

■ 論 文 ■

# 최적교통강도를 이용한 컨테이너 터미널의 최적 운영체계 구축에 관한 기초적 연구

A Base Study on the Construction of Optimal Operating Systems using the Optimal Traffic Intensity in the Container Terminal

이 상 용

(부산대학교 도시공학과 박사과정)

정 현 영

(부산대학교 도시공학과 교수)

## 목 차

- I. 서론
    - 1. 연구의 배경 및 목적
    - 2. 연구의 범위 및 방법
    - 3. 기존연구에 대한 고찰
  - II. 최적운영체계를 위한 교통강도 결정모델
    - 1. 최적 운영체계에 대한 개요
    - 2. 최적 교통강도 결정 모델
  - III. 실제 물류시스템에의 적용
    - 1. 데이터 수집
    - 2. 모델의 적용
  - IV. 도착시각제어에 따른 영향
    - 1. 최적교통강도에 따른 시설규모
    - 2. 도착시각제어에 따른 운영효과 개선
  - V. 결론
- 참고문헌

Key Words : 서비스율, 도착율, 최적운영시스템, 대기비용, 운영비용, 도착시각제어

## 요 약

물류시스템의 규모 및 운영상태는 물류시설에서의 화물차량 도착특성 및 하역서비스 능력에 의해 결정되는 교통강도(TI : Traffic Intensity)의 변화에 따라서 민감하게 변화된다. 구체적으로, 물류시스템 운영에 있어서 주요결정요인이 되는 교통강도는 연구 대상기간에 따라 변동되고 교통강도의 작은 변동에 의해서도 물류비용의 변화폭이 상당히 크다고 밝혀져 있다. 그러나, 현재의 물류시스템을 운영함에 이러한 사항들이 고려되지 못하고 있다.

따라서, 본 연구에서는 물류시설을 운영함에 따라 불필요하게 발생할 수 있는 초과물류비용이 최소가 되도록 하는 최적의 교통강도를 대기행렬모델을 이용하여 찾아내고자 하였다. 이를 위해서 최적 교통강도 결정모델을 구축하고, 이를 검증하기 위하여 부산에 입지하고 있는 Off-Dock 컨테이너 터미널을 대상으로 컨테이너 차량 유출입 현황자료와 터미널 운영실태 자료를 수집하였다. 이를 기초로 대기비용과 운영비용이 서로 상쇄될 수 있는 최적의 교통강도를 정량적으로 찾아 낼 수 있었다. 또한, 구해진 교통강도를 통하여 현재 물류시설의 운영을 개선할 수 있는 방안을 도착시각 제어와 관련하여 그 효과에 대해 고찰하였다.

The scale and operating conditions of logistical systems very sensitively varies according to the variation of traffic intensity that is affected by the arrival characteristics of trucks and the attributes of loading/unloading services in logistics facilities. More exactly, logistics costs are incurred according to variations of traffic intensity, which are intimately linked with in a given time period. Also, although traffic intensity changes minutely, the range of cost variation is wide. Nevertheless, with regard to operating logistics systems, the existing studies make no attempt to analyze these factors

Therefore, it was the purpose of this study to determine the optimal traffic intensity to minimize excessive logistics costs resulting from the generation of unnecessary costs such as waiting costs and overcosts in operating a facility. For the purposes of this analysis, a determination model of optimal traffic intensity was constructed according to queuing theory. The inflow/outflow conditions of trucks and the terminal operational conditions were collected from an off-dock container terminal in Busan. On the basis of this data, the optimal traffic intensity that could off-set excessive waiting and operating costs was determined quantitatively. Also, using the optimal traffic intensity to be determined, we consider the improvements of operating system in the logistics facilities.

## 1. 서론

### 1. 연구의 배경 및 목적

물류시설의 최적규모산정과 관련된 연구 및 물류시설의 시스템 효율화를 꾀하기 위한 연구들에 의하면, 물류시설을 이용하는 교통수단들의 교통강도(TI : traffic intensity)가 그 시스템의 규모 및 운영상태를 결정하는 매우 중요한 요소이며, 교통강도의 조그만 변동에도 매우 민감하게 변화된다고 악히 알려져 왔다.(Jan Owen jansson, 1984; E.T. Laing and G. hecker, 1989; Taniguchi, 1999, etc.)

이러한 TI는 연구 대상기간에 따라 변동이 매우 심하고, 미묘한 값의 변동에 의해서도 물류비용의 변화폭이 상당히 크기 때문에 물류시스템을 효율적으로 운영하기 위해서는 해당시설의 TI의 결정이 매우 신중하게 이루어 져야 한다. 그러나, 기존의 연구들에서는 물류시설 내에서 운송수단의 TI 변화가 물류시스템의 운영비용 및 규모의 변화에 미치는 영향만을 살펴보았으며, 또한 현재의 시스템 내에서 단기간만의 TI를 통하여 시스템운영상 최소의 비용이 되는 운영상황을 이끌어 내었을 뿐 현재 존재하고 있는 물류시스템에서의 운영상태를 고려하여 장기적으로 운영효과가 최대가 되도록 하는 TI 그 자체는 규명하지는 못 하고 있다.

따라서, 본 연구에서는 장기간에 걸쳐 특정 물류시스템 내에서의 총 물류비용이 최소가 되도록 하는 TI를 결정하는 모델을 구축하여, 이 모델을 실제 부산시에 존재하고 있는 물류시설에 적용하고자 한다. 이렇게 도출된 TI를 이용해서 현재 물류시설의 최적 운영방안에 대해서 고찰함과 동시에 그 효과를 검토하고자 한다.

