีเซีย ไทย กัมพูชา และเวียดนาม ซึ่งเป็นประเทศที่มีการขยายตัวของการก่อสร้างและความเป็นเมืองอย่างรวดเร็ว ที่ผ่านมา เครื่องมือประเมินโดยมากมุ่งเน้นวิเคราะห์เฉพาะคาร์บอนจากการดำเนินงาน หรือวิเคราะห์เพียงบางส่วนของวงจรชีวิตอาคาร ขณะที่ BEAT ใช้แนวทางการประเมินอย่างรอบด้าน เพื่อให้ครอบคลุมการปล่อยคาร์บอนตลอดวงจรชีวิตของอาคาร และยังสามารถขยายการใช้งานเครื่องมือไปยังประเทศอื่นๆ นอกเหนือจากประเทศภายใต้โครงการ ALCBT ได้ โดยสามารถพัฒนาและขยายฐานข้อมูลให้รองรับการประเมินในประเทศเหล่านั้น

BEAT ช่วยให้ผู้ปฏิบัติงานด้านอาคารสามารถประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้สะดวกยิ่งขึ้น แม้จะมีความเชี่ยวชาญทางเทคนิคในระดับที่แตกต่างกัน โดยมีคุณสมบัติสำคัญดังต่อไปนี้

1. ประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของอาคารได้อย่างครอบคลุม ทั้งจากวัสดุก่อสร้าง (คาร์บอนแฝง) และจากการใช้พลังงานในการดำเนินงานของอาคาร (คาร์บอนจากการดำเนินงาน)
2. ออกแบบให้ใช้งานง่าย เหมาะสำหรับผู้ปฏิบัติงานที่มีความรู้และความเชี่ยวชาญทางเทคนิคในระดับที่ต่างกัน
3. มีข้อมูลพื้นฐานของแต่ละประเทศภายใต้โครงการ ALCBT ให้ใช้สร้างแบบจำลองเพื่อประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ทันที และสามารถเพิ่มเติมข้อมูลการประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA) ที่จัดทำขึ้นในประเทศนั้น ๆ ได้เมื่อมีข้อมูลในอนาคต แนวทางนี้ส่งเสริมให้เกิดการจัดทำข้อมูลภายในประเทศ และช่วยสนับสนุนการพัฒนาตลาดวัสดุคาร์บอนต่ำ รวมถึงไฟฟ้าและเชื้อเพลิงคาร์บอนต่ำในประเทศ
4. ใช้แนวทางการประเมินที่สอดคล้องกับมาตรฐานสากล และรองรับข้อกำหนดเฉพาะของแต่ละประเทศ

ด้วยรูปแบบเครื่องมือโอเพนซอร์สที่ใช้งานผ่านเว็บ ผู้ใช้จึงเข้าถึงและเริ่มใช้งาน BEAT ได้ง่าย โดยไม่จำเป็นต้องใช้ซอฟต์แวร์เฉพาะทางหรือติดตั้งโปรแกรมที่มีขั้นตอนยุ่งยาก BEAT จะแนะนำการกรอกข้อมูลอย่างเป็นลำดับขั้นตอน และแสดงผลการประเมินที่ชัดเจนและเข้าใจง่าย ช่วยให้ผู้ใช้เห็นผลกระทบจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและโอกาสในการลดการปล่อย เพื่อนำไปใช้วางแผนทางการลดคาร์บอนของอาคารต่อไป

1.2 ความสำคัญเชิงยุทธศาสตร์ของ BEAT

ภาคอาคารและการก่อสร้างทั่วโลกมีส่วนการปล่อยคาร์บอนจากการใช้พลังงานและกระบวนการผลิตประมาณร้อยละ 37 ของการปล่อยในภาพรวม จึงเป็นภาคส่วนสำคัญในการรับมือกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ¹ สำหรับประเทศในเอเชียที่เศรษฐกิจกำลังเติบโตอย่างรวดเร็ว การตัดสินใจด้านการออกแบบอาคาร การเลือกใช้วัสดุ และวิธีการก่อสร้างในวันนี้จะกำหนดระดับการปล่อยคาร์บอนของอาคารไปอีกหลายทศวรรษ BEAT จึงมีบทบาทสำคัญในการช่วยรับมือกับความท้าทายเร่งด่วนหลายประการ ดังต่อไปนี้

- **การบรรลุเป้าหมายด้านสภาพภูมิอากาศ:** อาคารที่จะก่อสร้างในช่วงสิบปีข้างหน้าจะมีผลอย่างมากต่อการบรรลุเป้าหมายด้านสภาพภูมิอากาศ BEAT ช่วยให้สามารถประเมินปริมาณและหาแนวทางลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ ทั้งในส่วนของการปล่อยคาร์บอนแฝงและคาร์บอนจากการดำเนินงาน จึงสนับสนุนการดำเนินงานตามเป้าหมายการมีส่วนร่วมที่ประเทศกำหนด (Nationally Determined Contributions: NDCs) ของประเทศเป้าหมายโดยตรง และสอดคล้องกับเป้าหมายระดับโลกในการจำกัดการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ
- **ข้อมูลเพื่อประกอบการตัดสินใจ:** ที่ผ่านมา ผู้เกี่ยวข้องยังขาดเครื่องมือที่เข้าถึงได้ง่ายสำหรับประเมินว่าทางเลือกต่าง ๆ ในการออกแบบและก่อสร้างอาคารส่งผลต่อการปล่อยคาร์บอนอย่างไร BEAT ช่วยให้สถาปนิก วิศวกร ผู้พัฒนาโครงการ และผู้กำหนดนโยบายมีข้อมูลคาร์บอนที่ครอบคลุมสำหรับประกอบการตัดสินใจ ทำให้แนวคิดอาคารที่ยั่งยืนสามารถนำไปปฏิบัติและวัดผลได้อย่างเป็นรูปธรรม
- **การพัฒนานโยบาย:** รัฐบาลในประเทศต่าง ๆ ทั่วเอเชียกำลังมองหาแนวทางควบคุมการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากอาคารโดยอาศัยข้อมูลและหลักฐาน BEAT ให้ข้อมูลเชิงปริมาณที่ใช้เป็นพื้นฐานในการพัฒนานโยบายที่มีประสิทธิภาพ ตั้งแต่ข้อกำหนดและมาตรฐานอาคาร แนวทางการจัดซื้อจัดจ้างที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ไปจนถึงการกำหนดเพดานความเข้มข้นการปล่อยคาร์บอน
- **การปรับเปลี่ยนตลาด:** BEAT ให้ความสำคัญเป็นพิเศษกับการประเมินคาร์บอนแฝง โดยแสดงข้อมูลการปล่อยคาร์บอนอย่างชัดเจนและเปรียบเทียบกันได้ เพื่อสนับสนุนการเลือกใช้วัสดุและวิธีการก่อสร้างที่

¹ UN Environment Programme & Global Alliance for Buildings and Construction. (2024). Global Status Report for Buildings and Construction 2024/2025. <https://www.unep.org/resources/report/global-status-report-buildings-and-construction-20242025>

ปล่อยคาร์บอนต่ำ ความโปร่งใสของข้อมูลนี้ช่วยสร้างแรงจูงใจทางการตลาดให้เกิดนวัตกรรมด้านผลิตภัณฑ์ก่อสร้างและแนวทางการออกแบบ ซึ่งนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงในวงกว้างของอุตสาหกรรม

โดยในบทถัดไปจะอธิบายหลักการและวิธีการที่ใช้ในการพัฒนาและนำ BEAT ไปใช้งาน พร้อมแนะนำคำศัพท์และแนวคิดทางเทคนิคที่จำเป็นต่อการใช้เครื่องมืออย่างมีประสิทธิภาพ เนื้อหาแต่ละส่วนเรียงลำดับเพื่อให้ผู้อ่านค่อยๆ สร้างความเข้าใจ ตั้งแต่หลักการพื้นฐานของการประเมินคาร์บอน ไปจนถึงการใช้ BEAT ในโครงการอาคารของตนเอง

1.3 ผลลัพธ์จากการประเมินด้วย BEAT

เครื่องมือประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของอาคาร (BEAT) ให้ผลการประเมินที่สำคัญ เพื่อสนับสนุนการลดการปล่อยคาร์บอนในภาคอาคารโดยอาศัยข้อมูลและหลักฐาน ดังนี้

- **การประเมินคาร์บอนตลอดวงจรชีวิตอาคาร:** BEAT ประเมินปริมาณคาร์บอนแฝงและคาร์บอนจากการดำเนินงานของอาคาร โดยแสดงผลในหน่วยกิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อตารางเมตร ($\text{kgCO}_2\text{e}/\text{m}^2$) เพื่อให้เห็นภาพรวมการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวงจรชีวิตของอาคาร สำหรับคาร์บอนจากการดำเนินงาน สามารถคำนวณได้โดยตรงจากข้อมูลในใบแจ้งค่าไฟฟ้า/สาธารณูปโภค หรือใช้แบบจำลองเพื่อประเมินการใช้พลังงานของระบบต่างๆ ในอาคาร ได้แก่ ระบบทำความเย็น ระบบระบายอากาศ ระบบแสงสว่าง ระบบทำน้ำร้อน และลิฟต์
- **ค่าอ้างอิงสำหรับอาคารแต่ละประเภท:** BEAT จะใช้ข้อมูลจริงจากอาคาร จำนวน 300 อาคารในแต่ละประเทศภายใต้โครงการ ALCBT เพื่อจัดทำค่าอ้างอิงสำหรับเปรียบเทียบผลการประเมินของอาคารแต่ละประเภท
- **การจำลองทางเลือกในการออกแบบองค์ประกอบอาคาร:** ผู้ใช้สามารถเปรียบเทียบได้ว่า การเลือกใช้วัสดุต่างชนิดกันในองค์ประกอบของอาคาร ส่งผลให้ปริมาณคาร์บอนแฝงแตกต่างกันอย่างไร

2. วิธีการประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA) ของ BEAT

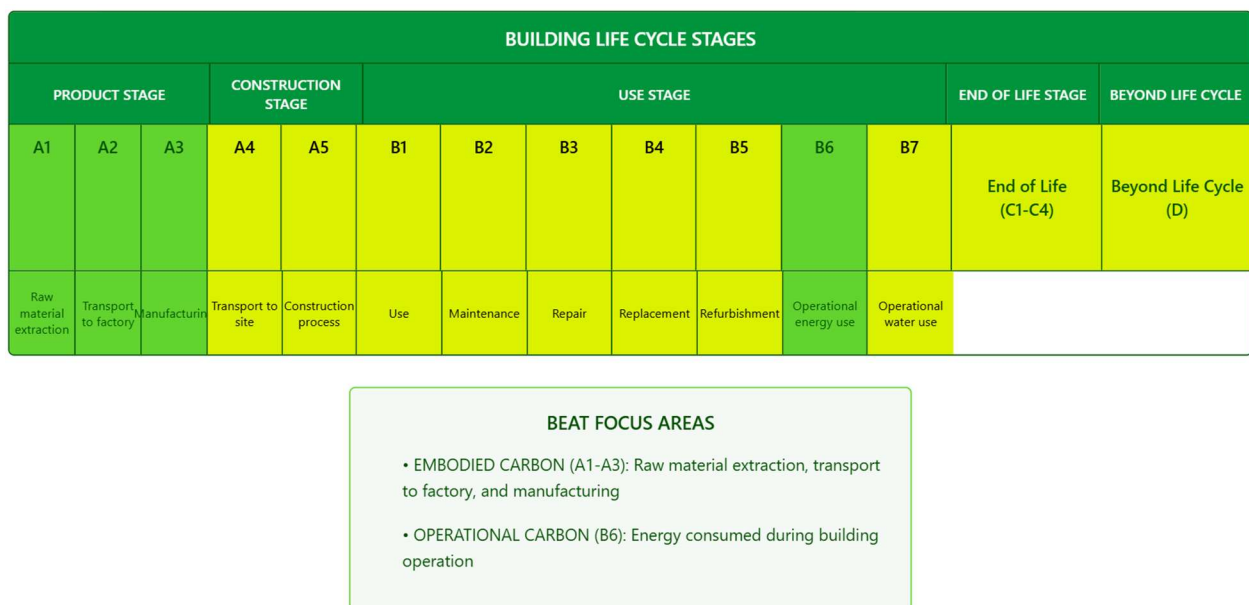
ก่อนเริ่มใช้งาน ผู้ใช้ควรเข้าใจความหมายและความแตกต่างระหว่างคาร์บอนแฝงกับคาร์บอนจากการดำเนินงาน ซึ่งเป็นพื้นฐานสำคัญของการประเมินคาร์บอนของอาคาร

- **คาร์บอนแฝง (Embodied Carbon):** หมายถึงการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการสกัดวัตถุดิบ การผลิต และการขนส่งวัสดุก่อสร้าง จึงเป็นคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่เกิดขึ้นก่อนเริ่มใช้งานอาคาร เมื่อการก่อสร้างแล้วเสร็จ การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในส่วนนี้ได้เกิดขึ้นแล้ว จึงไม่สามารถย้อนกลับไปลดปริมาณที่ปล่อยไปได้

- **คาร์บอนจากการดำเนินงาน (Operational Carbon):** หมายถึงการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดจากการใช้พลังงานเพื่อดำเนินงานของอาคารตลอดอายุการใช้งาน ครอบคลุมการทำความร้อน การทำความเย็น การให้แสงสว่าง การระบายอากาศ และการใช้งานเครื่องใช้หรืออุปกรณ์ต่าง ๆ การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในส่วนนี้จะสะสมเพิ่มขึ้นตลอดอายุการใช้งานของอาคาร แต่สามารถลดลงได้ด้วยการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงาน

2.1 ขอบเขตการประเมินวัฏจักรชีวิต

การประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA) ช่วยให้เราสามารถประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวงจรชีวิตของอาคารได้อย่างเป็นระบบ โดยมาตรฐานยุโรป EN 15978 กำหนดวิธีการประเมินที่ครอบคลุม และแบ่งวงจรชีวิตของอาคารออกเป็นส่วนย่อยที่เรียกว่า “โมดูล” เพื่อกำหนดขอบเขตการประเมินของแต่ละส่วนให้ชัดเจน ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ขั้นตอนประเมินวงจรชีวิตของอาคารตามมาตรฐาน EN 15978

ทำความเข้าใจขอบเขตการประเมิน LCA ของ BEAT

ขอบเขตการประเมินวัฏจักรชีวิตระบุว่าการประเมินครอบคลุมขั้นตอนใดบ้างในวงจรชีวิตของอาคาร แม้มาตรฐาน EN 15978 จะครอบคลุมวงจรชีวิตทั้งหมด แต่ BEAT มุ่งประเมินการปล่อยคาร์บอนในสองส่วนสำคัญ โดยมีขอบเขตดังนี้

1. **คาร์บอนแฝงในขั้นตอนการผลิตวัสดุ (A1-A3):** ครอบคลุมการปล่อยคาร์บอนตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ จนถึงวัสดุที่ผลิตเสร็จพร้อมออกจากโรงงาน หรือที่เรียกว่า “cradle-to-gate” ประกอบด้วย
 - A1: การสกัดหรือเก็บเกี่ยววัตถุดิบ เช่น การทำเหมืองและการเก็บเกี่ยว

- A2: การขนส่งวัตถุดิบไปยังโรงงานผลิต
- A3: กระบวนการผลิตวัสดุก่อสร้าง

คาร์บอนก่อนเริ่มใช้งานอาคารในขั้นตอน A4–A5: ครอบคลุมการขนส่งวัสดุไปยังสถานที่ก่อสร้าง (A4) และการสูญเสียวัสดุระหว่างการก่อสร้าง (A5) โดยประมาณค่าตามวิธีการประเมินคาร์บอนตลอดวงจรชีวิตของ RICS (ดูหัวข้อ 2.4)

2. คาร์บอนจากการดำเนินงาน (B6): ครอบคลุมการปล่อยคาร์บอนจากการใช้พลังงานตลอดอายุการใช้งานของอาคาร ได้แก่

- การทำความร้อนและการทำความเย็น
- การระบายอากาศ
- การให้แสงสว่าง
- การใช้งานอุปกรณ์และเครื่องใช้ต่าง ๆ

การกำหนดขอบเขตดังกล่าวช่วยให้ BEAT มุ่งประเมินขั้นตอนที่มีผลต่อการปล่อยคาร์บอนมากที่สุด และมีข้อมูลที่นำไปเชื่อถือพร้อมใช้งาน โดยคำนึงถึงทั้งความครอบคลุมของการประเมินและความเป็นไปได้ในการใช้งานจริง ภายใต้ข้อจำกัดด้านข้อมูลของประเทศเป้าหมายในโครงการ ALCBT

ปัจจุบัน BEAT ได้รวมขั้นตอนการขนส่งวัสดุไปยังสถานที่ก่อสร้าง (A4) และการก่อสร้างและติดตั้ง (A5) ไว้ในการประเมินแล้ว จึงขยายขอบเขตการประเมินคาร์บอนแฝงจากเดิมที่ครอบคลุมเฉพาะการผลิตวัสดุ (A1–A3) ให้ครอบคลุมคาร์บอนก่อนเริ่มใช้งานอาคารทั้งหมด (A1–A5) โดยอธิบายวิธีการประเมินไว้ในหัวข้อ 2.4 อย่างไรก็ตาม การใช้พลังงาน ณ สถานที่ก่อสร้าง (A5a) และขั้นตอนการใช้งาน (B) ส่วนอื่นนอกเหนือจาก B6 และขั้นตอนการสิ้นสุดอายุการใช้งาน (C) ยังอยู่นอกขอบเขตการประเมินในปัจจุบัน

