

다수 대함유도탄에 대한 함정의 대공방어유도탄 운용기법 연구

김도완*, 윤중섭*, 유창경*

Defense Strategy against Multiple Anti-Ship Missiles
using Anti-Air Missiles

Dowan Kim*, Joongsup Yun* and Chang-Kyung Ryoo*

ABSTRACT

In this paper, an efficient defense strategy of single naval ship using short range anti-air missiles against the threat of multiple anti-ship missiles is suggested. The defense logic is based on the estimated future trajectory of anti-ship missiles by using current radar information. The logic is designed to maximize the range of interception of anti-ship missiles so that the chance of interception can be increased although the prior tries turn out to be fail. Basically, the decision making for the allocation of a defense missile is achieved by comparing the total kill probability and the estimated intercepting point. Performance of the proposed logic is investigated by nonlinear planar numerical simulations.

초 록

본 연구에서는 단일 함정에 대해 근접방어용 대공방어유도탄을 이용한 대함유도탄 방어 기법 로직을 제안한다. 방어함정은 레이더 정보를 이용해 대함유도탄 궤적을 예측하고, 예측된 궤적을 바탕으로 방어 기법 로직에 의해 교전 계획을 수립한다. 방어 기법 로직은 최대한 많은 수의 대함유도탄을 함정으로부터 최대한 먼 곳에서 요격하는 로직으로 이전 발사가 요격에 실패했을 경우에 대비하기 위함이다. 방어유도탄의 할당에 관한 결정은 통합 격추 확률과 예상 요격 지점 비교를 통해 이루어진다. 제안한 로직의 성능은 비선형 2차원 평면 시뮬레이션을 통해 검증하였다.

Key Words : Ship Defense(함정방어), Anti-Ship Missile(대함유도탄), Anti-Air Missile(대공방어유도탄)

1. 서 론

1960년대, 해전에 유도탄이 도입된 이후, 해군 함정들 사이의 전투는 대함포전에서 본격적인 대유도탄전 양상으로 변화하였다. 이는 중동전쟁과 포클랜드전, 걸프전에서 해군함정들이 유도탄들

에 의해 침몰됨으로써 증명되었고, 그 결과 대함유도탄은 현재까지 해군 함정에 대한 가장 치명적인 위협 중의 하나로 평가되고 있다[1].

이후 대함유도탄은 고속, 고기동 능력을 갖추는 동시에 더욱 정확하게 목표를 명중시킬 수 있도록 성능이 향상되었다. 대함유도탄의 발전은 해군 함정의 대공방어시스템을 더욱 강화하는 결과를 야기했고, 단일 대함유도탄으로 대공방어시스템이 구축된 함정을 파괴하는 것은 매우 어려운 일이 되었다. 그 결과, Salvo Attack, Ripple

† 2010년 2월 22일 접수 ~ 2011년 3월 31일 심사완료

* 정회원, 인하대학교 항공우주공학과
교신저자, E-mail : ckryoo@inha.ac.kr
인천광역시 남구 용현동 253

Fire, 충돌 시간 제어기법 등과 같이 다수의 대함 유도탄을 동시에 효과적으로 운용하여 함정을 공격하는 연구가 활발하게 진행되었다. 반면에 최근까지 다수의 대함유도탄에 대한 함정의 방어체계에 대한 연구는 활발하게 진행되지 못하였다.

대함유도탄은 파괴력이 우수하며 명중 정확도가 높기 때문에 대포나 재래식 폭탄에 비하여 경제적이며, 여러 발사모체로부터 발사되어 다양한 회피기동을 통해 함정에 접근한다. 또한 속도가 매우 빨라 방어측면에서의 대응시간이 짧으므로 요격이 어렵다. 그리고 대함유도탄은 RCS(Radar Cross Section)가 매우 작고 Sea Clutter의 영향을 받기 때문에 탐지에 어려움이 있다. 그러나 무엇보다도 대함유도탄 방어를 어렵게 하는 요소는 다수가 동시에 운용되는 점이다[1,2]. 다수의 대함유도탄이 동시에 공격해 오는 경우, 교전의 순서를 지정하지 않게 되면 혼란을 초래하고 함정의 제한된 수의 방어무기체계를 포화시킬 수도 있으므로 매우 위험하다. 따라서 신속하고 효율적인 의사결정이 이루어져야 하며, 이 때 대함유도탄의 교전 여부와 교전 순서를 지정하는 알고리즘이 필요하다.

