

目 錄

一、前言	1
二、等待原理	2
三、G.P.S.S.系統模擬語言	21
四、港埠系統分析	28
五、港埠系統模擬	37
六、最適能量	73
七、結論與建議	112

基本研究—研究計畫(一)

執行期間：民國七十六年七月一日至七十八年六月三十日

計畫名稱：港埠最適能量之研究

計畫主持人：研究員 王慶福

協同主持人：副研究員 朱金元

研究人員：副研究員 單誠基

副研究員 曾哲茂

助理研究員 王克尹

助理研究員 劉文雄

助 理 江金德

技 工 馬維倫

報告撰寫：副研究員 朱金元

副研究員 單基誠（最適能量）

一、前言

港埠能量乃是港口利用其現有設施，如船席、裝卸機具、倉棧等給船貨主提供之服務能力。在已知之設備數量及營運管理策略下，構成該港埠之供給面，提供船貨主服務，而船貨主對此服務滿意之程度，即可反應港埠之服務水準，以港埠經營者而言，設施的充分使用，以發揮最大效益為其目標，但如過度使用，必將形成港埠之擁擠，帶給航商貨主不便，增加船舶之等待成本，但如過份顧及航商、貨主之需求，大量提高服務水準，亦必產生設備閒置之現象，造成投資之浪費，而如何同時考慮航商貨主與港埠當局雙方面之立場，使其因港埠擁擠所造成之船舶等待成本與因港埠設施閒置所造成之閒置成本二者均達到合理之程度，則需使用最適船席使用率來估算港埠之最適能量，而所謂最適船席使用率乃是船舶因擁擠所造成之等待成本與港埠設施閒置之閒置成本，二者總和為最低時之船席使用率。

通常最適船席使用率均利用等候理論 (Queuing Theory) 求取平均等待船席之船數，如果船舶到達時間分佈及服務時間分佈滿足某種特定函數，而想對船舶與船席間作一概略了解時，利用等候模式，可以很快求得其平均等待船數，從而估算其最適船席使用率，但若船舶之到達及服務時間之分佈，並不能滿足特定之關係，或者欲了解港埠整體作業系統時，等候模式即無法辦到，因此藉由電子計算機以模擬此系統，即成一有效之工具，本研究以花蓮、高雄兩港七十六、七十七年之資料，驗證於 G.P.S.S. 系統模式，發現與實際情況相符，足證本模式可應用於今後之規劃作業上。

另外，以幾種代表性船席及船種之成本資料為準，計算各港之最適能量以供參考。

二、等待原理 (Queuing theory)

等待原理為 1909 年至 1920 年間厄朗 (A.K.Erlang) 首先提出，當時以研究電話線路交換及等待問題為主，直至第二次世界大戰末期，方始將此項等待問題擴張用於其它一般問題。等待原理之概念為擁擠問題之發生係由於某交通流受阻撓而造成明顯之遲滯現象，而此種交通流通常為一種斷續性 (discrete) 之型態，如船舶之到港及裝卸完後出港之分佈型態等。由於等待原理能合理的描述港埠擁擠狀況，故等待模式 (Queuing model) 就被廣泛應用於港埠之擁擠問題研究及船舶輪次時間分析 (Turn-around Time)。有關港埠等待系統之影響因素有 (1) 船舶到港時間間隔分佈情形 (2) 船舶來源是否限量？ (3) 等待長度是否限量？ (4) 服務方法是採取先到先服務或某種船舶有優先權亦或有其它種服務規則。 (5) 船席數量。 (6) 船舶使用船席時間分佈情形等。不同之影響因素其等待模式自然亦不相同。一般之等待模式有：

$(M/M/1) : (FCFS/\infty/\infty)$, $(M/M/1) : (SIRO/\infty/\infty)$,
 $(M/M/C) : (FCFS/\infty/\infty)$, $(M/M/C) : (FCFS/N/\infty)$,
 $(M/E^k/1) : (FCFS/N/\infty)$, 等。

(一) 等待線系統結構

等待線問題之形成，主要係由於設備能量不足以供應需要所造成；而不足以應付需要之主要原因，係由於顧客 (船舶) 到達之時間間隔以及顧客個別所需服務時間並非一致而有相當變化之緣故。換言之，有時服務人員 (船席) 空閒無事可作；而有時因顧客大批擁到而大排長龍。所以等待線理論所考慮者，主要係因此項到達與服務時間參差變化所引起之問題。一般之等待線系統可以圖 2-1 表示。

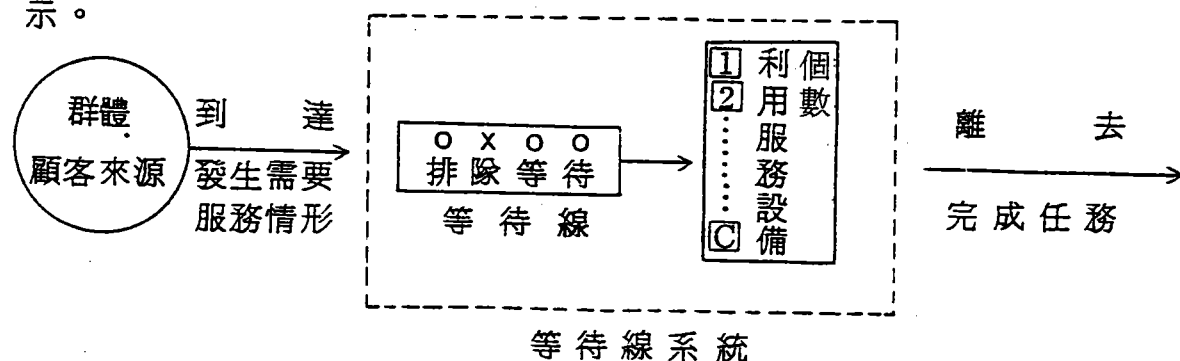


圖 2-1 單條等待線多條服務線系統圖

由圖 2 - 1，可知一等待模式，主要由下列因素所構成：

1. 顧客（船舶）到達型態：如顧客按某一固定時間到達，則等待問題可以避免，然事實並非如此，到達型態往往是陸陸續續，且受外在因素之影響與控制。所以對於此一無規律之到達，爲了尋求其規律性，有人假設顧客之到達情形呈波以松分佈(poisson dist.)（亦即彼此到達之時間間隔呈指數分佈）。亦有人假設到達之時間間隔呈 Erlang dist.（即 n 個指數隨機變數和之分佈）。
2. 被服務或離開之型態：因每一個顧客被服務之時間並不固定，且各服務者之服務速度亦不同，故顧客在系統中被服務時間實難以估計，而任何時間在系統中被服務之人數亦難以確定。爲了尋求統計之規則性，乃假設每個顧客被服務之時間呈指數分佈（亦即任何時間被服務人數呈 poisson dist.），或 Erlang dist. 或爲其它之分佈。
3. 服務站（船席）個數：在一個系統中服務站個數可能爲單一個或 C 個平行服務站之服務系統。
4. 服務方式：到達顧客可按先到先服務 (First come first serve FCFS) 後到先服務 (Last come first serve LCFS)，隨機秩序 (Service in random order SIRO) 服務，或者按某種優先秩序 (Priority)（如最短或長服務時間者）來服務。在實際現象中，非中斷性 (Nonpreemptive) 服務較多；而中斷性優先 (preemptive) 服務則較少。前者表示被服務者已完全完成服務後，優先者才准予進入被服務。而後者表優先者一到，正在被服務者馬上暫予忍讓，直到完成優先者之服務後，才再繼續未完成之服務。
5. 系統中最大容納個數：整個等待系統是由等待設備與服務設備系統所構成。例如船席數目爲有限個，錨地及浮筒之數目，亦爲有限個，則整個系統所能容納之個數亦必爲有限之數目。
6. 顧客來源：顧客來源可能爲一有限群體，亦可能爲一無限群體。於港埠系統中，我們假定船舶之來源爲一無限群體。

(二) 等待系統之表示方法

由上節所述，可知一個港埠等待系統之結構，可由下列六個不同特性來描述：

$$(a/b/c):(d/e/f)$$

- a : 表到達船舶數目之分佈或任何兩艘船到達時間間隔之分佈。
- b : 表被服務或離開之船舶數目分佈，或被服務之時間分佈。
- c : 表港埠系統中船席之數目。
- d : 表服務之方式。
- e : 表整個系統（等待 + 服務）所能容納之最大個數。
- f : 顧客來源之群體：可能為一有限數，亦可能為一無限數。

其次，我們常以下述符號來表示 a 與 b 分佈之特性：

M : 船數之到達或被服務為 poisson dist. ; 而彼此到達間隔或被服務時間為指數分佈。

E^k : 彼此到達間隔或服務時間為 Erlang dist.。

D : 固定到達或服務時間。

依據交通部運輸研究所所作研究，台灣各港口各類船席等待模式可歸納如下兩類：

1. 雜散貨船席用 $(M/M/S) : (FCFS/\infty/\infty)$
2. 大型船席及貨櫃船席用 $(M/M/S) : (FCFS/N/\infty)$

(三) 等待模式主要隨機變數間之關係

假設下述符號：

λ : 單位時間平均到達率

$\frac{1}{\lambda}$: 彼此到達之平均時間間隔

L : 系統中之個數

L_q : 等候設備之個數

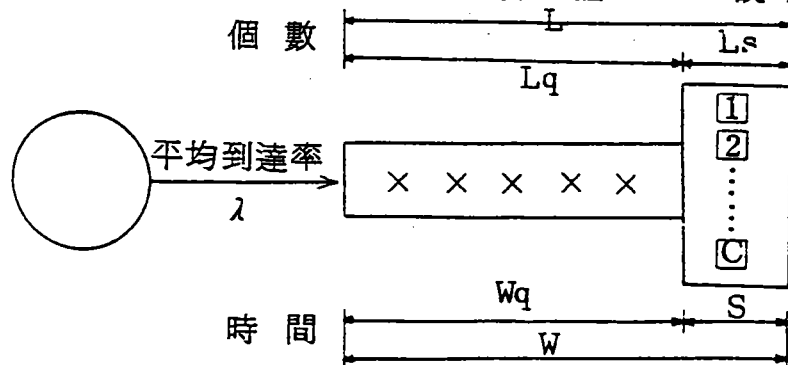
L_s : 服務站之個數

W_q : 等待被服務之時間

S : 被服務之時間

W : 在整個等待系統中所停留之時間

上述符號彼此間之關係可以由圖 2 - 2 說明



(四) 單線波氏到達指數服務模式 (M/M/1) : (FCFS/∞/∞)

由於等待模式之推導涉及很多之數學，過程亦很繁雜，故本文僅就 (M/M/1) 模式加以推導，對於 (M/M/S) 模式因其推導過程與 (M/M/1) 模式相同，故不再贅述，僅列出公式供參考；而對於 (M/E^k/S) 模式至今尚未被發展出來，故亦僅列出 (M/E^k/1) 模式之結果，以供參考。單線波氏到達指數服務模式，係一項最簡單之等待模式，僅包含一項服務設施或一條等待線，到達者由無限大之群體發生，其到達型態呈 poisson dist.；服務型態呈指數分佈；依先到先服務之順序，完成服務後即行離去。

(1) 波氏到達

poisson dist. 係基於下列假設而得

1. 事件可隨意發生在時間上或空間上一點。
2. 某已知時間或空間內，該事件發生與否，並不影響與該區間不相重疊之其它區間內，該事件是否發生之或然率。
3. 在小區間 Δt 裡，事件發生之或然率與 Δt 成正比，可用 $\lambda \Delta t$ 表示，此處 λ 為該事件平均發生率。

若 X_t 代表在時間或空間區 t 內某事件發生之次數，則：

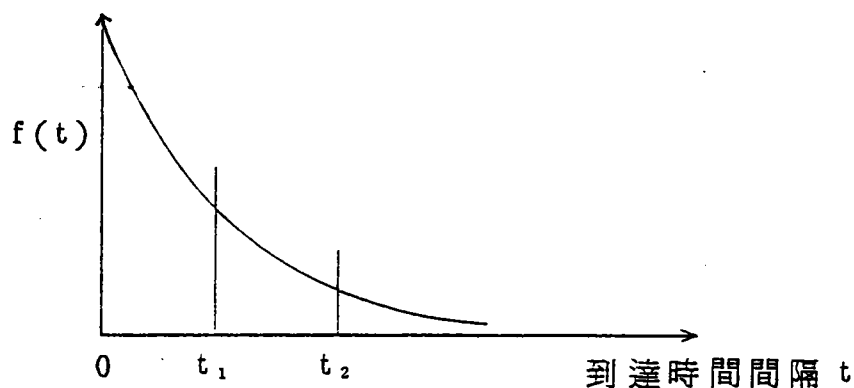
$$P(X_t = X) = \frac{(\lambda \Delta t)^X e^{-\lambda \Delta t}}{X!} \quad X = 0, 1, 2, \dots$$

例如：已知於 8 分鐘內平均到達人數 0.08，則在此區間內到達人數之機率為：

$$\lambda = 0.01$$

到達人數 X	poisson dist. $P(x) = \frac{e^{-0.08} (0.08)^x}{X!}$	4 個 2 分鐘區間 $\binom{4}{x} 0.02^x 0.98^{4-x}$	8 個 1 分鐘區間 $\binom{8}{x} 0.01^x 0.99^{8-x}$	16 個 0.5 分鐘區間 $\binom{16}{x} 0.005^x (0.995)^{16-x}$
0	0.9231	0.9224	0.9227	0.9229
1	0.0736	0.0753	0.0746	0.0742
2	0.0030	0.0023	0.0026	0.0028
3	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000

由上表可知，當分區 Δt 無限小，亦即區間數 $n \rightarrow \infty$ 時，到達人數之分佈可以以 poisson dist. 來表示。那麼如果到達之人數分佈呈 poisson dist. 其到達之時間間隔又是何種函數分佈呢？在討論這項問題前，首先須瞭解指數分佈 (Exponential dist.) 之性質。指數分佈之圖形及性質如下：



指數分佈機率密度函數 $f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$

分佈函數 $F(t) = \int_0^t f(t) dt = 1 - e^{-\lambda t}$

t 之平均或期望值 $E(t) = \int_0^{\infty} t \cdot f(t) dt = \frac{1}{\lambda}$

於 t_1 與 t_2 間隔時間內發生一次到達之機率：

$$P(t_1 \leq t \leq t_2) = e^{-\lambda t_1} - e^{-\lambda t_2}$$

依據指數分佈之性質，可以求得在下一時間段 T 內，將無任何到達之機率（亦即就指數分佈而言，到達之時間間隔 $t > T$ ）為

$$P(t > T) = 1 - (1 - e^{-\lambda T}) = e^{-\lambda T}$$

而就 poisson dist. 而言，係於下一時間段 T 內，無任何到達，亦即：

$$P(x = 0) = \frac{e^{-\lambda T} (\lambda T)^x}{x!} = e^{-\lambda T}$$

由以上敘述，吾人可以得到如下之結論：

於一等待系統中，若於一段時間之到達數目 (Number of arrival) 係符合 poisson dist. 則其到達時間間隔 (Time between Interval) 可

以指數分佈 (Exponential dist.) 表示。

(2) 指數服務時間

當一項服務設施 (包括服務人員運用服務設備提供服務)，係在閒置之狀態，則由於其未提供任何服務，沒有作任何事情，故無需予以分析，僅需記錄其閒置時間之長度，作為成本資料之參考。就服務時間而言，主要係分析其提供服務之忙碌情形，亦即其正在為顧客或其它到達提供服務之這一段期間。

分析服務時間之方式，可以說與分析到達之情形相同，亦是將一段時間劃為許多相等的小段時間，在此小區段時間內之顧客 (即使用服務設施者) 離去機率為 β ，此項 β 於各個小段時間皆係相等。此處所謂離去之機率，即是該顧客所需之服務業已完成而離去之機率。

由於以上之假設，與分析到達情形時之假設完全相同，所以可以仿照上節之分析，獲得下列各項推論：

1. 若 β 值甚微小，則於某特定區段時間內完成服務之機率與該特定區段時間之長度成正比例。此項比例為一常數值 μ ，稱為平均服務率 (Mean Service Rate)
2. 在任何長度之時間 T 中，完成服務之次數 (或顧客離去之次數) 係以平均值為 μT 之 poisson dist. 型態產生。
3. 完成服務或顧客離去之時間間隔，係以平均服務時間為 $1/\mu$ 之指數分佈型態產生。
4. 服務完成或顧客離去之時間長短，亦係一項隨機之現象。自現在起，經多長時間，將有一位顧客完成其所需服務而離去，係與以前之顧客完成服務離去之時間，並無直接關連，並不受到已經發生之服務完成時間之影響。所以，雖然整個等待線系統之服務完成時間間隔，係以指數分佈之型態發生；但個別之服務完成時間，係一項依指數分佈之隨機現象。

以上有關服務時間之四項說明，其原理與分析到達的情形完全一樣，僅需將上節所述之平均到達率 (Mean Arrival rate) λ ，改換為平均服務率 (Mean Service rate) μ ；以服務完成 (Service Completion) 替代到達 (Arrival) 即可獲得上述結論。

(3) 系統狀況機率

等待系統狀態，通常係以在系統中被服務以及在等待中之個數 (n) 來表示，例如在加油站之等待線系統中，即是指正在加油，以及排隊等待加油之車輛數；在港埠等待系統中，即是指停泊船席正在裝、卸貨，以及排隊等待靠泊碼頭之船舶數。所以代表系統狀態 n 之單位需視系統之性質而定，可能是車輛、船舶……，本節為說明方便，特以顧客人數為單位，表示系統狀態 n 之單位數，遇有其他情況時，僅需改換單位數，並無實質上之不同。首先將一般常用之符號及其意義綜列於下：

λ ：平均到達率，即於一單位時間內到達之顧客人數或單位時間內發生一次之機率（如 8 分鐘內到達 0.08 人，則 1 分鐘內到達 0.01 人；或 1 分鐘內到達 1 人之機率為 0.01， $\therefore \lambda = 0.01$ ）。

$\lambda \Delta t$ ：於 t 到 $t + \Delta t$ 之間，有一位顧客到達之機率（8 分鐘內到達 1 人之機率為 0.08）。

$1 - \lambda \Delta t$ ：於 Δt 區間無一次或更多次到達之機率。

μ ：平均服務率，於一單位時間內完成服務後離去之顧客人數；或單位時間內有一位顧客完成服務而離去之機率。

$\mu \Delta t$ ：於 t 至 $t + \Delta t$ 區間，有一位顧客完成服務而離去之機率。

$1 - \mu \Delta t$ ：於 Δt 區間內，無一次或更多次服務完成之機率。

n ：系統狀態之單位數，係指於 t 時間，在系統中被服務以及正在等待服務之人數或個數。

$P_n(t)$ ：於時間 t ，系統中（包含被服務及等待服務）有 n 個人數之機率。

$P_{n+1}(t)$ ：於時間 t ，系統中有 $n + 1$ 個人數之機率。

$P_{n-1}(t)$ ：於時間 t ，系統中有 $n - 1$ 個人數之機率。

$P_n(t + \Delta t)$ ：於 $t + \Delta t$ 時間，系統中有 n 個人數之機率。

為了解等待線系統之性質，必須要求解 $P_n(t)$ ，以獲得系統中之期望人數。惟為求解 $P_n(t)$ ，須先分析 $P_n(t + \Delta t)$ 之意義。若 $n > 0$ ，則 $P_n(t + \Delta t)$ 係包含四種互斥與完全之事件，亦即四種事件必須發生一種，若其中任一件發生，其他三種皆不發生。

事 件	於時間 t 在系統 中有 n 個人之機率	於 t 至 $t+\Delta t$ 到 達 人 數	於 t 至 $t+\Delta t$ 完成服務人數	於時間 $t+\Delta t$ 時 系統中人數
I	P_n	0	0	n
II	P_{n+1}	0	1	n
III	P_{n-1}	1	0	n
IV	P_n	1	1	n

$$P(I) = P_n(t)(1-\lambda\Delta t)(1-\mu\Delta t)$$

$$P(II) = P_{n+1}(t)(1-\lambda\Delta t)(\mu\Delta t)$$

$$P(III) = P_{n-1}(t)(\lambda\Delta t)(1-\mu\Delta t)$$

$$P(IV) = P_n(t)(\lambda\Delta t)(\mu\Delta t)$$

由於爲相斥事件 $\therefore P_n(t+\Delta t) = P(I)+P(II)+P(III)+P(IV)$

$$P_n(t+\Delta t) = P_n(t)(1-\lambda\Delta t-\mu\Delta t)+P_{n+1}(t)(\mu\Delta t)+P_{n-1}(t)(\lambda\Delta t)$$

(此式已省略 Δt^2 項)

$$= P_n(t) - P_n(t)(\lambda\Delta t + \mu\Delta t) + P_{n+1}(t)(\mu\Delta t) + P_{n-1}(t)(\lambda\Delta t)$$

當系統達到穩定狀態時，系統狀態之機率已不隨時間之進行而有所改變，亦即以時間爲函數之系統狀態機率變化率爲零。亦即

$$\frac{P_n(t+\Delta t) - P_n(t)}{\Delta t} = 0 \quad \text{將 } P_n(t+\Delta t) \text{ 代入此式可求出}$$

$$P_n(t) = \frac{\mu}{\lambda+\mu} P_{n+1}(t) + \frac{\lambda}{\lambda+\mu} P_{n-1}(t)$$

當在穩定狀態時 $P_n(t)$ 可逕以 P_n 表示，而不受時間影響，所以上式可以表爲：

$$P_n = \frac{\mu}{\lambda+\mu} P_{n+1} + \frac{\lambda}{\lambda+\mu} P_{n-1} \dots\dots\dots(1)$$

(1)式中之 $n-1$ 必須大於等於 0，否則不合等待線系統狀態之要求故需另求解 $P_0(t)$ 之值。

求解 $P_0(t)$ 之方式與求解 $P_n(t)$ 之方式相同，亦係自 $P_0(t+\Delta t)$ 著手。分析 $P_0(t+\Delta t)$ 之可能情況，計有下列兩種：

事 件	於時間 t 時，系統中有 n 人之機率	於 t 至 $t+\Delta t$ 間到達人數	於 t 至 $t+\Delta t$ 間完成服務人數	於 t 至 $t+\Delta t$ 間系統中人數
V	P_0	0	—	0
VI	P_1	0	1	0

$$P(V) = P_0(t)(1-\lambda\Delta t)$$

$$P(VI) = P_1(t)(1-\lambda\Delta t)(\mu\Delta t)$$

$$P_0(t+\Delta t) = P_0(t)(1-\lambda\Delta t) + P_1(t)(\mu\Delta t) \quad (\text{已省去 } \Delta t^2 \text{ 項})$$

當到達穩定狀態時，其依時間之變化率為零。

$$\begin{aligned} \text{即 } \frac{P_0(t+\Delta t) - P_0(t)}{\Delta t} &= \frac{P_0(t)(1-\lambda\Delta t) + P_1(t)(\mu\Delta t) - P_0(t)}{\Delta t} \\ &= -\lambda P_0(t) + \mu P_1(t) = 0 \end{aligned}$$

$$\therefore P_1(t) = \frac{\lambda}{\mu} P_0(t) \quad \text{或} \quad P_0(t) = \frac{\mu}{\lambda} P_1(t)$$

$$\text{當到達穩定狀態時，上式可化為 } P_1 = \frac{\lambda}{\mu} P_0 \dots\dots\dots(2)$$

由(1)式，當 $n=1$ 時

$$\begin{aligned} P_1 &= \frac{\mu}{\lambda+\mu} P_2 + \frac{\lambda}{\lambda+\mu} P_0 = \frac{\mu}{\lambda+\mu} P_2 + \frac{\lambda}{\lambda+\mu} \cdot \left(\frac{\mu}{\lambda}\right) P_1 \\ \Rightarrow P_2 &= \frac{\lambda}{\mu} P_1 = \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^2 P_0 \end{aligned}$$

同理，當 $n=2$ 時

$$\begin{aligned} P_3 &= \frac{\lambda}{\mu} P_2 = \frac{\lambda}{\mu} \left(\frac{\lambda}{\mu} P_1\right) = \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^2 P_1 = \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^3 P_0 \\ &\vdots \qquad \qquad \qquad \vdots \end{aligned}$$

依此類推

$$P_n = \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n P_0, \quad n \geq 0 \dots\dots\dots(3)$$

$$\text{又} \because \sum_{n=0}^{\infty} P_n = 1 \quad \text{將(3)式代入}$$

$$\sum_{n=0}^{\infty} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n P_0 = P_0 \sum_{n=0}^{\infty} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n = 1$$

$$\therefore \mu \text{ 必須} > \lambda, \quad \text{即 } \frac{\lambda}{\mu} < 1 \quad \therefore \text{爲收斂級數}$$

$$\therefore P_0 \sum_{n=0}^{\infty} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n = P_0 \left(\frac{1}{1 - \frac{\lambda}{\mu}}\right) = 1$$

$$\Rightarrow P_0 = 1 - \frac{\lambda}{\mu} \dots\dots\dots(4)$$

將(4)代入(3) $\Rightarrow$

$$P_n = \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n \left(1 - \frac{\lambda}{\mu}\right), \quad n \geq 0$$

$$\text{令 } \rho = \frac{\lambda}{\mu}$$

$$\text{則 } P_n = \rho^n (1 - \rho) \dots\dots\dots(5)$$

(4)系統模式

單線波式到達指數服務等待線模式，所求解者主要有 L , L_q , W , W_q 等。

L ：整個系統中（包括等待及服務）顧客人數。

$$\begin{aligned} L = E(n) &= \sum_{n=0}^{\infty} n \cdot P_n = \sum_{n=0}^{\infty} n \cdot \rho^n (1 - \rho) \\ &= (1 - \rho) \sum_{n=0}^{\infty} n \rho^n = (1 - \rho) \frac{\rho}{(1 - \rho)^2} = \frac{\rho}{1 - \rho}, \quad 0 < \rho < 1 \end{aligned}$$

$$V \text{ Var}(n) = \sum_{n=0}^{\infty} [n - E(n)]^2 = \frac{\rho}{1 - \rho^2} \dots\dots\dots(6)$$

L_q ：在穩定狀態下，系統中平均在等待之顧客數

$$L_q = \begin{cases} 0 & L=0, 1 \quad (\text{如爲多站等待系統，則 } L=0, 1, \dots, C) \\ L-1 & L \geq 2 \quad (\text{如爲多站等待系統，則 } L \geq C, L_q = L - C) \end{cases}$$

$$\text{令 } \phi(r) = P(L_q = r), \quad r=0, 1, 2, \dots\dots\dots$$

$$\begin{aligned} \text{則 } \phi(0) &= P(L_q = 0) = P(L = 0) + P(L = 1) \\ &= P_0 + P_1 = (1 - \rho) + (1 - \rho)\rho = 1 - \rho^2 \end{aligned}$$

$$\phi(r) = P(L - 1 = r) = P(L = r + 1) = P_{r+1} = (1 - \rho)\rho^{r+1}$$

$$\therefore \phi(r) = \begin{cases} 1 - \rho^2, & r=0 \\ (1 - \rho)\rho^{r+1}, & r \geq 1 \end{cases} \dots\dots\dots(7)$$

$$L_q = E(r) = \sum_{r=0}^{\infty} r \phi(r) = \sum_{r=1}^{\infty} r (1 - \rho)\rho^{r+1} = \frac{\rho^2}{1 - \rho}$$

W_q : 每位顧客於系統中之平均等待時間

設隨機變數 T_q 為顧客在等待系統中所費之時間，而 $W_q(t)$ 為等待時間之機率分佈函數，則

$W_q(0) = P(T_q = 0) = \rho$ (到達者發現系統無人) $= P_0 = 1 - \rho$ ，而如有一顧客到達時，發現已有 n 人在系統中，則此一到達者必須等待直到此 n 個人之服務時間 $\sum_{i=1}^n S_i = T_q$ ，才能進入服務系統。因為每一 S_i 為一獨立且一致之指數分佈，故 T_q 成 Gamma dist. 其密度函數為：

$$f(t) = \mu e^{-\mu t} \frac{(\mu t)^{n-1}}{(n-1)!}, \quad t \geq 0, \quad n \geq 1$$

$$\begin{aligned} \therefore W_q(t) &= P(T_q \leq t) = P(T_q = 0) + P(0 < T_q \leq t) \\ &= 1 - \rho e^{-\mu(1-\rho)t}, \quad t > 0 \end{aligned}$$

$$W_q = E(T_q) = \frac{\lambda}{\mu(\mu-\lambda)} \quad \dots\dots\dots(8)$$

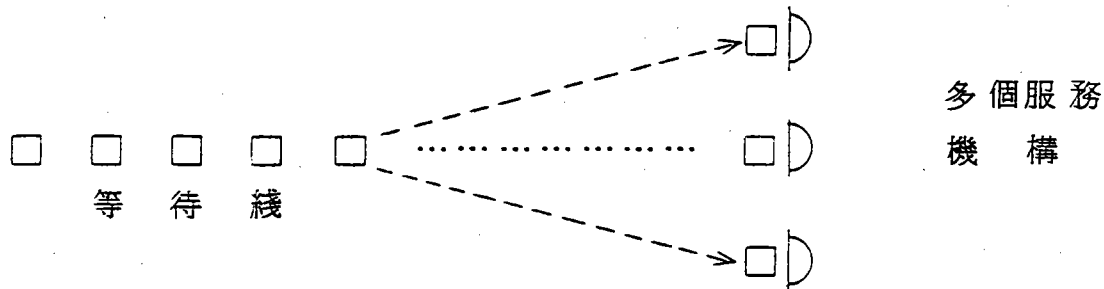
W : 一個顧客花費於整個等待線系統之平均時間 (包括等待及被服務)，由於指數分佈服務之期望值為 $\frac{1}{\mu}$

$$\therefore W = W_q + \frac{1}{\mu} = \frac{1}{\mu-\lambda} \quad \dots\dots\dots(9)$$

