

# Wave 모델을 이용한 바닥충격음 해석

<sup>0</sup>김현실\*, 김재승, 강현주, 김봉기, 김상렬

## An Analysis of Floor Impact Noise by using Wave Model

Hyun-Sil Kim, Jae-Seung Kim, Hyun-Ju Kang, Bong-Ki Kim, and Sang-Ryul Kim

Key Words: wave model, floating floor

### ABSTRACT

In this paper, floor impact is studied by using 1-D wave model and predicted insertion loss is compared to the measurements done in the mock-up. A mock-up is built by using 6t steel plate, and two identical cabins are made where 25t or 50t panel is used to construct wall and ceiling inside the steel structure. Various floating floor structures are studied, in which mineral wool thickness, height, and stiffness changes are investigated. It is shown that the wave model and measurements are in good agreements in general, although there occur significant discrepancies in the low frequency range below 200 Hz.

### 1. 서 론

뜬바닥구조(Floating floor)는 바닥충격음 저감방안으로 널리 쓰이며 아파트 뿐만 아니라 선박에서도 이용되고 있다. 아파트에서는 페타이어칩, 고무류, 스티로폼 등이 주로 바닥충격음 완충재로 널리 쓰이나 선박에서는 방화조건을 만족하기 위해 주로 압면(mineral wool)이 사용된다. 뜬바닥구조의 기본 구조는 콘크리트와 같은 바닥위에 완충재를 일정 두께로 깔고 그 위에 마감판을 얹는 mat 형으로 경량충격음에는 효과적이거나 중량충격음에는 별로 효과적이지 못한 것으로 알려져 있다. 최근에는 중량충격음에도 효과적인 구조로 바닥에 고무

받침대를 격자형으로 배열하고 그 위에 마감판을 설치하는 받침대 형의 이용이 늘고 있는 추세이다.

뜬바닥구조의 설치로 인한 바닥충격음의 저감량은 지금까지는 주로 실험에 의한 결과를 활용하였으며 사전에 예측하려는 노력은 여러 가지 어려움 때문에 거의 연구가 이루어지지 않았다. 콘트리트 바닥에 대해서는 임피던스방법, 확장 음장해석법 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 못하며 많은 불확실한 요인이 관련되어 있기 때문이다. 가장 간단한 해석모델로 상부구조물을 질량, 완충재를 스프링으로 보고 1-D mass-spring 시스템을 가정할

\* 한국기계연구원 음향연구그룹

수 있으나 지나치게 단순화된 모델로 측정결과와 비교하면 큰 차이를 보인다.

본 연구는 mat 형 뜬바닥 구조에 대해 바닥충격을 저감량을 예측하는 방법을 다루었으며 상부판-완충재를 1-D wave model로 해석하였다. 충격력의 이론적인 저감량과 바닥판의 고체음(SBN: Structure-Borne Noise) 저감량을 측정된 결과와 비교하여 해석모델의 검증에 피하였다. 측정결과는 선박 내장재 전문생산업체인 신성기술산업(주)과 공동으로 수행한 부품소재 종합기술지원사업의 연구결과로 공장안에 설치한 선박 격실 mock-up 구조에서 계측한 값을 활용하였다. Mock-up의 구조와 측정내용은 참고문헌[1]에 기술되어 있다.

## 2. Wave Model

상부판과 완충재를 그림 1처럼 1-D wave model로 가정한다. 상부판의 단위 면적당 질량은 M, 완충재의 Young's modulus와 밀도를 각각 E, ρ, 완충재 높이는 L이다.

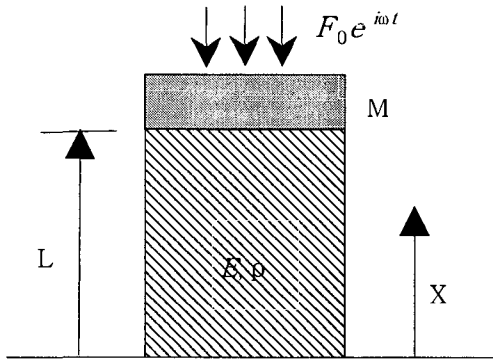


그림 1. 1-D wave model

완충재의 변위를  $u(x, t)$ 라고 하면 단위 면적당 운동방정식은 다음과 같이 된다[2].

$$\rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} - E \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = 0$$

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

$$U'' + (\omega^2/a^2)U = 0 \quad (1)$$

단,  $a^2 = E/\rho$ .

