

## CFD해석과 데이터베이스를 이용한 저소음팬 개발

전완호\* · 김욱

### 1. 서 론

팬은 전자제품의 냉각과 관련되어 광범위하게 사용되는 유체기계로 냉장고, 에어컨, 공기청정기, 프린터, 자동차 공조제품 등 대부분의 제조회사에서 직·간접적으로 관련되어 있다. 팬은 전자제품의 냉각에 가장 많이 사용되는 축류팬과 백색가전 등의 냉기 이송과 자동차의 공조 등 냉기 관련되어 많이 사용되는 터보팬, 시로코팬으로 크게 나눌 수 있다. 팬과 관련된 연구는 실험에 의한 연구에서 CFD(Computational Fluid Dynamics)를 이용한 수치기법에 의한 방법으로 발전되었다<sup>(1)</sup>. 수치기법에 의한 저소음 팬 설계는 해석 기법의 적용이 많은 know-how가 필요한 작업이고, 해석 시간에 소요되는 시간 등의 문제로 많이 적용되지 않았으나 최근 자동해석 process를 이용한 최적 설계 연구<sup>(2)</sup>와 해석 결과를 이용한 데이터베이스에 의한 연구를 설명하고자 한다.

### 2. 시로코팬의 성능 예측 및 설계

#### 2.1 시로코팬의 사용

시로코팬은 자동차의 공조시스템과 공기청정기, 에어컨 등에 많이 사용되는 일반적인 유체기계이다. 시로코팬의 경우, 필터 등의 높은 압력을 극복해야 하는 문제 때문에 고압력 환경에서 주로 작동하며, 날개회전주파수에 해당하는 소음과 광역소음이 주된 문제가 되고 있다. 대부분의 회사에서 시로코팬에 대한 연구는 설계, Mock-up 제작, 측정의 방식으로 진행되며 최근 수치해석을 이용한 연구 방법이 도입되고 있다.

#### 2.2 CFD해석을 통한 시로코팬의 성능 예측

시로코팬은 고정압이 요구되는 자동차와 가정의 공조기기에 많이 사용되고 있다. 시로코팬의 구성은 다음의 Fig 1과 같이 회전하는 임펠러와 정지해 있는 스크롤로 크게 분류된다. 임펠러는 길이가 짧고 긴 수직의 것들로 구성되어 있는데 보통 45개 전후의 깃으로 구성되어 있다. 고정압의 시로코팬에서 스크롤은 상당히 중요한 역할을 한다. 그것은 임펠러가 만들어 낸 고속의 유동을 손실 없이 정압을 회복시키는 역할로서 스크롤이 임펠러를 감싸고 나가는 형태의 곡률은 고도의 설계기술을 필요로 하며 사용되는 곳의 특성과 임펠러 깃의 형태와 팬의 회전수 등을 고려하여 정밀하게 설계되어야만 제대로 된 성능을 낼 수 있다.

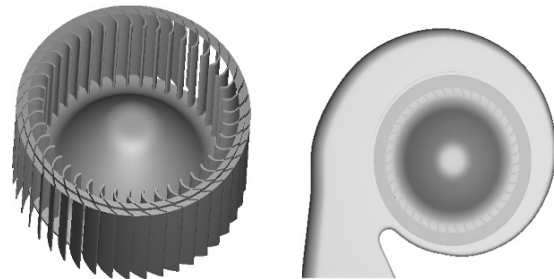


Fig. 1 Impeller and casing of the sirocco fan

이러한 고정압 조건에서 사용되는 시로코팬을 전산유동해석 기법(CFD)를 이용하여 해석하기 위해서는 고도의 기술이 필요하다. 전산유동해석기법은 연속체역학을 기반으로 하고 있기 때문에 반드시 공간을 연속된 격자로 구성하여야 한다. 전산유동해석의 정확도는 물리적 모델뿐만 아니라 이러한 격자의 고른 분포와 형상에 의해 영향을 받는다. 그러나 해석의 정확도를 향상시키기 위해서 너무 많은 계산 격자를 이용하는 경우 해석 시간이 격자의 개수에 비례하여 증가하기 때문에 효율적인 적절한 개수의 계산 격자를 만들어야 한다. 따라서, Fig 2와 같이 시로코팬에서 가장 복잡한 유동이 발생하는 깃의 앞전

\* 씨덕주식회사 기술연구소  
E-mail : whjeon@cedic.biz

과 뒷전에 밀집된 격자를 만들어야 하며 그 다음으로 중요한 부분은 깃과 깃 사이의 공간에도 균일하고 고른 분포의 격자를 만들어야 한다.

