

운영시스템의 도입에 따른 컨테이너터미널의 생산성 향상 평가

최용석* · 하태영**

*한국해양수산개발원 책임연구원, **한국해양수산개발원 연구원

An Evaluation of Productivity Improvement for Container Terminal by Introducing Operation System

Yong-Seok Choi* · Tae-Young Ha**

*Shipping, Logistics and Port Research Center, **Korea Maritime Institute, Seoul, Korea

요 약 : 본 연구의 목적은 컨테이너터미널의 생산성 향상을 위한 새로운 운영시스템 기술 도입에 따른 기대효과를 분석하는 것이다. 컨테이너터미널의 운영시스템을 종합관제시스템, 운영시스템, 계획시스템, 정보기술 등의 크게 4가지 기능으로 분류하며, 총 19가지 신기술 대안을 선정하였다. 선정된 운영시스템 기술대안에 대해서 현장 전문가를 대상으로 한 설문조사 및 면담조사를 통하여 기술대안별 중요도와 생산성 향상지수를 추정하고 생산성 향상 평가모형을 수립하였다. 또한, 생산성 향상 평가모형을 이용하여 운영시스템 기술 도입에 따른 대안별 기대 생산성을 산출해 보았다. 따라서, 새로운 운영시스템의 도입시 기대 생산성을 분석하고자 할 경우에 유용하게 사용가능할 것으로 본다.

핵심용어 : 컨테이너터미널, 운영시스템, 생산성, 설문조사

Abstract : The objective of this study is to evaluate the expected effectiveness of new operation system for port container terminals. We assumed that the operation system of container terminal consists of monitoring & control system, operation system, planning system, and information technology, and we selected total 19 technology alternatives. Through the results of questionnaire and interview received from field expert, we established the evaluation model and analyzed the productivity improvement by estimating the weight and the priority of productivity for operation system. From the developed model, we provide useful implications to introduce new technologies of operation system for domestic container terminals.

Key words : Container Terminal, Operation System, Productivity, Questionnaire

1. 서 론

세계 주요 국가와 항만들은 국제물류거점기지로서의 주도권 확보를 위해 정부당국과 항만운영사가 공동으로 대규모 항만시설을 확충하고 항만기능을 고도화·다양화하고 있다. 특히, 세계 선진 항만간에 이루어지는 물류중심화 경쟁은 동북아시아에서의 경쟁적인 부두시설 확충과 같은 하드웨어(hardware)측면과 유럽항만 주도하에 이루어지고 있는 비용절감 및 서비스의 질적 수준 향상 등의 부두운영 효율화와 같은 소프트웨어(software)측면을 망라하여 전개되고 있다.

특히, 싱가포르, 홍콩, 로테르담항 등 세계 주요 거점항만들은 국제물류를 주도하기 위해 항만시설을 지속적으로 확충하는 한편, 운영시스템의 개선을 통해 생산성 향상에 박차를 가하고 있다. 효율적인 운영시스템을 통한 생산성 향상과 서비스의 질적 수준 향상으로 항만의 경쟁력을 강화하고 있으며, 운영비용의 절감과 화물처리능력의 극대화를 통해 운영수익을 증대시킴으로써 항만투자비를 적기에 회수하여 시설재투

자 재원으로 활용하고 있다.

우리나라는 동북아의 물류중심기지로 육성하기 위한 전략을 추진 중이지만 그동안 항만시설 확충에 중점을 두어 외형적으로는 크게 성장하여 경쟁력을 확보해 나가고 있으나 부두운영의 효율성과 서비스의 질적 수준에서는 선진항만에 비해 상대적으로 투자가 부족한 실정이다. 세계 주요 선진항만들은 하역장비 및 시설 확충과 더불어 효율적인 터미널 운영과 하역·보관·이송능력 향상 및 높은 수준의 서비스를 제공하기 위하여 지속적으로 운영시스템 개선방안을 연구·개발하고 있다.

