

몬테 카를로 시뮬레이션을 통한 발사관 구조 안전성 분석

박철우[†] · 이은수 · 신호섭 · 박진용 · 이동주

Structural Safety Analysis of Launching System Through Monte-Carlo Simulation

Chul-Woo Park[†] · Onsoo Lee · Hyo-Sub Shin · Jin-Yong Park · Dong-Ju Lee

ABSTRACT

Launching system is designed to store the payload, withstand the rigors, and prevent it from rusting and damaging. The behavior during initial deployment of the missile is determined by production, assembly and insertion condition of a launching tube and a missile. The purpose of this research is to confirm the safety of a launching tube by statistically analyzing behavior of the missile, during initial deployment stage. Error parameters which effect initial behavior of the missile are selected and analyzed through Monte-Carlo Simulation. Based on the result of simulation, tip-off and stress distribution between rail and shoe is predicted by using the commercial analysis program called Recurdyn. Lastly, the safety factor is calculated based on yield strength of the material and maximum stress of the rail during the process of launching. The safety of the launching system is verified from the result of the safety factors.

Key words : Launching system, Monte-Carlo Simulation, Multi-body Dynamics, Tip-off, Safety Factor

요 약

발사관은 탑재물을 보관하고 외부 환경으로부터 부식 및 파손되는 것을 방지하는 역할을 한다. 발사관과 유도탄의 제작, 조립 그리고 장입 상태에 따라 발사할 때 유도탄의 초기 거동을 결정하게 된다. 본 연구의 목적은 유도탄이 발사관에서 사출될 때 유도탄의 초기 거동을 결정하는 요소를 통계적으로 분석하여 발사관의 안전성을 확인하는 것이다. 유도탄이 발사될 때 거동에 영향을 주는 오차 요소들을 선정한 후 Monte-Carlo 시뮬레이션을 수행하여 통계적으로 분석하였다. 시뮬레이션 결과를 바탕으로, 각 오차 요소들을 고려한 다물체 동역학 해석을 상용프로그램인 Recurdyn을 이용하여 동역학 해석을 수행하여 유도탄 발사할 때 발생하는 중력 침하 및 레일과 슈 사이에 발생하는 응력을 구하였다. 해당 결과를 바탕으로 현재 설계된 발사관에 대한 안전성을 검증하였다.

주요어 : 발사관, Monte-Carlo 시뮬레이션, 다물체 동역학, 중력 침하, 안전성

1. 서론

지상에서 발사되는 로켓, 유도탄 등은 운용 및 보관에 있어 외부 환경으로부터 장비를 보호하기 위해 발사관을 사용한다. 특히 유도탄은 다양한 고성능 전자장비의 탑재

로 인해 온도 및 습기 등의 환경적 요인과 수송 시 진동/충격, 지상 운용 중 예상치 못한 외부 충격에 취약하므로 장비의 손상을 방지하기 위한 고려가 필요하다. 일반적으로 별도의 발사대를 사용하는 대형 로켓, 유도탄의 경우 상대적으로 중량에 대한 영향이 적으므로, 유도탄 하중 및 발사 시 화염에 충분히 견딜 수 있으며, 외부 충격으로 인한 탑재물의 손상을 방지하기 위해 금속제 발사관을 적용한다(Chung et al, 2013; Yang, 2014).

또한 발사 방식에 따라 발사관 내측면에 로켓, 유도탄의 사출을 위한 나선형 또는 직선형의 레일이 탑재되는

Received: 30 July 2018, **Revised:** 6 November 2018,

Accepted: 5 December 2018

† Corresponding Author: Chul-Woo Park

E-mail: parkchulwoo@lignex1.com

LIG Nex1 Co., Ltd., PGM R&D Lab, Seongnam, Korea

경우가 있으며, 이 경우 발사 시 레일과 유도탄의 상호 작용에 의해 탑재물의 초기 거동이 영향을 받을 수 있다. 특히 직선형의 레일을 사용한 발사관에서 초기 거동은 발사 후 유도탄의 초기 안전성과 관련 있기 때문에 발사 환경에서 유도탄의 조립 정렬 오차, 추진기관의 추력 편향, 발사관 내에서 유도탄의 자중에 의한 중력 침하 등의 요소를 고려하여 안전성을 확보하는 일이 중요하다(Ahn and Lim, 2001; Lee and Song, 2008). 기존 연구에서는 자주박격포의 사격정확도를 분석하기 위해 Recurdyn으로 모델링을 구성하고, Monte-Carlo 시뮬레이션을 활용한 반복해석을 수행하였다(Jin et al, 2016). 또한 Recurdyn을 이용하여 수상함에서 발사된 수직 발사 유도탄의 초기 동적 거동에 대한 주요 변수들의 모델링 방법과 Monte-Carlo 시뮬레이션을 통해 통계적으로 안전성 분석을 수행하였다(Kim, 2012).

