

나노류체의 열전도도측정방법

신 충 혁

경애하는 최고령도자 김정은동지께서는 다음과 같이 말씀하시였다.

《정보기술, 나노기술, 생물공학을 비롯한 핵심기초기술과 새 재료기술, 새 에너지기기술, 우주기술, 핵기술과 같은 중심적이고 견인력이 강한 과학기술분야를 주라격방향으로 정하고 힘을 집중하여야 합니다.》《조선로동당 제7차대회에서 한 중앙위원회사업총화보고》 단행본 39페이지)

열전달매질(열매)의 열전도도는 열교환기를 비롯한 열이용장치들의 효율과 크기, 안정성에 직접적인 영향을 미친다. 따라서 열매의 열전도도를 정확히 측정하는것은 매우 중요한 문제로 나선다.

선행연구들[2, 3]에서는 액체나 기체의 열전도도측정에 직접가열법, 비정상열선법과 레이저섬광법, 열용량측정방법을 리용하였는데 측정시간과 측정장치구성을 비롯한 여러가지 문제점들이 제기되고있다.

론문에서는 좁은 수직원기둥형1차원열전달통로에서 열원과 측정점사이의 온도변화를 측정하여 임의의 나노류체의 열전도도를 구하는 방법론을 고찰하였다.

1. 측정장치와 측정방법

나노류체의 열전도도측정장치의 구성도는 그림 1과 같다.

그림 1에서 보는바와 같이 옷끝에는 50℃를 항온적으로 보장하는 열원(구리봉)을 설치하고 그밑으로 4cm 떨어진 곳에 온도수감부를 설치하였다.

열전도도를 측정하려는 나노류체가 들어있는 원기둥관은 가열점과 랭각된 점사이의 나노류체의 열대류를 없애기 위하여 수직으로 세웠다.

실험에서는 원기둥관에 들어있는 열매의 처음온도(T_0)를 먼저 측정한 다음 열원인 구리봉을 밀어넣고 그 시각부터 1min 간격으로 수자식온도계의 표식판에 현시되는 온도값을 기록한다.

측정하려는 나노류체가 들어있는 원기둥관의 직경은 항온조의 역할을 하는 구리봉의 온도에 큰 영향을 주지 않도록 하기 위하여 $\phi=5\text{mm}$ 로 작게 만들어 설치하였다.

이 장치를 리용하여 증류수와 나노류체(탄소나노관-물)의 시간에 따르는 온도변화를 측정하였다.(그림 2)

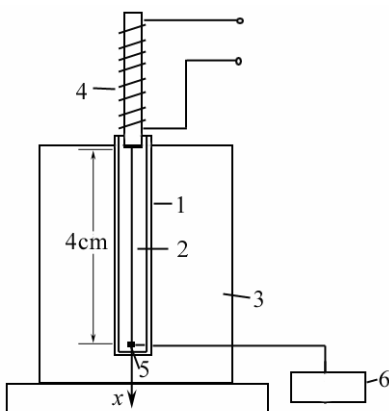


그림 1. 나노류체의 열전도도측정 장치의 구성도

- 1-수직원기둥관, 2-나노류체 또는 증류수, 3-보온재, 4-가열체, 5-온도수감부, 6-수자식온도계

그림 2로부터 시간에 따르는 평균온도의 경사도 $\frac{\partial T}{\partial t}$ 의 값을 구하면 다음과 같다.

$$\left(\frac{\partial T}{\partial t}\right)_{\text{중류수}} = \frac{0.5}{720} = 6.94 \cdot 10^{-4} (\text{°C/s})$$

$$\left(\frac{\partial T}{\partial t}\right)_{\text{나노류체}} = \frac{1.2}{720} = 16.67 \cdot 10^{-4} (\text{°C/s})$$

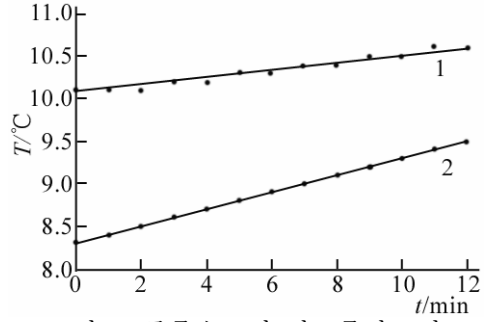


그림 2. 중류수(1)와 나노류체(2)의 시간에 따르는 온도변화

2. 나노류체의 열전도도평가를 위한 이론적해석

온도수감부가 있는 점에서의 시간에 따르는 온도변화는 다음의 1 차원비정상열전도방정식을 풀어서 해석하였다.

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \quad (1)$$

여기서 $a = \lambda / (c\rho)$ 는 매질의 온도전도도, λ 는 매질의 열전도도, c 는 매질의 비열, ρ 는 매질의 밀도이다.

식 (1)의 해석에서 중요한것은 경계조건을 실험조건에 맞게 옮겨 주는것이다.

