

## 航空交通管制規則과 飛行場의 最適規模에 關한 研究

(A Study on the Air Traffic Control Rule and Optimal Capacity of Air Base)

空軍少領 李 起 炫\*

### ABSTRACT

As the organizational size of a military service or business increases and its management becomes complex, the success in its management depends less on static type of management but more on careful, dynamic type of management.

In this thesis, an operations research technique is applied to the problems of determining optimal air traffic control rule and of optimal capacity of air base for a military air base.

An airport runway is regarded as the service facility in a queueing mechanism, used by landing, low approach, and departing aircraft. The usual order of service gives priority different classes of aircraft such as landings, departures, and low approaches; here service disciplines are considered assigning priorities to different classes of aircraft grouped according to required runway time. Several such priority rules are compared by means of a steady-state queueing model with non-preemptive priorities.

From the survey conducted for the thesis development, it was found that the flight pattern such as departure, low approach, and landing within a control zone, follows a Poisson distribution and the service time follows an Erlang distribution.

In the problem of choosing the optimal air traffic control rule, the control rule of giving service priority to the aircraft with a minimum average waiting cost, regardless of flight patterns, was found to be the optimal one.

Through a simulation with data collected at K-O O Air Base, the optimal take-off interval and the optimal capacity of aircraft to be employed were determined.

### I. 序 論

한 研究調査에 依하면 뉴욕飛行場의 航空交通管制機關이 飛行場 周邊의 各種 航空機를 管制하는데서 發生하는 여러 類型의 遲延中에서 着陸遲延(Landing Delay)이 全體遲延의 3/4

\* 空軍本部

를 차지했고, 나머지중의 1/2이 離陸遲延(Departure Delay)이었다고 하며, 이러한 深刻한 交通滯症 現象을 解消하기 爲한 研究過程에서 飛行場의 滑走路를 復走(Double Runway)로 運營하는 模擬實驗의 結果는 着陸遲延을 60%까지 減少시킬 수 있다고 하였다.

따라서 本 事例研究에서는 軍用飛行場內에서의 航空交通 管制節次上的 合理的 方案을 檢

討하고 現 作戰基地의 裝備와 人員으로는 얼마만큼의 航空機를 收容하는 것이 適正 規模인지를 檢討할 것이다.

I-1. 航空管制 用語의 定義

本 事例研究에 必要한 航空交通管制上의 簡單한 用語를 定義하면 다음과 같다.

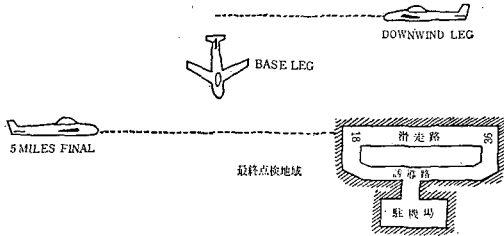


그림-1 標準 長周模型

가. 離陸航空機에 對한 서비스時間

航空機가 最終點檢地域에서 點檢을 마치고 操縱士가 管制塔에 離陸要求를 했을때 管制塔으로부터 "Clear to take off"이라는 메시지를 받고 부터 滑走路를 벗어날때 까지의 時間을 말한다.

나. 着陸航空機에 對한 서비스時間

管制塔으로부터 着陸許可를 받은 航空機가 Base Leg로부터 着陸하여 滑走路를 벗어날 때 까지의 時間을 말한다.

다. 接近航空機에 對한 서비스時間

最終進入路 5마일로 부터 復行(Go Around) 時까지의 時間을 말한다.

라. 接近(Low Approach)

航空機가 飛行場에 着陸하지 않고 計器飛行 節次에 依據, 滑走路 上空을 낮게 飛行하는 操作을 말한다.

II. 飛行場 모델 設定을 爲한 O.R. 技法

II-1. 待機行列의 基本過程

大部分의 待機行列의 進行過程을 그림으로 表示하면 그림-2와 같다.

