

온도 센서를 이용한 실온 측정 방법

Detecting Method of Conditioning Air Temperature using Temperature Sensor

이 대 우*, 조 진 호**
D . W . Lee , J . H . Cho

1. 개 요

70년대초 油類波動 이후 세계 각국에서는 에너지절약에 대한 관심이 매우 높아지고 있으며, 이에 대한 가장 기본이 되는 물리량이 열, 온도임에도 불구하고, 이들에 관한 정확한 정의나 시각적表着은 매우 까다롭다.

또한, 온도의 계측 혹은 제어의 경우 단일 상태에서 다른 것과 비교하지 않을때의 온도는 그 자신의 상태변화 정도만이 문제이나, 물리적 의미, 취한 테이타의 의미, 부착한 위치 등을 검토할 경우에는 다른 것과의 비교에 따른 온도의 定義나 信賴性에 대한 문제가 야기된다.

표 2. 실용온도계의 종류와 특징

원리	종 류	사용온도범위 (°C)	트레이서블한 온도범위(°C)	정 도 (精度)	직선성	응 답	기록이나 제어에	비 용	
팽창	수은 봉입 유리	- 50~+650	- 50~+550	0.1 ~ 2	중 음	보통임	부적합	염 가	
	유기액체봉입 온도계	- 200~+200	- 100~+200	1 ~ 4	중 음				
	바이메탈식 온도계	- 50~+500	- 50~+500	0.5 ~ 5	중 음	늦 음	적 합		
압력	액체충만식 온도계	- 30~+600	- 30~+600	0.5 ~ 5	중 음	보통임	적 합	염 가	
	증기압식 온도계	- 20~+350	- 20~+350	0.5 ~ 5	중 음				
저항	백금저항 온도계	- 260~+1000	- 260~+630	0.01~ 5	매우중음	보통임	적 합	고 가	
	더미스터 온도계	- 50~+350	- 50~+350	0.3 ~ 5	중 음	빠 림		보통임	
열전기	PR	0~+1600	0~+1554	0.5 ~ 5	중 음	빠 림	적 합	고 가	
	CA	- 200~+1200	- 180~+1000	2 ~ 10	매우중음			보통임	
	CRC	- 200~+800	- 180~+700	3 ~ 5					
	IC	- 200~+800	- 180~+600	3 ~ 10					
	CC	- 200~+350	- 180~+300	2 ~ 5					
열방사	광고(光高) 온도계	700~3000	900~2000	3 ~ 10	중 음	빠 림	부적합		보통임
	광전(光電) 온도계	200~3000		1 ~ 10					
	방사 온도계	약 100~ 약 3000		5 ~ 20			보통임	적 합	고 가
	2 색 온도계	180~3500		5 ~ 20			빠 림		

* 정희원, 한양대학교 대학원 기계공학과 열공학전공

** 정희원, 한양대학교 공과대학 기계공학과

따라서 이러한 온도에 대한 정확한 정의를 표 1에 나타내었으며, 實用온도계의 종류와 특징에 대하여 표 2에서 설명하고, 제어하고자 하는 공간의 열손실이나 낭비를 최소화하기 위하여 많이 사용되는 센서의 종류와 특성을 기술하고자 한다.

표 1. 국제실용 온도눈금

정의정점(定義定點) 의 약칭	주 어 진 값	
	T_{68}	t_{68}
평형수소의 3중점 (重點)	13.81K	-259.34
33330.6pa에서의 평형수소의 비점*	17.042	-256.108
평형수소의 비점*	20.28	-252.87
네온의 비점*	27.102	-246.048
산소의 3중점	54.361	-218.789
아르곤의 3중점	83.798	-189.352
산소의 노점(露點)*	90.188	-182.962
물의 3중점	273.16	0.01
물의 비점	373.15	100
주석의 응고점	505.1181	231.9681
아연의 응고점	692.73	419.58
은의 응고점	1,235.08	961.93
금의 응고점	1,337.58	1,064.43

* 표준기압 101325 Pa 하에서

2. 온도센서의 안정성과 조건

2.1 온도센서의 안정성

실제로 경시변화가 없는 물질은 없으나, 온도센서의 경시변화가 어느 정도인지를 고려하여, 경시변화가 그 센서의 최소細分눈금(分解能)을 넘지않도록 해야한다. 그러나, 이보다 더 중요한 문제는 사용자가 어떠한 精度를 요구하느냐에 따라 다르다. 예를들면, 경시변화를 추상하여 1년에 1℃의 오차가 생기는 센서를 사용하여 0.1℃의 制御精度를 요구하는 장치를 조립한다는 것은 큰 실수이다. 그러나 이 센서를 1℃의 程度의 制御精度장치에 사용하면 매년 1회의 정기점검 때마다 교정하면 된다. 이 교정시간을 어떻게 평가하느냐로 센서에 대한 평가가 가능하다. 또 制御精度가

10℃정도일 경우에 이러한 센서를 사용한다는 것은 경제적 낭비일 것이 분명하다.

즉 安定度란 ‘長時間의 精度’를 의미하므로 요구하는 제어온도의 精度를 충분히 검토한후 선택하여야 한다.

2.2 온도센서의 조건

온도계측분야는 여러방면에 걸쳐 있고, 각종 산업에서도 많이 사용되고 있다. 또한 각각의 특성에 따라 적합한 것을 선택하면 되나, 온도센서는 주어진 조건내에서 정확한 신호를 검출해야 한다. 이러한 신호를 검출하기 위한 센서는 소형일수록 좋으나, 실제로는 소자 자체를 직접 측정대상에 접촉하는 경우보다 프로브에 삽입하여 耐水性, 耐藥品性, 耐壓性, 耐蝕性, 耐久性 등이 요구되는 장소에 사용하는 경우가 많으므로 소자특성 뿐만아니라 프로브도 아래 조건을 만족해야 한다.

1. 열용량이 작고, 소자에 빨리 열을 전달할 것
2. 열저항이 작고, 프로브와 소자의 열접촉성이 좋을 것
3. 환경조건—수분, 압력, 부식, 진동, 충격, 복사열, 전자파 등—에서 소자를 보호할 것
4. 프로브에서의 열방사가 없고, 피측정 대상에 따른 外亂이 없을 것
5. 제어계를 混亂시키지 않을 것
6. 유체 속에 삽입될 경우 흐름에 방해되지 않을 것
7. 전기적 노이즈를 발생하지 않을 것
8. 안정성을 저하시키지 않을 것
9. 洗精, 滅菌이 쉬울 것

3. 각종 온도센서

3.1 더미스터

3.1.1 더미스터의 특성

더미스터(Thermistor-Thermally Sensitive Resister)는 “온도에 민감한 저항기”라 불리는 반도체 소자이다. 초기에는 망간, 니켈, 코발트, 철, 구리 등의 금속 산화물의 燒結體

표 3. 더미스터의 응용과 특성

	주로 사용되는 종류	사용 목적	상온에서의 저항률	B 또는 급변온도의 온도계수	안정도 200℃에서의 1년간의 저항 변화	온도계수의 호트러짐	구 조	재료의 값 (상대값)
계 측 용	더미스터	온도계기 풍속, 진공계	0.1~10kΩcm	각 종	0.5%이내	± 2%	주로비드형	300
			1~100kΩcm	각 종	0.5%이내	± 2%	비드형	3000
직 열 형	더미스터 CTR	통신기 AGC 타임래그	0.1~100kΩcm	클수록 좋다. 상온에서 작다. 고온에서 크다.	2%이내	± 5%	0.3~0.6φ	100
							0.3~2φ	100
방 열 형	더미스터, CTR PTC	통신기 AGC	0.1~100kΩcm	클수록 좋다	2%이내	± 5%	0.3~0.4φ	100
							소형로드형	10
온 도 보 상 용	더미스터 PTC	트랜지스터 계측기 온도 보상	1~100Ωcm	각 종	5%이내	± 5%	비드형	50
			0.1~100kΩcm	각 종	10%이내	± 10%	디스크형 비드형 및 디스크형	10 50~100
기 동 기 (起動器)	더미스터 CTR	릴레이 동작 지연 서지방지	1~1000kΩcm	클수록 좋다	2%이내	± 5%	10φ이상	5
							의디스크형 또는비드형	100
온 도 보 호 용	CTR PTC	화재경보기	1~1000kΩcm	클수록 좋다	5%이내	10%	0.6~2φ	300
		과열보호	1~1000kΩcm				5~20φ	50
히 터 용	PTC	항온장치	10~1000Ωcm	클수록 좋다	5%이내	± 20%	주로 디스크형	10
한 류 용 (限流用)	PTC	컬러TV 차동소자(消磁) 과전류방지	1~1000Ωcm	각 종	5%이내	± 20%	주로 디스크형	10

표 4. 온도센서의 특성

항 목 센서의종류	변화율(보통의 사용)	사용 온도 범위	가 격	리드(lead)선, 기타
더미스터	4%℃ 10mV℃	- 100 ~ + 350℃	보통임	보통의 도선
백금 저항체	0.4%℃ 1 ~ 2mV℃	- 260 ~ + 1000℃	비싸다	3선식 또는 4선식
열전쌍(CA)	40μV℃	- 200 ~ + 1200℃	보통임	보통 도선

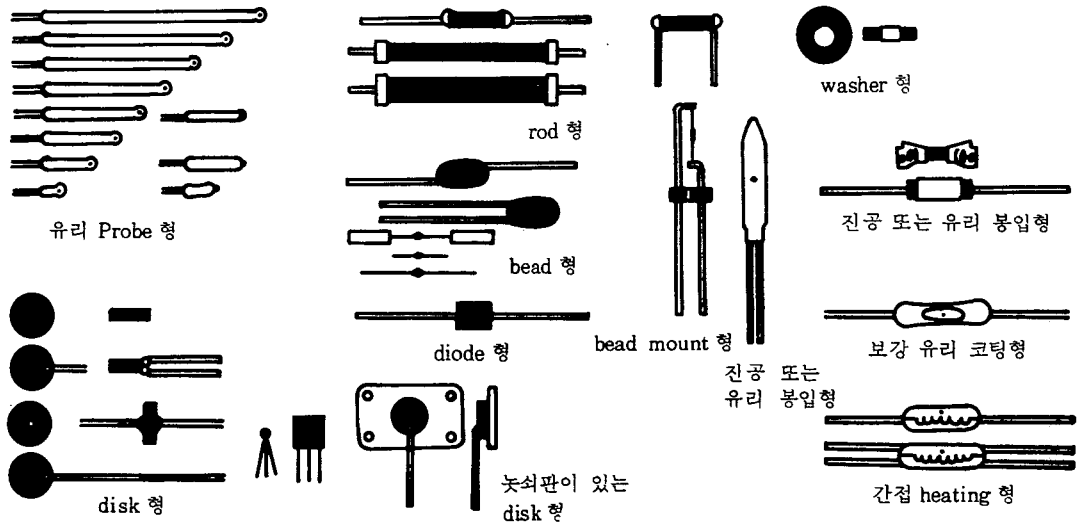


그림 1. 더미스터의 형태

표 5. 더미스터의 종류와 응용

동작영역	검출소자			회로소자			발열소자
	NTC	PTC	CTR	NTC	PTC	CTR	PTC
자가가열 (自己加熱)의 작은영역의 작은영역	온도계 온도조절기 미소온도차 온도변화의 검출블로미터	온도계 온도조절기 온도경보장치	온도스위치 온도조절기 온도경보장치	온도보상회로	온도보상회로		
전압 또는 전류의 극대값 부근	온도검출경보액면계	온도검출경보장치 액면계	온도스위치 온도경보장치 액면계	개입중단 방지회로 정전압회로	정전류회로 전류스위치	전압스위치 개입중단 방지회로 기억회로	과열방지장치
부성(負性) 저항영역 (자가가열의 큰영역)	풍속계 유량계 진공계 액면계	액면계	풍속계 유량계 액면계			스위치회로 발전기 역수기(逆數器) impulse 발생기	정온(定溫) 발열체 항온조
동작지연 특성	자동식온도 검출기	자동식온도 검출기	자동식온도 검출기	동작지연회로 서지방지회로 초저주파발전기	동작지연회로	동작지연회로 서지방지회로 초저주파발전기	
방열(放熱) 특성	풍속, 진공 액면 등의 검출		풍속, 진공 액면 등의 검출	자동이동조정기 정기스위치회로 초저주파발전기	스위치회로 초저주파발전기	스위치회로 초저주파발전기	

이었으나, 현재에는 표 3 과 같이 여러가지 더미스터의 응용과 특성이 있다. 이 더미스터는 다른 온도 센서에 비해 감도가 높고 값이 저렴하다(표 4).

