

무향팬테스터를 이용한 냉장고용 팬 성능/소음 측정 Measuring performance and SPL of refrigerator fan using anechoic fan tester

정정교*·이준화*·주재만*·강정훈*

Jeoung jeoung-kyo, Lee jun-hwa, Joo jae-man and Kang jung-hun

Key Words : Fan Tester(팬 테스터), Refrigerator(냉장고),

ABSTRACT

Acoustical noise at low frequency range (below 500Hz) of refrigerator result from fans which are inside of the refrigerator. In generally to evaluate and apply to refrigerator it is recommended that acoustical noise and fluidic performance of the fan were measured simultaneously. To do that twin-room type anechoic wind tunnel was needed. But constructing twin room type anechoic wind tunnel was very expensive and estimation of small refrigerator fan performance was not easy. So in this paper we composed anechoic fan tester. A successful noise and performance measurement was performed using the anechoic fan tester. Existing 22 kinds of refrigerator fan were investigated and mapped into one database. Refrigerator duct pressure resistance were measured and reflected into the fan database to find out appropriate fan. Through the application of fan database, the refrigerator became less noise compared to current one and these data shows what is the best way to reduce fan noise.

기 호 설 명

- ρ 공기밀도 [kg/m³]
- α 유량계수
- β 직경비
- ϵ 팽창계수
- r_d 정압비율,
- Re 레이놀즈수
- q_m 유량 [kg/s]
- Ψ 무차원 정압계수
- Φ 무차원 유량

1. 서 론

가전제품중 냉장고는 생활에 없어서는 안될 필수품으로 24 시간 작동할 뿐만 아니라 최근 생활 수준 향상에 따라 냉장고 정음화에 대한 소비자 요구가 높아지고 있다. 냉장고의 주요 소음원은 크게 압축기와 냉장고 내부 유동 및 압축기와 응축기 냉각용으로 사용되는 송풍팬으로 나뉜다. 최근 소비전력 및 소음을 향상시키기 위한 가변 용량 압축기 등의 개발로 인해 압축기의 소음이 저감되면서 팬소음의 기여도가 높아졌으며 팬소음 저감의 필요성이 대두되고 있다.

냉장고에서 팬소음은 팬 송풍소음이 내부 공간 및 냉장고 외벽을 통해 밖으로 투과해 나가는 유동소음과 모터 진동에 의한 냉장고 고체기인소음(structure bone noise)로 나뉘지며 팬 소음을 저감할 수 있는 저소음 팬을 개발하기 위한 많은 연구가 활발히 진행되고 있다. 이러한 연구결과를 뒷받침하기 위해 팬 성능 및 소음을 측정할 수 있는 장치가 개발되어 오고 있다.

팬 소음의 경우 유로구조 및 부하에 따른 회전 수 및 소음이 변하기 때문에 기존 사용하는 팬을 다른 냉장고에 적용하였을 경우 소음 특성이 달라진다. 또한 팬이 설계점을 벗어난 영역에서 작동되는 경우가 발생하여 전체 시스템의 성능저하 및 소음 등의 문제를 야기하고 있다. 따라서 냉장고 적용시 팬의 성능 및 소음을 예측하기 위해 평가 시 두 가진 경우를 동시에 측정하는 것이 바람직하다. 팬 성능 및 소음을 동시에 측정하기 위해 트윈룸 형태의 무향풍동을 사용할 수도 있으나 그 같은 큰 설비의 경우 시험장비를 갖추는데 큰 비용이 드는 단점이 있으며 한편으로 냉장고 팬과 같이 유량이 작은 경우에 정확한 유량 측정에 적합하지 않다. 따라서 본 논문에서는 소음과 성능을 동시에 측정할 수 있는 팬테스터 구성하고 소음 및 성능에 대한 평가를 하였으며 이 후 팬테스터를 이용하여 냉장고용 팬에 대한 소음/성능 측정된 결과를 기술하였다. 또한 시스템 저항을 측정하여 냉장고용 원심팬의 시스템 적합성을 평가

* 삼성전자 가전연구소
E-mail : jk.jeoung@samsung.com
Tel : (031) 218-5275, Fax : (031) 218-5196

한 사례에 대하여 기술 하도록 하겠다.

