

부산항의 컨테이너 물류 시스템 분석에 관한 연구

박 창 호 · 이 철 영

A Study on the Analysis of Container Physical Distribution System in Pusan Port

Park Chang-ho · Lee Cheol-yeong

1. 서 론

부산항은 우리나라 수출입 컨테이너의 약 95%를 처리하고 있는 우리나라 제 1의 항만이며, 세계 제 6위의 대규모 컨테이너 항이다. 하지만, 컨테이너 물류 시스템은 선석의 부족으로 입출항 선박의 하역작업에 심한 폭주현상을 보이고 있으며, 대부분의 컨테이너 화물이 부산시의 주요간선도로를 경유하여 시내에 산재한 34개의 ODCY로 이송·보관되었다가 내륙수송되므로 부산시 도시교통시스템과 밀접한 상관관계를 형성함으로써 釜山港컨테이너物流시스템에 부산시 도시교통이 중요한 제한요소로서 작용하고 있다. 시스템 모델을 구성하기 위하여 釜山港의 컨테이너物流시스템을 선박입출항시스템, 항내 하역, 이송 및 보관 시스템, 항외보관구역으로의 이송 및 보관시스템, 내륙연계수송시스템 등 4개의 부차시스템으로 나누며, 선박접안순서는 FCFS(First Come First Service)원칙을 따른다고 가정한다. 釜山港 컨테이너物流시스템의 입력요소는 入港船舶의 分布와 船舶當 輸送貨物量의 분포이고, 시스템의 기능은 해상수송컨테이너화물을 하역·이송·보관 등의 처리과정을 거쳐 육상수송 컨테이너화물로 변환시키는 것으로, 컨테이너화물이 港灣物流過程을 거쳐 화주의 문전까지 수송되는 흐름을 갖고있으며, 이 과정에서 수반되는 노동력할당의 문제와 정보관리시스템 및 빈컨테이너 수급문제는 본 논문의 범위에서 제외한다.

2. 시스템 모델의 설계

2.1 선박입출항 시스템 모델

선박이 항만을 입출항 할 때는 조류, 수심 등의 자연적 조건과 등대, 부표, 예선, 그리고 항만의 관행 및 규칙 등의 인위적 여건들에 의하여 제한을 받는다. 그 중에서도 선박입출항 작업에 밀접한 영향을 미치는 것은 도선 및 예선 시스템이다. 특히 예선시스템은 선박의 재항시간 단축 및 대규모 항만의 원활한 운영을 위하여 없어서는 안되는 중요한 입출항지원시스템 요소로서 船舶入出港隻數인 λ 에 영향을 미친다. 필요한 예선의 數를 결정하는 기준은 曳船巡廻時間(Tug-cycle Time: T_{cy})과 船席出發時間間隔(Berth Inter-Departure Time: t_{bd})을 비교하는 것이 된다.

釜山港은 관리와 운영이 在來埠頭와 컨테이너專用埠頭(BCTOC)로 나뉘어 있어서 입항선박의 접안패턴이 다르며, 在來埠頭는 입출항 및 서비스 시간이 불규칙하고, 컨테이너 專用埠頭는 입출항 및 서비스시간이 비교적 규칙적이어서 분석을 위한 모델을 각각 POISSON INPUT CONSTANT SERVICE와 POISSON INPUT ERLANG SERVICE 인 複數多重窓口 시스템으로 구성하면 다음과 같다.

(1) POISSON INPUT CONSTANT SERVICE인 경우, ERLANG 계수 $K=\infty$ 이므로 Crommelin公式에 의하여 대기시간 T_{q1} 은,

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

(2) POISSON INPUT ERLANGIAN SERVICE 인 경우, 대기시간 T_{q2} 는

$$T_{q2} = \frac{\rho}{\lambda (1-\rho)} \cdot \frac{e^{N(\rho N)}}{D_{N-1}(\rho N)}$$

$$= \frac{\rho}{\lambda (1-\rho)} \cdot \frac{a^N / N!}{a^N / N! + [(1- a/N) \sum_{n=0}^{N-1} \frac{a^n}{n!}]} \dots (2)$$

λ : 船舶平均到着率 (척/시간)
 μ : 船舶平均서비스率 (척/시간)
 N : 서비스 창구의 수
 ρ : 埠頭利用率 ($\lambda / N\mu$)
 $a = \lambda / \mu$
 e^N : Poisson 함수
 D_{N-1} : 누적 Poisson 함수

