

The Optimal Deployment Problem of Air Defense Artillery for Missile Defense

Jae-Kwon Kim* · Hyeonju Seol**†

*Korea Air Force

**Faculty of Military Studies, Chungnam National University

미사일 방어를 위한 방공포대 최적 배치 문제

김재권* · 설현주**†

*공군

**충남대학교 군사학부

With the development of modern science and technology, weapon systems such as tanks, submarines, combat planes, radar are also dramatically advanced. Among these weapon systems, the ballistic missile, one of the asymmetric forces, could be considered as a very economical means to attack the core facilities of the other country in order to achieve the strategic goals of the country during the war. Because of the current ballistic missile threat from the North Korea, establishing a missile defense (MD) system becomes one of the major national defense issues. This study focused on the optimization of air defense artillery units' deployment for effective ballistic missile defense. To optimize the deployment of the units, firstly this study examined the possibility of defense, according to the presence of orbital coordinates of ballistic missiles in the limited defense range of air defense artillery units. This constraint on the defense range is originated from the characteristics of anti-ballistic missiles (ABMs) such as PATRIOT. Secondly, this study proposed the optimized mathematical model considering the total covering problem of binary integer programming, as an optimal deployment of air defense artillery units for defending every core defense facility with the least number of such units. Finally, numerical experiments were conducted to show how the suggested approach works. Assuming the current state of the Korean peninsula, the study arbitrarily set ballistic missile bases of the North Korea and core defense facilities of the South Korea. Under these conditions, numerical experiments were executed by utilizing MATLAB R2010a of the MathWorks, Inc.

Keywords : Ballistic Missile, Air Defence Artillery Unit, Binary Integer Programming, Optimization

1. 서론

군사과학기술의 발전은 무기체계(Weapon System)의 첨단화 및 복잡화[9]와 더불어 정밀성, 정확성, 파괴력 등 무기체계 성능측면에서 있어서도 큰 기여를 해왔다. 첨단

단화된 무기체계 중 탄도미사일(Ballistic Missile)은 전쟁 중 국가의 전략적 목표를 달성하기 위해 상대국의 핵심 시설을 공격함에 있어 매우 경제적인 수단으로 고려되고 있는 상당한 위협의 비대칭 전력(Asymmetric Forces) 중 하나이다. 즉, 다른 무기체계에 비해 상대적으로 저렴한 비용과 기술을 필요로 하며, 탄두에 핵무기, 화학 및 생물학 무기와 같은 대량살상무기를 탑재할 경우 상당히 위협적인 공격력을 갖게 된다[4]. 북한은 이미 다양한 종류의 탄도미사일을 다량 보유하고 있으며, 최근 핵실험

Received 29 October 2015; Finally Revised 16 December 2015;
Accepted 14 March 2016

† Corresponding Author : hjseol@cnu.ac.kr

까지 성공했다는 소식이 전해지고 있다. 또한, 현재는 미국 본토까지 공격할 수 있는 대륙간 탄도미사일(ICBM : Intercontinental Ballistic Missile)까지 개발한 것으로 알려짐에 따라 북한은 우리나라뿐만 아니라 전 세계의 위협으로 다가오고 있다. 이에 따라, 미국, 이스라엘, 일본 등의 강대국은 미사일 위협을 억제하고 방어하기 위한 미사일 방어(MD, Missile Defense) 체계 구축에 노력해 왔으며, 우리나라 또한 한국형 미사일 방어(KAMD, Korea Air Missile Defense) 체계 구축을 통해 북한의 탄도미사일 공격에 대한 대비를 강화하고 있다.

