

스크롤 케이싱이 없는 터보팬에 관한 연구

김재원*, 박진원**, 오정수**, 안은영***

Study on flows by turbofan without scroll casing

Jae Won Kim*, Jin Won Park**, Jung Su Oh**, Eun Young Ahn***

Key words: Turbo fan (터보 팬), Reverse flows(역류), Flow balance(유동 균형), Scroll casing (스크롤케이싱)

ABSTRACT

Turbo fan as an air moving device is widely used for its silent characteristics and high efficiency relative to the other centrifugal multi blade impeller. In general, turbo fan is installed with a scroll casing for energy conversion from kinetic one to pressure energy. However, a turbo fan without scroll casing is considered as a present model that is proposed model for compact design of a product. In detail, the model has only 4 cutoffs as guiders for 4 separated outlets. Specially, equal distribution of flow rate generated by the model blower is main interest in this investigation. The optimal position of the guider is found by reducing abnormal flows such as reverse flow in each outlet.

1. 서론

최근의 가전제품의 개발 추세를 살펴보면 소형화와 더불어 경박단소의 모습을 취하고 있으며 오히려 제품의 성능은 소음을 포함하여 더 나은 향상을 요구하고 있다⁽¹⁾. 본 연구에서는 원심형 송풍기중에서 회전 날개의 형식에 있어서 터보 임펠러를 갖는 송풍기를 대상으로 공학적으로 의미 있는 실험적 접근을 시도할 예정이다. 원심형 송풍기는 일반적으로 회전하는 임펠러와 그 임펠러를 포함하는 스크롤 형상의 케이싱으로 구성된다. 원심형 송풍기의 성능은 스크롤 케이싱의 형상, 팬의 설계 조건, 팬과 스크롤 케이싱 사이의 기하학적 조건에 크게 좌우된다⁽²⁾.

이와 같은 배경 하에 원심형 송풍기에 관한 연구는 팬 설계에 관한 연구⁽³⁻⁴⁾와 케이싱에 관한 연구⁽⁵⁻⁶⁾ 또는

그 모두의 조합에 관한 것⁽⁷⁻⁹⁾으로 크게 구분될 수 있다.

본 연구에서는 일반적인 공조기의 실내기에서 제품의 소형화를 위해 불가피하게 채택되어 사용되는 케이싱이 없는 원심형 송풍기를 채택한 실내기 전체를 대상으로 그 내부의 유동 현상과 압력 변동, 유량 분배 등을 해석하고자 한다. 이처럼 공기 공급이 생산 설비의 주요 요소로 등장할 경우 이에 대한 효율과 정압 상승은 매우 중요한 공학적 요구 사항이 된다. Fig. 1은 본 연구에서 고려하고 있는 설부(Cutoff)를 안내 구조물로 활용하고 있는 스크롤 케이싱이 없는 터보 팬 채용 송풍기의 대략적 모습을 나타낸다.

본 연구에서는 각 토출부에서의 유량을 측정하여 이 유량의 분배 상태가 균일하게 이루어지지 못하는 원인을 유체역학적 연구를 통해 접근하였다. 유량의 측정은 열선 유속계와 팬 테스트를 사용하였다.

* 선문대학교 기계공학과

** 선문대학교 기계공학과 대학원

*** 천안대학교 정보통신학부

E-mail : jwk@sunmoon.ac.kr

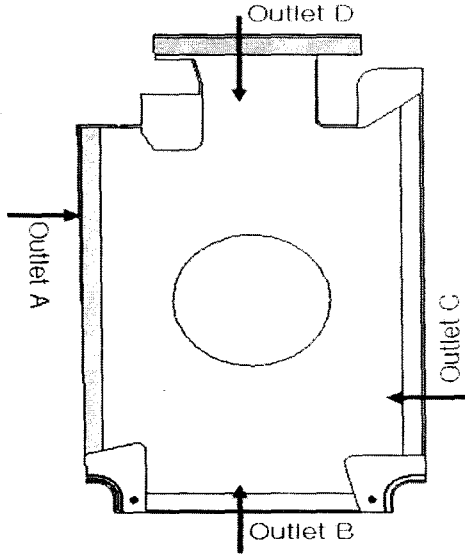


Fig. 1 Configuration of guider and outlets

아울러 전산해석을 병행하여 유량의 감소를 유발하는 요인을 확인하여 그 개선에 관한 공학적 처리를 제시하고 그 효과를 확인하였다. 구체적으로 유동의 불균형은 역류와 압력 분포 그리고 와도의 분포로 설명되며 이를 감소하기 위해 불안정 유동 요인을 해소하는 구조물의 설치 개선으로 보다 균일한 유동 분배 구조를 얻을 수 있었다.