이 연구에서는 Fig 1.과 같이 유도탄의 초기 거동을 결정하는 요소들을 통계적으로 분석하여 발사관의 안전성을 확인하였다. 이를 위해 유도탄의 초기 거동을 결정하는 요소의 오차들을 확률적으로 정의하여 Monte-Carlo 시뮬레이션을 통해 유도탄 발사 궤적(Missile Trajectory Model)을 통계적으로 분석하였다. 시뮬레이션 결과에서 발사 궤적에서 가장 많이 벗어나 있는 케이스를 선정한 후, 다물체 역학 해석 프로그램인 Recurdyn을 이용하여 동역학 모델을 구축하여 중력 침하(Tip-off)값 및 레일과 슈 사이의 접촉력에 의해 발생하는 레일의 응력 분포를 확인하였다. 최종적으로, 시간에 따른 레일의 응력 분포 결과에서 최대 응력을 통해 발사관 레일의 안전성을 분석하였다.

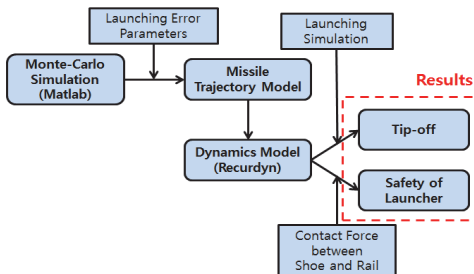


Fig. 1. Analysis flow using Monte-carlo Simulation and Recurdyn

2. 발사역학 해석 수행 과정

2.1 발사관 구성 및 유도탄 발사 과정

Fig.2은 본 연구에서 적용한 발사관 내부에 유도탄이

장입된 형상을 개념적으로 나타내었다.

슈는 유도탄 전/후방 외부에 고정되어 있는 금속 구조물로, 유도탄 발사 시 발사관 내측의 레일을 타고 전진하여 유도탄이 발사관 외부로 완전히 사출 될 때 까지 자세를 유지 할 수 있도록 가이드 해주는 역할을 수행한다.

탄 구속 장치는 발사 전 까지 유도탄을 고정해주는 역할을 수행한다. 분리 볼트 등으로 유도탄과 체결되며, 발사 명령이 전달되면 착화 신호를 통해 기폭된 화약이 분리 볼트를 절단하여 구속을 해제하는 구조로 이루어진다.

레일은 발사관 내측 벽을 따라 조립된 일체형의 금속 구조물이다. 유도탄 외부에 장착된 금속 슈가 안정적으로 전진 할 수 있도록 ‘凹’ 형태의 단면을 가진다.

유도탄의 발사 시 후방의 탄 구속 장치가 해제되고 추진기관의 점화가 시작되면, 발생된 추력으로 유도탄은 전진하게 된다. 이 때 슈와 레일 내측 면은 접촉한 상태로 전진하게 되며, 레일 내측 면에 마찰과 응력이 발생하게 된다. 유도탄이 점차 전진함에 따라 전방 슈가 레일에서 이탈하게 되고, 이 시점부터 유도탄의 자중에 의한 중력 침하가 발생하게 된다. 이 후 후방 슈가 완전히 레일에서 이탈 하게 되면, 유도탄의 추력과 중력 침하에 의해 발생한 운동량에 의해 유도탄은 비행하게 된다.

Table 1. Error parameters for Monte-Carlo simulation

Error Parameter		Range
Center of Gravity point		±0.1cal.
MOI		±10%
Misalignment	Horizontal	±0.6872 mrad
	Vertical	±0.1718 mrad
Thrust vectoring		±2.400 mrad

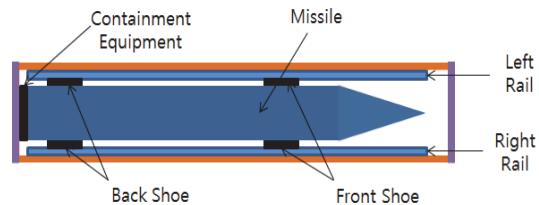


Fig. 2. Schematic of launching system and missile

2.2 확률 분포 해석 모델

발사관에 장입되어 있는 유도탄에서 발사 성능에 영향을 미칠 수 있는 오차 변수들을 Table 1과 같이 정리하였다. 무게중심 위치 및 MOI는 Fig 2.와 같이 본 연구에 적

용된 유도탄 모델의 축을 정의하고 그 축에 따라 각 방향의 오차 범위를 설정하였다. Misalignment는 유도탄을 제작 및 조립할 경우 또는 발사관 내부로 장입할 때 유도탄의 중심축이 발사관의 축의 불일치를 의미하는 오차로 각도의 틀어짐, 중심축의 평행 이동으로 인한 불일치로 나타나며 본 연구에서는 해당 오차 범위는 수평(Horizontal) 방향과 수직(Vertical) 방향에 대해 각각 각도로 설정하였다. 마지막으로, 추력 편향은 유도탄 후방에서 발생하는 추력의 방향과 유도탄 축이 불일치하는 정도는 나타내는 오차로 본 연구에서는 유도탄 후방 노즐을 조립할 때 발생함을 상정하여 유도탄 중심축 대비 노즐 조립 후 중심축이 틀어진 각도를 오차로 설정하였다.

