

격추확률 최대화를 위한 미사일 최적배치 문제

정치영* · †이재영** · 이상헌**

An Optimal Missile Allocation Problem for Maximizing Kill Probability

Chi-Young Jung* · †Jae-Yeong Lee* · Sang-Heon Lee**

■ Abstract ■

In this paper, we proposed new solution procedure of the air defense missile allocation problem. In order to find the optimal location of missile, we formulated a simple mathematical model maximizing the kill probability of enemy air threat including aircraft and missile. To find the Kill probability, we developed a new procedure using actual experimental data in the mathematical model. Actual experimental data mean real characteristic factor, which was acquired when the missile had been developed through missile fire experiment. The result of this study can offer practical solution for missile allocation and the methodology in this study can be used to the decision making for the optimal military facility allocation.

Keywords : Missile Allocation Problem, Kill Probability, Experimental Data

1. 서론

미래전은 전쟁초기의 제공권 장악과 적의 공중 공격에 대한 방어력이 전쟁의 승패를 좌우하는 중

요한 요인으로 인식되고 있다. 특히 항공 전력은 걸프전 이후 코소보전과 아프간전 그리고 최근의 이라크전에 이르기까지 전승의 결정적 요인으로 그 중요성이 입증된 바 있다. 이와 같은 양상을 볼

논문접수일 : 2009년 10월 27일 논문수정일 : 2010년 03월 07일 논문게재확정일 : 2010년 03월 10일

* 국방대학교 운영분석과 박사과정

** 국방대학교 운영분석학과

† 교신저자

때 한반도와 같이 남·북 전장중심이 짧은 상황 하에서 북한의 대량 항공기 및 전술탄도탄 공격에 대한 방어는 전쟁초기의 제공권 및 전쟁주도권 장악에 막대한 영향을 미칠 것으로 예상되고 있다. 따라서 현재 우리 군에서도 전쟁초기 공중우세를 확보하기 위해 노후 방공무기 체계인 나이키를 패트리엇으로 대체하는 사업을 진행 중에 있다.

본 연구의 목적은 패트리엇과 같은 고가의 첨단무기가 가장 효율적으로 운용되어질 수 있도록 하기 위한 배치위치 결정 문제에 있어서 경험적이고 주관적인 요소들을 배제한 실질적인 방법을 제시하는데 있다.

본 연구에서는 패트리엇을 새롭게 배치할 수 있는 입지 후보지 중 북한 항공기와 스커드 지대지 미사일에 대한 격추확률을 최대화하는 지역을 선정할 수 있는 수리모형을 설계하였으며, 패트리엇 개발시 축적된 명중확률 자료를 활용하여 적 위협별 최적 배치위치를 결정하는 방법을 제시하였다. 수리모형은 최대한 단순하게 설계하였으며, 패트리엇 무기체계의 성능, 특성을 최대한 현실화할 수 있도록 적 위협별 격추확률을 산출하였다.

기존의 유도탄부대 배치에 관한 연구에서는 지역담당 모형과 병렬구조 신뢰도개념을 적용하여 복잡한 수리모형을 설계함으로써 그에 따라 Branch and Bound, Simulated Annealing, Genetic Algorithm 등의 해법절차가 필요하였다. 그러나 본 연구에서는 수리모형을 0-1 IP로 설계함으로써 별도의 해법절차가 필요 없으며 기존의 방공무기체계가 운용되어지고 있는 상태 하에서 특정 입지후보지 중 아군지역의 목표물을 공격하는 적 항공기와 스커드 미사일을 격추시킬 수 있는 격추확률을 최대화 시키는 단순한 수리모형을 통해 제한된 수의 지역을 선정하는 방법을 제시하였다. 이와 같은 수리모형과 축적된 명중확률 실험 자료를 활용한 배치위치 결정 방법론은 패트리엇 뿐만 아니라 추후 전력화 될 차세대 방공 무기체계의 배치문제에도 쉽게 적용하여 신뢰성 있는 계량화된 값을 제공함으로써 배치문제 의사결정에 도움이 될 수 있을 것

이다.

본 연구의 구성은 제 2장에서 기존연구를 고찰하였고, 제 3장에서 격추확률을 최대화하는 수리모형을 설계하였으며, 제 4장에서 적 공격에 대한 방어형태별 격추확률 산출절차를 제시하였고, 제 5장에서 실험을 통해 최적 입지를 선정하였으며, 제 6장에서는 결과분석 및 타 무기체계에 대한 적용의 유용성을 제시하였다.

2. 기존연구 고찰

2.1 전체 지역담당 모형

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.

$$\begin{aligned} \text{Min } Z &= \sum_{j=1}^n C_j x_j & (1) \\ \text{subject to } & \sum_{j=1}^n A_{ij} x_j \geq 1 \\ & x_j = 0 \text{ or } 1 \\ & A_{ij} = 0 \text{ or } 1 \\ & i = 1, \dots, m, \quad j = 1, \dots, n \end{aligned}$$

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 결정 변수 x 도 설비가 후보지 j 에 배치되면 1, 그렇지 않으면 0으로써 제약식은 고객 i 가 어떤 설비로부터든지 최소한 한번 이상 담당되어야 함을 의미한다.

2.2 부분 지역담당 모형

이 모형은 전체 지역담당모형과 반대의 개념으로 개발 되었다. 즉 유용 가능한 설비의 한계를 제약식으로 하고 담당되는 고객의 수를 최대화하는

것으로써 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned}
 \text{Max } Z &= \sum_{i=1}^m (\max A_{ij} x_j) & (2) \\
 \text{subject to } & \sum_{j=1}^n x_j \leq Y \\
 & x_j = 0 \text{ or } 1 \\
 & A_{ij} = 0 \text{ or } 1 \\
 & i = 1, \dots, m, \quad j = 1, \dots, n
 \end{aligned}$$

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

2.3 기존 연구 분석

김성인[1]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.

$$\begin{aligned}
 \text{Max } Z &= \sum_{i=1}^m 1 - \prod_{j=1}^n (1 - p_{ij})^{x_j} & (3) \\
 \text{subject to } & \sum_{j=1}^n C_j x_j \leq \bar{B} \\
 & \bar{l}_j \leq x_j \leq \bar{u}_j, \text{ 정수, } j = 1, \dots, n \\
 & \bar{l}_j : \text{하한 대수,} \\
 & \bar{u}_j : \text{상한 대수} \\
 & \bar{B} : \text{예산 한도액} \\
 & i = 1, \dots, m, \quad j = 1, \dots, n
 \end{aligned}$$

오제상 외[4]는 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 설비들로부터 중복 담당 되는 것을 고려하기 위해 병렬구조 신뢰도개념을 도입하였다. 제한된 설비 수 K 를 제약조건으로 각 고객의 중요도에 따라 상대적 가중치를 고려하여 식 (4)와 같이 표현하고 경험적 기법으로 최적의 설비 위치를 결정하였다.

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

김승빈 외[2]는 패트리엇 배치문제에서 북한의 스커드 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 스커드 위협까지 고려하여 중요시설 보호확률을 각각 산출하고 가중치를 부여하여 식 (5)와 같이 표현하였으며, 해법절차로 분지 및 한계기법을 적용하였다.

$$\text{Max } Z = \sum_{i=1}^I \sum_{l=1}^L [1 - \prod_{j=1}^J \prod_{k=1}^K 1 - (w_m p_{ijkl_m} + w_s p_{ijkl_s})^{x_{jk}}] & (5)$$

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

이상현[5]은 패트리엇 추가배치문제에서 적 공중위협 j 에 대해 중요시설 i 가 k 후보지에 θ 방향으로 설치된 l 유형 장비로부터 보호받을 수 있는 확률 $p_{ijkl\theta}$ 로 구분하였을 때, 중요시설 i 가 j 위협으로부터 모든 장비들에게 보호받을 수 있는 확률을 최대화하는 모형을 병렬구조 신뢰도 개념을 적용, 식 (6)과 같이 모형화하고 Simulated Annealing 알고리즘을 이용, 해를 유도하였다.

$$\begin{aligned}
 \text{Max } Z &= \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n 1 - \prod_{k \in K(l)} \prod_{l=1}^L \prod_{\theta \in \Theta(k,l)} (1 - p_{ijkl\theta})^{x_{kl\theta}} \quad (6) \\
 \text{s.t. } & \sum_{k \in K(l)} \sum_{\theta \in \Theta(k,l)} x_{kl\theta} \leq B_l, \text{ for } 1 \leq l \leq L \\
 & \sum_{l=1}^L \sum_{\theta \in \Theta(k,l)} x_{kl\theta} \leq 1, \text{ for } 1 \leq k \leq K \\
 & x_{kl\theta} = 0 \text{ or } 1, \text{ for } 1 \leq k \leq K, \\
 & 1 \leq l \leq L, 1 \leq \theta \leq \Theta
 \end{aligned}$$

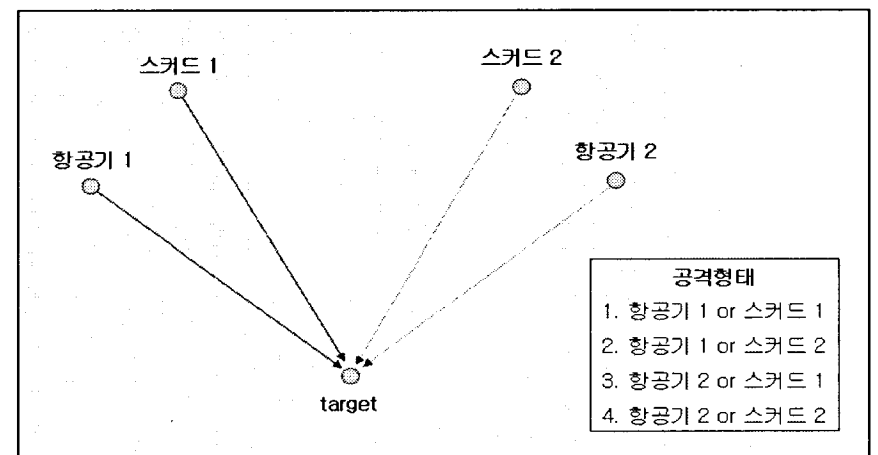
이와 같은 기존 배치모형은 목적함수가 비선형으로 최적 배치 위치를 결정하기 위한 별도의 해법 절차가 필요하며, 모형에 사용된 적 위협 담당확률 또는 고객을 담당하는 확률을 산출하는데 있어 실제 실험데이터로부터 얻은 값을 사용하지 않아 산출한 최적 입지 선정에 현실성이 다소 부족하다 할 수 있다.