계측용 더미스터는 檢出素子, 回路素子, 發熱素子 등으로 대별하는 방법과 온도 상승에 따라 저항값이 감소하는 NTC(Negative Temperature Coefficient Thermistor), 온도상승에 따라 저항값이 상승하는 PTC(Positive Temperature Coefficient Thermistor), 일정 온도의 범위에서 저항값이 갑자기 감소하는 CTR(Critical Temperature resistor) 등으로 구별하는 방법이 있으며, 표 5 에 자세하게 기술하였다.

일반적으로 사용되는 것은 NTC 형이며, 그 모양은 그림 1 과 같다. 그림 1 에 있는 디스크형도 온도계측에 사용하나, 耐環境性, 電極의 물성적인 문제 등으로 인해 사용범위가 한정되어 있는 반면에 가격이 비교적 저렴하므로 현재에도 많이 사용되고 있다.

비드형은 일반적으로 표면에 유리(Glass Coating)가 입혀져 있어 安定性, 再現性, 熱應答性, 互換性 등이 뛰어나고, 소형으로 열용량이 적으며, 고온에 견딜 수 있는 구조이다.

3.1.2 더미스터 분류와 결합방법

더미스터는 JIS C1611 에 따라 등급, 결합방법, 사용온도범위, 공칭 저항값 등으로 분류

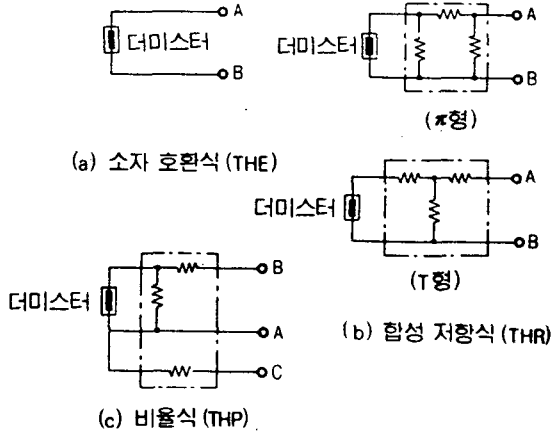


그림 2. 더미스터의 결합방식

표 6. 더미스터 결합방식의 특징

선택항목 방식	직 선 성	온도 계 수	외부도선의 연장(延長)	호환정밀도	호 환 케 이 스	가 격
소자호환식	회로상 자유 직 선성을 얻었을 때	크다	길게 연장하여 도 거의 영향이 없다.	넓은 온도 범위로 사용할 경우에는 높은 정도를 얻기 어렵다.	불필요	호환정도가 1.0급 보다 나쁜 경우에는 비교적 저렴하나, 그보다 정도가 좋은 경우에는 가격이 비싸다.
합성저항식	스판일부를 사용할 경우에 어렵다.	작다	호환용 저항과 더미스터와의 사이에서 연장하면 거의 영향이 없다.	온도범위에 관계없이 높은 정도가 얻어진다.	필요	호환정도가 1.0급 보다 나쁜 경우에는 비교적 높아지는데, 그보다 정도가 좋은 경우에는 소자호환식보다 가격이 싸다.
비 율 식	회로상 자유 직 선성을 얻었을 때	작다	위와 같다.	위와 같다.	필요	위 와 같다.

한다(부표참조).

더미스터의 등급은 0.3급, 0.5급, 1.0급 및 1.5급으로 이중에서 필요한 精度에 따라 선택 가능하며 등급이 낮을수록 값이 저렴하다.

결합방법은 그림 2와 같이 소자호환식, 합성저항식, 비율식 등이 있으며, 이들중 합성저항식은 高精度의 금속피막저항을 이용하여 특성을 얻으므로 0.3급까지 존재하며 精度에 비해 값이 싸다. 그러나 설계상의 문제때문에 소자호환식을 가장 많이 사용하나, 가격이 비싸며, 精度가 0.5급밖에 없다. 표 6은 각 방식의 선택기준을 표시한다.

3.1.3 온도조절장치의 구성

온도조절장치의 기본개념은 온도계와 같으나, 그림 3과 같은 설정기능이 추가된다. 더미스터의 온도검출회로는 브리지형으로 하고 기준쪽을 포텐셜미터, 볼륨 등으로 하여 가변설

정이 가능하도록 한다. 또한 더미스터쪽과 기준쪽의 전압이 같아지도록 제어할 때의 출력이 기본이다.

3.1.3.1 ON/OFF형 조절장치의 구성

ON/OFF형 조절기의 경우는 더미스터쪽과 기준쪽과의 차가 正(+)일 때 ON, 負(-)일 때 OFF가 되도록 브리지 뒤에 컴퍼레이터(Comparator)를 접속한다.

그림 4는 ON/OFF형 조절장치의 한 예이다. 그러나 ON/OFF가 너무 빈번하게 이루어지면 제어단(릴레이, 솔리드 릴레이 등)의 수명이나 노이즈가 발생할 수 있으므로, 그림 5와 같은 동작특새(Hysteresis)를 갖게 하여 동작시킨다.

이 동작특새를 동작감도라 하고, 이것은 그림 6과 같이 ON/OFF제어(2위치제어)의 리

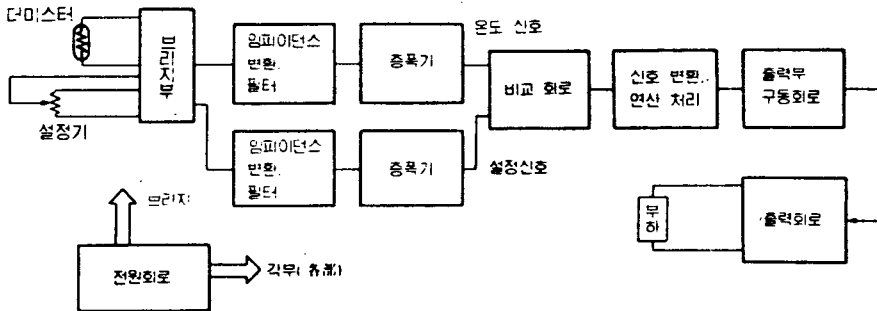


그림 3. 온도조절기의 구성

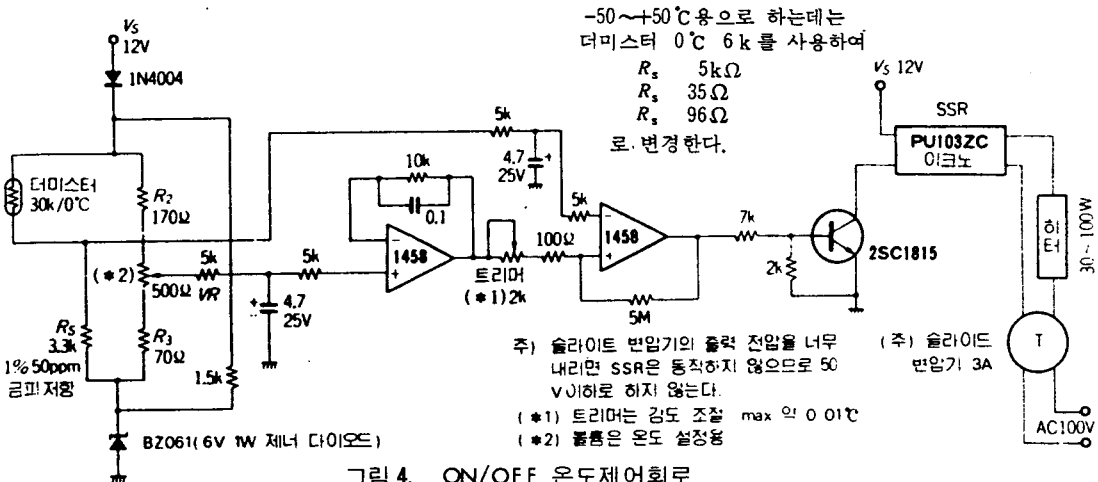


그림 4. ON/OFF 온도제어회로

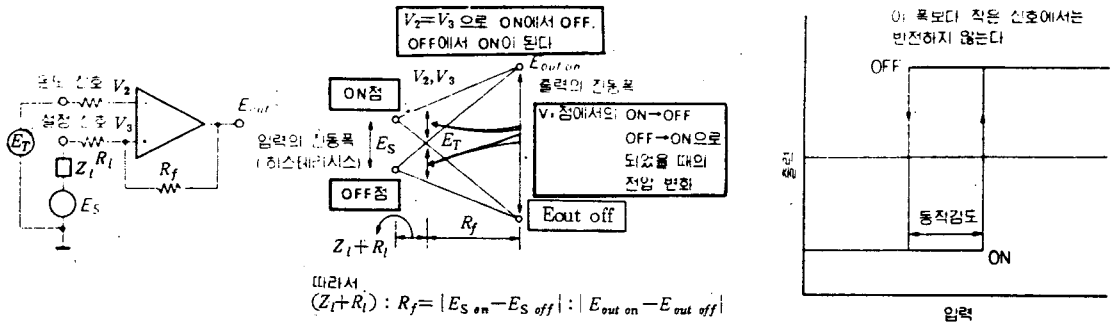


그림 5. Hysteresis

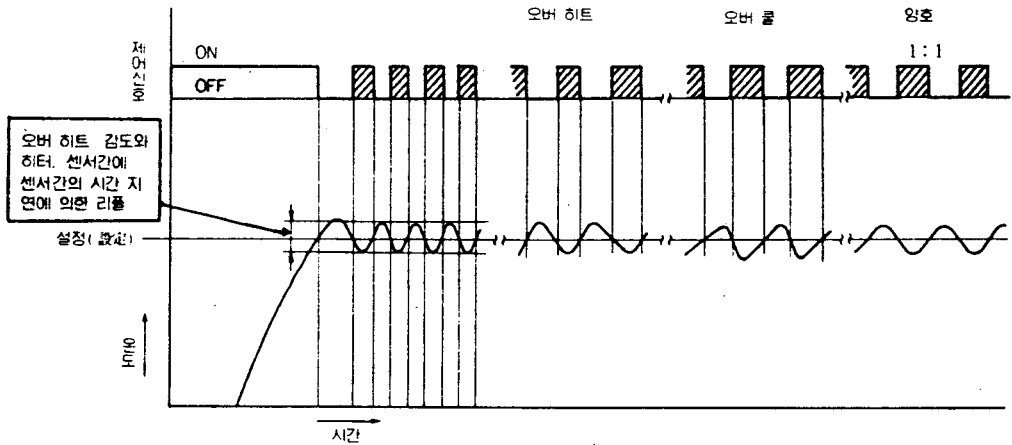


그림 6. ON/OFF 제어의 리플

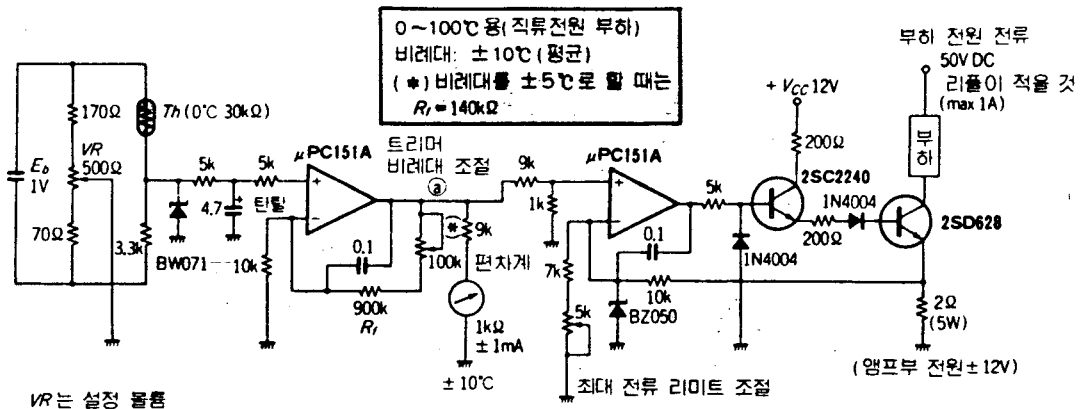
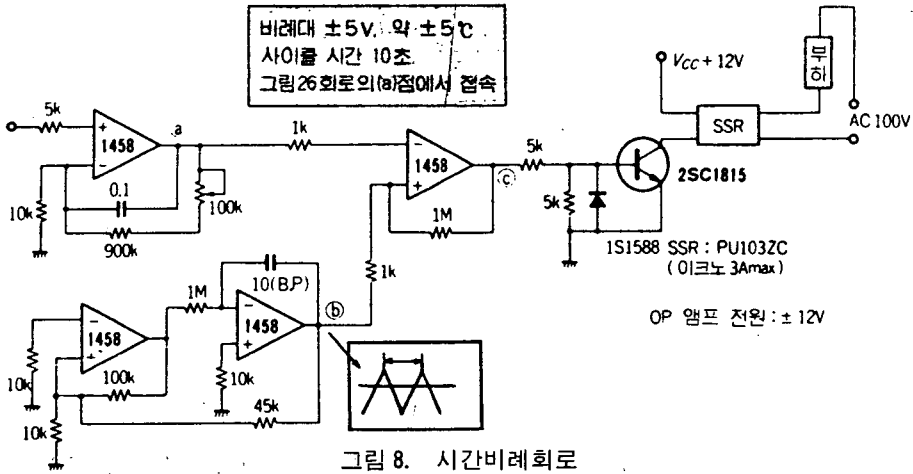


그림 7. 비례제어회로

플 요인이 되기도 한다.

