

## 복합 휴리스틱 알고리즘을 이용한 지대공 유도무기 최적배치 모형 : 항공기 방어를 중심으로

곽기훈\* · 이재영\*\*† · 정치영\*\*

### The Optimal Allocation Model for SAM Using Multi-Heuristic Algorithm: Focused on Aircraft Defense

Ki-Hoon Kwak\* · Jae-Yeong Lee\*\* · Chi-Young Jung\*\*

#### ■ Abstract ■

In Korean peninsula, aircraft defense with SAM (Surface-to-Air Missile) is very important because of short range of combat space in depth. Effective and successful defense operation largely depends on two factors, SAM's location and the number of SAM for each target based on missile's availability in each SAM's location. However, most previous papers have handled only the former. In this paper, we developed Set covering model which can handle both factors simultaneously and Multi-heuristic algorithm for solving allocation problem of the batteries and missile assignment problem in each battery. Genetic algorithm is used to decide optimal location of the batteries. To determine the number of SAM, a heuristic algorithm is applied for solving missile assignment problem. If the proposed model is applied to allocation of SAM, it will improve the effectiveness of air defense operations.

Keyword : Aircraft Defense, Set Covering Model, Multi-heuristic Algorithm, Genetic Algorithm

논문접수일 : 2008년 05월 19일    논문게재확정일 : 2009년 11월 19일  
논문수정일(1차 : 2009년 09월 30일, 2차 : 2009년 10월 30일)

\* 공군 방공포병사령부  
\*\* 국방대학교 운영분석학과  
† 교신저자

# 1. 서론

현대 전쟁에서는 초기 제공권 장악이 전쟁의 승패를 결정짓는 중요한 요인으로 인식되고 있으며, 특히 한국과 같이 전장중심이 짧은 지리적 환경에서는 그 중요성이 더 크다고 할 수 있다. 따라서 한국의 전장환경을 고려, 적 항공기의 대량 기습공격을 방어하여 초기에 제공권을 장악하기 위해서는 항공전력 뿐만 아니라 방공포병전력의 중요성이 더욱더 증대되고 있으며, 제한된 방공포병 자원으로 최대의 방어효과를 발휘하기 위한 노력이 지속적으로 요구되고 있다.

한국의 방공포병 전력은 대항공기 임무를 주로 수행하고 있으며, 이때 일정한 능력을 갖는 방공포병 무기체계의 운용효과 극대화를 위해서는 여러가지 효율적인 운용방안 중에서도 배치문제가 중요한데, 적은 아군 목표물의 중요도에 따라 공격규모를 결정할 것이므로 방공포병 부대 배치 시 방어규모와 위치를 동시에 고려해야 한다.

기존 연구에서는 배치모형 수립 시 위치만 고려하였으며 각 위치별 방어규모 결정에 대한 연구는 미흡하였다. 따라서 본 연구에서는 적 항공기 방어를 위한 SAM 배치문제에 있어 위치 및 방어규모를 동시에 고려한 새로운 모형을 제시하였다.

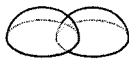


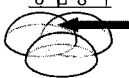
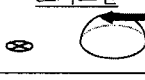
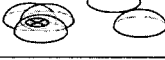
또한 기존 연구에서 항공기의 기동을 고정된 경로로 가정한 것과 달리, 본 연구에서는 항공기의 자유로운 비행특성을 고려하여 공간상에서의 항공기의 밀도로 표현함으로써 보다 현실적인 모형을 제시하였고 모형을 컴퓨터 언어로 구현하는 방법을 연구하여 새로운 SAM 최적배치 SYSTEM 개발방법을 제시하였다.

## 2. 방공무기 배치원칙

일반적인 SAM 배치 방법은 <표 1>과 같이 6가지 '방공포병 배치원칙'으로 설명할 수 있다[1].

이와 같은 배치원칙은 SAM을 어떻게 배치할 것인가를 정성적으로 잘 설명하고 있으나, 어떤 원칙

<표 1> 방공포병 배치원칙

원칙	개념
상호지원 	방공포병무기의 사각지대를 인접 방공포병무기가 보강할 수 있도록 배치
중첩사격 	인접 방공포병무기와 중첩하여 교전할 수 있도록 배치
균형방어 	전 방향에 대하여 균등한 화력을 제공 (적 공중접근로를 예상할 수 없을 경우)
중점방어 	적의 예상 공중공격방향이나 가능성이 높은 공중접근로 및 방공우선순위가 높은 부대나 시설에 대하여 방공포병무기를 집중 배치
조기교전 	적성함체가 공격하기 이전에 교전할 수 있도록 배치
중심방어 	적성함체가 방어목표에 근접할수록 사격량이 증가되도록 배치

을 얼마만큼, 어떻게 적용할 것인가 하는 정량적 기준은 제시하지 못하고 있으며, 이 원칙들을 살펴보면 각 원칙은 독립된 것이 아니라 서로 연관되어 있음을 알 수 있다. 예를 들어, 조기교전의 원칙에 따라 배치하면 중점방어 및 균형방어가 어렵고, 균형방어에 따라 배치하면 조기교전이 어렵게 된다. 그러나 공통적인 목적은 교전 및 격추대수를 최대화하여 방어효과를 극대화 하는 것이다.

## 3. 기존모형 분석

대부분의 방공무기관련 설비 배치모형은 지역담당 모형(Set Covering Model)을 적용하였다. 지역담당모형은 설비의 입지문제에 널리 적용되어 좋은 성과를 얻고 있으며, 전체 지역담당모형(Total Covering Model)과 부분 지역담당모형(Partial Covering Model)의 두 가지 경우로 구분할 수 있다.

### 3.1 전체 지역담당모형

이 모형은 모든 고객이 최소한 하나 이상의 설비로부터 담당되어야 함을 제약식으로 하고 설비 배치에 드는 총비용을 최소화하는 것을 목적으로 하며 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{Min } Z = \sum_{j=1}^n C_j x_j \quad (1)$$

$$\text{subject to } \sum_{j=1}^n A_{ij} x_j \geq 1$$

$$x_j = 0 \text{ or } 1$$

$$A_{ij} = 0 \text{ or } 1$$

$$i = 1, \dots, m, \quad j = 1, \dots, n$$

여기에서  $C_j$ 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 0으로  $i, j$ 의 관계에 따라 미리 결정되는 값이다. 또 결정변수  $x$ 도 설비가 후보지  $j$ 에 배치되면 1, 그렇지 않으면 0으로써 제약식은 고객  $i$ 가 어떤 설비로부터든지 최소한 한번 이상 담당되어야 함을 의미한다.

### 3.2 부분 지역담당모형

이 모형은 전체 지역담당모형과 반대의 개념으로 개발되었다. 즉 유용 가능한 설비의 한계를 제약식으로 하고 담당되는 고객의 수를 최대화하는 것으로서 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{Max } Z = \sum_{i=1}^m (\max A_{ij} x_j) \quad (2)$$

$$\text{subject to } \sum_{j=1}^n x_j \leq Y$$

$$x_j = 0 \text{ or } 1$$

$$A_{ij} = 0 \text{ or } 1$$

$$i = 1, \dots, m, \quad j = 1, \dots, n$$

목적함수에서  $\max A_{ij} x_j$ 는 고객  $i$ 가 모든 설비

로부터 전혀 담당되지 못하면 0, 그렇지 않으면 1이 되므로 목적함수 값은 적어도 한번 이상 담당되는 고객의 수를 최대화할 수 있음을 의미한다. 제약식에서  $Y$ 는 가용 설비 수를 나타낸다.

이 모형의 해법으로는 평면 절단기법, 분지 및 한계기법, 경험적 기법 등이 주로 활용되었다.

