

## 2D 탄도수정탄의 형상설계 연구

A Study on Configuration Design of the 2D Course Correction Munition

**김 기 표\***  
Kim, Ki-Pyo

**정 명 지\***  
Chung, Myung-Jee

**홍 종 태\***  
Hong, Jong-Tai

### ABSTRACT

There are some ways to improve precision of conventional munitions by low-cost method. 2D Course Correction Munition(CCM) is one of those ways, which is a 155mm projectile integrated with 2D Guidance Fuze(GF) instead of conventional fuze. 2D GF can correct the projectile trajectory and minimize range and deflection errors from its aimpoint using canard control. In this paper 2D CCM system concept is introduced and its course correction capability is analyzed using PRODAS.

주요기술용어(주제어) : 2D(사거리와 편위), 2D GF(2D 탄도수정신관), 2D CCM(2D 탄도수정탄), Aimpoint(목표 탄착지), Trajectory or Course(비행탄도), PRODAS(PROjectile Design and Analysis System)

### 1. 머리말

미국을 비롯한 군사 선진국의 화력지원체계 발전추세는 기존의 근접작전에서 적지 중심작전을 수행을 위한 화력지원, 전장 상황 공유 및 가시화로 실시간 화력지원, 네트워크 기반의 공세적 동시 통합 전투 수행 그리고 첨단 IT 기술의 적용으로 요약할 수 있다. 국내의 경우 지상전 화력지원체계의 80%를 차지하고 있는 야포 탄약체계는 첨단 전자기술의 적용으로 정밀화, 장사정화, 고위력화의 필요성이 대두되고 있는 상황이다.

1990년 미국의 걸프전에서 대량의 포병사격으로 전장의 주도권을 잡은 반면, 2001년 이라크전에서는 첨단 포병 탄약을 사용한 중심 공격을 통해 핵심 표적

을 무력화시킴으로써 효율적으로 임무를 수행할 수 있었다.

국내 포병탄약의 경우, 1970년대 개발 및 생산, 수량 확보 중심에서 2000년대 효과중심의 탄약 개발 및 운용으로 탄약 지능화 연구개발의 필요성이 부각되고 있으며, 미래 작전환경 변화에 따른 화력운용 개념의 재정립이 요구되고 있는 실정이다<sup>[1]</sup>.

선진국에서 개발 중이거나 양산중인 대표적인 지능포탄으로는 그 운용 개념에 따라 센서감응형 지능탄(Sensor Fuzed Munition), 1D/2D 탄도수정탄(Course Correction Munition), 그리고 정밀유도포탄(PGM : Precision Guided Munition) 등으로 분류할 수 있다<sup>[2]</sup>.

여기서 1D/2D 탄도수정탄은 현용탄에 탄도수정신관을 결합하여 탄착지의 사거리와 편위에 대한 편차를 최소화한 것으로, 탄약의 사거리 연장에 따른 탄약의 정확성을 보정해줄 수 있다. 기존 표준 신관 내부공간에 GPS/IMU(Global Positioning System/

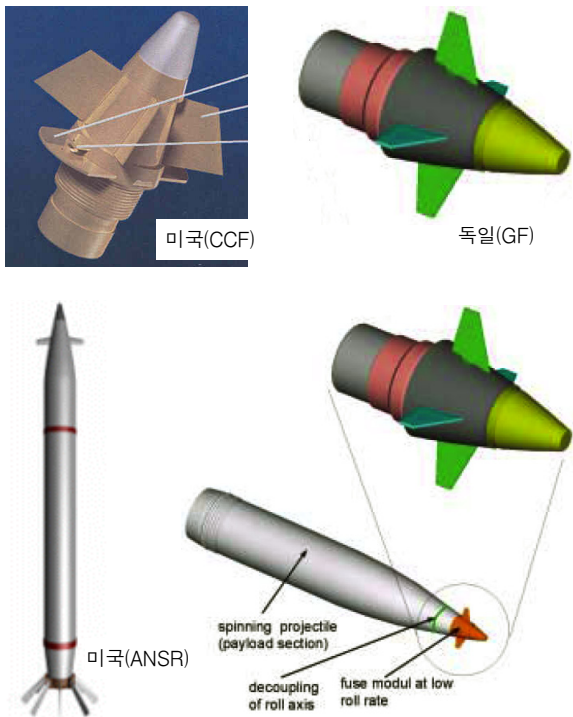
† 2008년 6월 16일 접수~2008년 8월 1일 게재승인  
\* 국방과학연구소(ADD) 제4기술연구본부 3부 4그룹  
주저자 이메일 : kipy01871@hanmail.net

