

팬 설계 및 소음 해석 소프트웨어

Design and Noise Analysis Software of Fans

전완호* · 백승조** · 김창준***

Wan-Ho Jeon, Seung-Jo Baek and Chang-Joon Kim

Key Words : Fan Design(팬 설계), Fan Noise(팬 소음), Axial Fan(축류팬), Sirocco Fan(시로코 팬), Centrifugal Fan(원심팬)

ABSTRACT

Fans are widely used in household electrical appliances due to their easy usage and high performance for cooling capacity. However, the noise generated by these fans causes one of serious problems. LG electronics makes the intranet software for design and analysis of fan. Axial, sirocco and centrifugal fan can be designed and analyzed by using the IFD(Intranet Based Fans Design) software. In order to calculate the aeroacoustic noise of a fan, the numerical method, which can calculate the acoustic pressure at the blade passing frequency and its higher harmonic frequencies, has been developed. To calculate the unsteady resultant force of the blade, vortex method is used. This paper shows the overview of the software and validates the accuracy of predicted noise of fan.

1. 서론

현대 사회에 있어서 가전제품 및 부품의 냉각을 위한 팬의 사용이 일반화 되었으며, 더 성능이 좋은 팬이 계속 생산되고 있다. 이러한 팬은싼 가격과 쉬운 설치 때문에 아직까지 가전제품과 전자제품의 냉각에 주류를 이루고 있다. 그러나, 이런 장점에도 불구하고 팬의 회전에 의해서 발생하는 소음은 사용자에게 직접 전달되므로 많은 문제가 되고 있다. 이런 팬 소음에 대한 문제는 팬의 크기가 작아지고 회전속도가 증가할수록 점점 더 큰 문제가 되고 있으며, 많은 연구의 주요 테마가 되고 있다.

가전제품의 냉각과 공조에 사용되는 팬의 경우, 냉각기와 에어컨 실외기에 사용되는 축류팬부터 청소기에 사용되는 원심팬과 건조기 등에 사용되는 시로코팬 그리고 횡류팬까지 다양한 종류가 있다. 이런 방대한 종류의 팬에 대한 설계와 저소음에 대한 연구가 지금까지 많은 부분 진행되었다. 그러나, 대부분의 연구는 설계와 제작 후 소음문제 발생시 저소음화의 산발적인 연구로 끝나는 경우가 많았고, 체계적인 설계, 해석, 실험이 이루어지지 않고 있었다. 그래서, 팬의 설계, 수치해석 그리고 실험결과를 이용한 데이터베이스까지 포함

하는 프로그램을 개발하였다. 이 프로그램은 설계 이외에 수치기법을 이용한 성능해석과 비정상 유동해석 그리고 공력소음에 대한 직접적인 수치해석 모듈까지 포함하고 있다. 이 소프트웨어의 구축으로 팬 소음에 대해서 실험과 수치해석의 두 가지 측면으로의 접근이 가능하게 되었고, 설계에 바로 적용할 수 있는 기법이 정립되었다. 본 논문은 이 프로그램을 소개하고 설계와 공력소음해석 부분에 중점을 두어서 설명한다.

팬 소음에 대한 수치해석 기법은 국내수준이 이미 세계적인 수준에 이르렀다. 축류팬과 원심팬의 비정상 유동과 소음을 수치적으로 해석하고자 하는 시도가 있었고,⁽¹⁾⁽²⁾ 이런 기법을 바탕으로 해석 소프트웨어가 세계 최초로 만들어지기도 했다.⁽³⁻⁵⁾ 그러나, 이런 소프트웨어는 설계보다는 해석에 중점을 두었기 때문에 실제 설계업무에 종사하는 많은 연구원들이 사용하기에 부적절한 면이 있다.

