

# 港灣運送 시스템의 分析에 關한 研究

李 哲 榮 · 文 成 赫

## An Analysis of the Port Transportation System

Cheol-Yueng Yi · Seong-Hyuek Moon

Abstract		次	
1. 序 論		4. 分析例—釜山港灣의 境遇	
2. 시스템으로서의 港灣運送過程과 港灣輻輳의 波及影響		4.1 船舶到着率의 分析	
2.1 시스템으로서의 港灣運送過程		4.2 埠頭서어비스時間 分布의 分析	
2.2 港灣輻輳의 原因		4.3 錨泊地에서 待期中인 船舶數 및 遲延量의 測定	
2.3 港灣輻輳의 結果		4.4 埠頭占有率의 分布	
2.4 船舶의 在港時間과 港灣運營의 效率性		4.5 待期行列理論의 適用	
3. 港灣輻輳現象의 分析을 爲한 準備		5. 港灣輻輳의 影響	
3.1 待期行列모델의 基本概念		5.1 港灣輻輳로 因한 船舶의 在港時間이 運航收益에 미치는 影響	
3.2 待期行列모델의 基本構造		5.2 港灣輻輳現象과 限界費用	
3.3 船舶廻航時間에 對한 待期行列모델의 適用		6. 結 論	
		參考文獻	

### Abstract

The delay due to congestion has recently attracted widespread attention with the analysis of over-all operation at the port. But, the complexity of the situation is evident in view of the large number of factors which impinge on the considerable end. Queuing theory is applicable to a large scale transportation system which is associated with arrivals of vessels in a large port.

The attempt of this paper is to make an extensive analysis of the port transport system and its economic implications from the viewpoint that port is one of the physical distribution facilities and a kind of queueing system which includes ships and cargoes as port customer.

By analyzing the real data on the Port of Pusan, it is known that this port can be represented as a set of multi-channel with identical set of Poisson arrival and Erlang service time, and also it is confirmed that the following formula is suitable to calculate the mean delay in this port, namely,

$$W_q = \frac{\rho}{\lambda(1-\rho)} \frac{e_N(\rho \cdot N)}{D_{N-1}(\rho \cdot N)}$$

where,  $\lambda$ : mean arrival rate

$\mu$ : mean servicing rate

$N$ : number of servicing channel

$\rho$ : utilization rate ( $\lambda/N\mu$ )

$e_N$ : the Poisson function

$D_{N-1}$ : a function of the cumulative Poisson function

Coming to grips with the essentials of the cost of delay due to congestion, a simple ship journey cost model is adopted and the operating profit sensitivity to variation in port time is examined, and for the purpose of a future development for port pricing service the marginal cost is approximately calculated on the basis of queueing theory.

## 1. 序 論

運送 또는 輸送은 經濟成長에 없어서는 안 될 必須的인 下部構造(Infrastructure)에 該當되는 分野로서 우리 나라를 包含한 大部分의 工業國家의 境遇 이들이 차지하는 比重은 國民總生産(GNP)의 거의 20%에 육박하고 있다.<sup>1)</sup> 또한 輸送은 生産의 必須的인 部分으로서 旅客輸送 以外的 仲介的인 서어비스 活動이 있을 때에는 輸送 그 自體만으로 끝나는 現象은 아니다. 그리고 輸送에 對한 投資는 國民所得을 再分配하는 效果를 가져올 뿐만 아니라 所得成長을 誘因하게 되는 一傭雇의 增大와 같은 直接的인 效果를 招來하고, 동시에 經濟成長에 있어서의 沮害要素인 높은 輸送量 問題라든가 受容量(Capacity)의 問題도 解決할 수 있는 間接效果를 불러 일으킨다.

運送 또는 輸送이란 주로 物件의 흐름을 取扱하는 것으로 道路·鐵道에 依한 陸運, 비행기를 利用한 航運, 그리고 內陸水路 및 海上을 통한 海運 등으로 나눌 수가 있다. 이러한 運送分野들의 相對的인 重要性은 그 國家가 처한 地理的 特性에 따라 크게 다르지만 特히 우리나라의 境遇 海上運送 即 海運이 차지하는 比重은 매우 크다고 할 수 있다.

한편, 港灣은 海上運送과 內陸輸送間의 共通接續領域으로서 臨海地域이 있는 國家의 境遇 港灣內에서의 運送이 國家의 經濟産業 全般에 미치는 影響은 매우 至大하다고 할 수 있다.

海上運送에 있어서 港灣이 차지하는 比重이 매우 크다는 事實은 잘 알려진 事實이나, 이 외에도 港灣內의 運送過程 自體가 바로 陸上運送을 內包한 複合運送過程이므로 港灣의 役割은 더욱 더 커지게 된다. 따라서 港灣을 効率的으로 管理·運營하거나 또는 새로운 港灣을 建設하려고 할 때에는 港灣이 차지하는 이러한 比重을 充分히 考慮해야 할 것이다.

港灣運送過程에서 發生하는 問題點은 주로 많은 貨物을 積載한 船舶들이 港灣內에서 待期함으로써 惹起되는 것으로 이로 因한 港灣에서의 輻輳問題(Port congestion)는 貨物의 引渡遲延이라는 形態로 나타나게 되고, 結果的으로는 이러한 現象이 國家産業 全般에 커다란 影響을 미치게 된다. 뿐만 아니라 效果的인 港灣의 運營·管理는 그 自體가 資源의 效率的인 活用이라는 問題와 直結된다고 할 수가 있다. 그러나, 이러한 問題들을 모두 考慮하여 港灣의 管理·運營計劃을 樹立하는 일은 그

렇게 쉽지는 않다. 즉, 灣港은 輸·出入의 한 關門으로서 한 쪽 海上과 다른 內陸輸送間의 連結點에 지나지 않기 때문에 生産과 消費 그 어느 쪽의 最終段階는 아니다. 따라서, 港灣運送過程을 分析하고자 할 때에는 이들 關聯要素들을 充分히 考慮하여 輸送 그 自體를 生産과 消費를 爲한 綜合시스템이라는 立場에서 다룰 必要가 있다. 바꾸어 말하면 港灣에 關한 問題는 港灣內에서의 效率인 交通流의 管制라든가 出·入港하는 船舶의 패턴에 따른 對應조치, 貨物의 積荷 또는 揚荷, 그리고 港灣內의 移送시스템의 確立과 內陸輸送에로의 圓滑化 等 여러 側面에서 檢討·考慮하지 않으면 解決될 수 없는 性質을 지니고 있기 때문이다.

이에 本 研究에서는 港灣을 海上과 陸上을 連結하는 接點으로 생각하고 港灣運送過程 自體를 物流시스템 또는 待期行列시스템으로 把握하여, 먼저 이들의 具體的인 內容에 對하여 檢討한다. 그리고, 港灣運送시스템은 여러 個의 副次的인 시스템으로 構成되어 있기 때문에 이들 副次시스템 (Subsystem)들이 港灣內에서의 船舶輻輳(Congestion) 現象과 어떠한 關聯性을 지니는가에 礎點을 두어 分析한다.

港灣內에서 船舶輻輳는 船舶의 港灣內 滯留時間과 密接한 關聯이 있으므로 主로 船舶의 港灣內 到着과 埠頭에서의 서어비스라는 두가지 側面에 重點을 두어 統計資料들을 分析하고, 待期行列理論을 導入하여 輻輳問題에 대한 簡單한 모델式을 誘導하며, 동시에 輻輳問題가 船舶 및 港灣의 諸費用에 미치는 影響을 檢討하기로 한다.

第2章에서는, 港灣運送過程의 시스템적인 性格을 概說하고, 港灣輻輳의 原因과 그에 따른 몇 가지 結果에 對하여 說明한다.

第3章에서는, 港灣輻輳問題 分析을 爲한 準備로서 待期行列모델의 基本概念 및 構造, 待期行列理論과 船舶廻航時間 分析에 待期行列모델을 適用하는 方法에 對해 紹介한다.

第4章에서는, 釜山港灣에 對한 船舶廻航時間을 分析하고, 統計資料를 利用하여 여러 가지 파라메타(Parameter)를 求함으로써 釜山港灣의 實情에 適合한 待期行列모델을 選定하는 問題를 다룬다.

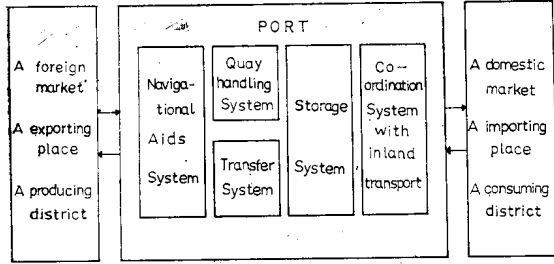
第5章에서는, 船舶의 港內遲延時間이 船舶의 運航收益에 미치는 影響과 港灣輻輳가 미치는 經濟的인 影響을 簡單한 모델을 使用하여 分析하고, 結論에서 全體를 要約하기로 한다.

## 2. 시스템으로서의 港灣運送過程과 港灣輻輳의 波及影響

### 2.1 시스템으로서의 港灣運送過程

港灣運送過程을 物流라는 觀點에서 보면, 輸入貨物은 曳引船의 도움을 받는 船舶에 依하여 港界內로 運送되고 港內의 船舶輻輳狀態에 따라 港灣內에서 기다리거나 또는 바로 埠頭に 揚荷된다. 또, 揚荷된 貨物은 內陸輸送터미널(道路 또는 鐵道)로 移送되거나 또는 駁船으로 內陸水路를 通하여 輸送되기도 하고, 內陸의 目的地로 移送되기 前에 얼마동안 貯藏시설에 運搬되어 貯藏되었다가 搬出되기도 한다. 물론, 輸出貨物은 이와 正反對의 經路를 따른다고 볼 수 있다. 따라서, 港灣運送過程은 다음의 4가지 副次시스템(Subsystem)으로 分類할 수 있을 것이다.

i) 航路標識시스템(Navigational Aids System)



船舶의 航行에 도움을 주는 모든 諸般施設을 航路標識라고 하는데 여기에서는 港界內에 設置된 諸般 施設物인 燈臺, 浮標, 無線設備, 港灣Radar, 導燈 및 指導線 등과 예인선(Tug boat)을 包含한다. 그러나, 港灣運營의 最適化를 達成하는 데에 가장 重要한 要素로서는 曳引船運營시스템을 들 수 있을 것이다.

ii) 埠頭荷役 및 移送시스템(Quay handling and Transfer System)

Fig. 2-1. Contents of Port Transportation System.

荷役시스템은 海上輸送과 內陸輸送 諸要素間의 實質的인 共通領域이며, 港灣運送시스템의 關門 및 唯一한 通路라고 볼 수 있다. 이러한 荷役시스템의 效率는 埠頭側의 荷役率 뿐만 아니라 이 시스템과 關聯시스템과의 사이에 이루어진 連結이 어느 程度로 適合한가에 依存하는 바가 크다. 即, 全體시스템의 調和를 생각하지 않는 荷役率만의 向上은 港灣의 特性이라는 觀點에서 볼 때 그 意味가 없게 된다.

iii) 貯藏시스템(Storage System)

貯藏시스템은 上屋, 倉庫, 野積地, 곡물사일로, 콘테이너野積地 등으로 이루어지는 서어비스 提供施設이다. 이 시스템은 貨物의 貯藏 有無를 決定하는 基準은 무엇인가? 貯藏에 所要되는 價格이 港灣利用者의 意思決定 및 港灣荷役處理量에 미치는 影響은 어떠한가? 등의 問題를 參酌하여 그 內容을 決定하여야 한다. 그러므로 이러한 問題點을 解決하기 위해서는 貯藏시스템이 海上運送과 內陸運送 사이에서 '緩衝作用'을 잘 隨行할 수 있도록 해야 할 것이며, 또 이러한 境遇에만 貯藏시스템이 港灣運送시스템의 要素로서 意味를 지니게 된다.

iv) 內陸輸送과의 統合시스템(Co-ordination with Inland Transport)

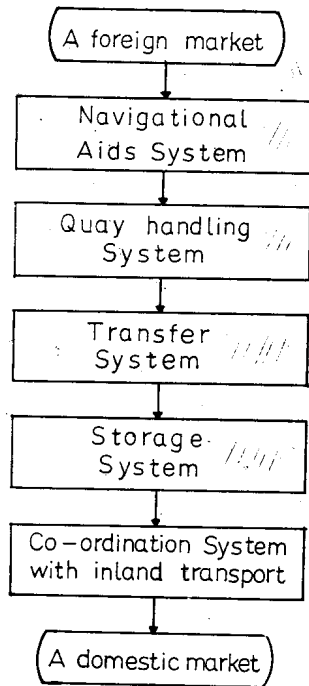
內陸輸送은 生産地 또는 國內市場과 港灣을 連結하는 파이프라인이라고 볼 수 있다. 실제로 內陸輸送시스템은 港灣內의 運送問題를 다루는 데에 있어서는 그렇게 重要하지 않은 對象으로 보일 지 모른다. 그러나, 內陸輸送은 港灣의 受容能力 즉 荷役處理量과 密接한 關聯이 있다. 그것은 效果的인 內陸과의 連結이 없이는 港灣은 其 機能을 發揮할 수 없기 때문이다.

以上과 같이 港灣運送過程을 여러 個의 副次시스템으로 分割할 수 있는데, 이들 각각에 管理機能을 包含시키면 港灣運送過程은 하나의 大規模시스템으로 다룰 수 있게 된다.

一般的으로 시스템이란, 그 輪廓이 뚜렷한 對象에만 指稱할 수 있는 것은 아니고 비록 어떤 要素들이 獨立的으로 存在한다 하더라도 하나의 思考方法에 따라 '줄거리'를 通하게만 할 수 있다면 그 줄거리가 通하는 要素들을 連結함으로써 시스템을 構成할 수가 있는데 시스템이 具備해야 할 條件은 첫째, 2個以上の 要素로 構成되어 있어야 하고 둘째, 要素 相互間의 機能이 定義되어 있어야 하며 셋째, 目的을 가지고 있어야 할 뿐만 아니라 넷째, 單純히 狀態로서 存在하고 있는 것이 아니라 時間的인 흐름이 指定되어 있어야 한다는 것이다. 또한 마지막으로 環境에 適應할 수 있어야 한다.

以上과 같은 條件에 비추어 볼 때, 港灣運送過程은 거대한 하나의 시스템이라 할 수 있을 것이다. 그 內容을 具體적으로 살펴 보면 港灣運送過程은 航路標識시스템, 埠頭荷役시스템, 貯藏시스템 등과 같은 副次시스템(Subsystem)들로 構成되어 있고 또한, 이러한 副次시스템들도 여러가지 要素들로 이루어진 하나의 시스템이라 볼 수 있기 때문에 港灣運送過程은 2個以上の 많은 要素들로 構成되어 있는 셈이다.