2.2 การคำนวณคาร์บอนแฝง

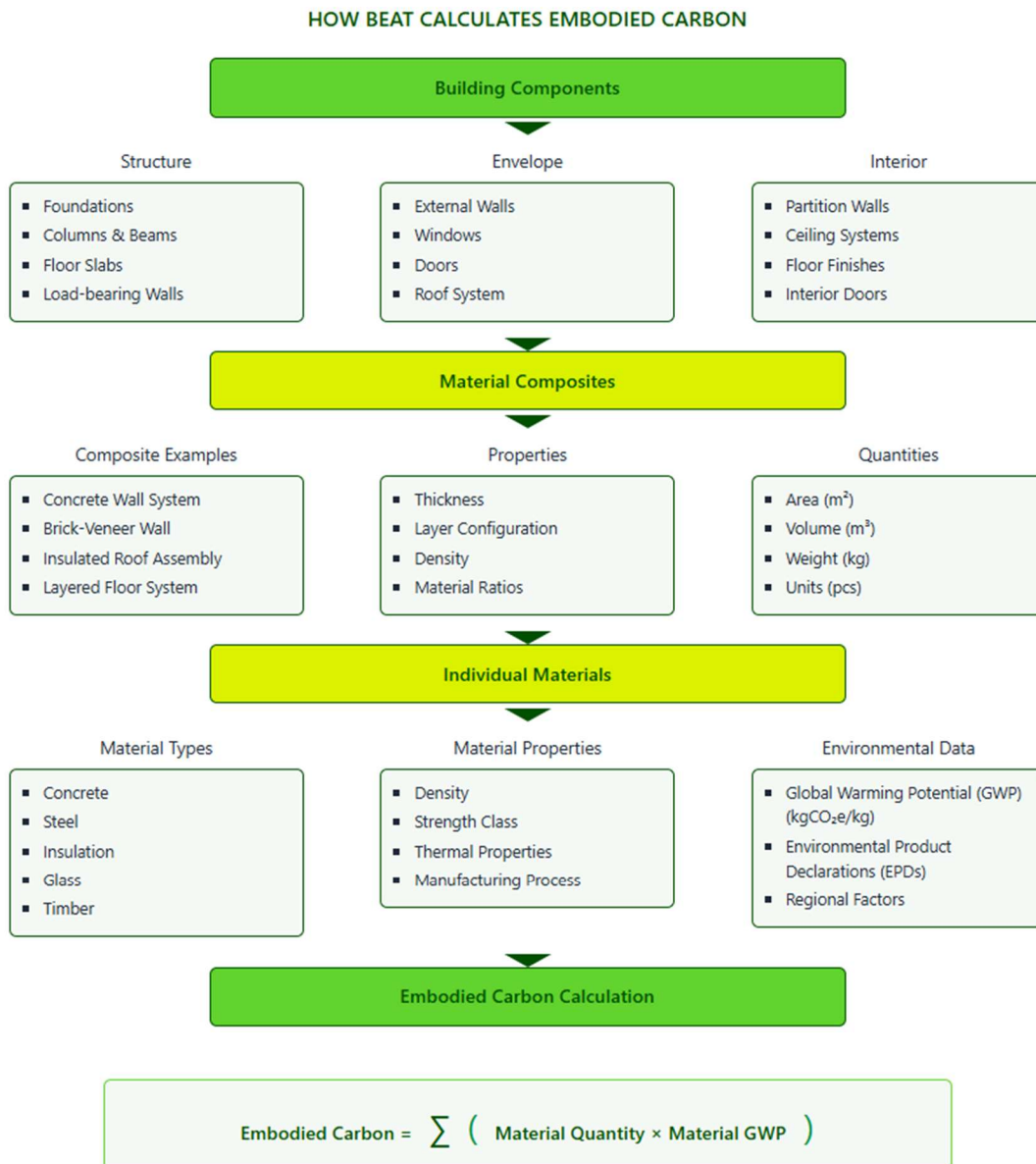
รูปที่ 2 แสดงขั้นตอนการคำนวณคาร์บอนแฝงของ BEAT โดยเริ่มจากองค์ประกอบของอาคาร แยกเป็นชุดวัสดุที่ประกอบกันเป็นองค์ประกอบนั้น แล้วจึงแยกเป็นวัสดุแต่ละชนิด จากนั้นนำปริมาณวัสดุแต่ละชนิดมาคูณกับค่าศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อน (Global Warming Potential: GWP) ของวัสดุนั้น และรวมผลที่ได้เป็นปริมาณคาร์บอนแฝงทั้งหมด ดังแสดงในสูตรการคำนวณ

การแบ่งข้อมูลเป็นลำดับขั้นนี้สอดคล้องกับวิธีที่ BEAT ใช้แยกองค์ประกอบของอาคารเพื่อการประเมิน ดังนี้

1. องค์ประกอบของอาคาร: ส่วนหลักของอาคารที่ทำหน้าที่ต่าง ๆ
2. ชุดวัสดุประกอบ: วัสดุหลายชนิดที่นำมาประกอบกันเป็นองค์ประกอบของอาคาร

3. วัสดุแต่ละชนิด: วัสดุพื้นฐานแต่ละชนิด พร้อมข้อมูลผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของวัสดุนั้น
4. การคำนวณคาร์บอนแฝง: การนำปริมาณวัสดุมาคูณกับค่าปัจจัยผลกระทบของวัสดุแต่ละชนิด แล้วรวมผล
การคำนวณเข้าด้วยกัน

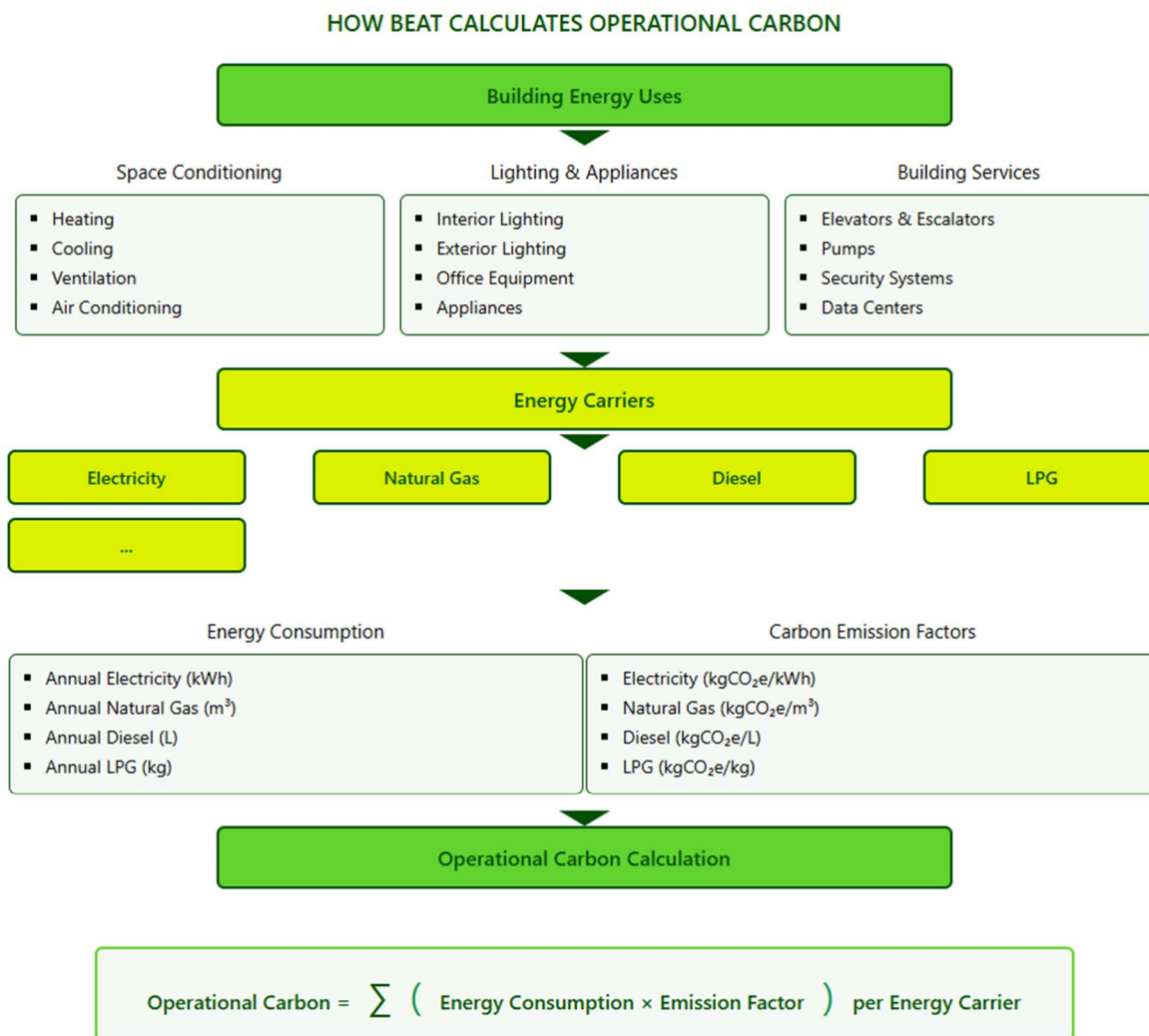
แผนภาพนี้ช่วยให้ผู้ใช้เห็นทั้งความสัมพันธ์ขององค์ประกอบและวัสดุในแต่ละระดับ ตลอดจนวิธีการคำนวณคาร์บอนแฝงได้ในภาพเดียว



รูปที่ 2 ขั้นตอนการคำนวณคาร์บอนแฝงอาคาร

2.3 การคำนวณคาร์บอนจากการดำเนินงาน

รูปที่ 3 แสดงขั้นตอนที่ BEAT ใช้คำนวณการปล่อยคาร์บอนจากการดำเนินงานของอาคาร โดยเริ่มจากการระบุกิจกรรมและระบบที่ใช้พลังงานในอาคาร แยกตามประเภทพลังงานที่ใช้ แล้วนำข้อมูลมาคำนวณปริมาณการปล่อยคาร์บอน



รูปที่ 3 ขั้นตอนการคำนวณคาร์บอนจากการดำเนินงานของอาคาร

โครงสร้างการคำนวณประกอบด้วยข้อมูลและขั้นตอน ดังต่อไปนี้

1. การใช้พลังงานในอาคาร: แบ่งตามกิจกรรมและระบบหลัก ได้แก่
 - การปรับสภาวะภายในอาคาร ได้แก่ การทำความร้อน การทำความเย็น และการระบายอากาศ
 - การให้แสงสว่างและการใช้งานเครื่องใช้ต่าง ๆ
 - ระบบบริการอาคาร เช่น ลิฟต์และปั๊ม

2. ประเภทพลังงานที่ใช้: ระบุประเภทพลังงานที่จ่ายให้กับกิจกรรมและระบบข้างต้น ได้แก่
 - ไฟฟ้า
 - ก๊าซธรรมชาติ
 - น้ำมันดีเซล
 - ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) และพลังงานประเภทอื่น ๆ
3. ปริมาณการใช้พลังงานและค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก: ประกอบด้วย
 - ปริมาณการใช้พลังงานแต่ละประเภทในหนึ่งปี โดยคำนึงถึงความแตกต่างตามฤดูกาลและช่วงเวลาการใช้งานอาคาร
 - ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของพลังงานแต่ละประเภท ซึ่งใช้แปลงปริมาณการใช้พลังงานเป็นปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก
4. การคำนวณคาร์บอนจากการดำเนินงาน: นำปริมาณการใช้พลังงานแต่ละประเภทมาคูณกับค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของพลังงานประเภทนั้น แล้วรวมผลที่ได้จากพลังงานทุกประเภท

สูตรการคำนวณแสดงให้เห็นว่า คาร์บอนจากการดำเนินงานเท่ากับผลรวมของปริมาณการใช้พลังงานแต่ละประเภทคูณด้วยค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่สอดคล้องกัน

วิธีการประเมินคาร์บอนจากการดำเนินงานโดยละเอียด

ปัจจุบัน BEAT มีวิธีประเมินการใช้พลังงานของอาคารสองวิธี เพื่อนำไปคำนวณคาร์บอนจากการดำเนินงาน ผู้ใช้สามารถเลือกใช้วิธีใดวิธีหนึ่ง หรือใช้ทั้งสองวิธีร่วมกันได้ ดังนี้

1. **การประเมินจากข้อมูลการใช้พลังงานจริง:** ผู้ใช้กรอกปริมาณการใช้พลังงานจริงในรอบปีของอาคาร โดยแยกตามประเภทพลังงาน และใช้ข้อมูลจากใบแจ้งค่าไฟฟ้าหรือค่าพลังงานประเภทอื่น หรือจากบันทึกค่ามิเตอร์โดยตรง วิธีนี้ยังคงเป็นแนวทางที่น่าเชื่อถือที่สุดสำหรับอาคารที่เปิดใช้งานแล้ว และเป็นวิธีเดียวกับที่ใช้ใน BEAT รุ่นก่อนหน้า
2. **การประเมินจากแบบจำลองระบบอาคาร:** ผู้ใช้กรอกข้อมูลอุปกรณ์ของแต่ละระบบ ได้แก่ ระบบทำความเย็น ระบบระบายอากาศ ระบบแสงสว่าง ระบบทำน้ำร้อน และระบบลิฟต์และบันไดเลื่อน จากนั้น BEAT จะประมาณปริมาณการใช้พลังงานรายปีของแต่ละระบบ ช่วยให้เห็นว่าอุปกรณ์แต่ละชนิดและระบบทำความร้อน ระบายอากาศ และปรับอากาศ (HVAC) มีส่วนต่อค่าใช้จ่ายด้านพลังงานโดยรวมอย่างไร วิธีนี้เหมาะสมอย่างยิ่งสำหรับอาคารที่อยู่ระหว่างการออกแบบ ซึ่งยังไม่มีข้อมูลการใช้พลังงานจริง และช่วยระบุจุดที่สามารถลดการใช้พลังงานและการปล่อยคาร์บอนได้

ไม่ว่าจะเลือกใช้วิธีใด การคำนวณคาร์บอนจากการดำเนินงานใช้หลักการเดียวกัน คือ นำปริมาณการใช้พลังงานแต่ละประเภทมาคูณกับค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของพลังงานประเภทนั้น แล้วรวมผลที่ได้จากพลังงานทุกประเภท

ข้อมูลที่ใช้ในการประเมินจากแบบจำลองระบบอาคาร

BEAT จะแนะนำให้ผู้ใช้กรอกข้อมูลของระบบแต่ละประเภทตามลำดับขั้นตอน หากผู้ใช้ไม่ได้ระบุค่าบางรายการ เครื่องมือจะใช้ค่าเริ่มต้นสำหรับตารางเวลาการใช้งานและประสิทธิภาพของระบบที่เหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศและประเภทห้อง เพื่อให้สามารถประมาณการใช้พลังงานได้ครบถ้วน ตารางด้านล่างสรุปข้อมูลที่ต้องกรอกและวิธีที่ BEAT ใช้คำนวณปริมาณการใช้พลังงานรายปีจากข้อมูลเหล่านี้

ตารางที่ 1 ข้อมูลระบบอาคารที่ใช้ในการประเมินและวิธีประมาณการใช้พลังงานรายปีของ BEAT

ระบบอาคาร	ข้อมูลหลักที่ BEAT รวบรวม	วิธีประมาณการใช้พลังงานรายปี
ระบบทำความเย็น เช่น เครื่องปรับอากาศแบบหน้าต่างและแบบแยกส่วน ระบบปรับอากาศแบบปรับปริมาณสารทำความเย็น (VRF) เครื่องทำน้ำเย็นที่ระบายความร้อนด้วยอากาศหรือด้วยน้ำ และเครื่องปรับอากาศแบบแฟกเกจหรือแบบท่อท่อลม	• ประเภทระบบ • ขนาดกำลังทำความเย็น • กำลังไฟฟ้าที่ใช้ • ค่า EER/ISEER/COP • ชนิดและปริมาณสารทำความเย็น รวมถึงอัตราการรั่วไหล (%) • การใช้ระบบปรับความเร็วรอบ (VSD) และระบบนำความร้อนกลับมาใช้ • ตารางเวลาการใช้งาน	$\text{พลังงานที่ใช้} = \text{กำลังไฟฟ้าที่ใช้} \times (\text{หรือกำลังทำความเย็น} \div \text{EER}) \times \text{จำนวนเครื่อง} \times \text{ชั่วโมงใช้งานต่อวัน} \times \text{วันใช้งานต่อสัปดาห์} \times \text{สัปดาห์ที่ใช้งานต่อปี}$ • หากมี VSD ให้คูณด้วย 0.80 • หากมีการนำความร้อนกลับมาใช้ ให้คูณด้วย 0.70 • ส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากสารทำความเย็นที่รั่วไหล จะคำนวณแยกต่างหาก โดยใช้ค่า GWP ของสารทำความเย็น
ระบบระบายอากาศ เช่น เครื่องส่งลมเย็น (AHU) เครื่องเป่าลมเย็น (FCU) ระบบจ่ายอากาศภายนอกโดยเฉพาะ (DOAS) เครื่องปรับอากาศแบบฝังฝ้าเพดาน และพัดลมเพดาน พัดลมดูดอากาศหรือพัดลมติดผนัง	• ประเภทระบบ • จำนวนเครื่อง • อัตราการไหลของอากาศ (CMH) • กำลังไฟฟ้าต่ออัตราการไหลของอากาศ (W/CMH) • กำลังไฟฟ้าที่ใช้	$\text{พลังงานที่ใช้} = \text{กำลังไฟฟ้าของระบบ} \times \text{ระยะเวลาการใช้งานตามตาราง}$ • หากมี VSD ให้คูณด้วย 0.80 • หากมี DCV ให้คูณด้วย 0.70

ระบบอาคาร	ข้อมูลหลักที่ BEAT รวบรวม	วิธีประมาณการใช้พลังงานรายปี
	- การใช้ระบบปรับความเร็วรอบ (VSD) และระบบควบคุมการระบายอากาศตามความต้องการ (DCV) - ตารางเวลาการใช้งาน	
ระบบแสงสว่าง เช่น หลอด LED หลอดฟลูออเรสเซนต์ T5/T8/T12 หลอดคอมแพกต์ฟลูออเรสเซนต์ (CFL) หลอดไส้หรือหลอดฮาโลเจน และหลอดปล่อยประจุความเข้มสูง (HID)	- ประเภทและพื้นที่ห้อง - จำนวนโคมไฟ - กำลังไฟฟ้า - กำลังไฟฟ้าแสงสว่างต่อหน่วยพื้นที่ (LPD) - การใช้เซนเซอร์ตรวจจับการใช้งานพื้นที่ - ตารางเวลาการใช้งาน	พลังงานที่ใช้ = กำลังไฟฟ้ารวมของระบบแสงสว่าง × ระยะเวลาการใช้งานตามตาราง หากมีเซนเซอร์ตรวจจับการใช้งานพื้นที่ ให้คูณด้วย 0.80
ระบบทำน้ำร้อน เช่น ป้อนความร้อน หม้อไอน้ำ และเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์	- ประเภทระบบ - ประเภทเชื้อเพลิง - ปริมาณการใช้เชื้อเพลิง - ค่า COP หรือประสิทธิภาพของระบบ - การใช้ระบบนำความร้อนกลับมาใช้ - ตารางเวลาการใช้งาน	ประเมินพลังงานที่ใช้จากปริมาณการใช้เชื้อเพลิง หรือจากค่าประสิทธิภาพร่วมกับตารางเวลาการใช้งาน จากนั้นคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยใช้ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของพลังงานประเภทนั้น
ระบบลิฟต์และบันไดเลื่อน	- จำนวนลิฟต์ - การใช้ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้ากลับคืน - การใช้ระบบขับเคลื่อนแบบปรับแรงดันและความถี่ (VVVF) หรือโหมดพักการทำงาน	ใช้ค่าเริ่มต้นเท่ากับร้อยละ 7.5 ของปริมาณการใช้ไฟฟ้ารวมรายปีของอาคาร หรือใช้ค่าที่ผู้ระบุ

