

## 덕트의 입구조건이 팬의 특성에 미치는 영향

### The Effect of Duct Inlet Condition on Flow Characteristics of Fan

김 종 수\*, 조 강 래\*\*  
 J. S. Kim, K. R. Cho

**Key words :** Fan(팬), Baffle plate(배플 판), Inlet flow field(입구 유동장), Ductinlet condition(덕트 입구 조건), Fan characteristics(팬 특성)

#### Abstract

The effects of duct inlet conditions on fan characteristics and upper wind velocity fields were investigated for two kinds of impellers. As the duct inlet condition, the relative positions between duct inlet and fan impeller and the size of baffle plate mounted on a duct inlet were selected. The 3-dimensional velocity components in flow fields were measured by a 5-holes pitot tube. From the results of measurements, it was found that the size of baffle plate scarcely effect on upper wind flow fields and characteristics of fan. It was also confirmed that the upper wind velocity distributions can be estimated by the potential flow field with large baffle plate at duct inlet.

#### 기호설명

$D_2$	: 덕트 내경	(mm)
$R$	: 중심 축에서의 반경	(mm)
$R_{tip}$	: 프로펠러 바깥 반경	(mm)
$\Delta P_t$	: 팬에 의한 전압 상승	(Pa)
$U$	: 프로펠러의 외주 속도	(m/s)
$V$	: 유속	(m/s)
$V_x, V_y, V_z$	: 좌표 x, y, z방향의 속도성분	(m/s)
$\bar{V}_z$	: $V_z$ 의 반경방향의 면적평균속도	(m/s)
$Z$	: 축방향 좌표	(m)

#### 1. 서 론

프로펠러 팬은 환기나 열교환기의 냉각용으로 광범위하게 사용되고 있고 설치방법도 다양하다. 팬을 적절하게 사용하기 위해서는 유량-압력 특성, 유동장 특성, 소음 특성 및 효율 특성 등이 파악되고 있어야 하며, 이러한 특성은 역으로 팬설계에 반영될 수 있어야 한다. 프로펠러 팬은 축류송풍기와 달리 프로펠러가 덕트 입구에 설치되어 있고, 덕트 입구는 무한공간에 개방되어 있다. 팬의 케이싱 형태가 팬의 특성에 미치는 영향 등에 관한 연구는 Kinoshita<sup>(1)</sup>, 소음에 미치는 영향 등에 관한 연구는 Fukano<sup>(2)</sup>, Yamamoto<sup>(3)</sup> 등에 의해 이루어진 바 있다.

본 연구는 프로펠러 팬의 설계 및 사용에 있어서

\*삼성전자(주)

\*\*연세대학교 공과대학

기본적인 인자라고 생각되는 프로펠러와 덕트입구의 상대위치, 덕트주위의 배플의 크기가 팬의 특성 및 덕트 입구 전방의 유동장에 미치는 영향에 관하여 연구하였으며, 또한 입구유동장을 고려한 프로펠러 설계가 가능하도록 입구유동장의 평가방법에 관하여 연구하였다.

2. 실험장치 및 실험방법

2.1 실험장치

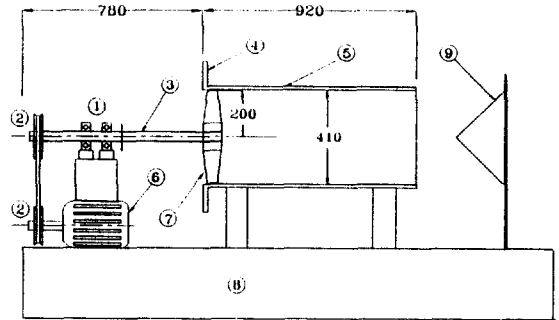
본 연구 목적에 맞게 설계 제작된 실험장치는 Fig.1과 같다. 케이싱 내경이 410mm이고 덕트안에 프로펠러 팬이 설치되어 있고 하류쪽의 덕트 끝부분에는 유량을 조절할 수 있는 댐퍼가 설치되어 있다. 본 실험장치는 인버터(inverter)를 이용하여 임의의 회전수에서  $\pm 0.5\text{rpm}$ 의 오차로 회전시킬 수 있으며 프로펠러의 위치도 덕트 안에서 변경시킬 수 있고 배플판(baffle plate)을 임의의 크기로 부착할 수 있도록 되어 있다. 덕트 내외의 유동장 측정에는 직경 4.6mm인 원통형 5공 피토판이 사용되었다. 피토판의 5개의 구멍은 원통 끝단에서 5mm 위치에 뚫려있고, 요우각, 피치각, 풍속 V에 대한 측정결과를 이용하여 측방향, 변경방향 및 회전 주 방향의 각각의 속도성분  $V_z, V_r, V_t$ 가 측정되었다.<sup>(4)</sup>