미사일 방어체계 구축의 중요 이슈 중의 하나는 탄도미사일 요격을 담당하는 포병부대의 위치 선정 문제이다. 기존의 포병부대 관련 연구는 주로 포병부대의 무기체계 선정과 표적할당, 사격순서 결정 등에 초점을 두고 이루어진[1] 반면, 미사일 방어를 위한 방공포대(Air Defense Artillery Unit) 최적 위치 선정을 위한 연구는 제한적으로 이루어져 왔다. Lee and Kwak[10]은 방공포대의 위치와 각 탄도미사일의 경로에 따른 격추확률을 고려하여 각 위치의 방어규모를 결정하기 위한 복합-휴리스틱 알고리즘을 제시하였으며, Jung et al.[3]은 적이 아군 표적을 항공기와 탄도미사일로 공격한다고 가정하고, 적 항공기와 탄도미사일의 격추확률을 최대화하기 위한 방공포대 위치 선정 문제의 이진정수계획(Binary Integer Programming) 수리모형을 제시하였다. 하지만, 위의 기존연구들은 미사일 기지와 공격대상을 미리 지정된 경우를 가정함에 따라 다소 현실적인 제한사항이 있다. 즉, 북한은 여러 곳의 미사일 기지를 운용하고 있으며, 따라서 동일한 목표물을 공격하기 위한 탄도미사일이라도 발사된 미사일 기지의 위치에 따라 상이한 비행궤적을 갖게 된다. 이러한 내용은 Kim et al.[5]이 비행역학을 기반으로 탄도미사일의 비행궤적 시뮬레이션 결과로도 확인할 수 있다. 또한, Kim et al.[5]은 탄도미사일의 비행궤적을 2차 회귀식으로 표현할 수 있음을 보이고 사거리별 비행궤적을 모의하기 위한 회귀식의 계수들을 제시하였으며, 이를 통해 우리나라의 핵심방어시설을 공격하기 위해 임의의 미사일 기지에서 발사된 탄도미사일을 우리나라의 방공포대가 방어할 수 있는지를 평가하기 위한 모형을 제시하였다.

기존연구들은 우리나라 핵심방어시설에 대한 북한의 공격계획, 즉, 임의의 핵심방어시설을 어느 미사일 기지에서 공격할 것인가에 대한 정보를 사전에 인지하고 있음을 가정함에 따라 현실성이 부족한 측면이 있다. 따라서 북한이 임의의 핵심방어시설 1곳을 공격할 때 모든 미사일 기지에서 공격할 수 있음을 가정하는 것이 보다 현실적이다. 따라서 본 연구는 이러한 가정 하에서 우리나라의 핵심방어시설들을 공격하는 탄도미사일의 비행궤적을 추정하고, 요격이 가능한 방공포대의 위치를 탐

색하였다. 또한, 이를 바탕으로 모든 핵심방어시설을 방어하기 위한 최소의 방공포대 배치 문제를 이진정수계획 모형으로 제시하였다.

2. 미사일 방어개념

탄도미사일은 고체 또는 액체 연료를 사용하는 로켓의 추진력에 의해 발사되어 관성유도(Inertial Guidance) 방식에 따라 목표물(Target)을 향해 초음속(Supersonic Speed)으로 비행 후 최종단계에서는 자유 낙하하여 목표물을 공격하며, 전체적인 비행궤적은 포물선 형태를 갖게 된다[6].

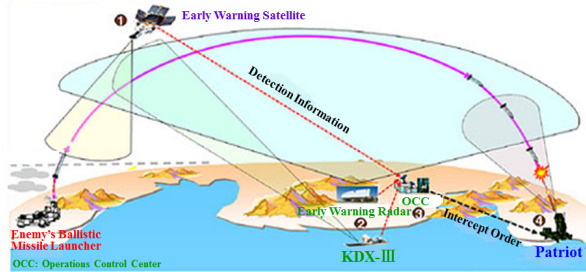
<Table 1> Type of Ballistic Missile

Type	Range (km)	North Korea' Missile
Short Range Ballistic Missile	below 800	Scud-B/C
Medium Range Ballistic Missile	800~2,400	KN-08, Nodong
Intermediate Range Ballistic Missile	2,400~6,500	Taepodong-1
Intercontinental Ballistic Missile	6,500~15,000	Kwangmyongsong -1, 2

이때, 탄도미사일의 레이더반사면적(RCS, Radar Cross Section)이 매우 작음에 따라 레이더를 통해 이를 탐지, 추적하여 요격하는 방식의 미사일 방어체계는 상당한 수준의 기술을 필요로 한다. 탄도미사일은 주로 사정거리를 기준으로 <Table 1>과 같이 분류한다[7].

