

# 유도탄 장착용 레일타입 발사대의 동적 특성에 대한 연구

## Dynamic Characteristics of Rail-type Launcher for Missile Loading

조 우 제<sup>†\*</sup> · 정 회 인<sup>\*</sup> · 박 진 보<sup>\*</sup> · 최 동 설<sup>\*</sup>

Woo-je Cho<sup>†\*</sup>, Hoe-in Jeong<sup>\*</sup>, Jin-bo Park<sup>\*</sup> and Dong-seol Choi<sup>\*</sup>

(Received May 3, 2023 ; Revised June 20, 2023 ; Accepted June 21, 2023)

**Key Words :** Rail(레일), Launcher(발사대), Missile(유도탄), Modal Test(모달시험), ODS(운용중변형형상), Detent(디텐트), Snubber(스누버)

### ABSTRACT

This paper describes dynamic characteristics of a rail launcher with a snubber to reduce the non-linear behavior due to the gap between the missile and the rail launcher. To analyze the dynamic characteristics of the boundary conditions between the snubber of rail launcher and missile, first, the finite element method (FEM) model was verified by natural frequency and mode shape of the modal test and modal analysis of the missile and rail launcher, which are linear systems. Then, ODS utilizing white noise random vibration and modal analysis were compared to analyze the dynamic characteristics of the boundary condition to which snubber was applied employing the verified FEM model. As a result of the analysis, a natural frequency difference was more than 30% in the 1st mode, which is the rigid body motion of the missile on the Z and Y-axes. It is predicted that because the spring elastic energy stiffness of the snubber is lower than the boundary condition of the linear analysis, the frequency difference occurred owing to nonlinear behavior by gap. This study confirmed the nonlinear behavior of the rail launcher loaded missile. Additional studies on the nonlinear behavior are necessary.

### 기 호 설 명

$\{\Psi_r\}$  :  $r$ 모드의 모달 벡터  
 $\{\Psi_s\}$  :  $s$ 모드의 모달 벡터

### 1. 서 론

유도탄 발사대는 항공기, 차량 그리고 함정과 같은 여러 플랫폼(platform)에 탑재되어, 운용 중 발생하는 기동하중, 진동 그리고 충격과 같은 환경으로부터 유도탄을 보호하고 발사초기에 유도탄 성능에 영향을

주는 유도탄의 자세와 초기발사속도 등을 안정적으로 유지하기 위해 유도탄 사출 시 가이드 하는 역할을 한다. 그렇기 때문에 발사대에 대한 구조적 건전성 검증은 유도탄의 파손을 방지하고 무기체계 성능을 만족시키기 위해 매우 중요하다<sup>(1)</sup>.

항공용 발사대의 구조 건전성 검증을 위하여 MIL-STD-8591<sup>(2)</sup>에서 규정한 항공기 기동비행중에 발생하는 공력 및 관성력을 분석하고 항공기에 장착된 외 부장착물의 정적구조 건전성을 검증하는 연구<sup>(3)</sup>와 MIL-STD-810G의 METHOD 514.7과 516.7<sup>(4)</sup>에서 규정한 플랫폼의 진동과 충격이 작용하는 시스템의

† Corresponding Author ; Member, LIGNEX1, Senior Researcher  
E-mail : Wooje.cho@lignex1.com  
\* LIGNEX1, Senior Researcher

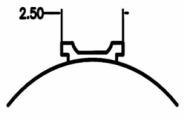
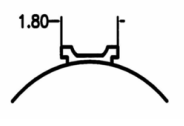
‡ Recommended by Editor Seung Hyun Jeong  
© The Korean Society for Noise and Vibration Engineering

내구성 분석에 대한 연구들이<sup>(5,6)</sup> 수행 되었다.

이 연구의 발사대는 레일(rail)타입의 발사대이며, 유도탄은 유도탄 상단에 위치한 행거(hanger)를 이용하여 레일발사대에 장착 된다. 이때 장착편의성을 위해 간격(GAP)이 존재 하게 되는데, 이러한 간격이 운용환경에서 유도탄과 레일발사대 구조물 사이에 움직임을 발생 시킨다. 간격에 의한 움직임이 발생하게 되면 구조물 사이에 간헐적 충격이 작용하여 구조물에 예상치 못한 파손이 발생하는 것을 유사 무기체계 개발에서 확인하였다<sup>(7)</sup>. 이 연구의 레일발사대는 유도탄과 레일발사대의 파손방지 및 운용 시 유도탄을 구속하고 요구발사시점에 추진력으로 구속을 해지 할 수 있도록 스프링 탄성에너지와 스프링 초기 압축에 의한 전하중(pre-load)를 이용한 디텐트(detent)<sup>(8)</sup>와 스누버(snubber)를 적용하였다.

