

T-VER-P-TOOL-02-05

การคำนวณอัตราการไหลของมวลของก๊าซเรือนกระจกในกระแสก๊าซ

(Tool to calculate the mass flow of a greenhouse gas in a gaseous stream)

ฉบับที่ 01

มีผลบังคับใช้ตั้งแต่วันที่ 1 มีนาคม 2566

1. บทนำ

เอกสารฉบับนี้เป็นเครื่องมือการคำนวณกำหนดการไหลของมวลของก๊าซเรือนกระจก จะคำนวณจากการตรวจวัดอัตราการไหลของปริมาตรรวมหรือการไหลของมวลของกระแสก๊าซ สัดส่วนโดยปริมาตรของก๊าซในกระแสก๊าซและองค์ประกอบของก๊าซและปริมาณน้ำ รวมถึงการระบุวิธีการ/แหล่งข้อมูลของพารามิเตอร์ที่ต้องติดตามผล

2. คำนิยามที่เกี่ยวข้อง

- **ความชื้นสัมบูรณ์ (Absolute humidity)** หมายถึงอัตราส่วนระหว่างมวลของน้ำ (ไอน้ำ) ในก๊าซและมวลของก๊าซแห้ง
- **บทรฐานแห้ง (Dry basis)** หมายถึงพารามิเตอร์ที่ไม่คำนึงถึงปริมาณน้ำที่มีอยู่ในก๊าซ
- **กระแสก๊าซ (Gaseous stream)** หมายถึงส่วนผสมของส่วนประกอบก๊าซซึ่งอาจมีสัดส่วนที่แตกต่างกันของ N_2 , CO_2 , O_2 , CO , H_2 , CH_4 , N_2O , NO , NO_2 , SO_2 , SF_6 , PFC และ H_2O ในเฟสไอน้ำและความดันสัมบูรณ์ต้องต่ำกว่า 10 atm หรือ 1.013 MPA¹ ก๊าซอื่นๆ อาจมีอยู่ (เช่น ไฮโดรคาร์บอน) หากความเข้มข้นทั้งหมดน้อยกว่า 1% (v / v) ของทั้งหมด² ก๊าซแห้งหรือกระแสก๊าซแห้งไม่รวมสัดส่วนของน้ำและก๊าซเปียกหรือกระแสก๊าซเปียก รวมถึงสัดส่วนของน้ำ
- **ปริมาณความชื้น (Moisture content)** หมายถึงความเข้มข้นของน้ำในมวลของน้ำ (ไอน้ำ) ต่อปริมาตรของก๊าซแห้งในสภาวะอ้างอิง หรือที่เรียกว่าสภาวะ NPT ซึ่งแสดงเป็น $mg H_2O / m^3 dry gas$
- **สภาวะอ้างอิง (Normal conditions)** หมายถึง 0°C (273.15 K, 32°F) และ 1 atm (101.325 kN / m², 101.325 kPa, 14.69 psia, 29.92 ไร่ Hg, 760 torr)
- **ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity)** หมายถึงอัตราส่วนระหว่างความดันบางส่วนของน้ำในก๊าซ และความดันอิ่มตัวที่อุณหภูมิที่กำหนด
- **ความชื้นอิ่มตัว (สัมบูรณ์) (Saturation (absolute) humidity)** หมายถึงปริมาณสูงสุดของน้ำ (ไอน้ำ) ที่ก๊าซสามารถบรรจุได้ที่อุณหภูมิและความดันที่กำหนดซึ่งแสดงเป็นมวลของน้ำต่อมวลของก๊าซแห้ง
- **บทรฐานเปียก (Wet basis)** หมายถึง พารามิเตอร์ที่แสดงถึงปริมาณน้ำที่มีอยู่ในก๊าซ

¹ เงื่อนไขนี้จำเป็นต้องใช้เนื่องจากสันนิษฐานในการคำนวณว่ากระแสก๊าซทำงานเป็นส่วนผสมไบนารีในอุดมคติของไอน้ำและก๊าซในอุดมคติ หากกระแสก๊าซมีสัดส่วนขนาดใหญ่กว่าของก๊าซอื่นๆ เช่น ไฮโดรคาร์บอนอื่นที่ไม่ใช่มีเทนหรือ HFC ก๊าซจะไม่สามารถพิจารณาได้ว่าเป็นส่วนผสมของก๊าซในอุดมคติ แรงกดดันปานกลางจะทำให้มั่นใจได้ว่าก๊าซมีพฤติกรรมเป็นก๊าซในอุดมคติ

² สำหรับกรณีของก๊าซฝักกลมและก๊าซไอเสียจากการเกิดออกซิเดชันทางความร้อนโดยใช้ก๊าซธรรมชาติจะถือว่าความเข้มข้นรวมของก๊าซอื่นๆ คิดเป็นน้อยกว่า 1% (v / v)

3. ลักษณะของกิจกรรมที่เข้าข่าย และเงื่อนไขการนำไปใช้

การใช้งานทั่วไปของเครื่องมือนี้สำหรับตรวจวัดอัตราการไหลและองค์ประกอบของก๊าซที่เหลือทิ้งหรือการเผาทำลายก๊าซหรือก๊าซไอเสียเพื่อกำหนดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกรณีฐานหรือการดำเนินโครงการ ทั้งนี้วิธีการที่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นก๊าซเฉพาะและชนิดเดียวที่น่าสนใจควรรใช้เครื่องชั่งวัสดุเป็นวิธีการกำหนดการไหลต่อไป และอาจไม่ใช่เครื่องมือนี้เนื่องจากเครื่องชั่งวัสดุเป็นวิธีที่ประหยัดต้นทุนในการตรวจสอบการไหลของ CO₂ ทั้งนี้ ในการกำหนดกรณีฐานมีเงื่อนไขดังนี้

- ระบุกระแสก๊าซสำหรับคำนวณอัตราการไหลของมวล
- ระบุประเภทของก๊าซเรือนกระจกสำหรับคำนวณอัตราการไหลของมวล
- ระบุช่วงเวลาในการตรวจวัดอัตราการไหลของกระแสก๊าซ และ
- สถานการณ์ที่ทำให้เข้าใจง่ายสำหรับการคำนวณมวลโมเลกุลของกระแสก๊าซ (สมการที่ 3 หรือ 17) ไม่สามารถใช้ได้ (เช่น กระแสก๊าซส่วนใหญ่ประกอบด้วยก๊าซอื่นที่ไม่ใช่ก๊าซไนโตรเจน)

4. การคำนวณอัตราการไหลของมวลของก๊าซเรือนกระจกในกระแสก๊าซ

การคำนวณอัตราการไหลของมวลของก๊าซเรือนกระจกในกระแสก๊าซ ซึ่งเป็นการกำหนดพารามิเตอร์ที่ใช้คำนวณต่อไปนี้

ตารางที่ 1 รายละเอียดอัตราการไหลของมวลของก๊าซเรือนกระจกในกระแสก๊าซ

พารามิเตอร์	หน่วย	อธิบาย
$F_{i,t}$	kg/hr	อัตราการไหลของมวลของก๊าซเรือนกระจกประเภท i (CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, SF ₆ หรือ PFC) ในกระแสก๊าซในช่วงเวลา t

อัตราการไหลของมวลของก๊าซเรือนกระจกประเภท i ในกระแสก๊าซ ($F_{i,t}$) คำนวณจากการไหลและสัดส่วนโดยปริมาตรของกระแสก๊าซที่ได้จากการตรวจวัด ทั้งนี้ ผู้พัฒนาโครงการต้องระบุทางเลือกสำหรับคำนวณอัตราการไหลของมวลของก๊าซเรือนกระจกในเอกสารข้อเสนอโครงการ (Project Design Document หรือ PDD) โดยมีแนวทางการตรวจวัดดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แนวทางการตรวจวัดอัตราการไหลของกระแสก๊าซ

ทางเลือก	อัตราการไหลของกระแสก๊าซ	สัดส่วนโดยปริมาตร
A	อัตราการไหลของปริมาตรบนฐานแห้ง	บนฐานแห้งหรือเปียก ³
B	อัตราการไหลของปริมาตรบนฐานเปียก	บนฐานแห้ง
C	อัตราการไหลของปริมาตรบนฐานเปียก	บนฐานเปียก
D	อัตราการไหลของมวลบนฐานแห้ง	บนฐานแห้งหรือเปียก
E	อัตราการไหลของมวลบนฐานเปียก	บนฐานแห้ง
F	อัตราการไหลของมวลบนฐานเปียก	บนฐานเปียก

4.1 การคำนวณค่าความชื้นสัมบูรณ์ของกระแสก๊าซ

ความชื้นสัมบูรณ์เป็นพารามิเตอร์ที่จำเป็นสำหรับทางเลือก B และได้จากการตรวจวัดปริมาณความชื้นจากทางเลือกที่ 1 หรือจากการสมมติว่ากระแสก๊าซแห้งหรืออิ่มตัวในแนวทางอนุรักษ์นิยมจากทางเลือกที่ 2) ทั้งนี้ ผู้พัฒนาโครงการต้องระบุทางเลือกสำหรับคำนวณอัตราการไหลของมวลของก๊าซเรือนกระจกใน PDD โดยมีรายละเอียดดังนี้

