http://dx.doi.org/10.5050/KSNVE.2012.22.2.139

함승조원의 거주성 향상을 위한 함정 환경진동기준 분석고찰

A Study on the Standard of Navy Vessel's Environmental Vibration for Improvement of the Habitability of Crew

박 미 유†·조 흥 기*·한 형 석*·이 경 현*

Mi-You Park, Heung-Gi Cho, Hyung-Suk Han and Kyoung-Hyun Lee

(2011년 10월 21일 접수 ; 2012년 1월 10일 심사완료)

Key Words : Environmental Vibration(환경진동), Habitability(거주성), Lumbar Pain(요통)

ABSTRACT

The shipboard working environment of navy vessel is very inferior to the ground working environment. For this reason, the crew of a navy vessel suffer from an occupational disease such as lumbar pain, hearing loss, etc. Although standard for navy vessel's environmental vibration is applied, the criterion of the environmental vibration is too high. So it doesn't help to improve habitability of crew. In this study, for improving its habitability of crew, the current vibration level of navy vessel was examined and the standard of navy vessel's environmental vibration was investigated.

1. 서 론

일반적으로 함정은 한정된 공간 안에 추진체계와 전투체계 등이 위치하기 때문에 승조원들을 위한 근무 및 거주 환경 공간 자체가 대단히 협소하며 높은 수준의 소음 및 진동을 유발하는 소음/진동원 근처에 위치하고 있는 경우가 많다. 특히 일반 승조원들의 거주 및 근무 격실의 경우 주로 주갑판 하부에 위치하고 있으며, 함미의 프로펠러 근처에 거주 격실이 위치하고 있는 경우도 있을 정도이다.

따라서 승조원들의 함정 근무/거주환경은 육상의 근무/거주환경에 비하여 매우 열악하다. 이런 이유로 생활수준 향상에 따라 저소음/저진동의 쾌적한 환경에 익숙한 입대 장병들의 승조원 지원 기피 경향이 높아지고 있으며 기존 승조원들 또한 요통이나 난청과 같은 직업병을 호소하고 있는 실정이다.

이에 해군에서는 함정의 건조 시 만족해야 할 기준[1]을 만들어 적용하고 있으나 이 기준은 상당히 오래된 규격[2]을 바탕으로 제정되어 있어 함 승조원들의 근무/주거 환경을 개선시키는데 한계를 보이고 있는 상황이다.

이에 이 연구에서는 함 승조원들의 근무/주거 환경을 개선하고자 진행 중인 연구의 일환으로 현재 함정의 설계/건조 시 적용되고 있는 환경진동 기준[1]을 고찰해 보았다. 함정 및 상선에 적용하고 있는 국제 규격에 대하여 살펴보고 타국 해군의 국가별 기준에 대하여도 검토해 보았으며, 함정의 건조 시 측정되었던 환경진동 데이터를 이용하여 현재 우리 해군에서 운용하고 있는 함의 환경진동 수준을 규격과 비교 분석하여 보았다. 이러한 분석을 토대로 현재 우리나라 함의 환경진동 수준을 파악하고 새로운 기준을 적용하였을 때의 문제점과 이에 대한 개선안에 대하여 고찰해 보고자 한다.

† 교신저자; 정회원, 국방기술품질원
E-mail : hanhim@dtaq.re.kr
Tel : (051)750-2535, Fax : (051)758-3992

* 정회원, 국방기술품질원

이 논문의 일부는 2011년 추계 소음진동 학술대회에서 발표되었음.

