

뜯바닥구조를 이용한 선실 바닥충격음 저감에 관한 연구

김현실^{†*}, 김봉기*, 차선일^{**}, 김영수^{**}

한국기계연구원 음향그룹*
신성기술산업(주)^{**}

A Study of Floor Impact Noise Reduction of Cabin Using Floating Floor

Hyun-Sil Kim^{†*}, Bong-Ki Kim*, Sun-IL Cha^{**} and Young-Soo Kim^{**}

Acoustics Lab., Korea Institute of Machinery & Materials*
Sin-Sung Eng. & Archi. Co. Ltd^{**}

Abstract

In this paper, floor impact noise reduction in cruise ship cabin is studied. A mock-up is built by using 6t steel plate, and two identical cabins are made where 25t panel is used to construct wall and ceiling inside the steel structure. Various floating floor systems are tested for which normalized impact noise is measured according to ISO 140-7. In addition, floor SBN (Structure-borne Noise) and floor damping are measured to study the effect of floating floor structure. It is shown that VL(Visco-elastic Layer) is more effective when hard plates are added above the VL.

※Keywords: Floor Impact Noise(바닥충격음), Floating Floor(뜯바닥 구조), Cabin Noise(선실소음), Visco-elastic Layer(점탄성재), Noise Control (소음제어)

1. 서론

아파트 못지않게 선박에서도 바닥충격음은 중요한 문제이며 특히 호화 유람선 등 고급여객선의 객실에서는 승객의 안락감 및 승선감 향상을 위해 층간소음의 감소가 매우 중요한 설계요소로 대두되고 있다.

바닥충격음저감을 위해 널리 쓰이는 방법은 뜯

바닥구조(floating floor structure)를 이용하는 것으로 이 방법은 주택과 선박 모두 효과적으로 사용되고 있다. Floating floor의 기본 구조는 바닥위에 완충재로 암면이나 고무층을 깔고 그 위에 단단한 마감바닥재를 설치하는 구조로 되어 있으며 진동차단(vibration isolation)과 같은 원리가 적용된다. 그러나 선박에 사용되는 내장재는 주택과는 달리 화재에 대해 일정시간 견디어야 하는 엄격한 기준을 요구하고 있다. 따라서 선박에 사용되는 floating floor용 완충재는 밀도가 충분히 높고 두께도 최소 50mm 이상인 암면(mineral wool)을 주로 사용한다. 본 연구는 선박에서 사용되는 여

접수일: 2004년 4월 27일, 승인일: 2004년 7월 21일

† 주저자, E-mail: hskim@kimm.re.kr

Tel: 042-868-7461

러 가지 종류의 뜬바닥구조에 대해 바닥충격을 및 진동저감에 관한 계측결과와 해석내용을 다루었다.

2. Mock-up 설비

바닥충격음에 대한 국제기준인 ISO 140-6(ISO 1998)은 실험실에서의 경량충격음 측정 및 평가를 다루고 있는데 이는 사실상 주택을 대상으로 하고 있으며 선박에 대해서는 별다른 기준이 없는 실정이다. 외국의 선박용 floating floor 제조업체는 ISO 140-6에 따라 잔향실에서 측정된 결과를 제시하고 있으나 객실의 바닥충격을 저감효과를 제대로 평가하기에는 다소 무리가 있다. 여객선 객실의 기본 구조는 두께 4mm - 6mm 정도의 강판으로 이루어지는데 바닥에는 마감재(deck covering) 시공을 하며 객실 내부는 판넬로 시공한다. 천정은 강판에서 약 1m 떨어진 false ceiling 구조로 되어있다. 따라서 객실 내부는 강판 골격구조 내에 만들어진 또 다른 공간이며 잔향실 측정법(ISO 140-6)으로 평가하기에는 다소 어려움이 있는 구조이다.

ISO-7(ISO 1998)은 바닥충격음 현장 측정법인데 실제 선박에서 floating floor를 시공하여 측정하기에는 많은 어려움이 따르므로 본 연구에서는 전형적인 여객선 격실구조를 나타내는 mock-up을 공동연구 참여자인 신성공장내부에 설치하였다. Fig. 1에 mock-up의 개요를 보였는데 6t 철판으로 기본 구조를 만든 후 하부 격실에는 두께 25t의 판넬로 마감시공을 하였다. 하부에는 동일한 격실이 두 개 붙어있는 구조인데 Fig. 1에는 한쪽 격실만 보였다. 격실 한 쪽 위에 floating floor를 시공하고 tapping machine을 가동하고 하부격실의 소음을 측정하였다. 소음측정은 현장 측정법인 ISO 140-7(ISO 1998)에 따라 수행하였다.

