

음향인텐시티법에 의한 고체진동 가진판의 소음원 검출에 관한 연구

A Study of Noise Source Identification on Plate Excited Structure
Borne Sound by Acoustic Intensity Method

吳在應*, 金相憲**, 洪桐杓***, 李瓚弘****
O. J Eung, K.S Hun, H.D Pyo, L.C Hong

요 지

소음저감에 대한 연구에서 소음원을 규명하기 위해서 소음의 발생 메카니즘을 안다는 것은 중요하다. 구조물의 진동과 이로 인해서 발생하는 방사음과의 관계는 상당히 복잡하기 때문에 본 연구에서는 음향인텐시티의 측정을 위하여 간단한 방사 모델에 대해 연구하였다.

소음원 규명의 첫 단계로서 본 연구에서는 음압측정에 의한 소음평가에 대해 알아 보았다. 두번째 단계로서 음향 인텐시티법을 이용하여 음향 방사 모우드 패턴을 결정하였으며 음향인텐시티법이 소음원 검출에 유효함을 입증하였다. 또한 본 연구에서는 방진재 부착에 따른 음의 방사특성을 예측하고 방진재 부착위치를 결정할 수 있었다.

ABSTRACT

In the studies of noise reduction, it is important to know the generation mechanism of noise in order to identify the noise source. The relation between the structural vibration and the radiated sound is very complex and so this paper deals with a simplified radiation model that was originally developed as a verification tool for the acoustic intensity measurement procedure. As the first step for the identification of the noise source, this study deals with the noise evaluation by measuring sound pressure. On the next step, the acoustic radiational pattern is determined by the acoustic intensity method and this paper established that the acoustic intensity method is effective on the detection of noise source. In the study, furthermore, the method could be used to predict the change in the sound radiational characteristics with the attachment of absorber and could be used in determining the attachment position.

한양대 기계공학과

** 한양대 대학원 정밀기계공학과

*** 전북대 정밀기계공학과

**** 한국기계연구소

1. 서 론

소음원 검출 및 순서를 결정하는 문제는 소음저감 대책에 있어서 중요한 요소 중의 하나이다. 기계의 소음원을 감소시키는 문제는 만일 기계전체의 소음에 기여되는 중요한 소음원을 알아 낼 수 있다면 쉽게 해결해 낼 수 있을 것이다. (1), (2), (3) 소음원의 기여순서를 결정하는 가장 유효한 방법은 음향과위에 대해서 알아 보는 것이다. 이것은 다행히도 최근에 근거리 음장에 있어서 음원의 음향과위를 측정가능하게 되었다. 음향과위의 다른 이점은 여러가지 음향학적 환경속에서 어느 기계에 대해 여러 방면에서 음압레벨을 계산하는데 사용될 수 있는 것이다.

한편 종래의 소음원 검출기법으로는 (1) 납커머법(lead wrapping approach), (2) 레이저 홀로그래프(laser holography), (3) 모우드 해석법 등이 있다. 그러나 이들 방법은 시간이 많이 요구되거나 결과를 직접적으로 해석할 수 없는 결점을 가지고 있다. (4), (5) 따라서 경험적인 종래의 수법에 새로운 소음원 검출을 위한 평가기술 및 해석기술이 요구되고 있다. 그런데 최근 디지털 해석기기의 고도한 발달에 따른 2개의 근접한 마이크로폰의 음압을 동시에 측정하여 크로스 스펙트럼을 계산하는 것으로 음의 흐름, 즉 음의 강도를 직접 측정하는 기법이 화제가 되고 있다. 이와 같은 연구방법은 실험적인 모우드 해석법과 음의 방사특성의 관계를 규명하는 것으로 여러가지 설계변경시 구조물의 음향방사특성을 예측하는데 이용된다. 그러나 이것은 대형 구조물에 대한 구조물의 진동과 방사음의 관계를 간단히 모델화하기 때문에 발생하는 소음레벨을 저감시키는 데에 보다 효율적으로 결정하기 위하여 수학적으로 구조물을 여러가지 형태로 변경시킬 수 있을 것이다. 이러한 연구는 이론적으로는 Helmholtz적분이나 경계적분 방정식을 포함하여 수치적인 방법으로 진동면으로부터 발생하는 방사음을 계산하여 왔다. 그러나 이러한 해석적 방법은 컴퓨터에 의해서 구해지므로 정확한 결과를 가지고 있으나 실제

에 있어서는 상당히 적용하기가 어려운 점이 있다.

본 연구에서는 음향인텐시티법을 보다 효율적으로 사용하기 위하여 간단한 모델에 적용하여 정확한 소음원 검출에 적용, 소음대책에 효율적인 방법을 제시하도록 음향인텐시티의 등고선 및 3차원 그래픽을 통하여 가시적으로 판단하도록 소프트웨어를 개발하였다.

2. 이론적 고찰

2-1 음향인텐시티법의 기본이론 해석

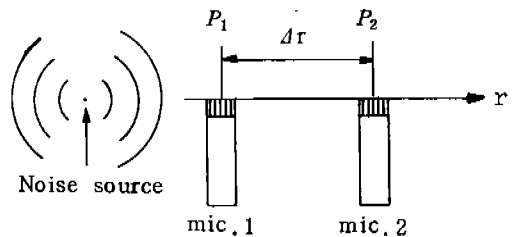
음향인텐시티는 어느 위치에서 방사되는 음의 에너지 흐름에 대한 크기를 말하며 방향을 표시하는 벡터량과 스칼라량으로 음압을 구별한다. 매질중의 어느 위치 P_1, P_2 에서의 음의 강도의 벡터성분은 2점에서의 음압과 입자속도의 곱에 대한 시간평균으로 나타난다.

$$I = \overline{P(t) \cdot U(t)} \dots\dots\dots (1)$$

여기서, $P(t)$: 음압(sound pressure)
 $U(t)$: 입자속도(particle velocity)
 — : 시간평균(time averaging)

r 방향에 대한 음의 강도의 벡터성분 I_r 은

$$I_r = \overline{P(t) U_r(t)} \dots\dots\dots (2)$$



이 된다.