우리나라는 북한의 탄도미사일 위협에 대처하기 위해 <Figure 1>과 같은 한국형 미사일 방어체계를 구축하고 있다[13]. 미사일 방어의 개념은 크게 공격작전, 적극방어, 소극방어로 구분된다. 공격작전은 미사일이 발사되기 전에 정보감시정찰(ISR, Intelligence, Surveillance and Reconnaissance) 자산으로 발사 징후를 탐지, 추적하여 미사일, 항공기 등의 공격수단으로 선제공격하여 적의 미사일 위협을 제거하는 개념이다. 적극방어는 가장 일반적인 미사일 방어체계의 개념으로 아축의 주요 국가기반시설, 군사시설, 대도시 등의 국가핵심방어시설을 공격하기 위해 발사된 적의 탄도미사일이 해당 목표에 도달하기 전에 패트리엇 미사일과 같은 대탄도 미사일(ABM : Anti Ballistic Missile)을 이용하여 공중에서 요격하는 개념이다. 이는 요격시점에 따라 탄도미사일이 발사된 후 초기단계(Boost Phase)와 종말단계(Terminal Phase)의 저고도에서 요격하는 하층방어체계, 중간단계(Midcourse Phase) 중 대기권 고고도 또는 대기권 밖에서 요격하는 상층방어체계로 구분된다. 한국형 미사일 방어체계는 종말단계 중 10~30km의 저고도에서 요격하는 하층방어체계이다. 소

극방어는 시설을 견고화하거나 은폐, 엄폐, 분산 등을 통해 미사일 공격에 대한 피해를 최소화하는 개념이다.



<Figure 1> Korea Air Missile Defense System

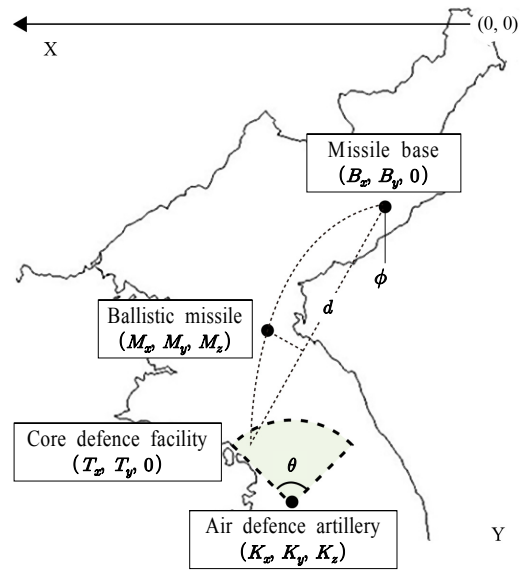
3. 방공포대 최적 배치모형

본 장에서는 북한의 탄도미사일로부터 우리나라의 핵심방어시설들을 효과적으로 방어하기 위한 최소의 방공포대를 배치하기 위한 최적화 수리모형을 제시한다. 패트리엇 미사일과 같은 대탄도미사일은 성능에 따라 특정한 고도, 사거리, 방위각으로 구성되는 제한적인 교전가능 공간을 갖게 되며, 탄도미사일이 교전가능 공간으로 진입하는 경우에 한해 요격이 가능하다. 따라서 임의의 핵심방어시설을 공격하는 탄도미사일의 비행궤적을 추정하여 해당 방어 가능한 방공포대 후보 지역들을 선정하고, 이를 바탕으로 최소의 방공포대로 핵심방어시설들을 방어할 수 있는 최적의 방공포대 위치들을 선정하기 위한 이진정수계획 모형을 제시하였다. 본 연구에서는 북한이 우리나라를 공격할 때 사용할 것으로 예상되는 탄도미사일은 Scud-B/C 미사일과 노동 미사일로 고려하였다.

