



가전제품용 헨 유동소음 해석 기법 동향

전완호*, 김욱
(세덕(주) 기술연구소)

1. 머리말

가전제품은 국내 업체가 많은 기술을 확보하고 있는 분야로 수출에 큰 기여를 하고 있다. 특히, 냉장고, 에어컨, 세탁기 등의 백색가전 분야는 제품 경쟁력의 중요한 부분이 성능과 소음에 있다. 가전제품이 성능의 경우 대부분의 회사에서 그 기술이 평준화되어 큰 차별이 없는 상황이며, 소음과 특수 기능에서 경쟁이 이루어지고 있다.

가전제품의 소음원 중 특히 헨 소음은 전체 가전제품 소음에 가장 큰 기여를 하고 소비자에게 직접 전달되기 때문에 많은 연구가 진행되어 왔다. 헨 소음은 헨의 주된 역할인 유동 유발에 의해서 발생하기 때문에 완전히 제거할 수 없는 대상이며, 꾸준히 저소음화 작업을 진행해야 한다. 대부분 공지되어 있는 방법은 성능의 저감과 관련이 있기 때문에 최적화를 통해서 저소음화를 진행하는 연구가 최근 많이 진행되고 있는 상황이다¹⁾.

저소음화의 필요성 때문에 시작된 공력 소음에 대한 수치해석 연구는 90년대 후반부터 많이 진행되어 왔다. 최근에는 수치해석이 시간과 인력 그리고 비용이 소요되는 작업이기 때문에 사람이 직접 진행하지 않고 컴퓨터 상에서 자동으로 진행되는 자동 해석 시스템에 대한 연구도 많이 진행되고 있다. 이 글에서는 지난 수년간 저자에 의해 수행된 헨 소음 연구의 특징과 내용을 간략하게 정리한 것이다.

2. 축류헨 최적화

냉장고 기계실의 유동소음을 해석하기 위하여 그림 1와 같이 기계실의 전영역에 대한 CAD 데이터를 모두 적용하였고 sliding mesh를 이용하여 비정상 유동해석과 소음 분석을 하였다. 이때 해석 격자는 280만 노드(1150만 요소)로 구성하였다. 계산 모델은 열교환기까지 모두 실제 CAD모델을 이용하여 격자를 생성하여 구성하였다. 해석은 상용 CFD코드인 SC/Tetra를 사용하였다. SC/Tetra는 node based FVM기법을 사용한 코드로 압력 계산은 SIMPLEC를 사용하고 난류모델은 RNG k-ε 모델을 사용하였다²⁾.

기계실에서 헨의 성능과 유동 특성을 해석하기 위하여 Sliding mesh 방법을 이용하여 비정상 유동 해석을 하였다. 수렴된 유동장을 얻기 위하여 정상해석 후 비정상 해석을 3회전 계산하여 맥동 수렴하였다. 비정상 해석 동안에 유동소음 해석 및 분석을 위하여 헨, 쉬라우드, 모터 그리고 지지대의 표면 압력 결과를 저장하여 유동소음 해석의 데이터로 이용하였다.

유동소음 해석은 Ffowcs-Williams & Hawkings방정식을 사용하였으며, 소음원 분석은 소음 해석 방정식의 소음원 부분의 식을 정리하여 해석하였다. 실험 결과는 일정치 않은 회전수에서 측정되어 직접 비교하지 않고 성능을 고려하여 식 (1)과 같은 비소음으로 비교하였다.

$$\text{Specific noise} : dB_s = dB - 10 \log(QP_i^2) \quad (1)$$

중간 풍량에서의 측정 소음 스펙트럼과 Ffowcs-Williams & Hawkings방정식을 사용하여 해석한 스펙트럼의 비교가 그림 3에 있다. 그림 3에서 2000 Hz까지의