服務原則雖有先到先服務 (FCFS) 原則，優先服務原則或隨機服務原則 (SIRO)，但由於隨機服務原則所得之結果與 FCFS 原則所得結果完全相同，而且少數之優先情況亦可以 SIRO 原則視之，因此一般等候系統均以 FCFS 原則處理。

(五) 多綫服務模式 ($M/M/C$) : ($FCFS / \infty / \infty$)

本模式之所謂多綫服務，係指多個服務機構，而仍然祇有一條等待綫，或等待綫之計算係各個服務機構綜合計算，並非各個機構各形成一條獨立之等待綫。其形式如下：



由於波氏到達多站指數服務之等待系統，其各主要參數如 L , L_q , W , W_q 等之推導與單一服務站等待系統各參數之推導類似，故在此不再贅論，僅列出其結果以供參考。

($M/M/C$) : ($FCFS / \infty / \infty$) 有下列特性：

1. 由 C 個平行服務站所組成，顧客之到達呈 poisson dist. 服務法則為 FCFS。
2. 每一服務站對任何顧客之服務時間為指數分佈。
3. 系統中可容納無窮多顧客。
4. 在 t 至 $t + \Delta t$ 時間內，有一顧客到達系統之機率為 $\lambda \Delta t$ 。在上述同一時間內無人到達系統之機率為 $1 - \lambda \Delta t$ ，而多於一個顧客到達系統之機率則為 o 。
5. 如果在系統中之顧客數 n 少於服務站數 C ，($1 \leq n < C$)，則在 t 至 $t + \Delta t$ 時間段內，有一顧客被完成服務之機率為 $n\mu\Delta t$ 。而當 $n \geq c$ 時，有一顧客在 t 至 $t + \Delta t$ 時間段內，被完成服務之機率為 $C\mu\Delta t$ ，且同一區間內多於一個以上之顧客被完成服務之機率為 o 。
6. 設 $\rho = \frac{\lambda}{\mu}$ ，如 $\rho / c < 1$ ，則穩定狀態存在

(a)、系統狀態

$$P_n = \begin{cases} \frac{\rho^n}{n!} P_0 & \rho < c, n = 0, 1, 2, \dots, c \\ \frac{\rho^n}{c^{n-c} \cdot c!} P_0 & \rho \geq c, n = c+1, c+2, \dots \end{cases} \quad \dots\dots\dots (10)$$

$$\therefore \sum_{n=0}^{\infty} P_n = 1$$

$$\begin{aligned} \therefore P_0 &= \left(\sum_{n=0}^c \frac{\rho^n}{n!} + \sum_{n=c+1}^{\infty} \frac{\rho^n}{c^{n-c} \cdot c!} \right)^{-1} \\ &= \left(\sum_{n=0}^{c-1} \frac{\rho^n}{n!} + \frac{\rho^c}{c!} \frac{c}{c-\rho} \right)^{-1} \quad \dots\dots\dots (11) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (b) \text{、 } L_q &= \sum_{n=c}^{\infty} (n-c) P_n = \sum_{n=c}^{\infty} \frac{n}{c^{n-c} \cdot c!} \rho^n P_0 - \sum_{n=c}^{\infty} \frac{c}{c^{n-c} \cdot c!} \rho^n P_0 \\ &= \frac{\rho^c \lambda \mu}{(c-1)! (c\mu - \lambda)^2} \cdot P_0 = \frac{\rho^{c+1} \cdot P_0}{c \cdot c! (1 - \rho/c)^2} \quad \dots\dots\dots (12) \end{aligned}$$

$$(c) \text{、 } W_q = \frac{L_q}{\lambda} = \left[\frac{\rho^c \mu}{(c-1)! (c\mu - \lambda)^2} \right] \cdot P_0 \quad \dots\dots\dots (13)$$

$$(d) \text{、 } W = \frac{1}{\mu} + W_q = \frac{1}{\mu} + \left[\frac{\rho^c \mu}{(c-1)! (c\mu - \lambda)^2} \right] \cdot P_0 \quad \dots\dots\dots (14)$$

$$(e) \text{、 } L = \lambda W$$

$$\begin{aligned} &= \frac{\lambda}{\mu} + \left[\frac{\rho^c \lambda \mu}{(c-1)! (c\mu - \lambda)^2} \right] \cdot P_0 \\ &= \rho + \left[\frac{\rho^{c+1}}{c \cdot c! (1 - \frac{\rho}{c})^2} \right] \cdot P_0 \quad \dots\dots\dots (15) \end{aligned}$$

(f)、等待時間之機率分佈

令隨機變數 T_q 為耗費在等待線上之時間，而 $W_q(t)$ 為等待時間之機率分佈函數。

$W_q(o) = P(T_q = o) = p$ (系統中含 $c-1$ 或更少人)

$$= \sum_{n=0}^{c-1} P_n = P_o \sum_{n=0}^{c-1} \frac{\rho^n}{n!} \dots\dots\dots (16)$$

$$\therefore \sum_{n=0}^{c-1} \frac{\rho^n}{n!} = \frac{1}{P_o} - \frac{c \rho^c}{c! (c-\rho)} \dots\dots\dots (17)$$

$$\therefore W_q(o) = P_o \left[\frac{1}{P_o} - \frac{c \rho^c}{c! (c-\rho)} \right] = 1 - \frac{\rho c}{(c-1)! (c-\rho)} P_o \dots\dots (18)$$

$$W_q(t) = \begin{cases} 1 - \frac{c \rho^c}{c! (c-\rho)} P_o, & t=0 \\ \frac{\rho^c (1 - e^{-\mu (c-\rho)t})}{(c-1)! (c-\rho)} P_o + W_q(o), & t>0 \end{cases} \dots\dots\dots (19)$$

當 $c = 1$ 時

$$W_q(t) = \begin{cases} 1 - \rho, & t=0 \\ 1 - \rho e^{-\mu (1-\rho)t}, & t>0 \end{cases}$$

與 $(M/M/1)$ 模式之結果相同。

(g)、至少有一服務站空間之機率 $p = \sum_{n=0}^{c-1} P_n = W_q(o) \dots\dots\dots (20)$

(h)、任一服務站閒置之機率為 $1 - \frac{\lambda}{\mu c} \dots\dots\dots (21)$

台灣各港口雜散貨船舶相當多，而這類型船舶之平均等待成本亦較低，因此可視為耐心之顧客，等待綫可維持較長，所以這類船席可用 $(M/M/S) : (FCFS/\infty/\infty)$ 等待模式來描述。

(六)多綫服務模式 (M / M / C) : (FCFS / N / ∞)

假若等待綫模式僅能容納有限之個數 N , 即 :

$$\lambda_n = \begin{cases} \lambda & , \quad 0 \leq n < N \\ 0 & , \quad n \geq N \end{cases}$$

$$\mu_n = \begin{cases} n\mu & , \quad 0 \leq n < c \\ c\mu & , \quad c \leq n \leq N \end{cases}$$

(a)、系統狀態分佈

$$P_n = \begin{cases} \frac{\lambda^n}{n\mu \cdot (n-1)\mu \cdots 1\mu} P_0 & , \quad 0 \leq n < c \\ \frac{\lambda^n}{\underbrace{c\mu \cdot c\mu \cdots c\mu}_{n-c \text{ 項}} \cdot (c-1)\mu \cdot (c-2)\mu \cdots 1\mu} P_0 & , \quad c \leq n \leq N \end{cases}$$

$$\Rightarrow P_n = \begin{cases} \frac{1}{n!} \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^n P_0 & 0 \leq n \leq c \\ \frac{1}{c^{n-c} \cdot c!} \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^n P_0 & c \leq n \leq N \end{cases} \quad \dots\dots\dots (22)$$

$$\therefore \sum_{n=0}^N P_n = 1$$

$$\therefore \sum_{n=0}^{c-1} \frac{1}{n!} \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^n P_0 + \sum_{n=c}^N \frac{1}{c^{n-c} \cdot c!} \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^n P_0 = 1$$

$$\Rightarrow P_0 = \left[\sum_{n=0}^{c-1} \frac{1}{n!} \cdot \rho^n + \sum_{n=c}^N \frac{1}{c^{n-c} \cdot c!} \rho^n \right]^{-1}, \quad \rho = \frac{\lambda}{\mu}$$

$$\text{令 } P_0 = \rho / c = \frac{\lambda}{c\mu}, \quad \text{則}$$

$$P_0 = \begin{cases} \left[\sum_{n=0}^{c-1} \frac{\rho^n}{n!} + \frac{\rho^c}{c!} \frac{(1-\rho')^{N-c+1}}{1-\rho'} \right]^{-1}, \rho' \neq 1 \\ \left[\sum_{n=0}^{c-1} \frac{\rho^n}{n!} + \frac{\rho^c}{c!} (N-c+1) \right]^{-1}, \rho' = 1 \end{cases} \dots\dots (23)$$

(b) 平均等待人數 L_q

$$\begin{aligned} L_q &= \sum_{n=c}^N (n-c) P_n = \frac{P_0}{c!} \sum_{n=c}^N \frac{(n-c) \rho^n}{c^{n-c}} \\ &= \frac{P_0 \rho^c \rho'}{c! (1-\rho')^2} [1 - \rho'^{N-c+1} - (1-\rho')(N-c+1) \rho'^{N-c}] \dots (24) \end{aligned}$$

(c) 平均在系統中之人數 L :

$$\begin{aligned} L_q &= \sum_{n=c}^N (n-c) P_n = \sum_{n=c}^N n P_n - c \sum_{n=c}^N P_n \\ &= \sum_{n=0}^N n P_n - \sum_{n=0}^{c-1} n P_n - c \sum_{n=c}^N P_n \\ &= L - \sum_{n=0}^{c-1} n P_n - c \left(1 - \sum_{n=0}^{c-1} P_n \right) \\ &= L - \sum_{n=0}^{c-1} (n-c) P_n - c \\ \therefore L &= L_q + c + \sum_{n=0}^{c-1} (c-n) P_n \\ &= L_q + c - P_0 \sum_{n=0}^{c-1} \frac{(c-n)(\rho^c) n}{n!} \dots\dots\dots (25) \end{aligned}$$

(d) 顧客在等待綫上之時間 W :

設 λ' 為顧客真正進 λ 系統之平均到達率，則

$$W = \frac{L}{\lambda'}, \lambda' = \lambda (1 - P_N) \dots\dots\dots (26)$$

$$\text{且 } Wq = W - \frac{1}{\mu}$$

$$\text{或 } Wq = \frac{Lq}{\lambda'} \dots\dots\dots (27)$$

由於大型貨櫃船及穀類船之平均等待成本較高，無法忍受太長時間之等待，其等待綫是有限的，所以這類船席可以用 (M / M / S) : (FCFS / N / ∞) 等待模式來描述。

(七) (M / E^K / 1) 模式

王慶瑞 (民國61.) , Kenneth O . Nilsen (1977) , UNCTAD . (1978) 等證明：隨機到港船舶之服務時間，以 Erlang dist . 來描述最為適當，Erlang dist. 其機率密度函數為：

$$f(t) = \frac{(K\mu)^K}{(K-1)!} \cdot t^{K-1} \cdot e^{-K\mu t}, \quad 0 < t < \infty$$

$$= \frac{(K\mu)^K}{\Gamma(K)} \cdot t^{K-1} \cdot e^{-K\mu t} \dots\dots\dots (28)$$

其中 t : 船舶停靠船席之時間， K : Erlang number 為正整數 μ : 在穩定狀態時，平均一船席單位時間 (小時) 內，所服務之船舶數目，Erlang dist. 之圖形如下所示

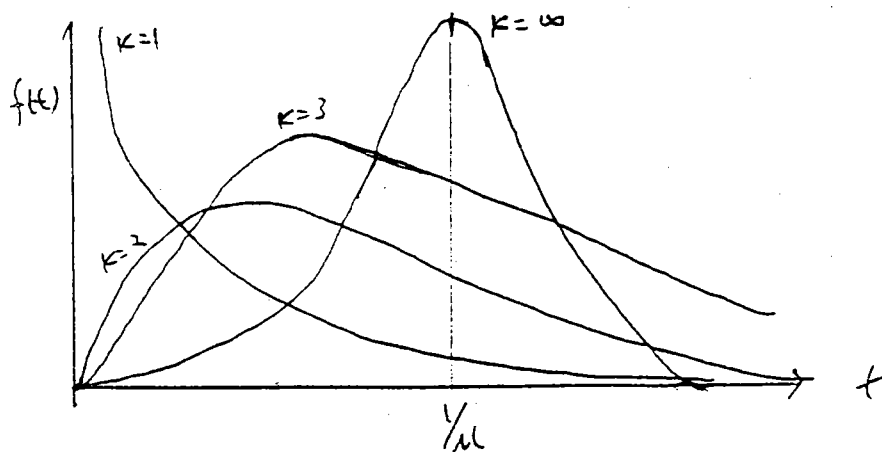


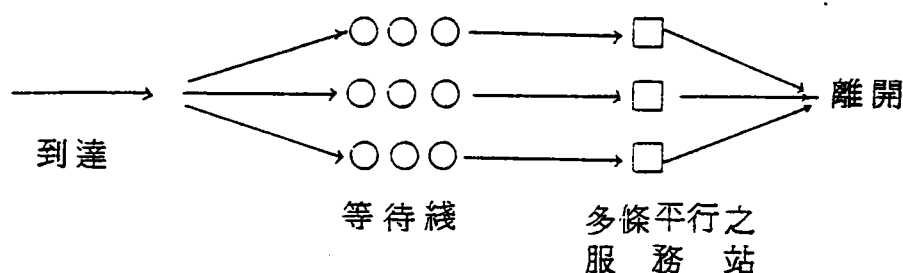
圖 6 - 1 . K 階段之 Erlang dist.

當 $K = 1$ 時，Erlang dist. 即為指數分佈： $K = \infty$ 時則為 normal dist. 貨櫃船停靠船席時間分佈符合 $K = 2$ 之 Erlang dist. 因此上式可簡化為：

$$f(t) = (K\mu)^2 \cdot t \cdot e^{-K\mu t}, \quad 0 < t < \infty$$

$$\text{而 } E(t) = \frac{1}{\mu}, \quad V(t) = \frac{1}{2\mu^2} \dots\dots\dots (29)$$

倘若船舶到港時間間隔符合負指數分佈，而船舶之服務時間符合 E_2 分佈，則可以 $(M/E_2/C)$ 來描述船席之等待綫系統，一般貨櫃船席通常符合此一情況。由於多站等待模式，目前除 $(M/M/C)$ 模式外，其它如 $(M/M^K/C)$ 與 $(E^K/E^K/C)$ 尚無法以數學方法建立模式。不過以 $(M/M/C)$ 模式之公式應用在 $(M/E_2/C)$ 系統尚可獲致近似之解。Nilsen 亦曾嘗試將各個船席看作是互相平行之單獨系統，而以 $(M/E_k/1)$ 模式來描述，如下圖：



而後再將各服務站之等待時間加以統計，發現利用此法所求出之等待時間比實際多出許多，但在沒有別的方法可想時，利用此模式得出之結果，仍可作參考。

$(M/E^K/1)$ 之各主要參數表示如下：

Erlang dist. 之平均服務時間為 $\frac{1}{\mu}$

服務時間之 Standard deviation $\sigma^2 = \frac{1}{K\mu^2}$

由平均服務時間 $\frac{1}{\mu}$ 及 Standard deviation $\sigma^2 = \frac{1}{K\mu^2}$ 可以求出

Erlang dist. 之 Erlang number K .

而 P_0 : 服務站空閒之機率 $= 1 - \rho$, $(\rho = \frac{\lambda}{\mu})$ (30)

W_q : 等待時間 $= \frac{(K+1)\rho}{2K\mu(1-\rho)}$ 或 $\frac{K+1}{2K} \frac{\lambda}{\mu(\mu-\lambda)}$ (31)

W : 在等待綫系統上之時間 (包括等待及服務)
 $= W_q + \frac{1}{\mu}$ (32)

$L = \lambda W$ (33)

$L_q = \lambda W_q = \frac{K+1}{2K} \frac{\lambda^2}{\mu(\mu-\lambda)}$ (34)

三、G.P.S.S. 系統模擬語言

GPSS 系統模擬語言為 GENERAL PURPOSE SIMULATION SYSTEM 之縮寫，是一種程式化語言由 IBM 公司開發出來，專門用來模擬離散事件 (discrete event) 之有關問題，對於電腦語言不是很熟或者對於系統模擬不是很內行，但是卻必須從事有關模擬工作之研究人員而言，GPSS 為一套非常簡易而且實用之工具，因為 GPSS 模擬語言已自動幫程式設計者完成許多的模擬工作了，例如：

- (1) GPSS 可以根據需要輸入資料，並在模擬過程中將各種狀況加以統計而在程式結束後自動將所有結果印出；
- (2) GPSS 有模擬鐘之設計可以控制整個模擬事件之進行；
- (3) GPSS 每個模擬的步驟均已設計成副程式，不須程式設計者加以細節 (detail) 之考慮。

GPSS 有許多種版本，根據開發出來之年代以及適用之機種不同而有不同之命名，1950 年代末期至 1960 年代初期開發出來的有 GPSS，GPSS II，GPSS III，發展到現在最為大家所熟悉且廣泛使用的為 GPSS / 360，因為它可以在 IBM 之 system / 360 上使用，而本所使用的則為 GPSS / VX。GPSS 程式語言提供了 40 餘個不同功能之方塊 (block)，每一方塊即為一代表特定功能之副程式，一個模擬系統之 GPSS 模式可以根據系統之特性選擇適宜之方塊加以串聯而成，如圖 3-1，圖中有箭頭之直線代表一流動個體 (unit of traffic)，每一流動個體又叫作「交易」 (Transaction)，「交易」在 GPSS 模式中，由一個方塊進行至另一個方塊，每進入一個方塊即呼叫該方塊之副程式加以執行。「交易」所代表之意義，根據系統之不同而有不同之意義，它可能是顧客、車、船、零件、時鐘……等，當模擬開始時，GPSS 模式內並無「交易」存在，「交易」在某一特定時刻經由 GENERATE Block 進入模式，在模式中經過一段模擬時間後即由 TERMINATE Block 離開模式。一般而言，一個模式內可以同時存在著數個「交易」，但在任何時間，只能有一個「交易」在進行，交易可在 GPSS 模式中，依箭頭指向隨意走動，每一方塊均有一組參數，程式設計者可自行設定這些參數，以控制這些「交易」之走向。而在程式中須要用到亂數

的地方如 GENERATE , FUNCTION , ADVANCE..... 等地方 , GPSS 提供了 8 個亂數產生器 , 可以配合需要 , 由程式設計者自行選定。

至於模擬之時間長度控制 , GPSS 則有一專門用來控制模擬時間之模擬鐘 (simulated clock) , 當模擬開始時模擬鐘之初始值設為 0 , 至於 0 所相對應的時間到底是何年何月何日之那一時刻 , 完全由程式設計者自行決定 ; 模擬鐘進行之時間單位 (Time unit) , 可以為 1 sec , 2 sec , 5 sec , , 1 min , 10 min , 1 hr 等 , 亦可由程式設計者自行決定。模擬鐘之進行有下列二種方法 :

(1) 固定時間增加法 (Fixed time-increment clock) 也就是時間掃描法 (Time scanning method)

模擬鐘之進行採固定之時間單位 , 每進行一個時間單位 , 即自動掃描一次看是否有事件要執行 , 若有則執行處理這些事件所需要之邏輯 (logic) , 執行完畢模擬鐘再前進一個時間單位 , 再掃描 , 如果沒有須要執行之事件 , 則再直接前進一個時間單位。時間掃描法一般均利用於變化較大的模擬系統中 , 利用此法其模擬鐘之進行方式示如圖 3 - 2 。

(2) 變動時間增加法 (Variable time-increment clock) 也就是事件掃描法 (event scanning method)

模擬鐘前進之時間長度為與「迫在眉睫事件」 (imminent event) 發生之時間間隔 ; 「迫在眉睫事件」為最接近此刻 , 即將發生之事件 , 可能為顧客到達 , 服務結束或模擬時間結束 等 , 所以利用事件掃描法 , 每次模擬鐘前進之時間長度都不相同。由於港埠系統並非變化很迅速 , 而且利用此法可以節省電腦之使用時間 , 所以 GPSS 模式之模擬鐘進行採用此法。使用變動時間增加法之模擬鐘進行步驟示如圖 3 - 3 。

圖 3 - 2 及圖 3 - 3 之流程圖並沒有告訴我們該如何終止整個的模擬事件 , 事實上這二個流程圖所表示的均為一無止盡的循環圈 (loop) ; 但整個模擬在經過一段時間後又不能不停止 , 為解決此一問題 , 最簡單之方法為將欲模擬之時間長度 (可能為一星期 , 一個月 , 一年或更長。) 當作一個事件 (event) 處理 , 此事件也就稱為「停止模擬事件」 (stop-simulation event) , 則隨著模擬鐘

之進行，當「停止模擬事件」終於成爲下一個「迫在眉睫事件」而被加以執行時，整個模擬事件即停止，整個步驟如圖 3 - 4 所示。

當模擬結束後，GPSS 所設計之印出副程式，即自動印出各種等待 (QUEUE) 及服務設施 (STORAGE 或 FACILITY) 之統計資料，例如：全部須要等待之個數、不須要等待之百分比、平均等待個數、最長之等待個數、平均等待時間及平均服務時間、服務個數、服務設施之使用率等。當然如果程式設計者對於 GPSS 所提供之基本印出資料不表滿意時，亦可經由 TABLE 之設計而印出各種統計分佈 (distribution) 之資料，或經由 PRINT BLOCK 追蹤各項 Queue，STORAGE 或 Customer number 之變化資料。

由於 GPSS 可以很成功的描述各種離散事件，所以在國外已有文獻利用 GPSS 來模擬整個港埠船舶之運作狀況進而研究各種不同之港埠營運策略對於港埠之影響。例如 1970 年 Nehrling [10] 發展出一套模擬貨櫃船裝卸作業之模擬模式，在這個研究中，他把貨櫃裝卸作業之程序分解成幾個步驟分析且相當詳細的描述了這些作業，這個模式是專以貨櫃基地作業爲討論對象。另外 N. Varaprasad [11] 亦於 1986 年建立一個港埠模擬模式，純粹就港埠投資成本及船舶等待成本等觀點；估算新加坡國際港口之最適能量，以及分析比較貨櫃碼頭在不同之營運策略下對於港埠之影響，發現如將現行若干專用出租碼頭全部改爲公用碼頭可以減少船舶平均等待時間，進而提高服務水準。在國內亦有朱金元 [15, 16] 於民國 77 年嘗試利用 GPSS 模擬台中港貨櫃船進出港情形，並以民國 75 年貨櫃船資料，估算貨櫃碼頭之最適船席使用率，發現台中港之貨櫃船席仍未達其經濟使用率，短期內似乎不宜擴建貨櫃碼頭。

如欲利用 GPSS 建立模擬模式，首先必須分析實際作業系統中之「交易」有那些，並且決定模擬之最小時間單位，用到那些設備，以及這些設備可能之組合及排列情形；再以 GPSS 方塊圖繪出各元素間之相互關係，分析正確後寫在編碼紙上，再上機作測試，測試之結果再加以分析，不合意的還要修正 GPSS 方塊圖，直到測試滿意爲止。其整個作業流程大概如圖 3 - 5 所示。

欲開始系統模擬時，首先需要設定系統之起始狀況 (INITIAL CONDITION)，一般而言，多半是設定系統爲閒置狀況，沒有任何

被服務者在接受服務或等待；由於設定系統之起始狀況為閒置狀況，所以隨機（random）之模擬模式在開始模擬後，將會有一段不穩定之狀況，而我們所欲瞭解的是系統達到穩定後之變化狀況，因此，此一段不穩定狀況若不設法予以清除，將會使模擬結果產生偏差。通常有下列三種方法可以消滅不穩定所產生之影響。

- (1) 選擇最能代表穩定狀態時之狀況作為起始狀況。
- (2) 把模擬之時段加長，直到模式中所設定的一些統計特性，其偏差小到我們所能接受時之狀況以作為起始狀況。
- (3) 先作幾次模擬，使其達到穩定後，再將前面幾次之結果剔除。

至於選擇何種方法，端視成本與系統而定，如果採用方法(1)，則程式設計者本身必須為相當有經驗之專家。而且即使如此，在一複雜之系統中要安排此一起始狀況也並非易事；如果採用方法(2)，則要達到穩定之起始狀況可能需要很長之 CPU 時間，在電腦使用時間花費很貴時可能並不適宜。所以最經濟且實用之方法應是方法(3)，本文之起始狀況即採用此法設定。

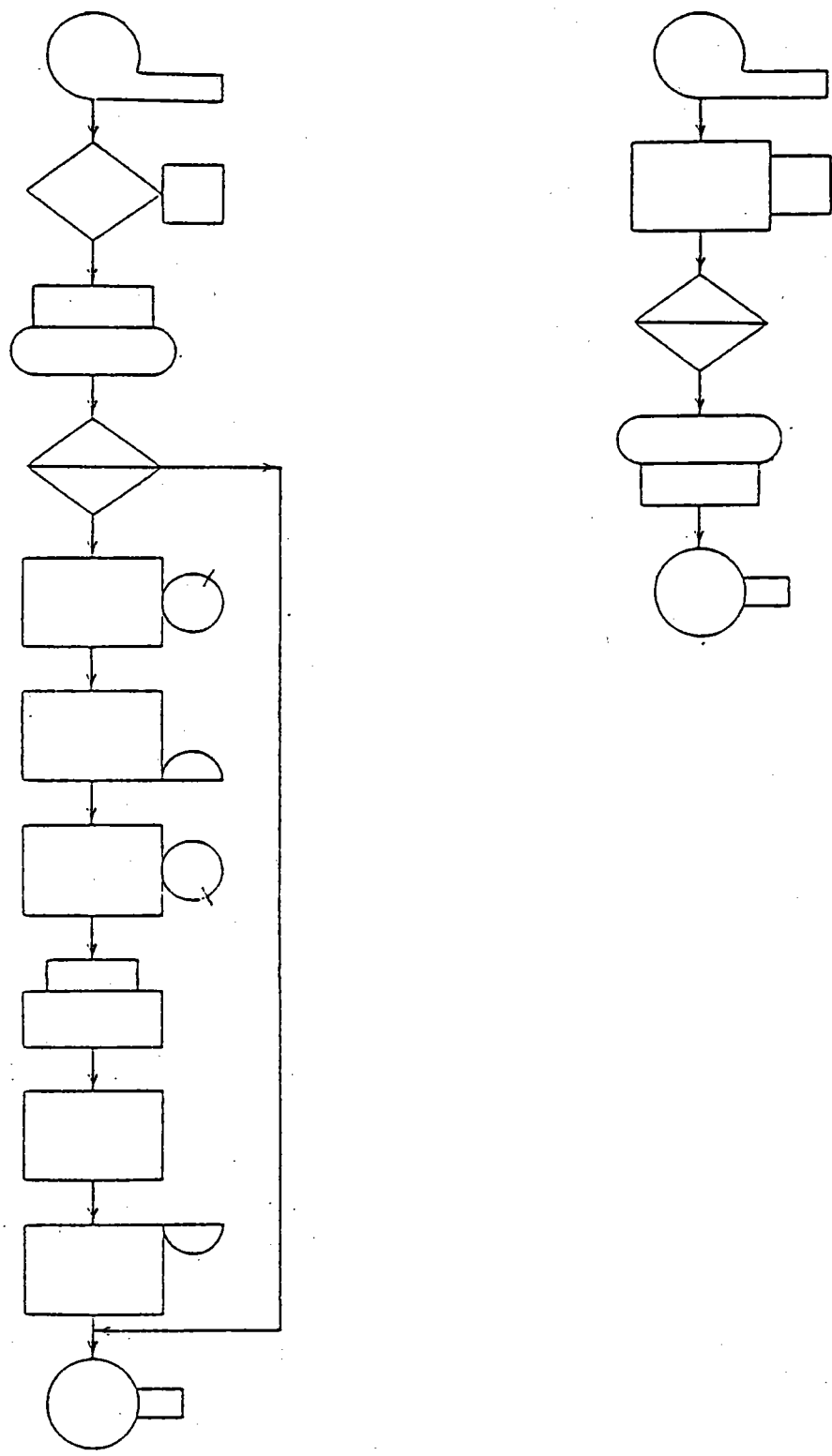


FIGURE 3 - 1 Silhouette of a typical GPSS Block Diagram

圖 3 - 1

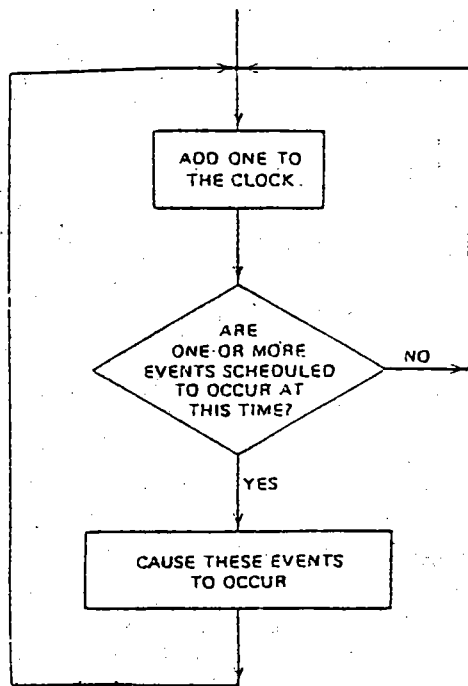


Figure 3-2 flowchart fragment showing the basic logic of a fixed-time-increment clock

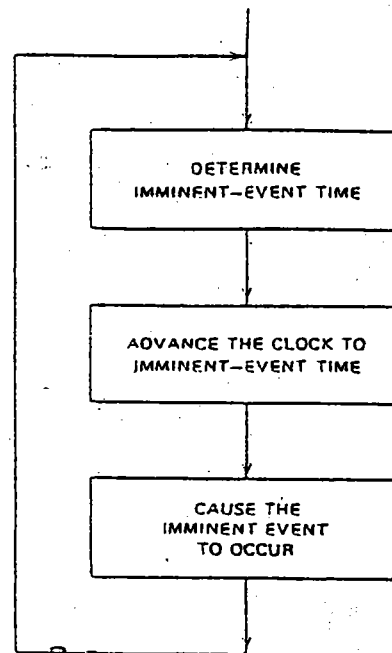


FIGURE 3-3 flowchart fragment showing the basic logic of a variable-time-increment clock

