

■ 論 文 ■

화물차량의 하역특성을 고려한 복합화물터미널에 있어서 최적 berth수 산정에 관한 연구

Optimum number of berths for Integrated Freight Terminal considering loading
characteristic of trucks

정 현 영

(부산대학교 도시공학과 교수)

이 상 용

(부산대학교 도시공학과 석사수료)

백 은 상

(부산대학교 도시공학과 박사과정)

목 차

- I. 서론
 - 1. 연구의 배경 및 목적
 - 2. 연구의 범위 및 방법
 - II. 화물터미널의 국내이용현황 및 관련연구
 - 이론검토
 - 1. 화물터미널의 국내이용현황
 - 2. 관련연구의 고찰
 - III. 자료의 수집 및 구성
 - 1. 조사의 개요
 - 2. 조사자료의 구성
 - IV. 화물터미널의 이용실태 및 특성
 - 1. 화물자동차의 터미널 이용특성
 - 2. 화물자동차의 도착분포 및 서비스 시간분포
 - V. 화물터미널의 최적 berth수 산정
 - 1. 최적 berth수 결정모델의 개요
 - 2. 복합화물터미널의 최적berth수 산정
 - 3. 화물취급의 첨단화가 최적규모에 미치는 영향
 - VI. 결론
- 참고문헌

Key Words : 서비스율, 도착율, 대기행렬, berth, 기계화, 자동화, 정보화

요 약

현재 국내에서는 물류시설의 부족, 물류시설의 비효율적 운영, 복잡한 유통구조, 물류산업의 낙후, 폐쇄적 정보 이용 등으로 인하여 필요 이상의 물류비용이 발생하고 있다. 이런 문제들을 해결하기 위해서는 물류구조의 전반적인 개선 및 물류시설의 확충 등이 필요하다. 하지만, 이러한 노력들이 기존의 원단위식 규모예측으로 이루어진다면, 차량의 하역특성을 세밀히 고려하지 못하게 되고, 또한 향후 하역작업의 기계화 및 자동화 등으로 인한 작업능률의 향상을 반영하지 못 할 우려가 있다.

따라서 본 연구는 화물터미널에서의 화물차량의 이용현황을 기초로 대기행렬이론(queueing theory)을 적용함으로써 화물차량의 하역특성이 고려된 화물터미널의 최적규모산정법을 제시하였다. 또한, 현재의 하역시스템에서 이루어지는 작업들이 기계화 및 자동화, 정보화되었을 경우에는 화물터미널의 최적규모에 어떠한 영향을 미치는가에 대해 분석하였다. 분석결과, 하역시간의 규칙성 증가가 화물터미널의 규모변화에 미치는 영향은 크지 않은 것으로 나타났으며, 하역속도 및 서비스율의 향상은 화물터미널의 규모변화에 매우 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다.

1. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

현재 우리나라에서는 정보화 사회가 상당히 진전됨으로 인하여, 소비자들의 요구가 다양화 및 고급화 그리고 개성화되어 가고 있다. 이에 따라 소품종 대량 생산체계에서 다품종 소량 생산체계로 변화하였고, 그 결과 화물수송의 적재효율은 저하하고 수송빈도가 증가하고 있다. 또한, 이러한 수송시스템을 지원할 수 있는 시설의 부족으로 인하여, 다양한 사회적 문제가 발생하고 있다. 도시내에 있어서는 교통지체문제, 주차문제, 민간기업들에 대한 산발적인 물류시설 배치, 환경에너지 문제 등이 그것이다.

이러한 물류시설과 관련된 문제로 인하여 불필요한 물류비용이 과다 발생하고 있는 실정이다. 이를 해결하기 위해서는, 물류거점의 정비를 포함한 종합적인 대책이 필요하다.

물류거점의 중심이 되는 복합화물터미널이라 함은 상품을 조달하고 판매하기까지의 물자의 흐름을 관리하는 대규모적인 광역거점의 물류시설이며, 화물차량의 터미널로서의 역할을 동시에 수행하는 장소를 말한다.

그러나, 물류거점의 중심인 화물터미널은 대부분 영세규모의 주차장형 화물터미널 형태를 지니고 있어서 선진외국의 물류형 화물터미널과 비교할 때 그 기능면에서 매우 취약한 실정이다.

그러므로, 이러한 화물을 처리할 수 있는 물류시설을 정비하여 그 역할을 충실히 수행할 수 있게 하고, 또한 화물터미널에서 행해지는 작업들이 기계화·자동화·정보화·공동화를 통해서 이루어진다면, 현재 우리나라에서 겪고 있는 물류문제들은 원활히 풀어질 수 있으리라 판단된다.

따라서, 본 연구에서는 화물터미널이 가지는 화물차량의 터미널로서의 기능면을 중심으로, 화물차량 및 화물터미널 상호간의 상품이동형태를 기초로하여 대기행렬이론(queueing theory)을 이용한 화물터미널에 있어서 화물취급장의 적정 규모 즉 최적 berth수를 산정하고자 한다. 또한, 화물의 하역작업이 기계화·자동화 및 정보화되었을 경우 화물터미널의 최적규모 산정에 미치는 영향을 분석하고자 한다.

2. 연구의 범위 및 방법

화물차량과 시설사이에서 발생하는 화물의 이동특성을 고려하여 복합화물터미널의 최적 berth수를 산정하기 위해서는 화물차량의 하역특성 및 도착특성을 파악하여야 한다. 따라서, 본 연구에서는 화물차량의 하역특성 및 차량이동 패턴 등의 파악이 용이한 양산복합화물터미널을 대상으로 그 실태를 파악하고 도출된 자료를 바탕으로 분석을 행하였다.

분석을 행함에 있어서는 화물차량의 터미널 도착분포 및 서비스 시간분포의 형태를 밝히고, 이를 이용한 대기행렬이론의 적용을 통하여 화물터미널의 최적 berth수 결정 모델을 구축한다. 또한, 구축된 모델을 이용하여 대상시설의 최적 berth수를 결정하고, 향후, 화물취급의 첨단화가 진행됨에 따른 최적 berth수 결정에 미치는 영향을 파악하고자 한다.