본 프로그램에 사용된 수치기법은 지금까지 많은 연구자들이 연구한 방법으로 유동장을 비정상 유동 계산에 많이 사용되는 와류패널법과 자유후류법을 이용하여 계산하고, 유동장에서 구한 로터 깃의 힘(압력)으로 로터 깃에서의 비정상 압력 교란에 의한 소음을 예측하는 방법이다.⁽¹⁾⁽²⁾ 이것을 위해서 매시간 로터 깃의 각 요소에서 힘을 구하고, 움직이는 점 힘에 의한 먼 거리(far field) 음향장을 시간 영역 음향유추법의 일종인 Lowson 방법으로 예측한다.⁽⁶⁾ Lowson 방정식은 자유공간에서 이극이 움직이는 경우의 음향장을 예측하는 방법이므로 산란이나 회절의 효과는 고려되지 않으나 소음원의 규명이나 음압의 예측에는 쉽게 적용될

* 정회원, LG 전자 디지털 어플라이언스 연구소
E-mail : whjeon@lge.com
Tel : (02) 818-7993, Fax : (02) 867-9629
** LG 전자 디지털 어플라이언스 연구소
*** LG 전자 디지털 어플라이언스 연구소

수 있다.

2. 웬 소음

2.1 웬 소음 특성

웬 소음은 톤소음(tone noise)과 광역소음(broadband noise)으로 나뉜다. 일반적인 소음 측정 스펙트럼에서 나타나는 피크는 톤소음 혹은 분절소음(discrete noise)이라고 하며, 넓은 주파수 영역에서 나타나는 소음은 광역소음이라고 하여 구분한다. 이 두 스펙트럼상의 특징은 서로 다른 소음 발생 원인에서 기인한다. 즉, 주기적인 교란이 원인이면 피크소음인 톤소음이 나타나고, random 한 교란이 원인이면 광역소음으로 나타난다.

일반적으로 톤소음은 날개통과주파수(BPF : Blade Passing Frequency)로 존재하며, 깃에 걸리는 하중이 회전하면서 발생하는 소음으로 축의 회전 주파수와 깃의 수의 곱에 해당하는 주파수에 발생한다. 또한, 이 주파수의 조화주파수로도 존재한다. 광역소음은 깃을 지나는 유동의 난류에 의한 소음으로 주로 날개 경계층에 의한 교란, 입구 난류에 의한 간섭 소음, 박리에 의한 강한 난류 교란 그리고 깃 끝전(trailing edge)을 지나는 유동의 와류 발생에 의한 소음 등에 그 원인이 있다. 일반적으로 공력소음은 유동장의 거울이라고 할 수 있다. 즉, 고주파수의 광역소음을 해석하고 싶으면 그 주파수에 맞는 정밀도와 시간간격으로 유동을 해석해야 소음 해석이 가능하다.⁽⁷⁾ 그러나, 이것은 지금의 컴퓨터 파워로도 몇 달이 걸리는 아주 어려운 작업이며 많은 웬을 설계해야 하는 기업에서는 적용하기 어려운 방법이다. 그러므로, 본 연구에서는 우선 톤소음에 대한 해석만 고려한다.

2.2 웬 소음 해석 방법

웬 소음은 BPF 에 해당하는 강한 피크 소음과 난류와 후류에 의해 발생하는 광역소음으로 나눌 수 있다. 이런 팬 소음은 공력소음으로 유동장에 의해서 그 특성이 결정된다. 즉, 팬의 유동장이 박리나 와류홀림이 강하게 발생하지 않는다면 톤소음이 강할 것이고, 박리가 발생한다면 광역소음이 어느 정도 우세할 것이다. 그러므로, 계산하려고 하는 주파수와 특성을 예측할 수 있는 유동장 해석이 선행되어야 한다. 즉, 수 kHz 의 광역소음을 예측하기 위해서는 그 주파수 영역에 맞는 교란을 해석할 수 있을 정도로 유동이 해석되어 있

어야 한다는 것이다. 결국 유동의 해석 난류 크기와 시간간격이 예측하고자 하는 소음의 정밀도와 범위를 결정한다.⁽⁷⁾

본 논문에서 계산하는 음향장은 로터가 회전하면서 발생하는 비정상 힘의 교란에 의한 소음이다. Noise는 팬의 경우 이극이 주된 소음원이고 특히, 회전하는 비정상 힘에 의한 소음이 지배적이라고 밝혔다. 축류팬의 경우 톤소음이 우세하고, 비정상 힘의 교란만으로도 충분히 톤소음의 예측이 가능하다

유동 음원을 고려한 음파전달방정식은 다음과 같다.

$$\frac{\partial^2 \rho}{\partial t^2} - a_0^2 \frac{\partial^2 \rho}{\partial x_i^2} = \frac{\partial^2 T_{ij}}{\partial x_i \partial x_j} - \frac{\partial F_i}{\partial x_i} + \frac{\partial Q}{\partial t} \quad (1)$$

