

난방기용 콘형 가스버너에서 3차원 난류 유동장 고찰

— 벡터장 및 평균속도에 대하여 —

Investigation of the Three-dimensional Turbulent Flow Fields in Cone Type Gas Burner for Furnace

— On the Vector Fields and Mean Velocities —

김장권 · 정규조 · 김석우 · 김인규

J. K. Kim, K. J. Jeong, S. W. Kim and I. K. Kim

Key Words : Gas Burner(가스 버너), Hot-Wire Anemometer(열선 풍속계), Mean Velocity(평균속도), Streamline(유선), Subsonic Wind Tunnel(아음속 풍동), Swirl Number(스윙수), Turbulent Flow Fields(난류 유동장), Vector(벡터)

Abstract : This paper represents the vector fields and three dimensional mean velocities in the X-Y plane of cone type swirl gas burner measured by using X-probe from the hot-wire anemometer system. This experiment is carried out at flowrate 350 and 450 l/min respectively in the test section of subsonic wind tunnel. The vector plot shows that the maximum axial mean velocity component is focused in the narrow slits distributed radially on the edge of a cone type swirl burner, for that reason, there is some entrainment of ambient air in the outer region of the burner and the rotational flow can be shown in the inner region of the burner because mean velocity W is distributed about twice as large as mean velocity V due to inclined flow velocity ejecting from the swirl vanes of a cone type baffle plate of burner. Moreover, the mean velocities are largely distributed near the outer region of burner within X/R≅1.5, hence, the turbulent characteristics are anticipated to be distributed largely in the center of this region due to the large inclination of mean velocity and swirl effect.

기 호 설 명

D_i : 콘형 보염기의 내주직경 [m]
 D_o : 콘형 보염기의 외주직경 [m]
 k_1, k_2 : 방향성 교정에 따른 평균 Yaw계수 [-]
 R : 버너의 외주반경 [m]
 S : 형상 스윙수 [-]
 U, V, W : 직교좌표계를 만족하는 X, Y, Z방향의 평균속도 성분 [m/s]
 U_o : 버너입구로 유입되는 평균유속(=Q/πR²) [m/s]
 U_1, U_2 : 열선좌표계에서 열선 1, 2에 반응하는

유동속도 [m/s]

U_{1cal}, U_{2cal} : 열선좌표계에서 열선 1, 2의 유동속도
 U_1, U_2 에 대한 교정속도 [m/s]
 X, Y, Z : 직교좌표계의 방향 및 거리
 α : 스윙베인 각도 [°]
 α_1, α_2 : 열선 1과 2가 Probe 좌표계와 이루는 각도 [°]

1. 서 론

21세기를 맞이하여 인류는 에너지자원의 고갈과 환경파괴라는 큰 문제에 봉착하고 있다. 이에 따라 각국은 고효율·저공해의 연소기 개발에 박차를 가하고 있다. 국내에서도 역시 예전에는 화석 연료를 사용하는 난방기가 주가 되었으나, 최근에는 LNG, LPG 등 청정연료를 사용하는 난방기로의

접수일 : 2000년 10월 5일
 김장권, 정규조 : 군산대학교 기관공학과
 김석우 : 군산대학교 대학원
 김인규 : LG전자 디지털 어플라이언스 연구소

전환이 활발히 이루어지고 있다.

가스버너(gas burner)를 사용하는 연소기의 연소 상태는 연료가스의 성분, 분사가스의 확산, 연료가스와 공기와의 혼합 등 여러 변수에 의해 좌우되고 있으나, 그중 연료가스와 공기와의 혼합 정도가 연소상태의 가장 중요한 변수가 된다. 또 버너설계에 대한 최적화 설계변수로는 보염기 형상과 스월베인(swirl vane) 각도·내주반경·외주반경 등을 들 수 있다. 한편 버너의 기하학적 형상 변화에 따라 연소특성을 개선하기 위한 노력은 실험적 연구^{1,6)}와 이론적 연구^{7,8)}로 구분되어 국내외에서 활발히 진행되고 있다. 국외에서는 오일(oil) 버너의 분무 및 유동장에 대한 연구가 활발하여 이 Data를 바탕으로 가스버너에 적용하고 있지만 국내에서는 오일버너는 물론 가스버너에 대한 연구 Data가 매우 부족한 실정이다.

