

열전도계수

1. 실험목적

열전달이란 물체사이의 온도차에 의해서 일어나는 에너지 유동을 말한다. 열전달 프로세스에는 전도(conduction), 대류(convection), 복사(radiation) 세 가지가 있다. 이러한 열전달 프로세스를 볼 때 물질의 성질을 나타내는 각각의 프로세스에 대한 물성치 열전달 계수(heat transfer coefficient)를 측정해 본다. 재질이 다른 금속봉을 직렬로 접속시켜 열을 통과시킬 때 열유동 방향으로 금속봉 내부의 온도구배와 열전달량을 측정하여 온도구배에 따른 금속간의 접촉열저항 및 금속의 열전도계수를 구함으로써 열전도의 원리와 접촉열저항의 개념을 이해하도록 한다. 이와같이 금속 시편의 열전도계수를 측정하여 실험치와 이론치를 비교하고 Fourier법칙을 이해하며, thermocouple을 이용한 온도측정에 대하여 알아본다. 또한 전도의 특성에 대하여 생각하여 보는 계기를 가짐으로써 우리의 일상생활에 많이 작용하고 있는 전도의 특성과 열전도계수를 구함으로써 열전도계수가 열전도에 미치는 영향을 관찰함을 목적으로 한다.

2. 실험이론

(1) 열전달의 개념

열전달은 온도차에 의하여 일어나는 에너지의 이동이다. 하나의 물질에서나 두 물질사이에서 온도차가 존재하면 반드시 열전달이 일어난다. 고체나 유체의 정지하고 있는 매질 내에 온도구배가 존재할 때, 그 매질을 통하여 발생하는 열전달을 전도라 하며 대류는 표면과 이와 다른 온도를 가지고 운동하고 있는 유체사이에서 발생하는 열전달을 뜻한다. 열복사는 유한한 온도의 모든 표면이 전자기파의 방식으로 에너지를 방출함으로 인하여 일어나게 되고 중간매질이 없을 경우에도 서로 다른 온도의 두 평면사이에서 복사에 의한 정미 열전달이 있게 된다.

(2) 전도

전도는 매질내의 좀 더 활발한 입자와 덜 활발한 입자 사이의 상호작용에 의한 입자간의 에너지전달로 생각할 수 있다. 전도에 대한 예로는 뜨거운 커피 잔에 잠겨진 금속 스푼의 끝은 스푼을 통한 에너지의 전도에 의하여 뜨거워지는 현상을 들 수 있다. 겨울에는 가열된 방으로부터 바깥 공기로의 많은 에너지손실이 있으며, 이

손실은 주로 방안의 공기와 바깥공기를 구분 짓는 벽을 통한 전도 열전달에 의한 것이다. 전도 열전달 프로세스는 적당한 비율방정식으로 정량화 하는 것이 가능하며 이 방정식은 위 시간당 전달된 에너지의 양을 계산하는데 사용될 수 있다. 열전도에 대한 비율방정식은 Fourier법칙으로 알려져 있다. 아래 그림에 나타난 바와 같이 온도 분포 $T(x)$ 를 가지는 1차원 평면 벽에 대한 비율방정식은 다음과 같이 표현된다.

$$q_x'' = -k \frac{dT}{dx}$$

열 유속 q_x'' (W/m^2) 은 전달방향에 수직인 단위면적당 x 방향으로의 열 전달률이며, 이 방향으로의 $\frac{dT}{dx}$ 온도구배에 비례한다.

비례상수 k 는 열전도율 ($W/m \cdot K$)이라고 하는 전달 물성치이며, 벽 재료의 특성이기도 하다. 음의 부호는 열이 고온에서 저온으로 전달되는 것을 뜻한다.

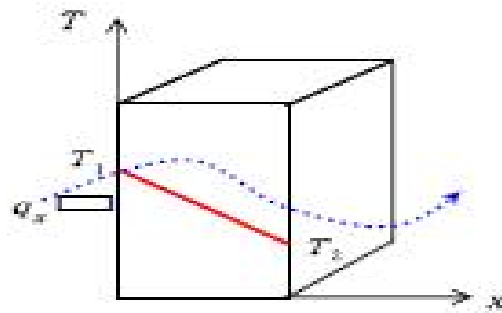


Fig. 1 전도에 의한 1차원 열전달(에너지의 확산)

정상상태에서 위의 그림에 나타난 바와 같이 온도분포가 선형인 경우에는 온도구배는 다음과 같다.

$$\frac{dT}{dx} = \frac{T_2 - T_1}{L}$$

열유속은 다음과 같다.

$$q_x'' = -k \frac{T_2 - T_1}{L} \quad \text{또는} \quad q_x'' = -k \frac{T_2 - T_1}{L} = k \frac{\Delta T}{L}$$

이 방정식은 열 유속, 즉 단위면적당의 열 전달률을 나타낸다. 면적 인 평면 벽을 통한 전도에 의한 열 전달률 (W)는 열 유속과 면적의 곱인 $q_x = q_x'' \cdot A$ 이다.