여기서, 왼쪽항은 정지한 매질에서의 음파전달방정식이고 오른쪽 항은 유체내에서의 음원을 나타낸다. 첫 항은 사극음원(quadrupole)에 의한 영향을 나타내고, 두 번째 항은 이극(dipole)에 의한 영향을 마지막 항은 단극(monopole)에 의한 영향을 나타낸다. 팬 소음과 같이 이극이 우세한 경우는 단극과 사극에 의한 영향은 무시할 수 있다. 그래서 힘의 교란에 의한 이극소음이 우세하다는 가정하에 Lowson 의 움직이는 점 힘(point force)에 의한 음향장 예측 식을 사용하여 소음을 예측한다.⁽⁶⁾

$$\rho - \rho_0 = \left[\frac{x_i - y_i}{4\pi a_0^3 r^2 (1 - M_r)} \left\{ \frac{\partial F_i}{\partial t} + \frac{F_i}{1 - M_r} \frac{\partial M_r}{\partial t} \right\} \right] \quad (2)$$

식에서 첫 항은 힘의 비정상 변화에 의한 음압을 나타내고, 두 번째 항은 가속도에 의한 음압을 나타낸다. 여기서 a_0 는 음속(speed of sound)을 나타내고, F_i 는 힘 r 은 관찰자와 음원간의 거리를 나타낸다.

3. Intranet Based Fans Design(IFD)

3.1 Intranet Based Fans Design

LG 전자 DA 연구소는 팬 설계자와 해석자를 위한 전문 Portal site 를 개설하고, 전문 설계 프로그램과 해석 프로그램을 자체 제작해서 운영하고 있다. 이 포털 사이트는 아래 그림 1 과 같은 형식으로 되어 있고 현재 축류팬과 시로코 팬 관련 설계, 해석 프로그램들이 완성되어 설치되어 있다. 이 사이트는 사용자 인증을 거쳐서 사용이 가능하고, 전문 게시판을 통한 기술자료 공유와 질의응답이 가능하다. 현재 축류팬과 시로코팬에 대한 프로그램이 사용 가능하다.

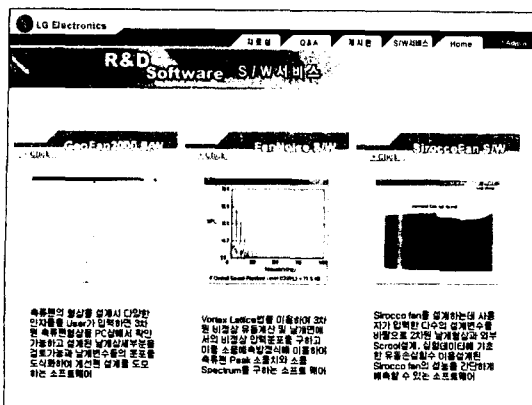


Fig. 1 Overview of fan portal site

3.2 축류 팬 설계 및 해석 프로그램

가전제품 냉각에 많이 사용되는 축류팬의 경우 큰 sweep 각과 저소음 설계가 특징이라 할 수 있다. 그림 2에는 팬 설계 프로그램인 Geofan 과 그 설계된 형상이 있다. 이런 설계된 형상은 바로 해석 프로그램을 통해서 그림 3과 같이 성능곡선과 표면압력 분포 등 기타 중요한 변수를 확인할 수 있다.

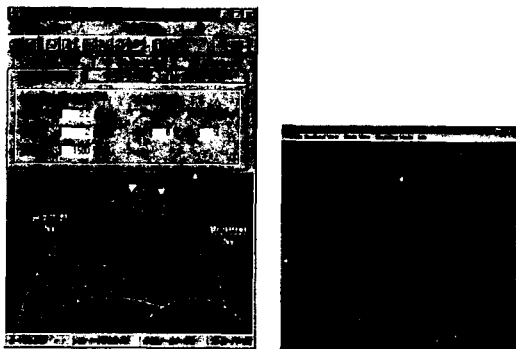


Fig. 2 Capture view of fan design program and designed fan shape

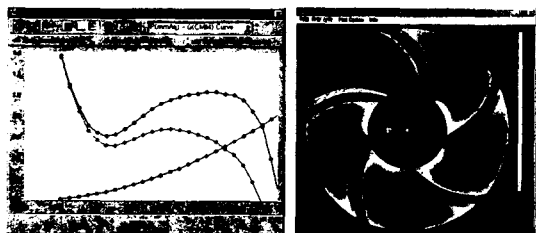


Fig. 3 Predicted P-Q characteristics and Predicted pressure coefficient distribution.

