

청력보호를 위한 선박 기관실 및 선실소음의 조사(I)

An Investigation of the Noise in Ship Engine-Room and Cabins for Hearing Protection (I)

유 영 훈

Y. H. Yu

Key Words : Noise Exposure(소음폭로), Noise Exposure Time(소음폭로시간), Hearing Protection(청력보호), Engine Room Noise(기관실소음), A-weighted Sound Pressure Level(A특성 음압레벨), Octave Band Pressure Level(옥타브밴드레벨)

Abstract : As the noise of ship engine room is too loud, the engineer who works in a ship engine-room has the trouble of hearing. In this paper deals the investigation of the noise of ship engine room and cabins with the internationally allowable noise exposure level and noise exposure time. Recently, the problem of engine-room noise is more serious because of shipowner wants to make small number and larger size of cylinder. Therefore, engineers work in a ship engine-room for a long time have the trouble of hearing when they are exposed the high noise level. In this study, two kinds of vessels were used to investigate the noise of engine room, engine-control room, bridge, offices and cabins. As criteria of sound levels, A-weighted sound pressure level and octave band pressure level were used.

1. 서 론

선박의 운항시 기관실에는 주 추진기관을 비롯하여 각종 보조기계장치가 상시 가동하고 있기 때문에 이들이 선체의 진동 및 선실내부 소음의 원인으로 되는 것은 잘 알려진 사실이다. 또한 기관실 내부에는 이들 소음원이 서로 인접되어 있고, 고체음의 전달특성이 좋은 강판으로 구성되어 있기 때문에 이들과 밀접되어 있는 사무실 및 거주 구역에서 발생하는 소음의 정도는 작업자에게 직접적으로 영향을 미치게 된다.

따라서 건조 당시에 선박의 선실 및 기관실에서 발생하는 소음 및 진동을 예측하여 설계하고 이들의 전달경로를 충분히 고려하여 건조하는 것이 바람직하다. 선박 거주구 소음예측방법으로는 널리 알려진 통계적에너지법(SEA), 도파관이론 등 고체음 전달손실의 해석기법 자체에 근거한 소음예측이론이 있지만 실선에 있어서 소음레벨과는 많은 차이가 있는 것으로 알려져 있다^{1,3)}.

그러나 최근에는 선박을 건조하는 조선소 측이나 선주의 경우 소규모, 고출력, 고 연료비 효율의 엔진을 요구하고 있고 동시에 에너지절약과 정비 및 보수 등의 유지비를 줄이기 위하여 소수 실린더, 대구경의 엔진을 선호하고 있어 진동과 소음문제는 더욱 심각한 실정에 이르고 있다. 그 결과 선박의 기관실과 같이 극히 높은 소음이 발생하는 장소에서 오랫동안 거주한 작업자에 있어서 심각한 청각장애가 유발되는 등 사회적 문제로 되고 있다.

국제적으로는 ISO에 있어서 작업자의 청력보호를 위한 직업성 소음폭로의 권장규격⁴⁾이 발표되어져 있으며, 국제해사기구(IMO)에서는 선내 소음규제코드를 작성하여 소음레벨과 폭로시간의 관계를 규정⁵⁾ 하는 등 국제적인 규제가 가속화 될 전망이다. 이와 같은 규제에 관련하여 해양 선진국에서는 다양한 조사결과가 있지만^{6,7)} 국내에서는 이것에 관한 조사가 전무한 실정이다.

본 조사에서는 승선사관의 청력보호를 위한 선실의 소음측정에 관한 기초적인 연구로 대형 및 중형선박을 대상으로 정상 운전시 기관실 및 선실 내부의 소음레벨을 실측하여 소음폭로의 정도를

접수일 : 1999년 6월 28일

유영훈 : 목포해양대학교 기관공학부

평가하여 제시한다. 일반적으로 소음의 정도를 결정하는 척도로서는 평균음압레벨(dB[A])이 적용되고 있지만, 실선에서는 주 추진기관의 종류 및 사양에 따라 소음이 발생하는 주된 주파수성분이 변화하기 때문에 실제로 느끼는 소음의 정도는 청각의 민감도에 따라 달라지므로 옥타브밴드별 소음레벨을 병행하여 실시하였다.