선박의 입출항시 대기의 발생은 入出港支援시스템의 부족과 접안할 船席의 부족에 기인한다. 따라서 총 대기시간 T_Q 는

$$T_Q = T_{tg} + T_q \dots (3)$$

여기서, T_Q : 총 대기시간
 T_{tg} : 예선의 부족으로 인한 대기시간
 T_q : 船席의 부족으로 인한 대기시간

2.2 항내 하역·이송·보관 시스템

선박에서의 時間當揚荷量 r 은 식(4)로 표현된다.

$$r = \frac{n \cdot W_c \cdot e \cdot k}{c} \text{ (TEU/hr)} \dots (4)$$

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

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(5)와 같다.

$$s = \frac{\rho_t \cdot n_t \cdot W_t}{T_c + \frac{2dt}{V_t}} \text{ (TEU/hr)} \dots (5)$$

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

그러므로 하루당 埠頭的 서비스량 μ_s 는 1일 작업가능시간을 h , 선석占有率을 ρ , 船席數를 N 이라 했을 때, $r \geq s$ 인 경우는 식(6)과 같고

$$\mu_s = \rho \cdot N \cdot h \cdot s^* \text{ (TEU/day)} \dots (6)$$

$r \leq s$ 인 경우는 식(7)과 같다.

$$\mu_s = \rho \cdot N \cdot h \cdot r \text{ (TEU/day)} \dots (7)$$

한편, 항내보관구역에서의 1일당 저장용량은 BCTOC의 경우 식(8)로 표시된다.

$$P_s = \frac{A \cdot n_c}{a_c \cdot P \cdot d_m \cdot \gamma} \text{ (TEU/day)} \quad \dots\dots\dots (8)$$

여기서 A : 저장구역의 면적
 n_c : 컨테이너 藏置數
 a_c : 컨테이너 1 TEU가 차지하는 면적(a_c=14.86m²)
 P : 철두율 (p=1.3)
 γ : 분리지수 (γ=1.2)
 d_m : 평균체재일수 (d_m= ∫₀^d x · f(x)dx)

2.4 항외 보관구역으로의 이송시스템 (ODCY)

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

$$C_i = T_{i1} + T_{i2} + d_i \cdot (1/U_i + 1/V_i) \quad \dots\dots\dots (9)$$

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

$$Z_i = \frac{W_i}{C_i} \times m_i \quad \dots\dots\dots (10)$$

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(11)과 같다.

$$\bar{m}_i = \left[\frac{C_i}{\max(T_{i1}, T_{i2})} \right] \quad \dots\dots\dots (11)$$

따라서, 터미널에서 ODCY까지의 이송능력(Z_{to})은 식(12)로 표시할 수 있다.

$$Z_{to} = \sum Z_i \quad \dots\dots\dots (12)$$

2.5 내륙연계수송 시스템

在來埠頭와 BCTOC를 합하여 Terminal로 두고 多重多段接續 Model로 구성한다.

i번째 Route를 택하여 화물을 수송하는 경우 j번째 step의 Cycle Time (C_{ij})은 식(13)에 의하여 계산된다.

$$C_{ij} = T_{i(j-1)1} + T_{ij2} + d_{ij} \cdot (1/U_{ij} + 1/V_{ij}) \quad \dots\dots\dots (13)$$

여기서, T_{ij1} : i route의 node j에서 화물을 上車하는데 걸리는 접속시간
 T_{ij2} : i route의 node j에서 화물을 下車하는데 걸리는 접속시간
 d_{ij} : 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

$$Z_{ij} = \frac{W_{ij}}{C_{ij}} \times m_{ij} \quad \dots\dots\dots (14)$$

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}_{ij})는

$$\bar{m}_{ij} = \left\lceil \frac{C_{ij}}{\max(T_{i(j-1)1}, T_{ij2})} \right\rceil \dots\dots\dots (15)$$

로 표현된다.

2.6 물류비용 모델

부산항을 경유하는 컨테이너 화물의 物流費는 복합적인 요소에 의하여 발생되므로 명확한 항목별 구분은 어려우나 컨테이너 화물의 物流過程을 시스템적으로 分析하기 위한 시스템 요소를 선박 입출항 비용과 부두에서의 하역·이송·보관 비용 그리고 항외 이송·보관 및 내륙수송비용 등으로 나누어 시스템 모델을 설계하기로 한다. 모델 설계는 기본 모델을 설계한 후, 선박의 폭주 및 都市交通滯症을 고려한 부산항 컨테이너 부두의 처리수준을 산정하는 모델을 설계한다. 기본 모델 설계에서 선박 입출항비, 선박 하역비, 항내 이송·보관비, 항외 이송·보관비, 내륙수송비를 고려하여 연간 총 물류비를 구하는 식은 다음과 같다.

