

<論 文>

2 차원 Coanda 노즐 제트의 특성에 관한 실험적 연구

이 동 호* · 정 명 균** · 권 동 수*** · 김 응 태****

(1982年 4月 28日 接受)

Experimental Study of the Characteristics of 2-Dimensional Coanda Nozzle Jet

Dong Ho Lee, Myung Kyoon Chung, Dong Soo Kwon and Eung Tai Kim

Abstract

A single free jet formed by the interaction of two curved wall jets on a Cylinder surface is defined as "the Coanda nozzle jet" in this study. In order to investigate the characteristics of Coanda nozzle jet, an experimental analysis was carried out; measurements of the static pressure distribution on the cylinder surface, the mean velocity profile, the turbulence intensity, and the Reynolds shear stress by using x-type hot-wire probe.

기 호 설 명

- $b_{\frac{1}{2}}$: 속도가 최고속도의 $\frac{1}{2}$ 이 되는 곳에서의 제트폭
 D : 원통 직경
 E_1, E_2 : 열선 풍속계 (I), (II)의 평균 출력 전압
 e_1, e_2 : 열선 풍속계 (I), (II)의 출력전압의 교류성분
 h : Coanda 노즐의 출구폭
 K : 열선 풍속계의 보정 상수
 R : 원통 표면에서의 거리
 $R_{\frac{1}{2}}$: 원통 표면에서 속도가 최고 속도의 $\frac{1}{2}$ 이 되는 곳까지의 거리
 Re : 레이놀즈 수(Reynolds number)
 U : x 축 방향의 평균 속도
 U_c : 중심축에서의 평균 속도
 U_{max} : x 값이 일정한 곳에서의 최고 속도
 U_{ref} : 중심축상의 최고 속도
 u : x 축 방향의 난류 속도

- \overline{uv} : 레이놀즈 전단응력(reynolds shear stress)
 V : y 축 방향의 평균 속도
 v : y 축 방향의 난류 속도
 x, y : 2 차원 좌표축(Fig.1 참조)
 $Y_{\frac{1}{2}}$: 중심축에서부터 속도가 최고속도의 $\frac{1}{2}$ 이 되는 곳까지의 거리
 θ : 노즐출구로부터의 각도
 u' : r.m.s. 값

1. 서 론

1.1. Coanda 효과

“벽면 제트(wall jet)에서 그 벽면이 초기 제트의 유동방향과 경사를 이룰 때 제트는 상당히 먼 후방까지 벽면에 부착되어 제트의 방향이 바뀔과 동시에 일반적인 자유 제트(free jet) 보다 많은 주위 공기의 유입(entrainment)을 가져오게 되는데 이러한 유체역학적 현상을 “Coanda 효과”라 부른다[1]. 이 “Coanda 효과”는 발견된 이래 여러 공학적 분야에서 실질적으로 많이 응용되고 있는데, 예를 들면 경계층 박리조절로 인

* 정회원, 한국과학기술원 항공공학과

** 정회원, 한국과학기술원 기계공학과

*** 한국과학기술원 기계공학과 현재(주)광림산업근무

**** 한국과학기술원 항공공학과 석사과정

한 항공기 날개의 높은 양력 발생, 제트 추진 기관의 추력 방향 전환, 증대되는 난류 강도를 이용한 표면냉각효과의 증가등에 이용되며 또한 fluidics에서 flip-flap 스위치등으로도 사용되고 있다. 또한 점성 및 난류유동에서의 곡면 효과는 유체역학 분야에서 매우 관심있는 연구 분야로써 1965년에는 “Coanda 효과”에 대한 종합적인 학술회의가 열렸었다[2]. 최근 10여년 동안 난류유동에 대한 이론이 꾸준히 발전되어 곡면 위를 흐르는 난류유동에 대한 해석이 가능케 되어 원심력의 영향을 고려한 난류 계산모델 개발 연구가 많이 발표되고 있다[3, 4, 5].

1.2. 2차원 Coanda 노즐제트

본 연구에서는 Fig.1과 같이 2차원 평면제트의 출구에 원통을 설치함으로써 원통의 양곡면을 따라 생기는 2개의 곡면벽제트인 쌍둥이 Coanda 제트로 이루어지는 노즐을 “Coanda 노즐”이라 부르고 이 노즐의 제트에 대한 여러가지 유체역학적 특성을 실험적으로 규명해 보고자 한다. 이 Coanda 노즐 제트에 대하여 유동장의 특성을 고려하여 3영역으로 구분하여 보면 다음과 같다(Fig.1 참조)

영역 I : 좁은 간격을 따라 분출된 제트는 원통표면의 곡률로 인한 “Coanda 효과”때문에 원통표면에 부착되어 곡면벽 제트 형태를 갖는다.

영역 II : 중심축 상하 대칭인 2 곡면벽제트는 경사각을 이루며 충돌하게 되는 데 충돌 직전에 이 부근에 형성되는 심한 역압력 구배로 인하여 곡면벽제트는 벽면으로부터 박리가 되어 폐쇄된 박리기포를 형성할 수도 있다. 충돌 이후 단일제트로 합하여진 제트는 최소 유동단면적을 지나기까지 점차 가속된다.

영역 III : 최소 유동단면적을 통과한 후 제트의 확산

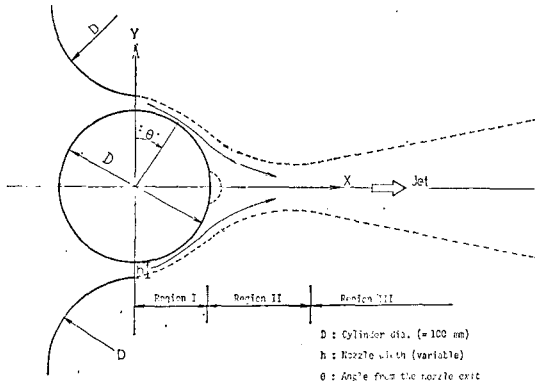


Fig. 1 Coanda nozzle jet.

