

T-VER-P-METH-14-02

ระเบียบวิธีลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจ

สำหรับ

การดักจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อนำไปใช้ประโยชน์
ในกระบวนการทำคอนกรีต

CO₂ Capture for Utilization for Concrete Production

ฉบับที่ 01

Scope: 05 – Chemical industry

Scope: 06 – Construction

มีผลบังคับใช้ตั้งแต่วันที่ 24 กันยายน 2568

1. ชื่อระเบียบวิธี (Methodology)	การดักจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อใช้ประโยชน์ในกระบวนการทำคอนกรีต (CO ₂ Capture and Utilization for Concrete Production)
2. ประเภทโครงการ (Project Type)	การดักจับ กักเก็บ และ/หรือการใช้ประโยชน์จากก๊าซเรือนกระจก
3. สาขาและขอบข่าย (Scope)	Scope: 05 – Chemical industry Scope: 06 – Construction
4. ลักษณะโครงการ (Project Outline)	กิจกรรมโครงการต้องมีวัตถุประสงค์ในการดักจับคาร์บอนไดออกไซด์ (CO ₂) ที่ปล่อยออกจากแหล่งที่มีจุดกำเนิดแน่นอน (Point source) หรือการดักจับ CO ₂ จากบรรยากาศ (Direct Air Capture: DAC) เพื่อนำมาใช้ประโยชน์ในกระบวนการทำคอนกรีต (Concrete)
5. ลักษณะของกิจกรรมโครงการที่เข้าข่าย (Applicability)	กิจกรรมโครงการต้องมีกระบวนการดักจับก๊าซจากแหล่งกำเนิดและแยก CO ₂ ออก (Capture) และการนำ CO ₂ ไปใช้ (Utilization) ในกระบวนการผลิตคอนกรีตเพื่อกักเก็บ CO ₂ แบบถาวร โดยที่สัดส่วนของปูนซีเมนต์ที่ใช้ในผลิตภัณฑ์คอนกรีตต้องไม่เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีฐาน
6. เงื่อนไขของกิจกรรมโครงการ (Project Conditions)	1) คอนกรีตที่ผลิตได้จากกิจกรรมโครงการต้องมีค่ากำลังอัด (Compression strength) เทียบเท่ากับคอนกรีตเดิม (กรณีฐาน) และต้องเป็นไปตามมาตรฐานทางด้านวิศวกรรมสำหรับการนำคอนกรีตไปใช้ตามลักษณะงานและมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 213-2520 2) คอนกรีตที่ผลิตได้จากกิจกรรมโครงการต้องมีการนำไปใช้งานเชิงพาณิชย์ 3) กิจกรรมโครงการสามารถมีขั้นตอนการเตรียมสถานะ CO₂ ให้เป็นของเหลว (Liquefaction) การเตรียมสถานะ CO₂ ให้เป็นก๊าซ (Evaporation) และการขนส่ง CO₂ ด้วยยานพาหนะหรือทางท่อได้ 4) กิจกรรมโครงการสามารถใช้สารเติมแต่งในปูนซีเมนต์หรือคอนกรีตได้ 5) กิจกรรมโครงการต้องไม่มีการรีไซเคิลคอนกรีต 6) การนำ CO₂ ไปใช้สำหรับการผลิตคอนกรีต ผู้พัฒนาโครงการต้องระบุหมายเลขผลิตภัณฑ์ (Serial Number) ของคอนกรีตเพื่อตรวจสอบย้อนกลับได้

	7) ผู้พัฒนาโครงการจะต้องมีการตรวจสอบและติดตามปริมาณ CO ₂ รวมทั้งหมดที่ผลิตได้จากกระบวนการ Capture และปริมาณการใช้ CO ₂ สำหรับการผลิตคอนกรีตให้มีความถูกต้องและครบถ้วน
7. วันเริ่มดำเนินโครงการ (Project Starting Date)	วันที่เจ้าของโครงการ (ผู้ว่าจ้าง) และผู้รับจ้างได้มีการลงนามร่วมกันในสัญญาจ้างก่อสร้างโครงการลดก๊าซเรือนกระจกที่จะพัฒนาเป็นโครงการ T-VER
8. นิยามศัพท์	คอนกรีต (Concrete) หมายถึงวัสดุผสมระหว่างปูนซีเมนต์ ทราย หิน และน้ำที่นิยมนำไปใช้ในงานก่อสร้างหลากหลายรูปแบบ เช่น คอนกรีตสด คอนกรีตสำหรับทำถนน คอนกรีตโครงสร้าง คอนกรีตสำหรับทำสะพาน เป็นต้น ปูนซีเมนต์ (Cement) หมายถึง วัสดุผสมสำหรับผลิตคอนกรีต ซึ่งส่วนผสมหลักคือ หินปูน ดินเหนียว ซิลิกา อลูมินา ยิปซัม เป็นต้น โดยในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์จะมีการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ ในปฏิกิริยาเคมีที่เรียกว่า “กระบวนการเผาแบบแคลไซน์ (Calcination)” กระบวนการแคลไซน์ (Calcination) หมายถึง กระบวนการเปลี่ยนหินปูน (Limestone) ที่มีส่วนประกอบหลักคือ CaCO₃ ไปเป็น CaO ซึ่งจะเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) จากปฏิกิริยาเคมี Carbonation plant หมายถึง โรงงานหรือบริเวณที่ตั้งของกระบวนการผสมเพื่อผลิตคอนกรีตเพื่อการเกิดคาร์บอนเนตในการดำเนินโครงการ Independent Power Supply (IPS) หมายถึง ผู้ผลิตไฟฟ้าเอกชนที่ผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้เองโดยไม่มีการจำหน่ายเข้าสู่โครงข่ายไฟฟ้าหรือจำหน่ายไฟฟ้าให้ลูกค้าตรง กระบวนการเกิดคาร์บอนเนตโดยตรง (Direct Mineral Carbonation) หมายถึงการเกิดปฏิกิริยาระหว่าง CO₂ กับออกไซด์ของโลหะ (อัลคาไล/อัลคาไลเอิร์ท) เช่น แคลเซียมออกไซด์ (CaO) แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) ซึ่งเป็นส่วนประกอบในปูนซีเมนต์ และน้ำ ให้กลายเป็นแคลเซียมคาร์บอนเนต (CaCO₃) หรือแมกนีเซียมคาร์บอนเนต (MgCO₃) ซึ่งมีลักษณะเป็นแร่ธาตุที่มีความเสถียรทางเคมีและสามารถกักเก็บ CO₂ ได้อย่างถาวร กระบวนการเกิดคาร์บอนเนตโดยอ้อม (Indirect Mineral Carbonation) หมายถึงกระบวนการกักเก็บคาร์บอนของ CO₂ ในกระบวนการผลิตคอนกรีต ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาในสองส่วน คือปฏิกิริยาระหว่าง CO₂ กับซิลิกาออกไซด์ (SiO₂) ในปูนซีเมนต์ และน้ำ และตาม

	ด้วยการแยกสกัดแคลเซียมออกจากสารประกอบแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต และปฏิกิริยาการเกิดคาร์บอนเนตโดยตรง เพื่อทำให้เกิดการตกผลึกของแคลเซียมคาร์บอนเนตที่สามารถกักเก็บ CO ₂ ได้อย่างถาวร
9. หมายเหตุ	

**รายละเอียดระเบียบวิธีลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจ
สำหรับการดักจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อใช้ประโยชน์ในกระบวนการทำคอนกรีต
(CO₂ Capture and Utilization for Concrete Production)**

1. กิจกรรมการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่นำมาใช้ในการคำนวณ

ตารางที่ 1 แหล่งกำเนิดและชนิดของก๊าซเรือนกระจก

การปล่อย ก๊าซเรือนกระจก	แหล่งกำเนิด ก๊าซเรือนกระจก	ชนิดของ ก๊าซเรือน กระจก	รายละเอียดของกิจกรรม ที่มีการปล่อย/กักเก็บก๊าซเรือน กระจก
กรณีฐาน (Baseline Emission)	ปล่อยไอเสียของโรงงานที่มีจุดปล่อยที่ แน่นอน	CO ₂	- การเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล - การเผาหินปูน เป็นต้น
	ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้น บรรยากาศ	CO ₂	กิจกรรมของมนุษย์ และธรรมชาติ
	คอนกรีตในกรณีฐาน	CO ₂	มวลของคาร์บอนที่อยู่ในคอนกรีตใน กรณีฐาน
	ปูนซีเมนต์ของกรณีฐาน	CO ₂	กระบวนการผลิตปูนซีเมนต์
การดำเนิน โครงการ (Project Emission)	คอนกรีตในการดำเนินโครงการ	CO ₂	มวลของคาร์บอนในคอนกรีตในการ ดำเนินโครงการ
	ปูนซีเมนต์ในการดำเนินโครงการ	CO ₂	กระบวนการผลิตปูนซีเมนต์
	<u>การดักจับก๊าซและแยกเอา CO₂ ออก</u>		
	การรั่วไหล	CO ₂	เครื่องจักร/อุปกรณ์/ระบบท่อ
	การผลิตไฟฟ้าและความร้อนเพื่อ ใช้เองในกระบวนการ	CO ₂	การเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลใน โรงไฟฟ้าที่อยู่ในขอบเขตโครงการ
	การใช้ไฟฟ้าและพลังงานความ ร้อน (ที่ซื้อมาจากภายนอก) ใน กระบวนการ	CO ₂	- การผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าใน ระบบสายส่ง - การผลิตไฟฟ้าและ/หรือไอน้ำของ โรงไฟฟ้าประเภท IPS
	<u>การเตรียม CO₂ ให้อยู่ในสถานะของเหลว</u>		
	การผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้เองใน กระบวนการ	CO ₂	การเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลใน โรงไฟฟ้าที่อยู่ในขอบเขตโครงการ

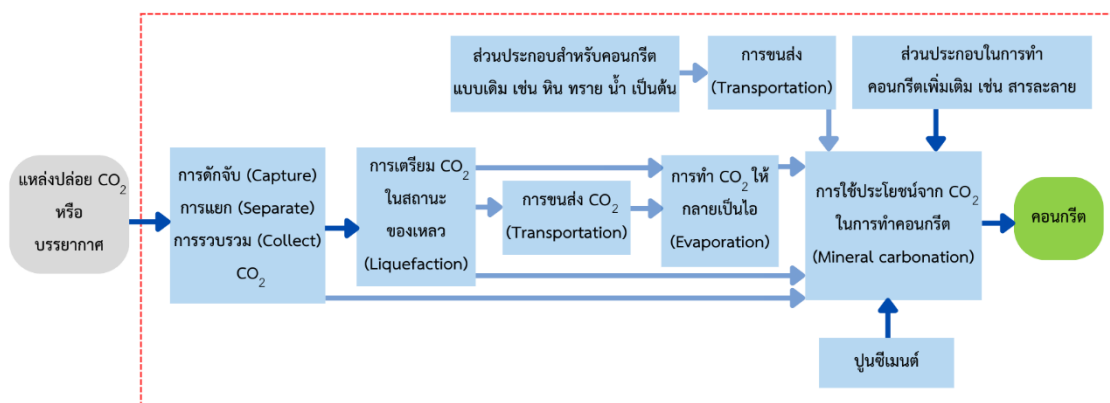
	การใช้ไฟฟ้า (ที่ซื้อมาจากภายนอก) ในกระบวนการ	CO ₂	- การผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าในระบบสายส่ง - การผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าประเภท IPS
	<u>การขนส่ง CO₂</u>		
	การระบายออกหรือรั่วไหล	CO ₂	เครื่องจักร/อุปกรณ์/ระบบท่อ
	การใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล	CO ₂	การเผาไหม้เชื้อเพลิงของยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่ง
	การใช้ไฟฟ้า (ที่ซื้อมาจากภายนอก) ในกระบวนการ	CO ₂	- การผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าในระบบสายส่ง - การผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าประเภท IPS
	<u>การเตรียม CO₂ ให้อยู่ในสถานะไอ</u>		
	การใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล	CO ₂	การเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลที่อยู่ในขอบเขตโครงการ
	การผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้เองในกระบวนการ	CO ₂	การเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลในโรงไฟฟ้าที่อยู่ในขอบเขตโครงการ
	การใช้ไฟฟ้า (ที่ซื้อมาจากภายนอก) ในกระบวนการ	CO ₂	- การผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าในระบบสายส่ง - การผลิตไฟฟ้าและ/หรือไอน้ำของโรงไฟฟ้าประเภท IPS
	<u>การใช้ CO₂ สำหรับการผลิตคอนกรีต</u>		
	การระบายออกหรือรั่วไหล	CO ₂	เครื่องจักร/อุปกรณ์/ระบบท่อ
	การใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล	CO ₂	การเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลที่อยู่ในขอบเขตโครงการ
	การผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้เองในกระบวนการ	CO ₂	การเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลในโรงไฟฟ้าที่อยู่ในขอบเขตโครงการ
	การใช้ไฟฟ้า (ที่ซื้อมาจากภายนอก) ในกระบวนการ	CO ₂	- การผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าในระบบสายส่ง - การผลิตไฟฟ้าโรงไฟฟ้าประเภท IPS
	การใช้สารละลายในกระบวนการใช้ประโยชน์จาก CO ₂	CO ₂	กระบวนการผลิตสารละลาย
	<u>การขนส่งหินกรวด ทราย น้ำ และปูนซีเมนต์</u>		

