

선박 거주성 향상을 위한 선실 소음 저감 시스템 개발에 관한 실험적 연구

서영철* · 김득봉** · 김철승***

* 목포해양대학교 해상운송시스템학부 박사과정, ** 목포해양대학교 해사대학 교수

An Experimental Study on the Development of a Cabin Noise Reduction System for Improving Ship Habitability

Young-Choul Seo* · Deug-Bong Kim** · Chol-Seong Kim***†

* Ph.D. Course, Division of Maritime Safety System Science, Mokpo National Maritime University, Mokpo 58628, Korea

** Professor, College of Maritime Sciences, Mokpo National Maritime University, Mokpo 58628, Korea

요 약 : 선내 소음은 선원의 거주성과 건강을 위한 중요한 요소 중의 하나로, 선내 소음을 줄이기 위한 노력이 활발하게 진행되고 있다. 소음 저감 방법에는 수동소음제어(PNC) 방법과 능동소음제어(ANC) 방법이 있다. 자동차, 항공기와 달리 선박에서는 ANC를 이용한 소음 저감 대책이 미미한 실정이다. 본 연구는 능동소음제어(ANC)와 같이 방음판과 고주파진동원을 이용하여 기관실에 발생한 소음을 줄이고자 하였다. 이를 위해 아크릴 상자를 이용하여 실험 모형을 만들었고, 4가지 조건별로 소음 저감 효과를 측정하였다. 실험 결과는 다음과 같다. 첫째, 방음판은 55 dB~85 dB까지 모든 범위에서 소음 저감 효과가 있었다. 고주파진동원은 낮은 소음에서 효과가 없었으나, 70.8 dB(A)과 85 dB(A)와 같은 높은 소음에서는 효과가 있었다. 둘째, 방음판과 고주파진동원을 동시에 사용하는 경우에는 최대 -2.2 dB(A) 만큼의 소음 저감 효과가 있었다. 본 실험의 결과는 아크릴판으로 제작한 실험모형에서 얻은 결과로 철판으로 된 실제 선박과 다를 수 있다. 추후 연구에서 실제 선박에서 사용하는 철판(재질과 두께, 구조를 고려)을 이용하여 실험하고자 한다. 이 연구가 선박에 승선하는 선원들의 거주성 향상과 건강 증진에 도움이 되기를 기대한다.

핵심용어 : 선박 소음, 선박 거주성, 수동소음제어, 능동소음제어, 소음진동저감시스템, 고주파진동원

Abstract : Ship noise is one of the important factors for the living and health of seafarers, and efforts to reduce ship noise are actively underway. There are two methods of noise reduction: passive noise Control (PNC) and active noise control (ANC). Unlike cars and airplanes, ANC is not widely used for noise reduction on ships. This study aimed to reduce the noise generated in the engine room by using soundproof panels and high-frequency vibration generators, as well as active noise control (ANC). For this purpose, an experimental model was made using an acrylic box, and the noise reduction effect was measured under four conditions. The experimental results are as follows: First, the soundproof panel had a noise reduction effect in all ranges from 55 dB to 85 dB. In the case of using a high-frequency vibration generator, there was no effect in the low noise range such as 55 dB(A), but there was a noise reduction effect in the high noise range such as 70.8 dB(A) and 85 dB(A). Second, when the soundproof panel and the high-frequency vibration generator were used simultaneously, the noise reduction effect was up to -2.2 dB(A). The results of this experiment were obtained from an experimental model made of acrylic, and they may be different from actual ships made of steel plate. In future studies, we plan to experiment using iron plate (considering the material, thickness, and structure) used in actual ships. We hope that this study will help to improve the living environment and health of seafarers on ships.

Key Words : Ship noise, Ship habitability, Passive noise control, Active noise control, Noise vibration reduction system, Vibration motor

* First Author : Young-choul.seo@lr.org, 061-460-5116

† Corresponding Author : cskimu@mmu.ac.kr, 061-240-7174

1. 서론

소음이란 일반적으로 “사람이 원하지 않는 소리” 또는 “정신적, 신체적으로 인체에 유해한 소리”를 말하며(KOSHA, 2015), 「소음·진동관리법」에서는 “기계, 기구, 시설, 그 밖의 물체의 사용 또는 공동주택 등 환경부령으로 정하는 장소에서 사람의 활동으로 인하여 발생하는 강한 소리”로 정의하고 있다. 소음은 청력 손실은 물론, 수면방해, 스트레스, 학습 또는 작업능률에 영향을 미친다(Gang et al., 2020; Park, 2021). 「산업안전보건기준에 관한 규칙」에서는 ‘1일 8시간 작업을 기준으로 85 dB(A) 이상 소음이 발생하는 작업’을 ‘소음작업’으로 정의하고 이러한 사업장에 근무하는 근로자에 대하여 사업주는 청력보호구 지급, 청력보존프로그램 운영, 특수검진 등을 시행해야 한다.

지난 2012년 12월, 선박 소음코드로 사용된 IMO Res. A.468(XII)이 Res. MSC.337(91)로 개정되었다(KR, 2021). 개정된 Resolution MSC.337(91)은 SOLAS 협약 제2-1장 제3-12규칙으로 편입되었다. 국제항해 종사하는 총톤수 1,600톤 이상의 선박은 소음을 측정하고, 소음검사보고서를 선내 비치해야 한다. 또한 선원이 거주하는 구역의 격벽 등에 차음 성능시험을 실시하고, 고소음 발생구역에 대하여 선원의 청력 보호를 위한 조치를 시행하여야 한다. 선박 기관실(engine room)에 대한 소음 기준은 110 dB(A)이며 일반적으로 기관실 소음은 90~100 dB(A)로 측정되고 있다. 기관실 근무자는 항상 고소음에 노출되어 있다.