으로 서서히 감소되는 데 하류로 흘러감에 따라 점차 일반 2차원 제트와 같은 특성을 회복하게 될 것으로 생각된다.

2. 실험

2.1. 실험장치

Fig. 2는 본 연구를 위하여 제작된 실험장치의 조립도로써 각 부분은 두께 13mm의 아크릴판으로 제작하였다. “Coanda 효과”가 일어나는 곡면부는 외경이 100mm인 아크릴 원통을 사용하였으며, 원통 양쪽의 노즐 부분도 같은 직경의 $\frac{1}{4}$ 원통곡면을 사용하였다. 실험장치의 높이는 2차원제트를 유지키 위하여 500mm로 제작하였으며(이 경우 2개 Coanda 제트의 노즐폭의 합과의 비가 1 : 50 이상임), 노즐 출구의 상, 하면을 연장시켜 상, 하로 부터의 외부공기 유입을 차단시킴으로써 멀리까지 2차원 제트 유동이 유지되도록 하였다. 노즐의 폭(Fig.1 참조)은 그 크기를 최대 20mm까지 조절할 수 있도록 설계, 제작되었다. 한편 원통 벽면을 따른 압력 분포를 측정하기 위하여 밑면으로부터 350mm되는 원통의 원주상에 내경 0.7mm의 정압구멍을 위치에 따라 3°, 6° 및 10° 간격으로 35개 설치하였다.

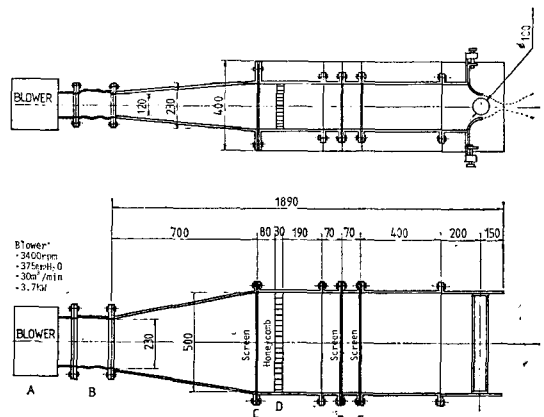


Fig. 2 Coanda nozzle jet wind tunnel.

2.2. 측정기기 및 측정방법

평균속도 및 난류 특성들을 측정하기 위하여 선형기(linearizer)가 연결된 DISA-CTA 55M 정온 열선풍속계를 2채널 사용하였다. 영역 I의 곡면벽제트 부분의 측정에는 I형 단선 Probe(55P11)를, 영역 II 및 III의 자유제트 부분에서는 X형 복선 Probe를 각각 사용하였다. X형 복선 Probe를 사용하여 동시에 $U, V,$

$\langle u' \rangle$, $\langle v' \rangle$ 및 \overline{uv} 를 측정키 위한 기기선도를 Fig. 3에 나타내었으며 선형기를 지난 두 열선풍속계의 출력 전압의 DC 성분을 E_1, E_2 그리고 AC 성분을 e_1, e_2 라 할 때 평균속도 성분들은 다음과 같이 표시된다.

$$U = \frac{K}{\sqrt{2}} (E_1 + E_2) \quad (1-a)$$

$$V = \frac{K}{\sqrt{2}} (E_1 - E_2) \quad (1-b)$$

$$\langle u' \rangle = \frac{K}{\sqrt{2}} \langle (e_1 + e_2)' \rangle \quad (1-c)$$

$$\langle v' \rangle = \frac{K}{\sqrt{2}} \langle (e_1 - e_2)' \rangle \quad (1-d)$$

$$\overline{uv} = \frac{K^2}{2} \overline{(e_1 + e_2)(e_1 - e_2)} \quad (1-e)$$

위 관계에서 X형 Probe의 두 선은 모든 성질 및 기하학적 형상이 동일하다고 가정하였다. 한편 원통벽면의 압력분포는 최대 42점의 압력을 처리할 수 있는 J형식 Scanivalve와 측정압력범위 1 psid인 PDCR 22압력 transducer을 사용하여 측정하였다.

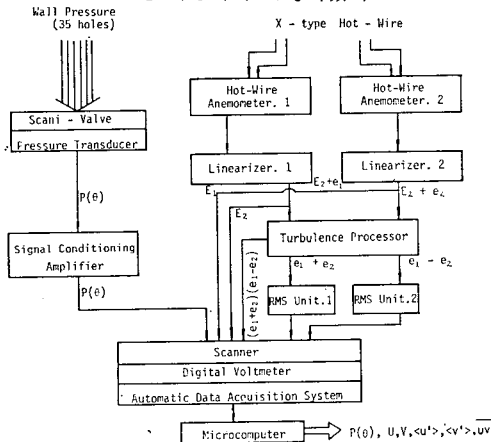


Fig. 3 Diagram of data acquisition.

열선 Probe는 곡면벽제트 영역에서 원통벽면에 수직인 반경 방향으로, 영역 II 및 III에서는 제트의 중심축에 수직방향으로 이동하며 측정하였다. Probe의 제트에 수직방향이동은 최소 이송단위 0.1mm(정확도 $\pm 0.1\%$)를 갖으며 매 이송간격, 이송간의 정지시간 및 총 이송거리를 자동 조절할 수 있는 SD-100A 자동 이송 장치를 사용하였으며, 제트측 방향은 이송 나사를 이용한 수동 이송장치에 SD-100A 자동 이송장치를 탑재시켜 이동하였다.

