

가전기기의 저소음 기술

林 茂 生

大宇電子株式會社 回電機研究所

I. 서 론

가전기기의 소음과 진동을 줄이려는 노력은 소비자의 생활 수준이 고급화되고 제품의 고기능화가 추구되면 될수록 더욱 더 절실히 요구되고 있는 기술이다. 특히 소비자에게 친숙하게 사용되어야 할 가전기기는 소비자가 원하지 않는 소리, 즉 소음으로 부터 철저히 차단되어야 한다. 소음의 정의를 여러 가지 방법으로 정의할 수 있겠지만 가전기기를 개발하고 연구하는 사람의 입장에서의 소음은 소비자가 원치않는 가전기기의 작동음이다. 이러한 원치 않는 작동음은 제품의 효율과 기능이 아무리 빼어난다고 하더라도 제품의 품위를 손상시키는 요인이 된다. 가전기기의 소음은 앞서 서술한 불쾌한 소음 이외에도 제품의 내구성을 해치는 요인으로 등장한다. 가전기기뿐만 아니라 모든 작동기계에서의 소음이나 진동은 부품의 신뢰성을 저하시키고 부품간의 상호 작동을 불량하게 만드는 원인이 된다. 따라서 소음이나 진동을 절대적으로 제거하는 노력은 소비자들에게 선호받는 제품을 만들 수 있을 뿐만 아니라 제품의 내구성도 향상시키는 방법이다. 소음이나 진동을 저감시키는 대책으로는 소음원을 고립(Isolation)시키는 차음기술, 부품의 제작공차를 엄밀히 유지하여 작동시의 진동이나 소음을 최소화 하는 기술, 소음원으로 부터 외부로의 전달과정에서 소음을 다른 형태의 에너지(예로서, 열에너지)로 바꾸는 기술, 그리고 재료의 특별한 선택을 통해 제품의 소음원에서 발생하는 소음이나 진동의 전달이 잘 이루어지지 않게 하는 기법이 있다. 가전기기의 소음을 저감시키는 대책중 중요하면서도 효과적인 간단 기술은 차음기술이다. 차음기술이란 용어자체에서 알 수 있듯이 소음원을 소비자의 귀로부터 차폐시키는 기술이다. 물론 대부분의 차음기술이 손쉽게 성공을 하지는 않지만 어떤 특정한 주파수범위(실제로 저주파수범위)의 소음원 차폐는 매우 효율적인 소음저감 효과를 제공한다. 마지막에 언급한 특별한 재료란 가전제품에서 널리 사용되는 재진 강판이 그 예이다. 또 다른 예로 이중벽(벽과 벽사이에 공기

와 같은 다른 매질로 채운 것)을 들 수 있다.

가전 기기를 크게 전기 기기와 전자 기기로 구분해 보면 소음에 관한 염려를 지극히 필요로 하는 것은 역시 전기 기기이다. 전기 기기의 소음 문제가 이처럼 첨예하게 등장하는 이유는 전기 기기의 대부분 대용량 모터로 구동되기 때문이다. 여기에서 언급하는 대용량 모터는 모터의 출력이 크다는 사실 이외에도 고속회전하는 유체기계 전부를 가리킨다. 고속회전하는 모터에 의한 소음이 이처럼 큰 문제로 대두되는 다른 이유로는 모터에서 발생하는 소음이나, 진동이 가전기기의 본체의 어느 부분에서는 공명현상의 일부로 확대되기조차 하기 때문이다. 일반적으로 대처하기가 쉽지 않은 가전기기의 소음 문제는 유체기계의 운전에서 비롯되는 유체관련소음(Flow Induced Noise and Vibration)이다. 유체관련소음이 그 대책에 있어서 곤란한 이유는 유체의 유동으로 발생된 소음의 경우 소음 감소의 노력이 오히려 유동 효율을 저하시킨다는 사실이다. 이처럼 유동의 흐름에 에너지를 주거나 받거나 하는 과정에서 발생된 소음은 소음을 억제시킬 때 유체기계(Turbo machinery)의 성능(실제적으로 유량, 양정, 출구속도 등)을 저하시키기도 하므로 매우 신중한 노력을 기울여야한다.

