



Received: 2026/07/21
Revised: 2026/07/31
Accepted: 2026/08/27
Published: 2026/09/30

***Corresponding Author:**

Chun-Hwan Kim

7th Floor, Building A, Pine Avenue, 100, Eulji-ro,
Jung-gu, Seoul, Republic of Korea

Tel: +82-2-729-3030

Fax: +82-2-729-4800

E-mail: chonhwan.kim@hanwha.com

Abstract

본 연구에서는 대공 교전 및 사격 시 함정에 설치된 다수의 광학 센서를 활용하여 사격 명중률을 향상시키는 방법을 제안한다. 영상 센서로부터 획득한 다수의 2차원 영상 기반 탄 궤적 정보의 교차점을 분석하여 탄착 오차를 정량화하고, 이를 바탕으로 탄착 수정을 적용함으로써 향상된 사격 성능을 확보하고자 한다.

This study proposes a method for improving firing accuracy during anti-aircraft engagements and firing operations by utilizing multiple optical sensors installed on a vessel. By analyzing the intersection of projectile trajectory information derived from multiple 2D images acquired from image sensors, the impact error is quantified. Based on this, impact error correction is applied to enhance firing performance.

Keywords

고정밀(High-Precision),
탄착 오차(Miss Distance Error),
다중 영상(Multiple Images),
투영 경로(Projection Trajectories),
탄착 수정(Fire Correction)

Acknowledgement

이 논문은 2026년도 한국해군과학기술학회
하계학술대회 발표 논문임

다중 영상 기반 탄 궤적 투영 경로의 교차점 분석을 통한 고정밀 탄착 오차 측정 기법

High-Precision Miss Distance Measurement Technique Through Intersection Analysis of Projection Trajectories Based on Multiple Images

김천환^{1*}, 홍윤석², 김영산¹

¹한화시스템 해양연구소 수석연구원

²한화시스템 해양연구소 연구소장

Chun-Hwan Kim^{1*}, Yun-Seok Hong², Young-San Kim¹

¹Chief engineer, Naval R&D Center, Hanwha Systems Co., Ltd.

²R&D Center leader, Naval R&D Center, Hanwha Systems Co., Ltd.

1. 서론

해양 전투체계에서 함포 사격의 정확도는 해상 작전 수행 능력을 결정짓는 핵심 요소이다. 이에 따라 사격 정확도를 극대화하기 위해 사격 전 센서 및 무장 배열, 센서-무장 배열, 그리고 전투 전 교정(PAC: Pre-action calibration) 등 다양한 사전 절차를 수행한다[1]. 그럼에도 불구하고 실제 사격 시에는 다양한 환경적·기계적 요인으로 인해 오차가 발생하며, 이를 보정하여 명중률을 높이는 ‘탄착 수정’ 과정이 필수적이다.

탄착 수정을 위해서는 탄과 표적 간의 이격 거리를 정확히 측정해야 하며, 전통적으로는 MDI(miss distance indicator) 방식과 레이더 기반 제측 방식이 널리 사용되어 왔다. MDI는 구조가 단순하고 결과 해석이 직관적이라는 장점이 있으나, 측정 범위와 설치 조건에 제약이 있다. 반면, 레이더 방식은 설치 제약 없이 탄의 궤적을 추적할 수 있지만, 시스템 구축 비용이 높고 운용 환경에 따라 성능 저하가 발생할 수 있다는 한계가 있다[2-4].

최근에는 영상 처리 기술과 센서 성능의 비약적인 발전으로 다중 카메라를 활용한 탄착 오차 측정 기법이 주목받고 있다. 다중 카메라 시스템은 서로 다른 위치에서 획득한 영상을 기반으로 삼각

측량(triangulation)을 수행함으로써 탄의 위치를 고정밀로 추정할 수 있으며, 상대적으로 저비용으로 구성이 가능하고 다양한 환경에 유연하게 적용할 수 있다는 이점이 있다. 특히, 고속 카메라와 정밀 시간 동기화 기술을 결합하면 탄의 비행 경로 및 탄착 지점을 실시간에 가깝게 분석할 수 있어, 사격 통제 시스템과의 연동 효율성 또한 높다[5].

그러나 다중 카메라 기반 측정 방식은 카메라의 기하학적 배치, 시야각(FOV: Field of view), 표적 거리, 동기화 오차 및 영상 처리 알고리즘의 정밀도에 따라 측정 정확도가 크게 좌우된다는 한계가 존재한다.