상부판에 충격하중  $F = F_0 e^{i\omega t}$ 이 가해질 때 경계조건은

$$\text{at } x=0: U = 0$$

$$\text{at } x=L: EU' = F_0 + \omega^2 MU$$

경계조건을 만족하는 식 (1)의 해는 다음과 같이 주어진다.

$$U = \frac{aF_0}{E\omega} \frac{\sin(\omega x/a)}{\cos(\omega L/a) - \frac{\omega Ma}{E} \sin(\omega L/a)}$$

$x=0$ 의 힘은  $F_{x=0} = EU'(x=0)$ 이며 힘의 비는 다음과 같이 주어진다.

$$\frac{F_{x=0}}{F_0} = \frac{1}{\cos(\omega L/a) - (\omega Ma/E) \sin(\omega L/a)} \quad (2)$$

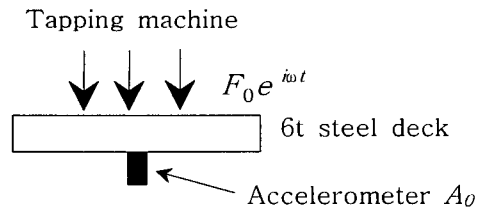


그림 2.a Bare steel deck (6 mm)

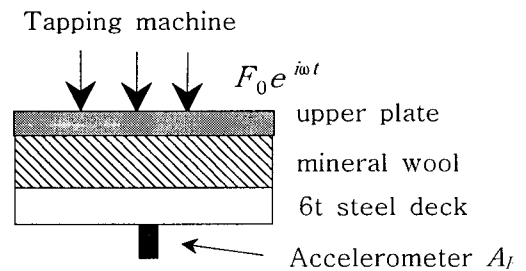


그림 2.b Deck + floating floor

그림 2에 bare steel deck (두께 6 mm)과 위에 압면을 완충재로 사용한 뜬바닥 구조가 있는 두 경우를 보였는데 deck 하부에 가속도계를 부착하여 tapping machine을 가동하고 각각의 경우에 가속도를 측정하였다. 그림 2.b에서 상부판의 강성이 충분히 커서 tapping machine에 의해 가해지는 충격력이 그림 2.a의 bare steel deck에 가해지는 충격력과 같다고 가정하면 완충재에 의해 저감되는 충격력의 비는 식 (2)의 상부판과 하부  $x=0$ 에서의 힘의 비이며 이는 그림 2.a와 2.b의 가속도의 비와 같다고 볼 수 있다.

$$\frac{F_{x=0}}{F_0} = \frac{A_F}{A_0} \quad (3)$$

여러 가지 형태의 뜬바닥 구조에 대해 가속도의 비  $A_F/A_0$ 를 측정하였으며 이를 식 (2)의 예측치와 비교하였다. 상부 판은 여러 개의 단위 조각으로 구성되어 있는데 tapping machine이 가하는 면적은 단위 판의 면적보다 작으므로 식 (2)에서 질량을  $4M$  (3.2t plate의 경우) 또는  $2M$ (1.6t plate의 경우)으로 하였다. 또한 식 (2)에서 완충재를 스프링으로 보고 1-D mass-spring 시스템으로 가정하였을 때 힘의 전달률은 다음과 같이 주어진다.

$$\tau = \left[ \frac{1 + \eta^2 r^2}{(1 - r^2)^2 + \eta^2 r^2} \right]^{1/2} \quad (4)$$

여기서  $\eta$ 는 완충재의 손실계수이며  $r$ 은 주파수의 비,  $f_n$ 은 공진주파수로 다음과 같이 주어진다.

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

$M_e$ 은 상부 마감재의 질량인데 다음과 같이 주어진다.

$$M_e = 4M + \rho$$

$k$ 는 완충재의 스프링상수로 탄성계수가  $E$ , 두께가  $L$  이면 다음과 같이 된다.

$$k = E/L$$

뜬바닥구조의 효과는 다음과 같이 주어진다.

