◎ 논 문

# 레인지 후드용 시로코 휀 성능 특성에 관한 연구

박상태* · 최영석** · 박문수** · 김철호** · 권오명***

# A Study on the Performance Characteristics of the Sirocco Fan in a Range Hood.

Sang-Tae Park*, Young-Seok Choi**, Moon-Soo Park**,
Cheol-Ho Kim** and Oh-Myoung Kwon***

*Key Words: Range Hood(레인지후드), Sirocco Fan(시로코 휀), Blockage(봉쇄), Computational Fluid Dynamics(전산유체역학).*

## ABSTRACT

This paper presents an experimental and numerical study on the overall performance and local flow characteristics of sirocco fan in a range hood. Measurement of overall performance for sirocco fans were conducted based on AMCA standard 210. The effects of flow blockages due to the motor inside the fan on the fan performance were investigated by experimentally and numerically and the results were compared with each other. The numerical and experimental results show the inlet flow blockage reduces the performance(ie. fan static pressure, design flow rate, maximum efficiency and free delivery flow rate) of fan. It is found that the blockage makes the flow field highly non-uniform through the blade and cause the efficiency decrement.

## 1. 서 론

음식물 조리시 발생되는 불 연소가스, 수증기, 냄새 등 주택에서 가장 많은 양의 오염 물질이 발생하는 곳이 주방이며, 이러한 주방에서 오염물질을 원활히 배출시키고 또한 주거공간으로의 확산을 방지하는 것을 주 목적으로 하는 것이 주방환기 시스템이다. 레인지 후드는 보조급기 시스템과 더불어 주방환기 시스템의 핵심 모듈이며 레인지후드의 성능은 일정량 이상의 배기능력을 갖고 고온의 열과 함께 빠른 속도로 상승되는 오염공기를 충분히 포집할 수 있는 형상을 가져야 한다. 레인지 후드의 구성부품 중에서 배기능력과 소음에 가장 큰 영향을 미치는 것이 바로 휀이며, 일반적으로 레인지 후드용 휀으로는 효율은 다소 떨어지지만 비교적 소형으로 많은 풍량을 낼 수 있고 운전소음이 적다는 장점 때문에 전곡날개(forward curved blades)형 시로코 휀이 많이 사용된다.

그동안 원심휀에 관한 연구는 많은 연구자에 의해 효율향상 및 소음저감 차원에서 연구가 이루어져 왔다. Raj and Swim[(1)]은 연기를 사용한 유동가시화로 휀 유입구 부근에서 유동이 흐르지 않는 영역이 있음을 밝혔고, 열선풍속계로 날개 출구에서의 유동의 변동성을 측정하였다. 맹주성[(2)]등은 공기 유입구인 휀의 내측면에서 5공 피토관을 사용하여 유동장을 측정

* 고려대학교 대학원, 한국생산기술연구원
** 한국생산기술연구원
*** 고려대학교 기계공학과
책임저자 E-mail : yschoi@kitech.re.kr

하였고 유동가시화로 유동특성을 확인하였으며 실험적으로 inactive zone에 대해서 연구하였으며, 유성연[3] 등은 자동차용 시로코 휀에서 스크롤 팽창 각도, 설부의 크기에 따른 휀의 노출비율, 휀과 유입구(bell-mouse)와의 간극이 성능에 미치는 영향을 확인하였고, 강신형[4]등은 임펠러 흡입구 세 가지 간극이 원심형 에어포일 송풍기의 전압성능과 효율에 미치는 영향을 실험적으로 연구하였다. 또한 하재홍[5] 등은 STAR-CD를 사용하여 시로코 휀의 3차원 비정상 및 준정상 유동해석을 수행하여 성능 예측과 블레이드 위치에 따른 익간유동의 변화를 관찰해 보았다.

본 연구에서는 레인지 후드용 시로코 휀의 입구영역에 존재하는 모터로 인한 입구영역 봉쇄(blockage)가 시로코 휀의 성능에 미치는 영향을 실험 및 수치해석을 통해 파악하고자 하며, 이는 차후 모터설계 및 휀 선정의 중요한 설계 데이터베이스 자료로 활용이 가능하리라 판단된다. 휀 성능시험을 위해서는 국제규격인 AMCA 210 기준으로 제작된 휀 테스터를 사용하였으며, 수치해석은 상용 유동해석 프로그램인 CFX 5.6을 사용하였다.