### 3.3 연구사례 분석

김성인[5]은 부분 지역담당모형을 예산 한도로 인해 주어진 설비수로 고객의 담당확률의 합을 최대화하는 설비 위치를 결정하는 지역담당모형을 제시하였다. 이 모형은 부분지역담당 모형을 일반화시킨 것으로 볼 수 있으며, 설비배치에 소요되는 총비용이 주어진 예산의 한도를 넘을 수 없다는 것을 제약식으로 하고 각 고객에 대한 담당 신뢰도의 합을 최대화하는 것을 목적함수로 하여 식 (3)과 같이 표현하였다. 해를 구하는 해법절차로 분지 및 한계기법을 적용하였다.

$$\text{Max } Z = \sum_{i=1}^m \left\{ 1 - \prod_{j=1}^n (1 - p_{ij})^{x_j} \right\} \quad (3)$$

$$\text{subject to } \sum_{j=1}^n C_j x_j \leq \bar{B}$$

$$\bar{l}_j \leq x_j \leq \bar{u}_j, \text{ 정수, } j = 1, \dots, n$$

$$\bar{l}_j : \text{하한 대수,}$$

$$\bar{u}_j : \text{상한 대수}$$

$$\bar{B} : \text{예산 한도액}$$

$$i = 1, \dots, m, \quad j = 1, \dots, n$$

오제상[7]은 방공레이더 배치문제에서 고객이 후보지에 설치된 설비로부터 담당되는 지의 여부 즉,  $A_{ij} = (0, 1)$ 의 두 상태로만 구분하는 것은 현실적으로 불합리하여 확률로 주어지는 것이 더 일반적이며, 또한 어떤 고객이 여러 설비로들로부터 중복담당 되는 것을 고려하기 위해 병렬구조 신뢰도개념을 도입하였다. 제한된 설비 수  $K$ 를 제약조건으로 각 고객의 중요도에 따라 상대적 가중치를 고려하

여 식 (4)와 같이 표현하고 경험적 기법으로 최적의 설비 위치를 결정하였다.

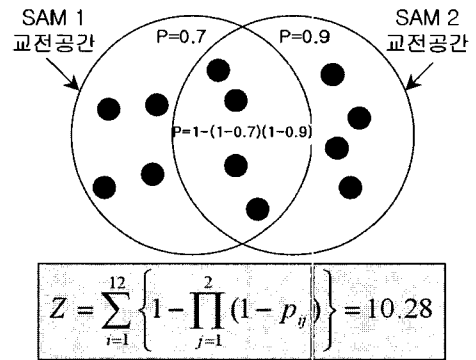
$$\begin{aligned}
 \text{Max } Z &= \sum_{i=1}^m W_i \left\{ 1 - \prod_{j=1}^n (1 - p_{ij})^{x_j} \right\} & (4) \\
 \text{subject to } & \sum_{j=1}^n x_j \leq K \\
 & x_j = 0 \text{ or } 1 \\
 & W_i : \text{고객의 중요도에 따른 상대적} \\
 & \quad \text{가중치} (W_i \geq 0) \\
 & p_{ij} : \text{후보지 } j \text{에 설비가 설치됨으로서} \\
 & \quad \text{고객 } i \text{가 담당될 확률} \\
 & (0 \leq p_{ij} \leq 1) \\
 & i = 1, \dots, m, j = 1, \dots, n
 \end{aligned}$$

김승빈[4]은 패트리엇 배치문제에서 북한의 스카드 미사일 위협, 항공기 위협, 그리고 주사격 방향을 고려하여 최적 배치모형을 구축하였다. 기존의 연구와 동일한 신뢰도 개념을 적용하였으며, 각 고객이 받는 보호확률의 합을 최대화하기 위하여 어느 위치  $j$ 에 어떤 주사격방향  $k$ 로 설치할 것인가를 결정하는 문제로 항공기 위협뿐만 아니라 스카드 위협까지 고려하여 중요시설 보호확률을 각각 산출하고 가중치를 부여하여 식 (6)과 같이 표현하였으며, 해법절차로 분지 및 한계기법을 적용하였다.

$$\begin{aligned}
 \text{Max } Z &= \sum_{i=1}^I \sum_{l=1}^L [1 - \prod_{j=1}^J \prod_{k=1}^K \{1 - (w_m p_{ijkl_m} + w_s p_{ijkl_s})\}^{x_{jk}}] \\
 \text{subject to } & \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K x_{jk} \leq N & (6) \\
 & x_{jk} \geq 0, \int eger, j = 1, \dots, J, k = 1, \dots, K \\
 & 0 \leq w_m p_{ijkl_m} + w_s p_{ijkl_s} \leq 1, w_m + w_s = 1 \\
 & i = 1, \dots, I, j = 1, \dots, J, k = 1, \dots, K, \\
 & l = 1, \dots, L, l: (l_m, l_s) \\
 & l_m = 1, \dots, L_m, l_s = 1, \dots, L_s, \\
 & l = 1, \dots, L(L_m \times L_s)
 \end{aligned}$$

이와 같은 기존 배치모형을 분석해 보면 첫째, 적

의 공격규모 및 아군의 유도탄 보유수량이 적용되지 않고 있어 [그림 1]과 같이 SAM 1과 SAM 2가 각각 제한된 유도탄(예를 들어 각 4발)을 보유하고 있다 하더라도, 모든 적 항공기를 담당하는 것으로 계산하여 결과가 왜곡되었다. 따라서 이를 보완할 수 있는 모형이 필요하다.



[그림 1] 기존의 지역담당모형

둘째, 적 항공기의 예상접근로를 단순히 적 항공기의 이륙기지와 아군의 자산을 잇는 직선으로만 표현하였는데 실제 적 항공기는 다양한 침투경로를 따라 접근할 것이며 자유롭게 비행이 가능하므로 직선비행이 아닌 다양한 기동을 할 것이다. 따라서 보다 현실적으로 항공기를 모형화하고 이에 따라 격추확률을 계산하는 방법이 필요하다.

셋째, 해공간을 임의로 선정한 소규모의 배치 후보지로 제한함으로써 전역 최적해 도달에 제한이 되었다. 따라서 임의로 배치 후보지를 선정하는 것이 아니라 전체 공간에서 최적해를 먼저 구하고, 이에 따라 후보지를 선정하는 방법이 필요하다.

넷째, 일반적으로 지역담당문제는 NP-complete 문제로 정수계획법에 의한 해법들은 정확한 해를 구할 수는 있지만 문제의 크기가 커질수록 계산시간이 지수적으로 증가한다. 따라서 합리적인 시간 내에 근사 최적해를 구할 수 있는 메타 휴리스틱(Meta Heuristic) 접근 방법이 효율적이라 판단된다.

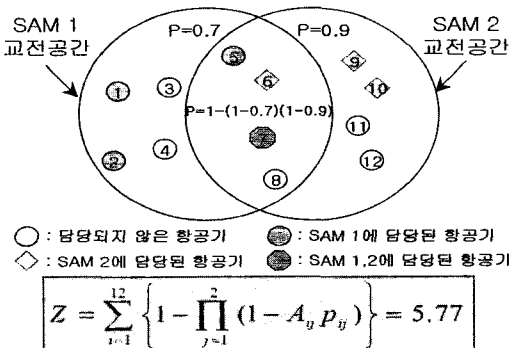
다섯째, 김승빈[4]은 대항공기 임무와 대탄도탄임무를 동시에 고려하여 위협우선순위에 따라 가중치

를 부여하여 입지를 선정하는 형태의 SAM 배치문제를 연구하였으나, 탄도미사일은 항공기와 완전히 독립적인 비행형태를 보이는 위협으로 별도의 모형을 수립하여 접근하는 것이 합리적이라 할 수 있다. 이와 관련된 연구는 이재영, 곽기훈[6]이 수행한 바 있으며 본 연구와 기존연구[6]와의 차이점은 <표 2>와 같다.