본 논문에서는 가전 제품의 개발과정에서 찾은 몇가지 실예를 중심으로 저소음 대책을 설명하겠다. 특히 그런 실예들은 팬(fan)에서 부터 유발된 소음, 재료의 신중한 선정을 통한 저소음 효과들을 중심으로 서술한다.

II. 본 론

소음이란 무엇인가. 일반적으로 인간은 빛, 열, 무선판, 해양파, 음파 등의 파에 의해 둘러 싸여 있다. 그중 어떤 波들은 인간을 즐겁게 하며 아무 느낌없이 인간의 감각기관을 자극하기도 한다. 이러한 여러가지의 波들중에서 우리에게 항상 노출되어 있는 것이 음파(Sound wave)이다. 그러나 인간이 모든 종류의 음파를 들을 수는 없다. 그럼

에도 불구하고 인간의 귀는 결코 복제할 수 없는 민감한 기관이다. 같은 소음에 대한 사람의 느낌은 모두 각기 다르다. 따라서 인간의 입장에서 소음이란 인간이 바라지 않는 모든 소리라고 정의할 수 있다. 일반적으로 음이란 파형(Wave form)을 그리는 wave의 형태이기 때문에 차음이나, 이중벽, 특별한 재질을 이용하여 적절히 차단, 또는 감쇄가 가능하다.

1. 이중벽을 이용한 소음 감쇄 기법

먼저 이중벽을 이용한 소음 감쇄 기법을 살펴보자. 위에서 언급했듯이 소음이란 에너지를 가진 파형의 움직임이므로 전달 매질이 없이는 전달도 인간이 느낄 수도 없는 것이다. 그러나 우리가 살고 있는 대기중에는 공기(공기의 밀도를 ρ 라 표기하자)라는 훌륭한 전달 매질이 있으므로 소음원로부터 인간의 귀에 적절히 도달할 수 있는 것이다. 이중벽이란 두 개의 벽사이 거리를 두고 그 사이에 일반적으로 공기만을 남겨두면 음파가 그 이중벽을 통과하면서 에너지를 감소시키게 하는 소음 저감 장치의 일종이다.

다음의 그림 1은 거리가 d만큼 떨어진 두 개의 벽을 지난 음원의 감쇄정도를 나타낸다. 그림 1의 두벽은 각기 질량이 m_1 과 m_2 이고 입사음의 음압(p_i)이 입력되어 반사음압(p_r)과 투과음압(p_t)으로 나뉘는 것을 나타내고 있다. 거리 d만큼사이의 이중벽 사이에는 공간(실제로는 대기)을 만들어 음원의 감쇄를 유발시킨다. 진행하는 음압이 처음 만나는 벽을 벽 1이라 하고 두번째 벽을 벽 2라고 하면 음압관계식은 다음과 같이 표현된다.

특히 벽 1에서는,

$$(p_i + p_r) - (p_1 + p_2) = j\omega m_1 \frac{p_i + p_r}{\rho c} \quad (1)$$

$$p_1 - p_r = p_1 - p_2 \quad (2)$$

한편, 벽 2에서는

$$(p_1 e^{-jkd} + p_2 e^{jkd}) - p_t = j\omega m_2 \frac{p_1}{\rho c} \quad (3)$$

$$p_i e^{-jkd} - p_r e^{jkd} = p_t \quad (4)$$

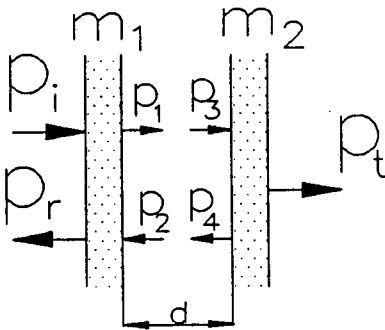
가 성립된다. 여기서 ρ 는 두 개의 벽사이의 매질의 밀도이며, $j \times j = -1$ 이다. 특히 음향학의 기본 관계식인 다음을 이용하면, $k = \omega/c = 2\pi f/c$ 이 만족되므로 위의 식 (1)부터 (4)까지의 식은 다음의 식 (5)로 된다.

