

## 열박막 풍속계의 제작 및 특성

김형표, 조찬섭

## Fabrication and Characteristics of Hot-film Anemometer

Hyungpyo Kim, Chanseob Cho

## 요약

본 논문에서는 실내의 공기 흐름을 간단하게 측정할 수 있는 정온도형 디지털 열박막 풍속계를 개발하였다. 센서의 출력전압은 풍속에 대해서 4제곱근에 비례하므로 마이크로프로세서와 A/D 컨버터를 사용하여 선형화 하였다. 제작한 풍속계의 출력 풍속값은 기준 풍속계와 비교한 결과 오차는  $\pm 2\%$  이내였다. 제작한 풍속계를 풍속이 10m/sec이고 공기 온도가 23°C ~ 60°C 범위에서 온도 실험한 결과에서 온도에 대한 오차는 약  $\pm 1\%$  이었다.

## Abstract

The paper presents the constant temperature digital hot-film anemometer that measures easily a wind velocity at the indoor. The output is linearized using microprocessor and analog-to-digital converter, because the fourth root of the wind velocity is the output voltage of the sensor. The comparison result between fabricated and reference anemometer is less than  $\pm 2\%$ . In the range of air temperature of 23°C ~ 60°C, the error is about  $\pm 1\%$  in wind velocity 10m/sec.

## 1. 서론

최근 지식정보화 사회로 발전함에 따라 실내에서 업무를 수행하는 인구가 많아지고, 또 실내 거주 시간이 길어지므로 실내 환경에 대한 관심이 높아지게 되었다. 특히 사무실, 공장, 지하상가, 연구실, 실험실 등의 자연환기 및 인공환기에 의한 공기흐름을 파악하는 풍속 측정은 필수 요건이다<sup>[1]</sup>. 풍속을 측정하는 방법에는 기계식, 초음파, 열식, 레이저 등 여러 가지 방법이 있으나, 가격이 싸고, 정밀한 열식이 많이 사용되고 있다<sup>[2,3]</sup>. 열식에는 열선풍속계와 열박막 풍속계가 있는데, 열선 풍속계는 항공산업, 정밀산업, 유체공학 등 난류 측정이 필요한 정밀한 분야에 주로 사용되고, 보편적인 풍속 측정에는 열박막 풍속계가 주로 사용된다<sup>[2,4,5]</sup>. 열박막 풍속계는 열박막의 온도를 주위 유체보다 높

게 유지할 때, 그 열박막으로부터 공기로의 열손실이 발생한다. 즉 공기의 속도가 빨라지면 열손실량이 커지며 그 열손실량을 측정하면 풍속을 계산해 낼 수 있으나, 열손실량과 풍속과의 관계는 비선형이므로 선형화가 필요하다<sup>[3,6,7]</sup>.

국내에서는 지금까지 열선 풍속계에 대한 기초 연구가 진행되었고, 디지털 열박막 풍속계에 관한 연구는 아직 수행되지 않았다<sup>[7,8]</sup>. 본 논문에서는 A/D 컨버터를 이용하여 열박막 풍속계 구동회로의 아날로그 출력 신호를 디지털로 변환하여, 마이크로프로세서에 입력한 후 디지털 연산방식을 이용하여 이 신호를 선형화 하여 풍속값을 출력하는 디지털 풍속계를 제작, 시험 및 특성을 조사하였다.

