Draft of T-VER-P-TOOL-02-06

การวิเคราะห์ความไม่แน่นอน (Uncertainty Analysis)

สำหรับสมการคำนวณการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

(Tool to uncertainty analysis for the equation calculating greenhouse gas emission reductions)

ฉบับที่ 01

มีผลบังคับใช้ตั้งแต่วันที่ xx

ใช้สำหรับการรับฟังความคิดเห็นเท่านั้น ยังไม่สามารถใช้อ้างอิงได้

1. บทนำ

เอกสารฉบับนี้เป็นเครื่องมือสำหรับการประมาณและการวิเคราะห์ความไม่แน่นอน (Uncertainty Analysis) สำหรับสมการคำนวณการลด และการกักเก็บก๊าซเรือนกระจกการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ซึ่งจะถูกนำไปใช้ในการกำหนดข้อมูลกรณีฐาน (Baseline scenario) ด้วยวิธีการปรับลดค่า (Downward Adjustment) ตามแนวทางการพัฒนาระเบียบวิธีลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจ สำหรับ Premium T-VER (Guideline for the Development of Premium T-VER Methodology) ฉบับที่ 02 และเครื่องมือการคำนวณจะอธิบายถึงหลักการคำนวณค่าไม่แน่นอน และให้ตัวอย่างในการคำนวณความไม่แน่นอนของแต่ละหมวดหมู่เข้าด้วยกันเพื่อคำนวณค่าความไม่แน่นอนของการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

2. คำนิยามที่เกี่ยวข้อง

- **ความไม่แน่นอน (Uncertainty)** หมายถึง การขาดข้อมูลเกี่ยวกับค่าจริงของตัวแปร ซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วย PDF ที่แสดงช่วงและความน่าจะเป็นของค่าที่เป็นไปได้ ความไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับข้อมูลของผู้วิเคราะห์ ซึ่งขึ้นอยู่กับคุณภาพและปริมาณของข้อมูลที่ใช้ รวมถึงความรู้เกี่ยวกับกระบวนการพื้นฐานและวิธีการอนุมาณ
- **ความไม่แน่นอนสัมบูรณ์ (Absolute uncertainty)** หมายถึง ความไม่แน่นอนแบบสัมบูรณ์ของค่าที่ตรวจวัดได้ ซึ่งบอกเป็นค่าเชิงตัวเลขเดียวที่แสดงว่าผลการวัดอาจคลาดเคลื่อนจากค่าจริงได้เท่าใดอย่างแน่นอน
- **ความไม่แน่นอนเชิงร้อยละ (Percentage uncertainty)** หมายถึง อัตราส่วนของค่าความไม่แน่นอนที่ขยายออกไปต่อค่าที่วัดได้จริง แสดงผลในรูปแบบเปอร์เซ็นต์เพื่อบอกระดับความน่าเชื่อถือของการวัด
- **ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation)** หมายถึง เป็นการวัดการกระจายแบบหนึ่งของกลุ่มข้อมูลสามารถนำไปใช้กับการแจกแจงความน่าจะเป็น ตัวแปรสุ่ม ประชากร หรือมัลติเซต
- **ค่าเฉลี่ย (Mean)** หมายถึง ค่ากลางทางสถิติที่ได้จากการนำข้อมูลทั้งหมดมารวมกันแล้วหารด้วยจำนวนข้อมูลทั้งหมด เป็นค่าที่แสดงจุดศูนย์กลางหรือตัวแทนของชุดข้อมูล
- **ค่าความเชื่อมั่น 95% (95% Confidence interval)** หมายถึง ช่วงของค่าที่คำนวณได้จากการสุ่มตัวอย่างซึ่งมีความมั่นใจทางสถิติ 95% ว่าค่าเฉลี่ยหรือพารามิเตอร์ที่แท้จริงของประชากรทั้งหมดจะอยู่ในช่วงนี้ เช่นในกรณีสุ่มตัวอย่างซ้ำ 100 ครั้ง จะมี 95 ครั้งที่ช่วงความเชื่อมั่นนี้ครอบคลุมค่าจริง และมีเพียง 5% (5 ครั้ง) ที่อาจผิดพลาด เป็นต้น

