

# 5공 압력프로브의 측정에 의한 Gun식 가스버너의 스윙유동장 고찰

## Investigation of the Swirling Flow Fields of a Gun-Type Gas Burner by the Measurement of a Five-Hole Pressure Probe

김장권\*† · 오석형\*\*

Jang-Kweon Kim\*† and Seok-Hyung Oh\*\*

(Received 09 June 2014, Revision received 17 October 2014, Accepted 27 October 2014)

**Abstract:** The swirling flow fields of a gun-type gas burner(GTGB) without a combustion chamber were measured by a straight-type five-hole pressure probe(FHPP) under the cold flow condition. The three kinds of velocity components and the static pressure were calculated by using a non-nulling calibration method covering the velocity reduction performance of the effective flow attack angle of  $\pm 80^\circ$ . As a result, the velocity and static pressure measured by a FHPP comparatively shows the better performance on the swirling flow of a GTGB than those measured by X-probe.

**Key Words :** Calibration Map, Five-Hole Pressure Probe(FHPP), Gun-Type Gas Burner(GTGB), Non-Nulling Calibration Method, Slit, Swirl Flow, Swirl Vane

### 1. 서 론

현재 업소용 가스난방기로 널리 사용 중에 있는 Gun식 가스버너(이하 GTGB라고 함)는 스윙(swirl)유동을 일으키는 대표적인 버너이다. 버너 중심부에는 회전유동을 일으키는 다수의 스윙베인(swirl vane)들이 설치된 배플판(baffle plate)이 있고, 배플판 외주에는 유동축 방향으로 제트(jet)를 형성시키는 다수의 슬릿 slit)들이 존재한다<sup>1-5)</sup>.

본 연구에서는 GTGB의 스윙유동장을 정확히 측정하고자 3차원 평균속도성분뿐만 아니라 정압까지도 동시에 얻을 수 있는 5공압력프로브(이하

FHPP라고 함)<sup>6,7)</sup>를 사용하였다. 이 FHPP는 레이저 유속계(LDV), 입자영상유속계(PIV) 및 열선풍속계(HWA)에 비해 저가형이면서 역유동(reverse flow)이나 재순환유동(recirculation flow) 및 스윙이 동반된 유동장내에서도 널리 사용되고 있다. 그러나 FHPP는 LDV, PIV 및 HWA들과 달리 난류특성치들을 얻지 못한다는 단점도 있다. 따라서 연구하고자 하는 목적에 따라 FHPP를 선정하는 것이 좋을 듯하다.

그동안 GTGB에 대한 연구들<sup>1-5)</sup>은 저자들에 의해 주로 HWA의 X-형 열선센서(이하 X-probe라고 함)를 이용하였다. 따라서 본 연구에서는 GTGB를

\*† 김장권(교신저자) : 군산대학교 동력기계시스템공학과  
E-mail : flowkim@kunsan.ac.kr, Tel : 063-469-1848

\*\* 오석형 : 군산대학교 기계공학부

\*† Jang-Kweon Kim(corresponding author) : Department of Power System Engineering, Kunsan National University.  
E-mail : flowkim@kunsan.ac.kr, Tel : 063-469-1848

\*\* Seok-Hyung Oh : School of Mechanical Engineering, Kunsan National University.

FHPP로 측정하는데 있어, 그 실험결과들의 신뢰성 및 문제점들을 확보하고자 기 발표된 X-probe 측정에 의한 실험결과들과 전산유체역학(이하 CFD라고 함)으로 수치 해석한 결과<sup>8)</sup>와도 상호 비교하고자 한다.

