**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. **ชื่อระเบียบวิธีฯ (Methodology)** | **การดักจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อใช้ประโยชน์ในกระบวนการทำคอนกรีต (CO2 Capture and Utilization for Concrete Production)** |
| 1. ประเภทโครงการ (Project Type) | การดักจับ กักเก็บ และ/หรือการใช้ประโยชน์จากก๊าซเรือนกระจก |
| 1. สาขาและขอบข่าย (Scope) | Scope: 05 – Chemical industry  Scope: 06 – Construction |
| 1. ลักษณะโครงการ(Project Outline) | กิจกรรมโครงการต้องมีวัตถุประสงค์ในการดักจับคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) ที่ปล่อยออกจากแหล่งที่มีจุดกำเนิดแน่นอน (Point source) หรือการดักจับ CO2 จากบรรยากาศ (Direct Air Capture: DAC) เพื่อนำมาใช้ประโยชน์ในกระบวนการทำคอนกรีต (Concrete) |
| 1. ลักษณะของกิจกรรมโครงการที่เข้าข่าย (Applicability) | กิจกรรมโครงการต้องมีกระบวนการดักจับก๊าซจากแหล่งกำเนิดและแยก CO2 ออก (Capture) และการนำ CO2 ไปใช้ (Utilization) ในกระบวนการผลิตคอนกรีตเพื่อกักเก็บ CO2 แบบถาวร โดยที่สัดส่วนของปูนซีเมนต์ที่ใช้ในผลิตภัณฑ์คอนกรีตต้องไม่เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีฐาน |
| 1. 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 CO2 รวมทั้งหมดที่ผลิตได้จากกระบวนการ Capture และปริมาณการใช้ CO2 สำหรับการผลิตคอนกรีตให้มีความถูกต้องและครบถ้วน |
| 1. วันเริ่มดำเนินโครงการ  (Project Starting Date) | วันที่เจ้าของโครงการ (ผู้ว่าจ้าง) และผู้รับจ้างได้มีการลงนามร่วมกันในสัญญาจ้างก่อสร้างโครงการลดก๊าซเรือนกระจกที่จะพัฒนาเป็นโครงการ T-VER |
| 1. นิยามศัพท์ | **คอนกรีต (Concrete)** หมายถึงวัสดุผสมระหว่างปูนซีเมนต์ ทราย หิน และน้ำที่นิยมนำไปใช้ในงานก่อสร้างหลากหลายรูปแบบ เช่น คอนกรีตสด คอนกรีตสำหรับทำถนน คอนกรีตโครงสร้าง คอนกรีตสำหรับทำสะพาน เป็นต้น  **ปูนซีเมนต์ (Cement)** หมายถึง วัสดุผสานสำหรับผลิตคอนกรีต ซึ่งส่วนผสมหลักคือ หินปูน ดินเหนียว ซิลิก้า อลูมิน่า ยิปซั่ม เป็นต้น โดยในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์จะมีการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ ในปฏิกิริยาเคมีที่เรียกว่า “กระบวนการเผาแบบแคลไซน์ (Calcination)”  **กระบวนการแคลซิเนชั่น (Calcination)** หมายถึง กระบวนการเปลี่ยนหินปูน (Limestone) ที่มีส่วนประกอบหลักคือ CaCO3 ไปเป็น CaO ซึ่งจะเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) จากปฏิกิริยาเคมี  **Carbonation plant** หมายถึง โรงงานหรือบริเวณที่ตั้งของกระบวนการผสมเพื่อผลิตคอนกรีตเพื่อการเกิดคาร์บอเนตในการดำเนินโครงการ  **Independent Power Supply (IPS)** หมายถึง ผู้ผลิตไฟฟ้าเอกชนที่ผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้เองโดยไม่มีการจำหน่ายเข้าสู่โครงข่ายไฟฟ้าหรือจำหน่ายไฟฟ้าให้ลูกค้าตรง  **กระบวนการเกิดคาร์บอเนตโดยตรง (Direct Mineral Carbonation)** หมายถึงการเกิดปฏิกิริยาระหว่าง CO2 กับออกไซด์ของโลหะ (อัลคาไล/อัลคาไลเอิร์ท) เช่น แคลเซียมออกไซด์ (CaO) แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) ซึ่งเป็นส่วนประกอบในปูนซีเมนต์ และน้ำ ให้กลายเป็นแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO3) หรือแมกนีเซียมคาร์บอเนต (MgCO3) ซึ่งมีลักษณะเป็นแร่ธาตุที่มีความเสถียรทางเคมีและสามารถกักเก็บ CO2 ได้อย่างถาวร  **กระบวนการเกิดคาร์บอเนตโดยอ้อม (Indirect Mineral Carbonation)** หมายถึงกระบวนการกักเก็บคาร์บอนของ CO2 ในกระบวนการผลิตคอนกรีต ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาในสองส่วน คือปฏิกิริยาระหว่าง CO2 กับซิลิกาออกไซด์ (SiO2) ในปูนซีเมนต์ และน้ำ และตามด้วยการแยกสกัดแคลเซียมออกจากสารประกอบแคลเซียม ซิลิเกตไฮเดรต และปฏิกิริยาการเกิดคาร์บอเนตโดยตรง เพื่อทำให้เกิดการตกผลึกของแคลเซียมคาร์บอเนตที่สามารถกักเก็บ CO2 ได้อย่างถาวร |
| 1. หมายเหตุ |  |

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

1. **กิจกรรมการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่นำมาใช้ในการคำนวณ**

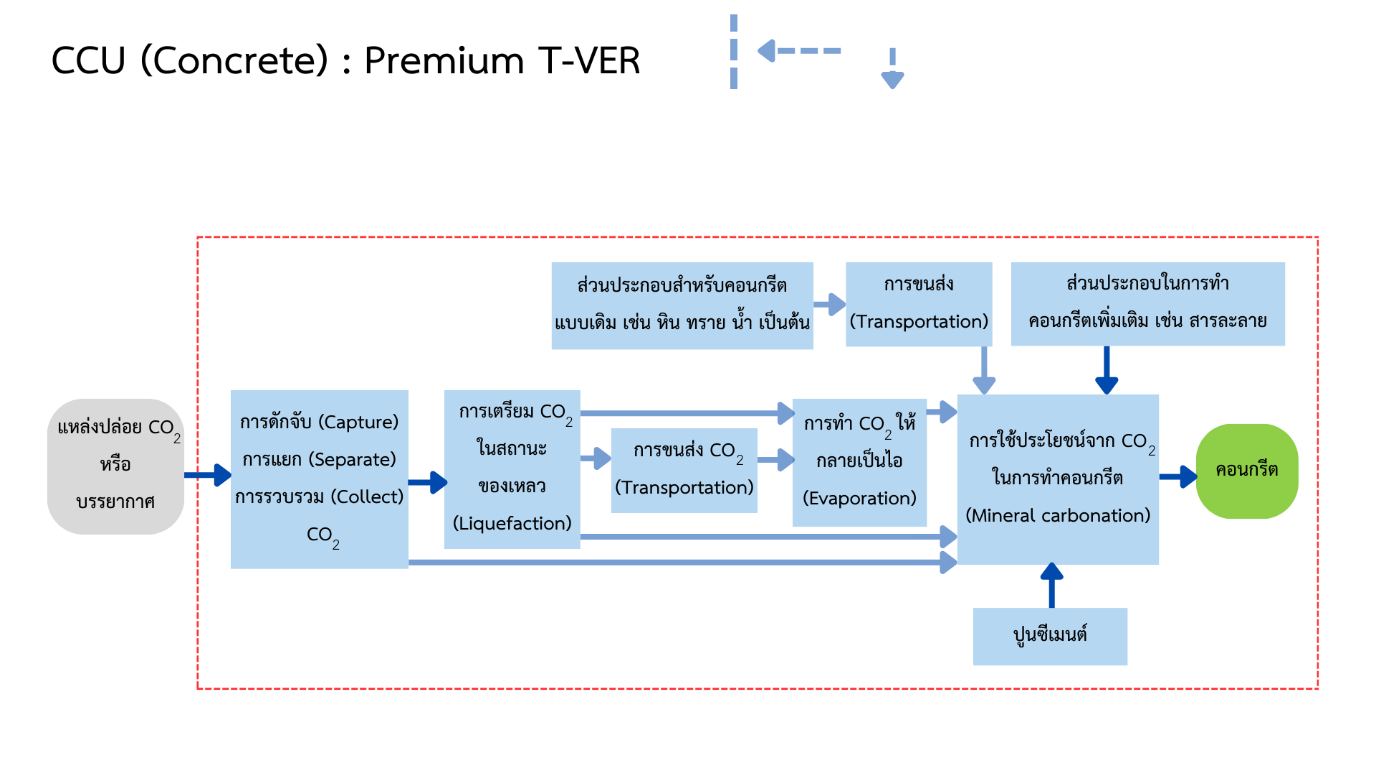
**ตารางที่ 1** แหล่งกำเนิดและชนิดของก๊าซเรือนกระจก

