

多數 標的을 攻擊하는 編隊航空機의 最適作戰時間 決定 模型

(A Model for Determining Optimal Operating
Time of Aircrafts Attacking Multiple Targets)

金容馥, 閔啓了*

Abstract

Up to the present, the operating time has been studied on only a single aircraft attacking a single target or multiple targets under enemy threats. This study is to determine optimal operating time and appropriate size of aircrafts attacking multiple targets.

Measures of mission effectiveness is defined through derivation of the probability of the various events associated with operating. By using these measures, the expected benefit of operating and the expected cost of operating are generated as a function of time.

To formulate operating time determination model, the expected gain of operating is defined as the difference between the expected benefit of operating and the expected cost of operating. The model can be used to determine optimal operating time which maximizes the expected gain of operating, and can be used as the basis for determining the appropriate size of aircrafts.

* 國防大學院

1. 序 論

航空作戰에서 空中優勢(air superiority)를 획득하기 위해 실시되는 攻勢制空作戰은 주임 무전력과 지원전력을 다양한 수준에서 통합한 編隊群攻擊(package strike)에 의해 수행된다. 그러나 編隊群의 數的인 취약점과 敵의 威脅을 회피할 수 있도록 編隊群은 2 대 또는 4 대로 독립된 編隊隊型으로 편성되고 있으므로, 編隊航空機의 역할은 航空作戰의 成敗에 重大한 영향을 미친다고 볼 수 있다. 따라서 編隊航空機가 敵 地域에서 敵의 威脅을 극복하고, 作戰을 성공적으로 수행할 수 있도록 經濟的 효과측면과 作戰의 효율성측면이 동시에 고려된 作戰時間을 決定할 필요가 있다. 현재 空軍에서는 航空機가 부여된 作戰을 遂行하기 위하여 이륙할 때 부터 作戰遂行 후 착륙할 때 까지를 1 소티(sortie)로 定義하고 있다. 本 論文에서 作戰時間(operating time)은 이륙한 編隊航空機가 敵 地域에 도달하여 敵의 威脅下에서 주어진 標的을 공격하고, 敵 威脅을 회피하여 標的을 이탈할 때 까지의 敵 地域에서 實際 作戰을 遂行하는 時間으로 定義하며, 基地 이륙시부터 敵 地域에 도달할 때 까지의 時間과 敵 地域을 이탈하여 基地로 귀환하는 時間은 本 論文에서 고려되지 않는다. 作戰時間 決定에 관한 기존의 模型은 Sivazlian 과 Rhee 에 의해서 研究되었

다. Sivazlian¹⁾은 1 대의 航空機가 1 개의 標的을 공격하는 경우의 作戰時間 決定模型을 提示하였고, Sivazlian 과 Rhee²⁾는 Sivazlian 模型의 1 개의 攻擊標的을 多數의 標的으로 일반화시켰다. 이 두 模型은 1 대 航空機가 標的을 공격할 때 발생할 수 있는 모든 경우의 確率을 수학적으로 표시하고, 航空機의 임무효과를 측정할 수 있는 척도를 定義한 후, 임무 효과척도와 관련된 期待作戰費用을 도출하여 標的破壞에서 얻는 期待作戰利益에서 作戰에 소요된 期待作戰費用을 뺀 값 즉, 期待作戰 利得을 最大로 하는 航空機 最適作戰時間을 決定하였다. 지금까지 研究된 作戰時間 決定 模型은 단지 1 대 航空機가 標的을 공격하는 경우에서 이루어졌으므로, 주로 編隊航空機가 공격 임무를 수행하는 作戰에 적용하는데 적합하지 않으며, 編隊의 適正戰力規模를 決定할 수 없는 단점이 있다.

本 研究는 作戰時間 決定에 관한 기존 模型의 문제점을 보완하여 作戰利益 및 作戰費用要素가 고려된 編隊航空機 作戰時間 決定 模型을 개발하는 것이다. 이를 위하여 編隊航空機가 多數의 標的을 공격할 때 발생할 수 있는 모든 경우의 可能性을 確率로 표시하여, 編隊航空機의 임무효과를 측정할 수 있는 척도를 定義하고, 이를 이용하여 임의 時點에서 單位 標的破壞에서 얻을 수 있는 期待作戰利益(expected benefit of operating)과 作戰

註1) B. D. Sivazlian, "Aircraft sortie effectiveness model", *Naval Research Logistics Quarterly*, Vol. 36, 1989, pp. 127-137.

註2) B. D. Sivazlian & H. K. Rhee, "Mission effectiveness analysis of an aircraft attacking passive targets", *European Journal of Operational Research*, Vol. 44, 1990, pp. 47-59.