### 2. 연구의 범위 및 방법

물류시설의 최적운영체계 유지방안을 교통적 측면에서 접근하기 위해서는 화물차량의 하역 특성 및 도착특성 등을 장기적인 시점에서 파악하여야 하며, 또한, 현재의 물류시설 운영상황과 비교할 만한 최적운영체계를 유지할 수 있는 시설운영체계를 세워야 한다. 따라서, 본 연구에서는 장기적인 시점에서의 화물차량 이동특성 및 하역 특성 등을 파악하기가 용이한 부산광역시에서 영업하고 있는 Off-Dock 컨테이너 터미널을 대상으로 그 실태를 파악하고 도출된 자료를 바탕으로 분석을 행하였다.

분석을 행함에 있어서, 터미널에서의 1년 동안의 데이터를 통하여 화물차량이 도착하여 서비스를 행하는 분포형태를 밝히고, 이 자료를 바탕으로 대기행렬이론을 적용한 최적 교통강도 결정모델을 구축한다. 또한, 구해진 최적 교통강도를 통하여 물류시설의 최적상태의 운영을 위해 필요한 하역시설의 규모를 산정하고 물류시설의 첨단화가 그 시설을 운영유지함에 미치는 영향을 분석하였다.

### 3. 기존연구에 대한 고찰

교통의 측면에서 물류시스템의 시설운영 최적화에 관한 종래의 이론은 다음과 같이 기술될 수 있다.

Noritake(1990), Taniguchi(1996), 정현영·이상용(2004)에 의해 제시되었던 물류시설의 최적화는 물류시설에 건설·정비되는 서비스 창구에 관한 비용과 물류시설에서 체류하는 화물자동차에 관한 비용의 합이 최소가 되도록 하는 물류시설의 최적규모를 산출하는 것으로써 설명될 수 있다. 즉, 화물자동차의 물류시설 이용 패턴에 따라 물류시설의 서비스 창구들에서 하루 동안 소비되는 총비용을 최소화 하는 것이다. 종래의 연구에서 물류시설의 최적규모, 즉 서비스 창구 수는 대기행렬이론을 이용하여 시스템 안에서의 차량의 평균 체류대수에 의해서 결정되며, 이때의 평균체류대수를 결정하는 교통강도는 단지 단기간에 의해 측정된 값만을 고려하여 최적규모를 산출하였다. 이 경우 조사시점에 따라 교통강도의 변동폭이 달라질 수 있어 당연히 시스템의 최적규모도 달라질 수밖에 없는 문제점이 제기된다.

따라서, 최적의 물류시스템 구축을 위해서는 장기간의 교통현상을 분석하고 최적의 교통강도를 산출할 필요가 있고, 이를 위한 모델 구축이 필요하다고 판단된다.

## II. 최적운영체계를 위한 교통강도 결정모델

### 1. 최적 운영체계에 대한 개요

물류시스템의 최적화는 유통과 교통측면의 두 가지 측면에서 동시에 최적화를 고려하여야 하지만, 본 연구에서 초점을 맞추는 것은 교통측면에서의 최적화에 국한한다. 이러한 최적화는 수송, 집배송, 하역시스템 등의 최적화를 동시에 고려하여 시설의 운영계획을 수립

하여야 한다. 특히, 물류시설 내에서의 시스템 최적화는 차량이 도착해서 서비스를 받기 위해서 대기하는 시간과 서비스를 받는 시간 등의 효율화가 중요한 사항이 되는데, 이와 같은 일련의 작업들은 대기행렬이론을 통하여 설명이 가능하다.

대기행렬이론은 고객에 대한 서비스를 원활히 제공하기 위해 어느 정도의 서비스시설을 보유할 것인가에 대한 체계적인 의사결정기법으로, 서비스를 받기 위해서 도착하는 패턴의 특성과 서비스를 제공하는 패턴의 특성 그리고 서비스를 받기위해서 대기하는 패턴의 특성이 주어진 상태에서 대기행렬의 상태를 추정하게 된다. 대기행렬 현상은 버스를 기다리는 승객, 이륙허가를 얻을 때까지 taxiway에서 기다리는 비행기들, 비보호 좌회전에서 좌회전할 기회를 기다리는 차량 등의 교통시스템에서 흔히 찾아볼 수 있다.

이러한 대기행렬시스템은 일반적으로 도착 패턴/서비스 패턴/이용되는 server수/모집단의 크기/서비스규칙의 순서로 나타내어지며, 도착간격 및 서비스 시간에 대해서는 일반적으로 확률분포를 사용하여 표현하게 된다.

**2. 최적 교통강도 결정 모델**

**1) 모델의 개념**

물류시설을 운영함에 있어서 물류시설과 화물차량사이에 기본적으로 발생하는 비용은 그 시설을 유지함으로 인하여 발생하는 유지비용과 화물차량을 운행함으로 인하여 발생하는 운행비용이 있지만 그 외에 초과적으로 발생하는 비용이 항상 존재한다. 이는 서비스를 받기 위해 창구에 도착한 차량이 빈 공간이 존재하여 기다리는 시간 없이 서비스를 받게 된다면 문제가 없지