นอกขอบเขต โครงการ (Leakage Emission)	■ การใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล	CO ₂	การเผาไหม้เชื้อเพลิงของยานพาหนะ ที่ใช้ในการขนส่ง
	■ การใช้ไฟฟ้า (ที่ซื้อมาจาก ภายนอก) ในกระบวนการ	CO ₂	■ การผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าในระบบสายส่ง ■ การผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าประเภท IPS

2. ลักษณะของกิจกรรมและขอบเขตโครงการ (Applicability and Scope of Project)

กิจกรรมโครงการต้องมีวัตถุประสงค์ในการดักจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากก๊าซที่เกิดจากแหล่งกำเนิดที่มีจุดปล่อยแน่นอนหรือบรรยากาศมากักเก็บไว้ในคอนกรีตโดยที่

- การกักเก็บคาร์บอนในคอนกรีตจะต้องทำให้คุณสมบัติของคอนกรีตที่ถูกนำไปใช้งานตามประเภทต่างๆ มีคุณสมบัติเทียบเท่าคอนกรีตในกรณีฐาน หรือ เทียบเท่าตามมาตรฐานของคอนกรีตประเภทนั้นๆ
- การขนส่งปูนซีเมนต์ หิน ทราย น้ำ จากนอกขอบเขตโครงการ คือการขนส่งในส่วนที่จะถูกนำมาใช้ในการผลิตคอนกรีตที่เพิ่มขึ้นจากปริมาณการผลิตคอนกรีตในกรณีฐาน



รูปที่ 1 กระบวนการดักจับและกักเก็บคาร์บอนไดออกไซด์ในกระบวนการผลิตคอนกรีต

กิจกรรมโครงการมีกระบวนการแบ่งเป็น 5 ส่วน ตามที่แสดงดังรูปที่ 1 ได้แก่

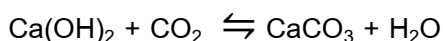
- **การดักจับและแยก CO₂ (Capture)** ที่ดักจับได้จากแหล่งกำเนิด สามารถดำเนินการได้ที่ขั้นตอนต่าง ๆ ตามด้านล่างนี้
 - ก่อนการเผาไหม้ (Pre-combustion)
 - หลังการเผาไหม้ (Post-combustion)
 - หลังการเผาไหม้โดยใช้ออกซิเจนบริสุทธิ์ (Oxy-fuel combustion)
 - การดักจับการบรรยากาศโดยตรง (Direct Air Capture)

ตัวอย่างเทคโนโลยีที่ใช้ในการดักจับ CO₂ (Capture)

- การดูดซับ (Adsorption)
- การดูดซึม (Absorption)
- การแยกด้วยเยื่อบาง (Membrane separation)
- การใช้ความเย็น (Cryogenic distillation)
- การดูดซับแบบเกิดปฏิกิริยา (Chemical Looping)
- การเตรียม CO₂ (Liquefaction) ในสถานะของเหลว เพื่อเป็น CO₂ สถานะที่เหมาะสมต่อการขนส่งที่สุด
- การขนส่ง CO₂ (Transportation) การนำ CO₂ ที่แยกได้ส่งไปยังบริเวณที่จะใช้ประโยชน์ในการผลิตคอนกรีต สามารถใช้การขนส่งได้หลากหลายรูปแบบ ได้แก่
 - การขนส่งทางท่อ (Pipeline)
 - การขนส่งด้วยรถบรรทุก/รถไฟ (Land transportation)

กรณีที่กระบวนการดักจับและแยก CO₂ (Capture) และการรวบรวมก๊าซ CO₂ (Collection) อยู่บริเวณเดียวกันกับ Carbonation plant ซึ่งสามารถป้อน CO₂ ให้การผลิตคอนกรีตได้โดยตรง แล้วการปล่อยปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินโครงการในการขนส่งจะไม่ถูกพิจารณาหรือมีค่าเท่ากับศูนย์

- การทำ CO₂ ให้กลายเป็นไอ (Evaporation) เพื่อเป็น CO₂ สถานะที่เหมาะสมต่อการเป็นวัตถุดิบสำหรับการ Mineral carbonation ใน Carbonation plant ที่สุด
- การใช้ประโยชน์จาก CO₂ ซึ่งเกิดขึ้นใน Carbonation plant ผ่านกระบวนการ Mineral carbonation เพื่อการผลิตคอนกรีตชนิดต่างๆ เช่น คอนกรีตสด คอนกรีตสำหรับทำถนน คอนกรีตสำหรับงานโครงสร้าง (Architectural concrete) คอนกรีตสำหรับทำสะพาน ซึ่งเป็นการกักเก็บ CO₂ ในคอนกรีตนั้น ๆ คือการเปลี่ยนรูปของ CO₂ ผ่านปฏิกิริยาเคมีให้อยู่ในรูป CaCO₃ ซึ่งจะกลายเป็นส่วนหนึ่งของคอนกรีต เช่น



กิจกรรมโครงการอาจจะไม่มีการเตรียม CO₂ ในสถานะของเหลว การขนส่ง CO₂ หรือการทำ CO₂ ให้กลายเป็นไอ ตามที่แสดงดังรูปที่ 1 ซึ่งจะขึ้นอยู่กับดำเนินการจริงของโครงการ

3. การดำเนินงานเพิ่มเติมจากการดำเนินงานปกติ (Additionality)

โครงการต้องผ่านการพิสูจน์การดำเนินงานเพิ่มเติมจากการดำเนินงานปกติ (Additionality) โดยใช้ “แนวทางการพิสูจน์การดำเนินงานเพิ่มเติมจากการดำเนินงานตามปกติ (Additionality) ภายใต้โครงการลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจตามมาตรฐานของประเทศไทย (Thailand Voluntary Emission Reduction Program: T-VER)” ที่ อบก. กำหนด

4. ข้อมูลกรณีฐาน (Baseline Scenario)

กิจกรรมโครงการการดักจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อใช้ประโยชน์สำหรับการผลิตคอนกรีตที่เกิดขึ้นจะเป็นโครงการแห่งแรก (First of its kind) ในประเทศไทย ดังนั้นข้อมูลกรณีฐาน คือปริมาณ CO₂ ที่ถูกใช้ในกระบวนการผลิตแล้วกักเก็บในคอนกรีต

หมายเหตุ หากประเทศไทยมีโครงการ CCU สำหรับการผลิตคอนกรีต มากขึ้น อบก. จะพิจารณา ทบทวนการกำหนดข้อมูลกรณีฐานให้เป็นไปตามแนวทางการกำหนดข้อมูลกรณีฐานต่ำกว่า การดำเนินงานปกติ (Below Business as Usual หรือ Below BAU) ต่อไป

ทั้งนี้หากการนำ CO₂ ไปใช้ในการผลิตคอนกรีต ซึ่งส่งผลให้ปริมาณการใช้ปูนซีเมนต์ลดลง การกำหนดข้อมูลกรณีฐานต่ำกว่าการดำเนินงานปกติ (Below Business as Usual หรือ Below BAU) สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้ โดยให้พิจารณาจากการผลิตคอนกรีตในกรณีฐานด้วยปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 871 kgCO₂/t cement

5. การคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกรณีฐาน (Baseline Emission)

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกรณีฐานพิจารณาเฉพาะการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) จากแหล่งกำเนิดตามที่กำหนด โดยคำนวณจากปริมาณของคาร์บอนในคอนกรีตที่เพิ่มขึ้นจากการดำเนินงานในรูปแบบเดิม ร่วมกับการใช้ปูนซีเมนต์ (กระบวนการผลิตปูนซีเมนต์จะมีการปลดปล่อย CO₂)

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกรณีฐาน สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$BE_y = \sum_n (BE_{CO_2, Store, n, y}) + BE_{Cement, y} \quad \text{สมการที่ (1)}$$

โดยที่

BE_y = ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกรณีฐาน ในปี y (tCO₂/year)

$BE_{CO_2, Store, n, y}$ = ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่คำนวณผ่านผลต่างระหว่างปริมาณคาร์บอนที่กักเก็บภายในคอนกรีตประเภท n ในการดำเนินโครงการกับกรณีฐาน ในปี y (tCO₂/year)

$BE_{Cement,y}$ = ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการผลิตคอนกรีตผ่านปริมาณการใช้ปูนซีเมนต์จากกรณีฐานในปี y ($tCO_2/year$)

5.1 ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่คำนวณผ่านผลต่างระหว่างปริมาณคาร์บอนที่กักเก็บภายในคอนกรีตจากการดำเนินโครงการกับกรณีฐาน ($BE_{CO_2,Store,n,y}$)

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากสำหรับคอนกรีตจากกรณีฐาน สามารถคำนวณได้ 3 ทางเลือกดังนี้

ทางเลือกที่ 1 การประเมินปริมาณการกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในคอนกรีตจากกรณีฐาน ผ่านการตรวจวัดปริมาณคาร์บอนในคอนกรีตโดยตรง

การคำนวณปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกกักเก็บในคอนกรีตจากกรณีฐาน ผ่านการคำนวณปริมาณของคาร์บอนในตัวอย่างคอนกรีต ร่วมกับการเก็บข้อมูลการผลิตคอนกรีตรวม สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$BE_{CO_2,Store,n,y} = \sum_i [Q_{Concrete,PJ,i,y} \times ((Q_{C,PJ,Test,i} - Q_{C,BL,Test,i}) \times 10^6 \times \frac{44}{12})] \quad \text{สมการที่ (2)}$$

โดยที่

- $BE_{CO_2,Store,i,y}$ = ปริมาณ CO_2 ที่คำนวณผ่านผลต่างระหว่างปริมาณคาร์บอนที่กักเก็บภายในคอนกรีตประเภท i ในการดำเนินโครงการกับกรณีฐานในปี y ($tCO_2/year$)
- $Q_{Concrete,PJ,i,y}$ = ปริมาณคอนกรีตประเภท i ที่ผลิตได้จากการดำเนินโครงการในปี y ($t \text{ concrete}/year$)
- $Q_{C,PJ,Test,i,y}$ = ค่าเฉลี่ยของปริมาณคาร์บอน (C) ในตัวอย่างคอนกรีตประเภท i จากการดำเนินโครงการในปี y (กรัมคาร์บอนต่อกรัมของตัวอย่างคอนกรีตจากกิจกรรมโครงการที่ทำการทดสอบ)
- $Q_{C,BL,Test,i}$ = ค่าเฉลี่ยของปริมาณคาร์บอน (C) ในตัวอย่างคอนกรีตประเภท i จากกรณีฐาน (กรัมคาร์บอนต่อกรัมของตัวอย่างคอนกรีตจากกรณีฐานที่ทำการทดสอบ)
- i = ประเภทคอนกรีต

ทางเลือกที่ 2 การประเมินปริมาณการกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในคอนกรีตจากกรณีฐาน ผ่านการตรวจวัดปริมาตรของก๊าซคาร์บอนออกไซด์ที่เข้าสู่ Carbonation plant

การคำนวณปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกกักเก็บในคอนกรีตจากกรณีฐานผ่านการตรวจวัดปริมาตรของก๊าซคาร์บอนออกไซด์ที่เข้าสู่ Carbonation plant และปริมาตรของก๊าซคาร์บอนออกไซด์ที่คงค้างอยู่ใน Carbonation plant (ซึ่งถูกพิจารณาเป็นการปลดปล่อยจากการดำเนินโครงการในกรณีที่การดำเนินโครงการมีลักษณะในระบบปิด หรือไม่พิจารณาส่วนนี้เพราะดึงมาจากส่วนที่จะปล่อย

ออกสู่บรรยากาศเป็นปกติ หรือ ดึงออกมาจากบรรยากาศ มันแค่กลับไปเดิม) ผ่านการพิจารณาต่อครั้งของกระบวนการผลิตคอนกรีต โดยกระบวนการผลิตคอนกรีตจะต้องถูกควบคุมพลังงานที่ใช้ในกระบวนการให้คงที่

การคำนวณปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกกักเก็บในคอนกรีตจากกรณีฐาน สามารถคำนวณได้ดังนี้ ทั้งนี้กระบวนการเกิดปฏิกิริยาต้องเป็นระบบปิด ไม่มีการรั่วไหลของก๊าซระหว่างการเกิดปฏิกิริยา

$$BE_{CO_2,Store,i,y} = \sum_b (Q_{CO_2,PJ,Feed,i,b,y} - Q_{CO_2,PJ,Non-Store,i,b,y}) \quad \text{สมการที่ (3)}$$

โดยที่

- $BE_{CO_2,Store,i,y}$ = ปริมาณ CO_2 ที่คำนวณผ่านผลต่างระหว่างปริมาณคาร์บอนที่กักเก็บภายในคอนกรีตประเภท i ในการดำเนินโครงการกับกรณีฐาน ในปี y ($tCO_2/year$)
- $Q_{CO_2,PJ,Feed,i,b,y}$ = ปริมาณ CO_2 ที่ใช้ในการส่งเข้าไปใน Carbonation plant สำหรับผลิตคอนกรีตประเภท i ในกระบวนการผลิตคอนกรีตรอบที่ b ในการดำเนินโครงการ ในปี y ($tCO_2/year$)
- $Q_{CO_2,PJ,Non-Store,i,b,y}$ = ปริมาณก๊าซ CO_2 ที่เหลือค้างใน Carbonation plant (ไม่ถูกกักเก็บในคอนกรีต) ในคอนกรีตประเภท i ในกระบวนการผลิตคอนกรีตรอบที่ b ในการดำเนินโครงการ ในปี y ($tCO_2/year$)
- i = ประเภทคอนกรีต
- b = รอบการผลิตคอนกรีต

