

모델링 및 시물레이션 기반의 함정용 수직발사형 발사체의 수중폭발 충격에 대한 내충격성 확보 방안 연구

이승진[†] · 권정일 · 유경식 · 박진용

A Study on the Shock Resistance against Underwater Explosion of Ship-born Vertical Launch Type Air-vehicle by Using the Modeling and Simulation

Seungjin Lee[†] · Jeongil Kwon · Kyeongsik You · Jinyong Park

ABSTRACT

This study examines the response when the shock by underwater explosion is transmitted to a vertical launch air-vehicle mounted on a ship using modeling and simulation, and is about a plan to increase method shock resistance to protect the air vehicle. In order to obtain an accurate mathematical model, a dynamic characteristic test was performed on similar equipment, and through this, the mathematical model could be supplemented. And, using the supplemented mathematical model, the air vehicle simulated the shock response by the underwater explosion specified in the BV043 standard. As a result of the first simulation, it was confirmed that air vehicle could not withstand shock, and air vehicle protection method using a ring spring type shock absorber was studied. In addition to the basic shape of abosber, it was confirmed that the ring spring absorber can be used to increase the impact resistance of a shipborn vertical launch vehicle by performing simulations for each case by changing design variables.

Key words : Underwater Explosion, Shock Resistance, Ring Spring, Shock Absorber

요약

본 연구는 모델링 및 시물레이션을 이용하여 수중폭발 충격이 함정에 탑재되는 수직발사형 발사체에 전달될 때의 반응을 검토하고 발사체 보호를 위해 내충격성을 확보하는 방안에 대한 것이다. 정확한 수학적 모델을 확보하기 위하여 유사 장비에 대한 동특성 시험을 수행하였으며 이를 기반으로 수학적 모델을 보완하였다. 그리고 보완된 수학적 모델에 이용하여 수직발사체에 BV043 규격에서 정한 수중폭발에 의한 충격이 전달되는 상황을 시물레이션 하였다. 1차 시물레이션 결과 비행체의 구조물이 견딜 수 없는 충격이 전달되는 것을 확인하였으며, 링스프링 구조의 완충기를 사용하여 비행체를 보호하는 방안을 연구하였다. 또한 링스프링 완충기의 설계 변수를 변경한 여러 경우에 대한 시물레이션을 수행함으로써 링스프링 완충기가 함정탑재용 수직발사 비행체의 내충격성을 더 증가시킬 수 있음을 확인하였다.

주요어 : 수중폭발, 내충격성, 링스프링, 완충기

1. 서론

전투함 내 탑재되는 장비들은 작전 중 적의 어뢰, 기뢰 등에 의한 수중폭발 공격에 대해서도 내충격 안전성을 확보하고 있어야 한다. 특히 전투함의 수직발사대 내에 탑재되는 비행체는 전투함의 공격 또는 방어 임무에 필수적인 장비로 전투함이 수중폭발 공격을 당한 이후에도

* 본 논문은 LIG Nex1 산학협력과제 지원으로 연구되었음.

Received: 23 August 2023, Revised: 4 October 2023,
Accepted: 4 October 2023

[†] Corresponding Author: Seungjin Lee
E-mail: seungjin.lee2@lignex1.com
LIG Nex1 co., Ltd

그 기능을 유지하여야만 전투함의 임무 수행이 가능하다.

이에 함정 탑재 비행체는 수중폭발에 대한 내충격성을 갖춰야하며 이에 대한 요구 규격으로 일반적으로 알려져 있는 미국 군사규격인 MIL-S-901(US DOD, 1989) 또는 독일 군사규격인 BV-043(Federal German Army Procurement Office, 1985)에 따른 설계 및 검토가 필요하다. 이에 대응하고자 토마호크용 캐니스터인 Mk.14나 (Leifer et al., 1978) SM-2용 캐니스터인 Mk.21등은 유압 스프링 방식의 충격흡수장치를 적용한 바 있다.

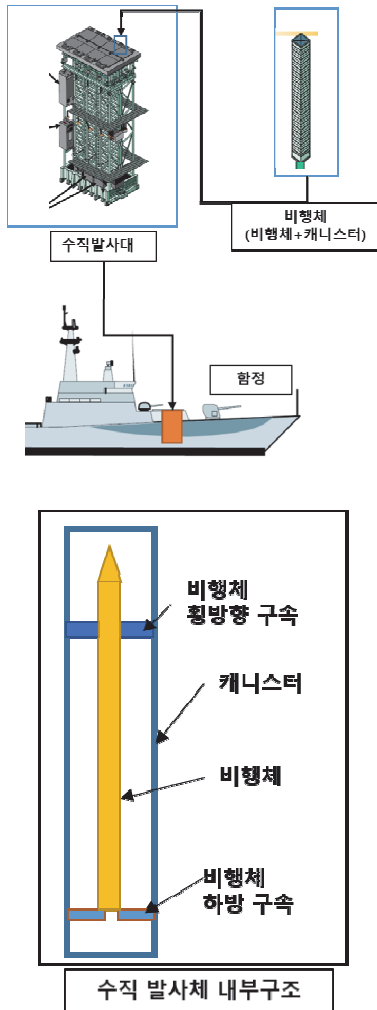


Fig. 1. Common configuration of ship-born vertical launch vehicle

이러한 규격 및 유사사례에 따르면 함정용 비행체는 개발 단계에서부터 수중폭발 충격에 대한 내충격 성능이 고려되어야 하며 이에 대한 검증 또한 필요하다.

비행체의 수중폭발 내충격 성능은 실제 환경을 모사한 시험을 통해 최종 검증되어야 하나 이러한 시험은 상당한 비용과 시간이 소요된다. 그렇기에 비행체에 대한 개선점 식별 및 형상 수정과 해당 형상에 대한 검증 단계가 반복되는 개념설계 단계에서는 수중폭발 내충격 성능 검증을 위하여 시험적 방법보다는 모델링 및 시뮬레이션이 필요하다.