Inertial Measurement Unit), 탄도조종날개 및 구동장치 등의 첨단 전자 구성품이 설계 및 탑재되어야 한다는 점에서 개발 측면에서 어려움이 예상되나, 현용탄을 활용할 수 있다는 점에서 운용비용 측면에서는 유리하다. 따라서 개발 기술의 축적을 위해서는 관련 핵심기술에 대한 연구개발이 선행되어야 할 것이다.

본 논문에서는 2D 탄도수정탄의 형상설계와 탄도수정 능력을 예측하기 위하여, 2D 탄도수정신관을 모델링을 하고, 155mm M4xx 현용탄에 적용하여 탄도시뮬레이션 및 그 결과를 분석하였다.

## 2. 2D 탄도수정 신관

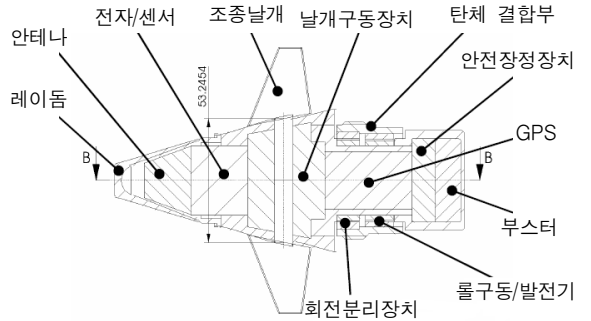
그림 1은 미국의 2D GIF(Guidance Integrated Fuze)와 독일의 2D GF(Guidance Fuze) 탄도수정신관이며, ANSR(Autonomous Naval Support Round)은 미해군의 5inch 2D 탄도수정탄을 나타내고 있다<sup>[2]</sup>.



[그림 1] 주요 2D 탄도수정신관

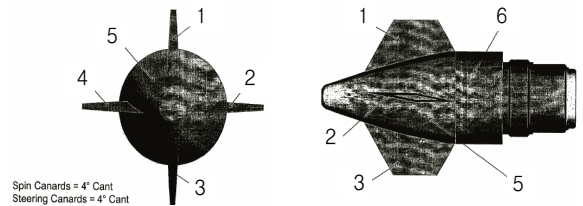
2D GF는 최고 150~300Hz로 회전하는 회전안정탄이나 최저 2~50Hz로 회전하는 회전꼬리 날개안정탄(rolling airframe tail-fin stabilized projectile)에 적용되어 사거리(range)와 편위(deflection) 방향으로 탄도수정(course correction)이 이루어진다.

2D 탄도수정신관은 그림 2와 같이 GPS 수신장치, 관성/자계 센서, 회전분리장치(roll decoupling bearing unit), 롤 구동장치/발전기(roll actuation/generator), 탄도조종날개(canards) 등의 주요 구성품으로 이루어져 있다<sup>[3]</sup>. 회전분리장치는 신관의 탄체 조립 나사 부위(그림 3의 6번)와 탄도조종날개 부위(그림 3의 5번)를 베어링으로 체결함으로써 신관과 탄체의 회전운동을 분리시키는 기능을 한다.



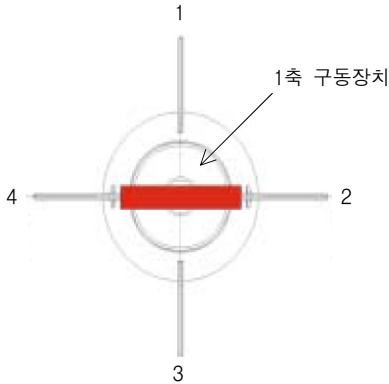
[그림 2] 2D 탄도수정 신관의 주요 구성품

그림 3에서 2D GF는 1~4번의 탄도조종날개(canard)들이 90도 간격으로 4개 부착되어 있으며, 1, 3번 날개는 각각 반대 방향으로 경사각(cant angle)이 있는 회전날개(spinning canards)이며 날개의 크기와 경사각은 신관의 회전 모멘트가 베어링의 마찰력보다 크도록 설계되어 회전안정탄(spin stabilized munition)의 비행 전구간에 대하여 탄도수정 신관의 롤 각도 제어가 가능하도록 설계된다<sup>[4]</sup>.