ทางเลือกที่ 1 การใช้ข้อมูลจากการตรวจวัดปริมาณความชื้น โดยปริมาณความชื้นสัมบูรณ์ของกระแสก๊าซ สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$m_{\text{H}_2\text{O},t,\text{db}} = \frac{C_{\text{H}_2\text{O},t,\text{db},n}}{10^{-6} \times \rho_{t,\text{db},n}} \quad \text{สมการที่ (1)}$$

โดยที่

$m_{\text{H}_2\text{O},t,\text{db}}$ = ปริมาณความชื้นสัมบูรณ์ของกระแสก๊าซในช่วงเวลา t บนฐานแห้ง
(kg H₂O/kg dry gas)

$C_{\text{H}_2\text{O},t,\text{db},n}$ = ปริมาณความชื้นของกระแสก๊าซในช่วงเวลา t บนฐานแห้งในสถานะอ้างอิง (mg H₂O/m³ dry gas)

$\rho_{t,\text{db},n}$ = ความหนาแน่นของกระแสก๊าซในช่วงเวลา t บนฐานแห้งในสถานะปกติ
(kg dry gas/m³ dry gas)

³ การตรวจวัดอัตราการไหลบนฐานแห้งไม่สามารถตรวจวัดได้ในราคาที่เหมาะสมผลสำหรับกระแสก๊าซเปียก ดังนั้นการอ่านค่าสำหรับสัดส่วนโดยปริมาตรไม่แตกต่างระหว่างเครื่องวิเคราะห์บนฐานเปียกและเครื่องวิเคราะห์บนฐานแห้ง และทั้ง 2 ประเภทสามารถใช้งานได้อย่างชัดเจนสำหรับการคำนวณทางเลือก A และ D

1) ความหนาแน่นของกระแสก๊าซบนฐานแห้งในสภาวะอ้างอิง ($\rho_{t,db,n}$) สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\rho_{t,db,n} = \frac{P_n \times MM_{t,db}}{R_u \times T_n} \quad \text{สมการที่ (2)}$$

โดยที่

$\rho_{t,db,n}$ = ความหนาแน่นของกระแสก๊าซในช่วงเวลา t บนฐานแห้งในสภาวะอ้างอิง (kg dry gas/m³ dry gas)

P_n = ความดันสัมบูรณ์ในสภาวะอ้างอิง (Pa)

T_n = อุณหภูมิในสภาวะอ้างอิง (K)

$MM_{t,db}$ = มวลโมเลกุลของกระแสก๊าซในช่วงเวลา t บนฐานแห้ง (kg dry gas/kmol dry gas)

R_u = ค่าคงที่ก๊าซในอุดมคติสากล (Pa·m³/kmol-K)

2) การคำนวณมวลโมเลกุลของกระแสก๊าซ ($MM_{t,db}$) ต้องวัดสัดส่วนโดยปริมาตรของก๊าซทั้งหมด (k) ในกระแสก๊าซ อย่างไรก็ตามเพื่อลดความซับซ้อน ให้คำนวณเฉพาะสัดส่วนโดยปริมาตรของก๊าซ k ที่เป็นก๊าซเรือนกระจกและใช้สำหรับการคำนวณการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ในกรณีฐานจะต้องได้รับการตรวจสอบและความแตกต่างถึง 100% อาจถือได้ว่าเป็นก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ การทำให้เข้าใจง่ายไม่เป็นที่ยอมรับหากมีการระบุแตกต่างกันในวิธีการกรณฐาน ทั้งนี้ มวลโมเลกุลของกระแสก๊าซ ($MM_{t,db}$) สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$MM_{t,db} = \sum_k (v_{k,t,db} \times MM_k) \quad \text{สมการที่ (3)}$$

โดยที่

$MM_{t,db}$ = มวลโมเลกุลของกระแสก๊าซในช่วงเวลา t บนฐานแห้ง (kg dry gas/kmol dry gas)

$v_{k,t,db}$ = สัดส่วนโดยปริมาตรของก๊าซชนิด k ในกระแสก๊าซในช่วงเวลา t บนฐานแห้ง (m³ gas k/m³ dry gas)

MM_k = มวลโมเลกุลของก๊าซชนิด k (kg/kmol)

k = ก๊าซทั้งหมดยกเว้นน้ำที่มีอยู่ในกระแสก๊าซ (เช่น N₂, CO₂, O₂, CO, H₂, CH₄, N₂O, NO, NO₂, SO₂, SF₆ และ PFC)

ทางเลือกที่ 2 การคำนวณอย่างง่ายโดยไม่ต้องตรวจวัดปริมาณความชื้น

ทางเลือกนี้ให้วิธีการที่ง่ายและอนุรักษ์นิยมในการคำนวณความชื้นสัมบูรณ์โดยกำหนดให้กระแสก๊าซแห้งหรืออิมิตัวขึ้นอยู่กับสถานการณ์อนุรักษ์นิยม⁴ ในกรณีกำหนดให้เป็นกระแสก๊าซแห้งแล้ว ค่า $m_{H_2O,t,db}$ จะกำหนดให้เท่ากับ 0 ในกรณีกำหนดเป็นกระแสก๊าซอิมิตัวแล้ว ค่า $m_{H_2O,t,db}$ จะกำหนดให้เท่ากับ ความชื้นสัมบูรณ์ความอิมิตัว ($m_{H_2O,t,db,sat}$) โดยค่า $MM_{t,db}$ คำนวณได้จากสมการที่ (3) ทั้งนี้ ค่าความชื้นสัมบูรณ์อิมิตัวสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$m_{H_2O,t,db,sat} = \frac{P_{H_2O,t,Sat} \times MM_{H_2O}}{(P_t - p_{H_2O,t,sat}) \times MM_{t,db}} \quad \text{สมการที่ (4)}$$

โดยที่

$m_{H_2O,t,db,sat}$	=	ความชื้นสัมบูรณ์อิมิตัวในช่วงเวลา t บนฐานแห้ง (kg H ₂ O/kg dry gas)
$p_{H_2O,t,sat}$	=	ค่าความดันอิมิตัวของน้ำที่อุณหภูมิ T ในช่วงเวลา t (Pa)
T_t	=	อุณหภูมิของกระแสก๊าซในช่วงเวลา t (K)
P_t	=	ความดันสัมบูรณ์ของกระแสก๊าซในช่วงเวลา t (Pa)
MM_{H_2O}	=	มวลโมเลกุลของน้ำ (kg H ₂ O/kmol H ₂ O)
$MM_{t,db}$	=	มวลโมเลกุลของกระแสก๊าซในช่วงเวลา t บนฐานแห้ง (kg dry gas/kmol dry gas)

1) มวลโมเลกุลของกระแสก๊าซ ($MM_{t,db}$) คำนวณได้โดยใช้สมการที่ (3)

ทางเลือก A

การวัดการไหลแบบแห้งไม่สามารถทำได้สำหรับกระแสก๊าซเปียก ดังนั้นการวัดการไหลให้ตรวจวัดกระแสก๊าซบนฐานแห้ง มี 2 วิธีดังนี้

- ตรวจวัดปริมาณความชื้นของกระแสก๊าซ ($C_{H_2O,t,db,n}$) และแสดงให้เห็นว่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.05 kg dry gas/kmol dry gas หรือ
- อุณหภูมิของกระแสก๊าซ (T_t) ที่จุดตรวจวัด น้อยกว่า 60°C (333.15 K)

กรณีไม่สามารถแสดงให้เห็นว่ากระแสก๊าซแห้งการวัดการไหลให้สันนิษฐานว่าอยู่บนฐานเปียกและให้ใช้ทางเลือกจากตารางที่ 2 โดยอัตราการไหลของมวลของก๊าซเรือนกระจกประเภท i ($F_{i,t}$) คำนวณได้

⁴ ข้อสันนิษฐานที่ว่ากระแสก๊าซอิมิตัวนั้นอนุรักษ์นิยมสำหรับสถานการณ์ที่การไหลของมวลของก๊าซเรือนกระจกประเภท i ถูกประเมินต่ำเกินไป (ใช้สำหรับการคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกกรณีฐาน) ในทางกลับกันข้อสันนิษฐาน กระแสก๊าซแห้งเป็นอนุรักษ์นิยมสำหรับสถานการณ์ที่ก๊าซเรือนกระจกประเภท i ถูกประเมินค่าสูงเกินไป (ใช้สำหรับการคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินการ)

ดังนี้

$$F_{i,t} = V_{t,db} \times v_{i,t,db} \times \rho_{i,t} \quad \text{สมการที่ (5)}$$