2. 실험장치 및 방법

2.1. 분배 유량의 측정

본 연구의 주된 관심은 완전한 구조를 이루지 못한 케이싱을 채용한 터보 송풍기의 토출 유량이 각 출구에서 일정하게 유지될 수 있도록 구조물의 최적 위치를 찾는 것이다.

Table 1 Flow rate at each outlet before improvements

Outlet	Flow rate (m ³ /min.)	Average (m ³ /min.)
A	3.8	2.2
B	1.2	
C	3.5	
D	0.3	

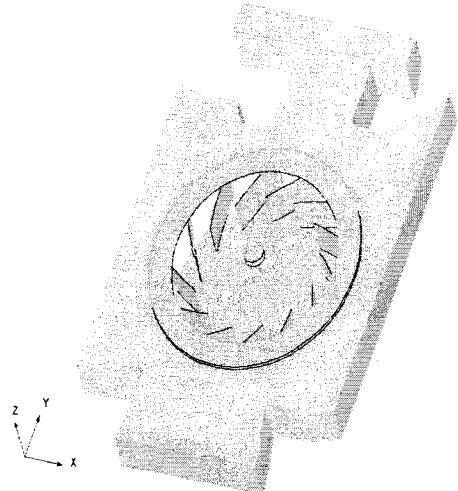


Fig. 2 Grid system and impeller

2.2. 전산해석

해당 모델의 성능 향상을 위한 개선의 대상을 확정하기 위해 전산 해석을 수행하였다. 전산 해석은 Fig. 1에 도시된 바와 같이 임펠러 주변의 구조물을 포함한 송풍 장치 전체를 대상으로 이루어졌다. 전산 해석은 총 1,786,189개의 셀로 구성된 계산 영역에 대해 k-ε 난류 모델을 사용하여 수행되었으며 정상 상태에서의 유동 변수만을 획득하였다. 구체적으로 유동의 영역은 본 송풍 시스템이 3차원 구조물이므로 모델의 전 영역을 대상으로 수행하였으며, 전산 해석의 용이성을 위해 송풍기 팬의 회전 속도와 같은 속도로 회전하는 격자계 (rotating frame)를 사용하였다. 또한 각 계산의 단계별 수렴 조건의 오차 범위는 1/10000 크기의 상대 오차를 기준으로 하였으며, 가능한 계산 능력 범위 내에서 최대한 정확성을 유지하였다. 계산 결과의 정도는 결론된 유량의 값을 실험값과 비교하여 일치되는 정도를 가지고 판단하였다.

Fig. 2는 격자 시스템으로 구현된 송풍기 장치의 모습을 나타낸다. 이 그림에서 알 수 있듯이 시스템에 사용된 팬의 특성은 에어포일 형태의 날개 단면을 가진 직경 320mm의 원심형이며, 유동의 토출을 위한 4곳의 확대 흡입 유로가 형성되어 있다.

유동의 조건은 송풍 시스템 팬의 회전수로 결정되며 본 모델의 최적 회전수인 700rpm에서 계산과 실험

이 수행되었다. 본 시스템의 구동은 인버터 제어를 거친 전기 신호에 의해 팬의 회전수가 제어되게 준비하여 실험을 진행하였다.

2.3. 성능 측정

앞서 진행한 전산 해석의 결과로부터 얻은 본 연구 대상의 개선 범위가 확정되었다. 추후에 결과 부분에서 언급하겠지만 전산 해석 결과 송풍기 설부 부분에서 이상 유동이 발생되어 이를 개선하여 연구를 진행하였고 그 개선의 효과는 송풍기의 성능 평가 및 비교를 통해 확인 되었다.