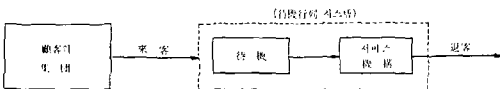


그림-2 待機行列의 基本過程

II-2. 待機行列을 特定짓는 要素

가. 到着形態(Arrival Pattern)

顧客이 어떠한 形態로 서비스機構에 오는가 하는것.

나. 서비스時間(Service Time)

서비스機構에서 個個의 顧客에게 行한 서비스의 時間이 어떻게 되어 있는가 하는것.

다. 서비스原則(Queue Discipline)

서비스機構에 온 顧客이 어떠한 順序로 서비스를 받는가 하는것.

II-3. 平衡狀態의 待機行列 모델

優先權을 考慮한 待機原則中에는 때때로 待機費用의 多少 또는 待機時間의 長短에 따라 優先順位를 賦與해야될 境遇가 있다.

優先權이 낮은 顧客이 서비스를 받고 있는 中에 優先權이 높은 顧客이 서비스機構에 到着하면 現在 서비스를 받고 있는 優先權이 낮은 顧客의 서비스를 中斷하고 優先權이 높은 顧客에게 서비스를 提供하는 Preemptive Priority와 이와는 反對로 一且 서비스를 받게되면 優先權이 높은 顧客이 到着할지라도 繼續 서비스를 받는 Nonpreemptive Priority를 생각할 수 있는데, 여기서는 後者의 境遇에 對해서 即, 短一 滑走路(Single Runway)에서의 포아손到着, 어랑서비스時間 및 Nonpreemptive Priority에 對한 平衡狀態의 待機行列 모델을 檢討하기로 한다.

各各의 顧客이 優先順位 1, 2, ..., K를 가질때 1은 最高 優先順位이며 K는 最下 優先順位라고 假定한다.

$\alpha_j$ 는 特定の 到着이  $j$ 번째 優先順位를 갖는 顧客일 確率이다.

또한  $j$ 번째 顧客에 對한 서비스時間의 分布 函數(Distribution Function)를  $B_j(x)$ 라하면 全體 서비스時間에 對한 分布函數(Overall Service-Time Distribution)는

$$B(x) = \sum_{j=1}^k \alpha_j B_j(x) \text{이며,}$$

$B_j(x)$ 에 對한 1次, 2次, ..., 모멘트를  $b_j, c_j$ 라 하면

$$b_j = \int_0^{\infty} x dB_j(x), \quad c_j = \int_0^{\infty} x^2 dB_j(x) \text{가 된다.}$$

따라서  $j$ 번째 顧客에 對한 시스템內에서의 待機時間의 期待值(Expected Waiting Time of a  $j$ -customer in the System)를  $W_j$ , 모든 顧客에 對한 待機時間의 期待值(Expected Waiting time of all Customers in the System)를  $W$ 라고 하면

$$W_j = 1/2c / \{ (1 - \sum_{i=1}^{j-1} \alpha_i b_i) (1 - \sum_{i=1}^j \alpha_i b_i) \} \dots\dots\dots (1)$$

$$W = \sum_{j=1}^k \alpha_j W_j = c/2 \sum_{j=1}^k \alpha_j [ \alpha_j / \{ (1 - \sum_{i=1}^{j-1} \alpha_i b_i) (1 - \sum_{i=1}^j \alpha_i b_i) \} ] \dots\dots (2)$$

가 된다.

한편 單位 時間當  $j$ 번째 顧客에 對한 待機費用을  $e_j$ , 시스템內에서의 待機費用의 期待值(Expected Waiting Cost of All Customers in the System)를  $E$ 라고 하면

$$E = \sum_{j=1}^k \alpha_j e_j W_j = c/2 \sum_{j=1}^k \alpha_j [ \alpha_j e_j / \{ (1 - \sum_{i=1}^{j-1} \alpha_i b_i) (1 - \sum_{i=1}^j \alpha_i b_i) \} ] \dots\dots (3)$$

가 된다.