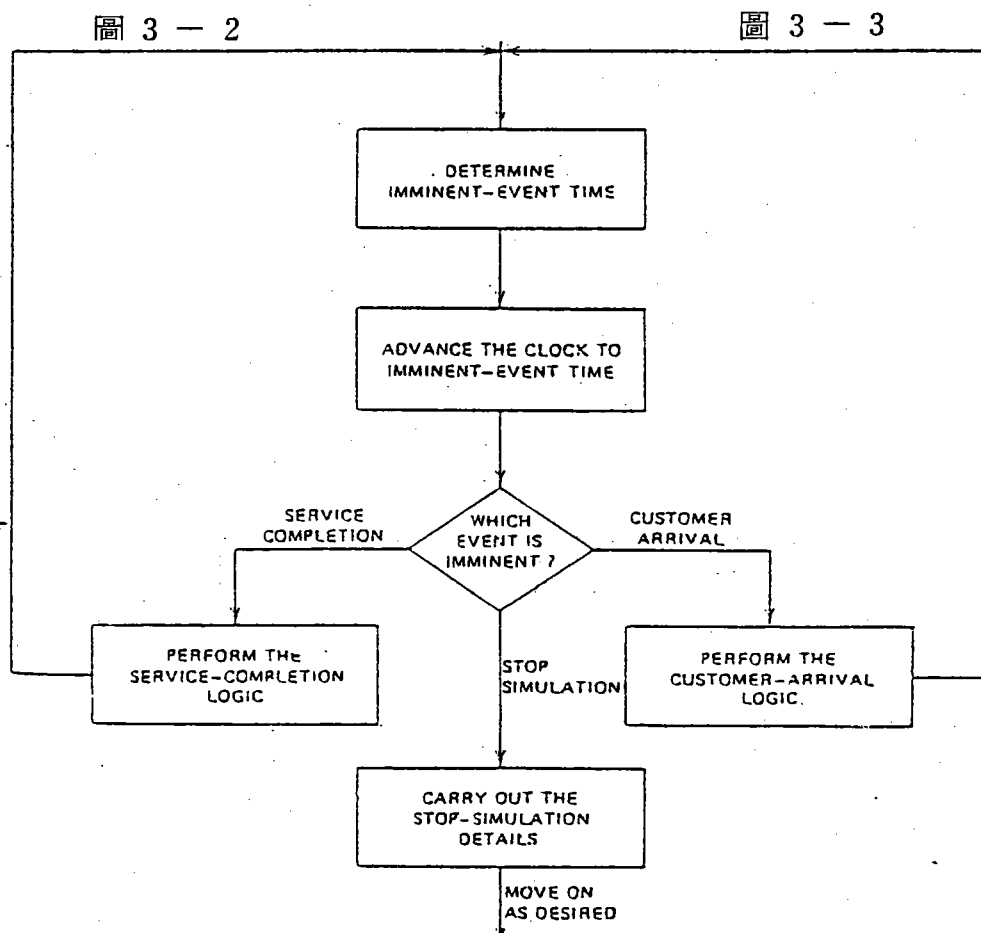


Figure 3-4 An expansion of the Figure 1.6 flowchart fragment customized for the one line one server queuing system

圖 3 - 4

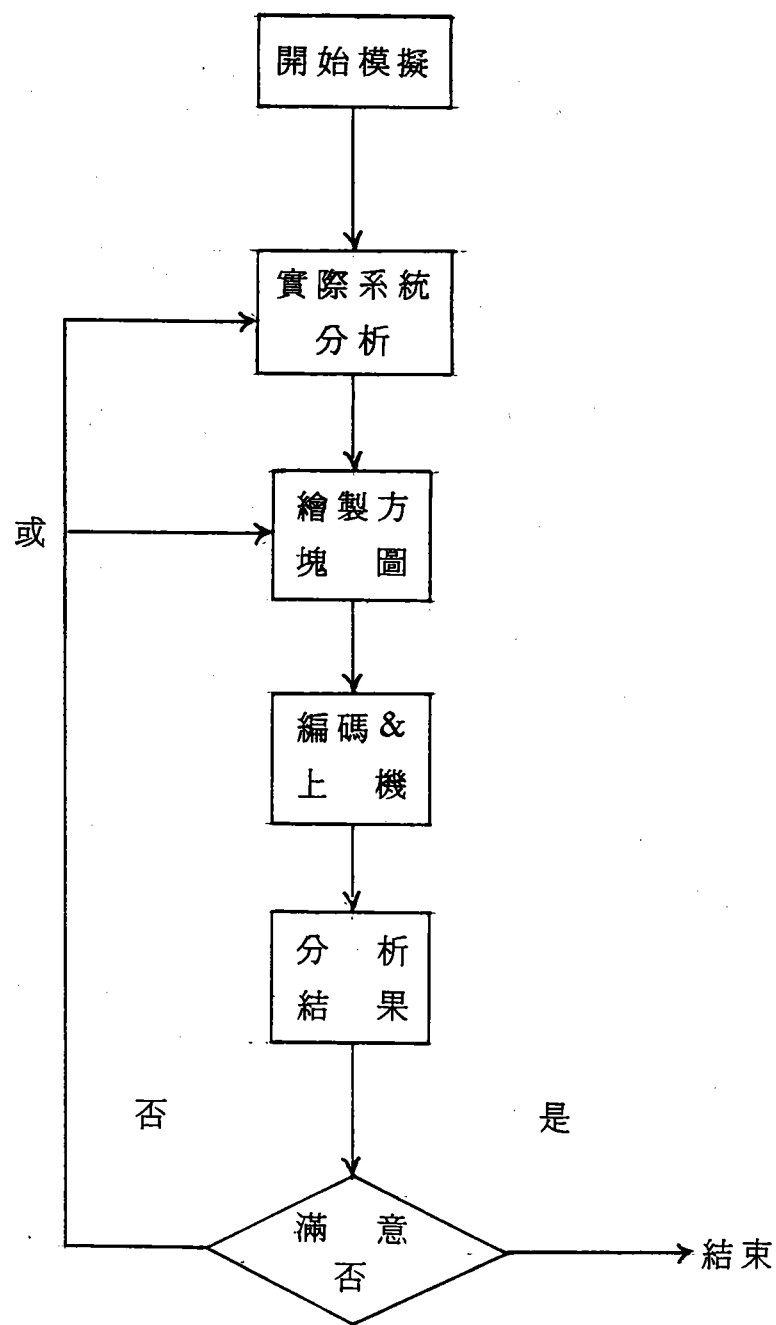


圖 3 - 5 GPSS 作業流程圖

四、港埠系統分析

欲模擬一個港埠系統之作業，有必要對其營運制度、船席調配制度及船舶進出港方式等加以了解，本處特就花蓮港及高雄港之船舶進出、船席調配、營運方式等加以說明如次：

4-1 船舶進出港

任何一個港埠，都是一個非常複雜之貨物轉運系統，由無數個次系統（subsystem）所構成，每個次系統均由一組服務設施及到達該次系統接受服務之個體所組成，本文所欲研究之範圍如圖4-1點線以上所示，包括船舶到達、領港上船、停靠碼頭、裝卸貨物等，也就是只牽涉到船舶之進出港而不涉及貨物裝卸前後之運輸作業。本省各國際港其船舶進出港之手續雖因港埠設施或港口是否有管制而稍有不同，但仍可謂大同小異。本文特就有港口管制之花蓮港及無港口管制之高雄港其船舶進出港程序如圖4-2，4-3加以比較說明。

(1) 花蓮港之船舶進出港程序

當船舶尚未到達目的港時，須於24小時前由船務代理預先作預報申請，其申請手續包括1.向航政組申請簽證2.由棧埠所確定船貨之位置以安排可能最方便裝卸貨之碼頭3.由航管科審查船舶吃水深與長度以預排靠泊之船席4.知會海關、檢疫所、安檢中心以便事先安排人員上船檢查。當船舶到達港外，如果港口封閉或無船席，則在港外等待，否則就等聯檢檢查完畢由領港指揮駛往指定船席。靠妥船席後有些穀類船可能須進一步作商品檢驗，如不須要則可開始裝卸作業。於準備出港前亦必須向航政組、航管科、檢疫所、海關、安檢中心等事先作出港預報，以便貨物裝卸完竣後即可派員檢查。經聯檢檢查通過後，領港即可向信號台申請出港，而將船舶駛離碼頭前往其他港口，完成整個船舶進出港埠之工作。

高雄港因為港域遼闊，到港船舶很多，為便於船舶等待與移泊，而於港內置有浮筒，所以到港之船舶有較多之選擇，其作業

程序大概如圖 4 - 3 所示。

4 - 2 港埠營運制度

4 - 2.1 花蓮港現行之營運制度〔5〕〔18〕

花蓮港現有碼頭 18 座，其棧埠作業分為公用及承租專用兩種型態，各碼頭作業狀況概述如下：

- (1) 專租碼頭兩座，亞泥租用 10 號碼頭，裝運散裝水泥及熟料，中鋼租用 11 號碼頭裝運礦石。
- (2) 專業碼頭 3 座，設有自動裝船輸送設備，分別由富國新在 5 號及 8 號碼頭及立光在七號碼頭設置輸送架裝運砂石。
- (3) 設有管線，專供油輪裝卸油料之碼頭計有 3 號、4 號、5 號（兼用）及 18 號碼頭共 4 座。
- (4) 客運碼頭 1 座（16 號碼頭），自花蓮輪停航後，該碼頭即改為調節船席之用。
- (5) 專供紙漿原料（紅木）下卸之碼頭計有 12、13、14、15 號等 4 座。
- (6) 雜貨碼頭計有 1、2、3（兼用）等 3 座。
- (7) 九號碼頭因鄰近迴船場，現供小型船舶調節之用。
- (8) 卸煤碼頭計有 17 號一座。
- (9) 供紙漿、肥料裝卸之碼頭計有 6 號一座。
- (10) 另 1、9、12 號碼頭，經奉准可供四期擴建裝運拋石船及工作船臨時靠泊調節使用。（事實上 1、9、12 號碼頭於民國 77 年幾乎沒有靠泊其它之營運船舶）

4 - 2.2 高雄港現行之營運制度〔5〕〔17〕

高雄港之營運型態分為港務局自營（公用碼頭），出租予業者經營以及合作興建經營等方式。港務局自營部份之收入有：碼頭碇泊費、曳船費、帶解纜費、給水費、垃圾清理費、裝卸費、倉租、碼頭通過費、車機船租金、拖駁船租金等。出租設施部份之租金有：碼頭、土地、倉庫、辦公室等之租金及出租碼頭之碼頭碇泊費等。合作興建設施之部份有：管理費、碼頭碇泊費、碼頭通過費、土地租金及水面使用費等。茲將該港之營運方式概述如次：

1. 港務局自營（公用）部份：

(1) 港灣設施方面：

碼頭 1 ～ 17， 30 ～ 41， 43 ～ 45， 48 ～ 57， 63 等公用碼頭、浮筒、曳船、帶解纜、起重船、給水及垃圾清理等之營運或服務項目。

(2) 棧埠設施部份：

一般碼頭、貨櫃碼頭及谷倉之裝卸倉儲以及車機、拖駁船出租等營運或服務項目。

公用碼頭之裝卸業務，原則上均由轄下之棧埠管理處負責經營，但少部分之船上裝卸工作規定須由台通公司等五家輪船裝卸承攬業承作。

2. 港務局出租予業者經營或合作興建經營部份：

(1) 貨櫃碼頭部份：

基於貨櫃船大型化及作業基地化之發展趨勢，高雄港自民國 66 年起，貨櫃碼頭即以出租專用之方式為主，目前除 40、41、43 及 63 號等四座貨櫃碼頭保留公用外（其中 40 及 41 號碼頭未裝置橋式機，而且 40 號碼頭面積小，位置亦不好，所以停泊之貨櫃船亦少，僅供船上有自備吊桿或駛上駛下船停泊），其餘 10 座貨櫃碼頭分別租予萬海、三聯、中航、海陸、美國總統、陽明、長榮、宏洋等八家輪船公司經營，如表 4 - 1。

(2) 其他碼頭部分

高雄港乾散貨及液體專用碼頭，均係公民營生產事業，基於本身大宗原料及成品進出口裝卸之需要，而以約定方式興建，產權歸屬港務局所有，在約定優先使用年限期間內，廠商雖免繳碼頭、廠房租金，但仍應繳港務局管理費、碼頭碇泊費、土地租金、碼頭通過費及水面使用費等，期滿後再以租賃方式繼續使用。其出租情形如表 4 - 2 所示。

4 - 3 船席調配制度

台灣地區各國際港由於港埠資源條件不同及營運方式之不同，因此在船席調配制度上亦造成很大之差異。高雄港碼頭船席之調配，一本公開、公平、公正及先到先靠，一靠到底，對倉作業之原則

辦理：於週一至週五每日上午10時，週六則於9時30分召開船席調配會議，由港務長主持，參加調配人員有港務組長、繫船課長，另有搬運課、倉儲課、機具所均派代表與會，各有關船公司、船務代理公司亦均派代表參加共同研討，由繫船課船席調配承辦人，就黑板上船舶動態圖提出說明後，即行分區、分類調配船席。由於該港貨櫃碼頭以出租專用為主（僅4座為公用碼頭），散貨碼頭亦有23座為專用碼頭，承租人及共同使用人所有船舶有立即靠泊之權，船席調配較為單純，至於一般公用之散雜貨碼頭，原區分為1.香港2.日、韓、琉球3.東南亞4.中東5.歐、澳、紐、美、非等航線，各航線均有固定之碼頭指泊，各航線抵港船舶均按先到靠岸原則靠泊。目前為使船席調配簡單化，則僅區分為近洋雜貨船及遠洋雜貨船碼頭，亦即香港、日、韓、琉球、東南亞等航線劃為近洋航線，其餘的則劃為遠洋航線。由於高雄港之船席調配較為單純，不必像基隆港一般須將全港船席逐一檢討，再決定靠泊之碼頭，故出口貨可提前進倉，便利貨主倉儲及運輸計劃之安排。

至於花蓮港由於並無固定貨源及航線，到港船舶亦少，故對現有碼頭船席之調配，可以採取非常彈性運用之方式，俾提高運用效率，使到港船舶能適時進港靠泊以減少其在港外錨泊停留等待之時間，僅當船席擁擠及調配發生困難時，由港務長召集棧埠所、航管課及有關航商研討後決定船席。於平時當船公司或代理行預報船舶進港時，在上班時間內將進港預報單一份送棧埠所註明裝卸貨物位置後，送航管課預配船席即可。

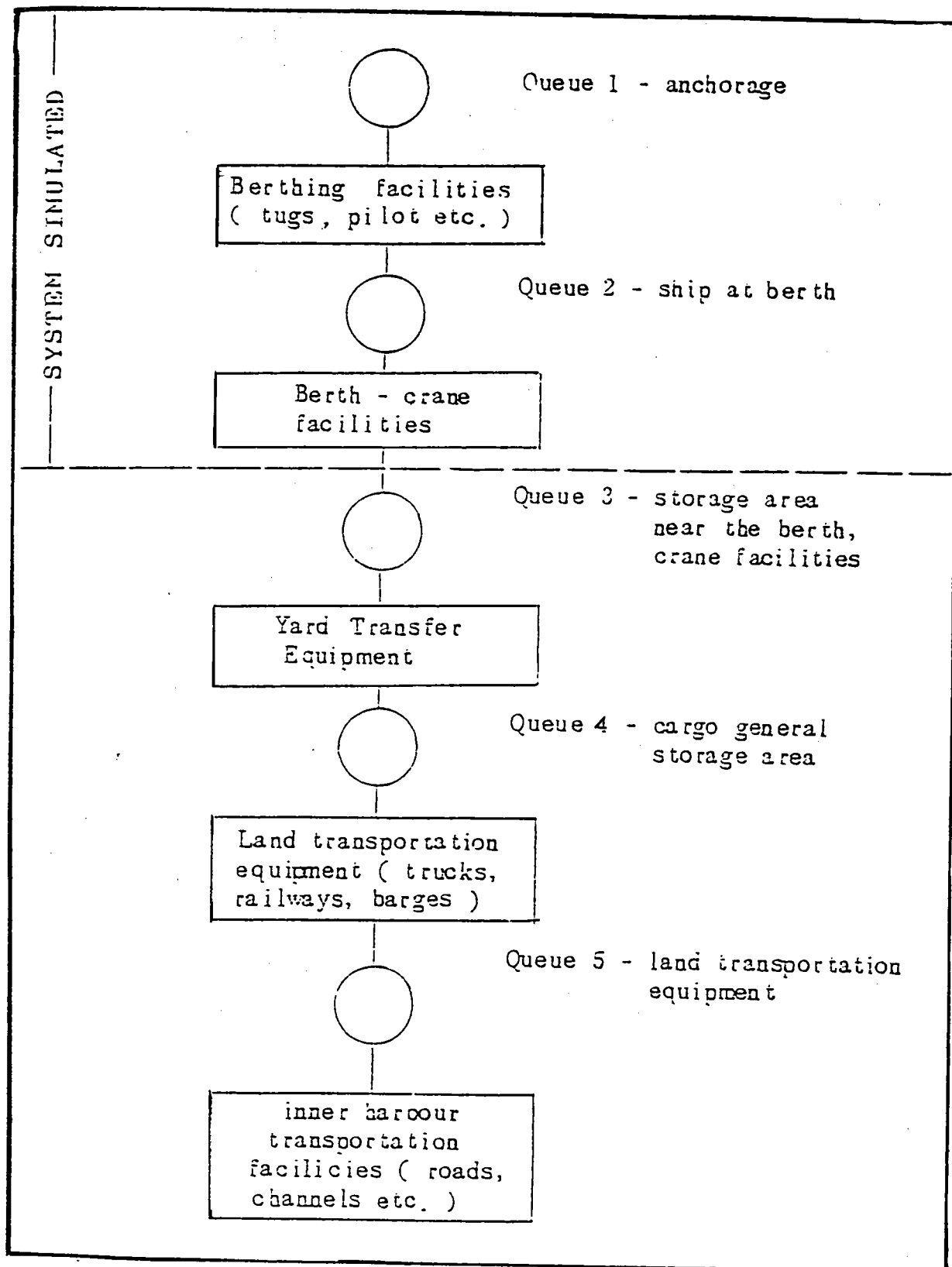


Figure 4 -1 Basic structure of cargo - transportation system

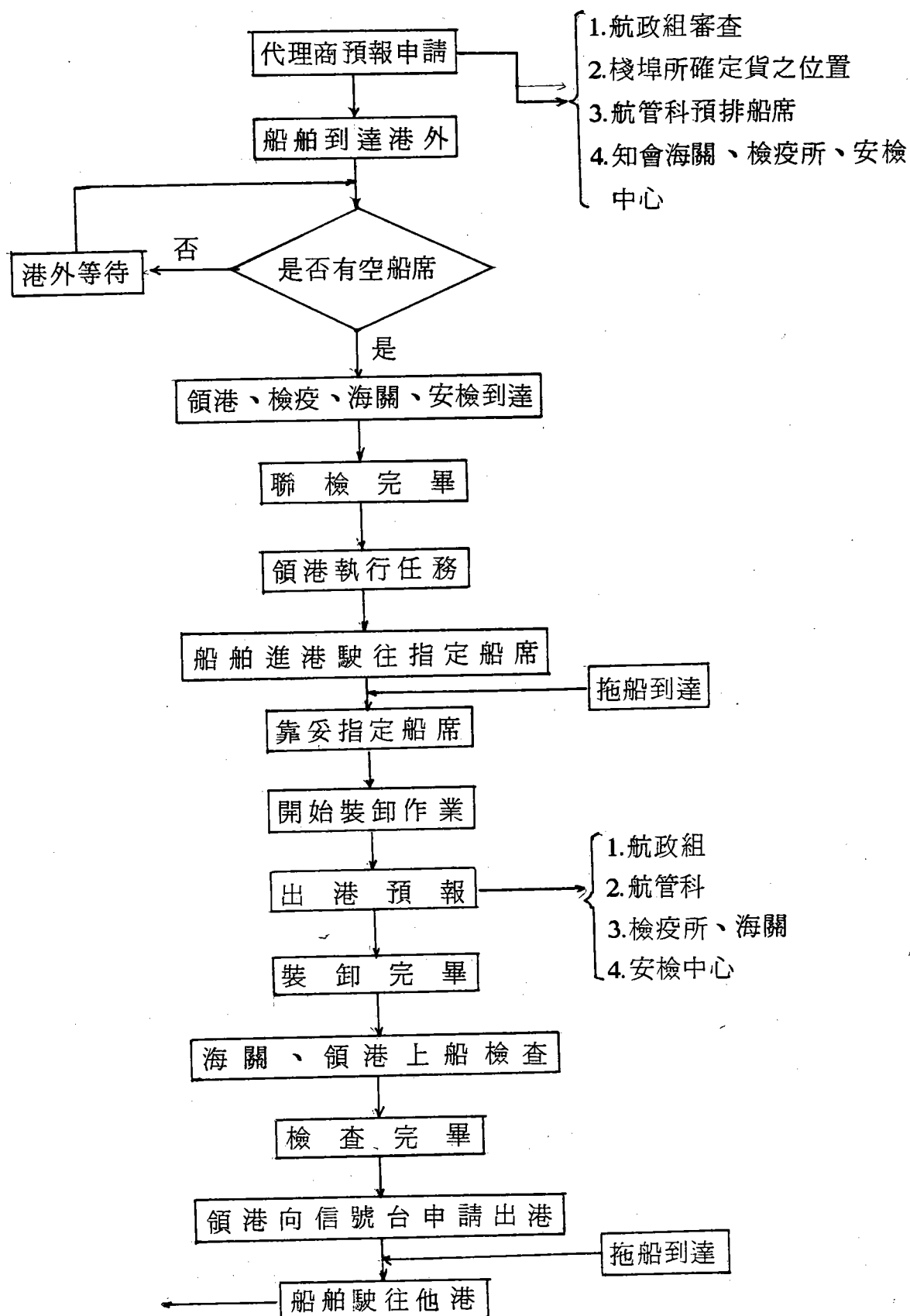


圖 4 - 2 花蓮港船舶進出港流程圖

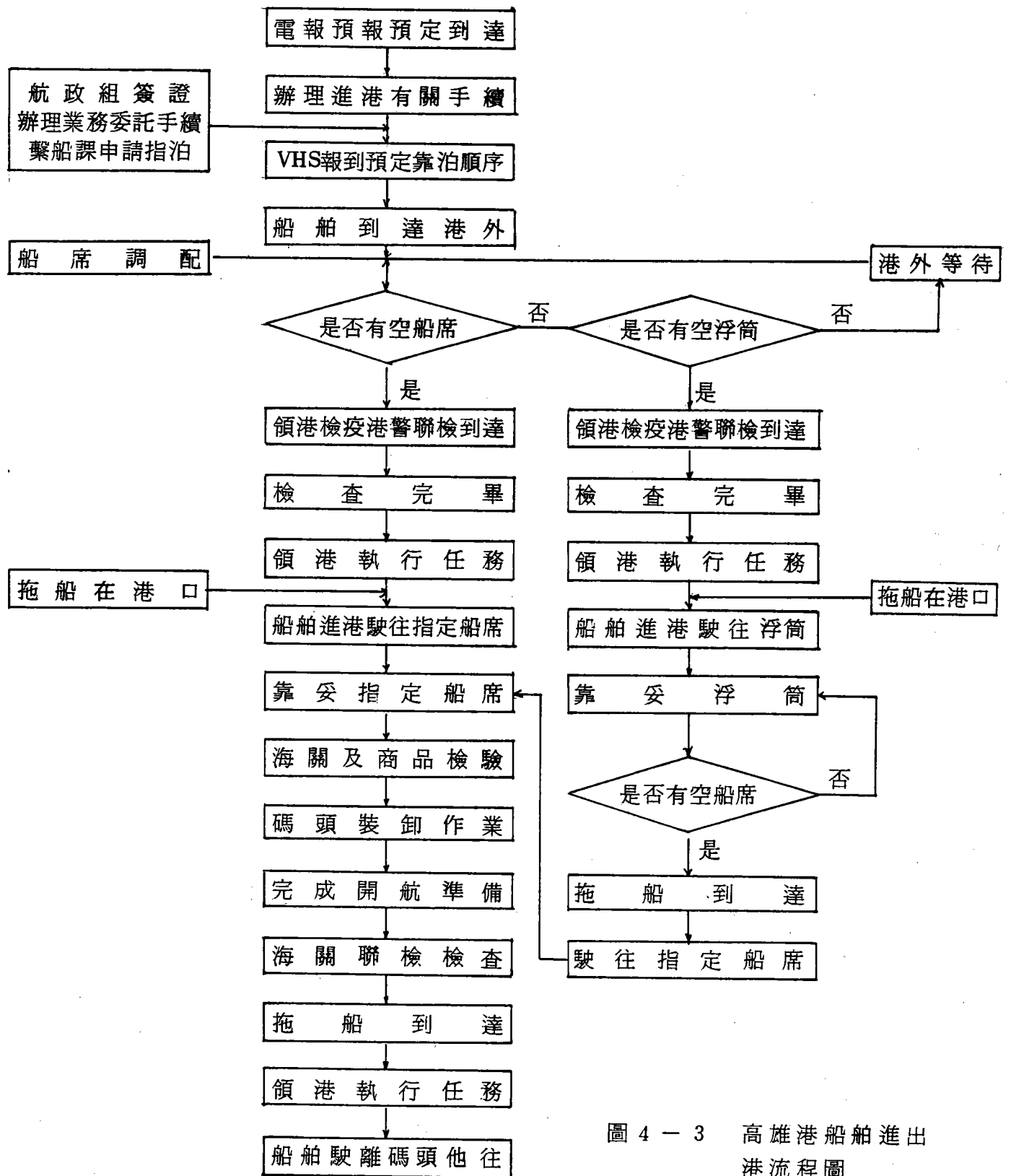


圖 4 - 3 高雄港船舶進出港流程圖

表 4 - 1 高雄港貨櫃碼頭出租專用一覽表

承租公司	租 用 之 碼 頭			橋式機 數 量	租 期
	編 號	水 深 (M)	總長度 (M)		
萬海公司	42	10.5	243	1	
三聯貨櫃公司	64	12.0	250	1	74. 2. 1~ 76. 1. 31
中國航運公司	65. 66. 67	12.0	700	3	73. 1. 1~ 80. 12. 31
海陸運輸公司	68	14.0	320	2	72. 10. 16 ~80. 12. 31
美國總統輪船公司	69	14.0	320	2	69. 1. 1~ 78. 9. 30
陽明海運公司	70	14.0	320	2	69. 12. 16 ~75. 12. 15
長榮海運公司	116	14.0	320	2	
宏洋公司	117	14.0	320	2	

資料來源：高雄港務局提供。

42 原由長榮海運公司承租，自 #116 美利堅輪船公司倒閉後。

#116 改由長榮海運公司承租，#42 則改由萬海公司承租。

表 4 - 2 高雄港散貨碼頭出租專用一覽表

承租公司	租 用 之 碼 頭			用 途	租 期	備 註
	編號	水深 (M)	長 度 (M)			
台灣糖業 公 司	46	11.0	200	糖、穀類	至88.3.31.	台糖投資興建 免費使用25年
	47	10.5	200			
台鋁公司	22	10.5	120	台鋁專用	至76.8.31.	目前為備用船 席中油正考慮 承租中
台肥公司	25			台肥專用		
台塑公司	29	10.5	150	石 化 品	76.6.10.~78.6.9.	
亞泥公司	14	9.0	150	水 泥	75.2.1.~84.12.31.	
台灣電力 公 司	110	4.25	60	粗 灰	72.9.29.~82.8.28.	#110 民國76. 年無停泊
	111	16.5	392	煤 炭		
	112	8.5	243.25	駁船碼頭		
中油公司	60	6.5	172	石 化 品	73.1.1.~76.12.31.	中油石化站
	61	10.5	230	石 化 品		
	62	10.5	230	石 化 品		
中油公司	105	16.0	300	原 油	至76.5.4.	原中油一、二 碼頭
	104	16.0	252	原 油		
	103	11.8	270	原 油	9 年	驗收合格起算
中油公司	18	9.0	150	油 品	76.1.1.~77.12.31.	
	19	9.0	151	油 品		
	20	9.0	151	油 品		
中鋼公司	94	10.5	512	中鋼專用		
	95	10.5	512	中鋼專用		
	96	10.5	512	中鋼專用		
中鋼公司	97	16.5	485	中鋼專用		
	98	16.5	485	中鋼專用		

資料來源：高雄港務局提供。

#85 #86 #87 #88 #89 為中船專用碼頭。

#141 #142 #143 #144 #145 為順榮造船廠專用碼頭

五、港埠系統模擬（以高雄港及花蓮港為例）

本文研究之範圍只考慮船舶抵港後，尋找船席接受服務以至離港等動作，而不涉及船舶到港前之申請手續，碼頭機具、人員之調派，倉儲及內陸運輸等問題，雖然船舶之進出港程序大概如圖 4-2 及 4-3 所示，但有時候其中某些作業程序並非一成不變。例如：1. 於花蓮港經常發生因為尚無貨源或者不知下一目的港為何處或者下一目的港擁擠無船席等情形，而導致即使港口開放且有船席但是船舶卻不願意進港。2. 船舶停於碼頭等待貨源而不出港。3. 沒有適合之空船席，有時候航商寧願在港外等待而不願意進港停泊浮筒。4. 海關之檢查，有時候可能與聯檢單位一起出海檢查，有時候又可能於船舶停靠碼頭完畢才檢查；而商品檢驗局之檢查亦並非所有之船舶均檢查，主要係針對黃豆、玉米等大宗穀類船。