## II. 센서의 동작원리와 선형화

열박막 풍속계는 공기의 흐름이 있는 부분에 측정 소자와 온도보상 소자를 공기 흐름과 평행하게 위치시

키고 회로의 나머지 부분은 외부에서 동작한다. 이 열박막 풍속계의 동작 원리는 측정 소자가 주위 온도보다 높게 가열되어 흐르는 공기 속에 놓여 있으면 측정 소자는 흐르는 공기로 열량을 빼앗겨 냉각된다. 이때 빼앗기는 열량을 전기회로를 이용하여 전력으로 측정하여 공기흐름 속도와의 관계를 공식화한 것이 King's Law 원리로서 일반적으로 식(1)로 공식화된다<sup>[9]</sup>.

$$P_s = (A + B V_f^{1/2}) \Delta T \quad (1)$$

식(1)에서 소자에 공급되는 전력( $P_s$ )는 풍속( $V_f$ )의 제곱근에 비례하는 것을 알 수 있다. 여기서 A와 B는 소자 재료에 의해서 정해지는 상수이고,  $\Delta T$ 는 측정 소자의 온도와 공기 온도와의 차이이다. 이때 A와 B는 공기 온도에 무관하다고 가정한다. 가열된 측정 소자가 공기 흐름으로 인해 냉각되어 손실되는 열량을 다시 공급하기 위해, 피이드백 회로를 이용하여 전력을 증가시키면 측정 소자는 다시 가열되어 냉각되기 전의 온도로 상승하게 된다. 이때 다시 공기 흐름이 증가하면 측정 소자에 피이드백 회로가 공급해야 할 전력은 다시 증가한다. 이렇게 공기 흐름에 따라 변화되는 전력을 측정함으로써 풍속을 측정하는 원리를 정온도형이라 한다. 열박막 풍속계의 측정원리에는 정전류형과 정온도형이 있는데 정온도형이 정전류형보다 회로적으로 복잡하지만 감도와 응답속도 등에서 특성이 우수하므로 대부분 정온도형 측정원리를 적용한다.

식(1)에서 측정 소자의 저항값을  $R_s$ , 측정 소자에 흐르는 전류를 I, 측정 소자 양단의 전압을 E로 나타내면

$$R_s I = (A + B V_f^{1/2}) \Delta T \quad (2)$$

$$\frac{E^2}{R_s} = (A + B V_f^{1/2}) \Delta T \quad (3)$$

와 같이 된다.

열박막 풍속계가 정온도형으로 동작하므로  $\Delta T$ 는 일정하므로

$$E^2 = k(A + B V_f^{1/2}) \quad (4)$$

$$E^2 = A' + B' V_f^{1/2} \quad (5)$$

로 나타낼 수 있다. 여기서 k, A', B'는 상수이다.

위의 식(5)를  $V_f$ 에 대해서 정리하면

$$V_f = [(E^2 - A')/B']^2 \quad (6)$$

와 같이 정리된다.

식(6)에서 곱셈과 나눗셈 연산에 의해 센서 출력 전압은 풍속으로 환산되므로, 아날로그 방식에서는 아날로그 로그연산기와 지수연산기를 사용하거나, 아날로그 곱셈기를 사용해야 하므로 제작이 어렵고 복잡하지만, 본 논문에서는 아날로그 출력 전압을 A/D 컨버터로 디지털 신호로 변환하여 마이크로프로세서에 입력한 후 곱셈과 나눗셈 프로그램으로 계산을 수행하므로 제작이 쉽고 간단하다.

### III. 풍속계의 제작

#### 1. 센서 제작

열박막 풍속계의 센서는 측정소자, 온도보상 소자 및 프로브로 구성된다. 측정소자와 온도보상 소자는 백금 박막 측온저항체를 이용하고, 프로브는 스테인리스 봉을 가공하여 사용하였다. 측정소자는 풍속을 측정하도록 프로브의 중앙부분, 온도보상 소자는 풍온의 영향을 직접 받도록 프로브의 아래 부분에 각각 위치시킨 센서의 설계도가 그림 1이다.