이에 본 연구에서는 수중 폭발 충격에 대한 내충격성이 고려되지 않은 비행체 기본형상(Baseline Configuration)에 대하여 모델링 및 시뮬레이션을 통하여 1차적으로 수중폭발 충격이 비행체에 미치는 영향을 분석하였다. 그리고 시뮬레이션 결과를 토대로 취약점을 분석하여 충격 저감 방안을 검토하고, 이를 적용한 개선안에 대해 다시 모델링 및 시뮬레이션을 수행하여 저감 방안의 유효성을 검증하였다.

2. 해석 모델 구성 방안

2.1 비행체 기본형상(Baseline Configuration)에 대한 기하학적 분석

함정의 수직발사대에 탑재되는 비행체의 일반적인 구성은 Fig. 1과 같다. 본 연구에서 모델링 및 시뮬레이션 할 비행체는 함정의 수직발사대 탑재 규격에 맞춰 최외곽은 세장비 9.9에 단면형상이 사각형 캐니스터가 보호하고 있으며 캐니스터는 상부와 하부가 각각 별도의 완충장치 없이 수직발사대 내에 기계적으로 고정된다.

캐니스터 내부에는 임무수행시 수직 발사되는 비행체가 탑재되어 있으며 캐니스터 및 비행체는 기계적 기구를 통해 하부는 중방향으로, 상부는 횡방향으로 고정된다.

비행체 기본형상의 구조물간 기계적 결합구조는 지상용 유사체계를 참조하여 방안 설계한 형상이며 함상운용을 위한 수중 내충격성이 고려되지 않았다.

2.2 비행체 기본형상 대한 해석 모델 구성

검토 중인 대상 장비는 크게 발사관 캐니스터, 횡방향 구속장치, 후방 구속장치, 발사시 방향 안정을 위한 가이드용 레일, 그리고 내부 비행체 등으로 구성되어 있다. 대상 장비의 내충격 구조 안전성 검토를 위한 충격 해석을 위해서 주요 구성품에 대해서 상세 유한 요소(Finite Element Model) 모델 구성이 필요하다. 대상 장비는 많은 구성 부품들이 복잡하게 배치되지만, 이러한 상세 부품까지 해석 모델에 반영하여 구성하는 것이 물리적으로 불가능하다. 이를 위해 함정 탑재장비의 내충격 안전성

분야의 전문 지식과 충격해석 경험을 보유한 전문가 그룹과 함께 대상 장비에 대하여 면밀한 분석을 거쳐 충격 해석에 반영해야 할 주요 구성품을 체계적으로 분류하고, 분류된 구성 요소에 대한 모델링 반영에 사전 검토 및 협의를 진행하였다. 이를 통해 대상 장비에 대한 특성과 내충격 구조 안전성 관점에서 취약점에 대하여 구조 건전성 평가가 원활히 수행 될 수 있도록 내충격 해석 모델링에 반영이 필요한 주요구성품을 선정하고, 이에 대하여 보수적인(Conservative) 평가 관점에서 아래 Fig. 2와 같이 상세유한 요소모델로 구성하였다.

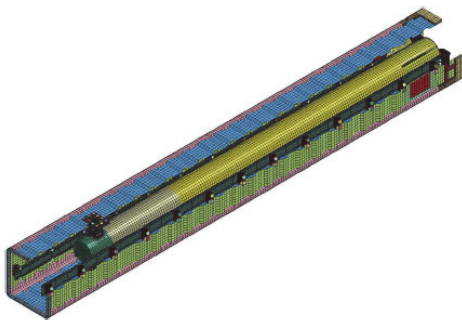


Fig. 2. Finite element model of ship-borne vertical launch vehicle

대상 장비의 구조 건전성 평가 관점에서 가장 취약하다고 평가한 구성요소는 구멍 등으로 인해 응력집중이 주로 발생하는 장비 구성품 간의 체결부로 판단하였다. 대상 장비의 주요 구성품 간의 연결은 다양한 크기의 체결 볼트(bolt)를 이루어지는데 일반적으로 볼트 자체의 강도보다는 볼트 주변의 구조물에서 구조적 취약이 발생하므로 원활한 해석을 위하여 볼트 부분은 동일 강성을 지닌 보 요소(Beam Element)를 통해 이를 Fig. 3과 같이 구성하였다.

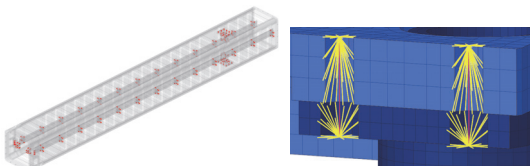


Fig. 3. Beam modelings for bolt fasteners

또한 체결 볼트로 체결되는 구성품 간의 마찰이 없는 접촉 알고리즘(Contact Algorithm)을 사용하여 실제 설

계 원안의 주요 구성품들이 서로 맞닿고 있는 면들에 대하여 접촉 경계조건 및 구속 경계조건을 외부 충격하중에 대하여 내부 충격하중을 보수적으로 전달하고자 하였다.

대상 장비의 내부 비행체에 대한 설계 자료가 아직 구체화되기 전으로 대략적인 형상 및 중량을 제외한 설계 정보가 없기 때문에 이에 대하여 비행체 외형 및 중량 분포만을 반영한 간략한 강체 모델로 구성하였다. 이는 대상 장비가 탑재되는 조건에 함정 외부선체로부터 전달되는 충격하중으로부터 대상 장비의 캐니스터를 통해 내부 비행체로 전달되는 충격 하중 특성 파악이 중요하기 때문이다. 이를 위해 내부 비행체를 지지하고 있는 후방 및 측면 구속장치에 대하여 가능한 실제 설계 형상을 반영한 상세유한요소 모델을 Fig. 4와 같이 구성하였다.

