

MEASUREMENT & INSTRUMENT LABORATORY 3

Temperature Measurement

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาระบบการทำงานของ Resistance Temperature Detector (RTD)
2. ศึกษาระบบการทำงานของ RTD Transmitter
3. เข้าใจหลักการทำงานของ Basic Signal Conditioner
4. สามารถนำหลักการทำงานของ RTD , RTD Transmitter มาประยุกต์ใช้งานได้

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ชนิดของเครื่องวัดอุณหภูมิ

1. Mechanical

- LIG (Liquid in Glass Thermometer or Glass Thermometer)

เป็นอุปกรณ์วัดอุณหภูมิที่ทำงานโดยอาศัยหลักการเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงกล ด้วยหลักการขยายตัวหรือหดตัวของของเหลว โดยเมื่อของเหลวได้รับความร้อน ทำให้อุณหภูมิ (temperature) เพิ่มขึ้นจะขยายตัว และหดตัวลงเมื่ออุณหภูมิ ของเหลวลดลง อุปกรณ์วัดชนิดนี้มีของเหลวบรรจุอยู่ภายในหลอดแก้วปิด โดยของเหลวที่ใช้ต้องไม่เปลี่ยนสถานะในสภาวะการใช้งาน ของเหลวที่นิยมบรรจุภายในหลอดแก้ว ได้แก่ปรอทหรือแอลกอฮอล์ โดยเลือกใช้ตามย่านการวัด (range) อุณหภูมิ หากต้องการวัดอุณหภูมิในช่วงที่มีค่าต่ำ ควรเลือกใช้แอลกอฮอล์บรรจุภายในหลอดแก้ว เนื่องจากแอลกอฮอล์มีความไว (sensitivity) ต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิมากกว่าปรอทและมีราคาถูกกว่า ส่วนการใช้งานในช่วงที่มีอุณหภูมิสูงควรเลือกใช้ปรอท เนื่องจากแอลกอฮอล์เป็นของเหลวที่มีจุดเดือดค่อนข้างต่ำ (ประมาณ 76 องศาเซลเซียส) ถ้าใช้วัดอุณหภูมิที่สูงกว่าจุดเดือดของแอลกอฮอล์ทำให้เกิดการเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอได้ ทำให้เครื่องมือวัดเกิดการเสียหาย



LJG (Liquid in Glass Thermometer or Glass Thermometer)

- Fill Thermal or remote Thermometer

เป็นอุปกรณ์วัดอุณหภูมิชนิดหนึ่งที่ใช้สำหรับอ่านค่าอุณหภูมิที่บริเวณใช้งานหรือที่เรียกว่าเกจวัดอุณหภูมิ (Temperature Gauge) เป็นเครื่องมือวัดอุณหภูมิที่บริเวณใช้งานอีกประเภทหนึ่งที่มีการใช้งานกันในอุตสาหกรรม



Fill Thermal or remote Thermometer

- Bimetal

เป็นอุปกรณ์วัดอุณหภูมิที่ทำงานโดยอาศัยหลักการเปลี่ยนแปลงทางกล ประกอบด้วยแถบโลหะสองชนิด เช่น ชนิด **A** และ **B** ที่มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวจากความร้อนไม่เท่ากัน (α_A และ α_B) นำมาทาบติดกันสนิท เมื่อได้รับความร้อนโลหะทั้งสองเกิดการขยายตัวอย่างไม่เท่ากัน ทำให้แถบโลหะเกิดการโก่ง โดยทั่วไปอุปกรณ์วัดอุณหภูมิชนิดนี้มีย่านอุณหภูมิใช้งานอยู่ในช่วง **-75 ถึง 550 องศาเซลเซียส**



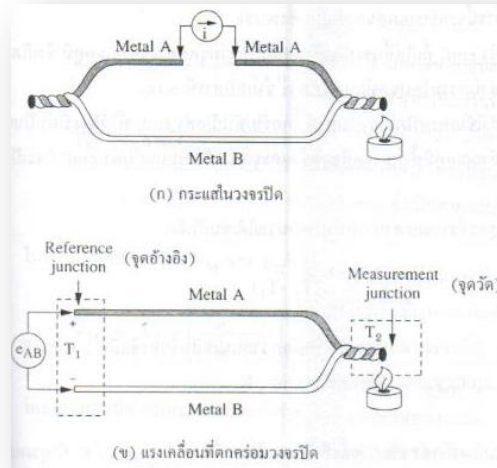
Bimetal

2. Electrical

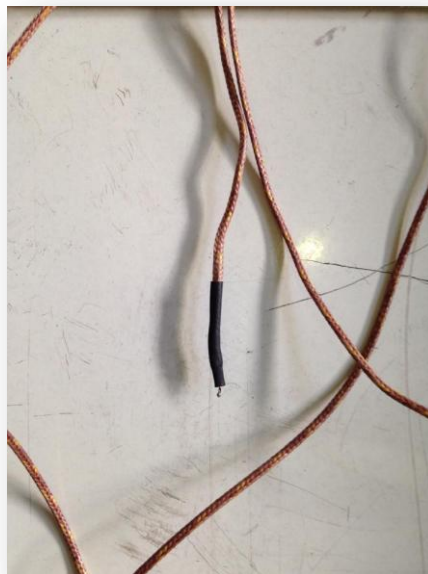
- Thermocouple (TC)

