

고성능 엇회전식 축류팬의 공력특성에 대한 전산해석

조 이 상¹⁾ · 조 진 수^{2)*}

한성대학교 기계시스템공학과¹⁾ · 한양대학교 기계공학부^{2)*}

Numerical analyses on the Aerodynamic Characteristics of a Counter-rotating Axial Flow Fan

Leesang Cho¹⁾ · Jinsoo Cho^{2)*}

¹⁾Department of Mechanical Systems Engineering, Hansung University, Samseongyoro-16gil, Seoungbuk-gu, Seoul 136-792, Korea

²⁾School of Mechanical Engineering, Hanyang University, 222 Wangsimni-ro, Seongdong-gu, Seoul 133-791, Korea

(Received 2015. 04. 30 / Accepted 2015. 05. 21)

Abstract : Numerical analyses on the aerodynamic characteristics of a counter rotating axial flow fan is carried out using the frequency domain panel method. Front rotor and rear rotor blades of a counter rotating axial fan are designed by using the simplified meridional flow analysis method with the radial equilibrium equation and the free vortex design condition, according to design requirements. Performance characteristics of a counter rotating axial flow fan are estimated for the variation of design parameters such as the hub to tip ratio, the taper ratio and the solidity. Pressure losses were higher at leading edge and hub region of rotor blades. Characteristic curve of the counter rotating fan was overpredicted without consideration of viscous effect.

Key words : counter-rotating axial flow fan, aerodynamic characteristics, frequency domain panel method, pressure distributions, characteristics curves

Nomenclature

C_p : Power coefficient

C_T : Thrust coefficient

\vec{n} : Unit vector normal to blade surfaces

U_∞ : Freestream velocity, m/s

\vec{u} : Velocity vector of fluid, m/s

x, y, z : Cartesian coordinate system

1. 서 론

축류팬은 건물의 공조장치, 터널의 환기장치, 및 터보팬 엔진의 공기흡입 장치 등으로 주로 사용되고 있

다¹⁾. 일반적으로 고유량 및 높은 정압상승을 필요로 하는 장소에는 2대 이상의 1단 축류팬을 직렬 또는 병렬로 연결하여 사용하므로 에너지 손실과 설치공간이 커지는 문제점이 발생한다.

엇회전식 축류팬(counter-rotating axial flow fan)은 고효율, 고유량 및 높은 정압상승을 얻을 수 있으므로 이러한 문제점을 해결할 수 있다²⁾. 엇회전식 축류팬은 1개의 전단 동익(front rotor)과 동심축 상에서 반대 방향으로 회전하는 1개의 후단 동익(rear rotor)으로 구성되어 있는 2단 축류팬으로, 정익(stator blades)이 없는 것이 특징이다³⁾. 엇회전식 축류팬의 전단 동익에서 발생하는 선회속도 성분은 후단 동익에 의해 정압 성분으로 회수되며, 기존의 동익과 정익으로 구성된 2단 축류팬에 비해 유동 손실이 적으므로 고유량과 높은

*Corresponding author, E-mail: jscho@hanyang.ac.kr

정압 상승을 필요로 하는 장소에 사용이 가능하다³⁾.

엇회전식 시스템은 에너지 절감을 목적으로 미국의 NASA에서 항공기 추진용 프로펠러의 연구로 시작되었고⁴⁾, 러시아에서는 헬리콥터 로터에 대한 연구를 수행하였다.

고효율의 성능특성으로 항공기 추진장치로 개발된 엇회전식 시스템은 고유량, 고효율 그리고 높은 정압 상승을 얻기 위한 축류팬 개발에 응용되었다. Kodama 등⁵⁾은 엇회전식 축류팬의 성능 및 소음특성에 대해 연구 하였다.

엇회전식 축류팬의 고성능, 고효율의 성능 특 성으로 에너지 절감효과를 도모하고 높은 정압 상승을 필요로 하는 장소에서 활용하기 위해서는 체계적인 블레이드 설계기법, 3차원 유동 해석 기법 및 성능 예측 기법의 개발이 필요 하다. 따라서 본 연구에서는 축류 터보기계 설계 형상에 대한 성능 예측을 위한 전산해석 해석 기법을 개발하고자 한다.

