

# 미사일 방어를 위한 KDX 최적배치모형 연구

이상현<sup>1†</sup> · 정인철<sup>1</sup>

## Optimal Allocation Model of KDX for Missile Defense

Sang-Heon Lee · In-Cheol Jeong

### ABSTRACT

In most positioning and allocation practices, many mathematical models are proposed in various fields. The set covering (SC) problem has many practical applications of modeling not only real world problem but also in military. As our air defense weapon systems are getting older and declining the performance, new plans for acquisition of high-tech air defense weapon system are being conducted. In this paper we established simulation model for optimal allocation of KDX which carries new missile defense weapon system by using partial set covering considering both attacker and defender side. By implementing simulation model, we assess the available scenarios and show the optimal pre-positioning of KDX and interceptor's allocation. Furthermore, we provide a variety of experiments and extensive scale sized situations for Korea Indigenous Missile Defense (KIMD) and support decision-making for efficient positioning of unit.

**Key words** : Missile Defense, Allocation, Partial Set Covering, KDX, CPLEX

### 요약

위치 선정이나 설비배치문제를 기존의 정성적 접근방법에서 벗어나 수학적 방법을 통해 해결하려는 시도가 여러 분야에서 이루어지고 있다. 지역담당모형은 이러한 연구 분야중 하나로 주어진 문제를 수학적으로 현실과 유사하게 구현시킬 수 있고 모형에 대한 해법절차도 다양하기 때문에 여러 형태의 배치문제들에도 폭넓게 적용되어 왔으며 최근 들어서는 군사설비분야에서도 그 활용도가 높아지고 있다. 본 연구는 미사일 방어를 위하여 한국해군 KDX 함정의 최적배치에 대한 시물레이션 모델을 구축하였다. 시물레이션 모델은 부분지역담당모형을 바탕으로 공격자와 방어자의 측면을 단계적으로 평가하는 방법으로 구현되어 있으며, 구축된 모형에 대하여 가능한 시나리오를 설정하고 실험을 통하여 결과를 분석하였다. 구현된 모형실험은 공격자의 공격계획과 공격계획에 따른 최적의 KDX 배치선정과 방어미사일 할당에 대한 사결정방안을 제시하고 있다. 본 연구의 최적배치모형은 한국적 미사일방어 체계구축을 위하여 도입될 최신헌기체계의 위치선정에 대한 최적의 대안을 제시하고 효율적인 부대배치를 위한 참고자료로 활용할 수 있을 것이다.

주요어 : 미사일방어, 배치, 부분지역담당, KDX, CPLEX

## 1. 서론

미래에 이루어질 전쟁양상은 과거의 기동전이나 소모전과 같은 물리적인 파괴의 전쟁과는 본질적으로 다른 방식으로 진행될 것으로 예측된다. 즉 정보전을 기반으로 한 입체전장 영역에서 정밀무기에 의한 적의 중심과 핵심

전력을 파괴·마비하는데 중점을 둔 효과중심작전(EBO: Effect-Based Operation)을 전개하는 양상을 띠고 있다. 특히 최첨단 과학기술의 발전으로 미사일, 유도무기 등의 사정거리와 정밀도가 향상됨에 따라 미사일 방어작전의 중요성이 부각되고 있다.

현재 군에서는 적의 미사일 위협에 대응하기 위하여 한국적 미사일 방어체계의 개념을 정립하고 여러 형태의 무기체계 도입사업을 진행하고 있다. 또한 이러한 사업은 시물레이션 모델 개발사업과 병행하여 도입되는 무기체계의 효과측정, 작전분석, 소요검토 등에 활용하려는 활동이 이루어지고 있다.

2006년 11월 13일 접수, 2006년 11월 21일 채택

<sup>1)</sup> 국방대학교 운영분석학과

주저자 : 이상현

교신저자 : 이상현

E-mail; leesangh@kndu.ac.kr

현재 건조예정인 KDX-III 함정은 고도의 탐지 및 요격체계를 구비한 최신의 함정으로 수상전, 대공전, 대잠전 등의 임무수행이 가능하다. 특히 수 십 여개의 공중표적에 대한 동시 교전능력을 보유하고 요격미사일이 탑재된 KDX-III는 한반도의 미사일 위협에 대한 조기경보와 방어임무에 매우 중요한 역할을 할 것으로 예상된다.

본 연구에서는 미사일 방어를 위하여 한국해군 KDX-III 함정의 최적배치에 대한 시뮬레이션 모델을 구축하였다. 미사일 방어를 위한 시뮬레이션 모델은 부분지역담당 모형(partial set covering)을 기반으로 공격자와 방어자의 측면을 단계적으로 평가하는 방법으로 구현되어 있으며, 구축된 모델에 대하여 가능한 시나리오를 설정하고 실험을 통하여 공격자의 공격계획과 공격계획에 따른 최적의 KDX-III 배치선정 그리고 방어미사일 할당에 대한 의사결정방안을 제시한다.

본 연구의 최적배치모형은 한국적 미사일방어 체계구축을 위하여 도입될 최신무기체계의 위치선정에 대한 최적안의 대안을 제시하고 효율적인 부대배치를 위한 참고자료로 활용할 수 있을 것이다.

