

# MIL-S-901D 경중량 충격시험기의 하중특성에 관한 고찰

<sup>0</sup>정 정 훈\* · 김 병 현\* · 양 용 진\*

## Review on the Shock Characteristics of the MIL-S-901D Light Weight Shock Machine

J. H. Chung, B. H. Kim and Y. J. Yang

### ABSTRACT

All critical equipment installed aboard naval ships and submarines is required to be shock-qualified by tests on the MIL-S-901D shock test machines where testing is practical. The intent of the shock requirements is to produce combat vessels which are resistant to the underwater explosion weapon attack. To efficiently design equipment for passing a series of shock tests, the shock environment of the shock test machines should be clearly identified. In this paper, the shock characteristics of the MIL-S-901D Light Weight Shock Machine(LWSM) are reviewed, based on the existing test data.

### 1. 서론

함정의 생존성(survivability) 측면에서 가장 중요한 요소 중의 하나인, 적의 예상되는 비접촉 수중 폭발 공격에 대한 대상함의 내충격 안전성 확보를 위하여 각국 해군에서는 함정의 전투 및 운항 성능에 필수적인 탑재장비에 대해 가능한 한 충격시험을 통하여 내충격 성능을 검증하도록 요구하고 있다. 한국 해군에서도 미국 해군의 탑재장비에 대한 충격사양인 MIL-S-901D[1]에 따라 함정 탑재장비의 내충격 성능을 검증 받도록 장비제작사에게 엄격히 요구하고 있다.

일반적으로 충격시험을 규정하는 방법은 다음과 같은 3가지 방법 즉, 첫 번째는 충격하중 시간이력을 규정하는 방법, 두 번째는 충격응답스펙트럼을 규정하는 방법, 세 번째는 충격시험기 자체 및 시

험절차를 규정하는 방법으로 분류할 수 있다[2]. 첫 번째와 두 번째 방법은 시험체의 중량이 매우 작거나 시험체가 충격하중에 대해 강제거동을 하는 경우를 제외하고는 시험체와 충격시험기의 상호작용으로 인해 충격시험기가 규정된 충격하중 시간이력이나 충격응답스펙트럼을 구현하는데 있어서의 허용오차 폭이 크지 않으면 원칙적으로 불가능한 시험방법이다. MIL-S-901D에 의한 충격시험은 상기 세 번째 시험방법으로서, Table 1에 보인 바와 같이 시험보조장치(충격시험기에 대상장비를 취부할 fixture 또는 mount, 각종 볼트 및 너트 등)를 포함한 시험대상 장비의 총 중량에 따라 충격시험을 분류하고, 각 충격시험을 위한 충격시험기와 시험절차를 규정하고 있다. 따라서 MIL-S-901D 충격시험에서는 원칙적으로 충격시험기의 충격하중특성이나 시험대상 장비의 충격응답 특성을 파악하기 위한 계측이 요구되지 않기 때문에, 수십 년간 함정용 탑재장비의 내충격 성능검증에 사용되어온 이들 MIL-S-901D 충격시험기의

\* 한국기계연구원 구조시스템연구부

하중특성에 대한 연구사례나 시험데이터 축적이 미국 내에서조차 별로 이루어지지 않았으며, 국내의 경우에는 거의 전무한 실정이다. 이로 인해 국내의 함정용 장비제작사들은 MIL-S-901D 충격사양을 만족해야 하는 장비의 내충격 설계, 제작에 많은 어려움을 겪고 있다. 이러한 어려움을 극복하기 위해 최근 정 등[3]은 국내 중간중량 충격시험기에 대한 실험적 연구를 통하여 그 결과를 미국 해군 연구소(Naval Research Laboratory)의 실험결과[4]와 비교, 검토하여 대상 충격시험기의 하중특성을 규명한 바 있다.

본 고에서는 MIL-S-901D 중간중량 충격시험기와 함께 현재 국내에서 많이 사용되고 있는 경중량 충격시험기의 하중특성을 미국 해군연구소에서 기 수행한 시험결과[4,5]를 바탕으로 고찰하였다.

