JKIICE Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering

한국정보통신학회논문지 Vol. 23, No. 10: 1188~1194, Oct. 2019

주변 온도보상이 필요 없는 열선식 풍속 센서 시스템

성준규[1] · 이근우[2] · 정회경[3*]

Hot Wire Wind Speed Sensor System Without Ambient Temperature Compensation

Junkyu Sung[1] · Keunwoo Lee[2] · Hoekyung Jung[3*]

[1]Pro, R&D Center, Bioall Co., Ltd., 139 Techno 2-ro, Yuseong-gu, Daejeon, 34024 Korea
[2]Graduate Student, Department of Computer Engineering, Paichai University, Daejeon, 35345 Korea
[3*]Professor, Department of Computer Engineering, Paichai University, Daejeon, 35345 Korea

요 약

유체의 흐름을 측정하는 여러 방법 중 열선 풍속 센서는 유체의 열전달에 의해 속도나 온도를 측정하는 장치로 비정상 속도 및 난류 속도 성분을 측정하는데 유용하다. 하지만 열선 풍속 센서는 외부의 환경 요인에 민감하며, 주변 온도, 습도, 신호 잡음 등에 의해 정확도가 떨어지는 단점이 있다. 이런 단점을 보완하는 방법으로 온도 보상 회로를 추가하는 기술이 나오고 있지만 가격 경쟁력을 갖출 수 없는 상황이다. 이를 해결하기 위해 본 논문에서는 온도 보상이 필요 없는 풍속 감지 센서에 대해 연구를 진행하였다. 열선식 풍속 센서는 외부 환경 요인 중에서도 주변 온도에 매우 취약하다. 주변 온도로는 전자 회로에 의한 발열의 영향이 가장 크게 미치고 있으며, 이를 개선하는 방법으로 발열체에 보조 발열체를 추가로 장착하여 보조발열체와 발열체의 일정한 온도차를 제어하는 것이다. 이와 같이 기존 기술에 비해 복잡하지 않은 방법으로 동등한 성능을 확보할 수 있다는 것을 확인할 수 있었다.

ABSTRACT

Among the many ways to measure the flow of fluid the hot air wind speed sensor is a device for measuring the speed or temperature by heat transfer of a fluid. However, the hot wire wind speed sensor is sensitive to external environmental factors, and has a disadvantage of inaccuracy due to ambient temperature, humidity, and signal noise. In order to compensate for this disadvantage, advanced technology has been introduced by adding temperature compensation circuits, but it is expensive. In order to solve this problem, this paper studies the wind speed sensor that does not need temperature compensation. Heated wind speed sensors are very vulnerable to the ambient temperature, which is generated by electronic circuits, even among external environmental factors. in order to improve this, the auxiliary heating element is additionally installed in the heating element to control a constant temperature difference between the auxiliary heating element and the heating element.

키워드 : 발열체, 보상, 열선식, 풍속센서

Keywords : auxiliary heating element, compensation, hot wire, wind speed sensor

Received 24 August 2019, **Revised** 24 August 2019, **Accepted** 30 August 2019

*** Corresponding Author** Hoekyung Jung(E-mail:hkjung@pcu.ac.kr, Tel:+82-42-520-5640)
Professor, Department of Computer Engineering, Paichai University, Daejeon 35345, Korea

Open Access **http://doi.org/10.6109/jkiice.2019.23.10.1188** print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

ⓒThis is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(http://creativecommons.org/li-censes/by-nc/3.0/) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright ⓒ The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

Ⅰ. 서 론

현재 사용되는 풍속 센서는 피토관(Pitot tube)[1], 레이저 도플러(Laser doppler) 풍속계[2,3], 열선 또는 열막을 사용한 유량계 등이 있다. 이러한 유량계들의 풍속 측정방법에는 각각의 다른 측정방법을 사용하여 측정한다. 피토관은 기압의 차이를 피토관으로 측정하여 풍속을 알아내고, 레이저 도플러 유량계는 레이저 광의 도플러 효과를 사용한 풍속계이며, 열선이나 열막은 상기 공기통로를 유동하는 공기에 의해 냉각되는 발열체의 온도저하에 의해 풍속이 측정되는 풍속계이다. 또한 최근에는 공기매질을 통해 전달되는 초음파의 특성을 이용하여 바람의 속도와 방향을 측정하는 초음파형 풍속계에 관한 연구도 진행되고 있다[4].

