

# 함정의 실내소음 허용기준 설정을 위한 청감평가 및 분석

## Psycho-acoustic Evaluation and Analysis of the Indoor Noise in Cabins of a Naval Vessel to Specify its Allowable Limit

홍 현 수\* · 심 상 렬\*\* · 한 형 석†

Hyun-Soo Hong, Sang-Ryul Shim and Hyung-Suk Han

(2011년 4월 22일 접수 ; 2011년 6월 27일 심사완료)

**Key Words** : Noise in a Naval Vessel(함정 소음), Indoor Noise(실내소음), Psycho-acoustic Evaluation(청감평가), Linear Regression(선형회귀)

### ABSTRACT

The noise inside a naval vessel is very important in considering the need for hearing protection, improving the working environment and maintaining good communications for crews living on board a naval vessel. The indoor noise of a ship usually is specified by the A-weighted sound pressure level, but other evaluating parameters are required to reflect human senses more effectively. This paper uses additional noise indices related to room acoustics, such as NR(noise rating), NC(noise criterion), RC(room criterion), PSIL(preferred speech interference level) and loudness level to evaluate the noise inside cabins on a naval vessel. Using these psychological noise indices, allowable limit of noise level in cabins is suggested through psycho-acoustic evaluation for the noise in cabins.

### 1. 서 론

최근 선박의 소음 진동은 신뢰성 중심에서 편의성 중심으로 그 개념이 자동차나 전자와 같은 타 산업과 유사하게 바뀌고 있다. 선박의 실내소음 또한 이러한 편의성의 개념으로 재정의되고 있다. 과거 시끄러울 수밖에 없는 선박의 소음 환경에 대해 승조원들이 참아야 하는 공간으로 인식되었지만 최근 건조되는 선박의 경우 선박에서 근무하는 승조원들의 편의성을 고려한 쾌적한 환경 조성을 목표로 하고 있으며 실내소음 저감을 위해 많은 노력을 기울이고 있다. 함정의 경우 일반 상선들과 달리 많은 승조원들이 오랜 시간동안 근무하는 곳으로 실

내소음에 대한 중요도는 일반 상선보다 훨씬 높다.

부유식 원유 생산·저장·하역 선박(floating production, storage and offloading; FPSO)과 같이 장시간 승조원이 거주하는 선박의 경우 선실소음 기준이 45 dBA로<sup>(1)</sup> 국제 해사 기구(IMO)에서 제시하고 있는 일반상선의 소음기준(60dBA)<sup>(2)</sup> 대비 15dB 낮은 수치로 매우 엄격히 관리되고 있다.

따라서 승조원들의 거주시간이 상대적으로 긴 함정의 경우도 FPSO와 같이 실내소음에 대해 보다 엄격한 기준이 요구되고 있다.

일반적으로 실내소음에 대한 기준은 여러 관련 기관들을 통해 제시되고 있지만 인간의 심리적 반응을 근간으로 한 주관적인 반응을 반영하지 못하고 있으므로 이를 위해 많은 연구들이 진행되고 있다. Ju<sup>(3)</sup>는 건축 설비소음의 규제기준을 제시하기 위해 각 장비들에 대한 청감평가를 실시하고 물리적 평가치와 심리적 반응치에 대한 상관성 분석을 통해 설비소음에 대한 기준을 제시하였다. Chun<sup>(4)</sup>

† 교신저자; 정회원, 국방기술품질원

E-mail : hshan@dtaq.re.kr

Tel : (051)750-2533, Fax : (051)758-3992

\* 국방기술품질원

\*\* 광운대학교 방위산업학과

은 고속철도와 일반철도소음의 성가심에 대해 청감평가를 수행하고 철도소음에 대해 열차 종류별로 다른 소음기준이 필요함을 언급하였다.

이 연구에서는 합정의 선실에 대한 소음 기준 수립을 위해 합정의 격실 소음에 대한 청감평가를 수행하고 소음의 “시끄러움 정도”와 “거슬림 정도”를 평가하였다. 청감평가에 사용된 음원은 합정 내 여러 격실에서 녹음한 소음 데이터를 가지고 이들 음의 크기와 주파수를 변조하여 다양한 음원을 만들어 낸 후 평가단을 구성하여 수행하였다. 이러한 청감평가를 통해 음의 “시끄러움 정도”와 “거슬림 정도”에 대한 기준을 A-보정 음압뿐만 아니라 NR, NC, RC, PSIL 및 loudness level와 같은 음질 평가 파라미터를 사용하여 설정하고자 한다.