이에 본 논문에서는 기존 함정 전투체계에 장착된 광학 추적장비를 활용하여 간편하게 적용 가능한 탄착 오차 측정 및 보정 기법을 제안하고, 카메라 배치 및 시스템 구성에 따른 오차 특성을 수학적으로 분석한다. 또한, 실제 사격 환경을 모사한 시뮬레이션과 실험을 통해 제안 기법의 유효성을 검증하며, 기존 측정 방식과의 성능 비교 분석을 통해 실질적인 적용 가능성을 평가하고자 한다.

2. 탄착 오차 측정

탄착 오차 측정 방식은 측정 원리에 따라 크게 음파 이용 방식, 레이더 이용 방식, 그리고 영상(카메라) 이용 방식의 세 가지로 분류할 수 있다.

2.1 음파 기반 탄착 오차 측정

음파 이용 방식은 주로 MDI(miss distance indicator)에서 채택하는 기법으로, 탄이 MDI 주변을 통과할 때 발생하는 충격파를 감지하여 이격 거리를 측정한다. 한국 해군에서 운용하는 대표적인 방식은 Fig. 1과 같이 카라반을 이용하여 MDI가 장착된 슬리브 표적을 견인하고, 이를 대상으로 함포 사격을 수행하는 형태이다. MDI가 탄의 위치를 측정하면 해당 이격 거리 정보는 송신기를 통해 무선으로 전송되어 수신기에 기록된다. 이러한 방식은 측정 센서가 표적에 직접 장착되어야 하므로, 주로 함정 전투체계의 시험 평가 및 성능 검증 단계에서 활용되며, 실제 교전 상황에 적용하기에는 한계가 있다. 또한, MDI는 충격파의 특성을 이용하므로 탄의 속도, 크기 및 비행 방향에 따라 측정값에 영향을 받을 수 있다.

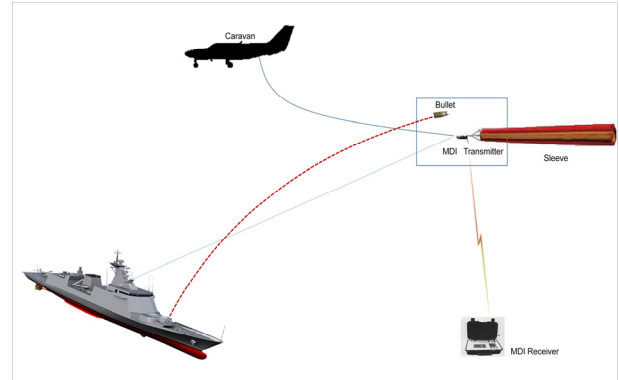


Fig. 1. Measurement of bullet miss distance using MDI

Table 1. Maximum detection range of the MDI[6]

CALIBRE (mm unless indicated)	MAXIMUM DETECTION RANGE (Metres)	ON SCREEN HIT BOUNDARY (Metres)
7.62	6	6
12.7(1/2", 0.5")	8	4
20	16	4
25	17	4
30	19	4
35	23	4
40	30	4
57	42	8
76	57	8
5'(127 mm)	100	16
Rapier	68	8
RES 70	49	8

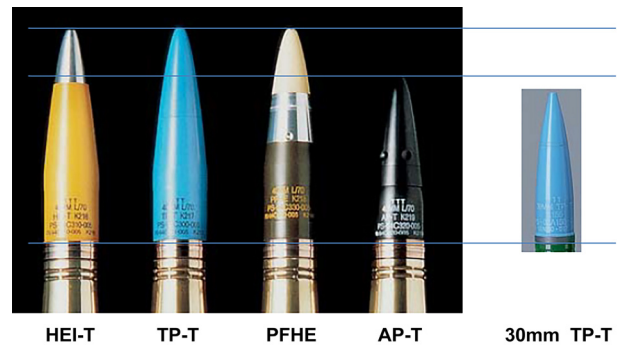


Fig. 2. Shapes of 40/30 mm ammunition[7]

Table 1은 탄 구경에 따른 acoustic miss distance indicator의 최대 획득 거리를 나타낸 것이다[6]. 분석 결과, 탄의 구경(calibre)이 클수록 최대 획득 거리가 증가하는 경향을 보이는데, 이는 구경이 클수록 발생하는 충격파의 강도가 강해지기 때문이다. 이는 동일한 이격 거리라 하더라도 탄종(구경)에 따라 측정

결과가 상이하게 나타날 수 있음을 시사한다.

Fig. 2는 40 mm 및 30 mm 함포에 사용되는 탄두의 형상을 보여준다[7]. 좌측부터 40 mm 함포용 HEI-T, TP-T, PFHE, AP-T이며, 마지막은 30 mm TP-T 탄이다. 특히 40 mm 함포용 AP-T 탄은 타 탄종에 비해 탄두 크기가 상당히 작으며, 이는 30 mm 함포용 TP-T 탄과 유사한 수준이다. 따라서 MDI 설정값을 40 mm로 고정한 상태에서 사격을 수행할 경우, 40 mm 함포용 AP-T 탄은 동일한 경로를 통과하더라도 타 탄종과는 다른 측정값을 획득할 것으로 예측된다.

