

## 풍량 측정 장치 소형화를 위한 노즐 정압차 측정 연구

### A Study of Static Pressure Differential Measurement of Nozzle for Miniaturization of a Air Flow Meter

오상택(Sang-Teak Oh)<sup>1</sup>, 김영일(Young Il Kim)<sup>2\*</sup>, 정광섭(Kwang-Seop Chung)<sup>2</sup>

<sup>1</sup>서울과학기술대학교 에너지환경대학원, <sup>2</sup>서울과학기술대학교 건축학부

<sup>1</sup>Graduate School of Energy & Environment, Seoul National University of Science and Technology, Seoul, 01811, Korea

<sup>2</sup>School of Architecture, Seoul National University of Science & Technology, Seoul, 01811, Korea

(Received August 2, 2016; revision received September 21, 2016; Accepted: September 23, 2016)

**Abstract** Air flow measurement is a fundamental and important task for testing, adjusting, and balancing of HVAC system. However, it is difficult to carry out in the field due to the large size and weight of the flow meter. In this study, for the purpose of developing a small and portable flow meter, we proposed a different method of static pressure measurement and verified it experimentally. In the proposed method, static pressure difference was measured by inserting a tube inside the chamber before and after the nozzles. The results were compared with measurements according to the ANSI/ASHRAE standard. The results were in good agreement, indicating that the inserted tube method could be used for static pressure measurement of a portable flow meter. The proposed method eliminates the pressure tubes that are attached outside, which results in smaller size and easy handling.

**Key words** Air flow meter(풍량계), Miniaturization(소형화), Static pressure(정압), Pressure differential(차압), Measurement(측정), Multi nozzle(다중노즐)

† Corresponding author, E-mail: yikim@seoultech.ac.kr

#### 기호설명

A : 노즐 유출부 단면적 [ $m^2$ ]  
Ca : 유출계수 [-]  
P : 압력 [Pa]  
 $\Delta P$  : 압력차 [Pa]  
Q : 풍량 [ $m^3/s$ ]  
V : 속도 [m/s]

#### 그리스 문자

$\rho$  : 밀도 [ $kg/m^3$ ]

### 1. 서 론

공학 기술의 발전과 생활수준이 높아짐에 따라 유체기기의 응용 범위는 다양해지고 있다. 최근 국내외 산업계에서는 고효율, 고성능, 친환경적이면서 편리한 제품을 요구하는 소비자들의 요구를 맞추기 위해 꾸준한 노력을 기울이고 있다.

실내 오염공기를 배출하고 외부 신선공기를 도입하는 환기는 실내의 쾌적한 공기질 유지를 위하여 필수

적인 과정이나 에너지의 손실이 수반되므로<sup>(1)</sup> 에너지 절약적인 운영 기법이 요구된다. 선진국에서는 최적 환기를 위해 이와 관련된 많은 연구를 수행하고 있다.<sup>(2)</sup>

시시각각 변하는 부하 특성에 따라 원하는 장소에 필요한 만큼의 풍량을 공급하는 것은 팬과 덕트 시스템의 연동된 유동특성과 압력분포의 불균일성으로 인하여 쉬운 일은 아니다. 풍량을 정확하게 공급 및 제어하기 위해서는 각종 설비 및 제어 알고리즘을 요구한다.

유체 시스템 연구를 위해서는 현장에서의 정밀한 풍량 측정이 요구된다. 현장 풍량 측정은 건물 공조 시스템(HVAC system), 자동차의 공조 시스템, 에어컨, 공기청정기, 소형 환풍기, 욕실 환기팬 등 우리 생활과 밀접한 다양한 분야에서 필수적으로 요구되는 과업이다. 공조 시스템의 진단 및 TAB(Testing Adjusting Balancing)에서의 풍량 측정은 설비가 당초의 설계대로 성능을 발휘하는지를 확인하기 위해 가장 기본적이면서도 중요한 부분이다.<sup>(3)</sup>

유체기기의 응용 범위는 매우 다양해지고 있으며 공조 설비에서 공기 이송은 대부분 송풍기와 같은 유체

기계에 의해 달성된다. 공기의 풍량은 팬 및 공기 유로 특성에 달라지며 풍량은 다양한 방법으로 측정되고 있다.

