

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 23 กรกฎาคม 2569

1. บทนำ

เอกสารฉบับนี้เป็นเครื่องมือสำหรับการประมาณและการวิเคราะห์ความไม่แน่นอน (Uncertainty Analysis) สำหรับสมการคำนวณการลด ดูดซับ และการกักเก็บก๊าซเรือนกระจกการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และแนวโน้มของการลด ดูดซับ และการกักเก็บก๊าซเรือนกระจกในปีถัดไป โดยจะให้วิธีการสำหรับผู้พัฒนาโครงการ และตัวอย่างในการคำนวณความไม่แน่นอนของแต่ละหมวดหมู่เข้าด้วยกัน เพื่อคำนวณค่าความไม่แน่นอนของการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

2. คำนิยามที่เกี่ยวข้อง

- **ความไม่แน่นอน (Uncertainty)** หมายถึง การขาดข้อมูลเกี่ยวกับค่าจริงของตัวแปร ซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วยฟังก์ชันความน่าจะเป็น (Probability Density Function: PDF) ที่แสดงช่วงและความน่าจะเป็นของค่าที่เป็นไปได้ ความไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับข้อมูลของผู้วิเคราะห์ ซึ่งขึ้นอยู่กับคุณภาพและปริมาณของข้อมูลที่ใช้ รวมถึงความรู้เกี่ยวกับกระบวนการพื้นฐานและวิธีการอนุมาน
- **ความไม่แน่นอนสัมบูรณ์ (Absolute uncertainty)** หมายถึง ความไม่แน่นอนแบบสัมบูรณ์ของค่าที่ตรวจวัดได้ ซึ่งบอกเป็นค่าเชิงตัวเลขเดียวที่แสดงว่าผลการวัดอาจคลาดเคลื่อนจากค่าจริงได้เท่าใดอย่างแน่นอน
- **ความไม่แน่นอนเชิงร้อยละ (Percentage uncertainty)** หมายถึง อัตราส่วนของค่าความไม่แน่นอนที่ขยายออกไปต่อค่าที่วัดได้จริง แสดงผลในรูปแบบเปอร์เซ็นต์เพื่อบอกระดับความน่าเชื่อถือของการวัด
- **ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation)** หมายถึง เป็นการวัดการกระจายแบบหนึ่งของกลุ่มข้อมูลสามารถนำไปใช้กับการแจกแจงความน่าจะเป็น ตัวแปรสุ่ม ประชากร หรือ มัลติเซต
- **ค่าเฉลี่ย (Mean)** หมายถึง ค่ากลางทางสถิติที่ได้จากการนำข้อมูลทั้งหมดมารวมกันแล้วหารด้วยจำนวนข้อมูลทั้งหมด เป็นค่าที่แสดงจุดศูนย์กลางหรือตัวแทนของชุดข้อมูล
- **ค่าความเชื่อมั่น 95% (95% Confidence interval)** หมายถึง ช่วงของค่าที่คำนวณได้จากการสุ่มตัวอย่างซึ่งมีความมั่นใจทางสถิติ 95% ว่าค่าเฉลี่ยหรือพารามิเตอร์ที่แท้จริงของประชากรทั้งหมดจะอยู่ในช่วงนี้ เช่นในกรณีสุ่มตัวอย่างซ้ำ 100 ครั้ง จะมี 95 ครั้งในช่วงความเชื่อมั่นนี้ครอบคลุมค่าจริง และมีเพียง 5% (5 ครั้ง) ที่อาจผิดพลาด เป็นต้น

3. ลักษณะของกิจกรรมที่เข้าข่าย และเงื่อนไขการนำไปใช้

เครื่องมือฉบับนี้ใช้บังคับกับระเบียบวิธีสำหรับกิจกรรมที่ดำเนินการลด ดูดซับ และการกักเก็บก๊าซเรือนกระจกภายใต้โครงการลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจตามมาตรฐานของประเทศไทย (Thailand