Floating floor의 효과를 평가하기 위해 바닥충격음외에 강판의 가속도를 측정하였는데 Fig. 1에 보인 것과 같이 바닥과 벽면에 가속도계를 붙여서 측정하였으며 측정위치는 8 point이다. 또한 floating floor로 인한 바닥판의 댐핑증가를 보기 위해 망치로 임팩트를 가하여 가속도가 60dB 떨어

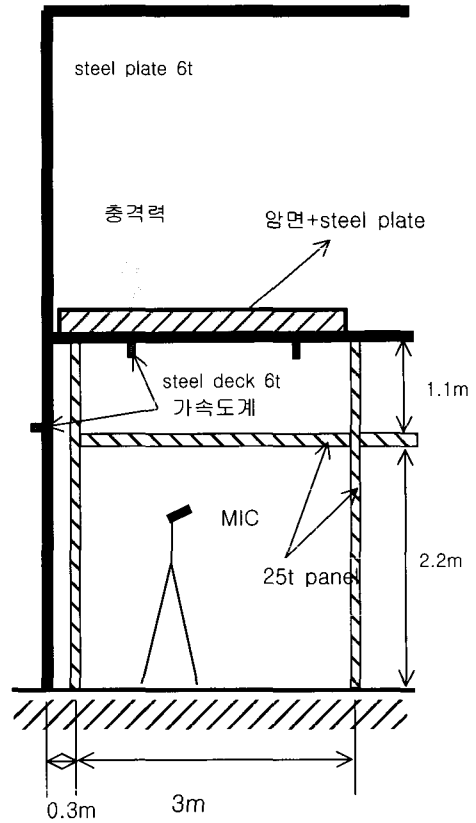


Fig. 1 Mock-Up

지는 시간 T60을 측정하였다.

ISO 140-7은 바닥충격음에 다음과 같이 흡음력을 보정하도록 요구하고 있다.

$$L_n = L_I + 10 \log (A/A_0)$$

단, L_I 는 실내의 평균 음압레벨, A 는 흡음력 (m^2), A_0 는 기준값으로 $10m^2$ 를 사용한다.

흡음력 보정전과 후의 레벨은 다음과 같은 명칭으로 부른다.

L_I : Impact sound (dB)

L_n : Normalized impact sound (dB)

흡음력은 실내의 잔향시간 T_{60} 을 측정하고 체적 V 로부터 다음과 같이 주어진다.

$$A = 0.16V/T_{60}$$

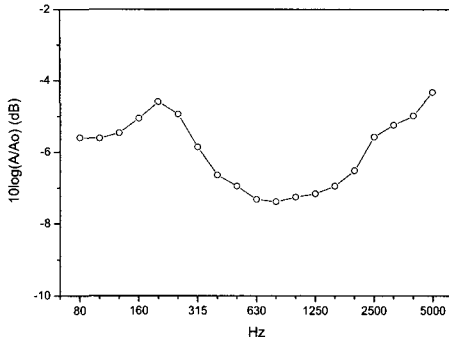


Fig. 2 Absorption effect

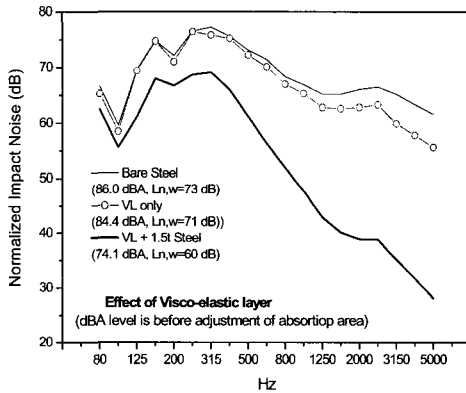


Fig. 3 Effect of VL in impact noise

Cabin 크기는 4m x 3m x 2.1m로 $10\log(A/A_0)$ 의 측정결과는 Fig. 2에 나타냈으며 대략 -4dB에서 -7dB 사이에 있다.