에 소요되는 期待作戰費用 (expected cost of operating) 을 時間의 函數로 分析的으로 도출하여 期待作戰利得 (expected gain of operating) 을 定義하고, 模型을 설정한다.

2. 編隊航空機 作戰時間 決定模型 設定

本 研究模型은 Sivazlian 과 Rhee 의 기존 模型에서 1 대 航空機를 多數의 編隊航空機로 하여, 임의 時點의 期待作戰利益에서 期待作戰費用을 減한 期待作戰利得을 最大化하는 時點을 구하는 編隊航空機 作戰時間 決定模型이다.

編隊航空機의 作戰時間 決定模型에 필요한 假定을 아래와 같이 설정한다.

- ① 敵 地域에 도달한 編隊航空機가 標的을 식별하는 時間은 母數가 μ 인 指數分布를 따른다.
- ② 編隊航空機가 標的을 식별하면 반드시 공격을 하고, 공격은 編隊가 동시에 하며, 標的을 공격하는 時間은 무시한다.
- ③ 공격된 標的이 파괴될 確率은 P_T , 生存 確率은 $1-P_T$ 이다.
- ④ 編隊航空機에 대한 敵 威脅의 발생은 母數가 λ 인 포아송過程이다.
- ⑤ 敵 威脅으로 編隊航空機가 被擊될 確率은 P_A , 生存確率은 $1-P_A$ 이다.
- ⑥ 編隊가 공격할 모든 標的은 同一한 특성을 가지고 있다.
- ⑦ 編隊는 同一 機種의 짝수 대로 구성된 다.

⑧ 編隊航空機의 50 % 가 被擊될 때까지는 同一한 作戰을 계속 수행한다.
本 研究에서 사용되는 變數들을 定義하면 다음과 같다.

P_A : 敵 威脅으로 航空機가 被擊될 確率

P_T : 編隊 공격으로 標的이 破壞될 確率

M : 최초 標的의 數

m : 破壞된 標的의 數

N : 최초 航空機 數

n : 被擊된 航空機 數

λ : 敵 威脅 發生率

μ : 航空機의 平均標的識別率

α : λP_A (航空機被擊率)

β : μP_T (標的破壞率)

C_0 : 單位 作戰持續時間當 費用

C_A : 被擊되었을때, 航空機 및 乘務員 損失 費用

C_M : 單位 標的 공격에 소요되는 武裝費用

K : 單位 作戰當 固定準備費

B : 單位 標的 파괴에서 얻는 利益 (benefit)

가. 確率模型 : $P_t(m, n)$

M 개의 多數 標的을 N 대로 구성되는 編隊航空機가 공격하는 경우에, m 을 t 時點에서 파괴된 標的의 數, n 을 被擊된 航空機 數라고 定義한다. i 를 잔여 標的의 數, j 를 잔여 生存 航空機 數라고 하면, t 時點에서 파괴된 標的의 數가 $m(=M-i)$ 개, 被擊된 航空機 數가 $n(=N-j)$ 대일 確率은,

$$P_t(m=M-i, n=N-j),$$

$m=0, 1, 2, \dots, M. n=0, 1, 2, \dots, N.$

로 표시된다. $P_t(m, n)$ 을 구하기 위해서, 항공기가 표적을 식별하는 시간이 지수분포를 따른다고 가정하였으므로, 공격회수는 포아송 과정이 된다³⁾. 또한, 표적을 식별하면 반드시 공격을 한다고假定하였기 때문에, 파괴된 표적의 수를 나타내는 확률은 표적의破壊率($\beta = \mu \cdot P_T$)이 적용되는 포아송 과정이 된다고 볼 수 있다.

敵威脅의 발생은母數가 λ 인 포아송분포를 따른다고假定하였으므로, 1대 항공기가敵威脅에 의해서生存할 확률은 항공기가被擊되지 않는 경우를意味하며, 포아송분포에서 $n=0$ 인 경우이므로 $\exp(-\alpha t)$ 로 쓸 수 있다. 그리고被擊될 확률은 $1 - \exp(-\alpha t)$ 가 된다. 따라서 t 時點에서 N 대의編隊항공機中敵威脅에 의해 n 대가被擊될 확률은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P(n=0) =$$

$${}^N C_0 \cdot [1 - \exp(-\alpha t)]^0 \cdot [\exp(-\alpha t)]^N$$

$$P(n=1) =$$

$${}^N C_1 \cdot [1 - \exp(-\alpha t)]^1 \cdot [\exp(-\alpha t)]^{N-1}$$

$$P(n=2) =$$

$${}^N C_2 \cdot [1 - \exp(-\alpha t)]^2 \cdot [\exp(-\alpha t)]^{N-2}$$

:

$$P(n=N) =$$

$${}^N C_N \cdot [1 - \exp(-\alpha t)]^N \cdot [\exp(-\alpha t)]^0$$

여기서 ${}^N C_n =$

$$\frac{N!}{(N-n)! n!}, \quad n=0, 1, 2, \dots, N.$$

註3) K. C. Kapur and L. R. Lamberson: *Reliability in Engineering Design*, New York: John Wiley & Sons, 1977, p. 235.