이러한 레일발사대의 구조 건전성 검증을 위하여 설계단계에서 유한요소해석(finite element method)을 이용하여 규정된 하중에 대해서 구조적으로 안전하지 확인할 필요가 있다. 특히 레일발사대의 모달해석(modal analysis)으로 고유진동수(natural frequency)와 모드형상(mode shape)을 분석하여 규정된 하중에서 공진의 발생 여부를 확인하고 회피 설계가 필요하다. 일반적으로 유한요소해석에서 모달해석 및 무작위진동(random vibration)해석의 경우 시스템을 선형으로 가정하는데, 레일발사대의 경우 간격과 같은 비선형 경계조건이 유도탄과 레일발사대 사이에 존재하고, 이러한 비선형 거동의 발생은 피로파괴를 유발하고 발사대 시스템의 성능에도 영향을 줄 수 있다.<sup>(9)</sup> 이러한 비선형 경계조건의 영향을 줄이고 선형시스템과 유사한 동적 특성을 가지게 하기 위하여 스누버를 적용하였지만 실제로 스누버가 적용된 유도탄과 레일발사대의 동적 특성이 선형시스템의 거동과 유사하게 나타나는지 그리고 유한요소해석과 어떠한 차이가 있는지 분석이 필요하며, 이러한 분석이 선행되어야 설계 초기단계에 유한요소해석을 이용한 구조적 건전성의 신뢰도를 확보할 수 있다.

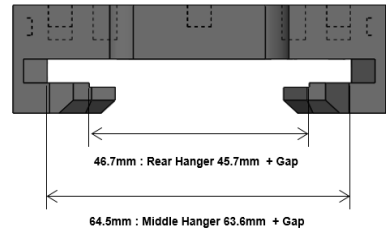
이 연구에서는 유도탄이 장착된 레일발사대에 대하여 상용 유한요소해석 프로그램인 ANSYS-Workbench를 이용한 모달해석으로 고유진동수와 모드형상을 분석하였다. 그리고 분석한 데이터를 임팩트 해머(impact hammer)와 운용중변형형상(operating deflection shape, ODS)분석을 이용한 시험을 통해 분석한 고유

Weight class (lb)	Forward hanger l/	Aft hanger l/
Example: Hellfire Missile	2.50	1.80
150		

(a) MIL-STD-8591 TABLE III. Typical rail-launcher store hanger configuration



(b) Missile hanger configuration



(c) Rail launcher cross section configuration

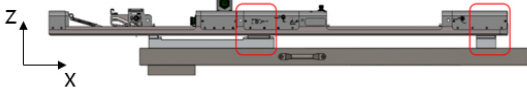
Fig. 1 Missile hanger & rail launcher configuration

진동수와 모드형상을 비교하였다. 유도탄과 레일발사대의 경계조건에 대한 동적 특성을 분석하기 앞서 우선 유도탄과 레일발사대 해석모델에 대한 검증이 필요하여 본문에서 우선 유한요소해석모델의 신뢰도를 확보를 위해 레일발사대의 모달시험(modal test)과 모달해석 분석, 유도탄의 모달시험과 모달해석 분석을 기술하였다. 그리고 신뢰성을 확보한 유한요소모델을 이용하여 유도탄과 레일발사대 경계조건에 대한 시험과 해석의 동적 특성 분석을 기술하였다.

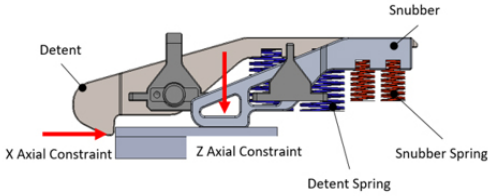
### 1.1 레일발사대와 유도탄 장착 형상 및 조건

유도탄은 Fig. 1(b)와 같이 전방/중간/후방 위치한 3개의 행거에 의해 레일발사대에 장착되며, Fig. 1(a)와 같이 MIL-STD-8591<sup>(2)</sup> 규정에 따라 유도탄 중량을 기준으로 중간행거와 후방행거의 너비를 선정하게 된다. Fig. 1(c)와 같이 유도탄의 장착을 쉽게 하기 위하여 행거와 레일발사대 사이에 간격이 존재 하도록 레일발사대를 설계하였다.