본 논문은 기관실의 소음이 선체 구조물을 타고 선실로 전달되는 소음에 대하여 저감 방안을 제시함에 목적이 있다. 이를 위해 선박 기관실과 선원 거주구역을 가정하여 실험장비를 구성하였고, 실험 조건별 소음 저감 효과에 대하여 비교 평가하였다.

2. 선박 소음 특징 및 저감 기술

2.1 선박 소음 현황 및 특징

선박 각 격실별 소음 기준과 실제 소음 측정 결과는 Table 1과 같이 거주구역 내 소음(A deck~Upper deck 내 격실)은 47.8~55.0 dB(A)를 보이는 반면, 기관실 내(2nd Deck~Floor) 소음은 79.6~100.0 dB(A)를 보이고 있다. 기관실에 가까운 격실일수록 높은 소음을 보였다. 이 선박은 300,000 DWT급 신조 유조선(crude oil tanker)으로 Main Engine의 RPM(분당회전수)이 66, MCR(Maximum Continuous Rating) 컨디션에서 측정된 소음 결과이다(HSHI, 2019).

선실과 같은 선내 거주구역 소음은 Fig. 1과 같이 125 Hz, 500 Hz, 1 kHz의 저주파 소음이 우세하며, 기관실 소음의 경우에는 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz, 4 kHz, 8 kHz 같이 고주파 소음이

주로 나타난다(HSHI, 2019).

사람의 가청범위는 약 20 Hz~20 kHz로 저주파 음을 잘 듣는 반면, 고주파 음은 잘 듣지 못한다. 사람이 가장 듣기 싫어하는 주파수 범위는 2 kHz~5 kHz 소리로, 특히 4 kHz대의 소음에 가장 민감하게 반응한다(KOSHA, 2015). 소음 저감 장치로 모든 주파수대 소음을 줄일 수 없다면, 2~5 kHz 주파수 범위의 소음을 줄이는 것이 효과적이다.

Table 1. Noise level measurement of 300K VLCC

Deck	Location	IMO limit	PCAC* limit	dB(A) LAeq*
C	C/O day RM	55	60	50.8
B	3/O RM	55	55	47.8
A	Oiler RM	55	55	48.8
Upper	Galley	75	75	55.0
Upper	Saloon	60	60	53.6
Upper	Hospital	55	55	52.3
2nd	Work shop	85	85	79.6
2nd	Eng. RM(A)	110	110	94.5
3rd	Eng. RM(S)	110	110	100.0
Floor	Eng. RM(S)	110	110	98.2

*PCAC: Lloyd’s Register provisional rules for passenger and crew accommodation comfort

*LAeq: Equipment continuous A-weighting

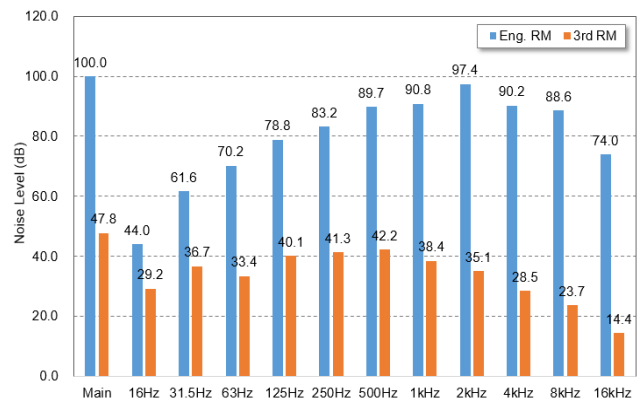


Fig. 1. Comparison of noise measurement results between engine room and crew room (3rd officer room).

2.2 소음 저감 기술

소음 저감 방법은 크게 수동 소음 제어(Passive Noise Control, 이하 PNC) 방법과 능동 소음 제어(Active Noise Control, 이하 ANC) 방법이 있다(Min et al., 2013). PNC는 흡음재나 차음재를 사용하여 발생된 소음을 흡수, 차단하는 방법으로, 주변 소음을 물리적 방식으로 귀를 막아 주변의 소음을 차단하는

기술이다. 귀마개, 이어패드, 방음벽, 방음재, 차음벽 등이 PNC에 해당한다. PNC는 파장이 짧은 고주파 소음에는 효과적이거나, 저주파 소음에는 효과가 떨어진다. 저주파 소음을 줄이기 위해서는 흡음재의 부피가 커져야 하는 문제가 있다 (Elliott et al., 1992).

이에 반해 ANC는 Fig. 2와 같이 들어오는 소음과 반대 위상을 가지는 소리를 보내어 외부 소음을 상쇄시키는 기술로, 현재 사용하고 있는 이어폰이나 헤드폰에 ANC 기술이 적용되어 있다. ANC는 비행기, 기차, 자동차에서 승객과 승조원의 피로와 편안한 휴식을 위해 폭 넓게 사용되고 있다. 그러나 ANC는 모든 주파수대의 소음을 차단할 수는 없다. 저주파수대 소음에 효과적이다(Glover, 1977; Park, 2020). 또한 ANC 장치 설치로 건조 비용이 증가한다.

