□ 研 究 論 文 □
韓國軍事運營分析學會誌
第 23 卷, 第 1 號, 1997. 6. 30

정수계획법을 이용한 최적 감시장비 배치모형에 관한 연구
(An Optimal Surveillance Units Assignment Model Using Integer Programming)

서 성 철*, 정 규 련**

Abstract

This study is to develop an optimal surveillance units assignment model in order to obtain the maximized surveillance efficiency with the limited surveillance units. There are many mathematical models which deal with problems to assign weapons such as aircrafts, missiles and guns to targets. These models minimize the lost requried to attack, the threat forcast from the enemy, or both of them. However, a problem of the efficient assignment of surveillance units is not studied yet, nevertbless it is important in the battlefield surveillance system.

This paper is concerned with the development of the optimal survillance units assignment model using integer programming.An optimal integer solution of the model can be obtained by using linear programming and branch and bound method.

* 육군본부
** 숭실대학교

1. 서　　론

전·평시를 막론하고 지상 감시장비는 적의 활동과 징후를 포착하고 침투하는 적의 인원과 장비를 신속하게 탐지하여 작전 부대로 하여금 효율적으로 격멸할 수 있도록 하는 전장감시체계(IPB : Intelligence Preparation of the Battlefield)의 필수 요소이나 편제 및 가용장비의 제한으로 운용 부대의 소요를 충족시키지 못하고 있는 실정이다. 따라서 감시장비를 운용하는 지휘관은 지대내의 감시장비 배치 대상 진지, 가용한 감시장비 대수 및 장비 종류별 성능제원 등 가능한 모든 전장감시체계의 요소를 고려하여 전장 감시지역에 대한 최대한의 탐지능력을 발휘하기 위한 감시장비 배치위치 및 배치 방법을 결정함으로써 책임지역에 대한 통합 감시체계를 구축하고 감시 사각지역을 최소화 할 수 있도록 해야 하며, 결국 이러한 문제는 감시장비의 최적 배치문제(allocation or assignment problem)로 해결할 수 있다.

지금까지 특정 장비의 배치 또는 할당에 관한 연구는 주로 적의 특정 표적에 대하여 항공기, 유도탄, 포병화력 등과 같은 무기체계를 할당하는 문제로서 공격 임무에 소요되는 손실비용을 최소화[5]하거나 적의 총 위협치를 최소화[2]하는 모형, 또는 적의 총 위협치와 손실비용을 동시에 최소화[3],[4]하는 최적화 모형이 대부분이었으며, 전장감시체계의 핵심 요소인 감시장비의 효율적 운용에 관해 수행된 연구는 거의 없는 실정이다.

따라서 본 연구는 제한된 감시장비를 효율적으로 운용하기 위해서 각기 성능이 다른 감시장비의 탐지율과 감시진지 고유의 상대적 지형특성에 따른 탐지지역 원·근 분포형태를 고려하여 최대한의 감시효과를 달성할 수 있는 최적 감시장비 배치모형을 설정하는데 주안을 두고 있다. 이를 위해 먼저 책임지역내의 감시장비 배치 대상 진지별로 육본에서 개발한 정밀 지형분석 소프트웨어를 이용하여 각 장비의 탐지 범위별 탐지 가능 면적을 산정하고, 여기에 덧붙여 감시진지의 상대적 지형 특성이 반영된 각 감시장비의 탐지율을 결정한다.

다음은 최적의 감시장비 배치를 위한 본 연구모형의 제약조건식과 목적함수를 도출한다. 제약조건식은 가용한 감시장비가 모두 감시진지에 배치되도록 하는 식과 한 진지에 배치될 모든 장비 수의 합을 전술적 운용개념에 의해 제한하는 식 및 임의의 진지에 배치되는 특정 장비의 수를 제한하는 식 그리고 진지에 배치되는 장비의 비음 및 정수 해 조건식으로 구성된다. 또한 목적함수는 감시효율을 최대화하는 식으로 구성되며 목적함수를 제약조건식과 결합하므로써 최적의 감시장비 배치를 위한 완전한 정수계획모형(Integer Programming Model)을 설정한다.