일반적으로 ON/OFF 제어에서의 리플 발생 최대요인은 히터에 전력을 인가한 다음 더미스터 검출부에 열이 도달할 때까지의 시간 지연이다. 물론 그림 4와 같이 구성된 ON/OFF

제어방식에서는 동작감도보다 작은 리플에서는 작동되지 않아 오프셋(Offset) 오차를 발생하지 않으며, 제어단과 회로구성이 단순하게 되며 동작감도를 높여서 히터용량과 더미스터 위치를 적절히 선정하면 0.1°C 이하의



비례제어도 어렵지 않다.

3.1.3.2 비례제어 조절장치의 구성

이 장치는 그림 7과 같이 온도검출회로-브리지회로 등- 다음에 오는 회로가. 편차회로가 되는점이 ON/OFF 제어와 다르다. 즉 브리지 기준쪽(설정을 위해 가변으로 한다)과 더미스터쪽의 전압차가 제어전압이 되고 이것이 제어단의 드라이브 회로로 보내진다.

이 비례제어 방식에는 보통 아래와 같이 세 가지 방법이 응용된다.

1. 시간요소로 변환해서 이용하는 시간비례 (그림 8)

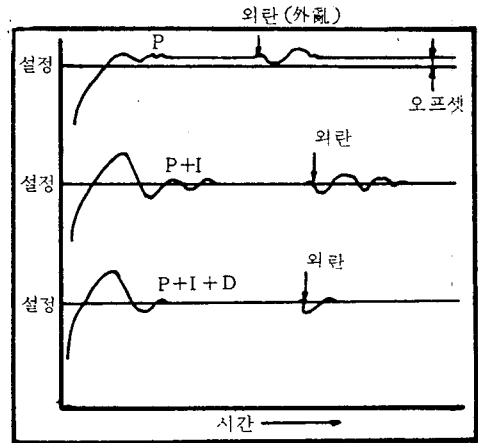
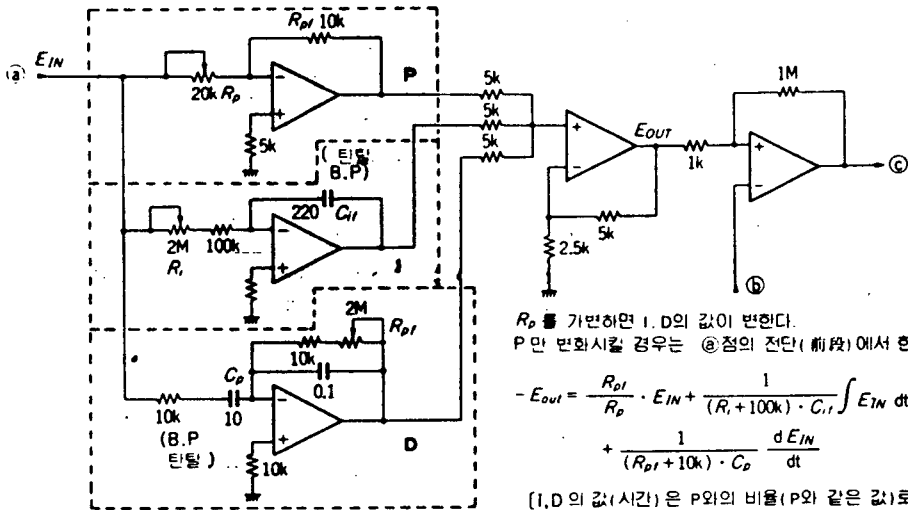


그림 9. 제어방식에 따른 응답성



(입출력 회로는 그림 27 참조)

그림 10. PID제어회로 (PID부분만)

2. 펄스 수로 변환하는 펄스비례
 3. 전원의 導通位相角을 제어하는 위상비례
 비례제어의 경우는 그림 9와 같이 설정값의 편차에 따라 편차에 비례한 전압이 발생하므로 제어의 안정성이 떨어진다. 따라서 이와같은 비례제어의 단점을 보강한 회로로서 편차를 적분해서 설정값이 안정되도록 하는 비례적분제어—PI 제어—가 있으나 적분동작은 편차를 시간요소로 적분하므로 안정시간이 길어지거나 갑작스런 外亂에 대처할 수 없다. 따라서 이러한 단점을 보완한 제어회로가 비례적분미분제어—PID제어—이다. 즉 PID 제어는 오프셋(Off-Set)이나 오버랩(Over-Lap) 등을 없앨 수 있는 장점이 있으며, 그림 10에 PID 제어회로의 예가 있다.

3.1.4 더미스터센서로 구할 수 있는 精度

온도계측의 精度는
 1. 각 부품에 따른 精度
 2. 회로 조합에 의한 精度
 3. 각종 조건(측정조건, 주위환경조건)에 의한 精度
 등이 있으나, 실제의 精度는 이들의 상호 간섭에 의해 발생되고 있다.

3.2 열전쌍 온도센서

열전쌍은 공업용온도계로서 가장 널리 사용되고 있는 온도센서이다. 서로 다른 금속을 그림 11(a)와 같이 접합하여 접합점에 열을 가하면 異金屬 사이의 저항차이에 따라 열전류가 발생되며, 이 열전효과를 제백(Seebeck) 효과라 하며 그림 11(b)와 같이 절단하면 절단점에서는 열기전력이 발생하고, 그 크기는 異金屬의 종류와 양 접점의 온도차에 의해서만 정해지고, 금속의 모양이나 크기 도중의 온도변화에는 영향을 받지 않는다.

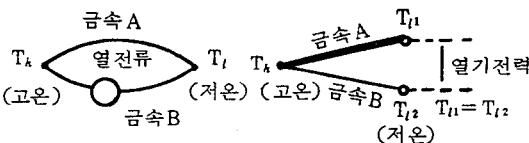


그림 11. (a) Seebeck 효과 (b) 열기전력의 발생

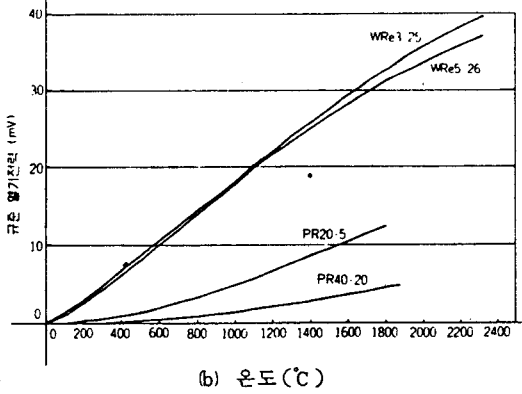
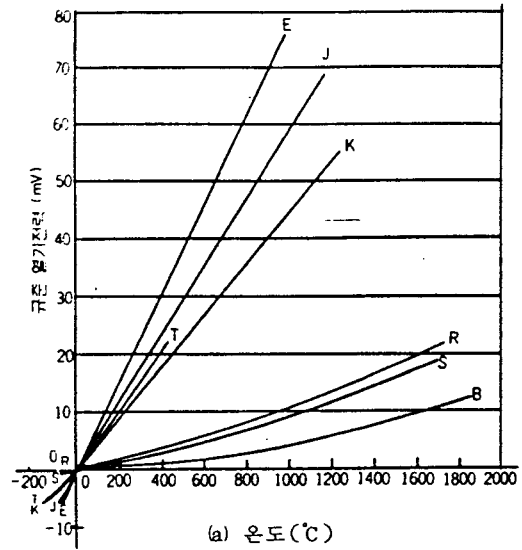


그림 12. 열전쌍의 열기전력 특성

3.2.1 열전쌍의 종류와 선정

열전쌍 素線으로서 요구되는 조건은

1. 열기전력이 클 것
2. 온도-열기전력 특성의 분산이 작고, 호환성일 것
3. 열기전력 특성이 연속적이고, 직선적일 것
4. 열적, 화학적, 기계적으로 안정하고, 경시변화가 적을 것
5. 가공이 쉬울 것
6. 가격이 저렴할 것

등이 있으며, 실용화되어 있는 열전쌍은 JIS C 1602-1981의 표 7과 같이 B, R, S, K, E, J 및 T형으로 이들에 대한 열기전력 특성은 그

표 7. 열전쌍의 구성재료와 특성

열전쌍 종류의 기호	구 성 재 료		특 징	결 점
	+	-		
B	로듐 30 % 나머지 백금	로듐 6 % 나머지 백금	<ol style="list-style-type: none"> 1700 °C까지의 고온측정 가능 R에 비해 안정성이 좋음 R에 비해 환원성 분위기 중에서의 열화가 작음 보상 도선이 열화가 작음 	<ol style="list-style-type: none"> R에 비해 단단하여 가공이 어렵다. 가격이 고가
R	로듐 13 % 나머지 백금	백 금	<ol style="list-style-type: none"> 정도가 높고 분산이나 열화도 적다. 내약품성 내산화성 양호 표준용으로서 사용 가능 1000 °C이상의 고온 측정이 가능 전기 저항이 낮다. 	<ol style="list-style-type: none"> 잠도가 좋지 않다. 기전력 특성의 직선성이 좋지 않다. 환원성 분위기에 약하다. 0 °C이하의 저온 측정 불가능 가격이 고가
(PR)	로듐 12.8 % 나머지 백금	백 금		
S	로듐 10 % 나머지 백금	백 금	<ol style="list-style-type: none"> 1000 °C이상의 고온 측정이 가능 전기 저항이 낮다. 	<ol style="list-style-type: none"> 0 °C이하의 저온 측정 불가능 가격이 고가
K (CA)	크롬 10 % 나머지 니켈 (크로멜)	알루미늄, 망간, 규소 등 소량 나머지 니켈 (황산알루미늄)	<ol style="list-style-type: none"> 열기전력 특성의 직선성이 좋다. 1000 °C이하에서 내산화성 양호 비(卑)금속 열전쌍으로서서는 안정성 양호 	<ol style="list-style-type: none"> 환원성 분위기에 약하다. 귀금속 열전쌍에 비교해서 경시변화가 크다. 비(卑)금속 열전쌍으로서서는 고가 전기저항이 있다.
E (CRC)	크롬 10 % 나머지 니켈 (크로멜)	니켈 45 % 나머지 구리 (콘스탄탄)	<ol style="list-style-type: none"> 감도가 현재 사용의 열전쌍 중에서 최고 J에 비교해서 내식 내열성 양호 K에 비교해서 저렴 양각비자성(量脚非磁性) 	<ol style="list-style-type: none"> 환원성 분위기에 약하다. 전기저항이 높다.
J (IC)	철	니켈 45 % 나머지 구리 (콘스탄탄)	<ol style="list-style-type: none"> 환원성 분위기에서 사용 가능 K보다 2 %정도 감도가 높다. K, E에 비교해서 저렴 	<ol style="list-style-type: none"> 특성에 분산이 크다. 철이 녹슬기 쉽다.
T (CC)	구 리	니켈 45 % 나머지 구리 (콘스탄탄)	<ol style="list-style-type: none"> 저렴해서 입수가 용이함 극저온 측정이 가능 가느 선 가공이 용이함 	<ol style="list-style-type: none"> 최고 사용온도가 낮다. 동이 산화하기 쉽다. 전기저항이 +-에서 크게 다르다.

