

論 文

# 釜山港 컨테이너 物流 시스템 分析에 관하여

朴 彰 鎬\* · 李 哲 榮\*\*

## On The Analysis of Container Physical Distribution System in Pusan Port

*Chang-Ho Park\* · Cheol-Yeong Lee\*\**

**Key Word** : 부산항(Pusan Port), 컨테이너 물류시스템(Container Physical Distribution System), 부차시스템(Sub-system), 시스템 모델링(System Modeling), 시스템 분석(System Analysis), 대기(Queue), 수송(Transport)

### Abstract

A Container terminal is a physical link between the ocean and land modes of transport and a major component of the container physical distribution system. A number of projects to increase terminal productivity in the world were found to be tied directly to increasing the efficiency of the intermodal activities, that is, to improving the physical distribution process. This is an indication that the productivity of container terminal is being considered within a system prospective. The purpose of this study is to establish a model of the container physical distribution system for Pusan port linked with 4 sub-systems including Navigational aids system, Cargo handling/transfer/storage system on dock, Off-dock CY system and In-land transport connection system, and to analyze the system. From this analysis, we found that the system had three bottlenecks on the container physical distribution process in Pusan port : a) cargo handling, b) storage and c) inland transport, and showed a way to improve the system.

### 1. 序 論

물류시스템의 목적은 양질의 물류서비스를 보다 적은 물류비용으로 외부물류계의 발생을 보다 적게하여 고객에게 제공하는 것이다. 항만물류시스템은 입출항지원·하역·이송·보관·포장·정보·유통가공 등 7가지 부차시스템을 갖고 있다. 항만물류는 항만을 경유하는 경제재가 공급

자로부터 수요자에게 다다르기 까지의 시간적·공간적 격차를 물리적으로 극복함으로써 그 경제재의 효용 즉, 경제적 가치의 증대를 꾀하는 것을 내용으로 한다. 따라서, 항만을 경유하여 필요로 하는 량의 경제재를 필요로 하는 장소·시간에 타당한 비용으로 제공하기 위한 물류의 합리화가 중요한 요소가 된다. 이러한 항만물류합리화를 통하여 궁극적으로 기업의 번영과 경제의 안정적

\* 定會員, 韓國海洋大學 大學院

\*\* 定會員, 韓國海洋大學 港灣·運送工學科 教授

발전을 가져오게 하는 것이 항만물류시스템의 목표(Goal)가 된다. 컨테이너 물류시스템은 해상과 육상을 포괄하는 복합일관수송 형태의 물적유통 시스템이다. 그리고 컨테이너 터미널은 선박에서 철도 혹은 도로로, 또는 그 반대로의 컨테이너 화물을 취급하고 제어하는 일련의 행위와 서비스를 제공하는 설비이므로 해상과 육상 輸送手段間의 물리적 연결기능을 가진 컨테이너 물류시스템의 중요한 구성요소이며 여러 관계자(운송업자, 터미널운영자, 하역업자, 노동자, 항만당국자, 화주, 정부 등) 상호간의 이해관계가 얽혀있는 곳이다. 따라서, 이들 각자는 컨테이너물류시스템의 생산성에 영향을 미치고 때로는 특정터미널 또는 전체시스템 내에서 생산성제어에 중요한 결정요소 및 제한요소가 될 수 있다. 항만생산성의 견지에서 각 관계자는 생산성에 대한 나름대로의 정의와 이해를 갖고 있다. 터미널운영자의 주요 목표는 취급하는 컨테이너의 단위당 비용을 줄이거나 안정화해서 단위당 이익을 최대화하는 것이고, 항만당국자의 주요 목표는 관할 터미널의 설비면적당 생산량을 증가시켜 가능하면 새로운 설비의 추가없이 현 설비를 효율화하여 항만을 관리하는 것이며, 항만노동자의 주요 목표는 그 구성인들에 의한 총 취급화물과 조합의 일거리를 증가시키는 것인데 비하여, 운송업자의 주요 목표는 선박의 재항시간을 최소화하기 위한 모든 화물, 특히 긴급수송을 요하는 컨테이너의 신속한 처리를 촉진시키는 것이 된다. 이러한 목표들에 의하여 항만의 생산성이 결정되므로 항만물류시스템의 생산성을 평가하는 데는 사실상 많은 어려움이 따른다. 일반적으로 생산성은 단위입력요소당 출력요소를 측정하는 것이므로 항만의 생산성은 노동·설비·토지의 효과적인 사용을 다루고 있으며 터미널의 생산성 측정은 이들 세가지 자원의 사용효율성을 정량화하는 수단이다. 컨테이너항만의 생산성은 터미널의 면적·형태·배치, 가용설비의 형태와 수량, 터미널을 사용하는 선박의 선형·특성 등을 포함하는 물리적인 요소와, 항만의 조합규칙, 수출입화물의 비율, 컨테이너 크기, 여분의 빈컨테이너 확보정도, 세관규칙, 연계수송망, 안전규칙, 수출입업자에게 부과되는 여

러가지 항만행정절차 등을 포함하는 제도적인 요소로 구분되는 제한요소를 갖는다. 이들 제한요소들은 항만의 생산성을 수치적으로 측정하기 위하여 수식을 갖는 변수로 표현될 수 있다. 이러한 요소 또는 변수들은 생산성측정에 중요한 영향을 미치지만 항만의 여러가지 특성상 항만생산성의 통일된 표준을 제시하거나 여러 항만을 비교하기에는 많은 어려움이 있다. 지금까지 항만의 생산성을 향상시키는 방법으로 특정부문 생산성을 개선하는데 노력을 집중해왔으나 선진국의 몇몇 대형항만을 제외하고는 생산성분석을 위한 자료가 불충분한데다 자료의 편협성으로 인하여 세부항목분석에 의한 생산성분석에는 한계가 있다. 따라서, 근래에는 港灣生産性向上을 위한 상당수의 계획들이 복합운송의 효율을 증가시키기 위한 것 즉, 수송과정의 개선에 직접적으로 연계되어 있음을 알 수 있다. 많은 수송업자들은 복합운송이 컨테이너항만의 생산성을 증가시키기 위한 추진력이라 생각하고 있어서 컨테이너항만의 분석에 시스템적 접근법을 취하고 있으며 이것은 컨테이너항만의 생산성은 시스템적 관점에서 고려되어야 한다는 것을 나타내고 있다. 사실, 항만의 컨테이너물류시스템이 최대효율을 갖기 위해서는 시스템적 관점에서 고려되어야 한다. 따라서, 본 논문은 부산항을 컨테이너물류시스템의 중요한 요소로 간주하여 부산항 컨테이너물류시스템을 물동량처리능력면으로 수식화하고 시스템을 수리모델로 분석함으로써 부산항을 경영하는 컨테이너항만물류시스템을 개선하고자함을 -목적(Objective)으로 한다.

## 2. 시스템 모델의 構成

### 2.1 概 要

시스템 모델을 구성하기 위하여 부산항만컨테이너물류시스템을 입출항지원시스템, 항내 하역·이송·보관 시스템, 항외보관구역으로의 이송 및 보관시스템, 내륙연계수송시스템 등 4개의 부차시스템으로 나누며, 선박접안순서는 FCFS(First Come First Service)원칙을 따른다고 가정

한다. 부산항 컨테이너물류시스템의 입력요소는 평균입항선박수(ships/day)와 선박당 평균수송화물량 W(TEU/ship)이고, 시스템의 기능은 해상수송컨테이너화물을 하역·이송·보관 등의 처리과정을 거쳐 육상수송컨테이너화물로 변환시켜내는 것으로 컨테이너화물이 항만물류과정을 거쳐 화주의 문전까지 수송되는 흐름을 갖고있으며, 이

과정에서 수반되는 노동력할당의 문제와 정보관리시스템 및 빈컨테이너 수급문제는 본 논문의 범위에서 제외한다. 또한, 본 논문은 시스템의 처리능력최대화를 목적(Objective)으로 모델을 구성하고자 한다. 이상의 시스템 모델을 圖示하면 Fig. 2.1과 같다.

