

ภาคผนวก จ

Uncertainty Analysis

Uncertainty ของการวัดอุณหภูมิในโซนต่างๆภายในเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิง

จากข้อมูลอุณหภูมิภายในโซนต่างๆภายในเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงที่ใช้อัตราป้อนอากาศ 700 L/min ดังแสดงในตารางที่ จ.1

ตารางที่ จ.1 ข้อมูลอุณหภูมิภายในโซนต่างๆภายในเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิง

No	T _{drying} (°C)	T _{pyrolysis} (°C)	T _{combustion} (°C)	T _{reduction} (°C)	T _{ash} (°C)
1	70.721	277.038	951.310	725.016	478.650
2	70.921	277.128	951.083	724.917	478.282
3	70.738	277.235	951.815	724.897	477.988
4	70.766	277.286	952.526	724.913	477.683
5	70.886	277.331	951.850	724.964	477.361
6	70.782	277.337	951.674	725.081	476.885
7	70.798	277.371	956.211	725.105	476.651
8	70.658	277.387	961.646	725.147	476.517
9	70.535	277.335	965.595	725.083	476.411
10	70.502	277.427	967.329	725.038	476.352
Mean	70.731	277.288	956.104	725.016	477.278
SD	0.128	0.115	6.033	0.085	0.794

จากข้อมูลในตาราง จ.1 สามารถวิเคราะห์ Uncertainty ได้ดังนี้

Uncertainty ของการวัดอุณหภูมิในโซนอบแห้ง (drying zone) T_{drying}

วิเคราะห์ Systematic Uncertainty

$$(B)_{T_{drying}} = 0.0075^{\circ}\text{C}$$

วิเคราะห์ Random Uncertainty

$$(P)_{T_{drying}} = \frac{S_{T_{drying}}}{\sqrt{N_{T_{drying}}}} = \frac{0.128}{\sqrt{10}} = 0.040^{\circ}\text{C}$$

จากวิธีการวิเคราะห์ Uncertainty [17] พบว่า Uncertainty ของอุณหภูมิในโซนอบแห้ง สามารถคำนวณได้จากสมการที่ จ.1

$$U_{T_{drying}} = \sqrt{(B_{T_{drying}})^2 + (t_{v_{T_{drying}}, 95} \cdot P_{T_{drying}})^2} \quad (\text{จ.1})$$

โดยค่า $t_{v_{T_{drying}}, 95}$ อ้างอิงจากตารางที่ จ.3 โดยใช้ Degree of Freedom ($v_{T_{drying}}$) ในสมการที่ จ.2 โดยใน

การวิเคราะห์นี้ใช้

$$N_{T_{drying}} = 10$$

$$v_{T_{drying}} = N_{T_{drying}} - 1 \quad (จ.2)$$

ดังนั้น จะได้ค่า Uncertainty ของเทอร์โมคัปเปิ้ลที่วัดอุณหภูมิในโซนอบแห้ง ($U_{T_{drying}}$) ดังนี้

$$U_{T_{drying}} = \sqrt{(0.0075)^2 + (2.262 \times 0.040)^2}$$

$$U_{T_{drying}} = 0.090^\circ\text{C} \text{ (95\% CI)}$$

$$U_{T_{drying}} = \frac{0.089}{70.731} \times 100 = 0.127\% \text{ (95\% CI)}$$

Uncertainty ของการวัดอุณหภูมิในโซนไพโรไลซิส (Pyrolysis zone) $T_{pyrolysis}$

วิเคราะห์ Systematic Uncertainty

$$(B)_{T_{pyrolysis}} = 0.0075^\circ\text{C}$$

วิเคราะห์ Random Uncertainty

$$(P)_{T_{pyrolysis}} = \frac{S_{T_{pyrolysis}}}{\sqrt{N_{T_{pyrolysis}}}} = \frac{0.115}{\sqrt{10}} = 0.036^\circ\text{C}$$

จากวิธีการวิเคราะห์ Uncertainty [17] พบว่า Uncertainty ของอุณหภูมิในโซนไพโรไลซิส สามารถคำนวณได้จากสมการที่ จ.3

$$U_{T_{pyrolysis}} = \sqrt{(B_{T_{pyrolysis}})^2 + (t_{v_{T_{pyrolysis}}, 95} \cdot P_{T_{pyrolysis}})^2} \quad (จ.3)$$