2.2 데이터 측정방법

프로펠러 팬의 평균적인 유동장을 측정하기 위하여 측정위치에 5공 피토판을 설치한 후 팬이 최소한 50회 이상 회전하는 동안의 평균압력을 Pressure Systems 사의 System 8400에 의해 전기신호로 변환된다. 이 시스템의 샘플링주파수는 5kHz이며, 최소측정 압력은 0.01mm H<sub>2</sub>O이므로 거의 순간적인 3차원 속도성분이 가능하고 그 평균치는 충분히 신뢰할 수 있다.

2.3 실험용 프로펠러 팬

본 실험에 사용된 프로펠러 팬은 두 종류로서 Fig.2의 A형과 Fig.3의 B형이다. A형은 환기통풍, 냉각탑 등에 사용되는 프로펠러 날개형으로 프로펠러 직경  $D_2$ 가 400mm, 허브직경은 130mm이고



- 1. Bearing
- 2. Belt Pulley
- 3. Shaft
- 4. Baffle Plate
- 5. Casing
- 6. Motor
- 7. Fan
- 8. Base
- 9. Damper

Fig.1 Experimental apparatus

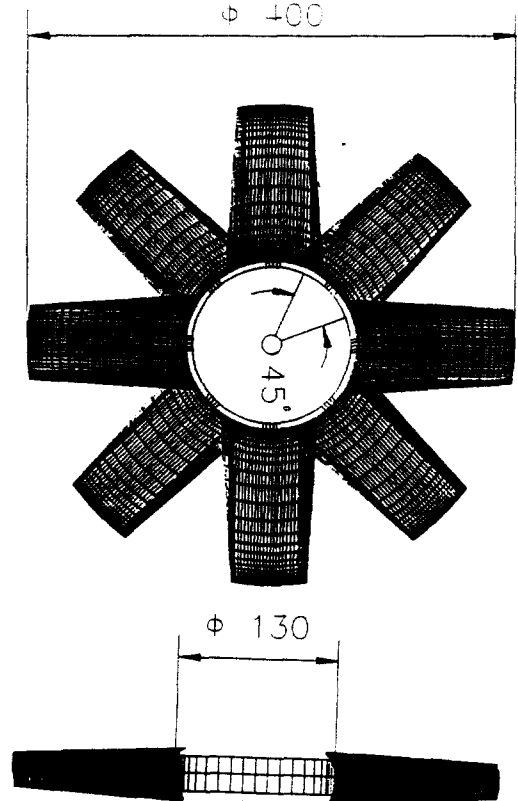


Fig.2 Schematic view of A type fan

날개는 8개이다. B형은 현재 에어컨 실외기의 냉각용으로 사용되는 팬으로 프로펠러 직경이 400mm, 허브직경 120mm이고 날개는 5개이다. 익의 각 반경 위치에 따른 재원은 Table 1과 같다.

Table 1. Fan geometry

A type				B type			
radius (mm)	Chord (mm)	stagger angle (deg)	thickness (mm)	radius (mm)	chord (mm)	stagger angle (deg)	thickness (mm)
65.00	81.41	58.0	6.43	60.00	66.49	63.10	3.00
98.75	78.34	60.0	6.26	92.50	106.52	62.00	2.65
132.50	74.73	62.0	5.97	125.00	143.90	62.70	2.25
166.25	71.31	64.0	5.63	157.50	182.90	63.20	1.90
200.00	68.79	66.0	5.30	200.00	195.30	64.40	1.50
Design flow coefficient $\varphi=0.323$				Design flow coefficient $\varphi=0.325$			