關於到港船舶之分類，本文係依停靠碼頭之類別來區分，亦即停靠同一類碼頭之船舶劃分為同一類，故與實際之船舶分類可能有些差異。不過利用此種分類方法，當船舶到港時所要停靠之碼頭其長度與水深是否與船舶之船長吃水深配合，即無須另行加以判別，可省事不少，所以同類之船舶可以依先到先服務之原則加以指泊。至於港口管制問題，由於高雄港之進港及出港並無時間上之管制，故本文對於高雄港之港口管制問題並不作特別處理。至於花蓮港其港口管制之時間大約自天黑至次日早上七點，在此段時間船舶只准出不准進。天黑時間依春夏秋冬四季而稍有不同，本文為方便計一律以下午 6 點至次日早上 7 點作為港口管制時間。

5-1.1 高雄港系統模擬

本文使用 GPSS 系統模擬語言，模擬高雄港之船舶進出港，其方塊流程圖示如圖 5-1，茲就其主要部份概述如下：

(1) 設定起始狀況

本模式採全港閒置為起始狀況，並用碼頭設備 STORAGE 及每天在港船數 TSHIP 作為控制變數，先作幾次模擬，待 STORAGE 之使用率及 TSHIP 達到穩定後，再將前面幾次結果剔除。而以穩定

時之狀況作為起始狀況。

(2) 船舶到達

利用 GPSS 之亂數產生器，代入船舶到達時間間隔之機率分佈，以求出下一艘船抵港之間隔時間。高雄港所有船舶到港之時間間隔符合負指數分佈。

(3) 進港至停靠碼頭

船舶到達港外，如果有適合之空船席，則可在完成所需之檢驗後，由領港指導，指泊在指定之船席，這段由領港上船至靠畢碼頭之進港航行時間，依船種之不同及入港港口之不同（高雄港有 2 個港口，第一港口水深 10 m，第二港口水深 16 m），而稍有差異，但大致而言其航行時間大致符合 $A \pm B$ 之均勻分佈（A：平均航行時間，B：時間分散範圍）；如果無適合之空船席，則在港外等待，或在港內空浮筒停泊等待。此段航行時間可藉由船種及進港航行時間之關係求得。如表 5 - 1。

(4) 停靠碼頭接受服務

不同之船種、停靠之碼頭自然也不相同，而每個碼頭也因停泊船隻之大小及碼頭機具、人員之不同，而有不同之服務時間。本模式依各碼頭之實際服務時間情形，而有不同之機率分佈。當船種確定後，也即是停靠之碼頭知道後，由亂數產生器產生一隨機數字，代入碼頭之服務時間機率分佈函數，以求得停靠船舶之服務時間。高雄港各碼頭之服務時間分佈如表 5 - 2，5 - 3，5 - 4 所示。

(5) 離開碼頭至出港

船舶在碼頭之裝卸作業完畢，聯檢通過經由領港向信號台申請出港即可離開碼頭駛往其它港口，其離開碼頭至航行出港口之航行時間分佈與進港航行時間分佈大致相同。先求出不同船種之航行時間分散範圍（Sailing-out time spread），再求出其平均航行時間，再由亂數產生器產生之數字代入，即可求得該船舶之航行時間。如表 5 - 1 所示。

(6) 模擬時間

本模式待系統穩定達設定之起始狀況後，開始模擬，總共模擬之時間為 365 天，模擬時所採用之時間單位（Time unit）為 1 分

鐘，其模擬之時間進行方式依事件掃描之方式，模擬時鐘到達即自動停止，並印出所須要之資料。

(7) 印出資料

本模式於模擬完畢後除 GPSS 系統模擬語言本身可自動印出所有到達船舶之等待資料，各不同船種之等待資料，各碼頭之服務時間統計資料及碼頭使用率等資料外，更設計可印出各種船舶之滯港時間分佈，每天在港船數之分佈資料以及所有船舶等待時間之機率分佈等資料，而且為追蹤上述統計資料於整個年度中可能之變化情形，亦於模擬時鐘每進行七天時，即印出上列資料一次。

整個 GPSS 系統模式其各個部分及變數之意義簡述如下：

Model Segment 1：模擬船舶進出港程序之主程式。

FN 49：船舶到達時間間隔，經檢定結果成負指數分佈。

FN 50：各不同船種所占之百分比，本模式依船席之特性及使用情形，分為33種不同類型。

WAIT：所有船舶之等待資料統計。

P 1：各別船種之等待資料統計 P 1 為船種參數由 1 ~ 33，其中 1 ~ 10 為貨櫃碼頭，11 ~ 25 為散貨碼頭，26 ~ 33 為其它碼頭。

ENTER P 1：各不同船種之船席數。

FN 53：各不同船種進港之 spread of sailing-time。

FN 54：各不同船種進港之 mean of sailing-time。

FN 1：依據不同種類船舶其停靠船席之服務時間分佈，其有33個服務時間之函數分佈。分別為 FN1 ~ FN 33。

TABULATE P 5：印出模擬之服務時間分佈，共有 TABLE 1 ~ TABLE 33。

TABULATE P 7：印出模擬之滯港時間分佈，共有 TABLE 334 ~ TABLE 67。

Model Segment 2：統計分析所有船舶之等待時間分佈。

Model Segment 3：統計每天在港之船數分佈。

Model Segment 4：每 7 天統計船席使用，船舶等待等資料。

註：由於本所使用之電腦記憶容量 (memory) 不足，以上之程式

無法一次跑完 (Run)，必須加以切割成數次，但整體之概念均如上述所列，電腦程式之一部分示如附錄 A。

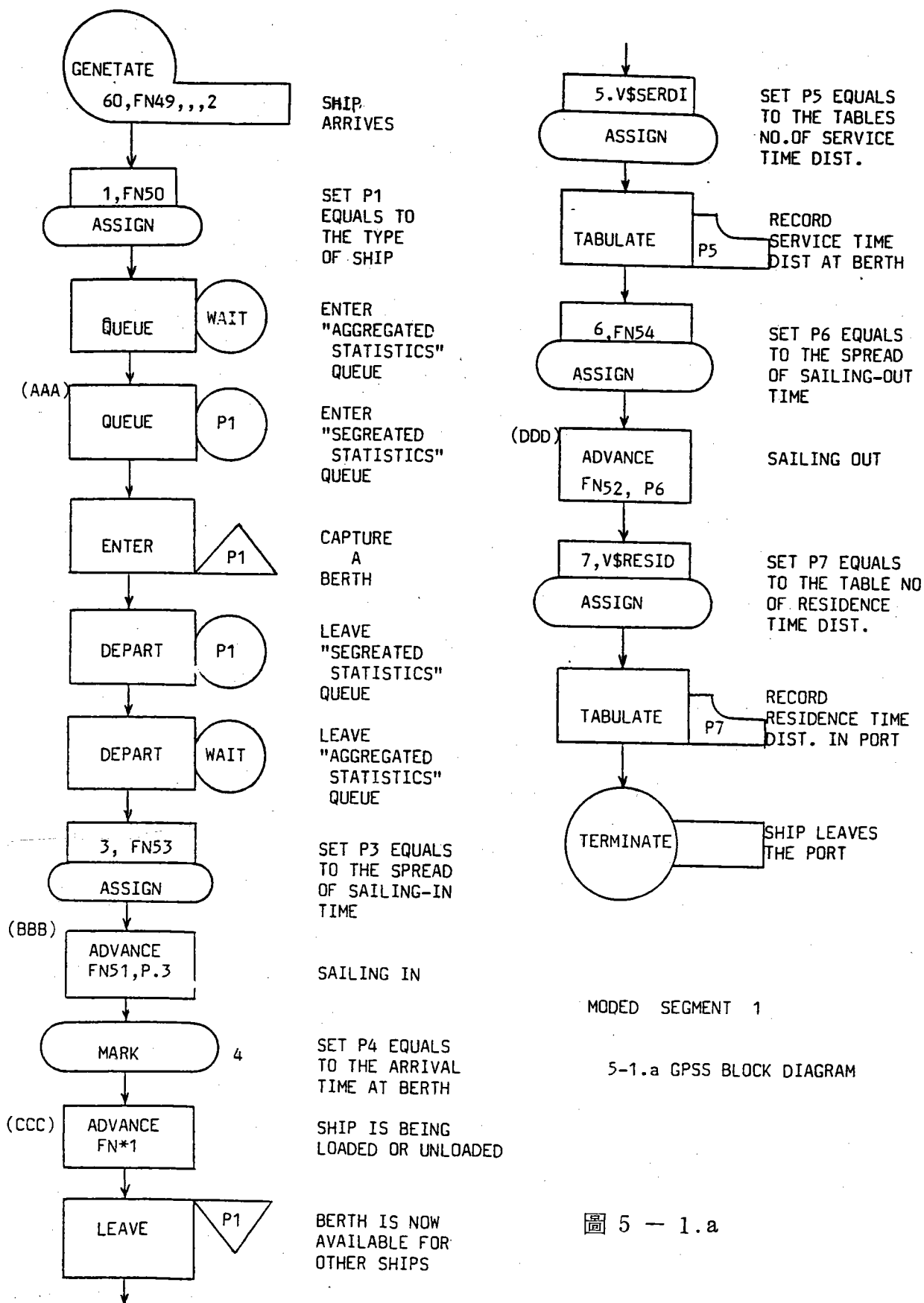


圖 5 - 1.a

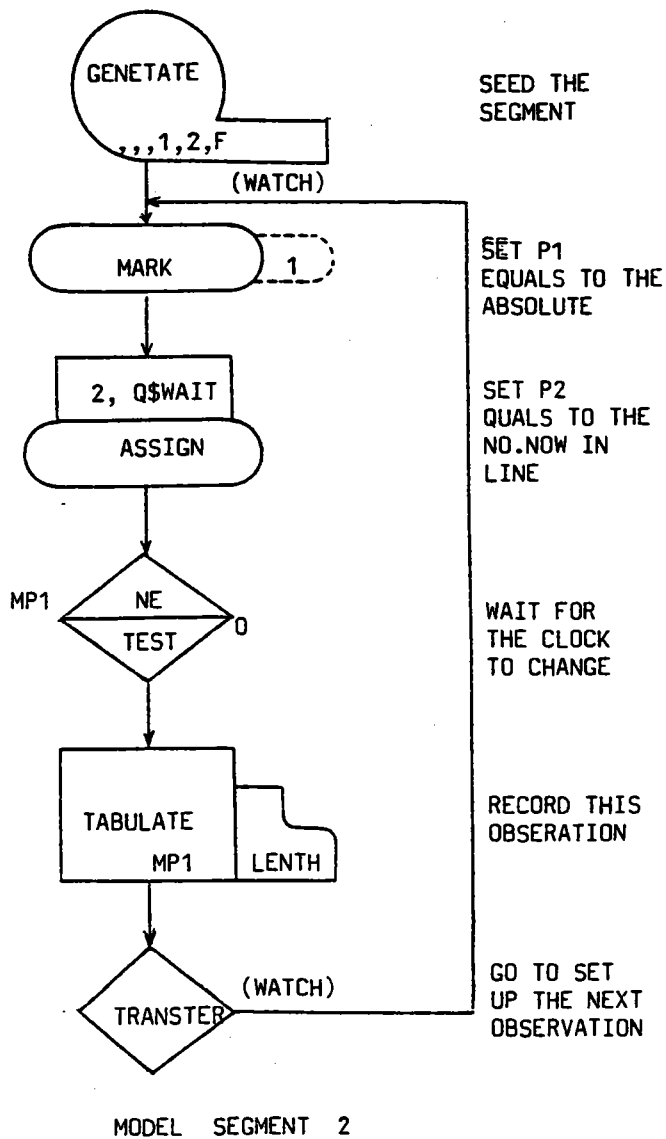


圖 5 - 1. b

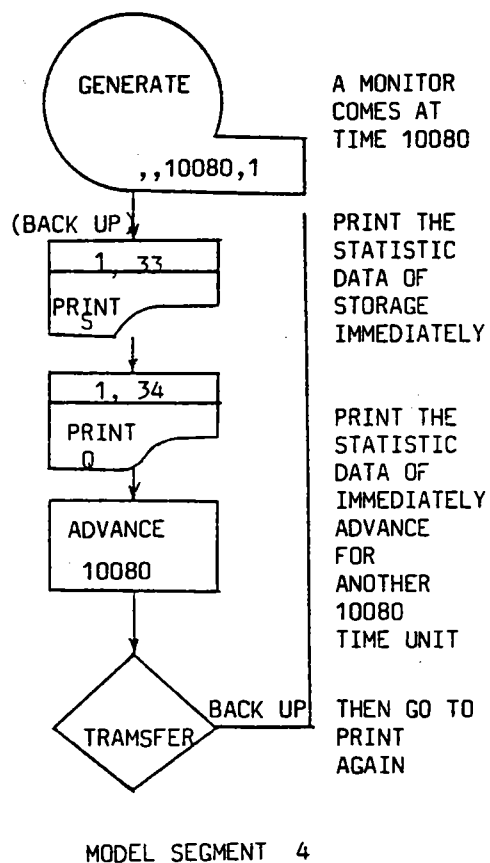
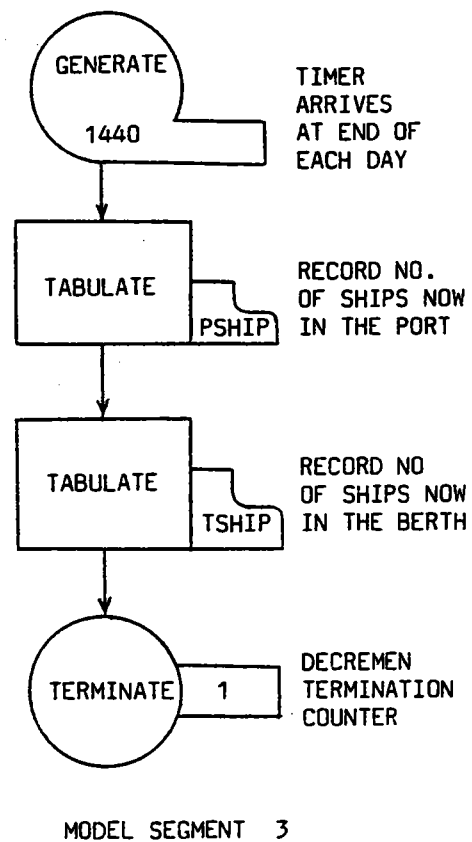


表 5 - 1 高雄港船舶進出港航行時間分析表

碼 頭 編 號	相 對 頻 率	進港航行時間 (min)	出港航行時間 (min)
40,41	.0209	27 ± 15	25 ± 10
43,63	.0640	40 ± 30	30 ± 20
42	.0346	30 ± 17	30 ± 20
64	.0228	52 ± 20	36 ± 20
65,66,67	.0710	52 ± 16	32 ± 20
68	.0447	36 ± 10	28 ± 15
69	.0414	36 ± 15	26 ± 13
70	.0209	33 ± 20	30 ± 20
116	.0427	31 ± 17	25 ± 12
117	.0318	32 ± 18	27 ± 13
46,47	.0085	36 ± 25	30 ± 15
33,44,71	.0184	39 ± 13	30 ± 17
22	.0036	35 ± 15	32 ± 17
25	.0036	44 ± 18	37 ± 15
29	.0035	53 ± 20	36 ± 15
14	.0019	31 ± 15	24 ± 10
111	.0087	48 ± 16	28 ± 13
112	.0264	22 ± 10	20 ± 12
60,61,62	.0451	48 ± 25	36 ± 16
104,105	.0227	51 ± 26	34 ± 14
18,19,20	.0404	27 ± 13	24 ± 12
94,95,96	.0197	35 ± 20	28 ± 14
97,98	.0150	55 ± 27	39 ± 15
85,86,87,88,89	.0026	42 ± 30	31 ± 15
141,142,143,144,145	.0065	25 ± 12	30 ± 17
1	.0344	10 ± 7	14 ± 10
2. 4. 5. 6. 7. 8. 9.10.12.15.16.17.	.1202	25 ± 15	24 ± 14
11	.0002	5 ± 2	10 ± 2
31	.0189	37 ± 15	31 ± 15
32	.0071	42 ± 10	33 ± 13
34,35,36,37,38,39,40	.0765	34 ± 17	28 ± 16
28	.0095	49 ± 19	38 ± 15
45.48.49.50.51.52.53.54.55.56.57.	.1115	42 ± 17	32 ± 15

註：1.進港航行時間為船舶自進港開始至靠好碼頭這段時間，包括使用拖船時間。

2.出港航行時間為船舶離開碼頭至通過港口這段時間。

3.資料來源：高雄港務局，本文分析。

表 5 - 2 高雄港貨櫃碼頭船舶停靠時間分析表

時 間 (小 時)	# 40 # 41	# 43 # 63	# 42	# 64	# 65 # 66 # 67	# 68	# 69	# 70	# 116	# 117
0 - 12	.41	.31	.51	.20	.36	.32	.23	.27	.44	.49
12 - 24	.89	.72	.88	.57	.71	.88	.73	.69	.88	.92
24 - 36	.94	.84	.92	.70	.86	.92	.88	.78	.96	.98
36 - 48	.96	.89	.94	.86	.95	.94	.93	.82	.98	
48 - 60	.97	.92	.95	.97	.97	.97	.95	.87		
60 - 72		.94	.96	.98	.98		.97	.92	.99	.99
84 - 96		.96	.97	.99	.986	.98		.95		
96 - 108	.98	.97			.99		.98		1.00	
108 - 120						.99		.97		1.00
120 - 132	.99	.98								
132 - 144							.99			
144 - 156		.99								
156 - 168								.98		

註：船舶停靠碼頭時間包括海關、聯檢等檢查作業及裝卸作業。

表 5 — 3 高雄港散貨碼頭船舶停靠時間分析表

時 間 (小 時)	# 46	# 33	# 22	# 25	# 29	# 14	# 111	# 112	# 60	# 104	# 18	# 94	# 97	# 85 # 86 # 87 # 88 # 89	# 141 # 142 # 143 # 144 # 145
0 — 12	.0267	.0123	.2188	.0313	.0323	0	0	.0474	.1162	.0050	.2423	.0347	.0076	0	0
12 — 24	.0534	.0123	.4688	.5000	.3226	.3529	.0132	.5690	.5657	.1759	.5747	.4104	.2045	.0435	.035
24 — 36	.0800	.0185	.5000	.7188	.4516	.5882	.0132	.7759	.7702	.3970	.6761	.6358	.3409	.1300	.035
36 — 48	.1333	.0802	.5938	.8125	.5806	.6471	.1448	.8793	.9040	.8292	.8113	.7110	.3864	.1300	.035
48 — 60	.1866	.1790	.6563	.8750	.6774	.7059	.3027	.9224	.9545	.9548	.8507	.8150	.4545	.2170	.105
60 — 72	.1999	.2531	.7188		.7097	.8235	.4211	.9310	.9772	.9799	.8732	.8671	.6288		.175
72 — 84	.3066	.3333	.7812		.7097		.4737	.9396	.9797	.9849	.8986	.9017	.7197	.2170	.193
84 — 96	.3999	.4198	.7812		.7742		.5658	.9655	.9923	.9899	.9211	.9306	.8258	.2605	.263
96 — 108	.4399	.4815	.8125		.8387		.6184	.9655	.9923	.9949	.9465	.9538	.8636	.3475	.333
108 — 120	.4666	.5247			.9355		.6973	.9741	.9974		.9550	.9653	.9015	.3475	.368
120 — 132	.5333	.5741			.9677		.7105	.9741	.9974		.9663	.9769	.9091	.3910	.386

132 — 144	.5733	.5988		.8750				.8158	.9870	1		.9691	.9827	.9545	.4345	.439
144 — 156	.6266	.6420		.9063				.8290	.9870			.9747		.9621	.4780	.474
156 — 168	.6533	.6728	.8125			.9677		.8290	.9913			.9832		.9697	.4780	.509
168 — 180	.7200	.7099	.8750			1.000		.8422				.9888	.9827		.5215	.527
180 — 192	.7333	.7469	.8750	.9063				.8422					.9884	.9697	.6085	.580
192 — 216	.8266	.8086	.9063	.9375				.8817					.9942	.9848	.6955	.633
216 — 240	.8933	.8395	.9375					.8817				.9888	.9942	.9848		.633
240 — 264	.9066	.8765						.8949				.9916	1	.9924		.686
264 — 288	.9466	.8951						.8235				.9944				.686
288 — 312		.9259	.9375	.9375		.8824		.9344	.9913		.9949	.9944		.9924	.6955	.704
> 312	1.000	1.000	1	1		1		1	1		1	1		1	1	1

表 5 - 4 高雄港雜貨、原木及大宗貨碼頭船舶停靠時間分析表

時 間 (小時)	#1	#2 #4 #5 #6 #7 #8 #9 #10#12 #15#16#17	#11	#31	#32	#34#35#36 #37#38#39 #40	#28	#45#48#49 #50#51#52 #53#54#55 #56#57
0 - 12	.4371	.0568	0	.0301	0	.1920	.0602	.0746
12 - 24	.6523	.1420		.2289	.0645	.4033	.4096	.1614
24 - 36	.6887	.3419		.3976	.2258	.5327	.6386	.2288
36 - 48	.7351	.4375		.4639	.3065	.5833	.8072	.3207
48 - 60	.7748	.5587		.5723	.3710	.6518	.8916	.4474
60 - 72	.8543	.6307		.6145	.4032	.6875	.9398	.5342
72 - 84	.8675	.7301		.6867	.4839	.7411	.9639	.6027
84 - 96	.8808	.7689		.7169	.5323	.7619		.6435
96 - 108	.8974	.8210		.7590	.5968	.8021		.6895
108 - 120	.9106	.8475		.7831	.6290	.8155		.7222
120 - 132	.9139	.8854		.8253	.6935	.8333		.7630

132—144	.9272	.9015		.8313	.6935	.8467	.9639	.7886
144—156	.9371	.9129	0	.8373	.7581	.8661	.9759	.8192
156—168	.9437	.9242	0.500	.8434	.7742	.8839	.9880	.8427
168—180	.9470	.9347		.8795	.7903	.9048		.8641
180—192	.9536	.9422		.8916	.8065	.9107		.8784
192—216	.9603	.9545		.9036	.8548	.9405		.9050
216—240	.9669	.9659		.9217	.8548	.9613		.9234
240—264	.9801	.9716		.9398	.8871	.9673		.9336
264—288	.9801	.9773		.9398	.9032	.9777	.9880	.9459
288—312	.9834	.9782	0.500	.9518	.9355	.9807	1	.9561
>312	1	1	1	1	1	1		1

註：#40 碼頭為貨櫃碼頭，但只停 3 艘貨櫃輪，故在此以遠洋雜貨碼頭處理。#11 碼頭全年只停靠 2 艘，原始資料可能有誤。

5 - 1.2 高雄港系統模擬模式驗證

模式驗證主要在比較相同情況下模擬所得之結果，與真實系統之實際操作結果，據而研判模式所能代表真實系統之準確程度。經本文上節模擬之結果與高雄港民國七十六年，貨櫃碼頭、散貨碼頭、雜貨碼頭及原木、煤炭、礦砂等大宗貨碼頭共82座船席實際作業情況比較，結果如次：

1. 來港船舶數目：

民國76年停靠上述82座船席之船舶，實際上總共有 8783 艘；本模式模擬之結果，全年來港之船舶共有 8703 艘，誤差 0.91 %，模擬情形非常良好。

2. 停靠各船席之船舶數目：

停靠各船席之實際船舶數目與模擬之船舶數目亦均非常接近，詳細比較表如下表 5 - 5：

表 5 - 5

船種編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
實際船數	184	562	304	200	624	393	364	184	375	279	75
模擬船數	206	537	315	192	583	380	383	196	380	291	75
船種編號	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
實際船數	162	32	32	31	17	76	232	396	199	355	173
模擬船數	165	23	35	34	20	87	231	368	182	316	173
船種編號	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
實際船數	132	23	57	302	1056	2	166	62	672	83	979
模擬船數	138	21	56	297	1097	2	182	55	671	88	924

3. 停靠碼頭接受服務之平均停靠碼頭時間

各種船席之實際平均停靠時間與模擬之平均停靠碼頭時間比較，示如表 5 - 6：

表 5 - 6

單位：小時

船種編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
實 際	23.31	27.34	19.56	28.84	20.84	23.85	24.71	36.14	15.71	14.18	141.46
模 擬	20.51	26.56	22.62	30.14	23.38	21.54	24.88	31.92	17.93	16.77	145.73
船種編號	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
實 際	135.18	87.23	57.89	54.87	98.20	120.74	33.68	27.74	41.80	38.39	41.59
模 擬	134.92	101.17	80.62	52.30	97.24	119.13	33.20	27.41	39.34	35.46	39.46
船種編號	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
實 際	67.20	260.36	222.88	46.47	74.45	290.94	88.94	127.46	66.96	38.91	98.63
模 擬	62.14	168.83	203.27	42.32	70.70	210.75	88.48	118.02	68.90	38.23	92.92

由表 5 - 6 可知，除少數船種如 14，24 外，實際之平均碼頭服務時間及模擬之平均碼頭服務時間，其誤差大多在 10% 以下，模擬之結果非常良好。

4. 船席使用率

原始資料之船席使用率，經計算後，有些船席之平均使用率竟有超過 100% 的，可見得原始之統計資料於記錄時可能有些微之誤差。不過經本模式模擬後，原始資料之船席使用率如超過 100% 的，其模擬之船席使用率亦非常之高，幾乎達 100%。可見得該種船席之使用率確已達飽和。詳細之實際及模擬船席使用率比較分析，示如表 5 - 7。

表 5 - 7

船種編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
實 際	.490	.877	.679	.658	.544	1.070	1.028	.759	.673	.452	.606
模 擬	.470	.810	.687	.628	.516	.975	.989	.732	.785	.563	.579
船稱編號	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
實 際	.833	.319	.211	.194	.190	1.047	.892	.418	.475	.519	.274
模 擬	.897	.201	.190	.200	.168	.916	.904	.391	.403	.461	.278
船種編號	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
實 際	.506	.137	.290	1.602	.782	.066	1.685	.902	.734	.369	1.002
模 擬	.516	.108	.253	.996	.747	.067	1.000	.713	.721	.397	.910

由以上各點關於到港船舶數目、停靠碼頭接受服務時間及船席使用率等實際狀況與模擬結果之比較分析，可以發現本模式可以將該港埠系統模擬的很好。

5. 每天在港船數之分佈，由於原始資料並無此項統計，故在此僅列出模擬後之結果以供參考。

表 5 - 8

在 港 船 數	天 數	相 對 百 分 比	累 積 百 分 比
20 以下	0	0	0
20 - 40	15	3.01	3.01
40 - 60	349	96.72	99.73
60 - 80	1	0.27	100

本處在港船數指每天晚上12點仍停泊於船席之船舶數目

6. 每個星期之到港船舶數目，經模擬後示如表 5 - 9 及圖 5 - 2，表 5 - 9 中又包括需要等待及不需要等待。所謂不需要等待係指船舶到達港外已有適宜之空船席而言。

表 5 - 9 每週到港船舶數目統計表 單位：艘

星 期	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
到港船數	153	164	186	183	172	154	163	171	167	157	140	170	167
需要等待	101	63	82	115	95	82	100	102	106	96	84	92	86
不需等待	52	101	104	68	71	72	63	69	61	61	56	78	81
星 期	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
到港船數	203	199	156	158	190	156	182	174	164	172	163	157	167
需要等待	128	144	92	93	127	88	124	116	91	113	103	90	74
不需等待	75	55	64	65	63	68	58	58	73	59	60	67	93

星 期	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
到港船數	156	160	178	172	152	181	180	174	139	165	162	168	160
需要等待	89	76	80	90	96	116	106	94	73	73	72	73	87
不需等待	67	84	98	82	56	65	74	80	66	92	90	95	73
星 期	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52
到港船數	157	158	167	133	176	154	191	179	154	164	170	162	186
需要等待	73	70	84	55	87	70	105	109	91	92	78	89	92
不需等待	84	88	85	78	89	84	86	70	63	72	92	73	94

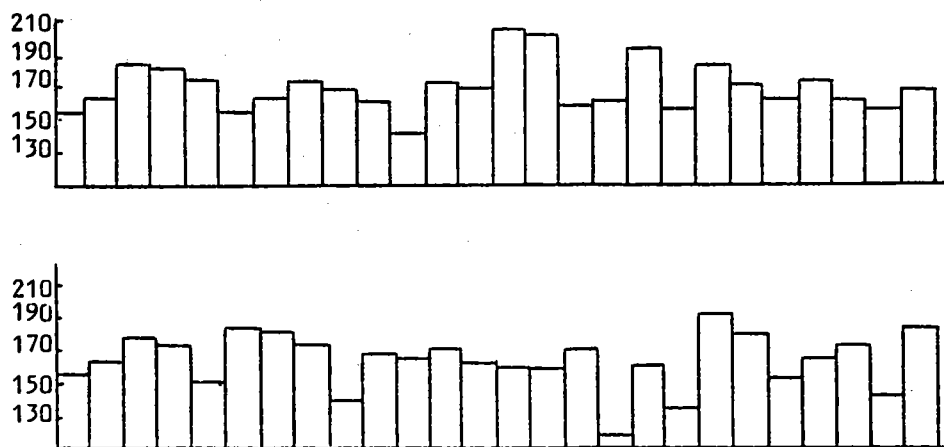


圖 5 - 2 模擬到港船舶數目

7. 船舶之等待時間

由於港務局原始之資料，於船舶到達港外經領港人員引導開始進港後，不論是停泊於碼頭或港內空浮筒即離開等待線，不再計算等待時間，甚至船舶於停靠碼頭開始裝卸後，有時候因為需要而必須再移往浮筒碼頭，亦不予計算等待時間，所以其等待時間應為於港外之等待時間，與本文等待時間之計算基準不同；本文之到港船舶必需等到確實有空船席，才能離開等待線，而且不允許船舶於停靠船席後又再度於浮筒及船席間調動，也就是船舶一經停靠碼頭就必須完成裝卸作業才能離去，接著下一艘船舶才能再停靠。所以本文模擬之船舶等待時間無法與實際情形相比較，不