คืออุปกรณ์วัดอุณหภูมิโดยใช้หลักการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิหรือความร้อนเป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้า (emf) เทอร์โมคัปเปิลทำมาจากโลหะตัวนำที่ต่างชนิดกัน **2 ตัว** (แตกต่างกันทางโครงสร้างของอะตอม) นำมาเชื่อมต่อปลายทั้งสองเข้าด้วยกันที่ปลายด้านหนึ่ง เรียกว่าจุดวัดอุณหภูมิ ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งปล่อยเปิดไว้ เรียกว่าจุดอ้างอิง หากจุดวัดอุณหภูมิและจุดอ้างอิงมีอุณหภูมิต่างกันก็จะทำให้เกิดการ

นำกระแสในวงจรเทอร์โมคัปเปิลทั้งสองข้าง ปรากฏการณ์ดังกล่าวนี้ค้นพบโดย **Thomus Seebeck** นักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมันในปี ค.ศ.1821 ดังรูป เป็นวงจรที่ใช้อธิบายผลของซีเบ็คดังกล่าว



วงจรที่ใช้อธิบายผลของซีเบ็ค



Thermocouple

- Resistance Temperature Detector (RTD)

อาร์ทีดี คือ ตัวเซ็นเซอร์อุณหภูมิที่ใช้หลักการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานของโลหะซึ่งค่าความต้านทานดังกล่าวจะมีค่าเพิ่มตามอุณหภูมิ ความต้านทานของโลหะที่เพิ่มเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นนี้ เรียกว่า “สัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิแบบบวก” (Positive Temperature Coefficient ; PTC) นอกจากนี้อาร์ทีดียังมีชื่อเรียกได้อีกอย่างว่า “ เทอร์มิเตอร์แบบค่าความต้านทาน ” (Resistance Temperatures)

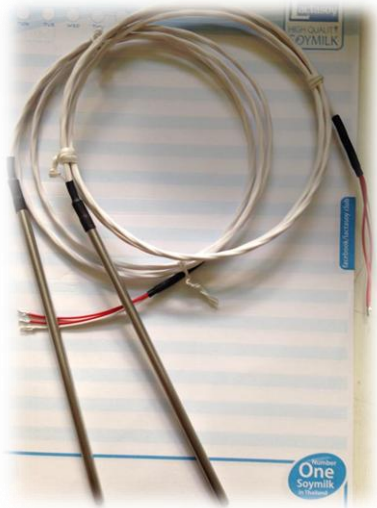
RTD ทำจากลวดโลหะที่มีความยาวค่าหนึ่ง ซึ่งที่ 0°C จะมีค่าความต้านทานค่าหนึ่งตามที่กำหนด ลวดโลหะนี้จะพันอยู่บนแกนที่เป็นฉนวนไฟฟ้า มีคุณสมบัติทนต่อความร้อน และต้องมีสัมประสิทธิ์การขยายตัวสัมพันธ์กับการขยายตัวของขดลวด RTD จะถูกบรรจุอยู่ใน Metal Sheath ฉนวนที่ใช้เป็นพวกแมกนีเซียมออกไซด์ หรืออะลูมิเนียมออกไซด์