## 2. 기존연구고찰

### 2.1 전체지역담당(Total Set Covering) 모형

전체지역담당모형은 모든 고객이 최소한 하나 이상의 설비로부터 담당(cover)되어야 함을 제약식으로 하고 설비배치에 드는 총 비용을 최소화하는 것을 목적으로 하는 것으로서 식 (1)과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{Min } Z &= \sum_{j=1}^n C_j X_j & (1) \\ \text{s.t. } \sum_{j=1}^n A_{ij} X_j &\geq 1, \text{ for } 1 \leq i \leq m \\ X_j &= 0 \text{ or } 1, \text{ for } 1 \leq j \leq n \\ A_{ij} &= 0 \text{ or } 1, \text{ for } 1 \leq i \leq m, \\ & 1 \leq j \leq n \end{aligned}$$

위의 식 (1)에서  $C_j$ 는 설비를 후보지  $j$ 에 1대 배치하는 비용이며,  $A_{ij}$ 는 고객  $i$ 가 후보지  $j$ 에 배치되는 설비로부터 담당될 수 있으면 1, 그렇지 않으면 0이 되며  $i, j$ 의 관계에 따라 미리 결정되는 값이다. 결정변수  $X_j$ 는 설비가 후보지에 배치되면 1, 그렇지 않으면 0으로 표현한다.

전체지역담당모형의 해법으로는 Bellmore and Mandell (1971)의 정수계획법에 의한 평면결단기법<sup>[7]</sup>과 Lawer (1988)의 분지한계법<sup>[13]</sup> 등이 있으며 이들 기법은 최적해

를 구할 수 있으나 문제의 규모가 조금만 커져도 해를 찾기가 제한된다.

### 2.2 부분지역담당(Partial Set Covering) 모형

부분지역담당모형은 가용예산 등의 제한사항으로 인해 주어진 비용, 설비 수 등 자원 한도 내에서 고객담당을 최대화시킬 수 있는 설비배치를 판단하기 위한 것으로 식 (2)와 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{Max } Z &= \sum_{j=1}^m (\max A_{ij} X_j) & (2) \\ \text{s.t. } \sum_{j=1}^n X_j &\leq Y \\ X_j &= 0 \text{ or } 1, \text{ for } 1 \leq j \leq n & (2.1) \\ A_{ij} &= 0 \text{ or } 1, \text{ for } 1 \leq i \leq m, \\ & 1 \leq j \leq n \end{aligned}$$

식 (2)에서 목적 함수내  $\max A_{ij} X_j$ 는 고객담당 규모를 판단하기위한 것으로 한 고객  $i$ 가 여러 설비  $j$ 들로부터 중복 담당되더라도 목적함수 값에는 오직 1만 증가시킴을 의미하며 제약식 (2.1)은 총 배치수량이 가용자원을 초과할 수 없는 것이고 주어진 자원이 전체 예산( $C$ )이라면  $\sum_{j=1}^n C_j X_j \leq C$ 로 변경하여 적용할 수 있다.

부분지역담당문제의 해를 구하기 위한 방법으로는 Lawer (1988)의 분지한계법<sup>[13]</sup>과 Ignizio(1974)의 휴리스틱 기법<sup>[12]</sup> 등이 있다.

### 2.3 신뢰도(Reliability Set Covering) 모형

신뢰도 모형은 부분지역담당문제를 보다 일반화시킨 형태로 식 (3)과 같이 표현할 수 있으며 주어진 자원한도를 초과할 수 없는 제약 하에 모든 설비들이 각 고객을 담당할 수 있는 전체 확률을 최대화시키는 것을 목적으로 한다.

식 (3)에서  $Y$ 는 제한된 설비수이고  $P_{ij}$ 는 고객  $i$ 가 설비  $j$ 로부터 담당될 확률이며,  $W_i$ 는 고객의 중요도를 구분하기 위한 가중치로 모든 고객의 여건이 동일하다면  $W_i=1$ 이 되어 수식에서 생략할 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{Max } Z &= \sum_{i=1}^m W_i \left\{ 1 - \prod_{j=1}^n (1 - p_{ij})^{X_j} \right\} & (3) \\ \text{s.t. } \sum_{j=1}^n X_j &\leq Y \\ X_j &= 0 \text{ or } 1, \text{ for } 1 \leq j \leq n \\ W_i &\geq 0, \text{ for } 1 \leq i \leq m \\ 0 \leq P_{ij} &\leq 1, \text{ for } 1 \leq i \leq m, \\ & 1 \leq j \leq n \end{aligned}$$

신뢰도 모형이 개발된 이후 군사설비 배치문제의 많은 부분에 적용되어지고 있다. 병렬적인 신뢰도 구조의 모형은 활용도가 높으며 방공레이더 설치문제 또는 단거리 방공무기와 같이 설비의 규모가 작거나 소규모 운용요원이 필요한 설비 배치 문제에 적합한 모형이다.