2. 팬 테스트 구성

2.1 팬 소음 성능 측정 장치

일반적인 경우 팬 성능과 소음은 따로 측정하기 보다는 동시에 측정할 수 있는 방법으로 측정해야 한다. 동시측정을 위해 용이하게 사용할 수 있는 방법이 ANSI test plenum chamber²⁾를 사용하는 방법인데 이 경우 정밀한 유량 측정을 하지 못한다. 따라서 기존 팬테스터에서 발생하는 소음의 영향을 최소화하여 팬 성능/소음을 동시에 측정하기 위한 장치를 아래 그림 1 과 같이 구성하게 되었다. 구성된 팬 테스터는 흡입형 다중 노즐 설치형으로 제작되었으며 유동을 균일화하기 위해 스크린을 노즐 전후에 설치 하였다. 보조 송풍팬에서 발생하는 소음을 머플러를 이용하여 저감시켰다. 풍량범위를 변경하면서 실험하기 위해 직경이 다른 8 개의 노즐을 그림 2 와 같이 타원형상의 곡물을 이용하여 설치하였다.

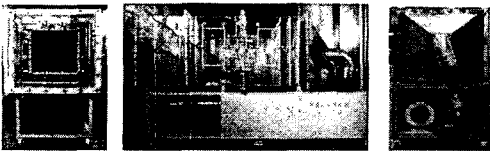
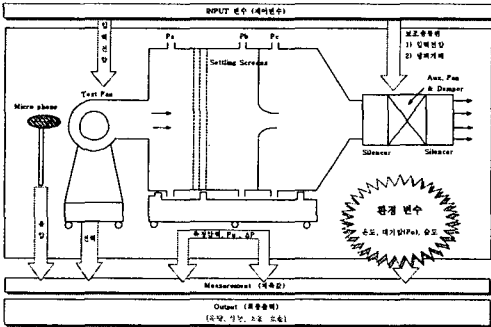


Fig 1. Anechoic fan tester

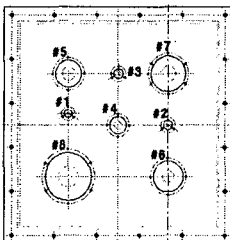


Fig 2. Nozzle setup

2.2 풍량 산출 방법

팬 테스터의 풍량 산출 방법은 ISO 5801 의 산출 식을 사용하였으며 이때, 공기온도와 습도에 따른 밀도, 유량계수(α), 직경비(β), 팽창계수(ϵ), 정압비율(r_d), 레이놀즈수(Re)를 반영하였다. 이에 관련된 계산식을 정리 요약하면 다음과 같다¹⁾.

$$\rho_x = \frac{p_x}{R_w \Theta_x} \quad (1)$$

$$\Theta_x = t_x + 273.15$$

$$R_w = \frac{p_a}{\rho_a \Theta_a} = \frac{287}{1 - 0.378 \frac{p_v}{p_a}}$$

$$p_v = h_u(p_{sat})_t$$

$$q_m = \epsilon \sum_{i=1}^n (\alpha_i d_i^2) \frac{\pi}{4} \sqrt{2 \rho_u \Delta p} \quad (2)$$

$$\alpha = \left[0.9986 - \frac{7.006}{\sqrt{Re_d}} + \frac{134.6}{Re_d} \right] \left[\frac{1}{\sqrt{1 - \alpha_{AU} \beta^4}} \right] = \frac{C}{\sqrt{1 - \alpha_{AU} \beta^4}}$$

$$Re_d = 0.95 \alpha d \frac{\sqrt{2 \rho_u \Delta p}}{(17.1 + 0.048 Re_u)} \times 10^6,$$

$$\beta = \frac{d}{D}$$

$$\epsilon = \left[\frac{\kappa r_d^{2/\kappa} (1 - r_d^{(\kappa-1)/\kappa})}{(\kappa-1)(1-r_d)} \right]^{0.5} \left[\frac{1 - \beta^4}{1 - r_d^{2/\kappa} \beta^4} \right]^{0.5}$$

$$r_d = \frac{p_u - \Delta p}{p_u} = 1 - \frac{\Delta p}{p_u}$$

$$\kappa \text{ isentropic exponent} = \frac{c_p}{c_v}$$

2.3 시험 절차 및 성능 평가

소음 및 성능을 동시에 측정하기 위해 팬테스터는 무향실에 설치되어 그림 3 과 같은 절차로 측정하였다. 그림 4 는 노즐별 성능곡선을 나타내고 있으며 그림에서 나타난 바와 같이 서로 다른 노즐을 사용한 경우에도 성능 곡선이 동일분포선 상에서 일치하는 값으로 나타났다. 이는 팬테스터의 챔버내에서 전 단면에 균일한 유동분포가 형성되어 있음을 알 수 있다. 소음의 측정위치는 측정 팬 후면 50 cm 떨어진 위치에서 측정하였으며 정압 0 인 조건을 자유장(Free field)에서 측정한 소음 스펙트럼과 비교하여 시험장치의 신뢰성을 평가하