둘째로, 港灣運送過程은 要素相互間의 機能이 定義되어 있다. 航路標識시스템에서는 무엇을 하고 埠頭荷役시스템에서는 어떤 일이 行해지는가 하는 그 機能이 明確하다. 即 航路標識시스템은 船舶을 迅速하고 安全하게 港內·外로 移動시키는데 補助的인 役割을 맡고 있으며, 埠頭荷役시스템에서는 貨物을 빠른 時間內에 安全하게 荷役하는 일 等等 港灣運送過程은 要素相互間의 機能이 定義되어 있다. 셋째로, 港灣運送過程은 뚜렷한 目的을 지니고 있다는 것이다. 全體的인 港灣管理面에서 볼 때 港灣은 圓滑히 움직여야 하는데 特히 船舶輻輳로 인한 施設不足은 船舶의 港內遲延을 招來하기 때문에 이로 해서 發生되는 費用은 船舶 및 港灣自體에 相當한 負擔이 되고 있다. 따라서 港灣內에 있어서의 全般的인 運送過程은 船舶輻輳로 인한 港內遲延時間을 줄이는 方向으로 管理·運營되어야 한다. 이러한 管理·運營은 莫然한 것이 아니고 可能的 限 具體的이고도 定量的으로 表現可能해야 하는 데, 荷役시스템을 例로 들어보면 埠頭的(또는 本船) 荷役設備水準을 어느 程度로 維持해야 可能的 限 빠른 時間內에 서어비스를 받고 나올 수 있는가 하는 問題를 定量的으로 다룰 수 있어야 할 것이다. 넷째로, 港灣運送過程은 單純히 狀態로서 存在하는 것이 아니고 時間的인 흐름이 指定되어 있다는 것이다. <그림 2-2>에서 보는바와 같이 國外市場, 輸入地 또는 輸出地에서 海上을 通해 船舶이 港灣에 到着하면 航路標識시스템을 거쳐 埠頭に 接岸하게 되고 一船舶이 港內에서의 遲延, 遲滯가 없다면 一 일단 接岸한 後에는, 埠頭에서 荷役이 이루어 질 것이다. 荷役된 貨物은 港內 移送시스템을 通해서 貯藏이 必要한 物品은 바로 貯藏시스템으로, 貯藏이 必要치 않은 物品은 內陸 輸送과의 接續시스템으로 옮겨져서 國內市場, 生産地 및 消費地로 가게 되는 것이다. 이와 같이 港灣內에 있어서 運送過程은 時間에 따라 그 흐름이 정해져 있다.



마지막으로 以上과 같은 4가지 條件을 만족한다고 할 지라도, 그러한 시스템이 環境에 適應할 수 없다면 아무 쓸모가 없을 것이다. 即, 港灣運送시스템이 現實과 調和를 이룰 수 없을 때에는 그 存在價値가 없게 되기 때문이다.

### 2.2 港灣輻輳의 原因

Fig. 2-2. The flow of Port Transport

港灣當局은 港灣施設의 利用者가 없어서 그 運營을 一時的

으로 中止한다고 하더라도 費用은 發生하기 때문에 어느 程度 輻輳가 維持되는 狀態에서 港灣이 運營되기를 願한다. 即 小規模의 輻輳가 發生하는 港灣의 境遇 料率制度를 具體적으로 마련하고, 漸次的으로 設備投資를 增大시키면 더 많은 交通量을 受容할 수 있게 되어 收益을 높일 수 있게 되나, 使用者側에서 볼 때에는 港費가 一定하다면 混雜하지 않은 港을 選擇하는 傾向을 보일 것이다. 그러나 만일 더 좋은 對替運送手段이 없을 境遇에는 어느 程度의 交通의 混雜은 甘受하는 수 밖에 없을 것이다.

그러나 輻輳가 實로 極甚한 境遇에는 전혀 다른 觀點에서 대처하지 않으면 안된다. 運送者는 輻輳에 依한 遲延으로 因해 여러 面에서 財政的인 損害를 볼 것이며, 港灣當局은 一時的인 計劃(交通規則 및 管理 등)이든 長期的인 計劃(새로운 施設의 提供 등)이든 間에 計劃修正을 하도록 壓力을 받게 될 것이다. 그리하여 一時的으로는, 港費引上和 같은 政策을 使用함으로써 浮動的인 利用者를 줄일 수도 있다. 그러나 現在의 設備는 그대로 둔 채 더 나은 收益만을 얻기 爲하여 港費의 引上을 決定하는 일은 어려운 問題일 뿐만 아니라 이러한 境遇 港灣當局은 港灣料率을 어떻게 決定할 것인가로 苦惱하게 될 것이다. 아래에서는 利用者 및 港灣當局의 立場에서 볼 때, 港灣輻輳時에 考慮해야 할 問題點들을 살펴보기로 한다.

이 境遇 무엇보다도 먼저 輻輳의 原因과 이를 解消하기 爲해 港灣當局이 실시할 수 있는 事項들을 檢討해야 한다.

輻輳現象은 시스템의 一種의 飽和狀態로서 一般的인 內陸輸送과는 달리 港灣의 境遇에는 여러가지 形態의 港灣設備 및 運營方法에 起因하는 경우가 많고, 동시에 이러한 要因들은 서로 獨立적으로 存在하고 있는 것이 아니라 相互 聯關性을 지니고 있다. 特히 重要的 要因으로는 水路의 길이, 船舶의 크기, 船舶의 到着形態, 貨物의 種類, 接岸速度, 荷役能力 및 倉庫의 用量 등이 있다. 이 외에도 海上運送의 特徵이라고 할 수 있는 複雜한 書類節次, 不適合한 通信手段 및 各國의 文化水準의 差異 등도 重要的 要因이 된다. 以上の 여러가지 要因으로 輻輳問題가 提起되는 데, 輻輳로 因한 두드러진 結果로는 港灣內에서의 船舶衝突危險의 增加, 船舶廻航時間의 增加, 이로 因한 繫留船舶의 增加 및 貨物運送에 附加적으로 發生되는 費用의 增加, 貨物引渡의 遲延 및 生成 가능한 市場數의 減少 등을 들 수 있다. 이들은 港灣當局의 立場에서 詳細히 檢討되어야 할 것이나 다루어야 할 對象이 一般商品과는 달리, '貯藏'할 수 없는 서어비스이고 또한 受容能力을 短期間에 바꿀 수 없기 때문에 需要의 急激한 變化가 있을 때에도 適切히 對應할 수 없게 된다는 特徵을 지니고 있다.

港灣의 輻輳를 解決하기 爲한 改善策으로는 다음과 같은 것들을 들 수 있다.

#### i) 運營面

- 優先政策(Priority)을 包含한 交通規則과 管理面의 改善
- 勞動力의 組織改善
- 보다 效率的인 副次시스템(Subsystem)의 制御
- 經營情報組織의 強化
- 書類事務의 簡素化

ii) 資本 投資面

- 水路의 浚渫 및 擴張
- 새로운 錨地와 倉庫의 建設
- 새로운 敷地의 매립
- 새로운 荷役設備의 設置 및 強化와 充分한 勞動力 保有

2.3 港灣輻輳의 結果

港灣의 輻輳問題는 關聯國家 뿐만 아니라 港灣의 利用者에게도 重要한 影響을 미친다는 것은 앞에서 지적한 바와 같다. 이 들 影響 中 가장 심각한 것은 아마도 船舶과 貨物이 港灣內에서 長期間 繫留함으로 因해 商品과 資本이 無益하게 凍結된다는 點이다. 뿐만 아니라 이러한 期間 中에는 時間의 損失 및 貨物의 損傷이나 盜難 등이 일어날 可能性이 높고, 또한 港灣內의 錨泊地로 錨泊을 하기 爲해 들어오는 船舶들 間의 衝突의 危險性도 더욱 增加하게 된다. 以上의 問題들은 短期的으로 發生하는 現象에 지나지 않으나, 長期的인 觀點에서 볼때 交通流의 實質的인 變化를 招來하거나 對替運送路의 開發을 자극시키기도 하여 輸送産業의 發展에 심각한 支障을 가져올 뿐만 아니라 또 어떤 狀況下에서는 港灣의 기능을 마비시킬 수도 있는 것이다. 또한 港灣施設의 不足 卽, 貧弱한 荷役施設, 裝備 및 貯藏場所의 不足 등으로 因하여 發生하는 輻輳는 重要貨物의 引渡遲延을 惹起시켜 自國內 經濟成長을 방해하는 原因이 될 뿐만 아니라, 船舶의 長期間 繫船으로 因한 補償金 또는 추징금(Surcharge)의 支出이라는 2次的인 問題도 惹起시킨다.

反面에 港灣輻輳는 또한 肯定的인 面도 지니고 있다. 그것은 비록 一時的이긴 하지만 船舶·크레인 등과 같은 技術의 裝備의 發展을 誘導하게 되었는데, 그 좋은 例가 Ro-Ro(Roll on, Roll off)型 船舶의 出現이다. 이러한 傾向의 가장 큰 原因은 港灣이 이미 상당히 混雜하고 港灣設備가 比較的 不足한 狀態에 있다고 할 지라도 Ro-Ro型 船舶만은 그 運營效率이 매우 좋다는 데에 있다. 그러나 Ro-Ro船은 短期的인 問題—貨物運送을 爲한 埠頭의 背後地 不足과 같은—만을 解決한 것에 지나지 않으므로 콘테이너船보다 經濟的인 面에서 뒤떨어지며 또한 Ro-Ro方式에 依해 콘테이너가 신속히 運搬되려면 바퀴에 올려져야 하는 데, 바퀴가 占有하는 만큼의 貨物積載力이 特殊콘테이너船보다 작다는 것이다. 그럼에도 불구하고 아직까지 Ro-Ro型 船舶들이 存續하는 것은 Ro-Ro船이 지니고 있는 柔軟性때문일 것이다.

2.4 船舶의 在港時間과 港灣運營의 效率性

船舶이 港灣에 到着하여 머무르는 時間인 船舶의 在港時間은 船舶이 港灣에서 움직이는 데에 所要된 時間과 錨泊하여 기다리는 時間의 合으로 이루어지는 데, 다음의 3部分으로 나누어 생각할 수 있다.

i) 錨泊時의 時間

港灣輻輳와 港內時間에 가장 큰 要因으로 作用한다. 港內에서 보내는 時間이 크면, 이 要素가 運航費의 增加를 招來하게 되고 港灣輻輳 또한 全航次에 대한 港內時間의 比率을 높게하는 主要因이

된다. 따라서 港灣輻輳問題는 이러한 錨泊時의 時間을 減少시키는 方向으로 이루어져야 할 것이다.

ii) 內港에서의 移動에 所要된 時間

港內에서의 움직임, Tug boat 및 Pilot船을 待期하는 時間, 船席(Berth)으로 移動하는 데 所要된 時間, 荷役시작 및 종료前後에 損失된 時間의 總合을 말한다.

iii) 實際荷役時間

荷役시작으로부터 終了까지 埠頭에서 實際로 生産的으로 消費한 時間을 말한다.

港灣輻輳를 解消하는 問題, 即 船舶의 港內遲滯時間을 輕減시키는 것은, 潛在的으로 存在하는 衝突危險의 회피라는 利點이 있기는 하나, 보다 더 重要한 것으로는 船舶廻航時間을 向上시킨다는 長點이 있다.

船舶의 在港時間은 港灣運營의 妙에 따라 變化하는 데, 港灣運營은 直觀的으로 1)輻輳가 있는 높은 能率과 2)輻輳가 없는 낮은 能率의 두가지를 생각할 수 있으나 두 個의 極端的인 境遇는 피하는 것이 바람직하다. 또한 港內荷役서어비스도 1)荷役서어비스는 느리나 輻輳가 없는 것과 2)荷役서어비스는 신속하고 設備 또한 特殊화된 形態를 取하나 碇泊地에서 輻輳의 壓迫을 받는 것으로 나눌 수 있겠다. 後者는 輻輳의 影響은 있으나 실제로 前者보다는 船舶의 在港時間을 短縮시킬 수 있다는 것이 알려져 있다. 그러나 어떤 港에서 能率을 向上시켜 輻輳現象을 없앴을 때, 이를 ‘特別히 能率의이다’라고만은 볼 수 없다. 왜냐하면 能率向上이란 비싼 設備投資를 同伴하기 때문에 그에 따른 港灣料率(Tariff)을 增加시키고, 그러한 增加된 料率은 結局 送荷主나 船舶의 負擔을 增加시키기 때문에 궁극적으로는 港利用의 減少라는 結果를 招來하기 쉽다.

結果的으로 輻輳를 減少시키기 爲한 勞力의 一環으로 能率을 높였을 때 發生하는 ‘非使用 埠頭施設의 有休現象’은 運營面에서의 非能率的인 現象이므로, 약간 輻輳를 감수하면서 迅速·高度의 荷役서어비스가 이루어지도록 하는 것이 바람직하다. 왜냐하면 能率이 向上되면 料率(Tariff)에 變化가 있다고 하더라도 平素보다는 높은 水準의 交通量을 誘引할 수 있기 때문이다. 諸般設備의 機械化·單位化를 爲한 投資, 勞動力의 集約的 利用 및 기타 設備의 向上으로 在港時間을 短縮시킬 수 있으므로 送荷主側은 航次回數를 增加시켜 運航費 減小는 물론 稼得力도 높일 수 있게 된다. 機械化設備가 短期的으로 不變하는 要素일 때에는 輻輳減小가 곧바로 港內에서 머무르는 平均船舶時間의 減小라는 問題와 直結된다. 兩者 모두 在港時間이 차지하는 率이 目的이 아니고, 全體的인 港灣運營面에서 볼 때 總經費와 그에 따라 算出되는 利益에 基礎를 두고 여러 關聯分野의 投資決定을 하여야 하며, 따라서 이러한 資本投資는 送荷主, 受荷主, 消費者 및 港灣當局 모두에게 똑같은 惠澤이 돌아가도록 施行되어야 할 것이다.

### 3. 港灣輻輳現象의 分析을 爲한 準備

待期行列理論(Waiting line theory 또는 Queueing theory)은 주로 顧客에 對한 서어비스 施設과 關聯되어 發展된 것으로, 大部分의 企業과 經濟組織들은 限定된 資源을 利用하여 經濟活動을 수행하고 있기 때문에 顧客이 必要로 하는 서어비스나 生産 中인 製品, 또는 事務作業 등을 얻기 爲해



서는 長時間 기다려야 하는 境遇가 흔히 發生한다. 이와같이 어떤 集團이나 個體가 서어비스를 提供받기 爲해 기다리고 있는 境遇 이 集團이나 個體를 待期行列(Queues)이라고 부르며, 이러한 待期行列이 發生하는 理由는 서어비스를 提供하는 서어비스 提供者(Server)의 數가 서어비스를 願하는 個體의 數에 比해 不足하기 때문이다. 그러므로 待期行列의 問題는 待期行列의 發生에 수반하는 費用(損失)과 待期行列을 避하기 爲한 조치에 수반되는 費用과의 사이에 適切한 調和를 發見하는 데에 重點을 두어야 할 것이다.

