

탄약 간 정밀교전을 위한 시험평가기법 연구

하종수^{*,1)} · 박영식¹⁾ · 이한진¹⁾ · 김용재¹⁾ · 곽 윤¹⁾ · 박민규¹⁾

¹⁾ 국방과학연구소 제4기술연구본부

A Study on the Test and Evaluation Methodology for the Precise Encountering Scenario between Ammunitions

Jongsoo Ha^{*,1)} · Youngsik Park¹⁾ · Hanjin Lee¹⁾ · Yongjae Kim¹⁾ · Yoon Kwak¹⁾ · Minkyu Park¹⁾

¹⁾ The 4th Research and Development Institute, Agency for Defense Development, Korea

(Received 2 April 2018 / Revised 6 August 2018 / Accepted 16 November 2018)

ABSTRACT

This paper proposes an improved test and evaluation methodology to be conducted for a in-flight threat-countermeasure encounter scenario. Although the conventional test method adopted in the precedent researches allows high precision and safety, such full-scale method is practically not appropriate to apply to small-scale test rounds for evaluating the subparts of the ammunition. To address this problem, this study suggests a readily-applicable, small-scale test and evaluation method of the subpart of the ammunition in firing test. In the threat-countermeasure encounter scenario, the results of several tests demonstrate that the proposed technique does not deteriorate the precision when the engagement point should be adjusted.

Key Words : Test & Evaluation Method(시험평가기법), Precise Engagement(정밀교전), Countermeasure(대응탄)

기 호 설 명

t_1, t_2 : 탄1, 2의 교전소요시간
 t_{d1}, t_{d2} : 발사장치1, 2의 내부지연시간
 r_1, r_2 : 발사장치1, 2로부터 교전지점까지의 거리
 v_1, v_2 : 탄1, 2의 탄속
 ΔT : 발사 시간차
 α : 수평 거리오차

τ : 수평 시간오차

1. 서 론

근거리 방어체계의 방어성능을 평가하기 위해서는 위협체를 발사하고 대응탄을 맞발사하여 특정지점에서 서로 교차하는 실사격 교전시험이 필요하다. 이는 방어체계의 성능을 검증하고 목표 요구조건의 충족 여부를 객관적으로 평가하는데 필요한 것으로^[1], 비활성 탄두를 이용하는 교전시험이라도 추진체는 사용되

* Corresponding author, E-mail: jsha@add.re.kr
Copyright © The Korea Institute of Military Science and Technology

기 때문에 발사 시 안전을 고려해야만 한다^[2]. 특히 양방향에서 탄약이 맞발사되는 경우에는 발사 후 안전도 함께 고려해야하기 때문에 탄약이 각 탄착점에 탄착될 때까지 인원의 개입을 최소화하고 원격으로 시험장비를 제어할 필요가 있다.

A 방어체계는 레이더, 열상추적기, 통제컴퓨터, 발사장치, 대응탄으로 구성된 근거리 미사일/로켓 방어체계로서 전차에 탑재되어 대응탄을 발사하여 위협체를 무력화시키는 것을 목적으로 한다^[3]. 위협체가 접근하면 레이더는 표적 반사파로부터, 열상추적기는 표적 열원으로부터 이를 각각 탐지·추적하고, 통제컴퓨터는 각 센서의 탐지·추적 데이터를 처리하여 연산된 시간에 연산된 방향으로 발사명령을 내리고, 발사장치는 위 명령에 따라 위협체 방향으로 구동하여 대응탄을 발사한다. 대응탄은 일정시간을 비행하여 시한신관의 기폭명령에 따라 파편을 전면으로 분사하고 파편이 위협체에 충돌하면 위협체가 부서지거나 비행궤적이 비정상적으로 변하게 되어 위협체는 무력화된다.

본 체계의 방어성능을 평가하기 위해 기존에는 위협체 발사장치와 A 방어체계로 구성된 대규모의 시험장비를 이용하여 교전시험을 수행해왔다^[4]. 즉 일방에서 위협체를 발사하면, 레이더·열상추적기로 이를 감지하여^[5] 통제컴퓨터로 교전위치와 발사시간을 연산한 후에, 대응탄을 발사하여 위협체의 무력화 여부를 확인하였다. 따라서 센서 정보와 연산 결과를 이용하여 각 탄약을 특정지점에서 정확하게 교전시킬 수 있었으며, 시험장비 설치 및 인원 철수 후 자동교전시험이 가능하여 시험 간 안전을 확보할 수가 있었다.

