

■ 論 文 ■

시뮬레이션 기반의 컨테이너터미널 생산성측정 전략

The Simulation-based Strategy of Measuring Productivities
in the Container Terminal

박 병 인

(국립 여수대학교 교통·물류시스템공학부 교수)

목 차

- | | |
|---------------|-----------------------|
| I. 서론 | IV. 시뮬레이션 기반 생산성 향상전략 |
| II. 관련문헌 연구 | V. 통합생산성 측정 전략 |
| III. 시뮬레이션 모형 | VI. 결론 |

Key Words: 컨테이너터미널, 생산성, 시뮬레이션, 기준시간준수율, 기준시간초과율

ABSTRACT

Apart from the DEA method, the traditional measuring systems of container terminal productivities generally bring to light the partial productive efficiencies, because they evaluate only the productivity of each individual facility. However, these methods do not play roles of the reasonable productivity measures to compare and evaluate the efficiencies of terminals to meet the requirement of terminal customers like as shipping lines, shippers, etc. with the cutthroat competition in container handling market. As the suppliers of service, the terminals struggle to cope with the needs of buyers' markets due to the lack of suitable criteria to measure the efficiencies. Therefore, this paper uses the simulation approach to reveal which strategies enhance the productivities through the container terminal analysis. An additional intent of this paper is to build the active strategies to present what the experimental indexes like as norm-time exactness ratio, norm-time excess ratio, etc. compare between terminals to measure the total productivities for the age of global supply chain management. However, the experimental productivity indexes presented in this paper require a validation of the exact usefulness, by consideration from all angles in the future, and a development to more reasonable measuring methods/indexes for the container terminal productivities.

I. 서론

정보기술의 발전과 더불어 전세계의 해운·항만 물류분야도 글로벌공급사슬경영(Global Supply Chain Management: GSCM)의 시대를 맞고 있다. 특히 대외의존도가 높은 우리 나라의 경우 이와 같은 국제적인 움직임에 따라 기존의 단편적인 해운·항만 물류의 분석·운영·관리 단계에서 벗어나, GSCM시대에 대비하기 위한 종합적이며 체계적인 대응이 요구되고 있다. 기존에는 해운·항만 물류분야중 부가가치나 산업의 중요성에 비추어 합리적·체계적인 관리·분석이 필요한 컨테이너 터미널의 운영에 있어 자료포괄분석기법(Data Envelopment Analysis: DEA)외에 선사나 화주 등 고객에게 필요한 시스템전체의 효율성을 측정하는 방법이 부족했다. 즉, 공급자 또는 서비스 생산자의 입장에서 단편적인 부시스템(sub-system)에 대한 생산성의 측정들이 주로 이루어졌을 뿐이다. 그러나 주요 경쟁국의 컨테이너터미널 확충 및 국내 터미널간의 경쟁격화로 인해 이와 같은 물류서비스의 생산자 또는 공급자 입장의 단편적인 서비스 수준의 측정·관리로는 더 이상 시스템의 수요자인 선사나 화주의 고도화된 요구를 만족시키기 어려운 실정이다. 따라서 본 논문에서는 궁극적으로 전체 관련당사자의 요구를 만족시키기 위한 실험연구의 일환으로, 컨테이너 터미널의 주요 고객인 선사나 화주의 입장에서 서비스를 공급하는 각터미널의 상태를 정확히 파악하도록 해주는 터미널 서비스수준의 측정·관리 및 활용전략을 제시하고자 한다. 이는 주로 사용되어온 컨테이너크레인당 생산성 등 개별시설의 생산성을 위주로 한 지표들로는 더 이상 전체터미널시스템의 효율성에 대한 정확·종합·체계적인 측정 및 평가가 어려운 동시에, 서로 다른 터미널간 비교가 곤란한 문제점을 안고 있기 때문이다. 그러므로 본 논문에서는 전체터미널시스템 상태에 대한 분석·평가가 가능하며 궁극적으로 터미널간 서비스 수준도 비교할 수 있을 것으로 기대되는 실험적 지표들과 그 활용전략을 제시하고자 하는 것이다.

본 논문은 두단계 접근법을 사용한다. 첫째, 시뮬레이션 기법을 통하여 생산성분석을 위한 서비스평가지표별 민감도분석을 수행한다. 둘째, 다음단계는 이를 기반으로 공급자 및 수요자 입장에서 전체 터미널의 생산성을 측정하기 위한 실험적 지표와 이를 통한 생산성측정 전략을 제시해 본다.

한편 본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 2장에는 관련문헌들이 제시된다. 3장에서는 사용된 시뮬레이션모형들이 설명된다. 그리고 4장에서는 시뮬레이션실험 결과를 이용한 생산성 향상전략들이 분석된다. 5장에서는 통합생산성 측정 전략이 기술된다. 그리고 마지막으로 6장에서 결론과 추후 연구과제를 제시한다.

II. 관련문헌연구

컨테이너터미널의 생산성 측정방법에 대한 기존의 연구는 전통적 방법, 계량경제적 방법, 그리고 자료포괄분석 방법(DEA) 등의 세 가지로 나눌 수 있다. 이중 오랫동안 컨테이너 터미널의 생산 및 효율성 분석에 사용되어 오고 있는 기법이 전통적 방법이다. 이는 컨테이너터미널의 구성단위인 개별시설의 기능에 따라 생산성(효율성)을 분석·평가한 결과를 통해 전체 시스템의 효율성을 측정하는 방법이다. Dowd & Leschine (1990), JWD(1999), PDI(1997), 박노경(1998), 정승호(1999), 그리고 Song(2001) 등 많은 연구자들이 동 기법을 이용한 연구결과를 제시하고 있으며, 그 동안 실무적으로도 가장 활발하게 사용되어 온 방법이다. 동 방법은 공표된 자료를 통해 생산성을 간단히 구할 수 있으므로 계산이 용이하며, 나름대로 각 터미널의 당해부서에서는 효율성 향상을 위한 지표로 사용할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 이는 개별 시스템의 생산성만을 평가하는 방법이며, 절대적인 적정생산성을 기준으로 한 절대수준을 비교하지 못하고 상대적인 수준만을 비교한다는 단점이 있다.

또한 Song & Cullinane(1999)은 컨테이너터미널의 행정 및 관리적 특성을 재조명한 후, 프론티어모형(frontier model)으로 알려진 계량경제학적 방법을 사용한 터미널의 상대적 효율성 측정방법을 제시하였다. 제시한 생산성 측정방법은 항만당국, 정부 및 다른 관련기관들에게 항만정책과 조직개혁의 수행과 관련된 정보와 가이드라인을 제시한다. 이러한 생산성 분석방법은 다른 교통부문에도 확대 적용할 수 있을 것이다.