모든 측정 데이터 처리장치인 HP3052A와 마이크로컴퓨터 HP9825A를 사용하여 자동 이송 장치에 나타난 좌표값을 입력시켜줌으로써 스캐너(Scanner)의 모든 채널에서 약 30ms 간격으로 50~100회 측정하여 산술평균한 값을 기록기에 출력시킨뒤 자동으로 다음 위치로 진행되도록 자동화하였다. 이와같이 얻어진 모든 측정

데이터는 테이프에 수록되어 HP9845B 마이크로컴퓨터로 재처리하여 그래프를 작성하였다.

2.3. 실험 조건

일반적으로 노즐폭 h 나 원통 직경 D 를 기준한 Re 수와는 달리 Newmann[6]은 \sqrt{hD} 를 특성길이로 하는 변형된 형태의 Re 수를 정의하였는데 본 연구에서는 Coanda 노즐제트의 노즐폭 h 및 노즐출구 속도 U_0 의 변화에 따른 여러 형태의 Reynolds 수의 변화를 table 1 및 table 2에 각각 표시하였다.

Table 1 Values of different type reynolds number with variation of nozzle width.

Nozzle width. $h(\text{mm})$	5	3	1.3
Nozzle exit velocity $U_0(\text{m/s})$	76	80	82
$Re \equiv \frac{U_0(2h)}{v}$	5.45×10^4	3.44×10^4	1.53×10^4
$Re \equiv \frac{U_0(2R)}{v}$	5.45×10^5	5.75×10^5	5.88×10^5
$Re \equiv \frac{U_0 \sqrt{h(2R)}}{v}$	1.22×10^5	9.93×10^4	6.70×10^4

Table 2 Values of different type reynolds number with variation of nozzle exit velocity ($h=3\text{mm}$).

Nozzle exit velocity $U_0(\text{m/s})$	80	75.4	61	29
$Re \equiv \frac{U_0(2h)}{v}$	3.44×10^4	3.24×10^4	2.62×10^4	1.25×10^4
$Re \equiv \frac{U_0(2R)}{v}$	5.74×10^5	5.41×10^5	4.37×10^5	2.08×10^5
$Re \equiv \frac{U_0 \sqrt{h(2R)}}{v}$	9.93×10^4	9.36×10^4	7.57×10^4	3.60×10^4

3. 실험결과 및 분석

3.1. 곡면벽제트 : 영역 I

노즐폭 h 가 5mm 일때 곡면벽을 따라가며 $\theta=10^\circ, 20^\circ, 30^\circ, 40^\circ, 50^\circ$ 및 60° 의 6 위치에서 원통표면에 수직 방향으로 최소 0.1mm 간격으로 이동하여 측정된 곡면벽 제트의 속도분포를 Fig.4에 나타내었다. $\theta=10^\circ$ 에서 아직도 많은 포텐셜코어(Potential core) 부분이 남아있는데 점차 θ 가 증가함에 따라 벽면근처에서 제트가 가속되어 최대 속도가 증가하다가 $\theta=40^\circ$ 에서 최대에 달한 후 비슷한 속도 형상을 유지하며 전반적으로 서서히 감속된다. 이 속도분포를 속도는 최대속도 U_{max} 로, 표면

에 수직거리 R 로 각각 나누어 무차원화시켜서 Giauert[7]의 평면벽 제트의 속도 분포와 비교하여 보면 Fig.5에서와 같이 벽면근처 $R < R_{\theta}$ 에서는 $\theta = 50^\circ$ 일 경우와 그리고 $R > R_{\theta}$ 인 외부에서는 $\theta = 40^\circ$ 일 경우의 속도분포와 잘 일치함을 볼 수 있었다.

한편 측정된 속도 분포를 이용하여 계산된 $\theta = 60^\circ$ 에 서의 유량은 "Coanda 효과"로 인한 주위공기의 유입 (entrainment)으로 인하여 초기 유량보다 약 60%의 증가를 나타내고 있으며, 원통직후의 Coanda 노즐제트의 최대 수축부에 이르러는 초기 유량에 비하여 80%의 유량 증가를 보여주었다.

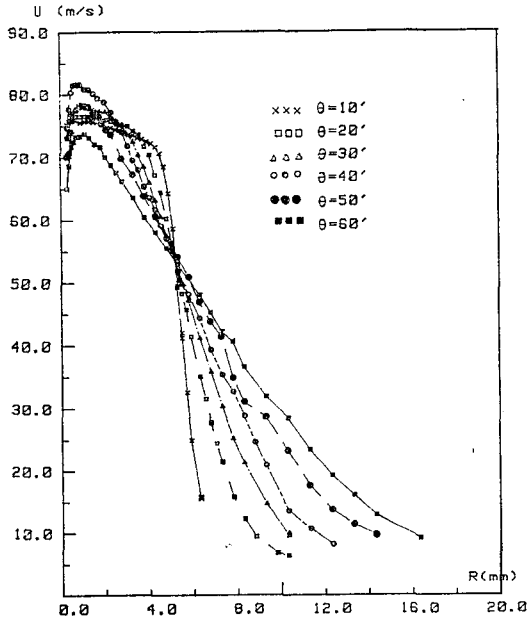


Fig. 4 Mean velocity profiles of curved wall jets ($h=5\text{mm}$).

