

정저항형 유속/유량 센서의 구조 및 회로 개선 연구

강 윤석* / 박 세광
경북대학교 전기공학과*

Development of Sensor Structure and Operating Circuit
for Constant Resistive Type Flow Velocity/Mass Sensor

Yunseok Kang* /Sekwang Park
Kyungpook National University, Department of Electrical Engineering*

Abstract

In this paper, the flow velocity/mass sensor which is based on the principle of CCT(Constant Chip Temperature) and its digital operating circuit and system have been developed and tested. The experimental result for flow velocity shows that the sensitivity is $644.01 \mu W^2/[m/sec]$ for air, and there is nearly no hysteresis for full measured range of velocity. Response time is between 1 second and 8 seconds for low and large velocity variation, respectively.

I. 서론

유속센서는 유속 벡터의 크기나 방향이 요구되는 넓은 범위의 응용에 사용되고 있으며, 산업의 발전과 더불어 유속 및 유량계의 수요는 급격히 증가하고 있다. 하지만 현재 사용되고 있는 유속 및 유량계는 대형기계식이고 고가이거나, 그 응용범위가 특정 유체에 제한되고 정확도가 나쁜 단점이 있다^[1-2]. 따라서 대량생산이 가능하고 소형, 정밀한 유속 및 유량계를 개발하기 위해 반도체 공정과 마이크로머시닝 기술을 도입하는 연구가 진행되고 있다. 이러한 유속 및 유량계는 열을 검출수단으로 하여 가열된 센서와 유체 유동 사이에 일어나는 대류에 의한 열전달에 그 기초를 두고 있으며, 열선 유속계(Hot-wire Anemometer)가 그 대표적인 예이다. 하지만 열선형 유속계는 제작공정이 어렵고 복잡하여 양산이 힘들며, 열선이 유동에 의하여 망가지기 쉽다는 문제점이 있다. 이런 문제점들을 해결하기 위하여 반도체 기술을 이용한 박막형 유속센서가 많이 연구되고 있으며, 본 연구에서도 이러한 방법을 이용하였다^[3-4]. 히터와 유체사이의 온도차이를 일정하게 유지하기 위해 유체의 유동으로 인해 발

생한 대류에 의한 열전달로 소모되는 열량손실을 보충하기 위해 히터에 인가되는 전압을 이용하여 측정하는 방법이다. 따라서 박막형 유속/유량 센서는 유체의 온도 변화에 크게 영향을 받게 되므로 회로상에서 적절히 보상해 주어야 한다^[5-6]. 본 논문에서는 기존의 온도도형 센서에서와는 달리 히터와 유체의 온도차이를 정확하게 유지하기 위해 센서와 디지털 구동회로를 설계하였다.

II. 제작 및 실험

1. 센서 및 회로 제작

열증착 방법에 의하여 실리콘 위에 2000Å 두께의 알루미늄 박막을 입히고 리소그래픽을 이용하여 약 78Ω 정도의 저항을 가지도록 센서를 제작하였다. 제작

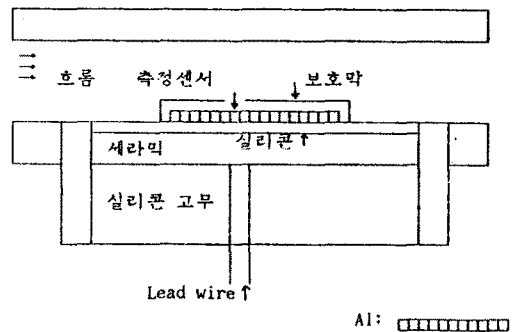


그림 1 센서 설치 구조

된 센서의 칩 크기는 $3 \times 3 \text{ mm}^2$ 이다. 그림 1은 제작된 센서의 설치 구조를 나타내고 있다.

센서의 구동회로는 카운터를 사용하여 유체 온도 센서와 히터 온도 센서의 전압이 평형이 되는 출력 전압을 자동 유지하는 방법을 사용하였다. 히터와 히터 온도 센서는 같은 저항값을 가지게 설계하여 피드백

방식이 적용되게 하였으며, 작은 정전류원을 유체 온도 센서와 히터 온도 센서에 인가하여 일정 온도차를 나게 제작하였다. 즉 식 (1)에 나타나있는 것처럼 칩의 입력전력 P_s 와 손실전력의 평형식에서 $T_s - T_f = \Delta T$ 를 일정하게 유지하여 유속만이 변수가 되게 하였다.

$$P_s = V_s^2 / R_s = (\alpha + \beta V_f^{\frac{1}{2}})(T_s - T_f) \quad (1)$$

$$= \alpha(T_s - T_f) + \beta V_f^{\frac{1}{2}}(T_s - T_f)$$

여기서 α 와 β 는 상수이며 오른쪽의 첫번째 항은 전도에 의한 열손실을 나타내고 두번째 항은 대류에 의한 열손실을 나타낸다.