| **การปล่อย ก๊าซเรือนกระจก** | **แหล่งกำเนิด ก๊าซเรือนกระจก** | **ชนิดของ ก๊าซเรือนกระจก** | **รายละเอียดของกิจกรรม ที่มีการปล่อย/กักเก็บก๊าซเรือนกระจก** |
| --- | --- | --- | --- |
| กรณีฐาน  (Baseline Emission) | ปล่องไอเสียของโรงงานที่มีจุดปล่อยที่แน่นอน | CO2 | * การเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล * การเผาหินปูน เป็นต้น |
| ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศ | CO2 | กิจกรรมของมนุษย์ และธรรมชาติ |
| คอนกรีตในกรณีฐาน | CO2 | มวลของคาร์บอนที่อยู่ในคอนกรีตในกรณีฐาน |
| ปูนซีเมนต์ของกรณีฐาน | CO2 | กระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ |
| การดำเนินโครงการ (Project Emission) | คอนกรีตในการดำเนินโครงการ | CO2 | มวลของคาร์บอนในคอนกรีตในการดำเนินโครงการ |
| ปูนซีเมนต์ในการดำเนินโครงการ | CO2 | กระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ |
| การดักจับก๊าซและแยกเอา CO2 ออก | | |
| * การรั่วไหล | CO2 | เครื่องจักร/อุปกรณ์/ระบบท่อ |
| * การผลิตไฟฟ้าและความร้อนเพื่อใช้เองในกระบวนการ | CO2 | การเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลในโรงไฟฟ้าที่อยู่ในขอบเขตโครงการ |
| * การใช้ไฟฟ้าและพลังงานความร้อน (ที่ซื้อมาจากภายนอก) ในกระบวนการ | CO2 | * การผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าในระบบสายส่ง * การผลิตไฟฟ้าและ/หรือไอน้ำของโรงไฟฟ้าประเภท IPS |
| การเตรียม CO2 ให้อยู่ในสถานะของเหลว | | |
| * การผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้เองในกระบวนการ | CO2 | การเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลในโรงไฟฟ้าที่อยู่ในขอบเขตโครงการ |
| * การใช้ไฟฟ้า (ที่ซื้อมาจากภายนอก) ในกระบวนการ | CO2 | * การผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าในระบบสายส่ง * การผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าประเภท IPS |
| การขนส่ง CO2 | | |
| * การระบายออกหรือรั่วไหล | CO2 | เครื่องจักร/อุปกรณ์/ระบบท่อ |
| * การใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล | CO2 | การเผาไหม้เชื้อเพลิงของยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่ง |
| * การใช้ไฟฟ้า (ที่ซื้อมาจากภายนอก) ในกระบวนการ | CO2 | * การผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าในระบบสายส่ง * การผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าประเภท IPS |
| การเตรียม CO2 ให้อยู่ในสถานะไอ | | |
| * การใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล | CO2 | การเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลที่อยู่ในขอบเขตโครงการ |
| * การผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้เองในกระบวนการ | CO2 | การเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลในโรงไฟฟ้าที่อยู่ในขอบเขตโครงการ |
| * การใช้ไฟฟ้า (ที่ซื้อมาจากภายนอก) ในกระบวนการ | CO2 | * การผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าในระบบสายส่ง * การผลิตไฟฟ้าและ/หรือไอน้ำของโรงไฟฟ้าประเภท IPS |
| การใช้ CO2 สำหรับการผลิตคอนกรีต | | |
| * การระบายออกหรือรั่วไหล | CO2 | เครื่องจักร/อุปกรณ์/ระบบท่อ |
| * การใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล | CO2 | การเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลที่อยู่ในขอบเขตโครงการ |
| * การผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้เองในกระบวนการ | CO2 | การเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลในโรงไฟฟ้าที่อยู่ในขอบเขตโครงการ |
| * การใช้ไฟฟ้า (ที่ซื้อมาจากภายนอก) ในกระบวนการ | CO2 | * การผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าในระบบสายส่ง * การผลิตไฟฟ้าโรงไฟฟ้าประเภท IPS |
| การใช้สารละลายในกระบวนการใช้ประโยชน์จาก CO2 | CO2 | กระบวนการผลิตสารละลาย |
| นอกขอบเขตโครงการ (Leakage Emission) | การขนส่งหินกรวด ทราย น้ำ และปูนซีเมนต์ | | |
| * การใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล | CO2 | การเผาไหม้เชื้อเพลิงของยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่ง |
| * การใช้ไฟฟ้า (ที่ซื้อมาจากภายนอก) ในกระบวนการ | CO2 | * การผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าในระบบสายส่ง * การผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าประเภท IPS |

1. **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
* **การ****ขนส่ง 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 แล้วการปล่อยปลดก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินโครงการในการขนส่งจะไม่ถูกพิจารณาหรือมีค่าเท่ากับศูนย์

* **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

Ca(OH)2 + CO2 ⇋ CaCO3 + H2O

กิจกรรมโครงการอาจจะไม่มีกระบวนการเตรียม CO2 ในสถานะของเหลว การขนส่ง CO2 หรือการทำ CO2 ให้กลายเป็นไอ ตามที่แสดงดังรูปที่ 1 ซึ่งจะขึ้นอยู่กับการดำเนินกิจกรรมจริงของโครงการ

1. **การดำเนินงานเพิ่มเติมจากการดำเนินงานปกติ (Additionality)**

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

1. **ข้อมูลกรณีฐาน (Baseline Scenario)**

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

**หมายเหตุ** หากประเทศไทยมีโครงการ CCU สำหรับการผลิตคอนกรีต มากขึ้น อบก. จะพิจารณาทบทวนการกำหนดข้อมูลกรณีฐานให้เป็นไปตามแนวทางการกำหนดข้อมูลกรณีฐานต่ำกว่าการดำเนินงานปกติ (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

1. **การคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกรณีฐาน (Baseline Emission)**

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกรณีฐานพิจารณาเฉพาะการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) จากแหล่งกำเนิดตามที่กำหนด โดยคำนวณจากปริมาณของคาร์บอนในคอนกรีตที่เพิ่มขึ้นจากการดำเนินงานในรูปแบบเดิม ร่วมกับการใช้ปูนซีเมนต์ (กระบวนการผลิตปูนซีเมนต์จะมีการปลดปล่อย CO2)

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกรณีฐาน สามารถคำนวณได้ดังนี้

**BEy = Σn (BECO2,Store,n,y) + BECement,y** สมการที่ (1)

โดยที่

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| BEy | = | ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกรณีฐาน ในปี y (tCO2/year) |
| BECO2,Store,n,y | = | ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่คำนวณผ่านผลต่างระหว่างปริมาณคาร์บอนที่กักเก็บภายในคอนกรีตประเภท n ในการดำเนินโครงการกับ กรณีฐาน ในปี y (tCO2/year) |
| BECement,y | = | ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการผลิตคอนกรีตผ่านปริมาณการใช้ปูนซีเมนต์จากกรณีฐานในปี y (tCO2/year) |

**5.1 ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่คำนวณผ่านผลต่างระหว่างปริมาณคาร์บอนที่กักเก็บภายในคอนกรีตจากการดำเนินโครงการกับกรณีฐาน (BECO2,Store,n,y)**

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากสำหรับคอนกรีตจากกรณีฐาน สามารถคำนวณได้ 3 ทางเลือก ดังนี้

**ทางเลือกที่ 1 การประเมินปริมาณการกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในคอนกรีตจากกรณีฐาน ผ่านการตรวจวัดปริมาณคาร์บอนในคอนกรีตโดยตรง**

การคำนวณปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกกักเก็บในคอนกรีตจากกรณีฐาน ผ่านการคำนวณปริมาณของคาร์บอนในตัวอย่างคอนกรีต ร่วมกับการเก็บข้อมูลการผลิตคอนกรีตรวม สามารถคำนวณได้ดังนี้

**BECO2,Store,n,y =** Σi [**QConcrete,PJ,i,y x ((QC,PJ,Test,i - QC,BL,Test,i) x 106 x)]** สมการที่ (2)

โดยที่

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| BECO2,Store,i,y | = | ปริมาณ CO2 ที่คำนวณผ่านผลต่างระหว่างปริมาณคาร์บอนที่กักเก็บภายในคอนกรีตประเภท i ในการดำเนินโครงการกับกรณีฐานในปี y (tCO2/year) |
| QConcrete,PJ,i,y | = | ปริมาณคอนกรีตประเภท i ที่ผลิตได้จากการดำเนินโครงการในปี y  (t concrete/year) |
| QC,PJ,Test,i,y | = | ค่าเฉลี่ยของปริมาณคาร์บอน (C) ในตัวอย่างคอนกรีตประเภท i จากการดำเนินโครงการในปี y (กรัมคาร์บอนต่อกรัมของตัวอย่างคอนกรีตจากกิจกรรมโครงการที่ทำการทดสอบ) |
| QC,BL,Test,i | = | ค่าเฉลี่ยของปริมาณคาร์บอน (C) ในตัวอย่างคอนกรีตประเภท i จากกรณีฐาน (กรัมคาร์บอนต่อกรัมของตัวอย่างคอนกรีตจากกรณีฐานที่ทำการทดสอบ) |
| i | = | ประเภทคอนกรีต |

**ทางเลือกที่ 2 การประเมินปริมาณการกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในคอนกรีตจากกรณีฐาน ผ่านการตรวจวัดปริมาตรของก๊าซคาร์บอนออกไซด์ที่เข้าสู่ Carbonation plant**

การคำนวณปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกกักเก็บในคอนกรีตจากกรณีฐานผ่านการตรวจวัดปริมาตรของก๊าซคาร์บอนออกไซด์ที่เข้าสู่ Carbonation plant และปริมาตรของก๊าซคาร์บอนออกไซด์ที่คงค้างอยู่ใน Carbonation plant (ซึ่งถูกพิจารณาเป็นการปลดปล่อยจากการดำเนินโครงการในกรณีที่การดำเนินโครงการมีลักษณะในระบบปิด หรือไม่พิจารณาส่วนนี้เพราะดึงมาจากส่วนที่จะปล่อยออกสู่บรรยากาศเป็นปกติ หรือ ดึกออกมาจากบรรยากาศ มันแค่กลับไปที่เดิม) ผ่านการพิจารณาต่อครั้งของกระบวนการผลิตคอนกรีต โดยกระบวนการผลิตคอนกรีตจะต้องถูกควบคุมพลังงานที่ใช้ในกระบวนการให้คงที่

การคำนวณปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกกักเก็บในคอนกรีตจากกรณีฐาน สามารถคำนวณได้ดังนี้ ทั้งนี้กระบวนการเกิดปฏิกิริยาต้องเป็นระบบปิด ไม่มีการรั่วไหลของก๊าซระหว่างการเกิดปฏิกิริยา

**BECO2,Store,i,y =** Σ**b** **(QCO2,PJ,Feed,i,b,y** **- QCO2,PJ,Non-Store,i,b,y)** สมการที่ (3)

โดยที่

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| BECO2,Store,i,y | = | ปริมาณ CO2 ที่คำนวณผ่านผลต่างระหว่างปริมาณคาร์บอนที่กักเก็บภายในคอนกรีตประเภท i ในการดำเนินโครงการกับกรณีฐาน ในปี y (tCO2/year) |
| QCO2,PJ,Feed,i,b,y | = | ปริมาณ CO2 ที่ใช้ในการส่งเข้าไปใน Carbonation plant สำหรับผลิตคอนกรีตประเภท i ในกระบวนการผลิตคอนกรีตรอบที่ b ในการดำเนินโครงการ ในปี y (tCO2/year) |
| QCO2,PJ,Non-Store,i,b,y | = | ปริมาณก๊าซ CO2 ที่เหลือคงค้างใน Carbonation plant (ไม่ถูกกักเก็บในคอนกรีต) ในคอนกรีตประเภท i ในกระบวนการผลิตคอนกรีตรอบที่ b  ในการดำเนินโครงการ ในปี y (tCO2/year) |
| i | = | ประเภทคอนกรีต |
| b | = | รอบการผลิตคอนกรีต |

การคำนวณปริมาณก๊าซ CO2 ที่ใช้ในการส่งเข้าไปใน Carbonation plant สามารถคำนวณผ่านความหนาแน่น สัดส่วนของ CO2 กับปริมาตรก๊าซที่ถูกส่งเข้าไปใน Carbonation plant ในแต่ละรอบของกระบวนการผลิตคอนกรีต (b) สามารถคำนวณได้ดังนี้