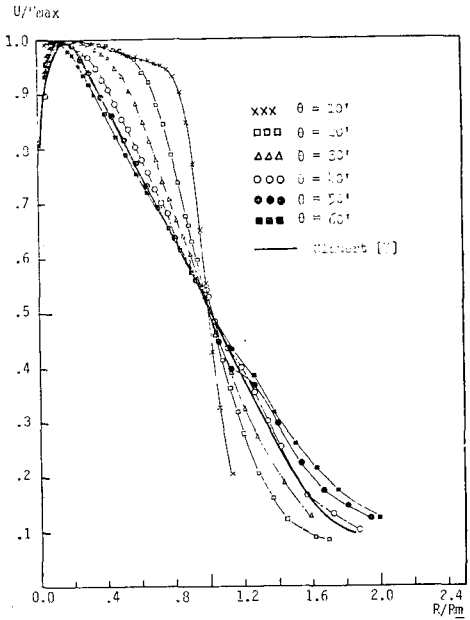


Fig. 5 Nondimensional mean velocity profiles of curved wall jets ($h=5\text{mm}$).

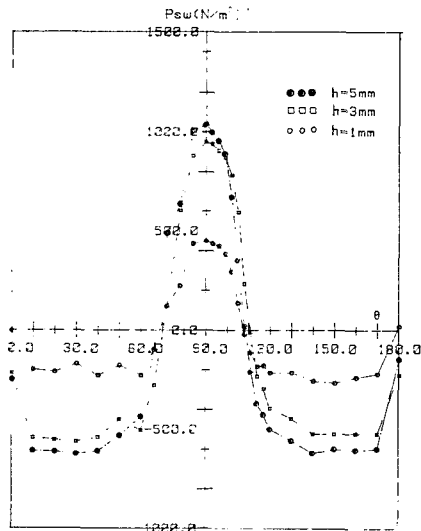


Fig. 6a Static pressure distributions on the cylinder surface with the variation of nozzle width.

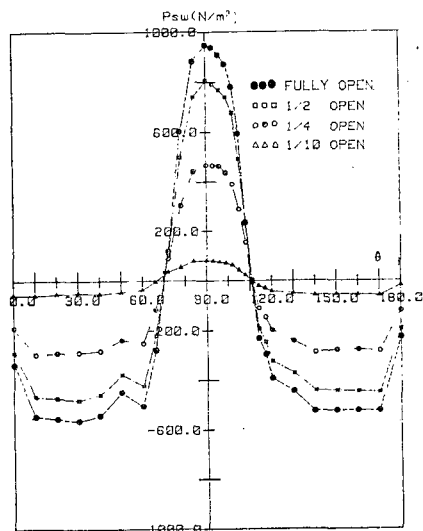


Fig. 6b Static pressure distributions on the cylinder surface with the variation of initial nozzle velocity.

원통벽면을 따른 벽면접압분포는 Fig.6에 대기압에 대하여 상대압력으로 나타내었다. 노즐 출구에서 대기압보다 약간 낮은 압력은 곡면벽의 "Coanda 효과"로 인하여 급격히 낮아진 후 거의 일정한 부압을 유지하다가 초기 제트의 속도가 클수록 작은 θ 에서부터 강한 역압력 구배를 갖게 된다. Fig. 6a는 노즐 간격 h 를 5mm, 3mm 및 1mm로 변화시키며 측정된 결과이며, Fig. 6b는 송풍기 입구의 개도를 1, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$ 및 $\frac{1}{10}$ 로 바꿈으로써 출구 속도를 변화시킨 결과이다. 본 실험에서 발견한 특징적인 사항은 벽면 압력이 대기압과 같아지는 지점이 항상 노즐 출구로부터 70° 근방(대칭축으로부터 $\pm 20^\circ$)으로 일정한 사실을 지적할 수 있었다. 상하의 두 벽면제트가 부딪치는 대칭축 부근에서는 초기속도 에너지에 비례하며 높은 압력값을 나타내었다.

에서 극소값을 갖고 좌우에서 대칭적으로 최대값을 나타내었으며 이러한 속도 분포는 점차 하류로 흘러감에 따라 $X=80\text{mm}$ (원통표면으로부터 25mm)에서는 중심

3.2. Coanda 노즐제트 : 영역 II 및 III

3.2.1. 평균 속도 분포

X형 열선 Probe를 사용하여 제트방향 및 수직방향의 평균 속도 성분 U 및 V 를 동시에 측정하였다.

중심축의 양쪽으로부터 경사각을 갖고 충돌한 두 쌍둥 곡면벽 제트의 속도성분 U 는 Fig. 7a에 보인 바와 같이 영역 II에서 원통을 떠난 직후에는 중심 축상