III. 실험결과 및 토의

박막형 유속/유량 센서는 히터에서 발생하는 소비전력의 제곱이 유속에 비례하므로 히터의 소비전력을 검출수단으로 사용한다. 이 소비전력을 정확하게 검출하기 위해서 식 (1)에 나타나있는 히터에 인가되는 전압을 측정하고 이 히터의 저항값을 측정하여야한다. 따라서 제작된 센서의 TCR이 중요한 인자가 되고, 센서 저항의 온도 계수가 넓은 온도 범위에 있어서 선형성을 유지해야한다. 그림 2은 제작된 센서의 온도 특성을 나타내며 200℃ 내에서 선형성을 보이고 있으며, TCR은 3150 ppm/Ω/℃을 나타내고 있다. 이는 이론치보다 약 1000 ppm/Ω/℃정도 작은 값을 나타낸다. 이것은 센서의 제작에 사용된 Al의 순도와 제조과정에서의 산화등에 의한 영향으로 고려되어지며, Al의 순도의 증가와 제조과정에서의 세심한 주의로 TCR을 증가시킬 수 있으리라 본다.

박막형 유속/유량 센서는 TCR이 큰 저항체를 사용하므로 온도의 영향을 많이 받게 된다. 이는 회로적으로 센서와 유체의 온도차 ΔT 를 일정하게 유지함으로써 보상이 가능하다. 그림 3은 ΔT 가 15℃ 정도로 일정하게 유지되고 있음을 나타내고 있으며, 회로가 적절히 동작하고 있음을 알 수 있다.

그림 4는 기체일때의 출력과 유속과의 관계를 나타내고 있다. 기체는 0 - 6 m/sec의 범위 내에서 측정하였으며, 측정에 사용된 관에서 층류(Laminar Flow)를 이루고 있으며 선형성을 나타내고 있다는 것을 알 수 있다.

감도는 644.01μW²/[m/sec]를 보이고 있다. 그림 5은 센서의 히스테리시스를 나타내며 측정 범위 안에서 거의 없는 것을 알 수 있다. 출력 변화치에 대한 최고 히스테리시스 폭의 비가 3%이내로 나타내고 있다.