이러한 오차 변수들은 발사 성능에서 각각의 오차 변수값에 서로 영향을 미치기 때문에 오차 범위 내에서 오차 변수들을 단순하게 조합하는 것은 이후 동역학 해석 모델을 구축하여 안전성을 분석할 때 조합 수가 많아지기 때문에 효율적인 측면에서 좋지 않다. 따라서 무작위로 추출된 난수를 이용하여 원하는 함수 값을 계산하는 Monte-Carlo simulation을 이용하여 오차 변수 값들을 조합하고, 유도탄 발사 궤적을 분석하였다(Rubinstein and Kroese, 2016).

Table 2. Additional parameters for simulation

Analysis Condition	Parameter
Launch Altitude	0 m
Launch Angle	70 °
Propellant Weight	00 kg
Time of Thrust Action	1.0 sec

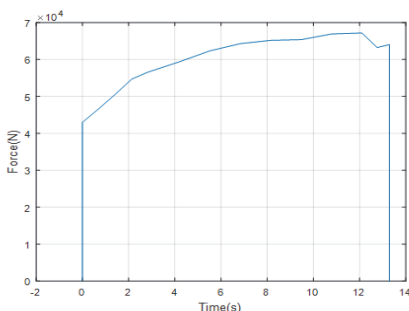


Fig 3. Thrust profile of missile

시뮬레이션을 실행하기 위해 필요한 추가 조건은 Table 2에 정리하였다. 발사고도는 0m, 발사각도는 70도로 설정한 후 추력은 Fig 3.와 같이 실제 추력 프로파일 중 1초

만 적용하고 이후에는 추력이 작용하지 않도록 설정하였다. 총 4개의 오차 변수에 대하여 100가지 경우를 생성하여 Monte-Carlo 시뮬레이션을 실행한 후, 오차가 전혀 없는 조건 대비 유도탄의 비행 거리, 고도, 비행 각도 등 예상되는 결과값이 가장 크게 차이나는 각각의 경우의 변수 값들을 조합하여 동역학 해석 모델을 구축하였다.

2.3 동역학 해석 모델

동역학 해석 모델은 다물체 상용 해석 프로그램인 Recurdyn을 이용하여 구축하였다. Fig 4.와 같이 오차가 전혀 없는 조건에 해당하는 발사관 및 유도탄 모델링을 수행하여 동역학 해석을 수행하였다. 해당 값의 궤적에 대하여 Monte-Carlo 시뮬레이션을 통해 도출된 궤적 결과들을 비교하여 각 축의 방향에서 가장 많이 벗어난 궤적의 변수 조합을 선정하였다. 따라서, Recurdyn 해석에 사용된 모델은 Monte-Carlo 시뮬레이션 결과를 3차원 유도탄 발사 궤적과 낙하 지점을 그래프로 표기한 후 유도탄의 사거리가 가장 짧거나 긴 경우, 유도탄의 발사 궤적에서 높이가 가장 높거나 낮은 경우 그리고 낙하 지점을 표기한 그래프에서 유도탄이 날아가는 방향에 수직한 방향으로 가장 많이 벗어난 경우 총 6가지 케이스로 선정하였다.

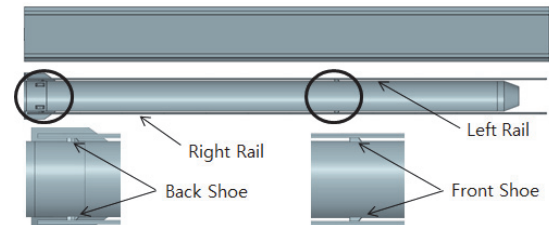


Fig 4. Modeling of launching system and missile for Recurdyn analysis

동역학 해석에서는 유도탄은 강체(Rigid body)로 설정하고 발사관은 레일 부분만 유연체(Flexible body)로 설정하여 유한요소 모델링을 구축하였다(Choi and Choi, 2015). 경계조건은 레일과 발사관이 체결되는, 레일 상의 체결 구멍에 있는 절점(Node)들의 모든 자유도가 구속되도록 설정하였다. 그리고 유도탄의 전후방 슈와 레일 사이에 접촉 조건을 설정하였으며 하중조건은 유도탄의 추력 및 중력을 제외한 나머지 하중을 가해지지 않도록 설정하였다. 물성치의 경우, 유도탄은 무게중심 및 무게 등을 설정된 값을 직접 입력하였고, 응력 분포를 확인할 레일은 실제 제작을 고려하여 Aluminum 6061 물성치를 입력하였다.

동역학 해석을 통해, 유도탄이 발사관을 이탈할 때 발생하는 중력 침하를 분석하였다. 또한 발사하는 동안 슈와 레일의 접촉력에 의해 레일에 발생하는 시간에 응력 분포를 확인하였으며 최대 응력 값과 레일 재료의 강도 값을 이용하여 안전율을 구하였고, 이를 통해 최종적으로 발사관의 안전성을 확인하였다.

3. 해석 결과

3.1 Monte-Carlo 해석 결과

Monte-Carlo 시뮬레이션은 MATLAB을 이용하여 코드를 생성하여 Table 1에 정리된 오차 변수들을 적용하여 결과를 도출 하였다 (Roberto, 2013). 각 오차들은 최대 오차의 절반 값을 1Sigma 값으로 설정하고, 최대 오차값을 넘지 않는 Truncated Gaussian 분포를 적용하였다. 또한 정규분포를 따르는 오차모델을 적용하였으므로 90% 정도의 정확도를 위해 총 100가지 경우를 생성하여 해석을 수행하였다(Choi and Kim, 2002). 해석 결과 유도탄의 발사 궤적을 Fig 5.과 같이 3차원 그래프로 도식화하였다.

