

การทดลองทางมาตรวิทยา - I Temperature Calibration

1. วัตถุประสงค์

1.1 เพื่อศึกษาการวัดอุณหภูมิ โดยใช้ RTD และ Thermocouple และวิธีรายงานผล

2. อุปกรณ์การทดลอง

2.1. แหล่งกำเนิดความร้อน Quick Cal

2.2. 712 RTD Calibrator และ RTD

2.3. 714 Thermocouple Calibrator และ Thermocouple (Type K)

3. วิธีทดลอง

3.1. การวัดอุณหภูมิของเตา

3.1.1. เตรียมแหล่งกำเนิดความร้อน

3.1.1.1. ต่อสายกำลังของ Quick Cal (อ่านคู่มือของตัว Quick Cal ทั้งหมดก่อน)

3.1.1.2. ใส่ตัวสอด (Inserts) เข้าไปที่ช่องกำเนิดความร้อนของ Quick Cal

3.1.2 การเตรียม RTD และเครื่องวัด (712)

3.1.2.1. นำ RTD ไปไว้ในตัวสอด

3.1.2.2. ต่อสายทั้ง 4 ของ RTD เข้ากับเครื่องวัด 712 (อ่านคู่มือ)

3.1.2.3. ที่ตัว 712 Calibrator

- Power	:	“ON”
- INPUT/OUTPUT	:	“INPUT “
- RTD Type	:	“Pt100 “
- °C /°F	:	“°C”
- 2W/3W/4W	:	“4W”

3.1.3. การเตรียม Thermocouple และเครื่องวัด (714)

3.1.3.1. นำ Thermocouple ไปใส่ไว้ในตัวสอด

3.1.3.2. ต่อ Plug ของตัว Thermocouple เข้ากับ Jack ของ 714

3.1.3.3. ที่ตัว 714 Calibrator

- Power	:	“ON”
- INPUT/OUTPUT	:	“INPUT “
- T/C Type	:	“K “
- °C /°F	:	“°C”

3.1.4. ขั้นตอนการทดลอง

3.1.4.1. Power ON ตัว Quick Cal

3.1.4.2. ตั้งอุณหภูมิที่ตัว Controller ของ Quick Cal ที่ 75 °C

3.1.4.3. หลังจากอุณหภูมิถึงค่าที่ตั้งแล้วทิ้งไว้ไม่น้อยกว่า 5 นาที

อ่านค่าอุณหภูมิ จาก 712 และ 714 Calibrator 5 ค่า บันทึกลงในตาราง

3.1.4.4. ตั้งอุณหภูมิของตัวของ Quick Cal ที่ 120°C ทำซ้ำข้อ 3.1.4.3

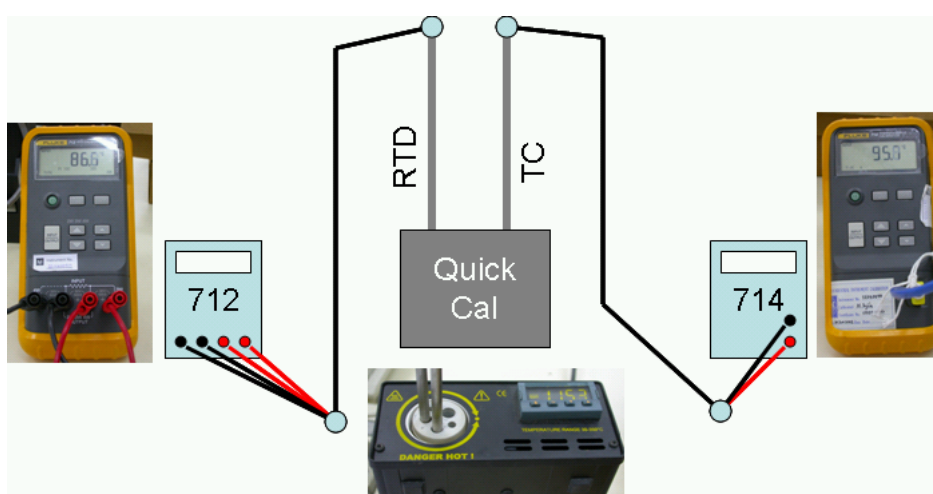
3.1.4.5. ตั้งอุณหภูมิของตัวของ Quick Cal ที่ 175°C ทำซ้ำข้อ 3.1.4.3