過於研究各項營運策略對於港埠之影響時，仍可因模擬之基準相同，而據以分析各項策略之良窳。

5 - 1.3 改善策略之模擬分析

在船席作業系統中，影響營運績效之主要因素有：船舶之到達率、船席指派制度、每日工作時數、裝卸效率及船席數等，不同之因子數值即代表不同之策略。根據上一節船席使用率之實際狀況及模擬結果可以發現：

1. 就貨櫃碼頭部份（船種編號 1 ~ 10）

2 號（#43、#63 公用碼頭）及 6 號（#68 海陸公司專用碼頭）7 號（#69 美國總統輪船公司專用碼頭）之使用率均已偏高，尤其是 #68 及 #69 之使用率均已達飽和。而 1 號（#40，#41 公用碼頭，其實 #40 很少有貨櫃輪停泊）及 5 號（#65，#66，#67 中國航運公司專用碼頭）10 號（日本宏洋公司專用碼頭）之船席使用率則尚低。

2. 就散貨碼頭部份（船種編號 11 ~ 25）

除 12 號（#33，#44，#71 穀類碼頭）及 17 號、18 號（#111，#112 台電專用煤碼頭）之船席使用率已超過 0.7 外，其餘之各專用碼頭船席使用率均尚低。

3. 就雜貨及原木等大宗貨碼頭部份（船種編號 26 ~ 33）

除了 28 號（#11 香港線）30 號（#32 主要供米外銷）及 32 號（#28 駁運原木）之船席使用率低於 0.7 外，其餘碼頭之船席使用率均已偏高。

〔註〕：依據參考文獻〔5〕高雄港各類船席之最適船席使用率分別為貨櫃 0.7，什貨 0.75，散貨 0.60，穀類 0.48，石油 0.65，其它 0.52，本文為方便起見一律以擁擠率 0.7 為基準。

為解決已存在之某些碼頭船席使用率過高之問題，及為因應未來船舶數目增加後可能造成之問題，本文乃就下列各種策略，分別分析其對於港埠之影響：

- (1) 就現有船席之調配加以調整。
- (2) 改變船舶到達時間間隔分佈。

(3)提高碼頭裝卸效率。

(4)擴建船席。

(1)就現有之船席調配加以調整

本文擬採行之船席調配調整如下：

1. #40 碼頭專門作為船上有自備吊桿之貨櫃輪使用。
2. #41 碼頭增建橋式起重機而與 #43 及 #63 貨櫃碼頭聯合使用。
3. #1 及 #11 碼頭與 #2, #4, #5, #6, #7, #8, #9, #10, #12, #15, #16, #17 共同作為停靠近洋雜貨船使用。
4. #40 碼頭不停靠遠洋雜貨船，原來專供米外銷之 #32 碼頭改與遠洋雜貨船併用。
5. #28 碼頭加以浚深，以供大宗貨船停泊。
6. #22 台鋁已不承租，目前為備用船席，中油正準備承租。但中油原有之船席其使用率均不高，再承租此碼頭似閒浪費。由於此碼頭水深達 10.5 m，因此是否可考慮改建為大宗貨碼頭？但本文模擬時，仍不考慮改變其用途。

經調整後之船席使用率及平均等待時間與未調整前之比較情形如下表 5-10 此處僅對貨櫃碼頭及雜貨、大宗貨碼頭作調整比較。

調 整 前				調 整 後			
碼 頭	船舶數	船 席 使用率	平 均 等 待	碼 頭	船舶數	船 席 使用率	平 均 等 待
#40 #41	206	0.470	22.79	#40	204	0.493	18.76
#43 #63	537	0.810	44.87	#41 #43 #63	544	0.556	6.51
#1	297	.996	1481	聯合使用	1428	.836	16.36
#2-#10, #12 #15-#17	1097	.747	6				
#11	2	.067	0				
#32	55	.713	123	#32	722	.803	22
#34 ~ #40	671	.721	14	#34 ~ #39			
#28	88	.397	29	聯合使用	1006	.924	116
#45 #48 #49 #50 ~ #57	924	.91	70				

由上表之分析，可見得經調整船席使用情形後，就平均等待時間及船席平均使用率而言，均比未調整時為佳。

而全港船舶之平均等待時間，調整前後分別為 162 小時及 116 小時。

(2) 改變船舶到達時間間隔分佈

民國 76 年高雄港之來港時間間隔約為 60 分鐘，本文特將來港時間間隔縮短為 55 分，50 分，45 分，比較在船舶逐漸增加之情形下，整個港之平均等待時間及船席使用率情況，其結果如表 5-11，5-12 所示。

表 5-11 (船席調整前)

船 種 編 號	船 席 使 用 率			
	來 港 船 舶 時 間 間 隔 (min)			
	60	55	50	45
1	.470	.570	.594	.619
2	.810	.943	1	1
3	.687	.792	.757	.979
4	.628	.600	.865	.771
5	.516	.635	.666	.709
6	.975	1	1	1
7	.989	1	1	1
8	.732	.720	.851	.682
9	.785	.883	.902	1
10	.563	.614	.686	.780
11	.579	.563	.755	.811
12	.897	.972	.919	1
13	.201	.338	.335	.208
14	.190	.323	.335	.314
15	.200	.221	.245	.321
16	.168	.073	.093	.245
17	.916	.922	.990	1
18	.904	.911	.963	.981
19	.391	.459	.492	.574
20	.403	.549	.513	.687
21	.461	.497	.551	.688
22	.278	.319	.318	.299
23	.516	.522	.609	.576
24	.108	.097	.117	.116
25	.253	.362	.335	.436
26	.996	1	1	1
27	.747	.842	.85	.954
28	.067	.094	.127	.184
29	1.000	1	1	1
30	.713	.968	.783	.986
31	.721	.748	.855	.948
32	.397	.433	.408	.605
33	.910	.994	1	.995

表 5-12 (船席調整後)

船種編號	船 席 使 用 率			
	來 港 船 舶 時 間 間 隔 (min)			
	60	55	50	45
1	.493	.512	.463	.539
2	.556	.669	.784	.818
3	.653	.859	1	.929
4	.590	.718	.765	.841
5	.516	.598	.699	.764
6	1	1	1	1
7	.999	1	1	1
8	.633	.781	.804	.690
9	.734	.834	.938	.986
10	.567	.648	.706	.720
11	.717	.631	.666	.757
12	.867	.932	.937	.986
13	.178	.257	.304	.256
14	.177	.117	.201	.218
15	.160	.212	.360	.289
16	.264	.122	.279	.134
17	.985	.909	.903	.962
18	.904	.881	.989	1
19	.400	.475	.503	.538
20	.460	.580	.493	.610
21	.510	.548	.587	.592
22	.262	.299	.310	.345
23	.470	.522	.559	.775
24	.103	.113	.126	.116
25	.208	.328	.337	.357
26	.836	.833	.998	.999
27	1	1	1	1
28	.803	.818	.931	.998
29	.924	.961	1	1

表 5-13 船席調整前後全港船舶平均等待時間比較

	船 舶 到 達 時 間 間 隔 (min)			
	60	55	50	45
調 整 前	162(hr)	257	426	524
調 整 後	116(hr)	168	321	451

由表 5 - 11 , 5 - 12 可發現, 隨著船舶到達時間之縮短, 船席之使用率大多隨著增加。經過船席調整後之船舶平均等待時間雖然比未調整前減少約 $\frac{1}{3}$, 但隨著船舶到達數之增加, 其效果則逐漸降低, 當時間間隔為每 45 分鐘來一艘船時, 只能減少約 $\frac{1}{8}$ 之平均等待時間 (如表 5 - 13) 。而由表 5 - 11 , 5 - 12 , 有許多之船席使用率均已超過 0.7 , 甚至 0.8 , 0.9 的, 除非散裝碼頭能大量改建, 否則船舶之擁擠情形將更嚴重, 因為以目前之情形, 船舶之平均等待時間已超過一星期。為改善這種現象必須提高碼頭裝卸效率或擴建碼頭船席。

(3) 提高碼頭之裝卸效率

為瞭解提高裝卸效率對船席使用率及平均等待時間之影響, 本文分別以提高 10 % 及 20 % 之裝卸效率作比較分析, 結果如表 5 - 14 , 5 - 15 所示。表 5 - 14 為未經調整船席靠泊之狀況; 表 5 - 15 為經本文調整船席靠泊又提高裝卸效率後之狀況。此處僅選擇船席使用率較高的作比較分析。

表 5 - 14 A、B 分別表示提高裝卸效率 10 % , 20 %

船 種 編 號	船 席 使 用 率			
	來 港 船 舶 時 間 間 隔			
	60 分		50 分	
	A	B	A	B
2	0.756	.725	.933	.784
6	0.889	.753	.981	.974
7	.951	.914	.969	.962
8	.495	.423	.713	.618
9	.621	.616	.822	.819
12	.821	.606	.930	.770
17	.810	.837	.918	.935
18	.731	.809	.838	.885
26	.991	.997	1	.992
27	.652	.611	.784	.735
29	1	.999	1	1
33	.833	.770	.98	.912

表 5 - 15 A、B 定義同表 4 - 14

船 種 編 號	船 席 使 用 率			
	來 港 船 舶 時 間 間 隔			
	60 分		50 分	
	A	B	A	B
6	.842	.738	1	.888
7	1	.865	1	.984
9	.751	.649	.84	.744
12	.812	.683	.99	.836
17	.806	.743	.857	.889
18	.758	.617	.976	.790
26	.724	.611	.878	.795
27	1	.988	1	.978
28	.605	.629	.846	.744
29	.858	.736	.992	.883

表 5 - 16 提高碼頭裝卸效率對船舶等待之影響

	船 舶 到 達 時 間 間 隔					
	60 分			50 分		
	A	B	C	A	B	C
調整前	162	107	75	426	199	125
調整後	116	60	29	321	168	87

A, B, C 分別為原來之碼頭裝卸效率及提高 10%, 20% 之裝卸效率。

由表 5 - 16, 可以很明顯的看出來, 提高碼頭裝卸效率, 可以降低船舶之等待時間, 但比較表 5 - 11, 5 - 14 及表 5 - 12, 5 - 15 又可以發現, 提高碼頭裝卸效率, 雖然大體上可以降低碼頭之船席使用率, 但並非絕對的。由表 5 - 14, 5 - 15 之船席使用率分析, 雖然提高 20% 之裝卸效率, 某些船席之使用仍然

幾乎達到飽和；而其平均等待時間雖然有降低，卻仍然很長。所以，如果低使用率之散貨碼頭無法改建，而碼頭之裝卸效率無法再進一步提高時，就只有考慮擴建或增建碼頭了。

(4) 擴建或增建碼頭

由(3)之討論可以知道有許多之船席，其使用率已接近滿檔，而且提高碼頭之裝卸效率其效果仍不顯著，主要乃因為來港船舶太多之緣故。為此，本文乃以增建船席之方式來討論其對整個港埠之影響。本文初步擬定之增建方式簡述如次：

(a) 船種編號 2、3 之貨櫃碼頭各增加 1 船席。

(b) 船種編號 6～9 之貨櫃碼頭，各增加 1 船席。

計貨櫃碼頭共增建 6 座船席。

(c) 船種編號 12 之穀類碼頭增加 1 船席使成為 4 船席。

(d) 船種編號 17、18 之台電專用碼頭各增加 1 船席成為 2 船席。

(e) 船種編號 26 之雜貨碼頭增加 1 船席成為 2 座船席。

(f) 船種編號 27 之近洋雜貨碼頭增加 1 船席，成為 13 座船席。

(g) 船種編號 29 之蔬菜冷凍碼頭增加 1 船席，成為 2 座船席。

(h) 船種編號 33 之大宗貨碼頭增加 1 船席，成為 12 座船席。

經上述方案增建後與現況之比較如下表 5-17：

表 5-17 增建前後船席使用率比較表（船席調配未經本文調整）

船 種 編 號	來 港 船 舶 時 間 間 隔			
	60 分		50 分	
	增 建 前	增 建 後	增 建 前	增 建 後
2	.81	.611	1	.703
3	.687	.402	.757	.431
6	.975	.489	1	.631
7	.989	.555	1	.618
8	.732	.293	.851	.384
9	.785	.370	.902	.453
12	.897	.674	.919	.832
17	.916	.472	.990	.614
18	.904	.419	.963	.464
26	.996	.629	1	.865
27	.747	.663	.85	.811
29	1	.785	1	.842
33	.91	.859	1	.998

船席之調配經本文前述之方案調整後，由於僅調整公用碼頭，無法顧及出租專用碼頭，故仍有許多碼頭之船席亦幾乎達滿檔，故仍需作部份之增建。初步擬定之方案如下：

- (a) 船種編號為 6、7 之貨櫃碼頭各增建 1 船席。
- (b) 船種編號為 12 之穀類碼頭增建 1 船席。
- (c) 船種編號為 17、18 之台電出租專用碼頭各增建 1 船席。
- (d) 船種編號為 26 之近洋雜貨碼頭增建 1 船席。
- (e) 船種編號為 27、28、29 之碼頭各增建 1 船席。

經上述方案增建後與增建前之比較如下 5-18。

表 5-18 增建前後船席使用率比較表（船席調配經本文調整後）

船種編號	來 港 船 舶 時 間 間 隔			
	60 分		50 分	
	增 建 前	增 建 後	增 建 前	增 建 後
6	1	.531	1	.600
7	.999	.536	1	.683
12	.867	.620	.937	.783
17	.985	.433	.903	.618
18	.904	.482	.989	.540
26	.836	.779	.908	.894
27	1	.879	1	.900
28	.803	.641	.931	.827
29	.924	.889	1	1

由表 5-17 可知經擴建船席後，原本擁擠之碼頭，其使用率均已降低，惟編號 12 之穀類碼頭及編號 26、27、29、33 之雜貨及大宗貨碼頭在船舶到達時間為 50 分 / 艘時，又已呈現擁擠現象，另外文由表 5-11，此時編號為 2、4、8、9 之船席亦需一併再增建船席，如各再增建一座船席，其船席之使用率分別列於表 5-19，總計此二階段之增建共增加 22 座船席。計貨櫃船席增加 10 座，穀類船席增加 2 座，雜貨及大宗貨船席增加 10 座。

由表 5-18，編號 27、29 之船席在第一階段增建後，船席使

用率仍然偏高；當船舶到達時間間隔為50分／艘時，編號26、28之船席使用率亦已大幅提高，需再進一步增建；另外，由表5-12知編號為3甚至編號為8及9之船席亦已須要增建，故二個階段共須增建16座船席，其中貨櫃船席增加5座，穀類增加1座，其餘為雜貨及大宗貨船席。不但其增建船席少於未調整前，而且其增建時程亦較延後。經二階段之增建後，其船席使用率如表5-19所示。由表5-19可見，雖經二階段之增建，大宗貨船席使用率仍偏高。

表 5-19 經二階段增建後之船席使用率 50分/艘

調 整 前		調 整 後	
船 種 編 號	船席使用率	船 種 編 號	船席使用率
1	.557	1	.502
2	.719	2	.650
3	.418	3	.504
4	.800	4	.449
5	.650	5	.641
6	.513	6	.634
7	.630	7	.665
8	.377	8	.344
9	.456	9	.498
10	.659	10	.632
11	.746	11	.674
12	.798	12	.866
13	.221	13	.245
14	.255	14	.228
15	.176	15	.296
16	.181	16	.097
17	.619	17	.490
18	.510	18	.543
19	.483	19	.480
20	.579	20	.571
21	.533	21	.550
22	.286	22	.307
23	.675	23	.601
24	.111	24	.183
25	.360	25	.382
26	.580	26	.841
27	.755	27	.696
28	.119	28	.685
29	.626	29	.934
30	.495		
31	.773		
32	.434		
33	.959		

5 - 2.1 花蓮港系統模擬

花蓮港由於夜間港口有管制措施，所以在程式設計上與高雄港稍有不同，1.它必須有一個控制港口開放及關閉之步驟，本模式利用二個 LOGIC BLOCK來控制。於每日下午六時關閉港口 LOGIC S PORT，而於第二天早上七時港口開放 LOGIC R PORT。2.船舶到達港口利用 Boolean Variable BV\$ GOIN 來檢查港口是否開放？是否有拖船？是否有空船席？如果答案都是肯定的，則船舶可以進港駛往船席裝卸貨物，否則在港外等待。3.船舶裝卸完畢即使夜間亦可以出港，所以不再檢查港口是否開放？而只檢查是否有拖船？如果有，即可出港；否則仍必須停留於碼頭等待。除以上所述三點外，其餘部份大致與模擬高雄港之模式相同。

- 1.花蓮港之到港船舶時間間隔，經檢定後符合負指數分佈，如表 5 - 20 及圖 5 - 2 所示。
- 2.船舶之進港及出港航行時間平均約為 30 分鐘及 25 分鐘。
- 3.花蓮港民國七十七年船舶停靠碼頭之時間分佈情形示如表 5 - 21，平均為 53 小時，如點繪成圖則如圖 5 - 3 所示。由圖可見其服務時間之分佈，不能以 $k = 2$ 之 Erlang dist. 來表示。
- 4.由於停留碼頭之服務時間不滿足特定之函數分佈，所以無法利用現有之等待模式加以處理，只能採用系統模擬之方式來研究船舶之進出港及船席之裝卸情形。花蓮港民國七十七年到港之船舶分佈，經分析後如表 5 - 22 所示。停留各碼頭之裝卸服務時間則如表 5 - 23。

整個 GPSS 系統模式之方塊流程圖示如圖 5 - 3，其各部分之意義簡述如下：

Model Segment 1：模擬船舶進出港之主程式。

FN\$XPDIS：船舶到港符合負指數分佈。

FN\$TYPE：各類船舶所占之百分比。

BV\$GOIN：船舶進港之控制條件，同時符合 1.有空船席 2.港口開放 3.有拖船等條件才能進港。

BV\$GOOUT：船舶出港之控制條件，只要有拖船即可。

Model Segment 2：每七天追蹤一次全港各船席之使用率及船舶等

待時間等分佈資料。

Model segment 3 : 控制船舶開放與關閉之程式 Model segment 3 與 Model segment 1 彼此藉由 Boolean Variable BV\$GOIN 而相互影響，而且控制港口開放與關閉之程式有最高之優先權。

Model segment 4 : 統計每天午夜時仍在港之船舶數目。

船舶到港時間間隔平均為 9.84 小時 / 艘

如船舶到港時間間隔可以負指數分佈則為

$$f(t) = \frac{1}{9.84} e^{-\frac{1}{9.84} t}$$

自由度 = $20 - 1 - 1 = 18$

查表 $\chi^2(.050, 18) = 28.8693$

$\Sigma = 20.617$, $\therefore 20.617 < 28.8693$

$\therefore$ 花蓮港民國七十七年船舶到港時間間隔可以負指數分佈表示

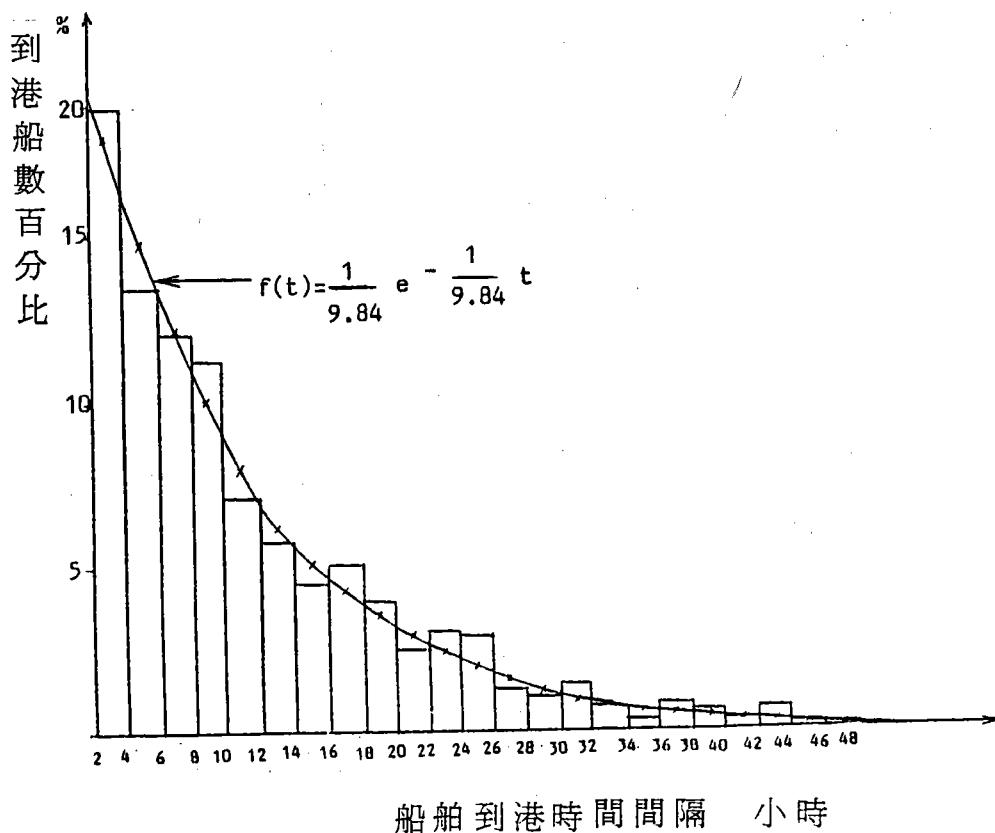


圖 5 - 2 花蓮港77年船舶到港時間間隔分佈圖

表 5 - 21 花蓮港民國七十七年船舶停靠碼頭時間分析表

停 靠 時 間 (hr)	船 數 (艘)	實際百分比 %	Erlang dist. %	理 論 船 數 (艘)
0 - 12	173	25.59	7.69	68
12 - 24	181	20.50	15.29	135
24 - 36	181	20.50	16.36	145
36 - 48	47	5.32	14.66	130
48 - 60	59	6.68	12.03	106
60 - 72	16	1.81	9.39	83
72 - 84	45	5.09	7.07	62
84 - 96	15	1.70	5.21	46
96 - 108	29	3.28	3.76	33
108 - 120	17	1.93	2.68	24
120 - 132	21	2.38	1.89	17
132 - 144	10	1.13	1.32	12
144 - 156	18	2.04	0.91	8
156 - 168	5	0.57	0.63	6
> 168	27	7.48	1.11	9

資料來源：花蓮港務局，本文分析。

平均停靠時間 = 53.29 hr，如能以 Erlang dist. $K=2$ 來表示則應為：

$$\text{Erlang dist.} = \frac{(0.03753)^2}{\Gamma(2)} \cdot t \cdot e^{-0.03753t}$$

經 χ^2 檢定後判定花蓮港 77 年船舶停靠碼頭之時間分佈不能以 $K=2$ 之 Erlang dist. 來描述。

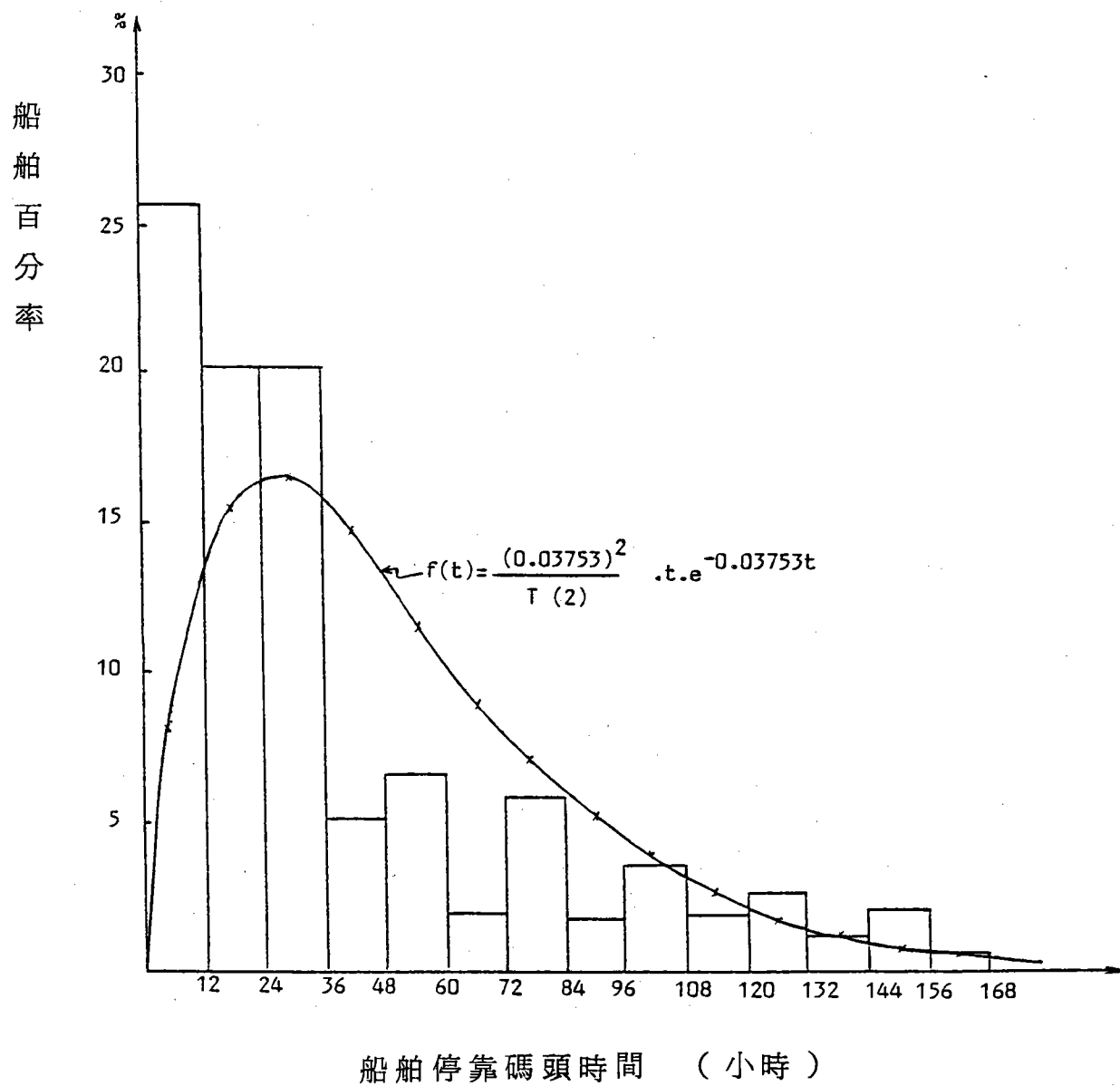


圖 5 - 3 花蓮港 77 年船舶停靠碼頭時間分佈圖

表 5 - 20 花蓮港民國七十七年船舶到港時間間隔分析表

(1) 時間間隔 (hr)	(2) 實際船數 (艘)	(3) 實際百分比 (%)	(4) 理論百分比 (%)	(6) 理論船數 (艘)	(6) $\frac{[(2)-(5)]^2}{(5)}$
0 - 2	172	19.46	18.16	161	0.752
2 - 4	119	13.46	14.86	131	1.099
4 - 6	109	12.33	12.10	107	0.037
6 - 8	100	11.31	9.94	88	1.636
8 - 10	62	7.01	8.14	72	1.389
10 - 12	50	5.66	6.64	59	1.373
12 - 14	39	4.41	5.44	48	1.688
14 - 16	45	5.09	4.46	40	0.625
16 - 18	35	3.96	3.64	32	0.281
18 - 20	22	2.49	2.98	26	0.615
20 - 22	28	3.17	2.44	22	1.636
22 - 24	26	2.94	2.00	18	3.556
24 - 26	12	1.36	1.64	14	0.286
26 - 28	10	1.13	1.34	12	0.333
28 - 30	13	1.47	1.10	10	0.900
30 - 32	7	0.79	0.90	8	0.125
32 - 34	3	0.34	0.74	7	2.286
34 - 36	7	0.79	0.60	5	0.800
36 - 38	6	0.68	0.50	4	1.000
38 - 40	2	0.23	0.40	20	0.200
40 - 42	5	0.57	0.32		
42 - 44	3	0.34	0.26		
44 - 46	2	0.23	0.22		
46 - 48	1	0.11	0.18		
> 48	5	0.57	0.14		

備註：資料來源：花蓮港務局，本文分析。

$\Sigma = 20.617$

表 5 - 22 花蓮港 77 年船舶停靠碼頭分析表

碼 頭 號 碼	船 數 (艘)	累積百分比 %
1	2	.226
2	28	3.394
3	43	8.258
4	53	14.253
5	151	31.335
6	34	35.181
7	63	42.308
8	57	48.756
9	0	48.756
10	185	69.683
11	91	79.977
12	0	79.977
13	18	82.014
14	39	86.425
15	37	90.611
16	0	90.611
17	20	92.873
18	38	97.172
19	25	100
總 計	884	

