

동적 교전 시나리오에서 지상 추적 레이더에 대한 이탈방사체의 효과적 재밍/기만 영역 분석

Evaluation of Effective Jamming/Deception Area of Active Decoy against Ground Tracking Radars on Dynamic Combat Scenarios

임재원 · 이상엽 · 고일석 · 백 청* · 이승수*

Jae-Won Rim · Sangyeob Lee · Il-Suek Koh · Chung Baek* · Seungsoo Lee*

요 약

플랫폼과 이탈방사체가 동적인 상태에 있는 교전 시나리오에서 지상 추적 레이더에 대한 이탈방사체의 재밍/기만 효과를 분석한다. 플랫폼의 운동과 주변 간섭 유동장에 따른 이탈방사체의 궤적을 6자유도 운동 방정식을 이용하여 해석한다. 실제적인 교전 시나리오에서 플랫폼과 이탈방사체의 운동 변화 및 이탈방사체의 RF 성능 변화에 따른 지상 추적 레이더에 대한 재밍 성능을 분석하며, 효과적인 지상 추적 레이더 기만을 위한 이탈방사체의 재밍 영역을 도출한다.

Abstract

We analyze the jamming/deception performance of an active decoy against ground tracking radars on dynamic combat scenarios. Based on the movement and the interference flow of an airborne platform, the trajectories of the active decoy is accurately calculated by solving 6-degree of freedom equations of motion. On realistic combat scenarios, numerical simulations are examined to analyze the jamming performance of the decoy for various movements of the platform and RF specifications of the active decoy. Effective jamming/deception area against the ground tracking radars is estimated from the simulation.

Key words: Active Decoy, Jamming Performance, M&S, Electronic Warfare, Electronic Attack

I. 서 론

교전 중 플랫폼 비행체로부터 사출된 이탈방사체는 적 레이더에 전자 공격(electronic attack)을 가해 플랫폼의 생존성을 확보한다^[1]. 이탈방사체의 효율적인 운용을 위해서는 다양한 교전 시나리오에서 이탈방사체의 재밍 성능을 분석하기 위한 모델링 및 시뮬레이션 방법이 요구된

다. 이를 위해 최근 플랫폼과 이탈방사체의 움직임을 고려하여 적 레이더에 대한 이탈방사체의 재밍 성능을 분석하기 위한 수치적 방법이 제안되었다^[2].

본 논문에서는 다양한 전개 시나리오에 대해 리피터(repeater)형 이탈방사체의 지상 추적 레이더에 대한 재밍/기만 효과를 분석한다. 플랫폼으로부터 사출된 이탈방사체의 궤적 및 자세각은 플랫폼 기동에 의존하며, 이를 정

「본 연구는 광주과학기술원 전자전특화연구센터를 통한 방위사업청과 국방과학연구소 연구비 지원으로 수행되었습니다.」

인하대학교 전자공학과(Department of Electronic Engineering, Inha University)

*인하대학교 항공우주공학과(Department of Aerospace Engineering, Inha University)

· Manuscript received February 1, 2017 ; Revised March 16, 2017 ; Accepted March 23, 2017. (ID No. 20170201-07S)

· Corresponding Author: Il-Suek Koh (e-mail: ikoh@inha.ac.kr)

확히 예측하는 것은 최종 시뮬레이션 결과에 매우 중요하다. 본 논문에서는 플랫폼의 기동 시나리오에 따른 6자유도 방정식^[3]을 풀어 이탈방사체의 궤적을 정확히 해석한다. 또한, 레이더의 시 영역 수신 신호를 비행체의 2D 편광계(polarimetric) 레이더 시그니처 및 이탈방사체의 안테나 방사패턴, 안테나 이득, 내부 증폭 이득 등 RF 성능을 고려하여 Friis 전송 방정식을 기반으로 계산한다^[2]. 이를 종합하여 코니컬 스캐닝(conical scanning) 모드로 운용되는 지상 추적 레이더에 대해 플랫폼 기동 및 이탈방사체의 RF 성능 변화에 따른 이탈방사체의 재밍 성능을 분석한다. II절에서는 모델링방법에 대해 설명하고, III절에서는 플랫폼 운동에 따른 이탈방사체의 궤적 해석 및 시뮬레이션 방법에 대해 기술한다. IV절에서는 시나리오 별 수치적 결과를 토대로 지상 추적 레이더에 대한 이탈방사체의 재밍 효과를 분석하며 효율적인 이탈방사체 운용 방안을 도출한다.

II. 모델링 방법

2-1 동적 시나리오

그림 1은 본 논문에서 고려하는 동적 교전 시나리오를 나타낸다. 지상 레이더에 의해 노출되어 추적이 시작되면, 비행체(플랫폼)은 이탈방사체를 사출하여 레이더를 기만한다. 플랫폼과 이탈방사체는 동적인 상태에 있으므로 매 시간마다 위치와 자세가 변한다. 지상 추적 레이더는 매 PRT(Pulse Repetition Time) $n\Delta T$ 마다 전력을 송

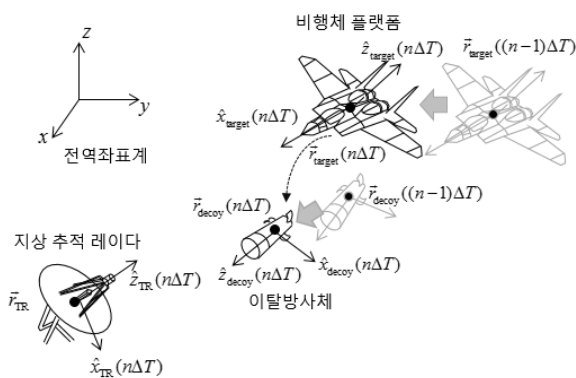


그림 1. 동적 교전 시나리오

Fig. 1. Dynamic combat scenario.

