

함정 탑재 장비의 내충격 성능 평가

정 정 훈

(한국기계연구원 구조시스템연구부)

1. 머리말

일반 상선과는 달리 전투라는 특수 임무를 갖는 함정의 설계 및 건조에 있어서 예상되는 적의 수중폭발 공격에 대한 함정 선체 구조 및 주요 탑재 장비의 내충격 안전성 확보는 함정의 생존성(survivability) 관점에서 고려해야 할 가장 중요한 사항 중의 하나이다⁽¹⁾. 수중폭발이 선체에 바로 근접하여 일어나는 접촉성 폭발의 경우에는 선체 구조에 치명적인 손상을 야기시켜 실제적인 대책 마련이 매우 어렵게 된다. 따라서, 함정의 생존성 관점에서 통상 고려하고 있는 수중폭발의 조건은 선체로부터 어느 정도 떨어진 거리에서 일어나는 비접촉성 수중폭발의 경우이다. 세계 2차대전 초기 독일군에 의해 영국 인접 바다에 부설된 기뢰(mines)의 비접촉성 수중폭발 공격에 의하여 영국 함정의 전투 불능 사례가 처음으로 보고된 이래 미국과 영국을 비롯한 선진 군사 강국에서는 자국 함대의 내충격 안전성 확보를 통한 전투력 향상을 위하여 수많은 연구가 군사적 차원에서 현재까지 지속적으로 수행되고 있다. 현재까지 보고된 비접촉 수중폭발 공격에 의한 함정의 전투 불능 사례의 원인은 대부분 함정 선체 자체의 충격 손상보다는 주요 탑재 장비들의 충격 손상에 기인하는 것으로 알려져 있다. 따라서 고도의 생존성을 갖는 함정의 건조를 위해서는 주요 탑재 장비의 내충격 성능 평가가 필수적이며, 이를 위해서는 장비 설계시 내충격 설계 개념의 도입 및 해석을 통한 설계 검증, 제작후 충격시험을 통한 장비 자체의 내충격 성능확인, 탑재후 실선 충격시험을 통한 최종

적인 성능 검증이라는 일련의 엄격한 과정이 요구된다.

한국 해군에서도 1980년대 중반부터 이 분야의 중요성에 대한 인식이 높아 감에 따라 더욱 엄격한 내충격 요구 사항을 국내 조선소 및 장비제작사에 제시하고 있으나 국내의 연구 경험이 일천하여 대부분의 경우 선진 외국 기술에 의존하고 있다. 그러나 1980년대 후반부터 부분적으로나마 활성화되고 있는 국내의 연구 활동 예로서, 장비의 충격 해석을 통한 내충격설계검증, 일부 장비제작사들의 충격시험기 확보 및 이를 이용한 장비 내충격 성능시험, 실선 충격시험, 함정 전선(full ship) 충격응답해석 등은 이 분야의 기술이 국방 기술이라는 특성으로 인하여 선진 기술의 도입이 용이하지 않음을 감안할 때 한국 해군 함정의 내충격설계 기술 자립을 위하여 매우 고무적인 일이다.

본 고에서는 미해군을 비롯한 유럽의 선진 군사 강국들이 현재 사용하고 있는 함정용 탑재 장비의 내충격 성능 평가 방법을 살펴보고, 동 기술 분야에 대한 국내의 현황 및 향후 기술개발 방향에 대해 개괄하고자 한다.

2. 수중폭발 현상의 개요^(2,3)

폭약이나 핵무기의 수중에서의 폭발은 고온·고압의 가스구체(gas bubble)의 생성 및 급작스런 에너지의 방출을 통하여 주위의 물에 교란을 야기시킨다. 이 경우 상당한 물의 부피 변화가 생기며 압축성 유동이 발생한다. 수중폭발에 의하여 야기된 교란은 폭발원 근방에서는 음속의 3~5배의 속도로, 그러나 어느 정도 거리를 통과하면서부터는 대략 음

표 1 수중폭발에 의한 방출 에너지 분배⁽²⁾

Total energy released by explosion 100%	Initial shock wave energy released 53%	Initial energy loss during early propagation - 20 %
	Energy in first pulsation 47%	Damaging energy available in shock wave - 33%
		Radiated as first bubble pulse - 13%
		Energy loss in minimum - 17%
		Energy in second pulsation - 17%

속으로 물 속을 구상파(spherical wave)의 형태로 전파해 가는데 이를 충격파(shock wave)라 한다. 충격파는 백색스펙트럼(white spectrum)을 갖는 충격 하중으로 선체에 작용하여 고차 모드의 과도한 동적 천이(transient) 구조 응답을 발생시켜 선체 국부 구조 및 주요 탑재 장비에 치명적인 손상을 야기시킬 수 있다.