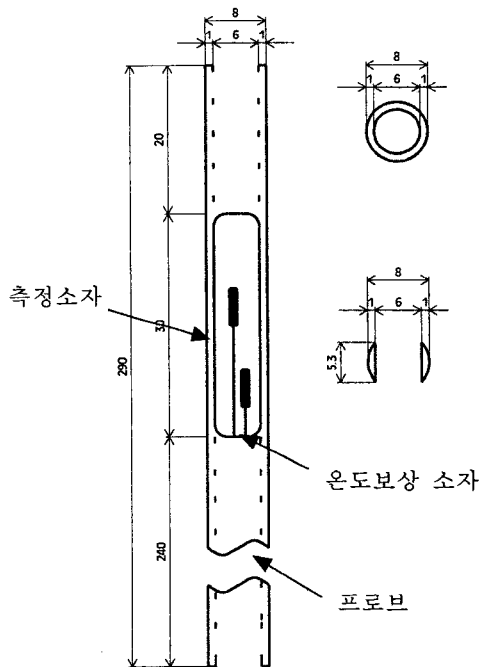


그림 1. 센서 설계도

Fig. 1. A design of sensor.

2. 구동 회로

열박막 풍속계를 정온형으로 동작시키기 위해서 구동회로는 측정 소자와 온도보상 소자를 휘스톤 브릿지로 구성하고, 이 브릿지의 출력을 연산증폭기로 증폭한 후 브릿지의 상단에 다시 입력시키는 피이드백 구조를 한다.

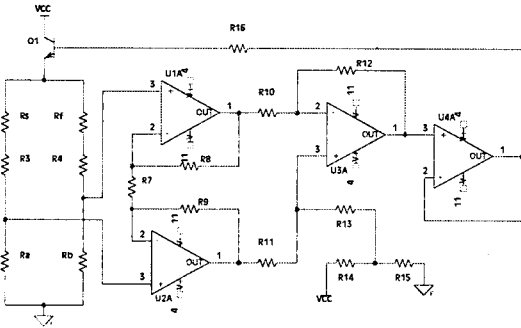


그림 2. 구동 회로  
Fig. 2. Operating circuit.

그림 2의 구동회로에서 피이드백 게인은 1,000에서 10,000사이에서 결정되며, 측정 소자의 값은 백금박막 축온저항체로 100Ω을 사용하였다. 구동회로의 휘스톤 브릿지에서 R<sub>s</sub>는 측정 소자, R<sub>t</sub>는 온도보상 소자, R<sub>a</sub>, R<sub>b</sub>는 브릿지 평형저항, R<sub>3</sub>, R<sub>4</sub>는 공기와 측정 소자의 온도차이를 결정하는 저항이며, 이 외의 저항은 피이드백 게인을 결정하는 저항들이다. 브릿지 위의 트랜지스터(Q1)는 센서 소자에 전류를 공급하기 위한 것이며 저항 R<sub>10</sub>, R<sub>11</sub>의 역할은 초기 트랜지스터를 구동하기 위한 오프셋 저항이다. 연산증폭기는 단전원 신호 증폭용으로 사용되는 LM324를 사용하였다.

측정 소자(R<sub>s</sub>)와 온도보상 소자(R<sub>t</sub>)는 저항온도계수를 크게 하여 온도 변화에 따라 저항값이 크게 변하도록 하고 R<sub>a</sub>와 R<sub>b</sub>는 온도계수를 작게 하여 온도가 변화하더라도 저항값의 변화가 없게 한다. 또 측정 소자는 저항값을 작게 하고 온도보상 소자는 저항값을 크게 하여 두 저항의 저항비를 크게 하면 연산증폭기의 출력 전압이 브릿지 상단에 인가될 때 측정소자에 전류가 많이 흐르게 되고 온도보상 소자에는 전류가 작게 흐르게 된다. 전류가 많이 흐르는 측정 소자는 열이 발생하여 가열되고, 전류가 작게 흐르는 온도보상 소자는 열이 발생하지 않으므로 측정 소자와 온도보상 소자는 ΔT의 온도차이가 생긴다. 가열된 측정 소자는 온도계

수가 크기 때문에 공기 흐름에 따라 열손실이 생기면서 공기온도에 따라 저항값이 변화하게 되고, 온도보상 소자는 가열되지 않았기 때문에 공기 흐름에 따라 열손실이 없고 공기 온도에 따라서만 저항값이 변화된다. 이런 온도에 따른 동작을 이용하여 공기온도 변화에 대한 열박막 풍속계의 출력을 보상할 수 있다.