วิธีการประเมินนี้ยังคำนึงถึงปัจจัยเพิ่มเติมอีกสองประการ ประการแรก คือ การรั่วไหลของสารทำความเย็นจากอุปกรณ์ทำความเย็น ซึ่งถือเป็นแหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจกเพิ่มเติมในระหว่างการทำงานของอาคาร โดยนำปริมาณสารทำความเย็นที่รั่วไหลมาคูณกับค่าศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อน (GWP) ของสารนั้น แล้วรวมผลที่ได้เข้ากับคาร์บอนจากการดำเนินงานของอาคาร ประการที่สอง คือ การผลิตพลังงานหมุนเวียนภายในพื้นที่โครงการ ซึ่งผู้ใช้สามารถรอกข้อมูลจากการผลิตพลังงานหมุนเวียนใน BEAT เป็นค่าร้อยละ จากนั้นเครื่องมือจะนำค่านี้ไปคำนวณลดปริมาณไฟฟ้าที่อาคารใช้จากโครงข่าย รวมถึงปริมาณการปล่อยคาร์บอนที่เกี่ยวข้อง

2.4 คาร์บอนก่อนเริ่มใช้งานอาคาร: การขนส่งวัสดุ (A4) และของเสียจากวัสดุระหว่างการก่อสร้าง (A5)

นอกจากการประเมินคาร์บอนในขั้นตอนการผลิตวัสดุ A1–A3 (หัวข้อ 2.2) แล้ว BEAT ยังประมาณการปล่อยคาร์บอนก่อนเริ่มใช้งานอาคารในส่วนที่เหลือ ได้แก่ การขนส่งวัสดุไปยังสถานที่ก่อสร้าง (A4) และการก่อสร้างและติดตั้ง (A5) ตามกรอบของมาตรฐาน EN 15978 และแนวทางการประเมินคาร์บอนตลอดวงจรชีวิตสำหรับสิ่งปลูกสร้างของ RICS (Whole Life Carbon Assessment for the Built Environment ฉบับที่ 2 ปี 2023) เมื่อรวมขั้นตอน A1–A5 จะได้คาร์บอนแฝงที่เกิดขึ้นก่อนเริ่มใช้งานอาคาร โดย BEAT แสดงผลแยกเป็น A1–A3, A4 และ A5w พร้อมผลรวมภายใต้รายการ “Upfront A1–A5”

A4 – การขนส่งวัสดุไปยังสถานที่ก่อสร้าง: ครอบคลุมการปล่อยคาร์บอนจากการขนส่งวัสดุแต่ละชนิดจากโรงงานไปยังสถานที่ก่อสร้าง BEAT คำนวณโดยพิจารณามวลวัสดุร่วมกับระยะทางขนส่งในหน่วยตัน-กิโลเมตร ตามแนวทางที่ EN 15978, RICS และ GHG Protocol แนะนำ ดังนี้

$$\text{คาร์บอนจากการขนส่ง (A4)} = \text{มวลวัสดุ (ตัน)} \times \text{ระยะทางขนส่ง (กิโลเมตร)} \times \text{ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการขนส่ง (kgCO}_2\text{e/ตัน-กิโลเมตร)}$$

ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อหน่วยตัน-กิโลเมตร ได้รวมผลของสัดส่วนการบรรทุกเฉลี่ยของยานพาหนะและการเดินทางเที่ยวกลับโดยไม่มีสินค้าไว้แล้ว จึงไม่จำเป็นต้องระบุจำนวนเที่ยวขนส่ง วิธีนี้เป็นแนวทางที่มาตรฐานดังกล่าวแนะนำสำหรับการประเมินในขั้นตอนการออกแบบ

BEAT กำหนดระยะทางและรูปแบบการขนส่งให้โดยอัตโนมัติตามประเภทวัสดุและสมมติฐานแหล่งจัดหาวัสดุ โดยผู้ใช้สามารถปรับแก้ได้ แบ่งเป็นสามกรณี ดังนี้

- จัดหาในท้องถิ่น (Local): ขนส่งทางถนนประมาณ 50 กิโลเมตร เช่น คอนกรีต มวลรวม ปูนซีเมนต์ และอิฐบล็อกจาก

- จัดหาภายในประเทศ (National): ขนส่งทางถนนประมาณ 300 กิโลเมตร เช่น เหล็กเสริม ไม้ กระเบื้อง และแผ่นยิปซัม
- นำเข้าจากต่างประเทศ (Imported): ขนส่งทางทะเลร่วมกับการขนส่งทางถนนภายในประเทศ เช่น เหล็ก โครงสร้าง อะลูมิเนียม และกระจก

ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการขนส่งทางถนน ทางราง และทางทะเลที่ใช้สำหรับแต่ละประเทศแสดงไว้ในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการขนส่ง (A4) ของแต่ละประเทศภายใต้โครงการ ALCBT

หน่วย: กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อตัน-กิโลเมตร (kgCO₂e/ตัน-กิโลเมตร)

ประเทศ	ทางถนน	ทางราง	ทางทะเล	แหล่งข้อมูล
อินเดีย	0.070	0.008	0.010	WRI India GHG Programme / Smart Freight Centre (สอดคล้องกับกรอบ GLEC ปี 2025)
ไทย	0.090	0.020	0.010	องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) หรือ อบก. — อยู่ระหว่างการยืนยันข้อมูลขั้นสุดท้าย
กัมพูชา	0.100	0.025	0.010	ค่าเริ่มต้นระดับภูมิภาคตามกรอบ GLEC ฉบับที่ 3
เวียดนาม	0.100	0.025	0.010	ค่าเริ่มต้นระดับภูมิภาคตามกรอบ GLEC ฉบับที่ 3
อินโดนีเซีย	0.100	0.025	0.010	ค่าเริ่มต้นระดับภูมิภาคตามกรอบ GLEC ฉบับที่ 3

หากประเทศใดยังไม่มีผลการศึกษาด้านการขนส่งสินค้าระดับประเทศ BEAT จะใช้ค่าเริ่มต้นระดับภูมิภาคตามกรอบ GLEC ฉบับที่ 3 และจะปรับปรุงค่าเหล่านี้เมื่อมีข้อมูลเฉพาะของประเทศนั้น ๆ ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในขั้นตอน A4 ไม่ขึ้นอยู่กับค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของระบบไฟฟ้า เนื่องจากการขนส่งทางถนนและทางทะเลใช้น้ำมันดีเซลและเชื้อเพลิงเรือเป็นแหล่งพลังงาน ยกเว้นการขนส่งทางรางที่ใช้ไฟฟ้า

A5w – ของเสียจากวัสดุก่อสร้าง: โมดูล A5 ครอบคลุมขั้นตอนการก่อสร้างและติดตั้ง โดย BEAT ประเมินเฉพาะส่วนของวัสดุที่กลายเป็นของเสียระหว่างการก่อสร้าง (A5w) ซึ่งโดยทั่วไปเป็นส่วนที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดและมีข้อมูลรองรับชัดเจนที่สุดในโมดูลนี้ การจัดส่งวัสดุแต่ละชนิดมายังสถานที่ก่อสร้างจะเผื่อปริมาณไว้มากกว่าที่ใช้ติดตั้งจริง เพื่อรองรับวัสดุที่อาจกลายเป็นของเสียระหว่างการทำงาน ดังนั้น วัสดุส่วนที่กลายเป็นของเสียจึงมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งจากการผลิต การขนส่ง และการกำจัดเมื่อสิ้นสุดการใช้งาน โดยคำนวณดังนี้

$$A5w = [\text{อัตราการเกิดของเสีย} \times (A1-A3 + A4)] + [\text{มวลวัสดุที่กลายเป็นของเสีย} \times \text{ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการกำจัด}]$$

ค่าเริ่มต้นของอัตราการเกิดของเสียอ้างอิงวิธีการของ RICS ซึ่งใช้ข้อมูลจาก BRE โดยกำหนดแตกต่างกันตามชนิดวัสดุ ตั้งแต่ประมาณร้อยละ 1 สำหรับเหล็กโครงสร้าง ร้อยละ 5 สำหรับคอนกรีต ไปจนถึงประมาณร้อยละ 20 สำหรับแผ่นยิปซัม

BEAT กำหนดสมมติฐานทั้งหมดสำหรับการประเมิน A4 และ A5 โดยอัตโนมัติ ตามประเทศที่ตั้งอาคารและประเภทของวัสดุแต่ละชนิด ผู้ใช้สามารถตรวจสอบและปรับแก้ค่าเหล่านี้แยกตามวัสดุได้ภายในเครื่องมือ ทั้งสมมติฐานแหล่งจัดหาวัสดุ ระยะทางขนส่ง ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และอัตราการเกิดของเสีย

3. พื้นฐานการใช้งาน BEAT

3.1 ระบบจำแนกประเภทอาคาร

BEAT ใช้ระบบการจำแนกประเภทอาคารตาม IFC EDGE* ในขั้นตอนการกรอกข้อมูลเบื้องต้นและระบุลักษณะอาคาร เพื่อให้รวบรวมรายละเอียดของอาคารแต่ละประเภทได้อย่างครอบคลุม จากนั้นจึงจัดกลุ่มประเภทอาคารตามระบบ EDGE ให้เป็นสี่กลุ่มหลัก ได้แก่ อาคารที่อยู่อาศัย อาคารพาณิชย์ อาคารสาธารณะหรืออาคารสถาบัน และอาคารแบบผสมผสาน เพื่อใช้วิเคราะห์ในขั้นตอนถัดไปของการประเมินด้วย BEAT แนวทางนี้ช่วยให้เก็บข้อมูลอาคารได้อย่างละเอียด ขณะเดียวกันก็ทำให้การวิเคราะห์และการเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิงเป็นระบบและสะดวกยิ่งขึ้น²

A. นิยามและการจำแนกประเภทอาคาร (จำแนกตามระบบ EDGE สำหรับกรอกข้อมูล)

BEAT ใช้ระบบการจำแนกประเภทอาคารของ IFC EDGE ซึ่งพิจารณาจากลักษณะการใช้งาน ระดับคุณภาพ และลักษณะเฉพาะในการดำเนินงานของอาคาร การจำแนกอย่างละเอียดนี้ช่วยให้เปรียบเทียบการปล่อยก๊าซเรือนกระจกกับค่าอ้างอิงได้อย่างแม่นยำ สำหรับอาคารหลากหลายประเภทในประเทศภายใต้โครงการ ALCBT

² International Finance Corporation. (2024, May 15). EDGE user guide part 1 - Using the Design Tab (Version 3, Revision 1). <https://edge.gbci.org/>

* EDGE (Excellence in Design for Greater Efficiencies) เป็นเครื่องมือและระบบรับรองอาคารเขียวที่พัฒนาโดยบริษัทการเงินระหว่างประเทศ (International Finance Corporation: IFC) ซึ่งเป็นหน่วยงานในกลุ่มธนาคารโลก เพื่อส่งเสริมการออกแบบอาคารให้ใช้พลังงาน น้ำ และวัสดุอย่างมีประสิทธิภาพ โดย BEAT นำระบบการจำแนกประเภทอาคารของ EDGE มาใช้ในการจัดเก็บข้อมูลและระบุลักษณะอาคาร

1.1 บ้านพักอาศัย (Homes)

นิยาม: โดยทั่วไปหมายถึงอาคารพักอาศัยสำหรับหนึ่งครัวเรือน เช่น บ้านเดี่ยว วิลลา และทาวน์เฮาส์ โดยอาจประเมินเป็นโครงการย่อยที่มีบ้านเพียงหนึ่งหน่วย หรือหลายหน่วยที่อยู่ในโครงการพัฒนาเดียวกันก็ได้

เกณฑ์การจำแนก: จำแนกตามระดับรายได้ โดยอ้างอิงการแบ่งกลุ่มทางเศรษฐกิจและสังคมของแต่ละประเทศ

ประเภทย่อย:

- **บ้านพักอาศัยสำหรับผู้มีรายได้น้อย (Low Income Homes):** พิจารณาตามการแบ่งกลุ่มทางเศรษฐกิจและสังคมของแต่ละประเทศ โดยใช้ราคาที่อยู่อาศัยและ/หรือกลุ่มเป้าหมายเป็นเกณฑ์ บ้านที่ได้รับเงินอุดหนุนไม่ว่าประเภทใด หรืออยู่ภายใต้โครงการที่อยู่อาศัยเพื่อสังคม อาจจัดอยู่ในกลุ่มนี้ได้
- **บ้านพักอาศัยสำหรับผู้มีรายได้ปานกลาง (Middel Income Homes):** ที่อยู่อาศัยระดับมาตรฐานตามการแบ่งกลุ่มทางเศรษฐกิจและสังคมในท้องถิ่น โดยมีกลุ่มเป้าหมายเป็นครัวเรือนที่มีรายได้ปานกลาง
- **บ้านพักอาศัยสำหรับผู้มีรายได้สูง (High Income Homes):** ที่อยู่อาศัยระดับพรีเมียมตามการแบ่งกลุ่มทางเศรษฐกิจและสังคมในท้องถิ่น โดยมีกลุ่มเป้าหมายเป็นครัวเรือนที่มีฐานะทางเศรษฐกิจสูง

ปัจจัยสำคัญที่ใช้แยกความแตกต่างระหว่างกลุ่ม: พื้นที่ใช้สอยต่อผู้อยู่อาศัย คุณภาพการก่อสร้าง จำนวนเครื่องใช้ไฟฟ้าต่อหน่วยพื้นที่ และระดับความต้องการใช้พลังงานเพื่อรองรับการอยู่อาศัย ทั้งนี้ แต่ละประเทศเป็นผู้กำหนดรายละเอียดของเกณฑ์เหล่านี้

1.2 อาคารพักอาศัยรวม (Apartments)

นิยาม: โดยทั่วไปหมายถึงอาคารหนึ่งหลังที่มีที่พักอาศัยหลายหน่วยสำหรับหลายครัวเรือน

เกณฑ์การจำแนก: จำแนกตามระดับรายได้ โดยอ้างอิงการแบ่งกลุ่มทางเศรษฐกิจและสังคมของแต่ละประเทศ

ประเภทย่อย:

- **อาคารพักอาศัยรวมสำหรับผู้มีรายได้น้อย (Low Income Apartments):** อาคารสำหรับหลายครัวเรือนที่มีรายได้น้อย ซึ่งมักอยู่ภายใต้โครงการที่อยู่อาศัยในราคาที่เข้าถึงได้ โดยใช้การแบ่งกลุ่มทางเศรษฐกิจและสังคมในท้องถิ่นเป็นเกณฑ์ เช่นเดียวกับประเภทบ้านพักอาศัย
- **อาคารพักอาศัยรวมสำหรับผู้มีรายได้ปานกลาง (Middle Income Apartments):** อาคารพักอาศัยระดับมาตรฐานสำหรับหลายครัวเรือน โดยมีกลุ่มเป้าหมายเป็นครัวเรือนที่มีรายได้ปานกลาง
- **อาคารพักอาศัยรวมสำหรับผู้มีรายได้สูง (High Income Apartments):** อาคารพักอาศัยระดับหรูสำหรับหลายครัวเรือน พร้อมสิ่งอำนวยความสะดวกระดับพรีเมียม

ปัจจัยสำคัญที่ใช้แยกความแตกต่างระหว่างกลุ่ม: พื้นที่ใช้สอยต่อหน่วยพักอาศัย สิ่งอำนวยความสะดวกในพื้นที่ส่วนกลาง คุณภาพการก่อสร้าง และระดับความต้องการใช้พลังงานเพื่อรองรับการอยู่อาศัย ทั้งนี้ รายละเอียดของเกณฑ์เหล่านี้กำหนดตามบริบทของแต่ละประเทศ

1.3 เซอร์วิสอพาร์ทเมนต์ (Serviced Apartments)

นิยาม: โดยทั่วไปใช้สำหรับโครงการที่ให้บริการที่พักระยะยาว ซึ่งไม่ได้จัดอยู่ในประเภทที่อยู่อาศัยถาวร ที่พักรวมสำหรับการพักระยะยาว เช่น ที่พักนักศึกษา สามารถจัดอยู่ในประเภทนี้ได้เช่นกัน

ประเภทย่อย:

- **เซอร์วิสอพาร์ทเมนต์ (Serviced Apartments):** หน่วยพักที่มีเฟอร์นิเจอร์ครบครัน พร้อมบริการในลักษณะเดียวกับโรงแรม สำหรับการพักระยะยาวที่ไม่ใช่การอยู่อาศัยถาวร

ปัจจัยสำคัญที่ใช้แยกความแตกต่างระหว่างกลุ่ม: รูปแบบการเข้าพัก ระดับการให้บริการ สิ่งอำนวยความสะดวกส่วนกลาง และประสิทธิภาพในการทำความสะดวก ทั้งนี้ รายละเอียดของเกณฑ์เหล่านี้กำหนดตามบริบทของแต่ละประเทศ

1.4 โรงแรม (Hotels)

นิยาม: โดยทั่วไปใช้สำหรับโครงการที่ให้บริการที่พักระยะสั้น ซึ่งไม่ได้จัดอยู่ในประเภทที่อยู่อาศัยถาวร เช่น โรงแรมสำหรับนักท่องเที่ยว

เกณฑ์การจำแนก: จำแนกตามระดับคุณภาพ โดยใช้ระดับดาวของโรงแรมเป็นเกณฑ์

ประเภทย่อย:

- **โรงแรมระดับ 1 ดาว (1-Star Hotels):** ที่พักชั้นพื้นฐานที่มีบริการเท่าที่จำเป็น หากจัดโฮสเทลไว้ในประเภท “โรงแรม” ให้เลือกประเภทย่อยเป็นโรงแรมระดับ 1 ดาว
- **โรงแรมระดับ 2 ดาว (2-Star Hotels):** มีบริการจำกัดและสิ่งอำนวยความสะดวกพื้นฐาน
- **โรงแรมระดับ 3 ดาว (3-Star Hotels):** มีสิ่งอำนวยความสะดวกระดับปานกลาง ห้องอาหาร และบริการสำหรับผู้เดินทางเพื่อธุรกิจ
- **โรงแรมระดับ 4 ดาว (4-Star Hotels):** ให้บริการครบวงจร มีห้องอาหารหลายแห่ง สระว่ายน้ำ และศูนย์ออกกำลังกาย
- **โรงแรมระดับ 5 ดาว (5-Star Hotels):** ที่พักระดับหรูที่มีสิ่งอำนวยความสะดวกหลากหลาย ห้องอาหารระดับหรู และบริการระดับพรีเมียม

ปัจจัยสำคัญที่ใช้แยกความแตกต่างระหว่างกลุ่ม: รูปแบบการเข้าพัก ความต้องการใช้น้ำร้อน บริการสำหรับผู้เข้าพัก ชั่วโมงการทำงานของระบบทำความร้อน ระบายอากาศ และปรับอากาศ (HVAC) และความต้องการของระบบที่รองรับบริการเสริม

1.5 รีสอร์ท (Resorts)

นิยาม: โดยทั่วไปหมายถึงโรงแรมที่ให้บริการที่พักครบวงจร โดยมีที่พักและสิ่งอำนวยความสะดวกกระจายอยู่ในอาคารหลายหลัง

เกณฑ์การจำแนก: จำแนกตามระดับคุณภาพ โดยใช้ระดับดาวเป็นเกณฑ์

ประเภทย่อย:

