

## 불균일 입구유동에 대한 축류송풍기의 성능 특성

최승만\* · 장춘만\*\* · 김광용\*\*\*

### Investigation on the Characteristics of an Axial Flow Fan Having Distorted Inlet Flow

Seung-Man Choi\*, Choon-Man Jang\*\*, Kwang-Yong Kim\*\*\*

**Key Words** : Axial Flow Fan(축류송풍기), Distorted Inlet Flow(불균일 입구유동), Hub Cap(허브 캡), Numerical Simulation(수치해석), performance(성능), turbomachinery(유체기계)

#### ABSTRACT

In the present work, characteristics of an axial flow fan having distorted inlet flow produced by hub cap are investigated. The distorted inlet flow is generated by the shape of hub cap installed in front of the axial flow fan. Two different cases of hub cap geometry are analyzed to verify the influence of flow distortion. The flow fields are analyzed numerically by solving steady form of three-dimensional Reynolds-averaged Navier-Stokes equation and standard k- $\epsilon$  model is used for a turbulence closure. The results obtained from the numerical simulation are compared to those from experimental measurements. It is found that the overall performance of the axial flow fan is increased by reducing the flow distortion at the hub. Detailed characteristics of the flow fields of two different geometric conditions are also discussed.

#### 1. 서론

축류송풍기는 산업 전반에 걸쳐 폭넓게 사용되고 있는 기계요소로서 주로 환기용으로 쓰이고 있다. 송풍기는 원래 저압으로서 다량의 풍량이 요구될 때 적합하지만 근래에는 고압용으로도 효율이 좋은 것이 제작되기에 이르러 그 적용범위는 점점 확대되어 가고 있다. 최근에는 산업발달과 생활수준의 향상으로 환기의 중요성이 더욱 더 부각되고 있는 추세이다. 이러한 송풍기의 성능을 향상시키기 위해 설계단계에서 수치계산으로 유동장을 정확히 예측하고 그 결과로부터 각각의 요소들이 축류송풍기에 미치는 영향을 분석하는

연구가 필요하다. 그중에서 축류송풍기의 허브형상은 불균일한 입구유동을 만들어내기도 하며 이는 송풍기의 성능에 큰 영향을 미치게 된다.

Jang과 Kim<sup>(1)</sup> 등은 5공 피토관과 회전 열선 유속계를 사용하여 축류송풍기의 내부 유동장을 계측하여 익단 누설와류의 특성을 실험적으로 연구하였다. 송풍기의 성능저하를 가져오는 익단 누설와류의 유량에 따른 특성이 파악되었으며 소음의 중요한 요인으로 작용할 수 있음을 밝혀내었다.

Charalambous와 Ghisu<sup>(2)</sup> 등은 축류압축기에서 불균일 입구유동의 종류와 강도를 각각 변화시켜가며 축류압축기의 성능에 미치는 영향을 수치적으로 연구하였다. Lee와 Kim<sup>(3)</sup> 그리고 Hah와 Wadia<sup>(4)</sup> 등은 각각 프로펠러 팬과 압축기의 입구유동 불균일에 관한 연구를 수행하였다. 두 연구의 경우 입구부근에 불균일 입구유동을 생성해주는 flow conditioner를 설치하여 불균

\* 인하대학교 대학원  
\*\* 인하대학교 기계공학과  
\*\*\* 인하대학교 기계공학과  
E-mail : g2032002@inhavision.inha.ac.kr

Table 1 Axial fan specifications

Flow Coefficient	0.41
Total Pressure Coefficient	0.3
Rotor Rotation Frequency	1000 rpm
Tip Radius	287.5 mm
Hub-Tip Ratio	0.52
Inlet Angle at Rotor Tip	68.8 degree
Outlet Angle at Rotor Tip	63.8 degree

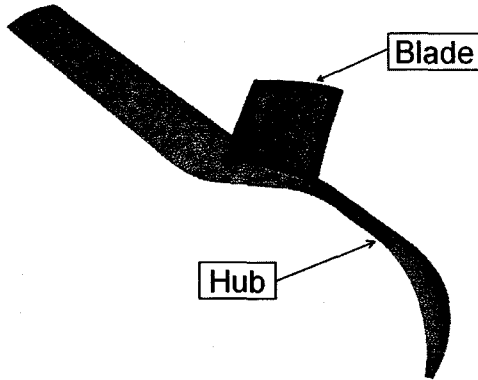


Fig. 1 Computational grid

일 입구유동이 소음 및 성능에 미치는 영향에 대한 연구를 수행한 바 있다.