**QCO2,PJ,Feed,i,b,y = Σt,b [ρCO2,b x (%V/VCO2,Feed,i,b,y) x VFeed,b x 103]** สมการที่ (4)

โดยที่

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| QCO2,PJ,Feed,i,b,y | = | ปริมาณ CO2 ที่ใช้ในการส่งเข้าไปใน carbonation plant สำหรับผลิตคอนกรีตประเภท i ในกระบวนการผลิตคอนกรีตรอบที่ b ในการดำเนินโครงการ ในปี y (tCO2/year) |
| ρCO2,b | = | ความหนาแน่นของ CO2 ที่สภาวะของการดำเนินงานในกระบวนการผลิตคอนกรีตรอบที่ b (kg/m3) |
| %V/VCO2,Feed,i,b,y | = | สัดส่วนโดยปริมาตรของ CO2 ต่อปริมาตรก๊าซ ณ จุด ที่ป้อนเข้าสู่ Carbonation plant ซึ่งตรวจวัดในกระบวนการผลิตคอนกรีตรอบที่ b ที่สภาวะของการดำเนินงาน ในปี y (%) |
| VFeed,b | = | ปริมาตรของ CO2 ที่ถูกป้อนเข้าสู่ Carbonation plant ในกระบวนการผลิตคอนกรีตรอบที่ b (m3) |
| i | = | ประเภทคอนกรีต |
| b | = | รอบการผลิตคอนกรีต |

การคำนวณปริมาณก๊าซ CO2 ที่ไม่ถูกกักเก็บในรูปของคาร์บอนเนตในคอนกรีต สามารถคำนวณผ่านปริมาตรที่ว่าง ความดัน อุณหภูมิของบริเวณที่เกิดปฏิกิริยา ร่วมกับความหนาแน่น สัดส่วนของ CO2 กับปริมาตรก๊าซที่ถูกส่งเข้าไปใน carbonation plant ในแต่ละรอบการผลิตคอนกรีต b สามารถคำนวณได้ดังนี้

**QCO2,PJ,Non-Store,i,b,y= Σ** **bx (%V/VCO2,Feed,i,b,y) x 44.01 x 10-6**

สมการที่ (5)

โดยที่

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| QCO2,PJ,Non-Store,i,b,y | = | ปริมาณก๊าซ CO2 ที่เหลือคงค้างใน Carbonation plant (ไม่ถูกกักเก็บในคอนกรีต) ในคอนกรีตประเภท i ในกระบวนการผลิตคอนกรีตรอบที่ b ในการดำเนินโครงการ ในปี y (tCO2/year) |
| PAfter,b | = | ความดันภายใน Chamber หลังการดำเนินงานในกระบวนการผลิตคอนกรีตรอบที่ b (bar) (หลังเสร็จปฏิกิริยา Mineral carbonation ใน Chamber) |
| PBefore,b | = | ความดันภายใน Chamber ก่อนการดำเนินงาน ในกระบวนการผลิตคอนกรีตรอบที่ b (bar) (ก่อนจะมีการ feed CO2 เข้าใน Chamber) |
| VChamber,b | = | ปริมาตรที่ว่างภายใน Chamber ในกระบวนการผลิตคอนกรีตรอบที่ b (m3) |
| R | = | ค่าคงที่ของก๊าซ = 8.314472 x 10-5 (m3⋅bar⋅K-1⋅mol-1) |
| TAfter,b | = | อุณหภูมิภายใน Chamber หลังการดำเนินงาน ในกระบวนการผลิตคอนกรีตรอบที่ b (K) (หลังเสร็จปฏิกิริยา Mineral carbonation ใน Chamber) |
| TBefore,b | = | อุณหภูมิภายใน Chamber ก่อนการดำเนินงาน ในกระบวนการผลิตคอนกรีตรอบที่ b (K) (ก่อนจะมีการ feed CO2 เข้าใน Chamber) |
| %V/VCO2,Feed,i,b,y | = | สัดส่วนโดยปริมาตรของ CO2 ต่อปริมาตรก๊าซ ณ จุด ที่ป้อนเข้าสู่ Carbonation plant ซึ่งตรวจวัด ในกระบวนการผลิตคอนกรีตรอบที่ b  ที่สภาวะของการดำเนินงาน ในปี y (%) |
| i | = | ประเภทคอนกรีต |
| b | = | รอบการผลิตคอนกรีต |

**ทางเลือกที่ 3 การประเมินปริมาณการกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในคอนกรีตจากกรณีฐาน ผ่านการใช้ค่าประเมินประสิทธิภาพของระบบ**

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

การคำนวณปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกกักเก็บในคอนกรีตจากกรณีฐานในกรณีนี้ สามารถคำนวณได้ดังนี้

**BECO2,Store,n,y =** Σb **(QCO2,PJ,Feed,i,b,y x 0.6)**  สมการที่ (6)

โดยที่

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| BECO2,Store,i,y | = | ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่คำนวณผ่านผลต่างระหว่างปริมาณคาร์บอนที่กักเก็บภายในคอนกรีตประเภท i ในการดำเนินโครงการกับกรณีฐาน ในปี y (tCO2/year) |
| QCO2,PJ,Feed,i,b,y | = | ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ใช้ในการส่งเข้าไปใน carbonation plant สำหรับผลิตคอนกรีตประเภท i ในกระบวนการผลิตคอนกรีตรอบที่ b ในการดำเนินโครงการในปี y (tCO2/year) |
| 0.6 | = | ค่าปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นแร่ธาตุในคอนกรีตตามหลักการคำนวณแบบอนุรักษ์ (อ้างอิงมาจากหลักการการคิดแบบอนุรักษ์ ที่จะสามารถเกิดการ Mineralization ในกระบวนการผลิตคอนกรีต ซึ่งอ้างอิงวารสารวิชาการของ [6] Monkman, S. (2018)) |
| n | = | ประเภทคอนกรีต |
| b | = | รอบการผลิตคอนกรีต |

**5.2 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ปูนซีเมนต์จากกรณีฐาน (BECement)**

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ปูนซีเมนต์ในผลิตภัณฑ์คอนกรีตเดิม พิจารณาปริมาณการใช้ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก สามารถคำนวณได้ ดังนี้

**BECement,y = Σi QCement,BL,i,y × EFHC** สมการที่ (7)

โดยที่

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| BECement,y | = | ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการผลิตคอนกรีตผ่านปริมาณการใช้ปูนซีเมนต์จากกรณีฐานในปี y (tCO2/year) |
| QCement,BL,i,y | = | ปริมาณปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกที่ถูกใช้ในการผลิตคอนกรีตประเภท i จากกรณีฐานในปี y (t cement/year) |
| EFHC | = | ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก (tCO2/t cement) |
| i | = | ประเภทคอนกรีต |

**5.2.1 ปริมาณปูนซีเมนต์ที่ถูกใช้ในการผลิตคอนกรีตจากกรณีฐาน (QCement,BL,i,y)**

ปริมาณปูนซีเมนต์ที่ถูกใช้ในการผลิตคอนกรีตจากกรณีฐาน พิจารณาผ่านปริมาณปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกในตัวอย่างคอนกรีตประเภท i จากกรณีฐานเทียบกับตัวอย่างคอนกรีตจากการดำเนินโครงการ

ปริมาณปูนซีเมนต์ที่ถูกใช้ในการผลิตคอนกรีตในกรณีฐาน สามารถคำนวณได้ ดังนี้

**QCement,BL,i,y = Σi [QCement,PJ,i,y x ()** สมการที่ (8)

โดยที่

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| QCement,BL,i,y | = | ปริมาณปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกที่ถูกใช้ในการผลิตตัวอย่างคอนกรีตประเภท i  จากกรณีฐานในปี y (t cement/year) |
| QCement,BL,Test,i | = | ปริมาณปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกที่ถูกใช้ในการผลิตตัวอย่างคอนกรีตประเภท i  จากกรณีฐาน (gram of cement) |
| QCement,PJ,Test,i | = | ปริมาณปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกที่ถูกใช้ในการผลิตตัวอย่างคอนกรีตประเภท i  จากการดำเนินโครงการ (gram of cement) |
| i | = | ประเภทคอนกรีต |

1. **การคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินโครงการ (Project Emission)**

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินโครงการพิจารณาจาก 7 ส่วนหลักของกิจกรรมโครงการ ได้แก่ ปริมาณการใช้ปูนซีเมนต์ในการดำเนินโครงการ กระบวนการดักจับ (Capture) แยก CO2 (Separation) และการรวบรวมก๊าซ CO2 (Collection) กระบวนการขนส่ง CO2 (Transportation) กระบวนการเตรียม CO2 ในสถานะของเหลว (Liquefaction) กระบวนการเตรียม CO2 ในสถานะไอ (Evaporation) กระบวนการทำให้เป็นแร่ (Mineral Carbonation) และการได้มาซึ่งสารละลายที่ใช้ในการเร่งปฏิกิริยาการเกิด Mineral Carbonation ซึ่งสามารถพิจารณาแค่ในส่วนที่มีการดำเนินการจริงของโครงการ

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินโครงการ สามารถคำนวณได้ ดังนี้

**PEy = PECement,y + PECapt,y + PELiq,y + PETrans,y + PEEvap,y+ PEMineralC,y + PESolvent,y** สมการที่ (9)

โดยที่

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| PEy | = | ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินโครงการในปี y (tCO2eq/year) |
| PECement,y | = | ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ปูนซีเมนต์จากการดำเนินโครงการในปี y (tCO2eq/year) |
| PECapt,y | = | ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการดักจับและแยก CO2 และการรวบรวม CO2 จากการดำเนินโครงการในปี y (tCO2eq/year) |
| PELiq,y | = | ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการทำให้ CO2 อยู่ในสภาวะของเหลวจากการดำเนินโครงการในปี y (tCO2eq/year) |
| PETrans,y | = | ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินโครงการในกระบวนการขนส่ง CO2 จากการดำเนินโครงการในปี y (tCO2eq/year) |
| PEEvap,y | = | ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการทำให้ CO2 อยู่ในสภาวะไอจากการดำเนินโครงการในปี y (tCO2eq/year) |
| PEMineralC,y | = | ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับการปรับให้ Chamber (Carbonation plant) มีอุณหภูมิ และความดัน เหมาะสมต่อการเกิดปฏิกิริยา Mineral carbonation จากการดำเนินโครงการในปี y (tCO2eq/year) |
| PESolvent,y | = | ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้สารละลายผสมคอนกรีตจากการดำเนินโครงการในปี y (tCO2eq/year) |

**6.1 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ปูนซีเมนต์จากการดำเนินโครงการ (PECement,y)**

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ปูนซีเมนต์ในผลิตภัณฑ์คอนกรีตจากการดำเนินโครงการ สามารถคำนวณได้ ดังนี้

**PECement,y = Σi (QCement,PJ,j,y × EFCement,j)** สมการที่ (10)

โดยที่

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| PECement,y | = | ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ปูนซีเมนต์จากการดำเนินโครงการในปี y (tCO2eq/year) |
| QCement,PJ,j,y | = | ปริมาณการใช้ปูนซีเมนต์ประเภท j สำหรับผลิตคอนกรีตจากการดำเนินโครงการในปี y (t cement/year) |
| EFCement,j | = | ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของปูนซีเมนต์ประเภท j จากการดำเนินโครงการ (tCO2/t cement) |
| i | = | ประเภทปูนซีเมนต์ |