A 방어체계에서 사용하는 대응탄의 교전성능 향상을 위해 기존의 시한신관 대신 K-대역 소형 레이더를 근접센서로 사용한 근접신관을 연구하고 있다^[6]. 본 근접신관의 성능평가를 위해서는 앞서 기술한 바와 같이 위협체에 대한 대응탄의 방어성능을 평가하는 과정이 필요하다^[7,8]. 이 때 정확한 교전지점에서 정확한 시간에 교전하는 것이 매우 중요하며, 양방향으로 대응탄과 위협체를 발사해야하기 때문에 시험 간 안전을 확보하는 것 또한 매우 중요하다. 그런데 A 방어체계의 구성품 중 하나인 대응탄의 성능평가를 위해 A 방어체계를 포함한 대규모의 시험장비로 교전시험을 수행하는 것은 효율적이지 못하다. 그렇다고 기존의 자동사격을 배제하고 수동으로 교전시험을 수행한다면 각 탄착점에 장치 운전자(사수)가 있기 때문에 인명피해가 발생할 위험이 있다.

이에 본 논문에서는 소규모의 시험장비만으로 대응탄의 방어성능을 정밀하게 평가하기 위한 안전하고 효율적인 시험방법을 연구한다. 이를 위해 먼저 A 방어체계의 기존 시험평가기법을 개관한 다음, 양방향 교전장치의 기본 개념에 대해 제시하고, 대응탄과 위협체를 특정위치에서 정확하게 자동 교전시키기 위한 알고리즘과 방법론을 제안한다. 그런 다음 이러한 시험평가를 안전하게 수행하기 위한 절차를 제시하고 실사격 교전시험 결과를 통해 제안하는 시험평가기법의 효용성을 검증한다.

2. A 방어체계의 시험평가기법 개관

본 장에서는 일방에서 자동 발사된 탄을 레이더·열상추적기로 감지하고 통제컴퓨터로 교전위치를 연산하여, 교전위치로 발사시간에 대응탄을 자동 발사함으로써 양방향으로 발사된 탄약을 지정위치에서 교전시키는 A 방어체계의 시험평가기법을 개관한다^[4].

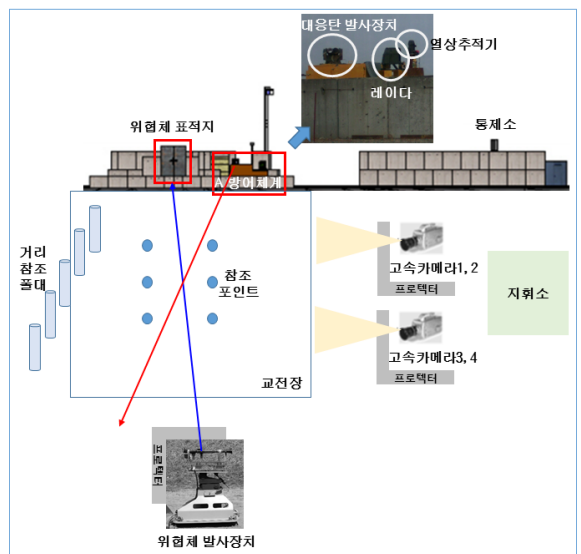


Fig. 1. Layout of the test equipment of 'A' defense system

Fig. 1에 A 방어체계의 시험장비 배치도를 나타내었다. 그림에서 시험장비는 레이더, 열상추적기, 대응탄 발사장치로 구성되며, 교전장의 각 지점에는 좌표를 생성하기 위한 참조포인트가 배치된다. 3차원 궤적 정

보 획득을 위해 고속카메라 3, 4는 위협체의 비행을 촬영하고, 고속카메라 1, 2는 위협체와 대응탄의 비행을 동시에 촬영한다. 통제소에는 레이더·열상추적기의 탐지 정보로부터 위협체 좌표와 교전지점을 예측 연산하는 통제컴퓨터가 배치되고, 지휘소에는 위협체와 대응탄 파편 간 교전영상을 분석하는 분석컴퓨터 및 모니터링 장치가 배치된다. 각 장치는 유·무선으로 연결되며 GPS 신호를 기반으로 동기화시킬 수 있다.

이와 같은 시험장비를 이용하여 A 방어체계 시험평가는 다음과 같이 수행된다. 먼저 구성품과 교전장에 참조포인트를 설치하고 광파기로 이를 측정하여 측정값을 변환시켜 교전장의 좌표를 생성한다. 그런 다음 고속카메라 3, 4로 촬영하여 생성한 위협체의 3차원 궤적 정보, 레이더·열상추적기로 획득한 위협체의 3차원 정보, 그리고 통제컴퓨터로 연산한 위협체의 3차원 예측정보를 비교·분석한다. 그리고 통제컴퓨터의 예측 정보와 고속카메라 1, 2로 촬영하여 생성한 위협체와 대응탄의 3차원 정보를 비교·분석함으로써 센서 탐지 성능 및 교전 예측 성능, 파편 위력 등 A 방어체계의 통합 성능을 분석한다.

이처럼 A 방어체계의 시험평가기법은 대규모의 시험장비가 동원되며, 대응탄의 방어성능뿐만 아니라 다른 구성품 및 체계 성능까지 평가하기 위해 사용되는 기법이므로 소규모의 대응탄 교전시험을 평가하기 위해 사용되기에는 비용 및 규모 측면에서 적합하지 않다. 따라서 대규모의 시험장비를 설치하고 운용하기 위해 많은 인력과 예산이 소요되는 A 방어체계의 기존 시험평가기법 보다는 소규모 시험장비만으로도 시험 가능한 효율적인 시험평가기법이 필요하다.