- **รีสอร์ทระดับ 1 ดาว (1-Star Resorts):** ที่พักชั้นพื้นฐานที่กระจายอยู่ในอาคารหลายหลัง มีสิ่งอำนวยความสะดวกเพื่อการพักผ่อนหย่อนใจเท่าที่จำเป็น
- **รีสอร์ทระดับ 2 ดาว (2-Star Resorts):** มีบริการและสิ่งอำนวยความสะดวกเพื่อการพักผ่อนหย่อนใจในขอบเขตจำกัด
- **รีสอร์ทระดับ 3 ดาว (3-Star Resorts):** มีสิ่งอำนวยความสะดวกและพื้นที่สำหรับกิจกรรมพักผ่อนหย่อนใจระดับปานกลาง
- **รีสอร์ทระดับ 4 ดาว (4-Star Resorts):** มีพื้นที่และสิ่งอำนวยความสะดวกสำหรับกิจกรรมพักผ่อนหย่อนใจอย่างครบครันและหลากหลาย
- **รีสอร์ทระดับ 5 ดาว (5-Star Resorts):** ที่พักระดับหรูที่กระจายอยู่ในอาคารหลายหลัง พร้อมสิ่งอำนวยความสะดวกเพื่อการพักผ่อนหย่อนใจระดับพรีเมียม

ปัจจัยสำคัญที่ใช้แยกความแตกต่างระหว่างกลุ่ม: สัดส่วนสิ่งอำนวยความสะดวกกลางแจ้งและภายในอาคาร ความเข้มการใช้พลังงานของสิ่งอำนวยความสะดวกเพื่อการพักผ่อนหย่อนใจ การกระจายตัวของอาคาร และรูปแบบการใช้พื้นที่ดิน

1.6 อาคารค้าปลีก (Retail Buildings)

เกณฑ์การจำแนก: จำแนกตามประเภทสินค้า ขนาด และรูปแบบการดำเนินการ

ประเภทย่อย:

- **ห้างสรรพสินค้า (Department Store):** โครงการค้าปลีกที่มีร้านค้าขนาดใหญ่เป็นหลัก จำหน่ายสินค้าหลากหลายประเภทหรือหลายกลุ่มผลิตภัณฑ์
- **ศูนย์การค้า (Shopping Mall):** อาคารค้าปลีกที่ประกอบด้วยผู้เช่าหลากหลายประเภท เช่น ร้านค้าหลักที่ดึงดูดลูกค้า ร้านค้ารายย่อย ร้านอาหาร และศูนย์อาหาร
- **ซูเปอร์มาร์เก็ต (Supermarket):** โครงการค้าปลีกที่มีซูเปอร์มาร์เก็ตหรือร้านจำหน่ายอาหารและสินค้าอุปโภคบริโภค
- **ร้านค้าปลีกอาหารและเครื่องดื่มขนาดเล็ก (Small Food Retail):** โครงการค้าปลีกที่จำหน่ายอาหารและ/หรือเครื่องดื่มโดยเฉพาะ

- **ร้านค้าปลีกขนาดใหญ่ที่จำหน่ายสินค้าที่ไม่ใช่อาหาร (Non-food Big Box Retail):** โครงการค้าปลีกที่ใช้พื้นที่ขนาดใหญ่คล้ายห้างสรรพสินค้า แต่จำหน่ายสินค้าเฉพาะบางกลุ่ม เช่น ร้านเฟอร์นิเจอร์หรือร้านวัสดุและอุปกรณ์ช่าง

ปัจจัยสำคัญที่ใช้แยกความแตกต่างระหว่างกลุ่ม: ชั่วโมงเปิดทำการ ความต้องการใช้ระบบทำความเย็นเพื่อเก็บรักษาสินค้า ระดับการใช้แสงสว่าง ความหนาแน่นของผู้ใช้อาคาร และความต้องการใช้พลังงานในการจัดแสดงสินค้า

1.7 อาคารอุตสาหกรรม (Industrial Buildings)

เกณฑ์การจำแนก: จำแนกตามระดับความเข้มข้นของกิจกรรมการผลิตและลักษณะการใช้พื้นที่จัดเก็บสินค้า

ประเภทย่อย:

- **อุตสาหกรรมเบา (Light Industry):** อาคารสำหรับการผลิตขนาดเล็ก ซึ่งใช้เครื่องจักรและอุปกรณ์ที่มีความต้องการใช้พลังงานไม่สูง
- **คลังสินค้า (Warehouse):** อาคารสำหรับจัดเก็บสินค้า ซึ่งอาจมีพื้นที่จัดเก็บแบบควบคุมความเย็นรวมอยู่ด้วย

ปัจจัยสำคัญที่ใช้แยกความแตกต่างระหว่างกลุ่ม: ความต้องการใช้พลังงานในกระบวนการผลิต ความหนาแน่นของเครื่องจักรและอุปกรณ์ ความต้องการควบคุมอุณหภูมิ และรูปแบบการใช้งานอาคาร

1.8 อาคารสำนักงาน (Office Buildings)

เกณฑ์การจำแนก: จำแนกตามระดับคุณภาพ โดยพิจารณาจากทำเล สิ่งอำนวยความสะดวก และคุณลักษณะของอาคาร

ประเภทย่อย:

- **สำนักงานเกรด A (Grade A Office):** อาคารคุณภาพสูงในทำเลชั้นนำ มีระบบอาคารที่ทันสมัย การบริหารจัดการโดยทีมงานมืออาชีพที่มีคุณภาพสูง และสิ่งอำนวยความสะดวกระดับชั้นนำ โดยเป็นอาคารที่เพิ่งก่อสร้างหรือได้รับการปรับปรุงใหม่เมื่อไม่นานมานี้ ใช้วัสดุคุณภาพสูงและเทคโนโลยีที่ทันสมัย
- **สำนักงานเกรด B (Grade B Office):** อาคารคุณภาพดีในทำเลที่ค่อนข้างสะดวก แต่ไม่โดดเด่นเท่าสำนักงานเกรด A มีการบริหารจัดการที่เหมาะสมและสิ่งอำนวยความสะดวกพอสมควร โดยทั่วไปมีอายุประมาณ 10–20 ปี ระบบอาคารยังใช้งานได้ และมีสภาพโดยรวมอยู่ในระดับปานกลางถึงดี
- **สำนักงานเกรด C (Grade C Office):** อาคารที่มีพื้นที่ใช้งานและสิ่งอำนวยความสะดวกขั้นพื้นฐาน พร้อมการบริหารจัดการในขอบเขตจำกัด โดยมักมีอายุมากกว่า 20 ปี อาจขาดระบบหรือสิ่งอำนวยความสะดวกที่ทันสมัย และตั้งอยู่ในทำเลที่ได้รับความนิยมน้อยกว่า อาคารกลุ่มนี้มักต้องได้รับการปรับปรุงครั้งใหญ่ และเหมาะกับผู้ที่ให้ความสำคัญกับการควบคุมค่าใช้จ่าย

ปัจจัยสำคัญที่ใช้แยกความแตกต่างระหว่างกลุ่ม: อายุอาคาร คุณภาพทำเล เทคโนโลยีของระบบอาคาร ระดับสิ่งอำนวยความสะดวก คุณภาพการบริหารจัดการ และลักษณะของผู้เช่า

1.9 อาคารสถานพยาบาล (Healthcare Buildings)

เกณฑ์การจำแนก: จำแนกตามสาขาการแพทย์ ประเภทเจ้าของกิจการ และความซับซ้อนของบริการ

ประเภทย่อย:

- **สถานดูแลที่มีบริการพยาบาล (Nursing Homes):** สถานดูแลแบบพักอาศัยที่มีบุคลากรพยาบาลดูแลตลอด 24 ชั่วโมง
- **โรงพยาบาลเอกชน (Private Hospital):** โรงพยาบาลที่ได้รับเงินทุนจากภาคเอกชน
- **โรงพยาบาลรัฐ (Public Hospital):** โรงพยาบาลที่ได้รับเงินทุนจากภาครัฐ
- **โรงพยาบาลที่ให้บริการหลายสาขา (Multi-specialty Hospital):** โรงพยาบาลที่ให้บริการทางการแพทย์หลากหลายสาขา
- **คลินิก (Clinics):** สถานพยาบาลที่ให้บริการผู้ป่วยโดยไม่ต้องพักค้างคืน
- **ศูนย์ตรวจวินิจฉัย (Diagnostic Center):** สถานพยาบาลที่มีอุปกรณ์เฉพาะทางสำหรับให้บริการตรวจวินิจฉัย
- **โรงพยาบาลเพื่อการเรียนการสอน (Teaching Hospital):** โรงพยาบาลหรือศูนย์การแพทย์ที่จัดการศึกษาและฝึกอบรมทางการแพทย์
- **โรงพยาบาลเฉพาะทางด้านจักษุ (Eye Hospital):** โรงพยาบาลที่เชี่ยวชาญด้านโรคและความผิดปกติของดวงตา
- **โรงพยาบาลทันตกรรม (Dental Hospital):** โรงพยาบาลที่ให้บริการด้านทันตกรรมโดยเฉพาะ

ปัจจัยสำคัญที่ใช้แยกความแตกต่างระหว่างกลุ่ม: ชั่วโมงให้บริการ การะการใช้จ่ายพลังงานของอุปกรณ์การแพทย์เฉพาะทาง ความต้องการในการทำให้ปราศจากเชื้อ มาตรฐานการระบายอากาศ และข้อกำหนดด้านพื้นที่พักรักษาตัวของผู้ป่วย

1.10 อาคารเพื่อการศึกษา (Educational Buildings)

เกณฑ์การจำแนก: จำแนกตามระดับการศึกษาและลักษณะการใช้งานเฉพาะ

ประเภทย่อย:

- **สถานศึกษาระดับก่อนประถมศึกษา (Preschool):** สถานศึกษาสำหรับเด็กก่อนเข้าเรียนระดับประถมศึกษา
- **โรงเรียน (School):** สถานศึกษาระดับประถมศึกษาและมัธยมศึกษา
- **มหาวิทยาลัย (University):** สถาบันการศึกษาระดับอุดมศึกษา

- อาคารและสถานที่สำหรับกิจกรรมกีฬา (Sport Facilities): โครงการที่มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อรองรับกิจกรรมกีฬา
- สถานที่เพื่อการศึกษารูปแบบอื่น ๆ (Other Educational Facilities): พิพิธภัณฑ์ ศาสนสถาน และสถานที่อื่นที่ใช้เพื่อการเรียนรู้

ปัจจัยสำคัญที่ใช้แยกความแตกต่างระหว่างกลุ่ม: ช่วงเวลาที่มีผู้ใช้อาคาร ความต้องการใช้อุปกรณ์เฉพาะทาง รูปแบบการใช้พื้นที่ และความแตกต่างของการเปิดใช้งานในแต่ละช่วงของปี

1.11 อาคารแบบผสมผสาน (Mixed-Use Buildings)

เกณฑ์การจำแนก: ผู้ใช้กำหนดสัดส่วนพื้นที่สำหรับการใช้งานแต่ละประเภทด้วยตนเอง

ประเภทย่อย:

- อาคารที่ผู้ใช้กำหนดประเภทเอง (Self-defined Buildings): อาคารที่รวมการใช้งานตั้งแต่สองประเภทขึ้นไป โดยผู้ใช้กำหนดสัดส่วนของแต่ละประเภท

ปัจจัยสำคัญที่ใช้แยกความแตกต่างระหว่างกลุ่ม: สัดส่วนพื้นที่ใช้สอยของการใช้งานแต่ละประเภท ช่วงเวลาการใช้งานที่ทับซ้อนกัน และประสิทธิภาพของระบบอาคารที่ใช้ร่วมกัน

B. การจัดกลุ่มประเภทอาคารเพื่อการวิเคราะห์ใน BEAT

ในการประเมินและวิเคราะห์ด้วย BEAT อาคารทุกประเภทตามระบบ EDGE จะถูกจัดเป็นสี่กลุ่มหลัก ดังนี้

2.1 อาคารที่อยู่อาศัย (Residential Buildings)

- บ้านพักอาศัย (Homes) ทุกระดับรายได้
- อาคารพักอาศัยรวม (Apartments) ทุกระดับรายได้
- เซอร์วิสอพาร์ทเมนต์ (Service Apartments)

2.2 อาคารพาณิชย์ (Commercial Buildings)

- โรงแรม (Hotels) ทุกระดับดาว
- รีสอร์ท (Resorts) ทุกระดับดาว
- อาคารค้าปลีก (Retail Buildings) ทุกประเภทย่อย
- อาคารอุตสาหกรรม (Industrial Buildings) ทุกประเภทย่อย
- อาคารสำนักงาน (Office Buildings) ทุกเกรด

2.3 อาคารสาธารณะและอาคารสถาบัน (Public/Institutional Buildings)

- อาคารสถานพยาบาล (Healthcare Building) ทุกประเภทย่อย
- อาคารเพื่อการศึกษา (Education Buildings) ทุกประเภทย่อย

- อาคารราชการและอาคารสาธารณะ (Government/Public Buildings) ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มอาคารสถาบัน

2.4 อาคารแบบผสมผสาน (Mixed-Use Buildings)

การประเมินอาคารแบบผสมผสานจะพิจารณาตามสัดส่วนพื้นที่ของการใช้งานแต่ละประเภท ได้แก่ ที่อยู่อาศัย พาณิชยกรรม และสาธารณะหรือสถาบัน โดยประเภทการใช้งานที่มีสัดส่วนพื้นที่ใช้สอยมากที่สุดจะเป็นเกณฑ์กำหนดกลุ่มหลักของอาคารในการประเมินด้วย BEAT ขณะเดียวกัน ยังคงคำนึงถึงลักษณะการดำเนินงานที่แตกต่างกันของพื้นที่แต่ละส่วน

การจัดกลุ่มนี้ช่วยให้ BEAT ประเมินคาร์บอนตลอดวงจรชีวิตได้เหมาะสมกับลักษณะของอาคารแต่ละประเภทและสอดคล้องกับระบบ IFC EDGE พร้อมทั้งรวบรวมผลเป็นกลุ่มที่สะดวกต่อการวิเคราะห์และการเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิง

3.2 ปัจจัยด้านภูมิอากาศ

BEAT ใช้ข้อมูลภูมิอากาศเป็นส่วนสำคัญในการประเมินคาร์บอนแฝงและคาร์บอนจากการดำเนินงานให้แม่นยำ เนื่องจากสภาพภูมิอากาศส่งผลโดยตรงต่อการออกแบบอาคาร การเลือกใช้วัสดุและระบบพลังงาน ตลอดจนความต้องการใช้พลังงานในการดำเนินงานของอาคาร

BEAT จำแนกเขตภูมิอากาศของประเทศภายใต้โครงการ ALCBT ได้แก่ อินเดีย เวียดนาม กัมพูชา อินโดนีเซีย และไทย โดยเทียบเคียงกับการแบ่งเขตภูมิอากาศตามข้อกำหนดด้านการอนุรักษ์พลังงานในอาคารของอินเดีย (Energy Conservation Building Code: ECBC)³ แนวทางนี้ช่วยให้การออกแบบอาคารที่เหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้มีกรอบอ้างอิงร่วมกัน แม้ระบบจำแนกภูมิอากาศของอินเดียจะครอบคลุมสภาพภูมิอากาศส่วนใหญ่ในภูมิภาค แต่ยังไม่ครอบคลุมลักษณะเฉพาะของภูมิอากาศแบบป่าฝนเขตร้อนบริเวณใกล้เส้นศูนย์สูตรได้อย่างครบถ้วน ซึ่งตรงกับประเภท Af^{*} ตามระบบจำแนกภูมิอากาศเคิเปน-ไกเกอร์ (Köppen-Geiger)⁴ และเป็นภูมิอากาศหลักของอินโดนีเซียและเวียดนามตอนใต้ ด้วยเหตุนี้ BEAT จึงเพิ่มเขตภูมิอากาศแบบ “ร้อนชื้นฝนชุก” (Tropical Wet) จากเดิมที่ระบบของอินเดียแบ่งไว้ห้าเขต เพื่อให้ครอบคลุมสภาพภูมิอากาศของทุกประเทศภายใต้โครงการ ALCBT

³ The Arch Space. (2022). 5 different climate zones in India and important characteristics. <https://thearchspace.com/5-different-climate-zones-in-india-and-their-important-characteristics/>

⁴ Rubel, F., & Kottek, M. (2024). World Maps of Köppen-Geiger climate classification. <https://koeppen-geiger.vu-wien.ac.at/>

* Af คือภูมิอากาศแบบป่าฝนเขตร้อนตามระบบจำแนกภูมิอากาศเคิเปน-ไกเกอร์ (Köppen-Geiger) มีอุณหภูมิเฉลี่ยทุกเดือนไม่ต่ำกว่า 18 องศาเซลเซียส และมีฝนตกตลอดปีโดยไม่มีฤดูแล้งชัดเจน โดยเดือนที่แห้งที่สุดมีปริมาณฝนเฉลี่ยไม่น้อยกว่า 60 มิลลิเมตร ตัวอักษร A หมายถึงกลุ่มภูมิอากาศเขตร้อน และ f หมายถึงมีฝนตกตลอดปี

A. ลักษณะของแต่ละเขตภูมิอากาศ

เขตภูมิอากาศแบบร้อนชื้นฝนชุก (Tropical Wet): มีฝนตกชุกตลอดปี โดยมีปริมาณฝนมากกว่า 2,000 มิลลิเมตรต่อปี และไม่มีฤดูแล้งที่ชัดเจน อุณหภูมิสูงสม่ำเสมออยู่ที่ 26–32 องศาเซลเซียส โดยเปลี่ยนแปลงน้อยทั้งระหว่างฤดูกาลและระหว่างกลางวันกับกลางคืน มีความชื้นสัมพัทธ์สูงมากตลอดปี อยู่ที่ร้อยละ 80–100 พื้นที่บริเวณใกล้เส้นศูนย์สูตรเหล่านี้มีพืชพรรณป่าฝนหนาแน่น การออกแบบอาคารจึงต้องให้ความสำคัญกับการจัดการความชื้นอย่างต่อเนื่อง การป้องกันเชื้อรา การระบายอากาศแบบไหลผ่าน และความทนทานของวัสดุในสภาพเปียกชื้นตลอดเวลา

เขตภูมิอากาศแบบร้อนแห้ง (Hot-Dry): ฤดูร้อนมีอุณหภูมิสูงมาก อยู่ที่ 40–45 องศาเซลเซียส ส่วนฤดูหนาวมีอุณหภูมิ 5–25 องศาเซลเซียส อุณหภูมิระหว่างกลางวันกับกลางคืนแตกต่างกันมาก มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำมาก อยู่ที่ร้อยละ 20–40 และมีฝนตกน้อยตลอดปี ท้องฟ้าส่วนใหญ่ไม่มีเมฆ จึงได้รับรังสีดวงอาทิตย์เข้มข้นและเกิดแสงจ้า สภาพพื้นที่มักเป็นดินทรายหรือหินที่แห้งแล้งและมีพืชพรรณเบาบาง การออกแบบจึงเน้นการใช้มวลความร้อนของวัสดุเพื่อหน่วงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ลดความร้อนที่เข้าสู่อาคาร และระบายอากาศในเวลากลางวัน