Ikeda 등³⁾과 Kurihara 등⁴⁾은 분무연소로에서 상용 Gun형 오일버너의 분무연소 특성을 파악코자 속도분포들을 연소시와 비연소시로 나누어 레이저 유속계(LDV)를 이용하여 측정하였는데, 배플판(baffle plate) 후류측에서 연소시 및 비연소시 연소용공기의 유동특성이 陰壓으로 나타나 순환류가 존재하고, 반경방향 속도는 외측에 강한 陰의 Peak치가 나타남을 확인하였다. Aoki 등^{5,6)}은 원통형 연소기내의 유동현상을 해석하기 위해 LDV와 열선풍속계 그리고 5공 피토판을 이용하여 스월수를 0.35에서 1.35까지 변화시켜 가면서 시간평균 유속과 난류강도 등을 측정하여 역류영역, 와 중심영역, 보조순환영역의 위치와 크기, 형상 등 연소기 내부의 유동양식을 규명하였다.

본 연구에서는 난방능력 15,000 kcal/hr급의 가스 온풍 난방기에 적용되고 있는 콘(cone)형 가스 스월버너로부터 연소실이 없는 자유공간내에 공기량 350, 450 ℓ/min으로 각각 분사되어 형성되는 3차원 난류 유동장을 열선풍속계를 활용하여 평균 속도, 난류강도, 난류운동에너지 및 레이놀즈 전단 응력 등을 측정하였는데, 본 연구에서는 공기량 450 ℓ/min에서 얻어진 평균속도 및 유동속도 벡터에 대해 다루고자 한다. 이를 통해 콘형 스월버너의 특징 및 문제점을 파악하고 기존 모델의 최적화된 설계데이터를 확보한 다음, 향후 신 모델 개발 등에 응용할 수 있는 설계 자료로 활용하고자 한다.

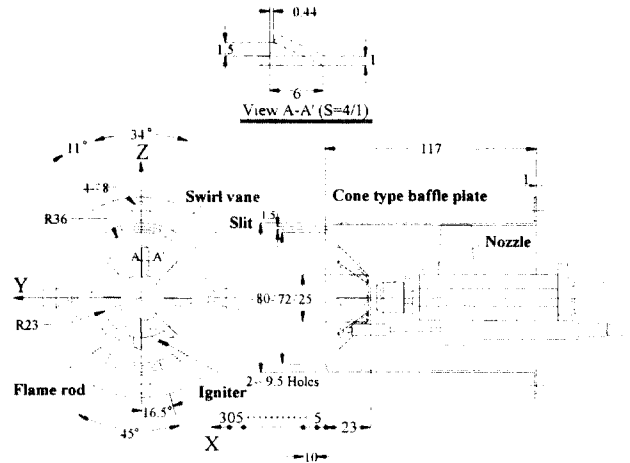


Fig. 1 Configuration of a cone type swirl burner

2. 콘형 스월버너의 구조

Fig. 1은 본 실험에서 사용한 콘형 가스 스월버너의 상세 구조를 나타내는 그림이다. 이 콘형 스월버너는 난방능력 15,000 kcal/hr의 가스난방기에 적용하고자 개발한 가스버너이다.

본 연구의 스월버너는 원통부 선단에 약 45° 경사를 갖는 콘형 보염판이 부착된 형태를 특징으로 하고 있다. 또 이 보염판은 경사면에 위치한 스월베인 8개와 스월베인 바로 위에 방사상으로 위치한 8개의 공기분출 슬릿(slit)으로 구성되어 있다.

본 콘형 스월버너는 형상스월수⁹⁾ 식 (1)로 나타내면, 스월수가 약 0.34를 갖는 선회버너임을 확인할 수 있다. 여기서 내주직경 $D_i = 25$ mm, 외주직경 $D_o = 57.8$ mm, 스월베인각도 $\alpha = 24^\circ$ 이다.

$$S = \frac{2}{3} \left[\frac{1 - (D_i/D_o)^3}{1 - (D_i/D_o)^2} \right] \tan \alpha \quad (1)$$

따라서 본 콘형 스월버너는 콘형 보염기의 경사면 스월베인과 외곽의 좁은 방사상 슬릿에 의해 순환류(circulation flow)와 선회유동을 동시에 유도하지만 스월베인보다는 좁은 방사상 슬릿으로부터 분출되는 평균속도의 기울기 차이를 크게 유도하여 얻어진 강한 난류강도 발생을 통해 가스연료와 산소가 효과적으로 상호 혼합(mixing)이 이루어지도록 하는 형상을 채용하고 있다고 볼 수 있다.