待期行列의 例는 數없이 많이 들 수가 있는데, 本 論文에서 다루고자 하는 港灣에 到着하는 船舶도 待期行列의 一種이라고 볼 수 있다. 이와같은 待期行列이 일어날 수 있는 諸 狀況을 보다 效果的으로 分析하기 爲하여 開發된 것이 바로 待期行列모델(Queueing Model)이다.

本 章에서는 먼저 待期行列理論의 基本에 대하여 簡單히 說明하고자 한다. 물론, 實際의 現象에 待期行列모델을 適用하는 境遇에는, 基本的인 생각을 中心으로 하여 이미 解析된 모델이나 그 問題에 잘 適用되도록 자기가 만든 모델 등을 전개하여 그 모델의 解를 求해야 할 것이다. 그리하여 使用한 모델이 現象을 잘 表現했는 가하는 소위 모델의 妥當性이 待期行列모델에 依한 解析에 있어서 成敗의 열쇠를 쥐는 가장 重要한 點으로 된다.

### 3.1 待期行列모델의 基本概念

待期行列모델의 基本的인 目標은 서어비스를 提供하는데 必要的인 直接費用과 서어비스를 받으려는 個體를 기다리게 하는 데 드는 間接費用의 總을 最少로 하는 데에 있다. 即, 시스템의 서어비스 提供者가 最適인 數字보다 많다면 이것은 過다한 資本投資를 誘發시키게 되며, 서어비스 提供者가 最適인 數字보다 적다면 待期行列을 너무 길게 만들게 되므로 待期行列 길이와 서어비스 提供者의 數는 適定한 水準으로 維持하는 것이 바로 待期行列모델의 主目的이 된다. 待期行列모델을 適用할 수 있는 가장 단순한 待期行列시스템은 <그림 3-1>에서 보는 바와 같이 投入個體가 到着되어 形成하는 待期行列과 서어비스 提供窓口(Channel) 및 서어비스를 받은 個體가 떠나는 出口 등의 여러 要素들로 構成되어 있다. 待期狀況을 計量化하기 爲해서는 다음과 같은 要素들이 定義되어야 하는 데, 이러한 要素들이 多樣한 配列을 이루어 獨特한 待期行列시스템을 構成하게 되는 것이다.

#### i) 入力量(input source)

待期行列시스템의 入力量은 서어비스를 받기 爲하여 시스템에 到着하는 船舶, 사람, 製品, 各種業務 등으로서 이들의 母集團이 어느 정도 크면 無限母集團으로 假定하는 것이 一般的인 데,

그 理由는 無限母集團의 모델化가 有限母集團의 모델化보다 훨씬 簡單하기 때문이다.

#### ii) 到着形態

母集團의 個體가 待期行列시스템에 들어가는 類型에는 여러가지 形態가 있는데, 아래에서는 本 論文에서 자주 使用하게 될 Poisson 分布에

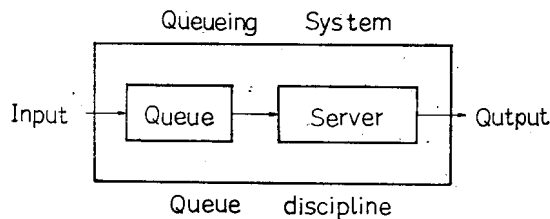


Fig. 3-1. A model of Single-channel, Single-phase. 對하여 간단히 說明하기로 한다. Poisson 分布

는 單位時間當 到着하는 個體의 數  $\lambda$ 을 確率變數로 하여 一定期間  $t$  期間 中에 個體의 到着個數가 갖는 分布를 토대로 하여 어떤 特定個數  $n$ 의 個體가  $T$ 期間中에 到着할 確率을 나타낸 것으로 그 一般式은 다음과 같다.

$$P_t(n) = \frac{(\lambda t)^n}{n!} e^{-\lambda t} \dots \dots \dots (3-1)$$

예를 들어, 만일 첫번째 船舶이 到着할 때까지의 時間을  $X$ 라 할 境遇  $P(X > t)$ 일 確率은 Poisson分布의  $P(n=0)$ 일 確率과 같다. 따라서

$$P(X > t) = P(n=0 | \lambda, t) = \frac{(\lambda t)^0}{0!} \cdot e^{-\lambda t} = e^{-\lambda t} \dots \dots \dots (3-2)$$

그리고,  $t$ 期間 中에 船舶의 到着이 있을 確率은 다음과 같다.

$$P(X \leq t) = P(n \geq 1 | \lambda, t) = 1 - P(X > t) = 1 - e^{-\lambda t} \dots \dots \dots (3-3)$$

即,  $P(X \leq t) = 1 - e^{-\lambda t}$ 의 確率은 累積確率로 나타낸 것이므로 이를  $t$ 에 關한 密度函數  $f(t)$ 로 나타내면,

$$P(X \leq t) = F(t) = 1 - e^{-\lambda t}$$

의 1次導函數와 같게 된다. 即,

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = \lambda e^{-\lambda t}, t \geq 0 \dots \dots \dots (3-4)$$

以上과 같은 Poisson 分布式이나 指數分布式은 待期行列理論에서 個體의 到着이나 서어비스時間이 Poisson 또는 指數分布를 따를 때에만 使用 可能하며, 또 이들을 利用하여 待期行列의 變數들을 算出해 내는 모델을 導出하는 데 쓰이고 있다.

iii) 待期行列順位原則(Queue discipline)

個體들이 待期行列에 들어간 後 서어비스 받게 되는 優先順位를 待期行列順位原則이라고 부르며, 가장 一般의인 待期行列順位原則은 到着順(First-come, First-serve)原則이다. 다른 一般의인 待期行列順位原則으로는 最短서어비스時間(Shortest service time) 原則, 後入先出原則, 無作爲順位에 依한 서어비스原則, 最短餘有時間(Shortest slack time)原則 등이 있다. 여기서 餘有時間(Slack time)이란 作業의 豫想完了日字와 完結日字와의 差異를 말한다. 港灣에서는 보통 到着順原則을 採擇하여 作業을 遂行하나, 待期行列順位原則에는 여러가지가 있으므로 시스템의 事情에 따라 그에 맞는 順位原則을 選擇하여야 한다.

iv) 待期行列의 길이(Queue length)

어떤 시스템의 待期行列은 比較的 많은 數를 受容할 能力이 있는 反面에 매우 制限된 受容能力을 가지고 있는 시스템도 있다. 待期行列의 受容能力이 制限 要素가 될 때, 待期行列시스템안에 들어올 수 있는 個體의 數가 制約을 받는다면 그 시스템은 待期行列의 길이가 有限해 질 것이다. 이러한 시스템을 分析하기 위해서는 到着의 상당部分이 待期行列의 受容能力의 不足으로 인하여 入場이 許諾되지 않는 모델 즉 有限待期行列모델을 使用해야 하는 데 港灣의 諸般施設 등은 이러한 有限의 待期行列을 가지는 代表的인 例이다.

v) 서어비스率(Service rate)

시스템內에서 各 個體에게 서서비스를 提供하는 데 드는 時間을 서서비스時間이라고 한다. 서서비스時間은 一定할 수도 있으나 一般的으로 確率變數가 되는 境遇가 많은 데, 그 理由는 要請된 서서비스가 다르기 때문일 수도 있고, 同一 서서비스라 할 지라도 원래 서서비스時間이 確率的으로 變하기 때문일 수도 있다.

vi) 出口(Output or Efflux)

個體가 서서비스를 받고 시스템을 떠나게 되면 다음과 같은 두 개의 可能한 集團 中的 하나에 속하게 된다. 即, 本來의 母集團에 되돌아가거나 또는 待期行列에 再投入될 確率이 그와 동일한 集團에 속할 수도 있고 또는 서서비스를 必要로 하는 確率이 낮은 集團에 속하는 경우는 죽을 때까지 그 集團에 그냥 속하는 경우와 一定期間이 경과한 後에 앞의 集團으로 옮겨가게 되는 境遇로 區分할 수 있다. 또한 어떤 시스템에서는 個體別로 서서비스가 한 번 밖에 일어나지 않는 境遇도 있다.

2.3 待期行列모델의 基本構造

모든 待期行列시스템에서 待期行列過程은 서서비스 施設의 性格에 따라 一般的으로 다음과 같은 네가지 基本的인 構造로 나뉘어 진다.

- i) 單一經路·單一過程 (Single-channel·Single-phase)
- ii) 單一經路·複數過程 (Single-channel·Multi-phase)
- iii) 複數經路·單一過程 (Multi-channel·Single-phase)
- iv) 複數經路·複數過程 (Multi-channel·Multi-phase)

여기서 經路(Channel)가 單一인가 複數인가를 나타낸 것은, 하나의 待期行列에서 서서비스窗口로 連結된 經路가 하나인가 두 個 以上인 가를 表示하기 爲한 것이다. 圖式的으로 나타내면 <그림3-2>와 같다.

이들 中 本 論文에서 分析한 釜山港灣의 例와 關係가 깊은 複數經路·單一過程모델에 關해 說明 하기로 한다.

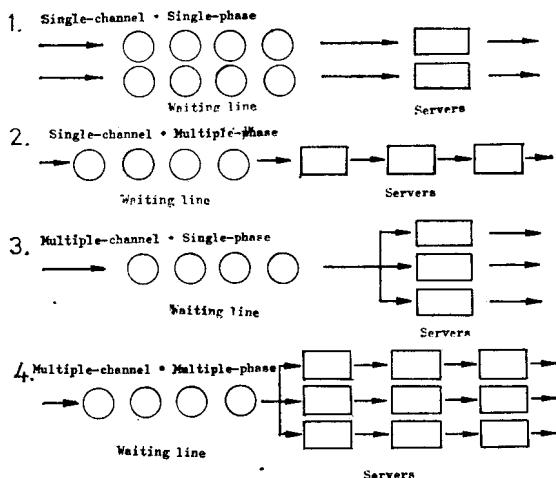


Fig. 3-2. Structures of Queueing Model.

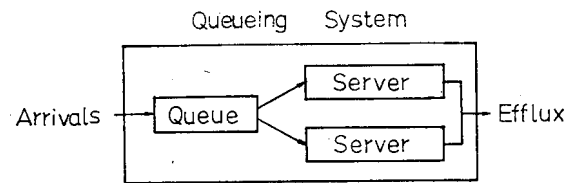


Fig. 3-3. A model of Multi-channel·Single-phase.

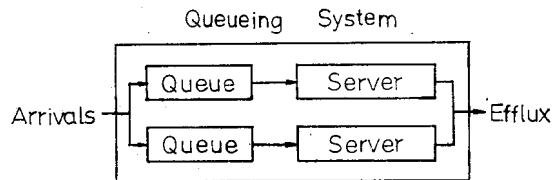


Fig. 3-4. A complex model of Single-channel·Single-phase.

複數經路·單一過程시스템은 둘 또는 그 이상의 서어비스 提供者가 있고 遂行作業과 待期行列이 하나만 있는 境遇로 <그림 3-3>이 이러한 시스템을 나타내고 있다. 여기서 두 서어비스 提供者 앞에 單一待期行列이 있어 複數經路가 存在한다는 것이지, 서어비스 提供者앞에 자기 하나씩의 待期行列이 있다는 것을 意味하지는 않는다.

<그림 3-3>의 모델과는 달리 各各의 서어비스 提供者가 別途로 待期行列을 가지고 있을 수도 있는 데, <그림 3-4>가 그것이다.

<그림 3-4>의 모델은 <그림 3-3>의 모델보다 實際의 시스템에서 덜 效果的인 境遇가 많은 데, <그림 3-3>의 모델이 보다 더 效率的이라고 볼 수 있는 理由は 서어비스 提供者마다 各各의 待期行列을 갖지 않고 모든 서어비스 提供者 앞에 單一待期行列이 形成되어 있기 때문이다. 即, <그림 3-3>의 시스템에서는 한 個體가 過多한 서어비스를 要求한다면 바로 그 個體와 서어비스 提供者만이 遲延되고 他 個體에는 影響을 미치지 않게 되나, <그림 3-4>의 境遇에는 한 個體가 과다한 서어비스 時間을 必要로 한다면 그 個體 뿐만 아니라 다른 個體들도 자연히 遲延된다. 이런 遲延때문에 個體들이 다른 待期行列로 移動하는 境遇가 있다. <그림 3-3>의 單一待期行列시스템이 보다 效率的이긴 하지만 이러한 시스템이 항상 存在 可能한 것은 아니다. 왜냐하면 到着個體들이 單一待期行列 內에 固定되어 있어야 하므로 個體들이 이러한 固定待期行列이 不便하다고 느낄 수도 있고, 시스템의 실제 環境이 單一待期行列의 利用을 不可能하게 할 수도 있기 때문이다. <그림 3-4>와 같은 待期行列시스템은 앞에서 言及한 네가지 基本모델에는 包含되지 않으나, 이러한 시스템이 實際로 分析되어야 할 境遇에는 다음과 같은 두가지 方法을 利用할 수 있다.

첫째로는 이 시스템을 <그림 3-3>과 같은 시스템이라 假定하고 시스템을 分析하는 方法으로서, 이러한 境遇에는 實際의 待期行列의 길이와 待期時間보다도 이 모델에 依한 時間이 더 짧게 推定된다. 그 理由は 單一待期行列 모델이 더 效率的이어서 待期行列의 길이가 더 짧게 나타나기 때문이다. 그러므로 이 方法을 使用하는 境遇에는 이 點을 留意하여 實際의 待期行列의 길이는 추정값보다도 더 크게 나타날 것임을 豫想하여야 한다.

두번째 方法은 이 複數待期行列시스템을 別個의 單一經路·單一過程시스템으로 構成되어 있다고 假定하는 것이다. 만약에 시스템이 3個의 埠頭로 서어비스를 提供하는 境遇의 港灣이라고 생각할 때, 待期行列 속에 船舶들의 平均到着率이 時間當 9隻이라면 時間當 3隻의 平均到着率을 가진 單一 서어비스 시스템으로 假定할 수 있다. 3個의 埠頭를 가진 港灣의 서어비스시스템의 結果는 위의 單一 서어비스 모델의 結果에 3을 곱하면 된다. 이와 같은 方法을 適用하는 境遇에는 다음과 같은 假定을 하여야 한다. 即, i) 到着個體들은 待期行列의 길이에 상관없이 無作爲로 3가지 待期行列中 아무 곳에나 들어간다. ii) 한 待期行列 속에 들어간 後에는 다른 待期行列로 옮기지 않는다는 것 등이다.

만약 이러한 假定들이 지켜지지 않는다면 모델에 의하여 算出한 시스템內的 平均個體數와 平均待期時間은 實際로 觀測된 統計費料의 것보다 더 커지게 된다. 以上에서 알 수 있는 바와 같이 複數 待期行列시스템에 對한 統計量은 假定하는 內容에 따라 조금씩 變化하게 되는 데, 實際로 應用할 때에는 시스템의 擧動을 가장 잘 나타내 주는 모델을 選擇해야 할 것이다.