이 성능 평가는 미국 공조 학회 규격⁽¹⁰⁾에 따라 제작된 토출형 풍동을 활용하여 유동의 유량과 정압 상승을 측정하였다. 풍동의 구성은 유동의 유로 구성을 위한 관로, 시료 부착을 위한 입구, 유량 측정을 위한 피토크 관, 피토크관의 반경 방향 이송 장치, 유량 측정용 오리피스 유량계, 정압 측정 장치와 유량 변화를 인위적으로 설정하기 위한 댐퍼 (Damper)로 이루어져있다. 이 풍동에서 유량의 측정은 오리피스 유량계를 통해 가능하며 유량 측정 시 유량의 보정은 피토크관을 활용한 유속의 정밀 측정으로 결정된다.

3. 전산 해석 및 결과

유동의 성능에 대한 향상 작업을 수행하기 위해 송풍기 내부의 유동을 전산 해석을 통해 확인하였다. 전산 해석의 결과에 대한 검증은 전산해석을 통한 토출 유량이 실험을 통해 확인된 유량대비 $\pm 5\%$ 의 범위 안에 포함되는 경우만을 인정하여 이루어졌다.

동일한 형상의 스크롤 케이싱에 대해 설부의 위치에 따른 원심형 송풍기 전체에 대한 전산 해석을 상용 해석 프로그램인 SCRYU-TETRA⁽¹¹⁾을 사용하여 수행하였다. 이는 원심 송풍기의 성능 평가의 결과에 대한 공학적 상세 근거를 제시하기 위해 수행되었다.

송풍기 전체의 전산 해석을 위해서는 총 약 180만 개의 격자가 사용되었으며, 그 전체의 격자는 송풍기의 각 영역별로 나뉘어져 해당 부분의 계산 영역을 만들기 위해 사용되어졌다. 팬을 별도의 영역으로 지정하여 구성한 이유는 팬의 회전 조건을 인가하기 위해 회전 격자계(Moving grid)를 사용했기 때문이다.

전산 해석에 사용된 지배방정식은 질량에 대한 연속방정식, 운동량 보존 방정식, k- ϵ 난류 에너지 방정식, 그리고 난류 소산 방정식이다. 본 연구의 수치 계

산은 상용 프로그램을 이용한 것이므로 해석의 과정에서 필요한 각종 계수(C)와 기타 물리량 및 첨자, 그리고 계수 등은 프로그램의 매뉴얼⁽¹¹⁾에 따라 전산 해석이 수행되었다. 이 과정에서 가장 중요한 처리는 흡입구 전면에 설치된 필터를 모델링하는 것인데 본 연구에서는 필터를 저항을 유발하는 다공체 (porous media)로 간주하여 해석을 진행하였다.

유동의 전산 해석을 위한 경계조건으로는 입구에서의 대기압 조건과 출구에서의 일정 유량 조건을 인가하여 수행하였으며, 이 경우 유량의 크기는 실험으로부터 획득된 정보를 활용 하였다.

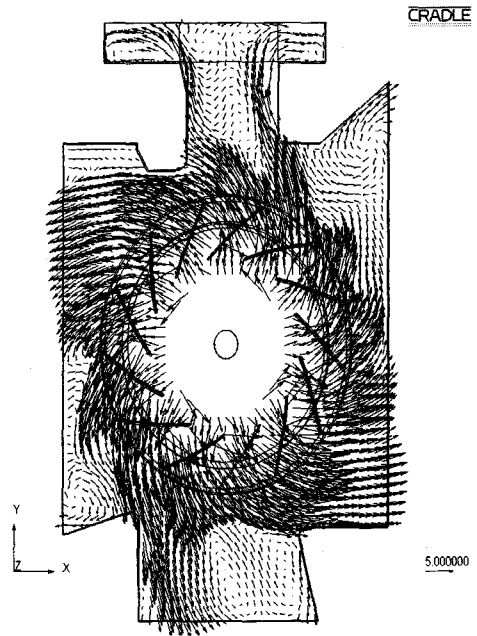


Fig. 3 Plots of velocity vectors in meridional plane

송풍기 내부의 유동으로부터 유동 분배의 정도를 확인하였다. 다음의 Fig. 3은 자오평면에서의 유동 분포를 속도 벡터를 활용하여 표현하였다. 속도 벡터의 표현으로부터 출구 A와 B의 일부분에서 역류가 발생하는 것이 관찰되었다. 이는 유동의 발생이 후향익으로부터 비롯되는 것임을 고려하면 매우 자연스러운 유동 결과이다. 왜냐하면 후향익의 운전으로 공기의 유동이 발생하므로 출구 A의 아래 부분과 출구 B의 오른쪽 부분에서 역류를 유발할 회전 유동이 발생할 조건이 되기 때문이다.