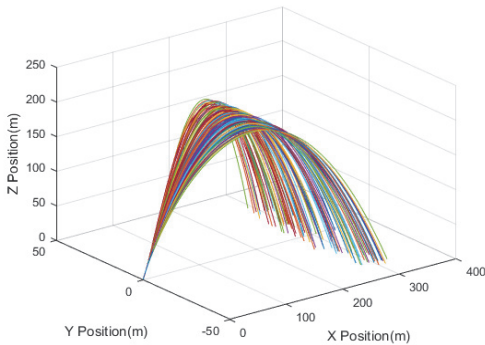


Fig. 5. Simulation result of missile's trajectory

Fig 5.과 같이 5개의 오차 변수 값에 따라서 궤적이 다양하게 분포하는 것을 확인할 수 있다. 또한 각 경우에 대하여 유도탄의 최종 낙하 지점을 확인하기 위해 Fig 6.와 같이 발사 이후 다시 Z축의 높이가 0이 될 때 X축 그리고 Y축의 위치를 나타내었다. Fig 6.를 통해 최종 낙하 지점을 범위로 설정하여 안전 영역을 확인할 수 있다. 실제 유도탄 발사시험을 고려할 때 이와 같이 유도탄 최종 낙하 지점을 예측하여 시험 안전 영역을 설정할 수 있다.

본 연구에 적용된 조건을 바탕으로 해석을 수행한 결과, X축은 260 ~ 340m 그리고 Y축은 -40 ~ 40m에 해당하는 범위가 낙하 지점임을 확인 하였다. 또한 해당 결과 중 X,Y그리고 Z축의 최대, 최소 거리 및 높이를 가지는 6가지 케이스에 대해서 최초 설정된 CG, MOI, 추력편향, Misalignment 등 발생 요인 별 오차 값을 확인하여 Table. 3을 통해 정리하였다.

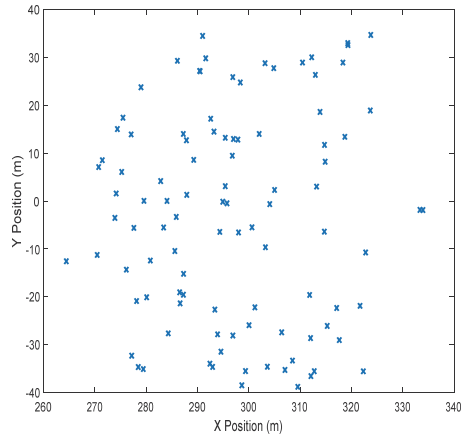


Fig. 6. Simulation result of missile's impact points

Table 3. Values of error parameters at the result of Monte-Carlo simulation

		Max X-axis (1st Case)	Min X-axis (2nd Case)	Max Y-axis (3rd Case)	Min Y-axis (4th Case)	Max Z-axis (5th case)	Min Z-axis (6th case)
CG (cal.)	X-axis	-0.0334	-0.0524	-0.0149	-0.0527	0.0228	-0.0809
	Y-axis	-0.0240	-0.0043	0.0502	0.0151	-0.0732	-0.0022
	Z-axis	0.0756	0.0012	0.0131	-0.0199	-0.0584	-0.0990
MOI (%)		-1.04	-1.90	-0.57	-6.27	-3.67	3.46
Thrust vectoring (mrad)	Vertical	-2.20	2.40	-2.40	-1.30	1.70	-2.40
	Horizontal	0.082	0.879	-1.90	2.00	-0.196	2.20
Misalignment (mrad)	Vertical	-0.093	-0.146	0.030	0.087	0.110	0.070
	Horizontal	0.028	-0.313	0.590	0.645	0.251	0.275

3.2 동역학 해석 결과

Table 3에 정리된 오차 변수들을 이용하여 각각의 케이스에 대해 오차값을 반영 한 모델링을 수행한 이후 동역학 해석을 수행하였다. 동역학 해석을 수행할 때 오차 변수들을 제외한 다른 요소들은 모두 Monte-Carlo 시뮬레이션을 시행할 때와 동일한 조건으로 설정하였다. 접촉 현상을 구현하기 위해서 레일과 슈 사이를 스프링 댐퍼 시스템으로 표현하였다. 스프링의 강성은 참고 문헌에서 예측된 10,000N/mm을 사용하였다(Kim, 2012). 유도탄이 발사관을 이탈할 때까지 레일에 작용하는 응력 분포를 확인해야 하므로 해석 시간을 1초로 설정하였으며 해석 시간 스텝 간격은 0.002초로 하여 총 500 스텝 해석을 수행하였다.

