

การวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement System Analysis; MSA)

จุดประสงค์สำคัญของการวิเคราะห์ระบบการวัดคือการวิเคราะห์ถึงแหล่งของความคลาดเคลื่อนในระบบการวัดออกเป็นแหล่งๆต่างๆ

ประเภทความผันแปรของระบบวัด

ความผันแปรของตำแหน่ง (Location Variation)

Bias
Stability
Linearity

ความผันแปรของความกว้าง (Width Variation)

Repeatability
Reproducibility

กรณีศึกษา

ทำการสอบเทียบอุณหภูมิโดยใช้เตา Quick Cal เป็น Master แล้ววัดอุณหภูมิด้วย Thermocouple type K

วิธีการ

- 1 เตรียมแหล่งกำเนิดความร้อน
- 2 ต่อสายกำลังของ Quick Cal (อ่านคู่มือของตัว Quick Cal ทั้งหมดก่อน)
- 3 ใส่ตัวสอด (Inserts) เข้าไปที่ช่องกำเนิดความร้อนของ Quick Cal
- 4 เตรียม Thermocouple และเครื่องวัด (714)
- 5 นำ Thermocouple ไปใส่ไว้ในตัวสอด
- 6 ต่อ Plug ของตัว Thermocouple เข้ากับ Jack ของ 714
- 7 ที่ตัว 714 Calibrator
 - Power : “ON”
 - INPUT/OUTPUT : “INPUT “
 - T/C Type : “K “
 - °C /°F : “°C”
- 8 Power ON ตัว Quick Cal
- 9 ตั้งอุณหภูมิที่ตัว Controller ของ Quick Cal ที่ 120 °C
- 10 หลังจากอุณหภูมิถึงค่าที่ตั้งแล้วทิ้งไว้ไม่น้อยกว่า 5 นาที
- 11 อ่านค่าอุณหภูมิ 714 Calibrator 5 บันทึกลงในตาราง
- 12 วิเคราะห์ผล

ผลการทดลอง ผลการสอบเทียบ Thermocouple °C

No./ Master	Operator K.Wiroj	Operator K.Eakachai
	120.0°C	120.0°C
1	119.9	119.9
2	119.9	120.0
3	120.0	119.8
4	119.8	119.5
5	119.5	119.9
6	119.9	120.0
7	120.0	119.8
8	119.8	119.8
9	119.9	119.8
10	119.9	119.8

การวิเคราะห์ระบบวัด Bias

กำหนดความผันแปรของกระบวนการคือ 1 °C

Master = 120.0 °C

No.	Operator K.Wiroj	Operator K.Eakachai
	120.0°C	120.0°C
1	119.9	119.9
2	119.9	120.0
3	120.0	119.8
4	119.8	119.5
5	119.5	119.9
6	119.9	120.0
7	120.0	119.8
8	119.8	119.8
9	119.9	119.8
10	119.9	119.8
Average	119.86	119.83
Bias	0.14	0.17
% Bias	14	17

ค่าที่ได้จากการวัดมีค่าน้อยกว่าค่าอ้างอิงโดยเฉลี่ย 0.14 °C ซึ่งคิดเป็น 14% ของความผันแปรของกระบวนการเมื่อวัดโดย K.Wiroj และค่าที่วัดได้น้อยกว่าค่าอ้างอิงโดยเฉลี่ย 0.17 °C ซึ่งคิดเป็น 17% ของความผันแปรของกระบวนการเมื่อวัดโดย K.Eakachai

Note: ในการวิเคราะห์ผลเพื่อความถูกต้องควรใช้การทดสอบแบบ t-Test

การวิเคราะห์ระบบวัด Stability

การวิเคราะห์ Stability ของระบบวัดนั้น ใช้ $\bar{X} - R$ Chart ในการพิจารณา โดยการ plot ข้อมูลบนกราฟ $\bar{X}$ และ R Chart คำนวณหาค่าเส้นควบคุม (Control limit) และประเมินข้อมูลที่ออกนอกเส้นควบคุม พิจารณาถ้าพบว่ามีข้อมูลออกนอกเส้นควบคุมแสดงว่าระบบวัดไม่เสถียรภาพ

