

뜬바닥구조를 이용한 선박 격실의 소음·진동 저감에 관한 연구

A Study on the Reduction of Noise and Vibration in Ship Cabins by Using Floating Floor

김 현 실* · 김 재 승* · 강 현 주* · 김 봉 기* · 김 상 렬*
Hyun-Sil Kim, Jae-Seung Kim, Hyun-Ju Kang, Bong-Ki Kim
and Sang-Ryul Kim

(2006년 6월 15일 접수 ; 2006년 8월 30일 심사완료)

Key Words : Floating Floor(뜬바닥구조), Noise and Vibration Reduction(소음·진동 저감), Insertion Loss(삽입손실)

ABSTRACT

In this paper, reduction of noise and vibration in ship cabins by using floating floor is studied. Two theoretical models are presented and predicted insertion losses of floating floor are compared to experimental results, where measurements have been done in mock-up built for simulating typical ship cabin structures. In ships, mineral wool is usually used as the impact absorbing materials. The first model (M-S-Plate Model) is that upper plate and mineral wool are assumed as a one-dimensional mass-spring system, which is in turn attached to the simply supported elastic floor. The second model (Wave-Plate Model) is that mineral wool is assumed as an elastic medium for wave propagation. The comparisons show that M-S-Plate model is in good agreement with experimental results when density of mineral wool is 140 K, and fiber direction is horizontal. For higher density and vertical fiber direction, Wave-Plate model shows good agreements with measurements. It is found that including the elastic behavior of the floor is essential in improving accuracy of the prediction for low frequency ranges below 100~200 Hz.

1. 서 론

뜬바닥구조(floating floor)는 바닥충격음 저감방안으로 널리 쓰이며 아파트뿐만 아니라 선박에서도 이용되고 있다. 아파트에서는 페타이어칩, 고무류, 발포체 등이 바닥충격음 완충재로 널리 쓰이나 선박에서는 방화조건을 만족하기 위해 주로 암면(mineral wool)이 사용된다. 뜬바닥구조의 기본 구조는 콘크리트와 같은 바닥 위에 완충재를 일정

두께로 깔고 그 위에 마감판을 얹는 매트(mat) 형이다.

뜬바닥구조의 설치로 인한 바닥충격음의 저감량은 지금까지는 주로 실험에 의한 결과⁽¹⁾를 활용하였으며 사전에 소음 저감량을 예측하려는 노력은 여러 가지 어려움 때문에 거의 연구가 이루어지지 않았다. 주택용 콘트리트 바닥에 대해서는 임피던스 방법^(2,3), 확장 음장해석법⁽⁴⁾ 등 예측수단이 연구되었으나 그 위에 뜬바닥구조를 시공한 경우 뜬바닥 구조변수에 따라 얼마나 바닥충격음이 감소될지 예측하는 것은 매우 어려운 일로 아직까지는 이에 대한 뚜렷한 답이 없다. 가장 큰 이유는 바닥충격음 발생 및 저감에 관한 거동이 아직 완전하게 알려져 있지

† 책임저자; 정회원, 한국기계연구원 음향소음팀

E-mail : hskim@kimm.re.kr

Tel : (052)259-1261, Fax : (052)259-1682

* 정회원, 한국기계연구원 음향소음팀

못하며 많은 불확실한 요인이 관련되어 있기 때문이다. 가장 간단한 해석모델로 상부구조물을 질량, 완충재를 스프링으로 보고 무한 강성을 갖는 바닥 위에 놓인 일자유도 질량-스프링(mass-spring) 시스템을 가정할 수 있으나 지나치게 단순화된 모델로 측정결과와 비교하면 바닥충격음이 중요한 200 Hz 이하의 저주파수대역에서 큰 차이를 보인다⁽⁵⁾.

이 연구는 매트형 뜬바닥 구조에 대해 바닥충격음 및 진동 저감량에 대한 해석방법을 다루었다. 상부판-완충재를 일자유도 파동모델(wave model) 및 질량-스프링 모델로 해석하는 방법을 제안하였으며 특히 바닥판의 탄성효과를 고려하여 저주파수대역의 정확도를 개선하는 방법을 연구하였다. 뜬바닥구조의 효과를 평가하는 방법으로 뜬바닥구조가 없는 경우와 있는 경우의 바닥판의 고체전달소음(SBN: structure-borne noise) 저감량의 차이인 삽입손실(insertion loss)을 구하여 측정된 결과와 비교함으로써 해석모델의 검증에 피하였다. 측정결과는 선박모의 격실(mock-up) 구조에서 측정한 값을 활용하였다. 모의격실은 2층 구조로 바닥과 벽은 두께 6 mm의 강판으로 제작하였다. 모의 격실의 크기는 길이, 폭, 높이가 각각 6.2 m, 6.6 m, 3.2 m이며 하층 내부에는 두께 25 mm의 경량패널로 만든 두 개의 동일한 격실을 설치하였다.