3.1 미사일 교전가능성 검토 모형

임의의 핵심방어시설을 향해 발사된 탄도미사일에 대한 교전가능성 검토는 한국형 미사일 방어체계의 하층방어 개념을 고려한다. 즉, <Figure 2>와 같이 정점을 지나 표적을 향해 낙하하는 탄도미사일이 우리나라 방공포대의 교전가능 공간으로 진입할 경우에 한해 요격을 시도할 수 있다. 여기서, 요격을 시도한다는 것은 대탄도미사일의 명중률이 100% 미만이기 때문에 요격 시도가 곧 방어를 직접적으로 의미하지는 않는다. 이에 따라 Lee and Kwak[10]은 탄도미사일이 방어 가능 공간을 통과할 때, 방어 가능 공간 내의 임의의 지점에서 지면과 평행한 속도 성분과 교전가능 공간을 통과할 때의 탄도미사일의 경로의 길이를 변수로 하여 탄도미사일 요격 성공확률을 부여하였다. 하지만 하층방어체계의 요격 고도를 고려할

때, Scud 계열의 미사일의 경우 낙하 속도가 약 2km/sec (Mach 6~7)로 교전가능 공간을 10초 이내에 통과한다[8]. 따라서 요격 지점을 산정하고 이를 통해 요격 성공확률을 고려하는 것 보다는 방공포대 위치에 따라 형성되는 교전가능 공간을 기준으로 평가하는 것이 현실적이고 용이하다. 대탄도미사일의 교전가능 공간을 결정하는 성능은 요격가능 고도는 최저 H_{min} 부터 최고 H_{max} , 거리는 최단 R_{min} 부터 R_{max} 까지, 그리고 요격가능 방위각은 θ 로 정의한다.



<Figure 2> The Concept of Engagement Possibility Review

다음으로는 임의의 북한 미사일 기지(B_x, B_y)에서 우리나라의 특정 핵심방어시설(T_x, T_y)로 발사된 탄도미사일이 교전가능 공간으로 진입할 것인가를 판단하기 위해 해당 탄도미사일의 비행궤적을 추정한다. 탄도미사일의 비행궤적 추정은 Kim et al.[5]이 제시한 포물선 형태의 2차 회귀식을 이용한다. 비행궤적 추정식은 비행고도(M_z)와 비행거리(d)간의 관계식으로 $M_z = \alpha d^2 + \beta d$ 로 정의되며, 2차 회귀식의 계수 α 와 β 는 사거리, 즉, 식 (1)과 같은 미사일 기지와 핵심방어시설 간의 거리(L)와 <Table 2>에 제시된 계수들(Coefficients)의 의해 결정된다. 또한, 탄도미사일이 정점을 지나 낙하하면서 요격 고도 M_z 에 도달했을 때의 비행거리 d 는 2차 방정식의 근의 공식을 통해 식 (2)와 같이 도출되고, 탄도미사일의 발사각 ϕ 는 식 (3)과 같다. 따라서 요격 고도 M_z 에 도달한 탄도미사일의 좌표(M_x, M_y, M_z)는 $(d \sin \phi, d \cos \phi, M_z)$ 가 된다.

$$L = [(T_x - B_x)^2 + (T_y - B_y)^2]^{1/2} \tag{1}$$

$$d = -[\beta + (\beta^2 + 4\alpha M_z)^{1/2}] / 2\alpha \tag{2}$$

$$\phi = -\tan^{-1}[(T_x - B_x) / (T_y - B_y)] \tag{3}$$

<Table 2> The Parameter of Missile Trajectory Coefficients(α, β)

* Formula : $\alpha = a_1 e^{a_2 L} + b_1 e^{b_2 L}$, $\beta = a_1 e^{a_2 L} + b_1 e^{b_2 L}$

Coefficients		a ₁	a ₂	b ₁	b ₂
Scud-B	α	-0.0974	-0.0262	-0.0215	-0.006
	β	2.75	-0.0323	2.27	-0.00246
Scud-C	α	-0.0955	-0.0208	-0.0177	-0.00435
	β	2.457	-0.023	2.48	-0.00174
Nodong	α	-0.0152	-0.0062	-0.00426	-0.00149
	β	41.44	-0.0164	1.797	-0.00059

Kim et al.[5]이 제시한 교전가능 판단 모형은 방공포대의 위치 (K_x, K_y, K_z)를 기반으로, 식 (4)부터 식 (6)과 같다. 식 (4)는 고도 M_z 에 도달한 탄도미사일이 방공포대 전방, 즉, 북쪽에 위치하여야 한다는 조건이며, 식 (5)는 정북 방향을 중심으로 방위각(θ) 범위 내에 위치하여야 함을 의미한다. 식 (6)은 방공포대와 탄도미사일 간의 거리가 대탄도미사일의 요격가능 거리(R) 이내에 있어야 한다는 조건을 나타내고 있다. 즉, 대탄도미사일의 요격 조건으로부터 식 (4)부터 식 (6)까지의 3가지 조건을 모두 만족할 때 탄도미사일이 교전가능 공간에 위치하게 되며, 이를 통해 해당 탄도미사일의 교전가능 여부를 판단하게 한다.