멀티노즐을 이용한 풍량 측정 기준은 ANSI/ASHRAE 51-1999에 제시되어 있다.<sup>(4)</sup> 이 기준에 따르면 풍량 측정 센서인 노즐 전후에 일정 간격을 두어야 하며, 압력차 측정을 위한 정압탭 설치를 위하여 외부에 연결된 관이 필요하므로 장치도 커지고 외부 관은 유지관리 측면상 어려움이 따른다. 이러한 요인들은 소형화의 장애물이다. 현장 측정이 용이한 휴대형 풍량계 개발을 위해서는 소형화와 이동성 손상이 적은 제품 개발이 필요하다. 본 연구에서는 소형화된 휴대형 풍량 측정 장치를 개발하는 과정에서 가장 중요한 노즐의 정압차 측정에 대한 연구를 진행하고자 한다.

## 2. 풍량/풍속계의 동향

### 2.1 풍량/풍속계의 기본 및 종류

넓은 범위의 풍량을 측정하기 위해서는 ANSI/ASHRAE 51-1999의 멀티노즐 방식을 널리 사용한다.<sup>(4)</sup> 또한 국내의 경우는 KS B 6311에 근거하여 덕트의 한 단면에 16 또는 64 지점의 풍속을 측정하는 후 이를 평균하여 단면적을 곱하여 풍량으로 환산하는 방법도 있다. 풍속 측정 방법으로는 피토크, 열선 또는 베인 풍속계 사용하고 있으나, 이러한 방법으로는 유동의 불균일한 특성상 정밀한 풍량 측정은 어렵다. 정밀한 풍량 측정을 위한 다른 방법이 필요하게 된다.<sup>(5)</sup> 정밀한 풍량 측정을 위해서 현장에서는 후드형, 노즐형 풍량계를 많이 이용한다. 하지만 후드형 풍량계는 기존의 베인, 열선 타입의 풍속계보다는 상대적으로 낮은 오차율을 가지고 있지만 노즐형 풍량계에 비해서는 높은 오차율을 가지고 있는 단점이 있다. Table 1은 현재 사용되어지는 대표적인 풍량계의 특징 및 계기의 정확도를 나타내었다.<sup>(6)</sup>

Table 1 Characteristics and accuracy of popular flow meter

Types		Characteristics	Device accuracy
Differential pressure type flow meter	Nozzle	Easy to manufacture, low cost of installation,	±0.2~1%
	Pitot-tube	wide flow range, high accuracy and widely used in the industrial world	±2~5%
Vane flow meter		Good linearity	±0~2%
Hot wire type flow meter		Wide flow range, easy to install and small loss of pressure	±1~2%
Hood type flow meter		Wide flow range, easy to install	±2~4%

### 2.2 노즐형 풍량계

차압식 유량계는 산업용 유량 측정 분야에서 약 40% 이상 사용될 정도로 널리 이용되어지고 있으며 다양한 분야에서 사용되고 있다. 가장 많이 사용되어지는 차압식 유량계는 오리피스, 벤츄리 튜브, cone meter, 노즐형 등이 있다.<sup>(7)</sup>

노즐형 풍량계는 다른 차압식에 비하여 압력손실이 적고 다양한 크기의 노즐 조합을 통해 넓은 범위의 풍량을 측정할 수 있는 장점이 있다. 이러한 장점으로 인하여 유체기계의 풍량 측정 장치에서 널리 사용되고 있다. 특히 송풍기의 풍량 측정에 있어서는 결과의 정밀도를 높이고 다양한 크기의 송풍기를 측정하기 위해 챔버형(chamber type)의 멀티노즐 성능시험장치(multi nozzle fan tester)가 업계의 표준으로 사용되고 있다.<sup>(8)</sup>