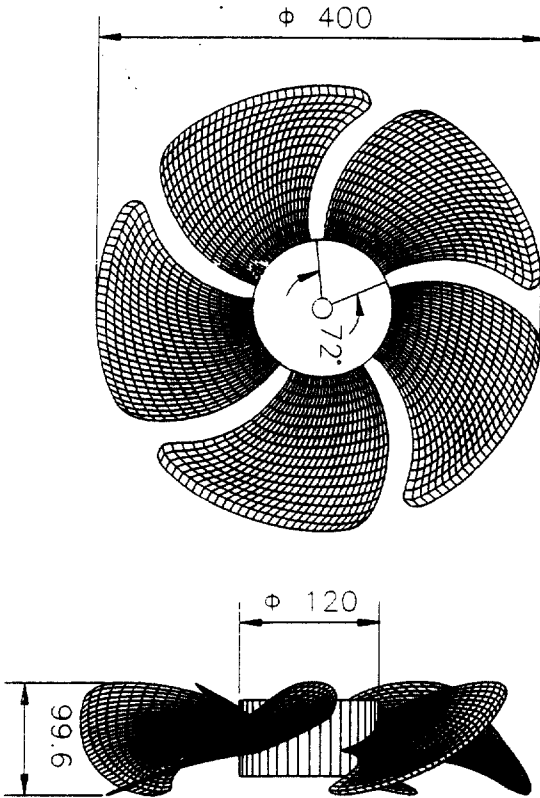


Fig.3 Schematic view of B type fan

## 2.4 실험방법

내경 410mm, 외경 810mm의 배플판을 덕트 입구에 설치한 후 A형 팬의 축방향으로 제일 부풀어 있는 스펀 중간의 전연(leading edge)을 내경 410

mm인 덕트 입구단에 맞추고 일정한 회전속도 800rpm에서 전후방의 유동을 측정하였다. 전방 측정위치는 팬의 전연으로부터 축방향(Z)으로 10mm, 20mm, 30mm, 50mm, 100mm 떨어진 5개의 측정면을 택했으며, 풍속 측정은 각 측정면 안에서 팬의 축으로부터 반경방향으로 10mm 간격으로 30개로 하였다. 하류쪽의 측정위치는 프로펠러의 후연(trailing edge)으로부터 축방향으로 10mm 떨어진 위치에서 축중심에서 반경방향으로 10mm간격으로 케이싱 내벽까지 21개로 하였다. 이러한 실험은 배플판의 외경이 810mm, 550mm인 경우, 배플판이 없는 경우, 외경 810mm의 배플판을 설치한 상태에서 팬을 덕트안으로 100mm넣었을 경우에 대하여 실시되었다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 배플의 크기의 영향

A형 팬을 덕트 입구에 설치하고 덕트 입구조건으로서 외경 810mm의 큰 배플, 외경 550mm의 작은 배플 및 배플이 없는 세가지에 대해 전연으로부터 축방향(Z)으로 전방 20mm ( $Z/D_2=0.05$ ,  $D_2$ 는 덕트 내경)에서 반경방향 $R/R_{tip}$  ( $R$ 은 입의의 반경위치,  $R_{tip}$ 은 프로펠러 바깥 반경)으로의 속도분포를 측정한 결과 Fig.4와 같다. 프로펠러 외경의 회전속도  $U$ 로 무차원 표시된  $V_r/U$ ,  $V_t/U$ ,  $V_z/U$ 의 속도성분의 분포에 약간의 차이가 있기는 하지만 대체로 비슷한 경향을 나타내고 있음을 알 수 있다. 이것은 덕트밖의 공기를 2축의 반대방향으로

