

선팽창 실험장치 실험설명서

(TD-8558A)

Thermal Expansion Apparatus



제작사: PASCO Scientific

한국대리점: (주)와이케이사이언스 TEL: 02)546-1565

목**차**

색 선

저작권, 품질보증 및 장비반송

서 론:

장 비

필요한 추가 장비

온도 측정에 대한 주의사항

일반적으로 인정되는 열팽창계수의 값

관 교체하기

교체용 부품

실 험:

구리, 강철, 알루미늄의 선 팽창계수 측정하기:

서 론

실험방법

데이터와 계산

질 문

서미스터 완성표:

교사용 가이드

기술지원

서 론

PASCO 모델 TD-8558A 열팽창실험장치를 이용하면 강철, 구리, 알루미늄의 선 팽창계수를 쉽고 정확하게 측정할 수 있다.

측정을 하려면, 팽창용 베이스에 강철, 구리 혹은 알루미늄을 올려놓는다. 실온에서 관의 길이를 측정한 다음, 관에 증기를 통과시킨다. 내장되어있는 다이얼 게이지의 감도한계를 0.01mm로 설정하여 금속의 팽창을 측정한다. 관 중앙에 부착된 서미스터를 이용해 0.5 °C 범위까지 온도를 측정한다. 특별한 온도에서의 금속의 팽창을 조사하고자 하는 경우에는 관에 온수나 냉수를 통과시킬 수 있다.

완전한 단계별 설명과 결과에 대한 데이터시트는 다음 페이지에 제시되어있다.

장 비

TD-8558A 열팽창실험장치는 다음의 품목들로 구성되어 있다:

- 다이얼게이지와 서미스터가 내장된 70 cm 길이의 팽창용 베이스
- ▶ **주의:** 다이얼게이지 장치용 블록에 있는 나사를 풀면 다이얼게이지를 떼어내거나 위치를 바꿀 수 있다.
- 금속 관 3개 — 강철, 구리(99.5% Cu, 0.5% Te), 알루미늄 (98.9% Al, 0.7% Mg, 0.4% Si): 외부 직경 1/4인치의 커넥터가 장착된 외부 직경 5/8인치의 관. 각각의 관에는 서미스터 손잡이(lug)를 장착할 수 있는 섬스크루가 있다.
- 서미스터 연결부에서의 열 손실을 막기 위한 폼 단열재.
- 내부직경 1/4"의 관 모양으로 된 열가소성 탄성롤계.

필요한 추가 장비

TD-8558A 열팽창실험장치 외에도, 실험을 하려면 다음의 품목들이 필요하다:

- ① PASCO 모델 TD-8556 증기발생기와 같은 증기 혹은 고온수 공급장치.
- ② PASCO 모델 SE-9589 와 같이 서미스터의 저항을 측정할 수 있는 디지털 전기저항계. 리드에는 PASCO 모델 SE-9750 혹은 SE-9751 접속코드와 같은 바나나플러그커넥터가 있어야 한다.
- ③ 팽창용 베이스의 끝부분을 약 2인치 정도 들어올릴 수 있는 작은 물체와 관에서 배수되는 물을 받을 수 있는 용기.

④ 추가의 데이터포인트를 수집하고자 하는 경우에는 고온수 혹은 냉수 공급장치가 필요하다.