송풍기 내부의 유동장은 수치계산능력의 획기적인 향상과 정확한 유동해석 코드의 개발에 따라 전산유체역학(CFD)을 이용한 고효율 유체기계 설계는 앞으로 더욱 각광받을 것이다. 본 연구에서는 축류송풍기의 날개 전연(leading edge)과 허브 캡(hub cap)과의 거리가 다른 두 가지의 축류송풍기에 대한 유동해석을 실시함으로써 허브가 축류송풍기의 성능에 미치는 영향을 분석하였다.

## 2. 축류송풍기 사양

본 연구에 사용된 축류송풍기는 저압, 저속의 특징을 가지고 있으며 NACA65계열의 익형이 사용되었다. 자세한 사항은 Table 1에 수록하였으며 유량계수와 전압계수의 정의식은 다음과 같다.

Table 2 Design specifications

	Reference Hub Geometry	Modified Hub Geometry
d	155 mm	0 mm

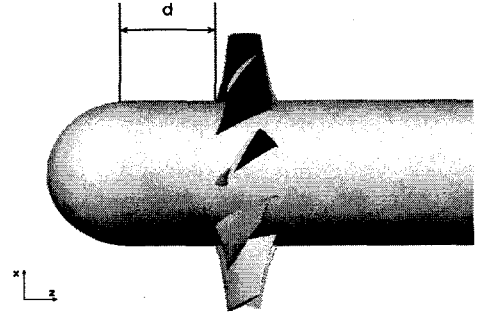


Fig. 2 Design description

$$\Phi = \frac{Q}{\pi(R_t^2 - R_h^2)U_t} \quad (1)$$

$$\Psi = \frac{2\Delta P_t}{\rho U_t^2} \quad (2)$$

여기서  $Q$ ,  $\Delta P_t$ ,  $R_t$ ,  $R_h$ ,  $\rho$ 는 각각 유량, 전압상승, 날개 끝단의 회전방향속도, 날개 끝단의 외경, 허브경, 그리고 공기밀도를 의미한다.

## 3. 유동해석 방법

### 3.1. 계산기법 및 격자계

본 연구에서는 상용코드인 Ansys사의 CFX-5.7을 사용하여 비압축성 삼차원 정상유동에 대한 연속 방정식과 Reynolds-averaged Navier-Stokes 방정식을 계산하였다. 난류모델로는 표준 k-ε 모델이 사용되었고 유한 체적법을 사용하여 이산화하였다. 벽함수로는 Scalable wall function을 적용하였다. Fig. 1에 나타나 있는 것과 같이 Unstructured 격자계를 사용하여 격자를 구성하였으며, 격자의존성을 없애기 위한 격자테스트를 거친 후 채택된 노드수는 약 28만개이다. 계산의 효율성을 높이기 위해 주기조건을 사용하여 1 개의 블레이드만을 해석하였고 블레이드 좌우 방향으로 주기 경계조건을 적용하여 실제와 동일한 효과를 얻을 수

있게 하였다. 입구조건은 유량계수에 따른 균일 유량 조건을 적용하였고 출구경계에서는 일정압력 조건을 적용하였다. 작동유체는 상온의 공기이며 송풍기의 회전속도는 1000rpm 이다. 한번의 완전한 수렴된 유동해석 결과를 얻기 위해 3.0GHz의 Pentium-IV 프로세서에서 약 8시간의 CPU시간이 소요되었다.