## 2. MIL-S-901D 경중량 충격시험기 개요

MIL-S-901D 경중량 충격시험기는 1940년 General Electric사에 의해 처음으로 설계, 제작되었으며, Fig. 1에 보인 바와 같이 400lb 중량의 2개의 충격해머가  $38 \times 48 \times 5/8$ in의 강제 보강판(steel stiffened plate)인 충격시험대(anvil plate)를 가격하여 충격을 발생시키는 기계적 장치이다. 충격시험대는 충격시험기 프레임의 수직축에 대해 2개의 위치 즉, 평행한 또는  $90^\circ$  회전된 위치를 갖기 때문에 2개의 충격해머와 함께 시험 대상장비에 3축의 충격을 가할 수 있다. 충격해머의 최대 낙하높이는 5ft이다.

충격시험에 있어서는 중간중량 충격시험과 마찬가지로 충격시험대에 시험대상 장비를 직접 취부하는 대신 선체의 탑재조건을 구현하기 위해 설계된 표준 취부장치(standard fixtures)를 먼저 충격시험대에 부착하고, 이 위에 볼트를 사용하여 장비를 설치한다. 표준 취부장치로는 다수가 있지만 Fig. 2에 보인 바와 같이 실제 선체 격벽에 설치되는 장비(bulkhead-mounted equipment)를 위한  $27 \times 34 \times 1/2$ in 강제 평판인 '4A plate'와 Fig. 1에 보인 바와 같이 실제 선체 갑판에 설치되는 장비(deck-mounted equipment)를 위한 '11C shelf plate'가 가장 많이 사용된다. '11C shelf plate'는 '4A plate'에 보강된 shelf plate를 용접하여 제작되었다. 이들 표준 취부장치와 충격시험대를 부착하기 위해 4in, 13.8lb carbuilding channel을 사용한

다.

Table 1에서 보듯이 MIL-S-901D 경중량 충격시험은 시험보조장치를 포함한 총 중량이 550lb 미만인 장비에 대해 최소 9번의 충격(장비의 3축 각각에 대해 낙하높이 1ft, 3ft 및 5ft에서 충격해머를 낙하시키며, 여러 개의 운전조건을 갖는 장비에 대해서는 각각의 운전조건에 대해 실시함)에 대해 내충격 안전성을 갖도록 요구하고 있다.

## 3. MIL-S-901D 경중량 충격시험기의 하중특성

본 절에서는 미국 해군연구소에서 강제 모델을 피시험체로 사용하여 수행한 기 시험결과[4,5]를 토대로 경중량 충격시험기의 하중특성을 고찰한다.

Fig. 3과 Fig. 4는 '11C shelf plate'에 피시험체를 설치하고 충격가진 방향이 side(또는 edge라고도 함)인 경우에 대해 충격해머의 충돌속도( $=\sqrt{2gh}$ ,  $g$ : 중력가속도,  $h$ : 충격해머 낙하높이)에 따른 shelf plate와 피시험체에 가해지는 최대가속도 값의 변화를 각각 보여주고 있다. 이들 그림에는 한국기계연구원에서 실제 한국해군 함정에 탑재되는 장비의 내충격 성능시험에서 계측된 최대가속도 값도 함께 도시하였다. 이들 그림의 범례에 해당하는 중량은 Table 2에 정리하였다. 이들 가속도 값들은 계측된 충격신호를 1kHz 저역통과필터를 사용하여 얻은 결과이다. 그러나 미국 해군연구소와 한국기계연구원에서 계측한 위치는 서로 다르다. 이들 그림에서 보듯이 shelf plate의 강성으로 인해 shelf plate에 가해지는 충격가속도는 계측위치에 영향을 많이 받으며 이로 인해 두 기관의 시험결과는 다소 차이가 남을 알 수 있다. 그러나 실제 경중량 장비들의 강성은 shelf plate의 강성에 비해 훨씬 크기 때문에 즉, 거의 강체로 간주할 수 있으며 강체의 피시험체에 가해지는 가속도는 계측위치에 거의 영향을 안 받는다. 따라서 두 기관의 시험결과가 매우 잘 일치함을 알 수 있다. 한편, shelf plate와 피시험체에 가해지는 최대가속도는 충격해머의 충돌속도에 거의 선형적으로 비례함을 알 수 있다. 그러나 피시험체의 중량이 가벼울수록 전반적으로 가속도가 커지는 경향이 있으나 지배적인 현상은 아니다.

