

MIL-S-901D 충격시험과 과도응답해석을 이용한 DDAM 특성에 관한 연구

Study for Characteristics of DDAM using MIL-S-901D Shock Test and Transient Response Analysis

김 룡† · 송 오 섭*

Yong Kim and Ohseop Song

(2006년 9월 5일 접수 ; 2006년 10월 23일 심사완료)

Key Words : DDAM(동적 설계 해석법), MWSM(중간중량 충격시험기), Shock Design Factor(충격 설계치), Shock Level Factor(충격 수준계수), Design Shock Factor(설계 충격계수), Lethal Shock Factor(치명 충격계수)

ABSTRACT

Non-contact underwater explosions against surface ship could cause extensive equipment damage during wartime service. Thus, the need to develop methods for the design of shock resistant equipment structures and systems was strongly established. In analytical methods, DDAM(Dynamic Design and Analysis Method) and transient response method are used for ship shock design. In this paper, to analyze the characteristics of DDAM, medium weight shock test, DDAM and transient response analysis for missile system equipment are performed.

1. 서 론

함정의 전투 및 운항성능에 필수적인 주요 탑재장비에 대해서는 수중폭발 충격하중에 대한 내충격 설계가 필수적이며, 미 해군의 충격시험 규격인 MIL-S-901D⁽¹⁾에서 규정하는 충격시험을 통하여 장비의 내충격 안전성을 검증하여야 한다. 그러나, 장비의 중량 및 크기 제한조건 때문에 충격시험이 불가능한 탑재장비 및 장비 받침대에 대해서는 충격 해석을 통하여 대상장비의 내충격 성능을 검증하고 있다. 탑재장비 및 받침대의 충격해석방법으로 등가정적해석법(staic 'g' method), DDAM(dynamic design analysis method)으로 대표되는 스펙트럴

해석법(spectral analysis) 및 직접시간적분법을 이용한 시간영역에서의 과도응답 해석법(transient response analysis)등이 널리 사용되고 있다.^(2,3)

충격시험장비를 이용한 장비자체의 내충격성능 검증시험과 함께 미해군과 NATO 회원국들은 실선 충격시험을 통하여 최종적으로 장비의 내충격 성능을 평가하는 추세이다. 실선 충격시험은 수중폭발에 대한 수중폭발에 의한 함정 및 탑재장비의 충격응답특성을 정확히 규명할 수 있다.⁽²⁾

DDAM은 미국 NRL(naval research laboratory)에서 제안한 스펙트럴 해석방법으로 실선 충격시험 계측을 통하여 얻어진 응답스펙트럼을 기초로 장비의 설계기준 충격응답스펙트럼을 규정하며, 대상계의 전체 응답을 계산하는 방법으로 NRL sum 방법을 적용한다. NRL sum 방법에 의한 계산 결과에는 높은 안전율이 포함되어 시험 결과보다 과도한 결과가 발생할 수 있는 단점이 있다. 그러나 DDAM은 해석절차가 매우 명확하고 간단하며 해석결과가 합

† 책임저자; 정회원, 국방과학연구소
E-mail : kim6459@add.re.kr
Tel : (042)821-2515, Fax : (042)821-2224
* 정회원, 충남대학교 기계공학과

리적이기 때문에 현재 함정에 탑재되는 장비 및 받침대에 대한 내충격 설계 검증을 위한 표준 해석방법으로 채택되어 널리 사용되고 있다.

시간영역에서의 과도응답해석은 장비에 부가되는 충격운동이 변위, 속도 또는 가속도의 시간이력으로 주어지면, 해석 대상장비의 운동방정식을 정식화하여 시간적분법을 사용하여 시간단계별로 충격응답을 구해가는 방법이다. 이 방법을 적용하기 위해서는 대상장비에 작용하는 충격하중에 대한 시간이력을 알아야 한다.

이 논문에서는 수상함에 탑재되는 유도무기시스템(guided missile weapon system)에서 사용하는 충격등급 A의 전자장비에 대해 MIL-S-901D 충격시험과 DDAM 충격해석을 수행하였으며, 충격시험에서 획득한 충격하중 시간이력을 사용한 과도응답 해석을 수행하였다. 충격시험이 가능한 전자장비에 대한 충격시험과 충격해석을 통하여 DDAM의 특성을 규명하였다.

일반적으로 MIL-S-901D 충격시험에서는 충격신호를 계측하지 않으나 DDAM과 충격시험과의 관계를 규명하고 과도응답해석의 입력자료로 활용하기 위하여 충격시험기의 충격시험대(anvil table)와 전자장비를 선체 구조물에 고정하는 브라켓에 가속도계를 설치하여 충격신호를 계측하였다.