온도측정에 대한 주의사항

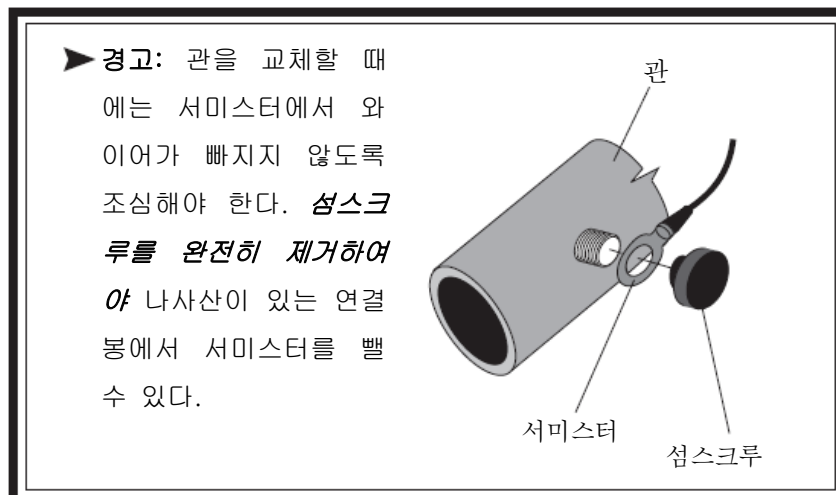
A 서미스터의 저항은 온도에 따라 확실하게 달라진다. 저항은 전기저항계로 측정할 수 있으며, 팽창용 베이스와 이 사용설명서의 뒤 페이지에 제공된 환산표를 이용하면 온도 측정값으로 환산할 수 있다. 온도와 저항의 관계가 선형이 아니더라도, 선형근사(linear approximation)를 정확하게 이용하면 약 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 의 정확도로 표의 데이터포인트들 사이에 중간 값을 삽입할 수 있다.

관 온도 측정용 서미스터는 서미스터 손잡이에 내장되어있다. 일단 열 평형상태에 도달하면, 열은 관의 길이에 따라 매우 균일하게 나타난다. 손잡이의 온도가 관의 온도를 근접하게 따라가도록 폼 단열재를 이용해 서미스터 손잡이를 통한 열 손실을 막는다. 단열재는 관 자체의 국소적인 온도에 뚜렷한 영향을 미치지 않는다.

일반적으로 인정되는 열팽창계수의 값

물질	a ($\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)
구리	17.6
강철	11.3-13.5
알루미늄	23.4

관 교체하기



▶ **경고:** 관을 교체할 때에는 서미스터에서 와이어가 빠지지 않도록 조심해야 한다. **섬스크루를 완전히 제거하여야** 나사산이 있는 연결 봉에서 서미스터를 뺄 수 있다.

교체용 부품

다음의 부품들은 PASCO scientific에 주문할 수 있다.

품 목	PASCO 부품 #
최신 서미스터(100 k Ω)	150-03140
알루미늄 관 부속품	003-04413
구리 관 부속품	003-04412
강철 관 부속품	003-04414
폼 단열재	648-03100
다이얼 게이지	620-050

실험: 구리, 강철, 알루미늄의 선 팽창계수 측정하기

도 입

대부분의 물질은 위상에 변화를 일으키지 않는 온도범위까지 가열하면 약간 팽창한다. 가해진 열은 물질 속에서 원자들 사이의 평균 간격을 증가시키는 원자 진동의 평균 진폭을 증가시킨다.

길이가 L 인 물체의 온도변화의 크기가 ΔT 라고 가정해보자. ΔT 가 상당히 작을 경우, 길이의 변화, ΔL 은 일반적으로 L 과 ΔT 에 비례한다. 수학적으로 나타내면 다음과 같다:

$$\Delta L = \alpha L \Delta T;$$

여기서 α 는 이른바 물질의 선 팽창계수라고 하는 것이다.

예를 들어 비대칭결정과 같이, 등방성 물질이 아닌 물질의 경우, α 는 팽창을 측정하는 축의 방향에 따라 서로 다른 값을 가질 수 있다. 또한 α 는 온도에 따라 다소 달라질 수 있으므로, 팽창의 정도는 온도변화의 크기뿐만 아니라 절대온도에 따라서도 달라진다.

이 실험에서는 구리, 알루미늄 및 강철의 α 를 측정할 것이다. 이들 금속은 등방성 물질이므로, α 는 하나의 선(one dimension)을 따라 측정하기만 하면 된다. 또한, 이 실험의 한계 범위 내에서, α 는 온도에 따라 달라지지 않는다.