<표 2> 기존연구와의 차이점

구분	기존연구[6]	본 연구
분석대상	탄도탄 방어	항공기 방어
알고리즘	복합 휴리스틱을 이용, 군사 최적 배치위치 결정	
차이점	일정한 비행궤도를 갖는 탄도탄에 대한 격추확률 산출 메커니즘 개발	항공기의 자유로운 기동 특성에 따른 격추확률 산출 메커니즘 개발
비고	군사 최적 배치위치를 결정하기 위한 알고리즘은 동일하나, 분석대상의 차이로 인한 Pk 산출 방법과 설계된 수리모형이 전혀 다르며, 그에 따라 해 유도를 위한 알고리즘 적용도 상호 독립적임	

따라서 본 연구에서는 이와 같은 왜곡과 제한사항을 없애는 항공기 방어를 중심으로 하는 지역담당모형을 제시하였는데, [그림 2]에서 보듯이 SAM 1과 SAM 2가 각각 4개 유도탄을 보유하고 있고, 적 항공기가 이보다 많을 경우에는 담당되지 않는 적 항공기도 발생하게 되므로 SAM이 항공기를 담당할 수 있는 확률을 0 또는 1로 표현하는 이진변수  $A_{ij}$ 를 사용한 지역담당모형을 제시하였다.

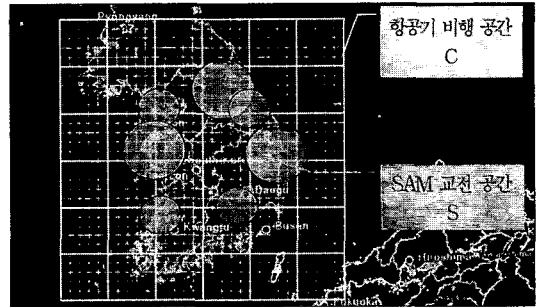


[그림 2] SAM 및 적 항공기의 규모를 반영한 모형

## 4. 최적배치모형 설계 및 해법

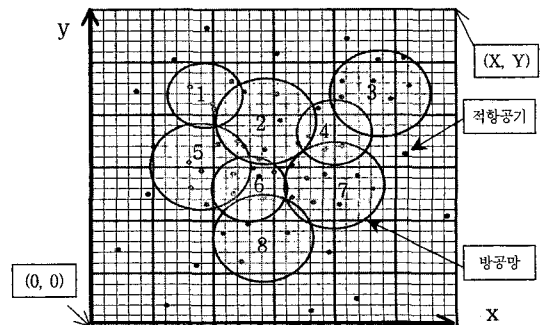
### 4.1 최적배치 모형 개념

먼저, 항공기의 비행가능 공간과 SAM의 교전공간을  $1\text{km} \times 1\text{km}$ 인 정사각형 2차원의 셀(cell c)의 집합으로 C++언어의 동적배열을 이용, [그림 3] 및 [그림 4]와 같이 설정하였는데 이때, 적 항공기는 좌표공간 C에서 비행하며 아군자산을 공격하고 SAM은 교전공간 S라는 방공망을 펼쳐 적항공기를 담당한다.



[그림 3] 항공기 비행공간 및 SAM 교전공간 설정

좌표공간 C안에서 비행하는 적 항공기를 최대한 많이 포함시킬 수 있는 SAM 교전공간 S, 즉 방공망을 위치시키도록 하는 것이 본 연구의 격추대수를 최대로 하는 배치위치 결정의 기본개념이다. 예를 들어 [그림 4]를 보면 이와 같은 논리에 따라 SAM의 최적위치가 대략 위치 5, 6, 7중에서 선정되어야 함을 직관적으로 알 수 있다.



[그림 4] 항공기 방어 최적배치모형 기본 개념

4.2 최적배치 모형 설계

4.2.1 기호정의

- $c$  항공기 비행좌표공간(1km×1km) cell  
 $c = (x, y), x = 0, 1, \dots, X, y = 0, 1, \dots, Y$   
 $(c \in C)$
- $s$  SAM 교전공간(1km×1km) cell( $s \in S, S \subset C$ )
- $s_c$  cell  $c$ 에 배치된 SAM 교전공간 내의 cell( $s_c \in S_c$ )
- $t$  아군의 방어목표( $t \in T$ )
- $ac_{c,t}$  cell  $c$ 에서  $t$ 를 공격하는 항공기 대수
- $ac_{s,t}$  cell  $s$ 에서  $t$ 를 공격하는 항공기 대수
- $z$  적분변수( $0 \leq z \leq ac_{s,t}$ )
- $p_{stc}$  cell  $c$ 에 배치된 SAM이 cell  $s_c$ 에서  $t$ 를 공격하는 적항공기를 격추시킬 확률
- $PF$  SAM 기지의 수
- $MS_c$  cell  $c$ 에 배치된 SAM 기지의 유도탄 보유수량
- $MS_{c,s}$  cell  $c$ 에 SAM 기지가 배치됐을 때, cell  $s_c$ 에서 교전가능한 유도탄 수량
- $A(ac_{st}, c)$  할당계획(binary),  $ac_{st}$ 가 cell  $c$ 에 설치된 SAM에 할당되면 1, 그렇지 않으면 0
- $x_c$  배치계획(binary), cell  $c$ 에 포대가 배치되면 1, 그렇지 않으면 0

4.2.2 수리모형

$$\text{Max } Z = \sum_{s \in S} \sum_{t \in T} \left[ \int_0^{ac_{s,t}} \left\{ 1 - \prod_{c \in C} (1 - A(ac_{st}, c) \cdot p_{stc})^z \right\} dz \right] \quad (7)$$

subject to.  $\sum_{c \in C} x_c \leq \overline{PF}$

$$\sum_{t \in T} \int_0^{ac_{c,t}} A(ac_{st}, c) dz \leq \overline{MS_{c,s}}, \text{ for } \forall c, s$$

$$0 \leq p_{stc} \leq 1$$

$$x_c = 1 \text{ or } 0$$

$$A(ac_{st}, c) = 1 \text{ or } 0$$

$$t = 1, 2, 3, \dots, T$$

$$c = (x, y), s = (x, y), x = 0, 1, \dots, X,$$

$$y = 0, 1, \dots, Y$$

식 (7)에서 목적함수는 SAM을 위치 cell  $c$ 에 배치하였을 때 SAM 사거리내의 모든 cell  $s$ 에서 방어해야 할 아군자산  $t$ 를 공격하는 적항공기에 대한 격추대수를 최대화하는 것으로 본 연구에서는 목적함수의 값 즉, 격추대수를 방어효과도로 정의하였다. 이때 방어효과도는 SAM의 좌표는 다르더라도 방공망은 서로 겹쳐질 수 있으므로 공격하는 항공

기 대비 큰 값이 나오며, 이는 SAM이 어떤 위치에 우선 배치되어야 하는 지를 결정할 수 있는 우선순위를 제공한다.

$ac_{s,t}$ 는 사거리내 cell  $s$ 에서 아군자산  $t$ 를 공격하는 적항공기 대수로서, 단위면적당 항공기 대수를 나타내게 되므로 정수형이 아닌 실수형으로 표현되며,  $ac_{c,t}$ 산출방법은 제 4.3절의 절차를 따른다.

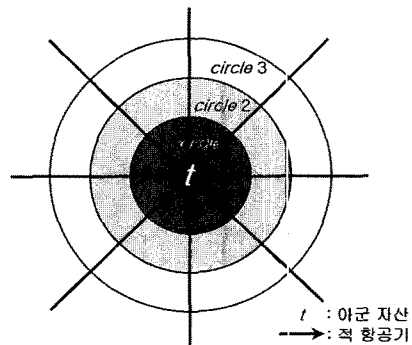
첫 번째 제약식은 배치할 SAM 기지수에 대한 제한조건이며, 두 번째 제약식은 사거리내의 cell  $s$ 에서 교전가능한 적항공기의 수에 대한 제한으로서 할당계획에 의해 할당되는 적항공기는 cell  $s$ 에서 교전가능한 유도탄 수량  $\overline{MS_{c,s}}$ 보다 작거나 같으며  $\overline{MS_{c,s}}$  값은 제 4.4절의 절차에 따라 구할 수 있다.