그리고 각 진지에 배치될 장비수가 정해진 경우, 즉 배치되지 않는 여분의 진지가 없는 경우는 감시장비 최적 배치모형이 비록 정수계획법(Integer Programming)문제이지만 선형계획법(Linear Programming) 을 이용하여 최적의 정수 해 (Integer Solution)를 구할 수 있으며, 감시장비를 가용한 진지에 할당하는 양과 진지를 동시에 선정할 경우, 즉 한 개 이상의 배치되지 않는 여분의 진지가 있는 경우에는 전형적인 정수계획법 문제이지만 문제의 성격상 감시 장비 배치대상 진지수가 많지 않으므로 분지한계법(Branch and Bound method)을 이용하여 최적해를 구할 수 있다.

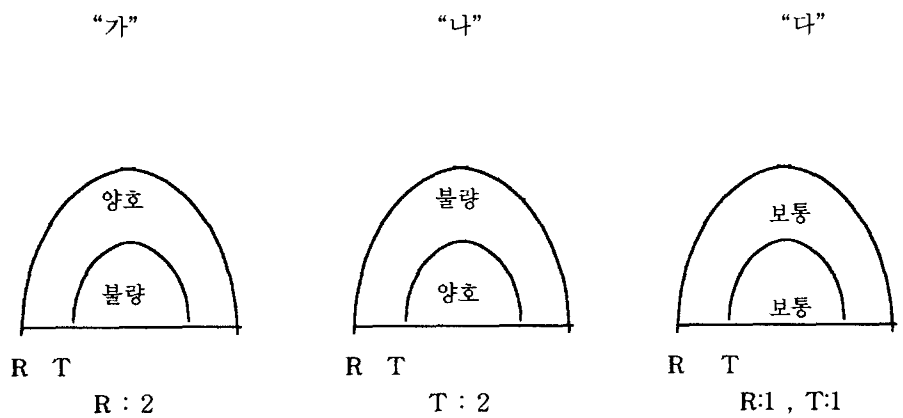
2. 탐지율 결정 및 가정 사항

2.1 탐지율 결정

감시장비의 최적 배치위치와 배치방법을 분석하는 목적은 전장 감시지역에 대한 최대한의 감시능력 발휘를 위한 장비 배치 위치를 선정하고 효율적인 감시장비 배치방법을 결정함으로써 책임지역의 통합 감시 체계를 구축하고 감시 사각지역을 최소화하기 위한 것이다. 분석에 요구되는 감시장비의 종류별 각 진지에 대한 탐지율은 해당 장비가 배치된 진지에서의 탐지 가능 거리와 탐지 가능 범위로 결정되는 감시대상지역 면적에 대한 실제 탐지면적의 비율로 정의한다. 이러한 탐지율은 육본에서 개발한 정밀 지형분석 소프트웨어(ATTAS : Army Tactical Terrain Analysis System, 1994, 육본 분석처 보유)를 이용하여 정확하게 산출할 수 있다. 탐지율을 산정하는데 필요한 자료는 감시장비별 탐지가능 거리와 탐지범위 각도 및 감시진지의 위치좌표 등이 있다. 본 연구는 각기 다른 감시장비의 진지별 탐지율과 감시진지의 상대적 지형특성에 따른 탐지지역 원·근 분포형태를 고려하여 최적의 감시장비 배치방법과 배치위치를 결정하는 방안을 도출한다. 이러한 감시장비를 배치하는 여러 대안 가운데 수리적 모형을 설 정하여 최적안을 도출하므로써 문제를 해결할 수 있다.

이러한 수리적 모형을 설정하기 위한 감시진지 유형별 장비운용 개념은 <그림 1>과 같다.

<그림 1>에서 감시진지 "가"는 근거리 지역의 탐지율은 불량하나 원거리 지역의 탐지율이 좋은 지형적 특성을 가진 진지로서 이런 유형의 진지에는 원거리 탐지가 가능한 성능이 우수한 장비를 배치하는 것이 유리하고 감시진지 "나"는 원거리 지역의 탐지율이 불량하기 때문에 탐지거리 성능이 우수한 장비 배치는 상대적으로 비효율적이므로 탐지거리가 짧은 장비를 배치하는 것이 보다 효율적일 것이다.



<그림 1> 감시진지 지형특성별 장비운용 개념

2.2 가정 사항

이러한 상황을 모형화하기 위한 기본 가정 사항은 다음과 같다.

① 감시장비 배치 방법은 제한된 감시진지와 운용요원 등을 고려한 현 교리를 적용하여 1개 감시진지당 2대의 장비를 운용하는 것으로 한다.