3. 최적배치 수리모형의 구축

본 연구의 최적배치 수리모형은 유도탄 개발 시 축적한 격추율 자료를 활용할 수 있고 기존의 복잡

한 수리모형을 최대한 단순하게 설계한 모형이며, 적 지역에 위치한 비행기와 스킨드기지에서 아군 Target에 대해 항공기와 스킨드로 공격한다고 가정 할 때 적 항공기 및 미사일을 요격시킬 수 있는 격추확률을 최대로 하는 최적의 배치 위치를 결정하는 모형이다.

패트리엇 무기체계는 특성상 항공기와 스킨드 위협을 동시에 방어할 수 있으며, 적은 <그림 1>과 같이 Target을 공격하기 위해 항공기와 스킨드 미사일로 동시에 공격하지 않을 것으로 판단된다. 따라서 예상되는 공격형태(항공기 또는 스킨드)에 따라 우선순위 즉, 가중치를 부여하면 공격형태별 격추확률을 각각 계산할 수 있다. 따라서 지역 j 에 위치한 패트리엇 포대가 위협 i 를 격추시킬 수 있는 확률인 p_{ij} 는 항공기와 스킨드 미사일에 대한 격추확률을 각각 산출하여 그 합으로 나타낼 수 있다.



<그림 1> Target에 대한 적 공격양상

지역 j 에 위치한 패트리엇가 아군지역 Target을 공격하기 위해 진입하는 항공기 i_a (스킨드 i_s)를 격추시킬 확률을 $p_{i,j}(p_{i_s,j})$ 라고 하면 지역 j 에 위치한 패트리엇가 적 위협을 격추시킬 수 있는 확률 p_{ij} 는 항공기(스킨드) 위협에 대한 가중치 $w_a(w_s)$ 를 이용해 식 (7)과 같이 수식화 할 수 있다.

$$p_{ij} = w_a p_{i_a,j} + w_s p_{i_s,j} \quad (7)$$

결정변수 x_j 는 지역 j 에 패트리엇를 설치하면 1, 그렇지 않으면 0으로 $\sum_{j=1}^J x_j$ 는 총 설치 대수가

되며, $\sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I (w_a p_{i,j} + w_s p_{i,j}) x_j$ 는 지역 j 에 설치된 패트리어트 포대가 위협 i 을 격추시킬 수 있는 격추확률의 합이 된다. 이때, j 는 $j = 1, \dots, J$ 개 입지 후보지를 i 는 $i = 1, \dots, I$ 개의 적 위협을 의미한다.

따라서 목적함수는 이 격추확률의 합을 최대화 하는 것이며 제약식은 설치 가능한 패트리어트 포대 수(N)가 제한되므로 본 모형은 식 (8)과 같이 수식화 할 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{Max } Z &= \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I (w_a p_{i,j} + w_s p_{i,j}) x_j & (8) \\ \text{subject to } & \sum_{j=1}^J x_j \leq N \\ & x_j = 0 \text{ or } 1, \quad i = 1, \dots, I \quad j = 1, \dots, J \\ & 0 \leq p_{i,j} = w_a p_{i,j} + w_s p_{i,j} \leq 1, \\ & w_a + w_s = 1 \end{aligned}$$

여기서 결정변수 x 는 Binary variable로 수리모형은 각 입지 후보지에 정수단위 ($x_j \leq 1$)의 설비배치를 결정할 수 있는 IP Model 이 된다.

새롭게 전력화되는 유도탄 부대 배치 시 고려해야 할 점은 배치되는 유도탄 부대는 독립적으로 배치되어 작전을 수행하는 것이 아니라는 것이다. 유도탄 부대는 상호지원, 중점방어, 중첩방어, 균형방어, 조기교전, 중심방어 등 인접부대의 방어효과를 고려한 배치원칙에 배치되어 임무를 수행한다. 따라서 본 연구에서의 배치문제는 새롭게 배치될 예정인 패트리어트 무기체계만을 고려하는 문제가 아니라, 대항공기 임무로 기존의 호크무기체계, 대미사일 임무로는 주한미군의 패트리어트 포대가 운용되어지고 있는 상태 하에서 새로운 패트리어트 무기체계를 추가 배치하는 문제이므로 식 (7)을 식 (9)와 같이 수정 할 수 있다.

$$p_{i,j} = w_a (p_{i,j} + p_{i,h}) + w_s (p_{i,j} + p_{i,u}) \quad (9)$$

여기에서 $p_{i,h}$ ($p_{i,u}$)는 지역 j 에 배치된 패트리어트 포대에 인접한 호크포대 h (미 패트리어트 포대

u)가 적 항공기 i (스커드 미사일 i_s)를 격추시키는데 기여할 수 있는 확률을 의미한다.

또한 입지 후보지를 선정한 후 그 지역에서의 격추확률이 지휘관이 요망하는 수준을 달성할 수 있도록 지휘관이 요망하는 수준의 격추확률을 Y 라 하여 식 (10)과 같은 제약식을 추가하였다.

$$\frac{1}{I} \sum_{i=1}^I w_a (p_{i,j} + p_{i,h}) + w_s (p_{i,j} + p_{i,u}) \geq Y \quad (10)$$

따라서 최적배치 최종 모형은 식 (11)과 같다.

$$\begin{aligned} \text{Max } Z &= \sum_{j=1}^J [\sum_{i=1}^I w_a (p_{i,j} + p_{i,h}) + w_s (p_{i,j} + p_{i,u})] x_j \\ \text{subject to } & \sum_{j=1}^J x_j \leq N & (11) \end{aligned}$$

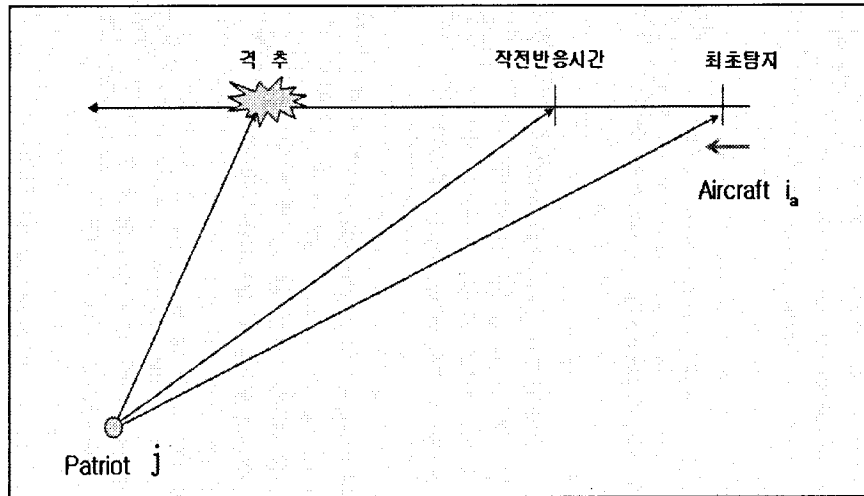
$$\begin{aligned} & \frac{1}{I} \sum_{i=1}^I w_a (p_{i,j} + p_{i,h}) + w_s (p_{i,j} + p_{i,u}) \geq Y \\ & x_j = 0 \text{ or } 1, \quad i = 1, \dots, I \quad j = 1, \dots, J \\ & 0 \leq w_a (p_{i,j} + p_{i,h}) + w_s (p_{i,j} + p_{i,u}) \leq 1, \\ & w_a + w_s = 1, \quad 0 \leq Y \leq 1 \end{aligned}$$

4. 격추확률 산출

격추확률은 패트리어트 미사일의 방어능력을 고려하여, 적 항공기에 대한 격추확률과 적 스커드 미사일에 대한 격추확률을 구분하여 산출한다.

4.1 적 항공기에 대한 격추확률 산출

우선 아군 Target을 공격하기 위해 진입하는 항공기와 그에 대응하는 SAM의 대공방어 형태를 살펴보자. <그림 2>와 같이 SAM은 적 항공기를 최초 탐지하여 작전반응시간 내에 유도탄을 발사하고 일정한 시간과 거리가 지난 어느 지점에서 격추하는 방어형태를 갖는다. 따라서 공격하기 위해 진입하는 항공기 속도에 따라 예상요격지점까지의 거리와 그 지점까지의 유도탄 비파 시간을 <표 1>과 같이 구할 수 있다.



