

원심 다익팬의 유동에 대한 컷 오프 각도의 영향

강경준* · 신유환*† · 이윤표* · 김광호*

Effect of Cut-off Angle on Flow Pattern of Centrifugal Multi-blade Fan

Kyung Jun Kang*, You Hwan Shin*†, Kwang Ho Kim*, Yoon Pyo Lee*

Key Words : Multi-blade Centrifugal Fan(원심의 팬), PIV(입자영상속속계), Cut off angle(컷오프 각)

ABSTRACT

This study investigated on details of flow characteristics of a multi-blade fan for domestic ventilation. Experiments and analysis were carried out to describe on flow pattern with variations of cut-off angle near the scroll housing throat, which were performed by PIV measurement for the flow field and by total pressure probes. The stagnation point at cut-off region of the fan moves to the exit of the scroll housing as the cut-off angle increases. The movement of stagnation point and the variation of throat area of the scroll housing influence to the distribution of velocity magnitude at the exit of the fan. Furthermore, a large distortion of the velocity distribution at the scroll exit causes to increase mixing loss along the flow path.

1. 서 론

원심 다익팬은 산업 장 및 옥내의 환기용으로 많이 사용되고 있으며, 임펠러는 2차원 형상을 갖는 것이 특징으로 원주 방향으로 원호 형상의 블레이드가 놓여져 있다. Fig. 1은 옥내 환기용으로 제작된 원심 다익팬의 실제 형상이다. 2차원 임펠러에 축 방향으로 유체가 흡입되어 방사 방향으로 토출하도록 되어있으며, 임펠러 출구에서 나온 유동은 스크롤에 의해서 팬 토출구 방향으로 모아지게 된다.

원심 다익팬은 간단한 구조에 비해서 내부 유동은 상당히 복잡한 형태를 갖는다. 그 원인으로는 첫째로 축 방향 유입 구에서 발생하는 박리가 있다. 유입되는 유동은 임펠러 중심부의 속도가 가장 높게 되고, 그에 반해 슈라우드를 따라 흡

입되는 벽에서의 흐름은 상대적으로 속도가 낮기 때문에 박리가 발생하게 되고, 그러한 현상으로 인해 Fig. 2에서와 같이 임펠러 유입 구 측에서 박리 영역이 생기게 된다. Raj⁽¹⁾ 등

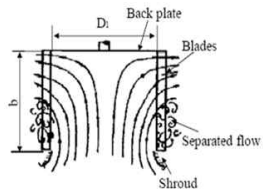


Fig. 2 Typical flow pattern in multi-blade fan by Kind⁽¹⁾

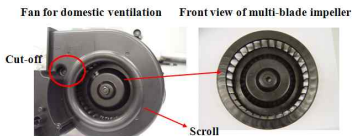


Fig. 1 Multi-blade fan for ventilation

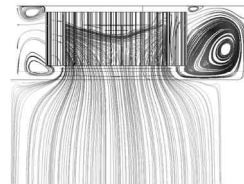


Fig. 3 Flow pattern at cross-section

* 한국과학기술연구원

† 교신저자, E-mail : yhshin@kist.re.kr

은 유동가시화를 통하여 원심 팬 입구 슈라우드에서 유동 박리가 발생하여 유동 차단영역이 존재하고 원주 방향으로 그 크기가 불균일하게 분포하는 것을 고찰하였고, Kind⁽²⁾ 등은 5공 프로브를 이용하여 임펠러 입출구에서 유동의 비대칭성과 스크롤 설부주위에서 역류가 발생함을 보여주었다. 이러한, 박리 영역과 입출 구에서의 유동 비대칭성의 존재로 인해 패세지(Passage)로 흘러 들어가는 유로의 차단이 발생하고 그로인해 허브 측으로 유동이 편중되는 현상을 Fig. 3에서의 유동해석 결과에서도 관찰할 수 있다.