신하며, 반향(echo) 신호를 기반으로 표적을 추적한다. 반향 시간은 매우 짧아 플랫폼과 이탈방사체의 움직임은 무시할 수 있어, 각 PRT에서 두 물체가 고정되었다고 가정한다. 플랫폼과 이탈방사체로부터 반향 신호를 계산하기 위해서는 각각의 지역좌표계에서 산란 크기, 안테나 패턴, 편파(polarization) 등이 정의되기 때문에 시 영역(time domain) 반향 신호 계산 시 전역좌표계에서 각각의 지역좌표계로의 좌표 변환^[4]은 매우 중요하다.

2-2 플랫폼 모델링

지상 추적 레이더로부터 방출된 신호는 플랫폼에 임의의 각도 및 편파로 입사한다. 따라서, 플랫폼에 의한 산란 전력을 계산하기 위해서는 다음 네 개의 2D 편광계 레이더 시그니처가 요구된다: S_{HH} , S_{HV} , S_{VH} , S_{VV} . 여기서 S_{MN} ($M, N = H \text{ or } V$)는 수평(horizontal) 및 수직(vertical) 편파에 대한 모노스테틱(monostatic) 산란 행렬이다^[5]. 2D 레이더 시그니처 계산을 위해 IPO(Iterative Physical Optics) 방법^[6]을 사용하였으며, 본 논문에서 고려하는 플랫폼의 기하학 구조 및 산란 행렬은 참고문헌 [2]를 참조하였다(참고문헌 [2]의 표 2 및 그림 2).

2-3 이탈방사체 모델링

이탈방사체는 리피터(repeater) 타입으로 내부 전력 증폭기(power amplifier), 편파, 안테나 방사 패턴을 고려하여 모델링한다. 이탈방사체의 안테나 패턴은 그림 2와 같

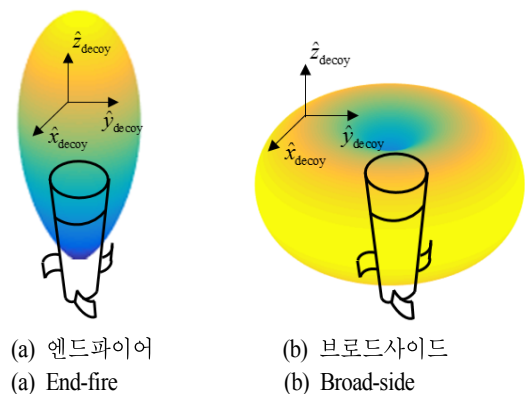


그림 2. 이탈방사체의 두 가지 안테나 패턴

Fig. 2. Two antenna patterns of active decoy.

이 end-fire 패턴과 broad-side 패턴을 고려한다. 두 패턴 모두 방위각 대칭(azimuth symmetry)으로 고각에만 종속된다. End-fire 패턴과 broad-side 패턴의 HPBW(Half Power Beam Width)는 각각 50° 와 90° 로 가정한다.

2.4 지상 추적 레이더 모델링

지상 추적 레이더의 운용으로 코니컬 스캐닝 모드를 고려한다. 안테나는 LOS(Line Of Sight) 축을 기준으로 스쿼트 각(squint angle)을 갖고 회전하며, 방향 전력 히스토리(power history)를 분석한다^[7]. 한 주기 동안의 전력 히스토리를 기준(reference) 전력 엔벨로프(envelope)와 비교하여 표적의 방위각과 고각 정보를 추출한다. 본 논문에서는 최대 수신 전력(maximum received power)을 기반으로 다음 주기의 빔 조향 각도를 계산하며, 표적을 추적하는 알고리즘을 사용하였다. LOS 축을 기준으로 안테나의 회전 각속도는 4 [rotations/sec]로 가정하였다. 안테나의 HPBW와 스쿼트 각은 각각 3° , 1.5° 로 모델링되었다.

2.5 시 영역 반향 신호 계산

매 PRT마다 추적 레이더는 반향 신호를 기반으로 동작하기 때문에, 시 영역 반향 신호를 계산하는 것은 매우 중요하다. 플랫폼으로부터 산란되는 전력은 Friis 전송 방정식^[8]을 기반으로 계산이 가능하다. 샘플링 시간 $n\Delta T$ 에서 레이더로부터 송신되어 이탈방사체에 전달되는 전력은 Friis 방정식을 기반으로 다음과 같이 표현된다^[2].

$$P_{TR \rightarrow decoy}(n\Delta T) = P_{trans} \times G_{TR}(\theta_{l, TR \rightarrow decoy}(n\Delta T), \phi_{l, TR \rightarrow decoy}(n\Delta T)) \times G_{decoy}(\theta_{l, decoy}(n\Delta T), \phi_{l, decoy}(n\Delta T)) \times \left(\frac{\lambda}{4\pi R_{TR \rightarrow decoy}(n\Delta T)} \right)^2 \times |\hat{\rho}_{TR \rightarrow decoy}(n\Delta T) \cdot \hat{\rho}_{decoy}(n\Delta T)|^2 \quad (1)$$