$$\frac{p_i}{p_t} = \left(1 + \frac{\omega(m_1 + m_2)}{2\rho c} \cos kd + \frac{j\omega(m_1 + m_2)}{2\rho c} - \frac{\omega^2 m_1 m_2}{\rho^2 c^2} \right) \sin kd \quad (5)$$

음원의 투과 손실 TL을 다음과 같이 정의하면, 이중벽을 지난 투과 손실은 다음과 같이 된다.

$$TL = 10 \log \left| \frac{p_i}{p_t} \right|^2 = 10 \log \left[1 + \left(\frac{\omega m}{\rho c} \right)^2 (\cos kd - \frac{\omega m}{\rho c} \sin kd)^2 \right] \quad (6)$$

이는 실제로 5~6dB(A) 정도의 소음 감소 효과를 유발한다.



〈그림 1〉 이중벽을 지나는 음원의 감쇄정도

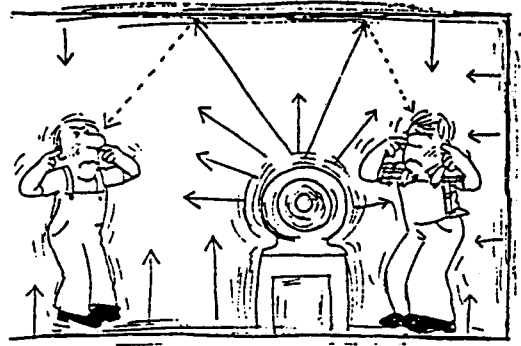
이렇듯 이중벽을 이용한 소음 감쇄 기법은 소음 저감에는 매우 효과적이지만 필요없는 공간을 요구한다는 단점도 있다. 실제로 자동차의 엔진 룸부분 등과 같이 소음원에 가까운 부분에서는 주로 사용되는 기법이다.

2. 차음의 기술

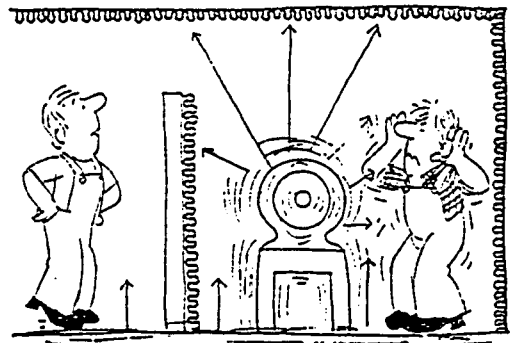
차음이란 용어 그대로 소음원을 소비자로부터 차단 시켜 소음의 전달 통로를 인위적으로 차단하는 기법이다. 다음의 그림 2, 3, 4는 차음의 단계가 완전해질 수록 소비자가 느끼는 만족도를 도식적으로 설명한 것이다.

일반적으로 차음의 효과는 투과한 음의 강도가 입사된 음의 강도(Intensity)에 비해 얼마나 많이 감소되었는가를 비로 환산하여 표시한다. 투과율(τ)은 다음의 식으로 표시된다.