그림 6(a)는 유속이 0 m/sec에서 6 m/sec까지 구형 파로 증감할 때에 센서의 응답시간을 나타내고 있으

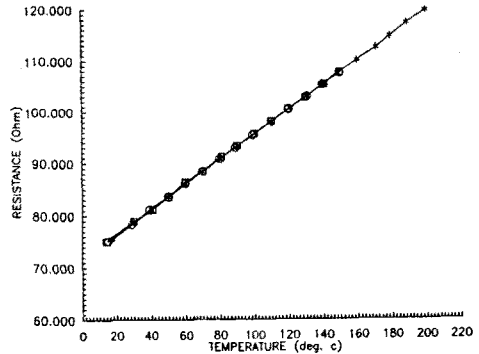


그림 2 센서의 온도 특성

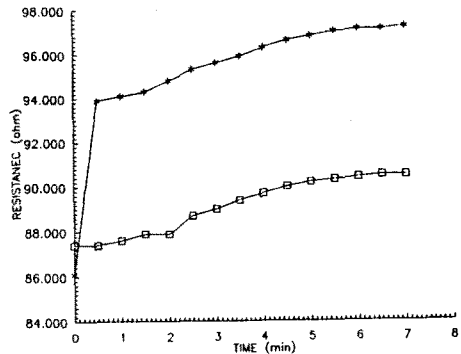


그림 3 히터와 유체 온도 사이의 특성

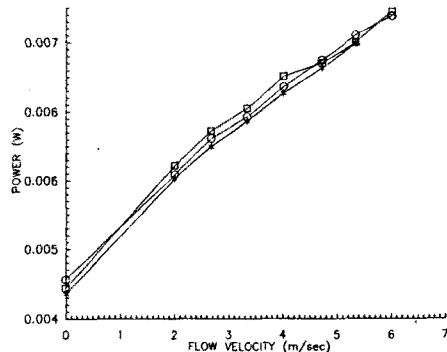


그림 4 출력과 유속과의 관계

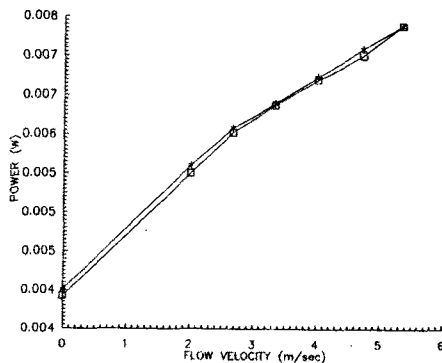
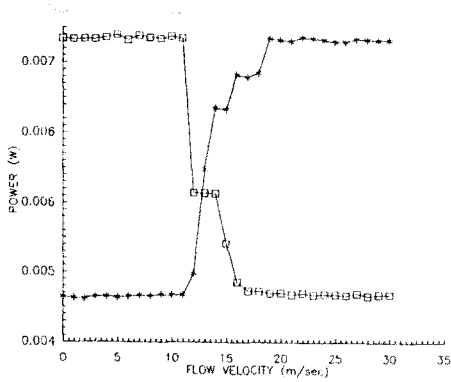
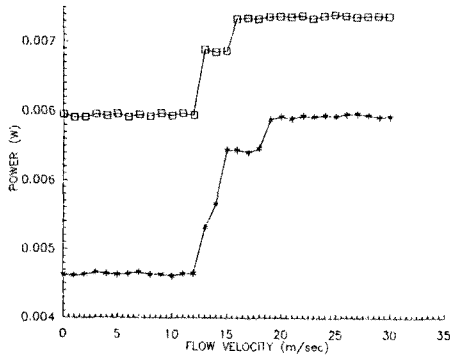


그림 5 센서의 히스테리시스 특성



(a) 유속의 변화가 큰 경우



(b) 유속의 변화가 작은 경우

그림 6 유속/유량 센서의 시간 응답

며, 그림 6(b)는 유속이 단계적으로 증가하고 있을 때의 응답시간을 나타내고 있다. 두 그림에서 유속의 변화범위가 클 경우가 유속의 변화가 작을 때보다 응답속도가 느리고 유속의 감소할 때가 증가할 때보다 응답속도가 빠름을 알 수 있다. 두 그림에서 나타난 중간 단계는 회로에 인가된 주파수에 의해서, 또는 센서에 사용된 저항체의 열용량이나 보호막으로 사용된 에폭시에 의한 영향으로 해석되어지며 시뮬레이션에 의한 적절한 주파수의 선택, 저항체나 에폭시의 신중한 선택에 의해 개선될 수 있으며, 이로인해 응답 시간이 많이 단축될 수 있을 것이다.

IV. 결론

유체의 흐름에 의한 센서의 열량손실을 측정하여 유속을 측정하는 열량식 유량계를 AI 저항을 사용하여 박막형으로 제작하고 센서와 유체의 온도차 ΔT 를 일정하게 유지하기 위해 회로를 설계하고 제작하였다.

제작된 센서의 온도 특성을 조사하여 3150 ppm/Q/°C

의 TCR을 가지고, 200°C의 범위내에서 선형성을 가짐을 알았다. 또한 새로이 설계, 제작된 회로에 의해 센서와 유체의 온도차 ΔT 가 일정하게 유지됨을 보았다. 기체에 대한 박막형 유속/유량 센서의 특성 실험에서 감도가 644.01 $\mu\text{W}^2/[\text{m}/\text{sec}]$ 이고, 이론과 일치하는 출력과 유속의 선형성을 나타냄을 확인했으며 반복성이 있음을 알았다.

또한 센서의 히스테리시스 특성을 실험하여 측정범위 안에서 오차가 거의 없음을 알 수 있었다. 응답시간 조사에서는 유속이 최저 0 m/sec에서 최고 6 m/sec까지 변화할 때에 최대 응답시간이 8초이내이고, 유속의 변화폭이 작을 때에는 이보다 응답시간이 빠름을 알 수 있었다. 이러한 특성은 최적 주파수의 인가와 열용량이 작은 센서 재료를 사용함으로써 조절할 수 있다.

참고 문헌

- [1] A. F. p. van Putten, "A Constant voltage Constant Current Wheastone Bridge Configuration", Sensors and Actuators, Vol. 13, pp. 103-115, 1988.
- [2] B. W. van Oudheusden and J. H. Huijsing, "Integrated Silicon Flow Sensor", Sensors and Actuators, Vol. 16, pp. 109-119, 1989.
- [3] P. Freymuth, "Feedback Control Theory for Constant-Temperature Hot-Wire Anemometers", The Review of Scientific Instruments, Vol. 38, no. 5, pp. 677-681, 1967.
- [4] J. H. Huijsing and W. Verhoef, "Monolithic Integrated Direction Sensitive Flow Sensor", IEEE. Electron Devices, Vol. 29, no.1, pp. 133-136, 1982.
- [5] 최 재건, 박 세광, "정저항형 마이크로-칩 유속 센서", 제2회 센서기술학술대회 논문집, Vol 2, No.1, pp. 61-65, 1991.
- [6] 김 형표, 박 세광, "유속/유량 센서의 특성 연구", 제3회 센서기술학술대회 논문집, Vol 3, No. 1, pp. 130-133, 1992.