### 2.3 ANSI/ASHRAE 51-1999의 멀티노즐 방식

국내·외의 덕트 및 팬의 토출부의 정확한 풍량 측정을 하기 위해서는 Fig. 1의 형태인 ANSI/ASHRAE 51-1999<sup>(4)</sup>의 멀티노즐 방식을 사용하고 있다. 반면에 현장에서 이용되어지는 베인, 열선 타입의 풍속계는 덕트 및 디퓨저로 인한 유동 특성이 불균일하게 나타나 측정점에 따라 상대적으로 큰 오차율을 가질 수 있다. 하지만 TAB를 필요로 현장에서는 풍속·풍량계 선택의 한계 및 작업 편의성으로 인하여 베인, 열선 타입의 풍속계를 많이 이용하고 있다.

ANSI/ASHRAE 51-1999의 멀티노즐 방식 풍량계는 풍량을 정확하게 측정할 수 있는 장점이 있지만 크기와 중량이 크며 가격도 고가이므로 현장에서 휴대형으로 간편하게 사용하기에는 불리하다. 건물과 산업 현장에서는 실내공기조화 및 환기장치의 공기 덕트 등의 풍량은 신속 및 간단하면서도 정밀하게 측정되어야 한다. 따라서 휴대형이지만 정밀하게 풍량 측정이 가능

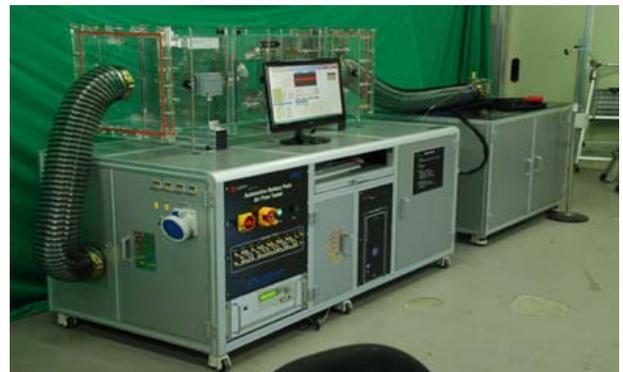


Fig. 1 Multi nozzle flow meter conforming to ANSI/ASHRAE 51-1999 standards.