2. 충격시험

2.1 중간중량 충격시험

충격시험 규정은 미해군의 MIL-S-910D과 유럽 국가들로 구성된 NATO의 STANAG 4141, 4150 등이 있다. MIL-S-901D에서는 시험보조장치(지그, 지지대등) 중량을 포함한 장비의 총 중량에 따라 경중량(lightweight), 중간중량(medium weight) 및 중중량(heavy weight) 충격시험으로 구분한다.

가장 일반적으로 사용되는 MIL-S-901D 중간중량 충격시험기(MWSM : medium weight shock machine)은 Fig. 1과 같이 1,360 kg(3,000 lb)의 충격해머가 180° 보다 큰 각도(최대 270°)에서 회전하여 1,815 kg(4,000 lb)의 충격시험대의 바닥 중앙을 때려 충격을 발생시키는 기계장치이다.

MIL-S-901D 충격시험에서는 시험 장비를 직접 충격받침대에 설치하지 않고 실제 함정에 탑재되는

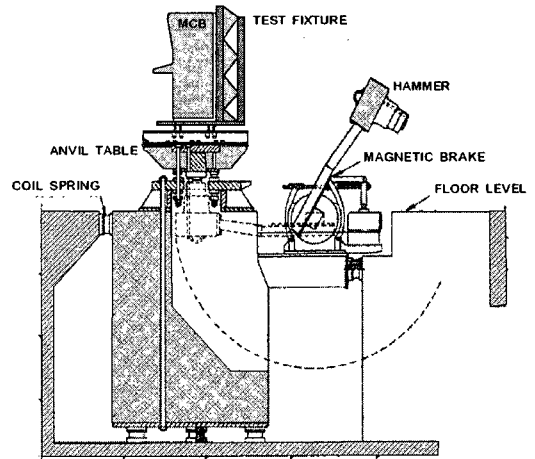


Fig. 1 MIL-S-901 medium weight shock machine

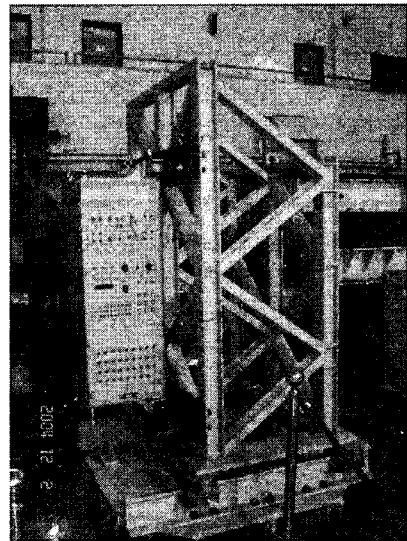


Fig. 2 Medium weight shock test for equipment

Table 1 Results of MIL-S-901D shock test

No.	Shock direction	Hammer drop height (cm)	Anvil table travel (cm)	Max. acceleration	
				Anvil table	Equipment
1	vertical	38.10	7.635	146.6g	97.4g
2	"	68.58	7.635	250.3g	96.8g
3	"	68.58	3.81	427.8g	96.5g
1	30° inclined	53.34	7.635	292.2g	81.5g
2	"	83.82	7.635	244.2g	86.3g
3	"	83.82	3.81	545.8g	76.1g

합정 선체구조를 모사한 채널에 설치하여 시험하여야 한다. Fig. 2는 수직방향 충격시험을 위해 MWSM에 설치된 장비 형상이다. 충격시험의 총중량은 전자장비(중량 : 250 kg)과 시험 지그, 지지대등의 중량을 합한 값인 1,241 kg이다.

2.2 중간중량 충격시험 결과

충격시험은 수직방향 3회, 30도 경사방향 3회를 수행하였다. Table 1은 충격시험에서 획득한 최대 가속도이며, 이 값은 시험결과를 1kHz LP 필터를 사용하여 필터링한 값이다.

Fig. 3은 1차 수직방향 충격시험에서 획득한 가속도-시간이력그래프⁽⁴⁾이다.

3. DDAM 해석

3.1 DDAM의 이론적 배경

DDAM은 응답 스펙트럼의 형태로 주어지는 탑재 장비 및 받침대의 지지부(base) 운동에 대하여 고유모드(normal mode) 이론과 모드 중첩법에 의하여 장비, 받침대의 변위, 응력등의 응답을 계산하는 스펙트럴 해석방법을 사용한다.

