

## 휴대용대공유도탄에 대응하는 지향성적외선방해장비의 교전효과 분석

정춘식<sup>†</sup>

### Analysis of the Engagement Effects of DIRCM against a Man Portable Air Defense System

Chunsik Jeong<sup>†</sup>

#### ABSTRACT

A MANPADS(Man Portable Air Defense System), which tracks infrared energy, is light enough for individuals to carry and can against to a variety of aircraft, making it widely deployed around the world, posing a major threat to aircraft. A flare has been developed as an IRCM(Infrared Countermeasures) that protects the life of friendly aircraft and combatants by deceiving such guided missiles. However, DIRCM, which can overcome the problems of existing IRCM, is being developed mainly in some developed countries, and the need for it has been increasing gradually. This paper modeled first generation IR seeker of AM modulation method, the second generation IR seeker of FM modulation method, and the third generation IR seeker of pulse modulation method among various MANPADS, and modeled the scattering light phenomenon in the seeker when laser beams are investigated in DIRCM. Using this, jamming simulations were performed in various engagement environments of the MANPADS and aircraft equipped with DIRCM, and the miss distance of the guided missiles and aircraft were analyzed. Simulation results show that DIRCM, which irradiates a modulated laser beam with one jamming code, deceives both first, second and third generation MANPADS at 1km and 2km of engagement distance. In particular, the survival rate of aircraft equipped with DIRCM increased when the distance of engagement increased from 1km to 2km, and the survival rate was at least 99% at 2km of engagement distance.

**Key words** : MANPADS(Man Portable Air Defense System), DIRCM(Directional Infrared Countermeasure), Jamming Simulation, Jamming Effect

#### 요약

적외선 에너지를 추적하는 휴대용대공유도탄(MANPADS: Man Portable Air Defense System)은 개인이 휴대할 수 있을 정도로 가벼우며 다양한 항공기에 대응할 수 있어, 전 세계적으로 널리 배치되어 항공기의 큰 위협이 되고 있다. 이러한 유도탄을 기만하여 아군 항공기와 전투원의 생명을 보호하는 적외선대응책(IRCM: Infrared Countermeasure)으로 섬광탄이 개발되었다. 그러나 기존 적외선대응책의 문제점을 보완할 수 있는 지향성적외선방해장비(DIRCM: Directional Infrared Countermeasure)가 최근 일부 선진국을 중심으로 개발되고 있으며, 그 필요성이 점차 증가하고 있다. 본 논문에서는 다양한 MANPADS 중 AM 변조 방식의 1세대 적외선탐색기, FM 변조 방식의 2세대 적외선탐색기, 펄스변조 방식의 3세대 적외선탐색기와 DIRCM에서 레이저빔이 조사될 때 탐색기에서 발생하는 산란광 현상을 모델링하였다. 이를 이용하여 MANPADS와 DIRCM을 장착한 항공기의 다양한 교전환경에서 기만 시물레이션을 수행하였고, 유도탄과 항공기의 최소거리인 Miss Distance를 분석하였다. 시물레이션 결과, 하나의 기만코드로 변조된 레이저빔을 조사하는 DIRCM이 교전거리 1km와 2km에서 1, 2, 3세대 MANPADS를 모두 기만하는 것을 시물레이션을 통하여 확인하였다. 특히 교전거리가 1km에서 2km로 늘어날 때 DIRCM을 장착한 항공기의 생존율도 증가하였고, 교전거리 2km에서는 생존율이 최소 99% 이상으로 분석되었다.

**주요어** : 휴대용대공유도탄, 지향성적외선방해장비, 기만 시물레이션, 기만 효과

**Received:** 1 February 2019, **Revised:** 22 June 2019,  
**Accepted:** 28 June 2019

**† Corresponding Author:** Chunsik Jeong

E-mail: chunsik@add.re.kr

Agency for Defense Development, Daejeon, Korea

## 1. 서론

표적에서 발생하는 열을 추적하여 표적을 공격하는 휴대용대공유도탄(MANPADS: Man Portable Air Defense

System)은 1959년 미국이 Redeye를 처음 개발한 후 세계 여러 나라에서 개발되어 지속적으로 발전하였다. MANPADS는 작고 가벼워 휴대하기 쉽고, 가격이 저렴하여 세계적으로 널리 확산되었으며, 특히 전 세계 테러집단에까지 보급되어 항공기의 큰 위협이 되고 있다 (Chapman, 2014; Smith et al., 2012; Richardson, 2007; Titterton, 2004).

이러한 MANPADS는 적외선탐색기의 검출기 특성과 신호생성 방법에 따라 세대를 구분한다. 1세대 적외선탐색기는 단픽셀 검출기를 사용하여 레티클(reticle)을 회전시켜 검출기 출력 신호를 진폭(AM: Amplitude Modulation) 변조하는 스피스캔(spin-scan) 방식이다. 콘스캔(con-scan) 방식의 2세대 적외선탐색기는 단픽셀의 검출기를 이용하고, 주파수(FM: Frequency Modulation) 변조 방식을 사용한다. 3세대 적외선탐색기는 두 개의 프리즘 또는 반사경을 이용하여 꽃잎 모양으로 스캔하는 로제트스캔(rossette-scan) 방식이나 하나의 슬릿(slit)을 가진 레티클로 이루어진 펄스변조 방식이 있다.