ร่วมกับ

$$\rho_{i,t} = \frac{P_t \times MM_i}{R_u \times T_t} \quad \text{สมการที่ (6)}$$

โดยที่

$F_{i,t}$ = อัตราการไหลของมวลของก๊าซเรือนกระจกประเภท i ในกระแสก๊าซในช่วงเวลา t (kg gas/h)

$V_{t,db}$ = การไหลของปริมาตรของกระแสก๊าซในช่วงเวลา t บนฐานแห้ง (m³ dry gas/h)

$v_{i,t,db}$ = สัดส่วนโดยปริมาตรของก๊าซเรือนกระจกประเภท i ในกระแสก๊าซในช่วงเวลา t บนฐานแห้ง (m³ gas i/m³ dry gas)

$\rho_{i,t}$ = ความหนาแน่นของก๊าซเรือนกระจกประเภท i ในกระแสก๊าซในช่วงเวลา t (kg gas i/m³ gas i)

P_t = ความดันสัมบูรณ์ของกระแสก๊าซในช่วงเวลา t (Pa)

MM_i = มวลโมเลกุลของก๊าซเรือนกระจกประเภท i (kg/kmol)

R_u = ค่าคงที่ก๊าซในอุดมคติสากล (Pa·m³/kmol·K)

T_t = อุณหภูมิของกระแสก๊าซในช่วงเวลา t (K)

ทางเลือก B

อัตราการไหลของมวลของก๊าซเรือนกระจกประเภท i ($F_{i,t}$) คำนวณจากสมการที่ (5) และ (6) การไหลของปริมาตรของกระแสก๊าซในช่วงเวลา t บนฐานแห้ง ($V_{t,db}$) คำนวณจากการแปลงการไหลของปริมาตรที่ได้จากการตรวจวัดบนฐานเปียกเป็นบนฐานแห้ง ได้ดังนี้

$$V_{t,db} = V_{t,wb} / (1 + v_{H_2O,t,db}) \quad \text{สมการที่ (7)}$$

โดยที่

$V_{t,db}$ = การไหลของปริมาตรของกระแสก๊าซในช่วงเวลา t บนฐานแห้ง (m³ dry gas/h)

$V_{t,wb}$ = ปริมาตรการไหลของกระแสก๊าซในช่วงเวลา t บนฐานเปียก (m³ wet gas/h)

$v_{H_2O,t,db}$ = สัดส่วนโดยปริมาตรของ H₂O ในกระแสก๊าซในช่วงเวลา t บนฐานแห้ง (m³ H₂O/m³ dry gas)

1) สัดส่วนโดยปริมาตรของน้ำในระยะเวลา t บนฐานแห้ง ($V_{H_2O,t,db}$) คำนวณได้ดังนี้

$$V_{H_2O,t,db} = \frac{m_{H_2O,t,db} \times MM_{t,db}}{MM_{H_2O}} \quad \text{สมการที่ (8)}$$

โดยที่

$V_{H_2O,t,db}$ = สัดส่วนโดยปริมาตรของน้ำในกระแสก๊าซในระยะเวลา t บนฐานแห้ง
($m^3 H_2O/m^3$ dry gas)

$m_{H_2O,t,db}$ = ความชื้นสัมบูรณ์ในกระแสก๊าซในระยะเวลา t บนฐานแห้ง (kg H_2O /kg dry gas)

$MM_{t,db}$ = มวลโมเลกุลของกระแสก๊าซในระยะเวลา t บนฐานแห้ง (kg dry gas/kmol dry gas)

MM_{H_2O} = มวลโมเลกุลของ H_2O (kg H_2O /kmol H_2O)

2) ความชื้นสัมบูรณ์ของกระแสก๊าซ ($m_{H_2O,t,db}$) คำนวณโดยใช้ทางเลือก 1 หรือ 2 ที่ระบุไว้ในการกำหนดความชื้นสัมบูรณ์ของส่วนกระแสก๊าซของเครื่องมือและมวลโมเลกุลของกระแสก๊าซ ($MM_{t,db}$) โดยใช้สมการที่ (3)

ทางเลือก C การไหลของมวลของก๊าซเรือนกระจกประเภท i ($F_{i,t}$) สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$F_{i,t} = V_{t,wb,n} \times v_{i,t,wb} \times \rho_{i,n} \quad \text{สมการที่ (9)}$$

ร่วมกับ

$$\rho_{i,n} = \frac{P_n \times MM_i}{R_u \times T_n} \quad \text{สมการที่ (10)}$$

โดยที่

$F_{i,t}$ = การไหลของมวลของก๊าซเรือนกระจกประเภท i ในกระแสก๊าซในระยะเวลา t
(kg gas/h)

$V_{t,wb,n}$ = ปริมาตรการไหลของกระแสก๊าซในระยะเวลา t บนฐานเปียกในสภาวะอ้างอิง
(m^3 wet gas/h)

$v_{i,t,wb}$ = สัดส่วนโดยปริมาตรของก๊าซเรือนกระจกประเภท i ในกระแสก๊าซในระยะเวลา t
บนฐานเปียก (m^3 gas i/m^3 wet gas)

$\rho_{i,n}$ = ความหนาแน่นของก๊าซเรือนกระจกประเภท i ในกระแสก๊าซในสภาวะอ้างอิง
(kg gas i/m^3 wet gas i)

P_n = ความดันสัมบูรณ์ในสภาวะอ้างอิง (Pa)

$$\begin{aligned}
 T_n &= \text{อุณหภูมิในสภาวะอ้างอิง (K)} \\
 MM_i &= \text{มวลโมเลกุลของก๊าซเรือนกระจกประเภท i (kg/kmol)} \\
 R_u &= \text{ค่าคงที่ก๊าซในอุดมคติสากล (Pa·m³/kmol·K)}
 \end{aligned}$$

ทั้งนี้สามารถแปลงการไหลของปริมาตรของกระแสก๊าซจากสภาพจริงเป็นสภาวะปกติของอุณหภูมิและความดัน ได้ดังนี้

$$V_{t,wb,n} = V_{t,wb} \times [(T_n/T_t) \times (P_t/P_n)] \quad \text{สมการที่ (11)}$$

โดยที่

$$\begin{aligned}
 V_{t,wb,n} &= \text{ปริมาตรการไหลของกระแสก๊าซในช่วงเวลา t บนฐานเปียกที่สภาวะอ้างอิง (m³ wet gas/h)} \\
 V_{t,wb} &= \text{ปริมาตรการไหลของกระแสก๊าซในช่วงเวลา t บนฐานเปียก (m³ wet gas/h)} \\
 P_t &= \text{ความดันของกระแสก๊าซในช่วงเวลา t (Pa)} \\
 T_t &= \text{อุณหภูมิของกระแสก๊าซในช่วงเวลา t (K)} \\
 P_n &= \text{ความดันสัมบูรณ์ในสภาวะอ้างอิง (Pa)} \\
 T_n &= \text{อุณหภูมิในสภาวะอ้างอิง (K)}
 \end{aligned}$$

ทางเลือก D

อุปกรณ์ตรวจวัดการไหลกระแสก๊าซแห่งไม่สามารถตรวจวัดกระแสก๊าซเปียกได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องแสดงให้เห็นว่ากระแสก๊าซแห่งเพื่อใช้ทางเลือกนี้ มี 2 วิธีดังนี้

- (a) วัดปริมาณความชื้นในกระแสก๊าซ ($C_{H_2O,t,db,n}$) และแสดงให้เห็นว่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.05 kg dry gas/kmol dry gas หรือ
- (b) อุณหภูมิของกระแสก๊าซ (T_t) ที่จุดตรวจวัดน้อยกว่า 60 °C (333.15 K)

กรณีไม่สามารถแสดงให้เห็นว่ากระแสก๊าซแห่งการวัดการไหล ให้สันนิษฐานว่าอยู่บนฐานเปียก และให้ใช้ทางเลือกจากตารางที่ 2 โดยอัตราการไหลของมวลของก๊าซเรือนกระจกประเภท i ($F_{i,t}$) สามารถคำนวณได้ตามสมการที่ (5) และ (6) ทั้งนี้การไหลของปริมาตรของกระแสก๊าซในช่วงเวลา t บนฐานแห้ง ($V_{t,db}$) คำนวณได้โดยการแปลงการไหลของมวลของกระแสก๊าซเป็นการไหลของปริมาตรดังนี้

$$V_{t,db} = M_{t,db} / \rho_{t,db} \quad \text{สมการที่ (12)}$$

โดยที่

$$\begin{aligned}
 V_{t,db} &= \text{ปริมาตรการไหลของกระแสก๊าซในช่วงเวลา t บนฐานแห้ง (m}^3 \text{ dry gas/h)} \\
 M_{t,db} &= \text{การไหลของมวลของกระแสก๊าซในช่วงเวลา t บนฐานแห้ง (kg/h)} \\
 \rho_{t,db} &= \text{ความหนาแน่นของกระแสก๊าซในช่วงเวลา t บนฐานแห้ง (kg dry gas/m}^3 \text{ dry gas)}
 \end{aligned}$$