## 2. 시험 장치 및 방법

### 2.1 시험 장치

휀 성능시험을 위해 사용된 휀 테스터와 계측 장비 등을 Fig. 1에 나타내었다. 성능시험 장비는 국제 규격인 AMCA 210을 만족하게 제작되었고, 송풍기 성능시험장치는 크게 시험용 풍동, 유량제어용 보조송풍기와 컨트롤러, 댐퍼와 컨트롤러, 각종 센서류 및 유량제어 및 계측시스템으로 구성된다. 휀의 종류에 따라

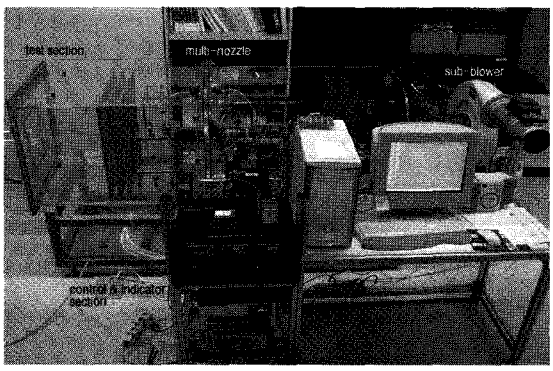


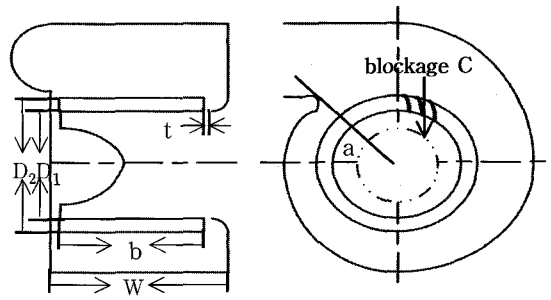

Fig. 1 Configuration of fan performance tester

배기(exhaust)와 공급(supply) 모드의 선택이 가능한 구조로 되어 있다. 또한 풍동내부의 유동을 균일하게 하기 위하여 풍동내부에 1개의 배플과 2개의 메쉬스크린으로 구성된 정류자가 2세트 설치되었다.

측정 가능한 최대 유량은 30 CMM이고 인버터 제어 방식에 의해 보조송풍기의 회전수가 제어된다. 유량의 정확한 측정을 위하여 대기압, 온도, 습도를 측정하여 사이크로메트릭차트를 이용하여 공기의 밀도를 정확하게 계산된다. 시험용 송풍기의 회전수를 측정하면서, 유량측정용 노즐 차압으로부터 유량을 측정하였으며, 노즐은 다중노즐로 제작하였다. 챔버의 압력을 측정하여 송풍기 정압상승을 측정하고, 전력계를 사용하여 휀의 입력동력을 측정하여 휀의 성능곡선을 구하였다.

### 2.2 시험 모델 및 방법

본 연구에 사용된 시험 모델은 양흡입 형태의 시로코 휀으로서 Fig. 2에 주요 형상을 나타내었다. 실제 시험모델의 경우 모터가 한쪽에만 장착되어 있어 한쪽 부분의 입구영역만이 유동봉쇄(blockage) 효과가 존재하게 되며 이를 모델명 DECO라고 명한다. DECO의 경우 입구 유동면적을 기준으로 모터에 의한 입구 봉쇄는 면적비로 약 15%에 해당한다. 모터의 입구 봉쇄 정도가 휀의 전체 성능에 미치는 영향을 알아보기




| | | |
|---|---|---|
| Fan width, b | (mm) | 68 |
| Out diameter, $D_2$ | (mm) | 150 |
| Inner diameter, $D_1$ | (mm) | 130 |
| Number of blade, Z | (ea) | 59 |
| Scroll width, W | (mm) | 82 |
| start angle of scroll, a | (deg) | 20 |
| Blockage diameter, C | (mm) | 50~90 |
| Tip clearance, t | (mm) | 4.67 |

Fig. 2 Geometric parameters of sirocco fan

위해 실제 모터형상과 유사한 실린더 형태의 입구봉쇄 형상을 제작하여, 입구봉쇄 면적 비를 변수로 case 0 (0%), case 1 (16%) 및 case 2 (36%)의 경우에 대하여 각 각 시험을 수행하였다. 여기서 0%라 함은 모터부분을 분리해 내어서 입구유동의 봉쇄가 전혀 없는 상태를 말한다.