두 번째 원인은 설부로부터 시작되는 나선 형태를 갖는 스크롤 케이싱으로 인한 것이다. 임펠러에서 유동이 스크롤 내부에서 혼합 되면서 스크롤을 따라 나선(Spiral) 형태로 모아지게 되는데, 이때 스크롤의 확장 각, 컷오프 각에 의해서 원심 다이렉트의 성능이 크게 좌우 될 수 있다. 확장 각은 팬 토출구에서의 정압 상승에 영향이 있고, 컷오프는 스크롤에서 모아진 유동을 토출구로 유인하는 역할을 하는 중요한 설계 인자로서 Han⁽³⁾ 등에 의해 연구된 컷오프 각에 대한 연구는 원심 팬의 성능을 향상하는데 중요성이 있다고 하였다.

본 연구에서는 원심 다이렉트의 유동장을 이해하고, 많은 설계 인자 중에서 컷오프 각에 중점을 두어 각의 변화에 대해 유동장 해석을 통해 컷오프 각이 원심 팬 유동에 미치는 영향에 대해 고찰하였다. 이를 위해 PIV (Particle Image Velocimetry)를 이용하여 스크롤 및 컷오프 영역에서의 유동장을 계측하고 분석하였다.

2. 실험장치 및 방법

원심 다이렉트의 유입부와 스크롤에서의 내부 유동장 전체를 보기위해 본 실험에서는 PIV를 이용하여 2차원 평면에서 속도장을 계측 하였다. Fig. 4는 실험에 사용된 원심 다이렉트의 형상 및 임펠러의 높이에 따른 측정면의 위치를 나타낸

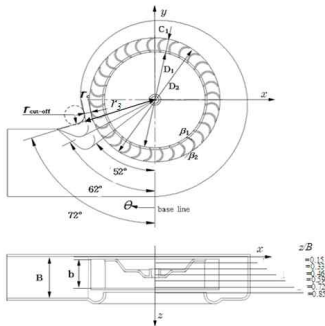


Fig. 4 Configuration of multi-blade fan

Table 1 Specifications of experimental model

Designation	Size
D ₁	105
D ₂	136
C ₁	15.5
b	32
B	46
R _{cut-off}	10
θ _{cut-off}	52,62,72
β ₁	7
β ₂	67
	13

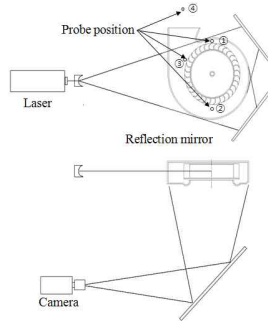


Fig. 5 PIV set up

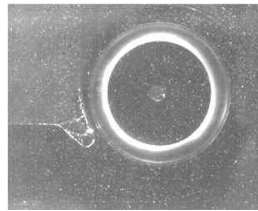


Fig. 6 Raw image obtained from CCD camera

다. 각 부분의 세부 크기 및 각도 값은 Table. 1에서 알 수 있다. 스크롤의 확장 반지름은

$$r = r_3 \exp(\theta \tan \alpha_s) \tag{1}$$

방정식(1)과 같다. 여기서, r₃는 75 mm이고, 확장 각 α_s는 4.3°이다.

팬의 운전 조건은 회전수 100 RPM, 출구 압력 380 Pa, 유량은 1.125 kg/s이다. 본 연구에서는 임펠러 및 스크롤 케이싱의 주요 설계 인자를 고정 시켜 컷오프 각 이외의 영향을 배제하고자하였고, 컷오프 각의 경우는 52°, 62°, 72°에 대하

여 비교하였다. Fig. 5는 본 실험을 위해 고안된 PIV 구성을 나타 낸 것이다. 원심 팬의 입구 내부와 스크롤 전 영역의 유동장을 관찰하기 위해 레이저빔 반대 측에 반사경을 설치하여 음영 부분을 줄 일수 있었다. 또한, 입구아래 측에도 반사경을 설치하고 반사된 영상을 카메라로 촬영하였다. Fig. 6은 반사경을 통해 얻어진 이미지로서 팬의 입구 내부와 광원의 반대 측에도 입자가 잘 보여 지는 것을 확인할 수 있다.

