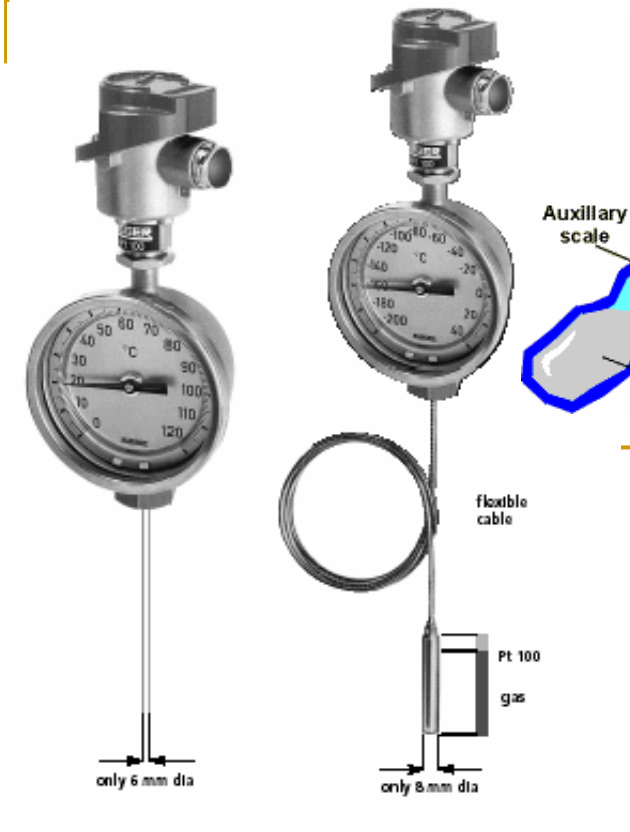
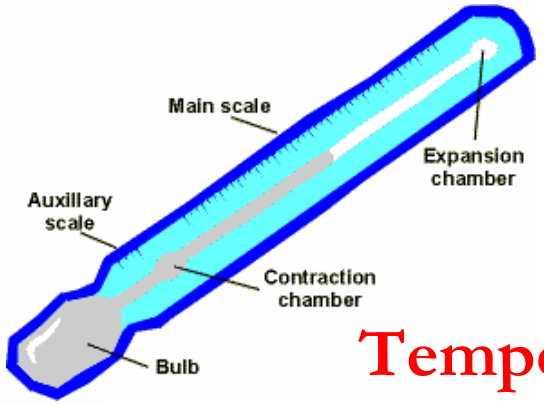
1301 300: Mechanical Measurement and Instruments

การวัดและเครื่องมือวัดความดันทางวิศวกรรมเครื่องกล





Temperature Measurement 2

การวัดและเครื่องมือวัดทางอุณหภูมิ 2

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ธนรัฐ ศรีวีระกุล

การวัดอุณหภูมิ 2

5. การวัดอุณหภูมิเชิงไฟฟ้าแบบอื่นๆ

- Thermoelectric (Thermocouple)
- Radiation

References: *หลักการและการใช้งานเครื่องมือวัดอุตสาหกรรม, สมศักดิ์ กีรติวุฒิเศรษฐ์, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)*

5.1) Thermoelectric Temperature Measurement

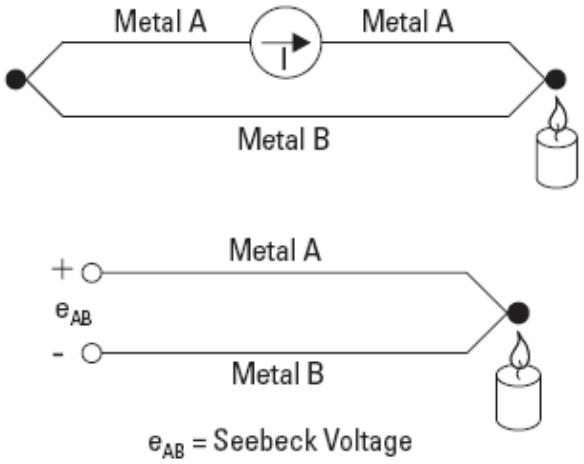
ค.ศ. 1821 Thomas Seebeck นักฟิสิกส์เยอรมัน ค้นพบ หลักการ "Thermoelectric Effect" อันเป็นที่มาของเทอร์โมคัปเปิลในปัจจุบัน

- ชื่อที่ใช้เรียกทั่วไปว่า เทอโมคับเปิ้ล (Thermocouple)
- สร้างจากโลหะสองชนิดที่ต่างกันนำมาเชื่อมต่อเข้าไว้ด้วยกัน การเชื่อมต่อกันนั้นสามารถทำได้ทั้งการหลอมรวม หรือการพันปลายโลหะทั้งสองเข้าด้วยกัน
- ซึ่งจะให้สัญญาณออกมาเป็น แรงดันไฟฟ้า
- และมีความสัมพันธ์ที่แน่นอนระหว่างอุณหภูมิและแรงดันไฟฟ้า

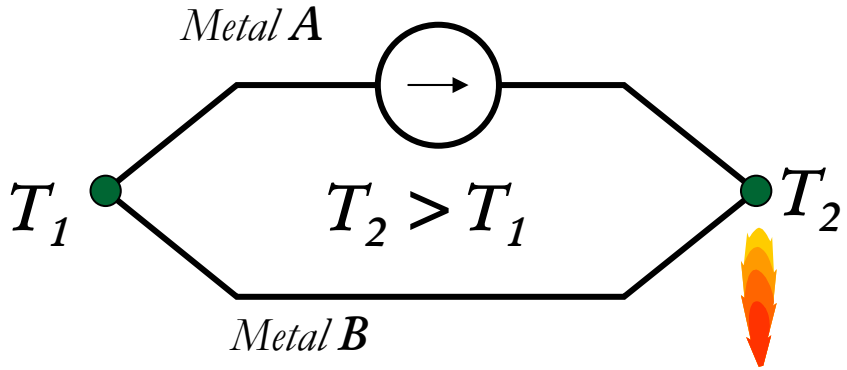
Seebeck Effect

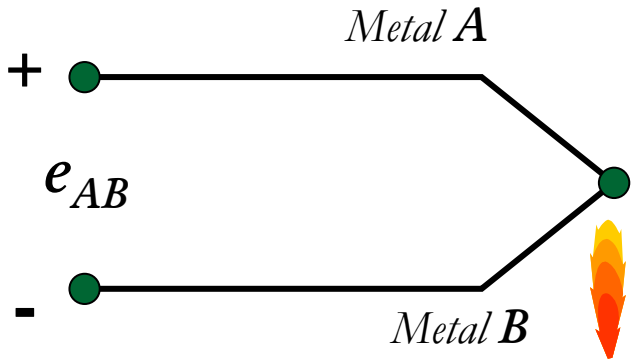
- แรงดันไฟฟ้าที่เกิดจากวงจรเทอโมคับเปิ้ลแบบเปิดที่มีความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างจุดเชื่อมสองจุด
- *Seebeck emf* สามารถวัดได้เมื่อไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลในวงจร
- มีความสัมพันธ์ที่แน่นอนระหว่าง *emf* และ ความแตกต่างของ T_1 และ T_2 ซึ่งเรียกว่า Seebeck Relationship

$$\alpha_{AB} = \left[\frac{\partial(emf)}{\partial T}\right]_{\text{open circuit}}$$



Seebeck Voltage





- อุณหภูมิ T_1 ไม่เท่ากับ T_2
- วงจรเทอโมคับเปิ้ลนี้จะสร้างแรงดันไฟฟ้า (electromotive force: *emf*)
- แรงดันไฟฟ้านี้จะผันแปรกับความแตกต่างของ T_1 และ T_2

$$e_{AB} = \alpha \Delta T$$

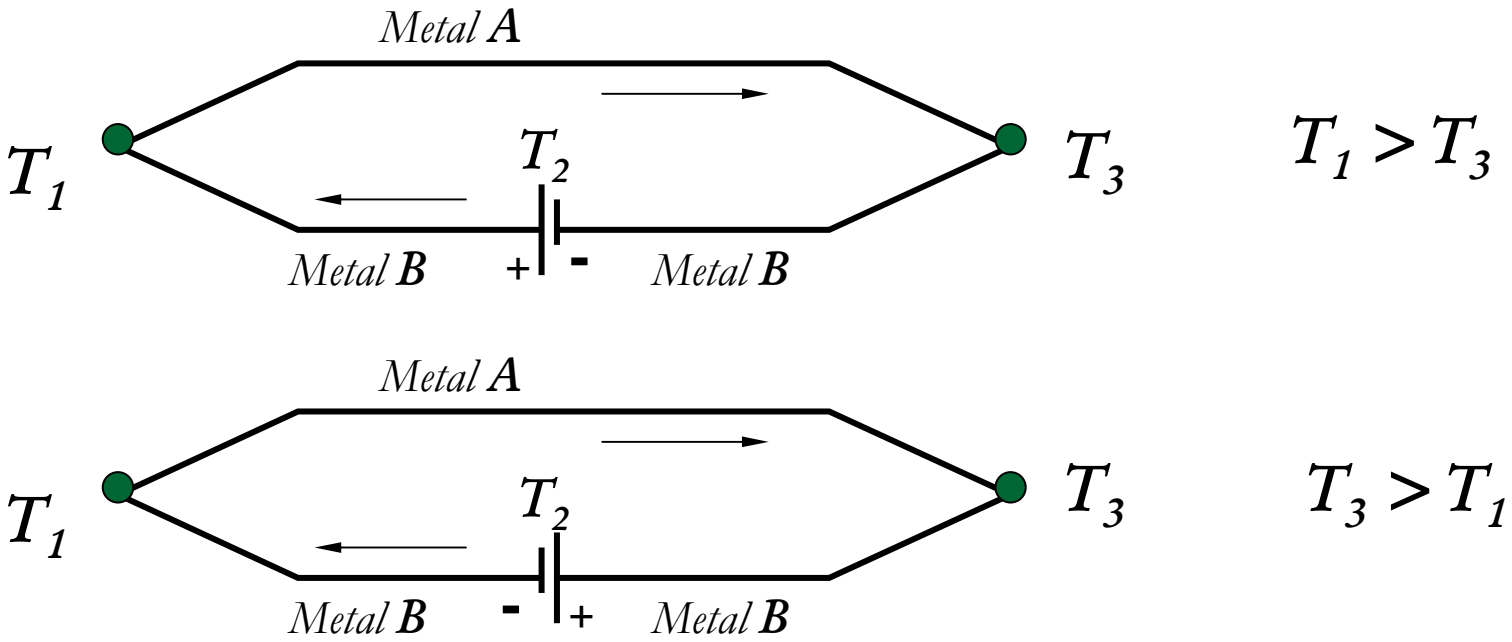
e_{AB} = Seebeck Voltage

α= Seebeck Coefficient (Volt/K)

