

함정운동을 고려한 유도탄의 발사초기 동력학 해석

Missile Flyout Launch Dynamic Analysis Including Ship Motion

안진수*
Ahn, Jin-Soo

ABSTRACT

In this paper, flyout stability of missile that is launched in inclined launcher using sabots is analyzed. To include missile bending motion during flyout, FEA model of missile is converted into eight concentrated mass and equivalent stiffness matrix. Six d.o.f ship motion that have influence on flyout stability is modeled and missile firing time is modeled as probability variable to take arbitrary ship attitude into account. Gap between missile and sabot is modeled as normal distribution probability variable and Monte Carlo simulation is performed. As results, the coriolis acceleration effects by ship motion are analyzed and statistical results of missile pitch rate are shown.

주요기술용어 : 함정운동(Ship Motion), 몬테카를로(Monte Carlo), 피치각속도(Pitchrate) 코리올리 가속도(Coriolis acceleration)

1. 머리말

함정에서 발사하는 유도탄의 발사방법을 발사 고각에 따라 분류하면 경사형과 수직형으로 나눌 수 있다. 경사형은 유도탄을 표적방향으로 직접 발사하는 방법이고, 수직형은 표적의 방향과 관계없이 수직으로 유도탄을 발사시킨 다음, 유도탄 자체의 기구를 이용하여 표적방향으로 제어하는 방식이다.

유도탄은 발사관내에 여러 가지 지지방식으로 장입되어 운용되며, 발사시 발사관 이탈 과정에서 지지점을 하나씩 잃으며 발사관과의 상대운동으로 인하여발

사관 이탈 후 일정한 각운동량(Tip-Off)을 얻게 된다^[1]. 이러한 각운동량은 유도탄이 일정속도에 이르러 자세 제어를 할 수 있을 때까지 유도탄의 초기 안정성에 많은 영향을 준다. 따라서 초기 발사방식 설계시 이러한 각운동량을 최소화하고 유도탄의 초기 안정성 분석을 위해서는 발사관내의 동력학적 운동 관계를 분석 및 규명하는 일이 선행되어야 한다.

유도탄 발사시 초기 동력학 해석에 관한 연구로써, 국내에서는 다연장 로켓을 DADS-3D 프로그램으로 강체모델을 구성하여 발사오차 해석 및 탄착 분산 최소화 해석을 수행하였고^[2], 궤도차량을 이용한 발사대의 동력학을 해석하기 위한 전용프로그램을 개발하였으며^[3], 지대공 유도탄의 초기 거동 및 유도탄 각운동

* 국방과학연구소

량을 해석하기 위하여 ADAMS를 이용하여 3차원 해석을 수행한 바 있다^[4]. 또한 유도탄의 굽힘운동을 고려하기 위해 유도탄을 집중질량과 등가강성으로 모델링하여 해석을 수행한 바 있다^[5]. 위 연구들은 지상에서 발사하는 경우와 같이 발사 플랫폼이 고정된 경우로 발사관내 유도탄의 지지과정을 점지지(Point-Force)로 모델링 하였다.

함정에서 발사하는 유도탄 체계의 경우 플랫폼이 함정과 같이 운동하며 유도탄 발사시 유도탄과 발사관 사이의 상대운동에 영향을 주어, 발사관과 유도탄의 지지과정에 영향을 주게 되므로 유도탄의 발사관 이탈 후 초기 안정성에 큰 영향을 미친다.

유도탄 운동에 영향을 주는 다른 인자로는 유도탄 정렬 오차, 추력 오차(misalignment/offset), 발사관과 유도탄 사이의 간극, 발사관내 유도탄의 지지 강성, 바람 등이 있다. 위 인자들은 함정운동과 함께 랜덤(Random)하게 변하는 인자로 특정한 값으로 정의하기 어렵고 통계적인 확률변수로 접근해야 하며, 해석 결과 또한 통계적으로 제시되어야 한다.

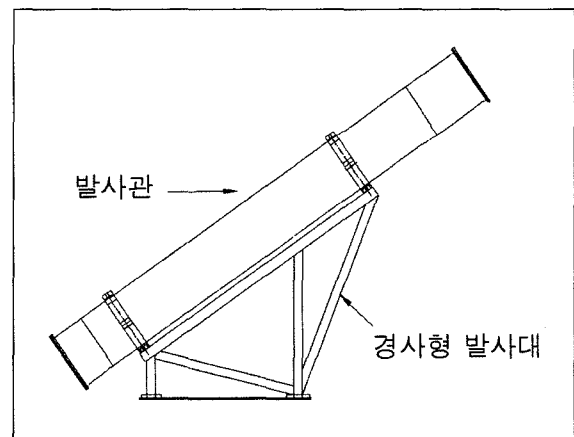
본 논문에서는 함정에서 탄지지대 방식을 이용하여 경사형으로 발사하는 유도탄의 함정운동에 따른 발사 초기 안정성을 통계적으로 예측하기 위하여, 범용 동력학 해석 S/W인 RecurDyn에 몬테카를로(Monte Carlo) 기법을 도입하여 변수들을 통계적으로 정의하고 함정운동에 따른 유도탄의 발사초기 안정성을 통계적인 방법으로 제시하였다. 또한 유도탄의 유연성을 고려하기 위하여 유도탄의 유한요소 모델로부터 MSC/NASTRAN을 이용하여 8개의 집중질량과 이를 연결하는 등가강성 모델을 추출하였으며, 발사관 내면을 탄지지대가 면접촉으로 이동하며 유도탄과 지지되는 과정을 묘사하기 위하여 면접촉 모델링을 시도하였다.

2. 탄지지대 발사 방식

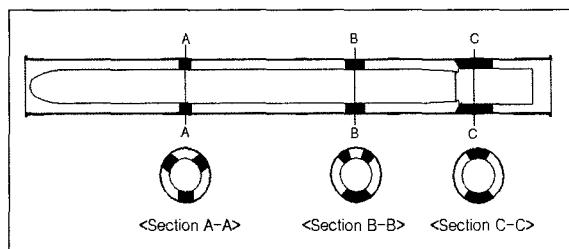
함정에서 경사형으로 발사하는 유도탄은 그림 1과 같이 유도탄이 장입된 발사관을 외부 구조물에 의해 일정고각으로 함정에 설치된다.

발사관내 유도탄은 그림 2와 같이 길이방향으로 3곳이 탄지지대로 지지되어 있으며, 원주방향으로는 전방, 중간에 각각 3개, 후방 2개로 지지되어 있다. 유도탄 발사 후 탄지지대는 발사관내에서 유도탄과 함께 이동하다가 발사관 이탈 후 탄지지대에 조립된 스프링의 압축력에 의해 유도탄과 간섭없이 분리된다.