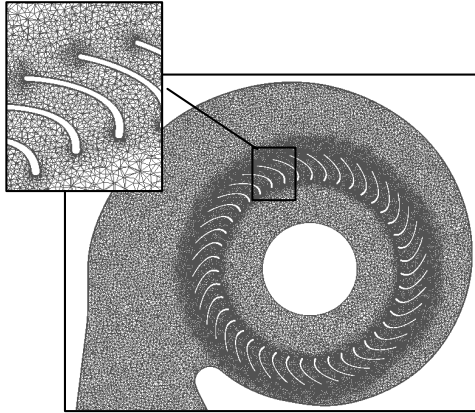
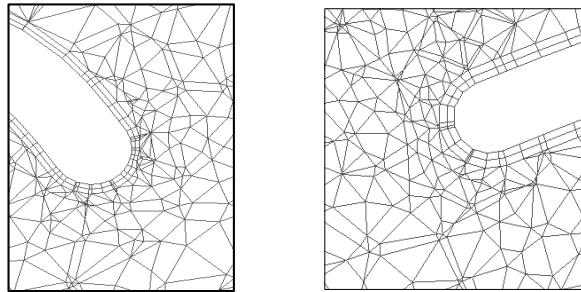


Fig. 2 Mesh configuration of the middle section

Fig 3은 깃의 앞전과 뒷전의 격자를 확대한 것으로 최소 0.1 mm 정도의 격자를 만들어서 정확도를 향상시켰다. 전체 계산에 사용된 격자의 개수는 1600만개이다.



(a) Leading edge region (b) Trailing edge region  
Fig. 3 Mesh configuration of leading edge and trailing edge

3차원 비정상 CFD 해석을 위해서는 상용프로그램인 SC/Tetra를 이용하였으며, SC/Tetra 는 앞의 그림들과 같은 비정렬 tetra, hexa, prism과 pyramid 격자를 해석할 수 있다. 시로코팬의 정확한 해석 결과를 얻기 위해서 슬라이딩 격자 방법을 이용하였으며 난류 모델로서는 RNG k-ε 모델을 사용하였으며 비정상 해석의 시간 차분은 1차 정도 외연 방법, 압력항 보정을 위해서는 SIMPLEC 방법과 대류항을 위해서는 2차 정도의 MUSCL 방법을 사용하였다. 경계조건으로는 임펠러의 회전은 회전속도를 주었으며, 입구조건으로는 유량 조건을 출구에는 대기압을 설정하였다. 이러한 CFD 방법을 적용하여 시로코팬을 해석한 결과 다음과 같은 유량-정압 데이터를

얻을 수 있다. 이 경우에는 해석과 실험과의 오차가 5% 이내로 상당히 정확한 값을 알 수 있으며, 이로서 실험을 하지 않고 CFD 해석만으로 고성능의 팬을 설계할 수 있는 가능성이 확인되었다.

