

ภาคผนวก ค

Uncertainty Analysis

จากข้อมูลการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนที่ผสมอนุภาคนาโนความเข้มข้น 10 ppm เป็นสารทำงานที่อัตราการไหลเชิงมวล 0.698 kg/s ดังแสดงในตารางที่ ค.1

ตารางที่ ค.1 ข้อมูลการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อน

NO.	T ₁ (°C)	T ₂ (°C)	T ₃ (°C)	T ₄ (°C)	T ₅ (°C)	T ₆ (°C)	RH ₁	RH ₂	RH ₃	RH ₄	T _{s1} (°C)	T _{s2} (°C)	R (°C/kW)
1	32.9759	29.5792	17.3378	20.2235	20.6079	53.9287	0.5700	0.8391	0.8061	0.1255	32.1424	25.5571	2.46725
2	32.9647	29.5982	17.3017	20.0555	20.3215	53.9941	0.5710	0.8281	0.8012	0.1265	31.8040	25.5402	2.75083
3	32.9101	29.5970	17.4075	20.2956	20.2722	54.1070	0.5680	0.8311	0.8131	0.1235	31.6717	24.9534	2.44031
4	32.8771	29.5737	17.3973	20.2600	20.4166	54.0519	0.5713	0.8206	0.8011	0.1256	31.8745	25.4996	2.73548
5	32.9684	29.5847	17.4027	20.1761	20.3853	53.5277	0.5700	0.8011	0.8081	0.1255	32.0953	25.4759	2.89436
6	32.7681	29.5868	17.3975	20.2759	20.2999	53.9132	0.5690	0.8281	0.8101	0.1246	31.8926	24.8575	2.63318
7	33.0217	29.5793	17.3666	20.0484	20.0633	54.5284	0.5710	0.8291	0.8021	0.1266	31.5984	25.4771	2.72973
8	32.9699	29.5850	17.4172	20.0278	20.2207	53.7351	0.5690	0.8350	0.8031	0.1255	31.8858	25.5156	2.79490
9	32.9164	29.5521	17.2856	20.2436	20.2656	53.8514	0.5701	0.8291	0.8041	0.1245	32.0116	25.5343	2.54354
10	33.0208	29.6131	17.3880	20.1242	20.2041	54.3422	0.5512	0.8351	0.8073	0.1255	31.8855	24.9468	2.68303
mean	32.9393	29.5849	17.3702	20.1731	20.3057	53.9980	0.5681	0.8277	0.8056	0.1253	31.8862	25.3358	2.66726
SD	0.0759	0.0163	0.0464	0.1019	0.1450	0.2864	0.0060	0.0106	0.0040	0.0009	0.1703	0.2897	0.14592

จากข้อมูลของการทดสอบท่อความร้อนสามารถทำการวิเคราะห์ค่าความไม่แน่นอน (uncertainty) ที่เกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนโดยแบ่งออกได้ดังนี้

Uncertainty ของ Humidity/Temperature Transmitter ที่วัดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าท่อความร้อนส่วนการระเหย (T₁)

วิเคราะห์ Systematic Uncertainty

$$(B)_{T_1} = 0.3^{\circ}C$$

วิเคราะห์ Random Uncertainty

$$(P)_{T_1} = \frac{S_{T_1}}{\sqrt{N_{T_1}}} = \frac{0.07585}{\sqrt{10}} = 0.02826^{\circ}C$$

จากการวิเคราะห์ Uncertainty [23] ของการวัดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าท่อความร้อนส่วนการระเหยสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (ค.1)

$$U_{T_1} = \sqrt{(B_{T_1})^2 + (t_{v_{T_1},95} \cdot P_{T_1})^2} \quad (\text{ค.1})$$

โดยค่า $t_{v_{T_1},95}$ อ้างอิงจากตารางที่ ค.2 โดยใช้ Degree of Freedom (v_{T_1}) ในสมการที่ (ค.2) โดยในการวิเคราะห์นี้ใช้ $N_{T_1} = 10$

$$V_{T_1} = N_{T_1} - 1 \quad (\text{ค.2})$$

ดังนั้นจะได้ค่า Uncertainty ของ Humidity/Temperature Transmitter ที่วัดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าท่อความร้อนส่วนการระเหย (U_{T_1}) ดังนี้

$$U_{T_1} = 0.30674^\circ \text{C} (95\%CI)$$

Uncertainty ของเทอร์โมคัปเปิลที่วัดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าอีวาपोเรเตอร์ (T_2)

