

# 냉난방 공조 시스템의 저소음화 기술

윤 종 은 · 한 덕 전

(만도기계주식회사 아산사업본부)

## 1. 머리말

최근 에어컨의 보급이 늘어나면서 고객의 품질에 대한 요구 수준도 높아지고 있다. 특히 소음에 대한 요구가 까다로워지고 있으며, 이에 따라 각 제조업체에서는 소음 저감 대책을 세우는데 많은 노력을 기울이고 있다.

에어컨의 경우 쾌적한 실내온도, 청정한 공기뿐만 아니라 조용한 운전이 요구된다. 에어컨에서의 소음은 주로 송풍기 소음, 압축기 소음, 송풍유로계의 소음, 냉매 유로 소음, 전동기 소음 등이 있다. 이 글에서는 이미 발표된 저소음화에 대한 연구논문이나 국내에서 발표된 소음관련 기술 보고서 등을 참고하여 에어컨의 소음발생 원인과 소음을 줄이는 기술에 대해 소개하고자 한다.

## 2. 소음 평가와 소음레벨

소음은 일반적으로 사람에게 바람직하지 않은 음을 말한다. 소음은 듣는 이의 주관적, 심리적인 요인에 많이 좌우된다. 어떤 사람에게서는 듣기 좋은 소리도, 다른 사람에게서는 불쾌감을 주는 소음이 될 수 있고, 똑같은 소리라고 해도 상황에 따라 불쾌할 수도 그렇지 않을 수도 있기 때문이다. 소음을 평가하는 지표로는 이러한 인간의 감각의 영향을 고려한 것으로서 음의 크기를 의미하는 소음레벨을 사용하고 있다.

음의 강도의 실효치를  $I_e$  ( $W/m^2$ ), 음의 강도의 기준치를  $I_o$  ( $W/m^2$ ) 라고 할 때, 음의 강도레벨(IL, intensity level)은 다음의 식과 같이 나타낼 수 있으며, 단위는 dB이다.

$$IL = 10 \log_{10} \frac{I_e}{I_o} \quad (1)$$

여기서  $I_o = 10^{-12} W/m^2$ 의 값을 갖는다.

음압의 실효치를  $p_e$  (Pa)라 하고 음압의 기준치를  $p_o$  (Pa)라고 할 때, 음압레벨(SPL, sound pressure level)은 다음 식으로 나타낼 수 있으며 단위는 dB이다.

$$SPL = 20 \log_{10} \frac{p_e}{p_o} \quad (2)$$

여기서,  $p_o = 2 \times 10^{-5}$  Pa를 사용한다.

음의 강도레벨과 음압레벨 사이의 관계는 다음의 식으로 표시할 수 있다.

$$IL = SPL - 5 \log_{10}(273 + \theta) - 10 \log_{10} H + 12 \quad (3)$$

여기서  $\theta$ 는 온도( $^{\circ}C$ )를 나타내며,  $H$ 는 기압을 나타낸다.

표 1 전기 기기의 목표소음 레벨

설 정 기 준	소음레벨	해 당 제 품
시끄러움의 허용단계	65 dBA 이하	공장내 설치기기
전화청취를 방해받지 않을 정도	55 dBA 이하	사무실에서 짧은시간 운전하는 기기
TV청취, 대화가 방해받지 않을 정도	50 dBA 이하	사무실에서 연속운전하는 기기
Relax감을 방해받지 않을 정도	40 dBA 이하	거실에서 연속운전하는 기기
휴식, 수면을 방해받지 않을 경우	30 dBA 이하	침야운전하는 기기

전기 기기에서 발생하는 소음을 표 1에 나타난 소음 레벨을 사용하여 평가할 경우, 목표하는 기준을 달성하지 못할 경우에는 소음을 감소시키기 위한 대책이 필요하다. 휴식이나 수면을 방해받지 않아야 하는 30 dB 이하의 제품으로는 룸에어컨 등이 해당되고, 대화를 방해하지 않을 정도의 소음레벨은 50 dB 이하를 유지하기 위한 제품으로는 팩키지형 에어컨과 컴퓨터 등 사무용기기등이 이에 해당될 것이다. 특히 가정에서 사용하는 가전제품의 경우는 기능의 다양함과 사용의 편리함 뿐만 아니라 저소음에 대한 요구가 매우 중요한 문제로 제기되면서 이에 대한 많은 연구가 이루어졌고, 상당부분 목표소음 기준을 이루었다. 그러나 현재 사무실 및 가정용 에어컨의 경우 목표소음을 달성하기 위해서는 여전히 연구해야 할 과제가 많이 남아있다.