$A(ac_{st}, c)$ 는 할당계획으로서,  $ac_{st}$ 와 배치위치  $c$ 에 대한 함수로 표현되며 적분변수  $ac_{st}$ 가  $c$ 에 위치한 SAM 기지에 의해 할당된 경우는 1이며, 아닐 경우에는 0으로 표현된다. 따라서 격추대수는 0에서부터  $ac_{s,t}$ 까지 격추확률의 합으로 구할 수 있으며 이는 제 4.7절의 절차에 따라 구할 수 있다.

위와 같은 수리모형은 좌표공간상의 적의 공격규모 및 아군의 방어규모를 고려한 최적배치를 가능토록 해준다.

4.3 cell  $c$ 에서 항공기 대수( $ac_{c,t}$ )

각각의 cell  $c$ 에서 항공기 밀도를 계산하기 위한 방법은 다음과 같다.



[그림 5] 각 circle을 통과하는 항공기 대수

[그림 5]에서 보는 바와 같이 적항공기가 아군자산  $t$ 에 접근하기 위해서는 각각의  $circle$ 을 통과하여야만 하므로, 각각의  $circle$ 을 통과하는 적항공기 대수는 목표물을 공격하려는 적항공기 대수와 동일하다.

한편, 외부원과 내부원의 거리가 1이며 중앙의 반지름이  $r$ 인  $circle$ 의 면적은 <표 3>에서와 같이  $2\pi r$ 이다.

<표 3>  $circle$ 의 반지름과 면적과의 관계

구분	내부 반지름	중앙	외부 반지름	면적
내부 원	·	·	0.5km	$(0.5)^2 \times \pi = 0.25\pi \text{ km}^2$
circle 1	0.5km	1km	1.5km	$(1.5)^2 \times \pi - (0.5)^2 \times \pi = 2\pi \text{ km}^2$
circle 2	1.5km	2km	2.5km	$(2.5)^2 \times \pi - (1.5)^2 \times \pi = 4\pi \text{ km}^2$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
circle R	R-0.5km	Rkm	R+0.5km	$(R+0.5)^2 \times \pi - (R-0.5)^2 \times \pi = 2\pi R \text{ km}^2$

따라서 적 항공기가 아군자산  $t$ 에 대해 전 방향에서 동일하게 공격한다고 가정하고,  $cell$ 의 크기를 단위면적으로 설정할 경우,  $circle$  내의  $cell$ 에서 적항공기 대수는 목표물을 공격하려는 적항공기의 대수를 각  $circle$ 의 면적으로 나눈 값이다.

따라서  $cell c$ 에서 아군자산  $t$ 를 공격하는 적항공기 밀도  $ac_{c,t}$ 를 아래의 식으로 정의한다. 여기서  $r$ 은  $cell c$ 와 아군자산  $t$ 와의 거리이다.

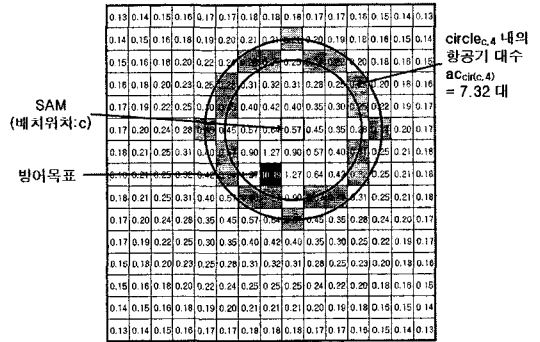
$$ac_{c,t} = \frac{\text{방어목표 } t \text{를 공격하는 적항공기 대수}}{2\pi \times r}$$

#### 4.4 cell s에서 가용한 유도탄 수량( $\overline{MS}_{c,s}$ )

SAM은 교전공간 내의 모든 적항공기와 교전이 가능한 것은 아니다. 왜냐하면, 각각의 SAM 기지가 가지고 있는 유도탄 수량이 한정되어 있기 때문이다. 이에 대한 제한을 수학적으로 설명하기 위해 배치된 SAM이 담당하는 항공기의 대수는 SAM이 가지고 있는 유도탄의 수량을 넘을 수 없다는 제약식을 활용하였다.

[그림 6]은 SAM 기지에서 반경 4km의 Circle

내에 적항공기 8대가 공격할 때의 예로서, 항공기 대수는 Circle내 모든 Cell의 적항공기 밀도를 합산하여 계산하였다. cell  $c$ 에 사거리가 R인 SAM이 배치되었다고 하자.  $s_{c,d}(d=0, 1, 2, 3, \dots, R)$ 를 cell  $c$ 에 배치된 SAM과의 거리가  $d-0.5\text{km}$ 초과 및  $d+0.5\text{km}$ 이하인 cell이라고 하고, 이러한 cell의 집합을  $circle_{c,d}$ 라고 하자. 그리고  $circle_{c,d}$ 내의 항공기 대수의 합을  $ac_{cir(c,d)}$ 라 하면, [그림 6]의 짙은 색의 cell은  $circle_{c,d}$ 를 나타내는데 이 부분의 적항공기 대수( $ac_{cir(c,d)}$ )를 합산하면 7.32대가 된다.



[그림 6] SAM 기지 중심, circle 내 적항공기 대수

한편, SAM 기지가 가지고 있는 유도탄 보유량은 6대라고 하면  $circle_{c,d}$  내에 할당될 수 있는 항공기는 6대를 초과할 수 없다. 즉,  $c$ 에 배치된 SAM 기지가  $circle_{c,d}$  내에서 할당 가능한 항공기의 수는 유도탄 보유량수량( $\overline{MS}_c$ )을 초과할 수 없다. 따라서  $circle_{c,d}$ 를 구성하는 각각의  $s_{c,d}$ 에서 사용가능한 유도탄의 수( $\overline{MS}_{c,s}$ )는 SAM 기지의 유도탄 보유수량( $\overline{MS}_c$ )과  $circle$  내의 적항공기 대수( $ac_{cir(c,d)}$ )에 따라 결정하였다.

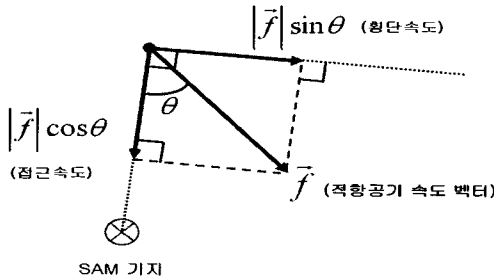
$$\overline{MS}_{c,s} = \begin{cases} ac_{s,t}, & \text{if } ac_{cir(c,d)} \leq \overline{MS}_c \\ ac_{s,t} \cdot \overline{MS}_c, & \text{otherwise} \end{cases}$$

#### 4.5 격추확률

항공기가 SAM 기지를 중심으로 횡단하는 경우

에는 무기체계의 추가적인 계산과 유도탄의 기동이 필요하므로 격추확률은 감소한다. 따라서 본 연구에서는 격추확률을 횡단속도의 함수로 정의한다.

SAM 기지로부터의 적항공기의 횡단속도  $v_{cross}$ 는 [그림 7]에서 보는 바와 같이 적항공기 속도에  $\sin\theta$ 를 곱하여 구할 수 있다. SAM 기지의 좌표 및 벡터 내적 공식을 이용하여  $\cos\theta$ 를 구할 수 있고,  $\sin\theta = \sqrt{(1 - \cos^2\theta)}$  이므로,  $v_{cross} = |\vec{f}| \cdot \sqrt{(1 - \cos^2\theta)}$ 이다.



