

다층방어체계 요격 미사일에 대한 체계통합 자동 할당 알고리즘 개발에 관한 연구

홍인섭¹⁾ · 광기훈¹⁾ · 오정택²⁾ · 심동혁³⁾ · 진화종³⁾ · 양광진^{*4)}

¹⁾ 공군사관학교 시스템공학과

²⁾ 공군사관학교 국제관계학과

³⁾ LIG넥스원(주) PGM 대공체계연구소

⁴⁾ 공군사관학교 기계공학과

A Study on the Development of an Integrated Automatic Allocation Algorithms for Multilayer Defense System Intercept Missiles

Inseob Hong¹⁾ · Kihoon Kwak¹⁾ · Jeongtaek Oh²⁾ · Donghyouk Shim³⁾ · Hwajong Jin³⁾ · Kwangjin Yang^{*4)}

¹⁾ Department of System Engineering, Republic Of Korea Airforce Academy

²⁾ Department of International Realtionship, Republic Of Korea Airforce Academy

³⁾ PGM Air and Missile Defense, System Development and Integration, LIG Nex1, Korea

⁴⁾ Department of Mechanical Engineering, Republic Of Korea Airforce Academy

(Received 29 March 2024 / Revised 7 August 2024 / Accepted 9 August 2024)

Abstract

This study aims to propose optimal missile interception allocation strategies for constructing a multi-layered missile defense system in situations where a large number of ballistic missiles are launched simultaneously. Specifically, we consider the threat level of ballistic missiles, the importance of defense zones, and the asset value of interception missiles, and develop a damage consumption index based on these factors. Through an algorithm that minimizes the sum of damage consumption indices for intercepting missiles defending upper and lower layers, we allocate them in optimal combinations to achieve maximum effectiveness with minimal cost. Additionally, we propose a decision-making system based on algorithmic integration rather than human decision-making, particularly in complex operational scenarios, to ensure systematic decision-making and maximize efficiency.

Key Words : Multi-layered Missile Defense System(다층방어체계), Allocation Algorithms(할당알고리즘), Intercept Missiles (요격 미사일), Decision-making System(결심체계)

1. 서론

최근 북한의 연이은 탄도탄 미사일 도발로 남북 간의 긴장이 지속해서 고조되고 있다.

* Corresponding author, E-mail: ykj4957@mnd.go.kr
Copyright © The Korea Institute of Military Science and Technology

북한은 다양한 수단의 TBM(Theater Ballistic Missile : 이하 TBM)을 개발하여 시험 발사 중이며, 이에 대응하여 우리나라 또한, 요격 미사일 체계를 발전시키고 있다. 최근 들어 국산 장거리 요격 미사일 개발이 진행되어 실전배치를 앞두고 있으며¹⁾, 중·단거리 요격 미사일도 실전배치를 마친 상태이다.

북한은 ICBM 시험 및 위성 발사체 발사와 동시에 단거리 TBM 개량 및 고도화를 중점 추진하고 있다. 특히 최근 들어 TBM을 실전에 사용하여 성능을 검증하면서 기술적 완성도 향상을 도모하고 있는 것으로 보이는데, 2023년 12월 30일 이후 우크라이나 당국은 러시아가 KN-23으로 추정되는 북한산 TBM을 사용했다는 증거로 미사일 잔해를 공개하였고, 미국 백악관 브리핑에서도 이를 언급하였다.

또한, 2023년 10월에 실시된 하마스의 이스라엘에 대한 대규모 로켓, 미사일 공격에서도 방어체계의 취약성이 드러났다. 이스라엘 남부를 향한 6,600발 이상의 로켓과 미사일을 조합한 공격에 대해서 이스라엘은 대규모 무력공격에 대한 오판과 아이언 돔으로 통제 가능하다는 잘못된 믿음으로 요격률이 78 %에 달했음에도 상당한 피해를 보았으며, 저장도 장기전으로 전환하여 분쟁이 지속되고 있다. 북한도 이번 대규모 로켓 공격의 교훈을 고려하여 대규모 장사정 포병과 탄도미사일 공격, 순항미사일과 드론 공격을 병행할 경우 우리 측 대공 방어체계의 능력을 초과할 수 있다고 판단하고 이를 시행할 가능성이 크다.

특히, 북한은 우리 측의 시간과 공간 측면의 신속한 대응능력 제한을 위해 다음 세 가지 방향에 집중하여 우리 측에 대한 TBM 위협을 고도화하고 있다.

첫째, 북한은 미사일의 양적 증대 노력과 동시에 작전 운용에 유리한 발사 연료 고체화에 주력하였다.²⁾

북한의 TBM 부대는 발사 연료의 고체화를 통해 신속한 발사를 보장하려 하고 있으며, 600밀리 조종 방사포를 포함하여 대량 동시 TBM 투발을 통해 동시에 우리 측 전략시설을 타격함은 물론 소형화된 전술핵을 운용하여 억제력 극대화를 기도하고 있다.

둘째, 기존 이동발사대를 이용한 발사 플랫폼을 수중, 철도, 지하 사일로 등으로 다양화하여 우리 측 대응을 제한하려는 노력을 지속하고 있다. 또한, 우리

측 탐지와 대응을 위한 시간 확보도 충분하지 못할 가능성도 있어 우리 측의 대응능력 초과 판단 및 대응 우선순위 선정이 무엇보다 중요하다.

셋째, 북한은 전술핵 사용 가능 사례를 공식화하고, 표준화, 소형화, 경량화된 전술 핵탄두를 공개하면서 실전에서 이를 사용할 수 있음을 적극적으로 피력하고 있다. 국방백서에 의하면 북한은 플루토늄 70 kg 및 상당량의 고농축 우라늄을 보유하고 있으며, 핵무기 소형화 능력은 상당한 수준에 이른 것으로 평가된다.

이상의 논의를 종합하면 북한의 TBM 전력은 전쟁 억제력의 핵심요소로 급속하면서 진화적으로 발전 중이고, 다양한 투발 수단 사용이 가능하여 대량 전력 운용 시 우리 측 요격수단의 대응능력 향상이 필요하다.

결론적으로 북한은 우리 측의 시간과 공간적 대응능력 박탈을 도모하면서 다종의 TBM 방어에 대한 부담을 가중하고 있어, 우리 측 대응 작전 시 작전적 템포 유지 및 융통성 있는 TBM 방어작전 운용이 무엇보다 중요하다고 판단된다. 이에 대응하여 다층 요격 시스템으로 효과적으로 방어할 방안을 세우는 것이 개전 초기 한미 지휘 시설, 비행장 보호는 물론 장차 작전 수행을 위해서도 핵심적인 과제가 될 것이다.

현재 우리의 요격시스템은 해외에서 도입한 고고도 요격체계인 THAAD와 중층 방어체계인 Patriot(PAC-3) 시스템 외에도 자체 개발한 중거리 요격 미사일과 장거리 요격 미사일을 배치 또는 개발 중이다. 이렇듯 우리 측 미사일 방어체계는 탐지, 결심, 요격체계를 갖추고 다층방어체계로 발전하고 있다.