[그림 3] 2D GF

그리고 2, 4번 날개는 그림 4와 같이 경사각이 같은 방향이거나 1축(one axis) 구동장치가 연결되어 탄체에 양력을 부여하도록 설계되어진 탄도조종 날개(steering canards)이다.



[그림 4] 2D GF의 조종날개 구동축(정면도)

롤 구동장치는 신관의 롤 자세 제어를 기능을 담당하며, 동시에 발사초기 신관의 회전날개의 공력에 의한 탄체와 신관의 상대적 역회전을 이용하여 발전기의 충전 기능을 수행한다. 이는 신관내 구동장치의 전원공급을 위해 전지 대신 발전기를 적용함으로써 설계 공간을 효율적으로 사용하게 해 준다.

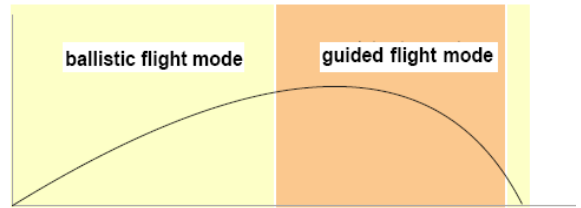
2D 탄도수정탄의 비행 구간은 탄도비행 구간(ballistic flight phase), 탄도수정 구간(guided flight phase), 종말탄도 구간(terminal flight phase)의 3 구간으로 나눌 수 있다.

탄도비행 구간에서는 신관의 탄체에 대한 상대적인 역회전 운동을 이용하여 발전기가 충전되고, 동시에 탄체의 회전이 감소하게 된다.

탄체가 일정한 회전속도로 안정화되면, 탄도수정 구간으로 전환된다. GPS 수신 장치로부터의 탄체의 실시간 탄도 자료와 사표 상의 탄도 자료로부터 계산되어진 사거리와 편위의 오차정보를 획득하게 되고, 탄도수정 알고리즘에 의해 신관의 롤 각(roll angle)과 탄도조종날개(canard)의 각도 제어를 통한 탄도수정 과정이 시작된다. 탄도수정 방식은 뱅크투턴(bank-to-turn)의 방식과 유사하다고 할 수 있다.

종말탄도 구간에서는 탄착지에서의 탄두 기폭 및

자탄 방출이 이루어지며, GPS 수신 링크가 끊어질 경우 탄도비행을 재개하게 된다. 단, 본 논문에서는 종말탄도에서의 탄도유도조종에 관한 선행 연구 단계로서 탄도조종날개의 각도변화에 대한 탄도수정 성능을 PRODAS를 이용하여 분석할 것이다.

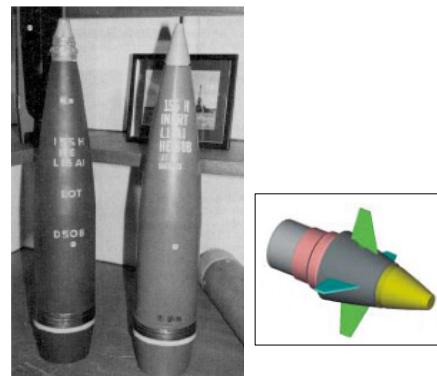


[그림 5] 2D 탄도수정탄의 비행구간

### 3. 2D 탄도수정탄의 형상설계

2D 탄도수정탄의 형상설계는 미국 Arrow Tech사에서 개발되어진 PRODAS 프로그램을 사용하였다. PRODAS 프로그램은 탄약의 형상설계와 강내/강외 탄도 분석용 프로그램이다.