3. 실험장치 및 실험방법

3.1 실험장치

Fig. 2는 아음속 풍동 출구의 시험부에 설치한

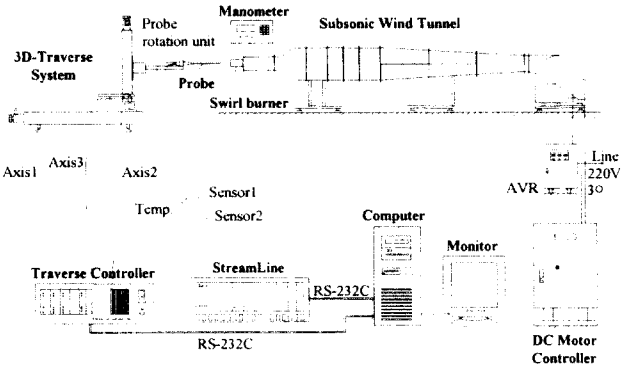


Fig. 2 The experimental apparatus including hot-wire anemometer system.

큰형 스윙버너로부터 열선풍속계를 이용하여 3차원 난류 유동장을 측정하는 그림을 보여준다. 본 연구에서 사용한 아음속 풍동은 5마력 원심형 송풍기와 DC 모터, 확산부, 정류실, 수축부, 시험부로 구성되어 있으며, 시험부 단면 크기 220(폭) mm × 220(높이) mm × 410(길이) mm에서 약 35 m/s의 풍속이 얻어지고 난류강도는 약 0.02% 미만인 얻어지는 성능을 갖는다. 또 비연소시 난류 유동장을 측정하기 위해서 사용한 3차원 열선 풍속계 시스템(Dantec 90N10 StreamLine)은 크게 정온형 열선풍속계, 속도 및 방향교정기(calibrator, Dantec 90H01 & 90H02), 3차원 자동이송장치(traverse system, Dantec 41T50 & 41T75) 그리고 PC로 구성되어 있다. 또 이들 모두 RS-232C로 On-line으로 연결되어 활용되며, 속도 교정기에는 유효압력 10 kg/cm²까지 발휘되는 공기압축기가 연결되어 있다.

3.2 실험방법

3.2.1 X-probe에 의한 속도 연산방법^{10,11)}

본 연구에서 수행된 3차원 유속 측정에는 X-probe(Dantec, 55R51)를 이용하여 열선풍속계와 컴퓨터로부터 다음과 같이 측정된다. 즉 X-probe의 Wire 1, 2에 대한 좌표시스템을 만족하는 속도를 U_1 과 U_2 라고 하고, 이에 대응되는 교정속도를 각각 U_{1cal} 과 U_{2cal} 라고 하면, 평균 Yaw계수 k_1 , k_2 와 함께 이들 사이에는 식 (2)와 같은 관계식을 만족하게 된다. 여기서 α_1 과 α_2 는 열선 1과 2가

$$\begin{aligned}
 U_{1cal}^2 * (1 + k_1^2) * \cos^2(90 - \alpha_1) &= k_1^2 * U_1^2 + U_2^2 \\
 U_{2cal}^2 * (1 + k_2^2) * \cos^2(90 - \alpha_2) &= U_1^2 + k_2^2 * U_2^2
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

Probe 좌표시스템과 이루는 각도로서 모두 45°로 구성되어 있다. 또 Wire 좌표시스템의 속도 U_1 과 U_2 에 대응되는 Probe 좌표시스템의 속도 U 와 V 사이에 식 (3)이 만족된다.

$$\begin{aligned}
 U &= U_1 * \cos \alpha_1 + U_2 * \cos \alpha_2 \\
 V &= U_1 * \sin \alpha_1 - U_2 * \sin \alpha_2
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

여기서 식 (2)와 식 (3)을 만족하는 교정속도 및 Yaw 계수들을 구하기 위해서 먼저 열선풍속계와 On-line으로 연결된 교정기를 통해 X-probe의 속도와 방향에 대한 교정작업(calibration)을 실시하였다. 이때 속도 교정에는 최대속도 20 m/s까지 실시하였는데 그 결과를 5차의 다항식에 의해 나타내었을 때, 본 연구에서는 ±0.4% 이하의 정확도를 얻을 수 있었다. 또 방향성에 대한 X-probe 교정은 10 m/s의 속도에서 -40°에서 40°까지 10° 간격으로 실시하였는데 그 결과 평균 Yaw 계수는 각각 $k_1^2 = 0.064$, $k_2^2 = 0.074$ 로 얻을 수 있었다. 따라서 이 결과들을 식 (2)와 식 (3)에 각각 대입하면 Probe 좌표계에서 만족하는 속도 U 와 V 를 계산할 수 있다. 한편 속도 U 와 W 를 측정하기 위해서는 유동장내에 설치된 X-probe를 반시계 방향으로 90° 회전시켜 얻을 수 있었다. 이 모든 과정은 내장된 "StreamWare"의 소프트웨어에 의해 자동으로 처리된다.

