함정 운항에 따른 조명등기구 가진력 비교 연구

A Comparative Study on Exciting Force for Luminaire of Naval Vessels According to Sailing Condition

박 미 유* 조 흥 기* 이 관 우* 유 영 수* 조 규 룡*
Mi-You Park Heung-Gi Cho Kowan-Woo Lee Young-Soo Yu Kyu-Lyong Cho

Abstract

According to sailing condition, an exciting force for luminaire of naval vessels was measured and analyzed. A naval combat service support boat and P○○(patrol killer guided missile) were selected as a target naval vessel. Due to their small size and fast speed, they received excessive vibration than other bigger naval vessels like destroyer. The vibration of luminaire was measured on their cruising and maximum speed. This could analyze exciting force for luminaire of naval vessels. Using this analyzed data, the validity of military standard for naval vessel was verified.

Keywords : Exciting Force(가진력), Luminaire(조명등기구), Naval Vessel(함정), Naval Combat Service Support Boat(전투근무지원정)

1. 서 론

함정은 다양한 극한의 조건에서도 그 성능을 보전하여 실제 전투에서 최고의 전투력을 유지해야 하기에 함정에 탑재된 장비들은 어떠한 상황에서도 최상의 성능을 발휘하게끔 많은 노력을 기울이게 되며 그 하나하나가 중요한 역할을 수행하고 있다.

이러한 장비 중 함정의 내부에 설치된 조명등기구는 태평양 전쟁에서 피격에 의해 함정 전체의 내부 조명이 꺼짐으로서 함정의 전투 수행능력을 상실한 경우가 종종 발생하였을 정도로 기초적이면서도 매우 중요한

장치이다. 따라서 함정의 조명등기구는 염수분무, 절연저항, 진동 및 충격 등의 다양한 조건에서도 최상의 전투력 유지를 위하여 그 성능이 보장되어야 한다.

이를 위해 해군에서는 그 성능을 일정 수준 이상으로 유지하고자 제도적으로 납품 시 각 함정에 탑재되는 형광등기구에 대해 KS규격^[1] 혹은 사전에 협의되어 승인된 형광등기구의 제작사 규격 또는 미군사규격^[2]에서 요구하는 성능을 반드시 만족하게끔 하고 있다.

본 논문에서는 형광등기구의 성능을 일정 수준 이상으로 유지하고자 적용하는 이러한 규격들의 함정 조명등기구 진동분야에 대한 적용 타당성을 고찰해보고자 하였다.

함정에 설치되는 조명등기구의 경우 진동분야에 있어서 지금까지는 타 장비에도 일반적으로 적용하는 미군사규격을 적용하고 이 규격에서 규정한 실험을 통과하

† 2012년 4월 10일 접수~2012년 7월 13일 게재승인

* 국방기술품질원(DTaQ)

책임저자 : 박미유(hanhim@dtq.re.kr)

Fig. 1. Fluorescent light in Cheonan ship

기만 하면 제품을 설치하는데 아무런 문제점이 없었다.

즉, 지금까지는 함정의 운항과 사격 등에 따라 조명등기구에 어떤 주파수 성분의 진동과 충격이 가해지는지에 대한 분석이 전혀 이루어지지 않았고 이에 따라 미군사규격 등에서 규정한 진동 실험 기준이 함정의 조명등기구의 성능보장에 있어 적절한 것인지에 대한 분석 역시 전혀 이루어지지 않은 상태이다.

이러한 연유로 지난 천안함 폭침 사건에서도 Fig. 1에서와 같이 천안함 절단면 부근의 형광등이 파손되지 않은 것에 대해 많은 논란이 있었으나 명확한 데이터에 의한 공학적인 판단이 내려지지 못한 채 논란만 가중된 바가 있었다.