註：1.航行大陸之「東方之音」客輪自 9 月入港後即未駛出，一直停泊於 # 1 碼頭，此處不加以計入。

2.拖駁船或推駁船花港局之原始資料各以 2 艘計；本文則視其為單一船舶計算。

3.資料來源：花蓮港務局，本文分析。

表 5 - 23 花蓮港民國七十七年各類碼頭船舶停靠時間分析表

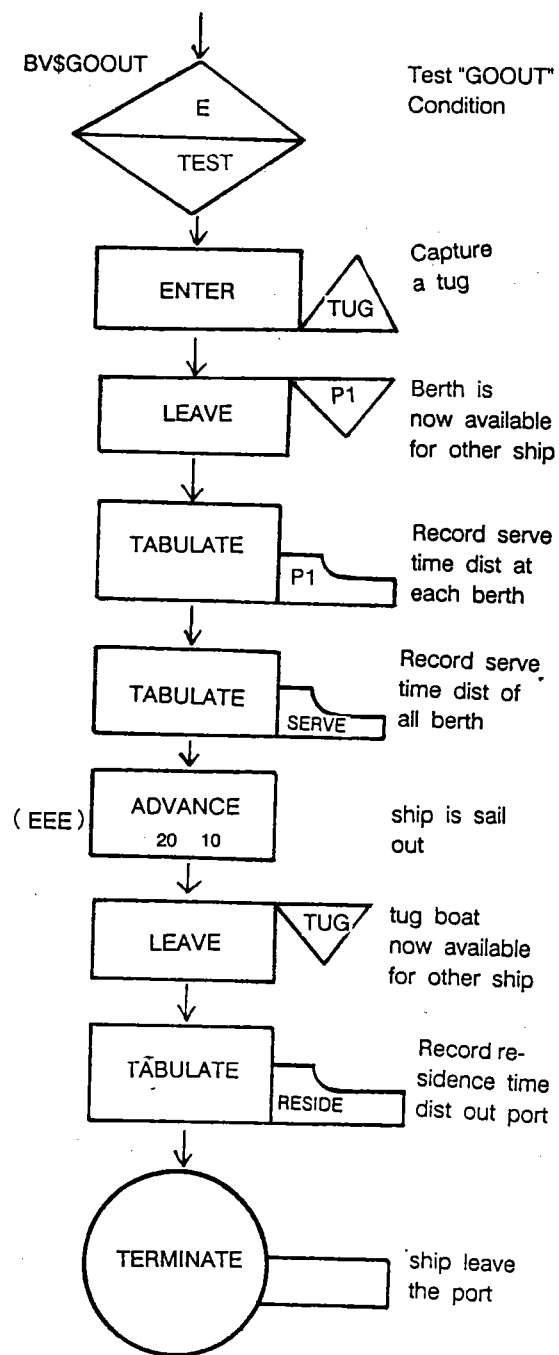
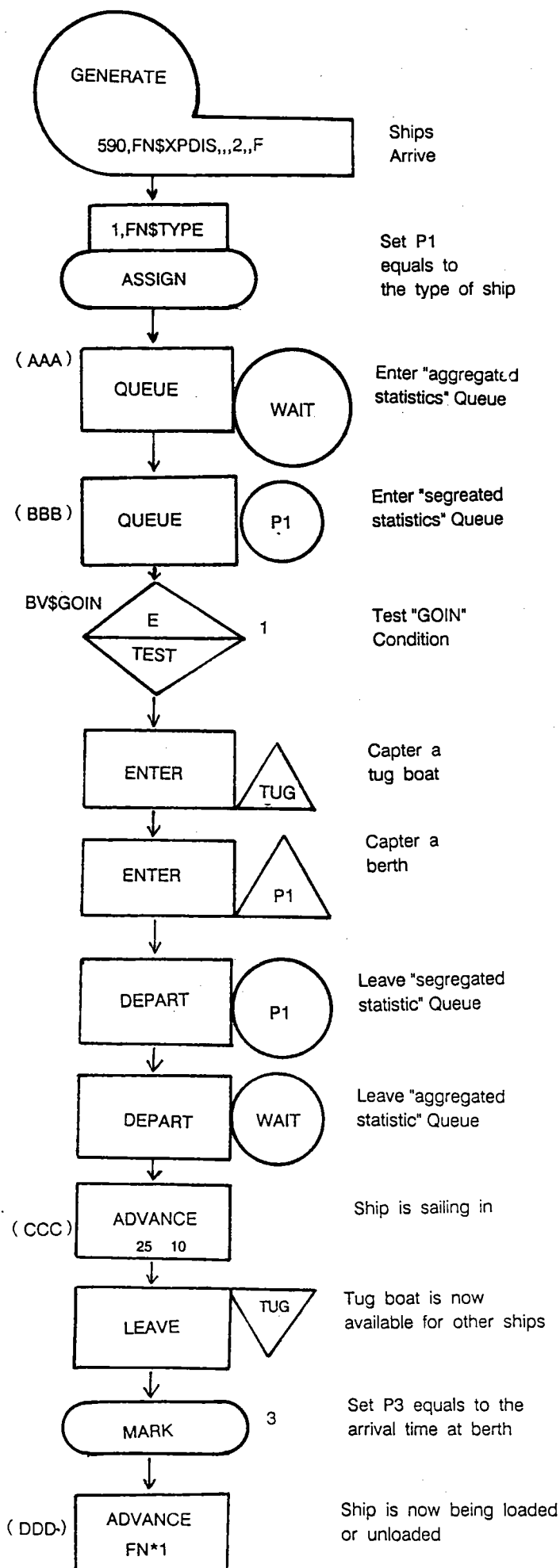
wharf no. time (hr)	2	3	4	5	6	7	8	10	11	13 14 15	17	18	19
0 ~ 12	$\frac{3.57}{1}$	$\frac{4.65}{2}$	$\frac{1.89}{1}$	$\frac{45.03}{68}$	$\frac{2.94}{1}$	$\frac{11.11}{7}$	$\frac{12.28}{7}$	$\frac{9.29}{17}$	$\frac{72.53}{66}$			$\frac{2.63}{1}$	$\frac{4}{1}$
12 ~ 24	$\frac{14.28}{3}$	$\frac{27.91}{10}$	$\frac{18.87}{9}$	$\frac{66.89}{33}$		$\frac{30.16}{12}$	$\frac{63.16}{29}$	$\frac{60.00}{94}$	$\frac{76.92}{4}$			$\frac{5.27}{1}$	
24 ~ 36	$\frac{24.99}{3}$	$\frac{67.44}{17}$	$\frac{49.06}{16}$	$\frac{89.40}{34}$	$\frac{17.65}{5}$	$\frac{71.43}{26}$	$\frac{92.98}{17}$	$\frac{84.86}{46}$	$\frac{83.52}{6}$	$\frac{4.26}{4}$	5 1	$\frac{26.32}{8}$	$\frac{8}{1}$
36 ~ 48	$\frac{32.13}{2}$	$\frac{69.77}{1}$	$\frac{54.72}{3}$	$\frac{95.36}{9}$	$\frac{32.35}{5}$	$\frac{77.78}{3}$		$\frac{91.35}{12}$	$\frac{85.71}{2}$	$\frac{5.32}{1}$	10 1	$\frac{42.11}{6}$	
48 ~ 60	$\frac{53.56}{5}$	$\frac{83.72}{6}$	$\frac{66.04}{6}$	$\frac{96.69}{2}$	$\frac{41.18}{3}$	$\frac{82.54}{3}$	$\frac{98.25}{3}$	$\frac{95.14}{7}$	$\frac{90.11}{4}$	$\frac{11.71}{6}$	15 1	$\frac{57.89}{6}$	$\frac{36}{7}$
60 ~ 72	$\frac{60.70}{2}$	$\frac{86.05}{1}$	$\frac{67.92}{1}$	$\frac{98.68}{3}$	$\frac{47.06}{2}$			$\frac{96.22}{2}$	$\frac{92.31}{2}$	$\frac{13.83}{2}$	20 1		
72 ~ 84	$\frac{74.99}{4}$	$\frac{90.70}{2}$	$\frac{79.25}{6}$		$\frac{67.65}{7}$	$\frac{88.89}{4}$		$\frac{96.76}{1}$	$\frac{94.51}{2}$	$\frac{23.40}{9}$	25 1	$\frac{65.79}{3}$	$\frac{40}{1}$
84 ~ 96			$\frac{84.91}{3}$		$\frac{73.53}{2}$	$\frac{90.48}{1}$		$\frac{97.30}{1}$		$\frac{26.60}{3}$	35 2	$\frac{71.05}{2}$	$\frac{44}{1}$
96 ~ 108	$\frac{89.27}{4}$	$\frac{93.02}{1}$	$\frac{92.45}{4}$			$\frac{92.06}{1}$		$\frac{97.84}{1}$	$\frac{95.60}{1}$	$\frac{37.23}{10}$	45 2	$\frac{73.68}{1}$	$\frac{56}{3}$

108 ~ 120	$\frac{92.84}{1}$			$\frac{99.34}{1}$	$\frac{79.42}{2}$	$\frac{93.65}{1}$		$\frac{98.38}{1}$		$\frac{43.62}{6}$	$\frac{50}{1}$	$\frac{78.95}{2}$	
120 ~ 132		$\frac{95.35}{1}$	$\frac{96.23}{2}$		$\frac{82.35}{1}$		$\frac{100}{1}$	$\frac{98.92}{1}$		$\frac{53.19}{9}$	$\frac{65}{3}$	$\frac{84.21}{1}$	$\frac{64}{2}$
132 ~ 144	$\frac{96.41}{1}$				$\frac{88.24}{2}$	$\frac{95.24}{1}$				$\frac{57.45}{4}$	$\frac{70}{1}$	$\frac{86.84}{1}$	$\frac{68}{2}$
144 ~ 156		$\frac{97.67}{1}$			$\frac{94.12}{2}$	$\frac{96.83}{1}$		$\frac{99.46}{1}$	$\frac{96.70}{1}$	$\frac{63.83}{6}$	$\frac{75}{1}$	$\frac{92.11}{2}$	$\frac{72}{1}$
156 ~ 168										$\frac{68.09}{4}$			$\frac{76}{1}$
168 ~ 180	$\frac{100}{1}$								$\frac{100}{3}$	$\frac{80.86}{12}$			$\frac{80}{1}$
180 ~ 192						$\frac{98.41}{1}$				$\frac{81.92}{1}$		$\frac{94.74}{1}$	
192 ~ 204				$\frac{100}{1}$	$\frac{97.06}{1}$					$\frac{85.11}{1}$			
204 ~ 216													
216 ~ 228										$\frac{88.30}{3}$	$\frac{80}{1}$		
228 ~ 240											$\frac{85}{1}$	$\frac{97.37}{1}$	
7240		$\frac{100}{2}$	$\frac{100}{2}$		$\frac{100}{1}$	$\frac{100}{2}$		$\frac{100}{1}$		$\frac{100}{9}$	$\frac{100}{3}$	$\frac{100}{1}$	$\frac{100}{5}$

註：1. 累積百分比 (%)

船數 (艘)

2. # 1 碼頭因水滲及碼頭損壞，全年只停 2 艘，目前由“東方之音”停泊。



MODEL SEGMENT 1

Fig 5-3.a GPSS BLOCK DIAGRAM

圖 5 - 3 . a GPSS BLOCK DIAGRAM

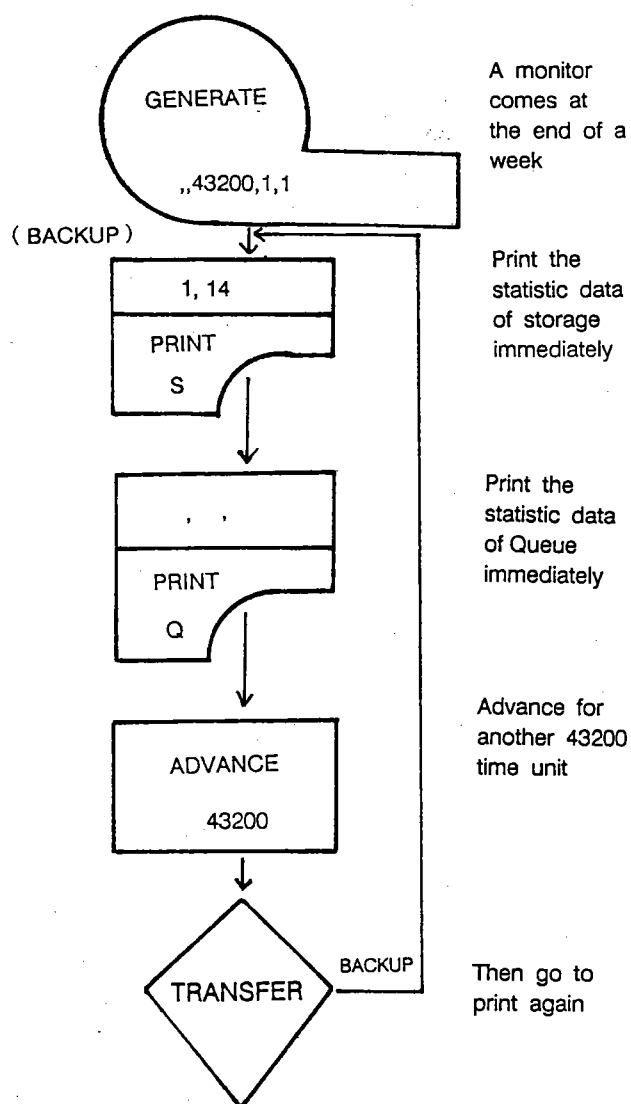


Fig 5-3.b MODEL SEGMENT 2

圖 5 - 3.b MODEL SEGMENT 2

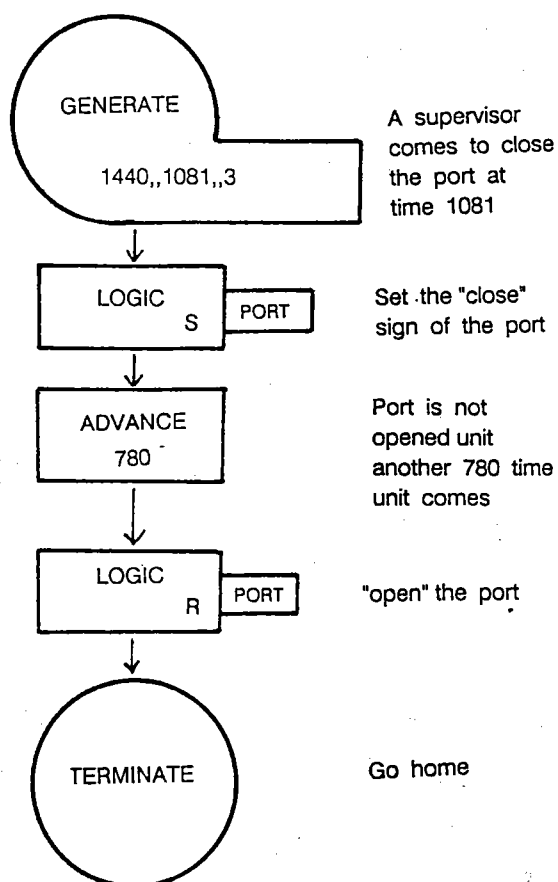


Fig 5-3.c MODEL SEGMENT 3

圖 5 - 3.c MODEL SEGMENT 3

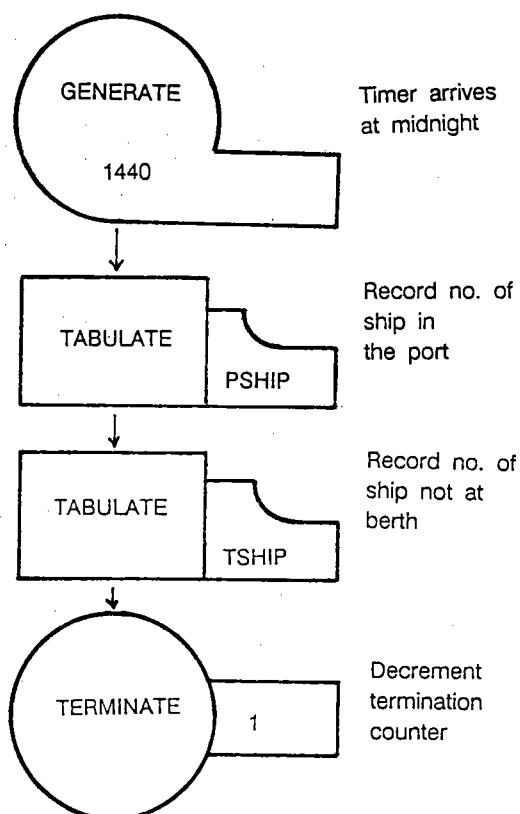


Fig 5-3.d MODEL SEGMENT 4

圖 5 - 3.d MODEL SEGMENT 4

5 - 2.2 花蓮港系統模擬模式驗證

經本文模式模擬後與民國七十七年花蓮港船舶進出港資料比較後，分述如次：

1. 來港船舶數目：

民國七十七年來港船舶數目共有 884 艘，本模式模擬之船舶數目共有 849 艘，誤差 3.96 %，模擬到港情形相當不錯。

2. 停靠各船席之船舶數目

各船席之實際停泊數目與模擬之停泊數目經比較如下表：

表 5 - 24 停泊船舶數目比較表 單位：艘

碼頭	# 1	# 2	# 3	# 4	# 5	# 6	# 7	# 8	# 10	# 11	# 13 14 15	# 17	# 18	# 19
實際	2	28	43	53	151	34	63	57	185	91	94	20	38	25
模擬	2	30	40	43	142	42	63	47	168	97	86	25	38	26

大致而言，模擬後停泊於各船席之船舶數目與實際情況大致穩合。

3. 民國七十七年到港船舶停靠碼頭之平均服務時間為 51 hr，模擬之平均服務時間為 55 hr，停靠各船席之平均服務時間與模擬之結果，分別比較如次：

表 5 - 25 各船席平均服務時間比較表 單位：小時

碼頭	# 2	# 3	# 4	# 5	# 6	# 7	# 8	# 10	# 11	# 13 14 15	# 17	# 18	# 19
實際	66	45	58	20	82	47	24	28	18	135	112	78	129
模擬	65	45	53	22	92	46	21	28	25	140	129	89	110

4. 各船席使用率比較如下表 5 - 26，大體而言花蓮港之船席使用率均尚低。

表 5 - 26 各船席使用率比較表 單位：%

碼 頭	# 2	# 3	# 4	# 5	# 6	# 7	# 8	# 10	# 11	# 13 14 15	# 17	# 18	# 19
實際	20	22	35	34	32	34	16	59	19	48	26	34	37
模擬	22	21	26	37	44	34	11	55	28	46	32	38	33

由以上四點分析可以發現所設計之模式可以將花蓮港船舶到港及船席服務情形模擬得相當好。同時我們亦可發現花蓮港之船席使用率均尚低。如以交通部運輸研究所所作之研究〔5〕，花蓮港船席經濟使用率為雜貨船席：0.6，散貨船席：0.55，則除了10號台泥專用之碼頭外，其餘各碼頭均離經濟船席使用率有一大段距離。

如果在目前之船席條件及船舶種類比例不變之情況下，到港船舶增加20%亦即平均到港時間間隔由9.84小時/艘，縮減為8小時/艘時，各船席之使用情形又有如何變化呢：

全部到港船舶數目增加為1,113艘，各船席之到港船舶數目，平均船席服務時間及船席使用率，列如下表。

表 5 - 27

碼 頭	# 2	# 3	# 4	# 5	# 6	# 7	# 8	# 10	# 11	# 13 14 15	# 17	# 18	# 19
停泊船數(艘)	35	59	62	198	53	75	61	213	119	124	32	49	32
停均服務時間 (小時)	66	47	51	24	94	44	24	30	20	143	137	68	116
船席使用率(%)	27	32	36	54	57	38	17	74	28	69	57	39	43

由表5-27可見，雖然船舶增加了約20%，但是各船席之使用率仍低，僅10號碼頭超過0.7而已，可見在短期內花蓮港之船席尚不致有擁擠之現象，故在此本文不擬作有關船席調配調整之模擬。

六、最能適量

以上之方法，係以港埠整體船席作業系統為主，作整體系統之模擬，對於各個船席之使用並未評論。港埠能量考慮船席使用率，該使用率能決定船席是否擁擠，為日後投資重要參考指標。現代化港埠經營者經濟領域中成本概念應包括社會成本，也就是不獨航商受益、港埠受益、社會大眾也能受益，最適使用率是船舶等待成本與船席船席閒置成本之總合為最小時之船席使用率。船席最適使用率係由成本模式求得，成本模式為：

$$\text{Minimize } C_t = S(1 - U)C_s + C_w \times L_g$$

式中，

C_t ：單位時間之總閒置成本

C_s ：單位時間之船席閒置成本

C_w ：單位時間之船舶等待成本

S ：船席數

U ：船席使用率

L_g ：平均等待船席之船數

依民國七十六年交通部運輸研究所之研究報告指出，各類船舶等待成本之估算，如雜貨船以 15,000 淨重噸，散貨船以 65,000 淨重噸（巴拿馬極限級），貨柜輪以 1846 TEUS（約 30,000 淨重噸）之船舶各費用為標準，則各類船席及船舶閒置成本如下：

（NT\$ / 船席 / 日）；雜貨船席為 NT\$ 90,000；穀類船席 NT\$ 310,000；貨柜船席 NT\$ 410,000（標準型有 CY 場地）

船舶等待成本（NT\$ / 船席 / 日；雜貨船（15,000 淨重噸）NT\$ 60,000；貨柜船（1,846 TEUS）NT\$ 740,000。

本文以高雄港七十六年為例，作數值和系統模擬比較，取較精確者，建立模式，然後再分析基隆、花蓮和蘇澳等港。

高雄港

(一) 資料定義：

高雄港提供本所七十六年船舶進港資料，包括：①船舶種類②船重噸③船舶長④第一次停泊船席⑤到達外海時間⑥進港時間⑦靠碼頭時間⑧離碼頭時間。

定義：

等待時間：進港時間⑥—到達時間⑤。

服務時間：離碼頭時間⑧—靠碼頭時間⑦。

在港時間：離港時間⑨—進港時間⑥。

到達時間：次艘到達時間—前艘到時間。

等待時間、服務時間、在港時間在內之方塊示意圖，圖(6-1)

(二) 船種分類：

本研究船種分類以高港資料中心分類為主計 20 種，詳如附表(6-1)，再仔細分類仍為 20 種，其中雜貨船（非高港線）和雜貨船（高港線）合併為雜貨船，客貨船再分客貨船、純客船兩類。

(三) 碼頭使用頻率及靠泊船種：

高港每艘進港船舶都有指定位置，無論船席、船渠、浮筒等。附表表(6-2)到表(6-7)可知每座碼頭使用頻率，這是第一次靠泊處，以後移泊就不包括在內。高港 116、117 號兩座碼頭為第四貨柜中心，但資料中停靠船舶全為雜貨輪，這個記錄使得高港船舶進港資料可靠性令人置疑。本研究慎重起見核對全貨柜船+子母船總數與高港七十六年統計年報比較，總數差二艘，與交通部交通統計月報 235 期（199 頁）的 3,811 艘相差甚多。

(四) 貨柜碼頭最佳使用率：

以兩種不同方法，求得解答比較：

- (1) 等待模式數學解析—全貨柜船到達外港時間分佈表，表(6-3)可知是負指數函數，平均值 3.08 小時／艘次，為什麼只有 2,775 艘，原

因是兩艘同時到達者有66艘次之多。全貨柜船停靠碼頭接受服務時間分佈表繪在附圖(6-4) 平均值 25.49 小時 / 艘次，且符合 Gamma dis, $\alpha = 2.5$, $\beta = 10.196$, $\alpha\beta = 25.49$ ，但實際檢定 (test of the goodness of fit) 可能不通過。以 (M/M/13) 為模式

$$\text{平均船舶到達率 } 1 / 3.08 = 0.324$$

$$\text{平均船席服務率 } 1 / 25.49 = 0.0392$$

代入公式得：

$$L_g = 2.24$$

$$W_g = \frac{2.24}{0.324} = 6.91$$

換為 (M/Ek2 / 13) 模式為：

$$L_g' = 2.24 \times 0.82$$

$$W_g' = 6.91 \times 0.82 = 5.8 \text{ (小時)}$$

這個結果與實際等待時間表(6-1)相近，但事實上表(6-2)到表(6-7)中，只有10個貨柜碼頭被使用，所以誤差大，所獲得船席使用率 0.76就無意義了。

(2) GPSS 系統模擬可直接求得最佳使用率，港埠經營者追求效益可分為下列數種：

1. 單位時間最大吞吐量。
2. 每單位吞吐量最低成本。
3. 每單位時間最低成本。
4. 最大利潤。
5. 最大生產力。

最佳船席使用率考慮在每單位時間最低成本效益上追求每單位吞吐量最低成本的效率上，使得船席閒置成本，船舶等待成本之和最低，以船席數為變數。

模擬程式中加入拖船，颱風大霧影響港內航行時間及其中不可測因素（如工人不足、報關不及等）。結果繪成表(6-8)(全貨柜船)，表

(9) (雜貨船)，與表(1)比較其進港艘次，等待時間接近，可靠性較高。

(五) 檢討

(1) 全貨柜輪使用13座碼頭可獲得最佳使用率 0.627。

(2) 一般貨輪有32座碼頭為最經濟。

(3) 平均等時間 (T_w) / 平均停泊時間 (T_B)，合理之值：油碼頭0.1；原木碼頭、穀類碼頭、教裝碼頭及雜貨碼頭 0.2；貨柜碼頭0.3。這是一個初步印象解釋高港穀類的0.47，礦砂船 0.44等擁擠現象。

(4) 高港第二港口發揮作用，大型船舶進出頻繁。

(5) 40號碼頭貨柜船使用次數非常低，只有2次，而一般貨輪使用次數較多。要仔細研究半貨柜船佔一般貨輪百分比。

(6) 原始資料建立一定要注意正確性，有正確的資料才有可靠的分析結果。

基隆港

(一) 前言：

錄自基港電腦中心資料船種，總重量—長度、到達外海時間、進港時間、靠碼頭時間、離碼頭時間、碼頭編號、出港時間，但基港採用貨柜船優先指泊營運方式，所以港內移泊情形非常普遍，使得單純等待原理無法整理如此複雜問題，也使數學解析變得不太可能。只有使用 GPSS 系統模擬。首先完成基港七十六年進出港輪船運轉時間分析表 6-10 (1月1日至12月31日) 是第一次停泊時間 (不包括第二次，第三次……等移泊所接受服務時間)，也就是平均停泊時間比實際靠泊時間值略低，表(6-10)與所附基港港務組所報基港輪船運轉時間比較，相當接近。表(6-10)代號欄是基隆港電腦分類代號，所以表中 (T_w / T_B) 值可以供作參考，可見客貨輪、貨柜櫃輪、冷藏輪等值偏高，擁擠情形嚴重，其中冷藏輪在港內停留時間與靠

碼頭時間相差過大（因為本表只是第一次靠泊，移泊沒有考慮。根據基港資料，冷藏輪許多時間靠泊在浮筒上）。另外完成七十六年基港進港船舶停泊碼頭及使用次數兩表，表（6-11）到表（6-14）是第一次靠泊碼頭（包括外港及浮筒）；表（6-15）到表（6-18）是第二次靠泊碼頭，由此二表可以查出冷藏輪第二次靠泊 AP（外港）有 2 艘次，與基港資料有點出入。同時由表（6-11）得知基港繫船課安排船席煞費苦心，一座碼頭有四種使用情形，也就是最擁擠時可同時靠泊四艘船舶。並靠要經過船務代理商同意。

（二）全貨柜輪：

基港為充分利用有限貨柜碼頭資源並增加港務局收入，實施優先指泊營運方式，該辦法與高港出租專有碼頭營運方式是截然不同的。但優先指泊船，加速裝卸速率是必然的，否則時間一到就得移泊讓位了。目前基港將 W20、W22、W23、W25、E26、E10、E11 為優先使用，另外 E2、E3、E6、W4 優先供自備吊桿貨柜輪使用，剩下 W19、W21 有橋式起重機設備之公用碼頭。基港有橋式起重機 13 座，分佈於西岸 10 座，東岸 3 座。基港與 15 個航商（16 順位，其中快桅 MAESK 有第一及第七順位兩個）簽訂優先使用合約，合約中規定詳細，狀況太多，不可能都放入 GPSS 系統模擬中。

港務局資料告之七十六年優先指派貨柜船有 1,209 艘次，佔全部到港全貨柜船 3,792 艘次之百分 31.88，另外七十六年十二月優先船每艘次等候船席少於非優先船平均每艘次等候船席 3.7 小時。這些資料可用於 GPSS 模擬程式中。圖（6-4）GPSS 模擬基隆港流程圖。該圖如同高雄港一樣，在流程圖模式段落 1（Model segment 1），考慮港口因演習、颱風，引水人員無法出港，造成船舶無法進港一年總時數約 40 小時。模式段落 2，考慮非優先船在等待船席上多出 3.5 ± 0.5 小時，然後考慮移泊一次擔誤時間為 FN \$ SERU2 和 1.0 ± 0.2 小時，機率是百分之 32（其中 SERV2 也是以 12 小時為準，求得服務時間分佈機率），第二次（SERV3），第三次（SERV4），

第四次 (SERV5) 移泊，至於移泊率可由表 (6-19)，基隆港貨柜船移泊與船泊噸數之關係，知道。模式段落 3，如同高雄港一樣將最佳使用率公式代入 GPSS 模擬程式中。模擬結果表 6-20 現在全貨柜碼頭使用 12 座，而非 9 座，服務 3,731 艘 (3,777 艘)，12 座碼頭平均每座碼頭服務 310 艘，外港等待時間 27.5 小時，使用率 0.965，幾平飽和，與現在基隆港情形頗為相近，但與最適理想情形 18 座碼頭還差 6 座。

(三) 雜貨碼頭：

雜貨碼頭 GPSS 系統模擬程式中模式段落 1 與全貨柜輪相同，模式段落 2 考慮兩次移泊。由表 (6-10)，基港七十六年進出港輪船運轉時間分析中得知一般貨輪 2,194 艘，另外求得移泊一次者 208 艘次，移泊二次者 44 艘次。模式段落 3 共全貨柜輪相同只是最通公式中 C_w 、 C_s 值不同。模擬結果表 (6-21) 2,250 艘 (2,194 艘) 使用 18 座碼頭，外港等待 22.2 小時，實際使用率是 0.904，也與實際情形相近。

(四) 檢討

1. 基港 W19、W21 公用碼頭靠泊船舶艘次少於其他優先靠泊碼頭，可能這與營運方式有關。
2. 基港將雜貨碼頭拆除，改建貨柜碼頭，使得雜貨碼頭不敷使用情形惡化。

花 蓮 港

位於東海岸花蓮港貨物種類簡單以大宗貨物為主，計有木類、桂竹、砂糖、紙漿、石類、水泥及水泥熟料、紅木、油料等。船種分為三大類：一般貨輪、油輪、駁船。表 (6-22)，花蓮港七十六年進出港輪船運轉時間分析表可知之大類 (T_w / T_B) 值中一般貨輪偏高。由於花蓮港、蘇澳港沒有實行協商調派船席，船舶隨到隨時可要求進港，但只限於 7 點至 18 點之間。由表 6-23，花蓮港七十六年進港船舶停泊碼頭及使用次數表中，除 10 號碼頭 (出租給亞洲水泥，岸邊有水泥倉庫)

