

# 유입 선회류에 대한 원추디퓨저내의 속도분포와 정압회복특성에 관한 연구

정효민 · 고대권 · 양정규\*

부산수산대학교 · 여수수산대학\*

(1992년 4월 7일 접수)

## A Study on Flowfield and Pressure Recovery in a Conical Diffuser with a Swirl Flow

Hyo-Min JEONG, Dae-Kwon KOH and Jung-Kyu YANG\*

National Fisheries University of Pusan, \*Yosu National Fisheries University

(Received April 7, 1992)

The purpose of this paper is to investigate the relationship between static pressure recovery and velocity distributions in case of swirling flow into a conical diffuser. In this research, velocity distributions is measured by a multi-hole yaw-meter. The following conclusions can be drawn from the experiments.

(1) The static pressure recovery depends strongly on the strength of a swirl.

(2) A high pressure recovery coefficient is achieved by inserting a solid core into the diffuser center.

### 기 호 설 명

$AR$  : 면적비

$C_p$  : 정압 회복율

$m$  : 선회강도

$P_d$  : 동압

$P_s$  : 정압

$P_t$  : 전압

$R$  : 벽면 반경

$R_e$  : Reynolds 수

$r$  : 반경 방향 좌표

$U$  : 축 방향 속도

$V$  : 반경 방향 속도

$W$  : 원주 방향 속도

$\beta$  : 안내익의 설치각도

$\rho$  : 공기 밀도

$\nu$  : 공기의 동점도

$\phi$  : 디퓨저 편각

첨자

$i$  : 심봉상에서의 값

$C$  : 정정실에서의 값

$0$  : 관벽에서의 값

$1$  : 입구 기준 단면( $AR1$ )에서의 값

## 서 론

일반적으로 터빈 출구에 디퓨저를 설치하는 목적은 터빈에서 유출되는 가스의 동압성분을 디퓨저내에서 감소시키고 정압성분으로 변환시켜, 터빈의 출구압력을 가능한 한 낮게 하고 팽창비를 높여서 터빈의 효율을 상승시키는 데에 있다.

터빈출구에 설치된 디퓨저는 반드시 선회 속도 성분을 포함하고 있을 뿐 아니라 선회 속도 성분에 의한 압력 기울기 및 박리 현상이 존재하는 복잡한 유동장이 되므로 디퓨저 유동장 특성에 관한 연구는 공학적으로 매우 중요한 의미를 갖는다. 또한, 디퓨저에서의 손실을 구명함으로써 보다 짧고 면적비가 큰 디퓨저 설계가 가능하므로 공업적으로도 중요한 의미를 갖는다.

디퓨저 입구의 선회류 유입으로 인한 디퓨저 효율 상승에 관한 연구결과는 McDonald, Wirasinghe, Kawaguti 등에 의해서 보고되고 있다<sup>1)~3)</sup>.

특히, kawaguti의 경우는 디퓨저 입구에 설치된 strut의 각도 조정에 의해 최대 정압 회복율을 얻었으며, 정압 회복율은 strut의 형상 및 Reynolds수에 큰 영향을 받는다고 보고하고 있다. 한편, 디퓨저 유입류의 조건이 정압 회복율에 미치는 영향에 대해서는 Klein, Neve, Lohmann, Okwuobi 등에 의한 것<sup>4)~6)</sup>으로서 입구 경계층의 두께, 입구형상,

Reynolds 수에 큰 영향이 있다고 서술하고 있다.

그러나, 디퓨저의 정압 회복율의 변화 특성을 보다 근본적으로 구명하기 위해서는 매우 정밀하게 측정된 디퓨저 내부에 대한 유동장의 정보가 반드시 필요하다.

따라서, 본 연구에서는 선회속도 성분을 갖는 흐름이 원추 디퓨저에 유입되었을 경우, 시간평균 유동장을 측정하여 유입류의 선회강도의 변화에 따른 정압 회복성능을 구명함으로써, 보다 고성능의 디퓨저설계를 가능하게 하는 조건들을 제시하고자 한다.

## 실험장치 및 방법

Fig. 1은 실험장치의 개략을 나타낸다. 실험용 원추 디퓨저는 흡입 풍동에 연결되어 있으며, 유입공기는 원주방향으로 24개의 안내익(설치각도:  $\beta$ )이 설치된 자유와형의 선회류 발생장치를 지나 입구 직관부, 디퓨저 부 및 출구 직관부를 거쳐 정정실로 유입된다. AR1, AR2, AR3, AR4는 입구직관부와 면적비가 1, 2, 3 및 4가 되는 위치를 나타낸다.