* IEC 및 JIS (1981)에서 정해진 기호. 괄호내는 구 JIS 기호

표 8. 특수한 열전쌍의 종류와 성능

종 류	구 성 재 료		사용온도 범위	특 징
	+각(脚)	-각(脚)		
구리-금 코발트 (Cu-Au 97. 89 Co 2. 11)	구 리	코발트 2.11%를 포함하는 금·코발트합금	4~100 K	<ul style="list-style-type: none"> •저온 특성이 좋다. •절대 0도 부근까지 측정 가능
크로멜-금·철 (Cr-Au 99. 93 Fe 0.07)	니켈 및 크롬을 주로한 합금	철 0.07%를 포함하는 금·철 합금	1~300 K	<ul style="list-style-type: none"> •극저온 영역의 열기전력이 매우 안정 •열기전력이 비교적 크다. •자계(磁界)의 영향이 크다.
노멀·실버-금·철 (Ag 99. 63. Au 0.37-Au 99. 93 Fe 0.07)	0.37%를 포함한 은·합금	철 0.07%를 포함하는 금·철 합금	4~20 K	<ul style="list-style-type: none"> •자계의 영향이 작다.
백금·로듐 20 -백금·로듐 5 (PR 20-5)	로듐 20%를 포함한 백금·로듐합금	로듐 5%를 포함하는 백금·로듐합금	300~1500 °C	<ul style="list-style-type: none"> •상온의 열기전력이 작다. •그 밖에는 R.S 열전쌍과 같다.
이리듐 -이리듐·로듐 40 (Ir-IrRh 50)	이 리 듐	로듐 40%를 포함하는 이리듐·로듐합금	1100~2000 °C	<ul style="list-style-type: none"> •열기전력이 약간 작다. •진공, 불활성 기체 및 약간 산화성인 분위기에 적합하다. •매우 약해서 다루기가 어렵다. •분산이 크고 가격이 고가 •이리듐의 증발에 의한 오염이 있다.
이리듐 -이리듐·로듐 50 (Ir-IrRh 50)	이 리 듐	로듐 50%를 포함하는 이리듐·로듐합금		
이리듐 -이리듐·로듐 60 (Ir-IrRh 60)	이 리 듐	로듐 60%를 포함하는 이리듐·로듐합금		
텅스텐·레늄 5 -텅스텐·레늄 26 (WRe 5-26)	레늄 5%를 포함한 텅스텐·레늄합금	레늄 26%를 포함하는 텅스텐·레늄합금	0~2400 °C	<ul style="list-style-type: none"> •환원성 분위기, 불화성 가스 수소 가스에 적합하다. •산화성 분위기에 약하다. •열기전력은 비교적 크다. •약하다.
텅스텐·레늄 3 -텅스텐·레늄 25 (WRe 3-25)	레늄 3%를 포함한 텅스텐·레늄합금	레늄 25%를 포함하는 텅스텐·레늄합금		

림 12(a)에 나타내었다. 또한, 그림 12(b)와 표 8은 특수한 열전쌍에 대해서 설명하고 있다.

3. 2. 2 열전쌍의 배선방법
열전쌍의 열기전력은 측온접점과 기준접점

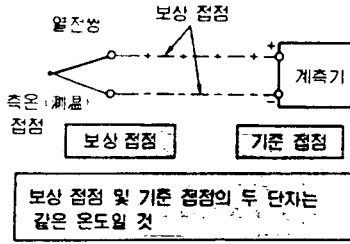


그림 13. 열전쌍의 배선방법

과의 온도차에 의해 정해지나, 온도측정시 열전쌍단자-보상점점-에서 기준점점까지의 거리가 멀 때에는 열전쌍 자체를 사용하는 경우보다 보통의 銅線을 이용하여 접속하는 경우가 많다. 이때 양접점 사이에 온도차가 있으면 새로운 열전쌍 회로가 형성되어 오차가 발생한다. 따라서 보상점점과 기준점점 사이의 온도변동을 보상하기 위해 그림 13처럼 90~150℃이하의 온도에서 열전쌍과 거의같은 열기전력특성을 가진 보상도선을 사용하면, 열전쌍에서 기준점점까지 열전쌍을 연장한 것과

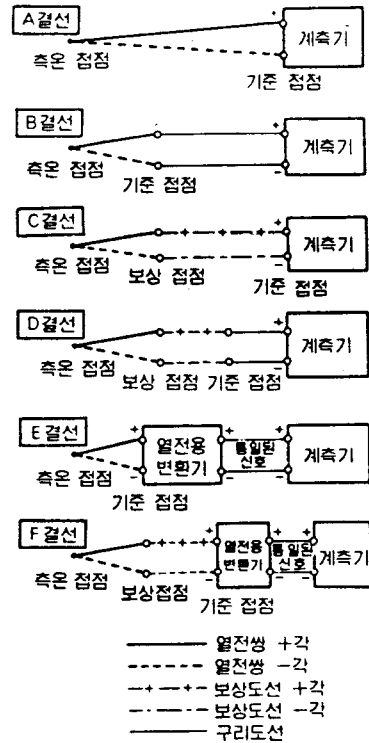


그림 14. 열전쌍의 회로 결선방법

표 9. 보상도선의 특징

	특 징	결 정
익 스텐 션 형 (Extension) (KX, EX, JX, TX)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 열전쌍과 같은 재질을 사용하므로, 넓은 온도범위에 걸쳐 높은 정도를 유지할 수 있다. 2. 위와 같은 이유에서 오차곡선의 직선성이 양호하다. 3. 절연 재료마저 선택하면, 사용 온도범위를 필요에 따라 확대할 수 있다. 4. 보상 집점에서 트러블을 발생하는 일이 없다. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 가격이 고가이다.
컴 펜 세 이 션 형 (Compensation) (BX, RX, SX, WX, VX)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 저렴하다. 2. 사용 온도범위를 좁게하고 재질을 선정하면 익스텐션형과 같은 정도의 고정도가 얻어진다. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 열전쌍과 다른 재료로 인해 넓은 온도범위에 걸쳐 오차를 적게 유지할 수 없다. 2. 오차곡선의 반곡도가 크고, 온도에 따라서는 오차값이 변동한다. 3. 사용 온도범위가 제약된다. 4. 보상 집점에서 다른 종류의 금속이 접촉하므로 트러블의 가능성이 있다.

표 10. 보상도선의 종류와 규격

조합에서 사용한 연 선쌍의 종류	보상도선의 종류		사용구분 및 허용치에 의한 구분비	구 성 제 료		사용온도 범 위 (°C)	열진쌍과 접속점의 온도 (°C)	보상 도선의 허용차 (°C)	왕복선 의 전기 저항 (Ω)	표면 피복 의 재질	심선피복 의 재질		비 고	
	기 호	구 기 호		+ 각 (脚)	- 각 (脚)						+	-		
B	BX-G	-	일반용 보통급	구 리	구 리	0~90	0~100	-11	0.05	회색	적색	백색	쿠파세이선형	
R	RX-G	-	일반용 보통급	구 리	구 리 및 니켈 을 주로 한 합금	0~90	0~150	+3 ²⁾	0.1			적색	백색	쿠파세이선형
	SX-G													
S	RX-H	-	내열용 보통급	구 리	구 리 및 니켈 을 주로 한 합금	0~90	0~150	-7	1.5			회색	백색	쿠파세이선형
	SX-H													
K	KX-G	WCA-G	일반용 보통급	니켈 및	니켈 및	-20~90	-20~150	±2.5	1.5				이스펜선형	
	KX-GS	WCA-GS	일반용 정밀급	크롬을 주	니켈을 주로	-20~90	-20~150	±1.5						
	KX-H	WCA-H	내열용 보통급	로한 합금	한 합금	0~150	-20~150	±2.5						
	KX-HS	WCA-HS	내열용 정밀급			0~150	-20~150	±1.5						
	WX-G	WCA-G	일반용 보통급	질	구 리 및 니켈을 주로한 합금	-20~90	-20~100	±3.0						
	WX-H	WCA-H	내열용 보통급			0~150	-20~100	±0.5						
E	VX-G	WCA-G	일반용 보통급	구 리	구 리 및 니켈을 주로한 합금	-20~90	-20~100	±0.8	1.5	자색	적색	백색	이스펜선형	
	EX-G	WCRC-G	일반용 보통급	니켈 및 주	니켈을	-20~90	-20~100	±2.5						
J	EX-H	WCRC-H	내열용 보통급	크롬을 주	구 리 및 니켈을 주로한 합금	0~150	-20~150	±2.5	0.8	황색	적색	백색	이스펜선형	
	JX-G	WIC-G	일반용 보통급			-20~90	-20~150	±0.8						
T	JX-H	WIC-H	내열용 보통급	질	구 리 및 니켈을 주로한 합금	0~150	-20~150	±2.0	0.8	갈색	적색	백색	이스펜선형	
	TX-G	WCC-C	일반용 보통급	구 리	구 리 및 니켈을 주로한 합금	-20~90	-20~150	±1.0						
CC	TX-GS	-	일반용 정밀급	구 리	구 리 및 니켈을 주로한 합금	0~150	-20~150	±2.0	0.8				이스펜선형	
	TX-H	WCC-H	내열용 보통급			0~150	-20~150	±1.0						
	TX-HS	-	내열용 정밀급			0~150	-20~150	±1.0						

주 1) BX-G는 +측과 -측에 동일한 재질의 심선 구리를 사용하고 있으므로 오차의 허용치는 규정하지 않는다.
 주 2) 열진쌍 R 및 S의 규준 열진쌍 기전력 특성이 비직선성이므로 실제의 온도측정 오차를 표시하는 것은 아니다.
 주 3) 공정 단면적 1.25mm² 이상의 것에 대하여 적용한다.

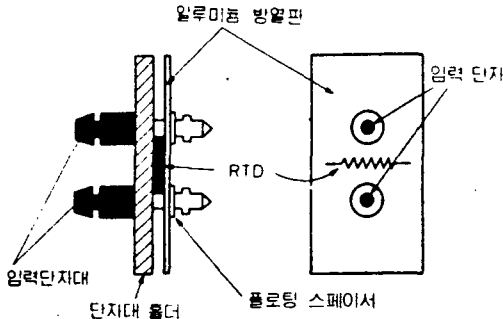


그림 15. 온도 보상용 기준 접점단자

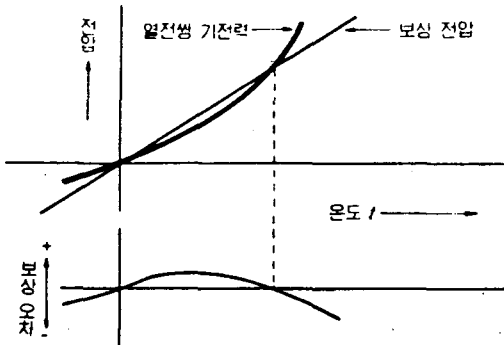


그림 16. 열전쌍의 열기전력 특성

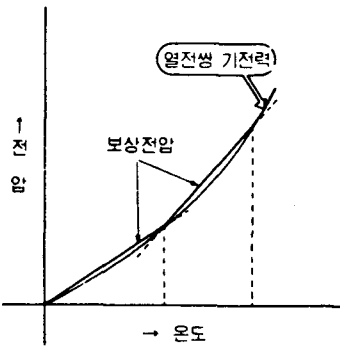


그림 17. 열기전력의 절선 보상방법

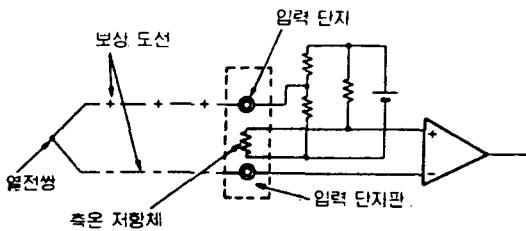


그림 18. 기준접점 보상회로

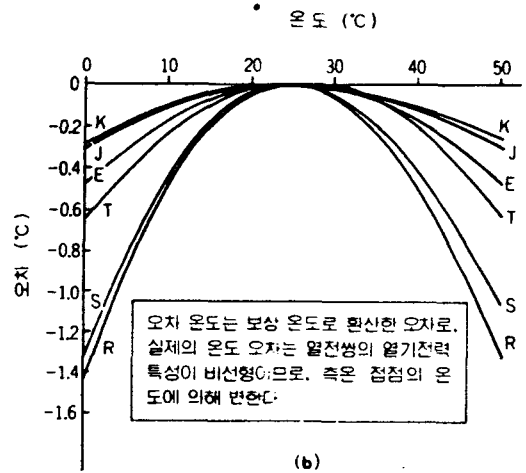
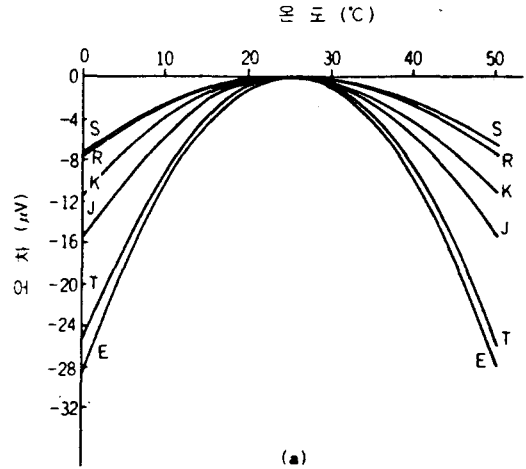


그림 19. 직선근사에 따른 기준접점 보상오차

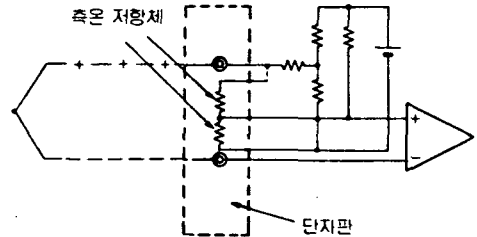


그림 20. 비직선화 보상회로

같다.

