

송풍 시스템의 공기유량측정 방법에 관한 연구

Research on Air Flow Rate Test Method for Blower System

이준식^{1*}

Jun-Sik Lee^{1*}

〈Abstract〉

This study conducted the measurements of air flow rate for blower systems with experiment and numerical. A new airflow rate test method is suggested, with which it is possible to accurate measurements and calculate the air flow rate for blower systems. The blower(axial fan) is an industrial fluid machine device that supplies a large amount of air by driving an impeller with an electric motor, and it is widely used throughout the industry such as steel, power plant, chemical, semiconductor, LCD, food, and cement. The airflow from the blower is for exchanging the heat in the cooling unit or heat exchanger. The temperature of coolants and hydraulic oil primarily depends on the amount of airflow rate through the cooling package so its accurate estimation is very important. Moreover, it required a larger investment in time and cost since it could not be executed until the system is actually made. Therefore, this research is intended to examine the phenomenon of air flow pattern when testing air flow rate, suggested new test method, and show the result of the validation test.

Keywords : Air Flow Rate, Blower System, CFD, Validation Test

^{1*} 정회원, 교신저자, 창신대학교 항공기계공학과, 교수
E-mail: mechjun@gmail.com

^{1*} Dept. of Aeronautical & Mechanical Engineering, Changshin University

1. 서론

송풍기는 전동기로 임펠러를 구동하여 대량의 공기를 공급해주는 산업용 유체기계장치이며 철강, 발전, 석유화학, 반도체, LCD, 식품, 시멘트 등 산업 전반에 걸쳐 광범위하게 사용되고 있다. 송풍기로부터 발생하는 공기 유량은 냉각장치 혹은 열교환기의 열교환을 위해 주로 이용된다. 이에 본 연구는 공기조화설비(HVAC system), 환기설비의 덕트, 소형 환풍기 등의 공기 출구 및 흡입구의 풍량(air flow rate) 측정을 위한 것으로, 일반적으로 풍량 측정을 위해서 풍동실험장치, 피토포관, 열선 풍속계 등 여러 종류의 장치가 실험조건에 알맞게 필요하다[1-4]. 또한 내부 유체의 풍량 측정을 위해서는 일정한 위치에서 측정되는 유량을 전체 배관의 대표 유량으로 측정한다. 하지만 전체 배관의 대표 유량으로 채택하면 한 지점의 유량으로 전체 배관의 유량을 대표하게 되므로 오차가 커질 수 있으며, 여러 개의 센서를 이용하면 설치가 어렵고 사용하는 기계에 피해를 입힐 수 있다. 또한 풍량은 열교환기의 성능에 직접적인 영향을 미치는 인자이며, 열교환기의 Fan으로부터 유입되는 유량의 정확한 측정 및 계산이 매우 중요하다[5-7].

전자 기기에도 Fan을 이용한 강제대류 냉각이 많이 이용된다. Fan을 이용하여 작동유량은 많고 system의 유동저항을 낮게 하면 냉각효율이 높아지게 된다. 따라서 유동저항이 낮은 시스템 설계는 매우 중요하나, 시스템 설계형상에 따라 실험적으로 저항곡선(system impedance curve)을 측정해야함으로 제작 시 많은 노력과 시간이 요구된다. 형상이 복잡하지 않은 heat sink, Fin 타입 열교환기, 파이프, 덕트와 같은 단순한 형상의 효율 해석은 여러 연구[7-9]에서 밝혀 놓은 이론식들이 많이 사용된다. 또한, 다양한 단면적 및 형

상 그리고 덕트 내부의 형상 변화에 따른 공기유량 변화에 대한 실험 및 수치해석 연구가 많이 진행되어왔다[10-14].

하지만 저항곡선을 측정하지 않고, 풍동실험 없이 단시간에 현실적인 유량측정을 예측할 수 있는 가능성을 제시한 연구는 없다. 따라서 본 연구에서는 공기가 유입되는 장치를 모사하여 실험과 수치해석을 통해 공기흐름의 패턴을 분석하여 공기의 유량을 보다 정확히 측정 할 수 있는 방법을 제시하는데 목적이 있다. 더욱이 풍동실험 없이 덕트 입구에서의 속도만 측정하여 풍량 산출이 가능한 새로운 측정 방법을 제안하고자 한다.

2. 실험 및 수치해석

본 연구에서는 송풍 시스템의 새로운 공기유량 측정 방법을 제시하기 위해 실험 및 수치해석을 적용하였다.