충격파가 전파해 가는 동안 폭발시 생성된 고압의 가스구체는 팽창을 계속하여 주위 수압과의 평형 점을 지나 그 크기가 최대 점에 이르면 가스구체의 내부 압력은 무시할 정도로 감소하여 수압에 의해 수축하게 되며, 최소 크기의 시점에서 붕괴가 일어나고 이 때 1차 가스구체 압력파(bubble pulse)가 발생한다. 수축시 증가된 내부 압력에 의해 가스구체는 다시 팽창하며 에너지가 소멸될 때까지 계속해서 팽창·수축의 맥동(pulsating) 운동을 한다. 가스구체는 맥동운동뿐만 아니라 중력에 의해 수직상승이동(migration)하며, 상승이동량의 대부분은 각 맥동주기마다 가스구체가 최소 크기가 되는 시점에서 발생한다. 충격파에 의한 물의 유동이 압축성인데 반하여 충격파가 지나간 후 가스구체의 맥동

운동에 의한 물의 유동은 비압축성이며, 가스구체의 1차 맥동진동수가 대체적으로 함정 선체거더의 상하 2절 진동 고유진동수와 비슷하여 과도한 선체거더 휘핑(whipping)을 유발하며 심한 경우 함정 선체는 종강도를 상실할 수 있다. 그림 1은 시간에 따른 가스구체의 반경 및 수직상승이동량과 폭발원으로부터 일정 거리 떨어진 임의의 한 점에서의 압력을 개략적으로 보여주고 있다. 표 1에는 수중폭발에 의해 방출되는 에너지의 분배를 나타내었다. 표 1에서 보듯이 수중폭발 전체 에너지의 약 53%가 충격파로 전파되며, 약 47%가 가스구체의 맥동운동에너지로 사용된다.

한편, 그림 2는 수중폭발시 자유수면위에서 일어나는 물리적 현상을 보여주고 있다. 그림에서 보듯이 수중폭발 직후 발생한 충격파가 먼저 수면에 도달하여 스프레이 돔(spray dome)이 형성되고, 이어서 가스구체 압력파가 수면에 도달하여 스프레이 돔을 관통하는 물기둥(plume)이 형성된다. 수상함(surface ship)의 경우 수중폭발 공격에 의해 선체 및 탑재 장비에는 손상이 전혀 없더라도 물기둥이 형성되는 지역 내에 위치하게 되면 물기둥 발생시 순간적으로 복원력을 상실하여 전복될 위험이 있다.

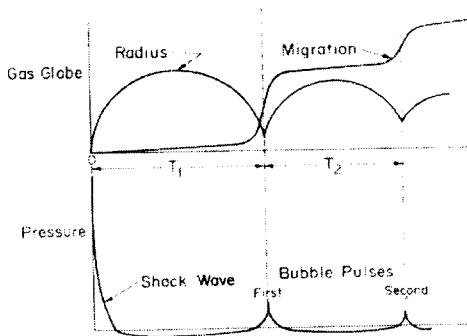


그림 1 수중폭발 현상의 시간 이력⁽²⁾

3. 시험에 의한 내충격 성능 평가

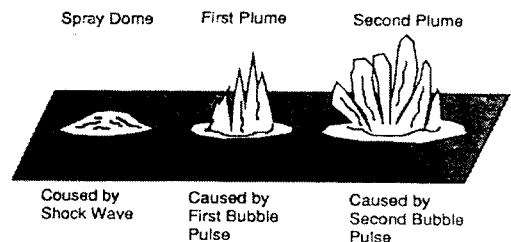


그림 2 자유 수면 위에서의 수중폭발 현상⁽³⁾

표 2 MIL-S-901 경중량 및 중간 중량 충격시험기의 주요 특성⁽⁵⁾

	경중량 충격시험기	중간 중량 충격시험기
제원	1422(W)x4300(D)x4390(H)	7000(W)x4300(D)x5000(H)
최대 시편 중량	550lb	7400lb
충격 해머 중량	400lb	6000lb
충격가진방향	3축(상하, 좌우, 전후 방향)	1축(상하 방향)