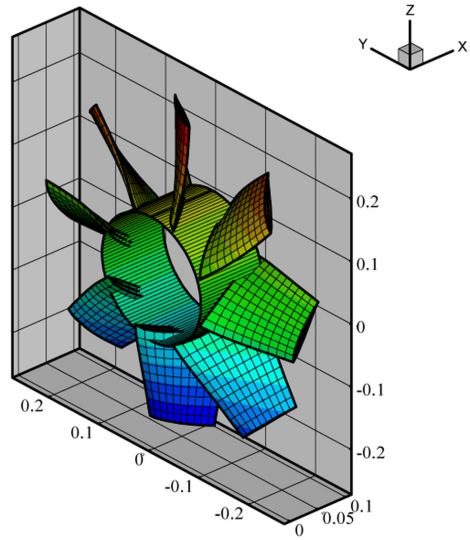
2. 엇회전식 축류팬

엇회전식 축류팬의 전단 동익과 후단 동익 블레이드는 반경평형 방정식과 자유와 조건을 고려하는 3차원 역설계기법인 단순 자오면 유동해석기법으로 설계 되었다.

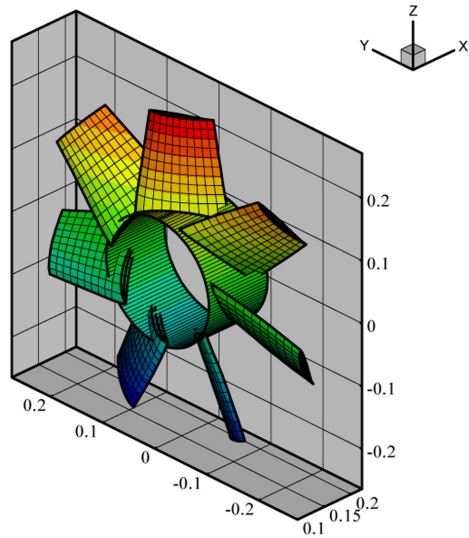
Table 1은 엇회전식 축류팬의 전단 동익과 후단 동익의 제원을 나타낸 것으로, 블레이드의 단면 형상은 NACA 65계열의 익형(airfoil)으로 캠버각은 18도, 익형의 최대 두께는 시위 길이의 10%로 설계되었다.

Table 1 Specifications for the front rotor and rear rotor of the counter-rotating axial flow fan

	Front rotor	Rear rotor
Fan diameter	500 mm	500 mm
Tip diameter	497 mm	497 mm
Hub diameter	199 mm	199 mm
Airfoil	NACA65-series	
Camber angle	18 deg.	
Maximum thickness	10 % (=12.825 mm)	
Stagger angle at mid span	52.0 deg.	58.0 deg.
Blade angle at mid span	38.0 deg.	32.0 deg.
Solidity at mid span	0.8	0.7
Number of blades	8	7



(a) front rotor



(b) rear rotor

Fig. 1 Designed blade shapes for the front rotor and the rear rotor of the counter-rotating axial flow fan

Fig. 1는 엇회전식 축류팬의 주어진 설계요구조건을 고려하여 자유와 설계기법으로 형상 설계된 전단 동익과 후단 동익 각각의 형상을 나타낸 것이다. 전단 동익과 후단 동익의 허브비는 0.4이고 전단동익의 블레이드 수는 8개, 후단 동익은 7개로 공진을 고려하여 설계되었다.

3. 주파수영역패널법

엇회전식 축류팬의 공력해석 및 성능 예측을 위해 사용된 전산해석 기법은 선형 압축성 공기역학 이론에 근거한 3차원 주파수 영역 패널법(frequency-domain panel method)이다.

엇회전식 축류팬의 공력해석을 위해 사용된 주파수 영역 패널법은 Cho and Williams⁶⁾가 단회전식 프로펠러의 비정상 공력 및 공탄성 해석을 위해 개발한 양력면 패널법(lifting surface panel method)을 기본으로 한다. 양력면 패널법을 엇회전식 시스템에 대한 해석으로 확장하려면 블레이드 하중이 단일 주파수로 나타나는 단회전식 프로펠러와 달리, 블레이드 하중이 복수 조화함수로 표현되어, 하나의 양력면이 다른 양력면에 유도하는 속도장의 Fourier변환을 통해서 상호작용해야 한다.