또한, 탄은 비행 중 공기 저항으로 인해 속도가 지속적으로 감소한다. 이러한 탄속의 변화는 측정되는 음파의 강도에 영향을 미치며, 결과적으로 사격 거리에 따라 측정 정확도가 변동될 수 있는 요인이 된다.

2.2 레이더 기반 탄착 오차 측정

레이더를 이용한 측정 방식은 일반적인 표적 추적 원리와 유사하다. MFR(multi-function radar)의 경우 표적 추적용 빔과 탄 추적용 빔을 분리하여 운용함으로써 각각의 데이터를 비교해 이격 거리를 산출한다. 반면, 단일 빔을 사용하는 일반 추적 레이더는 탄이 표적 인근에 도달하는 시점에 표적 추적 빔을 일시적으로 탄 추적에 전환하는 방식을 사용한다. 그러나 탄은 표적에 비해 크기가 매우 작고 RCS(radar cross section)가 낮아 정밀한 추적이 어렵다. 일반적으로 대구경 탄은 원거리에서도 추적이 가능하나, 소구경 탄은 근거리에서만 추적이 가능하며, 이마저도 레이더에 탄의 예측 경로 및 발사 시점에 대한 정확한 정보가 제공되어야 한다는 제약이 있다.

2.3 영상 기반 탄착 오차 측정

영상 이용 방식은 TV 또는 IR 카메라로 획득한 영상 내에서 탄과 표적 간의 거리를 측정하는 기법이다. 카메라 영상은 2차원 평면 정보이므로, 3차원 위치 데이터를 산출하기 위해서는 LRF(laser range finder)를 병행 사용하거나 두 대 이상의 카메라를 활용한 삼각측량법(triangulation)을 적용해야 한다. LRF를 사용하는 경우, 단일 빔 레이더와 마찬가지로 표적 추적을 일시 중단하고 탄 추적을 수행해야 하므

로 표적 추적의 연속성이 저해된다.

두 대의 카메라를 이용한 삼각측량 방식의 경우, 정밀한 위치 산출을 위해 영상 간의 엄격한 시간 동기화가 필수적이다. 동기화 오차가 발생할 경우, 고속으로 이동하는 탄의 특성상 완전히 잘못된 3차원 좌표가 산출될 위험이 크다. 현재 함정에 탑재된 광학 장비들은 기본적인 시간 동기는 이루어지고 있으나, 장비별 하드웨어 특성 및 데이터 처리 지연 시간(delay)이 상이하여 완벽한 영상 동기화를 구현하는 데 어려움이 있다.

3. 탄의 이동 경로 분석을 통한 고정밀 오차 측정 기법

본 절에서는 기존의 삼각측량 방식 대신, 서로 다른 카메라에서 측정된 탄의 이동 경로를 분석하여 두 경로의 교차점을 도출함으로써 탄착 오차를 측정하는 고정밀 방식을 제안한다. 제안하는 방식은 광학 장비 간의 정밀한 시간/영상 동기화 없이도 탄의 대략적인 이동 경로만으로 이격 거리를 산출할 수 있다는 장점이 있으며, 구체적인 메커니즘은 다음과 같다.

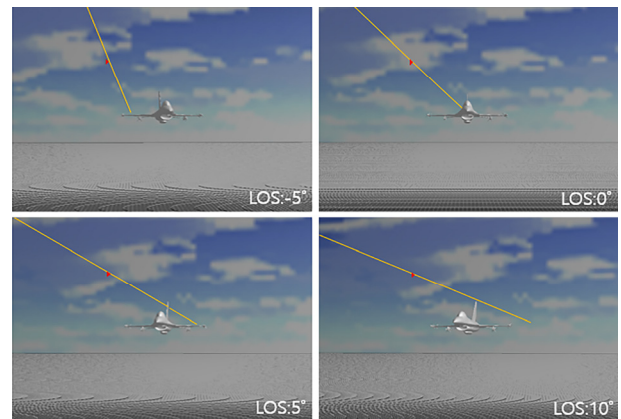


Fig. 3. Straight line passing through the offset position

Fig. 3는 OpenGL을 이용하여 탄의 이동 경로를 시각화한 결과이다. 자함으로부터 일정 거리 떨어진 지점에 표적(전투기)을 배치하고, 탄이 통과하는 지점을 붉은색 삼각형으로 설정하였다. 탄의 궤적 분석을 위해 자함과 해당 지점을 잇는 직선을 설정하고, 정면 기준 방위각을 5도 간격으로 변화시키며 관찰하였다. 관찰 각도에 따라 직선의 투영 경로는 변하지만, 표적의 상대적 위치는 일정하게 유지됨을 확인할 수

있다. 이러한 기하학적 특성을 이용하면, 서로 다른 센서에서 획득한 영상 내 탄 경로의 교차점이 실제 탄이 통과한 지점과 일치함을 알 수 있다[8].