ใช้สำหรับการรับฟังความคิดเห็นเท่านั้น ยังไม่สามารถใช้อ้างอิงได้

3. ลักษณะของกิจกรรมที่เข้าข่าย และเงื่อนไขการนำไปใช้

เครื่องมือการคำนวณฉบับนี้ใช้ร่วมกับระเบียบวิธีลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจ (T-VER Methodology) เพื่อประกอบการพิจารณาค่ากรณีฐานในปีที่ 1 และค่ากรณีฐานตั้งแต่ปีที่ 2 เป็นต้น โดยใช้วิธี Downward Adjustment สำหรับกิจกรรมโครงการประเภทการลดการปล่อย การดูดซับ และการกักเก็บก๊าซเรือนกระจกภายใต้โครงการ Premium T-VER

4. แนวทางการวิเคราะห์ความไม่แน่นอน (Uncertainty Analysis)

แนวทางการวิเคราะห์ความไม่แน่นอนแบ่งออกเป็นในการคำนวณต่าง ๆ เมื่อมีค่าความไม่แน่นอนจากพจน์ต่าง ๆ ที่นำมาคำนวณ จะสามารถรวมค่าความไม่แน่นอนได้ดังนี้

4.1 การคำนวณค่าความไม่แน่นอนรวม

การคำนวณค่าความไม่แน่นอนรวมแบ่งออกเป็น 2 กรณี ได้แก่ 1) การคำนวณค่าความไม่แน่นอนรวมจากการคูณหรือหาร และ 2) การคำนวณค่าความไม่แน่นอนรวมจากการบวกหรือการลบ โดยมีรายละเอียดดังนี้

4.1.1 การคำนวณค่าความไม่แน่นอนจากการคูณหรือหาร

การคำนวณค่าความไม่แน่นอนจากการคูณหรือหารสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$UNC_{total} = \sqrt{UNC_1^2 + \ldots + UNC_i^2 + \ldots + UNC_n^2} \qquad \text{สมการที่ (1)}$$

โดยที่

UNC_{total} = ค่าความไม่แน่นอนรวม (%)

UNC_i = ค่าความไม่แน่นอนที่สัมพันธ์กับตัวแปร i (%)

4.1.2 การคำนวณค่าความไม่แน่นอนรวมจากการบวกหรือการลบ

การคำนวณค่าความไม่แน่นอนรวมจากการบวกหรือการลบสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$UNC_{total} = \frac{\sqrt{(UNC_1 * x_1)^2 + \ldots + (UNC_i * x_i)^2 + \ldots + (UNC_n * x_n)^2}}{\left| x_1 + x_i + \ldots + x_n \right|} \qquad \text{สมการที่ (2)}$$

ใช้สำหรับการรับฟังความคิดเห็นเท่านั้น ยังไม่สามารถใช้อ้างอิงได้

โดยที่

UNC_{total} = ค่าความไม่แน่นอนรวม (%)

UNC_i = ค่าความไม่แน่นอนที่สัมพันธ์กับตัวแปร i (%)

x_i = ตัวแปรที่มีความไม่แน่นอน

4.2 การคำนวณค่าความไม่แน่นอนจากชุดข้อมูล

ข้อมูลที่ได้จากการสุ่มตัวอย่างค่าความไม่แน่นอนจากชุดข้อมูลสามารถคำนวณได้ดังนี้

UNC ($\bar{x}$) = $\pm z \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ **สมการที่ (3)**

โดยที่

UNC ($\bar{x}$) = ค่าความไม่แน่นอนของค่าเฉลี่ย (unit)

σ = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (unit)

z = 1.96 ที่ค่าความเชื่อมั่น 95%

n = จำนวนชุดข้อมูล

ทั้งนี้การคำนวณค่าความไม่แน่นอนจากชุดข้อมูลที่มีการกระจายแบบปกติ (ระฆังคว่ำ) หากมีการกระจายที่แตกต่างจากนี้ให้อ้างอิงทฤษฎีทางสถิติ ที่เกี่ยวข้องอื่น ๆ

การตรวจสอบว่าชุดข้อมูลว่าเป็นการแจกแจงแบบปกติหรือไม่นั้น สามารถทำได้อย่างน้อย 3 วิธี ดังต่อไปนี้

1) สังเกตจากฮิสโทแกรมของข้อมูลว่ามีลักษณะเป็นรูประฆังคว่ำหรือไม่

2) พิจารณาค่าทางสถิติ ซึ่งทำได้หลายวิธี เช่น ถ้าชุดข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ จะต้องมีค่าเฉลี่ย ค่ากลาง และฐานนิยมเท่ากัน (Mean = Median = Mode) หรืออาจตรวจสอบว่าชุดข้อมูลมีความเบ้เป็นศูนย์ (Skewness = 0) หรือค่าความโด่งเป็น 3 (Kurtosis = 3) เป็นต้น