경사형으로 발사되는 탄지지대 발사방식에서 유도탄의 발사단계는 그림 3과 같이 유도탄이 발사관을



[그림 1] 발사대 형상



[그림 2] 유도탄과 발사관의 조립형상

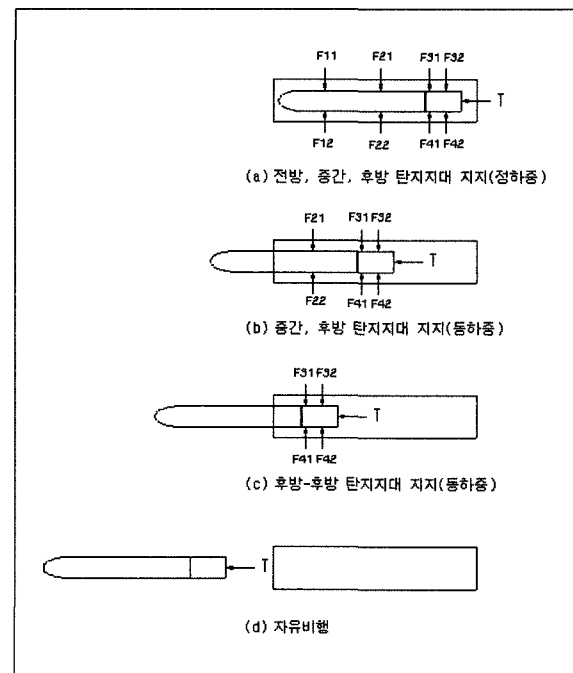
이동하면서 발생하는 탄지지대 지지단계에 따라 4단계로 구분할 수 있다.

1단계는 그림 3(a)와 같이 유도탄이 전방, 중간, 후방탄지지대에 지지되어 발사관내를 이동하는 단계로 주로 하부에 위치한 탄지지대에 의해 유도탄이 지지되며 유도탄 무게에 의한 정하중이 작용한다.

2단계는 그림 3(b)와 같이 전방탄지지대 이탈 후 중간탄지지대(F22)와 후방탄지지대(F32)로 지지되는 단계로 유도탄 굽힘운동에 의한 동하중이 작용한다.

3단계는 그림 3(c)와 같이 중간탄지지대 이탈 후 후방탄지지대로(F41, F32) 지지되는 단계로 유도탄과 탄지지대 사이의 간극으로 인한 유도탄 강제회전 및 중력침하가 발생한다.

4단계는 후방탄지지대 이탈 후 유도탄의 추력에 의해 자유비행하는 단계로 발사관 이탈 시 발생한 각운동량을 가지고 운동하게 된다.



[그림 3] 유도탄 초기 발사단계

3. 동역학 모델링

3.1 Parameter의 통계적 처리 (Monte Carlo Method)

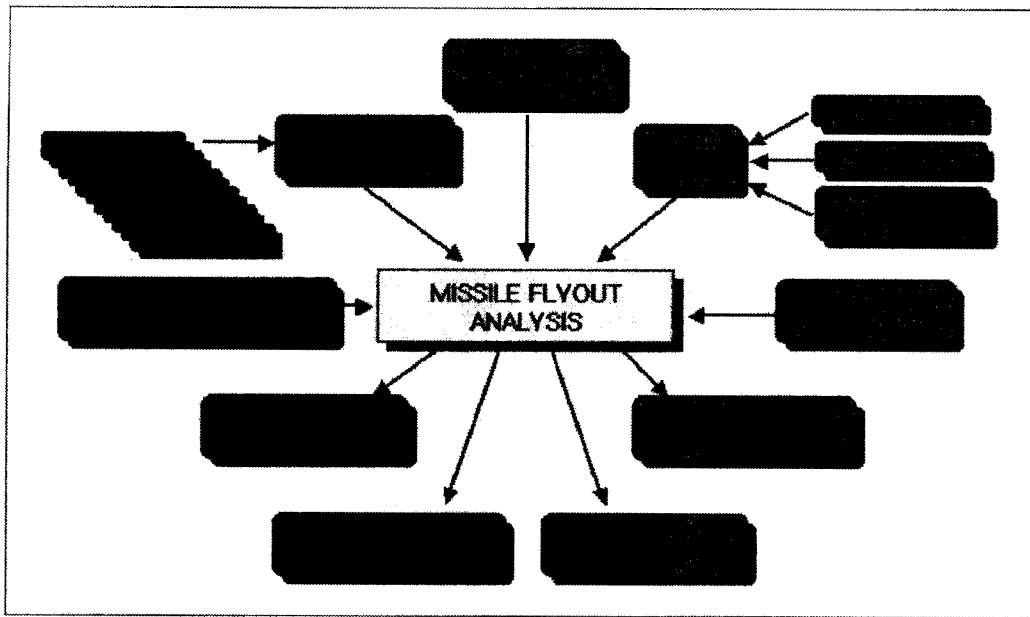
유도탄 발사시 발생하는 유도탄의 각운동과 유도탄의 초기 안정성에 영향을 주는 인자로는 함정운동, 유도탄의 정렬오차, 추력오차, 유도탄/발사관 간극, 유도탄 및 발사대 강성, 유도탄의 지지위치, 유도탄/탄지지대 강성 등으로 구분할 수 있다. 이러한 인자들은 조립부품에 따라 또는 외부 환경에 따라 변하므로 특정한 값으로 정의하는 것이 매우 어렵고, 이런 인자들이 유도탄의 안정성에 미치는 영향은 서로 복합적으로 얽혀 있어 인자간의 모든 경우의 수를 해석하기는 불가능하다. 따라서 유도탄의 안정성에 영향을 주는

이러한 인자들은 특정한 값으로 정의되기보다는 각 인자들이 가질 수 있는 범위를 확률분포로 정의하고, 이러한 인자들의 분포에 의한 유도탄 안정성의 분포를 통계적으로 구하는 것이 유용하다^[6].

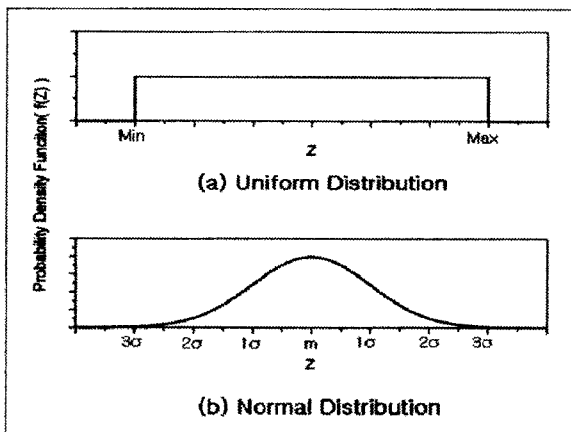
본 연구에서는 유도탄의 초기 안정성 해석시 그림 4와 같이 Monte Carlo 기법을 도입하여 유도탄 운동에 영향을 주는 인자들을 확률분포로 정의하였으며, RecurDyn에서 해석시 마다 인자들을 각 확률분포에 맞게 랜덤(Random)하게 발생시켜 해석을 수행한 후 요약파일 등을 출력할 수 있도록 프로그램을 구성하였다.