이러한 측면에서 우리나라가 동북아 물류중심항만(Hub-port)이 되기 위해서는 선진항만 수준을 뛰어 넘어 현재 보다 1.5~2배 이상의 생산성 향상과 고객 만족이 극대화 될 수 있는 보다 선진화된 터미널 운영시스템의 개발 및 도입이 이루어져야 한다. 이는 새로 건설되는 신규 항만에서 뿐만 아니라 시설을 확충해야 하는 기존 항만에서도 자동화되고 효율적인 운영시스템의 구축을 지향해야 하며, 이를 위해서는 컨테이너터미널에 대한 운영 고도화에 대한 지속적인 요구를 받

* 대표저자 : 최용석(중신회원), drasto@kmi.re.kr 02)2105-2886
** 정희원, haty@kmi.re.kr 02)2105-2887

영하여야 한다. 즉, 입항 선박의 접안시간 및 반출입차량의 대기시간 단축과 같은 외부 이용자에 대한 서비스의 질적 향상과 야드점유율 향상, 재조작의 최소화, 장비이동거리의 최소화 등 운영자 측면의 운영효율 향상으로 보다 고도화된 운영시스템을 개발 적용할 필요성이 높아지고 있다.

그러나, 선진항만 및 자동화 컨테이너터미널에서 적용되었던 운영시스템 기법들을 국내에 도입할 경우 생산성 향상에 기여할 수 있는 운영시스템 기술들이 어떤 것인지를 먼저 분석하는 것이 중요한 과제이며, 국내의 운영현황에서 현실성 및 타당성이 있는 운영시스템 기술들을 도출하는 것이 필요하다.

그러므로 본 연구에서는 국내 컨테이너터미널의 생산성 향상을 위해 적용이 가능한 운영시스템 기술 대안을 제시하고 기술 도입에 따른 생산성 향상을 평가하기 위하여 다음과 같이 연구내용을 구성하였다. 먼저, 컨테이너터미널의 운영시스템 기술들을 분석하고, 생산성의 향상에 대한 한계를 살펴보고, 운영시스템 기술대안에 대한 설문조사 및 전문가 면담을 통해서 기술대안을 선정하였다. 생산성 향상 평가모형에서는 모형을 수립한 후 설문조사와 전문가 면담에서 얻은 결과를 바탕으로 운영시스템 기술대안별 생산성 향상 지수와 가중 생산성 향상 지수를 적용하여 모형에 의한 생산성 향상 분석을 수행하였으며, 운영시스템 대안분석을 통해서 생산성 향상 정도와 미래 생산성을 예측한 후 생산성 향상의 주된 목적인 초대형선에 대한 선박제항시간을 어느 정도 만족시킬 수 있는가를 분석하였다.

2. 운영시스템 도입에 따른 영향

2.1 운영시스템 관련 연구

컨테이너터미널에 관한 국내외 연구는 컨테이너 물류흐름의 복잡성으로 인하여 정부정책에 대한 연구, 거시적인 수송 문제에 대한 부분적인 연구, 컨테이너터미널의 용량을 결정하기 위한 연구가 대부분이며, 운영시스템에 대한 연구는 운영방식의 복잡성과 시스템의 다양성으로 인해 컨테이너터미널의 운영시스템이 생산성에 미치는 영향을 분석한 연구는 수행되지 않았다. 기존의 운영시스템 관련 연구를 살펴보면, 계획시스템을 위한 연구분야에서는 장치장 할당계획에 관한 연구(Kim et al., 1997), 적하계획에 관한 연구(김 외, 1997), 선석계획에 관한 연구(김 외, 2000, 이 외, 1995) 등이 있으며, 시물레이션을 이용한 연구(윤 외, 1999, 장 외, 2002), 자동화 시스템에 관한 연구(김 외, 1999, 유 외, 1998) 등과 함께 컨테이너터미널의 효율적 운영을 위해서 운영시스템을 본선계획시스템, 장치장계획시스템, 실시간작업통제 및 자원할당시스템, 시물레이션 시스템으로 구성된 의사결정지원시스템 개발사례 연구(김 외, 1998)도 있다.