한편 유동성이 없는 1차원의 운동방정식은 Newton의 제 2법칙으로부터

$$\rho \frac{\partial U}{\partial t} = -\text{grad } P \dots\dots\dots (3)$$

이 되며 r 방향에 대해서

$$\rho \frac{\partial U_r}{\partial t} = -\frac{\partial P}{\partial r} \dots\dots\dots (4)$$

으로 된다. 따라서 입자속도 U_r 은

$$U_r(t) = -\frac{1}{\rho} \int \frac{\partial P}{\partial r} dt, \quad \rho: \text{밀도} \dots\dots (5)$$

이 된다. 음압의 측정점이 Δr 만큼 떨어진 $P_1(t), P_2(t)$ 라하면 r 방향의 입자속도 성분 $U_r(t)$ 는 다음 식으로 근사화할 수 있다.

$$U_r(t) \cong -\frac{1}{\rho \Delta r} \int [P_2(t) - P_1(t)] dt \dots (6)$$

이때 Δr 은 파장에 비해 아주 작아야 한다. 그리고 I_r 은 신호가 정상적인 음의 경우 다음 식과 같이 된다.

$$I_r \doteq \overline{P(t) U(t)} = -\frac{1}{\rho \Delta r} P_1(t) \int P_2(t) dt \dots\dots\dots (7)$$

여기서 r 방향에 있어서 음의 강도 I_r 은 정현파의 음장이라고 하면 식(7)로부터

$$\int_{-\infty}^t P_2(t) dt = \frac{1}{j\omega} P_2(t) \dots\dots\dots (8)$$

로 표시되며 한편 두개의 음압 사이에 시간지연이 없다면,

$$I_r \doteq -\frac{1}{\rho \Delta r} R_{P_1, P_2}(0) \dots\dots\dots (9)$$

$$\doteq -\frac{1}{2\pi \rho \Delta r} \int_{-\infty}^{\infty} S_{P_1, P_2}(\omega) d\omega \dots (10)$$

여기서, R_{P_1, P_2} 는 상호상관함수(cross correlation function)이며, S_{P_1, P_2} 는 상호밀도함수(cross spectral density function)를 나타낸다.^{(6),(7)}

식(8)과 식(10)으로부터

$$I_r \doteq -\frac{1}{2\pi \rho \Delta r} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{S_{P_1, P_2}(\omega)}{j\omega} d\omega \dots (11)$$

이 된다. 여기서 상호밀도함수의 실수부와 허수부를 고려하면 기함수의 적분은 0이 되므로 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$I_r \doteq -\frac{1}{2\pi \rho \Delta r} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{I_m\{S_{P_1, P_2}(\omega)\}}{\omega} d\omega \dots\dots\dots (12)$$

따라서, 음향인텐시티는 2개의 마이크로폰의 음압에 대한 상호밀도함수의 허수부를 측정하여 구할 수 있다. 한편 주파수 영역 $\omega_1 \sim \omega_2$

에서의 음향인텐시티는,

$$I_r(\omega_1 \sim \omega_2) = -\frac{1}{2\pi \rho \Delta r} \int_{\omega_1}^{\omega_2} \frac{I_m\{S_{P_1, P_2}(\omega)\}}{\omega} d\omega \dots\dots\dots (13)$$

로부터 구할 수 있다.

2-2 평판의 음향방사 이론

음의 방사는 평판의 굽힘 진동에 기인한다.^{(8),(9),(10)} 굽힘진동의 파장 λ_B 는 다음 식에서 구할 수 있다.

$$\lambda_B = \frac{C_{pl}}{f} = \frac{\sqrt{w^2 B / \rho_s}}{f} \dots\dots\dots (14)$$

여기서, C_{pl} : 평판에서의 굽힘파의 속도

f : 주파수

w : 각 주파수

B : 굽힘강성 [$\equiv Et^3/12(1-\nu^2)$]

E : Young's modulus

t : 평판의 두께

ν : Poisson's ratio

ρ_s : 단위면적당 평판의 밀도

공기중의 음의 파장 λ_{air} 는 다음 식에 의해 구해진다.

$$\lambda_{air} = \frac{C_{air}}{f} \dots\dots\dots (15)$$

여기서, C_{air} : 음속

f : 주파수

위의 두 식으로부터 알루미늄 평판의 굽힘진동의 파장과 음의 파장을 구할 수 있으며 여기서 구해진 파장과 음향방사 모드와의 관계를 보면 다음과 같다.^{(11),(12),(13)}

i) $\lambda_B \ll \lambda_{air}$

각 쌍의 테두리 양쪽에 평행한 방향으로 아음속인 굽힘파를 갖는 경우 흐름은 평판의 굽힘파보다 더 빠른 압력파가 발생하여 Fig. 1(a)와 같이 각 모퉁이를 제외한 전역에서 monopole 이 상쇄되어 없어질 것이다. 이를 corner mode라 한다.

ii) $\lambda_{By} < \lambda_{air}, \lambda_{Bx} > \lambda_{air}$

만일 모우드가 x 축 테두리 방향으로 초음속의 굽힘파를 갖고 y 축 테두리 방향에서 아음속의 굽힘파를 갖는다면 Fig.1(b)와 같이 단

지 y 축 테두리에서만 monopole의 상쇄가 이루어져 x 축 테두리를 제외한 전역에서 없어질 것이다. 이를 edge mode라고 한다.

iii) $\lambda_B > \lambda_{air}$

Fig. 1(c)와 같이 2쌍의 테두리에 평행한 방향에서 굽힘파의 파장이 음파의 파장보다 긴

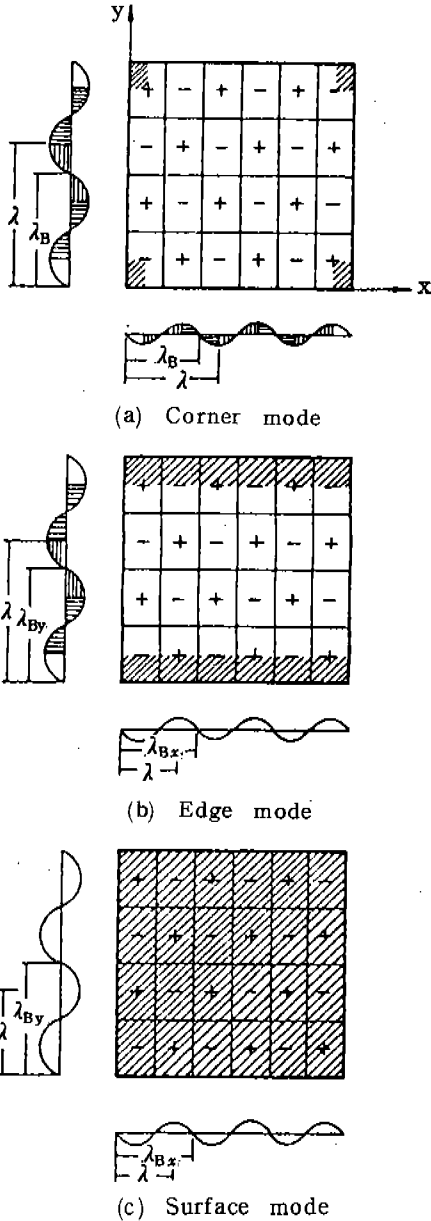


Fig.1 Wavelength relation and effective radiating area for each mode

경우 그때 흐름은 어떤 상쇄를 야기시키기에 충분히 빠르게 움직일 압력파를 낼 수 없으며 평판전체에서 음이 방사된다. 이를 surface mode라고 한다.

