

MIL-S-901D 부유식 충격시험기의 충격응답 해석

⁰권 정 일* · 이 상 갑** · 정 정 훈***

Shock Response Analysis of A MIL-S-901D Floating Shock Platform

J. I. Kwon, S. G. Lee and J. H. Chung

ABSTRACT

Shock responses of the MIL-S-901D standard floating shock platform("SFSP") subject to underwater explosions(UNDEX) are analyzed by using the LS-DYNA/USA. For the analysis, surrounding fluids as well as the SFSP are included in a 3D FE model to consider the cavitation effects of the UNDEX shock wave. The calculated results are compared with the existing test results and it is confirmed that the analysis results predict accurately the shock behaviors of the SFSP.

1. 서 론

함정의 전투 능력과 생존성의 측면에서 수중 폭발 충격하중에 대하여 내충격 안정성을 확보하는 것이 필수적이다. 이를 위하여 각국 해군에서는 함정의 전투 및 운항 성능에 필수적인 탑재장비에 대하여 충격시험 등을 통하여 내충격 성능을 검증하도록 요구하고 있다. 우리 해군에서도 함정용 탑재 장비에 대하여 미국 해군의 탑재 장비에 대한 충격 사양인 MIL-S-901D[1]에 따라 함정의 탑재 장비의 내충격 안정성을 검증 받도록 장비제작사에게 요구하고 있다.

MIL-S-901D에서 규정하고 있는 충격시험은 대상 장비의 중량에 따라 경중량(light weight), 중간중량(medium weight) 및 중중량(heavy weight) 충

격시험으로 분류된다. 현재 국내에서도 경중량 및 중간중량 충격시험기를 이용한 충격시험은 한국 기계연구원을 중심으로 활발하게 이루어지고 있으나 중중량 충격시험기는 없기 때문에 주기관과 같은 핵심적인 탑재 장비에 대한 충격시험은 불가능하다[2]. 실제 폭약의 수중폭발 시험을 수행하는 중중량 충격시험은 실선 충격시험과 유사하므로 이를 이용한 실험적 연구는 탑재장비에 대한 내충격 안정성의 확보 측면뿐만 아니라 수중폭발현상 규명 및 수중폭발 충격응답해석의 정확도 검증을 위해서도 반드시 필요하다.

본 연구에서는 수중폭발 충격응답해석을 위한 대표적인 프로그램인 LS-DYNA/USA[3]를 이용하여 MIL-S-901D 중중량 충격시험기의 하나인 Standard Floating Shock Platform(이하 "SFSP"라 함.)에 대해 수중폭발에 의한 충격응답해석을 수행하고, 그 결과를 미국 해군연구소(Naval Research Laboratories, 이하 "NRL"이라 함.)의 시험결과[4]와 비교하여 정확도를 검증함으로써 향후 수치해

*한국해양대학교 해양시스템공학부 대학원생

**한국해양대학교 해양시스템공학부 교수

***한국기계연구원 구조시스템연구부 선임연구원

석을 통한 중중량 탑재장비의 내충격 설계검증에 활용하고자 한다.

2. MIL-S-901D 중중량 충격시험

중중량 충격시험은 시험 대상장비의 중량이 60,000lb까지는 SFSP를 이용하고 400,000lb까지는 Large Floating Shock Platform(LFSP)을 사용하여 실제 수중 폭발 시험을 실시한다. 이하에는 본 연구에서 고려한 SFSP에 대해서 간략히 소개한다.

SFSP는 1959년에 미국 NSRDC의 UERD에 의해 처음 만들어 졌으며 최대 시험중량은 30,000lb로 설계되었으나 현재의 MIL-S-901D에서는 60,000lb의 탑재장비까지 시험을 할 수 있도록 규정하고 있다. 초기 모델은 길이 22ft에 폭 16ft였으나 현재는 길이 방향만 6ft가 더 늘어난 28ft에 폭 16ft SFSP를 사용하고 있다.

SFSP 구조는 선체에 탑재된 장비가 선체로부터 받는 하중 조건과 유사하게 만들기 위해 3ft 깊이의 이중저 구조로 되어 있으며 SFSP를 둘러싼 외판은 대부분이 1in의 두께를 가진 고장력강(HY-80)으로 되어 있다. 시험 대상장비가 설치되는 inner bottom의 선측은 높이 3ft, 폭 0.5ft의 이중 선체이며, 이로 인해 실제 시험 대상장비의 설치 면적은 길이 26 ft에 폭 14 ft이다. 높이 방향으로는 충격 시험 중에 장비의 구성품이 이탈하여 물 속에 빠지지 않게 하고 각종 기후 조건으로 인한 영향을 줄이기 위하여 canvas 등을 이용하여 반 원통형 구조로 상부를 막고 있다.