한편 최근에는 그 동안 비영리기관의 효율성 분석에 주로 사용되던 DEA기법이 컨테이너터미널의 생산성분석에도 사용되고 있다. 이는 복수의 투입물과 산출물에 대한 상대적 분석을 가능하게 해준다. 실제로 Roll & Hayuth(1993), 이정호(1998), 그리고 오성동·박노경(2001)은 DEA기법을 이용해 컨테이너 터미널의 생산성을 분석하였다. 동기법은 항만간의 상대적 효율성 비교를 통해 항만생산성의 계량화를 가능하게 할뿐만 아니라 생산성 향상을 위한 개선방안을 제시해 줄 수 있다. 또한 시계열로 측정된 생산성 지표를 통하여 생산성 증대방안, 정책변화에 따른 효과 등을 모니터링할 수 있다는 장점이 있다. 그리고 동일항만에서의 생산성 변화추이뿐만 아니라 기준항만과 비교대상 항만간의 생산성 비교가 가능하며, 항만서비스의 질적 요소를 결정하는 변수를 분석에 포함시킴으로써 각 항만의 서비스 수준을 평가할 수 있다는 장점이 있다.

〈표 1〉 생산성분석 방법의 분류

측정방법	연구자	연구내용	시사점
전통적 접근방법	Dowd & Leschine (1990)	• 터미널 시설별 생산성 측정	• 개별시설별 생산성 측정 방법 및 지표제시
	Jordan, Wooman & Dobson (1999)	• 터미널 프로세스별 생산성 측정 • 생산성 측정지표 및 방법론	• 통일된 생산성 측정방법 및 지표제시
	PDI (1997)	• 생산성 측정지표 및 방법론 • 작업시간의 의미 규명	• 6개의 생산성 측정 지표 제시 • 측정방법론의 표준화
	박노경 (1998)	• 항만생산성 개념정립 및 방법론 제시	• 우리나라 실정에 적합한 측정방법 및 지표개발
	정승호 (1999)	• 자가터미널의 생산성 측정 • 생산성 측정지표 도출	• 노무구조 개선방안 제시 • 통일된 기준안 마련
	Song (2001)	• 아시아 주요 항만의 생산성 • 항만관리 효과분석	• 항만관리운영형태와 생산성간의 명확한 관계규명 곤란
계량경제 기법	Song & Cullinane (2000)	• 프론티어모형을 이용한 생산성 분석	• 항만정책 및 조직개혁 정보와 가이드라인 제시
자료포괄 분석 (DEA)법	Roll & Hayuth (1993)	• 항만간의 상대적 효율성 비교 • DEA 적용을 통한 방법론 확장	• 항만생산성의 상대적 비교 • 각 항만의 서비스수준 평가
	이정호 (1998)	• 국내 11개 항만의 생산성 분석	• 생산성 확보를 위한 초과요소투입 절감 필요
	오성동/박노경 (2001)	• 국내외 28개 항만의 생산성 분석	• 생산성 분석에 DEA방법의 유효성 입증
종합적 접근방법	본연구 (시뮬레이션)	• 국내 4개항만에 대한 시뮬레이션 분석	• 생산성지표별 생산성향상 전략
	본연구 (종합지표)	• 고객입장에서 터미널의 종합 생산성 측정방법 제시	• 통합생산성측정 지표 및 전략 제시

자료: 한국해양수산개발원(2002), 「우리나라 컨테이너부두 생산성 향상방안 연구」를 참고로 필자 수정.

그러나 DEA기법을 제외한 기존의 생산성 측정방법들은 주로 터미널의 개별적 구성단위에 대한 평가만을 제시하기 때문에 전체항만의 수준을 정확히 나타내지 못하며, 항만간의 상대적 비교가 어려운 동시에 이를 통한 비효율적 요소의 판단도 어렵다. 이에 따라 컨테이너 터미널의 절대적이고, 통합적인 생산성 측정을 통

해 항만간의 적절한 비교가 가능한 개념이 필요한 실정이다. 따라서 본 논문에서는 궁극적으로 상대적 및 절대적 생산성측정을 위한 목적과 전체터미널의 생산성을 서비스 공급자인 터미널의 입장에서, 그리고 서비스의 이용자인 선사나 화주의 입장에서 동시에 비교하는데 사용될 수 있는 생산성 개념을 실험적으로 제시한다.

Ⅲ. 시뮬레이션 모형

1. 기초자료 분석

시뮬레이션 기법을 이용해 이와 같은 컨테이너 터미널의 생산성을 분석하기 위해서는 많은 자료들이 필요하다. 우선 복잡다기한 전체 컨테이너터미널에 대한 시뮬레이션을 위해서는 과거실적 자료에 대한 다양한 모수가 추정되어야만 한다. 먼저 실제 시스템의 사양과 일반적인 작업효율을 추정(최소, 최대, 평균)한다. 추정된 각종 모수들을 사용하여 컨테이너터미널의 분석모형을 구축한다. 또한 수행된 결과들의 비교를 통해 컨테이너 터미널의 생산성을 비교·분석한다.

시뮬레이션을 통한 실험적 생산성분석을 위해서는 컨테이너터미널을 크게 안벽부분, 장치장부분, 그리고 배후연계수송부분 등 세개의 하위시스템으로 나누어 분석할 수 있다. 이 중 안벽시스템과 배후수송시스템은 전체 컨테이너터미널시스템의 입·출력을 규정하고, 장치장부분은 시스템내부상태를 규정하는 것이다. 그러므로 이 세부분을 하나의 시스템으로 모델링하여 시스템을 분석·평가하는 것이 이상적이나, 전체를 하나의 시뮬레이션모형으로 프로그램 하면 취급하기 복잡한 동시에 개인용 컴퓨터로는 처리하기에 너무 커진다. 또한 실제 컨테이너 터미널에서는 위의 세부분을 독립적으로 취급하여도 전체시스템을 평가하는데는 큰 문제가 없기 때문에 본 연구에서는 각 부분을 독립적으로 나누어 시뮬레이션 모형화한다. 따라서 본 논문에서 컨테이너터미널의 시스템분석은 안벽모형, 장치장모형, 배후연계수송 부분을 단순화한 게이트모형의 세 부분으로 나누어 분석한다. 그러나 안벽모형과 장치장모형은 선박의 도착부분을 공유하고 장치장모형과 게이트모형은 트럭의 터미널내로의 출입부분을 공유하기 때문에 서로 연계가 된다(임진수·박병인, 1991). 하지만 일반적으로 컨테이너터미널에서는 선사 또는 선박이 주고객이기 때문에 세가지 하위시스템중 안벽이 위주가 되고, 전체터미널에 미치는 영향이 적은 것으로 판단되는 게이트부분은 개략적인 분석을 수행한다. 본 연구에서는 시뮬레이션 전용언어인 AweSim Version 3.0을 도구로 컨테이너 터미널의 시스템을 분석·평가한

다. 실제 분석 대상은 1999~2000년 기준의 국내 4개 컨테이너 터미널이다.