본 논문에서는 대공방어유도탄을 이용한 다수 대함유도탄에 대한 방어기법을 제안한다. 방어에 사용하는 대공방어유도탄은 근접거리용 단거리 대공방어유도탄으로 제한한다. 근접거리용 대공방어유도탄 체계의 유도탄들은 대개 유도방식으로 발사 후 망각방식(Fire-and-Forget Method)을 사용하므로 교전 여부 결정 및 교전 순서 지정 과정이 필수적으로 포함되어야 한다. 본 논문에서 제안할 방어기법은 대함유도탄의 위협 분석 및 대함유도탄 요격순서 지정 알고리즘을 포함한 방어유도탄의 발사 로직이다.

II. 교전상황 가정

해상의 전장에서는 전투에 영향을 미치는 여러 환경요소들이 존재한다. 본 논문에서는 방어유도탄 발사 로직의 소개에 앞서 교전에 영향을 주는 요소 및 성능들을 정의한다.

교전은 한 대의 방어 함정과 다수의 대함유도탄 사이에 이루어진다. 공격 세력 측(대함유도탄 운용 측)과 함정 측 모두 공중이나 지상기지, 다른 함정으로부터의 어떠한 종류의 지원도 존재하지 않는다. 또한, 교전 중 함정의 움직임은 없다. 함정의 레이더는 대함유도탄의 위치정보만을 측정한다.

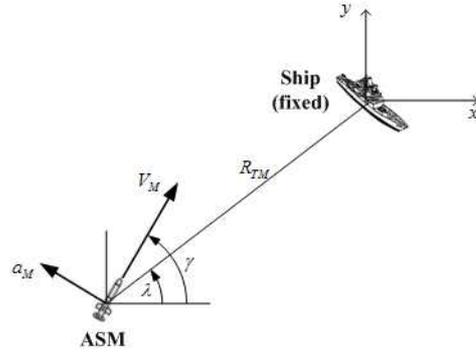


그림 1. 대함유도탄과 방어함정

대함유도탄의 성능은 현재 여러 국가에서 운용 중인 Exocet 및 Harpoon급 대함유도탄을 기준으로 한다. 운용 속도는 마하 0.8 부근이며 Sea Skimming 기동을 통해 함정에 접근한다. 일반적인 대함유도탄은 종말유도 단계에서 종말회피기동을 수행하지만, 함정으로부터 3 Km 이내 구역에서는 근접거리용 단거리 대공방어유도탄이 아닌 CIWS(Closed-In Weapon System)를 사용하여 방어하는 경우가 대부분이므로 본 논문에서는 고려하지 않았다.

대공방어유도탄의 성능은 미국의 RIM-116A RAM을 기준으로 선정하였다. RIM-116A RAM의 최대 사거리는 10 Km 이며, 3 Km 이내의 구간에서는 CIWS로 교전하는 것으로 한다. 따라서 대공방어유도탄의 교전 가능 구역은 함정으로부터 3 Km ~ 10 Km 구간이다. 운용 속도는 마하 2.5 부근이다. 또한, 대공방어유도탄은 2초 간격으로 발사할 수 있다. 서로 다른 방향에서 함정으로 진입해 오는 대함유도탄에 대응하기 위해 발사각을 변화시키는데 필요한 발사대 구동시간 및 발사 준비 시간은 연속 발사 간격 2초 안에 포함된다고 가정한다. RIM-116A RAM은 RF 탐색기와 IR 탐색기를 유도된다. 대공방어유도탄은 탐색기들로부터 나오는 시선각속도를 이용해 비례 항법 유도법칙(PNG:Proportional Navigation Guidance)으로 비행한다[3,4].

III. 대공방어유도탄 발사 로직

본 논문에서는 기 연구들을 바탕으로 대공방어유도탄의 전체 발사 로직을 그림 2와 같이 구성하였다[5].

그림 2의 단계 중 본 논문에서 제안하는 발사 로직의 가장 핵심적인 부분인 교전 계획 수립 단계는 3.3~3.5장의 표적 격추 확률 계산, 교전 여

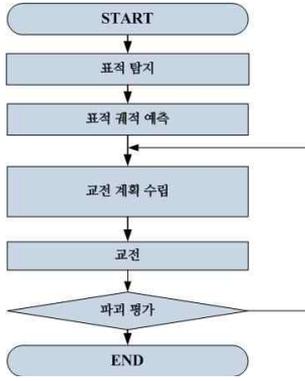


그림 2. 대공방어유도탄 전체 발사 로직

부 결정, 교전 순서 지정의 세 단계로 자세히 나누어진다.

3.1 표적 탐지

함정의 레이더는 보다 먼 거리에서 위협세력을 탐지하기 위해 크고 정교한 레이더 체계를 가능한 해수면 상부로 높이에 위치한다. 통상적인 함정의 높이와 레이더의 위치를 고려하면, 레이더의 탐지범위는 근접거리용 대공방어유도탄의 최대사거리보다 길다. 따라서 함정은 대함유도탄이 방어구역인 10 Km 이내로 접근하기 이전부터 대함유도탄을 탐지하여 예상 궤적을 예측하고 있을 것으로 가정한다.