3) ทดสอบสมมติฐาน

ทั้งนี้การกำหนดให้ชุดข้อมูลจะเป็นการแจกแจงแบบปกติหรือไม่นั้น ไม่มีจำนวนข้อมูลขั้นต่ำที่จะระบุไว้ว่าจะต้องมีจำนวนข้อมูลกี่ชุด แต่โดยปกติแล้ว ในการดำเนินการทดสอบว่าชุดข้อมูลเป็นการแจกแจงแบบปกติหรือไม่นั้น ชุดข้อมูลควรมีจำนวนไม่น้อยกว่า 20-30 ชุดข้อมูล เพื่อให้สามารถลดความคลาดเคลื่อนจากการสุ่มตัวอย่างได้

ใช้สำหรับการรวบรวมความคิดเห็นเท่านั้น ยังไม่สามารถใช้อ้างอิงได้

4.2.1 การคำนวณส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \qquad \text{สมการที่ (4)}$$

โดยที่

σ = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (unit)
x = ค่าของชุดข้อมูล (unit)
$\bar{x}$ = ค่าเฉลี่ยของชุดข้อมูล (unit)
n = จำนวนชุดข้อมูล

4.2.2 การคำนวณค่าเฉลี่ยของชุดข้อมูล

ค่าเฉลี่ยของชุดข้อมูลคำนวณได้ดังนี้

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n} \qquad \text{สมการที่ (5)}$$

โดยที่

$\bar{x}$ = ค่าเฉลี่ยของชุดข้อมูล (unit)
x_i = ค่าของชุดข้อมูล (unit)
n = จำนวนชุดข้อมูล

ใช้สำหรับการรับพิจารณาเท่านั้น ยังไม่สามารถใช้อ้างอิงได้

5. เอกสารอ้างอิง

1) IPCC 2006, *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme*, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan. Volume 1, Chapter 3: Uncertainties.
2) IPCC 2019, 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Calvo Buendia, E., et al. (eds). Published: IPCC, Switzerland.
3) Hughes, I., & Hase, T. (2010). *Measurements and their Uncertainties: A Practical Guide to Modern Error Analysis*. Oxford University Press.
4) Pishro-Nik, H. *Introduction to Probability, Statistics, and Random Processes*; Kappa Research LLC: Montgomery, PA, USA, 2014; Available online: **https://www.probabilitycourse.com** (accessed on 1 April 2026)

ใช้สำหรับการรับฟังความคิดเห็นเท่านั้น ยังไม่สามารถใช้อ้างอิงได้

ภาคผนวก 1

ตัวอย่างการคำนวณค่าความไม่แน่นอน (Uncertainty Analysis)

1. ตัวอย่างการคำนวณค่าความไม่แน่นอนจากการดำเนินการทางสถิติ

ในการคำนวณต่าง ๆ เมื่อมีค่าความไม่แน่นอนจากพจน์ต่าง ๆ ที่นำมาคำนวณ จะสามารถรวมค่าความไม่แน่นอนได้ดังนี้

1.1 การคำนวณค่าความไม่แน่นอนจากการคูณหรือหารมีตัวอย่างดังนี้

<u>สำหรับผลคูณ</u>

1) กำหนดชุดข้อมูล

$(1.0 \pm 0.1\%) \times (2.0 \pm 0.2\%)$

2) คำนวณค่าความไม่แน่นอนรวม

$$UNC_{total} = \sqrt{(0.1)^2 + (0.2)^2} = 0.22\%$$

3) สรุปการคำนวณ

$(1.0 \times 2.0) \pm UNC_{total} = 2.0 \pm 0.22\%$

<u>สำหรับผลหาร</u>

1) กำหนดชุดข้อมูล

$(1.0 \pm 0.1\%) / (2.0 \pm 0.2\%)$

2) คำนวณค่าความไม่แน่นอนรวม

$$UNC_{total} = \sqrt{(0.1)^2 + (0.2)^2} = 0.22\%$$

3) สรุปการคำนวณ

$(1.0 / 2.0) \pm UNC_{total} = 0.5 \pm 0.22\%$

1.2 การคำนวณค่าความไม่แน่นอนจากการบวกหรือลบ โดยมีตัวอย่างดังนี้

<u>สำหรับผลบวก</u>

1) กำหนดชุดข้อมูล

$(1.0 \pm 1\%) + (2.0 \pm 2\%)$

ใช้สำหรับการรับฟังความคิดเห็นเท่านั้น ยังไม่สามารถใช้อ้างอิงได้

2) คำนวณค่าความไม่แน่นอนรวม

$$UNC_{total} \quad \frac{\sqrt{(1 * 1.0)^2 + (2 * 2.0)^2}}{\left| 1.0 + 2.0 \right|} = 1.37\%$$