## 2. 합정의 실내소음 평가

일반적으로 합정의 선실에 적용되고 있는 소음 기준은 Table 1과 같다. Table 1에서 합정의 선실소음은 A-보정음압 기준으로 60~70 dBA 정도로 관리되고 있음을 알 수 있다.

이러한 기준의 적합성 검토를 위해 선행 연구<sup>6)</sup>에서 함 승조원들을 대상으로 합정 소음 만족도 조사를 수행하여 소음에 대한 만족도를 조사하였으며, 실제 격실의 소음을 측정하여 이들 간의 관계로부터 선실의 소음에 대해 측정오차(2 dB)를 무시할 경우 허용 최대값을 59 dBA(NR 54)로 제안할 수 있었다. 하지만 이러한 설문 조사의 경우 다양한 사람들을 대상으로 진행되었기 때문에 설문 결과에 일관성이 떨어진다는 문제점이 제기되었다. 따라서 이러한 문제점을 극복하여 측정된 소음 데이터와 승조원들의 만족도의 관계에 대한 오차를 줄이기 위해서 청감평가를 수행하였다.

## 3. 청감평가

### 3.1 측정 방법 및 절차

청감평가를 위해 실제 운용하고 있는 합정의 선실소음을 계측하여 녹음시킨 후 B&K Sound Quality Tool Type 7698을 이용하여 진폭 및 주파수에 대해 원음을 변조하여 약 45 dBA에서 75 dBA사이로 총 50개의 음원을 생성하였다. 청감평가를 위한 음원은

Table 1 Noise limit for cabins

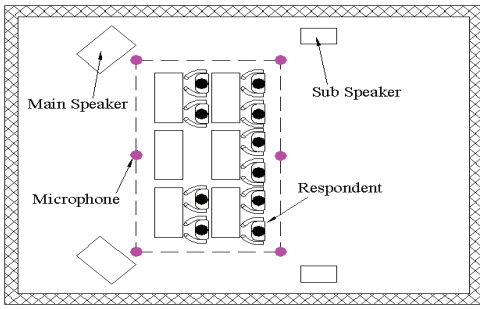
Spec. name	Country	Noise limit of cabins(dBA)
OPNAVINST, 9640.1A (1995)	USA	70
OPNAVINST, 5100.19E (2007)	USA	65
BV045(FOMTD, 1974)	Germany	60 (NR55)
NATO, STANAG 4293 (1990)	-	60 (NR55)
Canadian navy (NAVSHIP, 1970)	Canada	65
IMO(1982)	-	60

실제 운용중인 합정의 순항 속도에서 여러 격실에 대해 마이크로폰(B&K Type 4189)을 가지고 녹음하였다. 마이크 위치는 측정 격실의 중앙부에서 바닥으로부터 1.5 m 떨어진 지점으로 벽체의 반사영향을 최소화하기 위해 벽과의 거리는 1 m 이상 두었다.

실제 운항 합정의 경우 항해 중 주요소음원으로 추진계통의 기계류 전달소음, HVAC(heating, ventilation and air-conditioning), 전자장비 소음 등이 있으며 항해 중에는 이러한 소음이 복합적으로 발생한다. 실내소음에 대한 주요소음원의 기여도는 격실에 따라 다르기 때문에 측정된 음원은 여러 격실에 대해 다양하게 수집되었다. 측정 주파수는 음에 대한 사람의 인지능력을 고려하여 25.6 kHz까지 측정하였으며 측정시간은 16초로 세팅하였다.

청감평가는 Fig. 1과 같이 소강당에서 실시되었으며 총 10명의 평가단이 50개의 음원에 대해 합정 선실을 기준으로 평가하였다. 소강당의 배경소음은 약 30 dBA이며 평가단은 국방기술품질원에 근무하는 연구원으로 30~50세 사이의 남성 8명과 30대 여성 2명으로 구성하였다.