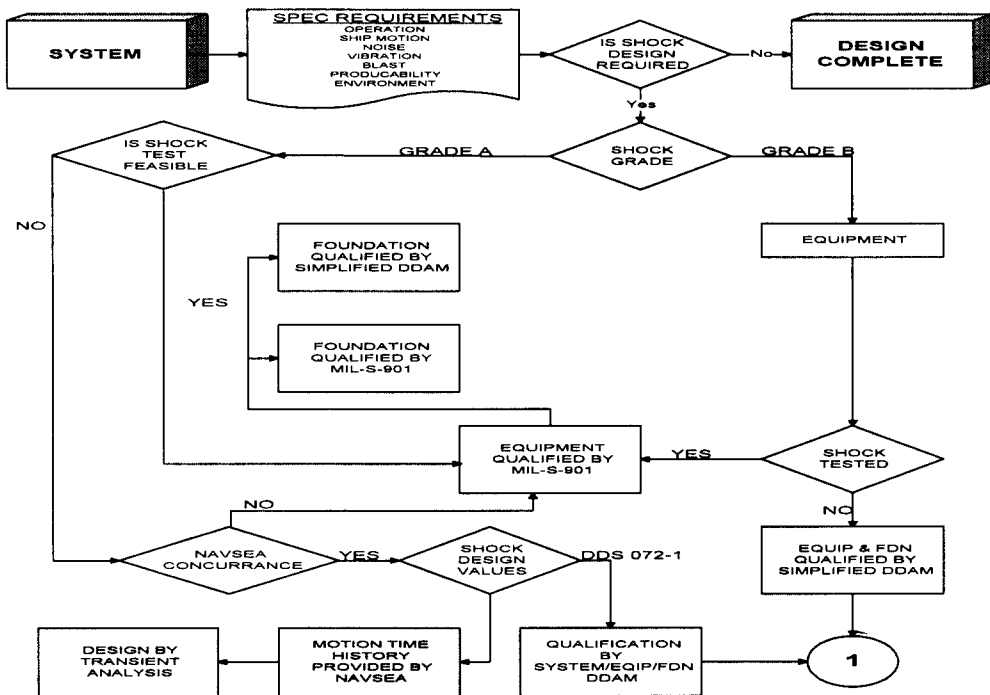


그림 3 미해군의 탑재 장비 내충격 성능 검증 절차⁽⁴⁾

그림 3에는 미해군에서 현재 채택하고 있는 함정용 탑재 장비의 내충격 성능 검증 절차를 나타내었다⁽⁴⁾. 그림에서 보듯이 함정의 전투 및 운항 성능에 필수적인 장비(충격등급 A)에 대해서는 가능한 한 충격시험을 통하여 내충격 성능을 검증하는 것이 미해군을 비롯한 각국 해군의 기본 입장이다.

함정용 탑재 장비의 충격시험은 일반적으로 시험 대상 장비의 중량에 따라 경중량(light-weight), 중간 중량(medium weight) 및 중중량(heavy weight) 충격시험으로 분류된다.

미해군 충격시험 사양인 MIL-STD-901D⁽⁵⁾에서는 시험 보조 장치(지지대 및 각종 볼트, 너트류 포함) 중량을 포함한 장비의 중량이 550lb미만인 경우에는 경중량 충격시험을, 550lb 이상 7400lb 미만의 경우에는 중간

중량 충격시험을, 그 이상의 경우에는 중중량 충격시험을 수행하도록 규정하고 있다. 또한, MIL-STD-901D에서는 각 충격시험을 수행하기 위한 충격시험기와 이를 사용한 충격시험 절차를 규정하고 있다. 경중량 충격시험기 및 중간 중량 충격시험기는 그림 4와 그림 5에 보인 바와 같이 충격 시험대(anvil plate) 위에 시험 대상 장비를 취부하고 충격 해머(hi-impact hammer)의 자유낙하에 의해 충격을 가하는 기계적 장치이다. 이들 충격시험기는 세계2차대전 중에 개발(경중량 충격시험기:1940년 General Electric사 제작, 중간 중량 충격시험기:1942년 Westinghouse Electric사 제작)되어 현재까지 거의 수정 없이 사용되고 있다. 이들 시험기의 개발 당시에는 수중폭발에 의한 함정 선체 및 탑재 장비의 충격 응답 예측이 불가능하여 실

표 3 경중량 및 중간 중량 충격시험에 대한 미해군과 NATO의 개념 비교^(6,7)