한편, KDX-III 함정의 방어미사일과 공군의 패트리어트 미사일 등 첨단무기체계는 규모가 크고 정확한 명중률을 보유하고 있으며 수량이 제한되어 있기 때문에 중복담당 경우도 0 또는 1의 설비 즉, 표적에 대하여 소량(2발 이하)의 방어미사일로 대응하게 된다. 이러한 상황은 목적함수에 결정변수 값을 1만 증가시키며 최적의 해를 산출하는 부분지역담당모형에 해당되기 때문에 본 연구에서는 부분지역담당모형을 적용한다.

또한 기존연구에서는 방어자의 입장에서 “어떻게 방어할 것인가”라는 문제를 해결하기 위한 모형이 설계되었으나 공격자의 공격 형태를 사전에 예측할 수 있는 모형이 먼저 설계된다면 보다 효과적인 방어계획을 수립할 수 있으므로, 본 연구에서는 공격자의 입장에서 공격계획모형을 수립한 후에 방어계획에 대한 모형을 설정한다.

### 3. 최적배치모형 설계

KDX 최적배치를 위한 모형은 앞에 서술한 바와 같이 부분지역담당모형을 적용하였으며, 공격자와 방어자의 입장을 고려하여 먼저 공격자의 공격계획을 사전에 예측하고 이에 대한 방어계획을 수립하는 절차로 모형을 설계한다.

#### 3.1 공격자 입장

공격자는 공격하려는 표적에 대하여 가치를 부여하고 보유한 미사일을 이용하여 표적을 공격할 것이다. 공격자의 공격목적은 표적의 가치에 대한 피해의 최대화이며, 이를 수학적으로 구현하면 식 (4)와 같다.

$$Max Z = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J (value_j AK_{ij} X_{ij}) \quad (4)$$

$$s.t. \quad \sum_{j=1}^J X_{ij} \leq missile_i \quad \forall i \in I \quad (4.1)$$

$$\sum_{i=1}^I X_{ij} \leq \max - missile_j \quad \forall j \in J \quad (4.2)$$

$$\sum_{i=1}^I AK_{ij} X_{ij} \leq 1 \quad \forall j \in J \quad (4.3)$$

$$X_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i \in I, \quad \forall j \in J$$

표적을  $j$ , 표적  $j$ 의 가치를  $value_j$ , 공격미사일을  $i$ , 공격 명중률을  $AK_{ij}$ 로 구분하였을 때 공격자는 표적에 대한 피해를 최대화하기 위해 보유하고 있는 공격미사일을 표적에 할당한다. 제약조건 (4.1)은 공격미사일  $i$  보유수의 제한이며, (4.2)는 표적  $j$ 에게 공격할 미사일 수의 제한이다. 식 (4.3)은 표적  $j$ 에게 공격한 미사일의 명중률 합이 1이 넘지 않도록 하여 표적 1이 넘을 경우 다른 표적으로 미사일을 할당하게 하는 제약조건이다. 목적함수  $X_{ij}$ 는 표적  $j$ 에게 공격시 1, 그렇지 않으면 0으로 하여 표적별 미사일을 할당한다.

만약 공격자가 자신의 공격에 대한 방어자의 방어계획을 인지하고 있다면 공격자는 방어계획을 고려한 공격계획을 수립해야 한다. 즉, 공격자가 표적  $j$ 에 대하여 공격 미사일  $i$ 로 공격을 시도할 때 방어자가 방어미사일  $k$ 로 방어한다면, 이를 고려한 모형이 수립되어야 한다. 방어미사일을  $k$ , 방어미사일의 명중률을  $DK_{ki}$  라고 한다면 방어미사일의 대응을 고려한 공격미사일의 명중률은 식 (5)와 같다.

$$AK_{ij} (1 - \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^I DK_{ki}) \quad (5)$$

식 (5)의 명중률을 적용한 공격계획모형은 식 (6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$Max Z = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J value_j AK_{ij} \left\{ 1 - \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^I DK_{ki} \right\} X_{ij} \quad (6)$$

$$s.t. \quad \sum_{j=1}^J X_{ij} \leq missile_i \quad \forall i \in I$$

$$\sum_{i=1}^I X_{ij} \leq \max - missile_j \quad \forall j \in J$$

$$\sum_{i=1}^I AK_{ij} X_{ij} \leq 1 \quad \forall j \in J$$

$$\sum_{k=1}^K DK_{ki} \leq 1 \quad \forall i \in I$$

$$X_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i \in I, \quad \forall j \in J$$

#### 3.2 방어자 입장

방어자는 식 (6)에 의하여 공격계획을 예측할 수 있다. 따라서 공격자의 공격계획에 대하여 표적의 피해를 최소화하기 위해 식 (7)과 같이 방어계획을 수립할 수 있다.

