韓國 軍事運營分析 學會誌
제17권, 제1호, 1991.6.30.

多數標的地域에 대한 攻擊航空機 割當模型
(Assignment Model of Attack Aircraft for Multi-Target Area)

盧相基, 河碩太*

Abstract

The probability of target survival is the most important factor in the target assignment. Most of the studies about it have assumed the case of one target and ane weapon type. Therefore, they can not be applied to the real situation.

In this paper, the quantity and type of enemy assets of the friendly force are considered simultaneously. Considered defense type is the coordinated defense with no impact point prediction. The objective function is to minimize the expected total survival value of targets which are scattered in the defense area.

The rules of aircraft assignment are as follows : first, classify targets into several groups, each of those has the same desired damage level secondly, select the critical group which has the least survival value in acccordance with the additional aircraft assignment, and finally, assign the same number of attack assets against each target in the critical

* 國防大學院

group.

In this paper, the attack assets, the escort assets, and the defense assets are considered. The model is useful to not only the simple aircraft assignment problem but also the complicated wargame models.

1. 序　　論

標的割當(target assignment)이란 標的을 격멸시키기 위한 수단인 交戰을 위하여 戰鬪員, 彈藥과 같은 戰鬪資源 등의 武器體系를 經濟的인 方法으로 標的에 配當(allocation)하는 활동이다〔2〕.

標的割當에는 對價値標的割當(countervalue targeting)과 對軍事力標的割當(counterforce targeting)이 있으며, 前者는 人口와 經濟力의 破壞가 目標이며 後者는 敵의 戰略的 能力에 대하여 武器體系를 割當하는 것을 말하며, 대부분의 硏究는 對軍事力標的割當이 주종을 이루고 있다.

Flood〔4〕는 我軍의 武器種類와 敵軍의 標的數 및 標的의 威脅値를 고려하여 全體標的의 殘留威脅値를 最小化하는 模型을 설정하였다. Dantzig〔1〕는 Flood 模型에 目的函數만을 수정하여 새로운 非線型割當模型을 구성하였으며, Grotte〔3〕는 非軍事施設에 대한 被害許容上限線과 軍事標的의 要求被害水準을 기준으로, 군사시설에 대한 要求被害水準을 달성하면서 비군사시설의 피해의 總合을 最小化시키는 標的割當模型을 구축하였다.

O'meara와 Soland〔5〕는 敵의 防禦戰力과 防禦形態 및 我軍의 攻擊戰力을 처음으로 동시에 고려하고, 着彈地點豫測 가능 여부에 따라 敵防禦地域內에 있는 總標的의 生存價値를 最小化하는 攻擊機割當模型을 만들었다.

지금까지 연구된 標的割當模型에 있어서 標的割當基準은 각각의 武器가 敵과 1:1로 交戰할 때의 敵制壓確率이며, 이들 模形은 敵으로부터 받는 我軍의 被害와 我軍攻擊機 保護를 위한 掩護戰力을 고려하지 않고 있다.

本硏究는 標的割當에 관한 旣存模型의 문제점을 보완하여 攻擊機割當模型을 발전시키려는 것이다. 이를 위하여 攻擊機割當과 관련된 제반요소 즉, 攻擊戰力, 掩護戰力, 防禦戰力, 防禦形態, 標的生存確率, 標的價値, 標的에 대한 要求被害水準, 攻擊機의 編隊構造을 고려하여 模型을 설정한다.

2. 攻擊機 割當模型 設定

我軍은 可用攻擊機 A와 可用掩護機 E를 가지고 價値 V_i, $i=1,2, \cdots, T$를 지닌 T개의 敵地域標的을 攻擊한다. 防禦側은 D대의 可用 邀擊航空機가 있으며 이들 邀擊機 D대는 攻擊機가 標的으로 침투하는 것을 막기 위하여 空中에서 防禦作戰을 수행한다. 이 때, 防禦形態는 着彈地點豫測이 없는 協助防禦이며, 邀擊機中의 어느 하나라도 特定한 標的을 防護하는 點防禦用으로 割當되지 않는 地域防禦이다. 여기에서 協助防禦는 모든 遊擊機가 하나의 統制所에서 統制되는 것을 의미한다.

邀擊을 받는 航空機中에서 生存하는 攻擊機 또는 邀擊을 받지 않는 攻擊機는 곧바로 의도된 標的으로 침투한다. 이들 浸透 攻擊機는 또 다시 標的의 自體防禦要素인 對空砲(AAA)로부터 攻擊을 받으며 對空砲의 攻擊形態는 一齊射擊(salvo)이다.

攻擊航空機는 邀擊을 回避한 후 標的으로 進入(ingress)하는 동안 즉, 標的에 침투하여 武裝을 투하할 때가지만 生存하면 된다. 攻擊機 塔載武裝이 一般爆彈(GP bomb)일 경우는 航空機의 安全을 위하여 爆彈을 間隔投下하며, 一般爆彈外에는 시간적인 여유가 없으므로 浸透航空機는 塔載한 空對地 武裝을 一齊投下한다. 이 때 이들 攻擊機의 攻擊이 성공하지 못하면 攻擊받은 標的은 生存하게 된다.

攻擊航空機를 標的에 최적으로 할당하기 위한 모형을 설정하기 위하여 다음 네 가지 사항을 가정한다.

첫째, 모든 攻擊機 A는 同一機種이다. 攻擊機는 邀擊이 성공하지 못하는 경우에 그것이 의도하는 攻擊標的으로 침투한다. 그러한 浸透機는 確率 α, $\alpha \in (0,1)$로 標的을 破壞한다. 만일, 多數의 攻擊機가 同一한 標的으로 침투한다면, 浸透機들은 相互獨立的으로 활동한다.

둘째, 모든 掩護機 E는 同一機種이다. 掩護機는 攻擊機의 數에 따라서 割當될 수도 있고, 可用한 掩護機全體를 일시에 割當할 수 있다. 本研究에서는 可用掩護機를 一時에 割當한다.