<그림 2> SAM의 대공방어 형태

<표 1> 거리별 예상요격지점까지의 비과시간

(단위 : km)

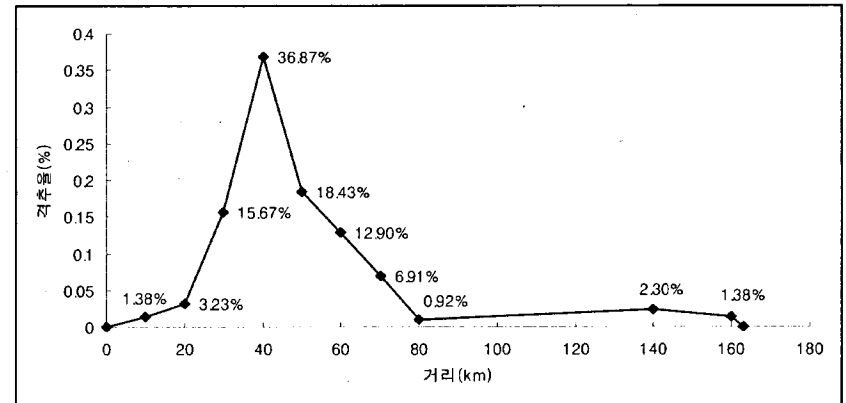
sec \ kts	100	200	300	400	500	600
10	17.5	18.0	18.5	19.1	19.6	20.1
15	26.3	27.0	27.8	28.6	29.4	30.1
20	35.0	36.1	37.1	38.1	39.1	40.2
25	43.8	45.1	46.4	47.6	48.9	50.2

<표 1>에서 보는 바와 같이 이론상으로는 적 항공기가 일정한 속도로 접근해 올 때 패트리엇 포대가 항공기를 최초로 탐지하면 작전반응시간 내에 발사가 이루어지고 포대로부터 예상요격지점까지의 유도탄 비행시간에 따라 일정한 비행거리가 지난 후 격추가 이루어진다. 이때 격추확률을 일정한 값으로 간주하는데, 무기체계 성능 시험 결과, 거리에 따라 항공기를 격추시킬 수 있는 확률은 다르게 나타나는데 본 연구에서는 보안목적상 실제 Data를 기초로 <표 2>와 <그림 3>과 같이 가상의 Data를 사용하였다.

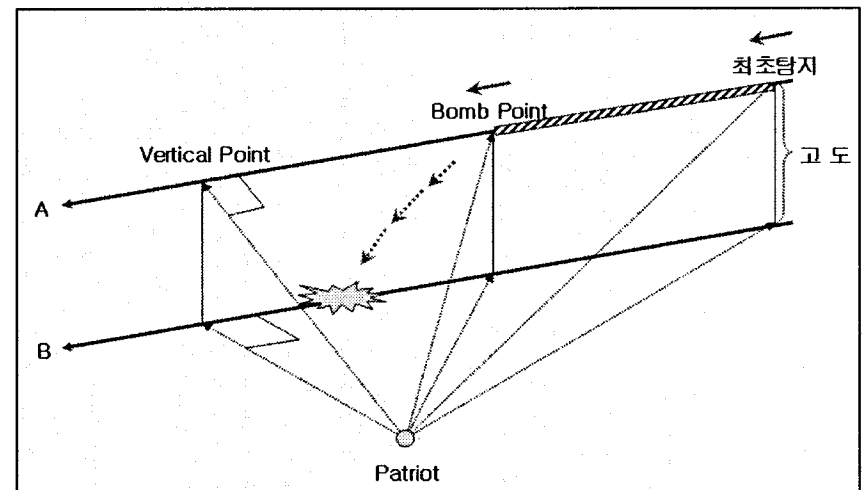
<표 2> 항공기 거리별 격추대수 및 격추확률

포대↔항공기 (km)	10이하	10~20	20~30	30~40	40~50
격추대수	3대	7대	34대	80대	40대
격추비율	1.38%	3.23%	15.67%	36.87%	18.43%
포대↔항공기 (km)	50~60	60~70	70~80	80~140	140이상
격추대수	28대	15대	2대	5대	3대
격추비율	12.9%	6.91%	0.92%	2.30%	1.38%

따라서 포대와 항공기와의 거리를 고려하지 않고 일정한 격추확률을 동일하게 부여하는 것은 타당하지 못하다는 것을 알 수 있다.



<그림 3> 항공기 거리별 격추확률

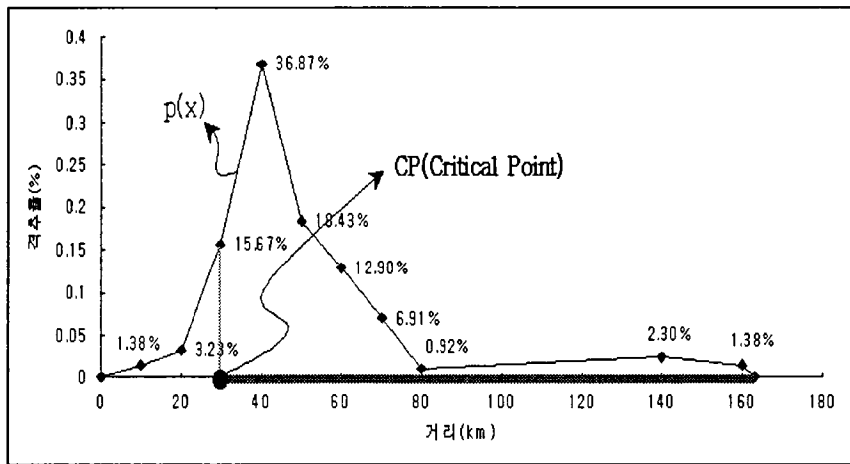


<그림 4> 적 항공기의 공중접근로 및 격추구간

<그림 4>는 공중 접근로상 적기를 격추시킬 수 있는 격추구간의 길이가 포대의 위치에 따라 다르다는 것을 보여주는데, 여기서 직선 A는 Target을 공격하기 위해 일정한 고도를 갖고 공중으로 진입하는 항공기의 공중접근로라 할 수 있다. 또한 적기가 Target을 향해 진입하는 경로에서 최초탐지지역으로부터 Target에 폭탄을 투하하기 위해 필요한 거리만큼 떨어진 지점인 Bomb Point 까지 격추구간으로 위 그림에서는 빗금 친 부분이 격추구간이 된다. 여기서 패트리엇 포대와 침투하는 적기의 위치에 따라 격추구간의 길이도 달라지므로 예를들어 포대로부터 CP(Critical Point)까지의 거리가 30km(임의의 값)라고 한다면 <그림 5>를 이용하여 격추율 함수 $p(x)$ 를 구간에 따라 정적분하면 타당한 격추확률을 구할 수 있다.

따라서 패트리엇 포대로부터 최초탐지지역(Fi-

rst Point : f)까지의 거리와 포대로부터 CP까지의 거리 d 를 이용하여 격추구간에 따른 격추확률을 식 (12)와 같이 구할 수 있다.



<그림 5> CP 선정에 따른 격추가능 구간

$$p_{i,j} = \frac{\int_{cp}^f p(x) dx}{\int_0^f p(x) dx} \times Total Kill Probability(0.678) \quad (12)$$

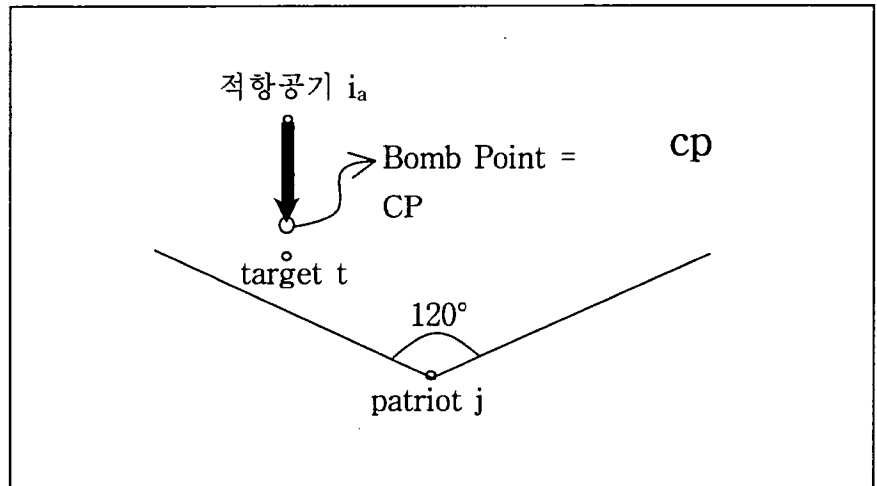
$(0 \leq CP \leq 160)$

4.1.1 CP(Critical Point)선정 방법

CP의 정확한 지점은 패트리어트 포대의 설치 위치와 Target의 위치에 따라 CASE별로 구분하여 선정할 수 있다.

CASE I 은 Target이 패트리어트 포대의 후방지역에 위치하였거나 전방에 위치했으나 탐지 및 포착이 가능한 방위각 범위 밖에 있는 경우로 <그림 6>과 같이 선정 할 수 있다.

CASE II는 Target의 위치가 패트리어트 포대의 전방이고 탐지 및 포착이 가능한 범위 내에 있을 경우로 <그림 7>과 같이 선정할 수 있다.