$\Delta T = T2 > T1$

Peltier's Effect

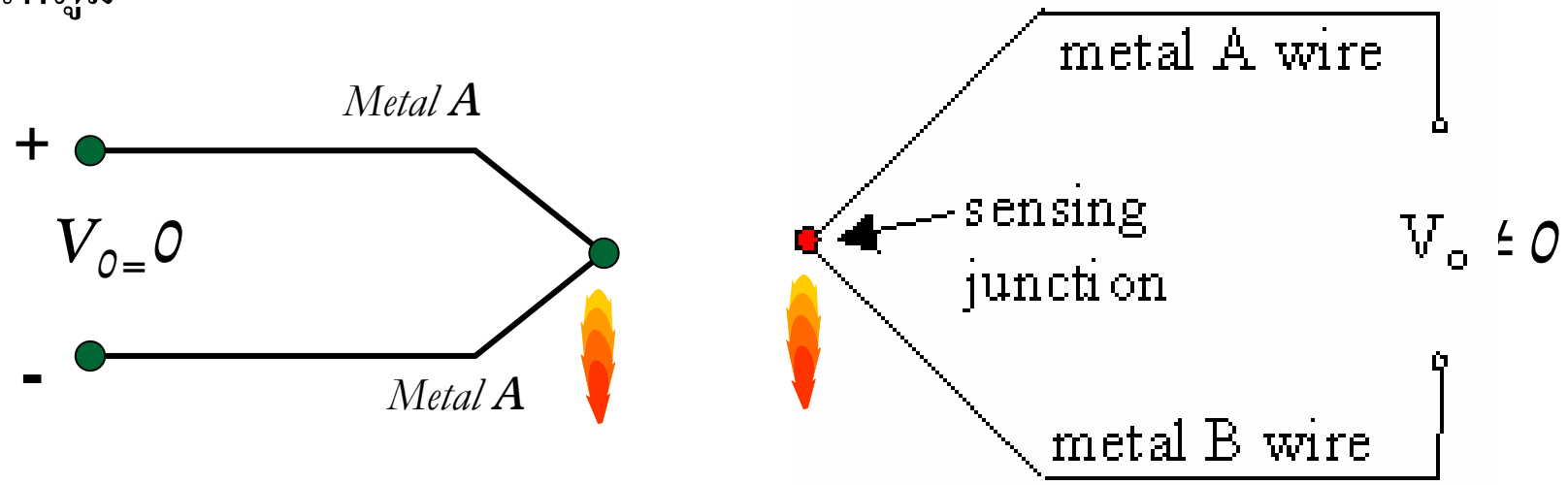
ค.ศ. 1834 Jean C.A. Peltier ค้นพบว่าเมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในวงจรแบบ Seebeck จะทำให้เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิที่ปลายจุดต่อทั้ง2



Fundamental Thermocouple Laws: (Thermoelectric laws) กฎพื้นฐานแรงเคลื่อนไฟฟ้าจากความร้อน

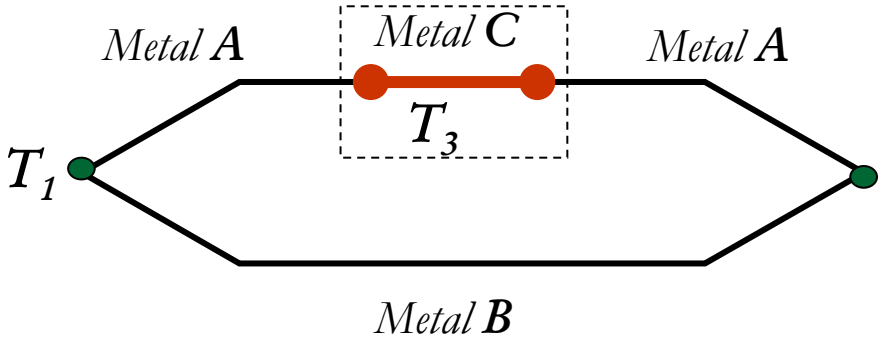
a) Homogenous Material

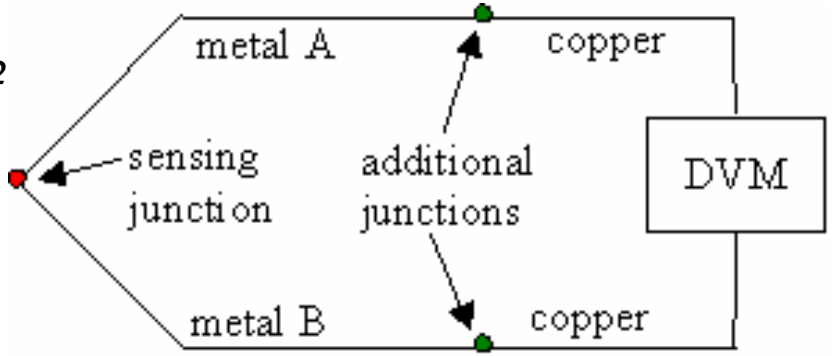
- ในวงจร Seebeck หาก Metal A และ B ถูกสร้างขึ้นด้วยโลหะชนิดเดียวกัน เมื่อทำให้เกิดความแตกต่างทางอุณหภูมิระหว่างจุดต่อทั้ง 2 จะไม่เกิดกระแสไฟฟ้าไหลในวงจร
- ต้องมีวัสดุตัวนำสองชนิดเพื่อที่จะใช้สร้างวงจรเทอโมคับเปิ้ลสำหรับวัดอุณหภูมิ



Fundamental Thermocouple Laws:

b) Intermediate Material **(กฎโลหะแทรก)**

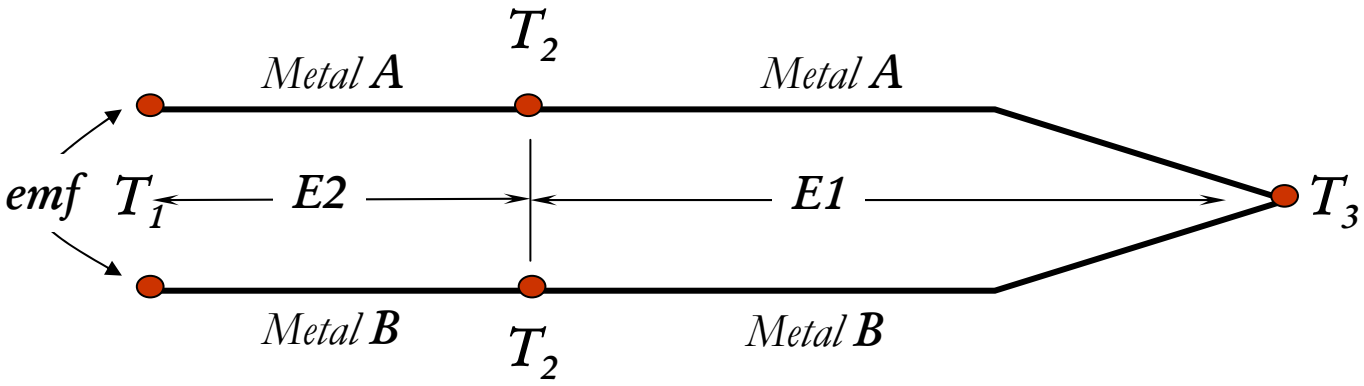




- สามารถใช้ตัวนำอีกชนิดต่อเข้ามาในวงจรได้โดยที่ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงของ emf ถ้าจุดเชื่อมต่อนั้นมีอุณหภูมิเท่ากัน
- หลักการนี้พบได้ในการต่อสาย ในข้อต่อ ของเทอร์โมคัปเปิ้ล

Fundamental Thermocouple Laws:

c) Intermediate Temperatures **(กฎอุณหภูมิแทรก)**



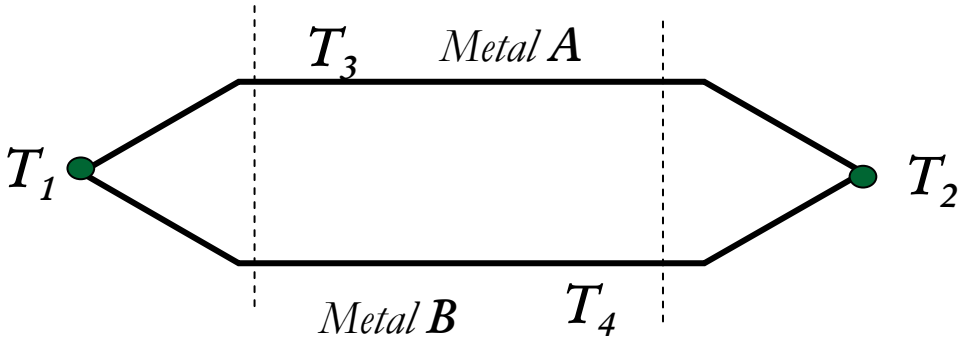
- if two dissimilar homogeneous metals produce a thermal EMF of E1 when the junctions are at temperatures T1 and T2, and a thermal EMF of E2 when the junctions are at temperatures T2 and T3, then the thermal EMF generated when the junctions are temperatures T1 and T3 will be E1 plus E2.

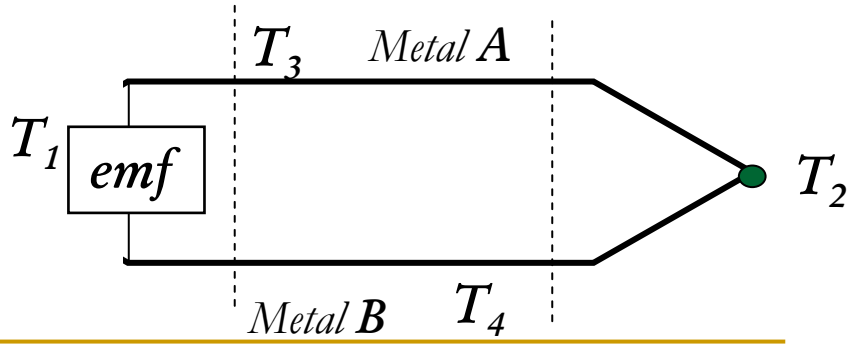
Thermocouple Phenomena

ปรากฏการณ์เทอโมคับเปิ้ลเกิดจากการที่อิเล็กตรอนในวัสดุตัวนำไฟฟ้าที่ต่างชนิดกันคู่หนึ่งถูกกระตุ้นเมื่อได้รับพลังงานความร้อน เมื่อมีความแตกต่างของอุณหภูมิจะมีการไหลของพลังงานความร้อนและพลังงานไฟฟ้า ในวัสดุตัวนำที่ต่างกันก็มีอัตราการไหลที่ไม่เท่ากัน เมื่อนำมาเชื่อมต่อกันจึงเกิดการวิ่งของอิเล็คตรอนข้ามไปมาซึ่งคือแรงเคลื่อนไฟฟ้า (*emf*)