셋째, 모든 邀擊機는 同一機種이다. 한대의 邀擊機가 攻擊機 또는 掩護機를 격추시킬 確率은 δ, $\delta \in (0,1)$이다. 다수의 邀擊機가 한 대의 攻擊機 또는 掩護機를 邀擊하는 경우에는 邀擊機들은 相互獨立的으로 활동한다.

넷째, 攻擊 또는 邀擊機가 割當되면 修正되지 못한다. 즉, 攻擊機는 최초의 標的으로부터 任務轉換되지 않으며, 邀

擊機는 "shoot - look - shoot" 方案을 사용하지 않는다.

본 模型에서 사용하는 變數들을 定義하면 다음과 같다.

A : 可用攻擊機의 數

E : 可用掩護機의 數

D : 可用邀擊機의 數

α : 浸透攻擊機의 標的破壞確率

δ : 邀擊機의 邀擊確率

V_i : 標的 i, i=1, 2, · · · , T의 價値. 일반적으로 標的의 價値는 $V_1 \leq V_2 \leq \cdot\cdot\cdot \leq V_T > 0$을 만족한다.

V_g : 標的의 價値가 동일한 것끼리 集團化 하는 경우, 그 標的集團의 價値를 말하며, 그 集團에 속하는 標的의 數를 n_g, g=1, 2, · · · ,G로 표시한다.

P_i : 標的 i의 要求被害確率로서, 特定한 軍事目的을 달성하기 위하여 標的 i가 破壞 또는 被害를 입어야 하는 水準을 말한다. P_iV_i는 標的 i의 價値가 상실되는 最適水準을 의미하며, $V_i-(P_iV_i)$는 標的의 生存價値에 대한 上限線이 된다.

a_i : 標的 i를 攻擊하는 攻擊機의 數.

攻擊은 동시에 일어나며 防禦形態는 着彈地點豫測이 없는 協助防禦이므로 防禦側은 그들의 可用邀擊戰力 D를 攻擊機와 掩護機의 구분없이 (A+E)의 攻擊規模에 일괄적으로 割當하게 된다. 이때에는 그들의 D대의 戰力을 (A+E)에 가능하면 攻擊戰力에 均一하게 配分하는 것이 그들의 防禦網을 뚫고 標的으로 침투하는 攻擊機의 數를 確率的으로 最小化시키게 된다[6].

가. 目的函數

多數의 固定標的을 방호하는 地域防禦에 대한 最適 攻擊割當의 目的은 각각의 標的에 대하여 要求되는 被害効果를 달성하면서 全體地域內에서 標的의 總期待生存價値를 最小化하는 것이다.

標的의 生存確率은 攻擊機의 標的破壞率, 邀擊機의 遊擊確率 및 彈着地點의 정확한 예측여부 등에 의존하며, 또한 D와 (A+E)의 관계에 영향을 받는다.

母體團이 A와 E로 兩分되어 있고 攻擊機 A 역시 標的 i 를 攻擊하는 攻擊機 a_i와 그렇지 않은 攻擊機로 2분되어 있다고 생각하면 邀擊機를 割當할 攻擊機를 결정하는 데에는 超幾何分布가 적당하게 된다[5].

1) D<A+E인 경우

總可用邀擊機(D)가 全體攻擊規模(A+E)보다 적은 경우에는 (A+E)-D대의 攻擊機와 掩護機는 邀擊割當에서 제외된다.

整數確率變數 X대는 A대의 攻擊機中에서 遊擊을 받지 않는 航空機의 數로서 이것이 超幾何分布 $H(A+E, A, A+E-D)$를 따르며, 整數確率變數 X_i은 a_i대의 攻擊機中에서 邀擊을 받지 않는 航空機의 數로서 이것이 超幾何分布 $H(A, a_i, n)$를 따른다고 하면, a_i대 중에서 m대가 邀擊에서 제외될 確率, 즉 $P\{X_i=m\}$은 다음과 같이 표시된다.

$$P\{X_1=m\} = \sum_n P\{X=n\}P\{X_1=m \mid X=n\}$$

$$= \sum_{n=nL}^{nH} \frac{\binom{A}{n}\binom{E}{A+E-D-n}}{\binom{A+E}{A+E-D}} \quad \frac{\binom{a_i}{m}\binom{A-a_i}{n-m}}{\binom{A}{n}}$$

$$= \sum_{n=nL}^{nH} \frac{\binom{a_i}{m}\binom{A-a_i}{n-m}\binom{E}{A+E-D-n}}{\binom{A+E}{A+E-D}} .$$

$$m = mL,\ mL+1,\ \cdots,\ mH$$

$$nL = \max\{A-D,\ 0\},\ nH = \min\{A,\ A+E-D\}$$

$$mL = \max\{a_i-D,\ 0\},\ mH = \min\{b,\ n\}.$$

a_i 중에서 標的 i에 최종적으로 침투하는 攻擊機의 數를 b, $b = m, m+1, \ldots, a_i$ 로 표시하자. 그러면, b-m대는 a_i 중에서 邀擊機가 割當된 攻擊機, 즉 a_i-m대 중에서 邀擊機로부터 生存한 攻擊機의 數가 되며, $a_i-m-(b-m)$대는 邀擊당한 攻擊機의 數가 된다.