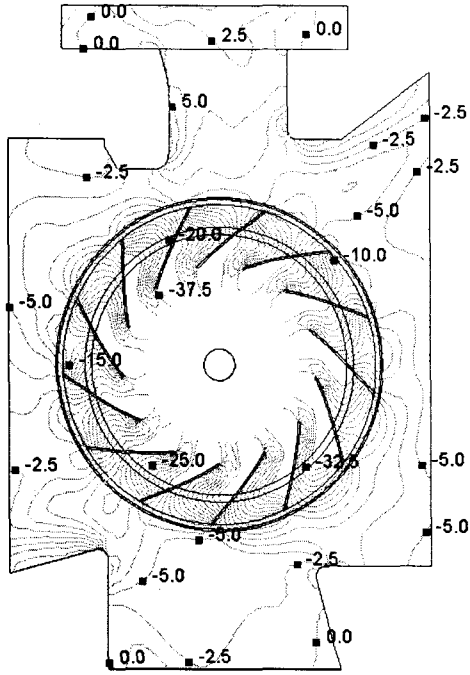


Fig. 4 Contours of pressure in meridional plane

이와 같은 주장을 뒷받침하기 위한 유동의 조사가 정압의 분포에서 이루어졌다. 다음의 Fig. 4는 동일 유동장에서의 압력 분포를 나타낸다. 압력의 분포 모습에서 알 수 있듯이 역류가 발생하는 위치에서 음압이 발생되며 이로 인해 역류가 존재함이 확인 되었다. 구체적으로는 역류가 발생하는 지점에서의 압력 변동이 매우 좁은 공간에서 발생하여 역류를 촉진시키는 것으로 이해할 수 있다.

유동장의 정보를 구체적으로 파악하기 위해 난류 에너지의 크기를 위치별로 측정하였다. 난류에너지의 크기는 유동장의 회전 유동의 정도로 이해될 수 있으므로 이와 같은 유동장의 정도를 파악할 수 있는 정보를 제공한다.

Fig. 5는 자오 평면에서의 난류 에너지를 나타낸다. 난류에너지의 분포를 살펴보면 회전 유동이 급격히 발생하는 날개 부근에서 강한 난류에너지가 확인되며 또한 역류가 발생하는 토출구 A와 D의 일부분에서도 비교적 큰 값의 난류에너지가 발견된다. 이는 시간의 함수로 섭동하는 유동 성분이 크게 존재함을 의미하며 이러한 물리적 결과가 압력의 이상 분포로 연결됨이 확인되었다.

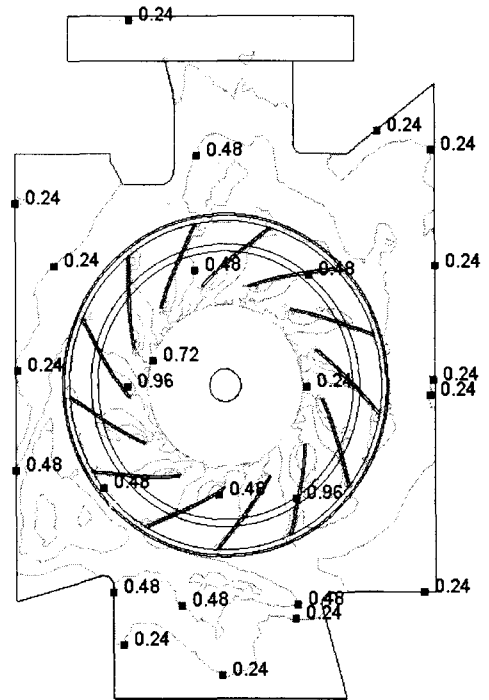


Fig. 5 Same as Fig. 4 except for turbulent energy

유동 분배의 불균일 정도가 가장 심한 토출구 D에서의 유동 현상을 자세히 관찰하였다. 토출구 D는 기하학적으로 두 번 꺾인 후 전면으로 돌출되는 전형적인 3차원 구조물이다. 따라서 유동의 저항도 심하며 그에 따른 압력 손실로 불가피하게 유량이 작아지는 구조적 결함을 갖고 있다.