그러나, 다층방어체계는 교전 통제의 복잡성 증가가 예상된다. 특히, 기존에 하층만 운용할 때는 방어영역이 좁아서 교전구역이 겹치는 경우가 거의 없지만, 다층방어체계에서는 상층방어영역에서 중첩이 발생하게 된다. 따라서, 이러한 상황에서 효과적인 방어를 위해서는 체계적인 요격 미사일 할당계획 수립 및 통제가 필요하다. 물론 현재 작전 통제센터를 중심으로 중앙집권형 통제체계가 구축되어 있을 것으로 판단되나, 북한이 다중 다량의 TBM을 전시 초기 대량으로 발사하는 상황에서 인적 결심에 따른 오류를 최소화하고 방어의 효율성과 효과를 극대화하기 위해서는 자동화된 알고리즘이 필요할 것으로 판단된다.

현재 북한의 TBM에 대응한 우리의 방어시스템을 살펴보면 지역별로 산재한 포대에서 각기 해당 구역에 대한 TBM을 요격하는 것인데, 장거리 요격 미사일 추가 배치로 다층방어체계가 되면서 TBM에 대응

1) 한국형 사드, 전력화 초임기(스펙설계제, 2023.9.29.)
2) 북한은 단/중거리 TBM을 기존 스커드, 노동 계열의 액체 연료에서 KN 계열의 고체연료 미사일로 전환 중임.

하는 요격 미사일 종류별 할당 우선순위 선정과 TBM 별 대응 발수 결정문제가 발생하게 된다. 따라서, 이러한 문제를 해결하기 위해서는 전체 요격체계를 통합하여 통제할 수 있는 새로운 요격 대응체계가 필요한 실정이다.

이에 본 연구는 이러한 점을 해결하기 위하여 다층 방어체계에서 우리 측이 보유한 제한된 요격 미사일을 가장 효율적으로 운용할 수 있는 자동 할당 알고리즘을 제시하고, 이에 대한 효용성을 실험을 통해 검증하는 연구를 수행하고자 한다.

구체적으로 본 연구는 다층방어체계를 중앙집권적 통제하에 가장 효율적인 방식으로 미사일을 할당하는데 중점으로 두고 있으며, 통제소는 각 포대의 잔여 미사일 수량을 고려하여 발사 명령을 하달하는 것으로 하였다. 즉, 개별 포대가 독립적으로 요격하는 것이 아닌 전체 최적화가 이루어지도록 중앙에서 할당하는 방식을 적용하였는데, 이는 개진초 동시에 다량의 TBM이 발사된 경우 L-SAM과 M-SAM을 운영하는 부대 간에 가장 효율적이고 효과적인 요격 미사일을 할당하도록 하는 데 목적이 있다.

이를 위해 중요시설에 대한 방어 우선순위를 높게 하고, 적 TBM 중 위협이 큰 목표물을 중점 방어하도록 설계하여 한정된 요격 미사일을 가장 효율적으로 할당하여 방어 효과를 높이도록 하였다. 그리고, 장거리 요격 미사일이 중고도 요격 미사일 대비 고가이고, 수량도 적은 점을 고려하여 최소의 비용으로 요격 효과를 최대한 높일 수 있도록, 요격 미사일의 가치를 알고리즘에 반영하여 불필요한 L-SAM의 요격 할당을 제한하고, 전체 요격 미사일 소모 비용이 최소화되도록 하였다.

2. 관련 연구

기존의 요격 미사일에 관한 연구는 주로 요격 미사일의 배치에 관한 문제와 다층방어의 효과성에 관한 문제를 주로 다루어 왔다.

한국형 미사일 방어체계 최적 배치에 관한 연구로 윤승환¹⁾은 유전자알고리즘을 이용한 후보지별 한정된 포대 수와 요격 무기체계 수량을 제약조건으로 3중 요격체계에 의해 요격이 가능한 탄도미사일 방어 모형을 구축하고, 요격 실패확률을 최소화하는 배치에 관해 연구를 수행하였다. 이 연구에서는 모든 탄도미

사일 공격계획에 대한 요격 실패확률이 어느 후보지에 배치된 어떠한 무기체계로도 요격되지 않을 확률을 최소화하는 것을 목적식으로 하여, 유전자알고리즘을 활용하여 최적 배치를 도출하였다.

또 다른 최적 배치 해법으로 박기훈²⁾은 기지별 발사되는 미사일 수량을 고려하여 배치되는 미사일 기지의 위치뿐만 아니라 방어 규모를 포함한 모델링을 실시하고 유전자알고리즘에 기초한 복합-휴리스틱 알고리즘을 이용한 배치 안을 제시하였다.

시뮬레이션 기법을 통한 미사일 방어체계 효과분석 연구로 김종우³⁾는 적 TBM을 순환방식(Wrap-around)으로 요격하는 상황에서 요격 미사일의 성공과 실패 확률을 확률적 수식으로 보여줌으로써 단층방어 대비 다층방어가 우수함을 증명하였다.

다층방어 요격 미사일 운용방안에 관한 연구로 서민수⁴⁾는 한국형 미사일 방어체계 특성과 전략적 타격체계 효과를 고려한 연구에서 우리 측 방호지역별로 적 탄도미사일이 2-4발에서 9-18발까지 동시에 방호목표를 공격할 수 있는 것으로 가정하고, 우리 측 운용방안에 따라 요격 미사일 발사 수량을 결정하는 방식으로 시뮬레이션을 실행하였다. 특히 우리 측 자산에 의한 적 TEL 파괴확률인 전략적 타격체계의 효과에 따라 4가지로 나누어 시뮬레이션 결과를 비교하였다.

본 연구는 다층방어체계 내에서 각기 독립적으로 대응하고 있는 상층, 하층의 요격 미사일 체계를 통합적으로 운용하여 할당하는 방안을 제시하는 데 중점을 두었다. 특히, 다른 다층방어체계 관련 연구에서 다루지 않았던 탄두의 위협도와 방어의 중요도를 고려함과 동시에 요격 미사일의 자산가치에 따른 할당계획이 결정될 수 있도록 목적함수를 설계하고, 적 TBM의 수량과 위협지수에 따라 자동으로 요격 미사일을 할당하는 방법을 새롭게 제시하였다는 점에서 차별점이 있다고 하겠다. 구체적으로 THAAD 및 국산 장거리 요격 미사일(L-SAM으로 통칭)과 Patriot-3와 중거리 요격 미사일(M-SAM으로 통칭) 등을 운영하는 다층방어체계에서 개진 초기 동시다발적으로 적 TBM이 대량으로 발사되는 상황에서 방어자산의 우선순위와 TBM의 위협도를 고려한 피해지수를 산출하는 것을 제시하고, 제한된 우리 측 요격 미사일을 효과적으로 할당하기 위해 L-SAM과 M-SAM의 자산가치를 반영한 소모지수를 산출하는 것을 제시하였다. 또한, 방어자산 우선순위, 피해지수, 자산가치를 통합 고려한 목적함수를 가진 확률기반 수리적 모형을 제시하고자

한다. 이를 통해 기존의 포대별로 각각 대응하는 방법과 중앙집권적 통제하에 대응하는 새로운 모델을 각각 개발하고, 시나리오별로 그 결과를 비교 분석함으로써 본 연구에서 제시하는 알고리즘의 효과를 입증하고자 한다.

