

민감도의 변화를 이용한 다목적 유량 측정 센서

Multi-Purpose flow rate sensor based on the sensitivity variation

*남성기¹, #이선규¹, 유동윤¹

*S. K. Nam¹, #S. K. Lee(skyee@gist.ac.kr)¹, D. Y. Yoo¹

¹ 광주과학기술원 기전공학부

Key words : Thermal flow rate sensor, Thermopile, Micro flow, Sensitivity

1. 서론

최근 마이크로 통합 분석시스템(Micro Total Analysis System)과 랩온어칩(Lab On A Chip)등의 미소유체관련 연구들이 활발히 진행됨에 따라서 질병의 조기 진단 및 효소 반응과정들을 정밀하게 모니터링하고, 분석할 수 있게 되었다. 이에 따라서 마이크로 튜브나 채널내에 주입되는 미소 유량에 대한 측정이 중요시 되고 있다.

유량을 측정하는 방법에는 크게 열식(Thermal type)과 비열식(Non-thermal type)이 있다. 비열식은 항력(Drag force), 압력차이, 코리올리 힘을 이용한 방식이 있고, 열식은 열저항(Thermoresistive), 열전기(Thermoelectric), 열자기현상(Thermoelectronic), 초전기현상(Pyroelectric), 진동주파수 측정을 이용한 방식등이 있다[1]. 열식 유량센서의 경우 비열식에 비해 주위의 온도와 압력에 따라 측정량이 크게 변화하지 않는 장점이 있다. 하지만, 마이크로 유량을 측정시 고감도, 고속응답, 소형, 저소비 전력등의 이점을 얻을 수 있는데 반해, 유동 유체의 온도나 가열용 히터의 출력 변화등이 측정에 오차로 발생하게 된다[2].

이에 본 연구에서는 열전쌍의 민감도(Sensitivity) 변화를 이용하여 마이크로채널내의 미소 주입 유량을 측정하고, 또한 유동 유체의 열량 변화 및 히터의 파워 변화도 모니터링이 가능한 시스템을 구성하였다.

2. 측정이론

마이크로 채널 내에 삽입된 센서와 유동 유체간의 열평형식을 이용하면 유동 유량을

측정할 수 있다. 그림 1 은 박막위에 제작된 유량측정 센서의 단면을 나타낸다.

영역②은 히터부분이고, 영역①은 열전쌍 및 열전도부분을 나타낸다. 에너지 평형 방정식에 의해 각 영역의 해석이 가능하고[3],

$$E_{in} + E_g - E_{out} = E_{sys} \quad (1)$$

$$\frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{q}{K} = \frac{\rho \cdot C_p}{K} \cdot \frac{\partial \theta}{\partial t}$$

각각의 경계조건들을 대입하게 된다.

$$-K_0 \frac{\partial \theta_0(x_0)}{\partial x_0} \Big|_{x_0=0} = 0, -K_0 \frac{\partial \theta_0(x_0)}{\partial x_0} \Big|_{x_0=l_0} = q_{01} \quad (2)$$

$$-K_1 \frac{\partial \theta_1(x_1)}{\partial x_1} \Big|_{x_1=0} = q_{01}, \theta_1(x_1) \Big|_{x_1=l_1} = 0$$

구해진 온도분포와 대류 열전달 계수를 이용하여 열전쌍의 민감도를 구해보면, 유량과의 관계를 얻을 수 있다.

$$Sensitivity = \frac{Output\ voltage}{Input\ heat\ power}$$

$$= \frac{N\alpha\Delta T}{\phi_0 b t} = \left(N\alpha \times \frac{1}{h} \frac{K_0 m_0}{K_1 m_1} B^{-1} \frac{\sinh[m_1(l_1 - \Delta l)]}{\cosh(m_1 l_1)} \right) \times \frac{1}{h} \quad (3)$$

$$= \frac{\left(N\alpha \times \frac{1}{h} \frac{K_0 m_0}{K_1 m_1} B^{-1} \frac{\sinh[m_1(l_1 - \Delta l)]}{\cosh(m_1 l_1)} \right)}{\left(0.664 K \sqrt{\frac{l}{v}} Pr^{1/3} \right)} \times \frac{1}{\sqrt{u}}$$

$$S \propto \frac{1}{\sqrt{u}}$$

또한 동일 유동 환경내에서 유체의 온도 변화 및 히터의 발열량 변화는 열전쌍의 출력 변화로 나타나므로, 아래와 같은 비례관계를 확인할 수 있다.