3.1 함정 탑재 다중 센서를 이용한 측정

함정에 장착된 다중 센서를 이용한 측정 방법은 서로 다른 위치의 영상 센서로부터 획득한 정보를 통합하는 방식이다. Fig. 4와 같이 동일 표적에 대해 서로 다른 영상 센서가 추적을 수행하는 상태에서 사격을 실시한다. 이때 각 영상의 중심에 표적이 위치하며, 사격 시 표적 주변으로 탄의 궤적이 형성된다.

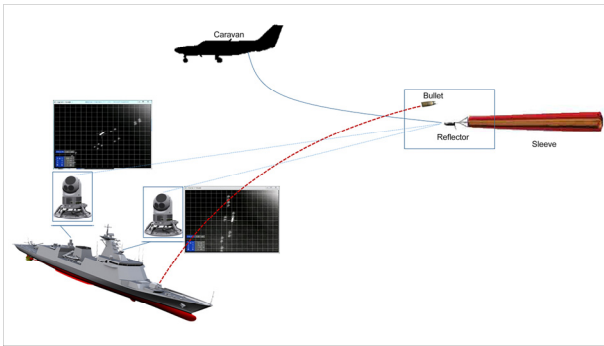


Fig. 4. Measurement of bullet miss distance using multiple images

Fig. 5와 Fig. 6는 광학 추적 장비의 열영상 화면에서 관측된 슬리브 주변 탄의 이동 궤적이다. 센서의 설치 위치에 따라 탄의 이동 경로가 서로 다르게 투영됨을 확인할 수 있다. 영상 내 녹색 선은 시각화된 탄의 실제 이동 경로이며, 서로 다른 센서에서 도출된 두 경로의 교차점을 분석함으로써 탄의 최종 이격 위치를 산출한다. 이때 동일 기종 센서를 사용할 경우 해상도와 FOV(field of view)가 일치하지만, 이기종 센서를 활용하는 경우에는 각 센서의 해상도와 FOV가 상이하므로 이를 정규화하는 과정이 선행되어야 한다.

이러한 수치적 정규화 및 교차점 계산을 위해 'FireCorrectionAir' 소프트웨어를 개발하였으며, 전체 인터페이스는 Fig. 7과 같다. 본 소프트웨어는 상이한 카메라 사양 환경에서도 실제 장비의 FOV 및 그리드를 재현하여 운용자가 효율적으로 경로를 설정할 수 있도록 설계되었다. 설정된 경로를 기반으로 해상도와 FOV를 일치시켜 교차점을 산출하며, 표적 중심으로부터의 이격 거리를 선회각 및 고각 방향에 따

