

화재 유동장의 속도 측정 오차에 관한 연구

김성찬 · 김정용 · 정성용
경일대학교 소방방재학부

A Study on the Velocity Measurement Uncertainty for Fire- Driven Flows

Kim, Sung Chan · Kim, Jung Yong · Jung, Sung Ryong
School of Fire and Disaster Preventin, Kyung-IL University

요 약

유속을 측정하기 위한 다양한 기법들 가운데 양방향 저속 차압 프로브(bi-directional low velocity pressure probe)는 고온의 연소생성물이 존재하는 조건에서 화재유동장의 속도 측정에 가장 적합한 방법으로 인식되어 왔다. 그러나 양방향 유속계의 프로브 상수(probe constant)는 레이놀즈 수와 유동과 프로브의 받음각(attack angle)에 크게 영향을 받게 된다. 본 연구에서는 화재유동장 측정 기법들을 비교 평가하고 양방향 유속계의 받음각에 따른 프로브 상수의 변화를 실험적으로 평가하여 양방향 유속계의 측정 오차를 정량함으로써 화재 유동장 측정의 신뢰성 향상을 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

1. 서 론

화재유동장에서 유속의 측정은 온도 측정과 함께 화재 거동을 이해하고 정량화하기 위한 가장 기본적이고 중요한 인자로 인식되고 있다. 일반적으로 기체의 유속을 측정하기 위한 측정방법으로는 레이저광의 도플러 효과를 이용한 LDV(Laser Doppler Velocimeter)나 유동내 입자를 가시화하여 속도를 산정하는 PIV(Particle Image Velocimeter), 유체와 고체의 열전달 정도를 통해 유속을 산정하는 열선유속계(hot wire anemometer), 유동의 동압을 측정하여 유속을 평가하는 차압유속계 (differential pressure velocimeter) 등 다양한 측정기법이 있다. 화재 유동장은 온도 변화가 크고 연소생성물내에 soot 입자나 연료 증기, 수증기 등이 포함된 가혹조건으로 다양한 유속측정기법을 적용하는데 어려움이 있다. 따라서 화재 유동장의 유속 측정에는 가혹조건에 대한 적용의 편의성과 효율성을 고려하여 양방향 프로브(bi-directional probe)를 이용한 차압유속계가 널리 이용되고 있다 [1]. 그림 1은 표준화재시험에서 널리 이용되고 있는 가장 기본적인 형태의 양방향 유속계의 치수와 형상을 나타내며 측정원리는 전면부와 후면부의 압력차를 계측하여 다음과 같이 유속을 산정한다[1].

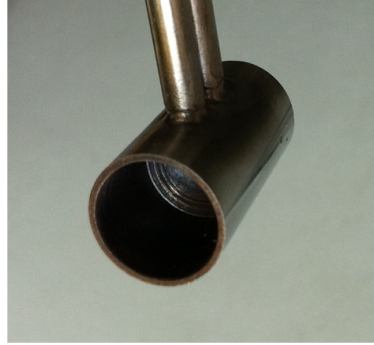
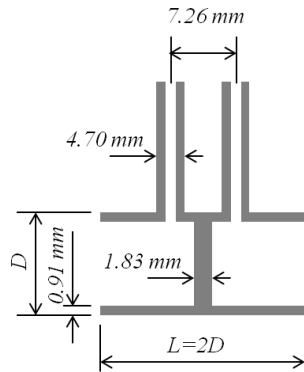


그림 1 양방향 유속계의 치수 및 형상

$$U = K_p \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}} \quad (1)$$

여기서 ρ 는 계측유체의 밀도를 나타내고 K_p 는 프로브 상수로써 Re수의 함수로 알려져 있으나 높은 Re 수에서는 1.08 정도로 일정한 값을 가진다. 일반적으로 양방향 유속계의 측정오차는 프로브상수가 약 5~7% 정도로 알려져 있으며 유동과 프로브가 이루는 각도(받음각)의 영향이 2~4% 정도로 보고되고 있다. 이외에 계측유체의 밀도변화와 유동장애 효과(flow blockage effect)등에 따라 측정오차는 영향을 받는다. 그러나 양방향 유속계의 치수나 형상에 따라 측정오차나 프로브상수가 차이를 보이고 있으며 이러한 불확실성은 유속측정 자체뿐만 아니라 화재실험의 신뢰성을 저하시키기 때문에 최적화된 형상의 설계나 측정 불확실성을 정량화하는 과정이 매우 중요하다.