t 時點에서 파괴된 표적의數 $m(=M-i)$ 과被擊된 항공機數 $n(=N-j)$ 은 서로獨立의이므로, $P_t(m=M-i, n=N-j)$ 은 $P_t(m=M-i)$ 과 $P_t(n=N-j)$ 의結合確率(joint probability)로 표시할 수 있다.

$$P_t(m=M-i, n=N-j) =$$

$$P_t(m=M-i) \cdot P_t(n=N-j)$$

N 대編隊항공機가 M 개 표적을 공격할 때 발생할 수 있는 모든 경우의 확률 $P_t(m=M-i, n=N-j)$ 은 파괴된 표적의數($=m$)와被擊된 항공機數($=n$)를基準으로 다음의 4가지 경우로 나눌 수 있다.

경우 I: t 時點에서 $m(m=0, 1, 2, \dots, M-1)$ 개의 표적이 파괴되고, 항공機 50% 이하가被擊된 경우

t 時點에서 잔여 표적의數가 $i=M-m$ 개이고, 잔여生存 항공機數 j 가 50% 이상일 확률이므로, $P_t(m=M-i, n=N-j)$ 은 $P_t(m=M-i), m=0, 1, 2, \dots, M-1$ 과 $P_t(n=N-j), n=0, 1, 2, \dots, N/2$ 의結合確率로 표시되며, 식(1)과 같이 된다.

$$P_t(m, n) = \frac{(\beta t)^m \exp(-\beta t)}{m!}$$

$$[{}^N C_n [1 - \exp(-\alpha t)]^n [\exp(-\alpha t)]^{N-n}],$$

$$m=0, 1, 2, \dots, M-1, n=0, 1, 2, \dots, N/2 \quad (1)$$

경우 II: t 時點에서 $m(m=0, 1, 2, \dots, M-1)$ 개의 표적이 파괴되고, $(N/2)+1$ 대 이상의 항공機가被擊된 경우

t 時點에서 잔여 표적의數 $i=M-m$ 개이고, 잔여生存 항공機數 j 가 50% 미만

일 確率이므로, $P_t(m=M-i, n=N-j)$ 은 경우 I 과 유사하게 표시하면, 式(2)와 같이 된다.

$$P_t(m, n) = \frac{(\beta t)^m \exp(-\beta t)}{m!} \cdot [nC_n(1-\exp(-\alpha t))^n(\exp(-\alpha t))^{N-n}],$$

$$m=0, 1, 2, \dots, M-1,$$

$$n=\frac{N}{2}+1, \frac{N}{2}+2, \dots, N \quad (2)$$

경우 III : t 時點에서 모든 標的이 파괴되고 航空機 50 % 이하가 被擊된 경우
t 時點에서 잔여 標的의 數 $i=0$ 이고 잔여 生存 航空機 數 j 가 50 % 이상일 確率이다. t 時點에서 모든 標的이 파괴될 確率은 다음과 같이 定義 된다.

$$P_t(M) = P_t(i=0)$$

$$= \left\{ 1 - \sum_{m=0}^{M-1} \frac{(\beta t)^m \exp(-\beta t)}{m!} \right\}$$

이것을 t 時點에서 잔여 生存 航空機 數가 50 % 이상일 確率과 結合確率로 표시하면 式(3)과 같다.

$$P_t(M, n) = \left\{ 1 - \sum_{m=0}^{M-1} \frac{(\beta t)^m \exp(-\beta t)}{m!} \right\} \cdot [nC_n(1-\exp(-\alpha t))^n(\exp(-\alpha t))^{N-n}],$$

$$n=0, 1, 2, \dots, N/2 \quad (3)$$

경우 IV : t 時點에서 모든 標的이 파괴되고 $(N/2)+1$ 대 이상의 航空機가 被擊된 경우
t 時點에서 잔여 標的이 없고, 잔여 生存 航空機 數 j = 50 % 미만일 確率이므로, 경우 III 과 유사하게 표시하면 式(4)와 같다.

$$P_t(M, n) = \left\{ 1 - \sum_{m=0}^{M-1} \frac{(\beta t)^m \exp(-\beta t)}{m!} \right\} \cdot [nC_n(1-\exp(-\alpha t))^n(\exp(-\alpha t))^{N-n}],$$

$$n=\frac{N}{2}+1, \frac{N}{2}+2, \dots, N \quad (4)$$

경우 I, II, III, IV에서 t 時點에서 파괴된 標的의 數가 m 개이고, 被擊된 航空機 數가 n 대일 確率, 즉 모든 $P_t(m, n)$ 과 $P_t(M, n)$ 의 合은 '1'이다.