3. 탄약 간 교전시험 평가기법 연구

본 장에서는 양방향으로 탄약을 자동 발사하여 지정된 교전지점에서 이들을 교전시키기 위한 시험장치 및 그 방법에 대해 연구한다.

3.1 양방향 탄 교전장치 연구

제안하는 시험평가기법에서 사용되는 양방향 탄 교전장치의 기본 개념은 Fig. 2와 같다. Fig. 2에서 양방향 탄 자동교전장치는 발사장치1, 2의 발사 시간차 ΔT 를 연산하여 발사명령을 인가하는 교전 연산 및 발사 명령부와, 무선으로 발사명령 수신부1, 2에 시간

차 발사명령을 송신하는 발사명령 송신부, 발사명령을 수신하여 각각의 발사장치로 기폭신호를 인가하는 발사명령 수신부1, 2, 기폭신호를 인가받아 각 탄을 발사하는 발사장치1, 2, 교전영상을 촬영하여 발사시간 오차 및 발사각각오차를 분석함으로써 교전 연산 및 발사 명령부에서 오차를 보정할 수 있는 정보를 제공하는 교전 영상 분석부로 구성된다.

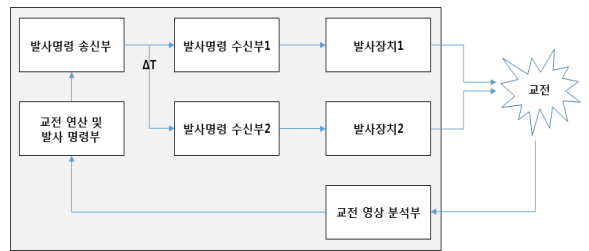


Fig. 2. Concept of the proposed engagement apparatus

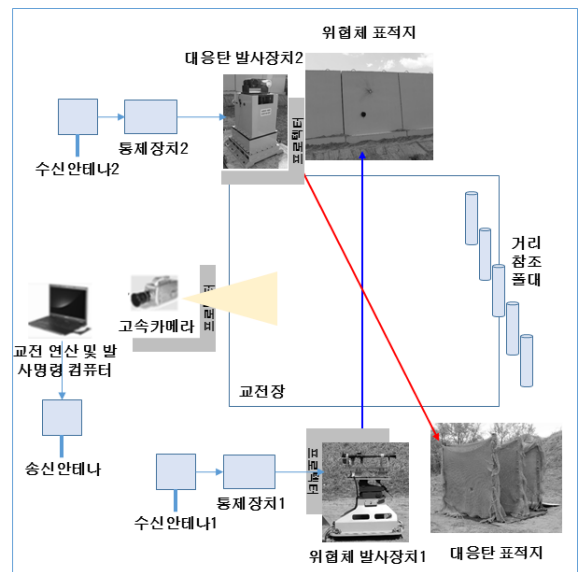


Fig. 3. Layout of the engagement apparatus

Fig. 3에 양방향 탄 교전장치의 배치도를 나타내었다. Fig. 3에서 Fig. 2의 교전 연산 및 발사 명령부는 교전 연산 및 발사 컴퓨터로서 시험장 좌표에 따른 각 탄의 이동거리와 각 탄속을 기반으로 각 탄이 지정위치에서 교전하기 위한 발사시간을 계산하고, 미리 계산된 각 발사장치 내부의 지연시간을 반영하여 최

중 발사 시간차 ΔT 를 연산하여 발사명령 송신부로부터 발사신호를 인가한다. 이 때 발사신호는 잡음에 의한 오발사를 억제하기 위하여 암호화되어 인가된다. 발사명령 송신부는 송신안테나로서 교전 연산 및 발사 명령부로부터 발사신호가 인가되면 발사명령 수신부1, 2로 ΔT 의 시간차로 발사신호를 무선으로 송신한다.

발사명령 수신부1, 2는 수신안테나1, 2와 통제장치1, 2로 구성되며 발사명령 송신부로부터 발사신호를 수신하여 발사장치1, 2로 기폭신호를 인가한다. 이 때 시험안전을 위하여 통제장치1, 2는 개별적으로 전원이 통제되며, 사수는 탄이 장착된 이후 안전장소로 이동한 다음 각각의 통제장치에 전원을 인가함으로써 안전을 확보한다. 발사장치1, 2는 발사명령 수신부1, 2로부터 기폭신호를 인가받아 탄을 발사한다. 이 때 각 발사장치는 각 탄이 수직 이격거리 상에서 정밀 교전할 수 있도록 방위각, 고각 방향으로 발사 각도를 정밀 조정할 수 있게 설계되었다.

