

시뮬레이션에 의한釜山港灣 運送過程의 分析에 關하여

朴 桂 珏* · 李 俊 秀* · 李 哲 榮*

On the Analysis of Transportation Process of Pusan Port

Gai-Kark Park · Joon-Soo Lee · Cheol-Yeong Lee

< 目 次 >

Abstract	3·1 시뮬레이션을 爲한 準備
1. 序 論	3·2 시뮬레이션
2. 釜山港의 現況	4. 運送過程의 改善策
2·1 釜山港의 現況	4·1 서어비스率의 改善
2·2 到着率의 分析	4·2 到着率의 改善
2·3 서어비스 率의 分析	5. 結 論
3. 시뮬레이션에 依한 分析	參考文獻

Abstract

Transportation provides an infrastructure vital to economic growth, and it is an integral part of production. As a port is the interface between the maritime transport and domestic transport sectors, it certainly plays a key role in any economic development. Therefore, it is doubtless that inadequacy of a nation's port will depress the level of throughput, to the level where it fails to meet the target set by the national economic planning schemes.

Korea is surrounded by the seas and the economic structure of Korea consists of processing trades, so that it cannot be overstated that substantial economy in maritime transport costs can be achieved through the improvement of the port transport system.

This paper treats the transportation process in Pusan Port by Queuing Simulation method, and the reasonable size of Pusan Port is suggested from the point of view of efficiency maximization.

The results of the analysis are summarized as follows;

- 1) the utility rate is 47.91 percents in general piers, 85.52 percents in container piers, and waiting time 5.2hrs. in general piers, 0.8 hrs. in container piers, and the

* 正會員, 韓國海洋大學

probability of maximum queue length 12 ships in general piers, 2 ships in container piers, and the probability of waiting is 44 percents in general piers, 8 percents in container piers.

2) in general piers, the improvement of app. 30 percents in port capacity is desirable for operating effectively concerning the current arrival rate. By introducing the traffic control in container piers, there is no apparent necessity of port investment, but it is expected to reduce invisible congestion occurred along the waiting line.

3) in Pusan Port, the optimal utility rate and the optimal arrival rate for reducing waiting time are 3.5 to 4.0(hrs./ship) in general piers, 5.1 to 6.0(hrs./ship) in container piers.

1. 序 論

運送은 現代工業國家에 있어서 經濟成長에 없어서는 안될 重要한 下部構造이며 特別히, 船舶에 依한 運送方法은 低廉한 運送費用으로 大量의 貨物을 運送할 수 있다는 長點때문에 그 重要性은 더욱 크게 評價되고 있다. 따라서 海上과 陸上을 連結하는 接點으로서 船舶을 受容해야 하는 港灣의 重要性은 아무리 強調하여도 지나치다 할 수 없을 것이다.

特別히 三面이 바다로 둘러싸여 있으며 大部分의 原料를 輸入하여 加工輸出해야 하는 貿易 依存型 經濟構造를 가지고 있는 우리나라는 港灣의 重要性이 보다 實感있게 認識되어야 할 것이다. 本 論文은 國內最大의 貿易港인 釜山港의 運送過程을 分析하고자 한다.

釜山港에 關해서는 多角度에서의 概略的인 接近方法으로 行한 몇가지 研究事例가 있으나 限定된 範圍의 資料를 利用한 것이 대부분이다. 따라서 本 論文에서는 廣範圍한 資料蒐集과 計算機를 利用하여 釜山港灣의 運送過程을 研究하였으며 그 方法으로 <그림 1>과 같은 待期行列모형을 適用하여 시뮬레이션 하였다.

먼저 釜山港 運送過程의 主要 變數인 船舶의 到着率과 埠頭 서어비스를 細部의으로 調査한 後에 運送시스템의 效率的인 運用을 爲한 變更을 檢討하였다. 그리고 各埠頭別, 船舶別로 詳細한 資料를 蒐集하고 變更效果를 研究하여 實際 勸告案을 作成하고 小規模 및 全面的인 시뮬레이션을 實施하여 서어비스率 擴張 및 到着時間을 統

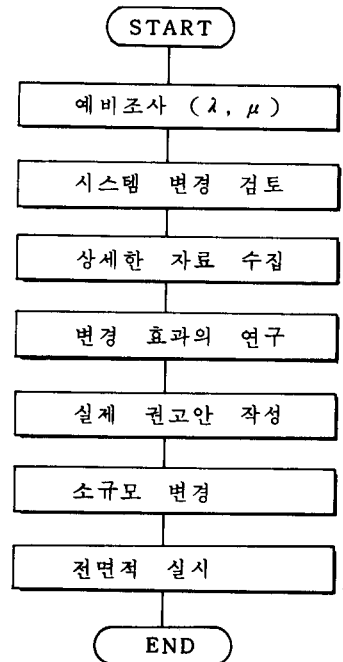


Fig. 1. Flow of Queuing Simulation

制하여 船舶 回航時間의 短縮 및 埠頭施設의 效用을 極大化하는 데 本 論文의 目的이 있다.

本 論文의 構成은 아래와 같다.

第 2 章에서는, 釜山港의 全般的인 現況 및 船舶의 到着率 및 서어비스率을 分析하여 解
析的인 方法의 檢討可能性을 檢定하고,

第 3 章에서는, 시뮬레이션에 의한 分析을 通하여 現在 運營중인 釜山港灣의 實態 및 諸
般問題點을 把握한다.

第 4 章에서는, 到着率 및 서어비스率을 檢討하여 釜山港灣이 앞으로 施設擴張을 戒하거
나 보다 많은 船舶을 處理해야 할 境遇에 어떠한 改善策을 取해야 할 것인가를 檢討 提案
한다.

第 5 章에서는, 多角的인 釜山港灣의 改善策과 앞으로의 研究方向을 結論으로 要約하기로
한다.

2. 釜山港의 現況

2.1 釜山港의 現況

우리나라 最大의 貿易港인 釜山港은 主要 輸出·入 貨物을 處理하는 데에 매우 큰 役割
을 해왔다.

過去 長期的인 港灣計劃이 없었던 釜山港灣은 70年代 初 놀라운 經濟成長 및 海運好景氣
에 힘입어 釜山港 綜合開發에 着手하였으며, 그 1 段階工事로 1976年度에 컨테이너 5 埠頭
가 完工 되었으며, 컨테이너埠頭 2 段階工事로 82年度에 6 埠頭가 完工되어 現在에는 3 段
階工事が 進行중이다.

釜山港의 總 面積은 陸地 및 水面積을 包含하여 總 9,500 헥타아르에 達하고 있으며, 港
灣西端 낙동강 어귀를 비롯하여 多大灣, 甘川灣, 南內外港, 北內外港 및 港灣 東北端의 水
營灣까지 包含하고 있다.

水域 總 面積은 約 8,170 헥타아르이며 海岸線의 總 연장은 約 97km에 이르고 있다. 多
大港과 甘川港도 現在 開發중으로 木材, 合板, 시멘트, 石炭, 鐵鋼, 魚物等과 같은 產業을
爲한 原料와 製品을 處理하고 있다. 南內港은 魚港으로서의 主된 役割을 하고 있다. 約 700
헥타아르의 水面積을 갖는 北內港은 主된 船積作業地域으로 100DWT에서 50,000DWT級의
貨物船 및 旅客船을 接岸시킬수 있다. 港 南쪽 모서리에는 海岸線을 따라 造船施設과 物揚
場들이 있다.

一般雜貨 및 기타 非컨테이너 貨物用 6,000DWT級 船舶은 1, 2, 3, 4 및 中央埠頭に 32
隻을 受容할 수 있으며, 컨테이너 埠頭(5, 6埠頭)는 11,000DWT 級의 船舶 7隻을 受容할

수 있다. 北港의 運營 및 管理는 두 機構가 管掌하고 있다. 즉, 5埠頭와 6埠頭는 釜山港 컨테이너 埠頭運營公社(B.C.T.O.C)가 그 外 나머지 埠頭(1, 2, 3, 4, 7) 및 中央埠頭는 釜山 地方海運港灣廳埠頭課가 管理·運營하고 있다. 따라서 1, 2, 3, 4, 7 및 中央埠頭(以下 一般埠頭라고 한다)와 컨테이너 埠頭에서 서어비스를 받고나간 2,000GRT 以上의 外航航行船만을 고려하여 分析을 實施하였으며 油槽船, 旅客船 및 軍艦들은 本 研究 對象에 包含시키지 않았다. 또한, 民間事業埠頭로 使用중인 東明埠頭와 港內 手續 節次 및 서어비스를 받기 爲하여 一時的으로 待期하는 場所로써 活用되는 錨泊地는 分析의 對象에서 除外시켰음을 밝혀둔다.

釜山港의 埠頭 및 船席의 現況을 <그림 2·1>에 보인다. 各各의 埠頭에서 取扱하는 貨物 및 埠頭的 總 延長길이, 平均的인 水深, 接岸能力和 埠頭構造의 特性을 <表 2-1>에 보인다.

2·2 到着率의 分析

到着에 關한 資料는, 埠頭課에 비치되어 있는 外國船 및 外航船 出入港 日誌를 참조했다. 1985. 1. 1부터 1985. 6. 30 까지의 期間동안 釜山港灣의 北港에 碇泊하였다가 서어비스를 받는 船舶, 3,000여척에 關한 資料를 蒐集하였으며 錨泊地에서 積揚荷하는 船舶, 軍艦旅客船 및 一時的으로 碇泊한 後 다른 港으로 移動한 船舶은 分析의 對象에서 除外시

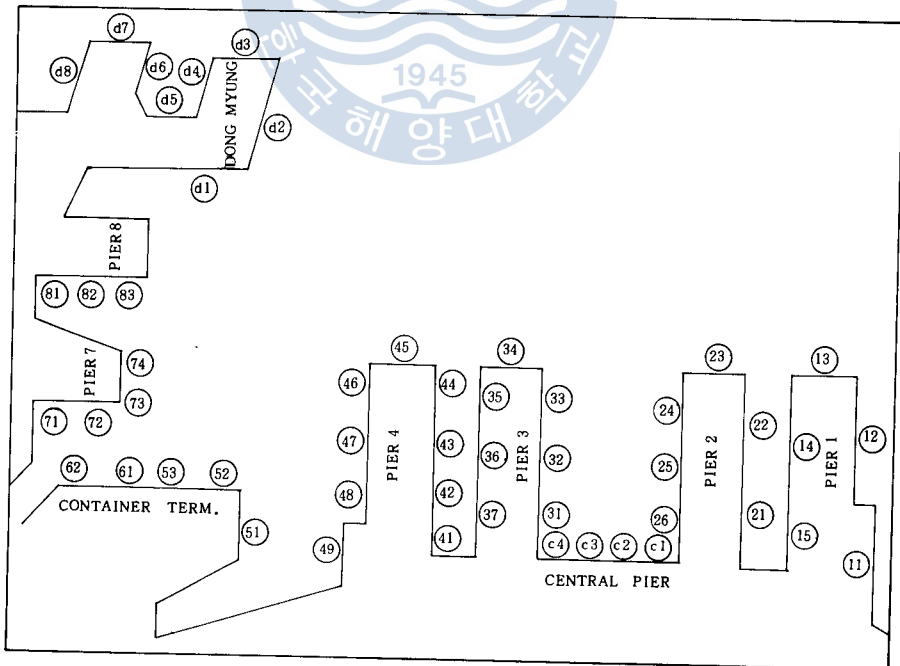


Fig. 2·1. Arrangement of piers in Pusan port.