3. 바닥충격을 측정결과

바닥 강판위에 visco-elastic layer(이하 VL로 표기)를 시공하고 그 위에 철판이나 양면 등 여러 가지 바닥재 및 floating floor를 시공하였다. Fig. 3에는 bare steel, VL, VL + 1.5t steel 3가지 경우에 대해 바닥충격을 비교하였다.

두께 6t 강판 바닥에 VL을 시공한 경우 소음감소 효과는 1-2dB이나 그 위에 1.5t 철판을 추가한 경우는 소음이 크게 감소한다. Fig. 4에는

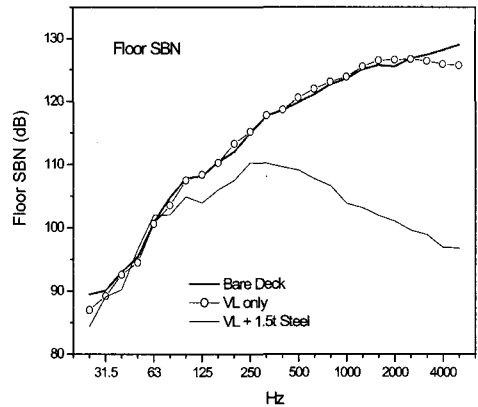


Fig. 4 Effect of VL in floor SBN

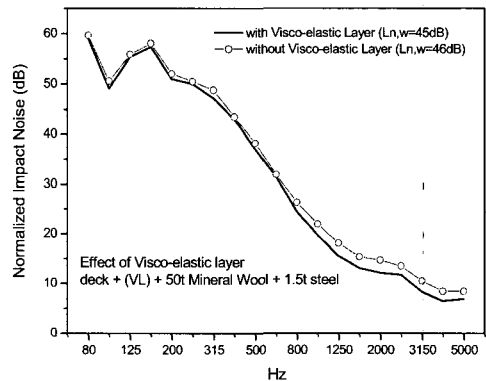


Fig. 5 Effect of VL with mineral wool

floor SBN(Structure-borne Noise)의 차이를 보였는데 소음과 마찬가지로 위에 1.5t 철판을 추가한 경우에는 SBN이 크게 감소한다. VL은 일반적으로 제진효과가 뛰어나서 철판 표면에 바를 경우 소음 및 진동감소효과가 큰 것으로 알려져 있으나 이는 VL과 바닥판 두께가 대등할 때의 경우로 참고문헌(Harris 1988)에서는 판 두께의 50%-200% 범위로 VL을 부착할 것을 권고하고 있다.

본 경우처럼 두꺼운 철판의 경우는 VL 표면 위에 다른 철판(constraining layer)을 추가하여 샌드위치 형태로 하는 것이 효과적이다.

Fig. 5에는 양면 50t와 위에 1.5t 철판을 깔은 경우에 대해 양면과 deck 사이에 VL이 있는 경우

와 없는 경우를 비교하였는데 양면의 존재는 소음 감소에 큰 역할을 하지만 추가로 VL의 시공은 큰 효과를 주지 못한다.

Fig. 6에는 Bare steel과 VL+양면 50t 두 경우에 대해 바닥과 옆면의 가속도를 비교하였는데 Bare Steel의 경우는 모든 주파수에 대해 바닥판이 옆면보다 10dB 이상 크며 따라서 내부 소음도 바닥판에 의해 주로 결정됨을 알 수 있다. 반면 VL+양면 50t를 깔은 경우 대략 2000Hz 까지는 바닥판의 가속도가 주 성분이나 그 이상의 고주파수에서는 옆면의 가속도도 소음에 대등한 영향을 주는 것을 알 수 있다.

Fig. 7과 8에는 양면의 두께를 25t, 50t, 75t, 100t로 증가시켜가며 소음과 바닥 SBN의 변화를 보였는데 최고 6dB까지 소음 감소의 효과가 있음을 보여준다. 그러나 75t와 100t는 거의 유사하여 두께증가효과가 뚜렷하지 않는데 그 원인은 상부 마감재 철판(1.5t)에 비해 양면두께 및 면밀도가 충분히 커서 단순한 질량-스프링 구조로 볼 수가 없으며 비선형 특성이 강하게 작용하는 것으로 볼 수 있다.