2.1 실험방법

풍량 측정을 위해 Fig. 1 같이 실험장치를 구성하였다. 챔버의 입구 단면적은 가로 85cm, 세로 75cm이며, 단면적은 챔버가 측정할 수 있는 최대 유량과 직결된다. Fan에 의해 유입되는 챔버 입구의 유속을 측정하기 위해 열선유속계(Hot-wire

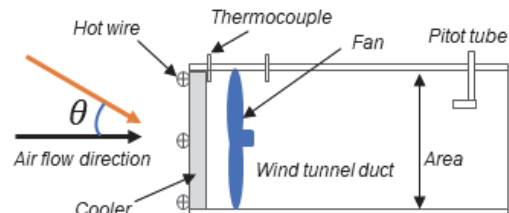


Fig. 1 Experimental set-up

anemometer, IFA300)를 이용하여 x, y, z 방향에 대해 가장 높은 속도를 측정한다. 여기서 Cooler 앞단의 난류, 센서 대표 위치 그리고 위치에 따른 최고 속도 변화 등의 문제를 고려하여 매번 각 지점마다 경사각(θ)을 고려하여 측정하였다. Fan 전후단의 온도측정을 위한 k-type 열전대와 유속 측정의 검증을 위해 덕트 하단에 피토관(Pitot tube)을 설치하였다.

식(1)은 경사각을 고려한 체적유량(\dot{Q}) 계산식이며, 체적유량은 덕트의 단면적(A_{duct})과 각 점에서의 속도(V) 그리고 경사각을 고려해 구한다. 이 식을 통해 얻은 값을 식(2)에 대입하고, 단면적(A)과 둘레(P)의 비인 수력직경(D_h)와 공기의 평균속도(V_{avg})를 통해 Reynolds 수(Re)를 계산(식(3))하며, 이 값으로 보정계수(k)와 Reynolds 수의 상관관계식을 도출할 수 있다.

송풍 시스템의 풍량을 산출하기 위해 이용되는 공식은 아래와 같다.

$$\dot{Q} = V \times \cos\theta \times A_{duct} \quad (1)$$

$$\dot{Q} = k \times V_{avg} \times A_{duct} \quad (2)$$

$$Re_{D_h} = \frac{\rho V D_h}{\mu} \quad (3)$$

$$D_h = \frac{4A}{P} \quad (4)$$

2.2 수치해석

실험결과의 검증을 위한 수치해석은 상용 CFD (Computational Fluid Dynamics) 프로그램인 ANSYS Fluent을 사용하여 난류모델로 해석을 수행한다[15]. Fig. 2와 같이 먼저 송풍 시스템을 설계하고 입구 및 출구 가상 덕트를 구성한다. 유체의 속도는 실험과 동일한 조건으로 덕트 입구로부터 30cm 떨어진 위치에서 측정한다. 입구는 일정

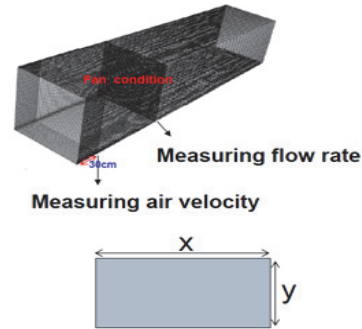
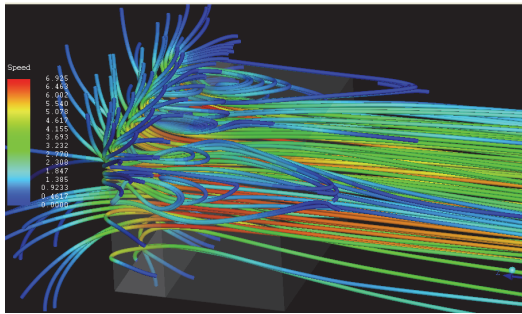


Fig. 2 Diagram of grid and domain for CFD analysis

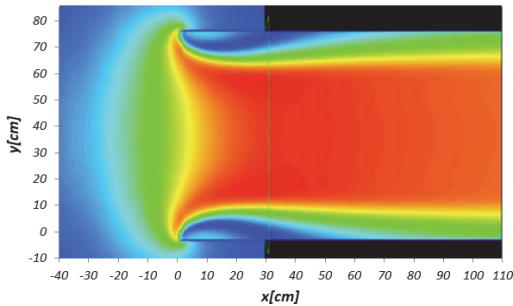
한 전압조건(대기압)으로 출구는 일정한 정압조건으로 하여 Navier- Stockes 방정식을 계산한다. 수치해석의 정확도와 경계층 형성을 관찰하기 위해 2백만개의 균일격자를 구성하였고, 표준 k-ε 난류모델로 해석하였다. 계산결과를 토대로 입출구의 속도장으로부터 풍량을 계산한다.

