

어선 실습선의 건조에 대한 소음공해 모델 분석

An Analysis of Modeling of Noise Pollution for Ship Construction of Fish Training Ship

조상곤*†
Sang-Gon Cho*†

(Received 17 February 2023, Revision revised 10 April 2023, Accepted 11 April 2023)

초록 : 교육용 선박의 선상 소음 전파는 조선소와 선주가 처리해야 하는 가장 중요한 문제 중 하나이다. 이런 문제는 새로운 선박을 설계하는 초기 단계에서 시작된다. 특히 100 m 이하의 특수 목적 선박에서 선박 내 소음 전파가 심각한 문제가 된다. 선박의 소음 허용기준은 IMO MSC.337(91)을 적용하여 제반 성능과 균형에 맞는 효율적인 방음설계를 하여야 한다. 거주실 등의 내부 소음 수준은 제한치를 초과해서는 안 된다. 건조자는 소음 및 진동을 최소화시키기 위한 기계류, 제관계통 등의 덮개, 위치, 설치방법 등을 조사한 후에 협의하여 저소음 기계를 선택하여 설치한다. 1) 주기관과 발전기 소음원에 인접한 2nd deck의 No. 18 Cadet 18 (4P) 소음수준은 58 dB(A)로 소음기준인 60 dB(A)에 근접하고 있으며, 소음 저감대책으로 Floating floor를 적용하였다. 2) 중앙부와 선수부 배치된 격실들은 기계음보다는 공조 소음 영향에 의해 소음수준이 결정되는 것으로 해석되었으며 소음기준을 만족한다. 3) Main engine RM 소음수준은 101 dB(A)로 소음기준인 110 dB(A)를 만족한다. 4) 구역의 소음수준이 85 dB(A) 이상인 경우에는 입구에 소음 경고문구를 부착해야 하며, 출입 시 청력보호구 착용 등의 청력보호조치를 취해야 한다.

키워드 : 소음기준, 주기관, 국제해사기구, 해사안전위원회

Abstract : Training ship on-board noise propagation is one of the most important issues which shipyards and ship-owners have to deal with. this issue begins during early stage of designing a new vessel. ship onboard noise propagation became serious issue especially for vessel up to 100 m of a special purpose. IMO MSC.337 (91) is applied for the noise tolerance standard of ships, and efficient soundproofing design is performed in accordance with overall performance and balance. Noise levels inside living rooms, etc., must not exceed the following limits: The dryer selects and installs a low-noise machine after examining the cover, location, installation method, etc. of machinery, manufacturing system, etc. to minimize noise. 1) The noise level of No. 18 Cadet Rm (4P) of the 2nd deck of the protective film on the main engine and noise source is 58 dB (A), which is soft to the noise standard of 60 dB (A), and a floating floor was applied as a noise reduction measure. 2) It was interpreted that the noise level of the compartments arranged in the center and the bow was determined by the effect of air conditioning noise rather than mechanical noise, and satisfies the noise standard. 3) The Main Engine RM noise level

*† 조상곤(<http://orcid.org/0000-0002-1937-8674>) : 교수, 군산대학교 해양산업·운송과학기술학부 기관공학전공. 군산대학교 수산과학연구소

E-mail : haerimho@kunsan.ac.kr, Tel : 063-469-1845

*† Sang-Gon Cho(<http://orcid.org/0000-0002-1937-8674>) : Professor, School of Marine Industry Transportation Science and Technology Marine Engineering Major, Kunsan National University. Fisheries Science Institute, Kunsan National University.

E-mail : haerimho@kunsan.ac.kr, Tel : 063-469-1845

is 101 dB (A), which satisfies the noise standard of 110 dB (A). 4) If the noise level of the area is 85 dB (A) or higher, a noise warning sign must be attached at the entrance, and hearing protection measures such as wearing hearing protection must be taken when entering and exiting.

Key Words : Noise Level, Main Engine (M/E), IMO, MSC

1. 서 론

공해 소음원에서 발생한 소음은 그 형태가 공기음(Airborne noise) 혹은 고체음(Structureborne noise)이냐에 따라 서로 다른 매체와 전달경로를 나타낸다. 즉, 공기음은 전달경로를 공기를 매체로 하며, 고체음의 전달매체가 선체구조가 된다. 두 소음성분이 최종 과정에서는 공기음의 형태로 감지되나, 고체음은 소음원으로부터 진동 형태로 선체구조를 타고 전파된다. 해당 격실의 주위 벽의 진동은 다시 음파를 발생시키고, 멀리 떨어진 곳까지 전달되어 선박 전반에 걸쳐 소음을 유발시키는 원인이 된다. 반면 공기음에 의한 성분은 소음원이 설치된 격실과 인접한 격실에 주로 소음을 유발시킨다.

