

공기조화 및 냉각시스템의 팬 소음예측 기법

Fan Noise Prediction Method of Air Conditioning and Cooling System

이진영†·이찬*·길현권**
Jin Young Lee, Chan Lee and Hyun Gwon Kil

Key Words : Fan noise(팬 소음), FNM(유동회로망모델), BPF noise(깃통과주파수 소음), Broadband noise(광대역 소음)

ABSTRACT

Fan noise prediction method is presented for air conditioning and/or cooling system applications where fan acts as an internal equipment having very complicated flow interaction with other various system components. The internal flow paths and distribution in the fan-applied systems such as computer or air conditioner are analyzed by using the FNM(Flow Network Modeling) with the flow resistances for flow elements of the system. Based on the fan operation point predicted from the FNM analysis results, the present fan noise model predicts overall sound power, pressure levels and spectrum. The predictions of the flow distribution, the fan operation and the noise level in electronic system by the present method are well agreed with 3-D CFD and actual noise test results.

터 시스템 냉각설계에 적용하여 봄으로써, 본 방법의 설계 단계에서의 예측 신뢰성을 검증해 보고자 한다.

1. 서론

최근 들어 공기조화용 제품을 주로 다루는 가전 산업 뿐만이 아니라 전자, 정보통신 및 반도체 산업은 내부 부품들의 냉각을 위해 다수의 팬을 사용하고 있으며, 이로 인해 시스템에서 유발되는 팬 소음의 문제가 제품개발에 있어서 매우 중요한 문제로 대두되고 있다. 그러나 공기조화 및 전자시스템 냉각 설계 시, 팬은 시스템 내부의 다른 여러 부품들과 같이 구조적으로나 기능적으로 복잡한 연관관계를 가지고 있고, 이로 인해 팬의 공기흐름에 따른 작동조건도 다른 부품들과의 상호작용 및 시스템 특성에 의해 크게 좌우된다. 이러한 이유로, 복잡한 유동 경로와 기류 분포를 가지고 다양한 유동저항 요소를 수반하는 시스템에 적합한 냉각 팬을 적절히 선정하고, 팬의 작동점을 예측하여 그때의 팬 소음을 예측하는 작업은 매우 어려운 일이다.

그러므로 본 연구는 시스템 냉각 팬 선정에 위한 체계적인 시스템 내부 유동분석 방법과 팬 소음 평가기법을 제시하고자 한다. 그리고 본 방법을 실제 공기조화 및 컴퓨

2. 팬 소음 예측 방법

2.1 시스템 내부 유동 분석 및 팬 작동조건 결정 방법

팬을 이용하는 공기조화 및 냉각 시스템의 내부 유동에 대한 유동 경로들과 각 경로들에 대한 유량 배분을 구하기 위하여, 본 연구는 비교적 단순하면서도 신뢰성 있는 유동회로망(FNM) 기법을 사용하였다. 일반적으로, 유동회로망 기법에 있어서, 시스템 내부 유동경로상의 모든 부품들은 공기저항을 가지는 유동요소들로 간주될 수 있으며, 유동요소를 통과하는 기류들의 질량보존 관계식과 압력/유동 저항 관계식을 이용하여 시스템 내부의 복잡한 유동을 근사할 수 있다[1].

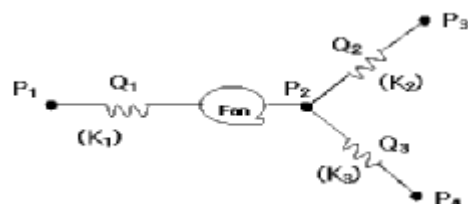


Fig. 1 Flow Network Model

† 이진영; 수원대학교 기계공학과 대학원
E-mail : cleee@suwon.ac.kr
Tel : (031) 220-2219, Fax : (031) 220-2494

* 수원대학교 기계공학과

** 수원대학교 기계공학과

Fig. 1 에서 보여 지듯이, 각 유동요소들을 전후하여 유동 절점(flow node point)을 정의하고, 유동요소들을 통과하는 공기의 유량(Q_1, Q_2, Q_3)과 각 유동요소들의 유동저항을 표현하면 다음과 같다.

$$Q_1 = Q_2 + Q_3 \quad (1)$$

$$P_2 - P_1 = -K_1 Q_1^2 + \Delta P_{fan}(Q_1) \quad (2)$$

$$P_3 - P_2 = -K_2 Q_2^2 \quad (3)$$

$$P_4 - P_3 = -K_3 Q_3^2 \quad (4)$$

이때 P 는 공기압력을, ΔP_{fan} 는 팬의 성능곡선을, K 는 유동저항계수를 나타내며 다양한 유동요소들에 대한 유동저항계수는 경험적 상관관계식들[2]로부터 구할 수 있다.