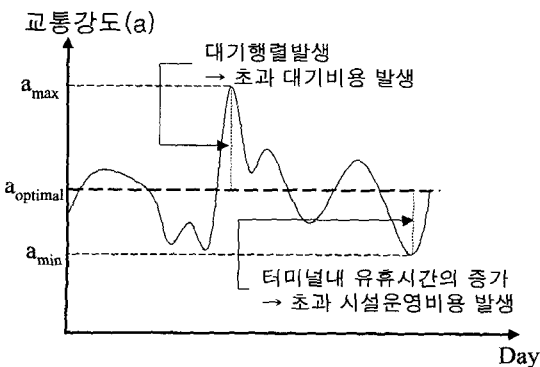
만, 차량의 집중으로 인하여 서비스 창구내에서 대기함으로 인하여 발생하는 대기비용은 계획되어지지 않은 초과비용으로 문제시 될 수 있다. 또한, 물류시설을 건설한 뒤 화물차량이 계획된 수요만큼 시설을 이용하지 않음으로 인하여 화물차량이 기다리는 시간이 존재하지 않고 바로 시설을 이용하더라도 물류시설 내에서는 유휴시간이 발생하게 되어 시설유지비용이 초과하여 발생할 수 있다.

따라서, 화물차량과 물류시설사이에서 초과적으로 발생하는 비용을 최대한 서로 상쇄시킬 수 있는 교통강도(traffic intensity : TI)를 발견해 내고, 구해진 TI를 통하여 그에 합당한 시설 건설 및 운영 계획을 수립하는 것이 필요하다.

물류시설에서 관찰되어 지는 TI는 <그림 1>에서 볼 수 있듯이, 화물차량의 대기비용과 시설의 초과 운영비용을 서로 상쇄할 수 있도록 최적 교통강도 ( $a_{optimal}$ )가 항상 최대값 ( $a_{max}$ )과 최소값 ( $a_{min}$ )사이에 존재한다. 만약 그렇지 않고,  $a_{optimal}$ 이  $a_{max}$ 보다 더 위에 존재하거나,  $a_{min}$ 보다 더 아래에 존재한다면, 그 시스템을 운영함에 있어서 항상 초과비용이 발생하기 때문에 시설운영자는 이러한 시설을 계속적으로 운영하지 못 할 것이다.

**2) 최적교통강도 결정모델의 구축**

<그림 1>에서 나타내어진 시설운영비용의 초과발생량과 화물차량의 초과 대기비용을 서로 상쇄하기 위해서는 식(1)과 같은 개념으로 설명할 수 있다. 이는 평상시 물류시설에서 발생하는 물류비용이 초과적으로 발생할 우려가 존재하기 때문에 이론적으로 최적이 되는 상태에서 발생하는 물류비용과 서로 동일한 값이 되는 것의 교통강도를 찾아내는 것으로 설명할 수 있다. 즉, 일정기간에서 현상황의 물류비용의 합과 이론적 상황에서의 물류비용의 합이 서로 일치하는 것을 의미하며, 이것은 식(2)로 나타내어진다.



<그림 1> 최적 교통강도 결정모델의 개념

$$\sum(\text{초과대기비용}) = \sum(\text{초과운영비용}) \tag{1}$$

$$\sum \text{Cost}_{a_{optimal}} = \sum \text{Cost}_u \tag{2}$$

$\sum \text{Cost}_{a_{optimal}}$  : 대상물류시설의 이론적 최적운영상태에서 발생하는 1일 물류비용

$\sum Cost_{ui}$  : 대상물류시설에서 실제로 발생하는 1일  
물류비용

물류시설에서 소비되는 총 물류비용은 물류시설에  
건설·정비되는 서비스 창구에 관한 비용  $C_{sw}$ 와 물류시  
설에서 체류하는 화물자동차에 관한 비용  $C_t$ 의 합이  
최소가 되도록 하는 식(3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$C_s = C_{sw} + C_t = c_{sw}TS + c_t \overline{n}_s \quad (3)$$

- $c_{sw}$  : 1 서비스 창구의 1시간 당 비용[원/시]
- $c_t$  : 화물자동차 1대의 1시간 당 비용[원/시]
- $\overline{n}_s$  : 서비스 창구수가 S인 경우, 기간 T에 있어  
서 물류시설 내의 화물자동차 평균체류대수

이때, 화물터미널의 최적 규모는 식(3)에서의  $C_s$   
를 최소로 하는 서비스 창구수로 결정된다. 여기서, 서  
비스 창구의 비용은 물류시설의 건설비, 수선비, 관리  
비, 인건비 등이 포함되며, 화물자동차비용은 차량비,  
연료비, 인건비 등이 포함된다. 계산상의 편의를 위해  
서 양변을  $c_t T$ 로 나누어 파라미터의 수를 줄이면 식  
(4)와 같이 된다.

$$r_s = \frac{C_s}{c_t T} = \frac{c_{sw}}{c_t} S + \overline{n}_s = r_{sw} S + \overline{n}_s \quad (4)$$

- $r_s$  : 서비스 창구수가 S의 경우, 기간 T에 있어  
서 화물자동차 1대 당 비용과 화물터미널에  
서 소비되는 총비용과의 비율
- $r_{sw}$  : 서비스 창구·화물자동차 비용비율 (=  $c_{sw}/c_t$ )

식(4)의 수식에서 서비스 창구수 S를 미리 결정하  
게 되면  $r_s$ 는 차량의 평균체류대수  $\overline{n}_s$ 에 의해 결정될  
수 있다. 여기서  $\overline{n}_s$ 는 화물자동차의 물류시설 이용패  
턴과 관련하여 대기행렬이론(queueing theory)으로  
구할 수 있으며, 이는 차량의 도착확률분포가 무작위이  
고 서비스 시간분포가 규칙성을 띄는 k차 Erlang분포  
M/Ek/S( $\infty$ )모델에서의 평균체류대수로 식(5)와 같이  
나타낼 수 있다.