Table 2-1 Details of Pusan Port

埠頭	主要取扱貨物	延長 (LM)	水深 (M)	接岸能力		備考
				船舶數	噸數	
第1埠頭	雜貨物, 鐵材컨테이너	963	8-9	3	6,000	南西埠頭는 國際旅客 및 沿岸 컨테이너 作業用임.
第2埠頭	雜貨物, 鐵材컨테이너, 木材, 雪糖	923	9-11	7	9,000	棧橋式
中央埠頭	上 同	648	9	4	9,000	重力式
第3埠頭	雜貨物, 鐵材, 木材, 컨테이너	1,065	9-10	7	9,000	重力式
第4埠頭	雜貨物, 컨테이너, 鐵材 非包裝시멘트	1,290	9-10	9	9,000	重力式
第5埠頭	컨테이너 糧 穀	659		2	50,000	棧橋式
		371	12.5	1	50,000	
第6埠頭	컨테이너	603	13.5	2	50,000	棧橋式
第7埠頭	石炭, 古鐵 및 鑽石	475	10.5	4	15,000	
第8埠頭	雜貨物	880	10.5	3	15,000	美陸軍補給隊 韓國陸軍部隊 海軍 및 海洋 警察隊用
				1	10,000	
				1	5,000	
				2	1,000	
沿岸旅客 및 貨物用埠頭		535	6.5	1	3,000	
				5	1,000	

켰다.

最終的으로 選別된 DATA는 總 2184 隻(컨테이너船 580 隻, 一般雜貨船 1604 隻)의 資料를 整理 分析하여 모은 것으로 i) 船名, ii) 接岸埠頭, iii) 錨地에 到着한 日·時, iv) 埠頭に 接岸한 日·時, v) 埠頭를 離岸한 日·時, vi) 出航日·時 等이 抽出되었다.

釜山港에 到着하는 一連의 船舶과 船舶 到着間隔의 時間分布에 關한 分析 結果를 <表 2-2>와 <表 2-3>에 보인다. 分布의 時間基準은 一般埠頭 및 컨테이너 埠頭를 各各 1時間 間隔으로 잡아 船舶到着의 發生頻度數(隻數)를 圖表化하여 累積分布로 보이고 있으며, 一連의 船舶과 船舶到着 사이의 平均時間은 一般埠頭가 3.484時間이고 컨테이너 埠頭가 6.667 時間이었다.

一般埠頭와 컨테이너 埠頭に 到着하는 船舶의 理論的인 觀測值를 DATA 로 하여 最小自

乘法(Least-squares Curve fitting)으로 求한 結果, 各各 $0.752e^{-\frac{t}{3.484}}$ 와 $1.10e^{-\frac{t}{6.667}}$ 였으며, <表 2-2>와 <表 2-3>에 百分率로 累積化하여 보이며 觀測到着時間의 理論的인 指數分布를 <그림 2-2>와 <그림 2-3>에 보인다.

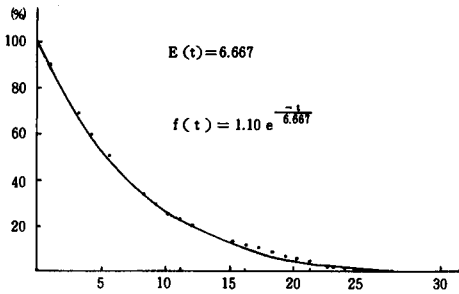


Fig. 2-2. Cumulative distribution of ship arrivals(container pier)

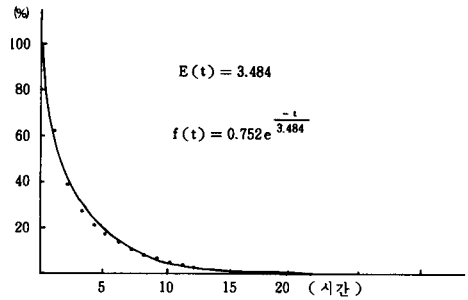


Fig. 2-3. Cumulative distribution of ship arrivals(general pier)

Table 2-2 Distribution of time between successive arrival vessels (container pier)

시간간격 (시간)	빈도수 (척수)	누적분포 (%)	$f(t) = 1.10e^{-\frac{t}{6.667}}$	시간간격 (시간)	빈도수 (척수)	누적분포 (%)	$f(t) = 1.10e^{-\frac{t}{6.667}}$
0~ 0.99	36	100.00	100.00	16~16.99	11	11.90	10.00
1~ 1.99	73	93.79	94.68	17~17.99	9	10.00	8.60
2~ 2.99	58	81.21	81.49	18~18.99	6	8.45	7.39
3~ 3.99	56	71.21	70.14	19~19.99	5	7.41	6.36
4~ 4.99	44	61.55	60.37	20~20.99	8	6.55	5.48
5~ 5.99	42	53.97	51.96	21~21.99	7	5.17	4.71
6~ 6.99	41	46.72	44.72	22~22.99	4	3.97	4.06
7~ 7.99	35	39.66	38.49	23~23.99	2	3.28	3.49
8~ 8.99	32	33.62	33.13	24~24.99	4	2.93	3.01
9~ 9.99	17	28.10	28.52	25~25.99	1	2.24	2.59
10~10.99	9	25.17	24.54	26~26.99	3	2.07	2.23
11~11.99	17	23.62	21.13	27~27.99	2	1.55	1.92
12~12.99	20	20.69	18.18	28~28.99	3	1.21	1.65
13~13.99	12	17.24	15.65	29~29.99	2	0.69	1.42
14~14.99	11	15.17	13.47	30~30.99	2	0.34	1.22
15~15.99	8	13.28	11.59	30.99이상	0	0.00	0.00

實際의船舶到着에關한累積分布와理論的인陰의指數曲線과의 사이에適合度를보면一般埠頭와컨테이너埠頭는各各自由度18과28에서 $\chi^2=2.39 < 28.87$ 과 $\chi^2=3.5 < 41.3$ 으로서95%의信賴度를보였다.

以上으로釜山港灣의一連의船舶과船舶到着間隔이指數分布를따르므로到着時間分布는Poisson分布로다룰수있다.

2.3 서어비스率의分析

埠頭서어비스時間에關한資料는每日記錄되고있는釜山地方海運港灣廳埠頭課의埠頭및錨地,船席指定現況日誌로부터蒐集하였고1985. 1. 1부터1985. 6. 30까지各埠頭に接岸한3,000여척의船舶중앞에서言及한8埠頭,東明埠頭및旅客埠頭를除外하고2,000GRT以上の船舶만을對象으로資料를分析整理한結果,一般埠頭1604隻,컨테이너埠頭580隻의船舶에關한DATA를抽出하였다.

統計處理의結果,船舶이埠頭에서서어비스를받았던平均時間은一般埠頭가53.39時間컨테이너埠頭가15.45時間이었다.

埠頭서어비스時間分布가理論的인分布函數인Erlangian分布로의接近可能한가를檢討하기爲하여平均서어비스時間을中心으로各各10等分하여圖表로作成하여〈表2-4〉와〈表2-5〉에보인다.

여러가지의서어비스時間分布중에서埠頭的서어비스時間特性和잘맞는것으로알려진Erlangian分布를選擇하여釜山港의埠頭서어비스時間分布와의適合性を檢討하기爲하여 χ^2 檢定을實施하였다.檢定結果,自由度20에서有意水準을滿足하지못하여棄却됨을確認하였다.〈그림2-4〉와〈그림2-5〉는觀測值에依한分布와의比較를爲하여 $K=1$ 에서 $K=6$ 까지의Erlangian分布의曲線을,各各컨테이너埠頭와一般埠頭로分類하여나타내고있으며〈表2-6〉은 χ^2 檢定の結果를보이고있다.

Table 2-3 Distribution of time between successive arrival vessels (general pier)

시간간격 (시간)	빈도수 (척수)	누적분포 (%)	$f(t) = 0.752e^{-t/3.484}$
0~ 0.99	602	100.00	100.00
1~ 1.99	364	62.47	56.44
2~ 2.99	203	39.78	42.36
3~ 3.99	101	27.20	31.79
4~ 4.99	71	20.82	23.86
5~ 5.99	54	16.40	17.91
6~ 6.99	44	13.03	13.44
7~ 7.99	31	10.29	10.09
8~ 8.99	33	8.35	7.57
9~ 9.99	25	6.30	5.68
10~10.99	19	4.74	4.26
11~11.99	14	3.55	3.20
12~12.99	16	2.68	2.40
13~13.99	4	1.68	1.80
14~14.99	6	1.43	1.35
15~15.99	3	1.12	1.02
16~16.99	5	0.94	0.76
17~17.99	3	0.62	0.57
18~18.99	4	0.44	0.43
19~19.99	3	0.19	0.32
19.99이상	0	0.00	

以上과 같은 結果로 부터 보다 細密하고도 一般的인 釜山港灣의 運送過程을 分析하기 위해서는, 서어비스 時間의 累積分布에 依한 頻度數 發生으로 廣範圍한 DATA 를 利用하여 시뮬레이션 해야함을 알 수 있다. 이러한 理由外에도 解析的인 接近方法이 가지고 있는 여러가지 制約點 때문에 多樣한 시스템 設計를 爲해서는 시뮬레이션을 利用하여야만 하므로 第3章 및 第4章에서는 시뮬레이션을 利用한 釜山港灣의 分析을 實施하고자 한다.

아래의 表에서는 Erlangian 分布와의 比較를 爲하여 컨테이너 埠頭에서 消費된 서어비스 時間을 分析·比較하고 있으며, 單位區分 1.0의 平均時間 15.45를 中心으로 上限, 下限으로 各各 10等分하여 時間間隔에 따른 頻度數를 配列하고 累積分布를 作成하여 컨테이너船

Table 2-4 Time spent at the container pier

단위구분	시간 간격 (시간)	빈도수 (척)	누적분포 (%)
0.0~0.09	0~ 1.48	1	100.00

Table 2-5 Time spent at the general pier

단위구분	시간 간격 (시간)	빈도수 (척)	누적분포 (%)
0.0~0.09	0~ 5.32	2	100.00



實際의 船舶到着에 關한 累積分布와 理論的인 陰의 指數曲線과의 사이에 適合度를 보면 一般埠頭와 컨테이너 埠頭는 各各 自由度 18과 28에서 $\chi^2=2.39 < 28.87$ 과 $\chi^2=3.5 < 41.3$ 으로서 95%의 信賴度를 보였다.

以上으로 釜山港灣의 一連의 船舶과 船舶到着 間隔이 指數分布를 따르므로 到着時間分布는 Poisson 分布로 다룰 수 있다.

2.3 서어비스率의 分析

埠頭 서어비스 時間에 關한 資料는 每日 記錄되고 있는 釜山地方海運港灣廳埠頭課의 埠頭 및 錨地, 船席 指定現況 日誌로 부터 蒐集하였고 1985. 1. 1부터 1985. 6. 30까지 各 埠頭に 接岸한 3,000여척의 船舶중 앞에서 言及한 8埠頭, 東明埠頭 및 旅客埠頭를 除外하고 2,000 GRT 以上の 船舶만을 對象으로 資料를 分析 整理한 結果, 一般埠頭 1604隻, 컨테이너 埠頭 580隻의 船舶에 關한 DATA를 抽出하였다.