การคำนวณปริมาณก๊าซ CO_2 ที่ใช้ในการส่งเข้าไปใน Carbonation plant สามารถคำนวณผ่านความหนาแน่น สัดส่วนของ CO_2 กับปริมาตรก๊าซที่ถูกส่งเข้าไปใน Carbonation plant ในแต่ละรอบของกระบวนการผลิตคอนกรีต (b) สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$Q_{CO_2,PJ,Feed,i,b,y} = \sum_{t,b} [\rho_{CO_2,b} \times (\%V/V_{CO_2,Feed,i,b,y}) \times V_{Feed,b} \times 10^3] \quad \text{สมการที่ (4)}$$

โดยที่

- $Q_{CO_2,PJ,Feed,i,b,y}$ = ปริมาณ CO_2 ที่ใช้ในการส่งเข้าไปใน carbonation plant สำหรับผลิตคอนกรีตประเภท i ในกระบวนการผลิตคอนกรีตรอบที่ b ในการดำเนินโครงการ ในปี y ($tCO_2/year$)
- $\rho_{CO_2,b}$ = ความหนาแน่นของ CO_2 ที่สภาวะของการดำเนินงานในกระบวนการผลิตคอนกรีตรอบที่ b (kg/m^3)

- $\%V/V_{CO_2,Feed,i,b,y}$ = สัดส่วนโดยปริมาตรของ CO_2 ต่อปริมาตรก๊าซ ณ จุด ที่ป้อนเข้าสู่ Carbonation plant ซึ่งตรวจวัดในกระบวนการผลิตคอนกรีตรอบที่ b ที่สภาวะของการดำเนินงาน ในปี y (%)
- $V_{Feed,b}$ = ปริมาตรของ CO_2 ที่ถูกป้อนเข้าสู่ Carbonation plant ในกระบวนการผลิตคอนกรีตรอบที่ b (m^3)
- i = ประเภทคอนกรีต
- b = รอบการผลิตคอนกรีต

การคำนวณปริมาณก๊าซ CO_2 ที่ไม่ถูกกักเก็บในรูปของคาร์บอนเนตในคอนกรีต สามารถคำนวณผ่านปริมาตรที่ว่าง ความดัน อุณหภูมิของบริเวณที่เกิดปฏิกิริยา ร่วมกับความหนาแน่น สัดส่วนของ CO_2 กับปริมาตรก๊าซที่ถูกส่งเข้าไปใน carbonation plant ในแต่ละรอบการผลิตคอนกรีต b สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$Q_{CO_2,PJ,Non-Store,i,b,y} = \sum_b \left(\frac{P_{After,b} V_{Chamber,b}}{R T_{After,b}} - \frac{P_{Before,b} V_{Chamber,b}}{R T_{Before,b}} \right) \times (\%V/V_{CO_2,Feed,i,b,y}) \times 44.01 \times 10^{-6}$$

สมการที่ (5)

โดยที่

- $Q_{CO_2,PJ,Non-Store,i,b,y}$ = ปริมาณก๊าซ CO_2 ที่เหลือคงค้างใน Carbonation plant (ไม่ถูกกักเก็บในคอนกรีต) ในคอนกรีตประเภท i ในกระบวนการผลิตคอนกรีตรอบที่ b ในการดำเนินโครงการ ในปี y ($tCO_2/year$)
- $P_{After,b}$ = ความดันภายใน Chamber หลังการดำเนินงานในกระบวนการผลิตคอนกรีตรอบที่ b (bar) (หลังเสร็จปฏิกิริยา Mineral carbonation ใน Chamber)
- $P_{Before,b}$ = ความดันภายใน Chamber ก่อนการดำเนินงาน ในกระบวนการผลิตคอนกรีตรอบที่ b (bar) (ก่อนจะมีการ feed CO_2 เข้าใน Chamber)
- $V_{Chamber,b}$ = ปริมาตรที่ว่างภายใน Chamber ในกระบวนการผลิตคอนกรีตรอบที่ b (m^3)
- R = ค่าคงที่ของก๊าซ = $8.314472 \times 10^{-5} (m^3 \cdot bar \cdot K^{-1} \cdot mol^{-1})$
- $T_{After,b}$ = อุณหภูมิภายใน Chamber หลังการดำเนินงาน ในกระบวนการผลิตคอนกรีตรอบที่ b (K) (หลังเสร็จปฏิกิริยา Mineral carbonation ใน Chamber)
- $T_{Before,b}$ = อุณหภูมิภายใน Chamber ก่อนการดำเนินงาน ในกระบวนการผลิตคอนกรีตรอบที่ b (K) (ก่อนจะมีการ feed CO_2 เข้าใน Chamber)
- $\%V/V_{CO_2,Feed,i,b,y}$ = สัดส่วนโดยปริมาตรของ CO_2 ต่อปริมาตรก๊าซ ณ จุด ที่ป้อนเข้าสู่ Carbonation plant ซึ่งตรวจวัด ในกระบวนการผลิตคอนกรีตรอบที่ b ที่สภาวะของการดำเนินงาน ในปี y (%)
- i = ประเภทคอนกรีต
- b = รอบการผลิตคอนกรีต

ทางเลือกที่ 3 การประเมินปริมาณการกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในคอนกรีตจาก กรณีฐาน ผ่านการใช้ค่าประเมินประสิทธิภาพของระบบ

การคำนวณปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกกักเก็บในคอนกรีตจากกรณีฐาน ผ่านการใช้ค่าประเมินประสิทธิภาพของระบบที่มีค่าเท่ากับ 0.6 โดยอ้างอิงตามหลักการคิดแบบอนุรักษ์ (Conservative) ของผลการทดลอง จากผลงานตีพิมพ์ทางวิชาการของ Monkman, S. (2018)

การคำนวณปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกกักเก็บในคอนกรีตจากกรณีฐานในกรณีนี้สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$BE_{CO_2,Store,n,y} = \sum_b (Q_{CO_2,PJ,Feed,i,b,y} \times 0.6) \quad \text{สมการที่ (6)}$$

โดยที่

- $BE_{CO_2,Store,i,y}$ = ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่คำนวณผ่านผลต่างระหว่างปริมาณคาร์บอนที่กักเก็บภายในคอนกรีตประเภท i ในการดำเนินโครงการกับกรณีฐาน ในปี y ($tCO_2/year$)
- $Q_{CO_2,PJ,Feed,i,b,y}$ = ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ใช้ในการส่งเข้าไปใน carbonation plant สำหรับผลิตคอนกรีตประเภท i ในกระบวนการผลิตคอนกรีตรอบที่ b ในการดำเนินโครงการในปี y ($tCO_2/year$)
- 0.6 = ค่าปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นแร่ธาตุในคอนกรีตตามหลักการคำนวณแบบอนุรักษ์ (อ้างอิงมาจากหลักการการคิดแบบอนุรักษ์ ที่จะสามารถเกิดการ Mineralization ในกระบวนการผลิตคอนกรีต ซึ่งอ้างอิงวารสารวิชาการของ ^[6] Monkman, S. (2018))
- n = ประเภทคอนกรีต
- b = รอบการผลิตคอนกรีต

5.2 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ปูนซีเมนต์จากกรณีฐาน (BE_{Cement})

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ปูนซีเมนต์ในผลิตภัณฑ์คอนกรีตเดิม พิจารณาปริมาณการใช้ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก สามารถคำนวณได้ ดังนี้

$$BE_{Cement,y} = \sum_i Q_{Cement,BL,i,y} \times EF_{HC} \quad \text{สมการที่ (7)}$$

โดยที่

- $BE_{Cement,y}$ = ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการผลิตคอนกรีตผ่านปริมาณการใช้ปูนซีเมนต์จากกรณีฐานในปี y ($tCO_2/year$)

- $Q_{\text{Cement,BL},i,y}$ = ปริมาณปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกที่ถูกใช้ในการผลิตคอนกรีตประเภท i จากกรณีฐานในปี y (t cement/year)
 EF_{HC} = ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก ($\text{tCO}_2/\text{t cement}$)
 i = ประเภทคอนกรีต

5.2.1 ปริมาณปูนซีเมนต์ที่ถูกใช้ในการผลิตคอนกรีตจากกรณีฐาน ($Q_{\text{Cement,BL},i,y}$)

ปริมาณปูนซีเมนต์ที่ถูกใช้ในการผลิตคอนกรีตจากกรณีฐาน พิจารณาผ่านปริมาณปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกในตัวอย่างคอนกรีตประเภท i จากกรณีฐานเทียบกับตัวอย่างคอนกรีตจากการดำเนินโครงการ

ปริมาณปูนซีเมนต์ที่ถูกใช้ในการผลิตคอนกรีตในกรณีฐาน สามารถคำนวณได้ ดังนี้

$$Q_{\text{Cement,BL},i,y} = \sum_i [Q_{\text{Cement,PJ},i,y} \times \left(\frac{Q_{\text{Cement,BL,Test},i}}{Q_{\text{Cement,PJ,Test},i}} \right)] \quad \text{สมการที่ (8)}$$

โดยที่

- $Q_{\text{Cement,BL},i,y}$ = ปริมาณปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกที่ถูกใช้ในการผลิตตัวอย่างคอนกรีตประเภท i จากกรณีฐานในปี y (t cement/year)
 $Q_{\text{Cement,BL,Test},i}$ = ปริมาณปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกที่ถูกใช้ในการผลิตตัวอย่างคอนกรีตประเภท i จากกรณีฐาน (gram of cement)
 $Q_{\text{Cement,PJ,Test},i}$ = ปริมาณปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกที่ถูกใช้ในการผลิตตัวอย่างคอนกรีตประเภท i จากการดำเนินโครงการ (gram of cement)
 i = ประเภทคอนกรีต

6. การคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินโครงการ (Project Emission)

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินโครงการพิจารณาจาก 7 ส่วนหลักของกิจกรรมโครงการ ได้แก่ ปริมาณการใช้ปูนซีเมนต์ในการดำเนินโครงการ กระบวนการดักจับ (Capture) แยก CO_2 (Separation) และการรวบรวมก๊าซ CO_2 (Collection) กระบวนการขนส่ง CO_2 (Transportation) กระบวนการเตรียม CO_2 ในสถานะของเหลว (Liquefaction) กระบวนการเตรียม CO_2 ในสถานะไอ (Evaporation) กระบวนการทำให้เป็นแร่ (Mineral Carbonation) และการได้มาซึ่งสารละลายที่ใช้ในการเร่งปฏิกิริยาการเกิด Mineral Carbonation ซึ่งสามารถพิจารณาแค่ในส่วนที่มีการดำเนินการจริงของโครงการ

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินโครงการ สามารถคำนวณได้ ดังนี้

$$PE_y = PE_{\text{Cement},y} + PE_{\text{Capt},y} + PE_{\text{Liq},y} + PE_{\text{Trans},y} + PE_{\text{Evap},y} + PE_{\text{MineralC},y} + PE_{\text{Solvent},y} \quad \text{สมการที่ (9)}$$

โดยที่

PE_y	=	ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินโครงการในปี y (tCO ₂ eq/year)
$PE_{Cement,y}$	=	ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ปูนซีเมนต์จากการดำเนินโครงการในปี y (tCO ₂ eq/year)
$PE_{Capt,y}$	=	ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการดักจับและแยก CO ₂ และการรวบรวม CO ₂ จากการดำเนินโครงการในปี y (tCO ₂ eq/year)
$PE_{Liq,y}$	=	ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการทำให้ CO ₂ อยู่ในสถานะของเหลวจากการดำเนินโครงการในปี y (tCO ₂ eq/year)
$PE_{Trans,y}$	=	ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินโครงการในกระบวนการขนส่ง CO ₂ จากการดำเนินโครงการในปี y (tCO ₂ eq/year)
$PE_{Evap,y}$	=	ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการทำให้ CO ₂ อยู่ในสถานะไอจากการดำเนินโครงการในปี y (tCO ₂ eq/year)
$PE_{MineralC,y}$	=	ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับการปรับให้ Chamber (Carbonation plant) มีอุณหภูมิ และความดัน เหมาะสมต่อการเกิดปฏิกิริยา Mineral carbonation จากการดำเนินโครงการในปี y (tCO ₂ eq/year)
$PE_{Solvent,y}$	=	ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้สารละลายผสมคอนกรีตจากการดำเนินโครงการในปี y (tCO ₂ eq/year)

6.1 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ปูนซีเมนต์จากการดำเนินโครงการ

($PE_{Cement,y}$)

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ปูนซีเมนต์ในผลิตภัณฑ์คอนกรีตจากการดำเนินโครงการสามารถคำนวณได้ ดังนี้

$$PE_{Cement,y} = \sum_i (Q_{Cement,PJ,j,y} \times EF_{Cement,j}) \quad \text{สมการที่ (10)}$$

โดยที่

$PE_{Cement,y}$	=	ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ปูนซีเมนต์จากการดำเนินโครงการในปี y (tCO ₂ eq/year)
$Q_{Cement,PJ,j,y}$	=	ปริมาณการใช้ปูนซีเมนต์ประเภท j สำหรับผลิตคอนกรีตจากการดำเนินโครงการในปี y (t cement/year)
$EF_{Cement,j}$	=	ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของปูนซีเมนต์ประเภท j จากการดำเนินโครงการ (tCO ₂ /t cement)
i	=	ประเภทปูนซีเมนต์

6.2 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินโครงการในกระบวนการดักจับและแยก CO₂ ออกจากก๊าซอื่น และรวบรวม CO₂ จากการดำเนินโครงการ (PE_{Capt,y})

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินโครงการในกระบวนการดักจับและแยก CO₂ และรวบรวม CO₂ สามารถคำนวณได้ ดังนี้

$$PE_{Capt,y} = PE_{Capt,FF,y} + PE_{Capt,Elec,y} + PE_{Capt,IPS,y} \quad \text{สมการที่ (11)}$$