Voluntary Emission Reduction Program) สำหรับ Premium T-VER โดยเครื่องมืออาจมีการแก้ไขเพิ่มเติมในอนาคตเพื่อครอบคลุมวิธีการที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในระดับอื่น ๆ

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

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

โดยที่

UNC_{total} = ค่าความไม่แน่นอนรวม (%)

UNC_i = ค่าความไม่แน่นอนที่สัมพันธ์กับตัวแปร i (%)

4.1.2 การคำนวณค่าความไม่แน่นอนรวมจากการบวกหรือการลบ

การคำนวณค่าความไม่แน่นอนรวมจากการบวกหรือการลบสามารถคำนวณได้ดังนี้

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

โดยที่

UNC_{total} = ค่าความไม่แน่นอนรวม (%)

UNC_i = ค่าความไม่แน่นอนที่สัมพันธ์กับตัวแปร i (%)

x_i = ตัวแปรที่มีความไม่แน่นอน

4.2 การคำนวณค่าความไม่แน่นอนจากชุดข้อมูล

การคำนวณค่าความไม่แน่นอนของค่าเฉลี่ยของชุดข้อมูลที่มาจากการสุ่มตัวอย่าง ให้ใช้ z-score หรือ t-score มาช่วยในการคำนวณค่าความไม่แน่นอน โดยจะขึ้นอยู่กับค่าความเชื่อมั่นที่ต้องการและจำนวนชุดข้อมูลที่นำมาคำนวณ โดยมีแนวทางการคำนวณค่าความไม่แน่นอนจากชุดข้อมูลดังนี้

- 1) กรณีมีจำนวนชุดข้อมูล (n) มากกว่าหรือเท่ากับ 30 ตัวอย่าง ให้ใช้ z-score
- 2) กรณีมีจำนวนชุดข้อมูล (n) น้อยกว่า 30 ตัวอย่าง ให้ใช้ t-score

หมายเหตุ การเลือกใช้ t-score จำนวนชุดข้อมูลจะต้องไม่น้อยกว่า 30 ตัวอย่าง และต้องเป็นไปตามหลักเกณฑ์ของ IPCC ฉบับล่าสุดกำหนด

4.2.1 z-score

ให้ใช้ z-score สำหรับข้อมูลที่ทราบค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากร (σ) โดย z-score สำหรับค่าความเชื่อมั่น 95% จะมีค่าเท่ากับ 1.96 โดยจะไม่ขึ้นกับจำนวนข้อมูลที่ได้สุ่มตัวอย่างเนื่องจากทราบค่า σ ทั้งนี้ค่าความไม่แน่นอนของค่าเฉลี่ยของชุดข้อมูลที่มีจำนวน n ชุด สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$UNC(\bar{X}) = \pm z \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad \text{สมการที่ (3)}$$

โดยที่

$$\begin{aligned} UNC(\bar{X}) &= \text{ค่าความไม่แน่นอนของค่าเฉลี่ย (unit)} \\ \sigma &= \text{ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากร (unit)} \\ z &= 1.96 \text{ ที่ค่าความเชื่อมั่นร้อยละ 95\%} \\ n &= \text{จำนวนชุดข้อมูล} \end{aligned}$$

ทั้งนี้ใช้กับการกระจายแบบปกติ (ระฆังคว่ำ) หากมีการกระจายที่แตกต่างจากนี้ให้อ้างอิงทฤษฎีทางสถิติที่เกี่ยวข้องอื่น ๆ

การตรวจสอบว่าชุดข้อมูลเป็นการแจกแจงแบบปกติหรือไม่นั้น สามารถทำได้อย่างน้อย 3 วิธีดังต่อไปนี้

- 1) สังเกตจากฮิสโทแกรม (Histogram) ของข้อมูลว่ามีลักษณะเป็นรูประฆังคว่ำหรือไม่
- 2) พิจารณาจากค่าทางสถิติ ซึ่งทำได้หลายวิธี เช่น ถ้าชุดข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ จะต้องมีความเฉลี่ย ค่ากลาง และฐานนิยมเท่ากัน (Mean = Median = Mode) หรืออาจตรวจสอบว่าชุดข้อมูลมีความเบ้เป็นศูนย์ (Skewness = 0) หรือค่าความโด่งเป็น 3 (Kurtosis = 3) เป็นต้น
- 3) ทดสอบสมมติฐาน

