

Airfleet의 任務效果

金永輝* 河碩太**

Abstract

This paper deals with the mission effectiveness of an airfleet. Airfleet operating system consists of a finite number of units performing the several mission types.

Earlier works for the mission effectiveness of a fleet is limited to only one mission type and computer simulation approaches.

The mission effectiveness model of a fleet is constructed by three attributes - the mission readiness of the units, the mission reliability and capability of units. The environmental conditions and human factors affecting the mission success are considered together. The solution of the model is obtained by analytical technique. Especially, AOS is considered a closed queueing network with a finite number of units and a single job class. And then, the mission readiness of the units is found by the mean value analysis.

The model would be a useful tool to readily evaluate mission effectiveness of a airfleet as it is and provide a criterion for determining the optimal operating policy.

* 高麗大學校 産業工學科

** 國防大學院

1. 序 論

任務效果(mission effectiveness)는 어떤 體系가 특정한 運用政策 및 環境條件들 아래에서 運用될 때, 주어진 時間內에, 주어진 任務를 성공적으로 達成할 수 있는 確率로서 이것은 軍事體系의 效果를 측정하는 하나의 적합한 尺度役割을 한다. 任務效果는 體系效果를 측정하는 方法 중의 하나이다. 1950년 후반과 1960년 초기에 體系效果가 紹介된 이후, 이에 대한 研究對象은 軍事 및 宇宙體系가 주종을 이루고 있다. 體系效果에 관한 模型들은 Tillman(6)의 研究效果에 잘 나타나 있다.

任務效果模型에서 Nathan(13)은 任務效果를 可用度, 任務信賴度 및 性能의 곱으로 나타내었다. Hayward(8)는 그의 戰鬥效果模型에서 처음으로 人的 및 環境要因을 考慮하였다. Tillman(15)은 여러 개의 單位들로 구성된 體系가 한 가지 任務를 遂行하는 경우의 任務效果를 模擬實驗으로 구하였다. 여기에서 環境條件과 操作者의 性能이 任務效果에 처음 計量的으로 考慮되었으며, 任務效果는 單位들의 可用度, 信賴度, 體系性能 및 操作者 性能의 同時確率로서 表示되었다. Kuo(9)와 이창훈(11)은 Tillman(15)이 고려한 것과 동일한 任務效果의 屬性을 가지고 한 單位가 여러 가지 형태의 任務를 遂行하는 體系의 任務效果를 解析的으로 模型化하였다.

지금까지 연구된 任務效果中에서 fleet로 구성된 體系가 研究對象인 경우에는 任務形態가 한 가지로 限定되어 있고 任務效果를 구하는 方法도 컴퓨터 模擬實驗에 限定되어 있다.

任務效果에 대한 既存研究를 擴張·發展시키기 위하여 본 연구는 airfleet 運用體系를 대상으로 하여 airfleet의 任務效果를 評價할 수 있는 수학적인 模型을 구축하고 이것의 해를 分析的인 方法으로 구한다. Airfleet 운용 체계는 하나의 基地內에 동일한 여러 대의 航空機와 性能이 다른 여러 명의 操作者를 보유하고, 여러 가지 形態의 航空任務를 遂行하며 綜合的인 指揮·統制體制를 갖추고 있는 武器體系이다.

本 研究目的을 達成하기 위하여 本 研究는 任務中心으로 airfleet 運用體系를 描寫하고, 任務效果의 屬性들과 이들을 決定하는 要素들을 考察하여 任務效果模型을 構築하고, 解析的으로 이 模型의 解를 구하는 方法을 提示한다. 또한 理解를 돕기 위하여 간단한 例題를 提示한다.

2. Airfleet 運用體系의 描寫

가. 構成 및 運營政策

定常狀態에서 airfleet 運用體系는 隣接體系와 相互作用이 없기 때문에 體系全體에 隸屬

된 航空機와 操作者의 數는 時間에 따라 변하지 않기 때문에 이 경우 이 체계는 閉鎖體系로 取扱될 수 있다. 또한 이 체계는 두 개의 下部體系 즉, 任務體系와 支援體系로 나뉘어진다.

1) 任務體系

航空任務의 種類는 對空制壓, 近接航空支援 등 여러 가지의 形態가 있다.

任務體系는 單位들의 待機所 및 實際의 任務遂行場所로 構成된다. 單位들의 待機所는 任務投入이 可能한 航空機 및 操作者가 待機하는 곳으로서 각 單位들 모두가 함께 待機할 수 있는 충분한 施設이 갖추어져 있으며, 任務遂行場所는 概念的으로 충분히 設定되어 있다고 본다.

어떤 任務가 要求되면 航空機 및 操作者의 待機所에서 필요한 單位들이 임의로 한 단위씩 選擇되어 任務를 시작하게 되고 동시에 滑走路의 開放與否가 檢査된다. 任務가 시작되는 시점에서 航空機, 操作者 및 滑走路는 이들 각각을 構成品으로 하는 直列體系와 對等한 의미를 갖는다.

