

# 특집

## 선박 및 해양플랜트 소음진동 기준

# 국내 함정의 소음진동 기준

한 형 석\*  
(국방기술품질원)

## 1. 머리말

함정의 소음진동은 함정의 생존성, 승조원들의 거주성, 장비의 신뢰성과 연관한 주요성능으로 국내 해군은 함정의 기본설계에서부터 소음진동 부분을 레이더반사면적, 적외선 신호, 전자기파 간섭, 충격 등을 포함한 특수성능으로 분류하여 관리하고 있다.

스텔스 관점에서 함정의 소음진동은 생존성과 연계된 중요한 성능으로 수중에서 모든 탐지음향신호를 통해 얻어진다는 것으로 고려해볼 때 해군의 대잠전 성능에 있어 그 중요도는 매우 높다. 또한 거주성 관점에서 함정의 소음진동은 함정을 승조원들이 장시간 승선하여 작전을 수행하는 부대의 개념으로 생각해볼 때 승조원들의 근무환경을 결정하는 주요한 인자임을 알 수 있다. 그 외에 장비의 소음진동 변화는 장비의 상태변화에 대한 신호이므로 장비 신뢰성 관점에서 장비의 소음진동 신호는 지속적으로 모니터링 되어야 한다.

따라서 한국 해군은 함정에 대해 함내소음과 진동을 규격화 하여 관리하고 있으며 탑재되는 장비에 대해서도 공기소음과 고체소음으로 구분하여 관리하고 있다.

이 글에서는 한국 해군에서 관리하고 있는 수상함의 소음진동 규격들을 소개함과 동시에 보

다 효과적으로 함정의 소음진동을 관리할 수 있는 방안을 최신규격들을 바탕으로 제안하고자 한다.

## 2. 한국 해군의 함내소음 및 진동 기준

한국 해군은 다음의 조함기준을 가지고 건조함정의 함내소음과 진동을 규격화하여 관리하고 있다.

- 조함 (수)-기-0-001(1) 함정설계/건조 기준 함내소음 적용 기준<sup>(1)</sup>
- 조함 (수)-기-0-002(2) 함정설계/건조 기준 진동 적용 기준<sup>(2)</sup>

### 2.1 함내소음 기준

“조함 (수)-기-0-001(1) 함정설계/건조 기준 함내소음 적용 기준”의 경우 수상함정의 임무수행, 승조원의 안락도, 승조원의 청력보호가 규격의 목적이며 일부 고석정, 근무지원정에 대해서는 규격 변경이 가능하도록 규제되어 있다. 이 규격은 미해군 일반규격(general specification)<sup>(3)</sup>을 기준으로 제정되었으나 소음 수준에 대한 승조원들의 지속적인 저감 요구에 따라 타국 해군의 함내소음 기준을 고려하여 ‘11년 전면 개정, 강화되었다.

표 1은 “조함 (수)-기-0-001(1) 함정설계/건조 기

\* E-mail : hshan@dtqa.re.kr / Tel : (051)750-2563

표 1 격실별 함내소음 기준치

분류	정의	해당격실	기준치dB(A)	
A	A1	명료한 대화가 요구되는 전투임무와 관련된 격실	- 조타실, 사관실 등	62
	A2	명료한 대화가 요구되는 일반근무 격실	- 통신실, 통기실, 방송실 등	65
B	승조원의 안락함이 요구되는 거주/휴게격실	- 침실, 휴게실식당 등	65	
C	특별히 정숙해야 할 격실	- 의무실, 음탐조종실 등	60	
D	높은 소음 수준의 공간으로써 대화의 가능성 보다는 청력 손상 방지가 주로 요구되는 격실	- 기관실(발전기, 주추진 엔진에 차음상자(Enclosure) 설치시) 등	96	
E	대화가 요구되는 고소음 구역	- 통신/레이다 장비실, 자이로실 등	80	
H	소음수준이 청력 손상 한계치를 넘어 소음에 의한 위험이 있는 장소	- 기관실(발전기, 주추진 엔진에 차음상자(Enclosure) 미설치시) 등	규제 없음	