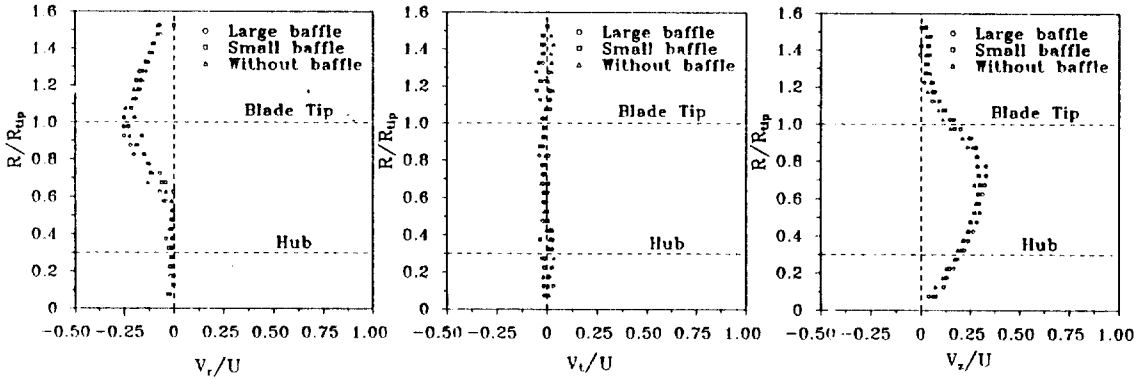


Fig.4 Comparison of velocity fields at  $Z/D_2 = 0.05$  for maximum flow rate in variation of baffle size(A type)

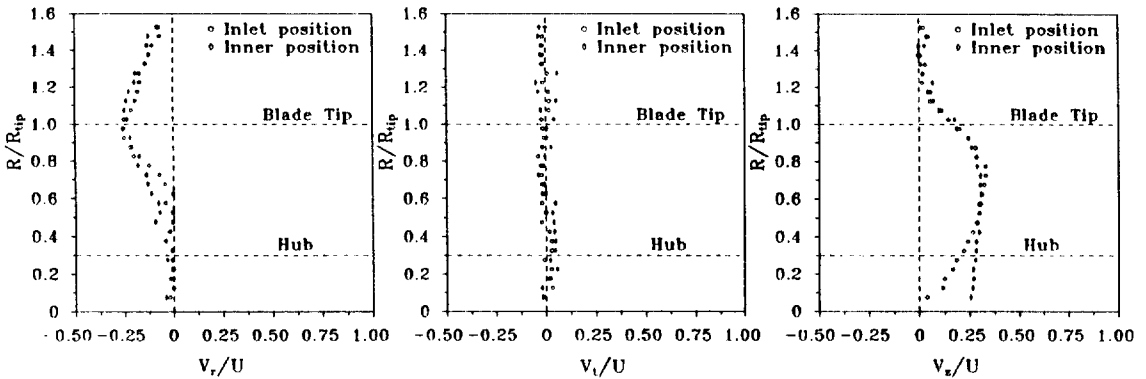


Fig.5 Comparison of velocity fields at  $Z/D_2 = 0.05$  for maximum flow rate in inlet positioned and inner positioned fans(A type)

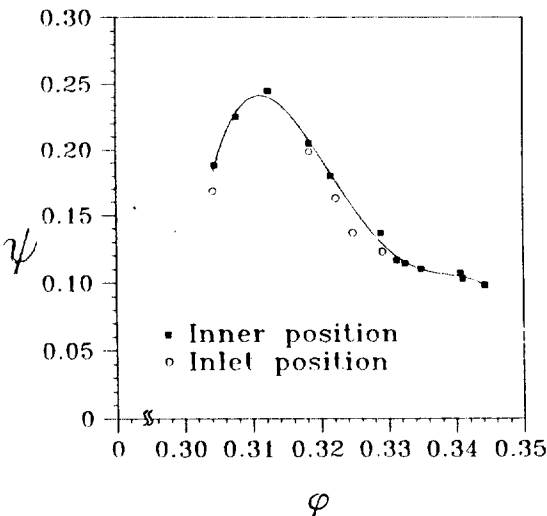


Fig.6 Characteristic curve for A type fan

끌러와 덕트안으로 들어오려는 역류의 크기가 축방향으로의 유동보다 상대적으로 미약함을 보여주고 있다. 이것으로 배플이 없어도 배플이 있는 경우와 거의 같은 유동장이 나타남을 알 수 있다.

### 3.2 덕트내의 프로펠러 위치에 따른 입구유동장과 팬 특성

프로펠러 중간 스펀의 전연을 덕트 입구에 일치시켰을 때의  $Z/D_2 = 0.05$ 에서의 전방 유동장이 팬의 전연을 덕트입구로부터 100mm 안쪽으로 위치시켰을 때의 유동장과 함께 Fig.5에 제시 되어 있다. 반경방향의 속도성분  $V_r/U$ 는 프로펠러가 안쪽에 위치한 것이 입구에 위치한 것보다 허브쪽에서 좀 더 큰 값을 나타내고 있다. 이와 같이  $V_r/U$ 의 분포에 차이가 나는 것은 프로펠러의 위치에 따라