청감평가를 진행하기 전 Fig. 1과 같이 평가자의 자리를 중심으로 총 6개의 마이크로폰(B&K Type 4189)에서 동일 음원에 대해 음압을 측정(B&K Data Acquisition System Model 3560B)하였으며 각 지점에서의 소음편차가  $\pm 0.5\text{dB}$  이내가 되도록 스피커 위치 및 볼륨을 조정하였다. 스피커는 Alto사의 Elvis 12A를 이용하였다. 또한 B&K Sound Quality Tool Type 7698의 파라메트릭 필터(parametric filter)를 사용하여 재생된 음원이 실제 합정에서 측정된 소음과



(a) Schematic diagram of the psycho-acoustic evaluation



(b) Picture of the room for the psycho-acoustic evaluation

Fig. 1 Set-up of the psycho-acoustic evaluation

동일한 크기 및 주파수 특성을 가지도록 조정하였다.

청감평가 시 음원은 총 16초 동안 1번 들려주었으며 이후 16초 동안 각 음원에 대해 평가단이 평가하도록 하였다. 평가 시 재생된 음원은 다시 마이크로폰을 통해 측정하였다. 청감평가 절차는 한 음원의 재생이 끝나면 평가단의 평가가 끝난 다음 연속해서 다음 음원 평가를 수행하도록 구성하였으며 재생순서는 랜덤하게 구성하였다.

청감평가는 재생된 음에 대한 “시끄러운 정도 (loudness)”와 “거슬림 정도(annoyance)”에 대해 평가되었으며 평가 항목은 Table 2와 같다.

Table 2의 질문에 대해 총 10명의 평가자들이 50개의 음원에 대해 평가하였고 각 음원에 대해 평가된 평균값을 음의 “시끄러움 지수(loudness)” 및 “거슬림 지수(annoyance)”로 사용하였다.

### 3.2 청감평가 결과

선행 연구의 경우 실내소음 평가를 불특정 다수의 승조원들을 대상으로 진행하였기 때문에 개인의 성향차이, 청력차이 및 소음에 대한 익숙함 등으로

Table 2 Questionnaires of the survey and expression of the index level(L<sub>i</sub>)

i	Question	Index level(L <sub>i</sub> )				
		5.0	4.0	3.0	2.0	1.0
1	How much loud the given sound is?	Very loud	Loud	Normal	Quiet	Very quiet
2	How much annoyed the given sound is?	Very annoyed	Annoyed	Normal	Not annoyed	Convenient

인해 조사된 소음의 만족도와 음압간의 선형성이 충분치 않았으며 0.7에서 0.8 사이의 R-제곱값을 얻을 수 있었다.

따라서 보다 객관적이며 선형적인 결과를 얻기 위해 평가단을 구성하여 청감평가를 수행하였다.

소음의 평가값은 A-보정 음압 외에 실내소음 평가에 많이 사용되는 NR, NC, RC, PSIL 및 Zwicker의 loudness<sup>(6)</sup>를 사용하였으며 loudness는 B&K사의 Pulse 측정 결과치를 사용하였다.

NR, NC 및 loudness level은 등청감 곡선을 근간으로 만들어진 실내소음 평가 지수로 실내소음 평가에 많이 사용되고 있다. RC의 경우 HVAC의 소음에 대한 만족도가 저주파 대역의 소음과 밀접한 관계가 있다는 것을 반영한 지수로 주로 HVAC의 소음을 평가하는데 있어 널리 사용되어지는 지수이다. 또한 함정의 경우 구두로 인해 명령이 명확하게 전달되어야 하는 곳으로 이러한 특성을 위해 PSIL의 평가가 필요하다.

Fig. 2와 3은 50개 음원에 대한 평가단의 청감 평가 결과 “시끄러움 정도”와 “거슬림 정도”에 대한 각 측정값들(NR, NC, RC, PSIL 및 loudness level) 간의 관계를 보여준다. 여기서 그림 내의 실선은 회귀분석 결과 회귀선이며 은선은 계산된 회귀선에 대한 +/-5% 오차 곡선이다. 여기서 회귀분석은 상용소프트웨어인 Minitab을 이용하였다.

Figs. 2, 3으로부터 선실 소음에 대한 만족도 지수에 대한 소음 평가값들의 R-제곱(R-square)은 Table 3과 같이 최대 0.929로 이들 관계에 선형성이 높음을 확인 할 수 있었다.