3.3 船舶廻航時間에 對한 待期行列모델의 適用

待期行列시스템에 모델을 適用시키는 데에는 2가지의 重要的 基本 要素가 있는 데, 바로 到着函數와 서어비스函數가 그것이다. 一般的으로 待期行列에서 豫想되는 遲延의 크기와 待期行列의 길이에 關한 結果는 統計的인 資料와 適切한 모델로부터 計算할 수 있다. 또한 船舶의 港灣內에서의 廻航時間은 港灣의 諸施設物들을 利用하고자 港灣에 到着하는 船舶과 埠頭의 占有時間 即, 서어비스時間에 依해 決定된다.

待期行列모델에 使用되는 媒介變數는 다음과 같다.  $\lambda$ 는 平均到着率(船舶數/時間),  $\mu$ 는 平均서어비스率(船舶數/時間),  $N$ 은 서어비스 窓口의 數, 그리고  $\rho$ 는 利用率인데  $\rho = \lambda / N\mu$ 로 表示한다. 一般的으로는 陰의 指數形態의 Poisson到着과 Erlang서어비스인 狀況에 있는 多重窓口와 無制限의인 待期行列인 狀況下에서는 數學的인 解는 存在할 수 없다. 그러나, 다음의 境遇에는 그 解를 求할 수 있으며, 釜山港의 分析을 위하여 必要한 모델을 아래에 簡單히 要約해 두기로 한다.

i) 港灣은 陰의 指數分布의 到着과 Erlang 서어비스分布를 갖는  $N$ 개의 單一窓口시스템의 複合體로 생각하여 다음 式으로 부터 窓口當 遲延을 計算한다.<sup>2)</sup>

$$W'_q = \frac{\rho^2 \cdot (K+1)}{2K \cdot \lambda \cdot (1-\rho)} \dots \dots \dots (3-5)$$

이 모델은 單一經路·單一過程시스템을 複合한 形態로 나타낸 것이다. 이와 같은 複合시스템을 採擇할 때에는 <그림 3-4>를 通해 說明한 바와 같이 약간의 假定이 必要하다.

ii) 港灣을 各 窓口(埠頭)의 서어비스時間 分布가 統計的 觀測值의 平均과 같은 平均値를 갖는 陰의 指數分布인 多重經路施設로서 생각하여, 다음 式<sup>3)</sup>에 依해 待期하는 到着時의 遲延을 計算한다.

이 모델은 <그림 3-3>의 複數經路·單一過程시스템을 모델化한 것이다.

$$W''_q = \frac{Lq}{\lambda} = \frac{\rho}{\lambda \cdot (1-\rho)} \cdot \frac{e_N(\rho N)}{D_{N-1}(\rho N)} \dots \dots \dots (3-6)$$

여기서  $e_N$ 은 Poisson函數이고,  $D_{N-1}$ 은 累積 Poisson 函數이다. (3-6)式에서 뒷 部分은 모든 埠頭가 바쁠 境遇에 있어서의 確率을 나타내고 있다.

iii) 港灣을 역시 接近可能한 複數經路·單一過程시스템으로 생각하여, 船舶의 港灣에의 到着은 Random한 Poisson分布의 陰의 指數分布到着으로 서어비스時間을 常數( $K = \infty$ , 단  $K$ : Erlang함수의 位相)로 놓으면, 다음 式<sup>4)</sup>에 依해 船舶의 港灣에의 到着時에 待期하는 遲延을 計算할 수 있다.

$$W'''_q = \left[ \left( \frac{\rho^N}{1-\rho} \right) \left( \frac{e^{(1-\rho)N}}{\sqrt{2\pi N}} \right) \right] \left[ \frac{(1-\rho^{N-1})}{\mu(1-\rho)(N+1)(1-\rho^N)} \right] \dots \dots \dots (3-7)$$

式(3-7)의 앞 部分은 서어비스 窓口(埠頭)가 많은 境遇에 船舶이 待期하는 確率을, 뒷 部分은 Poisson 到着과 一定서어비스時間일 때의 複數의 多重經路에 對한 近似式이다.

그러면, 여기에서 本 論文에서 採擇하고 있는 待期問題의 數學的인 分析方法에 對해 簡單히 說明해 보기로 하자. 旅客船이나 計劃表에 따라 運航되는 船舶을 除外하고는 港灣에서의 船舶到着의 패턴은 보통 確率的(Stochastic)이라고 看做할 수 있다. 船舶들이 일단 港灣에 到着하게 되면, 直接

埠頭로 接岸하거나 埠頭가 빌 때까지 기다리게 된다. 各 船舶이 輸送하는 貨物의 量 및 그 貨物을 荷役하는 데 必要한 時間과 埠頭를 기다리는 船舶에 있어서의 港內遲延時間 等은 分布函數로 나타낼 수 있다. 例를 들어 港灣에의 船舶의 到着率은 Poisson到着의 確率的 函數이고, 埠頭에서의 서어비스 時間은 陰의 指數分布에 따라 變한다고 假定하면, 그 때 待期行列分析은 Erlang 函數를 利用함으로써 할 수 있다. 이러한 分布의 形態는 船舶到着時刻 및 서어비스時間의 統計的인 累積分布와 理論式的 累積分布를 比較하고  $\chi^2$ 檢定을 實施함으로써 求할 수가 있다. 그러나, 實際의 問題에 있어서는  $\chi^2$ 檢定에 만족치 않는 特殊한 境遇도 있다. 一般的으로 Erlang의 累積確率分布는 다음과 같이 주어진다.<sup>5)</sup>

$$P_0(t) = e^{-K\mu t} \sum_{n=0}^{K-1} (K\mu t)^n \frac{1}{n!} \dots\dots\dots(3-8)$$

#### 4. 分析例—釜山港灣의 境遇

1960年代 初 經濟開發計劃에 依한 우리나라 經濟의 輸出드라이브 政策과 함께 港灣의 機能이 매우 重要한 位置를 차지하게 되었으며, 特히 우리나라 最大의 貿易港인 釜山港은 主要 輸出·入 貨物의 接點으로서 매우 큰 役割을 해 왔다. 그러나 港灣의 運營·管理面에서 뿐만 아니라 長期的인 眼目的 港灣計劃에 있어서는 별다른 進展없이 踏步狀態에 머물러 있었던 것도 事實이다. 70年代初 海運好景氣에 힘입어 비로서 釜山港 綜合開發에 着手하였으며, 그 1段階 공사로 1976年度에 콘테이너埠頭(5埠頭)가 完工되어 現在에 이르고 있고, 이미 콘테이너埠頭 2段階 工事を 完了하고 있는 實情이다.

앞에서도 言及한 바와 같이, 港灣은 여러 要素로 이루어진 複合시스템으로 볼 수 있으므로 運營·管理 및 長期的인 開發計劃도 相互 關聯된 시스템의 綜合的인 分析에 依해 이루어져야 하는데, 港灣運送시스템의 複雜多端한 性質에 비추어 볼 때 그리 쉬운 일만은 아니다. 高費用의 船舶이 많은 貨物을 船積한 채로 서어비스시설의 不足으로 因해 遲延 또는 遲滯하게 되면, 그것이 곧바로 損失로 나타나게 되므로 港灣綜合開發計劃이란 結局 港灣輸送시스템의 最適化라는 立場에서 다루지 않으면 안된다. 船舶의 港內遲延의 原因으로는 이미 앞에서 言及한 바와 같이 內陸輸送과의 複合運送, 勞動力의 水準, 荷役設備의 水準과 貨物處理方法, 稅關節次, 港灣內에서 利用 可能한 埠頭의 數 等이 있다. 港灣의 綜合的인 分析의 基本이 되는 船舶의 港內遲延時間에 대한 分析은 크게 두 部分으로 나누어서 行할 수 있는 데, 船舶이 港灣內에 到着한 後 埠頭서어비스를 기다리는 港內遲延時間과 埠頭를 占有하고 난 後의 서어비스 時間이 그것이다. 아래에서는 待期行列理論(Queueing theory)을 根據로 하여 釜山港에서의 港灣內 船舶廻航時間에 關한 資料들을 分析하고자 한다.

釜山港의 總 面積은 陸地 및 水面積을 包含하여 總 9,500헥타아르에 達하고 있으며, 港灣 西端의 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 8,170헥타아르이며, 海岸線의 總 연장은 約 97km에 이르고 있다. 多大港과 甘川港은 將來의 工業港 施設을 爲해 現在 開發中이며 木材, 合板, 시멘트, 石炭, 鐵鋼, 魚物 等과 같은 産業을 爲한 原料와 製品을 處理하고 있다. 南內港은 漁港으로 主된 役割을 하고 있다.

約 700헥타아르의 水面積을 갖는 北內港은 主된 船積作業地域으로 內港의 水深은 約最低干潮時에 6m 乃至 13m로 多樣하다. 商業 및 産業施設이 모두 位置하고 있으며 100에서 50,000DWT級의 貨物船 및 旅客船을 接岸시킬 수 있다. 港 南쪽 모서리에는 岸線을 따라 造船所施設과 物揚場들이 있다. 6,000DWT(一般雜貨 및 기타 非컨테이너貨物用 船舶)級 船舶은 1,2,3,4 및 中央埠頭에 32隻을 受容할 수 있으며, 컨테이너埠頭(5,6埠頭)는 7隻의 11,000DWT級의 貨物을 受容할 수 있다.

釜山港灣의 北港은 크게 두 部分으로 運營 및 管理가 나뉘고 있다. 즉, 5埠頭와 6埠頭를 管理·運營하는 釜山港 컨테이너 埠頭運營公社(B. C. T. O. C)와 그 외 나머지 埠頭(1,2,3,4,7 및 中央埠頭)\*를 管理·運營하는 釜山地方海運港灣廳 埠頭課가 그것이다. 따라서 分析도 1,2,3,4,7 및 中央埠頭(以下 一般埠頭라고 한다)와 컨테이너 埠頭에서 서서비스를 받고 나간 外航行船만을 고려하기로 하고 油槽船, 旅客船 및 軍艦들은 本 研究의 對象 밖의 것이므로 排除하였음을 밝힌다.

#### 4.1 船舶到着率의 分析

釜山地方海運港灣廳의 船舶 出·入港日誌는 每日每日의 各 船舶에 對한 錨地待期時間 그리고, 埠頭 서서비스를 받는 各 船舶의 詳細한 움직임을 提供하고 있으며, 港母釜山(Pusan Harbour Control)의 日誌는 每日每日 到着하는 모든 船舶의 到着時刻를 알려주고 있다. 또한 獨立된 港灣管理·運營機構인 B. O. T. O. C.에서는 各 船舶의 埠頭接岸時刻 및 離岸時刻에 關한 每日每日의 資料들을 電算處理하여 아주 正確한 埠頭서서비스 時間을 提供하고 있다.

아래의 分析에서는 釜山港灣의 北港에 碇泊하였다가 서서비스를 받는 船舶만을 考慮하기로 하였으므로 錨泊地에서 積·揚荷 中인 船舶, 軍艦, 그리고 一時的으로 碇泊한 後 다른 港으로 移動한 船舶은 排除하였다.

1982. 1. 1부터 1982. 6. 30까지의 期間동안 釜山地方海運港灣廳 埠頭課 및 B. C. T. O. C. 그리고 港母 釜山の 公式記錄들로부터 다음의 資料들을 蒐集하였다. 即, i) 船名, ii) 接岸埠頭, iii) 錨地에 到着한 날과 時刻, iv) 錨地待期時間, v) 埠頭に 接岸한 날과 時刻, vi) 埠頭를 離岸한 날과 時刻 등이다. 蒐集한 資料들은 精密한 確認을 거쳐 정리한 後, 總 1,361隻의 船舶에 關한 資料를 採擇하였다.

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4-1>과 <表4-2>에 보인다. 分布의 時間 基準은 一般埠頭가 1時間 間隔이고 컨테이너埠頭는 2時間 間隔인 데, 各 船舶到着의 發生頻度數(隻數)를 圖表化하여 累積分布로서 보이고 있다. 一連의 船舶과 船舶到着사이의 平均時間은 一般埠頭가 5.553時間이고, 컨테이너埠頭가 9.322時間인 데, 이러한 數値는 앞으로의 理論的인 모델의 計算에서 使用한다. 觀測된 分布의 平均的인 偏差는 一般埠頭와 컨테이너埠頭 各各 5.211時間, 7.988時間이었다. 一般埠頭와 컨테이너埠頭に 到着하는 各 船舶들의 理論的인 分布는 觀測值를 DATA로 하여 最小自乘法(Least-Squares Curve Fitting)으로 求한 結果 各各 0.89

\* 8埠頭는 軍用埠頭로서 軍輸關係品, 雜貨 및 기타 貨物을 取扱하고 있다. 또한 港內 E-錨地는 主로 解船作業에 依한 物揚場으로 利用되고 있어서 錨地라기 보다는 船席으로 보아야 할 것이나 本 研究에서는 除外하였다.