나. 임무효과척도 (measures of mission effectiveness)

多數 標的을 공격하는 編隊航空機의 期待 作戰利益 및 期待作戰費用을 도출하기 위하여 다음과 같은 임무효과척도를 고려한다.

- o 作戰成功確率 (probability of operating success)
- o 作戰失敗確率 (probability of operating failure)
- o 破壞標的의 期待數 (expected number of targets killed)
- o 모든 標的 破壞確率 (probability that all targets are killed)
- o 攻擊된 標的의 期待數 (expected number of targets attacked)
- o 期待作戰持續時間 (expected duration of operating)

(1) 作戰成功確率 (probability of operating success)

作戰成功確率은 編隊航空機가 계속적으로 作戰遂行이 可能的인 경우를 나타내는 척도이다. 이와같이 作戰이 成功되는 경우는 編隊航空機 中 50 % 까지 被擊되어 $j=N-n \geq N/2$ 경우이며, 式(1), (3)을 이용하여 계산하면, 式(5)와 같다.

$$\begin{aligned} & \sum_{m=0}^M \sum_{n=0}^M (P_t(m, n)) \\ &= \sum_{n=0}^{N/2} {}^N C_n \cdot \\ & [1 - \exp(-\alpha t)]^n [\exp(-\alpha t)]^{N-n} \end{aligned} \quad (5)$$

(2) 作戰失敗確率 (probability of operating failure)

作戰失敗確率は N 대의 航空機 中 (N/2) + 1 대 이상이 被擊되어 더 이상 作戰遂行이 불가능한 경우로 定義되며, $j = N - n < N/2$ 이다. 이때 잔여 生存 航空機는 敵 地域을 이 탈하여 基地로 귀환하게 되며, 式(2), (4) 를 이용하여 계산하면, 式(6)과 같이 된다.

$$\begin{aligned} & \sum_{m=0}^M \sum_{n=(N/2)+1}^N (P_t(m, n)) \\ &= \sum_{n=(N/2)+1}^N {}^N C_n \cdot \\ & [1 - \exp(-\alpha t)]^n [\exp(-\alpha t)]^{N-n} \end{aligned} \quad (6)$$

(3) 破壞標的의 期待數 (expected number of targets killed)

$M(t)$ 를 作戰 개시 이후, t 時點에서 編隊 航空機에 의해 파괴된 標的의 數라고 定義하면, 破壞 標的의 期待數 $E(M(t))$ 는 t 時點에서 m 개 標的이 파괴될 確率을 나타내는 포아송確率을 이용하여 계산되며, 式(7)과 같이 表示 된다.

$$\begin{aligned} E(M(t)) &= \sum_{m=0}^M m(P(t) = m) \\ &= \sum_{m=0}^M m(P(t) = m) \\ &= \sum_{m=0}^{M-1} m \left\{ \frac{(\beta t)^m \exp(-\beta t)}{m!} \right\} \\ &+ M \left\{ 1 - \sum_{m=0}^{M-1} \frac{(\beta t)^m \exp(-\beta t)}{m!} \right\} \end{aligned} \quad (7)$$

(4) 모든 標的이 破壞될 確率 (probability that all targets are killed)

이 確率は 式(3) 에서 모든 標的이 파괴되고 航空機가 50 % 까지 被擊된 경우와, 式(4) 에서 모든 標的이 파괴되고 (N/2) + 1 대 이상의 航空機가 被擊된 경우를 합한 確率이다. 이 確率は 式(3), (4) 를 이용하여 計算되며 式(8)과 같다.

$$\begin{aligned} & \sum_{n=0}^M (P_t(M, n)) = \\ & \left\{ 1 - \sum_{m=0}^{M-1} \frac{(\beta t)^m \exp(-\beta t)}{m!} \right\} \end{aligned} \quad (8)$$

(5) 攻擊된 標的의 期待數 (expected number of targets attacked)