3.1.4.6. ลดอุณหภูมิของตัว Controller ของ Quick Cal มาอยู่ที่ 30°C

3.1.4.7. เมื่ออุณหภูมิของ Quick Cal อยู่ที่ประมาณ 30°C แล้วจึงปิดเครื่อง
(ห้ามปิดเครื่องขณะยังร้อนอยู่) สวิตช์ปิด-เปิดเครื่องอยู่ที่แผงด้านหลัง

3.1.4.8. สวิตช์ OFF Power ของ 714 และ 712 Calibrator

ไดอะแกรมแสดงการเชื่อมต่ออุปกรณ์



RTD & Thermocouple Calibration

การวัดความต้านทานแบบ 2w, 3w, 4w

การวัดความต้านทานแบบ 2w, 3w, 4w แตกต่างกันในเรื่องของการชดเชยผลของค่าความต้านทานในสายวัด การใช้สายวัดแบบ 2 เส้น ไม่มีการชดเชยความต้านทานในการวัดแต่มีความสะดวกในการใช้งาน การใช้สายวัดแบบ 3 เส้น จะเป็นการชดเชยความต้านทานของสายวัดที่เปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิ ส่วนการใช้สายสำหรับการวัดแบบ 4 เส้น นั้นจะมีการเชื่อมต่อภายในแบบบริดจ์ ซึ่งมีการชดเชยค่าความต้านทานอื่นๆที่เกิดขึ้นขณะการวัด ถือได้ว่าให้ผลการวัดที่ถูกต้องมากที่สุด

3.2 การวัดค่าการจำลอง Thermocouple

3.2.1. การเตรียม

3.2.1.1. ถอด Jack ของ Thermocouple ออกจาก 714 Calibrator

3.2.1.2. เอา Jack ที่เตรียมไว้กับ 714 ด้านปลายหนึ่งต่อกับเครื่องวัดไมโครโวลท์

3.2.1.3. ที่ตัว 714 Calibrator

- Power : “ON”
- INPUT/OUTPUT : “OUTPUT “
- T/C Type : “K “
- °C /°F : “°C”

3.2.2. ขั้นตอนการทดลอง

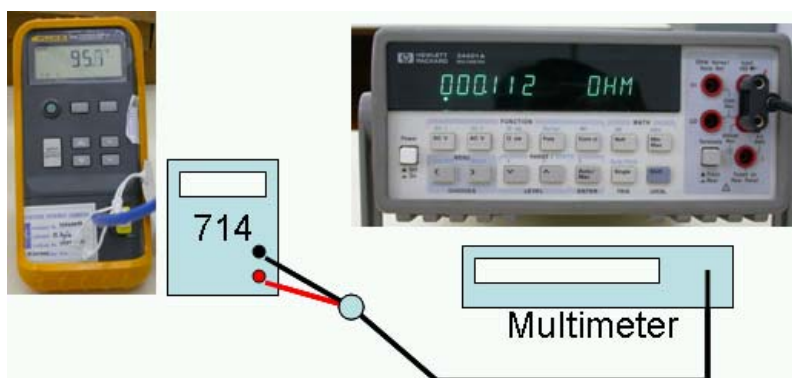
3.2.2.1. Power ON ตัว 714 Calibrator และ เครื่องวัดไมโครโวลท์