II. 화물터미널의 국내이용현황 및 관련연구 · 이론검토

1. 화물터미널의 국내이용현황

우리나라의 물류비용은 GDP대비 약 12% 수준으로 선진외국과 비교해 볼 때, 1.2~2.0배 정도 높은 수치를 나타내고 있어¹⁾, 우리나라의 상품이 국제시장에서 경쟁력을 갖추기 어렵게 하는 요인으로 작용하고 있으며, 국내에서도 물가상승에 영향을 미치는 요인으로 작용하고 있다. 이와 같은, 필요이상의 물류비용은 물류시설의 부족 및 비효율적 운영, 복잡한 유통구조, 물류사업의 낙후, 폐쇄적 정보이용 등 물류구조 전반적인 부분에서 찾아 볼 수 있으며, 이는 국내의 물류구조개선 이 절실히 요구됨을 알 수 있다.

일반적으로 제품의 수송체계는 크게 생산지와 소비지를 개별차량에 의해 직접 수송하는 직송체계와 중간물류거점과 연계수송하는 거점수송체계로 구분이 가능하다.

직송체계는 생산지와 최종목적지간의 물량이 정기적이고 대량화물일 경우에 유리하지만 제품수요의 변동이 크거나, 소량화물일 경우 적재율이 저하되어 공차운행

1) 건설교통부, "화물터미널 활성화 및 물류공동화촉진 방안연구", 2002

거리가 증가하는 결과를 초래한다.

이에 비해, 거점수송체계는 생산지에서 유통단지, 화물터미널, 공동집배송단지, 컨테이너내륙기지(Inland Container Depot : ICD), 창고 등의 물류거점까지는 대형차량에 의한 수송을 하고, 물류거점에서 소비지까지는 소형차량에 의해 지역내에서 집배송하는 형태로서 일정규모의 제품수요만 있다면 수요의 변화에 신속한 대응이 가능하고 차량운행효율의 증가도 기할 수 있어 선진국에서는 이러한 거점수송체계가 보편화되고 있는 추세이다.

그러나, 국내에서는 국내전체 물동량의 90%이상이 도로운송에 의존하고 있어 수송분담 구조가 화물자동차 운송에 편중되어 있는 실정임에도 불구하고, 화물자동차 운송을 위한 물류거점시설은 선진국에 비해 상당히 부족한 실정이다. 그리고 물류거점시설 중에서도 특히 화물터미널은 집배송센터 기능과 같은 환적 기능보다는 주차기능 내지는 화물주선대기 기능으로 활용되고 있으며 이러한 관계로 인하여 주차대기 시간도 상당히 길어져 차량운행 회전율이 극히 낮게 되고 있는 실정이다. 따라서 물류거점시설에 대한 확충 및 정비가 요구되고 있다.

2. 관련연구의 고찰

물류시설의 규모결정 방법과 관련한 기존연구는 김현정, 금기정(1998)의 물류비용 최소화를 위한 배송센터 수 결정 및 규제에 따른 비용변화 실험모형 개발, 이승재, 정창무, 이현주(2000)의 퍼지이론을 이용한 물류단지 입지 및 규모결정에 관한 연구가 있으며, 민승기, 홍기용(2002)의 화물자동차운송사업의 화물터미널 수요 추정연구 등이 있다. 그러나, 이러한 기존의 연구들은 화물차량과 물류시설 사이에서 일어나는 적재 및 하역 등의 물류시설 이용형태를 고려하지 않은 문제가 있다.

한편, Noritake and Kimura(1990)는 항구의 최적 정박지수를 결정하는 문제에 있어서, 수송비용과 시설비용의 교환(trade-off)관계를 대기행렬을 이용하여 분석을 행하였다. Ruske(1994)는 화물터미널의 개념을 도시화물수송에 있어서의 기능, 규모, 입지, 관리 및 공공부문에서의 역할 등을 고려하여 설명하고있다. 또한, 谷口榮一 외 3인(1996)과 Taniguchi(1999) 등이 제시한 물류시설의 최적규모와 입지 결정방법은

화물차량의 물류시설이용형태를 고려한 연구라 할 수 있다. 그러나, 이러한 연구들은 화물의 이동행태를 분류함에 있어서 화물취급 품목별로는 구분은 행하지 않고 있다.

이상에서 보는 바와 같이 아직 연구단계에 있으나, 국내 화물터미널의 최적규모가 화물차량과 물류시설사이의 관계에 기초해서 결정되는 방법론이 정립된다면 향후 물류산업의 활성화에 상당한 도움이 될 수 있을 것이다.

III. 자료의 수집 및 구성

1. 조사의 개요

본 연구에서는 화물차량의 도착분포 및 서비스시간 분포와 관련된 자료를 수집하기 위해서 양산복합화물터미널의 배송센터와 화물취급장을 대상으로 화물차량의 유·출입 시간조사 및 하역량, 그리고 상품을 적재하고 하역하는데 소요되는 시간 등을 조사하였다.

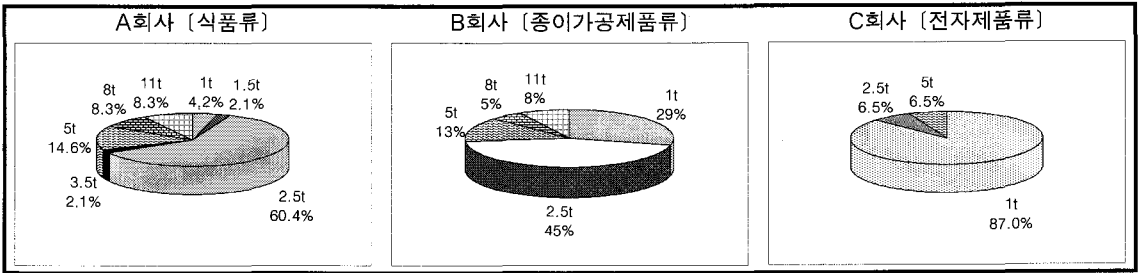
조사는 화물터미널에 입주한 각 기업들의 업무시간에 맞추어 2003년 10월 2일 02:00부터 18:00까지 실시하였으며, 관측조사 및 면접조사를 병행하여 수행하였다. 이에 대한 전반적인 개요는 <표 1>과 같다.