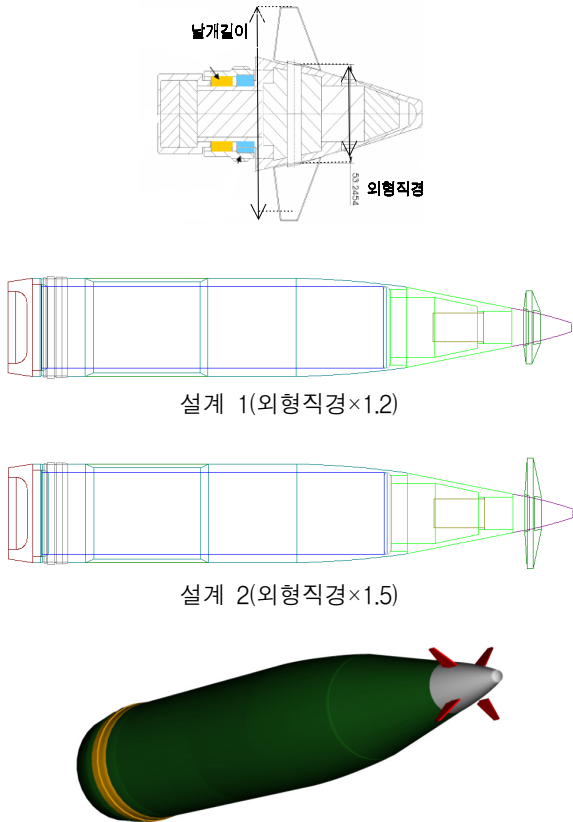
M4xx 155밀리 야포탄의 신관을 2D GF로 대체하였다. 아래 그림 6은 야포탄과 2D GF를 나타내고 있으며, 그림 7은 PRODAS의 2D 탄도수정탄의 형상설계 결과를 나타내고 있다.



[그림 6] 155밀리 야포탄(좌), 2D 탄도수정신관(우)

2D GF의 탄도조종날개의 형상은 독일 Diehl사의 기술용역 결과 보고서<sup>[3]</sup>를 기본 모델로 하였다. 각 날

개의 면적은 약  $6\text{cm}^2$ 로서 비교적 작으며 형상 설계 변수 중 공력에 미치는 영향력이 제일 클 것으로 예상되는 날개의 길이(fin span)를 설계 변수로 설정하였다. 그림 7과 같이 외형 직경의 1.2배와 1.5배로 두 가지 설계안에 대하여 고려하였다.



[그림 7] 2D 탄도수정탄의 PRODAS 모델링

#### 4. 탄도 시뮬레이션 및 결과 분석

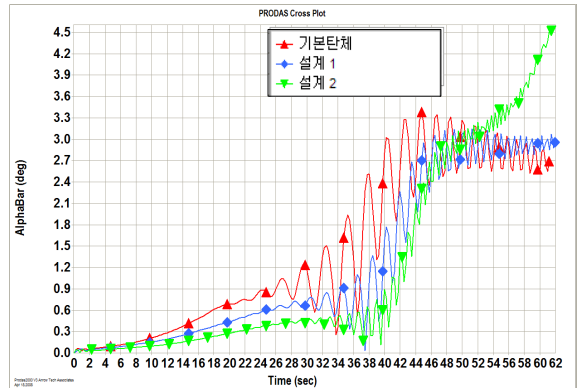
##### 가. 안정성 분석(stability analysis)

2D GF의 날개면적은 모탄의 비행 안정성이 보장되는 범위에서 최대화할 수 있다. 날개면적의 최대화는 공력의 증가를 통한 탄도수정 성능과 관계되며 수정거리 값(magnitude)이 클수록, 받음각의 변화에 따른 진동 감쇄력(damping)이 클수록 탄도수정 성능이 우수하다고 할 수 있다.

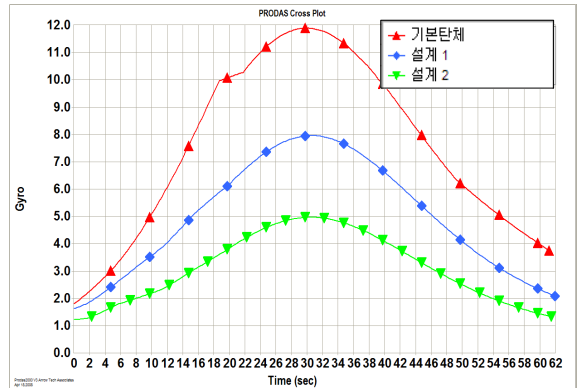
그림 8과 9는 탄도수정탄의 비행 안정성을 평가하기 위해 기존의 신관이 체결된 기본 탄체(base projectile)와 2D CCM의 개념을 적용한 설계 1과 2(그림 7)에 대하여 비행 시간에 대한 받음각과 회전안정성<sup>[5]</sup>(gyroscopic stability factor)을 비교 하였다.