2) 支援體系

Airfleet 운용체계는 維持體系이다. 支援體系는 航空機 整備體系, 操作者 支援體系 및 飛行支援 施設로 區分될 수 있다.

• 整備支援體系的 構成 및 運營節次
整備에서 考慮할 事項은 일반적으로 整備支

援 및 修理水準, 修理政策, 支援能力 등으로서 이들은 體系를 模型化하는데 필히 考慮될 要素들이다.

Airfleet 운용체계에서 考慮되는 整備水準은 部隊整備, 中間(部隊)整備 및 廠整備이다.

本 研究의 對象 航空機들은 壽命週期上的 安定的인 運用段階에 있는 것으로 假定하면 airfleet 운용체계는 安定的이고 持續的인 任務를 위한 적절한 組織 및 裝備가 갖추어진 狀態라고 할 수 있다.

故障은 任務中에만 發生한다고 假定한다. 任務中인 航空機의 故障은 構成品의 自體故障이나 敵의 威脅으로 被擊되어 意圖된 任務를 더 이상 遂行할 수 없는 어떤 狀態의 發生을 의미한다. 構成品의 自體故障에 의한 航空機의 故障은 構成品들의 致命故障(catastrophic failure)과 趨勢故障(drift failure)으로 구분될 수 있다.

任務中에 故障이 發生한 航空機는 修理施設에 入庫되어 各種의 故障 및 缺陷部品들이 同時에 修理된다고 假定한다.

本 研究의 對象 航空機들은 壽命週期上的 運用段階에 限定시켰으므로 故障率이 거의 一定하게 維持되는 段階에 있다고 볼 수 있고, 發生되는 故障은 Coleman(4)과 Mann(12)이 分類한 偶發故障에 기인한다고 볼 수 있으며, 일반적으로 偶發故障은 指數分佈를 따른다고 알려져 있다.

壽命研究에서 指數分布의 假定이 正當 하다는 研究結果를 Davis(5)가 1952년에, Epstein(7)이 1953년에 발표하였다. Barlow(1)는 指數分布가 複雜한 裝備의 故障法則으로서 매우 適當하다는 것을 數學的으로 論議하였다.

이 외에도 몇몇 學者들(2, 6)은 裝備의 故障에 指數分布를 사용하는 것이 바람직하다고 보았으며, 美空軍을 위한 WSELAC(17)의 體系效果 模型은 모든 故障과 修理時間의 分布를 指數分布로 假定하였다.

壽命에 대한 確率變數가 모두 指數分布를 따른다고는 볼 수 없을지라도 故障率이 一定하다는 假定을 함으로써 數學的인 處理를 容易하게 할 수 있다. 또한 指數分布가 갖는 記憶缺乏의 性質 때문에 동일한 種類의 航空機들로 構成된 airfleet의 경우 각 航空機의 過去經歷을 考慮하지 않고도 故障確率을 쉽게 구할 수 있다.

이창훈(10)에 의하면 “많은 상황들에서 修理時間은 對數定規分布로서 잘 描寫되며, 여러 學者들이 이 분포의 使用을 正當化하였지만 보통 分析的인 편리함과 計算上의 目的을 위하여 이것이 近似的인 方法으로 指數分布가 使用되어 왔다.” 따라서 本 研究에서는 航空機의 故障 및 修理時間은 指數分布를 따른다고 假定한다.

修理水準은 故障났을 때 가졌던 故障率의

정도까지 航空機의 狀態를 回復시키는 最小修理(minimal repair)에 限定시킨다.

• 操作者의 支援體系

操作者 支援體系는 任務待機場場所와 任務準備場所로 構成된다. 前者는 體系內의 모든 操作者가 동시에 任務待機할 수 있는 場所이다.

• 飛行支援施設

飛行支援施設中에서 任務效果에 影響을 미치는 代表的인 것은 離·着陸을 위한 滑走路로서, 이것이 閉鎖狀態에 있고 이 때에 任務가 發生되면 任務準備態勢는 0이 된다.

Airfleet 運用체계의 構造를 回路網으로 표시한 것이 (그림1)이다. 이 그림에서 表示된 숫자는 任務 및 整備遂行 등의 場所를 의미

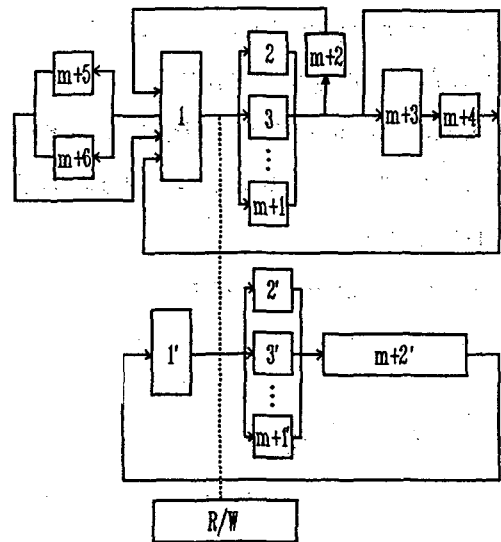


그림1 Airfleet 運用체계의 任務構造

한다. 場所 1, 2, ..., m+1은 任務體系, R/W는 滑走路, 나머지는 航空機와 操作者의 支援體系이다. m은 任務形態의 數를 의미한다.