2. 이론해석모델

선박의 갑판을 모사한 강판 바닥 위에 완충재(암면)와 상부판으로 구성되는 뜬바닥구조를 설치하고 그 위에 경량충격원(tapping machine)으로 가진하는데 Fig. 1처럼 바닥판을 주변이 단순지지된 직사각형 판으로 가정하고 상부판과 완충재를 판위에 설치된 1-D 질량-스프링 시스템으로 가정한다.

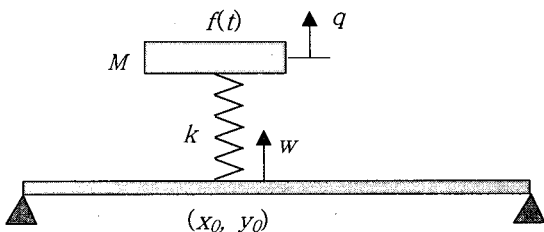


Fig. 1 Mass-spring-plate system

여기서 M , k 는 가진되는 상부판의 질량, 완충재의 탄성계수를 나타내며 바닥판의 크기는 (L_x, L_y) , 스프링과의 접촉위치는 (x_0, y_0) 이다. 태핑머신에 의해 상부판에 가해지는 힘을 f 스프링에 가해지는 힘을 f_p , 질량과 판의 수직방향 변위를 각각 q , w 라고 하면 다음 관계가 성립한다.

$$f - f_p = M \ddot{q} \quad (1)$$

$$f_p = k(q - w) \quad (2)$$

$$f_p = Z_p \dot{w} \quad (3)$$

여기서 Z_p 는 판의 가진점에서의 임피던스이다. 하모닉 운동을 다음과 같이 가정하고

$$(f, f_p, q, w) = (F, F_p, Q, W) e^{i\omega t}$$

식 (1)~(3)을 정리하면 바닥판에 가해지는 힘과 태핑머신에 의해 질량에 가해지는 힘의 비는 다음과 같이 된다.

$$\frac{F}{F_p} = 1 - \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2 + i \frac{\omega M}{Z_p} \quad (4)$$

여기서 ω_0 는 질량-스프링 시스템의 고유진동수로 완충재의 무게가 상부판의 무게에 비해 무시할 정도가 아니므로 가진되는 암면의 무게의 1/3을 질량에 더해 계산한다⁽⁶⁾.

$$\omega_0^2 = k / (M + \rho SL/3)$$

단, ρ , L 은 암면의 밀도와 두께, S 는 가진되는 암면의 면적이다. 태핑머신의 면적은 $0.2 \text{ m} \times 0.6 \text{ m}$ 이나 가진되는 상부판 및 완충재의 면적은 이보다 클 것으로 보이며 이 논문에서는 $0.8 \text{ m} \times 1.0 \text{ m}$ 의 면적이 가진되는 것으로 가정하였다. 스프링의 댐핑을 고려하면 식 (4)는 다음과 같이 된다.

$$\frac{F}{F_p} = \frac{1 + i\eta r - r^2}{1 + i\eta r} + i \frac{\omega M}{Z_p} \quad (5)$$

단, η 는 스프링의 댐핑계수, $r = \omega / \omega_0$ 이다. 단순 지지판의 가진점 임피던스는 모드 전개를 이용하여 쉽게 구할 수 있으며 다음과 같이 주어진다.

$$\frac{1}{Z_p} = \frac{4i\omega}{M_p} \sum_n \sum_m \frac{\sin^2 \frac{n\pi x_0}{L_x} \sin^2 \frac{m\pi y_0}{L_y}}{\omega_{nm}^2 - \omega^2} \quad (6)$$

여기서 M_p , ω_{nm} 은 판의 질량과 고유진동수이며 밀도와 두께를 각각 ρ_p , h 라고 하면 다음과 같이 주어진다.

$$\omega_{nm} = \sqrt{\frac{D}{\rho_p h} \pi^2 \left[\left(\frac{n}{L_x}\right)^2 + \left(\frac{m}{L_y}\right)^2 \right]}$$

단, $D = E(1+i\eta_p)h^3/12(1-\nu^2)$ 로 판의 굽힘강성 (flexural rigidity)이다. 댄핑값 η_p 를 사용하여 복소수 탄성계수를 사용하였고 ν 는 Poisson의 비이다. 식 (5)에서 바닥판의 임피던스가 무한대이면 단순한 질량-스프링계의 운동식으로 유도된다.

완충재는 바닥판과 포인트 접촉이 아니고 실제로는 면접촉이므로 식 (6)의 $1/Z_p$ 를 ($x_0 \pm A/2, y_0 \pm B/2$)에 대해서 적분하고 이를 면적 AB 로 나눈 평균값을 사용하였는데 여기서 $A=0.8$ m, $B=1.0$ m이다.