3. 디지털 회로

그림 3은 디지털 회로의 개략도 이다. 아날로그 입력 전압은 A/D 컨버터에 의해서 디지털 신호로 변환되어 마이크로프로세서에 입력된다. 마이크로프로세서는 메모리에 프로그램된 소프트웨어에 의해서 입력 신호를 풍속으로 환산하게 된다. 풍속으로 환산된 디지털신호는 LCD 구동회로에 출력이 되고, LCD 구동회로는 마이크로프로세서에서 받은 신호로 LCD에 풍속값을 표시한다.

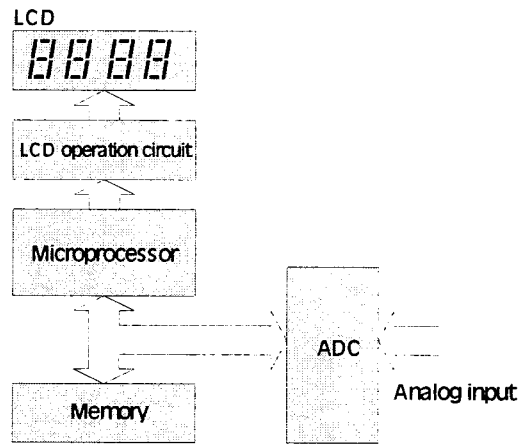


그림 3. 디지털 회로 개략도  
Fig. 3. Block diagram of digital circuit.

그림 4는 마이크로프로세서의 데이터 입력과 풍속환산 프로그램의 흐름도 이다. 먼저 소프트웨어의 처음 부분은 하드웨어적인 인터럽트를 처리하기 위한 인터럽트 처리 루틴이 위치한다. A/D 컨버터에 의해 출력 전압이 디지털 신호로 변환되어 데이터로 입력되는데, 입력되는 과정은 소프트웨어에 의해서 통제된다. 입력된 데이터는 데이터 검증 루틴에서 잘못 입력된 경우를 판단하여 처리한다. 데이터 검증을 거친 올바른 데이터는 풍속 환산 루틴에서 풍속으로 계산된다. 풍속으로 환산된 데이터는 출력 부분에서 LCD 구동회로에

처리될 수 있도록 출력신호로 변환되어 출력된다. 데이터가 출력되면 새로운 데이터 입력이 이루어진다. 풍속 환산에 필요한 나눗셈과 곱셈 프로그램은 부호가 없는 양의 정수 범위에서 기계어로 작성하였고, 풍속 환산 프로그램은 초기에 ROM에 입력시켜서 주프로그램 수행 중 필요 부분에서 이용하였다. 마이크로프로세서는 80C31을 사용하고, A/D 컨버터는 적분형인 ICL7109를 사용하였으며, LCD는 3½ digit를 사용하였다.

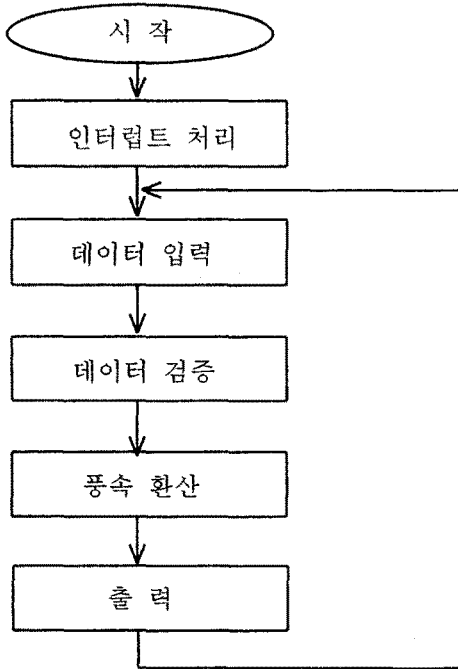


그림 4. 프로그램 흐름도  
Fig. 4. Flow chart of program.