1) ความหนาแน่นของกระแสก๊าซ ($\rho_{t,db}$) สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\rho_{t,db} = \frac{P_t \times MM_{t,db}}{R_u \times T_t} \quad \text{สมการที่ (13)}$$

โดยที่

$$\begin{aligned}
 \rho_{t,db} &= \text{ความหนาแน่นของกระแสก๊าซในช่วงเวลา t บนฐานแห้ง (kg dry gas/m}^3 \text{ dry gas)} \\
 MM_{t,db} &= \text{มวลโมเลกุลของกระแสก๊าซในช่วงเวลา t บนฐานแห้ง (kg dry gas/kmol dry gas)} \\
 P_t &= \text{ความดันของกระแสก๊าซในช่วงเวลา t (Pa)} \\
 T_t &= \text{อุณหภูมิของกระแสก๊าซในช่วงเวลา t (K)}
 \end{aligned}$$

2) มวลโมเลกุลของกระแสก๊าซ ($MM_{t,db}$) คำนวณได้โดยใช้สมการที่ (3)

ทางเลือก E

การไหลของมวลของก๊าซเรือนกระจกประเภท i ($F_{i,t}$) ถูกกำหนดโดยใช้สมการที่ (5) และ (6) การไหลของปริมาตรของกระแสก๊าซในช่วงเวลา t บนฐานแห้ง ($V_{t,db}$) ถูกกำหนดในสองขั้นตอนขั้นแรกการไหลของมวลของกระแสก๊าซในช่วงเวลา t บนฐานเปียก ($M_{t,wb}$) จะถูกแปลงจากบนฐานเปียกเป็นบนฐานแห้งดังนี้

$$M_{t,db} = M_{t,wb} / (1 + m_{H_2O,t,db}) \quad \text{สมการที่ (14)}$$

โดยที่

$$\begin{aligned}
 M_{t,db} &= \text{การไหลของมวลของกระแสก๊าซในช่วงเวลา t บนฐานแห้ง (kg/h)} \\
 M_{t,wb} &= \text{การไหลของมวลของกระแสก๊าซในช่วงเวลา t บนฐานเปียก (kg/h)} \\
 m_{H_2O,t,db} &= \text{ความชื้นสัมบูรณ์ของน้ำในกระแสก๊าซในช่วงเวลา t บนฐานแห้ง} \\
 &\quad \text{(kg H}_2\text{O/kg dry gas)}
 \end{aligned}$$

1) การไหลของมวลของกระแสก๊าซในช่วงเวลา t บนฐานแห้ง ($M_{t,db}$) จะถูกแปลงเป็นการไหลของปริมาตรของกระแสก๊าซในช่วงเวลา t บนฐานแห้ง ($V_{t,db}$) โดยใช้สมการที่ (12)

2) ความชื้นสัมบูรณ์ของกระแสก๊าซ ($m_{H_2O,t,db}$) สามารถคำนวณได้โดยใช้ทางเลือกที่ 1 หรือ 2 ที่ระบุไว้ในส่วน "การคำนวณค่าความชื้นสัมบูรณ์ของกระแสก๊าซ"

ทางเลือก F

การไหลของมวลของก๊าซเรือนกระจกประเภท i ($F_{i,t}$) สามารถคำนวณได้โดยใช้สมการที่ (9) และ (10) และสมการดังต่อไปนี้

$$V_{t,wb,n} = M_{t,wb} / \rho_{t,wb,n} \quad \text{สมการที่ (15)}$$

และ

$$\rho_{t,wb,n} = \frac{P_n \times MM_{t,wb}}{R_u \times T_n} \quad \text{สมการที่ (16)}$$

โดยที่

$V_{t,wb,n}$ = ปริมาตรการไหลของกระแสก๊าซในช่วงเวลา t ในสภาวะปกติบนฐานเปียก (m^3 wet gas/h)

$V_{i,t,wb}$ = สัดส่วนโดยปริมาตรของก๊าซเรือนกระจกประเภท i ในกระแสก๊าซในช่วงเวลา t บนฐานเปียก (m^3 gas i/m^3 wet gas)

$M_{t,wb}$ = การไหลของมวลของกระแสก๊าซในช่วงเวลา t บนฐานเปียก (kg/h)

$\rho_{t,wb,n}$ = ความหนาแน่นของกระแสก๊าซในช่วงเวลา t บนฐานเปียกในสภาวะอ้างอิง (kg wet gas/ m^3 wet gas)

P_n = ความดันสัมบูรณ์ในสภาวะอ้างอิง (Pa)

T_n = อุณหภูมิในสภาวะอ้างอิง (K)

$MM_{t,wb}$ = มวลโมเลกุลของกระแสก๊าซในช่วงเวลา t บนฐานเปียก (kg wet gas/kmol wet gas)

R_u = ค่าคงที่ก๊าซในอุดมคติสากล ($Pa \cdot m^3 / kmol \cdot K$)

1) การกำหนดมวลโมเลกุลของกระแสก๊าซ ($MM_{t,wb}$) ต้องตรวจวัดสัดส่วนโดยปริมาตรของก๊าซทั้งหมด (k) ในกระแสก๊าซ อย่างไรก็ตามเพื่อลดความซับซ้อนให้คำนวณเฉพาะสัดส่วนโดยปริมาตรของก๊าซ k ที่เป็นก๊าซเรือนกระจกและใช้สำหรับการคำนวณการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ในกรณีฐานจะต้องได้รับการตรวจสอบและความแตกต่างถึง 100% อาจถือได้ว่าเป็นก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ การทำให้เข้าใจง่ายไม่เป็นที่ยอมรับหากมีการระบุแตกต่างกันในวิธีการกรณีฐาน ทั้งนี้ มวลโมเลกุลของกระแสก๊าซ ($MM_{t,db}$) สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$MM_{t,wb} = \sum_k (v_{k,t,wb} \times MM_k)$$

สมการที่ (17)

โดยที่

- $MM_{t,wb}$ = มวลโมเลกุลของกระแสก๊าซในช่วงเวลา t บนฐานเปียก (kg wet gas/kmol wet gas)
 $v_{k,t,wb}$ = สัดส่วนโดยปริมาตรของก๊าซ k ในกระแสก๊าซในช่วงเวลา t บนฐานเปียก
 (m³ gas /m³ wet gas)
 MM_k = มวลโมเลกุลของก๊าซ k (kg/kmol)
 k = ก๊าซทั้งหมดที่มีอยู่ในกระแสก๊าซ (เช่น N₂, CO₂, O₂, CO, H₂, CH₄, N₂O, NO, NO₂, SO₂, SF₆ และ PFC และ H₂O ในเฟสไอ)

5. ขั้นตอนวิธีการติดตามผล

5.1 ขั้นตอนการติดตามผล

1) ให้ผู้พัฒนาโครงการอธิบายและระบุขั้นตอนการติดตามผลข้อมูลกิจกรรมโครงการ (Activity data) หรือตรวจสอบผลการตรวจวัดทั้งหมดในเอกสารข้อเสนอโครงการ รวมถึงประเภทของเครื่องมือตรวจวัดที่ใช้ ผู้รับผิดชอบในการติดตามผลและตรวจสอบข้อมูล การสอบเทียบเครื่องมือวัด (ถ้ามี) และขั้นตอนการรับประกันและควบคุมคุณภาพ ในกรณีที่วิธีการมีทางเลือกที่แตกต่างกัน เช่น การใช้ค่าเริ่มต้นหรือการตรวจวัดที่หน้างาน ผู้พัฒนาโครงการต้องระบุว่าจะใช้ทางเลือกใด นอกจากนี้การติดตั้ง ดูแลรักษา และสอบเทียบเครื่องมือตรวจวัดควรดำเนินการตามคำแนะนำของผู้ผลิตอุปกรณ์และเป็นไปตามมาตรฐานภายในประเทศ หรือมาตรฐานสากล เช่น IEC, ISO

2) ข้อมูลทั้งหมดที่รวบรวมเป็นส่วนหนึ่งของการติดตามผลการลดก๊าซเรือนกระจก ซึ่งควรจัดเก็บข้อมูลในรูปแบบไฟล์อิเล็กทรอนิกส์และมีระยะเวลาเก็บรักษาเป็นไปตามแนวทางที่ อบก. กำหนด หรือตามระบบคุณภาพขององค์กรแต่มีระยะเวลาไม่น้อยกว่าที่ อบก. กำหนดไว้อย่างน้อย 2 ปีหลังจากสิ้นสุดระยะเวลาคิดคาร์บอนเครดิตครั้งล่าสุด และควรตรวจสอบข้อมูลให้ถูกต้องตามวิธีการติดตามผลที่ระบุในพารามิเตอร์ที่ต้องติดตามผลที่ระบุไว้ในตารางหัวข้อที่ 5.2