**6.2 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินโครงการในกระบวนการดักจับและแยก CO2 ออกจากก๊าซอื่น และรวบรวม CO2 จากการดำเนินโครงการ (PECapt,y)**

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินโครงการในกระบวนการดักจับและแยก CO2 และรวบรวม CO2 สามารถคำนวณได้ ดังนี้

**PECapt,y = PECapt,FF,y + PECapt,Elec,y + PECapt,IPS,y** สมการที่ (11)

โดยที่

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| PECapt,y | = | ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการดักจับและแยก CO2 ออกจากก๊าซอื่น และรวบรวม CO2 จากการดำเนินโครงการในปี y (tCO2e/year) |
| PECapt,FF,y | = | ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลในกระบวนการดักจับ แยก CO2 ออกจากก๊าซอื่น และรวบรวม CO2 จากการดำเนินโครงการในปี y (tCO2e/year) |
| PECapt,Elec,y | = | ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้าจากโครงข่ายไฟฟ้าในกระบวนการดักจับและแยก CO2 ออกจากก๊าซอื่น และรวบรวม CO2 จากการดำเนินโครงการในปี y (tCO2e/year) |
| PECapt,IPS,y | = | ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกการใช้ไฟฟ้าและ/หรือไอน้ำจากโรงไฟฟ้าประเภท IPS มาใช้ในกระบวนการดักจับและแยก CO2 ออกจากก๊าซอื่น และรวบรวม CO2 จากการดำเนินโครงการในปี y (tCO2e/year) |

**6.2.1 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลในกระบวนการดักจับและแยก CO2 ออกจากก๊าซอื่น และรวบรวม CO2 จากการดำเนินโครงการสำหรับ (PECapt,FF,y)**

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

**6.2.2 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกการใช้ไฟฟ้าจากโครงข่ายไฟฟ้าในกระบวนการดักจับและแยก CO2 ออกจากก๊าซอื่น และรวบรวม CO2 จากการดำเนินโครงการ (PECapt,Elec,y)**

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้าที่ซื้อมาจากโครงข่ายไฟฟ้าในกระบวนการดักจับและแยก CO2 ออกจากก๊าซอื่น และรวบรวม CO2 ดังกล่าวสามารถคำนวณจากปริมาณการใช้ไฟฟ้า ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิต/ใช้ไฟฟ้า และสัดส่วนกำลังไฟฟ้าสูญเสียในโครงข่ายไฟฟ้า ดังสมการ

**PECapt,Elec,y = ECCapt,PJ,y × EFElec,y × (1 + TDLy) × 10-3** สมการที่ (12)

โดยที่

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| PECapt,Elec,y | = | ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้าจากโครงข่ายไฟฟ้าในกระบวนการดักจับ แยก CO2 ออกจากก๊าซอื่น และรวบรวม CO2 จากการดำเนินโครงการในปี y (tCO2e/year) |
| ECCapt,PJ,y | = | ปริมาณการใช้ไฟฟ้าในกระบวนการดักจับ แยก CO2 ออกจากก๊าซอื่น และรวบรวม CO2 ในปี y(kWh/year) |
| EFElec,y | = | ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับการผลิต/ใช้ไฟฟ้าในปี y (tCO2/MWh) |
| TDLy | = | สัดส่วนค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในโครงข่ายไฟฟ้าสำหรับการจ่ายไฟฟ้าไปยังจุดใช้ไฟฟ้าในปี y (%) |

**6.2.3 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกการใช้ไฟฟ้าและ/หรือไอน้ำจากโรงไฟฟ้าประเภท IPS มาใช้ในกระบวนการดักจับ แยก CO2 ออกจากก๊าซอื่น และรวบรวม CO2 จากการดำเนินโครงการ (PECapt,IPS,y)**

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

**FCCapt,IPS,y = (1/**η**IPS,y) × TFCIPS,y** สมการที่ (13)

โดยที่

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| FCCapt,IPS,y | = | ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลสำหรับการผลิตไฟฟ้าและ/หรือความร้อนในส่วนที่ซื้อมาใช้ในกระบวนการดักจับ แยก CO2 ออกจากก๊าซอื่น และรวบรวม CO2 จากการดำเนินโครงการในปี y(unit/year) |
| TFCIPS,y | = | ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลทั้งหมดของโรงไฟฟ้าที่ซื้อไฟฟ้าและ/หรือไอน้ำมาใช้ จากการดำเนินโครงการในปี y (unit/year) |
| HCCapt,PJ,y | = | ปริมาณความร้อนที่ใช้ในกระบวนการดักจับ แยก CO2 ออกจากก๊าซอื่น และรวบรวม CO2 จากการดำเนินโครงการในปี y (MJ/year) |
| HGIPS,y | = | ปริมาณความร้อนทั้งหมดที่ผลิตได้ของโรงไฟฟ้าที่ซื้อไฟฟ้าและ/หรือไอน้ำมาใช้จากการดำเนินโครงการในปี y (MJ/year) |
| EGIPS,y | = | ปริมาณไฟฟ้าทั้งหมดที่ผลิตได้ของโรงไฟฟ้าที่ซื้อไฟฟ้าและ/หรือไอน้ำมาใช้ จากการดำเนินโครงการในปี y (kWh/year) |
| ηIPS,y | = | ค่าประสิทธิภาพเฉลี่ยรายปีของโรงไฟฟ้าในปี y (ค่าอยู่ระหว่าง 0 – 1) |

**6.3 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินโครงการในกระบวนการเตรียม CO2 ในสถานะของเหลว (PELiq,y)**

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินโครงการในกระบวนการเตรียม CO2 ในสถานะของเหลว สามารถคำนวณได้ ดังนี้

**PELiq,y = PELiq,Elec,y + PELiq,IPS,y** สมการที่ (14)

โดยที่

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| PELiq,y | = | ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินโครงการในกระบวนการเตรียม CO2 ในสถานะของเหลว (tCO2e/year) |
| PELiq,Elec,y | = | ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้าจากโครงข่ายไฟฟ้าในกระบวนการเตรียม CO2 ในสถานะของเหลวจากการดำเนินโครงการในปี y (tCO2e/year) |
| PELiq,IPS,y | = | ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้าและ/หรือไอน้ำจากโรงไฟฟ้าประเภท IPS มาใช้ในกระบวนการเตรียม CO2 ในสถานะของเหลวจากการดำเนินโครงการในปี y (tCO2e/year) |

**6.3.1 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้าจากโครงข่ายไฟฟ้าในกระบวนการเตรียม CO2 ในสถานะของเหลวจากการดำเนินโครงการ (PELiq,Elec,y)**

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้าที่ซื้อมาจากโครงข่ายไฟฟ้าในกระบวนการเตรียม CO2 ในสถานะของเหลว ดังกล่าวสามารถคำนวณจากปริมาณการใช้ไฟฟ้า ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิต/ใช้ไฟฟ้า และสัดส่วนกำลังไฟฟ้าสูญเสียในโครงข่ายไฟฟ้า ดังสมการ

**PELiq,Elec,y = ECLiq,PJ,y × EFElec,y × (1 + TDLy) × 10-3** สมการที่ (15)

โดยที่

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| PELiq,Elec,y | = | ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้าจากโครงข่ายไฟฟ้าในกระบวนการเตรียม CO2 ในสถานะของเหลวจากการดำเนินโครงการในปี y (tCO2e/year) |
| ECLiq,PJ,y | = | ปริมาณการใช้ไฟฟ้าในกระบวนการเตรียม CO2 ในสถานะของเหลวจากการดำเนินโครงการในปี y(kWh/year) |
| EFElec,y | = | ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับการผลิต/ใช้ไฟฟ้าในปี y (tCO2/MWh) |
| TDLy | = | สัดส่วนค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในโครงข่ายไฟฟ้าสำหรับการจ่ายไฟฟ้าไปยังจุดใช้ไฟฟ้าในปี y (%) |

**6.3.2 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าประเภท IPS มาใช้ในกระบวนการเตรียม CO2 ในสถานะของเหลวจากการดำเนินโครงการ (PELiq,IPS,**y**)**

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้าที่ซื้อมาจากโรงไฟฟ้าประเภท IPS เพื่อใช้ในกระบวนการเตรียม CO2 ในสถานะของเหลว พิจารณาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลโดยใช้หลักการปันส่วนและนำผลลัพธ์ที่ได้ไปคำนวณหาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยใช้เครื่องมือการคำนวณของ T-VER-P-TOOL-02-01 "การคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลจากการดำเนินโครงการหรือนอกขอบเขตโครงการ" ฉบับล่าสุด

**FCLiq,IPS,y = (1/**η**IPS,y) × TFCIPS,y** สมการที่ (16)

โดยที่

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| FCLiq,IPS,y | = | ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลสำหรับการผลิตไฟฟ้าในส่วนที่ซื้อมาใช้ในกระบวนการเตรียม CO2 ในสถานะของเหลวจากการดำเนินโครงการในปี y(unit/year) |
| TFCIPS,y | = | ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลทั้งหมดของโรงไฟฟ้าที่ซื้อไฟฟ้ามาใช้จากการดำเนินโครงการในปี y (unit/year) |
| HGIPS,y | = | ปริมาณความร้อนทั้งหมดที่ผลิตได้ของโรงไฟฟ้าที่ซื้อไฟฟ้ามาใช้จากการดำเนินโครงการในปี y (MJ/year) |
| EGIPS,y | = | ปริมาณไฟฟ้าทั้งหมดที่ผลิตได้ของโรงไฟฟ้าที่ซื้อไฟฟ้ามาใช้จากการดำเนินโครงการในปี y (kWh/year) |
| ηIPS,y | = | ค่าประสิทธิภาพเฉลี่ยรายปีของโรงไฟฟ้าในปี y (ค่าอยู่ระหว่าง 0 – 1) |

**6.4 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการขนส่ง CO2 จากการดำเนินโครงการ (PETrans,y)**

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

**PETrans,y = PETrans,FF,y + PETrans,Elec,y + PETrans,IPS,y** สมการที่ (17)

โดยที่

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| PETrans,y | = | ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการขนส่ง CO2 จากการดำเนินโครงการในปี y (tCO2eq/year) ซึ่งถ้าบริเวณของกิจกรรมของกระบวนการดักจับ แยก CO2 ออกจากก๊าซอื่น และรวบรวม CO2 และ carbonation plant อยู่ในบริเวณเดียวกัน ค่า PETrans,y = 0 |
| PETrans,FF,y | = | ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลในเครื่องจักร/อุปกรณ์/ยานพาหนะสำหรับการขนส่ง CO2 จากการดำเนินโครงการในปี y (tCO2eq/year) |
| PETrans,Elec,y | = | ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้าจากโครงข่ายไฟฟ้าในการขนส่ง CO2 ผ่านท่อจากการดำเนินโครงการในปี y (tCO2eq/year) |

**6.4.1 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลในเครื่องจักร/อุปกรณ์/ยานพาหนะสำหรับการขนส่ง CO2 จากการดำเนินโครงการ (PETrans,FF,y)**