따라서 이번 연구를 통해 적용되고 있는 함정의 등조명기구에 적용하고 있는 규격에 대해서 알아보고, 그러한 규격들이 실제 함의 운용 조건을 제대로 반영하고 있는지와 규격에서 설정한 실험 조건 외의 다른 고려 사항이 필요하지 않은지에 대해서 고찰해 보고자 함정의 운항 시 조명등기구에 가해지는 진동을 측정하고 분석하였다. 또한, 본 논문을 통해 향후 관련 분야의 연구를 진행하는 연구자에게 도움이 되는 데이터를 제공할 수 있을 것으로 기대한다.

대상함정은 작은 선체 크기와 속도에 의해서 운항 시 더욱 큰 진동을 받는 전투근무지원정이나 유도탄 고속함을 위주로 하였으며, 측정은 순항속력과 최고속력에서 이루어졌다. 또한 유도탄고속함의 경우 주포인 76mm 포의 사격 시 포 바로 아래 있는 사격통제실의 조명등기구에 가해지는 진동도 측정, 분석하였다.

2. 함정 조명등기구 관련 규격

가. 개요

함정에 설치되는 조명등기구에 관련된 규격은 KS규격과 국방규격, 미군사규격, 각 함정에 따른 제작사규

격 등 여러 가지 종류가 있는데 본 논문에서는 진동 분야에 한정해서 그 규격과 실측 데이터를 비교, 고찰해 보고자 한다.

앞서 서론에서도 밝혔듯이 함정은 다양한 극한의 조건 속에서도 전투력 유지를 위해서 그 성능을 최상의 상태로 유지해야하고 심지어 실제 전투상황에서 적에 의해 피격을 당했다 하더라도 함정의 복원력을 비롯한 기본적인 성능을 유지하고 있어야 한다. 이때 가장 기본적으로 필요한 사항은 함정 내부를 밝히는 조명등기구가 그 기능을 유지하고 있어야 한다는 점인데, 조명의 유지를 통해서 각종 기기를 제어하고 전투를 수행하며 위급상황 시 승조원들의 대피를 유도할 수 있어야 하는 것이다.

따라서 항해와 날씨에 따른 해수면과의 파도에 의한 충돌과 급작스러운 항로 변경, 피격 등에 의한 여러 충격과 진동 환경 하에서도 조명등기구의 성능 유지를 위해서 적용하고 있는 여러 규격에는 충격과 진동 항목이 필수적으로 들어가 있는 상황이다.

이번 장에서는 이러한 일반 선박 및 함정용 조명등기구에 적용되는 규격 중 진동항목을 위주로 고찰해 보고자하며, 더불어 본 논문에서 고려하고 있지는 않지만 규격 중 충격에 해당되는 항목에 대해서도 소개하고자 한다.

1) KS V 8445^[1]

선박에 사용하는 형광 램프를 광원으로 하는 형광 탁상등, 비방수형, 방수형 및 레일 이동형 형광등에 대하여 규정한 KS규격으로서, 진동시험은 KS V 8016^[3] A 1 - B 1, 0.5급 1.5H 규정에 따라 시험하게 되어 있

Fig. 2. Measurement of vibration

다. 충격시험은 특수선용의 형광등에 한하며 KS V 0818^[4]의 4.14의 방법 2에 따라 충격시험을 실시하게 되어 있는데, 이는 시험품을 부착한 시험대에 정현반파의 충격 펄스를 발생하는 시험기에 규격에서 정한 충격펄스를 파형 변형 $\pm 20\%$ 이내로 시험대 위에 일정하게 분포하도록 가하는 시험법이다. 탄성마운트로 지지되는 형광등은 별도의 협의가 없는 경우 마운트의 충분한 충격 흡수 능력을 확인하고 램프 홀더는 KS V 0818의 4.13에 따라 낙하시험을 하였을 때 전기적, 기계적 손상이 없고 부품 또는 몸체의 파손이나 굴곡이 없어야 한다.