MANPADS의 위협 증가와 함께 항공기를 보호하고 야군의 생존성을 향상시킬 수 있는 적외선탐색기(IRC: Infrared Countermeasures)가 개발되었다. 대표적인 적외선탐색기인 섬광탄(flare)은 항공기의 적외선 에너지보다 더 큰 적외선 에너지를 발생시킴으로써 유도탄을 항공기가 아닌 섬광탄으로 유인한다. 그러나 MANPADS가 3세대 적외선탐색기로 진화하면서 다중밴드 검출기를 사용하고, 스캔방식을 개선하여 섬광탄과 표적을 구분할 수 있게 되었다(White, 2012).

이에 변조된 레이저를 조사하여 MANPADS를 기만하는 지향성적외선방해장비(DIRCM: Directional Infrared Countermeasure)가 일부 선진국에서 개발되었다. DIRCM은 표적에서 발생하는 적외선 에너지보다 훨씬 더 높은 에너지 세기의 레이저빔을 다가오는 유도탄에 조사한다. 레이저빔은 유도탄의 적외선탐색기가 레이저 신호를 표적 신호로 인식하여 추적하도록 변조된다. 이를 위하여 적외선탐색기의 추적 신호 생성 원리와 추적 신호의 특성을 분석하고 이해하여 레이저의 변조 특성, 즉 기만코드를 설계하여야 한다.

일부 선진국에서 개발한 DIRCM의 MANPADS 기만 성능이 매우 우수한 것으로 알려져 있다. 그러나 국내 뿐 아니라 국외에서도 DIRCM과 유도탄 간의 교전효과를 분석하여 항공기의 생존율을 분석한 연구 사례는 많지 않다. 따라서 본 논문에서는 1세대 스피스캔 방식, 2세대 콘스캔 방식, 3세대 펄스변조 방식의 MANPADS와

DIRCM을 모델링하여 기만 시뮬레이션을 수행하여 결과를 분석하였다. 다양한 교전 환경에서 유도탄을 발사하고, 항공기에 장착된 DIRCM으로 대응하여 그 결과를 확인하는 시험은 제약사항이 많다. 이에 시뮬레이션을 활용하여 유도탄과 DIRCM을 장착한 항공기의 교전 환경을 구성하고, 항공기와 유도탄의 최소거리인 Miss Distance를 이용하여 항공기의 생존율을 분석하였다.

## 2. MANPADS 모델링

### 2.1 스피스캔 적외선탐색기

1세대 스피스캔 적외선탐색기의 광학부는 아래 Fig. 1과 같은 구조를 가진다. 표적으로부터 입사되는 적외선 에너지는 1차 반사경과 2차 반사경을 거쳐 레티클을 통과하여 적외선검출기에 집중된다. 레티클과 적외선검출기, 1차/2차 반사경은 하나로 결합되어 회전하며, 영구자석으로 구성되어 있어 자이로스코프 역할을 한다.

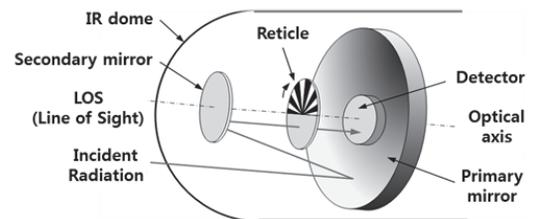


Fig. 1. Optics of spin-scan a IR(Infrared) seeker

일반적으로 스피스캔 적외선탐색기의 레티클 형상은 Fig. 2a와 같으며, 레티클의 상단부는 톱니형태로 이루어져 있다. 검은색 스포크(spoke)는 적외선 에너지를 완전 차단하고, 흰색 스포크는 적외선 에너지를 온전히 통과시킨다. 반면 레티클의 하단부는 50%의 투과율을 가진 반투명 물질로 구성되어 있다. 스피스캔 적외선탐색기의 검출 신호 패턴은 진폭 변조된 신호이며, Fig. 2b와 같다. 자이로스코프가 100Hz로 회전한다고 가정하면 회전 주기(Spin period)  $T_s$ 는 10ms이며, 스포크 하나에 의한 캐리어 주기(Carrier period)  $T_c$ 는 5/6ms이다.

본 논문에서는  $T_s$ 가 10ms일 때 생성되는 표적신호를 이용하여 Fig. 3과 같은 개념을 바탕으로 추적신호처리부를 모델링하였다. 모델링에 적용된 레티클은 적외선 에너지를 완전히 차단하는 스포크와 완전히 투과시키는 스포크를 각각 6개로 구현하여 캐리어주파수는 1200Hz이며, 자이로스코프의 회전주파수는 100Hz로 설정하였다.

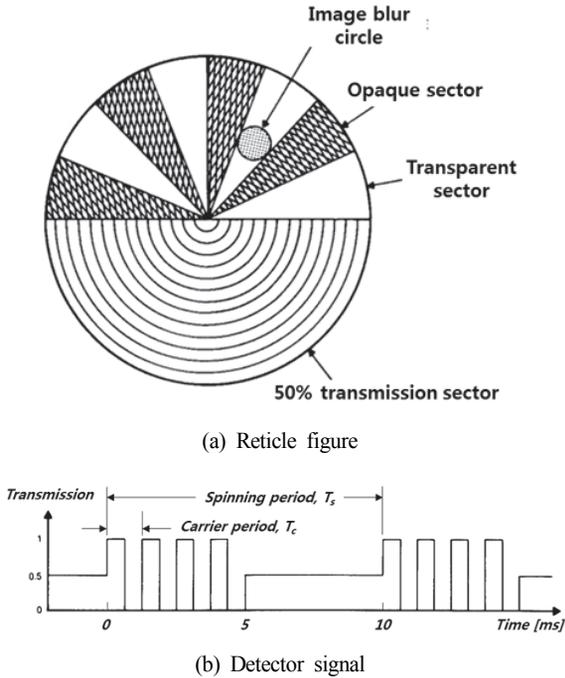


Fig. 2. Reticle and detector signal of a spin-scan IR seeker(Pollock et al., 1993)