การคำนวณหาเส้นควบคุม (Control limit)

$$UCL_R = D_4 \bar{R}$$

$$LCL_R = D_3 \bar{R}$$

$$UCL_X = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R}$$

$$LCL_X = \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R}$$

ตารางสำหรับการคำนวณค่า Control limit

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
D_4	3.27	2.57	2.28	2.11	2	1.92	1.86	1.82	1.78
D_3	*	*	*	*	*	0.08	0.14	0.18	0.22
A_2	1.88	1.02	0.73	0.58	0.48	0.42	0.37	0.34	0.31

การสรุปผลการวิเคราะห์ GR&R

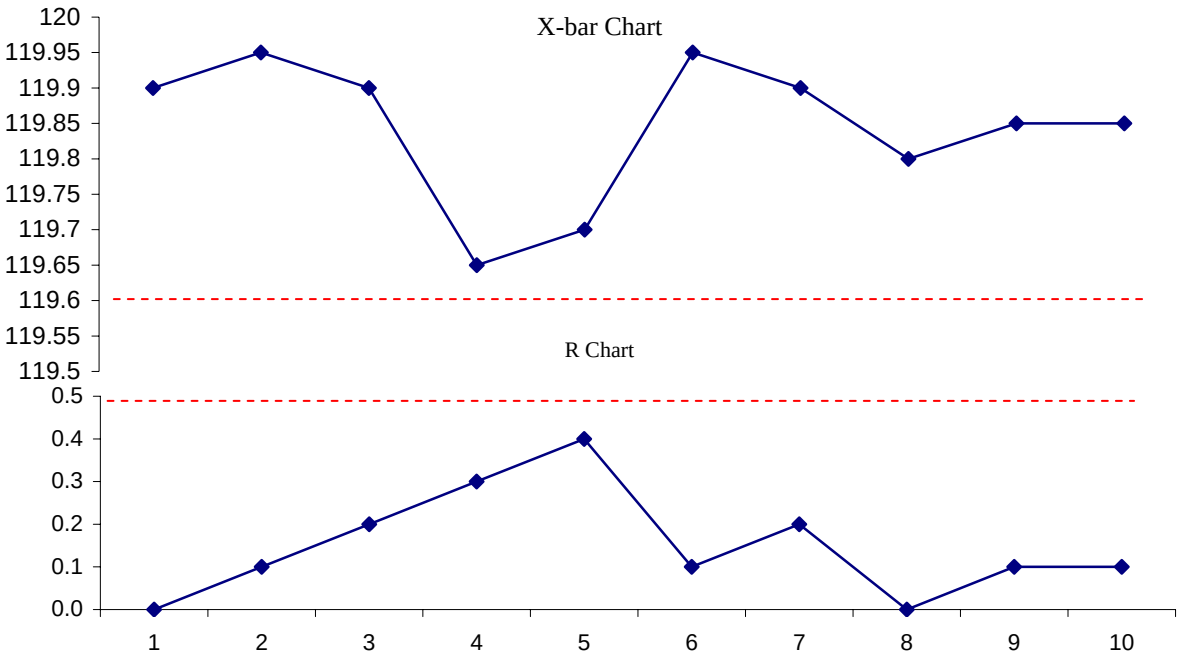
ไม่พบข้อมูลที่อยู่นอกเส้นควบคุมบน R -Chart หมายความว่าระบบวัดนี้มีคุณสมบัติด้านความสม่ำเสมอดี ถ้าหากพบว่ามีข้อมูลอยู่นอกเส้นควบคุมบน R -Chart แสดงว่า Repeatability ไม่สม่ำเสมอ

ไม่พบข้อมูลที่อยู่นอกเส้นควบคุมบน $\bar{X}$ -bar Chart และข้อมูลกระจายตัวแบบ Random ไม่ใช่ Special cause แสดงว่าระบบวัดมีเสถียรภาพ ถ้าพบว่ามีข้อมูลอยู่นอกเส้นควบคุมบน $\bar{X}$ -bar Chart แสดงว่าระบบไม่เสถียร

X-bar and R Charts										
Reading	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	119.9	119.9	120.0	119.8	119.5	119.9	120.0	119.8	119.9	119.9
2	119.9	120.0	119.8	119.5	119.9	120.0	119.8	119.8	119.8	119.8
SUM	239.8	239.9	239.8	239.3	239.4	239.9	239.8	239.6	239.7	239.7
X-bar	119.9	119.95	119.9	119.65	119.7	119.95	119.9	119.8	119.85	119.85
R	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.1	0.2	0.0	0.1	0.1