Figs. 2, 3의 비교로부터 Fig. 3이 Fig. 2에 비해 선형성이 떨어지는 것을 알 수 있는데 이는 소음에 대한 거슬림의 경우가 소음에 대한 시끄러움에 비해

보다 주관적이기 때문에 판단된다.

각 평가값에 대해 만족도가 “3.0(normal)”이 되는 값을 실내소음의 허용기준으로 가정하면 각 평가값들의 허용기준은 Table 4와 같다.

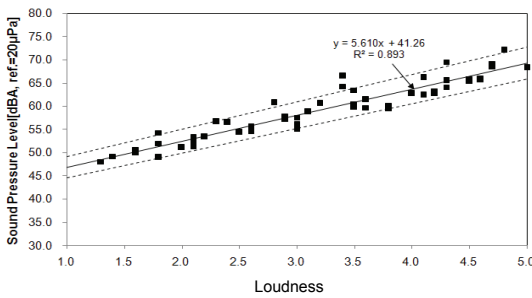
선행연구<sup>5)</sup>의 설문조사에 의해 산정된 기준(59 dBA, NR54)과 청감평가 결과 도출된 기준을 A-보정 음압 기준으로 비교해 보면 그 기준치가 “시끄러움 정도” 기준으로 비교한 결과인 58.1 dBA와 유사하지만 “거슬림 정도”를 기준으로 비교해 보면 그 기준치가 55.8 dBA로 설문조사에 의해 산정된 기준보다 2~3 dB 낮음을 알 수 있었다.

따라서 Table 4로부터 “거슬림 정도” 기준으로 격실 소음 기준을 정할 경우 “시끄러움 정도” 기준에

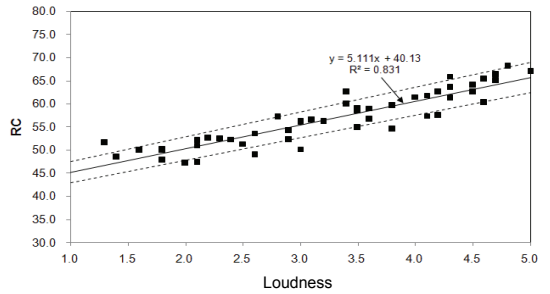
비해 더 엄격해 짐을 예측할 수 있었다.

**Table 3** R-square level for each regression analysis in Figs. 2, 3

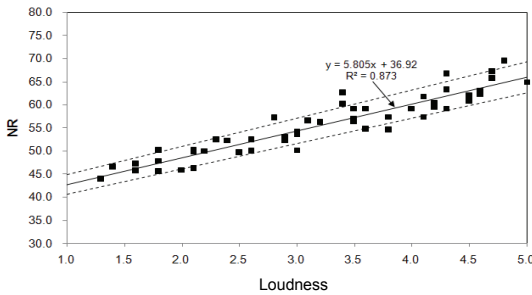
Items Satisfaction level	R-square level	
	Loudness	Annoyance
SPL[dBA]	0.893	0.834
NR	0.873	0.829
NC	0.849	0.825
RC	0.831	0.758
PSIL	0.883	0.800
Loudness level[phon]	0.929	0.866



