

## 2. 해설기사

### 함정탐재장비 규격통일화를 위한 충격시험기준 고찰

#### Review of Shock Test Standards for Unifying Specification



김 영 주

Young-Ju Kim

- 한국기계연구원 에너지기계연구센터
- E-mail: yjukim@kimm.re.kr

#### 1. 서 론

지난해까지 4년간에 걸쳐 수행한 국방규격 통일화사업으로 도출된 함정탐재 장비에 대한 민군겸용 통일규격 가운데 함정탐재 비무기장비의 특수 환경시험(진동, 소음, 충격)기준 가운데 진동 및 소음의 경우 ISO와 미국 군사규격(MIL)을 혼합한 형태이며, 충격의 경우 시험대상 장비의 중량이 가볍거나 소형이면 KS에 따른 전자기적 충격시험을, 중량이 무거운 장비에 대해서는 미국해군에서 사용하고 있는 MIL-S-901D에 의한 기계적 충격 시험을, 그리고 이들 장비의 크기 및 중량이 시험장치를 이용하여 충격시험이 불가능할 경우에는 구조해석 전산프로그램을 근거로 한 모드별 충격 해석방법(Dynamic Design Analysis Method, DDAM)을 활용할 수 있도록 하였다. 함정에서 민수선박과 크게 다른 특수 환경성능은 내충격성이라 할 수 있기 때문에 이에 대한 우리해군 함정에 적용되고 있는 충격시험기준의 문제점과 개선책에 대해 검토하였다. 함정의 충격거동에 대한 해석이론을 도출하기 위해 미국해군에서 실험

적으로 이용하고 있는 수중폭발시험은 국내에서 해석기술의 미비, 시험절차의 복잡성 및 과도한 시험비용 때문에 거의 적용되지 않고 있는 실정이다. MIL-S-901D의 최대충격레벨은 시험대상 장비의 적용함정이나 설치위치 및 충격방향에 관계 없이 중량에 따라서만 충격레벨을 조정하고 최대 충격레벨도 600G 정도로 크지만 독일해군의 충격 시험기준인 BV043에서는 이러한 문제점을 어느 정도 개선하고 있기 때문에 향후 제정되는 국방규격이나 민군겸용 통일규격에서는 이에 대한 중점적인 연구가 필요하다고 본다. 국제해사기구(IMO)의 해상에서의 인명안전협약(SOLAS) 및 해양오염방지협약(MARPOL)의 규제강화와 민수장비의 지속적인 기술개발 및 성능향상을 근거로 미국을 비롯한 해군강국들은 민수선박의 구명·소화장비, 항해장비, 해양오염방지장비 대부분을 민수전환(spin-on)하면서 이들 장비와 관련된 국방규격을 폐지하였다. 국내 조선공업의 발달과 조선기자재 제품기술이 크게 향상되고, 소재 및 전자산업의 기술 고도화로 1970년대 우리나라 함정 건조 초기단계에서의 탐재장비 품질수준에 비해 크

게 발달되었다. 그 결과 민수선박의 탑재장비인 기관장치와 추진장치를 비롯한 조수기, 정유기, 시동공기 압축기, 오수처리장치 및 펌프와 같은 보조기계장치와 배관장치는 대부분 민수전환 되고 있다. 이러한 시점에서 기관장치, 추진장치, 보조기계장치 및 배관장제 등의 함정탑재장비 관련 국방규격을 민군겸용 통일규격으로 제정하는 것이 생산업체의 전문화를 유도하고, 유사기종의 시리즈 생산이나 설계표준화가 가능하여 조달단위 증대 및 생산성 향상에 의한 제조원가 절감과 국산화를 증대로 수입대체 효과가 클 것이다.

## 2. 민군규격 통일화사업 개요

### 2.1 사업목적 및 추진방향

국방부에서 수행하는 민군규격 통일화사업의 목적은 군수품 조달을 위해 적용되고 있는 국방규격 가운데 민군겸용이 가능한 품목에 대한 규격을 KS 규격으로 제정(KS규격이 없는 경우 국방규격을 근거로 통일규격 제정, 개정(KS규격의 내용에 국방규격의 내용을 추가하여 보완) 또는 전환(국방규격을 KS규격으로 대체)함으로써 민군 겸용기술개발의 기반을 확립하는데 있다.(그림1 참조) 이러한 목적을 효과적으로 달성할 수 있도록 민군겸용 가능품목은 국방규격 제정을 지양하고, 불합리하거나 과도한 군측의 요구조건을 현실화하여 가능한 한 제품위주의 성능형 규격으로 정비토록 하였다. 국방부 산하의 국방규격 제정기관(조달본부, 각 군군수사령부, 품질관리소, 국방과학연구소 등)에서 제정된 국방규격의 내용을 개정하거나 활용실적이 미흡한 경우 폐지하는 등의 규격정비를 수행하고,

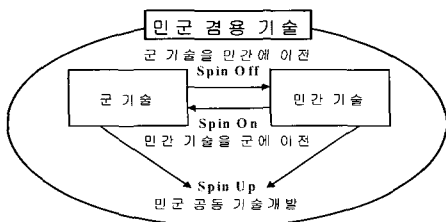


그림 1 민군겸용기술사업의 개념도

전문연구기관은 표1 및 표2에 보이는 위탁연구를 수행하여 국방규격을 KS규격으로 통일 또는 새로운 표준을 제정하도록 하였다.

