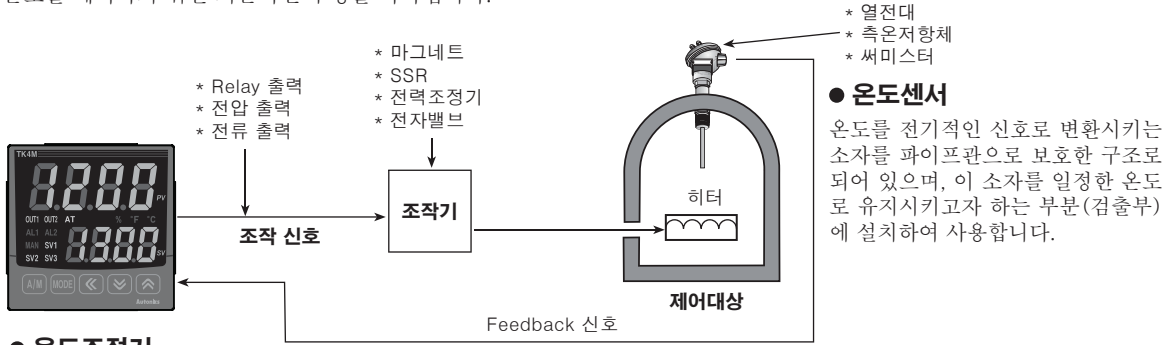


온도제어의 구성 예

온도를 제어하기 위한 기본적인 구성을 나타냅니다.



온도조절기

온도 센서의 전기적인 신호를 받아 설정온도와 비교하여 조작기에 조절신호를 보내는 기기입니다.

조작기

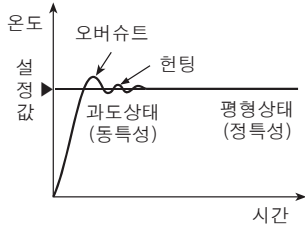
전기로 등을 가열하거나 냉각하는 조작기으로써 히터에 공급하는 전류를 개폐하는 전자 개폐기, 연료를 공급하는 솔레노이드 밸브 등을 말합니다.

최적의 온도제어

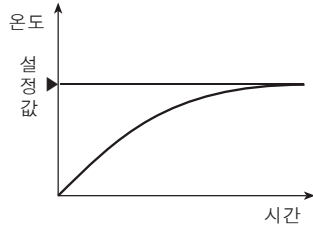
이상적인 온도제어란 그림 (3) 과 같이 오버슈트, 헌팅, 응답의 지연이 없고 어떠한 외란에 대해서도 설정한 값을 제어하는 것이지만 실제로는 제어대상의 특성에 의해 이상적인 온도제어를 실현시키기가 어렵습니다. 일반적으로 응답을 빠르게 하면 오버슈트나 헌팅이 발생하게 되고 반대로 응답이 늦으면 설정값에 도달하는 시간이 길어지게 됩니다. 그러나 사용용도에 따라서 그림 (1) 과 같이 오버슈트가 생겨도 빨리 안정된 제어를 하고 싶은 경우와 그림 (2) 와 같이 시간이 걸려도 오버슈트를 없애야 하는 경우도 있습니다. 결국 최적의 온도제어는 용도, 목적에 따라서 다르다고 말할 수 있으며, 일반적으로는 그림 (3) 이 가장 바람직한 온도제어일 것입니다.

(1) 빠른 응답

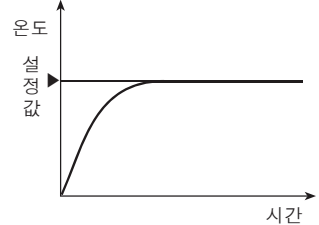
(몇 회의 진동을 반복하고 나서 안정된다)



(2) 설정값에 도달하는데 장시간이 걸리는 응답



(3) 최적의 온도제어



제어대상의 특성

온도제어에서 최적제어를 하기 위해서는 온도조절기나 온도센서를 선택하기 전에, 제어대상이 열적으로 어떤 특성을 갖고 있는가를 충분히 알아둘 필요가 있습니다.

제어대상의 특성	열 용 량	가열의 용이함을 나타내며, 제어대상(전기로, 항온조 등)의 크기에 관계합니다.
	정 특 성	가열의 능력을 나타내며, 히터용량의 대·소로 결정됩니다.
	동 특 성	가열 초기의 급상승 특성(과도응답)을 나타냅니다.
	외 란	온도를 변화시키는 원인들을 말합니다. 예를 들면 항온조 문의 개폐, 내용물의 입·출고, 주변온도의 변동 등이 외란에 해당합니다.