3. 실험

3-1 실험장치 및 방법

본 연구에서 사용된 알루미늄 평판의 음향 인텐시티를 측정하기 위한 실험장치 및 측정계를 Fig.2에 나타내었다. 본 연구에서 사용된 평판의 제원은 $1000 \times 1000 \times 2mm$ 의 정사각형 알루미늄 평판이다. 실험은 알루미늄 평판의 각 모서리 4점을 단순지지 상태로 하고 그 중앙부를 랜덤신호로 가진기를 통하여 가진하는 방법을 택하였다. 측정점은 Fig.3 및

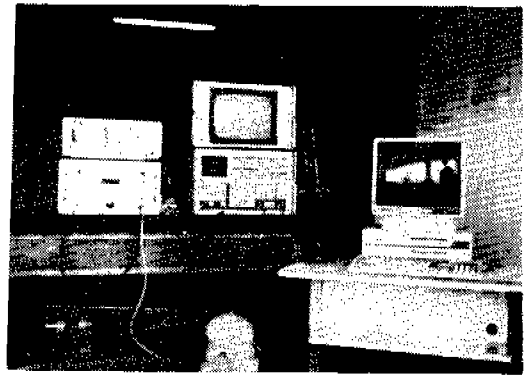


Fig.2 Instrumentation used for sound pressure and sound intensity measurements

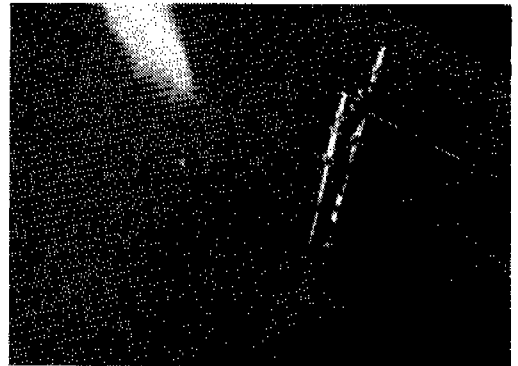


Fig.3 Arrangement used to measure the sound pressure and acoustic intensity

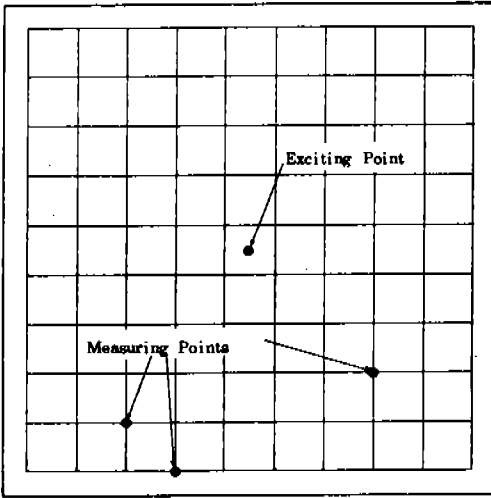


Fig.4 Measuring points to measure the acoustic intensity

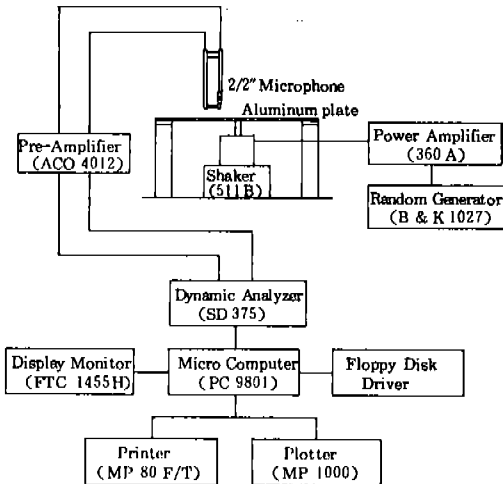


Fig.5 Block diagram of the two-microphone technique to measure the acoustic intensity

Fig.4에 나타낸 바와 같이 100포인트로 나누어 실시하였으며 이에 따라 발생하는 음압은 2개의 대향형(face to face) 1/2" 마이크로폰을 사용하여 측정하였다.

3-2 측정계 및 데이터 처리방법

Fig.5는 평판의 음압 및 음향인텐시티를 측정하기 위한 측정계 및 데이터 처리의 계통도

를 나타내고 있다. 음향인텐시티 측정실험에서 마이크로폰의 간격은 측정주파수 영역에서 음압을 근사화하는 과정에서 발생하는 오차가 문제되지 않도록 하기 위해서 12mm로 하였다. 음향인텐시티의 측정은 1/2" 콘덴서 마이크로폰을 고체 spacer를 사용하여 대향으로 배치시키고 프리앰프(Aco. Type 4012)를 통해 데이터 해석부에 연결된다. 2개의 마이크로폰은 피스톤폰(Aco. Type PHN-2124)을 사용하여 250 Hz, 124dB의 정현파 신호에 의해 교정되었다.

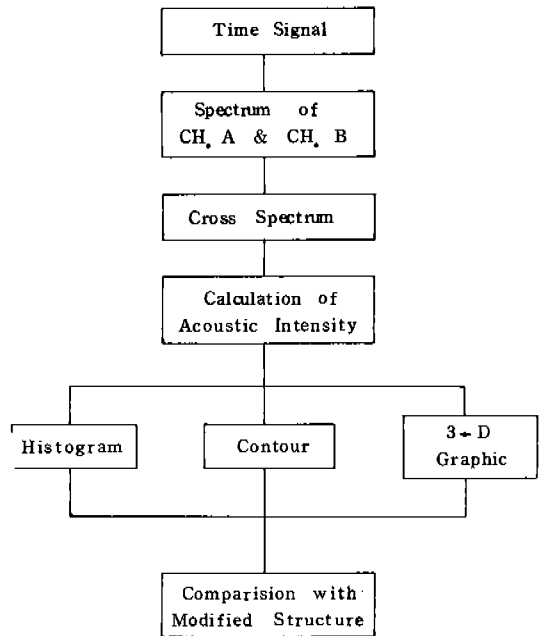


Fig.6 Schematic diagram of the processing of acoustic intensity method

Fig.6은 본 연구에서 수행된 프로그램에 의한 음향인텐시티법의 전개과정을 나타내고 있다. 2개의 마이크로폰에 의해 측정된 음압신호는 총시간길이를 40msec로 하고, 1024개의 데이터 수로 측정된다. 이 음압신호를 주파수 영역에서 보면 측정 주파수 범위를 10 kHz로 하고 50번의 평균화를 해서 각 마이크로폰의 스펙트럼과 크로스 스펙트럼의 허수부를 400개의 데이터로 취한다. FFT 해석기의 데이터는 IEEE-488 인터페이스 버스를 통

하여 마이크로 컴퓨터로 전송되어 식(13)을 기초로 음향인텐시티를 계산한다. 본 연구에서는 데이터 분석시 발생하는 피크치의 ripple과 shift되는 현상을 고려하여 1/3 옥타브 밴드로 분석하였다. 해석결과는 등고선 및 3차원 그래프를 통하여 가시적으로 소음원을 검출하였다.