실제로 구할 모수들은 다음과 같다. 우선 안벽모형을 위한 모수는 선박의 도착 간 분포, 요일별 도착비율, 월별 도착비율, 선박별 하역개수, 입항선박 길이분포, 선박 접안시간분포, 컨테이너크레인 작업효율, 컨테이너장치기간분포 등이다. 또한 장치장 모형을 위해서는 안벽모형에 사용되는 모수들 외에 장치 및 이송장비 수·사양·능력, 장치장 특징 및 장치능력, 하역장비의 수 및 사양, 게이트의 수 및 처리 시간 등의 많은 자료를 필요로 한다. 마지막으로 게이트 모형을 위해서는 앞의 모수들 외에 게이트의 1일 시간대별 반출입 컨테이너량, 및 차량종류별 반출입 차량 대수, 고장시 또는 자료미비시의 처리방법 및 지연시간 등이다.

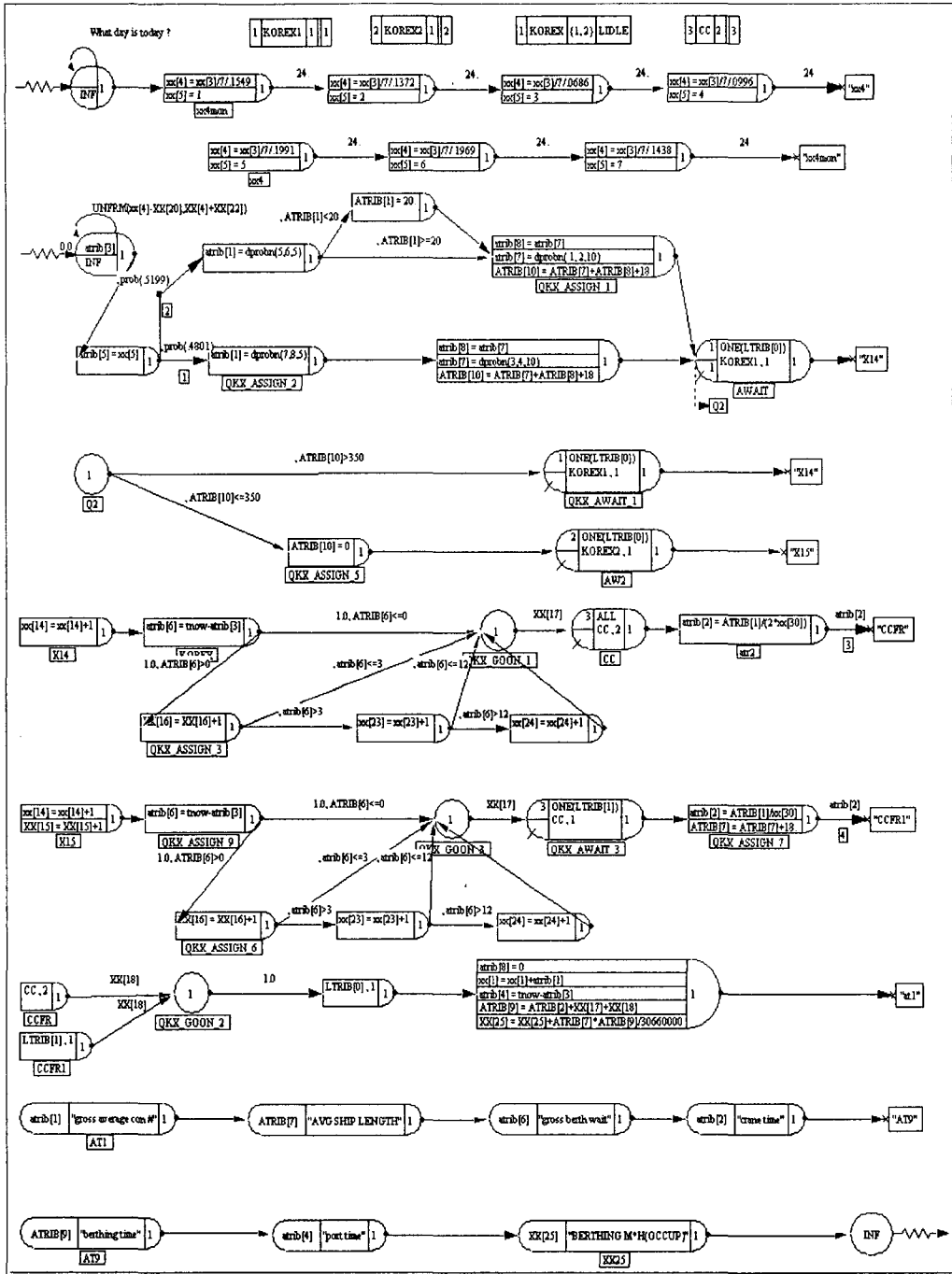
그러나 이와 같은 시뮬레이션기법이 다양한 활용도 및 여러 가지 장점을 지님에도 불구하고 모델작성의 어려움 뿐만 아니라, 위에서 제시한 많은 데이터에 대한 수년간의 원시자료의 수집 및 가공 등에도 큰 노력이 수반되어야 하기 때문에 실제로는 광범위하게 사용되고 있지 못하다.

2. 시뮬레이션 네트워크모형

부두의 생산성분석 시뮬레이션 모형을 이미지형 AweSim언어로 표현한 네트워크 모형이 <그림 1>에 제시되어 있다. 본 논문에서는 지면상 전체터미널의 시뮬레이션 모형중 안벽모형만을 제시한다.

먼저 안벽 분석모형은 정요일서비스(weekly service)를 제공하는 컨테이너선의 운항특성을 반영하기 위해 평균도착시간간격의 요일별 변동부분과 선박의 안벽이용부분의 독립된 두부분으로 나누어진다. 이중 요일별 선박평균도착시간간격 변동부분은 처음에 한개의 개체를 발생시킨후 이를 기준으로 요일별 평균도착시간간격을 계산한다. 최초로 발생된 개체는 월요일의 평균도착시간간격을 계산한다. 즉, 전체 입항선박의 평균도착시간간격 값으로 미리지정된 전역변수 XX[3]의 값을 월요일의 주간 선박도착선박비율로 나누어 나온 XX[4]값을 월요일의 평균도착시간간격으로 배정한후 요일변수인 XX[5]를 월요일(1)로 한다. 다음에 하루를 경과시킨후 화요일의 도착시간 간격에 맞게 XX[4]를 변화시킨후 XX[5] 값을 화요일(2)로 변화시킨다. 이러한 절차를 계속하여 XX[5]값이 7이 된 후에는 하루를 경과시킨후 다시 일주일의 첫날인 월요일 상태(XX[5]=1)로 돌아가 이후의 과정을 되풀이한다.