일단 성능에 대한 해석이 끝나고 성능에 대해서

만족할 만한 설계가 이루어지면 설계된 형상을 이용해서 그림 4와 같은 팬 소음 해석 프로그램으로 공력소음을 예측한다. 공력소음 해석에 필요한 비정상 유동장은 팬이 12바퀴 회전까지 계산하며 계산된 비정상 하중 값을 이용해서 음압을 예측한다. 이때 예측된 음압신호와 스펙트럼이 그림 5에 있다. 이 공력소음 계산에 사용된 비정상 해석은 일반 PC로 약 1시간~2시간 정도 소요된다.

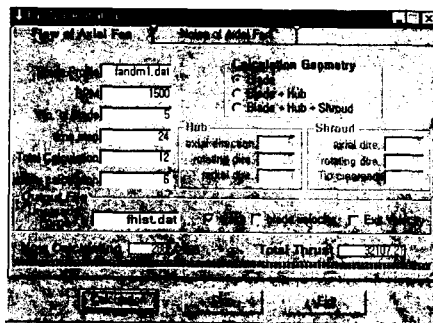


Fig. 4 Overview of fan noise prediction software

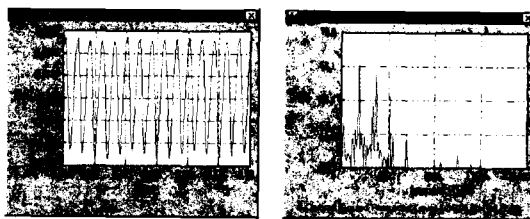


Fig. 5 Predicted acoustic pressure and spectrum.

3.3 시로코 팬 설계 및 해석 프로그램

시로코 팬의 설계 프로그램과 설계된 형상이 그림 6에 있다. 설계는 임펠러와 케이싱으로 나누어서 이루어지고, 성능해석은 간단한 1차원 해석으로 수행하였다.

시로코 팬의 경우는 날개 수가 많고 앞굽음 것으로 인한 비정상 유동 교란이 심하기 때문에 실험식에 의한 소음예측만 시도되었고⁽⁸⁾, 아직 소음 해석에 대한 시도가 거의 없는 실정이다. 그래서 본 연구는 기존 터보팬에 대한 소음 예측 방법을 시로코 팬에 적합하도록 변경하여 사용하였다.

만족할 만한 설계가 이루어지면 설계된 형상을 이용해서 그림 4와 같은 팬 소음 해석 프로그램으로 공력소음을 예측한다. 공력소음 해석에 필요한 비정상 유동장은 팬이 12바퀴 회전까지 계산하며 계산된 비정상 하중 값을 이용해서 음압을 예측한다. 이때 예측된 음압신호와 스펙트럼이 그림 5에 있다. 이 공력소음 계산에 사용된 비정상 해석은 일반 PC로 약 1시간~2시간 정도 소요된다.

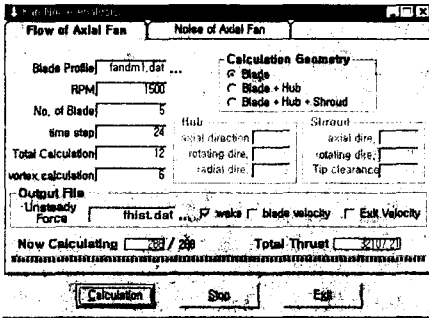


Fig. 4 Overview of fan noise prediction software

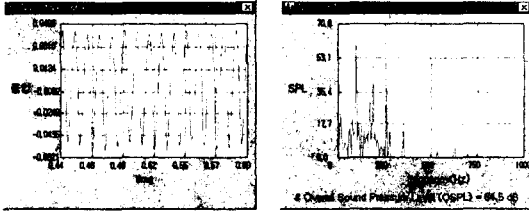


Fig. 5 Predicted acoustic pressure and spectrum.

