

적 공격시 공군기지에서의最適 消防車 배치모형 연구

(A study of optimal firecar location models under enemy attack at airforce base)

이 상 진, 김 시 연*

Abstract

This study deals with an optimal firecar location and allocation models under uncertain enemy attack at the airforce base. It allocates just one firecar on the runaway and the other firecars on the headquarter of firecar company in usual situation. It is possible for several facilities at the airforce base to be attacked simultaneously by missiles, enemy air attackers, other things under uncertain enemy attack. We formulate two stochastic LP location-allocation models to deal with uncertainty.

One model is to locate all firecars on one site like present situation. We generate a new firecar location with a weighted average method. We call this model "centralized allocation model." The other model is to distribute firecars on several possible sites. We call this model "distributed allocation model." Finally, we compare two models with computer experimentations on 8 airforce bases.

* 국방대학원

1. 序 論

現在 공군기지에서의 消防車의 일반적인 配置 概念은 航空機 離·着陸時 事故에 대비하여 비행 대기 선상에 1대를 배치하고 그 외의 소방차는 消防本部에 대기한다. 이러한 배치개념은 기지방어훈련에도 그대로 적용한다. 이러한 배치개념에서 적의 공중 혹은 지상 공격이 있을 경우 항공기 이외에 기지 주요시설이 동시다발적으로 피격되어 火災가 발생한다면, 이때 제한된 소방차를 가지고 어느 시설부터 우선적으로 화재 진압을 해야 될 것인가 하는 문제가 발생하며 또한, 전체 소방차가 消防本部에 集中配置되어 있을 때의 出動時間은, 消防本部 이외의 다른 여러 位置에 分散配置되어 있을 때의 出動時間과 차이를 가져올 수 있다. 따라서 본 연구의 목적은 基地防禦訓練時 또는 敵의 다양한 攻擊에 의해서 기지의 主要作戰 및 後方支援에 필요한 시설들이 동시다발적으로 被擊되어 피해가 발생했을 유사시를 대비하여 피해의 최소화 및 효과적인 復舊를 위한 消防車의 최적 대기장소를 미리 선정·할당하는데 있다.

모형 형성에 필요한 각종 자료는 기지를 방문하여 소탕대에 관련된 각종 객관적인 자료와 소방 관계관을 대상으로 면접 방법으로 수집된 자료를 바탕으로 하였다. 모형에 포함될 消防車의 대수는 각 基地 보유대수와 官에서 動員 및 지원 가능한 소방차의 대수이다.

먼저 空軍基地에서의 현 소방대의 위치가 最適適地인가를 평가하기 위해 場所立地 理論中的의 하나인 무게중심법을 사용하여 개선된 위치가 있는지를 살펴보았다. 다음으로 이 모형을 동시다발 피폭의 불확실성을 시나리오로 고려한 確率的 線型計劃問題로

형성하였다.[확률적 선형계획문제에 대해서는 [4],[5]를 참조] 이 단계에서 모형을 소방차를 집중배치했을 경우와 분산배치했을 경우의 두 경우로 나누어 보았다.[소방차 배치모형은 [10]을 참조]

구축된 모형으로부터 最適解를 구하기 위하여 線型計劃問題 패키지인 GAMS(General Algebraic Modeling System)[6],[7]를 이용하여 最適位置를 결정하였다. 소방차를 分散配置했을 때와 集中配置했을 때 컴퓨터 실행결과로 반응거리의 차이를 얻을 수 있었고, 어느 경우가 더 효과적인가를 알기 위해 T검정을 통하여 比較해 보았다.

2. 消防車 最適配置 模型의 考慮事項

본 연구의 消防車 最適配置模型은 복귀의 기습공격을 가정하여, 基地 주요시설이 同時多發的으로 피격되었을 때 가장 빠른 시간내에 最適位置에서 效果的으로 소방차를 피격시설에 割當하는 것으로 이 모형에서의 考慮事項은 다음과 같다. 첫째, 적 기습시 화재 혹은 파괴가 1개 시설물 뿐 아니라 여러 시설에서 동시에 발생할 수가 있으며 공군기지의 시설물들은 기지의 운영상 중요도 및 우선순위가 다르다. 둘째, 시설이 파괴될 때 어떠한 시설이 어느 정도 피해를 당할지는 불확실하다. 셋째, 화재의 피해를 최소화하기 위해서는 피해 복구에 요구되는 消防車 대수를 가장 빠른 시간내에 피해지역에 출동해야만 피해를 最小化할 수 있다.

모형을 형성하는데 필요한 가정사항은 다음과 같다. 첫째, 운영 및 작전상 필요를 위한 復舊優先順位가 설정되어야 한다. 그러나 복구우선순위가 정하여

지더라도 시설복구 규정과 관행이 절대적 우선순위(preemptive priority)에 따르는 것인지 또는 상대적 우선순위(relative priority)에 따르는 것인지에 따라 소방차의最適配置는 달라지기 때문에 현행 空軍復舊規定과 慣行을 참조하여 우선순위를 결정해야 한다. 둘째, 위험 상황시 피폭은 적의 기습에 따라 달라짐으로 적의 施設物 공격 優先順位가 어떤 것인지를 파악하고 어느 정도의 파괴가 이루어질 것인지를 判斷해야 한다. 이 정보는 결정적인 것이 아니라 확률분포에 따른 확률적인 것이다. 셋째, 시설물의 피폭 여부와 피폭 정도는 불확실하다.