2) MIL-DTL-16377H^[2]

미군 함정에 설치되는 형광등 및 백열등 기구 성능 요구사항을 규정한 미군사규격으로서 진동시험은 조명등기구와 모든 부품은 MIL-STD-167-1A^[6]의 Type I에 따라 실시하며 진동시험 중 손상이나 부품의 헐거움이 없어야 한다고 되어 있다. 충격시험은 MIL-S-901D^[5] Grade B, Type A 장비를 위한 High Impact에 견뎌야 한다고 되어 있다. 여기서 Grade B는 함의 안정성과 지속적인 전투능력을 위해 필수적이지는 않지만 승조원들이나 A등급 장비에게 위험요소가 될 수 있거나 충격 노출에 의한 결과에 의해서 함의 위험요소가 될 수 있는 장비를 일컫고, Type A는 선체나 선체에 바로 연결되는 foundation, 파이프 시스템, 덕트 시스템, 선체에 지지되는 유사한 시스템에 적용되는 장비를 일컫는다.

3) 제작사 규격

해군 함정에 설치되는 여러 탑재장비와 장치들의 경우 해당 제품에 대한 국방규격이 제정되어 있지 않으면 방위사업청의 승인을 거쳐 제작사의 규격을 사용하고 있다. 이 때 형광등 및 백열등과 같은 조명등기구에 대한 성능 요구사항 중 소음, 진동, 충격과 관련된 사항은 일반적으로 앞서 소개한 미군사규격들을 따르도록 되어 있는 상황이다. 실례로 우리 해군의 최신에 이지스함인 KOO-III급 함정에 설치되는 등조명기구는 진동시험은 MIL-STD-167-1 Type I의 요구사항이 만족되어야 한다고 되어 있다. 충격은 MIL-S-901D에 따른 충격시험에 만족하여야 하며, 조명등기구가 아무 이상 없이 작동하여야 한다는 조항이 들어있다.

4) MIL-STD-167-1A^[6]

MIL-STD-167-1 규격은 탑재 장비에 대한 진동 시험

요구조건이 정의되어 있는 규격으로서 Type I은 장비가 노출된 진동환경에 대한 진동시험 기준이다. 함정에 탑재되어 외부에서의 진동을 받게 되는 모든 장비에 적용하게 되어 있다.

시험 장비 위에 대상 탑재 장비를 고정하고 공진탐색시험을 거쳐 Table 1과 같은 주파수 범위와 변위로 탑재 장비의 구조적 건전성 및 성능 유지 여부를 검사하게 된다.

Table 1. Vibratory displacement of environmental vibration

주파수 범위(Hz)	가진 변위(mm)
4~15	0.762 $\pm$ 0.1524
16~25	0.508 $\pm$ 0.1016
26~33	0.254 $\pm$ 0.0508

3. 실선 계측 결과

가. 계측의 개요

운용중인 함정에 설치된 조명등기구인 형광등으로 가진되고 있는 진동을 측정하고 분석하고자 MIL-STD-167-1A에서 정의하고 있는 주파수 범위에서의 실제 가진되고 있는 진동을 측정하였다.

측정은 항만수송정, 항만경비정, 청수정, 유도탄고속함, 율곡이이함을 대상으로 진행하였다. 조명등 기구 중 측정 대상이 된 형광등 모듈은 Fig. 1, 2에서와 같이 함 격실의 천장에 설치되어 있는데, 본 계측에서는 형광등 모듈로 가진되는 진동을 측정할 수 있도록 모듈의 고정부위에서 3방향에 대해 Fig. 2에서와 같이 가속도계를 설치하고 현장 상황 상 가능한 조건에서 순항, 최대 속도 및 포 사격 시 형광등 모듈로 가해지는 진동을 측정하였다.

측정은 평균(averaging)을 100회 실시하여 잡음 신호의 영향을 배제하였다.

또한, 측정 당시의 해상 상태는 모든 계측의 경우 파고가 0.5~1m 정도로 매우 양호하여 파도 등에 의한 선체의 진동이 측정 대상인 조명등기구 모듈의 진동에 영향을 미치지 않는다고 판단하였다.