3.2.2 유동장내 속도 측정방법

본 연구에서 사용된 아음속풍동의 속도는 버너의 원통측면에 설치된 압력탭(tap)에서 얻어지는 압력 98, 164 Pa을 기준으로 조정하였다. 이때 이 압력들은 실제 연소용 공기로 사용되는 공기량 350, 450 ℓ/min에 일치한다. 이 압력들은 버너를 송풍식 팬테스터(fan tester)에 연결하여 공기량을 350, 450 ℓ/min으로 각각 공급하였을 때 얻을 수 있다. 여기서 아음속 풍동의 운전은 충분한 시간동안 모터를 기동시킨 다음, 버너측 압력이 설정된 일정 압력 조건에 일치할 때까지 계속되었다. 이후 정상적인 속도 측정은 풍동으로부터 얻어지는 속도 변동이 거의 사라질 때에 비로소 유동장내 각 위치의 난류 유동장으로부터 충분히 많은 데이터 수를 샘플링(sampling)함으로써 가능하게 된다. 본 연구에서 사용된 A/D 변환기의 샘플링 주파수는 채널당 20 kHz, 샘플링 수는 채널당 102,400개, 신호조정기의 Low-pass 필터는 30 kHz로 각각 설정하여 사용하였다.

한편 원하는 측정위치를 설정하고 난류유동장을

측정하기 위해서는 먼저 다음 과정이 필요하다. 즉 Probe를 교정기에 설치하였을 때와 동일한 방향성을 유지한 채 3차원 자동이송장치에 Probe를 위치시킨 후, 버너의 기하학적 측정기준인 원점을 참고로 하여 버너 선단의 좌우, 상하로 Probe를 약 1 mm로 미세하게 자동 이송하여 열선풍속계와 PC로부터 얻어지는 속도데이터들을 구하여 다시 정확한 원점을 잡은 다음 실시해야 한다.

본 연구에서 채택한 콘형 스윙버너는 Fig. 1에서 보는 바와 같이 버너 내부의 노즐과 콘형 보염기에 있는 Flame Rod와 Igniter를 각각 제거하고 그 구멍을 접착테이프(tape)로 막아 사용하였다. 이때 버너 형상이 축대칭을 이루고 있기 때문에 각각의 풍량 조건에서 Probe를 X-Y 평면 내에 이동하면서 X방향으로는 Probe를 보호하기 위해 보염기 선단으로부터 5 mm 떨어진 위치부터 시작하여 10 mm씩 305 mm까지, Y방향으로는 원점을 중심으로 -70 mm에서 70 mm까지 5 mm 간격으로 3차원 난류속도 분포들을 측정하였다. 여기서 콘형 보염기 외측에 방사상으로 형성된 8개의 좁은 슬릿으로부터 분출되는 속도의 크기가 가장 크기 때문에 이 부근에서의 상세한 유속 측정을 위해서 이 구간에서는 1 mm씩 Probe를 이송하여 상세하게 측정하였다. 이때 유동장내의 온도는 온도변화에 따른 속도오차를 최대한 억제하기 위해 약 19 ± 0.5 °C로 유지하였으며, 전압변화에 따른 풍동속도의 변화를 막기 위해 AVR을 설치하여 일정한 전압을 공급하였다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 유동속도 벡터 및 유선 분포

Fig. 3은 X-Y 평면내에서 측정된 X방향 평균속도 U와 Y방향 평균속도 V로 그려진 벡터 유동장을 나타낸 그림이다.