스펙트럴 해석방법은 응답스펙트럼(response spectrum)형태로 표현된 구조물의 지지부 운동에

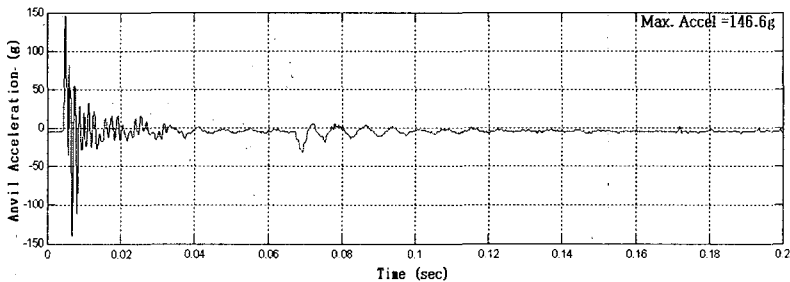
대하여 모드중첩법에 의하여 구조물의 강제응답을 해석하는 방법으로 원자력발전소 장비의 내진 검증 해석(seismic analysis)에도 널리 사용되고 있다⁽²⁾.

DDAM에서는 일반적인 내진 해석과 달리 장비의 감쇠를 고려하지 않는다. 이는 장비에 작용하는 충격하중의 작용시간이 매우 짧기 때문이다. 또한, 모드중첩법에 기초한 스펙트럴 해석방법에 있어서 대상계의 전체응답을 계산하기 위해서는 통상 각 모드의 기여분을 식 (1)의 SRSS(square root sum of squares)방법에 따라 계산하는데 반하여, DDAM에서는 식 (2)의 NRL sum 즉, 가장 큰 응답을 주는 모드의 응답절대치에 SRSS방법에 의해 계산된 기타 모드의 기여분을 합산하는 방법을 사용한다. 그 이유는 NRL sum 방법에 의한 전체응답 결과가 SRSS에 의한 결과보다 항상 큰 값을 줌으로써 보다 높은 안전율을 보장하기 때문이다⁽²⁾.

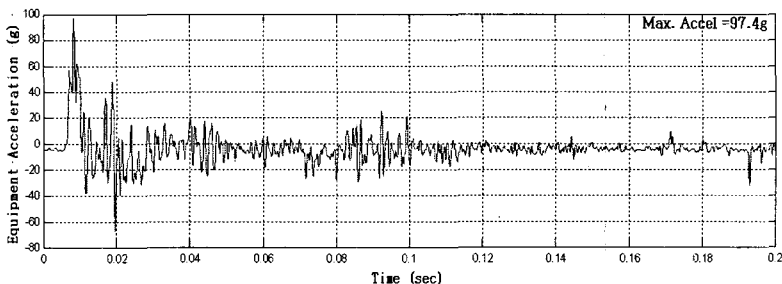
$$S_j = \sqrt{\sum_{i=1}^N (S_{ji})^2} \quad (1)$$

$$S_j = |S_{ja}| + \sqrt{\sum_{i=1}^N (S_{ji})^2 - S_{ja}^2} \quad (2)$$

식 (1)에서 S_j 는 절점 j 에서의 전체 응답이며, S_{ji} 및 N 은 절점 j 에서 i 번째 모드의 응답과 총모



(a) Anvil table



(b) Equipment

Fig. 3 Acceleration acting on anvil table and equipment

드수이다. 식 (2)에서 S_{ia} 는 절점 i 의 모드 응답중 최대값이다.

DDAM에서는 대상장비의 고정기부 진동수(fixed base natural frequency), 고유모드를 사용하여 각 모드에 대한 참여계수(participation factor) P_a , 유효질량(modal effective mass) M_a 및 유효중량(modal effective weight) W_a 을 다음과 같이 계산하고 이로부터 대상장비의 충격거동에 기여도가 큰 모드를 결정한다⁽⁵⁾.

$$P_a = \frac{\sum_i^N M_i X_{ia}}{\sum_i^N M_i X_{ia}^2} \quad (3)$$

$$M_a = P_a \sum_i^N M_i X_{ia} \quad (4)$$

$$W_a = g \times M_a \quad (5)$$

식 (3)에서 M_i 는 정규화 되기전 i 번째 자유도의 집중질량이고, X_{ia} 는 a 번째 모드의 i 번째 성분이며 P_a 는 a 번째 모드에 대한 참여계수이다. 식 (4)에서 M_a 는 a 번째 모드에 대한 유효질량이며, 식 (5)의 W_a 는 a 모드에서의 유효중량이다.