โดยค่า $t_{v_{T_{pyrolysis}}, 95}$ อ้างอิงจากตารางที่ จ.3 โดยใช้ Degree of Freedom ($v_{T_{pyrolysis}}$) ในสมการที่ จ.4 โดย

ในการวิเคราะห์นี้ใช้

$$N_{T_{pyrolysis}} = 10$$

$$v_{T_{pyrolysis}} = N_{T_{pyrolysis}} - 1 \quad (จ.4)$$

ดังนั้น จะได้ค่า Uncertainty ของเทอร์โมคัปเปิ้ลที่วัดอุณหภูมิในโซนไพโรไลซิส ($U_{T_{pyrolysis}}$) ดังนี้

$$U_{T_{pyrolysis}} = \sqrt{(0.0075)^2 + (2.262 \times 0.036)^2}$$

$$U_{T_{pyrolysis}} = 0.080^\circ\text{C} \text{ (95\% CI)}$$

$$U_{T_{pyrolysis}} = \frac{0.081}{277.288} \times 100 = 0.029\% \text{ (95\% CI)}$$

Uncertainty ของการวัดอุณหภูมิในโซนเผาไหม้ (combustion zone) $T_{\text{combustion}}$

วิเคราะห์ Systematic Uncertainty

$$(B)_{T_{\text{combustion}}} = 0.0075^{\circ}\text{C}$$

วิเคราะห์ Random Uncertainty

$$(P)_{T_{\text{combustion}}} = \frac{S_{T_{\text{combustion}}}}{\sqrt{N_{T_{\text{combustion}}}}} = \frac{6.033}{\sqrt{10}} = 1.907^{\circ}\text{C}$$

จากวิธีการวิเคราะห์ Uncertainty [17] พบว่า Uncertainty ของอุณหภูมิในโซนเผาไหม้ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ จ.5

$$U_{T_{\text{combustion}}} = \sqrt{(B_{T_{\text{combustion}}})^2 + (t_{v_{T_{\text{combustion}}}, 95} \cdot P_{T_{\text{combustion}}})^2} \quad (\text{จ.5})$$

โดยค่า $t_{v_{T_{\text{combustion}}}, 95}$ อ้างอิงจากตารางที่ จ.3 โดยใช้ Degree of Freedom ($v_{T_{\text{combustion}}}$) ในสมการที่ จ.6

โดยในการวิเคราะห์นี้ใช้ $N_{T_{\text{combustion}}} = 10$

$$v_{T_{\text{combustion}}} = N_{T_{\text{combustion}}} - 1 \quad (\text{จ.6})$$

ดังนั้น จะได้ค่า Uncertainty ของเทอร์โมคัปเปิ้ลที่วัดอุณหภูมิในโซนเผาไหม้ ($U_{T_{\text{combustion}}}$) ดังนี้

$$\begin{aligned} U_{T_{\text{combustion}}} &= \sqrt{(0.0075)^2 + (2.262 \times 1.907)^2} \\ U_{T_{\text{combustion}}} &= 4.313^{\circ}\text{C} \text{ (95\% CI)} \\ U_{T_{\text{combustion}}} &= \frac{4.313}{956.104} \times 100 = 0.451\% \text{ (95\% CI)} \end{aligned}$$

Uncertainty ของการวัดอุณหภูมิในโซนรีดักชัน (reduction zone) $T_{\text{reduction}}$

วิเคราะห์ Systematic Uncertainty

$$(B)_{T_{\text{reduction}}} = 0.0075^{\circ}\text{C}$$

วิเคราะห์ Random Uncertainty

$$(P)_{T_{\text{reduction}}} = \frac{S_{T_{\text{reduction}}}}{\sqrt{N_{T_{\text{reduction}}}}} = \frac{0.085}{\sqrt{10}} = 0.026^{\circ}\text{C}$$

จากวิธีการวิเคราะห์ Uncertainty [17] พบว่า Uncertainty ของอุณหภูมิในโซนรีดักชัน สามารถคำนวณได้จากสมการที่ จ.7

$$U_{T_{\text{reduction}}} = \sqrt{(B_{T_{\text{reduction}}})^2 + (t_{v_{T_{\text{reduction}}}, 95} \cdot P_{T_{\text{reduction}}})^2} \quad (\text{จ.7})$$