표 1 '99~'03년도(1단계) 위탁연구 내역 및 수행기관

과 제 명	수행 기관	사업기간
기계요소 류 규격통일	항공우주(연)	'99~'03
비 무기체계 표준품목 상용전환	국방(연)	'99~'02
동전장비/부품 환경시험조건 분석/규격통일	전자부품(연)	'99~'02
수공구류 규격통일	기계(연)	'99~'01
부자재류 규격통일	의류시험(연)	'99~'01
원자재류 규격통일	화학시험(연)	'00~'03
함정탑재장비 규격통일 및 민수장비 통합	기계(연)	'00~'03
건전지류 규격통일	국방품질관리소	'99
포장규격 표준화 및 민수규격과의 통일	포장시스템(연)	'01~'03
국내외 규격 조사 분석	국방품질관리소	'99~'03

표 2 '94~'08년도(2단계) 위탁연구 내역 및 추진일정

연구 분야	과 제 명 (8개 과제)	과제 수행년도				
		'04	'05	'06	'07	'08
통일화	기계 요소류 인용규격 정비 및 표준화					
	민군 신뢰성 규격의 통일화 및 표준화					
	유체, 기계용 필터류 규격통일화					
	함정장비류 성능/환경시험을 통한 규격통일					
표준화	국방규격 체계정립 및 국제규격 수준화					
	민군 공용항공기 감항기술 기준 제정					
	민군 겸용 환경시험 표준 제정					
	민군 포장설계 전산화 소프트웨어 개발					

1단계 규격통일화사업과 연계하여 지속적인 국방규격을 국제화 내지는 통일화를 위해 추가적으로 2004년부터 5년간에 걸쳐 2단계사업을 계속하고 있다. 이 사업기간에는 새롭게 개발되고 발전된 기술을 토대로 제정되고 있는 민·군통일규격(KS규격)과 상용장비의 활용(Commercial off the shelf: COTS)이 확대되고, 민간분야의 산업발달과 무역질서의 세계화 및 산업표준의 국제화 추세로 미국을 비롯한 일본, 구라과 등의 선진국에서는 70% 이상의 국방규격을 민수규격으로 전환하고, 국가별 산업규격은 국제규격을 부합화하는 추세이므로 우리나라의 국방규격도 이에 발맞추어 현재 보유중인 7,557종 가운데 979종(규격정비 470종, 위탁 512종)을 KS전환(508종), 제정(54종) 및 폐지(420종)할 예정이다.

2.2 규격통일화 검토대상 품목의 선정

탑재장비는 합정의 특성을 반영할 필요가 있기 때문에 합정의 용도와 선체구조에 따라 특수환경시험기준을 차별화하여 적용할 경우 민군겸용이 가능하다. 규격통일화 대상 탑재장비는 민군겸용 결과 군사적, 경제적 파급효과가 큰 것을 우선적으로 선정하여 이에 대한 국방규격 및 사양을 정비하는 것으로 하였다. 국방규격이 없는 경우에 검토된 구매 사양서는 민수규격을 많이 인용하거나 IMO 등의 국제규격이 적용되어야 하는 장비를 대상으로 하였다. 동력장치(디젤기관, 보일러, 감속기어, 클러치, 기관부품), 보조기계(펌프, 역삼투 조수기, 정유기, 압축기), 프로펠러, 갑판장치(앵커, 크레인, 조타기, 횡요저감장치, 냉동·공조기, 오수처리장치), 구멍·소화장치(소화기 조립체, 소화노즐, 소화호스, 살수장치, 구멍정, 구멍동의, 구멍땀목, 구멍환), 배관장치(밸브, 호스, 연결구) 및 전기장치(전선, 조명장치, 축전지, 정류기, 발전기, 선속계, 풍향풍속계)등은 미국해군에서는 이미 민수전환이 80% 이상 진행된 상태이며 우리해군에서도 어느 정도 민수전환이 진행 중이다. 따라서 이들 장비에 대한 충격시험 및 소음시험 등의 특수 환경시험을 선택적으로 적용하면 민수전환이 용이할 것으로 판단되어 이들의 국방규격을 검토 하였다.

2.3 국방규격의 구성체계 분석

1990년대 이전에 제정된 국방규격은 대부분 부

표 3 규격별 구성체계 비교

구분	국방 규격	KS 규격	선 급 협 회 규 격
규격 번호	국방 0000 - 0000 FSC 일련번호	KS - 0 - 0000 분야 일련번호(A~X)	00 권 00장 00절 000. 규격번호가 별도로 없음
규격 명칭	기본명칭 뒤에 수식어 예) 끝은 핀, 등근머리	수식어 뒤에 기본명칭 예) 등근머리 끝은 핀	기능형 명칭사용 예) 보일러 강관
구 성	1. 적용범위 2. 적용문서, 자료 3. 필요조건 4. 검사/시험 및 품질보증 5. 포장, 표시 6. 주기  ※ 물품관리법에 의한 정부, 부처규격도 동일	a. 적용범위 b. 용어정의(필요시) c. 종류, 등급 d. 성능 e. 성분, 물리화학적 성질 f. 구조 g. 모양, 치수 h. 재료 i. 제조방법 j. 시험/검사방법 k. 포장, 표시	제 1 장 총칙 제 2 장부터 해당분야 1절 일반사항 2절부터 해당분야 1. 적용 및 관련 규정 2. 분류 3. 재료 4. 기타 항목 결절 시험 및 검사 장비별 시험항목 기록

품위주의 상세형 규격인데 비해 최근 제정되고 있는 국방규격은 미국 군사규격이나 KS규격에서와 같이 조립체 위주의 성능형 규격이라 할 수 있다. 이들 규격의 구성체계 및 특성을 비교하면 각각 표3과 표4에 보이는 바와 같다.

표 4 상세형 규격과 성능형 규격의 차이점

구분	상세형(부품 중심) 규격	성능형(조립체 중심) 규격
적용 범위	단일형식의 제품에만 적용	제품의 모든 형식을 포함
인용 규격	설계 위주, 재료 및 부품 중심	시험방법 위주, 최소 인용, 완제품
필요 조건	요구사항이 많고 자세한 설계형 재료, 치수, 공정: 지시 명확	일반적 최소요구, 최저성능기준 재료, 치수, 공정: 제작자 위임
검사 방법	성능형 규격과 유사 초도 제품에 대한 검사 최소화	계약자 당사자간 협의 초도 제품에 대한 검사 엄격
포장 방법	발주자 요구사항 중심	제작자 사양 존중, 발주자 요구사항 최소

2.4 국방규격의 활용실태 및 문제점

합정탑재장비와 관련된 국방규격은 1,500여종이며, 이들 가운데 87.5%가 인용규격의 개정 또는 폐지, 민수장비의 활용 증가 및 성능시험기준 미흡으로 비활성규격(5년간 사용실적이 없는 규격)으로 나타나고 있다. 현재 보유중인 국방규격은 대부분 제정 후 10~20년이 경과되어 이들의 인용규격인 MIL이나 KS규격이 40% 이상 폐지되거나 개정되었으며, 구멍·소화장비 및 전기장치는 IMO, ISO 및 IEC 등의 국제규격으로 대체되고 있다. 민수장비와 큰 차이를 보이는 합정장비의 충격시험기준으로 널리 사용되고 있는 MIL-S-901D는 장비의 탑재위치, 합정종류에 따라 구분하지 않고 있으며, 미국해군연구소(NRL)에서 권고한 최대충격레벨을 선체에 설치되는 장비에 575G, 선체구조물 및 갑판에 설치되는 장비에 225G를 권고하고 있으나 동역학적 구조해석(DDAM)이나 독일해군의 충격시험기준인 BV-043에 비해 높고, 탑재장비를 적용하는 합정의 종류, 설치위치 및 충격방향에 따라 충격레벨을 차등화하지 않고 있다.