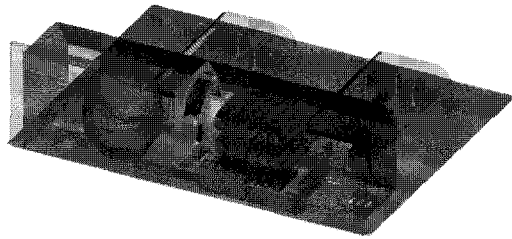


그림 1 냉장고 기계실의 구성도

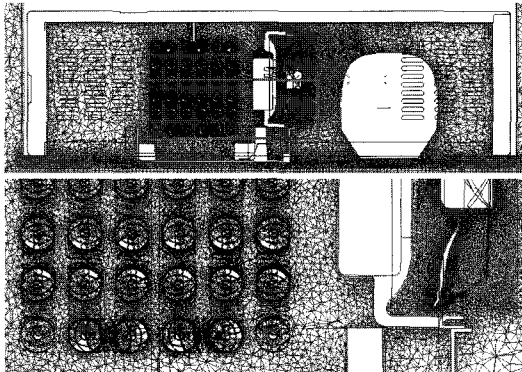


그림 2 기계실 해석을 위한 격자 구성

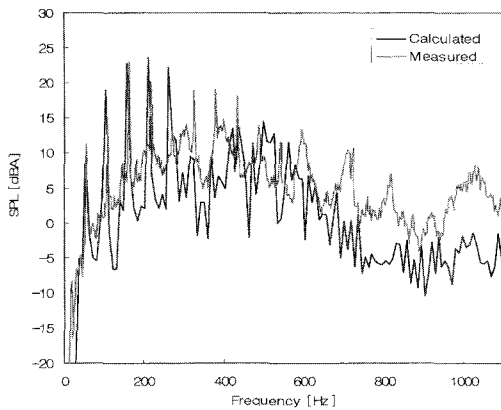
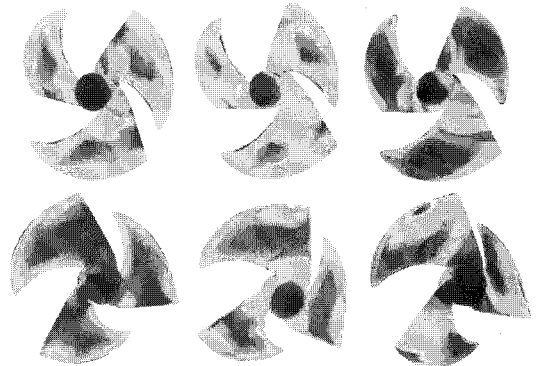


그림 3 해석된 소음 스펙트럼과 측정치의 비교

스펙트럼을 분석한 결과 해석한 웬 소음이 전체 스펙트럼 영역에서 실험치와 잘 일치하는 것을 확인할 수 있다.

그림 4는 웬 전후면의 소음원의 위치를 나타내고 있다. 고품량 조건(a)의 경우, 소음원 위치(빨간색 표시)가 앞전 영역과 압력면 끝단 위치에 존재함을 확인할 수 있다. 깃 앞면의 앞전영역의 소음원은 그림 5와 같이, 고품량의 경우 모터를 지나면서 발생하는 와류와 유동



(a) -2 Pa (b) -4 Pa (c) -6 Pa

그림 4 소음원 가시화

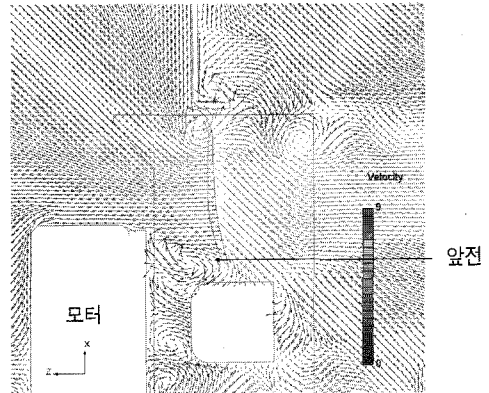


그림 5 웬 중앙 단면에서의 속도장 분포

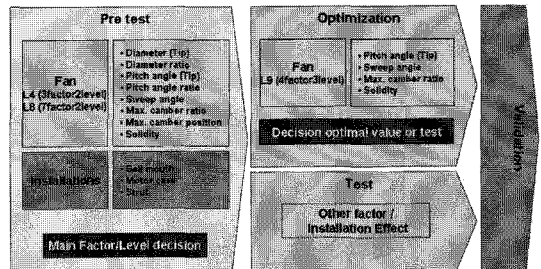


그림 6 소음 저감 프로세스

의 불균일한 유입류가 회전하는 깃의 앞전 부근에 부딪히면서 발생하는 것이다. 뒷면의 끝단 위치는 그림 5와 같이 끝단 부근의 이차와류와의 상호작용에 의해 발생하는 것으로 예상된다. 고정압 조건(C)의 경우 소음원의 위치가 앞전위치에서 압력면의 끝단의 trailing edge 쪽으로 이동한 것을 확인할 수 있다. 이것은 고압에 의

한 쉬라우드에서의 이차와류에 의한 것으로 예상된다.