[그림 7] 적항공기 속도 벡터(vector)

따라서 본 연구에서는 격추확률을 아래와 같이 SAM 고유의 격추확률  $P_{sam}$  및 최저 격추확률  $P_{min}$  과  $\cos\theta$ 에 따른 함수로 정의하였다.

$$f(P_{sam}, \cos\theta) = \begin{cases} (P_{min} - P_{sam}) \cdot \sqrt{(1 - \cos^2\theta)} + P_{sam}, & \text{if } \cos\theta \geq 0 \\ P_{min}, & \text{otherwise} \end{cases}$$

#### 4.6 복합-휴리스틱 알고리즘을 이용한 해 유도

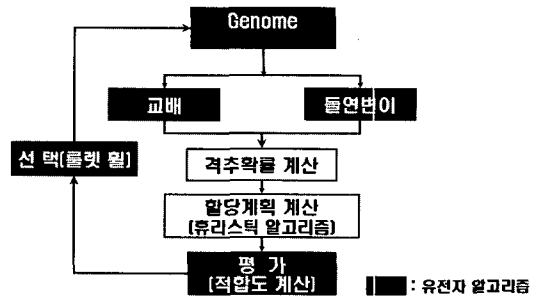
본 연구에서는 기존의 지역담당모형에서는 고려되지 않았던 공격규모가 포함됨으로 인해서 모형내에 또 다른 조합 최적화 문제인 할당계획이 존재하게 되었다. 이에 따라 배치계획은 대규모의 문제에 적합한 유전자 알고리즘을 적용하고, 할당계획은 높은 격추확률을 보장하며 신속하게 계산할 수 있는 휴리스틱 알고리즘을 적용한 복합-휴리스틱 알고리즘을 제시하였다.

일반적인 유전알고리즘의 구조는 [그림 8]과 같으며, 본 연구에 적용한 복합-휴리스틱 알고리즘은 [그림 9]에서 보는 바와 같다.

```

begin
    t ← 0
    P(t)의 초기화(초기 모집단의 생성)
    P(t)의 적용도 평가
    while (종료조건이 만족되지 않으면) do
        begin
            t ← t + 1
            P(t-1)로부터 P(t)를 선택
            P(t)의 유전연산(교차 및 돌연변이)
            P(t)의 적용도 평가
        end
    end
end
    
```

[그림 8] 일반적인 유전알고리즘의 구조



[그림 9] SAM 배치문제 적용 유전알고리즘

[그림 9]에서 보는 바와 같이 유전자는 SAM 기지의 좌표를 나타내며, 교배와 돌연변이에 의해 변형되어 목적함수에 입력된다. 이에 따라 각각의 위치에서 각각의 항공기에 대한 격추확률을 계산하며, 휴리스틱 알고리즘에 의해 할당계획이 계산되어 목적함수의 값이 구해지며 적합도가 평가되어 다음 세대에 생존할 유전자를 선별한다. 선별방식은 룰렛 휠 방식을 적용하였고 본 알고리즘은 Microsoft Visual C++ 6.0을 이용하여 구현하였다.

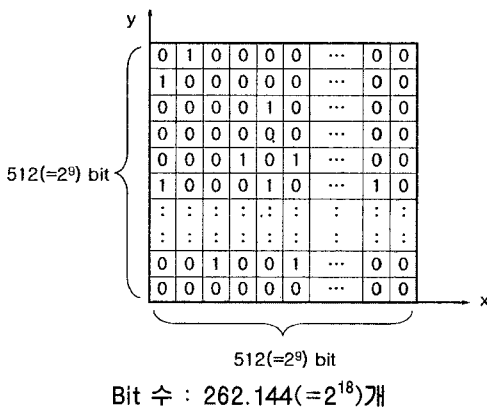
##### 4.6.1 유전 알고리즘을 이용한 배치문제 해법

배치문제는 유전자 알고리즘을 사용하였으며, 본 알고리즘은 Microsoft Visual C++ 6.0을 이용하여 구현하였다.

본 모형에서 유전자는 SAM 기지의 위치이다. 2차원 공간상의 SAM 기지 위치를 유전자로 표현하는 방법은 대표적으로 2차원 유전자로 표현하는 방법과 1차원 유전자로 표현하는 방법을 들 수 있다.

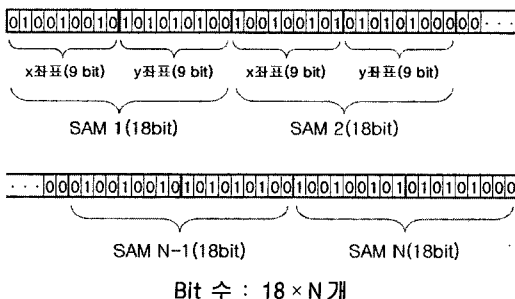


2차원의 유전자로 표현할 경우 각각의 bit는 해당 위치에서의 SAM 배치여부를 0과 1로서 표시한다. 따라서  $512 \times 512$  크기를 가진 2차원 공간에서 SAM의 위치를 정수로 표현하기 위해서는 [그림 10]에서와 같이 SAM 기지의 수와 상관없이  $262,144 (= 512 \times 512)$  개의 비교적 많은 비트수가 필요하다. 따라서 유전자 진화에 많은 시간이 소요된다. 또한, 각각의 bit 값은 독립적으로 발생하므로 배치된 SAM 기지의 수가 제약식을 벗어나기가 쉽다.



[그림 10] 2차원 유전자에 의한 SAM 위치 표현

1차원의 유전자로 SAM 위치를 표현할 경우에는 이진수의 유전자를 십진수로 변환(예, 000001000 → 8)하여 위치를 표현한다.  $512 \times 512$  크기를 가진 2차원 공간상에서 SAM 위치를 정수로 표현하기 위해서 필요한 비트 수는 [그림 11]에서처럼 x좌표에 9개, y좌표에 9개로 18개의 bit가 필요하다.



[그림 11] 1차원 유전자에 의한 SAM 위치 표현

그러므로 N개의 SAM 기지의 위치를 표현하는데에는  $18 \times N$ 개의 bit가 필요하다. 또한, SAM 기지의 수에 따라 bit의 수를 결정하면, SAM 기지의 수는 항상 해공간 내에 위치할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 동일한 정보를 작은 크기의 유전자로 표현할 수 있는 1차원의 유전자를 사용하여 개체를 표현하였으며, 유전알고리즘의 파라미터는 초기 모집단을 100개, 교차율을 0.6, 돌연변이율은 0.01로 하고 종료조건으로 세대수를 200으로 결정하여 설계한 수리모형과 해법의 적절성을 입증하였다.

#### 4.6.2 휴리스틱 알고리즘을 이용한 할당계획

할당계획  $A(a_{st}, c)$ 은 SAM이 배치되었을 때 각각의 SAM 기지에서 각각의 적 항공기에 대해 유도탄을 어떻게 할당할 것인가의 문제로, 할당계획은 조합최적화 문제로서 본 연구에서는 신속하게 근사 최적해를 구할 수 있는 휴리스틱 알고리즘을 적용하여 <표 4>와 같이 제시하였다.

<표 4> 적항공기에 대한 SAM 할당 원칙

구분	내용
원칙 1	각 SAM 기지는 방어목표를 공격하는 적 항공기 중 격추확률이 높은 항공기에 대해 우선적으로 유도탄 할당
원칙 2	각 방어목표를 공격하는 적 항공기에 대해 원칙 1에 의해 할당된 만큼의 유도탄을 할당하되 격추확률이 높은 SAM 기지부터 우선 할당
원칙 3	각 방어목표를 공격하는 적 항공기에 대해 현재까지 다른 SAM에 의한 격추확률이 가장 낮은 적 항공기부터 유도탄 할당

[그림 12]는 위의 원칙에 따라 cell s에서의 격추대수 기대치를 계산한 예로, 각 SAM 기지가 cell s에서 교전가능한 유도탄 수량에 따라 적 항공기에 대해서 유도탄을 할당한 방법 및 결과를 보여주고 있다.