SFSP의 자체 중량은 약 85,000b이며 이 경우 4ft의 흘수를 갖는다. 시험 대상장비는 가능한 한 실제 함정에 부착되는 방법과 같은 방법으로 SFSP에 설치하여 시험을 수행한다. 한편, 해저면의 영향을 줄이기 위하여 수심이 적어도 35~40 ft 이상 되는 곳에서 수행하여야 한다.

Fig. 1은 SFSP을 이용한 중중량 충격시험의 한 예를 보여주고 있으며, Table 1에는 MIL-S-901D에서 규정하는 중중량 충격시험 조건을 정리하였다.

3. 충격응답해석 및 고찰

충격응답해석을 위하여 NRL에서 수행한 시험 자료를 비교, 검증 자료로서 이용하였다.



Fig. 1 MIL-S-901D Standard Floating Shock Platform(Hi-Test Laboratories, USA)

Table 1 Test schedule for MIL-S-901D heavy weight shock testing

Test condition	SFSP	LFSP	
Depth of explosive charge below water surface (for all shots)	24 ft	20 ft	
Explosive charge weight/ composition	HBX-1		
	60 lbs	300 lbs	
Shot direction : Shot 1 Shots 2, 3, and 4	Fore-and-aft Athwartship		
Standoff :			
	Shot 1	40 ft	110 ft
	Shot 2	30 ft	80 ft
	Shot 3	25 ft	65 ft
Shot 4	20 ft	50 ft	

NRL에서는 전체 중량이 35,800lb인 잠수함용 diesel engine을 SFSP에 탑재하고 충격시험을 실시하였다. 또한 대상 주기관을 분해하여 추가의 2가지 중량조건을 구현하였다. 시험에 사용된 폭약은 MIL-S-901D에서 규정하고 있는 HBX-1 60 lb를 이용하여 Fig. 2에 보인 바와 같이 폭약 깊이 10ft, 20ft 및 30ft에 대하여 stand-off 거리를 각각 20, 30, 40, 60, 80ft로 놓고 수중폭발 시험을 수행하였다.

충격응답해석에 있어서는 현재 수중폭발 충격응답해석에 널리 사용되고 있는 대표적인 프로그램인 LS-DYNA/USA를 사용하였다. Table 2에 보인 바와 같이 중량 조건 35,800lb에 대하여 14가지, 그리고 분해 과정에서 구현된 중량조건 18,400lb와 9,000lb에 대하여 각각 7 가지씩, 총 28 경우에 대하여 수치 해석을 수행하였다.

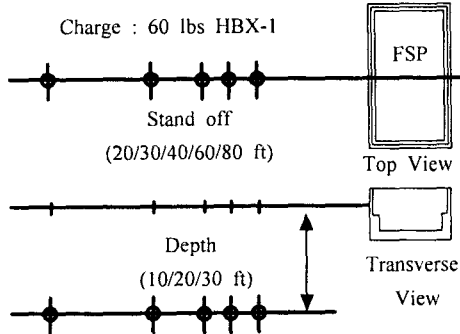


Fig. 2 Shot geometry for heavy weight shock testing at NRL

Table 2. Conditions for shock response analysis

Charge Depth	Stand off distance	Load weight (lb)		
		9,000	18,400	35,800
10 ft	20 ft	.	.	⊙
	30 ft	.	.	⊙
	40 ft	.	.	⊙
	60 ft	.	.	⊙
20 ft	20 ft	⊙	⊙	⊙
	30 ft	⊙	⊙	⊙
	40 ft	⊙	⊙	⊙
	60 ft	⊙	⊙	⊙
30 ft	20 ft	.	.	⊙
	30 ft	.	.	⊙
	40 ft	⊙	⊙	⊙
	60 ft	⊙	⊙	⊙
80 ft	20 ft	.	.	⊙
	30 ft	.	.	⊙
	40 ft	⊙	⊙	⊙
	60 ft	⊙	⊙	⊙