수치해석을 통한 기본적인 해석 결과를 바탕으로 그림 6과 같이 소음에 영향을 주는 주요 인자를 선택하고 각 인자의 값을 최적화하기 위해서 DFSS(design for six sigma)의 최적화 기법을 사용하였다. 최적화된 팬은 약 2.5 dBA 정도 저감된 결과를 얻을 수 있었다³⁾.

3. 해석 자동화 프로세스 개발

국내외에 이공계 엔지니어 부족문제가 심화되면서 팬 성능과 소음에 대한 연구를 전문적인 지식을 가진 엔지니어뿐만 아니라 설계자가 쉽게 사용할 수 있는 기법에 대한 연구가 많이 진행되었다. 그 중 하나가 해석 자동화 프로세서이다. 해석 자동화 프로세서는 설계자가 팬 CAD 자료만 준비하면 그 이후에 필요한 모든 해석 프로세서를 자동으로 진행하는 것을 의미한다⁴⁾.

해석 자동화의 전체적인 프로세서가 그림 7에 나타나 있다. 설계자가 주어진 규약에 따라 색을 지정하여 완성된 CAD data는 "CADThru" 라는 프로그램을 통해서 정해진 색상에 의해 자동으로 surface region의 이름이 정해지고 CFD에 적용하기 쉬운 형태의 데이터로 가공된다. 가공된 데이터를 SC/Tetra를 이용하여 자동으로 steady와 unsteady 해석이 진행된다. SC/Tetra Preprocessor에서 정해진 surface region의 이름을 통해서 설계자가 입력하는 크기로 해석 격자가 자동으로 만들어지고 경계조건도 설계자가 입력하는 기본적인 값들과 해석에 필요한 조건들이 조합되어서 SC/Tetra solver에서 필요한 파일이 생성된다. SC/Tetra solver는 먼저 steady 해석을 진행하고 이 데이터를 이용하여 unsteady 해석이 진행된다. 해석이 끝나면 사용자가 보고서에 필요한 그림 파일들이 생성되고 엑셀 시트에 그림들이 나열되고 팬과 쉬라우드 등 설계자가 지정한 표면에서의 압력 변동 데이터와 geometry를 이용하여 유동소음을 통해서 소음해석이 진행된다. 설계자는 소음해석을 통해서 overall SPL 값을 알 수가 있고, sound spectrum과 dominant한 소음원의 위치를 알 수가 있다. 이러한 해석 결과의 분석을 통해서 설계자는 팬의 디자인을 수정하고 다시 반복적이 해석자동화 프로세스를 통해서 최적화된 팬을 설계할 수가 있다. 이러한 작업을 CFD를 통해서 수행하지 않고 직접 실험을 통해서 수행하려면 많

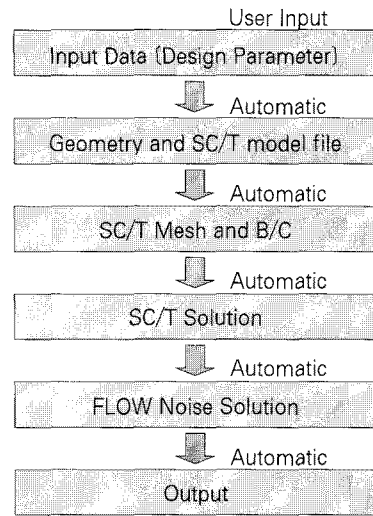


그림 7 자동 해석 시스템의 구성도

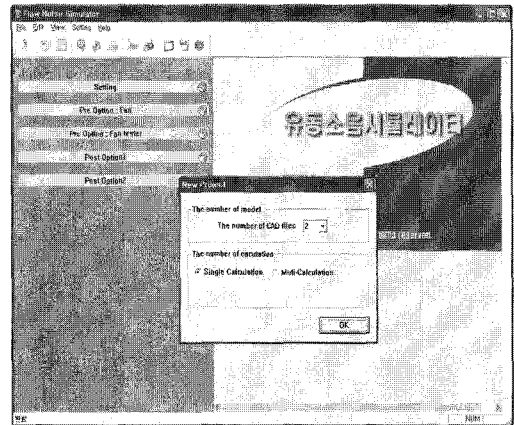


그림 8 팬 소음 시뮬레이터 프로그램

은 시간이 소비되고 비용 또한 많이 들게 된다. 이러한 고비용, 비효율적인 연구 프로세스를 대체하기 위해서 효율적이고 설계자가 다루기 쉬운 팬 자동화 프로세스가 개발되었다.