$A(t)$ 를 t 時點까지 編隊 航空機에 의해 공격된 標的의 數라고 하고, 공격된 標的의 數를 k, $k=0, 1, 2, \dots, M$ 라고 定義하면, $P_t(k)$ 는 t 時點까지 k 개의 標的이 공격될 確率을 意味한다. 攻擊回數는 平均標的識別率 μ 의 영향을 받고 編隊 航空機가 標的을 식별하면, 標的에 대한 공격은 반드시 행해지므로 t 時點까지 공격된 標的의 期待數는 式(7)의 破壞 標的의 期待數 $E(M(t))$ 에서 β 를 μ 로 대체하여 얻을 수 있으며, 式(9)와 같이 된다.

$$\begin{aligned} E(A(t)) &= \sum_{m=0}^M k(P_t(k)) \\ &= \sum_{m=0}^{M-1} m \left\{ \frac{(\mu t)^m \exp(-\mu t)}{m!} \right\} \\ &+ M \left\{ 1 - \sum_{m=0}^{M-1} \frac{(\mu t)^m \exp(-\mu t)}{m!} \right\} \end{aligned} \quad (9)$$

(6) 期待作戰持續時間 (expected duration of operating)

編隊 航空機의 作戰時間이 t 일때, 作戰持

續時間을 $D(t)$ 로 定義하면, 期待作戰持續時間 $E(D(t))$ 은 作戰時間 t 와 式(5)의 編隊航空機의 作戰이 持續될 確率을 곱하여 얻을 수 있으며, 式(10)과 같이 된다.

$$E(D(t)) = t \cdot \frac{\sum_{n=0}^{N/2} {}_N C_n [1 - \exp(-\alpha t)]^n}{[\exp(-\alpha t)]^{N-n}} \quad (10)$$

다. 임무효과척도에 관련된 費用 編隊航空機의 作戰에 소요되는 期待費用은 定義된 임무효과척도를 이용하여 다음과 같은 4가지의 費用을 고려하여 도출된다.

- 單位 作戰當 固定準備費 : (K)
- 單位 作戰持續時間當 費用 : (C_0)
- 被擊되었을때, 航空機 및 乘務員 損失費用 : (C_A)
- 單位 標的 공격에 소요되는 武裝費用 : (C_M)

(1) 編隊航空機의 期待作戰費用

가) 作戰 固定準備費

일정한 상수 K 로 表示 된다.

나) 單位 作戰持續時間當 期待費用

이 期待費用은 單位 作戰持續時間當 費用 (C_0)에 式(10)의 期待作戰持續時間을 곱하여 얻을 수 있으며, 式(11)과 같다.

$$C_0 E(D(t)) = C_0 t \left[\sum_{n=0}^{N/2} {}_N C_n \cdot [1 - \exp(-\alpha t)]^n \right] \frac{1}{[\exp(-\alpha t)]^{N-n}} \quad (11)$$

다) 被擊되었을때, 航空機 및 乘務員

손실 期待費用

이 期待費用은 N 대중 최소 1 대 이상이

被擊되었을 때 발생하며, 編隊航空機 被擊確率은 式(12)와 같다.

$$\sum_{m=0}^M \sum_{n=1}^N \{P_i(m, n)\} = [1 - \exp(-N\alpha t)] \quad (12)$$

그러므로 이 期待費用은 被擊되었을때 航空機 및 乘務員 損失費用 (C_A)에 式(12)의 編隊航空機의 被擊確率을 곱하여 얻을 수 있으며, 式(13)과 같이 표시된다.

$$C_A [1 - \exp(-N\alpha t)] \quad (13)$$

라) 單位 攻擊標的當 期待武裝費用

이 期待費用도 單位 攻擊標的當 武裝費用 (C_M)에 式(9)의 t 時點까지 攻擊된 標的의 期待數를 곱하여 얻을 수 있으며, 式(14)와 같이 된다.

$$C_M E\{A(t)\} = C_M \left[\sum_{m=0}^{M-1} m \left\{ \frac{(\mu t)^m \exp(-\mu t)}{m!} \right\} + M \left[1 - \sum_{m=0}^{M-1} \frac{(\mu t)^m \exp(-\mu t)}{m!} \right] \right] \quad (14)$$

마) 期待作戰費用

$S(t)$ 를 t 時點에서 編隊航空機의 作戰에 소요되는 費用이라고 하면, 期待作戰費用 $E\{S(t)\}$ 는 가), 나), 다), 라)에서 구한 期待費用을 더하여 얻을 수 있으며, 式(15)와 같이 표시된다.

$$E\{S(t)\} = K + C_0 t \left[\sum_{n=0}^{N/2} {}_N C_n [1 - \exp(-\alpha t)]^n \right] \frac{1}{[\exp(-\alpha t)]^{N-n}} + C_A [1 - \exp(-N\alpha t)] + C_M \left[\sum_{m=0}^{M-1} m \left\{ \frac{(\mu t)^m \exp(-\mu t)}{m!} \right\} + M \left[1 - \sum_{m=0}^{M-1} \frac{(\mu t)^m \exp(-\mu t)}{m!} \right] \right]$$

$$+M\left[1-\sum_{m=0}^{M-1} \frac{(\mu t)^m \exp(-\mu t)}{m!}\right] \quad (15)$$