Fig. 9에는 VL을 이중으로 시공한 경우를 보였는데 상부 VL 위에 추가로 1.5t 철판을 깔은 경우 4dB의 소음감소효과가 있음을 알 수 있다.

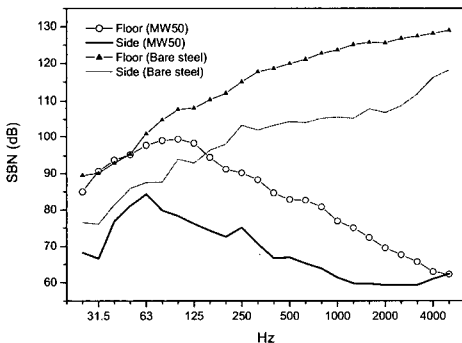


Fig. 6 Effect of mineral wool thickness in impact noise

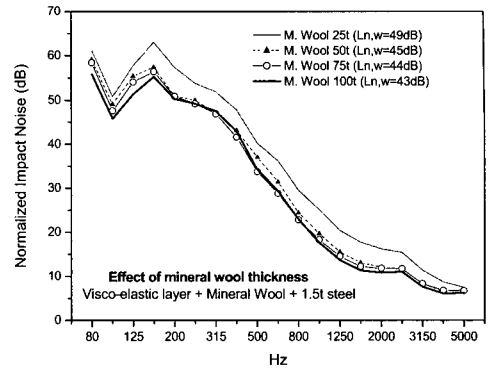


Fig. 7 Effect of mineral wool thickness in impact noise

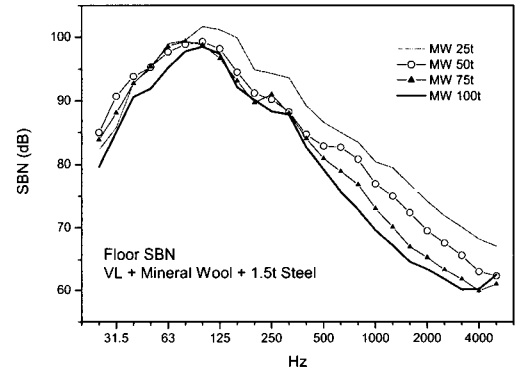


Fig. 8 Effect of MW thickness in floor SBN

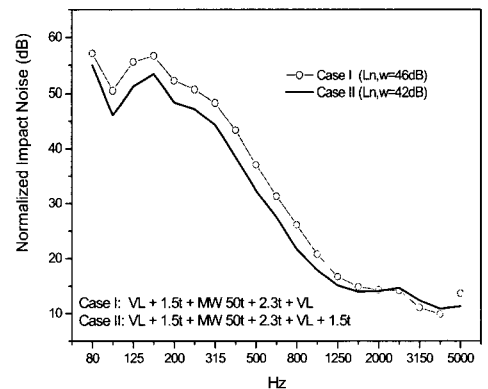


Fig. 9 Effect of arrangement in impact noise

Fig. 10에는 deck covering 8t를 시공한 경우 중간에 VL이 있는 경우와 없는 경우를 비교하였는데 VL로 인해 9dB의 감소효과가 있음을 보여준다.

Fig. 11과 12에는 외국의 floating floor 자료와 비교하였는데 외국의 자료는 ISO 140-6에 따라 잔향실에서 측정된 값으로 잔향실 크기가 본 경우보다 더 크다. 먼저 Fig. 11에는 bare steel deck만 있는 경우 바닥충격을 비교하였는데 외국의 경우는 deck 두께가 8t이다. 본 측정에서 하부에 판넬을 시공하며 잔향실내부에 추가로 격실을 만든 경우 천정 및 벽 판넬의 존재로 인해 소음이 28dB 감소함을 알 수 있다.