服務132艘次，5號碼頭（出租經營沙石類）99艘次外其餘都未達高港，基港最適情形每座碼頭服務90艘次水準，可見整個港尚未到達最適能量。

蘇 澳 港

蘇澳港為基隆輔助港，貨物種類非常單純主要以大宗乾貨，計有煤炭、硫磺、工業鹽、石膏、水泥及熟料、石類等，船舶分為散貨輪、木材輪、油輪、液態輪、其他等。由表(6-24)蘇澳港七十六年進出港輪船運轉時間分析表，表(6-25)蘇澳港七十六年進港船舶總噸分佈，表(6-26)七十六年蘇澳港進港船舶停泊碼頭及使用次數，可知（ T_w / T_B ）值偏低，還有除[#]5碼頭服務99艘次外，其餘碼頭服務艘次都不多，整個港也尚未到達最適能量。

結 論

本研究使用各港原始船舶動態資料加以分析，可以求得研究需要而港務局統計資料沒有的。由於起始點不同（本研究以七十六年一月一日零時到達拋錨處為第一艘開始排序），艘次可能與港務局的有點出入。

實際船舶靠泊情形了解後，再進行系統模擬，可說是理論與實際相結合，就不會出現使用率起過百分之百的不合理現象。基港、高雄港貨柜相當擁擠，使用率達百分之九十以上，雜貨碼頭也擁擠。花蓮、蘇澳港除少數碼頭使用率較高外，其餘都未達最適使用率。

建 議

GPSS系統模擬是依據船舶先到先服務，所以資料處理前，先以船舶到達外海時間排序，進港次序可能與實際不同。GPSS系統模擬結果與 C_w 、 C_s 值有密切關係，也就是 C_w 、 C_s 值改變可能獲得不同結果。模擬結果不是絕對的，只是告之一個範圍，有數據可供參考。在國

外文獻上有人除考慮 C_w 、 C_s 外還考慮操作成本（橋式貨柜起重機，臨時人員成本）。如果 $C_s + C_w + C_o$ 為最低，方是最適組合。

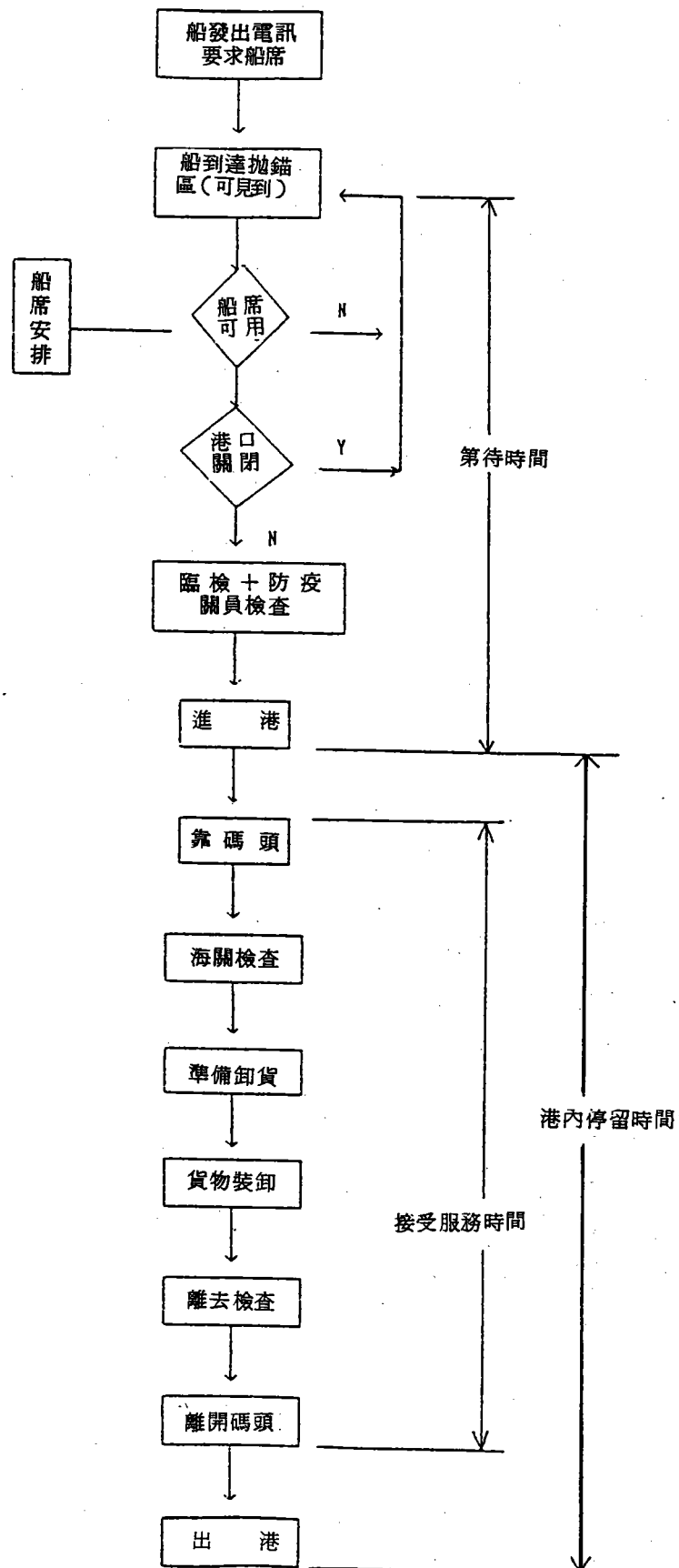


圖 6 - 1 船舶進出港流程圖

高雄港七十六年進出港輪船運轉時間分析

表(6-1)

(76.年 1.月 1.日 - 76.年 12.月 31.日)

時間：小時

代號	名稱	艘數	次	平均等待時間(TW)	平均停泊時間(TB)	平均到達時間	平均留港時間	TW/TB	備註
A	全貨柜船	2841		6.06	25.49(44.08)	3.08	27.26	0.24	
B	母船	24		0.77	58.79(58.66)	166.26	59.33	0.01	
C	子船								
D	半貨櫃	116		6.75	46.19(58.77)	75.08	47.49	0.14	
E	冷藏櫃	117		4.08	114.34(136.04)	66.18	115.45	0.03	
F	穀類船	178		72.27	151.91(95.21)	48.09	152.81	0.47	
G	雜貨船	3082		8.43	65.50(78.53)	2.84	70.01	0.13	非高港線
H	廢鐵船	17		12.34	212.10(118.35)	219.34	213.24	0.06	
I									
J	白木船								
K	原木船	555		24.68	108.00(91.89)	15.64	109.18	0.22	
L	礦類船	217		29.34	67.25(77.79)	40.26	68.43	0.44	
M	糖類船	3		9.79	64.89(17.08)	151.46	74.01	0.15	
N	油輪	1355		8.18	37.58(42.57)	6.46	38.79	0.22	
O									
P	肥料船	11		29.22	148.57(69.60)	172.22	150.04	0.19	
Q	冷凍船	21		5.39	157.12(105.20)	198.74	158.28	0.03	
R	解體船								
S	其它	545		5.27	77.41(125.48)	16.03	81.31	0.07	
T	水泥船	52		9.49	96.05(109.20)	167.75	130.82	0.10	
U	鹽類船	19		12.49	99.74(40.75)	324.11	101.14	0.13	
V	煤炭船	145		49.87	125.18(88.88)	60.33	133.81	0.40	
W	客輪	4		1.35	295.97(226.30)	532.48	296.83	0.005	
	客貨輪	215		0.31	19.78(23.28)	40.82	20.24	0.016	
X	沿海輪	438		0.28	95.98(125.38)	20.13	100.15	0.003	
Y	軍差船								
Z	雜貨船	50		7.03	145.05(51.24)	176.78	145.36	0.05	高港線
	共計	10005							
	無法歸類	6							

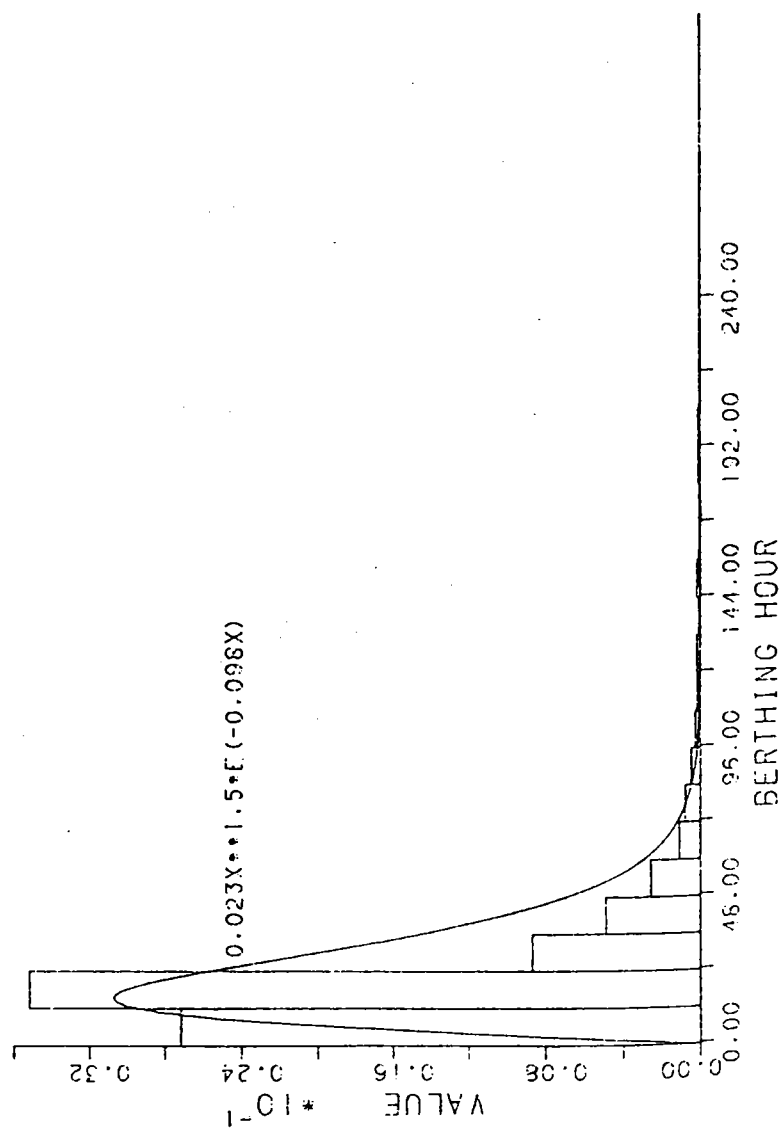
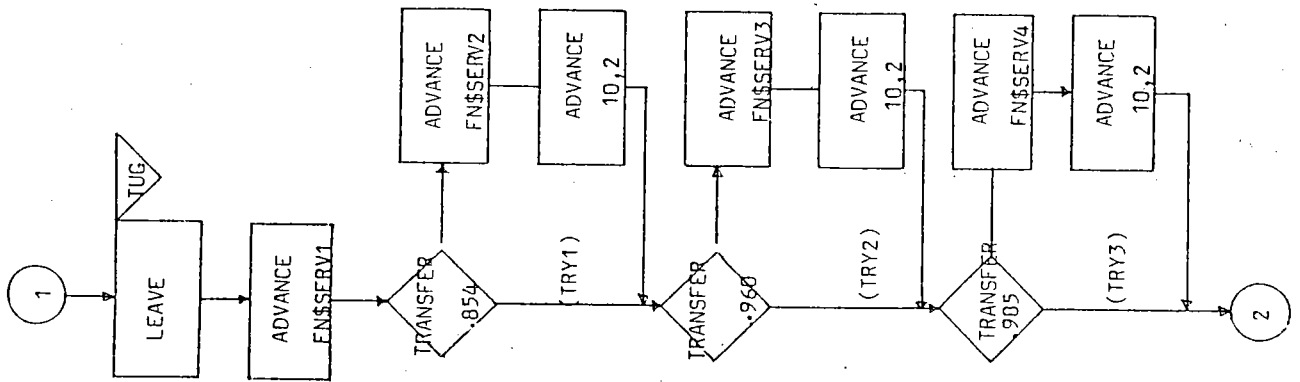
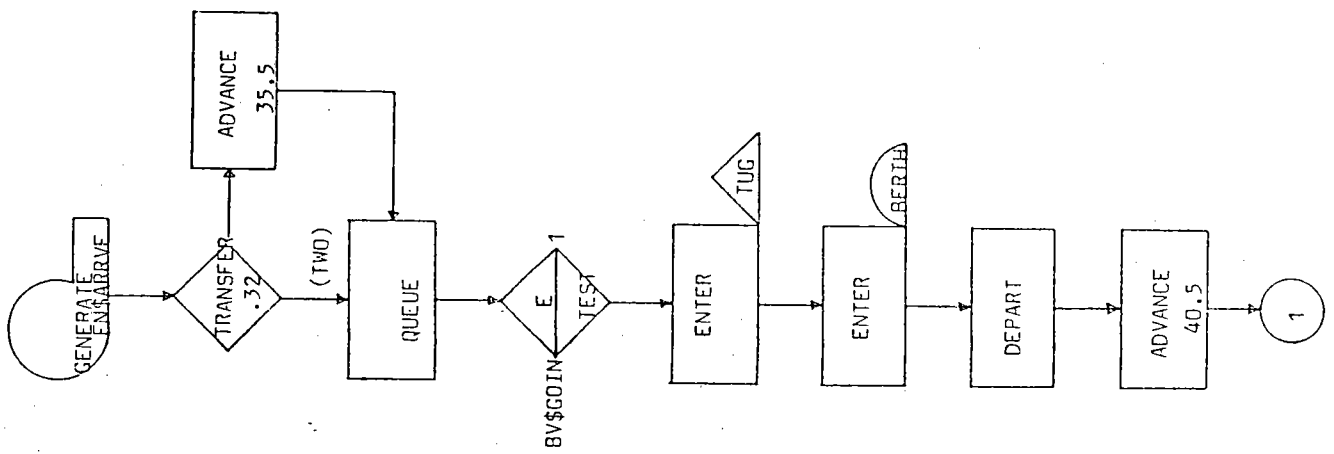
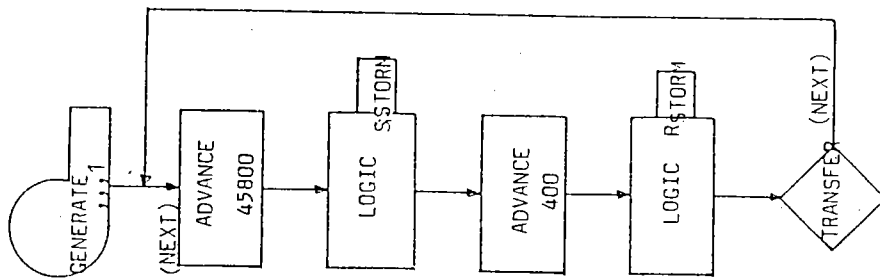
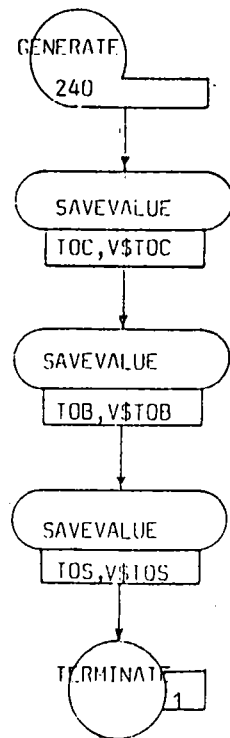
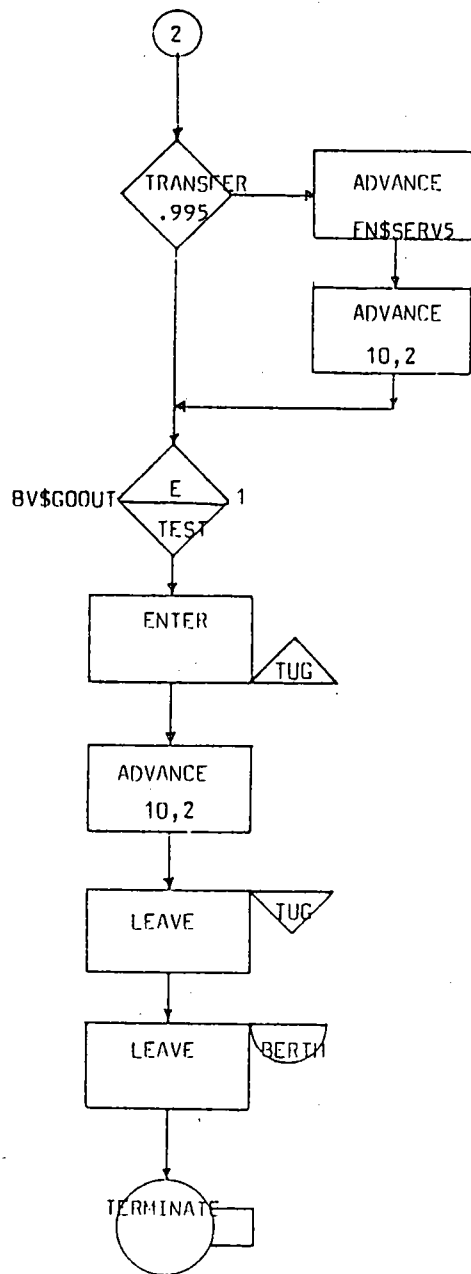


圖 6 - 3 船舶接受服務機率分佈

圖 6-4 GPSS 模擬基隆港流程圖



GPSS 模擬基隆港流程圖(續)



MODEL SEGMENT 3

高雄港七十六年進出港輪船運轉時間分析

表(6-1)

(76.年1.月1.日—76.年12.月31.日)

時間：小時

代號	名稱	艘次	平均等待時間(TW)	平均停泊時間(TB)	平均到達時間	平均留港時間	TW/TB	備註
A	全貨柜船	2841	6.06	25.49(44.08)	3.08	27.26	0.24	
B	母船	24	0.77	58.79(58.66)	166.26	59.33	0.01	
C	子船							
D	半貨櫃	116	6.75	46.19(58.77)	75.08	47.49	0.14	
E	冷藏櫃	117	4.08	114.34(136.04)	66.18	115.45	0.03	
F	穀類船	178	72.27	151.91(95.21)	48.09	152.81	0.47	
G	雜貨船	3082	8.43	65.50(78.53)	2.84	70.01	0.13	非高港線
H	廢鐵船	17	12.34	212.10(118.35)	219.34	213.24	0.06	
I								
J	白木船							
K	原木船	555	24.68	108.00(91.89)	15.64	109.18	0.22	
L	礮類船	217	29.34	67.25(77.79)	40.26	68.43	0.44	
M	糖類船	3	9.79	64.89(17.08)	151.46	74.01	0.15	
N	油輪	1355	8.18	37.58(42.57)	6.46	38.79	0.22	
O								
P	肥料船	11	29.22	148.57(69.60)	172.22	150.04	0.19	
Q	冷凍船	21	5.39	157.12(105.20)	198.74	158.28	0.03	
R	解體船							
S	其它	545	5.27	77.41(125.48)	16.03	81.31	0.07	
T	水泥船	52	9.49	96.05(109.20)	167.75	130.82	0.10	
U	鹽類船	19	12.49	99.74(40.75)	324.11	101.14	0.13	
V	煤炭船	145	49.87	125.18(88.88)	60.33	133.81	0.40	
W	客輪	4	1.35	295.97(226.30)	532.48	296.83	0.005	
	客貨輪	215	0.31	19.78(23.28)	40.82	20.24	0.016	
X	沿海輪	438	0.28	95.98(125.38)	20.13	100.15	0.003	
Y	軍差船							
Z	雜貨船	50	7.03	145.05(51.24)	176.78	145.36	0.05	高港線
	共計	10005						
	無法歸類	6						

七十六年高雄港進港船舶碼頭及使用次數

表(6-2)

碼頭	長度	水深	艘次	A	B	D	E	F	G	Z	H	K	L	M	N	P	Q	S	T	U	V	W	X	附	註
1.	260	-9	304				2		41						1			26				213	21		台澎輪優先
2.	150	-9	130						122	1		1					1	2				2	1		
3.	150	-	1															1							工作船、交通船
4.	150	-9	122						118			1					1		2						
5.	150	-9	148			1			140	1	1	1						2	2						
6.	150	-9	118			1			109			3					1		3						
7.	150	-9	86			1			80		1	1					1		2						
8.	150	-9	68						62		2	2						1	1						
9.	150	-9	76						71			2							3	1					
10.	150	-9	69			1		1	60		1	2							4						
11.	160	-9	2															1					1		
12.	160	-9	78						59		15	4													
13.	150	-9	2						1									1							
14.	150	-9	17						2										13					2	亞洲水泥(cement silo)
15.	150	-9	57						11		3	1						30	2				10		
16.	180	-9	27				1		9		2	1	2	1				9	1				1		
17.	150	-9	77	2			1		10		18				32			11	3						
18.	150	-9	143	1					1						139			1						1	中油
19.	150	-9	211												210			1							中油
20.	120	-10.5	32	2			2		5		3				13			6						1	台鋁
21.			1															1							
22.			32				1		1			2		25	2										台肥
23.	235	-6.5	83											83											
24.	150	-10.5	31											20						3	3				

七十六年高雄港進港船舶停泊碼頭及使用次數

表(6-3)

碼頭	長度	水深	艘次	A	B	D	E	F	G	Z	H	K	L	M	N	P	Q	S	T	U	V	W	X	附註
31	200	-10.5	166			3	87		71	1					1		1	1	1	1	1			冷凍庫
32	200	-10.5	62	1		1	1	2	55				2											
33	200	-10.5	53			1		45	4						1			2						穀倉 Silo
34	200	-10.5	76				5	3	61				1				2		1	3				
35	200	-10.5	73			5		1	59	1	1	3				2		1						
36	200	-10.5	70			3			57	3			1			1	2				3			
37	200	-10.5	85			15			67			2								1				
38	200	-10.5	71			15			52	3							1							
39	200	-10.5	71	1		14			52					2				1	1					
40	200	-10.5	228	2		18			203						1		3				1			第一貨柜中心 自備吊桿船
41	200	-10.5	202	182		17			3															用
42	200	-10.5	304	304																				起重機三台
43	200	-10.5	273	273																				
44	200	-10.5	40					39	1															穀倉 Silo
45	200	-10.5	82			4		1	61			8	3			1				1	3			
46	200	-11	57					4	36	2	10						2	1		2				糖儲設備
47	200	-11	19					1	10	2				1				5						
48	200	-10.5	63	3		1	4		31			14	2				1	4	1	1				原木船邊提貨
49	200	-10.5	129				3		12			107						5	2					原木
50	200	-10.5	76				1		7			64						4						原木
51	200	-10.5	96	2			1		14			76						3						
52	200	-11	64						21			35			1		1	4			2			
53	200	-11	94						53			27	3		1	2					8			
54	200	-10.5	93			1			24	3	45	6			2	1	3				8			

表(6-4) 七十六年高雄港進港船舶停泊碼頭及使用次數

碼頭	長度	水深	深	艘次	A	B	D	E	F	G	Z	H	K	L	M	N	P	Q	S	T	U	V	W	X	附註
49.	55	200	-10.5	85			1		1	26			46	2				2		1		6			
50.	56	200	-10.5	73			3		2	23	1	24	4		7			2	1			6			
51.	57	200	-10.5	121			2			21			1		90	2				1		4			
52.	59			67															67						中油
53.	60			44											44										中油
54.	61	230	-10.5	174						1					173										中油
55.	62	230	-10.5	178											177								1		中油
56.	63	250	-12	289	289																				第二貨柜中心，起重機
57.	64	250	-12	200	199		1																		六台。
58.	65	250	-12	293	293																				
59.	66	250	-12	331	331																				
60.	68	320	-14	393	384														9						第三貨柜中心，起重機
61.	69	320	-14	364	363														1						九台
62.	70	320	-14	184	183		1																		
63.	71	330	-14	69					65	3			1												80,000 噸穀倉 Silo
64.	72	300		2															2						80,000 噸穀倉 Silo 興建中
65.	73			1															1						尚未使用
66.	85			2						1									1						中船碼頭
67.	86			7	2					2									2			1			中船碼頭
68.	87			1	1																				中船碼頭
69.	88			13	3				1	5			1						3						中船碼頭
70.	94	170	-10.5	35						35															中鋼碼頭
71.	95	170	-10.5	43						40			1	2											中鋼碼頭
72.	96	170	-10.5	95						26				69											中鋼碼頭

七十六年高雄港進港船舶停泊碼頭及使用次數

表(6-5)

碼頭	長度	水深	深艘次	A	B	D	E	F	G	Z	H	K	L	M	N	P	Q	S	T	U	V	W	X	附註	
73. 97	485	-16.5	117						8				78		9						22				中鋼碼頭
74. 98			15										11								4				中鋼碼頭
75. 103			33												33										
76. 104			100												100										中船東西碼頭
77. 105			99												99										中船東西碼頭
78. 106			1					.										1							
79. 111	260	-16.5	76					1	2				2								71				台電十萬噸煤碼頭
80. 112	250	-8.5	252		15				1									200					16		台電儲煤碼頭
81. 113	250	-8.5	39															37			1		1		
82. 116	320	-14	375						375																第四貨柜中心
83. 117	320	-14	279	3					276																
84. 142			16	3			3		7		1				1			1							順榮修造船廠
84. 143			15	4					6	1	2				1			1							順榮修造船廠
86. 144			26	10			2		8		1				1			3	1						順榮修造船廠
87. 0000			164						161														3		淺水碼頭
88. 0001			107						102									1					4		船渠
89. 0002			49						48														1		船渠
90. 0003			202						13				3					7			1		178		船渠
91. 0004			94						13									3						78	船渠
92. 0005			116						21				1					6						88	船渠
93. 0006			39						11									3						25	船渠
94. 1810			22						5						1			10	1			2	3		各修船廠
95. 1811			3															2					1		各修船廠
96. 8400			90	8					11						69			1	1						中油港外浮筒

表(6-6) 七十六年高雄港進港船舶停泊碼頭及使用次數

碼頭	長度	水深	深	艘次	A	B	D	E	F	G	Z	H	K	L	M	N	P	Q	S	T	U	V	W	X	附註
97.	8601			46	1					1			1						43						外港
98.	8602			7						1									4			1		1	港外
99.	8702			1																				1	LW登一及登碼頭
100.	8801			1															1						中船船塢
101.	8802			2						1										1					中船船塢
102.	8001			1															1						FD海軍船塢
103.	8803			6															6						
104.	4001			1												1									浮筒編號
105.	4021			5				1		3			1												浮筒編號
106.	4022			2						2															浮筒編號
107.	4023			2									1	1											浮筒編號
108.	4025			4						3			1												浮筒編號
109.	4032			17				1		3			6			5			1	1					浮筒編號
110.	4033			23				1		5			9			7				1					浮筒編號
111.	4034			4												4									浮筒編號
112.	4044			3						1			2												浮筒編號
113.	4045			2				1		1															浮筒編號
114.	4047			2				1		1															浮筒編號
115.	4048			4						1			2								1				浮筒編號
116.	4049			8				2		2			4												浮筒編號
117.	4050			9						3			6												浮筒編號
118.	4051			16				1		4			11												浮筒編號
119.	4053			2						1													1		浮筒編號
120.	4062			1						1															浮筒編號

表 6-8 GPSS 模擬

全 貨 櫃 輪						
最佳使用率公式中 $C_w=2583, C_s=1708$						
碼頭數	10	11	12	13	14	
艘 次	2022	2022	2022	2022	2022	
等 時 間 (小 時)	7.4	2.8	1.2	0.60	0.38	
CT 值 (元)	820700096	553571712	474739136	434254368	464663638	
實際使用率	0.813	0.741	0.679	0.627	0.582	
最適結果				*		

表 6-9 GPSS 模擬

一般雜貨輪													
最佳使用率公式中													
Cw=1666, Cs=375													
碼頭數	27	28	29	30	31	32	33	34	35				
艘次	3088	3088	3088	3088	3088	3088	3088	3088	3088				
等待時間 (小時)	10.9	7.3	5.1	3.7	2.9	2.3	2.0	1.8	1.7				
CT值(元)	663131712	507541216	427122848	389705632	379093504	375681056	382920032	394598336	409684800				
實際使用率	0.888	0.857	0.828	0.800	0.775	0.751	0.728	0.707	0.686				
最適結果						*							

表 6-10 基隆港七十六年進出港輪船運轉時間分析
(76年1月1日~76年12月31日)

單位：小時

代 號	名 稱	艘 次	平均等待時間TW	平均停泊時間TB	平均到達時間	平均留港時間	TW/TB	備 註
1	客 輪	28	0.37	* 31.03 (26.89)	193.81	34	0.01	※第一次停泊時間 包括外港
2	客貨輪	40	37.54	* 12.90 (8.42)	164.32	14.19	2.91	
3	貨櫃輪	3777	25.95	* 19.61 (15.93)	2.31	26.56	1.32	
A,B,C,D,F	穀類輪	46	46.14	* 134.68 (70.56)	180.79	171.20	0.34	
G	油 輪	215	19.60	* 36.14 (24.29)	40.49	44.83	0.54	
Y	礫砂輪	21	32.80	* 82.81 (46.93)	239.27	99.99	0.39	
W	木材輪	51	19.15	* 64.35 (25.62)	166.21	91.04	0.29	
6	冷藏輪	9	84.63	* 27.11 (18.47)	262.97	135.48	3.12	
*	煤 輪	27	19.02	* 95.27 (64.27)	255.48	122.01	0.20	
H,J,K,M,P,U X,Z,Q,#,S.&	散裝輪	331	29.45	* 36.81 (43.45)	26.25	42.55	0.8	
4.5	一般貨輪	2194	29.72	* 51.42 (51.67)	3.98	60.93	0.58	
8.9.0	其他專用輪	200	38.71	* 72.20 (96.03)	43.69	87.77	0.54	