$$K_y - d \cos \phi > 0 \tag{4}$$

$$d \sin \phi \in [K_x \pm (K_y - d \cos \phi) \tan(\theta/2)] \tag{5}$$

$$R = [(K_x - d \sin \phi)^2 + (K_y - d \cos \phi)^2 + (K_z - M_z)^2]^{1/2}$$

and $R \in [R_{\min}, R_{\max}]$ (6)

3.2 방공포대 배치 최적화 수리모형

본 연구에서는 방공포대 후보 지역별 핵심방어시설에 대한 방어가능 여부를 사전에 판단하고, 이를 바탕으로 이진정수계획법의 시설배분 문제(Total Covering Problem)로 고려하였다. 여기서, 현실적으로 북한이 우리나라 임의의 핵심방어시설 공격 시 어떤 미사일 기지가 공격을 감행할 것인가는 알 수 없다. 따라서 모든 가능성을 고려하여 방공포대 후보 지역별 핵심방어시설 방어가능 여부는 북한의 모든 미사일 기지에서 해당 핵심방어시설을 공격하기 위해 발사된 탄도미사일을 방어할 수 있는 경우에만 방어가능 것으로 간주하였다. 즉, 방공포대 k 가 북한의 미사일 기지 i 로부터 핵심방어시설 j 로 발사된 탄도미사일을 식 (4)부터 식 (6)까지의 교전가능성 검토결과, 교전이 가능하면 $C_{ijk} = 1$, 교전할 수 없다면 $C_{ijk} = 0$

으로 표현하였다. 결과적으로, 임의의 핵심방어시설 j 가 모든 미사일 기지로 부터 방어될 수 있는 경우는 식 (7)과 같이 표현될 수 있다. 즉, 각 미사일 기지에서 대상 핵심방어시설 j 를 공격하기 위해 발사된 탄도미사일에 대해 1개소 이상의 방공포대가 교전이 가능하다면 핵심방어시설 j 는 후보 방공포대들 중 일부의 조합으로 방어가 가능한 것으로 판단된다.

$$\sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K C_{ijk} X_k \geq I, j = 1, 2, \dots, J \tag{7}$$

식 (7)을 바탕으로 모든 핵심방어시설을 방어하기 위한 최소의 방공포대 후보 지역을 선정하기 위한 수리모형은 식 (8)부터 식 (10)까지와 같다. 목적함수(Objective Function) 식 (8)은 배치하는 방공포대를 최소화함을, 제약식(Constraint) 식 (9)는 임의의 미사일 기지에서 핵심방어시설 j 를 공격하기 위해 발사된 탄도미사일에 대해 방공포대가 1개소 이상이 교전할 수 있어야 함을 의미한다. 식 (10)은 X_k 가 이진 결정변수임을 나타내며, 결정변수 X_k 가 해당 지역에 방공포대를 배치하는 경우 1, 배치하지 않는 경우 0으로 표현된다.

$$\text{Minimize } Z = \sum_{k=1}^K X_k \tag{8}$$

Subject to

$$\sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K C_{ijk} X_k \geq I, j = 1, 2, \dots, J \tag{9}$$

$$X_k = \{0, 1\}, k = 1, 2, \dots, K \tag{10}$$

4. 수치실험 및 분석

수치실험은 북한의 미사일 기지 12곳과 임의적으로 선정한 우리나라의 핵심방어시설 50곳을 대상으로 수행하였다. 예시로 사용하는 미사일 기지와 핵심방어시설의 좌표는 Google Map[2]을 통해 대략적으로 수집하였다. 먼저 Google Map에서 수집된 경위도 좌표를 거리 계산식인 식 (11)과 식 (12)를 이용하여 활용이 용이한 <Figure 2>에서와 같은 Km 단위의 일반적인 거리 좌표계로 변환하였으며, 원점(Origin Point)은 함경북도 온성군 온성역(42° 57' 10.0" N, 129° 59' 30.4" E)으로 설정하였다. 온성역을 원점으로 설정한 이유는 한반도 지형에서 최북단이면서 최동단으로 활용하는 시설들의 좌표가 모두 양의 실수(Positive Real Number)로 변환될 수 있기 때문이다.