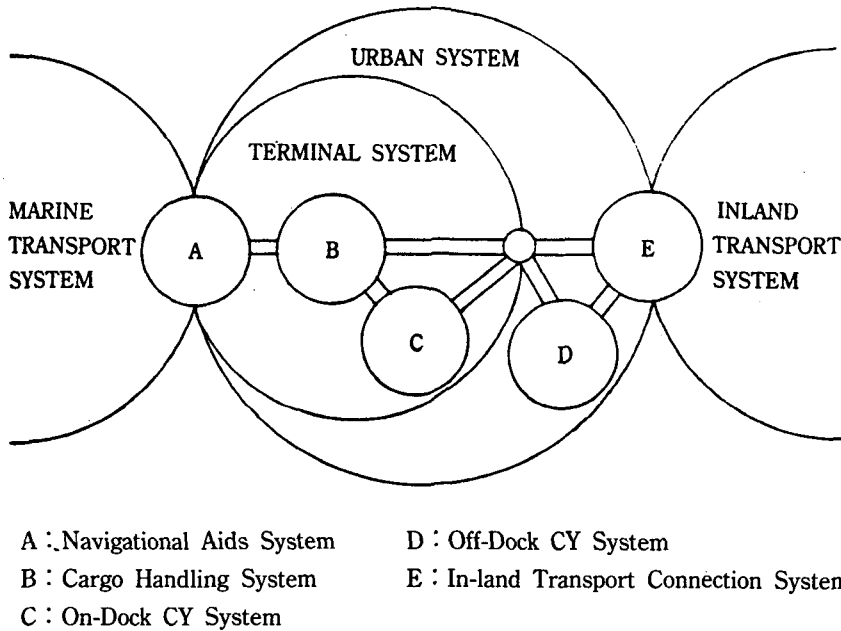


Fig. 2.1 The Container Physical Distribution System Model of Pusan Port

부산항 컨테이너물류시스템의 특징은 대부분의 컨테이너화물이 부산시의 주요간선도로를 경유하여 수송되며, 부산시에 산재한 항외보관구역인 ODCY를 경유하여 수송된다는 것이다. 이때문에 釜山市都市交通시스템과 밀접한 상관관계를 형성함으로써 부산항 물류시스템의 港外保管區域으로의 移送 및 內陸連繫輸送시스템에 부산시 도시교통이 중요한 제한요소로 작용하게 된다. 좀 더 세분하여 부산항에 양하된 화물이 수하주의 문전까지 전달되는 과정 또는 그 역의 과정을 圖示하면 Fig. 2.2와 같다.

부산항 컨테이너화물의 양하는 BCTOC의 5·6

부두와 재래부두의 1·2·3·4 및 중앙부두에서 이루어지며, BCTOC에서 컨테이너화물은 FCL화물일 경우 터미널 내의 T/C장치장에, LCL화물일 경우 CFS에, 빈컨테이너일 경우 빈컨테이너장치장에 각각 장치되었다가 일반적으로 ODCY를 경유하여 육송되지만 ODCY를 거치지 않고 보세운송으로 육송되기도 한다. 또한, BCTOC의 철송장치 및 부산진역을 거쳐 부곡 ICD까지 철송된 후 수하주의 문전까지 육송되는 경우도 있다. 또한 재래부두에서 양하된 화물은 대부분 직상차되어 ODCY로 이송된 후 수하주의 문전까지 내륙수송되거나 부두에서 곧바로 부산진역으로 이송되어

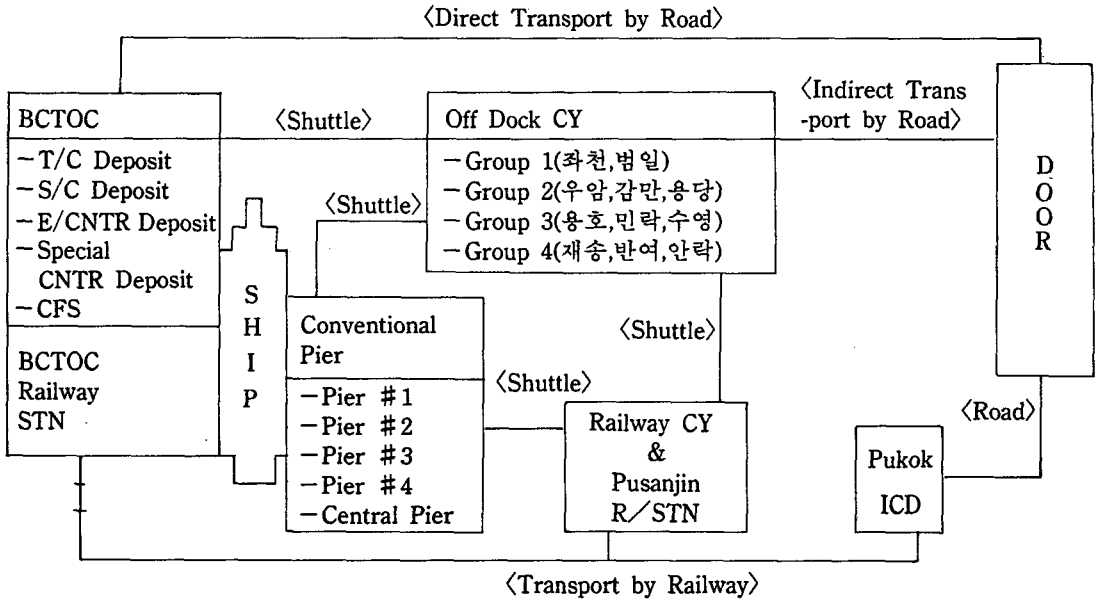


Fig. 2.2 The Flow of Container Physical Distribution through Pusan Port

화차를 통하여 부곡 ICD까지 철송된 후 수하주의 문전까지 육송되기도 한다.

2.2 入出港支援시스템

선박의 대형화 및 전용선화는 세계적인 추세로서 특히 최근에는 경쟁력 확보 및 單位輸送原價節減政策에 따라 컨테이너선의 대형화가 급속히 이루어지고 있다. 이러한 추세에 따라 부산항의 컨테이너專用埠頭인 BCTOC를 이용하고 있는 컨테이너선도 기항실적에 의하면 점차 대형화되고 있다. 하지만, 5만DWT급 이상 컨테이너전용선의 입출항 필요수심이 13미터인데 비하여 5.6부두진입수로 근처의 수심은 약 12.5미터밖에 되지않아 본선의 흘수를 조절해야 하거나 만조시를 이용하여 접안하고 있다. 따라서 선박의 在港時間(PORT TIME) 및 回航時間(TURN ROUND TIME)의 단축을 위해서도 진입수로의 준설 등의 조치가 시급한 실정이다. 한편, 曳船시스템은 선박의 在港時間短縮 및 대규모 항만의 원활한 운영을 위해 없어서는 안되는 가장 중요한 入出港支援시스템 요소로서 船舶入出港隻數인  $\lambda$ 에 영향을 미친다. 필요한 예선의 數를 결정하는 기준은 曳船巡廻時間(Tug-cycle Time :  $T_{gcy}$ )과 船席出發時間間隔

(Berth Inter-Departure Time :  $t_{bd}$ )을 비교하는 것이 된다. 曳船巡廻時間을  $T_{gcy}$ 로 둘 때 예선 한척의 생산력을 단위시간당 선박의 誘導數로 표현하면  $1/T_{gcy}$ 이 된다. 여기에 예선의 數( $N_{lg}$ )를 곱하면全體 曳船의 생산력은  $N_{lg}/T_{gcy}$ 로 되며 항만의 單位時間當船舶서비스完了數는  $1/t_{bd}$ 로 표시된다. 그리고 선석출발시간간격을  $t_{bd}$ 로 두고 선박 한척당 예선 한척이 필요하다고 가정 했을 때 曳船必要隻數( $N_{sf}$ )는 다음의 부등식을 만족하는  $N_{lg}$ 의 최소 정수치( $N_{sf}$ )로 되어야 한다.

$$N_{lg} \cdot (1/T_{gcy}) \geq 1/t_{bd} \dots\dots\dots (2.1)$$

GAUSSIAN BRACKET를 사용하여 합하면 식 (2.2)로 표현된다.

$$T_{bd} \geq T_{gcy} \text{ 이면 } N_{sf} = 1$$

$$T_{bd} < T_{gcy} \text{ 이면 } N_{sf} = [T_{gcy}/t_{bd}] + 1 \dots\dots\dots (2.2)$$

이때  $t_{bd}$ 가 일정하다면  $N_{sf}$ 는 必要上限値가 된다. 그러나  $t_{bd}$ 가 일정하지 않고 Random하게 분포되어 있다고 하면  $N_{sf}$ 의 크기는  $t_{bd}$  값에 따라 변화할 것이기 때문에  $N_{sf}$ 의 평균치에 대하여 과부족이 교차할 것이다. 그런데 만약 적절한 추정에 의해  $t_{bd}$ 의 확률밀도함수  $f(t_{bd}(t_{bd}))$ 의 분포를 안

다면 적정예선수( $N_{sf}$ )를 계산 할 수 있으며  $N_{sf}$ 의 기대치는 식(2.3)과 같다.

$$E[N_{sf}] = \int_0^{T_{gcy}} [T_{gcy}/t_{bd} + 1] f_{tbd}(t_{bd}) dt_{bd} + \int_{T_{gcy}}^{\infty} 1 \cdot f_{tbd}(t_{bd}) dt_{bd} \dots\dots\dots (2.3)$$

이렇게 계산된  $N_{sf}$ 는 선박 한 척당 예선 한척이 필요하다고 가정했을때 필요 예선 척수이므로 선박의 크기와 접안 조건에 따라 必要曳船隻數가 달라진다. 이런 여러 요소를 감안할 때 이론적인 분석에는 한계가 있으며 실제로는 시뮬레이션이 가장 효과적인 분석방법으로 제시된다. 입출항지원 시스템은 예선의 생산력이 가장 중요한 결정요소이므로 시뮬레이션에서는 선박입출항에 필요한 예선의 척수를 결정하거나 현재 항만에서 확보되어 있는 예선의 생산능력을 측정하고 예선의 부족으로 인한 입출항선박의 대기발생 가능성을 확인하여야 할 것이다.