$\theta_{l, TR \rightarrow decoy}(n\Delta T)$ 와 $\phi_{l, TR \rightarrow decoy}(n\Delta T)$ 는 추적 레이더의 지역좌표계에서 이탈방사체로 향하는 전파의 고각과 방위각을 나타낸다. $\theta_{l, decoy}(n\Delta T)$ 와 $\phi_{l, decoy}(n\Delta T)$ 는 이탈방사체의 지역좌표계에서 정의되는 입사파의 입사 각도이며, $\hat{\rho}_{TR \rightarrow decoy}(n\Delta T)$ 와 $\hat{\rho}_{decoy}(n\Delta T)$ 는 각각 추적 레이더와 이탈방사체의 단위 편파 벡터를

나타낸다. 리피터형 이탈방사체는 수신된 전력을 증폭시켜 재 방사하므로, 내부 증폭 이득 G_{amp} 를 고려하여 다음과 같이 표현된다^[2].

$$P_{decoy}(n\Delta T) = P_{TR \rightarrow decoy}(n\Delta T) \times G_{amp} \times G_{TR}(\theta_{l, TR \rightarrow decoy}(n\Delta T), \phi_{l, TR \rightarrow decoy}(n\Delta T)) \times G_{decoy}(\theta_{l, decoy}(n\Delta T), \phi_{l, decoy}(n\Delta T)) \times \left(\frac{\lambda}{4\pi R_{TR \rightarrow decoy}(n\Delta T)} \right)^2 \times |\hat{\rho}_{decoy \rightarrow TR}(n\Delta T) \cdot \hat{\rho}_{TR}(n\Delta T)|^2 \quad (2)$$

유사하게, 플랫폼으로부터 산란되는 시 영역 반향 전력은 Friis 전송 방정식을 기반으로 네 개의 2D 편광계 레이더 시그니처를 사용하여 계산이 가능하다^[2].

III. 시뮬레이션 방법

3-1 이탈방사체 운동 해석

플랫폼으로부터 사출된 이탈방사체의 공기 역학적 힘(aerodynamic force)과 모멘트(moment)는 플랫폼의 영향/간섭을 받는다. 따라서 이탈방사체의 정확한 운동 해석을 위해서는 플랫폼 주위 간섭 유동장에 대한 정확한 예측이 필요하다. 전산유체역학(CFD: Computational Fluid Dynamics) 해석을 통해 플랫폼 기동에 대한 공력 및 간섭 유동장 데이터베이스를 구축하며, 이를 기반으로 6-DOF(Degree Of Freedom) 운동 해석 방정식의 해를 구해 시간에 따른 이탈방사체의 궤적 및 자세각을 정확히 예측한다^[3]. 운동 해석에 필요한 플랫폼 및 이탈방사체의 무게, 길이, 지름, 공기력 평균 시위(MAC: Mean Aerodynamic Chord), 관성모멘트(MOI: Moment of Inertia) 등 자세한 물리적 성능은 참고문헌 [2]를 참조하였다.

본 논문에서 고려하는 플랫폼의 운동은 직선 수평 비행(straight and level flight)이다. 플랫폼이 직선 수평 비행을 하는 경우 사출력(ejection force) 유/무(시나리오 1, 2) 및 플랫폼 비행 속도 변화(시나리오 1, 3)에 따른 이탈방사체의 운동 해석을 수행한다. 표 1은 본 논문에서 고려하는 플랫폼 및 이탈방사체 운동 시나리오를 나타낸다. 이탈방사체의 사출 위치 및 궤적은 고정된 플랫폼의 지역 관성 좌표계에 의해 정의되며, 사출각은 Euler 각도, (ϕ, θ, ψ) 를 통해 표현된다^[3].

표 1. 플랫폼 및 이탈방사체 운동 시나리오

Table 1. Movement scenarios of active platform and active decoy.

| | 시나리오 1 | 시나리오 2 | 시나리오 3 |
|-------------------|---|-------------------|-------------------|
| 플랫폼 운동 | 직선 수평 비행 운동(straight and level flight) | | |
| 플랫폼 초기 위치 [m] | (0, 5,000, 2,000) in global coordinates | | |
| 플랫폼 초기 방향 | -y direction in global coordinates | | |
| 플랫폼 속도 [m/s] | 136 | 136 | 272 |
| 이탈방사체 사출 위치 [m] | (-5.2, -1.3, 0.6) | (-5.2, -1.3, 0.6) | (-5.2, -1.3, 0.6) |
| 이탈방사체 사출 각도 [deg] | (0, 0, 0) | (0, 0, 0) | (0, 0, 0) |
| 사출력 [N] | 870 | 0 | 870 |

3-2 효과적 재밍 영역 계산

지상 추적 레이더에 대한 이탈방사체의 효과적 재밍/기만 영역을 분석을 위한 시뮬레이션 흐름도는 그림 3과 같다.

시뮬레이션 수행을 위해 해석 범위 내 레이더를 일정한 간격으로 배치시킨다. 초기 레이더는 코니컬 스캐닝 방식으로 플랫폼을 추적하고 있고, 플랫폼은 초기 시간 $t=0$ [sec]에서 이탈방사체를 사출시키는 상황을 가정한다. 그 후 II절에서 기술한 모델링을 기반으로 각 레이더는 샘플링 시간마다 수신 전력을 계산하고, 코니컬 스캐닝 운영

하에 빔 조향 각도를 갱신(update)하며, 표적을 추적하는 시뮬레이션을 수행한다. 시뮬레이션 후 레이더에 의해 추적된 물체를 비교하여 이탈방사체가 추적되었을 경우, 해당 지상 레이더 위치는 ‘효과적 재밍 영역(effective jamming area)’으로 판별하며, 플랫폼이 추적되었을 경우, ‘비효과적 재밍 영역(non-effective jamming area)’으로 판별한다. 지상 추적 레이더의 위치를 변화시켜가며, 동일한 시뮬레이션을 반복하여 해석 범위에 대한 시뮬레이션을 종료하여, 최종적으로 효과적 재밍 영역을 도출한다.