(2) 編隊航空機の 期待作戰利益

單位 標的 파괴에서 얻어지는 利益 (benefit)을 B 로 定義하면, 期待作戰利益은 式(7) 에서 구한 t 時點에서 破壞標的의 期待數 E[M(t)]와 單位 標的破壞에서 얻어지는 利益 B 의 곱으로 얻어지며, 式(16) 과 같이 표시된다.

$$B E[M(t)] = B \left[\sum_{m=0}^{M-1} m \frac{(\beta t)^m \exp(-\beta t)}{m!} + M \left[1 - \sum_{m=0}^{M-1} \frac{(\beta t)^m \exp(-\beta t)}{m!} \right] \right] \quad (16)$$

라. 作戰時間 決定模型 설정

이 模型은 期待作戰費用과 期待作戰利益을 이용하여 설정되며, t 時點에서 編隊航空機の 期待作戰利得은 式(16)의 期待作戰利益 B E[M(t)]에서 式(15)의 期待作戰費用 E[S(t)]을 減한것으로 定義된다.

期待作戰利得 = 期待作戰利益 - 期待作戰費用
즉 編隊航空機の 作戰時間 決定模型은 다음 式을 最大化하는 t 時點을 구하는 것이다.

$$\text{最大化 } B E[M(t)] - E[S(t)] \quad (17)$$

따라서, 最適作戰時間(optimal operating time)은 式(17)의 期待作戰利得을 最大로 하

는 時點(t*)이며, 編隊航空機の 適正戰力規模는 編隊戰力에서 얻어지는 最大期待作戰利得이 陰(-)의 값을 갖지 않는 범위 내에서 決定되어야 한다.

3. 例 題

가. 編隊航空機の 最適作戰時間 및 適正戰力規模 決定

空軍 * * 司令部는 初戰의 空中優勢를 확보하기 위해 敵 地域에 있는 多數 標的을 공격할 作戰計劃을 수립하였다. * * 司令部는 編隊航空機 作戰時間 決定模型을 이용하여, 多數 標的을 공격하는 編隊航空機の 最適作戰時間과 攻擊 編隊의 適正戰力規模를 決定하려고 한다. 여기서, 期待作戰利得과 最適作戰時間을 산출하기 위한 입력자료를 <表 1>과 같이 假定한다.

式(17)의 編隊航空機 作戰時間 決定模型을 이용하여, 最適作戰時間과 期待作戰利得은 4대의 編隊航空機가 3개의 標的을 공격하는 경우와 編隊航空機の 適正戰力規模를 決定할 수 있도록 攻擊標的과 編隊航空機가 多數인 경우로 나누어 산출하였다.

<표 1> 入力 資料

<p>λ(敵 威脅發生率) = 1.8/hour μ(平均標的 識別率) = 0.5 P_A(航空機被擊確率) = 0.08 P_T(標的被擊確率) = 0.5 α = λ P_A = 0.0024 β = μ P_T = 0.25</p>	<p>K(作戰固定準備費) = 4,000\$/aircraft C₀(作戰持續費用) = 6,000\$/hr sortie C_A(航空機 및 승무원 損失費用) = 30,000,000\$/aircraft C_M(武裝費) = 4,000\$/unit B(單位標的破壞當 利益) = 2,000,000\$</p>
---	--

(1) 4 대의 編隊航空機가 3 개의 標的을 공격하는 경우

〈表 2〉는 式(7), (15), (17)을 이용하여 4 대의 編隊航空機가 3 개의 標的을 공격하는 상황에서, 時間에 따른 破壞標的의 期待數, 期待作戰費用, 期待作戰利得의 變化를 나타낸 것이다. 〈表 2〉에서 期待作戰利得이 10 分에서 가장 크므로, 最適作戰時間(t*)은 敵 地域에 도달한 時點부터 10 分이라고 볼 수 있으며, 10 分 이후에는 期待作戰利得이 점차 감소하여 22 分 이후에는 期待作戰利得이 陰

(negative)의 값이 算出된다. 지휘관은 期待作戰利得이 最大가 되는 時點에서 作戰遂行 여부를 決定할 수 있으며, 期待作戰利得이 最大가 되는 時點을 지나서 期待作戰利得이 陽(positive)의 값을 갖는 時點까지는 作戰을 계속 遂行할 수도 있다.