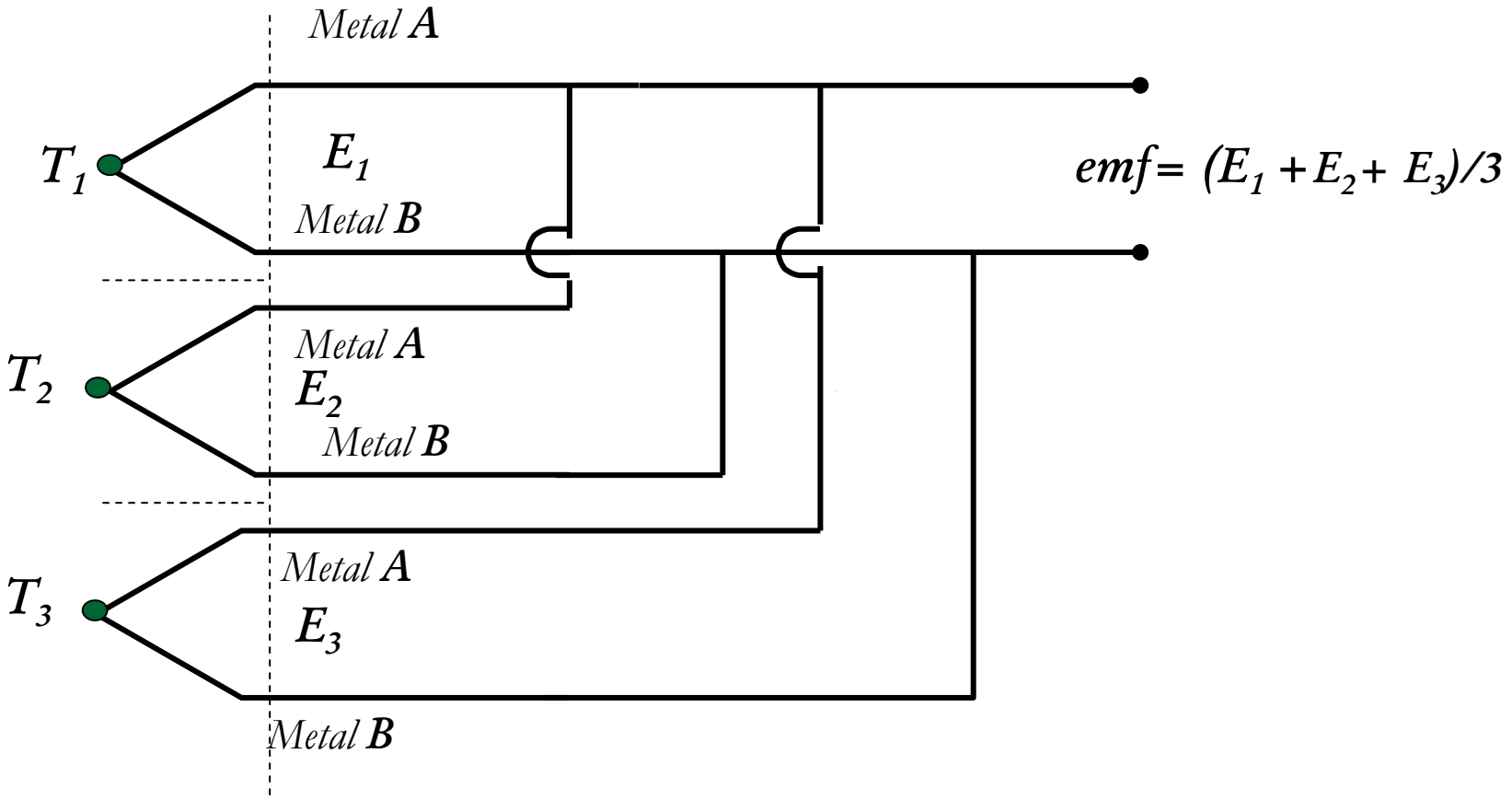
ปรากฏการณ์เทอโมคับเปิ้ลที่ควรทราบมีดังนี้

1. ในเทอร์โมคัปเปิ้ลคู่หนึ่งๆ อุณหภูมิที่มีผลต่อการวัดหรืออต่อแรงเคลื่อนไฟฟ้า คืออุณหภูมิที่ปลายจุดต่อทั้งสองเท่านั้น

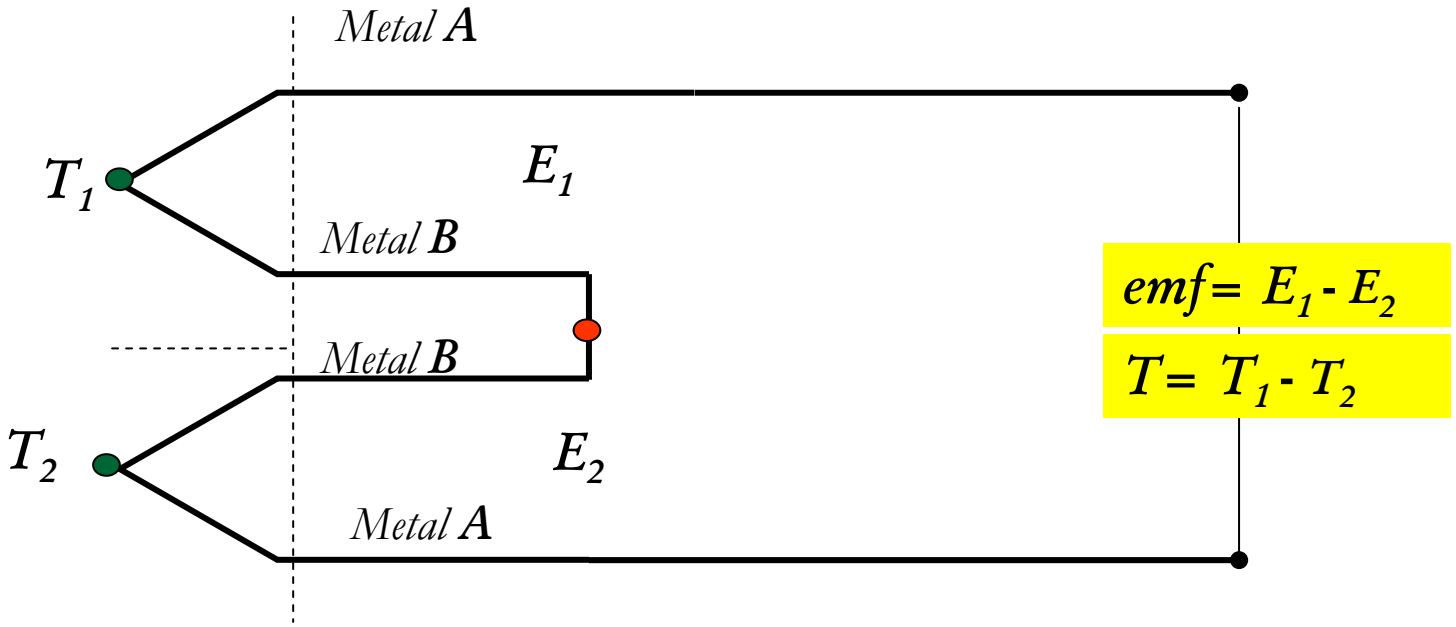




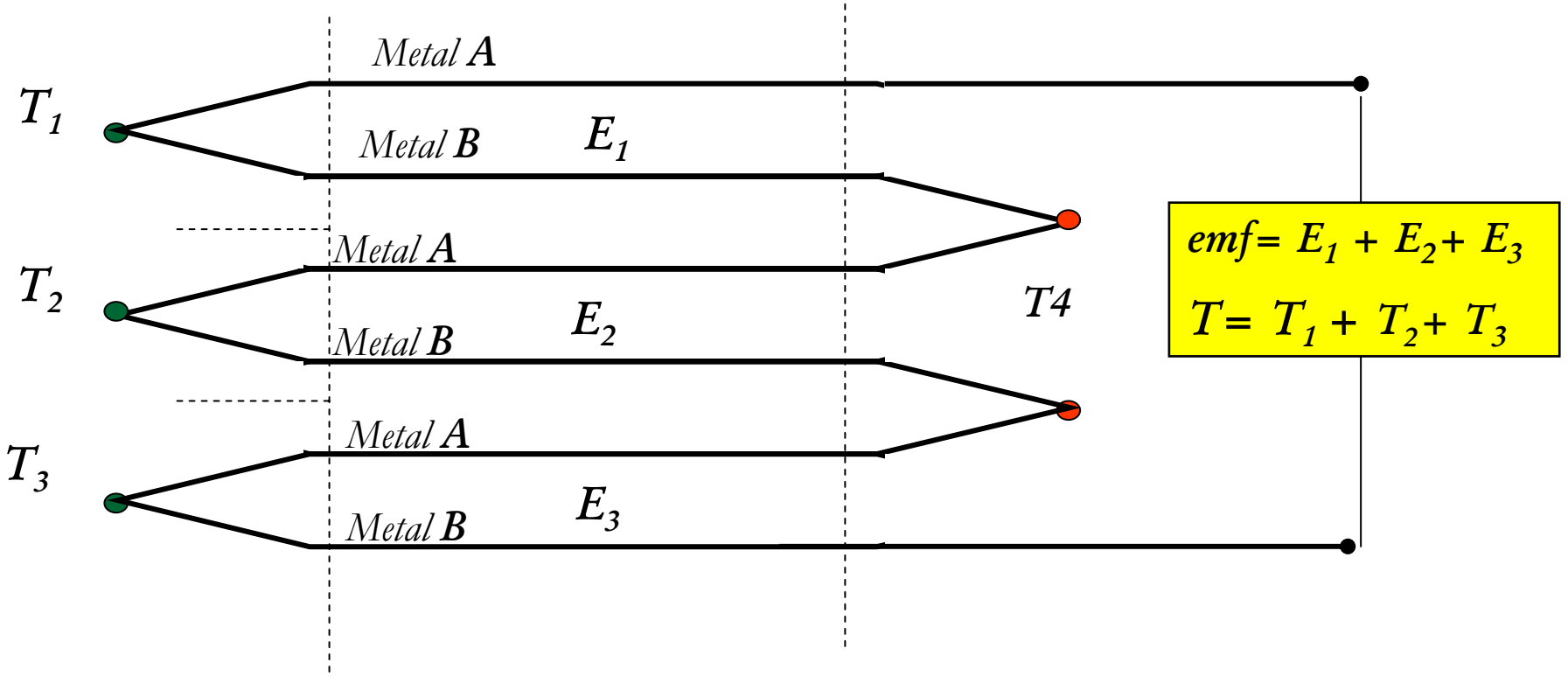
2. หากนำเทอร์โมคัปเปิ้ลมากกว่าหนึ่งคู่ มาต่อขนานกัน แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัดได้คือแรงเคลื่อนไฟฟ้าเฉลี่ย และอุณหภูมิที่วัดได้คืออุณหภูมิเฉลี่ยของปลายจุดต่อเทอร์โมคัปปเปิ้ลทั้งหมด



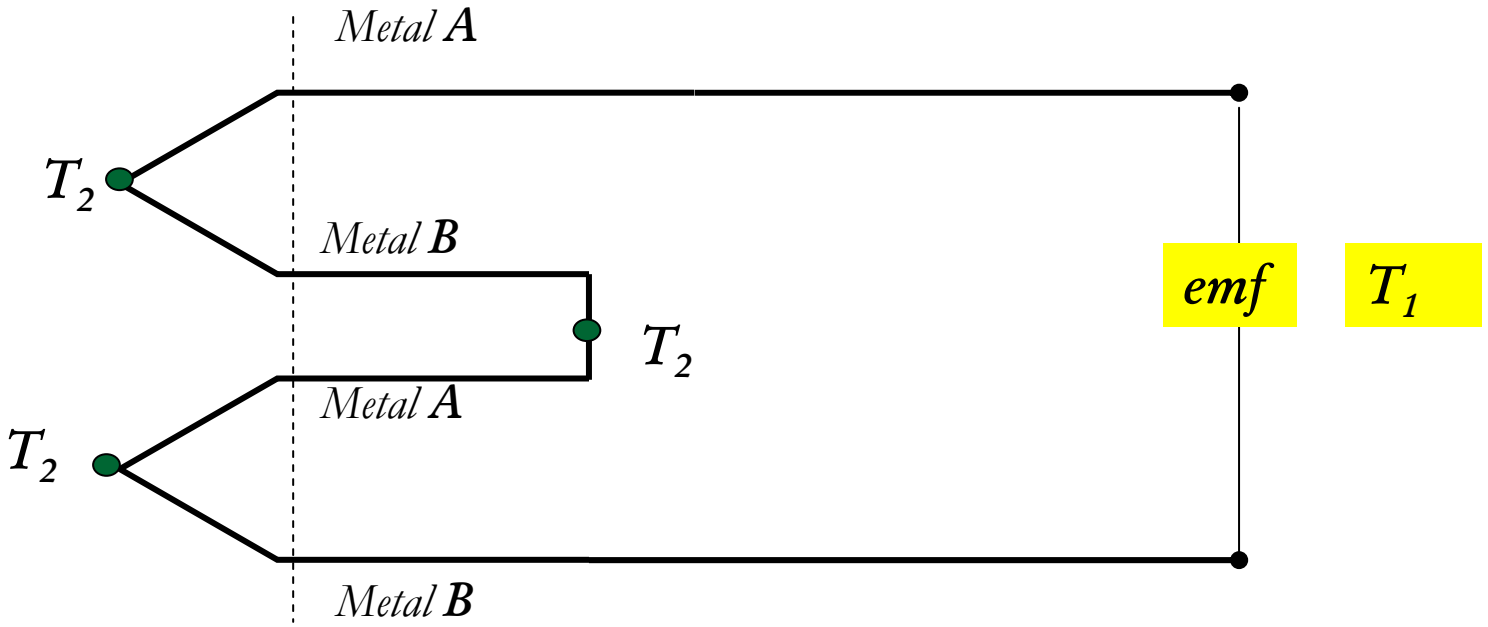
3. หากนำเทอร์โมคัปเปิ้ลมากกว่าหนึ่งคู่ มาต่อกลับขั้วกัน แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัดได้คือผลต่างแรงเคลื่อนไฟฟ้าของเทอร์โมคัปเปิ้ล และอุณหภูมิที่วัดได้คือผลต่างของอุณหภูมิที่ปลายจุดต่อเทอร์โมคัปปเปิ้ลทั้งหมด