'4A plate'를 사용한 시험결과도 '11C shelf plate'의 시험결과와 거의 유사한 경향을 보이거나

최대가속도의 크기는 shelf plate를 사용한 경우보다 훨씬 크게 나타난다. 한편, 충격해머 가격방향에 따른 최대가속도는 back 방향 충격이 가장 크며, side와 top 방향의 크기는 대등한 수준이다.

Fig. 5 및 Fig. 6는 각각 '4A plate' 및 '11C shelf plate'에 피시험체를 설치하고 back 방향의 충격을 가했을 때 피시험체에서 측정된 최대 충격속도를 보여주고 있다. 이들 그림에서 보듯이 최대 가속도와 마찬가지로 충격속도는 충격해머의 충돌속도에 거의 선형적으로 비례함을 알 수 있으며, 충돌속도가 클수록 비례 기울기가 완만해져 가는데 이는 가격을 받는 부분들의 소성변형에 기인하는 것으로 알려져 있다. 이 경우에도 '4A plate'의 경우가 '11C shelf plate'에 비해 충격속도의 값이 훨씬 큼을 알 수 있다.

Fig. 7은 '4A plate'에 57lb 계측센서만을 설치하고 back 방향으로 낙하높이 5ft에서 충격을 가한 경우 계측된 충격응답스펙트럼과 충격신호로부터 계산된 충격응답스펙트럼을 보여주고 있다. 그림에서 보듯이 2개의 공진주파수 즉, 하나는 100Hz로써 질량이 부가된 '4A plate'의 최저차 굽힘 고유진동수, 다른 하나는 약 345Hz로써 충격시험대의 최저차 굽힘 고유진동수(이들 공진주파수는 top 및 side 방향의 충격가진에서는 나타나지 않음.)를 제외하고는 주파수 범위 10~1,000Hz 사이에서는 velocity-shock(순간적인 속도변화에 의한 충격으로서, 이의 충격응답스펙트럼은 주파수에 상관없이 일정하며, 그 크기는 순간 속도변화량과 같음)으로 간주할 수 있다. 한편, 10Hz 이하에서는 변위가 일정하며 그 크기는 충격신호의 최대 변위에 접근하며, 1,000Hz 이상에서는 가속도가 일정하며, 그 크기는 충격신호의 최대 가속도 크기에 접근한다.

#### 4. 맺음말

본 고에서는 MIL-S-901D 경중량 충격시험기의 하중특성에 대해 기존의 시험 결과를 토대로 검토하였다.

본 검토내용은 MIL-S-901D 경중량 충격시험 사양을 만족하는 합정용 탑재장비의 내충격 설계에 유용하게 사용될 수 있으리라 판단된다. 아울러 한국기계연구원에서 현재 수행 중인 국내 장비제작사 보유 경중량 충격시험기의 성능검증을 위한 참고자료로 활용할 예정이며, 본 시험결과는 추후 발

표할 기회를 갖고자 한다.

#### 참고 문헌

- [1]MIL-S-901D, Shock Tests. H.I.(High-Impact) Shipboard Machinery, Equipment, and Systems, Requirements for, 1989. 3.
- [2]C.M. Harris, Shock and Vibration Handbook(Fourth Edition), Chapter 26, 1995.
- [3]I. Vigness, "Navy High-Impact Shock Machines for Lightweight and Mediumweight Equipment", NRL Report 5618, 1961. 1.
- [4]정정훈 등, "합정용 탑재장비 내충격 설계를 위한 충격하중 규명연구", 한국기계연구원 자체연구보고서 No.UCK049-861.M, 2000. 4.
- [5]E. W. Clements, "Shipboard Shock and Navy Devices for its Simulation", NRL Report 7396, 1972. 7.
- [6]R. W. Conrad, "Characteristics of the Light Weight High-Impact Shock Machine", NRL Report 3922, 19521. 2.