선박에서 PNC를 사용하는 경우, 구조물 틈새로 방출되는 소음을 막기 위해 보강 구조물이 추가되거나 많은 흡음재 넣어야 한다. 이로 인해 선박의 무게는 증가하고 사용한 PNC 무게만큼 화물을 실을 수 없게 된다. ANC는 PNC와는 달리 상대적으로 무게와 부피를 줄일 수 있다. 다만 ANC는 모든 소음을 차단할 수는 없고, ANC 장치에 의한 선박 건조비 상승을 가져온다.

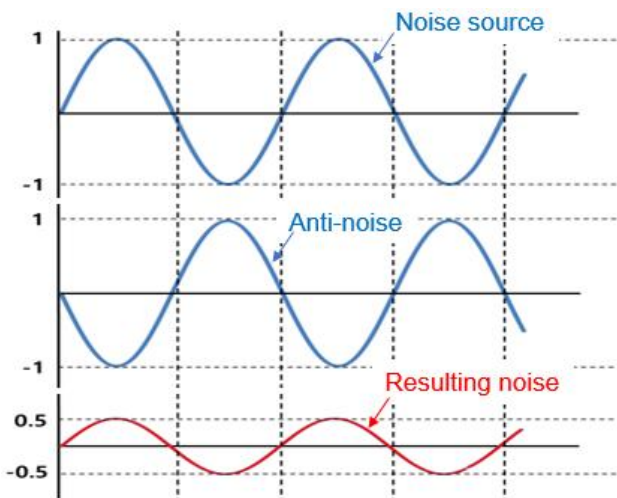


Fig. 2. Technology of ANC.

2.3 선행연구 고찰

소음을 줄이기 위한 노력은 여러 분야에서 폭넓게 연구되고 있다. ANC의 시작은 1936년 독일의 물리학자 폴 루그(Paul Lueg)가 등록된 특허에서 찾을 수 있다. 1953년, 미국의 해리 올슨(Harry F. Olson)과 에버렛 메이(Everett G. May)는 전자 흡음기(electronic sound absorber)로 소리를 흡수하거나 소음 수준을 낮출 수 있다는 논문을 발표하였다. 올슨과 메이 제안한 ANC는 전통적인 피드백(feedback) 개념의 ANC 기

술이다. 1970년대에 들어 기존의 ANC 기술에 적응 필터링(adaptive filtering) 기술이 적용되기 시작했다. 적응 필터링 기술은 입력되는 신호의 통계적 특성과 주변 환경 변화에 맞춰 스스로 파라미터를 조절하여 최적의 제어 값을 찾아가는 기술로, 대표적으로 LMS(Least-Mean-Square) 알고리즘이다. 이후 LMS 알고리즘은 FxLMS(Filtered-x Least Mean Square) 알고리즘으로 변형되어 현재에 이르고 있다(Moon et al., 2016; Park, 2020). 적응 필터링 개념이 나오면서 ANC 시스템이 피드포워드(feed forward) 시스템과 피드백(feedback) 시스템으로 분류되기 시작했다.

우리나라의 경우, 1990년대에 들어 선박에서도 ANC에 대한 연구가 진행되기 시작했다. Lee et al.(1998)은 선실에서 선원들의 안락한 수면을 위해 소음 음압레벨을 감쇄시키는 실시간 능동소음제어 시스템을 실험하였다. 실제 선박을 대상으로 선박의 소음 특성을 분석한 후, 그 선박의 소음 특성에 맞는 Anti-noise를 발생시켜 약 30~40 dB의 감쇄 효과가 있음을 시뮬레이션을 통해 확인하였다. 이 시뮬레이션 결과를 바탕으로 ANC 실험장비를 만들었다. 스피커와 마이크로폰을 침대의 베개 머리 양쪽에서 서로 마주보게 설치한 후 소음 저감 효과를 분석하였다.

Yu(2007)는 헬름홀츠 공명기(Helmholtz Resonator)를 이용하여 선박 기관실의 소음을 줄이고자 하였다. 선박의 기관실을 가정하여 700×600×400 mm 크기의 철재 용기를 만들었고, 이 안에 40 mm 흡음재가 들어간 차음벽을 설치하고, 차음벽의 내부에 공명기를 설치하였다. 이 실험에서 기관실 내부 소음은 공명기 부착 개수에 따라 소음 레벨을 낮출 수 있다는 것을 확인하였고, 외부 소음은 공명기의 개수에 상관없이 거의 일정하다는 결과를 얻었다.

Ryu et al.(2009)도 FxLMS 알고리즘을 이용한 덕트(duct)의 능동소음제어에 대해 연구하였다. 덕트 소음 제어는 일반적으로 SFxLMS(Single Channel Filtered-x Least Mean Square) 알고리즘을 사용하고 있었는데, SFxLMS 알고리즘은 일부 소음에는 효과가 있지만, 저감 시키지 못한 소음이 오히려 덕트 외벽을 진동시켜 2차 소음을 발생하는 문제가 있었다. 이에 본 연구에서는 전체 소음을 저감시킬 수 있는 멀티(multi) FxLMS 알고리즘을 제안하였다. Min et al.(2013)도 선박 디젤 엔진의 배기 소음 저감을 위해 FxLMS 알고리즘 이용한 저감 방안을 제시하였다. Jang and Lee(2012)는 LMS기반의 신경 회로망 알고리즘을 이용해 선박 소음을 줄이고자 하였다.