한편, DDAM은 설치대와 탑재장비의 구조물이 선형적으로 변화되고 감쇄기구가 없는 탄성체로서 지지부의 고유진동수 5Hz 이상, 외부의 최소 충격

레벨 6G 이상, 설치대 강도는 허용응력의 70% 이상, 주요 모드와 매우 가까운 인접 모드가 존재하지 않는 조건을 요구하고 있어, 계산방법이 복잡한 단점이 있다.

2.5 함정탐재장비의 규격통일화 사업의 실적

1단계사업으로 수행한 국방규격의 통일화 실적은 표5에 보이는 바와 같이 국방규격 제정기관의 규격정비 및 전문연구기관의 위탁연구를 포함할 때 9,592종으로 당초 목표 9,014종을 초과하여 수행하였으며, 위탁연구사업 가운데 한국기계연구원에서 수행한 함정탐재장비의 규격통일화사업은 탐재장비 관련 국방규격 1,776종과 이와는 별도로 장비발주를 위해 적용되고 있는 구매요구사항서(혹은 조합사항서) 1,040여종을 대상으로 4년 동안 619종의 규격을 민수규격이나 미국국방규격과 비교하여 통일규격(제정 211종, 개정 70종, 전환 104종)으로 정비하였다.(표6 참조)

표 5 1단계('99~'03) 규격통일화사업 목표 및 실적

구분	소계	규격정비	위탁연구	기관별 규격정비				
				육군	해군	공군	조본	품관소
대상	15,914	13,060	2,845					
목표	9,041	7,541	1,500	-	-	-	-	-
실적	9,592	6,967	2,625	3,176	314	685	2,755	37
(전환)	1,807	320	1,487	15	56	-	240	9
(폐지)	7,785	6,647	1,138	3,161	258	685	2,515	28
'99.4월 보유규격(15,914) : 전환(3,813), 폐지(5,753), 유지(6,348)								

표 6 1단계('99~'03) 함정탐재장비 규격통일화 실적

구분	2000년	2001년	2002년	2003년	소계					
	동력·수동 펌프	방동/소화 구명장비	전기·전자 하역장치	연진·추진 보조기계						
대상 품목 및 관련 규격	국방 규격	구매 규격	국방 규격	구매 규격	국방 규격	구매 규격				
규격 통일화 대상 국방규격	25	-	42	3	228	1	318	2	613	6
규격 개정	5	-	37	3	30	1	119	1	211	5
통일화 개정	-	-	-	-	62	-	8	1	70	1
실적 전환	-	-	5	-	51	-	48	-	104	
KS 제정	5		16		13		32		66	
상정 개정	-		-		11		7		18	

검토대상 국방규격 가운데 최근에 제정되거나 특수 용도에 해당되어 민수전환이 불가능한 국방규격은 현행 대로 유지하는 것으로 하였다.

3. 함정탐재장비의 특수 환경시험 기준

해군에서의 함정탐재장비에 대한 특수 환경시험으로는 진동, 소음 및 충격시험이 대표적이라 할 수 있는데 이들의 기준은 장비의 종류, 운전조건 및 설치상태에 따라 상이하게 적용할 필요가 있지만 현재 적용되고 있는 국방규격에서는 이러한 명확한 구분이 없는 상태이다. 시험 종류에 따른 각각의 시험기준을 검토하면 아래와 같다.

3.1 진동시험

국방규격에서는 부품규격이 많기 때문에 조립체에 적용하고 있는 진동시험기준을 적용하지 않고 있는 경우가 대부분이며, MIL규격이나 이를 근거로 하고 있는 국방규격은 제품의 종류에 관계없이 MIL-STD-167을 적용하고 있다. 외부에서 제품에 전달되는 진동에 대한 내구성을 확인하기 위해서는 MIL-STD-167-1을 적용하고, 조립체의 운전 중 불평형력, 유체역학적 작용이나 축심불량으로 인해 발생하는 자체진동의 허용치는 MIL-STD-167-2를 적용하고 있다. 한편 KS규격에서는 KS V 8016을 제외하고는 국제규격인 ISO 1940-1 및 ISO 7191-5를 도입하고 있는 단계이며, 디젤엔진이나 왕복펌프 및 압축기에는 회전기구의 잔류불평형량에 의한 횡진동 이외에 크랭크축의 비틀진동 허용기준인 ISO 3046-5(2001)를 적용하고 있다. 진동시험기준에 관련된 MIL, ISO 및 선급규격은 KS규격에서 대부분 적용하고 있어 이를 통일규격에 적용하였다. 외부진동에 대한 성능을 확인하는 시험을 위해 최근에는 정현파 대신에 랜덤파 진동시험으로 대체하고 있으며, 탐재장비의 성능향상과 선박의 고급화 및 건조기술 발달에 따라 시험기준이 수시로 개정되고 있기 때문에 장비별 성능시험기준을 결정함에 있어 이들 규정을 면밀하게 검토하여 타당성을 확인해야 한다.