### 3. 에어컨의 소음 발생원인

에어컨에서 발생하는 소음은 위에 언급한 여러가지 소음발생원이 있으나 주된 소음원은 송풍기 소음, 전동기 소음, 송풍유로계 소음이다. 이 글에서는 이 세가지 소음의 발생원인과 소음저감 대책에 대해 기술하고자 한다.

#### 3.1 송풍기 소음

송풍기 소음은 크게 기계적 소음(mechanical noise)과 공기역학적 소음(aerodynamic noise)으로 나눌 수 있다. 기계적 소음에는 베어

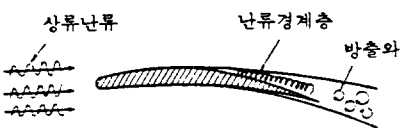


그림 1 광대역 소음의 발생요인

링이 마찰하여 발생하는 소음, 송풍기 구조물의 일부가 공진하여 발생하는 구조 소음, 구조물이 진동하여 발생하는 진동음 등을 들 수 있다. 공기역학적 소음은 광대역 주파수 소음(broad band noise)인 난류 소음과 이산주파수(discrete frequency noise)인 회전소음으로 나눌 수 있다. 난류 소음은 그림 1과 같이 임펠러(impeller) 익에서의 유동의 박리(separation), 익 후류(wake)의 와(渦, vortex) 및 임펠러 흡입측의 장애물에 의한 익상류에서의 난류 등의 요인으로 익면에서 압력변동이 일어나 발생하는 음이다. 회전소음은 난류가 큰 상태로 임펠러에 유입될 경우 임펠러에 유출된 후류와 케이싱(casing), 설부(cut-off point)와의 간섭에 의해 발생되며, 임펠러의 제작오차 및 간섭소음에 의해서도 발생한다.

#### 3.2 전동기 소음

전동기 소음에는 전자(電磁)소음, 통풍소음, 기계소음이 있다. 전자(電磁)소음에는 고정자, 회전자, 브래킷 등의 고유진동수가 전자고조파(電磁高調波)의 주파수와 가까울 때 이로 인하여 여진되어 발생하는 전동기 각부의 전자고조파와 베어링 공극 때문에 주자속에 의한 전자력과(電磁力波,  $2f_0$ )가 회전자에 충격력으로 작용하기 때문에 발생하는 고정자 및 회전자의 고유진동수 성분으로 인해 발생하는 소음이 있다. 그리고  $2f$  진동음은 전동기의 토크(torque)가 시간적으로 맥동하기 때문에 발생하는 것으로, 주로 단상유도 전동기에서 문제가 된다. 이 진동음은 전동기를 제품에 장착하였을 때 전동기의 맥동 토크가 전달되어 문제가 되는 경우가 많으며 일단 발생하면 설계변경을 하지 않는 한 개선하는

것은 어렵다.

기계소음에는 베어링에서 발생하는 소음이 지배적이다. 베어링에서 발생하는 소음에는 본질적인 소음과 베어링 제작에 관계되는 소음, 그리고 베어링 취급 불량에 의해 발생하는 소음이 있다. 본질적인 소음은 베어링의 회전으로 인해 전동체가 궤도면상을 구르기 때문에 발생하며 매끄러운 연속적인 소리를 낸다. 이외에 베어링에 반경방향 하중만 가해지는 잔류틈이 클 경우, 또는 윤활 성능이 좋지 않은 그리스를 사용할 경우 각이는 듯한 소음이 발생하게 된다. 이러한 소음은 베어링 사용조건을 잘 선정하거나 베어링 조립후의 베어링 잔류틈을 줄이고 윤활성능이 좋은 그리스를 사용함으로써 소음을 감소시킬 수 있다. 그밖에 베어링을 제작할 때 생기는 오차에 의한 소음과 베어링 취급불량으로 인해 흠집이 생기거나 이물질이 혼입되어 회전중에 비주기성의 소음이 발생된다. 통풍소음은 송풍기의 회전력에 의해서 생긴 공기의 압력 충격에 의해서 발생하는 소음이다. 통풍 소음은 불연속 소음과 광대역 소음의 두가지로 분류할 수 있다. 불연속 소음에는 회전력이 공기에 미치는 압력충격에 의한 회전소음, 회전자 덕트편과 고정자 덕트편과의 간섭에 의해 발생하는 소음 등이 있다. 광대역 소음에는 흐름의 박리에 의한 와류음이 있다.