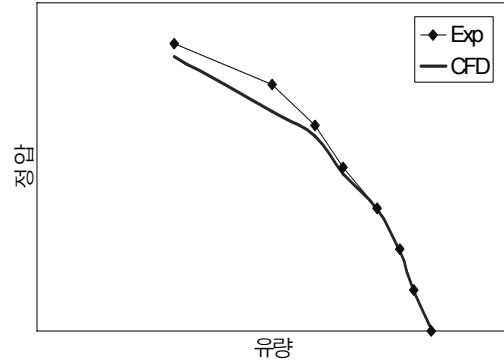


Fig. 4 Comparison of the calculated performance to the measured one

### 2.3 시로코팬의 소음 예측 및 데이터베이스 구축

설계자들이 빠르게 저소음팬을 개발하기 위해서, 팬의 형상 변화에 따른 소음과 성능 변화 정보를 이용해 데이터베이스를 구축하는 연구도 진행되고 있다. 시로코팬의 임펠러에 관한 인자는 외경, 임펠러 높이, 입구와 출구 직경비, 깃의 입구각과 출구각, 최대 캠버위치, 최대 캠버비, 날개 개수 등이 있고 케이싱 관련 인자는 cut-off 거리와 반경, 위치, 기울임, 케이싱 확장각 등이 있다. 각 인자에 대해서 수치 해석을 수행하여, 각 인자 변화에 대한 성능 및 소음 변화와 유동장 특성을 데이터베이스화하여 설계자가 쉽게 각 인자 변화에 따른 결과를 확인하는 시스템을 구축하는 연구도 진행되었다.

Fig 5는 입구각과 출구각 변화에 따른 성능과 소음 변화를 나타내는 그래프이다.

출구각의 변화에 따른 유동 변화를 살펴보면 Fig 6과 같다. 그림에서 출구각이 커질수록 깃의 박리 영역이 넓어지면서 성능이 약간 감소하면서 소음이 증가하는 경향을 나타냄을 확인할 수 있다.

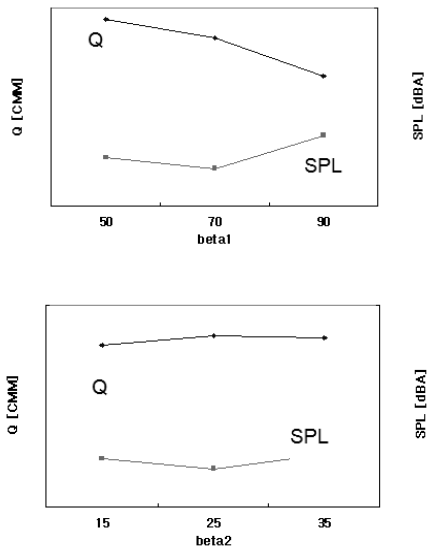
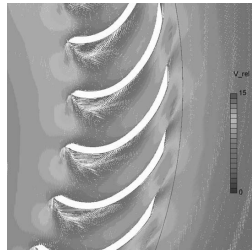
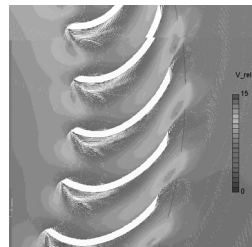


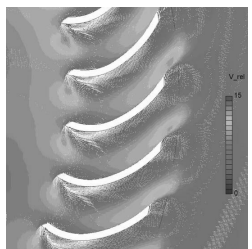
Fig.5 Change of the performance and noise by changing the design parameters



(a) small angle of blade inlet



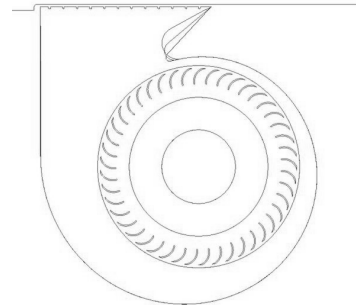
(b) middle angle of blade inlet



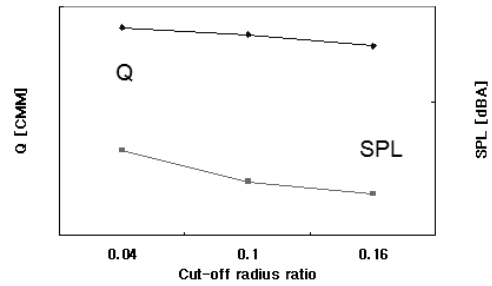
(c) large angle of blade inlet

Fig. 6 Velocity vector plot for various blade inlet angle

케이싱의 cut-off 반경크기 변화에 따른 성능과 소음변화가 Fig 7에 있다. 그림에서 동일한 cut-off 위치와 간격에 대해서 cut-off 곡률만 변경하였을 경우의 형상 변화를 확인할 수 있고, 그 경우의 성능과 소음 변화를 확인할 수 있다. Cut-off 곡률 변화가 출구의 면적을 변경하지 않도록 조절하였다. 반경이 증가할수록 성능이 감소하며 성능감소보다 더 큰 비율로 소음 역시 감소하고 있음을 확인할 수 있다.