Fig. 2와 3에 바닥판(두께 6 mm 강판)만 있는 경우와 위에 암면을 완충재로 사용한 튼바닥 구조가 있는 두 경우를 보였는데 바닥판 하부에 가속도계를 부착하여 태핑 머신을 가동하고 각각의 경우에 가속

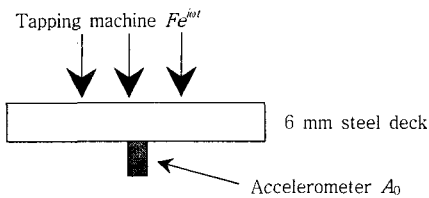


Fig. 2 Bare steel deck (6 mm)

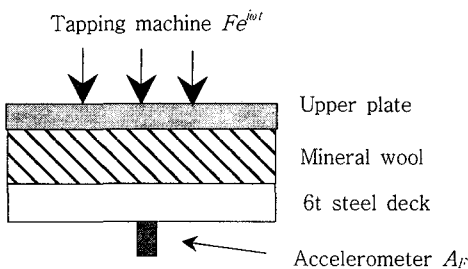


Fig. 3 Steel deck + floating floor

도와 하부 격실의 소음을 측정하였다. 태핑머신의 위치는 시편 4 모서리 안쪽 1.3 m이다. 가속도는 Fig. 2와 3처럼 각 태핑머신 가진 위치의 하부를 측정하였는데 이론해석과 비교하는 값은 각 위치의 가속도를 평균한 값을 사용하였다.

Fig. 3에서 상부판의 강성이 충분히 커서 태핑머신에 의해 가해지는 충격력이 Fig. 2의 바닥판에 가해지는 충격력과 같다고 가정하면 완충재에 의해 저감되는 충격력의 비는 식 (5)의 상부판과 바닥판에서의 힘의 비이며 이는 Fig. 2와 3의 가속도의 비와 같다고 볼 수 있다.

$$\frac{F_p}{F} = \frac{A_F}{A_0} \quad (7)$$

따라서 튼바닥구조의 효과는 맨바닥에 대한 고체음의 상대적인 감소량으로 정의되는 삽입손실로 표현할 수 있으며 다음과 같이 주어진다.

$$IL = 20 \log(F / F_p) \quad (8)$$

여러 가지 형태의 튼바닥 구조에 대해 가속도의 비 A_F/A_0 를 측정하였으며 식 (8)의 예측치와 비교하였다.

암면의 스프링 상수는 시편을 100 mm × 100 mm로 잘라 여러 가지 두께에 대해 압축하중을 가하면서 변위를 측정하여 구하였는데 Fig. 4에 밀도 140 kg/m³인 암면에 대해 응력(stress)-변형률(strain)의 관계를 나타냈다. 암면은 섬유결의 방향에 따라 탄성계수가 달라지며 Fig. 4에는 수평결과 수직결에 대해 측정한 결과를 함께 나타냈다. 탄성

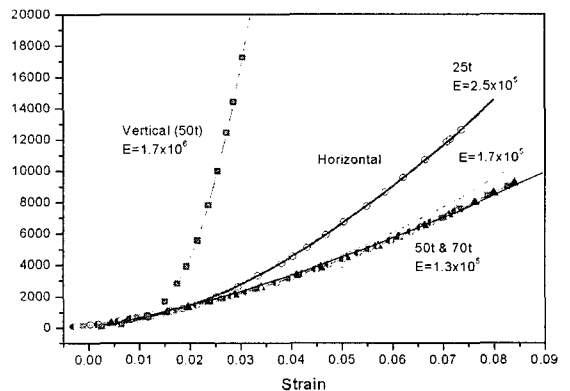


Fig. 4 Young's modulus of mineral wool (140 kg/m³)

계수 측정결과 다음과 같이 구해졌다.

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

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

면적 S , 두께 L 인 완충재의 스프링상수는 다음과 같이 주어진다.

$$k = ES/L$$

두 번째 해석모델로 압면을 탄성을 갖는 파동전파 매질로 보고 Fig. 5처럼 1-D 파동모델로 가정하였다. 압면의 탄성계수를 E , 변위를 $u(q, t)$ 로 하면 단위 면적당 운동방정식은 다음과 같이 된다.

$$\rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} - E \frac{\partial^2 u}{\partial q^2} = 0 \tag{9}$$

하모닉운동 $u = Ue^{i\omega t}$ 을 가정하면 운동방정식은 다음과 같이 된다.

$$U'' + (\omega^2/a^2)U = 0 \tag{10}$$

단, $a^2 = E/\rho$.

먼저 바닥판의 강성이 무한대인 경우를 가정하면 상부판에 충격하중 $F e^{i\omega t}$ 이 가해질 때 경계조건은 하단에서는 변위가 제로이며 상단에서의 힘은 충격하중에 질량에 가해지는 관성력과 같다는 것으로 다음과 같이 주어진다.

at $x = 0$: $U = 0$

at $x = L$: $ESU' = F_0 + \omega^2 MU$

위의 경계조건을 만족하는 식 (10)의 해는 다음과 같이 주어진다.

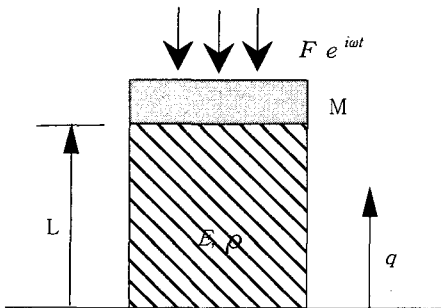


Fig. 5 1-D wave model

$$U = \left(\frac{aF_0}{ES\omega} \right) \frac{\sin(\omega q/a)}{\cos \xi - (\omega Ma/ES) \sin \xi} \tag{11}$$

여기서 $\xi = \omega L/a$.