KDX-III 함정의 최적여부를 위하여 결정변수  $Y_d$ 를 추가하여 KDX-III 함정이 방어위치  $d$ 에 위치하면 1, 그렇지 않으면 0으로 하여 위치를 선정하게 된다. 제약조건

(7.1)은 KDX-III 합정의 보유수를 제한한다.

$$Max Z = \sum_{i=1}^J \sum_{j=1}^J value_j AK_{ij} \left( 1 - \sum_{d=1}^D \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L DK_{dki} Y_d \right) X_{ij} \quad (7)$$

$$s.t. \begin{cases} \sum_{j=1}^J X_{ij} \leq missile_i, & \forall i \in I \\ \sum_{i=1}^I X_{ij} \leq \max\_missile_j, & \forall j \in J \\ \sum_{i=1}^I AK_{ij} X_{ij} \leq 1, & \forall j \in J \\ \sum_{d=1}^D Y_d \leq N \\ \sum_{k=1}^K DK_{dki} \leq 1, & \forall d \in D, \forall i \in I \\ X_{ij} \in \{0,1\}, Y_d \in \{0,1\} \end{cases} \quad (7.1)$$

식 (7)에 의해 KDX-III의 최적위치를 선정한 후에는 KDX-III에 탑재중인 방어미사일을 할당한다. 결정변수  $Z_{dki}$ 는 방어위치  $d$ 에서 공격미사일  $i$ 에 대하여 방어미사일  $k$  발사시 1, 그렇지 않으면 0으로 하여 방어미사일을 할당한다. 따라서 방어미사일 할당을 위한 모형 식은 식 (8)과 같이 수립된다. 제약조건 (8.1)은 방어미사일 보유수의 제한이며, (8.2)는 공격미사일  $i$ 에 할당되는 방어미사일의 수의 제한이다. 제약조건 (8.3)은 공격미사일에 할당되는 방어미사일의 명중률의 합이 1이 될 경우에는 다른 공격미사일로 할당하도록 하는 제약식이다.

$$Max Z = \sum_{i=1}^J \sum_{j=1}^J value_j AK_{ij} \left( 1 - \sum_{d=1}^D \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L DK_{dki} Y_d Z_{dki} \right) X_{ij}$$

$$s.t. \begin{cases} \sum_{j=1}^J X_{ij} \leq missile_i, & \forall i \in I \\ \sum_{i=1}^I X_{ij} \leq \max\_missile_j, & \forall j \in J \\ \sum_{i=1}^I AK_{ij} X_{ij} \leq 1, & \forall j \in J \\ \sum_{d=1}^D Y_d \leq N \end{cases} \quad (8)$$

$$\sum_{i=1}^I Z_{dki} \leq missile_k, \quad \forall k \in K, \forall d \in D \quad (8.1)$$

$$\sum_{k=1}^K Z_{dki} \leq \max\_missile_i, \quad \forall i \in I, \forall d \in D \quad (8.2)$$

$$\sum_{d=1}^D \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L DK_{dki} Z_{dki} \leq 1, \quad \forall i \in I, \forall j \in I, \forall d \in D, \forall k \in K \quad (8.3)$$

### 4. 모형실험

3장에서 설계된 모형을 한반도의 기상 상황을 적용하여 실험하였다. 공격자와 방어자로 구분하여 공격자의 공격계획, 방어자의 최적위치, 방어미사일 할당결과를 분석하였다. 모형실험에 사용되는 공격위치, 표적위치, 방어위치 및 미사일성능 등의 자료는 보안상 가상자료를 사용하였다.

### 4.1 실험계획

실험에 요구되는 자료는 공격자와 방어자로 구분하여 설정하였다.

#### 4.1.1 공격자

공격자는 표 1과 같이 6개의 공격위치에서 총 48기의 공격미사일 A와 B를 보유한 상황 하에 공격계획을 수립한다. 공격자의 공격에 대하여 방어가 예상되며, 예상되는 방어의 형태는 6척의 KDX-III합정이 K<sub>1</sub>~K<sub>12</sub>지점 중 임의의 지점에서 각각의 공격미사일에 대하여 방어미사일로 요격하는 것이다. 따라서 공격자는 방어자의 방어를 고려하여 공격계획을 작성한다.

공격미사일의 사정거리는 미사일 A의 경우 최대 330km까지, 미사일 B의 경우에는 최대 600km로 가정한다<sup>[3]</sup>. 공격미사일의 정확도(AK)는 CEP(Circle Error Probable) 즉, 원형공산오차로 나타낸다. 원형공산오차는 발사된 미사일 탄두의 50%이상이 낙하되는 지점의 크기를 원으로 표시할 경우 크기가 최소인 원의 반경을 나타낸다. CEP는 100M에서 1,000M까지 나타내며, 1,000M 이상일 경우에는 위험이 없는 것으로 평가한다. 미사일 A의 경우

표 1. 공격위치 및 공격미사일 보유현황

구분	공격위치	미사일유형/보유수
A <sub>1</sub>	39.00N-125.00E	A / 5 B / 5
A <sub>2</sub>	39.00N-126.00E	A / 5 B / 5
A <sub>3</sub>	39.00N-127.00E	A / 5 B / 5
A <sub>4</sub>	39.00N-125.00E	A / 5 B / 5
A <sub>5</sub>	38.00N-125.00E	A / 5 B / 5
A <sub>6</sub>	38.00N-126.00E	A / 5 B / 5

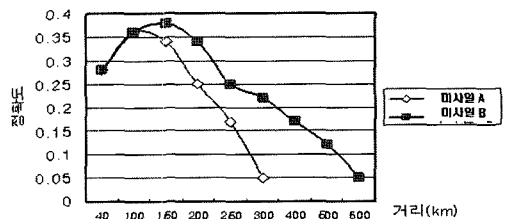


그림 1. 공격미사일 정확도(AK)

거리대별 평균 600~1,000M의 CEP가 형성되며 미사일 B의 경우 평균 600~1,500M정도의 CEP가 발생하는 것으로 가정하여 그림 1과 같이 미사일 A와 B의 정확도는 최대 0.4가 초과되지 않도록 적용하였다.