<표 1> 조사의 개요

조사목적	• 복합화물터미널의 Berth를 이용하는 화물자동차의 도착분포 및 서비스시간분포의 분류
조사장소	• 양산복합화물터미널 A,B,C 3개 회사 하역장
조사일시	• 2003년 10월 02일 02:00~18:00(총 16시간)
Berth수	• 경공업품(A 및 B회사) : 20Berth • 금속기계공업품(C회사) : 10Berth
조사형태	• 관측조사 및 면접조사
관측조사 항목	• 화물자동차의 일반적 속성 - 차종, 차량 번호 • 하역 및 적재 형태에 대한 속성 - 작업수단, 하역량 및 적재량 • 화물자동차의 이동특성 - 도착시간, 출발시간, 하역 및 적재 시간, 서비스 대기시간
면접조사 항목	• 출발지 및 목적지

2. 조사자료의 구성

본 연구에서는 화물차량의 하역특성을 고려하여 화



〈그림 2〉 도착화물차량의 차종구성

물터미널의 규모를 산정하기 위해서, 취급상품별로 구분하여 조사를 행하고자 하였다.²⁾ 그러나, 양산복합화물터미널에 입주한 회사들이 취급하는 화물의 종류는 크게 경공업품과 금속기계공업품 그리고, 택배회사와 같은 기타품목이다. 이 중에서 택배와 같은 기타품목은 화물의 내용물을 파악하기가 곤란하므로 어떠한 품목이 시간당 얼마만큼의 하역을 행했는지 알 수 없었다. 따라서, 본 연구에서 다루는 최적berth수 결정방법에서는 택배화물의 berth수를 결정하기에 어려움이 존재하므로 기타품목을 제외한 2가지 품목을 취급하는 업체를 조사의 대상으로 설정하였다. 또한, 실제로는 양산복합화물터미널에 속해 있는 각 업체별 배송센터 및 화물취급장의 모든 berth를 조사하여야 하지만 전수조사의 어려움으로 인하여, 터미널을 대표할 수 있는 3곳의 업체를 선별하여 30개의 berth를 조사하였다.

IV. 화물터미널의 이용실태 및 특성

1. 화물자동차의 터미널 이용특성

식품류를 다루는 A회사는 2시의 도착을 시작으로 총 도착대수는 48대이고, 도착 피크(peak)시는 5시 경이다. 2시부터 6시까지는 화물터미널을 기점으로 다른 지역으로 화물의 유출작업이 주류를 이루고, 6시부터 9시까지는 차량의 이동보다는 화물을 분류하고 재포장하는 시간대이며, 9시부터 17시까지는 다른 지역에서 화물터미널로 화물의 유입작업이 주류를 이룬다. 17시 이후는 화물차량의 유입이 없었다. 이는 식품의 화물수요 시간 특성을 그대로 반영하고 있다고 볼 수 있다.

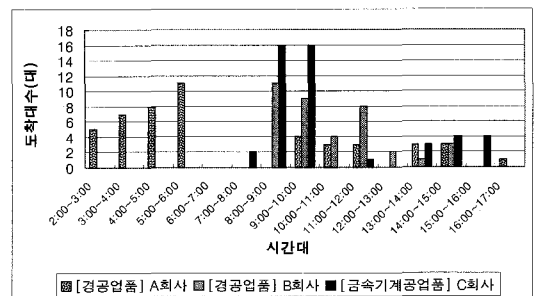
종이가공제품과 전자제품을 다루는 B와 C회사는 각각 8시 1분과 7시 18분의 도착을 시작으로 38대와

46대의 총 도착대수를 가지며, 도착 피크시는 두 회사 모두 9시 경이다. 이는 식품류와는 다르게 일반적인 업무시작시간과 동일한 양상을 나타내고 있다. 각 회사의 시간대별 차량 도착대수는 〈그림 1〉과 같다.

도착한 화물차량의 차종구성을 살펴보면, A회사와 B회사는 2.5톤 트럭이 가장 많은 60.4%, 45%를 점하고 있으며, C회사는 1톤 트럭이 87%로 가장 많은 점유율을 나타내고 있다.

화물차량의 톤급별 평균서비스시간을 살펴보면, 화물차량의 용량이 클수록 하역시간이 길었으며, 회사별 총 서비스 시간을 살펴보면 경우에는 식료품을 취급하는 A회사가 가장 길며, 다음으로는 생활필수품을 취급하는 B회사, 그리고 전자제품을 취급하는 C회사가 가장 짧은 것으로 나타났다. 이는 상품의 종류에 따른 포장상의 문제 및 하역작업의 기계화 정도와 관련되어 있다고 판단된다.

화물차량이 양산복합화물터미널로 들어와서 각 회사의 berth에서 적재 및 하역작업을 행하기까지 대기하는 시간을 살펴보면, 경공업품을 다루는 A 및 B회사는 10분 정도가 소요되지만 금속기계공업품을 다루는 C회사는 2분 정도 소요되는 것으로 나타났다. 이는 금속기계공업품에 비해 경공업품이 상품의 종류가 다양하고



〈그림 1〉 시간대별 화물차량 도착대수

2) 교통개발연구원, "지역간 여객 및 화물 O/D 구축", 2000.

화물의 종류를 농수임산물, 광산물, 금속기계공업품, 화학공업품, 경공업품, 잡공업품, 기타 품목으로 구분함.

〈표 2〉 차종별 평균서비스시간

톤 급	차량의 평균서비스시간(분)		
	A회사	B회사	C회사
1.0톤	2.50	12.73	9.23
1.5톤	10.00	-	-
2.5톤	25.93	22.82	4.00
3.5톤	30.00	-	-
5.0톤	42.57	23.00	6.67
8.0톤	32.75	13.50	-
11.0톤	92.25	83.00	-
전 체	33.23	24.18	8.72

주) - 는 해당 종류의 차종이 작업을 하지 않음을 나타냄.

〈표 3〉 차량도착시간대별 평균대기시간

차량도착시간	차량의 평균대기시간(분)		
	A회사	B회사	C회사
02:00~03:00	11.80	--	--
03:00~04:00	17.86	--	--
04:00~05:00	11.00	--	--
05:00~06:00	12.64	--	--
06:00~07:00	--	--	--
07:00~08:00	--	-	1.80
08:00~09:00	--	15.45	1.77
09:00~10:00	28.00	9.78	1.38
10:00~11:00	9.00	2.25	-
11:00~12:00	5.00	7.88	9.00
12:00~13:00	-	5.00	1.00
13:00~14:00	5.00	3.00	3.00
14:00~15:00	8.67	13.00	2.50
15:00~16:00	-	-	2.25
16:00~17:00	1.00	-	-
전 체	10.90	10.05	1.93

주) - 는 각 회사의 berth가 운영되지 않는 시간대
 - 는 해당 차량도착시간에 차량이 없음을 나타냄.