เขตภูมิอากาศแบบร้อนชื้น (Warm-Humid): มีอุณหภูมิสูงสม่ำเสมออยู่ที่ 25–35 องศาเซลเซียส และเปลี่ยนแปลงน้อยระหว่างฤดูกาล ความชื้นสัมพัทธ์สูงมาก อยู่ที่ร้อยละ 70–90 และมีฝนตกมาก โดยปริมาณฝนรายปีมักเกิน 1,200 มิลลิเมตร มีเมฆปกคลุมท้องฟ้าร้อยละ 40–80 พื้นที่เหล่านี้มักอยู่ใกล้ชายฝั่งหรือแหล่งน้ำ การออกแบบอาคารจึงเน้นให้อากาศไหลเวียนได้มากที่สุด ลดความชื้น และบังแดด ควบคู่กับการจัดการความชื้นในระดับสูง

เขตภูมิอากาศแบบผสม (Composite): มีลักษณะสลับกันระหว่างแบบร้อนแห้งและแบบร้อนชื้นตามฤดูกาล ฤดูร้อนมีอากาศร้อนและแห้ง อุณหภูมิ 32–43 องศาเซลเซียส ส่วนฤดูหนาวมีอากาศค่อนข้างเย็น อุณหภูมิ 10–25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์อยู่ที่ร้อยละ 20–25 ในช่วงแห้งแล้ง และร้อยละ 50–95 ในช่วงฝนตก ปริมาณฝนรายปีอยู่ที่ 500–1,300 มิลลิเมตร โดยส่วนใหญ่ตกในฤดูมรสุม การออกแบบต้องปรับให้เหมาะสมกับสภาพอากาศที่แตกต่างกันมากในแต่ละฤดู โดยผานวิธีลดความร้อนในฤดูร้อนเข้ากับการเก็บรักษาความร้อนในฤดูหนาว

เขตภูมิอากาศแบบอบอุ่นหรือปานกลาง (Temperate/Moderate): มีช่วงอุณหภูมิที่เอื้อต่อความสบายตลอดปี โดยฤดูร้อนมีอุณหภูมิ 30–34 องศาเซลเซียส และฤดูหนาว 27–33 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์อยู่ที่ร้อยละ 20–55 ในฤดูหนาวและฤดูร้อน และร้อยละ 55–90 ในฤดูมรสุม ปริมาณฝนรายปีประมาณ 1,000 มิลลิเมตร ท้องฟ้าโดยทั่วไปแจ่มใส แต่อาจมีเมฆชั้นต่ำหนาแน่นเป็นบางช่วงในฤดูร้อน เนื่องจากสภาพอากาศโดยรวมค่อนข้างเอื้อต่อความสบาย จึงไม่จำเป็นต้องพึ่งระบบปรับอากาศภายในอาคารมากนัก โดยเน้นการออกแบบที่อาศัยธรรมชาติ เช่น การจัดวางอาคาร การบังแดด และการระบายอากาศ

เขตภูมิอากาศแบบหนาวเย็น (Cold): มีอุณหภูมิต่ำตลอดปี โดยฤดูร้อนมีอุณหภูมิ 17–20 องศาเซลเซียส และฤดูหนาว –7 ถึง 8 องศาเซลเซียส ความชื้นแตกต่างกันตามพื้นที่ โดยพื้นที่ที่มีแดดมากมีความชื้นต่ำ ส่วนพื้นที่ที่มีเมฆมากมีความชื้นสูง ปริมาณฝนรายปีอยู่ในระดับต่ำถึงปานกลาง ประมาณ 200–1,000 มิลลิเมตร และบางพื้นที่มีหิมะตก การออกแบบจึงเน้นการเก็บรักษาความร้อน การใช้ฉนวน และการรับความร้อนจากแสงอาทิตย์ เพื่อให้อาคารเหมาะสมกับสภาพอากาศที่หนาวเย็นเป็นส่วนใหญ่

B. ตารางเทียบเคียงเขตภูมิอากาศ

ตารางที่ 3 การแบ่งเขตภูมิอากาศอย่างง่ายของประเทศภายใต้โครงการ ALCBT

เขตภูมิอากาศ	อินเดีย	อินโดนีเซีย	ไทย	เวียดนาม	กัมพูชา
ร้อนชื้นฝนชุก (Tropical Wet)	ไม่พบ (0%)	เป็นภูมิอากาศหลัก (60–65%): ตอนกลางของ เกาะสุมาตรา เกาะบอร์เนียว และพื้นที่ราบ ลุ่มของปาปัว	ไม่พบ (0%)	พื้นที่ตอนใต้ (15–20%): บริเวณ สามเหลี่ยม ปากแม่น้ำโขง	ไม่พบ (0%)
ร้อนแห้ง (Hot-Dry)	ตะวันตก (15–20%): รัฐราชสถาน รัฐคุชราต และ บางส่วนของรัฐ มหาราษฏระ	ไม่พบ (0%)	ไม่พบ (0%)	ไม่พบ (0%)	ไม่พบ (0%)
ร้อนชื้น (Warm-Humid)	พื้นที่ชายฝั่ง (20–25%): รัฐเกรละ รัฐทมิฬนาฑู รัฐกัว และพื้นที่ ชายฝั่งของรัฐ	เป็นภูมิอากาศที่ พบมากเป็น อันดับรอง (20–25%): พื้นที่ชายฝั่ง และบางส่วนของ เกาะชวา	คาบสมุทร ภาคใต้และ ชายฝั่ง ตะวันออก (30– 35%)	พื้นที่ ตอนกลางและ ชายฝั่ง (45– 50%)	พื้นที่ชายฝั่ง ตะวันตกเฉียง ใต้ (10–15%)

เขตภูมิอากาศ	อินเดีย	อินโดนีเซีย	ไทย	เวียดนาม	กัมพูชา
	อาณานิคมและรัฐเอกราช				
ผสม (Composite)	พื้นที่ตอนกลาง (40–45%): เดลี กานปุระ อัลลฮาบาด และที่ราบตอนกลาง	พื้นที่ตะวันออก (10–15%): บางส่วนของ เกาะสุลาเวสี และหมู่เกาะทางตะวันออก	ที่ราบภาคกลางและภาคเหนือ (55–60%): กรุงเทพฯ และพื้นที่ราบลุ่มภาคเหนือ	พื้นที่ราบลุ่มตอนเหนือ (25–30%)	เป็นภูมิอากาศหลัก (80–85%): พนมเปญ เสียมราฐ และที่ราบตอนกลาง
อบอุ่น (Temperate)	ที่ราบสูงตอนใต้ (10–15%): บังกาลอร์และปูเน	พื้นที่สูง (5%): เขตภูเขาบน เกาะชวา เกาะสุมาตรา และปาปัว	พื้นที่สูงภาคเหนือ (10–15%): เขตภูเขาใกล้ชายแดนเมียนมา	ที่ราบสูงตอนกลาง (5–10%)	พบเฉพาะในพื้นที่ภูเขาบางส่วน (น้อยกว่า 5%)
หนาวเย็น (Cold)	เขตภูเขาทางตอนเหนือ (5–10%): ชิมลา ชิลลอง เลห์ และบริเวณเทือกเขาหิมาลัย	ไม่พบ (0%)	ไม่พบ (0%)	เขตภูเขาทางตอนเหนือ (น้อยกว่า 5%)	ไม่พบ (0%)

การเทียบเคียงเขตภูมิอากาศที่เพิ่มเติมให้ครอบคลุมยิ่งขึ้นดังแสดงในตารางที่ 3 ช่วยให้ทุกประเทศภายใต้โครงการ ALCBT ใช้กรอบแนวทางเดียวกันในการออกแบบอาคารให้เหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศ โดยยังคำนึงถึงลักษณะเฉพาะและสภาพภูมิอากาศของแต่ละพื้นที่ รวมถึงเขตป่าฝนบริเวณใกล้เส้นศูนย์สูตร ซึ่งไม่ครอบคลุมอยู่ในการจำแนกภูมิอากาศแบบเดิมของอินเดีย

4. เริ่มต้นใช้งาน BEAT

4.1 ภาพรวมหน้าจอการใช้งาน

เมื่อเปิดใช้งาน BEAT ผู้ใช้จะพบหน้าลงทะเบียน ซึ่งมีข้อมูลให้กรอกสามรายการ ได้แก่ อีเมลสำหรับสมัครใช้งาน ประเทศที่เลือกจากรายการแบบเลื่อนลง และเมือง ซึ่งไม่จำเป็นต้องระบุ เมื่อกรอกข้อมูลเรียบร้อยแล้ว ผู้ใช้สามารถเริ่มประเมินอาคารได้ทันที หน้าจอออกแบบให้เรียบง่ายและเข้าใจได้ง่าย จึงช่วยให้ผู้ใช้เริ่มใช้งานเครื่องมือได้อย่างรวดเร็ว

4.2 การสร้างรายการประเมินอาคารใหม่

หน้าหลักของ BEAT เป็นพื้นที่สำหรับบันทึกและจัดการรายการประเมินอาคารหลายโครงการ หากต้องการสร้างรายการใหม่ ให้คลิกปุ่ม “Add building” (เพิ่มอาคาร) แล้วกรอกข้อมูลพื้นฐาน เช่น ชื่ออาคาร ประเภทอาคาร และที่ตั้ง

โครงการที่บันทึกไว้จะแสดงเป็นรายการบนแดชบอร์ด พร้อมข้อมูลสำคัญ ได้แก่ ชื่ออาคาร ประเภทอาคาร เมือง และประเทศ ผู้ใช้สามารถเลือกโครงการจากรายการนี้เพื่อกลับมาประเมินต่อ ตรวจสอบผล หรือแก้ไขข้อมูลได้ การรวบรวมโครงการไว้ในที่เดียวช่วยให้จัดการข้อมูลการประเมินอาคารได้อย่างเป็นระบบ และเรียกใช้งานได้สะดวกตลอดกระบวนการออกแบบและวิเคราะห์

5. ข้อมูลที่ต้องใช้ในการประเมิน

5.1 ข้อมูลอาคาร

- **ที่ตั้งอาคาร (Location):** ประเทศและเมืองที่อาคารซึ่งนำมาประเมินด้วย BEAT ตั้งอยู่

ตัวอย่าง: อาคารสำนักงานแห่งใหม่กำลังก่อสร้างในเมืองมุมไบ ประเทศอินเดีย ให้เลือกประเทศเป็น “India” และระบุเมืองเป็น “Mumbai” ใน BEAT

- **ชื่ออาคาร (Building Name):** ชื่อของอาคารที่นำมาประเมิน หรือชื่อที่ผู้ใช้กำหนดไว้สำหรับอาคารที่อยู่ระหว่างการวางแผน

ตัวอย่าง: อาคารสำนักงานในเมืองมุมไบมีชื่ออย่างเป็นทางการว่า “The Zenith Tower” ให้กรอกชื่อนี้ในช่อง “Building Name”

- **ระยะเวลาที่ใช้ในการประเมิน (Assessment time frame):** จำนวนปีของการใช้งานอาคารที่นำมาคำนวณในการประเมิน

ตัวอย่าง: หากต้องการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของอาคารตลอดการใช้งาน 50 ปี ให้ระบุระยะเวลาที่ใช้ในการประเมินเป็น 50 ปี

ข้อควรทราบ: การประเมินวัฏจักรชีวิตเพื่อขอการรับรองอาคารหลายระบบใช้ระยะเวลา 50 ปีเป็นเกณฑ์มาตรฐาน เพื่อให้เปรียบเทียบผลระหว่างอาคารและเทียบกับค่าอ้างอิงได้ หากกำหนดระยะเวลาน้อยลง คาร์บอนแฟงจะมีสัดส่วนต่อผลการประเมินมากขึ้น ส่วนการกำหนดระยะเวลายาวขึ้นจะทำให้คาร์บอนจากการดำเนินงานมีสัดส่วนมากขึ้น จึงแนะนำให้ใช้ระยะเวลา 50 ปีเป็นมาตรฐานในการประเมิน

- **พื้นที่ใช้สอยรวม (Total Floor Area):** ผลรวมของพื้นที่ใช้สอยภายในอาคารที่มีผนังปิดล้อมทั้งหมด

ตัวอย่าง: อาคาร “The Zenith Tower” มี 20 ชั้น แต่ละชั้นมีพื้นที่ภายใน 1,000 ตารางเมตร จึงมีพื้นที่ใช้สอยรวมเท่ากับ $20 \text{ ชั้น} \times 1,000 \text{ ตารางเมตรต่อชั้น} = 20,000 \text{ ตารางเมตร}$

- **ปีที่ก่อสร้างแล้วเสร็จ (Construction Year):** ปีที่อาคารก่อสร้างแล้วเสร็จและพร้อมใช้งาน โดยข้อมูลนี้ใช้กับอาคารที่ก่อสร้างแล้วเป็นหลัก

ตัวอย่าง: อาคาร “The Zenith Tower” ก่อสร้างแล้วเสร็จและได้รับใบอนุญาตให้ใช้อาคารในปี ค.ศ. 2025 ให้กรอกปีที่ก่อสร้างแล้วเสร็จเป็น 2025

- **พื้นที่ปรับอากาศ (Conditioned Floor Area):** พื้นที่ภายในอาคารที่มีการทำความร้อนหรือทำความเย็นด้วยระบบปรับอากาศ

ตัวอย่าง: อาคาร “The Zenith Tower” มีพื้นที่ที่ใช้ระบบปรับอากาศและทำความร้อน 18,000 ตารางเมตร ส่วนพื้นที่ที่เหลืออีก 2,000 ตารางเมตรเป็นที่จอดรถภายในอาคาร จึงมีพื้นที่ปรับอากาศเท่ากับ 18,000 ตารางเมตร

- **จำนวนชั้นเหนือดิน (Floors Above Ground):** จำนวนชั้นของอาคารที่มีพื้นที่ส่วนใหญ่อยู่เหนือระดับดิน

ตัวอย่าง: อาคาร “The Zenith Tower” มีชั้นที่อยู่เหนือระดับดินเป็นส่วนใหญ่ 20 ชั้น และชั้นใต้ดิน 2 ชั้น ให้ระบุจำนวนชั้นเหนือดินเป็น 20 ชั้น

- **จำนวนชั้นใต้ดิน (Floors Below Ground):** จำนวนชั้นของอาคารที่มีพื้นที่ส่วนใหญ่อยู่ต่ำกว่าระดับดิน

ตัวอย่าง: อาคาร “The Zenith Tower” มีชั้นที่อยู่ต่ำกว่าระดับดินเป็นส่วนใหญ่ 2 ชั้น และชั้นเหนือดิน 20 ชั้น ให้ระบุจำนวนชั้นใต้ดินเป็น 2 ชั้น

5.2 ข้อมูลการใช้งานอาคาร

เพื่อให้ BEAT วิเคราะห์คาร์บอนฟุตพริ้นท์ได้อย่างครบถ้วนและน่าเชื่อถือ ผู้ใช้ต้องระบุข้อมูลต่อไปนี้ ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อคาร์บอนจากการดำเนินงานของอาคาร

ข้อมูลเหล่านี้ใช้ประกอบการประเมินทั้งสองวิธีที่อธิบายในหัวข้อ 2.3 ได้แก่ การประเมินจากข้อมูลการใช้พลังงานจริง และการประเมินจากแบบจำลองระบบอาคาร สำหรับวิธีที่ใช้แบบจำลอง ผู้ใช้จะกรอกข้อมูลแยกตามประเภทระบบ ดังสรุปด้านล่าง

A. ข้อมูลจำนวนผู้พักอาศัย

- **จำนวนผู้พักอาศัย (Number of Residents):** จำนวนผู้พักอาศัยทั้งหมดในอาคาร เช่น อาคารพักอาศัยรวมมีผู้พักอาศัย 100 คน

B. ข้อมูลช่วงเวลาและเงื่อนไขการใช้งานอาคาร

- **จำนวนชั่วโมงใช้งานต่อวัน (Operational hours):** จำนวนชั่วโมงทั้งหมดที่มีการใช้งานอาคารในแต่ละวัน เช่น อาคารเรียนเปิดใช้งานวันละ 12 ชั่วโมง
- **ช่วงเวลาใช้งานในวันทำงาน (Hours per workday):** เวลาเริ่มต้นและสิ้นสุดการใช้งานอาคารในวันทำงาน เพื่อใช้พิจารณาความต้องการใช้พลังงานในแต่ละช่วงของวัน เช่น อาคารเรียนเปิดใช้งานตั้งแต่ 08.00–20.00 น.
- **จำนวนวันใช้งานต่อสัปดาห์ (Days per week):** จำนวนวันที่เปิดใช้งานอาคารในแต่ละสัปดาห์
- **จำนวนสัปดาห์ใช้งานต่อปี (Weeks per year):** จำนวนสัปดาห์ที่เปิดใช้งานอาคารในหนึ่งปี เพื่อใช้คำนวณการใช้พลังงานรายปี เช่น อาคารเรียนเปิดใช้งาน 42 สัปดาห์ต่อปี
- **อุณหภูมิห้องที่เริ่มต้องใช้ระบบทำความร้อน (Room Heating Temperature):** อุณหภูมิภายในห้องที่ผู้ใช้อาคารเริ่มรู้สึกหนาวจนต้องเปิดระบบทำความร้อน หากอุณหภูมิต่ำกว่าระดับนี้ จะต้องใช้ระบบทำความร้อนเพื่อรักษาความสบายภายในห้อง
- **อุณหภูมิห้องที่เริ่มต้องใช้ระบบทำความเย็น (Room Cooling Temperature):** อุณหภูมิภายในห้องที่ผู้ใช้อาคารเริ่มรู้สึกร้อนจนต้องเปิดเครื่องปรับอากาศหรือพัดลม หากอุณหภูมิสูงกว่าระดับนี้ จะต้องใช้ระบบทำความเย็นเพื่อให้ภายในห้องยังคงอยู่ในสภาวะสบาย

C. อุปกรณ์และระบบที่ใช้พลังงานในอาคาร

ผู้ใช้ต้องระบุข้อมูลของอุปกรณ์และระบบต่าง ๆ ที่ใช้พลังงานในอาคาร โดยรายละเอียดของแต่ละระบบ รวมถึงผลกระทบต่อคาร์บอนจากการดำเนินงาน แสดงดังต่อไปนี้

i. ระบบทำความเย็น (Cooling Systems)

ตารางที่ 4 ระบบทำความเย็น (Cooling Systems)