統計處理의 結果, 船舶이 埠頭에서 서어비스를 받았던 平均時間은 一般埠頭가 53.39 時間 컨테이너 埠頭가 15.45 時間이었다.

埠頭 서어비스 時間 分布가 理論的인 分布函數인 Erlangian 分布로의 接近可能한가

를 檢討하기 爲하여 平均 서어비스 時間을 中心으로 各各 10等分하여 圖表로 作成하여 <表 2-4>와 <表 2-5>에 보인다.

여러가지의 서어비스 時間 分布중에서 埠頭的 서어비스 時間 特性和 잘 맞는 것으로 알려진 Erlangian 分布를 選擇하여 釜山港의 埠頭 서어비스 時間分布와의 適合性을 檢討하기 爲하여 χ^2 檢定을 實施하였다. 檢定結果, 自由度 20에서 有意水準을 滿足하지 못하여 棄却됨을 確認하였다. <그림 2-4>와 <그림 2-5>는 觀測值에 依한 分布와의 比較를 爲하여 $K=1$ 에서 $K=6$ 까지의 Erlangian 分布의 曲線을, 各各 컨테이너 埠頭와 一般埠頭로 分類하여 나타내고 있으며 <表 2-6>은 χ^2 檢定の 結果를 보이고 있다.

Table 2-3 Distribution of time between successive arrival vessels (general pier)

시간간격 (시간)	빈도수 (척수)	누적분포 (%)	$f(t) = 0.752e^{-t/164}$
0~ 0.99	602	100.00	100.00
1~ 1.99	364	62.47	56.44
2~ 2.99	203	39.78	42.36
3~ 3.99	101	27.20	31.79
4~ 4.99	71	20.82	23.86
5~ 5.99	54	16.40	17.91
6~ 6.99	44	13.03	13.44
7~ 7.99	31	10.29	10.09
8~ 8.99	33	8.35	7.57
9~ 9.99	25	6.30	5.68
10~10.99	19	4.74	4.26
11~11.99	14	3.55	3.20
12~12.99	16	2.68	2.40
13~13.99	4	1.68	1.80
14~14.99	6	1.43	1.35
15~15.99	3	1.12	1.02
16~16.99	5	0.94	0.76
17~17.99	3	0.62	0.57
18~18.99	4	0.44	0.43
19~19.99	3	0.19	0.32
19.99이상	0	0.00	

以上과 같은 結果로 부터 보다 細密하고도 一般的인 釜山港灣의 運送過程을 分析하기 위
해서는, 서어비스 時間의 累積分布에 依한 頻度數 發生으로 廣範圍한 DATA 를 利用하여
시물레이션 해야함을 알 수 있다. 이러한 理由外에도 解析의인 接近方法이 가지고 있는 여
러가지 制約點 때문에 多樣한 시스템 設計를 爲해서는 시물레이션을 利用하여야만 하므로
第3章 및 第4章에서는 시물레이션을 利用한 釜山港灣의 分析을 實施하고자 한다.

아래의 表에서는 Erlangian 分布와의 比較를 爲하여 컨테이너 埠頭에서 消要된 서어비스
時間을 分析·比較하고 있으며, 單位區分 1.0의 平均時間 15.45를 中心으로 上限, 下限으
로 各各 10等分하여 時間間隔에 따른 頻度數를 配列하고 累積分布를 作成하여 컨테이너船

Table 2-4 Time spent at the container pier

단위구분	시 간 간 격 (시간)	빈도수 (척)	누적분포 (%)
0.0~0.09	0~ 1.48	1	100.00
0.1~0.19	1.49~ 3.04	5	99.83
0.2~0.29	3.05~ 4.58	7	98.97
0.3~0.39	4.59~ 6.14	14	97.76
0.4~0.49	6.15~ 7.69	25	95.34
0.5~0.59	7.70~ 9.24	79	91.03
0.6~0.69	9.25~10.79	45	77.41
0.7~0.79	10.80~12.34	84	69.66
0.8~0.89	12.35~13.89	31	55.17
0.9~0.99	13.90~15.44	40	49.83
1.0~1.09	15.45~16.99	30	42.93
1.1~1.19	17.00~18.54	48	37.76
1.2~1.29	18.55~20.09	38	29.48
1.3~1.39	20.10~21.64	10	22.93
1.4~1.49	21.65~23.19	24	21.21
1.5~1.59	23.20~24.74	35	17.07
1.6~1.69	24.75~26.29	16	11.03
1.7~1.79	26.30~27.84	4	8.28
1.8~1.89	27.85~29.39	5	7.59
1.9~1.99	29.40~30.94	2	6.72
2.0~2.09	30.95~32.49	7	6.38
2.09 이상	32.50 이 상	30	5.17

Table 2-5 Time spent at the general pier

단위구분	시 간 간 격 (시간)	빈도수 (척)	누적분포 (%)
0.0~0.09	0~ 5.32	2	100.00
0.1~0.19	5.33~ 10.66	41	99.88
0.2~0.29	10.67~ 16.00	133	97.32
0.3~0.39	16.01~ 21.34	97	89.03
0.4~0.49	21.35~ 26.68	129	82.98
0.5~0.59	26.69~ 32.02	149	74.94
0.6~0.69	32.03~ 37.36	159	65.65
0.7~0.79	37.37~ 42.70	134	56.74
0.8~0.89	42.71~ 48.04	112	47.38
0.9~0.99	48.05~ 53.38	81	40.40
1.0~1.09	53.39~ 58.72	83	35.35
1.1~1.19	58.73~ 64.06	69	30.17
1.2~1.29	64.07~ 69.40	32	25.87
1.3~1.39	69.41~ 74.74	51	23.88
1.4~1.49	74.75~ 80.08	53	20.70
1.5~1.59	80.09~ 85.42	32	17.39
1.6~1.69	85.43~ 90.76	25	15.40
1.7~1.79	90.77~ 96.10	33	13.84
1.8~1.89	96.11~101.44	22	11.78
1.9~1.99	101.45~106.78	28	10.41
2.0~2.09	106.79~112.12	17	8.67
2.09 이상	112.13 이 상	122	7.61

580隻에 關한 資料를 分析·整理하였다.

〈表 2-5〉는 Erlangian 分布와 比較를 爲하여, 一般埠頭의 서어비스 時間分布를 平均 서어비스 時間인 53.39를 中心으로 上·下 10等分으로 分類하여 時間間隔에 따른 頻度數 및 累積分布를 나타내고 있다. 分布의 傾向은, 서어비스 時間이 20~50사이의 船舶數 683隻으로, 總 1604隻에 對하여 42.6%로 커다란 比率를 차지하고 있음을 알 수 있다.

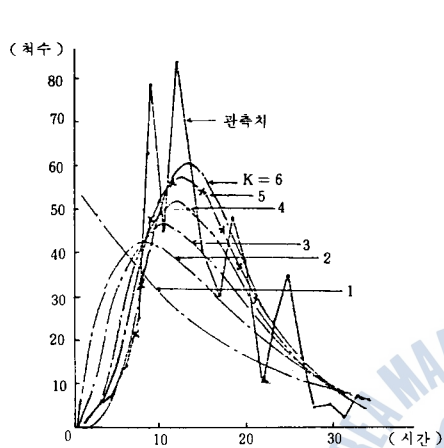


Fig. 2-2. Distribution of time spent at the container pier

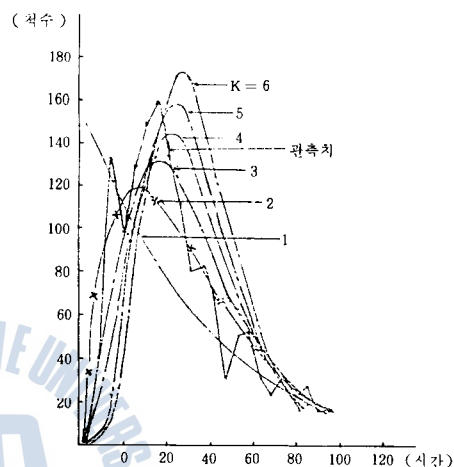


Fig. 2-5. Distribution of time spent at the general pier

上記 그래프를 보면 檢定の 有意水準을 滿足하지 못하나 컨테이너 埠頭의 境遇에는 $K=5$, 一般埠頭의 境遇에는 $K=2$ 인 Erlangian 分布曲線이 가장 近似함을 χ^2 檢定으로 確認하였으며 그 結果는 아래와 같다.

Table 2-6 Results of χ^2 test

부 두	K						자유도	신뢰도	χ^2 합수치
	1	2	3	4	5	6			
컨테이너 부두 χ^2 값	430.53	208.87	133.14	105.07	103.74	130.79	20	95%	31.41
일반부두 χ^2 값	292.80	91.07	147.18	383.96	878.15	1833.17	20	95%	31.41

3. 시뮬레이션에 의한 分析

3-1 시뮬레이션을 爲한 準備

釜山港의 運送過程을 分析하는데는 〈그림 3-1〉과 같은 複數經路·單一過程의 待期行列 모델이 가장 適合한 것으로 알려져 있다. 이미 言及했던 것처럼 釜山港은 두가지의 運送過程

즉, 一般埠頭와 컨테이너 埠頭로 크게 나눌수 있으며 細部的으로는 各 埠頭別로 分類할 수 있다. 따라서 第2章에서 圖表化하여 나타내었던 到着率은 시뮬레이션에 利用하며 서어비

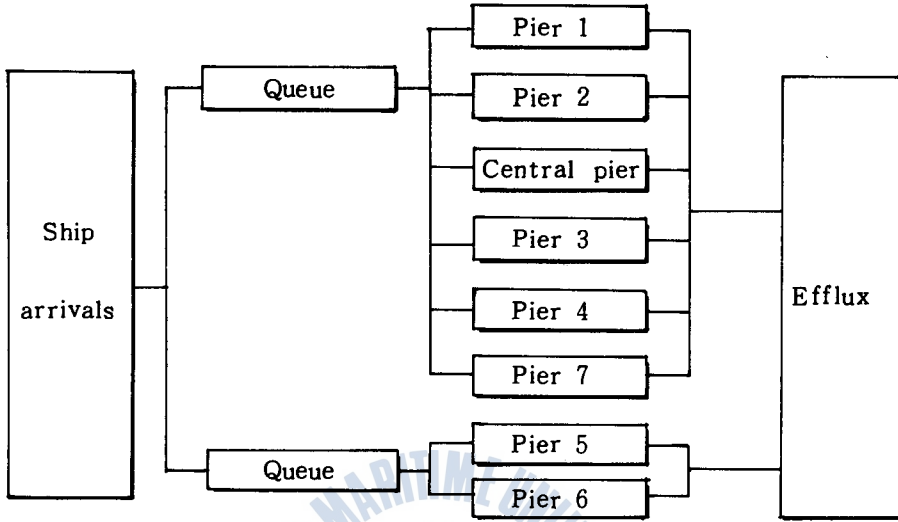


Fig. 3-1. Model of Pusan Port as a complex of Multi-channel. Single-phase

Table 3-1 Frequency of occupancy of individual pier

부	두	빈도수(척)
	1	165
	2	222
	C. P	188
	3	339
	4	619
	5	253
	6	327
	7	71

스 率은 細部的으로 埠頭別 獨立된 分布를 求하여 시뮬레이션에 利用하기로 한다.