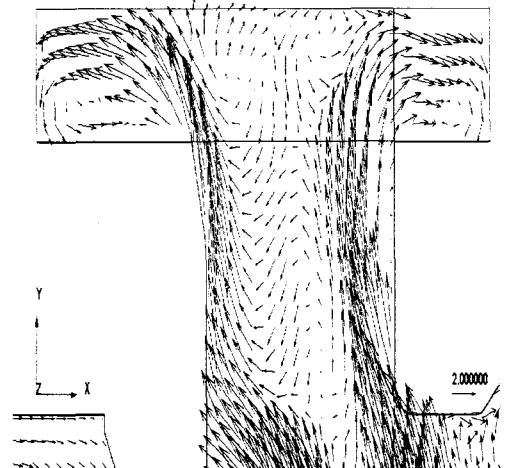


Fig. 6 Plots of velocity vectors near outlet D

Fig. 6은 그 토출구 D에서의 유동 모습을 속도 벡터의 분포를 이용하여 표현하고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 유로의 굴절이 극심한 곳과 유로의 면적이 급격히 축소되는 영역에서 매우 심한 와류와 더불어 역류가 발생됨을 확인할 수 있었다. 앞서 설명하였듯이 토출구 D는 90도로 유로가 굴절된 후 전방 토출구를 갖춘 형상이라 대기와 접하는 출구에서의 유속 분포가 결과적으로 중요하게 판단된다.

Fig. 7은 그 토출구 D에서의 전방 토출 유동의 분포를 속도 벡터를 통해 확인할 수 있는 정보를 제공한다. Fig. 7을 살펴보면 구부러진 연결관의 외측에서 와동이 발견되며 그 아래 부분에서는 역류의 발생이 시작되고 있음을 알 수 있다. 이와 같은 이상 유동의 이유는 유동장의 불합리한 구조에서 비롯되는 유동 불균형이 주된 원인이라 판단된다.

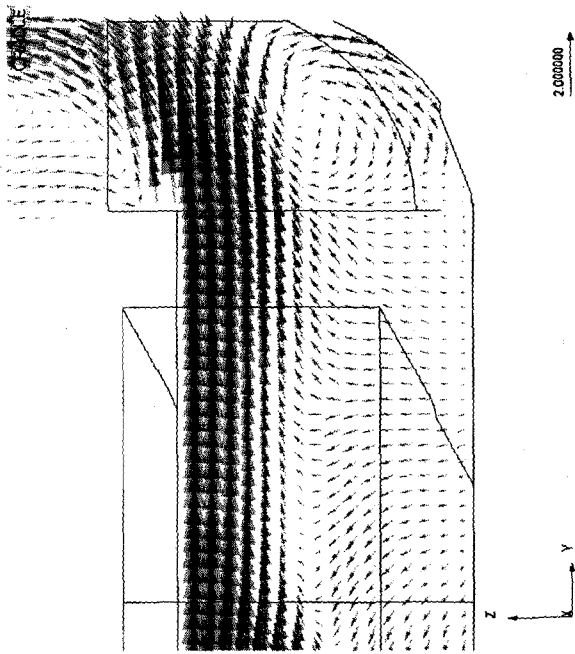


Fig. 7 Recirculating flows in duct connecting outlet D to outside

이와 같은 이상 유동의 현상을 개선하기 위한 시도는 유동의 입구 조건을 고려하여 유동의 흡입과 토출이 균형을 맞출 수 있는 출구 면적을 안내 구조물 (Guider)의 설치 위치의 변화를 통해 이룩하고자 하였다. 이를 위해 각 출구의 단면적을 고려하여 해당 출구에서의 유속이 일정할 수 있게 조절하였다. 그와 같은 노력으로 재배치가 이루어진 유동장의 모습은 다음의 Fig. 8에서 확인할 수 있다. Fig. 8의 유동장을 구현하기 위해 각 토출구의 면적과 토출구에 설치된 안내 구조물의 배치를 개선하였으며 그에 따라 유동장의 모습에서 와동의 크기와 범위가 크게 감소했음을 확인할 수 있다. 결과적으로 유동자의 유량 분배의 편차가 기존의 120% 수준에서 35%의 수준으로 크게 향상되었으며 그에 따른 제품의 긍정적 효과도 크게 향상되었으리라 판단된다.