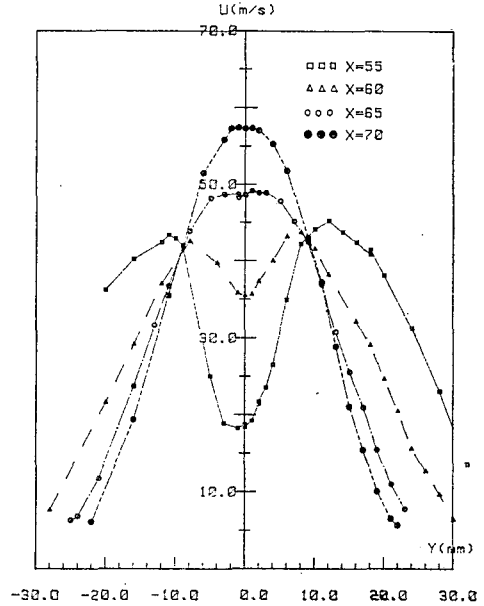
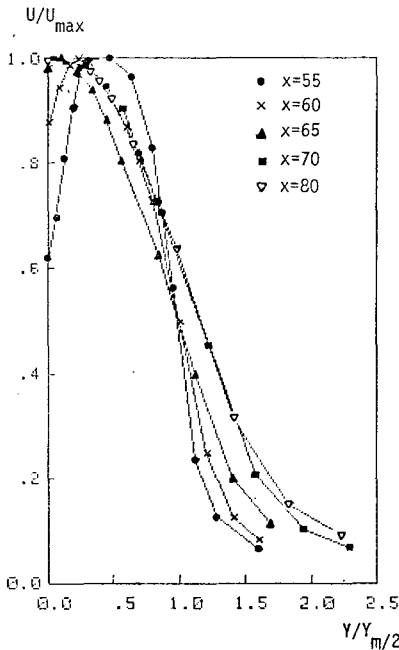
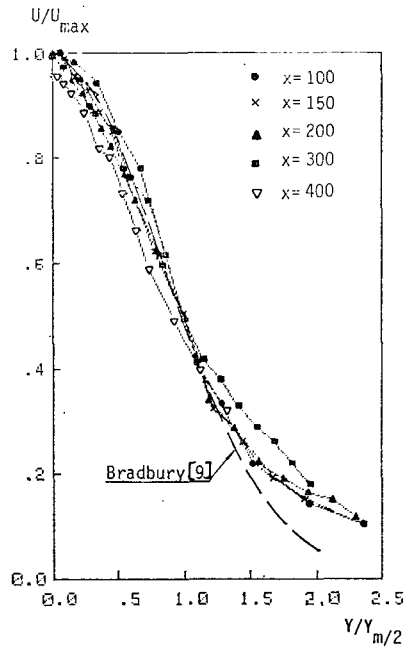


Fig. 7a Profiles of U in region II.



(b) Region II



(c) Region III

Fig. 7b & 7c Nondimensional profiles of U.

축 부근에 일정한 속도 영역을 보이며 이후 점차 발달하여 일반 2차원 평면 제트와 같은 속도 분포를 갖게 됨을 알 수 있었다. 영역 II 및 III에서의 속도분포 U 를 무차원화시켜 Fig. 7b 및 c에 나타내었다. $X=200$ mm($X/D=20$) 전후에서 Townsend[8]의 원통의 후류(wake) 속도분포와 일치함을 참고문헌 11에서 알 수 있었으며, Fig. 7c에 보인 바와 같이 $X=400$ mm 근방에서 $y/y_m < 1.2$ 일 때 Bradbery[9]의 2차원 자유제트의 속도 분포와 유사한 상사속도 분포를 보였다.

제트에 수직방향 속도 성분 V 값은 Fig. 8에 나타낸 바와 같이 원통 직후에서 최대 V 값이 U_{max} 의 50%정도까지 달하며 그 이후 급속히 감소되어 영역 III에서

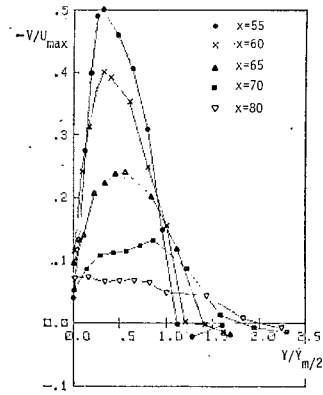


Fig. 8 Nondimensional profiles of V in region II

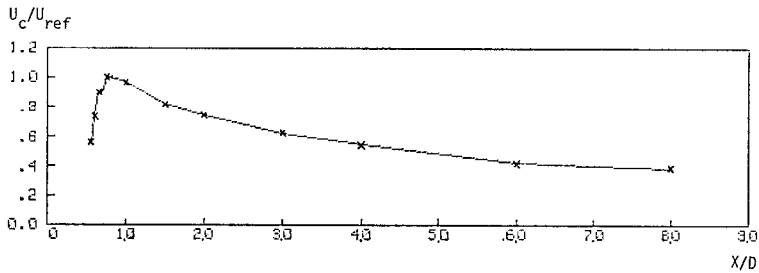
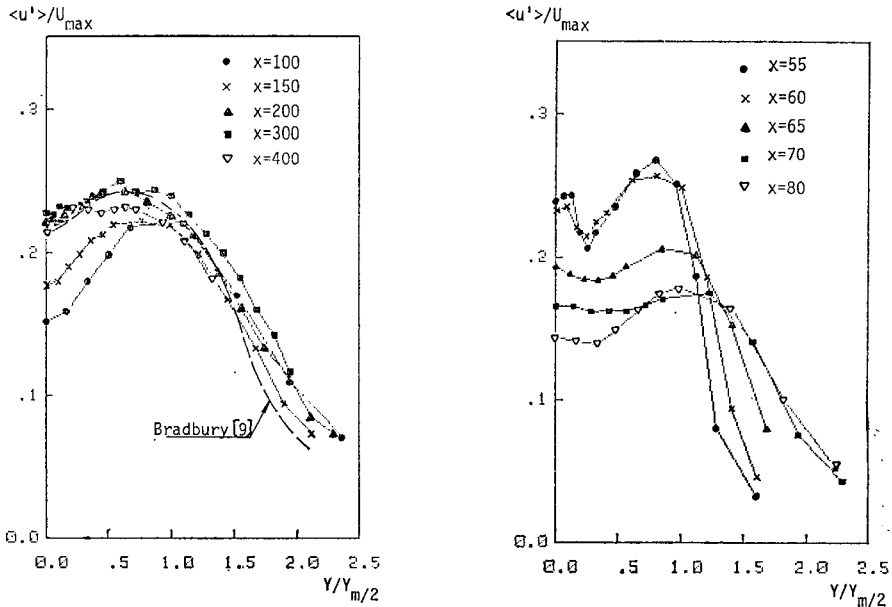


Fig. 9 Variation of U_c with X .