이러한 고려사항하에서 本 研究에서는 다음을 가 정하였다. 첫째, 시설물 복구 우선순위를 결정하는데 는 피해복구의 관행상 相對的 優先순위를 고려하였 다. 둘째, 적의 기습으로 인한 시설물의 피폭 정도는 대파,중파,소파 및 피해없음의 4가지 경우로 구분하 는 것이 바람직 하나 이 연구의 실행부분에서는 파 괴 혹은 피해없음의 2개의 경우로만 구분하고 예제 문제는 대파, 소파, 피해없음의 3개의 경우로 구분하 였다 2개로만 구분한 중요한 이유는 4가지 경우에 는 문제가 대규모화되어 분해해법(decomposition method)을 사용해야 할 필요성이 증대되기 때문이 다.[분해해법에 대해서는 [5],[6],[8]을 참조] 그러나 본 연구에서 피폭 정도를 2가지로 구분해도 4가지로 구분할 때와 별 문제가 되지 않는데 그 이유는, 적 의 공격으로 주요 시설 피폭 정도의 확률분포는 음 성지수분포와 유사한 형태를 가질 것이라는 것이다. 음성지수분포를 이루면 파괴의 확률 보다는 비파괴 의 확률이 더 크게 나타나며 파괴시에 요구되는 소 방차의 대수도 대파,중파,소파의 기대값으로 구할 수 있기 때문에 2가지로 구분 하더라도 큰 문제는 없

다. 각각의 주요시설별로 음성지수분포를 고려하면 優先順位가 낮은 施設이 優先順位가 높은 施設보다 소방차 평균요구대수값(λ)이 작을 것이다. 셋째, 피폭정도를 2가지 경우로 고려하였을 때 시나리오의 총발생수는 2^m 개이다. 여기서 m 은 기지내에 주요시 설 개수이며 만약, m 이 7개라면 시나리오 총 발생 갯수는 128개이다.[시나리오 발생에 대해서는 [5]를 참조] 마지막으로 기지내부의 소방차가 부족할 때, 외부의 지원을 받을 수 있는데 이 경우 동원가능한 외부소방차의 지원대수에는 제한이 없다는 것과 동 원되는 소방차의 성능은 동일하다는 가정을 하였다.

3. 最適立地 決定 模型의 設定

가. 무계중심법에 의한 개선위치결정

무계중심법을 사용하여 현 공군기지 소방대의 위 치가 최적위치에 배치되어 있는가를 평가해 보기 위 하여 施設 자체의 중요도를 고려한 가중치를 부여한 무계중심법을 적용하여 보았다. 가중치를 부여하는 방법으로는 크게 두 가지로 나눌 수가 있는데 시설 의 상대적 중요성을 고려했을 경우와 각 시설의 중 요도를 동일하게 보는 방법이 있다.[무계중심법에 대 해서는 [9]를 참조하라].

(1) 相對的 重要性을 考慮했을 경우

각 시설에 대한 상대적 중요도를 평가한 다음, 이 상대적 가중치를 각 시설물의 좌표값에다 곱하여 무계중심법에 의한 입지를 결정하는 방법이다. 이것 을 數式으로 나타내 보면 식(1-1)과 같다. 이 식에서

새로운 시설이 위치할 좌표를 (x,y)라 할 때,

$$x = \sum_{j=1}^m wt_j x_j, \quad y = \sum_{j=1}^m wt_j y_j \quad (1-1)$$

여기서 wt_j : 施設 j의 상대적 가중치

x_j : 施設 j의 X축 좌표 값

y_j : 施設 j의 Y축 좌표 값

(2) 重要度を 同一하게 두었을 경우

각 시설물의 중요성을 동일하게 두었을 경우의 무게 중심위치를 식으로 표현하면 식(1-2)와 같다.

$$x = \sum_{j=1}^m (x_j/m), \quad y = \sum_{j=1}^m (y_j/m) \quad (1-2)$$

m : 기지 주요시설의 갯수

나. 최적배치 模型의 구성

모형에 사용된 모수 및 변수는 다음과 같다.

i : 소방차의 위치($i=1, \dots, n$)

여기서 n 은 소방차를 집중배치할 경우에

현재위치와 외부지원위치 합하여 2이며,

분산배치할 경우는 예상입지 $n-2$ 개와

현재위치와 외부지원위치 합하여 n 개이다.

j : 기지 주요시설 입지($j=1, \dots, m$)

ω : 시나리오($\omega=s_1, \dots, s_k$,

여기서 k 는 시나리오의 갯수)

c_{ij} : 소방차 입지 i 에서 주요시설 j 까지 거리

d_j : 시설 j 에서의 소방차 요구대수

wt_j : 주요시설 j 의 상대적 가중치

R : 기지 소방차 보유 대수

y_i : 분산배치 후 장소 i 에 배치할 소방차 대수

x_{ij} : 소방차 입지 i 에서 주요시설 j 까지 소방차 할당 대수

$p(\omega)$: 시나리오 ω 가 일어날 확률

시나리오를 고려하는 모형에서 $d_j(\omega)$ 는 시나리오 ω 하에서의 주요시설 j 에서 필요로 하는 소방차의 대수이다. 모형은 크게 3가지로 구성될 수 있는데 첫째, 시나리오를 고려하지 않고 소방차를 집중배치했을 경우의 消防車 割當模型, 둘째, 시나리오를 고려하고 집중배치했을 경우의 消防車 割當模型, 셋째, 시나리오를 고려하고 消防車를 분산배치한 경우의 消防車 配置模型으로 구별하여 형성하였다.