โดยที่

- PE_{Capt,y} = ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการดักจับและแยก CO₂ ออกจากก๊าซอื่น และรวบรวม CO₂ จากการดำเนินโครงการในปี y (tCO₂e/year)
- PE_{Capt,FF,y} = ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลในกระบวนการดักจับ แยก CO₂ ออกจากก๊าซอื่น และรวบรวม CO₂ จากการดำเนินโครงการในปี y (tCO₂e/year)
- PE_{Capt,Elec,y} = ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้าจากโครงข่ายไฟฟ้าในกระบวนการดักจับและแยก CO₂ ออกจากก๊าซอื่น และรวบรวม CO₂ จากการดำเนินโครงการในปี y (tCO₂e/year)
- PE_{Capt,IPS,y} = ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้าและ/หรือไอน้ำจากโรงไฟฟ้าประเภท IPS มาใช้ในกระบวนการดักจับและแยก CO₂ ออกจากก๊าซอื่น และรวบรวม CO₂ จากการดำเนินโครงการในปี y (tCO₂e/year)

6.2.1 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลในกระบวนการดักจับและแยก CO₂ ออกจากก๊าซอื่น และรวบรวม CO₂ จากการดำเนินโครงการสำหรับ (PE_{Capt,FF,y})

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลในกระบวนการดักจับและแยก CO₂ ออกจากก๊าซอื่น และรวบรวม CO₂ เช่น การผลิตความร้อนเพื่อใช้กระบวนการฟื้นฟูสภาพของสาร (Regenerative) ที่ใช้ในการดูดซับหรือดูดซับ การผลิตไฟฟ้าและความร้อนเพื่อใช้ในกระบวนการดักจับและแยก CO₂ ออกจากก๊าซอื่น และรวบรวม CO₂ (ไม่ใช่การซื้อจากภายนอก) เป็นต้น ให้ใช้เครื่องมือการคำนวณของ T-VER-P-TOOL-02-01 "การคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลจากการดำเนินโครงการหรือนอกขอบเขตโครงการ" ฉบับล่าสุด

6.2.2 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้าจากโครงข่ายไฟฟ้าในกระบวนการดักจับและแยก CO₂ ออกจากก๊าซอื่น และรวบรวม CO₂ จากการดำเนินโครงการ (PE_{Capt,Elec,y})

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้าที่ซื้อมาจากโครงข่ายไฟฟ้าในกระบวนการดักจับและแยก CO₂ ออกจากก๊าซอื่น และรวบรวม CO₂ ดังกล่าวสามารถคำนวณจากปริมาณการใช้ไฟฟ้า ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิต/ใช้ไฟฟ้า และสัดส่วนกำลังไฟฟ้าสูญเสียในโครงข่ายไฟฟ้า ดังสมการ

$$PE_{Capt,Elec,y} = EC_{Capt,PJ,y} \times EF_{Elec,y} \times (1 + TDL_y) \times 10^{-3} \quad \text{สมการที่ (12)}$$

โดยที่

- PE_{Capt,Elec,y} = ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้าจากโครงข่ายไฟฟ้าในกระบวนการดักจับ แยก CO₂ ออกจากก๊าซอื่น และรวบรวม CO₂ จากการดำเนินโครงการในปี y (tCO₂e/year)
- EC_{Capt,PJ,y} = ปริมาณการใช้ไฟฟ้าในกระบวนการดักจับ แยก CO₂ ออกจากก๊าซอื่น และรวบรวม CO₂ ในปี y (kWh/year)
- EF_{Elec,y} = ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับการผลิต/ใช้ไฟฟ้าในปี y (tCO₂/MWh)
- TDL_y = สัดส่วนค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในโครงข่ายไฟฟ้าสำหรับการจ่ายไฟฟ้าไปยังจุดใช้ไฟฟ้าในปี y (%)

6.2.3 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้าและ/หรือไอน้ำจากโรงไฟฟ้าประเภท IPS มาใช้ในกระบวนการดักจับ แยก CO₂ ออกจากก๊าซอื่น และรวบรวม CO₂ จากการดำเนินโครงการ (PE_{Capt,IPS,y})

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้าและ/หรือไอน้ำที่ซื้อมาจากโรงไฟฟ้าประเภท IPS เพื่อใช้ในกระบวนการดักจับและแยก CO₂ ออกจากก๊าซอื่น และรวบรวม CO₂ พิจารณาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลโดยใช้หลักการปันส่วน และนำผลลัพธ์ที่ได้ไปคำนวณหาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยใช้เครื่องมือการคำนวณของ T-VER-P-TOOL-02-01 "การคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลจากการดำเนินโครงการหรือนอกขอบเขตโครงการ" ฉบับล่าสุด

$$FC_{Capt,IPS,y} = (1/\eta_{IPS,y}) \times TFC_{IPS,y} \times \left[\frac{(HC_{Capt,PJ,y} + (3.6 \times EC_{Capt,PJ,y}))}{(HG_{IPS,y} + (3.6 \times EG_{IPS,y}))} \right] \quad \text{สมการที่ (13)}$$

โดยที่

- FC_{Capt,IPS,y} = ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลสำหรับการผลิตไฟฟ้าและ/หรือความร้อนในส่วนที่ซื้อมาใช้ในกระบวนการดักจับ แยก CO₂ ออกจากก๊าซอื่น และรวบรวม CO₂ จากการดำเนินโครงการในปี y (unit/year)

- $TFC_{IPS,y}$ = ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลทั้งหมดของโรงไฟฟ้าที่ซื้อไฟฟ้าและ/หรือไอน้ำมาใช้ จากการดำเนินโครงการในปี y (unit/year)
- $HC_{Capt,PJ,y}$ = ปริมาณความร้อนที่ใช้ในกระบวนการดักจับ แยก CO_2 ออกจากก๊าซอื่น และรวบรวม CO_2 จากการดำเนินโครงการในปี y (MJ/year)
- $HG_{IPS,y}$ = ปริมาณความร้อนทั้งหมดที่ผลิตได้ของโรงไฟฟ้าที่ซื้อไฟฟ้าและ/หรือไอน้ำมาใช้ จากการดำเนินโครงการในปี y (MJ/year)
- $EG_{IPS,y}$ = ปริมาณไฟฟ้าทั้งหมดที่ผลิตได้ของโรงไฟฟ้าที่ซื้อไฟฟ้าและ/หรือไอน้ำมาใช้ จากการดำเนินโครงการในปี y (kWh/year)
- $\eta_{IPS,y}$ = ค่าประสิทธิภาพเฉลี่ยรายปีของโรงไฟฟ้าในปี y (ค่าอยู่ระหว่าง 0 – 1)

6.3 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินโครงการในกระบวนการเตรียม CO_2 ในสถานะของเหลว ($PE_{Liq,y}$)

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินโครงการในกระบวนการเตรียม CO_2 ในสถานะของเหลว สามารถคำนวณได้ ดังนี้

$$PE_{Liq,y} = PE_{Liq,Elec,y} + PE_{Liq,IPS,y} \quad \text{สมการที่ (14)}$$

โดยที่

- $PE_{Liq,y}$ = ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินโครงการในกระบวนการเตรียม CO_2 ในสถานะของเหลว (tCO₂e/year)
- $PE_{Liq,Elec,y}$ = ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้าจากโครงข่ายไฟฟ้าในกระบวนการเตรียม CO_2 ในสถานะของเหลว จากการดำเนินโครงการในปี y (tCO₂e/year)
- $PE_{Liq,IPS,y}$ = ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้าและ/หรือไอน้ำจากโรงไฟฟ้าประเภท IPS มาใช้ในกระบวนการเตรียม CO_2 ในสถานะของเหลว จากการดำเนินโครงการในปี y (tCO₂e/year)

6.3.1 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้าจากโครงข่ายไฟฟ้าในกระบวนการเตรียม CO_2 ในสถานะของเหลวจากการดำเนินโครงการ ($PE_{Liq,Elec,y}$)

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้าที่ซื้อมาจากโครงข่ายไฟฟ้าในกระบวนการเตรียม CO_2 ในสถานะของเหลว ดังกล่าวสามารถคำนวณจากปริมาณการใช้ไฟฟ้า ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิต/ใช้ไฟฟ้า และสัดส่วนกำลังไฟฟ้าสูญเสียในโครงข่ายไฟฟ้า ดังสมการ

$$PE_{Liq,Elec,y} = EC_{Liq,PJ,y} \times EF_{Elec,y} \times (1 + TDL_y) \times 10^{-3} \quad \text{สมการที่ (15)}$$

โดยที่

- $PE_{Liq,Elec,y}$ = ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้าจากโครงข่ายไฟฟ้าในกระบวนการเตรียม CO_2 ในสถานะของเหลวจากการดำเนินโครงการในปี y ($tCO_2e/year$)
- $EC_{Liq,PJ,y}$ = ปริมาณการใช้ไฟฟ้าในกระบวนการเตรียม CO_2 ในสถานะของเหลวจากการดำเนินโครงการในปี y ($kWh/year$)
- $EF_{Elec,y}$ = ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับการผลิต/ใช้ไฟฟ้าในปี y (tCO_2/MWh)
- TDL_y = สัดส่วนค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในโครงข่ายไฟฟ้าสำหรับการจ่ายไฟฟ้าไปยังจุดใช้ไฟฟ้าในปี y (%)

6.3.2 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าประเภท IPS มาใช้ในกระบวนการเตรียม CO_2 ในสถานะของเหลวจากการดำเนินโครงการ ($PE_{Liq,IPS,y}$)

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้าที่ซื้อมาจากโรงไฟฟ้าประเภท IPS เพื่อใช้ในกระบวนการเตรียม CO_2 ในสถานะของเหลว พิจารณาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลโดยใช้หลักการปันส่วนและนำผลลัพธ์ที่ได้ไปคำนวณหาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยใช้เครื่องมือการคำนวณของ T-VER-P-TOOL-02-01 "การคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลจากการดำเนินโครงการหรือนอกขอบเขตโครงการ" ฉบับล่าสุด

$$FC_{Liq,IPS,y} = (1/\eta_{IPS,y}) \times TFC_{IPS,y} \times \left[\frac{(3.6 \times EC_{Liq,PJ,y})}{(HG_{IPS,y} + (3.6 \times EG_{IPS,y}))} \right] \quad \text{สมการที่ (16)}$$

โดยที่

- $FC_{Liq,IPS,y}$ = ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลสำหรับการผลิตไฟฟ้าในส่วนที่ซื้อมาใช้ในกระบวนการเตรียม CO_2 ในสถานะของเหลวจากการดำเนินโครงการในปี y ($unit/year$)
- $TFC_{IPS,y}$ = ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลทั้งหมดของโรงไฟฟ้าที่ซื้อไฟฟ้ามาใช้ในการดำเนินโครงการในปี y ($unit/year$)
- $HG_{IPS,y}$ = ปริมาณความร้อนทั้งหมดที่ผลิตได้ของโรงไฟฟ้าที่ซื้อไฟฟ้ามาใช้ในการดำเนินโครงการในปี y ($MJ/year$)
- $EG_{IPS,y}$ = ปริมาณไฟฟ้าทั้งหมดที่ผลิตได้ของโรงไฟฟ้าที่ซื้อไฟฟ้ามาใช้ในการดำเนินโครงการในปี y ($kWh/year$)
- $\eta_{IPS,y}$ = ค่าประสิทธิภาพเฉลี่ยรายปีของโรงไฟฟ้าในปี y (ค่าอยู่ระหว่าง 0 – 1)

6.4 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการขนส่ง CO₂ จากการดำเนินโครงการ (PE_{Trans,y})

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการขนส่ง CO₂ ที่ได้จากกระบวนการดักจับและแยก CO₂ ออกจากก๊าซอื่น และรวบรวม CO₂ ไปยังกระบวนการใช้ประโยชน์เพื่อกักเก็บในรูปของคาร์บอนเนต (Mineral carbonation) ในคอนกรีต จากการดำเนินโครงการสามารถคำนวณได้ ดังนี้

$$PE_{Trans,y} = PE_{Trans,FF,y} + PE_{Trans,Elec,y} + PE_{Trans,IPS,y} \quad \text{สมการที่ (17)}$$

โดยที่

- PE_{Trans,y} = ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการขนส่ง CO₂ จากการดำเนินโครงการในปี y (tCO₂eq/year) ซึ่งถ้าบริเวณของกิจกรรมของกระบวนการดักจับแยก CO₂ ออกจากก๊าซอื่น และรวบรวม CO₂ และ carbonation plant อยู่ในบริเวณเดียวกัน ค่า PE_{Trans,y} = 0
- PE_{Trans,FF,y} = ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลในเครื่องจักร/อุปกรณ์/ยานพาหนะสำหรับการขนส่ง CO₂ จากการดำเนินโครงการในปี y (tCO₂eq/year)
- PE_{Trans,Elec,y} = ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้าจากโครงข่ายไฟฟ้าในการขนส่ง CO₂ ผ่านท่อจากการดำเนินโครงการในปี y (tCO₂eq/year)

6.4.1 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลในเครื่องจักร/อุปกรณ์/ยานพาหนะสำหรับการขนส่ง CO₂ จากการดำเนินโครงการ (PE_{Trans,FF,y})

