

선박 격실 mock-up을 이용한 뜬바닥구조의 소음·진동 저감효과 계측에 관한 연구

김현실^{†*}, 김재승*, 강현주*, 김봉기*, 김상렬*

한국기계연구원 음향·소음팀*

A Study on Noise and Vibration Reduction Measurements of a Floating Floor Structure by means of a Ship Cabin Mock-up

Hyun-Sil Kim^{†*}, Jae-Seung Kim*, Hyun-Ju Kang*, Bong-Ki Kim* and Sang-Ryul Kim*

Acoustics Lab., Korea Institute of Machinery & Materials*

Abstract

In this paper, noise and vibration reduction for floating-floored ship cabin is studied. A mock-up is built by using 6 mm steel plate, and two identical cabins are made for simulation of ship cabins. When a speaker is used as a sound and vibration sources, it is shown that floating floor is more effective in isolating sound than bare deck by 2-5 dB. It is also shown that structure-borne noise of the bare deck is greater than that of floating-floored deck by 3-10 dB. For tapping machine excitation, it is found that the effect of floating floor in airborne noise and structure-borne noise reduction reaches up to 40-50 dB for high frequency ranges.

*Keywords: Noise and vibration(소음 진동), Floating floor(뜬바닥구조), Mock-up

1. 서론

호화 유람선 등 고급여객선의 객실에서는 승객의 안락감 및 승선감 향상을 위해 소음·진동의 감소가 매우 중요한 설계요소로 대두되고 있다. 크루즈선의 음향특성에 대해 기술한 자료(Naval Architect 2001)에 따르면 과거에 비해 엔진, 프

로펠러 등 주요 장비에 기인한 소음·진동 레벨은 크게 감소하였으나 승객들의 소음·진동에 대한 불평은 오히려 증가하였으며 그 원인으로는 선내 스포츠, 디스코 뮤직, 수영장 펌프같은 레저활동으로 인한 소음·진동 발생요인을 들고 있다. 격실을 주변의 소음·진동으로부터 차단하기 위해서는 뜬바닥구조(floating floor structure)가 매우 효과적인 방법으로 알려져 있는데 이 방법은 육상 건축물에도 바닥충격음의 저감방안으로 널리 사용되고 있다.

접수일: 2008년 8월 4일, 승인일: 2008년 11월 7일

† 교신저자: hskim@kimm.re.kr, 042-868-7461

뜬바닥구조의 기본 구조는 바닥위에 완충재로 암면이나 고무층을 깔고 그 위에 단단한 마감바닥재를 설치하는 구조이며 진동차단(vibration isolation)과 같은 원리(Thomson 1972)가 적용된다. 그러나 선박에 사용되는 내장재는 주택과는 달리 화재에 대해 일정시간 견디어야 하는 엄격한 기준을 요구하고 있다. 따라서 선박에 사용되는 뜬바닥구조용 완충재는 밀도가 충분히 높고 두께도 최소 50mm 이상인 암면(mineral wool)을 주로 사용한다.

뜬바닥구조의 성능은 완충재, 상부판의 질량, 바닥판의 강성 등 여러 가지 요인에 의해 좌우된다. Schiavi et al.(2007)는 완충재의 동적강성(Dynamic Stiffness)이 뜬바닥구조 성능에 미치는 영향을 조사하였으며 Tadeu et al.(2007)은 무한판 이론을 사용하여 뜬바닥구조와 같은 복합층 구조에 대한 음파전달 현상을 연구하였다. Cha and Chun(2008)은 바닥판 임피던스를 포함한 질량-스프링 모델로 뜬바닥구조의 삽입손실을 예측하였다. 뜬바닥구조는 진동이나 충격저감 외에 공기음(Airborne Noise: ABN) 차단에도 도움이 되는데 Kern(2001)은 중간에 충진재를 포함한 두개의 탄성 판구조에 대해 공기음 절연효과를 이론적으로 해석하였다.

뜬바닥구조 외에 천장도 소음차단에 중요한 역할을 하는데(Warnock 1998), 여객선 격실은 HVAC 덕트 및 케이블 등을 설치하는 공간을 확보하기 위해 상부 데크보다 0.4 m - 1 m 낮은 높이에 천장(Suspended Ceiling)을 설치한다.

