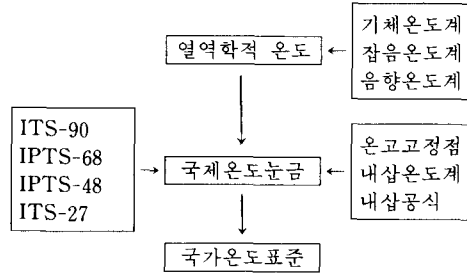


상에 따라 약 20년 간격으로 국제온도눈금이 변경되어 1948년 이후의 국제실용온도눈금-48(IPTS-48 : international practical temperature scale-1948) 및 1968년 이후의 국제실용온도눈금-68(IPTS-68 : international practical temperature scale-1968)를 거친 후 1990년 1월 1일부터는 국제온도눈금-90(ITS-90 : international temperature scale-1990)에 준한 국제온도표준이 통용되고 있으며⁽¹⁾ 따라서 온도표준 체계는 표 1과 같이 요약할 수 있다.

표 1 온도표준 공급 체계도



국제온도눈금에서 정의된 표준온도계는 요구되는 전 온도영역에서 사용할 수 있는 정밀한 온도계가 현재 없기 때문에 온도영역별로 안정도가 높고 가장 정밀한 온도계를 표준온도계로 정의하고 있으며 각 표준온도계의 내삼공식을 정의하고 있다. 또한 ITS-90 온도눈금의 특징은 표준온도계들의 사용온도 영역이 서로 약간 중복되는 특징을 가지고 있는데 표 2에는 ITS-90의 표준 온도계와 사용온도 영역이 나타나 있다. 증기압온도계나 기체온도계를 표준 온도계로 사용하는 온도영역에서는 압력을 측정함으로써 온도를 결정할 수 있고, 표준백금저항온도계 사용온도영역에서는

표 2 ITS-90의 표준온도계 및 사용온도영역

표준온도계	사용온도영역
복사온도계	961.78°C 이상
백금저항온도계	13.8033K~961.78°C
기체온도계	3.0K~24.5561K
증기압온도계	0.65K~5.0K

표 3 ITS-90의 온도고정점과 고정점 온도

온도고정점	고정점온도
H ₂ 삼중점	13.8033K
Ne 삼중점	24.5561K
O ₂ 삼중점	54.3584K
Ar 삼중점	83.8058K
Hg 삼중점	234.3156K
H ₂ O 삼중점	0.01°C
Ga 녹는점	29.7646°C
In 응고점	156.5985°C
Sn 응고점	231.928°C
Zn 응고점	419.527°C
Al 응고점	660.323°C
Ag 응고점	961.78°C
Au 응고점	1064.18°C
Cu 응고점	1084.62°C

$$W(T_{90}) = \frac{R(T_{90})}{R(273.16K)}$$

로 정의된 물의 삼중점에 대한 저항비와 표준백금저항 온도계의 온도에 따른 평균적인 저항비 특성을 내포하는 기준함수 $W_r(T_{90})$ 과의 차이를 보정하여 온도를 결정하도록 정의되어 있다. 은의 응고점(961.78°C) 이상의 온도영역에서는 은, 금 또는 구리의 응고점 온도에서의 흑체분광복사 밀도의 비로부터 온도를 결정하게 되어 있으며 보다 자세한 내용은 참고문헌(1)과(2)에 나타나 있다. 각 온도계를 내삼공식에 따라 교정할 때 사용되는 온도고정점과 정의된 온도는 표 3에 요약되어 있다. 0°C 이상에서는 순수금속의 응고점과 녹는점을, 0°C 이하에서는 삼중점을 고정점으로 채택하고 있다. 표준 온도계가 아닌 모든 온도센서는 각각의

사용온도영역에 따라 정의된 표준온도계와 비교 교정하거나 표준온도계로 교정된 기준온도계(reference thermometer)와 비교 교정하여 온도 측정에 사용해야만 한다.