여군자산 <i>I</i>	적항공기 대수 $BC_{ki}$	SAM 1 배치위치 : $c_1$ 유도탄 수 : 6.4		SAM 2 배치위치 : $c_2$ 유도탄 수 : 9.7		SAM 3 배치위치 : $c_3$ 유도탄 수 : 5.9		격추대수 기대치
		격추확률 $A(a_{1k}, c_1)$	격추확률 $A(a_{1k}, c_2)$	격추확률 $A(a_{1k}, c_3)$	격추확률 $A(a_{1k}, c_3)$	격추확률 $A(a_{1k}, c_3)$	격추확률 $A(a_{1k}, c_3)$	
1	5.4	0.9	0	0	0	0	0	$5.4 \times 0.9$ = 4.86
2	7.3	0	0.8	0	0	0	0	$7.3 \times 0.8$ = 5.84
3	5.2	0	0	0	0.7	0	0	$5.2 \times 0.7$ = 3.64
4	6.7	0.7	0.6	0.5	0	0	0	$1.0 \times 0.7$ + $2.4 \times 0.6$ + $0.7 \times 0.5$ = 2.49

[그림 12] cell s에서의 할당계획 Matrix

[그림 12]의 할당한 결과를 분석해 보면, 원칙 1에 따라 각각의 SAM 기지는 격추확률이 낮은 항공기보다는 높은 항공기에 유도탄을 할당함으로써 격추대수의 기대치가 가장 높아지고, 원칙 2에 따라 동일한 아군자산을 공격하는 적 항공기에 대해서는 격추확률이 높은 SAM 기지부터 우선적으로 유도탄을 할당하되, 원칙 3에 따라 현재까지 격추확률이 낮은 적 항공기에 할당함으로써 격추대수가 최대화된다는. 원칙 3은 동일한 아군자산을 공격하는 각각의 항공기에 대한 격추대수를 최대화하는 방법으로서, 동일한 아군자산을 공격하는 항공기 A와 B의 현재까지 격추확률을 각각  $a, b(a < b, 0 \leq a, b \leq 1)$ 로 하고, 동일한 아군자산을 공격하므로 동일한 격추확률  $K$ 를 갖는다고 할 때, 각각의 항공기에 대해 유도탄을 할당시 격추확률 증가량은 <표 5>와 같다.

<표 5> 동일경로상 적 항공기 격추확률 증가량

구 분	적 항공기 A	적 항공기 B
현재까지 격추확률	$a$	$b$
유도탄 할당시 격추확률	$1 - (1-a)(1-K)$ $= 1 - (1-(a+K)+aK)$ $= a+K-aK$	$1 - (1-b)(1-K)$ $= 1 - (1-(b+K)+bK)$ $= b+K-bK$
격추확률 증가량	$(a+K-aK) - a$ $= (1-a)K$	$(b+K-bK) - b$ $= (1-b)K$

$a < b$ 이고  $0 \leq a, b \leq 1$ 이므로,  $(1-a)K > (1-b)K$ 가 되므로 항공기 A에 유도탄을 할당했을 때의 격추확률 증가량이 항공기 B에 할당했을 때보다 크다. 따라서 현재까지의 격추확률이 가장 낮은 항공

기에 유도탄을 할당하였을 때 격추확률 증가량이 가장 크다.

이 같은 할당계획은 단순한 원칙으로 신속한 계산이 가능하며 높은 격추대수 기대치를 얻을 수 있다.

## 5. 모형실험 및 결과분석

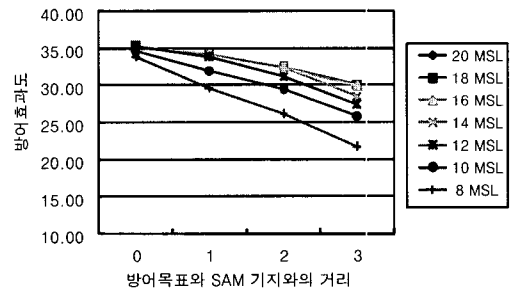
### 5.1 민감도 분석

본 절에서는 상황별로 SAM의 위치를 변화시켰을 때 격추대수의 변화를 분석하였다.

#### 5.1.1 1개 아군자산, 1개 SAM 기지 방어

(사거리 5, 최대 격추확률 0.8, 최소 격추확률 0.6)

8대의 적항공기가 공격하는 1개의 아군자산에 대해서 1개의 SAM 기지로 방어할 경우 [그림 13]에서 보는 바와 같이 유도탄 보유수량에 상관없이 SAM이 방어자산에 위치했을 때 방어효과도가 가장 높았다.



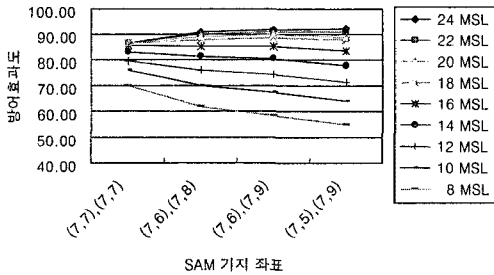
[그림 13] 1개의 방어자산을 1개의 SAM으로 방어할 경우 유도탄 보유수량별 방어효과도

#### 5.1.2 1개 아군자산, 2개 SAM 기지 방어

(사거리 5, 최대 격추확률 0.8, 최소 격추확률 0.6)

16대의 적항공기가 공격하는 1개의 아군자산(좌표 7, 7)에 대해서 2개의 SAM 기지로 방어할 경우 [그림 14]에서 보듯이 유도탄의 수량이 18발 미만일 때는 SAM이 아군자산에 위치했을 때 방어효과도가 가장 높았으나, 유도탄의 수량이 18발 이상일 때는 아군자산에서 떨어진 곳에 위치했을 때 방어효

과도가 가장 높았다.

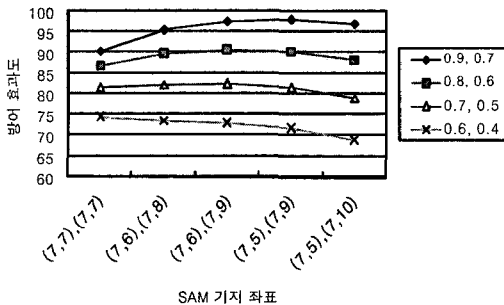


[그림 14] 1개의 방어자산을 2개의 SAM으로 방어할 경우 유도탄 보유수량별 방어효과도

### 5.1.3 SAM 격추확률 변화

(사거리 5, 유도탄 보유량 20대)

16대의 적항공기가 공격하는 1개의 아군자산(좌표 7, 7)에 대해서 2개의 SAM 기지로 방어할 경우, [그림 15]에서 보듯이 최고 및 최저 격추확률이 증가함에 따라 전체적인 방어효과도는 증가하나, 최고의 방어효과도를 보이는 지점은 격추확률이 증가할수록 아군자산과 멀어졌다.