2. 선박소음의 평가

2.1 평균음압레벨을 이용한 소음의 평가

기관을 비롯한 기계의 정상운전에서 변동이 비교적 적은 소음의 평가에는 평균음압레벨[dB(A)]이 이용된다. 또한 IMO에서는 선내소음은 정상속도에서 측정하도록 규정하고 있으며 실제 정상속도(full speed)로 항해하는 선박의 경우, 기관실 및 선실의 소음레벨은 거의 변동이 없이 일정한 소음레벨을 유지함을 알 수 있다.

Table 1에 기관실 및 선실 내부에서의 소음의 한계 값에 대한 IMO의 규제치를 보인다.

Table 1 Noise limits of IMO

Spaces and conditions		Noise limit levels(dB[A])
Engine room	stay always	90.0
	stay sometimes	110.0
Engine control rooms		75.0
Machine workshops		85.0
Non-specified work spaces		90.0
Navigation bridge		65.0
Radar rooms		65.0
Offices		65.0
Cabins		60.0

2.2 옥타브밴드를 이용한 소음의 평가

사람의 청각의 범위는 초저주파음(16Hz이하)과 초음파음(20kHz이상)사이로 이 주파수의 범위내에서 청각의 민감도가 소음의 주파수에 따라 달라진다. 따라서 전술한 평균음압레벨 만에 의한 평가를 그대로 적용할 경우 실제로 느끼는 감각과는 많은 차이가 있게 된다.

일반상선 및 여객선의 경우 대형 및 중·소형선박의 경우 주 추진기관의 상용 회전속도가 다르므로 기관실 및 선실에서 발생하는 소음 및 진동의 발생주파수가 달라지게 된다. 일반적으로 선박에서

주 추진기관으로 채택하고 있는 저속 디젤엔진은 회전수가 약 200rpm 이하인 경우이며, 중속 디젤엔진은 300~750rpm, 고속의 디젤엔진은 800rpm 이상의 회전수를 갖는다. 이것은 선박에 따라 소음이 발생하는 주된 주파수가 변화함을 의미한다.

Fig. 1은 청력보호를 위한 소음의 허용기준으로 옥타브밴드 중심주파수의 소음레벨에 대한 폭로시간의 관계를 보인다⁶⁾.

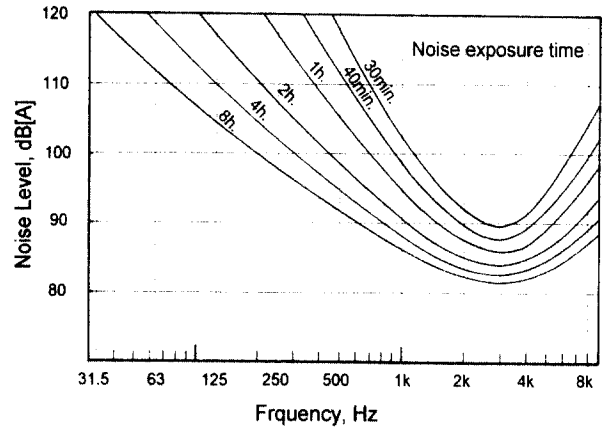


Fig. 1 Allowable noise levels between hearing frequency and noise exposure time

3. 소음의 실측결과 및 고찰

승선종사자의 청력보호를 위한 선박소음에 관한 조사는 소형 여객선에서부터 초대형 상선 및 컨테이너선 까지 모든 종류의 선박을 대상으로 하고 있다. 본 조사에서는 선내 소음으로 인한 청력장애의 영향이 가장 심각할 것으로 판단되는 승선사관 실습선과 장기간 원양항해를 해야하는 대형 컨테이너선을 대상으로 하였다. 특히, 승선사관 실습선의 경우 실습생은 1년간 실습선에서 거주하여야 하므로 수많은 실습생이 높은 소음의 환경에 노출될 수 있기 때문이다.