確率變數 Y를 標的 i에 최종적으로 침투하는 攻擊機의 數라 하고, 確率變數 Y_i을 a_i-m대 중에서 邀擊機로부터 生存한 攻擊機의 數로서 이것이 二項分布 $B(a_i-m,\ 1-\delta)$를 따른다고 하자. Y_i과 X_i은 獨立이므로 標的 i에 b대가 침투할 確率은 아래와 같다.

$$P\{Y=1\} = P\{Y_1+X_1=b\}$$

$$= \sum_m P\{Y_1=b-m,\ X_1=m\}$$

$$= \sum_m P\{Y_1=b-m\}\ P\{X_1=m\}$$

$$= \sum_m P\{X_1=m\}\ P\{Y_1=b-m\}$$

$$= \sum_{m=mL}^{mH} \sum_{n=nL}^{nH} \frac{\binom{a_i}{m}\binom{A-a_i}{n-m}\binom{E}{A+E-D-n}}{\binom{A+E}{A+E-D}}$$

$$\binom{a_i-m}{b-m}(1-\delta)^{b-m}\delta^{a_i-b},$$

$$nL = \max\{A-D, 0\}, \ nH = \min\{A, A+E-D\}$$

$$mL = \max\{a_i-D, 0\}, \ mH = \min\{b, n\}$$

標的 i가 a_i대의 攻擊機로부터 生存하 는 확률 $\varphi(a_i)$는 다음과 같다.

$$\varphi(a_i) = P\{\text{標的 } i \text{ 生存}\}$$

$$= \sum_b P\{b\text{대 攻擊失敗}\} = \sum_b P\{b\text{대 浸透}\} \cdot P\{b\text{대 攻擊失敗} | b\text{대浸透}\}$$

$$= \sum_{b=mL}^{a_i} P\{Y=b\} P\{b\text{대 攻擊失敗} | Y=b\}$$

$$= \sum_{b=mL}^{a_i} (1-\alpha)^b \sum_{m=mL}^{mH} \sum_{n=nL}^{nH} \binom{a_i-m}{b-m}(1-\delta)^{b-m}\delta^{a_i-b} \frac{\binom{a_i}{m}\binom{A-a_i}{n-m}\binom{E}{A+E-D-n}}{\binom{A+E}{A+E-D}} \quad (1).$$

여기에서 $nL = \max\{A-D, 0\}, \ nH = \min\{A, A+E-D\}$

$mL = \max\{a_i-D, 0\}, \ mH = \min\{b, n\}$.

2) D≥A+E인 경우

攻擊規模 (A+E)에 균등하게 防禦戰力 D를 割當하는 것이 最適防禦戰略이므로 防禦側은 $R=D-\lfloor D/(A+E)\rfloor(A+E)$대의 攻擊機 및 掩護機 각각에 대하여 $\lceil D/(A+E)\rceil$대씩 邀擊機를 균등하게 割當하고, 나머지의 邀擊機 A+E-R대는 $\lfloor D/(A+E)\rfloor$대씩 割當한다. 어떤 實數 X에 대하여 $\lfloor X\rfloor$은 X의 整數部分, $\lceil X\rceil = \min\{n \geq X | n : \text{integer}\}$를 의미한다.

$F=\lfloor D/(A+E)\rfloor$, $F+1=\lceil D/(A+E)\rceil$라고 정의한다. 確率變數 H를 F대씩 邀擊割當된 攻擊機의 數로서 이것은 超幾何分布 H(A+E, A, A+E-R)를 따르며, 確率變數 X_i을 a_i 중에서 F대씩 邀擊割當된 攻擊機의 數로서 이것이 超幾

何分布 $H(A, a_i, n)$을 따른다고 하면, $P\{X_1=m\}$은 $D<(A+E)$인 경우와 같은 方法으로 쉽게 구할수 있다. 즉,

$$P\{X_1=m\} = \sum_{n=nL}^{nH} \frac{\binom{a_i}{m}\binom{A-a_i}{n-m}\binom{E}{A+E-R-n}}{\binom{A+E}{A+E-R}} .$$

$$nL = \max\{A-R, 0\},\ nH = \min\{A, A+E-R\}$$

$$mL = \max\{a_i-R, 0\},\ mH = \min\{a_i-(k-b), n\}$$

a_i대 중에서 標的 i에 최종적으로 침투하는 攻擊機의 數를 k, $k=mL, mL+1, \cdot\cdot\cdot, a_i$ 라 하자. 또한, a_i대 중에서 F대씩 邀擊機가 割當된 攻擊機中에서 生存하는 攻擊機의 數가 b, $b=0, 1, \cdot\cdot\cdot, k$라면, a_i대 중에서 F+1대씩 遊擊割當된 攻擊機 즉, a_i-m대 중에서 生存하는 攻擊機의 數는 k-b가 된다.

確率變數 Y_1은 F대씩 邀擊機割當된 m대의 攻擊機中에서 生存하는 攻擊機의 數로서 이것은 二項分布 $B(m, (1-\delta)^F)$를 따르며, 確率變數 Y_2는 F+1대씩 遊擊割當된 a_i-m대 중에서 生存하는 攻擊機의 數로서 이것이 二項分布 $B(a_i-m, (1-\delta)^{F+1})$을 따른다면 Y_1과 Y_2가 獨立인 경우 標的 i에 k대가 浸透할 確率은 다음과 같이 계산될 수 있다.

$$P\{Y_1+Y_2=k\}$$

$$= \sum_{b=0}^{k} P\{Y_1=b, Y_2=k-b\},\ k = mL, mL+1, \cdot\cdot\cdot, a_i.$$

$$= \sum_{b=0}^{k} P\{Y_1=b\} \cdot P\{Y_2=k-b\}$$

$$= \sum_{b=0}^{k} \sum_{m=mL}^{mH} P\{X_1=m\} \cdot P\{Y_1=b|X_1=m\} \cdot P\{Y_2=k-b\}$$

$$= \sum_{b=0}^{k} \sum_{m=mL}^{mH} \sum_{n=nL}^{nH} \binom{m}{b} \left[(1-\delta)^F\right]^b \left[1-(1-\delta)^F\right]^{m-b}$$

$$\binom{a_i-m}{k-b} \left[(1-\delta)^{F+1}\right]^{k-b} \left[1-(1-\delta)^{F+1}\right]^{a_i-m-(k-b)}$$

$$\cdot \frac{\binom{a_i}{m}\binom{A-a_i}{n-m}\binom{E}{A+E-R-n}}{\binom{A+E}{A+E-R}},$$

標的 i가 a_i대의 攻擊機로부터 生存할 確率$\varphi(a_i)$는 다음과 같다.