IV. 시뮬레이션 결과

4-1 단일 레이더에 대한 재밍 효과 분석

표 2의 시뮬레이션 파라미터에 대해 단일 지상 추적 레이더의 시 영역 수신 전력 및 추적 궤적을 분석한다.

전역 좌표계에서 레이더는 (0, 0, 0)에 위치하며, 플랫폼 및 이탈방사체의 운동은 표 1의 시나리오 1을 가정한다.

그림 4에서 볼 수 있듯이, 전체 시뮬레이션 시간 동안 이탈방사체에 의한 재밍 전력은 플랫폼의 산란 전력보다 크며, 전체적으로 이탈방사체가 추적되는 것을 알 수 있다. 1.5초, 4초, 9초 구간에서 이탈방사체의 재밍 전력은 플랫폼의 산란 전력보다 낮아 플랫폼이 추적되거나, 이탈방사체의 위치에서 벗어난 추적 에러가 발생하며 최대 수신 전력을 기반으로 추적하는 레이더가 제대로 동작하는 것을 알 수 있다. 10초 이후의 시간에는 플랫폼은 이탈방사체로부터 고각 6° 이상 벗어나며, 이는 지상 추적 레이더의 HPBW 3° 를 벗어나 지속적으로 이탈방사체가 추

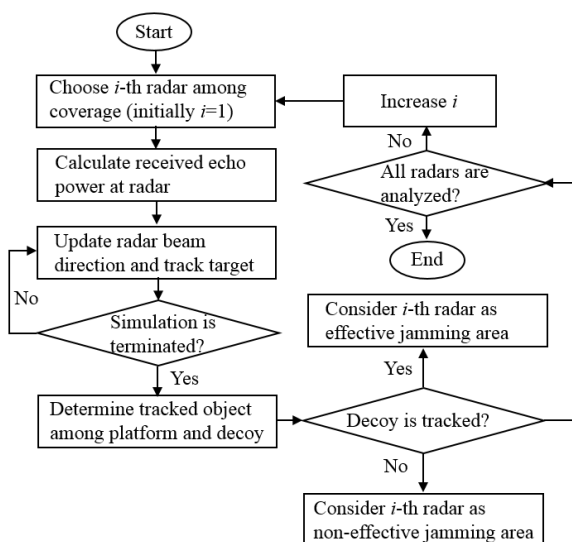


그림 3. 시뮬레이션 흐름도
Fig. 3. Simulation flowchart.

표 2. 시뮬레이션 파라미터

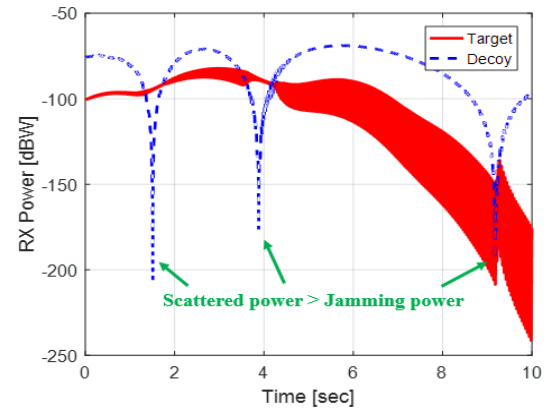
Table 2. Simulation parameters.

| | |
|-----------------|--|
| 동작 주파수 | S-band |
| 레이더 송신 전력 | 1,000 W |
| 레이더 편파 | Locally x-directed |
| 레이더 동작 모드 | 코니컬 스캐닝 모드 |
| 레이더 초기 LOS 각도 | $\theta = 68^\circ, \phi = 90^\circ$ |
| 레이더 HPBW | 3° |
| 스캔트 각도 | 1.5° |
| 안테나 회전 주기 | 4 [rotations/sec] |
| 이탈방사체 최대 안테나 이득 | 15 dB |
| 이탈방사체 증폭 이득 | 20 dB |
| 이탈방사체 편파 | End-fire: locally x-directed Broad-side: locally z-directed |
| 이탈방사체 안테나 방사 패턴 | End-fire(HPBW: 50°), Broad-side(HPBW: 90°) |

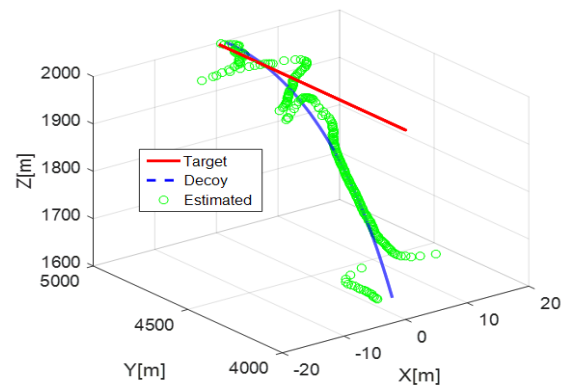
적되어 플랫폼의 생존성은 보장된다. 따라서 본 논문에서는 10초의 시간을 기준으로 추적거리와 플랫폼 이탈방사체의 거리 판별을 통해 추적 여부를 판별하며, 효과적 재밍 영역을 도출한다.