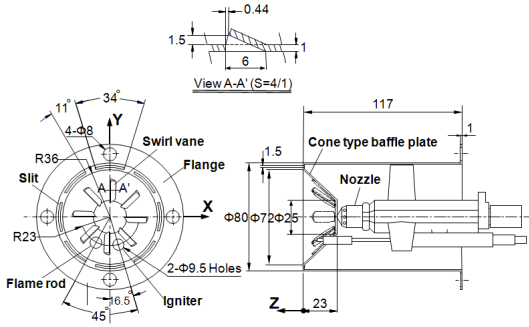


Fig. 1 Configuration of a GTGB

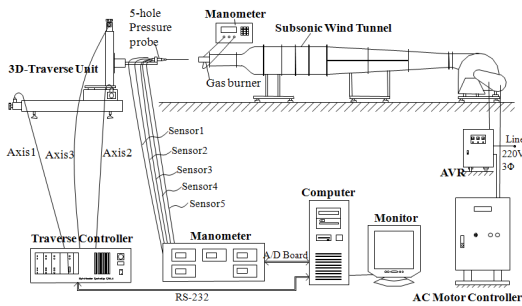


Fig. 2 Data acquisition system using a FHPP

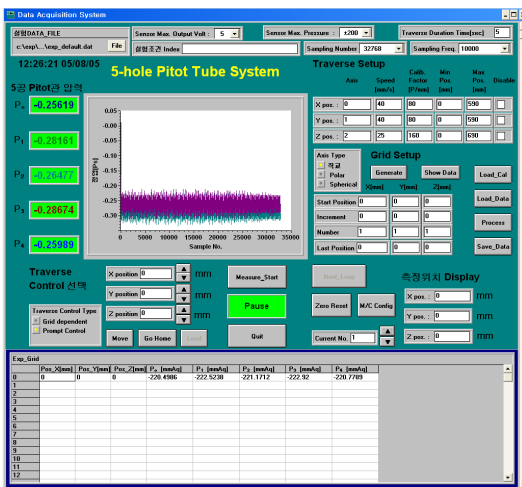


Fig. 3 Data measurement program using a FHPP

## 2. 실험장치 및 실험방법

### 2.1 실험장치

Fig. 1은 본 실험에서 사용한 GTGB의 형상 및 제원을 나타낸 그림이다. 이 버너는 난방능력 15,000 kcal/hr의 가스난방기에 적용하고자 개발한 버너이다. 이 GTGB는 중심부 선단에 45°로 경사진 콘(cone)형 배플판과 배플판 외주에 45° 간격으로 배치된 8개의 공기분출 슬릿들로 구성되어 있다. 배플판은 중심에서 직경 25 mm까지는 막혀 있으며, 그 이후 직경 57.8 mm까지는 스윙베인 8개가 45°간격으로 배치되어 있다. 본 연구에서는 화염봉(flame rod)과 점화장치(igniter)를 제거하고, 그 구멍들을 메운 후 실험에 사용하였다.

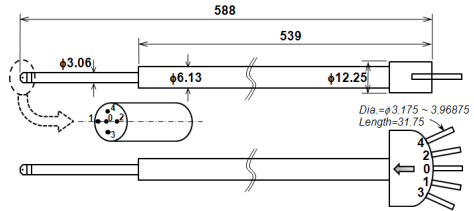


Fig. 4 Geometry of a straight-type FHPP

Fig. 2는 GTGB의 유동장을 직선형 FHPP로 자동 측정하기 위해 사용한 데이터 획득 시스템이다<sup>6)</sup>. 여기서 아음속풍동은 인버터(inverter)방식으로 구동되며, 5마력 원심형 송풍기와 확산부, 정류실, 수축부, 시험부로 각각 구성되어 있다. 또 3차원 자동이송장치(Dantec 41T50 & 41T75)는 RS-232C로 연결된 컴퓨터(P4, Win-XP)의 제어를 통해 미리 입력된 3차원 좌표들에 FHPP를 자동 이송시키며, 컴퓨터에는 FHPP와 연결된 5대의 압력계(Furness, FCO332)들로부터 압력을 얻기 위해 Analog/Digital(A/D) 변환카드(Keithley, KPCI-3101)가 내장되어 있다. 한편, 계측과정 및 속도데이터 연산 등의 모든 과정은 Fig. 3과 같이 Testpoint(Keithley, ver. 4.5)의 소프트웨어를 이용하여 만들어진 전용 계측프로그램을 사용하였다.

Fig. 4는 본 연구에서 사용한 직선형 FHPP (United Sensor Corp., USNH-F-172 0346)의 상세

제원을 나타낸 그림이다<sup>6,7)</sup>. 피토관 선단부에는 5개의 압력측정용 구멍이 형성되어 있는데, 중심부의 관 직경은 0.508 mm이며, 나머지 4개의 관 직경은 모두 0.4064 mm이다.