온도제어의 종류와 특성

종류	장점	단점
ON/OFF 제어	<ul style="list-style-type: none"> 동작이 간단합니다. 오프셋(Offset)이 발생하지 않습니다. 	<ul style="list-style-type: none"> 오버슈트(Overshoot), 헌팅(Hunting)이 일어납니다.
비례제어(P)	<ul style="list-style-type: none"> 오버슈트와 헌팅이 적습니다. 	<ul style="list-style-type: none"> 안정된 제어까지 시간이 걸립니다. 오프셋(Offset)이 발생합니다.
비례적분 제어(PI)	<ul style="list-style-type: none"> 오프셋(Offset)을 제거합니다. 	<ul style="list-style-type: none"> 비례제어보다 안정된 제어까지 도달하는 시간이 더 걸립니다. (비례제어와 같이 사용해야 합니다.)
비례미분 제어(PD)	<ul style="list-style-type: none"> 외란에 대한 응답을 빠르게 합니다. 	<ul style="list-style-type: none"> 단독으로 제어 할 수 없습니다. (비례제어와 같이 사용해야 합니다.)
PID 제어	<ul style="list-style-type: none"> 좋은 제어 특성을 얻을 수 있습니다. 	<ul style="list-style-type: none"> PID 파라미터(Parameter) 설정이 필요합니다.

(A) 온도조절기

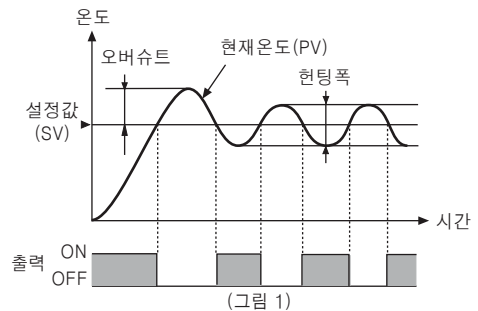
(B) SSR/ 전력조절기

(C) 소프트웨어

ON/OFF 제어

현재 온도(PV)가 설정값(SV)보다 낮을 때는 출력이 ON 되어 히터에 전원이 공급되며, 설정값(SV)보다 높을 때는 출력을 OFF하여 히터의 전원을 끊습니다. 이와 같이 현재온도(PV)와 설정값(SV)를 비교하여 히터 전원을 ON, OFF 하여 온도를 제어하는 방식을 ON/OFF 제어라고 합니다.

(그림 1)과 같이 초기 전원투입 시 설정값을 넘는 양을 오버슈트라 부르며, 설정값을 기준으로 일정한 사이클을 일으키는 것을 헌팅이라 부릅니다. ON/OFF 제어는 오버슈트나 헌팅이 발생하므로 정밀한 온도제어에는 적합하지 않습니다.



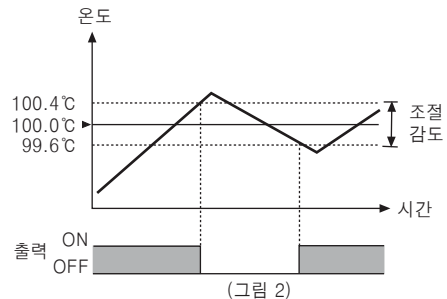
조절감도(Hysteresis)

ON/OFF 제어에서 설정값에서만 ON, OFF 동작을 하면 출력이 발전하거나 노이즈의 영향을 받기 쉽습니다.

그러므로 (그림 2)와 같이 ON, OFF 구간을 두어 이 간격 안에서 ON, OFF 동작을 수행하는데 이 구간을 조절감도(Hysteresis)라고 합니다.

냉동기의 경우 ON, OFF 동작이 빈번하면 컴프레서에 무리가 가므로 조절감도를 크게 하여야 합니다.

예) 온도범위가 0~400℃인 온도조절기의 조절감도(D=F.S 0.2~3%)가 0.2%인 경우 조절감도는 0.8℃가 되므로 설정값을 100℃로 하면 99.6℃에서 ON, 100.4℃에서 OFF 합니다.



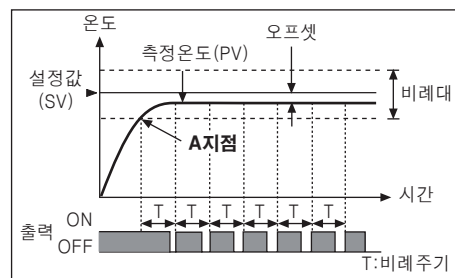
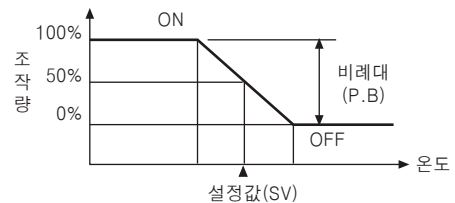
비례제어(Proportional Control)

설정값에 대해서 비례대를 가지며, 비례대 내에서 설정값과 현재 온도의 편차에 비례하는 조작량을 출력하는 제어 동작입니다.

현재 온도가 A지점에 도달할 때까지는 조작량은 100%가 되어 출력은 ON 되고, A지점(비례대 하한선)을 넘어서면 비례주기를 갖게 되고 각 주기 내에서 제어출력이 ON, OFF 하는 동작을 반복합니다.