설계 1은 기본탄체와 받음각이 종말단계에서 약 3도 안팎으로 그 크기가 같으며, 비행 전 구간에 대하여 기본 탄체와 유사한 변화 경향을 보인다. 그러나 설계 2의 경우는 받음각의 크기가 약 46초에서부터 계속 증가함을 알 수 있다.

회전안정성의 비교에서도 그 값이 1.0 보다 클수록 안정함을 나타내지만<sup>[5]</sup>, 설계 2의 경우 종말단계에서 거의 1.0에 근접하여 비행 중 탄도조종날개의 각도 변화 및 비행 환경적 요인에 대비한 비행 안정성의 여유가 없음을 알 수 있다.



[그림 8] 시간-받음각

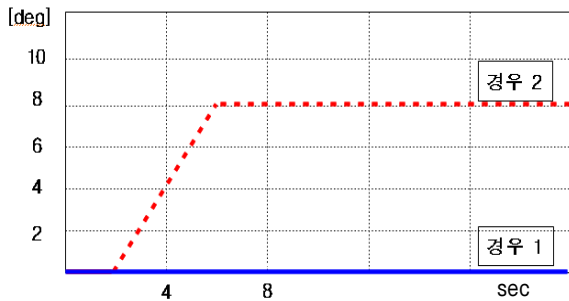


[그림 9] 시간-회전 안정성(gyro)

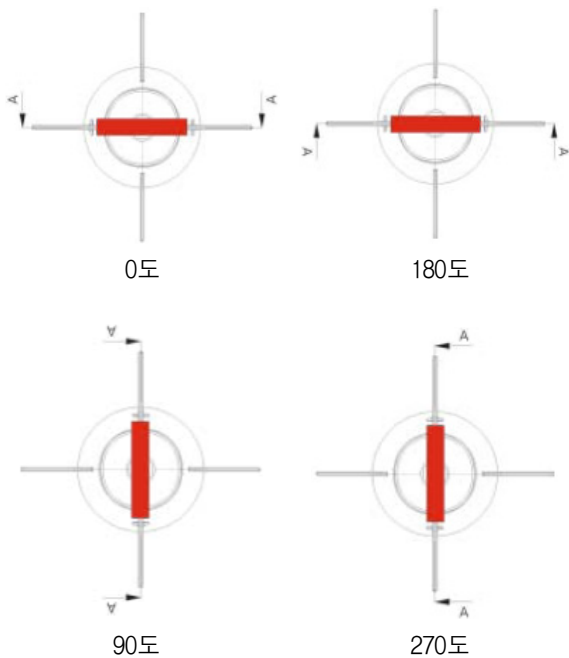
나. 탄도수정 성능 시뮬레이션

2D 탄도수정탄의 비교적 안정적인 비행자세를 보이는 설계 1을 대상으로, 탄도조종날개의 제어 및 탄도수정 성능(controllability and course correction capability)을 분석하기 위한 시뮬레이션을 수행하였다.

초기 발사 고각(firing elevation angle)는 45도, 포구속도(muzzle velocity)는 650m/s 이다. 탄도조종 날개의 각도(canard deflection angle)는 다음과 같이 2가지 경우로 설정하고, 2D GF의 회전각(roll angle)의 변화에 대하여 정의하였다.