표 2 소음 노출 시간 한계

소음수준 [dB(A)]	노출허용시간/Day
85	8시간
90	4시간
95	2시간
100	1시간
105	30분
110 이상	15분

표 3 청각보호구 착용 기준

소음기준	보호구착용
85~100 dB(A)	귀마개 IL>20 dB
100~110 dB(A)	귀덮개IL>30 dB
110 dB(A)이상	귀마개+귀덮개IL>35 dB

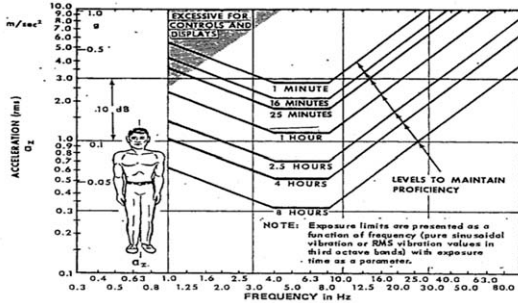
준 함내소음 적용 기준”에서 제시하고 있는 격실별 소음 기준치이며 A 보정 음압레벨(A-weighted sound pressure level)을 가지고 관리하고 있다.

각 격실별 함내소음 외에도 청력손상 방지를 위해 소음수준별로 노출시간 한계치를 표 2와 같이 관리하고 있으며 고 소음 구역에 대해서는 표 3과 같이 귀마개 또는 귀덮개를 사용하도록 명시하고 있다.

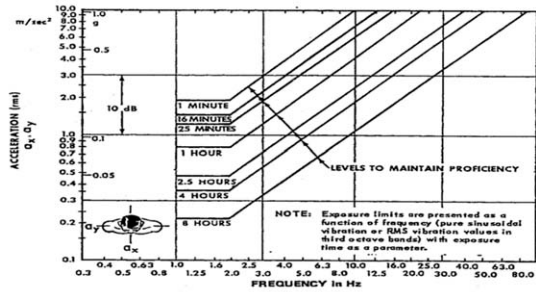
표 1에서 함내소음 평가 시 거주구역인 “B” 구역의 경우 순항속도에서 평가되지만 근무구역인 “A” 구역의 경우 최대속도에서 평가되고 있

다. 실제로 최대속도에서의 운용 시간이 함 전체 수명주기 중 일부이므로(일반적으로 10% 이하) 최대속도보다는 운용시간이 가장 많은 순항속도에서의 소음을 규제하는 것이 보다 효과적일 것으로 판단된다. 실제로 많은 운용함정의 경우 최대속도에서 함의 구조진동, 유체동력학적 소스로 인해 소음이 증가한다. 이러한 소음을 저감하기 위해 과도한 저소음/저진동 설계 요소기술을 적용하는 것이 때로는 비효율적일 뿐만 아니라 소음을 일정수준 이하로 줄이기가 매우 힘든 경우도 발생한다. 따라서 근무구역을 최대속도 기준으로 하는 현 기준 아래에서 기준을 맞추기 위한 비용과 노력은 비효율적이라고 생각되므로 승조원들의 거주성 관점에서는 순항속도에서 소음기준을 정하고 별도로 작전수행 관점에서 최대속도에서의 소음기준을 정하는 방법이 보다 효과적일 것으로 판단된다.

대한민국 해군의 함내소음 기준에는 냉공조 시스템 소음에 대한 별도의 언급이 없다. 하지만 최근 함정의 탑재장비 및 승조원 증가에 따른 열부하 상승으로 인해 냉공조 시스템의 용량이 증가하고 있는 현실을 고려해 볼 때 함내소음을 관리하기 위해 냉공조 시스템의 소음을 별도로 관리할 필요가 있다. 실제로 냉공조 시스템의 풍량은 함내소음과 직결되는 주요 성능이므로 이러한 냉공조기의 흡,토출구 소음에 대한 관리는 함내소음 관점에 있어 매우 중요하다. 하지만 현재 함



(a) 수직방향



(b) 수평방향

그림 1 환경 진동 허용 기준치(ISO 2631-1, 1985)