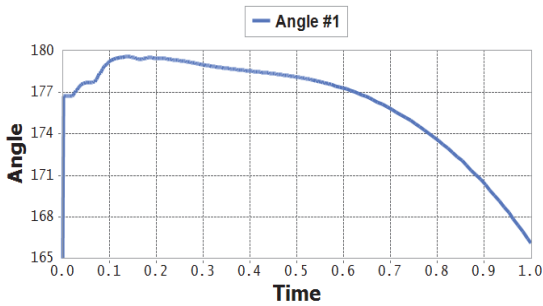


Fig. 7. Angle between launch tube and missile (1st Case)

Table 4. Ejection time and tip-off rate of six cases

	Injection Time (sec)	Tip-off (deg/s)
1 st Case	0.446	4.15
2 nd Case	0.446	10.9
3 rd Case	0.446	8.80
4 th Case	0.446	9.05
5 th Case	0.446	14.65
6 th Case	0.446	8.80

발사관의 길이 방향과 유도탄의 길이 방향이 이루는 각도를 시간에 따라 Fig 7.과 같이 해석결과로 도식화 하였다. 중력 침하 값은 해당 그래프에서 유도탄이 발사관을 완전히 사출하기 직전과 직후의 각도 변화율을 계산 하였다. 사출 시간의 경우, 시뮬레이션 결과를 실행하여 유도탄이 발사관을 완전히 빠져나갈 때 시간을 확인하였다. 총 6가지 케이스에 대하여 각 케이스별 중력 침하 값과 사출 시간은 Table 4.를 통해 정리하였다.

Table 4를 통해 중력 침하값이 가장 크게 나온 5번째 케이스와 오차가 없을 때의 레일과 슈 사이의 접촉력과 가속도를 비교하여 Fig 8과 같이 나타내었다. 오차가 없는 경우, 접촉력과 가속도는 진행 방향과 중력 방향에서 만 의미있는 수준으로 존재하지만, 오차가 존재하는 5번째 경우에는 3축 모두 일정 수준의 접촉력이 발생하게 되고, 이는 적용된 오차로 인해 발생한 유도탄의 비대칭이 발사 시 레일과의 충돌로 인함을 알 수 있다. 이러한 접촉력은 유도탄 발사 시 레일의 구조적 안전성에 영향을 미치는 요인이 될 수 있다. 위 결과를 바탕으로 동역학 해석을 통해 시간에 따른 레일의 응력 분포를 확인해 보았다. Fig 9는 해석을 수행한 6가지 케이스 중 가장 큰 응력이 발생했을 때인 5번째 케이스의 응력 분포 중 최대 응력이 작용한 지점을 확대하여 나타낸 것이다. 동역학 해석을 통해 응력이 발생하는 시간뿐만 아니라 해당 시간에 응력 분포를 확인하여 발생하는 최대 응력 값과 발생하는 위치 역시 확인할 수 있다. 추가로 각 케이스에 대하여 최대 응력이 발생 했을 때 레일의 응력 분포와 함께 해당 시간, 발생 지점 및 최대 응력 값을 Fig 10을 통해 나타내었다.

Fig 10을 통해 2번째와 6번째 케이스를 제외하고 모두 후방 슈가 레일을 지나가는 지점에서 최대 응력이 발생하는 것을 확인할 수 있다. 또한 각 케이스 별 최대 응력이 발생한 지점은 대부분 전방 또는 후방 슈가 레일을 빠져나오기 직전 레일 끝 지점에서 발생하였다. Table 4의 결과와 비교해 봤을 때, 후방 슈 부분에서 최대 응력이 발생 한 경우, 중력 침하로 인해 슈의 변위가 커짐에 따라 레일에 강한 하중이 작용 한 결과로 보인다. 다만, 케이스별 중력 침하 정도와 최대 응력의 결과를 비교해 보았을 때, 두 변수 간의 직접적인 상관관계는 확인하기 어렵다. 사출 시간의 경우, 모든 케이스에서 동일하기 때문에 오차 변수들과 중력 침하 값에 영향을 받지 않는 결과로 보인다.

추가적으로, 양쪽 레일 각각에 대해 시간에 따라 걸리는 최대 응력 값을 Fig 11과 같이 그래프로 통해 나타내었다. 발사관 후방에서 내부를 바라봤을 때를 기준으로 왼쪽 레일, 오른쪽 레일로 표현하였다. Fig 11을 통해 좌우 양쪽에 있는 레일의 응력 분포가 대칭적으로 나타나지 않는 것을 확인할 수 있다. 전방 슈가 이탈 되는 0.28 초 이전까지는 응력 값이 차이나더라도 양쪽 레일 모두 어느 정도의 응력이 존재하는 경향을 보이나 전방 슈가 이탈한 0.28초 이후에는 한 쪽에 있는 레일에 응력이 집중되는 경향을 보인다. 이는 Monte-carlo 시뮬레이션을