Fig. 1에 선박에서 발생하는 소음원의 전달경로를 공기음과 고체음으로 분류하여 나타내었다. 선박 격실에 영향을 주는 주요한 소음은 소음원의 종류에 따라 기계음과 공조기 소음으로 크게 분류할 수 있다. 기계음(Mechanic noise)^{1,2)}은 주기관³⁾ 및 발전기와 프로펠러,^{4,5)} 펌프 등³⁾에서 발생한 공기음⁷⁾과 고체음⁸⁾ 선체 구조물과 구획을 따라 전달과 감소를 반복하여 최종적으로 격실에서 전달된다. 그리고 공조기(HVAC : Heating Ventilation Air Conditioning) 소음은 송풍기에서 발생한 소음이 덕트를 따라 이동하며 감소와 증가를 반복하여 최종적으로 격실에서 나타나는 경우이다. 따라서 기계음 해석과 공조기 소음해석으로 분류하여 본 소음해석을 수행하였다.

기계음 해석은 통계적 에너지 해석(SEA: Statistical Energy Analysis)을 사용하여 해석하였고, 공조기 소음해석은 미국의 NEBB(National Environmental Balancing Bureau)에서 제공한 경험식을 사용하여 해석을 수행하였다. 외부 노출 갑판의 환경소음은 ISO 9613 소음전달식을 사용하

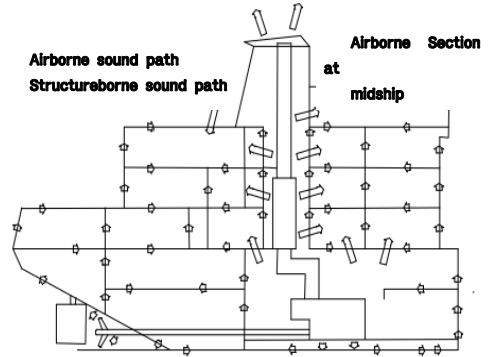


Fig.1 Transfer path of noise

였다. 본 모델분석은 Floating floor의 전달관점으로 정수적인 고유진동계를 구성하였고, 임피던스의 차이에 진동에너지반사를 통하여 가진력 전달을 감소 방식으로 최적 소음저감에 대하여 분석하였다.

2. 선박의 소음원 추정 및 산정

2.1 소음원 추정

선박 내에는 여러 가지 종류의 소음원이 존재하나, 본 해석에서는 Table 1에 제시한 장비들을 주 소음원으로 고려하여 해석을 수행하였다. 소음원 레벨은 제작사에서 제공한 자료가 있으면 제작사의 자료를 이용하였으나, 일반적으로 제작사 자료가 충분하지 못하기 때문에 SNAME(Society of Naval Architects and Marine Engineers)에서 제공한 경험식을 이용하여 소음원 레벨을 추정하였다.

소음원 자료에 의한 선박 소음 예측은 방음대책 수립과 밀접한 관계가 있기 때문에 실제 탑재 장비에서 발생하는 소음원 수준을 분석하여 해석을 수행하는 것은 소음해석에 있어 매우 중요한 요소가 된다. 소음해석 결과의 신빙성은 탑재 장비에서 발생하는 소음 레벨에 절대적으로 좌우되

조상곤

Table 1 Airborne noise level of main engine(dB, re 2×10^{-5} Pa)

	Model	Specification	Quantity/ Location	Operating
M/E	Himsem 7H32/40P	MCR 3,500 kW 750/218 RPM	1/Main engine RM	○
G/E	Himsem 6H17/28E	645 kW 900 RPM	3/Aux. engine RM	○
Propeller	CPP	4 Blade 3.3M	1	○

는데, 소음원 중 가장 중요한 주기관은 제작사에서 제공한 자료를 해석에 이용하였다. 그 외 장비들은 실적선의 경험식 자료를 이용하였다. Table 1에 주요 소음원 장비의 제원과 가동상태를 나타내었다.

2.2 주기관 소음원 수준 산정

1) 공기음: 주기관의 상용출력 시 제작사가 표 면에서 1 m 떨어진 곳에서 예측한 자유음장수준은 Table 2와 같이 주어졌다.

Table 2 Airborne noise level of main engine (dB, re 2×10^{-5} Pa)

Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	dB(A)
Lp	95.2	94.2	94.6	93.6	93.0	92.9	90.9	86.6	99.1

2) 고체음: 주기관의 상용출력 시 제작사가 표 면받침대에서 예측한 속도수준이 Table 3과 같이 주어졌다.

Table 3 Structureborne noise level of the main engine (dB, re 5×10^{-8} m/sec)

Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Lv	76.7	74.7	71.8	70.0	67.7	62.1	55.9	47.7

2.3 발전기 소음원 수준 산정

1) 공기음: 발전기의 상용출력시 제작사가 표 면에서 1 m 떨어진 곳에서 예측한 자유음장수준은 Table 4와 같이 주어졌다.