4.1.2 방어자

표적은 총 6개로 가정한다. 표적가치는 공격자의 공격 계획에 큰 영향을 미치기 때문에 매우 중요하다. 표적가치를 선정함에 있어서 본 실험에서는 미 국방성에서 사용하고 있는 DAL(Defended Asset List)을 적용하였다<sup>[9]</sup>. DAL은 미 국방성에서 TBMD(Theater Ballistic Missile Defense)를 위하여 실시하는 표적가치 평가기준으로, 표적에 대하여 치명도(criticality, *c*), 공격 또는 탐지의 용이성(vulnerability, *v*), 위협도(threat, *t*), 복원성(reconstituability, *r*)의 4가지 요인을 표적에 대하여 1~10까지의 등급을 부여하고 이를 아래의 식 (9)로 종합하여 최종가치를 부여하는 방법이다.

$$value_t = \ln(c \times v \times r \times t) + 1 \quad (9)$$

식 (9)와 같은 방법으로 표적가치를 산출한 결과는 표 2와 같이 나타낼 수 있다. 표적위치는 방어지역에 고루 분포되도록 가정하고 표적가치는 가상자료를 입력하였다.

방어자는 총 6척의 KDX-III 함정을 보유하고 있으며 각각의 KDX-III 함정은 8발씩 총 48발의 방어미사일을 탑재한 것으로 가정한다. 방어자는 KDX-III에 탑재되어 있는 방어미사일을 이용하여 각각의 공격미사일에 대하여 방어미사일로 요격한다. 미사일 방어위치는 내륙외곽 지역 방어를 가정하여 그림 2와 같이 K<sub>1</sub>에서 K<sub>12</sub>까지 총 12개로 지정하였다. 지정된 12개의 위치 중에 6개의 위치에 KDX-III를 배치하여 방어 임무를 수행한다.

방어미사일은 대공유도미사일의 일반적 제원을 참고하여 작성하였다<sup>[1]</sup>. 방어미사일은 그림 3과 같이 고도 40km, 거리 80nm까지의 방어영역을 가지고 있으며, 방어영역

표 2. 표적가치 평가결과

구분	<i>c</i>	<i>v</i>	<i>r</i>	<i>t</i>	<i>value</i>	비고
T <sub>1</sub>	10	8	7	9	9.53	
T <sub>2</sub>	7	8	5	6	8.43	
T <sub>3</sub>	9	8	7	8	9.30	
T <sub>4</sub>	8	6	7	8	8.90	
T <sub>5</sub>	7	7	5	6	8.29	
T <sub>6</sub>	10	8	7	8	9.40	

내에서는 우수한 명중률을 나타내며, 거리대별 명중률은 그림 4와 같다.

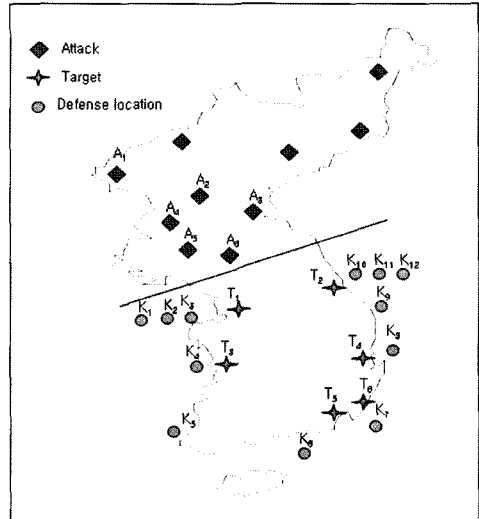


그림 2. 모형실험 상황도

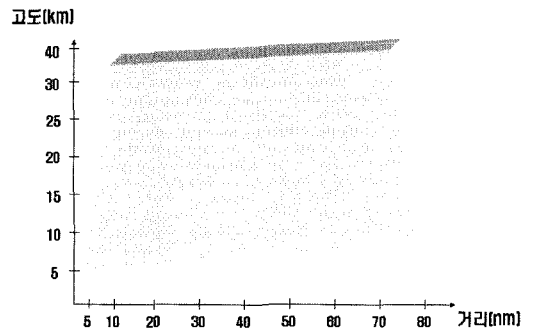


그림 3. 방어미사일 방어영역

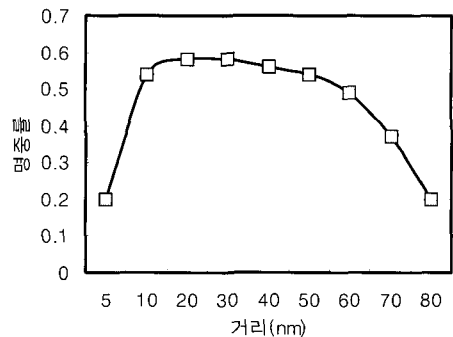


그림 4. 방어미사일 거리별 명중률(DK)

본 실험에서 방어미사일 할당방법으로 2가지대안을 설정한다. 1안은 공격미사일 1발당 방어미사일 1발로 대응하는 경우이며, 2안은 2발이하의 방어미사일로 대응하는 경우이다.