RTD

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. RTD PT100,PT1000



2. Terminal



3. ตัวต้านทาน



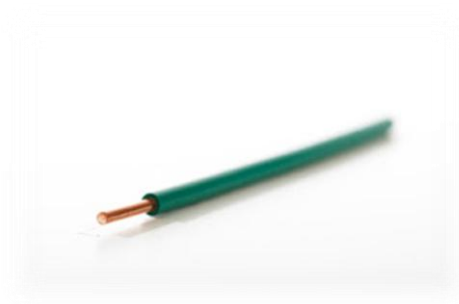
4. Hart Scientific



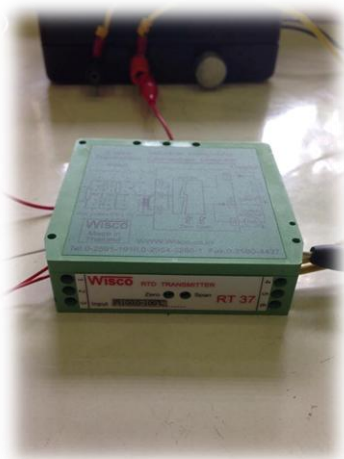
5. Multi-meter



6. สายไฟ



7. RTD Transmitter



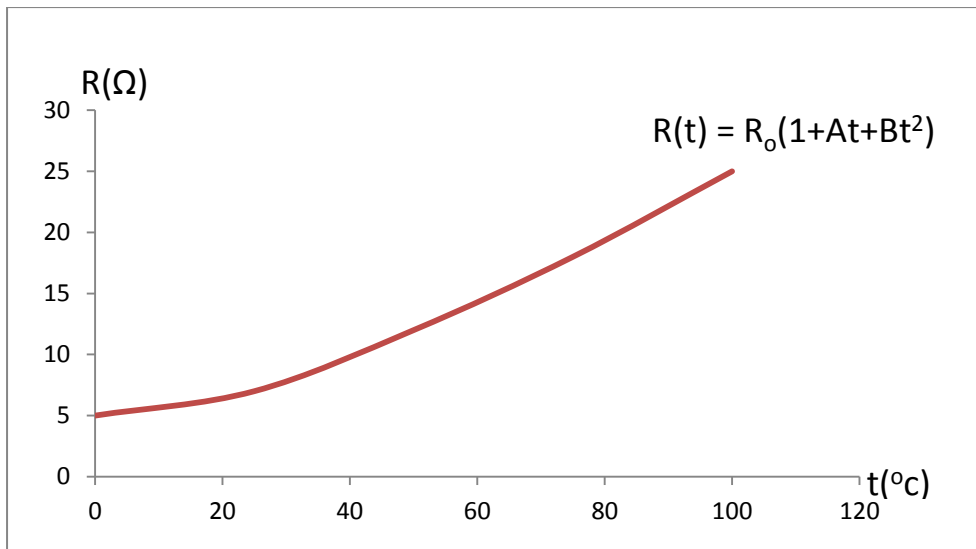
8. Power Supply



9. คีมจับ คีมตัด

10. ไช้คอง

11. คัตเตอร์

LAB 3.1 หาค่าความต้านทานจากRTDที่กำหนดให้

เมื่อ R_0 = ความต้านทานที่ 0°C ถ้า PT100 = 100 Ω , PT1000 = 1000 Ω

$$A = 3.908 \times 10^{-3}$$

$$B = -5.775 \times 10^{-7}$$

1. คำนวณหาค่าความต้านทาน(R) ของRTD PT100, PT1000 จากสมการด้านบน
2. ใช้Multi-meterวัดความต้านทานRTD PT100ที่ 0°C โดยจุ่มPT100ลงไป Hart Scientific ที่ 0°C วัด3ครั้ง หาค่าเฉลี่ย บันทึกผลลงในตาราง
3. ใช้Multi-meterวัดความต้านทานRTD PT100ที่ T_{ATM} หรือที่อุณหภูมิห้อง ($\approx 30^{\circ}\text{C}$) วัด 3ครั้ง หาค่าเฉลี่ย บันทึกผลลงในตาราง
4. ใช้Multi-meterวัดความต้านทานRTD PT100ที่ 100°C โดยจุ่มPT100ลงไป Hart Scientific ที่ 100°C วัด3ครั้ง หาค่าเฉลี่ย บันทึกผลลงในตาราง
5. ทำเหมือนข้อ 2, 3, 4 แต่เปลี่ยนเป็นRTD PT1000



6. คำนวณหา A, B ของ PT100 และ PT10000 จากสมการ $R(t) = R_0(1 + At + Bt^2)$

ผลการทดลอง

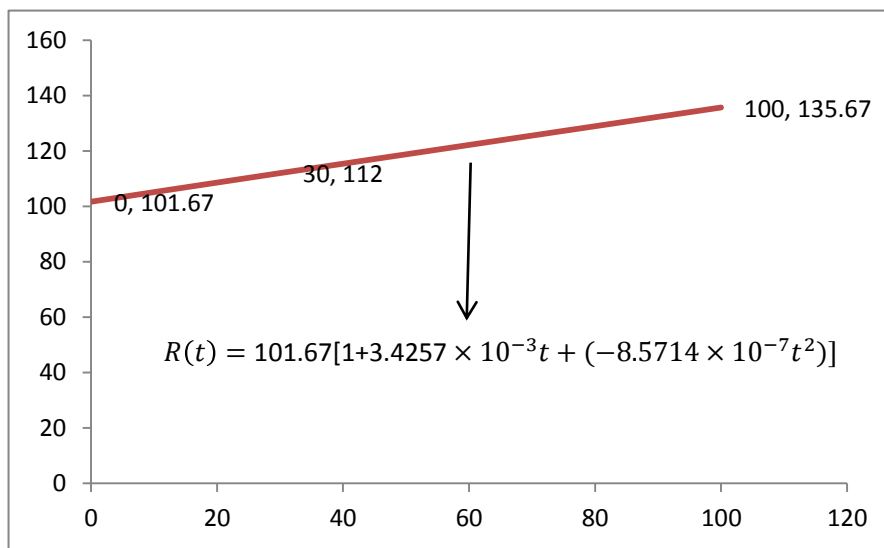
PT100

T (°C)	R คำนวณ (Ω)	R ทดลอง (Ω)			
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
0	100	100	103	102	101.67
T _{ATM}	111.67	112	112	112	112
100	138.5025	135	137	135	135.67