4. 결과 및 고찰

4-1 음향인텐시티의 소프트웨어 개발

본 연구에서는 해석결과를 가시적으로 쉽게 해석할 수 있도록 하기 위해서 등고선 및 3차원 그래프를 이용하였다. 본 연구에서 사용

된 등고선 그래프^{(14),(15)}는 평판의 격자점 상에서 함수치를 계산하고 인접하여 합쳐진 2점의 함수치 사이에 있는 등고선 값을 찾아 선으로 연결하였다. Fig.7은 본 연구에서 개발된 등고선 그래프 프로그램의 흐름도를 나타내었다. 3차원 그래프는 각 측정점의 인텐시티 값을 연결한 것이다. 특히 100개의 측정 데이터만으로는 평판의 음향 모드패턴을 충분히 알기에 부족하기 때문에 cubic-spline법을 이용하여 보간하였다. 두 점 간의 보간함수는 continuity condition, slope condition, curvature condition을 만족하는 3승의 함수로 나타낼 수 있으며 이 함수에 의해 보간된 값을 결정하여 3차원 그래프 프로그램에 적용하였다.^{(16),(17)} Fig.8은 본 연구에서 개발된 3차원 그래프 프로그램의 흐름도를 나타낸 것이며 Fig.9는 보간되기 전의 10×10개의 데이터에 의한 3차원 그래프와 보간된 55×55개의 데이터에 의한 3차원 그래프를 비교한 것을 나타낸다.

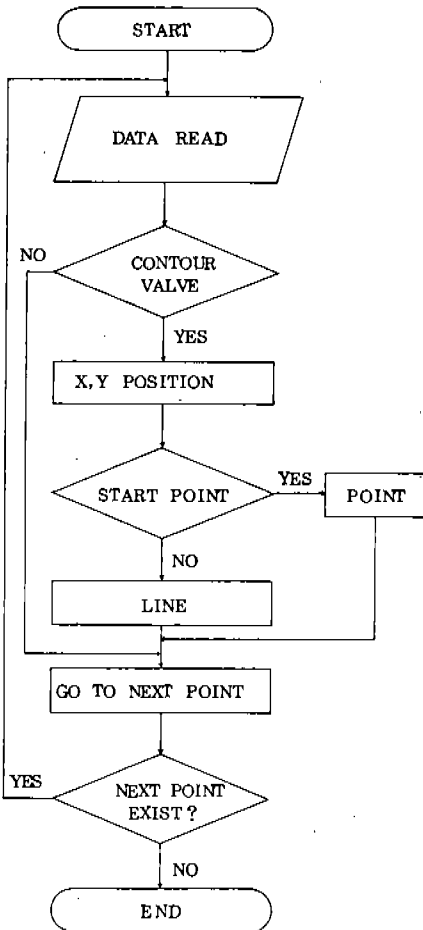


Fig.7 Flow chart of Contour Map

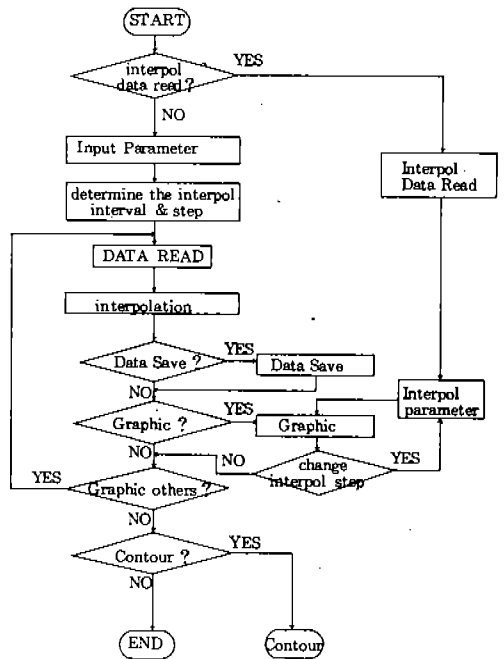
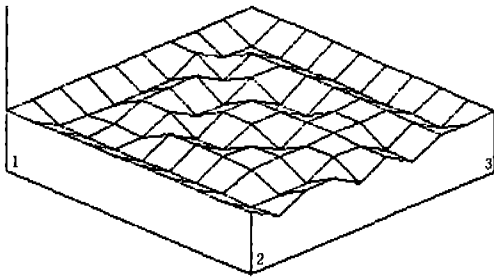


Fig.8 Flow chart of 3D Plot with interpolation step

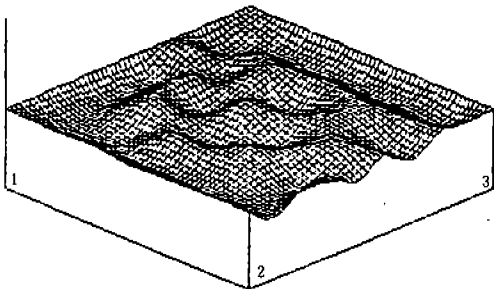
4-2 음압측정에 의한 소음원 검출

4-2-1 마이크론의 응답특성

실험에서 설명한 바와 같이 백색잡음을 랜덤신호로 하여 가진기(shaker)에 의해 가진된 평판으로부터 방사되는 음압을 하나의 microphone으로 측정하였다. 또한 각각의 음압의 스펙트럼을 Fig.10에 나타낸 바와 같이 주파수 영역에서 narrow band와 1/3 옥타브 밴드로 나타낸 결과를 이용하여 소음원을 검출하였다.