설정값에 도달하면 조작량은 50%가 되어 ON, OFF 시간은 1:1이 됩니다.(설정값보다 상승하면 제어출력의 ON 시간은 짧아지고 OFF 시간은 길어집니다.)

결국 ON/OFF제어에서 발생하는 헌팅현상을 줄일 수 있으나 설정값에 도달하는 데는 시간이 걸리고 정상편차(Offset)가 발생합니다.



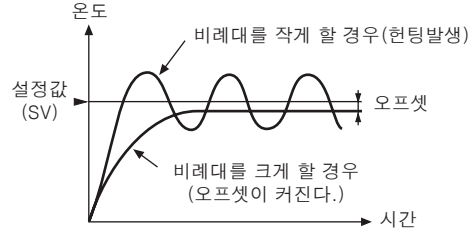
기술해설

• 비례대를 크게 할 경우

설정값보다 낮은 온도에서 제어출력이 ON, OFF 동작을 하기 때문에 현재온도가 설정값에 도달하는 시간이 길어지게 되고, 오프셋(Offset) 또한 커지게 됩니다.

• 비례대를 작게 할 경우

설정값에 근접해서 제어출력이 ON, OFF 동작을 하므로 현재온도가 설정값에 도달하는 시간이 짧고 오프셋도 작아지지만 헌팅현상이 발생하기 쉽습니다.

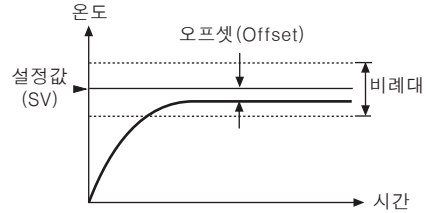


● 오프셋(Offset)

비례제어 동작에서는 제어대상의 열용량, 히터용량 등에 의해 제어 온도가 안정상태에 도달하여도 설정값에 대하여 일정한 오차가 위 또는 아래에 발생하게 됩니다.

이 오차를 오프셋(Offset)이라고 부릅니다. 이 오차는 비례 제어(P)에서만 발생하며, 리셋 볼륨으로 수정합니다.

PID 제어에서는 이 오프셋(Offset)을 자동으로 없애줍니다.



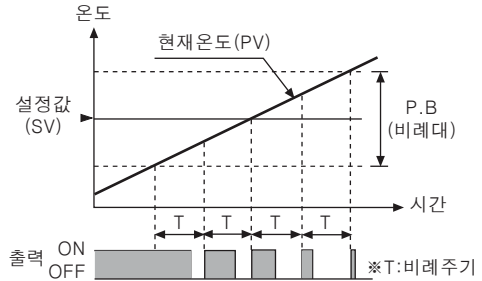
● 비례주기와 시분할 비례동작

비례제어에서 Relay, SSR을 사용하여 조작량을 출력하는 경우 사전에 설정된 시간주기에 따라서 일정시간 ON하고, 남은시간은 OFF 하는 동작을 반복하여 수행합니다.

이와 같이 사전에 설정한 시간주기를 비례주기와 하며, 이와 같은 동작방법을 시분할 비례동작이라고 합니다.

※일반형 온도조절기의 비례주기는 20초로 고정되어 있습니다.

※PID 온도 조절기에서는 비례주기를 1~120초 까지 가변할 수 있습니다.



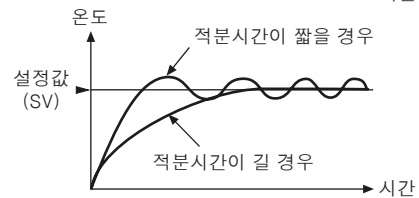
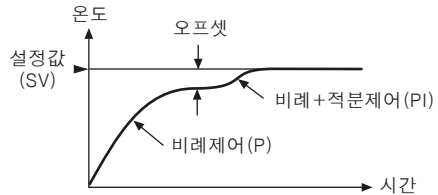
◎ 비례적분 제어 (Proportional Integral Control)

비례제어(P)에서 발생하는 오프셋(Offset)을 적분동작(I)이 자동으로 수정하여 설정값에서 안정된 온도제어를 합니다. 그러나 외란에 의한 급격한 온도변화에 대해서 제어온도가 안정될 때까지는 시간이 걸리는 단점이 있습니다.

또한 적분동작(I)은 단독으로 사용할 수 없으며, 비례제어(P)와 같이 사용하여야 합니다.

• 적분시간을 짧게 하면 수정동작이 강하게 되어 오프셋을 짧은 시간 내에 없앨 수 있지만 헌팅이 발생하는 원인이 됩니다.