이러한 센서들 중에서 경쟁력을 갖출 수 있는 것 중의 하나가 열선 풍속 센서이다. 열선식 풍속 센서는 응답성이 좋고, 검출 소자가 작으며, 또한 전기변환, 신호 처리가 용이하여 공조 관리, 방재 관련기기 개발, 기상측정, 공해 방지 등 많은 분야에서 활용되어 왔다[5-7]. 그러나 기존 방식은 복잡하고 가격이 고가이다[8].

이에 본 논문세서 제안하는 센서는 온도 보상이 필요 없는 열선식 풍속센서로 주로 실험실 장비에 사용하기 적절하도록 고안한 저풍속 열선식 풍속센서이다. 열선 풍속센서의 기본원리는 다음과 같다. 풍속에 따라 열전달량이 증가하면 열선의 온도가 변화하는데 속도가 증가하여 열선의 열손실에 의해 온도가 감소하면 열선의 저항이 감소하고 속도가 감소하면 열선의 저항이 증가하는 반대의 현상이 나타난다. 이러한 저항의 변화는 극히 미세한 값인데 열선 풍속 센서는 이 미세한 저항 변화를 브리지 회로를 이용하여 측정 가능한 전압으로 증폭하여 해결하는 방법이다.

Ⅱ. 관련연구

본 장에서는 센서의 원리 및 온도 보상용 풍속 센서에 분석하고, 이를 기반으로 본 논문에서 제안하는 풍속 센서의 요구사항 분석 내용을 기술한다.

2.1. 저풍속 열선 풍속 센서의 원리

저풍속 열선 풍속 센서의 원리는 그림 1과 같다. Rh 발열체의 온도가 주변온도보다 일정하게(=dT) 유지되도록 회로를 구성한다. 풍속이 0 m/sec 일 때는 센서 구동부 출력은 일정하다. 풍속이 0 m/sec 아닐 때는 Rh를 지나가는 유체가 Rh의 열을 뺏어가므로 Rh의 저항치가 낮아진다[4]. 그러면 센서 구동부의 출력 전압이 높아져서 Rh의 발열이 증가하고 그 결과로 Rh의 저항치가 증가하여 브리지는 평형을 이룬다. 임의의 풍속에서의 구동전압을 V(f), 0 m/sec에서의 구동전압을 V(0)라고 했을 때 두 전압의차, Vd = V(f) - V(0), Vd의 증감을 풍속으로 환산한다. Ra >> Rh 의 조건이므로 V(f)의 증가에 의한 자체 히팅(heating)에 의한 Ra의 증가는 미세하고 또한 교정 시에 자동 삭제된다[9,10].

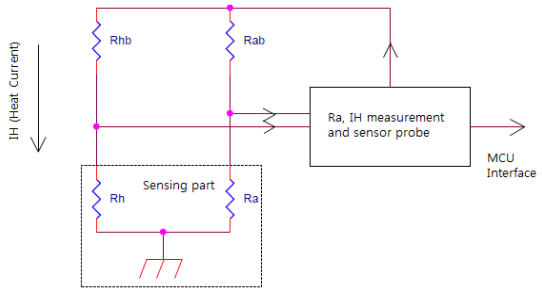

Fig. 1 Low speed hot wire wind speed sensor principle

위 그림에서 Rh는 발열체를, Ra는 저항식 주변온도 센서, Rhb는 발열체 브리지 저항, Rab는 주변온도 센서 브리지 저항을 의미한다.