$$F = E + H + P + O + T$$

$$= A \cdot u / (\alpha \cdot W) + (A/W) \cdot c + n \cdot W \cdot v + n \cdot (W/b) \cdot p + n \cdot (W/b) \cdot t \dots\dots\dots (16)$$

여기서,

- F : 연간 총 물류비
- E : 입출항비 ($E = A \cdot u / (\alpha \cdot W)$)
- H : 선박하역비 ($H = (A/W) \cdot c$)
- P : 항내 이송 및 보관비 ($P = n \cdot W \cdot v$)
- O : 항외 이송·보관비 ($O = n \cdot (W/b) \cdot p$)
- T : 내륙수송비 ($T = n \cdot (W/b) \cdot t$)
- α : 선박의 수송화물 개수
- W : 1회 화물 하역량(VAN)
- $\alpha \cdot W$: 선박의 1회 수송 화물량(VAN/ship)
- n : 연간 총 하역회수
- A : 연간 총 컨테이너 물동량(VAN/yr)
- b : 차량의 1회 컨테이너 이송 및 수송량(VAN/vehicle)
- u : 선박의 1회 입출항비(원/ship)
- c : 선박의 1회 하역비(원/ship)
- v : 컨테이너 1VAN의 항내 이송비(원/VAN)
- p : 차량의 1회 컨테이너 이송·보관비(원/vehicle)
- t : 차량의 1회 컨테이너 수송비(원/vehicle)

식(16)을 1회 하역량인 W로 편미분하여 최적 1회 하역량 W^* 를 구하면,

$$\frac{\partial F}{\partial W} = - \frac{A \cdot u}{\alpha \cdot W^2} - \frac{A \cdot c}{W^2} + n \cdot v + \frac{n \cdot p}{b} + \frac{n \cdot t}{b}$$

$$\therefore W^* = \left(\frac{A \cdot b \cdot (u/\alpha + c)}{n \cdot (b \cdot v + p + t)} \right)^{1/2} \dots\dots\dots (17)$$

가 되어 최적 1회 하역량이 결정된다. 따라서, 최적 연간 하역량은

$$Q^* = W^* \cdot N \dots\dots\dots (18)$$

여기서,

- Q* : 최적 연간 하역량
- W* : 최적 1회 하역량
- N : 연간 선석접안가능회수

가 된다. 여기에 선박의 폭주로 인한 대기비용과 항외이송 및 내륙수송시 도시교통

제증에 의한 車輛遲延費用을 고려한 年間總物流費 G를 구하는 식은 아래와 같다.

$$G = \frac{A((u+q_1)/\alpha + c)}{W} + nW(v + \frac{p+t+q_2}{b}) \dots\dots\dots(19)$$

여기서,

- W : 1회 화물 하역량(VAN/ship)
- α : 선박의 수송화물 계수
- α·W: 선박의 1회 수송 화물량
- n : 年間總荷役回數
- A : 연간 총 컨테이너 물동량(VAN)
- b : 차량의 1회 컨테이너 이송 및 수송량(VAN/vehicle)
- u : 선박의 1회 입출항비(원/ship)
- c : 화물의 1회 하역비(원/ship)
- v : 컨테이너 1 VAN의 항내 이송비(원/VAN)
- p : 차량의 1회 컨테이너 이송·보관비(원/vehicle)
- t : 차량의 1회 컨테이너 수송비(원/vehicle)
- q₁: 선박 1척의 폭주비용
- q₂: 차량 1대의 폭주비용

식(19)를 편미분하여 폭주비용을 고려한 1회 최적하역량 W**를 구하면,

$$\frac{\partial G}{\partial W} = - \frac{A \cdot ((u+q_1)/\alpha + c)}{W^2} + n(v + \frac{p+t+q_2}{b})$$

$$\therefore W^{**} = \left(\frac{A \cdot b \cdot ((u+q_1)/\alpha + c)}{n(b \cdot v + p + t + q_2)} \right)^{1/2} \dots\dots\dots(20)$$

따라서, 폭주비용을 고려한 최적 연간 하역량은 아래와 같다.

$$Q^{**} = W^{**} \cdot N \dots\dots\dots(21)$$

여기서,

- Q**: 폭주를 고려한 최적 연간 하역량
- W**: 폭주를 고려한 최적 1회 하역량
- N : 연간 선석접안가능회수

3. 시스템의 분석

3.1 선박 입출항 시스템의 분석

(1) 컨테이너 전용부두 (BCTOC)