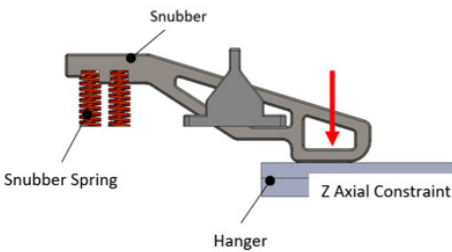
무기체계 운용중 유도탄이 레일발사대에서 이탈되



(a) Middle/rear hanger position



(b) Middle hanger contact configuration



(c) Rear hanger contact configuration

Fig. 2 Detent and snubber configuration

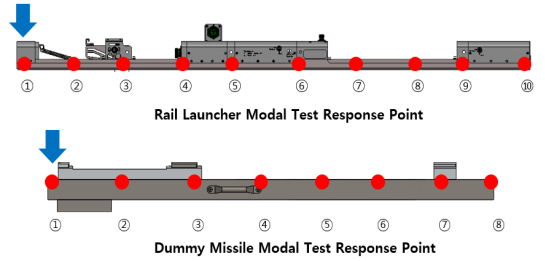


Fig. 3 Modal test configuration

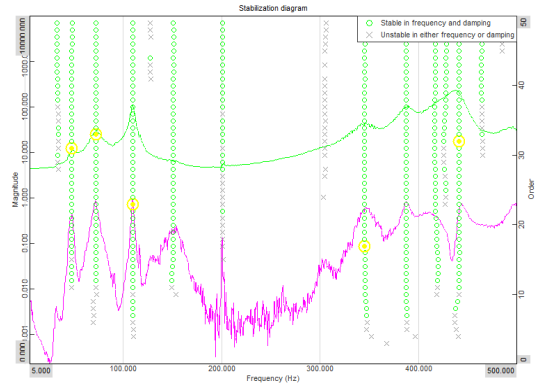


Fig. 4 Stability diagram of rail launcher Z axial

지 않도록 유도탄의 움직임을 구속하기 위해 레일발사대에는 Fig. 2(b)와 같이 유도탄을 X축 구속(유도탄 발사방향)하고 유도탄의 추력에 의해 구속이 해제되는 디텐트와 Fig. 2(c)와 같이 Z축의 움직임을 구속하는 스누버가 있다. 디텐트와 스누버는 유도탄 중량의 3g(중력가속도) 하중을 지지할 수 있도록 스프링 탄성에너지의 전하중을 적용하여 설계하였다. Fig. 2(a)와 같이 디텐트는 유도탄의 중간행거에, 스누버는 중간/후방행거에 위치해 있으며, 전방행거는 별도의 구속장치 없이 자유단 상태이다.

## 2. 본 론

### 2.1 유도탄/레일발사대 해석모델 검증

스누버가 적용된 레일발사대에 유도탄이 장착된 시스템의 경계조건에 대한 동적 특성을 분석하기 앞서 두 구조물에 대한 해석모델 검증을 위하여 장착부 경계조건을 제외한 선형시스템인 레일발사대와 유도탄 두 구조물에 대하여 모달시험과 모달해석의 상관

분석(correlation)이 필요하다. 상관분석을 위한 모달시험을 수행하기 위하여 추진기관 및 폭약 등 폭발물들이 포함되어 있는 유도탄을 대체하여 안전과 분석을 좀더 용이하게 하기 위하여 더미(dummy) 유도탄으로 시험을 수행하였다. 시험에서 유도탄과 레일발사대가 공중에 부유하고 있는 자유단(free-free) 조건을 모사하기 위하여 강성이 낮은 폼(foam)위에 구조물을 놓고 Fig. 3과 같이 레일발사대 길이 방향으로 10개, 유도탄에 8개의 가속도 센서를 설치하였다. 각 1번 위치에 임팩트 해머로 하중을 인가하여 각 지점의 주파수응답(frequency response function)을 Dewesoft의 SIRIUS HD-ACCX16 데이터 수집장치와 Dewesoft.X 2022.3 분석프로그램으로 분석하였다. 임팩트 해머와 가속도 센서는 DYTRAN의5800SL와 3093D3을 사용하였다.