표 4 타국 해군 및 선급의 환경 진동 기준치

규격	승조원 객실	엔진제어실	기관실	비고
독일 해군	3 mm/s (순항속력)	3 mm/s (순항속력)	5 mm/s (순항속력)	RMS value
	4.5 mm/s (최대속력)	3.5 mm/s (최대속력)	6 mm/s (최대속력)	
프랑스 해군	4 mm/s	5 mm/s	6 mm/s	Peak value
영국 해군	5 mm/s	5 mm/s	6 mm/s	Peak value
DNV comfort class	5 mm/s	6 mm/s	6 mm/s	Peak value
ISO 6954	6 mm/s	8 mm/s	8 mm/s	RMS value

정 건조 시 냉공조기의 경우 장비자체의 소음평가만 이루어지고 있으며 흡·토출구 소음은 관리되고 있지 않고 있다. 따라서 A1, A2, B, C구역 중 주요격실에 사용되는 냉공조기의 경우 입구/출구 음향파워 계측 및 이에 대한 규제가 별도로 필요하다고 판단된다.

## 2.2 진동 기준

함정의 진동 규격인 “조합(수)-기-0-002(2) 함정설계/건조기준 진동 적용 기준”은 수상함에서 발생하는 과도한 진동에 대한 판단여부를 결정하는 것이 규격의 목적이며 계약서에서 별도로 규정할 경우 규격 변경이 가능하도록 명시되어 있다. 이 규격에는 승조원들의 거주성 관점에서의 환경 진동을 포함하여 장비관점에서의 환경 진동, 탑재장비의 환경 내구 진동, 내부가진 진동, 왕복동기관의 진동, 추진축의 비틀림/횡/종진동 및 국부구조물 진동에 대한 기준을 제시하고 있다.

### (1) 승조원에 대한 환경 진동 기준

승조원에 대한 환경 진동 허용 기준은 ISO 2631-1<sup>(4)</sup>을 근간으로 제정되었으며 그림 1과 같이 수평, 수직 진동에 대해 8시간 안락수준 및 능률수준, 4시간 능률수준에 대해 격실을 분류하여 관리하고 있다. 8시간 안락수준 격실은 그림 1의 8시간 능률수준의 3.15배 작은 값으로(-10 dB) 관리하는 격실로 승조원 침실 등 거주공간에 대해 적용되며 8시간 능률수준 격실은 조타실 등 지휘 및 제어공간, 사무공간에 적용된다. 그 외 기관실 등 작업 구역에 대해서는 4시간 능률수준을 적용하도록 규제되어 있다.

한국 해군 조합기준에서 적용하고 있는 ISO 2631-1은 1985년 규격으로 이 규격은 1997년 전면 개정 되었으며 선박의 경우 별도로 ISO 6954<sup>(5)</sup>가 제정되었다. ISO 6954에서는 환경 진동을 승객 거주격실, 승조원 거주격실 및 작업영역으로 나누어 단일 속도값으로 관리하고 있다. 타국 해군의 경우 표 4와 같이 ISO 6954를 기본으로 하여

환경 진동 기준을 적용하고 있으며 그 기준치는 ISO 6954의 상한치보다 작게 관리하고 있음을 알 수 있다. 따라서 이러한 최신 동향에 따라 대한민국 해군 함정의 진동 기준에 대한 최신화가 필요하다.

## (2) 탑재장비의 환경 내구 진동 및 내부가진 진동 기준

탑재장비의 환경 내구 진동 및 내부가진 진동은 MIL-Std 167-1A<sup>(6)</sup> Type I, II에 근간을 두고 있다. 탑재장비의 환경 진동의 경우 일반장비와 마스트 설치 장비로 구분하고 있으며 4~33 Hz 범위 내의 고유주파수에서 2시간동안 표 5의 진폭에 대해 진동시험을 실시하도록 규제하고 있다. 여기서 탄성마운트 설치 장비는 마운트 설치 후 시험하며 고유주파수 탐색 주파수 간격은 1 Hz로 하되 공진이 없을 경우 33 Hz에서 가진하도록 명시되어 있다.