3. 결과 및 토의

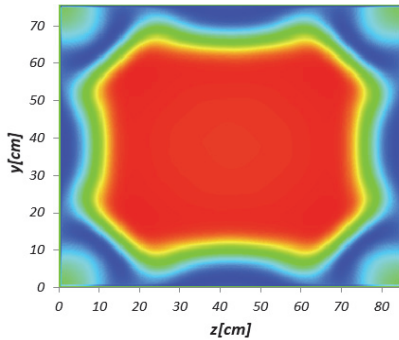
본 연구에서는 실험과 수치해석을 통해 검증된 상수 값을 이용하여 보정계수(k)를 산출하고자 하였다. Fig. 3은 수치해석의 속도 분포결과이며, Fig. 3(a)는 덕트 입구영역에서의 유동속도 패스라인을 보여주고 있다. 여기서 벽면 주위로 난류가 발생하는 것을 확인할 수 있다. 그리고 덕트의 가장 좁은 위치의 중심방향과 수직방향의 속도장을 나타내는 Fig. 3(b)와 3(c)를 통해 덕트 입구 내부 벽면에서의 경계층 형성을 확인 할 수 있다. (b)는 덕트의 중심방향의 단면에서 속도분포이며, (c)는 입구에서 30cm 떨어진 위치의 수직방향 단면의 속도분포를 나타내었다. 특히 벽면근처의 하강유동이 있는 부분에서 유동경계층의 두께가 얇아진다. 유동장은 사각단면의 사분면에서 각각 서로 반대 방향으로 회전하는 이차유동에 의해 모서



(a) Air flow path line



(b) Center view velocity



(c) Perpendicular view velocity

Fig. 3 CFD results of air flow in duct

리 부근에서 발생하며, 덕트 중앙을 흐르는 고속 유동의 운동에너지를 벽면 근처의 저속유체에 전달되기 때문이다.

Fig. 4는 덕트 입구로부터 30cm 떨어진 거리에서 속도변화에 따른 보정계수 즉, 단면적 상수값 ($k=Q/AV$)을 나타내고 있다. 유체의 속도는 3~14m/s 범위에서 측정하였으며, 속도 증가함에 따라 단면적 상수값은 감소한다.

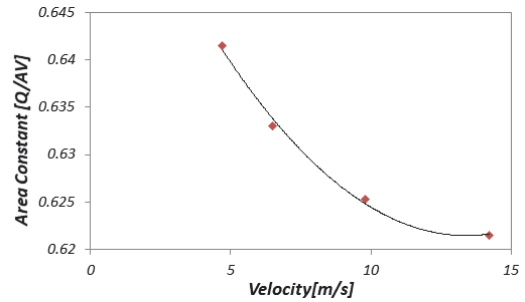


Fig. 4 Area constant values with velocity

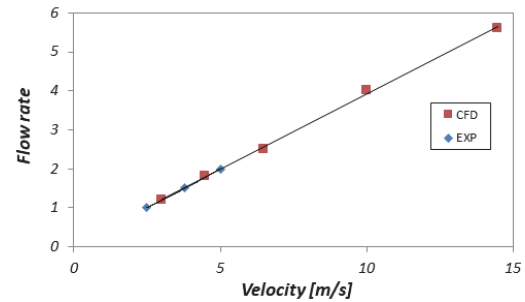


Fig. 5 Validation data compared CFD with experiment

Fig. 5는 수치해석과 실험결과를 비교 검증하기 위한 속도변화에 따른 유량 데이터이며, 속도변화에 따라 선형적으로 비례하여 증가한다. 실험과 수치해석의 오차는 약 1.3% 이내로 확인되었다. 이 결과를 통해 수치해석 시뮬레이션으로 수정계수(k) 값을 얻을 수 있다고 판단 할 수 있다.

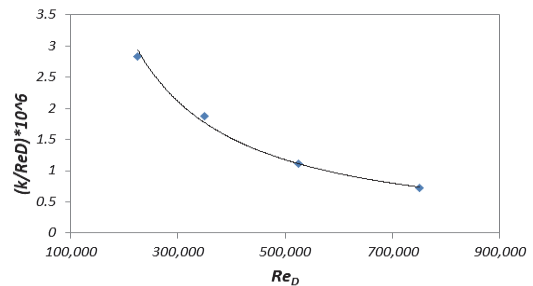


Fig. 6 Non-dimensional value with Reynolds number

$$(k/Re_{D_h}) \times 10^6 = 4022500 \times Re_{D_h}^{-1.15} \quad (5)$$

Fig. 6은 Reynolds 수에 따른 무차원방정식의 관계를 나타내며, 이 데이터를 토대로 식(5)과 같이 수력직경 및 Reynolds 수에 따른 무차원 경험식을 도출하였다. Reynolds 수가 약 200,000 ~ 800,000 범위에서는 위 식(5)를 적용하여 유량을 즉각적으로 구할 수 있다.