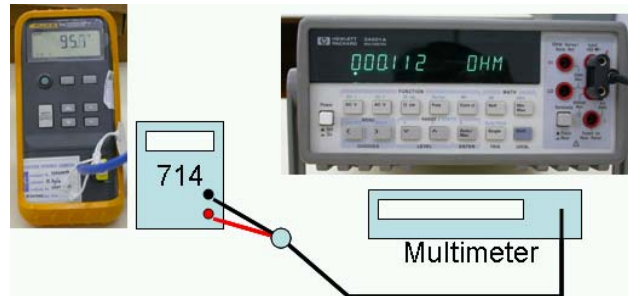
Xbar-bar = 119.845
R-bar = 0.15

UCL _R	0.4905
LCL _R	0
UCL _X	120.127
LCL _X	119.563



การวิเคราะห์ระบบการวัดค่า Linearity

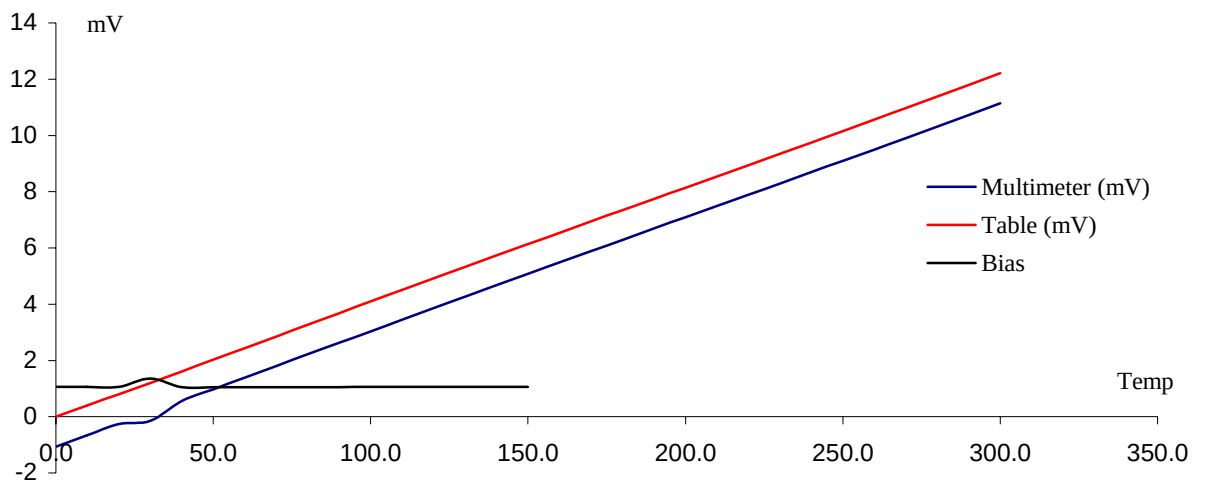
ใช้หลักการจำลองค่าของ 741 Calibrator เทียบกับค่าจากตารางมาตรฐาน



ไดอะแกรมแสดงการเชื่อมต่ออุปกรณ์

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



$$\text{ความชัน} \quad m = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{8.693 - 5.890}{240 - 170} = 0.04004 \text{ mV}/^{\circ}\text{C} \text{ โดยประมาณ}$$

$$\begin{aligned}\text{Linearity} &= |\text{Slope}| \times \text{Process Variation} \\ &= |0.04| \times 6.0 \\ &= 0.240\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\% \text{ Linearity} &= 100 [\text{Linearity}/\text{Process Variation}] \\ &= 100 [0.240/6.0] \\ &= 4\%\end{aligned}$$

จากข้อมูลการทดลองแล้ววิเคราะห์กราฟเชิงเส้นที่ได้ มีลักษณะเป็น Linearity ที่ดี มีค่า bias เกือบจะคงที่ เหตุที่มีค่า bias เกิดขึ้นหรือค่าที่ได้จากการทดลองไม่เท่ากับค่าในตารางมาตรฐานนั้น อาจเนื่องมาจากสภาวะแวดล้อมของห้องที่ทำการทดลองไม่สามารถควบคุมให้เป็นไปตามข้อกำหนดมาตรฐาน