또한 안벽처리량 분석모형에서 선박의 도착은 예정도착시각과 실도착시각의 편차를 갖는 일양분포(uniform distribution)를 따라 $(XX[4]-XX[20], XX[4]+XX[22])$ 생



〈그림 1〉 안벽생산성 분석을 위한 AweSim 네트워크 모델

성된다.1) 생성된 선박은 그 도착시각을 속성치 변수인 ATRIB[3]에 기억시킨다. 여기서 각각의 생성 개체인 선박은 8개의 속성치를 가진다. 그것은 선박당 하역컨테이너수, 크레인 투입댓수, 크레인작업시간, 선박도착시간, 선박재항시간, 접안대기시간, 선박길이, 및 접안시간으로 구성된다. 선박은 입항후 도착한 요일값(XX[5])을 속성치변수인 ATRIB[5]에 기록한다. 그 다음에 하역 컨테이너수를 배정받기 위해서는 각터미널의 실제처리한 선박당 하역컨테이너의 개수분포를 각 터미널의 특징에 따라 통계분포 추정지원용 프로그램인 ExpertFit을 사용해 추정하여 사용한다.

이제 도착선박은 안벽에의 접안을 대기한다. 본 시뮬레이션 모형에서의 안벽은 전통적 생산성 분석에서와 같이 하나의 선석에 항상 한척의 선박이 접안작업하는 개념이 아니라, 선박의 길이를 기준으로 부두의 공식적인 선석보다 더많은 선박이 동시에 접안작업할 수 있음을 반영한다. 따라서 실제로는 부두에 선박이 접안해 있는 경우라도 이접안을 위한 선박간 최소거리²⁾와 새로 도착한 선박의 길이를 합한 전체길이가 전체 안벽의 길이를 넘지 않을 때는 여러척의 선박이 동시에 접안하여 작업을 할 수 있다.

즉, 선박이 입항할 때 안벽이 비어있으면 접안하여 작업을 하고, 안벽에 선박이 작업중이라도 선박의 길이와 이접안 소요길이를 더하여 총안벽길이를 넘지 않으면 여러척의 선박을 동시접안하여 작업한다. 그러나 동시접안이 불가능하면 묘박지 등의 대기장소(1번 파일)에서 접안대기를 한후 작업중이던 선박이 출항한 다음 새로 안벽을 차지한 후 대기장소에서의 대기시간을 속성치 변수인 ATRIB[6]에 기록한다.

여기서 선박의 대기시간들은 대기장소를 빠져 나오는 시각과 앞서 발생된 선박 입항시각(ATRIB[3]에 기록된 시각)과의 차이로 계산된다. 이때 대기시간기준으로 체선(12시간이상 대기), 실무적 대기(3시간이상 대기), 및 시뮬레이션상 대기(0시간 이상 대기)한 전체대기선박수를 전역변수인 XX[24], XX[23], 및 XX[16]에 각각 기록해 준다.

다음에는 접안소요시간(berthing time)과 작업준비시간을 각각 경과시킨후 하역 작업물량 속성변수인 ATRIB[1]를 부두의 총크레인중 할당가능 크레인수와 크레인

1) 선박의 도착간 분포는 여러 가지 이론분포모형으로 추정될 수 있으나, 특히 컨테이너선의 경우는 정해진 운항일정을 기준으로 선박이 운행되는 특성을 갖고 있다. 따라서 일반적인 확률분포를 사용하여 컨테이너선의 도착간 분포를 추정하는 것은 부적당하다. 따라서 정해진 운항일정을 기준으로 날씨 등 운항조건에 따른 조기도착 및 지연도착의 개념을 표현하는 데 가장 적당한 일양분포를 사용하여 컨테이너선의 도착간 분포를 추정하는 것이 더욱 타당하다.

2) JWD(1998)등은 선박의 접안간격을 20미터로 제시하나, 국내터미널의 분석에 따르면 대략 18미터 정도로 추정된다.

당 총생산성 분포로 나눈 시간 변수인 ATRIB[2]만큼 시간을 경과시킨다. 다음에 이안준비시간 그리고 이안소요시간(deberthing time)을 경과시킨후 점유하던 안벽 길이만큼을 여유 컨테이너터미널 자원으로 전환시킨다. 안벽의 사용후 안벽이용선박들의 총하역물량은 전역변수 XX[1]에 매선박의 하역물량을 나타내는 속성치인 ATRIB[1]을 더하여 구하고, 재항시간(ATRIB[4])과 접안시간(ATRIB[9])을 계산하여 기록한다. 여기서 재항시간은 안벽의 이용을 끝낸 시각과 선박도착시각(ATRIB[3])의 차이이며, 접안시간은 작업시간에 작업 및 출항준비시간을 더한 시간이다. 다음은 시뮬레이션에 의해 필요한 자료를 축적하는 단계로, 본 시뮬레이션모형에서는 선박이 자료수집노드(COLCT Node)를 지날 때마다 다음의 자료를 수집한다. 수집되는 자료는 선박당하역물량 (ATRIB[1]), 선박길이 (ATRIB[7]), 선박당 안벽대기시간 (ATRIB[6]), 선박작업시간 (ATRIB[2]), 접안시간(ATRIB[9]), 재항시간(ATRIB[4]), 그리고 안벽점유길이시간(the time of quay occupancy length)³⁾ 등이다.

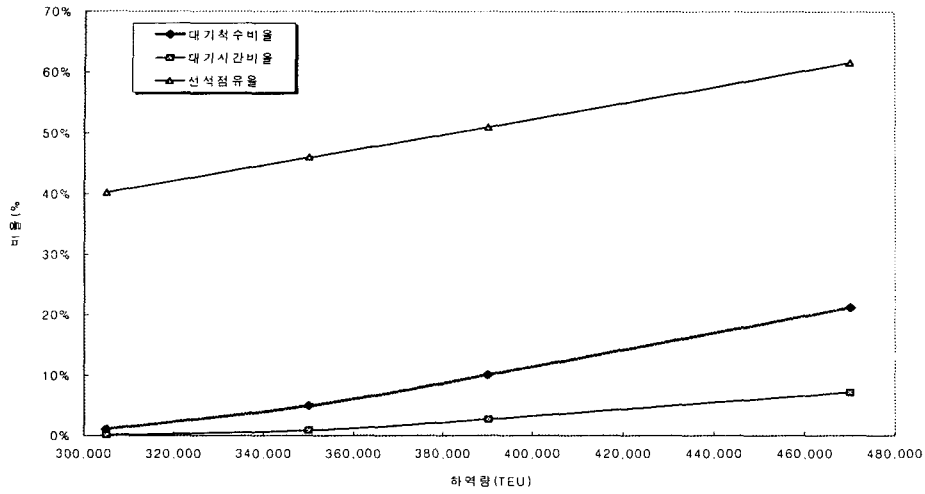
본 시뮬레이션 모형에서는 시뮬레이션 시작후 시스템이 안정상태에 이른 후의 값을 구하기 위해 시뮬레이션 초기의 불안정기간(warm-up time)동안의 자료를 지운 후 안정상태의 기록만을 축적하여 분석한다.