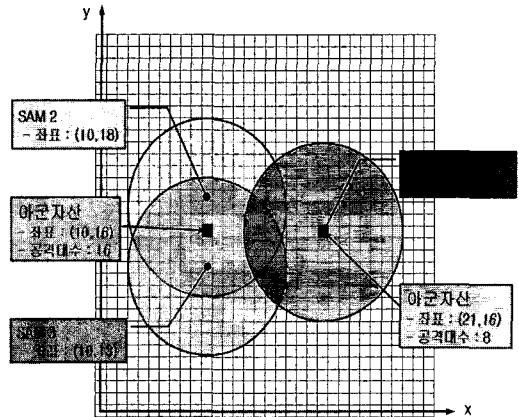
[그림 15] SAM 격추확률별 2개의 SAM 위치에 따른 방어효과도

## 5.2 축소 실험 및 분석

### 5.2.1 2개 아군자산, 3개 SAM 방어

좌표가 (10,16)이고 16대의 적항공기가 공격하는 아군자산과 좌표가 (21,16)이고 8대의 적항공기가 공격하는 아군자산에 대해, 사거리가 7km이며 각각 20발의 유도탄을 가진 3개의 SAM 기지에 대하여 배치위치를 구한 결과 [그림 16]에서 보듯이 좌표

(10,13), (10,18), (21,16)에 각각 배치되었으며, 이때 방어효과도는 190.880이었다.

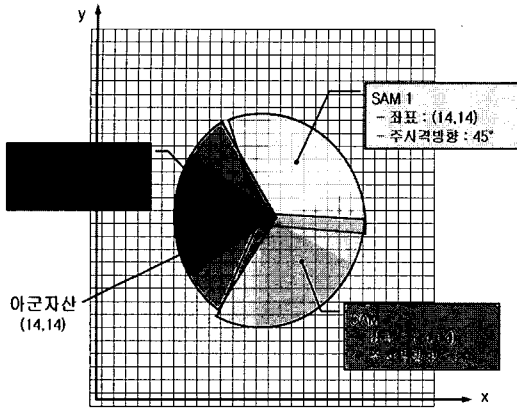


[그림 16] 2개의 아군자산을 3개의 SAM으로 방어할 경우 배치결과

16대의 적항공기가 공격하는 아군자산에는 2개의 SAM이 배치되었으며, 8대가 공격하는 아군자산에는 1대의 SAM이 배치되었다. 따라서 방공우선순위가 높은 곳에 집중 배치하는 중점방어 및 아군자산에 근접할수록 사격량이 증가하는 중심방어, 적이 공격하기 이전에 교전할 수 있도록 하는 조기교전의 원칙이 수리적으로 구현되었음을 알 수 있다.

### 5.2.2 1개 아군자산, 원호모양의 교전공간을 가진 3개 SAM 방어

좌표가 (14,14)이고 8대의 적항공기가 공격하는 아군자산에 대해, 사거리가 8km이며 120°원호모양의 교전공간을 가지며 각각 8대의 유도탄을 보유한 3개의 SAM 기지에 대하여 배치위치를 구한결과, [그림 17]에서 s보듯이 좌표 (14,14)에 주사격방향 45°, 좌표 (15,14)에 주사격방향 180°, 좌표 (14,14)에 주사격방향 135°로 각각 배치되었으며, 이때 방어효과도는 55.4398이었다. 각각의 SAM 사각지대를 보강하는 상호지원의 원칙 및 전 방향에 대한 균등한 화력을 제공하는 균형방어의 원칙에 대한 수리적 구현이 가능하였다.



[그림 17] 1개의 아군자산을 원호모양의 교전구역을 가진 3개의 SAM으로 방어할 경우 배치 결과

### 5.3 확대 실험

본 절에서는 현실적인 규모의 배치문제로 확대하여 실험하여 모형의 우수성을 입증하였다.

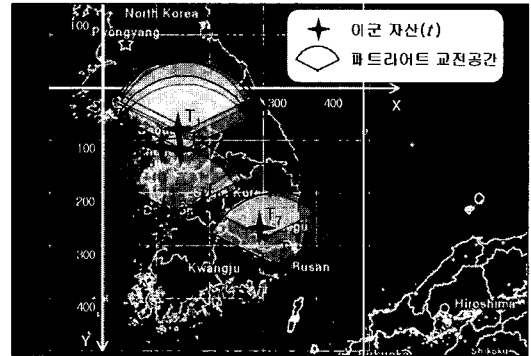
#### 5.3.1 실험 계획

실제 SAM을 배치하는데 있어서는 배치위치에서의 격추확률이 가장 중요하나, 시계 및 장비를 설치할 수 있는 적정 공간, 진입로 등 많은 부분들이 고려되어야 한다. 본 모형에서는 격추확률만이 고려되므로 모형에서 구한 위치는 실제 배치가 곤란할 수 있다. 따라서 최대의 격추확률을 얻을 수 있는 위치를 찾아내고(1단계), 이곳에 인접한 배치 가능한 후보지 중에서 최적위치를 찾는(2단계) 방법이 배치하는데 있어 효과적이다. 따라서 본 모형에 대해 <표 6>과 같이 2단계로 구분하여 실험한다.

<표 6> 단계별 확대실험 계획

구분	내용
1단계	후보지를 선정하지 않고 전체 공간을 해집단으로하여 근사 최적해를 찾기 위한 실험으로서, 해공간은 민감도 분석결과를 이용하여 아군자산의 상하좌우 64km 이내로 축소
2단계	1단계 실험의 해에서 인접 후보지를 각각 2~3개 선정하여 이들 중에서 다시 배치 결과를 산출

모형의 실험은 [그림 18]과 같이 한반도의 상황을 가정하며, 적항공기는 아군자산을 중심으로 75%는 북쪽에서, 25%는 남쪽에서 진입한다. 또한, 기 배치되어 있는 전력을 포함한 통합방공차원의 배치 여부를 확인할 수 있도록 가상의 전력을 배치하여 실험한다.



[그림 18] 모형실험 상황도

#### 5.3.1.1 공격계획

북한은 아군의 10개의 아군자산에 대해 항공기 130대로 공격한다. 아군의 아군자산 및 위치, 적의 공격 항공기 대수는 <표 7>과 같이 가정한다.

<표 7> 아군자산별 공격 항공기 대수

아군자산	위치(y좌표, x좌표)	공격 항공기 대수
T <sub>1</sub>	(87, 144)	24
T <sub>2</sub>	(123, 145)	16
T <sub>3</sub>	(118, 133)	12
T <sub>4</sub>	(30, 288)	8
T <sub>5</sub>	(240, 118)	10
T <sub>6</sub>	(220, 187)	16
T <sub>7</sub>	(273, 291)	12
T <sub>8</sub>	(350, 139)	8
T <sub>9</sub>	(355, 293)	12
T <sub>10</sub>	(348, 320)	12
10개		130대

#### 5.3.1.2 방어계획

16발의 유도탄을 보유한 패트리엇 10개 포대가

기 배치된 것으로 가정하고, 유도탄 30발을 각각 보유한 SAM 15개 기지로 방어한다. 패트리엇 사거리는 140km, SAM의 사거리는 40km로 가정한다. 패트리엇 포대의 위치는 고정시키고 SAM의 위치만을 변화시킨다.

5.3.1.3 실험조건

적 항공기에 대한 SAM의 최대 격추확률은 0.8, 최소 격추확률은 0.5로 가정한다. 유전자 집단의 크기는 100, 세대수는 200, 돌연변이 확률은 0.01, 교배 확률은 0.6으로 설정하여 실험한다.

5.3.2 1단계 실험결과 및 분석

1단계 실험 결과 <표 8>에서 보는 바와 같이 세대가 진행됨에 따라 목적함수 값인 방어효과도가 지속적으로 증가하여, 최종 200세대에서는 총 12521.6의 방어효과도를 보였다.

<표 8> 세대별 방어효과도

세대	방어효과도	세대	방어효과도	세대	방어효과도
0	11618.8	70	12281.7	140	12395.7
10	11961.0	80	12302.6	150	12395.7
20	12014.5	90	12302.6	160	12484.4
30	12037.1	100	12330.6	170	12484.4
40	12236.2	110	12395.7	180	12484.4
50	12281.7	120	12395.7	190	12521.6
60	12281.7	130	12395.7	200	12521.6

각각의 아군자산에 대한 SAM 배치 결과는 <표 9>와 같다. 아군자산을 공격하는 적 항공기의 대수에 따라 공격대수가 많은 곳은 2개의 SAM이 배치되었다.