이와 같이 선박에서도 선박 기관실과 선실 소음을 줄이기 위해 ANC 기술을 적용한 다양한 연구가 진행되고 있다. 다만 본 연구와 같이 방음판(damper)과 고주파진동원(vibration motor)을 부착하여 선박 구조물을 통해 전달되는 소음을 줄이는 연구는 아직까지 찾아볼 수 없다.

3. 실험방법

3.1 실험장비 설계

본 실험은 기관실에서 발생한 소음들이 구조적 소음으로 바뀌어 상부 거주구역으로 전달될 때, 방음판 및 고주파진동원의 유무에 따라 어떻게 그 수치가 변하는지 분석해 보 고자 실험 모형을 만들었다.

Fig. 3과 같이 10t 두께의 아크릴판을 이용하여 정육면체 아크릴 상자(400×400×400 mm) 3개를 제작하였다. 제일 하부 첫번째 아크릴 상자를 엔진룸(engine room), 두번째 중간 상자를 선박의 코퍼댐(cofferdam), 최상부 세번째 상자를 거주 구역(accommodation)으로 간주하였다.

구조물에서 전달되는 구조 소음을 줄이기 위해 첫번째 아크릴 상자의 상부 코너에 Fig. 4와 같이 100×100 mm 크기의 10t 방음판(damper)을 총 12개 부착하였고, 여기에 휴대폰 진동모드에서 사용하는 고주파진동원(vibration motor)을 12개 부착하였다. 고주파진동원은 단추 크기(10×10mm)의 분당 12000 RPM (200 Hz) DC 브러시 모터를 이용하였다.

최하부 첫번째 아크릴 상자 안에는 엔진 소음을 발생시키기 위해 음압 레벨 교정기(sound level calibrator)를 설치하였고, 최상부 세번째 아크릴 상자에는 마이크로폰(microphone)을 설치하였다. 마이크로폰은 소음계(sound level meter)와 연결되어 있다. 이 실험에서 사용한 각 장비의 모델은 Table 2과 같다.

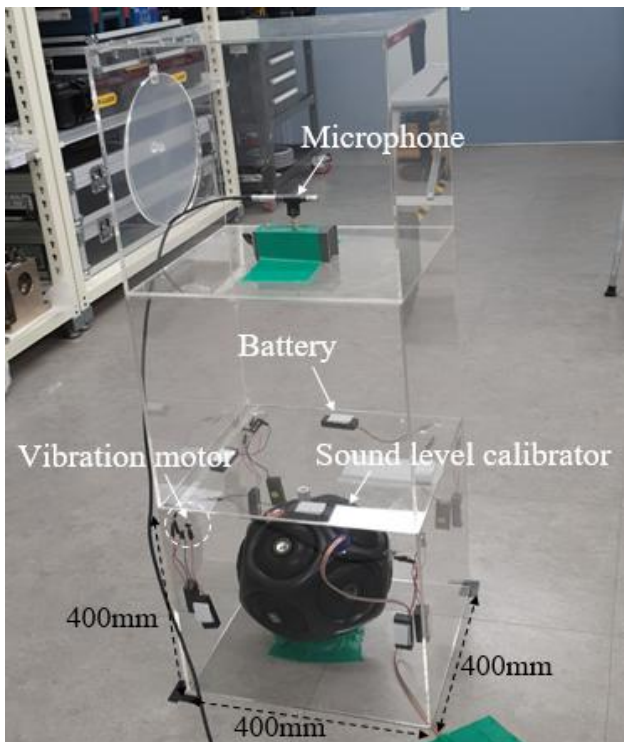


Fig. 3. Composition of experimental equipment.

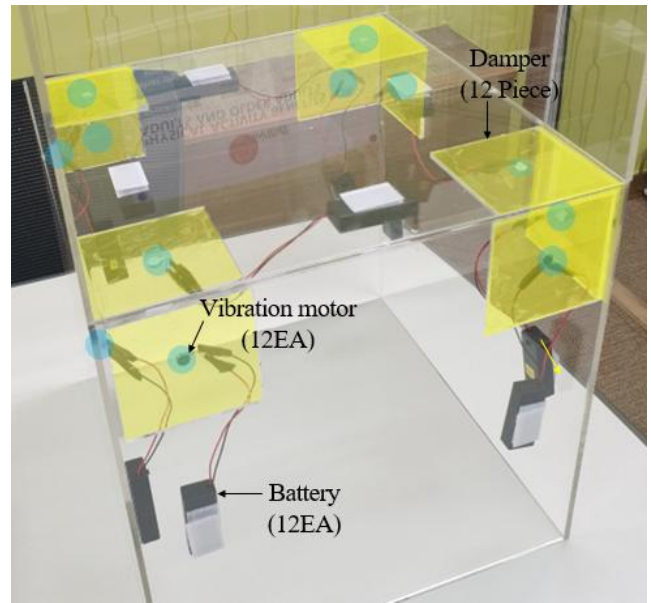


Fig. 4. Vibration motor and damper installation.