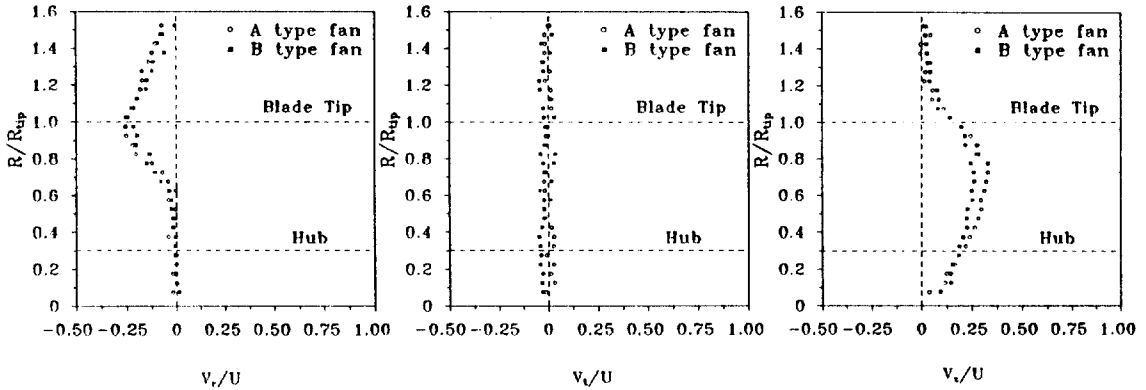


Fig.7 Comparison of velocity fields at  $Z/D_2=0.05$  for maximum flow rate in A type and B type fans(positioned at duct inlet)

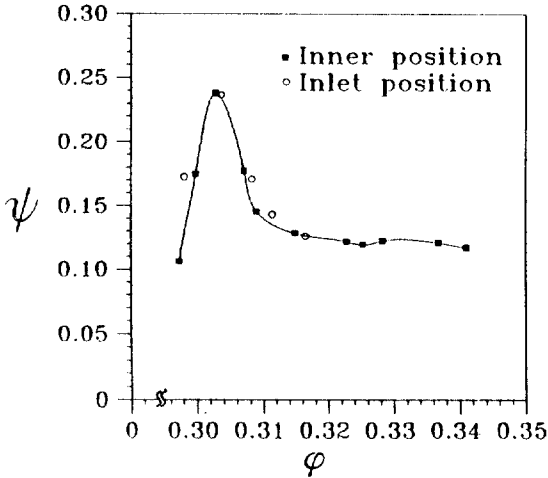


Fig.8. Characteristic curve for B type fan

덕트 입구단에서의 축방향 속도성분  $V_z/U$ 의 속도 분포에 차이가 있기 때문이다. 이에 관련된 설명은 제 4절에 나와있다. Fig.6의 특성곡선에서 보듯이 팬의 덕트내 위치는 특성곡선에 거의 영향을 미치지 않고 있음을 알 수 있다. 특성곡선에서 유량계수  $\phi$ 는  $V_z/U$ , 압력계수  $\psi$ 는  $\Delta P_i / \frac{1}{2} \rho U^2$ 이며  $V_z$ 는 허브가 없는 곳에서의 덕트내부의 축방향 평균속도,  $U$ 는 프로펠러 외경의 회전주속도,  $\Delta P_i$ 는 전압상승을 나타낸다.<sup>(5)</sup>