ประเภทระบบทำความเย็น	ลักษณะระบบ	ผลต่อการลดคาร์บอนจากการดำเนินงาน
เครื่องปรับอากาศแบบหน้าต่าง (Window ACs)	รวมอุปกรณ์ทั้งหมดไว้ในเครื่องเดียว ติดตั้งบริเวณช่องหน้าต่างหรือช่องเปิดผนัง เพื่อทำความเย็นให้ห้องโดยตรง	ความเข้มการปล่อยคาร์บอนสูง: มีการปล่อยคาร์บอนต่อหนึ่งตันความเย็นสูงที่สุดเมื่อเทียบกับระบบในตารางนี้ ประสิทธิภาพการทำงานค่อนข้างต่ำ โดยมีค่า EER อยู่ที่ 8–12 ปัญหาอากาศรั่วไหลและระบบควบคุมที่ไม่มีประสิทธิภาพยิ่งเพิ่มการปล่อยคาร์บอน
เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split ACs)	แยกเป็นชุดภายในและภายนอกอาคาร เชื่อมต่อกันด้วยท่อสารทำความเย็น จึงเลือกตำแหน่งติดตั้งชุดภายในอาคารได้ยืดหยุ่น	ความเข้มการปล่อยคาร์บอนปานกลาง: ปล่อยคาร์บอนต่ำกว่าเครื่องปรับอากาศแบบหน้าต่างอย่างชัดเจน รุ่นอินเวอร์เตอร์สมัยใหม่ช่วยลดการปล่อยคาร์บอนได้เพิ่มเติมด้วยการปรับการทำงานตามความต้องการ ทั้งนี้ ต้องเลือกขนาดเครื่องให้เหมาะสมเพื่อให้ใช้พลังงานและปล่อยคาร์บอนได้อย่างมีประสิทธิภาพ
ระบบปรับอากาศแบบปรับปริมาณสารทำความเย็น (Variable Refrigerant Flow: VRF)	ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนหลายชุดที่ใช้คอมเพรสเซอร์ปรับความเร็วรอบได้ และเชื่อมต่อกับชุดภายในอาคารหลายชุดพร้อมกัน	ความเข้มการปล่อยคาร์บอนต่ำ: เป็นหนึ่งในระบบทำความเย็นแบบขยายตัวโดยตรง (DX) ที่ปล่อยคาร์บอนต่ำที่สุด สามารถปรับการทำงานตามภาระความเย็น จึงลดการทำงานที่ไม่จำเป็น และการนำความร้อนกลับมาใช้ระหว่างพื้นที่ยังช่วยลดการปล่อยคาร์บอนสุทธิได้อีก
เครื่องปรับอากาศแบบแพ็คเกจ (Packaged AC)	รวมอุปกรณ์ทำความเย็นทั้งหมดไว้ในชุดเดียว ติดตั้งบนหลังคาหรือบริเวณระดับพื้นดิน	ความเข้มการปล่อยคาร์บอนปานกลางถึงสูง: ปล่อยคาร์บอนสูงกว่าระบบแยกส่วนและ VRF แต่ต่ำกว่าแบบหน้าต่าง หากมีระบบใช้อากาศภายนอกช่วยทำความเย็น (economizer) และบำรุงรักษาอย่างเหมาะสม จะช่วยลดการปล่อยคาร์บอนในช่วงที่ต้องทำความเย็นได้อย่างมาก

ประเภทระบบทำความเย็น	ลักษณะระบบ	ผลต่อการลดคาร์บอนจากการดำเนินงาน
ระบบเครื่องทำน้ำเย็น (Chiller Systems)	ระบบทำความเย็นส่วนกลางที่ผลิตน้ำเย็นแล้วส่งไปยังเครื่องส่งลมหรือชุดจ่ายความเย็นตามจุดต่าง ๆ ทั่วอาคาร	ความเข้มการปล่อยคาร์บอนขึ้นอยู่กับรูปแบบระบบ: มีศักยภาพด้านประสิทธิภาพสูงที่สุดสำหรับอาคารขนาดใหญ่ เครื่องทำน้ำเย็นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำที่มีระบบควบคุมเหมาะสมเป็นทางเลือกที่ปล่อยคาร์บอนต่ำที่สุดสำหรับอาคารที่มีภาระความเย็นสูง ส่วนแบบระบายความร้อนด้วยอากาศมีประสิทธิภาพต่ำกว่า

ข้อมูลที่ใช้ต้องระบุ: กำลังทำความเย็น หน่วยกิโลวัตต์ (kW) หรือตันความเย็น (TR)

ii. ระบบระบายอากาศ (Ventilation Systems)

ตารางที่ 5 ระบบระบายอากาศ (Ventilation Systems)

ประเภทระบบระบายอากาศ	ลักษณะระบบ	ผลต่อการลดคาร์บอนจากการดำเนินงาน
เครื่องส่งลมเย็น (Air Handling Units: AHU)	ระบบส่วนกลางที่ปรับสภาวะอากาศและจ่ายอากาศผ่านท่อลม โดยทั่วไปประกอบด้วยแผ่นกรองอากาศ คอยล์แลกเปลี่ยนความร้อน และพัดลม	ความเข้มการปล่อยคาร์บอนขึ้นอยู่กับรูปแบบระบบ: อาจปล่อยคาร์บอนสูงเนื่องจากพัดลมใช้พลังงานมาก การนำความร้อนกลับมาใช้ช่วยลดการปล่อยคาร์บอนจากการทำความร้อนและความเย็นได้ร้อยละ 50–85 และสามารถลดการปล่อยคาร์บอนให้อยู่ในระดับต่ำได้เมื่อใช้ระบบนำพลังงานกลับมาใช้ มอเตอร์แบบควบคุมการสับเปลี่ยนกระแสด้วยอิเล็กทรอนิกส์ (ECM) และระบบปรับปริมาณลม (VAV)
เครื่องเป่าลมเย็น (Fan Coil Units: FCU)	ชุดอุปกรณ์ที่ติดตั้งแยกตามพื้นที่ ประกอบด้วยพัดลมและคอยล์น้ำ เพื่อหมุนเวียนและปรับสภาวะอากาศภายในห้อง	ความเข้มการปล่อยคาร์บอนปานกลาง: พัดลมใช้พลังงานน้อยกว่าระบบ AHU ส่วนกลาง จึงช่วยลดคาร์บอนฟุตพริ้นท์ โดยทั่วไปต้องมีระบบจ่ายอากาศภายนอก

ประเภทระบบระบายอากาศ	ลักษณะระบบ	ผลต่อการลดคาร์บอนจากการดำเนินงาน
		แยกต่างหาก และสามารถปรับการใช้พลังงานตามความต้องการของแต่ละพื้นที่ เพื่อลดการทำงานที่ไม่จำเป็น
เครื่องปรับอากาศแบบฝังฝ้าเพดานหรือแบบติดผนัง (Ceiling/Wall Cassette ACs)	ชุดภายในอาคารแบบไม่ต่อท่อลม ติดตั้งบริเวณฝ้าเพดานหรือผนัง โดยทั่วไปเป็นส่วนหนึ่งของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนหรือระบบ VRF	ความเข้มการปล่อยคาร์บอนปานกลางถึงต่ำ: มีการสูญเสียพลังงานระหว่างการจ่ายความเย็นน้อย จึงช่วยลดการปล่อยคาร์บอน อย่างไรก็ตาม ระบบประเภทนี้เน้นการปรับสภาพอากาศภายในห้องเป็นหลัก และมักนำอากาศภายนอกเข้ามาได้จำกัด จึงอาจต้องติดตั้งระบบระบายอากาศเสริม
ระบบจ่ายอากาศภายนอกโดยเฉพาะ (Dedicated Outdoor Air System: DOAS)	ระบบที่จัดการอากาศภายนอกตามความต้องการระบายอากาศโดยเฉพาะ แยกจากระบบปรับสภาพอากาศภายในพื้นที่	ความเข้มการปล่อยคาร์บอนต่ำ: แยกการระบายอากาศออกจากการปรับสภาพอากาศภายในพื้นที่ เพื่อให้ควบคุมแต่ละส่วนได้อย่างเหมาะสม หากติดตั้งระบบนำพลังงานกลับมาใช้ที่มีประสิทธิภาพสูงร้อยละ 70–90 จะช่วยลดการปล่อยคาร์บอนให้อยู่ในระดับต่ำมาก การควบคุมปริมาณอากาศภายนอกอย่างแม่นยำยังช่วยป้องกันการสิ้นเปลืองพลังงานจากการระบายอากาศมากเกินไปจนความจำเป็น

ข้อมูลที่ใช้ต้องระบุ: อัตราการไหลของอากาศ หน่วยลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง (m³/h) หรือลูกบาศก์ฟุตต่อนาที (CFM)

iii. ระบบแสงสว่าง (Lighting Systems)

ตารางที่ 6 ระบบแสงสว่าง (Lighting Systems)

ประเภทระบบแสงสว่าง	ลักษณะระบบ	ผลต่อการลดคาร์บอนจากการดำเนินงาน
หลอดคอมแพกต์ฟลูออเรสเซนต์ (CFL)	หลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาดเล็ก ทัดริต มีรูปทรงใกล้เคียงกับหลอดไส้	ความเข้มการปล่อยคาร์บอนปานกลาง: ปล่อยคาร์บอนต่ำกว่าหลอดไส้ร้อยละ 65–75 แต่สูงกว่าหลอด LED มีประสิทธิภาพ

ประเภทระบบแสงสว่าง	ลักษณะระบบ	ผลต่อการลดคาร์บอนจากการดำเนินงาน
		ส่องสว่างปานกลางที่ 40–70 ลูเมนต่อวัตต์ (lm/W) จึงมีคาร์บอนจากการดำเนินงานอยู่ในระดับปานกลาง นอกจากนี้ ยังมีสารปรอทเป็นส่วนประกอบ ซึ่งส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมหากกำจัดไม่เหมาะสม
หลอด LED	ใช้ไดโอดเปล่งแสงเป็นแหล่งกำเนิดแสงหลัก	ความเข้มการปล่อยคาร์บอนต่ำ: เป็นทางเลือกที่ปล่อยคาร์บอนต่ำที่สุดในกลุ่มระบบแสงสว่าง โดยปล่อยคาร์บอนต่ำกว่าหลอดไส้ร้อยละ 80–90 และต่ำกว่าหลอดฟลูออเรสเซนต์ร้อยละ 30–50 มีประสิทธิภาพการส่องสว่างสูงที่ 80–200 ลูเมนต่อวัตต์ หรือมากกว่า และรองรับการควบคุมแสงสว่างได้ดี จึงช่วยลดการปล่อยคาร์บอนได้เพิ่มเติม
หลอดฟลูออเรสเซนต์ T5/T8	หลอดฟลูออเรสเซนต์แบบยาวที่ใช้กันทั่วไปในพื้นที่พาณิชย์ อาศัยไอปรอทและสารเรืองแสงที่เคลือบภายในหลอดในการให้แสงสว่าง	ความเข้มการปล่อยคาร์บอนปานกลางถึงต่ำ: มีประสิทธิภาพการส่องสว่างที่ดีที่ 80–100 ลูเมนต่อวัตต์ จึงช่วยจำกัดการปล่อยคาร์บอนได้ การใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ช่วยลดการปล่อยคาร์บอนเมื่อเทียบกับบัลลาสต์แบบแม่เหล็ก อย่างไรก็ตาม อายุการใช้งานที่สั้นกว่าหลอด LED ทำให้ต้องเปลี่ยนหลอดบ่อยกว่า และมีคาร์บอนแฝงจากการเปลี่ยนทดแทนสูงกว่า
หลอดฮาโลเจน	หลอดไส้ที่พัฒนาโดยใช้ก๊าซฮาโลเจนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและยืดอายุการใช้งาน	ความเข้มการปล่อยคาร์บอนสูง: เป็นทางเลือกที่ปล่อยคาร์บอนสูงที่สุดในกลุ่มเทคโนโลยีแสงสว่างสมัยใหม่ มีประสิทธิภาพการส่องสว่างต่ำมากที่สุดที่ 15–25 ลูเมนต่อวัตต์ และเปลี่ยนพลังงานร้อยละ 90 เป็นความร้อน จึงเพิ่มภาระให้ระบบทำความเย็นและ

ประเภทระบบแสงสว่าง	ลักษณะระบบ	ผลต่อการลดคาร์บอนจากการดำเนินงาน
		เพิ่มการปล่อยคาร์บอน อีกทั้งมีอายุการใช้งานสั้นมาก ทำให้เกิดคาร์บอนแฝงจากการเปลี่ยนทดแทนบ่อยครั้ง

ข้อมูลที่ต้องระบุ: กำลังไฟฟ้าของระบบแสงสว่าง หน่วยกิโลวัตต์ (kW)

iv. ระบบทำน้ำร้อน (Hot Water Heating Systems)

สำหรับอาคารที่มีระบบทำน้ำร้อน ผู้ใช้ต้องระบุประเภทระบบ เช่น ป้อนความร้อน หม้อไอน้ำ หรือเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ พร้อมข้อมูลประเภทและปริมาณการใช้เชื้อเพลิง ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (COP) หรือประสิทธิภาพของอุปกรณ์ที่แสดงเป็นร้อยละ ตารางเวลาการใช้งาน และข้อมูลการติดตั้งระบบนำความร้อนกลับมาใช้ หากมี

ข้อมูลที่ต้องระบุ: ประเภทและปริมาณการใช้เชื้อเพลิง และค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (COP) หรือประสิทธิภาพของอุปกรณ์

v. ระบบลิฟต์และบันไดเลื่อน (Lift & Escalator Systems)

สำหรับอาคารที่มีลิฟต์และบันไดเลื่อน ผู้ใช้ต้องระบุจำนวนลิฟต์และฟังก์ชันประหยัดพลังงานที่ติดตั้ง เช่น ระบบขับเคลื่อนที่ผลิตพลังงานไฟฟ้ากลับคืน ระบบขับเคลื่อนแบบปรับแรงดันและความถี่ (VVVF) หรือโหมดพักการทำงาน หากไม่ทราบปริมาณการใช้พลังงาน BEAT จะใช้ค่าเริ่มต้นสำหรับระบบลิฟต์และบันไดเลื่อนเท่ากับร้อยละ 7.5 ของปริมาณการใช้ไฟฟ้ารวมรายปีของอาคาร

ข้อมูลที่ต้องระบุ: จำนวนลิฟต์และฟังก์ชันประหยัดพลังงานที่ติดตั้ง

ข้อมูลเพิ่มเติมสำหรับการประเมินคาร์บอนจากการดำเนินงาน

ข้อมูลต่อไปนี้จะช่วยให้การประมาณคาร์บอนจากการดำเนินงานสะท้อนลักษณะการใช้งานจริงของอาคารได้แม่นยำยิ่งขึ้น

- **สัดส่วนการใช้ไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนที่ผลิตภายในพื้นที่โครงการ (%):** ระบุเป็นร้อยละของปริมาณการใช้ไฟฟ้าทั้งหมดของอาคาร โดย BEAT จะนำส่วนนี้ไปหักออกจากปริมาณไฟฟ้าที่ใช้จากโครงข่าย
- **ระบบบริหารจัดการอาคารอัจฉริยะ (มี/ไม่มี):** ระบุว่าอาคารมีระบบบริหารจัดการหรือระบบควบคุมอัตโนมัติที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการดำเนินงานหรือไม่
- **ชนิด ปริมาณ และค่าปัจจัยการรั่วไหลของสารทำความเย็น:** ระบุแยกตามระบบทำความเย็นแต่ละระบบ เพื่อใช้คำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากสารทำความเย็น

- **อุปกรณ์และระบบที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน:** เช่น ระบบปรับความเร็วรอบ (VSD) ระบบควบคุมการระบายอากาศตามความต้องการ (DCV) ระบบนำความร้อนกลับมาใช้ และเซนเซอร์ตรวจจับการใช้งานพื้นที่สำหรับควบคุมแสงสว่าง ซึ่งช่วยลดปริมาณการใช้พลังงานที่คำนวณจากแบบจำลองของระบบนั้น ๆ

สำหรับแต่ละระบบ ผู้ใช้สามารถเลือกใช้ค่าเริ่มต้นที่ BEAT กำหนดไว้ กรอกข้อมูลอุปกรณ์โดยละเอียดเพื่อประเมินจากแบบจำลองระบบอาคาร หรือกรอกปริมาณการใช้พลังงานจริงรายปีโดยตรงเพื่อประเมินจากข้อมูลการใช้พลังงานจริง

6. การกรอกข้อมูลองค์ประกอบอาคารและวัสดุ

องค์ประกอบของอาคาร คือส่วนต่าง ๆ ที่ประกอบกันเป็นอาคาร ครอบคลุมทั้ง **ส่วนที่เป็นโครงสร้าง** เช่น ฐานราก เสา และคาน และ **ส่วนที่ไม่ใช่โครงสร้าง** เช่น ผนังภายนอก ผนังภายใน หน้าต่าง ประตู วัสดุตกแต่งผิว และฉนวน ส่วนที่เป็นโครงสร้างทำหน้าที่รับน้ำหนักและช่วยให้อาคารมั่นคงแข็งแรง ส่วนที่ไม่ใช่โครงสร้างช่วยแบ่งพื้นที่สร้างความสบายด้านอุณหภูมิและเสียง ตลอดจนเสริมความสวยงามและประโยชน์ใช้สอยของอาคาร ตั้งแต่ฐานรากที่ยึดโครงสร้างเข้ากับพื้นดิน ผนังที่แบ่งพื้นที่ ไปจนถึงหลังคาที่ป้องกันแดดฝน ทุกองค์ประกอบล้วนมีบทบาทสำคัญต่อสมรรถนะและความสมบูรณ์ของอาคาร

BEAT ประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์ประกอบทั้งที่เป็นโครงสร้างและไม่ใช่โครงสร้าง จึงช่วยให้ประเมินคาร์บอนแฝงของอาคารได้อย่างละเอียดและครอบคลุม เพื่อสนับสนุนการออกแบบอาคารคาร์บอนต่ำและแนวทางการก่อสร้างที่ยั่งยืนยิ่งขึ้น ผู้ใช้สามารถเพิ่มข้อมูลวัสดุในการประเมินด้วย BEAT ได้สองวิธีหลัก ดังนี้

6.1 การกรอกข้อมูลจากบัญชีแสดงปริมาณงาน (BoQ)

วิธีนี้ช่วยให้ผู้ใช้นำข้อมูลวัสดุและปริมาณจากบัญชีแสดงปริมาณงาน (Bill of Quantities: BoQ) ของโครงการมากรอกใน BEAT ได้โดยตรง โดย BoQ เป็นเอกสารที่แจกแจงรายการและปริมาณวัสดุที่ต้องใช้ในการก่อสร้างอย่างละเอียด ซึ่งโดยทั่วไปจัดทำโดยผู้เชี่ยวชาญด้านการประมาณปริมาณงานหรือผู้ประกอบวิชาชีพด้านการก่อสร้าง

วิธีนี้เหมาะเมื่อผู้ใช้มีข้อมูลปริมาณวัสดุแล้ว แต่ยังไม่ทราบแน่ชัดว่าวัสดุแต่ละรายการใช้กับองค์ประกอบใดของอาคาร จึงสามารถนำปริมาณวัสดุที่ถอดไว้แล้วมากรอกใน BEAT ได้อย่างรวดเร็ว ช่วยประหยัดเวลาและทำให้ข้อมูลที่ใช้ประเมินสอดคล้องกับเอกสารของโครงการ