기타 가정 사항으로 모형실험에 사용되는 공격미사일과 방어미사일의 불발 또는 오작동은 없으며, 공격미사일 발사와 동시에 탐색 및 추적이 가능한 것으로 가정한다. 또한, 실제 KDX-III 이외에 패트리엇 미사일, 나이키, 호크 미사일 등 미사일방어를 위한 무기체계가 존재하나 본 실험에서는 KDX-III 함정만을 고려하여 실험을 실시한다.

상기 실험계획을 모형 식에 적용하여 대안별 결과를 비교 분석하고 표적의 피해를 최소화 할 수 있는 KDX-III 배치와 방어미사일 할당방안을 제시한다. 실험 계획은 Window XP의 운영체제와 Pentium(4) CPU 2.0GH PC 기반 하에 CPLEX 9.0[LOG 2003]을 이용하여 구현하였다.

## 4.2 실험결과

### 4.2.1 공격미사일 할당

먼저 공격미사일의 할당결과는 표 3과 같다. 즉, 공격자는 표적 피해량을 최대화하기 위해 모든 표적에 대하여 5~10발의 공격미사일을 사용하여 공격을 실시하는 결과가 산출되었다.

표 3과 같은 미사일 할당에 의해 공격자가 목적하고자 하는 표적의 총 피해량은 표 4와 같이 50.31이다.

예를 들어 T<sub>1</sub>의 경우 공격위치 A<sub>2</sub>, A<sub>4</sub>, A<sub>5</sub>, A<sub>6</sub>에서 총 5발의 공격이 이루어졌으며, 정확도 AK의 합은 1로 되어 총 피해량은 표적 가치인 9.53이 산출되었다. 이 결과는 표적에 대하여 5발의 미사일 공격으로 표적이 완전 격파된다는 것을 의미한다. 결국 공격자는 45발의 미사일 공

표 3. 공격미사일 할당결과

구분	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>6</sub>	계
T <sub>1</sub>		1		2	1	1	5
T <sub>2</sub>			5		2		7
T <sub>3</sub>	5	1		1		3	10
T <sub>4</sub>		4		4	1		9
T <sub>5</sub>			1		1	3	5
T <sub>6</sub>			4		3	2	9
계	5	6	10	7	8	9	45

격을 통하여 6개의 모든 표적에 대하여 50.31의 피해량 즉, 약 94% 정도의 피해를 입힐 수 있는 공격계획을 수립하였다.

### 4.2.2 KDX-III 최적위치 선정

공격자의 공격계획을 예측한 방어자는 최적의 위치에서 방어임무를 수행한다. 모형실험결과 KDX-III의 최적 위치는 그림 5와 같이 K<sub>3</sub>, K<sub>4</sub>, K<sub>6</sub>, K<sub>7</sub>, K<sub>8</sub>, K<sub>10</sub> 위치에서 방어하는 것이 가장 효과적으로 결과가 산출되었다.

### 4.2.3 방어미사일 할당

KDX-III의 최적위치 선정에 따라 방어자는 총 6개의 위치에서 방어임무를 수행한다.

방어미사일은 실험계획에서와 같이 2가지 방법을 적용하여 미사일 할당을 구현하였으며, 할당결과는 그림 6과 같다. 1안 즉, 각각의 공격미사일에 대하여 1발의 방어미사일로 대응하였을 경우 표적의 총 피해량은 23.83으로 산출되었으며, 2안의 경우에는 22.41로 산출되었다. 이러

표 4. 공격계획에 의거한 예상 표적피해량

표적	value	$\sum AK$	$\sum X$	표적 총 피해량
T <sub>1</sub>	9.53	1	5	9.53
T <sub>2</sub>	8.43	1	7	8.43
T <sub>3</sub>	9.30	0.98	10	9.11
T <sub>4</sub>	8.90	0.95	9	8.45
T <sub>5</sub>	8.29	0.65	5	5.38
T <sub>6</sub>	9.40	1	9	9.40
계	53.85	-	45	50.31