$$\varphi(a_i) = P\{\text{ 標的 } i \text{ 生存 }\}$$

$$= P\{\text{ k대의 攻擊機浸透 }\}\cdot P\{\text{ k대 攻擊失敗 } \mid \text{ k대 攻擊機浸透 }\}$$

$$= \sum_{k=mL}^{a_i} P\{ Y_1+Y_2 = k \}\, P\{\text{ k대攻擊失敗 } \mid Y_1+Y_2 = k \}$$

$$= \sum_{k=mL}^{a_i} (1-\alpha)^k \sum_{b=0}^{k} \sum_{m=mL}^{mH} \sum_{n=nL}^{nH} \binom{m}{b} \left[(1-\delta)^F\right]^b \left[1-(1-\delta)^F\right]^{m-b}$$

$$\cdot \binom{a_i-m}{k-b} \left[(1-\delta)^{F+1}\right]^{k-b} \left[1-(1-\delta)^{F+1}\right]^{a_i-m-(k-b)}$$

$$\cdot \frac{\binom{a_i}{m}\binom{A-a_i}{n-m}\binom{E}{A+E-R-n}}{\binom{A+E}{A+E-R}}, \qquad (2)$$

여기에서 $nL=\max\{A-R,\ O\}$,

$nH=\min\{A,\ A+E-R\}$

$mL=\max\{a_i-R,\ O\}$,

$mH=\min\{a_i-(k-1),\ n\}$이다.

(1),(2)式에 價値 V_i를 곱하여 標的 i의 生存價値를 구할 수 있으며 全體防禦地域內에 있는 標的의 總期待生存價値는 (3)式으로 표시된다.

$$\Psi(a) = \sum_{i=1}^{T} V_i \varphi(a_i) \qquad (3)$$

最適攻擊機割當을 위한 目的函數는 (3)式의 總期待生存價値를 最小化하는 것이다.

나. 制約式

標的의 價値 V_i, $i=1,\ 2,\ \cdot\cdot\cdot,\ T$를 100% 破壞하는 것은 거의 불가능하다. 특정한 軍事目的을 달성하는 데 필요한 정도의 被害만 입히면 충분하므로 標的을 100% 破壞하는 것은 불필요한 戰力의 낭비일 수 있다. P_i는 標的 i에 대한 要求破壞確率이므로 V_iP_i는 標的 i

가 상실하는 價値의 最低水準을 의미하며, V_i-V_iP_i는 標的 i의 生存價値에 대한許容上限線이 된다. 따라서 a_i대의 攻擊機割當에 따른 標的 i의 生存價値는 生存價値에 대한 許容上限線보다 작거나 같아야 하므로 이것은 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$V_i\varphi(a_i) \le V_i - V_iP_i = (1-P_i)V_i$$

그러므로

$$\varphi(a_i) \le 1-P_i, \; i=1, 2, \cdot\cdot\cdot, T. \tag{4}$$

또한, 모든 標的에 대한 攻擊機의 割當은 可用攻擊機 臺數 限度內에서 계획되어야 하므로 다음 式이 성립해야 한다.

$$\sum_{i=1} a_i \le A \tag{5}$$

일반적으로 攻擊機의 編組는 2機를 最小單位로하여 2機 이상의 짝수 單位로 편성되므로 다음 式이 성립되어야 한다.

$$a_i = 0, 2, 4, \cdot\cdot\cdot, \; i=1, 2, \cdot\cdot\cdot, T. \tag{6}$$

다. 數學的 模型

防禦形態를 고려하여 標的에 대한 要求破壞水準을 만족하면서 防禦地域에 있는 標的의 總期待生存價値를 最小化시키기 위한 攻擊航空機 最適割當模型에 대한 數學的 模型은 (3), (4), (5) 및 (6)으로부터 다음과 같이 표시된다.

$$\text{最小化:} \quad \Psi(a) = \sum_{i=1}^{T} V_i\varphi(a_i),$$

$$\text{制約條件:} \quad \varphi(a_i) \le 1-P_i, \; i = 1, 2, \cdots, T$$

$$\sum_{i=1}^{T} a_i \le A \tag{7}$$

$$a_i = 0, 2, 4, \cdots, \; i = 1, 2, \cdots, T.$$

라. 알고리즘

O'Meara와 Soland의 알고리즘[5]을 設定된 模型에 適用하기 위하여 攻擊機 割當量의 計算方法, 割當方法 및 終了規則을 修正한다.

割當規則은 資源의 追加的 割當에 따른 標的의 喪失生存價値가 가장 큰 標的에 우선적으로 資源을 割當한다. 修正된 본 模型의 알고리즘은 資源을 신속하게 소모시키고, 全體標的이 아닌 각 標的集團에 속한 첫번째 標的에 대한 生存確率만을 계산하므로써 時間을 절약할 수 있다.

알고리즘을 설명하기 위하여 다음과

같은 몇 가지의 기호를 도입한다 : T개의 標的은 각각 價値 V_i, i=1, 2, ・・・, T를 가지고 있으며, 我軍은 軍事目標를 달성하기 위하여 각각의 標的에 대하여 破壞시켜야 하는 下限線을 가지고 있다. 이 要求破壞確率은 P_i라고 하면 P_iV_i는 標的이 상실당하는 最適水準의 價値가 된다. 標的의 價値 V_i, i=1, 2, ・・・, T를 동일한 가치를 갖는 G개의 상이한 價値集團으로 분류하고, g집단의 價値를 V_g, g=1, 2, ・・・, G로 표시하자. 그리고 V_g들간의 關係가 다음과 같다고 하자 :

$$V_1 > V_2 \cdots > V_g > \cdots V_G > 0$$

또한 n_g는 價値集團 V_g에 속하는 標的들의 數를 나타내며, N_g는 1번 集團에서 g-1번째 집단까지의 累積標的數를 말하며 다음과 같이 定義한다.

$$N_1 = 0, \qquad N_g = \sum_{i=1}^{g-1} n_i, \text{ for } g = 2, 3, \cdots, G.$$

(7)식을 풀기 위한 알고리즘은 다음과 같다.