2. 함정의 환경 진동 기준

2.1 함정의 설계 진동 적용 기준

현재 해군에서 적용하고 있는 함정의 설계/진동 건조 기준인 '진동 적용 기준(criteria for ship vibration)'[(1)]에는 승조원을 위한 환경기준 뿐 아니라 탑재장비에 대한 허용기준과 왕복동 기관 및 추진축계에 대한 허용기준을 포함하고 있는데 이 논문에서는 이러한 기준 중에서 승조원을 위한 환경진동 기준만을 고려의 대상으로 삼고자 한다. 이 환경진동 기준은 ISO 2631-1[(2)]을 바탕으로 삼고 있는데, 이 ISO 규정은 1985년 제정된 이래 1997년에 대대적인 개정이 이루어졌고, 2010년도에 부분적인 개정이 이루어졌다. 하지만 현재 해군에서 적용하고 있는 기준은 1985년도 판에 기초하여 제정되었다.

ISO 2631-1(1985)은 1/3옥타브 밴드 중심주파수 대역 1~80 Hz 범위에서 x(정면방향), y(왼쪽방향), z(윗방향) 방향에 대하여 진동에 노출되는 시간에 따라 평가기준을 정하고 있으며, Figs. 1, 2와 같이 노출한계(exposure limit boundary), 피로능률 감퇴한계(fatigue-decreased proficiency boundary) 및 안락성 감퇴한계(reduced comfort boundary)의 3가지로 분류하여 평가를 진행하고 있다. 이중 노출한계는 피로능률 감퇴한계의 가속도값에 2를 곱한 값이거나 6 dB 높은 값으로, 안락성 감퇴한계는 감퇴한계의 가속도값을 3.15로 나눈 값이거나 10 dB 낮은 값으로 설정되어 있다.

이에 비해 개정된 ISO 2631-1(1997/2010)은 인체의 건강성(health)과 안락성(comfort) 및 인지성(perception)의 두 가지 관점에서 주파수 가중함수가 적용된 단일수치 실효값으로 평가하며, 주파수 범위도 1985년도 버전과 다르게 건강성, 안락성, 인지성의 경우 0.5~80 Hz 범위를 적용하고 멀미(motion sickness)의 경우 0.1~0.5 Hz 범위를 적용한다.

이 규격은 자동차 사고와 같이 극단적으로 큰 단일 충격이 가해지는 경우의 평가에는 적용하지 않으며, 2010년도 버전에서는 주파수 가중치가 약간 변하는 등 부분적인 개정이 이루어졌다.

ISO 2631-1(1997/2010)에서는 건강성, 안락성 관점에서의 평가기준을 제시하고 있으나 참고치의 성격이 강하며, 인지성 관점에서의 평가는 최대 가속도가 0.015 m/s^{2}일 때 건강한 사람의 50 %가 진동을 감지할 수 있다고, 다소 애매하게 제시하고 있다. 따라서 함정의 인도를 위한 합부 판정 기준을 제시하는 해군의 설계/건조 기준으로 1997년도 판을 적용하지 못하고 그 기준이 명확한 1985년도 판을 바탕으로 설계/건조 기준이 적용되게 되었다.

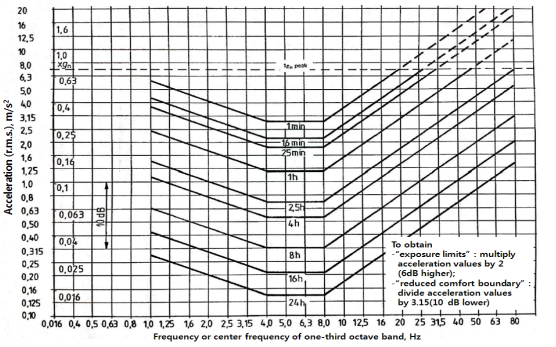

Fig. 1 Longitudinal acceleration limits as a function of frequency and exposure time "Fatigue-deceased proficiency boundary"