(1) 시나리오를 고려하지 않으며 집중배치할 경우의 模型

[모형(2)]

$$\min Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m wt_j c_{ij} x_{ij} \quad (2-1)$$

s.t.

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} \geq d_j, \quad j=1, \dots, m \quad (2-2)$$

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} \leq R \quad (2-3)$$

$$\sum_{j=1}^m x_{2j} = \sum_{j=1}^m d_j - R \quad (2-4)$$

$$x_{ij} \geq 0, \quad \forall i, j$$

이 모형은 집중배치하는 경우이기 때문에 두 군데의 소방차 배치장소가 있으며 여기서 $i=1$ 는 消防車의 現在立地를 말하며 $i=2$ 는 외부에서 지원 받는 소방대이다. 식 (2-2)는 施設 j 에서 요구하는 소방차는 소방본부와 외부에서 배당받을 수 있는 소방차를 합한 것과 최소한 같거나 많아야 한다는 것을 나타낸다. d_j 는 施設 j 에서의 消防車 요구대수로서 이

는 基地 主要施設의 倂격확률의 기대값으로 산출한다. (이 값이 소수일 때는 올림한 정수값을 사용)

식(2-3)은 소방본부에서 모든 시설입지 j에 대한 消防車 지원대수의 합은 기지내의 지원 가능한 消防車 대수 R의 범위내에 있어야 한다. 그리고 외부 소방서 i=2에서 지원할 모든 시설 j에 대한 消防車 지원대수의 합은 식(2-4)로 나타낼 수 있다. 모든 시설에서 필요한 消防車는 내부 소방차를 먼저 활용하고 난 후 부족하다면 부족분에 대하여($\sum_{j=1}^m d_j > R$ 인 경우) 외부의 지원을 얻어야 하는데 외부에서 지원받아야 할 값이 식(2-4)의 우변상수값이다. 내부 소방차를 활용하더라도 부족하지 않는다면($\sum_{j=1}^m d_j \leq R$ 인 경우) 외부로부터 지원받아야 할 필요가 없기 때문에 식(2-4)의 우변상수값은 0이 된다.

(2) 시나리오를 고려하며 집중배치할 경우의 模型

[모형(3)]

$$\min Z = \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^m \sum_{\omega=1}^{sk} w_{\omega} p(\omega) c_{ij} x_{ij}(\omega) \quad (3-1)$$

s.t.

$$\sum_{i=1}^2 x_{ij}(\omega) \geq d_j(\omega), j=1, \dots, m \quad (3-2)$$

$$\sum_{j=1}^m x_{ij}(\omega) \leq R \quad (3-3)$$

$$\sum_{j=1}^m x_{2j}(\omega) = \sum_{j=1}^m d_j(\omega) - R \quad (3-4)$$

$$x_{ij}(\omega) \geq 0, \forall i, j, \omega$$

본 모형에서 목적함수 값 Z는 소방차를 최적할당 하였을 때의 기대가중치 값이며 여기서 $p(\omega)$ 는 시나리오가 일어날 확률로서 구하는 방법은 假定事項으로 주어져 있다.

식(3-3)은 현소방본부에서 시나리오 ω 에 의해서 모든 시설물들 j에서 필요로 하는 消防車 요구대수

의 합은 지원 가능한 消防車 대수 R의 범위 내에 있어야 한다는 조건이다. 그러나 장소 j의 파괴 범위가 크거나, 同時多發倂격 규모가 크서($\sum_{j=1}^m d_j(\omega) > R$ 인 경우) 현소방본부에서 모든 설비 j의 요구를 충족시키지 못할 경우에는 외부지원을 받아야 하는데 이것의 제약식은 식(3-4)와 같다. 즉, i=2의 장소에서 지원해야 할 소방차의 대수는 시나리오 ω 에서의 모든 시설 j에서 필요한 消防車 대수에서 基地 保有 대수 R을 제외한 나머지가 될 것이다. 내부 소방차로서 모든 기지내 설비에 소방차를 공급하기에 충분하다면($\sum_{j=1}^m d_j(\omega) \leq R$ 인 경우) 우변상수값은 0이 된다.

결국 消防車 입지 i=1,2에서 각 시설물 j에 지원가능한 소방차 대수는 시설물 j가 요구하는 消防車 기대값과 같거나 많아야 하는데 이것을 식으로 나타내면 식(3-2)와 같다.

(3) 시나리오를 고려하며 소방차를 분산배치할 경우의 模型

[모형(4)]

$$\min Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{\omega=1}^{sk} w_{\omega} p(\omega) c_{ij} x_{ij}(\omega) \quad (4-1)$$

s.t.

$$\sum_{i=1}^n x_{ij}(\omega) \geq d_j(\omega), j=1, \dots, m \quad (4-2)$$

$$\sum_{j=1}^m x_{ij}(\omega) \leq y_i, i=1, \dots, n \quad (4-3)$$

$$\sum_{j=1}^m x_{2j}(\omega) = \sum_{j=1}^m d_j(\omega) - R, \quad (4-4)$$

$$x_{ij}(\omega) \geq 0, \forall i, j, \omega$$

이 모형에서는 소방차의 분산 배치와 시나리오 ω 를 동시에 고려하고 있다. 消防車의 분산 배치는 基地 保有 消防車 대수 R을 여러 위치에 분산시키

는 개념으로 분산 배치 장소 i 에서 배치할 消防車 대수는 y_i 가 되며 이것을 식으로 나타내면 식(4-3)과 같이 된다. 우변상수 y_i 를 모두 합하면 기지 보유 소방차 대수 R 이 된다.