3.2.2.2. ตั้งค่าอุณหภูมิที่ 714 จาก 0-300°C โดยแปรค่าไปครั้งละ 10°C

อ่านไมโครโวลท์ที่วัดได้ เทียบกับค่าจากการเปิดตาราง

3.2.2.3. Power OFF ตัว 714 และเครื่องมือวัดไมโครโวลท์

ไดอะแกรมแสดงการเชื่อมต่ออุปกรณ์



การวัดค่าการจำลอง Thermocouple

หลักการการทำงานของ RTD Calibrator (712 Calibration)

RTD Calibrator อาศัยหลักการ Convert ค่าความต้านทานที่ Input ไปแสดงเป็นอุณหภูมิ เมื่อใช้ร่วมกับ RTD โดยที่ RTD จะให้ค่าความต้านทานค่าหนึ่งที่อุณหภูมิหนึ่งๆ

ลักษณะเฉพาะของ 714 Calibration

สามารถจำลองและวัดค่า RTD ได้ 7 ย่าน ที่ -200 ถึง 800 °C

มีความแม่นยำ 0.1 โอห์ม

ความละเอียด 0.1 °C

สามารถแสดงผลเป็น °C หรือ °F

Fluke 712 RTD Calibrator Specification

Function Specifications	
Measure/simulate RTD	Range: -200 to 800°C (Pt 100) Resolution: 0.1°C, 0.1°F Accuracy: 0.33°C, 0.6°F Note: Pt; 100 200 500 1000 (385); Pt 100 (392); Pt 100 (392) JIS; Ni 120 (672)
Measure/simulate mV	Range: -10 to 75 mV Resolution: 0.01 mV Accuracy: 0.025% + 1 count

General Specifications	
Operating temperature:	-10°C to 55°C
Non-operating temperature:	-40°C to 60°C
Relative humidity (% RH operating without condensation):	95% (10°C to 30°C); 75% (30°C to 40°C); 45% (40°C to 50°C); 35% (50°C to 55°C)
Operating altitude:	3,000m max
Vibration:	Random, 2g, 5-500 Hz
Shock:	1m drop test
Safety:	CSA C22.2 No. 1010.1:1992
Power:	Single 9V battery ANSI/NEDA 1604A or IEC 6LR619V alkaline
Size (with holster):	201 mm L x 98mm W x 52 mm D (7.93 in X 3.86 in x 2.06 in)
Weight (with holster):	Approx. 600g (21 oz)
Size (without holster):	187 mm L x 87mm W x 32 mm D (7.35 in X 3.41 in x 1.25 in)
Weight (without holster):	Approx. 330g (12 oz)
Display:	Clear, 5 digit liquid crystal
Warranty:	3 years

Fluke 714 Calibrator Specification

Function Specifications	
Measure/simulate Thermocouple	Range: -200 to 1800°C, depending on type (K, -200 to 1370°C) Resolution: 0.1°C or °F (1°C or °F; BRS) Accuracy: 0.3°C + 10 micro Volts Note: 9 TC types; J K T E R S B per NIST 175 and ITS-90 L U per DIN 43710 and IPTS-68
Measure/simulate mV	Range: -10 to 75 mV Resolution: 0.01 mV Accuracy: 0.025% + 1 count

General Specifications	
Operating temperature:	-10°C to 55°C
Non-operating temperature:	-40°C to 60°C
Relative humidity (% RH operating without condensation):	95% (10°C to 30°C); 75% (30°C to 40°C); 45% (40°C to 50°C); 35% (50°C to 55°C)
Operating altitude:	3,000m max
Vibration:	Random, 2g, 5-500 Hz
Shock:	1m drop test
Safety:	CSA C22.2 No. 1010.1:1992
Power:	Single 9V battery ANSI/NEDA 1604A or IEC 6LR619V alkaline
Size (with holster):	201 mm L x 98mm W x 52 mm D (7.93 in X 3.86 in x 2.06 in)
Weight (with holster):	Approx. 600g (21 oz)
Size (without holster):	187 mm L x 87mm W x 32 mm D (7.35 in X 3.41 in x 1.25 in)
Weight (without holster):	Approx. 330g (12 oz)
Display:	Clear, 5 digit liquid crystal
Warranty:	3 years

