한국소음진동공학회 2010년 추계학술대회논문집, pp.47~48

전산유체기법과 음향상사/경계요소기법 연계를 통한 횡류팬 공력소음예측

Prediction of Aerodynamic Noise using CFD, Acoustic Analogy and BEM Coupling

위성용† · 김종수* · 김영남** · 이덕주***

Seong Yong Wie, Jong Soo Kim, Young Nam Kim and Duck Joo Lee

1. 서 론

공조 가전제품의 소음은 대부분 유동의 흐름 및 냉각에 관련된 팬과 관련이 깊다. 팬은 날개의 회전에서 받는 원심력 또는 양력을 이용하여 작동유체에 에너지를 공급하는 기구로써 이의 소음특성은 회전체의 소음특성과 같이 다루어 진다. 이와 같은 팬 소음의 예측하고 저감하는 연구와 해석 방법들이 개발 되고 있지만 정확한 해석 및 검증이 이루어 지지 않고 있다. 이로 인해 설계 및 제작에 많은 시간이 소요되며 그로 인한 추가 비용이 발생되고 있다. 정확한 성능 예측과 사양 예상하기 위해서는 검증된 팬 소음 해석 기술이 필요하다.

본 연구는 에어컨에 사용되는 횡류팬: CFF(Cross Flow Fan)소음을 효과적으로 해석하는데 그 목적이 있다. 횡류팬 소음 해석은 일반적으로 상용 해석 프로그램을 이용한 유동결과와 그 후속 해석을 통한 소음 해석으로 이루어진다. 본 연구는 이와 같은 유동 해석을 바탕으로 최적화된 소음해석기법을 제시한다. 유동 해석은 상용 유동해석 CFD 프로그램 CFX 를 이용하며 소음해석은 이와 같은 유동해석 결과를 바탕으로 이중극(dipole) 소음 고려한 음향상사법(acoustic analogy)과 시간영역 경계요소법(Boundary-Element-Method: BEM)을 이용한다.

2. 수치 해석 방법

2.1 절 횡류 팬 유동해석

팬 유동 해석은 CFX 상용 프로그램으로 이루어지게 된다. 벽면에서의 점성현상을 모사하기 위하여 RANS(Reynolds Averaged Navier-Stokes)해석이 이루어 진다. 본 유동해석은 일반적인 정상해석으로는 본 횡류팬의 유동해석이 모사되지 않는다. 이러한 이유로 시간간격과 격자에 따라 많은 계산시간을 요구하는 비정상 해석이 수행되어야 한다. 또한 계산시간을 절감하기 위하여 다수의 CPU 를 이용한 병렬해석이 수행 된다. 점성해석에 사용 되는 난류모델의 경유 SST 모델을 사용하였다. 본 연구에서는 비정상 RANS 해석을 통하여 에어컨에 사용되는 횡류팬을 유동장을 모사하고 유동해석에서 얻은 정보를 이용하여 소음해석을 수행하게 된다. 그림 1은 CFX 를 이용하여 얻은 유동해석 결과이다. 그림과 같이 횡류팬 뿐만 아니라 주변 구조물과 유동의 흐름과정을 모사하여 비교적 실제상황과 유사한 환경을 수치적으로 계산하였다.

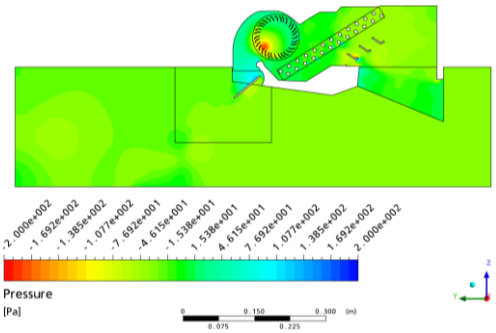

그림 1. CFX 를 이용한 유동 해석

2.2 절 횡류 팬 소음해석

팬에서 발생되는 아음속 유동소음의 대부분은 팬의 회전특성과 와류유동에 의하여 지배된다. 또한 주변 구조물과의 간섭에 의한 음파의 회절 및 산란에 의한 소음 변화가 중요하다. 본 연구에서는 음향상사기법과 BEM(경계요소법)을 적용하여 횡류팬의 소음 예측과 특성 변화를 살펴보고자 한다. 음향상사식은 식 (1)의 Lowson 식을 사용하여 이중극 소음영향을 고려하였다.

$$\rho' = \left[\frac{x_i - y_i}{4\pi a_o^3 r^2 (1-M_r)^2} \left\{ \frac{\partial F_i}{\partial t} + \frac{F_i}{1-M_r} \frac{\partial M_r}{\partial t} \right\} \right] \quad (1)$$

† 위성용; KAIST, 항공우주공학과
E-mail : wsy278@kaist.ac.kr
Tel : (042) 350-3756, Fax : (042) 350-3710
* LG 전자
** 바람과 소리㈜
*** KAIST, 항공우주공학과

ρ' 는 미소 섭동 밀도, x_i 는 관측자 위치, y_i 는 음원 위치, a_o 는 음파 속도, r 는 관측자와 음원간의 거리, M_r 은 음원의 관측자 위치로의 속도, F 음원의 하중, t 는 시간으로 표현할 수 있다.