## 2.2 실험방법

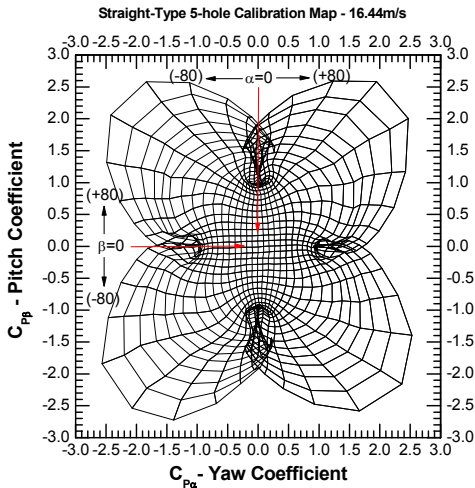


Fig. 5 Calibration maps of a FHPP

Fig. 5는 FHPP로부터 측정된 5개의 압력들을 언널링(non-nulling)방법으로 속도 및 정압성분들을 얻기 위해 사용한 교정지도이다. 본 연구에서는 직선형 FHPP를 사용하면서도 Fig. 5의 교정지도에서  $\pm 45^\circ$ 에 해당하는 중심부 이외에 4개의 상한들에 포함한 총 5개의 영역으로 분할한 후, 각각의 분할영역에 해당하는 교정지도를 3차원커브 피팅(curve-fitting) 프로그램인 TableCurve3D로 근사함수를 만들어 유효유동각을  $\pm 80^\circ$ 까지 확장시킬 수 있는 새로운 교정방법<sup>7)</sup>을 사용하였다. 또 아음속풍동의 속도는 GTGB의 원통측면에 설치된 압력탭(tap)에서 실제 연소용 공기로 사용되는 공기량 450 l/min을 공급하였을 때, 얻어지는 압력 164 Pa를 기준으로 설정하였다<sup>1-5)</sup>. 또 압력계들로부터 압력들을 차례로 읽기 위해 사용한 A/D변환기의 샘플링(sampling) 주파수는 채널당 10 kHz였으며, 샘플링 수는 채널당 32,768개였다. 한편, 주어진 일정한 풍량 조건하에서 Fig. 1의 X-Z평면으로 FHPP를 이송한 모든 정보들은 기 발표된 실험 결과들<sup>1-5)</sup>과 공유하였다.