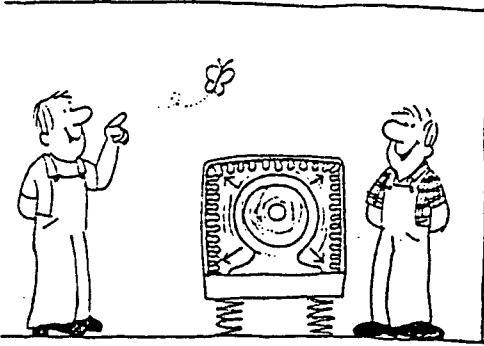
$$\tau = I_t / I_i \quad (7)$$



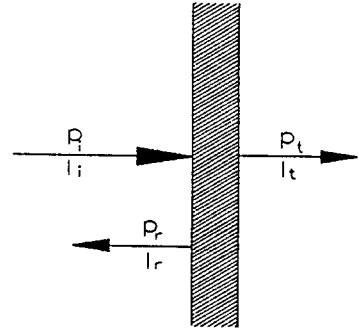
〈그림 2〉 차음의 개념이 도입되지 않은 작업장



〈그림 3〉 1차적인 차음 기법이 도입된 작업장



(그림 4) 완전한 차음 기법이 도입된 작업장



(그림 5) 차음벽 통과 전후의 음파의 변화

또한 투과 손실(TL)은 식 (8)과 같이 정의된다.

$$TL = 10 \log(\tau) [dB] \quad (8)$$

예로서 차음벽을 통해 음의 강도가 절반으로 감소되었다면, τ 의 값은 2가 되고 투과손실은 3.01이 된다. 이는 물리적으로 3.01dB 만큼 소음이 감소되었음을 의미한다. 다음의 그림 5는 차음벽을 통과하기 전·후의 음파의 강도 및 음압 변화 모습이다. 다음의 표 1은 대표적 재질에 대한 소음 감쇄치를 나타낸다.

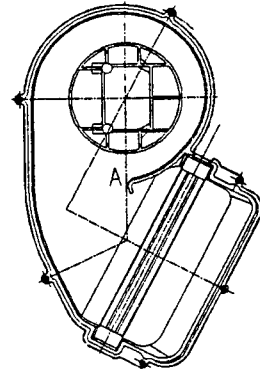
(표 1) 대표적 재료의 손실 계수

재 료	손실계수(20℃)
강	<0.0001
동	0.001
납	0.015
합 판	0.01
석 고 판	0.03
경 질 염 화 비 닐	0.036
폴 리 에 칠 렌	0.10

실용적인 면에서 차음의 기술이 성공한 예는 진공 청소기와 전자동 세탁기에서 발견된다. 진공 청소기의 경우 흡음방(muffler chamber system)은 앞케이스(front case)와 뒤케이스(rear case)와 이 내부에 부착되는 제흡음장치들로 구성되어 있

다. 원래 소음기(muffler)는 음의 전달 감소 목적으로 형성시킨 파이프 또는 덕트(duct)의 어떤 부분을 말하는데 기체의 흐름을 허용하면서 일종의 음향적 여파기의 역할을 하며 그 성능은 주파수에 따라 변한다. 여기에는 분산소모형(dissipative muffler)과 반응형(reactive muffler)의 두 가지가 있는데, 분산소모형은 그 성능의 대부분이 흡음재에 의하여 얻어지게 되며 비교적 넓은 주파수 대역에서 소음감소 특징이 있고, 반응형은 기하학적 형상에 의해 성능의 대부분이 얻어지는 것으로 한 개 이상의 챔버(chamber), 레조네이트(resonator) 또는 한정된 단면의 파이프를 통해 음을 반사시켜 음원으로 돌려 보내거나 챔버 내에서 왔다 갔다 하게 하여 음의 통과를 방지하게 하는 방법이다. 흡음방은 이 두 가지 방식의 소음기 원리를 혼합, 발전시킨 것으로 음원이 되는 펌프모터를 철판이 인서트(insert) 성형된 케이스로 둘러싸 챔버를 만들어 준 것은 반응형 소음기의 원리이며 펌프모터 주위와 케이스 내부에 다수의 흡음재를 부착한 것은 분산소모형 소음기의 원리이다. 흡음방이 있는 경우는 소음기의 기능에 의한 차음의 효과와 함께 기계적 진동에 대한 방진의 효과도 거둘 수 있다. 전자동 세탁기의 모터에서는 모터 전체를 수지로 둘러싸아 소음을 근본적으로 차단하였다. 요즘은 이 기술이 매우 보편화 되어 이와 같이 만든 모터를 레진 모터(Resin motor)라고 보통명사 처럼 부를 정도이다. 이 레진 모터는 소음 감쇄 효과도