3. 다층방어체계 요격 미사일 할당 알고리즘

3.1 가정 및 설정 사항

- 1) 본 연구는 우리 측 방어체계가 상층과 하층의 이종으로 구성된 것으로 가정하였으며, 우리 측 방어지역은 상층은 1개의 L-SAM 포대가 전체를 방어하고, 하층은 총 3개의 M-SAM 포대가 각기 5개의 구역을 책임지는 것으로 가정하여 15개 구역으로 임의로 설정하였다.
- 2) TBM 총발사량은 50발, 100발, 150발의 세 가지 경우로 설정하였으며, 방어지역별로는 총 수량 범위 내에서 임의의 수를 설정하여 실험을 진행하였다.
- 3) 우리 측 요격 미사일 총수량은 100발(L-SAM 40발, M-SAM 60발)로 설정하였으며, 적 TBM 1기당 우리 측 미사일은 순환방식³⁾ 방식으로 상층, 하층 각각 최대 2발까지 대응하는 것으로 가정하였다.
- 4) 우리 측 미사일의 요격률(SSPk : Single-Shot Probability of Kill)에서 L-SAM은 M-SAM 대비 상대적으로 요격 가능 시간 및 해외 사례 등을 고려하여 0.8로 설정하였으며, M-SAM은 선행연구^[3]에서 가정한 0.7로 설정하였다.
- 5) 탄두 위험도는 실재하는 위협이므로 최소 1에서 5까지 설정하고, 방어중요도는 무가치 자산에 대한 방어중요도를 고려하여 0에서 5까지 설정하였다. 또한, 이 지수의 절댓값은 알고리즘의 실험을 위한 목적에 한정하며, 그 값에 대한 적정성 여부는 다루지 않는다.
- 6) 요격 미사일의 가치는 L-SAM이 M-SAM 대비 고가이므로, 임의의 배수 값 2로 설정하였다.
- 7) 알고리즘 결과해석의 용이성을 위해 동일 방어구역에 날아오는 TBM은 동일한 탄두 위험도를 가지는 것으로 가정하였다.

3) 순환방식 : TBM에 대응 시 최초 1대 1로 대응 후 잔여발수를 동일탄두에 순환 분배하는 방식

3.2 알고리즘 변수 설정

3.2.1 기호의 정의

- 1) 공용상수 및 인덱스
 - $Lsspk$: L-SAM 요격률(0.8)
 - $Msspk$: M-SAM 요격률(0.7)
 - i : 아 방어지역 번호, $i \in 1, \dots, n_i$
 - k : M-SAM 포대 번호, $k \in 1, \dots, n_k$
 - α : 자산 소모지수 비율
- 2) 적 TBM 공격자산 변수
 - t_i : 방어지역 i 에 대한 적의 탄두 위협도
$$1 \leq t_i \leq 5$$
 - N_i : 방어지역 i 에 대한 TBM 발사 수량
- 3) 우리 측 방어자산 변수
 - d_i : 방어중요도 지수
$$0 \leq d_i \leq 5$$
 - $Cr(L)$: L-SAM의 가치 배수 = 2
 - $Cr(M)$: M-SAM의 가치 배수 = 1
 - L_n : L-SAM 보유량
 - Mn_k : K 포대 M-SAM 보유량

3.2.2 결정변수

- 1) 균등할당⁴⁾ 적용 시 우리 측 미사일 대응 발수
 - Ly_i^{1st} : i 지역에 대한 L-SAM 1차 대응 발수
 방어지역별로 날아오는 TBM 수량의 비율 만큼 L-SAM 보유량을 균등할당

$$Ly_i^{1st} = L_n \times \frac{N_i}{\sum_{i=1}^{15} N_i} \quad (1)$$

- Ly_i^{2nd} : i 지역에 대한 L-SAM 2차 대응 발수
- L-SAM 1차 요격을 회피한 방어지역별 TBM 수량의 비율만큼 잔여 L-SAM 수량에서 배분하여 할당

$$Ly_i^{2nd} = \left(L_n - \sum_{i=1}^{15} Ly_i^{1st} \right) \times \frac{N_i - Lsspk \times Ly_i^{1st}}{\sum_{i=1}^{15} (N_i - Lsspk \times Ly_i^{1st})} \quad (2)$$

4) 균등할당 : 포대별로 적 TBM 수량에 비례하여 대응되는 수량만큼 대응하는 방법으로 정의

- Ly_i^{miss} : i 지역에 대한 L-SAM 요격회피 발수
 $Ly_i^{miss} = N_i - Lsspk \times (Ly_i^{1st} + Ly_i^{2nd})$ (3)

- My_i^{1st} : i 지역에 대한 M-SAM 1차 대응 발수
 • i 지역에 대한 L-SAM 요격 회피 발수가 해당 구역을 방어하는 M-SAM 포대의 잔여 발수보다 많을 경우(즉, $My_i^{1st} < Ly_i^{miss}$)는 방어의 지역별 TBM 수량의 비율만큼 잔여 M-SAM 수량에서 배분하여 할당(모든 포대에 동일하게 적용)

$$My_i^{1st} = Mn_k \times \frac{Ly_i^{miss}}{\sum_{j=1}^{15} Ly_j^{miss}} \quad (4)$$

• i 지역에 대한 L-SAM 요격 회피 발수보다 해당 구역을 방어하는 M-SAM 포대의 잔여 발수가 많거나 같은 경우(즉, $My_i^{1st} \geq Ly_i^{miss}$)는 L-SAM 요격 회피 발수만큼 M-SAM으로 1차 대응(모든 포대에 동일하게 적용)

$$My_i^{1st} = Ly_i^{miss} \quad (5)$$

- My_i^{2nd} : i 지역에 대한 M-SAM 2차 대응 발수
 M-SAM 1차 요격을 회피한 방어의 지역별 TBM 수량의 비율만큼 K포대의 잔여 M-SAM 수량에서 배분하여 할당

$$My_i^{2nd} = (Mn_k - \sum_{i=1}^5 My_i^{1st}) \times \frac{Ly_i^{miss} - Msspk \times My_i^{1st}}{\sum_{i=1}^5 (Ly_i^{miss} - Msspk \times My_i^{1st})} \quad (6)$$

- My_i^{miss} : i 지역에 대한 M-SAM 요격회피 발수
 방어의 지역별 M-SAM 요격 회피 발수는 해당지역으로 발사된 TBM 수량 중 1차, 2차 M-SAM 요격미사일을 회피한 발수이며, 다음의 수식으로 계산한다.

$$My_i^{miss} = Ly_i^{miss} - Msspk \times (My_i^{1st} + My_i^{2nd}) \quad (7)$$

2) 체계통합 할당시 우리 측 미사일 요격 발수
 - 체계통합시에는 L-SAM과 M-SAM이 각각 적 TBM에 따로 대응하는 것이 아니라 목적함수값

이 최소가 되는 최적의 방어의 지역별 L-SAM 1/2차 요격 발수 및 M-SAM 1/2차 요격 발수 조합을 동시에 결정하기 때문에 균등할당시와 같은 수식을 도출할 수는 없다.