3. 결과 및 토의

컷오프 각의 변화에 대한 유동장 분석에 앞서, 원심 다익렌의 유동특성을 파악하였다. Fig. 7는 무부하 운전시 Fig. 4에서 보는 바와 같이 팬의 높이에 따르는 각 단층면의 유동장을 나타낸다. 그림에서 작은 원은 임펠러 내경을 나타내며, 바깥쪽 큰 원은 임펠러 외경을 나타낸다. Fig. 7의 (a) 및 (f)에 표시된 흰색 화살표는 스크롤 목으로 부터 나온 유선을 나타낸다.

$z/B=0.85$ 는 팬의 슈라우드 부분으로서 스크롤을 따라 나선 형으로 돌아가는 유선을 확인할 수 있고, 팬의 목을 통과한 유선(흰색 화살표)은 설부 측 스크롤 케이싱 벽 방향으로 편중되어 흘러 나간다. 그로 인해 팬 설부에서의 정체점은 그림에서와 같이 팬 출구 방향으로 기울어지게 된다. 또한, 정체점을 기준으로 팬 출구 방향과 스크롤 내부 방향으로 유선이 분리되는 것을 관찰할 수 있다. 팬 입구 부(작은 원내)에서의 유선을 통해 알 수 있듯이 임펠러의 회전 방향으로 선 회전(Pre-swirl)이 관찰되며, 속도장의 불 균일이 발생하게 된다.

$z/B=0.72$, $z/B=0.59$, $z/B=0.46$ 로 갈수록 팬 입구부의 속도 불 균일은 커지고, 선 회전으로 인한 스월(Swirl)이 강해지는 것을 볼 수 있다. 또한, $z/B=0.59$, $z/B=0.46$ 측정 면의 입구 부(작은 원내)에서 유선을 보면, 설부 측에서 임펠러로 유입되는 유선이 임펠러 회전 방향과 회전 반대 방향으로 갈라지는 것을 확인할 수 있다.

$z/B=0.15$ 는 임펠러의 허브 근처의 유동을 나타내는데, 슈라우드 측 유동장에서와 달리 허브 측으로 갈수록 스크롤 목을 통과한 유선이 스크롤 케이싱 바깥벽 방향으로 편중되는 것을 확인할 수 있다.

이러한 임펠러 스펀에 따른 유동의 차이는 Fig. 2에서도 언급했듯이 원심 팬의 입구부에서 발생 하는 바리 영역으로 인해 야기된다. 다시 말하면, 슈라우드 측 임펠러로 유입 되는 유량은 바리로 인해 원활하지 않게 되고, 바리된 유동은 축 방향으로 흘러 들어가 임펠러 중심부로 유입되는 유동에 더해져 임펠러 허브 측에 유량 편중을 야기하게 되는 것이다.

Fig. 8은 스크롤의 원주 방향에 따른 각 단면에서의 3차원 접선속도 분포를 나타낸다. 속도 분포를 보면, 슈라우드 측 ($z/B=0.85$)에는 바리로 인한 저속 영역이 보이고, 허브 측 ($z/B=0.15$)으로 갈수록 고속 영역이 발생하는 것을 기준 0° 에서 확인 되어 진다. 이러한 현상은 Fig. 9에서와 같이 임펠러 스펀에 따른 압력 분포를 봐도 입증될 수 있다. Fig. 5에서와 같이 ①, ②, ③위치에서 측정되어 졌다. 각 측정 위치에서 $z/B=0.15$ 측으로 갈수록 압력이 커지고 $z/B=0.85$ 로 갈수록 압력이 작아지는 것을 관찰 할 수 있으며, 압력분포의 기울기가 갑자기 급해지는 구간을 확인할 수 있다. 이것

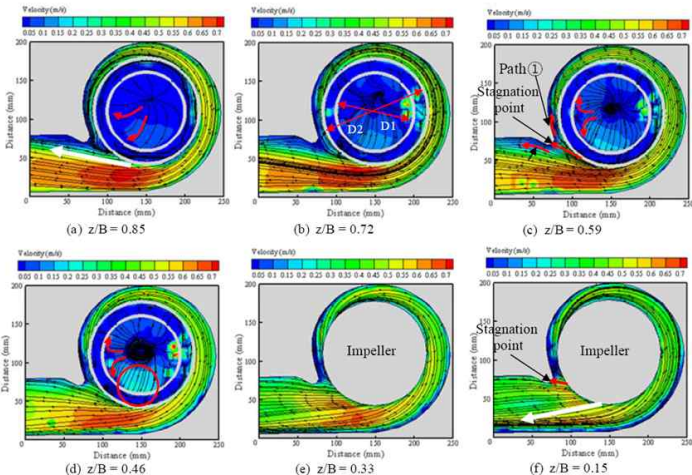


Fig. 7 Velocity fields at different height of test fan with cut-off angle 62° (100 RPM)