Table 2. Name of equipment and model

Name of Equipment	Model
Vibration motor	J-1027
Sound level calibrator	MG 4000
Microphone	B&K 4189
Sound level meter	B&K 2250

3.2 실험 조건

실험은 Table 3과 Fig. 5와 같이 한국조선해양기자재연구원(KOMERI)의 지원을 받아 실험하였다.

최하부 첫번째 아크릴 상자 안에 있는 음압 레벨 교정기를 이용하여 55 dB(A), 70 dB(A), 85 dB(A)의 인위적 소음을 발생시켰을 때, 최상부 아크릴 상자 안의 마이크로폰에 들어오는 소음의 크기를 측정하였다. 실험 조건은 아래와 같이 (case 1) 아크릴 상자만 있는 경우, (case 2) 고주파진동원만 부착한 경우, (case 3) 방음판만 부착한 경우, (case 4) 방음판과 고주파진동원 모두 부착한 경우로, 총 4가지 조건에서 실험 하였다. 소음은 16 Hz~16 kHz 주파수 범위를 가지며, 각 케이스별로 16초 동안의 소음을 측정하였다.

- Case 1: 아크릴 상자만 있는 경우
- Case 2: 고주파진동원(vibration motor)만 부착한 경우
- Case 3: 방음판(damper)만 부착한 경우
- Case 4: 방음판과 고주파진동원 모두 부착한 경우

Table 3. Outline of experiment

Category	Details
Time	May 26 th 2022
Venue	Korea Marine Equipment Research Institute (KOMERI)
Extent of frequency	16 Hz ~ 16 kHz
Weighted level	A (LAeq → A weighted Equivalent Sound Pressure Level A)
Analysis of Octave	1/3 Octave
Measuring time	16 sec.
Kinds of experiment	Case 1: Basic
	Case 2: Basic + Vibration generator
	Case 3: Basic + Damper
	Case 4: Basic + Damper + Vibration generator

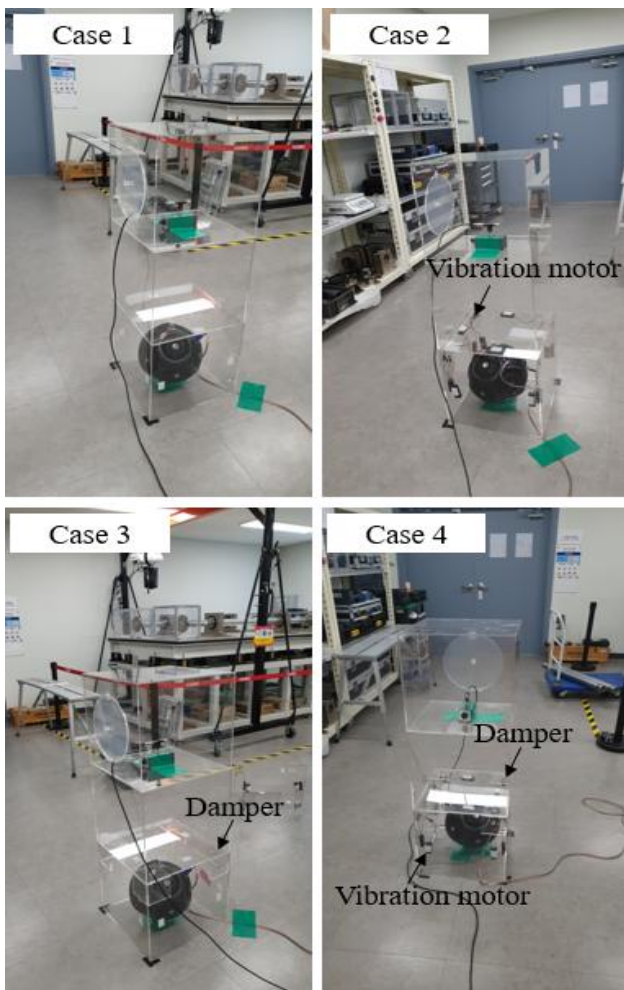


Fig. 5. Equipment configuration for each experimental condition.

4. 실험결과

4.1 조건별 실험 결과

(1) Case 1

Case 1은 아크릴 상자만 있는 경우로, 음압 레벨 교정기로 55 dB(A) 소음을 발생시켰을 때, 최상부 세번째 아크릴 상자 안의 소음은 55.3 dB(A)로 측정되었으며, 70 dB(A)의 소음은 70.8 dB(A)로, 85 dB(A)은 85.0 dB(A)로 0~0.8 dB(A)의 다소 증가된 소음이 측정되었다. 이러한 결과는 아크릴 상자 안에서 전달과정에서 공명(울림) 현상이 발생하여 증가된 것으로 판단된다.

(2) Case 2

Case 2는 최하부 첫번째 아크릴 상자 상부에 고주파진동원을 부착한 경우로, 소음 측정 결과는 Table 4와 같이 55 dB(A)의 소음은 64.6 dB(A)로 +9.3 dB(A) 만큼 증가한 반면, 70 dB(A) 소음은 -0.8 dB(A), 85 dB(A) 소음은 -1.8 dB(A) 만큼 감소하였다. 55 dB(A)과 같이 낮은 소음대에서는 고주파진동원이 오히려 소음을 발생시키는 요인으로 작용하였다.