그리고 외부에서 지원 가능한 消防車 대수는 분산배치된 消防車 위치에서 피격 시설물들이 요구하는 消防車 대수를 충족 시키지 못할 경우에 미 충족분에 대한 수량만 지원 하는데 이것은 식(4-4)와 같이 나타난다. ($\sum_{j=1}^m d_j(\omega) > R$ 인 경우 반대인 경우는 우변상수값이 0이 된다.) 여기에서도 消防車 예상 입지 $i=1, \dots, n$ 에서 지원 가능한 消防車 대수는 모든 시설물 j 가 요구하는 消防車 대수와 같거나 많아야 하는데 이것을 식으로 쓰면 식(4-2)와 같다.

4. 最適配置 模型 入力資料

가. 소방차 지원 우선순위

공군피해복구 규정에 따르면 유사시 작전지원 우선순위가 개략적으로 비행직접 지원시설이 1순위, 작전 지원시설이 2순위, 정비 지원시설이 3순위, 후방 지원시설이 4순위, 기타 5순위 등으로 나타나 있다.[1],[2],[3]

그러나 主要 各 施設別로는 가중치가 나타나있지 않음으로 가중치를 구하기 위해 8개기지 소방대장을 면접조사하여 '유사시 基地 主要施設이 동시다발적으로 피폭될 때 어느 시설을 먼저 지원 할 것인지 순서대로 나열하라'라는 설문을 실시하고 7개 기지 주요시설에 대한 지원우선순위 빈도표를 도출하였다. 이 표를 기준으로 1순위에 7점, 2순위에 6점, ..., 7순위에 1점의 점수를 부여한 결과 총점이 <표1>과

같이 나타났는데 본 연구에서는 이 결과를 가지고 지원 우선순위와 시설별 가중치 값을 정하였다.

<표1> 소방차 지원 우선순위

시설명	점수	우선순위
항공기	56	1
격납고	40	2
상황실	34	3
TACAN	31	4
유지고	29	5
탄약고	19	6
보급창고	9	7

나. 주요시설 피격확률

피폭 정도에 대한 파괴와 비파괴의 확률은 음성지수분포를 가정하여 파괴에 대한 기대값을 계산하였고 주요시설 피격확률은 다음과 같이 구하였다.

정보본부에서 발간한 북괴공격양상에 따르면 공군 기지 자체에 대한 북괴공격 횟수는 알 수 있으나, 기지 施設 하나 하나에 대한 공격률은 객관적으로 나타나있지 않는 불확실한 상황이기에 본 연구에서는 이 문제를 다음과 같이 가정하였다. 기지의 7개 주요시설을 제일 중요한 시설부터 중요도를 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7로 정하였을 때 상대방도 우리 기지의 주요시설에 대한 파괴 우선순위를 알고 있다고 가정하고 적국의 공습이 이루어 진다면 중요도가 1시설에 7배, 2시설에 6배, 3시설에 5배, ... 7시설에 1만큼 공격한다고 가정하였다. 즉, 이렇게 계산하면 중요도 1순위시설물의 피격확률은 0.25, 2순위 시설물은 0.21, ... 최하위 시설물의 피격 확률은 0.03의 피격확률이 산출되어진다.

다. 주요시설간 거리측정

配置問題에서 確率的 線型計劃 모형의 目的函數 계수로 고려되어야 할 基本要素는 距離이다. 왜냐하면 피해 예상 지역에 最短 時間에 도착하기 위해서는 도로의 상태 및 은폐지역이 있는지를 미리 고려하여야 하며 消防本部에서 主要施設까지 도로의 형태가 직선 및 직각의 경로인지를 파악하여야 하기 때문이다.

本 研究에서는 직각거리와 직선거리 중에서 空軍 基地가 바둑판식으로 정리된 점을 考慮하여 직각거리법을 사용한다. 두 지점 A, B 사이의 p거리를 구하는 공식은 식 (5)로 표시 된다.[11]

$$d(A,B) = [|x_a - x_b|^p + |y_a - y_b|^p]^{1/p} \quad (5)$$

식 (5)는 두 지점 A와 B사이의 거리를 나타내며 p=1일 때 직각거리를, p=2일 때 직선거리를 의미한다.

라. 파괴범위에 따른 消防車 소요대수 추정

공군에서 사용하는 破壞의 範圍는 항공기 정비 부서에서 사용하는 항공기 破壞範圍와 시설에서 사용하는 시설에 대한 破壞範圍로 크게 나눌 수가 있는데 모두 比率로 명기하고 있으며 航空機의 경우는 많은 발전을 거듭하여 대파, 중파, 소파의 概念定立이 명확하게 되어있으나 시설물의 경우에는 그렇지 못하고 더구나 시설물이 대화재, 소화재의 경우 몇 대의 진화 및 복구 장비가 소요되는지는 아직 객

관적으로 나타난 자료가 없다.