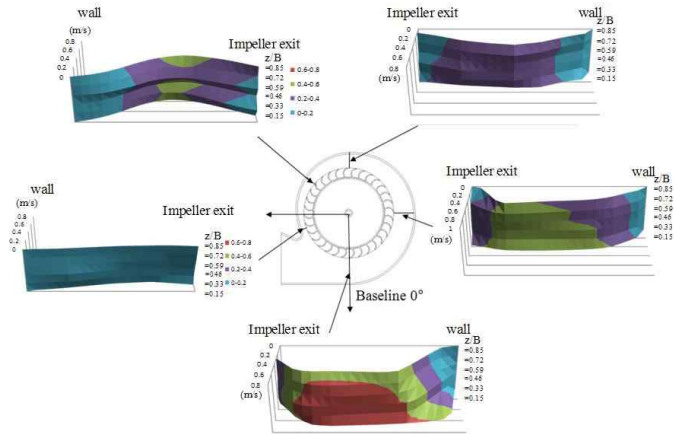


Fig. 8 Tangential velocity contour at circumferential angle of volute casing (cut-off angle 62°, 100 RPM)

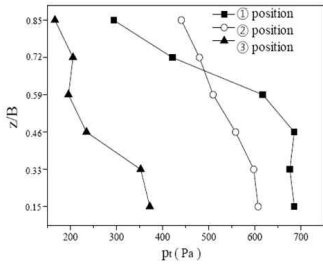


Fig. 9 Pressure at different height

은 박리로 인한 유동 차단영역을 예측 할 수 있는 근거가 된다. 설부 주위의 ①위치에서는 슈라우드부터 시작하여 $z/B = 0.46$ 까지 유동 차단 영역으로 간주 할 수 있으며, ② 위치에서도 ①위치에서의 압력 변화보다는 작지만, 슈라우드 측과 허브 측에서 큰 압력 변화를 볼 수 있다. 또한, 웬 출구부에 위치한 측정점 ③에서는 슈라우드 측에서부터 $z/B = 0.46$ 까지 낮은 압력을 보이다가 $z/B = 0.33$ 에서부터는 갑자기 압력이 커지는 것을 볼 수 있다. 이와 같이 원심 웬에서 스크롤의 위치에 따른 압력 분포를 통해서 유동 차단 영역이 불균일하게 발생하는 것을 확인 할 수 있었다.

Fig. 10은 컷오프 각이 62°인 경우 원심웬의 출구에서 토출되는 유량을 변화 시킬 때 $z/B = 0.59$ 면에서의 유동장을 나타낸 것이다.

그림에서 Blockage(=Blocked area/ fan exit area)는 댐퍼에 의해 막혀진 출구의 면적비로 정의된다. Blockage가 증