또한 式-3에서 待機費用의 期待值  $E$ 를 最少로 하는 優先順位를 賦與하기 爲해서,  $K > 3$ 일 때 2番째 優先順位를 갖는 顧客과 3番째 優先順位를 갖는 顧客의 優先順位를 서로 바꾸었을때의 새로운 待機費用의 期待值를  $E'$ 이라하면

$$E - E' = C \cdot \Delta / 2 (e_2/b_2 - e_3/b_3) \dots\dots\dots (4)$$

가 된다. 여기에서

$$\Delta = (1 - \alpha_1 b_1 - \alpha_2 b_2)^{-1} + (1 - \alpha_1 b_1 - \alpha_3 b_3)^{-1} - (1 - \alpha_1 b_1)^{-1} - (1 - \alpha_1 b_1 - \alpha_2 b_2 - \alpha_3 b_3)^{-1} \text{이다.}$$

萬一  $x, y, z > 0$ 이면

$$1/(x-y) + 1/(x-z) - 1/x - 1/(x-y-z) < 0 \text{이다.}$$

따라서  $\Delta < 0$ 이며,  $b_2/e_2 < b_3/e_3$ 라면  $E < E'$ 이 된다.

그렇지만 萬一  $b_2/e_2 > b_3/e_3$ 라면 優先順位를 서로 바꾸어 나가면서 待機費用의 期待值를 줄일 수 있을 것이다. 卽,

$$b_1/e_1 \leq b_2/e_2 \leq \dots \leq b_k/e_k \dots\dots\dots (5)$$

가 될때까지 優先順位를 바꾸어 나가면 된다.

또한 Cox & Smith는 平均待機費用을 最少로

하기 爲해서는 서비스 優先順位를  $b_j/e_j$ 의 比가 적은 것부터 賦與해야 되며, 平均待機時間을 最少로하기 爲해서는 單位時間當 待機費用  $e_j$ 를 1로 놓고, 平均서비스時間이 적은 것부터 서비스 優先順位를 賦與해야 된다고 하였다.

### III. 시스템 分析

#### III-1. 接近形態 및 서비스時間 分布에 對한 分析

이미 言及한 待機行列 모델의 適合性如否를 檢討하기 爲하여 航空機의 接近 및 서비스時間에 對한 資料를 蒐集, 이를 分析함으로써 接近形態(Arrival pattern)와 서비스時間에 對한 分布(Service-time distribution)를 推定하고자 한다.

##### 가. 段階別 飛行活動

24時間의 飛行活動中에서 夕間의 飛行活動에서는 待機現象이 發生하지 않으므로 正常的인 飛行活動이 이루어지는 07:00時부터 19:00時까지 12時間동안의 飛行活動 現況을 每 5時間隔으로 假想資料를 適用하여 一日 飛行頻度表를 作成하면 表-1과 같다.

臺數	觀測值	期待值	備 考
0	50	49.82	$e_0 = 144p_0, p_0 = 0.356$
1	51	53.01	$e_1 = 144p_1, p_1 = 0.378$
2	27	28.15	$e^2 = 144p_2, p_2 = 0.197$
3~	16	9.95	$e_3 = 144p_3, p_3 = 0.069$
計	153	139.16	$\lambda t = 153/144 = 1.0625$

表-1 1日 飛行 頻度表

##### 나. 接近形態의 檢定

表-1로부터 一日 飛行活動에 對한 適合度를 檢定하여 보면, 觀測區間의 數는 4이므로 自由度(Degree of Freedom)는 2이며,  $\chi^2$ 分布表서 自由度 2, 有意水準(Level of Significance) 0.05에 對한  $\chi^2$ 값,  $\chi^2_{0.05; 2} = 5.99$ 이며.

$$\chi_0^2 = (50 - 49.82)^2 / 49.82 + (51 - 53.01)^2 / 53.01 + (27 - 28.15)^2 / 28.15 + (16 - 9.95)^2 / 9.95 = 3.803 \text{이므로 } \chi_0^2 \leq \chi_{0.05; 2}^2 \text{이다.}$$

따라서  $K=00$ 基地의 一日 飛行活動은  $\lambda t = 1.0625$ 인 포아손分布에 잘 맞으며, 그림-3의

그래프에서도 거의 一致함을 알 수 있다.