4. หากนำเทอร์โมคัปเปิ้ลมากกว่าหนึ่งคู่ มาต่ออนุกรมกัน แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัดได้คือผลรวมของแรงเคลื่อนไฟฟ้าของเทอร์โมคัปเปิ้ล และอุณหภูมิที่วัดได้คือผลรวมของอุณหภูมิที่ปลายจุดต่อเทอร์โมคัปปเปิ้ลทั้งหมด



5. หากนำเทอร์โมคัปเปิ้ลมากกว่าหนึ่งคู่ มาต่อดังรูป จะไม่มีผลต่อแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัดได้



Multiple-Junction Thermocouple Circuits

- ใช้เพื่อขยายสัญญาณโดยการต่อเทอโมคับเปิ้ลหลายๆตัวเข้าด้วยกัน
  - Thermopiles
  - Thermocouple in parallel
- ความไวต่อการวัดอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับเทอโมคับเปิ้ลเดียวเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของการหน่วงของความร้อน
- เหมาะสำหรับงานวัดความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างจุดวัดและจุดอ้างอิงน้อย เพื่อลดความผิดพลาด
- ใช้ในการวัดการถ่ายเทความร้อนต่อพื้นที่ในของแข็ง

Thermocouple Standards

THERMOCOUPLES		
Type	**Composition**	**Temperature range, °C**
B	Pt-30% Rh versus Pt-6% Rh	0 to 1820
E	Ni-Cr alloy versus a Cu-Ni alloy	-270 to 1000
J	Fe versus a Cu-Ni alloy	-210 to 1200
K	Ni-Cr alloy versus Ni-Al alloy	-270 to 1372
N	Ni-Cr-Si alloy versus Ni-Si-Mg alloy	-270 to 1300
R	Pt-13% Rh versus Pt	-50 to 1768
S	Pt-10% Rh versus Pt	-50 to 1768
T	Cu versus a Cu-Ni alloy	-270 to 400

Thermocouple Standards

a) Copper-Constantan (T-Type)

- ใช้ในสภาวะoxidizingและreducingไม่รุนแรงถึง 400°C
- เหมาะสำหรับงานที่มีความชื้น
- ใช้ได้ในช่วงอุณหภูมิต่ำ

b) Iron-Constantan (J-Type)

- ใช้ได้ในสภาวะ reducing
- ไม่ควรใช้วัดเกิน 750 องศา สำหรับสายที่มีขนาดใหญ่

Oxidizing มี O2 เพิ่มเข้ามา
Reducing O2 ออกจากโลหะ

Thermocouple Standards

c) Chromel-Constantan (E-Type)

- สามารถวัดได้ถึง 870องศา ในสภาวะสุญญากาศหรือไม่มีการทำปฏิกิริยา หรือ oxidizing reducing เล็กน้อย
- ที่อุณหภูมิติดลบจะไม่ก่อให้เกิดการกัดกร่อน
- ให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าสูงที่สุดในกลุ่ม

d) Chromel-Alumel (K-Type)

- ใช้งานสภาวะที่ไม่มี oxidizing
- วัดอุณหภูมิได้สูงถึง 1260 องศาสำหรับสายที่มีขนาดใหญ่

Thermocouple Standards

e) Platinum-Rhodium (S-Type)

- 90% Pt & 10%Rh กับ Pt(100%)

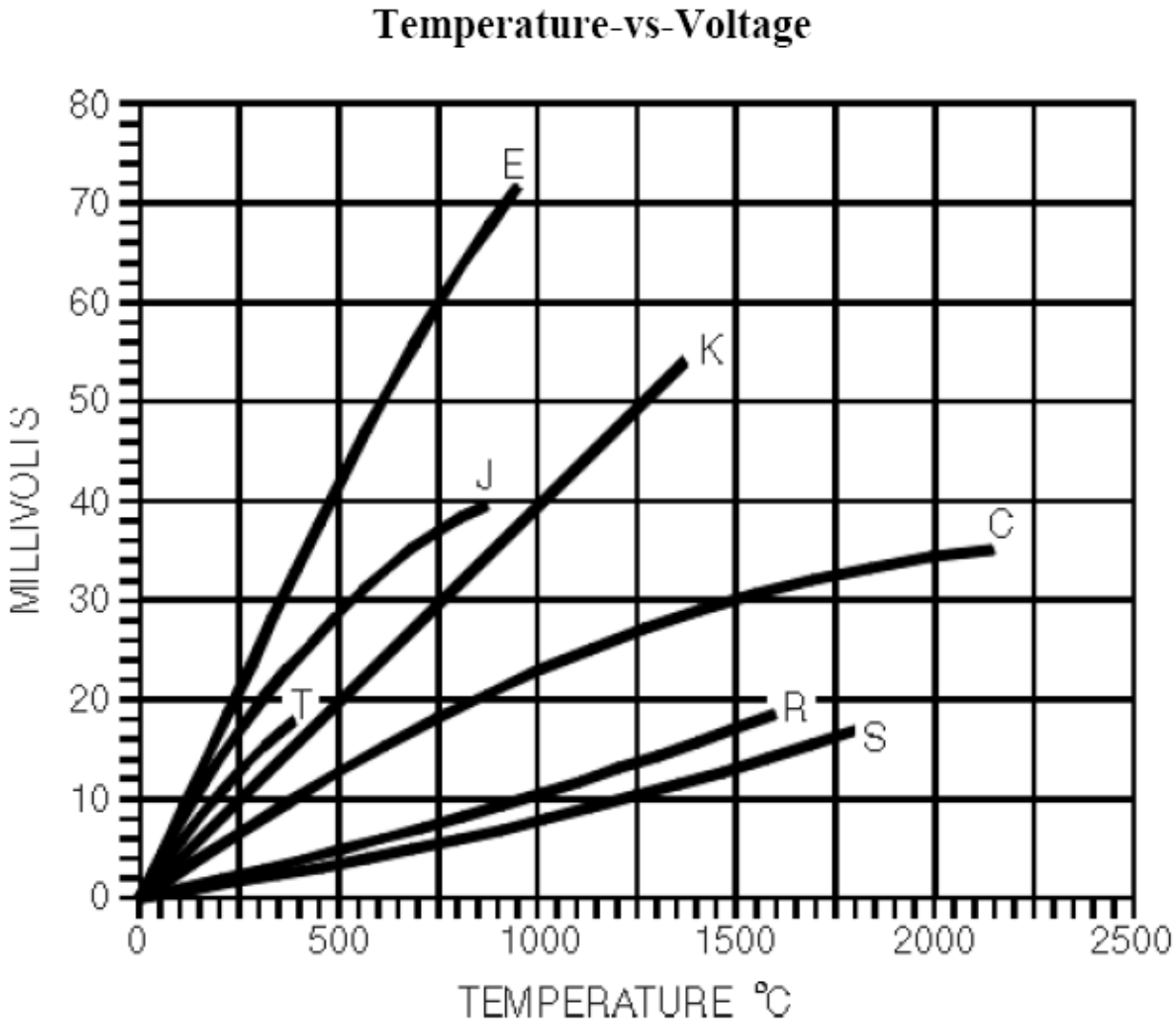
f) Platinum-Rhodium (R-Type)

- 87% Pt & 13%Rh กับ Pt(100%)
- ทนสภาวะต่างๆรวมถึงการกัดกร่อนได้ดี
- แต่ ไฮโดรเจน. คาร์บอน หรือไอโลหะ อาจทำให้สกปรกได้
- วัดอุณหภูมิได้สูงถึง 1450 องศา

g) Tungsten-Rhenium (C-Type)

- สามารถวัดได้สูงถึง 2760 องศา
- ไม่ทนกับสภาวะ oxidation
- เหมาะที่จะใช้กับ สุญญากาศ ไฮโดรเจน และ สภาวะที่ไม่ทำปฏิกิริยา

Thermocouple Standards



Thermocouple Standards

- ถ้าเทอโมคับเปิ้ลผลิตและใช้ส่วนผสมของวัสดุได้ตามมาตรฐาน NIST ของสหรัฐอเมริกา ไม่ต้องทำการปรับเทียบอุปกรณ์ก่อนนำมาใช้โดยที่มีค่าความผิดพลาดไม่เกิน ±1.0°C (บางกรณีต่ำถึง ±0.1°C) ตามตาราง

TABLE 8.5 Standard Thermocouple Compositions[a]

Type	Wire		Expected Bias Error[b]
	Positive	Negative	
S	Platinum	Platinum/ 10% rhodium	±1.5 °C or 0.25%
R	Platinum	Platinum/ 13% rhodium	±1.5 °C
B	Platinum/ 30% rhodium	Platinum/ 6% rhodium	±0.5%
T	Copper	Constantan	±1.0 °C or 0.75%
J	Iron	Constantan	±2.2 °C or 0.75%
K	Chromel	Alumel	±2.2 °C or 0.75%
E	Chromel	Constantan	±1.7 °C or 0.5%

Alloy Designations

Constantan: 55% copper with 45% nickel

Chromel: 90% nickel with 10% chromium

Alumel: 94% nickel with 3% manganese, 2% aluminum, and 1% silicon

[a]From Temperature Measurements ANSI PTC 19.3-1974.

[b]Use greater value; these limits of error do not include installation errors.