5.2. พารามิเตอร์ที่ต้องติดตามผล

พารามิเตอร์	$V_{t,wb}$
หน่วย	m ³ wet gas/h
ความหมาย	การไหลของปริมาตรของกระแสก๊าซในช่วงเวลา t บนฐานเปียก
แหล่งข้อมูล	รายงานการตรวจวัดของผู้พัฒนาโครงการ
วิธีการติดตามผล	การตรวจวัดปริมาตรการไหลจะอ้างอิงจากค่าความดันและอุณหภูมิ จำเป็นต้องใช้เครื่องมือที่มีสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์ที่บันทึกได้ (อะนาล็อกหรือดิจิทัล)

ความถี่ในการติดตามผล	ต่อเนื่องในกรณีที่ไม่ได้ระบุไว้ในวิธีการพื้นฐาน
ขั้นตอน QA / QC	การสอบเทียบโดยห้องปฏิบัติการที่ได้รับการรับรอง การสอบเทียบและความถี่ในการสอบเทียบให้อ้างอิงจากผู้ผลิต
ความคิดเห็นอื่นๆ	พารามิเตอร์นี้สำหรับทางเลือก B และ C

พารามิเตอร์	$V_{t,db}$
หน่วย	m ³ dry gas/h
ความหมาย	การไหลของปริมาตรของกระแสก๊าซในช่วงเวลา t บนฐานแห้ง
แหล่งข้อมูล	รายงานการตรวจวัดของผู้พัฒนาโครงการ
วิธีการติดตามผล	การตรวจวัดปริมาตรการไหลจะอ้างอิงจากค่าความดันและอุณหภูมิ โดยคำนวณจากการตรวจวัดการไหลแบบเปียกรวมกับความเข้มข้นของน้ำ
ความถี่ในการติดตามผล	ต่อเนื่องในกรณีที่ไม่ได้ระบุไว้ในวิธีการพื้นฐาน
ขั้นตอน QA / QC	การสอบเทียบโดยห้องปฏิบัติการที่ได้รับการรับรอง การสอบเทียบและความถี่ในการสอบเทียบให้อ้างอิงจากผู้ผลิต
ความคิดเห็นอื่นๆ	พารามิเตอร์นี้สำหรับทางเลือก A

พารามิเตอร์	$V_{i,t,db}$
หน่วย	m ³ dry gas/h
ความหมาย	สัดส่วนโดยปริมาตรของก๊าซเรือนกระจก i ในช่วงเวลา t บนฐานแห้ง
แหล่งข้อมูล	รายงานการตรวจวัดของผู้พัฒนาโครงการ
วิธีการติดตามผล	เครื่องวิเคราะห์ก๊าซบนฐานแห้งอย่างต่อเนื่อง การตรวจวัดปริมาตรการไหลให้อ้างอิงค่าความดันและอุณหภูมิที่ได้จากการตรวจวัด
ความถี่ในการติดตามผล	ต่อเนื่องในกรณีที่ไม่ได้ระบุไว้ในวิธีการพื้นฐาน
ขั้นตอน QA / QC	การสอบเทียบควรมีการตรวจสอบเป็นศูนย์ด้วยก๊าซเฉื่อย (เช่น N ₂) และการตรวจสอบการอ่านอย่างน้อยหนึ่งครั้งด้วยก๊าซมาตรฐาน (ก๊าซสอบเทียบเดี่ยวหรือก๊าซสอบเทียบผสม) ซึ่งก๊าซสอบเทียบทั้งหมด ต้องมีใบรับรองจากผู้ผลิตและต้องอยู่ภายใต้ระยะเวลาที่มีผลบังคับใช้
ความคิดเห็นอื่นๆ	พารามิเตอร์นี้สำหรับทางเลือก B และ E และอาจได้รับการติดตามผลสำหรับทางเลือก A และ D

พารามิเตอร์	$V_{i,t,wb}$
หน่วย	m ³ gas / m ³ wet gas
ความหมาย	สัดส่วนโดยปริมาตรของก๊าซเรือนกระจก i ในช่วงเวลา t บนฐานเปียก
แหล่งข้อมูล	รายงานการตรวจวัดของผู้พัฒนาโครงการ
วิธีการติดตามผล	คำนวณจากการวิเคราะห์บนฐานแห้งรวมกับค่าความเข้มข้นของน้ำหรือเครื่องวิเคราะห์ในแหล่งกำเนิดแบบต่อเนื่องในกรณีที่ไม่ได้ระบุไว้ในวิธีการพื้นฐาน

ความถี่ในการติดตามผล	ต่อเนื่องในกรณีที่ไม่ได้ระบุไว้ในวิธีการพื้นฐาน
ขั้นตอน QA / QC	การสอบเทียบควรมีการตรวจสอบเป็นศูนย์ด้วยก๊าซเฉื่อย (เช่น N ₂) และการตรวจสอบการอ่านอย่างน้อยหนึ่งครั้งด้วยก๊าซมาตรฐาน (ก๊าซสอบเทียบเดี่ยวหรือก๊าซสอบเทียบผสม) ซึ่งก๊าซสอบเทียบทั้งหมด ต้องมีใบรับรองจากผู้ผลิตและต้องอยู่ภายใต้ระยะเวลาที่มีผลบังคับใช้
ความคิดเห็นอื่นๆ	พารามิเตอร์นี้สำหรับทางเลือก C และ F และอาจได้รับการติดตามผลสำหรับทางเลือก A และ D

พารามิเตอร์	$M_{t,wb}$
หน่วย	kg/hr
ความหมาย	การไหลของมวลของกระแสก๊าซในช่วงเวลา t บนฐานเปียก
แหล่งข้อมูล	รายงานการตรวจวัดของผู้พัฒนาโครงการ
วิธีการติดตามผล	ใช้เครื่องมือที่มีสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์ที่สามารถบันทึกข้อมูลได้ (อะนาล็อกหรือดิจิทัล)
ความถี่ในการติดตามผล	ต่อเนื่องในกรณีที่ไม่ได้ระบุไว้ในวิธีการพื้นฐาน
ขั้นตอน QA / QC	การสอบเทียบโดยห้องปฏิบัติการที่ได้รับการรับรอง การสอบเทียบและความถี่ในการสอบเทียบให้อ้างอิงจากผู้ผลิต
ความคิดเห็นอื่นๆ	พารามิเตอร์นี้จะต้องติดตามผลสำหรับทางเลือก E และ F

พารามิเตอร์	$M_{t,db}$
หน่วย	kg/hr
ความหมาย	การไหลของมวลของกระแสก๊าซในช่วงเวลา t บนฐานแห้ง
แหล่งข้อมูล	รายงานการตรวจวัดของผู้พัฒนาโครงการ
วิธีการติดตามผล	คำนวณจากการตรวจวัดอัตราการไหลบนฐานเปียกร่วมกับการตรวจวัดความเข้มข้นของน้ำ
ความถี่ในการติดตามผล	ต่อเนื่องในกรณีที่ไม่ได้ระบุไว้ในวิธีการพื้นฐาน
ขั้นตอน QA / QC	การสอบเทียบและความถี่ในการสอบเทียบให้อ้างอิงตามข้อมูลของผู้ผลิต
ความคิดเห็นอื่นๆ	พารามิเตอร์นี้สำหรับทางเลือก D

พารามิเตอร์	$C_{H_2O,t,db,n}$
หน่วย	mg H ₂ O/m ³ dry gas
ความหมาย	ปริมาณความชื้นของกระแสก๊าซในสถานะอ้างอิงในช่วงเวลา t
แหล่งข้อมูล	USEPA CF42 method 4 – Gravimetric determination of water content
วิธีการติดตามผล	การตรวจวัดแบบไม่ต่อเนื่อง
ความถี่ในการติดตามผล	ค่าเฉลี่ยของการตรวจวัดติดต่อกัน 3 ครั้งภายใน 1 วัน (อย่างน้อย 2 ชั่วโมงต่อครั้ง) ทั้งนี้ การตรวจวัดควรสอดคล้องกับ the Annual Surveillance Test (เกี่ยวข้องกับข้อกำหนดของมาตรฐาน EN 14181) หรือการสอบเทียบเครื่องวัดการไหลสำหรับกระแสก๊าซ

ขั้นตอน QA / QC	USEPA CF42 method 4
ความคิดเห็นอื่นๆ	จำเป็นต้องมีการติดตามผลสำหรับทางเลือก 1 ที่อธิบายไว้ในส่วน "การหาค่าความชื้นสัมบูรณ์ของกระแสก๊าซ" หรือเป็นวิธีหนึ่งในการพิสูจน์ว่ากระแสก๊าซเป็นฐานแห้ง (จำเป็นสำหรับทางเลือก A หรือ D)