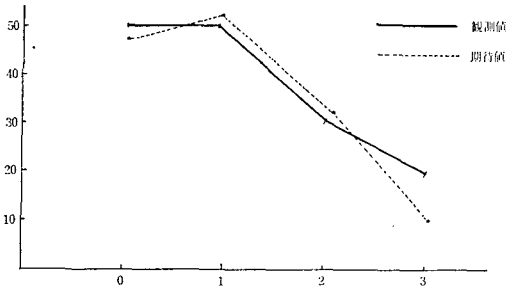


그림-3 一日飛行形態

다. 서비스時間의 分布

서비스時間에 對한 假想資料를 어랑分布와 對備키 爲하여 整理하면 表-2와 같다.

單位時間區	時間區間	頻度	累積頻度	累積分布	K=4인 어랑分布(%)
0~0.29	30~60	6	153	100	100
0.29~0.58	60~90	16	147	96.08	98.86
0.58~0.87	90~120	26	131	85.62	85.08
0.87~1.16	120~150	50	105	68.63	59.63
1.16~1.45	150~180	27	55	35.95	35.54
1.45~1.74	180~210	16	28	18.30	18.86
1.74~2.03	210~240	12	12	7.84	9.19

表-2 一日飛行서비스 對備表

라. 서비스時間 分布의 檢定

表-2로부터 서비스時間의 分布形態를 檢定하기 爲하여, 어랑分布에의 適合度를  $K=8$ 까지 變化시키면서  $\chi^2$ 값을 求한 것中에서  $\chi^2$ 값이 가장 적은  $K$ 에 對한 값은 다음과 같다. 即,

$K=4$ 일때  $\chi^2$ 값은

$$\chi_0^2 = (96.08 - 98.86) / 98.86 + (85.62 - 85.$$

$$08) / 85.08 + (68.63 - 59.63) / 59.63 + (35.95 - 35.54) / 35.54 + (18.30 - 18.86) / 18.86 + (7.84 - 9.19) / 9.19 = 1.66$$

이고,

$$\chi_{0.05:5}^2 = 9.49 \text{이므로, } \chi_0^2 \leq \chi_{0.05:5}^2 \text{이다.}$$

따라서  $K=00$ 基地의 서비스時間 分布의 形態는  $K=4$ 인 어랑分布에 잘 맞으며, 그림의 그래프에서도 거의 一致함을 알 수 있다.

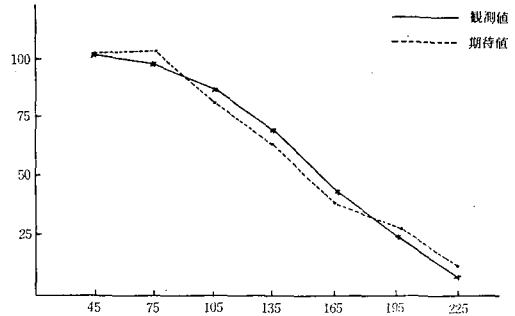


그림-4 一日飛行서비스形態

## II-2. 서비스時間 分布의 特性 및 費用分析

가. 서비스時間의 特性分析

各種 航空機의 飛行段階 即, 離陸 接近 및 着陸에 따른 서비스時間 分布의 平均(Mean), 分散(Variance) 및 2次 모멘트를 分析하기 爲하여 表-3과 같은 假想 標本資料로부터 다음과 같은 方法에 依하여 求한 平均, 分散 및 2次 모멘트는 表-4와 같다. 即,