#### 3.3 송풍 유로계 소음

송풍 유로계에서 발생하는 소음은 에어컨 내부를 흐르는 공기가 열교환기를 지나면서 발생시키는 소음과 내부의 장애물에 부딪혀 발생시키는 소음 및 공명소음 등으로 구성된다. 특히 송풍기와 인접해 있는 위치에서는 이상소음이 발생하기도 한다.

#### 4. 에어컨의 저소음화 기술

##### 4.1 송풍기의 저소음화

송풍기에서 발생하는 소음을 줄이기 위해서는 송풍기 자체의 비소음레벨을 낮추는 것과 공기의 기내(機內)저항을 줄이는 것이 무엇보다 중요하다. 송풍기는 직경을 크게 함으로써 단풍의 성능을 높일 수 있고 소음의 측면에서도 유리하다. 그러나 송풍기의 직경이 크게 되면 송풍기와 열교환기와의 거리가 가까워져서 오히려 와(渦)가 발생하는 등 소음에 좋지않은 영향을 주게된다. 따라서 원하는 성능을 얻기위한 송풍기의 선택을 위해서는 송풍기의 직경을 달리하여 시험을 한 후, 최적의 송풍기를 결정해야 한다. 송풍기는 일반적으로 익근의 매수와 회전수에서 발생하는 회전소음을 포함하므로 이의 감소를 위해서는 최소 소음을 내는 익근 매수로 조정을 하거나 익근 피치의 간격을 일정하지 않은 간격으로 함으로서 위상변화를 주어야 한다. 임펠러 케이싱(casing)과 임펠러 외경(outer diameter)과의 최소

특체인 설부(舌部)의 간극을 공력 성능의 저하가 없는 최소특새로 설계함으로서 회전소음을 줄여야 한다.

팩키지 에어컨에 사용되는 시로코 송풍기(sirocco fan)에서 발생하는 소음은 크게 임펠러의 슈라우드(shroud)측과 임펠러의 주판측에서 발생한다. 슈라우드에서 발생하는 소음은 임펠러의 축방향 길이와 많은 관계를 가지고 있다. 그림 2는 축방향 길이에 대한 유량특성 및 소음특성을 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 축방향 길이가 직경의 65% 이하에서는 임펠러의 유량특성은 거의 동일하게 나타남을 볼 수 있다. 그러나 축방향 길이가 임펠러의 직경과 같아지면 최대유량계수는 가장 양호한 값에 비하여 60% 가까이 감소하게 된다. 이는 임펠러 축방향 길이가 증가하게 되면 입구 슈라우드 근방에서 박리현상이 일어나는 부분이 커지게 되어 실질적으로 임펠러의 유효 축방향 길이가 감소하게 된다. 또한 축방향에 대한 소음레벨은 축방향 길이가 직경의 65%인 임펠러에서 최소가 되고, 축방향으로 길이가 길어지게 되면 급격히 커지게 된다. 이는 입구 슈라우드에서의 유동 박리가 커져 공기가 난류상태가 크게 발달된 형태로 송풍기 익으로 유입되기 때문이다. 따라서 시로코 송풍기의 임펠러에서 슈라우드 측의 소음감소를 위해서는 임펠러의 폭을 직경의 65% 이하로 설계하는 것이 필요하다.

임펠러의 주판에서 발생하는 소음은 공기가 익 사이를 통과할 때, 익의 전연(前緣, leading edge)에서와 곡률이 큰 유로내에서 경계층의 박리등에 의해서 익 주위의 압력장이 변하게 되어 발생하게 된다. 익의 부압면(suction surface)과 압력면(pressure surface)은 음

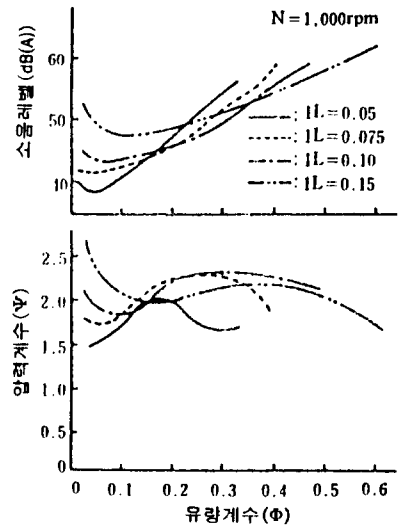


그림 3 유량 및 소음에 미치는 스크롤(scroll) 확대율의 영향

향적으로 쌍극자로 작용함으로써 음향 파워는 공기속도의 6승에 비례하게 된다. 이로인해 익을 통과하는 유체의 속도에 불균일이 생겨 유속이 가장 큰 부분에 의해 소음레벨이 결정된다.