3.2 정밀교전 보상기법 연구

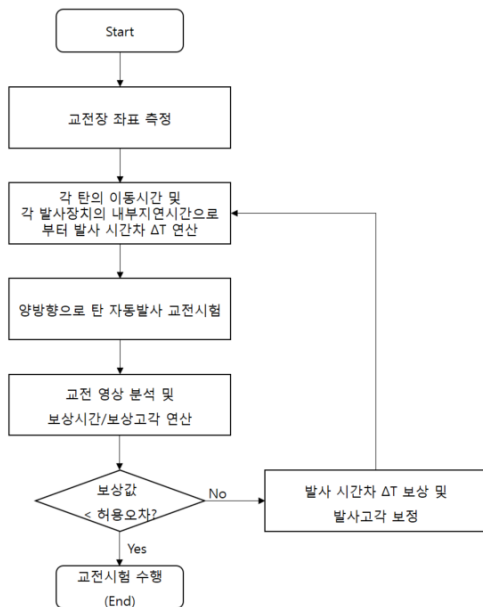


Fig. 4. Flowchart of the engagement method

탄약 간 정밀교전을 위한 시험방법을 Fig. 4에 나타내었다. Fig. 4에서 제안하는 시험방법은 교전장의 좌표를 측정하는 단계와, 측정된 좌표로부터 각 탄의 비행시간과 미리 계산된 발사장치의 내부지연시간을 반

영하여 발사 시간차 ΔT 를 연산하는 단계, 양방향으로 탄을 자동 발사하는 교전시험 단계, 교전 영상을 분석하여 거리 오차를 도출하는 단계, 분석된 교전 영상으로부터 발사 시간차 ΔT 의 오차와 발사 고각을 보정하는 단계로 구성된다.

위 그림에서 교전시험을 수행하기 위해 먼저 발사장치와 교전장에 참조포인트를 설치하고 광파기로 이를 측정하여 측정값을 변환시켜 교전장의 좌표를 생성한다. 그런 다음 앞서 측정한 거리와 각 탄의 탄속, 그리고 미리 계산된 각 발사장치의 내부지연시간을 반영하여 발사 시간차 ΔT 를 연산한다. 그리고 연산된 ΔT 차이만큼 각 발사장치를 지연 발사하여 양방향 탄을 교전장에서 교전시킨다.

교전시험 후 이를 촬영한 고속카메라 영상을 토대로 예상 교전지점과 실제 교전지점 사이의 수평 이격거리와 교전 시 두 탄의 수직 이격거리를 측정한다. 이 때 수평 및 수직 이격거리가 목표값 이내에 수렴할 경우 초기 파라미터를 기반으로 교전시험을 계속 수행하고, 수평 이격거리가 수렴하지 않을 경우 각 탄의 이동거리를 조정하여 발사 시간차 ΔT 를 보정한다. 그리고 수직 이격거리가 수렴하지 않을 경우에는 각 발사장치의 발사 고각을 조정하여 이를 보정한다.

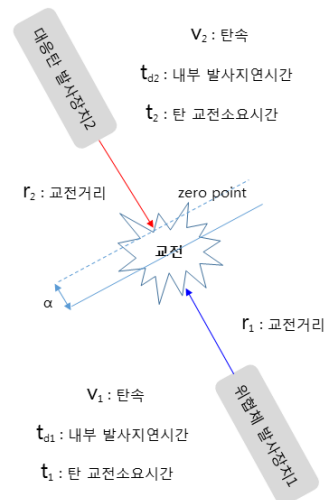


Fig. 5. Engagement of the ammunitions

$$t_1 = t_{d1} + \frac{r_1}{v_1}, \quad t_2 = t_{d2} + \frac{r_2}{v_2} \quad (1)$$

$$\Delta T = t_1 - t_2 \quad (2)$$

각 탄의 수평 이동거리에 따른 발사 시간차 ΔT 를 보정하기 위해 Fig. 5와 같이 양방향 탄의 교전도를 구성하여 교전 파라미터를 도출하였으며, 이를 기반으로 식 (1)과 (2)를 도출하였다. 이 때 식 (2)는 발사장치1이 먼저 발사되는 것으로 가정하여 도출되었다. 위 식에서 t_1, t_2 는 탄1, 2의 교전소요시간, t_{d1}, t_{d2} 는 발사장치1, 2의 내부지연시간, r_1, r_2 는 발사장치1, 2로부터 교전지점까지의 거리, v_1, v_2 는 탄1, 2의 탄속이다. 일례로 $t_{d1} = 35 \text{ ms}$, $t_{d2} = 5 \text{ ms}$, $r_1 = 8 \text{ m}$, $r_2 = 20 \text{ m}$, $v_1 = 250 \text{ m/s}$, $v_2 = 120 \text{ m/s}$ 라고 할 때, $t_1 = 355 \text{ ms}$, $t_2 = 172 \text{ ms}$ 가 되므로 발사 시간차는 $\Delta T = 183 \text{ ms}$ 가 된다.