결국, 서비스 창구수가 S의 경우, 기간 T에 있어서

화물자동차1대 당 비용과 물류시설에서 소비되는 총비  
용과의 비율  $r_s$ 는 서비스 창구·트럭비용비율  $r_{sw}$ , 서  
비스 창구 수 S 및 얼랑 차수 k의 값이 정해지면 교통  
강도 a만의 함수로 표현될 수 있다.

$$n_s = \frac{a^{S+1}}{(S-1)!(S-a)^2} \times \left\{ \sum_{n=0}^{S-1} \frac{a^n}{n!} + \frac{a^S}{(S-1)!(S-a)} \right\}^{-1} \times \left\{ \frac{(1+1/k)}{2} + (1-\frac{1}{k})(1-\frac{a}{S})(S-1)\frac{\sqrt{4+5S-2}}{32a} \right\} + a \quad (5)$$

이때 식(2)에 식(3), 식(4), 식(5)를 적용하면, 식  
(6)이 산출됨으로서 운영기간을 고려한 물류시설에서  
의 최적교통강도 결정모델이 구축된다.

$$c_{sw}ST + c_t T \times \left( \frac{a_{optimal}^{S+1}}{(S-1)!(S-a_{optimal})^2} \times \left\{ \sum_{n=0}^{S-1} \frac{a_{optimal}^n}{n!} + \frac{a_{optimal}^S}{(S-1)!(S-a_{optimal})} \right\}^{-1} \times \left\{ \frac{1+(1/k)}{2} + (1-\frac{1}{k})(1-\frac{a_{optimal}}{S})(S-1)\frac{\sqrt{4+5S-2}}{32a_{optimal}} \right\} + a_{optimal} \right) = \frac{\sum_{i=1}^D Cost_{ui}}{D} \quad (6)$$

- i : 조사일자
- $Cost_{ui}$  : i일의 물류시설 물류비용
- D : 조사기간(일)

식(6)에서의 좌변의 변수값은 물류시설의 현황자료  
를 검토함으로써 인하여 다른 변수값들을 알 수 있게 되  
고, 우변의 값은 실제조사값에 의해 결정된다. 결국 식  
(6)은  $a_{optimal}$ 에 의해서만 구성되기 때문에 물류시스  
템의 시설계획 및 운영계획에 필요한 최적 교통강도를  
구해 낼 수 있다.

### III. 실제 물류시스템에의 적용

#### 1. 데이터 수집

##### 1) 조사의 개요

전장의 식(6)에서 구축한 최적 교통강도 결정모델을

〈표 1〉 조사의 기본개념

조사목적	물류시설의 운영상태 조사 및 교통강도 결정
대상시설	부산광역시내에 있는 Off-Dock 컨테이너 터미널
조사기간	2003.1.1 ~ 2003.12.31(365일)
조사내용	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 컨테이너 터미널의 운영상태                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 면적, 상품취급량, 운영비용, 차량비용 등.</li> </ul> </li> <li>· 컨테이너 차량 특성                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 차량종류, 차량번호 등.</li> </ul> </li> <li>· 하역 특성                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 하역되는 컨테이너의 종류, 컨테이너 차량의 도착시간, 하역시간, 출발시간 등.</li> </ul> </li> </ul>

〈표 2〉 1년 동안 총 컨테이너 취급량

	20피트		40피트		45피트	
	Empty	Full	Empty	Full	Empty	Full
개수	126,390	197,907	135,712	257,256	756	591
(%)	(17.59)	(27.54)	(18.89)	(35.80)	(0.11)	(0.08)

현실에 적용하기 위하여, 본 연구에서는 부산에서 물류 시설을 운영하고 있는 한 업체를 대상으로 실태조사를 행하였다. 데이터 수집기간은 2003년 1년(365일) 동안이며, 조사내용은 컨테이너 화물차량의 유출입 현황 및 화물처리 실적, 그리고 회사의 운영형태 등이다. 자세한 내용은 〈표 1〉과 같다.

2) 취급컨테이너 특성

본 연구에서 조사한 대상물류시설은 일반화물을 취

급하는 물류시설이 아니고 Off-Dock 컨테이너 터미널이기 때문에, 품목별로 취급되는 화물량을 조사하기 보다는 취급되는 컨테이너 종류로 구분하여 조사하였다. 2003년 1년 동안 조사대상 터미널에서 취급되는 컨테이너는 40피트의 적재 컨테이너가 가장 많은 전체의 35.8%를 차지하고 있었으며, 다음으로 20피트의 적재 컨테이너가 전체의 27.54%로 두 번째로 많은 빈도를 나타내고 있었다.

월별 컨테이너 취급량은 전체적으로 거의 유사한 분포를 나타내고 있지만, 1월의 컨테이너 취급량은 다른 달에 비해 60~70%정도로 저조하였다. 월별 컨테이너 취급량을 〈표 3〉에 나타내었다.

3) 컨테이너 차량의 도착특성

본 연구에서는 컨테이너 차량이 터미널 내부에 들어와서 하역작업을 하고 다시 시스템에서 빠져나가는 일반적인 형태의 컨테이너 차량을 조사대상으로 하여 분석을 행하였다. 따라서, 장시간 대기하는 차량은 본 연구의 범위에서 제외하고 24시간 이내에 서비스를 모두 받고 나간 차량들만을 대상으로 분석을 하였다.