크루즈 선 및 여객선 등에 사용되는 뜬바닥구조와 이중 천장의 소음·진동 해석에는 선박 격실 mock-up을 이용한 연구가 매우 중요하다. 이론으로 해석할 수 없는 복잡한 실제 상황을 실험을 통해 연구할 수 있고 이론연구를 검증할 수 있는 데이터를 제공한다. 또한 여러 가지 상황을 사전에 검토하여 설계 및 시공에 큰 도움이 될 수 있다. Joo et al.(2008)은 선박 격실 mock-up을 이용하여 도어, 틈새 등 여러 가지 다양한 소음·진동의 전파경로(Flanking Transmission Path)에 대해 연구하였다.

본 논문에서는 크루즈 선 및 여객선에 사용되는

뜬바닥구조의 소음·진동 차단효과에 대해 mock-up 측정을 이용한 연구결과를 다루었으며 또한 이중 천장의 소음차단효과도 실험적으로 연구하였다. 마이크로폰을 이용한 소음측정 외에 바닥 및 벽의 고체음(Structure-borne Noise: SBN)도 측정하여 데크의 고체음이 하층 소음에 기여하는 정도를 검토하였다.

2. Mock-up을 이용한 측정

Mock-up은 2층 철판구조로 한 층은 길이 6.2 m, 폭 6.6 m, 높이 3.2 m로 두께 6 mm의 강판으로 제작되었다. Mock-up을 이용한 바닥충격음 저감연구는 이미 보고된 바 있다(Kim et al. 2004, 2005).

Mock-up은 전형적인 선박내부를 모사하기 위해 제작되었는데 실제 선박의 벽은 판넬로 이루어져 있으므로 이를 모사하기 위해 25 t 벽체 판넬(wall panel)을 1층에 설치하였는데 천장에서는 1 m, 벽에서는 0.3 m 떨어졌으며 폭방향으로 동일한 격실(cabin)이 2개 제작되었다. 바닥은 한쪽 격실 천장에 해당되는 면적에만 뜬바닥구조를 설치하였는데 개략적인 모습을 Fig. 1에 보였다. 뜬바닥구조 천장을 갖는 방은 Room A, 맨바닥 천장을 갖는 방은 Room B로 표기하였다.

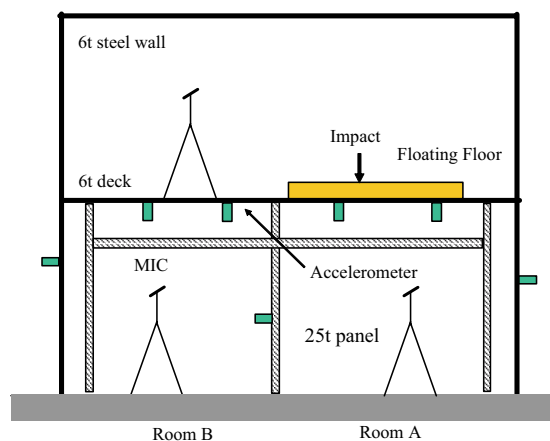


Fig. 1 Sketch of a cabin mock-up

튼바닥구조는 (주)스타코에서 개발한 모델 (STACO-FF-50VL)로 두께 50 mm 이며 구성은 다음과 같다.

6t steel deck + Mineral wool 50 t(밀도: 240 K) + 2.3 t steel plate + viscoelastic layer 1 t + 1.6 t steel plate

튼바닥구조의 효과를 평가하기 위해 실내소음 외에 가속도를 측정하였는데 Fig. 1에 보인바와 같이 바닥과 벽면에 가속도계를 붙여서 측정하였다.

3. 공기음 측정결과

Mock-up의 상층에 공기음과 고체음을 발생시키고 상.하층의 음압(Sound Pressure Level: SPL)과 가속도레벨을 측정하였다. 상층에는 마이크론 8개, 하층격실에는 각각 4개의 마이크론을 설치하여 평균값을 취하였다.