3. 온도측정센서

이상적인 온도센서는 사용온도 범위가 넓고

표 4 온도센서의 종류와 특징

구분	종류	원리	감응시간	사용온도 범위 (°C)	정확도 (°C)
점 촉 식	백금저항체	금속의 저항변화	5~15s	-260~962	0.001~0.5
	열전대	열전효과(제백효과)	10ms~1s	-270~300	0.1~5
	써어미스터	금속산화물의 저항변화	<1s	-50~350	0.05~1
	유리계 온도계	액체의 열팽창	2~10s	-200~600	0.003~0.5
	반도체 온도계	반도체의 저항변화	10ms~1s	-273~200	0.001~0.01
	수정온도센서	수정의 공명주파수 변화	1~10s	-80~250	0.001~0.01
비 접 촉 식	바이메탈 센서	금속의 열팽창		-50~500	0.5~5
	복사온도계	흑체 복사법칙 (IR 검출기)	~1ms	-50~3000	0.5~20
	광고온계	흑체 복사법칙 (눈 또는 PM관 이용)	~1ms	800~6000	0.1~20

안정도, 정밀도, 감응도 및 선형도가 우수하고 가능하면 소형이고 싼 가격으로 양산할 수 있는 조건등을 만족시키는 것으로 볼 수 있다. 그러나 이 조건들을 모두 만족시키는 온도 센서는 존재하지 않으므로 각종 온도센서의 특성을 이해하고 용도에 맞도록 선택하여 사용해야만 한다. 온도센서는 동작원리, 사용 온도영역, 용도, 측정방법 등에 따라 분류할 수 있으며, 표 4에는 측정방법에 따라 분류하여 센서의 특성을 요약한 결과가 나타나 있다. 대표적인 센서의 특징을 살펴보면 다음과 같다.

3.1 백금저항센서⁽³⁾

백금저항온도계는 상용의 온도계 중 안정도 및 정밀도가 가장 높고 측정온도 영역도 매우 넓다. 백금저항 온도계는 표준용 온도계와 산업용 온도계로 대별된다. 표준용 백금저항 센서의 경우는 운모, 알루미늄 또는 석영 지지대에 직경 0.035~0.3mm의 단일 코일형, 이중 코일형 또는 단선형으로 된 백금선을 잡아서 실온에서 25Ω, 2.5Ω 또는 0.25Ω의 저항을 갖도록 제작되며 고온에서 사용할수록 작은 온도 센서가 이용된다. 또한 표준용 백금저항센서는 리드선의 저항을 상쇄시키기 위해 4선식의 구조를 갖고 있다. 산업용 백금저항센서의 경우

는 보통 2선식 및 3선식의 구조를 가지며 표준형 백금저항 센서에 비해 금속의 순도가 떨어지며 센서 주위에 마그네시아 알루미늄 같은 물질의 절연물질이 채워지는데 이는 표준형 센서의 경우 기체로 채워지는 것과 구분되고 있다. 산업용 온도계의 저항값은 보통 100Ω 및 25Ω이며 정확도는 보통 0.1~0.5°C이다. 백금저항센서는 백금선 대신 백금박막형태로 저항체가 구성되는 경우도 있다. 표준형 백금저항 온도계의 경우 660°C~962°C 온도 영역에서 약 ±30mK 이내의 정확도를 갖는 온도계가 현재 상용으로 시판되고 있다.

3.2 열전대⁽⁴⁾

열전대는 제백(seeback) 효과를 이용한 온도센서로서 표 5에는 표준화된 열전대의 종류와 사용 온도범위가 나타나 있다. 열전대는 약 1000°C 이상의 온도 영역에서 접촉식 방법으로는 가장 정확히 온도를 측정할 수 있으며 철강공업, 중화학공업 등에 널리 사용되고 있으며 열감응 속도가 빠르고 열전대로 측정된 전압이나 전류 신호를 직접 process control에 응용할 수 있는 장점이 있다. 그러나 열전대는 고온에서 장기간 사용할 경우 구성 성분의 변화로 온도대 열기전력 특성이 변화되어 부정확한

표 5 표준화된 열전대의 종류와 사용온도 범위

구분	열전대 종류	열전대의 구성	사용온도범위(°C)
귀금속 열전대	S	Pt-10%Ph/Pt	-50~1767
	R	Pt-13%Ph/Pt	-50~1767
	B	Pt-30%/Rh/Pt-6%Rh	0~1820
비금속 열전대	K	Ni-Cr alloy/Ni-Al alloy	-270~1372
	E	Ni-Cr alloy/Cu-Ni alloy	-270~1000
	J	Fe/Cu-Ni alloy	-210~1200
	T	Cu/Cu-Ni alloy	-270~400

온도를 측정하기 쉬운 단점이 있으므로 주기적인 교정이 필요하다. 표 6에는 보호관을 사용한 열전대에 대해 열전대 소선의 굵기에 따른 상용 최고 온도 한계가 나타나 있는데 고온에서 장기간 사용할수록 굵은 소선의 열전대를 사용해야만 한다. 비금속 열전대로 1000°C 이상에서 주로 사용되는 온도계는 K형 열전대이나 최근 약 10년간의 연구에 의하면 Nicrosil-Nisil 비금속 열전대의 안정도가 K형 열전대 보다는 높다는 것이 알려져 있으며 Pt/Au 열전대에 대한 안정도 연구도 최근 연구중이다.