소음레벨의 실측은 실습선의 경우 기관실 내부를 비롯하여 강의실 및 거주구역을 중심으로 실측하여 조사하였다. 컨테이너선은 기관실 및 거주구역을 중심으로 조사하였다. 소음의 측정에는 평균음압레벨 및 옥타브밴드별 소음측정이 가능한 소음계(ONO SOKKI, LA-5110)를 이용하였으며, 소음레벨은 소음계의 A특성(인간의 청각을 대상으로 보정한 소음특성)을 이용하고 동특성을 Slow로 하여 측정하였다.

Fig. 2에서 선박 내부의 소음측정을 대상으로

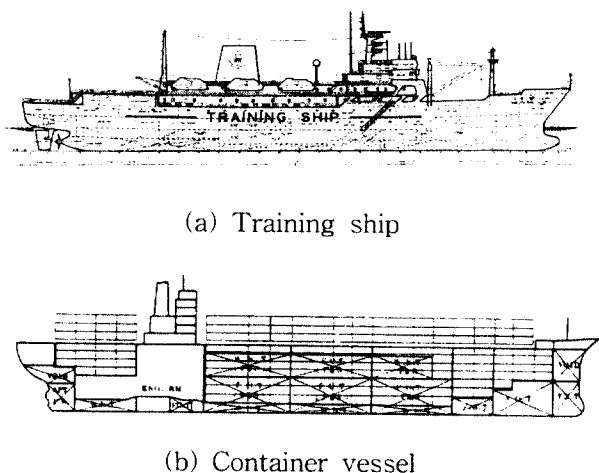


Fig. 2 General arrangement

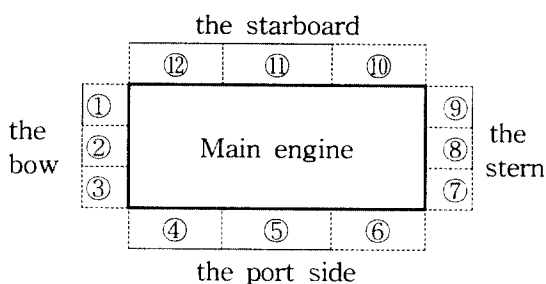


Fig. 3 General arrangement of the measuring point around the main engine

하는 실습선과 컨테이너선의 외형을 보이고, Table 2는 각 선박의 제원을 보인다.

3.1 기관실 소음

기관실의 주요 소음원은 주 추진기관인 디젤기관, 발전기 및 선박고유의 추진 장치인 프로펠러등

Table 2 Details of the survey vessels

Vessels	Training ship	Container vessel
Gross (ton)	3,644	64,054
Length (m)	102.7	264.9
Breadth (m)	14.5	40.0
Depth (m)	9.5	20.17
Main engine	S26MC	HD B&W 12K 90MC
Speed (Knots)	15.0	25.6

3가지를 손꼽을 수 있다. 특히, 거의 모든 선박에서 추진기와 발전기의 동력으로 사용되고 있는 디젤기관의 소음레벨이 가장 높다. 따라서 기관실 내부의 소음은 작업자의 청력에 영향을 미치는 구역을 고려하여 디젤기관을 중심으로 상단구역(실린더헤드 부근의 작업통로) 및 하단구역(크랭크샤프트 부근의 작업통로)에서의 소음을 옥타브밴드별로 측정하여 분석하는 방법을 이용하였다.

Fig. 3은 주기관 주변에서 측정점의 위치를 간략하게 보인다. 측정점은 디젤기관을 중심으로 하는 작업구역(선수부, 좌측부, 선미부, 우측부)에서 각각의 구역을 3등분하는 길이의 중심에서 측정하였다. 측정은 실습선의 경우 주기관은 210 rpm, 컨테이너선은 105 rpm으로 정상 항해시 실시하였다.