- 스피커를 이용한 공기음가진:
 - 상하층의 SPL 측정, 바닥 및 측벽의 가속도(SBN) 측정
- 태핑머신(Tapping Machine: 경량충격음발생기)을 이용한 ABN 및 SBN 가진:
 - 상하층의 SPL 측정, 바닥 및 측벽의 가속도(SBN) 측정

특히 스피커를 이용한 가진시 하부격실의 천장이 있는 경우와 제거한 경우를 측정하여 천정의 존재가 소음저감에 미치는 영향을 검토하였다. 공기음은 음압으로 단위는 dB, 기준은 $20\mu\text{Pa}$ 이며 고체음은 가속도로 단위는 dB, 기준은 10^{-5}m/s^2 이다.

태핑머신이 발생하는 충격량은 바닥표면이 단단하면 같다고 가정할 수 있으므로 튼바닥구조를 설치한 경우와 맨바닥의 SBN 차이는 튼바닥구조의 SBN 감소효과로 볼 수 있다.

Fig. 2에는 스피커 가진시 상층과 하층의 ABN 레벨을 보였는데 천장을 제거한 경우나 하지 않은 경우나 스피커에 의한 상층 소음은 거의 같다. 하층 소음은 튼바닥구조가 있는 경우가 맨바닥보다

약 3-5 dB 소음이 작으며 이는 튼바닥구조의 무게가 맨바닥에 비해 20%에 이르며 STL (Sound Transmission Loss) 증가에 기여함에 기인한다. 천장이 있으면 없는 경우보다 ABN이 5-20 dB 더 감소하며 dB(A) 레벨은 12.8 dB 감소함을 알 수 있다.

Fig. 3에는 천장이 없는 경우 상층과 하층의 소음레벨의 차이를 보였는데 대략 중간 주파수대역에서 30dB에 이르는 것을 알 수 있다. 천장의 삽입은 다음과 같이 정의하였다(PU, PL은 각각 상하층의 ABN).

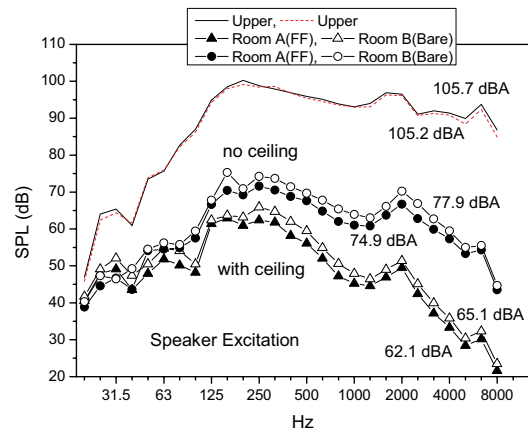


Fig. 2 SPL of upper and lower spaces with speaker excitation

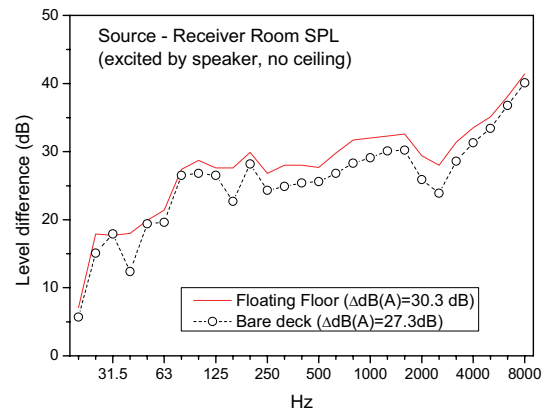


Fig. 3 SPL difference between upper and lower spaces with speaker excitation

$$IL_{ceiling} = (P_U - P_L)_{with\ ceiling} - (P_U - P_L)_{no\ ceiling} \quad (1)$$

Fig. 4에 식 (1)의 천장의 삽입손실을 비교하였는데 뜬바닥이나 맨바닥이나 거의 같음을 알 수 있다.

Fig. 5에는 태핑머신 가진시 하층의 ABN 레벨을 보였는데 이 경우 천장은 제거한 상태이며 뜬바닥 구조의 소음저감효과는 4000 Hz 이상의 고주파수에서 40~50 dB에 이으며 dB(A) 레벨로는 30.9 dB 차이를 보여준다.