부산항은 관리와 운영이 재래부두와 컨테이너 전용부두(BCTOC)로 나뉘어 있어서 입항선박의 접안패턴이 다르며, 재래부두는 POISSON INPUT ERLANG(K=3) SERVICE이고, 컨테이너 전용부두는 POISSON INPUT ERLANG(K=∞) SERVICE인 복수다중창구시스템이다.<sup>1)</sup> 재래부두와 컨테이너전용부두(BCTOC)로 입항하는 선박의 접안 대기시간을 계산하기 위한 식은, 컨테이너전용부두의 경우  $K=∞$ 이므로 Crommelin公式에 의하여 대기시간  $T_{q1}$ 은,

$$T_{q1} = \sum_{i=1}^{\infty} e^{-i\rho N} \left( \sum_{j=iN}^{\infty} \frac{(i\rho N)^j}{j!} - \frac{N}{\rho N} \sum_{j=iN+1}^{\infty} \frac{(i\rho N)^j}{j!} \right) \dots\dots\dots (2.4)$$

식(2.4)를 Pollaczek와 Molina에 의한 略算式으로 표시하면,<sup>2)</sup>

$$T_{q1} = \frac{\rho^N \cdot e^{(1-\rho)N}}{(1-\rho) \cdot \sqrt{2\pi N}} \cdot \frac{1 - \rho^{N-1}}{\mu \cdot (1-\rho)(N+1)(1-\rho^N)} \dots\dots\dots (2.4)$$

재래부두의 경우 대기시간  $T_{q2}$ 는

$$T_{q2} = \frac{\rho}{\lambda(1-\rho)} \cdot \frac{e_N(\rho N)}{D_{N-1}(\rho N)} = \frac{\rho}{\lambda(1-\rho)} \cdot \frac{a^N/N!}{a^N/N! + [(1-a/N) \sum_{n=0}^{N-1} \frac{a^n}{n!}]} \dots\dots\dots (2.6)$$

- $T_{q1}$  : 컨테이너 전용부두로 입항하는 선박의 대기시간
- $T_{q2}$  : 재래부두로 입항하는 선박의 대기시간
- $\lambda$  : 船舶平均到着率(척/시간)
- $\mu$  : 船舶平均서비스率(척/시간)
- $N$  : 서비스 창구의 수
- $\rho$  : 埠頭利用率( $\lambda/N\mu$ )
- $a = \lambda/\mu$
- $e_N$  : Poisson 함수
- $D_{N-1}$  : 누적 Poisson 함수

단, 선박의 도착패턴은 Poisson 분포를 따르고 선박의 서비스율은 Erlang 분포를 따르며 컨테이너 전용부두의 경우  $K=∞$ 라 한다.

식(2.5)와 식(2.6)에서  $\rho$ 가 1에 접근할수록  $T_q$ 는  $\infty$ 에 가까워진다. 이  $\rho$ 를 부두 이용율이라 하면  $(1-\rho)$ 는 서비스 설비가 쉬는 기간이다. 入港船舶의 平均揚荷컨테이너수를  $W$ (TEU/ship)이라 했을 때 入港컨테이너량은  $\lambda \cdot W$ (TEU)가 되며, 船席數를  $N$ , 船席當平均서비스率을  $\mu$ 라 하면 부두의 平均컨테이너서비스率( $\mu_s$ )은 식(2.7)로 계산된다.

$$\mu_s = N \cdot \mu \cdot W \dots\dots\dots (2.7)$$

이때 부두의 이용율( $\rho$ )은

$$\rho = \frac{\lambda \cdot W}{\mu_s} \cdot \frac{\lambda \cdot W}{N \cdot \mu \cdot W} \dots\dots\dots (2.8)$$

이므로,  $\rho$ 를 증가시키면 선박의 선석대기시간( $T_q$ )이 증가하게 되어 대기비용이 증가함으로써 시스템의 효율이 감소한다. 선박의 입출항시 대기의 발생은 入出港支援시스템의 부족과 접안할 선석의 부족에 기인한다. 따라서 총 대기시간  $T_{Q}$ 는

$$T_Q = T_{q1} + T_{q2} \dots\dots\dots (2.9)$$

여기서,  $T_Q$ : 총 대기시간  
 $T_{tg}$ : 예선의 부족으로 인한 대기시간  
 $T_q$ : 선석의 부족으로 인한 대기시간

2.3 港内 荷役 · 移送 · 保管 시스템

선박에서의 시간당양하량  $r$ 은 식(2.10)으로 표현된다.

$$s = \frac{n \cdot W_c \cdot e}{c} \text{ (TEU/hr)}$$

여기서  $n$ : 선석당 작업 크레인 數  
 $c$ : 크레인의 cycle time(hr)  
 $e$ : 크레인의 작업효율  
 $W_c$ : 크레인의 1회 작업 화물량(TEU)

또한 船席에서 저장구역까지 一定速力으로 車輛當貨物  $W_t$ (TEU/Vehicle)를 移送할 경우 時間當移送量  $s$ 는 식(2.11)과 같다.

$$s = \frac{\rho_t \cdot n_t \cdot W_t}{T_c + \frac{2d_t}{V_t}} \text{ (TEU/hr)} \dots\dots\dots (2.11)$$

여기서  $\rho_t$ : 차량의 사용율  
 $n_t$ : 車輛數  
 $W_t$ : 1회 이송 화물량(TEU/Vehicle)  
 $T_c$ : 차량 한대분 화물의 양하시간(hr)  
 $d_t$ : 이송거리(km)  
 $V_t$ : 車輛走行速力(km/hr)

式(3.10)은 차량수와 차량의 속력이 서로 독립적인 경우에 성립하는데, 일반적으로 운행구간에서 차량수가 증가함에 따라 차량의 주행속력은 점차 감소한다. 차량 수의 한계치를  $n_{tm}$ , 차량 한대의 길이와 두 차량간 최소 간격의 합을  $L_c$ , 차량한대의 최대속력을  $V_{tm}$ 이라 둘때, 차량속력과 차량수의 관계는 노면상태, 운전기술, 차종 등 여러요인에 따라 달라질 것이다. 어쨌던 차량수의 증가는 차량속력을 억제시키는 요소가 된다고 할 수 있다. 차량수가 증가함에 따라 속력이 선형적으로 감소한다면 차량수와 속력과의 관계는 식(2.12)로 표현된다.

$$V_t = - \frac{V_{tm}}{n_{tm} - 1} \cdot (n_t - n_{tm}) \dots\dots\dots (2.12)$$

또한 式(2.12)가  $n_t=0$ 일 때에도  $V_t=V_{tm}$ 이 된다고 가정하여 式(2.11)과 式(2.12)를 결합하면 이송율  $s$ 는 식(2.13)과 같다.

$$s = \frac{\rho_t \cdot n_t \cdot W_t}{T_c + \frac{2d_t}{-\frac{V_{tm} \cdot n_t}{n_{tm} - 1} + \frac{V_{tm} \cdot n_t}{n_{tm} - 1}}} \dots\dots\dots (2.13)$$

식(2.13)을 미분하여 0으로 두었을 때  $n_t^*$ 의 값을 구할 수 있으며,  $s$ 는  $n_t^*(0 \leq n_t^* \leq n_{tm})$ 에서 최대값  $s^*$ 를 갖는다. 즉,

$$s^* = \frac{-C \cdot n_t^{*2} + D \cdot n_t^*}{-A \cdot n_t^* + B} \dots\dots\dots (2.14)$$

$$\text{단, } n_t^* = \frac{B}{A} - \sqrt{\left(\frac{B}{A}\right)^2 - \frac{BD}{AC}}$$

$$A = \frac{V_{tm} \cdot T_c}{n_{tm} - 1} \quad B = \frac{V_{tm} \cdot n_{tm} \cdot T_c}{n_{tm} - 1} + 2d_t$$

$$C = \frac{\rho_t \cdot W_t \cdot V_{tm}}{n_{tm} - 1} \quad D = \frac{\rho_t \cdot W_t \cdot V_{tm} \cdot n_{tm}}{n_{tm} - 1} + 2d_t$$

가 된다.<sup>3)</sup> 그러므로 하루당 부두의 서비스량  $\mu_s$ 는 1일 작업가능시간을  $h$ , 선석점유율을  $\rho$ , 船席數를  $N$ 이라 했을 때,  $r \geq s$ 인 경우는 식(2.15)와 같고

$$\mu_s = \rho \cdot N \cdot h \cdot s^* \text{ (TEU/day)} \dots\dots\dots (2.15)$$

$r \leq s$ 인 경우는 식(2.16)과 같다.

$$\mu_s = \rho \cdot N \cdot h \cdot r \text{ (TEU/day)} \dots\dots\dots (2.16)$$

한편, 항내보관구역에서의 1일당 저장용량은 BCTOC의 경우 식(2.17)로 표시된다.

$$P_s = \frac{A \cdot n_c}{u \cdot P \cdot d_m \cdot \alpha} \text{ (TEU/day)} \dots\dots (2.17)$$

여기서  $A$ : 저장구역의 면적  
 $n_c$ : 컨테이너 藏置數  
 $u$ : 컨테이너 1TEU가 차지하는 면적

$(u = 14.86m^2)$

P : 침투율( $p=1.3$ )

$\alpha$  : 분리지수( $\alpha=1.2$ )

$d_m$  : 평균체재일수( $d_m = \int_0^d x \cdot f(x)dx$ )

하지만, 재래부두의 보관구역은 일반화물과 함께 사용되고 있어서 식(2.17)에 의한 저장용량 산출은 무의미하다. 이 문제는 3장에서 다루기로 한다.