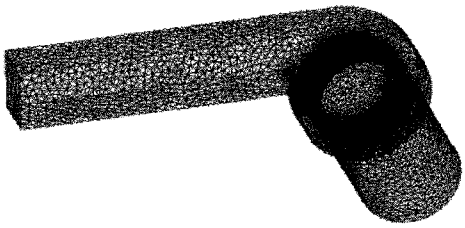
## 3. 수치해석 모델 및 방법

### 3.1 수치해석모델

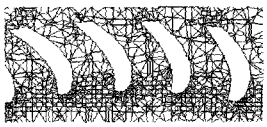
입구영역의 봉쇄가 휀의 유동장에 미치는 영향을 살펴보기 위해서 상용 유동해석 코드를 사용하여 입구봉쇄 면적비에 따른 유동 특성 및 성능변화를 살펴보았다. 해석에 사용된 입구봉쇄 면적 비는 case 3 (0%), case 4 (16%) 및 case 5 (25.6 %)로서 case 3과 4는 시험에서의 case 0과 1 같은 입구봉쇄 면적 비를 가지며, case 5 (25.6%)의 경우에 입구봉쇄 면적비 case 2 (36%)로 못한 이유는 봉쇄의 면적을 크게 할 경우 내부유동이 복잡해지고 이로 인한 수렴의 문제를 발생시켜 수렴 가능한 범위 내에서 적절한 입구봉쇄면적비로 설정하였다. 실제 해석은 대칭경계면 조건을 적용하여 편흡입의 경우로 해석을 수행하였다. 해석의 입구경계면은 날개 입구영역에 연결된 150 mm 연장 덕트의 입구영역으로 설정하였으며, 출구경계면은 휀 볼루트 출구면에서 400 mm 연장된 영역을 설정하였다. 실제 시험에서는 모터 특성상 유량에 따라 날개 회전수가 변하게 되나, 해석에서는 회전수 1700 rpm으로 고정하였으며, 유량 범위는 4, 6, 8 및 10 CMM으로 설정하여 해석을 수행하였다.

### 3.2 수치해석방법

압축비가 크지 않은 휀의 유동해석에 주로 사용되는 비압축성 난류유동의 해석을 위한 3차원 평균 Navier-Stokes 방정식을 사용하였고 상용프로그램 CFX-5.6을 사용하였다. 이산화기법은 2차 이상의 정확도를 가지는 high resolution scheme, 난류모델로는 유동박리 등의 현상을 비교적 정확히 예측할 수 있는 Shear Stress Transport(SST) k-$\omega$ 모델을 사용하였다. 경계조건으로 입구에서는 균일한 상태인 대기압을 주었고 출구에서는 질량 유량을 변화시켜 가면서 해석하였다. 수치해석에 사용된 계산 격자는 ICEM CFD4을 사용하였고 격자는 비 정렬격자로 이루어졌으며 격자수는 380,000 개부터 520,000 개까지 해석을 수행한 결과, 410,000 개 이상부터는 동일한 해석결과를 확인하였다. 따라서 격자수는 410,000개로 고정하여 해석을 수행하였으며, 대략 360,000개 정도가 휀 내부와 블레이드 주위에 분포되어있다. Fig. 3(b)에 블레이드 주위의 격자를 보여주고 있다. 격자계 형상을 Fig. 3(a)에 나타내었다.