실제의 수많은 축류팬의 실험들과 CFD 해석 결과의 비교 분석을 통해서 우리는 거의 모든 경우에서의 CFD 해석의 정확도를 높였고 우리의 이러한 실제 설계자들에게 소개 되었고 설계자들 역시 만족한 결과를 얻을 수 있었다.

3.1 팬 소음 해석 자동화 프로그램의 프로세스

그림 8은 팬 소음 자동화 프로그램의 메인창을 나타낸

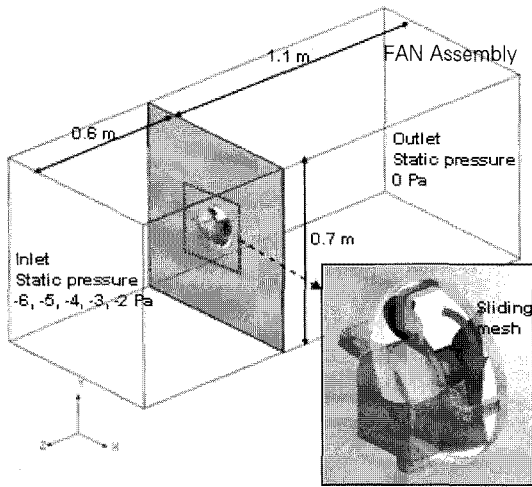


그림 9 팬 소음 시뮬레이터에서 사용되는 가상 팬 테스트 형상

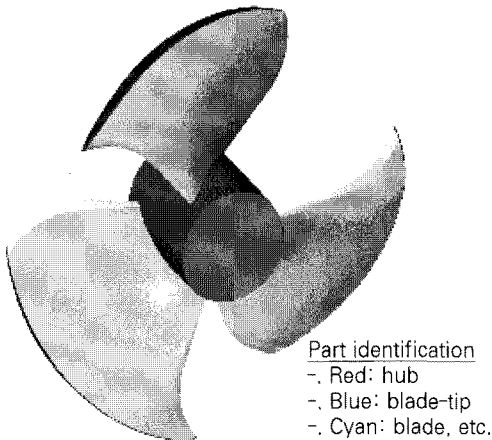


그림 10 전형적인 팬 형상

것이다. 이 프로그램은 먼저 메뉴얼에 따라서 만들어진 CAD data를 입력해야 한다. 프로그램상에서 CAD data를 입력하면 자동으로 CADThru를 통해서 읽어진다. 이 프로그램 내의 소스 코드는 비주얼 베이직을 통해서 구현되었으며 자동화 프로세스에서 사용되는 모든 프로그램은 비주얼 베이직의 코드를 통해서 연동된다.

CADThru를 통해서 읽어온 CAD data는 정해진 색상에 의해서 surface region의 이름이 정해지고 CFD에 적용할 수 있는 팬과 팬 테스트의 모델 파일이 완성된다. 이렇게 생성된 팬과 팬 테스트는 그림 9에 나타내었다. 팬 모델은 팬과 가상의 회전영역으로 구성되고 팬 테스트 모델은 쉬라우드와 모터 그리고 0.6 m의 upstream 영