Fig. 6에는 뜬바닥구조(Room A) 위를 태핑머신으로 가진시 상하층의 소음레벨차이를 보였는데 인접한 Room B의 소음은 직접 가진되는 Room

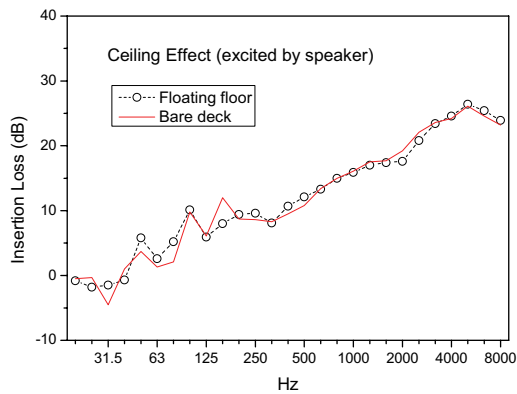


Fig. 4 Insertion loss of the ceiling

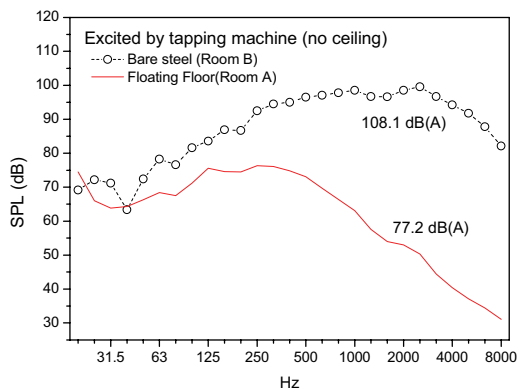


Fig. 5 SPL comparison with tapping machine excitation

A에 비해 상하층 소음차이가 2~ 5 dB 정도 더 큼을 알 수 있다. Fig. 7에는 맨바닥 (Room B) 위를 태핑머신으로 가진시 상하층의 소음레벨차이를 보였는데 Room B의 소음은 상층보다 저주파수대역을 제외하고는 소음이 오히려 큰데 이는 하층은 공간이 상층보다 작기 때문인 것으로 판단된다. Room A의 소음은 Room B에 비해 5~ 10 dB 정도 작음을 알 수 있다.

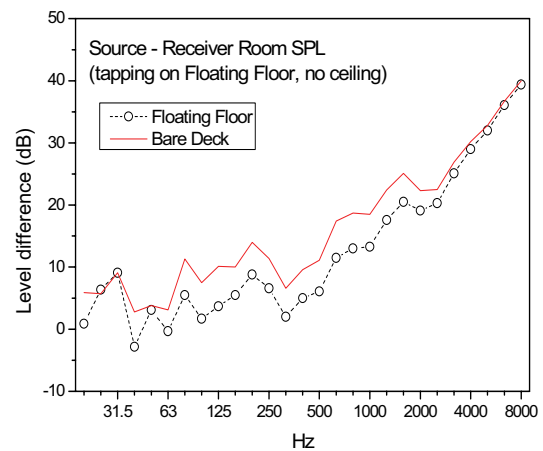


Fig. 6 SPL comparison of upper and lower spaces with tapping machine excitation on the floating floor

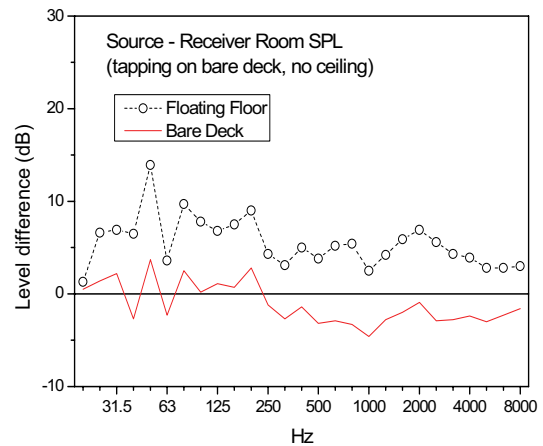


Fig. 7 SPL comparison of upper and lower spaces with tapping machine excitation on the bare deck

4. 고체음 측정결과

Fig. 8에는 맨바닥과 뜬바닥구조를 태핑머신으로 가진시 바닥판의 SBN을 비교하였는데 뜬바닥구조의 고체음 저감효과는 4000 Hz 이상의 고주파수에서 40~50 dB에 이르며 이 차이는 Fig. 5의 ABN 차이와 유사하다. Fig. 9에 맨바닥(room B)과 뜬바닥구조(Room A)를 각각 가진할 때 하층 격실 소음과 바닥 및 주변 벽의 SBN 차이를 비교하였는데 차이는 다음과 같이 정의된다.