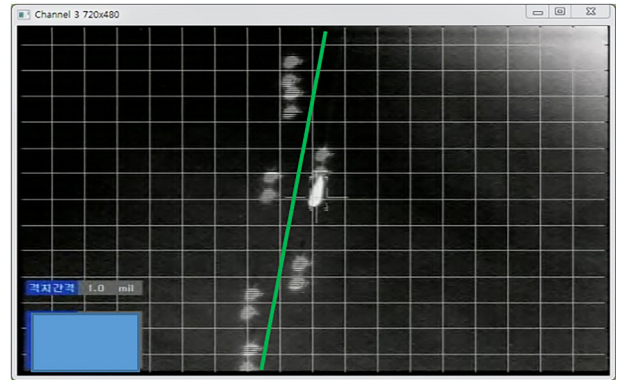


Fig. 5. Image of the first camera

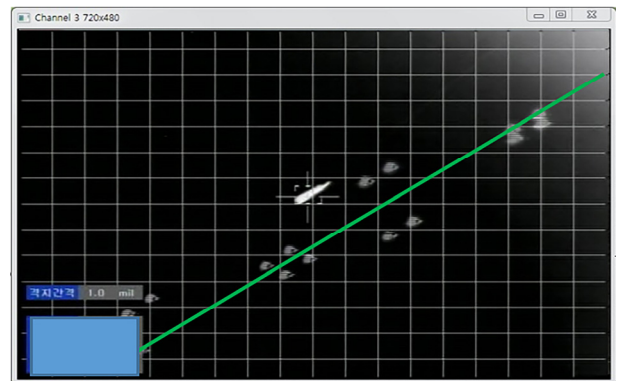


Fig. 6. Image of the second camera

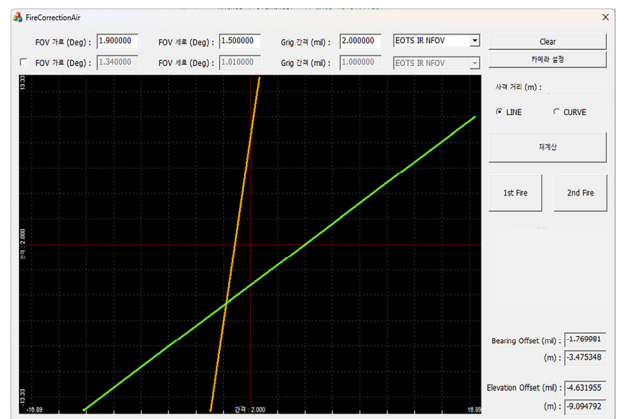


Fig. 7. Error calculation application

라 각도 단위(mil)와 거리 단위(m)로 자동 계산하여 출력한다.

3.2 관측함 센서 정보를 이용한 수평 방향 측정

자함에 장착된 영상 센서가 단일 기기인 경우, Fig. 8과 같이 관측함이 자함 인근에서 기동하며 획득한 표적 영상 정보를 활용할 수 있다. 계산 메커니즘은

함정 탐재 다중 센서를 이용한 측정 방식과 동일하며, 자함과 관측함의 거리가 인접할 경우 별도의 보정 없이도 오차 측정이 가능하다. 다만, 두 함정 간의 거리가 멀어질 경우 화면 내 그리드 간격의 실제 물리적 거리가 증가하므로, 이에 대한 거리 보상 처리가 필요하다.

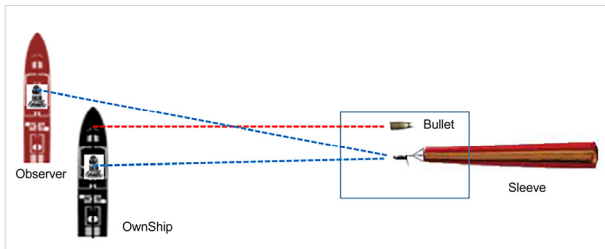


Fig. 8. Observation position (horizontal)

3.3 관측함 센서 정보를 이용한 수직 방향 측정

관측함이 자함과 표적을 잇는 시선 방향에 수직으로 위치하는 경우는 주로 정지된 풍선 표적을 사용하는 대공 사격 훈련 시 적용되며, 그 배치는 Fig. 9과 같다.

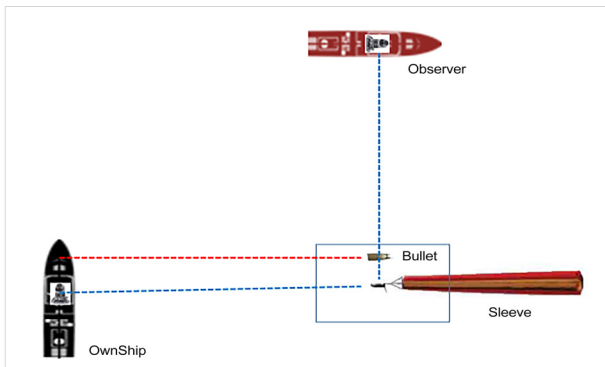


Fig. 9. Observation position (vertical)

자함에서 관측한 탄의 위치는 Fig. 10과 같이 (A), (B)로 표시되며, 궤적의 형태는 표적 위치 및 센서 배치에 따라 직선 또는 곡선으로 나타난다. 반면, 관측함에서 관측한 탄의 위치는 Fig. 11과 같이 (a), (b)로 표시되며, 탄의 이동 경로는 주로 수평 방향으로 투영되어 수직 방향의 오프셋(offset) 오차를 확인할 수 있게 한다. Fig. 11의 (b)와 같이 탄이 표적 상단을 통과할 때 발생하는 고각 오차(θ_o)를 기반으로, 자함에서 관측되는 오차값(θ_T)을 식 (1)을 통해 산출할 수 있다.