Table 4. The noise difference between Case 1 and Case 2

In-put [dB(A)]	Case 1 [dB(A)]	Case 2 [dB(A)]	difference [dB(A)]	Remark
55	55.3	64.6	+9.3	increase
70	70.8	70.0	-0.8	decrease
85	85.0	83.2	-1.8	decrease

(3) Case 3

Case 3는 최하부 첫번째 아크릴상자 상부에 12개 아크릴 방음판을 부착한 경우로, 소음 측정 결과는 Table 5과 같이 55 dB(A) 소음은 -1.7 dB(A), 70 dB(A) 소음은 -1.4 dB(A), 85 dB(A) 소음은 -1.5 dB(A) 만큼 감소한 결과를 보였다. 방음판의 설치로 평균 1.5 dB(A)의 감소 효과가 있었다.

Table 5. The noise difference between Case 1 and Case 3

In-put [dB(A)]	Case 1 [dB(A)]	Case 3 [dB(A)]	difference [dB(A)]	Remark
55	55.3	53.6	-1.7	decrease
70	70.8	69.4	-1.4	decrease
85	85.0	83.5	-1.5	decrease

(4) Case 4

Case 4는 최하부 첫번째 아크릴상자 상부에 방음판과 고주파진동원을 모두 부착한 경우로, 소음 측정 결과는 Table 6과

같이 55 dB(A)의 소음은 55.3 dB(A)로 +7.5 dB(A) 만큼 증가한 반면, 70 dB(A) 소음은 -1.4 dB(A), 80 dB(A) 소음은 -2.2 dB(A) 감소하였다. 낮은 소음대보다 높은 소음대에서 감소 효과가 컸다.

Table 6. The noise difference between Case 1 and Case 4

In-put [dB(A)]	Case 1 [dB(A)]	Case 4 [dB(A)]	difference [dB(A)]	Remark
55	55.3	62.8	+7.5	increase
70	70.8	69.4	-1.4	decrease
85	85.0	82.8	-2.2	decrease

4.2 실험조건별 효과 비교

(1) Case 2와 Case 4

Table 7은 Case 2(고주파진동원 부착)와 Case 4(방음판과 고주파진동원 모두 부착)의 소음 저감 효과를 비교한 표로, 방음판과 고주파진동원을 모두 부착했을 때 소음 저감 효과가 고주파진동원만 사용한 것보다 컸다. Case 4가 Case 2에 비해 55 dB(A) 소음에서 -1.8 dB(A), 70 dB(A)에서 -0.6 dB(A), 85 dB(A)에서 -0.4 dB(A) 낮았다. 낮은 소음대에서 감소 효과가 컸다.

Table 7. Comparison of noise reduction effect between Case 2 and Case 3

In-put [dB(A)]	Case 2 [dB(A)]	Case 4 [dB(A)]	difference [dB(A)]	Remark
55	64.6	62.8	-1.8	decrease
70	70.0	69.4	-0.6	decrease
85	83.2	82.8	-0.4	decrease

(2) Case 3과 Case 4

Table 8는 Case 3(방음판 부착)와 Case 4(방음판과 고주파진동원 모두 부착)를 비교한 표로, 낮은 소음대에서는 방음판의 효과가 더 컸지만, 높은 소음대에서는 방음판과 고주파진동원을 모두 부착했을 때 소음 저감 효과가 컸다. 55 dB(A)에서는 Case 3이 Case 4보다 9.2 dB(A) 더 낮았고, 85 dB(A)에서는 Case 4가 Case 3보다 -0.7 dB(A) 더 낮았다. 70 dB(A)에서는 동일한 결과를 보였다.

Table 8. Comparison of noise reduction effect between Case 3 and Case 4

In-put [dB(A)]	Case 3 [dB(A)]	Case 4 [dB(A)]	difference [dB(A)]	Remark
55	53.6	62.8	+9.2	increase
70	69.4	69.4	0	same
85	83.5	82.8	-0.7	decrease

4.3 실험결과 고찰

Table 9과 Table 10은 Case 1에서 Case 4까지 모든 실험 조건에서 측정된 소음 결과로, Case 4(방음판과 고주파진동원 동시 부착)가 소음 감소 효과가 가장 크다는 것을 알 수 있다. 특히 높은 소음대에서 효과가 컸다. 본 실험결과를 종합하여 정리하면 다음과 같다.

첫째, 방음판을 사용했을 때 평균 약 -1.5 dB(A) 감소 효과가 있었다.

둘째, 고주파진동원만을 사용하는 경우에는 낮은 소음대보다 높은 소음대에서 효과가 컸다. 70 dB(A)에서 -0.8 dB(A), 85 dB(A)에서 -1.8 dB(A) 소음 저감 효과가 있었다.

셋째, 방음판과 고주파진동원을 동시에 사용할 때 소음 저감 효과가 가장 컸다. 최대 -2.2 dB(A)의 소음 저감 효과가 있었다. 그러나 낮은 소음대에서는 효과가 미미하였다.