2003년 1년 동안 컨테이너 터미널에 도착한 컨테이너 차량을 조사한 결과 평균 10분당 0.537대가 컨테이너 터미널에 도착하였고, 그 도착분포는 포아송 분포에 적합한 것으로 판단되었다. 월별 도착대수는 〈표 4〉에 나타내었다.

〈표 3〉 월별 컨테이너 취급량

(단위: 개)

구분	20피트		40피트		45피트	
	Empty(%)	Full(%)	Empty(%)	Full(%)	Empty(%)	Full(%)
1월	5,830(4.6)	8,971(4.5)	8,995(6.6)	16,322(6.3)	42(5.6)	86(14.6)
2월	9,983(7.9)	14,928(7.5)	11,502(8.5)	20,447(7.9)	78(10.3)	91(15.4)
3월	10,819(8.6)	17,615(8.9)	14,068(10.4)	24,028(9.3)	95(12.6)	71(12.0)
4월	11,559(9.1)	16,850(8.5)	12,439(9.2)	22,364(8.7)	29(3.8)	35(5.9)
5월	10,504(8.3)	16,406(8.3)	9,876(7.3)	22,267(8.7)	176(23.3)	33(5.6)
6월	11,876(9.4)	17,576(8.9)	11,869(8.7)	22,006(8.6)	27(3.6)	25(4.2)
7월	11,791(9.3)	17,922(9.1)	11,900(8.8)	21,181(8.2)	92(12.2)	53(9.0)
8월	8,937(7.1)	17,259(8.7)	8,751(6.4)	20,091(7.8)	86(11.4)	38(6.4)
9월	11,941(9.4)	17,232(8.7)	10,862(8.0)	21,540(8.4)	79(10.4)	55(9.3)
10월	11,840(9.4)	18,413(9.3)	12,429(9.2)	23,839(9.3)	21(2.8)	58(9.8)
11월	10,557(8.4)	17,933(9.1)	10,558(7.8)	21,078(8.2)	16(2.1)	22(3.7)
12월	10,753(8.5)	16,802(8.5)	12,463(9.2)	22,093(8.6)	15(2.0)	24(4.1)
합계	126,390(100)	197,907(100)	135,712(100)	257,256(100)	756(100)	591(100)

〈표 4〉 컨테이너 차량의 도착대수

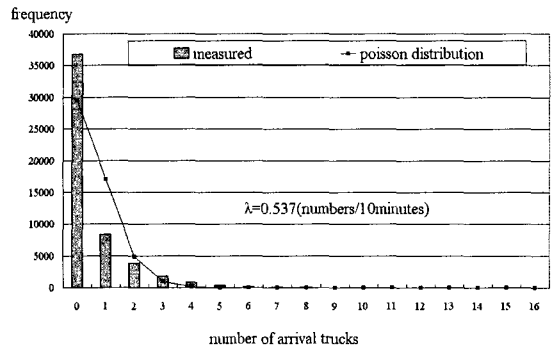
구분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	합계
대수	1,740	2,044	2,330	2,381	2,002	2,227	2,431	2,127	2,353	2,839	2,796	2,931	28,201
%	6.17	7.25	8.26	8.44	7.10	7.90	8.62	7.54	8.34	10.07	9.91	10.39	100.00

〈표 5〉 월별 컨테이너 차량의 평균 서비스 시간

구분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	평균
시간(분)	254.0	218.5	232.2	216.3	223.1	223.1	212.7	180.6	174.6	177.8	198.4	186.2	196.1

4) 물류시스템에서의 서비스 시간속성 분석

2003년 1년 동안 대상 터미널내에서 이루어진 하역 작업을 통하여 컨테이너 차량의 서비스 시간분포를 살펴 본 결과 그 분포는 지수분포에 적합하게 평균 1대당 3시간 16분 동안의 서비스가 행해지고 있었으며, 이에 따른 서비스율은 0.051(대/10분)로 나타났다. 월별 컨테이너 차량의 평균 서비스 시간은 〈표 5〉에 나타내었다.



〈그림 2〉 도착분포

2. 모델의 적용

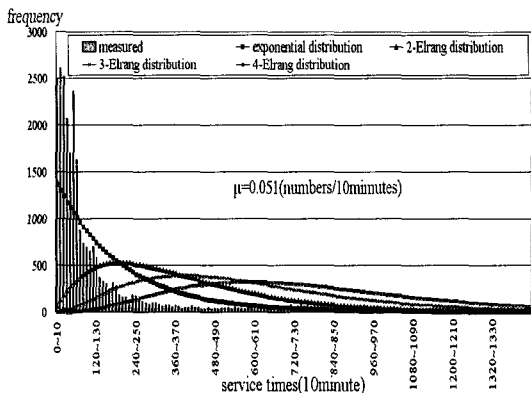
1) 교통강도(Traffic Intensity) 분석

본 연구에서 대상이 되는 컨테이너 터미널에서의 2003년 1년 동안의 자료를 1일 단위로 하여 교통강도를 산출하였다. 식(7)의 관계를 통하여 교통강도를 산출한 결과 1일 평균 교통강도는 10.52로 나타났다. 교통강도에 대한 세부 변동 내용은 〈표 6〉과 같다.

$$a = \frac{\lambda}{\mu} \quad (7)$$

λ : 도착율

μ : 서비스율



〈그림 3〉 서비스 시간분포

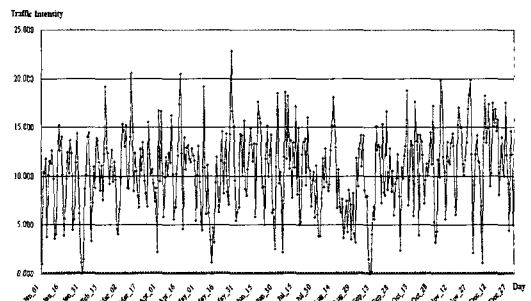
〈표 6〉 교통강도의 변동 범위

구분	평균	최소값	최대값	표준편차(σ)	분산(σ <sup>2</sup> )
값	10.52	0.00	22.78	4.20	17.81

주) 2003년도에 컨테이너 트럭이 유입되지 않은 2일(2월1일, 9월 11일)이 존재하므로 최소값은 0이다.