3.2 표적 궤적 예측

함정은 레이더에서 얻은 대함유도탄의 위치정보를 바탕으로 대함유도탄이 앞으로 어떠한 속도, 어떠한 궤적을 통해 함정으로 접근할 것인지를 예측하여야 한다.

본 논문에서는 참고문헌의 IMM(Interactive Multiple Model) 기반 유도법칙 추정 필터를 통해 대함유도탄의 미래 궤적을 예측한다[6]. 구성된 IMM 기반 유도법칙 추정 필터의 다중 모델은 입사각 제어 유도법칙(IAC, Impact Angle Control) 모델과 비례 항법 유도법칙(PPN, Pure Proportional Navigation) 모델이다. IMM 필터에서는 해당 대함유도탄의 궤적이 IAC나 PPN 유도법칙을 사용하는 모델일 확률을 나타내는 모드 확률이 출력된다. 모드 확률은 두 모델과의 일치 정도를 상대적으로 나타내는 수치이다. 표적 궤적 예측 단계에서는 이 모드 확률을 비교하여 대함유도탄의 유도법칙의 종류를 판단한다. IAC 모드 확률이 높으면 해당 대함유도탄은 IAC 궤적을 가진다고 판단하고, PPN 모드 확률이 높으면 대함유도탄은 PPN 궤적으로 함정에 접근한

다고 판단한다. 식 (1)과 (2)는 각각 IAC와 PPN 유도법칙의 가속도 명령이다. IAC는 Unknown Factor로 σ_f 를 사용하여 함정 충돌 시의 입사각을 추정한다. PPN은 Unknown Factor로 N 을 사용하여 항법 상수를 추정한다.

$$u_T = 4V_T \dot{\sigma} + \frac{2V_T^2}{R}(\sigma - \sigma_f) \tag{1}$$

$$u_T = NV_T \dot{\sigma} \tag{2}$$

함정의 레이더에서 얻은 대함유도탄의 정보와 IMM 필터에서 예측한 IAC의 입사각과 PPN의 항법상수를 통해 대함유도탄의 유도 법칙을 구성할 수 있고, 이 유도 법칙을 이용한 궤적으로 대함유도탄이 함정으로 접근한다고 예측한다.

3.3 표적 격추 확률 계산

교전 계획 수립 과정을 설명하기에 앞서 격추 확률에 대한 모델링을 한다. 표적 격추 확률(P_K)은 식 (3)과 같이 정의된다. P_D 는 표적 탐지 확률, P_M 은 표적의 기동에 따른 격추 확률이다. 표적의 기동이 크면 격추 확률은 낮아진다. 따라서 본 논문에서는 P_M 을 그림 3과 같이 간단하게 모델링하였다.

$$P_K = P_D P_M \tag{3}$$

표적 탐지 확률(P_D)은 식 (4)와 같이 함정의 레이더에 의한 탐지확률(P_R)과 대공방어유도탄의 탐색기에 의한 탐지확률(P_S)의 곱으로 모델링하였다.

$$P_D = P_S P_R \tag{4}$$

함정 레이더의 대함유도탄 탐지 확률(P_R)은 대함유도탄의 RCS에 따라 변화한다. RCS는 함정과 대함유도탄 사이의 거리가 멀어질수록 감소하므로 레이더의 탐지 확률도 함께 감소한다.

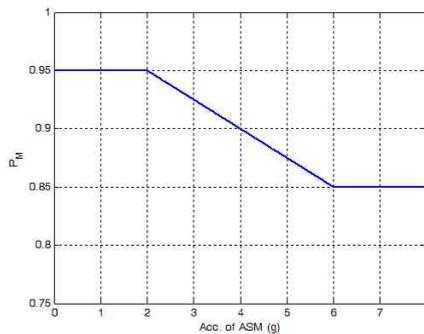


그림 3. 대함유도탄의 기동에 따른 격추 확률 변화

레이더의 대함유도탄 탐지 확률은 함정에서 가까울 때 1에 가까운 값을 가지며 멀어질수록 0에 가까운 값을 가진다. 본 논문에서는 위의 내용을 만족시키는 식 (5)로 함정과 대함유도탄 사이의 거리에 따른 레이더의 탐지확률을 모델링하였다. R_{SM} 은 함정의 레이더와 대함유도탄 사이의 거리, k_1 과 k_2 는 조정 상수이다.

$$P_R = 0.5 - \frac{\tan^{-1}((R_{SM} - k_1)/k_2)}{\pi} \quad (5)$$

대공방어유도탄 탐색기에 의한 탐지 확률(P_S)은 식 (6)과 같이 적외선 탐색기의 탐지 확률과 Sea Clutter에 의한 효과, 두 요소에 의해 결정된다고 모델링 하였다. P_{IR} 는 적외선 탐색기의 탐지 확률, P_{SC} 는 Sea Clutter의 영향이다. P_{IR} 과 P_{SC} 는 전장의 기상 상황, 대함유도탄의 비행고도 등에 의해 영향을 받는다.