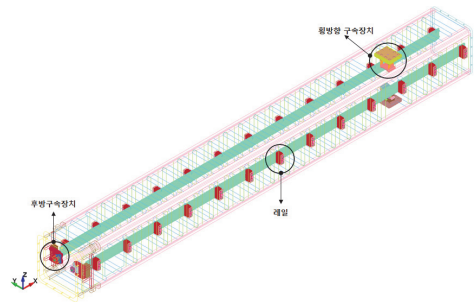


Fig. 4. Finite element models of rear and side retainers

2.3 해석 모델의 신뢰성 검토를 위한 고유진동 분석



Fig. 5. Sensor mount positions for modal analysis of similar vertical launch vehicle

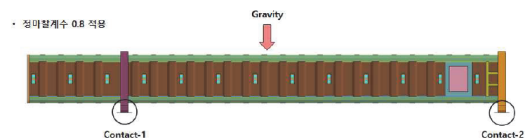


Fig. 6. Load and contact conditions of modal analysis model for reliability verification

상기와 같이 일반적인 해석을 위한 모델링을 생성하였

으나, 해석의 신뢰성을 높이기 위해서는 실험을 통한 결과 및 각 해석조건에 대한 보완이 필요하다. 그러나 본 과제의 대상이 되는 비행체는 아직 설계 단계이기에 실험을 통한 실험을 할 수 없으므로 유사장비를 이용한 실험으로 해석의 신뢰성을 높이기로 하였다. 즉 유사장비를 동일한 조건으로 해석모델을 생성한 뒤, 이를 실제 유사장비의 실험결과와 비교함으로써 구성 중인 해석 모델의 유효성을 검토하였다. 특히 대상 장비의 구성품 가운데 주요 강성을 지배하는 캐니스터에 대한 해석 모델의 신뢰성을 검증하기 위해 유사 캐니스터에 대하여 일련의 고유진동 특성 시험을 수행하였다. 고유진동 분석 과정에서 유사 캐니스터가 Fig. 5와 같이 지지대 위에 배치되어 있는 상태를 감안하여 고유진동 해석에서 경계조건은 Fig. 6과 같이 설정하고 고유진동 해석을 수행하였다. 유사 캐니스터를 대상으로 한 일련의 고유진동 시험 결과와 유한요소 해석 모델을 이용한 고유치 해석의 비교 결과를 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Results comparison of test and analysis for similar vertical launch vehicle

Mode	Modal Test (Hz)	Analysis (Hz)	Error (%)
1차-Horizontal	35.73	39.26	9.88
2차-Vertical	55.96	52.80	-5.64
3차-Horizontal	56.67	54.12	-4.50
4차-Vertical	107.2	118.17	10.23

이러한 시험과 해석의 비교를 통해 내충격 해석을 위한 구성한 캐니스터의 모델링 구성 방식이 충분히 대상 장비의 동특성을 반영할 수 있는 모델이라고 판단하였으며, 이러한 해석 모델링 구현 기법을 이용하여 현재 검토 중인 대상 장비에 대하여 동일하게 충격 해석 모델을 구성하여 동특성 해석을 수행하였다. 대상 장비의 캐니스터에 대한 고유진동 해석 비교는 Table 2 및 Fig. 7에 각각 모드 별로 도시하였는데 비교를 위해 검토 중인 재질 별로 구분하여 결과를 나타내었다.

대상 장비의 충격설계 요구조건에 따라 과도응답 해석을 통한 구조건전성 평가를 위한 허용 항복응력은 정적 또는 동적 항복응력(Dynamic Yield Stress)을 적용하여 평가할 수 있다고 판단되지만 이 역시 적용 하중의 특성 및 장비 운용에 구조 건전성이 미치는 영향에 따라 미소 영구변형 허용 반영 여부가 달라진다. 특히, 하중 특성에 따라 일반적으로 충격설계 요구조건에서는 연신률이

10% 이상인 강재 및 주조강은 동하중의 적용 시의 재료가 가지는 경화 특성으로 재료의 정적 허용응력보다 증가된 항복응력을 사용하여 평가할 수 있기 때문이다. 충격 해석 과정에서 과도응답 해석을 통해 평가할 경우, 충격 하중 동하중의 특성 주파수에 따라 평가 산정 기준이 달라질 수 있지만 가장 보수적인 평가 기준은 각각의 재질이 갖는 정적 항복응력(Static Yield Stress)을 적용하는 것이다. 하지만 필요에 따라 대상 장비와 같이 장비 운용 및 중요성을 감안하여 정적 또는 동적 항복응력 기준으로 선별하여 평가 방안을 검토할 수 있다.

Table 2. Results comparison for each canister materials

Direction	Mode	Material-A6061 (Hz)	Material-SS400 (Hz)
Horizontal	1차	39.26	40.22
	2차	52.80	54.38
Vertical	1차	54.12	62.93
	2차	118.17	138.59

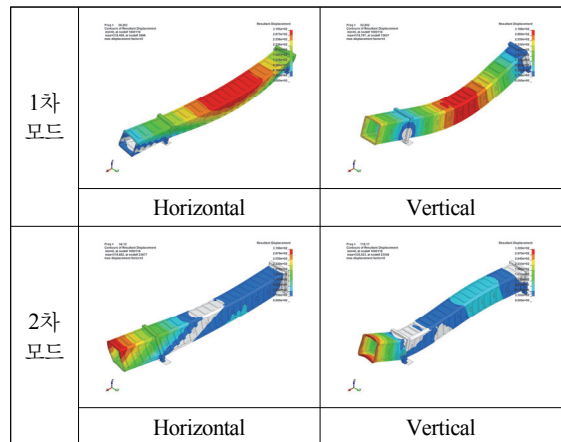


Fig. 7. Canister modal analysis results : material-SS400

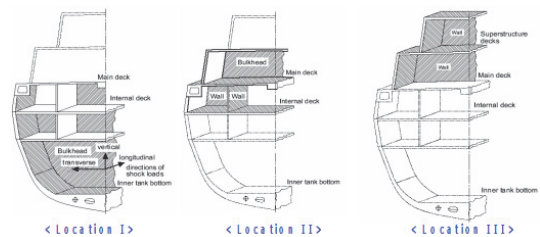


Fig. 8. Equipments and mounts classification criterion for surface ship of German navy

대상 장비에 대하여 수상함의 내충격 설계 요구하중을 감안하여 독일 해군의 BV043(Federal German Army Procurement Office, 1985)에서 제시하고 있는 Fig. 8과 같은 충격하중을 각 방향별 충격 응답해석을 실시하였다.