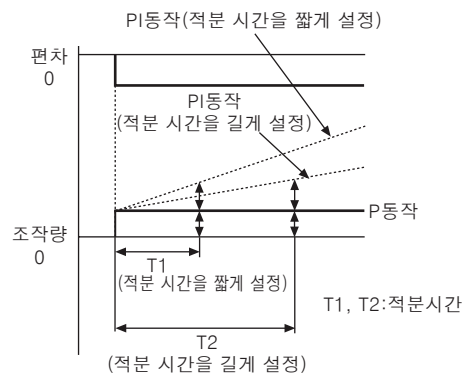
• 반대로 적분시간을 길게 하면 수정동작이 약해지므로 오프셋을 없애는 데는 긴 시간이 걸립니다.



● 적분 시간 (Reset time)

적분동작의 강도를 나타내는 단위로, 그림과 같이 편차가 일정할 때 적분 동작에 의해 얻어지는 조작량과 비례 동작에 의해 얻어지는 조작량이 같아지는 데까지 걸리는 시간을 적분시간(Reset time)이라 합니다.

그러나, 적분시간을 너무 짧게 하면 수정동작이 너무 강해져서 헌팅이 발생하는 원인이 됩니다.



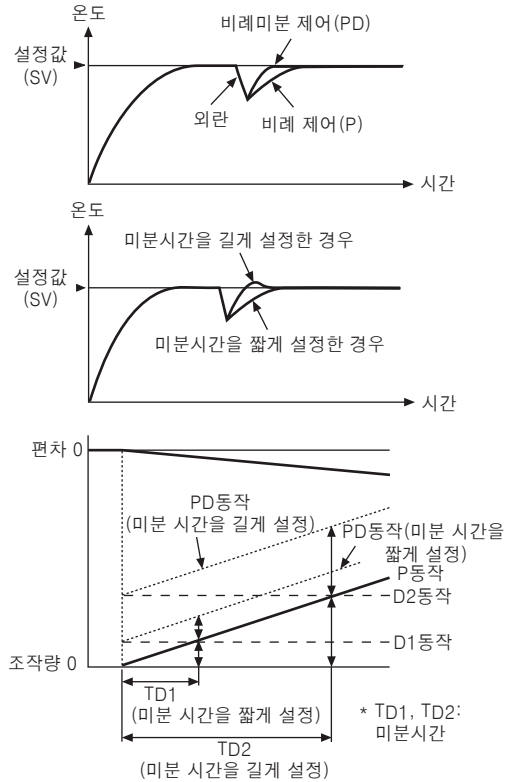
◎ 비례미분 제어 (Proportional Derivative Control)

비례미분 (PD) 제어는 비례제어 (P)와 비교해서 외란에 의한 급격한 온도변화에 대한 응답이 빠르며, 단시간 내에 제어를 안정화시킵니다. 그리고 미분동작 (D)은 온도변화의 기울기에 비례하는 조작량으로 수정동작을 행합니다. 즉, 급격한 외란에 대해서 큰 조작량을 주어 단시간 내에 제어온도를 안정시키는 동작입니다.

- 미분시간을 짧게 하면 외란 온도에 대한 수정동작이 약해져서 급격한 온도변화에 대한 응답이 늦어집니다. 따라서 설정값까지 도달하는 시간은 길어지지만 오버슈트가 발생하지 않습니다.
- 반대로 미분시간을 길게 하면 외란 온도에 대한 수정동작이 강하게 되어 급격한 온도변화에 대한 응답이 빨라집니다. 따라서 설정값에 도달하는 시간은 짧아지지만 오버슈트가 발생하기 쉽습니다.

● 미분시간(Rate time)

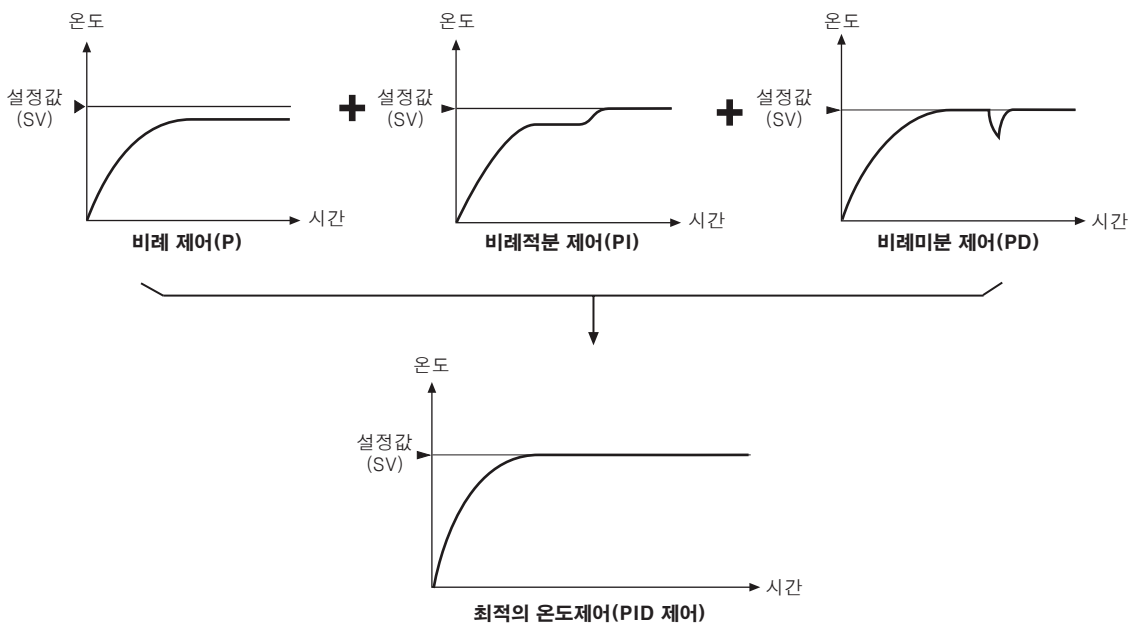
미분동작의 강도를 나타내는 단위로, 그림과 같이 램프상의 편차에 대해서 미분의 조작량이 비례제어와 같은 조작량에 도달할 때까지의 시간을 미분시간이라 합니다.