Table 4 Airborne noise level of generator(dB, re 2×10^{-5} Pa)

Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	dB(A)
Lp	69	73	82	90	90	92	88	82	97

2) 고체음: 발전기의 고체음은 아래의 SNAME 경험식을 사용하여 Table 5, 6과 같이 산정하였다.

Table 5 SNAME noise level of the generator

La	=	A + Blog(P/250) + Δ	
where	La	:	Acceleration level (dB, ref. 10^{-5} m/sec ²)
	P	=	645 (Rated power, kW)
	A & B & Δ	:	Correction factor of octave band
	MCF	:	Correction factor of mount loss

Table 6 Structureborne noise level of the generator (dB, re 1×10^{-5} m/sec²)

Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
A	81	77	76	77	69	70	68	63
B	5	4	9	2.5	18	13	10	10
Δ	6	12	18	24	30	36	42	48
MCF	-1	0	4	8	13	18	20	20
La	90.1	90.6	93.7	99.2	93.4	93.4	94.1	95.1

2.4 기계음에 대한 해석

기계음의 소음해석에 사용되는 SEA는 특정 주파수 대역에서 존재하는 모드의 평균응답을, 각 모드가 가지는 평균에너지를 미지수로 해서 각 요소 간에 에너지의 차이로부터 구하는 방법이다. SEA 이론에서는 복잡한 구조물이나 음장계는 다수의 세부 계로 분류되며, 각 세부 계는 주어진 주파수범위 내에서 공진 모드를 가지는 진동체로 여겨진다. 각 진동체는 에너지를 탄성에너지와 관성에너지의 형태로 저장하며 감쇠에 의해 소실된다. 에너지는 또한 결합요소에 의해 다른 세부 계로 전달되어진다. 그리고 SEA는 세부 계 사이의 에너지 흐름관계를 계의 파라메타의 관점에서 계

산되어지기 때문에 에너지 평형방정식이 유도 되어질 수 있다. 세부 계의 평균에너지는 에너지 평형방정식에 의해 얻어지며, 에너지에 의존하는 진동응답을 최종적으로 구할 수 있게 된다.

2.5 소음해석 모델링

선박과 같이 복잡한 구조물의 형상을 표현하고 SEA의 파라메타를 추출하기 위해서 CNPP(Cabin Noise Prediction Program)을 사용하여 모델링 및 소음해석을 실행하기 위하여 Fig. 2에 기계음 소음해석 절차에 따라 자료 수집 전처리, 밀도분석 후 후처리 결과 과정으로 수행하였다. 본 해석에서 선체구조를 표현하기 위해서 판요소가 1,530개 사용되었으며, 격실을 표현하기 위해서 음장요소가 218개가 사용되었다.

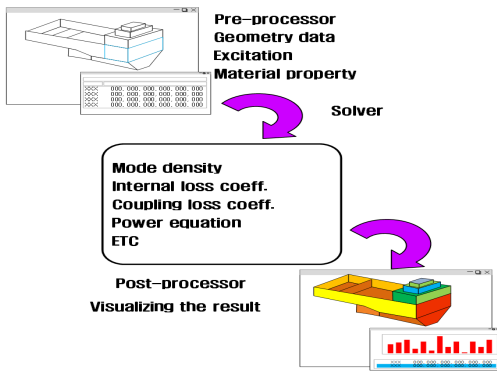


Fig. 2 Mechanical sound noise analysis procedure

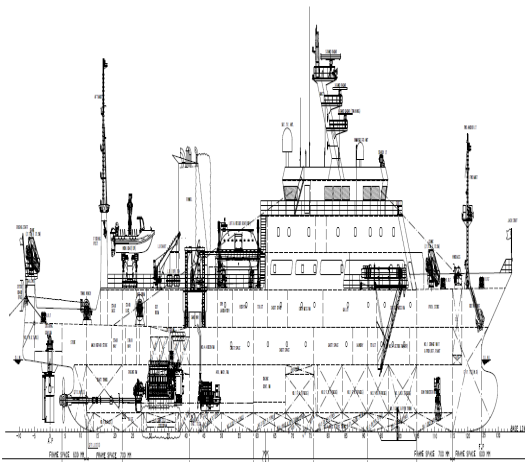


Fig. 3 Analysis of hull model

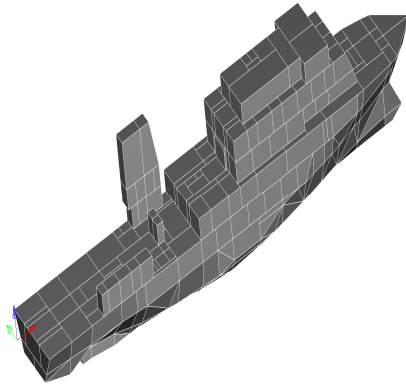


Fig. 4 Analysis of SEA model

Fig. 3에 소음해석을 위해 사용된 선체모델을 나타낸다.