② 감시진지에서 탐지할 수 있는 범위를 최대화할 수 있도록 감시 장비 별로 책임 지역을 할당하며 이때 상호 중첩되는 지역은 발생하지 않는 것으로 가정한다.

③ 한 진지에 배치된 특정 장비의 탐지율은 할당된 책임지역 범위와 무관하게 일정한 것으로 가정한다.

이러한 가정하에서 배치모형을 구성하기 위한 변수를 정의하면 다음과 같다.

k : 가용한 감시장비 종류

n : 총 감시진지 수

C_{ij} : j 번째 감시진지에 i 번째 감시장비를 배치하였을 때의 탐지율

X_{ij} : j 번째 감시진지에 배치된 i 번째 감시장비의 대수

a_i : i 번째 감시장비의 총 대수

b_j : j 번째 감시진지에 배치된 감시장비 대수

3. 감시장비 배치모형 I

전장감시체계내에서 운용될 감시장비 종류별 가용대수가 정해지면 해당지역 지휘관은 책임 지역내의 탐지효율을 최대화하기 위해 가용한 감시장비를 모두 배치할 수 있도록 감시진지를 선정하게 되며 선정된 모든 감시진지에는 2대씩의 감시장비가 배치된다. 이때 i 번째 종류에 해당하는 감시장비의 수를 ai라 하면 $i = 1, 2, ..., k$ 이므로 총 감시장비수는 $a_1 + a_2 + ... + a_k$이며 이 장비는 각 진지에 2대씩 배치되므로 감시진지 수를 n라고 하면 n 는 식 (1)과 같다.

$$n = \frac{a_1 + a_2 + \cdots + a_k}{2} \tag{1}$$

여기에서 i ($i = 1, 2, \cdots, k$)번째 종류의 감시장비가 j ($j = 1, 2, \cdots, n$)번째 진지에 배치되었을 때의 탐지율을 C_{ij} 라 하고 배치되는 감시장비의 수를 X_{ij} 라 하면 탐지효율(R_{ij})은 식 (2)와 같다.

$$R_{ij} = C_{ij} \cdot X_{ij} \tag{2}$$

그리고 모든 감시장비가 모든 가용진지에서 탐지효율을 최대화 하여야 하므로 목적함수는 식 (3)과 같이나타낼수있다.

$$Max \quad Z = \sum_{i=1}^{k}\sum_{j=1}^{n} C_{ij} X_{ij} \tag{3}$$

목적함수인 식 (3)에 따르는 제약조건식을 설정하기 위하여 우선 i 번째 종류의 감시장비의 총 대수를 생각해 보기로 한다. i 번째 종류의 감시장비의 총 대수를 a_i라고 하면 i 번째 감시장비가 j ($j=1,2,...,n$)진지에 할당되는 총수는 ai와 같아야 한다. 따라서 식 (4)가 성립한다.

$$\sum_{j=1}^{n} X_{ij} = a_i \quad \text{for } i = 1, 2, \cdots, k \tag{4}$$

또한 가용진지 수는 식 (1)과 같으며 한 진지에는 2개의 감시장비가 배치되므로 모든 가용진지에 대하여 식 (5)가 성립한다.

$$\sum_{i=1}^{k} X_{ij} = 2 \quad \text{for } j = 1, 2, \cdots, n \tag{5}$$

그리고 모든 감시장비 및 가용진지에 대하여 다음과 같은 제약조건식이 성립해야 한다.

$$X_{ij} \le 2 \qquad \forall i,\ \forall j \text{ 에대해} \tag{6}$$

$$X_{ij} \ge 0, \text{ 정수} \qquad \forall i,\ \forall j \text{ 에 대해} \tag{7}$$

지금까지 설정한 식 (3)에서 식 (7)까지를 종합하여 감시장비 배치에 관한 완전한 정수계획법 모형을 구성하면 다음과 같다.

$$\mathit{Max} \quad Z = \sum_{i=1}^{k}\sum_{j=1}^{n} C_{ij} X_{ij} \tag{8}$$

$$\mathit{s.t} \quad \sum_{j=1}^{n} X_{ij} = a_i \quad \text{for } i = 1, 2, \cdots, k \tag{9}$$

$$\sum_{i=1}^{k} X_{ij} = 2 \quad \text{for } j = 1, 2, \cdots, n \tag{10}$$

$$X_{ij} \le 2 \qquad \forall i,\ \forall j \text{ 에 대해} \tag{11}$$

$$X_{ij} \ge 0, \text{ 정수} \quad \forall i,\ \forall j \text{ 에 대해} \tag{12}$$

위 모형에서 식 (8)의 목적함수를 최소화로 바꾸고 식 (12)의 제약조건식을 식 (13)과 같이 변형한다.