U. S. Navy	NATO
<ul style="list-style-type: none"> • Machine designed for simulation WW2 damage • Testing is defined in terms of approved facilities and prescribed machine settings → No shock measurements • Hardly any changes in test procedures over a very long period • No scope for improvements in shock testing, based on ship shock measurements since WW2 	<ul style="list-style-type: none"> • Machine designed to simulate shock motions or response spectra • Machines are not standardized • Testing is defined in meeting the required pulseforms and/or response spectra → Shock measurements on table are required • Different tests for different shock zones in the ship • Occasional updating of test severities based on recent research

제 장비가 받게 되는 충격 신호를 구현할 수 없었기 때문에 그 당시까지 관측된 실제 장비의 충격 손상 사례를 바탕으로 충격시험기가 이와 유사한 충격 손상을 가할 수 있도록 고안되었다. 표 2에는 이들 충격시험기의 주요 특성을 정리하였다.

중중량 충격시험은 시험 대상 장비의 중량이 60,000 lb까지는 표준부유충격시험대(standard

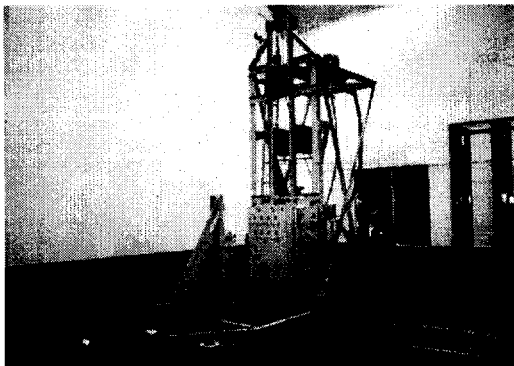


그림 4 MIL-S-901 경중량 충격시험의 예

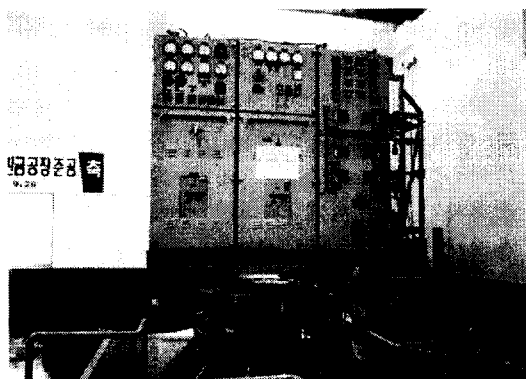


그림 5 MIL-S-901 중간중량 충격시험의 예

floating shock platform, SFSP)를, 400,000 lb까지는 대형부유충격시험대(large floating shock platform, LFSP)를 사용하여 실제 수중폭발 시험을 실시한다. 1961년과 1969년에 각각 개발된 SFSP 및 LFSP는 시험 대상 장비를 취부하게 되는 선체 이중저구조와 유사한 지지대와 충격시험 중에 장비의 구성품이 이탈하여 물 속에 빠지지 않게 하기 위한 덮개로 구성되어 있다. 그림 5에는 SFSP를 이용한 중중량 충격시험 장면을 나타내었다.

한편, 경중량 및 중간 중량 충격시험의 경우 유럽 국가를 중심으로한 NATO에서 규정하는 충격시험기와 시험 절차는 상기 미해군의 것과 개념적으로 상당한 차이가 있으며, 이를 표 3에 정리하였다^(6,7). 표 3에서 보듯이 미해군의 충격시험 규정은 시험 대상 장비가 실제 탑재되는 함정의 선종이나 탑재 위치에 무관한 일원화된 규정이다. 즉, 미해군에서 규정하는 도면^(8,9)대로 제작된 충격시험기를 사용하여 MIL-STD-901에 따라 충격시험을 수행하여야 한다. 충격시험을 위한 충격해머의 높이는 대상 장비가 받을 수 있는 최악의 충격 환경을 구현하도록 결정되었다. 따라서 MIL-STD-901에 따른 충격시험에서는 반드시 충격 신호의 계측이 필요하지는 않다.