Fig. 4에 소음해석을 위해 모델링한 결과를 보여 주고 있다. 최종결과로 음장요소는 음압 단위로, 판요소는 가속도 단위로 하였다.

3. 선박의 소음해석 결과 및 분석

기계음 소음해석 결과는 공기음과 고체음으로 분류하여 옥타브 밴드 중심주파수별로 나타내었다. 공기음은 각 격실의 소음 수준을 나타내고, 고체음은 각 선체구조의 가속도 수준을 나타낸다. 주기관과 발전기의 고체음을 감소시키기 위한 주요 소음저감 대책으로 Floating floor를 아래의 구역에 설치하였다. 본 선박의 2nd deck Fr.#49~59 사이의 격실 No. 15, 16, 17, 18 Cadet RM 학생 침실을 선정하여 소음저감 대책을 실시하였다.

Fig. 5에 소음저감 대책인 Floating floor 구조에 미네랄 울을 적용한 최적의 구조를 적용하였다.

Fig. 6~9에 소음원의 특성을 정확히 평가하기 위한 옥타브밴드 중심주파수(125~8,000 Hz)의 주파수 대역에서 고체음과 공기음 해석한 결과를 각각 표시하여 나타내었다.

Fig. 10~15에 각 갑판별 배치도와 dB(A)에서의 소음해석 결과분석을 나타내었으며, 본 분석결과를 기초로 하여 Table 6에 합산음의 에너지 합을 dB(A) 단위로 나타내었다.

조상근

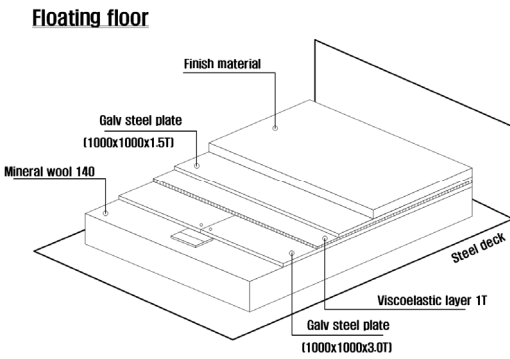
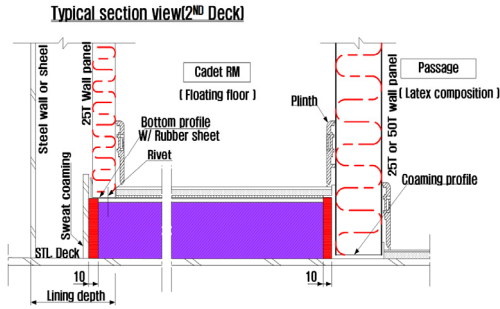


Fig. 5 Structure of floating floor

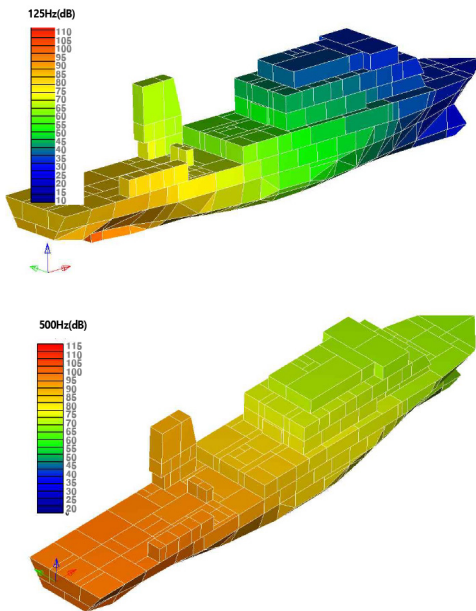


Fig. 6 Analysis result of Structureborne sound (125 Hz & 500 Hz)

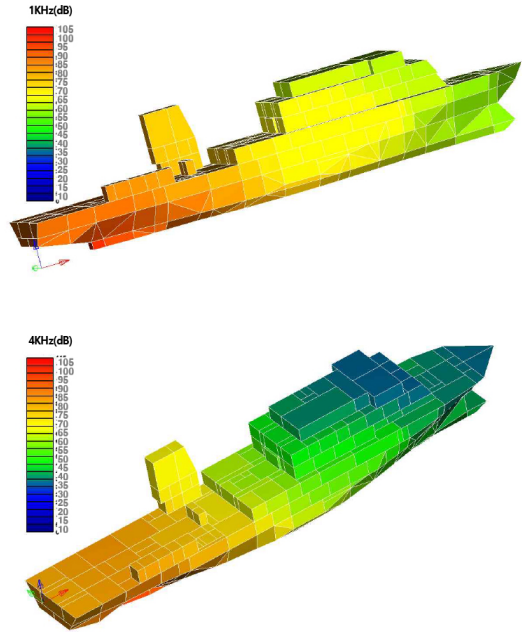


Fig. 7 Analysis result of Structureborne sound (1,000 Hz & 125 Hz)