열전쌍의 배선방법은 열전용 변환기, 銅線 보상도선 등을 사용하여 결선하며 그 방법은 그림 14에 나타내었다.

3. 2. 3. 보상도선

보상도선은 열전쌍과 같은 재질을 사용하는

익스텐션(extension)형과 보상도선은 사용온도 범위에서 열전쌍의 열기전력 특성과 거의 같은 代用합금을 사용한 콤펜세이션(compensation)형이 있으며, 표 9에 익스텐션형과 콤펜세이션형의 특성을 나타내었다. 각각의 열전쌍에 대한 보상도선은 표 10에 나타내었다. 특히, 보상도선의 電磁誘導雜音의 영향을 줄이기 위해서는

1. 보상도선을 誘導源에서 멀리할 것
2. +, - 두 선을 꼬아서 사용할 것
3. 보상도선을 철재관 등에 넣어서 사용할 것

3.2.4 기준점점의 보상

열전쌍의 열기전력은 측온점점과 기준점점의 온도차로 정해지므로, 측온점점의 온도를 측정하기 위해서는 기준점점 -冷接點-의 온도를 일정하게 하여야 하며 통상 0℃의 온도를 기준으로 한다. 과거에는 얼음 등을 이용하여 0℃의 냉점점을 만들었으나, 현재는 회로적인 연산으로 처리 가능하다.

공업계측에서는 측온저항체나 다이오드 등으로 기준점점단자(그림 15)의 온도를 측정하고, 그 온도에 상당하는 전압을 열전쌍의 기전력에 가산하여 보상하는 보상식 기준점점이 사용되고 있다.

열전쌍은 그림 16 처럼 비선형적인 열기전력을 발생한다. 따라서 열전쌍의 오차를 보상하기 위한 방법으로는 그림 17 과 같은 折線調査方法이 있다. 그림 18은 측온저항체를 이용한 기준점점 보상의 예이며, 보상에 따른 기준점점의 보상오차는 0~50℃에서 측정할 경우 그림 19와 같은 특성을 나타낸다. 따라서 기준점점 보상회로도 열기전력특성에 따라 비직선화하여야 하고, 이와같은 비직선화 보상회로에 대한 회로는 그림 20에 나타낸다.

3.3 측온저항체 온도센서

일반적으로 도체의 전기저항은 온도에 따라 변화한다. 따라서 온도에 따른 저항값을 미리 알고 있으면 도체의 저항값을 측정하여 온도를 알 수 있다.

표 11. 순금속의 저항특성

금 속	18℃의저항률 ($\mu\Omega\text{-cm}$)	온도 계 수 (%/℃)
은	1.6	0.410
구 리	1.7	0.433
금	2.3	0.400
백 금	10.8	0.392
니 켈	8~11	0.675
철	9~15	0.66
알루미늄	3.2	0.445
탄 탈	15	0.347

전기저항의 변화를 이용한 온도센서로는 도체 이외에는 더미스터, 포지스터, 게르마늄, 실리콘 등의 반도체로 사용되고 있으며, 이들을 전부 총칭하여 저항식 측온저항체(RTD-Resistance Thermal Detector)라 한다.

3.3.1 측온저항체의 구비조건

측온저항체가 갖추어야 할 조건은

1. 저항온도 계수가 클 것
2. 저항온도 계수의 분산이 적고, 호환성이 있을 것
3. 온도-저항특성이 직선적일 것
4. 열적, 화학적, 기계적으로 안정하고, 경시변화가 적을 것
5. 사용온도 범위가 넓을 것
6. 제작이 용이할 것
7. 저렴할 것

등이 있다.

순 금속의 저항온도계수는 표 11에 나타나 있으며, 금속은 순도가 높아질수록 저항온도계수가 크고, 온도-저항특성이 일정하다.

3.3.2 측온저항체의 종류와 선정법

가장 많이 사용되는 측온저항체로는 백금, 구리, 니켈 등이 사용되고 있다. 그림 21은 측온저항체의 온도-저항특성을 나타내고, 표 12는 특징을 설명한다.

백금 측온저항체에 사용하는 백금선은 금속 중에 순도 99.999% 이상의 것이다. 따라서 특성이 안정하므로, 고정도의 측정이 요구되는 온도계측에 널리 사용되고 있다. 현재 JIS C

표 12. 측온저항체의 종류와 특성

종 류	구 성 재 료	사 용 온 도 범 위	특 징
백금 측온 저항체	백 금	-200 ~ 640°C	<ul style="list-style-type: none"> ○ 사용범위가 넓다. ○ 정도, 재현성이 좋다. ○ 가장 안정하고 표준용으로도 사용된다. ○ 20K 이하에서는 측정감도가 나쁘다. ○ 자계(磁界)의 영향이 크다.
동 측온 저항체	동	0 ~ 120°C	<ul style="list-style-type: none"> ○ 사용온도 범위가 좁다.
니켈 측온 저항체	니 켈	-50 ~ +300°C	<ul style="list-style-type: none"> ○ 사용온도 범위가 좁다. ○ 온도계수가 크다.
백금 코발트 측온 저항체 Pt-Co	코발트 0.5 at %를 포함하는 백금 코발트 합금	2 ~ 300 K	<ul style="list-style-type: none"> ○ 재현성이 좋다. ○ 20K 이하에서도 감도가 좋다. ○ 자계의 영향이 크다. ○ 실온까지 사용된다.

표 13. 백금 측온저항체의 규격

기 호	공 칭 저항값 $\Omega^{1)}$	사 용 온 도 범 위	계 급	전기저항의 허용차 (Ω)	온도의 허용차 $^{\circ}\text{C}^{2)}$	규정전류 (mA)
Pt 100	100	저온용(L) -200 ~ +100°C	0.15	± 0.06	$\pm(0.15 + 0.0015 t)$	2
		중온용(M) 0 ~ 350°C	0.2	± 0.06	$\pm(0.15 + 0.002 t)$	
		고온용(H) 0 ~ 500°C	0.5	± 0.12	$\pm(0.3 + 0.005 t)$	2, 5, (10) ³⁾
(Pt 50)	(50)	저온용(L) -200 ~ +100°C	0.15	± 0.03	$\pm(0.15 + 0.0015 t)$	2
		중온용(M) 0 ~ 350°C	0.2	± 0.03	$\pm(0.15 + 0.002 t)$	
		고온용(H) 0 ~ 500°C	0.5	± 0.06	$\pm(0.3 + 0.005 t)$	2, 5, (10)

- 주 1) 공칭 저항값은 0°C에서의 저항 소자 저항의 공칭치로 되어있다.
 2) t 는 +, -의 기호에 무관계한 온도(°C)로 표시되는 측정온도이다.
 3) Pt 50 및 규정 전류 10 mA는 장래 폐지한다.

1604-1981에는 측온저항체로 유일하게 백금 측온저항체만이 규격화되어 있다. 표 13. 14에 규정된 백금 측온저항체의 공칭저항, 사용

온도범위, 허용오차 등의 규격과 표준저항 소자의 저항특성이 표시되어 있다. 백금선의 순도기준이 되는 0°C와 100°C의 저항값 비

표 14. 백금 측온저항체의 저항특성 (JIS C 1604-1981)

단위 : (Ω)

온도 $^{\circ}\text{C}$	-100	-0	온도 $^{\circ}\text{C}$	0	100	200	300	400	500	600	온도 $^{\circ}\text{C}$
-0	59.57 4.13	100.00 3.98	0	100.00 3.97	139.16 3.85	177.13 3.73	213.93 3.61	249.56 3.50	284.02 3.38	317.28 3.26	0
-10	55.44 4.15	96.02 4.00	10	103.97 3.96	143.01 3.84	180.86 3.72	217.54 3.61	253.06 3.49	287.40 3.37	320.54 3.24	10
-20	51.29 4.18	92.02 4.01	20	107.93 3.95	146.85 3.82	184.58 3.71	221.15 3.59	256.55 3.47	290.77 3.35	323.78 3.24	20
-30	47.11 4.20	88.01 4.02	30	111.88 3.93	150.67 3.82	188.29 3.70	224.74 3.58	260.02 3.47	294.12 3.35	327.02	30
-40	42.91 4.23	83.99 4.03	40	115.81 3.92	154.49 3.80	191.99 3.68	228.32 3.57	263.49 3.45	297.47 3.33	330.24	40
-50	38.68 4.26	79.96 4.05	50	119.73 3.91	158.29 3.79	195.67 3.68	221.89 3.56	266.94 3.44	300.80 3.32	-	50
-60	34.42 4.30	75.91 4.06	60	123.64 3.90	162.08 3.78	199.35 3.66	235.45 3.54	270.38 3.42	304.12 3.31	-	60
-70	30.12 4.32	71.85 4.08	70	127.54 3.88	165.86 3.77	203.01 3.65	238.99 3.54	273.80 3.42	307.43 3.29	-	70
-80	25.80 4.34	67.77 4.09	80	131.42 3.88	169.63 3.75	206.66 3.64	242.53 3.52	277.22 3.41	310.72 3.29	-	80
-90	21.46 4.32	63.68 4.11	90	135.30 3.86	173.38 3.75	210.30 3.63	246.05 3.51	280.63 3.39	314.01 3.27	-	90
-100	17.14	59.57	100	139.16	177.13	213.93	249.56	284.02	317.28	-	100

(a)^{b)} 규준 저항 소자의 R_t 의 값 (R_0 100 Ω)

단위 : (Ω)

온도 $^{\circ}\text{C}$	-100	-0	온도 $^{\circ}\text{C}$	0	100	200	300	400	500	600	온도 $^{\circ}\text{C}$
-0	29.78 ₅ 2.06 ₅	50.00 1.99	0	50.00 1.98 ₅	69.58 1.92 ₅	88.56 ₅ 1.86 ₅	106.96 ₅ 1.80 ₅	124.78 1.75	142.01 1.69	158.64 1.63	0
-10	27.72 2.07 ₅	48.01 2.00	10	51.98 ₅ 1.98	71.50 ₅ 1.92	90.43 1.86	108.77 1.80 ₅	126.53 1.74 ₅	143.70 ₅ 1.68 ₅	160.27 1.62	10
-20	25.64 ₅ 2.09	46.01 2.00 ₅	20	53.96 ₅ 1.97 ₅	73.42 ₅ 1.91	92.29 1.85 ₅	110.57 ₅ 1.79 ₅	128.27 ₅ 1.73 ₅	145.38 ₅ 1.67 ₅	161.89 1.62	20
-30	23.55 ₅ 2.10	44.00 ₅ 2.01	30	55.94 1.96 ₅	75.33 ₅ 1.91	94.14 ₅ 1.85	112.37 1.79	130.01 1.73 ₅	147.06 ₅ 1.67 ₅	163.51	30
-40	21.45 ₅ 2.11 ₅	41.99 ₅ 2.01 ₅	40	57.90 ₅ 1.96	77.24 ₅ 1.90	95.99 ₅ 1.84	114.16 1.78 ₅	131.74 ₅ 1.72 ₅	148.73 ₅ 1.66 ₅	165.21	40
-50	19.34 2.13	39.98 2.02 ₅	50	59.86 ₅ 1.95 ₅	79.14 ₅ 1.89 ₅	97.83 ₅ 1.84	115.94 ₅ 1.78	133.47 1.72	150.40 1.66	-	50
-60	17.21 2.15	37.95 ₅ 2.02 ₅	60	61.82 1.95	81.04 1.89	99.67 ₅ 1.83	117.72 ₅ 1.77	135.19 1.71	152.06 ₅ 1.65 ₅	-	60
-70	15.06 2.16	35.92 ₅ 2.04	70	63.77 1.94	82.93 1.88 ₅	101.50 ₅ 1.82 ₅	119.49 ₅ 1.77	136.90 1.71	153.71 ₅ 1.64 ₅	-	70
-80	12.90 2.17	33.88 ₅ 2.04 ₅	80	65.71 1.94	84.81 ₅ 1.87 ₅	103.33 1.82	121.26 ₅ 1.76	138.61 1.70 ₅	155.36 ₅ 1.64 ₅	-	80
-90	10.73 2.16	31.84 2.05 ₅	90	67.65 1.93	86.69 1.87 ₅	105.15 1.81 ₅	123.02 ₅ 1.75 ₅	140.31 ₅ 1.69 ₅	157.00 ₅ 1.63 ₅	-	90
-100	8.57	29.78 ₅	100	69.58	88.56 ₅	106.96 ₅	124.78	142.01	158.64	-	100