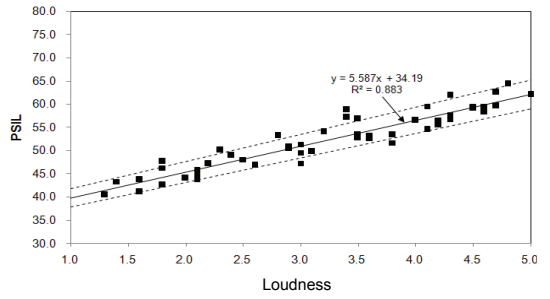
(a) dBA vs. loudness



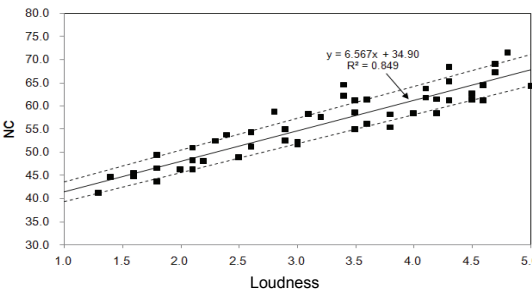
(d) RC vs. loudness



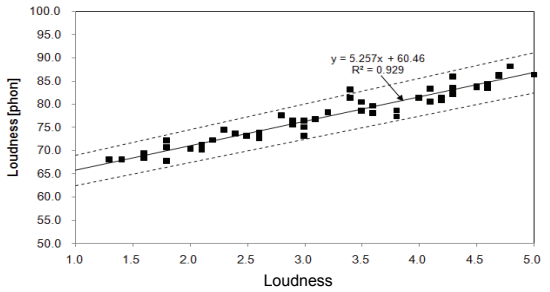
(b) NR vs. loudness



(e) PSIL vs. loudness



(c) NC vs. loudness



(f) Loudness level vs. loudness

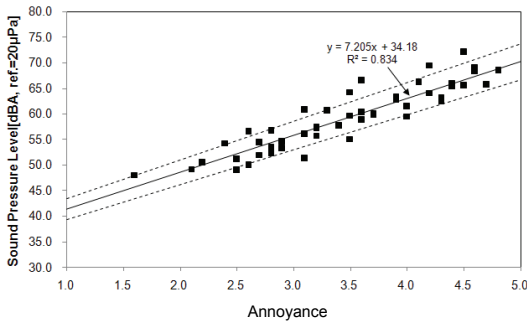
**Fig. 2** Linear regression of the various indices and surveyed loudness(dash line : ±5% for the linear regression curve)

**Table 4** Noise limit for cabins from the psycho-acoustic evaluation

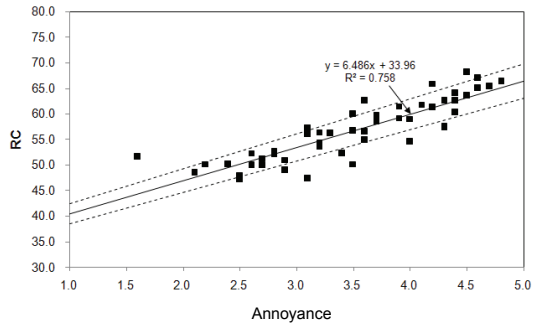
Items	Loudness	Annoyance
Satisfaction level	3.0	3.0
SPL[dBA]	58.1	55.8
NR	54.3	51.9
NC	54.6	51.8
RC	55.5	53.4
PSIL	51.0	48.7
Loudness level[phon]	76.2	74.1

#### 4. 분석

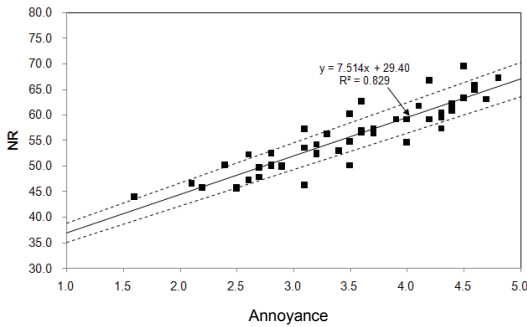
3절에서 언급된 여러 가지 지수를 이용하여 실내 소음을 하나의 인덱스로 관리하기 위해 다중 선형 회귀 분석 수행하였다. 이를 통해 전절에서 다룬 6개의 실내소음 평가 파라미터에 대한 실내소음의 “시끄러움 정도” 및 “거슬림 정도”의 회귀식을 식 (1) 및 (2)와 같이 구할 수 있었으며 이들을 하나의 인덱스로 표현할 수 있었다.