유효중량 W_a 로부터 식 (6)의 충격 설계치(shock design factor) D_a 를 계산하고, 식 (7)의 각 질량점(mass point)에서의 유효정적하중 F_{ia} 을 산출한다.

$$D_a = \min(V_a \times \omega_a, A_a \times g) \quad (6)$$

또는 $6g$ 중 큰 값

$$F_{ia} = M_i \cdot X_{ia} \cdot P_a \cdot D_a \quad (7)$$

D_a 는 a 번째 모드에 대한 충격 설계치로서 고유진동수 (ω_a), 중력가속도 (g) 및 경험식에서 주어진 속도 V_a 와 가속도 A_a 가 사용되어 얻어진 값중 최소값과 $6g$ 를 비교하여 큰 값으로 결정한다. 또한 이 값은 3가지 충격방향(함정의 수직, 좌우, 전후방향)에 대해 서로 독립적으로 작용하며 선중별, 장비의 설치위치별, 탄성/탄소성 설계별로 주어지며, 유효중량 W_a 의 향으로 표현된다.

식 (7)에서 F_{ia} 는 a 번째 모드에 대한 각 질량점에서의 유효정적하중이다. 식 (7)에서 구해진 유효정

적하중을 사용하여 정적 구조해석을 수행하면 각 모드에서의 변위 및 응력을 각각의 질량점에서 구할 수 있다.

정적 구조해석에 의해 구해진 각 모드에서의 변위 또는 응력은 식 (2)의 NRL sum 방법으로 합산되어 각 질량점에서의 응답(변위, 응력)을 계산한다.

3.2 DDAM 해석모델

해석 대상장비는 함정의 주 갑판(main deck)아래의 비구조격벽(non-structural bulkhead)에 설치되는 전자장비로써 알루미늄합금(A5052P-H112) 하우징내부에 전자부품 및 전자회로판이 조립된다. 장비는 하우징의 상하부에 용접된 브라켓에 강재(SCM440) 봉을 삽입하여 함정의 비구조격벽에 조립된다.

Fig. 4는 MSC/NASTRAN에서 지원하는 유한요소를 사용하여 작성한 유한요소 모델이다. 장비의 하우징은 쉘요소(CQUAD4)로, 강재 봉이 삽입되는 하우징의 브라켓은 고체요소(CHEXA)로, 전자부품은 집중질량(CONM2)으로, 강재 봉은 보요소(CBAR)로 모델링하였다. 모델의 x좌표축은 함의 좌우방향(athwartship)을, y축은 수직방향(vertical)을, z축은 전후방향(fore & aft)을 각각 나타낸다.

DDAM 해석을 지원하는 ANSYS에서는 충격이 직접 전달되는 고정기부(fixed base)의 모든 절점(node)을 구속하지만⁽⁶⁾, MSC/NASTRAN에서는 고정기부의 모든 절점을 강체요소(RBE2)를 사용하여 가상 충격점(support node)에 구속하는 방식을 사용한다^(7,8,9).

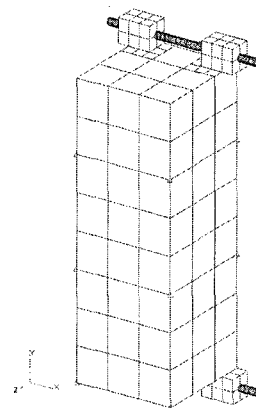


Fig. 4 Finite element model of equipment

3.3 DDAM 해석결과

장비의 모드해석은 각 방향별로 총 유효중량이 총 중량의 80% 이상이 되도록 하기 위해 48차 모드까지 고려하였다. 일반적으로 DDAM에서는 250 Hz 이하의 차단 진동수(cut-off frequency)를 고려하지만⁽¹⁰⁾, 해석 대상장비와 같이 중량에 비해 하우징의 강성이 큰 모델은 250 Hz 이상의 고유진동수중 유효중량이 총 중량의 10%를 초과하는 진동수도 해석에 포함되어야 한다.

수상함의 내충격 평가기준서⁽¹⁰⁾에 의하면, 허용응력은 광역거동(general)과 국부거동(local)으로 나누어 평가하고 있다. 해석 대상장비는 충격등급 A이지만 정렬(alignment)에 민감하지 않고 약간의 영구 변형이 허용되는 "case 2"에 해당하는 것으로 평가하여, 구조 불연속부의 응력은 항복응력의 2배까지 허용된다.