(3)실험원리

우리가 일반적으로 나타내는 열전도에 대한 비율방정식이다. 즉 Fourier 법칙으로 알려져 있고 온도분포 $T(x)$ 를 가지는 1차원 평면벽에 대한 비율방정식은 다음과 같다.

$$q_x'' = -k \frac{dT}{dx} \Rightarrow q_x = -\lambda A \frac{dT}{dL}$$

바로 위의 식은 다음과 같이 될 수 있다.

$$q_x \frac{dL}{A} = -\lambda dt = -\lambda_0(1 + at)dt$$

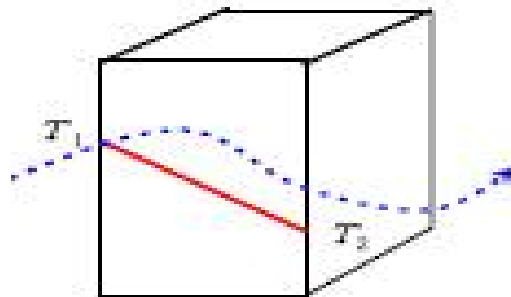


Fig. 2 Heat conduction of plane wall

만약에 이 공식을 온도 t_1 에서 t_2 까지의 범위에서 적분하면 다음과 같다.

$$q \int \frac{dL}{A} = (t_1 - t_2) \lambda_0 \left[1 + a \frac{t_1 + t_2}{2} \right]$$

그리고 $\lambda_0 \left[1 + a \frac{t_1 + t_2}{2} \right]$ 는 t_1 과 t_2 사이의 평균값 λ 로 표시된다. 만약 이 평균값을 λ_{avg} 로 놓고 또 $(t_1 - t_2)$ 를 Δt 라 놓으면 위의 공식은 다음과 같이 된다.

$$q \int \frac{dL}{A} = \lambda_{avg} (\Delta t)$$

그리고 위의 식에서 면적 A 는 길이 L 에 관계가 없으므로 따라서 다음과 같은 식이 유도되어진다.

$$= \frac{A\lambda_{avg}(\Delta t)}{L} = \frac{A\lambda_{avg}(\Delta t)}{L}$$

측정된 값을 바탕으로 하는 값을 다음에 오는 공식을 사용해서 얻는다.

$$q = \frac{\lambda_R \cdot A \cdot \Delta t_R}{L} = \frac{\lambda_x \cdot A \cdot \Delta t_x}{L_x}$$

위의 공식으로부터 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$\lambda_x = \frac{\Delta t_R}{\Delta t_x} \cdot \frac{L_x}{L_R} \cdot \lambda_R \dots\dots\dots ①$$

그러나 보통 접촉면에서는 실험에 따른 어떤 예외도 없이 온도의 하강을 볼 수 있다. 이것은 접촉저항에 의해서 일어난다.

만약 R 를 접촉저항이라고 하고 R_a 와 R_b 를 상대적인 두께에 있어서 시편 L_a 와 L_b 의 저항값이라고 한다면,

$$\begin{aligned} \text{Total resistance} \quad R'_a &= 2R_c + R_a \\ R'_b &= 2R_c + R_b \end{aligned}$$

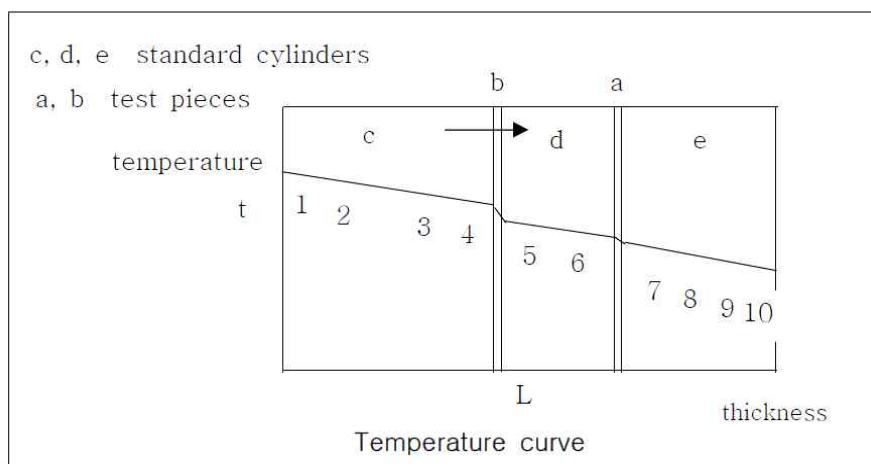


Fig. 3 The temperature curve

$$\therefore R'_b - R'_a = R_b - R_a \quad (L_b > L_a) \dots\dots\dots ②$$

R_a 는 두께 $(L_b - L_a)$ 를 가지는 시편의 저항을 나타낸다. 그리고 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$R_b - R_a = \frac{1}{\lambda} \left(\frac{L_b - L_a}{A} \right) \dots\dots\dots \textcircled{3}$$