段階 1. 標的에 대한 割當標的機의 數 a_i를 모두 0으로 두고 最初段階에서 가용한 攻擊戰力을 A_1=A로 놓는다.

段階 2. 標的들의 要求破壞價値를 계산하고, 要求破壞價値가 동일한 標的을 V_g, g=1, 2, ・・・, G로 集團化한 후 k=1로 두고 段階 3으로 간다.

段階 3. 現段階(k)에서 가용한 攻擊戰力을 파악하여 2보다 적으면 종료하고, 그렇지 않으면 可用戰力과 標的數를 비교하여 可用戰力이 標的數보다 적으면 現段階에서의 割當量을 X_k=2로 저장하고, 많으면 X_k를 계산한다.

```
if   Ak < 2   then
   stop
   elseif Ak < T  then
       Xk = 2;
       go to step 4
       else
          Xk = ⌊ Ak / T ⌋;
Xk'= mod ( Xk, 2 )
if   Xk'= 0  then
     Xk := Xk;
else
     Xk := Xk + 1;
```

段階 4. 集團 g, g=1, 2, ・・・, G 각각에 現段階의 割當量 X_k를 割當하여 그 集團의 喪失生存價値가 가장 큰 集團 中에서 원래의 價値 V_g가 가장 큰 集團을 攻擊機割當集團(critical group) g*로 選定한다.

$$g^* = \min \{ g \mid V_g [\varphi(a_{N_g+1} + X_k) - \varphi(a_{N_g+1})] = \min_{j=1,\dots,G} \{ V_j[\varphi(a_{N_j+1} + X_k) - \varphi(a_{N_j+1})]\}, g=1,2,\cdots,G \};$$

단계4와 단계5의 Ng+1 및 Ng*+i는 a의 아래 첨자를 의미한다.

段階 5. 集團 g*에 있는 n_{g^*}개의 標的 각각에 X_k씩 割當可能한가를 可用戰力 A_k와 비교하여, 가능하면 n_{g^*} 모두에 X_k를 追加割當하고, 다음 段階(k+1)에서의 可用戰力 A_{k+1}을 계산한다. 不可能時에는 段階 7로 간다.

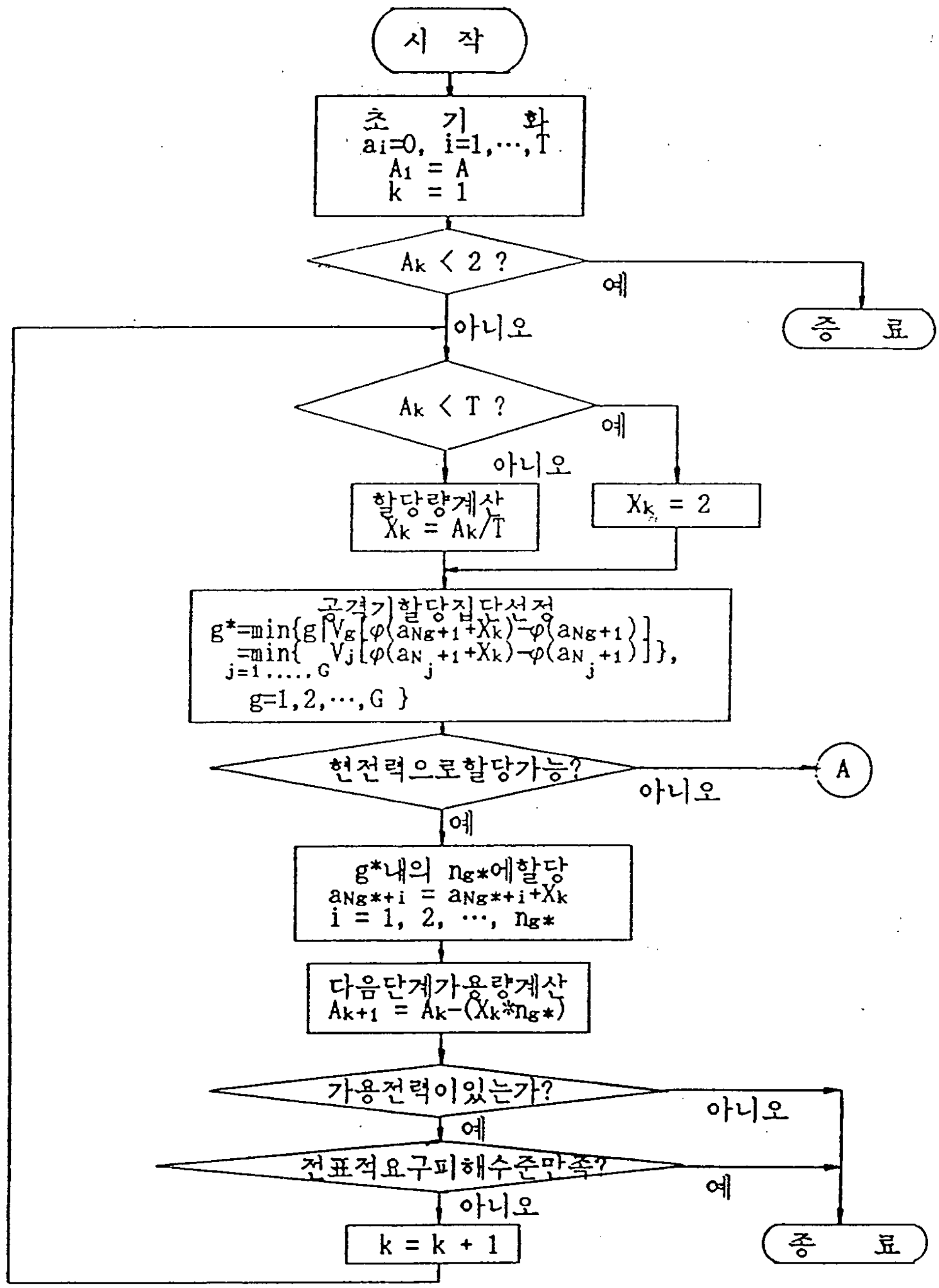
```
if   (ng*)Xk ≤ Ak  then
         aNg*+i := aNg*+i + Xk, i = 1, 2, …,ng* ;
         Ak+1 := Ak - (ng*)Xk;
  else
         go to step 7
```

段階 6. 모든 標的이 要求破壞水準에 도달하였거나 다음 段階(k+1)에서의 可用戰力이 2보다 작은 것 중에서 한 가지 條件이라도 만족되면 종료한다. 만약 그렇지 않으면 k=k+1로 두고 段階 3으로 간다.