바닥판에서의 힘은 $F_b = ESU'(q=0)$ 이며 상부판에 가해지는 힘과의 비는 다음과 같이 주어진다.

$$\frac{F_b}{F} = \frac{1}{\cos \xi - (\omega Ma/ES) \sin \xi} \tag{12}$$

식 (12)에서 분모가 제로가 되는 고유진동수가 무한개 존재한다.

$$\xi_n \tan \xi_n = \rho SL/M, \quad n = 1, 2, 3, \dots \tag{13}$$

바닥판의 임피던스를 고려하면 식 (5)에 대응하는 파동모델을 이용한 뜬바닥구조의 삽입손실은 다음과 같이 주어진다.

$$\tau = \frac{F}{F_b} = \cos \xi - \left(\frac{\omega Ma}{ES} \right) \sin \xi + \frac{i\omega M}{Z_p} \tag{14}$$

$$IL_{WAVE} = 20 \log(\tau) \tag{15}$$

가진되는 압면의 면적과 상부판의 면적은 $S=0.8 \text{ m} \times 1.0 \text{ m}$ 로 가정하였다. 계측에 사용된 뜬바닥구조의 경우 상부 판은 여러 개의 단위 조각으로 구성되어 있는데 1.6 mm 철판은 450 mm × 450 mm의 정사각형이며 3.2 mm 철판은 425 mm × 790 mm의 직사각형 형상이다. 바닥판의 면적은 6.2 m × 3.3 m, 압면과 철판으로 구성된 뜬바닥층의 설치면적은 4.4 m × 2.95 m이다.

3. 측정결과와의 비교

모의 격실은 2층 철판 구조로 한 층은 길이 6.2 m, 폭 6.6 m, 높이 3.2 m로 두께 6mm의 강판으로 제작하였으며 보강재(stiffener)가 폭 방향으로 약 1 m 간격으로 부착되어 있고 바닥 중앙에는 길이 방향으로 H-빔(beam)이 있다. 바닥은 H-빔을 중심으로 좌우에 각각 다른 종류의 뜬바닥구조를 시공하였다. 실제 선실의 벽은 패널로 이루어져 있으므로 이를 모사하기 위해 25 mm 벽체 패널을 1층에 설치하였는데 천장에서는 1.1 m, 벽에서는 0.3 m 떨어져 있으며 폭방향으로 동일한 격실이 2개 제작되었다.

개략적인 모습을 Fig. 6에 보였다.

여러 가지 튼바닥구조에 대해 Fig. 2와 3처럼 가속도를 측정하여 삽입손실을 식 (8) 및 (15)와 비교하였는데 참고로 식 (8)에서 바닥판이 무한 강성을 갖는 질량-스프링의 단순화된 경우도 함께 비교하였다. Fig. 7~10에는 상부판의 두께가 1.6 mm 철판

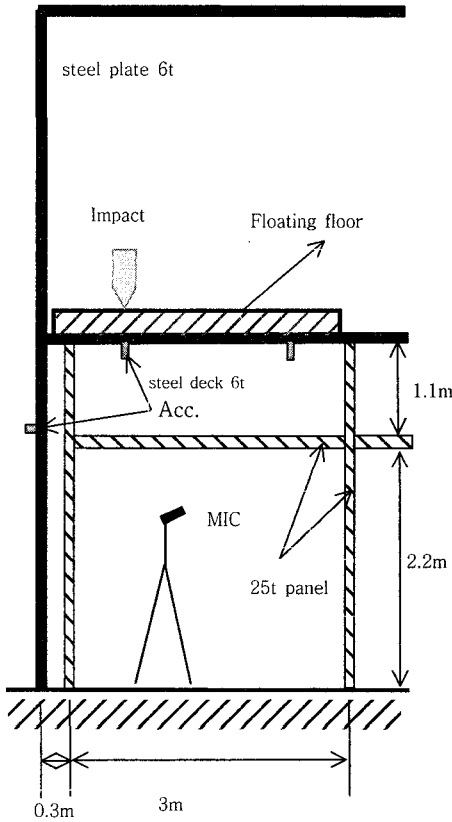


Fig. 6 Mock-up

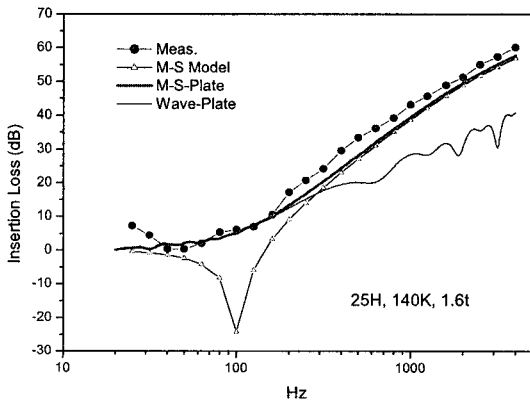


Fig. 7 Insertion loss of 25 mm MW + 1.6 mm plate

이며 압면의 두께가 25 mm, 50 mm, 75 mm, 100 mm에 대해 비교하였는데 스프링의 댐핑은 0.05, 강판의 댐핑은 0.2로 가정하였다. 그림에서 M-S는