$$P_S = P_{IR}P_{SC} \quad (6)$$

따라서, N 대의 대공방어유도탄이 동시 요격을 수행하고 있을 때 대함유도탄의 누적 격추 확률(P_{KN})은 식 (7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_{KN} = 1 - (1 - P_K)^N \quad (7)$$

3.4 교전 여부 결정

대함유도탄의 미래 궤적이 예측되면 함정은 교전 여부를 결정하고 교전 대상의 순서를 지정해야 한다. 이 과정은 본 논문에서 제안하는 발사 로직의 가장 핵심적인 부분이다.

예측된 대함유도탄의 궤적을 바탕으로 각 대함유도탄의 모든 요격 지점을 계산한다. 요격 지점은 대함유도탄의 잔여 비행 거리와 대공방어유도탄의 성능 및 제약조건을 고려하여 계산할 수 있다. 대공방어유도탄은 대함유도탄을 향해 비례항법 유도 법칙을 통해 비행한다. 교전 여부 판단 시점에서 발사된 대공방어유도탄의 요격 지점이 교전 가능 범위인 함정으로부터 3 Km ~ 10 Km 이내에 존재하면 대상 대함유도탄과 교전이 가능하다고 판단한다.

교전 여부는 요격예상 지점과 함정과 대함유도탄 사이의 거리 그리고 IMM 필터에서 추정된 항법상수와 입사각을 종합하여 판단하게 된다. 대함유도탄의 요격 여부는 위의 세 요소를 복합적으로 고려하여 판단하게 된다. 아래와 같은 경우에 대함유도탄은 요격 불가능으로 판단한다.

- 요격 예상 지점이 방어구역 밖에 존재할 때
- 대함유도탄이 특정 시간 이상 동안 연속적으로 함정과 멀어질 때

또한 대함유도탄의 탐지가 10 Km 이상의 구간에서는 통합 탐지 확률(P_D)이 특정 수치를 넘지 않으면 교전 대상에서 제외한다.

3.5 교전 순서 지정

교전 순서 지정 로직의 제안에 앞서 기준 격추 확률(\bar{P})이라는 변수를 도입한다. 대함유도탄의 누적 격추 확률(P_{KN})이 기준 격추 확률(\bar{P}) 이상이 되면 공격 대상의 대함유도탄은 파괴된 것으로 간주한다.

본 논문에서 제안하는 로직은 두 단계로 이루어진다. 첫 번째 단계는 각 대함유도탄의 누적 격추 확률(P_{KN})을 비교하는 것이다. 교전 가능한 대함유도탄 중 누적 격추 확률이 낮은 대함유도탄을 우선 교전 대상으로 선정한다.

두 번째 단계는 각 대함유도탄의 최종 요격 지점을 비교하는 것이다. 대함유도탄의 누적 격추 확률이 같을 때에는 최종 요격 지점을 비교하여 교전 순서를 지정한다. 교전 범위 내의 대함유도탄의 숫자와 누적 격추 확률을 알면 모든 대함유도탄의 누적 격추 확률이 기준 격추 확률 이상의 값을 가지게 되는 대공방어유도탄의 대수(n)가 결정된다. 이 때 n 번째로 발사된 대공방어유도탄의 요격지점을 대함유도탄의 최종 요격 지점이라 하고, 이 지점이 함정과 가까운 대함유도탄을 우선 교전 대상으로 결정한다. 위 단계는 식 (8)로 표현할 수 있고, 이 때 코스트 J_1 을 최소화 하는 대함유도탄이 우선 교전 대상이다.

$$J_1 = \max(R_i^n) \quad (8)$$

여기서 i 는 각 대함유도탄의 식별 번호(ID), R_i^n 은 n 번째로 발사된 대공유도탄의 대함유도탄 # i 요격 지점이다.

최종 요격 지점보다 누적 격추 확률(P_{KN})을 우선 비교하는 이유는, 최종요격지점을 우선 비교하는 경우 가까이에 있는 대함유도탄이 격추될 확률이 충분히 높음에도 불구하고 지속적으로 대공유도탄을 발사하여 대공유도탄의 낭비하고 그 동안 다른 대함유도탄이 접근하는 것을 방지하기 위함이다. 교전 계획 수립 과정은 교전 또는 시뮬레이션이 종료될 때 까지 연속적으로 시행된다. 즉, 모든 대함유도탄이 파괴 될 때 까지 위의 과정들을 반복적으로 수행하게 된다.