2.4 港外保管區域으로의 移送시스템(ODCY)

터미널에서 i Route를 택하여 항외보관구역인 ODCY로 화물을 이송하는 경우 Cycle Time( $C_i$ )은,

$C_i = T_{i1} + T_{i2} + d_i \cdot (1/U_i + 1/V_i) \dots\dots\dots (2.18)$

$T_{i1}$  : i route의 터미널에서 화물을 上車하는데 걸리는 접속시간

$T_{i2}$  : i route의 터미널에서 화물을 下車하는데 걸리는 접속시간

$d_i$  : i route의 터미널과 ODCY 간의 거리

$U_i$  : i route의 터미널과 ODCY 간의 차량속력 (화물적재시)

$V_i$  : i route의 터미널과 ODCY 간의 차량속력 (공차시)

i route의 터미널과 ODCY 간 이송능력( $Z_i$ )은

$Z_i = \frac{W_i}{C_i} \times m_i \dots\dots\dots (2.19)$

$W_i$  : i route의 터미널과 ODCY 간 차량 1대의 적재능력

$m_i$  : i route의 터미널과 ODCY 간 차량 수

로 표현되며 i route의 차량보유치( $\bar{m}_i$ )는 식(2.20)과 같다.

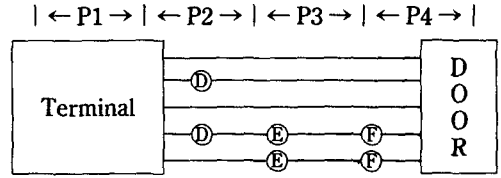
$\bar{m}_i = \frac{C_i}{\max(T_{i1}, T_{i2})} \dots\dots\dots (2.20)$

따라서, 터미널에서 ODCY까지의 이송능력( $Z_{\infty}$ )은 식(2.21)로 표시할 수 있다.

$Z_{\infty} = Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4 \dots\dots\dots (2.21)$

2.5 內陸連繼輸送 시스템

재래부두와 BCTOC를 합하여 Terminal로 두고 多重 多段 接續 Model로 나타내면 Fig. 2.3과 같다.



- D : ODCY
- E : PUSANJIN RAILWAY STATION
- F : PUKOK ICD

Fig. 2.3 In-Land transport by road only or by rail & road

i번째 Route를 택하여 화물을 수송하는 경우 j 번째 step의 Cycle Time( $C_{ij}$ )은 식(2.22)에 의하여 계산된다.

$C_{ij} = T_{i(j-1)1} + T_{i(j-1)2} + d_{i(j-1)j} \cdot (1/U_{ij} + 1/V_{ij}) \dots\dots\dots (2.22)$

여기서,  $T_{i1}$  : i route의 node j에서 화물을 上車하는데 걸리는 접속시간

$T_{ij2}$  : i route의 node j에서 화물을 下車하는데 걸리는 접속시간

$d_{i(j-1)j}$  : i route의 node(j-1)과 node j 간의 거리

$U_{ij}$  : i route의 node(j-1)과 node j 간의 차량속력(화물적재시)

$V_{ij}$  : i route의 node(j-1)과 node j 간의 차량속력(공차시)

i route, j step에서의 이송능력( $Z_{ij}$ )은

$Z_{ij} = \frac{W_{ij}}{C_{ij}} \times m_{ij} \dots\dots\dots (2.23)$

여기서,  $W_{ij}$  : i route의 node(j-1)과 node j 간의 차량 1대의 적재능력

$m_{ij}$  : i route의 node(j-1)과 node j 간의 차량 수

로 표현되며  $i$  route의  $j$  step에서의 차량 보유 적정치( $\bar{m}_i$ )는

$$\bar{m}_i = \frac{C_i}{\max(T_{i1}, T_{i2})} \dots\dots\dots (2.24)$$

부산항 컨테이너 화물의 내륙연계 수송경로는 4가지 이므로  $i=1, 2, 3, 4$ 가 되며, Route1( $i_1$ )인 경우 터미널에서 수하주의 창고까지 公路로 輸送되므로  $j=1$ 이 된다. Route2( $i_2$ )인 경우 터미널에서 ODCY를 거쳐 사시트레일러에 의해 수하주의 창고까지 公路로 輸送되므로  $j=1, 2$ 가 된다. Route3( $i_3$ )인 경우는 터미널에서 ODCY로 이송된 후 부산진역을 거쳐 부곡 ICD까지 철도를 통하여 철송된 후 수하주의 창고까지 사시 트레일러에 의하여 육송되므로  $j=1, 2, 3, 4$ 가 된다. Route 4( $i_4$ )인 경우는 터미널에서 부산진역을 거쳐 부곡ICD까지 철송된 후 수하주의 창고까지 육송되므로  $j=1, 2, 3$ 이 된다.

이상의 경우 전체 과정의 수송능력( $Z_L$ )는 식(2.25)와 같다.

$$Z_L = Z_{11} + \min(Z_{21}, Z_{22}) + \min(Z_{31}, Z_{32}, Z_{33}, Z_{34}) + \min(Z_{41}, Z_{42}, Z_{43}) \dots\dots\dots (2.25)$$

또한, 전체과정에서 最短輸送時間( $T_2$ )은 식(2.26)과 같다.

$$T_2 = \min(C_{11}, C_{21} + C_{22}, C_{31} + C_{32} + C_{33} + C_{34}, C_{41} + C_{42} + C_{43}) \dots\dots\dots (2.26)$$

### 3. 시스템의 分析

#### 3.1 入出港支援시스템의 分析

船舶入出港時 입출항지원시스템 능력의 부족으로 불합리한 대기시간이 발생하는지 여부를 알아보기 위하여 입출항지원시스템의 가장 중요한 요소인 예선시스템을 시뮬레이션에 의하여 분석하기로 한다. 1989년 현재 부산항에서는 총 18척(34,500 BHP)의 예선이 확보되어 있으며, 저마력급(1,500 BHP 이하) 예선 2척, 중마력급(1,500-2,500 BHP) 예선 5척, 고마력급(2,500 BHP 이상) 예선

11척이 있다. 또한, 현행 부산항의 曳船配定原則은 총톤수 5,000톤 미만의 선박에는 저마력급 1척, 총톤수 5,000톤 이상부터 총톤수 10,000톤까지는 저마력급 1척과 중마력급 1척, 총톤수 10,000톤 이상부터 총톤수 20,000톤까지는 중마력급 2척, 총톤수 20,000톤부터 총톤수 40,000톤까지는 고마력급 2척, 총톤수 40,000톤부터 총톤수 70,000톤까지는 고마력급 2척과 중마력급 1척, 총톤수 70,000톤부터 총톤수 100,000톤까지는 고마력급 3척과 중마력급 1척, 그리고 총톤수 100,000톤 이상의 선박에는 고마력급 4척을 각각 배정하도록 되어 있다. 이러한 배정 원칙에 따라 부산항에 입출항한 선박에 대하여 예선을 배정하여 시계열 데이터 분석법으로 시뮬레이션한 결과 저마력, 중마력 예선이 부족하여 대기가 발생하고 있음을 확인하였다. 이 경우 저마력급 예선의 일별 평균 사용회수는 9회, 대기시간은 23분이고, 중마력급 예선의 사용회수는 17회, 대기시간은 8분, 고마력급 예선의 사용회수는 15회 대기는 없음을 알 수 있었다.<sup>4)</sup> 그런데, 1990년 8월부터 1991년 7월까지 BCTOC에 기항한 1,500척의 컨테이너선 대부분이 총톤수 10,000톤 이상의 선박이고 평균선박 톤수가 33,000 DWT이어서 저마력 예선의 영향을 받지 않으며, 高馬力曳船數가 충분하므로 예선의 부족으로 인한 선박의 대기시간발생가능성은 무시할 정도이다. 따라서, 釜山港入出港컨테이너船의 대기시간은 접안을 위한 선석의 부족에 전적으로 기인한다고 볼 수 있다. 따라서, 부산항입출항 컨테이너선에 발생하는 대기시간  $T_0$ 는 식(2.9)에서  $T_0 = T_q$ 가 되고,  $T_q$ 는 식(2.5)와 식(2.6)에 의하여 계산된다.

#### 3.2 港內 荷役 · 移送 · 保管 시스템의 分析

부산항은 컨테이너 화물을 BCTOC와 재래부두에서 병행처리하고 있으며 작업여건에 차이가 있으므로 BCTOC와 재래부두를 구분하여 분석하기로 한다.