그러나 NATO에서 사용하는 충격시험은 실선 충격시험을 통하여 축적된 충격 신호를 선종, 장비 탑재 위치 및 중량별로 규격화하여 대상 장비의 충격시험에 사용될 충격 신호를 규정하고 충격시험기가 규정된 충격 신호를 정확하게 구현하였는지에 따라 충격시험의 적정성을 평가한다. 따라서 NATO에서 규정

표 4 MIL-STD-901 충격시험기의 국내 보유 현황

충격시험기	수량	보유 회사
경중량 충격시험기	3	대양전기(주), 오복전기(주), KT전기(주)
중간 중량 충격시험기	3	경원세기(주), 대양전기(주), KT전기(주)
중중량 충격시험기	-	-

하는 충격시험은 충격시험기의 종류 및 작동 방법에 무관하며 충격 시험대에서 제측된 충격 신호가 요구된 충격 신호를 만족하면 된다. 이상에서 살펴본 바와 같이 미해군의 충격시험 요건은 NATO의 요건에 비하여 대상 장비의 실제 충격 환경을 정확히 구현하지 못한다는 단점이 있으나, NATO국가들에 비하여 상대적으로 새로운 등급(class)의 합정을 많이 건조해 온 미해군의 입장에서는 모든 등급의 합정용 탑재 장비에 적용할 수 있는 일원화된 규정이 더 바람직한 것으로 판단된다. 왜냐하면 NATO에서와 같은 접근 방법은 매년 새로운 등급의 합정용 탑재 장비의 충격시험을 위해서는 새로운 충격 신호를 사전에 알고 있어야 한다는 문제가 있기 때문이다.

충격시험 장비를 이용한 장비 자체의 내충격성능 검증 시험과 함께 미해군 및 NATO 회원국들은 실선 충격시험을 통하여 최종적으로 장비의 내충격성능을 평가하려는 시도가 더욱 늘어나고 있는 추세이다. 그 이유는 장비 자체의 내충격성능이 검증되었다 하더라도 실제 함내 장비 탑재 시의 오류(예로써, 장비들 사이의 간격 불충분)들로 인하여 장비가 치명적인 손상을 입는 경우가 종종 발생하기 때문이다. 실선 충격시험은 수중폭발에 의한 합정 및 탑재 장비의 충격 응답 특성을 정확히 규명할 수 있는 최종적인 수단일 뿐만 아니라, 합정 승무원들에게 실제 전투상황시 수중폭발 공격에 유연하게 대처할 수 있는 예비교육의 기회를 아울러 제공한다. 실선 충격시험에 있어서 충격의 세기는 통상 설계 기준의 충격 세기보다 작게 실시한다. 그 이유는 심한 충격에 의해 합정 선체가 손상을 입게 되면 보수를 위한 비용 및 시간에 많은 어려움이 있기 때문이다. 그림 6에는 1991년 한국 해군에서는 처음으로 (주)강남에서 건조한 기뢰탐색함에 대하여 실시한 실선 충격시험 장면을 보였다.

국내의 경우에는 1980년대 후반부터 표 4

에 보인 바와 같이 일부 장비 제작사가 MIL-STD-901에서 규정한 경중량 및 중간 중량 충격시험기를 설치하여 장비의 내충격성능 검증 시험을 수행해 오고 있다. 현재까지는 주로 대상 장비의 내충격성능 확인 여부의 검증 시험에만 사용되고 있기 때문에 충격시험을 통한 계측 자료의 축적 및 체계적 분석을 통하여 그 결과를 장비의 내충격설계에 거의 활용하지 못하고 있는 실정이다. 또한 중중량 충격시험 장비가 없기 때문에 주기관과 같은 중중량 장비의 충격시험이 현재로서는 불가능하다. 중중량 충격시험은 실선 충격시험과 매우 유사하므로 이를 이용한 실험적 연구는 수중폭발 현상 및 이로 인한 장비의 충격 응답 특성 규명 및 실선 충격시험 방법론을 체계화할 수 있는 토대를 제공하므로 국내에서도 중중량 충격시험 장비의 확보가 절실히 요구된다.

4. 해석에 의한 내충격 설계 검증

충격시험이 불가능한 탑재 장비에 대해서는 그 대안으로써 충격 해석을 통하여 대상 장비의 내충격 안전성을 검증하도록 각국 해군에서는 요구하고 있다. 충격 해석은 충격시험을 할 수 있는 장비에 대해서도 내충격 설계 검토를 위한 방법으로도 그 유용성이 있다.