PT1000

T (°C)	R คำนวณ (Ω)	R ทดลอง (Ω)			
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
0	1000	1005	1006	1005	1005.33
T _{ATM}	1116.72	1121	1121	1121	1121
100	1385.025	1383	1382	1381	1382

PT100

แทนค่า $t=100$

$$135.67 = 101.67(1 + A(100) + B(100^2))$$

$$1.334 = 1 + 10^2 A + 10^4 B$$

$$0.334 = 10^2(A + 10^2 B)$$

$$0.334 \times 10^{-2} = A + 10^2 B \quad (1)$$

แทนค่า $t=30$

$$112 = 101.67(1 + A(30) + B(30^2))$$

$$1.102 = 1 + 30A + 30^2 B$$

$$0.102 = 30(A + 30B)$$

$$0.34 \times 10^{-2} = A + 30B \quad (2)$$

$$(1) - (2); -0.006 \times 10^{-2} = 70B$$

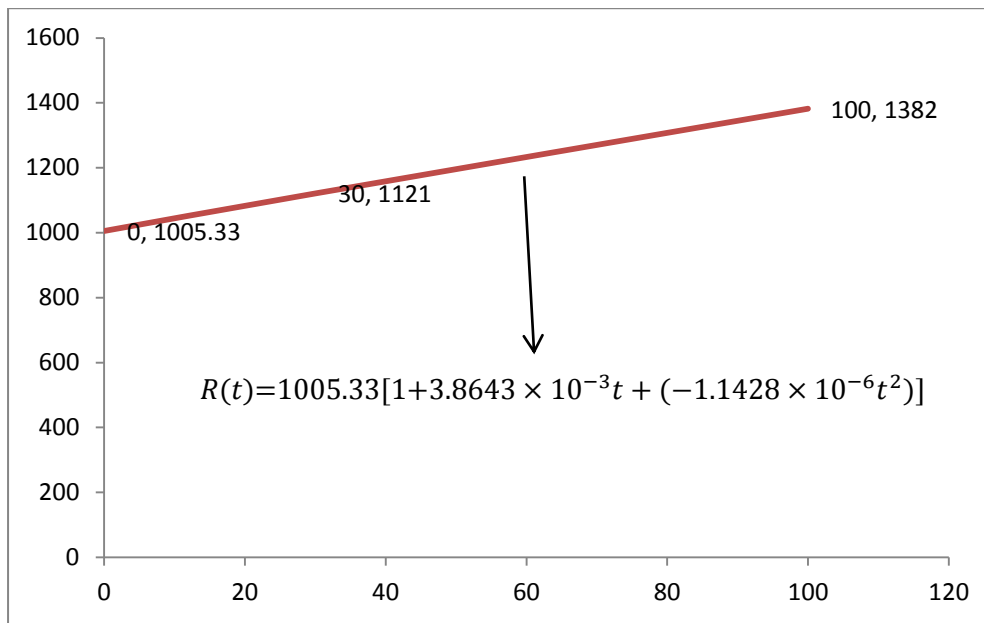
$$B = -8.5714 \times 10^{-7}$$

แทนค่า $B = -8.5714 \times 10^{-7}$ ในสมการ(2)