IV. 시뮬레이션 기반 생산성 향상 전략

본 장에서는 III장에서 구축한 AweSim시뮬레이션모형을 이용해 컨테이너 터미널의 생산성분석을 위한 시뮬레이션 민감도 분석을 수행하였다. 본 논문에서는 특히 컨테이너 터미널의 복잡다기한 특성을 반영하기 위해 안벽시스템, 장치장시스템, 그리고 게이트 시스템 등의 세가지 주요 하위시스템들에 대한 시스템분석을 수행하였다. 그러나 수집된 많은 자료들의 부정확성문제와 실질적인 필요에 의해 컨테이너터미널의 세가지 하위시스템중 안벽모형에 초점을 맞출 수밖에 없었다. 시뮬레이션을 통한 각 항목별 연구결과는 다음과 같다.

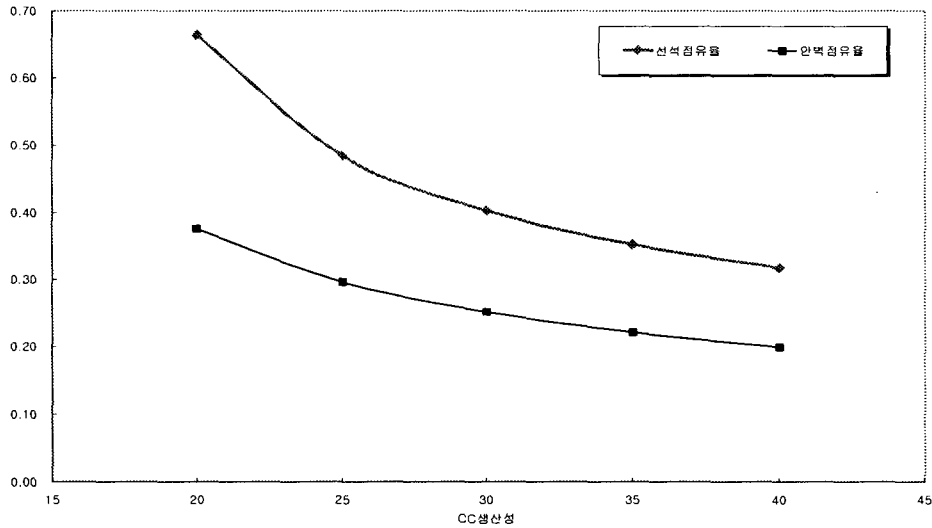
첫째, 경쟁이 극심한 혼잡부두에서 부두의 혼잡도를 완화시켜 부두의 경쟁력을 향상시키기 위해서는 <그림 2>와 같이 처리물동량을 적정한 수준으로 유지하는 노력이 필요하다. 즉, 여러가지 노력에도 불구하고 고객에 대한 서비스 수준은 터미널이 혼잡해지면 저하됨을 알 수 있다.

3) 선박접안중에 점유된 선박길이와 선박의 점유시간을 곱한 개념으로, 연속된 안벽에서 선박의 접안으로 점유한 안벽길이와 점유길이의 점유시간을 나타낸다.



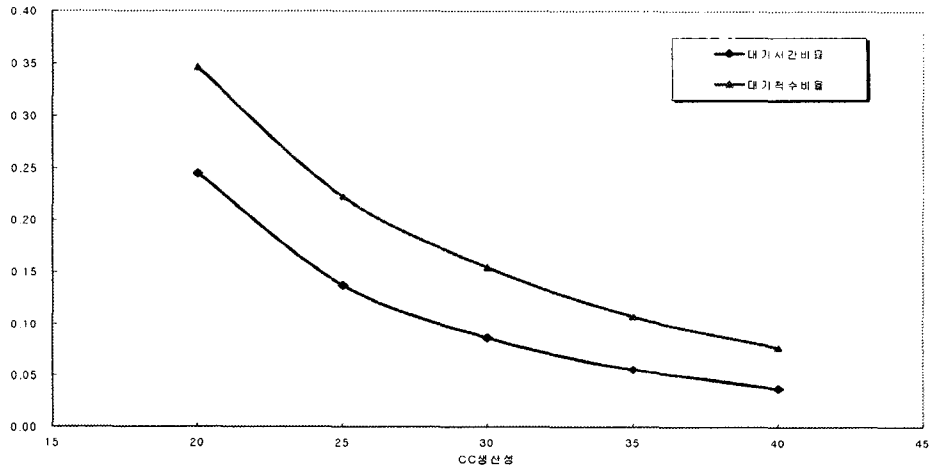
〈그림 2〉 안벽처리량과 부두평가지표의 관계

둘째, <그림 3>에서 처럼 CC의 생산성과 부두점유율의 관계를 살펴보면, CC생산성의 변화는 즉시 부두의 이용율(가용률)을 지속적으로 낮추거나 높여줄 수 있다. 즉, 부두에서 CC의 생산성이 높아지면 전체적으로 선박의 하역작업소요시간과 그 결과로써 재항시간을 줄여주게 됨에 따라, 점유율로 표현되는 전체적인 부두의 이용률은 낮추고 가용률(availability)은 높여준다.