4.2 사출력 유/무에 따른 효과적 재밍 영역 분석

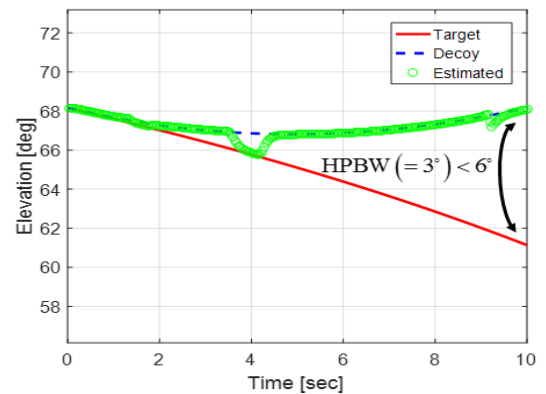
표 2의 시뮬레이션 파라미터와 동일한 조건에서 효과적인 재밍 영역을 도출하기 위해 지상 레이더의 위치를 x축으로 $-6,000$ m부터 $+6,000$ m, y축으로 $-8,000$ m부터 $+5,000$ m까지 100 m 간격으로 위치시켜가며, 그림 4의 시뮬레이션을 각 레이더마다 동일한 조건에서 반복한다. 사출 10초 후 레이더에 의해 추적된 거리와 이탈방사체의 최소 거리가 플랫폼과의 거리보다 가까울 경우를 판별하여 효율적인 재밍 영역을 분석한다. 사출력 유/무에 따른 재밍 효과를 분석하기 위해 표 1의 시나리오 1과 시나리오 2를 비교한다. 그림 5에서 볼 수 있듯이, 이탈방사체의 안테나의 방사 패턴이 End-fire 패턴일 경우 재밍 전력은 대부분 LOS 방향으로 전달되기 때문에, 플랫폼 진행 방향에 대해 효율적인 재밍 영역을 발생시킨다. 반면에, broad-side 패턴일 경우, 재밍 전력은 대부분 옆으로 분산되므로 진행 방향의 옆 방향에 효율적인 재밍 영역을 발생시킨다. 사출력의 존재 여부와 관계없이 broad-side 패



(a) 수신 전력 히스토리
(a) Received power history



(b) 3D 궤적
(b) 3D trajectory



(c) 고각
(c) Elevation angle

그림 4. 수신 전력 히스토리 및 3D 궤적
Fig. 4. Received power history and 3D trajectory.