$$0.34 \times 10^{-2} = A + 30(-8.5714 \times 10^{-7})$$

$$A = 3.4257 \times 10^{-3}$$

PT1000



แทนค่า $t=100$

$$1382 = 1005.33(1 + A(100) + B(100^2))$$

$$1.375 = 1 + 10^2 A + 10^4 B$$

$$0.375 = 10^2(A + 10^2 B)$$

$$0.375 \times 10^{-2} = A + 10^2 B \quad (1)$$

แทนค่า $t=30$

$$1121 = 1005.33(1 + A(30) + B(30^2))$$

$$1.115 = 1 + 30A + 30^2 B$$

$$0.115 = 30(A + 30B)$$

$$0.383 \times 10^{-2} = A + 30B \quad (2)$$

$$(1) - (2); -0.008 \times 10^{-2} = 70B$$

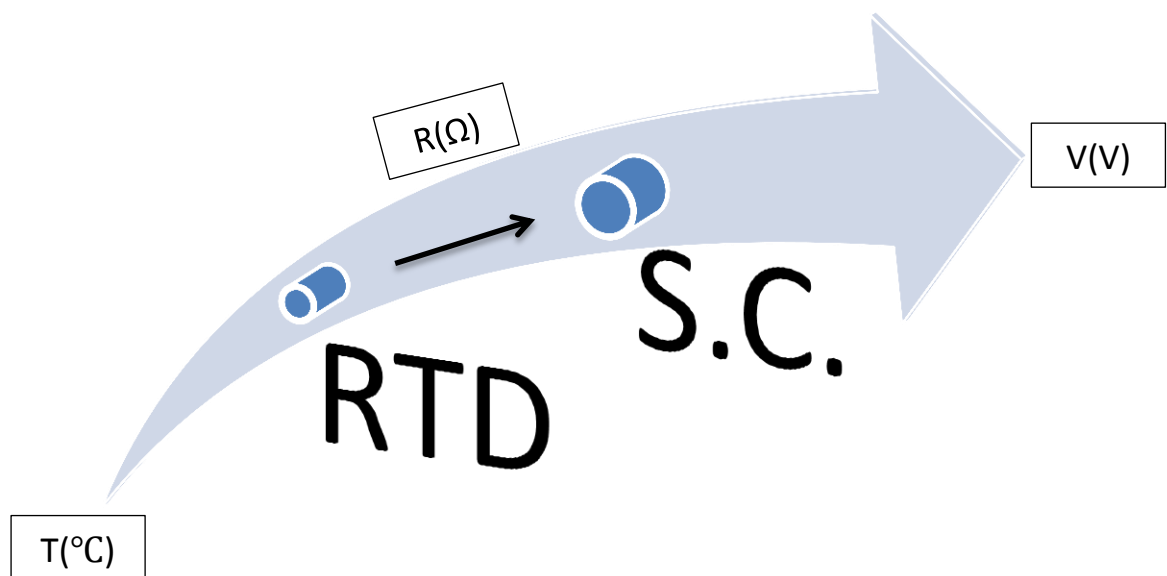
$$B = -1.1428 \times 10^{-6}$$

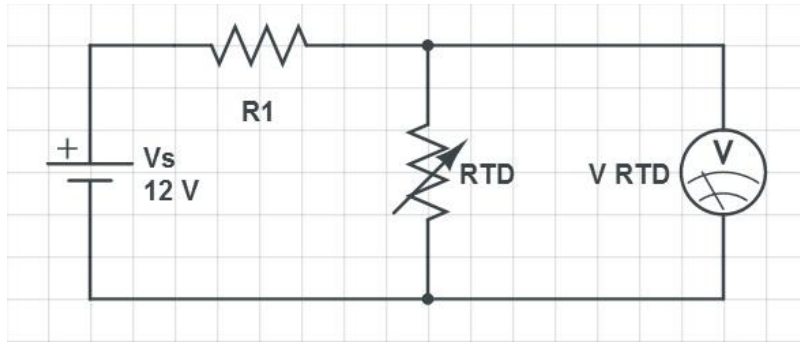
แทนค่า $B = -1.1428 \times 10^{-6}$ ในสมการ(2)

$$0.383 \times 10^{-2} = A + 30(-1.1428 \times 10^{-6})$$

$$A = 3.8643 \times 10^{-3}$$

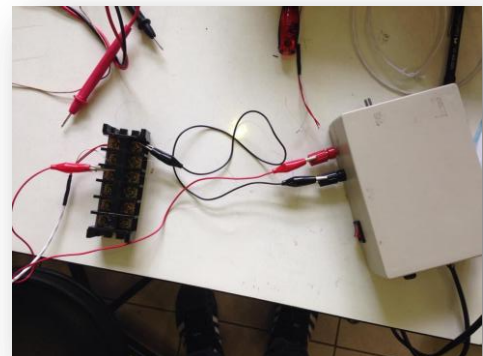
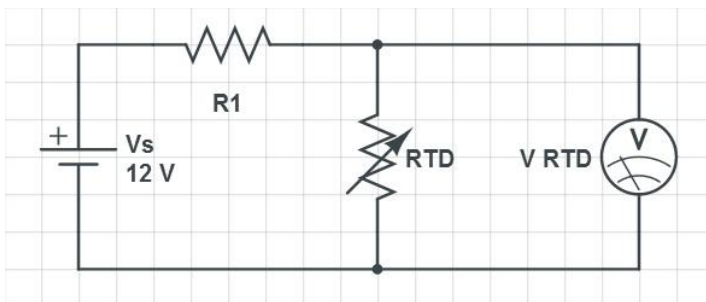
LAB3.2 Basic Signal Conditioner for temp Measurement





เงื่อนไข I ที่อุณหภูมิ $0^\circ\text{C} \leq 10\text{ mA}$ จงหา V_s, R_1

1. คำนวณหา V_s, R_1 (กำหนด $V_s = 12\text{ V}$) ของ PT100, PT1000
2. เลือกหยาบ R ตามที่เราคำนวณได้ (หรือเลือกค่า R ที่ใกล้เคียงที่สุดกับที่เราคำนวณได้) เพื่อหาค่ากระแส (I) จริง
3. ทำการต่อวงจรตามรูป



4. วัดความต้านไฟฟ้า RTD PT100 ที่ 0°C โดยจุ่ม PT100 ลงไปที่ Hart Scientific ที่ 0°C วัด 3 ครั้ง หาค่าเฉลี่ย บันทึกผลลงในตาราง
5. วัดความต้านไฟฟ้า RTD PT100 ที่ T_{ATM} หรือที่อุณหภูมิห้อง ($\approx 30^\circ\text{C}$) วัด 3 ครั้ง หาค่าเฉลี่ย บันทึกผลลงในตาราง
6. วัดความต้านไฟฟ้า RTD PT100 ที่ 100°C โดยจุ่ม PT100 ลงไปที่ Hart Scientific ที่ 100°C วัด 3 ครั้ง หาค่าเฉลี่ย บันทึกผลลงในตาราง