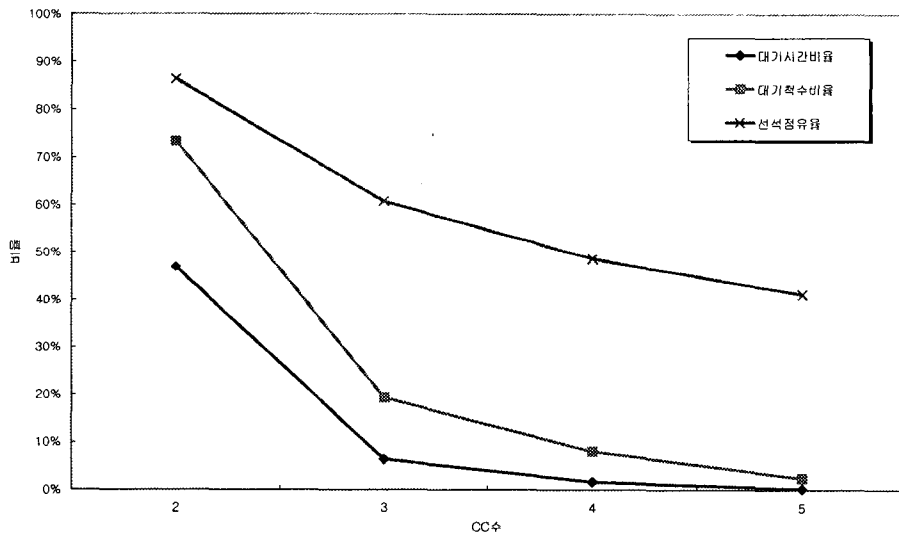


〈그림 3〉 CC생산성과 부두 점유율의 관계

셋째, <그림 4>에서와 같이 CC의 생산성과 대기척수 및 대기시간비율(UNCTAD, 1973 및 1985)의 관계에 대한 분석에 따르면, 터미널에서 크레인의 생산성 향상은 서비스수준을 크게 높여주는 것을 알 수 있다. 따라서 성능이 열악한 CC를 사용하는 혼잡도가 높은 터미널에서는 우선적으로 기존 CC를 고성능 장비로 교체 또는 개량하는 것이 전체적인 부두생산성을 높이는 전략이다.



<그림 4> CC생산성과 부두 평가지표의 관계

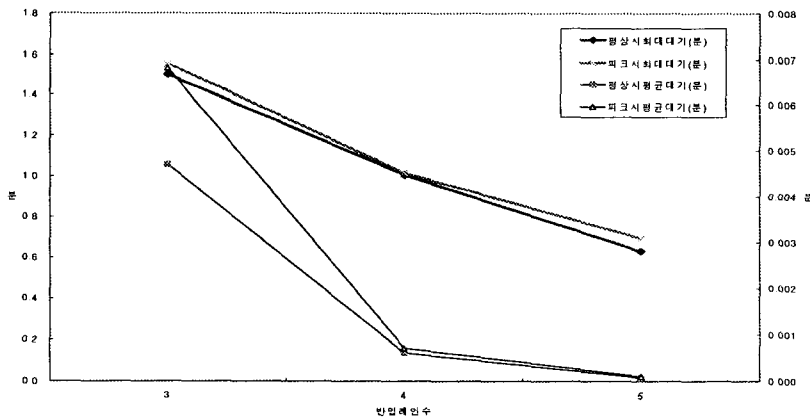


<그림 5> CC수와 부두평가지표의 관계

4) 대기척수비율=대기척수/전체입항척수, 대기시간비율=대기시간/서비스시간

넷째, CC수와 부두평가지표간의 관계는 다음과 같다. CC수의 변화는 즉시 부두의 이용율(가용률)을 지속적으로 변화시킬 수 있다. 즉, 부두에 투입CC수를 추가하여 선박당 더많은 CC로 작업하게 되면 선박당 총하역생산성이 높아져 선박의 하역작업소요시간과 그 결과로써 재항시간을 줄여줄 수 있다. 예를 들어, <그림 5>에 제시한 부두의 경우 선박별 투입CC대수를 2대에서 3대로 변경하는 경우 대기시간비율과 대기척수비율로 표시되는 서비스수준이 급격히 향상됨을 알 수 있다. 그러나 이보다 많은 4대에서 5대의 CC로 변경하는 경우는 대기시간비율이나 대기척수비율 등의 부두평가지표가 좀더 완만하게 개선된다. 따라서 대형선들이 주로 입항하며, 재항시간이 과도하지만 부두를 확장하기 어려운 경우에는 특히 CC수의 추가가 우선적으로 채택해야하는 전략으로 판단된다.

다섯째, 게이트 레인수와 게이트 효율성의 관계는 <그림 6>과 같다. 대기행렬시스템에서 서버수 증대효과는 게이트시스템에서도 적용된다. 예로 든 부두의 경우, 반입레인수가 3개일 경우에 비해 레인이 4개로 늘어나면 트럭의 대기시간이 무시할 정도로 급격히 줄어든다. 따라서 게이트 혼잡도가 높은 경우는 게이트를 우선적으로 늘리는 것이 필요하다.



<그림 6> 게이트레인수와 대기시간 관계

V. 통합생산성 측정 전략

1. 기존 생산성 측정 지표의 문제점

II장에서 제시한 기존의 컨테이너터미널 생산성 평가지표들을 일반적으로 사용하

기에는 몇가지 문제점이 존재한다. 이러한 문제점때문에 관련 생산성지표들이 광범위하게 사용되지도 못하는 동시에, 지속적으로 새로운 지표들이 요구되어 왔다.

첫째, 가장 큰 문제점은 DEA기법등을 제외하고 기존에 사용되어 오던 지표들로 는 터미널간의 실제적인 비교가 어렵다는 점을 들 수 있다. 가장 많이 사용되는 지표인 크레인당 하역생산성은 구하기 가장 용이하나, 컨테이너터미널의 보유크레인 대수제약에 따라 선박마다 투입하는 크레인대수가 일반적으로 다르기 때문에 동지표의 비교를 통해 터미널의 서비스수준에 대한 정확한 평가가 곤란하다. 즉, 고객들은 특정터미널의 크레인당 생산성 수준을 가지고 동터미널이 어느 정도의 서비스를 자신에게 제공해 줄 수 있는지를 알 수가 없다.

둘째, 두번째 문제점은 대부분의 지표들이 부분생산성만을 제시하고 있다는 문제점을 안고 있다. 특히 빈번하게 사용되는 컨테이너터미널에서의 부분생산성들은 터미널의 고객 또는 소비자들인 선사나 화주가 터미널을 선정하는 기준으로는 사용하기 어려운 점들이 있다. 또한 총요소생산성 등과 같이 일부 시스템의 총생산성을 분석해주는 방법도 있으나, 이와 같은 총요소생산성 등의 개념은 다양한 요소들을 특정한 단일요소로 변환하는데에 따르는 변환의 문제가 제기될 수 있다.