(a)



(b)

Fig. 3 Computational grid system : (a) total grid system and (b) blades

## 4. 결과 및 고찰

### 4.1 헤드 및 효율 정의

시험과 유동 해석을 수행한 후 레인지 후드용 시로코 휀의 성능을 비교하기 위하여 사용된 무차원계수인 유량계수, 압력계수는 아래와 같이 정의 하였다.

$$\Phi = \frac{Q}{ND_2^3} \tag{1}$$

$$\Psi = \frac{P_s}{\rho N^2 D_2^2} \tag{2}$$

또한 효율은 아래와 같이 나타내었다.

$$\eta = QP_s \frac{K}{H} \tag{3}$$

여기서, Q는 휀의 체적유량, N은 휀의 회전속도, $D_2$

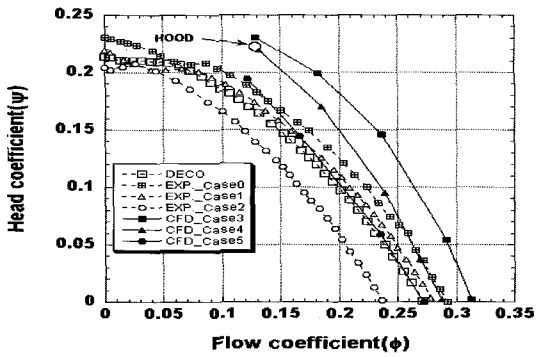



Fig. 4 Fan head coefficient variation with blockages

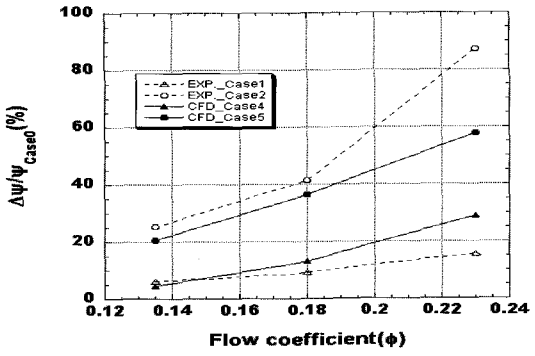



Fig. 5 Head coefficient decrement with blockages

는 임펠러 바깥지름, $P_3$는 정압, $K_p$는 압축성 계수 $D_2$는 임펠러 바깥지름, $P_3$는 정압, $K_p$는 압축성 계수를 나타내고 H는 휀의 입력 동력을 나타낸다.

### 4.2 성능특성

휀의 성능은 공기의 유량에 대한 휀의 회전 속도, 휀 출구에서의 정압 및 전압, 소요동력 등의 관계를 나타낸다. 휀의 중요한 성능중의 하나인 정압 상승량을 압력계수-유량계수 곡선으로 무차원화하여 Fig. 4에 나타내었다. 실제 휀의 경우는 볼루트 출구부가 사각단면 형태를 가지고 있어서 사각단면에서 일반적인 원형 배기덕트로 연결되는 요소가 있으나, 계산에서는 Fig. 3의 계산 격자계에서 볼 수 있듯이 볼루트 출구부의 사각형상 덕트를 그대로 확장하여 사용하였기 때문에 차이가 발생한다. 연결요소에 대한 정압변화경향은 연결요소만을 수치해석을 수행하여 손실계수를 구하였고 이를 사용하여 해석결과를 보정 후 시험결과와 비교하였다. 입구봉쇄가 없는 case 0과 3의 시험 및 해석 결과를 살펴보면, 정량적으로는 많은 차이를 보이고 있으나 정성적으로 비교 하였을 경우 매우 유사한 정압-유량 곡선 특성을 보이고 있음을 알 수 있다. 해석결과와 시험결과의 차이는 여러 가지 요인이 있을 수 있겠다. 우선 기본적으로 CFD가 가지고 있는 해석조건(난류 모델링, 격자수, 이산화기법 등)에 따라 해석 결과가 차이가 있을 수 있으며, 해석 형상으로 살펴보면, 수치해석에서는 후드 부분을 제외한 시로코 휀 만을 모델링 하여 필터 등의 여과기에서의 유량 손실이 고려되지 않았으며, 시로코 휀의 입구영역을 확장 덕트를 사용하여 가상적인 입구형상으로 모델링 하여 해석을 수행하였기 때문에 회전차 입구에서의 유동장이 실제와는 다르게 해석되어 날개에 유입되는 유동조건이 달라졌을 가능성이 크다. 후드에 장착된 휀의 형상을 고려하여 Fig. 3과 같은 입구경계조건과는 다른 경계조건으로 해석을 수행한 결과를 Fig. 4에 'Hood'라고 명기하여 나타내었다. 유량계수 0.125의 경우 약 8%의 정압 감소효과가 발생하여 무시할 만한 크기는 아님을 알 수 있으며, 시험결과와는 조금 더 가깝게 된다. 입구 봉쇄에 의한 정압감소경향은 시험 및 해석 결과가 일치하고 있으며 입구 봉쇄가 큰 경우 매우 큰 정압감소를 보이고 있다.