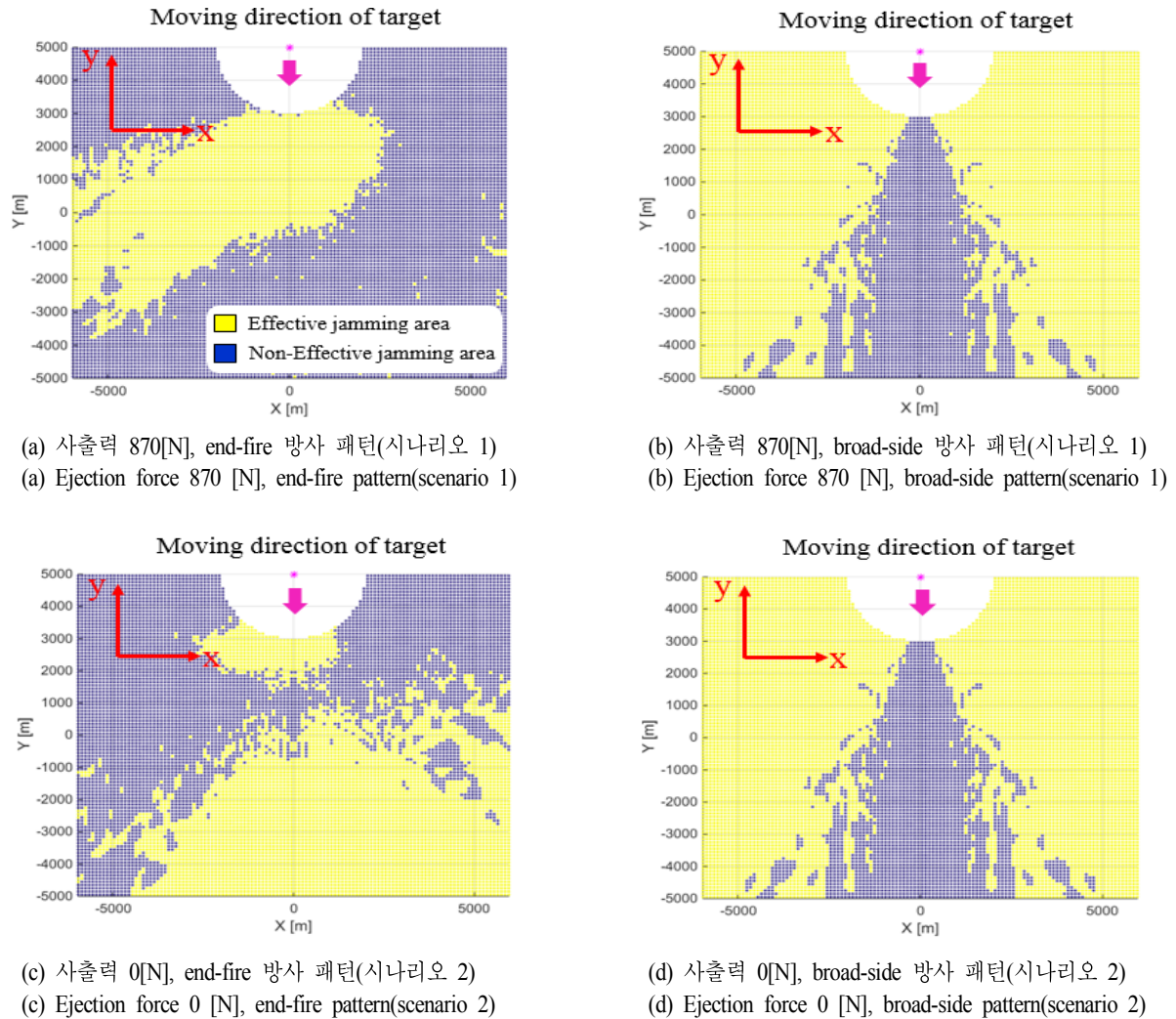


그림 5. 사출력 유/무에 따른 지상 추적 레이더에 대한 효과적 재밍 영역
Fig. 5. Effective Jamming area against ground tracking radar with and without ejection force.

탄의 이탈방사체는 동일한 재밍 영역을 발생시키는 반면에, end-fire 패턴의 이탈방사체는 사출력의 존재 여부에 크게 종속되며, 사출력이 없는 경우 더 효과적인 재밍 성능이 발생한다. 이탈방사체의 편파는 선형 편파이고, end-fire의 경우 LOS축(혹은 이탈방사체의 지역좌표계의 z축)을 기준으로 안테나가 회전하게 되는데, 사출력의 유/무에 따라 플랫폼 주위 간섭 유동장이 변하며, 시간에 따른 이탈방사체의 자세각이 다르며, 특히 LOS 축을 기준으로 안테나가 회전하는 정도가 다르다. 이에 따라 end-fire의 경우, 이탈방사체의 지역좌표계에서 x축 방향으로 편파가

정의되기 때문에, 시간에 따라 편파 부정합(polarization mismatch)이 발생하는 시간이 다르고, 재밍 히스토리가 달라져 레이더의 HPBW를 벗어나는 순간, 이탈방사체의 재밍 전력과 플랫폼의 산란 전력의 비가 달라지므로 재밍 효과가 다르다. 반면에, broad-side의 경우, 편파의 방향은 LOS 축과 동일하기 때문에, 편파 부정합에 독립적이며 사출력 유/무에 관계없이 동일한 재밍 효과를 낸다.

4.3 편파에 따른 효과적 재밍 영역 분석

이탈방사체의 편파에 따른 재밍 효과를 분석하기 위해

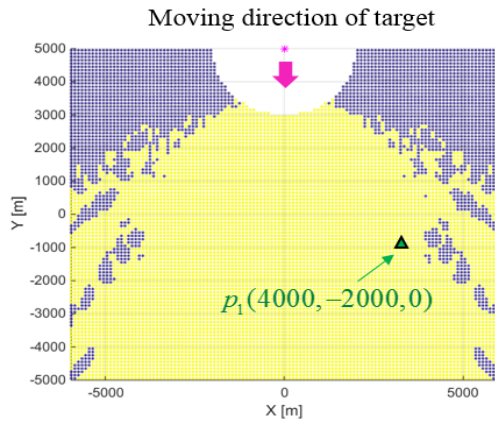


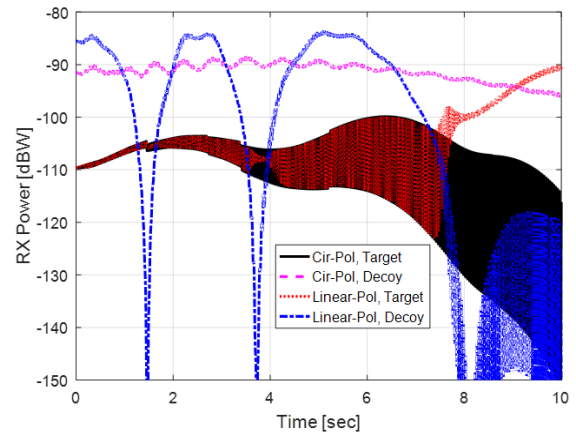
그림 6. 이탈방사체의 end-fire 패턴과 원형 편파에 대한 효과적 재밍 영역(시나리오 1)

Fig. 6. Effective jamming area with end-fire beam pattern and circular polarization(scenario 1).

시나리오 1에서 end-fire 패턴 및 원형(circular) 편파를 가정했을 경우의 시뮬레이션 결과는 그림 6과 같다. 편파를 제외한 모든 독립 변수들은 표 2의 파라미터와 동일하다. 그림 6에서 볼 수 있듯이, 원형 편파를 갖는 이탈방사체의 효율적인 재밍 영역은 선형 편파일 경우 그림 5(a) 결과와 달리 전 영역에 넓은 분포를 갖는다. 이를 분석하기 위해 $P_1(4,000-2,000, 0)$ 에서의 선형 편파와 원형 편파의 경우, 레이더의 수신 전력 히스토리 및 편파 부정합을 분석하면 그림 7과 같다. 원형 편파를 사용할 경우, 이탈방사체의 재밍 전력은 플랫폼의 산란 전력보다 큰 반면, 선형 편파를 사용한 이탈방사체의 재밍 전력은 1.5초, 4초, 8초 부근에 편파 부정합에 의한 널(null) 점을 가지며, 최종적으로 플랫폼 산란 전력보다 낮아 레이더를 기만하지 못한다. 이는 그림 7(b)에서 보는 바와 같이, 이탈방사체가 LOS 축을 기준으로 회전하여 편파 부정합이 발생하기 때문이다. 원형 편파를 사용한 이탈방사체는 최대 편파 부정합 값이 선형 편파에 비해 -6 dB 낮지만, 플랫폼으로부터 사출된 이후 안정적인(stable) 값을 유지하며, 안테나 회전에 따른 영향을 받지 않는다. End-fire 방사 패턴과 조합되어 플랫폼의 기동 방향(LOS 방향)으로 효율적인 재밍 성능을 나타낼 수 있다.