Type	Metal +	Metal -	Standard U.S. Color Code +	Standard U.S. Color Code -	Ω/Double Foot@ 20° C 20 AWG	Seebeck Coefficient S(μV/°C)@T(°C)		Wire Error in °C Range	Wire Error in °C Standard	Wire Error in °C Special	NIST Specified Material Range† (°C)
B	Platinum-30% Rhodium	Platinum-6% Rhodium	Gray	Red	0.22	5.96	600	870 to 1700	± 0.5%	± 0.25%	0 to 1820
E	Nickel-10% Chromium	Constantan	Violet	Red	0.71	58.67	0	0 to 900	± 1.7 or ± 0.5%	± 1 or ± 0.4%	-270 to 1000
J	Iron	Constantan	White	Red	0.36	50.38	0	0 to 750	± 2.2 or ± 0.75%	± 1.1 or ± 0.4%	-210 to 1200
K	Nickel-10% Chromium	Nickel	Yellow	Red	0.59	39.45	0	0 to 1250	± 2.2 or ± 0.75%	± 1.1 or ± 0.4%	-270 to 1372
N	Nicrosil	Nisil	Orange	Red	0.78	25.93	0	0 to 1250	± 2.2 or ± 0.75%	± 1.1 or ± 0.4%	-270 to 1300
R	Platinum-13% Rhodium	Platinum	Black	Red	0.19	11.36	600	0 to 1450	± 1.5 or ± 0.25%	± 0.6 or ± 0.1%	-50 to 1768
S	Platinum-10% Rhodium	Platinum	Black	Red	0.19	10.21	600	0 to 1450	± 1.5 or ± 0.25%	± 0.6 or ± 0.1%	-50 to 1768
T	Copper	Constantan	Blue	Red	0.30	38.75	0	0 to 350	± 1 or ± 0.75%	± 0.5 or ± 0.4%	-270 to 400

Thermocouple Standards: Standard Thermocouples Voltage

- Type-J emf(mV) ref at 0°C

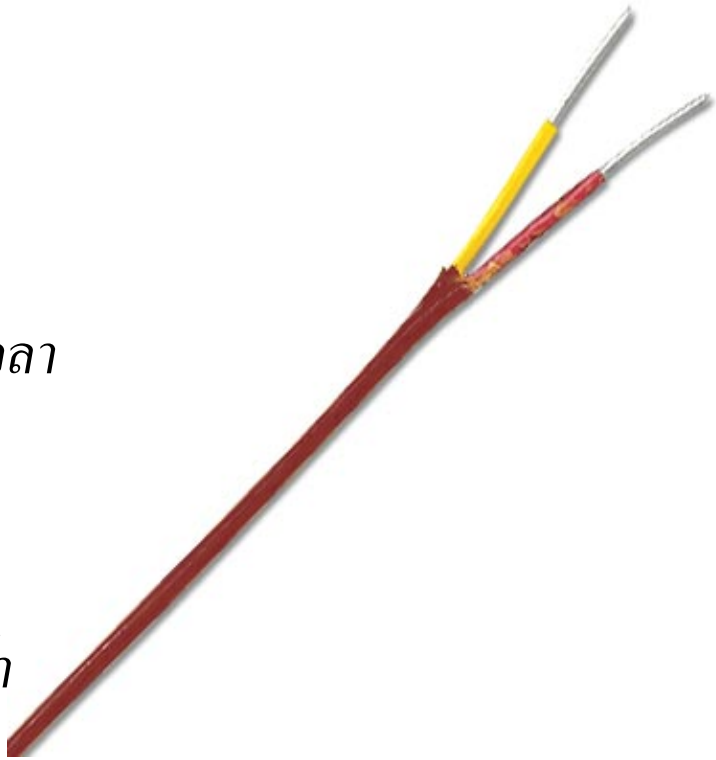
	0	+1	+2	+3	+4	+5	+6	+7	+8	+9
0	0.000	0.050	0.101	0.151	0.202	0.253	0.303	0.354	0.405	–0.451
10	0.507	0.558	0.609	0.660	0.711	0.762	0.814	0.865	0.916	–0.968
20	1.019	1.071	1.122	1.174	1.226	1.277	1.329	1.381	1.433	1.485
30	1.537	1.589	1.641	1.693	1.745	1.797	1.849	1.902	1.954	2.006
40	2.059	2.111	2.164	2.216	2.269	2.322	2.374	2.427	2.480	2.532
50	2.585	2.638	2.691	2.744	2.797	2.850	2.903	2.956	3.009	3.062
60	3.116	3.169	3.222	3.275	3.329	3.382	3.436	3.489	3.543	3.596
70	3.650	3.703	3.757	3.810	3.864	3.918	3.971	4.025	4.079	4.133
80	4.187	4.240	4.294	4.348	4.402	4.456	4.510	4.564	4.618	4.672
90	4.726	4.781	4.835	4.889	4.943	4.997	5.052	5.106	5.160	5.215
100	5.269	5.323	5.378	5.432	5.487	5.541	5.595	5.650	5.705	5.759
110	5.814	5.868	5.923	5.977	6.032	6.087	6.141	6.196	6.251	6.306
120	6.360	6.415	6.470	6.525	6.579	6.634	6.689	6.744	6.799	6.854
130	6.909	6.964	7.019	7.074	7.129	7.184	7.239	7.294	7.349	7.404
140	7.459	7.514	7.569	7.624	7.679	7.734	7.789	7.844	7.900	7.955
150	8.010	8.065	8.120	8.175	8.231	8.286	8.341	8.396	8.452	8.507
160	8.562	8.618	8.673	8.728	8.783	8.839	8.894	8.949	9.005	9.060
170	9.115	9.171	9.226	9.282	9.337	9.392	9.448	9.503	9.559	9.614
180	9.669	9.725	9.780	9.836	9.891	9.947	10.002	10.057	10.113	10.168
190	10.224	10.279	10.335	10.390	10.446	10.501	10.557	10.612	10.668	10.723
200	10.779	10.834	10.890	10.945	11.001	11.056	11.112	11.167	11.223	11.278

ส่วนประกอบของเครื่องมือวัดอุณหภูมิชนิดเทอร์โมคัปเปิ้ล

- Thermocouple wire
- Extension/ compensation wire
- Metal Shealth
- Thermowell
- Plug/Connector/Accessories
- Signal conditioning component/ Readout

1. Thermocouple wire

- *ใช้ที่จุดวัดอุณหภูมิ (Sensing point)*
- *ส่วนผสมของโลหะจะต้องมีความเสถียรเป็นระยะเวลายาวนาน ไม่เปลี่ยนแปลงคุณสมบัติในเวลาใช้งาน แข็งแรงทนทานต่อสภาวะแวดล้อมต่ออุณหภูมิ ณ จุดวัด*
- *ปลายข้างหนึ่ง โลหะทั้ง2 ชนิดจะถูกเชื่อมต่อเข้าด้วยกัน*
- *โลหะทั้ง 2 ถูกหุ้มฉนวนให้แยกออกจากกันเพื่อป้องกันการลัดวงจร*



Thermocouple wire's color code

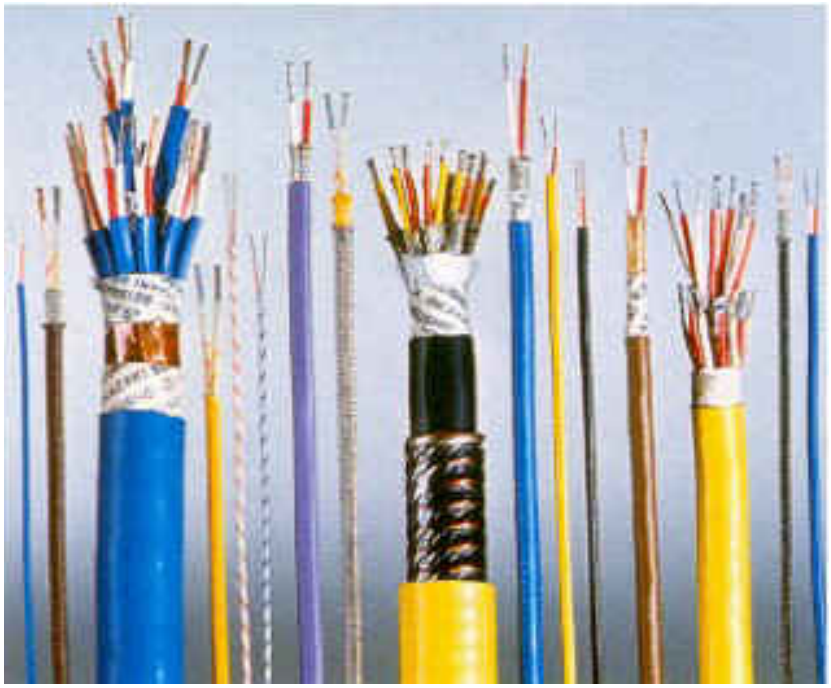
ANSI Code	Alloy Combination		Color Coding		Maximum Temperature Range	EMF (mV) Over Max. Temperature Range	Limits of Error (Whichever is Greater)	
	+ Lead	– Lead	Thermocouple Grade	Extension Grade			Standard	Special
J	IRON Fe (magnetic)	CONSTANTAN COPPER-NICKEL Cu-Ni			–210 to 1200°C, –346 to 2192°F Thermocouple Grade 0 to 200°C, 32 to 392°F Extension Grade	–8.095 to 69.553	2.2°C or 0.75%	1.1°C or 0.4%
K	CHROMEGA NICKEL-CHROMIUM Ni-Cr	ALOMEGA NICKEL-ALUMINIUM Ni-Al (magnetic)			–270 to 1372°C, –454 to 2501°F Thermocouple Grade 0 to 200°C, 32 to 392°F Extension Grade	–6.458 to 54.886	2.2°C or 0.75% Above 0°C 2.2°C or 2.0% Below 0°C	1.1°C or 0.4%
V*	COPPER Cu	CONSTANTAN COPPER-NICKEL Cu-Ni	NONE ESTABLISHED	NONE ESTABLISHED	0 to 80°C 32 to 176°F Extension Grade			
T	COPPER Cu	CONSTANTAN COPPER-NICKEL Cu-Ni			–270 to 400°C –454 to 752°F Thermocouple Grade –60 to 100°C, –76 to 212°F Extension Grade	–6.258 to 20.872	1.0°C or 0.75% Above 0°C 1.0°C or 1.5% Below 0°C	0.5°C or 0.4%
E	CHROMEGA NICKEL-CHROMIUM Ni-Cr	CONSTANTAN COPPER-NICKEL Cu-Ni			–270 to 1000°C –454 to 1832°F Thermocouple Grade 0 to 200°C, 32 to 392°F Extension Grade	–9.835 to 76.373	1.7°C or 0.5% Above 0°C 1.7°C or 1.0% Below 0°C	1.0°C or 0.4%
N	OMEGA-P NICROSIL Ni-Cr-Si	OMEGA-N NISIL Ni-Si-Mg			–270 to 1300°C, –450 to 2372°F Thermocouple Grade 0 to 200°C, 32 to 392°F Extension Grade	–4.345 to 47.513	2.2°C or 0.75% Above 0°C 2.2°C or 2.0% Below 0°C	1.1°C or 0.4%
R	PLATINUM- 13% RHODIUM Pt-13% Rh	PLATINUM Pt	NONE ESTABLISHED		–50 to 1768°C –58 to 3214°F Thermocouple Grade 0 to 150°C, 32 to 300°F Extension Grade	–0.226 to 21.101	1.5°C or 0.25%	0.6°C or 0.1%
S	PLATINUM- 10% RHODIUM Pt-10% Rh	PLATINUM Pt	NONE ESTABLISHED		–50 to 1768°C –58 to 3214°F Thermocouple Grade 0 to 150°C, 32 to 300°F Extension Grade	–0.236 to 18.693	1.5°C or 0.25%	0.6°C or 0.1%
U*	COPPER Cu	COPPER-LOW NICKEL Cu-Ni	NONE ESTABLISHED		0 to 50°C 32 to 122°F Extension Grade			
B	PLATINUM- 30% RHODIUM Pt-30% Rh	PLATINUM- 6% RHODIUM Pt-6% Rh	NONE ESTABLISHED		0 to 1820°C 32 to 3308°F Thermocouple Grade 0 to 100°C, 32 to 212°F Extension Grade	0 to 13.820	0.5% over 800°C	NOT ESTABLISHED
G* (W)	TUNGSTEN W	TUNGSTEN- 26% RHENIUM W-26% Re	NONE ESTABLISHED		0 to 2320°C 32 to 4208°F Thermocouple Grade 0 to 260°C, 32 to 500°F Extension Grade	0 to 38.564	4.5°C to 425°C 1.0% to 2320°C	NOT ESTABLISHED
C* (W5)	TUNGSTEN- 5% RHENIUM W-5% Re	TUNGSTEN- 26% RHENIUM W-26% Re	NONE ESTABLISHED		0 to 2320°C 32 to 4208°F Thermocouple Grade 0 to 870°C, 32 to 1600°F Extension Grade	0 to 37.066	4.5°C to 425°C 1.0% to 2320°C	NOT ESTABLISHED
D* (W3)	TUNGSTEN- 3% RHENIUM W-3% Re	TUNGSTEN- 25% RHENIUM W-25% Re	NONE ESTABLISHED		0 to 2320°C 32 to 4208°F Thermocouple Grade 0 to 260°C, 32 to 500°F Extension Grade	0 to 39.506	4.5°C to 425°C 1.0% to 2320°C	NOT ESTABLISHED