(a) Geometry of various cut-off radius



(b) Performance and noise curve by changing cut-off radius

Fig. 7 Change of the performance and noise by changing cut-off radius ratio

### 3. 축류팬의 저소음화에 관한 연구

#### 3.1 축류팬 성능, 소음 예측에 관한 연구

축류팬 저소음화 연구에 필수적인 검증을 위해서는 팬 자체의 성능과 소음에 대한 수치해석 결과와 측정 결과의 비교 분석이 수행되어야 한다. 최근 직경 150mm 정도의 냉장고 기계실에 사용되는 축류팬에 대한 연구와 직경 460mm 정도의 자동차의 냉각팬에 사용되는 축류팬의 수치적 검증이 진행되었다. Fig 8은 자동차용 축류팬의 성능 검증을 위한 팬 테스터 모델로 팬과 쉬라우드, 그리고 열교환기 등이 모델화되어 있

다. 이 모델에 대해서 2100만개의 격자가 사용되었으며 해석된 성능곡선의 결과를 측정에 의한 결과와 비교한 것이 Fig 9이다. 그림에서 설계유량, 고유량 영역뿐만 아니라 저유량 영역까지 전 작동점에서 해석 결과가 실험의 결과와 잘 일치하는 것을 확인할 수 있다.

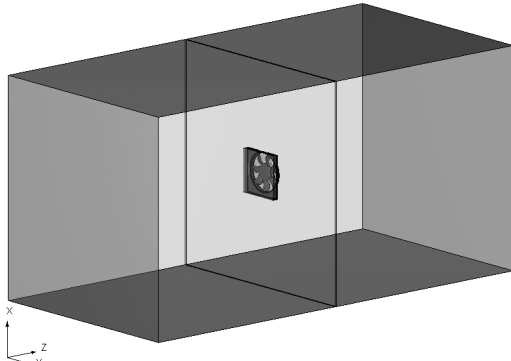


Fig. 8 Numerical model for the performance test

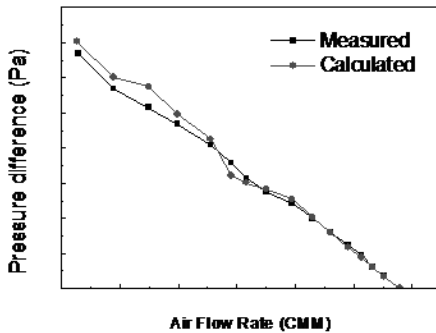


Fig. 9 Comparison between the predicted results with measured one

### 3.2 수치해석을 통한 데이터베이스 작성

수치해석을 이용하여 각 변수 변화에 따른 성능 및 소음 변화를 데이터마이닝을 통해서 데이터베이스로 구축하고 그 결과를 설계할 때 쉽게 사용하면서 빠른 저소음화 설계를 수행하는 시스템 개발도 진행중이다.

이를 위해서는 각 설계변수 변화에 따른 성능과 소음의 변화를 수치기법을 통해서 해석하여 그 결과를 분석한 후, 각 결과에 따른 기여도를 분석하여 그것을 데이터베이스로 구성하여 설계단계에서 쉽게 사용할 수 있도록 구성한다.

고성능 팬을 위해서 Fig 10과 같이 최대캠버위치, 스택거각(stagger angle), 스큐각(skew angle) 등의 변수를 변경하

여 형상을 구성한 후 정압성능에 대해서 기여도 분석을 수행한 결과이다. 그림에서 스큐각이 정압에 가장 큰 영향을 주는 인자임을 확인할 수 있다.