인자들이 가질 수 있는 확률분포들은 그림 5와 같이 크게 균일한 분포와 정규 분포로 나눌 수 있다.

균일한 분포를 갖는 변수는 함정운동 등이 있을 수 있으며 최소값과 최대값으로 정의한다. 정규 분포를 갖는 변수는 유도탄과 탄지지대 사이의 간극, 추



[그림 4] 프로그램 구성도

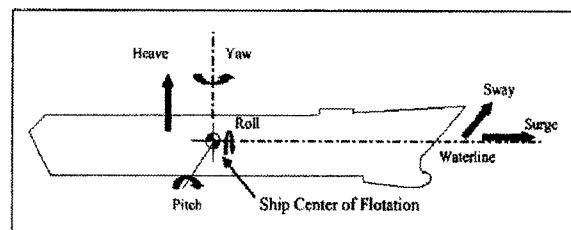


[그림 5] 인자들의 확률 분포

력 오차 등이 있을 수 있으며 평균값과 표준편차로 정의한다.

3.2 함정운동 모델링

함정운동은 거친 해상상태에서 유도탄의 초기 각운동량 및 궤적에 큰 영향을 미치는 인자로서, 유도탄



[그림 6] 6자유도 함정운동

발사시 함정운동 상태가 유도탄 초기 안정성 해석에 중요한 변수이다.

함정운동은 그림 6과 같이 Surge, Sway, Heave로 이루어진 병진 운동과 Roll, Pitch, Yaw의 회전 운동의 6자유도 운동으로 정의할 수 있으며, 이러한 운동은 유도탄 발사시 유도탄과 발사관 사이의 상대 가속도에 영향을 주어, 발사관 이탈 후 유도탄의 각운동량과 진행 방향에 큰 영향을 미친다.

함정운동을 모델링하는 방법은 무기체계를 적용하고자 하는 함정으로부터 계측된 운동데이터나 해석

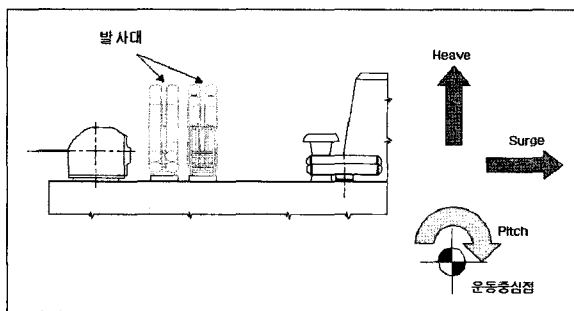
데이터를 이용하는 Transient 모델과 함정의 6자유도 운동을 Sinusoidal 함수로 가정하고 함정의 종류와 해상상태에 따라 진폭(Amplitude)과 주기(Period)을 결정하여 사용하는 Sinusoidal 모델로 구분할 수 있다.

Sinusoidal 모델의 경우 임의의 함정자세에 대한 해석을 위해서는 6자유도 운동의 각 위상 (phase)을 균일분포를 갖는 확률변수로 정의하여야 한다. Sinusoidal 모델은 각 방향 운동 사이에 존재하는 커플링(Coupling)을 고려하지 않으므로 Transient 모델에 비하여 보수적인(Conservative) 해석을 수행할 수 있다.

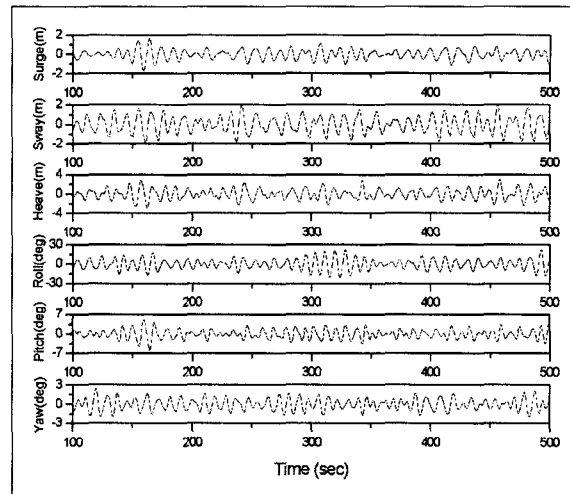
Transient 모델은 적용하고자 하는 함정의 실제로 측정된, 또는 해석된 시간에 따른 함정 데이터를 사용하므로 몬테카를로 해석시 유도탄 발사 시간을 균일 분포를 갖는 확률변수로 정의하여 해석시 마다 다른 함정 자세가 고려되도록 하여야 한다.

본 연구에서 적용하고자 하는 함정에서 발사하는 유도무기체계는 함정에 그림 7과 같이 배치되어 있으며 함정의 Roll운동이 발사대의 Pitch운동을 유발한다.

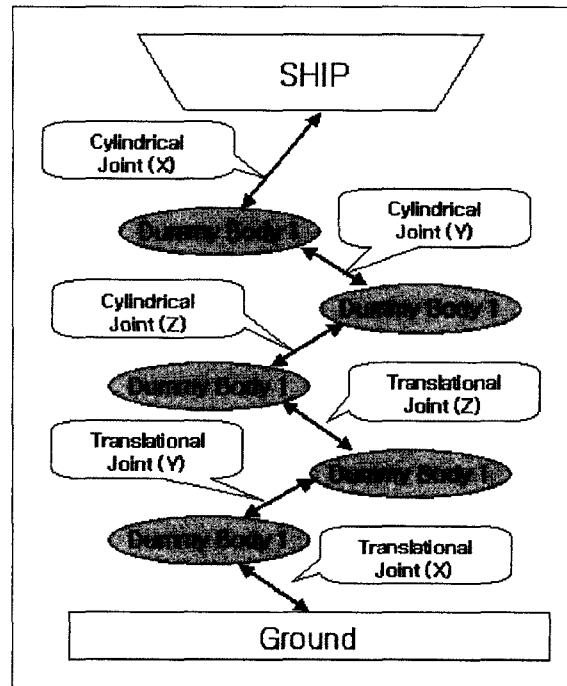
해상상태가 거칠어지면 질수록 함정의 운동 크기 또한 커지며, 발사시 유도탄과 발사관 사이의 상대 가속도가 증가한다. 본 연구에서는 함정이 운용될 수 있



[그림 7] 함정에 설치된 발사대 배치도

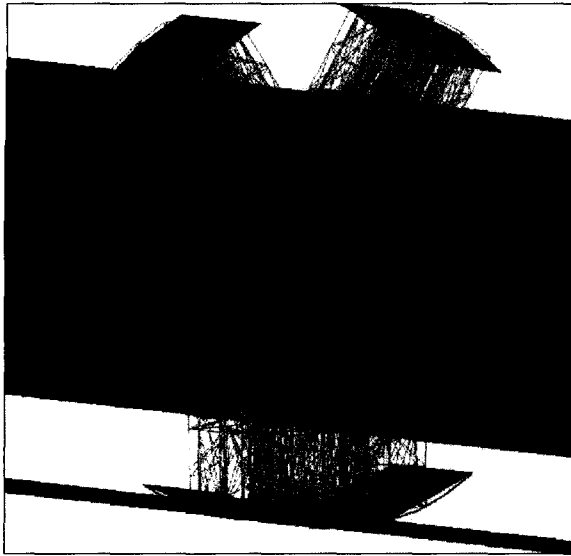


[그림 8] 함정의 6자유도 운동



[그림 9] 함정운동의 동력학적 모델링

는 가장 거친 해상 환경인 유의파고 5M의 해상 상태에서 함정의 롤 운동, 즉 발사대의 피치 운동이 가장 큰 조건에서의 그림 8과 같은 함정운동 해석결과



[그림 10] 면접촉 모델링

를 사용하여 유도탄 발사 시간을 균일한 분포를 갖는 확률변수로 정의한 Transient 모델을 구성하였다.