선박 입출항시 입출항지원시스템 능력의 부족으로 불합리한 대기시간이 발생하는지 여부를 알아보기 위하여 입출항지원시스템의 가장 중요한 요소인 예선시스템을 시뮬레이션에 의하여 분석한 결과, 저마력급 예선의 일별 평균 사용회수는 9회, 대기시간은 23분이고, 중마력급 예선의 사용회수는 17회, 대기시간은 8분, 고마력급 예선의 사용회수는 15회 대기는 없음을 알 수 있었다. 그런데, 1990년 BCTOC에 기항한 컨테이너선 1,588 척의 99.3 % 가 총톤수 10,000톤 이상의 선박이고 평균선박톤수가 33,000 GRT 이어서 저마력 예선의 영향을 받지 않으며, 고마력 예선수가 충분하므로 예선의 부족으로 인한 선박의 대기시간 발생 가능성은 무시할 정도이다. 따라서, 부산항 입출항 컨테이너선의 대기시간은 접안을 위한 선석의 부족에 전적으로 기인한다고 볼 수 있다. 1990년 한해동안 부산항 컨테이너 전용부두로 입출항한 총 1,588척의 선박에 대한 자료에서, 입출항 선박의 평균톤수는 33,055 GRT 이며, 30,000 GRT 에서 40,000 GRT 사이의 선박이 761척으로 전체 선박의 약 50%를 차지하고 있어서 부산항 입출항 컨테이너 선박은 30,000 GRT급 선박이 주류를 이룬다고 할 수 있다. BCTOC로 기항한 컨테이너 선박의 평균 1회 수송 컨테이너 화물량은 566 VAN/Ship 으

로 그중 T/S 화물이 선박당 평균 48.5 VAN/Ship 이었다. 또한, 컨테이너 선박의 평균 하역작업시간은 17.3시간이고, 하역작업중 시간당 한 선박의 평균 하역량은 34 VAN/hr 이며 T/S 화물을 제외한 경우 하역작업중 한 선박의 시간당 평균하역량은 31.5 VAN/hr 이었다. 선박의 평균 접안시간이 19.323시간이고 평균하역작업시간이 17.315시간이므로 접안후 하역작업전까지와 하역후 출항전까지는 평균 2시간이 소요됨을 알 수 있었다. 그리고, 선박의 접안시간당 평균 하역량은 29.8 VAN/hr 이며, T/S 화물을 제외하면 접안시간당 선박의 평균하역량은 27.6 VAN/hr 였다. BCTOC로 입항한 선박의 도착시간간격 분포는 평균이 5.52 시간이며, 카이스퀘어 검정 결과 자유도 20 에서 $X^2 = 17.39 < X^2_{a=0.05} = 31.41$ 로 95 % 의 신뢰도를 갖고 $Y = e^{-x/5.52}$ 인 부지수 분포를 따르고 있음이 확인되었다. 또한, 선박의 접안 서비스 시간 분포는 평균이 19.323 시간이며, 카이스퀘어 검정 결과 자유도 25 에서 $X^2 = 7.41 < X^2_{a=0.05} = 37.65$ 로 95 % 의 신뢰도를 갖고 $K = 4$ 인 Erlang 분포를 따르고 있었다. 그러므로, BCTOC의 컨테이너 선박 입항 및 서비스 패턴은 Poisson Input Erlang Service 임을 알 수 있었다. 따라서 Poisson Input Erlang Service 인 경우 선박의 대기시간은 식(2.6)에 의하여 구할 수 있다. 선박 평균 도착율 λ 는 1/5.52(척/시간)이고, 선박 평균 서비스율 μ 는 1/19.323 (척/시간)이며, 선석점유율 $\rho = \lambda / N\mu$, $a = \lambda / \mu$, 서비스 창구의 수 $N = 4$ 이므로 BCTOC로 입항하는 선박의 대기시간 T_{q2} 는 28.557 시간이 된다. 따라서, 현행 BCTOC의 4개 선석이 갖는 선박의 도착 패턴과 선석의 서비스 패턴 (POISSON INPUT ERLANG SERVICE) 하에서는 선박당 대기시간이 28시간 33분 임을 알 수 있다. 같은 조건하에서 선석수를 증가시켰을 경우 선박의 대기시간이 1시간 이내로 줄어들어 대기현상이 없어지려면 현행 입출항 및 서비스 패턴하에서는 BCTOC의 선석이 8개가 있어야 함을 알 수 있다.