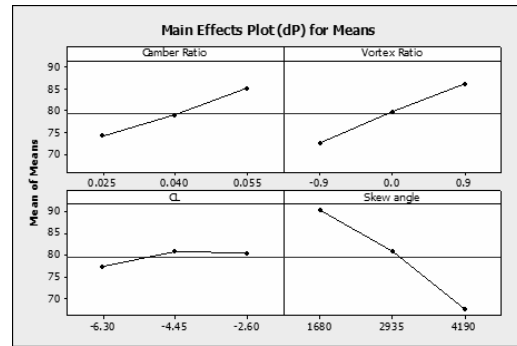


Fig. 10 Geometry effect for performance (pressure)

저소음 팬 개발을 위한 연구로는 냉장고 기계실 등에 사용되는 소형 축류팬의 성능 및 소음 특성을 파악한 후, 형상 변화에 따른 소음 변화를 파악하여 최적화 작업을 수행하고 그 결과로 약 2.5 dBA의 소음 저감을 달성한 경우도 있다. Fig 11은 소음에 대해서 해석과 측정 결과를 비교한 것으로 주파수 영역에서 해석 결과가 측정결과와 잘 일치함을 확인할 수 있다. 특히 BPF(Blade Passing Frequency)와 그 조화주파수의 경우는 수피해석에 의한 예측이 실험결과와 거의 비슷한 값을 확인할 수 있다.

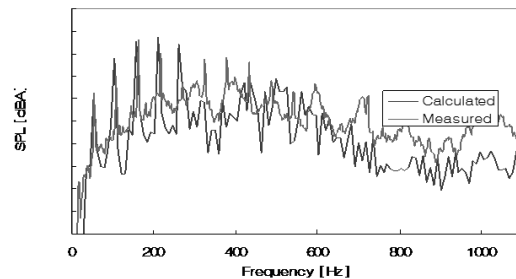


Fig. 11 Comparison of the measured noise spectrum to the calculated one

Fig 12는 소음에 영향을 주는 주요 인자인 피치각(pitch angle), 캠버위치, solidity, 스위프각(sweep angle) 등을 변화하였을 때 소음에 미치는 영향을 Minitap을 이용한 Taguchi 분석을 수행한 결과이다. 결과에서 피치각이 소음에 가장 큰 영향을 주는 인자임을 확인할 수 있다.

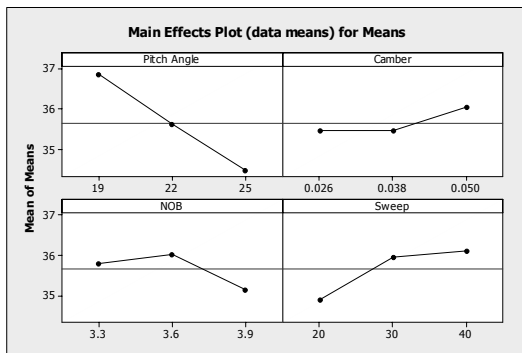


Fig. 12 Results of Taguchi analysis for noise

### 3.3 설계자를 위한 자동 해석 시스템 개발

축류팬 저소음화와 같은 연구는 팬과 소음에 관한 지식이 풍부한 전문가가 먼저 팬의 형상을 모델링하고, 해석을 수행하며 목표에 도달하지 못하였을 경우는 다른 형상을 만들어서 해석을 또 다시 수행하는 연구과정의 반복이었다. 또한 CFD를 이용한 해석 평가는 해석 모델뿐만 아니라 유체에도 격자를 생성하여, 준비과정 및 해석 시간이 필요하고, 연구자가 충분한 전문가가 아니라면 해석 지식을 습득하는데 시간이 소요되는 문제가 존재한다.

최근 CFD를 이용한 팬 개발이 선도적으로 시도되면서 정확한 성능 예측 기법개발과 더불어 개발 기간 단축을 위해 전문가의 경험과 지식을 기반으로 한 수치해석 자동화기법을 구축하고, 이를 시스템으로 구현하는 연구들이 진행되었다. 이는 고비용, 저효율에 대한 제품 개발 과정을 개선할 수 있고, 제품 개발의 질적 상상을 위한 여력이 부족한 중소기업 등이 쉽게 사용할 수 있는 시스템이다.