3.2 소음시험

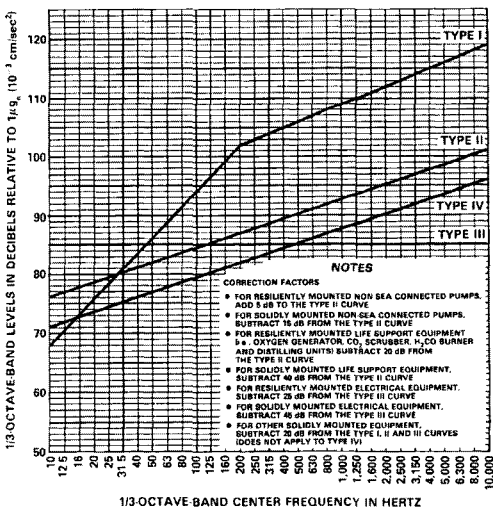
탐재장비 운전 중 외부로 발생하는 공기소음과 고체소음을 측정하는 방법과 허용치에 대한 관련규격

은 민수규격과 국방규격이 유사하다. 미국 군사규격으로는 MIL-STD-740-1(공기소음), MIL-STD-740-2(고체소음)를 들 수 있으며, 장비에 따른 주파수별 허용치를 구분하고 있다. 민수규격으로는 펌프의 경우 KS B 6360, 기타의 경우 KS V 0914 또는 ISO 2923을 들 수 있다. 고체소음레벨은 가속도센서로 장비의 전후, 좌우, 상하방향의 진동레벨을 측정하여 아래의 식으로 환산하여 1/3 옥타브밴드의 중심주파수별 소음레벨을 구한다.

표 7 공기소음 허용기준

측정조건	표준 옥타브 및 밴드 중심 주파수(Hz)								
	31.5	63	125	250	500	1,000	2,000	4,000	8,000
A-보정치	122	117	112	107	97	92	92	92	92

단위 : dB(A)



비고 1 : I형-왕복운동 장비, II형-I 이외의 회전기계, III형-기타  
2 : 선내 구조물에 설치되는 장비는 II형 허용곡선에 15dB 상향조정  
그림 2 고체소음 허용곡선(MIL-STD-740-2)

3.3 충격시험

장비를 구성하는 부품에 대해서는 충격시험을 생략하고 있으며, 함정장비 조립체에 대한 충격시험은 대부분 MIL-S-901D에서 규정하는 기계적 충격시험기를 이용하여 충격성능을 확인하는 것이 민수장비와 다른 점이라 할 수 있다. 장비의 중량이 300lbs 이하로 비교적 소형경량인 전기장치와 계

기류에 대해 전자기적 충격시험기를 이용하는 MIL-STD-810F와 MIL-STD-202G를 적용하고 있는데 이것은 KS V 0818 및 KS C 0905와 유사하다. 따라서 통일규격에서는 부품 및 소형경량 장비의 경우 KS V 0818을 적용하고 300lbs를 초과하는 경우 DDAM을 권장하였으며, 특별한 경우에만 기계적 충격시험을 적용하도록 규정하였다.

4. 충격시험 관련규격 비교

4.1 충격시험 종류 및 특성

국내 함정탑재장비에 적용되는 충격시험의 종류에는 기계적 충격시험기를 이용한 충격시험, 전자기적 충격시험을 이용한 충격시험, 낙하시험, 수중폭발을 이용한 충격시험 및 동역학적 구조해석방법을 이용한 이론적 계산 등을 들 수 있다.

4.1.1 기계적 충격시험

MIL-S-901D는 NRL에서 고안한 그림3 및 그림4의 시험기를 이용하여 표7과 같이 충격시험을 실시한다. 표8에서와 같이 고정치구를 포함하여 550lbs 이하는 경중량(light weight), 550~7,400lbs인 시험품은 중간중량(medium weight)으로 구분한다. 경중량 충격시험은 충격해머의 높이를 1, 3, 5ft로 점차 증가하면서 각각 3회씩 총 9회 시험하되 수직방향은 수직낙하 충격해머를 이용하고, 전후방향과 좌우방향의 충격시험은 안내판을 따라 시험품에 수평방향으로 충격토록 하는 수평낙하 충격해머를 이용하기 때문에 시험품을 충격

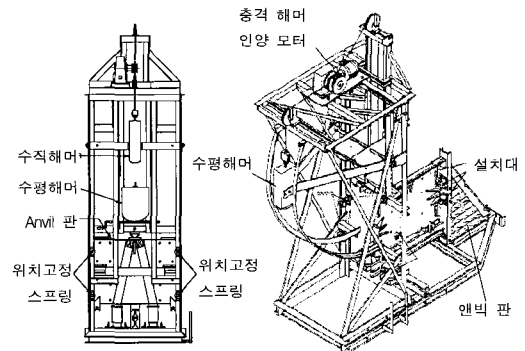


그림 3 경중량 충격시험기 구성도

방향에 일치하도록 시험품 조립대에 다시 설치해야 한다. 중간중량의 경우 표9에 보이는 충격해머 높이로 상하방향과 30° 경사지도록 설치하여 각각 3회씩 총 6회의 시험을 실시한다.

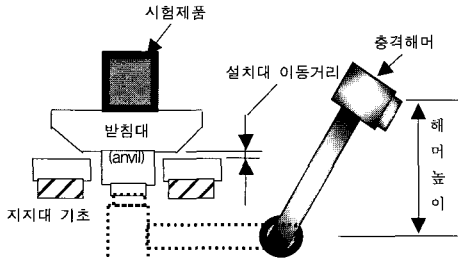


그림 4 중간중량 충격시험기 구성도

표 8 MIL-S-901D에 따른 기계적 충격시험 방법

구분	경 중량 충격시험	중간중량 충격시험
시험 중량	550 lbs 이하	7,400 lbs 이하
해머/Anvil	400 lbs / -	3,088/4,200 lbs
시험방법	1, 3, 5ft에서 상하, 좌우, 전후방향(각 9회)	중량별 해머높이, 수직/±30°경사 2회(총 6회)
받침대 틸새	해당 없음	충격등급별 1.5~3inch

표 9 중간중량 충격시험의 시험품 중량별 해머높이

충격 등급	I	II	III
충격 회수	2	2	2
Anvil 이동거리 (inch)	3	3	1.5
시험품 중량 (lbs)	해머 낙하높이 (ft)		
-	1,000	0.75	1.75
1,000	2,000	1.0	2.0
2,000	3,000	1.25	2.25
3,000	3,500	1.5	2.5
3,500	4,000	1.75	2.75
4,000	4,200	2.0	3.0
4,200	4,400	2.0	3.25
4,400	4,600	2.0	3.5
4,600	4,800	2.25	3.75
4,800	5,000	2.25	4.0
5,000	5,200	2.5	4.5
5,200	5,400	2.5	5.0
5,400	5,600	2.5	5.5
5,600	6,200	2.75	5.5
6,200	6,800	3.0	5.5
6,800	7,400	3.25	5.5