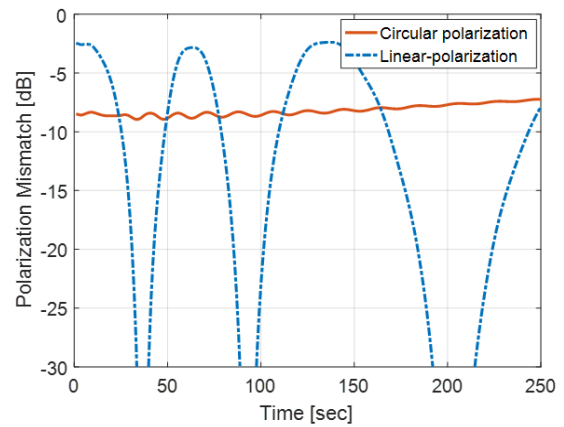
4.4 플랫폼 속도에 따른 효과적 재밍 영역 분석

표 1의 시나리오 3의 직선 수평 비행하는 플랫폼의 속



(a) 수신 전력 히스토리

(a) Received power history



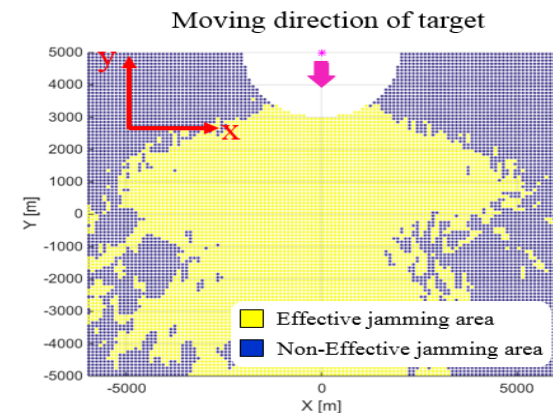
(b) 편파부정합

(b) Polarization mismatch

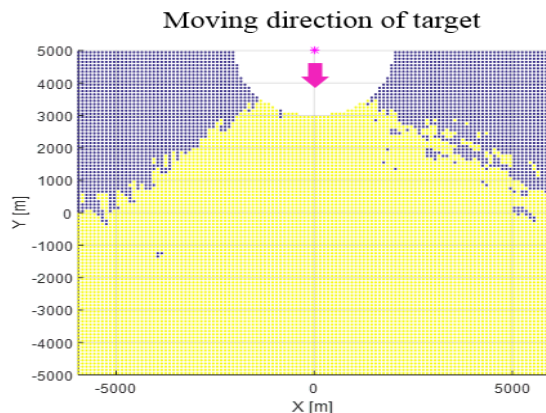
그림 7. 수신 전력 히스토리 및 편파 부정합

Fig. 7. Power history and polarization mismatch.

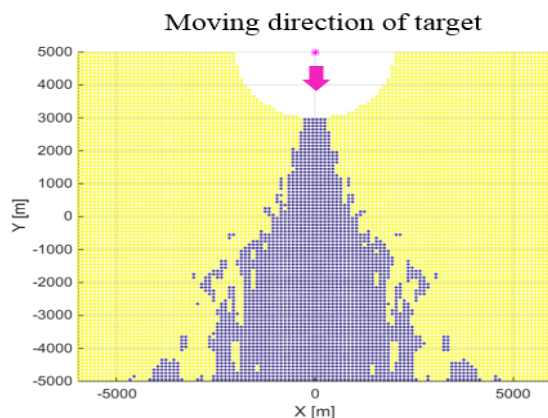
도를 272 m/s로 2배 증가시킨 경우, 이탈방사체의 효과적 재밍 영역을 도출하였다. 표 1의 시나리오 3의 직선 수평 비행하는 플랫폼의 속도를 272 m/s로 2배 증가시킨 경우, 이탈방사체의 효과적 재밍 영역을 도출하였다. 플랫폼 기동 속도가 증가한 시나리오 내의 이탈방사체에 대한 운동 해석 결과에 따르면, 이탈방사체의 궤적은 크게 달라지지 않으나, 자세각이 변하며, 이탈방사체가 LOS 축을 기준으로 회전하는 정도가 바뀌게 된다. 따라서 'end-fire 패턴+선형 편파'의 경우, 편파 부정합의 영향으로 재밍 전력이 바뀌게 되어 효과적 재밍 영역이 시나리오 1의 결



(a) End-fire 패턴 + 선형 편파
(a) End-fire pattern + linear polarization



(b) End-fire 패턴 + 원형 편파
(b) End-fire pattern + circular polarization



(c) Broad-side 패턴 + 선형 편파
(c) Broad-side pattern + linear polarization

그림 8. 효과적 재밍 영역(시나리오 3)

Fig. 8. Effective jamming area on scenario 3.

과와 크게 다르며, ‘end-fire 패턴+원형 편파’ 및 ‘broad-side 패턴+선형 편파’의 효과적 재밍 영역은 시나리오 1에 대한 해석 결과와 매우 유사하다(그림 8).