วิเคราะห์ Systematic Uncertainty

$$(B)_{T_2} = 0.2^\circ \text{C}$$

วิเคราะห์ Random Uncertainty

$$(P)_{T_2} = \frac{S_{T_2}}{\sqrt{N_{T_2}}} = \frac{0.01627}{\sqrt{10}} = 0.00515^\circ \text{C}$$

จากการวิเคราะห์ Uncertainty ของการวัดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าอีวาपोเรเตอร์ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (ค.3)

$$U_{T_2} = \sqrt{(B_{T_2})^2 + (t_{v_{T_2},95} \cdot P_{T_2})^2} \quad (\text{ค.3})$$

โดยค่า $t_{v_{T_2},95}$ อ้างอิงจากตารางที่ ค.2 โดยใช้ Degree of Freedom (v_{T_2}) ในสมการที่ (ค.4) โดยในการวิเคราะห์นี้ใช้ $N_{T_2} = 10$

$$V_{T_2} = N_{T_2} - 1 \quad (\text{ค.4})$$

ดังนั้นจะได้ค่า Uncertainty ของเทอร์โมคัปเปิลที่วัดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าอีวาपोเรเตอร์ (U_{T_2}) ดังนี้

$$U_{T_2} = 0.20034^\circ \text{C} (95\%CI)$$

Uncertainty ของเทอร์โมคัปเปิลที่วัดอุณหภูมิอากาศหลังผ่านอีวาपोเรเตอร์ (T_3)

วิเคราะห์ Systematic Uncertainty

$$(B)_{T_3} = 0.2^\circ \text{C}$$

วิเคราะห์ Random Uncertainty

$$(P)_{T_3} = \frac{S_{T_3}}{\sqrt{N_{T_3}}} = \frac{0.04639}{\sqrt{10}} = 0.01467^\circ \text{C}$$

จากการวิเคราะห์ Uncertainty ของการวัดอุณหภูมิอากาศหลังผ่านอีวาพอเรเตอร์ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (ค.5)

$$U_{T_3} = \sqrt{(B_{T_3})^2 + (t_{v_{T_3},95} \cdot P_{T_3})^2} \quad (\text{ค.5})$$

โดยค่า $t_{v_{T_3},95}$ อ้างอิงจากตารางที่ ค.2 โดยใช้ Degree of Freedom (v_{T_3}) ในสมการที่ (ค.6) โดยในการวิเคราะห์นี้ใช้ $N_{T_3} = 10$

$$V_{T_3} = N_{T_3} - 1 \quad (\text{ค.6})$$

ดังนั้นจะได้ค่า Uncertainty ของเทอร์โมคัปเปิ้ลที่วัดอุณหภูมิอากาศหลังผ่านอีวาพอเรเตอร์ (U_{T_3}) ดังนี้

$$U_{T_3} = 0.20273^\circ \text{C} (95\%CI)$$

Uncertainty ของ Humidity/Temperature Transmitter ที่วัดอุณหภูมิอากาศหลังผ่านท่อความร้อนส่วนการควบแน่น (T_4)

วิเคราะห์ Systematic Uncertainty

$$(B)_{T_4} = 0.3^\circ \text{C}$$

วิเคราะห์ Random Uncertainty

$$(P)_{T_4} = \frac{S_{T_4}}{\sqrt{N_{T_4}}} = \frac{0.06414}{\sqrt{10}} = 0.02028^\circ \text{C}$$

จากการวิเคราะห์ Uncertainty ของการวัดอุณหภูมิอากาศหลังผ่านท่อความร้อนส่วนการควบแน่น สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (ค.7)

$$U_{T_4} = \sqrt{(B_{T_4})^2 + (t_{v_{T_4},95} \cdot P_{T_4})^2} \quad (\text{ค.7})$$