운영시스템 및 운영기법에 대한 이론적인 연구는 국내에서도 1990년대 중반부터 지속적으로 연구되어 왔으나 국외에서는 실무적인 개발이 많이 진행되어 왔다. 운영시스템과 생산성 측면에서 대표적인 선진 항만으로는 홍콩의 HIT(Hongkong International Terminal), 싱가포르의 PSA(Port of

Table 1 Operation systems applied in HIT

운영시스템	기술 설명	효과
DGPS를 이용한 APIS	정밀위성위치확인(Differential Global Positioning System, DGPS)를 이용하여 야드 장비 및 컨테이너의 위치를 실시간으로 자동 추적하는 기술로 야드 장비의 효율적인 관리와 터미널 내 반출입 시간 최소화	운송사의 물류비 절감 터미널 서비스 향상
Operation Monitoring System(OMS)	실시간 터미널 작업상황 감시 및 통제시스템으로 게이트, 야드 및 선박의 통합 모니터링시스템	작업생산성 향상 터미널 운영의 최적화
Yard Allocation Planning	Automatic Grounding Strategy으로 지식기반 개념의 알고리즘을 도입한 Rule-Based Yard Auto Planning System	공간활용도 30% 향상 작업생산성 40% 향상
Internal Tractor Deployment System(ITDS)	본선작업 중 양·적하를 동시에 수행하는 Dual Cycle System (양적하 동시 배차시스템)	본선 생산성 25% 향상
Inventory Management System	Ship-Side, Repair Shop, ESA 등에서 PDA를 활용한 Real Time Inventory Service	고객 서비스 향상
Intelligent Berthing Plan System(IBPS)	터미널 운영규칙 및 환경을 고려한 자동 선석 배정 기능과 C/C의 자동 배정, 야드의 효율적인 관리 및 체계적인 반·출입관리 기능	선사/운송사 신뢰성 향상 선석이용률 20% 향상 C/C이용률 25% 향상
Image Recognition System	CCD 영상인식 기술을 활용한 게이트 반·출입작업 및 본선 양·적하작업의 무인자동감시시스템으로 자동 손상 관리 기능 포함	터미널 신뢰성 향상 자동화 파급 효과
Tractor Appointment System	Voice, PDA 및 EDI를 활용한 반출예약시스템	Yard의 효율적 관리 트럭 체제시간 감소
Vessel Planning	Integrated Yard & Vessel Planning Strategy를 뒷받침해 줄 수 있는 Vessel Planning Module을 가진 Vessel Explorer System	Yard 및 C/C의 생산성 30% 증대

자료 : 한국허치슨터미널(Hutchison Korea Terminal) 내부자료

Singapore Authority), 네덜란드의 ECT(Europe Combined Terminal), 독일의 CTA(Container Terminal Altenwerder) 등을 들 수 있다. ECT와 CTA는 완전 자동화된 터미널로서 유명하며 운영시스템 또한 많은 부분이 자동화되어 있다. 싱가포르 PSA는 공용터미널로서 국가가 정책적으로 투자를 많이 한 결과 운영과 시설측면에서 선두주자라 할 수 있다. 홍콩의 HIT는 우리나라와 유사한 항만환경을 가지고 있으며 싱가포르와 유사한 시스템이 개발되어 사용되고 있다. 이에 비하여 미국은 온샤시(On-chassis) 시스템을 사용하는 관계로 운영이 간편하여 운영시스템에 관한 개발이 활발하지 않은 실정이다. 따라서 해외의 선진항만의 경우도 하역시스템 뿐만 아니라 운영시스템도 그 나라의 고유한 항만환경과 국가정책에 따라 다양한 형태로 개발될 수 있다.

예로서, 홍콩의 카와이칭 컨테이너부두에서 총 처리량의 60%를 취급하고 있는 HIT(Hongkong International Terminals Limited)는 1994년에 3P(Productivity Plus Programme)에 약 1500억원을 투자하여 30% 정도의 생산성 향상을 달성하였으며, 처리능력을 획기적으로 증가시키는데 기여하였다. 3P에서 대상으로 하는 운영시스템 기술들은 Table 1과 같다.