2. Extension wire

- *ต่างจาก Thermocouple wire ตรงที่ Extension wire ถูกใช้ในกรณีที่จุดวัดห่างจากเครื่องมืออ่านและบันทึกมาก อาศัยหลักการโลหะแทรกจึงใช้ Extension wire เป็นสายต่อเชื่อมระหว่าง Thermocouple wire กับ เครื่องมืออ่านและบันทึก*
- *วัสดุที่ใช้อาจมีราคาถูกกว่า Thermocouple wire* ?
- *Thermocouple wire may be used as extension wire, but extension grade wire may not be used in the sensing point (or probe part) of the thermocouple.* ?
- *Part numbers for extension wire typically begin with an "EX" prefix.*

Extension wire's color code

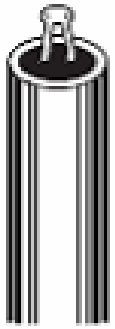
International IEC 584-3	International IEC 584-3 *Intrinsically Safe*	CZECH BRITISH to BS 1843	NETHERLANDS GERMAN to DIN 43710	JAPANESE to JIS C 1610-1981	FRENCH to NFE-18001	Comments Environment — Bare Wire	ANSI CODE
+ ±	+ ±	+ ±	+ ±	+ ±	+ ±	Reducing, Vacuum, Inert. Limited Use in Oxidizing at High Temperatures. Not Recommended for Low Temperatures.	J
+ ±	+ ±	+ ±	+ ±	+ ±	+ ±	Clean Oxidizing and Inert. Limited Use in Vacuum or Reducing. Wide Temperature Range, Most Popular Calibration	K
+ ±	+ ±	+ ±		+ ±	+ ±	Alternative to KX type extension wire for low temperatures. Not Recommended for General Use.	V*
+ ±	+ ±	+ ±	+ ±	+ ±	+ ±	Mild Oxidizing, Reducing Vacuum or Inert. Good Where Moisture is Present. Low Temperature and Cryogenic Applications	T
+ ±	+ ±	+ ±	+ ±	+ ±	+ ±	Oxidizing or Inert. Limited Use in Vacuum or Reducing. Highest EMF Change per Degree	E
+ ±	+ ±	+ ±	NO STANDARD USE AMERICAN COLOUR CODES			Alternative to Type K. More Stable at High Temps	N
+ ±	+ ±	+ ±	+ ±	+ ±	+ ±	Oxidizing or Inert. Do Not Insert in Metal Tubes. Beware of Contamination. High Temperature	R
+ ±	+ ±	+ ±	+ ±	+ ±	+ ±	Oxidizing or Inert. Do Not Insert in Metal Tubes. Beware of Contamination. High Temperature	S
+ ±	+ ±	+ ±	+ ±	+ ±	+ ±	Extension grade connecting wire for R and S thermocouples, also known as RX and SX extension wire.	U*
		NO STANDARD USE COPPER WIRE	+ ±	+ ±	NO STANDARD USE COPPER WIRE	Oxidizing or Inert. Do Not Insert in Metal Tubes. Beware of Contamination. High Temperature. Common Use in Glass Industry	B
		NO STANDARD USE AMERICAN COLOR CODES				Vacuum, Inert, Hydrogen. Beware of Embrittlement. Not Practical Below 399°C (750°F). Not for Oxidizing Atmosphere	G* (W)
		NO STANDARD USE AMERICAN COLOR CODES				Vacuum, Inert, Hydrogen. Beware of Embrittlement. Not Practical Below 399°C (750°F) Not for Oxidizing Atmosphere	C* (W5)
		NO STANDARD USE AMERICAN COLO R CODES				Vacuum, Inert, Hydrogen. Beware of Embrittlement. Not Practical Below 399°C (750°F) Not for Oxidizing Atmosphere	D* (W3)



Multipair extension wire

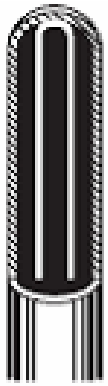
3. Metal shealth (ครอบโลหะ)

- *ใช้เพื่อเสริมความแข็งแรงให้ สายเทอร์โมคัปเปิ้ล โดยปกติจะทำจากสแตนเลส*
  - *SUS 304 –ทนอุณหภูมิได้สูงถึง 843 ℃*
  - *SUS 309 –ทนอุณหภูมิได้สูงถึง 1053 ℃*

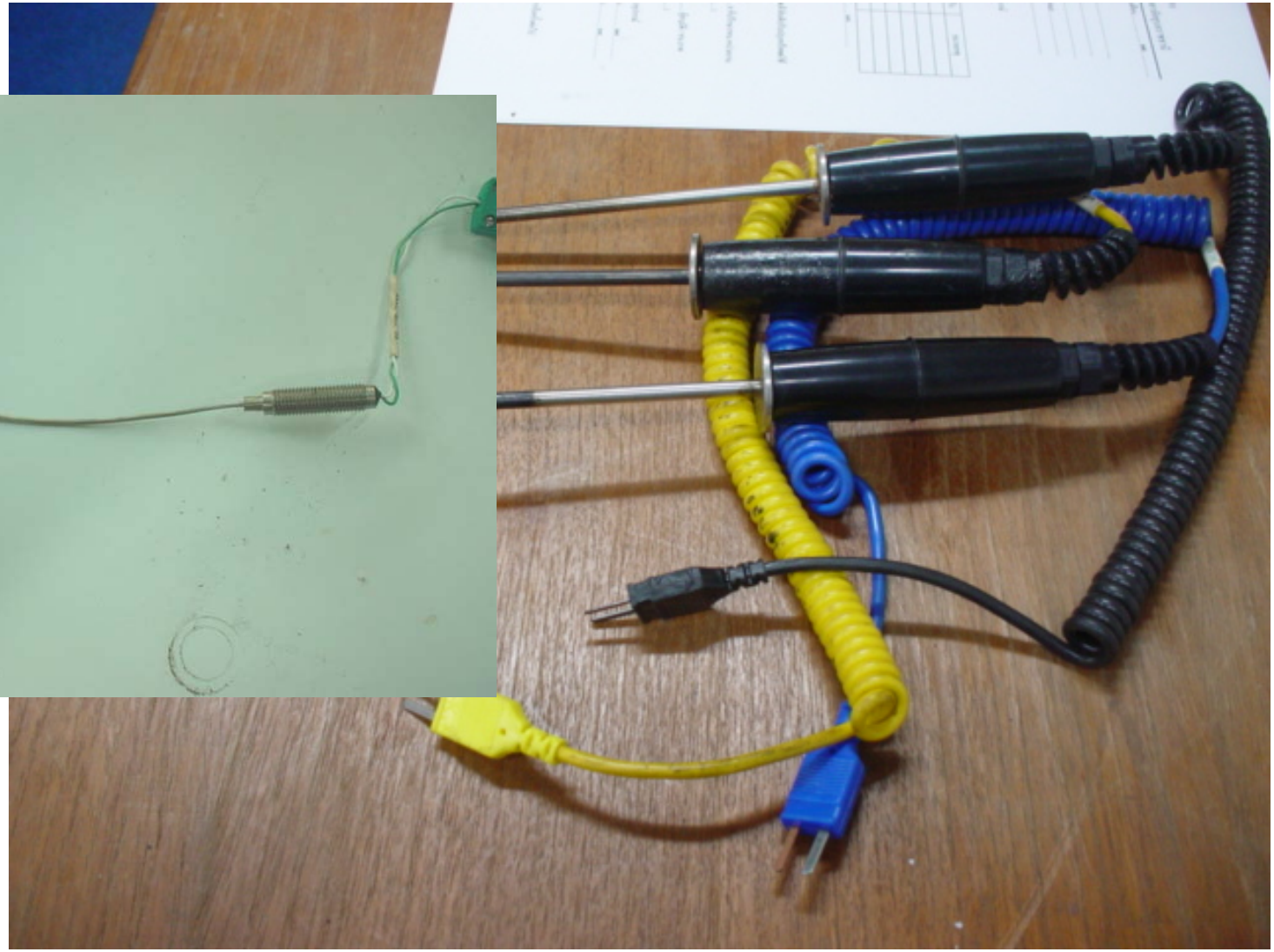


Exposed Junction
- wires unprotected
- fastest response

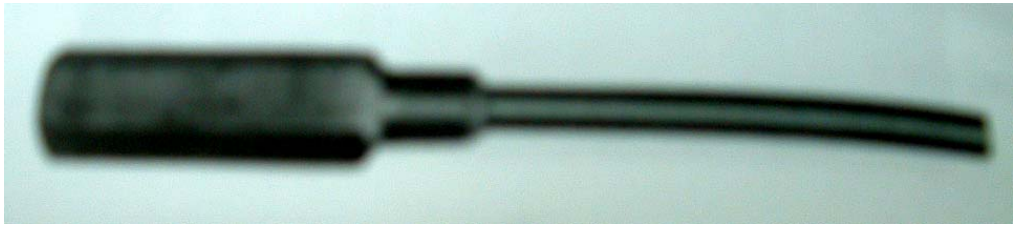
Undergrounded Junction
- best protection
- electrically isolated



Grounded Junction
- wires protected
- faster response

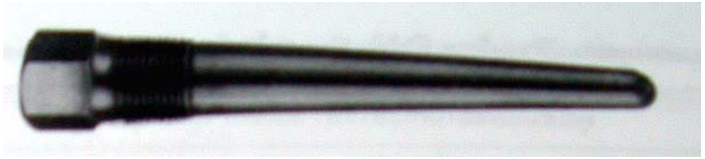


4. Thermowell

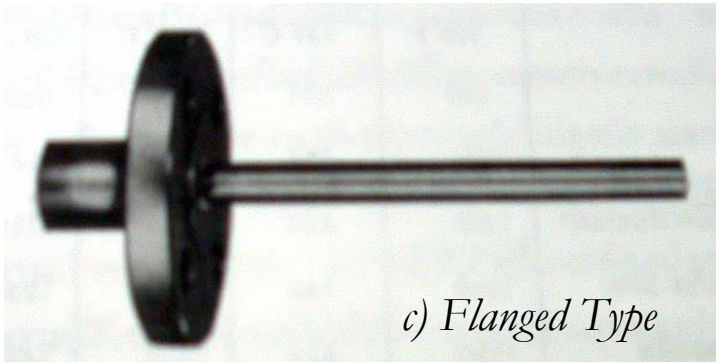


a) Lagging Type

- *เสริมความแข็งแรงทนทาน ป้องกันการกัดกร่อนและเสียหายให้ thermocouple*
- *แยกไม่ให้ fluid สัมผัสกับthermocouple โดยตรง*
- *สามารถถอดเปลี่ยน thermocouple ได้โดยไม่ต้องรบกวนระบบ*