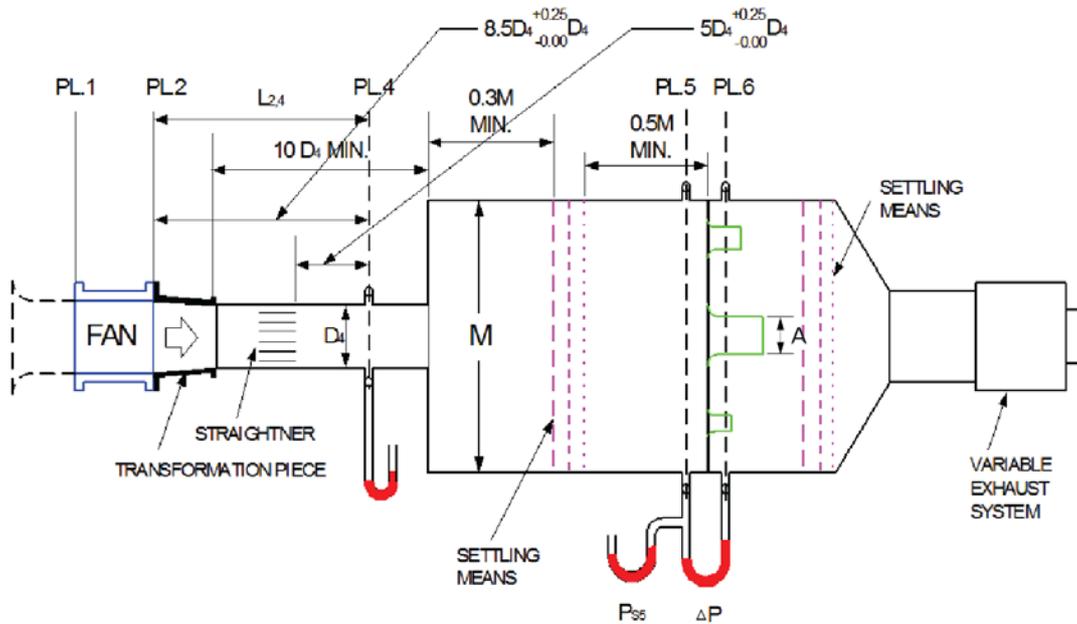


Fig. 2 Chamber type multi nozzle(ANSI/ASHRAE 51-1999).

한 소형 풍량 측정 장치의 필요성이 대두되고 있다.

Table 2는 기존의 풍량/풍속계와 ANSI/ASHRAE 51-1999 규격으로 제작되어진 풍량계의 크기를 나타내었다. 열선 및 베인 풍속계는 크기가 작지만 측정의 오차가 크다는 단점이 있고 ANSI/ASHRAE 51-1999 규격으로 제작되어진 풍량계는 장치가 커 이동이 어렵다는 단점을 가지고 있다.

본 연구는 기존의 ANSI/ASHRAE 51-1999에서 제시된 외부에 설치된 정압탭으로 인하여 제품의 크기가 증가되며 현장의 특성상 파손의 위험이 존재하기 때문에 제품의 소형화를 위해서는 필수적으로 선행되어야 하는 연구이다. 따라서 ANSI/ASHRAE 51-1999의 멀티노즐 설계기준을 근거로 하여 소형화를 달성하면서도 정밀한 풍량 측정이 되는 휴대형 풍량 측정 장치 개발에 가장 핵심적인 노즐의 정압차 측정 방법을 개선하는 연구를 진행하였다.

### 3. 풍량 측정장치 설계 및 실험

유량 노즐을 사용하여 풍량을 측정하기 위하여 노즐

전후의 차압을 측정해야 한다. 차압계에 의하여 Fig. 2와 같이 노즐 전후의 차압이 얻어지면 식(1)과 같이 유속을 계산할 수 있다.<sup>(9)</sup>

$$V = C_d \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}} \quad (1)$$

본 연구의 유량 노즐의 토출계수는 Reynolds 수  $Re = 10,000$ 인 경우 0.94이고  $Re = 10^6$ 에서 0.96정도로서 오리피스식의 것보다 크고, 이를 단순화하는 경우에는 거의 1.0으로 간주할 수 있다. 식(1)에서 얻어진 유속에 면적을 곱하면 식(2)에 의하여 풍량을 계산할 수 있다.

$$Q = VA \quad (2)$$

노즐관을 중심으로 전과 후 사이에는 질량 보존의 법칙이 성립되고, 손실을 무시하면 베르누이 방정식 식(3)이 성립하게 된다.<sup>(10)</sup>

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho V_1^2 = P_2 + \frac{1}{2}\rho V_2^2 \quad (3)$$

식(2), 식(3)을 이용하여 풍량을 계산하는 식(4)를 유도할 수 있다.

$$Q = VA = A \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho \left[ 1 - \left( \frac{A_2}{A_1} \right)^2 \right]}} \quad (4)$$

Table 2 Exterior dimension of flow meters

Types	Exterior dimension(mm)
Vane flow meter	277(L)×105(H)×45(D)
Hot wire flow meter	182(L)×64(H)×40(D)
ANSI/ASHRAE 51-1999 flow meter	1800(L)×1,500(H)×800(D)

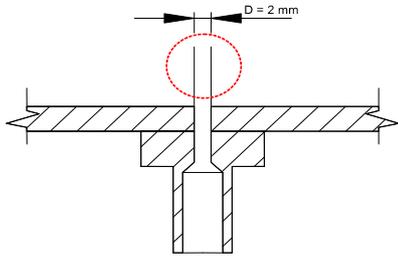


Fig. 3 ASHRAE 51-1999 standard.