SFSP와 같은 부유구조물(floating structures)의 수중폭발 충격응답해석에 있어서는 충격파의 전파 시 자유수면과 접수구조표면에 의해 발생하는 인장반사파로(rarefaction wave) 인한 광역캐비테이션(bulk cavitation) 및 선각캐비테이션(hull cavitation)의 영향을 고려하여야 하며, 이를 위해 본 연구에서는 Fig. 3에 보인 바와 같이 SFSP 뿐만 아니라 주변 유체를 포함하여 3차원 유한요소 모델링을 하였다. 3차원 유한요소 모델의 전체 절점 수는 70,178개, 요소 수는 SFSP의 모델에 shell 요소 10,784개를 사용하였고 주변유체 모델링을 위해 Acoustic Element 요소 57,844개를, 그리고 유체 모델링에서 제외된 기타 유체영역의 영향을 고려하기 위한 접수 경계요소 즉, DAA(doubly asymptotic approximation) 요소 5,696개를 사용하였다. 또한 SFSP에 설치된 주기관은 동일한 중량을 갖는 강체 블록으로 모델링하였다.

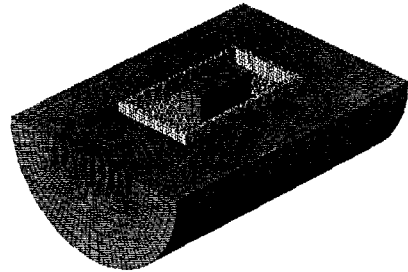


Fig. 3 Finite element mesh configuration of SFSP

Fig. 4에는 NRL의 시험결과와 비교하기 위해 주기관이 취부되는 지부에서의 데이터 추출 지점을 도시하였다.

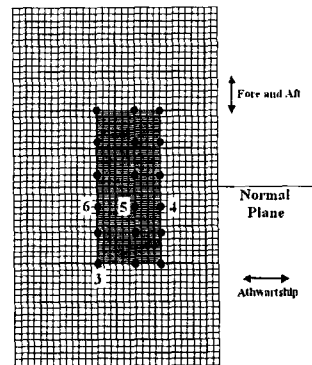


Fig. 4 Data acquisition node

Fig. 5에는 수치 해석을 위한 시나리오 중에서 폭약 깊이 10ft, 시험중량 35,800lb의 경우에 대해 stand-off 거리에 따라 상기 데이터 추출 위치 4곳의 평균 속도응답 시간이력을 도시하였다. 그림에서 알 수 있듯이 stand-off 거리가 멀어질수록 응답이 줄어들며, NRL 시험결과와 마찬가지로 50msec 이후에는 충격거동이 거의 사라진다.

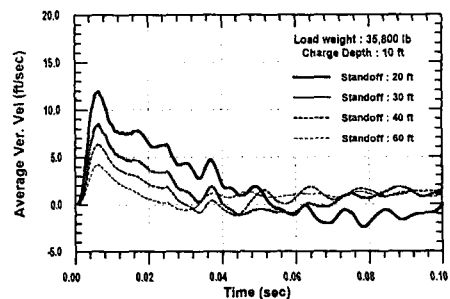
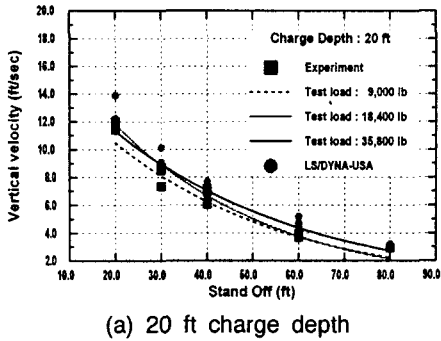
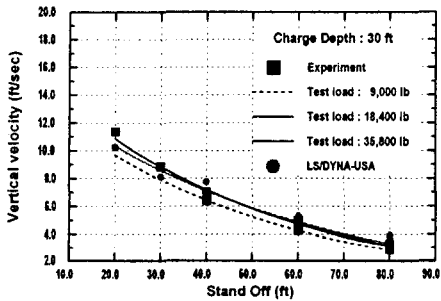


Fig. 5 Time history of average vertical velocity for shot at 10ft depth, test load 35,800lb

Fig 6~Fig 8에는 계산된 각 방향 평균속도 최대 값과 NRL의 시험결과를 함께 도시하였다. 이들 그림에서 보듯이 해석 결과와 시험결과의 부합성이 매우 양호함을 알 수 있다. 한편, 응답 크기는 시험중량과 폭발 깊이보다는 stand-off 거리에 지배됨을 알 수 있으며, stand-off에 거의 선형적으로 반비례함을 알 수 있다.