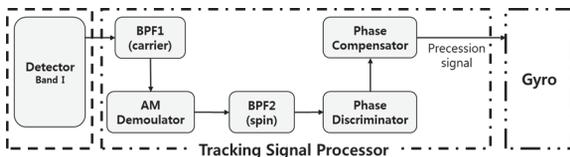


Fig. 3. Tracking signal processor modeling of a spin-scan IR seeker

모델링된 스피스캔 적외선탐색기의 추적신호처리부는 레티클의 회전에 의하여 진폭 변조된 신호를 대역통과필터(BPF : Band Pass Filter)를 통과시켜 캐리어주파수 성분을 추출한다. 이후 진폭복조기인 포락선 검출기(Envelope Detector)를 거친 후 BPF2를 거쳐 회전주파수 성분을 추출한다. 그리고 탐색기의 광축과 표적 LOS(Line Of Sight) 축의 차이, 즉 표적이 탐색기 광축으로부터 벗어난 각도인 오차각과 위상 정보를 측정하는 위상 판별기를 거친다. 이 때 위상판별기는 자이로스코프가 회전하며 생성한 기준 신호를 이용하여 표적의 위상 정보를 측정한다. 이어 추적신호가 각각의 필터를 통과하며 발생된 위상 지연을 보상하여 자이로스코프로 세차신호를 전달한다. 세차신호에 따라 자이로스코프가 구동되며 표적의 오차각이 감소하는 방향으로 움직이는 자이로스

코프위에 검출기가 위치하므로 스피스캔 적외선탐색기는 표적을 추적하는 폐루프를 구성한다(Ahn et al., 2009).

### 2.2 콘스캔 적외선탐색기

2세대 콘스캔 적외선탐색기의 광학부는 1세대 스피스캔 적외선탐색기와 기본적으로 비슷한 구조를 가지고 있으나 Fig. 4와 같이 레티클은 고정되어 있고, 2차 반사경이 기울어진 상태에서 회전하여 검출기에 맺히는 표적의 상을 장동(nutation) 시킨다. 2차 반사경이 기울어진 상태로 회전하기 때문에 전체 시계(TFOV: Total Field of View)는 스피스캔과 펄스변조 적외선탐색기보다 넓다.

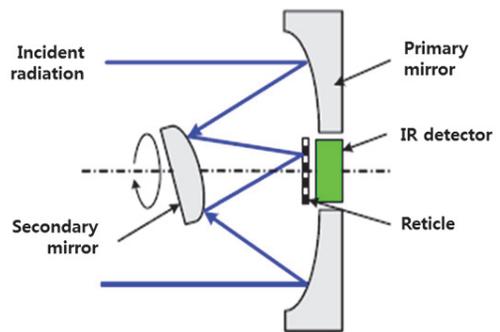


Fig. 4. Optics of a con-scan IR seeker

콘스캔 적외선탐색기의 기본적인 레티클 형상은 Fig. 5a와 같은 수레바퀴 형태이며, 적외선탐색기의 순간시계(IFOV: Instantaneous Field of View)가 고정된 레티클을 중심으로 장동 회전한다. 표적의 상이 탐색기의 광축에서 오른쪽으로 벗어남에 따라 검출기 출력 신호는 Fig. 5b에서 Fig. 5c로 변하게 된다. 이 때  $T_m$ 은 장동회전의 주기이며,  $T_s$ 는 장동 회전의 시작시점에서의 상대적 지연시간이다. 표적이 광학축 중심에 있으면 설계된 스포크수에 따라 일정한 캐리어주파수를 가지는 신호가 생성된다. 표적의 오차각이 발생하여 표적의 상이 광학축에서 벗어나면 장동회전에 의하여 표적의 적외선 에너지가 차단되거나 통과되는 시간이 달라지므로 캐리어주파수가 변하는 신호, 즉 주파수가 변조된 신호가 생성된다. 이처럼 콘스캔 적외선탐색기는 표적의 오차각에 따라 신호의 주파수를 변조시켜 표적의 위치 정보를 획득한다.

콘스캔 적외선탐색기 추적신호처리부는 스피스캔 적외선탐색기와 거의 유사하며 BPF1을 통과한 신호는 입력신호의 크기를 자동으로 일정하게 제어하는 자동이득 조절기(AGC: Automatic Gain Control)를 거쳐 주파수복

조기를 통과한다. 이후 스핀스캔 적외선탐색기와 비슷한 과정을 거쳐 자이로스코프를 구동하는 세차신호를 생성한다(Ahn et al., 2010). 본 논문에서는 레티클은 차단 스포크 12개, 투과 스포크 12개로 구현하였고, 장동 회전 주기는 100Hz로 설정하여 모델링하였다.