2) 컨테이너 터미널에서의 총 운영비용

앞서 식(3), (4), (5)를 통하여 2003년도 조사대상



〈그림 4〉 교통강도의 변동

이 되는 Off-Dock 컨테이너 터미널에서 소비되는 총 비용을 산정한 결과 평균은 1,093백만원/일이고, 최소값은 1,090백만원/일이었으며, 최대값은 1,098백만원/일이였다.

각각의 컨테이너 차량에 대한 하역작업을 행할 수 있는 서비스 창구수 S는 터미널에서 가동하고 있는 장비의 개수로 조사대상 터미널에서는 총 24개의 장비 S가 존재하고 있다.

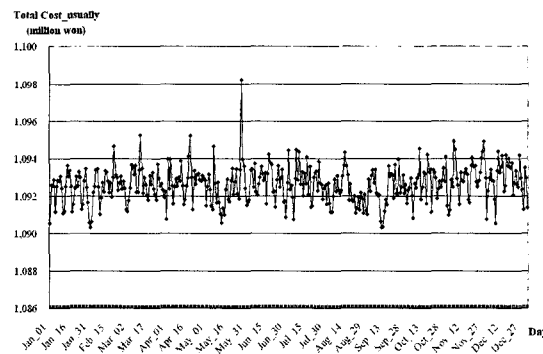
3) 최적 교통강도 산출

교통적인 측면에서 물류시설의 건설 및 운영유지의 최적화를 위해서, 고려되어야 하는 최적 교통강도 ( $a_{optimal}$ )의 값은 전 절에서 언급된 식(1)의 개념을 적용하여 식(6)과 같이 산출되어진다. 적용결과, 최적 교통강도는 10.57로 나타나 대상시설의 일 평균값인 10.52 보다는 약간 높은 것으로 나타났다.

〈표 7〉 Off-Dock 컨테이너 터미널의 일일 총비용 변동 범위

구분	평균 (백만원)	최소값 (백만원)	최대값 (백만원)	표준편차( $\sigma$ )	분산( $\sigma^2$ )
값	1,093	1,090	1,098	0.98	0.95

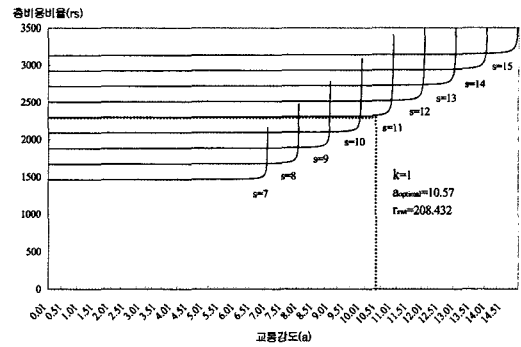
주) 컨테이너 트럭 1대의 1시간 당 소요비용ct는 9,082(원/hour)이고, 1 서비스 창구의 1시간 당 소요비용csw는 1,892,904(원/hour)이다.



〈그림 5〉 터미널에서의 총 물류비용 변동

Ⅳ. 도착시각제어에 따른 영향

1. 최적교통강도에 따른 시설규모



〈그림 6〉 최적 하역시설규모 결정곡선

물류시설을 최적의 상태로 운영하기 위해서는 앞서 살펴본 해당시설의 최적교통강도( $a_{optimal}$ )를 통하여 그에 합당한 시설보유와 함께 그 시설을 운영유지하면서 소요되는 비용의 삭감노력이 필요하다.

우선 본 해당시설을 운영하기 위한 최적의 하역시설 규모를 결정하기 위해서, 앞서 구해진 최적교통강도  $a_{optimal}$ 을 식(5)에 적용하였고, 이를 식(4)에 대입하여 산출한 식(8)을 이용하였다.(Taniguchi, 1996; 정현영, 이상용, 백은상, 2004)

$$r_s = r_{swt}S + \frac{a_{optimal}^{S+1}}{(S-1)!(S-a_{optimal})^2} \times \left\{ \sum_{n=0}^{S-1} \frac{a_{optimal}^n}{n!} + \frac{a_{optimal}^S}{(S-1)!(S-a_{optimal})} \right\}^{-1} \times \left\{ \frac{1+(1/k)}{2} + (1-\frac{1}{k}) \times (1-\frac{a_{optimal}}{S})(S-1) \frac{\sqrt{4+5S-2}}{32a_{optimal}} \right\} + a_{optimal} \quad (8)$$

대상시설의 최적 교통강도로 산출된 10.57을 이용하여 최적 하역시설규모 즉, 서비스를 행할 수 있는 장치수를 산정하였다. 이 때 고려되는 대상시설의 컨테이너 차량1대의 운영비용  $c_t$ 와 하역장치 운영비용  $c_{sw}$ 은 〈표 7〉에서 이미 제시하였으며<sup>1)</sup>, 서비스 창구·화물차동차 비용비율 ( $r_{swt} = c_{sw}/c_t$ ) 208.432를 통하여 최적 하역장치수를 산정하면, 11개의 하역장치가 최적이라고 나타났다.