매질의 처음온도를 T_0 , 열원의 온도를 T_Q 라고 하고 상대온도 $\theta(x, t)$ 를 다음과 같이 도입하자.

$$\theta(x, t) = T(x, t) - T_Q \quad (2)$$

초기조건으로

$$\theta(x, 0) = T_0 - T_Q, \quad (3)$$

경계조건으로

$$\theta(0, t) = 0 \quad (x = 0), \quad (4)$$

$$\left. \frac{\partial \theta(x, t)}{\partial x} \right|_{x=l} = 0 \quad (x = l) \quad (5)$$

을 주고 식 (1)을 풀면

$$T(x, t) = T_Q + (T_0 - T_Q) \sum_{n=0}^{\infty} \frac{4}{(2n+1)\pi} \exp\left[-\frac{(n+1/2)^2 \pi^2 a}{l^2} t\right] \cdot \sin \frac{(n+1/2)\pi x}{l}. \quad (6)$$

온도 T 의 시간에 대한 도함수를 구하면

$$\frac{\partial T}{\partial t} = -(T_0 - T_Q) \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(2n+1)\pi^2 a}{4l^2} \exp\left[-\frac{(2n+1)^2 \pi^2 a}{4l^2} t\right] \cdot \sin \frac{(n+1/2)\pi x}{l}. \quad (7)$$

$A = 4/\pi$, $B = \pi^2 a / 4l^2$ 를 받아들이면 식 (7)은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}\frac{\partial T}{\partial t} &= (T_Q - T_0) A \sum_{n=0}^{\infty} (2n+1) B \exp[-(2n+1)^2 Bt] \cdot \sin \frac{(2n+1)\pi x}{2l} = \\ &= (T_Q - T_0) \psi(x, t)\end{aligned}\quad (8)$$

여기서

$$\psi(x, t) = A \sum_{n=0}^{\infty} (2n+1) B \exp[-(2n+1)^2 Bt] \cdot \sin \frac{(2n+1)\pi x}{2l} . \quad (9)$$

식 (8)에서 B 는 열전도도를 측정하려는 나노류체의 종류에 따라 달라진다. 증류수의 온도를 T_1 , 나노류체의 온도를 T_2 로 표시하면 식 (8)은 각각

$$\frac{\partial T_1}{\partial t} = (T_Q - T_{01}) \psi_1(x, t), \quad (10)$$

$$\frac{\partial T_2}{\partial t} = (T_Q - T_{02}) \psi_2(x, t). \quad (11)$$

실험에서 열원의 온도 T_Q 는 두 액체의 경우에 같고 초기온도는 T_{01}, T_{02} 로서 서로 다르다고 보았다. 물론 $T_{01} = T_{02}$ 와 같은 조건이 만족되도록 실험을 진행할수도 있다.

식 (10)과 식 (11)로부터 다음의 식을 얻는다.

$$T_{01}(x, 0) + \frac{1}{\psi_1(x, t)} \frac{\partial T_1(x, t)}{\partial t} = T_{02}(x, 0) + \frac{1}{\psi_2(x, t)} \frac{\partial T_2(x, t)}{\partial t} \quad (12)$$

온도변화의 시간미분은 $x=l$ 인 점에서 측정하였으므로 식 (12)는

$$T_{01}(l, 0) + \frac{1}{\psi_1(l, t)} \frac{\partial T_1(l, t)}{\partial t} = T_{02}(l, 0) + \frac{1}{\psi_2(l, t)} \frac{\partial T_2(l, t)}{\partial t} \quad (13)$$

로 된다.

여기서 $\partial T / \partial t$ 는 실험값으로부터 결정할수 있다. 그리고 T_{01}, T_{02} 는 실험에서 이미 측정한 량이며 함수 $\psi_1(l, t)$ 는 증류수의 열전도도를 미리 알고있는 조건에서 식 (9)를 리용하여 모든 t 값에 대하여 계산할수 있다. 결국 나노류체에 대한 상수 B_2 즉 나노류체의 열전도도값을 변화시키면서 식 (13)이 성립하는 값을 구하면 나노류체의 정확한 열전도도값을 결정할수 있다. 이와 같은 계산은 컴퓨터로 진행한다.

논문에서는 그림 2로부터 구한 증류수와 나노류체의 시간에 따르는 온도변화의 경사도값과 초기온도 T_{01}, T_{02} , 증류수의 열전도도값 $\lambda_1 = 0.574 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ [1]을 리용하였다. 그리고 나노류체의 열전도도(λ_2)의 정확한 값은 $0.5 \sim 6.0 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 구역에서 10^{-5} 의 결음으로 식 (13)이 만족되는 정확한 λ_2 의 값을 구하도록 계산하였다.

이렇게 구한 나노류체의 열전도도값(λ_2)은 $0.674 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 로서 증류수의 열전도도값의 1.17배이다.

맺 는 말

증류수의 열전도도값으로부터 각이한 종류의 나노류체의 열전도도값을 구하는 실험 및 계산방법을 제기하였다.

참 고 문 헌

- [1] 이정순; 전열학, 김일성종합대학출판사, 57~82, 주체100(2011).
- [2] J. J. Healy et al.; Physica B+C, **82**, 2, 392, 1976.
- [3] N. M. Fadhilahanaafi et al.; Inter. J. Auto. Mech. Eng., **8**, 1376, 2013.

주체106(2017)년 3월 5일 원고접수

A Method for Thermal Conductivity Measurement of Nanofluid

Sin Chung Hyok

We discuss about the experimental and calculating method for thermal conductivity measurement of nanofluid. This method can be applied to the thermal conductivity measurement of several kinds of nanofluids.

Key words: carbon nanotube(CNT), thermal conductivity, nanofluid