4. ผลการทดลอง

ผลการสอบเทียบ Thermocouple และ RTD

No	RTD Calibration (°C)			TC Calibration (°C)		
	75.0	120.0	175.0	75.0	120.0	175.0
1	75.0	119.5	173.2	74.8	119.9	174.7
2	74.9	119.5	173.6	74.8	119.9	175.0
3	74.7	119.6	172.8	74.6	120.0	174.8
4	74.8	119.2	173.3	74.6	119.8	174.7
5	74.8	119.0	173.1	74.6	119.5	174.5

ผลการวัดค่าจำลอง Thermocouple

741 (°C)	Multimeter (mV)	Table (mV)	741 (°C)	Multimeter (mV)	Table (mV)
0.0	-1.064	0.000	160.0	5.483	6.540
10.0	-0.662	0.397	170.0	5.890	6.941
20.0	-0.258	0.798	180.0	6.290	7.340
30.0	-0.150	1.203	190.0	6.690	7.739
40.0	0.562	1.612	200.0	7.090	8.138
50.0	0.975	2.023	210.0	7.488	8.539
60.0	1.389	2.436	220.0	7.890	8.940
70.0	1.804	2.851	230.0	8.284	9.343
80.0	2.219	3.267	240.0	8.693	9.747
90.0	2.635	3.682	250.0	9.091	10.153
100.0	3.034	4.096	260.0	9.497	10.561
110.0	3.448	4.509	270.0	9.904	10.971
120.0	3.861	4.920	280.0	10.314	11.382
130.0	4.269	5.328	290.0	10.728	11.795
140.0	4.676	5.735	300.0	11.142	12.209
150.0	5.081	6.138			

5. วิเคราะห์ผลการทดลอง

RTD Calibration Analysis

Type B evaluation

Standard uncertainty of 712 Calibrator (u_m)

จาก Specification accuracy ของ 712 Calibrator คือ ± 0.33 °C

Assuming rectangular distribution,

$$u_m = \frac{0.33}{\sqrt{3}}$$

$$= 0.1905$$

Degrees of freedom: $\nu_m = \infty$

Resolution of 712 Calibrator (u_{res})

Resolution = 0.1

$$u_{res} = \frac{0.1}{2\sqrt{3}}$$

$$= 0.0288 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Degrees of freedom: $\nu_{res} = \infty$

Resolution of Quick-Cal

Resolution = 0.1

$$u_r = \frac{0.1}{2\sqrt{3}}$$

$$= 0.0288 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Degrees of freedom: $\nu_r = \infty$

Type A evaluation

ที่อุณหภูมิ 75.0 °C

$$u_A = \frac{SD}{\sqrt{n}} = \frac{0.11402}{\sqrt{5}}$$

$$u_A = 0.05099$$

ที่อุณหภูมิ 120.0 °C

$$u_A = 0.1125$$

ที่อุณหภูมิ 175.0 °C

$$u_A = 0.13038$$

Degrees of freedom: $\nu_A = 4$

Thermocouple Calibration Analysis

Type B evaluation

Standard uncertainty of 714 Calibrator (u_m)

จาก Specification accuracy ของ 714 Calibrator คือ $\pm 0.3 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Assuming rectangular distribution,

$$u_m = \frac{0.3}{\sqrt{3}}$$

$$= 0.173 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Degrees of freedom: $\nu_m = \infty$

Standard uncertainty of Thermocouple (u_t)

จาก Specification standard of Thermocouple คือ $\pm 2.2 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Assuming rectangular distribution,

$$u_t = \frac{2.2}{\sqrt{3}}$$

$$= 1.270 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Degrees of freedom: $\nu_t = \infty$