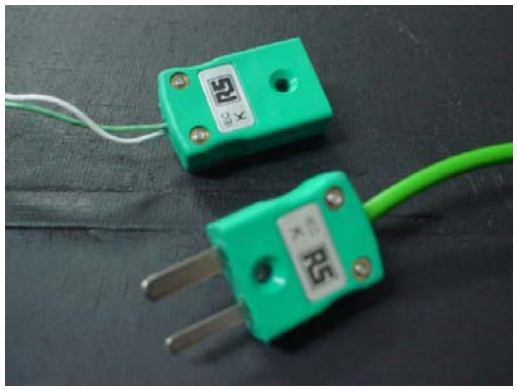
b) Tapered Type

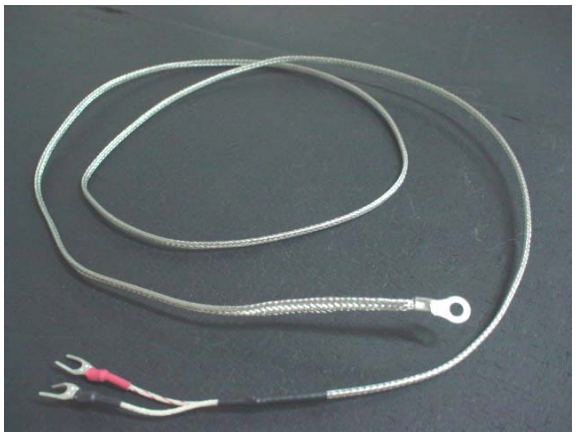


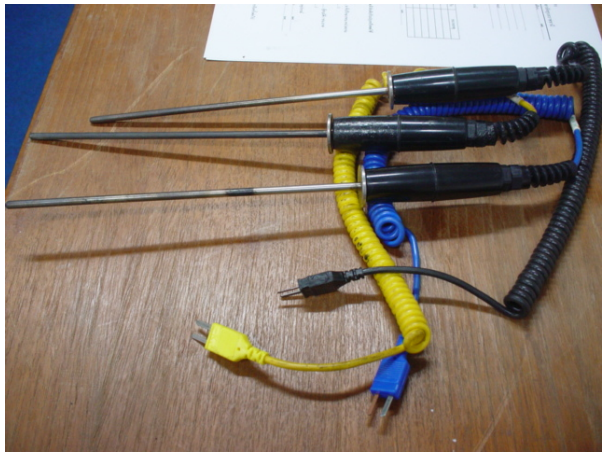
c) Flanged Type

d) Straight-lagging Type

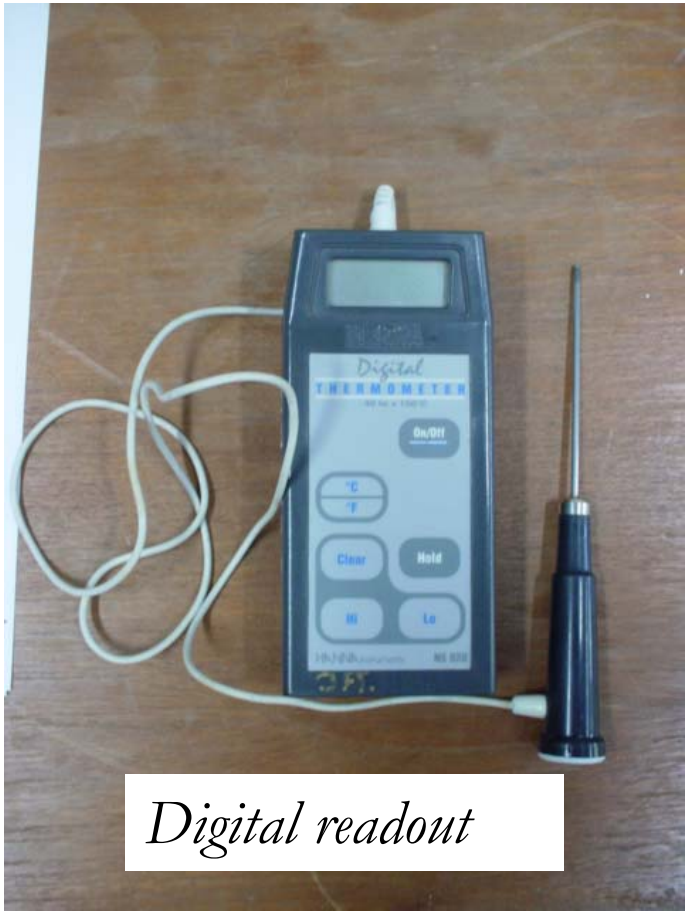
5. Connector/Plug/ Accessories







6. Signal conditioning component/ Readout



Digital readout

- *เป็นตัวรับสัญญาณจาก* ***Thermocouple*** *ผ่าน* ***Extension wire*** *อ่านค่าอุณหภูมิ จาก* ***thermocouple***
- *มีอุปกรณ์ขยายสัญญาณ* ***mV*** *จากเทอร์โมคัปเปิ้ลอยู่ในอุปกรณ์ เช่น วงจร* ***bridge***
- *มีตัวต้านทานปรับค่าได้หรือ เทอร์มิสเตอร์ต่อในวงจร* ***bridge*** *เพื่อรักษาอุณหภูมิที่* ***referenced junction*** *ให้คงที่*

Data logger

Data Acquisition

- สามารถใช้ได้ทั้งจุดอ้างอิงภายนอก หรือ ติดตั้งจุดอ้างอิงแบบอิเล็กทรอนิกส์
- ทั่วไปบอร์ด DAQ จะอ่านสัญญาณที่ ±5V และการขยายสัญญาณได้ 100 ถึง 500 เท่ามีความละเอียด 12 bit A/D

Figure 46
General purpose multiplexer module for the Agilent 34970A Data Acquisition/ Switch Unit

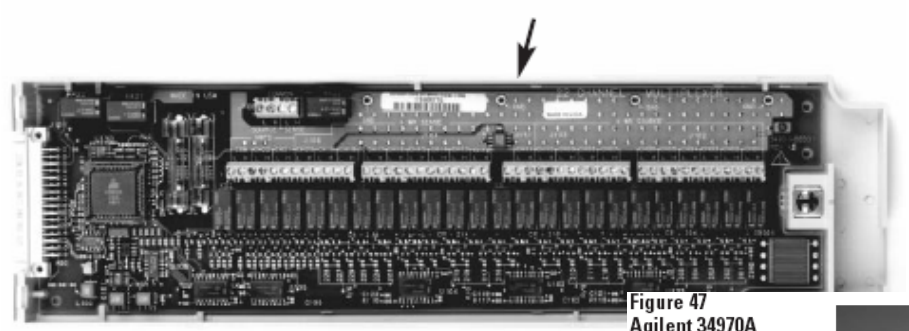


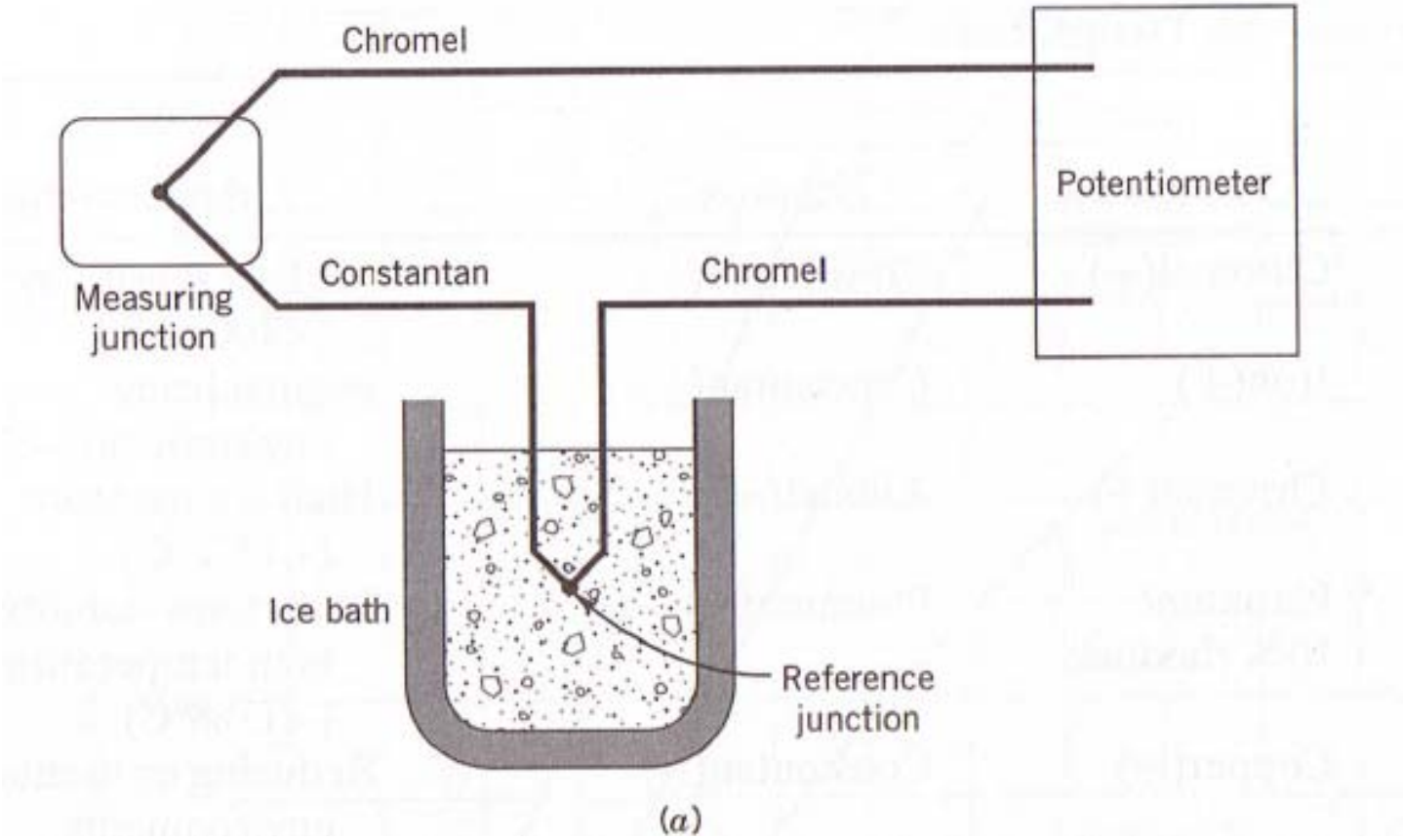
Figure 47
Agilent 34970A Data Acquisition/ Switch Unit