Na 대의 航空機, No 명의 操作者 및 한 개의 滑走路를 가진 airfleet 운용체계의 각 場所 및 機能은 다음과 같다.

1, 1'은 각각 Na 및 No 개의 航空機 및 操作者가 待機하는 場所이다.

2, 3, ..., m+1의 각각은 Na개의 任務를 동시에 遂行할 수 있는 任務場所이다.

m+2는 任務中인 航空機의 構成品故障이 없을 때 部隊整備를 遂行하는 a_{m+2} 의 窓口로 構成된 整備施設이다.

m+3은 自體故障 航空機의 修理施設로서, 獨立인 a_{m+3} 개의 窓口를 가진 待機體系이다.

m+4는 航空機의 機能調査를 遂行하는 a_{m+4} 개의 窓口를 가진 待機施設이다.

m+5의 m+6은 각각 週期整備 및 廠整備 施設로서 각각 a_{m+5} 및 a_{m+6} 개의 窓口를 가진 待機施設이다.

m+2'은 任務를 마친 操作者가 다음 任務를 準備하는 No 개의 施設을 갖춘 場所이다.

3. 任務效果模型

가. 任務效果의 屬性과 要素

하나의 航空任務를 成功시키기 위해서는 任務要求時에 任務必須的인 要素들(航空機, 操

作者 및 滑走路)이 任務投入 可能해야 하며 (任務準備態勢), 任務始作 이후에는 制限된 時間 이내에 故障 없이 任務完了 혹은 歸還해야 하며 (任務信賴度), 積載된 武裝을 目標物 혹은 目標地域에 成功的으로 運搬할 수 있는 能力이 있어야 한다. 따라서 任務效果는 세가지의 屬性들 - 任務準備態勢, 任務信賴度 및 能力 - 의 同時確率로서 表示된다.

세 가지의 屬性들을 決定하는 要素들은 다음과 같다.

1) 任務準備態勢

본 연구에서 任務準備態勢는 "어떤 體系가 任務運用環境, 運營政策 및 運用節次下에서 任務를 遂行한다고 할 때 임의의 時點에서 發生한 任務要求를 體系가 充足시켜 줄 수 있는 確率"이라고 定義한다.

Airfleet의 任務에는 航空機와 이것을 操作하는 操作者가 필요하며 任務要求時에 航空機가 離陸이 可能하도록 滑走路가 開放狀態에 있어야 한다.

任務準備態勢는 fleet 規模, 任務發生率, 故障까지의 平均時間(MTTF) 및 支援能力 등에 影響을 받는다.

2) 任務信賴度

任務初에 操作者는 航空機와 直列로 連結된 하나의 單位로 볼 수 있으나 任務가 始作된 이후의 任務信賴도는 Tillman(15)의 경우

처럼 操作者를 航空機와 直列로 連結된 하나의 下部單位로 보기는 어렵다. 왜냐하면 任務中에 操作者의 操作 잘못으로 航空機에 故障이 發生되었을 경우라도 操作者 自身이 操作不能狀態가 되는 일은 희박하기 때문이다.

航空機自體의 信賴度는 設計 및 運用特性 등에 주로 의존하지만 任務信賴度の 觀點에서 任務形態 및 操作者의 性能에도 影響을 받을 수 있다. 또한 航空任務는 燃料積載量의 制限 및 積載武裝 등으로 滯空時間이 限定되어 있기 때문에 주어진 最大許容滯空時間 以內에 任務가 遂行되어야 한다.

3) 能力

Airfleet의 任務의 各各은 意圖된 어떤 目標을 가지고 있다. 任務가 發生하였을 때에 任務單位들의 任務投入이 可能하고 주어진 時間內에 故障 없이 歸還한다고 할지라도 目標物에 積載된 武裝을 만족스럽게 運搬을 하지 못할 경우에는 任務를 成功的으로 遂行하였다고 할 수 없다.

目標達成에는 航空機自體가 가진 固有의 機動性, 重力에 대한 待久力, 火力制御能力 등이 綜合된 航空機의 設計適合度가 考慮되어야 한다. 그러나 優秀한 性能을 가진 航空機일지라도 操作者의 能力이 未熟하고 自然環境條件이 劣惡하며 目標物이 要塞化되어 있으면 成功的인 目標達成은 어렵게 된다. 따라서

能力을 決定하는 要素로서 航空機의 設計適合度 이외에도 操作者의 性能, 自然環境條件, 目標物의 狀態 및 武裝의 信賴度와 正確性도 함께 考慮될 필요가 있다.

나. 任務效果模型

任務發生은 포아송 過程을 따르며, 하나의 任務는 航空機와 操作者를 각각 한 單位씩 必要로 한다고 假定한다.