โดยค่า $t_{v_{T_4},95}$ อ้างอิงจากตารางที่ ค.2 โดยใช้ Degree of Freedom (v_{T_4}) ในสมการที่ (ค.8) โดยในการวิเคราะห์นี้ใช้ $N_{T_4} = 10$

$$V_{T_4} = N_{T_4} - 1 \quad (\text{ค.8})$$

ดังนั้นจะได้ค่า Uncertainty ของ Humidity/Temperature Transmitter ที่วัดอุณหภูมิอากาศหลังผ่านท่อความร้อนส่วนการควบแน่น (U_{T_4}) ดังนี้

$$U_{T_4} = 0.30349^\circ \text{C} (95\%CI)$$

Uncertainty ของ Humidity/Temperature Transmitter ที่วัดอุณหภูมิอากาศก่อนผ่านคอนเดนเซอร์ (T₅)

วิเคราะห์ Systematic Uncertainty

$$(B)_{T_5} = 0.3^{\circ}C$$

วิเคราะห์ Random Uncertainty

$$(P)_{T_5} = \frac{S_{T_5}}{\sqrt{N_{T_5}}} = \frac{0.145}{\sqrt{10}} = 0.04586^{\circ}C$$

จากการวิเคราะห์ Uncertainty ของการวัดอุณหภูมิอากาศก่อนผ่านคอนเดนเซอร์ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (ค.9)

$$U_{T_5} = \sqrt{(B_{T_5})^2 + (t_{v_{T_5},95} \cdot P_{T_5})^2} \quad (\text{ค.9})$$

โดยค่า $t_{v_{T_5},95}$ อ้างอิงจากตารางที่ ค.2 โดยใช้ Degree of Freedom (v_{T_5}) ในสมการที่ (ค.10) โดยในการวิเคราะห์นี้ใช้ $N_{T_5} = 10$

$$V_{T_5} = N_{T_5} - 1 \quad (\text{ค.10})$$

ดังนั้นจะได้ค่า Uncertainty ของ Humidity/Temperature Transmitter ที่วัดอุณหภูมิอากาศก่อนผ่านคอนเดนเซอร์ (U_{T_5}) ดังนี้

$$U_{T_5} = 0.31743^{\circ}C \text{ (95\%CI)}$$

Uncertainty ของ Humidity/Temperature Transmitter ที่วัดอุณหภูมิอากาศหลังผ่านคอนเดนเซอร์ (T₆)

วิเคราะห์ Systematic Uncertainty

$$(B)_{T_6} = 0.3^{\circ}C$$

วิเคราะห์ Random Uncertainty

$$(P)_{T_6} = \frac{S_{T_6}}{\sqrt{N_{T_6}}} = \frac{0.286}{\sqrt{10}} = 0.09057^{\circ}C$$

จากการวิเคราะห์ Uncertainty ของการวัดอุณหภูมิอากาศหลังผ่านคอนเดนเซอร์ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (ค.11)

$$U_{T_6} = \sqrt{(B_{T_6})^2 + (t_{v_{T_6},95} \cdot P_{T_6})^2} \quad (\text{ค.11})$$

โดยค่า $t_{v_{T_6},95}$ อ้างอิงจากตารางที่ ค.2 โดยใช้ Degree of Freedom (v_{T_6}) ในสมการที่ (ค.12) โดยในการวิเคราะห์นี้ใช้ $N_{T_6} = 10$

$$V_{T_6} = N_{T_6} - 1 \quad (\text{ค.12})$$

ดังนั้นจะได้ค่า Uncertainty ของ Humidity/Temperature Transmitter ที่วัดอุณหภูมิอากาศหลังผ่านคอนเดนเซอร์ (U_{T_6}) ดังนี้

$$U_{T_6} = 0.36328^\circ C \text{ (95\%CI)}$$

Uncertainty ของ Humidity/Temperature Transmitter ที่วัดความชื้นสัมพัทธ์อากาศก่อนเข้าท่อความร้อนส่วนการระเหย (RH_1)

วิเคราะห์ Systematic Uncertainty

$$(B)_{RH_1} = 0.02$$

วิเคราะห์ Random Uncertainty

$$(P)_{RH_1} = \frac{S_{RH_1}}{\sqrt{N_{RH_1}}} = \frac{0.00427}{\sqrt{10}} = 0.00135$$

จากการวิเคราะห์ Uncertainty ของการวัดความชื้นสัมพัทธ์อากาศก่อนเข้าท่อความร้อนส่วนการระเหย สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (ค.13)

$$U_{RH_1} = \sqrt{(B_{RH_1})^2 + (t_{v_{RH_1},95} \cdot P_{RH_1})^2} \quad (\text{ค.13})$$