3) สรุปการคำนวณ

$(1.0 + 2.0) \pm UNC_{total} = 3.0 \pm 1.37\%$

<u>สำหรับผลลบ</u>

1) กำหนดชุดข้อมูล

$(2.0 \pm 1\%) - (1.0 \pm 2\%)$

2) คำนวณค่าความไม่แน่นอนรวม

$$UNC_{total} \quad \frac{\sqrt{(1 * 2.0)^2 + (2 * 1.0)^2}}{\left| 2.0 + 1.0 \right|} = 0.94\%$$

3) สรุปการคำนวณ

$(2.0 - 1.0) \pm UNC_{total} = 1.0 \pm 0.94\%$

2. ตัวอย่างการคำนวณค่าความไม่แน่นอนจากชุดข้อมูล

1) กำหนดชุดข้อมูลเป็น $[2.1, 2.3, 2.2, 2.4, 2.3]$

2) คำนวณค่าเฉลี่ย

$\bar{x}$ = (2.1+2.3+2.2+2.4+2.3) / 5 = 2.26

3) คำนวณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

$$\sigma = \sqrt{\frac{(2.1 - 2.26)^2 + (2.3 - 2.26)^2 + ...+ (2.3 - 2.26)^2}{5-1}} = 0.114$$

เมื่อคำนวณค่าความไม่แน่นอนของค่าเฉลี่ยของชุดข้อมูลนี้ จะได้

$$U(\bar{x}) = \pm \frac{1.96 \times 0.114}{\sqrt{5}} = 0.1$$

4) สรุปผลการคำนวณ

$\bar{x}$ = 2.26 ± 0.1

ใช้สำหรับการรับรองคาร์บอนเครดิตเท่านั้น ไม่สามารถใช้งานอื่นได้

ภาคผนวก 2

การคำนวณค่าความไม่แน่นอน (Uncertainty Analysis) ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกรณีฐาน ของ T-VER-P-METH-01-01 การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนเพื่อจำหน่ายเข้าสู่โครงข่ายไฟฟ้า

1. การคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกรณีฐาน

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกรณีฐานพิจารณาเฉพาะการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) จากการผลิตไฟฟ้าโดยใช้ก๊าซธรรมชาติของระบบผลิตไฟฟ้าของโครงข่ายไฟฟ้า (National grid) ที่ถูกแทนที่ด้วยไฟฟ้าที่ผลิตได้จากโครงการเท่านั้น ซึ่งคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ดังนี้

$$BE_y = EG_{PJ,y} \times EF_{Elec,y}$$

โดยที่

BE_y = ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกรณีฐาน ในปี y (tCO_2/year)

$EG_{PJ.y}$ = ปริมาณการผลิตไฟฟ้าสุทธิที่จำหน่ายเข้าสู่โครงข่ายไฟฟ้าจากการดำเนินโครงการในปี y (MWh)

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

2. การกำหนดค่าของชุดข้อมูลสำหรับคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกรณีฐาน

ค่าของชุดข้อมูลสำหรับคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกรณีฐานมีรายละเอียดดังนี้

ลำดับ	พารามิเตอร์	ค่าที่ใช้	ที่มาของ Uncertainty
1	$EG_{PJ,y}$	1,000,000 ± 0.2% MWh/year	เครื่องมือวัด
2	$EF_{Elec,y}$	0.4004 ± 0.2% tCO_2/MWh	อบก. กำหนด

3. ผลการคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกรณีฐาน

จากการแทนค่าของชุดข้อมูลในสมการคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกรณีฐาน สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$UNC_{total} \sqrt{(0.2)^2 + (0.2)^2} = 0.28\%$$

BE_y = (1,000,000 ± 0.2%) x (0.4004 ± 0.2%)

= 400,400 ± 0.28% tCO_2eq/year

4. สรุปผลการคำนวณ

ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกรณีฐานเท่ากับ 400,400 ± 0.2% tCO_2eq/year

ใช้สำหรับการรับฟังความคิดเห็นเท่านั้น ยังไม่สามารถใช้อ้างอิงได้

ภาคผนวก 3

การคำนวณค่าความไม่แน่นอน (Uncertainty Analysis) ของ T-VER-P-METH-12-01 การกักเก็บก๊าซมีเทนจากการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศเพื่อนำไปใช้ประโยชน์หรือเผาทำลาย

1. การคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกรณีฐาน

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกรณีฐานสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$BE_y = BE_{power,y} + BE_{ww,treatment,y} + BE_{s,treatment,y} + BE_{ww,discharge,y} + BE_{S,final,y}$$

โดยที่

BE_y = ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกรณีฐาน ในปี y ($tCO_2eq/year$)

$BE_{power,y}$ = ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการใช้ไฟฟ้าหรือเชื้อเพลิงฟอสซิลจากกรณีฐานในปี y ($tCO_2eq/year$)

$BE_{ww,treatment,y}$ = ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียจากกรณีฐานในปี y ($tCO_2eq/year$)

$BE_{s,treatment,y}$ = ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการบำบัดกากตะกอนจากกรณีฐาน ในปี y ($tCO_2eq/year$)

$BE_{ww,discharge,y}$ = ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ในน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการบำบัดน้ำเสียที่ปล่อยลงสู่แหล่งน้ำจากกรณีฐาน ในปี y ($tCO_2eq/year$)

$BE_{S,final,y}$ = ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการสลายตัวแบบไร้อากาศของกากตะกอนขั้นสุดท้ายจากกรณีฐาน ในปี y ($tCO_2eq/year$)

2. การกำหนดค่าของชุดข้อมูลสำหรับคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกรณีฐาน

2.1 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการใช้ไฟฟ้าหรือเชื้อเพลิงฟอสซิล

การใช้พลังงานต้องรวมถึงอุปกรณ์/อุปกรณ์ทั้งหมดในระบบบำบัดน้ำเสียและกากตะกอนในกรณีฐาน หากกรณีฐานมีการนำก๊าซชีวภาพกลับมาใช้ใหม่เพื่อจ่ายพลังงานให้กับอุปกรณ์เสริม ควรมีการนำมาพิจารณาตามนั้นโดยใช้ค่า emission factor = 0 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการใช้ไฟฟ้าหรือเชื้อเพลิงฟอสซิลสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$BE_{power,y} = BE_{EC,y} + BE_{FF,y}$$

โดยที่

$BE_{power,y}$ = ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการใช้ไฟฟ้าหรือเชื้อเพลิงฟอสซิลจากกรณีฐาน ในปี y ($tCO_2eq/year$)

$BE_{EC,y}$ = ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้าจากกรณีฐาน ในปี y ($tCO_2eq/year$)

ใช้สำหรับการพัฒนาโครงการในพื้นที่เท่านั้น ยังไม่สามารถใช้งานได้

$BE_{FF,y}$ = ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลจากกรณีฐานในปี y ($tCO_2eq/year$)

2.1.1 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้า

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้าจากการดำเนินโครงการสามารถคำนวณจากปริมาณการใช้ไฟฟ้า ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตไฟฟ้า และการสูญเสียกำลังไฟฟ้าในโครงข่ายไฟฟ้า ดังต่อไปนี้

$$BE_{EC,y} = \sum_{j} EC_{PJ,j,y} \times EF_{EF,j,y} \times (1+ TDL_{j,y})$$

โดยที่

$BE_{EC,y}$ = ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้าจากกรณีฐานในปี y ($tCO_2eq/year$)

$EC_{BL,j,y}$ = ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของโครงการในแหล่งการใช้ไฟฟ้าประเภท j ในปี y (MWh/year)

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

$TDL_{j,y}$ = สัดส่วนค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในโครงข่ายไฟฟ้าสำหรับการจ่ายไฟฟ้าไปยังแหล่งกำเนิด j ในปี y

j = แหล่งที่มาของการใช้ไฟฟ้าจากการดำเนินโครงการ

ลำดับ	พารามิเตอร์	ค่าที่ใช้	ที่มาของ Uncertainty
1	$EC_{BL,j,y}$	1,000,000 ± 0.2% MWh/year	เครื่องมือวัด
2	$EF_{Elec,y}$	0.4004 ± 0.2% tCO_2/MWh	อบก. กำหนด
3	$TDL_{j,y}$	6.09	-

2.1.2 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลคำนวณได้ดังนี้

$$BE_{FF,y} = FC_{i,BL} \times NCV_i \times Ef_{co2,i}$$

โดยที่

$BE_{FF,y}$ = ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลจากกรณีฐานในปี y ($tCO_2eq/year$)

$FC_{i,BL}$ = ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงดีเซลจากกรณีฐาน (unit)

NCV_i = ค่าความร้อนสุทธิของเชื้อเพลิงดีเซล (GJ/unit)