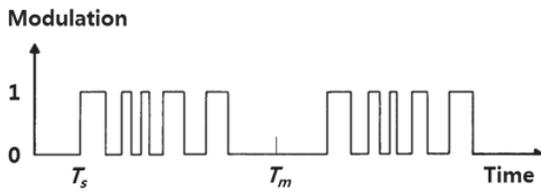
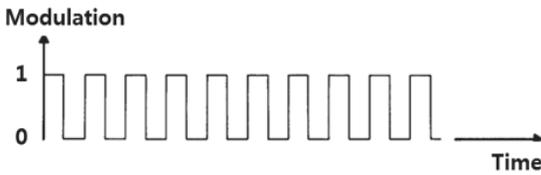
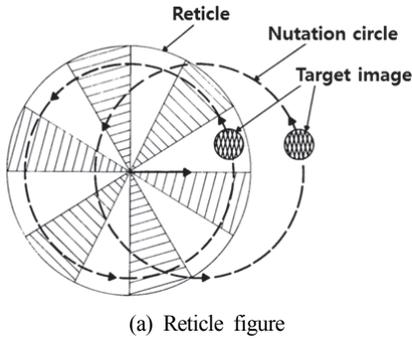


Fig. 5. Reticle and detector signal of a con-scan IR seeker(Pollock et al., 1993)

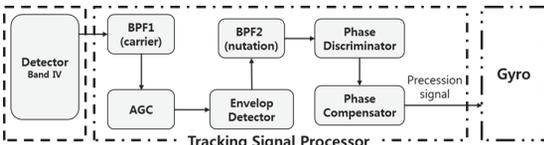


Fig. 6. Tracking signal processor modeling of a con-scan IR seeker

2.3 펄스변조 적외선탐색기

3세대 펄스변조 적외선탐색기 광학부는 Fig. 7과 같이 반사광학계, 단일 검출기, 회전하는 레티클로 구성되며,

레티클은 빛이 완전 차단되는 물질로 도포된 부분과 슬릿(slits)으로 구성되어 슬릿을 통과한 적외선 에너지만 검출기로 전달된다. 표적에서 방사된 적외선이 광학계를 거쳐 검출면의 한 점으로 집속되고 회전하는 레티클의 슬릿을 지날 때 펄스 신호가 발생한다(Yasin et al., 2012).

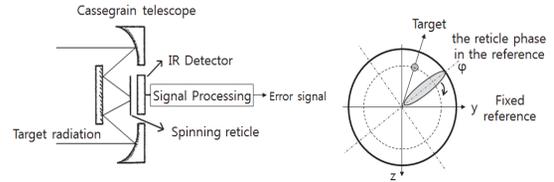


Fig. 7. Figure of optics(left) and reticle(right) of a pulse modulated IR seeker

펄스변조 적외선탐색기의 레티클은 일반적으로 100Hz로 회전하기 때문에 10ms 주기로 펄스형태의 표적신호가 생성된다. Fig. 8과 같이 (+)y축에 레티클이 위치하는 경우를 기준으로 설정하면, 표적이 (-)y축에 위치하면 위상이 180°가 된다. 예를 들어 표적이 위상 180°에 위치하고, 오차각이 탐색기 시계의 1/3과 1/12이면 Fig. 8과 같이 표적은 (-)y축에 위치한다. 또한 위상 0°인 경우를 시간 0으로 가정하면 위상 180°에 위치한 표적신호는 5ms 시점에 나타난다. 시계의 회전 중심에서 멀어질수록 오차각이 증가하며, 이 때 선속력이 빨라지기 때문에 표적신호의 폭은 감소하므로 오차각이 큰 경우인 시계 1/3 일 때 표적신호의 폭이 더 좁게 생성된다.

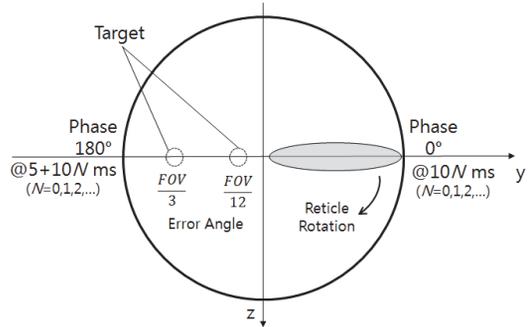


Fig. 8. Schematic of a target on the rotating reticle

펄스변조 적외선탐색기의 추적신호처리부는 Fig. 9와 같이 모델링하였다. 검출기로부터 생성된 미소전류를 전압으로 증폭시키는 전치증폭기와 입력신호의 크기를 자동으로 제어하는 자동이득조절기, 펄스 폭 정보로부터 오차각에 따른 유도신호를 생성하는 BPF1, 위상지연을 보

상하는 위상보상기와 100Hz 성분을 추출하는 BPF2로 구성되어 자이로스코프를 구동시키는 세차신호가 생성된다(Jeong et al., 2018; Jeong et al., 2016).

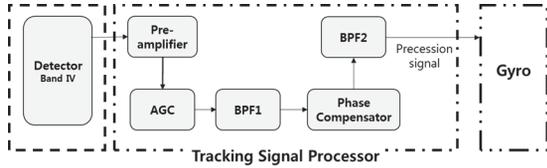


Fig. 9. Tracking signal processor modeling of a pulse modulated IR seeker

### 3. 교전 모델링

1, 2, 3세대 적외선탐색기는 아래 Fig. 10과 같은 관성 좌표계, 유도탄 동체 좌표계, 탐색기 좌표계를 가지도록 모델링되었다. 또한 적외선탐색기에서 생성된 세차신호는 유도조정에 필요한 LOS 변화율로 변환되어, 비례항법을 이용하여 유도탄이 표적으로 유도되도록 구현하였다. DIRCM은 항공기에 장착된 것으로 설정하였고, 입력된 기만코드에 따라 레이저가 변조되어 유도탄에 조사되는 상황을 모델링하였다. 이 때, DIRCM은 기본적으로 유도탄을 탐지하고, 추적할 수 있는 것으로 가정하였다.