3.4 시로코 팬 설계 및 해석 프로그램

시로코 팬의 설계 프로그램과 설계된 형상이 그림 6에 있다. 설계는 임펠러와 케이싱으로 나누어서 이루어지고, 성능해석은 간단한 1차원 해석으로 수행하였다.

시로코 팬의 경우는 날개 수가 많고 앞굽음 기호로 인한 비정상 유동 교란이 심하기 때문에 실험식에 의한 소음예측만 시도되었고⁽⁶⁾, 아직 소음 해석에 대한 시도가 거의 없는 실정이다. 그래서 본 연구는 기존 터보팬에 대한 소음 예측 방법을 시로코 팬에 적합하도록 변경하여 사용하였다.

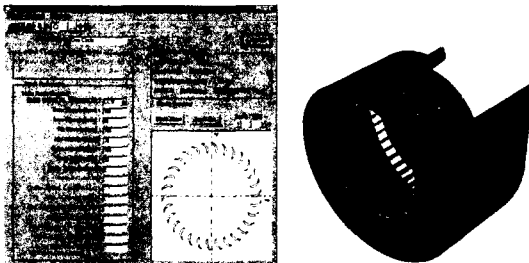


Fig. 6 Overview of the design module of sirocco fan and designed fan.

설계된 형상을 이용해서 비정상 유동장을 해석하고 소음을 한다. 해석된 시로코 팬의 절대속도 분포가 그림 7에 있다. 유동이 팬 출구쪽으로 많이 나가는 것을 확인할 수 있다. 예측된 음압과 해석된 음압을 비교한 것이 그림 8에 있다. 그림에서 전체적인 경향과 BPF의 피크 소음이 비슷함을 확인할 수 있다.⁽⁹⁾

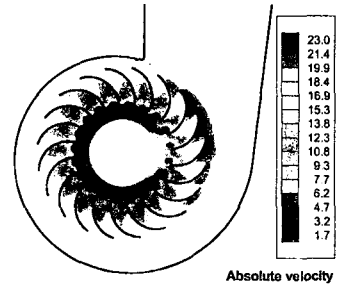


Fig. 7 Contour plot of absolute velocity magnitude.

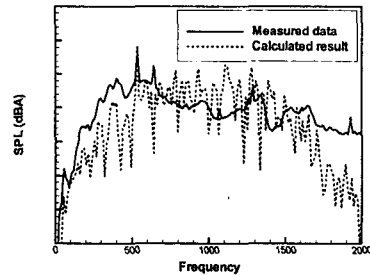


Fig. 8 Comparison of the measured SPL with numerical result.

3.5 터보 팬 설계 및 해석 프로그램

진공청소기에 사용되는 터보팬에 대한 해석 프로그램이 개발되고 있다. 이 터보팬은 디퓨저가 있으며 케이싱이 원형으로 그림 9와 같은 형상을 가지고 있다.

이 프로그램으로 해석된 유동장 결과가 그림 10에 있다. 그림에서 임펠러 깃이 회전하는 것을 확인할 수 있다. 이 해석 결과를 이용해서 소음을 예측한 것이 그림 11이다. 그림에서 점선으로 된 것이 현재 생산되는 제품에 대한 소음을 측정된 것이고 실선이 본 프로그램에 의해서 해석된 결과이다. 두 결과를 비교해 보면 피크치에서는 약 3dBA 이내로 잘 일치하는 것을 확인할 수 있다. 각 피크별 실험값과 계산값의 비교는 표 1에 있다. 수치 해석 결과가 약간 작게 예측되는데 이것은 본 방법이 음향장 효과 (케이싱에 의한 산란이

나 공명)를 예측할 수 없기 때문이다. 난류에 의한 광역소음의 경우는 본 프로그램이 난류를 예측할 수 없기 때문에 실험치와 많은 차이가 발생함을 알 수 있다. 만약 광역소음을 정확하게 예측하려면 LES 나 DNS 를 이용한 유동해석이 수행되어야 한다.

Table 1. Comparison of the predicted acoustic pressure with the measured one.