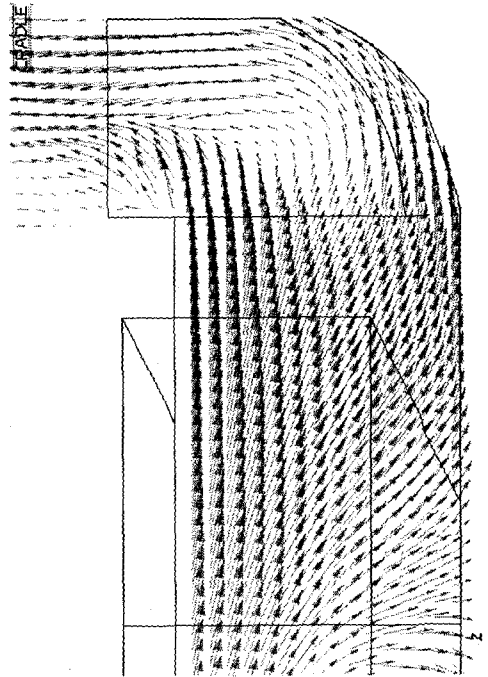


Fig. 8 Improved flows in connecting duct to outlet D

4. 결론

원심형 송풍기의 성능은 팬 자체의 성능 요소와 케이싱의 성능 기여로 구분되며 이중에서 그 어느 하나의 중요성도 결코 간과되어서는 안 된다. 그러나 본 연구에서는 송풍기를 채용하는 제품의 구조상 불가피하게 케이싱이 배제된 경우를 고려하여 유동 특성과 유량 분배 구조를 확인하였고 이를 개선하였다. 이를 구현하기 위해 제품 내부와 팬의 압력 변동과 유동의 형상을 확인하였고 그 내용을 보완할 수 있는 비선형적 케이싱 유로 단면 중대 형태를 발견하여 그 효과를 확인하였다.

결과적으로 안내 구조물의 배치를 최적화하여 내부의 유로 단면적 비율의 최적화를 이루었고 이를 바탕으로 역류와 같은 이상 유동의 현상을 억제하여 유동의 효율을 크게 향상시켰고 의미 있는 결과를 제시할 수 있었다. 이 과정에서 유로 단면적의 비선형적 배치는 스크롤 케이싱 내부의 압력 측정을 통해 선정할 수 있어 비교적 합리적인 방법론으로 제시되었다.

후기

본 연구는 선문대학교 공조기술 연구센터의 지원으로 수행되었음을 밝히며 이에 감사드립니다.

참고문헌

- (1) Bonnema, L., 2004, "2004 IATC - A new perspective," Appliance magazine, 2004, May, pp. 24-27.
- (2) Harada, S., 1986, Fluid Machinery, Asakura Publishing Co., pp. 182-200.
- (3) Konieczny, J, P. and Bolton, S. 1995, Design of Low-noise Centrifugal Blowers - Part2 : Optimization Study," Institute of Noise Control Engineering J., Vol. 43, pp. 117-127.
- (4) Raj, D. and Swim, W. B., 1981, Measurements of the Mean Flow Velocity and Velocity Fluctuation at the Exit of a FC Centrifugal Fan Rotor", Journal of Engineering for Power, Vol. 103, pp.393-399.
- (5) Weir, Donald, 1997, Estimation of the onset of multiple pure tone noise of a fan, 35th Aerospace Sciences Meeting & Exhibit, pp. 1-11.
- (6) Neise, W., 1992, Review of Fan Noise Generation Mechanism and Control Method, An International INCE Symposium, pp. 45-56.
- (7) Maeng, J., et al., 2000, Some Relations Between the Geometric Parameters and Internal Flow Field Characteristic in Multiblade Fan/Scroll System, KSME Transaction B, Vol. 9, pp. 1139-1147.
- (8) Morinushi, K. 1987, The Influence of Geometric Parameters on F.C Centrifugal Fan Noise, Trans. ASME, Journal of Vibration, Acoustics, Stress, and Reliability in Design, Vol. 109, pp. 227-234.
- (9) Cau, G., Mandas, N., Manfrida. G. and Nurzia, F. 1987, Measurement of Primary and Secondary Flows in an Industrial Forward-Curved Centrifugal Fan, J. Fluids Engineering, Vol. 109, pp. 353-358.
- (10) ASHRAE Standard, 1985, Laboratory Methods of Testing Fans for Rating, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
- (11) SCRYU/TETRA Korea, 1998, SCRYU/ Tetra User Guide Manual, Cradle.