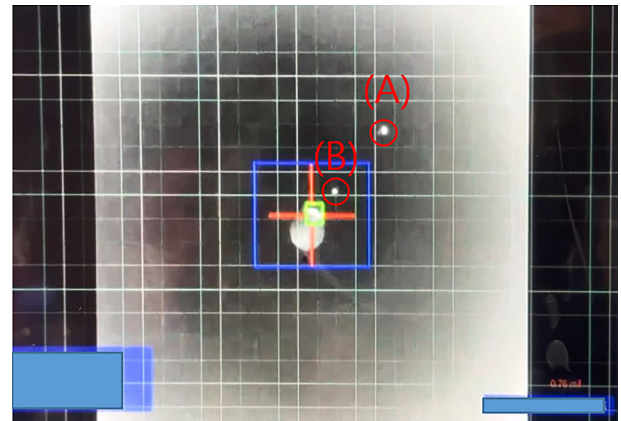


Fig. 10. Target image from ownship

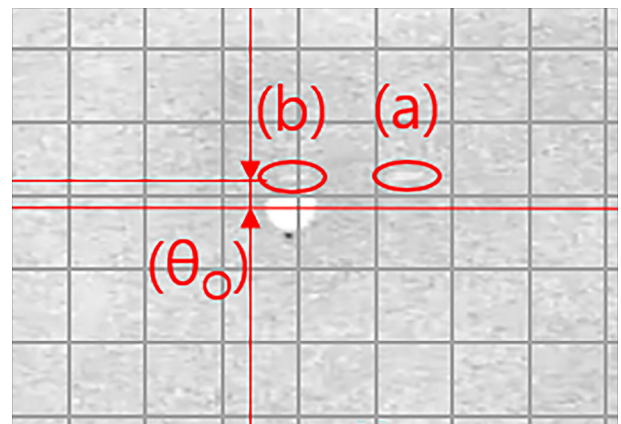


Fig. 11. Target image from observer

$$\begin{aligned}
 R_T \times \sin(\theta_T) &\approx R_O \times \sin(\theta_o) \\
 \sin(\theta_T) &\approx \frac{R_O \times \sin(\theta_o)}{R_T} \\
 \theta_T &\approx \arcsin\left(\frac{R_O \times \sin(\theta_o)}{R_T}\right)
 \end{aligned} \tag{1}$$

R_T : 자함에서 표적까지 거리
 θ_T : 표적과 탄과의 고각 오차값(자함기준)
 R_O : 관측함에서 표적까지 거리
 θ_o : 표적과 탄과의 고각 오차값(관측함기준)

이 경우 탄착 오차 측정 방식은 기존과 동일하나, 두 번째 카메라(관측함)에서 획득한 경로는 식 (1)에 따라 θ_o 를 θ_T 로 변환하여 적용해야 한다. Fig. 12는 이를 적용하여 탄의 이격 오차를 측정된 결과이다. 여기서 초록색 수평선은 두 번째 카메라에서 측정된 탄의 경로를 의미하며, 고각 방향 오차 정보만을 포함하므로 항상 수평 직선 형태로 적용되어야 한다.

이동하는 대공 표적 사격 시에는 표적과 탄이 모두 빠르게 이동하므로 궤적이 직선 형태로 투영된다. 그

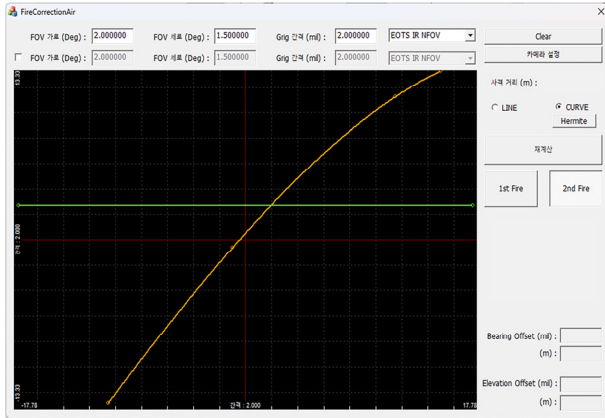


Fig. 12. Intersection of two paths

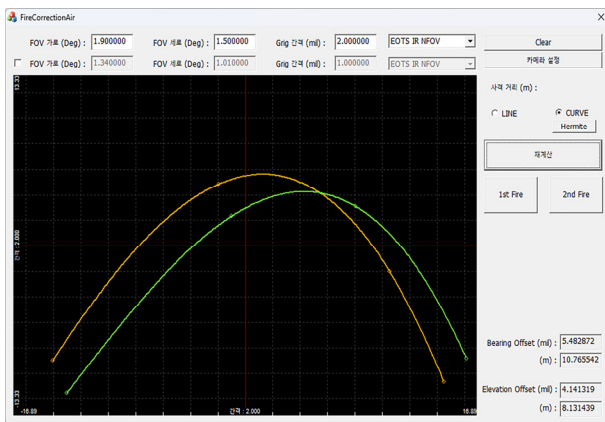


Fig. 13. CURVE function of the application

러나 고정된 풍선 표적의 경우, 화면의 움직임 없이 탄만 이동하므로 궤적이 곡선 형태로 나타나는 특성이 있다.