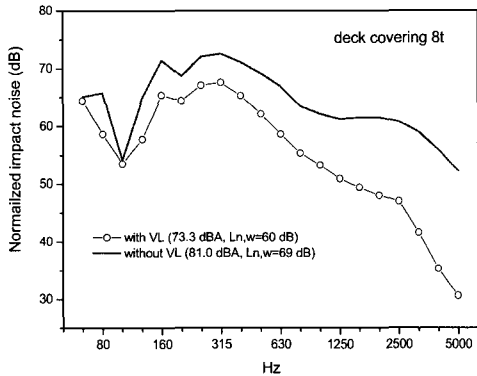


Fig. 10 Effect of VL with deck covering

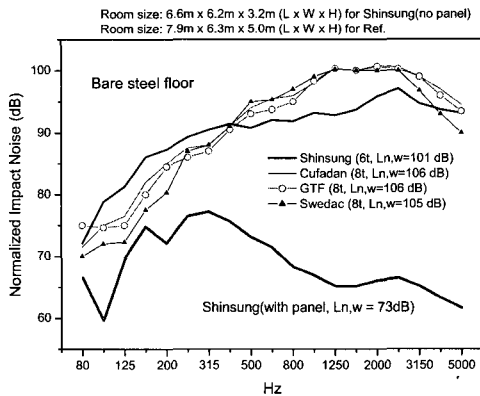


Fig. 11 Impact noise comparison with bare steel

Fig. 12에는 중간에 양면이 있는 경우를 비교하였는데 외국의 잔향실과 본 논문의 mock-up 설비는 측정조건이 다르므로 직접적인 바닥충격음의 비교는 불가능 하므로 bare steel deck에 대한 상대적인 효과(Insertion loss)를 나타냈다. 기본적인 양면 + 표면마감재의 경우는 삼입손실이 대등한 수준임을 보여준다.

지금까지의 결과는 양면의 섬유방향이 수평인 경우를 살펴보았는데 Fig. 13에는 섬유방향이 수직인 경우와 비교하였다. 수직방향은 양면사이에서 간격이 있는 반면, 수평방향은 양면이 연결되어 유리하며 또한 스프링상수가 수직보다 수평방향이 작으므로 충격완화에 효과적이다. Fig. 13은 수평이 수직보다 바닥충격음 $L_{n,w}$ 가 5dB 더 감소함을 보여준다.

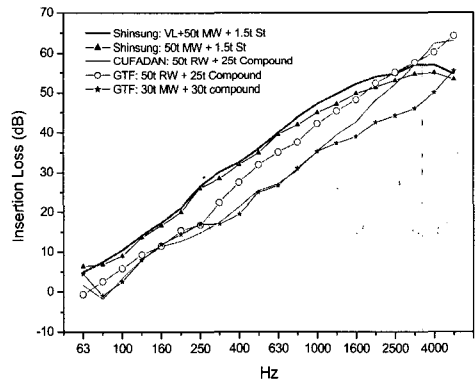


Fig. 12 Impact noise comparison with MW

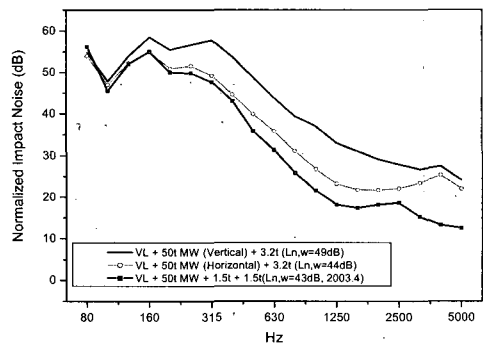


Fig. 13 Effect of mineral wool fiber direction

완충재를 스프링, 상부 마감재를 질량으로 보아 바닥구조를 1차원 Mass-Spring system으로 가정하면 진동저감량은 다음 식과 같이 주어진다 (Thomson 1972).

$$\tau = \left[\frac{1 + \eta^2 r^2}{(1 - r^2)^2 + \eta^2 r^2} \right]^{1/2} \quad (1)$$

여기서 η 는 완충재의 손실계수이며 r 은 주파수의 비, f_n 은 공진주파수로 다음과 같이 주어진다.

$$r = f/f_n, \quad f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$$

m 은 상부 바닥마감재의 단위면적당 질량이며 k 는 완충재의 스프링상수로 탄성계수가 E , 두께가 L 이면 다음과 같이 된다.

$$k = E/L$$

뜯바닥구조의 효과는 다음과 같이 주어진다.

$$L_{\text{float}} = L_p - 20 \log \tau \quad (2)$$

밀도가 150kg/m^3 인 암면 50t에 대해 탄성계수를 측정된 결과는 다음과 같은데 암면의 섬유결 방향에 따라 대략 12배 증가함을 보여준다.