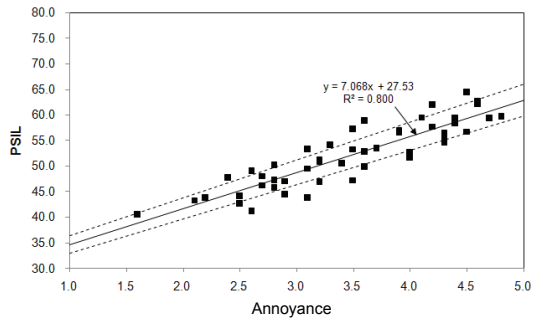
(a) dBA vs. annoyance



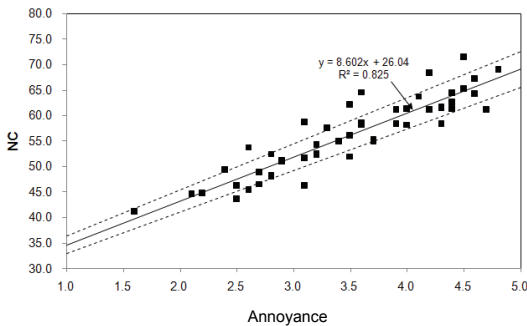
(d) RC vs. annoyance



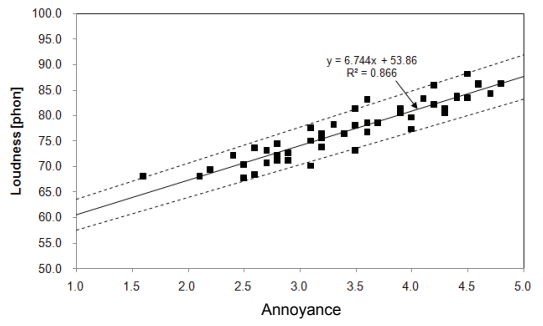
(b) NR vs. annoyance



(e) PSIL vs. annoyance

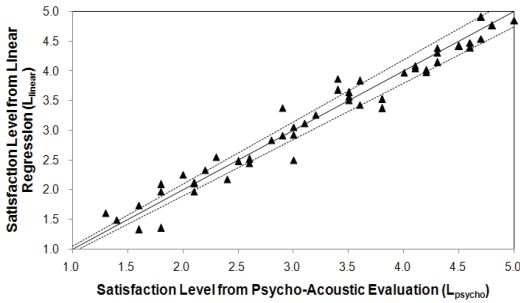


(c) NC vs. annoyance

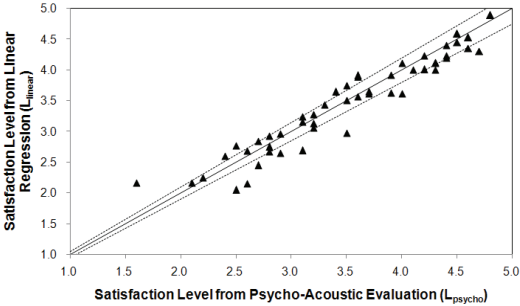


(f) Loudness level vs. annoyance

**Fig. 3** Linear regression of the various indices and surveyed annoyance(dash line: ±5% for the linear regression curve)



(a) Loudness



(b) Annoyance

Fig. 4 Comparison between satisfaction levels from psycho-acoustic evaluation and from the linear regression as given in Eq. (1)(dash line :  $\pm 5\%$  for the  $L_{linear}/L_{psycho}$  curve)

$$L_{loudness} = -18.3 - 0.357dBA - 0.0216NR + 0.0546NC - 0.0452RC + 0.0039\psi L + 0.558Loudness \quad (1)$$

$$L_{annoyance} = -13.4 - 0.31dBA + 0.0411NR + 0.0535NC - 0.0665RC - 0.0495\psi L + 0.469Loudness \quad (2)$$

다중회귀 분석 결과 R-제곱값은 “시끄러움 정도” 및 “거슬림 정도”에 대해 각각 0.954 및 0.907 임을 알 수 있었으며 “거슬림 정도”의 경우 앞서 언급한 바와 같이 “시끄러움 정도”에 비해 보다 주관적이기 때문에 선형성이 떨어지는 것으로 판단된다.

Fig. 4는 50개 음원에 대한 청감평가 결과 “시끄러움 정도” 및 “거슬림 정도”의 소음 만족도와 다중회귀분석 결과인 식 (1)~(2)를 통해 계산된 소음 만족도와와의 관계를 보여준다. Fig. 4로부터 다중 선형 회귀식에 의한 만족도와 실제 만족도의 오차가 대체적으로  $\pm 5\%$ 이내에 들어오고 있음을 알 수 있다.

이로부터 “시끄러움 정도”, “거슬림 정도” 및 여러 가지 소음 평가값을 가지고 산출된 단일 인덱스가 실내소음을 평가하는데 있어 유용할 수 있음을 알 수 있었다. 여기서 오차범위를 더 줄이기 위해서는 보다 많은 실험 데이터 확보가 필요하며 이를 통해 일반적인 회귀식을 도출해 내야 할 것으로 생각된다.