실험방법

- ① 실온에서 구리 관의 길이, L 을 측정한다. 한 쪽 끝에 있는 스테인리스 강 핀의 안쪽 가장자리에서부터 다른 쪽 끝에 있는 각 브래킷의 안쪽 가장자리까지 측정한다(그림 1 참조). 측정 결과를 표 1에 기록한다.
- ② 그림 2에 보이는 것과 같이 팽창용 베이스에 구리 관을 올려놓는다. 관에 장착되어있는 스테인리스 강 핀은 홈이 나있는 장치용 블록에 꼭 들어맞으며, 관의 다른 쪽에 장착되어있는 브래킷은 다이얼 게이지의 스프링 암을 눌러준다.

▶ **주의:** 슬라이드 받침대 한쪽으로 관을 살짝 밀어 넣는다. 관이 더 이상 움직이지 않을 때까지 섬스크루를 핀 쪽으로 돌려 넣는다. 핀을 기준점으로 이용한다.

③ 동봉된 섬스크루 중 하나를 이용해 서미스터 손잡이를 구리 관 가운데 있는 나사산이 있는 구멍에 장착한다. 손잡이와 관이 최대한 접촉하도록, 그림 2에 보이는 것과 같이 손잡이와 관의 축을 일직선으로 맞춘다.

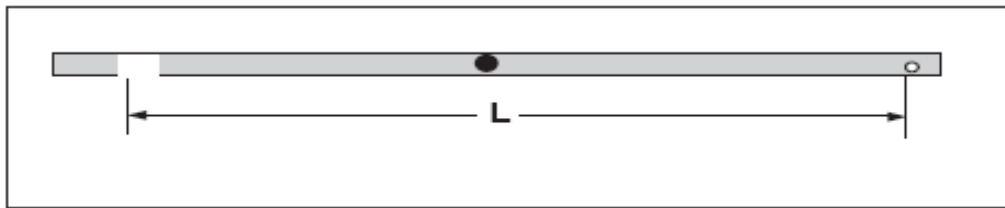


그림 1 관의 길이 측정하기

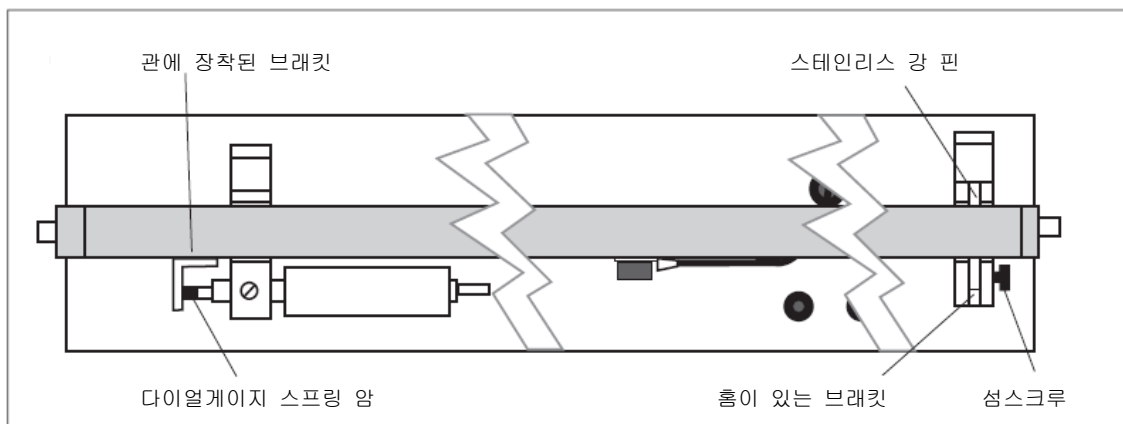


그림 2 장비설치(위에서 내려다본 모습)

- ④ 그림 3에 보이는 것과 같이 서미스터 손잡이 위에 폼 단열재를 덮는다.
- ⑤ 팽창용 베이스의 중앙에 THERMISTOR라는 라벨이 붙어있는 바나나플러그 커넥터에 전기저항계의 리드를 꽂는다.
- ⑥ 실온에서 서미스터의 저항, R_{rm} 을 측정하여 기록한다. 측정한 값을 표에 기록한다.
- ⑦ 관류(管類)를 이용해 구리 관의 끝에 증기 발생기를 장착한다. 증기 발생기는 다이얼게이지에서 가장 멀리 떨어진 끝 쪽에 장착하여야 한다.