2.2. 온도 보상용 풍속 감지 센서

온도 보상용 풍속 감지 센서 흐름도는 그림 2와 같다. 이는 공급되는 유체의 온도를 측정하는 온도 측정부와 발열체의 공급열량을 산출하는 열량 공급부, 열량 공급 시 발열체의 냉각시간으로 풍속을 측정하는 센서값 산출부, 온도별 풍속값이 저장되는 데이터 저장부로 구성되어 있으며 온도 측정부에서는 15회 이상을 측정 한 후 평균값을 산출하도록 한다. 그리고 마이크로 프로세서에서 온도 보상을 통한 정확한 출력값을 출력되도록 한다. 설치환경에 따른 온·습도 및 기타 영향을 최소화하기 위해서 반드시 0점 보정을 실시해서 정확한 값을 얻을 수 있도록 한다.

2.3. 온도 보상이 필요 없는 풍속 감지 센서

온도 보상이 필요 없는 풍속 감지 센서 흐름도는 그림

3과 같다. 이는 공급되는 유체의 온도를 측정하는 온도 측정부와 발열체의 공급열량을 산출하는 열량 공급부, 발열체의 열량을 제어하기 위한 보조 발열체부, 공급 시 발열체의 냉각시간으로 풍속을 측정하는 센서값 산출부, 입출력 신호를 출력하는 출력부로 구성된다. 설치환경에 따른 온·습도 및 기타 영향을 최소화하기 위해서 반드시 0점 보정을 실시해서 정확한 값을 얻을 수 있도록 하고 있다.

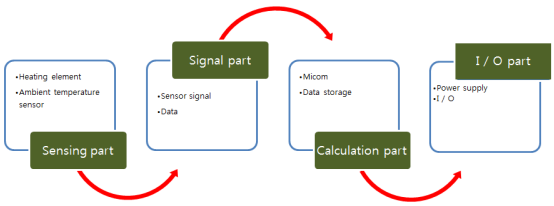

Fig. 2 Wind speed sensor flowchart (temperature compensation)

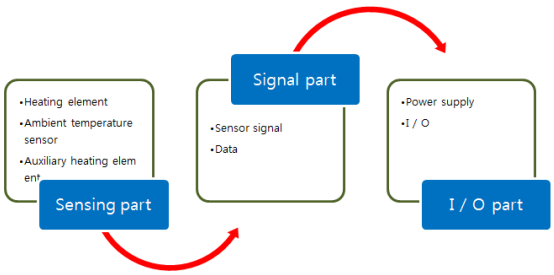

Fig. 3 Wind speed sensor flowchart(no temperature compensation)

2.4. 풍속센서 모듈에 대한 요구사항

기존 풍속 감지 센서는 주변의 환경 요인에 민감하고 정확도가 떨어져 신뢰를 할 수 없는 상황이었다. 이러한 단점을 보완된 기술로 온도 보상 회로를 추가한 온도 보상용 풍속 감지 센서이다. 정확도는 크게 향상되었지만 고가의 비용으로 인해 가격 경쟁력을 갖출 수 없는 상황이며, 이 조차도 국내 기술은 아직 전무한 상태이다. 이런 문제점을 개선하기 위해 주변 온도 보상이 필요 없는 풍속 감지 센서를 고안하여 제안한다.

열선식 풍속 센서가 주변 온도의 영향을 받는 원인은 그림 4의 풍속 센서와 같이 발열체를 지나는 바람만이 발열체의 열을 방열시키는 경로가 된다. 그러나 발열체가 PCB에 조립되어 있는 관계로 발열체의 열이 PCB로도 방열되므로 식 1과 같이 표현될 수 있다.

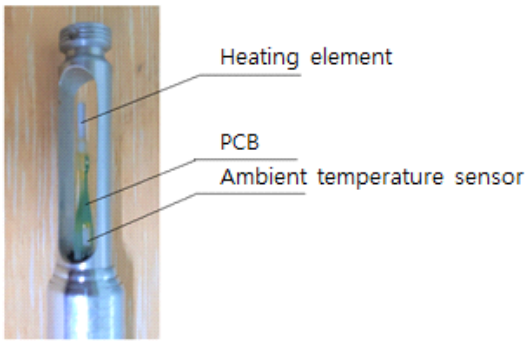

Fig. 4 Wind speed sensor structure

발열체소비전력 = 공기를 통한 방열 + PCB를 통한 발열 (1)

발열체에 연결된 PCB는 다음과 같은 이유로 주변온도와 비래하지 않는 열 특성을 가진다.