IV. 실험 및 결과

그림 5는 제작한 풍속계를 실험하기 위해 풍속 실험 장치의 설계도이다. 실험장치는 측정부에서 일정한 풍속이 발생하도록 설계되었다. 송풍기에 의해서 바람이 발생하여 먼저 확산부를 거쳐 바람이 확산이 된 후 안정부에서 안정화가 이루어진다. 안정부를 거친 바람은 수축부에서 수축이 된 후 측정부를 통과하여 외부로 빠져나간다. 수축부는 풍속을 증가시키기 위한 부분이고 풍속 실험은 측정부에서 수행된다. 그림 6은 풍속 실험 장치의 사진이다.

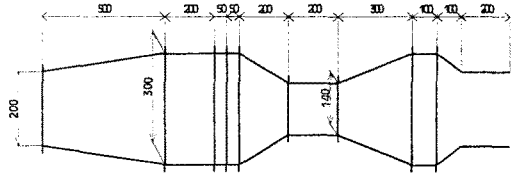


그림 5. 풍속 실험 장치의 설계도  
Fig. 5. A design of experimental system of wind velocity.



그림 6. 풍속 실험 장치의 사진  
Fig. 6. Photograph of experimental system of wind velocity.

그림 7은 풍속에 대한 실험 결과이다. 출력 전압을 풍속으로 환산하는 식(6)에서 상수 A'와 B'는 반복 실험으로 구하였다. 기준 풍속계는 I Denshi의 VF-01을 사용하여 풍속을 측정하였다. 제작한 풍속계의 출력 풍속 값은 기준 풍속계와 비교한 결과 ±2%의 오차가 발생하였다.

그림 8은 기준 풍속계와 제작한 풍속계의 풍속이 10m/sec이고 공기 온도가 23℃ ~ 60℃ 범위에서 각각의 전압을 측정하여 온도 실험한 결과이다. 온도에 대한 오차는 약 ±1% 이었다.

그림 9는 제작한 디지털 열박막 풍속계의 사진이다. 디지털 열박막 풍속계는 디지털 회로와 구동 회로를 PCB로 제작하였고, 케이스는 금형을 제작하여 사출하였다. 풍속을 측정하는 프로브는 스테인리스 관을 가공하여 제작하였고, 커넥터를 사용하여 본체와 연결하였다. 제작한 풍속계의 특성은 표 1과 같아서 일반적인 실내환기 및 공기흐름을 측정하는데 간단하고 편리하게 사용할 수 있을 것이다.

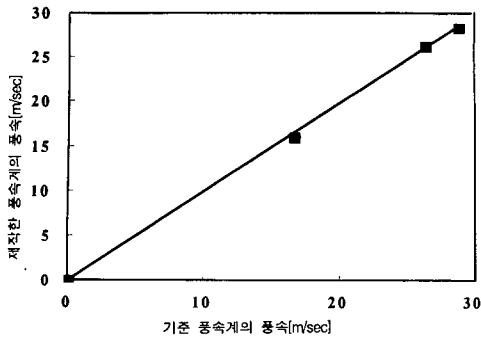


그림 7. 제작한 풍속계와 기준풍속계 풍속 비교  
Fig. 7. Wind velocity of fabricated versus reference anemometer.

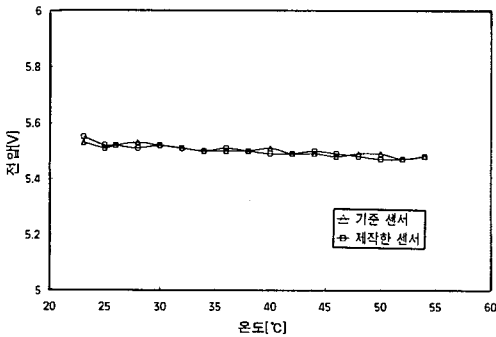


그림 8. 제작한 풍속계와 기준 풍속계의 온도 특성  
Fig. 8. Temperature characteristics of fabricated versus reference anemometer.