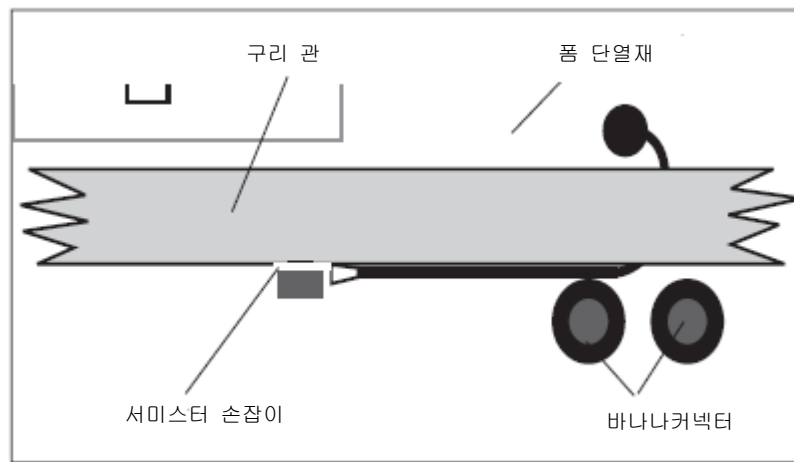


그림 3 서미스터 장착

- ⑧ 책 혹은 나무 블록을 이용해 증기가 관으로 들어가는 쪽의 팽창용 베이스의 끝을 들어올린다. 몇 센티미터면 충분하다. 이렇게 하면 관 안에 응축된 물이 잘 배출된다. 관의 다른 쪽 끝에는 용기를 놓아 배수된 물을 받는다.
- ⑨ 다이얼게이지의 외부 덮개를 돌려 눈금의 0 점과 긴 지침을 일렬로 맞춘다. 관이 팽창하면 지침은 시계 반대방향으로 움직인다.
- ⑩ 증기 발생기를 켜다. 증기가 흐르기 시작하면 다이얼게이지와 전기저항계를 지켜본다. 서미스터의 저항이 안정되면 저항(R_{hot})을 표 1에 기록한다. 또한 다이얼게이지 상에서 지침의 변위가 나타내는 대로 관 길이의 팽창(ΔL)을 기록한다. (다이얼 게이지의 각 인크레먼트는 0.01mm의 관 팽창에 상응한다.) ΔL 은 다이얼게이지의 표시도수 간의 차라는 것에 주의한다.

▶ 강철 관과 알루미늄 관을 이용해 실험을 반복한다.

데이터와 계산

표 1 데이터와 계산

	데 이 터				계 산		
	L(mm)	$R_{rm}(\Omega)$	$\Delta L(\text{mm})$	$R_{hot}(\Omega)$	$T_{rm}(\text{C}^\circ)$	$T_{hot}(\text{C}^\circ)$	$\Delta T(\text{C}^\circ)$
구리							
강철							
알루미늄							

① 사용설명서의 끝부분에 있는 환산표나 팽창용 베이스의 윗면에 있는 환산표를 이용해 서미스터 저항 측정값, R_{rm} 와 R_{hot} 를 온도 측정값, T_{rm} 와 T_{hot} 로 환산한다.

환산결과를 표에 기록한다.

② $\Delta T = T_{hot} - T_{rm}$ 을 계산한다. 계산 결과를 표에 기록한다.

③ 식 $\Delta L = \alpha L \Delta T$ 를 이용해 구리, 강철 및 알루미늄의 α 를 계산한다.

$\alpha_{Cu} =$ _____

$\alpha_{steel} =$ _____

$\alpha_{Al} =$ _____

질 문

① 일반적으로 인정되는 구리, 강철 및 알루미늄의 선 팽창계수의 값을 조사한다. 조사된 값과 실험값을 비교한다. 각 경우의 백분율 차는 얼마인가? 실험오차는 일관되게 큰가, 작은가?