어떤 種類의 航空機에 어떤 任務가 割當되면 武裝의 種類와 數量, 積載할 燃料量 등에 의하여 任務形態別로 出擊當 基準任務期間 혹은 基準滯空時間이 決定된다. 基準滯空時間에 비하여 實際의 任務期間은 날씨의 影響, 操作者의 熟練度, 晝·夜間條件, 任務狀況의 急激한 變動 등에 의하여 確率의으로 변한다고 볼 수 있으며 任務形態別 任務期間은 指數分布를 따른다고 假定한다.

하나의 任務가 發生될 때 아래의 各 分布는 알고 있다고 假定한다.

- 任務形態別 確率函數.
- 操作者 및 環境의 範疇別 分布.
- 目標物 形態의 範疇別 分布.

任務形態가 m 이고 이것의 最大許容滯空時間이 u_m, \dots 인 任務가 임의의 時點 t 에서 發生할 때 이 任務의 任務效果 $ME(t, u_m, \dots)$ 는 앞에서 언급한 任務成功的 概念에 의하여 다음과 같이 表示할 수 있다.

$$ME(t, u_{a, \max}) = P\{Z(t) = 1, U_m \leq u_{a, \max}, Tf > U_m, C_m = 1\}. \quad (1)$$

(1)식을展開하면,

$$ME(t, u_{a, \max}) = P\{Z(t) = 1\}P\{U_m \leq u_{a, \max}, Tf > U_m | Z(t) = 1\} \cdot P\{C_m = 1 | Z(t) = 1, U_m \leq u_{a, \max}, Tf > U_m\}. \quad (2)$$

여기에서,

$Z(t)$: 時點 t 에서의 任務準備狀態에 대한 確率變數로서 0과 1의 값을 가진다(0은 任務始作 不可能狀態, 1은 可能狀態).

U_m : 任務形態 m 의 任務期間에 대한 確率變數,

Tf : 自體故障이 發生될 때까지의 時間.

C_m : 任務形態 m 의 目標達成事象을 나타내는 確率變數로서 0과 1의 값을 가진다(0은 目標達成失敗, 1은 成功).

任務形態의 수가 a 가지이고 任務形態 m 의 確率函數를 $P(m)$ 이라고 하면 時點 t 에서 발생한 모든 任務形態에 대한 平均任務效果 $ME(t)$ 는 다음과 같이 表示할 수 있다.

$$ME(t) = \sum P(m)ME(t, u_{a, \max}).$$

安定狀態의 任務效果 및 任務準備態勢를 다음과 같이 定義한다.

$$ME = \lim_{t \rightarrow \infty} ME(t),$$

$$P\{Z=1\} = \lim_{t \rightarrow \infty} P\{Z(t)=1\}.$$

따라서 安定狀態의 任務效果는

$$ME = \sum_{m=1}^a P(m)P\{Z=1\}P\{U_m \leq u_{a, \max}, Tf > U_m | Z=1\} \cdot P\{C_m = 1 | Z=1, U_m \leq u_{a, \max}, Tf > U_m\}. \quad (3)$$

1) 任務準備態勢

任務發生時點에서의 任務準備態勢는 航空機 및 操作者가 任務投入이 可能하고, 滑走路가 開放되어 있을 同時確率로서 표현된다. 하나의 任務는 航空機와 操作者를 각각 한 單位씩만 필요로 한다고 假定하면 任務準備 態勢는 다음과 같이 表示될 수 있다.

$$P\{Z(t) = 1\} = P\{Aa(t) \geq 1, Ba(t) \geq 1, Srw(t) = 1\}. \quad (4)$$

여기에서,

$Aa(t)$: t 時點에서 任務投入可能한 航空機數

$Ba(t)$: t 時點에서 任務投入可能한 操作者數

$Srw(t)$: t 時點에서 滑走路의 狀態를 나타내는 確率變數 (0은 閉鎖狀態, 1은 開放狀態).

航空機, 操作者 및 滑走路 각각의 任務準備態勢는 서로 獨立이고, 平時에 滑走路는 被擊에 의한 損傷이 없으므로 항상 開放狀態라고 할 수 있다. 따라서 식(4)는

$$P\{Z(t) = 1\} = P\{Aa(t) \geq 1\}P\{Ba(t) \geq 1\}$$

으로 표시할 수 있으며, 安定狀態의 任務準備

態勢는 定義에 의하여 다음과 같이 表示된다.

$$P\{Z=1\} = P\{Aa \geq 1\}P\{Ba \geq 1\}. \quad (5)$$

여기에서 Aa 와 Ba 는 安定狀態에서 任務投入 가능한 航空機 및 操作者의 數이다.

任務發生時에 任務投入 가능한 航空機 및 操作者가 하나도 없을 安定確率을 각각 $P(L)$ 및 $P(Q)$ 라고 하면

$$P\{Aa \geq 1\} = 1 - P(L), \quad (6)$$

$$P\{Ba \geq 1\} = 1 - P(Q), \quad (7)$$

本 研究의 airfleet는 같은 種類의 航空機들로 構成된 體系이므로 [그림1]의 回路網內 各場所의 作業形態는 한 가지 部類만 存在한다고 볼 수 있다. 따라서 $P(L)$ 은 airfleet 運用 體系를 '한 가지 作業形態를 가진 閉鎖待機回路網(single job class closed queueing network)'으로 取扱하여 平均值分析(mean value analysis : MVA)方法으로 구할 수 있다. 또한 $P(Q)$ 도 위와 같은 方法으로 구할 수 있다.