나. 가속도 성분으로의 고찰

주파수 성분에 따른 진동의 영향을 분석하고자 Fig. 3, 4에 가속도 측정 데이터 성분을 도시하였다. 이 외

의 다른 측정에서도 결과는 비슷하였다. Fig. 3, 4에서도 알 수 있듯이 기관실의 엔진 및 발전기의 조화 성분이 주로 나타나고 있음을 알 수 있으며, 최고속력 조건하에서는 60Hz 부근에서 X방향, 즉 함정의 앞뒤 방향으로의 진동 성분이 크게 나왔다. 진동은 100Hz 안에 집중되어 있었고, 최대 500Hz 범위 안에 분포되어 있었다.

다. 계측 결과값 고찰

이번 항에서는 함정에 설치되는 등조명기구에서 요구하는 규격들의 만족여부를 판단하기 위하여 규격에서 요구하는 범위별 요구치와 실제 측정치를 비교하고자 한다. 각 그래프에는 Table 1에 나와있는 기준치들의 상/하한치 범위를 표시하였다.

결과 그래프에 나와 있는 기준치는 미군사규격인

Fig. 3. Measurement result of YOO(cruising speed)

Fig. 4. Measurement result of POO firing room (Max. speed)

MIL-STD-167-1A에 정의되어 있는 기준치를 나타낸 것이다. 그래프 상에는 보안상 주파수를 삭제하였지만 미군사규격^[6]에 정의되어 있는 주파수 범위를 참조하면 결과를 파악하는데 문제는 없을 것으로 판단된다.

1) 항만수송정

항만수송정(YOO:Yard Ferry)은 47톤급 함정으로 주로 인원 이송이나 물자이송을 위하여 이용되나 연안에서의 경비를 위하여도 광범위하게 활용되고 있다. 선체는 FRP로 만들어져 있고 순항속력은 21kts 정도이며, 야간의 연안 경비를 위한 순찰 시에는 14kts 정도의 속력을 내도록 되어 있다.

Fig. 5, 6은 항만수송정의 순항속력과 최대속력 하에서의 객실에 설치된 등기구의 진동 계측 결과값이다. 그래프에서 알 수 있듯이 순항속력일 경우 수직 방향(Z방향) 진동이 기준치 하한을 넘고 있는 상한치

Fig. 5. Measurement result of YO(cruising speed)

Fig. 6. Measurement result of YO(Max. speed)

는 넘지 않고 있었지만, 최대속력일 경우는 수직 방향(Z방향) 진동이 매우 높게 나오고 있음을 알 수 있다.

2) 항만경비정

항만경비정(YOO:Yard Utility Boat)은 70톤급 함정으로 도서 및 항만연안의 경비를 위하여 사용되고 있다. 항만수송정과 마찬가지로 선체는 FRP로 만들어져 있으며 순항속력은 22kts, 최대속력은 30kts 정도이다. 승조원을 위한 공간은 승조원실이 함정의 앞부분 수면 상에 위치해 있다.

항만경비정은 실험 여건상 순항속력에서밖에 계측을 할 수 없었는데, Fig. 7에서와 같이 모든 방향의 진동이 기준치를 크게 밑돌고 있었다. 진동의 양상은 항만경비정과 비슷하였다. 여건상 측정지 못한 최대속력에서의 진동도 비슷할 것으로 보이는데, 두 함정에 있어서 Z축(상하)방향 성분이 크게 나온 것은 FRP로 건조된 함정의 특성 상 선체가 가벼워 속력이 증가할수록 선수가 위로 들어 올려졌다가 다시 내려가며 변위가 크게 변하고 이 상황에서 해수면과의 충격이 일어나기 때문인 것으로 판단된다.