ทั้งนี้ชุดข้อมูลจะเป็นการแจกแจงแบบปกติหรือไม่นั้น ไม่มีจำนวนข้อมูลขั้นต่ำที่จะระบุไว้ว่าจะต้องมีจำนวนข้อมูลกี่ชุด แต่โดยปกติแล้ว การดำเนินการทดสอบว่าชุดข้อมูลเป็นการแจกแจงแบบปกติหรือไม่ นั้น ชุดข้อมูลควรมีจำนวนไม่น้อยกว่า 20-30 ชุดข้อมูล เพื่อให้สามารถลดความคลาดเคลื่อนจากการสุ่มตัวอย่างได้

การคำนวณส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากร

ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากรสามารถคำนวณได้ดังนี้

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

โดยที่

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

การคำนวณค่าเฉลี่ยของชุดข้อมูล

ค่าเฉลี่ยของชุดข้อมูลคำนวณได้ดังนี้

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

โดยที่

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

4.2.2 t-score

ให้ใช้ t-score สำหรับข้อมูลที่ไม่ทราบค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากร โดยใช้ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของชุดข้อมูล (s) แทน σ โดย t-score สำหรับค่าความเชื่อมั่น 95% จะมีค่าแปรไปตามจำนวนชุดข้อมูลที่เก็บ (ดูตารางภาคผนวก 1) ทั้งนี้ค่าความไม่แน่นอนของค่าเฉลี่ยของชุดข้อมูลที่มีจำนวน n ชุดสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$UNC(\bar{X}) = \pm t \frac{S}{\sqrt{n}} \quad \text{สมการที่ (6)}$$

โดยที่

$$\begin{aligned} UNC(\bar{X}) &= \text{ค่าความไม่แน่นอนของค่าเฉลี่ย (unit)} \\ S &= \text{ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของชุดข้อมูล (unit)} \\ t &= \text{t-score ที่ค่าความเชื่อมั่นร้อยละ 95\%} \\ n &= \text{จำนวนชุดข้อมูล} \end{aligned}$$

การคำนวณส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่าง

ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad \text{สมการที่ (7)}$$

โดยที่

$$\begin{aligned} S &= \text{ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่าง (unit)} \\ x &= \text{ค่าของชุดข้อมูล (unit)} \\ \bar{x} &= \text{ค่าเฉลี่ยของชุดข้อมูล (unit)} \\ n &= \text{จำนวนชุดข้อมูล} \end{aligned}$$

การคำนวณค่าเฉลี่ยของชุดข้อมูล

การคำนวณค่าเฉลี่ยของชุดข้อมูลให้ใช้สมการที่ (5)

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)
- 5) Walpole, Myers, Myers & Ye. *Probability and Statistics for Engineers and Scientists*. 9th ed. Boston: Pearson, 2012.