(2) 攻擊標的 및 編隊航空機가 多數일 경우

標的의 數는 1 개 부터 12 개 까지 變化되고, 編隊航空機는 2 대부터 2 대씩 증가시켜

〈表 2〉 時間의 變化에 따른 破壞標的의 期待數, 期待作戰費用, 期待作戰利得

作戰時間(分)	破壞標的의 期待數	期待作戰費用	期待作戰利得
0	.000	.040	-.040
1	.250	2.989	2.011
2	.498	5.904	4.057
3	.741	8.793	6.037
4	.977	11.653	7.880
5	1.200	14.483	9.524
6	1.410	17.285	10.919
7	1.604	20.058	12.029
8	1.782	22.804	12.836
9	1.943	25.522	13.332
10	2.087	28.214	13.522
11	2.215	30.880	13.418
12	2.328	33.520	13.037
13	2.427	36.136	12.402
14	2.513	38.726	11.535
15	2.588	41.292	10.462
16	2.652	43.835	9.190
17	2.707	46.353	7.790
18	2.754	48.848	6.237
19	2.794	51.319	4.566
20	2.828	53.767	2.796
21	2.857	56.193	.944
22	2.881	58.596	-.976
23	2.901	60.976	-2.951

14 대 까지 변화되는 경우에, 式 (17)을 이용하여 最適作戰時間과 最大期待作戰利得을 산출한 결과는 <表 3> 과 <表 4>와 같이 된다.

<表 3> 에서 동일한 標的數에 대하여, 編隊航空機의 數가 많을 수록 期待作戰費用이 더 소요되므로 最適作戰時間은 짧아지고 있다. 또한, 標的 數에 비하여 過多한 編隊戰力を

구성한 경우에는, 時間이 경과할수록 期待作戰費用이 증대되어 期待作戰利得은 작아지므로, 期待作戰利得이 最大가 되는 時間은 最初時點(t=0)이 된다. 즉, 最適作戰時間은 '0' 이 된다.

<표 4> 에서 동일한 標的數에 대하여 編隊航空機의 數가 적을수록 最大期待作戰利得은 증가하는데, 이것은 航空機 數가 적을수록 期

<表 3> 航空機 數(N)와 標的 數(M)에 따른 最適作戰時間 (t* ; 分)

N \ M	2	4	6	8	10	12	14
1	5	2	1	0	0	0	0
2	10	6	3	0	0	0	0
3	15	10	6	0	0	0	0
4	20	14	10	0	0	0	0
5	25	19	14	0	0	0	0
6	29	23	19	0	0	0	0
7	34	28	23	0	0	0	0
8	39	33	28	24	0	0	0
9	43	37	33	30	0	0	0
10	48	42	38	36	0	0	0
11	53	47	44	42	0	0	0
12	57	52	49	48	48	0	0

<表 4> 航空機 數(N)와 標的 數(M)에 따른 最大期待作戰利得(10⁷\$)

N \ M	2	4	6	8	10	12	14
1	6.779	1.979	0.019	-0.04	-0.04	-0.04	-0.04
2	17.835	7.119	1.067	-0.04	-0.04	-0.04	-0.04
3	29.856	13.522	2.879	-0.04	-0.04	-0.04	-0.04
4	42.406	20.766	5.568	-0.04	-0.04	-0.04	-0.04
5	55.324	28.743	9.178	-0.04	-0.04	-0.04	-0.04
6	68.564	37.301	13.722	-0.04	-0.04	-0.04	-0.04
7	82.046	46.431	19.190	-0.04	-0.04	-0.04	-0.04
8	95.736	56.051	25.581	1.160	-0.04	-0.04	-0.04
9	109.625	66.176	32.841	5.987	-0.04	-0.04	-0.04
10	123.707	76.752	40.939	12.230	-0.04	-0.04	-0.04
11	137.947	87.753	49.824	19.775	-0.04	-0.04	-0.04
12	152.336	99.161	59.478	28.518	3.954	-0.04	-0.04

待作戰費用이 작게 소요되기 때문이다. 또한, 標的數에 비하여 過多한 編隊戰力を 구성한 경우에는 作戰時間이 경과 할 수록 期待作戰利益 보다는 期待作戰費用이 증가하므로, 最初時點에서 單位 作戰當 固定準備費(K)만 소요되는 것이 最大期待作戰利得이 된다.

〈表 5〉는 〈表 4〉에 있는 最大期待作戰利得을 基準으로 작성한 것이다. 여기에서 (+)는 주어진 標的에 대하여 最大期待作戰利得이 陽(positive)의 값을 가지므로 航空機 투입이 가능하다는 것이고, (-)는 주어진 標的에 대하여 航空機를 투입할 때, 最大期待作戰利得이 陰(negative)의 값을 가지므로, 航空機 투입이 적절하지 못하다는 것이다.