탁월하여 3dB 정도가 모터 단품에 대해서 소음 감소로 나타난다. 레진모터가 일반 스틸 모터에 비해 소음 전달 정도가 작은 것은 직접적인 소음의 차단 이외에도 구동 부위에서의 운전시 진동을 없애기 때문이다. 일반 스틸 모터의 경우 모터의 진동이 모터 표면의 재료의 떨림으로 나타나 새로운 소음으로 대기중에 그대로 방출, 전달 되는데 비해 레진 모터의 경우에는 소음의 차단뿐만 아니라 새로운 소음원이 될 수 있는 스틸 모터 표면의 진동을 흡수하기 때문에 큰 효과를 발휘하게 된다. 그러나 추가로 발생하는 문제는 또한 존재한다. 수지로 전기 모터를 감쌌기 때문에 냉각이 불충분하여 제품의 신뢰성을 해치는 측면도 있다. 따라서 이의 채용시에는 냉각팬의 새로운 고려를 신중하게 생각해야 한다(참고문헌 5참조).



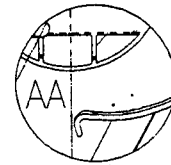
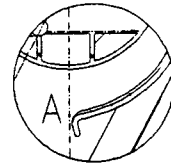
〈그림 6〉 대표적 송풍팬 본체의 Cut-off 형상

3. 유체 유발 소음의 감소기술

유동하는 유체에 의해 유발되는 소음은 가전 제품에서 자주 등장하는 문제이면서 그 대처가 결코 용이하지가 않다. 유체 유발 소음의 경우 그 실체를 순간적으로 확인할 수가 없으며 또한 유속이 매우 빠른 경우 난류 운동에 의한 소음이 대부분이므로 유동 구조가 복잡하기 이룰데 없다(참고문헌 3 참조).

유체 유발 소음의 대부분은 팬 등에서 나타나는 데 팬의 경우 팬자신의 설계변수에 의해 개선 여지가 있는 것도 있으나 대부분은 팬과 주변장치(하우징의 형상, 와류실 구조, 출구형상, 컷업 형상 등)에 더욱 민감하게 영향을 받는다. 다음의 그림 6은 송풍팬의 본체 형상을 개략적으로 나타낸다.

그림 6에서 알 수 있듯이 송풍팬은 원호의 중심에 위치되며 "A"로 표시된 부분이 Cut-off 형상을 이루게 된다. 참고문헌 1에 언급되었듯이 Cut-off 형상은 유동의 박리를 유발여부를 결정하는 형상이 되기 때문에 매우 중요하게 된다. 만일 Cut-off 형상이 잘못 설계되어 유동의 박리가 발생된다면, 역류가 발생되어 異常소음이 발생하게 된다. 따라서 Cut-off 형상은 유동의 흐름을 완만하게 안내하면서 급압력 변화를 막아야 한다. 참고문헌 1에 보고된 결과를 살펴보면 약 10dB 정도의 소음



〈그림 7〉 Cut-off 형상의 차이에 의한 소음의 크기 비교

감소 효과가 있음을 알 수 있다.

위의 그림 7은 그림 6에서 보인 Cut-off 형상의 부분 상세도를 나타낸다. 만일 Cut-off 형상이 그림의 (a)와 같다면 소음 음압의 크기가 57dB이었던 것이 형상 A를 단순히 형상 AA로 바꿈으로써 10dB 이상 감쇄되어 46.7dB로 나타났다.