2. 실험적 통합생산성 측정 전략

터미널의 고객인 선사나 화주의 입장에서 가장 우수한 터미널은 고객의 최종목적지까지의 최대한 효율적으로 화물을 운송해주는 곳이라 판단할 수 있다. 그러나 본 논문에서는 컨테이너터미널의 생산성분석을 위한 컨테이너터미널의 시스템경계(boundary)를 안벽, 장치장, 및 게이트로 이루어진 컨테이너터미널로 한정한다. 왜냐하면 터미널의 게이트를 넘는 배후지의 상황이나 조건들도 전체 터미널시스템에 영향을 미친다고 볼 수 있지만 이곳을 통해 내륙의 목적지까지 가는 과정은 개별적인 컨테이너 박스들마다 상이하기 때문이다. 그러므로 터미널의 배후시스템까지를 포함해서 컨테이너터미널을 분석 하기는 곤란하다. 추후에는 이러한 점도 감안하여 분석 해야할 것이다. 즉, 특정터미널을 기준으로 한 내륙의 O-D분석을 통해 화물의 비율과 거리 또는 수송시간 등이 조사되면 이를 기준으로 하여 전체시스템의 효율을 분석할 수도 있을 것이다.

위에서 제시한 제지표들의 문제점들을 완화시키기 위하여 본 논문에서는 실질적으로 전체컨테이너 터미널의 생산성을 분석할 수 있는 동시에 고객의 입장에서 터미널의 생산성기준을 선정할 수 있도록 해주는 몇가지 실험적 지표들을 제시한다.

본 절에서 제시하는 지표들은 모두 안벽과 관련이 있는 데, 왜냐하면 컨테이너

터미널은 안벽에서의 컨테이너하역에서부터 모든 과정이 시작되고, 궁극적으로 안벽관련 지표들에는 육상 또는 하역중의 효율성들이 모두 내재되어 있는 것으로 판단할 수 있기 때문이다.

첫째, 아래 두지표와 관련된 것으로 전반적인 선박의 재항시간을 기준으로 한 선박당 총하역생산성을 지표로 사용하는 것이다. 이러한 지표는 셋중 계산이 가장 간단하나 터미널의 상황이나 선박당 몇대의 크레인으로 작업하는지 등의 작업규칙과는 무관하게 재항시간당 몇개의 컨테이너를 하역작업하여, 선박의 최소재항시간을 보장해 주느냐에 따라 서로 다른 터미널간에 순위를 평가할 수 있는 것이다. 단, 이 지표는 위의 두지표와 달리 동일 선형 또는 하역량을 기준으로 할 때만 터미널간의 정확한 비교가 가능하다는 단점이 있다.

둘째, 기준시간초과율(normtime excess ratio)이라는 지표를 사용할 수도 있다 (KPC, 1988). 이러한 지표는 궁극적으로 컨테이너터미널의 주고객인 선사들이 운영하는 컨테이너선들이 시간당 비용 또는 시간당 가치가 매우 높은 물류장비 또는 시스템이라는 사실을 인식하여, 위에 제시한 지표와 유사하게 사용될 수 있다. 그러나 이 지표는 운항을 위한 최대소요시간을 기준으로 하여 정해진 시간보다 소요시간이 적은 경우는 전혀 문제가 없는 것으로 판단한다. 즉, 정해진 시간보다 일찍 작업을 완료하게 되면 다음기항지까지 운항속도를 늦추어 운항비용을 절약하는 감속운항(slow steaming)을 활용할 수 있기 때문에 문제가 안되는 것으로 판단하는 것이다.

$$\text{기준시간초과율} = \frac{\sum_i (\text{선박}i \text{ 양적하작업시간} - \text{선박}i \text{ 기준시간})}{\text{총입항척수}}$$

동지표는 정해진 하역량에 대한 표준(기준) 처리시간이 제시되어 있으며, 이러한 표준(기준)시간을 초과하는 선박의 비율이 어느 정도냐 하는 것으로 터미널의 효율성을 평가하게 된다. 즉, 여기서는 개별하역량의 크기가 중요한 것이 아니라 정해진 시간을 초과하는 선박이 문제가 되는 것이며, 얼마를 초과하느냐의 초과 정도는 크게 문제가 되지 않는다.

셋째, 고객입장에서 터미널의 통합생산성 지표를 개발하기 위해 가장 우선적으로 고려할 수 있는 지표는 잘 아는 대로 선박의 재항시간이다. 그러나 이는 기존의 재항시간과는 상당히 다른 개념으로, 선박별 하역량에 따른 재항시간을 말한다. 생산성측면에서는 단순히 재항시간 자체가 짧은 것도 중요하지만 이보다는 동일한 터미널에서 정해진 량의 컨테이너를 하역할 경우 정해진 시간을 항상 준수할 수

있느냐 하는 기준시간준수율(normtime exactness ratio)도 중요하다. 즉, 이것은 일반적인 물류의 서비스 수준 평가에 있어 소요시간이 중요하지만 소요시간의 일관성(consistency of turn around time)⁵⁾이 더욱 중요한 지표를 구성할 수 있는 것과 같다.

$$\text{기준시간준수율} = \frac{\sqrt{\sum_i [(\text{선박 } i \text{ 실제항시간} - \text{선박 } i \text{ 기준재항시간})]^2}}{\text{총입항척수}}$$

물론 동비율에서 절대값이나 제곱을 하지 않을 수도 있으나, 이는 서로 다른 부호의 수치를 결합하게 되면 기준시간과의 편차가 구별할 수 없게되기 때문에 이와 같은 경우 제곱의 방법이 가장 효율적인 것으로 판단된다. 한편 이와 같은 기준시간의 계산은 터미널의 시뮬레이션 등을 통해 상황에 맞추어 간단하게 제시할 수 있을 것이다.

VI. 결 론

1. 결론

이미 사용중인 컨테이너 터미널의 생산성 측정방법은 부분생산성만을 주로 측정한다는 문제점을 안고 있으며, 서비스의 공급자입장에서 단순한 터미널내의 자체 정보로서만이 의의를 지닌다고 볼 수 있다.

그러나 전세계적으로 컨테이너 터미널간의 경쟁이 극심해지고 있으며, 우리나라의 경우도 지속적인 컨테이너터미널의 개발·확충에 힘입어 컨테이너의 하역시장이 더 이상 생산자 또는 공급자가 주도하는 판매자위주시장(seller's market)이 아니라 여러대상중 고객의 구미에 맞는 터미널을 선택하여 서비스를 구매하는 구매자위주 시장(buyer's market)이 되고 있다.

따라서 터미널들에서도 고객들이 다른 터미널과 서비스수준의 비교를 용이하게 하고, 경쟁우위 요소를 통해 자터미널을 선택할 수 있도록 하는 우수한 통합지표에 근거한 마케팅전략을 수립할 필요가 있다. 그러나 기존의 생산성개념들은 위에

5) Jackson, D. W., J. E. Keith, and R. K. Burdick (1986), "Examining the Relative Importance of Physical Distribution Service Elements," Journal of Business Logistics, Vol. 7, No. 2, pp. 14-32.