만약 최초 시험영상에서 지정한 교전지점(zero point)으로부터 (1번탄 기준) α 거리 전에 두 탄약이 교전하였다면, 시간오차 τ 는 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다. 이 때 만약 $\alpha = 3 \text{ m}$ 라고 한다면 $\tau = 37 \text{ ms}$ 가 되므로 발사 시간차는 $\Delta T 183 + \tau = 220 \text{ ms}$ 로 보정해야 한다.

$$\tau = \frac{\alpha}{v_1} - \frac{-\alpha}{v_2} = \alpha \left(\frac{1}{v_1} + \frac{1}{v_2} \right) \quad (3)$$

3.3 안전시험절차 연구

본 시험에서는 추진제 연소를 통해 양방향으로 탄이 고속으로 교차 발사되기 때문에 기존에 수립된 표준 안전절차⁴⁾ 등을 참고하여 안전한 시험 절차를 수립하고, 시험 수행 시에는 사수의 안전을 확보하는 것이 중요하다.(TOP 3-2-503, 4-b항: 시험자는 해당 시험을 수행할 자격이 있어야 하며, 시험 중 특정한 장소에서 시험 상황을 진행, 보고하여야 한다, 4-c항: 시험자, 시험장비에 대한 위험에 대한 예방책이 있어야 한다) 이를 위해 각 발사장치는 자동 발사되며 사수는 사전 조건 및 탄 장착, 그리고 발사장치 전원인가만을 수행하고, 발사명령은 앞서 기술한대로 교전 연산 및 발사명령 컴퓨터가 수행한다.

따라서 본 연구에서는 전원인가시점을 중심으로 각 발사장치의 조준점의 차이를 고려하여 Fig. 6과 같이 안전시험절차를 수립하였다. 먼저 안전을 확보한 상태에서 각 발사장치의 케이블 분리 및 전원 OFF)에서 발사장치 별 정상동작 유무 확인 및 조준점 조정을 수행하고, 위협체 발사장치1의 사수가 안전지역으로 이동한 후 대응탄 발사장치2에 대응탄을 장착하고 전원공

급장치 케이블을 연결한다. 그런 다음 대응탄 발사장치2의 사수가 안전지역으로 이동하면 위협체 발사장치1의 사수는 위협체를 장착하고, 안전지역으로 이동하여 그곳에 설치된 전원공급장치의 전원을 ON 상태로 변경한다. 끝으로 대응탄 발사장치2의 사수가 전원공급장치에 전원을 인가하고 안전지역으로 이동함으로써 모든 시험준비는 안전하게 완료된다.

이 때 각 발사장치와 전원공급장치는 케이블을 장·탈착하여 물리적으로 분리·연결되며, 케이블로 연결된 위협체 발사장치1의 전원공급장치와 AC전원은 스위치를 이용하여 분리·연결되고, 대응탄 발사장치2의 전원공급장치는 스위치를 이용하여 장치 내부에 내장된 DC전원과 분리·연결된다. 이 때 위협체 발사장치1은 스위치 ON 후 곧바로 전원이 공급되는 반면에 대응탄 발사장치2는 사수의 철수 시간 및 안전을 고려하여 스위치 ON 후 임의의 설정시간(예: 2분) 뒤에 전원이 공급되는 것으로 설계하였다.

그리고 앞서 Fig. 3에서 위협체 표적지는 대응탄 발사장치2와 인접해있고, 대응탄 표적지는 위협체 발사장치1과 이격되어있는 관계로 우발사고 발생 시 발사장치2의 사수가 위험에 노출되는 것으로 판단되어 Fig. 6에서와 같이 발사장치2의 사수가 먼저 대응탄을 장착하도록 안전시험절차를 수립하였다.

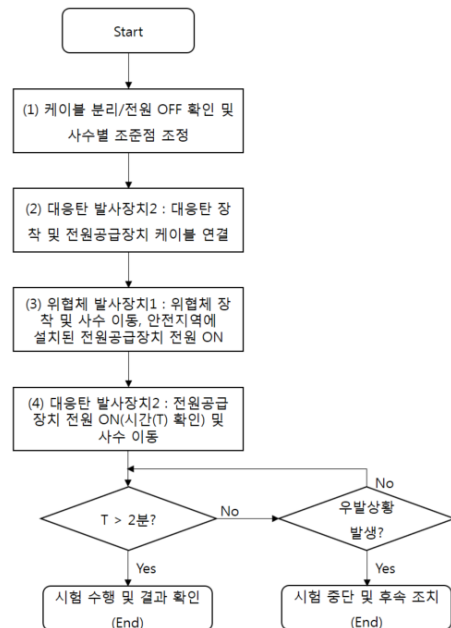


Fig. 6. Test procedure

4. 시험 결과 분석

본 장에서는 실제 교전시험을 통해 제안하는 시험 평가기법의 효용성을 확인한다.

4.1 기존 시험 방안 및 결과 비교

제안하는 연구가 적용되는 대응탄 근접신관의 경우 표적 탐지·추적 및 기폭 성능이 주요 성능지표이므로 이를 검증하고 설계를 보완하기 위해서는 대상 표적과의 조우를 통해 표적 데이터를 획득하는 교전시험이 반드시 필요하나, A 방어체계에 적용되는 기존 시한신관의 경우 시한 정확도·정밀도가 주요 성능지표이므로 관련 구성품인 전자부에 대한 실내시험만으로도 성능 검증 및 설계 보완이 가능하므로 별도의 교전시험 방안이 필요하지 않다.

