

## 공기조화기 축류팬의 공력소음 특성 연구

이수영\* · 한재오\*\* · 김태현\*\* · 이재권\*\* · 전완호\*\*\*

### The Study on the Aeroacoustic Characteristics of an Axial Fan for an Air-Conditioner

Soo-Young Lee \*, Jae-Oh Han \*\*, Tae-Hun Kim \*\*, Jai-Kwon Lee \*\* and Wan-Ho Jeon, \*\*\*

**Keywords :** Air-conditioner(공기조화기), Aeroacoustic Noise(공력소음), Axial Fan(축류팬), Broadband noise(광대역소음)

#### Abstract

This paper proposes a new computational aeroacoustics method for an axial fan analysis. The major aeroacoustic noise source of an outdoor air-conditioner is the axial fan. It was revealed that the dominant noise source is the aerodynamic interactions between the rotating blade and stationary orifice. Many researches were focused on the fan only case. However, it does not fit to a real outdoor unit of air-conditioner. Especially, the inlet part of the axial fan of real system case is complex and not uniform. So, in order to identify the dominant noise source of axial fan, full outdoor unit analysis is important. Transient CFD analysis of full system was performed by commercial CFD code - SC/Tetra. Dominant noise source of the system was calculated by commercial CFN code - FlowNoise. The results show that not only BPF peaks but also broadband noise are similar to the measured data.

#### 1. 서론

가전제품은 특성상 일상 생활 공간 속에 밀접하게 놓여 있고, 또한 쾌적한 환경에 대한 욕구가 맞물려 제품 정음화가 강하게 요구 되고 있다. 이들 기기 중 공조기 실외기는 고성능, 고용량, 높은 RPM의 운전 조건을 가지면서 소음 문제가 크게 대두되고 있다. 이러한 제품 소음은 고객이 느끼는 품질의 척도뿐만 아니라 기업에서는 제품의 관리 규격으로도 매우 중요하다. 특히 공조기 실외기는 압축기의 진동 및 동관내 유동 소음 뿐 아니라 자기음, 냉매음 등 이상소음이 어우러져 전체 소음원을 이루고 있다. 그 중 하나인 냉각 팬의 유동소음은 전체 소음에 차지하는 비율은 무척 크다고 할 수 있다. 축류팬의 경우, 유량, 정압 변화에 따른 날개각 변화 및 날개수, 틱 직경, 회전속도, 날개두께 변화에 따른 다양한 유동소음 특성을 나타내고 있으며, 이러한 유동현상 및 소음원 예측을 위해 체계적인 연구가 필요하다.

본 논문에서는 기존의 공조 실외기의 팬에 의한 유동 소음을 낮추는 신제품 개발에 중점을 두어 소개하고 있으며, 유동소음해석을 통해 제품의 저소음화를 실현하는 개발 Process 확립에 목적을 두었다. 기존의 팬 단품에 대한 소음해석은 어느 정도 개선 효과는 있으나, 제품에 탑재 되었을 시에는 소음원의 위치와 크기가 상이함을 알 수 있다. 또한 기존의 해석 기법은 소프트웨어 및 하드웨어적으로 제품 전체를 해석하기엔 무리가 있었으나, 현재는 해석자가 소음원과 소음크기를 알고자 하는 제품 표면을 지정하고 시간에 따른 소음해석을 통해 제품 전체에 대한 예측이 가능해 졌다. 본 논문에 사용된 소

음해석 코드는 상용 소프트웨어인 Flow noise, 유동해석은 범용 CFD(Computational Fluid Dynamics)코드인 Scryu/Tetra로 수행하였다.

본 연구에서는 팬 단품과 제품 전체 유동해석을 통해 소음원의 위치를 예측하여 저 소음 공조 실외기 개발을 위한 Process 기틀을 마련하고자 했다.