엇회전식 축류팬의 좌표계는 관성 좌표계와 회전 좌표계로 Fig. 2와 같이 나타낼 수 있다.

엇회전식 축류팬의 블레이드 위의 임의의 고정점은 헬리컬 궤적(helical trajectory)을 따라 다음과 같이 표현된다.

$$x - \frac{U_\infty}{\Omega} \theta = \bar{x} - \frac{U_\infty}{\Omega} \bar{\theta} \quad (1)$$

블레이드 코드면에 위치하고 있는 생성곡선을 $\bar{x}_g(r)$, $\bar{\theta}_g(r)$ 로 정의하면, 이 곡선은 식 (6)의 형태로 Fig. 6의 헬리컬 면을 생성시킨다.

$$x = \frac{U_\infty}{\Omega} (\theta + \sigma), \sigma(r) \equiv \frac{\Omega}{U_\infty} \bar{x}_g - \bar{\theta}_g \quad (2)$$

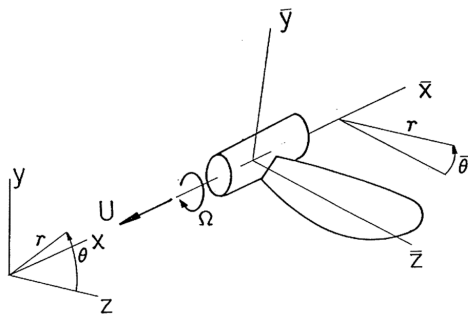


Fig. 2 Single-rotating propeller coordinate systems⁶⁾

하중분포에 의해 유도되는 블레이드 면에서 유체의 수직속도는 블레이드 면의 수직속도와 같아야 한다. 블레이드 면의 각 점들에서 경계조건은 다음과 같다.

$$\vec{n} \cdot \vec{u} = v_n \quad (3)$$

여기서 \vec{u} 를 관성 좌표계에서의 유체속도, \vec{n} 를 블레이드 면에 수직인 단위벡터, 그리고 v_n 를 관성 좌표계에서의 블레이드 면의 수직속도라 한다.

4. 공력해석 및 성능 예측

엇회전식 축류팬의 공력해석 및 성능 예측은 전진비가 있는 경우의 엇회전식 프로펠러의 공력해석 결과를 바탕으로 수행되었다.

Fig. 3은 엇회전식 축류팬의 전단 동익과 후단 동익으로 구성된 엇회전식 프로펠러의 공력해석 결과를 나타낸 것이다. 엇회전식 프로펠러는 전진비(V/nD)가 1.5 인 경우에 84.84%의 프로펠러 효율을 나타내었고, 이 결과를 이용하여 엇회전식 축류팬의 성능예측을 수행하였다.

Fig. 4는 엇회전식 축류팬의 전단 동익과 후단 동익 블레이드의 압력 분포를 나타낸 것이다. 전단 동익과 후단 동익 블레이드 계수 분포를 반경 방향으로 살펴 보면, 전단 동익과 후단 동익 블레이드는 전연에서 유동 박리로 인해 역압력 구배가 발생하고, 추력계수 분포에서와 같이 허브에서 팁으로 갈수록 압력상승이 크게 발생함을 알 수 있었다.