Fig. 3은 전체 유동장에 걸쳐 Y=0에 대하여 대칭성 분포를 보여주며, 약 $Y = \pm 38$ mm 위치에 있는 방사상의 좁은 슬릿으로부터 분사된 제트속도가 가장 크게 형성되어 있음을 보여준다. 또 $Y = \pm 38$ mm 외측에서는 강한 제트속도에 의해 버너 외곽 주변으로부터 공기가 유입되어 주변류에 합류되는 Entrainment 현상도 볼 수 있다. 따라서 방사상으로 배치된 좁은 슬릿으로부터 분사된 빠른 제트 속도와 Cone형 보염기에 설치된 베인을 빠져 나오는 속도 및 Entrainment 등에 의해 약 X=75 mm전까지는 Y방향의 각 영역에서 분출된 공기가

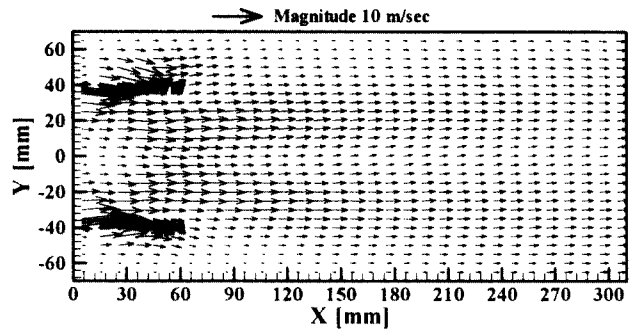


Fig. 3 Vector plot by mean velocities U and V measured in the X-Y plane

축방향으로 유동하면서 축방향의 빠른 유속과 강하게 혼합되어 버너선단 출구에서 2개의 정점을 갖다가 점차 발달해 가면서 4개의 정점을 갖는 유동구조로 나타나고 있다. 그러나 X=85 mm부터는 2개의 정점을 갖는 유동구조를 가지면서 발달해가다가 X=305 mm이후에서는 완전히 유동이 발달하여 반경방향의 속도 기울기가 사라지고 일정한 속도분포를 갖게 됨을 알 수 있다. 한편 버너 선단부의 $Y = \pm 38$ mm 근처에서는 반경방향에 대한 속도 기울기가 크게 형성되어 있어, 이 영역에서 강한 난류영역이 형성됨을 예측할 수 있다. 이는 스윙베인을 통과하면서 축방향 속도성분이 원주방향의 속도성분으로 전환되어 회전하면서 나아가는 유동과 Slit을 통과하면서 축방향으로 가속되어 진행하는 유동과의 혼합에 의해 발생된다고 볼 수 있다.

Fig. 4는 Fig. 3의 벡터장으로부터 얻어진 X방향 평균속도 U와 Y방향 평균속도 V로 그려진 유선(streamline)의 분포를 나타낸 그림이다. 이 유선의 분포는 유동의 확산 및 발달과정을 보여주며, 특히 콘형 버너 선단의 방사상에 배치된 좁은 슬릿으로부터 빠져 나오는 빠른 제트속도에 의한 유선을 통해서 더 확실히 알 수 있다. 즉 이 버너 외곽부에 형성되는 유선은 약 X=120 mm까지는 축방향

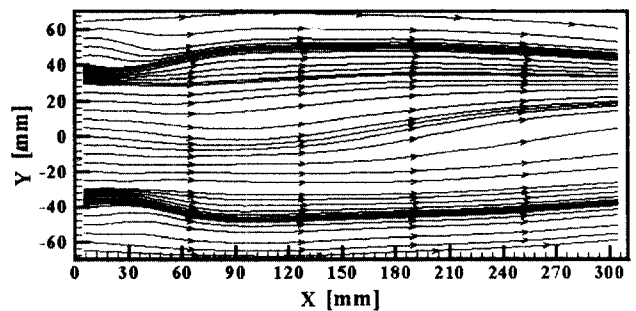


Fig. 4 Streamline plot by mean velocities U and V measured in the X-Y plane

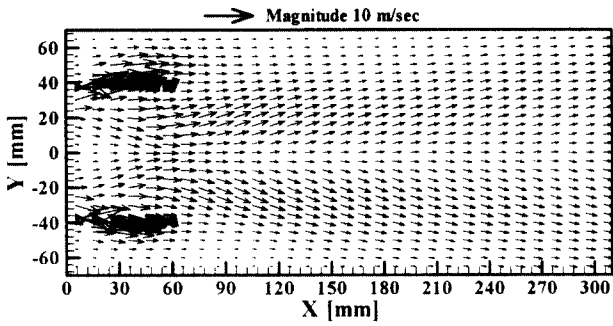


Fig. 5 Vector plot by mean velocities U and W measured in the X-Y plane

으로 이동하면서 점차 확산되지만, 그 이후부터는 점차 중심부쪽으로 약간 수축되어 나타나고 있다. 여기서도 외부공기가 주분류에 유입되는 현상도 볼 수 있다. 그리고 속도가 빠른 유선들은 서로 가깝게 이웃하는 분포로 나타나고 있다. 반면에 버너 중심부에서의 유선들은 약 $X=120$ mm까지는 콘형 스월베인을 빠져나오는 회전유동보다는 비교적 빠른 축방향 유동에 의해 중심부로 약간 집중되지만 그 이후영역부터는 축방향 유동이 현저히 감소되면서 회전유동이 부각되므로 유선들이 스월방향으로 휘어져 나오고 있음을 알 수 있다.