추가적으로 마스트 설치 장비의 보호를 위해서는 마스트에 대한 진동 기준이 별도로 필요하므로 이에 대한 기준 제시가 필요하다. DNV의 “Vibration Class-Section 2(2011)<sup>(7)</sup>”에서는 4~200

Hz 범위 내에서 강철 마스트의 경우 45 mm/s, 알루미늄 마스트의 경우 15 mm/s의 진동 한계치를 제안하고 있다. GL의 “Noise, Vibration and Shock Consideration”에서는 마스트 장비 받침대에서의 진동을 15 mm/s로 제안하고 있으며 DNV의 “Rules for Classification of Ships - Vibration Class”에서는 마스트 장비 받침대에서의 진동을 20 mm/s로 제안하고 있다. 이러한 선급 기준의 경우 다소 보수적이라고 판단되지만 마스트 장착 장비들의 내구한도를 고려하여 적절히 선정되어야만 한다.

탑재장비의 내부가진 진동 기준의 경우 회전장비의 밸런싱을 파악하는 기준으로 강체로터 및 유연로터로 구분해서 기준을 명시하고 있다. 강체로터의 경우 회전체의 회전질량불평형량에 대한 기준으로 속도, 길이, 직경비에 따라 1면 밸런싱 또는 2면 밸런싱을 수행토록 명시하고 있으며 그 기준치는 식 1과 같다.

$$U = \frac{6GW}{N} \quad (1)$$

여기서  $U$ 는 최대허용 질량불평형량(oz-inch),  $W$ 는 회전부분의 중량(lbf),  $N$ 는 장비의 최대 회전수(rpm),  $G$ 는 총 불평형 등급(mm/s)이며  $G$ 의 최대치는  $N < 1000$  rpm일 경우 2.5 mm/s이며  $N > 1000$  rpm 또는 저소음 요구장비의 경우 1.0 mm/s이다.

유연로터는 회전체의 질량불평형량에 의한 회전주파수에서의 진동 레벨에 대한 기준이며, 회전체 베어링부의 반경방향 성분의 회전주파수 성분 변위에 대해 그림 2의 기준치를 적용한다.

한국 해군의 진동 규격 중 탑재장비로는 유일하게 왕복동기관의 진동에 대해 언급이 되고 있으며 ISO 10816-6을 근간으로 진동심각도(진동 속도)로 관리하도록 제시되고 있다. 여기서 진동 상한치는 계약 시 제작사와 협의하여 발주 시 결정하도록 명시되어 있다. 최근 신조함정의 경우 M사의 디젤엔진이 탑재되고 있으며 계약된 대부분의 엔진은 진동심각도 45(45 mm/s)로 계약

표 5 환경 진동 주파수 및 진폭(MIL-Std 167-1A)

General equipment		Mast mounted equipment	
Frequency range (Hz)	Table single amplitude (inch)	Frequency range (Hz)	Table single amplitude (inch)
4 to 15	0.030 ± 0.006	4 to 10	0.100 ± 0.010
16 to 25	0.020 ± 0.004	11 to 15	0.030 ± 0.006
26 to 33	0.010 ± 0.002	16 to 25	0.020 ± 0.004
		26 to 33	0.010 ± 0.002

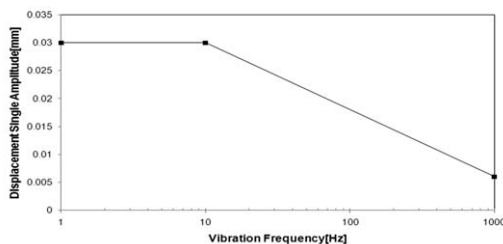


그림 2 유연로터 진동 변위 기준치(MIL-Std-167-1A)

되었다. 만약 계약 시 별도의 기준치를 제시하지 않을 경우 주기관 앞쪽 상단에서 측정한 진동량을 18 mm/s rms 값과 비교 평가할 수 있다고 명시되어 있다.

ISO 10816-6에서는 선박용 왕복동 디젤엔진의 진동심각도를 28~45 mm/s로 제시하고 있으나 그림 3과 같이 디젤엔진 제작사 및 선급이 제시하고 있는 진동 기준치를 비교해 볼 때 45 mm/s 기준은 다소 높은 것으로 판단되며 25~28 mm/s 정도로 관리하는 것이 효과적일 것으로 판단된다.