$$\text{diff_ABN} = \text{SPL_B} - \text{SPL_A} \quad (2)$$

$$\text{diff_SBN} = \text{SBN_B} - \text{SBN_A} \quad (3)$$

여기서 SPL_{A,B}는 각 격실의 ABN, SBN_{A,B}는 각 격실의 바닥 및 주변 벽의 SBN을 의미한다. 대체로 두 격실의 ABN과 SBN의 차이가 일치함을 알 수 있는데 단, 내장재(Wall 1, 2)는 1000 - 2000 Hz 이상의 고주파수에서는 급격히 레벨이 감소한다.

Fig. 10에는 스피커 가진시 바닥판의 SBN과 태핑머신으로 뜬바닥구조를 가진시 발생하는 SBN을 비교하였는데 사용한 스피커는 무지향성(Omni-directional)으로 정격출력 10 W, 최대 출력 40 W인 단위 스피커를 축구공 향상으로 12개를 조합하여 제작하였다. 스피커로만 가진하여도 2000 Hz 이상에서는 태핑머신으로 직접 가진하는

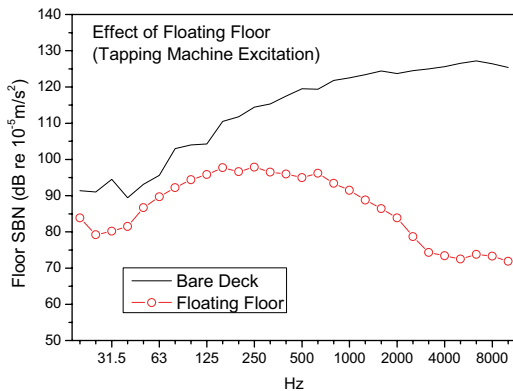


Fig. 8 Comparison of floor SBN with tapping machine excitation

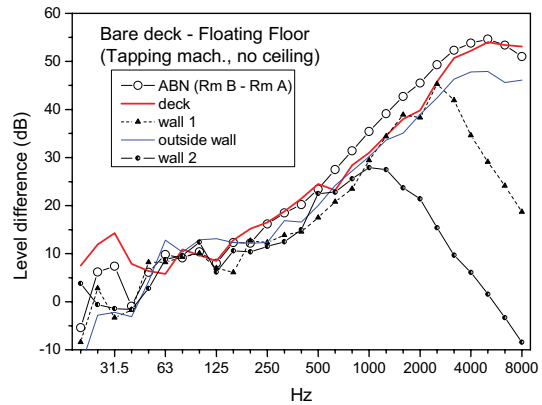


Fig. 9 Comparison of ABN and SBN for room A and B with tapping machine excitation

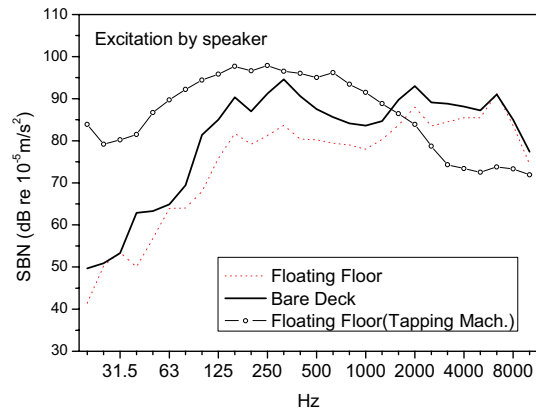


Fig. 10 Comparison of floor SBN with speaker excitation

것보다 더 큰 SBN 레벨이 형성됨을 보여준다. 뜬바닥구조가 맨바닥보다 무게가 무거워 SBN 레벨이 작으며 그 차이는 2~10 dB에 이르며 내장판의 SBN은 500 Hz 이상에서 급격히 감소한다.