대상시설의 실제 하역장치는 24개이지만, 이 모든

1)  $c_t$ 자료는 (사)전국화물차주연합회(2004), "운임료 조정 회의안 자료"를 기초로 하여 산출하였고,  $c_{sw}$ 자료는 부산시 각 컨테이너 터미널에서 소요되는 하역요율자료를 기초로 산출하였다.

장치가 하역서비스에 항시 이용되는 것이 아니고, 유휴 시간 및 정비시간 등에 따라 사용하지 않는 경우도 있기 때문에 화물집배송체계 개선 및 물류시설의 첨단화 등에 의하여 물류비용을 감소할 여지를 남겨두고 있다.

2. 도착시각제어에 따른 운영효과 개선

구해진 최적 교통강도(a)의 상태를 유지하면서, 물류시설의 운영유지비용을 절감하고 운영상태를 최적으로 이루기 위해서는 컨테이너 차량의 도착시각을 제어하는 방안을 생각할 수 있다. 이러한 화물차량의 도착시각을 제어할 수 있는 상황은 EDI(Electronic Data Interchange), 도착지도 데이터베이스 등을 이용해서, 화물을 수송하는 화물차량, 화주, 물류업자, 터미널 간을 온라인화(Online)함으로써 가능하다.

가장 효율적인 하역장치의 이용상태는 화물차량이 하역장치를 이용하기 위한 대기상태가 전혀 없고, 또한 하역장치의 유휴시간이 최소로 되는 하역장치 수에 기초해서 실현된다. 하루 동안에 터미널에 도착하는 화물차량의 대수, 각 화물차량의 적재화물량 및 정확한 하역시간을 파악하는 것에 의해서, 지정도착시각을 배송루트 등과 동시에 화물차량에 대해서 출발 전 정보를 제공하고 주행도중 실시간의 경로정보를 알 수 있다면, 이러한 상태가 실현가능하다고 생각된다.

따라서 본 연구에서는 1일 평균 도착대수인 77대와 동일한 도착대수를 가지는 2003년 5월 6일 자료를 기준으로 1일 동안의 도착시각제어 효과를 분석하였다.

도착시각제어 효과를 분석하기 위해서, 터미널에 도착한 컨테이너 트럭이 대기하는 시간과 서비스를 받는 시간을 구분하여 생각하는 것으로 한다. 이를 위해서는 앞서서 설명한 식(3)을 식(9)와 같이 변형하여 나타낼 수 있다.

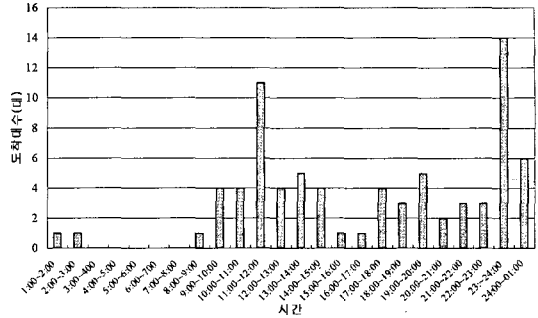
$$C_s = C_{sw} + C_h + C_w = c_{sw} TS + c_t \sum_i (t_{hi} + t_{wi}) \quad (9)$$

$C_h$  : 기간 T에 있어서, 서비스 창구에 하역 중인 트럭의 총비용(원)

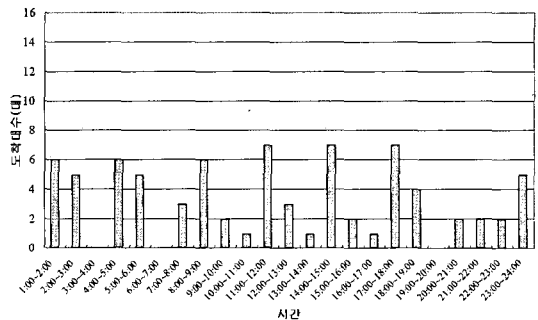
$C_w$  : 기간 T에 있어서, 서비스 창구 이용 대기 중인 트럭의 총비용(원)

〈표 8〉 일평균 컨테이너 차량의 도착대수

구분	평균(대)	최소값(대)	최대값(대)	표준편차(σ)	분산(σ <sup>2</sup> )
값	77.3	0.0	158.0	29.2	851.5



〈그림 7〉 시간대별 컨테이너 트럭 도착대수(2003.5.6)



〈그림 8〉 도착시각제어 이후의 컨테이너 트럭 도착대수

$t_{hi}$  : i번째에 도착한 트럭의 하역시간(시)

$t_{wi}$  : i번째에 도착한 트럭의 대기시간(시)

2003년 5월 6일의 컨테이너 차량 도착시간을 살펴보면 01시 23분을 시작으로 평균 18.5분/대의 간격으로 도착이 이루어졌다. 이 경우에는 평균서비스시간 3시간 16분/대에 의해 평균대기시간이 2시간 51분/대인 것을 알 수 있었다.

식(8)과 〈그림 6〉과 같이 하역장치가 대상물류시설을 최적상태로 운영할 수 있는 11개이면, 일일동안의 터미널 전체의 물류비용은 식(9)를 통하여 736백만원으로 나타났다.2)

다음으로 터미널에서 컨테이너 화물차량이 대기하는 시간을 줄일 수 있도록 차량의 도착시각을 제어하여 터

2) 〈표 7〉에서 총물류비용의 최소값이 1,090백만원이라고 하였으나, 이는 현재의 하역장치가 24개인 상태에서 운영하고 있는 현재의 물류비용이고, 식(9)를 이용하여 산출된 물류비용은 하역장치를 최적상태에서의 11개라고 가정을 하고 산출한 값임.