โดยค่า $t_{v_{T_{\text{drying}}}, 95}$ อ้างอิงจากตารางที่ จ.3 โดยใช้ Degree of Freedom ($v_{T_{\text{drying}}}$) ในสมการที่ จ.8 โดยในการวิเคราะห์นี้ใช้ $N_{T_{\text{reduction}}} = 10$

$$v_{T_{\text{reduction}}} = N_{T_{\text{reduction}}} - 1 \quad (\text{จ.8})$$

ดังนั้น จะได้ค่า Uncertainty ของเทอร์โมคัปเปิ้ลที่วัดอุณหภูมิในโซนรีดักชั่น ($U_{T_{\text{reduction}}}$) ดังนี้

$$\begin{aligned} U_{T_{\text{reduction}}} &= \sqrt{(0.0075)^2 + (2.262 \times 0.026)^2} \\ U_{T_{\text{reduction}}} &= 0.059^\circ\text{C} \text{ (95\% CI)} \\ U_{T_{\text{reduction}}} &= \frac{0.059}{725.016} \times 100 = 0.008 \text{ (95\% CI)} \end{aligned}$$

Uncertainty ของการวัดอุณหภูมิในห้องเก็บเถ้า (ash pit) T_{ash}

วิเคราะห์ Systematic Uncertainty

$$(B)_{T_{\text{ash}}} = 0.0075^\circ\text{C}$$

วิเคราะห์ Random Uncertainty

$$(P)_{T_{\text{ash}}} = \frac{S_{T_{\text{ash}}}}{\sqrt{N_{T_{\text{ash}}}}} = \frac{0.794}{\sqrt{10}} = 0.251^\circ\text{C}$$

จากวิธีการวิเคราะห์ Uncertainty [17] พบว่า Uncertainty ของอุณหภูมิในห้องเก็บเถ้า สามารถคำนวณได้จากสมการที่ จ.9

$$U_{T_{\text{ash}}} = \sqrt{(B_{T_{\text{ash}}})^2 + (t_{v_{T_{\text{ash}}}, 95} \cdot P_{T_{\text{ash}}})^2} \quad (\text{จ.9})$$

โดยค่า $t_{v_{T_{\text{ash}}}, 95}$ อ้างอิงจากตารางที่ จ.3 โดยใช้ Degree of Freedom ($v_{T_{\text{ash}}}$) ในสมการที่ จ.10 โดยในการวิเคราะห์นี้ใช้ $N_{T_{\text{ash}}} = 10$

$$v_{T_{\text{ash}}} = N_{T_{\text{ash}}} - 1 \quad (\text{จ.10})$$

ดังนั้น จะได้ค่า Uncertainty ของเทอร์โมคัปเปิ้ลที่วัดอุณหภูมิในห้องเก็บเถ้า ($U_{T_{\text{ash}}}$) ดังนี้

$$\begin{aligned} U_{T_{\text{ash}}} &= \sqrt{(0.0075)^2 + (2.262 \times 0.251)^2} \\ U_{T_{\text{ash}}} &= 0.567^\circ\text{C} \text{ (95\% CI)} \\ U_{T_{\text{ash}}} &= \frac{0.567}{477.278} \times 100 = 0.118\% \text{ (95\% CI)} \end{aligned}$$

Uncertainty ของค่าความร้อนของก๊าซเชื้อเพลิง (HHV_{Gas})

ตารางที่ จ.2 องค์ประกอบของก๊าซเชื้อเพลิงที่อัตราการป้อนอากาศ 700 L/min

No	% H_2	% CO	% CH_4	% CO_2	% O_2	% N_2
1	12.460	19.100	1.317	2.283	1.820	63.020
2	12.440	19.077	1.327	2.170	1.784	63.202
3	12.480	19.130	1.320	2.390	1.860	62.820
Mean	12.460	19.102	1.321	2.281	1.821	63.014
SD	0.016	0.022	0.004	0.090	0.031	0.156

Uncertainty ของการวัดองค์ประกอบของ H_2

วิเคราะห์ Systematic Uncertainty

Bias Errors ของเครื่องวิเคราะห์ก๊าซมีค่า $B_{H_2} \approx 0$ เนื่องจากอุปกรณ์ผ่านการ Calibration มาแล้วก่อนทดสอบ

วิเคราะห์ Random Uncertainty

$$(P)_{H_2} = \frac{S_{H_2}}{\sqrt{N_{H_2}}} = \frac{0.016}{\sqrt{3}} = 0.09$$

จากวิธีการวิเคราะห์ Uncertainty [17] พบว่า Uncertainty ของการวัดปริมาณก๊าซ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ จ.11

$$U_{H_2} = \sqrt{(B_{H_2})^2 + (t_{v_{H_2}, 95} \cdot P_{H_2})^2} \quad (จ.11)$$