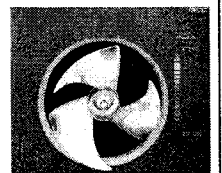
#### 2. 유동소음 해석 방법

##### 2.1 유동소음 Process

Fig.1은 저소음 팬 개발을 위한 flow chart 이고, Fig.2는 축류 팬 및 저소음 공조기 실외기 개발 Process이다. 그림에서와 같이 경쟁사 벤치마킹을 통해 목표 풍량 및 소음레벨을 정하고, 설계인자를 추출하여 반복적인 수치해석을 수행하였다. 수치해석 결과를 토대로 팬 현상을 mock up으로 구현, 시험을 진행 하였다. Process를 거쳐 개발된 팬을 제품에 탑재하고 유동소음해석을 수행하여 제품system 과 팬의 위치를 결정하였다.

#### CFD(SC/Tetra)

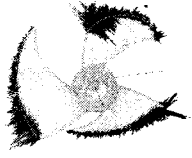
- Full 3D, rotating impeller, high rpm
- Should include the system (grille or duct)



\* 삼성전자(주) 생활가전총괄, [sy71.lee@samsung.com](mailto:sy71.lee@samsung.com)  
\*\* 삼성전자(주) 생활가전총괄, [jo.han@samsung.com](mailto:jo.han@samsung.com) 외  
\*\*\* 씨디(주) 유동소음연구소, [whjeon@ecim.co.kr](mailto:whjeon@ecim.co.kr)

**AeroAcoustics(FlowNoise)**

- FWH Equation
- Give noise reduction idea for flow noise problem



**Low Noise**

- 소음 발생 부위 확인 가능
- 수치 Parameter study로 저소음 인자 확인

Fig.1 Flow chart of Axial Fan development

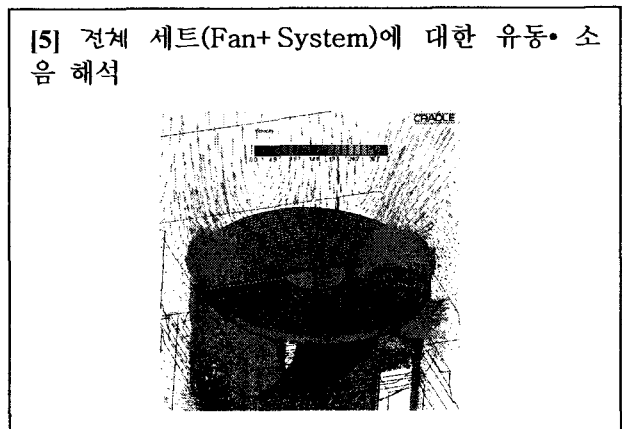
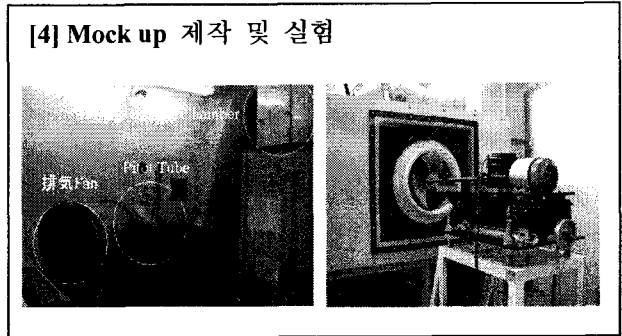
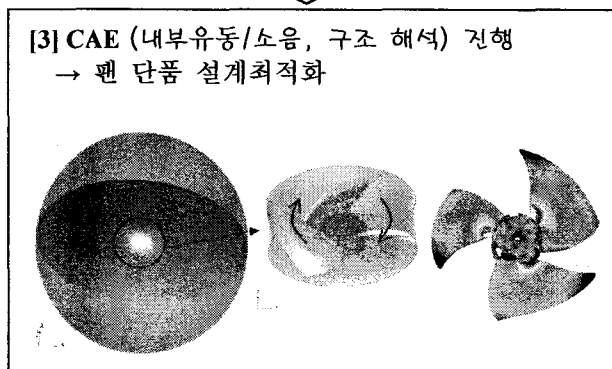
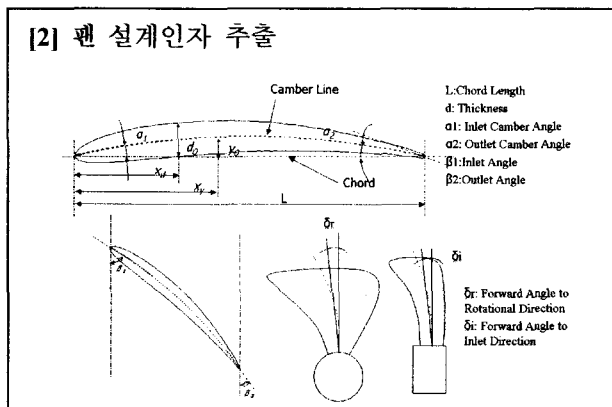
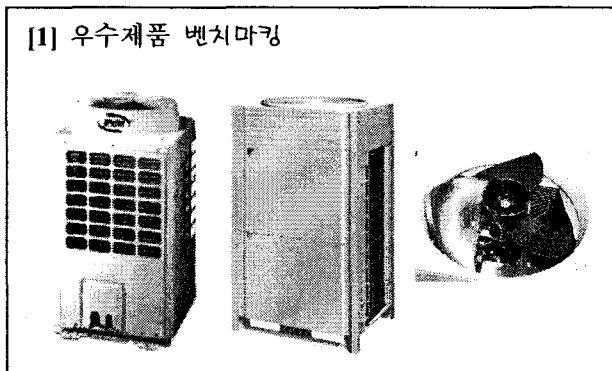