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลในกระบวนการขนส่ง CO₂ จะพิจารณาจากการใช้ในยานพาหนะต่างๆ สำหรับการขนส่ง CO₂ จากกระบวนการดักจับและแยก CO₂ ออกจากก๊าซอื่น และรวบรวม CO₂ ไปยังกระบวนการใช้ประโยชน์เพื่อกักเก็บในรูปของคาร์บอนเนต (mineral carbonation) ในคอนกรีตจากการดำเนินโครงการ การปล่อยก๊าซเรือนกระจกให้คำนวณโดยใช้เครื่องมือการคำนวณของ T-VER-P-TOOL-02-01 "การคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลจากการดำเนินโครงการหรือนอกขอบเขตโครงการ" ฉบับล่าสุด

6.4.2 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้าจากโครงข่ายไฟฟ้าในการขนส่ง CO₂ ผ่านท่อจากการดำเนินโครงการ (PE_{Trans,Elec,y})

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้าที่ซื้อมาจากโครงข่ายไฟฟ้าในกระบวนการขนส่ง CO₂ ผ่านท่อ ซึ่งสามารถคำนวณจากสมการ

$$PE_{Trans,Elec,y} = EC_{Trans,PJ,y} \times EF_{Elec,y} \times (1 + TDL_y) \times 10^{-3} \quad \text{สมการที่ (18)}$$

โดยที่

- $PE_{Trans,Elec,y}$ = ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้าจากโครงข่ายไฟฟ้าในการขนส่ง CO_2 ผ่านท่อจากการดำเนินโครงการในปี y ($tCO_2eq/year$)
- $EC_{Trans,PJ,y}$ = ปริมาณการใช้ไฟฟ้าในกระบวนการขนส่ง CO_2 จากการดำเนินโครงการในปี y ($kWh/year$)
- $EF_{Elec,y}$ = ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับการผลิต/ใช้ไฟฟ้าในปี y (tCO_2/MWh)
- TDL_y = สัดส่วนค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในโครงข่ายไฟฟ้าสำหรับการจ่ายไฟฟ้าไปยังจุดใช้ไฟฟ้าในปี y (%)

6.4.3. ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าประเภท IPS มาใช้ในกระบวนการขนส่ง CO_2 ผ่านท่อจากการดำเนินโครงการ ($PE_{Trans,IPS,y}$)

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้าที่ซื้อมาจากโรงไฟฟ้าประเภท IPS เพื่อใช้ในกระบวนการขนส่ง CO_2 ผ่านท่อ พิจารณาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลโดยใช้หลักการปันส่วน และนำผลลัพธ์ที่ได้ไปคำนวณหาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยใช้เครื่องมือการคำนวณของ T-VER-P-TOOL-02-01 "การคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลจากการดำเนินโครงการหรือนอกขอบเขตโครงการ" ฉบับล่าสุด

$$FC_{Trans,IPS,y} = (1/\eta_{IPS,y}) \times TFC_{IPS,y} \times \left[\frac{(3.6 \times EC_{Trans,PJ,y})}{(HG_{IPS,y} + 3.6 \times EG_{IPS,y})} \right] \quad \text{สมการที่ (19)}$$

โดยที่

- $FC_{Trans,IPS,y}$ = ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลสำหรับการผลิตไฟฟ้าในส่วนที่ซื้อมาใช้ในกระบวนการขนส่ง CO_2 จากการดำเนินโครงการในปี y ($unit/year$)
- $TFC_{IPS,y}$ = ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลทั้งหมดของโรงไฟฟ้าที่ซื้อไฟฟ้ามาใช้ จากการดำเนินโครงการในปี y ($unit/year$)
- $HG_{IPS,y}$ = ปริมาณความร้อนทั้งหมดที่ผลิตได้ของโรงไฟฟ้าที่ซื้อไฟฟ้ามาใช้จากการดำเนินโครงการ ในปี y ($MJ/year$)
- $EG_{IPS,y}$ = ปริมาณไฟฟ้าทั้งหมดที่ผลิตได้ของโรงไฟฟ้าที่ซื้อไฟฟ้ามาใช้จากการดำเนินโครงการ ในปี y ($kWh/year$)
- $\eta_{IPS,y}$ = ค่าประสิทธิภาพเฉลี่ยรายปีของโรงไฟฟ้าในปี y (ค่าอยู่ระหว่าง 0 – 1)

6.5 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการเตรียม CO_2 ในสถานะไอจากการดำเนินโครงการ ($PE_{Evap,y}$)

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการเตรียม CO_2 ในสถานะไอจากการดำเนินโครงการสามารถคำนวณได้ ดังนี้

$$PE_{Evap,y} = PE_{Evap,Elec,y} + PE_{Evap,IPS,y} \quad \text{สมการที่ (20)}$$

โดยที่

$PE_{Evap,Elec,y}$ = ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้าจากโครงข่ายไฟฟ้าในกระบวนการเตรียม CO_2 ในสถานะไอ จากการดำเนินโครงการในปี y ($tCO_2e/year$)

$PE_{Evap,IPS,y}$ = ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้าและ/หรือไอน้ำจากโรงไฟฟ้าประเภท IPS มาใช้ในกระบวนการเตรียม CO_2 ในสถานะไอ จากการดำเนินโครงการในปี y ($tCO_2e/year$)

6.5.1 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้าจากโครงข่ายไฟฟ้าในกระบวนการเตรียม CO_2 ในสถานะไอจากการดำเนินโครงการ ($PE_{Evap,Elec,y}$)

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้าที่ซื้อมาจากโครงข่ายไฟฟ้าในกระบวนการเตรียม CO_2 ในสถานะไอ ดังกล่าวสามารถคำนวณจากปริมาณการใช้ไฟฟ้า ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิต/ใช้ไฟฟ้า และสัดส่วนกำลังไฟฟ้าสูญเสียในโครงข่ายไฟฟ้า ดังสมการ

$$PE_{Evap,Elec,y} = EC_{Evap,PJ,y} \times EF_{Elec,y} \times (1 + TDL_y) \times 10^{-3} \quad \text{สมการที่ (21)}$$

โดยที่

$EC_{Evap,PJ,y}$ = ปริมาณการใช้ไฟฟ้าในกระบวนการเตรียม CO_2 ในสถานะไอจากการดำเนินโครงการ ในปี y ($kWh/year$)

$EF_{Elec,y}$ = ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับการผลิต/ใช้ไฟฟ้าในปี y (tCO_2/MWh)

TDL_y = สัดส่วนค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในโครงข่ายไฟฟ้าสำหรับการจ่ายไฟฟ้าไปยังจุดใช้ไฟฟ้าในปี y (%)

6.5.2 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้าและ/หรือไอน้ำจากโรงไฟฟ้าประเภท IPS มาใช้ในกระบวนการเตรียม CO_2 ในสถานะไอจากการดำเนินโครงการ ($PE_{Evap,IPS,y}$)

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้าและ/หรือไอน้ำที่ซื้อมาจากโรงไฟฟ้าประเภท IPS เพื่อใช้ในกระบวนการเตรียม CO_2 ในสถานะไอ พิจารณาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลโดยใช้หลักการปันส่วนและนำผลลัพธ์ที่ได้ไปคำนวณหาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยใช้เครื่องมือการคำนวณของ T-VER-P-TOOL-02-01 "การคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลจากการดำเนินโครงการหรือนอกขอบเขตโครงการ" ฉบับล่าสุด

$$FC_{EV,IPS,y} = (1/\eta_{IPS,y}) \times TFC_{IPS,y} \times \left[\frac{(HC_{Evap,PJ,y} + (3.6 \times EC_{Evap,PJ,y}))}{(HG_{IPS,y} + (3.6 \times EG_{IPS,y}))} \right] \quad \text{สมการที่ (22)}$$

องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) (อบก.)

Thailand Greenhouse Gas Management Organization (Public Organization) (TGO)

โดยที่

$FC_{Evap,IPS,y}$	=	ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลสำหรับการผลิตไฟฟ้าและ/หรือความร้อนในส่วนที่ซื้อใช้ในกระบวนการเตรียม CO_2 ในสถานะไอจากการดำเนินโครงการ ในปี y (unit/year)
$TFC_{IPS,y}$	=	ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลทั้งหมดของโรงไฟฟ้าที่ซื้อไฟฟ้าและ/หรือไอน้ำมาใช้ในการดำเนินโครงการ ในปี y (unit/year)
$HC_{Evap,PJ,y}$	=	ปริมาณความร้อนที่ใช้ในกระบวนการเตรียม CO_2 ในสถานะไอจากการดำเนินโครงการในปี y (MJ/year)
$HG_{IPS,y}$	=	ปริมาณความร้อนทั้งหมดที่ผลิตได้ของโรงไฟฟ้าที่ซื้อไฟฟ้าและ/หรือไอน้ำมาใช้ในการดำเนินโครงการในปี y (MJ/year)
$EG_{IPS,y}$	=	ปริมาณไฟฟ้าทั้งหมดที่ผลิตได้ของโรงไฟฟ้าที่ซื้อไฟฟ้าและ/หรือไอน้ำมาใช้ในการดำเนินโครงการในปี y (kWh/year)
$\eta_{IPS,y}$	=	ค่าประสิทธิภาพเฉลี่ยรายปีของโรงไฟฟ้าในปี y (ค่าอยู่ระหว่าง 0 – 1)

6.6 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการผลิตสารประกอบคาร์บอเนต (Mineral carbonation) จากการดำเนินโครงการ ($PE_{MineralC,y}$)

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินโครงการในกระบวนการผลิตสารประกอบคาร์บอเนต (Mineral carbonation) สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$PE_{MineralC,y} = PE_{MineralC,Elec,y} + PE_{MineralC,IPS,y} \quad \text{สมการที่ (23)}$$

โดยที่

$PE_{MineralC,y}$	=	ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการผลิตสารประกอบคาร์บอเนต (Mineral carbonation) จากการดำเนินโครงการในปี y ($tCO_2eq/year$)
$PE_{MineralC,Elec,y}$	=	ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้าจากโครงข่ายไฟฟ้าในกระบวนการผลิตสารประกอบคาร์บอเนต (Mineral carbonation) จากการดำเนินโครงการในปี y ($tCO_2e/year$)
$PE_{MineralC,IPS,y}$	=	ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้าและ/หรือไอน้ำจากโรงไฟฟ้าประเภท IPS มาใช้ในกระบวนการผลิตสารประกอบคาร์บอเนต (Mineral carbonation) จากการดำเนินโครงการในปี y ($tCO_2e/year$)

6.6.1 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินโครงการสำหรับการใช้ไฟฟ้าจากโครงข่ายไฟฟ้าในกระบวนการผลิตสารประกอบคาร์บอเนต (Mineral carbonation) ($PE_{\text{MineralC,Elec,y}}$)

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้าที่ซื้อมาจากโครงข่ายไฟฟ้าในกระบวนการผลิตสารประกอบคาร์บอเนต (Mineral carbonation) ดังกล่าวสามารถคำนวณจากปริมาณการใช้ไฟฟ้า ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิต/ใช้ไฟฟ้า และสัดส่วนกำลังไฟฟ้าสูญเสียในโครงข่ายไฟฟ้า ดังสมการ

$$PE_{\text{MineralC,Elec,y}} = EC_{\text{MineralC,PJ,y}} \times EF_{\text{Elec,y}} \times (1 + TDL_y) \times 10^{-3} \quad \text{สมการที่ (24)}$$

โดยที่

- $PE_{\text{MineralC,Elec,y}}$ = ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้าจากโครงข่ายไฟฟ้าในกระบวนการผลิตสารประกอบคาร์บอเนต (Mineral carbonation) จากการดำเนินโครงการ ในปี y ($\text{tCO}_2\text{e/year}$)
- $EC_{\text{MineralC,PJ,y}}$ = ปริมาณการใช้ไฟฟ้าในกระบวนการผลิตสารประกอบคาร์บอเนต (Mineral carbonation) จากการดำเนินโครงการในปี y (kWh/year)
- $EF_{\text{Elec,y}}$ = ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับการผลิต/ใช้ไฟฟ้าในปี y (tCO_2/MWh)
- TDL_y = สัดส่วนค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในโครงข่ายไฟฟ้าสำหรับการจ่ายไฟฟ้าไปยังจุดใช้ไฟฟ้าในปี y (%)

6.6.2 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าประเภท IPS มาใช้ในกระบวนการผลิตสารประกอบคาร์บอเนต (Mineral carbonation) จากการดำเนินโครงการ ($PE_{\text{MineralC,IPS,y}}$)

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้าที่ซื้อมาจากโรงไฟฟ้าประเภท IPS เพื่อใช้ในกระบวนการผลิตสารประกอบคาร์บอเนต (Mineral carbonation) พิจารณาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลโดยใช้หลักการปันส่วน และนำผลลัพธ์ที่ได้ไปคำนวณหาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยใช้เครื่องมือการคำนวณของ T-VER-P-TOOL-02-01 "การคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลจากการดำเนินโครงการหรือนอกขอบเขตโครงการ" ฉบับล่าสุด

$$FC_{\text{MineralC,IPS,y}} = (1/\eta_{\text{IPS,y}}) \times TFC_{\text{IPS,y}} \times \left[\frac{(3.6 \times EC_{\text{MineralC,PJ,y}})}{(HG_{\text{IPS,y}} + (3.6 \times EG_{\text{IPS,y}}))} \right] \quad \text{สมการที่ (25)}$$

โดยที่

- $FC_{\text{MineralC,IPS,y}}$ = ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลสำหรับการผลิตไฟฟ้าในส่วนที่ซื้อมาใช้ในการกระบวนการผลิตสารประกอบคาร์บอเนต (Mineral carbonation) จากการดำเนินโครงการในปี y (unit/year)