**Table 4-1. Distribution of times between arrival of successive vessels (General piers).**

시간 간격 (시간)	빈도 (척)	수적분포 (%)	$f_t = 0.89 e^{-\frac{t}{5.553}}$
0~ 0.00	203	100.00	100.00
1~ 1.99	143	77.29	74.33
2~ 2.99	88	61.30	62.08
3~ 3.99	72	51.45	51.85
4~ 4.99	74	43.40	43.31
5~ 5.99	58	35.12	36.17
6~ 6.99	51	28.64	30.21
7~ 7.99	34	22.93	25.23
8~ 8.99	31	19.13	21.07
9~ 9.99	18	15.66	17.60
10~10.99	17	13.65	14.70
11~11.99	15	11.74	12.28
12~12.99	14	10.07	10.25
13~13.99	15	8.50	8.56
14~14.99	10	6.82	7.15
15~15.99	7	5.71	5.97
16~16.99	7	4.92	4.99
17~17.99	7	4.14	4.17
18~18.99	7	3.36	3.48
19~19.99	3	2.57	2.91
20~20.99	4	2.24	2.43
21~21.99	1	1.79	2.03
22~22.99	2	1.68	1.69
23~23.99	3	1.45	1.41
24~24.99	1	1.12	1.18
25~25.99	2	1.01	0.99
26~26.99	0	0.78	0.82
27~27.99	3	0.78	0.69
28~28.99	2	0.45	0.57
29~29.99	1	0.22	0.48
30~30.99	1	0.11	0.40
30.99이상	0	0	

**Table 4-2. Distribution of times between arrival of successive vessels (Container pier).**

시간 간격 (시간)	빈도 (척)	수적분포 (%)	$f_t = 1.02 e^{-\frac{t}{9.322}}$
0~ 1.99	93	100.00	100.00
2~ 3.99	67	80.09	82.30
4~ 5.99	59	65.74	66.41
6~ 7.99	40	53.10	53.59
8~ 9.99	38	44.54	43.24
10~11.99	35	36.40	34.89
12~13.99	28	28.91	28.15
14~15.99	19	22.91	22.72
16~17.99	19	18.84	18.33
18~19.99	17	14.78	14.79
20~21.99	13	11.13	11.93
22~23.99	15	8.35	9.63
24~25.99	6	5.14	7.77
26~27.99	1	3.85	6.27
28~29.99	8	3.64	5.06
30~31.99	4	1.93	4.08
32~33.99	1	1.07	3.29
34~35.99	1	0.86	2.66
36~37.99	1	0.64	2.15
38~39.99	0	0.43	1.73
40~41.99	2	0.43	1.40
41.99이상	0	0	1.13

$e^{-\frac{t}{5.553}}$ 와  $1.02 e^{-\frac{t}{9.322}}$ 였으며, <表 4-1>과 <表 4-2>에 Percentage로 累積化하여 보인다. 실제의 船舶到着에 關한 累積分布와 理論的인 陰의 指數曲線과 사이의 適合度(Curve Fitting)를 보면, 各各 自由度 26과 20에 對해서  $\chi^2=28.15 < 38.9$ 와  $\chi^2=21.74 < 31.41$ 로서 約 95%의 信賴度를 보였다. (그림 4-2, 4-3 참조)



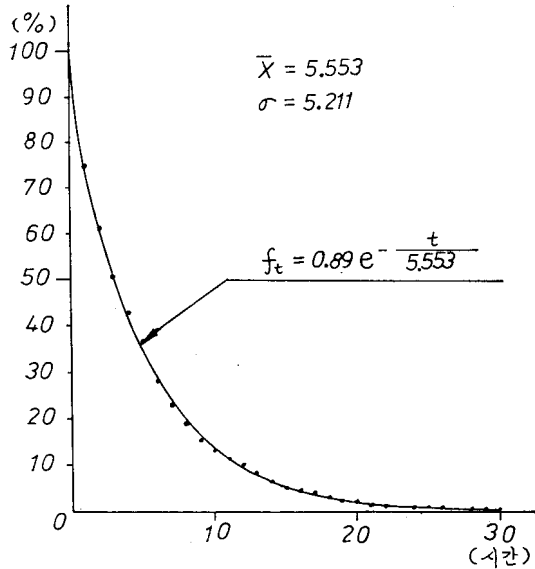


Fig. 4-1. Cumulative distribution of ship arrivals for entry to Port of Pusan (General piers).

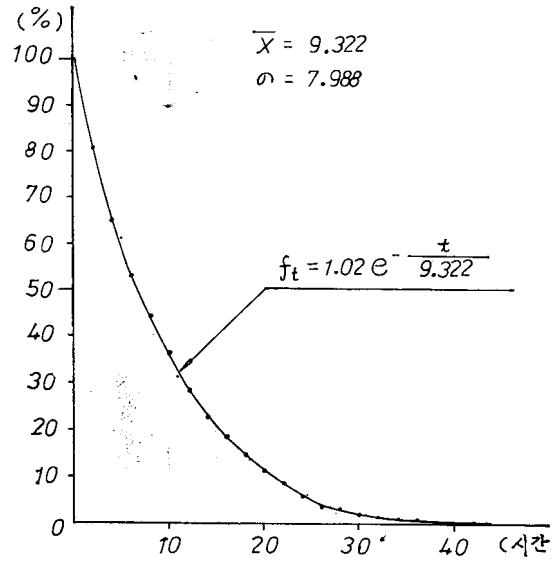


Fig. 4-2. Cumulative distribution of ship arrivals for entry to Port of Pusan (Container pier).

以上の 分析結果로부터, 到着과 到着사이의 時間間隔이 指數分布(exponential distribution)를 따른다는 것이 確認되었다. 따라서, 釜山港에 到着하는 一連의 船舶과 船舶의 到着時間分布는 Poisson 分布로 取扱할 수가 있다.

#### 4.2 埠頭서어비스時間 分布의 分析

各 埠頭的 船舶到着日時와 埠頭를 떠난 出發日時の 資料는 釜山地方海運港灣廳 埠頭課와 B. C. T. O. C로 부터 蒐集하였고, 1982. 1. 1부터 1982. 6. 30까지 釜山港 各 埠頭に 接岸한 總 1,361 隻을 對象으로 分析하였다. 一般埠頭와 콘테이너埠頭 모두 豫備分析을 爲하여 10時間 間隔으로 分析을 行하였고, 그 資料는 <表 4-3> 및 <表 4-4>와 같다. 埠頭에서 消費한 各 船舶의 平均時間은 一般埠頭가 29.39時間, 콘테이너埠頭가 11.88時間이고 分散은 各各 25.38, 11.50時間이었다. 埠頭서어비스 時間分布는 Erlang分布에 따른다는 것을 確認하였고, 이 때의 位相은 一般埠頭가  $K=3$ , 콘테이너埠頭는  $K=4$ 로 近似化할 수 있었다. Morse P. M.<sup>8)</sup>은 20單位에 對한 分布의 分析方法을 提示하고 있는 데, 이 分析方法에 따라 分析하면 <表 4-5> 및 <表 4-6>과 같은 結果를 얻는다. <表 4-5>와 <表 4-6>에서의 間隔區分은 埠頭占有의 平均時間을 基準으로 1/10씩 20等分하여 資料를 再配置하였고 累積分布는 1/10單位 間隔으로 計算하였다.

**Table 4-3. Distribution of time spent at the General piers by individual vessels.**

시간간격(시간)	빈도수(척)	누적분포
0~ 9.99	140	100.00
10~ 19.99	251	84.32
20~ 29.99	172	56.22
30~ 39.99	130	36.95
40~ 49.99	71	22.40
50~ 59.99	57	14.45
60~ 69.99	20	8.06
70~ 79.99	14	5.82
80~ 89.99	9	4.26
90~ 99.99	11	3.25
100~109.99	4	2.02
110~119.99	3	1.58
120~129.99	5	1.23
130~139.99	2	0.67
140~149.99	0	0.45
150~159.99	0	0.45
160~169.99	2	0.45
170~179.99	0	0.22
180~189.99	0	0.22
190~199.99	0	0.22
200~209.99	0	0.22
210~219.99	0	0.22
220~229.99	2	0.22
229.99이상	0	0.00

**Table 4-4. Distribution of time spent at the container pier by individual vessels.**

시간간격(시간)	빈도수(척)	누적분포
0~ 9.99	225	100.00
10~ 19.99	196	51.92
20~ 29.99	39	10.04
30~ 39.99	4	1.71
40~ 49.99	0	0.85

50~ 59.99	0	0.85
60~ 69.99	1	0.85
70~ 79.99	0	0.64
80~ 89.99	0	0.64
90~ 99.99	0	0.64
100~109.99	3	0.64
109.99 이상	0	0.00

**Table 4-5. Time spent at the General piers, arranged for comparison with Erlangian distribution.**

단 위 구 분	시간간격(시간)	빈도수(척)	누적분포
0.0~0.09	0~ 2.93	7	100.00
0.1~0.19	2.94~ 5.86	39	99.22
0.2~0.29	5.87~ 8.80	65	94.85
0.3~0.39	8.81~11.74	76	87.57
0.4~0.49	11.75~14.68	60	79.06
0.5~0.59	14.69~17.62	63	72.34
0.6~0.69	17.63~20.56	84	65.29
0.7~0.79	20.57~23.50	42	55.88
0.8~0.89	23.51~26.44	65	51.18
0.9~0.99	26.45~29.38	49	43.90
1.0~1.09	29.39~32.32	44	38.41
1.1~1.19	32.33~35.25	35	33.48
1.2~1.29	35.26~38.19	45	29.56
1.3~1.39	38.20~41.13	31	24.52
1.4~1.49	41.14~44.07	28	21.05
1.5~1.59	44.08~47.01	31	17.92
1.6~1.69	47.02~49.95	20	14.45
1.7~1.79	49.96~52.89	16	12.21
1.8~1.89	52.90~55.83	10	10.41
1.9~1.99	55.84~58.77	14	9.29
2.0~2.09	58.78~61.71	15	7.73
2.09 이상	61.71 이상	54	6.05

Table 4-6. Time spent at the container pier, arranged for comparison with Erlangian distribution.

단 위 구 분	시간간격(시간)	빈도수 (隻)	누적분포
0.00~0.09	0~1.18	0	100.00
0.10~0.19	1.19~2.36	2	100.00
0.20~0.29	2.37~3.54	7	99.57
0.30~0.39	3.55~4.73	26	98.08
0.40~0.49	4.74~5.92	31	92.52
0.50~0.59	5.93~7.11	48	85.90
0.60~0.69	7.12~8.30	44	75.64
0.70~0.79	8.31~9.49	49	66.24
0.80~0.89	9.50~10.68	40	55.77
0.90~0.99	10.69~11.87	51	47.22
1.00~1.09	11.88~13.06	28	36.32
1.10~1.19	13.07~14.24	18	30.34
1.20~1.29	14.25~15.42	26	26.50
1.30~1.39	15.43~16.61	20	20.94
1.40~1.49	16.62~17.80	13	16.67
1.50~1.59	17.81~18.99	11	13.89
1.60~1.69	19.00~20.18	10	11.54
1.70~1.79	20.19~21.37	7	9.40
1.80~1.89	21.38~22.56	6	7.91
1.90~1.99	22.57~23.75	13	6.62
2.00~2.09	23.76~24.94	2	3.85
2.09 이상	24.94 이상	16	3.42

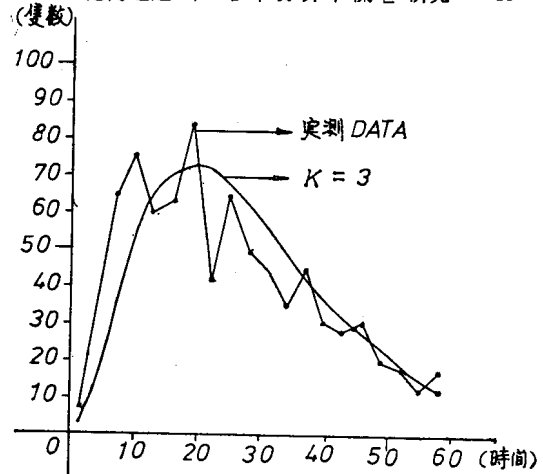


Fig. 4-3. Distribution of time spent at the General piers for comparison with Erlangian distribution.

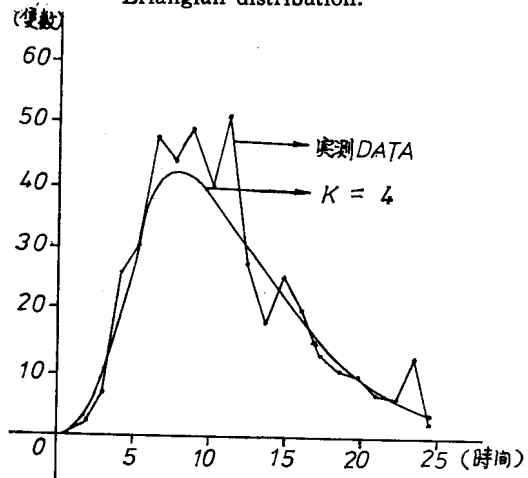


Fig. 4-4. Distribution of time spent at the Container pier for comparison with Erlangian distribution.

### 4.3 錨泊地에서 待期 中인 船舶數 및 遲延量의 測定

錨泊地에서 待期하고 있는 各 船舶들의 到着日時에 關한 資料는 港母釜山(B. H. C.)로 부터 蒐集하였다. 錨泊地에서 待期하는 船舶數를 決定하기 爲해 當일로 埠頭에 接岸하는 船舶은 除外하고 埠頭서어비스를 爲해 當일 以後로 연기되는 船舶만을 計算하였는데, 日當 錨泊地에서 待期한 船舶數 分布는 一般埠頭와 콘테이너埠頭 各各 <表 4-7> 및 <表 4-8>과 같다. <表 4-7>, <表 4-8>은 每日每日의 船舶들이 錨泊地에서 待期하고 있다는 것을 보여주고 있는데, 表로부터 待期 中인 船舶의 日當平均値가 一般埠頭와 콘테이너埠頭 各各 4.017隻, 0.575隻이라는 것을 알 수 있다. 이 數値는 數學的인 待期行列모델에 依해 計算되는 理論的인 待期行列의 길이와 比較할 때 使用된다.

다음에 錨泊地에서 待期하는 船舶에 對한 遲延時間은 錨泊地에 Anchor를 놓은 時刻으로부터

Table 4-7. Number of days in which a queue of ships occurred at the General piers.

대기척수 (척/일)	선박의 대기가 발생한 일수
0	3
1	15
2	31
3	32
4	30
5	33
6	13
7	9
8	9
9	5
10	0
11	1
11이상	0
총	181

Table 4-8. Number of days in which a queue of ships occurred at the container pier.

대기척수 (척/일)	선박의 대기가 발생한 일수
0	101
1	63
2	12
3	3
4	2
4 이상	0
총	181

Anchor를 감아서 錨泊地를 떠난 時刻까지의 時間을 遲延時間으로 하였다. <表 4-9>와 <表 4-10>은 一般埠頭와 콘테이너埠頭的 實測資料들의 分布를 보이고 있는 데, 各各의 資料 894隻, 468隻에 對한 錨泊地에서의 遲延時間의 平均値는 各各 30.57時間, 6.85時間이었다. 한편 船舶이 錨泊地를 떠나서 埠頭に 接岸하기까지 걸린 平均時間은 總 1,362隻에 對해 0.86時間이었으므로 船舶이 港에 到着하여 서어비스를 받기까지의 平均遲延時間은 一般埠頭 및 콘테이너埠頭 各各 31.43時間, 7.71時間으로 된다.

Table 4-9. Distribution of the elapsed time per ship at the anchorage (General piers).

시간간격(시간)	빈도수 (척)	시간간격(시간)	빈도수 (척)	시간간격(시간)	빈도수 (척)	시간간격(시간)	빈도수 (척)
0~ 1.99	24	36~ 37.99	24	72~ 73.99	5	108~109.99	1
2~ 3.99	47	38~ 39.99	20	74~ 75.99	2	110~111.99	1
4~ 5.99	42	40~ 41.99	29	76~ 77.99	2	112~113.99	1
6~ 7.99	43	42~ 43.99	16	78~ 79.99	1	114~115.99	1
8~ 9.99	50	44~ 45.99	19	80~ 81.99	4	116~117.99	0
10~11.99	42	46~ 47.99	21	82~ 83.99	0	118~119.99	0
12~13.99	33	48~ 49.99	31	84~ 85.99	0	120~121.99	1
14~15.99	32	50~ 51.99	12	86~ 87.99	2	122~123.99	1
16~17.99	36	52~ 53.99	6	88~ 89.99	2	136~137.99	1
18~19.99	20	54~ 55.99	7	90~ 91.99	6	...	1
20~21.99	27	56~ 57.99	6	92~ 93.99	2	160~161.99	1
22~23.99	53	58~ 59.99	5	94~ 95.99	5	162~163.99	1
24~25.99	41	60~ 61.99	4	96~ 97.99	1	164~165.99	1
26~27.99	24	62~ 63.99	14	98~ 99.99	1	166~167.99	1
28~29.99	10	64~ 65.99	19	100~101.99	1	232~233.99	1
30~31.99	19	66~ 67.99	8	102~103.99	0	233.99이상	0
32~33.99	24	68~ 69.99	11	104~105.99	0		
34~35.99	14	70~ 71.99	15	106~107.99	0		

Table 4-10. Distribution of the elapsed time per ship at the anchorage (container pier).