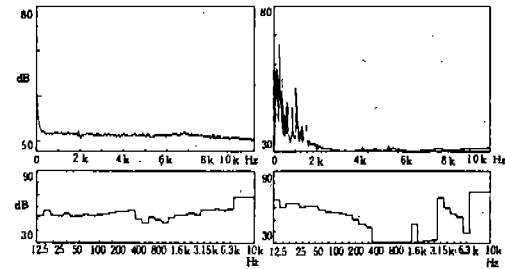


(a) Before interpolation



(b) After interpolation

Fig.9 Comparison of 3D plot of aluminum plate



(a) Exciter pressure signal (b) Sound pressure

Fig.10 Narrow band spectrum and 1/3 octave band spectrum of exciter signal and sound pressure

4-2-2 음압측정에 의한 음향방사특성

Fig.10에서 음압의 스펙트럼을 보면 16000 Hz와 4000 Hz 부근에서 두드러진 현상을 보이고 있음을 알 수 있다. 따라서 이 주파수 부근에서 중요한 소음원이 존재하리라 예상된다. Fig.11은 16000Hz와 4000 Hz에서의 음의 방사특성을 등고선 및 3차원 그래픽으로 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 주파수의 변화에 따른 음의 방사특성을 확실히 구별할 수 없으며 단지 음압의 크기만을 알 수 있다. 즉 음의 방사 및 흡수에 대해 정확히 알 수 없으며 압소음이 높은 경우 정확한 소음원의 식별이 어렵다. 따라서 음압측정에 의한 방법은 소음원 검출에 유효하지 못한 방법으로 생각된다.

4-3 음향인텐시티법의 적용

4-3-1 인텐시티 프로브의 오차 및 지향 특성 (18),(19)

본 연구에서 사용된 콘텐서 마이크론은 2개의 1/2" 마이크론으로써 인텐시티 프로브(Aco. Type 7132)에 연결하고 2개의 프리앰프를 통하여 FFT 분석기에 연결된다. 본 연구에서 사용된 마이크론의 주파수 특성을 Fig.12에 나타내었다. 두개의 마이크론에

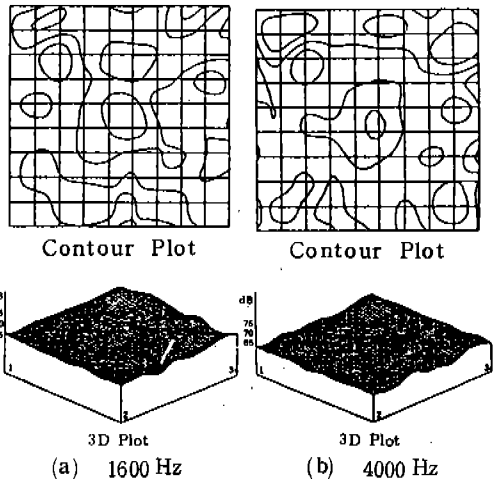


Fig.11 Sound radiational pattern by measured sound pressure

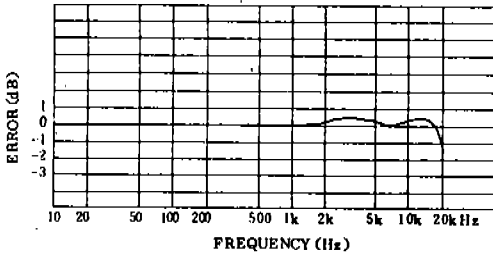


Fig. 12 Frequency response characteristics of condenser microphone

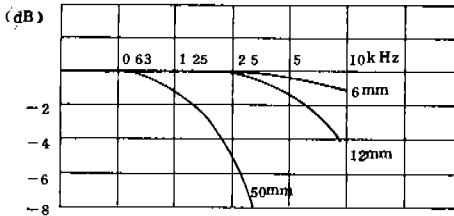


Fig. 13 Approximation error of high frequencies for various spacers

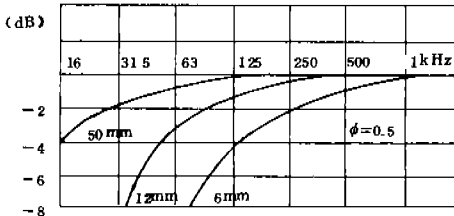


Fig. 14 Approximation error of low frequencies for various spacers for a phase matching of 0.5°

Table 1. Frequency range for various microphone spacer

Δr	Frequency Range
6 mm	400 Hz - 10 kHz
12 mm	125 Hz - 8 kHz
50 mm	50 Hz - 2 kHz

의한 인텐시티의 측정오차에는 유한한 압력차에 의한 압력구배 (pressure gradient) 로 부터 발생하는 오차와 위상차에 의한 오차가 있으며 전자를 근사오차 (approximation error) 라고 하고 후자를 phase mismatch error 라 한다.

Fig. 13은 마이크로폰 간격 Δr 의 변화에 따른 고주파수 영역의 근사오차를 나타낸 것이다. 이 그림에서 마이크로폰 간격이 커짐에 따라 상한주파수가 낮아지는 것을 알 수 있다. 그리고 Fig. 14는 저주파수 영역의 근사오차를 위상차 $\phi = 0.5^\circ$ 인 경우에 대해서 나타낸 것이다. 여기서는 마이크로폰의 간격이 작아짐에 따라서 하한주파수가 높아짐을 알 수 있다. 따라서 측정시에는 측정주파수 범위에 관해 제한을 ± 1 dB내로 두고 있으며 마이크로폰의 거리에 따라 유효주파수가 변화되므로 주의해야 한다. 본 연구에서 사용된 인텐시티 probe의 주파수 특성은 50~12.5 kHz이며 허용오차내의 주파수 범위는 마이크로폰의 간격에 따라 Table 1과 같다.

본 연구에서 음향인텐시티 probe는 마이크로폰의 중심을 연결하는 선을 따라서 변화되는 음압과 음압구배성분을 측정하기 위해 근접위치에 2개의 마이크로폰을 위치시켰다. 이 probe 축의 방향과 일정한 음의 흐름을 측정 한 음향인텐시티의 크기는 인텐시티의 벡터성분이 되며 인텐시티 probe 축의 각도변화에 따른 측정 결과 Fig. 15와 같은 지향특성을 얻

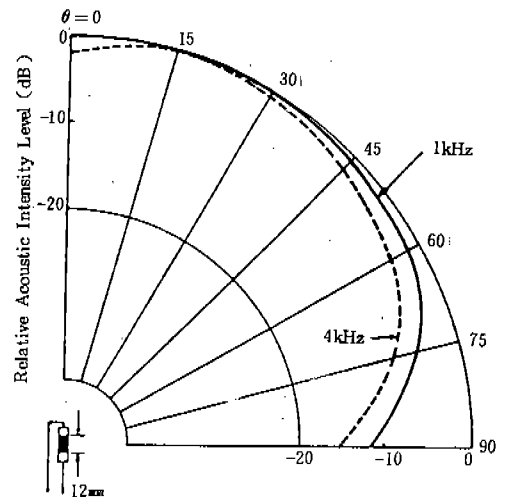


Fig. 15 Directional characteristics at 1kHz and 4kHz for the intensity probe with $1/2''$ microphone and 12 mm spacer

있으며 0°에서 360°까지 확장해서 지향특성을 알아본 결과 “8”자형으로 되고 0°와 180°에서 감도가 가장 좋음을 알 수 있었다.