$TFC_{IPS,y}$	=	ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลทั้งหมดของโรงไฟฟ้าที่ซื้อไฟฟ้ามาใช้ในการดำเนินโครงการในปี y (unit/year)
$HG_{IPS,y}$	=	ปริมาณความร้อนทั้งหมดที่ผลิตได้ของโรงไฟฟ้าที่ซื้อไฟฟ้ามาใช้ในการดำเนินโครงการในปี y (MJ/year)
$EG_{IPS,y}$	=	ปริมาณไฟฟ้าทั้งหมดที่ผลิตได้ของโรงไฟฟ้าที่ซื้อไฟฟ้ามาใช้ในการดำเนินโครงการในปี y (kWh/year)
$\eta_{IPS,y}$	=	ค่าประสิทธิภาพเฉลี่ยรายปีของโรงไฟฟ้าในปี y (%)

6.7 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้สารละลายผสมคอนกรีตจากการดำเนินโครงการ ($PE_{Solvent,y}$)

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้สารละลายจากการดำเนินโครงการ สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$PE_{Solvent,y} = \sum_s (Q_{C,Solvent,PJ,s,y} \times \frac{44}{12}) + \sum_s ((FC_{Solvent,s,y} \times EF_{Solvent,s,y})) \quad \text{สมการที่ (26)}$$

โดยที่

$PE_{Solvent,y}$	=	ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้สารละลายผสมคอนกรีตจากการดำเนินโครงการในปี y (tCO ₂ e/year)
$Q_{C,Solvent,PJ,s,y}$	=	ปริมาณคาร์บอน (C) ในสารละลายประเภท s สำหรับผสมคอนกรีตจากการดำเนินโครงการ ในปี y (ton of C)
$FC_{Solvent,s,y}$	=	ปริมาณการใช้สารละลายประเภท s ในปี y (ton of Solvent/year)
$EF_{Solvent,s,y}$	=	ค่า Emission factor ของสารละลายประเภท s (tCO ₂ eq/ton of Solvent)
s	=	ประเภทสารละลาย

6.7.1 ปริมาณคาร์บอนในสารละลายสำหรับผสมคอนกรีตจากการดำเนินโครงการ ($Q_{C,Solvent,PJ,s,y}$)

การหาปริมาณของคาร์บอนในสารละลายประเภท s ที่ในกระบวนการทำคอนกรีตในการดำเนินโครงการ สามารถคำนวณได้ ดังนี้

$$Q_{C,Solvent,PJ,s,y} = Q_{Solvent,PJ,s,y} \times \left(\frac{\text{Molar mass of C in solvent}_s}{\text{Total molar mass of solvent}_s} \right) \times \rho_{Solvent,S} \quad \text{สมการที่ (27)}$$

โดยที่

$Q_{C,Solvent,PJ,s,y}$	=	ปริมาณคาร์บอน (C) ในสารละลายประเภท s สำหรับผสมคอนกรีตจากการดำเนินโครงการ ในปี y (ton of C)
------------------------	---	--

$Q_{\text{Solvent,PJ,s,y}}$	=	ปริมาตรของสารละลายประเภท s สำหรับผสมคอนกรีตจากการดำเนินโครงการในปี y (m^3)
Molar mass of C in solvent _s	=	มวลของคาร์บอนใน 1 โมล (mol) ของสารละลายประเภท s (gram)
Total molar mass of solvent _s	=	มวลของสารละลายประเภท s จำนวน 1 โมล (gram)
$\rho_{\text{Solvent,S}}$	=	ความหนาแน่นของสารละลายประเภท s (kg/Liter , kg/dm^3)

6.7.2 ค่า Emission factor ของสารละลาย ($EF_{\text{SOLVENT,s,y}}$)

การหาค่า Emission factor สำหรับสารละลายชนิด s สามารถอ้างอิงได้จากแหล่งข้อมูลดังต่อไปนี้

ทางเลือกที่ 1 ค่า Emission factor ของสารเคมี

- กรณีที่ไม่มีในรายชื่อสารเคมี สามารถอ้างอิงโดยใช้หลักการ Conservative ซึ่งจะใช้ค่าสูงสุดจากสารเคมีในกลุ่มเดียวกัน ซึ่งอ้างอิงข้อมูลจาก Emission factor ของสารเคมี จากคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ของ อบก.
- กรณีที่ไม่มีในรายชื่อของกลุ่มสารเคมีเดียวกัน สามารถอ้างอิงค่าได้จากวิธีการคิด Emission factor ตามแนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ ที่ อบก. กำหนด

ทางเลือกที่ 2 ใช้ค่า Emission factor จากฐานข้อมูล website เช่น

<https://carboncloud.com/> เป็นต้น

ทางเลือกที่ 3 ใช้ค่า Emission factor จากโปรแกรมสำหรับคำนวณ เช่น SimaPro เป็นต้น

7. การคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกนอกขอบเขตโครงการ (Leakage Emission)

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกนอกขอบเขตโครงการพิจารณาจากการขนส่งวัสดุส่วนผสมในการทำคอนกรีต ในส่วนที่จะถูกใช้ในการนำมาผลิตคอนกรีตที่เพิ่มขึ้นจากปริมาณการผลิตคอนกรีตในกรณีฐานสามารถคำนวณได้ ดังนี้

$$LE_y = LE_{\text{Trans,OB,FF,y}} + LE_{\text{Trans,OB,Elec,y}} + LE_{\text{Trans,OB,IPS,y}} \quad \text{สมการที่ (28)}$$

โดยที่

- LE_y = การปล่อยก๊าซเรือนกระจกนอกขอบเขตโครงการในปี y ($\text{tCO}_2\text{eq/year}$)
- $LE_{\text{Trans,OB,FF,y}}$ = ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลสำหรับการขนส่งวัสดุส่วนผสมในการทำคอนกรีต ในส่วนที่จะถูกใช้ในการนำมาผลิต

คอนกรีตที่เพิ่มขึ้นจากปริมาณการผลิตคอนกรีตในกรณีฐาน ในปี y ($\text{tCO}_2\text{e/year}$)

$LE_{\text{Trans,OB,Elec},y} =$ ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้าจากโครงข่ายไฟฟ้าสำหรับการขนส่งวัสดุส่วนผสมในการทำคอนกรีต ในส่วนที่จะถูกใช้ในการนำมาผลิตคอนกรีตที่เพิ่มขึ้นจากปริมาณการผลิตคอนกรีตในกรณีฐาน ในปี y ($\text{tCO}_2\text{e/year}$)

$LE_{\text{Trans,OB,IPS},y} =$ ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าประเภท IPS สำหรับการขนส่งวัสดุส่วนผสมในการทำคอนกรีต ในส่วนที่จะถูกใช้ในการนำมาผลิตคอนกรีตที่เพิ่มขึ้นจากปริมาณการผลิตคอนกรีตในกรณีฐาน ในปี y ($\text{tCO}_2\text{e/year}$)

7.1 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลสำหรับการขนส่งวัสดุส่วนผสมในการทำคอนกรีต ในส่วนที่จะถูกใช้ในการนำมาผลิตคอนกรีตที่เพิ่มขึ้นจากปริมาณการผลิตคอนกรีตในกรณีฐาน ($LE_{\text{Trans,OB,FF},y}$)

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลจากการขนส่งวัสดุส่วนผสมในการทำคอนกรีต ในส่วนที่จะถูกใช้ในการนำมาผลิตคอนกรีตที่เพิ่มขึ้นจากปริมาณการผลิตคอนกรีตในกรณีฐาน ในปี y ($\text{tCO}_2\text{e/year}$) ให้ใช้เครื่องมือการคำนวณของ T-VER-P-TOOL-02-01 "การคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลจากการดำเนินโครงการหรือนอกขอบเขตโครงการ" ฉบับล่าสุด

7.2 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้าจากการขนส่งวัสดุส่วนผสมในการทำคอนกรีต ในส่วนที่จะถูกใช้ในการนำมาผลิตคอนกรีตที่เพิ่มขึ้นจากปริมาณการผลิตคอนกรีตในกรณีฐาน ($LE_{\text{Trans,OB,Elec},y}$)

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้าที่ซื้อมาจากโครงข่ายไฟฟ้าจากการขนส่งวัสดุส่วนผสมในการทำคอนกรีต ในส่วนที่จะถูกใช้ในการนำมาผลิตคอนกรีตที่เพิ่มขึ้นจากปริมาณการผลิตคอนกรีตในกรณีฐาน สามารถคำนวณจากปริมาณการใช้ไฟฟ้า ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิต/ใช้ไฟฟ้า และสัดส่วนกำลังไฟฟ้าสูญเสียในโครงข่ายไฟฟ้า ดังสมการ

$$LE_{\text{Trans,OB,Elec},y} = EC_{\text{Trans,OB,PJ},y} \times EF_{\text{Elec},y} \times (1 + \text{TDL}_y) \times 10^{-3} \quad \text{สมการที่ (29)}$$

โดยที่

$EC_{\text{Trans,OB,PJ},y} =$ ปริมาณการใช้ไฟฟ้าจากการขนส่งวัสดุส่วนผสมในการทำคอนกรีต ในส่วนที่จะถูกใช้ในการนำมาผลิตคอนกรีตที่เพิ่มขึ้นจากปริมาณการผลิตคอนกรีตในกรณีฐาน ในปี y ($\text{tCO}_2\text{e/year}$)

$$\begin{aligned} EF_{Elec,y} &= \text{ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับการผลิต/ใช้ไฟฟ้าในปี } y \text{ (tCO}_2\text{/MWh)} \\ TDL_y &= \text{สัดส่วนค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในโครงข่ายไฟฟ้าสำหรับการจ่ายไฟฟ้าไปยัง} \\ &\quad \text{จุดใช้ไฟฟ้าในปี } y \end{aligned}$$

7.3 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินโครงการสำหรับการใช้ไฟฟ้าและ/หรือไอน้ำจากโรงไฟฟ้าประเภท IPS มาใช้ในกระบวนการขนส่งวัสดุส่วนผสมในการทำคอนกรีตจากนอกขอบเขตโครงการ ($LE_{Trans,OB,IPS,y}$)

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้าที่ซื้อมาจากโรงไฟฟ้าประเภท IPS เพื่อใช้ในการขนส่งวัสดุส่วนผสมในการทำคอนกรีต ในส่วนที่จะถูกใช้ในการนำมาผลิตคอนกรีตที่เพิ่มขึ้นจากปริมาณการผลิตคอนกรีตในกรณีฐาน พิจารณาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลโดยใช้หลักการปันส่วน และนำผลลัพธ์ที่ได้ไปคำนวณหาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยใช้เครื่องมือการคำนวณของ T-VER-P-TOOL-02-01 "การคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลจากการดำเนินโครงการหรือนอกขอบเขตโครงการ" ฉบับล่าสุด

$$FC_{Trans,OB,IPS,y} = (1/\eta_{IPS,y}) \times TFC_{IPS,y} \times \left[\frac{(3.6 \times EC_{trans,OB,PJ,y})}{(HG_{IPS,y} + (3.6 \times EG_{IPS,y}))} \right] \quad \text{สมการที่ (30)}$$

โดยที่

$$\begin{aligned} FC_{Trans,OB,IPS,y} &= \text{ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลสำหรับการผลิตไฟฟ้าในส่วนที่ซื้อมาใช้ในการ} \\ &\quad \text{ขนส่งวัสดุส่วนผสมในการทำคอนกรีต ในส่วนที่จะถูกใช้ในการนำมาผลิต} \\ &\quad \text{คอนกรีตที่เพิ่มขึ้นจากปริมาณการผลิตคอนกรีตในกรณีฐาน ในปี } y \\ &\quad \text{(tCO}_2\text{e/year)} \\ TFC_{IPS,y} &= \text{ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลทั้งหมดของโรงไฟฟ้าที่ซื้อไฟฟ้ามาใช้ ในปี } y \\ &\quad \text{(unit/year)} \\ HG_{IPS,y} &= \text{ปริมาณความร้อนทั้งหมดที่ผลิตได้ของโรงไฟฟ้าที่ซื้อไฟฟ้ามาใช้ ในปี } y \\ &\quad \text{(MJ/year)} \\ EG_{IPS,y} &= \text{ปริมาณไฟฟ้าทั้งหมดที่ผลิตได้ของโรงไฟฟ้าที่ซื้อไฟฟ้ามาใช้ ในปี } y \\ &\quad \text{(kWh/year)} \\ \eta_{IPS,y} &= \text{ค่าประสิทธิภาพเฉลี่ยรายปีของโรงไฟฟ้าในปี } y \text{ (ค่าอยู่ระหว่าง 0 – 1)} \end{aligned}$$

8. การคำนวณการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Reduction)

การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากโครงการ สามารถคำนวณได้ ดังนี้

$$ER_y = BE_y - PE_y - LE_y \quad \text{สมการที่ (31)}$$

โดยที่

ER_y = การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในปี y ($tCO_2e/year$)

BE_y = การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกรณีฐานในปี y ($tCO_2e/year$)

PE_y = การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินโครงการในปี y ($tCO_2e/year$)

LE_y = การปล่อยก๊าซเรือนกระจกนอกขอบเขตโครงการในปี y ($tCO_2e/year$)

9. การติดตามผลการดำเนินโครงการ (Monitoring Plan)