서어비스 時間 間隔을 埠頭別로 再整理 分析한 結果, 4埠頭가 619隻으로 가장 높은 點有率을 보이며 點有率이 가장 낮은 埠頭는 7埠頭임을 알 수 있다.

(척수)

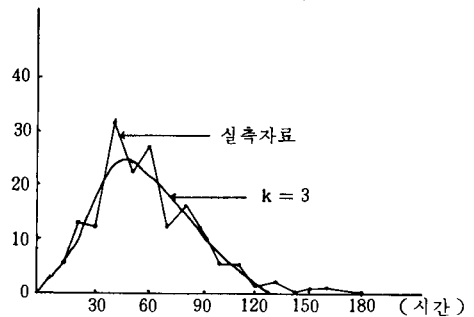


Fig. 3-2. Configuration of service time. (Pier 1)

<表 3-2>부터 <表 3-9>까지, <그림 3-2> 부터 <그림 3-9>까지 各 埠頭의 서어비스 時間 및 特性을 圖表化하여 보이고 있다.

雜貨物, 鐵材 및 小量의 컨테이너 貨物을 取扱하고 있는 1埠頭는, 接岸하는 船舶도 6,000GRT 以下の 船舶이 대부분이며 165隻의 船舶에 서어비스를 提供하였다.

Table 3-2 Distribution of service time (Pier 1)

시간간격 (시간)	빈도수 (척)	누적분포 (%)
0~ 9.99	4	100.00
10~ 19.99	13	97.58
20~ 29.99	12	89.70
30~ 39.99	32	82.42
40~ 49.99	22	63.03
50~ 59.99	27	49.70
60~ 69.99	12	33.33
70~ 79.99	16	26.06
80~ 89.99	12	16.36
90~ 99.99	5	9.09
100~109.99	5	6.00
110~119.99	1	3.03
120~129.99	2	2.42
130~139.99	0	1.21
150~159.99	1	1.21
160~169.99	1	0.61
169.99 이상	0	0.00

Table 3-3 Distribution of service time (Pier 2)

시간간격 (시간)	빈도수 (척)	누적분포 (%)
0~ 9.99	4	100.00
10~ 19.99	17	98.20
20~ 29.99	21	90.54
30~ 39.99	30	81.08
40~ 49.99	29	67.57
50~ 59.99	23	54.50
60~ 69.99	16	44.14
70~ 79.99	18	36.94
80~ 89.99	14	28.83
90~ 99.99	12	22.52
100~109.99	5	17.12
110~119.99	6	14.86
120~129.99	4	12.16
130~139.99	4	10.36
140~149.99	1	8.56
150~159.99	4	8.11
160~169.99	1	6.31
170~179.99	2	5.86
180~189.99	3	4.95
190~199.99	4	3.60
200~209.99	4	1.80
209.99 이상	0	0.00

<그림 3·2>에서 실측자료와 K = 3의 Erlangian 分布를 比較하고 있으며 適合도를

(척수)

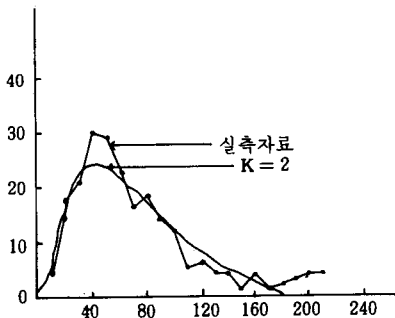


Fig. 3.3. Configuration of service time. (Pier 2)

檢定한 結果 自由度 15에서 $\chi^2 = 16.02 < 25$ 로 서 95%의 信賴도를 보인다.

2埠頭는 雜貨物 鐵材, 컨테이너, 木材, 雪糖 등을 主로 取扱하는 埠頭이며 分析 對象의 船舶數는 222隻이었다.

<그림 3·3>에서 實測資料와 가장 近似한 K = 2의 Erlangian 分布를 比較하고 있으며 適合도를 檢定한 結果 自由度 20에서

$\chi^2 = 27.70 < 31.41$ 로서 95%의 信賴도를 보인다.

中央埠頭는 雜貨物, 鐵材, 컨테이너, 木材, 雪糖 等の 貨物을 主로 取扱하여 分析 對象의 船舶은 188 隻이었다.

Table 3-4 Distribution of service time (Center Pier)

시간간격 (시간)	빈도수 (척)	누적분포 (%)
0~ 9.99	0	100.00
10~ 19.99	12	100.00
20~ 29.99	17	93.62
30~ 39.99	20	84.57
40~ 49.99	16	73.94
50~ 59.99	17	66.43
60~ 69.99	14	56.38
70~ 79.99	11	48.94
80~ 89.99	7	43.09
90~ 99.99	10	39.36
100~109.99	18	34.04
110~119.99	4	24.47
120~129.99	14	22.34
130~139.99	7	14.89
140~149.99	6	11.17
150~159.99	2	7.98
160~169.99	3	6.91
170~179.99	5	5.32
180~189.99	2	2.66
190~199.99	3	1.80
199.99 이상	0	0.00

實測資料와 가장 近似한 $K=2$ 의 Erlangian 分布를 比較하고, 適合도를 檢定한 結果 自由度 19에서 $\chi^2 = 31.04 > 30.15$ 로 5%의 有意水準을 滿足하지 못하여 棄却된다.

意水準을 滿足치 못하여 棄却된다.

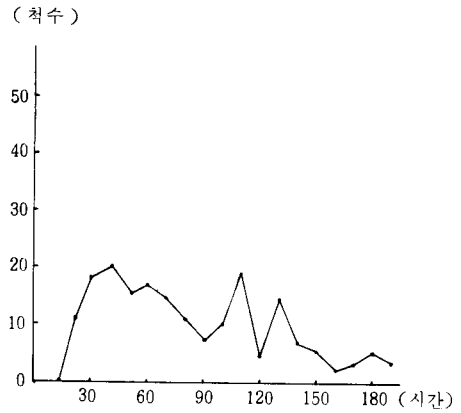


Fig. 3-4. Configuration of service time. (Central pier)

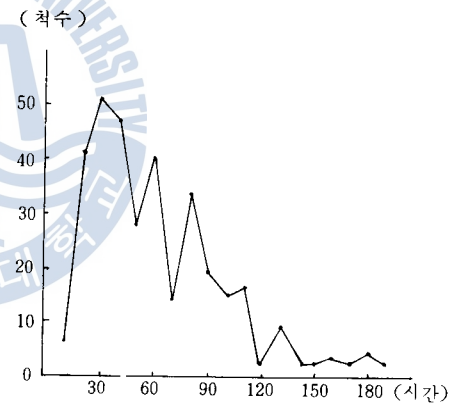


Fig. 3-5. Configuration of service time. (Pier 3)

3埠頭는 雜貨物, 鐵材, 木材, 컨테이너 等の 貨物을 處理하며 分析 對象의 船舶數는 339 隻이었다.

實測資料와 가장 近似한 $K=2$ 의 Erlangian 分布를 比較하고, 適合도를 檢定한 結果 自由度 20에서 $\chi^2 = 39.82 > 31.41$ 로서 5%의 有意水準을 滿足하지 못하여 棄却된다.

Table 3-5 Distribution of service time. (Pier 3)

시간간격 (시간)	빈 도 수 (척)	누적분포 (%)
0~ 9.99	6	100.00
10~ 19.99	41	98.23
20~ 29.99	51	86.14
30~ 39.99	47	71.09
40~ 49.99	28	57.23
50~ 59.99	40	48.97
60~ 69.99	14	37.17
70~ 79.99	34	33.04
80~ 89.99	19	23.01
90~ 99.99	15	17.40
100~109.99	16	12.98
110~119.99	2	8.26
120~129.99	9	7.67
130~139.99	2	5.01
140~149.99	2	4.42
150~159.99	3	3.83
160~169.99	2	2.95
170~179.99	4	2.36
180~189.99	2	1.18
190~199.99	1	0.59
200~209.99	1	0.29
209.99 이상	0	0.00

Table 3-6 Distribution of service time. (Pier 4)

시간간격 (시간)	빈 도 수 (척)	누적분포 (%)
0~ 9.99	25	100.00
10~ 19.99	145	95.96
20~ 29.99	134	72.54
30~ 39.99	148	50.89
40~ 49.99	63	26.98
50~ 59.99	50	16.80
60~ 69.99	12	8.72
70~ 79.99	15	6.79
80~ 89.99	13	4.36
90~ 99.99	1	2.26
100~109.99	2	2.10
110~119.99	2	1.78
120~129.99	4	1.45
130~139.99	3	0.81
140~149.99	2	0.32
149.99 이상	0	0.00

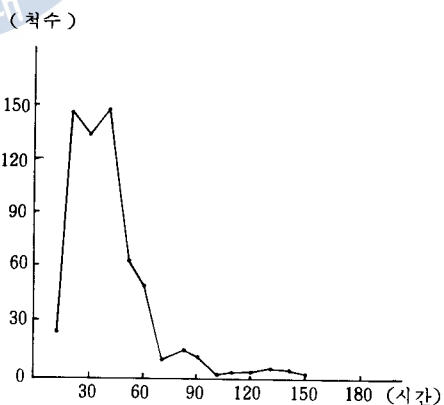


Fig. 3-6. Configuration of service time. (Pier 4)

4埠頭는 雜貨物, 컨테이너, 鐵材, 非包裝시멘트 貨物을 取扱하며 分析 對象의 船舶數는 619隻이었다.

實測資料와 가장 近似한 K=2의 Erlangian 分布를 比較하고, 適合度を 檢定한 結果 自由度 14에서 $\chi^2=65.72 > 23.68$ 로서 5% 有意水準을 滿足하지 못하여 棄却된다.

5埠頭는 컨테이너 專用埠頭로서 分析 對象의 船舶數는 253隻이었다.

Table 3-7 Distribution of service time. (Pier 5)

시간간격 (시간)	빈도수 (척)	누적분포 (%)
0~ 4.99	6	100.00
5~ 9.99	61	97.63
10~14.99	85	73.52
15~19.99	49	39.92
20~24.99	35	20.55
25~29.99	9	6.72
30~34.99	5	3.16
35~39.99	3	1.19
39.99 이상	0	0.00

(척수)

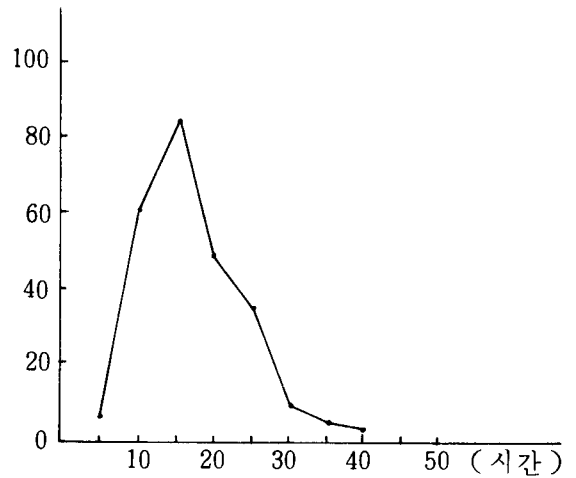


Fig. 3-7. Configuration of service time. (Pier 5)

實測資料와 가장 近似한 $K = 3$ 의 Erlangian 分布를 比較하고, 適合度を 檢定한 結果 自由度 7에서 $\chi^2 = 15.53 > 14.07$ 로서 5%의 有意水準을 滿足하지 못하여 棄却된다.