Fig.15는 음원으로써 백색잡음에 의한 가진기의 랜덤신호를 이용하여 측정한 마이크로폰간의 거리 $\Delta r = 12\text{mm}$ 에 대한 1kHz와 4kHz의 지향특성 패턴을 나타내고 있다. Fig. 15에서 알 수 있듯이 지향특성의 패턴은 비교적 낮은 주파수에서 대칭인 “8”자형의 지향패턴이 얻어질 수 있지만 높은 주파수로 되면 지향특성이 섬세해 지고 또 더욱 높은 주파수로 되면 probe 자체의 회절 효과에 의하여 대칭인 패턴을 얻을 수 없게 된다.

4-3-2 음향인텐시티와 음향 방사 모드와의 관계

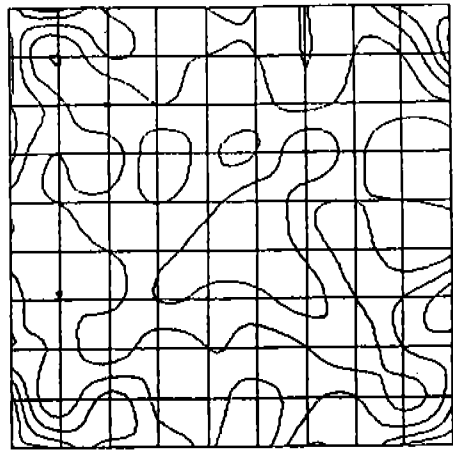
Fig.16은 실험에서 구한 평판 전체의 오버올 레벨(overall level)에서의 평판의 음향인텐시티를 narrow band와 1/3 octave band로 구분해서 나타낸 것이다. 그림을 보면 160Hz와 1000Hz, 6300Hz 부근에서 주목할 만한 피크현상을 나타내고 있다. 한편 식(14)와 식(15)를 사용하여 평판의 굽힘파의 파장과 음

의 파장을 구해보면 Table 2와 같다.

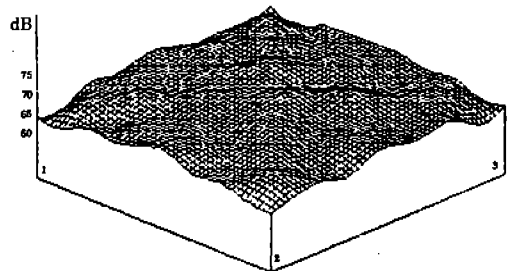
(1) Surface mode와 음향인텐시티 패턴
Table 2에서 표면모드를 보이기 위한 굽힘파의 파장(5.46cm)이 공기중의 음의 파장

Table 2. Relation between bending wavelength and sound wavelength of the plate

Frequency (Hz)	Bending wavelength of plate (m)	Wavelength of the sound in air (m)
125	0.387	2.72
160	0.342	2.125
630	0.173	0.54
1,000	0.137	0.34
6,300	0.0546	0.0539
10,000	0.0433	0.034



(a) Contour Plot



(b) 3D Plot

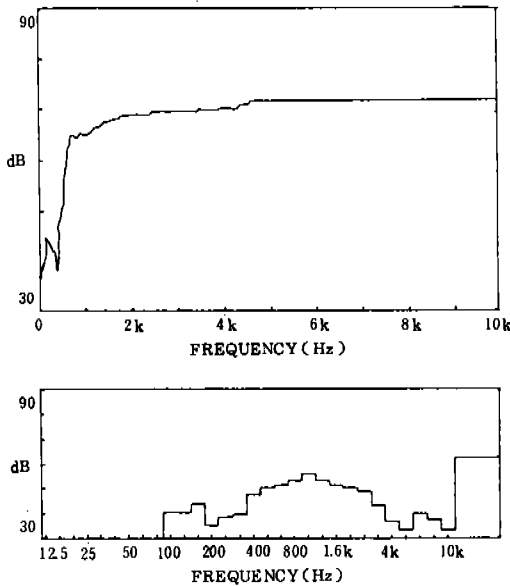


Fig. 16 Narrow band and 1/3 octave band intensity spectrum of the aluminum plate

Fig. 17 Acoustic intensity pattern at 6300 Hz

(5.39 cm)보다 긴 주파수 영역은 6.300 Hz 이상임을 알 수 있다. 특히 실험에서 구한 6.300 Hz의 경우 등고선 그래프의 3차원 그래프를 Fig.17에 나타내었으며 그 결과는 Fig.1(c)에 나타낸 공간모우드의 패턴과 일치함을 알 수 있다.

(2) edge mode와 음향인텐시티 패턴

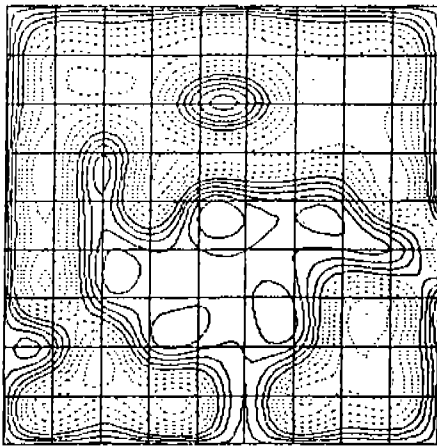
Fig.18에서 보이는 바와 같이 1,000 Hz 부근에서의 음향인텐시티의 패턴을 보면 음압측정에 의한 방법과는 달리 점선으로 된 부분이 나타나고 있는데 이 부분은 흡음현상이 나타난 것을 보여주고 있으며 또한 평판의 네 테두리 부근에서 음이 방사되고 있음을 알 수 있다. 이것은 Fig.1(b)에 나타난 경우와 같이 1/4 파장의 monopole의 상쇄로 인해 결국 각 면의 테두리만 남게되어 edge mode로 나타

낸다. Fig.18에서 중앙의 음의 방사는 가진 기의 가진에 의한 방사로 생각된다.

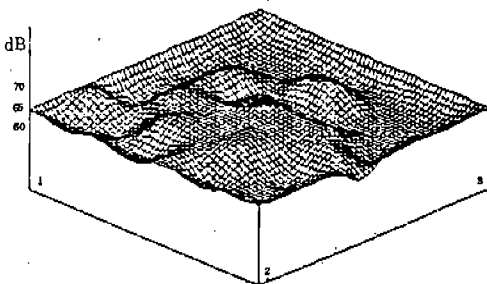
(3) corner mode와 음향인텐시티 패턴
실험에서 구한 160 Hz에서와 같이 굽힘파의 파장(34.2 cm)이 음파의 파장(212.5 cm)에 비해 상당히 작은 경우($\lambda_{air} \gg \lambda_B$)에 Fig.1(a)와 같이 평판 전체에 있어서 monopole의 상쇄로 인해 네 모퉁이 부근에서만 음이 방사하게 된다. Fig.19는 160 Hz에서의 모우드 패턴으로서 corner mode를 보여주고 있다.