가할수록 원심 웬 출구에서의 유속이 점점 줄어드는 것을 볼 수 있으며, Blockage 20%일 때는 스크롤을 따라 돌아 나온 유선이 목을 통과 한 후 출구로 원활히 토출되어 진다. 그에 반해 Blockage 90%에서는 출 구 측에서 역유동이 발생하는 것을 확인할 수 있다. 이러한 역 유동으로 인해 스크롤과 임펠러 사이로 재순환이 증가하는 것을 알 수 있다. 이러한 현상은 설부에서 정체점을 변화 시키게 되는데, 고 유량에서는 스크롤에서 나온 유선이 임펠러 측 설부에 충돌하여 두 가지 유로로(웬 출구와 스크롤) 원활하게 분리되는 것을 알 수 있다. 반면, 저 유량에서는 재순환 유동으로 인해 정체점이 웬 출구 쪽으로 이동한다. 이러한 정체점의 위치 변화는 설부에서의 소음원 변화 뿐 아니라 임펠러로부터 나온 반경방향 속도 성분과 역방향이 되어 임펠러의 회전 진동에도 영향이 있을 것으로 예상된다. Fig. 11은 세 가지 컷오프 각 경우에 대해 유량에 따른 스크롤 내에서의 방사방향 속도 분포를 나타낸 것이다. 측정 위치는 임펠러 출구로부터 3.5 mm떨어진 동일 위치에서 기준선을 기준으로 0°부터 90°까지이다. 각 경우에서 보면, 컷오프 각 위치로 가까워지면서 임펠러 방향으로 향하는 역유동이 생기는 것을 알 수 있으며, 이러한 역 유동 영역이 컷오프 각의 변화에 따라 이동하는 것을 볼 수 있다. 특히, Blockage 90%일 때는 임펠러 방향으로 향하는 역유동의 세기가 강한 것을 볼 수 있는데, 이러한 유동은 임펠러 통로로 재 유입되어 임펠러 성능에 큰 영향을 끼치게 된다. Fig. 12는 세 가지 컷오프 각의 경우에 대해 같은 운전 조건(100 RPM, Blockage 20%)에서 각각의 유동장을 비교한 것이다. 컷오프 각 52°경우에서는 설부에서 박리가 발생하는 것을 알 수 있었다. 또한, 설부 후의 웬 출구부에서는 박리영역이

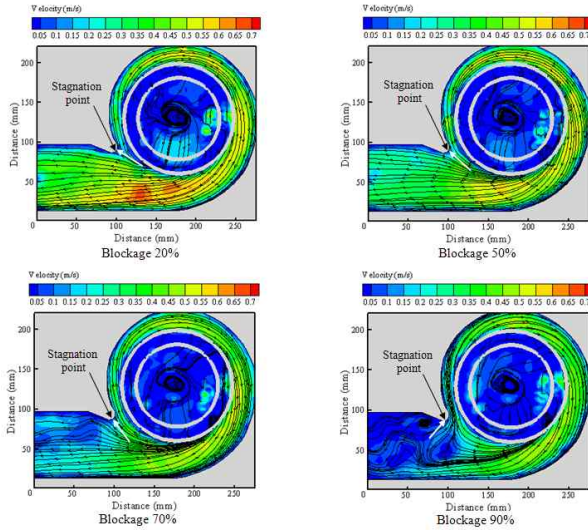


Fig. 10 Flow fields at different blockage under 100 RPM (cut-off angle 62°)

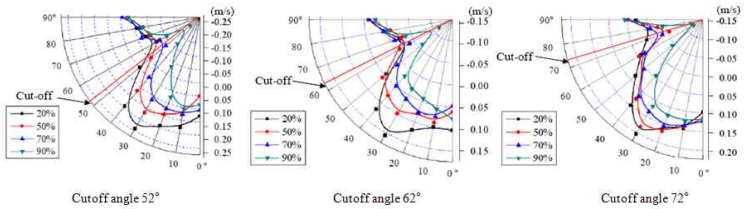


Fig. 11 Radial velocity distribution in scroll along variation of blockage (100 RPM)

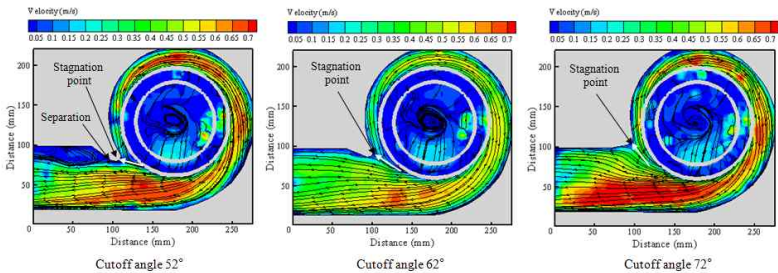


Fig. 12 Comparison of velocity fields at three case of cut-off angle (100 RPM, blockage 20%)