ใช้สำหรับการรับฟังความคิดเห็นเท่านั้น ยังไม่สามารถใช้อ้างอิงได้

$EF_{CO2,i}$ = การปล่อยก๊าซ CO_2 จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงดีเซล (kg CO_2/TJ)

ลำดับ	พารามิเตอร์	ค่าที่ใช้	ที่มาของ Uncertainty
1	$FC_{i,BL}$	1,000 ± 0.3% litre	เครื่องมือวัด
2	NCV_i	0.03642 ± 0.2% GJ/litre	เครื่องมือวัด
3	$EF_{CO2,i}$	0.0741 tCO_2/GJ	-

2.2 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียกรณีฐาน

การปล่อยก๊าซมีเทนจากระบบบำบัดน้ำเสียในกรณีฐาน โดยพิจารณาจากประสิทธิภาพการกำจัด COD ของโรงงานกรณีฐาน

$$\mathbf{BE_{ww,treatment,y}} = \sum_i (\mathbf{Q_{ww,i,y}} \times \mathbf{COD_{inflow,i,y}} \times \eta_{\mathbf{COD,BL,i}} \times \mathbf{MCF_{ww,treatment,BL,i}}) \times \mathbf{B_{o,ww}} \times \mathbf{UF_{BL}} \times \mathbf{GWP_{CH4}}$$

โดยที่

$BE_{ww,treatment,y}$ = ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียจากกรณีฐานในปี y (tCO_2eq/year)

$Q_{ww,i,y}$ = ปริมาณน้ำเสียของโครงการที่เข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียประเภท i ในปี y (m^3/year)

$COD_{inflow,i,y}$ = ค่าเฉลี่ย COD ของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียกรณีฐานประเภท i ในปี y (t COD/m^3) ค่าเฉลี่ยอาจจะใช้การสุ่มตัวอย่างด้วยระดับความเชื่อมั่น/ความแม่นยำเท่ากับ 90/10

$\eta_{COD,BL,i}$ = ประสิทธิภาพในการกำจัด COD ของระบบบำบัดน้ำเสียกรณีฐานประเภท i

$MCF_{ww,treatment,BL,i}$ = ค่า Methane correction factor สำหรับระบบบำบัดน้ำเสียกรณีฐานประเภท i

$B_{o,ww}$ = อัตราการสร้างก๊าซมีเทนของกระบวนการบำบัดน้ำเสีย ($kgCH_4/kgCOD_{removal}$)

UF_{BL} = ค่า Model correction factor สำหรับความไม่แน่นอนของแบบจำลองจากกรณีฐาน

GWP_{CH4} = ศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อนของก๊าซมีเทน (tCO_2eq/tCH_4)

i = ประเภทของระบบบำบัดน้ำเสียกรณีฐาน

ลำดับ	พารามิเตอร์	ค่าที่ใช้	ที่มาของ Uncertainty
1	$Q_{ww,i,y}$	1,000 m^3 ± 0.3%	เครื่องมือวัด
2	$COD_{inflow,i,y}$	20,000 t COD/m^3 ± 0.3%	เครื่องมือวัด
3	$\eta_{COD,BL,i}$	60 %	-

ใช้สำหรับการรับฟังความคิดเห็นเท่านั้น ยังไม่สามารถใช้อ้างอิงได้

ลำดับ	พารามิเตอร์	ค่าที่ใช้	ที่มาของ Uncertainty
4	$MCF_{ww,treatment,BL,i}$	0.8 ± 20%	A6.4-AMM-001
5	$B_{o,ww}$	0.25 $kgCH_4/kgCOD_{removal}$	CDM AMS-III.H
6	UF_{BL}	0.89	CDM AMS-III.H
7	GWP_{CH4}	25 tCO_2eq/tCH_4	-

2.3 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการบำบัดกากตะกอนกรณีฐาน

$$BE_{s,treatment,y} = \sum_{j} S_{j,BL,y} \times MCF_{s,treatment,BL,j} \times DOC_s \times UF_{BL} \times DOC_F \times F \times 16/12 \times GWP_{CH4}$$

โดยที่

$BE_{s,treatment,y}$ = ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการบำบัดกากตะกอนจากกรณีฐานในปี y ($tCO_2eq/year$)

$S_{j,BL,y}$ = ปริมาณกากตะกอนน้ำหนักแห้งที่เข้าสู่กระบวนการบำบัดกากตะกอนจากกรณีฐานประเภท j ในปี y (t)

j = ประเภทกระบวนการบำบัดกากตะกอน

$MCF_{s,treatment,BL,j}$ = ค่า Methane correction factor สำหรับกระบวนการบำบัดกากตะกอนจากกรณีฐานประเภท j