3.6 파괴 평가

파괴 평가의 과정은 매우 중요하다. 대공방어유도탄이 대함유도탄의 요격에 실패하면 방어 함정은 추가적으로 대공방어유도탄을 발사해야 하지만, 대함유도탄의 요격에 성공했다면 더 이상의 대공방어유도탄 발사를 막아 불필요한 낭비를 막아야 한다. 다수의 대함유도탄이 동시에 접근할 때의 파괴 평가의 과정은 더욱 중요하다. 파괴된 대함유도탄과는 더 이상 교전하지 않고 다른 대함유도탄과의 교전을 준비해야 한다. 시뮬레이션 환경에서는 대함유도탄이 실제 파괴 여부를 판단하기 위해 확률적 모델링이나 유도 명령 오차 등을 이용해 판단할 수 있다. 하지만 이는 본 논문의 주 내용을 검증하는 데 꼭 필요한 과정이 아니므로, 본 논문에서는 파괴평가의 과정은 수행하지 않는다.

IV. 시뮬레이션

본 논문에서는 대공방어유도탄의 발사 로직이 어떻게 수행되는지 실제 교전 상황을 가정한 2차원 평면 시뮬레이션을 통해 고찰하였다.

대함유도탄의 초기 조건은 표 1과 같다. 방어 구역 부근에 총 네 대의 대함유도탄이 존재하며, 그 중 세 대의 대함유도탄 #1, #2, #3이 동시에 방어함정을 공격하는 상황이다. 대함유도탄 #1은 시뮬레이션 시작 시에는 항법 상수 4의 PPN으로 접근하다 10초부터 입사각 -90° 의 IAC로 유도법칙을 변화시켜 함정으로 접근하는 대함유도탄이다. 대함유도탄 #2, #3은 각각 항법 상수 2, 3의 PPN으로 함정에 접근하는 대함유도탄이다. 나머지 한 대의 대함유도탄 #4는 방어 구역 바깥에 위치하다가 함정으로부터 점점 멀어지는 상황이다. 이러한 조건을 선정한 이유는 함정방어의 측면에서 다수의 대함유도탄이 순차적으로 공격해 들어올 때 보다 동시에 함정을 공격해 들어올 때가 더욱 위험하고 요격 순서를 지정하기 어렵기 때문이다.

표 1. 대함유도탄

ASM	위치 및 좌표 (t = 0)	유도 기법
# 1	함정으로부터 14424m (-12000, -8000)	PPN N=4 -> (10초 후) -> IAC = -90°
# 2	함정으로부터 15200m (0, -15200)	PPN N=2
# 3	함정으로부터 15424m (13000, -8300)	PPN N=3
# 4	함정으로부터 15000m (15000, 0)	-90° 방향으로 직선 비행 (함정접근 ×)

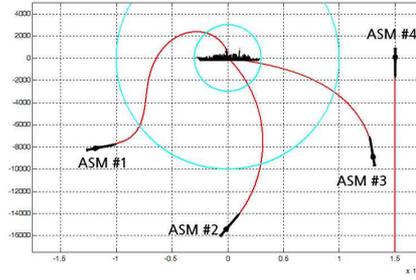


그림 4. 대함유도탄 비행 궤적

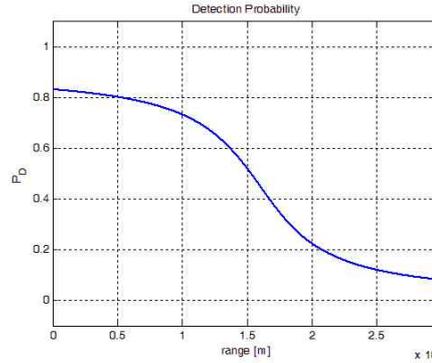


그림 5. 통합 탐지 확률

그림 4는 실제 네 대함유도탄의 궤적을 나타낸 그림이다. 그림 4의 함정 주위의 열은 색의 두 동심원은 근접거리용 대공방어유도탄의 사정거리를 나타낸 것이다. 지름이 큰 원은 함정으로부터 10 Km 떨어진 지점들로 대공방어유도탄의 최대 사거리, 지름이 작은 원은 함정으로부터 3 Km 떨어진 지점들로 이 범위 이내의 대함유도탄에 대해서는 근접방어용 대공방어유도탄이 아닌 CIWS로 방어하는 것으로 한다. 대함유도탄의 기준 격추 확률(\bar{P})은 80%로 설정하였다. 본 시뮬레이션에서는 레이더 측정 오차로 표준편차 10 m의 가우시안 노이즈를 설정하였다.

