

# 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*

### < 目 次 >

- |                               |                |
|-------------------------------|----------------|
| Abstract                      | 4. 分析例—釜山港의 境遇 |
| 1. 序 論                        | 5. 港灣輻輳의 影響    |
| 2. 시스템으로서의 港灣運送過程과 港灣輻輳의 波及影響 | 6. 結 論         |
| 3. 港灣輻輳現象의 分析을 爲한 準備          | 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. Queueing 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,

\* 正會員, 韓國海洋大學

\*\* 正會員, 韓國海洋大學

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

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 queuing 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 效率的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 인한 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 效率的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 艀船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)

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 된다. 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 等)이든 長期的인 計劃(새로운 施設의 提供 等)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은 그대로 둔 채 더 나은 收益만을 얻기 위하여 港費의 引상을 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 苦悶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 重要な 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 等이 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 等도 重要な 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 附加的으로 發生되는 費用의 增加, 貨物引渡의 遲延 및 生成可能한 市場數의 減少 等を 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 等이 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이 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 港灣設施의 不足 即, 貧弱한 荷役設施, 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 繫留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 等과 같은 技術的 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 柔性性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

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.

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

例를 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 내에서 各 個體에게 서어비스를 提供하는 데 드는 時間을 서어비스時間이라고 한다. 서어비스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 서어비스가 다르기 때문일 수도 있고, 同一 서어비스라 할 지라도 원래 서어비스時間이 確率的으로 變하기 때문일 수도 있다.

vi) 出口(Output or Efflux)

個體가 서어비스를 받고 시스템을 떠나게 되면 다음과 같은 두 개의 可能한 集團 中の 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 서어비스를 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 서어비스가 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 서어비스 施設의 性格에 따라 一般的으로 다음과 같을 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한가 複數인가를 나타낸 것은, 하나의 待期行列에서 서어비스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.

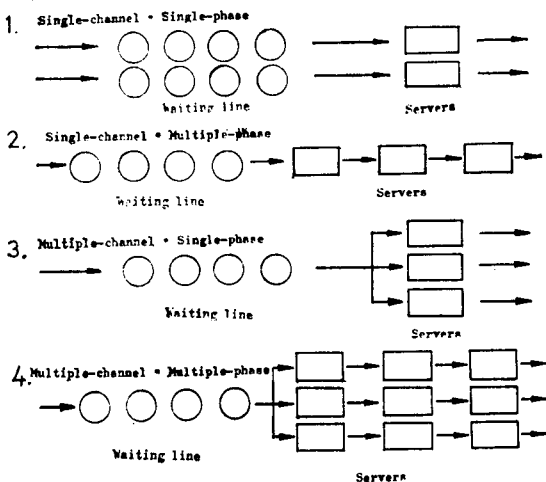


Fig.3-2. Structures of Queueing Model.

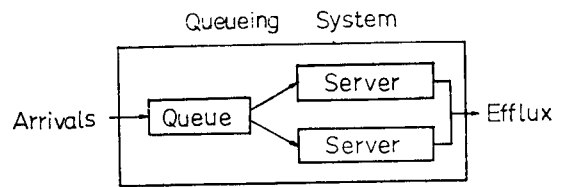


Fig.3-3. A model of Multi-channel·Single-phase.

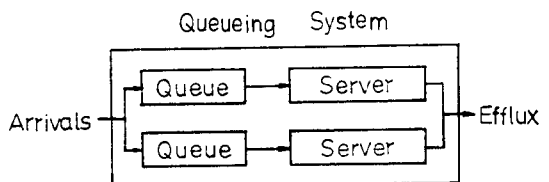


Fig.3-4. A complex model of Single-channel·Single-phase,

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 있어서의  $\chi^2$ 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 있어서의 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 있는데, 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 延長은 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 貨物船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 서어비스를 받고 나간 外航航行船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 서어비스를 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서어비스 時間을 提供하고 있다.