$P(L)$ 은 [그림1]의 場所1에 可用한 航空機가 한 대도 없을 安定確率로서 이것을 편의상 $P(0, Na)$ 로 代替한다.

$m+6$ 개의 場所를 갖는 回路網에서 하나의 狀態는 하나의 벡터 $n = (n_1, n_2, \dots, n_{m+6})$ 이며 여기에서 $n \geq 0$ 은 場所 i 에 있는 航空機의 數

로서 모든 i 에 대하여 $\sum_{i=1}^{m+6} n_i = Na$ 이다. 각 장소에 대한 항공기의 待機規則은 同一機種이므로 先人先出이며 各場所의 서비스율은 作業量과 無關하다고 假定한다.

媒介變數로서 S_i 를 장소 i 의 航空機當 平均 서비스 時間, P_i 를 i 번째의 場所에 대한 航空機 한대의 서비스 要求回數라고 둔다. 場所 i 에 대한 航空機當 平均 訪問回數를 v_i 라고 하면 $v_1=1, v_i=p_i; i=2, 3, \dots, m+6$ 은 作業移動에 대한 平衡方程式들의 特定한 하나의 解가 될 수 있다.

閉鎖待機回路網에 대한 性能尺度들은 모두 $i=1, 2, \dots, m+6; n=1, 2, \dots, Na$ 에 대하여 다음과 같다.

$X_i(n)$: 場所 i 의 出力率(throughput),

$UT_i(n)$: 場所 i 의 利用度(utilization),

$\bar{n}_i(n)$: 場所 i 의 平均待機航空機의 數,

$\bar{w}_i(n)$: 場所 i 의 平均待機時間,

$P_i(n, Na)$: 場所 i 에 待機하는 航空機의 數에 대한 周邊確率.

Bruell[3] 등의 MVA方法 및 節次에 의해서 各場所別 위의 尺度들을 구하는 公式들을 要約하면 다음과 같다.

$$X_i(n) = n / \sum_{i=1}^{m+6} v_i \bar{w}_i(n).$$

$$X_i(n) = X_i(n) v_i.$$

$$UT_i(n) = s_i X_i(n) \quad (\text{負荷獨立})$$

$$\bar{n}_i(n) = X_i(n) \bar{w}_i(n).$$

$$\bar{w}_i(n) = \begin{cases} S_i & (\text{충분한 서버}) \\ S_i(1+n_i(n-1)) & (\text{負荷獨立}) \end{cases}$$

$$P_i(n, Na) = s_i X_i(Na) P_i(n-1, Na-1) \quad (\text{負荷獨立})$$

航空機の任務準備態勢: 위의 식들을 사용하여 $P_i(0, Na)$ 즉, $P(L)$ 을 구함으로써計算할 수 있다. 同一한 方法에 의하여 操作者の任務準備態勢는 $P_i(0, No)$ 즉, $P(Q)$ 를 구함으로써計算할 수 있다.

2) 任務信賴度

任務信賴度는 任務準備態勢가 1이었다는 것이 주어졌을때 주어진 最大許容滯空時間內에 任務를 遂行하고 아울러 遂行해야 할 任務期間 동안 故障이 發生하지 않을 條件附同時 確率이다.

任務形態 m 의 任務信賴度を R_m 이라고 하면 이것은 다음을 의미한다.

$$\begin{aligned} R_m &= P\{U_m \leq u_{m, \dots}, T_f > U_m | Z=1\} \\ &= P\{U_m \leq u_{m, \dots} | Z=1\} P\{T_f > U_m | Z=1, \\ &\quad U_m \leq u_{m, \dots}\}. \end{aligned} \quad (8)$$

· 任務期間의 分布

任務期間이 指數分布를 따른다고 假定하면 任務形態 m 의 任務期間 U_m 의 確率密度函數 $f_m(u_m)$ 은

$$f_m(u_m) = \mu_m \exp(-\mu_m u_m), \quad m=1, 2, \dots, a.$$

여기에서 μ_m 의 逆數는 平均任務期間이다. 따라서 任務形態 m 의 任務期間에 대한 分布函數는

$$\begin{aligned} P\{U_m \leq u_{m, \dots} | Z=1\} \\ &= \int_0^{u_{m, \dots}} \mu_m \exp(-\mu_m u_m) du_m \\ &= 1 - \exp(-\mu_m u_{m, \dots}). \end{aligned} \quad (9)$$

· 航空機の 故障時間에 대한 分布

任務中인 航空機の 構成品들이 故障날때까지의 時間이 平均 故障率 ϕ 인 指數分布라고 假定하면 構成品들의 故障으로 인하여 航空機에 自體故障이 發生될 때까지의 時間 T_f 의 分布는 다음과 같다. 여기에서 t 는 任務發生時點을 0으로 할때 이 時點부터 進行된 임의의 時點을 의미한다.