7. ทำเหมือนข้อ 4, 5, 6 แต่เปลี่ยนเป็น RTD PT1000

แสดงวิธีการคำนวณ

PT100

$$V_s = 12 \text{ V}, R_{RTD} = 100 \text{ } \Omega, I = 10 \text{ mA}$$

$$R = \frac{V}{I}$$

$$R_1 + 100 = \frac{12}{10 \times 10^{-3}} = 1200$$

$$R_1 = 1100 \text{ } \Omega \quad (\text{เลือกใช้ } R = 1500 \text{ } \Omega)$$

$$\text{หากระแส } I_{\text{จริง}}; I = \frac{V}{R} = \frac{12}{1500 + 101.67} = 7.49 \text{ mA}$$

PT1000

$$V_s = 12 \text{ V}, R_{RTD} = 1000 \text{ } \Omega, I = 10 \text{ mA}$$

$$R = \frac{V}{I}$$

$$R_1 + 1000 = \frac{12}{10 \times 10^{-3}} = 1200$$

$$R_1 = 200 \text{ } \Omega \quad (\text{เลือกใช้ } R = 300 \text{ } \Omega)$$

$$\text{หากระแส } I_{\text{จริง}}; I = \frac{V}{R} = \frac{12}{300 + 1005.33} = 9.19 \text{ mA}$$

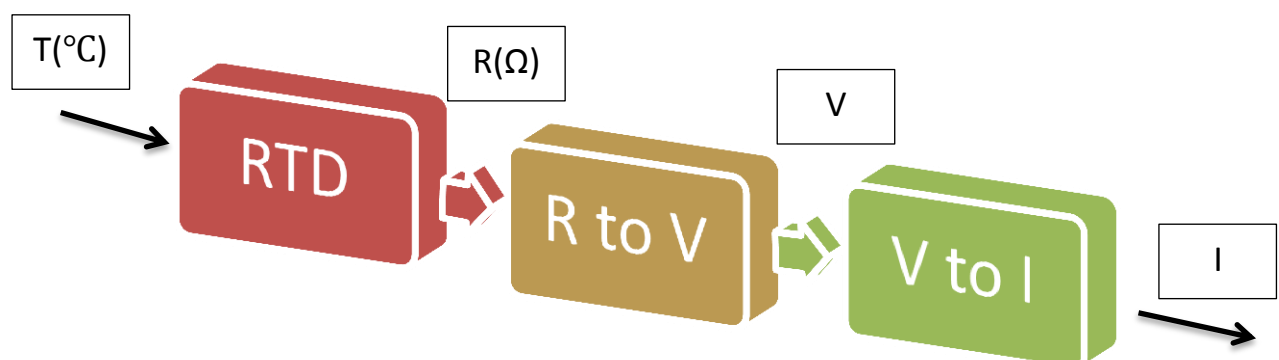
ผลการทดลอง

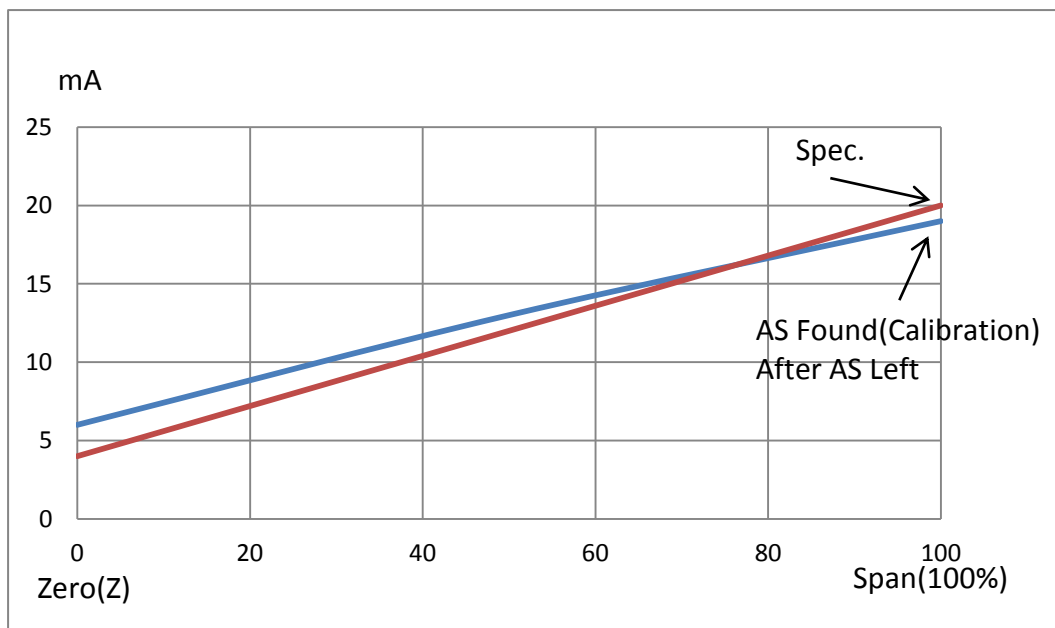
PT100

T (°C)	Vคำนวณ (V)	Vทดลอง(V)			
		ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	เฉลี่ย
0	0.762	0.76	0.76	0.75	0.757
T _{ATM}	0.834	0.83	0.80	0.83	0.82
100	0.995	0.95	0.95	0.96	0.953