$$X_{ij} \ge 0 \qquad \forall i,\ \forall j \text{ 에 대해} \tag{13}$$

그리고 식 (11)을 제거하면 전형적인 수송문제(Transportation Problem)로 귀착된다. 수송문제는 제약식에서 모든 정방부분행열(Square Submatrix)의 행열식(Determinant)이 0, 1 또는 -1 이므로 totally unimodular가 되고 계수가 정수이면 해도 정수이다[1][6]. 즉 수송문제는 선행계획법으로 풀어도 자동적으로 정수 해(Integer Solution)가 나온다. 식 (9)과 식 (10)에서 정방부분행열의 행열식이 0, 1이고 계수 a_i 및 2가 정수이므로 선형계획법으로 구해진 해도 당연히 정수 해가 된다.

또한 위의 모형을 행열(Matrix) 형태로 표시하면 다음과 같다.

$$\mathit{Max} \quad CX \tag{14}$$

$$\text{s.t } AX = b \tag{15}$$

$$0 \le X \le 2 \tag{16}$$

식 (14), (15), (16)으로 표시된 모형의 형태는 단순상한 선형계획문제(Simple upper bound LP problem) 형태이다. 식 (15)에서 A= [B : AN] 으로, 그리고 X= [XB : XN] 으로 분해하면 식 (17)과 식 (18)을 유도할 수 있다.

$$BX_B + A_N X_N = b \tag{17}$$

$$X_B = B^{-1}b - B^{-1}A_N X_N \tag{18}$$

여기에서 B는 기저행열(Basic matrix)이고 A_N은 비기저행열(Nonbasic matrix)이며 X_B는 기저변수(Basic variable)이고 X_N은 비기저변수(Nonbasic variable)이다. 식 (18)에서 수송문제의 $B^{-1}b$와 $B^{-1}A_N$은 정수이고 비기저변수 X_N은 항상 0 또는 상한값(Upper bound value)을 갖기 때문에 기저변수 X_B는 정수 해를 갖는다. 그러므로 감시장비 배치문제도 정수계획법 문제이지만 선형계획법으로 정수 해를 구할 수 있다. 선형계획법으로 감시장비 배치문제를 해결할 수 있다는 의미는 이 문제에 있어서 다항적 계산법(Polynomial algorithm)이 존재한다는 것을 의미한다.

4. 감시장비 배치 모형 II

모형II는 실제로 배치 요망되는 감시진지에 비해 배치할 감시장비가 제한되는 경우로서 3장에서 설정된 모형 I 을 일반화시킨 경우이다. 따라서 i (i = 1, 2, ···, k)번째 감시장비의 수가 a_i이면 다음식이 성립한다.

$$n \geq \frac{a_1 + a_2 + \cdots + a_k}{2} \tag{19}$$

이 경우에 있어서 목적함수는 모든 감시장비와 가용진지에 대하여 탐지효율을 최대화하는 것이므로 모형 I 의 식 (3)과 같고, 식 (3)에 따른 제약조건식 중에서 가용장비가 감시진지에 모두 배치되도록 하는 제약조건식은 모형 I 의 식 (4)와 같다. 그러나 배치 대상 진지가 가용한 감시장비 수보다 많으므로 한 진지에는 0 또는 2대의 장비를 배치할 수 밖에 없고, 따라서 모든 가용진지에 대하여 식 (20) 및 식 (21)과 같은 제약조건식이 성립해야 한다.

$$\sum_{i=1}^{k} X_{ij} = b_j \quad \text{for } j = 1, 2, \cdots, n \tag{20}$$

$$b_j = 0 \text{ 또는 } 2 \tag{21}$$

여기에서 식 (20)와 식 (21)의 b_j 대신에 j 번째 진지에 감시장비가 배치되면 1, 그렇지 않으면 0을 가지는 새로운 변수 y_j를 도입하여 식 (20)과 식 (21)을 변형하면 식 (22)와 식(23)이 된다. 식 (22)와 식 (23)은 감시장비가 진지에 배치되지 않거나 배치되는 경우에는 2대가 배치되도록 하는 제약조건식이다.