Fig. 11에는 Mock-up 구조에서 SBN의 전파현상을 비교하였는데 태핑머신으로 맨바닥 가진시 바닥 및 측벽의 SBN을 보였다. 측벽 중 외벽(Outside Wall)은 두께 6t의 강판으로 SBN이 바닥에 비해 약 3~10 dB 정도 감소됨을 나타낸다. 반면 내부 샌드위치 패널은 SBN이 1000 Hz 이상의 고주파수에서는 급격히 감소됨을 알 수 있다.

Fig. 12에는 태핑머신으로 뜬바닥 구조 가진시

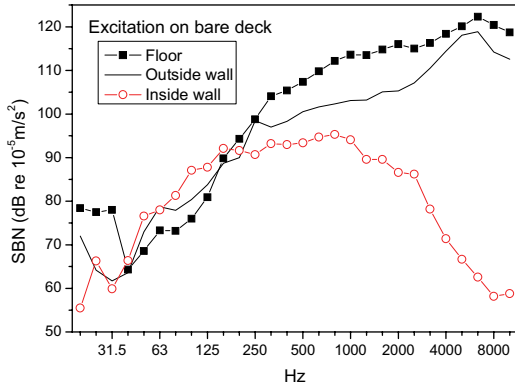


Fig. 11 Comparison of floor and wall SBN with tapping machine excitation on the bare deck

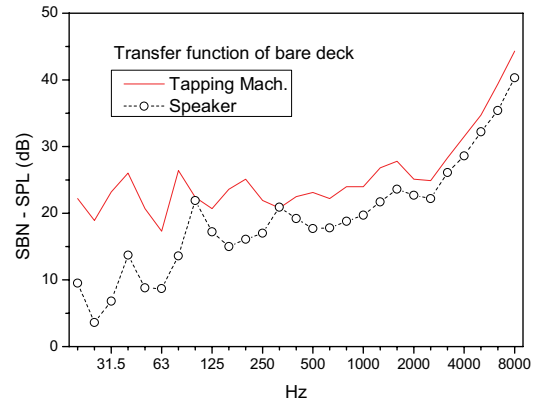


Fig. 13 Comparison of transfer function in Eq. (4) for bare deck

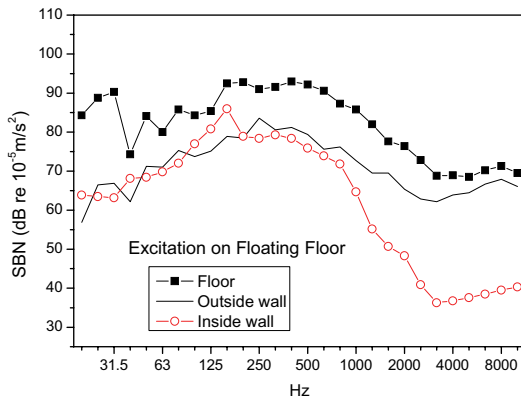


Fig. 12 Comparison of floor and wall SBN with tapping machine excitation on the floating floor

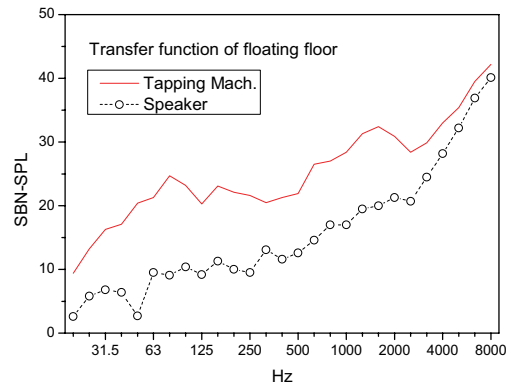


Fig. 14 Comparison of transfer function in Eq. (4) for floating floor

바닥 및 측벽의 고체음(SBN)을 보였다. 외벽은 일률적으로 바닥판보다 2-10 dB 정도 작으며 내부 샌드위치 패널은 1000 Hz 이하에서는 측벽과 대등한 수준이나 그이상의 고주파수에서는 급격히 감소됨을 알 수 있다.