였다. 그림 5 는 팬 테스트 시스템의 소음 성능을 평가한 그래프로 앞서 기술한 조건 즉, 정압 측정 결과가 0 일 때 노즐 및 보조 송풍팬에 의한 소음 스펙트럼의 변화를 측정하였으며 저주파수 BPF 에서의 피크 레벨의 차가 2dB(A)이하이며 전체 O.A. 값을 오차범위내에서 동일하게 설정할 수 있는 보조송풍팬 작동조건을 설정하여 실험을 진행 하였다.

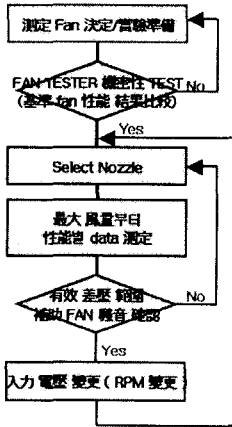


Fig 3. Test Procedure

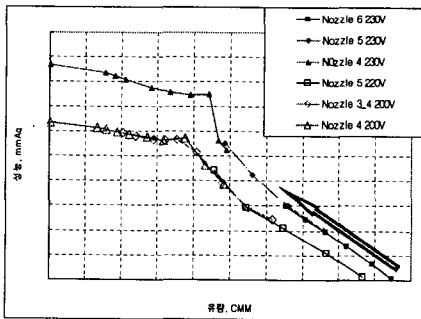


Fig 4. Nozzle test of anechoic fan tester

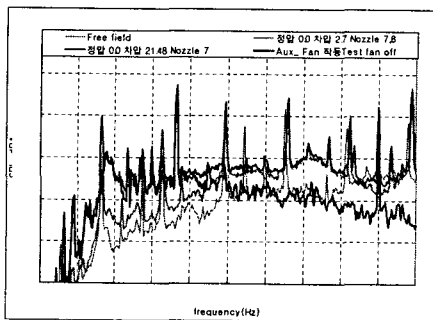


Fig 5. SPL (fan tester and free-field)

3. 냉장고 팬 실험 결과 예제

앞에서 살펴본 소음과 성능을 동시에 측정하기 위해 제작된 팬테스터를 이용하여 현재 사용되고 있는 냉장고용팬 22 종류에 대하여 성능과 소음을 측정하였다. 본 논문에서는 양문형 냉장고에 사용되는 원심팬 및 축류팬에 대한 측정 결과를 예제로 표현하였다. 식 (3)은 무차원화된 팬 성능식이고 식 (4)는 무차원화된 유량식이다³⁾.

$$\Psi = \frac{\Delta P}{\rho V_{tip}^2} \quad (3)$$

$$\Phi = \frac{Q}{A_{fan} V_{tip}} \quad (4)$$

그림 6 은 양문형 냉장고 축류팬에 대한 성능/소음곡선이다. 그래프상 실선은 유량에 대한 성능을 표시하였으며 점선은 효율을 나타냈다. 팬-모터 시스템의 효율은 모터 입력 전력에 대한 팬의 일로 정의하였다.

그림 7 은 양문형 냉장고 축류팬에 대한 성능/소음 곡선이다. 각 곡선에서 컨투어로 표현된 값은 소음 레벨을 나타내고 있으며 각 단계별로 2dB 의 소음차이를 나타낸다. 원심팬의 경우 (그림 7) 소음레벨이 팬 rpm 에 대하여 큰 상관관계를 가지면 축류팬의 경우 rpm 과 정압에 영향을 받고 있음을 알 수 있다.