실험에 사용된 디퓨저는 입구 직경이 122 mm, 출구 직경이 244 mm (면적비가 4)로 디퓨저 편각  $\phi$ 가 각각 4도, 7도 및 15도인 3 종류이다.

유입 공기의 속도는 디퓨저 상류 200mm의

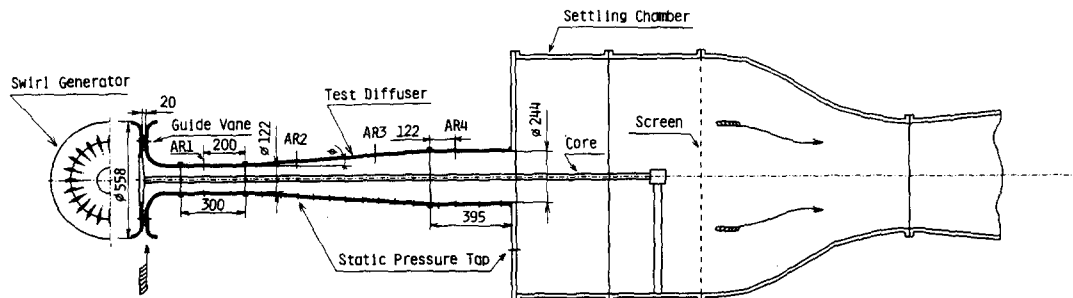


Fig. 1. Experimental apparatus.

위치( $AR1$ )에서 Reynolds수( $Re=2R_{01}\bar{U}_1/\nu$ )가 약  $3.0 \times 10^5$ 으로 일정하게 유지하였고, 선회류의 강도  $m_1$ 을 변화시켜  $AR1$ ,  $AR2$ ,  $AR3$  및  $AR4$  위치에서 시간 평균 유동장을 Yaw-Meter를 이용하여 측정하였다. 유동장 측정에 사용된 Yaw-Meter는 3-Hole Yaw-Meter 및 5-Hole Yaw-Meter 두 종류이고, 3-Hole Yaw-Meter는  $AR1$  단면에서, 5-Hole Yaw-Meter는  $AR2$ ,  $AR3$  및  $AR4$  단면에서의 유동장 측정에 사용하였다. 이는 예비실험을 통하여  $AR1$  단면에서는 반경 방향의 속도 성분이 거의 존재하지 않음을 확인하였기 때문이다.

## 실험결과 및 고찰

### 1. 평균 유동장 특성

Fig. 2, Fig. 3, Fig. 4(15도 디퓨저)는 선회류  $m_1$ 에 대한 속도 분포를 나타낸다. 여기서,  $m_1$ (입구직관 축둘레의 운동량과 축방향 운동량의 비)의 정의는 다음과 같다.

$$m_1 = \frac{2\pi \int_{R_1}^{R_{01}} UW r^2 dr}{R_{01} \cdot 2\pi \int_{R_1}^{R_{01}} U^2 r dr} \quad (1)$$

그림 중의 가로축은  $AR1$  단면에서의 반경으로 무차원화시킨 디퓨저 반경 방향의 위치를 나타내며, 세로축은  $AR1$  단면에서의 축방향 속도로서 무차원화 시킨 축 방향 속도를 나타낸다. 또한, 반경위치 약 0.22에서의 중선은 직경 28mm의 심봉의 외경을 나타낸다. Fig. 2로부터 디퓨저 입구에서의 축 방향 속도는 선회류의 강도에는 무관하게 아주 균일한 분포를 하고 있음을 알 수 있다. 그러나, 확대부에서의 흐름은 급격히 변화하여, 약한 선회의 경우에는( $m_1$ 이 0.2이하) 대부분의 흐름이 관축을 따라서 흐르며, 관벽 근처에서는 속도가 아주 느리다는 것을 알 수 있

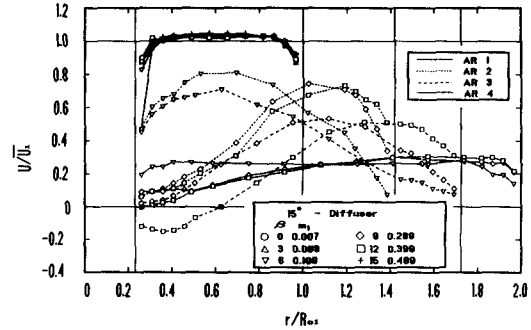


Fig. 2. Axial velocity distribution.