DOC_s = ปริมาณสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ของกากตะกอนที่ไม่ผ่านการบำบัดในปี y (fraction, dry basis)

UF_{BL} = ค่า Model correction factor สำหรับความไม่แน่นอนของแบบจำลองจากกรณีฐาน

DOC_F = สัดส่วนของปริมาณสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ของกากตะกอนที่เปลี่ยนเป็นก๊าซชีวภาพ

F = สัดส่วนก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพ

ลำดับ	พารามิเตอร์	ค่าที่ใช้	ที่มาของ Uncertainty
1	$S_{j,BL,y}$	100 ± 0.2% ton	เครื่องมือวัด
2	$MCF_{ww,treatment,BL,i}$	0.8 ± 20%	A6.4-AMM-001
3	DOC_s	0.257	CDM AMS-III.H
4	UF_{BL}	0.89	CDM AMS-III.H
5	DOC_F	0.5	CDM AMS-III.H
6	F	0.5	CDM AMS-III.H
7	GWP_{CH4}	25 tCO_2eq/tCH_4	-

ใช้สำหรับการรับรองคาร์บอนเครดิตเท่านั้น ไม่สามารถใช้อ้างอิงได้

2.4 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วปล่อยลงสู่แหล่งน้ำกรณีฐาน

$$BE_{ww,discharge,y} = Q_{ww,y} \times GWP_{CH4} \times B_{o,ww} \times UF_{BL} \times COD_{ww,discharge,BL,y} \times MCF_{ww,BL,discharge}$$ สมการที่ (8)

โดยที่

$BE_{ww,discharge,y}$ = การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วปล่อยลงสู่แหล่งน้ำจากกรณีฐานในปี y ($tCO_2eq/year$)

$Q_{ww,y}$ = ปริมาณน้ำเสียที่ออกจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียในปี y (t)

UF_{BL} = ค่า Model correction factor สำหรับความไม่แน่นอนของแบบจำลองในกรณีฐาน

$COD_{ww,discharge,BL,y}$ = ค่าเฉลี่ย COD ของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วและปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ ($tCOD/m^3$) หากกรณีฐาน คือ การปล่อยน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำโดยไม่ผ่านการบำบัด ดังนั้นใช้ค่า COD ของน้ำเสียที่ไม่ผ่านการบำบัด

$MCF_{ww,BL,discharge}$ = ค่า Methane correction factor สำหรับการปล่อยน้ำเสียจากกรณีฐาน

ลำดับ	พารามิเตอร์	ค่าที่ใช้	ที่มาของ Uncertainty
1	$Q_{ww,y}$	1,000 m^3 ± 0.3%	เครื่องมือวัด
2	GWP_{CH4}	25 tCO_2eq/tCH_4	-
3	$B_{o,ww}$	0.25 $kgCH_4/kgCOD_{removal}$	CDM AMS-III.H
4	UF_{BL}	0.89	CDM AMS-III.H
5	$COD_{ww,discharge,BL,y}$	1,000 t COD/m^3 ± 0.3%	เครื่องมือวัด
6	$MCF_{ww,BL,discharge}$	0.3 ± 20%	A6.4-AMM-001

2.5 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการสลายตัวของกากตะกอนขั้นสุดท้ายแบบไร้อากาศกรณีฐาน

กำหนดให้กากตะกอนถูกควบคุมการเผาไหม้หรือกำจัดในหลุมฝังกลบที่มีการดักจับก๊าซชีวภาพหรือใช้เป็นสารปรับปรุงดินในสภาวะใช้อากาศ ดังนั้นค่า $BE_{S,final,y}$ เท่ากับ 0

3. ผลการคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกรณีฐาน

3.1 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการใช้ไฟฟ้าหรือเชื้อเพลิงฟอสซิล

$BE_{power,y}$ = 424,784.36 ± 0.28% + 2.70 ± 0.36%

$$= (424{,}784.36 + 2.70) \pm \frac{\sqrt{(0.28 * 424{,}784.36)^2 + (0.36 * 2.7)^2}}{(424{,}787.06 + 2.7)}$$