실습선의 기관실 소음을 측정할 결과 중에서 소음레벨이 가장 높은 실린더헤드 부근의 작업구간에서 측정할 결과를 Table 3에 보인다. Table 3에서 평균음압레벨은 옥타브밴드별의 소음레벨로부터 구하였다⁸⁾. Table 3에서 모든 측정점의 평균음압레벨은 95dB[A] 이상으로 IMO의 규제치에서

Table 3 Noise levels around the main engine of the training ship

measuring positions		center frequencies of 1 octave band									averaged sound levels dB[A]	IMO limits dB[A]	
regions	point	31.5Hz	63Hz	125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz	8kHz			
around of the cylinder head	the bow	①	93.0	95.0	88.9	90.3	88.9	89.1	88.9	88.3	82.4	95.0	90.0 ~ 110.0
		②	93.0	92.1	87.9	90.8	93.2	90.2	88.4	88.7	83.4	96.2	
		③	90.9	90.7	88.0	90.4	89.7	90.0	89.4	90.4	84.9	96.3	
	the port side	④	94.8	95.7	89.0	93.1	92.5	92.4	90.2	91.3	86.7	97.8	
		⑤	94.0	96.2	89.8	97.1	94.3	93.6	92.2	93.0	89.9	99.1	
		⑥	92.5	96.7	89.5	100.1	97.5	95.4	94.0	93.9	91.8	101.8	
	the stern	⑦	97.9	99.9	99.7	97.4	95.7	94.4	93.5	92.3	87.6	101.0	
		⑧	98.8	100.8	100.9	102.0	99.8	96.0	95.0	93.3	90.2	102.6	
		⑨	98.4	100.7	98.2	97.0	98.7	98.1	95.3	93.7	91.8	102.2	
	the star-board	⑩	96.3	92.7	86.2	94.9	94.3	91.4	91.1	91.8	85.2	98.4	
		⑪	92.4	93.9	87.7	93.3	92.4	90.8	91.1	90.0	83.3	97.8	
		⑫	88.9	91.6	87.8	91.0	89.4	90.2	90.7	90.3	83.3	96.6	

알 수 있듯이 주기관의 주변에서는 연속작업이 불가능한 구역으로 판단할 수 있다. 실습선의 주기관에는 선미부 끝단에 터보 과급기가 설치되어 있어 선미부에서 가장 높은 소음레벨을 보인다.

Fig. 4는 옥타브밴드별 중심주파수와 소음폭로 시간과의 관계에서 실습선의 기관실 내부 디젤기관 주변에서 얻어진 측정결과 가운데 가장 높은 소음레벨과 가장 낮은 소음레벨을 옥타브밴드별로 비교한 것으로 기관실 내부소음의 범위를 보인다. Fig. 4에서 2 kHz 및 4 kHz의 중심 주파수범위에서 폭로시간이 최소 30분 이내에서 최대 2시간 이내이므로 이와 같은 특정주파수에서 소음성난청이 발생할 수 있으므로 주의해야 한다.

Fig. 5는 모든 측정점의 소음레벨을 터보 과급기 부근의 영역과 이외의 영역으로 나누어 평균한 옥타브밴드별 소음레벨을 보인다. Fig. 4에서 보였듯이 기관실 내부의 최대 소음레벨은 Fig. 5의 터보 과급기 부근에서 발생하고 있는 소음레벨과 거의 유사함을 알 수 있으며, 이 이외의 다른 영역에서 평균한 옥타브밴드별 소음레벨 보다는 3dB[A] 이상 큰 소음레벨을 보인다. 이것은 기관실 내부 소음은 터보 과급기에 의한 소음레벨이 지배적으로 기관실 내부의 소음을 개선하기 위해서는 터보 과급기에서 발생하는 소음을 개선하는 것이 가장 효과적임을 알 수 있다.