유량계수의 변화에 따른 정압감소 경향을 입구유동봉쇄정도에 따라 Fig. 5에 나타내었다. 고 유량점으로 갈수록 차이가 커지기는 하나 시험결과와 해석 결과가 비교적 잘 일치하고 있으며(case1과 4), 각 각의 시험 및 해석 결과로부터 유량 및 입구 봉쇄 면적비에 따른 정압감소 데이터베이스를 확보할 수 있다. 시험결과에서 볼 수 있듯이 case 2(36%)의 경우 최대효율점인 유량계수 0.15에서 30%정도 정압감소가 나타나고 있으며, 유량계수 0.23에서는 최대 90%정도 정압감소가 나타나고 있다.

봉쇄의 크기에 의한 효율변화를 Fig. 6에 나타내었다 입구봉쇄면적이 커질수록 최고 효율점의 유량계수는 감소하는 경향을 보이고 있고 최고 효율 자체도 감소하고 있다. 휀의 중요한 성능중의 하나인 자유송출유량(free delivery flowrate)점과 최고 효율점 유량 및 최고효율자체에 대한 변화경향을 정량적으로 분석하여 Fig. 7에 나타내었다. 입구봉쇄가 약 15%인 경우 최고 효율감소정도는 5% 정도가 되고 시험최대 봉쇄면적인 case 2(36%)의 경우 약 26%의 효율감소를 나타내고 있다. 최대 유량점(free delivery)의 경우도 유량계수 0.29에서 0.24로 감소하여 이를 유

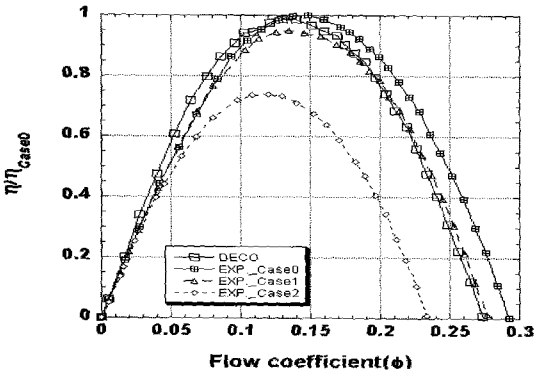



Fig. 6 Fan efficiency variation with blockages

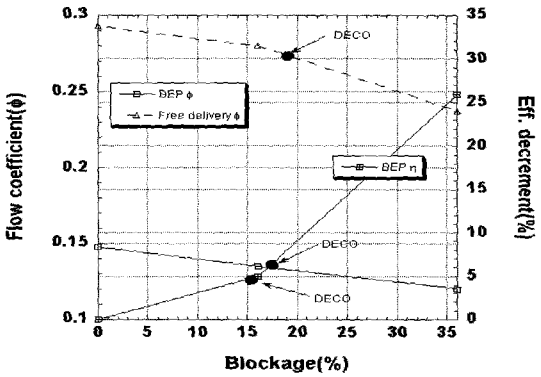



Fig. 7 Flow coefficient and efficiency decrement with blockages.