〈표 4〉 화물차량 종류별 적재율

화물자동차 종류	화물차량 적재율		
	A회사	B회사	C회사
1.0톤	0.143	0.630	0.417
1.5톤	0.800	-	-
2.5톤	0.484	0.390	0.204
3.5톤	0.860	-	-
5.0톤	0.469	0.800	0.266
8.0톤	0.467	0.320	-
11.0톤	0.639	0.280	-
전체	0.493	0.491	0.393

주) - 는 해당 화물자동차종류에 차량이 없음을 나타냄.

무게도 가벼워서 수작업을 통한 상품취급이 많기 때문인 것으로 파악된다.

각 회사의 차량에 대한 화물적재율은 모든 회사의

화물차량이 평균적으로 50%를 넘지 않는 것으로 나타났다. 이는 국내 물류운영체계가 상당히 개선되어야 한다는 것을 시사하고 있다.

2. 화물자동차의 도착분포 및 서비스 시간분포

회사마다 집중하는 화물차량의 도착 및 서비스 시간대가 다르기 때문에 분포형 분류대상 시간을 각 회사별로 구분하여 나타낸다. A회사의 서비스 시간대는 02시에서 16시 30분, B회사의 경우에는 08시에서 15시로 한정하며 C회사의 경우에는 07시에서 16시로 한정하여 나타낸다. 각 회사의 도착분포와 서비스 시간분포를 알기 위해서 실제 관측값과 모형에 의한 값 간의 χ^2 적합도 검정을 실시하였다.

A회사 및 B회사의 경우에는, 도착분포는 포아송분포, 그리고 서비스 시간분포는 지수분포로 두 회사 모두 동일하게 나타났으며, C회사의 경우에는 도착분포가 포아송분포, 서비스 시간분포가 2차 Erlang분포로 나타났다. 분포형 분류에 관한 결과를 〈표 5〉에 나타내었다. 도착에 관해서는 3개의 회사 모두 랜덤인 도착형태를 나타내었으며, 서비스 시간에 대해서는 C회사가

〈표 5〉 화물차량의 회사별 도착과 서비스 현황

항목	A회사	B회사	C회사
기간	15시간 (02:00~16:30)	7시간 (08:00~15:00)	9시간 (07:00~16:00)
도착율	0.533(대/10분)	0.905(대/10분)	0.852(대/10분)
서비스율	0.301(대/10분)	0.413(대/10분)	1.147(대/10분)
교통밀도	1.772	2.188	0.743
도착분포	포아송분포 (13.27) ¹⁾	포아송분포 (12.20) ¹⁾	포아송분포 (12.20) ¹⁾
서비스 시간분포	지수분포 (8.70) ²⁾	지수분포 (26.76) ¹⁾	2차 Erlang분포 (20.33) ²⁾

주) ()안은 χ^2 -통계량
 1) 0.01에서 유의함을 나타냄.
 2) 0.05에서 유의함을 나타냄.

〈표 6〉 화물차량의 취급상품별 도착과 서비스 현황

항목	경공업품	금속기계공업품
기간	15시간 (02:00~17:00)	9시간 (07:00~16:00)
도착율	0.956(대/10분)	0.852
서비스율	0.342(대/10분)	1.147
교통밀도	2.793	0.743
도착분포	포아송분포(8.32) ²⁾	포아송분포(12.20) ¹⁾
서비스시간분포	지수분포(28.28) ¹⁾	2차Erlang분포(20.33) ²⁾

주) ()안은 χ^2 -통계량
 1) 0.01에서 유의함을 나타냄.
 2) 0.05에서 유의함을 나타냄.

〈표 7〉 화물차량의 취급상품별 첨두시 도착과 서비스 현황

항목	경공업품	금속기계공업품
기간	10시간 (02:00~12:00)	4시간 (07:00~11:00)
도착율	1.217(대/10분)	1.417(대/10분)
서비스율	0.342(대/10분)	1.046(대/10분)
교통밀도	3.557	1.354
도착분포	포아송분포(3.723) ²⁾	포아송분포(3.26) ²⁾
서비스시간분포	지수분포(27.72) ¹⁾	지수분포(16.51) ²⁾

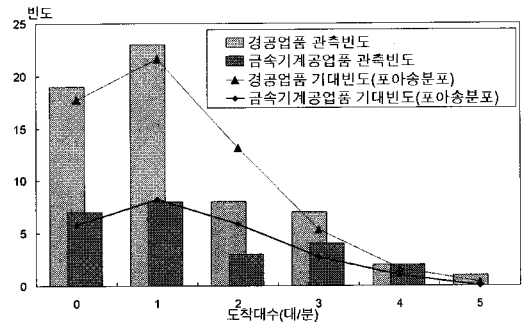
주) ()안은 χ^2 -통계량
 1) 0.01에서 유의함을 나타냄.
 2) 0.05에서 유의함을 나타냄.

A, B 회사에 비해서 약간의 규칙성이 더해지고 있음을 알 수 있다.

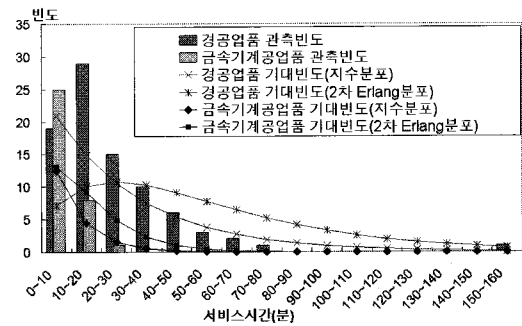
또한, 취급되는 화물을 경공업품과 금속기계공업품으로 분류하여 도착분포와 서비스시간분포의 결과를 〈표 6〉에 나타내었다. 도착에 관해서는 2개의 품목 모두 랜덤인 도착형태를 나타내었으며, 서비스 시간에 대해서는 금속기계공업품을 다루는 회사가 경공업품을 다루는 회사에 비해 약간의 규칙이 더해지고 있다.