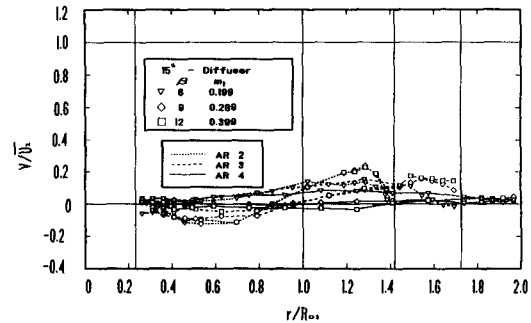


Fig. 3. Radial velocity distribution.

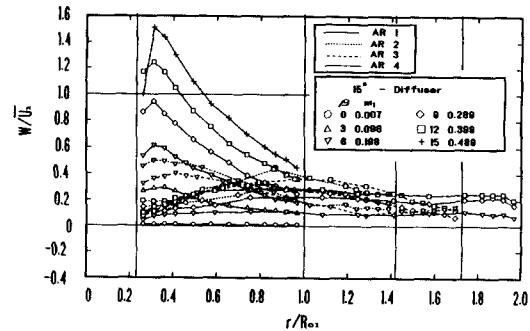


Fig. 4. Tangential velocity distribution.

다. 즉, 이것은 벽 근처에서의 박리 생성을 의미한다. 그러나, 강한 선회류의 경우에는( $m_1$ 이 0.3이상) 주류성분의 속도가 벽면 근처에 집중하여, 벽면에서의 박리가 완전히 억제된 분포를 나타낸다. 이러한 선회류의 강도가 너무 심해지면( $m_1$ 이 0.4이상), 이번에는 관축의 중심부에서 흐름의 정지 영역, 즉, 역류 현상이 생기게 된다. 다음의 Fig. 3

의 반경 방향의 속도는 대체로 작은 값을 가진다. 일관된 특성은 선회류가 강해짐에 따라서 중심부에서 -값, 벽면근처에서 +값을 가진다. 이것은 선회류 강도가 증가함에 따라, 중심부에서 외측의 벽으로 확산하는 흐름의 경향을 나타낸다. Fig. 4는 원주 방향의 속도 분포를 나타낸다. 특징적인 것은 AR1 단면의 원주방향의 속도분포는 반경이 작은 중심부에서 큰 속도를 갖는 Free Vortex의 형태를 하고 있다. 이러한 유입류가 하류에 와서는 단면 전체에 균일하게 확산되는 분포를 이룬다.

Fig. 5는 축 방향의 정압분포를 나타낸다.

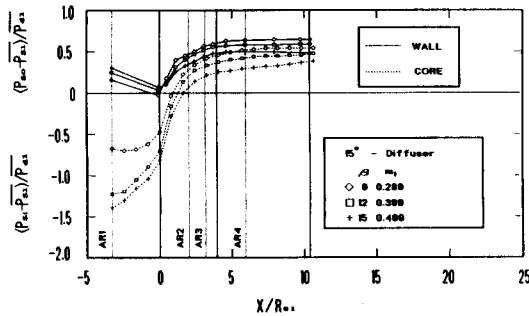


Fig. 5. Static pressure distribution.

가로축은 축 방향의 위치를 나타내며, 세로축은 벽면과 중심부의 정압을 각각 나타낸다. 여기서 알 수 있는 명확한 특징은 대부분의 압력회복이 확대관의 AR1 단면으로부터 AR2 단면까지에서 이루어진다는 점이다. 이것은 또한 Fig. 2, 3, 4에서의 속도 분포가 AR1과 AR2에서 크게 변화하는 것과 대응하고 있으며, 이 부근에서의 정압회복이 전체 디퓨저의 성능을 크게 좌우함을 나타낸다. 여기서, 그림중의 -는 단면 평균치로서 질량 유량 평균치를 나타낸다.

이상의 그림에서 무차원화를 위하여 사용된 값들은 다음과 같다.