임펠러를 둘러싸고 있는 스크롤(scroll)은 익 사이의 통과유속을 결정하는 중요한 인자이다. 그림 3은 유량 및 소음 특성에 대하여 확대율  $I_L$ 의 영향을 나타낸 것이다. 스크롤은 임펠러에서 나오는 공기가 토출될 때 유동의 운동에너지를 정압에너지로 변환하는 역할을 한다. 유량의 증가에 대한 소음레벨의 증가율은 스크롤 확대에 따라 다르며, 스크롤의 확대율이 작게 될 때, 소음은 급속하게 증가하는 경향을 보여준다. 시로코 송풍기의 설계에서는 필요한 풍량과 압력상승에 대하여 소음 레벨이 가장 낮게되는 최적의 스크롤 확대율을 선택하는 것이 중요하다.

송풍기의 소음을 줄이기 위해 송풍기 익의 전연(leading edge)과 후연(trailing edge)에 망(mesh)을 설치하는 방법이 소개되기도 하였다. 메쉬(transition mesh)는 회전

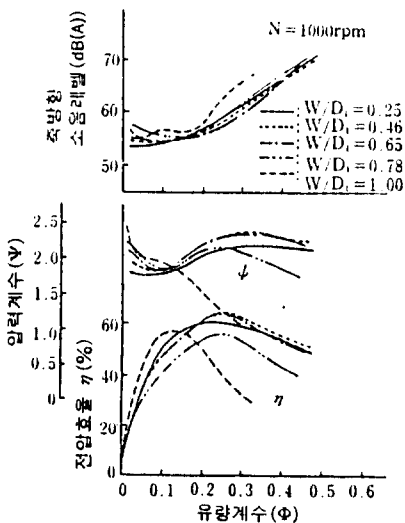


그림 2 유량 및 소음특성에 대한 축방향 길이의 영향

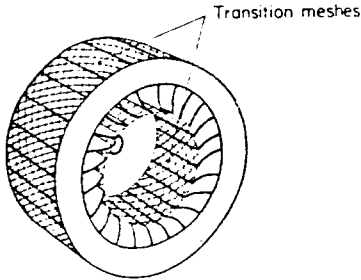
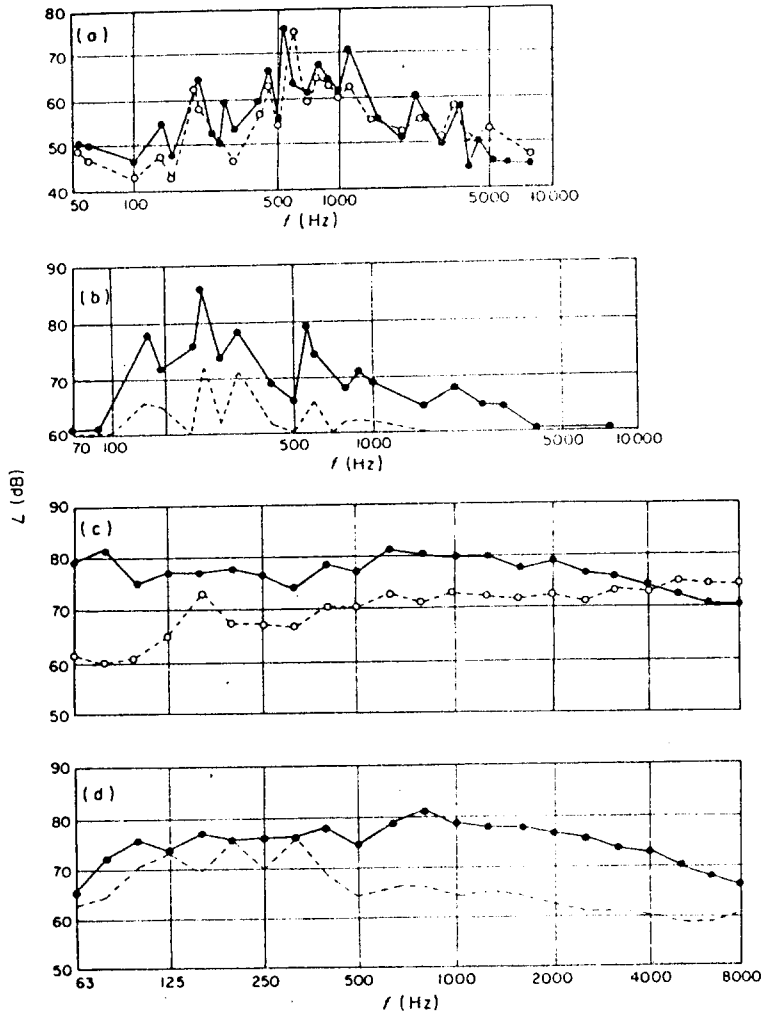