그림 6 MIL-S-901 SFSP를 이용한 중중량 충격시험의 예

합정용 기기의 충격 해석 방법은 크게 3가지 방법 즉, i)등가 정적 해석 방법(static 'g' method), ii)미해군의 DDAM(Dynamic Design Analysis Method)으로 대표되는 스펙트럴 해석(spectral analysis)방법, iii)직접 시간 적분법을 이용한 시간 영역에서의 과도 응답 해석(transient response analysis)방법이 사용되고 있다. 미해군에서는 첫 번째 및 두 번째 방법을, 유럽을 중심으로한 NATO 회원국 해군들에서는 첫 번째 및 세 번째 방법을 주로 사용한다.

등가 정적 해석 방법은 d'Alembert의 원리에 따라 장비가 받는 충격 하중을 장비의 질량에 중력 가속도 'g'의 단위로 주어지는 충격설계지수(shock design number)를 곱한 등가의 정적 하중으로 치환하고 등가 하중이 장비의 무게중심에 작용하는 것으로 간주하여 정적 해석을 수행하는 방법이다. 미해군 및 NATO회원국들은 각국의 많은 충격시험 결과를 토대로 장비의 중량 및 충격 방향에 따라 충격설계지수를 규정하고 있다(예로서 10). 본 방법은 개념이 간단하여 1940년대부터 현재까지 널리 사용되고 있는 가장 오래된 방법이지만, 대상 장비의 동특성을 전혀 고려하지 않고 있기 때문에 해석 결과의 신뢰성에 많은 문제가 있다. 미해군함정체계국(Naval System Command, NAVSEA)에서 작성된 수상함 탑재 장비에 대한 내충격설계지침⁽¹¹⁾의 1994년 개정(안)⁽⁴⁾에서는 장비의 내충격설계 검증 방법으로서 추후 등가 정적 해석 방법을 사용하지 말 것을 권장하고 있다.

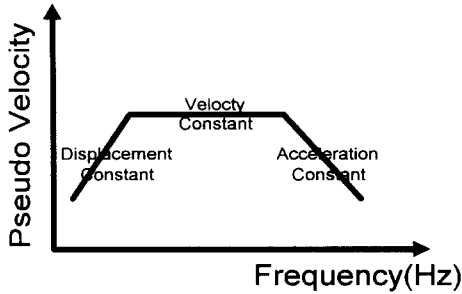
1961년 미해군연구소(NRL, Naval Research Laboratory)에서 제안한 DDAM⁽¹²⁾는 현재 미해군 합정용 장비 및 받침대의 내충격 설계 검증을 위한 표준 해석 방법으로서 스펙트럴 해석 방법의 하나이다. 스펙트럴 해석 방법은



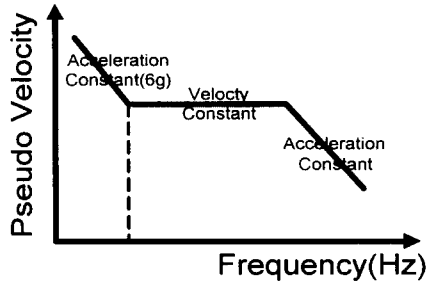
그림 7 실선 충격시험의 예

응답스펙트럼(response spectrum) 형태로 표현된 구조물의 지지부 운동에 대하여 모오드중첩법에 의하여 구조물의 강제 응답을 해석하는 방법이다. 이러한 스펙트럴 해석 방법은 DDAM뿐만 아니라 원자력 발전소 안전 등급 장비의 내진 해석(seismic analysis)에도 널리 사용되고 있다. 응답스펙트럼은 동일한 지지부 운동에 대하여 감쇠비는 같으나 고유진동수가 서로 다른 일련의 1자유도 질량-스프링 계의 최대 응답을 각각의 고유진동수에 대응시킨 도식적 표현이다. DDAM에서는 실선 충격시험 계측을 통하여 얻어진 응답스펙트럼을 기초로 장비의 설계 기준 충격응답스펙트럼을 규정하고 있다. 미해군은 설계 기준 충격응답스펙트럼을 DDS(Design Data Sheet)072-1로 명명하고 이를 비밀로 취급하고 있기 때문에 통상의 DDAM해석에서는 일반인들에게 공개된 NRL Memorandum Report 1396⁽¹³⁾에서 제공하는 충격응답스펙트럼을 사용한다. DDAM에서 규정하고 있는 충격응답스펙트럼은 대상 장비가 탑재될 선박의 종류(수상함/잠수함), 탑재 위치(hull/deck/shell mounted), 장비의 중요도(탄성한도설계/소성변형을 고려한 탄소성설계), 충격 하중 방향(상하/전후/좌우) 및 고유진동해석으로부터 계산되는 각 모드별 유효 중량의 함수로 주어진다. DDAM해석의 절차는 참고 문헌(11)과 (4)에서 상세히 규정하고 있다. 현재 널리 사용되고 있는 범용 구조유한요소 해석 프로그램(예로써, ANSYS 등)에서는 DDAM을 기본 기능으로 제공한다.