表(6-11) 七十六年基隆港進港船舶停泊碼頭及使用次數

碼頭	長度	水深	艘次	1	2	3	4	5	6	8	9	0	A	B	C	D	F	G	H	J	K	M	P	U	W	Y	*	%	@	#	\$	&	備註			
W01B	90.9	-9	3	2				1																									海關專用			
W02	204.5	-9	118		2	6	90	1				3													1		5	4	3							
W02Y			6					5				1																					Y：併靠			
W02NY			1									1																								
W02N			19		1	14					1																	2	1							
W03	183	-9	99		7	82					2									1	3				2	1	1									
W03N			23					21			1																	1								
W03NY			1		1																															
W03Y			5		1	3					1																									
W04	167	-9	245		181	56					4																			4						
W04N			2					1			1																									
W04Y			4		2	2																														
W05			2			2																												軍用		
W06			3			3																												軍用		
W07	106	-9	66		9	54					1																	1	1							
W07Y			7		1	6																														
W08	136.4	-8	69		4	63					1							1																		
W08Y			10		4	2					1														1	2										
W12			1					1																										亞洲水泥		
W12B	251	-9	164	2	29	44					1							9			1			3	5	2	1	3	9	1						
W12BY			3		1	1					1																									
W14	172.4	-9	137		15	105					6	1						2										1								
W14N			1					1																												
W14Y			6		1	2					3																									

表(6-12) 七十六年基隆港進港船舶停泊碼頭及使用次數

碼頭	長度	水深	度	深	艘	次	1	2	3	4	5	6	8	9	0	A	B	C	D	F	G	M	J	K	M	P	V	W	Y	*	%	@	#	\$	&	備	註	
W15	148.3	-9			93				5	73					6				1	1				1						1	1		4					
W15N					1					1																							2					
W15Y					9			3	3						1													2	1	1	1	1	2					
W16	154.5	-9			112			4	1	99					1																							
W16N					1					1										1													1					
W16Y					7			1	1	1					2				3										2				20					
W19	264	-10.5			262			185	43						9																					貨柜碼頭、無橋機		
W20	221.65	-12.5			333			328	4						1				1														1			貨柜碼頭、2台橋機		
W21	236	-10			140			137	1										1																	貨柜碼頭		
W22	190	-11			253			245	6						1				2														1			貨柜碼頭、1台橋機		
W23	210	-11			237			227	5						2																					貨柜碼頭、1台橋機		
W22-23					21			21																														
W24	240	-13			257			246	7						4																					貨柜碼頭、1台橋機		
W25	300	-13			363			359	4																											貨柜碼頭、1台橋機		
W25-26					18			18																														
W26	210	-11			332			329	3																											貨柜碼頭、2台橋機		
W27	150	-7			150			45	93						10																1		1					
W29	178	-6.5			109				105						3																							
W30	180	-10.5			50			2	10						1	21	3	12																				
W31	165	-10.5			88			4	70						4			1													1	3	1	1	2			
W31Y					1										1																							
W32	165	-11			91			7	70						5																	1	2	1				
W33	210	-11.5			163			15	37						4		1		71												3	3			28			
W33B	96	-6.5			117										12				105																		油輪	

表 (6 - 13) 七十六年基隆港進港船舶停泊碼頭及使用次數

碼頭	長度	水深	深艘	次	1	2	3	4	5	6	8	9	0	A	B	C	D	F	G	H	J	K	M	P	U	W	Y	*	%	@	#	\$	&	備	註	
E01				1								1																						工作船		
E02	200	-9	284	2338	133		84					6																								
E02N			1					1																												
E03	170	-9	257	1	165		88																									2				
E03Y			3		2							1																								
E03NY			1					1																												
E03N			8			4	3																										1			
E04	306.3	-9	119		30		75					1										2		1			3	3	1		1	2				
E04Y			2		1		1																													
E04N			11				11																													
E06	180	-9	274		163		105			1		4																					1			
E06N			4				3					1																								
E07	178	-9	122		24		80	1				1											1				2	3	2	1	3	4				
E07N			17		1		16																													
E08	180	-9	126		8		104	2				2			1													2		2	1	3	1			
E08N			30				28																				1				1					
E09	180	-9	125		11		102					3										2								1	1	1				
E09N			30		1		25	1											1											1						
E10	204	-12	295		294		1																												貨柜碼頭、2台橋機	
E10Y			2																2																	
E10N			6		6																															
E11	120	-12	314		310		4																												貨柜碼頭、1台橋機	
E11N			1		1																															
E12Y	101	-5	1		1																															

貨柜碼頭、2台橋機

貨柜碼頭、1台橋機

表 (6 - 15) 七十六年基隆港進港船舶停泊碼頭及使用次數

碼頭	長度	水深	艘次	1	2	3	4	5	6	8	9	0	A	B	C	D	F	G	H	J	K	M	P	U	W	Y	*	%	@	#	\$	&	備	註	
W 0 2			10			3		5																					1						
W02N			1					1																											
W02Y			5			2		2																							1				
W 0 3			12			1		11																											
W03N			4			3																													
W03Y			5			2		2				1																							
W 0 4			14			11		3																											
W 0 7			10			1		8				1																							
W07Y			5			1		1				2												1											
W 0 8			6					6																											
W08Y			2			1						1																							
W12B			5			2						2																				1			
W 1 4			12		1	1		7				2																				1			
W14Y			4			1		2				1																							
W 1 5			13			1		7				1			1			1								2									
W15Y			7			2		5																											
W 1 6			11			1		8				1																			1				
W16Y			2					2																											
W04Y			1			1																													
W1 9			19			16		1					1																				1		
W2 0			52			51		1																											
W20Y			2															2																	
W 2 1			11			11																													
W 2 2			33			31		2																											

表(6-16) 七十六年基隆港進港船舶停泊碼頭及使用次數

碼頭	長度	水深	艘次	1	2	3	4	5	6	8	9	0	A	B	C	D	F	G	H	J	K	M	P	U	W	Y	*	%	@	#	\$	&	備	註
W23			36			34	2																											
W24			59			58					1																							
W25			35			34	1																											
W25-26			5			5																												
W26			67			66	1																											
W27			11			1	8				2																							
W30			9			1	2				1	4	1																					
W29			13				12				1																							
W23Y			1														1																	
W24Y			1														1																	
W32			8				7																			1								
W33			3				1										2																	
W33B			4				1	1									2																	
W33BY			1								1																							
W12BY			2			1	1																											
W31			7				5				1																1							
W33Y			2														2																	
E02			17	1	15	1																												
E02Y			1															1																
E03			14	2	8	4																												
E03N			1				1																											
E04			11		3	6																								1				
E04N			2				2																											
E03Y			2		1							1																						

表 (6-17) 七十六年基隆港進港船舶停泊碼頭及使用次數

碼頭	長度	水深	艘次	1	2	3	4	5	6	8	9	0	A	B	C	D	F	G	H	J	K	M	P	U	W	Y	*%	@	#	\$	&	備	註
E 0 6			9			9																											
E06N			1				1																										
E08N			2				2																										
E10Y			8																														
E04NY			2					1									8																
E09N			1					1									1																
E 0 7			9					8																									
E07N			3					3																									
E 0 8			6					6																									
E09			8					7									1																
E10N			1				1																										
E10			14				13	1																									
E11			36				36																										
E11N			2				2																										
E11Y			2														2																
E 4Y			5				2	2									1																
E 2 1			13					4				1						1							7								
E 2 2			10					4				1												4				1					
A P			140			102		22	1			5				3								2	1		2	1					
B 5 W			2															1							1								
B 5 E			15				5	4	1								1							1				1	2				
B 6 E			10				4	4				1																	1				
B 6 W			14				7	4				1			1									1									
B 7 E			3				2	1																									

表(6-19)基隆港貨櫃船移泊與船舶噸數之關係

移泊 噸數	進港船舶數	第一次移泊	第二次移泊	第三次移泊	第四次移泊
0-999	23	2	0	0	0
1000-4999	574	136	36	16	8
5000-9999	738	112	27	10	4
10000-14999	819	84	23	11	2
15000-19999	411	40	15	2	1
20000-29999	504	62	19	4	3
30000-39999	576	97	28	12	1
40000-59999	132	18	4	0	0
>60,000	0	0	0	0	0

表(6 - 20) GPSS 模擬

基隆港全貨櫃輪										
最佳使用率公式中 $CW = 3.083, Cs = 1.250$										
碼頭數	12	13	14	15	16	17	18	19		
艘次	3,731	3,837	3,800	3,753	3,764	3,714	3,712	3,777		
等待時間 (小時)	27.5	13.4	5.8	3.0	1.2	0.7	0.5	0.6		
實際使用率	0.965	0.919	0.849	0.779	0.735	0.686	0.645	0.623		
CT 值(元)	3,212,000,000	1,708,689,644	918,052,032	663,115,648	434,905,760	428,472,672	330,568,064	483,651,008		
最適結果							◎			

表(6 - 21) GPSS 模擬

基隆港雜貨輪												
最佳使用率公式中		$C_w = 1,666, C_s = 375$										
碼頭數	18	19	20	21	22	23	24	25	26			
艘次	2,250	2,250	2,250	2,250	2,250	2,250	2,250	2,250	2,250			
等待時間 (小時)	22.2	21.3	5.6	6.1	1.6	2.8	0.8	0.3	0.3			
實際使用率	0.904	0.874	0.800	0.783	0.748	0.735	0.685	0.661	0.626			
C T 值	881,208,768	879,574,336	294,694,304	345,527,328	212,291,728	246,471,264	164,188,496	245,567,696	257,625,244			
最適結果							◎					

表(6-22)花蓮港七十六年進出港輪船運轉時間分析
(76.1.1. ~ 76.12.31.)

單位：小時

代號	名稱	艘次	平均等待時間 (T W)	平均到達時間	平均停泊時間 (T B)	平均留港時間	TW/TB	備註
G	一般貨輪	639	47.42	13.69	66.94	67.48	0.71	
N	油輪	63	15.33	138.18	39.42	40.08	0.38	
S	駁輪	41	4.20	155.29	30.42	30.96	0.14	

表(6-23)花蓮港七十六年進港船舶停泊碼頭及使用次數

艘次	碼頭	水深(公尺)	長度(公尺)	G	N	S	備 註
6	01	-7.5	123	6	0	0	
54	02	-7.5	153	54	0	0	
49	03	-7.5	134	39	10	0	
60	04	-9.5	160	36	24	0	
99	05	-9.5	160	77	8	14	
37	06	-8.5	150	37	0	0	
53	07	-6.5	120	26	0	27	
58	08	-10.0	220	58	0	0	
0	09	-9.5	103	0	0	0	
132	10	-9.5	183	132	0	0	
69	11	-9.5	185	69	0	0	
0	12	-9.5	150	0	0	0	
19	13	-9.5	185	19	0	0	
18	14	-9.5	185	18	0	0	
28	15	-9.5	99.8	28	0	0	
1	16	-7.5	144	1	0	0	
4	17	-12.0	200	4	0	0	
41	18	-12.0	200	24	17	0	
15	19	-13.6	309	11	4	0	

表(6-24) 蘇澳港七十六年進出港輪船運轉時間分析表
(76. 1. 1. ~ 76. 12. 31.)

單位：小時

代號	輪別	艘次	平均等待時間 (TW)	平均到達時間	平均停泊時間 (TB)	平均留港時間	TW/TB	備註
A	散貨輪	325	19.03	26.69	94.82	95.79	0.20	水果, 石灰 工業等
B	木材輪	88	5.61	99.78	77.38	78.24	0.07	原木
C	油輪	50	17.37	166.07	34.19	34.94	0.51	
D	液態輪	19	4.95	269.95	27.96	28.72	0.18	液態, 石灰 等
E	其他	9	6.75	239.13	89.26	90.09	0.07	機械等

表(6-25) 蘇澳港七十六年進港船舶總量分佈

單位：公噸

船 種 別 DWT	散 貨 輪	木 材 輪	油 輪	液 態 輪	其 他	備 註
0-999	7	0	0	0	1	8
1000-1999	30	0	19	2	1	52
2000-4999	153	73	19	10	7	262
5000-9999	46	7	1	1	0	55
10000-19999	58	6	0	6	0	20
20000-29999	13	1	11	0	0	25
>30000	18	1	0	0	0	19

表(6-26) 七十六年蘇澳港進港船舶停泊碼頭及使用次數

艘次	碼頭	水深 (公尺)	長度 (公尺)	A	B	C	D	E
1	01	-7.5	210	0	0	0	0	1
50	02	-11	175	21	25	0	2	2
99	03	-11	215	98	0	0	1	0
13	04	-11	300	12	0	0	0	1
60	05	-11	200	3	7	50	0	0
28	06	-15	290	27	1	0	0	0
24	07	-13	240	19	0	0	4	1
22	08	-7.5	125	8	14	0	0	0
40	09	-7.5	125	15	23	0	0	2
42	10	-9	175	37	3	0	1	1
40	11	-9	175	30	5	0	5	0
41	12	-9	200	30	10	0	0	1
31	13	-9	180	25	0	0	6	0

七、結論與建議

經本文之研究後，可獲致下列之結論及建議：

7 - 1 結 論

1. GPSS 系統模擬語言可以將船舶進出港程序及碼頭服務時間模擬得很好，而且如果需要亦可作每天進出港船舶數目、船席服務時間分佈……等之記錄。
2. 高雄港已有許多船席達到飽和，雖經本文將船席之調配作調整後可節省約 $\frac{1}{3}$ 之船舶等待時間，但其船席使用率仍然偏高。
3. 高雄港之散貨碼頭船席使用率大多偏低，而貨櫃碼頭美商所租用之碼頭則都已過度使用。
4. 除非散貨碼頭能夠改建，否則高雄港之貨櫃碼頭及大宗貨、雜貨碼頭必須加速增建之腳步方能應付需求。
5. 花蓮港之船席使用率仍然偏低，除非有其它特別原因，否則以目前之船席數目，足以滿足短期間之需求。

7 - 2 建 議

1. 如時間及資料足夠時，應可再進一步分析碼頭倉儲、裝卸機具及內陸運輸等問題。
2. 本文將碼頭按使用情形加以分類之模擬方式，雖然可以將到港船舶數目、船席之服務時間分佈模擬得很好，但無法知道各別船種之實際狀況，建議可以作這方面之比較分析。

參考文獻

1. 黃承傳，「系統方法分析港埠問題之探討」，運輸計劃季刊，一卷三期，民國61年6月。
2. 王慶瑞，「等待原理應用於港埠問題之研究」，運輸計劃季刊，一卷四期，民國61年9月。
3. 蘇立恒，「多目標港口作業系統之模擬」，國立交通大學運輸研究所碩士論文，民國68年6月。
4. 「台灣地區港埠能量調查分析與預測」，交通部運輸研究所，民國76年6月。
5. 「台灣地區國際港埠營運與管理初步研究」，交通部運輸研究所，民國76年6月。
6. 黃承傳，「系統模擬在港埠規劃之應用」，港灣技術研究所，第二屆港埠整體規劃研討會論文集，民國77年3月。
7. 洪韋生、鄧漢忠「工程或然率」，中國土木水利工程學會，民國68年2月。
8. 白健二，「港埠能量之計算與功能性探討」，運輸計劃季刊。
9. Kenneth O. Nilsen & Usamah Abdus-samad, "Simulation And Queuing Theory in Port planning", PORTS '77.
10. Nehrling, B.C., "Container Ship Loading and Unloading Simulation", The Department of Naval Architecture and Marine Engineering, University of Michigan, April, 1970.
11. N. Varaprasad, "Optimum Port Capacity and Operating Policies, A Simulation study" Transport policy and decision making 297 ~ 312 (1986).
12. Thomas J. Schriber, "Simulation using GPSS", 開發圖書有限公司。
13. 張真誠，「GPSS/H講義」國立中興大學電子計算機中心，民國76年3月。
14. 「台中港港口擴建對貨櫃營運效率之影響研究」，港灣技術研究所，民國76年12月。
15. 「港埠最適能量之研究」期中報告，港灣技術研究所，民國71年6月。

月。

16. 朱金元、王慶福「港埠最適能量之研究」，港灣技術研究所，第二屆港灣技術研討會，民國77年9月。
17. 高雄港業務簡報資料。
18. 花蓮港業務簡報資料。
19. 朱金元，「高雄港營運改善策略之模擬研究」，尚未發表，但已經交通部運輸計劃季刊審查通過。

附錄 A 電腦程式

```

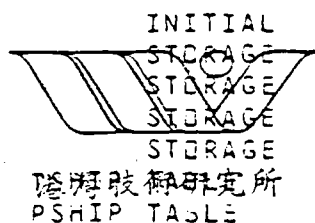
SIMULATE
REALLOCATE BLC,120,FUN,40,TAB,3,STD,35,BVR,1,HMS,1,CHA,1
REALLOCATE FAC,1,LOG,1,FMS,1,CUE,35,FSV,10,XAC,1600
RMULT      11111,55555
WAIT EQU   34,Q
1 FUNCTION RN2,C10
.41,7200/.89,14400/.94,21600/.96,28800/.97,36000
.97,57600/.98,64800/.98,72000/.99,79200/1,108000
2 FUNCTION RN2,C13
.31,7200/.72,14400/.84,21600/.89,28800/.92,36000
.94,43200/.96,57600/.97,67800/.97,72000/.98,79200
.98,86400/.99,93600/1,109200
3 FUNCTION RN2,C8
.51,7200/.88,14400/.92,21600/.94,28800/.95,36000
.96,43200/.97,57600/1,100800
4 FUNCTION RN2,C3
.20,7200/.57,14400/.70,21600/.86,28800/.97,36000
.98,43200/.99,57600/1,129600
5 FUNCTION RN2,C8
.36,7200/.71,14400/.86,21600/.95,28800/.97,36000
.98,43200/.99,64800/1,100800
6 FUNCTION RN2,C8
.32,7200/.88,14400/.92,21600/.94,28800/.97,36000
.98,57600/.99,72000/1,144000
7 FUNCTION RN2,C12
.23,7200/.73,14400/.86,21600/.93,28800/.95,38400
.97,43200/.97,57600/.98,64800/.98,79200/.99,86400
.99,100800/1,115200
8 FUNCTION RN2,C12
.27,7200/.69,14400/.78,21600/.82,28800/.87,38400/.92,43200
.95,57600/.95,64800/.97,72000/.97,93600/.98,100800/1,129600
9 FUNCTION RN2,C8
.44,7200/.88,14400/.96,21600/.98,28800/.98,36000
.99,43200/.99,57600/1,64800
10 FUNCTION RN2,C7
.49,7200/.92,14400/.98,21600/.98,36000/.99,43200
.99,64800/1,72000
11 FUNCTION RN2,C22
.0267,7200/.0534,14400/.08,21600/.1333,28800/.1866,36000
.1999,43200/.3066,50400/.3999,57600/.4399,64800/.4666,72000
.5333,79200/.5733,86400/.6266,93600/.6533,100800/.72,108000
.7383,115200/.8266,129600/.8933,14400/.9066,158400/.9466,172800
.9466,187200/1,216000
12 FUNCTION RN2,C22
.0123,7200/.0123,14400/.0185,21600/.0802,28800/.1790,36000
.2599,43200/.3333,50400/.4198,57600/.4815,64800/.5247,72000
.5741,79200/.5938,86400/.6420,93600/.6728,100800/.7099,108000

.7469,115200/.8086,129600/.8395,144000/.8765,158400/.8951,172800
.9259,187200/1,259200
13 FUNCTION RN2,C16
.2188,7200/.4688,14400/.5,21600/.5938,28800/.6563,36000
.7181,43200/.7812,50400/.7812,57600/.8125,64800/.8125,100800
.8750,108000/.8750,115200/.9063,129600/.9375,144000/.9375,187200
1,244800
14 FUNCTION RN2,C11
.0313,7200/.5,14400/.7188,21600/.8125,28800/.8750,36000
.8750,86400/.9063,93600/.9063,115200/.9375,129600/.9375,187200
1,244800
15 FUNCTION RN2,C13
.0323,7200/.3226,14400/.4516,21600/.5806,28800/.6774,36000

```

.7097,43200/.7097,50400/.7742,51600/.8381,64800/.9355,72000
 .9677,79200/.9677,100800/1,108000
 16 FUNCTION RN2,C9
 0,7200/.3529,14400/.5982,21600/.6471,28800/.7059,36000
 .8235,43200/.8235,172800/.8824,187200/1,259200
 17 FUNCTION RN2,C22
 0,7200/.0132,14400/.0132,21600/.1448,28800/.3027,36000
 .4211,43200/.4737,50400/.5658,57600/.6184,64800/.6973,72000
 .7105,79200/.8158,86400/.8290,93600/.8290,100800/.8422,108000
 .8422,115200/.8817,129600/.8817,144000/.8949,158400/.8949,172800
 .9344,187200/1,216000
 18 FUNCTION RN2,C16
 .0474,7200/.5690,14400/.7759,21600/.8793,28800/.9224,36000
 .9310,43200/.9396,50400/.9655,57600/.9655,64800/.9741,72000
 .9741,79200/.9870,86400/.9870,93600/.9913,100800/.9913,187200
 1,201600
 19 FUNCTION RN2,C12
 .1162,7200/.5657,14400/.7702,21600/.9040,28800/.9545,36000
 .9772,43200/.9797,50400/.9923,57600/.9923,64800/.9974,7200
 .9974,79200/1,86400
 20 FUNCTION RN2,C11
 .0050,7200/.1759,14400/.3970,21600/.8292,28800/.9548,36000
 .9799,43200/.9849,50400/.9899,57600/.9940,64800/.9949,187200
 1,201600
 21 FUNCTION RN2,C20
 .2423,7200/.5747,14400/.6761,21600/.8113,28800/.8507,36000
 .8732,43200/.8986,50400/.9211,57600/.9465,64800/.9550,72000
 .9663,79200/.9691,86400/.9747,93600/.9832,100800/.9888,108000
 .9888,144000/.9916,158400/.9944,172800/.9944,187200/1,201600
 22 FUNCTION RN2,C17
 .0347,7200/.4104,14400/.6358,21600/.7110,28800/.8150,36000
 .8671,43200/.9017,50400/.9306,57600/.9538,64800/.9653,72000
 .9769,79200/.9827,86400/.9827,108000/.9884,11520/.9942,129600
 .9942,144000/1,158400
 23 FUNCTION RN2,C20
 .0076,7200/.2045,14400/.3409,21600/.3864,28800/.4545,36000
 .6288,43200/.7197,50400/.8258,57600/.8636,64800/.9015,72000
 .9091,79200/.9545,86400/.9621,93600/.9697,100800/.9697,115200
 .9848,129600/.9848,144000/.9924,158400/.9924,172800/1,201600
 24 FUNCTION RN2,C17
 0,7200/.0435,14400/.13,21600/.13,28800/.217,36000
 .217,39600/.2605,57600/.3475,64800/.3475,72000/.391,79200
 .4345,86400/.478,93600/.478,100800/.5215,108000/.6085,115200
 .6955,129600/1,288000
 25 FUNCTION RN2,C21
 0,7200/.035,28800/.105,36000/.175,43200
 .193,50400/.263,57600/.333,64800/.368,72000/.386,79200
 .439,86400/.474,93600/.509,100800/.527,108000/.58,115200
 .633,129600/.633,144000/.666,158400/.686,172800/.704,187200
 1,288000
 26 FUNCTION RN2,C22
 .0568,7200/.142,14400/.3419,21600/.4375,28800/.5587,36000
 .6307,43200/.7301,50400/.7689,57600/.821,64800/.8475,72000
 .8254,79200/.9015,86400/.9129,93600/.9242,100800/.9347,108000
 .9422,115200/.9545,129600/.9659,144000/.9716,158400/.9773,172800
 .9782,187200/1,201600
 27 FUNCTION RN2,C22
 .0301,7200/.2289,14400/.3976,21600/.4639,28800/.5723,36000
 .6145,43200/.6867,50400/.7169,57600/.759,64800/.7831,72000
 .8253,79200/.8313,86000/.8373,93600/.8434,100800/.8795,108000

.8916,115200/.9036,129600/.9217,144000/.9398,158400/.9398,172800
 .9834,187200/1,201600
 28 FUNCTION RN2,C22
 .192,7200/.4033,14400/.5327,21600/.5833,28800/.6518,36000
 .6875,43200/.7411,50400/.7619,57600/.8021,64800/.8155,72000
 .833,79200/.8467,86400/.8661,93600/.8839,100800/.9048,108000
 .9107,115200/.9405,129600/.9613,14400/.9673,158400/.9777,172800
 .9807,187200/1,201600
 29 FUNCTION RN2,C22
 .0746,7200/.1614,14400/.2288,21600/.3207,28800/.4474,36000
 .5342,43200/.6027,50400/.6435,57600/.6895,64800/.7222,72000
 .763,79200/.7886,86400/.8192,93600/.8427,100800/.8641,108000
 .8784,115200/.9050,129600/.9234,144000/.9336,158400/.9459,172800
 .9561,187200/1,201600
 35 FUNCTION RN2,C24
 0,0/.1,.104/.2,.222/.3,.355/.4,.509/.5,.69/.6,.915/.7,1.2/.75,1.38
 .8,1.6/.84,1.83/.88,2.12/.9,2.3/.92,2.52/.94,2.81/.95,2.99/.96,3.2
 .97,3.5/.98,3.9/.99,4.6/.995,5.3/.998,6.2/.999,7/.9998,8
 36 FUNCTION RN1,C29
 .0209,1/.0849,2/.1195,3/.1423,4/.2133,5/.258,6/.2994,7/.3203,8
 .363,9/.3948,10/.4033,11/.4217,12/.4253,13/.4289,14/.4324,15
 .4343,16/.443,17/.4694,18/.5145,19/.5372,20/.5776,21/.5973,22
 .6123,23/.6149,24/.6214,25/.776,26/.7953,27/.8790,28/1,29
 37 FUNCTION P1,L29
 1,270/2,400/3,300/4,520/5,320/6,360/7,360/8,330/9,310/10,320/11,360
 12,390/13,350/14,440/15,530/16,310/17,480/18,220/19,480/20,510/21,270
 22,350/23,550/24,420/25,250/26,250/27,370/28,340/29,420
 38 FUNCTION P1,L29
 1,250/2,300/3,300/4,360/5,320/6,280/7,260/8,300/9,250/10,270/11,300
 12,300/13,320/14,370/15,360/16,240/17,280/18,200/19,360/20,340
 21,240/22,280/23,390/24,310/25,300/26,240/27,310/28,280/29,320
 39 FUNCTION P1,L29
 1,150/2,300/3,170/4,200/5,160/6,100/7,150/8,200/9,170/10,180/11,250
 12,130/13,150/14,180/15,200/16,150/17,160/18,100/19,250/20,260
 21,130/22,200/23,270/24,300/25,120/26,150/27,150/28,170/29,170
 40 FUNCTION P1,L29
 1,100/2,200/3,200/4,200/5,200/6,150/7,130/8,200/9,120/10,130
 11,150/12,170/13,170/14,150/15,150/16,100/17,130/18,120/19,160/20,140
 21,120/22,140/23,150/24,150/25,170/26,140/27,150/28,160/29,150



INITIAL XSTYPE,33
 STORAGE S1,1/S2,3/S3,1/S4,1/S5,3/S6-S7,2/S8-S10,1/S11,2
 STORAGE S12,4/S13-S16,1
 STORAGE S17-S18,2/S19,3/S20,2/S21-S22,3/S23,2/S24-S25,5
 STORAGE S26,15/S27,2/S28,8/S29,13
 SHIP TABLE VSHIPS,20,20,40
 VSHIP,20,20,10

LENTH	TABLE	P2,0,10,W50
SHIP	VARIABLE	WSCCC
SHIPS	VARIABLE	WSAAA+WSBBB+WSCCC+WSDDD
	GENERATE	550, FN35,,,2
	ASSIGN	1, FN36
	QUEUE	WAIT
	QUEUE	P1
AAA	ENTER	P1
	DEPART	P1
	DEPART	WAIT
	ASSIGN	3, FN39
BBB	ADVANCE	FN37, P3
CCC	ADVANCE	FN*1

	LEAVE	P1
	ASSIGN	6, FN40
DDD	ADVANCE	FN38, P6
	TERMINATE	
	GENERATE	,,,1,1,2,F
WATCH	MARK	1
	ASSIGN	2, Q\$WAIT
	TEST NE	MP1, 0
	TABULATE	LENTH, MP1
	TRANSFER	, WATCH
	GENERATE	14400
	TABULATE	PSHIP
	TABULATE	TSHIP
	TERMINATE	1
	START	30
	RESET	
	START	365
	END	

附錄 B

碼頭編號及船種編號對照表

調 整 前				調 整 後			
船種	碼	頭	編 號	船種	碼	頭	編 號
1.	40、41			1.	40		
2.	43、63			2.	41、43、63		
3.	42			3.	42		
4.	64			4.	64		
5.	65、66、67			5.	65、66、67		
6.	68			6.	68		
7.	69			7.	69		
8.	70			8.	70		
9.	116			9.	116		
10.	117			10.	117		
11.	46、47			11.	46、47		
12.	33、44、71			12.	33、44、71		
13.	22			13.	22		
14.	25			14.	25		
15.	29			15.	29		
16.	14			16.	14		
17.	111			17.	111		
18.	112			18.	112		
19.	60、61、62			19.	60、61、62		
20.	104、105			20.	104、105		
21.	18、19、20			21.	18、19、20		
22.	94、95、96			22.	94、95、96		
23.	97、98			23.	97、98		
24.	85、86、87、88、89			24.	85、86、87、88、89		
25.	141、142、143、144、145			25.	141、142、143、144、145		
26.	1			26.	1、2、4、5、6、7、8、9、10、11、12、15、16、17		
27.	2、4、5、6、7、8、9、10、12、15、16、17			27.	31		
28.	11			28.	32、34、35、36、37、38、39		
29.	31			29.	28、45、48、49、50、51、52、53、54、55		
30.	32				56、57		
31.	34、35、36、37、38、39、40						
32.	28						
33.	45、						