레이더의 탐지 확률(P_R)과 대공방어유도탄 탐색기의 탐지 확률(P_S)은 식 (4)와 (5)를 통해 모델링 하였다. 이 때 식 (4)의 조정상수 k_1, k_2 는 각각 16000과 4000이며 교전이 맑은 날씨에 이루어지며 교전에 방해가 되는 방해요소가 존재하지 않는다고 가정하였고, 대함유도탄의 운동 궤적을 2차원으로 시뮬레이션 하므로 대함유도탄의 비행 고도 변화도 없다. 따라서 P_{IR} 과 P_{SC} 를 표적을 탐지하기에 충분한 값인 0.95의 값으로 각각 고정한다. 그림 5는 위의 수치들을 사용하였을 때의 통합 탐지 확률(P_D)의 그래프이다.

표 2. IMM 필터 결과

ASM		모드 확률	입사각 (deg)	항법 상수
1	10초 이전	PPN 우세	-	3.7~4.2
	10초 이후	IAC 우세	-87~96	-
2		PPN 우세	-	1.9~2.1
3		PPN 우세	-	2.8~3.1
4		PPN 우세	-	-0.2~0.2

IMM 필터를 통해 궤적 예측 로직을 수행하였다[6]. 표 2는 IMM 필터를 통해 나온 결과 값이다. 궤적은 레이더로부터 지속적으로 현재의 위치를 제공받아 갱신된다.

대함유도탄 #4의 결과를 보면 PPN의 모드 확률이 IAC의 모드 확률보다 우세하며, 항법상수 0인 유도법칙으로 예측하고 있다. 이는 직선 궤적을 갖는 대함유도탄 #4의 성질을 정확히 예측한 것이기는 하지만, 모드 확률은 두 모델과의 일치 정도를 상대적으로 나타낼 뿐이라는 점에 주의하여야한다. 이는 IMM 필터 상에서 양 모델의 신뢰도를 나타내는 절대적인 값인 우도 함수(likelihood function) 값을 비교함으로써 확인할 수 있다.

4.1 교전 여부 결정

방어 함정과 대함유도탄 사이의 거리가 10 Km 이상일 경우, 통합 탐지 확률이 0.5 이상일 때만 탐지에 성공하였다고 판단한다. 계산해 보면 15.6 Km 이상의 거리일 때, 통합 탐지 확률이 0.5 이하가 된다. 시뮬레이션 시작 시점에서 대함유도탄들은 모두 함정으로부터 15.6 Km 이내의 거리에 있으므로 교전이 가능한 위치에 있다.

하지만, 대함유도탄 #4의 궤적을 보면 대함유도탄이 시뮬레이션이 이루어지는 모든 시간 동안 함정의 교전 가능 범위 밖에 위치하고, 또한 시작 지점부터 연속적으로 함정과 멀어지는 것을 확인할 수 있다. 따라서 3.4장의 교전 여부 결정 조건에 따라 대함유도탄 #4는 함정으로 접근하지 않는 유도탄으로 판단하고, 요격 대상에서 제외한다.

대함유도탄 #1, #2, #3의 요격 지점에 따른 교전여부 판단 결과는 4.2장의 교전 순서 지정 결과에서 함께 보이겠다.

4.2 교전 순서 지정

표 3과 표 5는 실시간 시뮬레이션을 통해 수행한 교전 순서 지정로직의 결과이다. 표 3과 표 5의 각 열이 나타내는 값은 다음과 같다. t 는 교

전 순서 지정 시점(sec)이다. 2장에서 연속 발사 간격을 2초라고 설정하였으므로 표 3에는 시뮬레이션 시작 0초 ~ 14초 사이의 결과를 발사 가능한 2초 간격으로 나타내었다. i 는 대함유도탄의 식별번호이다. R_i^t 은 교전 순서 지정 시점 t 에서 대함유도탄 i 를 향해 대공방어유도탄을 발사했을 때 예상되는 요격 지점까지의 거리이다. R_i^t 값이 교전 가능 범위인 3 Km ~ 10 Km 사이에 존재하면, 시점 t 에서 대함유도탄 i 는 교전 가능 대상이라고 판단한다. P_{KN} 은 교전 순서 지정 시점 t 에서의 누적 격추 확률이다. 시점 t 에서 대함유도탄 i 와 교전 수행 중인 대공방어유도탄이 존재하지 않으면 P_{KN} 은 0의 값을 가지고, 교전 수행 중인 대공방어유도탄이 존재하면 P_{KN} 은 0보다 큰 값을 갖게 된다. 다수의 대함유도탄이 교전 가능 대상일 때 3.5장의 내용에 따라 P_{KN} 이 작은 값을 갖는 대함유도탄이 우선 교전 대상으로 지정된다. n_i 는 대함유도탄 i 가 기준 격추 확률(\bar{P})을 만족하게 하는 대공방어유도탄 대수이다. 세 대함유도탄의 n_i 를 합하면 모든 대함유도탄의 기준 격추 확률(\bar{P})을 만족하게 하는 대공방어유도탄의 대수 n 이 된다. R_i^n 은 대함유도탄 i 를 향해 모든 대함유도탄의 누적 격추 확률(P_{KN})을 만족하는 n 개의 대공방어유도탄을 발사했을 때 예상되는 요격 지점까지의 거리이다. 다수의 대함유도탄이 교전 가능 대상이고 누적 격추 확률(P_{KN})이 같은 값을 가질 때, R_i^n 이 작은 값을 가지는 대함유도탄이 우선 교전 대상으로 지정된다.