9.1 ขั้นตอนการติดตามผล

- 1) ให้ผู้พัฒนาโครงการอธิบายและระบุขั้นตอนการติดตามผลข้อมูลกิจกรรมโครงการ (Activity data) หรือตรวจสอบผลการตรวจวัดทั้งหมดในเอกสารข้อเสนอโครงการ รวมถึงประเภทของเครื่องมือตรวจวัดที่ใช้ ผู้รับผิดชอบในการติดตามผลและตรวจสอบข้อมูล การสอบเทียบเครื่องมือวัด (ถ้ามี) และขั้นตอนการรับประกันและควบคุมคุณภาพ ในกรณีที่วิธีการมีตัวเลือกที่แตกต่างกัน เช่น การใช้ค่าเริ่มต้นหรือการตรวจวัดที่หน้างาน ผู้พัฒนาโครงการต้องระบุว่า จะใช้ตัวเลือกใด นอกจากนี้การติดตั้ง ดูแลรักษา และสอบเทียบเครื่องมือตรวจวัดควรดำเนินการตามคำแนะนำของผู้ผลิตอุปกรณ์และเป็นไปตามมาตรฐานภายในประเทศ หรือมาตรฐานสากล เช่น IEC, ISO
- 2) ข้อมูลทั้งหมดที่รวบรวมเป็นส่วนหนึ่งของการติดตามผลการลดก๊าซเรือนกระจก ซึ่งควรจัดเก็บข้อมูลในรูปแบบไฟล์อิเล็กทรอนิกส์และมีระยะเวลาเก็บรักษาเป็นไปตามแนวทางที่ อบก. กำหนด หรือตามระบบคุณภาพขององค์กรแต่มีระยะเวลาไม่น้อยกว่าที่ อบก. กำหนด และควรตรวจสอบข้อมูลให้ถูกต้องตามวิธีการติดตามผลที่ระบุในพารามิเตอร์ที่ต้องติดตามผลที่ระบุไว้ในตารางหัวข้อที่ 9.3

9.2 พารามิเตอร์ที่ต้องติดตามผล

พารามิเตอร์	$Q_{Concrete,PJ,i,y}$
หน่วย	t concrete/year
ความหมาย	ปริมาณคอนกรีตประเภท i ที่ผลิตได้จากการดำเนินโครงการในปี y
แหล่งข้อมูล	บันทึกปริมาณคอนกรีตที่ถูกใช้งานจากผู้ผลิตคอนกรีต
วิธีการติดตามผล	การชั่งน้ำหนักบรรทุกของคอนกรีต
ความถี่ในการติดตามผล	มีการตรวจสอบอย่างต่อเนื่อง และบันทึกข้อมูลอย่างน้อยเป็นรายเดือน

พารามิเตอร์	$Q_{Cement,PJ,j,y}$
หน่วย	t cement/year
ความหมาย	ปริมาณการใช้ปูนซีเมนต์ประเภท j สำหรับผลิตคอนกรีตจากการดำเนินโครงการในปี y

แหล่งข้อมูล	บันทึกปริมาณปูนซีเมนต์ที่ถูกใช้งานจากผู้ผลิตคอนกรีต
วิธีการติดตามผล	การชั่งน้ำหนัก
ความถี่ในการติดตามผล	มีการตรวจสอบอย่างต่อเนื่อง และบันทึกข้อมูลอย่างน้อยเป็นรายเดือน

พารามิเตอร์	$Q_{C,PJ,Test,i,y}$
หน่วย	กรัมคาร์บอนต่อกรัมของตัวอย่างคอนกรีตจากกิจกรรมโครงการที่ทำการทดสอบ
ความหมาย	ค่าเฉลี่ยของปริมาณคาร์บอน (C) ในตัวอย่างคอนกรีตประเภท i จากการดำเนินโครงการในปี y
แหล่งข้อมูล	ผลการวิเคราะห์ปริมาณของคาร์บอนในตัวอย่างคอนกรีตประเภท i ที่ผลิตได้จากกิจกรรมโครงการ
วิธีการติดตามผล	วิเคราะห์โดยใช้เครื่องมือหรือเทคนิคการวิเคราะห์ทางวิทยาศาสตร์ที่มีความน่าเชื่อถือ เช่น X-ray Diffractometer (XRD), Thermogravimetric Analysis (TGA) เป็นต้น
ความถี่ในการติดตามผล	มีการตรวจสอบอย่างต่อเนื่อง และบันทึกข้อมูลอย่างน้อยเป็นรายเดือน

พารามิเตอร์	$\rho_{CO_2,b}$
หน่วย	kg/m^3
ความหมาย	ความหนาแน่นของ CO_2 ที่สภาวะของการดำเนินงานในกระบวนการผลิตคอนกรีตรอบที่ b
แหล่งข้อมูล	ตารางแสดงความหนาแน่นของ CO_2 ที่สภาวะการดำเนินงานต่างๆ
วิธีการติดตามผล	ใช้ค่าตามตารางให้ตรงกับสภาวะของ CO_2 ที่ใช้ในการส่งเข้าไปใน Carbonation plant
ความถี่ในการติดตามผล	ทุกครั้งในการผลิตคอนกรีตประเภท n ในกระบวนการผลิตคอนกรีตรอบที่ b

พารามิเตอร์	$\%V/V_{CO_2,Feed,i,b,y}$
หน่วย	-
ความหมาย	สัดส่วนโดยปริมาตรของ CO_2 ต่อปริมาตรก๊าซ ณ จุด ที่ป้อนเข้าสู่ Carbonation plant ซึ่งตรวจวัดในกระบวนการผลิตคอนกรีตรอบที่ b ที่สภาวะของการดำเนินงาน ในปี y
แหล่งข้อมูล	บันทึกข้อมูลจากโครงการ
วิธีการติดตามผล	วิเคราะห์สัดส่วนโดยปริมาตรอย่างต่อเนื่อง ร่วมกับการตรวจวัดความดันและอุณหภูมิของก๊าซเพื่อนำไปคำนวณหาสัดส่วนที่สภาวะมาตรฐาน
ความถี่ในการติดตามผล	การตรวจสอบอย่างต่อเนื่อง และการบันทึกรายเดือนเป็นอย่างน้อยสำหรับการผลิตคอนกรีตประเภท n ในกระบวนการผลิตคอนกรีตรอบที่ b

พารามิเตอร์	$V_{Feed,b}$
หน่วย	m^3
ความหมาย	ปริมาตรของ CO_2 ถูกป้อนเข้าสู่ Carbonation plant ในกระบวนการผลิตคอนกรีตรอบที่ b
แหล่งข้อมูล	บันทึกข้อมูลจากโครงการ

วิธีการติดตามผล	วัดปริมาตรก๊าซอย่างต่อเนื่องโดยใช้ Flow meter ร่วมกับการตรวจวัดความดันและอุณหภูมิของก๊าซเพื่อ นำไปคำนวณหาปริมาตรที่สภาวะมาตรฐาน
ความถี่ในการติดตามผล	การตรวจสอบอย่างต่อเนื่อง และการบันทึกรายเดือนเป็นอย่างน้อยสำหรับการผลิตคอนกรีตประเภท n ในกระบวนการผลิตคอนกรีตรอบที่ b

พารามิเตอร์	$V_{\text{Chamber},b}$
หน่วย	m^3
ความหมาย	ปริมาตรที่ว่างภายใน Chamber ในกระบวนการผลิตคอนกรีตรอบที่ b
แหล่งข้อมูล	บันทึกข้อมูลจากโครงการ
วิธีการติดตามผล	ตรวจวัดจากโครงการ
ความถี่ในการติดตามผล	การตรวจสอบอย่างต่อเนื่อง และการบันทึกรายเดือนเป็นอย่างน้อย

พารามิเตอร์	$P_{\text{After},b}$ และ $P_{\text{before},b}$
หน่วย	bar
ความหมาย	$P_{\text{After},b}$ คือความดันภายใน Chamber ก่อนการดำเนินงาน ในกระบวนการผลิตคอนกรีตรอบที่ b (ก่อนจะมีการ feed CO_2 เข้าใน Chamber) $P_{\text{before},b}$ คือความดันภายใน Chamber หลังการดำเนินงาน ในกระบวนการผลิตคอนกรีตรอบที่ b (หลังเสร็จปฏิกิริยา Mineral carbonation ใน Chamber)
แหล่งข้อมูล	บันทึกข้อมูลจากโครงการ
วิธีการติดตามผล	ตรวจวัดความดันอย่างต่อเนื่อง ร่วมกับวัดปริมาตรก๊าซและอุณหภูมิของก๊าซเพื่อ นำไปคำนวณหาปริมาตรที่สภาวะมาตรฐาน
ความถี่ในการติดตามผล	การตรวจสอบอย่างต่อเนื่อง และการบันทึกรายเดือนเป็นอย่างน้อย

พารามิเตอร์	$T_{\text{After},b}$ และ $T_{\text{before},b}$
หน่วย	K
ความหมาย	$T_{\text{After},b}$ คืออุณหภูมิภายใน Chamber หลังการดำเนินงาน ในกระบวนการผลิตคอนกรีตรอบที่ b (หลังเสร็จปฏิกิริยา Mineral carbonation ใน Chamber) $T_{\text{before},b}$ คืออุณหภูมิภายใน Chamber ก่อนการดำเนินงาน ในกระบวนการผลิตคอนกรีตรอบที่ b (ก่อนจะมีการ feed CO_2 เข้าใน Chamber)
แหล่งข้อมูล	บันทึกข้อมูลจากโครงการ
วิธีการติดตามผล	ตรวจวัดอุณหภูมิอย่างต่อเนื่อง ร่วมกับตรวจวัดปริมาตรก๊าซและความดันของก๊าซเพื่อ นำไปคำนวณหาปริมาตรที่สภาวะมาตรฐาน
ความถี่ในการติดตามผล	การตรวจสอบอย่างต่อเนื่อง และการบันทึกรายเดือนเป็นอย่างน้อย

พารามิเตอร์	$Q_{\text{Cement},P,j,i,y}$
หน่วย	t cement
ความหมาย	ปริมาณปูนซีเมนต์ที่ถูกใช้ในการผลิตคอนกรีตประเภท i จากการดำเนินโครงการในปี y
แหล่งข้อมูล	บันทึกปริมาณการใช้ปูนซีเมนต์ในการผลิตคอนกรีตจากการดำเนินโครงการ

วิธีการติดตามผล	ตรวจสอบความสัมพันธ์ของค่าการบันทึกปริมาณปูนซีเมนต์ที่ถูกใช้กับปริมาณของการผลิตคอนกรีตที่ผลิต
ความถี่ในการติดตามผล	การตรวจสอบอย่างต่อเนื่อง และการบันทึกรายเดือนเป็นอย่างน้อย

พารามิเตอร์	$Q_{\text{Cement,PJ,Test,i}}$
หน่วย	gram of cement
ความหมาย	ปริมาณปูนซีเมนต์ที่ถูกใช้ในการผลิตตัวอย่างคอนกรีตประเภท i จากการดำเนินโครงการ
แหล่งข้อมูล	บันทึกปริมาณการใช้ปูนซีเมนต์ในการผลิตคอนกรีตจากการดำเนินโครงการ
วิธีการติดตามผล	
ความถี่ในการติดตามผล	การตรวจสอบอย่างต่อเนื่อง และการบันทึกรายเดือนเป็นอย่างน้อย

พารามิเตอร์	$EC_{\text{Capt,PJ,y}}$, $EC_{\text{LQ,PJ,y}}$, $EC_{\text{Trans,PJ,y}}$, $EC_{\text{Evap,PJ,y}}$, $EC_{\text{MineralC,PJ,y}}$ และ $EC_{\text{Trans,OB,PJ,y}}$
หน่วย	kWh/year
ความหมาย	$EC_{\text{Capt,PJ,y}}$ คือปริมาณการใช้ไฟฟ้าในกระบวนการดักจับ แยก CO_2 ออกจากก๊าซอื่น และรวบรวม CO_2 ในปี y $EC_{\text{Liq,PJ,y}}$ คือปริมาณการใช้ไฟฟ้าในกระบวนการเตรียม CO_2 ในสถานะของเหลว ในปี y $EC_{\text{Trans,PJ,y}}$ คือปริมาณการใช้ไฟฟ้าในกระบวนการขนส่ง CO_2 ในปี y $EC_{\text{Evap,PJ,y}}$ คือปริมาณการใช้ไฟฟ้าในกระบวนการเตรียม CO_2 ในสถานะไอ ในปี y $EC_{\text{MineralC,PJ,y}}$ คือปริมาณการใช้ไฟฟ้าในกระบวนการทำให้เป็นแร่ (Mineral carbonation) ในปี y $EC_{\text{Trans,OB,PJ,y}}$ คือปริมาณการใช้ไฟฟ้าจากการขนส่งวัสดุส่วนผสมในการทำคอนกรีตนอกขอบเขตโครงการ ในปี y
แหล่งข้อมูล	บันทึกข้อมูลจากโครงการ
วิธีการติดตามผล	ตรวจวัดปริมาณไฟฟ้าสำหรับใช้ในกระบวนการที่เกี่ยวข้องโดยใช้เครื่องมือตรวจวัด เช่น kWh meter ฯลฯ หรือบันทึกจากเอกสารการซื้อไฟฟ้ารายเดือน เช่น ใบเสร็จรับเงิน ฯลฯ ทั้งนี้เครื่องมือตรวจวัดต้องได้รับการสอบเทียบโดยหน่วยงานที่ได้รับการรับรองตามข้อกำหนดของผู้ผลิต
ความถี่ในการติดตามผล	การตรวจสอบอย่างต่อเนื่อง และการบันทึกรายเดือนเป็นอย่างน้อย