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

**6.4.2 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้าจากโครงข่ายไฟฟ้าในการขนส่ง CO2 ผ่านท่อจากการดำเนินโครงการ (PETrans,Elec,**y**)**

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้าที่ซื้อมาจากโครงข่ายไฟฟ้าในกระบวนการขนส่ง CO2 ผ่านท่อ ซึ่งสามารถคำนวณจากสมการ

**PETrans,Elec,y = ECTrans,PJ,y × EFElec,y × (1 + TDLy) × 10-3** สมการที่ (18)

โดยที่

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| PETrans,Elec,y | = | ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้าจากโครงข่ายไฟฟ้าในการขนส่ง CO2 ผ่านท่อจากการดำเนินโครงการในปี y (tCO2eq/year) |
| ECTrans,PJ,y | = | ปริมาณการใช้ไฟฟ้าในกระบวนการขนส่ง CO2 จาการดำเนินโครงการในปี y (kWh/year) |
| EFElec,y | = | ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับการผลิต/ใช้ไฟฟ้าในปี y (tCO2/MWh) |
| TDLy | = | สัดส่วนค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในโครงข่ายไฟฟ้าสำหรับการจ่ายไฟฟ้าไปยังจุดใช้ไฟฟ้าในปี y (%) |

**6.4.3. ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าประเภท IPS มาใช้ในกระบวนการขนส่ง CO2 ผ่านท่อจากการดำเนินโครงการ (PETrans,IPS,y)**

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้าที่ซื้อมาจากโรงไฟฟ้าประเภท IPS เพื่อใช้ในกระบวนการขนส่ง CO2 ผ่านท่อพิจารณาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลโดยใช้หลักการปันส่วน และนำผลลัพธ์ที่ได้ไปคำนวณหาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยใช้เครื่องมือการคำนวณของ T-VER-P-TOOL-02-01 "การคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลจากการดำเนินโครงการหรือนอกขอบเขตโครงการ" ฉบับล่าสุด

**FCTrans,IPS,y = (1/**η**IPS,y) × TFCIPS,y** สมการที่ (19)

โดยที่

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| FCTrans,IPS,y | = | ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลสำหรับการผลิตไฟฟ้าในส่วนที่ซื้อมาใช้ในกระบวนการขนส่ง CO2 จากการดำเนินโครงการในปี y(unit/year) |
| TFCIPS,y | = | ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลทั้งหมดของโรงไฟฟ้าที่ซื้อไฟฟ้ามาใช้ จากการดำเนินโครงการในปี y (unit/year) |
| HGIPS,y | = | ปริมาณความร้อนทั้งหมดที่ผลิตได้ของโรงไฟฟ้าที่ซื้อไฟฟ้ามาใช้จากการดำเนินโครงการ ในปี y (MJ/year) |
| EGIPS,y | = | ปริมาณไฟฟ้าทั้งหมดที่ผลิตได้ของโรงไฟฟ้าที่ซื้อไฟฟ้ามาใช้จากการดำเนินโครงการ ในปี y (kWh/year) |
| ηIPS,y | = | ค่าประสิทธิภาพเฉลี่ยรายปีของโรงไฟฟ้าในปี y (ค่าอยู่ระหว่าง 0 – 1) |

**6.5 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการเตรียม CO2 ในสถานะไอจากการดำเนินโครงการ (PEEvap,y)**

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการเตรียม CO2 ในสถานะไอจากการดำเนินโครงการสามารถคำนวณได้ ดังนี้

**PEEvap,y = PEEvap,Elec,y + PEEvap,IPS,y** สมการที่ (20)

โดยที่

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| PEEvap,Elec,y | = | ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้าจากโครงข่ายไฟฟ้าในกระบวนการเตรียม CO2 ในสถานะไอจากการดำเนินโครงการในปี y (tCO2e/year) |
| PEEvap,IPS,y | = | ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้าและ/หรือไอน้ำจากโรงไฟฟ้าประเภท IPS มาใช้ในกระบวนการเตรียม CO2 ในสถานะไอ  จากการดำเนินโครงการในปี y (tCO2e/year) |

**6.5.1 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้าจากโครงข่ายไฟฟ้าในกระบวนการเตรียม CO2 ในสถานะไอจากการดำเนินโครงการ (PEEvap,Elec,y)**

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้าที่ซื้อมาจากโครงข่ายไฟฟ้าในกระบวนการเตรียม CO2 ในสถานะไอ ดังกล่าวสามารถคำนวณจากปริมาณการใช้ไฟฟ้า ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิต/ใช้ไฟฟ้า และสัดส่วนกำลังไฟฟ้าสูญเสียในโครงข่ายไฟฟ้า ดังสมการ

**PEEvap,Elec,y = ECEvap,PJ,y × EFElec,y × (1 + TDLy) × 10-3** สมการที่ (21)

โดยที่

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| ECEvap,PJ,y | = | ปริมาณการใช้ไฟฟ้าในกระบวนการเตรียม CO2 ในสถานะไอจากการดำเนินโครงการ ในปี y(kWh/year) |
| EFElec,y | = | ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับการผลิต/ใช้ไฟฟ้าในปี y (tCO2/MWh) |
| TDLy | = | สัดส่วนค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในโครงข่ายไฟฟ้าสำหรับการจ่ายไฟฟ้าไปยังจุดใช้ไฟฟ้าในปี y (%) |

**6.5.2 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้าและ/หรือไอน้ำจากโรงไฟฟ้าประเภท IPS มาใช้ในกระบวนการเตรียม CO2 ในสถานะไอจากการดำเนินโครงการ (PEEvap,IPS,y)**

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้าและ/หรือไอน้ำที่ซื้อมาจากโรงไฟฟ้าประเภท IPS เพื่อใช้ในกระบวนการเตรียม CO2 ในสถานะไอ พิจารณาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลโดยใช้หลักการปันส่วนและนำผลลัพธ์ที่ได้ไปคำนวณหาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยใช้เครื่องมือการคำนวณของ T-VER-P-TOOL-02-01 "การคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลจากการดำเนินโครงการหรือนอกขอบเขตโครงการ" ฉบับล่าสุด

**FCEV,IPS,y = (1/**η**IPS,y) × TFCIPS,y** สมการที่ (22)

โดยที่

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| FCEvap,IPS,y | = | ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลสำหรับการผลิตไฟฟ้าและ/หรือความร้อนในส่วนที่ซื้อมาใช้ในกระบวนการเตรียม CO2 ในสถานะไอจาการดำเนินโครงการ ในปี y(unit/year) |
| TFCIPS,y | = | ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลทั้งหมดของโรงไฟฟ้าที่ซื้อไฟฟ้าและ/หรือไอน้ำมาใช้จากการดำเนินโครงการ ในปี y (unit/year) |
| HCEvap,PJ,y | = | ปริมาณความร้อนที่ใช้ในกระบวนการเตรียม CO2 ในสถานะไอจากการดำเนินโครงการในปี y (MJ/year) |
| HGIPS,y | = | ปริมาณความร้อนทั้งหมดที่ผลิตได้ของโรงไฟฟ้าที่ซื้อไฟฟ้าและ/หรือไอน้ำมาใช้จากการดำเนินโครงการในปี y (MJ/year) |
| EGIPS,y | = | ปริมาณไฟฟ้าทั้งหมดที่ผลิตได้ของโรงไฟฟ้าที่ซื้อไฟฟ้าและ/หรือไอน้ำมาใช้ จากการดำเนินโครงการในปี y (kWh/year) |
| ηIPS,y | = | ค่าประสิทธิภาพเฉลี่ยรายปีของโรงไฟฟ้าในปี y (ค่าอยู่ระหว่าง 0 – 1) |

**6.6 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการผลิตสารประกอบคาร์บอเนต (Mineral carbonation) จากการดำเนินโครงการ (PEMineralC,y**)

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินโครงการในกระบวนการผลิตสารประกอบคาร์บอเนต (Mineral carbonation) สามารถคำนวณได้ดังนี้

**PEMineralC,y = PEMineralC,Elec,y + PEMineralC,IPS,y** สมการที่ (23)

โดยที่

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| PEMineralC,y | = | ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการผลิตสารประกอบคาร์บอเนต (Mineral carbonation)จากการดำเนินโครงการในปี y (tCO2eq/year) |
| PEMineralC,Elec,y | = | ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้าจากโครงข่ายไฟฟ้าในกระบวนการผลิตสารประกอบคาร์บอเนต (Mineral carbonation) จากการดำเนินโครงการในปี y (tCO2e/year) |
| PEMineralC,IPS,y | = | ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้าและ/หรือไอน้ำจากโรงไฟฟ้าประเภท IPS มาใช้ในกระบวนการผลิตสารประกอบคาร์บอเนต (Mineral carbonation)จากการดำเนินโครงการในปี y (tCO2e/year) |

**6.6.1 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินโครงการสำหรับการใช้ไฟฟ้าจากโครงข่ายไฟฟ้าใน****กระบวนการผลิตสารประกอบคาร์บอเนต (Mineral carbonation) (PEMineralC,Elec,y)**

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้าที่ซื้อมาจากโครงข่ายไฟฟ้าในกระบวนการผลิตสารประกอบคาร์บอเนต (Mineral carbonation) ดังกล่าวสามารถคำนวณจากปริมาณการใช้ไฟฟ้า ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิต/ใช้ไฟฟ้า และสัดส่วนกำลังไฟฟ้าสูญเสียในโครงข่ายไฟฟ้า ดังสมการ

**PEMineralC,Elec,y = ECMineralC,PJ,y × EFElec,y × (1 + TDLy) × 10-3** สมการที่ (24)

โดยที่

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| PEMineralC,Elec,y | = | ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้าจากโครงข่ายไฟฟ้าในกระบวนการผลิตสารประกอบคาร์บอเนต (Mineral carbonation) จากการดำเนินโครงการ ในปี y (tCO2e/year) |
| ECMineralC,PJ,y | = | ปริมาณการใช้ไฟฟ้าในกระบวนการผลิตสารประกอบคาร์บอเนต (Mineral carbonation) จากการดำเนินโครงการในปี y(kWh/year) |
| EFElec,y | = | ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับการผลิต/ใช้ไฟฟ้าในปี y (tCO2/MWh) |
| TDLy | = | สัดส่วนค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในโครงข่ายไฟฟ้าสำหรับการจ่ายไฟฟ้าไปยังจุดใช้ไฟฟ้าในปี y (%) |

**6.6.2 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าประเภท IPS มาใช้ในกระบวนการผลิตสารประกอบคาร์บอเนต (Mineral carbonation) จากการดำเนินโครงการ (PEMineralC,IPS,y)**