비고 충격등급 I-탄성지지 없음, II-탄성지지, III-I 과 II를 동시에 적용

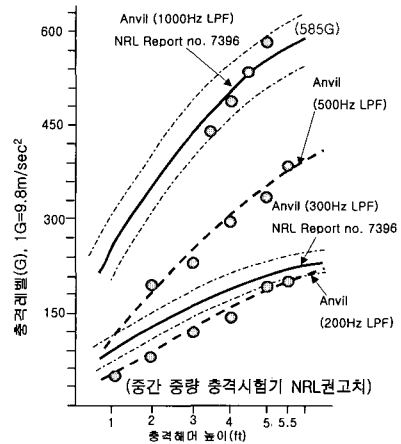
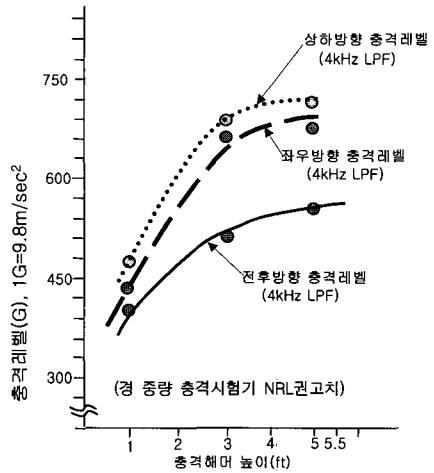


그림 5 기계적 충격시험기의 충격레벨

4.1.2 전자기적 충격시험

탑재장비의 전기장치 및 소형부품에 대한 전자기적 충격시험기를 이용하는 군사규격으로는 미국의 경우 MIL-STD-810F(방법516.5)와 MIL-STD-202G(방법213B), 독일의 경우 BV-043이 대표적인 충격시험규격이라 할 수 있다.

이들은 시험품의 용도 및 설치장소에 따라 충격파(반현파, 튕날파)의 충격레벨과 충격파 유지시간을 전자기적으로 조절할 수 있기 때문에 기계적 충격시험기를 이용하는 경우에 비해 보다 정밀한 충격시험을 수행할 수 있는 장점이 있다. 특히 BV-043은 합정의 종류와 충격방향에 따라 표9와 같이 충격계수를 조정하기 때문에 선체의벽에 설치되는 장비는 기관실이나 갑판에 설치되는 장비에 비해 5~10%(잠수함의 경우), 25~50%(수상함

의 경우) 정도로 충격레벨을 낮추고, 수직방향에 비해 좌우방향이나 전후방향의 충격시험레벨을 낮게 유지하고 있다.

전기제품에 대한 KS규격으로는 KS V 0818, KS C 0241 및 KS C 0905를 들 수 있으며, 시험 방법은 군사규격에서와 유사하게 진동시험기에 주파수별 충격파의 크기와 유지시간을 조정하고 있다. MIL-STD-810F(방법514.5)에서 적용하는 랜덤 진동시험의 경우 진동응답 증폭계수  $Q \geq 10$ 에서 충격시험을 진동시험으로 대체가능함을 아래의 충격가속도  $A(f)$ 의 계산식으로부터 알 수 있다.[4]

$$A(f) = 3 [ (\pi/2)G(f)fQ ]^{1/2}$$

여기서,

$A(f)$  : 주파수에 따른 충격가속도(in/s<sup>2</sup>),  
1G=386in/s<sup>2</sup>

$G(f)$  : 주파수에 따른 가속도 스펙트럼 밀도 (in/s<sup>2</sup>/Hz)

$f$  : 주파수(Hz),  $Q$  : 증폭계수

표 9 독일해군 합정장비의 충격레벨(BV-043)

조건 합정	충격방향	설치장소	충격레벨	
			G	
수상함 >2,000톤	수직방향	선체 외벽	287.8	
		선체구조물, 기관실	142.9	
		갑판	86.7	
	수평방향	선체 외벽	255.1	
		선체구조물, 기관실	86.7	
		갑판 상	51.0	
소해함	수직방향	선체 외벽, 선체구조물	287.8	
		갑판	132.7	
	수평방향	선체 외벽	255.1	
		선체구조물, 기관실	173.5	
수상함 < 1,000톤	수직방향	선체 외벽	186.7	
		선체구조물, 갑판	86.7	
	수평방향	선체 외벽	142.9	
		선체구조물, 기관실	51.0	
	잠수함 > 2,000톤	수직방향	선체 외벽	408.2
			선체구조물, 기관실	204.1
좌우방향		선체 외벽	357.1	
		선체구조물, 기관실	122.4	
전후방향	선체 외벽	178.6		
	선체구조물, 기관실	61.2		
	선체 외벽	377.6		
잠수함 < 1,000톤	수직방향	선체구조물, 기관실	189.8	
		선체 외벽	331.6	
	좌우방향	선체구조물, 기관실	112.2	
		선체 외벽	165.9	
	전후방향	선체구조물, 기관실	56.1	

#### 4.1.3 낙하시험

탑재장비의 충격시험 가운데 가장 오래전부터 적용되는 시험방법으로 MIL-STD-810F 방법 516.5와 MIL-STD-202G의 203C을 들 수 있는데 이들은 주로 장비의 보관 및 이동 중 발생하는 포장물의 낙하충격에 의한 장비의 손상가능성을 확인하는 데 적용되며, 구멍장치, 소화장치 및 부이 등의 고무제품의 내충격성 확인을 위해서도 낙하시험을 적용하고 있다. 반사경이나 작업등과 같이 충돌에 의해 파손되기 쉬운 제품의 충격레벨은 대개 10~50G 범위이며, 충격파 유지시간은 충격레벨 평균치  $A_m(G)$ , 낙하높이  $h(m)$ , 충격가속도  $1g=9.8m/s^2$ 일 때 아래의 식으로 구한다.

$$\Delta t = 2\sqrt{2gh/A_m} \text{ (sec)}$$

#### 4.1.4 수중폭발시험

시험 중량이 7,400lbs 이상일 때는 MIL-S-901D에서 규정한 부력을 갖는 플랫폼이나 실선에서 용골 충격계수(keel shock factor, KSF)를 0.3으로 유지하도록 표10에 보이는 시험절차에 따라 HBX-1 폭약의 무게와 위치를 결정해야 한다.

$$KSF = (\sqrt{W/D_1})(1 + \sin\theta)/2 \text{ ; 수상함정에 적용}$$

$$KSF = \sqrt{W/D_1} \text{ ; 수중함정에 적용}$$

여기서, W : 충격에너지(lb · ft), D : 충격거리(ft)

$\theta$  : 충격파 전달각(deg.)