RecurDyn에서 합성운동을 모델링 하기 위하여 그림 9와 같이 Ground와 합성사이를 5개의 Dummy Part와 그 사이를 3개의 Translational Joint와 Rotational Joint로 연결시키고 각 Joint에 6자유도 운동을 부과하였다.

3.3 면접촉 모델링

탄지지대 발사 방식과 같이 탄지지대가 발사관 내면을 넓은 면접촉을 하며 이동하면서 유도탄을 지지하는 발사방식에서는 기존 연구에서 적용한 점지지(Point Force) 방식의 모델은 발사관 이탈시 유도탄의 지지과정을 정확히 묘사하는데 한계가 있다. 특히 합성운동으로 인하여 유도탄의 발사관 이탈시 발사대의 자세가 계속 변하여 유도탄의 지지면이 변하는 경우, 발사관내 지지과정을 정확히 묘사하기 위하여 면접촉 모델이 필요하다.

본 연구에서는 그림 10과 같이 탄지지대 외면과 발사관 내면을 모델링하고 면접촉 모델을 구성하였다. 접촉 강성은 30000 N/mm을 사용하였다.

3.4 추력 및 마찰력 모델링

유도탄의 추력은 추진제의 연소에 의해 얻어지며 본 연구에서는 유도탄의 가속도가 그림 11과 같도록 가정하여 사용하였다.

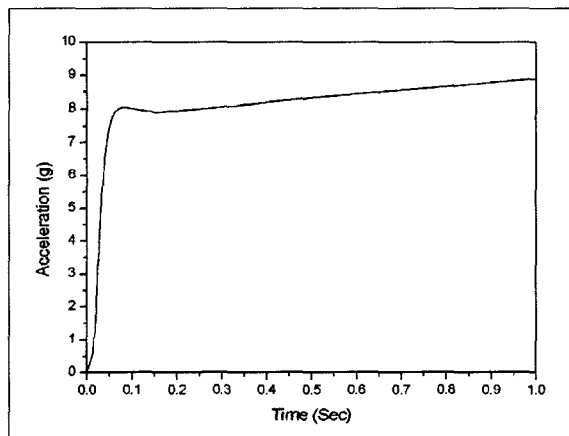
발사관과 탄지지대 사이의 마찰력은 일반적인 고체 마찰 모델을 이용하여 식 (1)과 같이 모델링 하였다.

$$F_{friction} = \mu \cdot F_s \tag{1}$$

여기서 μ 는 0.3으로 가정하였고 F_s 는 탄지지대와 발사관 사이의 반력을 나타낸다.

3.5 유도탄 모델링

경사형 유도탄 발사와 같이 매우 큰 굽힘하중을 받는 경우에는 유도탄의 유연성(flexibility)이 해에 미치는 영향이 매우 크다. 특히 탄지지대 발사방식과 같이 유도탄 발사시 지지점이 유도탄 후방에 존재하여 굽



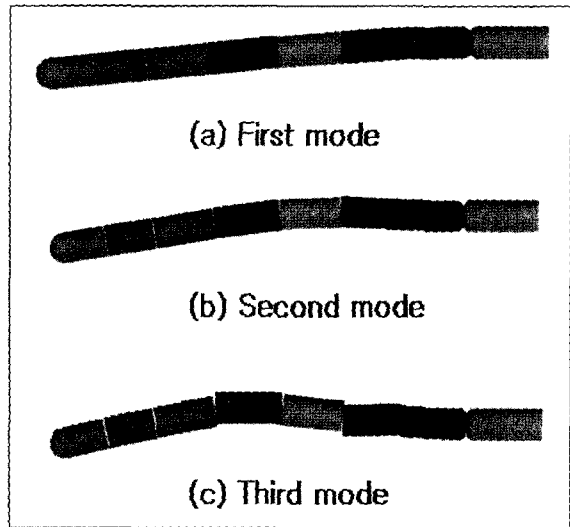
[그림 11] 유도탄 추력

힘 특성이 매우 중요한 문제의 해석에서는 유도탄의 유연성을 고려하지 않으면 해의 오차가 크고 실제 유도탄의 지지과정을 시뮬레이션하기 어렵다. 최근 다물체 동역학의 발달로 유연성을 포함하는 기법이 개발되고 유한요소해석과 조합하는 연구가 활발히 진행되어 오고 있으며 유연성이 중요한 동역학 연구에 적용되고 있다.

구조물의 유연성을 고려하는 방법으로는 유한요소 모델로부터 여러 개로 나누어진 집중질량과 이를 연결하는 강성행렬과 감쇄행렬을 구하는 Discrete Method와 유한요소모델의 고유치 해석을 통해 얻어진 고유벡터(Eigen Vector)를 이용하는 Modal Flexibility Method가 사용되고 있으며 본 연구에서는 Discrete Method를 사용하였다.

MSC/NASTRAN의 보 요소를 사용하여 기체강성을 모형화하고 각종 탑재장비를 비구조 질량으로 모형화하여 유도탄의 질량특성과 강성특성을 나타낸 후 Superelement 기법을 이용하여 8개의 집중질량체와 각 질량체를 연결하는 강성행렬을 구하였다^[7].

NASTRAN으로부터 얻어진 집중질량체와 강성행렬을 가지고 RecurDyn에서 유도탄의 동역학 모델을 구성하였으며 동역학 모델의 검증을 위하여 유도탄의 부스터 부분이 고정된 경계조건에 대하여 고유치 해석을 수행하여 유한요소모델의 고유치 해석결과와 비교하였으며 그 결과는 표 1과 같다. 유한요소모델의



[그림 12] 유도탄 모드 형상

동특성이 동역학 모델로 잘 변환되었음을 알 수 있다. 그림 12는 유도탄의 모드형상을 나타낸다.