DDAM을 사용한 장비의 응력해석 결과는 Table 2와 같다. 이들 응력은 각 모드별로 수행된 정적해석 결과를 식 (2)의 NRL sum 방법에 의해 합산된 결과로서 Von Mises 응력을 사용하였다.

최대 응력은 합의 좌우방향(x축) 충격하중에서 가장 높은 응력수준을 보이고 있으며, 강재 봉이 삽입되는 하우징의 브라켓에서 국부적으로 광역 허용응력 기준을 초과하는 것으로 나타나고 있다. 그러나 실제 장비에서는 해석모델에는 반영되지 않은 브라켓 보강재가 추가되어 해석결과보다 양호한 결과를 보일 것으로 판단된다.

따라서, 장비의 해석결과는 장비의 내충격 강도기준을 만족한다.

Fig. 5, 6은 y축 방향으로 충격이 작용할 때의 하우징 내/외부의 응력 분포도이며, 응력의 단위는 lb/in²이다

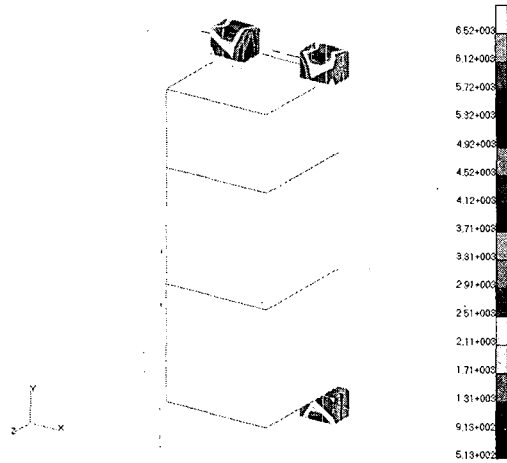


Fig. 5 Von Mises stress(housing)

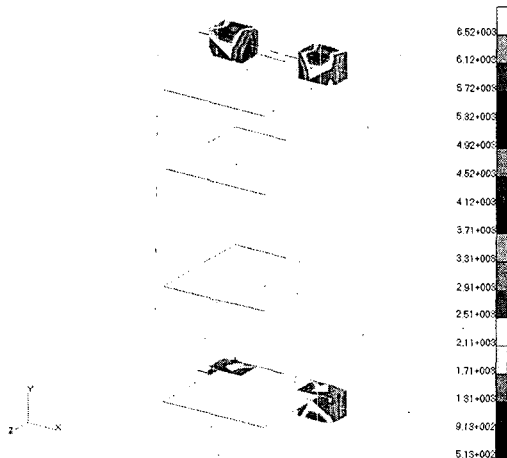


Fig. 6 Von Mises stress(the inside of housing)

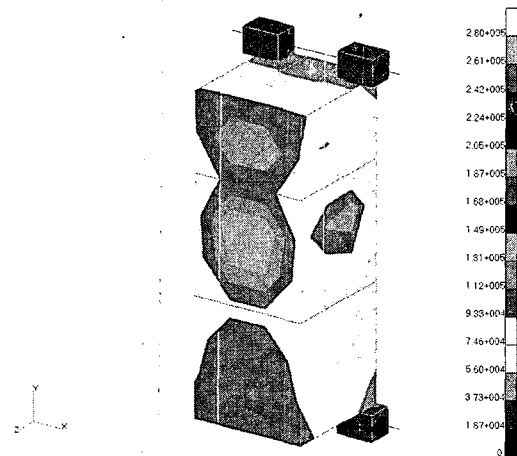


Fig. 7 Acceleration(vertical direction)

Table 2 Von Mises stress

Shock direction	Max. stress	Allowable stress
x	<ul style="list-style-type: none"> • General : 456 kg/cm² (6,490 lb/in²) • Local : 773 kg/cm² (11,000 lb/in²) 	<ul style="list-style-type: none"> • General: 668 kg/cm² (9,500 lb/in²) • Local : 1,336 kg/cm² (19,000 lb/in²)
y	458 kg/cm ² (6,520 lb/in ²)	
z	477 kg/cm ² (6,780 lb/in ²)	

수직방향 충격시험에서 획득한 가속도 결과와 DDAM 해석결과를 비교하기 위하여 함의 수직방향 (y축)에 대한 가속도 계산결과를 고찰하였으며, 충격시험에서 가속도계를 부착한 위치의 가속도 계산 결과는 약 $93,980 \text{ cm/s}^2$ ($37,000 \text{ in/s}^2$, 95.9 g)이다. 이 값은 Table 1의 수직방향 충격시험 결과와 유사한 수치이다.