독일해군의 함정 내충격 강화사양인 BV043은 함정의 종류에 따라 배수량 1,000톤 이하, 2,000톤 이상, 그리고 이 사이의 배수량을 갖는 함정에 대해서는 선형 삽간법을 사용하여 내충격 설계기준 충격응답 스펙트럼 값을 결정하게 되는데 장비/설비 및 받침대의 설치위치는 대상함의 조건에 따라 I, II 및 III 위치와 충격하중 방향(상하, 좌우 또는 전후 방향)에 따라서 서로 다른 내충격 설계기준 충격응답 스펙트럼을 규정하고 있다.

이러한 독일해군도 시험이 가능한 경우에는 원칙적으로 충격시험을 통해서 대상 장비/설비 및 받침대의 내충격 성능을 검증할 것을 요구하고 있으며, 시험이 불가능한 경우에는 해석적인 방법으로 이를 검증할 것을 요구하고 있다. 본 해석의 경우 대상 장비의 제원을 고려하여 BV043에서 명시하고 있는 2000톤 이상의 함정에 탑재되는 장비에 적용되는 충격응답 스펙트럼을 Location-I의 설치 조건이라고 가정하여 Fig. 9와 같은 시간이력 형태의 충격하중을 산정하였다.

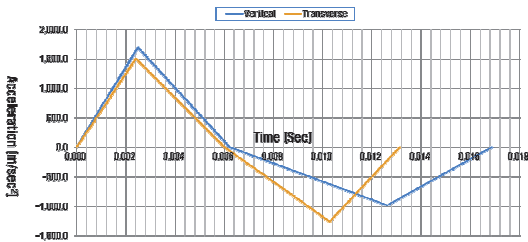


Fig. 9. Shock loads of time history for analysis

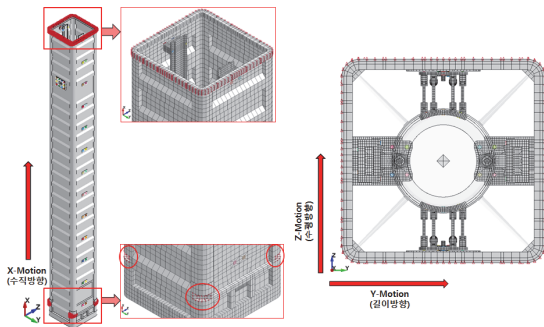


Fig. 10. Boundary conditions and load directions for analysis

한편, 대상 장비는 Fig. 1과 같이 수직 발사대 내에 여러 개가 동시에 설치되는 장비지만 본 연구에서는 수직 발사대까지 연동한 검토 범위가 아니므로 비행체를 포함한 캐니스터 주변만 고려한 경계조건을 고려하여 Fig. 10과 같이 설정하였다.

2.3 기본형상에 대한 수중폭발 충격해석 결과 검토

비행체를 포함한 캐니스터에 대한 내충격 해석 모델을 이용하여 전술한 충격 하중 및 경계조건을 인가할 경우, 대상 장비는 캐니스터 내부의 비행체가 비정상적으로 과도한 거동으로 인한 수치적 불안정성으로 인해 수치 오류가 발생하여 발산하는 양상을 나타내었다. 이는 탄성 범위의 거동을 할 것이라는 가정에서 수행하는 과도응답 충격 해석에서 과도한 충격하중으로 인한 내부 구성품의 해석 모델에서 탄성 영역의 범위가 아닌 과도한 변형으로 인한 수치 오류가 발생하기 때문이다. 이로 인해 대상 장비에 대한 전체적인 충격 거동 자체의 파악 및 거동의 불안정성을 일으키는 구성 요소의 양태도 파악이 어렵다고 판단하고, 해석의 안정성을 높이기 위해 충격 하중 자체를 Fig. 9보다 매우 낮은 수준의 임의의 하중을 적용하여 재해석을 수행하였고, 이와 같은 경우 정상적인 수렴을 유도할 수 있었다. Fig. 11은 상기와 같은 조건에서 대상 장비에 대한 대표적인 시간대에서 유효응력(von-Mises Stress) 분포를 조사하였다.

결과 자료에서 붉은 계열로 표현되는 부분이 발생하면 이는 각 재료의 정적 항복응력을 초과하는 것을 의미한다. 대상 장비의 경우 적용 충격하중이 동적 항복응력을 적용할 수는 수준이지만 보수적인 평가를 위해 정적 항복응력을 기준으로 모든 충격 하중 작용 방향에 대하여 주요 구성품에 대하여 평가하였다. Fig. 11에서 도시한 해석 결과는 대상 장비에 수평 방향으로 충격 하중을 인가하였을 경우 0.02초에 발생하는 응력 분포를 도시한 것으로 적용 충격 하중이 예정된 내충격 설계하중보다 훨씬 작은 하중임에도 불구하고 허용 기준을 초과하는 응력 분포가 발생하는 것을 알 수 있다. 결과 그림에서와 같은 응력분포의 크기 자체는 물리적으로 검토 대상이 아니지만 대상 장비의 설계원안에서 구조적으로 충격에서 가장 취약하다고 판단되는 주요 구성품의 거동 결과와 이로 인한 내충격 설계 관점에서 보강 방안을 도출하기 위해 설계원안의 검토가 필요하다. 설계원안의 임의의 하중에 대한 충격 거동 분석 결과, 비행체의 후방과 횡방향 구속장치 구조가 내충격 구조 안전성을 취약한 것을 알 수 있었다. 이는 이들 지지구조가 비행체가 캐니스터

를 벗어나는 과정에서 물리적으로 어떠한 방해 요소가 되면 안 되기 때문에 기구학적인 설계와 달리 본 연구에서와 같이 대상 장비의 외부로 인가되는 충격 하중에 대하여는 매우 취약하다고 판단된다. 특히, 후방 및 횡방향 구속장치는 특정 방향에 대하여만 각각 독립적인 거동을 하기 때문에 동시에 두 가지 구속장치에 내충격 안전성 설계보다 독립적으로 검토가 필요하다.