3) 청수정

청수정(YOO:Yard Water Ship)은 665톤급 함정으로 각 해군기지 및 도서 지역에 청수를 공급하는 역할을 하는 함정으로 배의 중앙 선저부에 청수를 담아 이송하게 된다. 선체는 스틸로 되어 있으며 승조원을 위한 공간은 함정의 주갑판부에 위치해 있다. 순항속력은 11kts 정도이다. 측정은 주갑판 하부에 위치한 기관실 바로 위에 위치한 제1부사관실과 식당에 설치된 조명 등기구에서 실시하였으며, 제1부사관실의 경우 엔진부

하가 50, 75, 100%일 때의 진동을 측정하였다. 측정 결과는 Fig. 8~11과 같으며 그래프에서와 같이 모든 방향의 진동이 기준치를 크게 밑돌고 있었다.

Fig. 8. Measurement result of YOO(Engine load 50%)

Fig. 9. Measurement result of YOO(Engine load 75%)

Fig. 7. Measurement result of YOO(cruising speed)

Fig. 10. Measurement result of YOO(Engine load 100%)

Fig. 11. Measurement result of YOO mess room
(Engine load 100%)

Fig. 12. Measurement result of KOO-III #2
(Max. speed)

이는 청수정이란 함정의 특성에서 찾아볼 수 있다. 청수정은 함정의 특성 상 배의 중앙 선저부에 배의 절반 이상 크기의 탱크에 물을 가득 싣고 운항하게 되어, 무게 중심이 낮고, 탱크의 물 때문에 자체 중량도 상당히 많이 나갈 뿐더러, 물이 외부로부터의 충격 뿐만이 아니라 내부 기관실의 엔진, 발전기에서 발생한 가진력도 상당부분 흡수하기 때문인 것으로 판단 된다.

4) 울곡이이함

울곡이이함은 7600톤급 우리나라 최신에 이지스 구축함으로서 KOO-III급의 두 번째 함정이다. 현재 우리나라 함정 중에 가장 큰 함정으로, 전체적으로는 진동이 크지 않다. 하지만 선미쪽 주 갑판 하부에 위치한 후타실은 근처에 위치한 프로펠러의 작동영향으로 함 운항 시 상당히 큰 진동이 발생하고 있는 상황이다. 이런 이유로 측정은 울곡이이함에서 가장 큰 진동이 발생하고 있는 후타실의 중앙에 위치한 조명등기구에서 최고속력일 때 실시하였다.

측정 결과는 Fig. 12와 같으며, 그래프에서와 같이 모든 방향에서 기준치를 넘지 않고 있었다.

5) 유도탄고속함

유도탄고속함은 참수리급 고속정을 대체하기 위하여 건조되고 있는 500톤급 고속함으로서 적 함정과 전투 뿐 아니라 항만 방어와 같은 연근해 작전업무를 수행하는 함정이다. 디젤엔진과 개스터빈 엔진이 각각 2대씩 설치되어 있어 최고 속력이 40노트 이상이 되지만, 이런 이유로 4개의 엔진에서 발생하는 가진력과

Fig. 13. Measurement result of POO firing room
(Max. speed)

Fig. 14. Measurement result of POO firing room
(Max. speed)

Table 2. Vibration measurement result of luminaire of Naval Vessels

측정 대상 함정 및 조건	최대진폭(mm)(1Hz~)		
	x축	y축	z축
항만수송정(Y○) 14노트(순항속력)	0.140	0.322	0.650
항만수송정(Y○) 20노트(최대속력)	0.318	0.828	2.015(3.1Hz)
항만경비정(Y○○) 22노트(순항속력)	0.132	0.248	0.509
청수정(Y○○) 1부사관실 엔진부하 50%	0.035	0.081	0.105
청수정(Y○○) 1부사관실 엔진부하 75% (순항속력)	0.040	0.053	0.069
청수정(Y○○) 1부사관실 엔진부하 100% (최대속력)	0.040	0.087	0.097
청수정(Y○○) 식당 엔진부하 100% (최대속력)	0.075	0.039	0.146
울곡이이함 후타실(최고속력)	0.018	0.149	0.289
유도탄고속함(P○○) 사격실 40노트(최고속력)	0.439	1.121	1.449
유도탄고속함(P○○) 사격실 사격시	1.838	0.112	7.410

고속에 따른 해수면과의 마찰 및 충격에 의해서 큰 진동이 발생하고 있는 함정이기도 하다. 측정은 실험 여건상 선수에 설치된 76mm 주포 사격실에 설치된 조명등기구를 대상으로 최고속력과 사격 시에만 가능했다.