또한 ‘end-fire 패턴+선형 편파’의 경우, 시나리오 1, 시나리오 2의 경우보다 플랫폼의 기동 속도가 더 높으므로 플랫폼 RCS가 급격하게 변하며, 이탈방사체와의 이격(separation) 역시 빨라 추적 레이더의 빔 폭으로부터 일찍 벗어나므로 넓은 영역에 걸쳐 효율적인 재밍 영역을 야기한다.

V. 결 론

본 논문에서는 플랫폼 및 이탈방사체의 운동 시나리오에 대해 이탈방사체의 방사 패턴과 편파 등 RF 성능 변화와 이탈방사체의 지상 추적 레이더에 대한 재밍 성능을 분석하였고, 효과적인 재밍/기만 영역을 도출하였다. 지상 추적 레이더의 운용으로 코니컬 스캐닝 모드를 가정하였다. 이탈방사체는 편 날개에 의한 영향으로 이탈방사체 즉, 안테나가 LOS축을 기준으로 회전한다. 이로 인해 end-fire 방사 패턴을 갖고 선형 편파를 사용하는 이탈방사체의 경우, 편파 부정합으로 인해 재밍 비효율성이 발생한다. End-fire 방사 패턴에 대해 원형 편파는 효과적인 재밍 성능을 나타내며, broad-side 방사 패턴의 경우, 역시 회전으로 인한 편파 부정합의 영향을 받지 않으며, 안정적인 재밍 성능을 발휘한다. 또한, ‘end-fire 패턴+선형 편파’를 사용하는 이탈방사체의 경우, 사출력 및 플랫폼 기동 속도에 크게 영향을 받으며, ‘end-fire 패턴+원형 편파’ 및 ‘Broad-side 패턴+선형 편파’는 사출력 및 플랫폼 기동 속도에 크게 종속되지 않음을 확인하였다. 본 논문에서는 시나리오 기반 이탈방사체의 전파방해 시뮬레이션을 수행하여 편파 부정합 등 일반적으로 알려진 현상을 예측할 수 있음을 보였다. 정방향으로 이탈방사체를 사출하는 경우 편파에 관련없이 안정적인 재밍 효과를 내는 broad-side 패턴 혹은 원형편파를 기반의 end-fire 패턴을 사용하여 플랫폼의 생존성을 증대시킬 수 있다.

References

- [1] F. Neri, *Introduction to Electronic Defense Systems*, Ar-

- tech House, London, 1991.
- [2] Jae-Won Rim, Ki-Hwan Jung, Il-Suek Koh, Chung Baek, Seungsoo Lee, and Seung-Ho Choi, "Simulation of dynamic EADs jamming performance against tracking radar in presence of airborne platform", *IJASS*, vol. 16, no. 3, pp. 475-483, Sep. 2015.
- [3] E. Kwak, J. Shin, S. Lee, K. Choi J. Hyun, and N. Kim, "Development of an off-line 6-DOF simulation program for store separation analysis", *J. of the Korean Society for Aeronautical and Space Sciences*, vol. 37, no. 12, 2009, pp. 1252-1257. DOI: 10.5139/JKSAS. 2009.37. 12.1252.

- [4] Ben Noble, W. Daniel James, *Applied Linear Algebra*, vol. 3, New Jersey: Prentice-Hall, 1988.
- [5] Balanis, Constantine A, *Advanced Engineering Electromagnetics*, John Wiley & Sons, 2012.
- [6] Fernando, Obelleiro-Basteiro, J. Luis Rodriguez, and Robert J. Burkholder. "An iterative physical optics approach for analyzing the electromagnetic scattering by large open-ended cavities", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 43, no. 4, pp. 356-361, 1995.
- [7] Merrill Skolnik, *Radar Handbook*, McGraw-Hill, 2007.
- [8] Pozar, David M., *Microwave Engineering*, John Wiley & Sons, 2009.

임 재 원



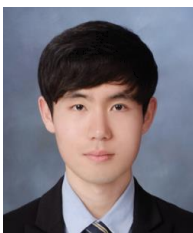
2014년 8월: 인하대학교 전자공학과 (공학사)
 2016년 8월: 인하대학교 전자공학과 (공학석사)
 2016년 9월~현재: 인하대학교 전자공학과 박사과정
 [주 관심분야] Electronic Warfare, Numerical Analysis

고 일 석



1992년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학사)
 1994년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
 1996년 4월: LG 전자 연구원
 2002년 8월: The University of Michigan at Ann Arbor 전기 및 전산과 (공학박사)
 2004년 3월~2010년 8월: 인하대학교 정보통신대학원 교수
 2010년 9월~현재: 인하대학교 전자공학과 교수
 [주 관심분야] Theoretical Electromagnetics, Numerical Analysis, Wave Propagation through Complex Media

이 상 엽



2015년 2월: 인하대학교 전자공학과 (공학사)
 2015년 3월~현재: 인하대학교 전자공학과 석사과정
 [주 관심분야] Electronic Warfare, Numerical Analysis

백 청



2013년 2월: 인하대학교 항공우주공학과 (공학사)
 2013년 3월~현재: 인하대학교 항공우주공학과 석박사통합과정
 [주 관심분야] Computational Fluid Dynamics, Store Separation

이 승 수



1983년 2월: 서울대학교 항공공학과 (공학사)

1985년 2월: 서울대학교 항공공학과 (공학석사)

1990년 5월: Penn State University Aerospace Engineering (공학박사)

1990년 9월: 국방과학연구소 선임연구원

2003년 3월~현재: 인하대학교 항공우주공학과 교수

[주 관심분야] Computational Fluid Dynamics, Store Separation