

축류팬 설계, 성능, 유동/소음 해석 프로그램 개발

김창준*, 백승조*, 전완호*

A development of design, performance and flow.noise analysis program

C. J. KIM, S. J. Baek, W. H. Jeon

Key Words : Axial Flow Fan(축류팬), Operating Condition(작동 조건), Design(설계), Performance(성능), Noise(소음)

ABSTRACT

A program to design an axial flow fan, analyze the performance and predict the noise was developed. In order to develop the low noise fan, that program is compulsory. This software is composed of three parts : the geometric design module, the performance analysis module, the fan noise prediction module. In order to analyze the performance, three dimensional vortex panel method is used. The unsteady flow field was analyzed by time-marching free wake method. The unsteady force data is then used in predicting the noise. Farassat's equation is used to predict the noise of fan.

1. 서 론

가전제품에 사용되는 팬은 일반적인 산업용 축류팬과 형상이 많이 다르다. 축류팬의 경우, 컴퓨터 냉각팬이나 대형 산업용 팬은 깃이 거의 직선에 가깝지만 가전제품에 사용되는 팬은 sweep 과 받음각이 많이 들어가 있는 특이한 형태이다.[1] 이것은 저소음과 고압력으로 가전제품용 팬의 설계개념이 잡혀 있기 때문이다. 이런 가전제품용 팬의 설계는 그 동안 설계자 각자의 경험에 주로 의존하는 방식이었다. 이런 설계는 설계한 제품을 제작하여 시험한 후 성능과 소음을 만족하지 않으면, 다시 재설계하여 원하는 성능이 나올 때까지 계속 반복적인 루프를 돌아야 하며, 이때 시간과 비용이 크게 증가하게 된다. 따라서 팬에 대한 연구가 더욱 진행될수록 위의 과정을 수치적으로 비추열(virtual)하게 진행할 수 있는 시스템의 등장은 필연적이었다. 결국, 좀 더 체계적인 팬의 고성능/저소음 연구를 위해서 설계뿐만 아니라 성능예측

과 유동장, 소음 해석까지 동시에 빠른시간내에 수행될 수 있는 종합적인 팬 시뮬레이션 프로그램의 개발이 요구되고 있는 실정이다.

가전제품의 냉각에 많이 사용되는 축류팬의 경우, 주된 설계 목표는 저소음과 저소비전력이다. 특히 저소음에 대한 많은 사용자들의 요구 때문에 저소음에 대한 많은 연구가 수행되어 매년 새로운 형태의 팬이 개발된다. 그러나, 이런 연구의 대부분은 실험적 기법에 의한 방법이고 수치적인 접근법은 거의 시도되지 않았다.

이런 상황에서 저소음 팬 연구에 활력을 불어넣기 위해서 본 프로그램이 기획되고 개발되었다. 본 프로그램은 크게 세 부분으로 나누어져 있다. 우선 기본적인 개념을 바탕으로 기본 설계를 수행하는 설계 모듈, 설계된 형상을 바탕으로 패널 방법의 정상 유동 해석을 통해서 성능을 해석하는 성능 해석 모듈 그리고 설계된 형상을 바탕으로 비정상 유동해석과 소음 해석을 수행하는 소음 해석 모듈로 이루어진다.

설계모듈은 기존에 계속 사용되어 오던 프로세스를 좀 더 체계적으로 정리하고 사용자가 사용하기 쉽도록 만든 프로그램이다. 성능 해석은 삼차원 패널 방법을 이용해서 수치적으로 수행된다.

* LG 전자 DA 연구소 요소기술그룹

소음 해석은 비정상 유동해석이 선행된 후, 음향학적 유추법에 의해서 수행된다.

2. 본 론

2.1 설계프로그램

축류팬의 형상을 설계하는데 있어서 다양한 인자들(피치각, 스윙각, 날개수, 날개간격, 외경 등)을 사용자가 입력하면 3 차원 축류팬 형상을 사용자의 PC 상에서 바로 확인가능하고 설계된 날개의 상세부분을 검토할 수 있으며 날개 변수들의 분포를 도식화하여 개선한 설계를 도모하도록 구성된 S/W 이다. 이 프로그램의 순서도가 Fig. 1에 있다.