Fig.2 Product development Process

2.2 지배 방정식

본 논문에서는 정확도가 검증된 범용 CFD(Computational Fluid Dynamics) 소프트웨어인 Scryu/Tetra를 사용하였고, 유동 소음은 Flow-noise로 해석을 수행 하였다. 유한체적법을 이용한 연속방정식(1), 운동량방정식(2) 및 MP k-e(3.1,3.2) 난류 방정식은 아래와 같다.

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \tag{1}$$

$$\frac{\partial \rho u_i}{\partial t} + \frac{\partial u_j \rho u_i}{\partial x_j} = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \mu \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right] \tag{2}$$

$$\frac{\partial \rho k}{\partial t} + \frac{\partial u_j \rho k}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_s + G_T - \rho \epsilon \tag{3.1}$$

$$\frac{\partial \rho \epsilon}{\partial t} + \frac{\partial u_j \rho \epsilon}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] + C_1 \frac{\epsilon}{k} (G_s + G_T) (1 + C_3 R_f) - C_2 \frac{\rho \epsilon^2}{k} \tag{3.2}$$

공조기와 같은 팬 소음은 2극자(dipole) 소음원이 지배 인자로 많은 연구자들이 결론을 내렸고, 유동소음 해석의 지배방정식은 Ffowcs Williams - Hawkins의 방정식으로 다음과 같다.

$$p'_d = \frac{1}{4\pi c_o} \int_s \left[ \frac{r_i}{r^2(1-M_r)^2} \times \left( \frac{\partial}{\partial \tau} \{n_i \cdot p(y_i, \tau)\} + \frac{n_i \cdot p(y_i, \tau)}{1-M_r} \frac{\partial M_r}{\partial \tau} \right) \right] dS \quad (4)$$

### 2.3 유동소음 해석 경계조건

본 연구에서는 전체 세트에서의 소음 예측을 위해 3차원 transient 유동해석을 진행 하였다. 유동해석 코드가 소음해석으로의 변환의 수단이 될 경우 지배방정식의 수치해석을 위한 격자계의 효과적인 생성과 transient time의 경험적인 수치가 필요하다.

축류팬의 특성상 초기 회전부터 약 6~7 바퀴 이후 압력이 안정되고, 소음해석에서 추출 할 수 있는 데이터로 인정 되므로, 아래 Fig.3 및 table.1와 같은 경계조건과 해석 방법이 타당하다 할 수 있다.

격자수	약 700~1200만개
난류방정식	MP k-e Modeling
해석기법	ALE(Arbitrary Lagrangian Eulerian) method
하드웨어	Xeon 3.4 8 CPU Parallel Machine (LINUX 64 bit)

Table.1 Analysis condition

팬(회전영역) 해석의 안정화를 위하여 해석 시 시간간격을 7.9E-5 sec 로 설정하여, 운전회전수인 900rpm에 대해 안정화를 도모하였다.