$$\Delta V = N\alpha(T_h - T_c) = \left(N\alpha \times \frac{1}{h} \frac{K_0 m_0}{K_1 m_1} B^{-1} \frac{\sinh[m_1(l_1 - \Delta l)]}{\cosh(m_1 l_1)} \right) \times \phi_0 \quad (4)$$

$$V' = V + S \times Q \quad (\because \Delta V \propto \phi_0)$$

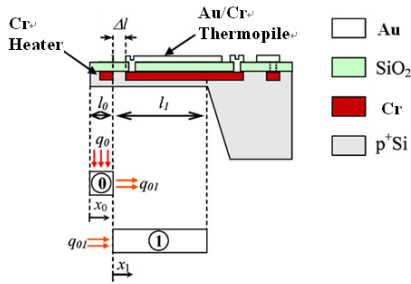


Fig.1 Schematic of thermal flow rate sensor

3. 실험방법 및 결과

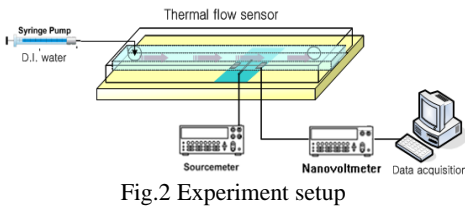


Fig.2 Experiment setup

그림 2 는 미소 유량 측정장치를 나타내며 유체 주입을 위한 시린지 펌프와 PDMS 로 제작된 마이크로 채널(W:800 μm, H:50 μm), 히터의 발열을 위한 소스미터, 그리고 열전쌍의 출력신호를 저장하기 위한 나노볼트미터와 Daq 시스템을 이용하였다.

유동 유량의 변화에 따라서 그림 3 과 같이 히터의 발열량 변화에 대한 열전쌍의 출력전압 변화를 측정하였고 4~25 μL/min 의 유량범위 내에서 선형적인 관계를 확인하였다. 또한 일정 유량에 대한 히터의 발열량 변화시 센서의 출력전압의 형태로 나타나므로 그림 4 과 같이 발열량과 센서 출력의 관계를 실험하였다.

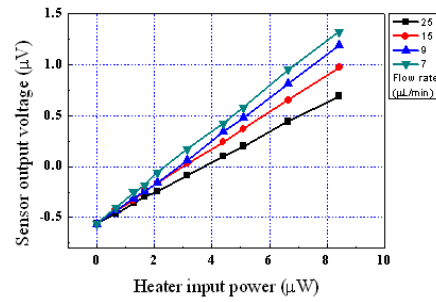
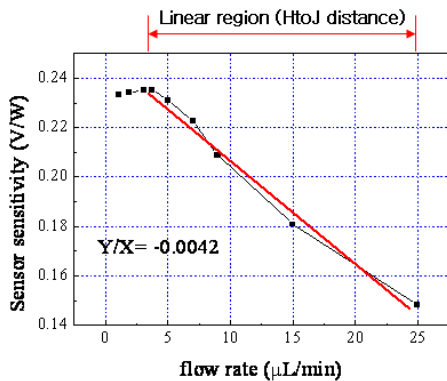


Fig.3 Sensitivity variation according to flow rate
Fig.4 Sensor output voltage according to heat power

4. 결론

본 논문에서는 MEMS 기술을 이용한 열식 유량센서를 제작하여 마이크로 채널내에 유동하는 미소 유량뿐만 아니라 유동 유체의 발열량 변화나 히터의 출력 변화를 측정 할 수 있는 시스템을 구현하였다. 마이크로 유체를 활용한 연구가 활발해 짐에 따라 미소 유량 측정 및 유체의 열적 특성 변화를 감지하는 기술의 필요가 증가할 것으로 생각한다.

후기

This work is supported by the National Research Foundation of Korea(NRF) grant funded by the Korea government (MEST) (No.20100018458) and partially supported by the Ministry of Knowledge Economy (MKE) (Grant No. 2010-H-003-00030100-2010)

참고문헌

1. N. T. Nguyen, "Micromachined flow sensors-a review", Flow Meas. Instrum., 8(1), pp7-16, 1997
2. 윤현중, 김순영, 양상식, "미소 유량 측정을 위한 마이크로 전자 유량 센서의 제작", 센서학회지, 9(5), pp1-7,2000
3. D. Randjelović, A. Petropoulos, G. Kaltsas. M. Stojanović, Z. Lazić, Z. Djurić, M. Matić, "Multipurpose MEMS thermal sensor based on thermopiles", Sens. Actuator A-Phys, 141, pp404-413, 2008