- 따라서, 이러한 문제는 설계된 목적함수를 주어진 제한 조건하에서 푸는 최적화 문제로서 선형 계획(Multiple Linear Programming)법을 활용한 컴퓨터 프로그램(Excel Solver)을 활용하여 결과값을 도출하였다.

3.2.3 목적함수 : 피해지수와 자산 소모지수 합계의 최소화

1) 피해지수 : 방어의 지역별 요격 회피 발수와 탄두 위험도 지수, 방어의 지역별 중요도 지수의 곱의 합

$$\sum_{i=1}^{15} My_i^{miss} \times t_i \times d_i \quad (8)$$

2) 자산 소모지수 : 미사일 가치를 반영
 $(Ly_i^{1st} + Ly_i^{2nd}) \times Cr(L) +$ (9)

$$(My_i^{1st} + My_i^{2nd}) \times Cr(M)$$

3) 피해지수와 자산 소모지수(이하 ‘피해·소모지수’로 표시) 합계
 목적함수에서 자산 소모지수 값의 과다 계상에 의한 결과값 왜곡을 방지하기 위하여 자산 소모지수 비율 상수 α 를 곱한 후 피해지수와 합산으로 설정하였다.

$$\begin{aligned} &Min \sum_{i=1}^{15} (My_i^{miss} \times t_i \times d_i \\ &+ \alpha ((Ly_i^{1st} + Ly_i^{2nd}) \times Cr(L) + \\ &(My_i^{1st} + My_i^{2nd}) \times Cr(M))) \end{aligned} \quad (10)$$

4) 자산 소모지수 비율 α 값 설정
 자산 소모지수 비율 값은 목적함수를 통해 전체 알고리즘이 유효한 결과를 보여주는 수준으로 설정하는 데 목적이 있다. 만약 자산 소모지수가 과다 계상된다면 피해를 감수하는 것이 자산 소모를 방지하는 것보다 더 큰 이익이 발생하는 왜곡된 결과가 나타날 수 있는데, 예를 들어 적 TBM을 충분히 방어할 수 있는 요격 미사일이 있음에도 요격 미사일의 자산가치를 보전하기 위해 방어를 하

지 않는 경우가 발생할 수 있다. 따라서 이를 방지하기 위해서는 자산 소모지수와 피해지수 간의 적절한 비율을 설정할 필요성이 있다.

본 연구는 자산가치를 고려하지 않는 α 값인 0과 반복된 실험을 통해 자산 소모지수 비율이 결핍값의 왜곡을 발생시키지 않는 수준의 값인 0.2~0.4와 피해를 감수하더라도 자산 소모를 방지할 수 있는 수준인 1 값으로 각각 설정하여 비교 실험을 진행하였다.

3.2.4 제약조건 설정

본 연구는 대량의 적 TBM이 동시에 발사되었을 때 제한된 우리 측 자산을 효율적으로 할당하기 위한 연구이다. 또한, 포대별 요격 미사일 보유량과 방어의역이 한정된다는 제한사항이 있다.

본 시뮬레이션에서는 L-SAM 포대 1개와 M-SAM 포대 3개를 모형으로 구현하였다.

L-SAM 포대의 미사일 보유발 수는 40발이며, M-SAM 각 포대의 미사일 보유발 수는 각 20발로 정하였다.

- 1) L-SAM 대응 발수는 보유량을 초과할 수 없다.

$$\sum_{i=1}^{15} (Ly_i^{1st} + Ly_i^{2nd}) \leq L_n \quad (40\text{발}) \quad (11)$$

st. $Ly_i^{1st}, Ly_i^{2nd}, L_n$: 정수

- 2) M-SAM 대응 발수는 각 포대별 보유량을 초과할 수 없다.

$$\sum_{i=1}^5 (My_i^{1st} + My_i^{2nd}) \leq Mn_k \quad (20\text{발}) \quad (12)$$

st. $My_i^{1st}, My_i^{2nd}, Mn_k$: 정수

3.3 알고리즘 실험결과

3.3.1 TBM 수량보다 요격 미사일이 많은 경우

적 TBM 50발이 동시에 발사된 두 가지 경우를 우리 측 요격 미사일 100발(L-SAM 40발, M-SAM 60발)로 각각 대응하는 상황에서 적 TBM 수량에 비례해서 대응한 경우와 탄두 위험도 및 방어중요도를 고려하여 요격체계를 통합하여 대응한 경우를 소모지수 비율별로 시뮬레이션한 결과를 요약하면 Table 1과 같으며, 세부 내용은 Table 2~5에서 설명하였다.

Table 1. Summary of experimental results by allocation plan

[TBM 50발, L-SAM 40발, M-SAM 60발]

구분	요격 미사일 할당 방안별 실험결과					
	균등할당			체계통합		
소모지수 비율(α)	0	0.5	1.0	0	0.5	1.0
L-SAM 소모량	40	40	40	40	5	5
M-SAM 소모량	20	20	20	39	60	59
낙탄/회피지역*	0/15	0/15	0/15	0/15	2/13	2/13
전체 낙탄 수량 기댓값	4.0	4.0	4.0	0	4.0	5.0
피해·소모지수의 합	28.1	78.0	128.0	0	37.9	72.5

* 낙탄 수량이 0.5 미만이면 회피지역으로 계산하였다.

3.3.1.1 요격 미사일을 방어지역별 TBM 수량과 비례해서 할당한 경우(Table 2)

- 1) 균등할당시 요격 미사일 100발 중 60발(L-SAM 40발, M-SAM 20발)이 소모되었으며, L-SAM의 요격을 회피한 TBM은 총 17발이며, 최종적으로 요격을 회피한 TBM은 확률적으로 매우 낮은 것으로 나타났다.
- 2) 균등할당시 낙탄 수량의 총 기댓값은 4.0이나, 방어구역별로는 0.1~0.4발로 예측되어, 전 방어지역에서 낙탄을 회피한 것으로 분석하였다.
- 3) 균등할당시 피해·소모지수의 합은 자산 소모지수 비율 α 값이 커질수록 높게 평가되었으며, α 값에 따른 대응 발수의 변화는 없었다.

3.3.1.2 요격 미사일을 알고리즘을 적용하여 할당한 경우(Table 3~5)

- 1) 체계통합시 요격 미사일 소모량은 자산 소모지수 비율 α 값에 따라 다양하게 나타났다.
- 2) 체계통합시 낙탄 수량의 총 기댓값은 소모지수 비율인 α 값이 0일 때는 0이었으나, α 값이 0.5일 때는 2개 지역에서 총 4발, α 값이 1일 때는 2개 지역에서 총 5발이 낙탄되었다.
- 3) 체계통합시 피해·소모지수의 합은 자산 소모지수 비율 α 값이 커질수록 높게 평가되었으며, α 값에 따른 대응 발수의 변화가 다양하게 나타났다.