$$IL_{WAVE} = 20 \log(A_0/A_F) \quad (5)$$

$$IL_{Spring} = -20 \log(\tau) \quad (6)$$

### 3. 측정결과

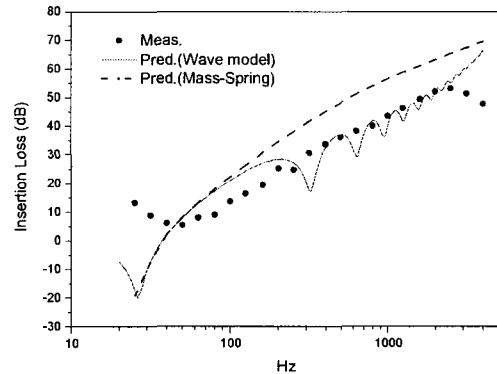


그림 3. Deck + 50t MW(H, 140K) + 3.2t plate

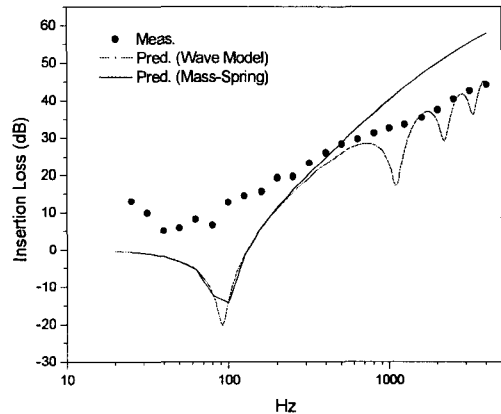


그림 4. Deck + 50t MW(V, 140K) + 3.2t plate

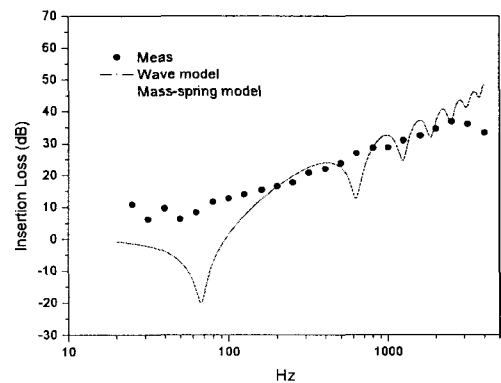


그림 5. Deck + 50t MW(H, 240K) + 3.2t plate

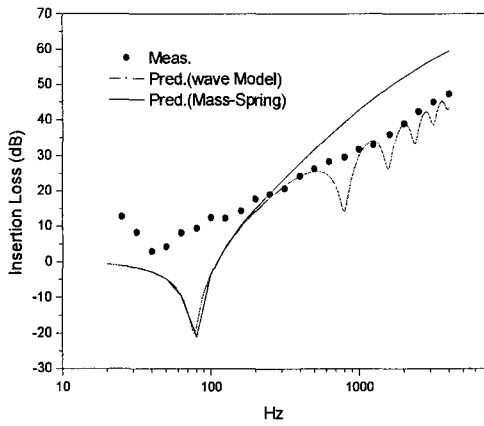


그림 6. Deck + VL + 75t MW(H, 140K) + 1.6t plate

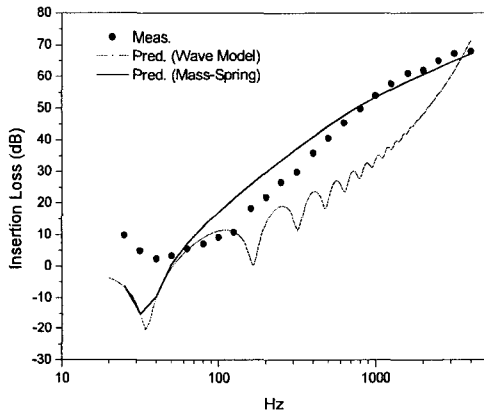


그림 7. Deck + VL + 100t MW(H, 140K) + 1.6t plate

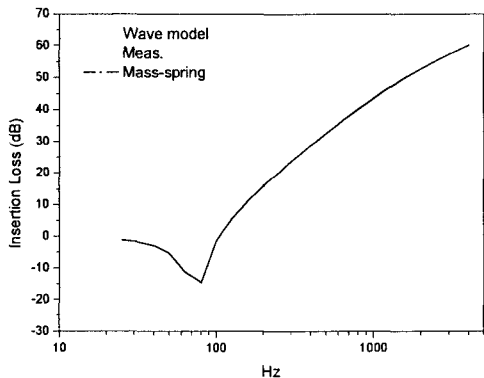


그림 8. Deck + VL + 25t MW(H, 140K) + 1.6t plate

그림 3-8에 식 (5), (6)에 의한 예측값과 측정값

을 비교하였는데 상부판의 두께가 3.2t인 경우 wave model은 200Hz 이하의 저주파수 대역을 제외하고는 대체로 측정값과 맞는 것을 알 수 있다. 그림 9에는 댐핑값 변화에 따른 전달률의 변화를 비교하였다.

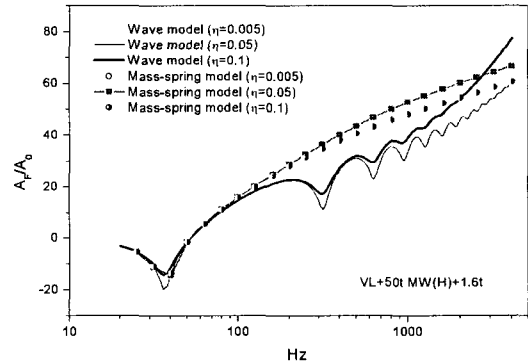


그림 9. Deck + VL + 50t MW(H, 140K) + 1.6t plate

#### 4. 결론

1-D wave 모델은 상부 판의 면적이 크고 무거운 3.2t plate 경우에, mass-spring model은 면적이 작고 가벼운 1.6t plate 대체로 측정값과 일치함을 알 수 있었다. 그러나 두 방법 모두 200 Hz 이하의 저주파수 대역에서는 잘 맞지 않는데 deck의 탄성을 고려하면 저주파수 대역에서 정확성이 향상될 것으로 예상된다.

#### 후기

본 연구는 선박 안전성 및 성능 고도화 핵심기술 개발사업 및 부품소재 종합기술지원사업의 연구결과의 일부임을 밝힌다.

#### 참고 문헌

1. 김현실, 김봉기, 차선일, 김영수, “뚝바닥구조를 이용한 선실 바닥충격을 저감에 관한 연구,” 대한조선학회논문집, 제 41권 제 5호, 41-47, 2004.
2. Thomson, W.T., 1972, Theory of Vibration with Application, Prentice-Hall Inc.