모달시험분석은 측정값의 고유주파수와 감쇠비를 추정하고 최소제곱복소수지수(least-squares complex exponents) 알고리즘으로 Fig. 4와 같이 안정화도표(stability diagram)를 생성하여 안정화된 주파수를 선

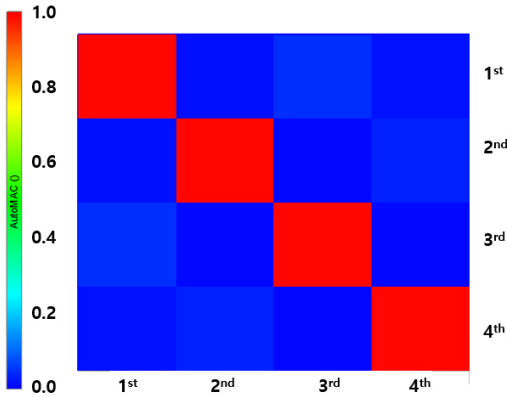


Fig. 5 Auto-MAC analysis result of rail launcher Z axial

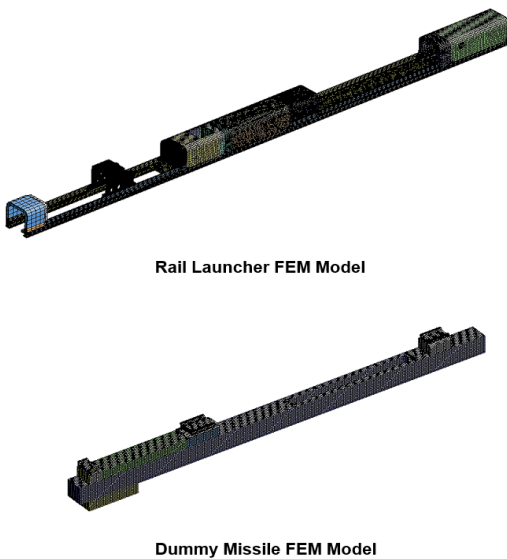


Fig. 6 FEM model

정하였다. 선정된 고유주파수의 모드형상의 유사성을 정량적으로 확인하기 위하여 각 고유주파수의 실제값 (real part)과 허수값(imaginary part)으로 모드상관계를 분석할 수 있는 Auto-MAC(modal assurance criteria)을 Fig. 5와 같이 수행하였다. 일반적으로 MAC은 식 (1)과 같이 계산되며 MAC의 값이 0에 가까울수록 모드형상 유사성이 낮고 1에 가까울수록 유사성이 높다. MAC분석에서 모드형상이 유사한 모드를 제외하고 각 차수에 대한 고유주파수와 모드형상을 분석하였다<sup>(10)</sup>.

Table 1 Material property of finite element analysis

	Alumium 6061-T6	Aluminum 7075-T6	SUS630-H900
Density	2700 kg/m <sup>3</sup>	2810 kg/m <sup>3</sup>	7800 kg/m <sup>3</sup>
Young's modulus	68.9 GPa	71.7 GPa	196 GPa
Shear modulus	26.0 GPa	26.9 GPa	75.38 GPa
Poisson's ratio	0.33	0.33	0.272

$$AutoMAC_{rs} = \frac{|\{\psi_r\}^T \{\psi_s^*\}|^2}{\{\psi_r\}^T \{\psi_r^*\} \{\psi_s\}^T \{\psi_s^*\}} \quad (1)$$

{ψ<sub>r</sub>} : r 모드의 모달 벡터

{ψ<sub>s</sub>} : s 모드의 모달 벡터

모달해석은 Fig. 6과 같이 레일발사대의 구성품 중 구조적 강성 역할을 하지 않는 구성품은 해석모델 단순화를 위하여 집중질량으로 표현하였으며, 단순형상은 Hex 8요소로 복잡한 형상은 Tet 10 요소를 평균 요소크기 5 mm ~ 7 mm를 적용하여 구현하였다. 전체 해석모델은 레일발사대 565501개, 유도탄 221648개의 절점으로 구성하였다. 레일발사대의 주구조물은 Aluminum 7075-T651을 나머지 구성품은 Aluminum 6061-T651로 제작되었으며, 유도탄의 기체부는 Aluminum 7075-T6 행거는 SUS630-H900으로 제작되었다. 각 재료의 기계적물성치는 Table 1과 같이 적용하였다. 모달해석은 5 Hz~500 Hz 범위에서 각 축에서 질량참여율 10% 이상에 대하여 모드형상과 고유주파수를 분석하였다.

레일발사대의 모달시험과 모달해석결과 Fig. 7과 Table 2와 같이 Z축은 1차 굽힘모드 49.3 Hz에서 오차 7.9%로 가장 크며, Y축의 경우 3차 모드 372.9 Hz에서 오차 5.8%로 가장 크게 나타났다. 모드형상은 Z축과 Y축 모두 일치하였다. 유도탄의 모달시험과 모달해석 결과 Fig. 8과 Table 3과 같이 Z축 2차 굽힘모드 406.8 Hz에서 오차 8.9%로 가장 크며, Y축은 3차 모드 437.9 Hz에서 오차 3.8%로 가장 크게 나타났다. 모드형상은 레일발사대와 동일하게 Z축 Y축 모두 일치하였다.