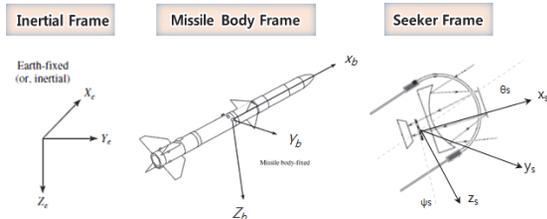


Fig. 10. Coordinate system used in the simulation

이처럼 모델링된 MANPADS와 항공기에 장착된 DIRCM은 아래 Fig. 11과 같은 구성으로 구현하여 교전 상황을 모사하였다. 교전이 시작되면 변수들이 초기화되고 그에 따른 영상이 생성되며, 이 때 항공기는 점표적으로 가정하였다. 생성된 영상에서 적외선탐색기의 시야에 해당하는 영상과 레티클 영상을 중첩시키며, 레티클을 100Hz로 회전시켜 32kHz 마다 중첩된 영상을 10ms 동안 적분하여 표적신호를 생성한다. 추적신호처리부는 생성된 표적신호로 세차신호를 생성하여 자이로스코프와 유도모델로 전달한다. 자이로스코프의 구동에 따라 탐색기의 LOS가 갱신되고, LOS 변화율에 비례하여 유도된

유도탄의 위치와 자세가 갱신된다. 또한 항공기의 위치와 자세가 최신화 되며, 설정된 교전상황에 따라 DIRCM에서 기만코드, 즉 변조된 레이저빔 영상이 적외선검출기의 입력신호로 전달된다. 이와 같은 폐루프를 구성하여 MANPADS와 DIRCM의 교전상황을 모사하였다.

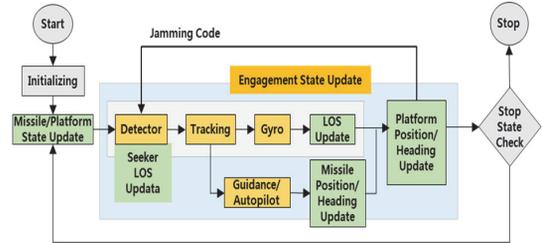


Fig. 11. Block diagram of the engagement simulation

### 4. 교전효과 분석

#### 4.1 기만 시뮬레이션 환경

1, 2, 3세대 MANPADS에 대응하는 DIRCM의 효과를 분석하기 위하여 기만 시뮬레이션을 수행하였다. 먼저 유도탄과 하나의 DIRCM이 장착된 항공기와의 거리는 1km와 2km로 설정하였다. 항공기는 고도 110m, 속도 80m/s로 Fig. 12와 같이 0° 방향으로 수평 등속 이동하도록 모사하였다. MANPADS의 super elevation은 일반적으로 10°에서 20° 사이로 알려져 있어 시뮬레이션에서는 유도탄의 super elevation을 10°, 발사고도는 50m로 설정하였다. 또한 MANPADS 발사 시 ejection부터 boosting까지 일반적으로 0.5초 내외로 알려져 있기 때문에 시뮬레이션 환경 설정 시 ejection부터 boosting까지 0.5초가 소요되도록 하였으며, 유도탄은 항공기를 기준으로 0°에서 350°까지 10° 간격의 위치에서 발사하였다.

유도탄이 ejection되고 0.8초가 지나면 DIRCM에 유도탄의 위치가 전달되고, 0.48초 동안 유도탄의 방향으로 구동한 후 레이저를 조사하였다. 이 때 DIRCM이 유도탄 방향으로 시선을 움직이는 시간, 즉 표적조준시간을 0.001초 씩 총 0.009초까지 변화시켜 기만 시점에 따른 위상 변화를 모사하였다. 1, 2, 3세대 MANPADS 모두 동일한 기만코드를 조사하였으며, 표적 대비 레이저빔의 에너지 세기인 JSR(Jamming to signal ratio)은 200으로 설정하였다. 이러한 교전환경에서 시뮬레이션을 수행하였고, 유도탄과 항공기의 최소거리, 즉 유도탄이 비행하여 항공기의 중심과 가장 가까운 지점을 지날 때의 거리인 Miss Distance를 이용하여 항공기의 생존율을 도출하였다. 이

때 Miss Distance가 15m를 초과한 경우 항공기가 생존한 것으로 판단하였다.