4. 해석 결과 및 고찰

함정운동은 유도탄 발사시 유도탄과 탄지지대 사이의 지지과정에 영향을 주어 발사 후 유도탄 초기 안정성에 영향을 준다. 본 연구에서는 이러한 함정운동, 특히 발사대의 피치 (pitch)운동을 유발하는 함정의 롤(Roll) 운동이 발사시 유도탄과 탄지지대 사이의 지지과정에 미치는 영향을 살펴보았다. 또한 유도탄과 탄지지대 사이에 존재하는 간극을 정규 분포를 갖는 확률변수로 정의하고, 임의의 함정자세에 대한 유도탄의 초기안정성을 해석하기 위하여, 유도탄 발사 시간을 균일 분포를 갖는 확률변수로 정의하여 몬테 카를로 해석을 수행한 후 함정운동에 의한 고각별, 각속도별 유도탄 피치각속도의 분포를 통계적으로 제시하였다.

[표 1] 고유치 해석결과 비교

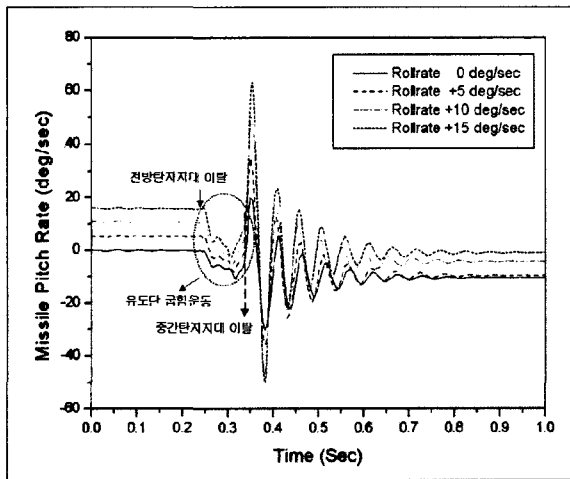
모드 번호	고유진동수 (Hz)		비 고
	FEA 모델	동역학 모델	
1	4.20	4.24	1차 굽힘 모드
2	28.90	29.19	2차 굽힘 모드
3	87.35	88.11	3차 굽힘 모드

4.1 함정 롤(Roll)운동 영향

유도탄 초기 안정성은 유도탄이 발사관 이탈 과정에서 얻은 초기 각운동량으로 표현되며, 이러한 초기 각운동량중 중력가속도 방향으로 유도탄이 발사관과의 지지과정에서 발생하는 피치(Pitch) 각속도는 유도탄이 자세 제어를 할 수 있을 때까지 유도탄 고도와 속도에 영향을 미치므로 유도탄의 초기 안정성에 많은 영향을 주는 인자이다. 함정의 좌우현 방향으로 배치된 발사대의 경우 함정의 롤(Roll) 운동이 유도탄의 중력방향으로의 지지과정에 많은 영향을 주게되므로 함정의 6자유도 운동중 롤 운동만을 고려하여 유도탄 피치 각속도에 미치는 영향을 살펴보았다.

그림 13은 발사대의 고각이 35도일 때, 고각을 증가시키는 방향으로의 함정의 롤 각속도에 따른 유도탄 피치각속도를 나타낸 것이다.

발사시 유도탄은 함정운동을 따라 운동하면서 발사관내를 이동하며, 전방탄지지대 이탈 후 중간탄지지대가 이탈 될 때까지 중간 하부 탄지지대와 후방 상부 탄지지대로 지지되는 과정에서 굽힘운동을 한다. 이러

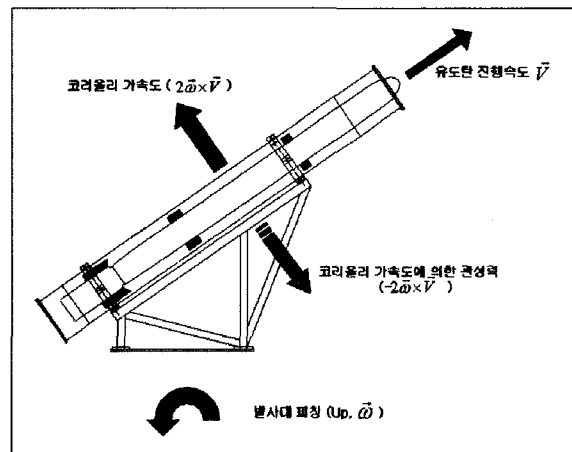


[그림 13] 함정 롤 각속도에 따른 유도탄 피치 각속도 (발사대 고각 증가)

한 굽힘운동의 진폭이 그림 13과 같이 함정의 롤 각속도가 클수록 커짐을 알 수 있으며, 이것은 그림 14와 같이 함정의 각속도와 유도탄의 직선운동으로 인한 코리올리(Coriolis) 가속도에 의한 것이다. 추력에 의한 유도탄 속도가 함정운동에 따라 일정하므로 발사대의 고각을 증가시키는 롤 각속도가 크면 클수록 코리올리 가속도가 증가하며, 이러한 코리올리 가속도에 의한 유도탄의 관성력방향은 중력 방향과 같게 된다. 따라서 유도탄의 굽힘운동의 진폭이 증가하며, 탄지지대에 작용하는 반력 또한 증가하고, 유도탄과 탄지지대 사이의 지지과정에 영향을 주게 되어, 유도탄의 피치 각속도에 영향을 미치게 된다.

그림 15, 그림 16, 그림 17, 그림 18은 각각 유도탄 발사시 함정의 롤 각속도별 탄지지대 반력을 나타낸 것이다.

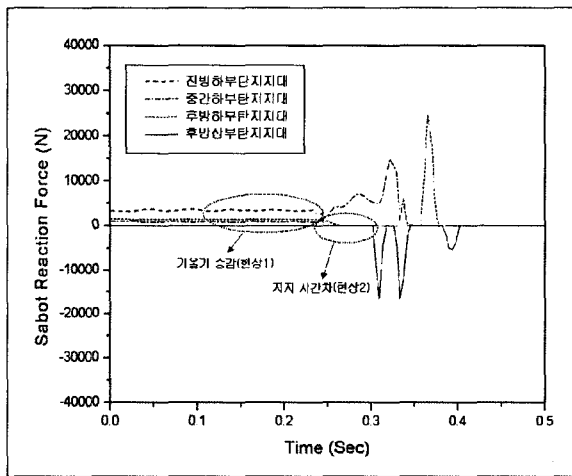
함정의 롤 각속도가 증가할수록 유도탄 발사시, 전방탄지지대 이탈 전까지 탄지지대 반력의 기울기가 증가함을 알 수 있다 (현상1). 이것은 부스터 점화 후 유도탄의 진행 속도가 증가함에 따라 코리올리 가속도가 증가하여, 탄지지대 반력이 점차 증가하고, 함정



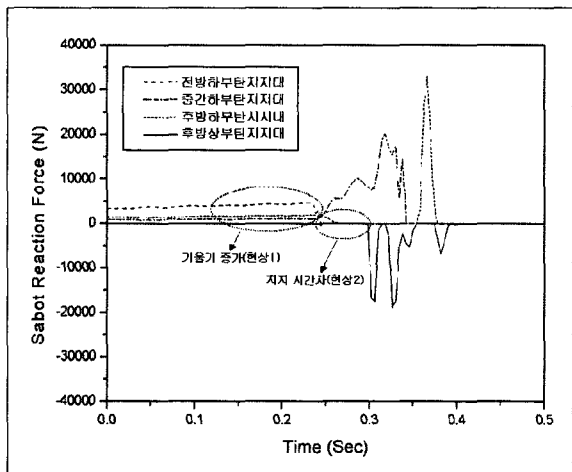
[그림 14] 코리올리 가속도 (고각 증가)

의 롤 각속도가 크면 클수록 유도탄 속도 증가에 따른 가속도 증가의 기울기가 증가하기 때문이며, 따라서 롤 각속도가 클수록 전체적인 반력이 증가한다.