분석결과 시험과 해석의 모드형상이 일치하고 고유주파수 오차가 10% 이내로 해석모델의 신뢰성을

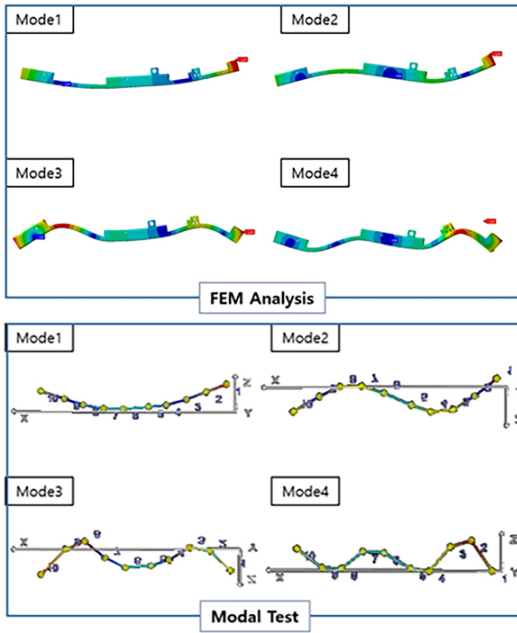


Fig. 7 Mode shape of rail launcher test and FEM (Z axial)

Table 2 Frequency of rail launcher test and FEM

Mode	Z Axial			Y Axial		
	FEM [Hz]	Test [Hz]	Error [%]	FEM [Hz]	Test [Hz]	Error [%]
Mode 1	45.4	49.3	7.9	81	83.1	2.5
Mode 2	101.2	103.6	2.3	213.9	211.0	1.4
Mode 3	246.9	237.9	3.7	351.1	372.9	5.8
Mode 4	343.3	338.4	1.4	-	-	-

검증하였다고 판단하였다. 오차는 해석모델을 구현하는 과정에서 해석모델의 단순화로 체결부 같은 부분이 실제와 완벽하게 일치하지 않고 시험경계조건인 자유단 조건이 완벽하게 구현되지않아 발생한것으로 예측하였다.

2.2 유도탄이 장착된 레일발사대 동적 특성

유도탄이 장착된 레일발사대의 동적 특성 시험은 향후 실제운용조건에 대한 동적 특성분석을 위하여 연속적인 무작위가진을 수행하였다. 이 시험을 통해 운용환경을 모사하여 운용 중 변형형상을 확인하는 운용중변형형상분석과 모달해석을 비교하여 경계조

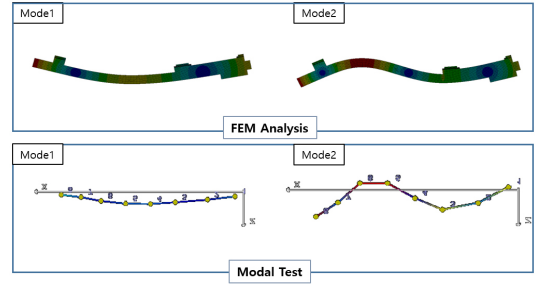


Fig. 8 Mode shape of dummy missile test and FEM (Z axial)

Table 3 Frequency of dummy missile test and FEM

Mode	Z Axial			Y Axial		
	FEM [Hz]	Test [Hz]	Error [%]	FEM [Hz]	Test [Hz]	Error [%]
Mode 1	137.7	130.3	5.6	110.2	106.4	3.6
Mode 2	443.4	406.8	8.9	323.9	330.4	1.9
Mode 3	-	-	-	454.3	437.9	3.8

건으로 인한 동적 특성을 분석하였다. 운용중변형형상분석은 시스템의 고유한 특성에 가진입력이 결합되어 나타나는 실제 구조물의 변형형상으로 입력신호에 따라 특성이 달라지므로, 입력 신호에 대한 특성을 최소화 하고 구조물의 동적 특성만 분석하기 위하여 백색소음 무작위 진동(white-noise random vibration) 5 Hz ~ 500 Hz, 0.5 Grms 신호를 사용하였다.