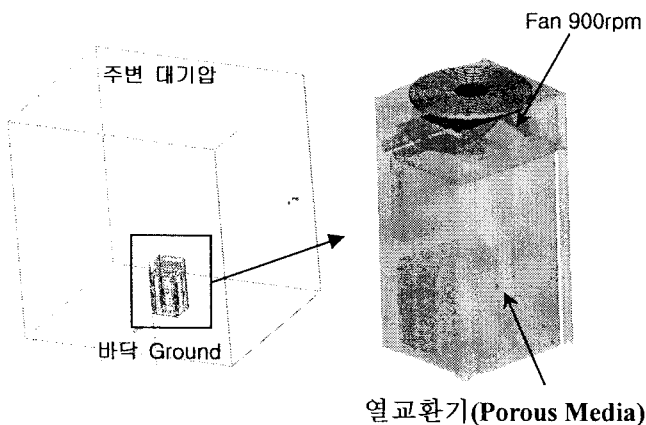


Fig. 3 Boundary condition

## 3. 결과 및 검토

### 3.1 팬 유동소음 해석

Fig.4에서와 같이 공조기 실외기의 본체 전부를 고려 하지 않고 팬(fan), 팬 가이드(fan guard), 벨마우스(bell mouth) 만 가지고 유동 소음해석을 진행하였다.

해석 결과인 Fig.5 및 Fig.6의 소음 스펙트럼을 비교해 보면 벨마우스(bell mouth)와의 상호작용에 의해, 특히 팬의 후면 부위는 팬이 회전 후 벨마우스(bell mouth)와 간섭으로 압력이 맥동하는 부위로서 주소음원으로 예측됨을 알 수 있다.

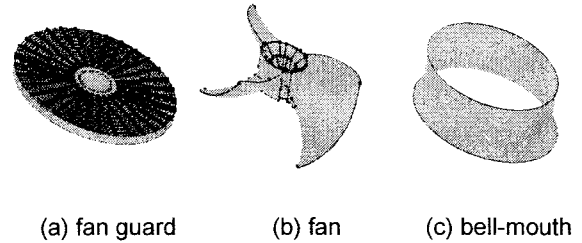


Fig. 4 Computational objects

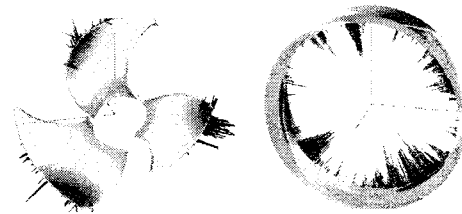


Fig. 5 The results of aerodynamic noise analysis

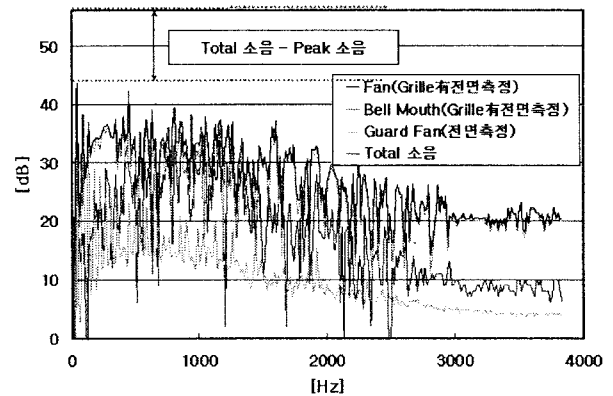


Fig. 6 spectra of SPL as different structure

### 3.2 공조기 실외기 소음해석

Fig.7 과 같이 제품전체 유동 소음해석을 진행 하였다. Fig.8에서 보는 바와 같이 팬 부분만 따로 해석한 결과와는 상이한 결과가 나타난다. 소음원의 위치가 변하면서 제품의 구성에 따라 정음화의 방법도 달라져야 저소음의 목적을 달성할 수 있을 것으로 보인다.