$$\sum_{i=1}^{k} X_{ij} - 2y_j = 0 \quad \text{for } j = 1, 2, \cdots, n \tag{22}$$

$$y_j \in \{0,1\} \qquad \forall j \text{ 에 대해} \tag{23}$$

또한 모형 I 의 식 (6)과 마찬가지로 모든 가용진지와 감시장비에 대하여 식 (24)가 성립해야 한다.

$$X_{ij} \geq 0 \text{ , } X_{ij} \text{ 는 정수} \qquad \forall i,\ \forall j \text{ 에 대해} \tag{24}$$

지금까지 설정한 식을 종합하여 감시장비 배치에 관한 완전한 정수계획법 모형을 구성하면 다음과 같다.

$$Max \quad Z = \sum_{i=1}^{k}\sum_{j=1}^{n} C_{ij} X_{ij} \tag{25}$$

$$s.t \sum_{j=1}^{n} X_{ij} = a_i \quad \text{for } i = 1, 2, \cdots, k \tag{26}$$

$$\sum_{i=1}^{k} X_{ij} - 2y_j = 0 \quad \text{for } j = 1, 2, \cdots, n \tag{27}$$

$$X_{ij} \geq 0, \ X_{ij} \text{ 는 정수} \quad \forall i, \ \forall j \tag{28}$$

$$y_j \in \{0,1\} \quad \forall j \tag{29}$$

그러므로 감시장비 배치모형은 식 (25)를 목적함수로, 식 (26), (27), (28), (29)를 제약조건식으로 하는 전형적인 정수계획법 문제로 귀착된다. 그리고 현실상황에서 감시장비 배치문제는 가용진지수가 많지 않으므로 분지한계법(Branch and bound method)을 이용하여 효과적으로 최적해를 구할 수 있다. 위에서 설정한 정수계획법 모형을 분지한계법으로 해결하는 전형적인 절차는 다음과 같다.

단계 1 : 선형계획법으로 실수해를 구한다.

단계 2 : 기저변수중 하나를 선정하여 두가지 완전히 분리되는 정수값으로 나누어 두 부분집합을 구성한다.

단계 3 : 두 부분집합에 해당하는 값을 주어 제약식을 계산한다.

(가) 제약식을 만족하지 못하면 실행 불가능해이므로 고려 대상에서 제외한다.

(나) 제약식을 만족하면 목적함수 값을 계산한다. 그리고 이 값과 이전 목적함수 값과 비교하여 최적해에 가까운 부분집합을 선정하여 분지하고 단계 2로 간다. 만약 분지할 부분집합이 존재하지 않으면 계산을 종료한다.

5. 모형의 적용 및 분석

5.1 감시장비 배치모형 I 의 적용 예

○○군단에 가용한 감시장비는 R 장비가 3대, T 장비가 3대이며 배치대상 감시진지는 3개소가 선정되었다. 선정된 감시진지 A, B, C에 대해 육본에서 보유하고 있는 ATTAS(Army Tactical Terrain Analysis System)의 가시도 분석 소프트웨어를 이용하여 산정한 R 및 T 장비의 탐지율은 <표 1>과 같다.

구 분	진지 A	진지 B	진지 C	가용 장비수
장비 R	10	8	9	3
장비 T	6	5	4.5	3
배치장비수	2	2	2	6

<표 1> 감시 진지별 감시장비 탐지율

문제는 탐지효율을 최대화할 수 있도록 R 및 T 장비를 진지 A, B, C에 배치하는 방법을 결정하는 것이다. 여기서 진지 A에 배치되는 장비 R의 수를 X_{11}, 장비 T의 수를 X_{21}, 진지 B에 배치되는 장비 R의 수를 X_{12}, 장비 T의 수를 X_{22}, 진지 C에 배치되는 장비 R의 수를 X_{13}, 장비 T의 수를 X_{23}라 하고 감시장비 배치모형 I 을 적용하면 다음과 같다.