##### 1) BCTOC의 컨테이너 처리능력 분석

BCTOC에서의 작업형태는 수입의 경우 갠트리 크레인(G/C)에 의한 양하작업, 야드트랙터(Y/T)



에 의한 보관구역으로의 이송작업 그리고 보관구역에서의 보관을 거쳐 내륙으로 연계수송하는 4 단계의 작업과정을 거치게 되며, 수출의 경우는 이와는 역순의 과정을 거친다. 먼저, 제 1단계인 G/C에 의한 하루당 하역능력은 식(2.16)으로 계산할 수 있는데, 선석당 작업 G/C의 수를  $n=2$ , G/C의 1회 작업화물량  $W_c=1.60\text{TEU}$  ( $IVAN=0.4+0.6\times 2$ ), G/C의 작업효율  $e=0.75$ , 船席數  $N=4$ , 1일 작업가능시간  $h=20$ , G/C의 cycle time  $c=2.5$  분으로 代入하면, 하루당 서비스율( $\mu_s$ )은 4608  $\rho\text{TEU/day}$ 가 된다.

여기서 선석 점유율은  $\rho=0.5-1$ , 연간 작업 가능 일수는  $d=300-365$ 일 일때 BCTOC의 연간 하역능력( $P_1$ )을 계산하면 Table. 3.1과 같다.

Table 3.1 Annual CNTR Cargo Handling Throughput on BCTOC Berth in relation to Variations of  $\rho$  and Annual Working Days

(unit : TEU)

$\rho \setminus \text{days}$	300days	330days	365days
0.5	691,200	760,320	840,960
0.65	898,560	988,416	1,093,248
1.0	1,328,400	1,520,640	1,681,920

하지만 1988년 2월 이후 BCTOC는 증가하는 컨테이너 물동량의 처리를 위하여 국적선사에 부여해온 15일의 장치허용일수를 폐지하고 國內外 船社 공히 수출 4일, 수입 5일로 장치허용일수를 개정하여 비상체제로 운영하고 있으므로 선석점유율을 증가시켜 연간선박하역능력을 증가시켰다. 1990년 BCTOC의 연간 컨테이너 처리실적이 130만 TEU인 것을 보면 이는 BCTOC의 일반적인 연간고유하역능력을 상당히 초과하여 처리함으로써 선석의 무리한 점안과 장비의 무리한 사용이 있었을 것으로 추정되므로  $\rho$ 의 증가에 따른 대기시간이 증가하였을 것이고, 따라서 대기시간에 따른 기회비용이 증가하여 항만이용자에게 추가 경비를 발생시키는 결과를 낳았을 것이라는 것을 쉽게 짐작케 한다. BCTOC의 적정하역능력기준을 BCTOC로 입항하는 선박의 대기시간을 1시간 정도로 하는 것이라면, 선석점유율은 식(2.5)에 의

하여  $\rho=0.5$ (단,  $1/\mu=15$ 시간)가 된다. 따라서 BCTOC 4개 부두의 8개 G/C에서 처리할 수 있는 하루당 하역능력은 식(2.16)에 의하여 2304 TEU/day로 산출되고, 연중무휴로 작업할 경우 年間 荷役能力은 84만 TEU/yr가 됨을 알 수 있다. 그런데 현재 BCTOC에는 대체용 1대를 포함한 총 9대의 G/C가 있으므로 1대의 여유분으로 하역률을 G/C 한대분의 30% 정도 증가시킬 수 있으므로 연간하역능력은 3만 TEU가 증가된 87만 TEU/yr 가 된다. 여기에 1990년 BCTOC의 데이터인 130만 TEU를 대입하면 선석점유율  $\rho=0.75$  (단,  $1/\mu=15$ 시간)가 되므로 6시간정도의 대기시간을 갖게되어 정규일정을 맞추어야 되는 컨테이너선의 운항에 부담을 주고 있다. 따라서 컨테이너선에 적합한 1시간의 대기시간을 갖는 정도로 선석점유율을 조정하면 선석점유율  $\rho=0.5$ (단,  $1/\mu=15$ 시간)이므로 연간 87만 TEU/yr가 BCTOC의 적정하역능력이라 할 수 있다. 다음으로, 船席에서 양하한 컨테이너를 저장구역까지 Y/T로 이송하는 항내이송능력은 식(2.15)에 의하여 계산할 수 있는데, Y/T의 길이를 PLAN-170DB형의 길이인 5.5미터로 하고, C/S의 길이를 40'로드샤시의 길이인 12.72미터로 하였을 때 Y/T와 C/S의 접속길이 1.5미터를 공제한 이송차량(Y/T+C/S)의 길이는 16.72미터가 된다. 또한, 차량의 속도를 PLAN-170DB형의 최대속도인 30km/hr로 하고, 차량간의 거리를 영국 도로연구소(ROAD RESEARCH LABORATORY)로부터 보고된 경험식  $D_m=17.5+0.139V+0.0818V^2$ (단,  $D_m=\text{feet}$ ,  $V=\text{miles/hour}$ )에  $V=30\text{km/hr}(=18.75\text{miles/hr})$ 을 대입하여 얻은 14.66 미터로 하면, 차량한대의 길이 16.72미터와 차량간 거리 14.66미터를 합한  $L_n$ 값은  $L_n=31.4$ 미터가 된다. 그리고 장치장의 1회 왕복 이송거리를  $2d_i=1200-3000$ 미터로 두면 차량수  $n_m=(2d_i/31.4)=(38, 95)$ 臺가 된다. 적정차량수  $n_m^*$ 는  $n_m=38$ 대일 경우 22대이고 (2.14)에 의한 이송율  $s^*$ 는 232TEU/hr이며,  $n_m=95$ 대일 경우 55대이고 이송율  $s^*$ 는 297 TEU/hr 이 됨을 알 수 있다. 현재 BCTOC에는 46대의 Y/T가 있으므로 1일 작업가능시간을 20시간으로 할 경우 하루당 이송능력은 5000 $\rho$  정도이다.

여기서 선석 점유율은  $\rho=0.5-1$ , 연간 작업 가능일수는  $d=300-365$ 일일 때 BCTOC의 연간이송능력( $P_2$ )을 계산하면 Table. 3.2와 같다.

Table 3.2 Annual CNTR Cargo Transfer Throughput Between BCTOC Pier and BCTOC CNTR Deposit in relation to Variations of  $\rho$  and Annual Working Days

$\rho \setminus$ days	300days	330days	365days
0.5	750,000	825,000	912,500
0.65	975,000	1,072,500	1,186,250
1.0	1,500,000	1,650,000	1,825,000

그리고 Y/T에 의하여 이송된 컨테이너화물을 항외로 이송하기 전까지 보관하는 보관능력은 식(2.17)에 의하여 계산할 수 있는데, 일시장치능력  $P_c$ 를  $P_c=A \cdot n/u$ 로 두었을 때, Full 컨테이너인 경우 S/C지역에 1.5단, T/C지역에 3단 적재시 일시장치능력은 14,098 TEU이며, Empty 컨테이너인 경우 Empty 컨테이너 지역에 2.5단 적재시 일시장치능력은 3,010 TEU이므로 합계 17,108 TEU의 Full 및 Empty 컨테이너를 BCTOC장치장에 일시 장치할 수 있다. 이 외에도 CFS Empty 장치지역에 2.5단 적재시 832 TEU, 철송장치지역에 2.5단 적재시 225 TEU, 특수컨테이너장치장에 ON-CHASSIS 상태로 90개의 컨테이너를 장치할 수 있으나 분석에서는 제외하고, 17,108 TEU를 BCTOC의 일반 컨테이너의 일시장치능력이라 두고 분석하기로 한다. 식(2.17)에서 1일당 보관용량  $P_s$ 는,  $P_s=P/(P \cdot \alpha \cdot d_m)$ 이 되므로, 침두율 P를  $P=1.3$ , 분리지수  $\alpha$ 를  $\alpha=1.2$ , 평균체재일수 d를 1일 부터 7일 까지 변화한다고 두었을 때  $P_s$ 는,  $P_s=10966/d_m$  TEU/day 가 된다. 이 때 연중 작업 가능한 일수를 300-365일로 하였을 경우 보관능력  $P_3$ 를 table 3.3 에 보인다.

1990년 BOTOC의 연간 컨테이너 처리실적이 130만 TEU/yr이었고, 그때 平均藏置日이 輸入時 3.20일, 輸出時 2.38일로 총평균 2.75일인 바 BCTOC의 藏置許容日數인 수출 4일, 수입 5일 동안 도 체재할 수 없을 정도로 보관능력이 부족하여 체재일수를 무리하게 줄여야 했음을 알 수 있다.

Table 3.3 Annual CNTR Deposit Throughput on BCTOC terminal in relation to Variations of  $d_m$  and Annual Working Days.