화물터미널에서 운영되는 최적 berth수를 결정함에 있어서 두 가지 경우를 생각할 수 있다. 하나는 하루 동안의 평균적인 berth운영상태를 고려하여 지속적인 화물차량의 이동이 발생하는 경우이고, 다른 하나의 경우는 이른 새벽 시간대나 야간 시간대와 같은 비교적 차량의 운행이 적은 시간대에 집중적인 화물차량의 이동이 발생하는 경우이다.

전자의 경우는 화물터미널의 berth운영이 항시 똑같은 형태를 나타내고 있으며, 각 화물차량의 스케줄을 관리하므로 인하여 화물차량이 berth에 도착하였을 때 작업하기 위해서 기다리는 시간이 존재하지 않고 또한 berth에 차량이 작업을 하고 있지 않는 경우가 없는 상태를 유지하는 경우를 말한다. 그러나 이러한 상태는 지속적인 화물차량의 발생으로 인하여 주간 도심의 혼잡을 더욱 가중시킬 수 있기 때문에 현실적으로 부적합하다고 볼 수 있다. 현실적으로 적합한 형태는 후자의 경우로 일반 자동차가 도로상에서 주행하는 빈도가 적은 경우의 새벽이나 야간에는 도로혼잡이 야기되지 않기 때문에 화물차량의 운송비용도 절감이 되고 사회적 혼잡도 야기되지 않으므로 기업의 운영상태가 최적에 가까게 유지될 수 있다. 즉, 장래 물류비 감소를 위한 화물의 이동형태는 후자의 형태가 바람직하다고 판단되고, 이러한 형태의 화물차량이동을 위해서는 화물터미널에서 작업시간대를 구분하여 하역작업이 이루어



〈그림 3〉 첨두(peak)시 도착분포



〈그림 4〉 첨두(peak)시 서비스시간분포

져야 한다.

따라서, 본 연구에서는 최적 berth수를 산정함에 있어서, 터미널에서 화물의 취급이 활발히 이루어지는 하역작업에 대한 첨두시(peak)의 화물취급형태에 따라 최적 berth수를 결정하는 것이 바람직하다고 판단하고, 첨두(peak)시의 경우도 상품을 경공업품과 금속기계공업품으로 분류하여 도착분포와 서비스 시간분포를 나타내었다.

경공업품의 도착분포에 대해서는 유의수준 5%에서 포아송분포에 적합한 것이, 그리고 서비스시간분포에 대해서는 유의수준 1%에서 지수분포에 적합한 것이 확인되었으며, 금속기계공업품의 도착분포에 대해서는 유의수준 5%에서 포아송분포에 적합하고, 서비스시간 분포에 대해서는 유의수준 5%에서 지수분포에 적합한 것이 확인되었다.

V. 화물터미널의 규모산정

1. 최적 berth수 결정모델의 개요

본 연구에서는 화물자동차의 터미널이용 패턴에 따라 터미널의 berth수 S에서 하루 운영시간 T동안 소

비되는 총비용 C_s 즉, 터미널에 건설·정비되는 berth에 관한 비용 C_b 와 터미널에서 체류하는 화물자동차에 관한 비용 C_t 의 합이 최소가 되는 규모를 결정하는 것이다. 이를 수식화하면 다음과 같이 된다.

$$C_s = C_b + C_t = c_b TS + c_t T \bar{n}_s \quad (1)$$

- c_b : 1 berth의 1시간 당 비용[원/시]
- c_t : 화물자동차 1대의 1시간 당 비용[원/시]
- \bar{n}_s : berth 수가 S의 경우, 기간 T에 화물터미널 안에서 화물자동차의 평균 체류대수

화물터미널의 최적 규모는 식(1)에서의 C_s 를 최소로 하는 berth수로 결정된다. 여기서, berth비용은 화물터미널의 건설비, 수선비, 관리비, 인건비 등이 포함되며, 화물자동차비용은 차량비, 연료비, 인건비 등이 포함된다. 여기서 식(1)을 차량1대의 T시간 동안 운영비용인 $c_t T$ 로 양변을 나누면 식(2)와 같이되어 파라미터수가 줄어들게 된다.

$$r_s = \frac{C_s}{c_t T} = \frac{c_b}{c_t} S + \bar{n}_s = r_{bt} S + \bar{n}_s \quad (2)$$

- r_s : berth 수가 S의 경우, 기간 T에 있어서 화물자동차 1대 당 비용과 화물터미널에서 소비되는 총비용과의 비율
- r_{bt} : berth · 화물자동차 비용비율 (= c_b/c_t)

식(2)에서 berth수 S를 사전에 설정해 놓고 r_s 의 변화를 파악하면, r_s 는 차량의 평균체류대수 \bar{n}_s 에 의해 결정될 수 있다. 여기서 \bar{n}_s 는 화물자동차의 터미널 이용패턴과 관련하여 대기행렬이론(queueing theory)으로 구할 수 있다.

서비스 시설 안의 평균체류대수는 차량의 평균대기 시간에 의해서 결정되는데, M/M/S(∞)³⁾모델에서의 평균대기시간 W_1 은 아래와 같이 주어진다.

$$W_1 = \frac{a^S}{\mu(S-1)!(S-a)^2}$$

$$\times \left\{ \sum_{n=0}^{S-1} \frac{a^n}{n!} + \frac{a^S}{(S-1)!(S-a)} \right\}^{-1} \quad (3)$$

- a : 교통밀도(traffic density)
- μ : 차량의 평균서비스율

복합화물터미널에서 대기하는 차량의 평균 대수 n_w 가 M/M/S(∞)모델을 따르면, 평균대기시간과 차량의 평균도착율을 곱함으로써 구해진다. 이를 수식화하면 식(4)와 같다.

$$n_w = \lambda W_1 \quad (4)$$

- λ : 차량의 평균도착율

또한, 서비스 시간분포가 규칙성을 띄는 k 차 Erlang분포 M/E_k/S(∞)모델에서 차량의 평균대기시간 W_k 는 식(5)와 같이 나타낼 수 있다.(Cosmetatos, G.P., 1976.)⁴⁾

$$W_k = W_1 \times \left\{ \frac{(1+v^2)}{2} + (1-v^2)(1-a)(S-1) \frac{\sqrt{4+5S-2}}{32a} \right\} \quad (5)$$

v 는 $\sqrt{\frac{1}{k}}$ 이기 때문에 M/E_k/S(∞)모델에서의 평균대기 차량대수는 식(6)으로 주어진다.