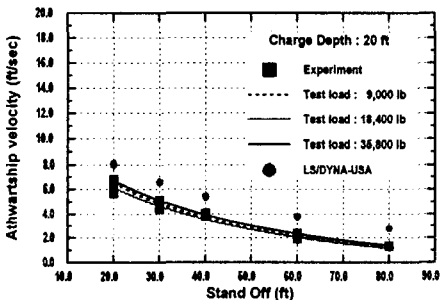


(a) 20 ft charge depth



(b) 30 ft charge depth

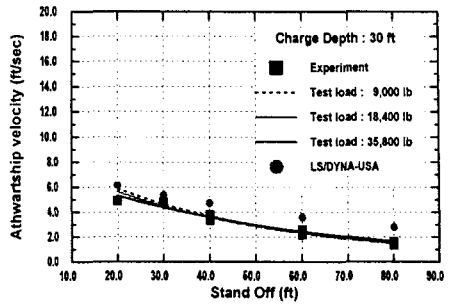
Fig. 7 Peak vertical velocity vs stand-off



(a) 20 ft charge depth

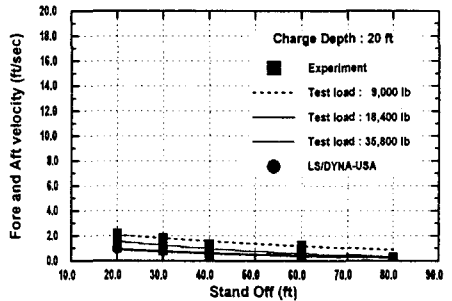
4. 결론

MIL-S-901D 중중량 충격시험기의 하나인 SFSP에 대해 LS-DYNA/USA를 이용하여 수중폭발 충

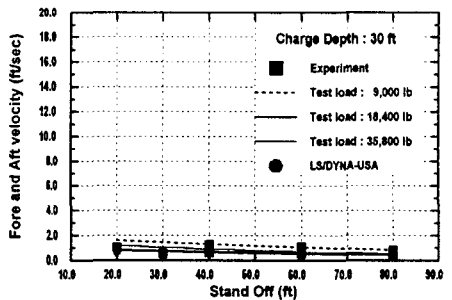


(b) 30 ft charge depth

Fig. 8 Peak athwartship velocity vs stand-off



(a) 20 ft charge depth



(b) 30 ft charge depth

Fig. 9 Peak fore and aft velocity vs stand-off

격응답 해석을 수행하고 NRL의 시험결과와 비교를 통해 정확도를 검증하였다. 해석 결과가 시험결과와 매우 잘 일치함을 확인하였으며 중중량 충격시험에 따른 응답 특성을 파악하였다.

현재 국내에서는 MIL-S-901D 중중량 충격시험기가 없기 때문에 중중량의 함정 탑재장비에 대해서는 내충격 안전성 검증을 거의 대부분 DDAM(Dynamic Design Analysis Method)[5] 해

석에 의존하고 있다. 스펙트럴 해석방법인 DDAM 해석은 대상 장비의 충격 응답이 선형이고 탄성한도 내에 있다는 가정 하에서 개발된 방법이므로 주기관과 같이 비선형의 탄성마운트를 채용하는 장비들에 적용하는 것은 원칙적으로 불가능하다. 이런 경우 본 연구에서 제시하는 직접 시간적분법을 이용한 과도응답(transient response) 해석을 적용하는 것이 보다 적절하다고 판단된다. 본 연구를 통해 정립된 해석방법은 실제 함정에 탑재되는 중중량 장비들의 내충격 안전성 평가뿐만 아니라 전선(whole ship) 충격응답해석에 있어서 선체구조-받침대-장비의 연성효과를 고려하여 보다 정확한 장비시스템의 충격응답 예측에 직접 활용이 가능하리라 판단된다.

참고 문헌

- [1]MIL-STD-901D, "Shock Tests, H.I. (High Impact) Shipboard Machinery, Equipment, and Systems, Requirements for", 1989.
- [2]정정훈, 김병현, 정태영 " 함정용 탑재 장비의 내충격 성능 평가 기술" , 대한조선학회지 제33권 제2호, pp41-48, 1996.
- [3]정정훈, 허영철, 김병현, "LS-DYNA/USA를 이용한 부유구조물의 수중폭발 충격응답 해석", 2000년 대한조선학회 추계학술대회 논문집, pp341-344, 2000.
- [4]E.W. Clements, "Shipboard Shock and Navy devices for its simulation", Naval Research Laboratory Report 7396, 1972.
- [5]Rudolph J. Scavuzzo and Henry C. Pusey, *Naval Shock Analysis and Design*, The Shock And Vibration Information Analysis Center Monogram No. 17, 2000.