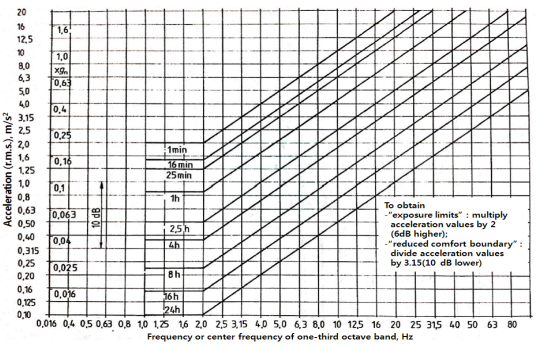

Fig. 2 Transverse acceleration limits as a function of frequency and exposure time "Fatigue-deceased proficiency boundary"

2.2 상선의 설계 진동 적용 기준

앞 절에서 언급된 ISO 2631-1은 함정만을 위한 기준이 아니라 일반적인 기계적 진동 및 충격에 대한 인체의 반응에 대한 기준으로서 함정을 포함한 선박에는 ISO 6954[(3)]를 적용해 오고 있다.

이 규격은 선박에서의 거주성을 평가하기 위한 규격으로서 주파수 가중함수가 적용된 단일수치 실효값으로 평가하며, 주파수 범위는 1~80 Hz 범위를

Table 1 Overall frequency-weighted r.m.s. values from 1 Hz to 80 Hz given as guidelines for the habitability of different areas on a ship[ISO 6954(2000)]

	Area classification					
	A		B		C	
	mm/s^2	mm/s	mm/s^2	mm/s	mm/s^2	mm/s
Values above which adverse comments are probable	143	4	214	6	286	8
Values below which adverse comments are not probable	71.5	2	107	3	143	4

NOTE : The zone between upper and lower values reflects the shipboard vibration environment commonly experienced and accepted.

적용한다. 선박의 거주구역은 승객용 객실(area A), 승조원용 객실(area B), 작업구역(area C)의 세 등급으로 나누어져 있으며 Table 1과 같이 각각의 진동허용치가 상한기준 및 하한기준으로 나눠져 있다. 측정결과의 단일수치 실효값을 위한 주파수 보정 곡선은 ISO 2631-1(1997)의 보정 곡선과 같으며 속도 값 역시 비슷한 절차를 거치게 되고 산출된 3 방향의 값 중 가장 큰 가속도 값을 갖고 거주성을 평가하게 된다.

일반적으로 군함이 아닌 상선에는 ISO 6954 규격을 적용하고 있으며, 규격이 제정된 1984년도 판에서 개정된 2000년도 판을 적용하는 선박이 늘어나고 있는 추세이다.

이 외에도 유럽연합을 구성하는 27개 국가들이 의무적으로(mandatory) 지켜야 하는 'Directive 2002/44/EC'이 있으며, 현재 영국의 'The Red Ensign Group'에 속한 FLAG 중 Gibraltar FLAG는 해당 FLAG에 등록하는 모든 선박들이 따를 것을 명시한 영국의 MCA(Maritime and Coastguard Agency)에서 제정된 UK-MCA CODE와 노르웨이 선급에서 적용한 DNV Comfort Class가 있다.

DNV Comfort Class는 일반적으로 선주의 요청에 따라 이 규격을 적용하고 승객 거주구역, 승조원 거주구역 및 작업공간, 고속선 및 경량선, 요트의 소유주 및 게스트 공간 등에 대하여 각각 crn(Comfort Rating Number)-1,2,3의 세등급으로 분류하여 기준을 설정하고 있다. 일반적으로 COMF-V[3]가 일반 상선에 적용되는 수준이고 COMF-V[1]은 크루즈선 등에 적용되는 수준이다.

2.3 타국 해군의 환경 진동 기준

이번 절에서는 타국 해군에서 적용하고 있는 환경진동 기준에 대해서 고찰해 보고자 한다. 우리나라보다 앞서 함정의 환경진동에 대해 연구해 온 독일, 프랑스, 영국 해군의 환경진동 적용 기준에 대해서 알아보고 우리나라의 기준과 비교를 해보고자 한다.