관심의 대상인 시스템의 내부에 존재하는 각 요소들을 통과하는 공기흐름들에 대해 앞서의 유동회로망 모델을 표현하면, 다수의 비선형 연립방정식들이 도출되고 이에 대한 수치적 해들은 각 유동경로에 대한 공기 유량과 압력을 나타낸다. 그리고 이렇게 구해진 결과로부터, 팬을 통과하는 공기의 유량 및 압력차가 팬의 작동조건을 나타낸다.

2.2 팬 소음 예측 방법

앞서 2.1절의 방법으로 구해진 팬의 작동조건과 팬의 설계사양을 토대로, 팬의 소음을 예측할 수 있다. 본 연구는 팬 소음을 특정한 조화 주파수에서 발생하는 이산주파수 소음(discrete frequency noise)과 넓은 주파수범위에서 발생하는 광대역 소음(broadband noise)로 나누어 모형화 하였다.

이산주파수 소음은 팬 정상추력(steady thrust)과 블레이드 간섭(blade interaction)에 대한 소음을 Gutin 의 이론[3]을 이용하여 예측하였다. 또한 광대역 소음은 블레이드 표면의 압력 섭동을 유발하는 소음원으로 난류 경계층(turbulent boundary layer)과 후류 와류(vortex wake)에 의한 것으로 간주하였고, 각 소음원에 대한 예측을 위해 난류 경계층에 대해서는 Wright 의 모형[3]을, 후류 와류에 Fukano[4] 의 모형을 사용하였다.

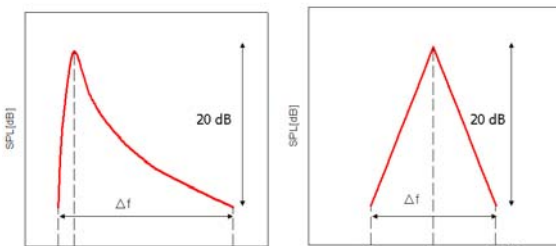


Fig. 2 Broadband noise spectrum

그리고 소음 주파수 스펙트럼의 예측을 위해서는 filter 이론을 이용하였고, 이때 스펙트럼의 형상과 주파수 폭(Δf) 을 결정하기 위해서 quality factor Q 를 사용하였다. 난류 경계층 소음의 경우 Q 값은 1/8-1/10 정도인 것으로 알려져 있으며, 본 연구에서는 Q 값을 1/10 로 설정하였다[3].

3. 해석 결과 및 검토

3.1 공기조화장치의 실외기

앞서 2.1-2.2절의 방법을 Fig. 3의 공기조화장치 실외기에 적용하였다. 또한 팬과 그 전, 후방에 위치한 환기구(vent) 및 응축기(condenser)와의 유동회로망 모델이 Fig. 3에 표현되어 있다.

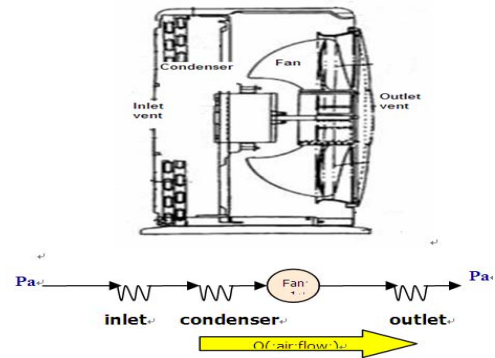


Fig. 3 Outdoor unit of air conditioning system

유동회로망 방법을 이용하여 예측된 팬의 작동유량은 44.4 m^3/min 이었고, 예측 값이 46.0 m^3/min 의 시험결과와 잘 일치하였다. 또한 예측된 팬 작동 조건을 토대로, 본 방법을 이용하여 예측된 팬 소음의 주파수 스펙트럼은 Fig. 4와 같은 특성을 가지며, 이때 예측된 총 소음레벨 값은 60.0 dB(A) 로서 측정결과 57.5 dB(A) 와 매우 잘 일치하였다[5].

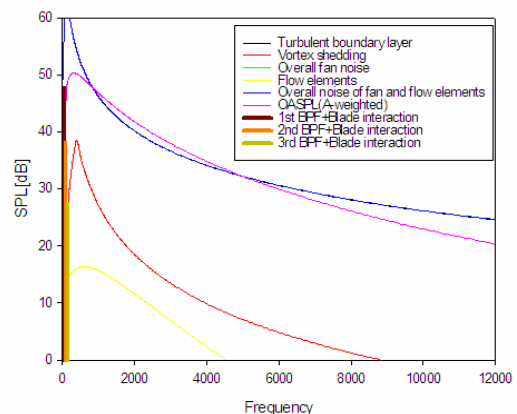


Fig. 4 Fan noise spectrum of air conditioning system

3.2 공랭식 컴퓨터 시스템

Figs. 5, 6 은 팬을 이용하여 전자부품들을 냉각하는 컴퓨터 시스템의 내부와 그에 대한 유동회로망 모형을 보여 주고 있다.