$$\begin{aligned} P\{T_f \leq t_i\} &= 1 - P\{T_f > t_i\} \\ &= 1 - (P\{\text{no component fails}\} \\ &\quad + P\{\text{component fails}\} \\ &\quad \cdot P\{\text{mission performs}\}) \\ &= 1 - (P\{\text{no component failure occurs} \\ &\quad \text{in the interval } \{0, t_i\}\} \\ &\quad + \sum_{i=1}^{\infty} P\{\text{number of component} \\ &\quad \text{failures occurred} \geq i\} \cdot P\{\text{mission} \\ &\quad \text{performs}\}) \\ &= 1 - (\exp(-\phi t_i) + q(\phi t_i) \exp(-\phi t_i) \\ &\quad + [q^2(\phi t_i)^2 / (2!)] \exp(-\phi t_i) + \dots) \\ &= 1 - \exp(-\phi p t_i). \end{aligned}$$

여기에서 $p=1-q$ 는 構成品의 故障으로 航空機自體故障이 發生할 條件附確率이다.

Tf가 任務形態 m의 特定한 任務期間 u_m 보다 더 클 確率은

$$P(Tf > u_m) = \int_{u_m}^{\infty} f_r(t_r) dt_r.$$

確率變數 Tf와 U_m 이 相互獨立이라는 假定 아래에서 任務形態 m의 特定한 任務期間 u_m 이 작은 區間 du_m 에 놓여있고, Tf가 주어진 區間 du_m 보다 더 클 確率은

$$f_m(u_m) du_m \int_{u_m}^{\infty} f_r(t_r) dt_r.$$

모든 可能한 U_m 의 값에 대하여 Tf가 U_m 보다 더 클 確率은 다음과 같이 表示할 수 있다.

$$\begin{aligned} P(Tf > U_m | Z=1, U_m \leq u_{m, \max}) \\ &= \int_0^{u_{m, \max}} f_m(u_m) \left[\int_{u_m}^{\infty} f_r(t_r) dt_r \right] du_m \\ &= \int_0^{u_{m, \max}} \mu_m \exp(-\mu_m u_m) \cdot \\ &\quad \left[\int_{u_m}^{\infty} \phi p \exp(-\phi p t_r) dt_r \right] du_m \\ &= \left\{ \mu_m / (\mu_m + \phi p) \right\} \cdot \\ &\quad \left\{ 1 - \exp\{-(\mu_m + \phi p) u_{m, \max}\} \right\}. \end{aligned} \quad (10)$$

(10) 및 (11) 식에 의하여 任務信賴度 R_m 은 $R_m = P\{U_m \leq u_{m, \max} | Z=1\}$ ·

$$\begin{aligned} P(Tf > U_m | Z=1, U_m \leq u_{m, \max}) \\ &= \{1 - \exp(-\mu_m u_{m, \max})\} \left\{ \mu / (\mu + \phi p) \right\} \\ &\quad \cdot \left\{ 1 - \exp\{-(\mu_m + \phi p) u_{m, \max}\} \right\}. \end{aligned} \quad (11)$$

3) 能 力

能力은 航空機의 任務에 대한 設計適合度, 操作者의 性能, 自然環境條件, 目標物의 種類 및 武裝의 信賴度와 正確性 등 여러가지 要素들에 의해서 決定된다.

航空機의 設計適合度는 航空機自體의 任務能力이다. 이것은 航空機의 種類나 任務形態에 따라 다를 수 있다. 航空機自體의 設計適合도에 따른 目標達成狀態를 D라고 둔다.

同一範疇의 操作者들의 性能은 任務形態와 無關하게 一定하다고 假定한다. 操作者의 目標達成狀態를 OC, 操作者 範疇 o의 確率函數를 $P(o); o=1, 2, \dots, c$ 라고 둔다.

同一範疇의 自然環境下에서는 任務의 種類에 關係 없이 環境的인 要素가 能力에 미치는 影響은 同一하다고 假定한다. 自然環境에 따른 目標達成狀態를 EC, 自然環境範疇 e의 確率函數를 $P(e); e=1, 2, \dots, b$ 라고 둔다.

目標物形態別 目標達成狀態를 KC, 範疇 k의 確率函數를 $P(k); k=1, 2, \dots, h$ 라고 둔다.

任務形態別로 裝着되는 武裝의 종류가 서로 다를 수 있다. 武裝自體의 性能에 따른 目標達成狀態를 A라고 둔다.

위의 D, OC, EC, KC 및 A는 0과 1의 값을 갖는 確率變數로서 0은 각 要素에 기인한 目標達成의 失敗를, 1은 成功을 의미한다.

能力을 決定하는 다섯가지의 要素들이 각

각 獨立이면 任務形態 m의 能力은 다음 식으로 表示될 수 있다.