(a) Region II

(b) Region III

Fig. 10 Profiles of velocity fluctuations $\langle u' \rangle$.

는 매우 적은 값을 나타내었다.

제트의 특성을 파악하는 데 있어 중요한 중심축선상의 속도 U_c 의 x 에 따른 변화를 Fig. 9에 나타내었는데 원통 직후에서 급속히 가속되어 $x \approx 77\text{mm}$ ($X/D \approx 7.7$)에서 최대값에 달하는데 이 점은 제트의 최대수축부에 해당된다. 그 이후 제트폭의 확산과 더불어 점차 완만히 감소되어 가는데 $U_c \propto x^a$ 형태로 나타낼 때 a 값이 일반 2차원 제트의 -0.5 인 경우보다 [10] 약간 작은 값($-0.37 \sim -0.5$)을 갖음으로써 중심속도 감소율이 일반적인 제트보다 약간 작음을 1차 연구 결과인 참고문헌 11에서 알 수 있었다. 한편 제트의 확산은 최대속도의 $\frac{1}{2}$ 에 해당하는 폭 $b_{\frac{1}{2}}$ 를 비교할 때, Gutmark & Wygnanski [12]의 2차원 평면제트의 $b_{\frac{1}{2}} \propto 0.1x$ 에 대하여 Coanda 노즐제트는 $b_{\frac{1}{2}} \propto 0.15x$ 로써 일반 2차원 평면제트보다 1.5배 정도 더 넓게 확산됨을 1차연구결과인 참고문헌 11에서 알 수 있었다.

3.2.2. 난류 성분

모든 난류속도는 각 x 위치에서 최대평균 속도 U_{\max} 로 무차원화시켰으며, y 방향 거리는 최대 속도의 $\frac{1}{2}$ 에 달하는 점의 거리 $y_{\frac{1}{2}}$ 으로 나누어 무차원화시켰다. Fig. 10에 난류 속도 성분 $\langle u' \rangle$ 의 측정 결과를 나타내었는데 Fig. 10a의 원통 직후에서는 중심축상 및 그 좌우에 최대값을 보임으로써 3개의 최대값을 갖었으나 제트가 점차 가속되며 난류강도가 확산되어 Fig. 10b에서 보듯이 $x=200\text{mm}$ 이후에는 일반적 2차원 평면제트의 경우 [12]와 유사한 분포를 갖게 됨을 알 수 있었다. 한편 난류속도성분 $\langle v' \rangle$ 는 Fig. 11에 측정결과를 나타내었는데 원통 직후에서는 중심축상에서 떨어진 $y/y_{\frac{1}{2}} \approx 0.6$ 근방에서 매우 높은 최대값을 보였으나 (Fig. 11a) 그 이후는 항상 최대값이 중심축상에서 나타났으며 Fig. 11b에서 보듯이 $\langle u' \rangle$ 경우와 마찬가지로 $x=200\text{mm}$ 이후에는 2차원 평면제트의 경우 [12]와 유사한 상사분포를 보였다.

Fig. 12은 Reynolds 전단응력 \overline{uw} 를 각 x 위치의 최대 속도의 제곱인 U_{\max}^2 으로 나누어 무차원화한 측정 결과로서 원통직후의 두 곡면제트의 충돌 영역인 $x=55\text{mm}$, 60mm 위치에서 매우 높은 값을 나타내었으며 주목할만한 사항은 중심축에 아주 가까운 지점 ($y/y_{\frac{1}{2}} \approx 0.1 \sim 0.2$)에서 또 하나의 최대값을 보여 주고 있다 (Fig. 12a). x 가 증가함에 따라 $x \approx 200\text{mm}$ 이후 일반 2차원 평면제트의 측정치 [12]와 유사한 상사 분포를 갖

음을 알 수 있었다.

한편 두 난류 속도 성분의 상관계수(Correlation)인 $\overline{u'v'}/\langle u' \rangle \langle v' \rangle$ 의 계산치를 Fig. 13에 나타내었다. Fig. 13a에서 $x=60\text{mm}$ 에서 최대 -0.6 이상의 높은 값을 보였으나 그 이후 제트의 가속과 더불어 급속히 감소되었다가, Fig. 13b에서 보듯이 $x=150\text{mm}$ 이후는 중심축 부근 ($0 < y/y_{\frac{1}{2}} < 0.8$)에서 상사분포를 갖음을 알 수 있었다.