시간간격(시간)	빈도수 (척)	시간간격(시간)	빈도수 (척)	시간간격(시간)	빈도수 (척)	시간간격(시간)	빈도수 (척)
0~ 1.99	303	22~ 23.99	9	44~ 45.99	0	66~ 67.99	1
2~ 3.99	22	24~ 25.99	1	46~ 47.99	0	68~ 69.99	1
4~ 5.99	12	26~ 27.99	2	48~ 49.99	0	70~ 71.99	1
6~ 7.99	28	28~ 29.99	2	50~ 51.99	3	72~ 73.99	1
8~ 9.99	16	30~ 31.99	3	52~ 53.99	1	⋮	⋮
10~11.99	18	32~ 33.99	1	54~ 55.99	0	122~123.99	1
12~13.99	9	34~ 35.99	2	56~ 57.99	0	⋮	⋮
14~15.99	7	36~ 37.99	1	58~ 59.99	2	210~211.99	1
16~17.99	8	38~ 39.99	1	60~ 61.99	0	211.99 이상	0
18~19.99	4	40~ 41.99	3	62~ 63.99	0		
20~21.99	3	42~ 43.99	0	64~ 65.99	1		

4.4 埠頭占有率의 分布

釜山北港内에는 1(旅客埠頭 包含), 2, 中央, 3,4,5,6,7,8埠頭가 있는데 資料蒐集 時에는 6埠頭는 稼動치 않고 있었으며, 8埠頭는 軍用埠頭이므로 分析에서 除外시켰다. 1982. 1. 1부터 1982, 6. 30까지의 研究對象 期間동안 占有된 各埠頭의 占有頻度數는 <表4-11>과 같다. 콘테이너 埠頭와 그 外 一般埠頭는 完全히 分離되어 管理·運營되고 있으며 一般埠頭 中에서 가장 占有率이 높은 埠頭는 4埠頭이었다. <表4-11>에서 보는 바와 같이 中央埠頭는 占有率이 가장 낮는데 그 理由는 調査

Table 4-11. Frequency of occupancy of individual piers.

부	빈도수(척)
1	196
2	181
C.P	88
3	192
4	297
5	468
7	112
총	1534

期間동안 埠頭수리工事가 있었기 때문이다. 또한 7埠頭는 石炭, 古鐵 및 鑛石과 같은 特殊貨物을 주로 取扱하는 埠頭이기 때문에 埠頭に 머무는 時間이 길어서 比較的 占有率이 낮았다.

錨泊地에서 待期 中인 船舶이 埠頭가 빌 때, FCFS 原則에 依해 서어비스를 받는다는 假定은, 特殊한 境遇를 除外하고 釜山港 전반에 對해 採擇되고 있는 條件이므로 待期行列 모델의 理論分析에 採擇할 수 있다. 한편 釜山港은 그 機能上 똑같이 接近possible한 埠頭를 갖는 多重窓

口시스템(Multi-Channel System)이라고 볼 수 있으므로, 크게 一般埠頭와 콘테이너埠頭의 두 部分으로 나눈 復數待期行列시스템으로 近似化하여 分析을 行하였다. <表4-11>에 나타나 있는 各埠頭의 占有率의 總合은 앞에서 제시된 資料보다 더 많다. 그 理由는 蒐集된 資料는 때때로 船舶의 到着 또는 出發時間이 記錄되어 있지 않거나 앞뒤가 맞지 않는 境遇가 있어서 그 때문에 分析에 利用된 資料의 數가 줄어들었다. 그러나, 이러한 不合理한 資料의 數는 無視할 정도이므로 實際의 分析에는 거의 影響을 미치지 않았다.

4.5 待期行列理論의 適用

實際의 資料를 統計의 方法으로 處理하여 얻은 結果는 적당한 待期行列모델을 選定하는 데 매우 重要하다. 아래에서는 釜山港의 理論的인 待期行列모델을 決定하는 問題를 다루기로 한다. 待期行列모델을 決定하는 데에는 2가지 基本要素 即 到着函數와 서어비스函數가 必要하다. 實際의 統計的인 資料와 利用可能한 모델로부터 豫想되는 遲延時間과 待期行列의 길이를 計算하여 比較함으로써 適合한 模型을 決定할 수가 있다.

船舶의 港內廻航時間은 港內서어비스 施設을 利用코자 하는 船舶의 到着과 埠頭占有서어비스 時間을 包含하고 있다.

4.1節에서 서어비스는 Erlang 函數로서 表示된다는 것을 確認하였으므로, 이 結果는 그대로 第3章의 理論的인 模型에 利用할 수 있다. 待期行列모델을 決定하기 爲하여 必要한 數值를 整理하면 다음과 같다.

i) 一般埠頭

- $\lambda_1 = \text{平均到着率} : \lambda_1 = 1/5.553 = 0.1801 \text{ 隻/時間(Poisson dist.)}$
- $\mu_1 = \text{平均서어비스率} : \mu_1 = 1/29.39 = 0.03403 \text{ 隻/時間(Erlang dist., } K=3)$
- $N_1 = \text{서어비스窓口의 數} : N_1 = 6$
- $\rho_1 = \text{利用率} = \lambda_1 / N_1 \mu_1 : \rho_1 = 0.882$
- $a_1 = \lambda_1 / \mu_1 = 5.292$

ii) 콘테이너埠頭

- $\lambda_2 = \text{平均到着率} : \lambda_2 = 1/9.322 = 0.1073 \text{ 隻/時間(Poisson dist.)}$
- $\mu_2 = \text{平均서어비스率} : \mu_2 = 1/11.88 = 0.08418 \text{ 隻/時間(Erlang dist., } K=4)$
- $N_2 = \text{서어비스窓口의 數} : N_2 = 2$
- $\rho_2 = \text{利用率} = \lambda_2 / N_2 \mu_2 : \rho_2 = 0.6373$
- $a_2 = \lambda_2 / \mu_2 = 1.275$

多重窓口待期行列시스템 模型의 公式은 到着이 陰의 指數分布일 때와 서어비스時間 分布가 Erlang 分布일 때 가장 잘 들어 맞고 있으므로, 이미 앞의 理論的인 準備에서와 같은 3過程이 分析에 利用되었다. 以上の 數值를 使用하여 第3章에서 選定한 模型에 對한 適合性を 檢討하기로 한다.

<分析 1>

待期行列理論에서 船舶到着의 重要한 特徵은 단일 船舶이 Poisson 分布로 到着하고 그 때 埠頭가 서어비스를 提供키 爲해 여러 窓口로 나뉘진다면, 그에 따르는 各各의 窓口에서의 到着도 역시 Poisson 分布를 갖게 된다는 點이다. 釜山港灣을 이 分析方法에 依해 分析키 爲해 <그림 4-5>와 같이 釜山港灣을 單一經路·單一過程(Single-channel·Single-phase) 시스템의 複合體라 하자 <그림 4-5>는 <그림 3-4>의 複數待期行列모델과 같은 型으로서 釜山港灣

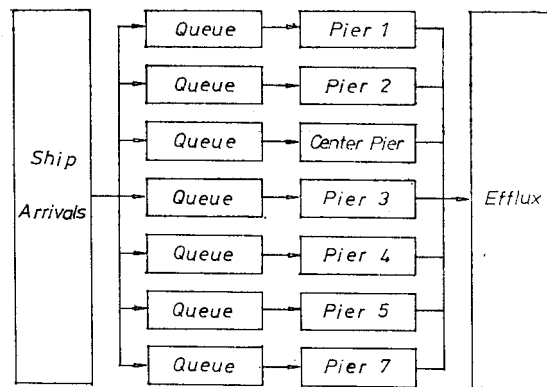


Fig. 4-5. A Model considered Port of Pusan as a complex of Single-channel·Single-phase.

에 대하여 假定한 모델식의 適合餘否는 실제 資料에서 求한 待期時間을 比較함으로써 決定할 수 있는 데, 待期行列모델로 부터 時間을 求하면 다음과 같다.

$$W'_q = \frac{\rho^2 \cdot (K+1)}{2 \cdot K \cdot \lambda_1 \cdot (1-\rho)}$$

에서

i) 一般埠頭 :  $W'_q = 146.4$  時間/隻

단,  $\lambda_1 = 0.03002$

ii) 콘테이너埠頭 :  $W'_q = 13.05$  時間/隻

단,  $\lambda_1 = 0.05365$

實際의 資料로부터 求한 待期時間의 平均値는 一般埠頭가 31.43時間, 콘테이너埠頭는 7.71時間이었으므로 <分析 1>에서 採用한 近似化모델은 釜山港의 境遇 不適合함을 알 수 있다.

<分析 2>

釜山港은 實際로 管理와 運營이 一般埠頭와 콘테이너埠頭로 나뉘어져 있으므로 複數多重窓口시스템이라 볼 수 있다. 釜山港을 <그림 4-6>과 같이 음의 指數分布到着과 Erlang 分布의 서어비스가 이루어지고 있는 複數多重窓口시스템이라 하면, 假定된 모델식에 依해 待期時間은 다음과 같이 計算된다.

$$W''_q = \frac{\rho}{\lambda \cdot (1-\rho)} \cdot \frac{e_N(\rho N)}{D_{N-1}(\rho N)}$$

$$= \frac{\rho}{\lambda \cdot (1-\rho)} \cdot \frac{a^N / N!}{a^N / N! + \left[ \left(1 - \frac{a}{N}\right) \sum_{n=0}^{N-1} \frac{a^n}{n!} \right]}$$

i) 一般埠頭 :  $W''_q = 28.94$  時間/隻

ii) 콘테이너埠頭 :  $W''_q = 8.11$  時間/隻

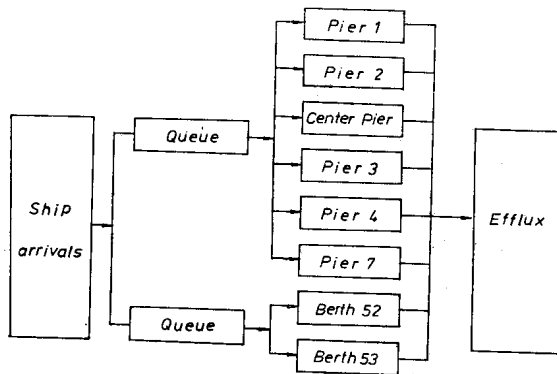


Fig. 4-6. A Model considered Port of Pusan as a complex of Multi-channel·Single-phase.

따라서,

i) 一般埠頭 :  $L''_q = 5.212$  隻/日

ii) 콘테이너埠頭 :  $L''_q = 0.87$  隻/日이다.

實際 資料로부터 얻은 一般埠頭 遲延時間 31.43時間, 콘테이너埠頭 遲延時間 7.71時間과 比較해 볼 때 待期行列모델에 依해 計算된 數値는 一般埠頭的 境遇는 다소 작게 그리고 콘테이너埠頭는 다소 크게 나타나고 있으나 釜山港의 特徵을 매우 잘 代表하고 있는 것으로 생각되어 가장 適合한 모델이라 할 수 있다. 위의 待期行列모델로부터 待期行列의 平均 길이(日當遲延隻數)를 計算하면 다음과 같다. 즉 .

$$L'' = W''_q \cdot \lambda$$

이 計算値는 실제의 觀測値와 比較해 볼 때 近似的으로 아주 잘 들어 맞고 있다는 것을 알 수 있다.

### 〈分析 3〉

〈分析 2〉에서는 Poisson 分布의 陰의 指數分布 到着과 Erlang 分布의 서어비스일 境遇의 多重窓口 시스템에 關하여 分析하였는데, 〈分析 3〉에서는 陰의 指數分布의 到着과 서어비스가 一定( $K=\infty$ )할 境遇의 모델式에 대하여 分析해 보자. 釜山港을 역시 〈그림 4-6〉과 같은 多重窓口の 複合體라고 假定하면 다음과 같이 遲延時間을 求할 수 있다.

$$W'''_q = \left[ \frac{\rho^N \cdot e^{(1-\rho)N}}{(1-\rho) \cdot \sqrt{2\pi N}} \right] \cdot \left[ \frac{(1-\rho^{N-1})}{\mu \cdot (1-\rho) \cdot (N+1) \cdot (1-\rho^N)} \right]$$

i) 一般埠頭 :  $W'''_q = 41.34$  時間/隻

ii) 콘테이너埠頭 :  $W'''_q = 4.35$  時間/隻

觀測値와 比較해 볼 때 콘테이너부두는 약간의 差異가 나지만 그런대로 이러한 모델의 適用을 可能케 하고 있으나, 一般埠頭는 이러한 모델의 採擇을 할 수 없다는 것으로 나타나고 있다. 그러나 이 모델은 콘테이너埠頭와 같이 서어비스機構를 改善함으로써 서어비스時間을 一定하게 提供할 수 있는 可能性을 지닌 시스템에 대해서는 그 適合度가 매우 높을 것으로 생각되어 將來의 콘테이너埠頭解析에 많은 도움이 되리라 여겨진다.

以上으로 부터 釜山港은 一般埠頭 6個와 콘테이너埠頭 2窓口를 各各 多重窓口시스템으로 假定한 待期行列모델로 近似化할 수 있다는 것을 알았다.

끝으로 釜山港에 있어서, 統計資料에 依해 求한 船舶遲延時間 크기의 觀測値는 상당히 크게 나오고 있는데, 그 理由로는 全般的인 海運景氣의 不況 및 港灣管理·運營上에 問題點이 있는 것으로 推定된다.