나. 相異한 航空機의 最大期待作戰利得 比較分析

相異한 機種 2 대로 각각 구성된 2 개의 編隊航空機가 3 개의 標的을 공격하는 경우에, 最大期待作戰利得(式(17))을 이용하여 戰術的 特性이 다른 相異한 航空機에 대하여

〈表 5〉 攻擊標的 數(M)에 대한 適正 編隊航空機 數(N)

M \ N	2	4	6	8	10	12	14
1	+	+	+	-	-	-	-
2	+	+	+	-	-	-	-
3	+	+	+	-	-	-	-
4	+	+	+	-	-	-	-
5	+	+	+	-	-	-	-
6	+	+	+	-	-	-	-
7	+	+	+	-	-	-	-
8	+	+	+	+	-	-	-
9	+	+	+	+	-	-	-
10	+	+	+	+	-	-	-
11	+	+	+	+	-	-	-
12	+	+	+	+	-	-	-

공격에 투입될 機種을 選定한다.

- (1) 標的破壞確率(P_T) : $A < B$ 이고,
航空機被擊確率(P_A) : $A < B$ 인 경우

〈表 6〉에서 A 航空機의 最大期待作戰利得은 28.446, B 航空機의 最大期待作戰利得은 7.554 로, A 航空機의 最大期待作戰利得이 더 크므로 A 航空機가 공격에 투입될 適正 機種임을 알 수 있다.

- (2) 標的破壞確率(P_T) : $C > D$ 이고,
航空機被擊確率(P_A) : $C > D$ 인 경우

〈表 7〉에서 C 航空機의 最大期待作戰利得은 1.831, D 航空機의 最大期待作戰利得은 18.795 로, D 航空機의 最大期待作戰利得이 더 크므로 D 航空機가 공격에 투입될 適正 機種임을 알 수 있다.

〈表 6〉 $P_T : A < B$ 이고, $P_A : A < B$ 인 경우의 最大期待作戰利得

	A型 編隊航空機	B型 編隊航空機
標的破壞確率 (P_T)	0.3	0.5
航空機被擊確率 (P_A)	0.05	0.2
最大期待作戰利得	28.446	7.554

〈表 7〉 $P_T : C > D$ 이고, $P_A : C > D$ 인 경우의 最大期待作戰利得

	C型 編隊航空機	B型 編隊航空機
標的破壞確率 (P_T)	0.4	0.2
航空機被擊確率 (P_A)	0.2	0.05
最大期待作戰利得	1.831	18.795

4. 結 論

本 論文에서는 編隊航空機가 多數 標的을 공격하는 경우에 最適作戰時間과 編隊의 適正 戰力規模를 決定할 수 있는 編隊航空機 作戰時間 決定模型을 개발하였다. 編隊航空機가 多數 標的을 공격할 때 발생할 수 있는 모든 경우의 可能性을 確率로 표시하여, 編隊航空機의 임무효과를 측정할 수 있는 척도를 定義하였다.

임무효과척도는 作戰成功確率, 作戰失敗確率, 破壞標的의 期待數, 모든 標的이 파괴될 確率, 攻擊된 標的의 期待數, 期待作戰持續時間 등이며, 이를 이용하여 編隊航空機의 單位 標的파괴에서 얻는 期待作戰利益과 作戰에

소요되는 期待作戰費用을 도출하였다. 期待作戰利益과 期待作戰費用을 이용하여 期待作戰利得을 定義하고, 模型을 설정하였다.

本 論文에서 개발된 編隊航空機 作戰時間 決定模型은 標的을 공격하는 編隊航空機의 期待作戰利得을 最大로 하는 最適作戰時間을 決定할 수 있을 뿐만 아니라, 最大期待作戰利得은 編隊航空機의 適正戰力規模를 決定할 수 있는 중요한 基準으로 이용 될 수 있다. 또한, 敵 威脅에 대한 回避能力과 標的破壞能力이 相異한 航空武器體系로 공격하는 경우에 最大期待作戰利得은 機種을 選定하는 基準으로 利用될 수도 있다.

參 考 文 獻

1. Kapur, K. C. and L. R. Lamberson, ; *Reliability in Engineering Design*, New York, John Wiley & Sons, 1977.
2. Sivazlian, B. D., "Aircraft sortie effectiveness model", *Naval Research Logistics Quarterly*, Vol. 36, 1989, pp. 127-137.
3. Sivazlian, B. D., H. K. Rhee, "Mission effectiveness analysis of an aircraft attacking passive targets", *European Journal of Operational Research*, Vol. 44, 1990, pp. 47-59.