이러한 곡선 경로 설정을 위해 Fig. 13과 같이 ‘CURVE’ 기능을 구현하였다. 해당 기능을 통해 궤적을 Hermite 곡선 또는 n차 곡선으로 생성할 수 있으며, 두 곡선의 교차점은 Newton’s method를 이용하여 수치적으로 산출한다. 도출된 교차점은 표적 중심으로부터의 이격 거리로 정의되며, mil 및 m 단위로 자동 계산되어 출력된다[9].

3.4 탄착 오차 산출의 신뢰성 및 오차 범위 분석

산출된 탄착 오차의 신뢰성을 확보하기 위해 실제 측정 정밀도 범위를 검증하였다. 함정의 제원을 고려하여 유사 환경에서 분석한 오차 범위는 다음과 같다.

탄의 궤적이 서로 다르게 투영되기 위해서는 센서 간 오프셋(offset, Fig. 14의 D)이 반드시 존재해야 한

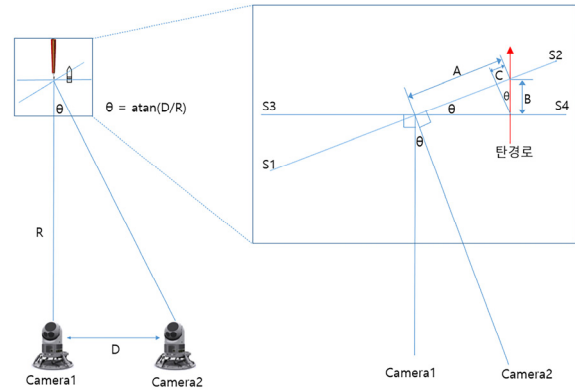


Fig. 14. Error occurring at different camera locations

다. 오프셋으로 인해 카메라의 시선 방향이 달라지면, 영상 내 탄의 이동 경로에 Fig. 14의 C에 해당하는 오차가 발생한다. 이를 분석하기 위해 탄의 이동 경로가 카메라 1의 표적 관측 방향과 평행하다고 가정한다. 카메라 1의 영상 투영 평면을 S1, S2, 카메라 2의 영상 투영 평면을 S3, S4라 할 때, 두 평면의 사잇각 θ 로 인해 S3와 S4에 투영된 상의 위치 오차 C가 발생하며, 이것이 최종 측정 오차로 작용하게 된다. 이때 C값은 식 (2)를 통해 도출 가능하다.

$$\begin{aligned} A &\approx R \times \sin(FOV/2) \\ B &= A \times \sin(\theta) \\ C &= B \times \sin(\theta) \\ C &= R \times \sin(FOV/2) \times \sin^2(\theta) \end{aligned} \quad (2)$$

이때 $\theta = \text{atan}\left(\frac{D}{R}\right)$

사격 거리 2,000 m, 카메라 FOV 2°, 카메라 간 이격 거리 50 m의 조건을 가정하여 분석한 결과, 탄 경로 교차점의 산출 오차는 약 2 cm로 나타났다. 이는 MDI에서 제공하는 일반적인 데이터 간격(1 m 이상)과 비교했을 때 충분히 수용 가능한 수준의 정밀도이다. 또한, 실제 사격 시 발생하는 탄의 분산도를 고려할 때, 본 측정 방식에 의한 오차는 탄착 수정 목적의 운용에 유의미한 영향을 미치지 않는 범위 내에 있는 것으로 판단된다.

4. 적용 사례 분석

본 절에서는 필리핀 초계함(Corvette)에 탑재된 광학 추적 장비를 활용하여 제안한 기법의 실제 적용 가능성을 분석한다. 해당 함정에는 총 3대의 광학 추적 장비가 탑재되어 있으며, 구체적으로는 추적 레이

더(FCR: Fire control radar) 기반의 보조 전자광학 추적 장비, 30 mm 함포 장착형 사격용 전자광학 추적 장비, 그리고 영상 추적을 전자광학 추적 장비(EOTS)로 구성된다. 각 장비는 서로 다른 고도와 위치에 배치되어 있어, 동일한 탄의 궤적이라 하더라도 센서별 투영 경로가 상이하게 나타나는 기하학적 특성을 가진다.

Fig. 15은 동일 표적 및 궤적에 대하여 세 가지 센서 조합에 따른 탄의 이동 경로를 가시화한 결과이다. (1)은 30 mm 함포 센서, (2)는 EOTS, (3)은 FCR에서 측정된 각각의 궤적을 나타낸다. 분석 결과, FCR과 30 mm 함포 센서의 조합은 두 경로 간의 경사각 차이가 뚜렷하여 탄의 이격 위치를 산출하는 데 매우 유리한 것으로 나타났다. 반면, FCR과 EOTS 조합의 경우 센서 간 설치 거리가 짧아 투영 경로의 기울기가 유사하며, 이로 인해 교차점 도출의 용이성이 상대적으로 저하되는 경향을 보였다.