(1) PCB에 장착된 전자회로에 의한 발열의 영향

(2) PCB 하우징에 의한 단열 영향

(3) PCB의 열용량 및 열전도도등의 차이의 영향

위와 같은 복합적인 원인 때문에 발열체가 PCB를 통해서 방열하는 열량은 수학적으로 모델링하거나 예측하기가 어렵다. 그러나 PCB의 역할은 발열체에 발열에 필요한 전류를 공급하고 발열체를 고정하는 것이기 때문에 피할 수 없다. 만약 PCB와 발열체간의 온도차가 일정하게 유지되는 PCB가 있다면 위의 문제는 해결될 것이다. 그림 5와 같이 발열체에 대해 보조 발열체를 통해서 내부회로와 연결하고 보조발열체를 발열체와 일정한 온도차로 제어한다면 PCB를 통한 발열체의 발열은 같은 메커니즘으로 일정하게 할 수가 있다.

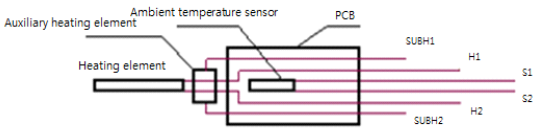

Fig. 5 Wind speed sensor structure with auxiliary heating element

위 그림에서 전도열은 Kc와 dT의 곱으로 구할 수 있는데, Kc는 고정된 기구적인 형상과 열전도 매질의 특성에 의한 상수이고, dT는 고온체와 저온체의 온도차를 의미한다. Kc는 상수이고, 온도차가 일정하게 제어되므로 dT도 상수이다. 따라서 발열체와 보조발열체 사이의

열전도량도 주위 온도에 무관하게 상수이다.

위의 <식 1>에서 두 번째 항인 “PCB를 통한 방열”은 상수가 되고 “발열체 소비전력”은 “공기를 통한 방열”의 함수가 된다.

Ⅲ. 시스템 설계

본 장에서는 제안하는 센서의 설계내용을 기술한다.

3.1. 시스템 처리 흐름도 설계

그림 6에 온도 보상이 필요 없는 풍속 감지 센서 시스템 제어 흐름도를 나타낸다. 주변 온도를 먼저 측정 후 다음의 풍속 값을 측정 한다. 보조 발열체는 측정된 풍속 값의 일정한 온도차로 제어를 한 후 풍속을 출력한다.

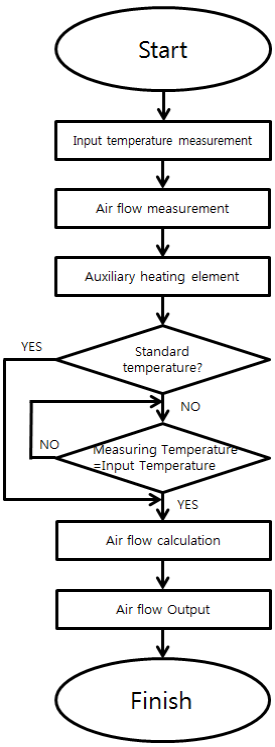

Fig. 6 Wind speed sensing system flowchart

3.2. 시스템 회로 설계

정온도형 열선 풍속 센서는 브리지 회로에 피드백(feedback)을 가해 열선의 저항 및 온도가 일정하게 유지 된다. 이때 열선에 흐르는 전류 및 전압과 속도의 변화를 측정하는 방법으로 정전류법에 비해 고주파수 응답 특성이 우수하기 때문에 열선풍속계의 주종을 이루고 있다. 열선이 유동장 내에 위치하면 열은 열선으로부터 유체로 전달되고 열선 평형을 고려하면 열선으로부터 열전달량 q는 열선에 흐르는 전류에 의한 발열량 v2 / R과 같다. 또한 열선으로부터 열전달이 주로 대류에 의한 것이고 전도 및 복사에 의한 열전달은 무시할 수 있다고 가정하면 열전달량 계산식은 식 2와 같다.