다만 전반적인 통합 성능의 경우 대응탄 발사가 수반되는 A 방어체계의 통합시험평가를 통해 확인 가능한데, 앞서 기술한 바와 같이 위 통합시험평가는 레이더, 열상추적기, 통제컴퓨터가 추가로 필요한 대규모의 시험으로서 탄두 기폭을 통한 위협체의 무력화 여부가 시험의 주목적이기 때문에, 근접신관의 표적 데이터를 획득하기 위한 구성품 단위의 시험목적으로 반복 활용하기에는 비용상, 시간상, 인력상 모두 어려움이 있다. 따라서 빈번하게 수행하는 대응탄 근접신관 시험에 기존 대규모 시험장비를 동원하기에는 그 효율성이 높지 않다고 할 수 있다.

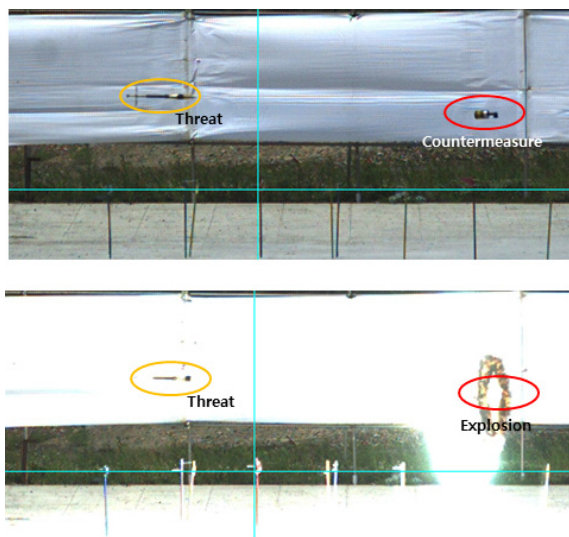


Fig. 7. Test result of 'A' defense system

Fig. 7에 A 방어체계의 통합 교전시험 장면 중 하나를 나타내었다. 근접신관이 적용된 대응탄이 측면으로 파편을 분사하는 측면교전방식인데 비해, 기존 시한신관이 적용된 A 방어체계 대응탄은 전면으로 파편을 분사하는 전면교전방식이므로 위협체가 임의의 시간에 발사되면 레이더와 열상추적기는 접근하는 표적을 탐지·추적하고, 통제컴퓨터가 최적 교전위치(표적으로부터 전방 β [m])를 예측하여 대응탄을 발사함으로써 교전이 이루어지게 된다. 이 때 센서 오차, 연산 오차, 비행 오차 등이 혼재하므로 실제 교전은 최적 교전위치로부터 $\pm\delta$ [m]에서 이루어지나, 전면으로 분사되는 파편 화망으로 위 교전 오차를 상쇄시킴으로써 A 방어체계의 통합목표성능을 달성할 수 있다.

그런데 시한신관의 비행안전구간 및 교전구간과 관련하여, 기존에는 통제컴퓨터에서 매 위협체 발사 때마다 교전시간을 연산하여 시한값을 장입하기 때문에 시한신관이 작동하는 구간을 유연하게 입력할 수 있었으나, 제안하는 연구에서는 레이더, 열상추적기, 통제컴퓨터가 없기 때문에 매 위협체 발사 때마다 시한값을 유연하게 장입하는게 아니라 고정된 시한작동구간(교전지점(zero point) $\pm\tau$ [ms])에 위협체 및 대응탄 발사 시간을 조정할 필요가 있다.

특히 근접신관과 시한신관의 작동구간 및 적용지점은 목적에 따라 교집합 또는 합집합 형태로 다양하게 운용될 수 있기 때문에 교전지점(zero point)에서 위협체와 대응탄을 정확하게 조우하게 하는 것은 제안하는 연구의 중요한 목표이며, 이를 통해 시험평가에서는 대응탄을 회수하여 근접신관의 시험 데이터를 획득함으로써 그 성능을 분석하거나, 위협체와 교차할 때 근접신관으로 대응탄을 기폭함으로써 근접신관이 표적을 정확하게 감지하고 기폭명령을 인가하는지를 검증할 수 있다.

4.2 제안하는 시험 결과 분석

Fig. 3과 같이 각 시험장비를 교전 시험장에 설치하고 Fig. 6의 시험절차에 따라 탄약 간 1차 교전시험을 수행하였다. 시험의 주목적이 대응탄 근접신관이 지상 클러터 환경에서 접근하는 표적을 감지하는 것이므로 위협체가 임의의 목표점에 탄착되도록 위협체를 조준·발사하였으며 대응탄은 위협체와 교전 시 일정한 수직 이격거리를 유지하도록 교차 발사되었다. 교전 영상을 분석하기 위해 Fig. 3의 거리 참조폴대를 교전지점 중앙으로부터 1 m 간격으로 설치하였으며, 위협체

와 대응탄이 교차하는 순간을 촬영할 수 있도록 고속 카메라를 교전지점 중앙에 설치하였다.