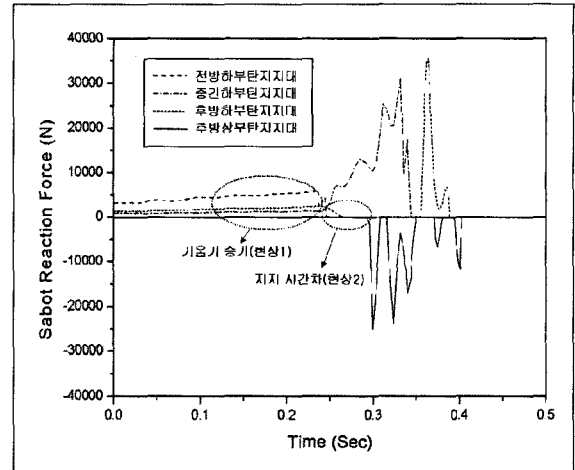
전방탄지지대 이탈 후, 유도탄은 중간하부탄지지대로 지지되고, 간극으로 인하여 후방상부탄지지대로 지지 되어질 때까지 중간하부탄지지대를 중심으로 강제 회전운동을 한다. 함정의 롤 각속도가 증가할수록 코리올리 가속도에 의한 관성력으로 인하여 중간탄지지



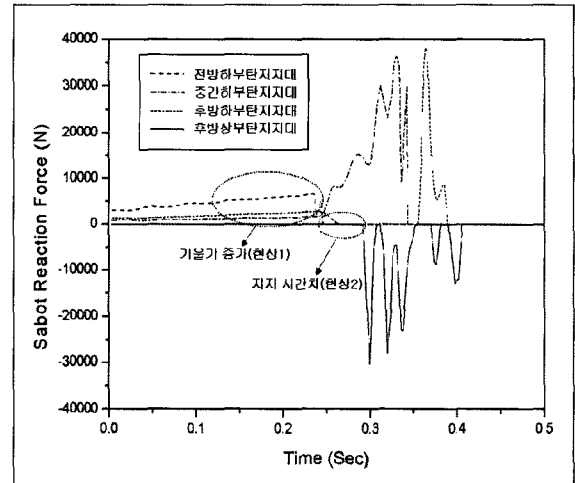
[그림 15] 탄지지대 반력(0 deg/sec)



[그림 16] 탄지지대 반력(+5 deg/sec)



[그림 17] 탄지지대 반력(+10 deg/sec)



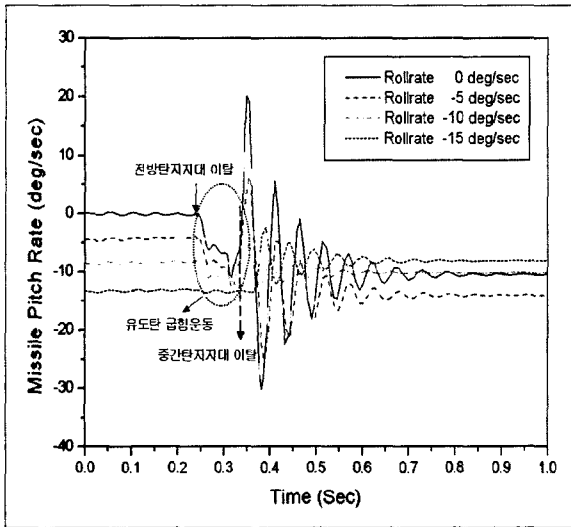
[그림 18] 탄지지대 반력(+15deg/sec)

대 지지 후 유도탄의 강제 회전 속도가 증가하며, 후방상부탄지지대로 지지될 때까지의 시간이 짧아진다 (현상 2).

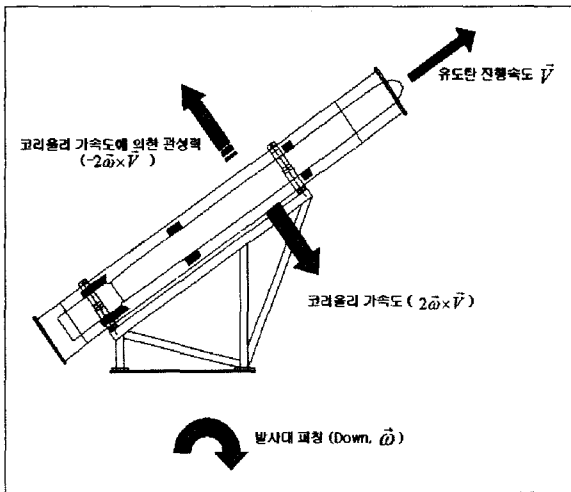
중간하부탄지지대와 후방상부탄지지대로 지지되는 과정에서 중간탄지지대 이탈 후, 유도탄은 후방하부탄 지지대로 지지되고, 간극으로 인하여 후방상부탄지지대로 지지되어질 때 까지 강제 회전운동을 하게 되고, 이 과정에서 유도탄의 피치각속도는 증가하게 된다.

그림 19는 발사대 고각이 35도 일 때, 발사대 고각을 감소시키는 방향으로의 함정의 롤 각속도별 유도탄 초기 피치각속도를 나타낸 것이다.

발사대의 고각을 감소시키는 방향으로의 롤 각속도가 증가할수록 전방탄지지대 이탈 후 유도탄 굽힘운동의 진폭이 작아짐을 알 수 있다.