표 10 수중폭발 충격시험 절차

시험 조건	표준 부유 충격시험대	대형 부유 충격시험대
수면 하 폭약 깊이	24 ft	20 ft
폭약 중량/ 성분	60 lbs / HBX-1	300 lbs / HBX-1
폭발 방향(선수, 선미)		
1차 폭발	전후(중) 방향	전후(중) 방향
2, 3, 4차 폭발	좌우(횡) 방향	좌우(횡) 방향
폭발 위치(수평 거리)		
1차 폭발	40 ft	
2차 폭발	30 ft	110 ft
3차 폭발	25 ft	80 ft
4차 폭발	20 ft	65 ft
		50 ft

#### 4.1.5 동역학적 충격해석방법(DDAM)

MIL-S-901D에 의한 과도한 충격레벨을 적용할

수 없는 장비이거나 기계적 충격시험 혹은 수중폭발에 의한 충격시험이 불가능할 경우에는 유한요소법을 이용한 구조해석 전산프로그램을 이용하여 충격신호 여과주파수 1,000Hz까지의 모든 모드(대개 5차 이내)에 대한 충격방향(수직, 전후, 좌우)의 응력(인장, 전단)을 계산하여 사용된 재료의 허용치와 비교해야 한다.

이 때에 고려되는 충격레벨은 시험제품의 설치 장소와 충격방향에 따라 표11의 값을 적용하고 미국해군이나 NATO에서 많은 충격시험결과를 토대로 탑재장비의 중량 및 충격방향에 따라 결정된 그룹1의 충격설계계수와 사용된 재료의 허용응력을 비교하여 안전성을 확인한다.

표 11 DDAM의 충격 설계치 비교 (2)

설치 위치	충격 방향			비고	
	상하	좌우	전후		
수상함	선체	1.0A <sub>0</sub>	0.2A <sub>0</sub>	0.1A <sub>0</sub>	A <sub>0</sub> : 선체 벽에서의 충격가속도(G) A <sub>0</sub> = 40[(37.5 + W <sub>j</sub> )(12 + W <sub>j</sub> )/(6 + W <sub>j</sub> ) <sup>2</sup> ] W <sub>j</sub> = G ∑(M <sub>j</sub> x <sub>j</sub> ) <sup>2</sup> / ∑(M <sub>j</sub> x <sub>j</sub> <sup>2</sup> ): 모드별 질량
	구조물	0.5A <sub>0</sub>	0.2A <sub>0</sub>	0.1A <sub>0</sub>	
	갑판	0.25A <sub>0</sub>	0.1A <sub>0</sub>	0.1A <sub>0</sub>	
잠수함	선체	1.0A <sub>0</sub>	0.2A <sub>0</sub>	0.08A <sub>0</sub>	M <sub>j</sub> , x <sub>j</sub> : 각 지점에서의 j차 질량, 변위 A <sub>0</sub> = 52[(480 + W <sub>j</sub> )(20 + W <sub>j</sub> ): 잠수함
	구조물	0.2A <sub>0</sub>	0.2A <sub>0</sub>	0.08A <sub>0</sub>	
	갑판	0.1A <sub>0</sub>	0.2A <sub>0</sub>	0.08A <sub>0</sub>	

자료 : NRL Memorandum Report 1396(2)

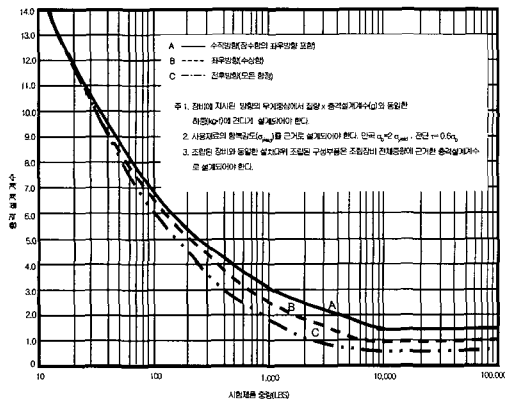


그림 6 함정탑재장비의 중량별 충격설계계수(6)

충격레벨의 크기를 함정종류, 충격방향, 설치위치에 따라 차등화 하고 있는 것은 BV-043의 경우와 유사하지만 잠수함의 전후방향과 좌우방향을 동일하게 취급하고 있는 것은 약간 다르다고 할 수 있다.

표 12 DDAM 및 BV-043 특성 비교

DDAM	BV-043
시험방법 : 이론적 구조해석	시험방법 : 전자기적, 이론적
합성구분 : 수상함, 잠수함	합성구분 : 수상함/소해함/잠수함
충격방향 : 상하, 좌우, 전후	충격방향 : 상하, 좌우, 전후 (잠수함의 경우만 전후방향)
설치위치 : 외판, 선체, 갑판	설치위치 : 외판, 선체, 갑판
설치방법 : 탄성, 탄소성유무	설치방법 : 구분 없음
충격계수 : 선체 상하방향에 서 최대 값	충격계수 : DDAM과 유사 합성크기 : 1천톤, 2천톤 구분

4.2 DDAM에 의한 배전반 충격성능 해석 예

수상함 갑판에 설치되는 배전반의 충격성능을 확인하기 위해 DDAM을 이용할 경우 배전반에 사용된 표13의 재료특성 및 그림 7의 해석모델을 근거로 ANSYS Ver.5.61의 상용 구조해석 프로그램을 이용하여 표14의 유효질량 W<sub>j</sub>(lb·s<sup>2</sup>/in) 과 충격가속도 A<sub>0</sub>(G) . Von Mises에 의한 j차 모드 응력 σ<sub>j</sub> , i자유도에 대한 NRL 합성 R<sub>i</sub> 및 시험제품의 전체응력 σ<sub>total</sub> 을 충격설계치차서(8)에 따라 순차적으로 구하여 아래와 같다.