### 3.2. 허브형상 변수

본 연구에 사용된 축류송풍기의 허브 캡은 반경이 150mm 로서 완전한 반구의 형태를 지니고 있다. 허브 캡이 끝나는 지점부터 날개 전연까지의 거리를 변화시켜서 허브 캡에 의해 생성된 바리가 축류송풍기의 성능에 미치는 영향을 살펴보고자 하였다. Fig. 2와 Table 2에 자세한 사항을 나타내었다. 기준 형상은 날개 전연과 허브 캡과의 거리, 즉  $d = 155 \text{ mm}$ 인 형상이며 실험에 사용된 축류송풍기와 동일한 형상을 갖는다. 수정된 형상은  $d = 0 \text{ mm}$ 이며 날개 전연에서부터 허브의 곡률이 시작되는 형상을 적용하였다. 이 두 가지 다른 형상에 대한 유동해석을 실시하여 성능 및 유동장을 파악하였다.

## 4. 결과 및 고찰

### 4.1. 수치계산의 타당성 검증

본 수치계산의 타당성을 검증하기 위하여 5 공 피도관을 사용하여 축류송풍기의 상류(날개 전연에서 55mm) 및 하류측(날개 후연에서 200mm)에서 측정된 성능곡선을 계산결과와 비교 검토하였다. Fig. 3의 검은 사각형 점과 삼각형 점은 각각 유량에 따라서 측정된 전압 상승 및 정압 상승 분포를 나타낸다. 그리고 실선과 점선은 각각 계산된 전압 상승 및 정압 상승 분포를 의미하며 설계유량 부근에서 실험값과 잘 일치하고 있음을 보이고 있다. 그러나 저유량 부근( $\phi=0.3$  이하)에서 압력상승이 실험치보다 높게 계산되는 경향을 보이는 것을 확인할 수 있었다. Fig. 4에서는 날개 후연에서 하류로 200mm 떨어진 지점에서 반경에 따라서 측정된 회전방향 속도를 계산결과와 비교하였다. 속도성분은 날개 선단의 회전속도로 무차원화 되었으며 회전방향으로 평균된 값이다. 전반적으로 실험값과 잘 일치함을 확인할 수가 있다.

### 4.2. 성능 및 유동장 비교

계산된 두 가지 형상에 대한 성능평가 결과를

Table 3 Comparison of pressure rise

	Total Pressure Increase	Static Pressure Increase
Reference Hub Geometry	165.13 pa	135.62 pa
Modified Hub Geometry	163.74 pa	127.37 pa

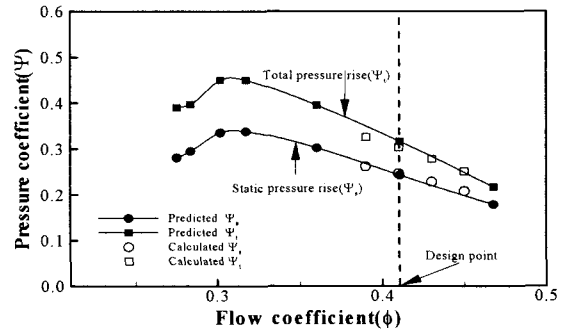


Fig. 3 Fan performance

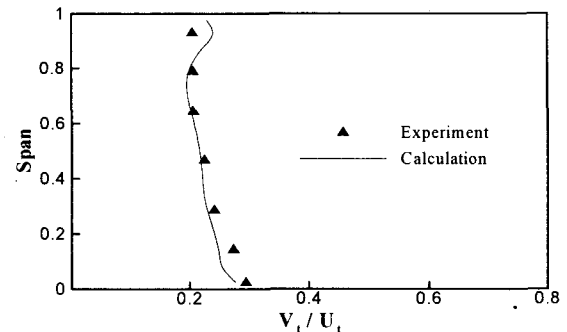


Fig. 4 Distribution of a tangential velocity at 200mm downstream of the trailing edge