운용중변형형상분석은 오토-스펙트럼(auto-spectrum)의 진폭과 크로스-스펙트럼(cross-spectrum)의 위상을 가지는 위상 스펙트럼으로 분석을 위하여 모달시험과 동일한 위치의 레일발사대(9 ~ 18지점, 10개)와 유도탄(1 ~ 8지점, 8개)에 센서를 설치하였으며, 시스템의 상대변위를 분석하기 위하여 기준점이 되는 센서를 가진기 베이스(base)에 설치 하였다. 그리고 진동시험 치구 공진으로 인한 영향을 확인하기 위하여 진동시험치구 상단 중심에도 센서를 설치하여 Fig. 9와 같이 시험을 수행하다.

앞서 확보한 유도탄과 레일발사대의 검증된 해석 모델로 유도탄과 레일발사대 사이에 스누버 경계조건을 적용한 해석모델을 작성하였다. 일반적으로 상용 해석프로그램의 모달해석에서 구조물 사이에 접촉조건을 선형상태로 간주한다. ANSYS의 경우 Table 4

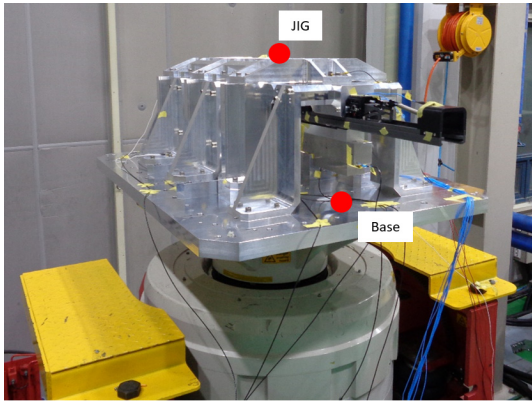


Fig. 9 ODS test configuration

Table 4 Ansys linear dynamic contact condition

Contact type	Static analysis	Linear dynamic
Bonded	Bonded	Bonded
No separation	No separation	No separation
Rough	Rough	Bonded
Frictionless	Frictionless	No separation
Frictional	Frictional	$\mu=0$ , No separation $\mu>0$ , Bonded

Table 5 Rail launcher and dummy missile contact condition

	Front hanger	Middle hanger	Rear hanger
Contact	No-separation	Bonded	Bonded

와 같은 모달해석에서는 선형 동적 접촉조건을 가지며, 선형 동적 접촉조건 기준으로 Table 5와 같이 실제 레일발사대의 스누버와 유도탄의 행거 사이에 frictional 경계조건을 가지는 중간/후방 행거는 스프링 탄성에너지로 완전구속되어 있다고 가정하여 bonded 조건을 적용하였다. 전방행거의 경우 레일발사대와 행거 사이에 간격이 있지만 변위가 간격이상으로 발생하면 레일발사대에 접촉되어 미끄러지듯 움직이므로 no-separation조건을 적용하였다. 레일발사대와 진동시험기구의 체결조건은 Fig. 10과 같이 레일발사대의 나사체결부에 1-D요소를 이용하여 체결류 강성(A2-70, KS B 1003)을 적용하고 체결류 끝단의 6자유도를 구속하였다.

운용중변형형상분석으로 유도탄이 장착된 레일발

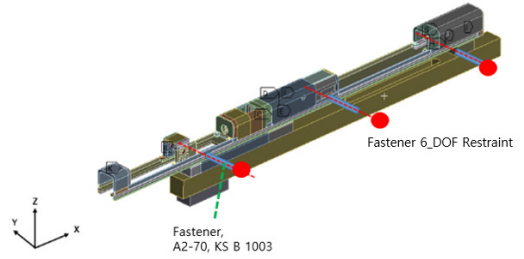


Fig. 10 Rail launcher loaded dummy missile boundary condition

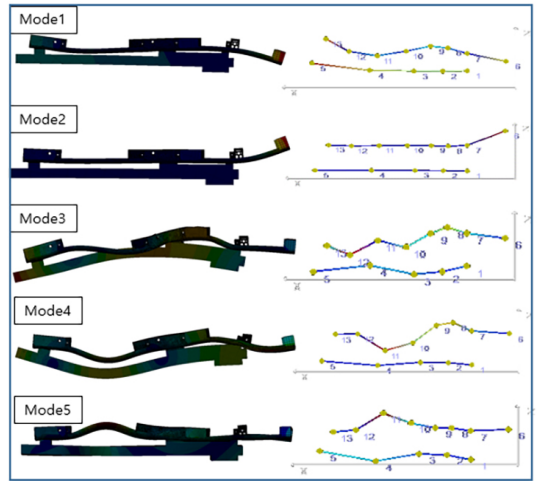


Fig. 11 Mode shape rail launcher loaded dummy missile (Z axial)