그러나 추상적인 화재의 개념으로는 파괴 및 화재 범위에 따른 소방차의 소요 대수를 산출할 수가 없음으로 裝備의 最適配置 문제를 效果의으로 해결할 수가 없다. 따라서 本 問題의 해결을 위해서 基地 主要施設이 대파, 중파, 소파 되었을 경우 8개 基地 消防隊長을 대상으로 설문을 실시하여 그들의 다년간의 경험치로 추측한 기지 주요 시설물의 피폭 정도에 따른 消防車 소요 대수를 구하였다. 消防車 소요 대수는 앞으로 구성될 모형의 變數로 사용되는데 첫째, 시나리오를 고려하지 않은 모형 (2)에서는 대파, 중파, 소파, 파괴없음의 분포 확률의 기대값으로 消防車 대수를 적용하고, 둘째, 시나리오를 고려했을 때는 變數값이 파괴없음의 경우는 0이고, 파괴의 경우는 대파, 중파, 소파의 분포확률의 기대값으로 하였다.

마. 피격 시나리오 발생

被擊 시나리오 發生確率은 主要 施設의 數가 7개 소이고 시설당 피격의 경우가 2가지일 때 128가지의 시나리오가 일어날 수 있는데 각 시나리오가 일어날 確率은 각 시설의 피격되는 사상(event)이 독립이라는 가정하에 主要施設에 대한 피격 확률의 곱으로 계산하였다.

바. 소방대 분산위치 결정 방법

본 연구에서 소방대의 분산위치는 주요시설이 7가지일 경우 豫想立地는 127가지이나($\sum_{k=1}^7 r_k = 127$) 이 모든 위치를 좌표상에 도시하기란 쉬운 일이 아

니며 模型 자체가 엄청나게 커져서 분해해법을 사용하지 않고 기존 LP프로그램으로는 실행시킬 수 없다. 그러므로 본 연구에서는 소방대 분산위치 결정을 위해서 휴리스틱 접근법을 고려하여 예상가능 입지중에서 127개중에서 5개의 가능입지만을 고려하였다. 즉, 소방대장들이 상대적 우선순위가 높은 시설물 주위에 소방차를 배치하겠다는 인터뷰 결과에 따라 우선순위가 높은 2개 시설물 근처, 무게 중심법에 의해서 계산된 3개 장소, 총 5개소의 예상입지와 기존의 위치 2개소(현 위치와 외부지원위치)를 합하여 총7개소의 입지를 선정하여 적용하였다.

5. 가상사례분석

가상적인 예를 통하여 施設配置問題의 理解를 돕도록 하였다. 본 사례 문제에서 主要 시설은 3개소로 L1, L2, L3이며 현 소방대의 위치는 F8로 표시되었다. 이들 시설의 좌표(X,Y)는 L1(1,4), L2(2,1), L3(5,5), F8(4,3)이다. 그리고 분산배치될 소방대 위치는 7개소(F1, F2,..., F7)로 고려하였다. 여기서는 휴리스틱 접근법을 사용하지 않고 예상가능한 입지모두를 고려하는 차원에서 7개소를 고려하였다. ($\sum_{k=1}^3 C_k=7$) 여기에 현 소방대 위치(F8), 외부지원 소방대 위치(F9)를 합하여 9개의 소방차 입지가 있다. 이 9개소의 예상입지중 F4, F5, F6는 주요시설과 시설간의 중앙에 위치 하는데 이들 시설의 좌표 (X,Y)는 F4(1.5,2.5), F5(3,4.5), F6(3.5,3)으로 주어진다. 세 시설의 중앙인 F7의 좌표는 (2.67, 3.3)이다. 그리고 분산위치 소방대 예상입지에서 主要 施設間의 거리는 <표2>와 같이 주어진다.

<표2> 소방대 예상입지에서 시설까지 거리

(단위: Km)

입지\시설	1 시설물	2 시설물	3 시설물
F1	0	4	5
F2	4	0	7
F3	5	7	0
F4	2	2	6
F5	2.5	4.5	2.5
F6	3.5	3.5	3.5
F7	2.37	2.97	4.03
F8	4	4	3
F9	10	10	10

基地 主要施設 優先順位와 消防車 요구대수는 <표3>과 같다고 가정하며, 기지가 보유한 消防車 대수는 5대이다. 외부지원은 최대 10대까지 가능하며 基地까지의 距離는 10km라고 가정한다. 시설물 우선순위에 따라 본 사례에서의 가중치는 $wt_1 = 0.5$, $wt_2 = 0.33$, $wt_3 = 0.16$ 로 주어졌다.

<표3> 시설물당 소방차 요구대수 및 우선순위

시설물	소방차 요구 대수			우선순위
	대과	소과	비과과	
L1	8대	4대	0대	1
L2	4대	2대	0대	2
L3	2대	1대	0대	3

먼저 현 위치가 최적입지인가를 평가하기 위해 무게중심법으로 구한 위치를 비교해 보았다. 여기서는 主要 시설간의 상대적 우선순위에 의해 무게중심 위치를 구하였는데, 그 위치는 X=2, Y=3.13의 좌표이다.