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

**FCMineralC,IPS,y = (1/**η**IPS,y) × TFCIPS,y** สมการที่ (25)

โดยที่

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| FCMineralC,IPS,y | = | ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลสำหรับการผลิตไฟฟ้าในส่วนที่ซื้อมาใช้ในกระบวนการผลิตสารประกอบคาร์บอเนต (Mineral carbonation) จากการดำเนินโครงการในปี y(unit/year) |
| TFCIPS,y | = | ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลทั้งหมดของโรงไฟฟ้าที่ซื้อไฟฟ้ามาใช้จากการดำเนินโครงการในปี y (unit/year) |
| HGIPS,y | = | ปริมาณความร้อนทั้งหมดที่ผลิตได้ของโรงไฟฟ้าที่ซื้อไฟฟ้ามาใช้จากการดำเนินโครงการในปี y (MJ/year) |
| EGIPS,y | = | ปริมาณไฟฟ้าทั้งหมดที่ผลิตได้ของโรงไฟฟ้าที่ซื้อไฟฟ้ามาใช้จากการดำเนินโครงการในปี y (kWh/year) |
| ηIPS,y | = | ค่าประสิทธิภาพเฉลี่ยรายปีของโรงไฟฟ้าในปี y (%) |

**6.7 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้สารละลายผสมคอนกรีตจากการดำเนินโครงการ (PESolvent,y)**

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้สารละลายจากการดำเนินโครงการ สามารถคำนวณได้ ดังนี้

**PESolvent,y =** **Σs(QC,Solvent,PJ,s,y x) + Σs((FCSolvent,s,y x EFSolvent,s,y)** สมการที่ (26)

โดยที่

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| PESovent,y | = | ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้สารละลายผสมคอนกรีตจากการดำเนินโครงการในปี y (tCO2e/year) |
| QC,Solvent,PJ,s,y | = | ปริมาณคาร์บอน (C) ในสารละลายประเภท s สำหรับผสมคอนกรีตจากการดำเนินโครงการ ในปี y (ton of C) |
| FCSolvent,s,y | = | ปริมาณการใช้สารสะลายประเภท s ในปี y (ton of Solvent/year) |
| EFSolvent,s,y | = | ค่า Emission factor ของสารละลายประเภท s (tCO2eq/ton of Solvent) |
| s | = | ประเภทสารสะลาย |

**6.7.1 ปริมาณคาร์บอนในสารละลายสำหรับผสมคอนกรีตจากการดำเนินโครงการ (QC,Solvent,PJ,s,y)**

การหาปริมาณของคาร์บอนในสารละลายประเภท s ที่ในกระบวนการทำคอนกรีตในการดำเนินโครงการ สามารถคำนวณได้ ดังนี้

**QC,Solvent,PJ,s,y = QSolvent,PJ,s,y x() x ρSolvent,S** สมการที่ (27)

โดยที่

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| QC,Solvent,PJ,s,y | = | ปริมาณคาร์บอน (C) ในสารละลายประเภท s สำหรับผสมคอนกรีตจากการดำเนินโครงการ ในปี y (ton of C) |
| QSolvent,PJ,s,y | = | ปริมาตรของสารละลายประเภท s สำหรับผสมคอนกรีตจากการดำเนินโครงการในปี y (m3) |
| Molar mass of C in solvents | = | มวลของคาร์บอนใน 1 โมล (mol) ของสารละลายประเภท s (gram) |
| Total molar mass of solvents | = | มวลของสารละลายประเภท s จำนวน 1 โมล (gram) |
| ρSolvent,S | = | ความหนาแน่นของสารละลายประเภท s (kg/Liter, kg/dm3) |

**6.7.2 ค่า Emission factor ของสารละลาย (EFSOLVENT,s,y)**

การหาค่า Emission factor สำหรับสารละลายชนิด s สามารถอ้างอิงได้จากแหล่งข้อมูล ดังต่อไปนี้

**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

1. **การคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกนอกขอบเขตโครงการ (Leakage Emission)**

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกนอกขอบเขตโครงการพิจารณาจากการขนส่งวัสดุส่วนผสมในการทำคอนกรีต ในส่วนที่จะถูกใช้ในการนำมาผลิตคอนกรีตที่เพิ่มขึ้นจากปริมาณการผลิตคอนกรีตในกรณีฐาน สามารถคำนวณได้ ดังนี้

**LEy = LETrans,OB,FF,y + LETrans,OB,Elec,y + LETrans,OB,IPS,y**  สมการที่ (28)

โดยที่

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| LEy | = | การปล่อยก๊าซเรือนกระจกนอกขอบเขตโครงการในปี y (tCO2eq/year) |
| LETrans,OB,FF,y | = | ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลสำหรับการขนส่งวัสดุส่วนผสมในการทำคอนกรีต ในส่วนที่จะถูกใช้ในการนำมาผลิตคอนกรีตที่เพิ่มขึ้นจากปริมาณการผลิตคอนกรีตในกรณีฐาน ในปี y (tCO2e/year) |
| LETrans,OB,Elec,y | = | ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้าจากโครงข่ายไฟฟ้าสำหรับการขนส่งวัสดุส่วนผสมในการทำคอนกรีต ในส่วนที่จะถูกใช้ในการนำมาผลิตคอนกรีตที่เพิ่มขึ้นจากปริมาณการผลิตคอนกรีตในกรณีฐาน ในปี y (tCO2e/year) |
| LETrans,OB,IPS,y | = | ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าประเภท IPS สำหรับการขนส่งวัสดุส่วนผสมในการทำคอนกรีต ในส่วนที่จะถูกใช้ในการนำมาผลิตคอนกรีตที่เพิ่มขึ้นจากปริมาณการผลิตคอนกรีตในกรณีฐาน ในปี y (tCO2e/year) |

**7.1 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลสำหรับการขนส่งวัสดุส่วนผสมในการทำคอนกรีต ในส่วนที่จะถูกใช้ในการนำมาผลิตคอนกรีตที่เพิ่มขึ้นจากปริมาณการผลิตคอนกรีตในกรณีฐาน** **(LETrans,OB,FF,y)**

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลจากการขนส่งวัสดุส่วนผสมในการทำคอนกรีต ในส่วนที่จะถูกใช้ในการนำมาผลิตคอนกรีตที่เพิ่มขึ้นจากปริมาณการผลิตคอนกรีตในกรณีฐาน ในปี y (tCO2e/year) ให้ใช้เครื่องมือการคำนวณของ T-VER-P-TOOL-02-01 "การคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลจากการดำเนินโครงการหรือนอกขอบเขตโครงการ" ฉบับล่าสุด

* 1. **ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้าจากการขนส่งวัสดุส่วนผสมในการทำคอนกรีต ในส่วนที่จะถูกใช้ในการนำมาผลิตคอนกรีตที่เพิ่มขึ้นจากปริมาณการผลิตคอนกรีตในกรณีฐาน (LETrans,OB,Elec,y)**

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้าที่ซื้อมาจากโครงข่ายไฟฟ้าจากการขนส่งวัสดุส่วนผสมในการทำคอนกรีต ในส่วนที่จะถูกใช้ในการนำมาผลิตคอนกรีตที่เพิ่มขึ้นจากปริมาณการผลิตคอนกรีตในกรณีฐาน สามารถคำนวณจากปริมาณการใช้ไฟฟ้า ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิต/ใช้ไฟฟ้า และสัดส่วนกำลังไฟฟ้าสูญเสียในโครงข่ายไฟฟ้า ดังสมการ

**LETrans,OB,Elec,y = ECTrans,OB,PJ,y × EFElec,y × (1 + TDLy) × 10-3** สมการที่ (29)

โดยที่

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| ECTrans,OB,PJ,y | = | ปริมาณการใช้ไฟฟ้าจากการขนส่งวัสดุส่วนผสมในการทำคอนกรีต ในส่วนที่จะถูกใช้ในการนำมาผลิตคอนกรีตที่เพิ่มขึ้นจากปริมาณการผลิตคอนกรีตในกรณีฐาน ในปี y (tCO2e/year) |
| EFElec,y | = | ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับการผลิต/ใช้ไฟฟ้าในปี y (tCO2/MWh) |
| TDLy | = | สัดส่วนค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในโครงข่ายไฟฟ้าสำหรับการจ่ายไฟฟ้าไปยังจุดใช้ไฟฟ้าในปี y |

**7.3 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินโครงการสำหรับการใช้ไฟฟ้าและ/หรือไอน้ำจากโรงไฟฟ้าประเภท IPS มาใช้ในกระบวนการขนส่งวัสดุส่วนผสมในการทำคอนกรีตจากนอกขอบเขตโครงการ (LETrans,OB,IPS,y)**

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

**FCTrans,OB,IPS,y = (1/**η**IPS,y) × TFCIPS,y** สมการที่ (30)

โดยที่

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| FCTrans,OB,IPS,y | = | ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลสำหรับการผลิตไฟฟ้าในส่วนที่ซื้อมาใช้ในการขนส่งวัสดุส่วนผสมในการทำคอนกรีต ในส่วนที่จะถูกใช้ในการนำมาผลิตคอนกรีตที่เพิ่มขึ้นจากปริมาณการผลิตคอนกรีตในกรณีฐาน ในปี y (tCO2e/year) |
| TFCIPS,y | = | ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลทั้งหมดของโรงไฟฟ้าที่ซื้อไฟฟ้ามาใช้ ในปี y (unit/year) |
| HGIPS,y | = | ปริมาณความร้อนทั้งหมดที่ผลิตได้ของโรงไฟฟ้าที่ซื้อไฟฟ้ามาใช้ ในปี y (MJ/year) |
| EGIPS,y | = | ปริมาณไฟฟ้าทั้งหมดที่ผลิตได้ของโรงไฟฟ้าที่ซื้อไฟฟ้ามาใช้ ในปี y (kWh/year) |
| ηIPS,y | = | ค่าประสิทธิภาพเฉลี่ยรายปีของโรงไฟฟ้าในปี y (ค่าอยู่ระหว่าง 0 – 1) |

1. **การคำนวณการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Reduction)**

การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากโครงการ สามารถคำนวณได้ ดังนี้

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **ERy** | **=** | **BEy – PEy – LEy** สมการที่ (31) |

โดยที่

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| ERy | = | การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในปี y (tCO2e/year) |
| BEy | = | การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกรณีฐานในปีy (tCO2e/year) |
| PEy | = | การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินโครงการในปีy (tCO2e/year) |
| LEy | = | การปล่อยก๊าซเรือนกระจกนอกขอบเขตโครงการในปี y (tCO2e/year) |