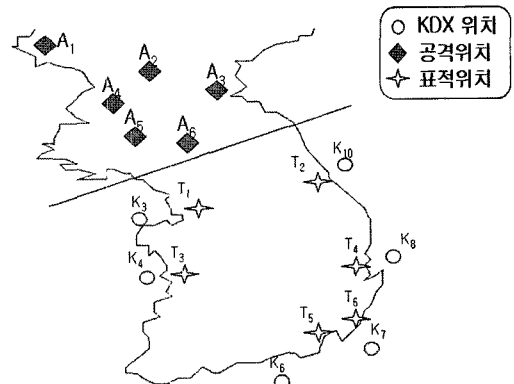


그림 5. KDX-III 최적위치 선정결과

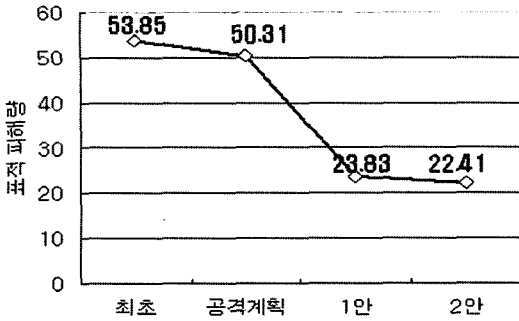


그림 6. 대안별 표적 피해량 분석결과

한 결과는 1발의 공격미사일에 대하여 1발의 방어미사일로 대응하는 것보다 2발의 방어미사일로 동시에 대응하는 것이 표적의 총 피해를 줄일 수 있다는 것이다. 따라서 방어미사일의 할당방법은 2발의 방어미사일로 동시에 1발의 공격미사일을 대응하는 것이 효과적이라 분석된다.

공격자는 총 45발의 공격미사일을 표적에 할당하여 6개의 표적 중 5개의 표적을 완파시킬 수 있도록 공격계획을 수립하였으며, 방어자는 공격자의 공격계획에 대하여 표적근처에 6척의 KDX-III를 배치하고 1발의 공격미사일에 대하여 2발의 방어 미사일로 방어하여, 공격 계획시 표적 피해량을 55%이상 감소시킬 수 있다는 결과가 산출되었다.

### 4.3 확대실험

4.2절의 실험은 공격자 및 방어자 미사일 수가 유사한 상황을 설정하여 실험한 결과이다. 본 절에서는 4.2절의 실험내용을 기본으로 KDX의 운용 척수를 변경하였을 경우와 방어미사일 보유수를 변경하였을 경우에 각 표적의 피해량 변화를 비교 분석한다.

#### 4.3.1 KDX-III 척수변경

작전 우선순위, 함정수리 및 기타 상황에 따라 운용되는 KDX-III 함정 수가 감소 또는 증가될 수 있다는 것을 고려하여 KDX-III의 보유수를 3척, 6척, 9척으로 변경하면서 최적배치형태와 표적의 피해량 변화를 비교 분석하였다.

KDX-III 운용 척수의 변경에 따라 표적의 피해를 최소화 하기위한 최적배치선정결과 표 5와 같이 KDX-III가 3척으로 운용될 경우에는 적의 공격에 대하여 표적의 가치가 높은 T<sub>1</sub>, T<sub>3</sub>, T<sub>6</sub> 표적을 우선적으로 방어할 수 있도록 K<sub>3</sub>, K<sub>4</sub>, K<sub>7</sub>의 위치에서 방어하며, KDX-III가 9척으로

표 5. KDX 척수변경별 최적배치선정결과

척 수	최적 위치
3척	K <sub>3</sub> , K <sub>4</sub> , K <sub>7</sub>
6척	K <sub>3</sub> , K <sub>4</sub> , K <sub>6</sub> , K <sub>7</sub> , K <sub>8</sub> , K <sub>10</sub>
9척	K <sub>1</sub> , K <sub>2</sub> , K <sub>3</sub> , K <sub>4</sub> , K <sub>6</sub> , K <sub>7</sub> , K <sub>8</sub> , K <sub>10</sub> , K <sub>11</sub>

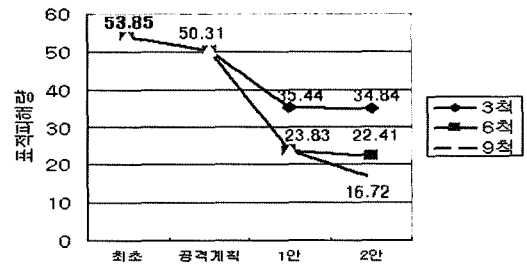


그림 7. KDX 척수변경에 따른 표적 피해량 변동

운용될 경우에는 K<sub>1</sub>, K<sub>2</sub>, K<sub>3</sub>, K<sub>4</sub>, K<sub>6</sub>, K<sub>7</sub>, K<sub>8</sub>, K<sub>10</sub>, K<sub>11</sub> 위치에 배치되며, 방어미사일의 명중률이 높은 위치에서 방어를 하게 되는 형태를 확인할 수 있다.

표적 피해량은 그림 7과 같이 KDX-III의 척수가 증가함에 따라 감소하며, 3척 운용 시에는 34.84, 9척 운용 시에는 16.72의 총 피해량이 산출되었다. 미사일 할당의 경우는 2절의 실험에서와 동일하게 1발의 공격미사일에 대하여 2발 이하의 방어미사일로 대응하는 것이 효과적인 결과가 산출되었다.

#### 4.3.2 방어미사일 보유수 변경

4.2절의 실험계획에서 방어미사일 보유수를 척당 8발, 15발, 20발로 변경하여 1발의 공격 미사일에 대하여 2발 이하의 방어미사일로 대응하는 것으로 하여 표적 피해량 변화를 비교분석하였다.