$$n_w = \frac{a^{S+1}}{(S-1)!(S-a)^2} \times \left\{ \sum_{n=0}^{S-1} \frac{a^n}{n!} + \frac{a^S}{(S-1)!(S-a)} \right\}^{-1} \times \left\{ \frac{(1+1/k)}{2} + (1-\frac{1}{k})(1-\frac{a}{S})(S-1) \frac{\sqrt{4+5S-2}}{32a} \right\} \quad (6)$$

복합화물터미널에서의 화물차량 평균 체류대수 n_s 는 서비스를 받기 위해 대기하는 차량과 서비스를 받고 있는 차량의 합임으로, 식(7)로 나타낼 수 있다.

$$n_s = \frac{a^{S+1}}{(S-1)!(S-a)^2} \times$$

3) 차량의 도착확률분포는 무작위임을 의미하는 포아송분포이고, 서비스시간 분포는 불규칙성을 의미하는 지수분포를 따르며, 서비스가 행해지는 장소는 다수임을 의미하는 Kendall의 표현방식.

4) k 가 1일 경우인 M/E₁/S(∞)모델 즉 서비스 시간분포가 지수분포인 것은 k 차 Erlang분포의 특별한 경우이다.

$$\left\{ \sum_{n=0}^{s-1} \frac{a^n}{n!} + \frac{a^s}{(s-1)!(s-a)} \right\}^{-1} \times \left\{ \frac{(1+1/k)}{2} + \left(1 - \frac{1}{k}\right) \left(1 - \frac{a}{S}\right) (s-1) \frac{\sqrt{4+5S-2}}{32a} \right\} + a \tag{7}$$

결국, 식(2)는 식(8)과 같이 표현되고, r_s 는 a 만의 함수로 표현된다.

$$r_s = r_{bt} S + \frac{a^{s+1}}{(s-1)!(s-a)^2} \times \left\{ \sum_{n=0}^{s-1} \frac{a^n}{n!} + \frac{a^s}{(s-1)!(s-a)} \right\}^{-1} \times \left\{ \frac{1+(1/k)}{2} + \left(1 - \frac{1}{k}\right) \left(1 - \frac{a}{S}\right) (s-1) \frac{\sqrt{4+5S-2}}{32a} \right\} + a \tag{8}$$

여기서, 교통밀도(traffic density) a 는 식(9)와 같은 관계를 가지기 때문에, r_s 는 명시적으로 나타내어진다.

$$a = \frac{\lambda}{\mu} = \frac{Q}{RT} \tag{9}$$

Q : 기간 T에 화물터미널에서 취급한 화물량(톤)
 R : berth에서의 1시간당 평균하역율(톤/시간)

2. 복합화물터미널의 최적berth수 산정

본 연구에서 실태조사를 행한 양산복합화물터미널의 경공업품과 금속기계공업품 회사의 화물차량 하역형태를 기초로 식(8)을 이용하여 최적 berth수를 산정하였다. 이 때 고려되는 각 회사별 화물차량1대의 운영비용 c_i 와 1berth의 운영비용 c_b 는 <표 8>에 나타내었다.⁵⁾

<표 8>의 r_{bt} 를 이용하여 각 경우별 최적berth수를 산정하면 <표 9>와 같다. 또한, 화물터미널의 최적규모를 결정하는 품목별 첨두시 최적berth수 결정곡선을 <그림 5>와 <그림 6>에 나타내었다.

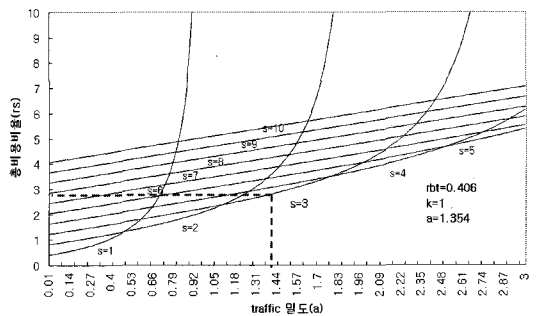
화물터미널이 최적상태로 운영되기 위한 최적berth수는 도심의 혼잡을 피할 수 있는 시간대에 화물차량이

<표 8> 최적berth수 결정모델산정을 위한 비용표

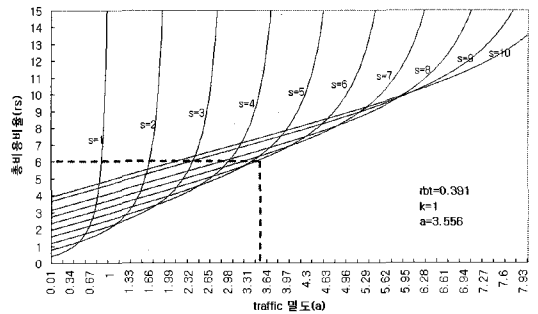
분류	경공업품회사 (A 및 B회사)	금속기계공업품회사 (C회사)
화물차량비용 c_i	2,798(원/시)	2,693(원/시)
berth비용 c_b	1,095(원/시)	1,095(원/시)
berth · 화물자동차 비용비율 r_{bt}	0.391	0.406

<표 9> 품목별 최적berth수

분류	경공업품회사 (A 및 B회사)		금속기계공업품회사 (C회사)	
	전체시간의 a를 고려	첨두시간의 a를 고려	전체시간의 a를 고려	첨두시간의 a를 고려
최적berth수	5	6	2	3



<그림 5> 금속기계공업품(C회사)의 첨두시 최적berth수 결정곡선



<그림 6> 경공업품 회사(A+B회사)의 첨두시 최적berth수 결정곡선

이동하도록 계획되어야 하며 대기행렬의 발생으로 인한 비용이 최소가 되도록 계획되어야 한다. 따라서, 앞서 논의한 첨두(peak)시간대를 최적berth수 결정시간대라고 말하고, 이때 도출된 경공업품과 금속기계공업품 회사의 최적berth수는 각각 6, 3 berth였다. 각 품목별 실제

5) 국가교통데이터베이스 웹페이지, <http://www.ktdb.go.kr/index.jsp>
 1berth 운영비용은 화물터미널 총운영비용을 berth수로 나누어 결정하였기 때문에 각 회사마다 모두 동일한 값을 나타내고 있으며, 화물차량비용은 각 회사마다 보유하고 있는 차량의 종류와 대수가 다르기 때문에 그 값은 상이하게 나타났다.

berth수가 각각 20, 10 berth이지만, 모든 berth가 하역서비스에 항상 이용되는 것은 아니고 시간대에 따라서 주차공간으로 이용되어지기도 하며, 빈 공간으로 있는 경우도 있기 때문으로 판단된다. 이와 같이 실제로 berth의 여유가 있으므로 화물집배송 체계를 개선한다면 처리 물동량은 늘어날 것으로 사료된다.