$$\text{平均; } b = 1/n \sum X_i$$

$$\text{分散; } S^2 = 1/(n-1) \{ \sum X_i^2 - 1/n (\sum X_i)^2 \}$$

$$\text{2次 모멘트; } b^{(2)} = 1/n \sum X_i^2$$

機種	段階					接 近		着 陸				
	離	陸(秒)										
FOXTROT	186	140	120	105	140	186	175	210	230	205	235	150
	160	85	65	110	80	168	179	180	190	150	120	120
	117	115	50	119	130	170		120	64	180	85	90
	80	35	100	148	55			126	90	132	123	90
	55	80	75	129	100			131	82	120	130	135
	100	130	140	90	130			128	135	100	140	140
	110	125	130	121	85			128	80	123	125	124
								60	122	120	70	110
								140	120	135	135	

SIERRA	185	170	170	190	175	214	200	124	150	145	130	135	
	195	88	150	170	110	188		160	90	40	120	120	
	120	190	157	115				130	140	150	125	110	130
TANGO	160	170	178	180	185	222	220	200	105	80	110	150	160
	110	155	140			225	230	220	170	155	110	92	97
						215			115	40	130	125	
LIMA	120	108	85				240	191	156	140			

表-3 서비스 시간의 標準資料

種類	航空機 및 飛行段階	$b_j$ (秒)	$S_j^2$ (秒) <sup>2</sup>	$b_j^{(2)}$ (秒) <sup>2</sup>
1	Foxtrot Departure (FD)	107	113	12532
2	Sierra " (SD)	156	1183	25541
3	Tango " (TD)	160	625	26145
4	Lima " (LD)	104	316	11201
5	Foxtrot Approach (FA)	176	52	30888
6	Sierra " (SA)	201	169	40438
7	Tango " (TA)	219	91	47991
8	Lima " (LA)	240	0	57600
9	Foxtrot Landing (FL)	130	1614	18561
10	Sierra " (SL)	125	800	16410
11	Tango " (TL)	117	1230	14936
12	Lima " (LL)	162	680	27031

表-4 서비스 시간의 特性表

나. 서비스 시간의 遲延費用 分析

航空機가 離陸, 接近 및 着陸 등의 各種 飛行 段階中에 遲延이 생겼을때 發生되는 遲延費用 (Delay Cost)에 對해서는 燃料費用만을 考慮 하며 또한 各各의 費用을 貨幣單位로 表示하지 않고, 分當 相對的인 比率로써 假想費用을 나타낸 것이 表-5와 같다.

航空機 및 飛行段階	燃料費用
Foxtrot Departure (FD)	50
Sierra " (SD)	50
Tango " (TD)	40
Lima " (LD)	20
Foxtrot Approach (FA)	70
Sierra " (SA)	70
Tango " (TA)	50
Lima " (LA)	30
Foxtrot Landing (FL)	100
Sierra " (SL)	100
Tango " (TL)	80
Lima " (LL)	60

表-5 서비스 시간의 遲延費用表

### IV. 서비스 規則

가. 서비스 規則의 方案

考慮되고 있는 4 가지 航空機의 飛行段階는 離陸 接近 着陸으로 分類되므로 最終적으로 서비스를 提供해야 되는 航空機의 飛行段階에 따른 구름(Group)은 12가지로 나눌 수 있고, 이들 구름에 對한 可能的인 서비스 規則(管制規則)을 列舉하면 表-6과 같다.