Resolution of 714 Calibrator

Resolution = 0.1

$$u_{res} = \frac{0.1}{2\sqrt{3}}$$

$$= 0.0288 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Degrees of freedom: $\nu_{res} = \infty$

Resolution of Quick-Cal

Resolution = 0.1

$$u_r = \frac{0.1}{2\sqrt{3}}$$

$$= 0.0288 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Degrees of freedom: $\nu_r = \infty$

Type A evaluation

ที่อุณหภูมิ 75.0 °C

$$u_A = \frac{SD}{\sqrt{n}} = \frac{0.10954}{\sqrt{5}}$$

$$u_A = 0.04899$$

ที่อุณหภูมิ 120.0 °C

$$u_A = 0.08602$$

ที่อุณหภูมิ 175.0 °C

$$u_A = 0.08124$$

Degrees of freedom: $\nu_A = 4$

Combined standard uncertainty evaluation

$$u_c = \sqrt{(u_A^2 + u_m^2 + u_t^2 + u_{res}^2 + u_r^2)}$$

ที่อุณหภูมิ 75.0 °C

$$u_c = \sqrt{(0.04899^2 + 0.173^2 + 1.270^2 + 0.0288^2 + 0.0288^2)}$$

$$u_c = 1.283$$

ที่อุณหภูมิ 120.0 °C

$$u_c = \sqrt{(0.08602^2 + 0.173^2 + 1.270^2 + 0.0288^2 + 0.0288^2)}$$

$$u_c = 1.285$$

ที่อุณหภูมิ 175.0 °C

$$u_c = \sqrt{(0.08124^2 + 0.173^2 + 1.270^2 + 0.0288^2 + 0.0288^2)}$$

$$u_c = 1.285$$

Effective degrees of freedom

$$v_{eff} = \frac{(u_c)^4}{\frac{(u_A)^4}{v_A} + \frac{(u_m)^4}{v_m} + \frac{(u_t)^4}{v_t} + \frac{(u_{res})^4}{v_{res}} + \frac{(u_r)^4}{v_r}}$$

$$v_{eff} = \frac{1.285^4}{\frac{1.282^4}{4} + \frac{0.173^4}{\infty} + \frac{1.270^4}{\infty} + \frac{0.0288^4}{\infty} + \frac{0.0288^4}{\infty}}$$

$$v_{eff} \approx \infty$$

Expanded uncertainty

ที่ 75.0, 120.0, 175.0 °C $v_{eff} \approx \infty$ ดังนั้นให้ Coverage factor (k) เท่ากับ 2 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