(b)^{b)} 규준 저항 소자의 R_t 의 값 (R_0 50 Ω)

표 15. 백금 촉온저항체의 R_t/R_0 의 값 (JIS C 1604-1981)

온도 $^{\circ}\text{C}$	R_t/R_0	온도 $^{\circ}\text{C}$	R_t/R_0	온도 $^{\circ}\text{C}$	R_t/R_0	온도 $^{\circ}\text{C}$	R_t/R_0	온도 $^{\circ}\text{C}$	R_t/R_0
-200	0.1714	-30	0.8801	140	1.5449	310	2.1754	480	2.7722
-190	0.2146	-20	0.9202	150	1.5829	320	2.2115	490	2.8063
-180	0.2580	-10	0.9602	160	1.6208	330	2.2474	500	2.8402
-170	0.3012	0	1.0000	170	1.6586	340	2.2832	510	2.8440
-160	0.3442	10	1.0397	180	1.6963	350	2.3189	520	2.9077
-150	0.3868	20	1.0793	190	1.7338	360	2.3545	530	2.9412
-140	0.4291	30	1.1188	200	1.7713	370	2.3899	540	2.9747
-130	0.4711	40	1.1581	210	1.8086	380	2.4253	550	3.0080
-120	0.5129	50	1.1973	220	1.8458	390	2.4605	560	3.0412
-110	0.5544	60	1.2364	230	1.8829	400	2.4956	570	3.0743
-100	0.5957	70	1.2754	240	1.9199	420	2.5306	580	3.1072
-90	0.6368	80	1.3142	250	1.9567	420	2.5655	590	3.1401
-80	0.6777	90	1.3530	260	1.9935	430	2.6002	600	3.1728
-70	0.7185	100	1.3916	270	2.0301	440	2.6349	610	3.2054
-60	0.7591	110	1.4301	280	2.0666	450	2.6694	620	3.2378
-50	0.7996	120	1.4685	290	2.1030	460	2.7038	630	3.2702
-40	0.8399	130	1.5067	300	2.1393	470	2.7380		

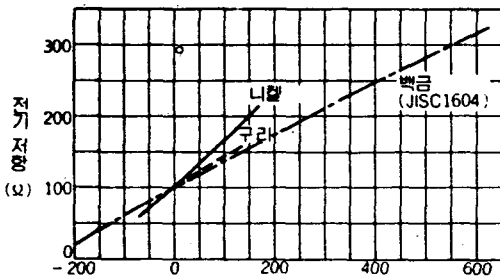


그림 21. 촉온저항체의 온도-저항 특성

R_{100}/R_0 은 표 15와 같이 1.3916이며 단, 국제규격인 IEC (국제전기표준회의) 규격에서의 저항값 비는 1.3850이다. 저항값 비 R_{100}/R_0 은 백금선의 순도가 높아질수록 커지는데 열적, 기계적 일그러짐이나 분위기에 따라 영향을 받으므로 권선의 재질이나, 권선방법 등의 배려가 있어야 한다.

3.3.2.1 구리 촉온저항체

구리 촉온저항체는 저렴하며, 백금 다음으로 순도가 높은 것으로서 저항온도 특성의 분산

표 16. 니켈-구리 촉온저항체의 온도-저항특성 ($R_0 = 100\Omega$)

단위 : Ω

온도 $^{\circ}\text{C}$	니켈	온도 $^{\circ}\text{C}$	니켈	구리	온도 $^{\circ}\text{C}$	니켈	구리	온도 $^{\circ}\text{C}$	니켈
		0	100.0	100.00	70	141.7	129.75	140	190.9
-60	69.5	10	105.6	104.25	80	148.2	134.00	150	198.7
-50	74.2	20	111.3	108.50	90	154.2	138.25	160	206.7
-40	79.1	30	117.1	112.75	100	161.7	142.50	170	214.9
-30	84.1	40	123.0	117.00	110	168.7	146.75	180	223.1
-20	89.3	50	129.1	121.25	120	175.9	151.00		
-10	94.6	60	135.3	125.50	130	183.3			

이 적은 안정된 특성의 소자를 얻을 수 있다. 그러나 구리는 고유저항이 작고 형상이 커진다. 또한 고온에서 산화되기 쉬우며, 사용 온도범위가 좁은 단점이 있다.

3.3.2.2 니켈 측온저항체

니켈선은 백금과 비교하여 저렴하고, 저항 온도계수가 큰 장점이 있으나, 340 °C 부근에서 온도계수의 변곡점이 있다. 또한 불순물에 의한 온도저항특성의 분산이 있고, 호환성이 있는 니켈선을 얻기 어려운 결점이 있다. 표 16은 니켈 및 구리 측온저항체의 온도특성을 나타낸다.

3.3.2.3 백금-코발트 측온저항체

이 측온저항체는 백금에 미량의 코발트(0.5%)를 함유시킨 백금-코발트 희박 합금저항선으로 극저온 측온저항체로서 극저온 영역에서 순금속인 백금보다 저항값과 저항온도계수가 훨씬 큰 것이 특징이다. 온도-저항특성이 그림 22에 있다.

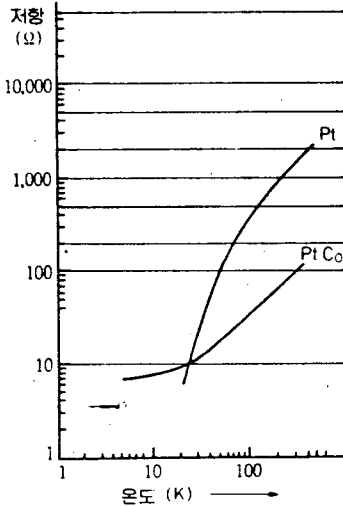


그림 22. 백금-코발트 측온저항체의 온도-저항특성

3.3.3 측온저항체의 배선방법

측온저항체로 온도를 측정할 경우, 측온저항체에 전류를 보내고 온도변화에 대응하는 저항변화를 전압변화로 변환하여 측정한다. 일반적으로 측온저항체를 1변으로 하는 브리지 회로를 구성하여, 그 저항값의 변화를 전기신

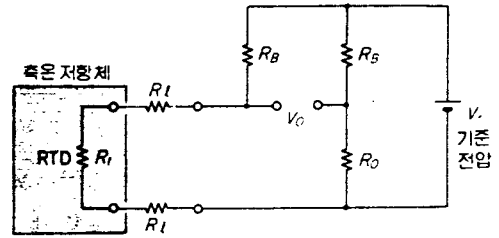


그림 23. 2선식 배선의 등가회로

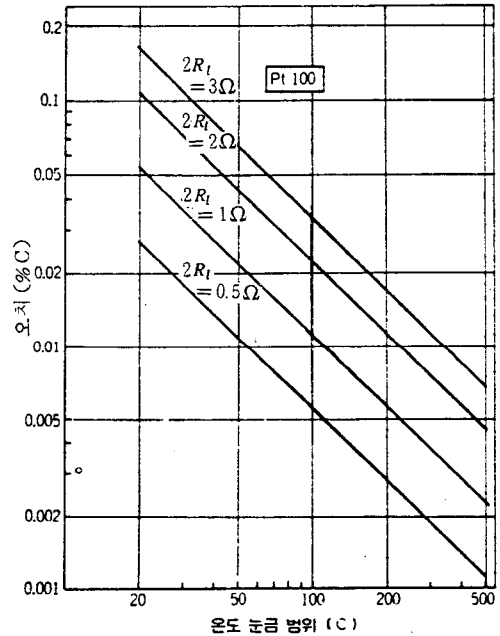


그림 24. 2선식 배선에서의 온도 영향

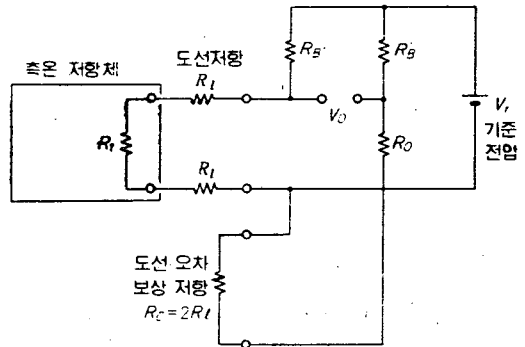


그림 25. 2선식 배선의 온도-저항보상회로

호로 변환하여 온도를 측정한다.

특히, 측온저항체를 열전쌍의 기준접점 보상으로 사용할 때와 같이 고정도가 요구될 때

에는 도선저항과 자기가열의 영향을 고려해야 한다.

3.3.3.1 2선식 측정회로

그림 23은 2선식 배선의 등가회로를 나타낸다. 측온저항체에서 측정회로까지는 일반동선을 사용하며 이에 따른 동선저항 R_L 는 측온저항체의 자체저항 R_t 에 가산되므로 이 동선에 의한 도선저항이 오차로 나타난다.

도선저항은 동선 주위의 온도변화에 의해서도 변화되며, 그림 24의 Pt100인 경우는 왕복동선의 도선저항 $2R_L$ 을 인자로 하는 온도 눈금범위에 대한 동선주위의 온도변화에 따른 오차를 표시한다.

따라서, 2선식 배선인 경우에는 그림 25와 같이 보상저항을 넣음으로서 도선저항을 보상할 수 있다. 그러나 동선 주위의 온도변화에 대한 오차는 없앨 수 없으므로 측온저항체에 비해 도선저항이 충분히 작을것이 요구된다.

3.3.3.2 3선식 측정회로

도선저항의 영향을 없애기 위해 일반적으로 그림 26과 같은 3선식 배선을 사용하고 있다. 여기서, $R_{L1} = R_{L2} = R_{L3} = R_L$ 이라 하면, 도선저항이 브리지 양변에 분배되어 상쇄되므로 도선저항에 의한 오차는 거의 무시된다. 그림 27의 Pt100인 경우는 브리지저항 R_B 를 인자로 한 왕복 도선저항에 대한 주위온도변화 1°C 의 오차를 표시한다.

3.3.3.3 정전류 브리지의 3선식 배선

그림 28과 같이 브리지의 양변 모두에 정전류회로를 사용하여 $R_{L1} = R_{L2}$ 로 할 경우는 도선저항에 의한 브리지 출력전압 영향은 없어진다.

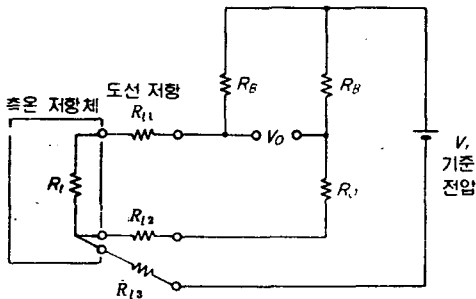


그림 26. 3선식 배선의 등가회로

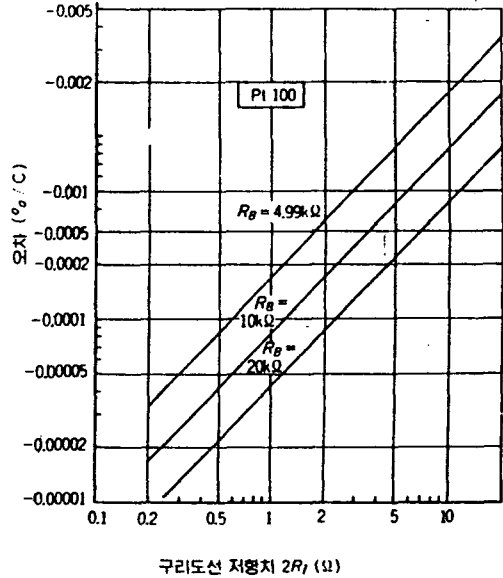


그림 27. 3선식 배선에서의 동선영향

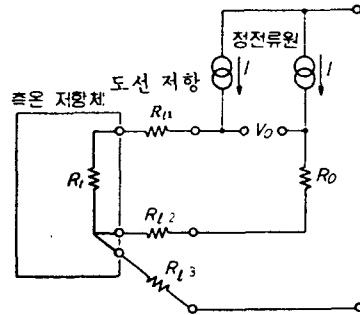


그림 28. 정전류 브리지의 3선식 배선

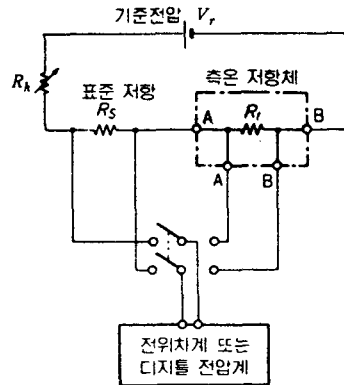


그림 29. 4선식 배선의 등가회로

3.3.3.4 4선식 측정회로

3선식 배선에서는 각 도선의 저항값과 온

도계수가 같아도, 도선의 온도분포가 고르지 않으면 오차가 발생된다. 따라서 표준온도계의 교정과 같이 고정도의 온도를 측정이나, 극저온의 온도측정에는 그림 29와 같은 4선식 배선을 사용한다. 4선식 측온저항체는 전류단자와 측정용 전압단자의 도선이 각기 2개씩 분리 접속되어 있다. 따라서, 전류단자에서는 일정량의 전류를 흘려 보내면서 전압단자 양 끝의 전압을 고압력 임피던스 계기로 측정한다. 이 방식에서는 도선저항에 의한 오차를 거의 없앤 온도측정이 된다.