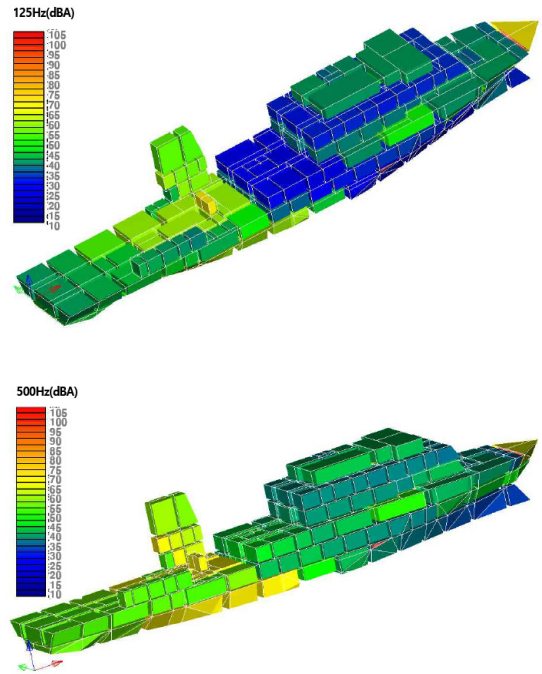


Fig. 8 Analysis result of airborne sound(125 Hz & 500 Hz)

어선 실습선의 건조에 대한 소음공해 모델 분석

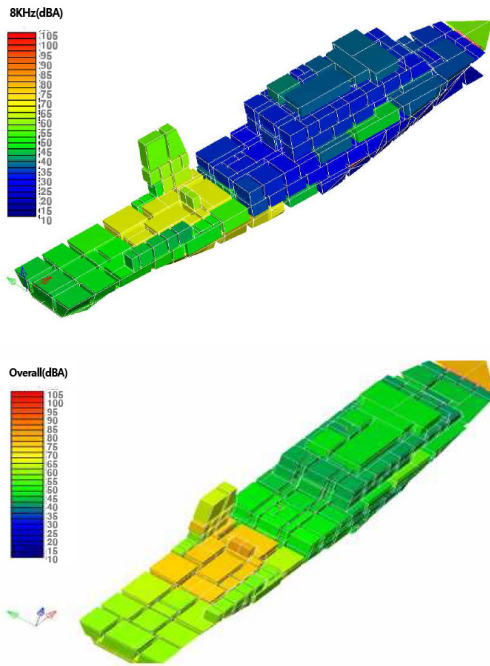


Fig. 9 Analysis result of airborne sound (8,000 Hz & dB(A))

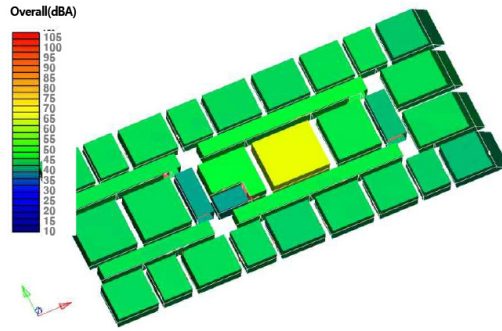
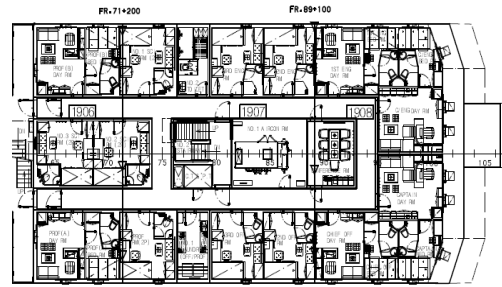


Fig. 11 Captain deck layout and analysis result of noise

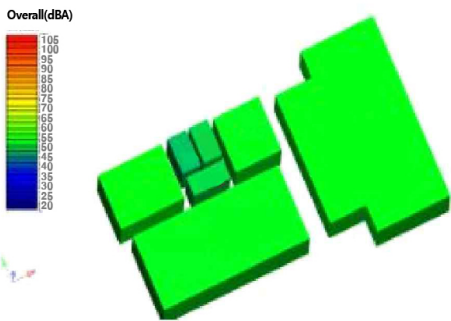
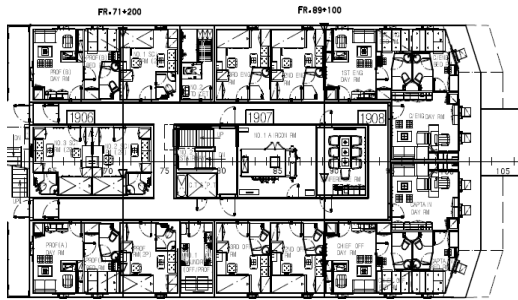