3. 화물취급의 첨단화가 최적규모에 미치는 영향

장래에 화물터미널을 정비하는 경우에는 본 연구에서 산출한 트럭 운영비용과 터미널 운영비용이 상당히 변화될 것으로 예상된다. 따라서, 경공업품과 금속기계공업품의 첨두(peak)시 최적berth수 산출모형을 기초로 berth·화물자동차 비용비율 r_{bt} 의 변화에 따른 최적berth수 S의 변동에 대해 분석하였다.

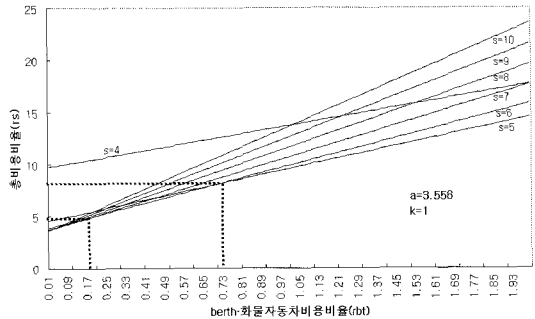
〈그림 7〉에서 살펴볼 수 있듯이 일반적으로 berth·화물자동차 비용비율 r_{bt} 의 변화에 따른 최적berth수는 0.19이하에서는 민감하게 변화를 하지만, 0.19~0.75의 범위에서는 berth수가 6 berth이고 0.75이상에서는 5 berth로 변화의 영향이 크지 않은 것으로 나타났다.

금속기계공업품의 경우에도 〈그림 8〉에서 볼 수 있듯이, r_{bt} 가 0.13~0.99사이에서는 최적berth수가 3 berth이고 0.99이상에서는 2 berth로 나타났으며, 0.13이하에서는 매우 민감하게 변화하는 것으로 나타나 berth·화물자동차 비용비율 r_{bt} 의 변화는 최적berth수에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

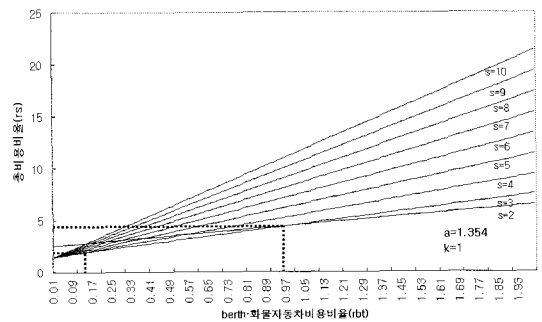
장래에는 화물차량의 운영비용 및 화물터미널 운영비용의 변화뿐만 아니라, 화물의 규격화 및 하역작업의 기계화·자동화도 예상되어 진다. 따라서 본 연구에서는 이러한 하역의 선진화가 최적berth수에 미치는 영향을 분석하였다.

화물의 규격화 및 하역작업의 기계화·자동화를 통하여 예상되는 효과는 2가지로 설명할 수 있는데, 하나는 하역시간의 규칙성이 더해지는 것이고 다른 하나는 하역속도와 서비스율이 향상되는 것이다. 하역시간의 규칙성이 더해지는 것은 서비스 시간분포의 Erlang차수 k 를 높이는 것으로 설명할 수 있으며, 하역속도와 서비스율이 향상하는 것은 교통밀도(traffic density) a 를 낮추는 것으로 설명할 수 있다.