실험 결과는 Fig. 13, 14와 같으며, 그래프에서도 알 수 있듯이 미군사규격^[6]에서 규정한 주파수 범위 내에서는 모든 방향에서 기준치를 넘지 않고 있었다. 하지만 그 이하 주파수인 4Hz이하 저주파수에서는 그래프에서와 같이 큰 진동이 발생하고 있음을 알 수 있었다.

4. 종합 분석 및 대책

측정 결과는 Table 2 및 Fig. 2~14와 같다. 결과에서 알 수 있듯이 MIL-STD-167-1A에서 정의한 주파수 범위에서의 가진 진폭에는 대부분의 경우 크게 미달하기 때문에 이 규격에서 제시하고 있는 기준으로 실험을 실시하여 문제없이 통과할 경우 실제 상황에서도 안전할 것으로 판단되지만 항만수송정의 경우 최대속력에서 상하방향(Z방향)의 경우 기준치를 넘는다는 것을 알 수 있었는데, 최대속력 조건이 많지 않다

는 점과 공진이 걸릴 가능성이 적다는 점을 고려하면 이를 통해 큰 문제가 발생하지는 않을 것 같다는 판단이 든다. 하지만 이처럼 선체가 FRP로 이루어진 함정처럼 중량이 가벼운 함정과 유도탄고속함 사격 통제실에서처럼 함포 근처에 위치한 조명등기구 모듈에는 연결부위에 고무 마운트와 같은 충격 흡수 장치를 삽입해야 할 것으로 판단된다.

5. 결 론

실제 운용되고 있는 함정 중 특히 진동이 심한 것으로 알려진 함정에 설치되어 있는 등조명기구에 가해지는 진동을 측정, 분석함으로써 설치 등기구의 수락시험에 사용되는 규격이 실제 함의 운용 조건을 제대로 반영하고 있는지를 파악해 보았다. 이를 통해 현재 적용되고 있는 규격은 비교적 실제 함정 운항 조건을 충실히 반영하고 있는 것으로 판단된다. 다만 유도탄고속함의 경우에서와 같이 규격에서 규정하고 있지 않은 4Hz이하 주파수대역에서 큰 진동이 발생하고 있다는 점은 새로이 고려해 보아야 할 것으로 판단이 된다. 따라서 향후 이점에 대한 좀 더 종합적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

후 기

이 연구는 민군규격통일화 연구과제의 지원으로 실시되었으며, 국방기술품질원 자체 검토 결과 군사보안상 문제가 없음을 확인하였습니다.

References

- [1] Korean Industrial Standards, “Fluorescent Lights for Marine Use”, KS V 8445, 2004.
- [2] US Military Standard, “Fixtures, Lighting; And Associated Parts; Shipboard Use, General Specification

For”, MIL-DTL-16377H, 2005.

- [3] Korean Industrial Standards, “General Requirements for Vibration Test of Electrical Apparatus for Marine Use”, KS V 0816, 1985.
- [4] Korean Industrial Standards, “General Rules for Environmental Test of Marine Electrical Apparatus”, KS V 0818, 2003.
- [5] US Military Standard, “Shock Tests, H. I.(High-Impact) Shipboard Machinery, Equipment and Systems, Requirements for”, MIL-S-901D, 1989.
- [6] US Military Standard, “Mechanical Vibrations of Shipboard Equipment”, MIL-STD-167-1A, 2005.