본 연구에서는 화재실험에서 가장 널리 사용되는 원형(original) 양방향 유속계를 이용하여 계측유체의 밀도변화 및 유동장애효과에 따른 측정오차를 평가하기 위한 사전단계로써 유속 및 받음각에 따른 프로브상수의 변화를 측정하고 기존의 연구결과와의 비교를 통해 양방향 유속계의 최적설계 및 신뢰성 향상을 위한 기초자료를 확보한다.

2. 실험

양방향 유속계의 측정오차를 평가하기 위하여 그림 2에서 보는바와 같이 순환형 덕트 구조를 제작하고 축류팬(axial fan)을 설치하여 덕트내부의 유동을 발생시킨다. 시험부에는 한 번의 길이가 10 cm 이고 아크릴로 제작되었으며 양방향 유속계는 직관부가 시작되는 위치에서 1.5 m 하류에 설치하였다. 시험부에서 비교적 균일한 특성을 가진 난류유동장을 형성하기 위해 아크릴 시험덕트의 시작부에는 다중의 메쉬망을 설치하였다. 기준속도는 KIMO 사의직경이 6 mm 인 L 타입 피토투브와 CP201 차압계를 이용하였으며 차압 측정의 정확도는 1 % 정도이다. 양방향 유속계의 차압측정은 MKS사의 Baratron 220D 차압트랜스미터이며 측정오차는 0.15 %이내, 측정압력범위는 10 Torr 이내이다.

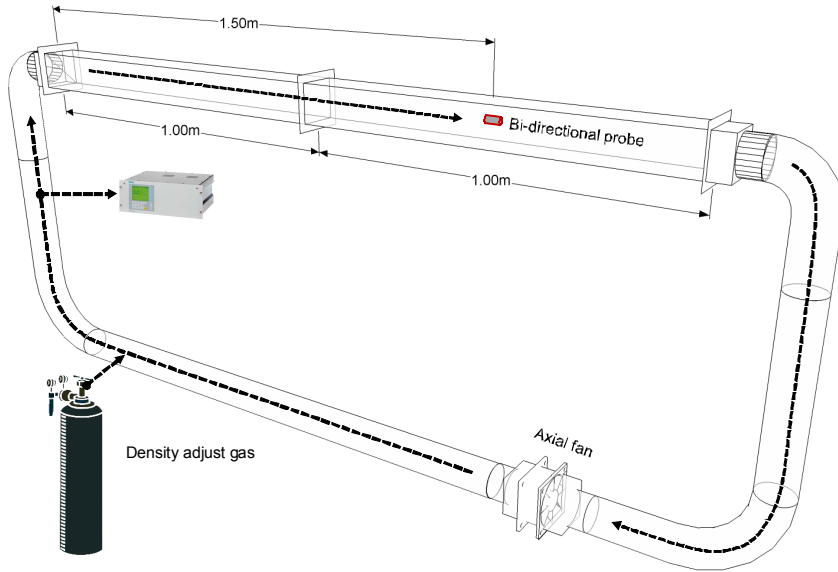


그림 2 유속측정 장치의 개략도.

3. 실험결과

그림 3은 레이놀즈수에 따른 프로브 상수를 보여준다. 난류영역에서는 Re수가 증가함에 따라 감소하고 대부분의 시험에서 높은 Re 수에 대한 프로브상수로서 1.08을 적용하고 있다. 그러나 Sette 등의 실험결과에서 보는 바와 같이 프로브의 형태에 따라 프로브 상수값은 큰 차이를 나타내고 있으며 많은 표준시험에서 적용하고 있는 프로브 상수값 1.08의 경우 Reynolds 수가 10,000 이상의 높은 Re. 수에 대해 적용가능하다. 본 실험결과는 Sette의 type 1c 형태의 프로브와 매우 유사한 측정결과를 보여주고 있다[2,3].