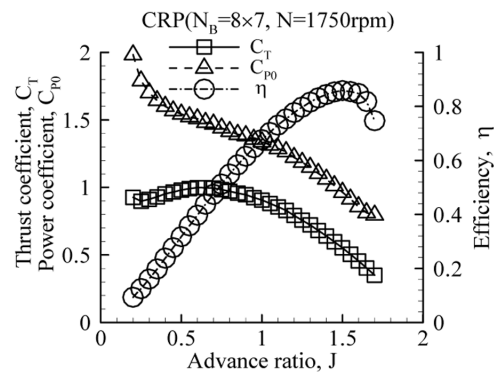


Fig. 3 Aerodynamic coefficient distributions of the counter-rotating propeller

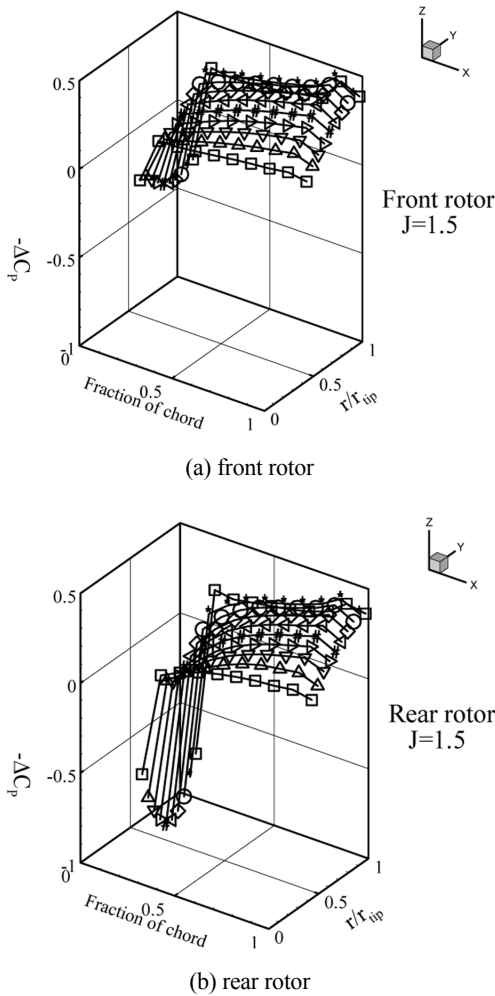


Fig. 4 Pressure distributions of the front rotor and the rear

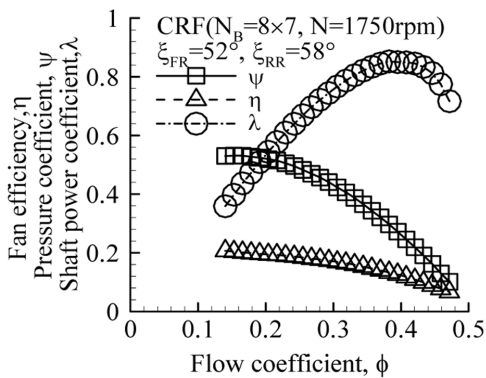


Fig. 5 Predicted characteristic curves for the counter-rotating axial flow fan

엇회전식 축류팬의 성능 특성은 주파수영역 패널 법에 의해 예측된 공력 해석 결과를 바탕으로 Fig. 5과 같이 예측되었다. 엇회전식 축류팬의 성능 특성은 유량계수가 0.383인 위치에서 압력 계수는 0.297 그리고 팬 효율은 85.27%를 나타내었다.

5. 결 론

엇회전식 축류팬의 공력특성에 대한 전산해석을 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

1) 엇회전식 축류팬의 전단 동익 블레이드는 후단 동익 블레이드에 비해 높은 전진비에서는 약 7% 정도 더 효율적인 공력특성을 나타내었고, 전단 동익과 후단 동익 블레이드의 압력분포는 블레이드 전연 부근에서 비교적 큰 역압력 구배가 발생하였다.

2) 엇회전식 축류팬의 작동영역인 최고 효율점은 설계요구조건에 따른 블레이드 설계결과와 성능 예측 결과에 비해 유량계수가 약 4.2% 정도 작은 조건에서 발생하게 되었다.

References

- 1) F. P. Bleier, Fan Handbook, McGraw-Hill, New York, 1998.
- 2) R. A. Wallis, Axial Flow Fans and Ducts, John Wiley & Sons. Inc., pp.309, 1983.
- 3) J. S. Cho and L. S. Cho, Experimental Study on the Aerodynamic Characteristics of a Two-Stage and a Counter-Rotating Axial Flow Fan, Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers, Vol. 23 No.8B, pp.1048-1062, 2001.
- 4) W. C. Strack, G. Knip, A. L. Weisbrich, J. Godston, and E. Bradly, Technology and Benefits of Aircraft Counter Rotation Propellers, NASA TM 82983, 1982.
- 5) Y. Kodama, H. Hayashi, T. Fukano, and K. Tanaka, Experimental Study on the Characteristics of Fluid Dynamics and Noise of a Counter-Rotating Fan, Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, Vol. 60, No. 576B, pp.2764-2779, 1994.
- 6) J. Cho and M. H. Williams, Counter Rotating Propeller Analysis Using Frequency Domain Panel Method, Journal of Propulsion and Power, Vol.6, No.4, pp.426-434. 1990.