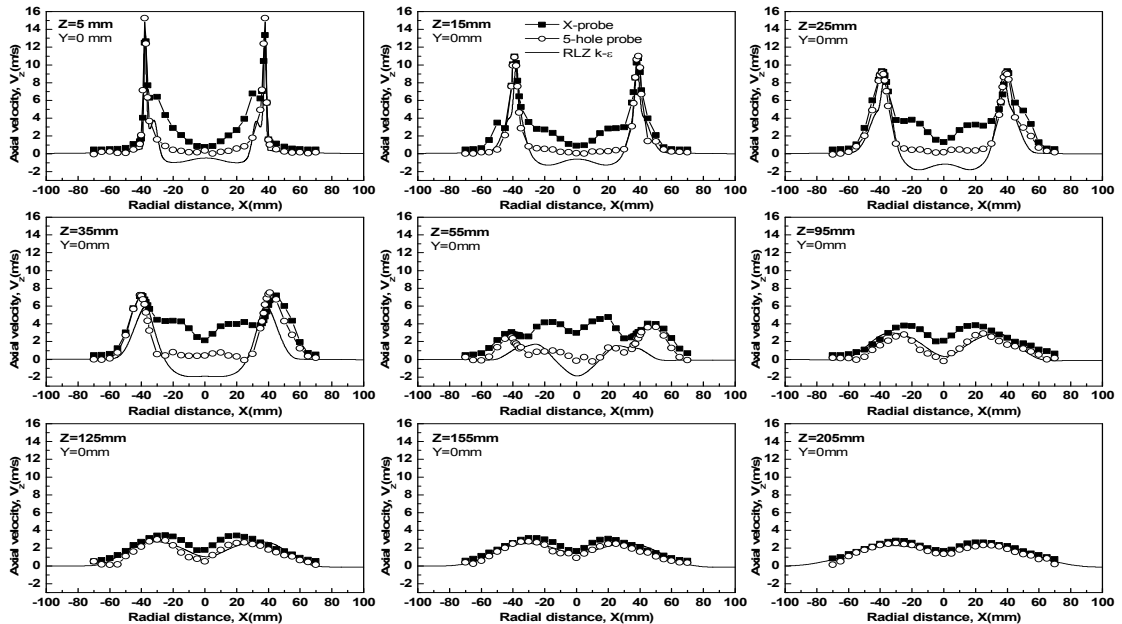


Fig. 6 Axial mean velocity component profiles along the radial distance

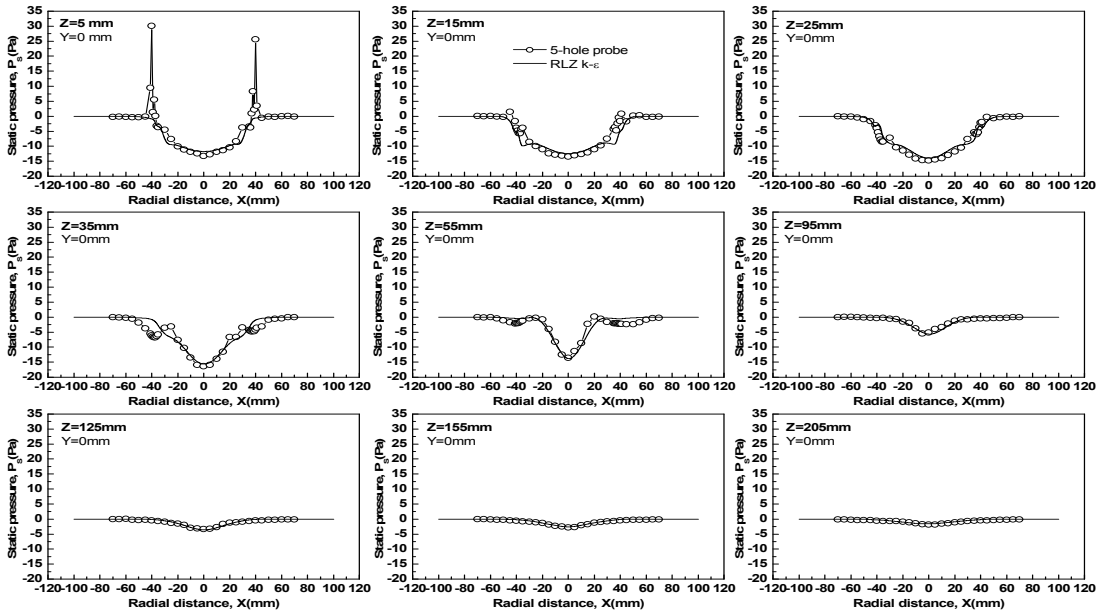


Fig. 7 Static pressure profiles along the radial distance

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 평균속도 분포

Fig. 6은 GTGB의 출구로부터 유동축방향으로 9군데의 각 위치에서 반경방향의 거리 증가에 따라 FHPP에 의해 얻어진 유동축방향속도성분 ( $V_z$ )의 분포를 CFD로 해석한 결과<sup>8)</sup>와 X-probe를 갖는 열선풍속계로 측정된 결과들<sup>1-5)</sup>을 상호 비교한 그림이다. 여기서 CFD해석결과는 비압축성, 3차원 정상상태에서 realizable(이하 RLZ라고 함) k-ε 난류모델로 해석한 내용이다.

Fig. 6에 나타난 FHPP에 의한  $V_z$ 의 크기 및 분포형상은 GTGB의 슬릿부 외곽의 경우 X-probe 및 RLZ k-ε의 해석결과와 비교적 잘 일치함을 알 수 있다. 그러나 GTGB 안쪽의 경우 Z=95 mm 이전에서 FHPP에 의한  $V_z$ 는 X-probe에 의한 결과보다 작은 반면, RLZ k-ε의 해석결과보다 큰 크기를 나타내고 있다. 특히 회전유동의 영향이 강한 GTGB의 중심부에서  $V_z$ 는 음(-)의 값을 나타내기 때문에 역유동(reverse flow)을 보여주는 것으로 판단되어 Z=95 mm까지는 재순환유동(recirculation