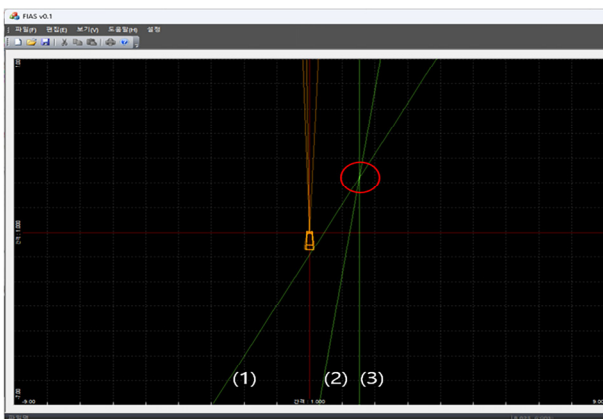


Fig. 15. The intersection of paths measured by three sensors

이러한 결과는 실제 운용 환경에서 사격 방위와 고도에 따라 최적의 센서 조합을 선정함으로써 탄착 오차 측정의 효율성을 극대화할 수 있음을 시사한다. 나아가 복수의 센서로부터 획득한 모든 교차점의 통계적 평균값을 산출하여 이격 위치를 결정한다면 단일 조합 사용 시보다 측정 정밀도를 더욱 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다.

5. 결론

다수의 카메라를 활용한 탄착 오차 확인 방식은 별

도의 추가 장비나 측정 기구 없이도 기존 센서 체계를 기반으로 탄착 오차를 산출할 수 있다는 장점을 가진다. 이 방식으로 도출된 오차는 전투체계의 성능 검증 시험뿐 아니라, 교전 상황에서의 실사격에도 적용이 가능하다. 현재는 운용자가 궤적 정보를 수동으로 확인하고 계산하는 방식을 사용하고 있어 빠른 반응이 요구되는 실시간 탄착 보정에는 한계가 있는 상황이다.

향후에는 다수의 카메라 영상을 인공지능을 통해 분석하여 탄의 형상을 실시간으로 인식하고, 이를 바탕으로 각 카메라에서 추출된 궤적을 교차시켜 탄의 3차원 위치를 산정하여 탄착 오차를 자동으로 계산·보정하는 시스템이 필요하다. 이 자동화된 오차 보정 시스템은 함포뿐 아니라 근접방어무기체계(CIWS)에도 확장 적용 가능하며, 전술적 반응 속도와 정밀도를 획기적으로 향상시킬 수 있다.

추가로 전투체계에서 제공하는 실시간 사격 정보와 TOF(time of flight) 정보를 연동하면 영상에서 탄의 궤적을 추출해야 하는 최적의 시점을 쉽게 파악할 수 있어 이를 통해 탄의 궤적 정보를 보다 정확하게 측정하고 오차를 줄여 함포 사격 성능 향상에 기여할 수 있을 것으로 예상된다.

참고문헌

- [1] Tae-II Suh & Eui-Jin Kim, 'Development of Gun Fire Control System for the FFX-I Program,' Journal of the KIMST, VOL. 16, NO. 6, 2013, pp. 752-761.
- [2] R. G. W. Thomson, Vector Acoustic Miss Distance Indication (6th ed.), University of Cape Town, 1985.
- [3] Wanjun Zhang, Guohui Li, Xiaoying Wu, Kailin Wang, & Xuebing Leng, 'Single Radar Measurement Method for Antiaircraft Projectile Miss Distance,' Journal of Beijing Institute of Technology, VOL. 26, NO. 4, 2017, pp. 542-547.
- [4] Bong-Soo Kang & In-Soo Lee, 'Estimation of a Projectile Impact Point Using Radar Measurement and Extended Kalman Filter,' Journal of KIIT, VOL. 18, NO. 2 2020, pp. 101-109.
- [5] Joongsik Kim, '3D Pitching Trajectory Reconstruction Using Multiple Unsynchronized Cameras,' Ph.D. thesis, Hanyang University, 2020.
- [6] Meggitt Target System, Support Products and Services, Acoustic Miss Distance Indicator, 2015.
- [7] Poongsan Corporation, Ammunition & Explosives. <https://www.bulletpicker.com/pdf/Poongsan-Ammunition-Explosives-Catalog.pdf> (accessed 2026.04.21.)
- [8] Chun-Hwan Kim, Method for Measuring Impact Error (탄착

오차 측정 방법), Korean Patent 10-210247, Korean Intellectual Property Office, 2020.

[9] Shoichiro Nakamura, Applied Numerical Methods in C (International ed.), Prentice Hall, 1995.