Table 3-8 Distribution of service time. (Pier 6)

시간간격 (시간)	빈도수 (척)	누적분포 (%)
0~ 4.99	7	100.00
5~ 9.99	62	97.86
10~14.99	106	78.90
15~19.99	60	46.48
20~24.99	57	28.13
25~29.99	16	10.70
30~34.99	10	5.81
35~39.99	6	2.75
40~44.99	3	0.92
44.99 이상	0	0.00

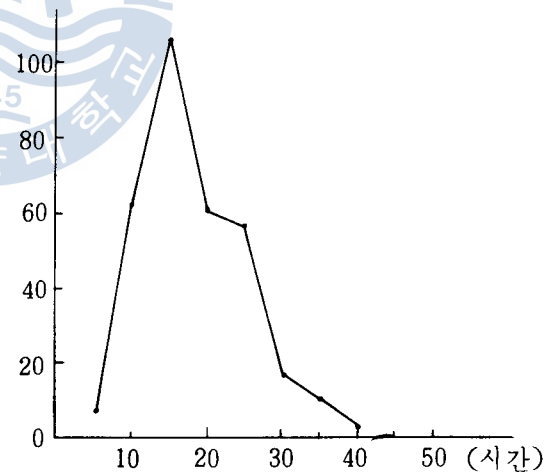


Fig. 3-8. Configuration of service time. (Pier 6)

6埠頭는 컨테이너 專用埠頭이며 分析 對象의 船舶數는 327隻이었다.

實測資料와 가장 近似한 $K = 3$ 의 Erlangian 分布를 比較하고, 適合度を 檢定한 結果 自由度 8에서 $\chi^2 = 27.14 > 15.51$ 로서 5%의 有意水準을 滿足하지 못하여 棄却된다.

Table 3-9 Distribution of service time. (척수)
(Pier 7)

시간간격 (시간)	빈도수 (척)	누적분포 (%)
0~ 9.9	1	100.00
10~ 19.9	2	98.59
20~ 29.9	12	95.77
30~ 39.9	7	78.87
40~ 49.9	5	69.01
50~ 59.9	9	61.97
60~ 69.9	4	49.30
70~ 79.9	5	43.68
80~ 89.9	0	36.62
90~ 99.9	5	36.62
100~149.9	1	29.58
150~199.9	2	28.17
200~249.9	1	25.35
250~299.9	1	23.94
300~349.9	6	22.54
350~399.9	3	14.08
400~449.9	3	9.86
450~499.9	4	5.63
499.9 이상	0	0.00

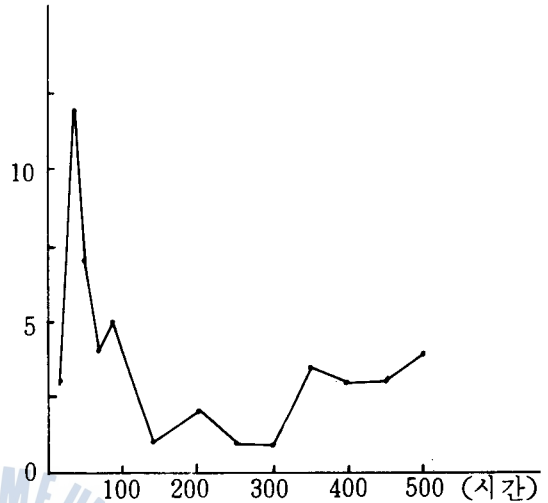


Fig. 3-9. Configuration of service time.
(Pier 7)

7埠頭는 石炭, 古鐵, 鑛石等의 貨物을 取扱하는 埠頭이며 分析 對象의 船舶數는 71隻으로 가장 낮은 點有率을 보였다. 實測資料와 가장 近似한 $K=2$ 의 Erlangian 分布를 比較하고 適合度를 檢定한 結果 自由度 17에서 $\chi^2=37.86 > 27.59$ 로서 5%의 有意水準을 滿足하지 못하여 棄却된다.

3.2 시뮬레이션

港灣運送過程을 分析하는 데에는 運送過程이 가지는 複雜性和 그 構造의 多樣性 때문에 시뮬레이션 技法의 利用이 必要하며 特히 釜山港의 境遇에는 待期行列 모델이 効率的이라는 것을 第3章을 通하여 確認하였다.

本章에서는 實測到着率 및 서어비스率을 基礎로 하여 시뮬레이션 함으로써 問題點을 發見하고 釜山港 運送過程에 關한 改善策의 方向을 模索하고자 한다. 시뮬레이션 모델構成의 첫 段階로서, 시뮬레이션에 利用한 船席數는 <表 3-10>과 같이 24個窓口·單一 過程의 모델과 4個窓口·單一過程의 複合 待期行列모델로서, 시뮬레이션을 施行하였음을 밝혀둔다.

시뮬레이션의 主要變數인 到着率은 Poisson 分布函數, 서어비스率은 1, 2埠頭는 $K=3$, $K=2$ 에 따르는 Erlangian 分布를 發生시키고 나머지 埠頭는 一樣亂數(Uniform distribution

Random number) 分布發生에 依한 累積分布를 發生시켜 시뮬레이션을 實施하였다.

待期 시스템 시뮬레이션을 爲한 特殊目的의 GPSS 言語를 使用할 境遇 容易하게 시뮬레이션을 實施할 수 있으나, 本 論文에서는 BASIC 에 依한 프로그램 作成으로 施行하였다. 釜山港灣의 待期行列 시뮬레이션의 프로그래밍 作成을 爲한 흐름도를 <그림 3·10>에 보인다.

흐름도를 다음과 같이 概略적으로 說明한다.

i) 初期化 段階

시스템 初期時間을 0으로 두고 各 埠頭는 비어있는 狀態로 두

Table 3-10
Numbers of berths for Simulation.

부	두	모델선척수
1		2
2		3
C · P		4
3		7
4		4
5		2
6		2
7		4

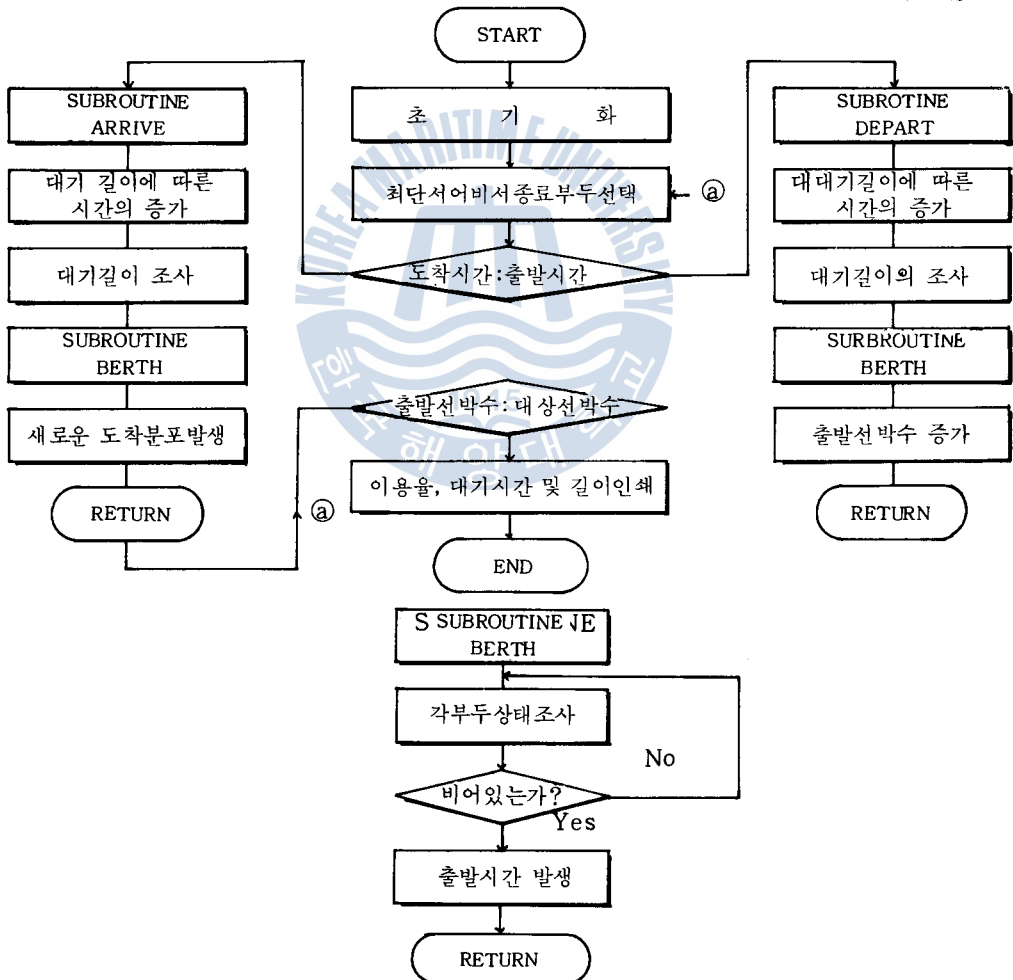


Fig. 3·10. Flow chart of programming.

며 船舶이 서어비스 終了後 出發하는 時間을 크게 잡아서 到着時間의 比較時 出發時間을 크게 함으로써 船舶의 埠頭利用을 誘導한다. 그 外에 必要한 變數의 初期值를 設定한다.

ii) Subroutine ARRIVE

到着時間이 서어비스 終了出發時間보다 작을 境遇에는 Subroutine ARRIVE로 와서 既存의 待期길이 消要時間을 記憶시킨 後에 待期길이와 各 埠頭的 비어있는 狀態를 調査하여 待期길이가 存在하거나 全埠頭가 바쁠 境遇에는 待期길이를 增加시킨다. 또한 Subroutine Berth로 가서 各 埠頭的 서어비스 終了時間을 探索한 後에 다음 到着하는 船舶의 時間을 到着時間의 分布로 부터 無作爲로 決定한 後에 主 프로그램으로 되돌아온다.

iii) Subroutine DEPART

船舶의 港灣內 離脫을 알려주는 Subroutine 으로서 船舶의 到着時間이 出發時間 보다 클 境遇에는 埠頭는 비어있는 狀態를 意味하므로 待期船舶이나 到着船舶의 埠頭利用이 可能하다. 그러므로 待期 길이에 따른 時間을 變化시키며 既存 待期길이를 減小시키거나 埠頭중 하나를 비워두며 SUBROUTINE BERTH를 利用한 다음 埠頭的 出發時間을 서어비스 分布로 부터 無作爲로 選擇한 後에 서어비스 完了한 船舶數를 增加시켜 主 프로그램으로 되돌아간다.

iv) Subroutine BERTH

Subroutine ARRIVE 및 DEPART에서 各 埠頭的 서어비스 可能狀態를 調査하여 서어비스 時間의 終了時間을 찾아, 到着時間과 比較可能케 하여준다.

v) 出力段階

서어비스를 終了한 船舶數가 一般埠頭的 境遇 1604隻, 컨테이너 埠頭는 580隻에 到達하게 되면 프로그램 結果를 整理하여 印刷한다.