Fig. 5에 나타나는 각 파라미터를 측정 및 분석하여 시험을 수행하였는데, r_1 , r_2 는 시험장비 설치위치에 따라 확정되므로 오차요인이 크지 않으나, v_1 , v_2 는 각 시료별 추진제 특성^[10] 온도 등 환경요소에 영향을 받으므로^[11] 일부 고정 오차가 있는 것으로 판단되며, 탄1은 추진 후 가속 및 감속 구간이 있어 v_1 만으로는 그 특성을 대표하기에는 한계가 있고 탄2는 거의 일정한 값을 가지지만 역시 감속 구간이 있기 때문에 v_2 로 나타내기에는 어느 정도 한계가 있다.^[12] 그리고 t_{d1} , t_{d2} 는 발사신호 인가 후 발사관 내부에서 추진제 연소시간 및 내부압력에 따라 탄약이 최초로 발사관에서 노출되는 시간이 달라지는데 반복시험을 통해 일정 부분은 예측이 가능하지만 매 시험마다 어느 정도 차이는 발생하는 것으로 확인하였다.

최초 교전시험 영상 중 위협체와 대응탄이 교차하는 순간의 정지화면을 Fig. 8에 나타내었다. 교전 영상에서 위협체와 대응탄의 교전 위치와 예상 교전 위치의 수평 이격거리를 측정하기 위해 참조폴대를 기반으로 거리를 측정하였다. 이를 통해, 예상 교전 위치로부터 약 4.5 m 이전에 교차한 것으로 판단되어 식 (3)에 따라 시간오차 τ 를 계산하였다. 그리고 위협체와 대응탄의 수직 이격거리가 1 m 이상인 것으로 판단되어 대응탄 발사장치1의 조준점을 상향으로, 위협체 발사장치2의 조준점을 하향으로 미세 보정하였다.

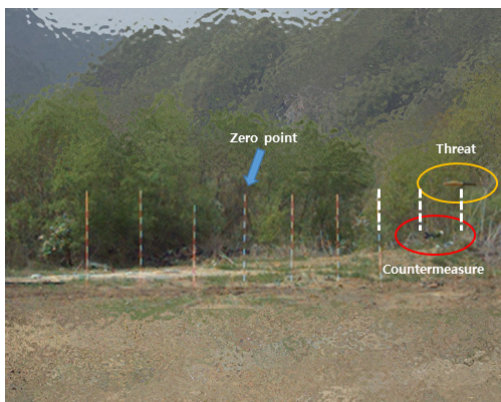


Fig. 8. Result of initial parameters

이와 같이 시험 파라미터를 보정하여 Fig. 6의 시험 절차에 따라 탄약 간 두 번째 교전시험을 수행하였다.

그 결과 Fig. 9 및 Table 1과 같은 교전시험결과를 획득할 수 있었다(다만 Table 1에서 일부 항목은 임의값을 기입하였다). 그림에서 위협체와 대응탄은 교전지점 중앙에서 수평으로 약 -0.5 m 지점에서 교차하였고, 수직 이격거리 또한 약 0.5 m 수준인 것으로 판단되었다. 따라서 제안하는 시험평가기법의 정밀교전 보상기법이 효용성이 있음을 확인할 수 있었다.

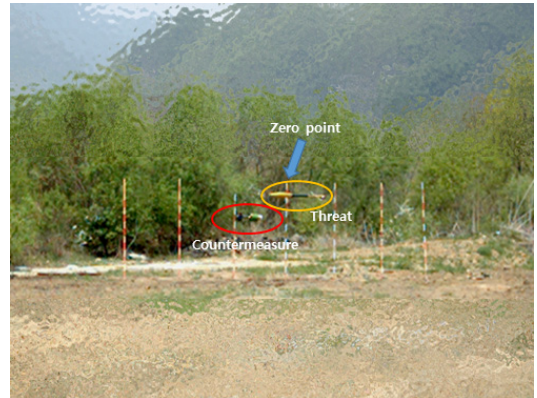


Fig. 9. Result of compensated parameters

Table 1. Initial & compensated parameters

항목	보정 전	보정 후
탄1 평균 탄속 (v_1)	250 m/s	좌동
탄1 비행 거리 (r_1)	80 m	
탄1 내부지연시간 (t_{d1})	35 ms	
탄1 교전소요시간 (t_1)	355 ms	
탄2 평균 탄속 (v_2)	120 m/s	좌동
탄2 비행 거리 (r_2)	20 m	
탄2 내부지연시간 (t_{d2})	5 ms	
탄2 교전소요시간 (t_1)	172 ms	
보정 시간오차 (τ)	0 ms	55 ms
교전지점 거리오차 (α)	4.5 m	-0.5 m

5. 결론

본 논문에서는 소규모의 시험장비를 이용하여 양방향으로 발사된 탄약을 정밀하게 그리고 안전하게 교

전시키기 위한 시험평가기법을 연구하였다.