2.2 생산성에 미치는 영향

현재 컨테이너터미널의 생산성 향상은 컨테이너터미널에서 보유하고 있는 시설장비의 투자수준을 일정하게 유지하면서 터미널 자체의 물동량 증가에 따라 일정한 성장률을 보이고 있어 자연적으로 일정한 증가율을 가지고 생산성이 향상되고 있다. 그러나 이러한 자연 증가분의 생산성 향상은 그 증가폭이 낮으며, 효율적인 운영시스템의 도입을 고려하지 않은 것이다. 따라서 운영시스템의 도입을 통해서 새로이 개발된 기술을 도입 및 적용할 경우 기대되는 생산성 향상을 파악하기 위해서는 기존에 시설투자로 인한 자연 증가율을 가지는 생산성 향상에 대한 판단이 먼저 이루어져야 되며, 시설투자로 인한 자연적인 생산성 향상과 운영시스템 신기술 도입으로 인한 생산성 향상은 투자의 대상이 다르므로 구분되어야 한다. 그러므로 여기서는 신기술의 운영시스템 도입여부에 따라 도입을 하지 않은 상태인 자연성장 모델과 도입할 경우의 운영투자성장 모델로 나누며, 자연성장 모델은 현재의 시설투자를 유지하면서 물동량 증가에 따라 일정한 성장률을 유지한다고 가정할 경우의 모델이고, 운영투자성장 모델은 운영시스템에 대한 기술개발로 인한 생산성 향상을 평가하기 위한 모델이다(강 외, 2001).

모델의 수립에 대해서는 자연성장 모델은 국내 컨테이너터미널의 실적 및 생산성 분석자료에서 자연성장률 인자를 구하여 작성이 가능한 모델이며, 운영투자성장 모델은 운영시스템의 향상에 대한 미래의 불확실성을 가지고 있으므로 이를 반영할 수 있는 인자를 찾아내기 위하여 설문 및 면담방법을 통하여 전문가의 의견을 반영한 운영시스템 기술별 가중치 및 선호도 등을 사용하여 수립할 수 있다.

자연성장 모델의 예를 제시하기 위하여 컨테이너터미널의 생

산성 지표의 하나인 C/C(Container Crane) 생산성에 대하여 국내의 부산항과 광양항의 1994년부터 2002년까지의 연도별 C/C 작업생산성 추이를 분석하였다(한국컨테이너부두공단, 각년도).

C/C의 작업생산성에서 순작업생산성과 총작업생산성을 함께 도시하였는데, Fig. 1과 같이 순작업생산성과 총작업생산성 모두 상관계수가 0.8이상으로 선형적인 증가를 나타내고 있으며, 선형적인 추세선을 구할 수 있다. Fig. 1의 예에서와 같이 9년간의 기간동안 자연성장에 따른 추세선 상의 생산성 향상은 순작업생산성이 22.65lifts/hr에서 29.61lifts/hr로 향상되었으며, 총작업생산성은 18.46lifts/hr에서 24.39lifts/hr로 향상이 된 것을 볼 수 있다.

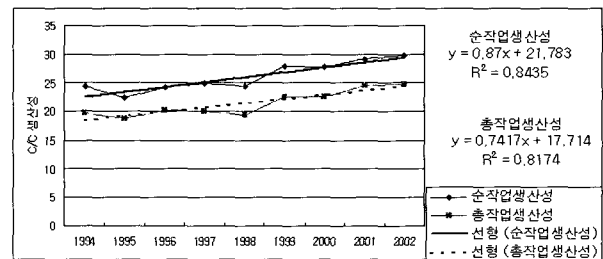


Fig. 1 Trends of C/C productivity

C/C의 생산성이 컨테이너터미널 생산성에 대한 하나의 예이기는 하지만 시간의 경과에 따라 선형적으로 증가하는 것을 볼 수 있으나, 시설물에 대한 제한 하에서의 생산성은 일정률의 자연성장이 일정기간 지속된 후에는 최대 극한값에 수렴할 것으로 가정할 수 있다. 생산성이 수렴하는 최대 극한값은 결국 시스템수명주기(system life cycle) 상의 성숙기를 의미한다.