โดยค่า $t_{v_{RH_1},95}$ อ้างอิงจากตารางที่ ค.2 โดยใช้ Degree of Freedom (v_{RH_1}) ในสมการที่ (ค.14) โดยในการวิเคราะห์นี้ใช้ $N_{RH_1} = 10$

$$V_{RH_1} = N_{RH_1} - 1 \quad (\text{ค.14})$$

ดังนั้นจะได้ค่า Uncertainty ของ Humidity/Temperature Transmitter ที่วัดความชื้นสัมพัทธ์อากาศก่อนเข้าท่อความร้อนส่วนการระเหย (U_{RH_1}) ดังนี้

$$U_{RH_1} = 0.02023 \text{ (95\%CI)}$$

Uncertainty ของ Humidity/Temperature Transmitter ที่วัดความชื้นสัมพัทธ์อากาศหลังผ่านท่อความร้อนส่วนการควบแน่น (RH_2)

วิเคราะห์ Systematic Uncertainty

$$(B)_{RH_2} = 0.02$$

วิเคราะห์ Random Uncertainty

$$(P)_{RH_2} = \frac{S_{RH_2}}{\sqrt{N_{RH_2}}} = \frac{0.00358}{\sqrt{10}} = 0.00113$$

จากการวิเคราะห์ Uncertainty ของการวัดความชื้นสัมพัทธ์อากาศหลังผ่านท่อความร้อนส่วนการควบแน่น สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (ค.15)

$$U_{RH_2} = \sqrt{(B_{RH_2})^2 + (t_{V_{RH_2},95} \cdot P_{RH_2})^2} \quad (\text{ค.15})$$

โดยค่า $t_{V_{RH_2},95}$ อ้างอิงจากตารางที่ ค.2 โดยใช้ Degree of Freedom (V_{RH_2}) ในสมการที่ (ค.16) โดยในการวิเคราะห์นี้ใช้ $N_{RH_2} = 10$

$$V_{RH_2} = N_{RH_2} - 1 \quad (\text{ค.16})$$

ดังนั้นจะได้ค่า Uncertainty ของ Humidity/Temperature Transmitter ที่วัดความชื้นสัมพัทธ์อากาศหลังผ่านท่อความร้อนส่วนการควบแน่น (U_{RH_2}) ดังนี้

$$U_{RH_2} = 0.02016 \text{ (95\%CI)}$$

Uncertainty ของ Humidity/Temperature Transmitter ที่วัดความชื้นสัมพัทธ์อากาศก่อนผ่านคอนเดนเซอร์ (RH₃)

วิเคราะห์ Systematic Uncertainty

$$(B)_{RH_3} = 0.02$$

วิเคราะห์ Random Uncertainty

$$(P)_{RH_3} = \frac{S_{RH_3}}{\sqrt{N_{RH_3}}} = \frac{0.004035}{\sqrt{10}} = 0.00128$$

จากการวิเคราะห์ Uncertainty ของการวัดความชื้นสัมพัทธ์อากาศก่อนผ่านคอนเดนเซอร์ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (ค.17)

$$U_{RH_3} = \sqrt{(B_{RH_3})^2 + (t_{V_{RH_3},95} \cdot P_{RH_3})^2} \quad (\text{ค.17})$$

โดยค่า $t_{V_{RH_3},95}$ อ้างอิงจากตารางที่ ค.2 โดยใช้ Degree of Freedom (V_{RH_3}) ในสมการที่ (ค.18) โดยในการวิเคราะห์นี้ใช้ $N_{RH_3} = 10$

$$V_{RH_3} = N_{RH_3} - 1 \quad (\text{ค.18})$$

ดังนั้นจะได้ค่า Uncertainty ของ Humidity/Temperature Transmitter ที่วัดความชื้นสัมพัทธ์อากาศก่อนผ่านคอนเดนเซอร์ (U_{RH_3}) ดังนี้

$$U_{RH_3} = 0.02021 \text{ (95\%CI)}$$

Uncertainty ของ Humidity/Temperature Transmitter ที่วัดความชื้นสัมพัทธ์อากาศหลังผ่านคอนเดนเซอร์ (RH₄)