Table 2. Analysis results of equally allocated system

TBM 발사수량				L-SAM 대응										
방어 지역	발사 수량	탄두 위험도	총 발사수	교전 할당						요격 분석				
				방어 부대	미사일 보유량	방어 중요도	1차 대응	2차 대응	대응 합계	요격률	요격 기대값	요격 발수	요격 회피	요격 회피 합계
1	1	1.70	50	L-SAM 1포대	40	3.20	1	0	40	0.8	0.6	1	0	17
2	4	1.40				4.70	3	0		0.8	2.6	3	1	
3	3	2.50				1.80	2	0		0.8	1.9	2	1	
4	2	1.80				0.60	2	0		0.8	1.3	1	1	
5	5	2.00				4.60	4	0		0.8	3.2	3	2	
6	3	4.30				2.90	2	0		0.8	1.9	2	1	
7	4	4.00				3.70	3	0		0.8	2.6	3	1	
8	3	1.30				0.80	2	0		0.8	1.9	2	1	
9	4	3.10				1.80	3	0		0.8	2.6	3	1	
10	3	1.20				0.50	2	0		0.8	1.9	2	1	
11	2	2.90				3.70	2	0		0.8	1.3	1	1	
12	2	1.00				3.90	2	0		0.8	1.3	1	1	
13	5	2.60				3.40	4	0		0.8	3.2	3	2	
14	4	2.10				2.80	3	0		0.8	2.6	3	1	
15	5	2.70				2.60	4	0		0.8	3.2	3	2	

L-SAM 요격 회피	M-SAM 대응															L-SAM M-SAM 대응 합계	L-SAM M-SAM 총 보유량	
	교전 할당						요격 분석											
	방어 부대	미사일 보유량	1차 대응	2차 대응	포대별 대응 발수	대응 합계	요격률	요격	요격회피	피해·소모지수			피해·소모지수의 합					
								개별	합계	$\alpha:0$	$\alpha:0.5$	$\alpha:1$	$\alpha:0$	$\alpha:0.5$	$\alpha:1$			
0	M-SAM 1포대	20	0	0	6	20	0.70	0	0.1	4.0	0.5	1.5	2.5	28.1	78.0	128.0	60	100
1			2	0			0.70	1	0.3		2.1	6.1	10.1					
1			1	0			0.70	1	0.2		1.1	4.1	7.1					
1			1	0			0.70	1	0.2		0.2	2.2	4.2					
2			2	0			0.70	1	0.4		3.7	8.7	13.7					
1	M-SAM 2포대	20	1	0	7	20	0.70	1	0.2	4.0	3.0	6.0	9.0	28.1	78.0	128.0	60	100
1			2	0			0.70	1	0.3		4.7	8.7	12.7					
1			1	0			0.70	1	0.2		0.2	3.2	6.2					
1			2	0			0.70	1	0.3		1.8	5.8	9.8					
1	M-SAM 3포대	20	1	0	7	20	0.70	1	0.2	4.0	0.1	3.1	6.1	28.1	78.0	128.0	60	100
1			1	0			0.70	1	0.2		1.7	3.7	5.7					
1			1	0			0.70	1	0.2		0.6	2.6	4.6					
2			2	0			0.70	1	0.4		3.5	8.5	13.5					
1	M-SAM 3포대	20	2	0	7	20	0.70	1	0.3	4.0	1.9	5.9	9.9	28.1	78.0	128.0	60	100
2			2	0			0.70	1	0.4		2.8	7.8	12.8					

Table 3. Analysis results of system integration($\alpha(0.0)$)

TBM 발사수량				L-SAM 대응										
방어 지역	발사 수량	탄두 위험도	총 발사수	교전 할당						요격 분석				
				방어 부대	미사일 보유량	방어 중요도	1차 대응	2차 대응	대응 합계	요격률	요격 기대값	요격 발수	요격 회피	요격 회피 합계
1	1	1.70	50	L-SAM 1포대	40	3.20	0	1	28	0.8	0.5	0	1	27
2	4	1.40				4.70	1	2		0.8	1.9	2	2	
3	3	2.50				1.80	0	1		0.8	1.0	1	2	
4	2	1.80				0.60	1	1		0.8	1.1	1	1	
5	5	2.00				4.60	1	2		0.8	2.4	2	3	
6	3	4.30				2.90	0	1		0.8	0.4	0	3	
7	4	4.00				3.70	1	2		0.8	2.4	2	2	
8	3	1.30				0.80	1	1		0.8	1.7	2	1	
9	4	3.10				1.80	2	2		0.8	2.6	3	1	
10	3	1.20				0.50	1	1		0.8	1.6	2	1	
11	2	2.90				3.70	0	0		0.8	0.0	0	2	
12	2	1.00				3.90	0	1		0.8	0.6	1	1	
13	5	2.60				3.40	0	2		0.8	1.9	2	3	
14	4	2.10				2.80	0	2		0.8	1.5	2	2	
15	5	2.70				2.60	1	2		0.8	2.7	3	2	

L-SAM 요격 회피	M-SAM 대응												L-SAM M-SAM 대응 합계	L-SAM M-SAM 총 보유량
	교전 할당						요격 분석							
	방어 부대	미사일 보유량	1차 대응	2차 대응	포대별 대응 발수	대응 합계	요격률	요격	요격 회피	요격 회피 합계	피해· 소모 지수	피해· 소모 지수 의 합		
1	M_SAM 1포대	20	0	0	11	39	0.70	1	0	0.0	0.0	0	67	100
2			2	2			0.70	2	0			0		
2			1	1			0.70	2	0			0		
1			1	1			0.70	1	0			0		
3			2	2			0.70	3	0			0		
3	M_SAM 2포대	20	2	2	12	39	0.70	3	0	0.0	0.0	0		
2			1	1			0.70	2	0			0		
1			1	1			0.70	1	0			0		
1			1	1			0.70	1	0			0		
1			1	1			0.70	1	0			0		
2	M-SAM 3포대	20	1	1	16	39	0.70	2	0	0.0	0.0	0		
1			1	1			0.70	1	0			0		
3			2	2			0.70	3	0			0		
2			2	2			0.70	2	0			0		
2			2	2			0.70	2	0			0		

Table 4. Analysis results of system integration($\alpha(0.5)$)