위에서 살펴본 자연성장 모델의 경우 시계열모형으로 분석이 가능한 경우이다. 그러나 운영투자성장 모델은 운영시스템 기술에 대한 투자로 인한 생산성 향상이 발생하는 모델이며, 운영투자가 일어나는 중에도 자연성장률이 발생할 수 있으며, 운영투자 기간이 경과한 후에 운영투자성장률은 시스템수명주기곡선의 형태인 S자형을 따른다고 가정한 모델이다. 가정에 대한 근거는 Fig. 1의 자연성장 모델의 예와 같이 현재도 생산성이 증가하고 있는 추세이므로 시스템수명주기 상의 성장기에 속하기 때문이다. 그리고 정성적 예측법의 방법론으로 설문과 면담에 의한 전문가 의견을 조사하여 정성적인 판단을 가능하면 계수화하여 정량적인 모델로 변환하는 것이 필요하다. 그러므로 컨테이너터미널 운영시스템 평가모형이 현재 컨테이너터미널에 적용하여 미래 시점의 생산성 향상을 예측하거나 신규 터미널에 새로운 운영시스템을 도입할 경우에 대한 생산성 기대치를 파악하기 위해서는 운영투자성장 모델을 가정하여 분석하는 것이 타당하다.

3. 기술대안 선정

3.1 운영시스템 기술대안

운영시스템 기술 대안으로 선정된 신기술은 국내의 컨테

이러한 컨테이너터미널 환경에서 생산성 향상과 고객에 대한 서비스 질 향상이 가능하여 항만의 경쟁력이 될 수 있는 기술이어야 한다. 따라서 컨테이너터미널에서 게이트운영, 야드운영, 안벽운영, 정보기술 등에서 요구되는 기대사항을 운영시스템 신기술 도입목표는 Table 1에 나타난 적용 효과를 반영하여 Fig. 2와 같이 설정하였다. 그리고 이러한 도입목표를 달성하기 위해서는 현실성 있는 기술대안을 선정하여야 하며, 컨테이너터미널 운영전문가들을 대상으로 설문조사를 하여 정성적인 도입효과를 정량화시키는 모형을 개발하는 것이 필요하다.

운영시스템 신기술 도입 목표를 달성하기 위한 기능별 운영시스템 기술대안은 설문조사에서 운영시스템 기술대안으로 사용되며, 주요 기술대안들은 Table 2와 같다.

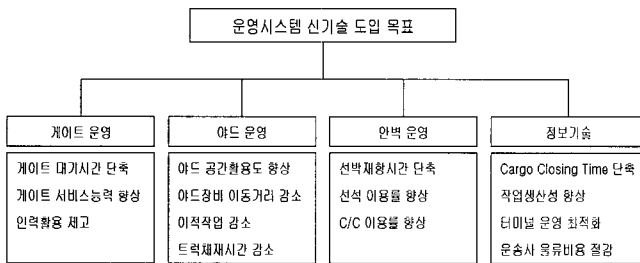


Fig. 2 Goals of operation systems by working area

3.2 수요조사

수요조사는 설문조사와 면담조사를 병행하였으며, 컨테이너터미널의 운영시스템 사용자이면서 운영시스템을 잘 알고 있는 현장 실무자를 각 터미널별로 선정하였다. 1차 설문조사는 2003년 7월 2일부터 2003년 7월 11일까지 도착한 설문응답에 대해서 분석하였으며, 설문조사와 병행하여 2003년 7월 3일부터 2003년 7월 5일까지 3일간 각 터미널의 운영 전문가를 대상으로 면담조사를 실시하였다.

설문응답자는 우암 터미널 3명, 허치슨 터미널 4명, 동부터미널 5명, 한진 터미널 3명, 신선대 터미널 3명으로 총 18명으로 구성되어 있다. 또한 운영팀 및 운영계획팀, 전산실, 플래너실, 시스템개발팀 등 실제 운영시스템의 문제점과 개선점을 파악하기에 적합한 직무를 가진 다양한 직급 분포로 구성되어 있다.