วิเคราะห์ Systematic Uncertainty

$$(B)_{RH_4} = 0.02$$

วิเคราะห์ Random Uncertainty

$$(P)_{RH_4} = \frac{S_{RH_4}}{\sqrt{N_{RH_4}}} = \frac{0.000936}{\sqrt{10}} = 0.00029$$

จากการวิเคราะห์ Uncertainty ของการวัดความชื้นสัมพัทธ์อากาศหลังผ่านคอนเดนเซอร์ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (ค.19)

$$U_{RH_4} = \sqrt{(B_{RH_4})^2 + (t_{v_{RH_4},95} \cdot P_{RH_4})^2} \quad (\text{ค.19})$$

โดยค่า $t_{v_{RH_4},95}$ อ้างอิงจากตารางที่ ค.2 โดยใช้ Degree of Freedom (v_{RH_4}) ในสมการที่ (ค.20) โดยในการวิเคราะห์นี้ใช้ $N_{RH_4} = 10$

$$V_{RH_4} = N_{RH_4} - 1 \quad (\text{ค.20})$$

ดังนั้นจะได้ค่า Uncertainty ของ Humidity/Temperature Transmitter ที่วัดความชื้นสัมพัทธ์อากาศหลังผ่านคอนเดนเซอร์ (U_{RH_4}) ดังนี้

$$U_{RH_4} = 0.02001 (95\%CI)$$

Uncertainty ของเทอร์โมคัปเปิ้ลที่วัดอุณหภูมิผิวต่อความร้อนส่วนการระเหย (T_{sl})

วิเคราะห์ Systematic Uncertainty

$$(B)_{T_{sl}} = 0.2^\circ C$$

วิเคราะห์ Random Uncertainty

$$(P)_{T_{sl}} = \frac{S_{T_{sl}}}{\sqrt{N_{T_{sl}}}} = \frac{0.24502}{\sqrt{10}} = 0.07748^\circ C$$

จากการวิเคราะห์ Uncertainty ของการวัดอุณหภูมิผิวต่อความร้อนส่วนการระเหย สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (ค.21)

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

โดยค่า $t_{v_{T_{sl}},95}$ อ้างอิงจากตารางที่ ค.2 โดยใช้ Degree of Freedom ($v_{T_{sl}}$) ในสมการที่ (ค.22) โดยในการวิเคราะห์นี้ใช้ $N_{T_{sl}} = 10$

$$V_{T_{sl}} = N_{T_{sl}} - 1 \quad (\text{ค.22})$$

ดังนั้นจะได้ค่า Uncertainty ของเทอร์โมคัปเปิ้ลที่วัดอุณหภูมิผิวต่อความร้อนส่วนการระเหย ($U_{T_{sl}}$) ดังนี้

$$U_{T_{sl}} = 0.26593^\circ C (95\%CI)$$

Uncertainty ของเทอร์โมคัปเปิ้ลที่วัดอุณหภูมิผิวต่อความร้อนส่วนการควบแน่น (T_{s6})

วิเคราะห์ Systematic Uncertainty

$$(B)_{T_{s6}} = 0.2^{\circ}C$$

วิเคราะห์ Random Uncertainty

$$(P)_{T_{s6}} = \frac{S_{T_{s6}}}{\sqrt{N_{T_{s6}}}} = \frac{0.1982}{\sqrt{10}} = 0.06290^{\circ}C$$

จากการวิเคราะห์ Uncertainty ของการวัดอุณหภูมิผิวต่อความร้อนส่วนการควบแน่น สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (ค.23)

$$U_{T_{s6}} = \sqrt{(B_{T_{s6}})^2 + (t_{v_{T_{s6}},95} \cdot P_{T_{s6}})^2} \quad (\text{ค.23})$$

โดยค่า $t_{v_{T_{s6}},95}$ อ้างอิงจากตารางที่ ค.2 โดยใช้ Degree of Freedom ($V_{T_{s6}}$) ในสมการที่ (ค.24) โดยในการวิเคราะห์นี้ใช้ $N_{T_{s6}} = 10$

$$V_{T_{s6}} = N_{T_{s6}} - 1 \quad (\text{ค.24})$$

ดังนั้นจะได้ค่า Uncertainty ของเทอร์โมคัปเปิ้ลที่วัดอุณหภูมิผิวต่อความร้อนส่วนการควบแน่น ($U_{T_{s6}}$) ดังนี้

$$U_{T_{s6}} = 0.24545^{\circ}C \text{ (95\%CI)}$$

Uncertainty Analysis ของค่าความต้านทานทางความร้อน (Thermal Resistance)