Table 1 MIL-S-901 Shock Tests

	Light Weight Shock Test	Medium Weight Shock Test	Heavy Weight Shock Test
Test Machine	LWSM	MWSM	SFSP or LFSP
Test Load's Weight	Up to 550lb	Up to 7,400lb	Up to 60,000lb (SFSP) Up to 400,000lb (LFSP)
Excitation	Three axis Hammer Impact (Top, Back, Side)	Single Axis Hammer Impact (Vertical)	4 Shots Underwater Explosions

Note : LWSM-Light Weight Shock Machine  
MWSM-Medium Weight Shock Machine  
SFSP-Standard Floating Shock Platform  
LFSP-Large Floating Shock Platform

Table 2 Weights of the Test Items

Test Item	Weight(lb)
KIMM_Item#1	55
KIMM_Item#2	68
KIMM_Item#3	115
KIMM_Item#4	148
NRL_Item#1	121
NRL_Item#2	145
NRL_Item#3	192
NRL_Item#4	261
NRL_Item#5	389



Fig. 1 MIL-S-901D Light Weight Shock Machine



Fig. 2 '4A Plate' for Deck-Mounted Equipment

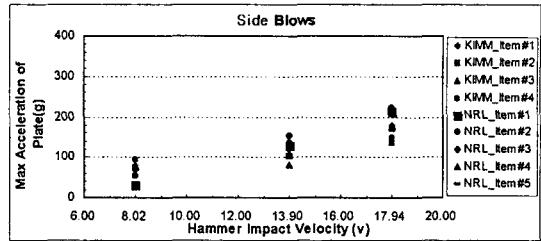


Fig. 3 Maximum Accelerations of '11C Shelf Plate' for Side Blows

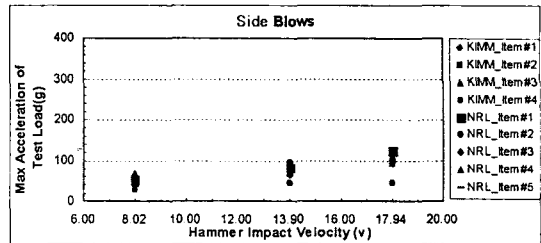


Fig. 4 Maximum Accelerations of Test load on '11C Shelf Plate' for Side Blows

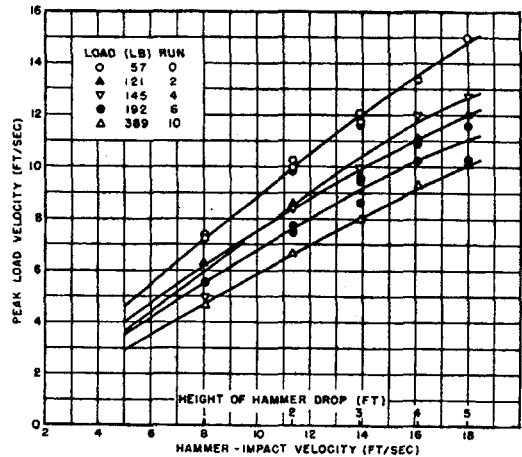


Fig. 5 Maximum Velocities of Test load on '4A Plate' for Back Blows

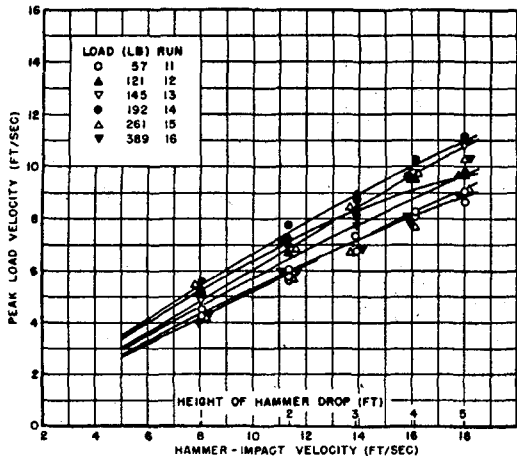


Fig. 6 Maximum Velocities of Test load on '11C shelf Plate' for Back Blows

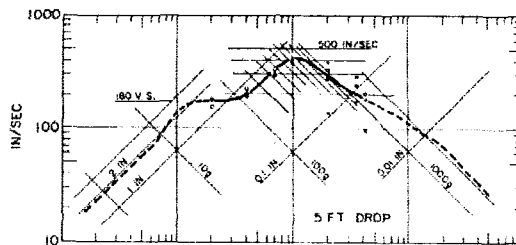


Fig. 7 Shock Response Spectrum for Motions of A Rigid Mass of 57lb Attached to the '4A Plate'