4. 맺음말

에너지절약과 이의 효율적인 이용이 절실히 요구되는 우리나라에서도 온도제어에 대한 적극적인 기술개발과 연구는 당면과제라 생각되며, 부존자원이 부족한 국내에서 이러한 온도제어기술의 산업에 대한 응용은 커다란 효과를 가져올 것이라 생각된다.

참 고 문 헌

1. 溫度計測部會編, 溫度計測, p.24. 社團法人(計測自動制御學會)
2. 二木久夫, 感溫半導體の實驗, pp. 4~5. 初版, 産報出版(株)
3. 横河技報, Vol. 19. No. 1, p.27. 1975.
4. 河野, 熱電對の選擇基準と使用上の問題點 Sensor 技術, pp. 22~25, 1981.
5. JIS C1610~1981, 熱電對用の補償導線, 日本規格協會
6. JIS 8704~1978. 溫度計の定格値, 日本電氣計測工業會
7. 工計溫度計測 Group, 測溫情報の傳送と處理, 計裝, pp. 38~47. 1977.
8. JIS C1604~1981, 測溫抵抗體, 日本規格協會
9. 二木, 村上, 溫度 Sensor, 日刊工業新聞社 1980.
10. 潮見, 測溫抵抗體, 計量管理, Vol. 27. No. 3. pp. 40~46.
11. 薄生, 溫度 Sensor 實用技法, Interface, pp. 107~159. 1980.
12. 荒井曲太郎, Sensor Interfacing No. 1, pp. 10~153. 1983.

부록 1. 소자 호환식 더미스터 측온체의 표준 온도 특성

온도 °C	공칭 저항값 사용온도범위 특성저항편차		60 kΩ(0 °C) -50 ~ +100 °C		온도 °C	30 kΩ(0 °C) 0 ~ 150 °C	
	저항값	저항편차	저항값	저항편차		저항값	저항편차
-50	75.36 ^{kΩ}	± 4.28 ^{kΩ}	-20	77.07 ^{kΩ}			
-45	56.59	± 3.11	-15	60.23			
-40	42.90	± 2.28	-10	47.41			
-35	32.80	± 1.69	-5	37.59			
-30	25.23	± 1.26	0	30.00	± 1.35 ^{kΩ}		
-25	19.53	± 0.95	5	24.10	± 1.01		
-20	15.21	± 0.72	10	19.49	± 0.80		
-15	11.92	± 0.55	15	15.85	± 0.63		
-10	9.414	± 0.422	20	12.97	± 0.50		
-5	7.489	± 0.327	25	10.67	± 0.40		
0	6.000	± 0.261	30	8.828	± 0.323		
5	4.843	± 0.200	35	7.343	± 0.261		
10	3.934	± 0.158	40	6.140	± 0.212		
15	3.209	± 0.125	45	5.159	± 0.174		
20	2.637	± 0.100	50	4.356	± 0.144		
25	2.179	± 0.080	55	3.696	± 0.118		
30	1.812	± 0.065	60	3.147	± 0.098		
35	1.510	± 0.053	65	2.695	± 0.081		
40	1.266	± 0.043	70	2.317	± 0.068		
45	1.067	± 0.035	75	2.000	± 0.057		
50	904.2 ^Ω	± 29.0 ^Ω	80	1.734	± 0.048		
55	769.6	± 24.0	85	1.508	± 0.041		
60	657.7	± 20.0	90	1.318	± 0.035		
65	564.8	± 16.7	95	1.155	± 0.030		
70	487.0	± 14.0	100	1.017 ^Ω	± 0.026		
75	421.2	± 11.8	105	897.0	± 21.8 ^Ω		
80	365.7	± 10.0	110	794.0	± 18.9		
85	318.8	± 8.4	115	704.9	± 16.3		
90	278.9	± 7.2	120	627.7	± 14.2		
95	244.8	± 6.2	125	560.4	± 12.4		
100	215.6	± 5.5	130	501.7	± 10.8		
105	190.3		135	450.3	± 9.5		
110	168.4		140	405.2	± 8.3		
115	149.6		145	365.5	± 7.4		
120	133.3		150	330.5	± 5.6		
			155	299.5			
			160	272.0			
			165	247.6			
			170	225.8			
더미스터 상수B	3390 K			3450 K			
B의 값을 계산한 온도	0 ~ 100 °C			0 ~ 100 °C			

* 저항편차란, 규정된 온도에서의 저항치의 1 °C(1K)당의 변화량이다.

온도 °C	3kΩ(100°C) 50~200°C		온도 °C	0.55kΩ(200°C) 100~250°C		온도 °C	4kΩ(200°C) 150~300°C		온도 °C	8kΩ(200°C) 200~350°C	
	저항값	저항편차		저항값	저항편차		저항값	저항편차		저항값	저항편차
30	28.05 ^{ko}		80	12.66 ^{ko}		130	23.06 ^{ko}		200	8.000	± 0.190 ^{ko}
35	23.21		85	10.18		135	20.02		205	7.093	± 0.168
40	19.31		90	8.626		140	17.44		210	6.305	± 0.146
45	16.15		95	7.345		145	15.23		215	5.616	± 0.126
50	13.57	± 0.47 ^{ko}	100	6.281	± 0.194	150	13.33	± 0.35 ^{ko}	220	5.015	± 0.111
55	11.46	± 0.38	105	5.393	± 0.159	155	11.70	± 0.30	225	4.481	± 0.098
60	9.717	± 0.310	110	4.649	± 0.134	160	10.29	± 0.26	230	4.014	± 0.086
65	8.278	± 0.257	115	4.023	± 0.113	165	9.082	± 0.223	235	3.604	± 0.076
70	7.081	± 0.214	120	3.495	± 0.096	170	8.027	± 0.194	240	3.240	± 0.067
75	6.081	± 0.180	125	3.046	± 0.081	175	7.111	± 0.169	245	2.918	± 0.059
80	5.243	± 0.151	130	2.664	± 0.069	180	6.312	± 0.147	250	2.634	± 0.054
85	4.536	± 0.128	135	2.338	± 0.059	185	5.615	± 0.129	255	2.381	± 0.047
90	3.939	± 0.108	140	2.056	± 0.051	190	5.006	± 0.113	260	2.156	± 0.042
95	3.432	± 0.092	145	1.818	± 0.044	195	4.470	± 0.099	265	1.956	± 0.037
100	3.000	± 0.080	150	1.510	± 0.039	200	4.000	± 0.087	270	1.779	± 0.033
105	2.631	± 0.067	155	1.430	± 0.033	205	3.586	± 0.077	275	1.619	± 0.030
110	2.314	± 0.058	160	1.273	± 0.029	210	3.221	± 0.068	280	1.474	± 0.027
115	2.041	± 0.050	165	1.137	± 0.025	215	2.898	± 0.060	285	1.345	± 0.024
120	1.805	± 0.043	170	1.017	± 0.022	220	2.611	± 0.053	290	1.228	± 0.022
125	1.601	± 0.037	175	913.3 ^o	± 19.3 ^o	225	2.356	± 0.047	295	1.125	± 0.020
130	1.424	± 0.033	180	823.6	± 17.0	230	2.131	± 0.042	300	1.030	± 0.018
135	1.269	± 0.028	185	740.8	± 15.0	235	1.930	± 0.038	305	945.3 ^o	± 15.8 ^o
140	1.134	± 0.025	190	669.3	± 13.2	240	1.751	± 0.034	310	868.1	± 14.3
145	1.016	± 0.022	195	606.0	± 11.7	245	1.590	± 0.030	315	800.4	± 12.9
150	912.1 ^o	± 19.5 ^o	200	550.0	± 10.5	250	1.445	± 0.027	320	738.2	± 11.7
155	818.0	± 17.5	205	500.2	± 9.3	255	1.316	± 0.024	325	690.7	± 10.7
160	734.9	± 15.4	210	455.4	± 8.3	260	1.202	± 0.022	330	631.0	± 9.6
165	661.3	± 13.7	215	415.7	± 7.4	265	1.098	± 0.020	335	584.4	± 8.7
170	596.1	± 12.1	220	380.6	± 6.7	270	1.004	± 0.018	340	542.2	± 7.9
175	538.2	± 10.8	225	347.8	± 6.0	275	920.1 ^o	± 15.9 ^o	345	503.0	± 7.2
180	486.7	± 9.6	230	319.2	± 5.4	280	842.5	± 14.4	350	468.0	± 6.8
185	440.9	± 8.6	235	293.5	± 4.9	285	773.5	± 13.0			
190	400.0	± 7.7	240	269.9	± 4.4	290	710.8	± 11.8			
195	363.4	± 6.8	245	249.1	± 4.0	295	654.0	± 10.7			
200	330.6	± 6.2	250	230.0	± 3.5	300	602.4	± 9.7			
			255	212.6		305	555.5				
			260	196.8		310	512.8				
			265	182.6		315	473.9				
			270	169.5		320	438.3				
	3894 K			4300 K			5133 K			5559 K	
	100 ~ 200 °C			100 ~ 200 °C			200 ~ 300 °C			200 ~ 300 °C	