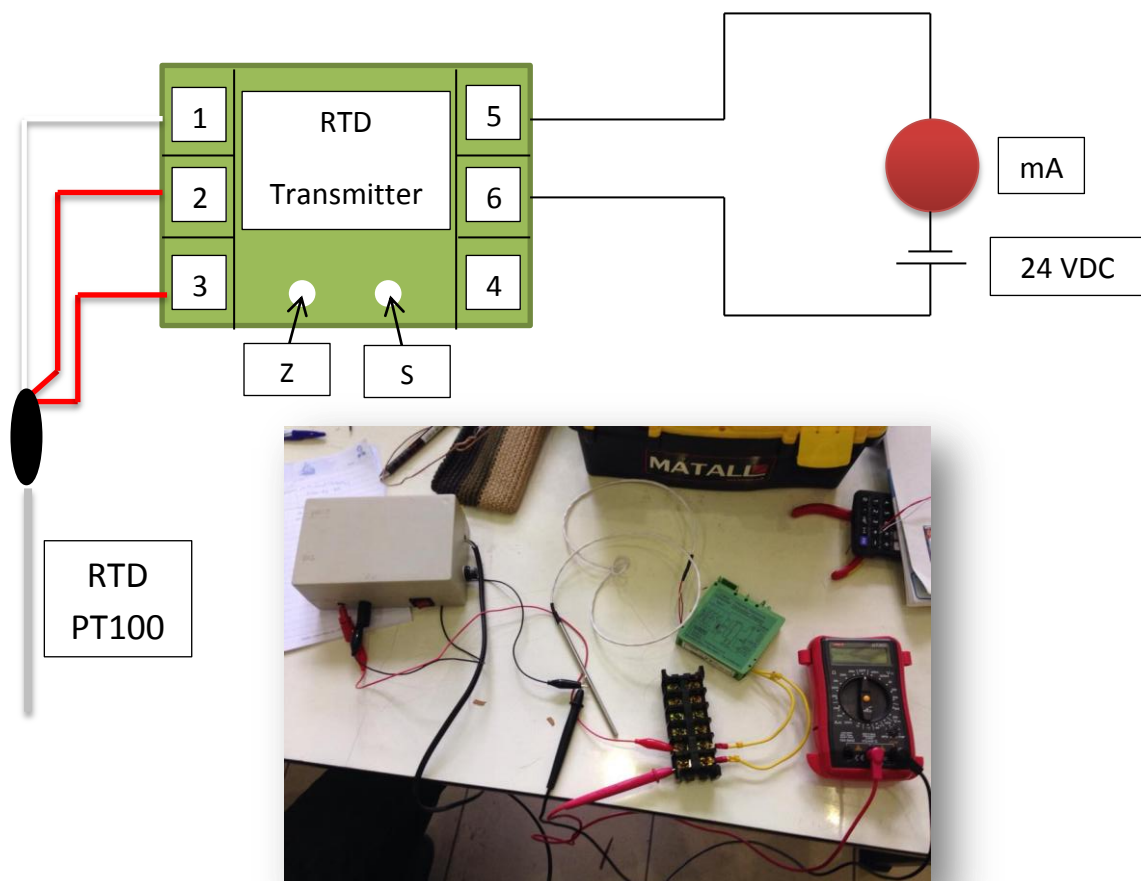
PT1000

T (°C)	Vคำนวณ (V)	Vทดลอง(V)			
		ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	เฉลี่ย
0	9.242	9.30	9.34	9.35	9.33
T _{ATM}	9.466	9.55	9.53	9.52	9.533
100	9.859	9.71	9.72	9.72	9.717