Fig. 10 Nav. Deck layout and analysis result of noise

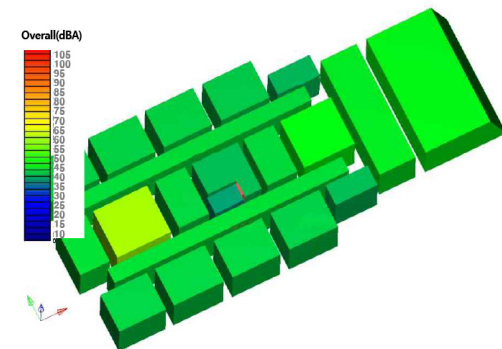
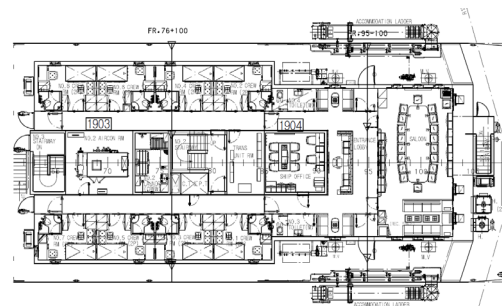


Fig. 12 Forecastle deck layout and analysis result of noise

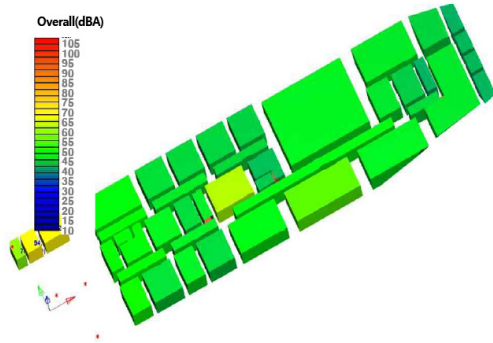
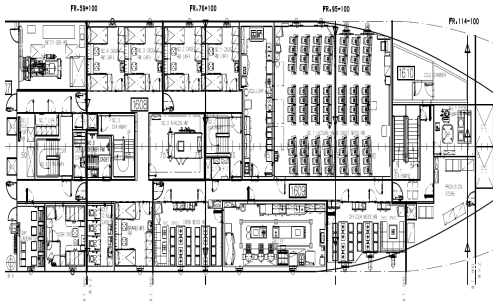


Fig. 13 Upper deck layout and analysis result of noise

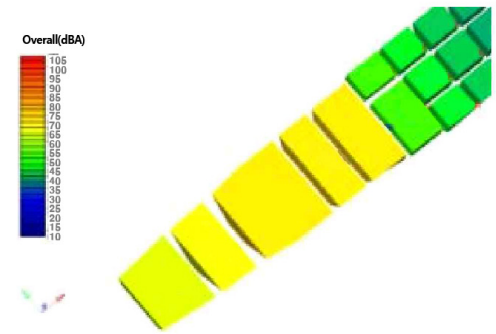
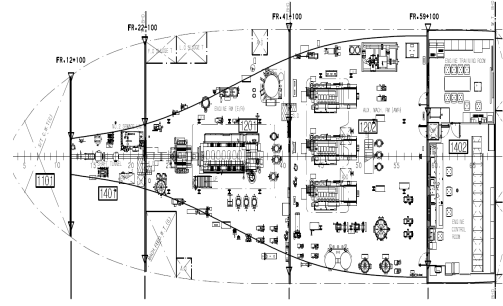


Fig. 15 Tanktop layout and analysis result of noise

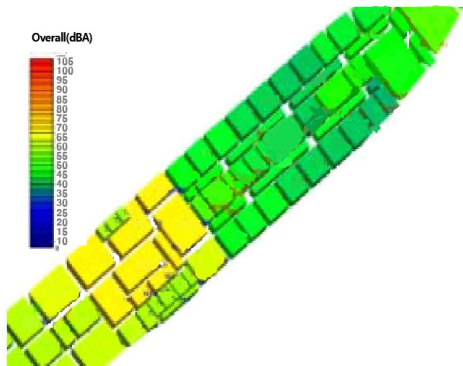
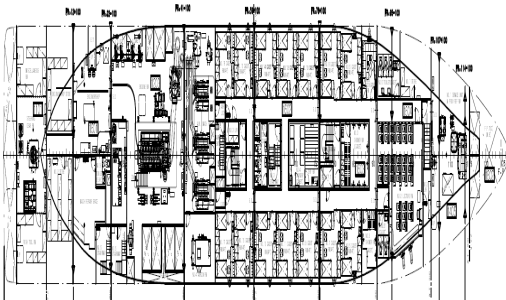


Fig. 14 2nd deck layout and analysis result of noise

4. 선박의 모델해석 분석

기계음과 공조 소음에 의한 격실의 최종 소음 수준은 Table 6에 나타내었다.