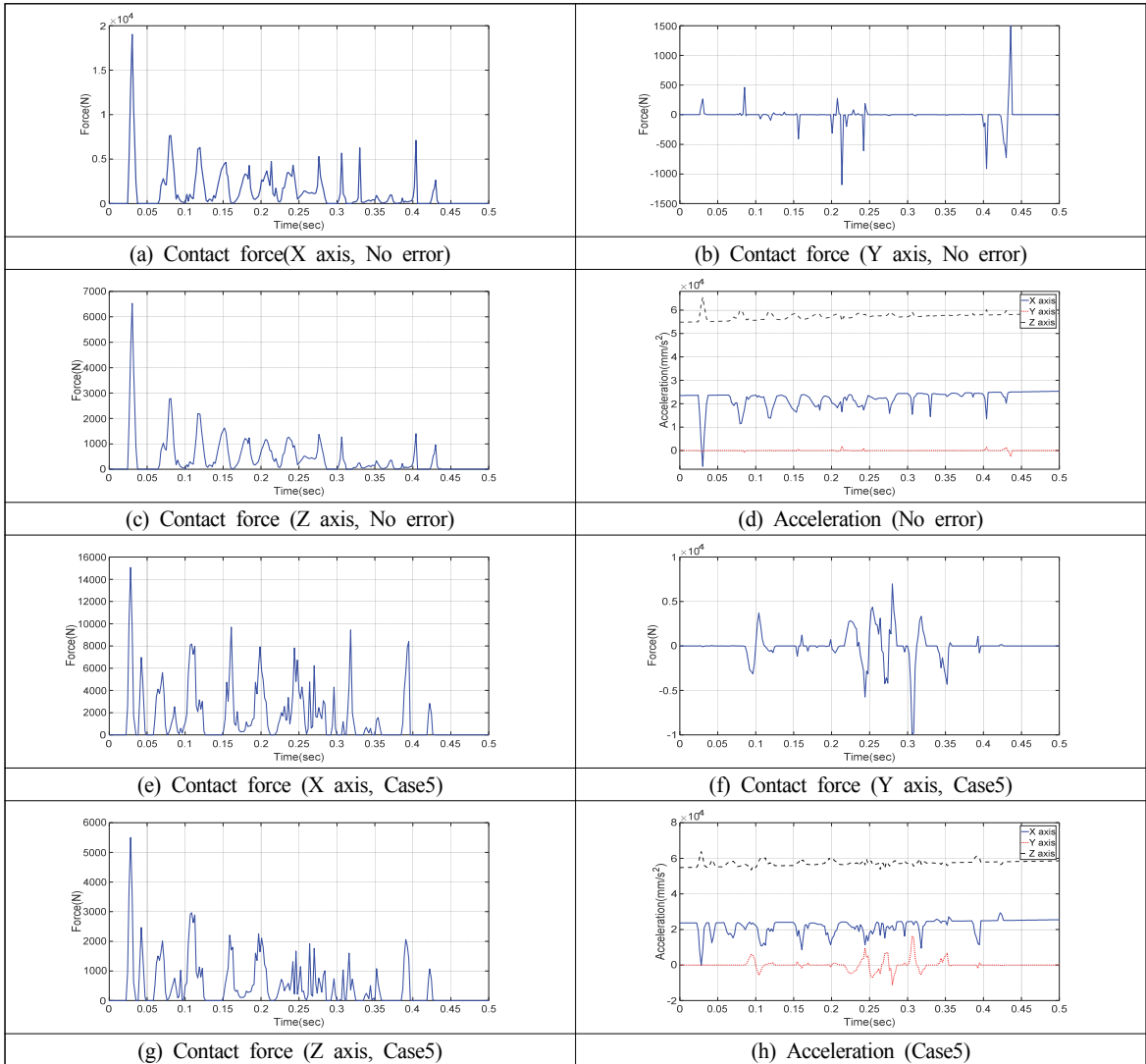


Fig. 8. Contact force and acceleration result without error and error case(5th case)

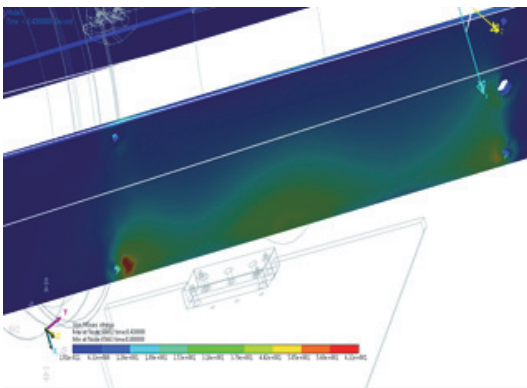


Fig. 9. Stress distribution at maximum stress case

통해 확인 한 오차요소인 무게중심, 추력 편향 그리고 Misalignment로 인해 유도탄이 발사관 내 대칭적으로 위치해 있지 않아 슈와 발사관 레일이 대부분의 경우에 한 쪽 방향으로 치우쳐 충돌하게 되고 이로 인해 응력 분포가 대칭적으로 나타나지 않게 된다. 또한 전방 슈가 이탈한 이후 중력 침하가 발생하게 되면서 레일 한쪽으로 치우쳐 응력 집중이 발생하는 결과로 보인다.