3.3 써어미스터⁽⁵⁾

써어미스터는 온도에 민감한 저항체(thermally sensitive resistor)라는 뜻의 줄인 말로서 넓은 의미에서는 반도체 온도센서를 포함하며 좁은 의미에서는 금속산화물 반도체를 기본 소재로 하여 제작된 온도 센서를 지칭한다. 써어미스터는 백금저항센서처럼 온도에 따른 저항

항변화를 이용하는 센서나 백금저항 센서의 저항변화율이 300K에서 약 0.0392%/K 이고 비저항이 9.8μΩcm로서 정밀도를 높이기 위해서는 센서를 strain-free하게 제작하고 고순도 금속을 이용해야 함으로 제조원가가 높고 정밀한 저항 측정장비가 요구된다. 이에 비해서 써어미스터는 온도계수가 높고 값싼 재료로 제작되기 때문에 안정도 및 온도측정영역면에서는 백금저항온도센서보다 약간 뒤떨어지지만 제조원가가 저렴하여 널리 사용되고 있다. 써어미스터는 보통 온도가 증가함에 따라 저항이 감소하는 부온도계수 써어미스터(NTC : negative temperature coefficient thermistor)를 지칭하거나 정온도 계수 써어미스터(PTC : positive temperature coefficient thermister)와 온도에 따라 저항이 급격히 변화하여 스위칭 소자로 이용되는 임계온도 저항체(CTR : critical temperature resistor)가 있다. 표 7에는 써어미스터의 종류, 사용 온도범위와 기본 소재가 요약되어 있다. 써어미스터의 기본 소재는 최근 금속산화물에 대한 연구가 더욱 활발히 진행되고 있으므로 앞으로 제조기술 및 특성향상이 기대되고 있다.

표 6 보호관 사용시 열전대선의 굵기에 따른 상용 최고 온도(°C)

열전대의 종류	열전대의 직경(mm)				
	3.25	1.63	0.81	0.51	0.33
S, R	-	-	-	1500	-
B	-	-	-	1700	-
K	1260	1100	1000	870	870
E	870	650	540	430	430
J	760	600	500	370	370
T	-	370	260	200	200

3.4 비접촉 온도센서⁽⁶⁾

비접촉 방식으로 온도를 측정하는 원리는 일정 온도에 있는 물체는 열복사 법칙에 따라 복사 에너지를 방출하기 때문에 열복사를 측정하여 물체의 온도를 측정하는 것이다. 복사온도계는 단색과장대의 복사를 측정하는 단색과장

표 7 써어미스터의 종류, 사용온도 범위와 기본 소재

써어미스터 종류	사용범위 온도	기 본 소 재
NTC	극저온용 1mK~100K	C, Ge, Si
	저온용 -130~0°C	상온용의 조성에 Cu 등을 첨가
	상온용 -50~350°C	Mn, Ni, Co, Fe 등 천이금속산화물 소결체
	중온용 150~750°C	Al O+ 천이금속 산화물 첨가의 소결체
	고온용 500~1300°C 1,300~2000°C	Z O와 Y O의 복합소결체 상등, 단, 측정은 단시간에 한함.
PTC	-50~150°C	BaTiTo를 기본으로 한 소결체
CTR	- 0~150°C	바나듐산화물, 산성산화물(P, B, Si 등)과 염기성산화물(Mg, Ca, Sr, Ba, Pb, La 등)의 2~3성분계의 소결체