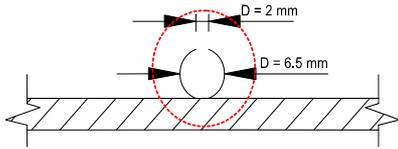


Fig. 4 Static pressure tap.

식(4)에 의해, 압력차를 측정함으로써 유량을 측정할 수 있다. 이처럼 정밀하게 유량을 측정하기 위해서는 노즐 전·후에서 발생하는 차압을 정확하게 측정하는 것이 필요하다.

ANSI/ASHRAE 51-1999에서 근거한 차압 측정 방법에서는 Fig. 3과 같이 정압관이 외부로 노출되어 있다. 이로 인하여 측정 장치의 크기가 커지며 유지관리 측면에서 파손의 위험성이 있다. 결과적으로 휴대형 측정 장치 개발을 위해서는 정압 측정 방법에 대한 개선이 필요하다. 이러한 문제를 보완하기 위하여 Fig. 4와 같이 정압관을 챔버 내부 벽면에 부착시키면 장치의 크기와 파손 측면에서 유리한 장점을 가지게 된다. 반면에 내부의 설치된 정압관은 장치 내부의 유동 흐름에 영향을 미칠 수 있어 본 연구를 통하여 삽입형 정압관의 영향 및 오차를 측정 실험으로 확인하였다.

### 3.1 실험 개요 및 측정 장치

내부에 삽입되어진 정압관의 성능을 확인하기 위한 실험장치의 구성도를 Fig. 5에 나타내었다. 실험을 위하여 ANSI/ASHRAE 51-1999 규격에 의거하여 풍량 10~500 m<sup>3</sup>/h 측정이 가능한 멀티노즐 형식의 장비가 제작되었고, 장비의 3차원 모습은 Fig. 6과 같으며 장비 제원은 Table 3에 나타내었다.

본 장비는 기존의 ANSI/ASHRAE 51-1999 규격의 장비 외부에 설치된 정압탭이 소형화된 풍량측정장치 내부의 정압관으로 삽입되어 장치 유동방향의 단면적이 약 25% 소형화를 달성할 수 있었다.

압력의 측정은 압력계를 이용하였고, 정압실의 정압 측정과 노즐 전·후단의 차압을 측정하는데 이용하였다. 정압 측정은 풍동 입구에 설치된 정압 측정용 센서에 의해서 이루어지며, 차압 측정은 풍동내부에 설치된

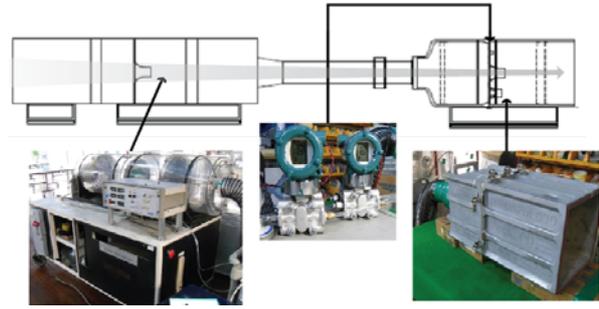


Fig. 5 Layout of flow rate measurement experiment.

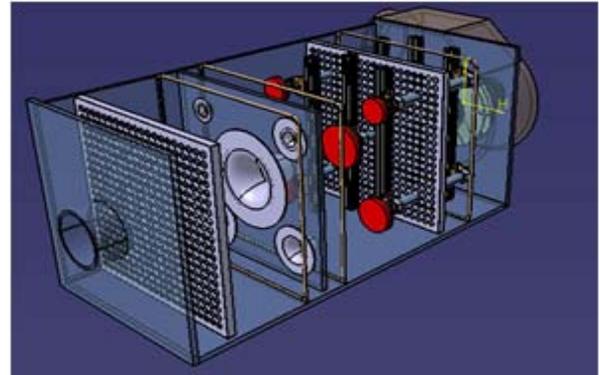


Fig. 6 3D modeling of a developed portable air flow meter.