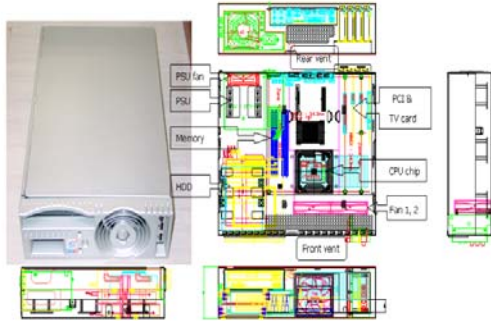


Fig. 5 Internal configuration of PC

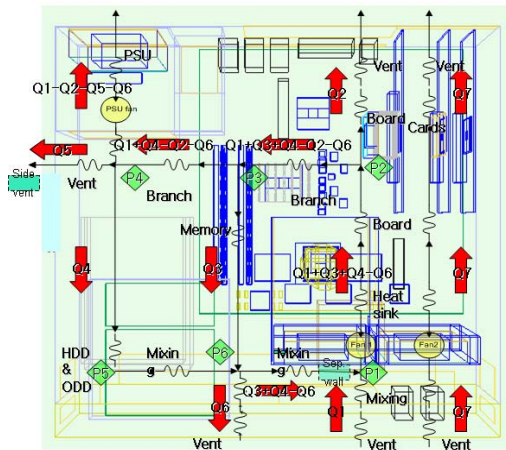
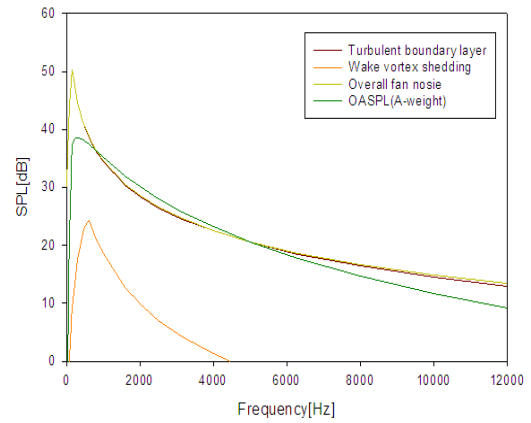


Fig. 6 Flow network model of PC

3.1 절의 공기조화장치의 경우에 비해, 이 경우는 각 전자부품 들을 통과하는 공기흐름이 매우 복잡하고, 서로 다른 방향의 많은 유동 경로들을 보이므로, 팬을 통과하는 공기 유량을 결정하는 데에 많은 요인들이 복합적으로 작용한다. 그러므로 본 연구는 이러한 복잡한 유동 상호작용을 표현하기 위해 6개의 압력과 7개의 유량에 대한 13개의 방정식이 연립된 형태의 유동회로망 모형을 사용하였다[5].

본 방법에 의해 계산된 팬의 작동조건을 토대로 예측된 CPU 냉각 팬(팬#1)의 소음 스펙트럼은 Fig. 7 과 같으며, 팬의 총 음압레벨(overall sound pressure level)은 48.9 dB(A) 로 예측되었고 실제 측정값 46.5 dB(A) 와도 비교적 잘 일치하였다[5].



Figs. 7 Fan noise spectrum of PC system

4. 결론

유동회로망 모델과 팬 소음예측 모델을 결합하여 시스템 팬의 작동 조건과 그때의 소음 특성을 예측하는 방법을 제안하였다. 본 방법에 의한 팬 소음 예측결과가 실제 측정결과와 잘 일치하였다. 그러므로 본 방법은 팬을 이용하는 공랭식 공기조화 및 전자 시스템들의 기본 설계과정에 매우 유용하게 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

참고 문헌

- (1) Ishizuka, M., 1994, "A Thermal Design Approach for Electronic Equipment by Use of a Personal Computer and Flow Visualization," Cooling of Electronic System, Kluwer Academic Publisher, pp. 293 ~ 312
- (2) <http://www.pressure-drop.com/Online-Calculator>
- (3) Wright, S.E., 1976, "The acoustic spectrum of axial flow machines," J. of Sound and Vibration, vol.45, no.2, pp.165-223
- (4) Fukano, T., Kodama, Y. and Senoo, Y., 1977, "Noise generated by low pressure axial flow fans, I: Modeling of turbulent noise," J. of Sound and Vibration, vol. 50, no.1, pp.63-74
- (5) Lee, C., Kwon, O.K. and Yun, J.H., 2007, "The noise prediction method of the system fan by using flow network model," 9th Asian International Conference on Fluid Machinery Proceedings