TBM 발사수량				L-SAM 대응										
방어 지역	발사 수량	탄두 위험도	총 발사수	교전 할당						요격 분석				
				방어 부대	미사일 보유량	방어 중요도	1차 대응	2차 대응	대응 합계	요격률	요격 기대값	요격 발수	요격 회피	요격 회피 합계
1	1	1.70	50	L-SAM 1포대	40	3.20	0	0	5	0.8	0.0	0	1	46
2	4	1.40				4.70	0	0		0.8	0.0	0	4	
3	3	2.50				1.80	0	0		0.8	0.0	0	3	
4	2	1.80				0.60	0	0		0.8	0.0	0	2	
5	5	2.00				4.60	0	0		0.8	0.0	0	5	
6	3	4.30				2.90	0	0		0.8	0.0	0	3	
7	4	4.00				3.70	0	0		0.8	0.0	0	4	
8	3	1.30				0.80	0	0		0.8	0.0	0	3	
9	4	3.10				1.80	0	0		0.8	0.0	0	4	
10	3	1.20				0.50	0	0		0.8	0.0	0	3	
11	2	2.90				3.70	0	0		0.8	0.0	0	2	
12	2	1.00				3.90	2	1		0.8	2.0	2	0	
13	5	2.60				3.40	0	0		0.8	0.0	0	5	
14	4	2.10				2.80	1	1		0.8	1.6	2	2	
15	5	2.70				2.60	0	1		0.8	0.4	0	5	

L-SAM 요격 회피	M-SAM 대응											L-SAM M-SAM 대응 합계	L-SAM M-SAM 총 보유량	
	교전 할당						요격 분석							
	방어 부대	미사일 보유량	1차 대응	2차 대응	포대별 대응 발수	대응 합계	요격률	요격	요격 회피	요격 회피 합계	피해·소모 지수			피해·소모 지수의 합
1	M_SAM 1포대	20	1	0	20	60	0.70	1	0	4	0.7	37.9	65	100
4			4	2			0.70	4	0		2.9			
3			4	0			0.70	3	0		2.1			
2			1	1			0.70	1	1		1.8			
5			4	3			0.70	5	0		3.6			
3	M_SAM 2포대	20	3	1	20	60	0.70	3	0	4	2.1	37.9	65	100
4			4	2			0.70	4	0		2.9			
3			3	1			0.70	3	0		2.1			
4			4	2			0.70	4	0		2.9			
3	M-SAM 3포대	20	0	0	20	60	0.70	0	3	4	1.8	37.9	65	100
2			3	0			0.70	2	0		1.4			
0			0	0			0.70	0	0		2.5			
5			4	3			0.70	5	0		3.6			
2			2	1			0.70	2	0		3.7			
5	7	0	0.70	5	0	3.8								

Table 5. Analysis results of system integration($\alpha(1.0)$)

TBM 발사수량				L-SAM 대응										
방어 지역	발사 수량	탄두 위험도	총 발사수	교전 할당						요격 분석				
				방어 부대	미사일 보유량	방어 중요도	1차 대응	2차 대응	대응 합계	요격률	요격 기대값	요격 발수	요격 회피	요격 회피 합계
1	1	1.70	50	L-SAM 1포대	40	3.20	0	0	5	0.8	0.0	0	1	46
2	4	1.40				4.70	0	0		0.8	0.0	0	4	
3	3	2.50				1.80	0	0		0.8	0.0	0	3	
4	2	1.80				0.60	0	0		0.8	0.0	0	2	
5	5	2.00				4.60	0	0		0.8	0.0	0	5	
6	3	4.30				2.90	0	0		0.8	0.0	0	3	
7	4	4.00				3.70	0	0		0.8	0.0	0	4	
8	3	1.30				0.80	0	0		0.8	0.0	0	3	
9	4	3.10				1.80	0	0		0.8	0.0	0	4	
10	3	1.20				0.50	0	0		0.8	0.0	0	3	
11	2	2.90				3.70	0	0		0.8	0.0	0	2	
12	2	1.00				3.90	2	1		0.8	2.0	2	0	
13	5	2.60				3.40	0	0		0.8	0.0	0	5	
14	4	2.10				2.80	1	1		0.8	1.6	2	2	
15	5	2.70				2.60	0	0		0.8	0.0	0	5	

L-SAM 요격 회피	M-SAM 대응												L-SAM M-SAM 대응 합계	L-SAM M-SAM 총 보유량
	교전 할당						요격 분석							
	방어 부대	미사일 보유량	1차 대응	2차 대응	포대별 대응 발수	대응 합계	요격률	요격	요격 회피	요격 회피 합계	피해· 소모 지수	피해· 소모 지수 의 합		
1	M_SAM 1포대	20	1	0	19	59	0.70	1	0	5	1.4	72.5	64	100
4			4	2			0.70	4	0		5.7			
3			4	0			0.70	3	0		4.3			
2			0	0			0.70	0	2		2.2			
5			4	3			0.70	5	0		7.1			
3	M_SAM 2포대	20	3	1	20	59	0.70	3	0	5	4.3	72.5	64	100
4			2	2			0.70	4	0		5.7			
3			4	1			0.70	3	0		4.3			
4			4	2			0.70	4	0		5.7			
3	M-SAM 3포대	20	0	0	20	59	0.70	0	3	5	1.8	72.5	64	100
2			3	0			0.70	2	0		2.9			
0			0	0			0.70	0	0		5.0			
5			4	3			0.70	5	0		7.1			
2			2	1			0.70	2	0		7.4			
5	7	0	0.70	5	0	7.5								

3.3.1.3 방안별 비교 분석결과

위 두 가지 경우를 비교해 본 결과, 포대별로 각각 대응하여 TBM 수량에 비례하여 요격한 경우는 TBM을 모두 요격한 결과를 보였으나, 고가치 자산인 L-SAM의 사용이 상대적으로 많았으며, 전체 체계를 통합하여 대응한 경우는 소모지수 비율 α 값에 따라 다소 차이는 있으나, M-SAM을 주로 활용하여 대부분 요격하는 결과를 가져왔다. 다만, 소모지수를 높게 설정한 경우는 요격미사일이 충분이 있음에도 불구하고 4~5발의 TBM을 요격하지 않는 예상치 못한 결과를 보여줬는데, 이는 아측 자산의 소모지수를 고려시 피해를 감수하는 것이 더 나은 피해·소모지수 합의 결과를 보였기 때문이다.

이러한 결과값은 현실적이지 못한 부분이나, 이 알고리즘에서 적용한 소모지수 값은 임의의 값을 적용한 것이기 때문에 향후 피해지수와 소모지수 간의 적정 수준을 연구하여 반영한다면 좀 더 현실적인 분석 결과를 도출할 수 있을 것으로 기대한다. 본 연구에서는 이러한 지수를 적용하였을 때의 결과값에 대한 분석의 용도로만 활용하는 것으로 의미를 한정하고자 한다.

TBM 수량 대비 요격미사일 수가 많은 경우에 각각의 시뮬레이션 결과를 최종적으로 분석해 보면, 적 TBM 수량에 비례적으로 요격미사일을 할당하여 대응한 경우는 방어진역 모두에서 요격에 성공하였으나, 아측 자산의 소모지수가 높아 피해·소모지수 평가결과, TBM 50발에 각각 대응한 경우 28.1, 78.0, 128.0으로 전체 체계를 통합한 경우의 0, 37.9, 72.5에 비해 높게 나타났다. 즉, 대량의 TBM이 동시에 발사될 경우 아측 요격자산 수량이 상대적으로 많은 수량인 경우, 탄두 위험도와 방어진역 중요도 및 요격 미사일 자산가치를 고려하여 요격 체계를 통합하여 대응한 알고리즘이 좀 더 효과적인 결과를 가져왔다고 볼 수 있다.