4. 결론

본 연구는 실험 및 시뮬레이션으로 검증된 식을 이용하여 풍동 실험 없이 덕트 입구에서의 유체 속도만 측정하여 풍량을 산출할 수 있는 새로운 풍량 측정 방법을 제시하였다. 개선된 Air flow rate 방법을 통해 송풍기를 이용하는 모든 시스템에 풍량 측정의 정확도 향상과 실험 구성 시간 및 비용을 절감할 수 있으며 측정에 따른 기계의 장치의 위험 및 수정 작업이 필요가 없어 산업현장에서 쉽게 활용 할 수 있을 것으로 사료된다.

이 결과를 통해 적은 노력과 짧은 시간으로 현실적인 유량측정을 정확히 예측할 수 있다면 공기 유량을 다루는 다양한 분야의 시스템 설계에 많은 도움이 될 것으로 사료된다. 향후 추가적인 검증을 위해 단면적비와 Reynolds 수가 다른 조건으로 실험 및 수치해석을 수행하고자 한다.

사사

본 논문은 2021년도 창신대학교 교내연구비(No. 창신-2021-038) 및 2021년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원(No. 2021R1F1A1055898)에 의해 연구되었음.

참고문헌

- [1] J. McWilliams, "Review of Airflow Measurement Techniques," Lawrence Berkeley National Laboratory, pp.1-117, (2002).
- [2] A. Jilek, T. Nagy, J. Pecinka, "Air flow rate measurement with various differential pressure methods," Int. Conf. on Military Technologies, (ICMT) pp.535-541, (2017).
- [3] C. Cui, W. Cai, H. Chen, "Airflow measurements using averaging Pitot tube under restricted conditions," Building and Environment, vol. 139, pp.17-26, (2018).
- [4] O. Ronneseth, P. Liu, M. Alonso, and H. Mathiesn, "Techniques for airflow measurements to determine the real efficiency of heat recovery in ventilation systems," IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, vol. 352, pp.1-9, (2019).
- [5] D. Kim, K. Bok, and S. Lee, "A numerical analysis on the system impedance on a fan cooling system," Proc. of the KSME Fall Conf., pp. 1424-1429, (2004).
- [6] S. Sediva, M. Uher, M. Halikova, "Application of the monte carlo method to estimate the uncertainty of air flow measurement," Proc. of the 2015 16th International Carpathian Control Conf.,(ICCC) pp.465-469, (2015).
- [7] A. Raine, N. Aslam, C. Underwood, S. danaher, "Development of an ultrasonic airflow measurement device for ducted air," Sensors, vol. 15, pp.10705-10722, (2015).
- [8] H. Chen, W. Cai, C. Chen, "Fan-independent air balancing method based on computation model of air duct system," Building and Environment, vol. 105, pp.295-306, (2016).
- [9] H. Chen, W. Cai, C. Chen, "Model-based method for testing, adjusting and balancing of HVAC duct system," Model-based Method for Testing, Adjusting and Balancing of HVAC Duct System, vol. 126, pp.498-507, (2016).
- [10] L. Czetany, Z. Szantho, P. Lang, "Rectangular supply ducts with varying cross section providing

- uniform air distribution,” *Applied Thermal Engineering*, vol. 115, pp.141-151, (2016).
- [11] I. Kim, W. Park, S. Sohn, Y. Kim, “Numerical Analysis for the development of a Blower to Extend the Life of the Impeller and Reduce Power Costs by Changing the Air Flow,” *Journal of the Korea Academy Industrial Cooperation Society*, vol. 21, no.12, pp. 192-199 (2020).
- [12] J. Lee, C. Jang, “Performance Characteristics of the Double-Inlet Centrifugal Blower according to the Shape of an Impeller,” *Journal of Fluid Machinery*, vol. 17, no.1, pp. 28-34 (2014).
- [13] I. Caré, F. Bonthoux, and J. Raymond Fontaine, “Measurement of air flow in duct by velocity measurements,” *EPJ Web of Conferences*, vol. 77, (2014).
- [14] M. V. Cruz-Salas, J. A. Castillo, G. Huelsz, “Effect of wind exchanger duct cross-section area and geometry on the room airflow distribution,” *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, vol. 179, pp. 514-523 (2018).
- [15] ANSYS. *Fluent Theory Guide Release 15.0*, ANSYS, Inc., Canonsburg, PA, USA, (2013).

(접수: 2021.01.05. 수정: 2022.01.28. 게재확장: 2022.01.31.)