## 5. 港灣輻輳의 影響

### 5.1 港灣輻輳로 인한 船舶의 在港 時間이 運航收益에 미치는 影響

船舶이 港灣內에서 輻輳함으로써 發生하는 在港時間의 增加는 資本이 凍結된 것으로 看做할 수 있으며, 이러한 凍結된 資本은 港灣運送 및 高價의 船舶의 運營이라는 面에서 볼 때 커다란 經濟的 損失을 招來하고 있다. 그렇다고 運營費가 결코 重要치 않은 것은 아니다. 왜냐하면 勞動費, 維持費, 減價償却費 및 間接費가 上乘될 수도 있기 때문이다. 船舶內 또는 倉庫 등에서 發生하는 貨物의 遲滯現象은 港灣內에서의 船舶을 더 오래 遲滯케 하고 이 期間 동안에 高價貨物을 凍結시켜 높은 保險料를 負擔케 할 境遇도 있으며, 紛失, 盜難, 毀損, 竊盜의 危險도 더욱 增大하게 한다. 그리하여 運營資本이 順調롭게 回轉하지 못하므로 인한 기회비용(Opportunity Cost)이 發生하게 되는데, 이는 港灣內에서 不適當한 遲延이 發生할 때의 損失을 相殺시키기 爲해 送荷主가 港灣當局 또는 關係政府에 대해 要求하는 補償費用을 말한다. 船舶이 運送에 종사하든 안하든 間에 費用은 支出되게 마련이고 역시 錨泊中에도 마찬가지이다. 그러나 이렇게 凍結된 資本은 利潤 및 價値의 下落을



招來하게 되며, 傭船된 船舶은 높은 率의 傭船料를 負擔하게 된다. 이미 言及한 것처럼 輻輳가 極甚하여 船舶이 港灣內에서 遲滯케 되면 送荷主는 港灣當局 또는 關係政府에 遲滯로 因한 補償金 및 追加費用(Surcharge)을 支拂해 주도록 要求하게 되는 데, 이러한 現象이 지나칠 境遇에는 資本이 凍結되고 따라서 商品의 價格은 引上되어 激甚한 自國內 인플레이션을 誘發시킬 수도 있다.

船舶이 港灣內에서 輻輳할 때에 船舶遲延 時間의 減少라는 問題와 그에 따르는 利益問題를 좀 더 具體的으로 살피 보기 爲하여 簡單한 航海費用 모델을 設定하여 分析하기로 한다. 船舶은 出發港으로부터 目的港으로 貨物을 싣고 가서 荷役한 後 空船狀態로 回航한다고 假定하자. 分析을 爲해 다음과 같이 用語를 定義한다.

- $W$  : 船舶의 크기(dwt)
- $K_{sp}$  : 船舶의 資本費(\$)
- $n$  : 船舶의 使用年限(year)
- $V_{sp}$  : 船速(n·m/day)
- $D_{AB}$  : A港과 B港사이의 回航距離(n·m)
- $a_w$  : 船員 한 사람의 平均賃金(\$/year)
- $N_{cw}$  : 船員의 總數
- $a_f$  : 燃料價(\$/ton)
- $q_{cp}$  : 정상적인 巡航速度  $V_{sp0}$ 에서의 하루 燃料 消費量(tons/day)
- $\phi$  : 港에서 소비한 時間과 總航海時間과의 比
- $T_{p1}$  : A港에서 消費한 時間
- $T_{p2}$  : B港에서 消費한 時間
- $b_f$  : 運賃率(\$/ton)
- $r_0$  : 利子率(%/year)
- $r_{is}$  : 保險率(%/year)
- $r_{mi}$  : 維持費 및 기타 雜費
- $L_a$  : 年間 稼動日數

回航하는 데 걸린 날 수를  $T_d$ 라 하면

$$T_d = \frac{D_{AB}}{V_{sp}} \dots \dots \dots (5-1)$$

港에서 消費한 總船舶時間  $T_p$ 는

$$T_p = T_{p1} + T_{p2} \dots \dots \dots (5-2)$$

$T_{p1}$ 과  $T_{p2}$ 는

$$T_{p1} = T_{s1} + T_{w1}$$

$$T_{p2} = T_{s2} + T_{w2}$$

단,  $T_{s1}$  : A港에서 서어비스 받은 時間

$T_{s2}$  : B港에서 서어비스 받은 時間

$T_{w1}$  : A港에서 지연한 時間

$T_{w2}$  : B港에서 지연한 時間

이므로, 總서어비스 時間  $T_s$ 와 總 遲延時間  $T_w$ 는 各各 다음과 같다.

$$T_s = T_{s1} + T_{s2}$$

$$T_w = T_{w1} + T_{w2}$$

그러므로 總 船舶時間  $T_p$ 는

$$T_p = T_s + T_w \dots\dots\dots(5-3)$$

이다. 또한, 式 (5-1)과 (5-3)의 比  $\phi$ 는

$$\begin{aligned} \phi &= \frac{T_p}{T_d + T_p} \\ &= \frac{T_s + T_w}{T_d + T_s + T_w} \dots\dots\dots(5-4) \end{aligned}$$

이다. 그러므로 年間 船舶費는 다음과 같다.

$$S_p = K_{sp} \cdot \left[ r_0 + \frac{r_0}{(1+r_0)^n - 1} + r_{is} + r_{mt} \right] (\$/\text{year}) \dots\dots\dots(5-5)$$

또한, 總 船員賃金은  $a_w \cdot N_{cw}$  ( $\$/\text{year}$ )이고, 回航當 燃料費는 다음과 같다.

$$C_r = a_f \cdot \left[ \frac{V_{sp}}{V_{sp0}^3} \right] \cdot q_{cp} \cdot \frac{D_{AB}}{V_{sp}} = \frac{a_f \cdot q_{cp} \cdot V_{sp}^2 \cdot D_{AB}}{V_{sp0}^3} \dots\dots\dots(5-6)$$

따라서, 燃料消費率은 船速의 세제곱 函數가 된다. 船舶을 利用코자 하는 需要가 항상 充分하다면, 航海를 마치자마자 곧 바로 다음 航海를 시작할 수 있다는 것을 意味하게 되므로, 船舶을  $\frac{L_a}{T_d + T_p}$  일 수만큼 航海할 수 있다는 것이 된다. 여기서  $L_a$ 는 年間 稼動할 수 있는 航海日數를 말한다. 그러므로 船舶을 움직이는 데에 드는 總 經費는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} C_{sp} &= K_{sp} \cdot \left[ \frac{r_0(1+r_0)^n}{(1+r_0)^n - 1} + r_{is} + r_{mt} \right] + a_w \cdot N_{cw} + \frac{L_a}{T_d + T_p} \cdot \frac{a_f \cdot q_{cp} \cdot V_{sp}^2 \cdot D_{AB}}{V_{sp0}^3} \\ &= K_{sp} \cdot \left[ \frac{r_0(1+r_0)^n}{(1+r_0)^n - 1} + r_{is} + r_{mt} \right] + a_w \cdot N_{cw} + \frac{L_a}{T_d + T_s + T_w} \cdot \frac{a_f \cdot q_{cp} \cdot V_{sp}^2 \cdot D_{AB}}{V_{sp0}^3} \\ &\quad (\$/\text{year}) \dots\dots\dots(5-7) \end{aligned}$$

한편, 運賃收入은

$$R_{sp} = b_f \cdot W \cdot \frac{L_a}{T_d + T_s + T_w} (\$/\text{year}) \dots\dots\dots(5-8)$$

이다. 式 (5-7)과 式 (5-8)로부터 年間運航收益을 算出하면,

$$\begin{aligned} P_{sp} &= R_{sp} - C_{sp} (\$/\text{year}) = b_f \cdot W \cdot \frac{L_a}{\frac{D_{AB}}{V_{sp}} + T_s + T_w} \\ &\quad - \left[ S_p + a_w \cdot N_{cw} + \frac{L_a}{\frac{D_{AB}}{V_{sp}} + T_s + T_w} \cdot \frac{a_f \cdot q_{cp} \cdot V_{sp}^2 \cdot D_{AB}}{V_{sp0}^3} \right] \dots\dots\dots(5-9) \end{aligned}$$

또한 ton當 船舶運航收益  $P'_{sp}$ 를 산출하면 다음과 같다.

$$P'_{sp} = b_f - \frac{a_f \cdot q_{cp} \cdot V_{sp}^2 \cdot D_{AB}}{W \cdot V_{sp0}^3} - \frac{\frac{D_{AB}}{V_{sp}} + T_s + T_w}{W \cdot L_a} [S_p + a_w \cdot N_{cw}] \dots\dots\dots(5-10)$$

式(5-10)은 船舶의 港內遲延을 補充키 爲해 船舶運航速力이 變하지 않을 때에, 船舶運航時의 運賃 噸當 收益은  $\frac{S_p + a_w \cdot N_{cw}}{W \cdot L_a}$ 에 달려 있다는 것을 보여주고 있다. 即, 船速을 固定했을 때는 年間船舶 費( $S_p$ )와 船員賃金( $a_w \cdot N_{cw}$ )에 의해 船舶運航 收益이 좌우된다.

그러나, 船速을 變化시킬 때, 船舶運航 收益은 燃料費와 密接한 關係가 있다. 即, 조금 더 빠른 船舶의 回航으로 船速을 增加시켰을 때 運航收益도 높일 수 있으나 增加된 燃料費로 因해 運航收益이 줄어든다. 結局, 船速變化 時의 運航收益은 港灣輻輳로 因해 變化하는 船舶의 在港時間과 船速에 依해 決定된다고 할 수 있다. 그러므로 船舶이 輻輳로 因해 港灣內에서 머무르는 時間인 船舶의 港灣內 遲延時間과 船舶의 運航收益은 密接한 關係를 맺고 있으며 이상과 같은 觀點에서 볼 때 港灣 輻輳問題는 重要하다고 볼 수가 있다.

그러면, 여기서 實例를 들어 위에서 導入한 航海費用 모델을 利用하여 船舶의 運航收益에 미치는 影響을 調査해 보자. 分析을 爲해 다음과 같이 假定한다.

〈實例〉

$W=27,000$ dwt	$V_{sp}=V_{sp0}=360$ n·m/day
$K_{sp}=19$ m \$	$D_{AB}=5,000$ n·m
$n=18$ years	$a_w=10,000$ \$
$N_{cw}=30$ crew members	$r_{is}=0.04$ %
$a_f=150$ \$/ton	$r_{mi}=0.04$ %
$q_{cp}=50$ tons/day	$L_a=365$ days
$r_0=0.12$ %	$b_f=20$ \$/ton

式(5-5)로부터,

$$S_p=4140808.92 \text{ \$}$$

式(5-10)으로부터,

$$P'_{sp}=16.142-0.451(13.89+T_s+T_w) \dots\dots\dots(5-11)$$

$$P'_{sp}=16.142-0.451(13.89+T_p) \dots\dots\dots(5-12)$$

港內遲延時間을 包含한 船舶의 總港內時間이 20日이라면  $\phi$ 는 59%이고, 運賃噸當 船舶運航收益은 0.86 \$이다. 式(5-11)로부터 船舶의 繫船點은 21.9日로 計算되는 데, 船舶의 總港內時間이 年間 21.9일을 넘게 되면 계속 船舶을 運航하여도 損失이 發生한다는 것이다.

다음에 年間 船舶運航收益에 대하여 살펴 보자. 서어비스時間이 一定하다고 할 때, 만일 積荷 또는 場荷港 中 어느 港에서 船舶輻輳로 因해 港內遲延이 發生하였다고 假定하고, 그것으로 因하여 港內時間이 20日에서 25日로 늘어났다고 하면 式(5-9)로부터 다음과 같이 年間船舶의 運航收益이 計算된다.

i)  $T_p=T_s+T_w=20$  days( $\phi=59\%$ )

$$P_{sp}=0.25 \text{ m} \cdot \text{\$/year}$$

ii)  $T_p=T_s+T_w=25$  days( $\phi=64.3\%$ )

$$P_{sp}=-0.35 \text{ m} \cdot \text{\$/year}$$

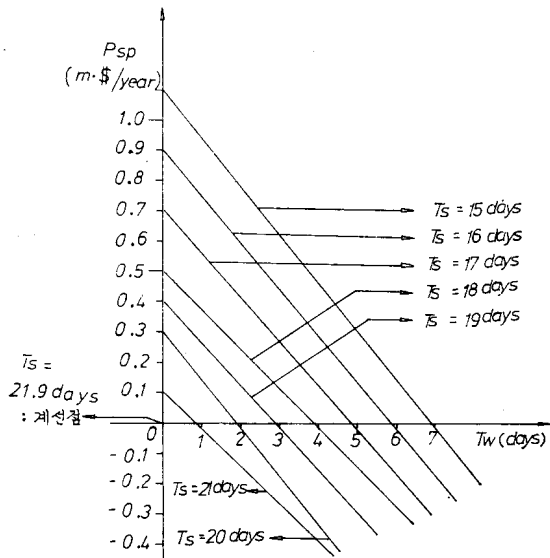


Fig. 5-1. Ship operating profits in relation to port delay with service time as a parameter.

運航收益의 變化 趨勢를 보인다.

$$P_{sp} = \frac{197.1}{13.89 + T_s + T_w} - \left( \frac{38.02}{13.89 + T_s + T_w} + 4.44 \right) = \frac{159.08}{13.89 + T_s + T_w} - 4.44 \dots (5-13)$$

式 (5-13)으로부터 港內 서어비스時間이 一定할 境遇, 運航收益을 在港時間의 增加에 反比例한다는 것을 알 수 있다.

### 5.2 港灣輻轉現象과 限界費用

앞 節에서는 港灣內에서의 輻轉現象으로 因한 在港時間의 增加가 運航收益에 어떠한 影響을 미치는가를 調査하기 위하여, 簡單한 航海費用모델을 例로 들어 살펴 보았다. 그러나 船舶의 港內遲延은 단지 船舶의 運航收益에만 影響을 미치는 것이 아니라, 間接費用의 發生을 惹起시킴으로써 港灣運送시스템 自體 뿐만 아니라 그와 關聯된 시스템 全般에도 커다란 影響을 미친다. 이와 같은 間接費用은 不充分한 서어비스 施設을 擴充시킴으로써 줄일 수는 있으나, 한편으로는 서어비스費用도 늘어나게 된다. 따라서, 이러한 境遇에는 서어비스를 提供하는 데 드는 費用과 서어비스를 받으려는 船舶이 기다리게 될 때 發生되는 費用의 總합이 最小가 되도록 基本 目標을 設定해야 한다.

海上交通輻轉 및 港灣內의 交通輻轉問題는 最近의 船舶의 頻繁한 衝突事故 및 港灣의 非能率의인 運營狀態로 因해 많은 注目을 끌어 왔다. 그리고, Pigou<sup>6)</sup>의 經濟理論을 토대로 한 交通輻轉에 關한 經濟理論은 一般의인 道路交通에는 많이 適用되어 왔으나, 海上交通 및 港灣輻轉에 對한 그 應用例는 別로 없는 實情이다. 따라서 이러한 理論을 海上交通 및 港灣輻轉問題에 導入하는 것은 效率의인 港灣管理 및 運營에 매우 必要한 것으로 생각된다.

實際로 海上交通 및 港灣輻轉은 衝突의 問題도 包含하지만 衝突 역시 港灣內에서의 船舶輻轉에 原因이 있으므로, 아래에서는 港灣交通輻轉의 影響에 依한 遲延의 問題에만 局限시켜서 살펴보기로 한다.