Fig. 1 Flow chart for fan design

2.2 성능해석프로그램

성능 해석에 사용된 수치기법은 선형 압축성 공기역학 이론에 근거한 주파수영역 패널(frequency-domain panel) 방법이다. 이 이론은 깃이 얇고 스톨이 발생하지 않는 받음각에 대해서 적용되는 것으로 선형성에 대한 가정을 기반으로 한다 또한, 선형성 이외에도 깃 표면의 어떤 점에서 작용하는 하중의 크기가 어떤 주파수로 조화진동한다는 가정을 한다. 따라서 전체 교란장은 팬 상에서 같이 회전하는 좌표계에서 같은 진동수로 변동하게 된다.

깃을 평균 캠버면을 이용하여 나타내고, 각 깃에서의 하중을 평균 캠버면에서 계산한다. 계산된 값은 팬의 성능을 나타내는 변수인 유량계수, 압력계수, 효율 등으로 나타낸다.

2.2 소음해석프로그램

축류팬의 소음은 스펙트럼상에서 보면 피크로 특성지어지는 톤소음(tonal noise)과 넓은 주파수영역에서 높은 음압값을 갖는 광역소음(broadband noise)로 나누어 질 수 있다. 이 두 스펙트럼상의 특징은 서로 다른 소음 발생 원인에서 기인한다. 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. 본 방법에서는 우선 톤소음의 예측에 대해서만 고려한다.

본 논문에서 사용된 수치기법은 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.[2,3] 이것을 위해서 매시간 로터 깃의 각 요소에서 힘을 구하고, 움직이는 점 힘에 의한 먼 거리(far field) 음향장을 시간 영역 음향유추법의 일종인 파라셀트(farassat) 방법으로 예측한다. 파라셀트 방정식은 자유공간에서 이극이 움직이는 경우의 음향장을 예측하는 방법이므로 산란이나 회절의 효과는 고

려되지 않으나 소음원의 규명이나 음압의 예측에는 쉽게 적용될 수 있다.⁽²⁾⁽³⁾

3. 결과 및 토의

3.1 팬 설계, 성능 예측 프로그램의 개발

최근 개발된 팬 설계, 성능/소음 예측 프로그램은 팬 연구를 가속시키는 도구가 되었다. 이 프로그램의 개발로 팬 개발자는 PC에 앉아서 원하는 형태의 팬 설계부터, 성능 확인 그리고 소음값의 변화에 대한 계산까지 한번에 가능하게 되었다. Fig. 2에 설계 모듈을 시작했을 때의 화면이 있다. 1500rpm에서 작동하는 직경이 14.5cm이고 깃 5개가 있는 축류팬을 기본적인 모델로 설계하였다. 설계된 팬의 3차원 형상이 Fig. 2에 있다.

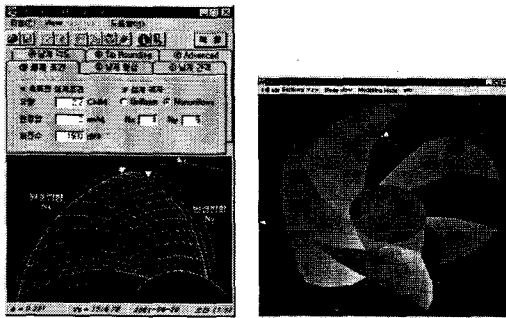


Fig. 2 Capture view of axial flow fan design program and designed fan shape

앞의 프로그램으로 기본적인 팬의 설계가 끝났으면 성능 해석 프로그램으로 기본적인 성능에 대한 검증 실시한다. 성능예측 프로그램의 기본적인 형상은 Fig. 3과 같고 설계에 사용된 팬 인자들이 그대로 반영됨과 동시에 축류팬 성능에 직접적인 관계가 있는 슈라우드(shroud) 관련 변수가 성능예측에 사용되며 해석에 사용되는 시간은 펜티엄 III-800MHz에서 1분 이내이다. 해석된 결과는 기본적으로 풍량-정압 곡선과 효율이 나오고 각 단면별 형상 값이 주어진다. 또한, 수치해석의 결과를 이용해서 깃면에서의 하중 분포를 압력계수로 그려볼 수 있다. Fig. 4는 해석된 P-Q 곡선이고 Fig. 5는 압력계수 분포이다. 이런 압력계수의 분포로 하중이 너무 모여있었다던가 유체에 일을 효율적으로 하지 못한다는 등 기본적인 팬설계의 단점을 확인할 수 있다. 이 압력분포는 각 유량조건에 따라 변하며 적정 유량의 경우 가장 효율이 좋은 블레이드 하중분포를 나타낸다.