그림 4은 받음각에 따른 프로브상수의 영향을 Heskestad 및 Liu 등의 실험결과와 본 실험에서 측정된 값을 비교하여 나타낸다. Heskestad 와 본 실험의 경우 Re수가 약 3,400

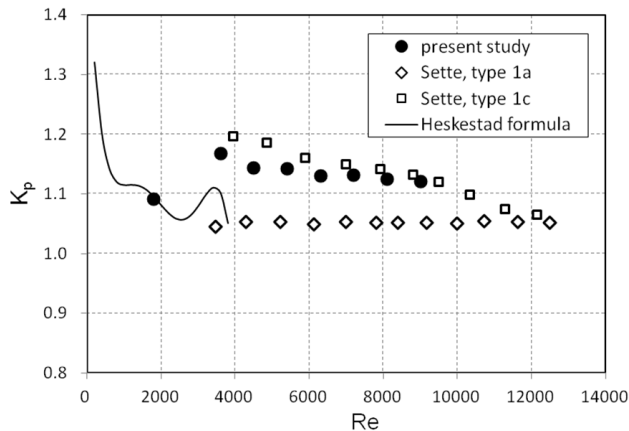


그림 3 레이놀즈수에 따른 프로브 상수.

일때의 측정결과로서 받음각이 0°인 경우에 비해 최대 10% 정도의 오차를 보이고 있다. 그러나 Liu 등의 연구결과 Re수가 더 작은 경우 받음각이 0°인 경우에 비해 최대 20% 까지 차이를 나타낸다[4]. 공통적으로 받음각이 약 30°인 경우 $V_{\theta}/V_{\theta=0}$ 가 최대값을 보였으며 40° 이상에서는 $V_{\theta}/V_{\theta=0}$ 가 급격히 감소하는 것으로 나타났다.

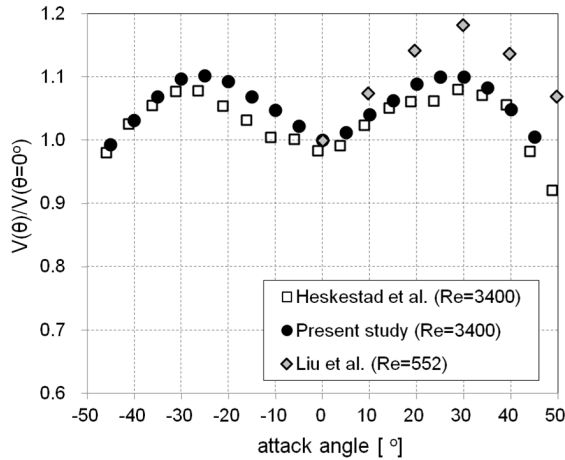


그림 4 받음각에 따른 프로브 상수의 변화

4. 결 론

본 연구는 화재유동장 측정용 양방향유속계의 성능향상을 위한 기초연구로써 기존의 실험결과와 비교검토를 통해 양방향유속계의 측정오차 정도를 파악하고자 한다. 실험을 통해 기존 연구결과와 유사한 측정결과를 얻었으며 이를 통하여 유동의 장애효과, 밀도변화에 대한 영향등을 평가하여 양방향 유속계의 측정오차를 정량화함과 동시에 화재유동장의 측정기법향상을 도모하고자 한다.

감사의 글

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임 (2011-0004171)

참고문헌

1. McCaffrey, B. J. (1976), "A Robust Bidirectional Low-Velocity Probe for Flame and Fire Application", *Combustion and Flame*, Vol. 26, No. 1, pp. 125-127.
2. Sette, B. J. (2006), "Development of a velocity pressure probe", *Fire and Materials*, Vol. 30, No. 6, pp. 397-414.
3. Sette, B. J. (2005), "Critical considerations on the use of a bi-directional probe in heat release measurements", *Fire and Materials*, Vol. 29, No. 5, pp. 335-349.
4. Liu, C. Y., Wong, Y. W., Chan, W. K., and Can, T. C. (1990), "Note on the robust bidirectional low velocity probe", *Experiments in Fluids*, Vol. 9, No. 6, pp. 354-256.