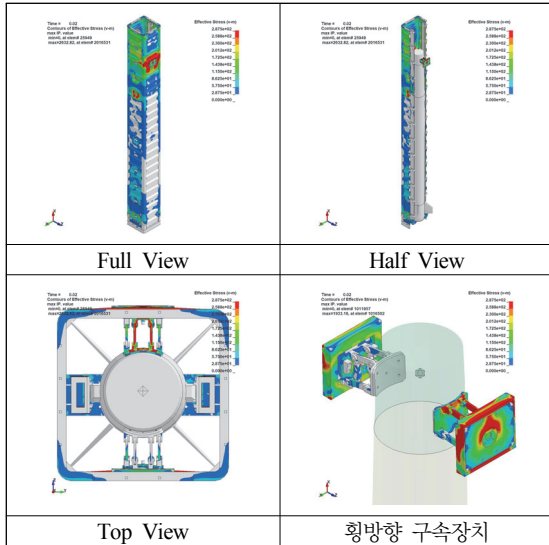


Fig. 11. Von-Mises Stress(static yield stress) contours of main equipments with horizontal direction load : $t = 0.02s$

3. 개선 형상에 대한 수중폭발 충격해석

3.1 수중폭발 충격에 대한 내충격성 확보 방안

일반적인 함정탑재용 전자장비 등은 수중폭발 충격에 대한 내충격성 확보를 위하여 고무(rubber), 와이어 로프(wire rope) 등 각종 충격 절연 혹은 완충장치를 사용한다. 그러나 본 연구에서 다루고 있는 함정탑재용 비행체는 기 개발된 수직발사대의 정해진 기계적 인터페이스에 맞춰 탑재되어야 하며, 기존의 설계 형상을 벗어난 별도의 완충장치를 추가하기 매우 어려운 구조다. 따라서 캐니스터의 형상을 유지하면서 내부에 비행체가 설치되는 공간에 충격에 대한 절연 장치를 고려하여야 하는데 국외에서 운영 중인 유사 대상 장비의 경우 캐니스터와 그 내부에 탑재된 비행체 사이에 완충장치를 추가함으로써 수중폭발 충격을 완화하고 있다.

본 연구에서는 비행체 캐니스터 내부에 이원석(2017)이 제시한 링 스프링 타입의 완충장치를 적용하여 수중

폭발에 대한 내충격성을 강화하는 방안을 연구를 수행한 바 있는데 이를 참고하여 완충장치 설계를 검토하였다. 이와 같은 완충장치는 링 형태의 스프링이 직렬로 연결되며, 하중이 부가될 경우 Fig. 12와 같이 내부 링(Inner Ring)과 외부 링(Outer Ring)의 접촉면에서 마찰이 발생하여 충격에너지가 열에너지로 소산된다. 링 스프링 방식은 그 특성상 큰 충격이 가해질 경우 유기압식 댐퍼와 달리 1회만으로 원하는 만큼의 압력소산을 얻지 못할 수 있으며 충격이 진동형태로 변하여 비교적 더 긴 시간 동안 충격을 소산시켜야 한다. 그럼에도 링스프링 방식은 유기압식 댐퍼 방식과 달리 누유에 따른 정비소요나 환경에 따른 작동유 특성변화를 고려할 필요가 없기에 장기간 배에 탑재된 채 중간 정비가 불가능한 상태에서 운용되어야 하는 함정탑재용 비행체에 적합한 방식이라 할 수 있다(이원석, 2017).

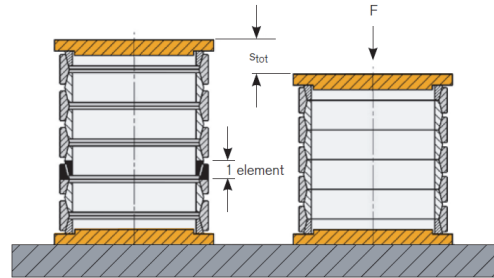


Fig. 12. Section views of neutral and loaded ring spring absorber (Ringfeder, 2022)

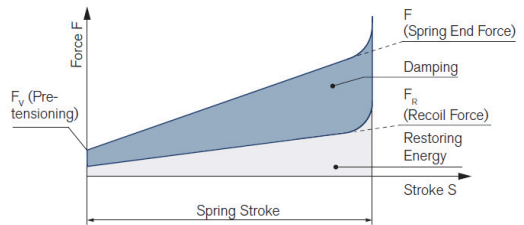
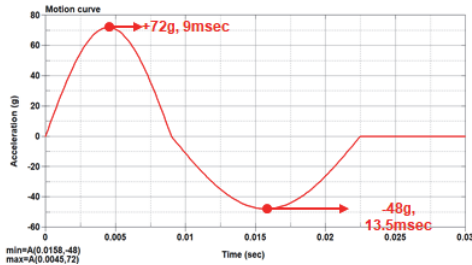


Fig. 13. A ring spring absorber characteristic (Ringfeder, 2022)

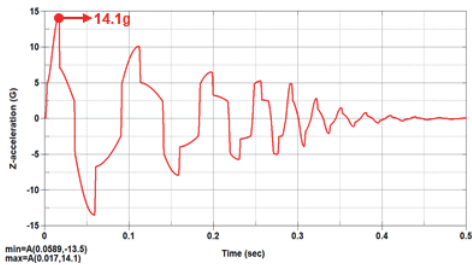
이와 같은 링 스프링 형태의 완충기 조립체는 인장 혹은 압축 방향으로 힘이 가해져도 내부의 링 스프링은 항상 압축방향으로 힘을 받도록 한 완충기를 모델링하였다. 완충용 링 스프링은 상용품 적용을 가정하였으며 이는 Fig. 13과 같은 특성을 갖는다. 즉, 링 스프링의 접촉면에서 마찰로 인하여 하중 인가 및 제거 과정에서 스프링의 강성 차이가 발생하게 되며, 코일 스프링과 달리 링 스프

링에서는 하중 인가 및 제거에서 발생하는 강성 차이에 의해 유압덤퍼 없이 Fig. 13의 어두운 부분 만큼 에너지 소산을 일으키면서 완충작용을 하게 된다.