시뮬레이션 全過程을 通하여 出力되는 埠頭別 結果는 다음과 같다.

- ㄱ) 埠頭利用率
- ㄴ) 待期時間
- ㄷ) 平均시스템 時間
- ㄹ) 各各의 待期길이에 對한 確率

이러한 結果에 對한 細部說明은 <그림 3·11> 및 <그림 3·12>와 <表 3—11>에서 <表 3—14>까지 圖表를 利用하여 說明하며 시뮬레이션에 사용된 프로그램은 <別表>에 보인다.

<表 3—11> 및 <表 3—12>는 컨테이너 埠頭 및 一般埠頭的 시뮬레이션 結果를 나타내며 9회의 시뮬레이션 結果를 平均하면 컨테이너 埠頭的 利用率은 47.91%, 隻當 待期時間은 0.8時間, 시스템 平均時間은 8.4時間이며 一般埠頭的 境遇, 利用率은 85.52% 隻當待期時間은 5.2時間, 시스템 平均時間은 20.4時間으로 一般埠頭가 컨테이너 埠頭に 比하여 利用

Table 3-11 Results of simulation(container Pier)

결 과	횃 수								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
이용율(%)	47.0	48.1	45.9	48.9	47.9	50.5	46.9	46.5	49.5
시스템평균시간(시간)	8.5	8.5	8.1	8.4	8.7	8.3	8.2	8.2	8.6
대기시간(시간)	0.9	0.8	0.6	0.8	0.8	0.7	0.8	0.7	0.8

Table 3-12 Results of simulation(general Pier)

결 과	횃 수								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
이용율(%)	85.7	86.0	85.4	88.5	84.2	83.4	85.9	86.4	84.2
시스템평균시간(시간)	21.2	20.0	18.9	21.4	20.2	20.0	20.4	21.0	20.2
대기시간(시간)	6.3	5.2	4.0	6.1	4.5	4.7	5.1	5.3	5.3

率は 높으나, 待期時間은 4.4時間이나 높은 것을 알 수 있다.

〈그림 3-11〉은 컨테이너 埠頭와 一般埠頭的 시뮬레이션 結果를 比較하고 있다.

一般的으로 一般埠頭가 컨테이너 埠頭に 比하여 統制가 잘 되어있지 않은 關係로 시뮬레이션 結果의 變動이 심하다는 것을 알 수 있다.

〈表 3-13〉 및 〈表 3-14〉로 부터 알 수 있는 것은 컨테이너 埠頭的 境遇 船舶이 待期하지 않을 確率이 92.07%이며 埠頭가 바빠서 待期할 船舶 隻數도 3隻 以上은 거의 드물다는 것을 確認할 수 있

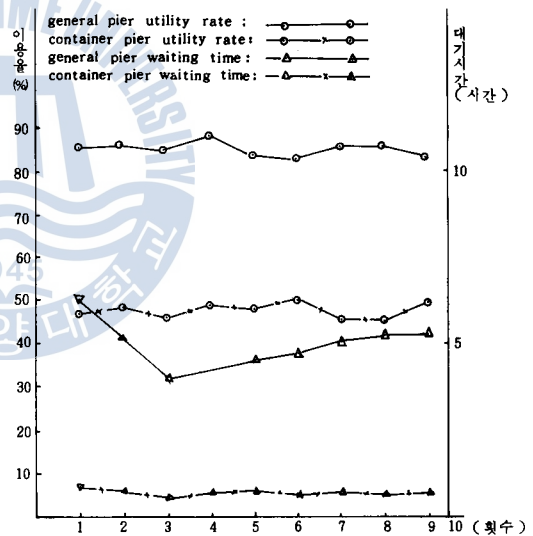


Fig. 3-11. Results of simulation for container pier and general pier.

Table 3-13 Numbers of vessels and probability for service in container pier.

대기척수(척)	0	1	2	3	4	5
대기확율(%)	92.07	5.95	1.86	0.15	0.001	0.00

며 一般埠頭的 境遇 船舶의 待期가 없을 確率은 56.20%이며 最大 12隻까지 서어비스 받기 爲하여 기다릴 수 있음을 알 수 있다.

Table 3-14 Numbers of vessels and probability for service in general pier.

대기척수(척)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
대기확률(%)	56.20	11.83	8.2	5.58	4.34	3.18	2.66	1.71	1.51	1.23	1.15	0.5	0.1	0.00

〈그림 3·12〉는 待期길이 및 待期隻數에 對한 確率을 比較하고 있다.

以上의 結果로 부터 컨테이너 埠頭는 船舶이 거의 待期하지 않으나 利用率이 50%를 超過하지 못하여 埠頭施設의 効用은 極大化가 이루어지지 않고 있으며 一般埠頭의 境遇에는 埠頭의 効率은 높으나 待期時間 및 隻數가 많은 關係로 컨테이너埠頭는 時刻統制의 暖化에 依한 利用率의 增加, 一般埠頭는 施設擴張에 依한 待期時間의 減少가 必要함을 確認할 수 있다.

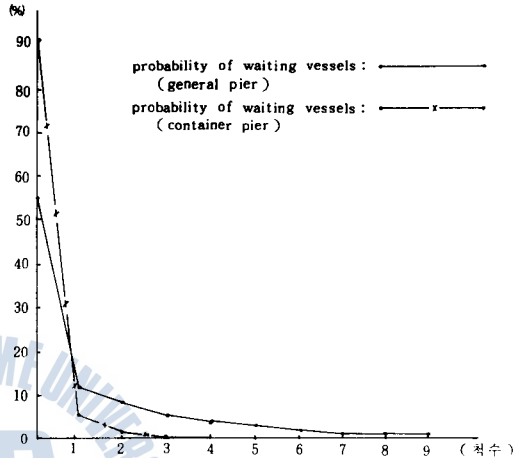


Fig. 3-12 Numbers of waiting vessels (general pier and container pier)

4. 運送過程의 改善策

現在 運營되고 있는 釜山港灣의 運送過程은 港灣施設에 關한 効用의 極大化와 船舶回航 時間을 短縮하기 爲해서는 待期時間의 減少가 必要함을 第3章의 시뮬레이션을 通하여 確認하였다.

따라서 그 改善策의 一環으로서 實際 到着하고 있는 船舶에 對하여 將來에 港灣施設에 投資能力이 可能하다면 어떠한 水準이 適當할 것인가 라는 觀點과 反對로 現在의 埠頭施設 容量을 擴張하지 않을 境遇 未來의 入港船舶數의 增加에 따라 利用率 및 待期時間 隻數는 어떻게 變化할 것인가를 分析함으로써 改善策을 마련하고자 한다.

4·1 서어비스率의 改善

i) 컨테이너 埠頭

- 實測資料에 依한 到着時間의 無作爲 分布
- 서어비스 時間 變更에 依한 定時間 分布

以上과 같이 主要 變數인 到着率과 서어비스率을 發生시켜 시뮬레이션하면 〈表 4-1〉과 같은 結果를 얻을수 있다. 서어비스 時間이 4時間 以下일때, 다시말해 第2章에 求한 컨

테이너埠頭 平均 서어비스時間이 15.45(時間/隻)이므로, 現在의 서어비스 施設보다 埠頭길이 및 크레인數가 4倍 程度 增加하여 容量이 增大될 境遇 埠頭利用率은 12.59%이하로 떨어져나 待期時間, 待期隻數 및 待期確率은 모두 零이 되어 入港하는 船舶이 灣埠의 不足으로 기다리지 않아도 된다는 것을 意味한다. 만일 現在의 埠頭施設을 約 2倍 程度 增大시킬 境遇, 서어비스時間은 7이며 利用率은 22.35%이며 비로서 待期하는 船舶이 1隻이 될 수 있으며 入港船舶이 待期할 確率은 0.2%로 極히 적으므로 待期時間도 0.02時間으로 서어비스를 받기 爲하여 待期하는 컨테이너船은 거의 없음을 알 수 있다.

Table 4-1 Results of simulation by reducing service time in container pier.

서어비스시간(시간/척)	이 용 율(%)	대기시간(시간)	대기척수(척)	대기확율(%)
1	3.2	0	0	0
4	12.59	0	0	0
7	22.35	0.02	1	0.2
10	33.63	0.1	2	1.1
13	41.0	0.3	2	3.7
16	50.0	0.6	3	6.6
19	60.1	1.3	3	13.3
22	69.4	3.3	6	25.5
25	74.8	4.3	6	32.4
28	93.6	20.4	14	73.5
31	97.4	37.0	14	87.2

現在의 埠頭施設을 50% 擴張할 境遇, 서어비스 時間은 10이며 利用率은 33.6%로 待期可能隻數는 2隻이며 待期時間은 0.1時間이 되며 待期確率은 1.1%가 된다.

한편 埠頭的 投資施設의 極大化만을 戒할 境遇 서어비스 時間은 31時間 즉, 埠頭的 施設을 現在의 半으로 縮小시켰을 때 埠頭利用率은 約 100%로서 極大化를 이룩할 수 있으나 隻當 待期時間은 37時間으로 急增하며 最大 待期隻數는 14隻이며 入港時 入港하는 船舶이 待期할 可能性은 87.2%로 대단히 높음을 豫想할 수 있다.

<그림 4·1>은 시뮬레이션 結果를 나타내고 있다. 서어비스率과 同一하게 到着率이 定時間 分布일 境遇에는 利用率이 直線으로 表示될 것이나, 到着率의 分布 發生이 確率的인 關係로 약간의 起伏이 發生한다.

또한 서어비스 時間이 13 以下인 境遇에는 待期가 거의 發生하지 않으나 利用率이 40% 以下로 떨어져서 서어비스 時間이 22 以上 부터는 利用率이 70%를 超過하나 待期時間이 急增하게 되므로 適切한 서어비스 時間은 13~22時間 사이임을 알 수 있다.

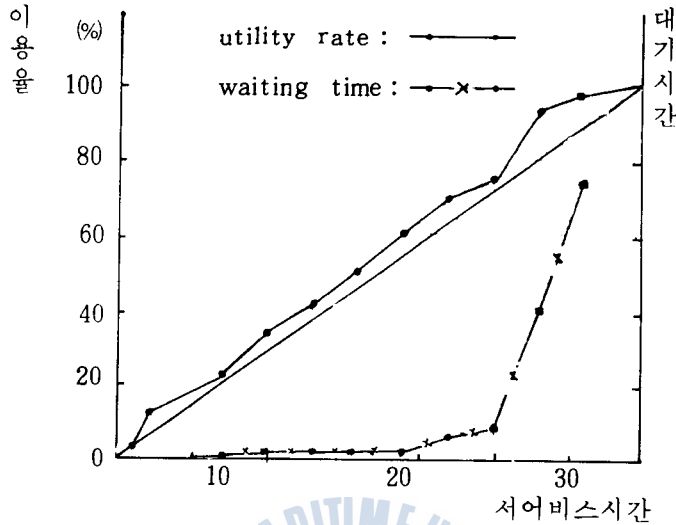


Fig. 4-1. Configuration of utility and waiting time. (container pier)

以上の結果로부터 現在の釜山港 컨테이너 埠頭の 서어비스 時間인 15.45 時間은 現在の 到着率에 對하여 適切한 것처럼 보이나 컨테이너船은 入港前 航海中에 統制를 實施함으로써 보이지 않는 港外 輻輳가 發生하므로 待期時間이 1.3 以下인 19 時間 즉, 現在の 施設 혹은 到着率을 23%까지 增加시키는 것이 바람직하다.

ii) 一般埠頭

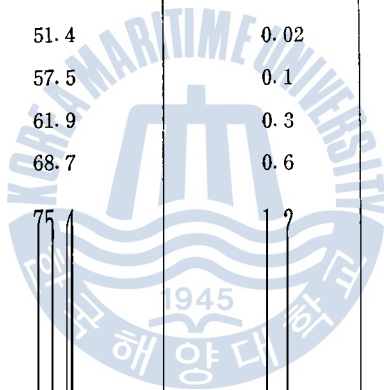
- 實測 資料에 依한 到着時間의 無作為 分布
- 서어비스 時間의 變更에 따른 定時間 分布

以上과 같이 시물레이션의 主要 變數인 到着率과 서어비스率을 發生시켜 시물레이션 하여 <表 4-2>와 같은 結果를 얻었다.