### (3) 추진축 비틀림 진동 기준

추진축의 비틀림 진동의 경우 MIL-Std 167-2<sup>(8)</sup>, Type III를 따르고 있으며 작동 범위 내에서 축의 진동 응력이 강철축인 경우 인장강도의 1/25보다 작아야 하며 비철금속으로 제작된 축의 경우 비틀림 피로한도의 1/6보다 작도록 규제하고 있다.

추진축의 횡진동의 경우 MIL-Std 167-2, Type IV에 따라서 정격속도 115% 이하에서 공진점을 가지지 않도록 규제하고 있으며 종진동의 경우 트러스트 베어링에서 종방향 변위가 표 6의 기준치를 넘지 않도록 규제하고 있다.

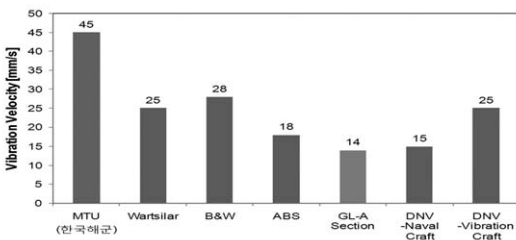


그림 3 여러 디젤엔진 제작사 및 선급의 디젤엔진 진동 기준치

표 6 추진축의 종방향 진동 변위 기준치

주파수 범위(Hz)	진폭(inch)
4~15	0.03 ± 0.006
16~25	0.02 ± 0.004
26~33	0.01 ± 0.002
34~40	0.005 ± 0.001
41~50	0.003-0.001

### (4) 국부진동 기준

국부진동의 경우 5~300 Hz까지 진동변위, 속도, 가속도로 관리하며 5~20 Hz까지는 진동변위로 최대 0.25 mm, 20~100 Hz까지는 진동속도로 최대 30 mm/s, 100~300 Hz까지는 진동 가속도로 최대 20 m/s<sup>2</sup>까지 허용하고 있다. 조합 기준의 국부진동 기준은 저주파영역에서 진동변위가 다소 보수적이라고 판단되므로 타 선급 기준을 적용하여 재검토가 필요할 것으로 판단된다. 참고로 선체 국부진동에 대한 기준 중 ABS의 "Guidance Notes On Ship Vibration"<sup>(9)</sup>에서는 각 방향(vertical, transverse 또는 longitudinal)에 대해 1 Hz~5 Hz 대역에서 1.0 mm peak 이하의 진동변위로 관리되기를 추천하며, 2.0 mm peak이상의 진동변위에서는 구조파괴 위험 확률이 있다고 명시하고 있다. 또한 5 Hz~100 Hz 대역에서 30 mm/s peak 이하의 진동속도로 관리되기를 추천하며, 60 mm/s peak이상의 진동속도에서는 구조파괴 위험 확률이 있다고 명시하고 있다.

## 3. 한국 해군의 탑재장비 공기소음/고체소음 기준

한국 해군의 조합 기준에서 함정 탑재장비의 공기소음과 고체소음에 대해 다음의 규격을 적용한다.

- 조합(수)-기-0-017(0) 함정설계/건조 기준 탑재장비 공기소음 기준<sup>(10)</sup>
- 조합(수)-기-0-018(0) 함정설계/건조 기준 탑재장비 고체소음 기준<sup>(11)</sup>

공기소음 기준의 경우 MIL-Std 740-1<sup>(12)</sup>을 근간으로 만들어진 규격이며 MIL-Std 740-1은 미해군 함내소음 기준 중 하나인 OPNAVINST 9640.1<sup>(13)</sup>을 만족할 수 있도록 장비의 소음을 규제하기 위해 만들어진 기준이다. 이 기준에서는 표 7의 A12, A3, B, C, D, E의 구역에 탑재되는 장비에 대해 31.5 Hz에서 8 kHz까지 1/1 옥타브 기준을 그림 4와 같이 적용하고 있다. 공기소음의 평가는 그림 5와 같이 장비로부터 1 m 떨어진 지점에서