การวิเคราะห์ **Repeatability** และ **Reproducibility** ของระบบวัด

Gage Reatability and Reproducibility Data Collection Sheet									
Appraiaer/Trial#		Part					Average		
		1	2	3	4	5			
K.Wiroj	1	119.9	119.9	120.0	119.8	119.5			
	2	119.9	120.0	119.8	119.9	119.9			
	AVG.	119.90	119.95	119.90	119.85	119.70	$\bar{X} \ a =$	119.86	
	Range	0.0	0.1	0.2	0.1	0.4	$\bar{R} \ a =$	0.2	
K.Eakachai	1	119.9	120.0	119.8	119.5	119.9			
	2	120.0	119.8	119.8	119.8	119.8			
	AVG.	119.95	119.90	119.80	119.65	119.85	$\bar{X} \ b =$	119.83	
	Range	0.1	0.2	0.0	0.3	0.1	$\bar{R} \ a =$	0.14	
Part Average		119.925	119.925	119.85	119.75	119.775	$\bar{\bar{X}}$	119.845	
							R_p	0.175	
$\bar{\bar{R}} = (\bar{R}a + \bar{R}b)/(\# \ of \ Appraiser \)$							$\bar{\bar{R}}$	0.15	
$\bar{X}_{DIFF} = (Max \ \bar{X} - Min \ \bar{X})$							$\bar{X}_{DIFF}$	0.03	
$UCL_R = (\bar{\bar{R}} * D4)$							UCL_R		0.4905
D4 = 3.27 for 2 Trail									

Gage Repeatability and Reproducibility								
From data sheet		$\bar{\bar{R}} = 0.15$		Xdiff = 0.03		R _p = 0.175		
Measurement Unit Analysis				% Total Variation			% Contribution	
Repeatability - Equipment Variation (EV)								
EV =	$\bar{\bar{R}} \times k1$	Trials	k1	%EV = 100[EV/TV]			%EV = 100[EV/TV] ²	
	0.13293	2	0.8862		85.8754		73.7458	
		3	0.5908					
Reproducibility - Appraiser Variation (AV)								
AV =	$\sqrt{(X_{diff} \times k2)^2 - (EV^2 / (nr))}$			%AV = 100[AV/TV]			%AV = 100[AV/TV] ²	
	0.036291				23.4448		5.496581	
	Appraisers	2	3					
	k2	0.7071	0.5231					
n = parts, r = trials								
Repeatability & Reproducibility (GRR)								
GRR =	$\sqrt{EV^2 + AV^2}$			%GRR=100[GRR/TV]			%GRR=100[GRR/TV] ²	
	0.137795	Parts	k3		89.0182		79.24238	
		2	0.7010					
		3	0.5231					
Part Variation (PV)		4	0.4467					
PV =	R _p × k3	5	0.4030	%PV = 100[PV/TV]			%PV = 100[PV/TV] ²	
	0.070525	6	0.3742		45.5605		20.75762	
		7	0.3534					
Total Variation (TV)		8	0.3375					
TV =	$\sqrt{GRR^2 + PV^2}$	9	0.3249	ndc = 1.41(PV/GRR) =			0.721654	
	0.154794	10	0.3146					

ผลการวิเคราะห์ Repeatability และ Reproducibility โดย X bar-R Method

พิจารณา Number of district categories (ndc) มีค่าน้อยกว่า 5 แสดงให้เห็นว่าข้อมูลมีความเสี่ยง พิจารณา % AV พบว่าความผันแปรของผู้วัดมีผลต่อการวัดครั้งนี้ไม่มากนักแต่ % EV มีค่าสูง สิ่งที่น่าจะมีผลต่อการวัดครั้งนี้จะเป็นเครื่องมือวัดอันเนื่องมาจากสภาวะแวดล้อมภายในห้องสอบเทียบไม่ได้ควบคุมอุณหภูมิ ความดัน และความชื้นให้เป็นไปตามมาตรฐาน

Uncertainty Analysis

Type B evaluation

Standard uncertainty of 714 Calibrator (u_m)

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

Assuming rectangular distribution,

$$\begin{aligned}u_m &= \frac{0.3}{\sqrt{3}} \\&= 0.173^\circ\text{C}\end{aligned}$$

Degrees of freedom: $\nu_m = \infty$

Standard uncertainty of Thermocouple (u_t)