표 3의 결과를 보면, 시뮬레이션 시작 0초와 2초에서는 세 대함유도탄의 해당 시점에서 대공방어유도탄을 발사했을 때의 요격 예상 지점(R_i^t)이 10 Km 밖에 존재하므로 세 대함유도탄 모두 교전 대상이 아니다.

4초에서 8초에서는 대함유도탄 #1의 요격 예상 지점(R_i^t)만이 교전 범위 내에 있다. 따라서 누적 격추 확률(P_{KN}), R_i^n 값의 비교 없이 대함유도탄 #1이 우선 교전 대상으로 지정된다.

10초에서는 대함유도탄 #3의 요격 예상 지점(R_i^t)이 교전 범위 이내가 위치하여, 교전 가능 대상이 두 대로 증가한다. 10초에서 대함유도탄 #1에 대해서는 이미 4, 6, 8초에 발사한 대공방어유도탄이 교전을 진행 중이다. 대함유도탄 #1의 누적 격추 확률(P_{KN})이 0.91로, 대함유도탄 #3의 누적 격추 확률(P_{KN}) 0보다 높으므로 대함유도탄 #3이 우선 교전 대상으로 지정된다.

12초에서는 대함유도탄 #2의 요격 예상 지점 (R_i^1)이 교전 범위 이내에 위치하여, 세 대함유도탄이 모두 교전 가능 대상이 된다. 12초에서 대함유도탄 #1, #3에 대해 각각 3대와 1대의 대공방어유도탄이 교전 진행 중이므로, 누적 격추 확률(P_{KN})이 0이 아닌 값을 갖게 되고, 누적 격추 확률(P_{KN})이 0으로 가장 낮은 값을 갖는 대함유도탄 #2가 우선 교전 대상으로 지정된다.

14초에서는 대공유도탄 #2, #3이 #1보다 적으며 서로 같은 누적 격추 확률(P_{KN})을 갖는다. 두 대함유도탄의 누적 격추 확률(P_{KN})이 같은 값을 가지므로 대함유도탄 #2, #3에 대해서는 R_i^n 값을 비교함으로써 우선 교전 대상이 지정된다. 대함유도탄 #3의 R_i^n 값이 7,978 m로 8,080 m인 대함유도탄 #2의 R_i^n 의 값보다 작다. 이는 모든 대함유도탄의 누적 격추 확률(P_{KN})이 기준 격추 확률(\bar{P})을 만족했을 때, 대함유도탄 #3이 더 가까이에서 요격된다는 의미로, 따라서 대함유도탄 #3이 우선 교전 대상으로 지정된다.

표 3. 교전 순서 (0~14 sec)

t	i	R_i^1 (m)	n_i	P_{KN}	R_i^n (m)	발사 순서
0	1	10818	-	-	-	-
	2	11921	-	-	-	-
	3	12212	-	-	-	-
2	1	10335	-	-	-	-
	2	11565	-	-	-	-
	3	11563	-	-	-	-
4	1	9924	3	0	9101	1
	2	11141	-	-	-	-
	3	11090	-	-	-	-
6	1	9524	2	0.52	9118	1
	2	10730	-	-	-	-
	3	10782	-	-	-	-
8	1	9118	1	0.79	9118	1
	2	10374	-	-	-	-
	3	10362	-	-	-	-
10	1	8661	0	0.91	7828	2
	2	10003	-	-	-	-
	3	9966	3	0	9165	1
12	1	8491	0	0.91	7329	3
	2	9600	3	0	8056	1
	3	9609	2	0.52	8003	2
14	1	8282	0	0.91	7524	3
	2	9243	2	0.54	8080	2
	3	9187	2	0.54	7978	1

표 4. 대함유도탄의 위치 (14 sec)

ASM	위치 및 좌표 (t = 14 sec)
# 1	함정으로부터 10915m (-8457, -6901)
# 2	함정으로부터 12293m (2160, -12102)
# 3	함정으로부터 12434m (11435, -4884)

표 5. 교전 순서 (14 sec)

t	i	R_i^1 (m)	n_i	P_{KN}	R_i^n (m)	L.O.
14	1	8282	3	0	6378	3
	2	9243	3	0	6107	2
	3	9187	3	0	5941	1

시뮬레이션의 다른 경우로, 표 3의 결과와는 달리 14초까지는 교전을 수행하지 않는다는 가정을 하고 시뮬레이션을 수행하였다. 14초 시점은 세 대함유도탄이 모두 교전 범위 이내로 진입하여 있고, 대함유도탄 #1의 IAC로 바뀌고 난 후 충분히 필터가 수렴할 시간을 갖게 되는 시간이다. 표 4는 14초에서 대함유도탄의 위치이며, 표 5는 14초에서 교전을 시작한다고 가정했을 때의 교전 순서 지정 로직의 결과이다.