(2) 재래부두 (CONVENTIONAL PIER)

재래부두로 입항하는 컨테이너선박은 재래부두의 특성상 他種의 화물을 수송하는 선박과 함께 분석하여야 한다. 1990년 부산항을 통하여 수출입한 컨테이너 량은 227만 3천 TEU 인데, 그중 130만 TEU 는 BCTOC 에서 처리하였으며 나머지 97만 3천 TEU 는 재래부두에서 처리하여 재래부두에서의 컨테이너 처리량은 부산항 전체 컨테이너 처리량의 42.8 % 를 차지하고 있는 실정이다.

3.3 항내 하역·이송·보관 시스템 분석

(1) BCTOC의 컨테이너 처리능력 분석

BCTOC에서의 작업형태는 수입의 경우 갠트릭레인(G/C)에 의한 양하작업과 야드트랙터(Y/T)에 의한 저장구역으로의 이송작업 그리고 저장구역에서의 저장을 거쳐 내륙으로 연계수송하는 4단계의 작업과정을 거치게 되며, 수출의 경우는 이와는 역순의 과정을 거친다.

먼저, 제 1단계인 G/C에 의한 하루당 하역능력은 식(4)로 계산할 수 있는데, 선석당 작업 G/C의 수를 $n=2$, G/C數 증가에 따른 작업효율 $k=0.9$, G/C의 1회 작업화물량 $W_c = 1.58$ TEU (1 VAN = 1.581 TEU), G/C의 작업효율 $e = 0.75$, 船席數 $N=4$, 1일 작업 가능시간 $h=20$, G/C의 cycle time $c=2.5$ 분으로 代入하면, 하루당 서비스율(μ_s)은 4095.40 TEU/day가 된다.

1990년 BCTOC의 연간 컨테이너 처리실적이 130만 TEU인 것을 보면 이는 BCTOC의 일반적인 연간 고유 하역능력을 상당히 초과하여 처리함으로써 船席의 무리한 접안과 장비의 무리한 사용이 있었을 것으로 추정되므로 ρ 의 증가에 따른 대기시간이 증가하였을 것이고, 따라서 대기시간에 따른 기회비용이 증가하여 港灣 이용자에게 추가경비를 발생시키는 結果를 낳았을 것이다. BCTOC의 적정 하역능력 기준을 컨테이너선에 적합한 1시간의 대기시간을 갖는 정도로 船席占有率을 조정하면 船席占有率 $\rho=0.44$ (단, $1/\lambda=5.52$ 시간)이므로 연간 68만3천 TEU/yr가 POISSON INPUT ERLANG SERVICE 일

경우 BCTOC의 적정하역능력이라 할 수 있다. 그리고, BCTOC의 적정 하역능력 기준을 BCTOC 로 입항하는 선박의 대기시간을 2시간 정도로 하는 것이라면, POISSON INPUT ERLANG SERVICE 일 때의 船席占有率은 식(2)에 의하여 $\rho=0.52$ (단, $\lambda=0.108$)이 된다. 따라서 BCTOC 4개 船席의 8개 G/C에서 처리할 수 있는 하루당 하역능력은 식(4)에 의하여 2129.6 TEU/day로 산출되고, 연중무휴로 작업할 경우 年間荷役能力은 77만7천 TEU/yr가 됨을 알 수 있다. 여기에 BCTOC의 G/C 1대분 2만9천 TEU를 추가하면 80만6천 TEU가 된다.

다음으로, 船席에서 양하한 컨테이너를 저장구역까지 야드 트랙터(Y/T)로 이송하는 항내이송능력은 식(5)에 의하여 계산할 수 있는데, 현재 BCTOC에는 46대의 Y/T가 있으므로 1일 작업가능시간을 20시간으로 할 경우 하루당 이송능력은 5000ρ 정도이다.

그리고 Y/T에 의하여 이송된 컨테이너화물을 항외로 이송하기 전까지 보관하는 보관능력은 식(8)에 의하여 계산할 수 있는데, 17,108 TEU의 Full 및 Empty 컨테이너를 BCTOC장치장에 일시 장치할 수 있다. 식(8)에서 1일당 보관용량 P_s 는, $P_s = P_c / (P \cdot \gamma \cdot d_m)$ 이 되므로, 첨두율 P 를 $P=1.3$, 분리지수 γ 를 $\gamma=1.2$ 로 두었을때 P_s 는, $P_s = 10966 / d_m$ TEU/day 가 된다.

1990년 BCTOC의 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 동안도 체재할 수 없을 정도로 보관능력이 부족하여 체재일수를 무리하게 줄여야 했음을 알 수 있다.