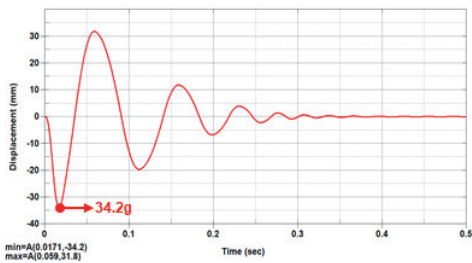
이러한 특성을 확인하기 위해 참고문헌(이원석, 2017)을 이용하여 본 연구에서 적용하고자 하는 해석 방법을 이용하여 재현 연구를 수행하였다. Fig. 14(a)에서와 같은 충격 하중을 1-자유도계로 가정한 수치모델을 통한 충격 거동 결과를 Fig. 14(b) 및 (c)에 도시하였는데 참고문헌(이원석, 2017)과 동일한 거동 및 충분한 완충효과가 나타남을 확인할 수 있어 그 유효성을 확인하였다.



(a) Applied shock load



(b) Acceleration analysis result



(c) Relation displacement analysis result

Fig. 14. An analysis result for ring spring type shock isolator acceptable review

3.2 개선형상에 대한 충격해석 방안 및 결과 분석
앞 절에서 전술한 링 스프링 형태의 완충장치를 이용

하여 대상 장비의 캐니스터 내부에 이를 설치하는 방안을 고려하였다. 이를 위해 링 완충장치는 Fig. 15에서와 같이 기존의 상용화된 제품을 적용하였다. 해당 완충기는 RINGFEDER사 제품으로 Push-Pull Unit 방식으로 적용되는 시스템 요구사항에 맞게 링 스프링의 직경 및 적층 개수를 변화시킴으로써 스프링의 응답 변위 및 충격전달 가속도를 요구 수준으로 충족시킨 완충기를 설계 및 제작이 가능하다.

상기의 링 완충장치를 Fig. 16에서와 같이 캐니스터 내부에 비행체 하부에 4개를 설치하는 방안을 고려하여 이를 설계하고, 해당 충격 성능 확인을 위해 유한요소 해석 모델을 구성하여 나타내었다. 이러한 링 완충장치는 외부 충격하중에 대한 절연을 통해 내부 비행체에 전달되는 충격하중 감소 및 차단을 목적으로 하므로 비행체 설계에 따라 여러 가지 요구 조건을 고려할 수 있다. 따라서 본 연구에서 비행체의 설계가 구체화되기 전 단계이므로 이를 감안하여 다양한 설계 검토 케이스를 Table 3과 같이 구성하여 이에 대한 충격 검토를 수행하였다. 한편, 이러한 타입의 완충장치는 내충격 설계 검토 관점에서 특정 방향으로 전달되는 충격하중에 대하여만 완충 효과가 있고, 다른 방향에 대해서는 효과가 미미하다.

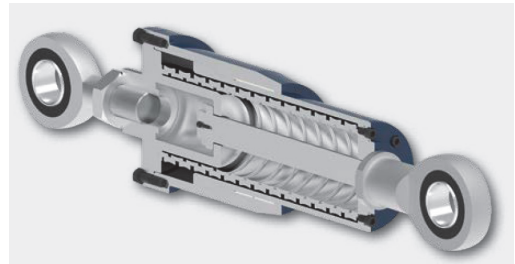
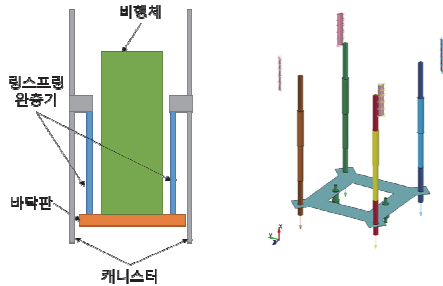


Fig. 15. A ring spring absorber section view (Ringfeder, 2022)

즉, Fig. 16에서와 같이 링 완충장치가 세워져 있는 수직 방향으로 전달되는 충격하중에 대하여 절연 효과가 발생하고, 설치 조건상으로 길이나 수평 방향으로 인가되는 충격하중에 해당 완충장치의 효과는 기대하기 어렵기 때문에 이에 대하여 별도 설치하거나 다른 절연장치의 강구가 필요하다. 하지만 본 연구에서는 수상함에서 가장 큰 충격 하중이 전달되는 수직 방향에 대하여 대상 장비의 내충격 안전성 확보 관점에서 해당 완충장치의 적절성을 우선 검토하고자 하였다.

해당 케이스 별로 완충장치의 특성이 다르기 때문에 Fig. 17에서 Table 3에 나타난 검토 조건 가운데 대표적

으로 Case 1에 해당하는 조합에 따른 완충 장치에 대한 하중-변위 특성을 나타내었다.