설문조사 결과 터미널 운영시 애로사항이 발생하는 운영시스템 기능은 운영시스템(66%), 계획시스템(17%), 정보기술(11%), 종합관제시스템(6%)의 순이었으며, 개선이 시급한 운영시스템 기능은 운영시스템, 계획시스템, 정보기술, 종합관제시스템의 순으로 동일한 결과를 보였다. 따라서 운영시스템별 선호도 결과를 바탕으로 각 운영시스템 기능별 가중치 부여시 반영하였다.

각 기능별 운영시스템에서 기술대안들이 가지는 순서를 파악하기 위해서 기술 개발 시급성과 기술 도입효과를 조사한 결과는 Table 3과 같으며, 각 응답비율에 따라 순위를 결정하

고 두가지 항목에 대해서 종합순위를 결정하였다.

기술선호도는 컨테이너터미널 운영시스템 기술 수요 조사 분석결과에서 얻은 기능별 운영시스템 기술들에서 우선순위를 분석한 결과로 선정된 선호도 순위이며, 생산성 향상 지수는 운영시스템 기술을 적용할 경우 기대되는 생산성 향상 비율을 지수로 나타낸 값이다.

Table 2 Technology tree of operation systems

대안 기능분류	기술명
종합관제 시스템	① 문제 발생시 자동 문제해결 기술
	② 안벽작업 통제 기술
	③ 야드작업 통제 기술
	④ 게이트작업 통제 기술
	⑤ 실시간 모니터링 기술
운영 시스템	① YT 동시 배차 최적화 기술
	② 자동 리마살링 & 구내이적 최적화 기술
	③ C/C 자동 양·적하 최적화 기술
	④ 실시간 장비 배정 및 제어 기술
	⑤ 반출·입 예약제
	⑥ YT 운영 규칙 최적화 기술
	⑦ 게이트 자동화 기술
계획 시스템	① 본선계획 최적화 기술
	② 수출·입장차장 활용계획 최적화 기술
	③ 선석배정계획 최적화 기술
	④ 자원배정 최적화 기술
정보기술	① Data 송수신 Network 기술
	② 하역장비 추적기술
	③ 주전산기 및 응용 S/W 기술

4. 생산성 향상 평가모형

컨테이너터미널 운영시스템 신기술 도입에 따른 효과를 분석하기 위해서 컨테이너터미널의 실무자에 대한 설문분석 및 전문가 면담분석을 하였으며, 그 결과를 토대로 운영시스템 기술별 중요도와 생산성 향상에 미치는 영향을 파악하였다. 그리고 선정된 운영시스템의 개발시에 어느 정도의 생산성 향상이 기대되는지를 정량적으로 분석할 필요가 있다. 이를 위한 평가모형의 수립을 통하여 (1) 과거의 실적에 해당하는 생산성 대비 현재 터미널의 생산성을 분석하여 생산성 향상 지수를 평가하는 기능과 (2) 현재의 생산성을 바탕으로 생산성 향상에 대한 투자노력으로 미래의 생산성을 예측하는 기능을 가질 수 있을 것이다.