จากสมการที่ใช้คำนวณค่าความต้านทานทางความร้อน

$$R = \frac{T_{s1} - T_{s6}}{(\dot{Q}_{hpc} + \dot{Q}_{hpr})/2} \quad (\text{ค.25})$$

โดยที่	R	คือ	ค่าความต้านทานทางความร้อนของท่อความร้อน ($^{\circ}C/kW$)
	T_e	คือ	อุณหภูมิผิวของท่อความร้อนในส่วนการระเหย ($^{\circ}C$)
	T_c	คือ	อุณหภูมิผิวของท่อความร้อนในส่วนการควบแน่น ($^{\circ}C$)
	$\dot{Q}_{hpc}$	คือ	อัตราการถ่ายเทความร้อนที่ส่วนการระเหยของท่อความร้อน (kW)
	$\dot{Q}_{hpr}$	คือ	อัตราการถ่ายเทความร้อนที่ส่วนการควบแน่นของท่อความร้อน (kW)

จากการวิเคราะห์ Uncertainty พบว่า Uncertainty ของค่าความต้านทานทางความร้อนสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ (ค.26) โดยแบ่งออกเป็นสองส่วน คือ Systematic Uncertainty และ Random Uncertainty ซึ่งสมการคำนวณได้จากสมการที่ (ค.27) และ (ค.28) ตามลำดับ

$$U_R = \sqrt{(B_R)^2 + (t_{v_R,95} \cdot P_R)^2} \quad (\text{ค.26})$$

$$B_R = \sqrt{\left(\frac{\partial R}{\partial T_1} B_{T_1}\right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial T_2} B_{T_2}\right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial T_3} B_{T_3}\right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial T_4} B_{T_4}\right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial RH_1} B_{RH_1}\right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial RH_2} B_{RH_2}\right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial T_{s_1}} B_{T_{s_1}}\right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial T_{s_2}} B_{T_{s_2}}\right)^2} \quad (\text{ก.27})$$

$$P_R = \sqrt{\left(\frac{\partial R}{\partial T_1} P_{T_1}\right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial T_2} P_{T_2}\right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial T_3} P_{T_3}\right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial T_4} P_{T_4}\right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial RH_1} P_{RH_1}\right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial RH_2} P_{RH_2}\right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial T_{s_1}} P_{T_{s_1}}\right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial T_{s_2}} P_{T_{s_2}}\right)^2} \quad (\text{ก.28})$$

โดยที่

$$\frac{\partial R}{\partial T_1} = -0.48186$$

$$\frac{\partial R}{\partial T_2} = -0.48186$$

$$\frac{\partial R}{\partial T_3} = 0.47689$$

$$\frac{\partial R}{\partial T_4} = -0.47689$$

$$\frac{\partial R}{\partial RH_1} = -11.168$$

$$\frac{\partial R}{\partial RH_2} = -5.135$$

$$\frac{\partial R}{\partial T_{s_1}} = 0.450815$$

$$\frac{\partial R}{\partial T_{s_2}} = -0.45082$$

โดยที่ค่า $v_{R,95}$ ในสมการที่(ก.26) นั้นอ้างอิงจากตารางที่ ก.2 และค่า Degree of Freedom (V_R)
คำนวณจากสมการที่ (ก.29)