즉, 정압은,

$$\bar{P}_s = \frac{2\pi \int_{R_i}^{R_o} P_s \rho U r dr}{2\pi \int_{R_i}^{R_o} \rho U r dr} \quad (2)$$

동압은,

$$\bar{P}_d = \frac{2\pi \int_{R_i}^{R_o} \frac{\rho}{2} q^2 \rho U r dr}{2\pi \int_{R_i}^{R_o} \rho U r dr} \quad (3)$$

축 방향 평균 속도는,

$$\bar{U} = \frac{2\pi \int_{R_i}^{R_o} U r dr}{\pi (R_o^2 - R_i^2)} = \frac{Q}{A} \quad (4)$$

이다.

## 2. 정압 회복율 특성

Fig. 6에 선회류 강도에 따른 정압 회복율  $C_p$ 를 나타낸다. 여기서, 정압 회복율  $C_p$ 는 다음과 같다.

$$C_p = \frac{P_{sc} - \bar{P}_{s1}}{\bar{P}_{d1}} \quad (5)$$

위 정의식의 분모의 유량 평균 동압은 절대속도(축방향 속도와 원주방향 속도의 합)를 나타낸다. 이것은 선회류를 동반하는 유입류의 특성을 최대한으로 나타내기 위한 방법이다. 그림중의 점선의 영역은 벽면에서의 박리와 디퓨저 중심부에서 발생하는 역류 영

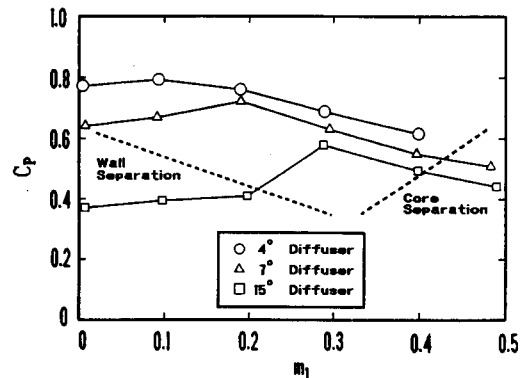


Fig. 6. Pressure recovery.

역을 나타내는 부분이다.

Fig. 6으로부터 디퓨저의 정압 회복율은 어느 정도의 선회류를 유입시킴으로 인해서 크게 상승됨을 알 수가 있다. 이러한 경향은 디퓨저의 편각이 클수록 현저하다. 즉, 최대의 정압 회복율을 얻기 위해서는 적당한 선회류가 필요함을 의미한다. 약한 선회류에서는 벽면에서의 박리로 인하여 동압성분이 정압성분으로 회복되지 않은채 하류 방향으로 흐르며, 같은 선회류에 대하여 디퓨저의 각도가 클수록 박리 규모가 크기 때문이다. 또한, 이러한 벽면에서의 박리는 확대부가 시작되는 부분에서 주로 생긴다. 그러나, 디퓨저의 정압 회복의 대부분은 이러한 박리가 발생하는 부분에서 이루어지고 있기 때문에 (Fig. 5에서 AR2 단면의 상류부분) 벽면 경계층의 제어에 의한 압력 회복 상승 방법을 채용하는 경우가 많다. 그러나, 선회류가 강해짐에 따라서는 벽면의 박리는 억제되지만, 중심부의 역류영역이 확대되어 혼합손실등에 의하여 정압회복이 크게 감소된다. 이러한, 강한 선회류에 의한 중심부에서의 손실을 최소화 하기 위한 방법이 많이 있지만, 본 연구에서는 Fig. 7과 같이 디퓨저 중심부에 삽입한 심봉직경의 크기(14mm, 28mm, 42.7 mm)에 의한 접압회복율 상승 방법에 관하여 서술한다. 다음에 이들 심봉의 효과에 대해

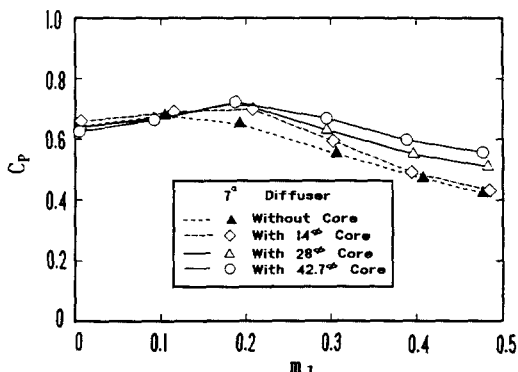


Fig. 7. Change of pressure recovery with solid core.