$$\frac{V^2}{R} = q = hA_k(T - T_s) \qquad (2)$$
$$= N \cdot \frac{D}{A_k} \cdot k \cdot (T \cdot T_g) = \pi bkN(T - T_g)$$

식2에서 Nu는 Nesselt Number, k는 유체의 열전도도, h는 열전달 계수, D는 hot wire 직경, Ah는 hot wire의 표면적(πDb), b는 hot wire의 길이, T는 hot wire의 온도, Tg는 유체의 온도, *Nu는 열전달에서 사용하는 열확산계수에 대한 운동량 확산 계수의 비를 나타낸다. 열선풍속계 시스템의 회로도는 그림 7과 같다.

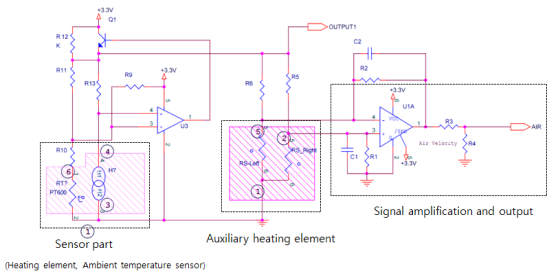

Fig. 7 Wind speed detection system circuit

열선에 전류를 가하고 열선의 온도 변화에 따른 저항의 변화가 열선의 전압에 변화를 일으켜 측정하는 방법이다, 이는 고주파수 응답속도가 우수하기 때문에 열선풍속 시스템의 주종을 이루고 있다.

예를 들어 발열체를 주변온도보다 15℃ 높게 제어하고 보조발열체를 주변온도보다 5℃ 높게 제어한다면 발열체의 다리를 통해서 보조 발열체로 방열되는 식은 식 3과 같다.

$$PCB\text{에 의한 발열} = Ksubh * (Th - Tsubh) \qquad (3)$$
$$= Ksubh * ((Ta+15) - (Ta+5))$$
$$= Ksubh(15-5)$$
$$= Ksubh * 10$$

주변온도나 풍속에 관계없이 “PCB에 의한 방열”은 상수, ‘Ksubh * 10’으로 고정된다.

Ⅳ. 실 험

본 장에서는 센서에 대해 실험 내용을 기술한다.

4.1. 실험환경

실험에 사용하는 장치 및 실험하는 풍속계 본체의 설치 장소의 온도는 18～28℃, 습도는 결로되지 않도록 한다[1, 4]. 그리고 기압, 습도에 따라 표시값이 영향을 받는 경우는 습도 65%, 기압 1013hpa에서의 값으로 보정한다.

4.2. 실험방법

실험은 다음의 방법에 따라 수행하였다. 또한, 방향성을 가진 풍속 시스템을 실험하는 경우는 풍향 마크를 기류의 상류 방향을 향하여 검출부를 설치한다. 또한 실험의 기록에는 실험시의 기류 방향을 명시하였다.

4.2.1. 표시 정밀도 실험

풍동 장치를 사용하여 풍속 센서 검출부를 표준 실험 온도 범위의 온도 기류에 노출시켜 풍속의 기준값과 비교하여 그 표시 정밀도를 조사하였다. 풍속의 기준값은 풍동장치 내에 실험 대상 풍속 센서와 함께 놓여진 국가 표준을 추적할 수 있는 풍속계(피트관을 포함한다)가 표시하는 값으로 한다. 풍동 장치 내에 실험 대상 풍속 센서와 함께 놓여진 풍속계의 표시값을 사용하는 경우에는 풍동 장치 내의 풍속 분포가 충분히 균일하다는 것과 풍속계 상호간의 간섭에 의한 오차가 발생하지 않고 있다는 것을 확인하여야 한다.

4.2.2. 안정도 실험

풍속 센서의 전원을 켜고 5분 후 및 10분[1] 후에 a)에 규정하는 실험을 실시한다. 다만, 이 실험은 풍속 측정 범위 중의 1점의 풍속에서만 실시하면 된다.