= 424,787.06 ± 0.28% $tCO_2eq/year$

3.1.1 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้า

$BE_{EC,y}$ = (1,000,000 ± 0.2%) × (0.4004 ± 0.2%) × (1+0.0609)

$$= (1{,}000{,}000 \times 0.4004 \times 1.0609) \pm \sqrt{(0.2)^2 + (0.2)^2}$$

= 424,784.36 ± 0.28% $tCO_2eq/year$

3.1.2 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลคำนวณได้ดังนี้

$BE_{FF,y}$ = (1,000 ± 0.3%) × (0.03642 ± 0.2%) × 0.0741

$$= (1{,}000 \times 0.03642 \times 0.0741) \pm \sqrt{(0.3)^2 + (0.2)^2}$$

= 2.70 ± 0.36% $tCO_2eq/year$

3.2 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียกรณีฐาน

การปล่อยก๊าซมีเทนจากระบบบำบัดน้ำเสียในกรณีฐาน โดยพิจารณาจากประสิทธิภาพการกำจัด COD ของโรงงานกรณีฐาน

$BE_{ww,treatment,y}$ = (1,000 ± 0.3%) x (20,000 ± 0.3%) x 0.6 x (0.8 ± 20%) x 0.25 x 0.89 x 25

$$= (1{,}000 \times 20{,}000 \times 0.6 \times 0.8 \times 0.25 \times 0.89 \times 25) \pm \sqrt{(0.3)^2 + (0.3)^2 + (20)^2}$$

= 53,400,000 ± 20.00% $tCO_2eq/year$

3.3 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการบำบัดกากตะกอนกรณีฐาน

$BE_{s,treatment,y}$ = (100 ± 0.2%) x (0.8 ± 20%) x 0.257 x 0.89 x 0.5 x 0.5 x 25

$$= (100 \times 0.8 \times 0.257 \times 0.89 \times 0.5 \times 0.5 \times 25) \pm \sqrt{(0.2)^2 + (20)^2}$$

= 114.37 ± 20.00 % $tCO_2eq/year$

3.4 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วปล่อยลงสู่แหล่งน้ำกรณีฐาน

$BE_{ww,discharge,y}$ = (1,000 ± 0.3%) x 25 x 0.25 x 0.89 x (1,000 ± 0.3%) x (0.3 ± 20%)

=

$$\sqrt{\quad}$$

ใช้สำหรับการรับฟังความคิดเห็นเท่านั้น ไม่สามารถใช้อ้างอิงได้

(1,000 x 25 x 0.25 x 0.89 x 1,000) x 0.3) ± $\sqrt{(0.3)^2 + (0.3)^2 + (20)^2}$

= 1,668,750 ± 20.00 % $tCO_2eq/year$

3.5 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการสลายตัวของกากตะกอนขั้นสุดท้ายแบบไร้อากาศกรณีฐาน

กำหนดให้กากตะกอนถูกควบคุมการเผาไหม้หรือกำจัดในหลุมฝังกลบที่มีการดักจับก๊าซชีวภาพ หรือใช้เป็นสารปรับปรุงดินในสภาวะใช้อากาศ ดังนั้นค่า $BE_{S,final,y}$ เท่ากับ 0

3.6 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกรวมจากกรณีฐาน

$$BE_y = BE_{power,y} + BE_{ww,treatment,y} + BE_{s,treatment,y} + BE_{ww,discharge,y} + BE_{S,final,y}$$

= 424,787.06 ± 0.28% + 53,400,000 ± 20.00% + 114.37 ± 20.00 % + 1,668,750 ± 20.00 %

= (424,787.06+53,400,000+114.37+1,668,750.00)

$$\pm \frac{\sqrt{(0.28 * 424{,}787.06)^2 + (20 * 53{,}400{,}000)^2 + (20 * 114.37)^2 + (20 * 1{,}668{,}750)^2}}{(424{,}787.06 + 53{,}400{,}000 + 114.37 + 1{,}668{,}750)}$$

= 55,493,651.43 ± 19.25 % $tCO_2eq/year$

4. สรุปผลการคำนวณ

ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกรณีฐานจากการกักเก็บก๊าซมีเทนจากการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศเพื่อนำไปใช้ประโยชน์หรือเผาทำลายเท่ากับ 55,493,651.43 ± 19.25 % $tCO_2eq/year$

ใช้สำหรับการรับฟังความคิดเห็นเท่านั้น ไม่สามารถใช้อ้างอิงได้

บันทึกการแก้ไข T-VER-P-TOOL-02-06			
ฉบับที่	**แก้ไขครั้งที่**	**วันที่บังคับใช้**	**รายการแก้ไข**
01	-		การเริ่มใช้ครั้งแรก

ใช้สำหรับการรับฟังความคิดเห็นเท่านั้น ยังไม่สามารถใช้อ้างอิงได้