[그림 19] 함정의 롤 각속도에 따른 유도탄 피치각속도 (발사대 고각 감소)

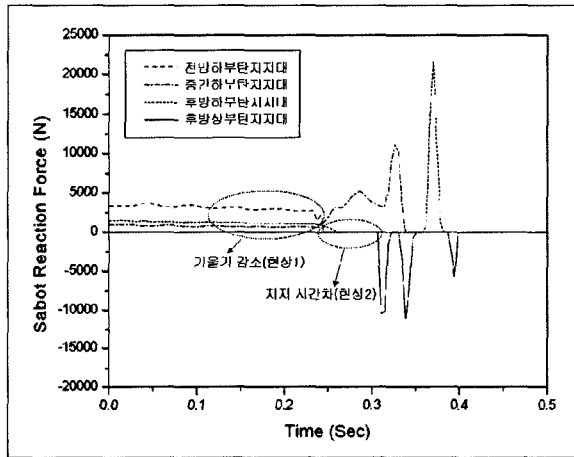


[그림 20] 코리올리 가속도 (고각 감소)

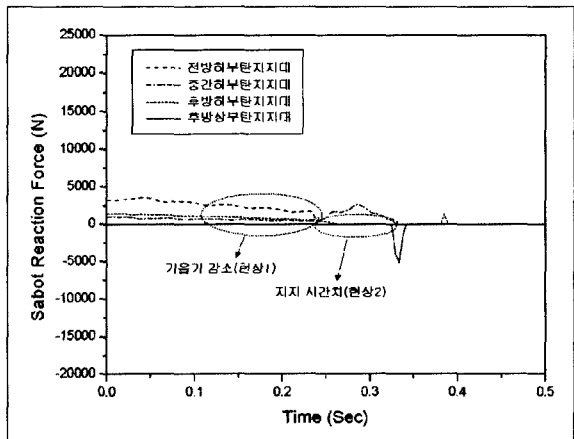
이것은 그림 20과 같이 발사대 고각이 감소하는 방향으로 함정의 롤 운동이 발생하면 코리올리 가속도에 의한 편성력 방향이 중력방향과 반대가 되어 굽힘운동을 감소시키기 때문이다.

그림 21, 그림 22, 그림 23은 함정의 롤 각속도별 탄지지대 반력을 나타낸다.

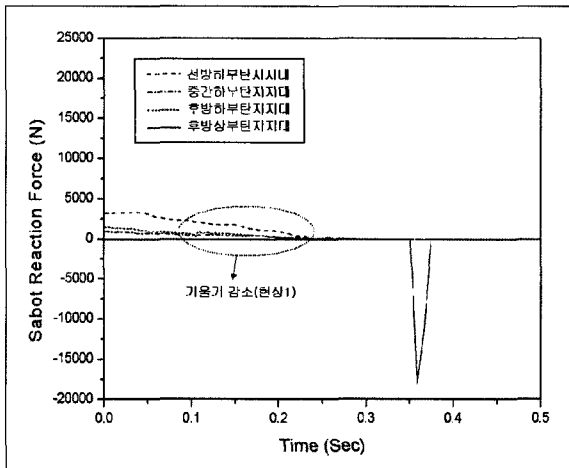
발사대의 고각을 감소시키는 방향으로 함정의 롤 각속도가 증가 할수록 코리올리 가속도에 의하여 탄지지대 반력의 감소 기울기가 증가하고(현상 1) 전체



[그림 21] 탄지지대 반력(-5 deg/sec)



[그림 22] 탄지지대 반력(-10 deg/sec)



[그림 23] 탄지지대 반력(-15 deg/sec)

적인 반력이 감소하게 된다. 또한 전방탄지지대 이탈 후 중간하부탄지지대 지지 후 후방상부탄지지대와 지지될 때까지 유도탄의 강체 회전 속도가 감소하게 되어 중간하부탄지지대 지지 후 후방상부탄지지대와 지지되어질 때까지의 시간이 증가한다(현상 2).

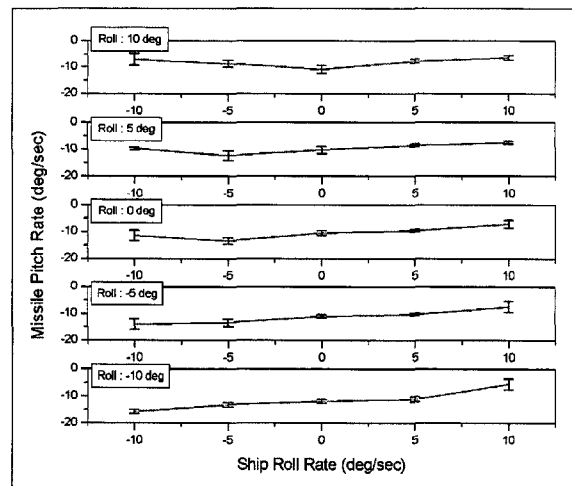
합정의 롤 각속도가 -10 deg/sec인 경우 중간하부탄지지대와 후방상부탄지지대와의 지지만 일어난 후 후방하부탄지지대와의 지지과정이 거의 없이 유도탄이 이탈하고 따라서 후방하부탄지지 과정에서 발생하는 피치 각속도의 증가 없이 합정의 롤 각속도만을 가지고 유도탄을 이탈하게 된다.

합정의 롤 각속도가 -15 deg/sec인 경우는 유도탄의 속도가 증가함에 따라 전방탄지지대 이탈 후 코리올리 가속도가 중력가속도 보다 증가하게 되어, 유도탄이 중간탄지지대와의 지지과정 없이 후방상부탄지지대와 지지 후 이탈하게 되어 합정 롤 각속도 보다 피치각속도가 감소하게 된다.

표 2는 합정의 롤 운동만을 고려하였을 때 합정의 롤 각도와 롤 각속도별 유도탄의 피치각속도의 분포를 통계적으로 구한 것으로, M과 σ 는 각각 평균과

[표 2] 유도탄 피치각속도 분포

롤 각속도	-12.5~ -7.5	-7.5~ -2.5	-2.5~ +2.5	+2.5~ +7.5	+7.5~ +12.5
+12.5~ +7.5	M: -7.04 1 σ : 2.355	M: -8.82 1 σ : 1.362	M: -10.94 1 σ : 1.398	M: -7.84 1 σ : 0.818	M: -6.48 1 σ : 0.967
+7.5~ +2.5	M: -9.70 1 σ : 0.511	M: -12.27 1 σ : 1.807	M: -10.24 1 σ : 1.300	M: -8.48 1 σ : 0.559	M: -7.48 1 σ : 0.556
+2.5~ -2.5	M: -11.44 1 σ : 1.996	M: -13.42 1 σ : 1.232	M: -10.47 1 σ : 0.863	M: -9.56 1 σ : 0.480	M: -7.16 1 σ : 1.530
-2.5~ -7.5	M: -14.01 1 σ : 1.996	M: -13.40 1 σ : 1.393	M: -10.97 1 σ : 0.590	M: -10.12 1 σ : 0.461	M: -7.49 1 σ : 2.038
-7.5~ -12.5	M: -15.78 1 σ : 0.75	M: -13.06 1 σ : 0.843	M: -11.89 1 σ : 0.721	M: -11.07 1 σ : 1.019	M: -5.42 1 σ : 2.103



[그림 24] 유도탄 피치각속도 분포

분산을 의미한다.

그림 24는 합정운동별 유도탄 피치각속도와 분포를 그래프로 나타낸 것이다.