4.2.3. 기류 온도 변화에 의한 영향 실험

기류 온도 변화에 의한 영향 실험은 다음의 두 가지 방법으로 수행하였다.

1) 절대값법

풍속 장치를 사용하여 풍속 센서 검출부를 다음에 규정하는 실험 온도와 실험 풍속의 기류에 노출시켜서 풍속의 기준값과 비교하여 그 표시 정밀도를 조사하였다. 풍속의 기준값은 a)에 따른다. 기류 온도 변화에 의한 허용 부가 오차(δUt)는 다음 식 4에 따라 구한다.

$$\delta Ut = 0.003 \times Ua \times \Delta T \tag{4}$$

여기에서 Ua은 풍속의 기준값(m/s)이고, △T는 18 ℃－실험 온도(실험 온도가 표준 실험 온도 범위보다 낮은 경우) 혹은 실험 온도－28 ℃(실험 온도가 표준 실험 온도 범위보다 높은 경우) 이다.

다만, 위의 식 4에서 산출되는 δUt가 0.05m/s 이하인 경우는 δUt를 0.05m/s로 한다. 실험 온도는 사용 온도 범위의 상한과 T1 사이의 점 및 사용 온도 범위의 하한과 T2 사이의 점을 포함한다. 다만, T1 및 T2는 다음 식 5에서 정의된다.

$$\begin{aligned} T1 &= (T\text{최대} - 15℃) \text{ 또는 } 28℃ \text{ 중 높은 쪽} \\ T2 &= (T\text{최소} + 15℃) \text{ 또는 } 18℃ \text{ 중 낮은 쪽} \end{aligned} \tag{5}$$

여기서 T최대는 사용 온도 범위의 상한이며, T최소는 사용 온도 범위의 하한을 의미한다.

2) 상대값법

동일 풍속으로 간주하는 조건하에서 표준 실험 온도 범위 내 임의 온도의 기류에 대한 풍속 표시값(Us)과 실험 온도의 기류에 대한 풍속 지시값(Ur)을 기록한다. 다음 식 6에 따라 기류 온도 변화에 의한 풍속 표시 변화(δUr) 및 허용 표시 변화(δUm)를 구한다.

$$\begin{aligned} \delta Ur &= \diagdown Ur - Us \diagdown \\ \delta Um &= 0.003 \times Us \times \Delta T \end{aligned} \tag{6}$$

여기에서 △T는 18℃－실험 온도(실험 온도가 표준 실험 온도 범위보다 낮은 경우) 혹은 실험 온도－28℃(실험 온도가 표준 실험 온도 범위보다 높은 경우)를 의미한다. 다만, 위의 식에서 산출되는 δUm이 0.05m/s 이하인 경우는 δUm을 0.05m/s로 한다.

4.2.4. 응답 시간

풍속 센서의 검출부를 풍동 장치에 넣고 풍속을 0.1 m/s 이하에서 1 m/s 이상까지 갑자기 증대시켰을 때의

응답 시간을 조사한다.

4.3. 실험

본 절에서는 구현한 내용에 대해 실험한 내용 및 기존 시스템과의 비교 분석 내용을 기술한다. 실험 환경의 풍동 장치 환경은 그림 8과 같다. 풍동 장치는 충분히 정돈된 기류를 발생하는 장치로, 측정 위치의 기류 온도 분포가 ±0.5 ℃이내, 동일한 풍속에서의 측정 시간 내에서의 기류 온도 변동이 ±0.5 ℃ 이내이어야 한다. 다만, 정지한 공기 중에서 물체를 운동시킴으로써 상대적인 기류를 발생하는 장치(주행 대차 등)도 포함된다.

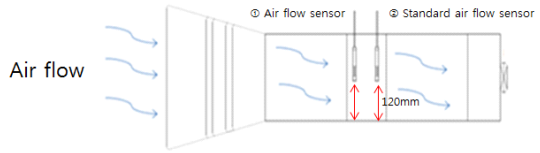

Fig. 8 Wind tunnel device configuration for experiment

0.01Hz까지 조절 가능한 교류 조정기를 풍동 장치에 설치되어 있는 50m3/min, 30mmAq 용량을 가진 원심력 송풍기에 연결하여 송풍기의 회전수를 조절 후 진행하였다.