$$V_R = \frac{\left[\left(\frac{\partial R}{\partial T_1} P_{T_1}\right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial T_2} P_{T_2}\right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial T_3} P_{T_3}\right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial T_4} P_{T_4}\right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial RH_1} P_{RH_1}\right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial RH_2} P_{RH_2}\right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial T_{s_1}} P_{T_{s_1}}\right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial T_{s_2}} P_{T_{s_2}}\right)^2 \right]}{\frac{\left(\frac{\partial R}{\partial T_1} P_{T_1}\right)^4}{V_{T_1}} + \frac{\left(\frac{\partial R}{\partial T_2} P_{T_2}\right)^4}{V_{T_2}} + \frac{\left(\frac{\partial R}{\partial T_3} P_{T_3}\right)^4}{V_{T_3}} + \frac{\left(\frac{\partial R}{\partial T_4} P_{T_4}\right)^4}{V_{T_4}} + \frac{\left(\frac{\partial R}{\partial RH_1} P_{RH_1}\right)^4}{V_{RH_1}} + \frac{\left(\frac{\partial R}{\partial RH_2} P_{RH_2}\right)^4}{V_{RH_2}} + \frac{\left(\frac{\partial R}{\partial T_{s_1}} P_{T_{s_1}}\right)^4}{V_{T_{s_1}}} + \frac{\left(\frac{\partial R}{\partial T_{s_2}} P_{T_{s_2}}\right)^4}{V_{T_{s_2}}}} \quad (\text{ก.29})$$

$$V_R = 7.33507$$

จากตารางที่ ค.2 เมื่อค่า Degree of Freedom $V_R = 7.33507$ นั้นสามารถหาค่า $t_{V_R, .95}$ ได้เท่ากับ 2.34523 ดังนั้นจะได้ค่า Uncertainty ของค่าความต้านทานทางความร้อน (U_R) ดังนี้

$$U_R = 0.30346^\circ \text{C} / \text{kW} \text{ (95\%CI)}$$

ดังนั้นค่าความต้านทานทางความร้อนของท่อความร้อนที่ผสมอนุภาคนาโนความเข้มข้น 10 ppm เป็นสารทำงานที่อัตราการไหลเชิงมวล 0.698 kg/s มีค่าเท่ากับ $2.66726 \pm 0.30346^\circ \text{C} / \text{kW}$

Uncertainty Analysis ของค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะในการทำความเย็น (COP_R)

จากการวิเคราะห์ Uncertainty พบว่า Uncertainty ของค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะในการทำความเย็น สามารถคำนวณได้ตามสมการที่ (ค.30) โดยแบ่งออกเป็นสองส่วน คือ Systematic Uncertainty และ Random Uncertainty

$$U_{COP_R} = \sqrt{(B_{COP_R})^2 + (t_{V_{COP_R}, .95} \cdot P_{COP_R})^2} \quad (\text{ค.30})$$

ใช้วิธีการคำนวณ Systematic Uncertainty และ Random Uncertainty เช่นเดียวกับการหา Uncertainty ของค่าความต้านทานทางความร้อน โดยที่ค่า $t_{V_{COP_R}, .95}$ ในสมการที่ (ค.30) นั้นอ้างอิงจากตารางที่ ค.2 และค่า Degree of Freedom (V_{COP_R}) ใช้หลักการคำนวณเช่นเดียวกับ (V_R) ของค่าความต้านทานทางความร้อน โดยที่

$$V_{COP_R} = 2.65578$$

จากตารางที่ ค.2 เมื่อค่า Degree of Freedom $V_{COP_R} = 2.65578$ นั้นสามารถหาค่า $t_{V_{COP_R}, .95}$ ได้เท่ากับ 3.56787 ดังนั้นจะได้ค่า Uncertainty ของค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะในการทำความเย็น (U_{COP_R}) ดังนี้

$$U_{COP_R} = 0.20385 \text{ (95\%CI)}$$

Uncertainty Analysis ของค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะในการทำความร้อน (COP_H)

จากการวิเคราะห์ Uncertainty พบว่า Uncertainty ของค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะในการทำความร้อน สามารถคำนวณได้ตามสมการที่ (ค.31) โดยแบ่งออกเป็นสองส่วน คือ Systematic Uncertainty และ Random Uncertainty

$$U_{COP_H} = \sqrt{(B_{COP_H})^2 + (t_{V_{COP_H}, .95} \cdot P_{COP_H})^2} \quad (\text{ค.31})$$

ใช้วิธีการคำนวณ Systematic Uncertainty และ Random Uncertainty เช่นเดียวกับการหา Uncertainty ของค่าความต้านทานทางความร้อน โดยที่ค่า $t_{V_{COP_H}, .95}$ ในสมการที่ (ค.31) นั้นอ้างอิงจากตารางที่ ค.2