$d_m$ /days	300days	330days	365days
1	3,289,800	3,618,780	4,002,590
2	1,644,900	1,809,390	2,001,295
3	1,096,600	1,206,260	1,334,197
4	822,450	904,695	1,000,648
5	657,969	723,756	800,518
6	548,300	603,130	667,098
7	469,971	516,969	571,799

이렇게 보관능력이 부족할 경우는 항외직송률을 높이거나 재래부두 또는 他港으로의 화물배분 등의 조치가 요구된다.

2) 선박에 대한 터미널의 평균서비스시간 각 선박의 서비스시간( $T_s$ )은 입항선박의 화물을 W(TEU/Ship), 부두의 양하공간을 G, 시간당양하량을 r(TEU/hr), 양하화물의 시간당이송량을 s(TEU/hr)라 했을 때 r과 s가 서로 독립인 확률변수이므로 식(3.1)과 식(3.2)로 표현된다.

$$r \leq \frac{W \cdot s}{W - G} \text{ 일때 } t_s = \frac{W}{r} \dots\dots\dots (3.1)$$

$$r > \frac{W \cdot s}{W - G} \text{ 일때 } t_s = \frac{W - G}{s} \dots\dots\dots (3.2)$$

여기서  $t_s$ 는 상태변수  $T_s$ 의 확률변수이다. 양하속도와 화물이송속도가 (r, r+dr), (s, s+ds) 區域内に 있을 확률 f(r, s)는 식(3.3)으로 나타내어지므로

$$f(r, s) = f_r(r) \cdot f_s(s) dr ds \dots\dots\dots (3.3)$$

선박의 平均揚荷時間( $T_s$ )의 期待值  $E(T_s)$ 는 식(3.4)와 같다.

$$E(T_s) = \int_{r_{\min}}^{r_{\max}} \int_{s_{\min}}^{s_{\max}} t_s \cdot fr(r)fs(s)drds \dots (3.4)$$

이때  $\frac{W \cdot S_{\max}}{W - G} \leq r_{\min}$ 이면 평균양하시간은 식(3.

5)에 의하여 계산한다.

$$E(T_s) = (W - G) \int_{s_{min}}^{s_{max}} \frac{fs(s)}{s} ds \dots\dots\dots (3.5)$$

또한,  $\frac{W \cdot S_{min}}{W - G} \geq r_{max}$ 이면 평균양하시간은 식

(3.6)에 의하여 계산한다.

$$E(T_s) = W \int_{r_{min}}^{r_{max}} \frac{fr(r)}{r} dr \dots\dots\dots (3.6)$$

BCTOC에서의 작업패턴은 양하한 화물을 양하 공간에 쌓아두지 않고 곧바로 Y/T에 上車하여 이송하므로 양하공간 G는 의미가 없다. 또한,船席에서의 時間當荷揚量은  $r=66.8$  TEU/pier/hr이고 時間當全埠頭移送量은  $s=5000 \rho$  TEU/hr이므로 항내이송량이 선박하역량보다 커서 선박의 평균 양하시간은 선석에서의 양하능력에 의하여 항내 서비스시간이 결정됨을 알 수 있다. 따라서, 1990년 출입항화물이 130만 TEU이고 동기간 출입항 선박수가 1500척이므로 식(3.6)에 의해 선박당평균서비스시간은  $E(T_s)=13$  시간이 되어 총 선석 접안시간은 입출항시 작업시간 1시간씩을 더한 15시간임을 알 수 있다.

3) 재래부두의 컨테이너 처리능력 분석

부산항 재래부두의 컨테이너화물 公稱處理能力은 5船座를 컨테이너부두로 할당하였을 경우 36만 TEU이나 그 하역능력은 使用裝備와 使用船席數에 의해 달라지므로 1989년 처리한 89만 TEU를 기준으로 한다면 실질적인 컨테이너하역에 투입된 船席數는 11船席으로 추정된다. 현재 재래부두 운영상태를 기준으로 하면 재래부두의 연간 컨테이너貨物處理能力은 재래부두 총 21船席의 부두시간을 50% 할당할 경우, 제 1부두가 124,000 TEU, 제 2부두가 165,000TEU, 제 3부두가 290,000 TEU, 제 4부두가 290,000TEU 등 총 87만 TEU가 된다. 그런데 재래부두의 장치장 면적은 22,802m<sup>2</sup> 밖에 되지 않아서 재래부두의 컨테이너장치능력이 부족하므로 적양화물은 대부분이 直上車되고 있는 실정이다. 그리고 재래부두 CY중 제 1부두 CY가 20,463m<sup>2</sup>으로 재래 부두의 90%를 차지

하고 있으며, 3부두 CY가 989m<sup>2</sup>, 4부두CY가 1,350 m<sup>2</sup>이다. 재래 부두 장치장 면적 22,802m<sup>2</sup>의 70%를 能力面積이라 하면 재래부두의 연간보관용량은 156,804 TEU가 된다.<sup>6)</sup> 이와같이 재래부두는 컨테이너장치용량이 부족한데다 컨테이너專用保管區域이 정해져 있지 않아서 컨테이너의 항내보관에 어려움이 있으므로 컨테이너화물의 대부분이 直上車되어 ODCY로 이송됨에 따라 부산시 도시교통체증에 의하여 수송효율이 떨어져서 선박의 대기시간이 길어지고 선박의 체항시간이 증가함에 따라 항만의 능력이 떨어지는 결과를 초래하고 있다.

3.3 港外保管區域으로의 移送 및 港外保管 시스템 分析

부산시의 도로율은 1980년에 10.5% 이던 것이 1989년에는 12.45%로 1.18배 증가하였으나, 같은 기간에 차량은 62,419대에서 234,936대로 3.76배나 증가하여 도로율의 증가보다 차량의 증가가 훨씬 높음을 알 수 있다. 또한 차량의 평균주행속도는 1982년에 30km/hr이던 것이 1989년에는 16.9km/hr로 떨어졌으며, 출퇴근시 차량의 도심 주행속도는 14.5km/hr 로 전국 최저 수준이어서 도시교통체증이 갈수록 심해지고 있는 실정이다.<sup>6)</sup> 항만에서 항외보관구역인 ODCY까지의 이송은 항만배후도시의 교통로를 경유해야 하므로 항내이송의 경우와는 달리 도시교통로에서의 여타차량 통행과 연관시켜서 고려하여야 한다. 도시교통의 영향에 의하여 식(2.18)의 차량속력이 결정되므로 도시교통의 체증 등으로 수송차량의 속력  $U_i, V_i$ 가 감소하면 Cycle Time(C<sub>i</sub>)이 증가하고, 식(2.19)에서 Cycle Time이 증가함으로써 항외이송능력  $Z_i$ 가 감소하게 되며, 항외이송능력을 증가시키기 위해서는 Cycle Time에 비례하여 식(2.20)에 의한 보유차량수  $m_i$ 를 증가시켜야 되므로 차량수의 증가로 인한 도시교통의 체증증가 때문에 Cycle Time이 증가하는 악순환을 낳게되어 항외이송능력은 계속 떨어지고 차량효율의 감소에 따른 수송효율 감소로 수송비용의 증가를 초래하게 된다. 특히 1988년 2월 부터 BOTOC의 장치허용기간이

국적선사에게도 외국적 선사와 같이 수출 4일, 수입 5일로 단축되게 되자 ODCY를 경유하는 物動量이 폭주하게 되고 그 만큼 교통량이 증가함으로써 가뜩이나 심한 부산시의 도로교통에 교통혼잡이 가중되고 있다. 부산항 주변의 ODCY는 1990년 1월 기준으로 BCTOC로 부터 16km이내에 16개 업체가 운영하는 34개소로서 총면적 1,208,426m<sup>2</sup>(365,549평)을 점유하고 있으며, 전체면적의 88%인 1,067,312m<sup>2</sup>을 CY로, 12%인 141,114m<sup>2</sup>을 CFS로 운용하고 있다. 지정보세구역인 철도 CY는 전체의 8.4%이며 나머지 91.6%가 ODCY이다. ODCY의 분포를 보면 4개의 Group으로 분류할 수 있는데, Group1은 부산진역 주변의 철도 CY를 포함한 좌천·범일 지역으로 6개소가 있으며, Group2는 우암·감만·용당 지역으로 14개소, Group3은 용호·민락·수영 지역으로 7개소, Group4는 재송·반여·안락 지역으로 7개소 등으로 분포되어 있다. BCTOC와 각 ODCY 간의 거리는 Group1 까지가 0.4-1.4km, Group2 까지가 2.2-8.0km, Group3 까지가 10.0-15.8km, Group4 까지가 11.3-12.8km이다. BCTOC와 ODCY 간의 컨테이너수송에 있어서 10-12시, 15-17시, 20-22시 사이에 Peak time이 발생하고 있으며, 이때 전체물동량의 약 85%가 수송되고 있다.<sup>7)</sup> 터미널에서 ODCY로의 컨테이너이송물량을 보면, 전용부두로 부터의 이송량은 Group 4 지역으로가 가장 많고, Group 2 지역으로가 두번째, Group 3 지역으로가 세번째, Group 1 지역으로가 가장 적음을 알 수 있으며, 재래부두에서는 Group 2 지역으로 가장 많이 이송되고, 두번째가 Group 4 지역으로이며, 나머지는 전용부두에서의 순서와 같음을 알 수 있는데, 이는 Group별 ODCY의 용량과도 무관하진 않으나 실제로는 각 ODCY회사와 선박회사 간의 계약에 의한 이송이 대부분이므로 터미널에서 ODCY로의 이송량은 회사간의 계약에 의한 영향이 가장 크다고 할 수 있다.