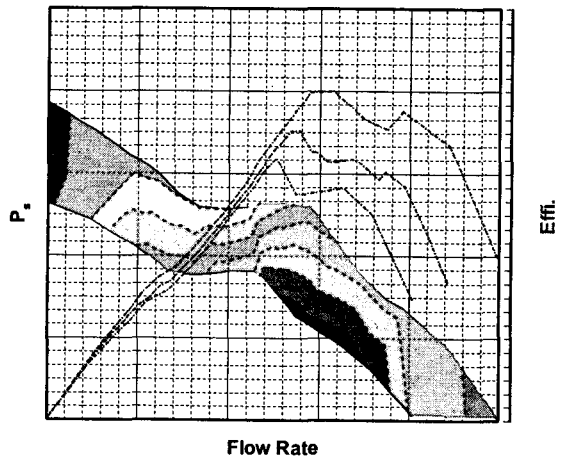


Fig 6. Fan SPL and Performance using SBS machine room

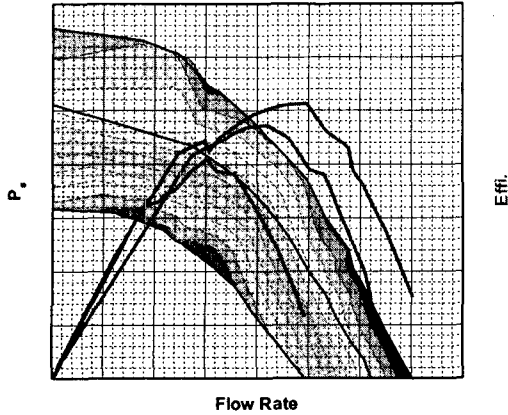


Fig 7. Fan SPL and Performance using SBS inside fan

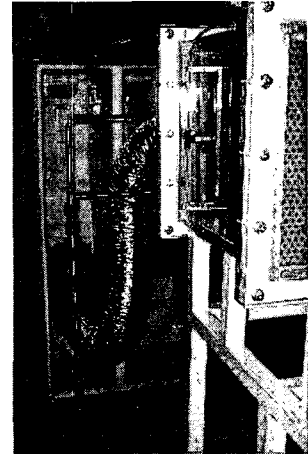


Fig 8. Set-up for system resistance

4. 시스템 평가 결과

4.1 실험 SETUP

앞서 살펴 본 바와 같이 팬은 작동환경에 따라 소음과 성능 특성이 매우 다르다. 따라서 팬이 작동하는 시스템에 대한 정확한 정보가 팬 설계 및 선정에 있어 중요한 인자가 된다. 손쉽게 시스템 덕트 저항을 측정하기 위한 실험 장치를 그림 8 과 같이 구성하였다. 시스템 저항 측정 결과를 검증하기 위해 두 가지 방법으로 실험을 진행하였으며 첫번째 방법은 토출식 팬테스터를 이용하여 냉장고 고내 덕트의 흡입구로 유동을 토출하는 방법을 택하였다. 이 경우 풍량과 저항을 측정하여 시스템 덕트의 저항 곡선을 구할 수 있다. 두번째 방법은 냉장고내 팬을 작동시키면서 입력단 정압이 0 이 되도록 한 후, 풍량을 측정하는 방법으로 작동점에서의 유량을 계측함으로써 시스템 정압을 예측하는 방법이다. 시스템 저항 측정 결과를 표 1 에 정리하였다. ①방법으로 측정한 시스템 저항곡선과 팬 성능 곡선의 교점을 ②방법으로 측정된 유량을 기준으로 한 저항값과 비교하였을 때 ①의 유량과 저항을 1 이라면, ②방법으로 측정된 결과는 각각 0.994, 1.011 로 1 % 내외 오차 범위로 동일한 결과를 얻을 수 있었다.

Table 1. System resistance

	방법	유량	저항
①	유량측정	1	1
②	덕트저항측정	0.994	1.011
	오차	0.06 %	1.1 %

5. 결론

팬 성능과 소음을 동시에 측정할 수 있는 팬테스터를 구성하고 성능 및 소음특성에 대한 검증 시험을 수행하였다. 검증된 무향 팬테스터를 이용하여 20 여종의 양산 팬에 대한 성능/소음을 측정하여 향후 팬설계 및 선정에 사용할 데이터를 구축하였다.

측정된 결과 및 시스템 유량을 측정하여 이용하여 양문형 냉장고의 시스템 저항을 측정하였으며 다른 방법으로 시스템 저항을 측정한 결과와 비교하였을 때, 유효범위내에서 일치하고 있음을 알 수 있다.

참고 문헌

- (1) ISO 5801 industrial fans – Performance testing using standardized airways.
- (2) ANSI S12.11 American National Standard : method for the measuring of noise emitted by small air-moving device
- (3) D.A. Quinlan, P.H. Bent, High frequency noise generation in small axial flow fans, J. of sound and vibration 1998, V218(2), pp177-204.