1. **การติดตามผลการดำเนินโครงการ (Monitoring Plan)**

**9.1 ขั้นตอนการติดตามผล**

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

**9.2 พารามิเตอร์ที่ต้องติดตามผล**

|  |  |
| --- | --- |
| พารามิเตอร์ | QConcrete,PJ,i,y |
| หน่วย | t concrete/year |
| ความหมาย | ปริมาณคอนกรีตประเภท i ที่ผลิตได้จากการดำเนินโครงการในปี y |
| แหล่งข้อมูล | บักทึกปริมาณคอนกรีตที่ถูกใช้งานจากผู้ผลิตคอนกรีต |
| วิธีการติดตามผล | การชั่งน้ำหนักบรรทุกของคอนกรีต |
| ความถี่ในการติดตามผล | มีการตรวจสอบอย่างต่อเนื่อง และบันทึกข้อมูลอย่างน้อยเป็นรายเดือน |

|  |  |
| --- | --- |
| พารามิเตอร์ | QCement,PJ,j,y |
| หน่วย | t cement/year |
| ความหมาย | ปริมาณการใช้ปูนซีเมนต์ประเภท j สำหรับผลิตคอนกรีตจากการดำเนินโครงการ ในปี y |
| แหล่งข้อมูล | บักทึกปริมาณปูนซีเมนต์ที่ถูกใช้งานจากผู้ผลิตคอนกรีต |
| วิธีการติดตามผล | การชั่งน้ำหนัก |
| ความถี่ในการติดตามผล | มีการตรวจสอบอย่างต่อเนื่อง และบันทึกข้อมูลอย่างน้อยเป็นรายเดือน |

|  |  |
| --- | --- |
| พารามิเตอร์ | QC,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 | ρCO2,b |
| หน่วย | kg/m3 |
| ความหมาย | ความหนาแน่นของ CO2 ที่สภาวะของการดำเนินงานในกระบวนการผลิตคอนกรีต รอบที่ b |
| แหล่งข้อมูล | ตารางแสดงความหนาแน่นของ CO2 ที่สภาวะการดำเนินงานต่างๆ |
| วิธีการติดตามผล | ใช้ค่าตามตารางให้ตรงกับสภาวะของ CO2 ที่ใช้ในการส่งเข้าไปใน Carbonation plant |
| ความถี่ในการติดตามผล | ทุกครั้งในการผลิตคอนกรีตประเภท n ในกระบวนการผลิตคอนกรีตรอบที่ b |

|  |  |
| --- | --- |
| พารามิเตอร์ | %V/VCO2,Feed,i,b,y |
| หน่วย | - |
| ความหมาย | สัดส่วนโดยปริมาตรของ CO2 ต่อปริมาตรก๊าซ ณ จุด ที่ป้อนเข้าสู่ Carbonation plant ซึ่งตรวจวัดในกระบวนการผลิตคอนกรีตรอบที่ b ที่สภาวะของการดาเนินงาน ในปี y |
| แหล่งข้อมูล | บันทึกข้อมูลจากโครงการ |
| วิธีการติดตามผล | วิเคราะห์สัดส่วนโดยปริมาตรอย่างต่อเนื่อง ร่วมกับการตรวจวัดความดันและอุณหภูมิ ของก๊าซเพื่อนำไปคำนวณหาสัดส่วนที่สภาวะมาตรฐาน |
| ความถี่ในการติดตามผล | การตรวจสอบอย่างต่อเนื่อง และการบันทึกรายเดือนเป็นอย่างน้อยสำหรับการผลิตคอนกรีตประเภท n ในกระบวนการผลิตคอนกรีตรอบที่ b |

|  |  |
| --- | --- |
| พารามิเตอร์ | VFeed,b |
| หน่วย | m3 |
| ความหมาย | ปริมาตรของ CO2 ถูกป้อนเข้าสู่ Carbonation plant ในกระบวนการผลิตคอนกรีต รอบที่ b |
| แหล่งข้อมูล | บันทึกข้อมูลจากโครงการ |
| วิธีการติดตามผล | วัดปริมาตรก๊าซอย่างต่อเนื่องโดยใช้ Flow meter ร่วมกับการตรวจวัดความดันและอุณหภูมิของก๊าซเพื่อ นำไปคำนวณหาปริมาตรที่สภาวะมาตรฐาน |
| ความถี่ในการติดตามผล | การตรวจสอบอย่างต่อเนื่อง และการบันทึกรายเดือนเป็นอย่างน้อยสำหรับการผลิตคอนกรีตประเภท n ในกระบวนการผลิตคอนกรีตรอบที่ b |

|  |  |
| --- | --- |
| พารามิเตอร์ | VChamber,b |
| หน่วย | m3 |
| ความหมาย | ปริมาตรที่ว่างภายใน Chamber ในกระบวนการผลิตคอนกรีตรอบที่ b |
| แหล่งข้อมูล | บันทึกข้อมูลจากโครงการ |
| วิธีการติดตามผล | ตรวจวัดจากโครงการ |
| ความถี่ในการติดตามผล | การตรวจสอบอย่างต่อเนื่อง และการบันทึกรายเดือนเป็นอย่างน้อย |

|  |  |
| --- | --- |
| พารามิเตอร์ | PAfter,b และ Pbefore,b |
| หน่วย | bar |
| ความหมาย | PAfter,b คือความดันภายใน Chamber ก่อนการดาเนินงาน ในกระบวนการผลิตคอนกรีตรอบที่ b (ก่อนจะมีการ feed CO2 เข้าใน Chamber)  Pbefore,b คือความดันภายใน Chamber หลังการดำเนินงาน ในกระบวนการผลิตคอนกรีตรอบที่ b (หลังเสร็จปฏิกิริยา Mineral carbonation ใน Chamber) |
| แหล่งข้อมูล | บันทึกข้อมูลจากโครงการ |
| วิธีการติดตามผล | ตรวจวัดความดันอย่างต่อเนื่อง ร่วมกับวัดปริมาตรก๊าซและอุณหภูมิของก๊าซเพื่อ นำไปคำนวณหาปริมาตรที่สภาวะมาตรฐาน |
| ความถี่ในการติดตามผล | การตรวจสอบอย่างต่อเนื่อง และการบันทึกรายเดือนเป็นอย่างน้อย |

|  |  |
| --- | --- |
| พารามิเตอร์ | TAfter,b และTbefore,b |
| หน่วย | K |
| ความหมาย | TAfter,b คืออุณหภูมิภายใน Chamber หลังการดำเนินงาน ในกระบวนการผลิตคอนกรีตรอบที่ b (หลังเสร็จปฏิกิริยา Mineral carbonation ใน Chamber)  Tbefore,b คืออุณหภูมิภายใน Chamber ก่อนการดำเนินงาน ในกระบวนการผลิตคอนกรีตรอบที่ b (ก่อนจะมีการ feed CO2 เข้าใน Chamber) |
| แหล่งข้อมูล | บันทึกข้อมูลจากโครงการ |
| วิธีการติดตามผล | ตรวจวัดอุณหภูมิอย่างต่อเนื่อง ร่วมกับตรวจวัดปริมาตรก๊าซและความดันของก๊าซเพื่อ นำไปคำนวณหาปริมาตรที่สภาวะมาตรฐาน |
| ความถี่ในการติดตามผล | การตรวจสอบอย่างต่อเนื่อง และการบันทึกรายเดือนเป็นอย่างน้อย |

|  |  |
| --- | --- |
| พารามิเตอร์ | QCement,PJ,i,y |
| หน่วย | t cement |
| ความหมาย | ปริมาณปูนซีเมนต์ที่ถูกใช้ในการผลิตคอนกรีตประเภท i จากการดำเนินโครงการในปี y |
| แหล่งข้อมูล | บันทึกปริมาณการใช้ปูนซีเมนต์ในการผลิตคอนกรีตจากการดำเนินโครงการ |
| วิธีการติดตามผล | ตรวจสอบความสัมพันธ์ของค่าการบันทึกปริมาณปูนซีเมนต์ที่ถูกใช้กับปริมาณของการผลิตคอนกรีตที่ผลิต |
| ความถี่ในการติดตามผล | การตรวจสอบอย่างต่อเนื่อง และการบันทึกรายเดือนเป็นอย่างน้อย |

|  |  |
| --- | --- |
| พารามิเตอร์ | QCement,PJ,Test,i |
| หน่วย | gram of cement |
| ความหมาย | ปริมาณปูนซีเมนต์ที่ถูกใช้ในการผลิตตัวอย่างคอนกรีตประเภท i จากการดำเนินโครงการ |
| แหล่งข้อมูล | บันทึกปริมาณการใช้ปูนซีเมนต์ในการผลิตคอนกรีตจากการดำเนินโครงการ |
| วิธีการติดตามผล |  |
| ความถี่ในการติดตามผล | การตรวจสอบอย่างต่อเนื่อง และการบันทึกรายเดือนเป็นอย่างน้อย |

|  |  |
| --- | --- |
| พารามิเตอร์ | ECCapt,PJ,y , ECLQ,PJ,y , ECTrans,PJ,y , ECEvap,PJ,y , ECMineralC,PJ,y และ ECTrans,OB,PJ,y |
| หน่วย | kWh/year |
| ความหมาย | ECCapt,PJ,y คือปริมาณการใช้ไฟฟ้าในกระบวนการดักจับ แยก CO2 ออกจากก๊าซอื่น และรวบรวม CO2 ในปี y  ECLiq,PJ,y คือปริมาณการใช้ไฟฟ้าในกระบวนการเตรียม CO2 ในสถานะของเหลว ในปี y  ECTrans,PJ,y คือปริมาณการใช้ไฟฟ้าในกระบวนการขนส่ง CO2 ในปี y  ECEvap,PJ,y คือปริมาณการใช้ไฟฟ้าในกระบวนการเตรียม CO2 ในสถานะไอ ในปี y  ECMineralC,PJ,y คือปริมาณการใช้ไฟฟ้าในกระบวนการทำให้เป็นแร่ (Mineral carbonation) ในปี y  ECTrans,OB,PJ,y คือปริมาณการใช้ไฟฟ้าจากการขนส่งวัสดุส่วนผสมในการทำคอนกรีตนอกขอบเขตโครงการ ในปี y |
| แหล่งข้อมูล | บันทึกข้อมูลจากโครงการ |
| วิธีการติดตามผล | ตรวจวัดปริมาณไฟฟ้าสำหรับใช้ในกระบวนการที่เกี่ยวข้องโดยใช้เครื่องมือตรวจวัด เช่น kWh meter ฯลฯ หรือบันทึกจากเอกสารการซื้อไฟฟ้ารายเดือน เช่น ใบเสร็จรับเงิน ฯลฯ ทั้งนี้เครื่องมือตรวจวัดต้องได้รับการสอบเทียบโดยหน่วยงานที่ได้รับการรับรองตามข้อกำหนดของผู้ผลิต |
| ความถี่ในการติดตามผล | การตรวจสอบอย่างต่อเนื่อง และการบันทึกรายเดือนเป็นอย่างน้อย |

|  |  |
| --- | --- |
| พารามิเตอร์ | EFElec,y |
| หน่วย | tCO2/MWh |
| ความหมาย | ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิต/ใช้ไฟฟ้า ในปี y |
| แหล่งข้อมูล | รายงานค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิต/ใช้พลังงานไฟฟ้า (Emission Factor) สำหรับโครงการและกิจกรรมลดก๊าซเรือนกระจกที่ประกาศโดย อบก. |
| วิธีการติดตามผล | **สำหรับการจัดทำเอกสารข้อเสนอโครงการ**  ให้ใช้ค่า EFElec,y ล่าสุดที่ อบก. ประกาศ  **สำหรับการติดตามผลการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก**  ให้ใช้ค่า EFElec,y ที่ อบก. ประกาศตามปี พ.ศ. ของช่วงระยะเวลาที่ขอรับรองคาร์บอนเครดิต ทั้งนี้กรณีที่ปี พ.ศ. ของช่วงระยะเวลาที่ขอรับรองคาร์บอนเครดิตนั้นยังไม่มีค่า EFElec,y ที่ อบก. ประกาศ ให้ใช้ค่า EFElec,y ล่าสุดที่ อบก. ประกาศแทนในปีนั้น |