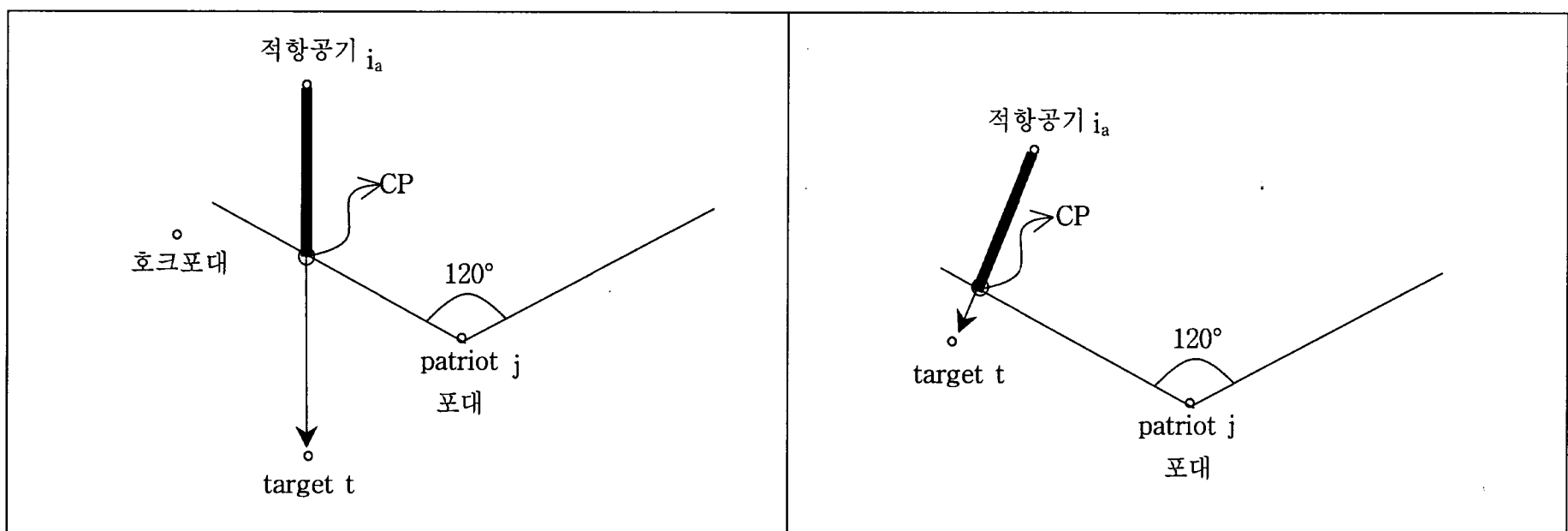


<그림 7> Target 및 포대의 위치에 따른 CP 선정 (CASE II)

4.1.2 포대로부터 CP까지의 거리 d 의 산출절차

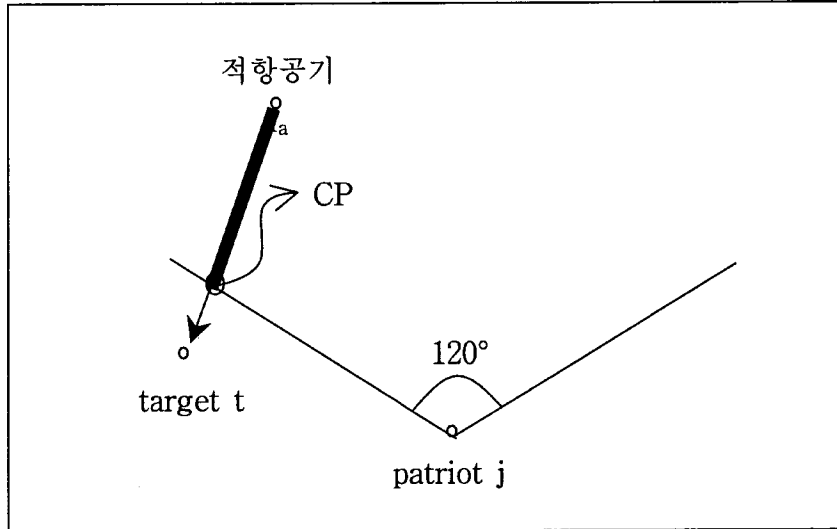
CASE I 의 경우 <그림 8>을 활용하여 다음과 같은 절차에 따라 구할 수 있다.

- 적 항공기와 Target을 연결하는 직선의 방정식을 구한다.
- 기울기가 $-\cos 30^\circ$ 이고 패트리어트 포대 위치좌표를 지나는 직선의 방정식을 구한다. (Target이 포대의 우측에 위치했을 시 기울기 $\cos 30^\circ$)
- 위 두 직선의 방정식의 교점 CP를 구한다.
- 두 직선의 교점과 패트리어트 포대 위치좌표



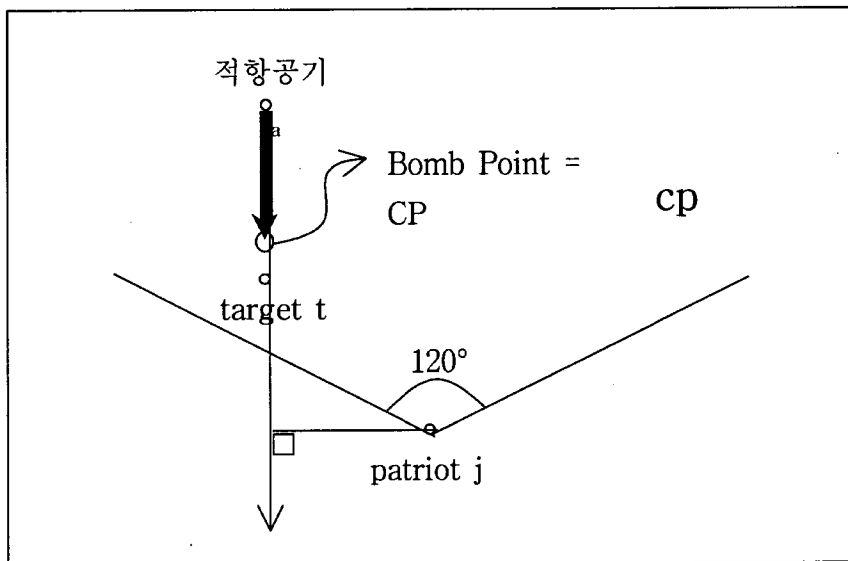
<그림 6> Target 및 포대의 위치에 따른 CP 선정(CASE I)

와의 거리(d)를 구한다.



<그림 8> 포대로부터 CP까지의 거리 산출(CASE I)

CASE II의 경우 <그림 9>를 활용하여 다음과 같은 절차에 따라 구할 수 있다.

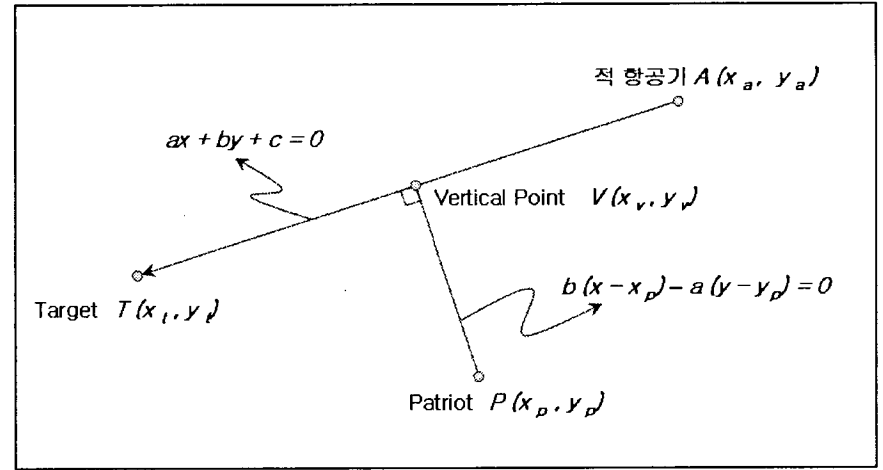


<그림 9> 포대로부터 CP까지의 거리 산출(CASE II)

- 적 항공기의 공중접근로(직선)와 패트리엇 포대와 수직을 이루는 지점(Vertical Point)을 구한다. VP를 구하는 절차는 제 4.1.3절의 절차를 따른다.
- 포대 및 Target과 VP와의 거리를 구한다.
- 패트리엇 포대와 VP와의 거리, Target과 VP와의 거리 및 Bomb Point(Target으로부터 1.5 km전방)를 이용하여 거리 d 를 구한다.

4.1.3 Vertical Point 산출절차

<그림 10>을 이용하여 식 (13)과 같은 절차에 따라 구할 수 있다.

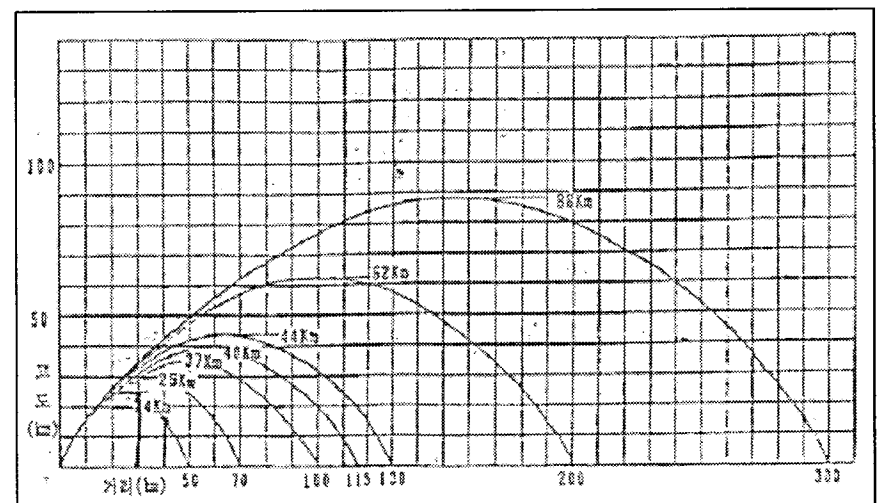


<그림 10> 직선과 직선 밖의 한점에서의 수직선

$$\begin{aligned}
 a &= y_t - y_a & (13) \\
 b &= -(x_t - x_a) \\
 c &= -(y_t - y_a)x_t + (x_t - x_a)y_t \\
 x_v &= -\frac{a}{a^2 + b^2}(ax_p + by_p + c) + x_p \\
 y_v &= -\frac{b}{a^2 + b^2}(ax_p + by_p + c) + y_p
 \end{aligned}$$