4.2 합정 운동 및 탄지지대 간극 영향 고려 유도탄 발사시 유도탄과 탄지지대 사이의 지지과정

에 영향을 줄 수 있는 인자로는 함정운동 외에 유도탄과 탄지지대 사이의 간극이 있으며, 특히 후방탄지지대의 간극은 전방탄지지대 이탈 후 중간탄지지대와 후방탄지지대로 지지되는 과정과 중간탄지지대 이탈 후 후방 상하탄지지대로 지지되는 과정에 영향을 주어 유도탄의 피치각속도에 많은 영향을 미친다.

표 3은 전방, 중간, 후방탄지지대와 유도탄 사이에 존재할 수 있는 간극을 정리한 것이다. 본 연구에서는 전방탄지지대와 중간탄지지대의 간극은 공칭간극(Nominal Gap)으로 유지하고 후방탄지지대의 간극을 평균 1.9mm, 표준편차 0.3($3\sigma=0.9$)이 되는 정규분포로 정의하였으며, 함정운동 해석에서 얻은 결과를 이용하여 함정운동을 정의하고 함정의 임의의 자세에 대한 발사를 고려하기 위하여 유도탄 발사 시작 시간을 균일분포를 갖는 확률 분포로 정의하여 몬테카를로 해석을 수행하였다.

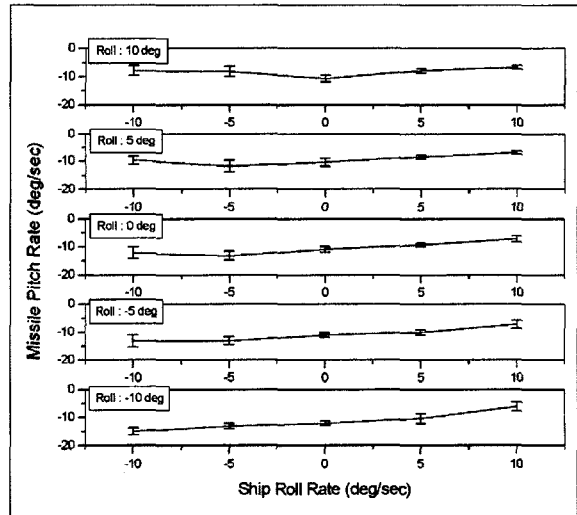
[표 3] 유도탄과 탄지지대 사이의 간극

구 분	전방 탄지지대	중간 탄지지대	후방 탄지지대
최소간극	2.0 mm	1.0 mm	1.0 mm
공칭간극	2.9 mm	1.9 mm	1.9 mm
최대간극	3.8 mm	2.8 mm	2.8 mm

표 4는 6자유도 함정운동과 후방탄지지대의 간극을 고려한 유도탄 피치각속도 해석 결과를 함정 롤 각도 및 롤 각속도별로 정리한 것이며, 그림 25는 피치각속도 분포를 그래프로 나타낸 것이다. 함정의 롤 운동만을 고려한 결과보다 전체적으로 피치각속도의 분산이 증가함을 알 수 있다.

[표 4] 유도탄 피치각속도 분포

롤 각도 \ 롤 각속도	-12.5~ -7.5	-7.5~ -2.5	-2.5~ +2.5	+2.5~ +7.5	+7.5~ +12.5
+12.5~ +7.5	M: -7.82 1σ: 1.820	M: -8.19 1σ: 1.874	M: -10.66 1σ: 1.213	M: -7.86 1σ: 0.743	M: -6.56 1σ: 0.660
+7.5~ +2.5	M: -9.68 1σ: 1.417	M: -11.67 1σ: 2.013	M: -10.36 1σ: 1.337	M: -8.57 1σ: 0.683	M: -6.85 1σ: 0.587
+2.5~ -2.5	M: -12.10 1σ: 2.106	M: -13.16 1σ: 1.576	M: -10.84 1σ: 0.929	M: -9.41 1σ: 0.671	M: -7.15 1σ: 1.052
-2.5~ -7.5	M: -13.26 1σ: 2.206	M: -13.08 1σ: 1.432	M: -11.01 1σ: 0.882	M: -10.07 1σ: 0.945	M: -7.09 1σ: 1.412
-7.5~ -12.5	M: -15.05 1σ: 1.263	M: -13.11 1σ: 0.958	M: -12.11 1σ: 0.853	M: -10.36 1σ: 1.768	M: -6.09 1σ: 1.712



[그림 25] 유도탄 피치각속도 분포

5. 맺음말

함정에서 탄지지대 방식을 이용하여 경사형으로 발사하는 유도탄의 발사초기 안정성 해석을 수행하여

함정의 운동에 따른 유도탄의 피치각속도 분포를 통계적으로 제시하였다.

경사형 발사시 발생하는 유도탄의 굽힘운동을 고려하기 위하여 유도탄의 유한요소모델로부터 8개의 집중 질량과 집중 질량을 연결하는 강성행렬을 추출하여 유도탄 모델을 구성하였으며, 발사관 내면을 타고 이동하는 탄지지대의 지지과정을 묘사하기 위하여 면 접촉 모델을 이용하였다.

함정의 6자유도 운동중 유도탄의 피치각속도에 많은 영향을 미치는 롤 운동만을 고려하여 해석한 결과, 코리올리(Coriolis) 가속도에 의하여 발사대 피칭이 아래로 향하는 함정의 롤 운동시 유도탄 지지 반력과 유도탄 굽힘운동이 작아지고, 발사대 피칭이 위로 향하는 함정의 롤 운동시 유도탄지지 반력과 유도탄 굽힘운동이 증가함을 알 수 있었다.

유도탄의 초기 안정성에 영향을 줄 수 있는 각종 인자들을 통계적으로 정의 할 수 있는 과정을 구성하여, 함정의 6자유도 운동을 모델링하고, 유도탄 발사 시간과 탄지지대와 유도탄 사이의 간극을 확률변수로 정의하여 몬테카를로 해석을 수행하였으며, 그 결과 함정 자세에 따른 피치각속도의 분포를 통계적으로 제시하였다.

참 고 문 헌

- [1] S.S, CHIN, "Missile Configuration Design" McGRAWHILL Book Company, Inc, 1961.
- [2] 이종원의, "다연장 로켓트 발사대의 동력학적 모델 개발 및 동특성 해석에 관한 연구", 한국과학기술원, 육군사관학교, 1984, 5.
- [3] 유완석의, "발사대 CAE 시스템 개발에 관한 연구", 부산대학교, 1992.
- [4] 임범수의, "발사관에서 발사되는 유도탄의 초기 거동 해석", 3차 유도무기 학술대회 논문집, 1993, 9.
- [5] 안진수의, "유도탄의 유연성을 고려한 발사초기 동역학 해석", 한국군사과학기술학회지, 제2권 제2호, 1999, 12.
- [6] M. H. Kalos, and P.A. Whitlock, Monte Carlo method, Volume I : Basics, John Wiley & Sons, Inc., 1986.
- [7] MSC/NASTRAN User's Manual, MacNeal Schwendler Corporation, USA, 1994.