พารามิเตอร์	$EF_{\text{Elec,y}}$
หน่วย	tCO_2/MWh
ความหมาย	ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิต/ใช้ไฟฟ้า ในปี y
แหล่งข้อมูล	รายงานค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิต/ใช้พลังงานไฟฟ้า (Emission Factor) สำหรับโครงการและกิจกรรมลดก๊าซเรือนกระจกที่ประกาศโดย อบก.
วิธีการติดตามผล	<u>สำหรับการจัดทำเอกสารข้อเสนอโครงการ</u> ให้ใช้ค่า $EF_{\text{Elec,y}}$ ล่าสุดที่ อบก. ประกาศ <u>สำหรับการติดตามผลการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก</u>

	ให้ใช้ค่า $EF_{Elec,y}$ ที่ อบก. ประกาศตามปี พ.ศ. ของช่วงระยะเวลาที่ขอรับรองคาร์บอนเครดิต ทั้งนี้กรณีในปี พ.ศ. ของช่วงระยะเวลาที่ขอรับรองคาร์บอนเครดิตนั้นยังไม่มีค่า $EF_{Elec,y}$ ที่ อบก. ประกาศ ให้ใช้ค่า $EF_{Elec,y}$ ล่าสุดที่ อบก. ประกาศแทนในปีนั้น
--	--

พารามิเตอร์	TDL_y
หน่วย	-
ความหมาย	สัดส่วนค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในโครงข่ายไฟฟ้าสำหรับการจ่ายไฟฟ้าไปยังจุดใช้ไฟฟ้าในปี y
แหล่งข้อมูล	ทางเลือกที่ 1 รายงานการตรวจวัด กรณีที่มีข้อมูลปริมาณไฟฟ้าที่ออกจากผู้ผลิตและปริมาณไฟฟ้าที่ผู้ใช้ไฟฟ้าได้รับ ทางเลือกที่ 2 ใช้ค่าล่าสุดที่ อบก. ประกาศ (ค่าเท่ากับ 0.0596) ซึ่งอ้างอิงข้อมูลจากรายงานดุลยภาพพลังงานของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2566 กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน
วิธีการติดตามผล	1) ถ้าใช้ทางเลือกที่ 1 ผู้พัฒนาโครงการจะต้องมีการติดตามค่าดังกล่าวทุกปีตลอดการติดตามผลการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 2) ถ้าใช้ทางเลือกที่ 2 ผู้พัฒนาโครงการจะต้องใช้ค่านี้อย่างต่อเนื่องตลอดการติดตามผลการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก
ความถี่ในการติดตามผล	กำหนดหนึ่งครั้งในปีแรกของรอบระยะเวลาคิดคาร์บอนเครดิต

พารามิเตอร์	$\eta_{IPS,y}$
หน่วย	-
ความหมาย	ค่าประสิทธิภาพเฉลี่ยรายปีของโรงไฟฟ้าในปี y (ค่าอยู่ระหว่าง 0 – 1)
แหล่งข้อมูล	รายงานการตรวจวัดและการทำดุลพลังงาน (Energy balance) ของโรงไฟฟ้า
วิธีการติดตามผล	วัดโดยใช้เครื่องมือตรวจวัดของโรงไฟฟ้า ประกอบด้วย • ปริมาณไฟฟ้า • ปริมาณและค่าความดันของไอน้ำ • ปริมาณและอุณหภูมิของไอเสียจากปล่อง • มวลหรือปริมาตรของเชื้อเพลิงฟอสซิลที่ใช้
ความถี่ในการติดตามผล	-

พารามิเตอร์	$TFC_{IPS,y}$
หน่วย	unit/year
ความหมาย	ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลทั้งหมดของโรงไฟฟ้าที่ซื้อไฟฟ้าและ/หรือไอน้ำมาใช้ในปี y
แหล่งข้อมูล	รายงานการตรวจวัดและรายการบันทึกของโรงไฟฟ้า
วิธีการติดตามผล	วัดมวลหรือปริมาตรของเชื้อเพลิงโดยใช้เครื่องมือตรวจวัดของโรงไฟฟ้า
ความถี่ในการติดตามผล	การตรวจสอบอย่างต่อเนื่อง และการบันทึกรายเดือนเป็นอย่างน้อย

พารามิเตอร์	$HC_{Capt,PJ,y}$ และ $HC_{Evap,PJ,y}$
หน่วย	MJ/year
ความหมาย	$HC_{Capt,PJ,y}$ คือปริมาณความร้อนที่ใช้ในกระบวนการดักจับ แยก CO_2 ออกจากก๊าซอื่น และรวบรวม CO_2 ในปี y $HC_{Evap,PJ,y}$ คือปริมาณความร้อนที่ใช้ในกระบวนการเตรียม CO_2 ในสถานะไอ ในปี y
แหล่งข้อมูล	รายงานการตรวจวัดและรายการบันทึก
วิธีการติดตามผล	วัดปริมาณและความดันไอน้ำสำหรับใช้ในกระบวนการดักจับและแยก CO_2 ออกจากก๊าซ โดยใช้เครื่องมือตรวจวัด และคำนวณหาค่าปริมาณความร้อน หรือบันทึกจากเอกสารการซื้อไอน้ำรายเดือน เช่น ใบเสร็จรับเงิน ฯลฯ ทั้งนี้เครื่องมือตรวจวัดต้องได้รับการสอบเทียบโดยหน่วยงานที่ได้รับการรับรองตามข้อกำหนดของผู้ผลิต
ความถี่ในการติดตามผล	การตรวจสอบอย่างต่อเนื่อง และการบันทึกรายเดือนเป็นอย่างน้อย

พารามิเตอร์	$HG_{IPS,y}$
หน่วย	MJ/year
ความหมาย	ปริมาณความร้อนทั้งหมดที่ผลิตได้ของโรงไฟฟ้าที่ซื้อไฟฟ้าและ/หรือไอน้ำมาใช้ ในปี y
แหล่งข้อมูล	รายงานการตรวจวัดและรายการบันทึกของโรงไฟฟ้า
วิธีการติดตามผล	วัดปริมาณและค่าความดันของไอน้ำโดยใช้เครื่องมือตรวจวัดของโรงไฟฟ้า
ความถี่ในการติดตามผล	-

พารามิเตอร์	$EG_{IPS,y}$
หน่วย	kWh/year
ความหมาย	ปริมาณไฟฟ้าทั้งหมดที่ผลิตได้ของโรงไฟฟ้าที่ซื้อไฟฟ้าและ/หรือไอน้ำมาใช้ ในปี y
แหล่งข้อมูล	รายงานการตรวจวัดและรายการบันทึกของโรงไฟฟ้า
วิธีการติดตามผล	ตรวจวัดปริมาณไฟฟ้าโดยใช้เครื่องมือตรวจวัดของโรงไฟฟ้า
ความถี่ในการติดตามผล	-

พารามิเตอร์	$Q_{c,Solvent,PJ,s,y}$
หน่วย	ton of C
ความหมาย	ปริมาณคาร์บอน (C) ในสารละลายประเภท s สำหรับผสมคอนกรีต จากการดำเนินโครงการ ในปี y
แหล่งข้อมูล	บันทึกข้อมูลจากโครงการ
วิธีการติดตามผล	ผลการวิเคราะห์ปริมาณของคาร์บอนในตัวอย่างคอนกรีตประเภท n ในกรณีฐาน ผ่านทางใช้เครื่องมือหรือเทคนิคการวิเคราะห์ทางวิทยาศาสตร์ที่น่าเชื่อถือ
ความถี่ในการติดตามผล	การสุ่มตรวจอย่างน้อยปีละครั้ง สำหรับแต่ละชนิดของคอนกรีต

พารามิเตอร์	$FC_{Solvent,s,y}$
หน่วย	ton of Solvent/year

ความหมาย	ปริมาณการใช้สารละลายประเภท s ในปี y
แหล่งข้อมูล	บันทึกค่าปริมาณการใช้สารละลายสำหรับการผลิตคอนกรีต
วิธีการติดตามผล	ตรวจสอบผ่านความสัมพันธ์ของปริมาณการใช้สารละลายกับปริมาณคอนกรีตที่ผลิตได้
ความถี่ในการติดตามผล	การสุ่มตรวจอย่างน้อยปีละครั้ง สำหรับแต่ละชนิดของคอนกรีต

9.3 พารามิเตอร์ที่ไม่ต้องติดตามผล

พารามิเตอร์	$Q_{C,BL,Test,i}$
หน่วย	กรัมคาร์บอนต่อกรัมของตัวอย่างคอนกรีตในกรณีฐานที่ทำการทดสอบ
ความหมาย	ค่าเฉลี่ยของปริมาณคาร์บอนในตัวอย่างคอนกรีตประเภท i ในกรณีฐาน
แหล่งข้อมูล	ผลการวิเคราะห์ปริมาณของคาร์บอนในตัวอย่างคอนกรีตประเภท i ในกรณีฐาน ผ่านทางใช้เครื่องมือหรือเทคนิคการวิเคราะห์ทางวิทยาศาสตร์ที่น่าเชื่อถือ
ค่าที่นำไปใช้	-

พารามิเตอร์	R
หน่วย	$m^3 \cdot bar \cdot K^{-1} \cdot mol^{-1}$
ความหมาย	ค่าคงที่ของก๊าซ
แหล่งข้อมูล	ค่าการคำนวณทางทฤษฎี
ค่าที่นำไปใช้	8.314472×10^{-5}

พารามิเตอร์	$Q_{Cement,BL,test,i}$
หน่วย	gram of cement
ความหมาย	ปริมาณปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกที่ถูกใช้ในการผลิตตัวอย่างคอนกรีตประเภท i จากกรณีฐาน
แหล่งข้อมูล	ทางเลือกที่ 1 ค่าอ้างอิงจากการบันทึกค่าจากการใช้ปูนซีเมนต์ที่ใช้ในการผลิตตัวอย่างคอนกรีตในกรณีฐานของโรงงาน ทางเลือกที่ 2 ค่าอ้างอิงสัดส่วนมาตรฐานสำหรับการผลิตคอนกรีตในการดำเนินโครงการ ตามที่คุณภาพที่ผู้ผู้ดูแลกำหนด
ค่าที่นำไปใช้	-

พารามิเตอร์	EF_{HC}
หน่วย	$tCO_2eq/ton \text{ of cement}$
ความหมาย	ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก
แหล่งข้อมูล	สมาคมอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ไทย www.thaicma.or.th
ค่าที่นำไปใช้	$0.871 \text{ tCO}_2/t \text{ cement}$

พารามิเตอร์	$EF_{Cement,j}$
หน่วย	$tCO_2eq/ton \text{ of cement}$

ความหมาย	ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของปูนซีเมนต์ประเภท j จากการดำเนินโครงการ
แหล่งข้อมูล	สมาคมอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ไทย www.thaicma.or.th
ค่าที่นำไปใช้	กรณี 1 ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (ค่าเท่ากับ 910 kgCO ₂ /t cement) กรณี 2 ใช้ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก (ค่าเท่ากับ 871 kgCO ₂ /t cement)

พารามิเตอร์	Molar mass of C in solvent _s
หน่วย	gram
ความหมาย	มวลของคาร์บอนใน 1 โมล (mol) ของสารละลายประเภท s
แหล่งข้อมูล	การคำนวณมวลโมเลกุลผ่านสมการเคมีและตารางธาตุ โดยพิจารณาเฉพาะคาร์บอน
ค่าที่นำไปใช้	-

พารามิเตอร์	Total molar mass of solvent _s
หน่วย	gram
ความหมาย	มวลของสารละลายประเภท s จำนวน 1 โมล
แหล่งข้อมูล	การคำนวณมวลโมเลกุลผ่านสมการเคมีและตารางธาตุ
ค่าที่นำไปใช้	-

พารามิเตอร์	$\rho_{\text{Solvent},s}$
หน่วย	kg/Liter หรือ kg/dm ³
ความหมาย	ความหนาแน่นของสารละลายประเภท s
แหล่งข้อมูล	คำอธิบายหรือฉลากสินค้า (สารเคมี)
ค่าที่นำไปใช้	-

พารามิเตอร์	EF _{SOLVENT,s,y}
หน่วย	tCO ₂ eq/ton of Solvent
ความหมาย	ค่า Emission factor สำหรับสารละลายประเภท s
แหล่งข้อมูล	ข้อมูล Carbon Footprint of Product (CFP) ของสารละลาย
ค่าที่นำไปใช้	-

10. เอกสารอ้างอิง

1. Verified Carbon Standard

VCS Methodology: VM0032 CO₂ Utilization in Concrete Production, Version 1.0, 5 April 2021

2. Gold Standard

Methodology: Carbon sequestration through accelerated carbonation of concrete aggregate, Version 1.0, 7-03-2022

3. Al-Mamoori, A., Krishnamurthy, A., Rownaghi, A. A., & Rezaei, F. (2017). Carbon capture and utilization update. *Energy Technology*, 5(6), 834-849.
4. Hunt AJ, Sin EHK, Marriott R, Clark JH. Generation, capture, and utilization of industrial carbon dioxide. *ChemSusChem* 2010;3:306–22. <https://doi.org/10.1002/cssc.200900169>.
5. Ravikumar, D., Zhang, D., Keoleian, G., Miller, S., Sick, V., & Li, V. (2021). Carbon dioxide utilization in concrete curing or mixing might not produce a net climate benefit. *Nature communications*, 12(1), 855.
6. Monkman, S. (2018). Sustainable ready mixed concrete production using waste CO₂: A case study. *Am. Concr. Ins*, 330, 163-174
7. Initiative, C. S. (2009). Cement industry energy and CO₂ performance: getting the numbers right. *World Business Council for Sustainable Development*.

บันทึกการแก้ไข T-VER-P-METH-14-02

ฉบับที่	แก้ไขครั้งที่	วันที่บังคับใช้	รายการแก้ไข
01	-	24 กันยายน 2568	การเริ่มใช้ครั้งแรก