(2) 在來埠頭的 컨테이너 처리능력 分析

釜山港 在來埠頭的 컨테이너화물 公稱處理能力은 5船座를 컨테이너埠頭로 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 在來埠頭 운영상태를 기준으로 하면 在來埠頭的 연간 컨테이너貨物處理能力은 在來埠頭 총 21船席의 埠頭시간을 50% 할당할 경우, 제 1埠頭가 124,000TEU, 제 2埠頭가 165,000TEU, 제 3埠頭가 290,000TEU, 제 4埠頭가 290,000TEU 등 총 87만 TEU가 된다. 그런데 在來埠頭的 장치장 면적은 22,802m² 밖에 되지 않아서 在來埠頭的 컨테이너장치장능력이 부족하므로 적양화물은 대부분이 直上車되고 있는 실정이다. 그리고 在來埠頭 CY중 제 1埠頭 CY가 20,463 m²으로 재래 부두의 90%를 차지 하고 있으며, 3埠頭 CY가 989m², 4埠頭CY가 1,350m²이다. 재래 부두 장치장 면적 22,802m²의 70%를 能力面積이라 하면 在來埠頭的 연간보관용량은 156,804 TEU가 된다.

3.4 항외보관구역으로의 이송 및 항외보관 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 도시 교통체증이 갈수록 심해지고 있는 실정이다. 港灣에서 항외보관구역인 ODCY까지의 이송은 港灣배후도시의 교통로를 경유해야 하므로 항내이송의 경우와는 달리 도시교통로에서의 여타차량통행과 연관시켜서 고려하여야 한다. 도시교통의 영향에 의하여 차량속력이 결정되므로 도시교통의 체증 등으로 수송차량의 속력 U_i , V_i 가 감소하면 Cycle Time(C_i)이 증가하고, 식(10)에서 Cycle Time이 증가함으로써 항외이송능력 Z_i 가 감소하게 되며, 항외이송능력을 증가시키기 위해서는 Cycle Time에 비례하여 식(11)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. BCTOC와 ODCY 간의 컨테이너수송에 있어서 10-12시, 15-17시, 20-22시 사이에 Peak time 이 발생하고 있으며, 이때 전체물동량의 약 85%가 수송되고 있다.

3.5 내륙연계수송시스템의 分析

釜山港 컨테이너 화물의 철송은 1988년의 경우 약 78만 TEU의 京仁地域 컨테이너 물동량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, 컨테이너 專用列車의 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 할 것이다.

4. 물류시스템의 비용분석

4.1 선박 입출항 비용

선박이 부산항에 입출항 할 때는 아래와 같은 비용을 항만당국에 지불한다.

(1) 입항료 (Port Due)

선박의 총톤수(GRT)를 G_t 라 두면, 입항료 = 113원 $\times G_t \times 0.9^{*1}$

(2) 정박료 (Anchorage)

입출항 선박이 묘박지(Anchorage)를 사용할 경우 지불하는 비용으로 선석대기 및 항천피항시는 無料이다.

정박료 = 158원 $\times G_t \times 0.1 \times 0.9^{*1} \times \text{term}$

(3) 접안료 (Dockage)

선박의 접안시 지불하는 비용으로 다음과 같이 계산한다.

접안료 = 301원 $\times G_t \times 0.1 \times 0.9^{*1} \times \text{term}$

(4) 예선료 (Towage)

선박이 입출항시 사용하는 예선(Tugboat)의 수와 크기에 따라 달리 지불하는 비용으로 3만 DWT - 5만 DWT의 컨테이너선은 통상 2 - 3척의 예선을 사용하며, 매회 사용 예선 척당 평균 40만원 정도를 지불한다.

(5) 도선료 (Pilotage)

선박입출항시 도선사에 의한 도선시 지불하는 비용으로 30,000 GRT 級의 컨테이너선은 통상 매회 선박당 50만원 정도 지불한다.

1990년 1년간 BCTOC에 기항한 컨테이너선은 총 1,588척이었으며 그중 총톤수 3만3천톤급 선박이 전체의 50%를 차지하고 있었다. 연간 컨테이너 취급 물량은 130만 TEU이었으며 20' 컨테이너와 40' 컨테이너의 비율은 42:58이었다. 선박의 평균접안시간은 선박접이안작업시간을 포함하여 19시간이었으며 선박당 1회 수송 수출입 화물은 819TEU이었다. 부산항에 입출항한 선박의 연간 입출항비 E(W)는 입항료와 접안료 그리고 예선료 및 도선료를 기본비로 한다. 현행 부산항에서는 선석부족으로 인한 접안대기를 목적으로 묘박지에서 정박할 경우 정박료는 면제되므로 비용항목에서 정박료는 제외한다. 따라서, 부산항 입출항 선박의 1990년 1년간 입출항비 E는

$$E = A \cdot u / (\alpha \cdot W) = 23,534,016,000(\text{원})$$

이다. 이때, 연간 총 컨테이너 물동량 A는 1,572,706VAN 이고, 선박의 평균 1회 수출입 화물 수송량 W는 517.5VAN(819TEU)이며, 선박의 평균 1회 입출항비 u는 입항료가 3,356,100원, 접안료가 1,787,940원, 예선료가 1,600,000원, 도선료가 1,000,000원이므로, $u = \text{입항료} + \text{접안료} + \text{예선료} + \text{도선료} = 7,744,040\text{원}$ 이다.