Table 2 Vibration limits for german navy

Classification	Limits of vibration level(mm/s)		
	Location	Cruising speed	Max. speed
Working space	Machinery spaces (not continuously manned)	5.0	6.0
	Machinery spaces (continuously manned)	4.0	6.0
Control stations	Electrical control room	3.0	4.5
	Bridge	3.0	3.5
	Combat information center	2.5	3.5
Accommo-dation	Machinery control center	3.0	3.5
	Ward room	2.5	4.0
	Crew room	3.0	4.5
	Galley	3.0	4.5
Outdoor space	Offices	3.0	4.5
	Hospital	2.5	3.5
	Workshops	4.0	5.0
	Recreational spaces	3.5	4.5

(1) 독일 해군의 환경진동 기준

독일해군은 GL 2004 규격[4]에 바탕을 두고 설정되어 있는데, Table 2에서와 같이 격실을 Working space, Control space, Accommodation, Outdoor space로 구분하여 순항속력과 최고속력에서의 속도를 기준으로 환경진동 기준을 설정하고 있다. 기본적으로 ISO 6954(2000)에 기초를 두고 설정되어 있으며 순항속력을 기준으로 봤을 때 ISO 6954와 비슷한 수준이라 할 수 있다.

(2) 프랑스 해군의 환경진동 기준

프랑스 해군은 Table 3에서와 같이 수직축 성분과

Table 3 Vibration limits for french navy

Type of space	Limits of vibration level			
	Vertical		Horizontal	
	f ≤ 5 Hz	5 Hz < f < 100 Hz	f ≤ 2.5 Hz	2.5 Hz < f < 100 Hz
Bridge	157 mm/s^2	5 mm/s	79 mm/s^2	5 mm/s
Operational rooms	125 mm/s^2	4 mm/s	63 mm/s^2	4 mm/s
Cabins	125 mm/s^2	4 mm/s	63 mm/s^2	4 mm/s
Offices	125 mm/s^2	4 mm/s	63 mm/s^2	4 mm/s
Recreational spaces	125 mm/s^2	4 mm/s	63 mm/s^2	4 mm/s
Mess rooms	125 mm/s^2	4 mm/s	63 mm/s^2	4 mm/s
Hospital	125 mm/s^2	4 mm/s	63 mm/s^2	4 mm/s
Galleys	183 mm/s^2	6 mm/s	94 mm/s^2	6 mm/s
Workshops	188 mm/s^2	6 mm/s	94 mm/s^2	6 mm/s
Engine control room	157 mm/s^2	5 mm/s	79 mm/s^2	5 mm/s

Table 4 Vibration limits for the british navy

Classifi-cation	Limits of vibration level Ships greater than 200 tones lightship		
	Location	Peak acc. mm/s^2	Peak Vel. mm/s
Accommo-dation	Sleeping cabins, hospitals	157	5
	Day cabins, offices, conference rooms, mess rooms	189	6
	Open deck areas	189	6
	Alleyways, bathrooms, lockers	189	6
Work areas	Machinery spaces	189	6
	Machinery control rooms	157	5
	Bridge wings	157	5
	Command, control and communication compartments	189	6

수평축 성분으로 나누고 주파수 범위를 5 Hz 이하와 5~100 Hz로 구분하여 환경진동 기준을 설정하고 있다. 이런 이유로 직접적인 비교는 힘들지만 전반적으로는 ISO 6954보다 강화되어 있다고 볼 수 있다.

(3) 영국 해군의 환경진동 기준

프랑스 해군은 LR 2006 규격[5]에 바탕을 두고 설정되어 있는데, Table 4에서와 같이 격실을 Accommodation, Work areas로 구분하여 최대값으로 가속도, 속도 성분으로 환경진동 기준을 설정하고 있다. 독일 해군 기준과 마찬가지로 기본적으로 ISO 6954(2000)에 기초를 두고 설정되어 있는데 그 기준은 노르웨이 선급에서 적용한 DNV Comfort Class의 상선 적용 기준과 동일하다.