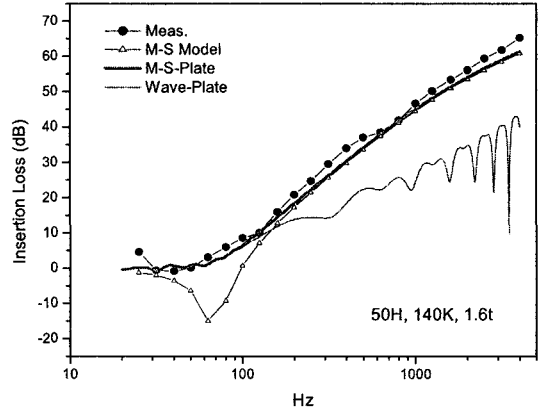


Fig. 8 Insertion loss of 50 mm MW + 1.6 mm plate

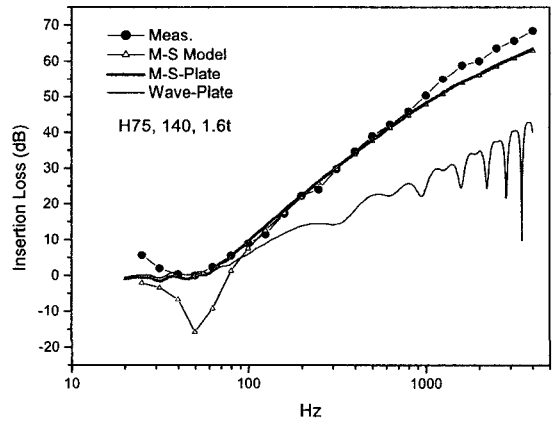


Fig. 9 Insertion loss of 75 mm MW + 1.6 mm plate

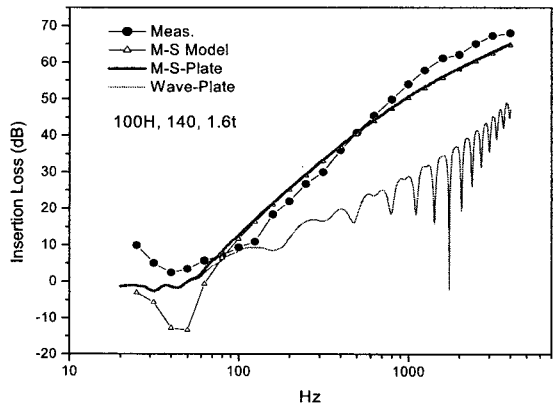


Fig. 10 Insertion loss of 100 mm MW + 1.6 mm plate

질량-스프링-무한 강성바닥 모델을, M-S-Plate는 식 (5)의 질량-스프링-강판 모델을, Wave-Plate는 식 (14)의 파동매질-강판 모델을 나타낸다.

Fig. 7~10은 압면의 밀도가 모두 140 kg/m^3 이며 압면결의 방향은 수평(H)으로 설치되어 있다. 상부판의 두께가 1.6 mm인 경우 질량-스프링-판 모델은 고주파수 일부를 제외하고 측정값과 잘 일치한다. 또한 바닥을 무한 강성으로 본 질량-스프링 모델은 100 ~ 200 Hz 이하의 저주파수대역에서는 측정값과 큰 차이를 보이나 고주파수 대역에서는 질량-스프링-판 모델과 일치한다. 이로부터 저주파수대역은 바닥판의 탄성이 매우 중요한 역할을 함을 알 수 있으며 고주파수로 갈수록 바닥판의 탄성은 무시해도 좋을 정도로 영향이 작아진다. 그러나 파동매

질-판 모델은 저주파수 대역을 제외하고는 측정값과 큰 차이를 보이며 식 (13)에서 예측되는 것처럼 여러개의 고유진동수를 가지므로 리플(ripple)을 보인다.

Fig. 11~14에는 상부판의 두께가 3.2 mm인 경우를 비교하였는데 Fig. 11과 Fig. 14는 압면 결의 방향이 수평(H)이고 Fig. 12~13은 수직(V)이다. 또한 Fig. 14만 압면 밀도가 240 kg/m^3 (탄성계수 $E=9.2 \times 10^5 \text{ N/m}^2$)이며 나머지는 모두 140 kg/m^3 이다. Fig. 11~14에서 압면의 댐핑계수는 0.1로 가정하였다.