$$X = R_e [(O_g - P_g)\pi/180] \cos [(O_w + P_w)\pi/360] \quad (11)$$

$$Y = R_e [(O_w - P_w)\pi/180] \quad (12)$$

여기서, R_e : 지구반경(6,378km)
 O_w, O_g : 온성역의 위도와 경도
 P_w, P_g : 시설의 위도와 경도

수치실험의 배경상황은 현재의 한반도 여건을 고려하여 다음과 같이 가정하였다.

- 북한은 탄도미사일의 목표로서 한국의 정부/군사시설, 원자력 발전소 및 대도시 등의 핵심방어시설을 대상으로 할 것이다.
- 북한은 미사일 기지와 핵심방어시설 간의 거리에 따라 100~270km에는 Scud-B, 270~450km에는 Scud-C, 그리고 450~1,000km에는 Nodong 미사일을 이용할 것이다 (최대 사거리의 90% 고려).
- 대탄도미사일의 교전가능 공간에 대한 성능 제원은 고도 10km, 거리 10~30km, 그리고 방위각은 120°로 고려한다[4].

북한의 미사일 기지 12곳의 위치는 뉴스[12]에 발표된 그림 자료를 바탕으로 Google Map에서 위도와 경도 데이터를 대략적으로 수집하였으며, 온성역을 원점으로 식 (11)과 식 (12)를 이용하여 거리 좌표계로 변환한 결과는 <Table 3>과 같다.

<Table 3> The Coordinates of Missile bases in North Korea

Missile Base	Latitude	Longitude	Transformed Coordinate(km)
Dongchangri	39.65	124.70	(588.18, 366.57)
Jungju	39.69	125.20	(532.46, 362.48)
Mooncheon	39.25	127.35	(293.27, 411.22)
Gitdaeryoung	38.94	127.68	(257.05, 446.47)
Cheongjin	41.79	129.78	(23.10, 128.44)
Joengkangjin	41.77	126.88	(346.11, 131.61)
Youngjeori	41.26	126.89	(344.43, 188.43)
Moosudhan	40.94	129.68	(34.39, 223.43)
Gihari	38.52	127.11	(319.87, 492.41)
Ducksongoon	40.94	128.07	(212.90, 223.76)
Gusung	40.52	125.34	(516.84, 270.43)
Pyongyang	39.07	125.83	(462.57, 431.16)

우리나라의 핵심방어시설 예시는 인천공항, 부산항만, 국가 연구 및 산업단지 등 주요 국가기반시설, 주요 작전시설과 국회, 서울시청 및 각 도청 등의 정부기관 등을 포함하여 <Table 4>와 같이 50곳을 선정하였다. 이 또한, Google Map을 통해 지리좌표를 획득하였으나, 국가 주요 시설들임을 감안하여 세부 시설명칭과 실제 좌표는 언급하지 않았다.

<Table 4> The Core Defense Facilities in South Korea

Category	Core Defense Facilities
Airport	Incheon Airport etc. 10(①~⑩)
Harbor	Busan Harbor etc. 4(⑪~⑭)
Operation Forces	Air Force Operations Command etc. 16(⑮~⑳)
Government Agency	National Assembly etc. 12(㉑~㉒)
Research & Industrial Complex	Daedeok Science Complex etc. 7(㉓~㉔)
Power Facility	Shin-Gori Nuclear Power Plant(㉕)