(A)	온도조절기
(B)	SSR/전력조정기
(C)	소프트웨어

◎ PID 제어(Proportional plus Integral plus Derivative control)

PID 제어는 비례제어, 적분제어, 미분제어를 합친 것으로 지연시간을 가진 제어대상에 뛰어난 제어결과를 나타냅니다. 간단히 말하면 비례제어 (P)에서의 오버슈트나 헌팅이 없는 부드러운 제어를 행하고, 적분동작 (I)으로 오프셋 (Offset)을 자동적으로 수정하고, 미분동작 (D)으로 외란에 대한 응답을 빠르게 할 수 있으므로 PID제어를 사용하면 이상적인 온도제어를 행하는 것이 가능합니다.



기술해설

■ 출력에 관한 설명

◎ 제어 출력

● Relay 출력

제어할 대상의 ON, OFF 동작을 내장된 Relay 접점을 사용하여 구동시킵니다.

● SSR 구동 출력

외부에서 부착하는 SSR(Solid State Relay: 무접점 Relay)을 제어하기 위한 DC전압을 출력합니다. SSR을 사용하면 형상도 작아지고 반영구적인 수명을 얻을 수 있습니다.

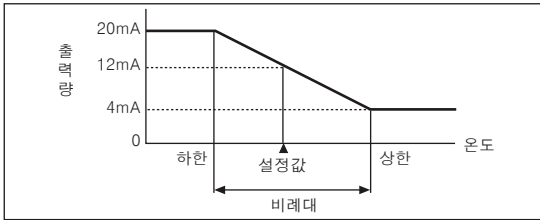
● SSRP 기능(TX, TK, TCN, TC Series 에 해당)

SSRP 기능이란, 일반 SSR 구동출력을 사용하여 일반 ON/OFF제어, 싸이클제어, 위상제어를 구현할 수 있는 기능입니다.

● 전류 출력

외부에 별도로 부착하는 전력조정기(SCR Unit), 전자밸브 등을 제어하기 위한 출력입니다. 아날로그 출력이라고도 하며, DC 전류를 비례하여 출력합니다. 출력이 안정되고 급작스러운 변화가 없어 안정된 제어를 할 수 있습니다.

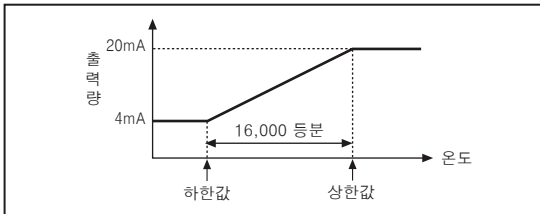
(TZ/TZN Series의 전류 출력 4~20mA의 경우)



◎ 전송 출력

전송출력은 제어용 출력이 아니라 측정한 온도를 외부로 전송할 목적으로입니다. 일반적으로 측정온도(PV)에 대하여 전류로 변환하여 전송합니다. 전송 출력 DC4~20mA 인 경우, 설정된 상한값/하한값 범위 내에서 DC 4~20mA를 출력합니다.

(TZ/TZN Series의 전송 출력 4~20mA, 분해능 16,000등분인 경우)



◎ RS485 통신 출력

RS485 통신을 통해 외부기기에 온도조절기의 데이터를 전송하거나, 설정할 수 있습니다. 온도조절기에서 통신 국번, 속도, 패리티 비트, 스톱 비트, 응답 대기 시간, 쓰기 허가/금지 설정할 수 있습니다.

□ 용어 설명

● 편차

목표값에 대한 제어값의 차이를 말합니다.

● 번아웃(Burn out) 기능

센서 단선 시 제어출력을 OFF 하는 동작을 말합니다.

● 열응답

히터의 열에 대한 응답시간을 말하며, 통상 백분율로 표시합니다.

$$\text{열응답} = \frac{\text{하강시간}}{\text{상승시간} + \text{하강시간}} \times 100(\%)$$

◎ 리니어라이즈(Linearize)

온도센서는 온도변화에 대한 응답이 비직선성이기 때문에 보정할 필요가 있습니다. 이것을 리니어라이즈라 합니다.