[그림 10-1] 탄도조종날개 각도 변화

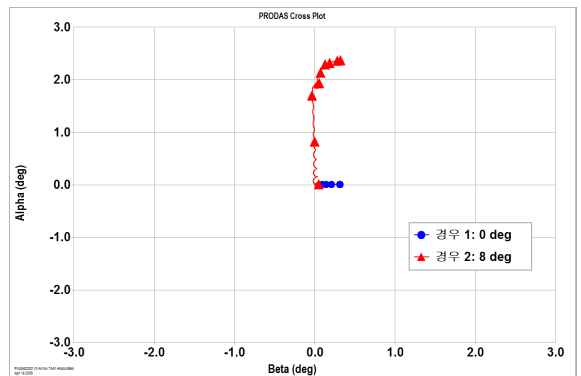


[그림 10-2] 2D GF(정면도)의 회전각도 변화

- 경우 1 : 탄도조종 날개의 각도가 비행전구간에 대하여 0도로 유지한 경우
- 경우 2 : 탄도조종 날개의 각도를 발사 후 2초에서 6초사이에 0도에서 8도까지 증가시킨 경우(그림 10-1)
- 모탄의 받음각 및 옆미끄럼각의 변화는 2D GF의 회전각(roll angle)의 변화로 가능하다.
- 회전각에 따라 탄체에 미치는 힘의 방향(그림 10-2)
  - (1) 0도 : 아랫방향
  - (2) 180도 : 윗방향
  - (3) 90도 : 왼쪽방향
  - (4) 270도 : 오른쪽 방향

그림 11에서 20은 위의 2가지 경우의 날개 각도 변화와 신관의 회전각에 대한 탄체의 받음각(alpha)와 옆미끄럼각(beta) 및 사거리와 편위에 대한 시뮬레이션 결과이다.

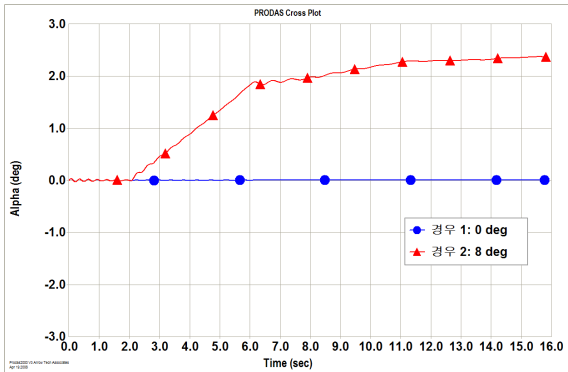
경우 1은 받음각이 약 0.0도, 옆미끄럼각이 약 0.3도이며, 경우 2는 받음각이 약 2.4도, 옆미끄럼각이 약 0.3도이다.



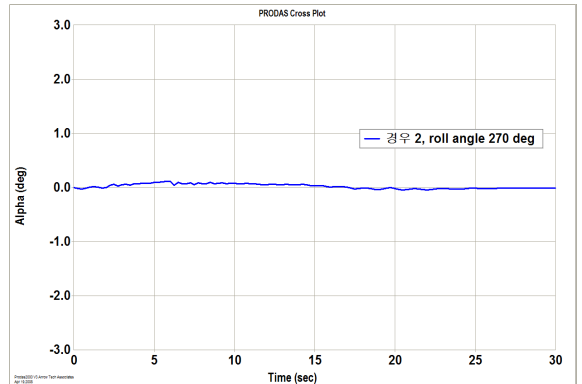
[그림 11] 받음각과 옆미끄럼각(회전각 0도)

두 경우 모두 옆미끄럼각은 동일하나, 경우 2의 경우 탄도조종 날개의 각도 변화로 인해 모탄의 받음각이 2.4도 증가하였음을 알 수 있다.

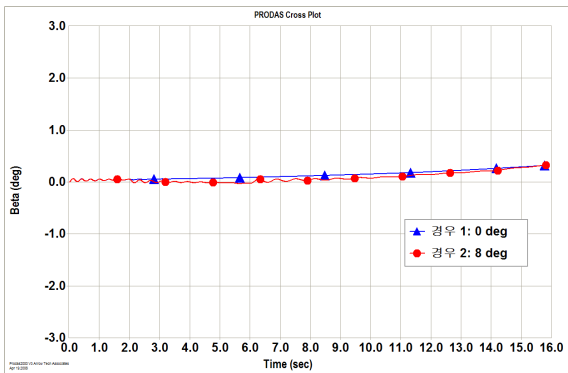
모탄의 받음각은 발사 후 증가하여 약 8초부터 2.4도를 유지하였고(그림 12), 옆미끄럼각은 종말탄도에서 약 0.3도 증가하였음을 알 수 있다.(그림 13)