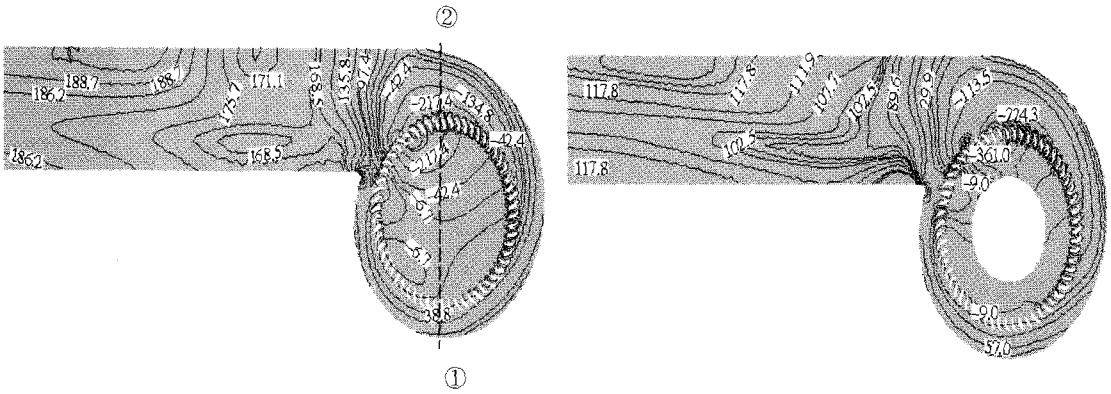
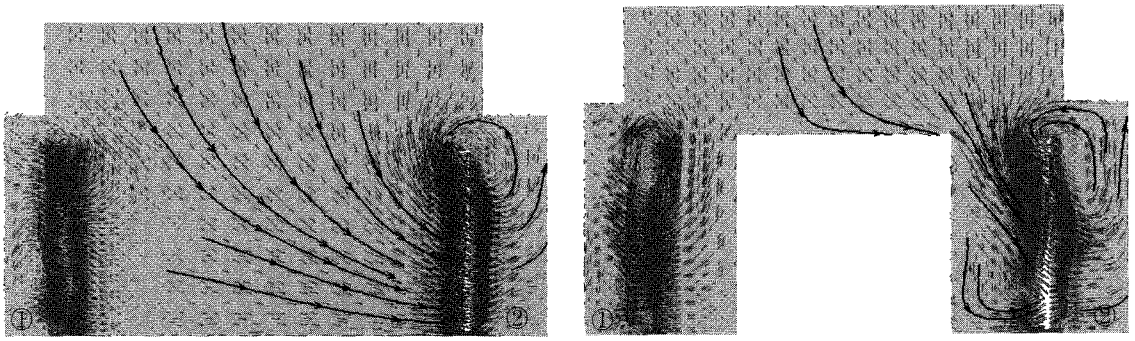



Fig. 8 Static pressure contours at symmetric plane : (a) case 3 and (b) case 5

량으로 보면 약 1.9 CMM 정도로 매우 큰 양이라 할 수 있다. 실제 모터가 장착된 DECO 모델의 경우를 살펴보면 그림에 나타나 있듯이 입구면적봉쇄비로 약 17%정도에 해당하며, 이는 양쪽의 입구 유동면적 대비 차단 면적으로 환산한 15%보다는 큰 값을 나타낸다. 이것은 한 방향만 차단하는 입구 봉쇄의 영향이 같은 봉쇄량 으로서 양 방향으로 분배하여 차단하는 것보다 성능 변화에 더 큰 영향을 줌을 보이고 있다.

### 4.3 내부 유동 특성

입구봉쇄가 시로코 휀의 성능을 감소시키는 원인을 수치해석을 통한 시로코 휀 내부의 압력장과 속도벡터를 통해서 분석하고자 한다. 유량계수가 0.22일 때 시로코 휀의 중간 단면 즉 대칭면에서 case 3과 5의 압력장을 Fig. 8에 나타내었다. 입구봉쇄면적비가 큰 case 5가 더 심하기는 하나, 입구봉쇄가 존재하지 않는 case 3의 경우에도 볼루트 설부(cut-off)의 오른쪽 부근에서 강한 와류로 인한 저압영역이 존재하고 있으며, 이러한 저압영역으로 인해 휀 입구에서 균일한 유동이 아닌 그림의 ①에서 ②방향으로의 유동이 존재하게 되고, 이는 그림으로 나타내지는 않았지만 유동가시화를 통해서도 확인할 수 있었다. 회전방향으로의 유동의 비균일성은 회전방향에 따라 회전차로 유입되는 속도삼각형이 달라질 수 있다는 것이며 이는 회전차의 입구날개각에서의 충돌손실을 발생할 수 있으며 결과적으로 매우 불안정한 유동장을 형성하고 효율감소로 이어지게 된다. 시로코휀의 경우 날개를 통과하는 유동이 자오면에서 살펴보았을 때 축방향으로 균일한 유동이 되면 좋겠으나 실제로는 입구유동 조건에 의하여 축방향으로 분포를 가지게