또한 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$R_a' = \frac{1}{\lambda_a'} \cdot \frac{L_a}{A}, \quad R_b' = \frac{1}{\lambda_b'} \cdot \frac{L_b}{A} \quad \dots \quad \textcircled{4}$$

'와 λ_b' 는 ①식으로부터 얻을 수 있다. 그리고 ②, ③, ④식으로부터 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$\frac{1}{A} \left(\frac{L_b}{\lambda_b'} - \frac{L_a}{\lambda_a'} \right) = \frac{L_b - L_a}{\lambda A}$$

결과적으로 시편의 True thermal conductivity 는 다음과 같은 식으로 얻을 수 있다.

$$\lambda = \frac{L_b - L_a}{\frac{L_b}{\lambda_b'} - \frac{L_a}{\lambda_a'}}$$

$$\lambda_a' = \frac{\Delta t}{\Delta t_a} \cdot \frac{L_a}{L_R} \cdot \lambda_R$$

$$\lambda_b' = \frac{\Delta t_R}{\Delta t_b} \cdot \frac{L_b}{L_R} \cdot \lambda_R$$

(4) 좌표계의 종류에 따른 열전도 방정식

◦ 3차원:

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = k \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + \dot{q}$$

- Cylindrical:

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = k \left[\frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{1}{r} \frac{\partial^2 T}{\partial \phi^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right] + \dot{q}$$

- Spherical coordinate:

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = k \left[\frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2 \sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\sin \theta \frac{\partial T}{\partial \theta} \right) + \frac{1}{r^2 \sin^2 \theta} \frac{\partial^2 T}{\partial \phi^2} \right] + \dot{q}$$

(5) Thermocouple(열전대)

종류	기호	+선 재료	-선 재료	측정온도범위
귀금속 열전대	S	Pt90/Rh10	Pt100	0°C~1400°C
	R	Rt97/Rh13	Pt100	0°C~1400°C
	B	Pt70/Rh6	Pt94/Rh6	0°C~1600°C
비금속 열전대	N	Ni84/14Cr/Si1.65	Ni95/Si4.4/Mg1.5	-200°C~1100°C
	K	Ni90/Cr9/Si	Ni93/Si1.3/Al2/Mn1/Co0.5	-200°C~1200°C
	J	Fe99.5	Cu55/Ni45	-40°C~1200°C
	E	Ni/Cr10	Constantan	-200°C~375°C
	T	Cu99.95	Cu55/Ni42	-200°C~350°C

Table. 1 Specific of thermocouple

S 열전대는 사용가능 온도가 1,400도씨 정도이고 열기전력이 안정되어 사용조건만 좋다면 장기간 0.2도씨정도의 정확도를 유지한다. 산화 분위기에서는 안정되지만 유기물, 철, 수소, 일산화탄소 등의 환원분위기에서는 약하므로 사용 시 주의하여야 한다.

B 열전대는 1,600도씨 이하에서 많이 사용하고 산화 분위기나 불활성 기체인 경

우는 1,700도씨 까지도 무리 없이 사용 가능하나 환원 분위기에서는 아주 약하지만 강도, 안전성이 우수하여 고온용으로는 좋은 열전대이다.

K 열전대는 가장 많이 사용되나 환원성 가스에 매우 약하며 특히 수소 가스의 경우는 기전력의 변화도 작고 단기간 내에 전기저항이 급격히 증가 한다.

E열전대는 열기전력이 매우 크고 안정되어있으며 내식, 내산성이 우수하고 비 자성 단자이므로 열전도율도 아주 낮아 발전소, 석유화학공업 등의 산화나 불활성 기체 분위기에서 많이 사용한다. 단 환원성 분위기에서는 K 열전대와 마찬가지로 전기 저항이 급속히 증가한다.

J 열전대는 순 철의 제조 특성상 기전력 특성이 불안정하고 저온에서는 산화되기 쉬운 단점을 갖고 있으나 환원성 분위기에서는 사용 가능하고 가격이 저렴하여 500도씨 이하의 환원성 분위기에서 많이 사용한다.

T 열전대는 동의 산화 때문에 공기 중에서의 상용한도는 낮으나 습기가 많은 상태에서는 부식에 강하여 주로 영하의 온도 (- 270도씨도 가능) 측정에 적합한 저온용 열전대 이다.