서비스 規則	서비스 內容
規則“A”	먼저 서비스를 要求한 航空機에 對해서 먼저 서비스를 提供한다. (First Come—First Serve)
規則“B”	着陸, 離陸, 接近의 順으로 서비스 優先權을 갖는다. 그러나 着陸, 離陸, 接近內에서는 First Come—First Serve의 規則이 된다.
規則“T <sub>1</sub> ”	着陸, 離陸, 接近의 順으로 서비스 優先權을 갖는다. 그러나 着陸, 離陸, 接近內에서는 平均遲延時間(Average Delay Time)이 最少가 되도록 優先權을 賦與한다.
規則“C <sub>1</sub> ”	着陸, 離陸, 接近의 順으로 優先權을 갖는다. 그러나 着陸, 離陸, 接近內에서는 平均遲延費用(Average Delay Cost)이 最少가 되도록 서비스 優先權을 賦與한다.
規則“T <sub>2</sub> ”	着陸, 離陸, 接近의 飛行段階에 關係없이 平均遲延時間이 最少가 되도록 서비스 優先權을 賦與한다.
規則“C <sub>2</sub> ”	着陸, 離陸, 接近의 飛行段階에 關係없이 平均遲延費用이 最少가 되도록

서비스優先權을 賦與한다.

表-6 가능한 서비스規則

나. 서비스 優先順位 割當

前述한 바와 같이 式-5에 의하면 即,  $b_1/e_1 \leq b_2/e_2 \leq \dots \leq b_k/e_k$ 에서 平均遲延時間을 最少로 하기爲한 規則“ $T_1$ ”과 規則“ $T_2$ ”에 대해서는 單位費用  $e_j$ 를 1로 놓고 平均서비스時間이 가장 적은 것부터 優先權을 賦與하고, 平均遲延費用을 最少로 하기爲한 規則“ $C_1$ ”과 規則“ $C_2$ ”에 대해서는  $b_j/e_j$ 의 값이 적은 것부터 優先權을 賦與하면 된다.

이와같은 節次에 依據 優先順位를 割當해보면 表-7과 같다.

航空機 및 飛行段階	$b_j$ (秒)	$e_j$ 分	$b_j/60e_j$	優先順位			
				$T_1$	$C_1$	$T_2$	$C_2$
Foxtrot Dep (FD)	107	50	0.0357	6	5	2	4
Sierra " (SD)	156	50	0.0520	7	6	6	8
Tango " (TD)	160	40	0.0666	8	7	7	9
Lima " (LD)	104	20	0.0867	5	8	1	11
Foxtrot App (FA)	176	70	0.0420	9	9	9	5
Sierra " (SA)	201	70	0.0477	10	10	10	7
Tango " (TA)	219	50	0.0729	11	11	11	10
Lima " (LA)	240	30	0.1330	12	12	12	12
Foxtrot Land (FL)	130	100	0.0217	3	1	5	1
Sierra " (SL)	125	95	0.0220	2	2	4	2
Tango " (TL)	117	80	0.0279	1	3	3	3
Lima " (LL)	162	60	0.0450	4	4	8	6

表-7 優先順位 割當表

나. 最適 서비스規則(Optimal Service Rule)의 選定

前述한 바와 같은 가능한 서비스 規則의 方案에 對한 Numerical Computation을 通해서 Graphic Test를 實施한 結果,

規則 “A” “B” “ $T_1$ ” “ $T_2$ ” “ $C_1$ ”에서는 括目 할만한 點을 發見할 수 없었으나, 平均遲延費用의 側面에 觀點을 둔 規則“ $C_2$ ”에서는 큰 成果를 期待할 수 있었다.

### V. 시뮬레이션 모델

가. 目的 및 範圍

可用 航空機의 增加와 任務의 體系化에 따라 計劃的 또는 人爲的으로 調整하는 統制離陸(Controlled Take Off 或은 Scheduled Take Off)方法을 採擇함으로써 航空管制上의 繁雜性을 줄일 수 있을 것이며, 이렇게 함에 따라 離陸形態는 포아손 離陸形態를 벗어나게 되나, 接近 및 着陸의 飛行形態는 如前히 포아손 接近 및 着陸의 形態를 그대로 取하게 될 것이다.