Fig. 11은 질량-스프링-판 모델이 고주파수 일부를 제외하고는 측정값과 일치하는데 Fig. 7~10의 1.6 mm 경우와 유사한 양상을 보인다. Fig. 12~14는 파동매질-판 모델이 측정값과 잘 일치함을 알 수

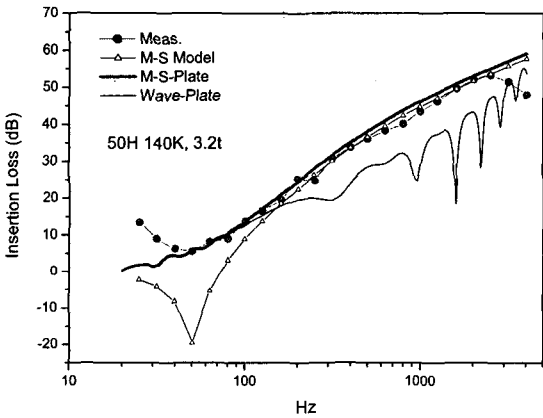


Fig. 11 Insertion loss of 50 mm MW(H, 140 K) + 3.2 mm plate

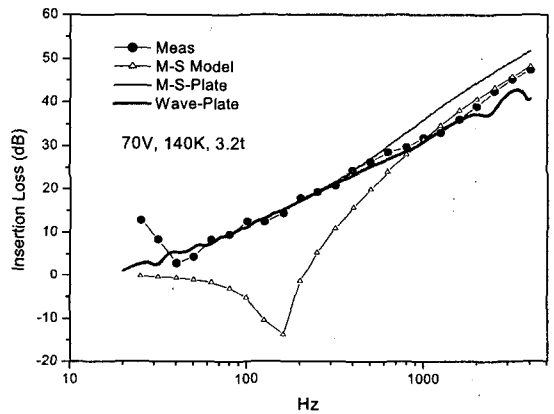


Fig. 13 Insertion loss of 70 mm MW(V, 140 K) + 3.2 mm plate

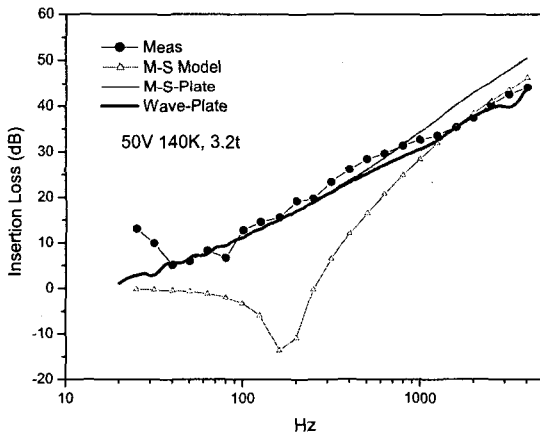


Fig. 12 Insertion loss of 50 mm MW(V, 140 K) + 3.2 mm plate

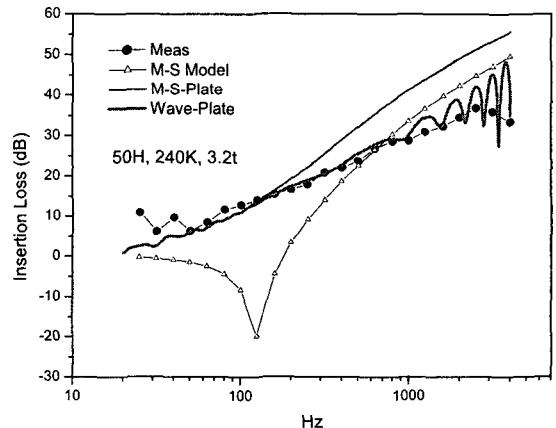


Fig. 14 Insertion loss of 50 mm MW(H, 240 K) + 3.2 mm plate

있는데 Fig. 14의 경우 1000 Hz 이상의 고주파수 대역에서는 리플의 존재로 인해 측정값과 차이를 보인다. Fig. 12~14에서 질량-스프링-판 모델은 저

수파수 대역에서 파동매질-판 모델과 거의 같으나 중-고주파수대역에서는 측정값보다 과도하게 예측함을 보여준다.

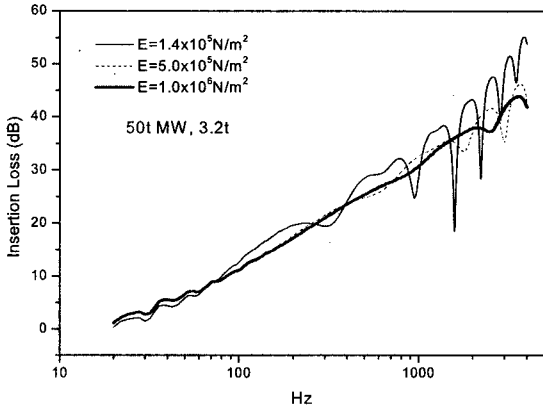


Fig. 15 Insertion loss of wave-plate model for 50 mm MW + 3.2 mm plate

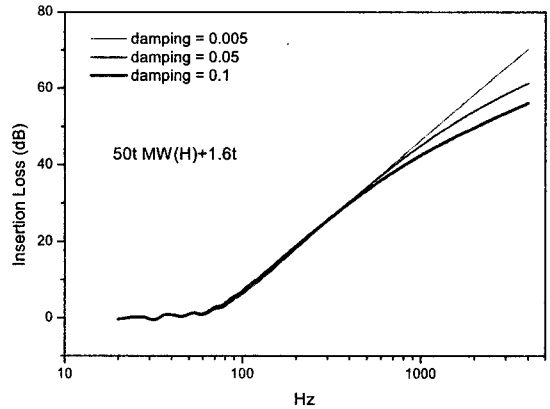


Fig. 18 Effect of mineral wool damping (M-S-Plate Model : 50 mm MW + 1.6 mm plate)