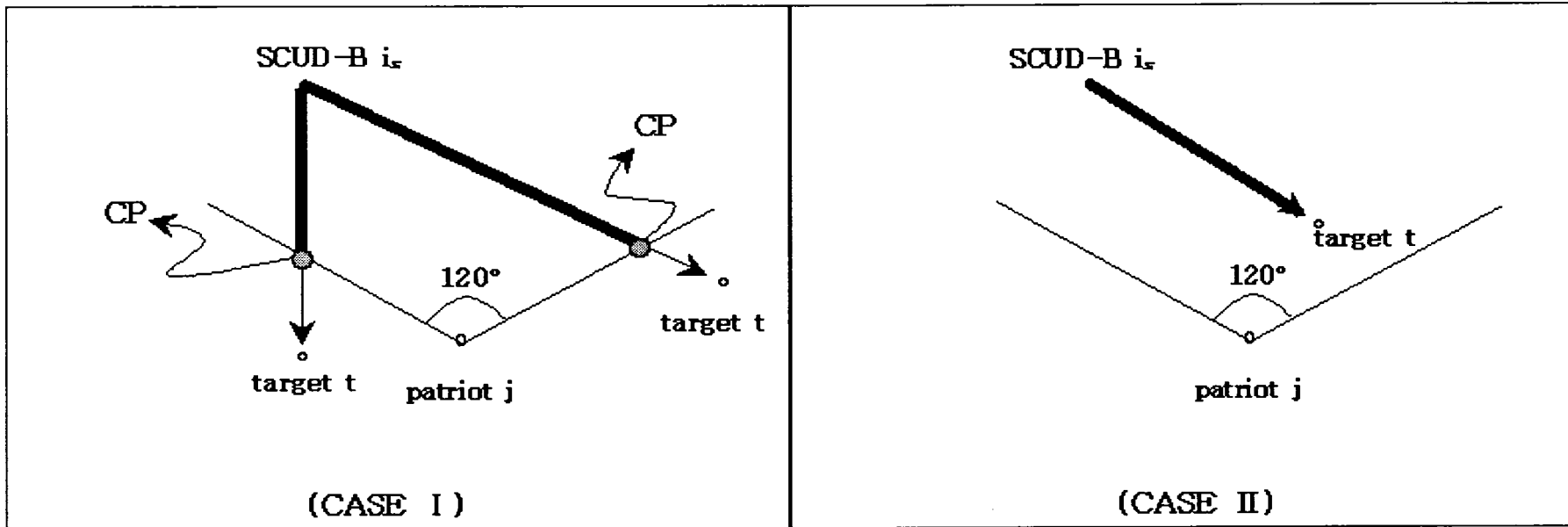
4.2 스킨드 미사일에 대한 격추확률 산출

패트리엇로 스킨드 미사일을 요격할 때 요격이 이루어지는 시점은 스킨드의 비행경로 상 하강 단계에 있으면서 속도는 최대속도를 내는 시점이다. <그림 11> SCUD-B 탄도를 보면 발사거리별 탄도의 최고 정점 고도를 지난 이후에 격추가 가능한 것이다.



<그림 11> SCUD-B 탄도

이러한 특성을 고려한 무기체계 성능 시험자료에 따르면 스킨드가 발사되어 그 비행경로에 있을 때 스킨드 미사일이 포대로부터 거리가 0~00



<그림 12> Target 및 포대의 위치에 따른 스커드 방어형태

km 이고 그때의 고도가 00~00km인 공중 공간(Kill Box)에 위치할 때만 격추확률 00%를 부여할 수 있다.

본 연구에서는 보안 목적상 가상의 Data인 거리 3~50km, 고도 10~30km의 공중공간(Kill Box)에 위치할 때 격추확률 80%를 부여하는 것으로 가정한다. 따라서 발사된 스커드 미사일이 Kill Box를 통과하는지 여부를 확인하여 일정한 격추확률을 부여하여야 하며, 포대의 설치 위치와 Target의 위치에 따라 CASE별로 구분하여 분석하여야 한다.

CASE I은 Target이 패트리엇의 탐지 및 포착 방위각 범위 밖에 있을 때 발사된 스커드 미사일이 임무가능 범위내의(CP를 지나기전) Kill Box를 통과하는 경우이고, CASEII는 발사된 스커드가 Target을 향해 비행할 때 Target이 패트리엇

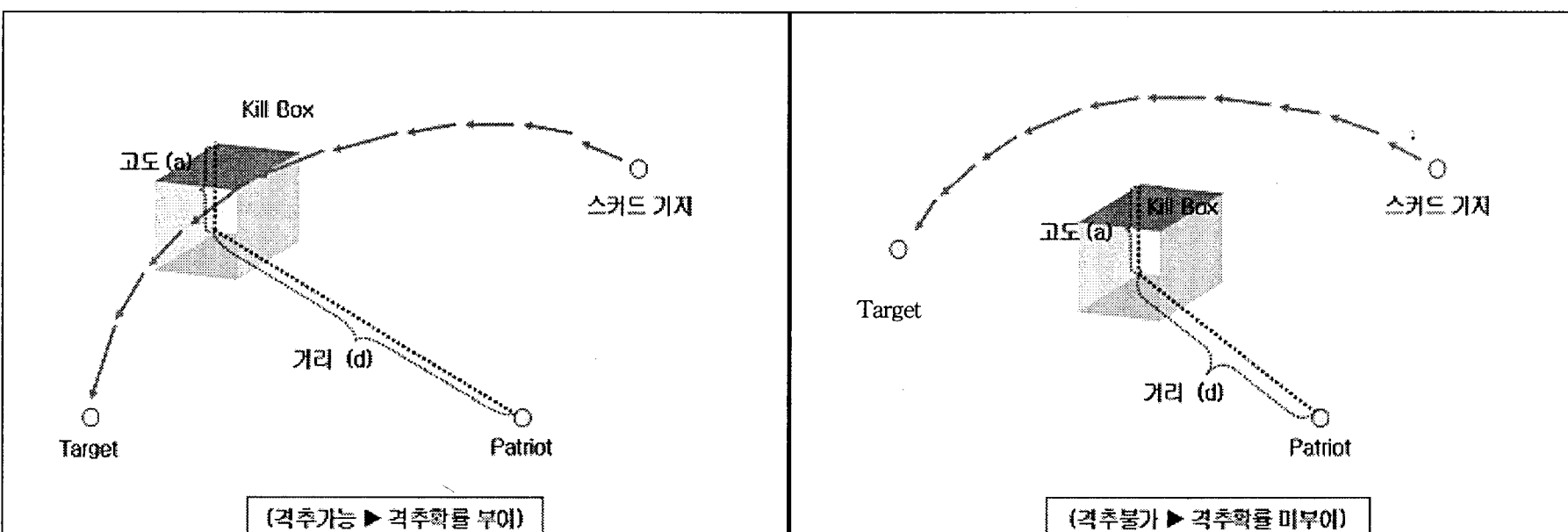
가 탐지 및 포착을 할 수 있는 방위각 범위 내에 있으면서 CP를 지나기 전에 Kill Box를 통과하는 경우로 구분 할 수 있다.

따라서 발사된 스커드 미사일이 Kill Box를 통과하면 격추가 가능한 것으로 간주하여 일정한 격추확률 80%를 부여하고 Kill Box를 통과하지 않으면 격추가 불가능한 경우로 간주하여 격추확률을 0으로 할 수 있다.

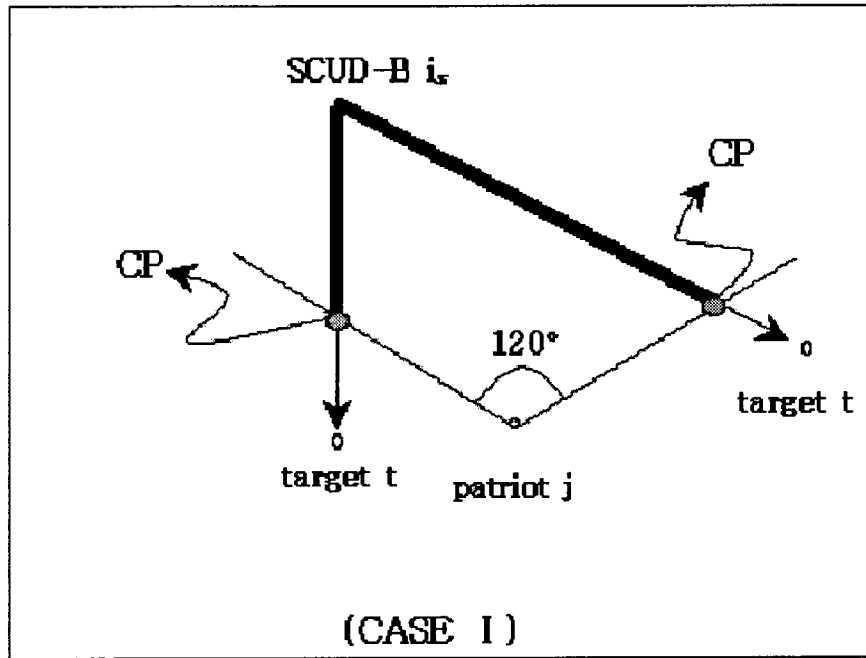
이와 같은 격추확률 부여논리는 <그림 13>으로 설명할 수 있으며, 임무가능 범위내의 Kill Box통과여부는 CASE별로 다음 절차에 의해 구할 수 있다.

4.2.1 Kill Box 통과여부 판단 절차

스커드 방어형태가 <그림 14>와 같은 CASE I의 경우는 다음과 같은 절차에 따라 판단할 수 있다.