(a) Design configuration (b) Analysis model

Fig. 16. Absorber mount design results and analysis model

Table 3. Absorber performances comparison of each case

검토 Case	스프링 타입	스프링 수량	예압	최대 탄성력
Case 1	04800	52	10.0kN	34.0kN
Case 2	06300	54	10.0kN	54.0kN
Case 3	06300	39	10.0kN	54.0kN
Case 4	04800	80	10.0kN	34.0kN
Case 5	05500	44	10.0kN	40.0kN
Case 6	05500	63	10.0kN	40.0kN

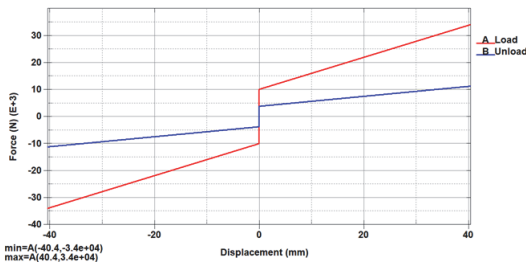
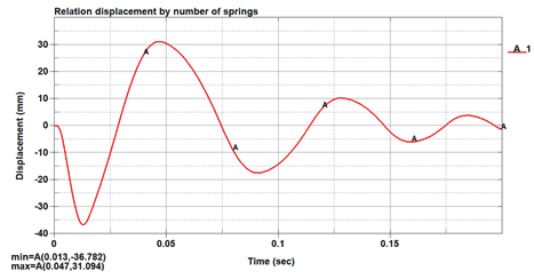


Fig. 17. Force vs displacement characteristic of case 1 absorber

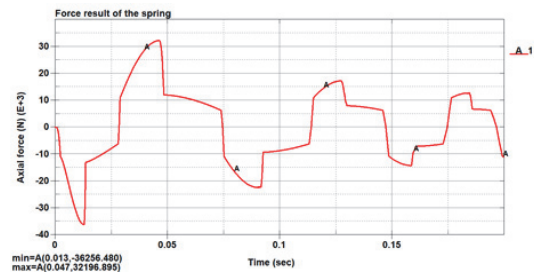
Table 3에서 제시한 완충장치를 설치한 검토 케이스 6 가지에 대하여 수직 방향으로 Fig. 9에 명시한 충격하중을 이용하여 일련의 충격 해석을 수행하고 완충장치 및 대상 장비의 주요 구조부에 작용하는 검토 결과를 Table 4. 및 Fig. 19에 도시하였다. Table 3에서 선정한 검토 케이스 가운데 Table 4의 결과와 같이 Case 1번이 가장 완충장치 성능 대비 충격응답에 대한 여유가 없는 조건이

며, Case 2이 반대로 충분한 안전율을 보이는 것을 알 수 있다.

Fig. 18에는 충격 해석을 통해 Case 2번에 대한 완충 장치에 작용하는 변위 및 탄성력 변화를 도시하였다. 이를 통해 대상 장비 내부의 비행체에 대하여 수직 방향 충격에 대하여 Case 2와 같은 완충장치를 설계하는 것이 내충격 안전성 측면에서 유리한 것으로 판단되며, 이로 인해 Fig. 19에서와 같이 캐니스터를 비롯한 내부 구성품 전반에 내충격 구조안전성도 확보될 것으로 판단된다.



(a) Relation displacement(spring) - Max. 36.8 mm



(b) Axial force(spring) - Max. 36.3 N

Fig. 18. Shock response results of case 2 absorber

Table 4. Analysis results for each absorbers performance comparison

검토 Case	최대 변위량	최대 탄성력	해석결과	
			Max. Relation displacement (Ratio)	Max. Axial force (Ratio)
Case 1	40.4mm	34.0kN	37.3 (92.33%)	32.2 (94.71%)
Case 2	61.6mm	54.0kN	36.8 (59.74%)	36.3 (67.22%)
Case 3	44.5mm	54.0kN	35.3 (79.33%)	44.8 (82.96%)
Case 4	62.1mm	34.0kN	38.7 (62.32%)	25.0 (73.53%)
Case 5	42.9mm	40.0kN	36.7 (85.55%)	35.7 (89.25%)
Case 6	61.4mm	40.0kN	38.1 (62.05%)	28.6 (71.50%)

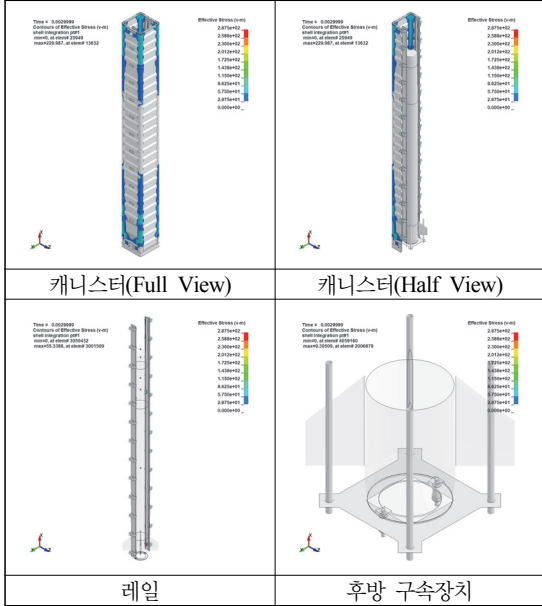


Fig. 19. Von-Mises Stress(static yield stress) contours of main equipments with horizontal direction load : $t = 0.03s$

3.3 해석결과 분석

Table 5. Absorbers sizes and performances comparison

검토 Case	Case 1 대비 직경증가	Case 1 대비 길이증가	완충기 성능	
			Max. Relation displacement (Ratio)	Max. Axial force (Ratio)
Case 1	0mm	0mm	37.3 (92.33%)	32.2 (94.71%)
Case 2	14.8mm	112mm	36.8 (59.74%)	36.3 (67.22%)
Case 3	14.8mm	0mm	35.3 (79.33%)	44.8 (82.96%)
Case 4	0mm	156.1mm	38.7 (62.32%)	25.0 (73.53%)
Case 5	6.8mm	0mm	36.7 (85.55%)	35.7 (89.25%)
Case 6	6.8mm	118.0mm	38.1 (62.05%)	28.6 (71.50%)