## 5. 결 론

실내소음에 대한 합정 승조원들의 만족도를 고려한 합정의 격실 소음 기준 마련을 위해 청감평가를 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 청감평가 결과 실내소음에 대한 “시끄러움 정도” 관련 소음허용 기준은 A-보정 소음치 58.1 dBA, NR 54.3, NC 54.6, RC 55.5, PSIL 51 dB 및 loudness level 76.2 phon 정도로 도출되었으며 loudness level이 “시끄러움 정도”와 선형성이 가장 높음을 알 수 있었다.

(2) 청감평가 결과 실내소음에 대한 “거슬림 정도” 관련 소음허용 기준은 A-보정 소음치 55.8 dBA, NR 51.9, NC 51.8, RC 53.4, PSIL 48.7 dB 및 loudness level 74.1 phon 정도로 도출되었으며 loudness level이 “거슬림 정도”와 선형성이 가장 높음을 알 수 있었다.

(3) 승조원들을 대상으로 설문조사를 통해 제안된 선행연구의 합정 실내소음 기준과 청감평가 결과 도출된 소음 기준치를 비교해 보았을 때 그 기준치가 “시끄러움 정도” 기준으로 비교해 보면 매우 유사하지만 “거슬림 정도”를 기준으로 비교해 보면 A-보정 음압 기준으로 2~3 dB 높음을 알 수 있었다. 이는 소음에 대한 거슬림의 경우가 소음에 대한 시끄러움에 비해 보다 주관적이기 때문에 판단된다. 따라서 “거슬림 정도”를 기준으로 소음 기준을 설정할 경우 기존의 합정 소음 기준(Table 1, 선실기준 60 dBA)에 비해 더욱 낮게 설정되어 소음 기준이 보다 보수적이 될 수 있음을 알 수 있었다.

(4) 6개 소음 평가 파라미터(dBA, NR, NC, RC, PSIL, loudness level)에 대한 소음 만족도의 다중회귀분석 결과 “시끄러움 정도”와 “거슬림 정도”에



대해 실내소음 회귀식을 도출할 수 있었으며 R-제곱값이 각각 0.954 및 0.907로 높은 선형성을 가짐을 알 수 있었다.

이 연구에서 청감평가는 한정된 인원과 음원을 가지고 수행되었기 때문에 보다 일반적인 소음 기준을 도출하기 위해서는 보다 많은 청감 평가가 이루어져야 할 것으로 판단된다. 또한 배경소음에 대한 영향도, 평가자의 종류에 따른 영향도 등 청감평가에 영향을 미치는 다양한 인자들을 고려한 추가적인 분석이 필요할 것으로 판단된다.

이 연구는 합정 소음에 대한 사람의 주관적인 평가가 반영된 실내소음 기준 도출 방법을 제시함으로써 향후 합정 실내소음 기준 설정에 있어 참고가 될 것으로 기대된다.

## 후 기

이 연구는 국방기술품질원 자체연구로 실시된 것으로 군사보안상 문제가 없음을 확인함.

## 참 고 문 헌

(1) Joo, W. H. and Lee, T. K., 2009, Noise

Estimation and Control for FPSO, Journal of KSNVE, Vol. 19, No. 4, pp. 9~16.

(2) IMO, 1982, Noise Levels on Board Ships.

(3) Ju, D. H., Yun, J. H. and Kim, J. S., 2010, Establishing for Regulation Standards of Architectural Facility Noise Using Psycho-acoustic Experiment, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 20, No. 11, pp. 1001~1008.

(4) Chun, H. J., Kim, D. S., Ko, J. H. and Chang, S. I., 2008, Jury Evaluation Test for Annoyance Response of KTX(Korean Train Express) and Ordinary Train Noise, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 18, No. 3, pp. 335~344.

(5) Han, H. S., Park, M. Y. and Cho, H. G., 2010, Study of the Indoor Noise Limit for Naval Vessels Considering the Satisfaction of the Crew, Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 47, No. 4, pp. 589~597.

(6) International Organization for Standardization, 1975, ISO 532-1975(E) : Acoustic-method for Calculating Loudness Level.