이 사례를 첫째, 현 소방대 위치에서 (2)의 모형을 실행하여 반응 거리를 확인해 보고, 둘째, 무게중심법에 의해 계산된 소방대 위치에서 (2)의 모형을

실행하여 반응 거리를 확인하며, 셋째, 현 소방대 위치에서 미래의 불확실성하의 시나리오를 고려하였을 때 (3)의 모형을 구성하여 반응 거리를 살펴보고, 넷째, 무게중심법에 의해 계산된 소방대 위치에서 미래의 불확실성하의 시나리오를 고려하였을 때 (3)의 모형을 실행하여 반응 거리를 살펴보고, 마지막으로 분산된 소방대 위치와 미래 불확실성하의 시나리오를 동시에 고려한 (4)의 모형을 실행하여 반응 거리를 살펴 볼 것이다.

사례 문제를 실행해 본 결과를 종합하면 <표4>와 같다.

<표4> 사례실행결과

실행 경우	최적값
현위치에서 (2)모형	3.5
무게중심위치에서 (2)모형	3.46
현위치에서 (3)모형	4.53
무게중심위치에서 (3)모형	2.66
분산위치에서 (4)모형	0.21

결과에서 보는 것처럼 현 소방대 위치에서 시나리오를 고려하였을 때의 가중치 값은 4.53이며 분산배치에서 가중치 값은 0.21이다. 즉 현 위치에서는 同時多發狀況에 대처할 수 있는 능력이 미흡하다고 볼 수 있으며 또한 현재의 소방대 위치는 각 시설의 重要度도 고려하고 있지않다고 판단이 된다. 그러므로 가상적인 사례의 결과에서 보듯이 同時多發狀況에 적극적으로 대처하기 위해서는 지점 F1과 지점 F2, 지점 F3에 소방차를 분산배치시키는 것이 최적의 상태라고 볼 수가 있다.

6. 컴퓨터 實行 및 結果

먼저 8개 기지에 대한 무게중심위치를 먼저 구한 다음에 컴퓨터 실행을 하였다.

가. 무게중심법에 의한 消防隊 位置比較

여기에 사용된 基地 主要施設은 활주로상 기동항공기, 격납고, 단본상황실, 통신 레이더(TACAN), 유지소, 탄약고, 보급창고 등 7개소를 대상으로 실제의 座標를 가지고 比較해 보았으며 本 研究에서는 基地 主要施設을 편의상 다음과 같은 記號로 표시한다. L1(항공기), L2(격납고), L3(단본부 상황실), L4(통신 레이더), L5(유지고), L6(탄약고), L7(보급창고).

(1) 相對的 優先順位 를 부여하였을 경우

<표5>에서 보는 바와 같이 主要施設의 相對的 優先順位를 고려하여 계산된 消防隊의 위치는 E기지가 1.12km로서 가장 큰 차이를 보였고, A기지는 0.8km, F기지는 0.59km, C기지는 0.53km, B기지는 0.44km의 차이를 보여 주고 있으며 D기지, G기지, H기지는 근소한 차이를 보여 주고 있다. 이 결과에서 거리간의 차이가 크면 클수록 현 소방대의 위치가 무게중심법에 의해 적합하지 않다는 것이고 차이가 적으면 적을수록 무게중심법에 의한 최적배치에 적합하다고 할 수 있다.

<표5> 가중치가 상대적일 때 무게중심 위치

기지	현좌표	무게중심좌표	거리차이(Km)
A	(4,3)	(4.23, 3.62)	0.85
B	(5,3)	(4.56, 3.48)	0.44
C	(3,3)	(3.46, 2.93)	0.53
D	(4,4)	(3.76, 3.95)	0.29
E	(3,3)	(4.06, 2.94)	1.12
F	(4,4)	(3.80, 4.39)	0.59
G	(4,4)	(3.85, 3.90)	0.25
H	(4,4)	(4.17, 4.10)	0.27

2) 각 主要施設의 重要度を 同一하게 두었을 경우

<표6>에서 보는 바와 같이 主要 施設의 중요도를 同一하게 고려하여 계산된 消防隊의 위치는 F기지가 1.59km로서 가장 큰 차이를 보였고, E기지는 1.49km, A기지는 1.05km, C기지는 0.77km, D기지는 0.70km의 차이를 보여 주고 있으며 B기지는 0.64km, G기지, H기지는 근소한 차이를 보여주고 있다. 이 결과에서 거리간의 차이가 크면 클수록 현 소방대의 위치가 무게중심법에 의해 적합하지 않다는 것이고 차이가 적으면 적을수록 무게중심법에 의한 최적배치에 적합하다고 할 수 있다.

<표6> 가중치가 동일할 때 무게중심 위치

기지	현좌표	무게중심좌표	거리차이(Km)
A	(4,3)	(4.25, 3.80)	1.05
B	(5,3)	(4.36, 3.49)	0.64
C	(3,3)	(3.62, 2.83)	0.77
D	(4,4)	(3.51, 3.79)	0.70
E	(3,3)	(4.37, 2.88)	1.49
F	(4,4)	(2.90, 4.49)	1.59
G	(4,4)	(3.68, 4.10)	0.42
H	(4,4)	(4.37, 4.10)	0.47

나. 模型의 實行

수집한 자료에 대하여 PC 486(8 Mega RAM)에서 GAMS를 이용하여 8개 기지에 대하여 5가지 경우를 고려하여 총 40개의 LP문제를 실행하였다. 5가지 경우란 (1) 시나리오를 고려하지 않은 가운데 현 위치에 집중배치할 경우, (2) 시나리오를 고려하지 않은 가운데 무게중심 위치에 집중 배치할 경우, (3) 시나리오를 고려하는 가운데 현 위치에 집중배치할 경우, (4) 시나리오를 고려하는 가운데 무게중심 위치에 집중배치할 경우, (5) 시나리오를 고려하는 가운데 분산배치하는 경우이다. 이러한 5가지 경우에 대하여 각 8개 기지를 대상으로 컴퓨터 실행을 하였으며 결과는 <표7>과 같다.