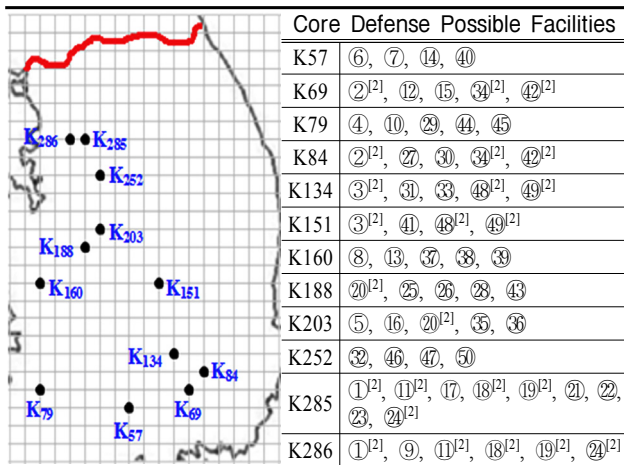
방공포대 배치를 위한 후보 지역은 한반도 위·경도 범위를 고려하여 위도 34.31°~38.31°(약 446km), 경도 126.13°~129.58°(약 318km)로 설정하고, <Figure 3>과 같이 동서방향과 남북방향으로 (20×20)km²의 368개의 격자(Grid)로 구성하였다. 다소 후보지역의 범위가 크게 설정된 것으로 보일 수 있으나, 높은 산 등의 방공포대 입지조건을 고려할 때, 해당 지역에 방공포대가 배치될 수 있는 지형은 많지 않을 것으로 판단된다. 제 3.1절에서 논의된 절차에 따라 북한의 12곳의 미사일 기지에서 우리나라의 핵심방어시설 j를 공격할 경우, 모든 탄도미사일의 비행 궤적이 방공포대 k의 교전가능 공간을 진입 여부를 검토한 결과의 예시는 <Table 5>와 같다.

<Table 5> The Defense Possible Facilities by Candidates

j \ k	...	282	283	284	285	286	...
⋮				⋮			
17	...	0	1	1	1	0	...
18		0	0	1	1	1	
19		0	1	1	1	1	
20		0	0	0	0	0	
21		0	0	1	1	0	
⋮			⋮				

즉, 17번 핵심방어시설을 방어할 수 있는 방공포대의 위치는 283~285번 격자이며, 284번 격자 위치에서는 17번부터 19번과 21번 핵심방어시설들을 방어할 수 있다. 또한, 284번 격자와 285번 격자는 동일한 핵심방어시설들을 방어할 수 있으며, 두 위치 모두 283번이 방어할 수 있는 핵심방어시설들을 모두 포함하고 있다. 따라서 동일한 핵심방어시설들을 방어하더라도 최적 위치를 선정할 경우 방공포대를 최소화하여 배치할 수 있음을 확인할 수 있다. 결과적으로, 제 3장에서 논의된 절차에 따라 최소의 방공포대를 배치하여 선정된 핵심방어시설들을 모두 방어하는 최적화 문제는 일반적인 시설배분 문제와 동일하게 전환되었다.

제 3.2절에서 제시한 수리모형의 최적해를 탐색하기 위한 해법은 Math Works사의 MATLAB R2010a 프로그램에서 제공하는 Optimization Toolbox의 ‘bintprog’라는 내장 함수를 사용하였다. ‘bintprog’라는 이진정수계획 문제에 대해 Branch-and-Bound 알고리즘을 이용하여 최적해를 제공한다[11]. 수치실험을 위해 수집한 미사일 기지의 위치, 핵심방어시설, 그리고 방공포대 후보지역에 대한 격자 지도(Grid Map)를 바탕으로 식 (8)로부터 식 (10)의 이진정수계획 수리모형의 최적해를 탐색한 결과는 <Figure 3>과 같다. 결과적으로, 연구를 위해 임의적으로 선정한 우리나라의 핵심방어시설 50곳을 북한의 탄도미사일 공격으로부터 방어하기 위한 최소의 방공포대는 후보지역 368곳 중 12곳이었으며, 핵심방어시설 50곳 중 24곳은 2개의 방공포대가 중첩하여 방어할 수 있는 것으로 나타났다.



※ ①^[n] means core defense facility ① can be protected by n air defense artillery units.