Table 3 Specifications of portable air flow meter

Flow rate	3~500 CMH
Nozzle	5 ea
Temperature	-50~100℃
Relative humidity	0~100% RH
Exterior dimension(mm)	1150(L)×640(H)×390(D)

Table 4 Specifications of measurement instrument

Item	Model
Air flow supply device	Torrington/FM-600
Barometric pressure sensor	Setra/Model 276 (± 0.25% F.S.)
Temperature and humidity sensor	Elektronik/EE 99-1 (± 1% H.R.)
Differential pressure sensor	Yokogawa/EJX 110 A (± 0.04% F.S.)

노즐 전후의 ANSI/ASHRAE 51-1999에 근거한 정압 측정 탭에 설치된 차압 센서에 의해서 측정이 이루어진다. 압력계는 0~2000 Pa의 측정 범위를 가지고 있으며 본 실험에 사용되어진 측정기기의 사양은 Table 4에서 나타내었다.

### 3.2 실험

풍량공급장치를 이용하여 10~500 m<sup>3</sup>/h 범위의 풍량을 소형화된 풍량 측정 장치로 공급하였다. 소형화된 풍량 측정 장치 입구에서는 공기의 온·습도를 측정하였으며 또한 입구에서는 정압센서를 부착하여 정압을 측정하였다.

풍동내부 노즐관 전후에는 ANSI/ASHRAE 51-1999 기준에 따른 차압 측정을 할 수 있는 정압탭을 유동방향의 수직으로 Table 5와 같이 설치하였다. 실험은 유

Table 5 Installed static pressure tab

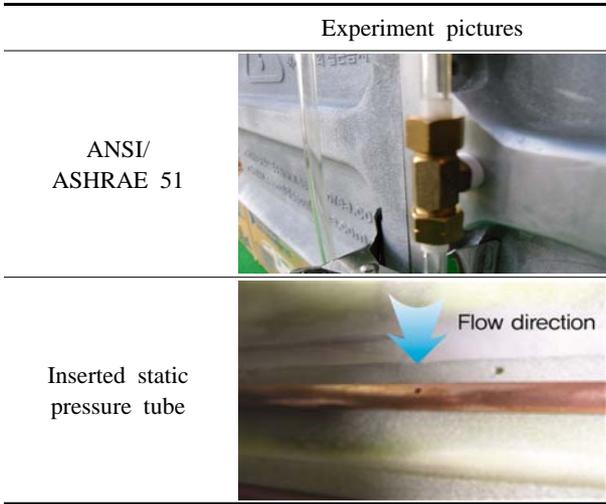


Table 6 Experimental cases

	ANSI/ASHRAE 51	Inserted static pressure tube
Center	Case 1	Case 4
Side	Case 2	Case 5
Both	Case 3	Case 6

Table 7 Experimental results

Static pressure (Pa)	Case 1, Case 4 error(%)	Case 2, Case 5 error(%)	Case 3, Case 6 error(%)
100	0.53	0.90	0.27
200	0.07	0.12	0.01
300	0.43	0.33	0.10
400	0.69	0.65	0.10
500	0.89	0.90	0.05
600	1.06	1.12	0.05
700	1.22	1.31	0.17
800	1.38	1.50	0.33
AVG.	0.78	0.85	0.14

동방향 및 특성에 의한 측정오차가 나타날 수도 있어 Fig. 7과 같이 중앙과 측면을 구분하여 실험조건을 구분하였으며 노즐 전단에 타공관을 삽입하여 유동특성을 단순화 시켰다.

실험은 Table 6의 6가지 Case에 대하여 각각 10회 이상의 실험을 반복하여 실험 결과의 신뢰성을 검증하였다.