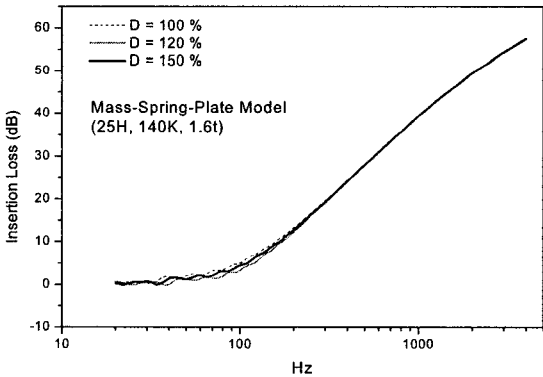


Fig. 16 Flexural rigidity vs. insertion loss (M-S-Plate Model: 25 mm MW + 1.6 mm plate)

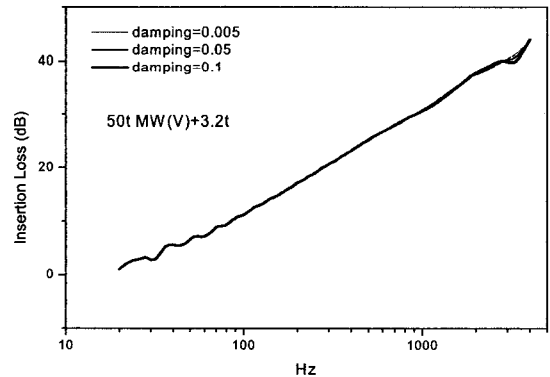


Fig. 19 Effect of mineral wool damping (Wave-Plate Model : 50 mm MW(V) + 3.2 mm plate)

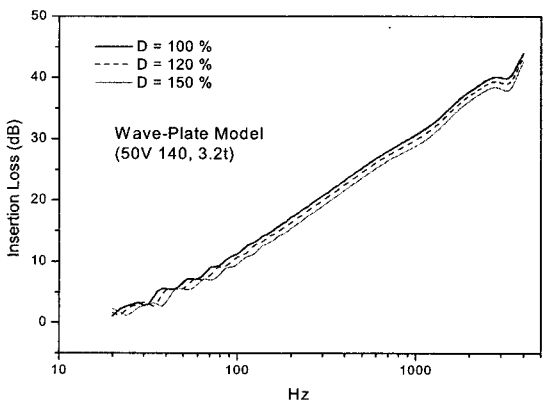


Fig. 17 Flexural rigidity vs. insertion loss (Wave-Plate Model : 50 mm MW(V) + 3.2 mm plate)

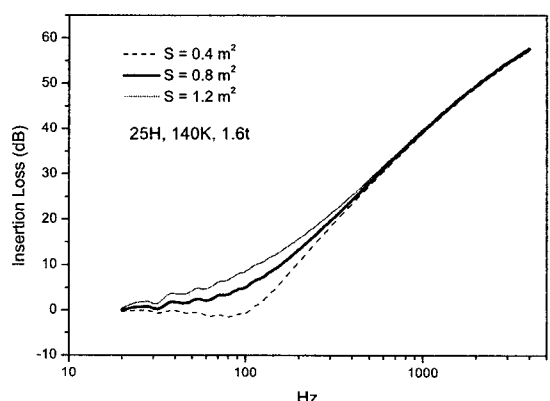


Fig. 20 Effect of excited area (M-S-Plate Model : 25 mm MW + 3.2 mm plate)

흥미로운 점은 Fig. 12 및 13의 파동매질-판 모델의 예측식은 다른 그림과는 달리 리플을 보이지 않는데 중요한 차이는 Fig. 7~11에 비해 압면의 탄성계수가 크게 증가하였다는 점이다. Fig. 15에 파동매질-판 모델에 대해 압면의 탄성계수가 1.4×10^5 N/m², 5.0×10^5 N/m², 1.0×10^6 N/m² 세가지 경우를 비교하였는데 탄성계수가 커질수록 리플의 크기가 줄어들며 궁극적으로는 사라지게 됨을 보여준다. 이는 식 (14)를 만족하는 실수근이 압면의 E 값이 커짐에 따라 존재하지 않는 것으로 보여진다.

이 연구에서 바닥판은 해석의 편리함을 위해 단순 지지 강판로 가정하였지만 실제로는 주변 벽과 용접으로 연결되고 보강재(stiffener)가 존재하는 등 매우 복잡하다. 실제 상태를 해석에 정확하게 반영하기란 불가능하므로 여기에서는 바닥판의 굽힘강성을 인위적으로 현재보다 120% 및 150% 증가시켜 예측식의 변화를 보았는데 Fig. 16에는 질량-스프링-판 모델을, Fig. 17에는 파동매질-판 모델에 대해 나타냈다. 굽힘강성의 변화는 질량-스프링-판 모델의 경우 저주파수대역을 제외하고는 영향을 주지 않으나 파동매질-판 모델의 경우는 압면의 굽힘강성이 1.5배 커지면 1~2 dB 감소효과를 나타낸다.