3.3 팬의 기종에 따른 입구유동과 특성

Fig.7은 A형 팬과 B형 팬의 최대 유량에서의 전방유동장을 비교한 것이다. 어느 경우나 접선방

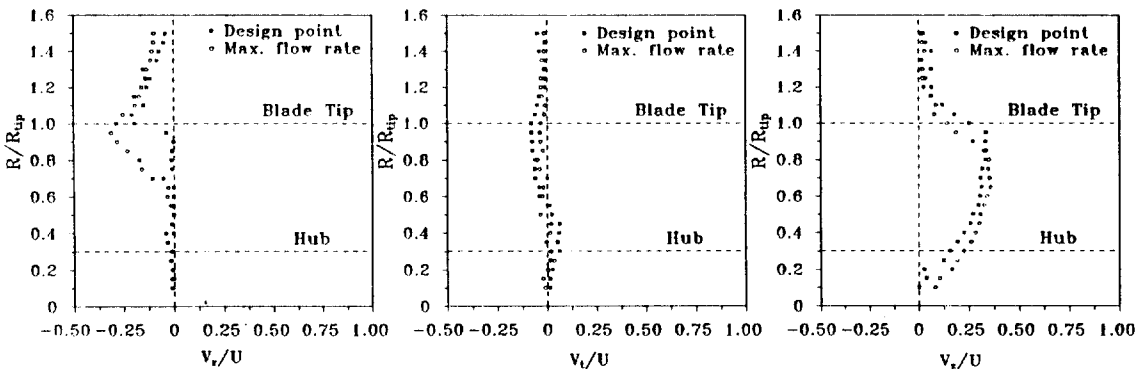


Fig.9 Comparison of velocity fields at  $Z/D_2=0.05$  for design point and maximum flow rate (A type propeller positioned at duct inlet)

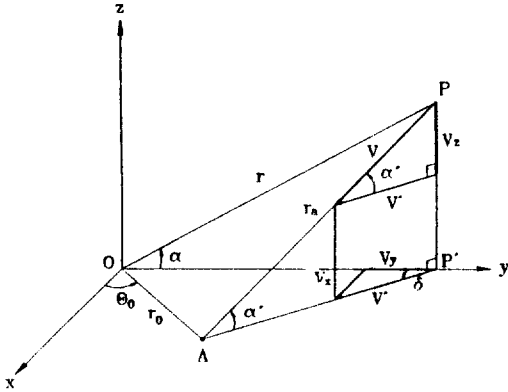


Fig.10 Geometrical relation

향의 속도성분은 없다. 축방향의 속도성분의 분포는 B형에서 약간 작게 나타나있다. 이것은 Fig.6과 Fig.8에서 알 수 있듯이 B형의 최대 유량이 약간 작은 것에 기인한다고 볼 수 있다.

이 차이로 인해  $V_r$  속도성분의 분포에도 크지는 않지만 차이를 확인할 수 있다.  $V_r/U$ 의 분포는  $V_z/U$ 의 분포와 무관하지 않으며, 이 점은 제 4절에서의 설명에서 이해될 수 있다. B형 팬의 유량-압력의 특성곡선의 형태는 A형의 것과 상당한 차이가 있으나 그것은 날개 모양이 상이하기 때문에 당연한 결과라 할 수 있다. 또 Fig.8에서 B형의 경우도 프로펠러가 덕트입구 또는 덕트내부의 어느

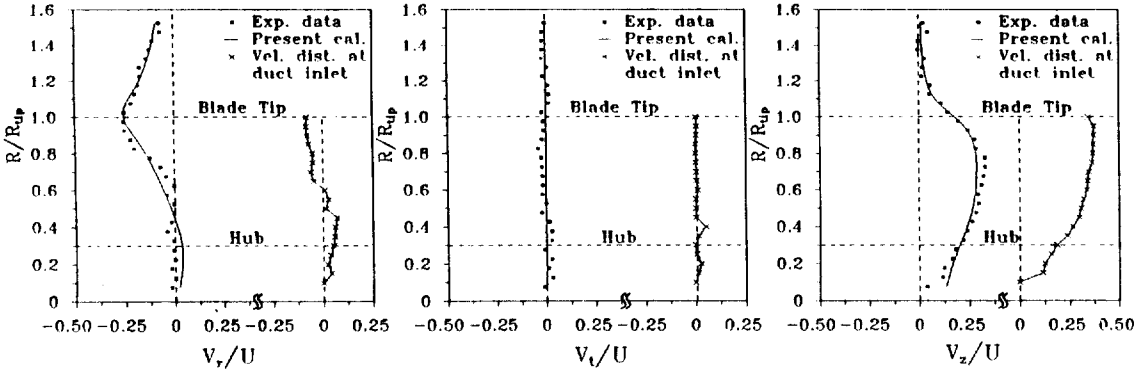


Fig.11 Comparison of measured velocity field and potential flow field at  $Z/D_2=0.05$  for maximum flow rate (A type propeller positioned at duct inlet)