4. 재진재료의 선택에 의한 저소음 효과

진동을 잘 흡수하는 재질이 저소음 재료라는 사

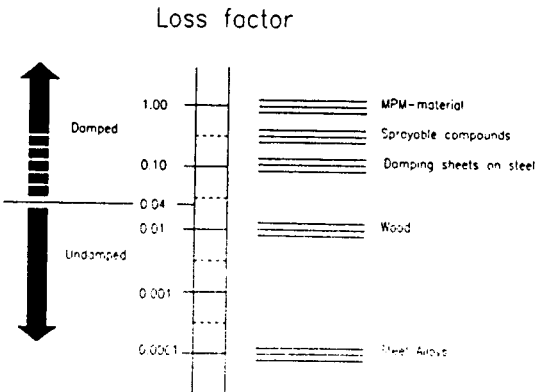
실은 주지의 사실이다. 진동원, 또는 소음원을 소비자의 귀로부터 고립시키는 기술은 재료의 선정에 의해 그 효과가 크게 변한다. 재진 재료가 저소음 기술에서 중요한 이유는 소음원으로 부터 발생된 소음이 외상(Cabinet)에서의 떨림으로 변환되어 새로운 소음을 만들어 내기 때문이다. 재료간의 진동 흡수 정도인 흡음율을 비교하면, 일반적으로 강철의 흡음율이 가장 나빠며 특수 재질인 MPM(Metal-Plastic-Metal)과 PMP(Plastic-Metal-Plastic)재질이 흡음율이 우수하다. 재질이 진동을 흡수하여 내부의 재료간의 분자이동 에너지로 변환시키는 메카니즘은 어느 재료나 동일하나 특별히 고안된 재질의 경우 흡음율이 매우 높아 원하는 훌륭한 재진 효과를 나타낼 수 있다. 재료의 재진 정도는 Loss factor라는 정의된 용어로 표시한다. 이 계수는 구조진동음(Structure borne sound)의 전달 정도를 나타낸다. 이 계수의 측정은 어떤 재료에 인위적인 진동을 발생시켜 그것이 소멸될 때까지의 시간을 측정하여 나타낸다(참고문헌 4참조).

재진재를 이용한 또 다른 소음저감 기술로는 다공질 재료를 이용한 소음 감쇄 기법이 있다. 일반적인 구동부위와 외상 사이의 연결위치에 패드(Pad)를 설치하여 운동에너지를 열에너지로 바꾸는 기술이 있다. 실제로 전자동 세탁기의 걸이봉(Suspending rod)과 외상의 연결구 사이에 스펀지형상의 다공물질들을 배치하여 구동부 전체의 운동에너지가 열에너지로 손실되어 적은 에너지만이

외상에 전달시키는 기법이 널리 사용되고 있다. 이때 특별히 다공질 물질을 선택하는 이유는 공동에서의 공기 유동으로 발생된 열에너지를 빨리 외부로 유출시키기 위해서이다. 이런 재료의 우수성을 일반적으로도 널리 입증되어 여러 연구소의 음향실 또는 반무향실의 벽부착 흡음재로도 널리 사용되고 있다

5. 흡음 재료의 선택시의 유의점

- ① 흡음률은 시행시에 있어서 공기층의 상황에 따라서 변화할 수가 있으므로 동일한 조건의 흡음률의 데이터로 되지 않으면 이용할 수 없다는 것을 알고 있어야 한다.
- ② 흡음재료를 벽면에 사용할 때는 한곳에 집중하는 것이 전면에 분산해서 붙이는 것보다 흡음력이 증가하고 반사음은 확산된다.
- ③ 방의 4귀퉁이 또는 만나는 부분에 흡음물을 붙이는 편이 효과가 크다.
- ④ 흡음고무 등은 다공질 재료와 흡음작용의 판진동에 의한 흡음 작용도 발생시키기 때문에 진동이 쉬운 취부 방법이 바람직하다. 예를 들면 전체면을 접착제로 붙이는 것보다는 돌기 등으로 고정시키는 것이 좋다.
- ⑤ 다공질 재료는 산란하기 쉽기 때문에 표면 거칠기가 작은 직물로 피복을 씌우는 것이 바람직하나 흡음률에는 크게 영향이 없다.
- ⑥ 비닐시트 또는 탄소로 피복을 씌우는 경우에는 수백 kHz 이상의 고음역의 흡음률을 저하가 있다는 것을 알아야만 된다. 그러나 저음역에는 막진동 때문에 도리어 흡음률이 증가하는 경우가 많다.
- ⑦ 다공질 재료의 표면을 도장하는 것은 고음역의 흡음력을 저하시킨다.
- ⑧ 모진동 또는 판진동형의 것은 도장하여도 상관없다.
- ⑨ 다공질 재료의 표면에 종이로 붙인 포를 붙이는 것은 피해야 한다.
- ⑩ 다공질 재료의 표면을 다공판으로 피복할 때는 개구율을 20% 이상(가능하면 30% 이상)으로 하고, 공명흡음의 경우에는 3~20