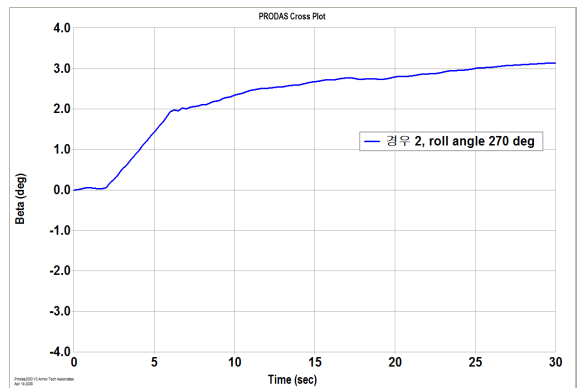
[그림 12] 받음각과 비행시간(회전각 0도)



[그림 15] 받음각과 비행시간(회전각 270도)



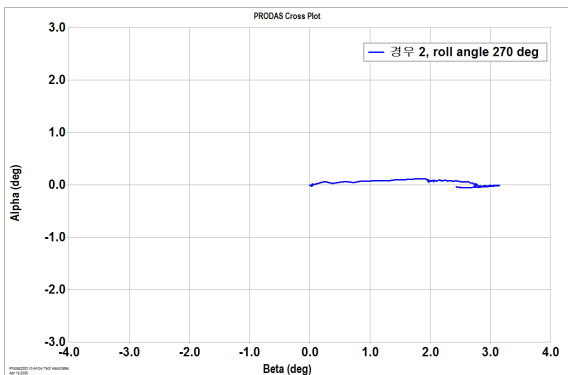
[그림 13] 옆미끄럼각과 비행시간(회전각 0도)



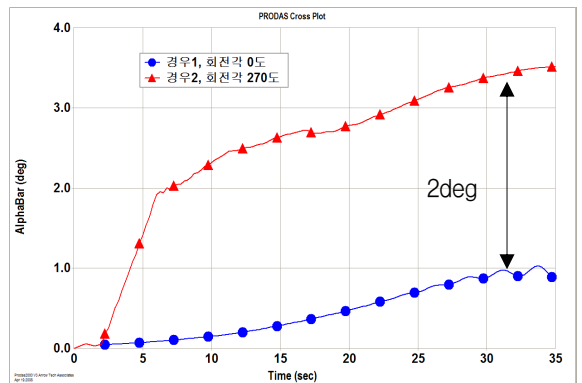
[그림 16] 옆미끄럼각과 비행시간(회전각 270도)

2D GF의 회전각이 270도이고, 탄도조종날개는 경우 2와 동일하게 하였을 때, 옆미끄럼각이 오른쪽 방향으로 최대 약 3.1도 증가하였으며, 받음각은 거의 0도를 유지함을 알 수 있다.(그림 14, 15, 16)

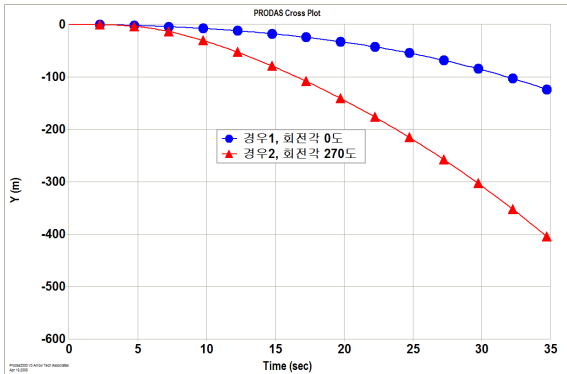
편위의 변화는 그림 18과 같이 옆미끄럼각이 경우 1보다 약 2도 증가(그림 17)함에 따라 편위가 약 300m 증가하였다.