표 7 탑재장비 소음 등급 구역 정의

Grade	Expression
A3	직접 의사소통에 문제가 없는 구역 2 m 내에서 반복 없이 의사소통 가능 구간
A12	직접 의사소통에 문제가 없는 구역 2 m 밖에서 반복 없이 의사소통 가능 구간
B	개인적 안락함이 보장되는 구간
C	Sonar room, 의무실, 도서관 등 낮은 소음이 요구 되는 구역
D	청력에 손상을 피해야 하는 구간으로 명료한 의사소통이 요구되지 않는 구역
E	소음이 높은 구역으로 큰 소리로 의사소통이 가능하며 확정 및 전화가 가능한 지역

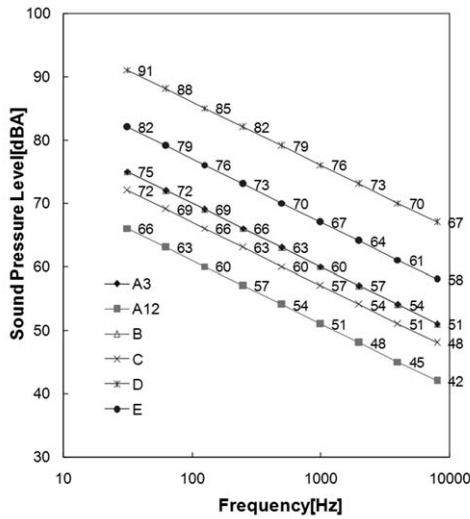


그림 4 탑재장비 소음 기준(MIL-Std 740-1)

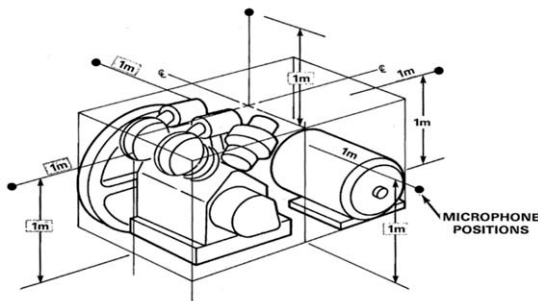


그림 5 마이크로폰 측정 위치(소형장비)

의 음압으로 평가하며 모든 측정점에서의 음압이 그림 4의 기준치를 만족해야만 한다.

탑재장비의 고체소음은 MIL-Std 740-2<sup>(14)</sup>를 근간으로 만들어진 규격으로 탑재장비를 표 8과 같

표 8 고체소음 장비 분류(MIL-Std 740-2)

Type	Expression
Type 1	Compressor, internal combustion engines
Type 2	Pump, valve, life support equipment
Type 3	Other than type 1&2
Type 4	Vane-axial fan

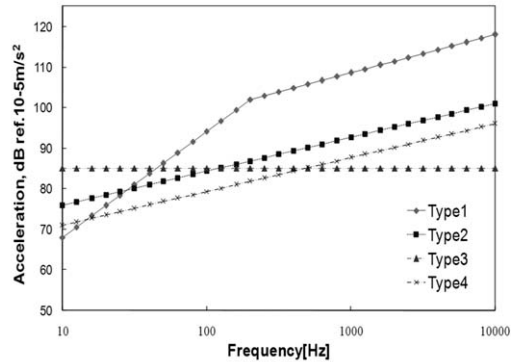


그림 6 탑재장비의 고체소음 기준(MIL-Std 740-2)

이 Type 1~4 로 구분하여 그림 6과 같이 1/3 옥타브 가속도 레벨로 10 Hz~10 kHz까지의 기준치로 관리하고 있다.