4-4 방진재 부착에 따른 음향방사 모우드의 변화

본 연구에서는 음향인텐시티의 측정에 사용되었던 알루미늄 평판에 고무 방진재를 부착하여 음의 방사특성을 살펴보았다. 방진재의

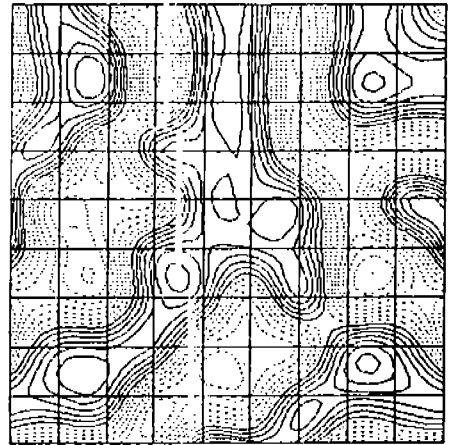


(a) Contour Plot

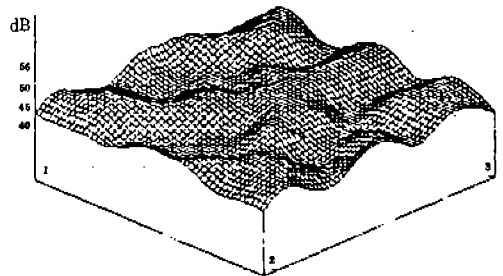


(b) 3D Plot

Fig. 18 Acoustic intensity pattern at 1000 Hz



(a) Contour Plot



(b) 3D Plot

Fig. 19 Acoustic intensity pattern at 160 Hz

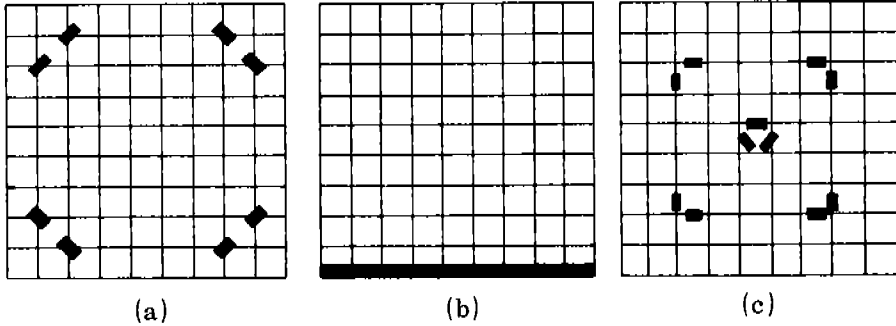


Fig. 20 Three types of attaching position of the absorber

부착위치는 각각 corner mode, edge mode, surface mode의 방사를 줄이기 위해 Fig. 20과 같이 3가지 형태로 부착하여 측정하였다.

방진재 부착에 따른 응답의 변화는 2.0 Pa에서 1.6 Pa로 약 0.4 Pa 정도의 음압이 감소되었음을 알 수 있었으며, 스펙트럼의 변화는 각 측정점별로 약 5~10dB 정도씩 감소되었음을 알 수 있다.

한편 각 주파수별 모우드 패턴을 비교하면 다음과 같다.

4-4-1 방진재 부착위치와 주파수별 모우드 패턴의 비교

(1) corner mode의 비교

Fig. 21은 corner mode의 방사를 줄이기 위한 Fig. 20(a)와 같은 위치에서의 고무방진재 부착에 따른 부착전과의 비교로서 평판 전체의 오버올 레벨에서의 인텐시티 스펙트럼을 나타내고 있다. 그림에서 보이는 바와 같이 방

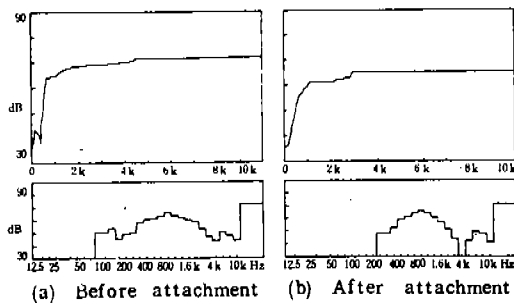


Fig. 21 Comparison of the acoustic intensity spectrum for the corner mode according to the attachment of absorber

진재 부착에 따라 160Hz에서의 음향인텐시티 레벨이 현저히 감소됨을 알 수 있다. 또한 Fig. 22와 같이 등고선 그래프와 3차원 그래프를 보면 corner mode의 방사가 약 5dB정도 감소되었음을 알 수 있다.

(2) edge mode의 변화

edge mode의 방사를 줄이기 위한 대책으로 한쪽 테두리에 고무방진재를 부착한 결과 Fig. 23과 같이 변화하였다. Fig. 24에 나타난 등고선 그래프 및 3차원 그래프를 보면 방진재 부착위치 부근에서 인텐시티값이 약 5dB정도 떨어지면서 방사패턴도 edge mode가 사라져감을 알 수 있었다.

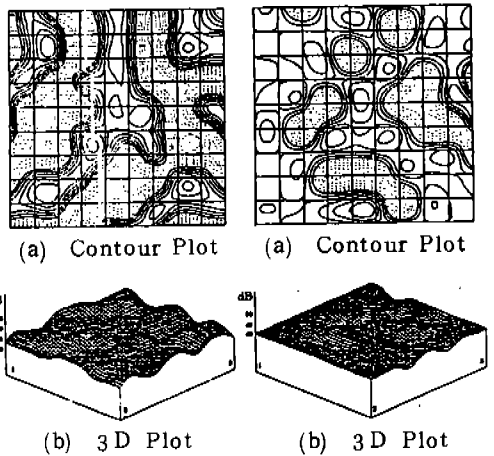


Fig. 22 Comparison of acoustic intensity pattern at 160Hz according to the attachment of absorber

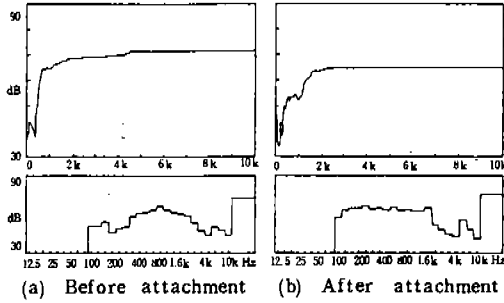
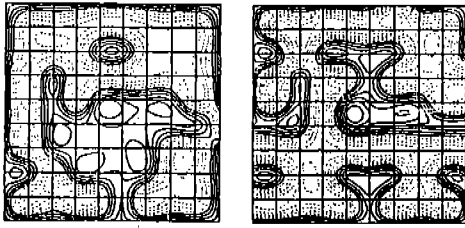
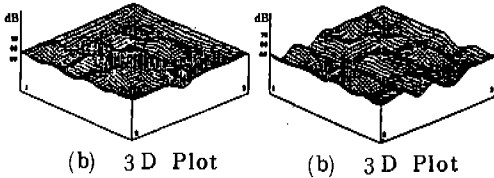