실험은 ANSI/ASHRAE 기준에 근거한 방법과 내부벽에 부착한 정압관을 이용한 방법을 비교하는 방식으로 그 결과는 Table 7과 같다. 풍량의 변화와 측정하는 노즐의 조합 변화를 통하여 두 방식을 비교하였다.

### 4. 실험 결과

ANSI/ASHRAE 51-1999 기준과 내부 정압 삽입관 두 방식을 비교실험 하였다.

Fig. 8은 중앙에 위치하는 노즐을 개방하여 측정된 결과로 ANSI/ASHRAE와 삽입 정압관의 차이는 평균적으로 0.78%로 삽입 정압관 방식으로도 문제점이 없음을 확인하였다. Fig. 9는 측면에 위치하는 노즐을 개방하여 측정된 결과로 두 방식의 차이는 0.85%이다. Fig. 10의 경우는 노즐을 전부 개방하여 측정된 결과로 두 방식의 차이는 0.14%로 가장 적은 차이를 나타내었다.

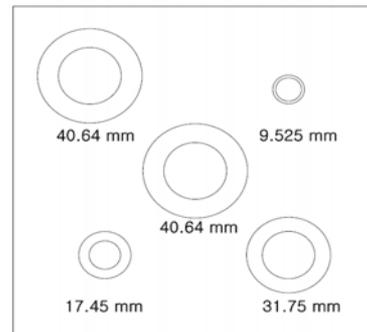


Fig. 7 Multi nozzles.

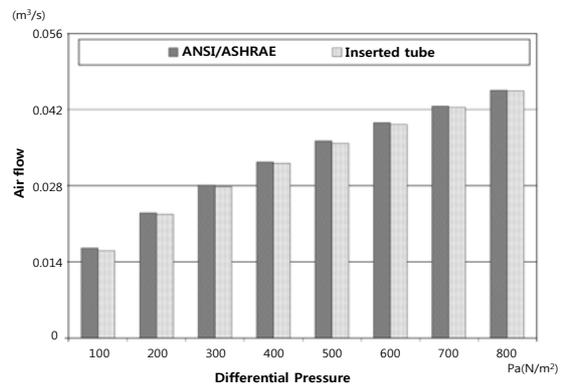


Fig. 8 Comparison of case 1 and 4.

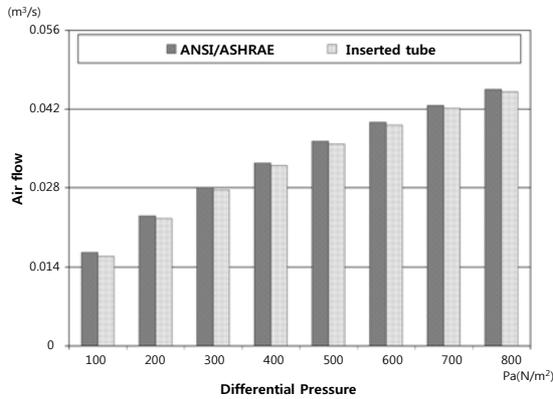


Fig. 9 Comparison of case 2 and 5.

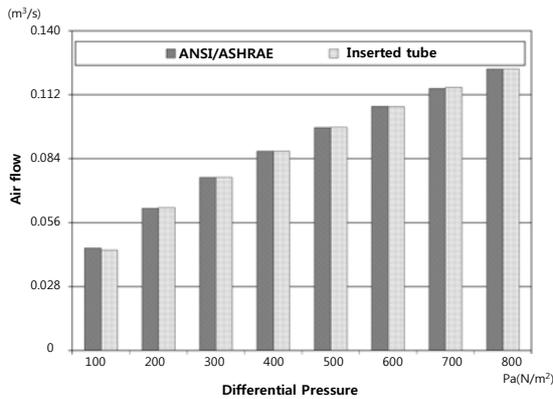


Fig. 10 Comparison of case 3 and 6.