3. 함정의 환경진동 수준 분석

3.1 환경진동 수준 분석의 개요

이번 절에서는 현재 운용중인 해군 함정의 환경진동 수준을 알아보고, 일반 상선에 적용중인 ISO 6954의 기준을 적용하였을 경우 그 기준을 만족하는지에 대하여 검토해 보고자 하였다. 그동안 함정의 인수시운전 시 계측한 값과 전투근무지원정의 계측 값을 ISO 6954 규격에 따라 단일수치 실효값으로 계산하였다. Figs. 3~9에서의 가로방향축은 각 함정별로 계측된 선실을 무작위로 정렬해 놓은 것이며, 그래프 상 붉은 선 왼쪽은 승조원들의 객실(승조원 침실, 휴게실 등)이고 오른쪽은 작업용 객실이다. 또한 비교를 위하여 ISO 6954의 각 거주구역별 하한치 등을 같이 도시하였다. 참고로 그래프에서 x방향은 선수선미(앞뒤)방향, y방향은 좌우방향, z방향은 상하방향을 의미한다.

3.2 분석 결과

(1) K○○-II 급 함정

Figs. 3, 4는 각각 K○○-II급 △,△번함의 환경진동 수준을 나타낸 것이다. 순항속력과 최대속력인 경우에 대하여 도시되었으며, 두 함정의 환경진동 수준은 그래프에서와 같이 비슷하였고 함 최대 속력에서도 모든 격실에서 ISO 6954의 승객용 객실 하한치도 넘지 않게 만족하고 있음을 알 수 있었다.

(2) K○○-III 급 함정

Figs. 5, 6은 각각 K○○-III급 △,△번함의 환경진동 수준을 나타낸 것이다. 그래프에서와 같이 두 함정의 환경진동 수준은 서로 비슷하였으며, 승조원용 객실과 작업용 객실 간 y, z방향 진동수준의 확연한 차이는 측정 속력 조건에서 비롯된 것으로 승조원용 객실은 순항속력에서 작업용 객실은 최고속력에서 계측되었다. K○○-II급과 마찬가지로 ISO 6954 규격을 적용할 경우 대부분의 격실에서 승객용