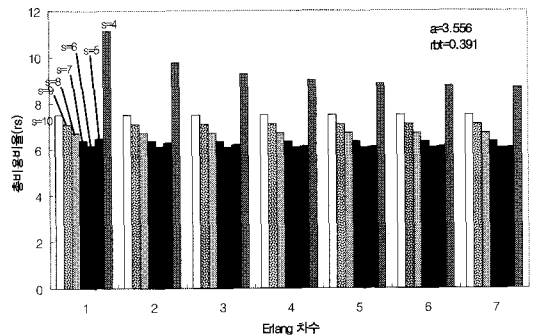
먼저 하역시간에 규칙성이 더해짐에 따른 최적berth



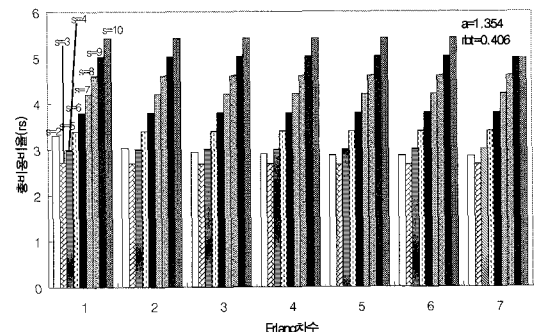
〈그림 7〉 경공업품의 r_{bt} 에 따른 최적berth의 변화



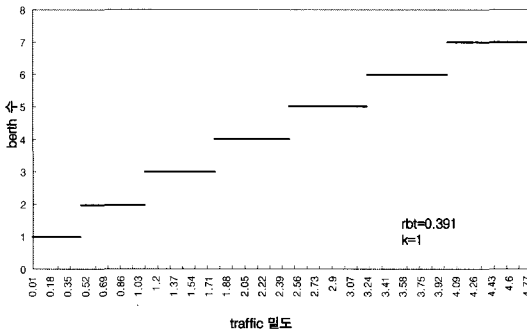
〈그림 8〉 금속기계공업품의 r_{bt} 에 따른 최적berth의 변화



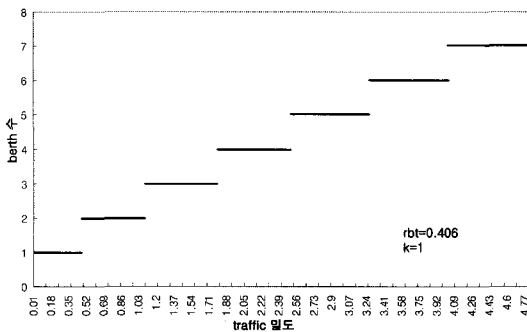
〈그림 9〉 경공업품의 Erlang차수와 총비용비율과의 관계



〈그림 10〉 금속기계공업품의 Erlang차수와 총비용비율과의 관계



〈그림 11〉 경공업품의 하역속도 및 서비스율 향상에 따른 berth수 변화



〈그림 12〉 금속기계공업품의 하역속도 및 서비스율 향상에 따른 berth수 변화

수의 변화를 〈그림 9〉와 〈그림 10〉에서 살펴본 결과 Erlang차수 k 가 높아짐에 따라 전반적으로 총비용을 r_s 는 조금씩 감소하지만, 최적berth수에는 영향을 미치지 못함을 알 수 있었다.

또한, 하역속도 및 서비스율의 향상이 최적berth수에 미치는 영향은 〈그림 11〉과 〈그림 12〉와 같이 매우 크다는 것을 알 수 있다. 현실적으로는 서비스의 규칙성 향상과 서비스 시간의 단축이 동시에 초래될 것이 예상되므로, 하역서비스의 개선은 정비해야할 berth수의 절감에 큰 효과를 가져올 것으로 예상된다.

지금까지 살펴본 바에 의하면, 물류시스템의 첨단화를 고려하지 않고 물류시설에 대한 규모를 결정하는 것은 적절한 계획이라 볼 수 없다고 판단된다. 따라서, 이러한 물류시스템의 첨단화를 반영하는 요소들을 고려하여, 각 지역별 물류시설에 대한 검토와 향후 개선방향에 대한 별도의 연구가 지속되어야 할 것이다.

VI. 결론

본 연구는 복합화물터미널의 최적 규모를 산정함에

있어서, 화물차량의 화물터미널에서의 하역형태를 고려한 것으로, 본 연구에서 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 화물터미널에서 취급하는 품목에 따라 화물차량의 도착형태와 서비스형태를 파악할 수 있었다.

둘째, 화물차량의 도착형태와 서비스형태를 기초로 대기행렬이론을 이용한 화물터미널의 최적berth수 결정모형을 구축할 수 있었다.

셋째, 화물터미널의 최적berth수 결정모형을 통하여 복합화물터미널의 운영상 최적이 되는 berth수 산정이 가능했다.

넷째, 수식화된 최적berth수 결정모형을 통하여 장래 화물취급의 첨단화가 복합화물터미널의 berth수에 어떠한 영향을 미치는지를 분석함으로써, 향후 물류시설의 규모를 결정할 때 고려해야 될 새로운 방향을 제시하였다.

본 연구는 화물차량의 이동형태를 고려하여 복합화물터미널의 최적규모를 산정하고, 장래 발생할 여건의 변화에 따른 최적규모의 변화형태를 살펴봄으로써 기존의 원단위 형태의 규모산정방식에서 벗어났다는 점에서 그 가치가 크다고 생각한다. 그러나, 취급하는 화물의 종류가 다양하지 못한 점, 또한, 화물차량이 영업용인지 자가용인지, 더욱이 일반화물, 컨테이너화물, 택배 화물 등 화물의 취급형태를 다방면으로 고려하지 못한 점에서 본 연구의 한계가 있었다고 본다. 또한, 장기적인 시점에서의 최적berth수의 타당성 문제, 즉 취급되는 화물량의 일 변동이나 월 변동을 고려해서 모델의 고찰대상기간을 어느 정도로 설정해야 하는가에 대한 검토가 미흡하여, 향후 이러한 문제에 대한 연구가 필요하다. 그리고 장래 하역시스템의 공동화 및 첨단화를 통하여 주변 도로소통 상황에 미치는 영향에 대해 세밀한 검토 연구도 추후 연구과제로 남는다.

“본 연구는 부산대학교 교내학술 연구비에 의한 연구임”

참고문헌

1. 교통개발연구원(1994), “중부·영남·호남권 복합 화물터미널 건설의 타당성 조사”.
2. 교통개발연구원(1999), “화물터미널, 집배송센터의 규모산정 방법론 정립”.
3. 건설교통부(2001), “국가물류 기본계획”.
4. 건설교통부(2001), “도시물류 기본계획 수립지침”.

- 연구보고서”.
5. 건설교통부(2001), “물류시설 통합 조정방안연구”.
 6. 건설교통부(2002), “화물터미널 활성화 및 물류공동화추진 방안연구”.
 7. 부산광역시(2002), “도시물류기본계획수립을 위한 기초조사”.
 8. 김현정·금기정(1998), “물류비용 최소화를 위한 배송센터수 결정 및 규제에 따른 비용변화 실험모형 개발”, 대한교통학회지, 제16권 제1호, 대한교통학회, pp.7~24.
 9. 이승재·정창무·이현주(2000), “퍼지이론을 이용한 물류단지 입지 및 규모결정에 관한 연구”, 대한교통학회지, 제18권 제1호, 대한교통학회, pp.75~85.
 10. 민승기·홍기용,(2002) “화물자동차운송사업의 화물터미널 수요 추정연구”, 대한국토·도시계획학회지, 제37권 제3호, pp.169~182.
 11. 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”.
 12. 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.
 13. 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.
 14. 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畵論”, 森北出版株式會社.
 15. 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.
 16. Cosmetatos, G.P.(1976), “Some approximate equilibrium results for the multi-server queue (M/G/r)”, Operational Research Quarterly, 27 (3) pp.615~620.
 17. 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.
 18. Ruske, W.(1994), “City Logistics-Solutions for urban commercial transport by cooperative operation management”, OECD Seminar on Advanced Road Transport Technologies, Omiya, Japan.
 19. 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), p.23.
 20. 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.

✉ 주 작 성 자 : 정현영
 ✉ 논문투고일 : 2004. 4. 1
 논문심사일 : 2004. 5. 17 (1차)
 2004. 6. 9 (2차)
 2004. 6. 22 (3차)
 심사판정일 : 2004. 6. 22
 ✉ 반론접수기한 : 2004. 12. 31