$$U = ku_c$$

$$U = 2 \times 1.283$$

ที่อุณหภูมิ 75.0 °C

$$U = 2.6 \text{ °C}$$

$$U = 2 \times 1.285$$

ที่อุณหภูมิ 120.0 °C

$$U = 2.6 \text{ °C}$$

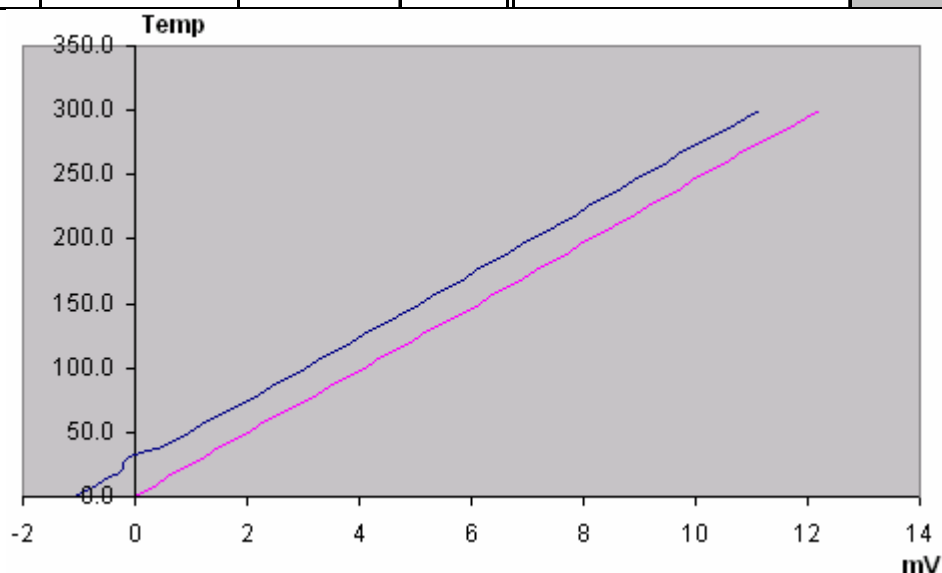
$$U = 2 \times 1.285$$

ที่อุณหภูมิ 175.0 °C

$$U = 2.6 \text{ °C}$$

วิเคราะห์การวัดค่าจำลอง Thermocouple

741 (°C)	Multimeter (mV)	Table (mV)	Bias	741 (°C)	Multimeter (mV)	Table (mV)	Bias
0.0	-1.064	0.000	1.064	160.0	5.483	6.540	1.057
10.0	-0.662	0.397	1.059	170.0	5.890	6.941	1.051
20.0	-0.258	0.798	1.056	180.0	6.290	7.340	1.050
30.0	-0.150	1.203	1.353	190.0	6.690	7.739	1.049
40.0	0.562	1.612	1.050	200.0	7.090	8.138	1.048
50.0	0.975	2.023	1.048	210.0	7.488	8.539	1.051
60.0	1.389	2.436	1.047	220.0	7.890	8.940	1.050
70.0	1.804	2.851	1.047	230.0	8.284	9.343	1.059
80.0	2.219	3.267	1.048	240.0	8.693	9.747	1.054
90.0	2.635	3.682	1.047	250.0	9.091	10.153	1.062
100.0	3.034	4.096	1.062	260.0	9.497	10.561	1.064
110.0	3.448	4.509	1.061	270.0	9.904	10.971	1.067
120.0	3.861	4.920	1.059	280.0	10.314	11.382	1.068
130.0	4.269	5.328	1.059	290.0	10.728	11.795	1.067
140.0	4.676	5.735	1.059	300.0	11.142	12.209	1.067
150.0	5.081	6.138	1.057			Mean Bias	1.101



---- Data from Experiment

----- Data from Table

จากกราฟการวิเคราะห์การจำลองการกำเนิดอุณหภูมิแล้วใช้ Multimeter วัดค่าที่ได้ออกมาเป็น mV เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานในตารางแสดงให้เห็นว่าค่าที่ได้เป็นค่า linearity และมีค่า Bias เฉลี่ยเท่ากับ 1.01 mV สาเหตุที่ค่าที่ได้จากการทดลองไม่เท่ากับค่าในตารางอาจเนื่องมาจาก

- สภาพแวดล้อมในห้องทดลองหรือห้องสอบเทียบส่งผลกระทบต่อผลการทดลอง
- สายไฟตัวนำทำให้เกิด Lose หรือสัญญาณรบกวนในการนำสัญญาณได้
- ค่าการขดเชยความต้านทานที่เปลี่ยนไปเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนของสายไฟตัวนำ
- อาจเกิดจากการ Drift. ของเครื่องมือวัด
- etc.

6.สรุปผลการทดลอง

Thermocouple Calibration

Temp. Measurement			No	TC Calibration (°C)		
				75.0	120.0	175.0
			1	74.8	119.9	174.7
			2	74.8	119.9	175.0
			3	74.6	120.0	174.8
			4	74.6	119.8	174.7
			5	74.6	119.5	174.5
			Mean	74.68	119.82	174.74
			SD	0.109545	0.192354	0.181659
Uncertainty Budget Table			Uncertainty Value	Standard Uncertainty (°C)		
				75.0	120.0	175.0
Type	Source of uncertainty	Symbol				
A	Repeability	u_A		0.04899	0.086023	0.08124
B	714 Calibrator	u_m	0.3	0.1730	0.1730	0.1730
B	714 Resolution	u_{res}	0.1	0.0288	0.0288	0.0288
B	Thermocouple	u_t	2.2	1.2700	1.2700	1.2700
B	Resolution of Quick-Cal	u_r	0.1	0.0288	0.0288	0.0288
	Combined	u_c		1.3	1.3	1.3
	Expanded	U		2.6	2.6	2.6