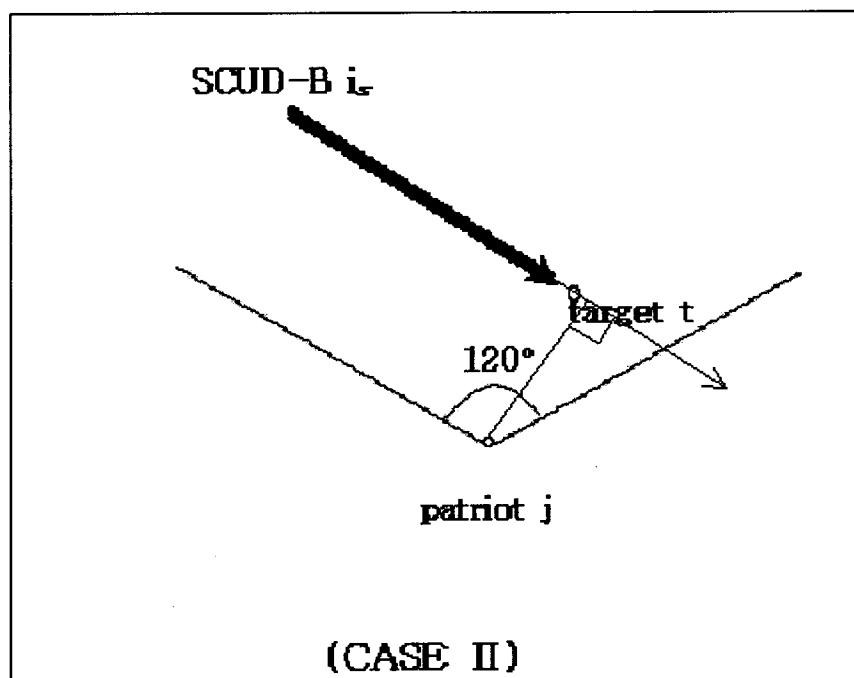
<그림 13> 스커드 미사일의 격추가능 공간



<그림 14> 스커드 방어형태 CASE I

- CP를 구한다(적 항공기 격추확률 산출절차와 동일).
- 스커드 기지에서 Target까지 미사일의 비행 궤적 포물선의 방정식을 구한다. 절차는 제 4.2.2절을 따른다.
- Target으로부터 CP까지의 거리 d 를 구한다.
- CP의 고도 a 를 구한다. 절차는 제 4.2.2절을 따른다.
- 스커드 미사일이 CP를 지나기전 Kill Box를 통과하는가 여부를 판단한다.

CASE II는 다음의 절차에 따라 판단할 수 있다.



<그림 15> 스커드 방어형태 CASE II

- VP를 구한다(적 항공기 격추확률 산출절차와 동일).
- 패트리엇 포대와 VP와의 거리를 구한다.
- Target과 VP와의 거리를 구한다.
- 패트리엇 포대와 VP와의 거리, Target과 VP와의 거리 및 미사일 격추가능 거리(3~60km)를 이용해서 Target으로부터 CP까지의 거리 d 를 구한다.
- Target과 d 만큼 떨어지 지점(CP)에서의 고도 a 를 구한다.
- 스커드 미사일이 CP를 지나기전 Kill Box를 통과하는가 여부를 판단한다.

4.2.2 스커드 비행궤적 포물선 방정식

스커드 미사일은 <그림 11>과 같이 발사지점에서부터 목표지점까지 비행궤적의 최고 정점을 지나는 2차원 포물선의 형태를 갖는다. 따라서 스커드의 거리별 고도는 다음과 같은 2차원 포물선의 방정식을 이용하여 구할 수 있다.

$$y = ax^2 + bx + c \tag{14}$$

위의 방정식에서 x 는 거리, y 는 고도를 나타내며, 발사지역의 좌표, Target의 좌표, 그리고 비행경로상의 최고점의 좌표를 알면 계수 a, b, c 를 구할 수 있다. 따라서 <그림 11>의 자료를 활용하면 포물선의 형태를 알 수 있다. 예를 들어 세 점 $(0, 0), (300, 0), (150, 88)$ 을 지나는 포물선의 방정식은 $y = -0.004x^2 + 1.173x$ 이다.

이 포물선은 300km 떨어진 Target을 향해 발사된 스커드 미사일의 비행경로 형태로 표적의 거리가 변화함에 따라 2차원 포물선의 방정식도 변화한다. 그러므로 탄두거리별 최고점 높이를 구하면 거리에 따른 스커드 미사일의 경로 즉, 포물선의 형태를 알 수 있다.

탄두거리별 최고점의 높이는 <그림 11>의 자료를 활용, 선형회귀분석으로 구할 수 있다.

<표 3> 거리에 따른 비행경로상 최고 높이(km)

거리(α)	50	70	100	115	130	200	300
최고점(β)	24	25	37	40	44	62	88

<표 3>에서 독립변수 α 는 거리, 종속변수 β 는 최고점으로 추정식은 다음과 같으며 결정계수 r^2 는 0.988이다.

$$\beta = 0.262\alpha + 9.59 \quad (15)$$

위와 같은 방법을 적용하면 탄두거리별 최고점 좌표를 구할 수 있으므로 탄두거리별 2차원 포물선방정식 $y = ax^2 + bx + c$ 를 구하면 스커드의 비행 경로상 어떠한 지점에서라도 그때의 고도를 계산하여 Kill Box 통과여부를 확인할 수 있다.

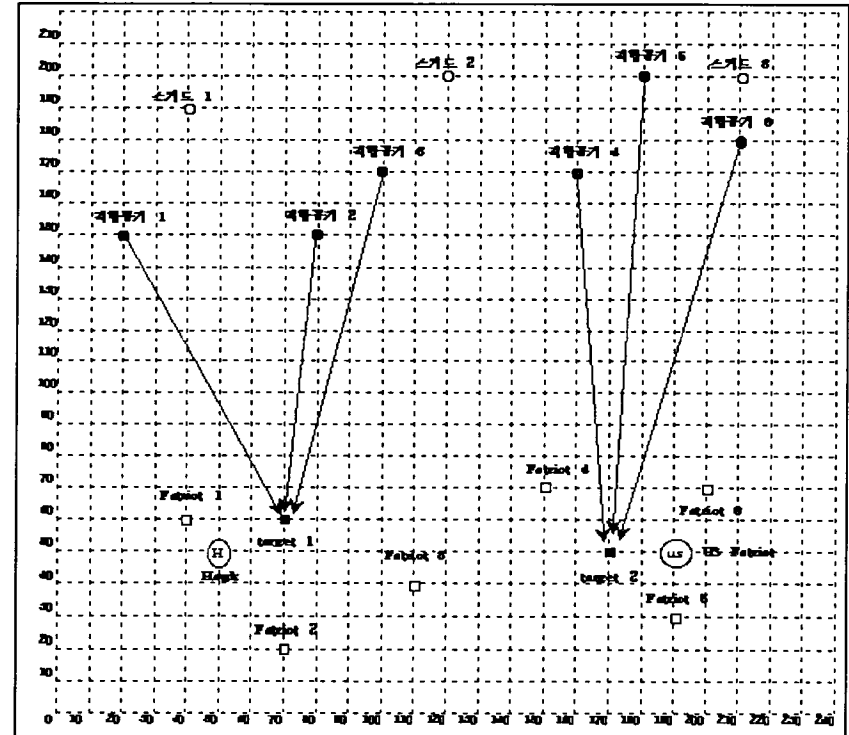
5. 수리모형의 적용 사례

앞서 구축한 모델에 축소된 문제를 적용해서 패트리엇의 적항공기 및 스커드 미사일 격추확률을 산출하고 0-1 IP Problem을 적용한 해법절차로 문제의 최적해를 구하도록 하겠다.

<표 4>에서 보는 바와 같이 6개의 패트리엇 설치 후보지, 2개의 아군 Target, 6대의 적 항공기 (Number of First Point) 및 3개의 스커드 기지(미사일 발사지점)가 있으며 가용 설비 수는 3개로 제한한다. 또한 아군 지역에 Hawk와 주한 미군이 운용하는 패트리엇 포대가 각 1개씩 위치하고 있으며 지휘관이 요망하는 수준의 격추확률은 25% 이상이다. 이들의 위치 및 공격형태는 <그림 16>

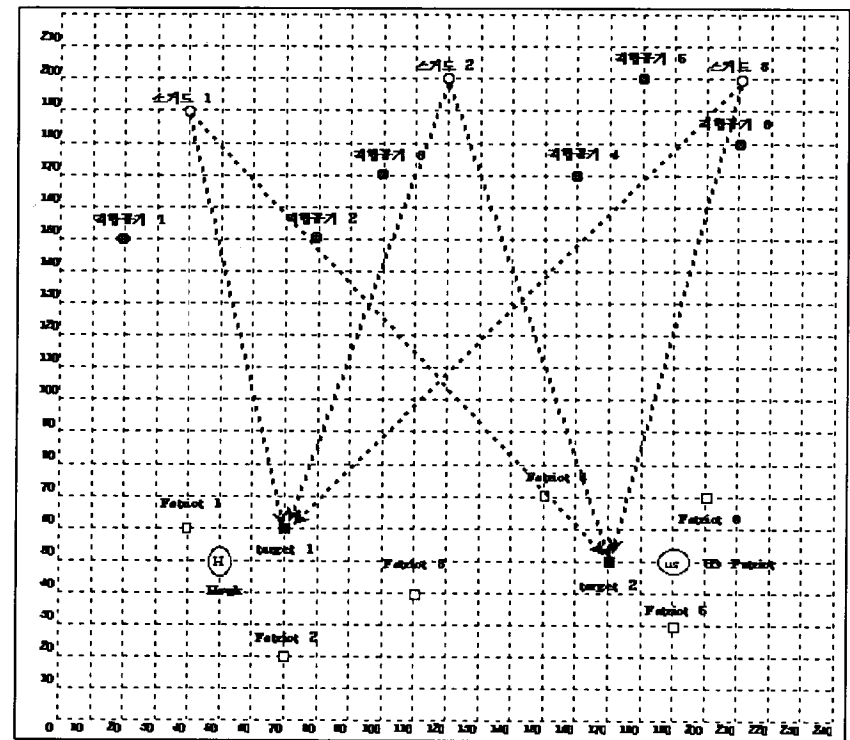
및 <그림 17>과 같다.