사대의 고유주파수, 모드형상 그리고 파워스펙트럼 밀도(power spectrum density, PSD)를 분석하고 이를 유한요소해석결과와 비교하였다. Fig. 11과 Table 6과 같이 Z축 1차 모드(missile rigid) 71.5 Hz에서 오차 29.7%로 가장 크게 나타나며, 2차부터 5차까지는 10% 내외로 나타났다. Table 7의 Y축의 경우 Z축과 같이 1차 모드(missile swing) 36.3 Hz에서 오차 50.7%로 가장 크게 나타나며, 2차부터 4차까지는 오차 7% 이내 인 것을 확인하였다. 파워스펙트럼 밀도 분석은 시험치구에서 공진에 480 Hz 부분에 발생하여 5 Hz ~ 400 Hz영역에 대하여 분석하였으며, 주파수 분석 각 지점의 파워스펙트럼 밀도는 Fig. 12와 같이 고유주파수가 오차가 가장 큰 1차 모드 부분에서 오차가 발생하고 전체적으로 유사한 경향을 가지는 것을 확인하였다.

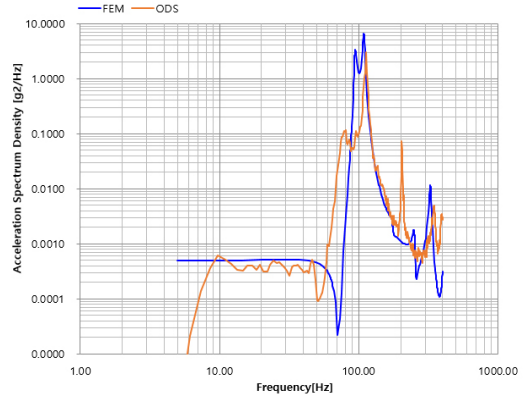
**Table 6** Rail launcher loaded dummy missile frequency result\_Z

Mode	FEM [Hz]	ODS test [Hz]	Error [%]
Mode 1	92.7	71.5	29.7
Mode 2	112.4	113.5	1.0
Mode 3	188.7	195.2	3.3
Mode 4	376.1	364.4	3.2
Mode 5	457.2	411.2	11.2

**Table 7** Rail launcher loaded dummy missile frequency result\_Y

Mode	FEM [Hz]	ODS test [Hz]	Error [%]
Mode 1	54.7	36.3	50.7
Mode 2	91.7	91	0.8
Mode 3	357.9	334.7	6.9
Mode 4	409.6	434.8	5.8

시험과 해석결과 Z, Y축 모두 1차 모드에서 큰 오차가 나타났다. 1차 모드는 Z, Y축 모두 유도탄의 강제운동으로 인한 모드이며, Z축의 경우 유도탄의 Z축 상하 거동, Y축은 행거 경계조건 기준으로 유도탄의 회전(swing)거동으로 레일발사대의 전방/중간/후방행거 경계조건부분에 영향을 받는다. 1차 모드에서 유도탄은 강제운동을 하기때문에 유도탄을 1차 시스템으로 가정하면 오차 원인이 두가지로 예측된다. 첫째는 레일발사대 해석모델의 강성 오차이며, 둘째는 레일발사대와 유도탄의 경계조건 부분의 강성 차이이다. 레일발사대의 해석모델 강성의 경우 2.1절에서 레일발사대의 모달해석과 모달시험 분석으로 해석모델의 강성이 실제와 일치함을 검증하였다. 이 결과 실제 시스템에선 해석에서 전방행거에 적용한 no-separation과 같이 미끄러짐만 작용하는 것이 아니라 간격으로 인하여 분리가 발생하게 되고, 중간/후방행거에도 스프링 탄성에너지 전하중 이상의 하중이 작용하면서 스프링에 변형이 생기고 레일발사대와 유도탄 간에 분리가 발생하여 해석에 적용한 bonded 조건보다 강성이 낮게 나타난 것으로 예상 된다. 반면 1차 모드를 제외한 고차모드에선 해석과 시험이 일치함을 확인하였는데, 이는 고차 주파수에선 입력 가진 대비 변



**Fig. 12** PSD result of FEM and ODS(Point 9)

위가 작기 때문에 스누버가 적용된 레일발사대와 유도탄 사이에 움직임이 발생하지 않아 일치하는 것으로 판단하였다.