표 5를 비교해보면 시뮬레이션 시작 후 14초 시점에서 대공방어유도탄 발사 순서가 대함유도탄 #3, #2, #1 순임을 확인할 수 있다. 이는 누적 격추 확률(P_{KN})이 0으로 같으므로, 기준 격추 확률(\bar{P})을 만족하게 하는 대수(n)인 9대의 대공방어유도탄을 발사했을 때 9대째의 예상 요격 지점과 함정사이의 거리(R_i^n)를 비교한 결과이다.

표 4와 5를 비교해보면 대함유도탄 #1, #2, #3 순으로 함정에 근접해있지만, 대공방어유도탄 발사 순서는 정반대인 #3, #2, #1 순이다. 이는 대함유도탄 #1이 대함유도탄 #2와 #3에 비해 14초 시점에서는 가장 가까이에 있지만 유도법칙으로 IAC를 사용하여 멀리 돌아오는 궤적을 가지므로 상대적으로 요격에 시간적 여유를 가지고 있기 때문이며, 대함유도탄 #3이 #2보다 14초 시점에서는 조금 멀리 있지만 비례항법 상수가 3으로 대함유도탄 #2의 2보다 커서 빠르게 함정으로 접근하기 때문이다. 위 14초에서의 시뮬레이션 결과는 단순히 대공방어유도탄 발사 시점에서의 대함유도탄과 함정 사이의 거리로 순번을 정하는 것과 논문에서 제안한 로직을 사용했을 때의 차이점을 보여주는 좋은 예시이다.

V. 결 론

본 논문에서는 근접거리 대공방어유도탄을 이용한 다수 대함유도탄에 대한 방어기법을 제안하였다. 또한 제안한 로직의 성능을 검증하기 위해 시뮬레이션을 구성하였다.

본 연구는 함정을 향해 공격해 들어오는 다수의 대함 유도탄에 대해 어떤 교전 상황에 처해있더라도 항상 특정한 발사 순서를 제공하는 데에 의미를 가진다. 특히, 다수 대함 유도탄이 시간차를 갖고 순차적으로 접근할 때도 유용하지만, 함정 도달 시간을 일치시켜 들어올 때에 본 연구에서 제안된 로직은 더욱 유용 할 것이다.

제안한 로직은 빠른 의사결정과 신속한 대응이 필수적인 근거리에서의 대함유도탄 방어 교전 시 교전 여부 판단과 교전 순서를 지정하는 과정을 자동화함으로써 실제 전투 시 시간손실을 최소화 하고 불필요한 혼란을 피할 수 있고, 함정 책임자의 업무 부담을 줄이고 의사 결정에 도움을 준다.

추후 연구를 통해 보다 다양한 교전상황에 대응할 수 있는 지를 알아보기 위해 다양한 교전 상황을 구성하여 로직을 검증할 계획이다. 또한 교전 상황의 불확실성을 고려한 몬테카를로 시뮬레이션을 통하여 성능분석을 할 계획이다.

후 기

본 연구는 한국과학기술원 영상정보특화연구센터를 통한 방위사업청과 국방과학연구소의 연구비 지원으로 수행되었습니다(계약번호 UD070007AD).

참고문헌

- 1) 김정길, 조남표, "함정 대공방어 무기체계", *국방논집*, 제 15호, 한국국방연구원, 1991. 9.
- 2) 송광섭, "해군의 중·대형함에 대한 최적 유도탄 방어체계 이론 연구", *해양연구논총*, 제 23호, 해군사관학교 해군해양연구소, 1999. 12.
- 3) Raytheon Company Web Site, "<http://www.raytheon.com/product/ram>"
- 4) 임현동, *전장네트워크 기반 한국형 이지스 구축함의 공중 방어능력에 관한 연구*, 국방대학원 석사 논문, 2002. 12.
- 5) J. R. Townsend, *Defense of Naval Task Forces from Anti-Ship Missile Attack*, Naval Postgraduate School, 1999.
- 6) 윤중섭, 유창경, "IMM 기반의 대함유도탄 유도법칙 추정 필터", *제 15차 유도무기 학술 대회 논문집*, 국방과학연구소, 2009. 10.