	Measured	Calculated
BPF	69.3 dBA	69.5 dBA
2 nd BPF	84.0 dBA	80.8 dBA
3 rd BPF	72.2 dBA	71.9 dBA

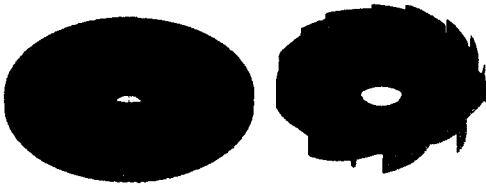


Fig. 9 Centrifugal fan used in the vacuum cleaner

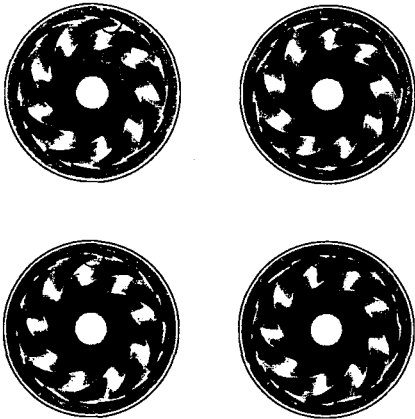


Fig. 10 Contour plot of magnitude of absolute velocity.

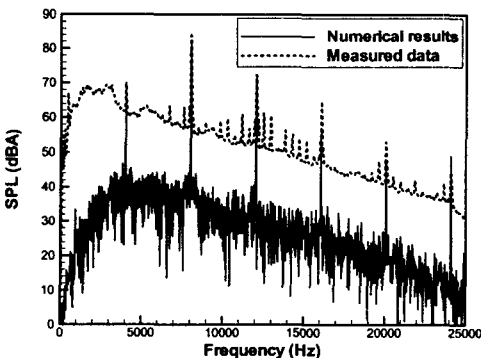


Fig. 11 Comparison of the predicted acoustic spectrum with the measured one.

4. 결론

축류팬과 시로코 팬 그리고 진공청소기용 원심팬을 설계하고 소음을 예측할 수 있는 프로그램이 개발되고 현재 인터넷에 의해서 사용되어지고 있다. 공력소음을 계산하기 위해서 축류팬과 원심팬의 비정상 유동장이 빠른 유동 솔버에 의해서 계산되었다. 또한, 계산된 유동장 자료를 이용해서 공력 소음을 예측하였다. 개발된 기법의 정확도를 검증하기 위해서 모델팬에 대한 계산이 수행되었고, 축류팬과 원심팬 모두 3dBA 이내로 피크 소음을 예측할 수 있음을 확인했다.

참고문헌

- (1) WanHo Jeon, Duck Joo Lee, 2000, "An analysis of the Flow and Sound Field of Ducted Axial Fan," InterNoise 2000, pp. 1531-1534
- (2) WanHo Jeon, Duck Joo Lee, 1999, "An analysis of the flow and aerodynamic acoustic sources of a centrifugal impeller," Journal of Sound and Vibration, Vol. 222, No. 3, pp. 505-511.
- (3) Duck Joo Lee, Wan Ho Jeon and Ki Hoon Chung, 2000, "DEVELOPMENT OF FAN NOISE PREDICTION SOFTWARE," SEVENTH INTERNATIONAL CONGRESS ON SOUND AND VIBRATION, Germany, pp. 2007~2012.
- (4) 김기황, 박준철, 김진화, 이승배, 2001, "축류형 송풍기 저소음 설계 프로그램의 개발 및 평가," 한국소음진동공학회 2001년도 춘계학술대회 논문집, pp.967~972.
- (5) 전완호, 2000, "유체기계 소음 해석 소프트웨어," 유체기계저널 제 3 권 4 호, pp.59~64.
- (6) Lawson, M. V., 1965, "The Sound Field for Singularities in Motion," Proc. R. Soc. London, Ser. A. 286, pp.559-572
- (7) 전완호, 조장형, 원영수, 2001, "냉각팬의 공력소음 발생 및 방사 해석," 2001 STAR CD USER'S CONFERENCE, pp. 39-48.
- (8) 김경호, 박계찬, 이승배, 1999, "시로코 팬 성능 및 공력소음 예측에 관한 연구," 유체기계저널, 제 2 권 제 4 호, pp. 57-64
- (9) 전완호, 백승조, 김장준, 2001, "시로코 팬의 공력소음 발생에 관한 수치적 연구," 한국소음진동공학회는 논문집, 심사중