3.3.2 TBM 수량과 요격 미사일 수량이 같은 경우

적 TBM 100발이 동시에 발사된 경우 우리 측 요격 미사일 100발(L-SAM 40발, M-SAM 60발)로 대응하는 상황에서 적 TBM 수량에 비례해서 대응한 경우와 탄두위험도 및 방어중요도를 고려하여 요격체계를 통합하여 대응한 경우를 시뮬레이션한 결과는 앞선 Table 2-5와 같은 방식으로 계산되며, 다음과 같이 요약할 수 있다.

Table 6. Summary of experimental results by allocation plan

구분	요격 미사일 할당 방안별 실험결과					
	균등할당			체계통합		
소모지수 비율(α)	0	0.5	1.0	0	0.5	1.0
L-SAM 소모량	40	40	40	40	40	40
M-SAM 소모량	60	60	60	60	60	60
낙탄/회피지역*	15/0	15/0	15/0	5/10	5/10	5/10
낙탄 수량	26	26	26	26	26	26
피해·소모지수의 합	176.5	246.5	316.5	52.6	122.6	192.6

* 낙탄 수량이 0.5 미만이면 회피지역으로 계산하였다.

- 1) 균등할당시 요격 미사일 100발이 모두 소모되었으며, 최종적으로 요격을 회피한 수량은 26발이다.
- 2) 균등할당시 방어진역별 낙탄 수량의 기댓값은 1.3발에서 2.6발로 TBM은 15개 방어진역을 모두 요격 회피하여 낙탄되었다.
- 3) 균등할당시 피해·소모지수의 합은 자산 소모지수 비율 α 값이 커질수록 높게 평가되었으며, α 값에 따른 대응 발수의 변화는 없다.
- 4) 체계통합시에도 요격 미사일 100발이 모두 소모되었으며, 최종적으로 요격을 회피한 수량은 26발이다.
- 5) 체계통합시 방어진역별 낙탄 수량의 기댓값은 0발에서 7발로 TBM은 15개 방어진역 중 10개 지역에서는 모두 요격되었으며, 5개 지역에서 낙탄되었다.
- 6) 체계통합시 피해·소모지수의 합은 자산 소모지수 비율 α 값이 커질수록 높게 평가되었으며, α 값에 따른 대응 발수의 변화는 없다.

3.3.2.1 방안별 비교 분석결과

위 두 가지 경우를 비교해 본 결과, 포대별로 각각 대응하여 TBM 수량에 비례하여 요격한 경우와 전체 체계를 통합하여 대응한 경우, 요격 회피한 수량은 같았다. 이는 개별 요격 미사일의 요격 성공률이 같다는 가정에 기인하여 전체 요격 미사일을 할당하였기 때문이다. 그러나, 같은 수량의 요격 미사일을 운용하였더라도 포대별로 각각 대응한 경우는 15개 방어진역 모두 낙탄이 이루어져서 피해평가 결과가 α 값이 0일 때는 176.5, 0.5일 때는 246.5, 1일 때는 316.5로 평가되었다. 반면, 전체 체계를 통합 할당한 경우 10개 방어

지역에서는 낙탄 피해가 없고, 5개 지역에서만 낙탄을 허용하는 선택적인 결정이 이루어졌다. 그 결과 소모지수 비율 α 값이 0일 때는 52.6, 0.5일 때는 122.6, 1일 때는 192.6으로 균등할당 대비 각각 29.8 %, 49.7 %, 60.8 % 수준으로 나타났다. 즉, 대량의 TBM이 동시에 발사될 경우 우리 측 요격자산 수량이 같은 수량일 때 탄두 위험도와 방어진역 중요도 및 요격 미사일 자산가치를 고려하여 요격체계를 통합하여 대응한 알고리즘이 좀 더 효과적인 결과를 가져왔다고 볼 수 있다.

3.3.3 TBM 수량보다 요격 미사일 수량이 적은 경우 적 TBM 150발이 동시에 발사된 경우 우리 측 요격 미사일 100발(L-SAM 40발, M-SAM 60발)로 대응하는 상황에서 적 TBM 수량에 비례해서 대응한 경우와 탄두위험도 및 방어중요도를 고려하여 요격체계를 통합하여 대응한 경우를 각각 시뮬레이션한 결과는 앞선 Table 2~5와 같은 방식으로 계산되며, 다음과 같이 요약할 수 있다.

Table 7. Summary of experimental results by allocation plan

구분	요격 미사일 할당 방안별 실험결과					
	균등할당			체계통합		
소모지수 비율(α)	0	0.5	1.0	0	0.5	1.0
L-SAM 소모량	40	40	40	40	40	40
M-SAM 소모량	60	60	60	60	60	60
낙탄/회피지역*	15/0	15/0	15/0	8/7	8/7	8/7
낙탄 수량	76	76	76	76	76	76
피해·소모지수의 합	488.6	558.4	628.2	259.9	329.9	399.9

* 낙탄 수량이 0.5 미만이면 회피지역으로 계산하였다.

- 1) 균등할당시 요격 미사일 100발이 모두 소모됐으며, 최종적으로 요격을 회피한 수량은 76발이다.
- 2) 균등할당시 방어진역별 낙탄 수량의 기댓값은 1.8 발에서 8.3발로 TBM은 15개 방어진역에 모두 낙탄되었다.
- 3) 균등할당시 피해·소모지수의 합은 자산 소모지수 비율 α 값이 커질수록 높게 평가되었으며, α 값에 따른 대응 발수의 변화는 없다.

- 4) 체계통합시 요격 미사일 100발이 모두 소모됐으며, 최종적으로 요격을 회피한 수량은 76발이다.
- 5) 체계통합시 방어진역별 낙탄 수량의 기댓값은 0발에서 7발로 TBM은 15개 방어진역 중 7개 지역에서는 모두 요격되었으며, 8개 지역에서 낙탄되었다.
- 6) 체계통합시 피해·소모지수의 합은 자산 소모지수 비율 α 값이 커질수록 높게 평가되었으며, α 값에 따른 대응 발수의 변화는 없다.

3.3.3.1 방안별 비교 분석결과

위 두 가지 경우를 비교해 본 결과, 포대별로 각각 대응하여 TBM 수량에 비례하여 요격한 경우와 전체 체계를 통합하여 대응한 경우가 요격 회피한 수량은 같았다. 이는 개별 요격 미사일의 요격 성공률이 같다는 가정에 기인하여 전체 요격 미사일을 할당하였기 때문이다. 그러나, 같은 수량의 요격 미사일을 운용하였더라도 포대별로 각각 대응한 경우는 15개 방어진역 모두 낙탄이 이루어져서 피해·소모지수 평가결과가 α 값이 0일 때는 488.6, 0.5일 때는 558.4, 1일 때는 628.2로 평가되었다.

반면, 전체 체계를 통합 할당한 경우 7개 방어진역에서는 낙탄 피해가 없고, 8개 지역에서만 낙탄을 허용하는 선택적인 결정이 이루어졌다.