Table 5와 Fig. 20은 각 설계변수에 따른 완충기 성능을 나타낸 것이다. Fig. 20을 보면 알 수 있듯이 설계변수에 대한 민감도 측면에서는 직경을 증가시키는 것이 최대 변위 대비 실제 변위 측면에서나, 최대 탄성력 대비 실제 축력 측면에서나 완충기의 직경을 증가시키는 것이 가장 바람직한 것으로 나타난다. 그러나 실제 설계 측면에서 보자면 캐니스터의 폭 방향 크기는 함정 탑재장비 특성상 규격화되어 있기에 완충기의 직경을 늘리는데 제약이 따른다. 이러한 크기 제한 탓에 완충기의 크기 증가는 곧 캐니스터 내부의 비행체의 직경감소로 이어지므

로 시스템 전체 관점에서 보자면 바람직한 설계 방향은 아니다. 만약 직경 증가 없이 길이 방향으로만 완충기의 크기를 늘릴 수 있다면 본 경우에는 Case. 4의 경우를 따를 수 있다.

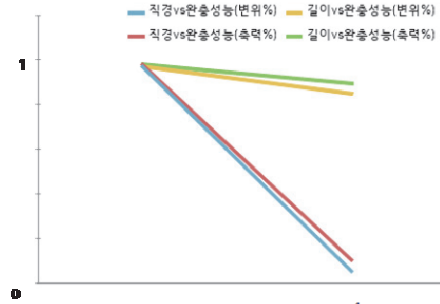


Fig. 20. Sensitivity Analysis for Each Design Variables

다만 본 연구는 개념설계 단계로 정확한 크기 제약이 설정되지 않은 상태이므로 구체적인 완충기 크기에 대한 제약 범위가 정해진 것은 아니므로 설계 구체화에 따라 제약이 완화될 수 있다. 완충기를 우선시 한 설계 측면에서는 앞서 살펴본 바와 같이 Case 2는 충격에 대한 안전율이 가장 우수하나 해당 Case는 직경과 길이가 가장 많이 증가하였다.

4. 결론

본 연구에서는 함정탑재 비행체의 개념 설계 단계에 수직폭발 충격에 대한 내충격성을 판단하고 이에 대한 대응 방안을 모색하기 위하여 모델링 및 시뮬레이션을 수행하였다.

해석의 신뢰성을 높이기 위하여 기 제작된 유사장비에 대한 동특성 시험으로 수치모델의 신뢰성을 높였으며, 생성된 모델을 분석한 결과 함정탑재 비행체에 대한 내충격 대안이 필요함을 확인하였다.

이에 링스프링 방식의 완충기 적용의 타당성을 검증하기 위하여 추가적인 수치모델 생성 및 해석을 수행하였고 기존 연구에서 검토된 링스프링 완충장치 뿐만 아니라 총 6가지 Case에 대하여 완충기 성능을 확인하였다.

결과적으로 항수 설계가 구체화됨에 따라 완충기의 안전여유율 확보가 필요하거나, 길이 혹은 직경의 제약이 필요한 경우 어떠한 방향으로 완충기를 설계할지 판단할 수 있는 토대를 마련하였다고 판단된다.

다만 본 연구에 적용한 링스프링 방식 완충기는 수직

방향에 대해서는 충분한 완충성능을 보이고 있으니 횡방향으로는 완충효과를 기대하기 어려운 구조이기에 향후에는 이에 대한 보완방안도 검토되어야 할 것이다.

References

1. Federal German Army Procurement Office, BV043 (Shock Resistance Experimental and Mathematical Proof(in English)), 1985.
2. Joel Leifer. and Michael Gross, “Non-Linear Shipboard Shock Analysis of the Tomahawk Missile Shock Isolation System”, Proc. of 58th Shock and Vibration Symposium, pp.97-117, 1978
3. Lee, won seok. “Application Study of Shock Absorber Using Ring Springs Subjected to Underwater Explosion”, Journal of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol.27, No.4, pp.451-458, 2017.
4. RINGFEDER, Damping Technology-Product Paper & Tech Paper(EN 10.2022), 2022.
5. US DOD, MIL-S-901D(Shock Tests H.I. (High-Impact) Shipboard Machinery, Equipment and Systems, Requirements For), 1989.



이 승 진 (ORCID : <https://orcid.org/0009-0004-9974-3353> / seungjin.lee2@lignex1.com)

2005 건국대학교 항공우주공학 학사
2007 건국대학교 항공우주공학 석사
2007~ 현재 LIG넥스원 PGM대공체계연구소(수석연구원) 재직 중

관심분야 : 모델링 & 시뮬레이션, 유도무기 체계설계, 다분야 통합 최적화



권 정 일 (ORCID : <https://orcid.org/0009-0003-4142-4934> / jikweon@kimm.re.kr)

2002 한국해양대학교 조선공학 석사
2006 한국해양대학교 조선공학 박사
2006~ 현재 한국기계연구원(책임연구원) 재직 중

관심분야 : 함정 내충격 분야 선체 및 탑재장비 내충격 성능 향상 방안 및 설계



유 경 식 (ORCID : <https://orcid.org/0000-0002-8086-3652> / kyeongsik.you@lignex1.com)

2017 숭실대학교 기계공학 학사
2020 한양대학교 융합기계공학 석사
2020~ 2021 경동나비엔 HVAC연구소 선행개발그룹 주임연구원
2021~ 현재 LIG넥스원 PGM대공체계연구소(연구원) 재직중

관심분야 : 유도무기 체계설계, 공력구조 시뮬레이션, 열유동 시뮬레이션



박 진 용 (ORCID : <https://orcid.org/0009-0008-0509-1921> / jypark747@lignex1.com)

1995 명지대학교 기계공학과 학사
1997 명지대학교 기계공학과 석사
1997~ 현재 LIG넥스원 PGM대공체계연구소(팀장) 재직중

관심분야 : 유도무기 체계설계, 기체구조 최적화 설계, 소음진동 시뮬레이션