โดยค่า $t_{H_2, 95}$ อ้างอิงจากตารางที่ จ.3 โดยใช้ Degree of Freedom (v_{H_2}) ในสมการที่ จ.12 โดยในการวิเคราะห์นี้ใช้ $N_{H_2} = 3$

$$v_{H_2} = N_{H_2} - 1 \quad (จ.12)$$

ดังนั้น จะได้ค่า Uncertainty พื้นที่ของกราฟสำหรับวัดปริมาณก๊าซ ($U_{Area_{H_2}}$) ดังนี้

$$U_{Area_{H_2}} = \sqrt{(0)^2 + (4.303 \times 0.009)^2}$$

$$U_{H_2} = 0.041 (95\% CI)$$

$$U_{H_2} = \frac{0.041}{12.460} \times 100 = 0.326\%$$

Uncertainty ของการวัดองค์ประกอบของ CO

วิเคราะห์ Systematic Uncertainty

Bias Errors ของเครื่องวิเคราะห์ก๊าซมีค่า $B_{CO} \approx 0$ เนื่องจากอุปกรณ์ผ่านการ Calibration มาแล้วก่อนทดสอบ

วิเคราะห์ Random Uncertainty

$$(P)_{CO} = \frac{S_{CO}}{\sqrt{N_{CO}}} = \frac{0.022}{\sqrt{3}} = 0.013$$

จากวิธีการวิเคราะห์ Uncertainty [17] พบว่า Uncertainty ของการวัดปริมาณก๊าซ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ จ.13

$$U_{CO} = \sqrt{(B_{CO})^2 + (t_{v_{CO},95} \cdot P_{CO})^2} \quad (\text{จ.13})$$

โดยค่า $t_{CO,95}$ อ้างอิงจากตารางที่ จ.3 โดยใช้ Degree of Freedom (v_{CO}) ในสมการที่ จ.14 โดยในการวิเคราะห์นี้ใช้ $N_{CO} = 3$

$$v_{CO} = N_{CO} - 1 \quad (\text{จ.14})$$

ดังนั้น จะได้ค่า Uncertainty พื้นที่ของกราฟสำหรับวัดปริมาณก๊าซ (U_{CO}) ดังนี้

$$U_{CO} = \sqrt{(0)^2 + (4.303 \times 0.013)^2}$$

$$U_{CO} = 0.054 \text{ (95\% CI)}$$

$$U_{CO} = \frac{0.054}{19.100} \times 100 = 0.284\%$$

Uncertainty ของการวัดองค์ประกอบของ CH₄

วิเคราะห์ Systematic Uncertainty

Bias Errors ของเครื่องวิเคราะห์ก๊าซมีค่า $B_{CH_4} \approx 0$ เนื่องจากอุปกรณ์ผ่านการ Calibration มาแล้วก่อนทดสอบ

วิเคราะห์ Random Uncertainty

$$(P)_{CH_4} = \frac{S_{CH_4}}{\sqrt{N_{CH_4}}} = \frac{0.004}{\sqrt{3}} = 0.002$$

จากวิธีการวิเคราะห์ Uncertainty [17] พบว่า Uncertainty ของการวัดปริมาณก๊าซ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ จ.15

$$U_{CH_4} = \sqrt{(B_{CH_4})^2 + (t_{v_{CH_4}, 95} \cdot P_{CH_4})^2} \quad (จ.15)$$

โดยค่า $t_{CH_4, 95}$ อ้างอิงจากตารางที่ จ.3 โดยใช้ Degree of Freedom (v_{CH_4}) ในสมการที่ จ.16 โดยในการวิเคราะห์นี้ใช้ $N_{CH_4} = 3$

$$v_{CH_4} = N_{CH_4} - 1 \quad (จ.16)$$

ดังนั้น จะได้ค่า Uncertainty พื้นที่ของกราฟสำหรับวัดปริมาณก๊าซ (U_{CH_4}) ดังนี้

$$U_{CH_4} = \sqrt{(0)^2 + (4.303 \times 0.002)^2}$$

$$U_{CH_4} = 0.010 \text{ (95\% CI)}$$

$$U_{CH_4} = \frac{0.010}{1.323} \times 100 = 0.792\%$$

Uncertainty ของการวัดองค์ประกอบของ CO₂

วิเคราะห์ Systematic Uncertainty

Bias Errors ของเครื่องวิเคราะห์ก๊าซมีค่า $B_{CO_2} \approx 0$ เนื่องจากอุปกรณ์ผ่านการ Calibration มาแล้วก่อนทดสอบ