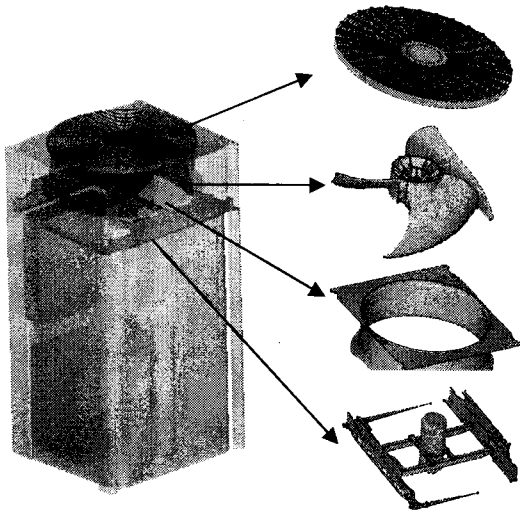


Fig. 7 Computational domain on product flow noise

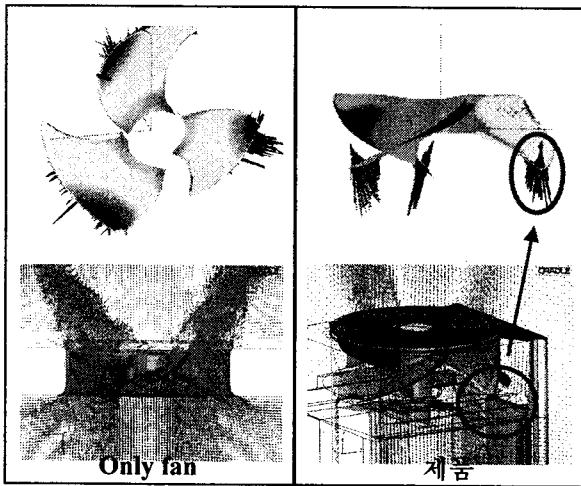


Fig. 8 comparison on the result of aerodynamic noise analysis

소음시험과 수치해석 결과를 소음 spectrum(Fig. 9)로 비교해 보면 비슷한 결과를 보이고 있음을 알 수 있다.

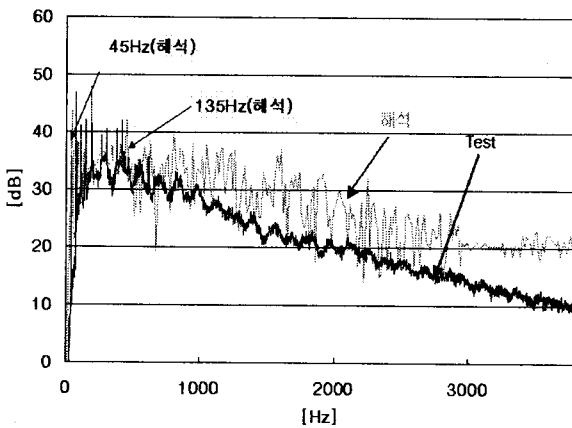


Fig. 9 Comparison on sound pressure level of experimental and computational results

#### 4. 결론

본 연구에서는 3차원 Navier-Stokes 유동 및 소음 해석 코드를 가지고 기존 대비 저 소음 공조기 실외기 개발에 적용하였고, 유동해석과 소음해석을 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 기존 공조기 실외기 대비 5.1dB 제품 소음이 감소 하였다.
- (2) 기존의 단품 해석 뿐만 아니라 전체 제품 해석을 진행 함으로써 실제 제품의 소음원 예측이 가능하였다.
- (3) 본 연구의 유동소음해석을 통해 제품의 저소음화를 실현하는 개발 Process를 확립 하였다.

#### 참고문헌

- [1] W.T.M. Cory, Short history of mechanical fans and the measurement of their noise, Fan Noise Symposium, Senlis France, pp.3-44, 1992
- [2] W. Neise, Review of fan noise generation mechanisms and control methods, An International INCE Symposium of Fan Noise, pp 45-56, 1992
- [3] J. Weidemann, 1971, "Analysis of the Relation Between Acoustic and Aerodynamic Parameters for a Series of Dimensionally Similar Centrifugal Fan Rotors", NASA TT F-13, 798.
- [4] W. Neise, 1975, "Application of Similarity Laws to the Blade Passage Sound of Centrifugal Fans," Journal of Sound and Vibration, 43, pp.61-75.