段階 7. 현재의 戰力 A_k를 가지고 割當量 X_k씩 g*내의 標的中 몇 개의 標的에 割當할 수 있는가 그 標的數 T_k를 計算하고 計算된 標的數에는 각각 X_k씩 割當한다. g*내의 T_k개의 標的에 割當하고 남은 戰力 A_k'를 計算하여 그 量이 2보다 적으면 중지하고, 많으면 홀수 또는 짝수인가를 판명하여 홀수 또는 짝수인가를 판명하여 홀수이면 T_k+1번째 표적에 $(A_k'-1)$을 할당하고, 짝수이면 T_k+1번째 標的에 A_k'를 割當한다.

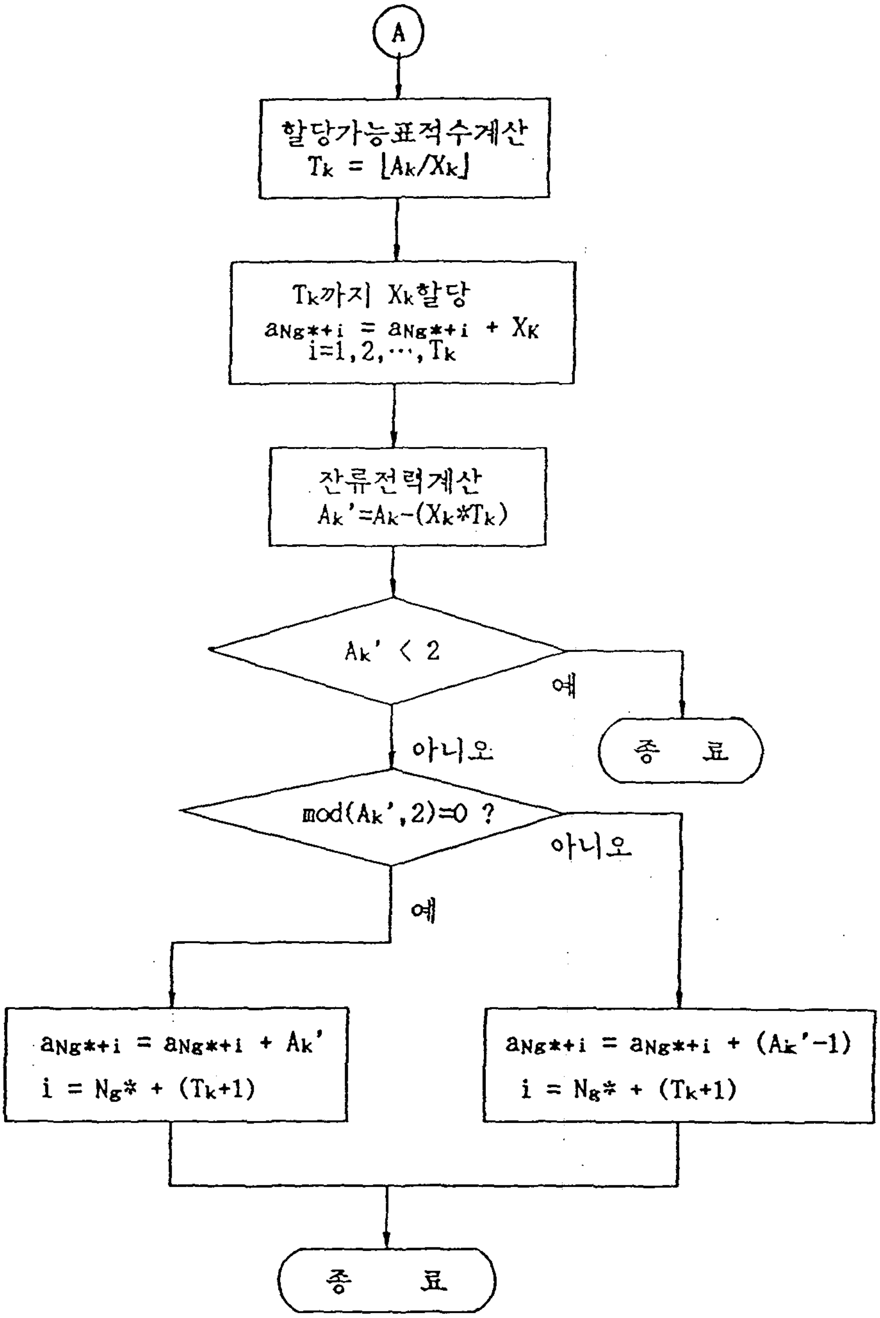
```
Tk = ⌊ Ak / Xk ⌋;
aNg*+i := aNg*+i + Xk,    i = Ng*+1, …, Ng* + Tk;
if Ak'< 2  then
   stop
elseif mod(Ak',2)=0 then
     aNg*+i := aNg*+i + Ak',    i =  Ng* + (Tk+1);
     stop
else
     aNg*+i := aNg*+i + (Ak'-1),    i =  Ng* + (Tk+1);
     stop
```

이 알고리즘에 대한 흐름도는 〈그림 1〉과 같다.