วิเคราะห์ Random Uncertainty

$$(P)_{CO_2} = \frac{S_{CO_2}}{\sqrt{N_{CO_2}}} = \frac{0.090}{\sqrt{3}} = 0.052$$

จากวิธีการวิเคราะห์ Uncertainty [17] พบว่า Uncertainty ของการวัดปริมาณก๊าซ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ จ.17

$$U_{CO_2} = \sqrt{(B_{CO_2})^2 + (t_{v_{CO_2}, 95} \cdot P_{CO_2})^2} \quad (จ.17)$$

โดยค่า $t_{CO_2, 95}$ อ้างอิงจากตารางที่ จ.3 โดยใช้ Degree of Freedom (v_{CO_2}) ในสมการที่ จ.18 โดยในการวิเคราะห์นี้ใช้ $N_{CO_2} = 3$

$$v_{CO_2} = N_{CO_2} - 1 \quad (จ.18)$$

ดังนั้น จะได้ค่า Uncertainty พื้นที่ของกราฟสำหรับวัดปริมาณก๊าซ (U_{CO_2}) ดังนี้

$$U_{CO_2} = \sqrt{(0)^2 + (4.303 \times 0.052)^2}$$

$$U_{CO_2} = 0.223 \text{ (95\% CI)}$$

$$U_{CO_2} = \frac{0.223}{2.276} \times 100 = 9.783\%$$

Uncertainty ของการวัดองค์ประกอบของ O_2

วิเคราะห์ Systematic Uncertainty

Bias Errors ของเครื่องวิเคราะห์ก๊าซมีค่า $B_{O_2} \approx 0$ เนื่องจากอุปกรณ์ผ่านการ Calibration มาแล้วก่อนทดสอบ

วิเคราะห์ Random Uncertainty

$$(P)_{O_2} = \frac{S_{O_2}}{\sqrt{N_{O_2}}} = \frac{0.031}{\sqrt{3}} = 0.018$$

จากวิธีการวิเคราะห์ Uncertainty [17] พบว่า Uncertainty ของการวัดปริมาณก๊าซ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ จ.19

$$U_{O_2} = \sqrt{(B_{O_2})^2 + (t_{v_{O_2}, 95} \cdot P_{O_2})^2} \quad (\text{จ.19})$$

โดยค่า $t_{v_{O_2}, 95}$ อ้างอิงจากตารางที่ จ.3 โดยใช้ Degree of Freedom (v_{O_2}) ในสมการที่ จ.20 โดยการวิเคราะห์นี้ใช้ $N_{O_2} = 3$

$$v_{O_2} = N_{O_2} - 1 \quad (\text{จ.20})$$

ดังนั้น จะได้ค่า Uncertainty พื้นที่ของกราฟสำหรับวัดปริมาณก๊าซ (U_{O_2}) ดังนี้

$$U_{O_2} = \sqrt{(0)^2 + (4.303 \times 0.018)^2}$$

$$U_{O_2} = 0.077 \text{ (95\% CI)}$$

$$U_{O_2} = \frac{0.077}{1.820} \times 100 = 4.249\%$$

Uncertainty ของการวัดองค์ประกอบของ N_2

วิเคราะห์ Systematic Uncertainty

Bias Errors ของเครื่องวิเคราะห์ก๊าซมีค่า $B_{N_2} \approx 0$ เนื่องจากอุปกรณ์ผ่านการ Calibration มาแล้วก่อนทดสอบ

วิเคราะห์ Random Uncertainty

$$(P)_{N_2} = \frac{S_{N_2}}{\sqrt{N_{N_2}}} = \frac{0.156}{\sqrt{3}} = 0.090$$

จากวิธีการวิเคราะห์ Uncertainty [17] พบว่า Uncertainty ของการวัดปริมาณก๊าซ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ จ.21

$$U_{N_2} = \sqrt{(B_{N_2})^2 + (t_{v_{N_2}, 95} \cdot P_{N_2})^2} \quad (\text{จ.21})$$