DDAM이 일반적인 스펙트럴해석방법과 크게 다른 특징은 다음과 같은 3가지이다. 첫 번째는 DDAM에서는 장비가 받게 되는 충격 하중의 작용 시간이 수 mili-second인 점을 감안하여 장비 구조의 감쇠를 무시한다는 점이다. 두 번째는 그림 8에 보인 바와 같이 DDAM에서 사용하는 충격응답스펙트럼은 일반적인 응답스펙트럼과 비교하여 저주파수 구역에서 상당한 차이를 보이고 있다. 즉, 일반적인 응답스펙트럼은 저주파수 영역에서는 변위가 일정한 모양을 보여주고 있으나, DDAM에서는 고주파수 영역에서와 마찬가지로 가속도가 일정한 모양(참고문헌(13)에 의하면 이 지역에서의 설계 기준 충격 가속도 값은 6g 임)을 보여준다. 그러나 장비에 전달되는 충



Response Spectrum in general spectral analysis



Response Spectrum in DDAM

그림 8 일반 스펙트럴 해석 방법과 DDAM에서 사용되는 응답스펙트럼의 비교

격 하중 감소를 위하여 탄성마운트를 사용하는 탄성 지지 장비의 저차 고유진동수는 통상 저주파수영역(통상 5Hz 이하임)에 존재하는데, 이러한 계가 6g의 가속도를 견디기 위해서는 탄성마운트가 견디어야 하는 변위가 너무 크게 되어 이러한 요구 조건을 만족하는 탄성마운트를 선정하는 것은 실제로 거의 불가능하다. 또한 대부분의 탄성마운트는 비선형의 하중-변위특성을 갖기 때문에 모오드중첩법이 갖는 기본 가정 즉, 대상 장비의 충격 응답은 선형이고, 탄성한도내에 있다는 가정하에 개발된 DDAM을 이러한 경우에 적용하는 것은 불합리하다. 이 경우에는 다음에 기술할 직접 시간 적분법을 이용한 과도 응답 해석을 적용하는 것이 타당하리라 판단된다.

세 번째는 모오드중첩법에 기초한 스펙트럴 해석방법에 있어서 대상 계의 전체 응답을 계산하기 위해서는 통상 각 모오드의 기여분을 SRSS(Square Root Sum of Squares)방법에 따라 계산하는데 반하여, DDAM에서는 NRL 방법⁽¹²⁾ 즉, 가장 큰 응답을 주는 모오드의 응답 절대치에 SRSS방법에 의해 계산된 기타 모오드의 기여분을 합산하는 방법을 사용한다. 그 이유는 NRL 방법에 의한 전체 응답 계산 결과가 SRSS방법에 의한 결과보다 항상 큰 값을 줌으로써 보다 높은 안전율을 보장하기 때문이다.

직접 시간 적분법에 의한 시간 영역에서의 과도 응답 해석 방법은 전술한 바와 같이 비선형 탄성마운트를 사용하는 장비의 충격 해석에 매우 유용한 방법이다. 본 방법은 대상 장비의 운동방정식을 정식화하여 시간 적분법(예로써, Runge-Kutta방법, Newmark-β

방법 등)을 사용하여 시간 단계별로 충격 응답을 구해 가는 방법이다. 본 방법을 적용하기 위해서는 대상 장비에 작용하는 충격 하중 시간 이력을 알아야 한다. 이를 위해 NATO 회원국들은 자국 충격 관련 사양에 이를 규정하고 비밀로 취급하고 있다. 한 예로서 독일 해군의 장비 충격사양인 BV043-85⁽¹⁴⁾에서는 그림 9에 보인 바와 같이 장비에 작용하는 충격 가속도 시간 이력 이중 반사인파(double half-sine wave)의 형태로 규정하고 충격 가속도의 크기 및 작용 시간을 대상 장비의 중량, 탑재 위치, 탑재 선박의 종류 및 충격 방향의 함수로 제공하고 있다.