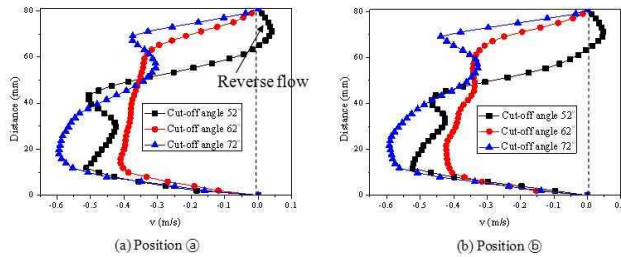


Fig. 13 Velocity distribution at the exit of fan

존재하여 유동이 흘러들어가지 못하고, 출구유동이 케이싱의 바깥 벽 측으로 편중되는 것을 알 수 있었다. 이러한 박리영역은 웬 출구에서의 소음을 증가 시키는 원인이 될 것이다. 반면, 컷오프 각 72° 경우에는 다른 두 경우에 비해 스크롤 목의 면적비가 크게 증가하기 때문에 속도가 줄어든다.

컷오프 각의 변화에 따른 출구에서의 속도 분포는 Fig. 13에서 보여진다. Fig. 13 (a)는 설부가 끝나는 부분 즉, 폭이 일정해지는 점에서의 덕트 폭에 대한 속도를 나타낸다. 또한, Fig. 13 (b)는 (a) 측정 점에서 출구 측으로 40 mm되는 지점에서 측정된 속도 분포를 보여준다. 속도 분포를 보면, (a), (b)에서 컷오프 각 52°일 때 설부 측에서 박리에 의한 역류가 있음을 볼 수 있으며, 출구에서의 속도 분포가 심하게 편중되는 것을 알 수 있다. 72°의 경우에는 폭을 따라 속도 분포가 저속 영역과 고속 영역으로 분리되어 있어 원심 웬 출구에서의 두 속도 구간간의 혼합으로 인해 혼합손실이 커질 것으로 예상된다. 반면, 62°의 경우에는 출구 방향으로 갈수록 출구 폭에 따른 속도 분포가 균일해지는 것을 알 수 있어, 유동이 상대적으로 균일하여 유동의 왜곡에 의한 손실 발생이 적을 것으로 생각된다. 하지만, 임펠러 출구 유동각이 커지면 반경 방향 속도가 증가 하게 되어 컷오프 각 52°에서는 출구 쪽에 발생하는 유동 박리 영역이 증가하게 된다. 또한, 컷오프 각 62°에서도 유동 박리 영역이 발생될 것으로 판단되어진다. 결론적으로, 컷오프 각에 의한 출구 유동의 불균일을 줄이기 위해서는 임펠러 출구각이 커지면 컷오프 각도 함께 증가 되어야한다.

4. 결 론

본 실험은 컷오프 각의 변화에 대한 유동장 변화에 중점을

두었으며, PIV를 이용하여 유동장 분석을 하였다.

- (1) 임펠러 스펀 방향에 따라 웬 내부 속도장의 차이가 있음을 알 수 있었다. 또한, 압력 분포로부터 유동 차단 영역을 예측 할 수 있었다.
- (2) 유량이 작아지면서 원심 웬 출구에서 역류가 발생하는 것을 볼 수 있었다. 이러한 역류로 인해 설부에 충돌하는 정체점의 위치가 변화한다. 또한, 재 유입되는 유동이 증가 하는 것을 알 수 있었다.
- (3) 컷오프 각 52°, 62°, 72° 경우에 유동장을 비교한 결과, 62°의 경우 출구에서의 속도 분포가 가장 균일하였다.

후 기

본 연구는 지식 경제부 전략 산업 기술개발 사업의 연구비 지원에 의해 수행 되었습니다.(NO.10031716)

참고문헌

- (1) Raj, D. and Swim, W. B., 1981, "Measurements of the Mean Flow Velocity and Velocity Fluctuations at the Exit of an FC Centrifugal Fan Rotor", Transactions of ASME, Journal of Engineering for Power, 103:393-399.
- (2) Kind, R. J., and Tobin, M. G., 1990, "Flow in a Centrifugal Fan of the Squirrel-Cage Type," Transactions of ASME Journal of Turbomachinery, 112(1):84-90.
- (3) Maeng, J. S and Han, S. Y., 2003, "Shape optimization of cut-off in a multi-blade fan/scroll system using neural network," Heat and Mass Transfer 46:2833-2839.