서어비스 時間이 25 以下일때, 즉, 第2章에서 求한 一般埠頭の 서어비스 時間이 58.39 時間과 比較하여 現在の 埠頭容量보다 2 倍 以上の 施設擴張이 實行된다면 埠頭利用率은 39.1%로 最少化되나 待期時間, 待期隻數 및 待期確率은 모두 零으로 入港하는 一般雜貨船이 埠頭の 容量이 적은 理由때문에 待期하는 일이 전혀 없음을 보이고 있으며 서어비스 時間이 33 時間 즉, 現在 埠頭施設의 1.6 倍로 埠頭施設이 擴張될 수 있다면 利用率은 51.4%로 上昇하며 待期時間은 0.02 時間 待期 可能 船舶隻數는 2 隻이며 入港하는 一般雜貨船이 待期할 確率은 0.8%로 船舶이 서어비스를 爲하여 기다릴 可能性은 있으나 그 數는 極히 작을 것임을 豫想할 수 있다. 서어비스 時間이 43 時間 즉, 現在 一般埠頭の 施設보다 25% 程度 擴張할 境遇, 埠頭利用率은 61.9%이며 隻當 待期時間은 0.3 時間이며 待期可能 隻數는 4 隻이며 入港船舶이 待期할 可能性은 6.7%임을 알 수 있다.

Table 4-2 Results of simulation by reducing service time in general pier.

서어비스시간(시간/척)	이용율(%)	대기시간(시간)	대기척수(척)	대기확율(%)
1	2.9	0	0	0
4	9.7	0	0	0
7	14.7	0	0	0
10	19.6	0	0	0
13	24.2	0	0	0
16	29.0	0	0	0
19	32.3	0	0	0
22	35.4	0	0	0
25	39.1	0	0	0
28	43.7	0.001	1	0.1
33	51.4	0.02	2	0.8
38	57.5	0.1	3	3.1
43	61.9	0.3	4	6.7
48	68.7	0.6	4	14.2
53	75	1.2	6	22.9



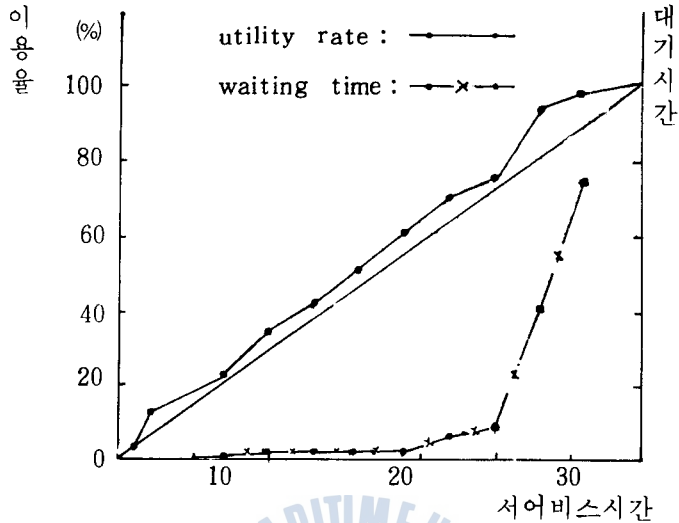


Fig. 4-1. Configuration of utility and waiting time. (container pier)

以上の 結果로 부터 現在의 釜山港 컨테이너 埠頭의 서어비스 時間인 15.45 時間은 現在의 到着率에 對하여 適切한 것처럼 보이나 컨테이너船은 入港前 航海中에 統制를 實施함으로써 보이지 않는 港外 輻輳가 發生하므로 待期時間이 1.3 以下인 19 時間 즉, 現在의 施設 혹은 到着率을 23%까지 增加시키는데 必要하다.

ii) 一般埠頭

- 實測 資料에 依한 到着時間의 無作為 分布
- 서어비스 時間의 變異에 따른 定時間 分布

以上과 같이 시뮬레이션의 主要 變數인 到着率과 서어비스率을 發生시켜 시뮬레이션 하여 <表 4-2>와 같은 結果를 얻었다.

서어비스 時間이 25 以下일때, 즉, 第2章에서 求한 一般埠頭의 서어비스 時間이 58.39 時間과 比較하여 現在의 埠頭容量보다 2 倍 以上の 施設擴張이 實行된다면 埠頭利用率은 39.1%로 最少化되나 待期時間, 待期隻數 및 待期確率은 모두 零으로 入港하는 一般雜貨船이 埠頭的 容量이 적은 理由때문에 待期하는 일이 전혀 없음을 보이고 있으며 서어비스 時間이 33 時間 즉, 現在 埠頭施設의 1.6 倍로 埠頭施設이 擴張될 수 있다면 利用率은 51.4%로 上昇하며 待期時間은 0.02 時間 待期 可能 船舶隻數는 2 隻이며 入港하는 一般雜貨船이 待期할 確率은 0.8%로 船舶이 서어비스를 爲하여 기다릴 可能性은 있으나 그 數는 極히 작을 것임을 豫想할 수 있다. 서어비스 時間이 43 時間 즉, 現在 一般埠頭的 施設보다 25% 程度 擴張할 境遇, 埠頭利用率은 61.9%이며 隻當 待期時間은 0.3 時間이며 待期可能 隻數는 4 隻이며 入港船舶이 待期할 可能性은 6.7%임을 알 수 있다.

Table 4-2 Results of simulation by reducing service time in general pier.

서어비스시간(시간/척)	이 용 율(%)	대기시간(시간)	대기척수(척)	대기확율(%)
1	2.9	0	0	0
4	9.7	0	0	0
7	14.7	0	0	0
10	19.6	0	0	0
13	24.2	0	0	0
16	29.0	0	0	0
19	32.3	0	0	0
22	35.4	0	0	0
25	39.1	0	0	0
28	43.7	0.001	1	0.1
33	51.4	0.02	2	0.8
38	57.5	0.1	3	3.1
43	61.9	0.3	4	6.7
48	68.7	0.6	4	14.2
53	75.4	1.2	6	22.9
58	86.8	4.6	11	49.9
63	88.4	5.6	11	55.1
68	95.0	17.4	17	75.4

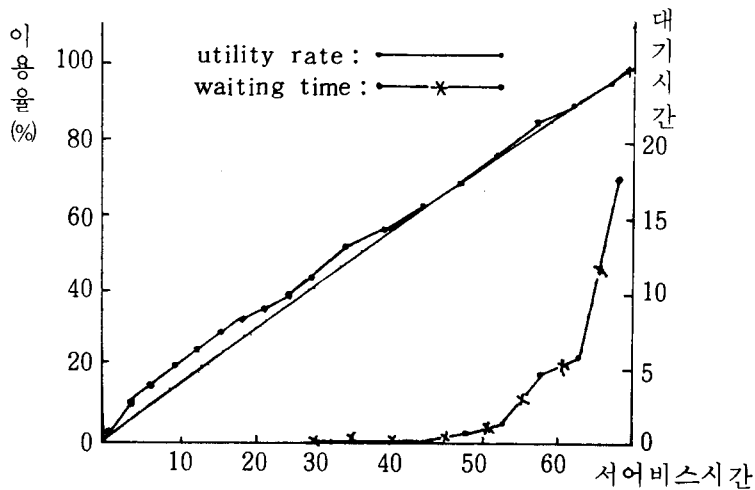


Fig. 4-2. Configuration of utility and waiting time. (general pier)

埠頭施設이 現在보다約 28% 程度 減小될 境遇 서어비스 時間이 68時間 利用率은 95%가 되며 待期時間은 17.4時間으로 길며 待期 可能 船舶數도 17 隻이나 되고 入港船의 待期 可能性도 75.4%나 된다.

〈그림 4·2〉는 一般埠頭의 利用率과 待期時間을 表示하고 있는데 컨테이너 埠頭와 同一하게 到着時間이 定時間 分布를 이룰 境遇 直線으로 表示될 수 있으나 到着時間의 分布 自體가 確率的 分布이므로 多小의 差異를 나타내고 있다.

待期길이를 보면 서어비스 時間이 53時間 以後부터는 待期時間이 急하게 增加하고 서어비스 時間이 33時間 以下부터는 利用率의 減少로 埠頭施設의 効用이 50%가 되지 않으므로 서어비스時間 33과 48을 滿足하는 範圍, 다시말해 現在施設 보다 10 내지 60%의 施設投資를 할 境遇에 埠頭効率의 極大化 및 待期時間의 減少라는 桎梏(Trade-off)의 問題를 解決하는 適切한 基準이 될 수 있으리라 考慮된다.

4·2 到着率의 改善

앞에서 釜山港의 實際 船舶에 對하여 埠頭容量을 어떻게 決定할 것인가를 分析하였는데 이번에는 現用 埠頭施設에 對하여 船舶의 到着時間을 어떻게 最適制御를 實施할 것인가를 分析하고자 한다. 이를 實行하기 爲해서는 船舶의 到着時間을 가장 理想的인 定時間分布로 하여 將來에 船舶이 많이 入港했을 때, 또는 적게 入港했을 때를 數時로 變更하여 分布를 發生시키고 埠頭의 서어비스率은 現存施設에 依한 頻度數에 따른 累積分布를 確率的으로 發生시켜 시뮬레이션 한다.

i) 컨테이너 埠頭

- 到着時間의 變更에 따른 定時間 分布
- 實測 資料에 依한 서어비스 時間의 無作爲 分布

以上과 같이 시뮬레이션의 主要 變數인 到着率과 서어비스率을 發生시켜 시뮬레이션 하면 그 結果는 〈表 4-3〉과 같다. 到着時間이 3.6時間 다시말해, 第2章에서 求한 컨테이너 埠頭의 平均到着時間이 6.667時間과 比較하여 現在의 到着時間보다 2倍 程度로 入港時間을 遲延시킬 境遇 利用率은 極大化되어 100%가 되나 埠頭의 不足으로 待期하는 時間은 50時間 이상이 超過되며 待期可能 船舶數는 17 隻이나 되며 入港船이 待期해야할 確率은 96.3%로 入港하는 船舶마다 거의 빠짐없이 서어비스를 받기 爲하여 港內 投錨待期해야함을 意味하므로 釜山港內 10,000 DWT 以上の 最大 碇泊可能한 數가 29 隻이며 一般埠頭의 境遇까지 고려한다면 이는 거의 不可能한 狀態이다.