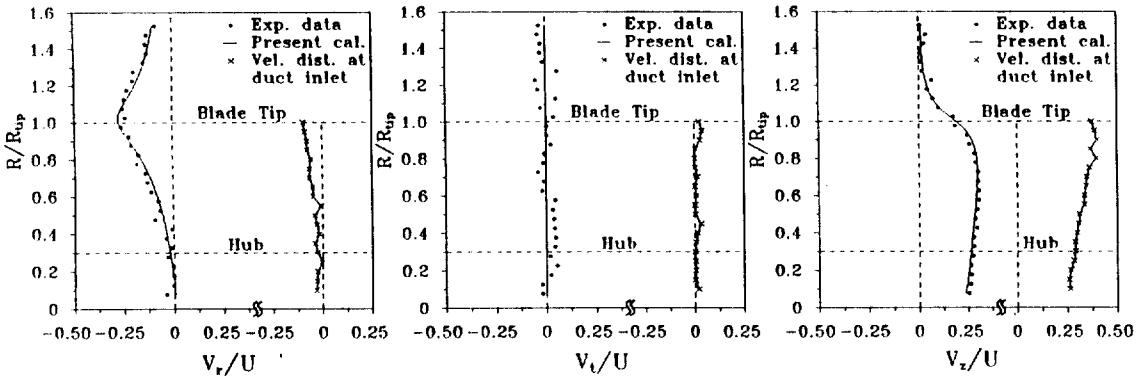


Fig.12 Comparison of measured velocity field and potential flow field at  $Z/D_2=0.05$  for maximum flow rate (A type propeller positioned at inner 100mm)

위치에 있어도 특성곡선상에 차이가 없음을 알 수 있다.

### 3.4 설계유량에서의 속도분포

익의 기하학적 치수로부터 설치각(Stagger angle)을 찾아내고 회전주속도를 이용하여 무충돌 유입을 위한 축방향속도를 계산하여 설계유량계수를 산출한 결과 A형의 경우  $\varphi=0.323$ , B형의 경우  $\varphi=0.325$ 이었다. A형의 프로펠러가 덕트입구에 위치할 때에 설계유량에서의 속도분포와 최대유량시의 속도분포를 전방 20mm( $Z/D_2 \dots = 0.05$ )에서 비교한 것이 Fig.9이다. 설계유량의 경우 반경방향 속도성분이 덕트 반경내에서 거의 나타나고 있지 않다. 이것은 축방향 속도성분이 허브부근을 제외하면 덕트 반경내에서 균일유동에 가까운 분포를 나타내고 있는 것과 관련이 있다. 한편 접선방향의 속도성분은 유량계수가 큰 경우 보다 설계유량에서 좀더 큰 값을 보이고 있다.

### 4. 덕트 입구 유동장의 해석

덕트 입구의 유동장을 포텐셜유동으로 가정하여 해석한다. 3.1의 실험결과로부터 덕트 전방의 유동장은 덕트 입구에 배플판이 없어도 있는 경우와 거의 동일하였다. 그러므로 덕트 입구에는 무한대의 배플판이 부착되어 있다고 가정해야 한다. 배플판의 경계조건을 만족시키기 위해 덕트 입구에 흡입량에 해당하는 싱크의 강도와 같은 강도를 가진 소오스를 함께 분포시켜야 한다. 지금 덕트 입구 단면의 중심을 Fig.10의 원점과 일치시키고 x-y면에 덕트면을 둔다. 그리고 덕트 단면 내부의 점 A에 미소면적을 취하고 여기를 통과하는 흡입량 m에 해당하는 같은 강도의 싱크와 소오스가 있다고 한다. 그러면 중심 O에서 반경 r인 점 P에서 점 A( $AP=r_a$ )로 향하는 속도  $V(r_a)$ 는 다음과 같다.<sup>6)</sup>

$$V(r_a) = \frac{m}{2\pi a^2} \quad (1)$$

점 P에서  $V(r_a)$ 에 의한 x, y, z방향의 속도성분, 즉  $V_t(=V_x)$ ,  $V_r(=V_y)$ ,  $V_z$ 의 크기는 다음과 같이 표시된다.

$$V_t = V_x = V(r_a) \cos \alpha \sin \delta$$

$$V_r = V_y = -V(r_a) \cos \alpha \cos \delta \quad (2)$$

$$V_z = V(r_a) \sin \alpha$$

단, Fig.10에서의 각도  $\alpha$  및  $\delta$ 는 같은 그림 중의 기호로 나타내면 다음과 같다.