ภาคผนวก 1
ตารางคำนวณค่า t-score

	t-distribution									
	Confidence Level									
	60%	70%	80%	85%	90%	95%	98%	99%	99.8%	99.9%
	Level of Significance									
2 Tailed	0.40	0.30	0.20	0.15	0.10	0.05	0.02	0.01	0.002	0.001
1 Tailed	0.20	0.15	0.10	0.075	0.05	0.025	0.01	0.005	0.001	0.0005
df										
1	1.376	1.963	3.133	4.195	6.320	12.69	31.81	63.67	—	—
2	1.060	1.385	1.883	2.278	2.912	4.271	6.816	9.520	19.65	26.30
3	0.978	1.250	1.637	1.924	2.352	3.179	4.525	5.797	9.937	12.39
4	0.941	1.190	1.533	1.778	2.132	2.776	3.744	4.596	7.115	8.499
5	0.919	1.156	1.476	1.699	2.015	2.570	3.365	4.030	5.876	6.835
6	0.906	1.134	1.440	1.650	1.943	2.447	3.143	3.707	5.201	5.946
7	0.896	1.119	1.415	1.617	1.895	2.365	2.999	3.500	4.783	5.403
8	0.889	1.108	1.397	1.592	1.860	2.306	2.897	3.356	4.500	5.039
9	0.883	1.100	1.383	1.574	1.833	2.262	2.822	3.250	4.297	4.780
10	0.879	1.093	1.372	1.559	1.813	2.228	2.764	3.170	4.144	4.586
11	0.875	1.088	1.363	1.548	1.796	2.201	2.719	3.106	4.025	4.437
12	0.873	1.083	1.356	1.538	1.782	2.179	2.682	3.055	3.930	4.318
13	0.870	1.079	1.350	1.530	1.771	2.160	2.651	3.013	3.852	4.221
14	0.868	1.076	1.345	1.523	1.761	2.145	2.625	2.977	3.788	4.141
15	0.866	1.074	1.341	1.517	1.753	2.131	2.603	2.947	3.733	4.073
16	0.865	1.071	1.337	1.512	1.746	2.120	2.584	2.921	3.687	4.015
17	0.863	1.069	1.333	1.508	1.740	2.110	2.567	2.899	3.646	3.965
18	0.862	1.067	1.330	1.504	1.734	2.101	2.553	2.879	3.611	3.922
19	0.861	1.066	1.328	1.500	1.729	2.093	2.540	2.861	3.580	3.884
20	0.860	1.064	1.325	1.497	1.725	2.086	2.529	2.846	3.552	3.850
21	0.859	1.063	1.323	1.494	1.721	2.080	2.518	2.832	3.528	3.820
22	0.858	1.061	1.321	1.492	1.717	2.074	2.509	2.819	3.505	3.792
23	0.857	1.060	1.319	1.489	1.714	2.069	2.500	2.808	3.485	3.768
24	0.857	1.059	1.318	1.487	1.711	2.064	2.493	2.797	3.467	3.746
25	0.856	1.058	1.316	1.485	1.708	2.060	2.486	2.788	3.451	3.725
26	0.856	1.058	1.315	1.483	1.706	2.056	2.479	2.779	3.435	3.707
27	0.855	1.057	1.314	1.482	1.703	2.052	2.473	2.771	3.421	3.690
28	0.855	1.056	1.313	1.480	1.701	2.048	2.468	2.764	3.409	3.674
29	0.854	1.055	1.311	1.479	1.699	2.045	2.463	2.757	3.397	3.660
30	0.854	1.055	1.310	1.477	1.697	2.042	2.458	2.750	3.386	3.646
40	0.851	1.050	1.303	1.468	1.684	2.021	2.424	2.705	3.307	3.551
50	0.849	1.047	1.299	1.462	1.676	2.009	2.404	2.678	3.262	3.496
60	0.848	1.045	1.296	1.458	1.671	2.000	2.391	2.661	3.232	3.460
70	0.847	1.044	1.294	1.456	1.667	1.994	2.381	2.648	3.211	3.435
80	0.846	1.043	1.292	1.453	1.664	1.990	2.374	2.639	3.196	3.417
90	0.846	1.042	1.291	1.452	1.662	1.987	2.369	2.632	3.184	3.402
100	0.845	1.042	1.290	1.451	1.660	1.984	2.365	2.626	3.174	3.391
∞	0.842	1.036	1.282	1.440	1.645	1.960	2.327	2.576	3.091	3.291

ภาคผนวก 2

ตัวอย่างการคำนวณค่าความไม่แน่นอน (Uncertainty Analysis)

1. ตัวอย่างการคำนวณค่าความไม่แน่นอนจากการดำเนินการทางสถิติ

ในการคำนวณต่าง ๆ เมื่อมีค่าความไม่แน่นอนจากพจน์ต่าง ๆ ที่นำมาคำนวณ จะสามารถรวมค่าความไม่แน่นอนได้ดังนี้