<표7> 실행결과 최적값

기지	(1)경우	(2)경우	(3)경우	(4)경우	(5)경우
A	6.258	6.097	0.071	0.064	0.044
B	1.710	1.350	0.107	0.087	0.048
C	1.270	1.093	0.027	0.032	0.010
D	1.635	1.774	0.041	0.060	0.020
E	2.864	1.860	0.069	0.044	0.023
F	2.217	2.172	0.048	0.048	0.028
G	1.732	1.713	0.038	0.040	0.022
H	2.025	1.938	0.027	0.026	0.015

<표7>의 결과에서 예를 들어 A기지에 대해서만 설명하면 (1)의 경우는 가중치 값은 6.258, (2)의 경우는 6.097, (3)의 경우는 0.071, (4)의 경우는 0.064, (5)의 경우는 0.044가 된다는 뜻이다. 여기서 시나리오를 고려하지 않았을 경우와 시나리오를 고려했을 경우는 상황이 다르므로 함께 비교할 수 없고 시나리오를 고려하지 않았을 경우끼리, 시나리오를 고려했을 경우끼리 비교를 할 수 있겠다. 조사에 포함

된 기지의 수가 8개로 비교적 작은 숫자임으로 각 경우의 최적값이 같지 않다는 것을 검증하기 위해 T검증을 실시하였고 그 결과는 다음 <표8>과 같다.

<표8> T검증 결과비교

비교모형	유의도	결과
(1)경우와 (2)경우	0.152	차이 없음
(3)경우와 (4)경우	0.482	차이 없음
(3)경우와 (5)경우	0.002	차이 있음
(4)경우와 (5)경우	0.000	차이 있음

종합된 결과를 볼 때 시나리오를 고려했거나 안했거나 상관없이 현재 위치에서 실행한 결과와 무계중심법에 의하여 계산한 위치에서 실행한 결과의 차이는 유의한 차이가 없었다. 시나리오를 고려한 가운데 분산배치의 실행결과와 현 위치의 집중배치 그리고 분산배치와 무계중심 위치 결과와의 차이는 매우 유의한 차이를 보이고 있음으로 현재 기지의 소방대 위치는 적국의 同時多發의인 상황에 대처하는데 미흡하다고 볼 수 있다. 따라서 이 결과를 놓고 볼 때, 미래의 불확실성하의 同時多發의인 主要施設 피격 상황에 능동적으로 대처하기 위해서는 (5)의 모형을 이용하여 소방차를 최적의 장소에 분산배치하여 운영하는 것이 가장 효과적이다

분산배치하는 것이 가장 효과적인데 그러면 어느 장소에 몇대를 배치하며 외부에서 획득해야할 소방차의 기대값은 (5)의 경우를 컴퓨터실행결과 획득할 수 있으며 그 결과는 다음의 <표9>에 나타나 있다. 여기에서 F1은 기지내의 최우선순위시설 근처, F2는 제2최우선순위시설 근처, F3는 F1과 F2 위치의 중간 위치이지만 우선순위가 높은 F1 지점에 더 가까운 지점이다. F4는 상대적 가중치를 고려한 무계중심위치, F5는 가중치를 동일하게 고려한 무계중심

위치, F6는 현 소방본부 위치, F7은 외부 지원 소방서를 말한다.

<표9> 분산배치에서 실행결과

기지	분산배치 위치 및 할당
A	F1(4), F2(1), F4(1), F6(1)
B	F1(5), F2(2), F4(1), F6(1)
C	F1(6), F2(1), F5(1), F6(1)
D	F1(5), F2(1), F5(1), F6(1)
E	F1(5), F2(1), F3(1), F5(1)
F	F1(4), F2(1), F5(1), F6(1)
G	F1(1), F2(4), F4(1), F5(1), F6(1)
H	F1(3), F2(1), F4(1), F5(1), F6(1)

(괄호안은 소방차 배치대수임)

7. 結 論

本 研究는 北傀의 기습공격에 대비하여 공군 기지의 피해를 최소화하기 위해 필요한 복구장비를 최적 위치에 배치하는 문제이다. 이 문제는 미래 적 공격양상이 불확실함으로, 이 불확실성을 고려하여 이 문제를 確率的 線型計劃模型으로 형성하였다. 實測한 자료와 소방대장의 의견을 바탕으로 모형에 적용하였으며 결과는 다음과 같이 나타났다.

첫째, 본 연구에서 입력된 자료를 기준으로 하여 현재 공군기지의 소방대 배치와 각 시설별 중요도를 고려한 무계중심법에 따른 배치결과를 비교할 때 현재 공군 기지의 소방대는 最適配置立地와는 차이가 난다는 것이다.