Table 4는 컨테이너선 기관실 내부의 소음레벨로 디젤엔진 부근의 작업구간에서 측정한 결과를 보인다. 컨테이너선의 기관실 소음은 실습선에 비해 디젤엔진 부근의 소음레벨이 5~10 dB[A]

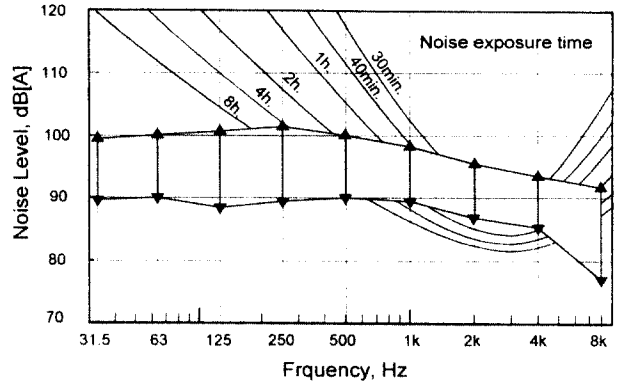


Fig. 4 Maximum and minimum noise levels in the engine room of training ship (where, ▲ indicate the Max. noise levels and ▼ indicate Min. noise levels)

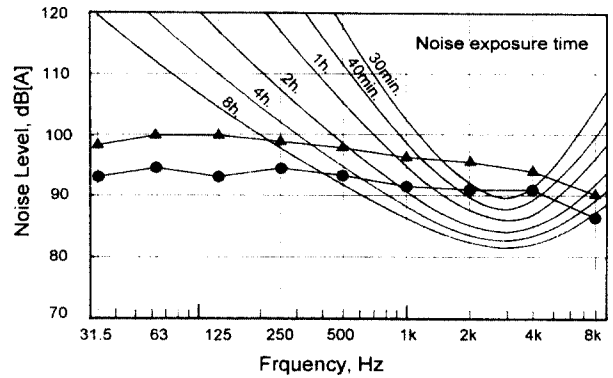


Fig. 5 Relative noise levels between regions of the engine room of training ship (where, ▲ indicate averaged noise levels around turbo-charge, ● indicate averaged noise levels any other regions)

Table 4 Noise levels around the main engine of the container vessel

measuring position		center frequencies of 1 octave band									averaged sound levels dB[A]	IMO limits dB[A]	
regions	point	31.5Hz	63Hz	125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz	8kHz			
around of the cylinder head	the bow	①	101.6	98.6	101.3	100.5	101.7	104.3	100.9	94.8	90.1	107.5	90.0 ~ 110.0
		②	102.3	99.2	99.8	99.3	100.6	103.1	98.2	92.8	86.2	105.8	
		③	100.8	98.9	98.9	97.5	99.7	102.2	97.1	92.8	85.9	104.9	
	the port side	④	102.1	98.7	100.6	98.4	98.4	101.9	98.1	93.8	87.8	105.0	
		⑤	100.9	100.1	99.5	99.1	99.8	103.9	99.3	94.0	88.0	106.5	
		⑥	103.9	99.5	100.4	98.2	99.2	103.5	99.1	96.6	88.1	106.5	
	the stern	⑦	101.1	99.5	99.8	98.7	98.8	101.6	98.9	92.9	85.0	105.0	
		⑧	101.9	101.3	99.9	99.5	99.1	102.6	98.7	92.8	84.1	105.5	
		⑨	103.4	101.6	99.7	99.0	100.5	108.1	101.8	94.2	86.1	109.7	
	the star-board	⑩	103.2	103.0	100.6	100.5	101.7	108.3	103.2	95.9	91.8	110.4	
		⑪	103.7	101.7	101.0	102.5	103.4	110.1	103.3	96.6	91.8	111.9	
		⑫	102.5	100.6	101.1	101.8	103.8	108.4	103.7	96.9	99.3	111.0	

정도 높은 수치를 보인다. 모든 측정점의 평균음압레벨은 IMO의 허용 소음레벨 가운데 연속작업이 불가능한 구역으로 특히 터보 과급기가 설치되어 있는 엔진블록의 우측부에서 가장 높은 소음레벨을 보인다.