$$\text{Max } Z = 10X_{11} + 8X_{12} + 9X_{13} + 6X_{21} + 5X_{22} + 4.5X_{23} \quad (30)$$

$$\text{s.t} \quad X_{11} + X_{12} + X_{13} = 3 \quad (31)$$

$$X_{21} + X_{22} + X_{23} = 3 \quad (32)$$

$$X_{11} + X_{21} = 2 \quad (33)$$

$$X_{12} + X_{22} = 2 \quad (34)$$

$$X_{13} + X_{23} = 2 \quad (35)$$

$$0 \le X_{ij} \le 2 \quad \text{for } i = 1, 2, \quad j = 1, 2, 3 \quad (36)$$

$$X_{ij} : \text{integer} \quad \text{for } i = 1, 2, \quad j = 1, 2, 3 \quad (37)$$

위 문제에서 정수 제약조건식인 식 (37)을 제외하고 식 (30)에서 식 (36) 까지의 문제를 상한 단체법(Upper bound simplex method)절차에 의해 풀면 $X_{11} = 1$, $X_{12} = 0$, $X_{13} = 2$, $X_{21} = 1$, $X_{22} = 2$, $X_{23} = 0$ 으로서 모두 정수 해(Integer solution)를 가지게 되므로 자동적으로 식 (37)의 조건을 만족한다. 그러므로 진지 A에는 R 및 T 장비를 각각 1대씩 배치하고 진지 B에는 T 장비를 2대, 진지 C에는 R 장비를 2대 배치해야 하며 이때 탐지효율은 44로 최대가 된다.

5.2 감시장비 배치모형II의 적용 예

가용한 감시장비수는 감시장비 배치모형 I 의 적용 예와 같고 배치대상 감시진지는 4개소가 선정되었으며 선정된 감시 진지별 R 및 T 장비의 탐지율은 <표 2>와 같다.

구분	진지 A	진지 B	진지 C	진지 D	가용장비수
장비 R	10	8	9	9.5	3
장비 T	6	5	4.5	5	3
배치장비수	0또는 2	0또는 2	0또는 2	0또는 2	6

<표 2> 감시진지별 감시장비 탐지율

문제는 탐지효율을 최대화할 수 있도록 R 및 T 장비를 진지 A, B, C, D 중 3개소를 선정하여 가용 장비를 배치하는 방법을 결정하는 것이다. 여기서 감시장비 배치모형 I 의 적용 예에 추가하여 진지 D에 배치되는 장비 R의 수를 X_{14}, 장비 T의 수를 X_{24}라 하고 감시장비 배치모형 II를 적용하면 다음과 같다.

$$\text{Max } Z = 10X_{11} + 8X_{12} + 9X_{13} + 9.5X_{14} + 6X_{21} + 5X_{22} + 4.5X_{23} + 5X_{24} \quad (38)$$

$$\text{s.t } X_{11} + X_{12} + X_{13} + X_{14} = 3 \quad (39)$$

$$X_{21} + X_{22} + X_{23} + X_{24} = 3 \quad (40)$$

$$X_{11} + X_{21} - 2y_1 = 0 \quad (41)$$

$$X_{12} + X_{22} - 2y_2 = 0 \quad (42)$$

$$X_{13} + X_{23} - 2y_3 = 0 \quad (43)$$

$$X_{14} + X_{24} - 2y_4 = 0 \quad (44)$$

$$X_{ij} \geq 0 \text{ , } X_{ij} : \text{integer} \quad \text{for } i = 1 ,2 \qquad j = 1, 2, 3, 4 \quad (45)$$

$$y_j \in \{0,1\} \qquad \text{for } j = 1, 2, 3, 4 \quad (46)$$

여기에서 y_j는 j 진지에 장비가 배치되면 1, 그렇지 않으면 0이다. 위 모형은 전형적인 정수계획법 문제(Integer programming)로서 분지한계법(Branch and bound method)을 이용하여 최적해를 구하면 $X_{11} = 1$, $X_{12} = 0$, $X_{13} = 0$, $X_{14} = 2$, $X_{21} = 1$, $X_{22} = 2$, $X_{23} = 0$, $X_{24} = 0$이 된다. 그러므로 진지 A에는 R 및 T장비를 각각 1대, 진지 B에는 T장비를 2대, 진지 D에는 R 장비를 2대 배치해야 하며 이때 탐지효율은 45로서 최대가 된다.