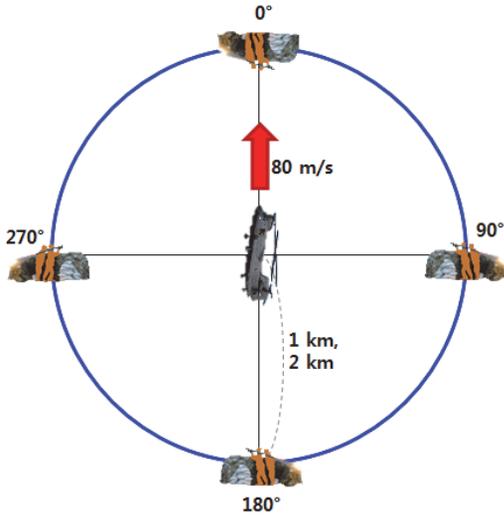


Fig. 12. Scenario of the engagement simulation

#### 4.2 항공기 생존율 분석 결과

각 세대별 MANPADS와 DIRCM의 기만 시뮬레이션을 교전거리 1km, 2km에서 각각 360번 수행하였고, 기만하지 않는 경우는 교전거리별로 총 10번 수행하였다. 참고로 기만을 하지 않았을 때는 1, 2, 3세대 MANPADS 모두 Miss Distance가 15m 이내였다. 먼저 1세대 MANPADS와 DIRCM의 교전거리가 1km인 경우, 생존율은 99.44%로 나타났다. 평균 Miss Distance는 167.80m, 최소 Miss Distance는 10.60m, 최대 Miss Distance는 376.70m, 표준편차는 100.38m이었다. 기만 시 유도탄이 유도되는 방향은 기만 시점에 따라, 즉 레티클과 레이저빔의 위상 차이에 따라 임의적으로 변한다. 따라서 기만 후 유도탄이 유도되는 방향과 항공기의 이동 방향이 동일한 경우가 발생하고, 유도탄이 항공기보다 훨씬 빠른 속도로 이동하기 때문에 항공기가 유도탄에 격추되는 상황이 2회 발생하였다.

Fig. 13에서 Miss Distance가 가장 짧은 회색 점선은 기만을 하지 않은 경우이며, 실선은 기만 시 평균 Miss Distance이다. 실선을 기준으로 안쪽 점선은 최소 Miss Distance, 바깥쪽 점선은 최대 Miss Distance이다. Fig. 13을 보면 항공기의 정면 방향에서 유도탄을 발사하는 경우, Miss Distance가 상대적으로 짧으며, 이는 기만 이후 유도탄과 항공기가 조우하는 시간이 짧기 때문이다. DIRCM에서 기만코드에 따라 변조된 레이저빔이 유도탄

에 조사되면 적외선타색기가 기만되어 표적을 다시 추적할 수 없는 상태인 OBL(Optical Break Lock)이 발생하여 유도탄은 표적을 놓치고 엉뚱한 방향으로 유도된다. 이 때 유도탄이 항공기와 조우하기까지 남은 비행시간이 짧을수록 Miss Distance는 줄어든다. 따라서 유도탄을 항공기 전방에서 발사하면 항공기는 유도탄을 향해 이동하므로 기만 후 유도탄이 항공기와 조우하기까지 남은 비행시간, 즉 남은 거리가 상대적으로 짧기 때문에 Miss Distance가 줄어든다.

교전거리가 2km인 경우 생존율은 100%이며, Table 2와 같이 교전거리 1km에 비하여 평균 Miss Distance는 약 3배 이상 증가하였고, 최대 Miss Distance도 약 800m 가량 증가하였다. 이는 앞서 언급한대로 기만 후 항공기와 유도탄이 조우하기까지 남은 시간이 증가하여 표적을 놓친 상태로 더 많은 거리를 비행하기 때문이다.

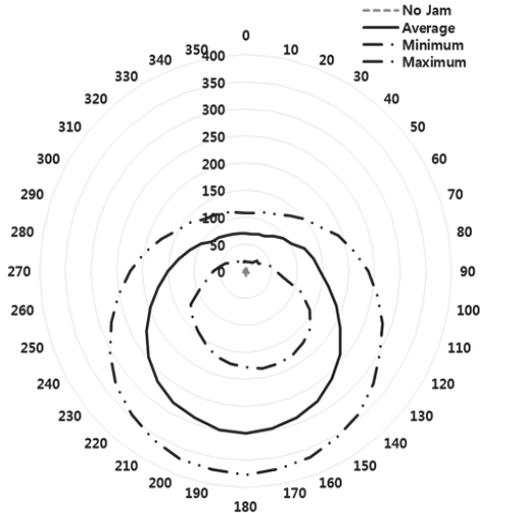
2세대 MANPADS와 DIRCM의 교전 시뮬레이션에서는 교전거리가 1km와 2km 모두 생존율 100%로 분석되었고, 교전거리가 길어지면 평균, 최소, 최대 Miss Distance 모두 증가하였다. 1세대 MANPADS와 달리 교전거리 1km에서도 생존율이 100%로 나타난 것은 2세대 적외선타색기의 전체 시야가 1세대보다 약 2배 정도 넓기 때문이다. 적외선타색기의 전체 시야가 넓으면 변조된 레이저빔에 의한 탐색기의 오차각도 증가한다. 이로 인하여 유도탄이 표적으로부터 벗어나는 각도가 증가하기 때문에 교전거리 1km에서도 Miss Distance가 15m 이내인 경우가 발생하지 않았다.

마지막으로 3세대 MANPADS와 DIRCM의 교전거리가 1km인 경우 생존율 92.78%, 교전거리 2km인 경우 생존율 99.72%로 분석되었다. 앞선 1, 2세대 MANPADS와 마찬가지로 교전거리가 길어지면 평균, 최소, 최대 Miss Distance도 증가하였다.