1) Nav. Bri. deck: Wheelhouse의 소음 수준은 58 dB(A) 정도로 해석되며, 소음 기준인 65 dB(A)를 만족한다. 주 소음원은 공조 소음이며, 실제 운항 시에는 항해 통신장비 등의 영향으로 Wheel house 등의 소음 수준은 60 dB(A) 정도로 예상된다.

2) Captain deck: 격실 소음 수준은 선수부에 배치된 Captain room에서 52 dB(A) 내외이며, 주 소음원은 공조 소음이다. 중앙부 Conference RM은 약 53 dB(A) 정도이며, 소음 기준인 60 dB(A)를 만족한다.

3) Forecastle deck: 격실 소음 수준은 선수부에 배치된 Saloon에서 58 dB(A)이며, 주 소음원은 공조 소음이다. 후부 격실 No.8 Crew(2P) RM은 약 53 dB(A) 정도이며, 주 소음원은 기계음이다. 소음기준인 60 dB(A)를 만족한다.

4) Upper deck: 선수부에 배치된 No. 1 Lecture

어선 실습선의 건조에 대한 소음공해 모델 분석

Table 6 Analysis result of noise level the compartment room

No.	Deck plate	Compartment room	Noise level	Analysis result
			dB (A)	
1	Nav. Bri. Deck	Wheel house	65	58.0
2		Navigation Training Space	65	57.2
3		Simulator RM (30P)	65	58.3
4	Captain Deck	Captain Day RM	60	51.4
5		C/Eng. Day RM	60	51.9
6		Chief Off. Day RM	60	51.0
7		1st Eng. Day RM	60	52.0
8		2nd Off. RM	60	51.1
9		2nd Eng. RM	60	51.2
10		3rd Off. RM	60	50.2
11		3rd Eng. RM	60	51.3
12		Conference RM	60	52.9
13		Prof. RM (2P)	60	51.5
14		No.1 Sic. (2P)	60	51.8
15		Prof. (A) Day RM	60	51.2
16		Prof. (B) Day RM	60	51.3
17		No.2 Sic. (2P)	60	51.4
18	No.3 Sic. (2P)	60	51.0	
19	Forecastle Deck	Saloon	60	57.5
20		Ship Office	60	57.9
21		No.1 Crew RM (2P)	60	52.4
22		No.2 Crew RM (2P)	60	52.2
23		No.3 Crew RM (2P)	60	52.9
24		No.4 Crew RM (2P)	60	52.8
25		No.5 Crew RM (2P)	60	52.9
26		No.6 Crew RM (2P)	60	52.9
27		No.7 Crew RM (2P)	60	52.9
28	No.8 Crew RM (2P)	60	52.6	
29	Upper Deck	No.1 Lecture RM	60	56.4
30		Officer Mess RM	60	56.2
31		Galley	70	69.9
32		Crew Mess RM	60	57.5
33		No.1 Cadet RM (4P)	60	52.7
34		No.2 Cadet RM (4P)	60	53.0
35		No.3 Cadet RM (4P)	60	53.3
36		No.4 Cadet RM (4P)	60	54.0
37		* Emergency D/Gen. Only Working Spare (4P) RM	60	57.9
38		Hospital	60	53.3
39	Hospital	60	54.0	
40	2nd Deck	Emergency D/Gen. RM	110	58.8
41		* Emergency D/Gen. Only Working	110	98.6
42		No.2 Lecture RM	60	59.2
43		Cadet Recreation RM (4P)	60	55.5
44		No.5 Cadet RM (4P)	60	50.6
45		No.6 Cadet RM (4P)	60	50.6
46		No.7 Cadet RM (4P)	60	51.0
47		No.8 Cadet RM (4P)	60	51.0
48		No.9 Cadet RM (4P)	60	51.6
49		No.10 Cadet RM (4P)	60	51.7
50		No.11 Cadet RM (4P)	60	52.5
51		No.12 Cadet RM (4P)	60	52.6
52		No.13 Cadet RM (4P)	60	56.4
53		No.14 Cadet RM (4P)	60	55.9
54		No.15 Cadet RM (4P)	60	55.8
55		No.16 Cadet RM (4P)	60	55.4
56		No.17 Cadet RM (4P)	60	57.6
57		No.18 Cadet RM (4P)	60	58.4
58	Aux. Engine RM	110	100.9	
59	Main Engine RM	110	101.5	
60	Engine Workshop	110	82.5	
61	Tank Top	Engine Control RM	67	66.6
62		Aux. Engine RM	110	100.6
63		Main Engine RM	110	101.6

RM은 공조소음에 의해 56 dB(A)로 해석되나 소음 기준인 60 dB(A)를 만족한다. 후부 격실 Hospital은 54 dB로 소음 기준 60 dB(A)를 만족하며, 주 소음원은 기계음이다. Officer & Crew mess RM은 공조 소음과 기계음에 의해 56 dB(A) & 57 dB(A) 정도이며, 소음 기준인 60 dB(A)를 만족한다.