아날로그식 온도조절기는 눈금간격을 불균등 눈금으로 보정하며, 디지털 스위치형 온도조절기에는 리니어 애널라이즈 회로(절근 근사)를 사용하여 보정합니다.

□ 온도센서

온도센서는 크게 접촉식과 비접촉식으로 분류합니다.

접촉식은 측정 대상물과의 접촉을 통해 온도를 측정하는 방식으로 백금 측온저항 온도센서, 서미스터, 열전대 등 대부분의 센서가 이에 해당합니다.

◎ 백금측온저항체

(RTD:Resistance Temperature Detector)

온도에 따라 백금의 저항치가 일정하게 변화하는 원리를 사용한 것으로 현존하는 온도센서 중 가장 정확도가 높아 -260~630℃ 영역에서는 표준 온도센서로 사용되고 있습니다.

센서소자는 절연물질이 충전된 보호관에 넣어 만들어지며 정밀한 온도측정이 요구되는 염색, 이화학 기기, 프로세서 제어용으로 많이 사용되고 있으나 가격이 다소 비쌉니다.

● 표준 백금측온저항체 센서

기호	규정 저항값
Pt100	100Ω
Pt50	50Ω

※규정 저항값은 0℃ 때의 저항값입니다.

※1℃당 저항 변화값

• DPt100Ω (독일공업규격): 0.385Ω/℃

• JPt100Ω (일본산업규격): 0.3916Ω/℃

◎ 서미스터(Thermistor)

금속산화물을 소결하여 만들며 온도에 따라 저항값이 변하는 특성을 사용한 것으로 부특성(NTC) 서미스터와 정특성(PTC) 서미스터로 나누어 집니다.

현재 온도센서로 기기 조립용으로 많이 사용되고 있으며, 값이 싸고 소형이지만 직선성, 호환성 등이 문제가 되며, 산업용 또는 센서호환에 문제가 되는 곳에는 사용하지 않습니다.

NTC 서미스터는 주로 온도감지, 온도보상, 액위, 풍속, 진공 검출, 돌입전류방지, 지연소자 등으로 사용되고 있습니다.

PTC 서미스터는 모터기동, 자기소거, 정온 발열, 과전류 보호용으로 사용되고 있습니다.

◎ 열전대(Thermocouple)란?

성질이 다른 두 종류의 금속선을 용접하여 접합시키고 이 접합부위에 온도를 가하면 두 금속의 양단에서 열기전력이 발생합니다. 이 열기전력은 온도변화에 따라 일정한 값이 얻어집니다.

열전대 센서는 철강, 발전소, 중화학 등 공업용으로 많이 사용되고 있으나 대체로 측온저항체 온도센서에 비해 정확도가 다소 떨어지며, 선로길이가 길어지면 보상도선을 사용해야 하므로 측온저항체 온도센서 보다 가격이 올라갈 수 있습니다.

※열전대는 금속의 종류에 따라 열기전력이 다릅니다.

※열전대의 종류 및 사용온도 범위

- K(CA): -100~1300℃
- J(IC) : 0~800℃
- R(PR): 0~1700℃
- E(CR): 0~800℃
- T(CC): -200~400℃
- S(PR) : 0~1700℃
- N(NN): 0~1300℃
- W(TT): 0~2300℃

* 괄호 안의 표기는 구 기호입니다.

● 시스(Sheath) 열전대

보호관(Sheath)과 열전대 소선간을 고순도의 마그네슘 분말로 충전하여 밀폐시킨 구조를 한 열전대입니다.

시스(Sheath) 열전대는 일반 열전대와는 달리 온도변화에 대한 응답성, 내열성, 내부식성, 내압성이 뛰어납니다.

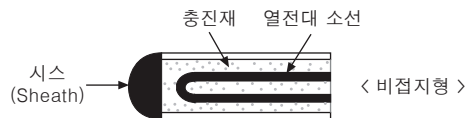
● 접지형

열전대 소선을 시스(Sheath) 선단부에 직접 용접하여 접합시킨 구조로써 응답이 빠르고 고온, 고압의 온도측정에 적합하나 절연이 되어 있지 않은 관계로 사용상에 제약이 따릅니다.



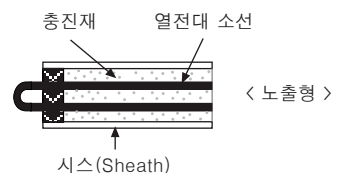
● 비접지형

열전대의 소선이 시스부(Sheath)와 완전히 절연시킨 구조로써 접지형에 비해 응답속도는 떨어지지만 외부의 영향(부식, 고압, 고온 등)에 대한 변화가 적어 장기간 사용이 가능합니다.



● 노출형

열전대 소선을 시스(Sheath) 밖으로 노출시킨 구조로써 응답속도는 가장 빠르나 기계적인 강도가 떨어지므로 내부 식성 환경이나 고온, 고압의 환경에서는 사용할 수 없습니다.