1.1 การคำนวณค่าความไม่แน่นอนจากการคูณหรือหารมีตัวอย่างดังนี้

สำหรับผลคูณ

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

สำหรับผลหาร

- 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

สำหรับผลบวก

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

- 2) คำนวณค่าความไม่แน่นอนรวม

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

- 3) สรุปการคำนวณ

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

สำหรับผลลบ

- 1) กำหนดชุดข้อมูล

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

- 2) คำนวณค่าความไม่แน่นอนรวม

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

- 3) สรุปการคำนวณ

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

2. ตัวอย่างการคำนวณค่าความไม่แน่นอนจากชุดข้อมูล

2.1 การคำนวณค่าความไม่แน่นอนจาก z-score

- 1) กำหนดชุดข้อมูล

- จำนวนชุดข้อมูล (N) = 50
- ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากร $\sigma = 20$
- ค่าเฉลี่ยของชุดข้อมูล ($\bar{X}$) = 100

- 2) คำนวณค่าความไม่แน่นอนของค่าเฉลี่ยของชุดข้อมูล

$$\begin{aligned} UNC(\bar{X}) &= \pm 1.96 \frac{20}{\sqrt{50}} \\ &= \pm 5.543 \end{aligned}$$

3) สรุปผลการคำนวณ

$$\bar{X} = 100 \pm 5.543$$

2.2 การคำนวณค่าความไม่แน่นอนจาก t-score

1) กำหนดชุดข้อมูล

- จำนวนชุดข้อมูล (N) = 10
- ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของชุดข้อมูล (s) = 6
- ค่าเฉลี่ยของชุดข้อมูล ($\bar{X}$) = 50

2) คำนวณ t-score

- จากชุดข้อมูล 10 ชุดจะใช้ df (degree of freedom) จากตารางในภาคผนวก 1 เป็น 9 นั่นคือจะได้ค่า t-score เท่ากับ 2.262 เป็นต้น

3) คำนวณค่าความไม่แน่นอนของค่าเฉลี่ยของชุดข้อมูล

$$\begin{aligned} \text{UNC}(\bar{X}) &= \pm 2.262 \frac{6}{\sqrt{10}} \\ &= \pm 4.295 \end{aligned}$$

4) สรุปผลการคำนวณ

$$\bar{X} = 50 \pm 4.295$$

ภาคผนวก 3

การคำนวณค่าความไม่แน่นอน (Uncertainty Analysis)

ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกรณีฐานในระเบียบวิธี T-VER-P-METH-01-01

การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนเพื่อจำหน่ายเข้าสู่โครงข่ายไฟฟ้า

1. การคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกรณีฐาน

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกรณีฐานพิจารณาเฉพาะการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) จากการผลิตไฟฟ้าโดยใช้ก๊าซธรรมชาติของระบบผลิตไฟฟ้าของโครงข่ายไฟฟ้า (National grid) ที่ถูกแทนที่ด้วยไฟฟ้าที่ผลิตได้จากโครงการเท่านั้น ซึ่งคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ดังนี้

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

โดยที่

BE_y = ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกรณีฐาน ในปี y (tCO₂/year)

$EG_{PJ,y}$ = ปริมาณการผลิตไฟฟ้าสุทธิที่จำหน่ายเข้าสู่โครงข่ายไฟฟ้าจากการดำเนินโครงการ ในปี y (MWh)

$EF_{Elec,y}$ = ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับการผลิต/ใช้ไฟฟ้าในปี y (tCO₂/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

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

$$\begin{aligned} BE_y &= (1,000,000 \pm 0.2\%) \times (0.4004 \pm 0.2\%) \\ &= 400,400 \pm 0.28\% \text{ tCO}_2\text{eq/year} \end{aligned}$$

4. สรุปผลการคำนวณ

ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกรณีฐานเท่ากับ 400,400 ± 0.28% tCO₂eq/year

ภาคผนวก 4

การคำนวณค่าความไม่แน่นอน (Uncertainty Analysis)

ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกรณีฐานในระเบียบวิธี 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 (tCO₂eq/year)
- $BE_{power,y}$ = ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการใช้ไฟฟ้าหรือเชื้อเพลิงฟอสซิลจากกรณีฐานในปี y (tCO₂eq/year)
- $BE_{ww,treatment,y}$ = ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียจากกรณีฐานในปี y (tCO₂eq/year)
- $BE_{s,treatment,y}$ = ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการบำบัดกากตะกอนจากกรณีฐาน ในปี y (tCO₂eq/year)
- $BE_{ww,discharge,y}$ = ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ในน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการบำบัดน้ำเสียที่ปล่อยลงสู่แหล่งน้ำจากกรณีฐาน ในปี y (tCO₂eq/year)
- $BE_{S,final,y}$ = ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการสลายตัวแบบไร้อากาศของกากตะกอนขั้นสุดท้ายจากกรณีฐาน ในปี y (tCO₂eq/year)

2. การกำหนดค่าของชุดข้อมูลสำหรับคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกรณีฐาน

2.1 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการใช้ไฟฟ้าหรือเชื้อเพลิงฟอสซิล

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานต้องพิจารณาให้ครอบคลุมถึงอุปกรณ์ทั้งหมดในระบบบำบัดน้ำเสียและกากตะกอนในกรณีฐาน หากการดำเนินงานในกรณีฐานมีการนำก๊าซชีวภาพกลับมาใช้ประโยชน์เพื่อจ่ายพลังงานให้กับอุปกรณ์เสริม ควรมีการนำมาพิจารณาตามนั้นโดยใช้ค่า Emission factor เท่ากับศูนย์ การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการใช้ไฟฟ้าหรือเชื้อเพลิงฟอสซิลสามารถคำนวณได้ดังนี้

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

โดยที่

- $BE_{power,y}$ = ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการใช้ไฟฟ้าหรือเชื้อเพลิงฟอสซิลจากกรณีฐาน ในปี y (tCO₂eq/year)

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

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

2.1.1 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้า

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้าจากการดำเนินโครงการสามารถคำนวณจากปริมาณการใช้ไฟฟ้า ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตไฟฟ้า และการสูญเสียกำลังไฟฟ้าในโครงข่ายไฟฟ้าดังต่อไปนี้

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

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	$EC_{BL,j,y}$	$1,000,000 \pm 0.2\% MWh/year$	เครื่องมือวัด
2	$EF_{Elec,y}$	$0.4004 \pm 0.2\% tCO_2/MWh$	อบก. กำหนด
3	$TDL_{j,y}$	6.09	-

2.1.2 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลคำนวณได้ดังนี้

$$BE_{FF,y} = FC_{i,BL} \times NCV_i \times EF_{CO_2,i} \times 10^{-6}$$

โดยที่

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

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

NCV_i = ค่าความร้อนสุทธิของน้ำมันดีเซล (GJ/unit)

$EF_{CO_2,i}$ = การปล่อยก๊าซ CO_2 จากการเผาไหม้น้ำมันดีเซล ($kgCO_2/TJ$)

ลำดับ	พารามิเตอร์	ค่าที่ใช้	ที่มาของ Uncertainty
1	$FC_{i,BL}$	$1,000 \pm 0.3\%$ litre	เครื่องมือวัด
2	NCV_i	$0.03642 \pm 0.2\%$ GJ/litre	เครื่องมือวัด
3	$EF_{CO_2,i}$	0.0741 tCO ₂ /GJ	-

2.2 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียกรณีฐาน

การปล่อยก๊าซมีเทนจากระบบบำบัดน้ำเสียในกรณีฐาน โดยพิจารณาจากประสิทธิภาพการกำจัด COD ของโรงงานกรณีฐาน

$$BE_{ww,treatment,y} = \sum_i (Q_{ww,i,y} \times COD_{inflow,i,y} \times \eta_{COD,BL,i} \times MCF_{ww,treatment,BL,i} \times B_{o,ww} \times UF_{BL} \times GWP_{CH_4})$$