พารามิเตอร์	T_t
หน่วย	K
ความหมาย	อุณหภูมิของกระแสก๊าซในช่วงเวลา t
แหล่งข้อมูล	รายงานการตรวจวัดของผู้พัฒนาโครงการ
วิธีการติดตามผล	ใช้เครื่องมือที่มีสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์ที่สามารถบันทึกข้อมูลได้ (อะนาล็อกหรือดิจิทัล) เช่น thermocouples, thermo resistance เป็นต้น
ความถี่ในการติดตามผล	ต่อเนื่องในกรณีที่ไม้ได้ระบุไว้ในวิธีการพื้นฐาน
ขั้นตอน QA / QC	การสอบเทียบโดยห้องปฏิบัติการที่ได้รับการรับรอง การสอบเทียบและความถี่ในการสอบเทียบให้อ้างอิงจากผู้ผลิต
ความคิดเห็นอื่นๆ	กรณีพารามิเตอร์ทั้งหมดจะถูกแปลงเป็นสถานะอ้างอิงในระหว่างการตรวจติดตามผล พารามิเตอร์นี้อาจไม่จำเป็นยกเว้นการตรวจวัดปริมาณความชื้น ดังนั้นจึงตรวจวัด เฉพาะเมื่อทำการวัดดังกล่าว (ด้วยความถี่เดียวกัน) อย่างไรก็ตามกรณีอุณหภูมิกระแสก๊าซต่ำกว่า 60°C จะต้องตรวจติดตามพารามิเตอร์นี้อย่างต่อเนื่องเพื่อให้มั่นใจว่าตรงตามเงื่อนไขการบังคับใช้

พารามิเตอร์	P_t
หน่วย	Pa หรือ N/m^2
ความหมาย	ความดันของกระแสก๊าซในช่วงเวลา t
แหล่งข้อมูล	รายงานการตรวจวัดของผู้พัฒนาโครงการ
วิธีการติดตามผล	ใช้เครื่องมือที่มีสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์ที่สามารถบันทึกข้อมูลได้ (อะนาล็อกหรือดิจิทัล) เช่น thermocouples, thermo resistance เป็นต้น
ความถี่ในการติดตามผล	ต่อเนื่องในกรณีที่ไม้ได้ระบุไว้ในวิธีการพื้นฐาน
ขั้นตอน QA / QC	การสอบเทียบกับอุปกรณ์หลักจะต้องดำเนินการเป็นระยะ และต้องเก็บบันทึกขั้นตอนการสอบเทียบไว้ให้พร้อมใช้งาน รวมถึงอุปกรณ์หลักและใบรับรองการสอบเทียบ ทั้งนี้ Pressure transducers (ทั้งแบบคาปาซิทีฟหรือตัวต้านทาน) ต้องได้รับการสอบเทียบทุก
ความคิดเห็นอื่นๆ	กรณีพารามิเตอร์ทั้งหมดจะถูกแปลงเป็นสถานะอ้างอิงในระหว่างกระบวนการตรวจติดตามผล พารามิเตอร์นี้อาจไม่จำเป็นยกเว้นการตรวจวัดปริมาณความชื้น ดังนั้นจึงตรวจวัด เฉพาะเมื่อทำการวัดดังกล่าว (ด้วยความถี่เดียวกัน)

พารามิเตอร์	$P_{\text{H}20,t,\text{sat}}$
-------------	-------------------------------

หน่วย	Pa หรือ N/m^2
ความหมาย	ความดันความอึดตัวของน้ำอุณหภูมิ T_i ในช่วงเวลา t
แหล่งข้อมูล	
วิธีการติดตามผล	พารามิเตอร์นี้เป็นฟังก์ชันของอุณหภูมิกระแสก๊าซ T_i เท่านั้นจากการอ้างอิง [1] สำหรับความดันรวมเท่ากับ 101,325 Pa
ความถี่ในการติดตามผล	
ขั้นตอน QA / QC	
ความคิดเห็นอื่นๆ	[1] Fundamentals of Classical Thermodynamics; Gordon J. Van Wylen, Richard E. Sonntag and Borgnakke; 4 ^o Edition 1994, John Wiley & Sons, Inc.

พารามิเตอร์	$V_{k,t,db}$
หน่วย	mg H_2O/m^3 dry gas
ความหมาย	สัดส่วนโดยปริมาตรของก๊าซ k ในกระแสก๊าซในช่วงเวลา t บนฐานแห้ง
แหล่งข้อมูล	รายงานการตรวจวัดของผู้พัฒนาโครงการ
วิธีการติดตามผล	เครื่องวิเคราะห์ก๊าซบนฐานแห้งอย่างต่อเนื่อง
ความถี่ในการติดตามผล	ต่อเนื่องในกรณีที่ไม่ได้ระบุไว้ในวิธีการพื้นฐาน
ขั้นตอน QA / QC	การสอบเทียบควรมีการตรวจสอบเป็นศูนย์ด้วยก๊าซเฉื่อย (เช่น N_2) และการตรวจสอบการอ่านอย่างน้อยหนึ่งครั้งด้วยก๊าซมาตรฐาน (ก๊าซสอบเทียบเดี่ยวหรือก๊าซสอบเทียบผสม) ซึ่งก๊าซสอบเทียบทั้งหมด ต้องมีใบรับรองจากผู้ผลิตและต้องอยู่ภายใต้ระยะเวลาที่มีผลบังคับใช้
ความคิดเห็นอื่นๆ	

พารามิเตอร์	$V_{k,t,wb}$
หน่วย	m^3 gas k/m^3 wet gas
ความหมาย	สัดส่วนโดยปริมาตรของก๊าซ k ในกระแสก๊าซในช่วงเวลา t บนฐานเปียก
แหล่งข้อมูล	รายงานการตรวจวัดของผู้พัฒนาโครงการ
วิธีการติดตามผล	คำนวณจากการวิเคราะห์แบบแห้งพร้อมการวัดความเข้มข้นของน้ำหรือเครื่องวิเคราะห์ในแหล่งกำเนิดอย่างต่อเนื่องหากไม่ได้ระบุไว้ใน วิธีการ/เครื่องมือพื้นฐาน
ความถี่ในการติดตามผล	ต่อเนื่องในกรณีที่ไม่ได้ระบุไว้ในวิธีการพื้นฐาน
ขั้นตอน QA / QC	การสอบเทียบควรมีการตรวจสอบเป็นศูนย์ด้วยก๊าซเฉื่อย (เช่น N_2) และการตรวจสอบการอ่านอย่างน้อยหนึ่งครั้งด้วยก๊าซมาตรฐาน (ก๊าซสอบเทียบเดี่ยวหรือก๊าซสอบเทียบผสม) ซึ่งก๊าซสอบเทียบทั้งหมดต้องมีใบรับรองจากผู้ผลิตและต้องอยู่ภายใต้ระยะเวลาที่มีผลบังคับใช้
ความคิดเห็นอื่นๆ	

พารามิเตอร์	สถานะของอุปกรณ์สำหรับเผาทำลายก๊าซชีวภาพ
หน่วย	ไม่มีหน่วย
ความหมาย	สถานะการทำงานของอุปกรณ์สำหรับเผาทำลายก๊าซชีวภาพ
แหล่งข้อมูล	
วิธีการติดตามผล	การตรวจวัดและการจัดทำเอกสารอาจดำเนินการโดยการบันทึกการผลิตพลังงานจากก๊าซมีเทนที่กักเก็บได้หรือการทำงานของระบบเผาทำลาย โดยใช้เครื่องตรวจจับเปลวไฟเพื่อแสดงให้เห็นถึงการเผาทำลายก๊าซมีเทน เว้นแต่จะระบุวิธีการอื่นในวิธีการ / เครื่องมือพื้นฐาน ทั้งนี้การลดการปล่อยเรือนกระจกจะไม่เกิดขึ้นในช่วงเวลาที่อุปกรณ์เผาทำลายก๊าซมีเทนไม่ทำงาน
ความถี่ในการติดตามผล	ต่อเนื่องในกรณีที่มิได้ระบุไว้ในวิธีการพื้นฐาน
ขั้นตอน QA / QC	
ความคิดเห็นอื่นๆ	สำหรับอุปกรณ์ตรวจจับเปลวไฟให้อ้างอิง TVER-TOOL-02-04 "การคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเผาทำลายก๊าซชีวภาพจากการดำเนินโครงการ"

5.3. พารามิเตอร์ที่ไม่ต้องติดตามผล

พารามิเตอร์	R_U
หน่วย	$\text{Pa} \cdot \text{m}^3 / \text{kmol} \cdot \text{K}$
ความหมาย	ค่าคงที่ของก๊าซในอุดมคติ
ค่าที่นำไปใช้	8,314
ความคิดเห็นอื่นๆ	