그림 4 임펠러의 입구의 출구에 메쉬를 설치한 회전자

자의 외부 뿐만 아니라 임펠러 덕트에서의 평균유동과 난류를 개선 시킴으로서 소음을 감소시킬 수 있다. 전연에 설치된 메쉬는 난류를 약화시키며 유동박리를 후연으로 이동시킨다. 회전자의 외면을 감싸고 있는 메쉬는 출구의 유동장을 균일하게 하며 난류를 더욱 감소시켜 소음을 줄인다. 그림 4에 메쉬를 설치한 회전자를 보여주고 있다. 일반적으로 메쉬는 임펠러 덕트의 평균유동이 좋지 않은 경우에 있어 상당부분 소음을 감소시키는 효과가 있다. 메쉬를 사용했을 때의 소음 저감효과에 대한 몇가지 예를 그림 5에 나타내었다. 그림 5(a)와 그림 5(b)에서 볼 때 어느 경우는 소음을 크게 감소시키지 못한 반면 어느 경우는 소음 저감 효과가 뛰어난 것을 볼 수 있다. 앞에서도 언급했듯이 메쉬는 유동조건이 불안정할 때 소음감소에 좋은 효과를 보여주고 있다. 따라서 메쉬는 유동의 박리가 심하게 일어나는 임펠러에 적용하는 것이 좋다. 메쉬는 넓은 주파수 범위에서 원심 송풍기의 광대역소음(broad band noise)을 줄이는 간단한 방법이라는 데에 장점이 있다. 한편 메쉬는 송풍기의 효율을 떨어뜨리는 단점을 안고 있다. 그러나 설부 간극(cut-off clearance)를 줄임으로서 압력손실과 송풍기 효율의 감소를 줄일 수 있다.



(a)  $V=3000 \text{ m}^3/\text{h}; \Delta P=165 \text{ kp}/\text{m}^2; D=300 \text{ mm}; n=2870 \text{ rpm}$

- - - : 메쉬를 설치하지 않은 임펠러

- - - : 메쉬를 설치한 임펠러

(b)  $D=325 \text{ mm}; n=3870 \text{ rpm}; Z=12$

	$V(\text{m}^3/\text{h})$	$\Delta P(\text{kp}/\text{m}^2)$	$\eta$
- - -, without meshes	4100	131	0.59
- - -, with meshes	4100	134	0.585

(c)

메쉬형태	$\Delta P(\text{kp}/\text{m}^2)$	$\eta$
- - - no mesh	264	0.67
- - - s=0.5, d=1.4mm, inlet s=0.575, d=0.6mm, outlet	233	0.56

(d)  $V=2870 \text{ m}^3/\text{h}$

메쉬형태	$\Delta P(\text{kp}/\text{m}^2)$	$\eta$
- - - no mesh	342	0.69
- - - s=0.575, d=0.6mm	344	0.662

그림 5 임펠러의 입구와 출구에 메쉬를 설치했을 때의 효과 예

## 4.2 전동기의 저소음화

전동기의 소음중에서 전자(電磁) 소음이 지배적인 요소이다. 전자(電磁)소음을 줄이기 위한 방법을 원인으로 기술하고자 한다. 전자소음중 기본파 자속에 의한 진동음(2f 진동음)을 일으키는 에어갭의 불평형을 줄이기 위해서 편심을 없애고, 고정자의 안지름과 회전자의 바깥지름을 진원으로 한다. 또한 자기회로의 불평형을 줄이기 위해서는 에어갭을 크게하고, 자속 밀도를 낮추며, 고정자 권선의 결선 방법을 개선한다. 고정자가 2f진동음과의 공진으로 인해 발생하는 소음은 고정자의 고유진동수의 공진을 피하므로써 줄일 수 있다. 고정자의 코일엔드의 진동으로 인한 소음을 줄이기 위해 코일 엔드의 지지를 강화할 필요가 있다.