서 고찰한다.

(1) 심봉을 삽입하지 않는 경우 : 선회류 강도  $m_1$ 가 0.1일 때에 최대의 정압 회복율을 보이지만  $m_1$ 의  $C_p$ 에 대한 개선의 효과는 작다. 이것은 디퓨저 중심부에 대한 불안정한 vortex, 역류 등에 의한 손실이 많이 발생하기 때문이다.

(2) 직경 14mm 심봉을 삽입하였을 경우 : 심봉을 삽입하지 않은 경우에 비하여 선회류의 효과가 아주 크다. 즉,  $m_1$ 이 0.2에서 최대의 정압 회복율을 보이지만 이 이상의 선회류가 유입되면 급격히 압력 회복이 감소한다.

(3) 직경 28mm 심봉을 삽입하였을 경우 : 이 경우는  $m_1$ 이 0.2까지는 상기 (2)의 경우와 같은 정도의 정압 회복을 보인다. 그러나  $m_1$ 이 0.2이상의 영역에서는 전체적으로 정압 회복이 감소하지만, 상기의 (1), (2)의 경우에 비교하면 큰 정압 회복을 나타낸다.

(4) 직경 42.7mm 심봉을 삽입하였을 경우 :  $m_1$ 이 0.2보다 작으면 상기 (2), (3)과 거의 변화가 없으나  $m_1$ 이 0.3이상이 되면 아주 큰 정압 회복율이 얻어지는 것을 나타낸다.

이러한, 현상에서 보면 심봉의 직경이 커질수록 큰 정압 회복율이 얻어지는 경향을 나타내지만 어느 범위를 지나면 심봉의 외경 주위에서의 마찰손실이 증가하여, 역으로 정압 회복율은 감소하리라 생각된다.

이상 일련의 결과에서, 약한 선회류의 경우 ( $m_1=0.1$ 이하)에서는 심봉의 삽입효과가 거의 나타나지 않지만, 선회류가 강하게 되면 정압 회복성능에 아주 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 즉,  $m_1$ 이 커짐에 따라서 심봉 직경을 크게 하지 않으면 최적성능을 이룰 수가 없다는 것을 의미한다. 즉, 강한 선회류의 경우 적당한 직경을 갖는 심봉의 삽입으로 인하여 대폭적인 디퓨저의 압력 회복 상승을 기대할 수 있다.

## 요 약

이상과 같이 디퓨저의 입구조건으로서 선회속도 성분을 갖는 흐름이 유입했을 경우, 정압 회복 성능의 특성을 요약하면 다음과 같다.

(1) 선회류를 유입시킴으로 인하여, 디퓨저의 정압 회복율을 대폭적으로 상승시킬 수 있으며, 특히 디퓨저의 편각이 클수록 정압 상승율이 커진다.

(2) 최대의 정압 회복율을 얻기 위해서는, 적당한 크기의 선회류가 필요하다. 즉, 약한 선회류의 경우에는 벽면에서의 박리에 의하여, 강한 선회류의 경우에는 중심부에서의 역류 손실에 의하여 정압 회복율이 크게 저하한다.

(3) 강한 선회류의 경우 디퓨저 중심부에 적당한 크기의 심봉을 삽입함으로써 대폭적인 정압 회복 상승을 기대 할 수 있다.

## 참 고 문 헌

1) A. T. McDonald (1970): Affects of

Swirling Inlet Flow on Pressure Recovery in Conical Diffuser. J. Fluid Mech. Vol. 19, 193-209.

2) N. E. A. Wirasinghe (1978): Changes in Conical Diffuser Performance by Swirl Addition. Aeronautical Quarterly The City Univ. London., Aug. 131-142.

3) N. Kawaguti (1981): Optimum Strut Configuration for Downstream Annular Diffuser With Variable Swirling Inlet Flow. ASME (J. of Fluids Eng.) Vol. 103.

4) A. Klein (1981): Effect of Inlet Condition on Conical Diffuser Performance. ASME (J. of Fluid Eng.), Vol. 103.

5) B. P. Lohmann (1979): Swirling Flow Through Annular Diffuser With Conical Wall. ASME (J. of Fluids Eng.) Vol. 101.

6) R. S. Neve (1974): The Prediction of Turbulent Boundary Layer Parameters in Conical Diffuser Flows. Aeronautical Quarterly The City Univ. London Aug., 199-209.