พารามิเตอร์	MM_i																																							
หน่วย	kg/kmol																																							
ความหมาย	มวลโมเลกุลของก๊าซเรือนกระจกประเภท i																																							
ค่าที่นำไปใช้	<table border="1"> <thead> <tr> <th>ชนิดก๊าซ</th> <th>สูตรโมเลกุล</th> <th>มวลโมเลกุล (kg / kmol)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Carbon dioxide</td> <td>CO₂</td> <td>44.01</td> </tr> <tr> <td>Methane</td> <td>CH₄</td> <td>16.04</td> </tr> <tr> <td>Nitrous oxide</td> <td>N₂O</td> <td>44.02</td> </tr> <tr> <td>Sulfur hexafluoride</td> <td>SF₆</td> <td>146.06</td> </tr> <tr> <td>Perfluoromethane</td> <td>CF₄</td> <td>88.00</td> </tr> <tr> <td>Perfluoroethane</td> <td>C₂F₆</td> <td>138.01</td> </tr> <tr> <td>Perfluoropropane</td> <td>C₃F₈</td> <td>188.02</td> </tr> <tr> <td>Perfluorobutane</td> <td>C₄F₁₀</td> <td>238.03</td> </tr> <tr> <td>Perfluorocyclobutane</td> <td>c-C₄F₈</td> <td>200.03</td> </tr> <tr> <td>Perfluoropentane</td> <td>C₅F₁₂</td> <td>288.03</td> </tr> <tr> <td>Perfluorohexane</td> <td>C₆F₁₄</td> <td>338.04</td> </tr> <tr> <td>Carbon dioxide</td> <td>CO₂</td> <td>44.01</td> </tr> </tbody> </table>	ชนิดก๊าซ	สูตรโมเลกุล	มวลโมเลกุล (kg / kmol)	Carbon dioxide	CO ₂	44.01	Methane	CH ₄	16.04	Nitrous oxide	N ₂ O	44.02	Sulfur hexafluoride	SF ₆	146.06	Perfluoromethane	CF ₄	88.00	Perfluoroethane	C ₂ F ₆	138.01	Perfluoropropane	C ₃ F ₈	188.02	Perfluorobutane	C ₄ F ₁₀	238.03	Perfluorocyclobutane	c-C ₄ F ₈	200.03	Perfluoropentane	C ₅ F ₁₂	288.03	Perfluorohexane	C ₆ F ₁₄	338.04	Carbon dioxide	CO ₂	44.01
ชนิดก๊าซ	สูตรโมเลกุล	มวลโมเลกุล (kg / kmol)																																						
Carbon dioxide	CO ₂	44.01																																						
Methane	CH ₄	16.04																																						
Nitrous oxide	N ₂ O	44.02																																						
Sulfur hexafluoride	SF ₆	146.06																																						
Perfluoromethane	CF ₄	88.00																																						
Perfluoroethane	C ₂ F ₆	138.01																																						
Perfluoropropane	C ₃ F ₈	188.02																																						
Perfluorobutane	C ₄ F ₁₀	238.03																																						
Perfluorocyclobutane	c-C ₄ F ₈	200.03																																						
Perfluoropentane	C ₅ F ₁₂	288.03																																						
Perfluorohexane	C ₆ F ₁₄	338.04																																						
Carbon dioxide	CO ₂	44.01																																						
ความคิดเห็นอื่นๆ																																								

พารามิเตอร์	MM_k																								
หน่วย	kg/kmol																								
ความหมาย	มวลโมเลกุลของก๊าซ k																								
ค่าที่นำไปใช้	<table border="1"> <thead> <tr> <th>ชนิดก๊าซ</th> <th>สูตรโมเลกุล</th> <th>มวลโมเลกุล (kg / kmol)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Nitrogen</td> <td>N_2</td> <td>28.01</td> </tr> <tr> <td>Oxygen</td> <td>O_2</td> <td>32.00</td> </tr> <tr> <td>Carbon monoxide</td> <td>CO</td> <td>28.01</td> </tr> <tr> <td>Hydrogen</td> <td>H_2</td> <td>2.02</td> </tr> <tr> <td>Nitric oxide</td> <td>NO</td> <td>30.01</td> </tr> <tr> <td>Nitrogen dioxide</td> <td>NO_2</td> <td>46.01</td> </tr> <tr> <td>Sulfur dioxide</td> <td>SO_2</td> <td>64.06</td> </tr> </tbody> </table>	ชนิดก๊าซ	สูตรโมเลกุล	มวลโมเลกุล (kg / kmol)	Nitrogen	N_2	28.01	Oxygen	O_2	32.00	Carbon monoxide	CO	28.01	Hydrogen	H_2	2.02	Nitric oxide	NO	30.01	Nitrogen dioxide	NO_2	46.01	Sulfur dioxide	SO_2	64.06
ชนิดก๊าซ	สูตรโมเลกุล	มวลโมเลกุล (kg / kmol)																							
Nitrogen	N_2	28.01																							
Oxygen	O_2	32.00																							
Carbon monoxide	CO	28.01																							
Hydrogen	H_2	2.02																							
Nitric oxide	NO	30.01																							
Nitrogen dioxide	NO_2	46.01																							
Sulfur dioxide	SO_2	64.06																							
ความคิดเห็นอื่นๆ																									

พารามิเตอร์	MM_{H_2O}
หน่วย	kg/kmol
ความหมาย	มวลโมเลกุลของน้ำ
ค่าที่นำไปใช้	18.0152
ความคิดเห็นอื่นๆ	

พารามิเตอร์	P_n
หน่วย	Pa หรือ N/m^2
ความหมาย	ความดันสัมบูรณ์ในสภาวะอ้างอิง
ค่าที่นำไปใช้	101,325
ความคิดเห็นอื่นๆ	

พารามิเตอร์	T_n
หน่วย	K
ความหมาย	อุณหภูมิในสภาวะอ้างอิง
ค่าที่นำไปใช้	273.15
ความคิดเห็นอื่นๆ	

6. เอกสารอ้างอิง

CDM Methodological tool :

TOOL08 : Tool to determine the mass flow of a greenhouse gas in a gaseous stream Version 03.0

ภาคผนวก 1

แนวทางการจัดการและติดตามข้อมูลเพิ่มเติม เพื่อกำหนดการไหลของมวลของก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพ

ภาคผนวกนี้ใช้สำหรับกิจกรรมโครงการขนาดเล็กและขนาดใหญ่ในการคำนวณอัตราการไหลของมวลของมีเทนในก๊าซชีวภาพจากการบำบัดของเสียและก๊าซฝังกบ

1. การทดแทนข้อมูลสำหรับปริมาณก๊าซมีเทนหรือการไหลของก๊าซชีวภาพ

ในกรณีชุดข้อมูลของอัตราการไหลของมวลมีเทนขาดหายไปให้แทนที่ด้วยชุดข้อมูลแบบอนุรักษนิยมจากช่วงเวลาที่กำหนด อย่างไรก็ตามการทดแทนข้อมูลจะใช้กับค่าความเข้มข้นของมีเทนหรือค่าอัตราการไหลของปริมาตรก๊าซชีวภาพเท่านั้น แต่จะไม่นำไปใช้กับทั้งสองอย่างพร้อมกัน ทั้งนี้ในกรณีชุดข้อมูลของปริมาณก๊าซมีเทนและการไหลของก๊าซชีวภาพขาดหายไปในช่วงเวลาที่กำหนด จะไม่อนุญาตให้มีการลบข้อมูลสำหรับช่วงเวลานั้น ทั้งนี้การทดแทนชุดข้อมูลตามทีระบุไว้ในตารางที่ 1 มีเงื่อนไขดังนี้

- (a) สำหรับค่าความเข้มข้นของก๊าซมีเทน หรือ อัตราการไหลของก๊าซชีวภาพ ในช่วงระยะเวลาที่ข้อมูลขาดหายไป จะต้องสอดคล้องกับการทำงานปกติ (เช่น อัตราการไหลเฉลี่ยในช่วงระยะเวลาที่หายไปจะไม่เบี่ยงเบนไปจากการไหลเฉลี่ยอัตราของช่วงเวลาที่นำมาแทนข้อมูล (ระยะเวลาการทดแทนข้อมูล) มากกว่า $\pm 20\%$) และ
- (b) สำหรับอัตราการไหลของก๊าซชีวภาพ หรือ ความเข้มข้นของก๊าซมีเทนในช่วงระยะเวลาที่ข้อมูลขาดหายไป จะต้องสอดคล้องกับความเข้มข้นของก๊าซมีเทนในช่วงการดำเนินการปกติ (เช่นความเข้มข้นของก๊าซมีเทนเฉลี่ยในช่วงระยะเวลาที่ข้อมูลขาดหายไปจะต้องไม่เบี่ยงเบนไปจากความเข้มข้นของก๊าซมีเทนเฉลี่ยของระยะเวลาการทดแทนข้อมูลมากกว่า $\pm 20\%$); และ
- (c) ผู้พัฒนาโครงการจะต้องแสดงให้เห็นว่าก๊าซมีเทนได้ถูกเผาทำลายในช่วงระยะเวลาที่ข้อมูลขาดหายไป ในกรณีที่ไม่สามารถแสดงหลักฐานได้ จะไม่อนุญาตให้มีการทดแทนชุดข้อมูล