● 냉접점 보상회로

열전대 센서를 온도조절기의 입력단자에 접속하게 되면 입력 단자의 금속과 열전대 센서 선과의 접촉점에서 주위 온도에 비례하는 열기전력이 생겨 오차를 발생시킵니다. 이것을 방지하기 위해서는 접촉부위를 0℃로 유지해야만 합니다.

그러나, 접촉부위를 0℃로 유지하기는 곤란하므로 이 접촉 부위에 별도의 온도 센서를 두어 접촉부위의 온도를 검출하여 측정회로에서 접촉부위의 온도만큼 감산하여 오차를 보정하는 회로를 냉접점 보상회로라 합니다. 대다수의 온도 조절기에는 냉접점 보상회로가 내장되어 있습니다.

● 보상도선

보상도선은 온도조절기와 열전대 센서와의 거리가 길어질 때 사용하는 도선을 말합니다.

1) 보상도선의 사용 목적

열전대의 원리는 서로 다른 두 금속도체를 서로 접합시키고 이 접합 부위에 온도차를 주면 두 금속의 양단간에서 열기 전력이 발생하는 원리입니다.

그러므로 열전대와 온도조절기 간의 거리가 길어질 때 일반 배선으로 연장시에는 열전대 선과 일반 배선의 접속 부위가 또 다른 열전대 센서가 되어 오차가 발생하게 됩니다.

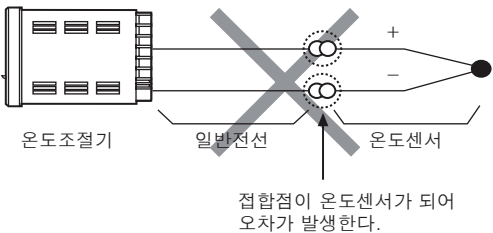
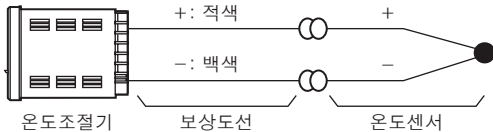
이러한 오차발생을 없애기 위해서는 열전대의 금속선과 같은 성질의 금속선으로 선로를 연장하여야 합니다. 이와 같이 동일한 금속으로 제작된 선을 보상도선이라고 합니다.

2) 보상도선의 극성

보상도선은 + 극성을 표시하는 적색선과 - 극성을 표시하는 청색(혹색 또는 백색)선이 있습니다.

보상도선의 사용시에는 + 와 - 의 극성을 반대로 연결하면 오차가 발생되므로 주의하십시오.

예) K 열전대 센서를 사용한 경우에는 K 열전대용 보상도선을 사용하여 주십시오.



■ 바르게 사용하기

◎ 취급시 주의사항(공통사항)

- 열전대와 센서의 선을 연장할 경우에는 반드시 규정된 보상도선을 사용하십시오. 보상도선을 사용하지 않고 일반선을 사용하면 열전대 선과 일반선의 연결 부위의 온도를 검출하게 되며, 이 온도가 편차로 나타납니다.
- RTD 센서를 사용할 경우 반드시 3선식으로 결선하고 선로를 연장할 경우에는 선의 두께와 길이가 같은 3개의 배선을 사용하십시오. 선로저항이 다르면 온도차가 발생합니다.
- 입력신호 선은 노이즈의 영향을 받지 않도록 가능한 전원선, 동력선, 부하 선 등으로부터 멀리하여 사용하는 것이 좋습니다.
- 부득이 전원선과 입력신호 선로를 가깝게 해야 할 경우에는 조절기의 전원 라인에 라인 필터를 사용하시고 입력신호 선로는 쉴드와이어를 사용하십시오.
- 강한 고주파 노이즈가 발생하는 기기(고주파 용접기, 고주파 미싱기, 대용량 SCR 컨트roller) 근처에서의 사용을 피하십시오.

◎ 온도조절기의 간단한 검사 방법

● 지시온도가 맞지 않을 경우

이 경우에는 입력부를 점검적으로 점검합니다.

열전대 타입일 경우에는 센서를 Open하고 입력 두 단자를 쇼트시켜서 실온이 지시하는지를 확인하여 센서 불량 또는 온도조절기 불량인지를 판단합니다.

RTD 타입일 경우에는 3선식으로 사용하였는지를 점검하고 3선이 동일한 굵기의 선을 사용하였는가를 점검합니다.

2선식 또는 선의 두께가 다른 3선을 사용하였을 경우에는 온도 편차가 발생하므로 사용할 수 없습니다.

● 제어가 끝났을 때 제어온도가 설정온도와 다를 경우

이러한 경우에는 히터등 제어대상체의 열응답 속도가 문제가 된 경우입니다. 전면에 부착된 Reset VR을 조정하여 정상 편차를 없앨 수 있습니다.