(a) (b)

Fig. 9 Velocity vectors at the meridional plane (section ①-② in Fig. 8) : (a) case 3 and (b) case 5

된다. 입구 봉쇄는 Fig. 9와 같이 이러한 자오면 속도분포에 큰 영향을 주게 된다. Fig. 9는 유량 유량계수 0.22(8 CMM)에서 Fig. 8에 표시된 단면 ① ②에서의 자오면 속도 벡터를 비교하여 나타내고 있다. 앞서 언급한 입구영역의 비 균일한 유동분포(① 에서 ②방향으로)를 확인할 수 있다. 날개를 통과하는 유동분포도①,② 영역 모두 축방향으로 비 균일한 유동형태를 보이고 있다. 입구봉쇄의 영향은 날개로 유입되는 유동장을 매우 심각하게 교란시키고 있으며 회전방향으로의 변화는 물론 날개 축방향 으로도 자오면 속도성분의 변화가 매우 큼을 볼 수 있다. 이러한 유동특성은 휀의 성능저하의 원인이며, 회전방향의 비 균일성을 줄이는 날개 및 볼루트 설계와, 축방향으로의 유동변화도 최소화 할 수 있는 허브 형상 설계가 필요함을 간접적으로 확인할 수 있다.

## 5. 결 론

입구영역의 봉쇄(blockage)가 레인지 후드용 시로코 휀의 성능에 미치는 영향을 시험과 수치해석을 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 수치해석 결과가 시험과 정성적으로 유사한 압력-유량곡선을 나타내고 있으나 정량적으로는 차이를 보이고 있다.

(2) 레인지 후드용 시로코 휀에서 모터에 의한 입구영역의 봉쇄(blockage)가 증가함에 따라 최고 효율점에서 유량계수가 015에서 0.12로 감소, 최고효율은 최대 26%감소, 최대 유량점의 감소 등 전반적인 휀 성능감소의 원인이 됨을 시험 및 해석을 통해 확인할 수 있었으며, 정량적인 감소량에 대한 데이터베이스를 확보할 수 있었다.

(3) 해석을 통해 내부 유동을 분석한 결과, 입구 봉쇄의 영향으로 날개로 유입되는 유동이 날개폭을 따라 매우 불균일하게 유입되고 이는 효율감소의 원인이 된다.

## 후 기

본 연구는 산업자원부가 지원하는 부품 · 소재 종합기술지원사업(주방환기 시스템 및 요소부품 개발 기술지원, 참여기업:(주)하츠)의 일환으로 수행 되었다.

## 참고문헌

(1) Rai, D. and Swim, W.B., 1981, Measurements of the Mean Flow Velocity and Velocity Flutuations at the Exit of an FC Centrifugal Fan Rotor, Transaction of the ASME, VOL. 103, pp. 393~399

(2) 맹주성, 유달현, 이광호, 박인규, 2000, "다익휀/스크롤 시스템의 형상변수와 내부 유동장 특성과의 관계", 대한기계학회논문집 B권, 제24권 제9호, pp. 1139~1147

(3) 유성연, 이대웅, 2002, "자동차용 시로코 휀의 성능 및 유동특성에 관한 실험적 연구", 설비공

학논문집 제14권 제11호, pp. 954~963
(4) 강신형, 김영재, 남일우, 윤인규, 남형백, "임펠러 흡입구 간극이 원심형 에어포일 송풍기의 성능에 미치는 영향", 공기조화 냉동공학회 98동계학술발표회 논문집, pp. 129~134
(5) 하재홍, 문영준, 1996, "시로코 휀의 3차원 유동 특성 및 성능에 대한 전산해석", 공기조화 냉동공학회 '99하계학술발표회 논문집, pp. 384~389