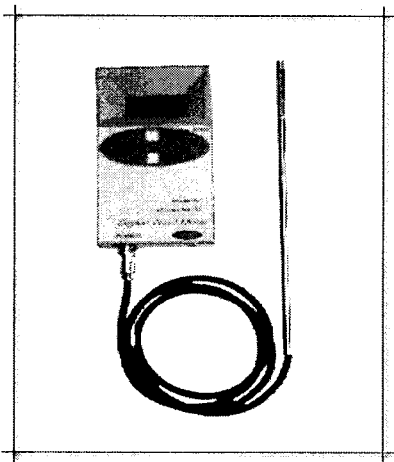


그림 9. 제작한 풍속계의 사진  
Fig. 9. Photograph of fabricated anemometer.

표 1. 제작한 디지털 열박막 풍속계의 특성

Table 1. Characteristics of fabricated digital hot-film anemometer

구 분	내 용
풍속 범위	0~40m/sec
응답 시간	0.1초이내
오 차	±3%
온도 범위	-20℃ ~ 80℃
크 기	90mm × 230mm × 15mm

### V. 결론

본 논문에서는 A/D 컨버터를 이용하여 열박막 풍속계 구동회로의 아날로그 출력 신호를 디지털로 변환하여, 마이크로프로세서에 입력한 후 디지털 연산방식을 이용하여 이 신호를 선형화 하여 풍속값을 출력하는 디지털 풍속계를 제작하여 특성을 조사하였다. 제작한 풍속계의 출력 풍속값은 기준 풍속계와 비교한 결과 ±2%의 오차가 발생하였다. 기준 풍속계와 제작한 풍속계의 전압을 풍속이 10m/sec이고 공기 온도가 23℃ ~ 60℃ 범위에서 온도 실험한 결과에서 온도에 대한 오차는 약 ±1% 이었다.

따라서, 제작한 풍속계의 특성은 일반적인 실내환기 및 공기흐름을 측정하는데 저가로 간단하게 사용할 수 있을 것이다.

### 참고문헌

- [1] W. Jouvsmas, "Marketing and design in flow sensing", Sensors and Actuators A, Vol. 37, pp. 274-279, 1993.
- [2] 정 명세, "레이저를 응용한 유체유속 측정기술 개발", 과학기술처 연구보고서, 1990.
- [3] 고 상근, "정온도형 열선유속계의 오차해석과 그 응용", 대한기계학회지, Vol. 31, No. 6, pp. 512-518, 1991.

- [4] 노 병준, "열선풍속계에 의한 측정방법", 대한기계학회지, Vol. 23, No. 5, pp. 344-348, 1983.
- [5] B. W. van Oudheusden, "Effect of operating conditions on the dynamic response of thermal sensors with and without analog feedback", Sensors and Actuators A, Vol. 58, pp. 129-135, 1997.
- [6] Frunk D. Dorman, etc., "Constant overheat anemometer with sensor lead wire impedance compensation", US Patent 4,596,140, 1986.
- [7] 김형표, 박세광, "정온도형 유속 및 유량 측정센서", 센서학회지, 제1권, 제1호, pp. 35-41, 1992.
- [8] 김 경섭, "ANEMOMETER 개발에 관한 연구", 과학기술처 연구보고서, 1991.
- [9] W. Göpel, J. Hesse, J. N. Zemel, "Sensors", VCH, vol. 4, 1990.

---

 著 者 紹 介
 

---

## 김 형 표

『센서학회지 제8권 제5호』 논문99-8-5-5, p.41 참조  
 현재 상주대학교 전자전기공학부 전임강사

## 조 찬 섭

『센서학회지 제5권 제5호』 논문96-5-5-03, p.21 참조  
 현재 상주대학교 전자전기공학부 조교수