6. 결　　론

본 연구에서는 전장감시지역에 대한 탐지 능력을 최대화시킬 수 있도록 정수계획법 (Integer programming)을 적용하여 최적의 감시장비를 배치(Allocation or assignment)하는 수리적 모형을 제시하였다. 여기서 제시된 모형은 제한된 감시장비의 가용대수 범위내에서 책임 지역에 대한 탐지 능력을 최대화할 수 있는 최적의 감시장비 배치 모형으로서 감시장비 배치 대상 진지수와 가용 장비수와의 관계에 따라 두가지로 설정되었으며 첫째는 감시장비가 배치되지 않는 진지가 없는 경우에 최적 배치하는 방법을 제시하였다. 이 모형은 선정된 모든 감시 진지에 배치될 장비 수가 정해진 경우에 적용할 수 있다. 둘째는 감시장비가 배치되지 않는 진지가 한 개 이상 존재하는 경우에 최적 배치하는 방법을 제시하였다. 이 방법은 제한된 감시장비를 가용한 진지에 할당하는 양과 대상 진지를 동시에 선정하는 일반적인 경우에 적용할 수 있는 모형이다. 모형에 필요한 감시장비 배치 대상 진지에 대한 장비별 탐지능력, 즉 가시지역 면적은 육본에서 개발한 정밀 지형분석 소프트웨어를 이용하여 산정하였다.

이 모형을 감시 장비 배치에 적용한 결과 제한된 감시장비 가용대수 범위내에서 최대의 탐지 능력을 발휘할 수 있는 감시장비 배치 위치 및 배치 방법을 결정할 수 있었다.

추후 연구과제로서는 전장 감시지역중 중요 감시지역에 대한 상호 중첩이 허용되는 경우에 적용할 수 있는 최적 감시장비 배치 모형에 관한 연구와 탐지 대상 지역의 전술적 가치를 반영할 수 있는 연구 등이 필요하다.

참고 문헌

[1] 박 순달, 선형계획법, 서울 : 대영사, 1987.

[2] 尹 鉉旭, "敵 固定標的 威脅의 最小化를 위한 航空機 割當에 관한 硏究", 碩士學位論文, 國防大學院, 1988.

[3] 李 燦京, "多目標計劃法을 이용한 固定標的의 航空機 最適割當에 관한 硏究 ", 碩士學位論文 , 國防大學院, 1992.

[4] 鄭 炳主, 金 忠英, "目標計劃法을 이용한 航空機 割當模型에 관한 硏究", 韓國軍事運營分析學會誌, 1994, Vol. 20, No.1, 49-79.

[5] Backen, J. and G. P. McCormick, *Selected Application of Non-Linear Programming*, John Wiley Sons, New York, 1980, 22-24.

[6] Bazaraa, M. S., and J. J. Jarvis, *Linear Programming and Network Flows*, John Wiley, 1977.

[7] Dakin, R. J., *"A Tree Search Algorithm for Mixed Integer Programming problems"*, The Computer Journal 8, 1965, 250-255.

[8] Dantzig, G. B., *Linear Programming and Extension*, Princeton University Press, 1963.

[9] Gass, S. L., *Linear Programming, Methods & Applications*, 4th Edition, McGraw-Hill, 1975.

[10] Gavertt, J. W., and N. Plyter, *"the Optimal Assignment of Facilities to Location by Branch and Bound"*, Operations Research 14, 1966, 210-232.

[11] Land, H. H., and A. G. Doig, *"An Automatic Method for Solving Discrete Programming Problems"*, Econometrics 28, 1960, 497-520 .

[12] Lemus, F., and David, K. H., *"An Optimum Allocation of Different Weapon to Target Complex"*, Operations Research, Vol. II, 1983, 787-794.

[13] Little, J. D. C., K. G. Murty, D. W. Sweency, and C. Karel, *"An Algorithm for the Traveling Salesman Problem"*, Operations Research 11(6), 1963.

[14] Orlin, D., *"Optimal Weapons Allocation : Against Layered Defenses"*, Naval Research Logistics, Vol. 34, 1987, 605-617.

[15] Soland, R. M., *"Optimal Defensive Missile Allocation : Discrete Min-Max Problem"*, Operations Research, Vol. 21, 1973, 590-596.

[16] Soland, R. M., "Minimum - cost Mixtures of Area and Point Defenses Assuming Simultaneous Attack", Naval Research Logistics, Vol. 34, 1987, 337-363.

[17] Soland, R. M., *"Optimal Terminal Defense*

Tactics When Several Sequential Engag-ements are Possible", Operations Research, Vol. 35, 1987, 537-542.

[18] Solow, Daniel, *"Linear Programming An Introduction to Finite Improvement Algo-rithms"* , North - Holland, New York, 1984.