โดยที่

$BE_{ww,treatment,y}$ = ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียจากกรณีฐาน ในปี y (tCO₂eq/year)

$Q_{ww,i,y}$ = ปริมาณน้ำเสียของโครงการที่เข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียประเภท i ในปี y (m³/year)

$COD_{inflow,i,y}$ = ค่าเฉลี่ย COD ของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียกรณีฐานประเภท i ในปี y (t COD/m³) 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_{CH_4} = ศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อนของก๊าซมีเทน (tCO₂eq/tCH₄)

i = ประเภทของระบบบำบัดน้ำเสียกรณีฐาน

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

ลำดับ	พารามิเตอร์	ค่าที่ใช้	ที่มาของ Uncertainty
4	$MCF_{ww,treatment,BL,i}$	$0.8 \pm 20\%$	A6.4-AMM-001
5	$B_{o,ww}$	$0.25 \text{ kgCH}_4/\text{kgCOD}_{\text{removal}}$	CDM AMS-III.H
6	UF_{BL}	0.89	CDM AMS-III.H
7	GWP_{CH_4}	$28 \text{ tCO}_2\text{eq/tCH}_4$	-

2.3 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการบำบัดกากตะกอนกรณีฐาน

$$BE_{s,treatment,y} = \sum_j S_{j,BL,y} \times MCF_{s,treatment,BL,j} \times DOC_s \times UF_{BL} \times DOC_F \times F \times 16/12 \times GWP_{CH_4}$$

โดยที่

- $BE_{s,treatment,y}$ = ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการบำบัดกากตะกอนจากกรณีฐานในปี y ($\text{tCO}_2\text{eq/year}$)
- $S_{j,BL,y}$ = 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	$S_{j,BL,y}$	$100 \pm 0.2\% \text{ ton}$	เครื่องมือวัด
2	$MCF_{ww,treatment,BL,i}$	$0.8 \pm 20\%$	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_{CH_4}	$28 \text{ tCO}_2\text{eq/tCH}_4$	-

2.4 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้ว ปล่อยลงสู่แหล่งน้ำการนิรโทษ

$$BE_{ww,discharge,y} = Q_{ww,y} \times GWP_{CH_4} \times B_{o,ww} \times UF_{BL} \times COD_{ww,discharge,BL,y} \times MCF_{ww,BL,discharge}$$

โดยที่

$BE_{ww,discharge,y}$ = การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วปล่อยลงสู่แหล่งน้ำจากการนิรโทษในปี y (tCO₂eq/year)

$Q_{ww,y}$ = ปริมาณน้ำเสียที่ออกจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียในปี y (m³)

UF_{BL} = ค่า Model correction factor สำหรับความไม่แน่นอนของแบบจำลองการนิรโทษ

$COD_{ww,discharge,BL,y}$ = ค่าเฉลี่ย COD ของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วและปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ (tCOD/m³) หากการนิรโทษ คือการปล่อยน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำโดยไม่ผ่านการบำบัด ดังนั้นใช้ค่า COD ของน้ำเสียที่ไม่ผ่านการบำบัด

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

ลำดับ	พารามิเตอร์	ค่าที่ใช้	ที่มาของ Uncertainty
1	$Q_{ww,y}$	1,000 m ³ ± 0.3%	เครื่องมือวัด
2	GWP_{CH_4}	28 tCO ₂ eq/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 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการสลายตัวของกากตะกอนขั้นสุดท้ายแบบไร้อากาศการนิรโทษ

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

3. ผลการคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการนิรโทษ

3.1 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการใช้ไฟฟ้าหรือเชื้อเพลิงฟอสซิล

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

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

$$(424,787.06 + 2.7)$$

$$= 424,787.06 \pm 0.28\% \text{ tCO}_2\text{eq/year}$$

3.1.1 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้า

$$BE_{EC,y} = (1,000,000 \pm 0.2\%) \times (0.4004 \pm 0.2\%) \times (1+0.0609)$$