<Figure 3> The Results of Numerical Experiments

5. 결 론

본 연구에서는 북한의 탄도미사일로부터 우리나라의 핵심방어시설을 보호하기 위한 방공포대의 배치 최적화 문제를 선형 연구에서 제시한 교전가능 검토 모형을 기반으로 시설배분 문제로 전환하고, 연구를 위해 임의적으로 수집된 북한 미사일 기지의 위치, 우리나라의 핵심방어시설 등을 바탕으로 수치실험 결과를 제시하였다. 이때, 선정된 방공포대의 위치는 북한의 모든 미사일 기지에서 방어를 담당하고 있는 핵심방어시설로 발사된 모든 탄도미사일을 방어할 수 있음을 의미한다. 하지만 앞서 언급한 바와 같이 대탄도미사일의 성능에 따라 요격 성공확률이 100% 미만임에 따라 이는 탄도미사일에 대해 요격을 시도할 수 있음을 의미하며, 북한의 탄도미사

일로부터 완벽하게 안전함을 보장하지는 않는다. 따라서 핵심방어시설의 가치에 따라 중첩방어를 위한 방공포대 배치가 고려될 수 있다. 이러한 개념은 방공포대에서 운영하고 있는 대탄도미사일의 요격 성공확률을 바탕으로 병렬시스템의 신뢰도 문제로 고려할 수 있다. 또한, 본 연구는 한반도 상황을 가정하여 한국형 미사일 방어체계가 적용하고 있는 하층방어 개념에서 이루어졌다. 하지만 미래의 한반도 안보상황은 북한만이 아닌 러시아, 중국, 일본 등의 주변 군사강국에 대한 견제, 그리고 세계적으로 탄도미사일의 발전으로 공격할 수 있는 사거리에 대한 제한이 사라지고 있는 상황을 고려할 때 하층방어 뿐만 아니라 상층방어에 대한 연구도 필요로 하고 있다.

References

- [1] Choi, Y.B. and Kim, K.S., Algorithm for Fire Sequencing Problem in Unplanned Artillery Attack Operation, *Journal of the Society of Korea Industrial and Systems Engineering*, 2012, Vol. 35, No. 2, pp. 37-44.
- [2] Google Map <http://maps.google.co.kr>.
- [3] Jung, C.Y., Lee, J.Y., and Lee, S.H., An Optimal Missile Allocation Problem for Maximizing Kill Probability, *Journal of the Korean Operations Research and Management Science Society*, 2010, Vol. 27, No. 1, pp. 75-90.
- [4] Kim, E.K., A research on the Future Direction of Koran Missile Defense System : Focused on the Concept of Active Defense [master's thesis], [Seoul, Korea] : Kookmin University, 2011.
- [5] Kim, H.S., Kim, K.T., and Jeon, G.W., A Requirement Assessment Algorithm for Anti-Ballistic Missile Considering Ballistic Missile's Flight Characteristics, *Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology*, 2011, Vol. 14, No. 6, pp. 1009-1017.
- [6] Kim, M.K., A study on the Development of Korean Missile Defense system : Focused on Preconditions for Building a Missile Defense System Around [master's thesis], [Seoul, Korea] : Hansung University, 2013.
- [7] Kim, T.W., A Comparative Study on the Ballistic Missile Defense System of Japan, Korea with the Emphasis on the Active Defense Concept [master's thesis], [Seoul, Korea] : Kookmin University, 2011.
- [8] Kwon, Y.S. and Choi, B.S., Analysis of the Flight Trajectory Characteristics of Ballistic Missiles, *Journal of the Military Operations Research Society of Korea*, 2006, Vol. 32, No. 1, pp. 176-187.
- [9] Lee, D.H. and Jeong, S.J., A Study on the Influence

- of Defense Acquisition Speciality on Project Performance, *Journal of the Korean Institute of Plant Engineering*, 2015, Vol. 20, No. 4, pp. 49-58.
- [10] Lee, J.Y. and Kwak, K.H., The Optimal Allocation Model for SAM Using Multi-Heuristic Algorithm : Focused on Theater Ballistic Missile Defense, *IE Interface*, 2008, Vol. 21, No. 3, pp. 262-273.
- [11] Math Works, Optimization Toolbox™ : User's Guide, 2014.
- [12] Naver News, <http://news.naver.com/mainread.nhn? mode=LSD&mid=sec&sid1=100&oid=001&adi=0006174597>, 2013.
- [13] Presian News, <http://www.pessian.com/news/article.html? no=117536>, 2014.

ORCIDJaekwon Kim | <http://orcid.org/0000-0002-4222-2766>Hyeonju Seol | <http://orcid.org/0000-0001-6953-9766>