그 결과 소모지수 비율 α 값이 0일 때는 259.9, 0.5일 때는 329.9, 1일 때는 399.9로서 균등할당 대비 각각 53.2 %, 59.1 %, 63.7 % 수준으로 나타났다. 즉, 대량의 TBM이 동시에 발사될 경우 우리 측 요격자산 수량이 같은 수량일 때 탄두 위험도와 방어진역 중요도 및 요격 미사일 자산가치를 고려하여 요격체계를 통합하여 대응한 알고리즘이 좀 더 효과적인 결과를 가져왔다고 볼 수 있다.

4. 결론

결론적으로 요격 미사일 수량이 TBM 수량보다 적은 경우, 같은 경우, 많은 경우 모두 요격 미사일 할당에 있어 요격체계를 통합하여 대응한 알고리즘이 균등할당 대비 효과적임이 입증되었다.

본 연구에서 제시한 체계통합 알고리즘에서는 방어중요도와 탄두 위험도 및 요격 미사일 자산가치에 따라 방어진역별로 날아오는 적 TBM을 선택적으로 요격하는 결괏값을 보여주었다.

특히 적 TBM 대비 같거나 적은 수량의 요격 미사일로 대응하는 경우에는 어떠한 상황에도 일부 지역에서의 낙탄은 불가피한 상황인데, 이때 요격체계 통합 알고리즘은 일부 방어진역에서는 완벽한 방어를 취하고, 일부 지역은 낙탄을 허용하는 형태의 결과를 도출하였다.

이는 실제 전시상황에서 지휘부의 결심으로만 결정하기에는 매우 어려운 선택이라고 할 수 있다. 또한, 균등한 피해 감소와 선택적 집중피해 감소의 두 가지 방안에 대한 전략적 우위 여부는 이 논문에서 다루지는 않았기 때문에, 요격체계 통합 알고리즘이 전략적으로 우위에 있다고는 주장하지는 않는다.

다만, 요격체계 통합 알고리즘에서 방어중요도와 탄두 위험도 및 요격 미사일 자산가치를 정확히 측정하여 반영하였다면, 피해·소모지수 측면에서는 합리적인 판단이라고도 볼 수도 있다는 점을 본 연구는 제시하고자 한다.

본 연구는 상층과 하층의 다층방어체계를 운영하는 국가에서는 이를 효율적으로 운영하기 위해서는 전체 요격체계를 통합적으로 통제하는 것이 필요하다는 것을 확인시켜 주었다.

다만, 본 연구에서 가장한 지수들은 알고리즘의 유효성을 확인시키기 위한 임의값이라는 점에서 한계가 있어, 실제 상황에 부합하는 현실적인 값을 구하는 것을 향후 과제로 발전시킬 필요성이 있겠다.

후 기

이 논문은 LIG Nex1(주)의 재원을 지원받아 수행된 연구입니다.

본 논문의 발전을 위해 심사를 해주신 심사위원님들께 감사의 말씀을 드립니다.

References

[1] Seunghwan Yunn, and Suhwan Kim, "A Study on Optimal Allocation of the Korean Air and Missile Defense System using a Genetic Algorithm," Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology, Vol. 18, No. 6, pp. 797-807, 2015.

[2] KiHoon Kwak, Jae-Yeong Lee, and Chi-Young Jung,

"A Model for Optimal Deployment of Surface-to-Air Guided Weapons using Composite Heuristic Algorithms," Journal of the Korean Operations Research and Management Science Society, Vol. 34, No. 4, pp. 43-56, 2009.

- [3] Jongwoo Kim, Jinwoo Kim, Sungkyu Ahn, Geonhee Ham, "Analysis of Missile Defense System Effectiveness using Simulation Techniques," Asan Report, 2017.
- [4] Minsu Seo, and Jungmok Ma, "A Study on the Operation Plan of Multi-layered Defense Interceptor Missiles Considering the Korean Missile Defense System and the Strategic Strike Systems," Journal of the Korea Simulation Society, Vol. 30, No. 1, pp. 31-42, 2021.
- [5] Yujin Ha, and Choonju Lee, "A Study on the Analysis of the Effectiveness of Jangsa Rocket System through Monte Carlo Simulation," Journal of the Korean Society of Defense Management and Analysis, Vol. 45, No. 2, pp. 56-70, 2019.
- [6] Minsu Seo, and Jungmok Ma, "A Study on Intercept Probability and Cost based Multi-layer Defense Interceptor Operating Method using Mathematical Model," Journal of the Korea Simulation Society, Vol. 29, No. 2, pp. 49-61, 2020.
- [7] Sangeun Yoo, and Daesung Jang, "Analysis of Cooperative Engagement Defense Effectiveness in Ballistic Missile Defense Systems According to Trajectories of Ballistic Missiles," Journal of Institute of Control, Robotics and Systems, Vol. 29, No. 8, pp. 671-678, 2023.
- [8] Hwirak Park, "Analysis of Japan's Ballistic Missile Defense System Development Case and Lessons for Korea," National Strategy, Vol. 19, No. 4, pp. 83-111, 2013.
- [9] J. H. Cho, "North Korean Missile Threat and Korean Kill Chain Development Plan(Focused on Counter TEL System)," Joint Forces Military University 2017.
- [10] Soland, R. M., "Optimal Terminal Defense Tactics when Several Sequential Engagements are Possible," 35 (35): 537-542, 1987.

- [11] D. K. Kim, "North Korea's Nuclear-Missile Provocations and ROK Armed Forces' Counter Strategy -Focused on Korean Three-Axis(K3: Kill Chain, KAMD, KMPR) System-," 11 (11): 160-180, 2017.
- [12] J. W. Kim, "Analysis of Missile Defense System Effects using Simulation," The Asan Institute for Policy studies 1-104, 2017.
- [13] M. Ni, Z. Yu, F. Ma and X. Wu, "A Lagrange Relaxation Method for Solving Weapon-Target Assignment Problem," Mathematical Problems in Engineering, Vol. 2011, Article ID 873292, 2011.
- [14] S. P. Lloyd and H. S. Witsenhausen, "Weapons allocation is NP-Complete," Proceedings of the 1986 Summer Computer Simulation Conference, pp. 1054-1058, 1986.
- [15] P. M. Pardalos, L. S. Pitsoulis, "Nonlinear Assignment Problems: Algorithms and Applications," Springer, Verlag Berlin, 2000.
- [16] Z. J. Lee, C. Y. Lee, and S. F. Su, "An immunity-based ant colony optimization algorithm for solving weapon-target assignment problem," Applied Soft Computing, Vol. 2, No. 1, pp. 39-47, 2002.
- [17] C. Huaiping, L. Jingxu, C. Yingwu et al, "Survey of the research on dynamic weapon-target assignment problem," Journal of Systems Engineering and Electronics, Vol. 17, No. 3, pp. 559-565, 2006.
- [18] P. Teng, H. Lv, J. Huang et al., "Improved particle swarm optimization algorithm and its application in coordinated air combat missile-target assignment," 2008 7th World Congress on Intelligent Control and Automation, 2008.