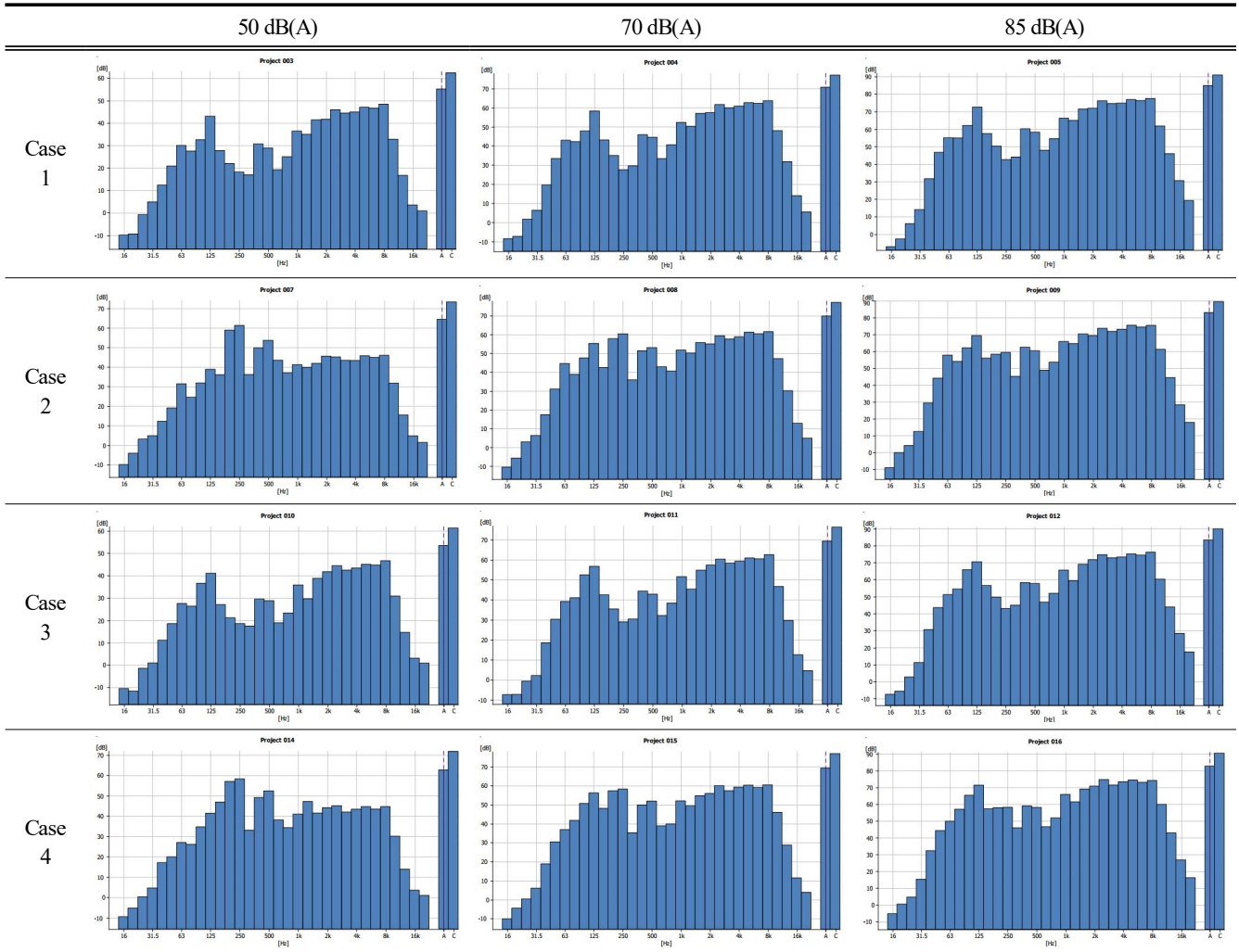
방음판과 고주파진동원을 동시에 사용하는 방법은 높은 소음이 발생하는 곳, 예를 들어, 기관실, 발전기실과 같은 높은 소음이 발생하는 주변 격실에서 사용하는 것이 효과적이다. 방음판과 고주파진동원을 사용하였을 때 최대 -2.2 dB(A)의 소음 감소 효과를 얻을 수 있었다. 이 수치는 음향 파워 레벨 상 40%의 에너지 감소 효과가 있음을 알 수 있다. 85.0 dB(A) 음압(sound pressure)을 음력(sound power)으로 환산하면 0.000316[W]이며, 82.5 dB(A)의 음력은 0.000191[W]로, 본 실험에서 85 dB(A)에 대한 에너지 감소 효과는 0.39744[W]로 산출된다.

Table 9. Total result of experiments

In-put [dB(A)]	Case 1 [dB(A)]	Case 2 [dB(A)]	Case 3 [dB(A)]	Case 4 [dB(A)]
55	55.3	64.6	53.6	62.8
70	70.8	70.0	69.4	69.4
85	85.0	83.2	83.5	82.8

85 dB(A)를 초과하는 곳에서 작업하는 사람은 「산업안전보건법」과 「산업안전보건기준에 관한 규칙」에 따라 사업주는 ‘청력보존프로그램’을 수립하여 시행해야 하고, 작업자는 소음 특수검진을 받아야 한다. 기관실 내 또는 기관실과 가까운 격실의 소음은 일반적으로 90 dB(A)를 초과한다. 선원은 제한된 공간에서 6~8개월 거주한다. 선박의 소음은 주/야간, 항해 중이거나 정박 중에도 지속적으로 발생한다. 선원 침실만이라도 소음에서 보호할 필요가 있다.

Table 10. Noise level by frequency



5. 결론

선내 소음의 규제가 2018년 7월부터 총톤수 1,600톤 이상 SOLAS 적용 선박에 대해 강제화 되었다. 선내 소음은 선원의 거주성과 건강을 위한 중요한 요소 중의 하나로, 선내 소음을 줄이기 위한 노력이 조선소, 선급, 선박회사 중심으로 활발하게 진행되고 있다. 선내 소음을 줄이는 방법에는 수동 소음 제어(PNC)와 능동 소음 제어(ANC)가 있으나, 자동차, 항공기와 달리 선박에서는 ANC를 이용한 소음 저감 대책에 소극적인 실정이다.