(단위 : km)



<그림 16> 적 항공기 공격 형태

(단위 : km)



<그림 17> 스커드 미사일 공격 형태

<표 4> 사례 요소별 좌표

i_a	좌 표 (First Point)	j	좌 표 (Patriot 후보지)	i_s	좌 표 (스커드 발사지점)	t	좌 표 (고정표적)
1	(20, 150)	1	(40, 60)	1	(40, 190)	1	(70, 60)
2	(80, 150)	2	(70, 20)	2	(120, 200)	2	(170, 50)
3	(100, 170)	3	(110, 40)	3	(210, 200)	호크	(50, 50)
4	(160, 170)	4	(150, 70)			US	(190, 50)
5	(180, 200)	5	(190, 30)				
6	(210, 180)	6	(200, 70)				

5.1 적 항공기에 대한 격추확률 산출

패트리어트 포대 좌표, 적 항공기 위치(First Point) 좌표, 및 Target의 좌표를 활용하여 다음의 5 단계를 통해 $p_{i,j}$ 를 구한다.

단계 1 : 식 (12)를 적용하기 위해 패트리어트 포대와 적 항공기(First Point)와의 거리를 구한다.

단계 2 : 패트리어트 포대와 CP와의 거리 d 를 구하기 위해 우선 제 4.1.3절의 절차에 따라 VP와 다른 좌표와의 거리를 구한다.

단계 3 : 단계 2)의 Data를 활용하여 제 4.1.2절의 절차에 의거 CASE별 패트리어트 포대와 CP와의 거리를 구한다.

단계 4 : 격추확률 식 (12)를 적용하기 위해 $\int_0^f p(x) dx$ 와 $\int_{cp}^f p(x) dx$ 를 구하여 $p_{i,j}$ 를 구한다.

단계 5 : Target과 패트리어트 포대에 인접한 Hawk 포대가 기여하는 격추확률을 α 라 하고 배치된 위치에 따라 기산출된 $p_{i,j}$ 에 추가, 부여한다.

따라서 Hawk포대가 기여하는 격추확률을 모두 고려한 결과는 <표 5>와 같다.

5.2 스킨드 미사일에 대한 격추확률 산출

패트리어트 포대 좌표, 스킨드 미사일 발사지 좌

표 및 Target의 좌표를 활용하여 다음의 5단계로 $p_{i,j}$ 를 구한다.

단계 1 : 식 (14)와 식 (15)를 적용하여 스킨드 미사일(발사지점)로부터 Target까지 비행하는 탄도의 포물선 방정식을 구한다.

단계 2 : 스킨드 미사일의 Kill Box 통과 여부를 확인하기 위해 제 4.2.1절 및 제 4.2.2절의 절차에 의거 CP를 구하고 Target에서 CP까지의 거리 d 및 CP에서의 고도 α 를 구한다.

단계 3 : 임무가능 범위내 Kill Box(포대로부터 거리 3~50km, 고도 10~30km 이내) 통과여부를 판단한다.

단계 4 : Kill Box를 통과하는 스킨드 미사일에 $p_{i,j}$ 를 부여한다.

단계 5 : Target과 패트리어트 포대에 인접한 주한 미군 패트리어트 포대가 기여하는 격추확률을 β 라 하고 배치된 위치에 따라 기산출된 $p_{i,j}$ 에 추가하여 부여한다.

따라서 미 패트리어트 포대가 기여하는 격추확률을 모두 고려한 결과는 <표 6>과 같다.

5.3 우선순위에 따른 공중위협 격추확률

각각의 공중위협에 세 가지 경우의 가중치(우선 순위)를 부여하여 공격형태별 격추확률 $p_{ij} = w_a(p_{i,j} + p_{i,h}) + w_s(p_{i,j} + p_{i,u})$ 을 <표 5> 및 <표 6>을 이용하여 산출하면 결과는 <표 7>, <표 8>, <표 9>와

<표 5> 기존 Hawk 무기체계를 고려한 적 항공기 격추확률($p_{i,j} + p_{i,j}$)

$i_a \backslash j$	1	2	3	4	5	6
1	0.621694+a	0.399013+a	0.31002+a	a	a	a
2	0.479964+a	0.391484+a	0.301686+a	0.010539+a	0.010804+a	a
3	0.395489+a	0.401808+a	0.31838+a	0.025983+a	0.02639+a	0.007688+a
4	0.000497	0.040795	0.067922	0.648663	0.603447	0.305257
5	0	0.02285	0.079418	0.597909	0.608269	0.511967
6	0	0	0.082957	0.277532	0.609206	0.637958
Total	1.497644+3a	1.25595+3a	1.160383+3a	1.560626+3a	1.858116+3a	1.46287+3a
평균	0.25+0.5a	0.21+0.5a	0.19+0.5a	0.31+0.5a	0.37+0.5a	0.37+0.5a

〈표 6〉 기존 미 패트리엇를 고려한 적 스커드 격추확률($p_{isj} + p_{isu}$)

$i_s \backslash j$	1	2	3	4	5	6
1	0.8	0.8	0	0.8	0.8	0
2	0	0.8	0.8	β	$0.8+\beta$	β
3	0	0.8	0.8	β	β	β
Total	0.8	2.4	1.6	$0.8+2\beta$	$1.6+2\beta$	2β
평균	0.2667	0.8	0.5333	$0.267+0.67\beta$	$0.533+0.67\beta$	0.67β

〈표 7〉 항공기에 우선순위를 둔 격추확률($w_a = 0.99, w_s = 0.01$)

$i \backslash j$	1	2	3	4	5	6
1	$0.623+0.99a$	$0.403+0.99a$	$0.307+0.99a$	$0.008+0.99a+0.01\beta$	$0.008+0.99a+0.01\beta$	$0+0.99a+0.01\beta$
2	$0.475+0.99a$	$0.396+0.99a$	$0.307+0.99a$	$0.010+0.99a+0.01\beta$	$0.019+0.99a+0.01\beta$	$0+0.99a+0.01\beta$
3	$0.392+0.99a$	$0.406+0.99a$	$0.323+0.99a$	$0.026+0.99a+0.01\beta$	$0.026+0.99a+0.01\beta$	$0.008+0.99a+0.01\beta$
4	0.0005	0.040	0.067	0.642	0.597	0.302
5	0	0.023	0.079	0.592	0.602	0.507
6	0	0	0.082	0.275	0.603	0.632
Total	$1.491+2.97a$	$1.268+2.97a$	$1.165+2.97a$	$1.553+2.97a+0.02\beta$	$1.855+2.97a+0.02\beta$	$1.449+2.97a+0.02\beta$
평균	$0.25+4.495a$	$0.21+4.495a$	$0.19+4.495a$	$0.26+4.495a+0.003\beta$	$0.31+4.495a+0.003\beta$	$0.24+0.495a+0.003\beta$

〈표 8〉 동일한 우선순위를 둔 격추확률($w_a = 0.5, w_s = 0.5$)

$i \backslash j$	1	2	3	4	5	6
1	$0.711+0.5a$	$0.6+0.5a$	$0.155+0.5a$	$0.4+0.5a$	$0.4+0.5a$	$0+0.5a$
2	$0.24+0.5a$	$0.6+0.5a$	$0.551+0.5a$	$0.005+0.5a+0.5\beta$	$0.405+0.5a+0.5\beta$	$0+0.5a+0.5\beta$
3	$0.198+0.5a$	$0.601+0.5a$	$0.6+0.5a$	$0.013+0.5a+0.5\beta$	$0.013+0.5a+0.5\beta$	$0.004+0.5a+0.5\beta$
4	0.0002	0.02	0.034	0.324	0.302	0.153
5	0	0.011	0.04	0.299	0.304	0.256
6	0	0	0.041	0.139	0.305	0.319
Total	$1.1492+1.5a$	$1.832+1.5a$	$1.421+1.5a$	$1.18+1.5a+\beta$	$1.729+1.5a+\beta$	$0.732+1.5a+\beta$
평균	$0.19+0.25a$	$0.31+0.25a$	$0.24+0.25a$	$0.20+0.25a+0.167\beta$	$0.29+0.25a+0.167\beta$	$0.12+0.25a+0.167\beta$

같다.

(17)과 같이 수식화 할 수 있다.

5.4 해법절차

본 문제는 0-1 IP Problem으로 다음과 같은 해법절차를 통해 최적해를 구할 수 있다.