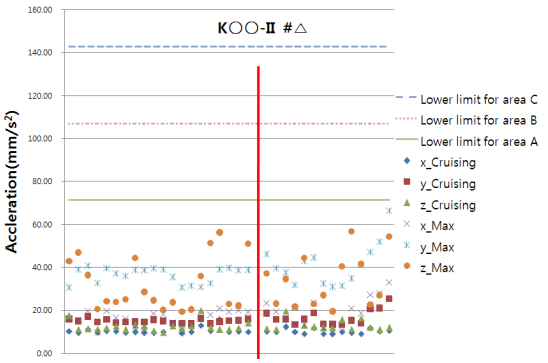

Fig. 3 Environmental vibration result of K○○-II #△

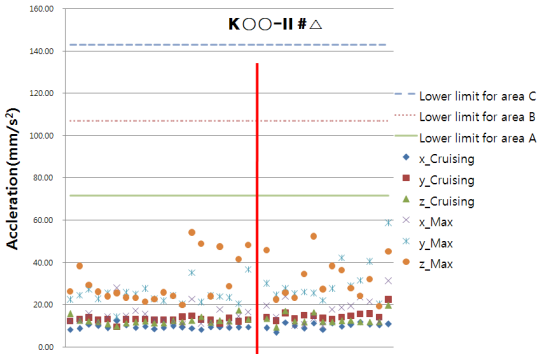

Fig. 4 Environmental vibration result of K○○-II #△

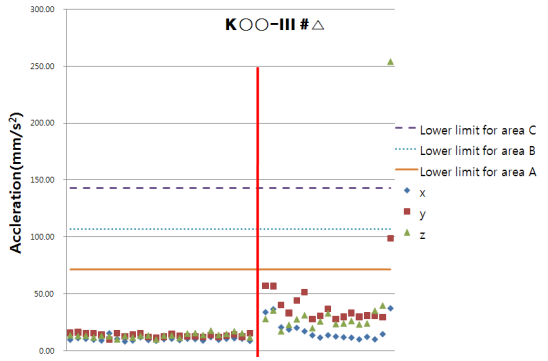

Fig. 5 Environmental vibration result of K○○-III #△

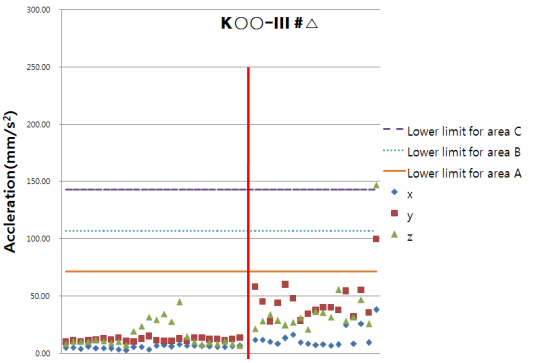

Fig. 6 Environmental vibration result of K○○-III #△

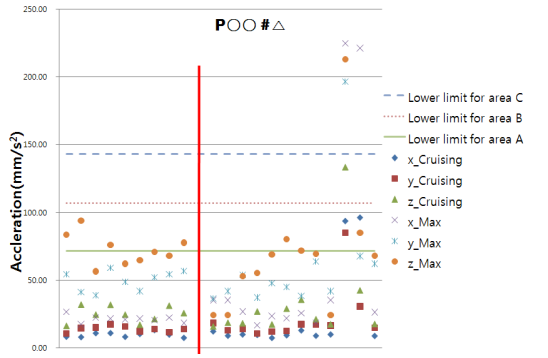

Fig. 7 Environmental vibration result of P○○ #△

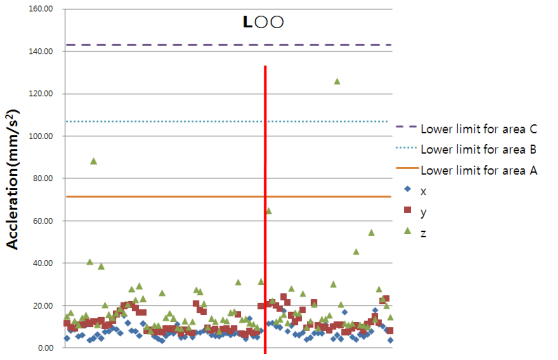

Fig. 8 Environmental vibration result of L○○

객실 하한치도 만족하고 있었으나 타기실(후타실)의 z방향 진동이 작업구역 하한치를 초과하고 있음을 알 수 있었다. 하지만 이 경우에도 작업구역 상한치는 만족하고 있었다.

(3) 유도탄고속함

Fig. 7은 유도탄고속함(P○○) △번함의 환경진동 수준을 나타낸 것이다. 순항속력과 최대속력인 경우에 대하여 도시되었으며, 최대속력에서 디젤엔진실의 x, y, z 세 방향, 개스터빈실의 x방향 진동이 ISO 6954 작업구역 하한치를 초과하고 있었다. 하지만 이 경우에도 작업구역 상한치는 만족하고 있었다.

(4) 대형수송함

Fig. 8은 대형수송함(L○○)의 환경진동 수준을 나타낸 것이다. 그래프에서 알 수 있듯이 대부분의 격실에서 ISO 6954 승객용객실 하한치를 만족하고 있었으나 전투정보실의 z방향 진동이 약간 높게 나타났다. 하지만 이 경우에도 앞선 경우와 마찬가지로 작업구역 하한치는 만족하고 있었다.