1) 온도 보상용 풍속 감지 센서

온도 보상용 풍속 센서를 이용하여 각 온도 별(10℃, 15℃, 20℃, 25℃, 30℃) 실험을 진행하였다. 주변 온도는 항온항습기로 클린룸 내부를 전체적으로 조절하였고, 실험 방법은 KS 기준인 P8202:2006 일반용 풍속계의 지침을 인용하여 보정된 값이 일정하게 출력되는 지를 확인하였다. 풍속 센서에서 출력된 값들은 주변 환경 온도에 상관없이 항상 일정하게 출력되는 것을 확인할 수 있다. 그림 9에 D사의 센서에 대한 결과값을 보인다.

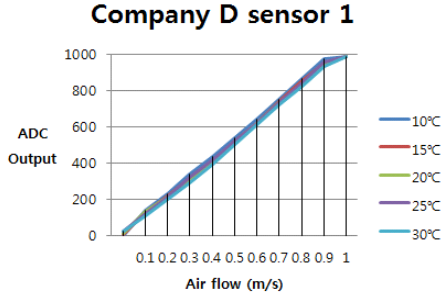

Fig. 9 Sensor test result(Company D)

2) 제안한 온도 보상이 필요 없는 풍속 감지 센서

온도 보상이 필요 없는 풍속 센서를 이용하여 각 온도 별 (10℃,15℃,20℃,25℃,30℃) 실험을 진행 하였다. 주변 온도는 항온항습기로 클린룸 내부를 전체적으로 조절하였고, 실험 방법은 KS 기준인 P8202:2006 일반용 풍속계의 지침을 인용하여 보정된 값이 일정하게 출력 되는 지를 확인하였다. 마찬가지로 풍속 센서에서 출력된 값들은 주변 환경 온도에 상관없이 일정하게 출력되는 것을 확인할 수 있다. 그림 10에 본 논문에서 개발한 센서에 대한 결과값을 보인다.

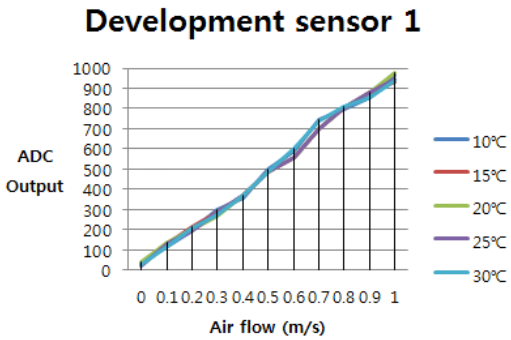

Fig. 10 Sensor test result(Developed)

Ⅴ. 결 론

다양한 분야에서 풍속 센서가 필요하나 기존 열선 풍속 센서는 외부의 환경 요인에 민감하며, 주변 온도, 습도, 신호 잡음 등에 의해 정확도가 떨어지는 단점이 있다. 이에 본 논문에서는 주변 온도 보상이 필요 없는 열선식 풍속 센서를 제안하였다.

주변 온도 보상이 필요 없는 풍속 센서는 기존의 개발된 풍속 센서와 비교해 볼 때 하드웨어적 구성이 복잡하지 않고 간결하고, 생산 비용이 저렴하다. 기존 온도 보상용 풍속 센서의 경우 보정에 대한 복잡한 소프트웨어 설계 기술이 필요하였다. 그러나 제안한 주변 온도 보상이 필요 없는 풍속 센서는 하드웨어 설계에서부터 주변 온도에 미칠 수 있는 구조를 일차적으로 개선하여 안정성을 확보하였다. 또한, 위의 실험 방법으로 성능에 대해 검증한 바와 같이 소프트웨어 설계 기술이 필요하지 않은 방법으로 성능과 가격 경쟁력을 확보할 수 있을 것으로 판단된다. 그리고 텅스텐이나 백금을 사용하지 않

고 NTC(Negative Temperature Coefficient thermistor) 서미스터 또는 PTC(Positive Temperature Coefficient Thermistor) 서미스터를 이용하여 저가의 풍속 센서 개발이 가능할 것이다. 본 논문에서 제안한 모듈은 저속 영역에서 정확성이 요구되는 경우 기존 시스템을 대체할 수 있고, 향후 각 응용 제품에 맞는 소자 및 센서 개발에 대응이 가능하여 수입대체 효과가 커서 널리 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

ACKNOWLEDGEMENT

This work (Grants No. S2658119) was supported by project for Cooperative R&D between Industry, Academy, and Research Institute funded Korea Ministry of SMEs and Startups in 2018.