본 연구는 능동소음제어(ANC) 방법과 같이 방음판과 고주파진동원을 이용하여 기관실에 발생한 소음을 줄이고자 하였다. 이를 위해 아크릴 상자를 이용하여 실험 모형을 만들었고, 4가지 조건별로 소음 저감 효과를 측정하였다.

실험 결과는 다음과 같다. 첫째, 방음판은 낮은 소음에서

높은 소음까지(55 dB ~ 85 dB) 소음 저감 효과가 있었다. 고주파진동원을 사용하는 경우 55 dB(A)와 같은 낮은 소음대에서는 효과가 없었고, 70.8 dB(A)과 85 dB(A)와 같은 높은 소음대에서 효과가 있었다. 둘째, 방음판과 고주파진동원을 동시에 사용하는 경우에는 최대 - 2.2 dB(A) 만큼의 소음 저감 효과가 있었다. 이는 음향 파워 레벨 상 40%의 에너지 감소와 같다.

「산업안전보건법」에서는 85 dB(A) 이상의 환경에서 일하는 것을 ‘소음 작업’으로 정의하고 사업주는 작업자에 대한 보호 조치를 취하여야 한다. 선박 기관실과 기관실 부근의 소음은 보통 90 dB(A) 이상 발생하므로 소음 방지 대책이 필요하다. 선박에서 PNC만으로 소음을 저감시키는 것은 선박 무게 증가와 운항 효율을 저하를 가져오므로 이 실험에서 제안하는 방음판과 고주파진동원을 동시에 사용하는 효과적이라 판단된다.

본 실험의 결과는 아크릴판으로 제작한 실험모형에서 얻은 결과로 철판으로 된 실제 선박과 다를 수 있다. 추후 연구에서 실제 선박에서 사용하는 철판(재질과 두께, 구조 등을 고려)을 이용하여 실험하고자 한다. 본 연구가 선박에 승선하는 선원들의 거주성 향상과 건강 증진에 도움일 될 수 있을 것으로 기대한다.

References

- [1] Elliott, S. J., C. C. Boucher, and P. A. Nelson(1992), The Behavior of a Multiple Channel Active Control System/ IEEE Trans. Signal Processing, Vol. 40, No. 5, pp. 1041-1052.
- [2] Glover, J. R.(1977), Adaptive Noise Cancelling Applied to Sinusoidal Interferences, IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing, Vol. ASSP-25, No. 6, pp. 484-491.
- [3] Gang, J. H., S. H. Moon, J. S. Lee, and J. M. Kim(2020), A Study on ANC Technology Using AI, Korea information Processing society, Vol. 27, No. 2, p. 2.
- [4] HSHI(2019), Result of Sea-trial of New Construction of VLCC, Hyundai Samho Heavy Industries, pp. 200-209.
- [5] Jang, H. S. and K. S. Lee(2012). Study on Active Noise Control of Ship Noise Using Neural Network Algorithm based on LMS. Proceedings of the Korea Society of Naval Architecture and Marine Engineering Conference, 2012(5), pp. 257-259.
- [6] Korean Register of Shipping(KR)(2021), Convention and Inspection By laws 53rd Revised Version, pp. 394-403
- [7] KOSHA(2015), Prevention and Management of Noise-induced Hearing Loss Occupational Health Guidelines, Korea Occupational Safety and Health Agency, pp. 56-57.
- [8] Lee, B. D., M. H. Lee, G. M. Kim, and G. R. Jeong(1998). Real-time Active Noise Control System Implementation for Noise Reduction in Ship Interior. Journal of the Acoustical Society of Korea, Vol. 17(2), pp. 18-24.
- [9] Moon, H. R., Y. J. Lim, and W. P. Kang(2016), A Effect Analysis on Noise Reduction by Distance above General Noise and Noise Applied ANC, Journal of the Korean Electrical Society Summer Conference, July 15, pp. 17.
- [10] Min, D. K., S. W. Nam, and J. H. Park(2013), Noise reduction of actual diesel engine exhaust using active noise control. Proceedings of the Korea Society of Noise and Vibration Engineering Conference, pp. 564-565.
- [11] Park, Y. C.(2020), Noise Cancellation, 244th Issue of the Science Journal: Kyung Hee University, <https://khugnews.co.kr/> Accessed Aug. 16th, 2023.
- [12] Park, S. H.(2021), Health Effects of Noise Exposure, Journal of Korean Society for Noise and Vibration Engineering (KSNVE), Vol. 31, No. 6, pp. 8-13.
- [13] Ryu, T. K., J. S. Hong, and W. B. Jeong(2009), Active Noise Control of Ducts Using the FXLMS Algorithms, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 19(1), pp. 24-34.
- [14] Yu, Y. H.(2007), Study on Noise Reduction in Ship Engine Room Using Resonance. Proceedings of the Korea Society of Power Machinery Engineers Conference, pp. 83-88.

Received : 2023. 02. 03.

Revised : 2023. 08. 18. (1st)

: 2023. 09. 22. (2nd)

Accepted : 2023. 10. 27.