둘째, 同時多發 피격상황이 발생하였을 때 집중 배치된 장소에서 지원하는 것보다는 分散配置된 여러 場所에서 지원하는 것이 가장 빠른 시간내에 피해를 최소화하는데 효과적인 결과로 나타났다.

셋째, 불확실성하의 시나리오를 고려함으로써 현재 外部에서 지원 받아야하는 消防車 대수를 추정하여 意思決定者로 하여금 效率인 판단을 할 수 있게하고, 분산배치 모형을 통해서 어느 장소에 몇 대를 할당할 것인지 의사결정을 하는데 도움을 줄 수가 있다.

그런데 消防車 最適配置模型 연구에서는 다음과 같은 한계점이 있는데 첫째, 이 모형은 불확실성하의 시나리오를 考慮하였으나, 시나리오를 고려하는 과정에서 基地主要施設 하나 하나에 대한 정확한 被擊確率과 피격시 피격에 따른 피해 범위의 개념이 정확하게 定義되어 있지 않았다. 이를 극복하기 위해 消防隊長 의견을 기초로한 자료와 이론적인 피격 분포형태를 고려하였지만 연구자의 주관이 상당부분 포함되어 있기 때문에 실제 상황에서 나타나는 피해 범위에 따른 消防車 대수와 다소 차이가 있을 수 있다는 한계가 있다. 둘째, 다른 제한 사항으로는 본 모형에 적용된 거리 계산시 일률적으로 직각 거리법을 채택하여 사용 함으로써 실제 시설과 시설간의 거리가 차이가 있을 것이다. 셋째, 각 시설물의 피격 범위를 3가지 이산적(discrete)인 경우로만 한정시켜 자료를 획득하였고 시나리오를 형성할 때는 2가지 경우만 고려하였다는 약점이 있다. 이는 시설물 피격 범위를 4가지로 할 경우는 7개 시설이 있다면 시나리오 발생수가 4^7 개 즉, 16,384개나 되어 문제가 대규모화되어(예를 들어 분산배치 원LP문제의 할당 변수(x_{ij})가 49개라면 시나리오를 고려하는 경우의 사결정변수는 802,816개임) GAMS(이 프로그램이 풀 수 있는 문제의 크기는 의사 결정변수가 20,000여개 정도임)로는 풀 수 없기 때문이었다. 이러한 4가지 경우를 고려한 대규모화된 문제를 풀기 위해서

는 분해해법을 활용하여야 할 것이다.

本 研究 결과에 대한 기대효과 및 향후 발전방향은 다음과 같다. 첫째, 시나리오에 따른 소방차의 最適 분산위치와 할당대수를 미리 지정할 수 있음으로 主要施設 피격시 가장 빠른 시간내에 피해지역으로 소방차를 이동시킬 수가 있다. 둘째, 본 모형의 부수적인 결과로 이러한 시나리오가 발생하였을 때, 空軍 기지가 보유하여야 할 소방차의 대수를 추측할 수 있으며 空軍 기지 능력부족시 외부로부터 몇 대의 소방차를 지원받아야 하는지도 예상할 수가 있다. 셋째, 본 모형을 평소 기지방어 훈련시 시나리오에 따라 적용하여 소방차 배치훈련을 실시함으로써 유사시 우리의 방어 능력을 배가시킬 수 있다.

마지막으로, 향후 발전 사항으로 본 모형을 토대로 좀더 발전된 研究를 한다면 응급복구에 필요한 모든 要素(병력,장비,자재 등)를 동시에 고려하여 最適의 위치에 分散配置한다면 유사시 同時多發被擊 상황이 발생하여도 효과적으로 복구할 수가 있을 것이다.

參 考 文 獻

- [1] 공군본부, 「소방 및 항공기 사고구조」 (대전: 공군규정 9-31, 1993).
- [2] 공군본부, 「비행장시설 피해복구」 (대전: 공군규정 9-71, 1993).
- [3] 공군본부, 「방화계획 및 운영절차」 (대전: 공군교범 9-31, 1988).
- [4] 이상진, “불확실성하의 목표계획법을 적용한 무기체계 소요판단,” 「국방연구」 제37권 제2호, 1994, pp.185-208.

- [5] 이상진, “확률적 선형계획문제: 수학적 모형, 해법, 군사적 적용,” 「국방대학원 교수논총」 제3집 1호, 1995, pp.181-208.
- [6] 이상진, “저장 능력이 무한대인 장소입지 문제에 벤더즈 분해기법과 GAMS의 적용,” 「경영과학」 제12권 제2호, 1995, pp. 63-75.
- [7] Brooke, Anthony, David Kendrick and Alexander Meeraus, *GAMS: A User's Guide, Release 2.25*, Massachusetts: Boyd & Fraser Publishing Company, 1992.
- [8] Lasdon, L.S., *Optimization Theory For Large Systems*, The Macmillan Company, New York, 1970.
- [9] Love, Robert F., James G. Morris and George O. Wesolowsky, *Facilities Location*, New York: North-Holland, 1988.
- [10] Plane, Donald and Thomas E. Mendrick, “Mathematical Programming and the Location of Fire Companies for the Denver Fire Department,” *Operation Research*, Vol. 25 (July-August 1977), pp.563-578.
- [11] Wesolowsky G.O. and R.F. Love, “The Optimal Location of The New Facilities Using Rectangular Distances,” *Operation Research*, Vol. 17 (May, 1969), pp.124-130.