반면 1세대, 2세대 MANPADS와 달리 3세대 MANPADS는 교전거리 2km에서 Miss Distance가 15m 이내인 경우가 1회 발생하였다. 3세대 적외선타색기는 적외선타색인 섬광탄에 대응하기 위하여 탐색기 시야를 좁혔고, 1, 2, 3세대 MANPADS 중 최고 속도가 가장 빠르다. 따라서 기만 후, 즉 탐색기가 표적을 놓친 후 유도탄이 표적으로부터 벗어나는 각도가 가장 작고, 항공기와 조우하는 시간이 가장 짧기 때문에 Miss Distance가 충분히 발생하지 않는 상황이 일어날 수 있다. 따라서 DIRCM의 입장에서는 3세대 MANPADS가 1, 2세대 MANPADS에 비하여 교전효과가 낮은 것이 일반적이다.

**Table 1.** Miss distance of 1<sup>st</sup> MANPADS at 1km

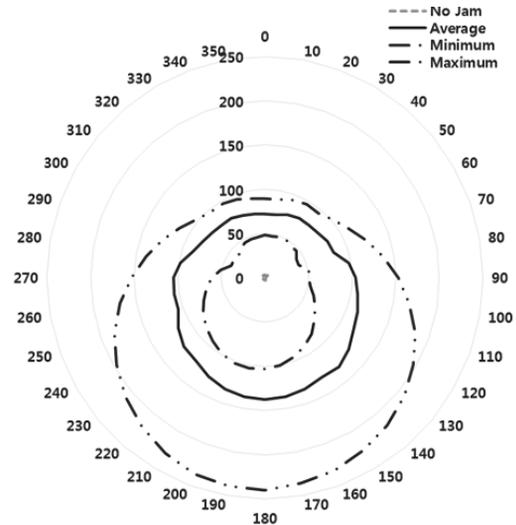
	Average	Minimum	Maximum	Standard Deviation
Miss Distance [m]	167.80	10.60	376.70	100.38



**Fig. 13.** Miss distance of 1<sup>st</sup> MANPADS at 1km

**Table 3.** Miss distance of 2<sup>nd</sup> MANPADS at 1km

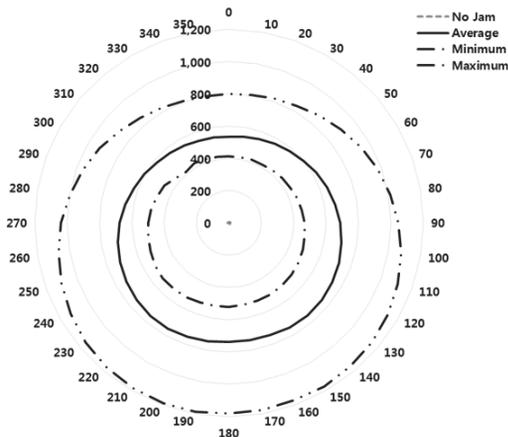
	Average	Minimum	Maximum	Standard Deviation
Miss Distance [m]	102.32	39.30	239.90	42.80



**Fig. 15.** Miss distance of 2<sup>nd</sup> MANPADS at 1km

**Table 2.** Miss distance of 1<sup>st</sup> MANPADS at 2km

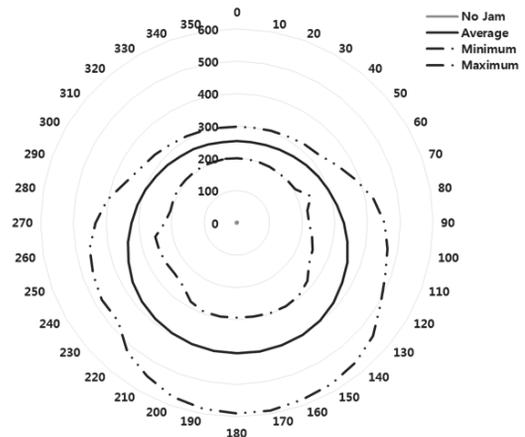
	Average	Minimum	Maximum	Standard Deviation
Miss Distance [m]	662.55	411.90	1190.90	179.48



**Fig. 14.** Miss distance of 1<sup>st</sup> MANPADS at 2km

**Table 4.** Miss distance of 2<sup>nd</sup> MANPADS at 2km

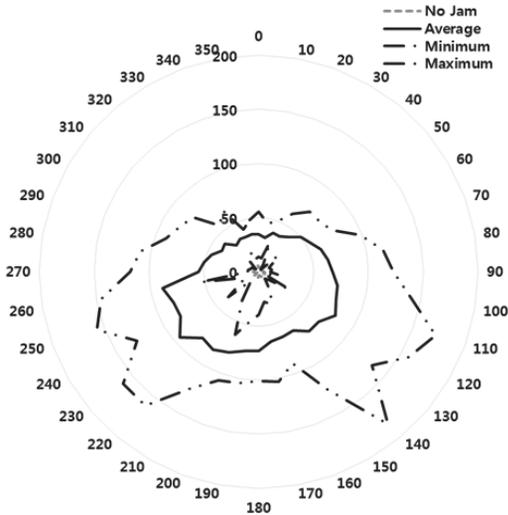
	Average	Minimum	Maximum	Standard Deviation
Miss Distance [m]	328.29	198.40	530.90	82.66