[그림 14] 받음각과 옆미끄럼각(회전각 270도)

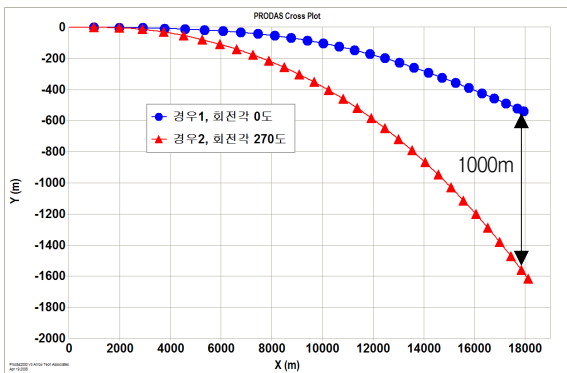


[그림 17] 옆미끄럼각과 비행시간(회전각 270도)



[그림 18] 비행탄도(Time-Y)(회전각 270도)

M4xx 탄약은 동일 조건(45도, 650m/s)에서 최대 사거리는 약 18km이고, 비행시간은 약 70초이며, 탄도조종날개의 각도(canard deflection angle) 변화에 따른 비행탄도 수정 거리는 비행거리가 길수록 증가한다. 최대 사거리 약 18km 지점에서는 그 편위가 최대 1,000m 증가하였음을 확인할 수 있다.(그림 19)



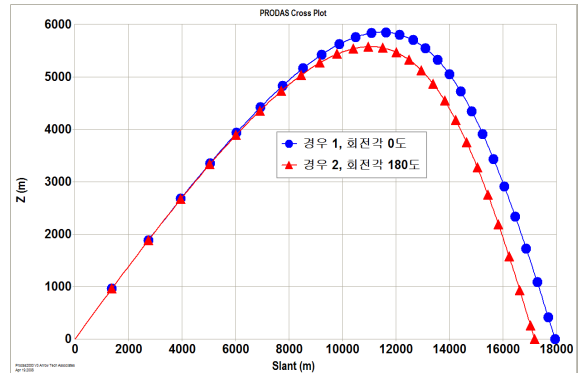
[그림 19] 비행탄도(Time-Y)(회전각 270도)

2D GF의 회전각이 180도일 경우, 받음각이 감소함에 따라 사거리가 약 700m 감소하였다.(그림 20)

위의 시뮬레이션 결과, 현용 M4XX 야포탄에 2D 탄도수정개념을 적용하였을 때 PRODAS 모델과 시뮬레이션을 통하여 그 탄도수정 성능을 예측할 수 있었다. 탄도조종날개의 각도변화로 인해 사거리 방향으로는 약 700m, 편위 방향으로는 약 1,000m의 탄도수정 성능을 확인하였다. 이는 기존 야포탄의 분산도가 최대사거리에서 원형공산오차 200~300m 임을 고

려할 때, 2D GF의 탄도수정성능이 충분한 것으로 판단된다.

또한, 2D 탄도수정신관의 회전각에 따라서 사거리 및 편위 방향으로의 탄도수정 방향 전환이 가능하고, 그 크기는 탄도조종날개(canard)의 각도 변화에 비례함을 알 수 있었다.



[그림 20] 비행탄도(slant-Z)(회전각 180도)

### 5. 맺음말

155mm M4xx 현용 야포탄에 2D GF를 적용한 2D 탄도수정탄의 형상설계를 위한 모델링 및 시뮬레이션을 수행하였으며, 그 탄도 시뮬레이션 결과로부터 사거리 및 편위 방향의 탄도수정 성능과 그 적용성을 확인할 수 있었다.

2D GF의 GPS/IMU는 발사 후 탄약의 실시간 비행 위치 확인을 가능하게 하여, 표적지와 탄착지의 위치 오차를 확인할 수 있다. 추후 실시간 비행 위치 피드백(feedback) 개념을 적용한 2D 탄도수정탄의 Closed Loop Systems에 대한 연구가 보완되어야 할 것이다.

### 참 고 문 헌

[1] 육군 포병학교, “포병전투발전세미나”, 2007.  
 [2] 홍종태, 정명지, 김기표, “1D 및 2D 탄도수정탄약의 발전추세” 제15회 지상무기체계 발전세미나, 2007.

- [3] K. Bar, "Pre-Feasibility Study for Korean Artillery Smart Munition", Diehl, ADD, 2004.
- [4] Jone A. Clancy, Tomas D. Bybee, William A Friedrich, "Fixed Canard 2-D Guidance of Artillery Projectiles", United States Patent, US 6,981,672 B2, 2006.
- [5] Mcshare, Kelly and Reno, "Exterior Ballistics", University of Denver Press, 1953.