형과 2개의 파장대의 복사비를 측정하여 온도를 결정하는 이중파장형이 있다. 복사온도계의 경우 보통 0.65 μ m, 0.9 μ m 및 10 μ m 파장대의 복사를 이용하여 온도를 측정하며 검출센서로는, 광전증폭관, Si, Ge, PbS, PbSe 열전대 LiTaO₃ 초전센서 등이 이용되고 있다. 복사온도계의 단점은 일정온도에 있는 물체에서 복사되는 복사에너지 밀도가 복사율에 따라서도 다르기 때문에 복사율 보정을 해야만 정확한 온도를 측정할 수 있다는 점이다. 복사율 보정을 측정과정에서 할 수 있도록 시도된 온도계가 앞에서 언급된 이중파장 복사온도계이나 일반적으로 복사율은 파장에 따라 변화되므로 이 온도계로도 물체의 온도를 모든 경우에 대해 정확히 측정하기는 어렵다. 따라서 고온 측정의 경우 가능하면 접촉식 고온용 온도센서와 비접촉식 온도계를 병행하여 사용하여 정확도를 조사하고 접촉식 온도계 사용이 불편할 경우 비접촉식 온도계를 사용하는 것이 바람직하다. 비접촉식 온도계는 일반적으로 접촉식 온도계에 비해 온도 분포를 용이하게 측정할 수 있는 장점이 있다.

4. 맺음말

1990년 1월 1일부터는 국제온도눈금 ITS-90

에 준하여 국제온도눈금이 통용되게 되었으며, 이 새로운 국제온도눈금은 향후 적어도 약 20년간 국제적으로 적용될 예정이다. 새로운 국제온도눈금의 제정으로 과거에 비해 660°C ~ 962°C 온도영역에서 약 10mK의 정밀도로 온도를 측정할 수 있게 되었다. 하나의 온도계로 요구되는 전 온도영역을 정확히 측정할 수 있는 온도계는 없으므로 온도측정 환경과 요구되는 정확도에 따라 적합한 온도센서를 선택하여 사용해야 하며 본 글에서는 대표적인 온도계의 특징에 대해 개설하였다.

참고문헌

- (1) Preston-Thomas. H., 1990, "The International Temperature Scale of 1990 (ITS-90)", Metrologia, Vol. 27, No. pp. 3~10.
- (2) 이호근, 강기훈, 감기술, 1990, "국제온도 눈금-1990 한글본" 한국표준연구소, KSRI-90-42-SP.
- (3) Bedford, R. E., Bonnier, G., Mass, H. and Pavese, F., 1989, "Techniques for Approximating the International Temperature Scale of 1990," pp. 153~169.
- (4) 박종철, 이호근, 박찬복, 1985, "열전대를 이용한 온도측정", 한국표준연구소, KSRI

- MO-34, pp. 15~29.
- (5) Sachse, H.B., 1975, "Semiconducting Temperature Sensors and Their Applications", pp. 88~143.
- (6) Baker, H.D., Ryder, E.A. and Baker N.H., 1975, "Temperature Measurement in Engineering", Vol. 2, pp. 74~165.



■ 국제학술대회 참가 안내 ■

'92 Design Technical Conferences

1. 1992 ASME Mechanisms Conference

장소 : Phoenix/Scottsdale, Arizona

일시 : 1992년 9월 13일~16일

논문마감 : 1992년 1월 1일 (논문 4부제출)

제출처 : Dr. Gary L. Kinzel, Coordinator of Papers Review, Dept. of Mechanical Engineering, The Ohio State Univ., 206 West 18th Ave., Columbus, Ohio 43210, U.S.A.

2. Fourth ASME Conference on Flexible Assembly Systems

논문마감 : 1992년 2월 1일 (논문제출)

제출처 : Dr. A. H. Soni, Conference director, Ohio Eminent Scholar, Scott Alter, Professor, U. of Cincinnati, Dept. of Mechanical, Industrial and Nuclear Engineering, Cincinnati, Ohio 45221-0072, U.S.A.

3. Sixth International Power Transmission and Gearing Conference

논문마감 : 1991년 6월 30일 (마감 되었음)

4. 1992 Design Automation Conference

논문마감 : 1992년 1월 15일 (논문 5부)

제출처 : Professor David A. Hoeltzel, Dept. of Mechanical Engineering, Columbia Univ., 500 west 120th street, New York, N.Y. 10027-6699, U.S.A.

5. Fourth International ASME Conference on Design Theory and Methodology

논문마감 : 1992년 2월 3일 (논문 5부)

제출처 : Dr. Dean L. Taylor, The Sibley School of Mech. and Aero. Eng., Cornell Univ., Ithaca, N.Y.

* 자세한 사항은 우리학회 국제협력담당 이종원 이사(KAIST, 966-1931, 교환 3616)에게 문의 바람