Fig. 6은 컨테이너선의 기관실내부 디젤엔진 주변에서 얻어진 소음레벨의 측정결과 가운데 옥타브밴드별 최고소음레벨과 최저소음레벨을 비교한 것으로 주기관의 주변작업구간에서 발생할 수 있는 소음레벨의 범위를 보인다. 그림에서 옥타브밴드별 중심주파수의 저주파영역(31.5Hz~250 Hz)에 비해 1kHz~4kHz 영역에서는 작업이 불가능할 정도가 소음레벨이 크다. 이런 환경에서는 비록 청력보호기구를 착용하더라도 오랜 기간 작업을 하게 되면 인체의 균형을 잃게된다. 여기서 컨테이너선의 기관실 내부 소음레벨에 가장 크게 영향을 미치는 인자를 조사한 결과, 터보 과급기에서 가장 큰 소음이 발생함을 알 수 있었다. 이 결과는 실습선에서 얻은 결과와 동일하다. Fig. 7은 컨테이너선 기관실 내부소음 가운데 터보 과급기 부근의 영역과 이외의 영역으로 나누어 평균한 옥타브밴드별 소음레벨을 보인다. Fig. 6에서 보였듯이 기관실 내부의 최대 소음레벨은 터보 과급기 부근에서 발생하고 있는 소음레벨과 거의 동등함을 알 수 있으며, 이 이외의 다른 영역에서 평균한 옥타브밴드별 소음레벨 보다는 3dB[A] 이상 큰 소음레벨을 보인다. 따라서 기관실 내부의 소음을 개선하기 위해서는 터보 과급기에서 발생하는 소음을 개선하는 것이 가장 효과적임을 알 수 있다.

Table 5는 실습선 및 컨테이너선의 콘트롤룸에서 측정된 소음레벨을 보인다. 측정점은 콘트롤룸을 3영역으로 분할 각 분할영역의 중심에서 측정하였다. 각 측정점에서 얻어진 음압레벨의 평균은 실습선의 경우 76.9dB[A]로 IMO의 허용치보다 높다. 이것은 실습선의 경우 엔진콘트롤룸 아래에 발전기실이 설치되어 있어서 발전기의 소음 및 진동

이 원인으로 분석된다.

컨테이너선의 경우 음압레벨의 평균은 70.9 dB[A]로 IMO의 허용치(75dB[A]) 보다 4dB[A] 낮게 되어 엔진콘트롤룸의 차폐효과가 뛰어나다.

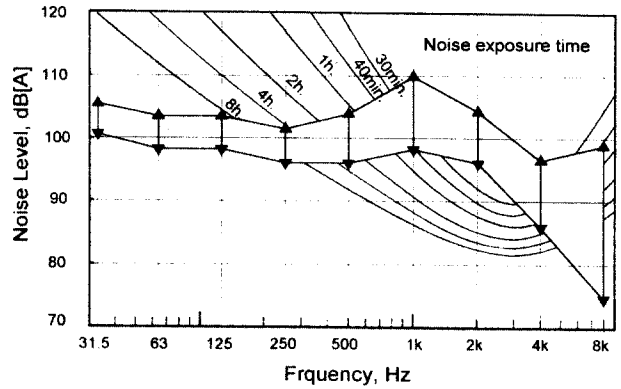


Fig. 6 Maximum and minimum noise levels in the engine room of container vessel (where, ▲ indicate the Max. noise levels and ▼ indicate Min. noise levels)

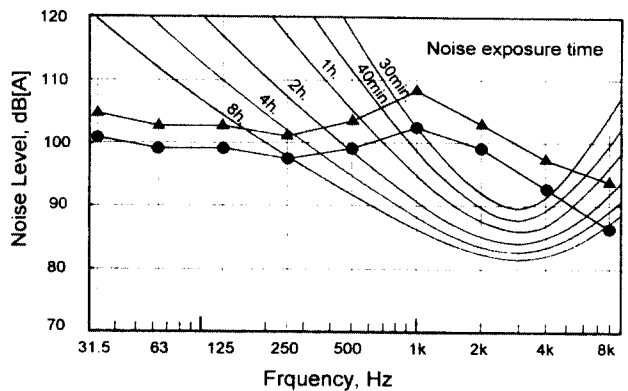


Fig. 7 Relative noise levels between regions of the engine room of container vessel (where, ▲ indicate averaged noise levels around turbo-charge, ● indicate averaged noise levels any other regions)