위협체에 대한 대응탄의 방어성능을 확인하기 위해 각 탄의 발사장치와 표적지, 그리고 이를 통제하는 장치 및 교전위치를 보정하기 위한 장치로 양방향 탄 교전장치를 구성하고, 각 장치 간 인터페이스를 설계하였다. 이를 기반으로 위협체와 대응탄을 의도하는 거리 범위 내에서 정밀교전시키기 위해 교전 위치 및 각 탄의 비행거리, 속도와 발사장치 내부지연시간 등을 기반으로 발사 시간차를 연산하기 위한 수식을 수립하고, 교전 영상을 기반으로 발사 시간차를 보정하기 위한 수식을 수립함으로써 정밀교전을 위한 보상 기법을 연구하였다. 그리고 각 탄착점에서 사전 작업을 수행하는 사수의 안전을 보장하기 위해 탄 장착 순서, 전원인가 순서, 장비 간 전원인가 방법 등 안전 시험절차를 연구하였다.

그 결과 제안하는 시험평가기법을 이용하여 위협체와 대응탄의 실사격 교전시험을 수행하였고, 정밀교전 보상기법을 통해 교전 파라미터를 보정함으로써 위협체와 대응탄을 교전지점(zero point)에서, 일정한 수직 이격거리 범위 내에서 교전시킬 수 있음을 확인하였다. 더불어 안전시험절차를 통해 매 시험마다 사수 및 시험인원의 안전을 보장할 수 있었고, 전원공급 오류 등의 우발상황이 발생하여도 안전하게 시험을 중단할 수 있었다. 향후 장기간에 걸쳐 다양한 위협체와 운용 환경에 대한 시험데이터가 축적되면 교전 파라미터를 위협체별-운용환경별로 세분화함으로써 보다 더 상세한 교전시험 방안을 수립할 수 있을 것으로 기대된다.

References

- [1] B. Yoo, G. Hwang, C. Ryu, M. Kim, S. Ye and U. Han, "Systems Engineering based Live Fire Test of Weapon Systems," *Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, Vol. 15, No. 1, pp. 28-35, Feb., 2012.
- [2] S. Ye and J. Lee, "On Multiple ETA-based Test Framework to Enhance Safety Maturity of Live Fire Tests for Weapon Systems," *Journal of Korea Safety Management & Science*, Vol. 17, No. 1, pp. 75-84, Mar, 2015.
- [3] J. Ha, E. Lee, H. Lee, G. Park and K. Cho, "Performance Analysis of Missile/Rocket Defense System for RPG-7 Defense of Main Battle Tank," *Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology*, Vol. 17, No. 3, pp. 350-357, June, 2014.
- [4] J. Ha, S. Park, J. Lee, K. Cho, E. Lee, H. Lee and G. Park, "3D Engagement Analysis Apparatus and Method Thereof," *Korean Patent*, No. 10-1380790, Mar, 2014.
- [5] S. Sun, J. Lee, J. Lee and B. Cho, "Ground-based Radar Interferometer for Tracking Fast Approaching Targets," *IET Radar, Sonar & Navigation*, Vol. 5, No. 4, pp. 398-404, Apr., 2011.
- [6] J. Ha, J. Roh, J. Choi, H. Lee and Y. Park, "Study on the Compact K-Band Radar for Detecting the Approaching Target above Ground," *Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, Vol. 28, No. 4, pp. 309-317, Apr., 2017.
- [7] R. Hartley and A. Zisserman, "Multiple View Geometry in Computer Vision," *Cambridge University Press*, 2003.
- [8] Andrew Feickert, "Army and Marine Corps Active Protection System(APS) Efforts," *Congressional Research Service*, Aug. 30, 2016.
- [9] Army Test and Evaluation Command, "Safety Evaluation of Fire Control Systems - Electrical and Electronic Equipment Final Rept. on Test Operations Procedure," *Army Test and Evaluation Command, Aberdeen Proving Ground, MD, TOP-3-2-503*, 1980.
- [10] S. Park and J. Kim, "A Study on the Storage Life Estimation Method for Decrease of Muzzle Velocity using Gamma Process Model," *Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, Vol. 16, No. 5, pp. 639-645, Oct., 2013.
- [11] S. Yoon, S. Lee, Y. Lee and J. Oh, "A Miniaturized Magnetic Induction Sensor Using Geomagnetism for Turn Count of Small-Caliber Ammunition," *Journal of Sensors*, Vol. 2006, No. 6, pp. 712-726, 2006.
- [12] P. Kupidura, Z. Leciejewski, Z. Surma and R. Trebinski, "Laboratory Stand for Scale Test of Rocket Propelled Grenades Firing," *Proceedings of 26th International Symposium on Ballistics*, pp. 736-745, 2011.