적용사례를 식 (11)을 적용하면 식 (16) 및 식

$$\begin{aligned}
 \text{Max } Z &= \sum_{j=1}^J [\sum_{i=1}^6 w_a (p_{i,j} + p_{i,h}) + w_s (p_{i,j} + p_{i,u})] x_j \\
 \text{subject to } & \sum_{j=1}^6 x_j \leq 3 \\
 & \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 w_a (p_{i,j} + p_{i,h}) + w_s (p_{i,j} + p_{i,u}) \geq 0.25
 \end{aligned} \tag{16}$$

〈표 9〉 스커드에 우선순위를 둔 격추확률($w_a = 0.01, w_s = 0.99$)

i \ j	1	2	3	4	5	6
1	0.798+0.01a	0.796+0.01a	0.003+0.01a	0.792+0.01a	0.792+0.01a	0+0.01a
2	0.005+0.01a	0.796+0.01a	0.795+0.01a	0.0001+0.01a+0.99β	0.792+0.01a+0.99β	0+0.01a+0.99β
3	0.004+0.01a	0.796+0.01a	0.795+0.01a	0.0003+0.99β	0.0003+0.01a+0.99β	0.0001+0.01a+0.99β
4	0.000005	0.0004	0.0007	0.006	0.006	0.003
5	0	0.0002	0.0008	0.006	0.006	0.005
6	0	0	0.0008	0.003	0.006	0.006
Total	0.807+0.03a	2.3886+0.03a	1.5953+0.03a	0.8074+0.03a+1.98β	1.6023+0.03a+1.98β	0.0141+0.03a+1.98β
평균	0.13+0.005a	0.40+0.005a	0.27+0.005a	0.13+0.005a+0.33β	0.27+0.005a+0.33β	0.00+0.005a+0.33β

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

$$i_a = 1, \dots, 6, i_s = 1, \dots, 3 \quad j = 1, \dots, 6$$

$$0 \leq w_a(p_{i,j} + p_{i,h}) + w_s(p_{i,j} + p_{i,u}) \leq 1,$$

$$w_a + w_s = 1$$

여기에서 $w_a(p_{i,j} + p_{i,h}) + w_s(p_{i,j} + p_{i,u})$ 를 p_{ij} 로 바꾸면 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\text{Max } Z = \sum_{j=1}^6 \left(\sum_{i=1}^6 p_{ij} \right) x_j \quad (17)$$

$$\text{subject to } \sum_{j=1}^6 x_j \leq 3$$

$$\frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 p_{ij} \geq 0.25$$

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

$$i_a = 1, \dots, 6, i_s = 1, \dots, 3 \quad j = 1, \dots, 6$$

$$0 \leq p_{ij} \leq 1, w_a + w_s = 1$$

따라서 위 세 가지 경우의 가중치(우선순위)를 부여한 공격형태별 격추확률 p_{ij} 를 최대화 하는 최적 위치 선정 모형은 아래와 같이 Formulation함으로써 최적의 위치를 선정할 수 있다.

LINGO 9.0 모델링 시스템을 사용하고 컴퓨터는 Pentium-IV CPU 1.80 GHz, RAM:256M를 사용하여 최적해를 구해 보면 아래와 같다.

첫째, 항공기에 우선순위를 두었을 시의 모형은

다음과 같으며

$$\begin{aligned} \text{Max } Z = & (1.491 + 2.97\alpha)x_1 + (1.268 + 2.97\alpha)x_2 \\ & + (1.165 + 2.97\alpha)x_3 + (1.553 + 2.97\alpha + 0.02\beta)x_4 \\ & + (1.855 + 2.97\alpha + 0.02\beta)x_5 + (1.449 + 2.97\alpha + 0.02\beta)x_6 \end{aligned}$$

$$\text{subject to } x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 \leq 3$$

$$\frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 p_{ij} \geq 0.25$$

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

$$i_a = 1, \dots, 6, i_s = 1, \dots, 3 \quad j = 1, \dots, 6$$

설비 수를 3개로 제한하고 각 설치 후보지에서 지휘관이 요망하는 평균 격추확률이 25% 이상인 입지 후보지를 선택하면 1, 4, 5지역으로 최적해는 $x_1 = x_4 = x_5 = 1, x_2 = x_3 = x_6 = 0$ 그때의 격추확률은 $4.899 + 8.91\alpha + 0.04\beta$ 이다. 따라서 패트리엇 입지 후보지 중 1, 4, 5지역에 각 1개씩 배치한다.

둘째, 동일한 우선순위를 두었을 시의 모형은 다음과 같으며

$$\begin{aligned} \text{Max } Z = & (1.1492 + 1.5\alpha)x_1 + (1.832 + 1.5\alpha)x_2 \\ & + (1.421 + 1.5\alpha)x_3 + (1.18 + 1.5\alpha + \beta)x_4 \\ & + (1.729 + 1.5\alpha + \beta)x_5 + (0.732 + 1.5\alpha + \beta)x_6 \end{aligned}$$

$$\text{subject to } x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 \leq 3$$

$$\frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 p_{ij} \geq 0.25$$

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

$$i_a = 1, \dots, 6, i_s = 1, \dots, 3 \quad j = 1, \dots, 6$$

이 때 $x_2 = x_3 = x_5 = 1, x_1 = x_4 = x_6 = 0$, 격추확률은 $4.982 + 4.5\alpha + \beta$ 로 패트리엇 입지 후보지중 2, 3, 5지역에 각 1개씩 배치한다.

셋째, 스커드에 우선순위를 두었을 시의 모형은 다음과 같으며

$$\begin{aligned} \text{Max } Z &= (0.807 + 0.03\alpha)x_1 + (2.389 + 0.03\alpha)x_2 \\ &+ (1.595 + 0.03\alpha)x_3 + (0.807 + 0.03\alpha + 1.98\beta)x_4 \\ &+ (1.602 + 0.03\alpha + 1.98\beta)x_5 + (1.004 + 0.03\alpha + 1.98\beta)x_6 \\ \text{subject to } &x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 \leq 3 \\ &\frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 p_{ij} \geq 0.25 \\ &x_j = 0 \text{ or } 1 \\ &i_a = 1, \dots, 6, i_s = 1, \dots, 3 \quad j = 1, \dots, 6 \end{aligned}$$

이 때 $x_2 = x_3 = x_5 = 1, x_1 = x_4 = x_6 = 0$, 격추확률은 $5.586 + 0.09\alpha + 1.98\beta$ 로 패트리엇 입지 후보지중 2, 3, 5지역에 각 1개씩 배치한다.

<표 10> 공중위협 가중치 변화에 따른 최적배치

우선순위	최대 격추확률	최적배치 방안
항공기	$4.899 + 8.91\alpha + 0.04\beta$	1, 4, 5지역에 각 1개
동 일	$4.982 + 4.51\alpha + \beta$	2, 3, 5지역에 각 1개
스커드	$5.586 + 0.09\alpha + 1.98\beta$	2, 3, 5지역에 각 1개

5.5 결과분석

제 5.1절에서 제시한 적용사례에 대해 0-1 IP로 모형화 하고 격추확률 산출절차 및 최적해 절차에 의거 해를 구하면 <표 10>에서 보는 바와 같이 항공기에 우선순위를 둔 경우는 항공기 및 스커드 격추확률을 최대화하는 입지 후보지가 1, 4, 5지역으로 선정 되었으며, 동일한 우선순위를 부여하거나 스커드에 우선순위를 둔 경우는 입지 후보지 2, 3, 5지역에 각 1개를 배치하는 최적안이 도출 되었다.

그런데 만약 호크 및 미 패트리엇가 기여하는 격추확률을 무시했을 때 동일한 수준의 격추확률을 보이는 입지 후보지가 발생한다면 기존 무기체계가 기여하는 격추확률 값을 대입함으로써 입지 후보지 선정의 우선순위를 결정할 수 있다.

6. 결 론

본 연구에서는 패트리엇를 새롭게 배치할 수 있는 입지 후보지 중 북한 항공기와 스커드에 대한 격추확률을 최대화하는 지역을 선정할 수 있는 수리모형을 설계하였으며, 패트리엇 개발시 축적된 명중확률 data를 활용해 적 위협별 최적 배치위치를 결정하는 방법을 제시하였다. 또한 항공기 및 전술탄도탄 방어를 동시에 고려하였으며 새롭게 배치되는 패트리엇 포대의 격추확률에 기존의 호크 및 미패트리엇 포대가 미치는 영향을 일정값을 통해 나타낼 수 있도록 하였다.

본 연구에서의 새로운 배치방법론 중 가장 중요한 고려요소는 아군 지역의 Target을 공격하는 적 항공기 및 스커드 미사일을 어느 정도의 확률로 격추시킬 수 있는가를 파악하는 것이다. 이를 위해 적 항공기 및 스커드 미사일 격추확률 산출절차를 새롭게 제시하였으며, 사례연구를 통해 공중위협 우선순위(가중치) 부여에 따른 최적해를 도출, 제시하였다.

본 연구에서 제시한 공중위협 격추확률 산출절차는 보안상의 이유로 가상의 자료를 사용하였으나 실제 패트리엇 도입 사업시 근거가 된 실험자료를 기초로 한 것으로 현실성이 증가되었다 할 수 있다.

본 연구는 패트리엇를 중심으로한 배치방법론을 제시하였으나 추후 패트리엇와 유사한 성능을 보유한 유도탄 부대의 배치문제에서도 해당 유도탄의 연구개발 단계에서의 실험 자료를 활용, 본 연구에서 제시한 방법을 적용함으로써 보다 현실성 있는 배치위치 의사결정을 지원할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 김성인, “군사설비의 최적위치 결정을 위한 지역담당(Set Covering)모델 및 해법의 개발”, 화랑대 심포지움 논문집, 1987.
- [2] 김승빈, 전건욱, “차기유도무기의 최적배치에 관한 모형”, 『한국국방경영분석학회지』, 제30권, 제1호(2004), pp.48-69.
- [3] 이영해, 남상익, “단거리 지대공 미사일의 최적배치에 관한 연구”, 『한국국방경영분석학회지』, 제26권, 제1호(2000), pp.34-46.
- [4] 오제상, 김성인, “신뢰도를 최대화하는 지역담당(Set Covering)모델”, 『한국국방경영분석학회지』, 제8권, 제1호(1982), pp.53-70.
- [5] 이상현, “Simulated Annealing 알고리즘을 이용한 SAM-X 추가전력의 최적배치”, 산업공학, 제18권, 제4호(2005).
- [6] Dantzig, G.B. and J.H. Ramser, “The Truck Dispatching Problem,” *Management Science*, Vol.6(1960).
- [7] Garfinkel, R.S. and G.E. Nemhauser, “Integer Programming,” John Wiley, Inc., New York, 1972.
- [8] Raytheon systems company, “Patriot Test and evaluation Performance Notebook for the Republic of Korea(u),” 1998.
- [9] Revelle, C. and R. Swain, “Central Facilities Location,” *Geogr Anal*, Vol,2, No.1(1970).