또한 現用 空軍 作戰基地의 一日 飛行回數는 今後 增加 趨勢에 있을 것으로 看做하여 航空機運用上의 經濟性을 檢討하기 爲하여 航空機의 離陸間隔과 一日 飛行回數를 媒介變數(Parameters)로 하여 시뮬레이션을 함으로써

첫째, 航空機 離陸間隔에 따른 滑走路 待期 狀態(Runway Queue)의 變化를 檢討하여 最適 離陸間隔(Optimal Take Off Interval)을 選定 하고

둘째, 最適 離陸間隔을 適用하여 總 飛行回數의 變化에 따른 Queue 및 總 飛行時間을 檢討하여 該當 飛行場의 可用能力을 豫測해 보는데 그 目的이 있다.

나. 一般 假定

- 1) 한 作戰基地의 使用 滑走路 數는 한개다 (Single Runway)
- 2) 非常 航空機나 出動 航空機에 의한 Queue 發生은 無視한다.
- 3) 모든 航空機는 離陸한 基地에 着陸한다.
- 4) 各 航空機의 離陸分布는 表-8과 같다.

機 種	頻 度	累積頻度	分 布
Foxtrot	29編隊	60編隊	32~60
Sierra	15 "	31 "	17~31
Tango	10 "	16 "	7~16
Lima	6 "	6 "	0~6

表-8 航空機의 離陸分布

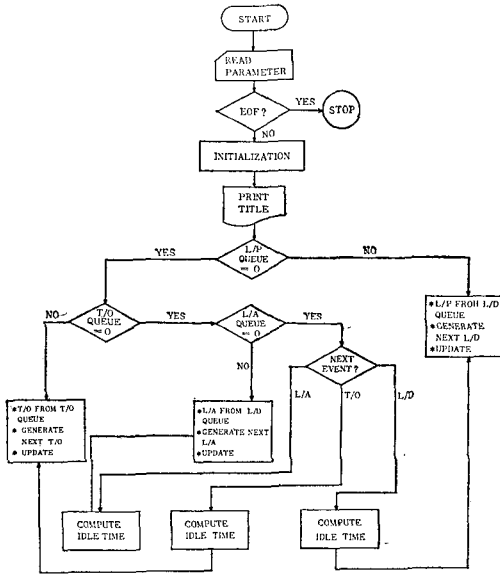
- 5) 各 航空機의 滯空時間은 正規分布를 따르면 表-9와 같다.

機 種	平 均 滯空時間	標準偏差	$\pm 3\sigma$
Foxtrot	70分	7分	49~91
Sierra	60 "	6 "	42~78
Tango	80 "	8 "	56~104
Lima	180 "	18 "	126~234

表-9 航空機の 滞空時間 分布

單位：分

다. 一般的인 흐름圖表



다. 시뮬레이션 結果分析 및 應用

1) 시뮬레이션 結果

一日 飛行을 60編隊로 固定하고 離陸時間間隔을 5分, 10分, 15分으로 變更했을 때와, 離陸時間 間隔을 10分으로 固定하고 一日 飛行을 65編隊, 75編隊, 105編隊로 變更했을 때의 結果는 各各 表-10, 表-11과 같고 시뮬레이션에 使用되었던 用語는 다음과 같다.

- FN; 編隊數(Number of Flights)
- KK; 離陸時間間隔(Interval of Take off Time)
- CT; 總 飛行運營時間(Total Operation Time)
- TTQL; 總 離陸待機 時間(Total Take off Queue Length)
- TLQL; 總 着陸待機 時間(Total Landing Queue Length)
- TIDLE; 滑走路 空白時間(Runway Idle Time)
- TAT; 總 滞空時間(Total Airborne Time)

i) 離陸時間 間隔을 媒介變數로 한 境遇(60 編隊 基準)

KK	5	10	15
TTQL	140.11	9.82	8.13
TLQL	61.33	19.44	25.53
TIDLE	256.12	435.22	857.93
CT	513.36	692.46	1115.1
TAT	5053.39	4939.55	5049.02