และค่า Degree of Freedom (V_{COP_H}) ใช้หลักการคำนวณเช่นเดียวกับ (V_R) ของค่าความต้านทานทางความร้อน โดยที่

$$V_{COP_H} = 4.819726$$

จากตารางที่ ค.2 เมื่อค่า Degree of Freedom $V_{COP_H} = 4.819726$ นั้นสามารถหาค่า $t_{V_{COP_H}, .95}$ ได้เท่ากับ 2.30712 ดังนั้นจะได้ค่า Uncertainty ของค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะในการทำความร้อน (U_{COP_H}) ดังนี้

$$U_{COP_H} = 0.06893 (95\%CI)$$

Uncertainty Analysis ของค่าสัดส่วนการประหยัดพลังงานสำหรับภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศ (E_{s1})

จากการวิเคราะห์ Uncertainty พบว่า Uncertainty ของค่าสัดส่วนการประหยัดพลังงานสำหรับภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศ สามารถคำนวณได้ตามสมการที่ (ค.32) โดยแบ่งออกเป็นสองส่วน คือ Systematic Uncertainty และ Random Uncertainty

$$U_{E_{s1}} = \sqrt{(B_{E_{s1}})^2 + (t_{V_{E_{s1}}, .95} \cdot P_{E_{s1}})^2} \quad (\text{ค.32})$$

ใช้วิธีการคำนวณ Systematic Uncertainty และ Random Uncertainty เช่นเดียวกับการหา Uncertainty ของค่าความต้านทานทางความร้อน โดยที่ค่า $t_{V_{E_{s1}}, .95}$ ในสมการที่ (ค.32) นั้นอ้างอิงจากตารางที่ ค.2 และค่า Degree of Freedom ($V_{E_{s1}}$) ใช้หลักการคำนวณเช่นเดียวกับ (V_R) ของค่าความต้านทานทางความร้อน โดยที่

$$V_{E_{s1}} = 2.2622264$$

จากตารางที่ ค.2 เมื่อค่า Degree of Freedom $V_{E_{s1}} = 2.2622264$ นั้นสามารถหาค่า $t_{V_{E_{s1}}, .95}$ ได้เท่ากับ 4.00905 ดังนั้นจะได้ค่า Uncertainty ของค่าสัดส่วนการประหยัดพลังงานสำหรับภาระการทำความเย็น ($U_{E_{s1}}$) ดังนี้

$$U_{E_{s1}} = 4.70876 (95\%CI)$$

Uncertainty Analysis ของค่าสัดส่วนการประหยัดพลังงานโดยรวมของระบบปรับอากาศ (E_{s2})

จากการวิเคราะห์ Uncertainty พบว่า Uncertainty ของค่าสัดส่วนการประหยัดพลังงานโดยรวมของระบบปรับอากาศ สามารถคำนวณได้ตามสมการที่ (ค.33) โดยแบ่งออกเป็นสองส่วน คือ Systematic Uncertainty และ Random Uncertainty

$$U_{E_{s2}} = \sqrt{(B_{E_{s2}})^2 + (t_{V_{E_{s2}}, .95} \cdot P_{E_{s2}})^2} \quad (\text{ค.33})$$

ใช้วิธีการคำนวณ Systematic Uncertainty และ Random Uncertainty เช่นเดียวกับการหา Uncertainty ของค่าความต้านทานทางความร้อน โดยที่ค่า $t_{V_{E_{s2}}, .95}$ ในสมการที่ (ค.33) นั้นอ้างอิงจากตารางที่ ค.2 และค่า Degree of Freedom ($V_{E_{s2}}$) ใช้หลักการคำนวณเช่นเดียวกับ (V_R) ของค่าความต้านทานทางความร้อน โดยที่

$$V_{E_{s2}} = 2.262092$$

จากตารางที่ ค.2 เมื่อค่า Degree of Freedom $V_{E_{s2}} = 2.262092$ นั้นสามารถหาค่า $t_{V_{E_{s2}}, .95}$ ได้เท่ากับ 4.26735 ดังนั้นจะได้ค่า Uncertainty ของค่าสัดส่วนการประหยัดพลังงานโดยรวมของระบบปรับอากาศ ($U_{E_{s2}}$) ดังนี้

$$U_{E_{s2}} = 4.26735 (95\%CI)$$

ตารางที่ ค.2 Student t-Distribution^a [23]

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