두 종류의 금속도체 양단을 전기적으로 접속시키고 이 양단에 온도차를 주면회로 중에 전류가 흐른다. (Zebeck 효과)

이와 같이 한쪽(기준접점)의 온도를 일정온도로 (원칙적으로 0°C)유지하고, 열기전력(두 종류의 서로 다른 도체나 반도체의 두 끝을 접합하여 2접점을 다른 온도로 유지할 때 회로에 생기는 기전력)의 수치를 측정함으로써 다른 끝단(온도 접점)의 온도를 알 수가 있다. 이 두 종류의 금속 도체를 열전대라고 한다.

3.실험장치

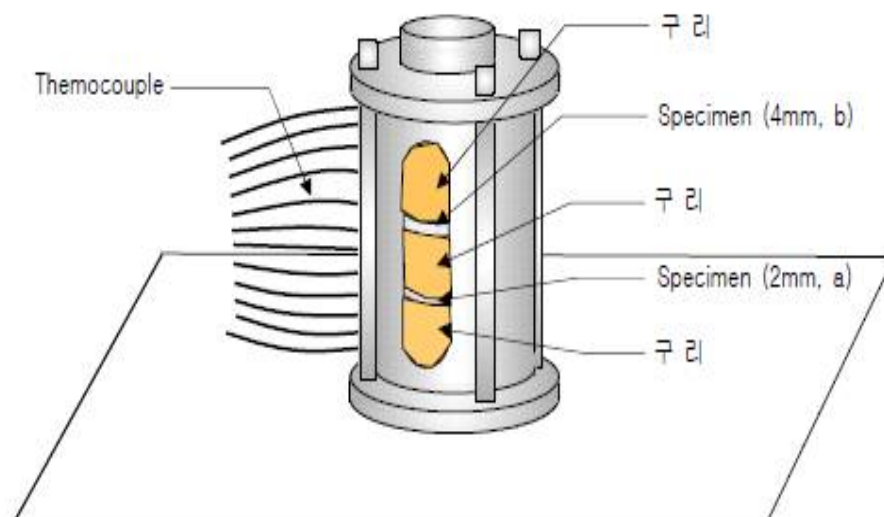


Fig. 4 Experimental apparatus

SPECIMEN	STANDARD CYLINDER
STS	Cu
40 φ mm	40 φ mm
$a = 2.0 \text{ mm},$ $L_b = 4.0 \text{ mm}$	$L_R = 40 \text{ mm}$
$\lambda = ?$	$\lambda_R = 401 \text{ W/m} \cdot \text{K}^{(2)}$

Table. 2 specific of specimen

4. 실험방법

- (1) Standard cylinder에 시편을 설치한다. 그리고 냉각수가 일정한 양으로 흐르게 한 후 Heater power를 켜다.
- (2) Power를 켜 후에 Slide-type transform를 통해서 Electric power를 점차적으로 올려 실험장치가 정해놓은 기준온도까지 올라갈 때까지 예열한다.
- (3) 정해진 온도까지 올라갔으면 금속의 온도를 각각의 위치에서 측정한다.
- (4) 측정되어진 값을 토대로 위의 식을 이용하여 True thermal conductivity를 구한다.

5. 실험결과

Temperature gradient (... t_{10}), Temperature difference $\Delta t_{m,m=1}$, [°C]										
t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6	t_7	t_8	t_9	t_{10}	
	$\Delta t_{1,2}$	$\Delta t_{2,3}$	$\Delta t_{3,4}$	Δt_b	$\Delta t_{5,6}$	Δt_a	$\Delta t_{7,8}$	$\Delta t_{8,9}$	$\Delta t_{9,10}$	

Table. 3 Experimental data

▶ 계산값(계산과정 반드시 기입할 것)

Graphically obtained		Calculation			
Δt_b (4~5)	Δt_a (6~7)	Δt (1~4)	λ'_b	λ'_a	λ

Table. 4 Result data

6.고찰

- (1) 열전도도 계산 과정 및 개념 설명
- (2) 열전도도-열저항 관계 설명
- (3) 접촉 열저항 개념에 대한 설명
- (4) 열전도계수 (λ_a')값이 다른 이유와 λ 값과 (λ_b', λ_a') 값의 차이가 발생한 이유 설명
- (5) 열전도도와 온도구배 상관관계에 대한 설명
- (6) Thermocouple 위치에 따른 온도구배 그래프

실험 조교 : 김현성

실험실: 1공학관 525호 정밀부품시스템설계 실험실

E-mail : bkdljdj214@naver.com

작성방법 및 첨부 파일명 작성요령: Orientation – 작성요령– 과 홈페이지

참고문헌: 총 3건 이상

제출 : E-mail 제출 , 서면제출(1공525호 실험실 앞)