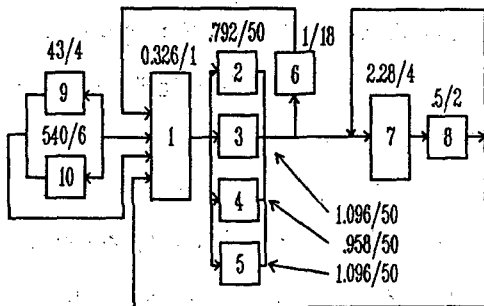
$$\begin{aligned}
 &P\{C_m=1|Z=1, U_m \leq u_{m, \dots, T_f}\} \\
 &= P\{D_m=1, OC_m=1, EC=1, KC_m=1, Am=1\} \\
 &= P\{D_m=1\} \cdot P\{OC_m=1\} \cdot P\{EC=1\} \\
 &\quad \cdot \sum_{k=1}^b P\{KC_m=1\} \cdot P\{Am=1\} \\
 &= P\{D_m=1\} \cdot \sum P\{OC_m=1|o\} P(o) \cdot \\
 &\quad \cdot \sum_{e=1}^b P\{EC=1|e\} \cdot P(e) \cdot \sum_{k=1}^b P\{KC_m=1|k\} \cdot \\
 &\quad P(k) \cdot P\{Am=1\} \quad (12)
 \end{aligned}$$

식 (3), (6), (7), (11) 및 (12)에 의해 airfleet의 平均任務效果는 決定된다.

다. 例題

어떤 airfleet 運用體系가 航空機 50대, 操作者 80명 및 主滑走路 한 개를 가지고 있으며 任務形態는 네 가지이다.

다음 그림에서 각 場所 위에 表示된 숫자중에서 처음의 것은 서버당 平均 서비스 時間, 뒤에 것은 서버의 數를 의미한다.



場所 i에서 場所 j로 갈 轉移確率 P(i, j)는

다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 &P(1, 2) = 0.6923 \quad P(1, 3) = 0.14835 \\
 &P(1, 4) = 0.0989 \quad P(1, 5) = 0.04945 \\
 &P(2, 6) = P(3, 6) = P(4, 6) = P(5, 6) = 0.7 \\
 &P(2, 7) = P(3, 7) = P(4, 7) = P(5, 7) = 0.3 \\
 &P(9, 8) = 0.1 \quad P(8, 1) = 0.9 \quad P(1, 9) = 0.01 \\
 &P(1, 10) = 0.001
 \end{aligned}$$

任務形態別 確率函數, 操作者, 自然環境, 目標物의 範疇別 確率函數와 性能(影響)은 각각 [表1], [表2], [表3]과 같다고 假定한다.

Airfleet의 任務發生間時間 T_m이 時間當 平均任務發生率 θ를 가진 指數分布를 따른다고 假定하면

$$P\{T_m \leq t\} = 1 - \exp(-\theta \cdot t).$$

Airfleet의 平均任務發生率은 $\theta = \alpha \cdot N_a \cdot SR / 24$ 로서 구할 수 있다. 여기에서 α는 飛行運用 係數로서 範圍는 $0 < \alpha \leq 1$ 이며 SR은 機當一日의 最大出擊率이다. SR은 9.817이며 α는 0.15라고 假定한다.

故障率 φ는 時間當 0.33이며, 構成品 故障으로 自體故障이 發生될 條件附確率 p는 0.1이라고 假定한다.

航空機의 設計適合度 D는 0.98이며 武裝의 信賴度 · 正確性 A는 0.98이라고 假定한다.

假定된 제한 資料에 의한 任務效果의 計算 結果는 0.43이다. 여기에서 閉鎖待機回路網

表1 任務形態別分布 및 各任務의 最大許容滯空時間

任務形態 m	密度 P(m)	最大許容滯空時間 u _{m, max} (分)
1	0.70	70
2	0.15	90
3	0.10	80
4	0.05	90

表2 操作者 및 自然環境의 範疇別 分布와 性能

操作者 範疇	密度 P(o)	性能
1	0.36	0.90
2	0.12	0.85
3	0.23	0.75
4	0.29	0.65

自然環境 範疇	密度 P(e)	影響
1	0.19	1.00
2	0.40	0.95
3	0.41	0.85

表3 目標物의 範疇別分布와 能力에 미치는 影響

目標物 範疇	密度 P(k)	能力에 대한 性能
1	0.50	1.00
2	0.30	0.95
3	0.20	0.85

에 대한 平均值分析을 하면 航空機와 操作者의 任務準備態勢는 각각 1.0이 된다.

4. 結 言

Fleet의 任務效果에 대한 數學的인 模型은 體系를 構成하는 各種 下部體系와 任務間의 關係를 어떤 政策이나 構造的인 合理性에 따라서 規定하고 各 下部體系들의 特性들을 計量化하고 相互間의 關係를 糾明하여 體系의 目標을 評價하는데 危險과 不確實性이 最少가 되도록 제한 任務要素들을 任務效果에 統合시키는 것이 重要하다.