통풍소음을 줄이기 위한 대책으로는 압력충격이 적은 환을 사용하거나, 환의 각도, 환의 갯수, 핏치로서 압력충격이 작도록 하므로써 회전환에 의해 발생하는 회전소음 줄일 수 있다. 또한 회전환의 갯수와 리브갯수와의 곱에 의한 사이클이 고주파가 되는 것을 피하고 환의 피치를 불규칙하게 하거나 회전환과 리브와의 공극을 크게 하므로써 회전환과 정지 리브사이의 간섭에 의한 불연속 소음을 줄일 수 있다. 흐름의 박리에 의한 소음을 줄이기 위해서는 적절한 환형상을 선정하여 이를 최소화하는 방법을 취해야 한다.

## 4.3 송풍유로계의 저소음화

송풍유로에서의 소음을 줄이기

서는 위에서 기술한 각 소음 발생원에 대한 연구가 지속적으로 이루어져야 할 뿐만 아니라 생산기술이 뒷받침되어야 한다. 좋은 연구결과가 나온다 해도 생산기술이 떨어져 이를 제품에 적용할 수 없거나, 요 위해서는 열교환기, 송풍기 배치, 유로의 곡률 등 여러가지 요소를 고려하여 설계하여야 한다. 룸에어컨의 실내기의 경우 열교환기를 지나 송풍기로 들어오는 공기가 벽면에서 유동 박리가 일어나지 않도록 벽면 유로를 공기의 흐름과 일치시키거나, 송풍기를 지나 토출구로 나가는 공기가 임펠러 케이싱(casing)과 부딪히지 않도록 임펠러 케이싱의 곡률을 조정해 줌으로써 난류음을 줄일 수 있고, 마찰에 의한 손실을 줄일 수 있다. 공기가 열교환기를 지날 때 발생하는 소음은 열교환기나 부착된 핀(fin)의 경사도를 조정하므로써 공기와의 마찰을 최소화 하여 소음을 줄일 수 있다.

## 5. 맺음말

이상에서 에어컨에서 발생하는 소음의 원인과 소음을 줄이기 위한 여러 기술을 개략적으로 살펴보았다. 에어컨의 소음을 줄이기 위해 구하는 수준을 만족시키지 못한다면 제품 성능향상 및 소음감소 기술은 일정한 한계를 벗어나지 못할 것이다.

에어컨 소음과 관련한 자료를 조사하면서 국내에서 발표된 보고서 등이 매우 적음을 발견하였다. 일본등의 관련업체에서는 이미 에어컨의 소음과 관련하여 많은 연구가

행해졌고, 발표된 논문도 많았다. 그만큼 소비자들의 소음에 대한 요구가 커지고 있으며, 이러한 요구를 충족시키기 위한 많은 노력을 기울이고 있다는 것을 의미한다. 국내에서도 이러한 문제에 대해 많은 연구가 진행되길 기대한다.

## 참고 문헌

- (1) 김장권, 1993. 2, "에어컨의 소음저감 문제," 대한기계학회지, pp. 171~182.
- (2) Takashi Kato, 1992. 2, "Low Noise Technologies for Packaged Type Air Conditioners," Refrigeration, Japan, pp. 50~57.
- (3) 박상규, 1993. 10, "송풍기 소음의 원인과 대책," 냉동공조기술, pp. 34~42.
- (4) 박 용, 1992. 2, "회전기계의 소음과 진동," 도서출판 세화, pp. 525~538.
- (5) 전성택, 1992. 9, "소음진동편람-소음편," 도서출판 동화기술, pp. 15~26.
- (6) 이영복, 1989. 1, "소음방지공학," 연구사, pp. 251~254.
- (7) W., Neise, 1976, Vo. 45, "Noise Reduction in Centrifugal Fans: A Literature Survey," Journal of Sound and Vibration, pp. 375~403.
- (8) W., Neise, G. H., Koopmann, 1980, Vol. 73, "Reduction of Centrifugal Fan Noise by Use of Resonators," Journal of Sound and Vibration, pp. 297~308.