โดยค่า $t_{N_2, 95}$ อ้างอิงจากตารางที่ จ.3 โดยใช้ Degree of Freedom (v_{N_2}) ในสมการที่ จ.22 โดยในการวิเคราะห์นี้ใช้ $N_{N_2} = 3$

$$v_{N_2} = N_{N_2} - 1 \quad (\text{จ.22})$$

ดังนั้น จะได้ค่า Uncertainty พื้นที่ของกราฟสำหรับวัดปริมาณก๊าซ (U_{N_2}) ดังนี้

$$U_{N_2} = \sqrt{(0)^2 + (4.303 \times 0.090)^2}$$

$$U_{N_2} = 0.388 \text{ (95\% CI)}$$

$$U_{N_2} = \frac{0.388}{63.02} \times 100 = 0.616\%$$

Uncertainty ของค่าความร้อนของก๊าซเชื้อเพลิง (HHV_{Gas})

จากสมการที่ใช้คำนวณหาความร้อนของก๊าซเชื้อเพลิงที่ผลิตได้

$$\text{Higher Heating Value, } HHV_{Gas} = \frac{\Sigma(\text{mole Fraction} \times HHV)}{V}$$

ดังนั้น

$$\text{Higher Heating Value, } HHV_{Gas} = \frac{(\%H_2 \times HHV_{H_2}) + (\%CO \times HHV_{CO}) + (\%CH_4 \times HHV_{CH_4})}{V} \quad (\text{จ.11})$$

โดยที่	HHV_{Gas}	=	ค่าความร้อนของก๊าซเชื้อเพลิง ($\frac{MJ}{m^3}$)
	$mole \text{ Fraction}$	=	องค์ประกอบของก๊าซเชื้อเพลิง ($\%kmol$)
	HHV	=	ค่าความร้อนขององค์ประกอบก๊าซ ($\frac{MJ}{kmol}$)
	V	=	ปริมาตรของก๊าซ (Nm^3)

ซึ่งในการทดลององค์ประกอบของก๊าซซึ่งมีผลต่อค่าความร้อนของก๊าซเชื้อเพลิงประกอบไปด้วย H_2 , CO , และ CH_4 ซึ่งมีค่าความร้อนเท่ากับ 285.84, 282.99, 890.36 $\frac{MJ}{kmol}$ ตามลำดับ

องค์ประกอบของก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้กรณีใช้อัตราการป้อนอากาศ 700 L/min คือ H_2 12.46%, CO 19.10 % และ CH_4 1.317%

จากวิธีการวิเคราะห์ Uncertainty พบว่า Uncertainty ของอัตราความร้อนของก๊าซสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ จ.12 โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ Systematic Uncertainty และ Random Uncertainty ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ จ.13 และ จ.14 ตามลำดับ

$$U_{HHV_{Gas}} = \sqrt{(B_{HHV_{Gas}})^2 + (t_{HHV_{Gas},95} \cdot P_{HHV_{Gas}})^2} \quad (จ.12)$$

$$B_{HHV_{Gas}} = \sqrt{\left(\frac{\partial HHV_{Gas}}{\partial H_2} B_{\%H_2}\right)^2 + \left(\frac{\partial HHV_{Gas}}{\partial CO} B_{\%CO}\right)^2 + \left(\frac{\partial HHV_{Gas}}{\partial CH_4} B_{\%CH_4}\right)^2} \quad (จ.13)$$

$$P_{HHV_{Gas}} = \sqrt{\left(\frac{\partial HHV_{Gas}}{\partial H_2} P_{\%H_2}\right)^2 + \left(\frac{\partial HHV_{Gas}}{\partial CO} P_{\%CO}\right)^2 + \left(\frac{\partial HHV_{Gas}}{\partial CH_4} P_{\%CH_4}\right)^2} \quad (จ.14)$$

โดยที่

$$\frac{\partial HHV_{Gas}}{\partial H_2} = \frac{0.124 \times HHV_{H_2}}{V} = 1.582$$

$$\frac{\partial HHV_{Gas}}{\partial CO} = \frac{0.191 \times HHV_{CO}}{V} = 2.412$$

$$\frac{\partial HHV_{Gas}}{\partial CH_4} = \frac{0.013 \times HHV_{CH_4}}{V} = 0.516$$

$$\begin{array}{lll} B_{H_2} = 0\% & B_{CO} = 0\% & B_{CH_4} = 0\% \\ P_{H_2} = 0.09 & P_{CO} = 0.013 & P_{CH_4} = 0.002 \\ v_{H_2} = 2 & v_{CO} = 2 & v_{CH_4} = 2 \end{array}$$