공기소음과 고체소음 모두 배경소음을 장비 소음 대비 10 dB 이하로 관리하도록 되어 있으며 공기소음의 경우 측정면 1 m이내에 반사면이 없도록 권고하고 있다. MIL-Std 740B의 경우 ISO 3744<sup>(15)</sup>와 동일하게 배경소음 및 잔향시간 등에 따른 보정을 적용하게 되어 있으나 MIL-740-1에

서는 이러한 보정치는 적용되지 않고 있으며 단지 배경소음과 반사면이 없는 곳에서 측정하도록 권고하고 있다. 공기소음과 고체소음 평가 시 받침대에 의한 영향도를 최소화하기 위해 받침대의 공진점이 25 Hz 이상이 되어야만 하며 가진 주파수  $\pm 40\%$  내에 공진점을 가지지 않도록 명시하고 있다. 또한 탄성마운트의 경우 장비의 공진주파수가 11 Hz 이하가 되도록 제시하고 있으며 시험 시 탑재상태와 동일한 조건의 마운트를 사용하도록 명시되어 있다.

#### 4 맺음말

함정의 소음진동을 효과적으로 관리하고 저감하기 위해서 한국 해군은 함정 및 탑재장비에 대해 소음진동 성능을 규격화 하고 이를 특수성능으로 분류하여 엄밀히 관리하고 있다. 최근 스텔스 성능 향상뿐만 아니라 승조원들의 거주성, 장비 신뢰성 관점에서 해군은 지속적으로 소음진동의 수준을 저감하도록 요구하고 있다. 또한 국외 선급 및 타 해군의 경우 최신 기준들을 반영하여 자국 해군의 소음진동 기준을 개정하고 강화하는 추세이므로 한국 해군 또한 이러한 사항을 반영하여 기준 개정을 검토하고 반영하고 있다.

하지만 현재 건조 환경 아래에서는 함정의 소음진동 기준에 대해 하나의 격실이라도 불만족할 경우 함의 인도에 영향을 미칠 뿐만 아니라 중량증가 등 설계상 문제 발생으로 인해 조선소들은 이러한 소음진동 저감에 대해 어려움을 호소하고 있는 실정이다. 따라서 소음진동 기준에 대한 강화와 더불어 조선소가 이러한 소음저감에 대해 유연하게 대처할 수 있는 방안이 마련되어야 하며 상호 충분한 협의를 통해 효과적인 소음진동 관리 방안이 이루어져야 할 것이다. **KSNVE**

#### 참고문헌

(1) 대한민국해군, 2011, 조함(수)-기-0-001(1): 함정 설계/건조 기준 - 함내소음 적용 기준.

(2) 대한민국해군, 2009, 조함(수)-기-0-002(2): 함정 설계/건조 기준 - 진동 적용 기준.  
 (3) US Navy, 1955, General Specification for Ships of US Navy Sec.073.  
 (4) ISO, 1985, ISO-2631-1:Evaluation of Human Exposure to Whole-body Vibration.  
 (5) ISO, 2000, ISO-6954:Guidelines for the Measurement, Reporting and Evaluation of Vibration with Regard to Habitability on Passenger and Merchant Ships.  
 (6) DoD, 2005, MIL-Std 167-1A: Mechanical Vibrations of Shipboard Equipment(Type I. Environmental and Type II. Internally Excited).  
 (7) DNV, 2011, Rule for Classification of Ships: Part 4, Chapter 12, Vibration Class.  
 (8) DoD, 1974, MIL-Std 167-2: Mechanical Vibrations of Shipboard Equipment (Reciprocating Machinery and Propulsion System and Shafting) Type III, IV and V.  
 (9) ABS, 2006, Guidance Notes On Ship Vibration.  
 (10) 대한민국해군, 2009, 조함(수)-기-0-017(0): 함정 설계/건조 기준 - 탑재장비 공기소음 기준.  
 (11) 대한민국해군, 2009, 조함(수)-기-0-018(0): 함정 설계/건조 기준 - 탑재장비 고체소음 기준.  
 (12) DoD, 1986, MIL-Std 740-1: Airborne Sound Measurements and Acceptance Criteria of Shipboard Equipment.  
 (13) OPNAVINST, 1995, 9640.1A: Shipboard Habitability Design Criteria Manual.  
 (14) DoD, 1986, MIL-Std 740-2: Structureborne Vibratory Acceleration Measurements and Acceptance Criteria of Shipboard Equipment.  
 (15) ISO, 1981, ISO-3744: Acoustics-Determination of Sound Power Levels of Noise Source - Engineering Methods for Free-field Conditions Over a Reflecting Plane.