|  |  |
| --- | --- |
| พารามิเตอร์ | TDLy |
| 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 ผู้พัฒนาโครงการจะต้องใช้ค่านี้ตลอดการติดตามผลการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก |
| ความถี่ในการติดตามผล | กําหนดหนึ่งครั้งในปีแรกของรอบระยะเวลาคิดคาร์บอนเครดิต |

|  |  |
| --- | --- |
| พารามิเตอร์ | ηIPS,y |
| หน่วย | - |
| ความหมาย | ค่าประสิทธิภาพเฉลี่ยรายปีของโรงไฟฟ้าในปี y (ค่าอยู่ระหว่าง 0 – 1) |
| แหล่งข้อมูล | รายงานการตรวจวัดและการทำดุลพลังงาน (Energy balance) ของโรงไฟฟ้า |
| วิธีการติดตามผล | วัดโดยใช้เครื่องมือตรวจวัดของโรงไฟฟ้า ประกอบด้วย   * ปริมาณไฟฟ้า * ปริมาณและค่าความดันของไอน้ำ * ปริมาณและอุณหภูมิของไอเสียจากปล่อง * มวลหรือปริมาตรของเชื้อเพลิงฟอสซิลที่ใช้ |
| ความถี่ในการติดตามผล | - |

|  |  |
| --- | --- |
| พารามิเตอร์ | TFCIPS,y |
| หน่วย | unit/year |
| ความหมาย | ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลทั้งหมดของโรงไฟฟ้าที่ซื้อไฟฟ้าและ/หรือไอน้ำมาใช้ ในปี y |
| แหล่งข้อมูล | รายงานการตรวจวัดและรายการบันทึกของโรงไฟฟ้า |
| วิธีการติดตามผล | วัดมวลหรือปริมาตรของเชื้อเพลิงโดยใช้เครื่องมือตรวจวัดของโรงไฟฟ้า |
| ความถี่ในการติดตามผล | การตรวจสอบอย่างต่อเนื่อง และการบันทึกรายเดือนเป็นอย่างน้อย |

|  |  |
| --- | --- |
| พารามิเตอร์ | HCCapt,PJ,y และ HCEvap,PJ,y |
| หน่วย | MJ/year |
| ความหมาย | HCCapt,PJ,y คือปริมาณความร้อนที่ใช้ในกระบวนการดักจับ แยก CO2 ออกจากก๊าซอื่น และรวบรวม CO2 ในปี y  HCEvap,PJ,y คือปริมาณความร้อนที่ใช้ในกระบวนการเตรียม CO2 ในสถานะไอ ในปี y |
| แหล่งข้อมูล | รายงานการตรวจวัดและรายการบันทึก |
| วิธีการติดตามผล | วัดปริมาณและความดันไอน้ำสำหรับใช้ในกระบวนการดักจับและแยก CO2 ออกจากก๊าซ โดยใช้เครื่องมือตรวจวัด และคำนวณหาค่าปริมาณความร้อน หรือบันทึกจากเอกสารการซื้อไอน้ำรายเดือน เช่น ใบเสร็จรับเงิน ฯลฯ ทั้งนี้เครื่องมือตรวจวัดต้องได้รับการสอบเทียบโดยหน่วยงานที่ได้รับการรับรองตามข้อกำหนดของผู้ผลิต |
| ความถี่ในการติดตามผล | การตรวจสอบอย่างต่อเนื่อง และการบันทึกรายเดือนเป็นอย่างน้อย |

|  |  |
| --- | --- |
| พารามิเตอร์ | HGIPS,y |
| หน่วย | MJ/year |
| ความหมาย | ปริมาณความร้อนทั้งหมดที่ผลิตได้ของโรงไฟฟ้าที่ซื้อไฟฟ้าและ/หรือไอน้ำมาใช้ ในปี y |
| แหล่งข้อมูล | รายงานการตรวจวัดและรายการบันทึกของโรงไฟฟ้า |
| วิธีการติดตามผล | วัดปริมาณและค่าความดันของไอน้ำโดยใช้เครื่องมือตรวจวัดของโรงไฟฟ้า |
| ความถี่ในการติดตามผล | - |

|  |  |
| --- | --- |
| พารามิเตอร์ | EGIPS,y |
| หน่วย | kWh/year |
| ความหมาย | ปริมาณไฟฟ้าทั้งหมดที่ผลิตได้ของโรงไฟฟ้าที่ซื้อไฟฟ้าและ/หรือไอน้ำมาใช้ ในปี y |
| แหล่งข้อมูล | รายงานการตรวจวัดและรายการบันทึกของโรงไฟฟ้า |
| วิธีการติดตามผล | ตรวจวัดปริมาณไฟฟ้าโดยใช้เครื่องมือตรวจวัดของโรงไฟฟ้า |
| ความถี่ในการติดตามผล | - |

|  |  |
| --- | --- |
| พารามิเตอร์ | Qc,Solvent,PJ,s,y |
| หน่วย | ton of C |
| ความหมาย | ปริมาณคาร์บอน (C) ในสารละลายประเภท s สำหรับผสมคอนกรีต  จากการดาเนินโครงการ ในปี y |
| แหล่งข้อมูล | บันทึกข้อมูลจากโครงการ |
| วิธีการติดตามผล | ผลการวิเคราะห์ปริมาณของคาร์บอนในตัวอย่างคอนกรีตประเภท n ในกรณีฐาน ผ่านทางใช้เครื่องมือหรือเทคนิคการวิเคราะห์ทางวิทยาศาสตร์ที่น่าเชื่อถือ |
| ความถี่ในการติดตามผล | การสุ่มตรวจอย่างน้อยปีละครั้ง สำหรับแต่ละชนิดของคอนกรีต |

|  |  |
| --- | --- |
| พารามิเตอร์ | FCSolvent,s,y |
| หน่วย | ton of Solvent/year |
| ความหมาย | ปริมาณการใช้สารสะลายประเภท s ในปี y |
| แหล่งข้อมูล | บันทึกค่าปริมาณการใช้สารละลายสำหรับการผลิตคอนกรีต |
| วิธีการติดตามผล | ตรวจสอบผ่านความสัมพันธ์ของปริมาตรการใช้สารละลายกับปริมาณคอนกรีตที่ผลิตได้ |
| ความถี่ในการติดตามผล | การสุ่มตรวจอย่างน้อยปีละครั้ง สำหรับแต่ละชนิดของคอนกรีต |

**9.3 พารามิเตอร์ที่ไม่ต้องติดตามผล**

|  |  |
| --- | --- |
| พารามิเตอร์ | QC,BL,Test,i |
| หน่วย | กรัมคาร์บอนต่อกรัมของตัวอย่างคอนกรีตในกรณีฐานที่ทำการทดสอบ |
| ความหมาย | ค่าเฉลี่ยของปริมาณคาร์บอนในตัวอย่างคอนกรีตประเภท i ในกรณีฐาน |
| แหล่งข้อมูล | ผลการวิเคราะห์ปริมาณของคาร์บอนในตัวอย่างคอนกรีตประเภท i ในกรณีฐาน  ผ่านทางใช้เครื่องมือหรือเทคนิคการวิเคราะห์ทางวิทยาศาสตร์ที่น่าเชื่อถือ |
| ค่าที่นำไปใช้ | - |

|  |  |
| --- | --- |
| พารามิเตอร์ | R |
| หน่วย | m3⋅bar⋅K-1⋅mol-1 |
| ความหมาย | ค่าคงที่ของก๊าซ |
| แหล่งข้อมูล | ค่าการคำนวณทางทฤษฎี |
| ค่าที่นำไปใช้ | 8.314472 x 10-5 |

|  |  |
| --- | --- |
| พารามิเตอร์ | QCement,BL,test,i |
| หน่วย | gram of cement |
| ความหมาย | ปริมาณปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกที่ถูกใช้ในการผลิตตัวอย่างคอนกรีตประเภท I จากกรณีฐาน |
| แหล่งข้อมูล | **ทางเลือกที่ 1** ค่าอ้างอิงจากการบันทึกค่าจากการใช้ปูนซีเมนต์ที่ใช้ในการผลิตตัวอย่างคอนกรีตในกรณีฐานของโรงงาน  **ทางเลือกที่ 2** ค่าอ้างอิงสัดส่วนมาตรฐานสำหรับการผลิตคอนกรีตในการดำเนินโครงการ ตามที่คุณภาพที่ผู้ที่ดูแลกำหนด |
| ค่าที่นำไปใช้ | - |

|  |  |
| --- | --- |
| พารามิเตอร์ | EFHC |
| หน่วย | tCO2eq/ton of cement |
| ความหมาย | ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก |
| แหล่งข้อมูล | สมาคมอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ไทย www.thaicma.or.th |
| ค่าที่นำไปใช้ | 0.871 tCO2/t cement |

|  |  |
| --- | --- |
| พารามิเตอร์ | EFCement,j |
| หน่วย | tCO2eq/ton of cement |
| ความหมาย | ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของปูนซีเมนต์ประเภท j จากการดำเนินโครงการ |
| แหล่งข้อมูล | สมาคมอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ไทย www.thaicma.or.th |
| ค่าที่นำไปใช้ | กรณี 1 ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (ค่าเท่ากับ 910 kgCO2 /t cement)  กรณี 2 ใช้ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก (ค่าเท่ากับ 871 kgCO2 /t cement) |

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

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

|  |  |
| --- | --- |
| พารามิเตอร์ | ρSolvent,S |
| หน่วย | kg/Liter หรือ kg/dm3 |
| ความหมาย | ความหนาแน่นของสารละลายประเภท s |
| แหล่งข้อมูล | คำอธิบายหรือฉลากสินค้า (สารเคมี) |
| ค่าที่นำไปใช้ | - |

|  |  |
| --- | --- |
| พารามิเตอร์ | EFSOLVENT,s,y |
| หน่วย | tCO2eq/ton of Solvent |
| ความหมาย | ค่า Emission factor สำหรับสารละลายประเภท s |
| แหล่งข้อมูล | ข้อมูล Carbon Footprint of Product (CFP) ของสารละลาย |
| ค่าที่นำไปใช้ | - |

1. **เอกสารอ้างอิง**
2. Verified Carbon Standard

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

1. Gold Standard

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

1. Al‐Mamoori, A., Krishnamurthy, A., Rownaghi, A. A., & Rezaei, F. (2017). Carbon capture and utilization update. Energy Technology, 5(6), 834-849.
2. 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.

1. 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.
2. Monkman, S. (2018). Sustainable ready mixed concrete production using waste CO2: A case study. *Am. Concr. Ins*, *330*, 163-174
3. 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 |