Fig. 13과 14에는 바닥판의 SBN과 하층 내부 소음과의 차이를 비교하였는데 비교한 값은 전달함수로 다음과 같다.

$$TF = SBN(\text{바닥판}) - SPL(\text{하층}) \quad (4)$$

Fig. 13에는 맨바닥의 전달함수(TF: Transfer

function)를 스피커 및 태핑머신 가진시 비교하였는데 같은 크기의 실내소음을 발생하려면 스피커 가진보다 태핑머신 가진의 경우가 바닥판의 SBN이 약 2-5 dB 더 큼을 알 수 있다. Fig. 14에는 뜬바닥구조의 전달함수를 스피커 및 태핑머신 가진시 비교하였는데 같은 크기의 실내소음을 발생하려면 스피커 가진보다 태핑머신 가진의 경우가 바닥판의 SBN이 2-10 dB 더 크다. Fig. 13과 14를 비교하면 스피커 가진시 맨바닥의 전달함수가 뜬바닥구조보다 큰데 이는 뜬바닥구조 바닥이 더 무거운 것에 기인한다.

5. 결론

1) 뜬바닥구조는 맨바닥(bare deck)보다 약 3-5 dB 더 공기음을 저감하는데 이는 뜬바닥구조의 무게가 맨바닥 중량의 약 20%에 이르며 이로 인한 STL(Sound Transmission Loss) 증가에 기인한다.

2) 이중천장의 효과는 설치시 5-20 dB 더 공기음을 감소하는 것으로 나타났다.

3) 두께 6t의 강판 deck의 소음저감효과는 대략 중간 주파수대역에서 30dB에 이른다.

4) 뜬바닥 구조의 공기음 및 고체음 저감효과는 고주파수에서 40-50 dB에 달하며 주파수에 따른 변화는 서로 유사한 경향을 보여준다.

5) 내장재(inside panel)는 2000 Hz 이상의 고주파수에서는 급격히 고체음 레벨이 감소한다.

6) 같은 크기의 실내소음을 발생하려면 스피커 가진보다 태핑머신 가진의 경우가 바닥판의 SBN이 약 2-10 dB 더 크다.

후 기

본 논문은 산자부지원 연구사업인 선박 안전성 및 성능 고도화 핵심기술 개발과제 중 선박 구조 안전성 평가 및 방음/방진 기술 개발과제의 연구 결과의 일부임을 밝힌다.

참 고 문 헌

- Cha, S.I and Chun, H.H., 2008, "Insertion loss Prediction of Floating Floors used in Ship Cabins," Applied Acoustics, Vol. 69, pp. 913-917.
- Joo, W.H., Kim, S.H., Kim, D.H., Bae, J.G. and Hong, S.H., 2008, "Quantitative Evaluation of Airborne Sound Insulation in Ship's Accommodation using Large Scale Noise Test Facilities," Noise Control Engineering Journal, Vol. 56, No. 1, pp. 45-51.
- Kernan, U.E., 2001, "Airborne Sound Insulation of Floating Floor," Acta Acoustica, Vol. 87, pp. 215-225.
- Kim, H.S., Kim, B.K., Cha, S.I. and Kim, Y.S., 2004, "A Study of Floor Impact Noise

Reduction of Cabin using Floating Floor," Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 41, pp. 41-47.

- Kim, H.S., Kim, B.K., Cha, S.I. and Kim, Y.S., 2005, "Floor Impact Noise Reduction in Ship Cabin by Using Floating Floor," Internoise2005, CD-Rom.
- Naval Architect, 2001, "Acoustic Properties of Cruise-Ship Accommodation," Issue January, pp. 17-20.
- Schiavi, A., Belli, A.P., Corallo, M. and Russo, F., 2007, "Acoustical Performance Characterization of Resilient Materials used under Floating Floors in Dwellings," Acta Acoustica united with Acoustica, Vol. 93, pp. 477-485.
- Tadeu, A., Pereira, A., Godinho, L. and Antonio, J., 2007, "Prediction of Airborne Sound and Impact Sound Insulation provided by Single and Multilayer Systems using Analytical Expressions," Applied Acoustics, Vol. 68, pp.17-42.
- Thomson, W.T., 1972, Theory of Vibration with Application, Prentice-Hall inc.
- Warnock, A.C.C., 1998, "Sound Transmission through Floor/Ceiling Assemblies," Canadian Acoustics, Vol. 26, pp.17-18.



< 김 현 실 > < 김 재 승 > < 강 현 주 >



< 김 봉 기 > < 김 상 렬 >