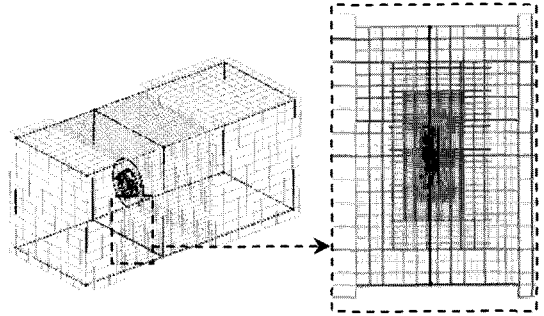


그림 11 격자 생성에 필요한 octree의 자동 생성

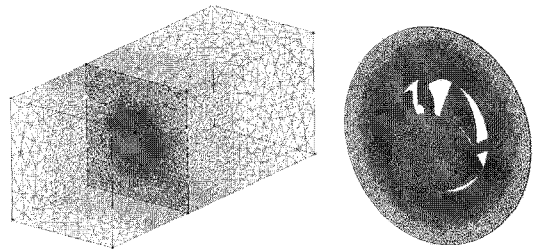


그림 12 자동 격자 생성 결과

역과 1.1 m의 downstream 영역으로 구성된다. 팬과 팬 테스트는 각각 따로 만들어져서 나중에 해석격자를 완성한 후에 하나의 파일로 자동으로 합쳐진다. 그림 10은 팬 자동화 프로그램을 통해서 만들어진 팬 모델의 geometry를 나타낸 것인데 그림 10에서 정해진 색상에 따라서 해석에 필요한 영역의 이름이 정해지고 이렇게 정해진 이름을 통해서 해석 격자 생성과 경계조건입력에 사용되어진다. 이렇게 CAD 파일이 프로그램을 통해서 임포트되면 정해진 순서에 의해서 자동으로 해석 격자가 완성되는데 SC/Tetra에서는 해석 격자를 만들기 위해서 "octree" 파일을 이용한다.

해석 격자 생성을 위해서 만들어진 octree파일은 그림 11에 나타내었고 이 octree파일을 통해서 만들어진 해석 격자는 그림 12에 나타내었다. 이렇게 만들어진 해석 격자와 경계조건을 가지고 SC/Tetra solver를 통해서 steady 해석과 unsteady 해석이 진행된다. Unsteady 해석이 끝나면 보고서에 필요한 그림들이 생성되고 유동소음의 소음 해석을 통해서 상세한 소음원의 위치를 알 수 있고 overall SPL 값과 사운드 스펙트럼을 확인 할 수 있다. 이러한 해석의 반복을 통해서 설계자는 최적화된 팬을 완성할 수 있다.

4. 맺음말

참고문헌

가전제품에 주로 사용되는 팬의 소음에 관한 연구는 1990년대에 실험에 의한 방법으로 주로 진행하다가 2000년대부터 해석에 의한 방법이 개발되며 실제 적용되었다. 수치해석에 의한 연구개발은 최적화를 통한 저소음 팬의 개발을 쉽게 진행할 수 있는 촉매제 역할을 수행했다.

최근 개발되고 있는 수치해석 자동화는 이런 연구를 전문가가 아닌 설계자까지 쉽게 사용할 수 있도록 도와주는 시스템으로 수치해석의 기본 지식이 없는 설계자라 할지라도 설계한 CAD파일만 있으면, 성능해석에 필요한 격자생성, 경계조건 설정, 해석진행, 보고서 작성까지 자동으로 수행하며 유동해석 결과를 이용해서 팬의 유동소음까지 자동으로 해석할 수 있다. 이 자동화 시스템은 국내외 많은 관련 업계에서 지속적으로 연구가 진행되고 있다. ■

- (1) Jeon, W. H., 2003, "Overview of Aeroacoustic Analysis of Fan Noise", FanNoise 2003 International Symposium, Senlis.
- (2) Jeon, W.-H., Kim, W., Shin, D.-S. and Kim, H. J., 2006, "Study on the Noise of an Axial Condenser Fan for a Refrigerator by Using Numerical Analysis", The 9th Western Pacific Acoustic Conference.
- (3) Kim, W., Jeon, W.-H., Cho, J. H., Shin, D.-S. and Kim, H. J., 2006, "Numerical Study on the Noise Generation of the Axial Flow Fan in a Refrigerator", Internoise 2006.
- (4) Kim, W., Jeon, W.-H., Ahmad, I. and Cho, J. H., 2007, "Development of the Virtual Anechoic Fan Tester for Axial Flow Fans", The 9th Asian International Conference on Fluid Machinery.

회원 회비 납부 안내

우리 학회 2007년도 정기총회에서 승인하여 주신 2008년도 사업계획의 원활한 추진 및 학회 발전을 위해 회원 여러분의 보다 많은 협조와 적극적인 참여를 부탁드립니다.

시행세칙 제 5조에 따라 회원은 회비를 매년 3월 이전에 본 학회 사무국에 납부함으로써 정관 및 제 규칙이 정한 권리와 의무를 갖게 됩니다. 2008년도 회비를 아직 납부하지 않으신 회원께서는 조속히 납부하여 주시면 감사하겠습니다.

가. 2008년도 정회원회비: 40,000원/년

나. 결제방법

- (1) 온라인 계좌이체 : 하나은행 103-237748-00204(한국소음진동공학회)
우리은행 1005-701-054614(한국소음진동공학회)
- (2) 지로납부 : 은행지로 이용(7532021번)
- (3) 전자결제 : 학회홈페이지(<http://www.ksnve.or.kr>) ▶ 전자결제(배너) 이용

▶ 문의 : 학회사무국 E-MAIL: member@ksnve.or.kr / TEL: (02)3474-8002,3