표 13 배전반의 사용재료 물성치

재질별 물성치	본체구조물(SS400)	Bus-Bar(C1100 1/2H)
탄성계수, E( psi )	30E+6	18E+6
밀도, ρ ( lb/in <sup>3</sup> )	0.28	0.32
포아송 비, ν	0.3	0.36
항복강도, σ <sub>y</sub> ( ksi )	35.5 (245 MPa)	41.1 (283 MPa)
전체중량: 5,782lbs, 질중질량(스위치) : 1,153lbs(1set), 717lbs(3set)		

배전반의 좌우, 전후, 상하방향의 모드별 유효 질량에 의한 충격가속도(G)는 배전반이 수상함 갑판에 설치되는 것으로 간주하여 아래의 식으로부터 구한다.

$$A_0 = 10[(37.5 + W_j)(12 + W_j)/(6 + W_j)^2]$$

여기서,

$$W_j = G \sum_{j=1}^n (M_j x_j)^2 / \sum_{j=1}^n (M_j x_j^2) : \text{모드별 유효질량}$$

M<sub>j</sub>, x<sub>j</sub> : 각 지점에서의 j차 질량, 변위

G : 충격 가속도



이렇게 하여 계산된 각 방향의 모드별 유효질량  $W_j$  은 표14에 보이는 배전반 전체질량

$$W_o = 5,782/386 = 14.9793$$

( $lb \cdot s^2/in$ )의 82.8%(좌우방향), 86.8%(전후방향), 80.3%(상하방향)이므로 충격설계절차서의 DDAM 요구조건인 80% 이상을 만족하였다.

표 14 좌우방향 모드별 유효질량 계산 예

충격 방향	주요차수 (order)	주요주파수 (Hz)	모드별 유효질량 합 $\sum W_{x_j}$ ( $lb \cdot s^2/in$ )	전체중량의 백분율(%)
좌우	2	42.5	12.409286	82.8
전후	1	33.7	13.006748	86.8
상하	15	157.3	12.027628	80.3

배전반의 차수별, 충격방향별 충격에너지에 의한 구조물 보강재에 발생하는 j차 모드응력  $\sigma_j$ , 충격하중에 의한 i점에서의 합성응력  $R_i$ , 배전반의 전체응력  $\sigma_{total}$  은 아래의 계산식을 이용하여 구할 수 있다.

$$\sigma_j = \sqrt{\sigma_{xj}^2 + \sigma_{yj}^2 + \sigma_{zj}^2 - \sigma_{xj}\sigma_{yj} - \sigma_{yj}\sigma_{zj} - \sigma_{xj}\sigma_{zj} + 3(\tau_{xyj}^2 + \tau_{yzj}^2 + \tau_{xzzj}^2)}$$

$$R_i = |R_{ia}| + \sqrt{\left(\sum_{j=1}^N R_{ij}^2\right) - R_{ia}^2}$$

$$\sigma_{total} = \sigma_{shock} + \sigma_{operating} \leq \sigma_{allowable}$$

$$\sigma_i = M_i/Z_i, \quad \tau_i = 2T_i/Z_i, \quad (i=x, y, z)$$

여기서,

$M_i$ ,  $T_i$  : i차 모멘트,  $Z_i$  : 단면계수,

x, y, z : 충격방향,  $R_{ia}$  : 충격영향이 가장 큰 차수의 응력(psi) 혹은 변위(in),  $\sigma_{total}$  : 전체 응력,  $\sigma_{shock} \approx R_i$  : 충격응력,  $\sigma_{operating}$  : 운전 응력(psi),  $\sigma_{allowable}$  : 허용응력(psi),  $R_{ij}$  : i 방향 j차 모드의 응력(psi) 혹은 변위(in)

NRL 합성방법에 따라 합산된 전체 등가응력과 배전반에 사용된 재료의 허용응력을 비교한 결과 충격방향에 따른 주요모드별 충격레벨은 표15 및 표16에 보이는 바와 같이 BV-043의 충격레벨과 유사하고 허용응력의 76% 수준의 충격에너지 이

지만, MIL-S-901D의 중간중량 충격시험기를 이용할 경우 충격해머 높이 2.75ft에서 배전반의 충격레벨이 이론적 충격레벨의 7배 이상인 562G 정도로 높게 나타나는 것으로 보아 기계적 충격시험의 문제점을 지적할 수 있다.

표 15 배전반의 주요 모드의 충격레벨 계산결과

충격 방향	주요 모드	유효질량, $W_j$ ( $lb \cdot s^2/in$ )	충격레벨, $A_o$ ( $G=386in/s^2$ )	BV-043 수상함)2000톤
수직	j=15차	$W_{15} = 2.6620$	$A_{15} = 78.5$	86.7G
좌우	j=2차	$W_2 = 8.74527$	$A_o = 44.1$	51.0G
전후	j=1차	$W_1 = 7.76035$	$A_o = 47$	51.0G

표 3.16 충격방향별 최대응력과 허용응력 비교

충격 방향	충격에 의한 최대 응력 [ ksi ]	허용 응력 [ ksi ]
수직 방향	54.0	71.0
좌우 방향	37.8	
전후 방향	30.1	

### 4.3 기계적 충격시험기의 충격레벨 검토

미국해군의 충격시험기준인 MIL-S-901D에 따라 적용되는 기계적 충격시험기의 충격레벨을 충격해머 높이의 위치에너지와 낙하 후 운동에너지의 관계로부터 충격속도를 계산하고 충격시험자료를 토대로 얻어진 충격과 유지시간(일반적으로 0.5~1.5ms)을 이용하여 경중량 충격시험기와 중간중량 충격시험기의 충격레벨이 적합한지를 아래의 시험제품에 대한 경우를 예로 들어 검토하면 아래와 같다.