REFERENCES

[1] J. M. Lim, B. H. Yoon, and K. A. Park, “A Study on the Characteristics of Multi-point Pilot Tube Flow-meter,” *Journal of fluid Machinery*, vol.4, no. 2, pp.35-43, 2001.

[2] S. C. Choi, S. H. Baek, S. K. Park, and D. H. Kim, “Development of Doppler Lidar System for Wind Direction and Wind Speed Observation,” *Journal of Korean Meteorological Society*, pp. 96-97, Mar. 2012.

[3] H. C. Lim, D. I. Lee, and S. M. Jang, “Evaluation Study on Wind Retrieval Methods from Single-Doppler Radar,” *Journal of The Korean Environmental Sciences Society*, vol. 18, no.3, pp. 333-343, Mar. 2009.

[4] W. J. Lee, J. H. Yim, and Y. G. Kang, “Implementation of Ultrasonic Anemometer & Anemoscope Data-Logger System,” *The journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences*, vol. 39, no. 2, pp. 184-190, 2014.

[5] D. J. Jeong, J. Y. Kim, S. J. Bae, and H. K. Jung, “Distributed IoT Sensor based Laboratory Safety Management System,” *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 23, no. 1, pp.90-96, 2019.

[6] H. Kim, J. Kim, and H. Jung, “Convolutional Neural Network Based Im,age Processing System,” *Journal of information and communication convergence engineering*, vol. 16, no. 3, pp. 160-172, Sep. 2018.

[7] Y. M. Jin, S. W. Hong, and H. B. Kwon, “An evaluation of fire safety for very deep station considering the operation of emergency equipments,” *Journal of the Korean Society for Urban Railway*, vol. 7, no. 1, pp. 119-131, 2019.

[8] H. J. Kim, J. H. Jo, S. R. Ryu, and Y. H. Cho, “Development of Virtual Airflow Sensing Method in VAV Terminal Unit,” *Journal of Architectural Institute of Korea*, vol. 39, no. 1, pp. 335-335, 2019.

[9] J. M. Kim, B. H. Choi, J. H. Choi, J. Y. Jung, B. H. Kim, T. J. Kim, J. E. Cha, H. R. Kim, and H. Y. Nam, “The Constitution and Operation of the Constant Temperature Anemometer (CTA:IFA 300),” Korea Atomic Energy Research institute: KAERI Technical Report TR-3049, 2005.

[10] KS P. 8202, KS Standard for a Anemometer for general use, KS, Korea, 2006.

성준규(Junkyu Sung)

2012년 대전한밭대학교 전자공학과 (학사)
2012년 ㈜CHC LAB 근무
2018년 ~ ㈜바이올 근무
※관심분야 : 멀티미디어, IoT, Embedded System, Protocol

이근우(Keunwoo Lee)

1989년 한남대학교 전자계산기공학과(공학사)
2019년 배재대학교 컴퓨터공학과(공학석사)
2019년 ~ 현재 배재대학교 컴퓨터공학과 박사과정
※관심분야 : IoT, Laboratory and Industry Safety, ICT Convergence, AI

정회경(Hoekyung Jung)

1985년 광운대학교 컴퓨터공학과(공학사)
1987년 광운대학교 컴퓨터공학과(공학석사)
1993년 광운대학교 컴퓨터공학과(공학박사)
1994년 ~ 현재 배재대학교 컴퓨터공학과 교수
※관심분야 : 멀티미디어 문서정보처리, IoT, Machine Learning, BigData, Embedded System