flow)이 존재함을 잘 알 수 있다. 그러나 FHPP에 의한  $V_z$ 는 동일 위치에서 음(-)의 크기까지는 보여주지 못해 역유동이나 재순환유동특성을 정확히 확인할 수는 없지만, 그래도 X-probe보다는 다음의 값에 가깝게 보여주므로 FHPP의 성능이 X-probe의 성능보다는 더 우수하다는 것을 알 수 있다. Z=95 mm 이후에서는 3가지  $V_z$ 의 결과들이 점차 서로 일치해가지만, 특히 FHPP에 의한 결과가 더 빨리 해석결과와 일치함을 알 수 있다. 한편, Z=5 mm에서 버너 슬릿부의 FHPP에 의한  $V_z$  값이 X-probe에 의한 결과와 RLZ k-ε의 해석결과보다 더 크게 나타난 것은 FHPP의 정확한 위치 선정이 되지 않았거나 빠른 속도로 길이가 긴 FHPP의 미소한 흔들림 등이 반영된 실험부정확에 따른 오차로 간주된다.

#### 3.2 정압분포

Fig. 7은 GTGB의 출구로부터 유동축방향으로 9군데의 각 위치에서 반경방향의 거리 증가에 따라 FHPP에 의해 얻어진 정압( $p_s$ )의 분포를 RLZ k-ε으로 해석한 결과와 비교한 그림이다.

Z=5 mm의 버너 슬릿부에서 FHPP에 의한 정압 측정값도 해석결과보다 더 큰 크기를 보여  $V_z$ 의 경우와 같이 오차가 발생한 것으로 보인다. 그러나 축방향 거리가 증가함에 따라 FHPP에 의한 정압분포는 대체로 해석결과와 일치해 감을 알 수 있다.

#### 4. 결 론

GTGB의 스윙유동장을 FHPP로 측정한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 회전유동의 영향이 적은 GTGB의 슬릿부 외곽부에서 FHPP에 의한 축방향속도성분의 분포는 X-probe 및 RLZ k- $\epsilon$  해석결과와 비교적 잘 일치함을 알 수 있다.

(2) 회전유동의 영향이 강한 GTGB의 중심부에서 역유동을 예측하는 FHPP의 성능은 CFD 해석보다는 다소 떨어지지만, X-probe보다는 더 우수하다는 것을 알 수 있다.

(3) GTGB의 스윙유동장에 대해서도 FHPP로 충분히 측정 가능함을 알 수 있다.

#### References

1. J. K. Kim, 2009, "Investigation on the Turbulent Swirling Flow Field within the Combustion Chamber of a Gun-Type Gas Burner", Trans. of the KSME(B), Vol. 33, No. 9, pp. 666-673.
2. J. K. Kim, 2008, "Investigation of the Turbulence Characteristics in the Swirling Flow of a Gun-Type Gas Burner with Two Different Hot-Wire Probes", J. of Mechanical Science and Technology, Vol. 22, pp. 180-189.
3. J. K. Kim and K. J. Jeong, 2006, "Investigation on the Turbulent Flow Field Characteristics of a Gun-Type Gas Burner with and without a Duct", J. of the KSPSE, Vol. 10, No. 4, pp. 17-24.
4. J. K. Kim and K. J. Jeong, 2006, "Measurement of the Three-Dimensional Flow Fields of a Gun-Type Gas Burner Using Triple Hot-Wire Probe",

- J. of the KSPSE, Vol. 10, No. 3, pp. 23-31.
5. J. K. Kim, 2004, "Experimental Investigation on the Turbulence Augmentation of a Gun-Type Gas Burner by Slits and Swirl Vanes", KSME International Journal, Vol. 18, No. 10, pp. 1819-1828.
6. J. K. Kim, S. H. Oh and K. J. Jeong, 2006 "Measurement System Development for Three-Dimensional Flow Velocity Components Using Straight-Type Five-Hole Pressure Probe", J. of the KSPSE, Vol. 10, No. 4, pp. 56-64.
7. J. K. Kim and S. H. Oh, 2014, "The Performance Assessment of a Straight-Type Five-Hole Pressure Probe Using a Zone Partition and Two-Dimensional Curve-Fitting Functions", J. of the KSPSE, Vol. 18, No. 1, pp. 22-31.
8. J. K. Kim and S. H. Oh, 2014, "Evaluation of Turbulent Models on the Swirling Flow of a Gun-Type Gas Burner According to the Mesh Size", J. of the KSPSE, Vol. 18, No. 3, pp. 59-65.