#### 4.3.1 경중량 충격시험기의 충격레벨

고정치구를 포함한 시험제품 중량  $m_1 = 317(lbs)$  인 제상장치의 제어반을 예로 들면 전체중량이 550(lbs) 이하이므로 경중량 충격시험기에 해당된다. 시험제품에 발생하는 최대충격레벨은 충격해머 낙하높이  $h_L = 5(ft)$ , 충격과 유지시간  $\Delta t_L = 1.5(ms) = 0.0015(s)$ , 해머중량  $m_L = 400(lbs)$ 이므로 충격해머 및 받침대의 순간속도  $\Delta v_L, \Delta v_{LA}$ 는

$$\Delta v_L = \sqrt{2gh} = \sqrt{2 \times 386 \times 5 \times 12} = 215.2(in/s)$$

$$\begin{aligned}\Delta v_{LA} &= \Delta V_L \times m_L / (m_L + m_1) \\ &= 215.2 \times 400 / (400 + 317) \\ &= 120 (in/s)\end{aligned}$$

따라서 시험제품인 제어반의 충격레벨  $a_1 (in/s^2)$ 은

$$\begin{aligned}a_1 &= (\pi/2) \Delta v_{LA} / \Delta t_L = (\pi/2) \times 120 / 0.001 \\ &= 125,663 (In/s^2) = 488 (G)\end{aligned}$$

계산된 충격레벨은 그림 7의 측정레벨 638(G) 보다 낮게 나타나고 있는 것으로 보아 충격시험기의 구조개선이 요구된다.

#### 4.3.2 중간중량 충격시험기의 충격레벨

표 13의 배전반의 경우, 총 중량  $m_2 = 5,782 (lbs)$  이므로, 총 중량 7,400(lbs) 이하에서 적용되는 충격시험기의 충격해머 중량  $m_M = 3,088 (lbs)$ , 해머높이(표 9)  $h_M = 2.75 (ft)$ , 받침대(anvil)의 중량  $m_{MA} = 4,200 (lbs)$ , 충격과 유지시간  $\Delta t_M = 5 (ms) = 0.005 (s)$  일 때, 충격해머 및 받침대의 순간속도  $\Delta v_M, \Delta v_{MA}$ , 배전반의 충격레벨

$a_{MA} (in/s^2)$  는

$$v_M = \sqrt{2gh_M} = \sqrt{2 \times 386 \times 2.75 \times 12} = 160 (in/s^2)$$

$$v_{MA} = v_M \times m_M / (m_{MA} + m_2)$$

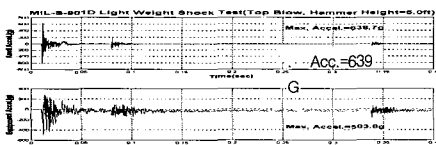
$$= 160 \times 3,088 / (4,200 + 5,782)$$

$$= 49.5 (in/s)$$

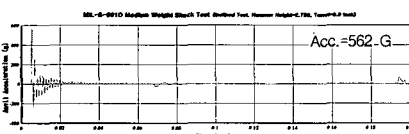
$$a_{MA} = (\pi/2) \Delta v_{MA} / \Delta t_M = (\pi/2) \times (49.5 / 0.0005)$$

$$= 155,508 (in/s^2) = 403 (G)$$

계산된 배전반의 충격레벨은 그림 7의 측정레벨 562G 보다 작은 값으로 나타나고 있다.



a) 제상장치 제어반의 충격레벨



b) 배전반의 충격레벨

그림 7 시험제품별 충격레벨

### 3. 결 론

통일규격에서의 충격시험기준은 KS C 0905 및 BV043에 따른 전자기적 충격시험을 권장하고, 충격시험기를 사용할 수 없는 경우에는 DDAM을 활용토록 하였다. 그러나 발주자의 요구에 따라 이들 모두가 적합하지 않다고 판단할 때는 미국해군의 충격시험기준인 MIL-S-901D를 포함하여 별도의 규정을 제정해서 적용할 수 있도록 하였다. 그러나 이러한 충격시험기준은 향후 기술적인 검토과정을 거쳐서 탑재장비의 함정종류, 크기, 설치장소, 충격방향, 탄성지지 유무에 따라 적합한 충격레벨을 규정할 필요가 있다. 국내 함정탑재장비의 충격시험실적으로 볼 때 MIL-S-901D에 의한 충격레벨은 NRL 권고치, DDAM, 독일해군규격(BV-043)에 비해 30% 정도 높고, 시험제품의 중량에만 의존하는 것 보다는 장비를 탑재하는 선박의 종류, 설치장소 및 충격방향에 따라 충격레벨을 DDAM 및 BV-043에서의 충격계수를 적용하는 것이 타당하다고 본다.

### 참고문헌

- [1] 신윤길 외, 함정 탑재장비의 내충격성 평가, 육포 조선기술, 제2호, 통권 제52호, 2001
- [2] George J, O'Hara and etc., Interim Design Values for Shock Design of Shipboard Equipment, NRL Memorandum Report 1396, Feb. 1963
- [3] BV043, Shock Resistance-Experimental and Mathematical Proof, Building Specification for Ships of the Federal Armed Forces, March 1985
- [4] MIL-STD-810F, Department of Defense Test Method Standard for Environmental Engineering Considerations and Laboratory Tests, Jan. 2000
- [5] MIL-STD-202G, Department of Defense, Test Method Standard- Electronic and Electrical Component Parts, Feb. 2002

- [6] Blazek S.M., Philosophy in the Shock and Design Requirements of Shipboard Equipment, Shock and Vibration Bulletin, No.23, pp25~30, 1956
- [7] 해군 조함단, 함정의 소음/충격/진동 설계 및 관리 지침서, 2003
- [8] NAVSEA 0908-LP-000-3010 Rev.1, Shock Design Criteria for Surface Ships, Sept. 1995
- [9] Hartsough, K., The Navy Shock Qualification Process, Lecture Note of Tutorial Course in 73rd Shock & Vibration Symposium, 2002.
- [10] Clements, E.W., Shipboard Shock and Navy Devices for Its Simulation, NRL Report 7396, July 1972
- [11] MIL-S-901D, Military Specification, Shock Tests, H.I(High Impact) Shipboard Machinery Equipment and Systems, Requirements for, 17 March 1989
- [12] KS C 0241, 환경시험 방법(전기·전자) 충격시험 방법
- [13] KS C 0905, 소형 전기기기의 충격시험 방법
- [14] KS V 0818, 선박용 전기 기구 환경시험 통칙
- [15] KS B ISO 1940-1, 기계적 진동-강성회전체의 평형특성 요구 조건-제1부: 허용잔류불평형량의 결정
- [16] ISO 2631-1(1997), Mechanical vibration and shock- Guideline for the overall evaluation in merchant ships
- [17] ISO 2923(1975) Acoustics-Measurement of noise on board vessels
- [18] ISO 3046-5(2001), Reciprocating internal combustion engines- Performance - Part 5: Torsional vibrations second edition.