Fig. 5는 X-Y 평면내에서 측정된 X방향 평균속도 U와 Z방향 평균속도 W로 그려진 벡터 유동장을 나타낸 그림이다. Fig. 5는 전체 유동장에서 $Y=0$ 에 대하여 완벽한 대칭성 분포를 보여주는데, 이것은 Fig. 1에서 보는바와 같이 버너 보염기 경사면 좌우에 위치한 두 개의 베인을 X-Y평면상에 일치하기 때문이다. 즉 좌측의 베인을 빠져 나오는 유동은 음의 Z방향으로 향하는 반면에 우측의 베인을 빠져 나오는 유동은 양의 Z방향으로 각각 향하게 되어 전체적으로는 반시계 방향의 회전유동을 형성하기 때문이다. Fig. 5에서도 약 $Y=\pm 38$ mm 위치에 있는 방사상의 좁은 슬릿으로부터 분사된 유동속도가 가장 크게 형성되어 버너 선단 외곽 근처 영역에서 Entrainment 현상을 주도하여 축방향으로 점차 확산 발달하고, 버너 내측에서는 경사면의 베인을 빠져 나오는 유동 속도에 의하여 $Y=0$ 의 축방향으로 $X=65$ mm까지 수축되는 모습을 보여준다. 이것은 콘형 보염기의 경사각이 $X=65$ mm까지는 유동에 크게 영향을 미치는 것으로 해석할 수 있다. 그러나 그 이후부터는 버너 좌우로 확산 및 발달해 가는 모습을 보여준다. 여기서도 버너 선단 근처에서 $X=65$ mm까지 영역에서는 축방향 평균속도의 기울기가 크게 분포되고, 경

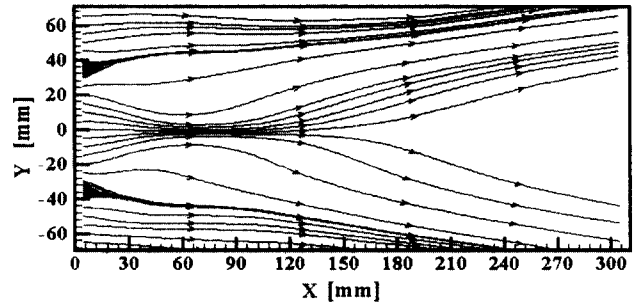


Fig. 6 Streamline plot by mean velocities U and W measured in the X-Y plane

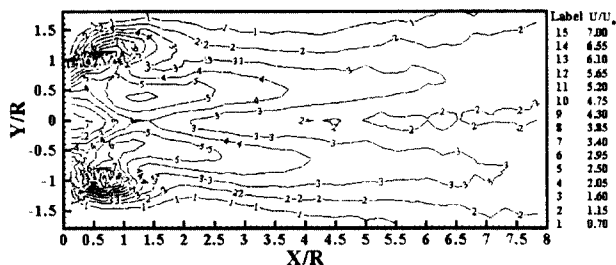
사진 베인을 통해 빠져 나오는 회전유동에 의해 강한 난류영역이 형성됨을 예측할 수 있다.

Fig. 6은 Fig. 5의 벡터장으로부터 얻어진 X방향 평균속도 U와 Z방향 평균속도 W로 그려진 유선의 분포를 나타낸 그림이다. Fig. 6으로부터 콘형 버너 선단의 방사상에 배치된 좁은 슬릿으로부터 빠져 나오는 빠른 제트속도에 의한 유선들은 버너 좌우측으로 축방향 거리 증가에 따라 계속적으로 확산 발달하고 있음을 알 수 있다. 특히 콘형 보염기의 경사면에 설치된 베인을 통해서 빠져 나오는 공기가 X-Y 평면내에서 $Y=0$ 의 축선상에 경사지게 분사되기 때문에 축방향 거리 $X=65$ mm까지는 유선들이 수축되는 반면에 그 이후부터는 버너 좌우로 확산되어 나타나는데, 버너 우측으로 향하는 유선들의 수가 더 많아 반시계방향으로 분출되는 공기의 스월 영향이 나타나고 있음을 알 수 있다.