〈그림 8〉 여러가지 재료의 Loss factor

%의 범위로 할 필요가 있다.

III. 결 론

가전제품의 저소음을 추구하기 위한 일련의 기술에 대해 언급하였다. 여러가지의 기술중에서 당 연구소의 연구개발과정에서 수행된 몇가지 효과적인 방법들을 제시하였다. 이 글에서 제시한 방법은 이중벽의 개념을 이용한 소음 감쇄기술, 차음기술, 재진기술, 유체소음 감소 기술 등을 소개하였으며 특별히 재질의 선택시 유의해야 할 사항도 명시하였다. 언급한 대부분의 기술들은 현재의 전자동 세탁기, 진공 청소기, 전자렌지 등에서 효과적으로 사용되고 있으며 그 소음 감소 효과 역시 실제품에서 입증된 것이 대부분이다.

일반적으로 고주파 영역의 소음은 상술한 기술 또는 적절한 다른 기술로 효과적으로 제어 되나 저주파 영역의 소음은 그 제어가 수월하지 않다. 왜냐하면 저주파대의 소음은 파장이 길어서 여러가지의 차음체를 쉽게 관통하면서도 에너지의 손실을 최소로 하며 멀리까지 전달되기 때문이다. 따라서 저주파수대의 소음을 제어하기 위한 기법으로는 소음의 파형을 능률적으로 상쇄시키기 위한 인위적인 파형을 만들어 발생시켜 소음을 감소시키기도 한다. 기술적으로 능동소음제어라는 이 기법은 현장에서 매우 활발히 그리고 효과적으로 사용되고 있다. 이와 같이 소음의 원인이 각기 다르며

소음의 특성도 각기 다르기 때문에 소음에 대한 대처 및 제어는 문제 소음의 특성과 함께 각개별로 대응을 해야 효과적이다. 일반적인 몇가지 기술로 모든 소음을 혹은 진동을 제어할 수 있다는 것은 불가능한 일이다. 따라서 소음이나 진동을 억제하기 위해 노력하는 엔지니어들은 소음의 특성을 파악한 후 분산소모형 원리 및 반응형 원리에 상응한 조치를 취하는 것이 가장 현명한 대처이다.

참 고 문 헌

- [1] W. Neise, 1976, "Noise reduction in centrifugal fans : A literature survey," *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 45, No. 3, pp.375! 403.
- [2] 福田基一, 1981, 騒音防止工學, 日刊工業新聞社
- [3] R. D. Blevins, Flow-induced vibration, 1987, VAN Nostrand reinhold company, USA
- [4] S. Georgy, Noise anf vibration, 1992, Antiphone internal report, Sweden
- [5] M.S. LIM, 1993. "Noise analysis technique in an electric vacuum cleaner", *Journal of the korean society of mechanical engineers*, Vol.33, No.1 93, pp14~22.

저 자 소 개



林 茂 生

1944年 4月 5日生

1973年 2月 한양대학교 공과대학 기계공학과 졸업

1983年 3月~1990年 7月 대우전자(주) 중앙연구소 TV 개발부

1990年 8月~1992年 10月 대우전자(주) 가전연구소

1992年 11月~1994年 11月 대우전자(주) 회전기 연구소

주관심 분야: 전자·전기 부품의 저소음기술