5) 2nd deck: 선수부에 배치된 No.2 Lecture RM에서 공조소음에 의해 59 dB(A)로 해석되나 소음 기준인 60 dB(A)를 만족한다. 후부 격실 No.18 Cadet RM(4P) 등은 기계음에 의해 58 dB(A)로 해석되며, 소음 기준인 60 dB(A)를 만족한다. 소음 저감 대책으로 후부 격실에 Floating floor를 적용하였다. Aux. & Main Engine room의 소음 수준은 101 dB(A)로 소음 기준인 110 dB(A)를 만족시킨다.

6) Tanktop: Engine control room의 소음 수준은 기계음과 공조소음에 의해 67 dB(A)로 해석되며, 소음 기준인 67 dB(A)를 만족한다.

Engine room의 소음 수준이 85 dB(A) 이상으로, Engine room 출입자는 청력 보호를 위해서 청력 보호구 착용 등의 보호조치를 취해야 한다.

5. 결 론

어선 실습선의 바닥 충격음 저감을 위해서 뜬 구조의 형식을 선정하여 소음저감 해석을 수행한 결과는 다음과 같다.

소음원의 종류에 따라 기계음에 의한 영향과 공조 소음에 의한 영향으로 구분하여 소음해석을 수행한 후 최종적으로 두 영향을 중첩하여 소음 허용기준치와 비교 검토하였다.

예측된 통계적 에너지 해석결과는 격실과 업무실의 소음 수준은 소음 허용기준을 만족하였다.

1) 주기관과 발전기 소음원에 인접한 2nd deck의 No.18 Cadet Rm(4P) 소음 수준은 58 dB(A)로 소음 기준인 60 dB(A)에 근접하고 있으며, 소음 저감 대책으로 Floating floor를 적용하였다.

2) 중앙부와 선수부 배치된 격실들은 기계음보다는 공조 소음 영향에 의해 소음 수준이 결정되는 것으로 해석되었으며 소음 기준을 만족한다.

3) Main Engine RM 소음 수준은 101 dB(A)로

소음 기준인 110 dB(A)를 만족한다.

4) 구역의 소음 수준이 85 dB(A) 이상인 경우에는 입구에 소음 경고 문구를 부착해야 하며, 출입시 청력 보호구 착용 등의 청력 보호조치를 취해야 한다.

후 기

본 논문은 군산대학교 수산과학연구소 2023년 학술연구비 지원에 의하여 수행되었으며, 지원에 감사드립니다.

Author contributions

S. G. Cho; Project administration, Supervision, Writing-review & editing, Investigation, Formal analysis.

References

1. V. Oliver, F. Nathalie and C. Christian, 2010, "FPSO noise control : From initial design to launch of the vessel", 10ème Congrès Français d' Acoustique, hal-00541721.
2. F. Daisuke, K. Yasunori, H. J. Yoo and S. Hideyuki, 2017, "Development of ship noise analysis program based on the combination of simplified janssen method and SEA method", Korea Society of Marine Engineering, 41(5), 467-472. (<https://doi.org/10.5916/jkosme.2017.41.5.467>)
3. P. Alexander, S. Alexander and S. Hady, 2017, "Modulation of high frequency noise by engine tones of small boats", The Journal of the Acoustical Society of America 142, EL30, (<https://doi.org/10.1121/1.4991345>)
4. H. Han, S. Jeon, C. Lee, D. Lee, Y. Kim and S. Lee, 2021, "Study for monitoring of the sound pressure level and cavitation inception speed of the propeller using the acceleration

- signal on the hull”, The Korean Society for Noise and Vibration Engineering, 31(4), 398-407. (<https://doi.org/10.5050/KSNVE.2021.31.4.398>)
5. K. Tjakko and K. D. Dennis, 2015, “Operational transfer path analysis applied to a ship with multiple engines, gearboxes and propellers”, Conference: Euronoise, ISSN 2226-5147.
 6. S. R. Kim, H. S. Kim, B. K. Kim, J. S. Kim and H. J. Kang, 2007, “Case study on the reduction of airborne and structure-borne noise of a shipboard pump”, The Korean Society for Noise and Vibration Engineering, KSNVE07S-14-02. (<https://koreascience.kr/article/CFKO200700239148734>)
 7. S. H. Park, 2019, “Estimation of measurement uncertainty in airborne noise and structureborne noise”, The Korean Society for Noise and Vibration Engineering, 29(3), 396-402. (<https://doi.org/10.5050/KSNVE.2019.29.3.396>)
 8. S. Y. Park, J. R. Cho and S. H. Park, 2020, “Reduction of structure-borne noise in hydraulic power unit with elastic mounting by evaluating structural acceleration level”, Journal of Advanced Marine Engineering and Technology, 44(6), 422-430. (<https://doi.org/10.5916/jamet.2020.44.6.422>)