미널에 유입하는 경우를 가정하였다. 이 경우의 결과는 평균 26분/대의 대기시간이 발생하였고, 그것으로 인하여 일일 터미널 물류비용은 652백만원으로 일일동안 8천 4백만원(11.4%)이라는 금액의 절감효과를 가지고 있는 것으로 나타났다.

**V. 결론**

본 연구에서는 물류시설을 운영함에 있어서 최적의 운영상태를 유지할 수 있는 방안을 교통적 측면에서 고찰해 보았다. 물류시설의 교통적 측면에서의 최적 상태란 하역작업이 이루어질 때 초과로 발생하는 대기비용과 터미널 운영 및 유지비용이 서로 상쇄되는 지점의 교통강도를 찾아내어 그 상태에 적합한 시설의 운영 및 유지가 실시되는 상태를 의미한다.

따라서, 본 연구에서는 이러한 개념의 교통강도를 찾아내는 최적 교통강도 결정 모델을 구축하고, 부산시의 한 물류시설을 대상으로 2003년 1년 동안의 자료를 통하여 적용해 보았다.

그 결과 최적교통강도(a)에 따라 터미널을 운영하게 되면, 현재의 터미널 물동량 처리능력의 향상으로 운영 장치의 수가 감소되는 것을 알 수 있었다. 또한, 운영 비용 절감노력의 일환으로 물류시설의 첨단화를 통한 도착시각제어를 고려하였다. 본 연구에서 가장한 경우의 도착시각제어는 현재의 물류비용에서 11.4%정도의 비용절감효과가 발생한다는 것을 알 수 있었다.

향후의 연구에는 본 연구에서 제시한 최적교통강도를 물류시설에서 운영 유지할 수 있는 방안에 대한 연구가 지속적으로 이루어져야 할 것이며, 물류시설에서 다루는 연간 물동량 변화에 따른 향후 시설의 발전가능성을 고려한 최적교통강도 설정계획에 대한 연구, 또한 배차계획에 물류시설에서의 서비스 행태를 반영하여 최적경로를 탐색하는 연구 등이 필요한 것으로 판단된다.

**참고문헌**

1. 김현정·금지정(1998), "물류비용 최소화를 위한 배송센터수 결정 및 규제에 따른 비용변화 실험모형 개발", 대한교통학회지, 제16권 제1호, 대한교통학회, pp.7~24.
2. 정현영·이상용·백은상(2004), "화물차량의 하역특성을 고려한 복합화물터미널에 있어서 최적 berth

- 수 산정에 관한 연구", 대한교통학회지, 제 22권 제4호, 대한교통학회, pp.19~29.
3. 日本交通政策研究會(1994), "貨物輸送における物流ターミナルのあり方に關する研究".
4. 谷口榮一, 則武通彦, 山田忠史, 泉谷透,(1998) "物流ターミナルの最適規模および配置の決定法に 關する研究", 土木學會論文集, No.583, IV-38, pp.71~81.
5. 山田忠史, 則武通彦, 谷口榮一, 多賀愼(1999), "物流ターミナルの最適配置計畫への多目的計畫法の適用", 土木學會論文集, No.632, IV-45, pp.41~50.
6. 谷口榮一, 根本敏則(2001), "シティロジスティクス-效率的で環境にやさしい都市物流計畫論", 森北出版株式會社.
7. 谷口榮一·則武通彦·山田忠史·泉谷透(1996), "トラックターミナルの最適バース數決定法に關する研究", 土木學會論文集, No.548, pp.23~33.
8. Noritake, M. and S. Kimura(1990), "Optimum allocation and size of seaports", Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering ASCE, 116(2), pp.287~299.
9. Taniguchi, E., M. Noritake., T. Yamada, T. Izumitani(1996), "A study on optimizing the number of berths in truck terminals", J. Infrastructure Planning and Management, JSCE. 548 (IV-33), pp.23~33.
10. Taniguchi, E., M. Noritake, T. Yamada, and T.Izumitani(1999), "Optimal size and location planning of public logistics terminals", Transportation Research, 35E (3), pp.207~222.
11. Taniguchi, E., Thompson, R.G., T. Yamada, Ron van Duin(2001), "City Logistics", 1st ed, Pregamon.
12. Teodor Gabriel Crainic, Nicoletta Ricciardi and Giovanni Storchi(2004), "Advanced freight transportation systems for congested urban areas", Transportation Research Part C: Emerging Technologies, Vol.12, Issue 2, pp.119~137.
13. Yoji T., Tetsuro H. and Hirohito K.(1997), "A study on modeling of truck's behavior

- and policy analysis of transportation system management in C.B.D.", Journal of Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol.2, No.6, Autumn, pp.1791~1802.
14. E.T. Laing and G. hecker(1989), "A Note on Optimal Waiting-to-Service-Time Ration in Large Port", Maritime Policy and Management, Vol.16, No.1, pp.83~86.
15. Jan Owen Jansson(1989), "Transport System Optimization and Pricing", Jon Wiley & Sons.

♣ 주 작 성 자 : 이상용

♣ 논문투고일 : 2005. 2. 25

논문심사일 : 2005. 3. 28 (1차)

2005. 4. 13 (2차)

2005. 4. 28 (3차)

심사판정일 : 2005. 4. 28

♣ 반론접수기한 : 2005. 10. 31