② 질문 1에 대한 대답을 기초로, 실험에서 오차가 발생한 원인을 추측하라. 어떤 방법으로 실험의 정확도를 높일 수 있겠는가?

③ 실험 결과에 의거하여, 구리, 알루미늄, 강철의 부피팽창계수(즉, $\Delta V = \alpha_{vol} V \Delta T$)를 계산할 수 있는가?

서미스터 완성표

저항 대 온도

Res.(Ω) Temp.(°C)	Res.(Ω) Temp.(°C)	Res.(Ω) Temp.(°C)	Res.(Ω) Temp.(°C)
351,020 0	95,447 26	30,976 52	11,625 78
332,640 1	91,126 27	29,756 53	11,223 79
315,320 2	87,022 28	28,590 54	10,837 80
298,990 3	83,124 29	27,475 55	10,467 81
283,600 4	79,422 30	26,409 56	10,110 82
269,080 5	75,903 31	25,390 57	9,767.2 83
255,380 6	72,560 32	24,415 58	9,437.7 84
242,460 7	69,380 33	23,483 59	9,120.8 85
230,260 8	66,356 34	22,590 60	8,816.0 86
218,730 9	63,480 35	21,736 61	8,522.7 87
207,850 10	60,743 36	20,919 62	8,240.6 88
197,560 11	58,138 37	20,136 63	7,969.1 89
187,840 12	55,658 38	19,386 64	7,707.7 90
178,650 13	53,297 39	18,668 65	7,456.2 91
169,950 14	51,048 40	17,980 66	7,214.0 92
161,730 15	48,905 41	17,321 67	6,980.6 93
153,950 16	46,863 42	16,689 68	6,755.9 94
146,580 17	44,917 43	16,083 69	6,539.4 95
139,610 18	43,062 44	15,502 70	6,330.8 96
133,000 19	41,292 45	14,945 71	6,129.8 97
126,740 20	39,605 46	14,410 72	5,936.1 98
120,810 21	37,995 47	13,897 73	5,749.3 99
115,190 22	36,458 48	13,405 74	5,569.3 100
109,850 23	34,991 49	12,932 75	
104,800 24	33,591 50	12,479 76	
100,000 25	32,253 51	12,043 77	

교사용 가이드

실험: 구리, 강철 및 알루미늄의 선 팽창계수 측정하기

실험방법에 대한 주해

⑩ 길이를 측정하기 전에 너무 많은 시간이 경과하면, 게이지 봉이 열을 흡수하여 측정값이 감소할 것이다. 그러나 서미스터는 평형상태에 도달하는데 관보다 더 오랜 시간이 걸리므로, 온도 측정값이 안정될 때까지 상당시간을 할애해야 한다. 이러한 문제에도 불구하고 최상의 결과를 얻으려면, 게이지가 표시하는 길이의 최대 변화량(change)과 전기저항계가 표시하는 최소저항을 기록하여야 한다.

질문에 대한 주해

- ① 구리와 알루미늄에 대한 값은 일반적으로 인정되는 값의 2% 범위 내에 있으며, 둘 다 실험오차가 작다. 강철에 대한 값은 일반적으로 인정되는 범위 내에 있었다. (강철은 다양한 조성으로 인해 선 팽창계수의 범위가 넓다.)
- ② 대답은 여러 가지이다.
- ③ $\alpha_{vol} \approx (\alpha_{linear})^3$

데이터와 계산

표 1 데이터와 계산

	데 이 터				계 산		
	L (mm)	R _{rm} (Ω)	ΔL (mm)	R _{hot} (Ω)	T _{rm} (C°)	T _{hot} (C°)	ΔT (C°)
구리	700	99,100	0.88	5,910	25.1	98.0	72.9
강철	700	99,300	0.61	5,970	25.1	97.9	72.8
알루미늄	700	102,000	1.19	5,880	24.5	98.5	74.0

$$\alpha_{Cu} = 17.25 \times 10^{-6} / C^{\circ}$$

$$\alpha_{steel} = 11.97 \times 10^{-6} / C^{\circ}$$

$$\alpha_{Al} = 23.1 \times 10^{-6} / C^{\circ}$$