Basic Temperature Measurement with Thermocouple

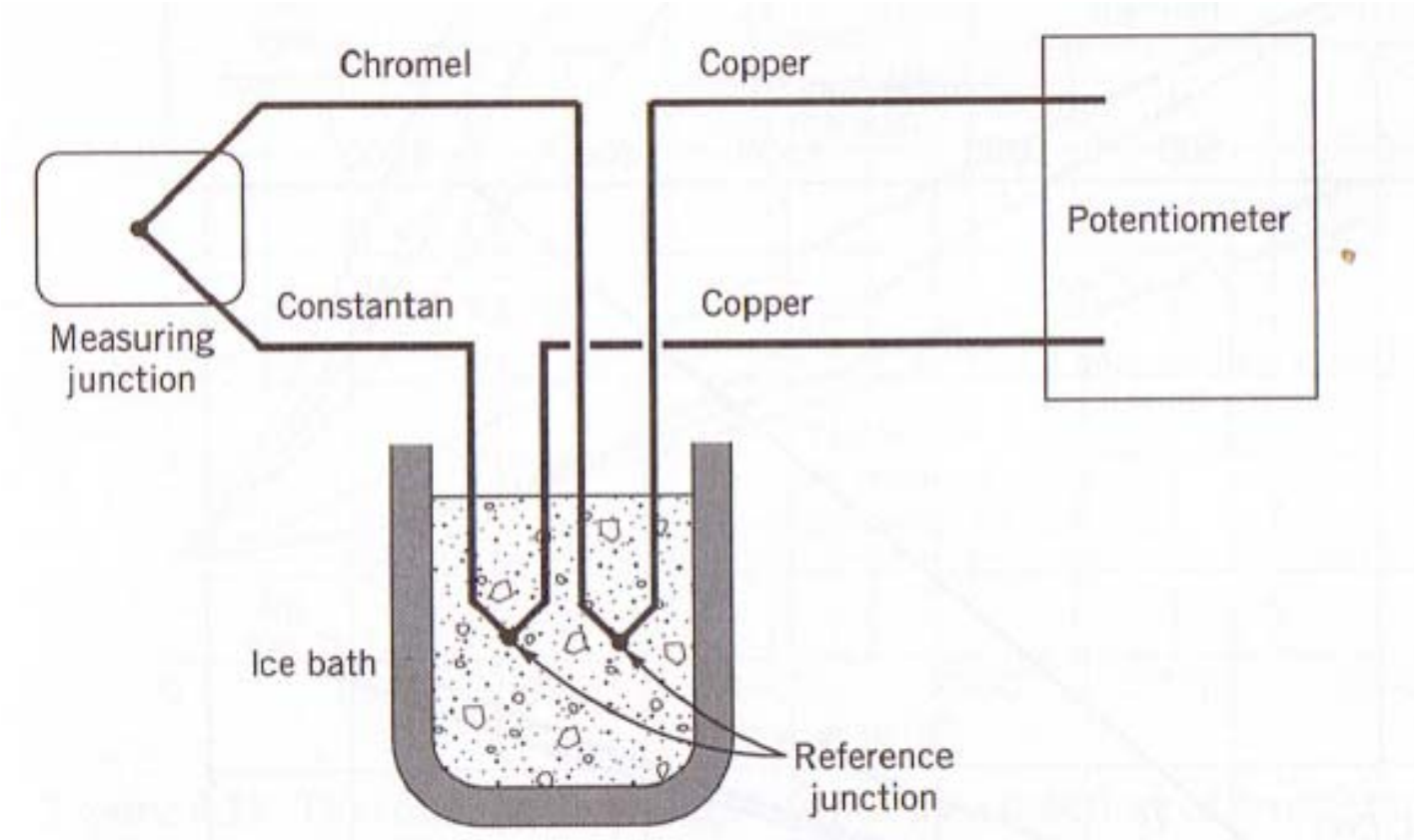
- พื้นฐานของระบบวัดอุณหภูมิด้วยเทอโมคับเปิ้ลคือการวัดความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิ T_1 และ T_2
- ในทางปฏิบัติ หนึ่งจุดเชื่อมต่อจะเป็นจุดอ้างอิงที่คงอุณหภูมิคงที่และเป็นอุณหภูมิที่รู้ (Reference junction) จุดอ้างอิงนิยมใช้อุณหภูมิของจุดเยือกแข็งที่ 0°C เพราะว่าสามารถสร้างขึ้นมาได้ง่าย
- ส่วนจุดเชื่อมต่ออีกจุดจะเป็นส่วนที่ใช้วัดอุณหภูมิ (Sensing point)
- มีความผิดพลาด ±0.01°C

Reference junction

1) Iced bath reference junction



5.1) Thermocouple



2) Iced point cell reference junction

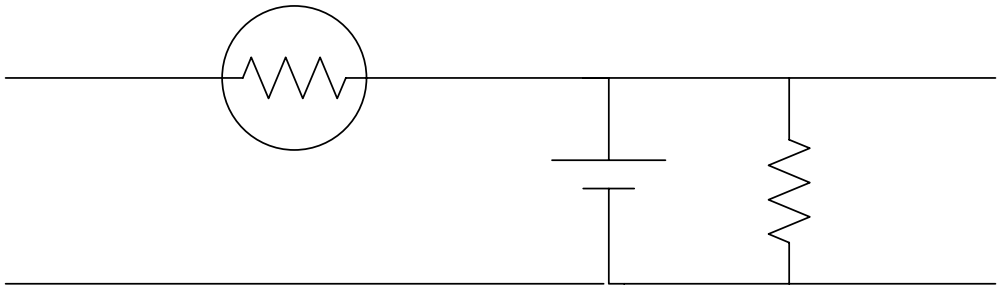
รักษาอุณหภูมิที่ reference junction ให้คงที่เครื่องทำความเย็น

3) Ovens reference junction

รักษาอุณหภูมิที่ reference junction ให้คงที่ด้วยเตาไฟฟ้า

4) Electrical Reference Junctions

- ใช้แทนถังน้ำแข็ง
- มีใช้ในอุปกรณ์อ่านค่าทั่วไป
- ใช้ เทอมิสเตอร์ในการอ่านอุณหภูมิรอบตัว
- มีความผิดพลาด ±0.1°C ถึง ±0.5°C



Thermocouples Voltage Measurement

- เนื่องจากเทอโมคับเปิ้ลต้องทำการวัดแรงดันไฟฟ้าโดยที่ไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลในวงจร
- ต้องใช้อุปกรณ์วัดแรงดันที่มีค่า input impedance สูง เช่น อุปกรณ์วัดแรงดันแบบตัวเลข เพื่อจะให้มีค่าความผิดพลาดน้อยที่สุด

ข้อดี-ข้อเสีย

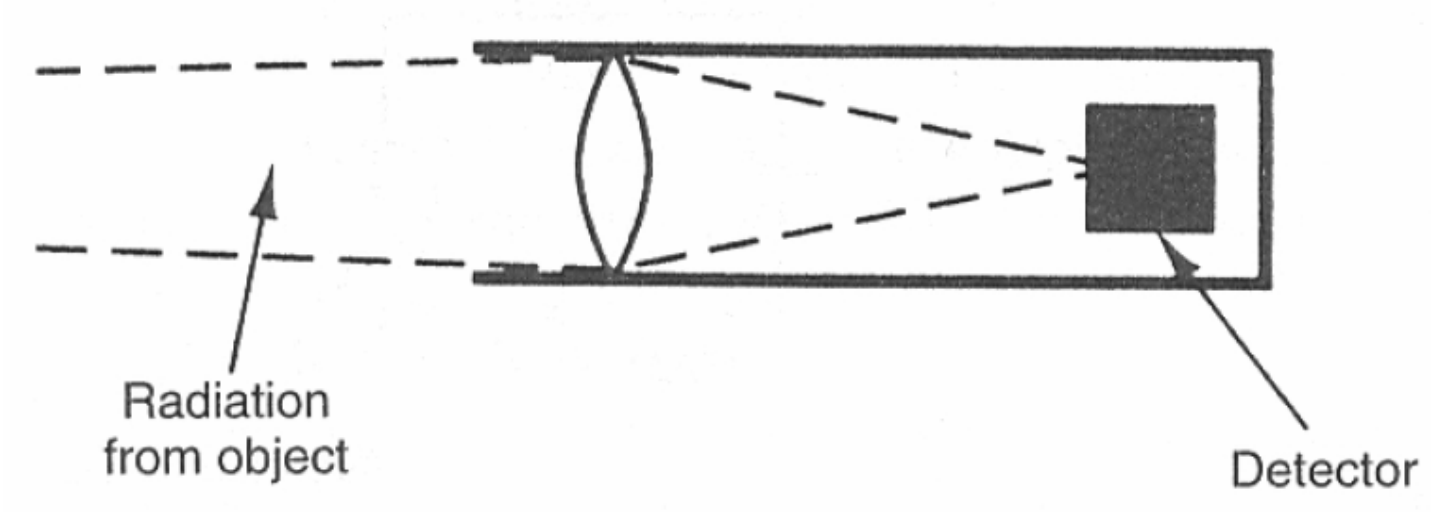
Pros:
- Low cost.
- No moving parts, less likely to be broken.
- Wide temperature range.
- Reasonably short response time.
-Reasonable repeatability and accuracy.

ข้อดี-ข้อเสีย

- ***Cons**:*
- *Sensitivity is low, usually 50 μV/□C (28 μV/□F) or less. Its low voltage output may be masked by noise. This problem can be improved, but not eliminated, by better signal filtering, shielding, and analog-to-digital (A/V) conversion.*
- *Accuracy, usually no better than 0.5 □C (0.9□F), may not be high enough for some applications.*
- *Requires a known temperature reference, usually 0□C (32□F) ice water. Modern thermocouples, on the other hand, rely on an electrically generated reference.*
- *Nonlinearity could be bothersome. Fortunately, detail calibration curves for each wire material can usually be obtained from vendors.*

Radiation

- Infrared Temperature Measurement
- ใช้หลักการของการแผ่รังสี
- อุณหภูมิแตกต่างมากสามารถตรวจจับสนามรังสีได้แรงขึ้น

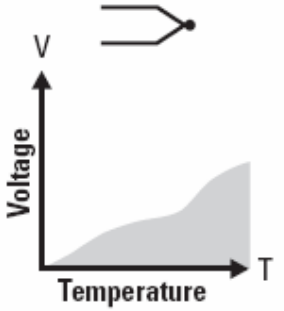

Radiation
from object
Detector

Linear
Laboratories
TherMonitor
Degree F/C
F C

Linear
Laboratories
TherMonitor
Degree F/C
F C

ห้ามจับ

Thermocouple



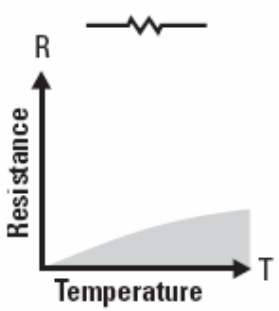
Advantages

- Self-powered
- Simple
- Rugged
- Inexpensive
- Wide variety of physical forms
- Wide temperature range

Disadvantages

- Non-linear
- Low voltage
- Reference required
- Least stable
- Least sensitive

RTD



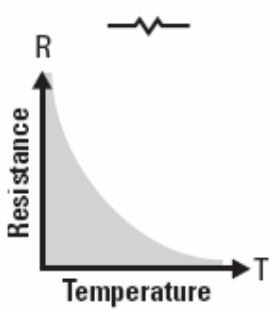
Advantages

- Most stable
- Most accurate
- More linear than thermocouple

Disadvantages

- Expensive
- Slow
- Current source required
- Small resistance change
- Four-wire measurement

Thermistor



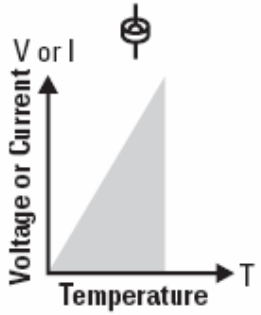
Advantages

- High output
- Fast
- Two-wire ohms measurement

Disadvantages

- Non-linear
- Limited temperature range
- Fragile
- Current source required
- Self-heating

I. C. Sensor



Advantages

- Most linear
- Highest output
- Inexpensive

Disadvantages

- T < 250° C
- Power supply required
- Slow
- Self-heating
- Limited configurations

10 15 20 25 30 35°C
10 15 20 25 30 35°C
10 20 30 40 50 60 70 80 90 100

15 20 25 30
20 25 30 35°C
10 20 30 40 50 60 70 80 90 100

DRY
WET
C
nikkei
50
40
30
20
10
0
10
20
冷房
暖房