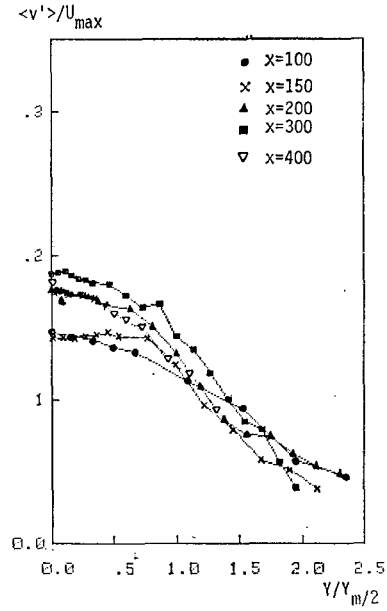
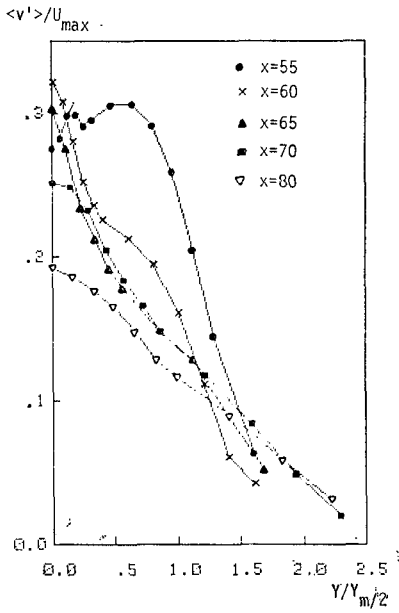
Fig. 14는 중심축상을 따라 난류속도성분 $\langle u' \rangle$ 및 $\langle v' \rangle$ 의 변화를 나타낸 것으로써 $\langle u' \rangle$ 는 원통 직후의 매우 높은 난류 강도를 보이거나 그 이후 제트의 가속과 함께 급속히 감소되어 $x \approx 77\text{mm}$ 근방에서 최소값에 달한 후 $x \approx 400\text{mm}$ 까지 다시 서서히 증가하여 $\frac{\langle u' \rangle}{U_c} \approx 22\%$ 정도의 일정한 값에 달하고 그 이후 감소한다. 그러나 $\langle v' \rangle$ 는 원통직후에서 매우 높은 최대값에 달한 후 급격히 감소하나 감소율은 $\langle u' \rangle$ 보다 적으며 최소점에 달한 후 증가하여 $\frac{\langle v' \rangle}{U_c} \approx 19\%$ 정도에 달하는데 이때의 증가 추세도 $\langle u' \rangle$ 보다 상대적으로 느리다. 이러한 중심축을 따른 난류 강도의 변화는 본 Coanda 노즐 제트의 초기 형상이 일반적 2차원 평면제트와 전혀 다르므로 일반적으로 비교하기 곤란하나 $x \approx 100\text{mm}$ ($X/D \approx 10$) 이후는 Gutmark & Wygnanski [12]의 2차원 평면제트의 결과와 유사함을 확인할 수 있었다.

4. 결 론

원통 주위의 2개의 쌍둥이 곡면제트의 “Coanda 효과”로 형성되는 2차원 Coanda 노즐제트에 대한 실험적 연구결과 아래와 같은 사항들을 지적할 수 있었다.

- 원통 벽면의 압력이 대기압과 같은 값을 갖는 지점이 본 실험 조건내에서 대칭축으로부터 $\pm 20^\circ$ 로 일정함을 발견할 수 있었다.
- 2개의 곡면제트가 충돌하는 영역 II에서는 두 방향의 난류강도가 모두 높음을 확인하였다.
- 2제트의 충돌이후 Coanda 노즐제트의 발달에서 제트폭은 일반제트 경우보다 약 1.5배정도 더 크게 확산되며 중심축상의 최대 속도는 일반제트 경우보다 더 늦게 감소함을 고려할 때 전반적으로 주위로 부터의 공기 유입(entrainment)이 매우 큼을 알 수 있다.

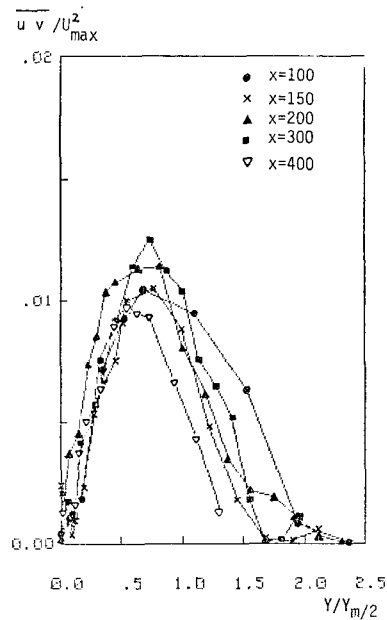
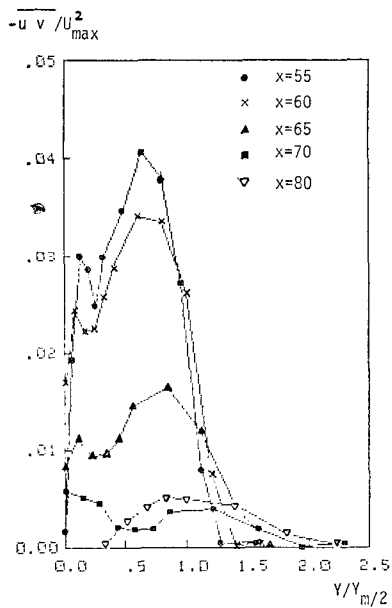
이상과 같은 여러가지 사항들을 종합하여 불매 실질적인 응용면에서 높은 외부공기의 유입과 원통 직후의 높은 난류강도등의 특성은 Coanda 노즐 제트의 고속