Table 5 Noise levels in the engine control room of the training ship and the container vessel

vessels	measuring positions	center frequencies of 1 octave band									averaged sound level dB[A]	IMO limit dB[A]
		31.5Hz	63Hz	125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz	8kHz		
training ship	right	86.6	84.1	81.4	72.2	76.7	71.3	67.7	56.3	45.9	77.1	75.0 이하
	center	83.4	81.3	80.9	71.6	75.8	72.0	68.0	56.7	46.2	76.9	
	left	81.4	80.3	80.4	70.6	75.6	72.2	68.1	57.7	47.2	76.8	
container vessel	right	87.6	78.3	70.8	65.3	68.8	65.7	64.4	60.6	45.7	71.3	
	center	87.1	81.9	71.2	68.4	67.1	67.0	64.1	58.2	46.2	71.3	
	left	90.0	79.8	71.6	69.1	66.6	65.8	62.1	54.2	40.0	70.1	

Table 6 Noise levels of the bridge, office, lecture rooms and cabins(training ship)

measuring position	center frequencies of 1 octave band									averaged sound levels dB[A]	IMO limits dB[A]
	31.5Hz	63Hz	125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz	8kHz		
bridge 1	77.0	66.2	59.7	52.4	49.5	47.9	44.6	38.4	28.9	52.9	65.0
bridge 2	81.7	67.0	60.7	54.9	50.7	49.6	45.6	38.4	31.2	54.5	
prof. room A	77.4	61.9	55.1	46.6	39.3	36.2	33.0	28.1	23.1	44.5	
prof. room B	74.5	62.3	51.1	43.5	36.2	31.0	24.0	23.9	25.3	42.2	
rest room	76.1	67.6	59.9	51.7	49.4	42.9	42.6	37.4	33.2	52.4	
lecture room 1	91.9	80.0	74.5	63.7	56.9	52.0	48.3	46.5	40.1	63.1	60.0
lecture room 2	79.6	64.6	61.2	59.6	53.4	48.6	42.1	36.6	33.4	55.8	
trainee cabin A	74.5	71.6	68.1	60.1	52.8	47.7	43.2	35.7	31.6	57.1	
trainee cabin B	80.7	71.5	69.4	62.6	49.8	46.8	45.0	33.3	29.7	58.0	
trainee cabin C	74.0	75.1	69.9	59.7	55.2	52.6	52.4	51.6	44.5	60.9	
trainee cabin D	89.5	76.4	69.9	63.1	57.2	59.7	57.5	54.8	49.9	64.9	

Table 7 Noise levels of the bridge and offices of the each floors(container vessel)

measuring position	center frequencies of 1 octave band									averaged sound levels dB[A]	IMO limit dB[A]
	31.5Hz	63Hz	125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz	8kHz		
Bridge	86.5	73.6	58.9	53.5	53.8	53.7	42.0	36.7	33.9	53.5	65.0
F-deck	82.8	70.5	60.6	55.3	54.2	55.9	48.5	44.0	49.0	58.0	
E-deck	85.9	71.9	60.3	59.1	54.9	51.1	48.0	37.3	27.2	57.5	
D-deck	85.3	70.8	62.0	61.3	58.2	54.4	51.1	41.9	32.3	59.8	
C-deck	84.4	77.1	67.3	63.5	60.5	57.7	54.9	50.4	50.4	62.7	
B-deck	83.6	73.6	67.5	64.4	61.9	59.7	58.0	47.4	36.4	64.7	
A-deck	83.0	75.3	68.6	65.5	64.3	62.8	57.6	48.5	40.9	66.8	
Upper-deck	83.1	74.5	70.0	66.6	66.1	64.1	61.2	51.4	39.0	68.7	

3.2 선실 및 거주구역의 소음

실습선 및 컨테이너선에서 브릿지(bridge)를 포함한 선실내의 거주구 및 사무실, 강의실의 소음레벨을 구한 결과를 Table 6 및 Table 7에 보인다.