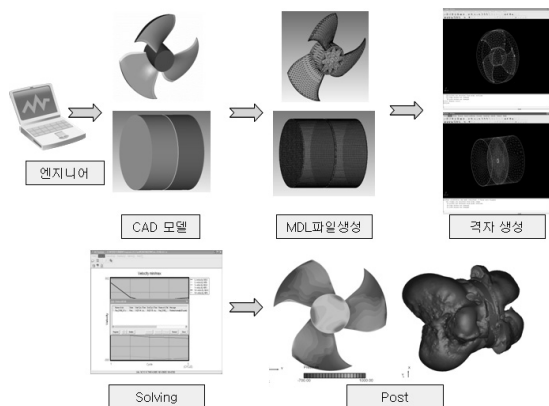


Fig. 13 Flow chart for the automatic process of CFD

Fig 13은 자동해석 process를 간단히 보여주는 개략도로 엔지니어가 CAD를 만들면 그 이후의 모델작성, 격자생성, 해석 조건 세팅, 해석 수행 및 포스트 작업이 모두 자동으로 진행됨을 확인할 수 있다. 해석된 결과로 발생하는 보고서의 일부분을 Fig 14에서 확인할 수 있다. 그림에서 각 단면의 유속분포와 깃 표면의 압력분포 등을 확인할 수 있다.

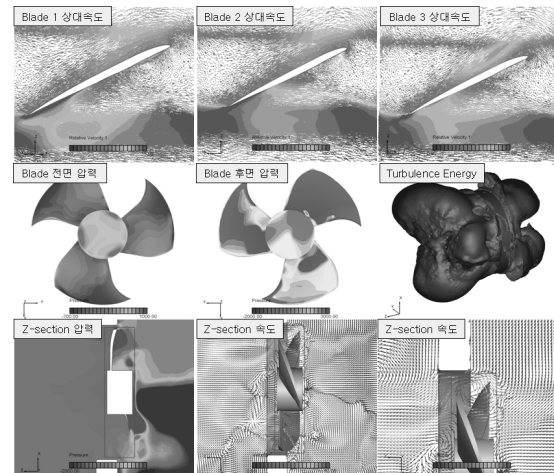


Fig. 14 Sample of report of the automatic fan-tester system

### 4. 결 언

본 연구에서는 유체기계중에서 가장 많이 사용되는 축류팬과 시로코팬에 대한 수치기법에 대한 최근 연구 방향 및 내용을 정리하여 소개하였다. 팬의 최근 연구방향은 대부분 고성능, 저소음 팬 개발이며 수치기법은 새로운 팬 개발을 위한 하나의 도구로 사용되어지고 있다. 이런 최근의 연구 동향과 더불어서 설계자가 쉽게 사용할 수 있는 연구 기법으로 해석 자동화 기법들이 개발되어 많은 관련 연구자와 회사에서 사용되고 있다. 이런 해석 자동화 기법은 수치기법의 지식이 없는 일반 설계자도 누구나 쉽게 사용할 수 있도록 간단하게 구성되며, 해석의 정확도를 유지하기 위한 최소한의 격자 구성과 경계조건 세팅 등을 모두 포함하고 있다.

### 참고문헌

- (1) Wan-Ho Jeon, Wool Kim, Dae-Sig Shin and Hyunjoon Kim, "Study on the noise of an axial condenser fan for a refrigerator by using numerical analysis," The 9<sup>th</sup> Western Pacific Acoustics Conference, Seoul, Korea June 26-28, 2006

- (2) Wan-Ho Jeon and Jang-hyung Cho, "Numerical Analysis of Unsteady Flow Field and Flow Noise of a Fan System," The 33<sup>rd</sup> International Congress on Noise Control Engineering, Czech Republic, 2004
- (3) Jihae Yang, Han-Kee Jang, Jeong-Woo Lim and Suwon

Jang, "Introduction of Aeroacoustic Analysis for an Axial Fan in Excavator Cooling System," 37th International Congress and Exhibition on Noise Control Engineering, 26-29 October, 2008, Shanghai, China