〈그림 1〉 알고리즘에 대한 흐름도

〈그림 1〉의 계속


A
할당가능표적수계산
Tk = ⌊Ak/Xk⌋
Tk까지 Xk할당
aNg*+i = aNg*+i + XK
i=1,2,…,Tk
잔류전력계산
Ak'=Ak-(Xk*Tk)
Ak' < 2
예
종 료
아니오
mod(Ak',2)=0 ?
아니오
예
aNg*+i = aNg*+i + Ak'
i = Ng* + (Tk+1)
aNg*+i = aNg*+i + (Ak'-1)
i = Ng* + (Tk+1)
종 료

마. 例題

例題 1). 我軍은 對地攻擊用으로 F-X戰鬪機(A) 100대와 掩護用 戰鬪機 F-XX기(E) 40대를 보유하고 있다. 敵軍은 MIG-XX기(D) 120대를 邀擊戰力으로 使用 가능하다. 我軍은 可用攻擊機와 掩護機를 투입하여 特定地域에 散在한 15개의 固定標的을 攻擊할 作戰計劃을 수립하고 있다. 이 作戰計劃에서 敵標的의 價値는 수집된 자료를 토대로 판단된 것이다. 攻擊機의 標的破壞確率(α)은 0.7, 邀擊機의 邀擊確率(δ)은 0.5로 판단되고 있다.

〈表 1〉에 각 標的에 대한 價値 및 要求破壞水準이 제시되어 있으며, 要求破壞水準을 달성하면서 標的의 總生存價値를 最小化하여 敵의 能力을 破壞시키는 것이 이 作戰의 目的이다.

〈表 1〉 標的諸元(邀擊戰力이 적은 경우)

標 的	價 値	要求破壞水準	標 的	價 値	要求破壞水準
1	100	0.7	9	80	0.5
2	100	0.7	10	80	0.5
3	100	0.7	11	70	0.5
4	90	0.7	12	70	0.5
5	90	0.7	13	70	0.5
6	90	0.7	14	50	0.5
7	80	0.7	15	50	0.5
8	80	0.7			

제안된 模型에 대한 컴퓨터 알고리즘을 이용하여 攻擊機 割當量을 구하였다. 이 문제에서 價値集團은 6개로 分類되었다. 〈表 2〉에서와 같이 最適段階에서의 割當量은 $\lfloor 100/15 \rfloor = \lfloor 6.6 \rfloor = 6$대이며 價値가 가장 큰 첫번째 集團에 割當되었고 그 때의 生存確率은 0.00869로서 要求破壞水準을 만족시키고 있음을 알 수 있다.

最終割當結果는 〈表 3〉과 같으며 7, 8, 11, 12, 13번의 標的에 8대씩의 攻擊機가 割當된 理由는 要求破壞水準에 도달한 標的을 割當對象에서 제외시켰기 때문이며, 이것은 可用攻擊戰力을 확장시키는 效果를 가져온다. 總割當攻擊機의 數는 100대, 作戰地域에서의 標的의 總生存價値는 4.9이다. 그러므로 제안된 研究模型이 可用戰力內에서 要求破壞水準을 만족시킬 수 있음을 알 수 있다.

〈表 2〉 最初 攻擊機割當結果(邀擊戰力이 적은 경우)

標的 i	價格 Vi	要求破壞水準 Pi	要求破壞價値 PiVi	該當量 ai	生存確率 i φ(ai))	破壞價値 PiVi (1-φ(ai))	殘留價値 PiViφ(ai)
1	100.0	.70000	70.0	6	.00869	69.4	.6
2	100.0	.70000	70.0	6	.00869	69.4	.6
3	100.0	.70000	70.0	6	.00869	69.4	.6
4	90.0	.70000	63.0	0	1.00000	.0	63.0
5	90.0	.70000	63.0	0	1.00000	.0	63.0
6	90.0	.70000	63.0	0	1.00000	.0	63.0
7	80.0	.70000	56.0	0	1.00000	.0	56.0
8	80.0	.70000	56.0	0	1.00000	.0	56.0
9	80.0	.50000	40.0	0	1.00000	.0	40.0
10	80.0	.50000	40.0	0	1.00000	.0	40.0
11	70.0	.50000	35.0	0	1.00000	.0	35.0
12	70.0	.50000	35.0	0	1.00000	.0	35.0
13	70.0	.50000	35.0	0	1.00000	.0	35.0
14	50.0	.50000	25.0	0	1.00000	.0	25.0
15	50.0	.50000	25.0	0	1.00000	.0	25.0

總生存價値((a)) : 537.8

〈表 3〉 最終該當結果(邀擊戰力이 적은 경우)

標的 i	價格 Vi	要求破壞水準 Pi	要求破壞價値 PiVi	該當量 ai	生存確率 i φ(ai))	破壞價値 PiVi (1-φ(ai))	殘留價値 PiViφ(ai)
1	100.0	.70000	70.0	6	.00869	.0	.6
2	100.0	.70000	70.0	6	.00869	.0	.6
3	100.0	.70000	70.0	6	.00869	.0	.6
4	90.0	.70000	63.0	6	.00869	.0	.5
5	90.0	.70000	63.0	6	.00869	.0	.5
6	90.0	.70000	63.0	6	.00869	.0	.5
7	80.0	.70000	56.0	8	.00157	.0	.1
8	80.0	.70000	56.0	8	.00157	.0	.1
9	80.0	.50000	40.0	6	.00869	.0	.3
10	80.0	.50000	40.0	6	.00869	.0	.3
11	70.0	.50000	35.0	8	.00157	.0	.1
12	70.0	.50000	35.0	8	.00157	.0	.1
13	70.0	.50000	35.0	8	.00157	.0	.1
14	50.0	.50000	25.0	6	.00869	24.8	.2
15	50.0	.50000	25.0	6	.00869	24.8	.2

總生存價値((a)) : 4.9

例題 2). 我軍은 對地攻擊用으로 F-X 戰鬪機(A) 60대와 掩護用 戰鬪機 F-XX기(E) 20대를 보유하고 있다. 敵軍은 MIG-XX기(D) 80대를 邀擊戰力으로 사용 가능하다. 我軍은 可用攻擊機와 掩護機를 투입하여 特定地域에 散在한 15개의 固定標的을 攻擊할 作戰計劃을 수립하고 있다. 攻擊機의 標的破壞確率(α)은 0.7, 邀擊機의 邀擊確率(δ)은 0.5로 판단되고 있다. 〈表 4〉에 각 標的에 대한 價値 및 要求破壞水準이 제시되어 있다.