실습선의 경우 기관실로부터 떨어져 위치한 브릿지 및 교수실의 소음레벨은 IMO의 규제치 보다 낮은 수치를 보인다. 그러나 강의실 및 학생 거주구역은 기관실에 근접하여 배치되어 있기 때문에 IMO의 규제치에 근접하거나 높은 소음레벨을 보인다. 특히 학생 거주구역 D의 침실은 기관실의 입구와 마주하고 있어 높은 소음레벨을 보인다. 또한 제1강의실은 선체 후미부에 배치되어 있는 관계로 프로펠러에 의한 소음 및 진동이 전달되어 높은 소음레벨을 보인다.

Table 7은 컨테이너선에서 기관실 이외의 각종 거주구역에서 측정된 소음레벨을 보인다. 컨테이너선의 경우 기관실에서 멀리 떨어질수록 소음레벨이 점차 낮아져서 브리지에서는 IMO의 허용치(65

dB[A])보다 10 dB[A] 이상 낮은 소음레벨을 보인다.

4. 결 론

승선종사자(사관)의 청력보호를 위한 선박소음에 관한 조사는 모든 종류의 선박을 대상으로 하고 있다. 본 조사에서는 선내소음으로 인해 청력장애의 영향이 가장 심각할 것으로 판단되는 승선사관 실습선과 장기간 원양항해를 해야하는 대형 컨테이너선을 대상으로 하였다.

소음레벨의 실측은 기관실 내부 및 거주구역을 중심으로 실측하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 선박의 주기관인 디젤엔진의 소음은 기관실내부의 소음에 가장 크게 영향을 미치며, 그 중에서도 터보 과급기 소음의 영향이 가장 컸다. 따라서 기관실 소음레벨을 개선하기 위해서는 터보 과급기 소음레벨의 개선이 가장 효과적이다.
- 2) 실습선의 경우 기관실에 근접하는 학생침실의 소음레벨이 IMO의 제한치를 5dB[A] 이상 초과

하는 경우도 있었다. 따라서 실습선 뿐만 아니라 모든 선박에서 기관실과 근접한 위치에 거주구역을 설치하는 것은 설계단계에서부터 고려해야 한다.

- 3) 컨테이너선과 같이 대형 디젤기관이 탑재된 선박의 경우 기관실 내부의 고소음 환경에서 작업하는 작업자는 청력 보호기구를 착용하지 않으면 청력이 가장 민감한 2~4 kHz의 주파수 성분에서 소음성 난청이 발생할 가능성이 매우 높다.

참고문헌

1. 현명환, 김사수, "SEA법에 의한 선박 고체소음의 전파경로에 대한 해석적 연구", 한국소음진동공학회지, 제6권, 제5호, pp. 575~585, 1996
2. S. Hideyuki, M. Kouhei, and K. Hiroshige, "Prediction of Noise Levels in a High-Speed Boat Using the Statistical Energy Analysis Approach", J. Kansai Soc. N. A., Japan, No. 22, pp. 89~94, 1997
3. 한국선급, 선박진동소음제어지침, 문원문화사, pp. 470~491, 1991
4. ISO 1999, "Acoustics Assessment of Occupational Noise Exposure for Hearing Conservation Purposes", 1975
5. IMO, "Code on Noise Levels on Board Ships", IMO Resolution A. 468 (XII), 1981
6. 竹口順啓, "船内騒音について", 日本船用機關學會誌, Vol. 18, No. 12, pp. 46~49, 1983
7. 振動・騒音研究會, "労働環境における騒音の評価と対策(回轉機械の振動・騒音その原因と対策・解析・調査・診断の第5章)", 經營開發センター出版部, pp. 1172~1183, 1978