● 출력 Relay가 발진하는 경우(떨림현상)

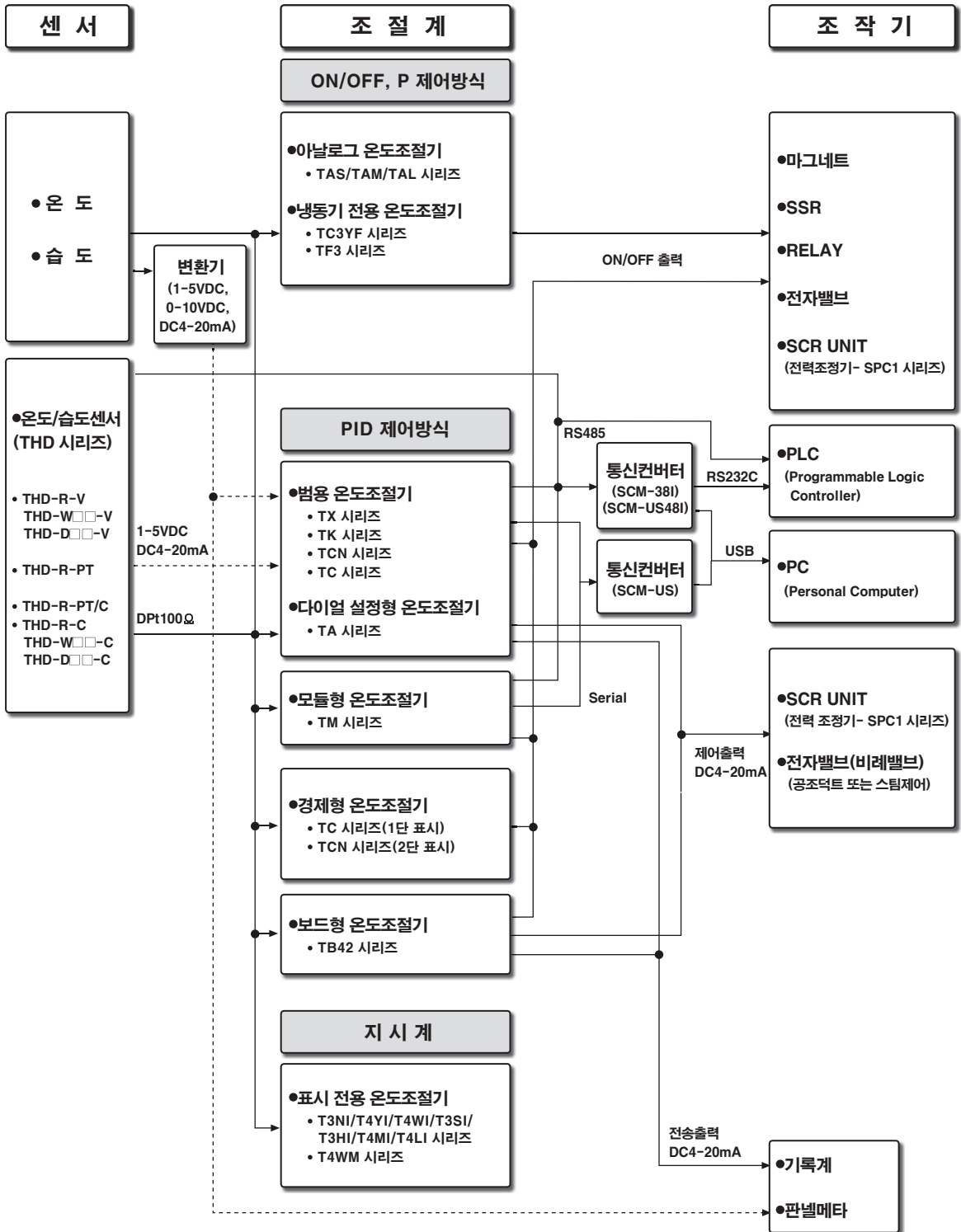
이 경우에는 외부에 장착하는 마그네트 SW에서 발생하는 역기전력이 온도조절기의 전원선을 통하여 흡수되는 경우 또는 외부에 강한 고주파 기기를 사용하고 있는 경우입니다. 이런 경우에는 될 수 있는 한 고주파 기기로 부터 조절기를 멀리하고 마그네트의 전원선과 조절기의 전원선을 되도록 멀리하는 것이 좋습니다.

또는 이미 결선이 끝난 상태에서 선로 조작이 어려운 경우에는 외부 마그네트의 전원 단자 양단에 마일러 콘덴서 0.1 $\mu\text{F}/600\text{V}$, 1 $\mu\text{F}/600\text{V}$ 를 첨가하면 발진현상을 없앨 수 있습니다.

● 실온에서는 정확하나 고온에서 온도편차가 많이 나는 경우

온도센서의 종류와 온도조절기의 센서 기종이 일치하는가를 확인합니다. (온도센서의 특성 불량일 수도 있습니다.)

■ 상품체계도



(A) 온도조절기

(B) SSR/전력조정기

(C) 소프트웨어