따라서, 충격시험과 DDAM 해석은 탑재장비에 대한 내충격 검증방법으로써 동일한 결과를 보이는 것으로 사료된다. Fig. 7은 함의 수직방향(y축) 가속도 분포를 나타낸 것이며, 가속도 단위는 in/s^2 이다.

4. 과도응답해석

4.1 개요

과도응답해석은 대상 장비의 운동방정식을 정식화한 후 시간적분법을 사용하여 시간단계별로 충격응답을 구해가는 방법이다.

DDAM은 충격입력치의 특성상 해석 모델링이 선형, 탄성 및 집중질량계로 제한되는데 반하여 과도응답해석은 선체와 장비 받침대와의 결합부에서의 충격운동만 알게 되면 시스템의 비선형 탄성마운트를 고려할 수 있다.

이 방법을 적용하기 위해서는 대상 장비에 작용하는 충격하중 시간이력을 알아야 한다. 그러나 각국에서는 충격관련 규격에 이를 규정하고 비밀로 취급하고 있다. 현재까지 알려진 것으로는 다음과 같은 사례가 있다.

(가) 독일 충격규격인 BV043⁽²⁾

장비에 작용하는 충격하중 시간이력을 double half sine wave의 형태로 규정함

(나) 1968년 영국 해군에서 제시한 경험식^(11,12)

실선 충격시험 결과로 얻어진 계측 데이터를 이용하여 충격 수준계수(shock level factor)등의 매개변수를 가진 표준 펄스형태로 규정함

4.2 충격하중 시간이력

충격시험에서 획득한 충격하중 시간이력과 영국 해군에서 제시한 펄스공식과의 관계를 규명하면 다음과 같다.

영국 해군에서 제시한 펄스공식은 강체 마운트 품목(rigidly mounted item)에만 적용되며, 선체의 수

직방향과 수평방향에 대해서만 적용된다. 식 (8), (9)는 수직방향의 충격속도에 대한 시간함수식이다.

$$t \leq T_1: \dot{y} = \beta \frac{y_{\max}}{2} (1 - \cos \frac{\pi}{T_1} t) \quad (8)$$

$$t \geq T_1: \dot{y} = \beta B \cos[2\pi f_w(t - T_1)] + \Lambda \quad (9)$$

$$\Lambda = \beta K (y_{\max} - B) e^{-\mu[\frac{2\pi}{T_2}(t - T_1) - \phi]} \times \Gamma$$

$$\Gamma = \cos[\frac{2\pi}{T_2}(t - T_1) - \phi]$$

여기서, t : 시간(sec), β : 충격 수준계수, y_{\max} : 받침대 운동의 최대속도(cm/sec), B : 휘핑(whipping) 및 히빙(heaving)운동에 관련된 받침대의 최대속도(cm/sec), f_w : 휘핑 및 히빙 진동수(sec^{-1}), T_1 : 받침대의 최대속도에 도달하는 시간(sec), T_2 : 휘핑과 히브를 제외한 받침대의 국부적 조화운동주기(sec), μ : 받침대 운동의 감쇄상수, ϕ : 위상각, K : 계수이다.

상기 식의 계수중 μ , K , ϕ , f_w , B 는 장비의 중량에 관계없이 선종(수상함, 장수함)에 따라 결정되는 값이며, y_{\max} , T_1 , T_2 는 장비의 중량에 종속되는 값이다⁽⁸⁾.

Fig. 8은 펄스폼 "C", 충격 수준계수가 1.0일 때의 수직방향 속도 시간이력이다. 충격 수준계수에 따라 속도는 변하며, 충격 수준계수가 0.3일 때의 속도와 충격시험에서 획득한 속도(Fig. 3의 (a)를 적분)를 비교하면 거의 유사한 결과를 보이는 것을 알 수 있다.

충격 수준계수는 식 (10)과 같이 설계 충격계수(design shock factor, SF)와 치명 충격계수(lethal shock factor, SF_{lethal})의 항으로 표현되며⁽¹⁰⁾, 충격수준계수가 1.0이면 설계 충격계수와 치명 충격계수가 동일한 경우이다. 또한 충격 수준계수가 0.3이면 설계 충격계수는 치명 충격계수의 0.2배이며, 함정 탑재장비의 설계 충격계수도 치명 충격계수의 0.2배를 의미한다.

$$\beta = \sin\left(\frac{\pi}{2} \times \frac{SF}{SF_{lethal}}\right) \quad (10)$$

이 연구에서 사용한 충격하중 시간이력은 충격시험에서 획득한 가속도 결과(Fig. 3의 (a))에 충격시

험 총중량을 고려한 값이며, 하중작용시간 0초에서 0.2초까지의 충격하중만 고려하였다.