6.2 การกรอกข้อมูลตามองค์ประกอบอาคาร

วิธีนี้ให้ผู้ใช้จัดทำข้อมูลการประเมินโดยเลือกชุดวัสดุประกอบขององค์ประกอบอาคารที่กำหนดรูปแบบมาตรฐานไว้แล้วในคลังข้อมูลของ BEAT โดยมีสองทางเลือก ดังนี้

i. สร้างชุดวัสดุประกอบเอง (Create custom)

ทางเลือกนี้ให้ผู้ใช้กำหนดชุดวัสดุประกอบขึ้นใหม่ให้เหมาะกับโครงการได้อย่างยืดหยุ่น โดยสามารถดำเนินการได้ดังนี้

- เลือกประเภทองค์ประกอบอาคาร เช่น ฐานราก คาน เสา พื้น หรือหลังคา
- เลือกวิธีการก่อสร้างจากคลังข้อมูล
- ระบุชนิดและปริมาณวัสดุ
- กำหนดขนาดและรายละเอียดเฉพาะของชุดวัสดุประกอบ
- บันทึกชุดวัสดุประกอบที่สร้างไว้ เพื่อนำกลับมาใช้ในโครงการเดิมหรือโครงการอื่นในอนาคต

ทางเลือกนี้เหมาะกับงานออกแบบที่ใช้แนวคิดใหม่ วิธีการก่อสร้างเฉพาะท้องถิ่น หรือการทดลองใช้วัสดุทางเลือกเพื่อลดคาร์บอนแฝง นอกจากนี้ ผู้ใช้ยังสามารถสร้างองค์ประกอบอาคารไว้เป็นตัวเลือกมาตรฐานของตนเองเพื่อให้จัดทำแบบจำลองได้สะดวกและรวดเร็วยิ่งขึ้น

ii. เลือกจากชุดวัสดุประกอบที่บันทึกไว้ (Select from defaults)

ทางเลือกนี้ช่วยให้ผู้ใช้นำเข้าชุดวัสดุประกอบที่เคยสร้างไว้กลับมาใช้ได้ เพื่อลดขั้นตอนในการจัดทำข้อมูลการประเมินเมื่อเลือกประเภทองค์ประกอบอาคาร เช่น ผนังภายนอก เสา พื้น หรือคานแล้ว ผู้ใช้สามารถดำเนินการได้ดังนี้

- เลือกชุดวัสดุประกอบที่บันทึกไว้
- ระบุปริมาณที่ใช้ โดยอาจเป็นพื้นที่ ปริมาตร หรือจำนวน ตามลักษณะของชุดวัสดุประกอบ
- นำองค์ประกอบอาคารรูปแบบเดียวกันไปใช้กับอาคารหรือโครงการหลายแห่ง

ทางเลือกนี้เหมาะสมอย่างยิ่งสำหรับโครงการที่ใช้อาคารหรือองค์ประกอบอาคารซึ่งมีชุดวัสดุประกอบรูปแบบเดียวกันซ้ำหลายจุด

ทั้งการกรอกข้อมูลจาก BoQ และการกรอกข้อมูลตามองค์ประกอบอาคารช่วยให้ประเมินคาร์บอนได้อย่างครอบคลุม โดยผู้ใช้ควรเลือกวิธีที่เหมาะสมกับขั้นตอนของโครงการ เอกสารที่มี และระดับความต้องการในการกำหนดรายละเอียดด้วยตนเอง

7. ประเภทพลังงานที่ใช้

BEAT คำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากพลังงานที่อาคารใช้ โดยเลือกค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกให้เหมาะกับประเภทพลังงานและประเทศที่ตั้งอาคาร สำหรับไฟฟ้า เครื่องมือใช้ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของโครงข่ายไฟฟ้าระดับประเทศจากแหล่งข้อมูลทางการของแต่ละประเทศภายใต้โครงการ ALCBT เช่น อบก. ของไทย MONRE ของเวียดนาม EAC ของกัมพูชา และ CEA ของอินเดีย

สำหรับเชื้อเพลิงอื่น ๆ ได้แก่ ก๊าซ ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) น้ำมันดีเซล น้ำมันเตา ถ่านหิน น้ำมันก๊าด และเชื้อเพลิงไม้ เครื่องมือใช้ค่ามาตรฐานการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเผาไหม้ ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดเชื้อเพลิง ไม่ได้แตกต่างกันตามประเทศ ค่าที่ใช้แสดงไว้ในตารางด้านล่าง หากประเทศใดยังไม่มีค่าการเผยแพร่ค่าระดับประเทศอย่างเป็นทางการ จะใช้ค่าทั่วไปแทนชั่วคราว และปรับปรุงเมื่อมีข้อมูลพร้อมใช้งาน

ตารางที่ 7 ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของพลังงานแต่ละประเภท

ประเภทพลังงาน	ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (kgCO ₂ e/kWh)
ไฟฟ้า	0.42
น้ำมันเตาชนิดเบา	0.27
น้ำมันเตาชนิดหนัก	0.29
ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG)	0.22
ก๊าซธรรมชาติ	0.24
ถ่านหิน	0.40
ถ่านหินลิกไนต์	0.43
น้ำมันดีเซล	0.27
น้ำมันก๊าด	0.29
เชื้อเพลิงไม้แบบท่อน	0.012
เชื้อเพลิงไม้สับ	0.022
เชื้อเพลิงไม้อัดเม็ด	0.030
ถ่านไม้	0.035 ⁵

⁵ แม้เชื้อเพลิงชีวภาพ เช่น ไม้ จะมีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากแหล่งฟอสซิลต่ำ แต่การเผาไม้ยังส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ตั้งแต่มลพิษทางอากาศไปจนถึงการสูญเสียความหลากหลายทางชีวภาพ

8. เอกสารสำแดงข้อมูลสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ (EPDs)

เอกสารสำแดงข้อมูลสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ (Environmental Product Declarations: EPDs) เป็นแหล่งข้อมูลสำคัญของ BEAT โดยให้ข้อมูลผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของวัสดุก่อสร้างตลอดวงจรชีวิตในรูปแบบมาตรฐาน และผ่านการทวนสอบโดยหน่วยงานอิสระ หากเปรียบเทียบให้เห็นภาพ EPD ก็เหมือน “ฉลากโภชนาการด้านสิ่งแวดล้อม” (nutrition labels) ของวัสดุและผลิตภัณฑ์ก่อสร้าง ซึ่งช่วยให้ผู้ใช้ทราบปริมาณคาร์บอนแฝงและตัวชี้วัดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านอื่น ๆ ได้อย่างชัดเจน

EPD จัดทำตามมาตรฐานสากล ISO 14025 จึงมีข้อกำหนดด้านเนื้อหาและโครงสร้างที่ชัดเจน อย่างไรก็ตาม ความพร้อมของข้อมูลแตกต่างกันไปในแต่ละประเทศ บางประเทศมีฐานข้อมูล EPD ขนาดใหญ่ที่ครอบคลุมผลิตภัณฑ์ภายในประเทศและสะท้อนประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตแต่ละแบบ ขณะที่บางประเทศมี EPD สำหรับใช้คำนวณ LCA เพียงไม่กี่รายการ BEAT จึงจัดเตรียมข้อมูล EPD แบบทั่วไปสำหรับประเทศภายใต้โครงการ ALCBT ให้ใช้ระหว่างรอการพัฒนาฐานข้อมูลภายในประเทศที่เหมาะสมยิ่งขึ้น

8.1 ทำความเข้าใจการใช้ EPD ใน BEAT

ปัจจุบัน BEAT ใช้ค่าศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อน (GWP) จาก EPD โดยครอบคลุมขั้นตอนการผลิตวัสดุ A1–A3

BEAT จัดหมวดหมู่ EPD ในฐานข้อมูลเป็นลำดับชั้น โดยอ้างอิงการจัดหมวดหมู่จากชุดข้อมูล ÖKOBAUDAT แบ่งเป็นหมวดหลัก หมวดย่อย และหมวดย่อยระดับถัดไป ดังตัวอย่างต่อไปนี้

- หมวดหลัก: ผลิตภัณฑ์ก่อสร้างจากแร่
 - หมวดย่อย: อิฐ บล็อก และชิ้นส่วนก่อสร้าง
 - หมวดย่อยระดับถัดไป: อิฐเผา

การจัดหมวดหมู่นี้ช่วยให้ผู้ใช้ค้นหา EPD ที่ต้องการในฐานข้อมูลได้สะดวก นอกจากนี้ BEAT ยังรองรับการค้นหาด้วยข้อความและการกรองข้อมูลตามประเทศที่ผลิตวัสดุ เพื่อให้ค้นหา EPD ได้รวดเร็วยิ่งขึ้น

ข้อจำกัดสำคัญประการหนึ่งของการดำเนินโครงการเปลี่ยนผ่านอาคารคาร์บอนต่ำแห่งเอเชีย (ALCBT) ในกัมพูชา อินโดนีเซีย อินเดีย ไทย และเวียดนาม คือการขาดแคลน EPD ของผลิตภัณฑ์ภายในประเทศที่ผ่านการทวนสอบแล้ว เมื่อเทียบกับตลาดยุโรปที่มีระบบการจัดทำและเผยแพร่ EPD อย่างเป็นทางการและครอบคลุม ประเทศเป้าหมายเหล่านี้ยังมีระบบและฐานข้อมูล EPD ที่กระจัดกระจายหรืออยู่ในระยะเริ่มต้น

เพื่อให้การประเมินยังคงน่าเชื่อถือภายใต้ข้อกำหนดดังกล่าว BEAT จึงมีตัวเลือก EPD สามประเภท ผู้ใช้ควรทำความเข้าใจความแตกต่างของแต่ละประเภท เพื่อเลือกข้อมูลให้เหมาะสมกับข้อมูลที่มีและลักษณะการใช้งาน

BEAT มีข้อมูล EPD ให้เลือกใช้ 3 ประเภท ดังนี้

1. EPD อย่างเป็นทางการ (Official EPDs)

EPD อย่างเป็นทางการเป็นข้อมูลผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่มีคุณภาพสูงที่สุดใน BEAT ปัจจุบันรวบรวมจากแหล่งข้อมูลที่ได้รับการยอมรับดังต่อไปนี้

- **ฐานข้อมูล ÖKOBAUDAT:** ดูแลโดยรัฐบาลเยอรมนี และเป็นหนึ่งในแหล่งข้อมูลด้านสิ่งแวดล้อมของวัสดุก่อสร้างที่ได้รับความนิยมมากที่สุด ประกอบด้วยชุดข้อมูล EPD คุณภาพสูงประมาณ 1,400 ชุด ข้อมูลทั้งหมดเป็นไปตามข้อกำหนดที่เข้มงวดของมาตรฐานยุโรป EN 15804+A2 จึงมีความน่าเชื่อถือและสอดคล้องกันสำหรับใช้ประเมินวัฏจักรชีวิตของอาคาร โดยข้อมูลจากแพลตฟอร์ม ÖKOBAUDAT ได้ถูกนำเข้าสู่ BEAT โดยตรงแล้ว
- **ECO Platform:** เป็นความร่วมมือในยุโรปที่รวบรวม EPD ที่ผ่านการทวนสอบจากประเทศต่าง ๆ โดยใช้มาตรฐานร่วมกัน ปัจจุบันมี EPD มากกว่า 3,500 รายการ ซึ่งทั้งหมดเป็นไปตามข้อกำหนดของ EN 15804 และผ่านการทวนสอบโดยบุคคลที่สาม เอกสารเหล่านี้ได้รับเครื่องหมาย ECO EPD และมีข้อมูลในรูปแบบที่ระบบคอมพิวเตอร์อ่านและประมวลผลได้ จึงสะดวกต่อการนำเข้าและใช้งานใน BEAT
- **ฐานข้อมูลวัสดุ IFC EDGE สำหรับอินเดีย:** พัฒนาขึ้นเพื่อให้มีข้อมูลด้านสิ่งแวดล้อมของวัสดุก่อสร้างที่ใช้ในอินเดีย โดยเฉพาะวัสดุที่ยังไม่มี EPD อย่างเป็นทางการ ข้อมูลรวบรวมโดยตรงจากผู้ผลิตทั่วประเทศ และผ่านการตรวจสอบอย่างรอบคอบเพื่อให้มั่นใจในความถูกต้อง อีกทั้งใช้ข้อมูลพลังงานและการขนส่งเฉพาะของอินเดีย จึงสะท้อนสภาพจริงในประเทศและเหมาะสมสำหรับโครงการในบริบทอินเดีย โดยข้อมูลนี้ได้ถูกนำเข้าสู่ BEAT แล้ว
- **ข้อมูลคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์จากประเทศไทย (CFP):** เป็นข้อมูลภายใต้โครงการคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) หรือ อบก. ซึ่งแสดงปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของผลิตภัณฑ์ ปัจจุบันมีการนำชุดข้อมูล CFP ของวัสดุก่อสร้างจากโครงการดังกล่าวประมาณ 2,000 รายการเข้าสู่ BEAT เพื่อเพิ่มความครอบคลุมของข้อมูลสำหรับการประเมินคาร์บอนแฝงในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้

2. EPD แบบทั่วไป (Generic EPDs)

ประเทศเป้าหมายภายใต้โครงการ ALCBT ยังขาดแคลน EPD อย่างเป็นทางการสำหรับวัสดุก่อสร้างหลายชนิด จึงมีการพัฒนาชุดข้อมูล EPD แบบทั่วไปขึ้น เพื่อใช้ในกรณีที่วัสดุที่ต้องการประเมินยังไม่มี EPD อย่างเป็นทางการ

BEAT ไม่ได้ใช้ตัวคูณเดียวกันเพื่อปรับข้อมูลวัสดุทุกชนิดให้เข้ากับแต่ละประเทศ แต่ใช้วิธีปรับข้อมูลหลายระดับที่มีงานวิจัยรองรับ โดยแยกการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตออกเป็นสามส่วน ได้แก่ การปล่อยจากกระบวนการทางเคมี การเผาไหม้เชื้อเพลิง และการใช้ไฟฟ้า จากนั้นจึงปรับเฉพาะส่วนที่เกี่ยวข้องกับเชื้อเพลิงและไฟฟ้าให้สอดคล้องกับสภาพการผลิตในประเทศนั้น ส่วนการปล่อยจากกระบวนการทางเคมี เช่น การเผาหินปูนในการผลิตปูนซีเมนต์ จะคงค่าเดิมไว้ เนื่องจากปฏิกิริยาเคมีพื้นฐานไม่เปลี่ยนแปลงไปตามประเทศที่ผลิต

การปรับข้อมูล 3 ระดับ

วัสดุแต่ละรายการจากฐานข้อมูลตั้งต้น ecoinvent/ÖKOBAUDAT จะถูกจัดให้อยู่ในหนึ่งใน 13 หมวดวัสดุ แล้วปรับข้อมูลด้วยวิธีใดวิธีหนึ่งจากสามระดับต่อไปนี้

- **ระดับที่ 1 ใช้ข้อมูลจริงจากภาคอุตสาหกรรม:** ปรับข้อมูลปูนซีเมนต์และคอนกรีต เหล็ก และอิฐดินเผา โดยใช้ข้อมูลการผลิตจริงระดับประเทศ เช่น ค่าการปล่อย CO₂ ต่อหน่วยการผลิตปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ธรรมดาที่ได้จากการตรวจวัด และสัดส่วนการผลิตเหล็กด้วยกระบวนการต่าง ๆ ของประเทศ เนื่องจากวัสดุเหล่านี้มีสัดส่วนสูงในคาร์บอนแฝงของอาคาร และมีข้อมูลที่น่าเชื่อถือพร้อมใช้งาน
- **ระดับที่ 2 ใช้สูตรแยกการปล่อยเป็นสามส่วน:** ปรับข้อมูลวัสดุ เช่น หินธรรมชาติ ผลิตภัณฑ์ทราย-ปูนขาว ผลิตภัณฑ์ยิปซัม ไยแร่ ฉนวน อิฐดินดิบ วัสดุเคลือบผิว และปูนฉาบปูนขาว โดยพิจารณาสัดส่วนการปล่อยจากกระบวนการผลิต การใช้เชื้อเพลิง และการใช้ไฟฟ้า ร่วมกับตัวคูณปรับประสิทธิภาพการใช้เชื้อเพลิงและอัตราส่วนค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของโครงข่ายไฟฟ้าระหว่างประเทศเป้าหมายกับข้อมูลตั้งต้น
- **ระดับที่ 3 ใช้แบบจำลองเฉพาะผลิตภัณฑ์:** ประเมินไม้แยกต่างหาก เพื่อคงค่าคาร์บอนชีวภาพที่กักเก็บอยู่ในเนื้อไม้ ซึ่งไม่ขึ้นอยู่กับสถานที่ผลิต และปรับเฉพาะส่วนที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานในกระบวนการผลิต

สำหรับเหล็ก BEAT ใช้แบบจำลองที่แยกองค์ประกอบการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยแยกผลิตภัณฑ์เหล็กรีไซเคิลที่ผลิตด้วยเตาอาร์กไฟฟ้า (EAF) เช่น เหล็กเสริม ออกจากผลิตภัณฑ์ที่ผลิตด้วยกระบวนการเตาสูงร่วมกับเตาเป่าออกซิเจน (BF-BOF) และผลิตภัณฑ์เหล็กที่ผ่านการแปรรูป เช่น เหล็กรูปพรรณ วิธีนี้ช่วยป้องกันการประเมินสูงหรือต่ำกว่าความเป็นจริงอย่างมาก ซึ่งเคยเกิดขึ้นจากการใช้ตัวคูณเดียวกับเหล็กทุกประเภทในวิธีการประเมินรุ่นก่อนหน้า

อัตราส่วนค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของโครงข่ายไฟฟ้า

BEAT ปรับข้อมูลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในส่วนของเชื้อเพลิงและไฟฟ้า โดยใช้อัตราส่วนระหว่างค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของโครงข่ายไฟฟ้าในแต่ละประเทศกับค่าอ้างอิงของเยอรมนี ค่าที่ใช้ ได้แก่ เยอรมนี 0.380

อินเดีย 0.727 อินโดนีเซีย 0.760 เวียดนาม 0.659 กัมพูชา 0.550 และไทย 0.466 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์ต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง (kgCO₂/kWh) ตัวคูณปรับค่าที่ได้สำหรับวัสดุแต่ละหมวดแสดงในตารางด้านล่าง