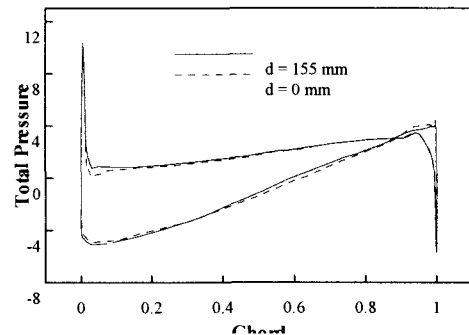


Fig. 5 Distribution of pressure on the blade at 10% span

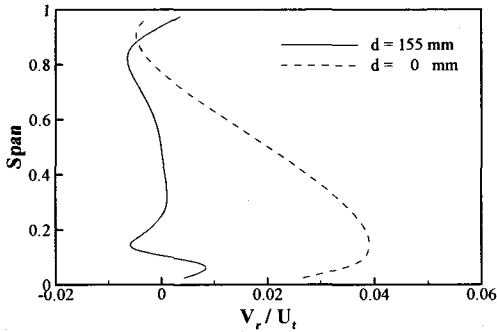
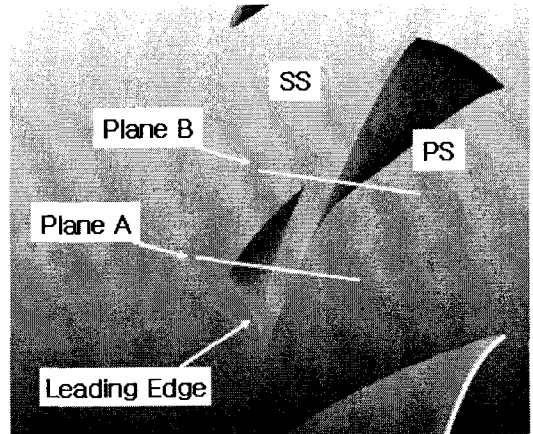


Fig. 6 Distributions of radial velocities near leading edge

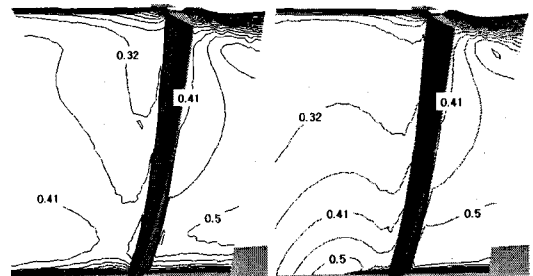
Table 3에 정리하였다. 압력의 측정위치는 각각 날개 전연에서 상류측으로 55mm, 그리고 날개 후연에서 하류측으로 200mm 되는 지점이다. 기준형상에 비해서 수정된 형상의 압력상승의 폭이 적은 것으로 나타나 허브 캡의 위치가 송풍기의 성능에 영향을 미치는 것으로 나타났다. Fig. 5에는 날개면 10% span에서의 전압분포를 비교하였다. x축은 무차원화된 코드길이로서 유동진행방향에 따른 날개면 상의 압력값을 나타낸다. 대체적으로 큰 차이를 보이지 않지만 허크 캡과의 길이가 155mm인 형상의 경우 날개 전연 부근에서 압력차가 더 크게 생긴 것을 볼 수 있다. 우선 이 두 형상에서 압력상승이 차이가 나는 원인을 밝히고자 하였다. 날개 전연에서 회전방향으로 평균된 각 반경에 따른 반경방향 속도를 Fig. 6에 비교하였다. 허브 캡의 영향으로 허브 부근에서의 반경방향 속도가 증가한 것을 알 수 있다. 반경방향 속도는 팁부근으로 갈수록 사라지는 경향을 보인다. 이는 허브 캡에 의해 생긴 반경방향 속도성분이 날개의 회전에 직접적인 영향을 미치게 되는 것을 의미한다. Fig. 7에는 날개 전연 부근에서의 축방향 속도가 비교되었다. 축방향 속도는 날개 선단의 회전 속도에 의해 무차원화 되었고 측정위치는 Fig. 7의 (a)에 나타나 있다. Fig. 7의 (b)와 (c)는 Plane A에서의 축방향 속도를 나타낸다. 허브 캡의 직접적인 영향을 받은 날개 전연 부근의 속도분포는 허브 부근에서 확연한 차이를 보이고 있음을 알 수 있다. 즉, 기본형상에서 축방향의 속도가 상대적으로 넓게 분포하고 있다. 이러한 경향은 Fig. 7의 (d), (e)에도 잘 나타나 있다.