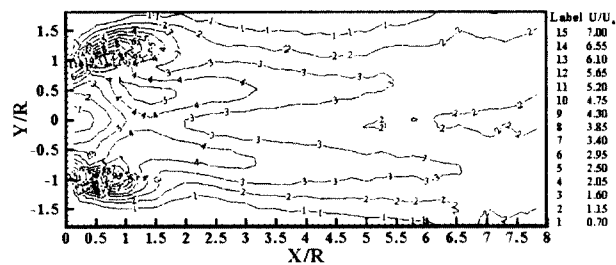
4.2 평균속도 분포

Fig. 7은 X-Y 평면내에서 측정된 X방향 평균속도 U를 버너입구로 유입되는 평균유속 U_0 로 무차원화하여 나타낸 그림이다. Fig. 7(a)와 7(b)의 평균속도 분포 모두 비교적 유사한 크기로 $Y/R=0$ 에 대하여 대칭 분포를 보여주고 있다. Fig. 7로부터 버너의 콘형 보염기 외측에 방사상으로 설치된 좁은 슬릿으로부터 분사된 유동속도에 의해 X방향 평균속도 U가 $Y/R=\pm 1.0$, $X/R=1.5$ 이전까지의 영역에서는 등고선이 매우 밀집되어 나타나 이 영역에서 평균속도가 가장 크게 형성되어 있음을 알 수 있다. 또 경사진 보염기의 베인을 빠져 나오는 유동속도에 의해서는 버너 중심부 쪽으로 유동이 발달하고 있으며, 하류로 갈수록 유동이 확산되면서 소멸되어 감을 알 수 있다.

Fig. 8은 X-Y 평면내에서 측정된 Y방향 평균속도 V를 버너입구로 유입되는 평균유속 U_0 로 무차



(a) Mean velocity U by X-probe(0°)



(b) Mean velocity U by X-probe(-90°)

Fig. 7 Mean velocity U profiles in the X-Y plane

원화하여 나타낸 그림이다. 버너 외곽부근에 위치한 방사상의 좁은 슬릿부근에서 $X/R=1.5$ 이전의 영역에서는 Y방향 평균속도가 크게 분포되어 있음을 알 수 있으며, 그 이후부터는 비교적 작은 값으로 나타나 소멸되어 가는 과정을 볼 수 있다. 특히, 버너 좌측부에서는 보염기의 좌측에 위치한 베인을 빠져 나오는 유동의 경사각도에 의해 유동이 중심축상으로 향하므로 양의 값으로 분포되며, 반면에 버너 우측부에서는 보염기의 우측에 위치한 베인을 빠져 나오는 유동의 경사각도에 의해 유동이 좌측으로 쏠려 중심축상으로 향하므로 음의 값으로 분포됨을 알 수 있다.

Fig. 9는 X-Y 평면내에서 측정된 Z방향 평균속도 W를 버너입구로 유입되는 평균유속 U_0 로 무차원화하여 나타낸 그림이다. Z방향 평균속도 W는 $Y=0$ 에 대하여 비교적 대칭 분포를 뚜렷이 보여주며, 버너 외곽부근에 위치한 방사상의 좁은 슬릿부근에서 $X/R=1.5$ 이전의 영역에서는 Z방향 평균속도가 크게 분포되어 있음을 보여 주고 있다. 그러나 그 이후부터는 비교적 작은 값이나 $Y=0$ 인 중심축상으로부터 외곽으로 확산되면서 소멸되어 가는 과정을 볼 수 있다. 또 버너 좌측부에서는 보염기의 좌측에 위치한 베인을 빠져 나오는 유동의 Z방향 성분이 버너 아래방향으로 향하기 때문에 Z방향 평균속도 성분이 음의 값으로 나타나는 반면에,