위 식 (1)을 이용하여 자유 음장 조건에서의 음압을 계산한 후 식 (2)의 경계요소법 지배식의 source 항으로 치환하여 해석하게 된다.

$$C(P)p(P) = \int \left[p(Q)\frac{\partial G}{\partial n}(P,Q) - \frac{\partial p}{\partial n} G(P,Q) \right] dK(Q) \qquad (2)$$

C 는 경계면과 관측위치간의 solid angle 이며, p 는 음압, G 는 Green 함수, n 은 경계면의 수직벡터를 나타낸 식이다. 위 (1)식과 (2)식을 이용하여 횡류팬 주변의 소음을 해석하게 된다.

3. 해석 결과

3.1 절 유동 해석 결과

횡류팬의 유동해석을 위하여 아래와 같은 격자에서 해석을 수행하였다. 시간에 따라 팬이 직접적으로 회전하는 비정상 해석을 수행하였다.

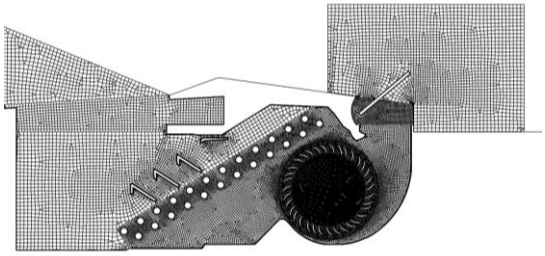

그림 1. 유동해석을 위한 격자계

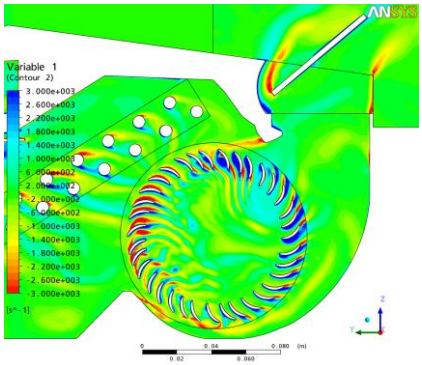

그림 2. 팬 주변의 와도 등고선

유동 해석을 수행하여 소음해석에 필요한 비정상 공력 값을 얻게 되고 이는 음향상사법과 경계요소법을 이용하여 소음 해석에 사용되게 된다. 그림 2 는 유동해석 후 팬 주변의 와도를 나타낸 그림이다. 그림에서 알 수 있듯이 팬 블레이드에서 와류 흘림과 간섭이 복잡하게 나타남을 확인할 수 있다.

3.1 절 소음 해석 결과

유동해석 후 얻은 공력값을 이용하여 소음 해석을 수행하게 된다. 그림 3 은 음향상사법을 이용하여 자유음장에서의 소음을 해석 하였다. 또한 음향상사법과 경계요소법을 연계하여 구조 형상에 의한 소음 특성 변화를 그림 4 에서 얻을 수 있다.

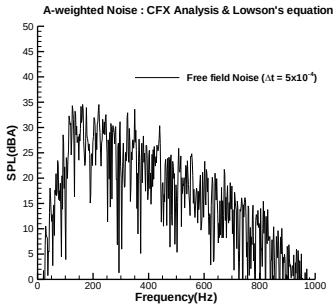

그림 3. 음향상사법을 이용한 자유음장 소음

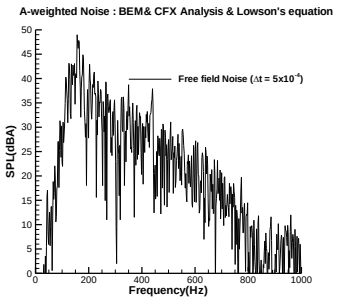

그림 4. 음향상사법과 경계요소법 연계를 이용한 소음 해석

4. 결 론

본 논문에서의 음향상사 및 경계요소법을 이용하여 소음해석을 수행하였다. 본 해석 기법은 상용해석 코드 CFX 를 이용하여 유동해석을 수행하였다. 본 수치기법은 횡류팬 및 회전 유체기계의 소음을 예측 할 수 있으면 자유음장 및 구조영향을 고려할 수 있다.