4.3 해석모델 및 충격하중 시간이력

과도응답해석을 위한 유한요소 모델은 Fig. 9와 같다. MSC/NASTRAN에서 지원하는 유한요소를 사용하여 작성된 모델은 장비 및 MIL-S-901D 중간중량 충격시험을 위해 충격시험대위에 설치된 치구로 구성된다.

장비는 DDAM 해석모델과 같이 셸요소(CQUAD4), 고체요소(CHEXA), 보요소(CBAR) 및 질중질량요소(CONM2)를 사용하였으며, 충격시험 치구는 보요소(CBAR)와 셸요소(CQUAD4)를 사용하였다.

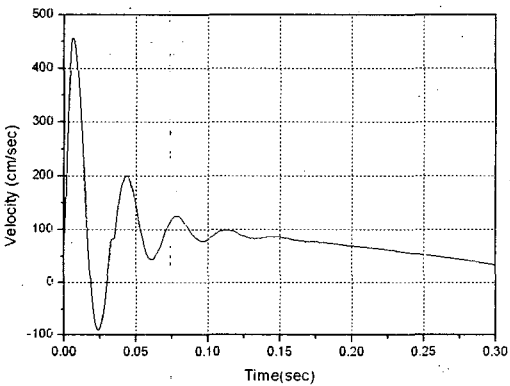


Fig. 8 Velocity time history (vertical direction)

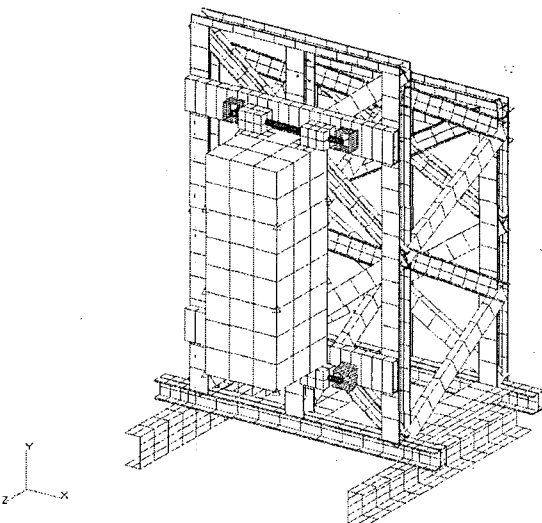


Fig. 9 Finite element model of equipment and shock test fixture

4.4 해석결과

Fig. 10은 장비의 가속도계 부착위치에서의 수직방향(y축) 가속도 시간이력이며, 가속도의 단위는 in/s^2 이다.

Fig. 11은 DDAM 해석에서 최대 응력을 발생하는 절점에서 Von Mises 응력 시간이력이며, 단위는 lb/in^2 이다.

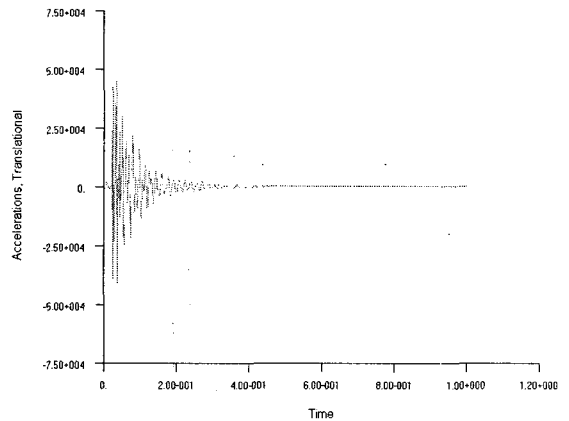


Fig. 10 Acceleration time history (vertical direction)