(5) 전투근무지원정

지난 연구[7]의 연장으로 전투근무지원정 객실의 환경진동 값을 측정하였다. Table 5에 측정 대상 함정과 그 결과를 정리하였는데, 측정 당시의 상황 상 표에 나와 있는 객실과 속력, 방향에서만 측정을 할 수 있었다. 지난 연구[7]에 근무주정을 추가하였다. 참고로 근무주정은 Fig. 9와 같이 선체가 FRP로 이루어진 쌍동선으로서 인원 수송이나 기타 업무용으로 사용되는 데 주로 군 고위관계자의 수송에 많이 쓰인다.

Fig. 9 Service boat(SB)

측정은 ISO 6954(2000)에 정의되어 있는 방향 및 방법에 따라 실시하였으며 가중함수가 반영된 단일수치 실효값 결과가 정리되어 있다. 측정 결과 항만수송정(yard ferry)의 z방향, 항만경비정(yard utility boat)의 y, z방향 환경진동 수준이 규격의 상한치를 초과하고 있었고, 항만수송정 y방향, 항만경비정 z방향 환경진동 수준은 하한치를 초과하고 있었다. 이는 두 함정의 격실 배치가 특히 큰 영향을 미친 것으로, 다른 함정과 달리 선체 크기가 더욱 작은 두 함정의 특성상 승조원침실 근처에 기관실이 위치해 있기 때문인 것으로 판단된다. 또한 빠른 속력을 요구하는 함 특성을 충족시키기 위해 출력이 높은 엔진을 사용하는 것도 큰 이유가 되는 것으로 판단된다. 하지만 전투근무지원정의 계약 특성상 소음/진동이 함 인도에 영향을 주지는 않기에 이에 대한 개선은 이루어지지 않고 있는 상황이다.

4. 함정의 환경진동 규격에 대한 고찰

그동안 환경 진동이 건강에 미치는 영향에 대한 연구는 대부분 가장 문제를 일으키는 요통이나 디스크, 척추계통의 조기 퇴행과 관련된 근골격계 계통에 대한 것이었다. 물론 이러한 요통 등을 일으키는 원인은 진동뿐만이 아니라 대상자의 평소 자세, 운동부족, 기왕력 등이 복합적으로 작용을 하기 때문에 환경진동에 의한 요통의 영향만을 알아내기는 힘들지만 이에 대한 고찰[6]을 참고해 보면 트랙터

Table 5 Measured vibration data of naval combat service support boat

Ship classification	Room classification	ISO 6954(2000) rms value(mm/s^2)			Remark
		x	y	z	
Yard ferry	Crew room	78.36	125.13	338.34	Max. speed(21 kts)
Yard utility boat	Crew room	28.92	86.43	168.85	Cruising speed(25 kts)
		86.54	274.20	939.46	Max. speed(30 kts)
Landing craft utility	Crew room	-	-	58.61	Cruising speed(13 kts)
	Steering room	-	-	41.24	Cruising speed(13 kts)
Service boat	Reception room	13.10	24.68	45.69	Engine load 75 %
		12.11	24.27	45.63	Engine load 100 %
Yard water ship	Steering room	115.20	23.07	48.37	Engine load 75 %
		140.53	52.25	119.47	Engine load 100 %
	Crew room	15.52	28.14	38.39	Engine load 75 %
		14.76	20.25	85.53	Engine load 100 %
	Ward room	23.37	24.34	46.31	Engine load 100 %
	1CPO room	21.78	26.37	56.95	Engine load 100 %
	2CPO room	36.35	42.87	92.31	Engine load 100 %

운전자의 경우 약 30 %에서 요통을 호소하였고 방사선 검사에서 흉추와 요추에 약 70 %가 퇴행성 변화를 나타냈으며, 버스와 트럭운전자의 경우 40 %의 운전자가 요통을 호소하고 12 %의 근로자들이 요통문제로 이직을 했다는 연구결과가 있음을 보였다. 또한 기관차 운전자의 33 %가 요통을 호소하고, 헬리콥터 조종사의 61 %, 제트기 운전자의 29 %가 요통을 호소하고 있음을 보였다. 근무경력이 오랜 함정 승조원의 경우에도 요통과 무릎의 관절통증을 호소하고 있는 경우가 많은데 앞 절의 측정 결과를 토대로 유추해 볼 때 엔진실이나 후타실 등 과진동이 발생하는 격실에서 오랜 기간 근무하는 승조원은 향후 요통 등의 근골격계 질환으로 고통을 받을 확률이 높다고 판단이 된다.