**Fig. 16.** Miss distance of 2<sup>nd</sup> MANPADS at 2km

**Table 5.** Miss distance of 3<sup>rd</sup> MANPADS at 1km

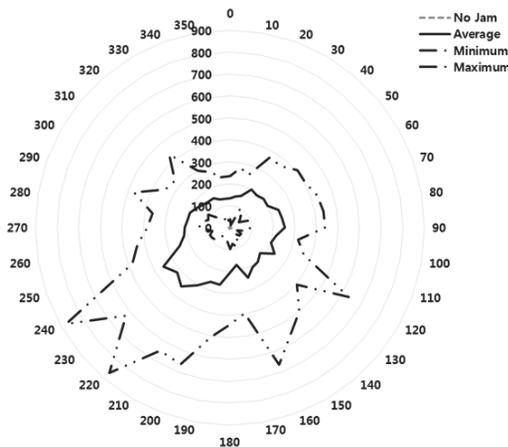
	Average	Minimum	Maximum	Standard Deviation
Miss Distance [m]	59.61	2.40	183.20	33.23



**Fig 17.** Miss distance of 3<sup>rd</sup> MANPADS at 1km

**Table 6.** Miss distance of 3<sup>rd</sup> MANPADS at 2km

	Average	Minimum	Maximum	Standard Deviation
Miss Distance [m]	212.98	11.30	875.00	135.82



**Fig 18.** Miss distance of 3<sup>rd</sup> MANPADS at 2km

### 5. 결론

1, 2, 3세대 MANPADS와 DIRCM을 모델링하여 각 세대별 MANPADS와 DIRCM의 교전 상황을 모사하여 항공기의 생존율을 분석하였다. 교전거리 1km와 2km에서 1, 2, 3세대 MANPADS와 DIRCM을 장착한 항공기가 교전하는 기만 시뮬레이션을 수행하였다. 그 결과, 하나의 기만코드로 변조된 레이저빔을 조사하는 DIRCM이 1, 2, 3세대 MANPADS를 모두 기만하는 것을 확인하였다. 또한 교전거리 1km에서 항공기 생존율은 최소 92% 이상, 교전거리 2km에서 항공기 생존율은 최소 99% 이상으로 분석되었다. 항공기의 전방 방향에서 유도탄이 발사되면 Miss Distance는 줄어들고, 반대로 항공기의 후방 방향에서 유도탄이 발사되면 Miss Distance는 증가하였다. 또한 1, 2, 3세대 MANPADS 모두 교전거리가 증가하면 Miss Distance는 늘어나며 생존율도 증가하였다.

### References

Ahn S.H., Y.C. Kim, K.S. Lee, K.H. Kim and S. S. Kim (2009) "DIRCM Jamming Effect Analysis of Spin-Scan Reticle Seeker", Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology, 12 (6), 776-784.

(안상호, 김영훈, 이광세, 김기홍, 김성수 (2009) "스핀스캔 레티클 탐색기의 DIRCM 재밍효과 분석", 한국군사과학기술학회지, 12(6), 776-784).

Ahn S.H., Y.C. Kim, K.S. Lee, K.H. Kim and S. S. Kim (2010) "IRCM Jamming Effect Analysis of a Stationary Reticle Seeker", Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology, 13 (2), 304-312.

(안상호, 김영훈, 이광세, 김기홍, 김성수 (2010) "스핀스캔 레티클 탐색기의 DIRCM 재밍효과 분석", 한국군사과학기술학회지, 13(2), 304-312).

Chapman S. (2014) "The next generation in aircraft protection against advanced MANPADS," Proc. SPIE 9251, Technologies for Optical Countermeasures XI.

Jeong C.S., Y.S. Shin, W.J. Choi, D.Y. Jung and K.H. Kim (2016) "Jamming Simulation of a Pulse Modulated Infrared Seeker", 2016 Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology

- Annual Conference Proceedings, 463-464.  
 (정춘식, 신용산, 최우진, 정대운, 김기홍 (2015) “필스변조 적외선타색기의 기만 시뮬레이션”, 2016 한국군사과학기술학회 종합학술대회, 463-464).
- Jeong C.S., Y.S. Shin and S.J. Kim (2018) “Jamming Simulation for an Analysis of DIRCM Effectiveness”, 11<sup>th</sup> International Army Modeling & Simulation Education Conference, 94-95.  
 (정춘식, 신용산, 김성재 (2018) “기만 시뮬레이션을 이용한 지향성적외선방해장비 효과 분석”, 제11회 육군 M&S 국제학술대회, 94-95).
- Pollock D.H., J.S. Accetta and D.L. Shumaker (1993) *Countermeasure Systems, The Infrared & Electro-Optical Systems Handbook, Vol. 7*, The Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers.
- Richardson M.A. (2007) “The anatomy of the MANPAD,” Proc. SPIE 6738, Technologies for Optical Countermeasures IV.
- Smith C.R., R. Grasso, J. Pledger and N. Murarka (2012) “Trends in electro-optical electronic warfare,” Proc. SPIE 8543, Technologies for Optical Countermeasures IX.
- Titterton D.H. (2004) “A review of the development of optical countermeasures,” Proc. SPIE 5615, Technology for Optical Countermeasures.
- White J.R. (2012) “Aircraft Infrared Principles, Signatures, Threats, and Countermeasures,” Naval Air Warfare Center Weapons Division TP 8773.
- Yasin S.A., A.R. Erfanian, M.R. Mosavi and A. Mohammadi (2014) “Design and simulation a new unique-slit reticle for pulsed infrared seekers,” Journal of the Optical Society of Korea, 18(1), 1-8.



**정 춘 식** (chunsik@add.re.kr)

2009 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 학사  
 2012 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 정보통신공학 석사  
 2013~ 현재 국방과학연구소 연구원

관심분야 : 적외선 생존체계, DIRCM, EO/IR