## 5. 결론

본 연구에서는 이동형 풍량 측정 장치의 개발을 위한 소형화를 위해 풍동 내부에 삽입된 정압관을 통하여 차압 및 유량을 측정하여 풍량 측정 국제 표준인 ANSI/ASHRAE 방식과 비교하여 신뢰성을 검증하였다. 본 연구를 통하여 얻은 결론은 다음과 같다.

- (1) 다중 노즐에서 중앙 노즐 개방인 Case 1과 Case 4의 비교 실험에서는 ANSI/ASHRAE과 내부 삽입 정압관의 풍량 차이는 평균 0.78%로 나타났다.
- (2) 다중 노즐에서 측면 노즐 개방인 Case 2과 Case 5의 비교 실험에서는 ANSI/ASHRAE과 내부 삽입 정압관의 풍량 차이는 평균 0.85%로 나타났다.
- (3) 다중 노즐에서 전체 노즐 개방인 Case 3과 Case 6의 비교 실험에서는 ANSI/ASHRAE과 내부 삽입 정압관의 풍량 차이는 평균 0.14%로 나타나 3 방식 중 가장 차이가 적었다.
- (4) 정압차 100~800 Pa 측정 결과 ANSI/ASHRAE과 내부 정압관의 풍량 차이는 ± 2% 이내임을 확인하였다. 따라서 정압관을 내부에 설치하여 소형화와 높은

은 유지관리성을 달성한 본 연구에서 개발한 소형 풍량 측정 장치는 현장 사용시 신뢰성이 높은 측정이 가능함이 입증되었다.

본 결과를 통하여 소형 풍량 측정 장치의 정압 측정 방식의 신뢰성을 확인하였다. 소형 풍량 측정 장치의 기준 및 표준화를 마련하기 위해서는 기존의 연구와 함께 추가적인 연구가 수행되어야 할 것으로 사료된다.

## 후 기

이 연구는 서울과학기술대학교 교내 학술연구비(일부) 지원으로 수행되었습니다.

## References

1. Hassouneha, K., Alshboula, A., and Al-Salaymebh, A., 2012, Influence of infiltration on the energy losses in residential buildings in Amman, Sustainable Cities and Society, Vol. 5, pp. 2-7.
2. ASHRAE, 2004, ANSI/ASHRAE Standard 62-2004, Ventilation for acceptable indoor air quality, Atlanta, Georgia, USA, ASHRAE.
3. Lee, S. C., 2006, A Study on the optimal orifice location for air flow measurement in an air duct leakage tester, SAREK, pp. 186-191.
4. ANSI/ASHRAE, 1999, ANSI/ASHRAE 51-1999. Laboratory Methods of Testing Fans for Aerodynamic Performance Rating.
5. Han, S. K., 2012, A Study on the overall envelope air leakage measurement methods of large buildings using an air-handler fan pressurization approach, Proceeding of KIAEBS, pp. 176-179.
6. Seo, Y. B., 1992, For Flow Rate Measurement, Journal of the SAREK, Vol. 21, No. 5, pp. 353-356.
7. NEL, 2010, An Introduction to Differential-Pressure Flow Meters, Practice Guide, [http://www.tuvnel.com/site2/download/an\\_introduction\\_to\\_differential\\_pressure\\_flow\\_meters](http://www.tuvnel.com/site2/download/an_introduction_to_differential_pressure_flow_meters).
8. Lee, K. Y., Jung, U. H., and Choi, Y. S., 2013, Development of Platform Technology of Design and DAQ for Nozzle Type Flow Meter, 2013 Conference On Korean Society of Mechanical Engineers, pp. 4172-4175.
9. Korean Standard Association, KS B 6311, 1997, Testing methods for industrial fans.
10. Cengel, Y. A., Cimbala, J. M., and Turner, R. H., 2012, Fundamentals of Thermal Fluid Sciences, McGraw-Hill.