5.3.3 2단계 실험결과 및 분석

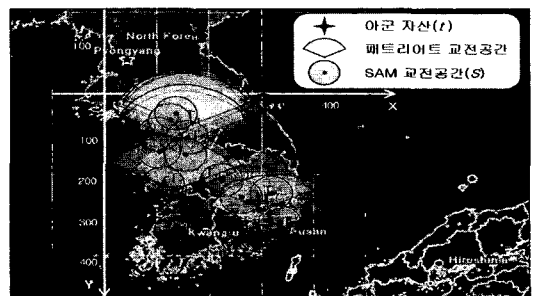
1단계 실험결과 선정된 배치지점의 인근에 2배수의 후보지를 선정하였으며, 이에 대하여 해를 구한 결과는 <표 10> 및 [그림 19]와 같다.

<표 9> 1단계 실험 결과

아군 자산	위치 (y좌표, x좌표)	적 항공기 공격 대수	배치 결과
T <sub>1</sub>	(87, 144)	24	(33, 83), (48, 125)
T <sub>2</sub>	(123, 145)	16	(121, 132), (168, 135)
T <sub>3</sub>	(118, 133)	12	(96, 102), (153, 70)
T <sub>4</sub>	(30, 288)	8	(84, 321), (41, 335)
T <sub>5</sub>	(240, 118)	8	(232, 89)
T <sub>6</sub>	(220, 187)	16	(182, 237)
T <sub>7</sub>	(273, 291)	12	(218, 311), (250, 271)
T <sub>8</sub>	(350, 139)	8	(336, 124),
T <sub>9</sub>	(355, 293)	12	(357, 284),
T <sub>10</sub>	(348, 320)	12	(305, 313)

<표 10> 2단계 실험 후보지 위치 및 배치 결과

방어 목표	적 항공기 대수	1단계 실험 결과	2단계 실험	
			후보지 위치	실험 결과
T <sub>1</sub>	24	(33, 83) (48, 125)	(70, 121), (62, 126) (55, 124), (57, 135)	(70, 121) (57, 135)
T <sub>2</sub>	16	(121, 132) (168, 135)	(110, 155), (119, 163) (153, 130), (152, 153)	(110, 155) (152, 153)
T <sub>3</sub>	12	(96, 102) (153, 70)	(101, 104), (90, 116) (133, 98), (140, 103)	(101, 104) (140, 103)
T <sub>4</sub>	8	(41, 335) (84, 321)	(20, 294), (33, 302) (60, 297), (54, 312)	(33, 302)
T <sub>5</sub>	8	(232, 89)	(225, 115), (245, 120)	(225, 115)
T <sub>6</sub>	16	(182, 237)	(207, 205), (211, 226)	(211, 226)
T <sub>7</sub>	12	(218, 311) (250, 271)	(230, 309), (239, 320) (260, 265), (226, 283)	(239, 320) (260, 265)
T <sub>8</sub>	8	(336, 124)	(310, 120), (338, 137)	(338, 137)
T <sub>9</sub>	12	(357, 284)	(355, 273), (350, 299)	(355, 273) (350, 299)
T <sub>10</sub>	12	(305, 313)	(315, 326), (330, 348)	(330, 348)



[그림 19] 2단계 실험의 근사 최적배치 결과

1단계 결과와 마찬가지로 적 항공기가 많이 공격하는 아군자산에는 2개의 SAM이 배치되었다.

공격규모에 따라 배치기지가 집중되어야 하는 중점방어의 원칙 및 아군자산에 근접할수록 사격량이 증가하는 중심방어의 원칙, 사각지대를 인접 부대에서 보강하는 상호지원의 원칙 등 정성적인 SAM 배치원칙이 계량화되어 반영되었다.

실험결과를 통해 본 모형이 적 및 아군의 규모 그리고 정성적인 SAM 배치원칙을 반영하여 효과적인 배치를 할 수 있음을 입증하였다.

## 6. 결 론

본 연구에서는 적 항공기의 공격으로부터 최대의 방어효과를 이룰 수 있도록 SAM을 배치하는 보다 현실적인 모형을 제시하였다. 항공기와 SAM의 규모를 반영할 수 있는 새로운 지역담당모형(Set Covering Model) 및 공간상의 항공기 및 SAM을 표현하는 방법, 항공기 속도 벡터 및 횡단속도를 이용한 격추확률을 제시하였다. 이에 따라 정성적인 SAM 배치원칙을 수학적으로 계량화하여 적용이 가능하였다.

모형의 해법으로 배치문제는 대규모의 문제에 적합한 유전자 알고리즘을, 유도탄 할당문제는 신속하게 계산이 가능한 휴리스틱 알고리즘을 이용한 복합-휴리스틱 알고리즘을 제시하였다.

또한, 모형을 전산화하여 구현함으로써 신속한 계산이 가능하며 변수(SAM 위치, 수량, 고유의 격추확률 등)간 상관관계 분석이 가능하였다.

따라서 본 모형을 SAM 배치문제에 적용시 보다 현실적이고 계량적인 평가가 가능하여 방공작전 효과 향상에 기여할 것으로 판단된다. 또한 규모를 포함하는 일반적인 지역담당문제에도 적용이 가능하다.

본 연구에서는 적 항공기를 표현하기 위하여 단위면적 당 적항공기의 대수를 이용하였으나 이를 보다 현실적으로 표현할 수 있는 방법에 대한 연구가 필요하다. 또한, SAM의 교전공간에 있어서는 실제로 지형에 의한 차폐로 교전공간은 축소되므로 전지도도를 이용한 적용방법에 대한 연구가 필요하다.

## 참 고 문 헌

- [1] Baek, J.W., *A Study on Optimal Allocation Model for Additive SAM-X by Using Simulated Annealing Algorithm*, MS Thesis, National Defense University, Seoul, Korea, 2004.
- [2] Garey, M.R. and Johnson, D.S., *Computers and Intractability : A Guide to the Theory of NP-Completeness*, W.H. Freeman and Co., New York, 1979.
- [3] Jung, C.Y., *A Study on Optimal Allocation for PATRIOT by Using Integer Programming*, MS Thesis, National Defense University, Seoul, Korea, 2005.
- [4] Kim, S.B., *A study on Optimal Allocation Model for SAM-X by using Set Covering Model*, MS Thesis, National Defense University, Seoul, Korea, 2003.
- [5] Kim, S.I., *Optimal Location of Military Facilities-Reliability Maximizing Set Covering Model and its Algorithm*, Preceeding of Symposium, Korea Military Academy, Seoul, Korea, 1987.
- [6] Lee, J.Y. and K.H. Kwak, *The Optimal Allocation Model for SAM Using Multi-Heuristic Algorithm : Focused on Theater Ballistic Missile Defense*, Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers, *IE Interfaces*, Vol.21. No.3(2008), pp.262-273.
- [7] Oh, W.M., *Optimal Deployment Strategy of Patriot Missile*, MS Thesis, Korea University, Seoul, Korea, 1993.
- [8] Oh, J.S., *On a Set Covering Model to Maximize Reliability*, Journal of Military Operations Research Society of Korea, 1982.
- [9] Republic of Korea Air Force, *Air Force Manual 0-2-5(Air Defense Artillery Operations)*, Republic of Korea Air Force, Daejeon, Korea, 2000.
- [10] Shooman, M.L., *Probabilistic Reliability, An Engineering Approach*, McGraw-Hill Book Co., Inc., New York, 1968.
- [11] Wall, Matthew, GAlib : Matthew's Genetic Algorithms Library web site, <http://lancet.mit.edu/ga>.