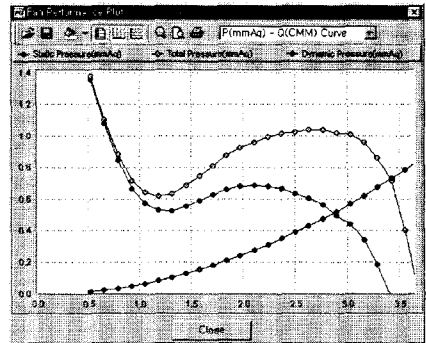


Fig. 4 Predicted P-Q characteristics.

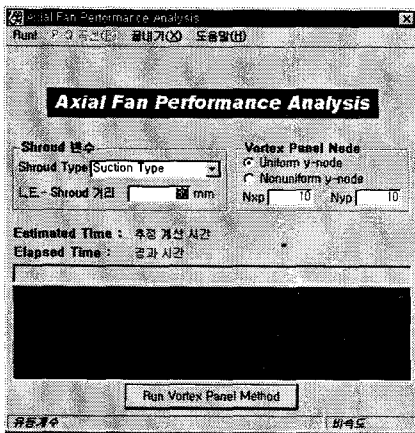


Fig. 3. Performance analysis module.

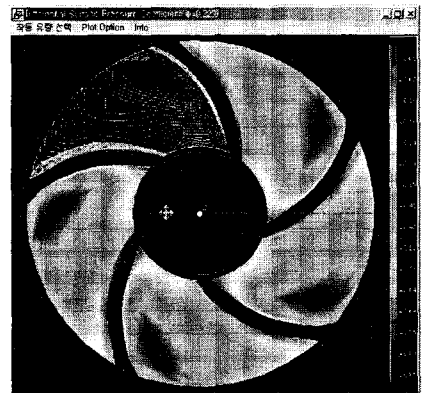


Fig. 5 Predicted pressure coefficient distribution.

3.2 팬 소음 예측 프로그램 개발

팬 소음을 예측하기 위해서는 비정상 유동장 해석이 선행되어야 한다. 그래서, 소음 예측 프로그램은 우선 와류격자(vortex lattice) 유동 해석프로그램을 이용하여 유동해석을 수행한 후, 그 유동장 정보를 소음 해석에 사용한다. 유동해석은 비정상 상태로 해석되며 매 시간 간격마다 팬은 미소각도만큼 회전한다. 해석된 결과는 비정상 유동장의 후류구조와 깃에서의 비정상 하중에 대한 값으로 저장된다. 이 비정상 하중이 후에 소음계산 시 입력 값으로 사용된다.

Fig. 6 는 모델 팬에 대한 후류와류구조를 보여주고 있다. 시간이 지날수록 후류와류가 발달하는 것을 확인할 수 있다. 한 깃에 걸리는 힘의 시간에 따른 변화를 Fig. 7 에 나타내었다. 힘의 x 성분은 주기적으로 변화지만 z 축 성분은 일정한 값으로 수렴하는 것을 확인할 수 있다. 이 z 축 힘의 값이 성능과 관련되고 x, y 축 성분은 소음의 발생과 주로 관련된다.

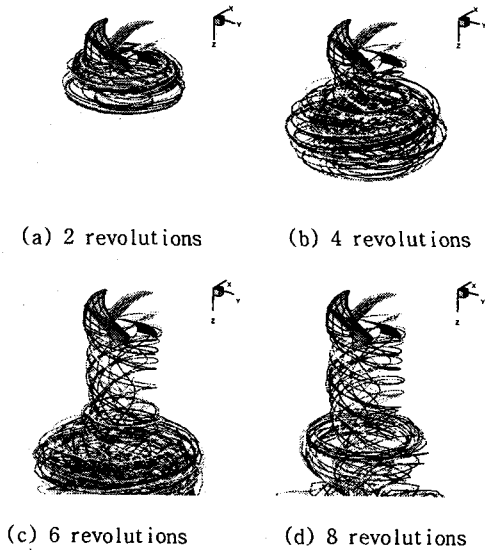


Fig. 6 Wake structure evolution for various times.

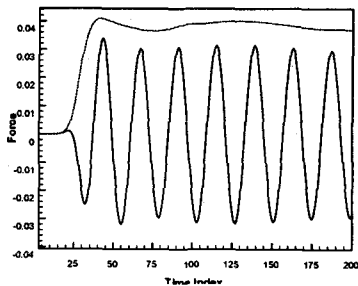


Fig. 7 Variation of the force on one blade.