부록 2. 합성 저항식 더미스터 측온체의 표준 온도 특성

시료 온도 합성 저항 편차 온도	-50 ~ +50 °C		온도 °C	0 ~ 100 °C		온도 °C	50 ~ 150 °C		온도 °C	100 ~ 250 °C		온도 °C	150 ~ 300 °C		온도 °C	200 ~ 350 °C	
	합성 저항	저항 편차		합성 저항	저항 편차		합성 저항	저항 편차		합성 저항	저항 편차		합성 저항	저항 편차		합성 저항	저항 편차
-55	12.41 ^o		0	3.357 ^o	± 28.0 ^o	40	3.240 ^{AO}		90	5.233 ^{AO}		140	901.9 ^o		190	3.576 ^{AO}	
-50	11.86	± 124 ^o	5	3.212	± 30.4	45	3.122		95	5.106		145	884.1		195	3.405	
-45	11.21	± 138	10	3.055	± 33.2	50	2.997	± 25.6 ^o	100	4.971	± 27.6 ^o	150	865.6	± 3.8 ^o	200	3.238	± 33.0 ^o
-40	10.48	± 153	15	2.890	± 33.6	55	2.867	± 26.5	105	4.825	± 29.5	155	846.5	± 3.9	205	3.078	± 31.0
-35	9.690	± 162	20	2.720	± 34.4	60	2.734	± 27.0	110	4.672	± 31.0	160	826.9	± 4.0	210	2.924	± 30.0
-30	8.868	± 166	25	2.548	± 34.5	65	2.598	± 27.2	115	4.512	± 32.0	165	806.9	± 4.1	215	2.777	± 29.0
-25	8.041	± 164	30	2.376	± 34.1	70	2.463	± 27.0	120	4.349	± 34.0	170	786.4	± 4.1	220	2.638	± 27.0
-20	7.236	± 157	35	2.208	± 33.0	75	2.328	± 26.7	125	4.179	± 34.2	175	765.7	± 4.2	225	2.505	± 26.0
-15	6.478	± 146	40	2.046	± 31.6	80	2.196	± 26.0	130	4.009	± 34.3	180	744.8	± 4.2	230	2.380	± 24.0
-10	5.782	± 132	45	1.892	± 29.8	85	2.069	± 25.1	135	3.835	± 35.3	185	723.8	± 4.2	235	2.263	± 23.0
-5	5.158	± 117	50	1.748	± 27.8	90	1.946	± 24.0	140	3.662	± 34.8	190	702.8	± 4.2	240	2.152	± 21.0
0	4.610	± 102	55	1.615	± 25.6	95	1.829	± 22.8	145	3.495	± 33.6	195	681.8	± 4.2	245	2.049	± 20.0
5	4.135	± 88.0	60	1.492	± 23.5	100	1.718	± 21.5	150	3.332	± 33.2	200	661.0	± 4.1	250	1.953	± 19.0
10	3.729	± 75.0	65	1.381	± 21.2	105	1.614	± 20.1	155	3.170	± 32.1	205	640.4	± 4.1	255	1.863	± 17.0
15	3.386	± 63.0	70	1.280	± 19.1	110	1.517	± 18.7	160	3.014	± 31.0	210	620.1	± 4.0	260	1.780	± 16.0
20	3.096	± 53.0	75	1.190	± 17.1	115	1.427	± 17.3	165	2.864	± 29.7	215	600.1	± 4.0	265	1.702	± 15.0
25	2.853	± 45.0	80	1.109	± 15.3	120	1.344	± 16.1	170	2.720	± 28.5	220	580.4	± 3.9	270	1.630	± 14.0
30	2.651	± 37.0	85	1.037	± 13.6	125	1.267	± 14.7	175	2.583	± 27.0	225	561.1	± 3.8	275	1.564	± 13.0
35	2.481	± 31.0	90	0.9730	± 12.1	130	1.196	± 13.5	180	2.453	± 25.6	230	542.3	± 3.7	280	1.502	± 12.0
40	2.340	± 26.0	95	0.9162	± 10.7	135	1.132	± 12.4	185	2.331	± 24.0	235	523.9	± 3.6	285	1.445	± 11.0
45	2.222	± 21.6	100	0.8659	± 9.5	140	1.073	± 11.2	190	2.216	± 22.4	240	506.1	± 3.5	290	1.392	± 10.0
50	2.123	± 18.0	105	0.8213		145	1.019	± 10.3	195	2.108	± 21.0	245	488.8	± 3.4	295	1.344	± 9.0
55	2.040		110	0.7819		150	0.9702	± 7.09	200	2.007	± 19.6	250	472.0	± 3.3	300	1.299	± 9.0
						155	0.9255		205	1.914	± 18.2	255	455.8	± 3.2	305	1.257	± 8.0
						160	0.8850		210	1.825	± 16.9	260	440.2	± 3.1	310	1.219	± 7.0
									215	1.744	± 15.7	265	425.2	± 3.0	315	1.183	± 7.0
									220	1.667	± 14.5	270	410.7	± 2.8	320	1.150	± 6.0
									225	1.598	± 13.5	275	396.8	± 2.7	325	1.120	± 6.0
									230	1.532	± 12.5	280	383.5	± 2.6	330	1.092	± 5.0
									235	1.472	± 11.5	285	370.8	± 2.5	335	1.066	± 5.0
									240	1.415	± 10.6	290	358.6	± 2.4	340	1.043	± 5.0
									245	1.364	± 9.8	295	346.9	± 2.3	345	1.020	± 4.0
									250	1.316	± 9.0	300	335.8	± 2.2	350	1.000	± 4.0
									255	1.273		305	325.1		355	0.9811	± 3.6
									260	1.232		310	315.0		360	0.9635	± 3.4

부록 3. 비올식 더미스터 축온체의 표준 온도 특성

시료 온도 범위 비올식 더미스터 온도 °C	-50 ~ +50 °C		온도 °C	0 ~ 100 °C		온도 °C	50 ~ 150 °C		온도 °C	100 ~ 250 °C		온도 °C	150 ~ 300 °C		온도 °C	200 ~ 350 °C	
	비율	비율 편차		비율	비율 편차		비율	비율 편차		비율	비율 편차		비율	비율 편차		비율	비율 편차
-55	3.514		-10	3.689		40	3.774		90	3.627		140	3.672		190	3.665	
-50	3.415	±0.022	-5	3.559		45	3.739		95	3.523		145	3.544		195	3.540	
-45	3.301	±0.025	0	3.415	±0.030	50	3.415	±0.037	100	3.415	±0.022	150	3.415	±0.026	200	3.415	±0.025
-40	3.168	±0.029	5	3.260	±0.032	55	3.232	±0.036	105	3.302	±0.023	155	3.287	±0.026	205	3.290	±0.025
-35	3.017	±0.032	10	3.096	±0.033	60	3.051	±0.036	110	3.186	±0.023	160	3.161	±0.025	210	3.167	±0.025
-30	2.851	±0.034	15	2.927	±0.034	65	2.873	±0.035	115	3.070	±0.023	165	3.037	±0.025	215	3.045	±0.024
-25	2.677	±0.036	20	2.755	±0.034	70	2.700	±0.031	120	2.953	±0.023	170	2.916	±0.024	220	2.926	±0.024
-20	2.497	±0.036	25	2.585	±0.034	75	2.535	±0.033	125	2.837	±0.023	175	2.797	±0.023	225	2.809	±0.023
-15	2.320	±0.035	30	2.419	±0.033	80	2.377	±0.031	130	2.722	±0.023	180	2.683	±0.023	230	2.695	±0.023
-10	2.148	±0.033	35	2.259	±0.031	85	2.229	±0.029	135	2.609	±0.022	185	2.572	±0.022	235	2.584	±0.022
-5	1.988	±0.031	40	2.110	±0.029	90	2.089	±0.027	140	2.499	±0.022	190	2.466	±0.021	240	2.477	±0.021
0	1.841	±0.028	45	1.970	±0.027	95	1.960	±0.025	145	2.393	±0.021	195	2.363	±0.020	245	2.373	±0.021
5	1.709	±0.025	50	1.841	±0.025	100	1.841	±0.023	150	2.290	±0.020	200	2.265	±0.019	250	2.274	±0.020
10	1.592	±0.022	55	1.723	±0.022	105	1.731	±0.021	155	2.191	±0.019	205	2.172	±0.018	255	2.179	±0.019
15	1.490	±0.019	60	1.617	±0.020	110	1.630	±0.019	160	2.096	±0.019	210	2.083	±0.018	260	2.088	±0.018
20	1.403	±0.017	65	1.521	±0.018	115	1.538	±0.018	165	2.006	±0.018	215	1.998	±0.017	265	2.001	±0.017
25	1.328	±0.014	70	1.436	±0.016	120	1.454	±0.016	170	1.921	±0.017	220	1.917	±0.016	270	1.919	±0.016
30	1.264	±0.012	75	1.360	±0.015	125	1.378	±0.015	175	1.840	±0.016	225	1.841	±0.015	275	1.841	±0.015
35	1.210	±0.010	80	1.293	±0.013	130	1.309	±0.013	180	1.764	±0.015	230	1.768	±0.014	280	1.767	±0.014
40	1.165	±0.009	85	1.233	±0.011	135	1.247	±0.012	185	1.693	±0.014	235	1.699	±0.013	285	1.698	±0.014
45	1.126	±0.007	90	1.181	±0.010	140	1.191	±0.011	190	1.626	±0.013	240	1.634	±0.013	290	1.633	±0.013
50	1.094	±0.006	95	1.134	±0.009	145	1.140	±0.010	195	1.563	±0.012	245	1.573	±0.012	295	1.573	±0.012
55	1.066		100	1.094	±0.008	150	1.094	±0.009	200	1.504	±0.012	250	1.515	±0.011	300	1.517	±0.011
			105	1.058		155	1.052		205	1.449	±0.011	255	1.461	±0.011	305	1.462	±0.011
			110	1.026		160	1.015		210	1.398	±0.010	260	1.409	±0.010	310	1.411	±0.010
									215	1.350	±0.009	265	1.361	±0.009	315	1.362	±0.009
									220	1.305	±0.009	270	1.316	±0.009	320	1.317	±0.009
									225	1.264	±0.008	275	1.273	±0.008	325	1.274	±0.008
									230	1.225	±0.008	280	1.232	±0.008	330	1.233	±0.008
									235	1.118	±0.007	285	1.195	±0.008	335	1.195	±0.008
									240	1.155	±0.007	290	1.159	±0.007	340	1.160	±0.007
									245	1.123	±0.006	295	1.125	±0.007	345	1.126	±0.007
									250	1.094	±0.006	300	1.094	±0.006	350	1.094	±0.006
									255	1.066		305	1.064		355	1.064	
									260	1.041		310	1.036		360	1.036	

부록 4. 리니어 더미스터의 특성 예

컴포넌트 No	44201	44202	44203
① 동작범위	0°~+100°C	-5°~+45°C	-30°~+50°C
② 더미스터 소자 No.	44018	44018	44018
③ 저항 소자 No.	44301	44302	44303
④ 저항 소자 저항값	$R_1 3200 \Omega, R_2 6520 \Omega$	$R_1 5700 \Omega, R_2 12000 \Omega$	$R_1 18700 \Omega, R_2 35250 \Omega$
⑤ 더미스터 소자 호환소자	$\pm 0.15^\circ\text{C} (-30^\circ\sim+100^\circ\text{C})$	$\pm 0.15^\circ\text{C} (-30^\circ\sim+100^\circ\text{C})$	$\pm 0.15^\circ\text{C} (-30^\circ\sim+100^\circ\text{C})$
⑥ E_0 양 슬로프	$E_{out} = (+0.0053483 E_{in}) T + 0.13493 E_{in}$	$E_{out} = (+0.0056846 E_{in}) T + 0.194142 E_{in}$	$E_{out} = (+0.0067966 E_{in}) T + 0.34893 E_{in}$
⑦ E_0 음 슬로프	$E_{out} = (-0.0053483 E_{in}) T + 0.86507 E_{in}$	$E_{out} = (-0.0056846 E_{in}) T + 0.805858 E_{in}$	$E_{out} = (-0.0067966 E_{in}) T + 0.65107 E_{in}$
⑧ 저항 모드	$R_t = (-17.115) T + 2768.23$	$R_t = (-32.402) T + 4593.39$	$R_t = (-127.096) T + 12175$
⑨ E_{in} 최대값	2.0 V	3.5 V	3.0 V
⑩ I_T 최대값	625 μA	615 μA	475 μA
⑪ 최소 부하저항	3 M Ω	10 M Ω	10 M Ω
⑫ 직선성 편차	$\pm 0.216^\circ\text{C}$	$\pm 0.065^\circ\text{C}$	$\pm 0.16^\circ\text{C}$

44204	44211	44212	컴포넌트 No
① -1°~+38°C	-55°~+85°C	-50°~+50°C	동작범위
② 44018	44019	44020	더미스터 소자 No.
③ 44304	44311	44312	저항 소자 No.
④ $R_1 5700 \Omega, R_2 12400 \Omega$	$R_1 3525 \Omega, R_2 5825 \Omega$	$R_1 23100 \Omega, R_2 88200 \Omega, R_3 38000 \Omega$	저항소자 저항치
⑤ $\pm 0.15^\circ\text{C} (-5.6^\circ\sim+100^\circ\text{C})$	$\pm 0.4^\circ\text{C} (0^\circ\sim+85^\circ\text{C}), \pm 0.8^\circ\text{C} (-55^\circ\text{C}\sim 0^\circ)$	$\pm 0.1^\circ\text{C} (-50^\circ\sim+50^\circ\text{C})$	더미스터 소자 호환정도
⑥ $E_{out} = (+0.0031289 E_{in}) T + 0.09232 E_{in}$	$E_{out} = (+0.005033 E_{in}) T + 0.34407 E_{in}$	$E_{out} = (+0.00559149 E_{in}) T + 0.40700 E_{in}$	E_0 양 슬로프
⑦ $E_{out} = (-0.0031289 E_{in}) T + 0.90768 E_{in}$	$E_{out} = (-0.005033 E_{in}) T + 0.65593 E_{in}$	$E_{out} = (-0.00559149 E_{in}) T + 0.59300 E_{in}$	E_0 음 슬로프
⑧ $R_t = (-17.834) T + 5173.8$	$R_t = (-17.74) T + 2312$	$R_t = (-129.163) T + 13698.23$	저항모드
⑨ 4.0 V	2.0 V	3.5 V	E_{in} 최대치
⑩ 685 μA	833 μA	700 μA	I_T 최대치
⑪ 10 M Ω	10 M Ω	10 M Ω	최소 부하 저항
⑫ $\pm 0.03^\circ\text{C}$	$\pm 1.1^\circ\text{C}$	$\pm 0.15^\circ\text{C}$ ("A"), $\pm 0.08^\circ\text{C}$ ("B")	직선성 편차

부록 5. 고온용 더미스터의 특성 예

저항값 R_0 @ 400°C	1000 Ω
저항치정도 @ 400°C	$\pm 20\%$
온도범위	200°C~600°C
온도계수 (α_T) @ 400°C	-1.73%
B 상수 (200~600°C)	6300 \pm 380 ($\pm 6\%$)
시간상수 (유리·비드형)	4sec. (공기중)
시간상수 (프로브형)	25 sec. (공기중)
방열계수 (유림·비드형)	0.4mW $^\circ\text{C}$ (공기중)
방열계수 (프로브형)	1.7mW $^\circ\text{C}$ (공기중)