### 3. 결 론

이 논문에서는 유도탄이 장착된 레일발사대를 설계 초기에 구조 건전성을 검증하기 위하여, 해석모델의 신뢰성을 검증하고 유도탄과 레일발사대 구조물 사이의 경계조건 동적 특성을 시험과 해석을 수행하여 분석하였다. 선형구조물인 유도탄과 레일발사대의 유한요소해석으로 얻은 고유진동수와 모드형상이 시험과 10% 오차 이내로 일치함으로써 해석모델의 신뢰성을 검증하였다. 유도탄과 레일발사대 구조물 사이의 경계조건에 대한 동적 특성을 분석하기 위하여 검증된 해석모델을 이용하여 운용중변형형상분석과 해석을 수행하였다. 그 결과 1차 모드에서 최대 50.7% 오차로, 간격으로 인한 경계조건의 비선형성을 선형 경계조건으로 모사하기 위하여 스누버를 적용하였지만 스누버의 스프링 탄성에너지 전하중 이상의 하중이 작용해 변형이 발생하게 되었다. 이로 인하여 해석에서의 경계조건 보다 시험에서의 경계조건 강성이 낮아 주파수가 낮게 나타남을 확인 하였다. 반면 비교적 변위가 작은 고차 모드에선 해석과 시험이 일치함을 확인 하였다.

이 결과로 일반적으로 유한요소해석에 적용되는 선형경계조건을 이용하여 구조건전성을 검증할 때 저주파 대역에서 유도탄과 레일발사대 사이의 경계조건 비선형 특성이 크게 나타나서 신뢰성 있는 결과를 얻

기 힘들을 확인 하였다. 향후 유도탄과 레일발사대 구조물 사이 경계조건의 비선형성을 선형경계 조건으로 모사하기 위하여 적절한 스누버의 스프링 탄성에너지 선정을 위한 연구와 유도탄과 레일발사대 경계조건의 비선형 거동 특성을 분석하기 위하여 추가적인 동적 특성분석이 필요하다고 판단된다.

## References

(1) Cho, W., Son, D., Jeong, H. and Ahn, S., 2019, Analysis of Launcher Dynamic Characteristics According to Variation of Missile Stiffness, Proceedings of the KSNVE Annual Autumn Conference, p. 148.

(2) United States Department of Defense, 2012, Airborne Stores, Suspension Equipment and Aircraft-store Interface (Carriage Phase), MIL-STD-8591, p. 14.

(3) Jun, O.-C., Jun, S. M., Ryu, G.-H. and Kim, J., 2005, Design of Instrumented Pod for External Store Flight Test, Journal of the Korean Society for Aeronautical and Space Sciences, Vol. 33, No. 4, pp. 85~90.

(4) United States Department of Defense, 2008, Environmental Engineering Considerations and Laboratory Tests, MIL-STD-810G.

(5) Jeong, H., Park, J., Son, D. and Jang, J., 2019, Study on Fatigue Life Estimation of an Aircraft External Store under Dynamic Loads, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 29, No. 4, pp. 462~469.

(6) Shin, D.-J., Lee, S.-J., Lee, J.-H., Kang, K.-H., Jin, H.-S. and Kim, K.-S., 2018, Environmental Specification

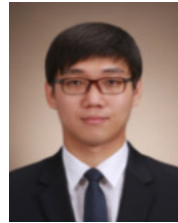
Establishment of Transport Dynamic Property for Large Radar and Durability Analysis, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 28, No. 5, pp. 600~607.

(7) Jeong, H., Choi, J. P., Lee, S.-K., Lee, J.-H., Son, D.-H. and Park, J. H., 2017, Study on Dynamics Characteristics of Structure by Incomplete Restraint Internal Mounting, Proceedings of the KSNVE Annual Autumn Conference, p. 109.

(8) Hainze, S. A. and Davis, D. E., 2011, Missile Secure-release Mechanism Having Wheel Lock Detent, United State Patent 2011/0265637 A1.

(9) Kim, D.-K., Bae, J.-S., Lee, I., Shin, Y.-S. and Lee, Y.-W., 2002, Nonlinear Dynamic Characteristics of Deployable Missile Control Fin, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 12, No. 10, pp. 808~815.

(10) Allemang, R. J. and Brown, D. L., 1982, A Correlation Coefficient for Modal Vector Analysis, Proceedings of the 1st International Modal Analysis Conference, pp. 110~116.



**Woo-je Cho** is research engineer at Mechanical Engineering R&D Lab, LIG Nex1. He received a B.S. degree in Mechanical Engineering from Chung Nam University in 2011, and M.S. degree in Mechanical Engineering from Chung Nam University in 2014