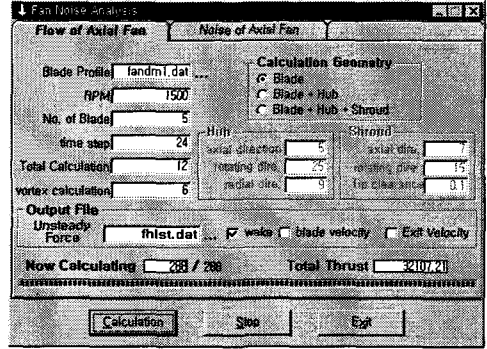


Fig. 8 Overview of the fan noise prediction program.

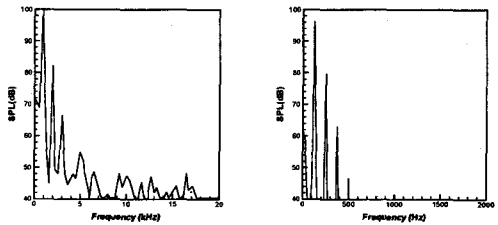


Fig. 9 Comparison of measured(left, by Lohmann) and calculated(right, by author) acoustic pressure

개발된 소음해석 프로그램의 형상은 Fig. 8 에 있다. 앞에서 개발된 설계 프로그램의 형상자료를 이용해서 바로 비정상 유동장과 소음을 계산할 수 있다.

완성된 소음 예측 프로그램을 검증하기 위해서 1992년 Lohmann 이 수치 해석에 사용한 것 3개인 축류팬을 해석하였다. Fig. 9 에 Lohmann 의 측정값과 본 방법에 의한 예측 값을 비교하였다. BPF 와 그 조화주파수의 음압이 2dB 이내로 일치하는 것을 확인할 수 있다.

일반적으로 날개수가 많아질수록 소음이 커진다고 알려져 있다. 이런 경향을 따라가기를 확인하기 위해서, 설계 프로그램으로 모든 변수를 동일하게 두고

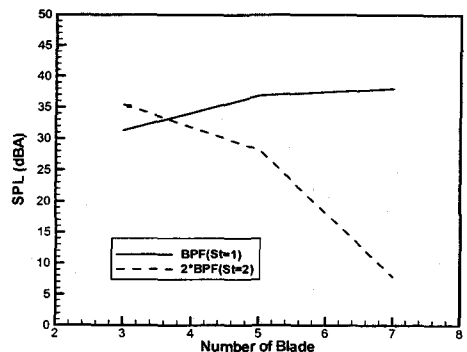


Fig. 10 Trend of noise level change as the number of blade change.

날개수만 3 개에서 7 개까지 바꾼 팬에 대해서 유동 및 소음해석을 수행하였다. 깃이 많아질수록 BPF 주파수가 높아지고 그에 따라서 BPF 의 소음 레벨도 높아짐을 확인할 수 있다. 이 경향을 한 그래프에 나타낸 것이 Fig. 10 이다. Fig. 10 에서 BPF 는 깃의 증가에 따라서 증가하는 것을 확인할 수 있고, 2nd BPF 는 급격히 감소함을 확인할 수 있다.

4. 결론

저소음 팬에 대한 연구를 보다 효율적으로 수행하기 위해서 팬의 설계, 성능해석, 유동/소음 해석할 수 있는 프로그램이 개발되었다. 성능해석은 주파수 영역의 정상 패널방법을 이용해서 계산되고, 소음 계산을

위한 비정상 유동장 해석은 시간전진 자유후류법을 이용해서 계산한다. 계산된 깃의 하중변화를 이용해서 팬의 소음을 수치적으로 예측하는 소음 예측 프로그램이 마지막으로 개발되었다.

참고문헌

- [1] 김창준, 이동익, “ 비소음 측정을 이용한 저소음 축류팬 설계”, 소음진동공학회지, 제 10 권, 5 호, pp. 873-879
- [2] 전완호, 정기훈, 이덕주, “ 덕트가 있는 축류팬의 유동 및 음향장 해석,” 유체기계저널, 제 3 권 2 호 pp.15-23
- [3] Wan Ho Jeon, Duck Joo Lee, “ Analysis of Flow and Sound field of Ducted Axial Fan,” InterNoise 2000, pp.1531-1534