서 설명한 것과 같이 주로 부분생산성만을 제시하며, DEA방법도 효율의 서열만을 나열하기 때문에, 고객들의 입장에서 서비스의 수준을 정확히 파악할 수 있는 지표가 필요한 실정이다.

이와 같은 목적을 위해 본 논문에서는 전체터미널의 효율성을 간단히 파악할 수 있는 세가지 지표를 제시하였다. 그중 선박당 총하역생산성은 기존에 개발된 것이나 실무적으로는 많이 사용되지 않았던 지표이다. 그러나 이는 동일한 규모의 하역량을 기준으로 평가하게 되는 경우 개략적이나 우수한 항만간 비교기준이 될 수 있을 것이다. 또한 기준시간초과율(normtime excess ratio)은 최근에 컨테이너 터미널의 개발을 위해 사용되기 시작한 지표이다. 이것은 선박의 재항시간이 사전에 정해진 기준시간을 초과하는 비율을 말한다. 여기서는 기준미만의 시간이 걸리는 경우는 제외하고 기준시간보다 큰 경우만 문제가 되는 것으로 파악한다. 이는 하역시간이 기준시간이하로 소요되게 되면 선박의 재항시간을 줄임으로써 다음번 기항지까지의 운항시간의 여유가 생기기 때문에 저속운항(slow steaming)을 통해 많은 비용을 절약할 수 있음을 감안한 것이라 볼 수 있다. 하지만 물류의 원리에 따르면 단순한 시간의 장단보다 정해진 시간의 일관성이 더욱 중요할 수 있다. 이와 같은 목적을 위해 본 논문에서는 기준시간준수율(normtime exactness ratio)이라는 지표를 개발하여 재항시간의 일관성을 파악할 수 있게 해준다. 기준시간준수율은 높은 터미널의 재항시간 일관성이 높은 터미널은 고객인 선사들의 운행계획을 더욱 효율적으로 작성할 수 있게 해주는 장점을 갖는다.

2. 연구의 한계 및 추후연구과제

본 연구에서는 개인용컴퓨터환경이라는 제약에도 불구하고 보다 정확한 컨테이너터미널의 시스템분석을 위해 복잡한 시뮬레이션 모델을 구축하였다. 그러나 모델의 구축에 있어서는 자료문제로 야드관련 분석을 충분히 수행하지 못하고, 데이터의 미비로 몇 가지의 자료를 다른 연구의 결과를 원용하였다. 게이트모형에서도 실제 게이트에서 컨테이너의 반출입처리 소요시간을 조사하지 못하고 다른 연구의 결과를 원용하였다.

한편 본 논문에서 제시한 기준시간준수율 등의 지표는 아직 충분한 검증이 이루어지지 못한 실험적 지표이다. 따라서 추후에는 글로벌공급사슬경영의 시대를 맞이하여 고객입장을 반영하는 이러한 지표에 대한 충분한 분석과, 더욱 적합한 지표의 개발 및 활용방안의 모색이 필요할 것이다.

참 고 문 헌

1. 김창곤·윤동한·최종희·배종욱, 『시물레이션 모델을 이용한 컨테이너터미널 안벽능력 분석』, 한국해양수산개발원, 2000.
2. 박노경, 「항만의 생산성 측정에 관한 이론적 고찰」, 『한국항만경제학회지』, 제14권, 제1호, 1998, pp. 95-113.
3. 박병인, 『시물레이션을 이용한 컨테이너터미널의 생산성 분석』, 국립여수대학교, 2002.
4. 박병인·박명섭·박광태, "대기행렬모형을 이용한 동부산 컨테이너터미널의 안벽처리능력 분석", 『로지스틱연구』, 한국로지스틱스학회, 1997.
5. 박병인·박명섭·박광태, "대기이론과 시물레이션의 상호보완을 통한 컨테이너터미널의 선박처리 시스템 분석", 『경영학연구』, 한국경영학회, 1999.
6. 박병인·성삼경, "혼잡컨테이너 터미널의 선박대기비용 추정을 위한 시물레이션 모형", 『한국생산관리학회지』, 한국생산관리학회, 1998.
7. 오성동·박노경, "컨테이너항만의 국제경쟁력 분석방법: DEA 접근", 『한국항만경제학회지』, 제17권, 제1호, 1999, pp. 27-51.
8. 임진수·박병인, 『시물레이션을 이용한 컨테이너터미널의 능력산정연구』, 해운산업연구원, 1991.
9. 정승호·하원익, "컨테이너 터미널 생산성 산정에 관한 실증 연구," 『한국항해학회지』, 제66호, 1999, pp. 77-88
10. 한국해양수산개발원, 『우리나라 컨테이너부두 생산성 향상방안 연구』, 2002.
11. Asbar, A, "Measurements of Port Productivity and Container Terminal Design," in Container Terminal Productivity, *Cargosystems*, 1999.
12. Charnes, A., Cooper, W.W. and Rhodes, E., "Measuring the Efficiency of Decision Making Units," *European Journal of Operational Research*, Vol. 2, 1978, pp. 429-444.
13. Dowd, T.J. and Leschine, T.M., "Container Terminal Productivity: A Perspective," *Maritime Policy and Management*, Vol. 17, No. 2, 1990, pp. 108-119.
14. Jacksen, D.W., Keith, J.E. and Burdick, R.K., "Examining the Relative Importance of Physical Distribution Service Elements," *Journal of Business Logistics*, Vol. 7, No. 2, 1986, pp. 14-32.
15. JWD, "Measurements of Port Productivity," in Container Terminal Productivity, *Cargosystems*, 1999.
16. JWD, *Pusan Newport Container Terminal Development*, Pusan New Port, 1998.
17. KPC, *Pusan Newport Terminal Planning Study*, Pusan New Port, 1998.
18. Pritsker, A., O'Reilly, J. and LaVal, D., *Simulation with Visual SLAM and AweSim*, 2nd

- ed., System Publishing Corporation, 1999.
19. Roll, Y. and Hayuth, A., "Port Performance Comparison Applying Data Envelopment Analysis(DEA)," *Maritime Policy and Management*, Vol. 20, No. 2, 1993, pp. 153-161.
 20. Song, D.W., "Asian container ports : Administration and Productivity", *Ports and Harbors*, 2001.
 21. Song, D.W. and Cullinane, K., "Port Ownership and Productive Efficiency: The Case of Korean Container Terminals," *8th WCTR Proceedings*, Vol. 1, 2001.
 22. UNCTAD, *Berth Throughput*, United Nations, 1973.
 23. UNCTAD, *Port Development*, United Nations, 1985.

논문투고일: 2002. 3. 11.
1차 심사일: 2002. 4. 15.
심사판정일: 2002. 5. 10.