ตารางที่ 1 ขั้นตอนการลบข้อมูล

ระยะเวลาที่ข้อมูลขาดหายไป	ขั้นตอนการทดแทนข้อมูล
น้อยกว่า 6 ชั่วโมง	ใช้ค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักของระยะเวลา 4 ชั่วโมงก่อนและหลังไฟฟ้าดับ
6 ถึง 24 ชั่วโมง	ใช้ขอบเขตบนหรือขอบล่างของช่วงความเชื่อมั่น 95% ของข้อมูลในช่วง 24 ชั่วโมงก่อนและหลังไฟฟ้าดับ แล้วแต่ว่ากรณีใดจะส่งผลให้มีการประมาณการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกแบบอนุรักษนิยมมากขึ้น

ระยะเวลาที่ข้อมูลขาดหายไป	ขั้นตอนการทดแทนข้อมูล
1 ถึง 7 วัน	ใช้ขอบเขตบนหรือขอบล่างของช่วงความเชื่อมั่น 95% ของข้อมูล ในช่วง 72 ชั่วโมงก่อนและหลังไฟฟ้าดับ แล้วแต่ว่ากรณีใดจะส่งผลให้มีการประมาณการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกแบบอนุรักษ์นิยมมากขึ้น
มากกว่า 1 สัปดาห์	ไม่สามารถแทนที่ด้วยชุดข้อมูลได้

2. การใช้เครื่องวัดการไหลเดียวสำหรับการใช้ก๊าซชีวภาพที่นำกลับมาใช้ใหม่หลายครั้ง

ในกรณีก๊าซชีวภาพที่นำกลับมาใช้ใหม่ (เช่น ก๊าซฝังกลบ) ถูกใช้เพื่อวัตถุประสงค์หลายประการ (เช่น การเผาทำลายหรือการผลิตพลังงาน) และอุปกรณ์เผาทำลายก๊าซมีเทนทั้งหมดจะได้รับการตรวจติดตามว่าใช้งานได้ (เช่น บันทึกของเครื่องตรวจจับเปลวไฟ พลังงานที่ผลิตได้) อาจใช้เครื่องวัดการไหลเดียวเพื่อบันทึกข้อมูลในอุปกรณ์เผาทำลายก๊าซมีเทนหลายเครื่อง ประสิทธิภาพการเผาทำลายที่มีประสิทธิภาพน้อยที่สุดในบรรดาอุปกรณ์เผาทำลายจะใช้เป็นประสิทธิภาพการเผาทำลายสำหรับอุปกรณ์ทำลายทั้งหมดที่ตรวจสอบโดยเครื่องวัดการไหลนี้

ในกรณีมีเวลาที่อุปกรณ์เผาทำลายอย่างน้อย 1 เครื่องไม่ทำงาน อาจมีการอ้างสิทธิ์การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเผาทำลายมีเทนได้จากการตรวจสอบยืนยันการปฏิบัติตามเงื่อนไขต่อไปนี้ระดับด้านล่าง ในกรณีเช่นนี้ประสิทธิภาพของอุปกรณ์เผาทำลายที่มีประสิทธิภาพน้อยที่สุดในการทำงานจะใช้เป็นประสิทธิภาพของอุปกรณ์เผาทำลายทั้งหมดที่ตรวจสอบโดยเครื่องวัดการไหลเดียวนี้

- อุปกรณ์เผาทำลายทั้งหมดที่มีการติดตั้งวาล์วที่ท่อนำเข้าก๊าซปิดโดยอัตโนมัติจากการที่อุปกรณ์ไม่ทำงาน หรือ การปล่อยก๊าซชีวภาพสู่บรรยากาศโดยระบบแมนนัล
- สำหรับในช่วงเวลาที่อุปกรณ์เผาทำลายจำนวน 1 เครื่องหรือมากกว่า ไม่ทำงาน ผู้พัฒนาโครงการจะต้องแสดงให้เห็นว่าอุปกรณ์เผาทำลายที่เหลือ สามารถเผาทำลายก๊าซชีวภาพจริงที่บันทึกไว้ในช่วงเวลาดังกล่าว สำหรับอุปกรณ์อื่นที่ไม่ใช่สำหรับเผาทำลายก๊าซจะต้องแสดงให้เห็นว่าเอาต์พุตสอดคล้องกับการไหลของก๊าซ (เช่น โดยมวลและ / หรือสมมูลพลังงาน)

ทั้งนี้ การตรวจวัดปริมาณก๊าซมีเทนจะต้องดำเนินด้านหลังของเครื่องวัดการไหลและต้องปฏิบัติตามข้อกำหนดการติดตั้งของเครื่องวัดการไหลด้วย

3. การใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างสำหรับปริมาณก๊าซมีเทนในก๊าซฝังกลบ

การสุ่มตัวอย่างสำหรับปริมาณก๊าซมีเทนในก๊าซที่ผลิตได้จากหลุมฝังกลบมีเงื่อนไขดังต่อไปนี้

- ความสามารถในการบำบัดของเสียสูงสุดของหลุมฝังกลบคือ 200 ตันต่อวัน และ
- มาตรฐานการสุ่มเลือกตัวอย่างใช้หลักการทางสถิติโดยใช้ตารางสำเร็จของ ทาโร ยามาเน่ ที่

- ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และความคลาดเคลื่อนร้อยละ 10 รายละเอียดตามภาคผนวก 2
- (c) ต้องปฏิบัติตามวิธีการระดับชาติหรือนานาชาติสำหรับการตรวจวัดปริมาณก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพโดยการวิเคราะห์กึ่งต่อเนื่อง มิฉะนั้นการอ่านมิเตอร์สามารถทำได้ในกรณีปริมาณมีเทนถึงความเสถียรเป็นเวลาอย่างน้อย 3 นาที การวิเคราะห์แบบ Orsat ไม่เข้าข่าย
- (d) มีการตรวจวัดอัตราการไหลของก๊าซชีวภาพอย่างต่อเนื่อง โดยการสุ่มตัวอย่างในช่วงเวลาที่กำหนดสามารถใช้ได้เฉพาะในกรณีที่อัตราการไหลเฉลี่ยในช่วงสัปดาห์ถัดไปไม่ผันผวนมากกว่า +/- 20% เมื่อเทียบกับค่าเฉลี่ยของอัตราการไหล ในช่วงเวลาที่ตรวจวัดปริมาณก๊าซมีเทนโดยการสุ่มตัวอย่าง มิฉะนั้นการปรับแบบอนุรักษนิยมจะนำไปใช้กับปริมาณก๊าซมีเทนที่ตรวจวัดได้ โดยการใช้ค่าเบี่ยงเบนเป็นปัจจัยลด

ภาคผนวก 2
การคำนวณจำนวนตัวอย่างของทาโร ยามาเน่

สูตรการหาจำนวนตัวอย่างของทาโร ยามาเน่ (Taro Yamane, 1973) ตามสมการที่ (1)

$$n = \frac{N}{1+Ne^2} \quad \text{สมการที่ (1)}$$

เมื่อ n = จำนวนตัวอย่าง

N = จำนวนประชากร

e = ค่าความคลาดเคลื่อน

ตารางที่ 1 ขนาดของกลุ่มตัวอย่างของทาโร ยามาเน่ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % และความคลาดเคลื่อนต่างๆ

ขนาดประชากร	ขนาดของกลุ่มตัวอย่างที่ระดับความคลาดเคลื่อน (e)					
	± 1%	± 2%	± 3%	± 4%	± 5%	± 10%
500	*	*	*	*	222	83
1,000	*	*	*	385	286	91
1,500	*	*	638	441	316	94
2,000	*	*	714	476	333	95
2,500	*	1,250	769	500	345	96
3,000	*	1,364	811	517	353	97
3,500	*	1,458	843	530	359	97
4,000	*	1,538	870	541	364	98
4,500	*	1,607	891	549	367	98
5,000	*	1,667	909	556	370	98
6,000	*	1,765	938	566	375	98
7,000	*	1,842	959	574	378	99
8,000	*	1,905	976	580	381	99
9,000	*	1,957	989	584	383	99
10,000	5,000	2,000	1,000	588	385	99
15,000	6,000	2,143	1,034	600	390	99
20,000	6,667	2,222	1,053	606	392	100
25,000	7,143	2,273	1,064	610	394	100
50,000	8,333	2,381	1,087	617	397	100
100,000	9,091	2,439	1,099	621	398	100
∞	10,000	2,500	1,111	625	400	100

บันทึกการแก้ไข T-VER-P-TOOL-02-05

ฉบับที่	แก้ไขครั้งที่	วันที่บังคับใช้	รายการแก้ไข
01	-	1 มีนาคม 2566	เปลี่ยนแปลงจากรหัสเอกสารเดิม TVER-TOOL-02-05 Version 01
01	-	30 พฤศจิกายน 2565	การเริ่มใช้ครั้งแรก