4.2 하역·이송·보관 비용

(1) 항내 하역비

가) BCTOC

BCTOC는 컨테이너 전용부두로 5,6부두에 4개의 선석을 갖추고 있다. BCTOC의 기본료는 본선하역료와 마살링료를 합한 값이다. 여기에 移船積(T/S), 移積(shifting) 등의 추가작업이 있을 때 마다 비용이 추가되며 항내보관료는 일반 컨테이너일 경우 수입 5일 수출 4일, 보세운송일 경우 수입 7일 수출 5일 동안은 무료이지만 Free Period가 경과한 후 부터는 누진적으로 요금이 증가한다. BCTOC에서의 하역비는 본선 하역료와 마살링료를 계산하면 된다. 따라서, 1990년 BCTOC에서 처리한 수출입 컨테이너 130만 TEU(822,227 VAN)의 항내하역비 H_1 은 積空比가 20' 컨테이너는 85:15 이고 40' 컨테이너는 86:14 이며, 20':40'=42:58 이므로, $H_1 = AH_1 \cdot c_1 / W = 34,827,891,260$ (원)

나) 재래부두

1990년 재래부두에서 처리한 수출입 컨테이너 972,787 TEU (750,479 VAN) 의 항내 하역·이송·보관비 H_2 는 積空比가 20'와 40' 공히 86:14 이며, 20' 컨테이너 대 40' 컨테이너의 비율이 30:70 이므로, $H_2 = AH_2 \cdot c_2 / W = 31,919,673,010$ (원) 이다.

(2) 항내 이송·보관비

재래부두내에서의 이송·보관비는 대부분의 화물이 직상차되어 항외 이송되므로 무시하고, BCTOC에서의 항내 이송·보관비만 고려하면 된다.

BCTOC의 컨테이너 화물은 80% 정도가 ODCY를 경유하여 수송되므로 CFS 또는 BCTOC 철송지역을 경유하여 직반출되거나 보세운송으로 직송되는 20% 정도의 컨테이너 화물만이 항내 이송을 하게 된다. 그리고, 대부분의 수출입 화물이 Free Period 이내에 처리되므로 BCTOC 컨테이너 화물의 20%에 대한 구내 이적비만 계산하면 된다. 따라서, 항내 이송·보관비 P 는 20' 컨테이너 대 40' 컨테이너의 비율이 42:58 이므로

$$P = n' \cdot W \cdot v \cdot 0.2 = 1,765,369,278 \text{ (원) 이다.}$$

(3) 항외 이송·보관비

釜山市 都市交通輻輳에 의한 영향을 제외한 항외 이송·보관 비용을 분석하기로 한다. ODCY에서의 보관비는 無料이나 10일간 보관을 원칙으로 하며 보관연장 신청을 통하여 10일간 연장할 수 있지만 그 이상은 원칙적으로 不可하다. ODCY로의 이송 및 보관비 O 는 이송비만 고려하면 되므로, $O = n \cdot (W/b) \cdot p \cdot 0.885 = 37,402,486,670$ (원)

4.3 內陸輸送費

全國의 컨테이너 화물 비율에 의한 컨테이너 1 VAN 당 수송비 t 는 265,448원 이므로 내륙 수송비 T 는, $T = n \cdot (W / b) \cdot t = 397,574,136,000$ (원) 이다.

以上에서 살펴 본 각 부차 시스템의 物流費 총액은 527,023,572,218원이 된다.