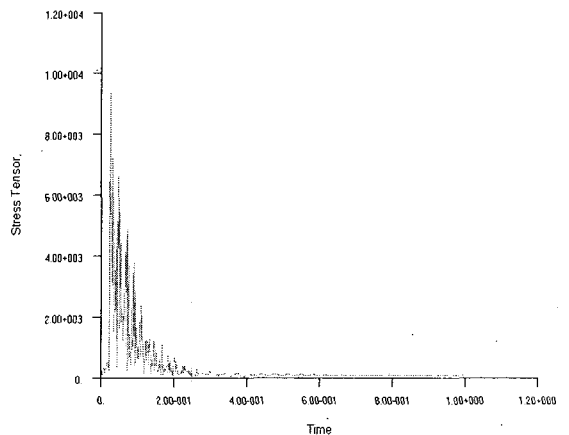


Fig. 11 Von Mises stress time history

Table 3 Comparison of results between shock test and shock analysis

	Results		
	MIL-S-901D shock test	DDAM	Transient analysis
Acceleration	97.4 g	95.9 g	100.8 g
Max. stress	-	773 kg/cm ² (11,000 lb/in ²)	687.5 kg/cm ² (9,780 lb/in ²)

Table 3은 MIL-S-901D 충격시험 결과, DDAM 과 과도응답해석 결과를 비교한 표이다. 충격해석에서 구한 가속도는 충격시험 결과의 5%이내이며, DDAM과 과도응답해석의 응력결과는 약 10%의 차이를 보이고 있다.

따라서, 비선형 탄성마운트가 설치되는 않는 함정 탑재장비에 대해서는 과도응답해석보다 유한요소 모델 작성이 간단하고 해석절차가 명확한 DDAM을 사용하여 내충격 성능평가를 수행하는 것이 합리적인 것으로 사료된다.

5. 결 론

함정 탑재장비의 수중폭발 충격하중에 대한 충격 해석법으로 널리 사용되는 DDAM의 특성을 분석하기 위하여 유도무기시스템에서 사용되는 전자장비에 대한 MIL-S-901D 충격시험, DDAM 해석과 충격 시험에서 획득한 충격하중 시간이력을 사용한 과도응답해석을 수행하였다.

이 연구를 통해 얻어진 결론은 다음과 같다.

첫째, MIL-S-901D 중간중량 충격시험과 DDAM 해석결과를 비교하면 장비에 작용하는 가속도가 거의 동일한 가속도 결과를 보이는 것을 알 수 있다. 따라서, 충격시험기의 충격시험대에 작용하는 충격하중과 DDAM의 충격응답스펙트럼이 경량의 장비와 받침대에 대해서는 동일한 입력치로 추정된다.

둘째, DDAM과 과도응답해석 결과를 비교하면, 해석방법에 따른 결과에 큰 차이가 나타나지 않는다.

따라서, DDAM은 장비와 선체간의 상호작용효과를 고려하지 못하지만 함정 탑재장비에 대한 내충격 설계에는 합리적인 해석결과를 보이는 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

(1) MIL-S-901D, 1989, "Shock Tests, H.I(high-impact) Shipboard Machinery, Equipment, and Systems, Requirement for".
 (2) Chung, J. H., 1996, "Performance Evaluation Methods for Shock-proof of Navy Shipboard

Equipment", Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 33, No. 2, pp. 41~47.

(3) Chung, J. H., 1998, "Performance Evaluation Methods for Shock-proof of Navy Shipboard Equipment", Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 8, No. 1, pp. 21~28.

(4) Moon, S. J., 2005, "MIL-S-901D Shock Test of KVLS Electric/Control Equipment", Report of KIMM.

(5) Shin, M. Y., 1999, "Development of Performance Evaluation Method of Shock-resistance(DDAM) Using NASTRAN DMAP", Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 36, No. 2, pp. 114~120.

(6) Ji, Y. J., 2000, "Dynamic Design Analysis Method for the Crane of the Naval Vessel", Proceedings of the Annual Autumn Meeting, SNAK, pp. 337~340.

(7) Lee, S. M., 1998, "Shock Analysis of Main Engine Foundation of a Ship Using Dynamic Design Analysis Method", Proceedings of the Annual Spring Meeting, SNAK, pp. 351~354.

(8) MSC Software, Busan Technical Center, 2005, "Dynamic Design Analysis Method".

(9) Lee, J. M., 2000, "DDAM Shock Analysis for Equipment Systems of Ships", Proceedings of the KSNVE Annual Spring Conference, pp. 1180~1184.

(10) Rudolph J. Scavuzzo., 2000, Naval Shock Analysis and Design, Booz·Allen & Hamilton, Inc.

(11) Park, B. W., 1995, "A Study on the Shock Resistance Design for Underwater Explosion", Report of ADD, pp. 179~186.

(12) Chang, K. C., 1989, "A Study on the Shock Response Analysis Methods of Shipboard Equipment against Underwater Explosions", Pusan National University.