댐핑계수의 영향을 보기위해 Fig. 18에는 질량-스프링-판 모델, Fig. 19에는 파동매질-판 모델에 대해 압면의 댐핑이 0.005, 0.05, 0.1인 경우를 비교하였다. 질량-스프링-판 모델은 고주파수대역에서 댐핑이 작을수록 삽입손실이 증가하나 파동매질-판 모델은 거의 변화가 없다.

Fig. 20에는 가진되는 압면과 상부판의 면적이 삽입손실에 미치는 영향을 살펴 보았는데 가진면적이 클수록 100 Hz 주변의 저주파수 대역만 삽입손실이 증가하며 나머지 주파수 영역은 거의 변화가 없다.

4. 결 론

압면을 완충재로 사용한 뜬바닥구조의 고체음 저감량을 이론적인 방법을 사용한 예측모델을 개발하여 측정값과 비교하였는데 상부판을 질량, 완충재를 스프링으로 보는 단순모델도 예측과 측정값이 잘 일치하는 결과를 얻었다. 단, 바닥판의 강성을 임피던스 개념을 이용하여 해석모델에 포함시키는 것이 100~200 Hz 이하의 저주파수대역에서 예측의 정확성을 크

게 향상시킬 수 결정적인 요소임을 확인하였다.

압면의 탄성계수가 작은 경우에는 질량-스프링 모델이 적절하지만 탄성계수가 커지면 파동매질-판 모델이 적합한 결과를 얻었다. 이 경우도 바닥판의 강성을 포함시키는 것이 저주파수대역의 예측의 신빙성을 향상시키는 데 중요한 요소이다.

20~40 Hz 이하의 매우 낮은 주파수 대역에서는 두 해석 모델 모두 측정값과 차이가 나는데 이는 바닥판의 경계조건이 단순지지가 아닌 점과 이 논문에서는 균일판(isotropic plate)으로 가정했지만 실제로는 보강재의 존재로 인해 바닥판의 굽힘강성이 방향에 따라 달라지는 차이점에 기인한 것으로 보인다.

이 논문에서는 선박의 격실을 고려하였으나 아파트의 콘크리트 구조도 같은 개념을 이용하면 건축용 뜬바닥구조의 효과도 해석이 가능할 것으로 예상된다. 이 연구에서는 바닥판의 고체음 감소효과만 다루었으나 참고문헌 (7)에 따르면 하부 격실의 실내 소음 저감량은 바닥판(하부층에서 보면 천정)의 고체음 저감량에 2000 Hz 까지는 거의 비례하는 것으로 나타났다. 바닥충격음의 단일지수 결정은 주로 1000 Hz 이하의 저주파수대역의 소음에 지배되므로⁽⁸⁾ 이 논문에서 제시한 방법은 뜬바닥구조를 이용한 실제 선박 또는 주택의 바닥충격음 저감예측에 도움을 줄 것으로 예상된다.

후 기

이 연구는 산자부에서 지원하는 선박 안전성 및 성능 고도화 핵심기술 개발사업과 부품소재 종합기술지원사업의 연구결과와 일부임을 밝힌다.

참 고 문 헌

- (1) Yang, K. S., Lee, S. H., Kim, H. Y. and Kim, S. M., 1999, "The Experimental Study on the Impact Sound Insulation Floors due to Waste Tire Chip", Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 9, No. 3, pp. 477~484.
- (2) Kimura, S. and Inoue, K., 1989, "Practical Calculation of Floor Impact Sound by Impedance Method", Applied Acoustics, Vol. 26, pp. 263~292.

- (3) Kim, J. S., Jang, G. S. and Kim, S. W., 1992, "An Experimental Study of the Prediction Method of Floor Impact Sound Insulation Performance in Apartment House Using Impedance Methods(II)", Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 2, No. 1, pp. 21~31.
- (4) Hashimoto, N., Katsura, M. and Nishikawa Y., 1997, "Study on a Diffuse Index on Plate Vibration in Audio-frequency Range and its Utilization", J. Archit. Plann. Environ. Eng., AIJ, No. 492, pp. 9~14.
- (5) Kim, H.-S., Kim, J.-S., Kang, H.-J., Kim, B.-K. and Kim, S.-R., 2006, "An Analysis of Floor Impact Noise by Using Wave Model," Proceedings of the KSNVE Annual Spring Conference, KSNVE06S-26-131.
- (6) Thomson, W. T., 1972, "Theory of Vibration with Applications", Prentice-Hall, pp. 19~20.
- (7) Kim, H.-S., 2003, "Technology Support for Floating Floor Development of Luxury Ships," BSM007-1048.M, KIMM.
- (8) Lee, S. H., Jeong, G. C. and Chung, J. Y., 2004, "Vibration Isolation Effect of Floor Impact Sound by Ceiling Structure," Proceedings of the KSNVE Annual Autumn Conference, pp. 257~260.