아래의 分析에서는 釜山港灣의 北港에 碇泊하였다가 서어비스를 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 等이다. 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 모던의 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 수 (척)	누적분포 (%)	$f_t = 0.89 e^{-\frac{t}{5.553}}$
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 수 (척)	누적분포 (%)	$f_t = 1.02 e^{-\frac{t}{9.322}}$
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)

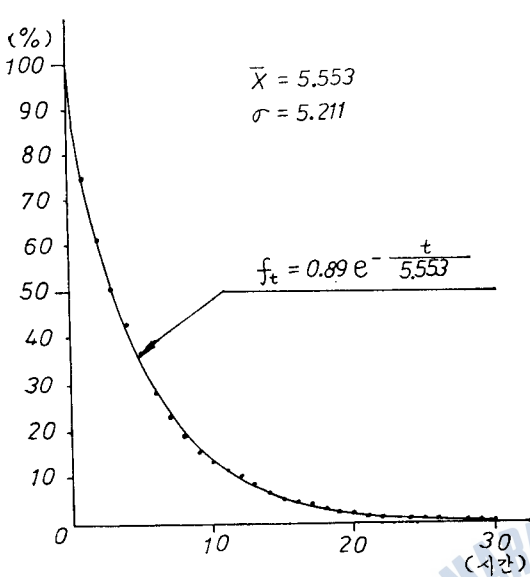


Fig. 4-1. Cumulative distribution of ship arrivals for entry to Port of Pusan (General piers).

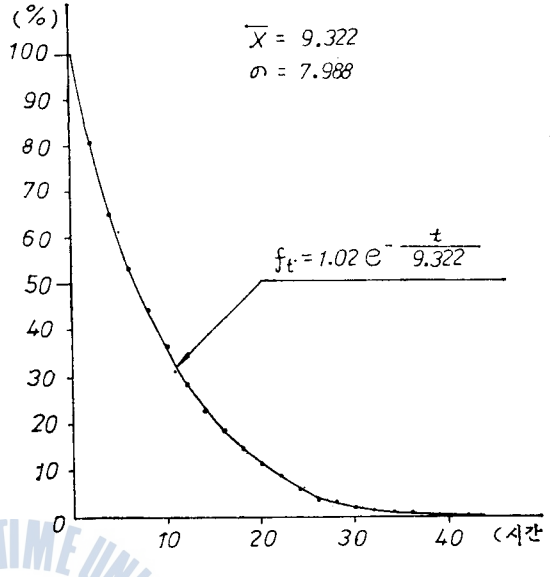


Fig. 4-2. Cumulative distribution of ship arrivals for entry to Port of Pusan (Container pier).

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시의 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 4-7. 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

Anchcr를 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 있는데, 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	124~125.99	1
18~19.99	20	54~ 55.99	7	90~ 91.99	6	126~127.99	1
20~21.99	27	56~ 57.99	6	92~ 93.99	2	128~129.99	1
22~23.99	53	58~ 59.99	5	94~ 95.99	5	130~131.99	1
24~25.99	41	60~ 61.99	4	96~ 97.99	1	132~133.99	1
26~27.99	24	62~ 63.99	14	98~ 99.99	1	134~135.99	1
28~29.99	10	64~ 65.99	19	100~101.99	1	136~137.99	1
30~31.99	19	66~ 67.99	8	102~103.99	0	138~139.99	1
32~33.99	24	68~ 69.99	11	104~105.99	0	140~141.99	1
34~35.99	14	70~ 71.99	15	106~107.99	0	142~143.99	1
						232~233.99	1
						233.99이상	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

釜山北港內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. 컨테이너 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 調查

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

부	두	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. 또 한 7埠頭는 石炭, 古鐵 및 鑛石과 같은 特殊貨物을 主로 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 接近可能한 埠頭를 갖는 多重窓

口시스템(Multi-Channel System)이라고 볼 수 있으므로, 크게 一般埠頭와 컨테이너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