## 5. 결론

허브 캡의 위치가 축류송풍기의 성능에 미치는 영

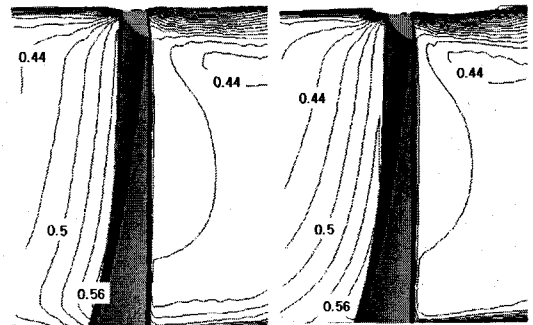


(a) Position of the quasi-orthogonal plane to the blade



(b) Plane A, d = 155 mm

(c) Plane A, d = 0 mm



(d) Plane B, d = 155 mm

(e) Plane B, d = 0 mm

Fig. 7 Axial velocity contour line

향을 알아보기 위하여 허브 캡의 위치를 다르게 하여 기준형상과 비교를 하였다. 계산결과 날개와 허브 캡의 길이가 짧은 형상을 갖는 송풍기의 성능이 낮은 것으로 나타났다. 허브 캡에 의해 생성된 반경방향 속도의 영향 때문인 것으로 판단된다. 날개 전연 부근에서 날개의 압력면과 흡입면의 압력차이도 기준형상보다

낮게 측정되었고 또한 축방향 속도도 낮아짐을 확인하였다. 허브 캡의 형상이 반구의 형태를 띠었기 때문에 허브 부근에서 박리는 관찰할 수 없었지만 허브 캡에 의한 박리현상과 그에 따른 송풍기의 성능변화는 연구할만한 가치가 있음을 확인하였다.

### 참고문헌

- (1) 장춘만, 김광용, 2003.12, "5공 피토관 및 회전 열선 유속계에 의한 축류팬 내부 유동장 계측 및 평가," 대한기계학회 논문집B, 27권 12호, pp. 1750~1757.
- (2) Charalambous, N., Ghisu, T., Lurisci, G., Pachidis, V., Pilidis, P., 2004, "Axial compressor response to inlet flow distortions by a CFD analysis," ASME Turbo Expo, GT2004-53846
- (3) Seungbae Lee, Kwang-Yong Kim, Jin-Young Kim, Gui-Cheol Yang, 1998, "A Study on the Effects of Non-Uniform Inlet Flows upon Performance and Tonal Radiation from A Propeller Fan, 1998 ASME Fluid Engineering Division Summer Meeting, Washington, D. C., USA, FEDSM98-3445
- (4) Hah, C., Rabe, D., Sullivan, T., Wadia, A., 1998, "Effects of Inlet Distortion on the Flow Field in a Transonic Compressor Rotor," Journal of Turbomachinery, Vol. 120, No. 4, pp. 233~246
- (5) 장춘만, 김광용, 2003. 12, "축류팬 익단누설와류의 수치적 해석," 유체기계연구개발발표회, 선문대, pp. 404~411
- (6) 장춘만, 김광용 2003. 11, "축류팬 익단누설와류의 비정상 특성," 대한기계학회 추계학술대회, 무주리조트, pp. 845~850
- (7) 최승만, 서성진, 장춘만, 김광용 2004. 8, "설계유량을 고려한 축류송풍기의 최적설계," 한국유체공학학술대회, 제주, pp. 199~202
- (8) Li, H., He, L., 2002, "Single-Passage Analysis of Unsteady Flows Around Vibrating Blades of a Transonic Fan Under Inlet Distortion, Journal of Turbomachinery, Vol. 124, No. 4, pp. 285~292
- (9) CFX-5.7 Manual