Fleet의 任務效果는 安定된 體系를 對象으로 한 가지의 任務形態만 존재하는 경우에 한하여 컴퓨터 模擬實驗方法으로 이것을 구하는 것에 局限되어 있다. 또 이들은 任務效果에 直接的인 影響을 미치는 體系 全般的인 支援能力을 考慮하지 않았다.

本 研究는 同一한 形態를 가진 여러대의 航空機와 相異한 任務性能을 가진 操作者들로 여러가지 形態의 任務를 遂行하는 airfleet 運用體系를 對象으로 하여

첫째, airfleet의 任務特性, 任務屬性과 要素들을 基礎로 하여 airfleet의 任務效果를 評價할 수 있는 數學的인 模型을 構築하였다. 任務效果는 세 가지의 屬性들 - 任務始作時點에서 單位들(航空機와 操作者)과 滑走路의 任務準備態勢, 任務信賴度 및 成功的인 目標

達成能力 - 의 同時確率로서 決定하였다.

둘째, 構築한 模型에 대한 解는 待機行列理論上의 平均值分析方法과 假定된 各種 確率 分布들을 使用하여 解析的인 方法으로 구하였다. 여기에서 任務發生은 포아송 過程을 따르며, 航空機의 自體故障, 修理時間 및 任務期間은 指數分布를 따른다고 假定하였다.

本 研究의 任務效果模型은 任務狀況이 安定 狀態에 있는 airfleet의 任務效果를 解析的

인 方法으로 매우 簡便하게 計算할 수 있고, 任務效果에 關聯된 諸般 要素들의 變動이나 諸般 母數들의 變動에 따른 任務效果를 쉽게 比較·評價할 수 있다. 아울러 이 模型은 費用要素들이 주어진다면 費用-效果의 觀點에서 airfleet 運用體系의 效率的인 最適運營政策을 決定하는데 必要한 判斷의 基準으로 使用될 수 있을 것이다.

參 考 文 獻

1. R. E. Barlow and F. Proschan, Mathematical Theory of Reliability, John Wiley & Sons, N. Y., 1965.
2. D. M. Boodman, "The Reliability of Airborne Radar Equipment", Operations Research, Vol. 1, No. 2, Feb. 1953, pp. 39-45.
3. S. C. Bruell and G. Balbo, Computational Algorithms for Closed Queueing Network, Elsevier North Holland, N. Y., 1980.
4. J. J. Coleman, "Reliability of Aircraft Structures in Resisting Chance Failure", Operations Research, Vol. 7, No. 5, Sep.-Oct. 1959, pp. 639-645.
5. D. J. Davis, "An Analysis of Some Failure Data", J. Amer. Statist. Assoc., Vol. 47, June 1952, pp. 113-150.
6. B. Epstein, "The Exponential Distribution and Its Role in Life-Testing", Industrial Quality Control, vol. 15, No. 6, Dec. 1958, pp. 4-9.
7. B. Epstein and M. Sobel, "Life Testing", J. Amer. Statist. Assoc., Vol. 48, Sept. 1953, pp. 486-502.
8. P. Hayward, "The Measurement of Combat Effectiveness", Operations Research, Vol. 16, No. 2, 1968, pp. 314-323.

9. W. Kuo, System Effectiveness Models via Renewal Theory and Bayesian Inference, Ph. D. Dissertation, Kansas State University Kansas 1980.
10. C. H. Lie, C. L. Hwang and F. A. Tillman, "Availability of Maintained Systems : A State-of-the-Art Survey", AIEE, Vol. 9, No. 2, Sep. 1977, pp. 247-259.
11. C. H. Lie, W. Kuo, F. A. Tillman and C. L. Hwang, "Mission Effectiveness Model for a System with Several Mission Types", IEEE Trans. on Reliab., Vol. R-33, No. 4, Oct. 1984, pp. 346-352.
12. N. R. Mann, R. E. Schafer and N. D. Singpurwalla, Methods for Statistical Analysis of Reliability and Life Data, John Wiley & Sons, N. Y., 1974.
13. I. Nathan, "Mission Effectiveness Model for Manned Space Flight", IEEE Trans. on Reliab. Vol. R-14, Oct. 1965, pp. 84-93.
14. D. B. Smith and G. Rowland, System Engineering and Management, Addison-Wesley Publishing Co., Massachusetts, 1974.
15. F. A. Tillman, C. H. Lie and C. L. Hwang, "Simulation Model of Mission Effectiveness for Military Systems", IEEE Trans. on reliab., Vol. R-27, No. 3, Aug. 1978, pp. 191-194.
16. F. A. Tillman, C. I. Hwang and W. Kuo, "System Effectiveness Models : An Annotated Bibliography", IEEE Trans. on Reliab., Vol. R-29, No. 4, Oct. 1980, pp. 295-304.
17. WSEIAC, Final Report of Task Group II : Prediction Measurement, AFSC-TR-65-2 (vol. I, II & III), U. S. Air Force System Command, Defence Technical Information Center, Defence Logistics Agency : Cameron Station : Alexandria, Virginia, 22304-6145, March 1965.