마지막으로 현재 고려된 발사관의 안전성을 분석하였다. Fig 10을 통해 6가지 케이스 중 가장 큰 최대 응력은 5번째 케이스 일 때 65.72MPa 인 것을 알 수 있다. 레일의 재료인 Aluminum 6061의 항복 응력이 280MPa이기

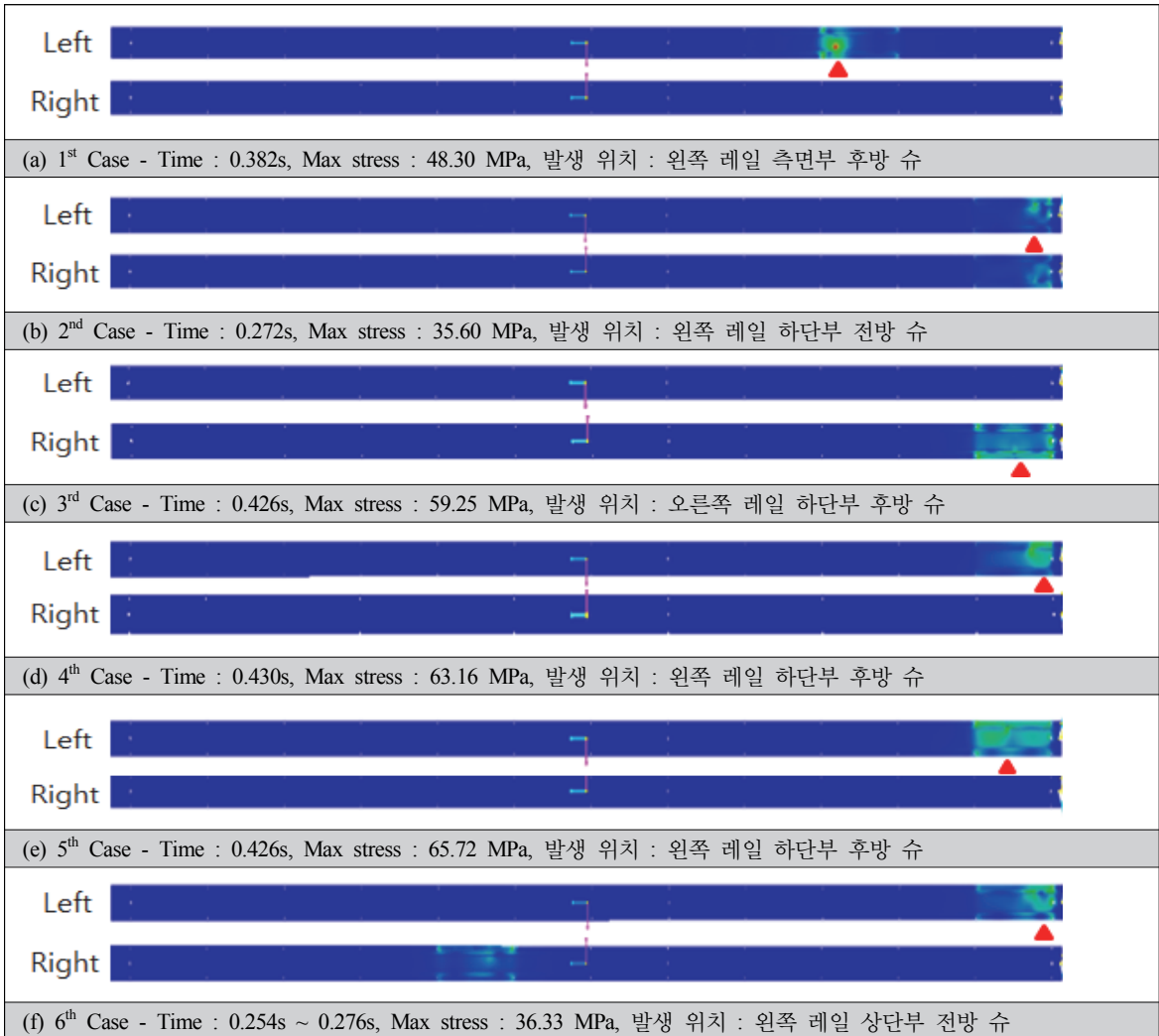


Fig. 10. Maximum stress distribution at each case

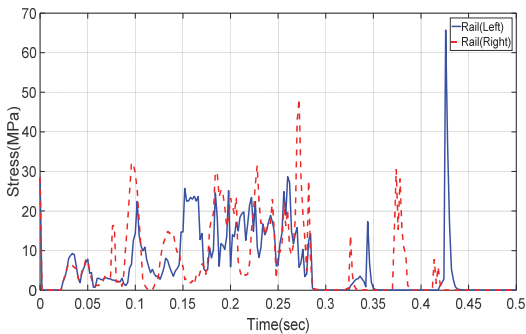


Fig. 11. Maximum stress versus time result graph at each rail (5th case)

때문에, 해당 경우의 안전율은 약 4.25의 값을 가지게 된다. 이는 일반적으로 연성 재료의 여유율을 고려한 안전율이 1.5 이상이면 안전하다고 판단하기 때문에 본 연구에서 고려한 발사관은 Monte-carlo 시뮬레이션에서 설정한 오차요소들의 범위 내에서는 안전하다는 것을 확인할 수 있다.

다만 일반적으로 유도탄이 발사될 때 접촉력에 의한 하중 뿐만 아니라 추진기관에서 나오는 화염에 의한 효과, 후방 덮개에서 반사되어 나오는 충격파 등 실제 레일에 대한 안전율을 계산할 때 추가로 고려해야 할 요소들이 존재한다 (Sung and Kim, 1993). 현 결과보다 정확한 안전율을 계산하기 위해서는 위의 요소들이 고려된 해석

모델을 추가로 구축하여 수행할 필요가 있다.