비교분석결과 그림 8과 같이 KDX-III 척당 방어미사일 15발로 대응시에는 3.17의 피해량이 산출되었고, 20발로 대응시에는 모든 공격미사일을 요격하여 피해가 없는 것으로 산출되었다.

실험결과를 종합하면, 먼저 공격자의 입장에서 공격자는 표적의 가치와 공격미사일의 정확도에 대한 성능을 통하여 표적의 피해를 최소화 하기위하여 공격계획을 수립하고, 동시에 공격미사일을 발사하여 공격하며 보유하고 있는 공격미사일 중 약 80%의 수준을 이용하여 표적에

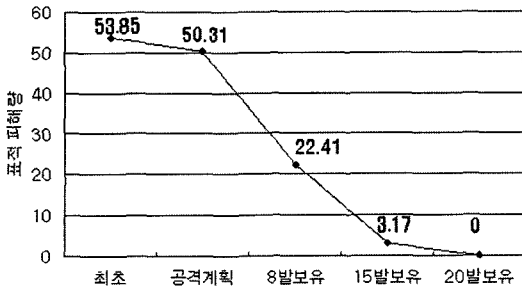


그림 8. 대안별 표적피해량 변동분석

공격이 예상된다. 공격자의 공격계획을 예측한 방어자는 예상되는 적의 공격에 대하여 표적부근의 해상에 KDX-III를 배치하며, 1발의 공격미사일에 대하여 2발의 방어미사일로 동시에 대응을 실시하는 것이 효과적으로 판단된다.

### 5. 결론 및 향후 연구방향

본 연구에서는 미사일방어를 위한 KDX 최적배치 모형을 수립하고, 다양한 상황에 대한 모형실험을 통하여 공격자의 공격 형태를 사전예측하고 효과적인 KDX 배치와 방어미사일 할당에 대한 방법을 제시하였다. 연구된 최적배치모형은 KDX 뿐만 아니라 신규전력 및 군사설비 배치시 최적의 방안을 제시하며, 각종 발생할 수 있는 상황을 시나리오 화하여 비교 분석할 수 있다.

본 연구는 KDX에 제한을 두어 연구하였으나 향후 도입예정인 최신 유도무기체계를 포함하여 연구가 이루어진다면, 미래전을 대비하고 한국적 미사일방어체계 구축에 많은 도움이 되리라 판단된다.

### 참고 문헌

1. 강희철 (2001), 미국의 이지스함 현황, 국방과학연구소 조사분석서.
2. 권용수 (2001), “한국적 미사일방어에 있어서 KDX-III의 역할과 발전방향”, 해군전투발전연구지.
3. 권용수 (2003), 탄도미사일 위협과 방어체계, 국방대학교 참고서지.
4. 김병용, 임종선, 이무성, 김영호 (2004), 한국적 미사일 방어체계 구축방안 연구, KIDA 연구보고서.
5. 박철우, 백대현 (2005), 함대공 유도탄 대공전체계 운용 지침서, 해군본부.
6. 이상현 (2005), “탄도미사일 방어무기체계 배치모형연구”, 한국경영과학회/대한산업공학회춘계공동학술대회.
7. Bellmore M. and H.D. Mandell (1971), “Set Covering and Involuntary Bases”, *Management Science* Vol. 18, No. 3, pp. 194-206.
8. Bracken, J., Brook, P.S. and Falk, J.E (1987). “Robust Pre-allocated Preferential Defense”, *Naval Research Logistics* Vol. 34, No. 1, pp. 1-22.
9. Diehl, D.D (2004), *How to Optimize Joint Theater Ballistic Missile Defense*, Masters Thesis, Naval Postgraduate School.
10. Eckler, A. R. and Burr, S. A. (1972), “Mathematical Model of Target Coverage and Missile Allocation”, *Military Operations Research Society*, Alexandria, VA.
11. Garfinkel, R.S. and Nemhauser, G.L. (1972), *Integer Programming*, John Wiley, Inc. New York.
12. James P. Ignizio (1974), “Heuristically Aided Set-Covering Algorithms”, *International Journal of Parallel Programming*, Vol. 3, No. 1, pp. 59-70.
13. Lawer, E.L. (1988), “Branch and Bound Method: A Survey”, *Operations Research*, Vol. 14, pp. 699-719.
14. Moore, J. T. and Bard, J. F. (1990), “The Mixed Integer Linear Bilevel Programming Problem”, *Operations Research* Vol. 38. No. 5, pp. 911-921.





**이 상 현** (leesangh@kndu.ac.kr)

1977년 육군사관학교 이학사

1985년 미 Naval Postgraduate School Operations Research 석사

1991년 미 Georgia Institute of Technology 산업공학 박사

2000년~현재 국방대학교 운영분석학과 교수

2002년~2003년 국방대학교 교류협력실장

2005년~현재 국방대학교 안보문제연구소 국방정보과학연구실장

관심분야 : 모델링&시물레이션, 최적화 및 네트워크모형, SCM



**정 인 철** (dacjug@kndu.ac.kr)

1998년 해군사관학교 이학사

2005년~현재 국방대학교 운영분석 석사

관심분야 : 모델링&시물레이션, SCM