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

$$= 424,784.36 \pm 0.28\% \text{ tCO}_2\text{eq/year}$$

3.1.2 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลคำนวณได้ดังนี้

$$BE_{FF,y} = (1,000 \pm 0.3\%) \times (0.03642 \pm 0.2\%) \times 0.0741$$

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

$$= 2.70 \pm 0.36\% \text{ tCO}_2\text{eq/year}$$

3.2 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียกรณีฐาน

การปล่อยก๊าซมีเทนจากระบบบำบัดน้ำเสียในกรณีฐาน โดยพิจารณาจากประสิทธิภาพการกำจัด COD ของโรงงานกรณีฐาน

$$BE_{ww,treatment,y} = (1,000 \pm 0.3\%) \times (20,000 \pm 0.3\%) \times 0.6 \times (0.8 \pm 20\%) \times 0.25 \times 0.89 \times 28$$

$$= (1,000 \times 20,000 \times 0.6 \times 0.8 \times 0.25 \times 0.89 \times 28) \pm \sqrt{(0.3)^2 + (0.3)^2 + (20)^2}$$

$$= 59,808,000 \pm 20.00\% \text{ tCO}_2\text{eq/year}$$

3.3 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการบำบัดกากตะกอนกรณีฐาน

$$BE_{s,treatment,y} = (100 \pm 0.2\%) \times (0.8 \pm 20\%) \times 0.257 \times 0.89 \times 0.5 \times 0.5 \times 28$$

$$= (100 \times 0.8 \times 0.257 \times 0.89 \times 0.5 \times 0.5 \times 28) \pm \sqrt{(0.2)^2 + (20)^2}$$

$$= 128.08 \pm 20.00\% \text{ tCO}_2\text{eq/year}$$

3.4 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วปล่อยลงสู่แหล่งน้ำกรณีฐาน

$$BE_{ww,discharge,y} = (1,000 \pm 0.3\%) \times 28 \times 0.25 \times 0.89 \times (1,000 \pm 0.3\%) \times (0.3 \pm 20\%)$$

$$= (1,000 \times 28 \times 0.25 \times 0.89 \times 1,000 \times 0.3) \pm \sqrt{(0.3)^2 + (0.3)^2 + (20)^2}$$

$$= 1,869,000 \pm 20.00 \% \text{ tCO}_2\text{eq/year}$$

3.5 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการสลายตัวของกากตะกอนขั้นสุดท้ายแบบไร้อากาศกรณีฐาน

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

3.6 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกรวมจากกรณีฐาน

$$\begin{aligned} BE_y &= BE_{power,y} + BE_{ww,treatment,y} + BE_{s,treatment,y} + BE_{ww,discharge,y} + BE_{S,final,y} \\ &= 424,787.06 \pm 0.28\% + 59,808,000 \pm 20.00\% + 128.09 \pm 20.00 \% + 1,869,000 \pm 20.00 \% \\ &= (424,787.06 + 59,808,000 + 128.09 + 1,869,000) \\ &\quad \pm \sqrt{\frac{(0.28 * 424,787.06)^2 + (20 * 59,808,000)^2 + (20 * 128.09)^2 + (20 * 1,869,000)^2}{(424,787.06 + 59,808,000 + 128.09 + 1,869,000)}} \\ &= 62,101,915.15 \pm 19.27 \% \text{ tCO}_2\text{eq/year} \end{aligned}$$

4. สรุปผลการคำนวณ

ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกรณีฐานจากการกักเก็บก๊าซมีเทนจากการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศเพื่อนำไปใช้ประโยชน์หรือเผาทำลายเท่ากับ $62,101,915.15 \pm 19.27 \% \text{ tCO}_2\text{eq/year}$

บันทึกการแก้ไข T-VER-P-TOOL-02-06

ฉบับที่	แก้ไขครั้งที่	วันที่บังคับใช้	รายการแก้ไข
01	-	23 กรกฎาคม 2569	การเริ่มใช้ครั้งแรก