LAB3.3 RTD Transmitter



1. ทำการต่อวงจรตามรูป



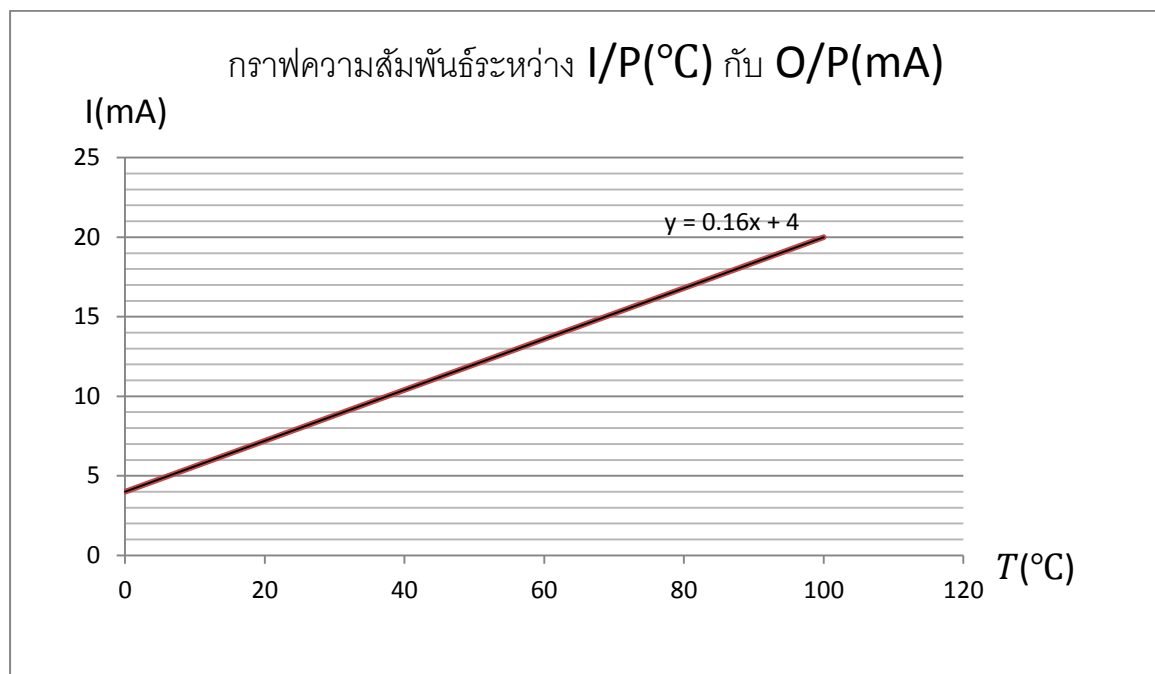
2. วัดกระแสไฟฟ้า RTD PT100 ที่ 0°C โดยจุ่ม PT100 ลงไปที่ Hart Scientific ที่ 0°C วัด 3 ครั้ง หาค่าเฉลี่ย บันทึกผลลงในตาราง

3. วัดกระแสไฟฟ้า RTD PT100 ที่ T_{ATM} หรือที่อุณหภูมิห้อง ($\approx 30^{\circ}\text{C}$) วัด 3 ครั้ง หาค่าเฉลี่ย บันทึกผลลงในตาราง

4. วัดกระแสไฟฟ้า RTD PT100 ที่ 100°C โดยจุ่ม PT100 ลงไปที่ Hart Scientific ที่ 100°C วัด 3 ครั้ง หาค่าเฉลี่ย บันทึกผลลงในตาราง

ผลการทดลอง

%	$T(^{\circ}\text{C})$	$I(\text{mA})$	AS Found	AS Left
			ทดลอง (mA)	ทดลอง (mA)
0	0	4	4.12	4.00
	T_{ATM}	8.8	9.35	2.82
100	100	20	20.2	20.00



$$y = mx + c$$

$$m = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{20 - 4}{100 - 0} = \frac{16}{100} = 0.16$$

$$\text{จะได้ } y = 0.16x + c$$

$$\text{แทนค่า } x = 100, y = 20$$

$$20 = 0.16(100) + c$$

$$20 = 16 + c$$

$$c = 4$$

$$\text{จะได้สมการ } y = 0.16x + 4 \text{ หรือ } x = \frac{y - 4}{0.16}$$

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองทำให้ทราบว่าหลักการทำงานของ **RTD** คือจะแปลงค่าความต้านทานตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ยิ่งอุณหภูมิเพิ่มขึ้นความต้านทานก็จะเพิ่มขึ้นตาม ยิ่งอุณหภูมิลดความต้านทานก็จะลดลง เช่น **RTD PT100** ที่ 0°C ค่าความต้านทาน = $100\ \Omega$ ที่อุณหภูมิ T_{ATM} ค่าความต้านทาน = $111.67\ \Omega$ ที่อุณหภูมิ 100°C ค่าความต้านทาน = $138.5025\ \Omega$, **RTD PT1000** ที่ 0°C ค่าความต้านทาน = $1000\ \Omega$ ที่อุณหภูมิ T_{ATM} ค่าความต้านทาน = $1116.72\ \Omega$ ที่อุณหภูมิ 100°C ค่าความต้านทาน = $1385.025\ \Omega$

RTD Transmitter จะมีหลักการทำงานคือการเปลี่ยนค่าความต้านทาน **R** ให้เป็นแรงดันไฟฟ้า **V** แล้วเปลี่ยนเป็นค่ากระแส **I** โดยใช้สมการ $V = IR$ ที่อุณหภูมิ 0°C ค่ากระแสจะเท่ากับ $4.0\ \text{mA}$ และที่อุณหภูมิ 100°C ค่ากระแสเท่ากับ $20.0\ \text{mA}$ หากค่ากระแสที่ 0°C , 100°C ไม่เท่ากับ $4.0\ \text{mA}$ และ $20.0\ \text{mA}$ ตามลำดับ เราสามารถปรับค่าได้โดยการหมุนค่า **Zero** และ **Span** บน **RTD Transmitter** เพื่อให้ได้ค่ากระแสตามที่เรากำลังต้องการ