4.4 폭주비용

(1) 입출항 선박의 待期費用

BCTOC로 입항하는 선박의 대기시간(T_q)은 POISSON INPUT ERLANG SERVICE 패턴에 따르면 式(2)에 의하여 계산된다. 즉, T_q 는 28시간 33분이 된다. 따라서, BCTOC로 입항하는 선박의 接岸待機時間費用을 계산하기 위한 式은 다음과 같다.

$$C_{q1} = (A / (\alpha \cdot W)) \cdot q_1 = (A / (\alpha \cdot W)) \cdot H_B \cdot T_q \dots \dots \dots (22)$$

$$= 42,871,045.44 \text{ (\$/year)} = 30,009,731,810 \text{ (원/yr)}$$

여기서, C_{q1} : 연간 BCTOC 총 선박 대기시간 비용

A : 연간 BCTOC 총 컨테이너 물동량 (130만 TEU/yr)

$\alpha \cdot W$: 선박 1회 컨테이너 수송량 (819 TEU/Ship)

q_1 : 선박 1척의 대기시간 비용 (26,996.88 \$/Ship)

H_B : 선박 1척의 Hire Base(H/B)의 시간당 환산치 (945.6 \$/hr/Ship)

(2) 陸送 車輛의 都市交通에 의한 幅奏費用

교통 체증으로 인한 차량속도 감소는 연료 소모를 증가시킨다. 보통 市에서 도로는 車輛密度가 車線當 300臺(pcu)미만일 경우 시속 48km 以上으로 주행할 수 있으나, 750臺 以上 늘어나면 시속 17km 以下로 떨어진다. 1990년 초 부산시내의 peak 時 평균차속은 16km/hr 이므로 컨테이너 수송차량이 48km/hr 로 주행할 때 보다 km당 146.5 원이 peak 時 폭주로 인한 지연비용으로 소비된다. 폭주로 인한 평균시간 비용은 peak 値의 3분의 2 정도로 잡으면 되므로 컨테이너 수송거리를 평균 16km로 하고 공차율을 37.5% 로 하였을 경우 폭주로 인한 컨테이너 1 VAN의 수송시 폭주비용은 다음과 같다.

$$q_2 = 146.5 \times 16 \times (2/3) / 0.625 = 2500 \text{ (원)}$$

5. 費用分析에 의한 시스템의 最適處理水準

5.1 BCTOC의 컨테이너 最適處理水準

폭주비용을 고려하지 않은 상태에서 BCTOC의 물류비용을 최소화하기 위한 最適一回 荷役量 W^* 를 式(17)로 부터 구하면, $W^* = 9393 / \sqrt{n}$ VAN 이 된다. 이 때 船舶當 時間當 荷役能力 r 은 32.4 (VAN/berth/hr) 이므로, 연간 총 하역회수를 $n = 1588$ 로 하였을 경우 최적 1회 하역량에 대한 선박하역 시간은 式(17)에 의한 값 $9393 / \sqrt{n} = 235.7$ 을 32.4 VAN 으로 나눈 7.27시간에 접이안 작업 준비시간인 2시간을 더한 9.27시간이 된다. 따라서, BCTOC의 연간 접안 가능회수는 선석 점유율(ρ)을 0.875, 선석수를 4선좌, 작업시간을 20시간, 연간 작업일수를 365일로 하였을 경우 $25550 / 9.27 = 2756$ 회가 되므로 연간 최적하역량 Q^* 는 式(18)으로 부터 $Q^* = 649,637$ VAN/yr (1,026,426 TEU) 가 된다. 하지만 이 값은 선석점유율이 0.875일때 이어서 式(2)에 의하여 선박의 입항 대기시간이 28 시간 정도 발생하므로 컨테이너선의 합리적인 대기시간인 1시간 에서 2시간 以內로 대기시간을 줄이기 위해서는 선석점유율을 0.44 에서 0.52 정도로 낮추어야 한다. 그러므로, 선석점유율이 0.44 일 때 연간 하역능력 $Q^*(\rho = 0.44)$ 는 $235.7 \times (12848/9.27) = 326,675$ VAN (= 516,146 TEU) 이 된다.

5.2 폭주비용을 고려한 BCTOC의 컨테이너 최적 처리수준

폭주비용을 고려한 BCTOC의 최적 1회 荷役量 W^{**} 를 式(20)으로 부터 $b \cdot v + p = V_p$ 로 하여 구하면, $W^{**} = 11964.2/\sqrt{n}$ 이다. 이때, 船舶當 時間當 荷役能力 r 은 32.4 VAN/berth 이므로 폭주비용을 고려한 최적 1회 하역량에 대한 선박하역 시간은 式(20) 과 式(4)에 의하여 산출된 9.265시간에 접이안 작업 준비시간인 2시간을 더한 11.265 시간이 된다. 따라서, BCTOC의 연간접안 가능회수는 선석점유율(ρ)을 0.875, 선석수를 4선좌, 1일 작업시간을 20시간, 연간작업일수를 365일로 하였을 경우 2268 회가 되므로 연간 최적 하역량 Q^{**} 는 式(21)로 부터, $Q^{**} = 680,854$ (VAN) = 1,075,749 (TEU) 가 된다.

6. 결 론