(a) Region II

(b) Region III

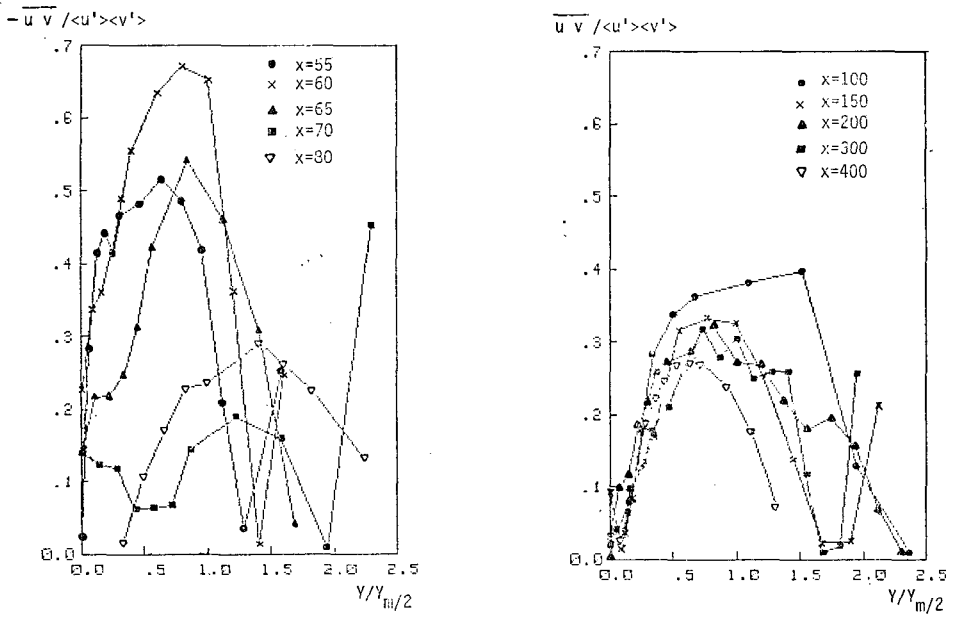
Fig. 11 Profiles of velocity fluctuations $\langle v' \rangle$.



(a) Region II

(b) Region III

Fig. 12 Reynolds shear stress $-\overline{u'v'}$ distributions.



(at $x=80$ reverse the sign)

Fig. 13 Turbulent velocity correlation $\frac{\overline{u'v'}}{\langle u' \rangle \langle v' \rangle}$

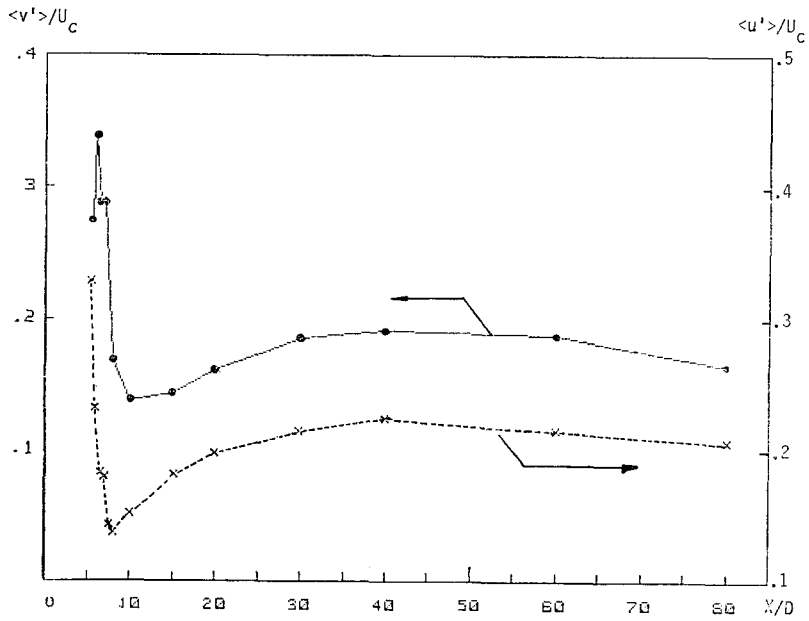


Fig. 14 Variations of $\langle u' \rangle$ and $\langle v' \rangle$ along the center line.

연속 연소기의 노즐로 이용할 수 있는 가능성을 보여 주었으며, 또한 곡면벽 난류제트, 두 제트의 표면 박리 및 층돌 그리고 단일 2차원 난류 제트로의 발달 등 복잡한 유동형상의 실험적 데이터는 보다 광범위하고 새로운 난류 유동장 계산모델 개발에 좋은 자료가 될 수 있으리라 사료된다.

후 기

본 연구는 1981년도 한국과학재단의 연구비 지원으로 수행되었으며 이에 감사하는 바입니다.

참 고 문 헌

1. H. Coanda, Procédé de propulsion dans un fluide. Brevet Invent. Gr. Cl. 2, no. 762688 République Francaise. 1932
2. R. wille and H. Fernholz, Report on the first European Mechanics Colloquium on the Coanda effect. J. of Fluid Mechanics, Vol. 23, pp.801-819, 1965
3. P. Bradshaw, The analogy between streamline curvature and buoyancy in turbulent shear flow, J. of Fluid Mechanics, Vol. 36, 1969
4. B.I. Sharma, B.E. Launder and C.J. Scott, Computation of Annular, turbulent flow with rotating core tube, J. Fluids Eng., ASME, Dect., 1976
5. F. Aguilar and F.J. Pierce, Numerical analysis of turbulent flow along an abruptly rotated cylinder, J. Fluids Eng., ASME, June 1979
6. B.G. Newmann, Deflection of plane jets by adjacent boundaries-coanda effect, Article in Boundary Layer and Flow Control, Its Principles and Application, London, Pegamon Press, 1961
7. M.B. Glauert, The Wall jet, J. of Fluid Mechanics, Vol. 1, pp.625-643, 1959
8. A.A. Townsend, Momentum and Energy Diffusion in the turbulent wake of a cylinder, Proc. Roy. Soc. London A197, pp.124-140, 1949
9. L.J.S. Bradbury, The Structure of a selfpreserving turbulent plane jet, J. of Fluid Mechanics, Vol. 23, pp.31-64, 1965
10. H. Schlichting, Boundary Layer, 7th ed. Mcgraw-Hill, pp.696-698, 1979
11. 권등수, 원통면을 지나는 두 대칭 곡면벽 제트류의 상호작용, 한국과학기술원 석사학위논문, 1982
12. E. Gutmark and I. Wygnanski, The Planar turbulent jet, J. of Fluid Mechanics, Vol. 23, pp.465-495, 1976