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 多重窗口 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 多重窗口의 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窗口를 各各 多重窗口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 因한 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 因한 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, 備船된 船舶은 높은 率의 備船料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 主도록 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 살펴 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)
- $q_{sp}$  : 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



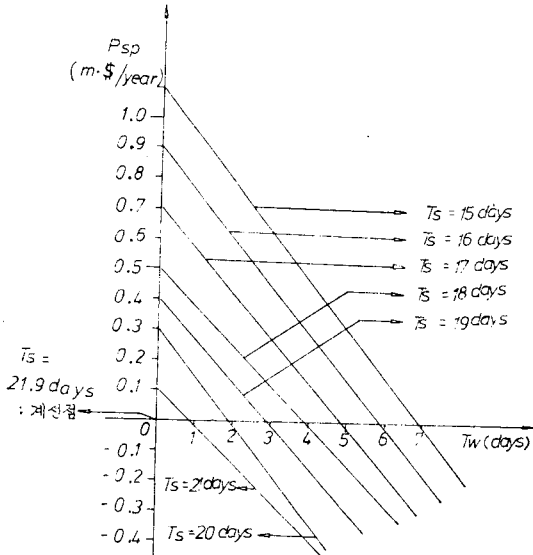


Fig. 5-1. Ship operating profits in relation to port delay with service time as a parameter.

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한 境遇, 運航收益을 在港時間의 增加에 反比例한다 는 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 미치 는가를 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 늘 어나게 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 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 끌여 왔다. 그리고, Pigou<sup>8)</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는 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 正當한 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하 여야 할 기회비용(Opportunity Cost)은  $0.25 - (-0.35) = 0.60 \text{ m} \cdot \$$  이라는 것을 알 수 있 다. 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는 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 變수로 놓고 式(5-9)를 利用하여 앞의 實例의 數値를 넣어 式을 만들면 式(5-11)과 같은데, <그림 5-1>에 在港時間의 變化에 따른



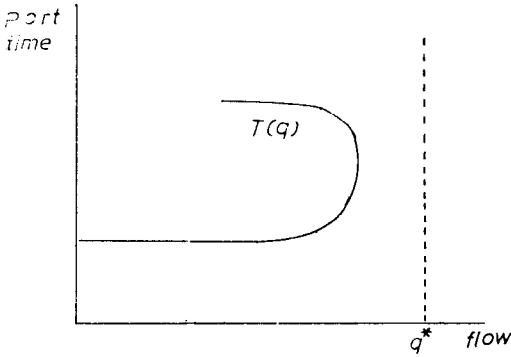


Fig. 5-2. Port time in relation to flow.

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적인 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로 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 서어비스 施設이 不充分하거나 船舶이 輻輳하여 서어비스 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 서어비스 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.

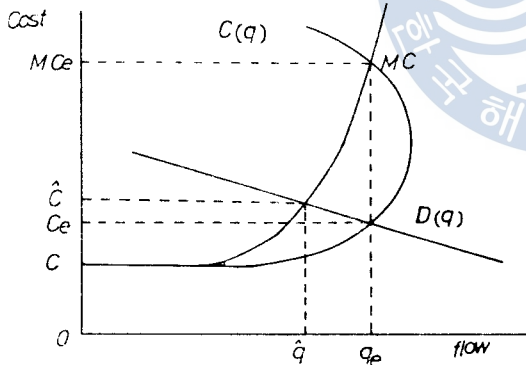


Fig. 5-3. Costs in relation to flow.

$C(q)$ 와  $D(q)$ 의 交點에서 이루어질 것이다. 이 交點은 앞으로의 港內 서어비스 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.

以上으로 부터 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  $OMC_e$ , 社會的 限界利益은  $OC_e$ 로 된다. 따라서 現在의 서어비스水準下에서 港灣運送시스템이 受

受

- 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 Lieberman, 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57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：시스뎀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