### 3.4 內陸連繼輸送시스템 分析

ODCY를 경유할 경우 부산시 교통체증을 증가

시킬 뿐만 아니라 불필요한 컨테이너의 조작과 하역작업의 추가로 인하여 추가비용이 발생하고 수송시간을 증가시키는 등 많은 문제를 야기하고 있으므로 터미널에서 직송되는 Route1과 철송경로인 Route4로의 분담율을 높여야 한다. 먼저 Route1의 분담능력은 터미널에서 어느만큼 물량을 감당할 수 있는가 하는데 있다. 실제 재래부두 및 BCTOC의 저장능력을 고려해볼때 Route1로의 수송분담을 증가하는 현 상황에서는 어려운 실정이다. 또한, Route4로의 분담율 증가는 철송능력과 철도터미널의 효율성에 달려있다. 부산항 컨테이너 화물의 철송은 1988년의 경우 약 78만 TEU의 京仁地域 컨테이너 物動量中 30%인 23만 TEU 밖에 이루어지지 않았다. 하지만, 현행 컨테이너 열차 한 대에 23~25량의 화차를 운행하고 있으나, 현행보다 4~5량씩 더 조성하여 매일 정기운행하여도 1년에 5만 TEU 이상의 컨테이너를 더 수송할 수 있으며,<sup>8)</sup> 컨테이너전용열차의 제한속력(70km/hr)을 높이기 위하여 기관차와 신호장치 및 선로장치 등의 현대화 또는 개선을 한다면 철송능력을 향상시킬 수 있을 것이다. 하지만 국내 수송로의 폭주로 인하여 여객수송에도 힘겨운 현행 철도사정을 감안해볼 때 컨테이너내륙수송에 철송율을 증가시키기 위해서는 많은 연구가 선행되어야 하며, 따라서 피더선에 의한 연안수송을 더욱 증대하는 방안 등이 적극적으로 검토되어야 할 것이다.

## 4. 시스템의 效率化

부산항 물류시스템을 효율화하기 위해서는 시스템 입력요소인  $\lambda \cdot W$  TEU/day의 컨테이너 화물이 시스템의 각 과정을 거쳐 다른 수송 모드(Transport Mode)로 변환되는 과정을 분석하여 어디서 병목(Bottle-neck)현상이 발생하는가를 파악하고 병목현상이 가장 심한 부분부터 개선해야 한다. 釜山港컨테이너物流시스템의 분석결과 가장 심한 병목구간은 접안선석의 부족으로 인하여 심한 대기현상을 보이는 선석에서의 하역시스템이며, 다음으로는 항내보관구역의 부족으로 인하여

여 대부분의 컨테이너화물이 단기간내에 항외보관구역으로 이송됨으로써 야기되는 병목현상을 들 수 있다. 세번째 병목현상은 부산시 도시교통의 폭주로 인한 내륙연계수송시스템의 능력부족으로 발생한다. 따라서, 주어진 시스템의 최적화는 각 부차시스템이 개선된 후 부차시스템간에 병목현상을 일으키지 않으므로써 이루어 진다. 시스템의 입력요소를 X, 시스템의 목적함수를 F(X)라 두면, F(X)는 각 부차시스템에 의하여 구성되므로 최적화된 시스템의 출력요소 Y는,

$$Y = F(X) \dots\dots\dots (4.1)$$

$$F(X) = \text{optimize } F(\lambda, W, \mu, \rho, \mu_s, P_s, Z_{to}, Z_L)$$

$$F(X) = \lambda \cdot W = N \cdot \mu \cdot \rho \cdot W = \mu_s = P_s = Z_L$$

$$\text{단, } \lambda, W, \mu, \rho, \mu_s, P_s, Z_{to}, Z_L > 0$$

이하에서는 시스템효율화를 위한 개선정도를 알아본다.

4.1 接岸待期時間을 고려한 必要船席의 算出

1990년 부산항을 통하여 수출입한 컨테이너화물은 227만 TEU이며 그중 57%인 130만 TEU는 BCTOC에서, 나머지 97만 TEU는 재래부두에서 처리하였는 바, 이는 BCTOC와 재래부두 공히 입출항 선박에게 심한 대기시간을 부과하는 무리한 운영이었음을 알 수 있다. 따라서, 접안대기시간을 1시간정도로 할 경우 同貨物을 처리하기 위한 선석수를 산출하기로 한다. 먼저, 재래부두에서의 컨테이너화물 처리능력을 공칭처리능력인 36만 TEU라 하고 BCTOC의 처리능력을 3.2절에서 산출한 87만 TEU라 하면, 필요선석은 227만 TEU에서 재래부두와 BCTOC의 처리능력분을 제외한 수출입화물 104만 TEU와 23만 TEU 정도의 T/S 화물을 포함한 약 127만 TEU의 처리능력에 해당하는 수준이다. 추가로 필요한 선석의 수준을 현행 BCTOC의 처리능력을 갖는 정도로 한다면 연중무휴로 작업할 경우 추가선석 1선좌당 연간 420,480ρ TEU/yr의 하역능력을 갖는다. 식(2.5)로부터 선박대기시간이 1시간으로 불변일 경우 선석수 N이 증가할수록 船席使用率 ρ가 증가하므로 127만 TEU의 처리능력을 추가하기 위해서는 기

존 BCTOC의 4개 선석에 추가하여 4개 선석의 건설이 필요하며 이때 선석사용율 ρ는 식(2.5)에 의하여 ρ=0.65가 되어 선석의 추가건설로 인한 부두의 하역능력은 135만 TEU가 증가된다. 이렇게 되면 재래부두에서 36만 TEU, BCTOC와 추가선석의 8선좌에서 219만 TEU를 처리할 수 있게 된다.

4.2 港外移送率 增加를 통한 港內保管能力不足의 解消

부산항은 컨테이너 저장능력이 부족하여 항외 저장구역인 ODCY로 컨테이너 화물을 이송하여 보관하였다가 수하주의 요청으로 내륙수송되거나 그 亦의 과정을 거쳐 수출되고 있다. 항내에서의 컨테이너貨物保管能力이 부족할 경우 貯藏用地를 확장하는 문제는 대부분의 항만에서는 대단히 어려우며 특히 부산항의 경우는 거의 불가능 할 정도이므로 컨테이너貨物處理能力을 증가시키기 위해서는 港內保管期間을 단축시킴으로써 서비스율을 높이든지 또는 港外保管區域으로의 직송율을 높임으로써 서비스율을 개선하여야 한다. 저장용량이 부족한 경우에 있어서 항만의 처리능력은 항내보관능력과 항외보관구역으로의 직송능력을 합한 값이 된다. 즉, 하루당 항만의 서비스능력 μs는 식(4.2)로 표시된다.

$$\mu_s = \frac{P_s}{d_m} + D_i(\text{TEU/Day}) \dots\dots\dots (4.2)$$

- 여기서, μs : 평균 항만 서비스 율
- P<sub>s</sub> : 하루당 항내 보관능력
- d<sub>m</sub> : 항내 저장 구역에서의 화물 평균 체재 일수
- D<sub>i</sub> : 하루 당 항외 직송량

이때 부두 이용율 ρ는 식(4.3)과 같다.

$$\rho = \frac{\lambda \cdot W}{\mu_s} = \frac{\lambda \cdot W}{\frac{P_s}{d_m} + D_i} \dots\dots\dots (4.3)$$

여기서 λ > D<sub>i</sub>/W 일 경우, 式(4.3)으로부터 ρ를 1로 두고 계산하면 d<sub>m</sub>에 대한 한계치 d<sub>c</sub>를 식(4.4)

에 의하여 계산할 수 있다.

$$d_c = \frac{P_s}{\lambda \cdot W - D_i} \dots\dots\dots (4.4)$$

다른 조건의 변동이 없을 때 港內保管컨테이너貨物의 平均滯在길이 가 한계치  $d_c$ 보다 크게 되면 대기는 발산한다. 항내보관능력이 부족하여 평균 체제길이를 줄여도 선박 대기가 적정수준으로 감소하지 않을 경우에는 항외이송능력을 증가시켜야 한다.