상기 충격해석 방법들은 장비 및 받침대의 내충격설계검증을 위하여 매우 유용하지만 해석에 사용되고 있는 충격 하중 값의 신뢰성 및 실제 탑재되는 함정 선체 구조와의 연성 효과 등 많은 문제점들이 지적되고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 미해군을 비롯한 선진 군사 강국에서는 1970년대 후반부터 수중폭발현상에 의한 유체-함정 구조 연성 효과를 고려한 충격 응답 해석 방법을 개발하

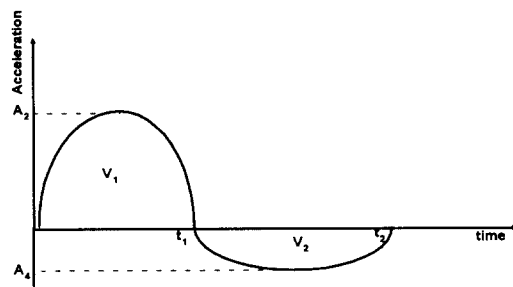


그림 9 BV043-85⁽¹⁴⁾에서 규정하는 충격 하중 시간 이력

고 이를 토대로 함정 선체 및 탑재 장비의 연성 효과를 규명함으로써 자국 함정 선체 및 탑재 장비의 내충격 성능 향상을 위한 연구를 지속적으로 수행하고 있다. 국내의 경우에도 1980년대 후반부터 탑재 장비의 내충격 설계 검증에 관한 해석을 시작으로 현재에는 수중 폭발에 의한 유체-함정 구조 상호작용을 고려한 충격 응답 해석 관련 이론 정립 및 이를 토대로한 전선 충격 응답 등의 연구가 수행되고 있으나 아직까지는 미미한 실정이므로 이 분야에 대한 심도 있는 연구가 절실히 요구된다.

4. 맺 음 말

함정용 탑재 장비의 내충격 성능 평가 기술 분야에 대한 국내의 연구 경험이 일천하여 미 해군을 비롯한 선진 군사 강국의 기술 수준에 도달하기 위해서는 해결해야 할 과제가 많이 남아 있지만, 그 동안의 선박 진동 분야에서 축적한 구조 동역학 분야의 국내 기술을 바탕으로 접근해 간다면 그렇게 어려운 문제만은 아니다. 따라서 최근 이 분야에 대한 국내의 활발한 연구 활동을 시발점으로 하여 보다 심도 있고 지속적인 연구를 수행한다면 한국 해군 함정 및 탑재 장비의 내충격 설계 기술 자립을 머지 않아 이룰 수 있으리라 생각한다. 이를 위해서 이 분야에 대한 국내 연구진의 더 많은 노력과 한국 해군의 적극적인 지원을 기대한다.

참 고 문 헌

- (1) Michael O. Said, "Theory and Practice of Total Ship Survivability for Ship Design", Naval Engineers Journal, July, 1995.
- (2) Keil, A.H., "The Response of Ships

- to Underwater Explosions", Transactions of the SNAME, Vol.69, 1961.
- (3) Cole, R.H., *Underwater Explosions*, Princeton University Press, 1948.
- (4) NAVSEA 0908-LP-003-3010A, "Shock Design Criteria for Surface Ships (Draft)", 1994.
- (5) MIL-STD-901D, "Shock Tests, H.I. (High-Impact) Shipboard Machinery, Equipment, and Systems, Requirements for", 1989.
- (6) Lecture Notes, "A Short Course on Marine Structure Response to Underwater Explosions", Center for Mechanical Engineering TNO, Netherlands, 1994.
- (7) H.C., Pusey, "Summary of Panel Discussion about MIL-S-901D The Navy's Shock Test Specification at the 58th Shock and Vibration Symposium", 1987.
- (8) BUSHIP DWG 10-T-2145-L, HI Shock Testing Machine, Lightweight.
- (9) BUSHIP DWG 10-T-2145-L, HI Shock Testing Machine, Medium Weight.
- (10) Henkins, M., "BR 2002 Memorandum on Shock", 1964.
- (11) NAVSEA 0908-LP-003-3010, "Shock Design Criteria for Surface Ships", 1976.
- (12) NAVSHIPS 250-423-30, "Shock Design of Shipboard Equipment, Dynamic Design Analysis Method", 1961.
- (13) G.J., O'Hara and R.O., Belsheim, "Interim Design Values for Shock Design of Shipboard Equipment", NRL Memorandum Report 1396, 1963.
- (14) BV043, "Shock Resistance Experimental and Mathematical Proof", 1985.