4. 결론

이 연구에서는 발사관과 유도탄에서 발사될 때 영향을 주는 오차 요소들을 선정하여 통계적 해석 및 동역학 해석을 통해 발사관의 안정성을 분석하였다.

통계적 해석은 MATLAB을 이용한 Monte-Carlo 시뮬레이션을 통해서 분석하였으며 분석한 결과 중 예상 낙하 지점에서 가장 멀리 벗어난 6가지 케이스를 선정하여 동역학 해석에 적용하였다. 동역학 해석은 Recurdyn을 사용하였으며 해석결과로 중력 침하 및 발사관 레일과 유도탄 슈 사이의 접촉력에 의한 응력 분포를 도출하였다. 동역학 해석에서 나온 응력 분포를 분석하여 레일에 작용하는 최대 응력을 도출하고 해당 값에 대한 안전율을 계산하여 발사관의 안전성을 확인하였다.

동역학 해석 결과를 통해 본 연구에서 고려한 발사관은 발사 역학적으로 구조적 측면에서 안전하게 설계되었다는 것을 확인하였다. 이러한 동역학 해석을 통해 실제로 모델링 된 발사관 및 유도탄에 대해서 발사할 때 레일에 작용하는 응력 분포와 최대 응력을 확인할 수 있는 프로세스를 Recurdyn을 통하여 구축하였다. 더 나아가 발사관 내부 열 효과와 충격파 등의 효과를 추가로 고려한 해석을 수행한다면 좀 더 정확한 안전율을 계산할 수 있을 것으로 예상된다.

References

Chung, J. W., Shin, S. M., Bae, Y. G. (2013), Test Technique for Performance Verification of Fracture-Type Canister Cover, Korea Institute of Military Service and Technology, Vol. 16, No. 4, pp.449-455

Yang, Y. R. (2014), Study on the Removal Mechanism of Canister End Caps using the Shock Wave, Korea Society for Computational Fluids Engineering, pp.

283-285

Ahn, J. S., Lim, B. S. (2001), Flexible Multibody Dynamic Analysis of Missile Behavior for the Initial Launching Stage, ADAMS User Conference

Lee, H. Y., Song, O. S. (2008), Analysis of Launching Dynamics using Finite Element Method, Korea Institute of Military Service and Tehcnology, Vol. 11, No. 3, pp.13-18

Jin, J. H., Jung, S., Kim, T. Y., Kim, Y. K., Ahn, C. G., Yoo, W. S. (2016), Accuracy of Fire of a Monitor via Multibody Dynamics Analysis, Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers - A, Vol. 40, No.2, pp.229-236

Kim, K. T. (2012), Statistical Analysis of Initial Behavior of a Vertically-launched Missile from Surface Ship, Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 22, No. 9, pp.889-895

Lockheed Martin (2010), PAC-3 MSE missile launch

Rubinstein, R. Y, Kroese, D. P. (2016), Simulation and the Monte Carlo Method, Vol. 10, John Wiley & Sons.

Roberto, C. (2013), Monte Carl Methods using Matlab, University Ca'Foscari, Venice,

Choi, J. H., Choi, J. H. (2015), Analysis Method for Multi-Flexible-Body Dynamics Solver in Recurdyn, Transactions of the KSME Industrial Technology and Innovation, Vol. 3, No. 2, pp.107-115

Choi, T. S, Kim, S. H. (2002), A Comparison of Efficiency Estimation Methods via Monte Carlo Analysis, The Korean Operations Research and Management Science Society, Vol. 19, No. 1 pp. 117-128

Sung, H. G., Kim, B. S. (1993), Numerical Simulation Rocket Exhaust Flow in Cylindrical Launch Tube, Journal of the Korean Society for Aeronautical & Space Sciences, Vol. 1, No. 21, pp.74-80



박철우 (parkchulwoo@lignex1.com)

2015 한국과학기술원(KAIST) 항공우주공학 학사
2017 서울대학교 기계항공공학부 석사
2017~ 현재 LIG넥스원 재직 중

관심분야 : 구조역학, 지능재료역학, 다물체동역학



이은수 (leeonsoo@lignex1.com)

2007 한양대학교 기계공학 학사
2007~ 현재 LIG넥스원 재직 중

관심분야 : 유도무기 체계설계, 구조설계, 동특성 분석



신효섭 (hyosub.shin@lignex1.com)

2009 서울대학교 기계항공공학부 학사
2011 서울대학교 기계항공공학부 석사
2011~ 현재 LIG넥스원 재직 중

관심분야 : 최적유도제어, 효과도분석, HILS



박진용 (jypark747@lignex1.com)

1995 명지대학교 기계공학과 학사
1997 명지대학교 기계공학과 석사
1997~ 현재 LIG넥스원 재직 중

관심분야 : 유도무기 체계설계, 기체구조 최적화 설계, 소음진동 시뮬레이션



이동주 (dongzz@add.re.kr)

2000 연세대학교 기계공학 학사
2002 연세대학교 대학원 기계공학 석사
2007 연세대학교 대학원 기계공학 박사
2007~ 현재 국방과학연구소 재직 중

관심분야 : 유도무기 체계설계, 구조진동