โดยที่ค่า $t_{v_{HHV_{Gas}}, .95}$ นั้นอ้างอิงจากตารางที่ จ.3 และค่า Degree of Freedom ($v_{HHV_{Gas}}$) คำนวณจากสมการที่ จ.15

$$v_{HHV_{Gas}} = \frac{\left[\left(\frac{\partial HHV_{Gas}}{\partial H_2} P_{H_2} \right)^2 + \left(\frac{\partial HHV_{Gas}}{\partial CO} P_{CO} \right)^2 + \left(\frac{\partial HHV_{Gas}}{\partial CH_4} P_{CH_4} \right)^2 \right]}{\frac{\left(\frac{\partial HHV_{Gas}}{\partial H_2} P_{H_2} \right)^4}{v_{H_2}} + \frac{\left(\frac{\partial HHV_{Gas}}{\partial CO} P_{CO} \right)^4}{v_{CO}} + \frac{\left(\frac{\partial HHV_{Gas}}{\partial CH_4} P_{CH_4} \right)^4}{v_{CH_4}}} \quad (จ.15)$$

$$v_{HHV_{Gas}} = 3$$

จากตารางที่ จ.2 เมื่อค่า Degree of Freedom ($v_{HHV_{Gas}} = 3$) นั้นสามารถหาค่า $t_{HHV_{Gas}, .95}$ ได้เท่ากับ 3.182 จะได้

$$B_{\dot{Q}_w} = \sqrt{(1.582 \times 0)^2 + (2.412 \times 0)^2 + (0.516 \times 0)^2} = 0$$

$$P_{HHV_{Gas}} = \sqrt{(1.582 \times 0.09)^2 + (2.412 \times 0.013)^2 + (0.516 \times 0.022)^2} = 0.034$$

$$U_{HHV_{Gas}} = \sqrt{0^2 + (3.182 \times 0.034)^2} = 0.108$$

ดังนั้นค่าความร้อนของก๊าซเชื้อเพลิงที่ใช้อัตราการป้อนอากาศ 700 L/min ป้อนเข้าไปในเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิง มีค่าเท่ากับ 4.53 ± 0.95 หรือ Uncertainty ของค่าความร้อนของก๊าซเชื้อเพลิงที่ใช้อัตราการ

$$\text{ป้อนอากาศ 700 L/min} \quad \frac{U_{HHV_{Gas}}}{\dot{Q}_{HHV_{Gas}}} = \frac{0.108}{4.53} \times 100\% = 2.383\% \text{ (95\% CI)}$$

Uncertainty ของประสิทธิภาพเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิง ($\eta_{Gasifier}$)

จากสมการที่ใช้คำนวณหาค่าความร้อนของก๊าซเชื้อเพลิงที่ผลิตได้

$$\eta_{Gasifier} = \frac{HHV_{Gas} \times Q_{Gas}}{HHV_{Fuel} \times \dot{m}_{Fuel}} \times 100 \quad (จ.16)$$

โดยที่	$\eta_{Gasifier}$	= ประสิทธิภาพของเตา (%)
	HHV_{Gas}	= ค่าความร้อนทางสูงของก๊าซ (kJ/Nm ³)
	Q_{Gas}	= อัตราการผลิตก๊าซเชื้อเพลิง (Nm ³ /h)
	HHV_{Fuel}	= ค่าความร้อนทางสูงของเชื้อเพลิง (kJ/kg)
	$\dot{m}_{Fuel}$	= อัตราการใช้เชื้อเพลิง (kg/h)

จากวิธีการวิเคราะห์ Uncertainty พบว่า Uncertainty ของประสิทธิภาพเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ จ.17 โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ Systematic Uncertainty และ Random Uncertainty ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ จ.18 และ จ.19 ตามลำดับ

$$U_{\eta_{Gasifier}} = \sqrt{(B_{\eta_{Gasifier}})^2 + (t_{\eta_{Gasifier}, 95} \cdot P_{\eta_{Gasifier}})^2} \quad (จ.17)$$

$$B_{\eta_{Gasifier}} = \sqrt{\left(\frac{\partial \eta_{Gasifier}}{\partial HHV_{Gas}} B_{HHV_{Gas}}\right)^2} \quad (จ.18)$$

$$P_{\eta_{Gasifier}} = \sqrt{\left(\frac{\partial \eta_{Gasifier}}{\partial HHV_{Gas}} P_{HHV_{Gas}}\right)^2} \quad (จ.19)$$

โดยที่

$$\begin{aligned} Q_{Gas} &= 50.26 \text{ Nm}^3/\text{h} & HHV_{Fuel} &= 2.73 \text{ kJ/kg} & \dot{m}_{Fuel} &= 20.69 \text{ kg/h} \\ B_{HHV_{Gas}} &= 0 & P_{HHV_{Gas}} &= 0.034 & v_{HHV_{Gas}} &= 3 \end{aligned}$$