表-10 離陸時間 變化表

ii) 一日 飛行을 媒介變數로 한 境遇(10分間 隔을 基準)

單位：分

FN	60	75	90	105
TTQL	9.82	35.82	32.53	26.94
TLQL	19.44	30.18	38.50	55.40
TIDLE	435.22	549.97	599.43	688.14
CT	692.46	866.31	974.87	1122.68
TAT	4939.55	6092.57	7196.54	8326.64

表-11 一日 飛行 變化表

마. 分析 및 應用

離陸時間 間隔과 一日 飛行을 各各 媒介變數로 했을 때의 結果를 分析하면 다음과 같다.

1) 離陸時間 間隔을 媒介變數로 한 境遇

i) 表-10에서 離陸時間 間隔이 5分일 때는 TTQL과 TLQL이 크며 이로 인한 航空燃料의 消費가 10分, 15分 때보다 클 것이다.

ii) 總 飛行運營 時間은 5分일 때 약 8時間 30分, 10分일 때 약 11時間 30分, 15分일 때 약 18時間이므로 5分일 때는 總 飛行運營 時間이 若干 짧은 傾向이 있고 15分일 때에는 너무 길어 現實적으로 不適合하다.

따라서 10分일 때의 약 11時間 30分이 最適 임을 알 수 있다.

iii) 總 滞空時間은 거의 비슷하나 5分과 15分일 때는 着陸待機로 因하여 若干 길 것이다.

2) 一日 飛行을 媒介變數로 한 境遇

i) TTQL은 60編隊에서 75編隊가 될 때 增加하나 差差 減少하는 傾向이 있다.

ii) TLQL은 編隊數의 增加에 따라 增加 한다.

iii) 90編隊 以上이 되면 總 飛行運營 時間이 너무 길어 現實적으로 不可能하므로 飛

行編隊의 調節 卽, 2臺에서 3臺 或은 4臺로 編隊構成을 調節함으로써 總 飛行運營 時間을 短縮시킬 수 있을 것이다.

結果의 으로 航空作戰이 要求하는 方向에 따라 離陸時間 間隔, 編隊數, 編隊構成 方法等을 調節함으로써 願하는 結果를 얻을 수 있을 것이다.

## VI. 結 論

現在 適用되고 있는 管制規則이 着陸 離陸 接近의 順으로 “FIRST COME—FIRST SERVE”의 原則에 따르지만, 遲延費用을 考慮한 管制規則을 適用함으로써 圓滑한 航空交通의 疏通과 資源의 節約에도 寄與할 수 있을 것이며, 시뮬레이션 모델에 依한 適正 航空機臺數의 豫測은 多角的인 面에서 應用의 價値가 있을 것이다.

### 參 考 文 獻

1. “Air Traffic Rules”, *Federal Aviation Agency Civil Air Regulation, Part 60*, 1961.

2. Arap, B., “Notes on the Measurement of Control Load And Sector Design in the EN Route Environment”, *Federal Aviation Agency Systems Research and Development Service*, 1964.

3. “ATC Procedures”, *Federal Aviation Agency Air Traffic Service Publication ATP 7110. 1B* 1964.

4. Cox, D.R. and Smith, Walter L., *Queues*, Methen and Co. Ltd., 1968.

5. Fitzgerald, John M. and Fitzgerald Ardra F., *Fundamentals of System Analysis*, John Wiley and Sons, Inc., 1973.

6. Gordon, Geoffrey, *System Simulation*, Prentice-Hall, Inc., 1969

7. Knuth, Donald E., *The Art of Computer Programming*, Appison Wesley, 1973.

8. Morse, Philip M., *Queues, Inventories and Maintenance*; John Wiley and Sons, Inc., 1958

9. Rosenshine, Matthew, “Operations Research in the Solution of Air Traffic Control Problem”, *The Journal of Industrial Engineering*, Vol. XIX, No. 3, 1961.