지금 入港船舶隻數  $\lambda$ , 隻當컨테이너貨物  $W$ , 저장용량  $P_s$ , 화물평균체재일수  $d_m$ , 항외이송을  $D_i$ 인 시스템에  $\Delta\lambda$ 만큼의 선박이 추가됨으로써 증가시켜야 할 항외이송량변화분  $\Delta D_i$ 를 구해 보면 먼저, 항외이송량을 증가시켜서 부두이용률  $\rho$ 를 감소시킬 수 있고 減少以前을  $\rho_1$ , 以後를  $\rho_2$ 로 표현할 수 있을 경우  $\Delta D_i$ 는,

$$\Delta D_i = \frac{\Delta\lambda \cdot W}{\rho_2} + \left( \frac{P_s}{d_m} + D_i \right) \left( \frac{\rho_1}{\rho_2} - 1 \right) \dots\dots\dots (4.5)$$

로 나타낼 수 있으며, 항외이송량의 증가가 부두이용률  $\rho$ 를 유지하는 수준일 경우 式(4.5)에서  $\rho_1 = \rho_2$ 이므로  $\Delta D_i$ 는 式(4.6)이 된다.

$$\Delta D_i = \frac{\Delta\lambda \cdot W}{\rho} \dots\dots\dots (4.6)$$

**4.3 物動量增加와 埠頭增設에 따른 시스템의變動**

증가하는 부산항 컨테이너물동량의 처리를 위하여 해운항만청에서는 부산항광역개발계획을 추진하고 있는 바, 그 내용을 살펴보면 1990년에서 2010년 까지의 기간중 총사업비 3,312억원을 투입하여 전용부두 7선석과 다목적부두 6선석을 건설하여 총 266만 TEU를 처리할 수 있는 컨테이너부두를 개발하는 것으로 되어있다.<sup>8)</sup> 그러나 釜山港 廣域開發計劃은 컨테이너 物動量 推定에 있어서 接續貨物의 比率을 輸出入 物動量의 약 10%로 算定하고 있으나, 그 比率이 낮으며, 4단계埠頭의 完工年度는 1995년도에서 1996년도로 수

정할 필요가 있다. 따라서, 이러한 점을 고려하고 釜山港 廣域開發計劃의 推定物動量을 기초로 하여 推定한 컨테이너埠頭 需要量은 2001년에는 70만 TEU/yr(하한치 55만 TEU/yr), 2011년에는 160만 TEU/yr(하한치 127만 TEU/yr)가 더 필요함이 예상된다.<sup>9)</sup> 한편, 釜山港 廣域開發計劃에 있어서 4段階埠頭는 釜山北外港의 極東石油 前面海域에 開發하고, 多目的 埠頭는 既存의 3-4埠頭 및 7埠頭를 再整備하여 컨테이너 埠頭로 사용하도록 되어있다. 그러나, 3단계埠頭도 도시교통을 포함한 內陸連繼輸送體制의 未備로 運用效率性에 대한 疑問에 提起되고 있는 실정이므로 北內外港에 새롭게 컨테이너埠頭를 開發하는 문제는 심중히 재검토되어야 한다.

**4.4 都市시스템을 고려한 港外保管 및 內陸連繼輸送 시스템의 効率化**

OFF-DOCK CY가 부두 CY의 부족한 장치보관 기능을 보조하는 수단으로 생성된 이래 화물의 집화분류기능 및 내륙터미널 기능, 통관기능, 컨테이너 및 장비의 정비보수 기능 등 컨테이너수송 체제상 중요한 역할을 수행하고 있다. 더우기, 현재 BCTOC가 부산항 컨테이너 물동량의 급증으로 인한 부두운영의 효율을 도모하기 위하여 장치허용기간을 대폭 축소하여 운영하고 있음으로 인하여 부산시내에 산재한 ODCY의 역할은 더욱 커지고 있음은 자명한 사실이다. 이와같은 점에도 불구하고 ODCY의 산재는 부산지역 교통난 가중 및 도시개발상 효율적인 토지이용 저해, 도시미관의 저해 등 부산시의 도시행정상 여러가지 문제점을 야기시키는 요인으로 작용하고 있으며, 나아가 물적 및 인적 요소의 효율저하로 추가비용발생, 항만운송과정에 대한 통제기능의 저하 등 물류시스템의 비능률을 초래하여 국가경제적 측면에서도 많은 손실을 발생하고 있는 바, 이를 종합적으로 해결하기 위한 내륙컨테이너수송기지(ICD : Inland Container Depot)의 건설 등이 필요하다. ICD를 건설할 경우 컨테이너輸送專用路線 등의 건설로 차량의 속력이 증가하리라 기대되므로 式(2.22)에서  $U_{ij}$ 와  $V_{ij}$ 가 증가하게 되고 따라서 이송시간이 절감되며 이송시간이 절감됨

으로써 식(2.23)에 의한 이송능력  $Z_0$ 가 증가된다. 또한, ODCY를 거치지 않고 ICD로 직송될 경우 불필요한 이송단계를 줄이게 되어 식(2.25)로 부터 전체과정의 輸送時間節減效果를 가져온다.

## 5. 結 論

부산항의 컨테이너물류시스템을 입출항지원시스템, 항내 하역·이송·보관 시스템, 항외보관구역으로의 이송 및 보관시스템, 내륙연계수송시스템 등 4개의 부차시스템으로 나누어 數理모델을 구성하고 시스템을 분석하였다. 분석결과, 입출항 지원시스템에서는 예선의 부족으로 인한 선박의 대기는 거의 없으며 선석부족으로 인하여 1990년 부산항에 기항한 선박은 평균 6시간 정도의 심한 대기현상을 보이고 있음을 확인하였다. 그리고, 항내 하역·이송·보관 시스템에서는 선석의 부족으로 인하여 부두의 하역능력이 시스템중 가장 심한 병목구간이며, 보관능력의 부족으로 인하여 대부분의 컨테이너화물이 짧은 체재기간을 거쳐 항외보관구역으로 이송되고 있다. 또한, BCTOC에 기항한 선박의 평균톤수는 33,000 DWT이며 평균접안시간은 15시간(하역시간+접안시간)이었다. 현행 BCTOC의 서비스 능력은 선석에서의 하역능력에 의하여 결정되므로 BCTOC의 적정서비스능력은 기항선박이 1시간의 대기시간을 갖도록 부두점유율을 결정함을 기준으로 한다면 연중 무휴로 작업할 경우 87만 TEU이며 이때 부두점유율( $\rho$ )은 0.5임을 알았다. 그런데, 1990년 부산항 컨테이너 물동량 227만 TEU를 BCTOC에서 130만 TEU, 재래부두에서 97만 TEU를 처리함으로써 부산항의 컨테이너 처리능력을 훨씬 초과하였음을 알 수 있다. 따라서, 이러한 선석부족으로 인한 하역능력을 개선하기 위해서는 재래부두의 공칭 처리능력 36만 TEU와 BCTOC의 처리능력 87만 TEU분을 제외한 나머지 104만 TEU의 수출입화물과 23만 TEU정도의 T/S화물을 합한 127만 TEU 정도를 처리할 수 있는 규모의 선석을 추가 확보하여야 한다. 추가로 필요한 선석의 수준을 현행 BCTOC의 처리능력을 갖는 정도로 한다면 연중무휴로 작업할 경우 추가선석 1선좌당 연간 420,480 TEU/yr의 하역능력을 갖는다. 127만

TEU의 처리능력을 추가하기 위해서는 기존 BC-TOC의 4개 선석에 추가하여 4개 선석의 건설이 필요하며 이때 선석사용율  $\rho$ 는  $\rho=0.65$ 가 되어 선석의 추가건설로 인한 부두의 하역능력은 135만 TEU가 증가된다. 이렇게 되면 재래부두에서 36만 TEU, BCTOC와 추가선석의 8선좌에서 219만 TEU를 처리할 수 있게 된다. 그리고, 항내보관능력의 부족을 해소하기위한 항외이송을 증가분( $\Delta D$ ) 결정식을 수립하였다. 항외보관구역(ODCY)으로의 이송 및 항외보관시스템에서는 부산시 도시교통시스템의 폭주로 이송능력에 많은 제한을 받고 있으며 이를 종합적으로 해결하기 위한 내륙컨테이너수송기지(ICD: Inland Container Depot)의 건설 등이 필요하다. 이 외에도 부산항 컨테이너물류시스템의 분석을 위해서는 비용을 고려한 경제성 분석과 국제경쟁력과 관련한 부산항 컨테이너물류시스템의 능력을 고찰하는 문제가 연구과제로 남아있다.

## 參考文獻

- 1) 문성혁·이철영(1983), 항만운송시스템의 분석에 관한 연구, 한국항해학회지 제7권 1호
- 2) PHILIP M. MORSE(1957), Queues, Inventories and Maintenance, John Wiley & Sons Inc.
- 3) J. Imakita(1977), A Techno-Economic Analysis of the Port Transport System, Saxon House
- 4) 박창호·이철영(1989), 항내예선의 적정규모 결정에 관하여, 한국해양대학대학원
- 5) 定方希夫(1990), システム工學の基礎, 東海大學出版會
- 6) 이철영(1991), 부산항의 국제 교역항으로서의 능력제고에 관한 연구, 부산경제연구 총서 36, 부산상공회의소 부산경제연구원
- 7) 양원·이철영(1990), 부산항만물동량이 도시교통에 미치는 영향에 관한 연구 - 컨테이너 화물운송을 중심으로 -, 한국항만학회지 제4권 1호
- 8) 한국해운항만청(1989), 부산항 광역 개발 기본 계획 보고서 제1·2·3권
- 9) 한국관세협회(1989-1990), 부산항 컨테이너 수출입 통계