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

Assuming rectangular distribution,

$$\begin{aligned}u_t &= \frac{2.2}{\sqrt{3}} \\&= 1.270^\circ\text{C}\end{aligned}$$

Degrees of freedom: $\nu_t = \infty$

Resolution of 714 Calibrator

Resolution = 0.1

$$\begin{aligned}u_{res} &= \frac{0.1}{2\sqrt{3}} \\&= 0.0288^\circ\text{C}\end{aligned}$$

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

Resolution of Quick-Cal

Resolution = 0.1

$$\begin{aligned}u_r &= \frac{0.1}{2\sqrt{3}} \\&= 0.0288^\circ\text{C}\end{aligned}$$

Degrees of freedom: $\nu_r = \infty$

Type A evaluation

$$u_A = \frac{SD}{\sqrt{n}} = \frac{0.113945}{\sqrt{10}}$$

$$u_A = 0.04409$$

Degrees of freedom: $\nu_A = 9$

Combined standard uncertainty evaluation

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

$$u_c = \sqrt{(0.004409^2 + 0.173^2 + 1.270^2 + 0.0288^2 + 0.0288^2)}$$

$$u_c = 1.283$$

Expanded uncertainty

$\nu_{eff} \approx \infty$ ดังนั้นให้ Coverage factor (k) เท่ากับ 2 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

$$U = ku_c$$

$$U = 2 \times 1.283$$

$$U = 2.6 \text{ } ^\circ\text{C}$$

สรุปผล Temperature Calibration

การสอบเทียบอุณหภูมิที่ 120 องศาเซลเซียส โดยใช้เตา Quick Call ที่มี Resolution เป็น 0.1 องศาเซลเซียส เป็น Master แล้วใช้ Thermocouple Prob Type K ในการวัดอุณหภูมิได้ค่าความไม่แน่นอนซึ่งมีค่าเท่ากับ $\pm 2.6 \text{ } ^\circ\text{C}$ ที่ความเชื่อมั่น 95% coverage factor k เท่ากับ 2 เมื่อวิเคราะห์ค่า Bias ค่าที่ได้จากการวัดมีค่าน้อยกว่าค่าอ้างอิงโดยเฉลี่ย $0.14 \text{ } ^\circ\text{C}$ ซึ่งคิดเป็น 14% ของความผันแปรของกระบวนการเมื่อวัดโดย K.Wiroj และค่าที่วัดได้น้อยกว่าค่าอ้างอิงโดยเฉลี่ย $0.17 \text{ } ^\circ\text{C}$ ซึ่งคิดเป็น 17% ของความผันแปรของกระบวนการเมื่อวัดโดย K.Eakachai และจากข้อมูลการทดลองแล้ววิเคราะห์กราฟเชิงเส้นที่ได้ มีลักษณะเป็น Linearity ที่ดี มีค่า bias เกือบจะคงที่ เหตุที่มีค่า bias เกิดขึ้นหรือค่าที่ได้จากการทดลองไม่เท่ากับค่าในตารางมาตรฐานนั้นอาจเนื่องมาจากสภาวะแวดล้อมของห้องที่ทำการทดลองไม่สามารถควบคุมให้เป็นไปตามข้อกำหนดมาตรฐาน กระบวนการวัดมีเสถียรภาพและผลการวิเคราะห์ Repeatability และ Reproducibility โดย X bar-R Method แสดงให้เห็นว่าข้อมูลมีความเสี่ยง พิจารณา % AV พบว่าความผันแปรของผู้วัดมีผลต่อการวัดครั้งนี้ไม่มาก สิ่งที่น่าจะมีผลต่อการวัดครั้งนี้จะเป็นเพราะสภาวะแวดล้อมภายในห้องสอบเทียบไม่ได้ควบคุมอุณหภูมิ ความดัน และความชื้นที่ให้เป็นไปตามมาตรฐาน

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
temperature:	
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

เอกสารอ้างอิง

1. อ. นิธิศ บริสุทธิ์ “Measurement System Analysis” เอกสารประกอบการเรียนวิชา INC 683 Manufacturing Measurements & Quality System
2. Singapore Institute of Standards and Industrial Research “Guidelines on the Evaluation and Expression of the Measurement Uncertainty”
3. เอกสารประกอบการเรียนวิชา INC 680 Mechanical Metrology