現在의 到着率을 60%程度 크게 한다면 到着時間은 4.2時間, 埠頭利用率은 90.11%가 되며 待期時間은 2.7時間, 待期 可能 船舶數 및 確率은 6 隻 및 41.4%이다. 만일, 到着時間 間隔을 現在보다 40% 程度 短縮시킨다면, 到着時間이 4.8時間 利用率은 79.8%이며 待期

Table 4-3 Results of simulation by extending ship arrival in container pier.

도착시간(시간/척)	이용율(%)	대기시간(시간)	대기척수(척)	대기확률(%)
3.6	99.7	50.1	17	96.3
3.9	95.9	8.0	9	73.0
4.2	90.11	2.7	6	41.4
4.5	83.9	2.4	3	23.1
4.8	79.8	2.2	3	15.9
5.1	72.8	0.5	2	8.4
5.7	65.4	0.13	2	2.3
6.0	64.7	0.11	2	2.0
8.0	50.0	0.03	1	0.3
10.0	37.0	0.02	1	0.01
12.0	31.0	0	0	0
14.0	26.1	0	0	0

시간은 2.2시간, 待期 可能 隻數 및 確率は 3隻 및 15.9%이다.

또한 現在の 到着率보다 50% 以上 船舶의 入港時間을 統制·遲延시킨다면 待期하는 境遇는 전혀 없으나 埠頭利用率이 31%로 떨어짐을 알 수 있다.

以上の 結果와 <그림 4-3>의 待期時間의 傾向으로부터, 컨테이너船의 長點인 빠른 回航時間과 利用率의 問題까지 考慮한다면 到着時間이 5.1時間 부터는 待期時間의 增加가 크며

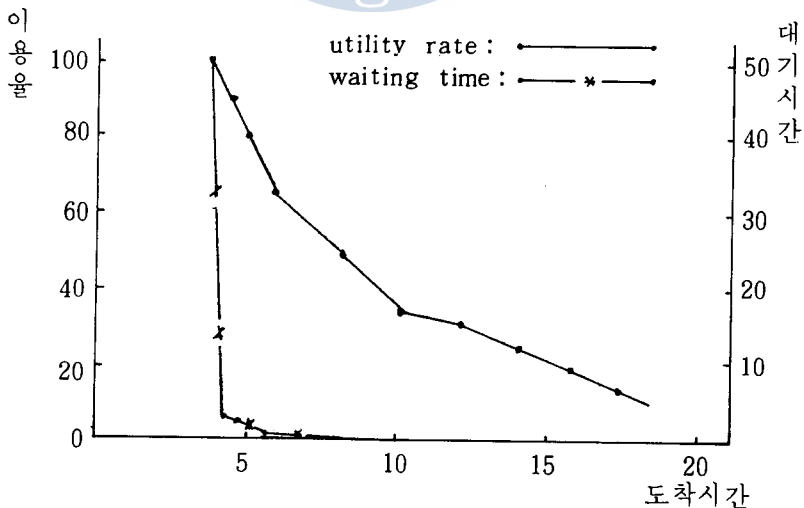


Fig. 4-3. Configuration of utility and waiting time. (container pier)

到着時間이 6.0時間 以下부터는 利用率이 50% 以下이고 待期時間이 거의 發生하지 않음을 堪案한다면 5.1≤到着時間≤6.0인 範圍 다시 말해 現在의 컨테이너船 到着時間보다 10% 내지 20% 程度 빠르게 入港시키는 것이 바람직하다는 것을 確認할 수 있다.

ii) 一般埠頭

- 到着時間의 變更에 따른 定時間 分布
- 實測資料에 依한 서어비스時間의 無作爲 分布

以上과 같이 2 가지 主要 變數의 分布를 發生시키면 <表 4-4>와 같다. 이때 到着時間이 2.5時間 즉, 一般埠頭的 平均到着率이 3.484(時間/隻)이므로, 現在의 到着率보다 40%가 增大한다면 埠頭利用率은 100% 가까이 되며 待期時間은 17.4時間이며 待期可能 隻數는 21隻이며 入港하는 一般雜貨船의 埠頭 不足으로 기다려야 할 可能性은 87.1%로 대단히 높다. 만일, 單位時間當 船舶到着數가 現在 보다 10% 增加한다면 到着時間이 埠頭利用率은 87%이며 隻當 待期時間은 1.6時間이며 待期可能 隻數는 6隻이며 入港船의 待期可能性은 28.2%이다.

待期時間이 最少인 境遇 船舶의 單位時間當 現在의 到着數보다 15% 減少된다면 到着時間이 4時間, 埠頭的 利用率은 65.1%이고 待期時間은 0.1時間, 待期可能 隻數는 3隻이며 그 可能性은 2.2%로 거의 기다리지 않아도 된다.

Table 4-4 Results of simulation by ship arrival in general pier.

도착시간(시간/척)	이 용 율(%)	대기시간(시간)	대기척수(척)	대기확율(%)
2.5	98.6	17.4	21	87.1
3	87.0	1.6	6	28.2
3.5	73.0	0.2	3	0.5
4	65.1	0.1	3	2.2
6	46.0	0	0	0
8	37.3	0	0	0
10	32.1	0	0	0
12	28.4	0	0	0
14	25.3	0	0	0
16	22.8	0	0	0
18	21.1	0	0	0
20	19.5	0	0	0

<그림 4-4>는 以上の 結果를 到着時間의 變化에 따른 利用率 및 待期時間을 나타내고 있다.

따라서 一般埠頭의 到着率에 依한 改善은 到着時間이 3時間 부터 待期時間이 急增하므로 入港하는 一連의 船舶과 船舶의 到着間隔의 統制를 3.5時間에서 4時間 사이의 定時間 分布로 制御하는 것이 바람직하다.

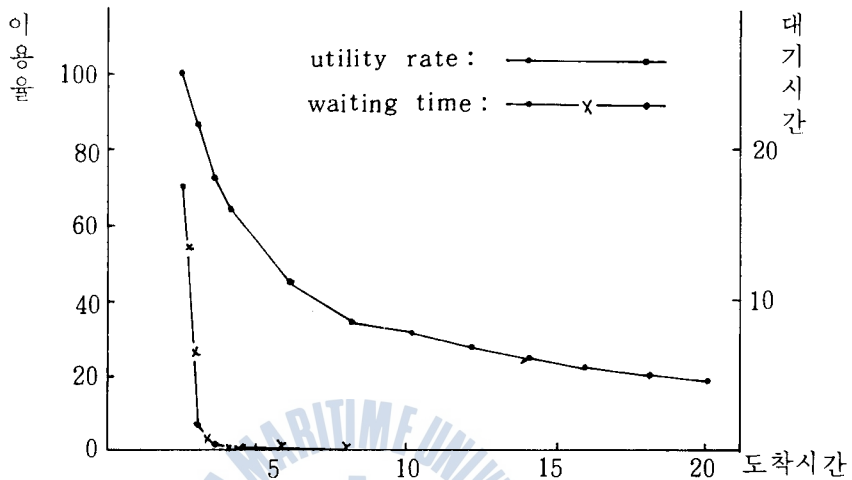


Fig. 4.4. Configuration of utility and waiting time. (general pier)

5. 結 論

本 論文에서는 시뮬레이션을 利用한 港灣運送過程을 分析함으로써 細部的이고 多樣한 分析을 하는데 發生하였던 過去 研究 事例의 問題點을 克服하였으며 釜山港을 分析의 例로 選擇하여 現在 運營중인 諸般 問題點을 把握하여 未來에 港灣施設擴張의 範圍提案 및 船舶 到着時間의 適切한 統制에 따른 埠頭施設의 効用 極大化를 이룩할 수 있는 具體的인 統制時間을 提示하고 있다.

以上の 結果를 要約하면,

- i) 複雑한 港灣運送過程을 分析하는데 시뮬레이션에 依한 方法이 有効하고 便利하며
- ii) 現在 運營중인 釜山港灣의 컨테이너 埠頭利用率은 47.91%이며 隻當 서어비스를 받고자 待期時間은 0.8時間이며 入港時 待期할 可能性은 約 8%로 거의 待期現象이 發生하지 않으며, 一般埠頭의 埠頭利用率은 85.52%로 隻當 서어비스를 받기 爲하여 待期하는 時間은 5.2時間이며 入港時 待期 可能性은 約 44%로 最大 12隻까지 待期하는 境遇가 發生할 수 있다.
- iii) 現在 船舶 到着時間의 類型에 따른 適切한 埠頭施設의 擴張은 컨테이너 埠頭는 到着 時間 自體가 統制되어 現 運營狀態로 諸般 投資의 必要性이 要求되리라 思料되며, 一

一般埠頭는 現在 入港하고 있는 船舶의 待期時間의 適正水準 維持 및 埠頭效率을 卽하기 爲해서는 現在施設의 約 30%의 投資擴大가 必要함을 確認하였다.

- iv) 現在의 釜山港灣의 諸般施設에 對한 投資가 전혀없을 境遇에 船舶의 到着間隔의 統制는 5.1~6.0時間과 埠頭의 利用率 및 待期時間의 適切한 減少가 바람직하며 一般埠頭는 3.5~4時間 程度의 定時間 統制가 適合함을 確認하였다.

以上으로부터 本 論文에서 釜山港의 埠頭施設 및 到着時間의 統制에 依한 效率의 運營方案을 提案하였다. 그러나 船舶의 埠頭 配定問題, 入港手續의 簡素化, 貯藏施設의 效率의 配置 및 運營, 內陸輸送과의 統合的인 시스템 構成과 그 調和 等과 같은 港內 諸般 運營問題를 解決함으로써 港灣運營의 效率性을 높이는 方案도 模索되어야 할 것이다.

參 考 文 獻

- 1) Morse, P. M. : Queues, Inventories and Maintenance, John Wiley & Sons. Inc, New York, 1958.
- 2) J. Imakita: A Techno-Economic Analysis of the Port Transportation System, Saxonhouse, p.1, 1977.
- 3) Ronald V. Hartley: Operation Research; Managerial Emphasis, Good year Publishing Co. Inc., California, p.577, 1982.
- 4) Saaty, T. L. : Element of Queueing Theory, Mc Graw-Hill book Co. Inc., New York, Houston, pp.245—255, 1976.
- 5) Borins, S. F. : Pricing Policy and Optimum timing of Transport Investments, Journal of Transport Economics & Policy, Vol. No. 2, May, 1981.
- 6) Dan Shieerson: Investment in Port Systems, Journal of Transport Economics & Policy, Vol. No. 3, Sept., 1981.
- 7) P. I. Collier: Simulation as an aid to the study of a port as a system, the 3rd International Symposium on Ship Operation Automation, 1979.
- 8) LYON ASSOCIATES INC. : 韓國港灣 第三段階妥當性調查, 海運港灣廳, 1981.
- 9) 森村英典・大前義次: 應用待期行列理論, 日科技連出版社, 東京, pp.58~62, 1977.
- 10) 李哲榮, 시스템工學概論, 文昌出版社, 釜山, pp.1~95, 1981.
- 11) 鄭漢永: 現代統計學, 螢雪出版社, 서울, 1981.
- 12) 羅雄培・李載寬: 經營計量分析論, 博英社, 서울, pp.352~379, 1980.
- 13) 李哲榮・文成赫: 港灣運送 시스템의 分析에 關한 研究, 韓國航海學會誌, 第7卷 1號, 1983.