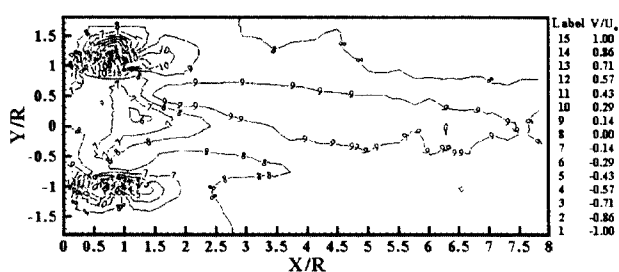


Fig. 8 Mean velocity V profiles in the X-Y plane

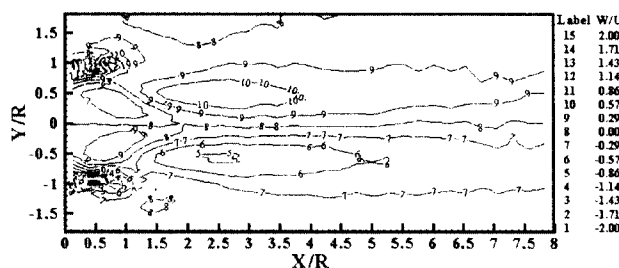


Fig. 9 Mean velocity W profiles in the X-Y plane

버너 우측부에서는 보염기의 우측에 위치한 베인을 빠져 나오는 유동의 Z방향 성분이 버너 윗방향으로 향하기 때문에 Z방향 평균속도 성분이 양의 값으로 나타나고 있다. 한편 평균속도 W는 V값에 비해 2배의 크기 분포로 나타나는데, 이것은 Cone형 보염기의 경사면에 위치한 베인을 빠져나오는 공기의 유동성분중 Y방향으로 향하는 성분보다는 Z방향으로 향하는 회전성분이 2배 더 작용되기 때문으로 생각된다.

5. 결론

형상스윙수 0.34를 갖는 콘형 가스버너의 3차원 난류유동장에서 얻어진 벡터와 3차원 평균속도를 분석한 결과 다음과 같다.

- 1) 버너 외측에 위치한 방사상의 좁은 슬릿 부근에서 속도가 가장 크게 분포되어 버너 외측에서는 외부 공기의 Entrainment 현상이 관찰되며, 버너 내측으로는 경사진 보염기의 스윙베인을 빠져나오는 유동 속도에 의해 V보다 W가 2배 더 크게 나타나 회전유동이 형성됨을 볼 수 있다.
- 2) 평균속도 크기들은 각 방향 성분들 모두 버너 외측에 위치한 방사상의 좁은 슬릿 부근을 중심으로 크게 분포되어 있으며 그 영향이 $X/R=1.5$ 근처까지 이루어지고 있어, 이 영역을 중심으로

속도기울기가 가장 크게 되므로 스윙효과와 더불어 난류가 크게 발달할 것으로 기대된다.

11. Dantec, "Streamline User's Reference Manual", Chapter 8.3 Algorithms

후 기

본 연구는 2000년도 군산대학교 수산과학연구소의 연구비 일부 지원에 의하여 수행되었음.

참고문헌

1. 김인규, "Gun Type Burner의 보염기 형상에 따른 화염구조 특성에 관한 연구", 부산대학교 대학원 석사학위논문, pp. 43~46, 1997
2. Y. Mizutani, "Visualization and Image Analyses of Combustion Fields", JSME International Journal, Series II, Vol. 32, No. 1, pp. 1~26, 1989
3. Y. Ikeda, N. Kawahara and T. Nakayima, "噴霧燃焼爐内の流れ場とガス成分のフラックス測定", 日本機械學會論文集(B編), 61卷, 581号, pp. 332~338, 1995
4. N. Kurihara, Y. Ikeda and T. Nakajima, "ガンタイプバーナにおける噴霧と流れ場との相互作用", 日本機械學會論文集(B編), 60卷, 570号, pp. 656~661, 1994
5. K. Aoki, Y. Nakayama and M. Wakatsuki, "旋回流を伴う圓筒形燃焼器内流れの研究(第1報, スワール數に對する流動特性)", 日本機械學會論文集(B編), 51卷, 468号, pp. 2759~2766, 1988
6. K. Aoki, M. Shibata and Y. Nakayama, "旋回流を伴う圓筒形燃焼器内流れの研究(第2報, スワール數に對する亂流特性)", 日本機械學會論文集(B編), 52卷, 476号, pp. 1617~1625, 1989
7. 윤옥현, "가스 스윙 버너의 유동 및 연소특성에 관한 수치적 연구", 부산대학교 대학원 석사학위논문, pp. 7~39, 1999
8. H. T. Jeong, "A Study on the Turbulent Diffusion Combustion Model for Analysis of a Combustion Burner", 포항공대 대학원 석사학위논문, pp. 22~34, 1996
9. J. M. Beer and N. A. Chigier, "Combustion Aerodynamics", Applied Science, pp. 100~146, 1972
10. H. H. Bruun, "Hot-Wire Anemometry", Oxford Science Publications, pp. 132~163, 1996