จากข้อมูลการสอบเทียบอุณหภูมิ Thermocouple ที่ 75.0,120.0,175.0 °C ได้ค่า uncertainty ทั้งสามจุดที่ทำการสอบเทียบเท่ากัน ซึ่งมีค่าเท่ากับ ± 2.6 °C ที่ความเชื่อมั่น 95% coverage factor k เท่ากับ 2

การแสดงผลการวัดเป็น °F

สามารถแปลงหน่วยโดยสมการ

$$\frac{^{\circ}\text{C}}{100} = \frac{^{\circ}\text{F} - 32}{180}$$

ดังนั้น

$$^{\circ}\text{F} = \frac{^{\circ}\text{C} \times 180}{100} + 32$$

การรายงานผลนั้นต้องทำการคำนวณหาค่า Uncertainty ใหม่ทั้งหมดภายใต้เงื่อนไขหรือค่า Uncertainty Value ที่กำหนดมาเป็น °F ตัวอย่างเช่น

Type B

Resolution of 712 Calibrator = 0.1 °F

Standard uncertainty $u_{res} = \frac{0.1}{2\sqrt{3}}$ °F เป็นต้น

RTD Calibration

			No	RTD Calibration (°C)		
				75.0	120.0	175.0
Uncertainty Budget Table			1	75.0	119.5	173.2
			2	74.9	119.5	173.6
			3	74.7	119.6	172.8
			4	74.8	119.2	173.3
			5	74.8	119.0	173.1
			Mean	74.84	119.36	173.2
			SD	0.11402	0.25100	0.29155
Type	Source of uncertainty	Symbol	Uncertainty Value	Standard Uncertainty (°C)		
				75.0	120.0	175.0
A	Repeability	u_A		0.05099	0.11225	0.13038
B	712 Calibrator	u_m	0.33	0.1905	0.1905	0.1905
B	712 Resolution	u_{res}	0.1	0.0288	0.0288	0.0288
B	Resolution of Quick-Cal	u_r	0.1	0.0288	0.0288	0.0288
	Combined	u_c		0.20	0.22	0.23
	Expanded	U		0.40	0.45	0.47

จากข้อมูลการสอบเทียบอุณหภูมิ RTD ที่ 75.0,120.0,175.0 °C ได้ค่า uncertainty ทั้งสามจุดที่ทำการสอบเทียบต่างกันดังนี้ ± 0.40 °C, ± 0.45 °C, ± 0.47 °C ตามลำดับ ที่ความเชื่อมั่น 95% coverage factor k เท่ากับ 2

7. วิจารณ์การทดลอง

การทดลองนี้เป็นเพียงการศึกษา เพื่อศึกษาการวัดอุณหภูมิโดยใช้ RTD และ Thermocouple และวิธีรายงานผล ดังนั้นสภาพแวดล้อมตลอดจนเครื่องมือที่ใช้ภายในห้องสอบเทียบไม่เป็นไปตาม ISO 17025 อนาคตคาดว่าห้องที่ใช้ในการสอบเทียบและอุปกรณ์เครื่องมือวัดต่างๆ จะเป็นไปตามข้อกำหนดที่เป็นมาตรฐาน

เอกสารอ้างอิง

Singapore Institute of Standards and Industrial Research “Guidelines on the Evaluation and Expression of the Measurement Uncertainty”

เอกสารประกอบการเรียน INC 680 Mechanical Metrology