따라서 ISO 2631-1(1985)을 바탕으로 한 현재의 함정 설계/건조 기준은 상선에 적용되고 있고 최근의 연구를 기반으로 최신화되어 있는 ISO 6954를 바탕으로 개정이 이루어지는 것이 타당할 것으로 판단이 된다. ISO 6954 규격은 3절에서도 알 수 있듯이 현재의 함정 진동 수준에서도 전투근무지원정이 아닌 대형함의 경우 몇 개의 격실을 제외하면 충분히 만족시킬 수 있으며, 그 몇 개의 격실도 상한치를 적용시키는 것으로 분류를 하면 건조 조선소에서도 개정에 따른 부담을 줄일 수 있을 것으로 판단된다.

전투근무지원정의 경우에는 선체가 FRP로 이루어진 경우 현재로서는 이 규격의 요구조건을 충족시키기 어려우나 향후 기관실과 선실 사이의 격벽 강화 등을 통해 기관실진동의 전파를 저감시켜야 할 것으로 보인다.

5. 결 론

이 논문에서는 현재 해군에서 적용하고 있는 설계/건조 기준 중 환경 진동에 대해서 고찰해 보았으며, 상선에 적용되고 있는 규격과 타국 해군에서 적용하고 있는 환경 진동 기준을 알아보았다. 또한 현재 운용중인 해군 함정의 환경 진동 레벨을 알아보고 일반 상선에 적용중인 ISO 6954규격의 만족여부에 대해서 검토해 보았다. 이를 통해 함 승조원들의 건강과 전투력 증진을 위해 ISO 6954 규격을 바탕으로 새로운 함정 설계/건조 기준을 적용할 것을 제안하였다. 향후 이런 규격의 개정을 통해 설계단계부터 함에 실제로 발생되는 진동수준을 실질적으로 저감하는 노력을 기울여 함정 목적에 부합하는 함정별 설계/건조 기준을 개발하고 이를 바탕으로 승조원들의 건강 확보 및 유사시의 전투력 강화가 이루어져야 할 것으로 판단이 된다.

후 기

이 연구는 해군 함정기술 용역과제의 지원으로 실시되었으며, 국방기술품질원 자체 검토 결과 군사보안상 문제가 없음을 확인하였습니다.

참 고 문 헌

(1) 조함(수)-기-0-002, 2009, Criteria for Ship Vibration.

(2) ISO 2631-1, 1985, Evaluation of Human Exposure to Whole-body Vibration - Part 1 : General Requirments.

(3) ISO 6954, 2000, Mechanical Vibration - Guidelines for the Measurement, Reporting and Evaluation of Vibration with Regard to Habitability on Passenger and Merchant Ships.

(4) GL 2004, 2004, Rules for Classification Ship Technology 1. Seagoing Ships 18. Harmony Class-Rules on Rating Noise and Vibration for Comfort, Cruise Ship(v>25kn).

(5) LR 2006, 2006, Rules and Regulations for the Classification of Naval Ships.

(6) Lee, W. J., 1995, A Study on Whole body vibration and Disorders of the Spine, Journal of Korean Military Medical Association, Vol. 26, No. 1, pp. 43~51.

(7) Park, M. Y., Han, H. S. and Cho, H. G., 2011, Indoor Noise Analysis of Naval Combat Service Support Boat, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 21, No. 7, pp. 609~614.