ดังนั้น

$$\frac{\partial \eta_{Gasifier}}{\partial HHV_{Gas}} = \frac{Q_{Gas}}{HHV_{Fuel} \times \dot{m}_{Fuel}} \times 100 = \frac{50.26}{23.73 \times 20.69} \times 100 = 10.236$$

โดยที่ค่า $t_{\eta_{Gasifier}, 95}$ นั้นอ้างอิงจากตารางที่ จ.3 และค่า Degree of Freedom ($v_{\eta_{Gasifier}}$) คำนวณจากสมการที่ จ.20

$$v_{\eta_{Gasifier}} = \frac{\left[\left(\frac{\partial \eta_{Gasifier}}{\partial HHV_{Gas}} P_{HHV_{Gas}} \right)^2 \right]}{\frac{\left(\frac{\partial \eta_{Gasifier}}{\partial HHV_{Gas}} P_{HHV_{Gas}} \right)^4}{v_{HHV_{Gas}}}} \quad (จ.20)$$

$$v_{\eta_{Gasifier}} = 3$$

จากตารางที่ จ.2 เมื่อค่า Degree of Freedom $v_{\eta_{Gasifier}} = 3$ นั้นสามารถหาค่า $t_{HHV_{Gas}, 95}$ ได้เท่ากับ 3.182 จะได้

$$B_{\dot{Q}_w} = \sqrt{(10.236 \times 0)^2} = 0$$

$$P_{\dot{Q}_w} = \sqrt{(10.236 \times 0.034)^2} = 0.348$$

$$U_{\dot{Q}_w} = \sqrt{(0)^2 + (3.182 \times 0.346)^2} = 1.100$$

ดังนั้นประสิทธิภาพของเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงที่ใช้อัตราการป้อนอากาศ 700 L/min ป้อนเข้าไปในเตา มีค่าเท่ากับ 48.55 ± 1.100 หรือ Uncertainty ของค่าความร้อนของก๊าซเชื้อเพลิงที่ใช้อัตราการป้อน

$$\text{อากาศ 700 L/min } \frac{U_{\dot{Q}_w}}{\dot{Q}_w} = \frac{1.100}{48.55} \times 100\% = 2.265\% (95\% CI)$$

ตารางที่ จ.3 Student t-Distribution ^a [18]

v	C				
	0.900	0.950	0.990	0.995	0.999
1	6.314	12.706	63.657	127.321	636.619
2	2.920	4.303	9.925	14.089	31.598
3	2.353	3.182	5.841	7.453	12.924
4	2.132	2.776	4.604	5.598	8.610
5	2.015	2.571	4.032	4.773	6.869
6	1.943	2.447	3.707	4.317	5.959
7	1.895	2.365	3.499	4.029	5.408
8	1.860	2.306	3.355	3.833	5.041
9	1.833	2.262	3.250	3.690	4.781
10	1.812	2.228	3.169	3.581	4.587
11	1.796	2.201	3.106	3.497	4.437
12	1.782	2.179	3.055	3.428	4.318
13	1.771	2.160	3.012	3.372	4.221
14	1.761	2.145	2.977	3.326	4.140
15	1.753	2.131	2.947	3.286	4.073
16	1.746	2.120	2.921	3.252	4.015
17	1.740	2.110	2.898	3.223	3.965
18	1.734	2.101	2.878	3.197	3.922
19	1.729	2.093	2.861	3.174	3.883
20	1.725	2.086	2.845	3.153	3.850
21	1.721	2.080	2.831	3.135	3.819
22	1.717	2.074	2.819	3.119	3.792
23	1.714	2.069	2.807	3.104	3.768
24	1.711	2.064	2.797	3.090	3.745
25	1.708	2.060	2.787	3.078	3.725
26	1.706	2.056	2.779	3.067	3.707
27	1.703	2.052	2.771	3.057	3.690
28	1.701	2.048	2.763	3.047	3.674
29	1.699	2.045	2.756	3.038	3.659
30	1.697	2.042	2.750	3.030	3.646
40	1.684	2.021	2.704	2.971	3.551
60	1.671	2.000	2.660	2.915	3.460
120	1.658	1.980	2.617	2.860	3.373
∞	1.645	1.960	2.576	2.807	3.291

^aGiven are the values of t for a confidence level C and number of degrees of freedom V