$$\alpha = \cos^{-1} \left( \frac{\overline{AP'}}{r_a} \right) \quad (3)$$

$$\delta = \cos^{-1} \left( \frac{y^2 + \overline{AP'}^2 - r_0^2}{2y \overline{AP'}} \right)$$

Fig.11은 A형 프로펠러를 덕트 입구에 설치하고 최대유량에서 운전했을 때 덕트 입구  $Z=0$  및 전방  $Z=20\text{mm}$ ( $Z/D_2=0.05$ )에서 속도 분포를 측정 한 것과 식(2)에 의해 계산된 결과를 제시한 것이다.  $Z=20\text{mm}$ 에서의 유동장이 덕트 입구의  $V_z$ 분포에 상당하는 싱크의 분포에 의해 잘 묘사되어 있음을 알 수 있다. 덕트 입구단에서  $V_r$ 성분이 약간 나타나고 있는 것은 속도 측정이 바로 덕트 입구단에서가 아니고 측정상의 안전을 위하여 약 5mm 전방에서 이루어졌기 때문이다.

Fig.12는 프로펠러가 내부에 위치하는 경우이며, Fig.11과 똑같은 방법으로 덕트 입구단의 속도 분포를 덕트 입구단에서 5mm 전방에서 측정한 것이며, 여기에서의  $V_z$ 분포는 싱크로 대체되어 포텐셜 유동으로 계산되며,  $Z/D_2=0.05$ 에서의 측정치와 계산치가 비교되어 있다. 이 경우도 측정결과가 포텐셜 유동 분포와 잘 일치하며 20mm ( $Z/D_2=0.05$ ) 전방의  $V_r$ 분포는 프로펠러의 덕트내의 위치에 관계 없이 덕트 반경위치에서 최대치를 나타내고 있다.

### 5. 결 론

팬의 프로펠러 설계에서 고려해야 할 입구유동장, 배플의 유무, 덕트 내의 프로펠러 위치 등이 팬의 특성에 미치는 영향에 관하여 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 덕트 전방의 유동장은 덕트 입구단에 배플이

- 없어도 큰 배플이 있는 경우와 거의 같다.
- 2) 팬의 전방유동은 덕트 입구단에 유입속도 분포에 해당하는 싱크를 분포시키고 덕트 주위에는 큰 배플이 있을 때의 포털셜 유동장과 잘 일치한다.
  - 3) 프로펠러의 덕트안에서의 위치는 팬의 특성 곡선에 영향을 거의 미치지 않는다.
  - 4) 설계유량의 경우의 덕트 전방  $Z/D_2 = 0.05$ 에서의 축방향 속도분포는 허브부근을 제외하면 균일유동에 가깝고 또한 반경방향 속도성분은 덕트반경 내에서 거의 나타나지 않는다.

### 후 기

본연구는 한국학술진흥재단 93년도 학술연구조성비(자유공모과제)에 의해 이루어진 것임을 밝히고 관계기관에 사의를 표하는 바이다.

### 참 고 문 헌

1. Kinoshita, K. and Yamamoto, M., 1990 "Improvements in performance of propeller fans for airconditioning outdoor units," Proceedings of the 3rd Japan-China Joint. Conference on Fluid Machinery, April 23-25, Osaka, Vol.2, pp.89-94.
2. Hukano T. et.al., 1990 "Experimental Study on the Noise Reduction of a Propeller Fan", J. of JSME(B), Vol.56, No.531, pp.174-184 (in Japanese).
3. Yamamoto, M. and Kinoshita, K. 1986 "The effect of the Fan Housing Profile on Propeller Fan Performance", Preprint of Japan Society of Mechanical Engineers No. 864-1, p.57(in Japanese).
4. Matsunaga, S., Ishibashi, H. and Nishi, M., "Measurement of Instantaneous Pressure and Velocity in Nonsteady Three-Dimensional Water Flow by Means of a Combined Five-Hole Probe", Tran. of the ASME, Vol. 102, pp. 196-202.
5. W.C.Osborne, 1977, 'FANS', 2nd Edition, Pergamon press, pp.38.
6. 齊藤亥三雄, 竹内龍一, 1963, 音響工學入門, OHM文庫, p.42.