ตารางที่ 8 ตัวคูณปรับข้อมูล EPD แบบทั่วไป จำแนกตามหมวดวัสดุและประเทศ

หมวดวัสดุ	Teir	อินเดีย	อินโดนีเซีย	เวียดนาม	กัมพูชา	ไทย
ปูนซีเมนต์และคอนกรีต	1	1.455	1.393	1.377	1.373	1.252
อิฐดินเผา	1	0.873	0.941	1.006	0.923	1.081
คอนกรีตมวลเบา (AAC)	1/2	1.424	1.413	1.350	1.287	1.183
ผลิตภัณฑ์เหล็กจากเตาอาร์กไฟฟ้า (EAF) เช่น เหล็กเสริมและลวดเหล็ก	1	4.554	2.857	3.839	3.750	3.125
เหล็กจากกระบวนการ BF-BOF / ผลิตภัณฑ์เหล็กแปรรูป เช่น เหล็กรูปพรรณ	1	1.450	1.450	1.150	1.150	1.100
หินธรรมชาติ	2	1.588	1.640	1.481	1.308	1.176
ผลิตภัณฑ์ทราย-ปูนขาว	2	1.420	1.455	1.349	1.234	1.146
ยิปซัม	2	1.420	1.455	1.349	1.234	1.146
ใยแร่	2	1.385	1.415	1.322	1.222	1.144
ฉนวน EPS / XPS	2	1.147	1.160	1.120	1.077	1.044
ไม้	3	แตกต่างกันตามผลิตภัณฑ์	แตกต่างกันตามผลิตภัณฑ์	แตกต่างกันตามผลิตภัณฑ์	แตกต่างกันตามผลิตภัณฑ์	แตกต่างกันตามผลิตภัณฑ์
อิฐดินดิบ / วัสดุดิน	2	1.425	1.460	1.354	1.239	1.151
วัสดุเคลือบผิว	2	1.176	1.192	1.144	1.093	1.053
ปูนฉาบปูนขาว	2	1.081	1.085	1.072	1.057	1.046

ตัวคูณเหล่านี้ได้รับการปรับเทียบให้สะท้อนค่าเฉลี่ยของอุตสาหกรรม แทนค่าของผู้ผลิตที่มีผลการดำเนินงานดีที่สุด เมื่อตรวจสอบเทียบกับ EPD ที่เผยแพร่โดยผู้ผลิตชั้นนำ เช่น คอนกรีตผสมเสร็จของ ACC และเหล็กเสริมของ Tata Steel ในอินเดีย พบว่าค่าทั่วไปของ BEAT สูงกว่าค่าของผู้ผลิตชั้นนำด้านสิ่งแวดล้อมเหล่านี้ประมาณร้อยละ 7-17 จึงเป็นค่าประมาณที่มีข้อมูลรองรับและเพื่อการปล่อยไว้สูงกว่าเล็กน้อย แทนที่จะประเมินต่ำเกินไป

EPD แบบทั่วไปเป็นข้อมูลที่ใช้ทดแทนชั่วคราวระหว่างที่ยังไม่มีข้อมูลเฉพาะของประเทศและผลิตภัณฑ์ เมื่อมี EPD อย่างหนึ่งทางการหรือข้อมูลเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสม ควรเลือกใช้ข้อมูลเหล่านั้นก่อนค่าทั่วไป รวมถึงข้อมูลคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ (CFP) จาก อบก. ของไทย ซึ่งมีการนำเข้าสู่ BEAT เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทั้งนี้ ตัวคูณปรับข้อมูลแบบทั่วไปจะได้รับการทบทวนเป็นระยะ เพื่อให้สอดคล้องกับการลดการปล่อยคาร์บอนของระบบไฟฟ้าและการเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยีการผลิต

แหล่งข้อมูล : <https://ourworldindata.org/grapher/carbon-intensity-electricity?tab=table>
World Development Indicators / DataBank

3. EPD เฉพาะวัสดุและผลิตภัณฑ์ (ฟังก์ชันที่จะพัฒนาในอนาคต)

BEAT รุ่นถัดไปจะเพิ่มฟังก์ชันให้ผู้สร้างและอัปโหลดข้อมูล EPD ได้เอง ผู้ผลิต ที่ปรึกษา หรือทีมวิจัยจึงสามารถเพิ่มข้อมูล EPD เฉพาะของวัสดุที่ยังไม่มีอยู่ในฐานข้อมูลอย่างเป็นทางการได้ โดยกรอกข้อมูลบัญชีรายการตลอดวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Inventory: LCI) และค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้วยตนเอง ทั้งนี้ ข้อมูลต้องเป็นไปตามมาตรฐานที่ได้รับการยอมรับ เช่น EN 15804 หรือ ISO 21930 ฟังก์ชันนี้จะช่วยให้ BEAT รองรับวัสดุใหม่ ผลิตภัณฑ์นวัตกรรม และทางเลือกที่เหมาะสมกับบริบทของแต่ละพื้นที่ได้มากขึ้น ทำให้การประเมินครอบคลุมและปรับให้เหมาะสมกับความต้องการของโครงการที่หลากหลายได้ดียิ่งขึ้น

การใช้ข้อมูลเฉพาะของประเทศและผลิตภัณฑ์ (ประเภทที่ 3) ช่วยให้ออกแบบจำลองได้แม่นยำที่สุด หากยังไม่มีข้อมูลดังกล่าว ผู้ใช้สามารถใช้ข้อมูลแบบทั่วไป (ประเภทที่ 2) หรือข้อมูลจากต่างประเทศ (ประเภทที่ 1) ที่ BEAT จัดเตรียมไว้ทดแทนได้ในระหว่างนี้ ด้วยเหตุนี้ จึงควรส่งเสริมให้หน่วยงานภาครัฐและภาคอุตสาหกรรมก่อสร้างในแต่ละประเทศร่วมกันจัดทำชุดข้อมูล EPD ของวัสดุและผลิตภัณฑ์ภายในประเทศ เพื่อให้การประเมินในอนาคตสะท้อนสภาพจริงของพื้นที่ได้ดียิ่งขึ้น

8.2 ข้อมูลคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์จากประเทศไทย (อบก.)

BEAT ใช้ข้อมูลจากโครงการคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ (CFP) ขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) หรือ อบก. เป็นแหล่งข้อมูลหลักสำหรับวัสดุและผลิตภัณฑ์ในเอเชียที่ผ่านการรับรองอย่างเป็นทางการ โดยจัดเก็บข้อมูลเหล่านี้แยกเป็นกลุ่มที่ไม่ได้อยู่ในรูปแบบ ILCD และใช้ระบบจัดหมวดหมู่เดียวกับข้อมูลจากแหล่งอื่น

ปัจจุบันมีการนำเข้าข้อมูล CFP จาก อบก. ประมาณ 2,000 รายการและปรับปรุงให้เป็นปัจจุบัน พร้อมปรับการจัดการหน่วยให้สอดคล้องกับแนวปฏิบัติของไทย เช่น เพิ่มหน่วยอ้างอิงต่อต้านสำหรับปูนซีเมนต์ นอกจากนี้ BEAT ยังใช้ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากไฟฟ้าของประเทศไทยที่เผยแพร่โดย อบก. ซึ่งมีค่า 0.475 kgCO₂e/kWh

สำหรับคำนวณคาร์บอนจากการดำเนินงาน และใช้ในชุดค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของโครงข่ายไฟฟ้าที่กล่าวถึงข้างต้นด้วย

8.3 การจัดระดับคอนกรีตคาร์บอนต่ำ (GCCA A-G)

BEAT จัดระดับคาร์บอนต่ำตั้งแต่ A ถึง G สำหรับคอนกรีตผสมเสร็จและคอนกรีตสำเร็จรูปที่ใช้ในงานโครงสร้าง โดยข้อมูลต้องระบุหน่วยอ้างอิงเป็นลูกบาศก์เมตรและมีชั้นกำลังอัดกำกับ การจัดระดับนี้ใช้เกณฑ์อ้างอิงสากลของสมาคมปูนซีเมนต์และคอนกรีตโลก (Global Cement and Concrete Association: GCCA)

การจัดระดับทำโดยเปรียบเทียบค่า GWP ในชั้นตอน A1–A3 ต่อคอนกรีตหนึ่งลูกบาศก์เมตร กับเกณฑ์ของชั้นกำลังอัดที่ทดสอบด้วยตัวอย่างทรงกระบอก ยิ่งค่า GWP ต่ำ ก็ยิ่งได้รับระดับที่ดีขึ้น โดย A เป็นระดับดีที่สุด สำหรับกำลังอัดที่ระบุเป็นหน่วย KSC ของไทยจากการทดสอบด้วยตัวอย่างทรงลูกบาศก์ (kg/cm^2) และชั้นกำลังอัด “C” ตามมาตรฐานยุโรป EN 206 ระบบจะเทียบเคียงเป็นชั้นกำลังอัดทรงกระบอกที่ใกล้เคียงที่สุดก่อนจัดระดับ

การจัดระดับนี้ใช้เฉพาะคอนกรีตผสมเสร็จและคอนกรีตสำเร็จรูปสำหรับงานโครงสร้างเท่านั้น ไม่ครอบคลุมปูนซีเมนต์ มอร์ตาร์ คอนกรีตมวลเบา หรือคอนกรีตที่มีชั้นกำลังอัดนอกเหนือจากที่ระบุในตารางเกณฑ์ของ GCCA

ตารางด้านล่างแสดงค่า GWP สูงสุดของแต่ละระดับ หน่วยกิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อลูกบาศก์เมตร ($\text{kgCO}_2\text{e}/\text{m}^3$) โดยค่าที่สูงกว่าเกณฑ์ระดับ F จะจัดอยู่ในระดับ G

ตารางที่ 9 เกณฑ์การจัดระดับคอนกรีตคาร์บอนต่ำของ GCCA จำแนกตามชั้นกำลังอัด

ชั้นกำลังอัด (จากการทดสอบทรงกระบอก)	A ≤	B ≤	C ≤	D ≤	E ≤	F ≤
M20	68	115	161	208	255	302
M25	75	127	179	231	283	335
M30	83	141	199	256	314	372
M35	94	159	224	288	353	418
M40	101	171	241	310	380	450
M50	113	190	268	345	422	500

8.4 วัสดุพื้นถิ่นและวัสดุคาร์บอนต่ำในท้องถิ่น

BEAT มีข้อมูล EPD แบบทั่วไปสำหรับวัสดุพื้นถิ่นคาร์บอนต่ำ ได้แก่ ไม้ไผ่ ดินอัด ดินอัดผสมปูนซีเมนต์ บล็อกดินอัดปรับปรุงคุณภาพ ศิลาแลง และมอร์ตาร์ปูนขาว ประเด็นสำคัญคือวิธีการคำนวณคาร์บอนของวัสดุเหล่านี้ วัสดุชีวภาพสามารถกักเก็บคาร์บอนที่ดูดซับจากบรรยากาศ หรือที่เรียกว่า “คาร์บอนชีวภาพ” เมื่อนำส่วนที่กักเก็บนี้

มารวมในการคำนวณ ค่าคาร์บอนแฟงรวมจึงอาจติดลบได้ อย่างไรก็ตาม BEAT กำหนดให้ค่า GWP ที่ติดลบมีค่าเป็นศูนย์แทน

ทั้งนี้ ประโยชน์ด้านการลดคาร์บอนของวัสดุเหล่านี้ยังคงสะท้อนอยู่ในผลการประเมิน โดย BEAT บันทึกค่าการปล่อยเฉพาะส่วนที่มาจากเชื้อเพลิงฟอสซิลและกระบวนการผลิต เช่น ถ้าไม้ไม่มีค่าประมาณ $0.4 \text{ kgCO}_2\text{e/kg}$ และดินอัดผสมปูนซีเมนต์มีค่าประมาณ $85 \text{ kgCO}_2\text{e/m}^3$ ซึ่งยังคงต่ำกว่าคอนกรีตและเหล็กมาก

เอกสารอ้างอิง

Central Electricity Authority (CEA) (2023) CO2 Baseline Database for the Indian Power Sector, User Guide Version 19.0. Government of India, Ministry of Power. Available at:

<https://cea.nic.in/cdm-co2-baseline-database/>

Electricity Authority of Cambodia (EAC) (2023) Report on Power Sector of the Kingdom of Cambodia. Phnom Penh. Available at: <https://eac.gov.kh/>

Ember (2024) Yearly Electricity Data (Indonesia grid emission factor). Available at: <https://ember-energy.org/data/yearly-electricity-data/>

European Committee for Standardization (2011) EN 15978:2011 — Sustainability of construction works: Assessment of environmental performance of buildings — Calculation method. Brussels: CEN.

European Committee for Standardization (2019) EN 15804:2012+A2:2019 — Sustainability of construction works: Environmental Product Declarations — Core rules for the product category of construction products. Brussels: CEN.

Global Cement and Concrete Association (GCCA) (2021) The GCCA Sustainability Guidelines for the monitoring and reporting of CO2 emissions from cement manufacturing. London. Available at: <https://gccassociation.org/sustainability-innovation/>

IEA – International Energy Agency (2022). Africa Energy Outlook 2022. Paris. Available at: <https://www.iea.org/reports/africa-energy-outlook-2022>. (Accessed: 15 February 2025).

IFC - International Finance Corporation (2024, May 15) EDGE user guide part 1 - Using the Design Tab (Version 3, Revision 1). Available at: <https://edge.gbci.org/> (Accessed: 03 February 2025).

India GHG Programme / World Resources Institute (WRI) India (2015) India Specific Road Transport Emission Factors. Available at: <https://indiaghgp.org/transport-emission-factors>

Ministry of Natural Resources and Environment of Viet Nam (MONRE) (2023) Emission factor of the national electricity grid of Viet Nam. Hanoi. Available at: <https://monre.gov.vn/>

Our World in Data (2024). Carbon intensity of electricity generation. Available at: <https://ourworldindata.org/grapher/carbon-intensity-electricity?tab=table> (Accessed: 19 March 2025).

Royal Institution of Chartered Surveyors (RICS) (2023) Whole life carbon assessment for the built environment, 2nd edition. London: RICS. Available at: <https://www.rics.org/profession-standards/rics-standards-and-guidance/sector-standards/building-surveying-standards/whole-life-carbon-assessment>

Rubel, F., & Kottek, M. (2024) World Maps of Köppen-Geiger climate classification. Available at: <https://koeppen-geiger.vu-wien.ac.at/> (Accessed: 16 February 2025).

Smart Freight Centre (2023) Global Logistics Emissions Council (GLEC) Framework for Logistics Emissions Accounting and Reporting, Version 3.0. Amsterdam. Available at: <https://www.smartfreightcentre.org/en/glec-framework/>

Thailand Greenhouse Gas Management Organization (TGO) (2022) Emission Factor for Carbon Footprint of Products, and National Grid Electricity Emission Factor. Bangkok. Available at: <https://thaicarbonlabel.tgo.or.th/>

The Arch Space (2022) 5 different climate zones in India and important characteristics. Available at: <https://thearchspace.com/5-different-climate-zones-in-india-and-their-important-characteristics/> (Accessed: 01 March 2025).

UN Environment Programme & Global Alliance for Buildings and Construction (2024) Global Status Report for Buildings and Construction 2024/2025. Available at: <https://www.unep.org/resources/report/global-status-report-buildings-and-construction-20242025> (Accessed: 05 March 2025).

World Development Indicators | DataBank [Online]. Available at: <https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators> (Accessed: 15 March 2025).

เกี่ยวกับโครงการ ALCBT

โครงการเปลี่ยนผ่านอาคารคาร์บอนต่ำแห่งเอเชีย (Asia Low Carbon Buildings Transition: ALCBT) มีเป้าหมายเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอย่างมีนัยสำคัญ โดยเร่งผลักดันให้เกิดการเปลี่ยนผ่านสู่อาคารคาร์บอนต่ำในระดับประเทศในกัมพูชา อินเดีย อินโดนีเซีย ไทย และเวียดนาม โครงการดำเนินงานโดยสถาบันการเติบโตสีเขียวโลก (GGGI) ร่วมกับศูนย์พลังงานอาเซียน (ACE) บริษัท Energy Efficiency Services Limited (EESL) และ HEAT GmbH โดยได้รับการสนับสนุนเงินทุนจากกระทรวงสิ่งแวดล้อม การดำเนินงานด้านสภาพภูมิอากาศ การอนุรักษ์ธรรมชาติ และความปลอดภัยทางนิวเคลียร์แห่งสหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี (BMUKN) ผ่านโครงการริเริ่มด้านสภาพภูมิอากาศระหว่างประเทศ (IKI)

เกี่ยวกับ GGGI

สถาบันการเติบโตสีเขียวโลก (Global Green Growth Institute: GGGI) เป็นองค์การระหว่างรัฐบาลที่จัดตั้งขึ้นตามสนธิสัญญา มีสำนักงานใหญ่ตั้งอยู่ที่กรุงโซล สาธารณรัฐเกาหลี มุ่งสนับสนุนและส่งเสริมการเติบโตทางเศรษฐกิจที่เข้มแข็ง ทัวถึง และยั่งยืนในประเทศกำลังพัฒนาและประเทศเศรษฐกิจเกิดใหม่

เกี่ยวกับ ACE

ศูนย์พลังงานอาเซียน (ASEAN Centre for Energy: ACE) เป็นองค์การระหว่างรัฐบาลภายใต้โครงสร้างของสมาคมประชาชาติแห่งเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (อาเซียน) ทำหน้าที่เป็นตัวแทนผลประโยชน์ด้านพลังงานของประเทศสมาชิกอาเซียนทั้ง 11 ประเทศ

เกี่ยวกับ EESL

Energy Efficiency Services Limited (EESL) เป็นบริษัทจัดการพลังงานขนาดใหญ่ (Super ESCO) ภายใต้กระทรวงพลังงานของอินเดีย มุ่งพัฒนาตลาดด้านประสิทธิภาพพลังงานในอินเดียผ่านรูปแบบธุรกิจที่เป็นนวัตกรรม และได้ขยายการดำเนินงานไปยังประเทศอื่น ๆ ในเอเชีย

เกี่ยวกับ HEAT International

HEAT International เป็นบริษัทที่ปรึกษาอิสระที่มีประสบการณ์ 30 ปีด้านสภาพภูมิอากาศ การทำความร้อนและความเย็น และการขนส่ง โดยมุ่งสนับสนุนประเทศต่าง ๆ ในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และผลักดันการเปลี่ยนแปลงไปสู่แนวทางที่ไม่ปล่อยก๊าซเรือนกระจก

กลไกรับเรื่องร้องเรียนของ IKI (IKI Complaint Mechanism)

ผู้ที่เห็นว่าตนเองได้รับผลกระทบจากโครงการที่ได้รับการสนับสนุนจาก IKI หรือต้องการแจ้งเบาะแสการทุจริตหรือการใช้เงินอย่างไม่เหมาะสม สามารถยื่นเรื่องต่อกลไกรับเรื่องร้องเรียนอิสระของ IKI ได้ทางอีเมล IKI-complaints@z-u-g.org

กลไกนี้มีคณะผู้เชี่ยวชาญอิสระทำหน้าที่ตรวจสอบข้อร้องเรียน โดยระหว่างกระบวนการตรวจสอบจะมีการหารือกับผู้ร้องเรียน เพื่อหลีกเลี่ยงความเสี่ยงที่ไม่จำเป็นต่อผู้ร้องเรียน

ASIA LOW CARBON BUILDINGS TRANSITION

*Life Cycle Assessment for Transitioning
to a Low-Carbon Economy* | **PROJECT**

alcbt.gggi.org