Fig. 23 Comparison of the acoustic intensity spectrum for the edge mode according to the attachment of absorber



(a) Contour Plot (a) Contour Plot



(b) 3 D Plot (b) 3 D Plot

Fig. 24 Comparison of acoustic intensity pattern at 1000 Hz according to the attachment of absorber

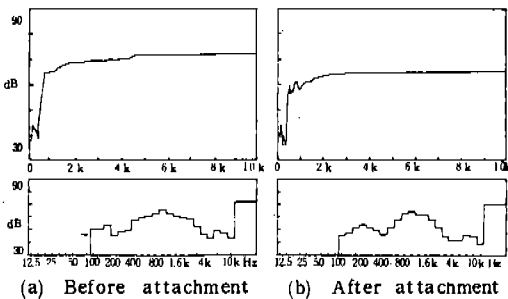
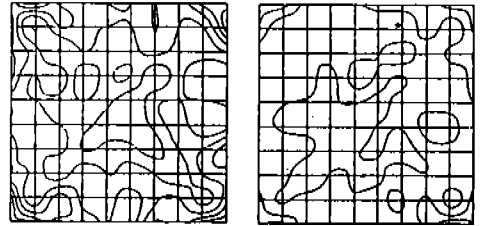
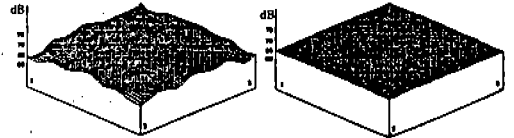


Fig. 25 Comparison of the acoustic intensity spectrum for the surface mode according to the attachment of absorber



(a) Contour Plot (a) Contour Plot



(b) 3 D Plot (b) 3 D Plot

Fig. 26 Comparison of acoustic intensity pattern at 6300 Hz according to the attachment of absorber

(3) surface mode의 변화

Fig. 25는 surface mode의 방사를 줄이기 위해 Fig. 20(c)와 같이 방진재를 부착하여 측정된 음향인텐시티 스펙트럼을 비교한 것으로서 6300 Hz 부근에서 방진재 부착에 따라 음향인텐시티 값이 크게 차이가 나지 않음을 알 수 있다. 따라서 가시적으로 쉽게 판단하기 위해 Fig. 26에 등고선 그래프와 3차원 그래프를 나타내었다. 스펙트럼상에서 현저한 차이는 없었으나 3차원 그래프를 보면 방진재 부착에 따라서 굴곡의 감소로 거의 평탄하게 되었음을 알 수 있다.

5. 결 론

이상의 실험으로부터 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 음향인텐시티의 등고선 및 3차원 그래프에 의해 음향방사 모드패턴을 알아낼 수 있도록 소프트웨어를 개발하였다.

(2) 음압의 측정결과와 음향인텐시티법에 의한 측정결과를 비교 검토함으로써 음향인텐시티법이 음압측정에 의한 소음원 검출보다 유효한 방법임을 입증하였다.

(3) 음향인텐시티의 등고선 및 3차원 그래프에 의해 나타난 음향방사 모우드 패턴을 이용하여 방진재 부착에 따른 음의 방사특성을 예측하고 방진재의 부착위치를 결정할 수 있었다.

참 고 문 헌

1. M.J. Crocker, "The Use of Surface and Acoustic Intensity Techniques to Identify Noise Sources on Machine," CETIM, pp. 127-135, Oct. 1981.
2. E.G. Williams and J.D. Maynard, "Intensity Vector Field Mapping with Nearfield Holography", CETIM, pp. 31-36, Sep. 30 - Oct. 2, 1981.
3. D.K. Young and M.W. Trethewey, "Surface Intensity Measurements for the Prediction of Sound Radiation from Structural Modification", 3rd IMAC, pp. 645-651, 1985.
4. 정일록, "소음·진동학," 국립환경연구소, 1984.
5. 오재응, "음향인텐시티법을 이용한 소음원 검출법의 기초와 응용," 대한기계학회 초록집, 1985.12.
6. P. Sas and R. Snoeys, "Prediction of the Acoustic Intensity Based on Mode Shapes".
7. J.S. Bendat and A.G. Piersal, "Engineering Applications of Correlation and Spectral Analysis", Wiley Interscience Pub., 1980.
8. S.H. Crandall and W.D. Mark, "Random Vibration in Mechanical Systems", Academic Press Inc., 1983.
9. Philip M. Morse, "Vibration and Sound", Acoustical Society of America, 1983.
10. E.E. Ungar, "Structure-Borne Sound", Springer, 1973.
11. Umezawa, Kobayashi and Joujoh, "Sound Radiation from a Housing Containing an Acoustic Source", Bulletin of the JSME, Vol. 25, No. 202, 1982.
12. G. Maidanik, "Response of Ribbed Panels to Reverberant Acoustic Fields", J.A.S.A., Vol. 34, No. 6, pp. 809, 1962.
13. M.J. Crocker and A.J. Price, "Sound Transmission using Statistical Energy Analysis", J. Sound Vib., (1969), 9(3), pp. 469-486.
14. I.D. Faux and M.J. Pratt, "Computational Geometry for Design and Manufacture", Ellis Horwood, 1981.
15. M.E. Mortenson, "Geometric Modeling", John Wiley & Sons, 1985.
16. C.F. Gerald and P.O. Wheatley, "Applied Numerical Analysis," Addison-Wesley, 1984.
17. "Computer Applications of Numerical Method", Han Yang University.
18. G. Rasmussen, M. Brock, "Acoustic Intensity Measure Probe", CETIM, pp. 81-88, Sep. 30 - Oct. 2.
19. 오재응, 박준철, 김상헌, 염성하, "음향인텐시티법에 의한 고체 진동 가진판의 소음원 검출에 관한 연구," 대한기계학회 춘계 학술대회 초록집, 1985.
20. J.E. Oh, J.C. Park and S.H. Yum, "A Study of Noise Source Identification on Plate Excited by Structure-Borne Sound using the Acoustic Intensity", 4th IMAC, pp. 952-956, 1986.

후 기

본 연구는 1984년도 한국과학재단 차관연구비에 의해 이루어졌으며 이에 감사를 드린다.