위의 分析에서 만일 船舶이 정당한 理由없이 단지 港灣서어비스 施設의 不足으로 5일간 더 遲滯했을 때, 그로 因하여 港灣當局이 補償하여야 할 기회비용(Opportunity Cost)은  $0.25 - (-0.35) = 0.60m \cdot \$$ 이라는 것을 알 수 있다. 以上에서 알 수 있는 바와 같이 船舶의 港內遲延은 船舶의 運航收益에 影響을 미칠 뿐만 아니라 港內遲延의 原因이 되는 船舶의 輻轉은 港灣의 能率의인 運營·管理에도 障礙要素가 되고 있다. 港內遲延과 船舶運航收益과의 關係를 더욱 더 明確히 하기 爲해  $T_w$ ,  $T_s$ 를 변수로 놓고 式(5-9)를 利用하여 앞의 實例의 數值를 넣어 式을 만들면 式(5-11)과 같은데, <그림 5-1>에 在港時間의 變化에 따른

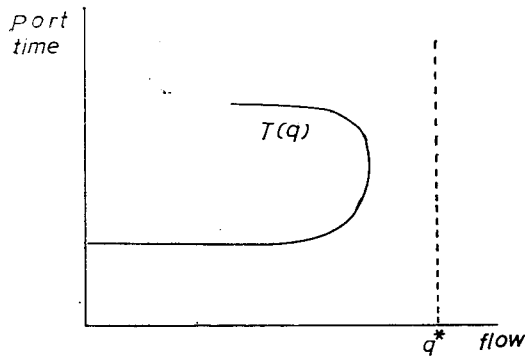


Fig. 5-2. Port time in relation to flow.

港灣交通輻輳의 問題는 港內에서의 船舶通過量(Throughput, 接岸率과 到着率), 港內에서의 各 船舶의 平均所要時間을 파라메타(Parameter)로 하여 모델化할 수 있으며, 그 一般的인 特性은 <그림 5-2>의 曲線  $T(q)$ 와 같다.

曲線의 扁平한 部分은 港灣內에서의 船舶의 通過量이 작을 때 即 輻輳가 없는 狀態에서 自由로이 船舶이 最低의 安全速力으로 航行可能한 境遇를 나타내고 있다. 그러나 通過率이 늘어나

船舶相互間의 影響이 나타나면 船舶은 減速運航하지 않으면 안되므로 港灣運送시스템內에서의 平均所要時間이 늘어나게 되고, 그러한 狀態는  $q^*$ (그림 5-2)까지 계속된다. 曲線  $T(q)$ 의 뒷 傾斜部分은  $q^*$ 以上으로 通過量을 늘린다고 하여도 시스템의 受容能力(Capacity)에는 限度가 있으므로, 그러한 制限된 시스템內에서 船舶密度가 더욱 增加하게 되면 實際의 到着率이나 接岸率은  $q^*$ 以下로 減少하게 된다는 것을 보여주고 있다.

船舶이 港灣에 到着한 以後로 發生한 모든 움직임에 所要된 時間 即 船舶의 在港時間은 費用과 密接한 關係가 있다. 따라서 時間(Ship's time)을 價値로 還元하여 評價하면 time-cost의 關係  $T(q)$ 를 flow-cost의 關係  $C(q)$ 로 變換시킬 수가 있는데, <그림 5-3>에 이 關係를 보인다.  $D(q)$ 는 各 通過量(接岸率 또는 到着率)에 있어서 潜在的인 使用者로 하여금 시스템 使用를 斷念시키는 시스템 使用費用의 曲線이다. 即, 시스템의 서비스 施設이 不充分하거나 船舶이 輻輳하여 서비스 施設보다 船舶到着이 더 많을 때, 어느 한 施設을 利用할 수 있다고 假定할 境遇의 競爭率을 생각한다면 利用費用이 높을 때 利用率은 낮아질 것이고 反對로 利用費用이 낮아지면 利用率은 높아질 것이므로 一即 限界費用이 커지므로 一 均衡狀態는  $C(q)$ 와  $D(q)$ 의 交點에서 이루어질 것이다. 이 交點은 앞으로의 港內 서비스 施設을 利用하고자 하는 使用者의 數가 變하더라도 시스템 使用 平均費用에는 아무런 影響을 끼치지 않는 均衡狀態—이러한 狀態에서는 港灣運送시스템에 전혀 影響을 미치지 않는다—이므로 港灣에 輻輳도 생기지 않고 適切한 受容能力(Capacity) 下에서 圓滑히 港灣의 運營·管理가 이루어 진다.

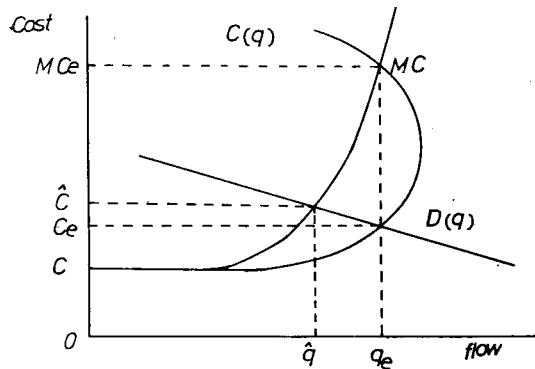


Fig. 5-3. Costs in relation to flow.

以上으로부터 輻輳 外에 다른 外部的인 要因이 없다고 하면, 船舶이 1隻더 왔을 때의 港灣內에서의 輻輳現象은 어떠한가 그로 因하여 發生하는 費用은 얼마나 늘어나는 가를 나타내는 社會的 限界費用은 輻輳費用을 包含하여 曲線  $CMC$ 로 나타낼 수 있고, 通過量  $q_e$ 에 對해서 社會的 限界費用은  $OMC$ , 社會的 限界利益은  $OC$ 로 된다. 따라서 現在의 서비스水準下에서 港灣運送시스템이 受

受 容 能 力 (Capacity) 下에서 圓滑히 港灣의 運營·管理가 이루어 진다.

容할 수 있는 最適通過量은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\int_0^{\hat{q}} [D(z) - C(z) \cdot z] dz \dots\dots\dots(5-14)$$

式(5-14)는  $D(q)$ 와  $CMC$ 로 싸여지는 面積 即, 港灣施設을 利用하고자 하는 使用者가 언제든지 利用 가능한 使用者 剩餘와 港灣施設의 서어비스를 提供하는 供給者 側의 利益을 最大로 하는 通過率을 意味하고 있다. 即, 式(5-14)의 解는  $D(q)$ 와  $CMC$ 의 交點으로 나타나고 通過率은  $\hat{q}$ , 費用은  $\hat{c}$ 이다.

다음에 港灣內에서의 船舶輻輳로 因해 船舶이 遲滯할 境遇에 發生하는 船舶費用에 對해 實例를 들어 살펴보자. 釜山港은 이미 4章에서 分析한 바와 같이 Poisson到着, Erlang서어비스의 複合多重 窓口시스템이라 할 수 있으므로 船舶의 港內待期遲延時間에 關한 모델式은 다음과 같다.

$$W^N q = \frac{\rho}{\lambda(1-\rho)} \cdot \frac{e_N(\rho N)}{D_{N-1}(\rho N)}$$

배의 크기와 貨物의 形態에 따라서 各 船舶遲延에 다른 船舶遲延時間에 關한 費用도 差異가 있겠으나 港灣內의 施設을 利用하는 全使用者(總  $Q$ 隻의 船舶이라 하자)에 對해서 船舶의 時間價値가  $A$ 라 하면, 期待되는 遲延의 總費用은 式(5-15)와 같다.

$$C(\lambda) = A \cdot Q \cdot \frac{\rho}{\lambda \cdot (1-\rho)} \cdot \frac{a^N / N!}{a^N / N! + \left[ \left(1 - \frac{a}{N}\right) \sum_{n=0}^{N-1} \frac{a^n}{n!} \right]}$$

$$= \frac{A \cdot Q}{N\mu - \lambda} \cdot \frac{\frac{\lambda^N}{N! \mu^N}}{\frac{\lambda^N}{N! \mu^N} + \sum_{n=0}^{N-1} \frac{\lambda^n}{n! \mu^n} - \frac{\lambda}{N\mu} \sum_{n=0}^{N-1} \frac{\lambda^n}{n! \mu^n}} \dots\dots\dots(5-15)$$

輻輳 外에 다른 外部的 要因이 없다면  $C(\lambda)$ 가 輻輳로 因하여 港內遲延이 發生할 때의 社會的 費用을 나타내고,  $\lambda$ 에 對하여 微分하면 社會的 限界費用은,

$$\frac{dC(\lambda)}{d\lambda} = \frac{A \cdot Q}{N\mu - \lambda} \cdot X - \frac{A \cdot Q}{(N\mu - \lambda)^2} \cdot Y \dots\dots\dots(5-16)$$

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

단,

$$X = \frac{- \left( \frac{1}{N\mu} \sum_{n=0}^{N-1} \frac{\lambda^n}{n! \mu^n} + \frac{\lambda}{N\mu} \sum_{n=0}^{N-1} \frac{n\lambda^{n-1}}{n! \mu^n} \right)}{\left( \frac{\lambda^N}{N! \mu^N} + \sum_{n=0}^{N-1} \frac{\lambda^n}{n! \mu^n} - \frac{\lambda}{N\mu} \sum_{n=0}^{N-1} \frac{\lambda^n}{n! \mu^n} \right)^2}$$

$$Y = \frac{\frac{\lambda^N}{N! \mu^N}}{\frac{\lambda^N}{N! \mu^N} + \sum_{n=0}^{N-1} \frac{\lambda^n}{n! \mu^n} - \frac{\lambda}{N\mu} \sum_{n=0}^{N-1} \frac{\lambda^n}{n! \mu^n}}$$

式(5-16)에서 첫 번째 項은 私的費用, 두 번째 項은 私的費用과 社會的 限界費用과의 差를 나타내

고있으며, 이 式은 港灣에 船舶의 到着이 增加하면, 社會的 限界費用도 점점 增加한다는 것을 보이고 있다.

以上の 例에서는 總Q隻에 對한 船舶의 時間價値가 A와 같다고 두어 分析하였는 데, 實際의 限界費用을 抽出하기 爲해서는 總 船舶 Q隻에 關한 綿密한 調査를 行하여 그 各各에 對한 遲延時間의 價値를 求할 必要가 있다.

## 6. 結 論

本 論文에서는 港灣運送過程을 하나의 시스템으로 把握하고, 港灣을 設計하고 管理하는 데에 重要한 影響을 미치는 港灣輻輳現象의 原因 및 結果, 그리고 港灣輻輳로 因하여 發生하는 船舶의 在港時間의 增加가 船舶의 運航利益과 港灣의 效率的인 運營 等に 미치는 影響을 釜山港을 例로 들어 다루었다. 釜山港에 있어서의 港內遲延時間의 原因이 되는 港灣輻輳現象은 待期行列理論을 導入하여 分析하였으며, 近似的인 解析모델을 決定하였고, 동시에 港灣輻輳現象과 經濟性的의 關聯性을 調査하였다. 以上の 研究結果를 要約하면

i) 港灣의 機能이란 側面에서 보면 釜山港은 一般埠頭와 콘테이너埠頭로 이루어지는 複合多重 窓口시스템으로 近似化 할 수 있으며,

ii) 一般埠頭, 콘테이너埠頭 모두 船舶의 到着은 Poisson 分布에 따르고, 埠頭서어비스 時間은 Erlang分布에 따르는 것을 確認하였다.

iii) 實際의 觀測데이터와 i), ii)의 結果로 부터 釜山港灣에서의 平均遲延時間은  $W_0 = \frac{\rho}{\lambda \cdot (1-\rho)}$   $\cdot \frac{e_N(\rho_N)}{D_{N-1}(\rho_N)}$  으로 近似化 할 수 있고.

iv) 簡單한 船舶運航모델로 부터 計算한 結果, 船舶의 在港時間의 增加는 바로 船舶의 運航收益에 反比例的으로 影響을 미친다는 것을 確認하였다.

v) 本論文에서 얻은 待期行列모델을 使用하여, 釜山港灣의 境遇에 對한 船舶到着率과 社會的 限界費用과의 具體的인 關係를 數式으로 表現하였다.

船舶의 港內遲延은 港灣內 船舶의 輻輳에도 原因이 있겠지만 그에 따른 埠頭서어비스 施設과 勞動力의 水準, 內陸輸送과의 複合運送問題, 背後地問題, 港灣全體的인 運營 및 管理面에서의 問題 等과 같은 여러 問題들과 複合的으로 聯關되어 發生하므로, 앞으로 이들 問題들을 考慮한 廣範圍한 研究가 이루어져야 할 것으로 思料된다.

끝으로 本論文에서 採用한 여러가지 資料들은 保安을 要하는 制約 때문에 좀 더 具體的인 內容이 省略되어 있음을 附記한다.

## 參 考 文 獻

- 1) J.Imakita: A Techno-Economic Analysis of the Port Transportation System, Saxon house, p.1, 1977.

- 2) 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.
- 3) Morse, P.M: Queues, Inventories and Maintenance, John Wiley & Sons. Inc., New York, 1958.
- 4) Saaty, T.L: Mathematical Methods of Operations Research, McGraw-Hill Book Co., Inc., New York, p.361, 1959.
- 5) Gulf Publishing Company: Port Engineering per brum, Book Publishing Division, Houston, pp.245~255, 1976.
- 6) 朴振根：微視經濟學，法文社，서울，pp. 40~47, 1981.
- 7) Saaty. T.L:Elements of Queueing Theory, McGraw-Hill Book Co., Inc New, York, 1961.
- 8) Hillier, F.S. and Lierberman, G.J.: Introduction to Operations Research, Holden-day, Inc., San Francisco, pp.400~449, 1980.
- 9) Borins, S.F.:Pricing Policy and the Optimum timing of Transport Investments, Journal of Trasport Economic & Policy, Vol. No.2, May, 1981.
- 10) Dan Shieerson: Investment in Port Systems, Journal of Transport Economics & Policy, Vol. No.3, Sep., 1981.
- 11) 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.
- 12) J.H.Jones, W.R.Blunden: Ship turn-around time at the Port of Bang-kok, ASCE, Journal of the Waterways and Harbours Divisions 94 (WW 2), 135-48, 1968.
- 13) 山田猛敏：港灣・船舶系の設計，管理の最適化に関する考察，日本航海學會論文集，第67號，8月，1982.
- 14) 筒井 哲：海上問題への交通輻輳の經濟性の應用，日本航海學會論文集，第47號，10月，1975.
- 15) LYON ASSOCIATES INC.：韓國港灣 第三段階妥當性調査，海運港灣廳，1981.
- 16) 梁時權・孫聖彬：一般散積貨物船의 經濟性에 관한 研究，韓國航海學會誌，第9號，1982.
- 17) 李哲榮：시스템工學概論，文昌出版社，釜山，pp.1~95, 1981.
- 18) 羅雄培・李載寬：經營計量分析論，博英社，서울，pp.352~379, 1980.
- 19) 鄭漢永：現代統計學，螢雪出版社，서울，1981.
- 20) 金基永・郭魯均：計量意思決定論，法文社，서울，pp.597~634, 1981.
- 21) 釜山地方海運港灣廳：釜山港 港灣施設 運營細則，第8號，1月，1982年