〈表 4〉 標的諸元(遊擊戰力이 많은 경우)

標 的	價 値	要求破壞水準	標 的	價 値	要求破壞水準
1	100	0.7	9	80	0.7
2	100	0.7	10	80	0.7
3	100	0.7	11	70	0.5
4	100	0.7	12	70	0.5
5	100	0.7	13	70	0.5
6	80	0.7	14	70	0.5
7	80	0.7	15	70	0.5
8	80	0.7			

이 問題에 대한 最初攻擊機割當은 〈表 5〉와 같다. 70의 要求破壞價値를 가진 1번 집단에 우선적으로 標的當 4대씩의 攻擊機가 割當되었으며, 攻擊機割當에 따라 價値의 破壞要求水準을 만족시켰으므로 더 이상 1集團에 攻擊機를 割當할 필요가 없다.

〈表 6〉의 最終割當結果와 같이 모든 集團에 대한 要求破壞水準을 만족시키면서 總可用攻擊機 60대가 모두 割當되었으며, 標的의 總生存價値가 0.4로 줄어들었음을 알 수 있다.

4. 結論

本研究에서는 주어진 可用攻擊戰力으로 標的의 要求破壞水準을 달성하면서 防禦地域에 있는 標的들의 總期待生存價値를 最小化시키는 編隊群攻擊에 적합한 攻擊航空機 割當模型을 설정하였다. 攻擊機 割當模型에는 攻擊戰力, 掩護戰力, 防護形態, 標的生存確率, 標的의 價値, 標的에 대한 요구 被害水準, 攻擊機의 編隊構成 등이 고려되었다.

本研究의 航空機割當 模型은 特定地域

〈表 5〉 最初 攻擊機割當結果(邀擊戰力이 많은 경우)

標的 i	價 格 Vi	要求破壞水準 Pi	要求破壞價値 PiVi	該當量 ai	生存確率 i ϕ(ai))	破壞價値 PiVi (1-ϕ(ai))	殘留價値 PiViϕ(ai)
1	100.0	.70000	70.0	4	.00051	70.0	.0
2	100.0	.70000	70.0	4	.00051	70.0	.0
3	100.0	.70000	70.0	4	.00051	70.0	.0
4	100.0	.70000	70.0	4	.00051	70.0	.0
5	100.0	.70000	70.0	4	.00051	70.0	.0
6	80.0	.70000	56.0	0	1.00000	.0	56.0
7	80.0	.70000	56.0	0	1.00000	.0	56.0
8	80.0	.70000	56.0	0	1.00000	.0	56.0
9	80.0	.70000	56.0	0	1.00000	.0	56.0
10	80.0	.70000	56.0	0	1.00000	.0	56.0
11	70.0	.50000	35.0	0	1.00000	.0	35.0
12	70.0	.50000	35.0	0	1.00000	.0	35.0
13	70.0	.50000	35.0	0	1.00000	.0	35.0
14	70.0	.50000	35.0	0	1.00000	.0	35.0
15	70.0	.50000	35.0	0	1.00000	.0	35.0

總生存價値((a)) : 455.2

〈表 6〉 最終割當結果(邀擊戰力이 많은 경우)

標的 i	價 格 Vi	要求破壞水準 Pi	要求破壞價値 PiVi	該當量 ai	生存確率 i ϕ(ai))	破壞價値 PiVi (1-ϕ(ai))	殘留價値 PiViϕ(ai)
1	100.0	.70000	70.0	4	.00051	.0	.0
2	100.0	.70000	70.0	4	.00051	.0	.0
3	100.0	.70000	70.0	4	.00051	.0	.0
4	100.0	.70000	70.0	4	.00051	.0	.0
5	100.0	.70000	70.0	4	.00051	.0	.0
6	80.0	.70000	56.0	4	.00051	.0	.0
7	80.0	.70000	56.0	4	.00051	.0	.0
8	80.0	.70000	56.0	4	.00051	.0	.0
9	80.0	.70000	56.0	4	.00051	.0	.0
10	80.0	.70000	56.0	4	.00051	.0	.0
11	70.0	.50000	35.0	4	.00051	35.0	.0
12	70.0	.50000	35.0	4	.00051	35.0	.0
13	70.0	.50000	35.0	4	.00051	35.0	.0
14	70.0	.50000	35.0	4	.00051	35.0	.0
15	70.0	.50000	35.0	4	.00051	35.0	.0

總生存價値((a)) : .4

에서 空中優勢를 달성하기 위한 攻勢制空作戰 및 敵의 戰爭遂行能力을 破壞하기 위한 後方遮斷作戰에 있어서의 攻擊機割當問題를 해결하는데 效果的으로 이용될 수 있다. 아울러 이 模型은 編隊群攻擊을 취급하는 복잡한 위게임 (wargame) 模型에도 有用하게 適用될 수 있을 것이다.

參考文獻

1. 國防大學院, 軍事運營分析, 1985.
2. DARCOM, *DARCOM-P706-101 : Engineering Design Handbook*(Ⅱ), 1977.
3. Grotte, J. H., "A Targeting Model That Minimizes Collateral Damages," *Naval Research Logistics Quarterly*, Vol.25, No.2, 1975, pp.315~312.
4. Manne, A. S., "A Target Assignment Problem", *Operations Research*, Vol.6, 1958, pp.346~351.
5. O'Meara, N. T. and Soland, R. M., "Optimal Attack Against An Area Defense Protecting Many Targets," *RAND Corporation Paper No. P-7567*, 1989, pp.1~22.
6. Soland, R. M., "Optimal Terminal Defense Tactics When Several Sequential Engagements Are Possible," *Operations Research*, Vol.35, No.4, 1987, pp.537~542.