$$\text{수평방향: } E = 1.4 \times 10^5 \text{ N/m}^2$$

$$\text{수직방향: } E = 1.7 \times 10^6 \text{ N/m}^2$$

상부마감재는 두께 3.2t의 강판으로 완충재의 댄핑값을 0.2로 가정하면 결방향에 따른 완충재의 효과는 표 1과 같으며 비교를 위해 측정값도 함께 나타냈다. 표 1에서 보면 식 (1)을 이용한 완충재의 감소효과는 예측이 실제 계측 값보다 과도하게 나타나는데 식(1)은 완충재에 비해 상부마감재의 질량이 매우 커서 1-D Mass-Spring 운동계로 가정하였는데 실제로는 완충재 무게도 상부 철판 (3.2t)에 비해 무시할 수 없으며 기본적으로 바닥 충격음 작용시 탄성층의 국부적인 변형효과도 작용하므로 이상적인 1-D Mass-Spring 운동계와는 차이가 많이 남에 기인하는 것으로 보인다.

Table 1 Noise reduction (dB) from changing direction of mineral wool fiber

Freq (Hz)	Pred.	Meas
500	17	9
1000	14	10
2000	12	7
4000	11	2

4. 바닥댄핑 측정결과

바닥판의 댄핑 η 는 바닥을 고무망치 및 쇠파치로 임팩트를 가한 후 가속도신호가 60dB 떨어지는 시간 T_{60} 을 밴드별로 측정하였으며 다음 공식에 따라 구하였다. 여기서 f 는 주파수이다.

$$\eta = 2.2 / (fT_{60})$$

Table 2에는 다음 5가지 경우에 대해 바닥판의 댄핑값을 비교하였는데 bare steel deck나 그위에 VL만 시공한 경우는 댄핑이 거의 같으나 VL 위에 바닥마감재가 있는 경우는 댄핑이 크게 증가한다. 이는 Fig. 3, 4에서 보여준 샌드위치 구조(Steel deck + VL + steel plate)의 현저한 소음 진동 감소와 일치한다.

중간에 암면이 있는 경우(B, C, D)는 고주파수에서 감쇠가 커서 4kHz의 댄핑값을 측정할 수 없었다.

A: VL only

B: VL + MW 25t + 1.5t Steel

C: VL + MW 100t + 1.5t Steel

D: VL + 1.5t Steel

E: VL + Deck covering 8t

F: Deck covering 8t

Table 2 Floor damping (x100)

Freq (Hz)	Bare Steel	A	B	C	D	E	F
31.5	2.7	2.5	10.2	12.8	7.2	4.9	3.6
63	1.6	1.4	10.5	15.1	9.0	10.8	3.7
125	0.8	0.7	8.7	7.6	5.0	10.1	4.9
250	0.6	0.6	6.6	3.0	3.3	9.3	3.9
500	0.5	0.4	2.0	1.7	2.9	7.3	3.1
1000	0.5	0.4	1.1	1.1	2.0	5.3	3.1
2000	0.7	0.6	0.9	7.0	2.0	4.9	2.4
4000	0.4	0.4	-	-	-	4.3	1.6

5. 결 론

바닥판 위에 VL만 시공한 경우보다는 VL위에 양면이나 철판 등 마감재가 추가된 경우가 소음/진동 감소효과가 높는데 이는 샌드위치 구조안에 VL이 있는 경우가 단판에 VL만 있는 경우에 비해 높은 댐핑 값을 주기 때문으로 보여진다. 또한 deck covering만 시공하기 보다는 중간에 VL이 있는 경우가 높은 소음/진동 감소효과를 보인다.

VL과 양면이 함께 있는 경우는 소음.진동의 감소는 대부분 양면에 의해 이루어지며 상대적으로 VL의 효과는 미미하다.

후 기

본 연구는 선박 내장재 전문생산업체인 신성기술산업(주)과 공동으로 수행한 부품소재 종합기술 지원사업의 연구결과의 일부임을 밝힌다.

참 고 문 헌

- ISO 140-6, 1998, Laboratory measurement of impact sound insulation of floors.
- ISO 140-7, 1998, Field measurement of impact sound insulation of floors.
- Harris, C.M., 1988, Handbook of Acoustical Measurements and Noise Control, Acoustical Society of America.
- Thomson, W.T., 1972, Theory of Vibration with Application, Prentice-Hall inc.



< 김 현 실 >



< 김 봉 기 >



< 차 선 일 >



< 김 영 수 >