Table 3 Results of questionnaire

기능	운영시스템 기술대안	비교		종합 순위	
		개발 시급성 비율 (%)	순위	도입 효과 비율 (%)	순위
종합 관제 시스템	① 문제 발생시 자동 문제해결 기술	37	①	32	①
	② 안벽작업 통제 기술	18	③	17	③
	③ 야드작업 통제 기술	27	②	31	②
	④ 게이트작업 통제 기술	3	⑤	3	⑤
	⑤ 실시간 모니터링 기술	15	④	17	③
운영 시스템	① Y/T 동시 배차 최적화 기술	27	①	28	②
	② 자동 Remarshaling & 구내이 적 최적화 기술	14	④	14	④
	③ C/C 자동 양·적화 최적화 기술	6	⑤	3	⑤
	④ 실시간 장비 배정 및 제어 기술	25	②	29	①
	⑤ 반출·입 예약제	6	⑤	3	⑤
	⑥ Y/T 운영 규칙 최적화 기술	19	③	20	③
	⑦ 게이트 자동화 기술	3	⑦	3	⑦
계획 시스템	① 수출·입장차장 활용계획 최적 화 기술	28	②	33	②
	② 선석배정계획 최적화 기술	23	③	19	③
	③ 본선계획 최적화 기술	29	①	37	①
	④ 자원배정 최적화 기술	14	④	11	④
	⑤ 기타	6	⑤	0	⑤
정보 기술	① Data 송수신 Network 기술	15	③	23	③
	② 하역장비 추적기술	35	②	43	①
	③ 주전산기 및 응용 S/W 기술	44	①	34	②
	④ 기타	6	④	0	④

4.1 평가모형 수립

- 먼저 평가모형 수립을 위한 가정은 다음과 같다.
- 현재 생산성은 터미널의 대표적인 생산성척도인 안벽생산성(C/C 총작업시간 생산성/순작업시간 생산성)을 기준으로 한다.
 - 생산성 향상 지수는 기능별 운영시스템 기술 중에 선택된 기술에 따라 다르게 적용한다.
 - 기능별 운영시스템의 터미널 생산성 반영 가중치는 기능별 운영시스템에 따라 다르게 적용되며, 터미널별로 구별되는 특성치이다.

- 평가모형을 위한 기호 정의는 다음과 같다.
- CP(Current Productivity) : 현재 생산성
 - FP(Future Productivity) : 미래 생산성
 - O_i : 운영시스템 생산성 향상 지수
 - P_j : 계획시스템 생산성 향상 지수
 - I_k : 정보기술 생산성 향상 지수
 - M_l : 종합관제시스템 생산성 향상 지수
 - n : 기능별 운영시스템 기술대안에서 선택한 운영기법의 수
 - w_m : 기능별 기술의 터미널 생산성 반영 가중치

단, 가중치는 전문가 면담에서 계산된 운영시스템별 중요

도에서 반영시킨다. 그리고 생산성 향상 지수에서 사용된 i, j, k, l 은 각각 운영시스템, 계획시스템, 정보기술, 종합관제시스템의 기술대안 개수를 의미한다.

정보기술과 종합관제시스템은 운영시스템이 결정되면 단일 운영시스템으로 사용되므로 하나의 기술만 선택된다. 그러나 운영시스템과 계획시스템은 기술들이 서로 독립적으로 사용될 수 있는 기술들이 존재하므로 복수개의 운영기법들이 선택될 수 있으며, 또한 그 효과가 배가되도록 기능별 운영기법에 대한 가중치를 다음 Table 4와 같이 구성하였다.

Table 4 Weights in terms of operation system function

구분	운영(w_1)	계획(w_2)	정보(w_3)	종합관제(w_4)	가중치 합계
단일 운영기법	0.4	0.3	0.2	0.1	1.0
2개 운영기법	0.275	0.175	0.15	0.075	0.675
3개 운영기법	0.2	0.15	0.1	0.05	0.5

즉, 기능별로 단일 운영기법을 선택할 경우는 가중치의 합 $w_1+w_2+w_3+w_4=1$ 이 되도록 운영시스템은 $w_1=0.4$, 계획시스템은 $w_2=0.3$, 정보기술은 $w_3=0.2$, 종합관제시스템은 $w_4=0.1$ 로 가정한다.

운영시스템과 계획시스템에서 기능별로 3개의 운영기법을 선택할 경우는 $w_1+w_2+w_3+w_4=0.5$ 가 되도록 운영시스템은 $w_1=0.2$, 계획시스템은 $w_2=0.15$, 정보기술은 $w_3=0.1$, 종합관제시스템은 $w_4=0.05$ 로 가정한다.

그리고 복수개의 운영기법이 선택되면 단일 운영기법 선택 때와는 달리 개별 가중치는 낮아지는 것으로 가정하였다.

따라서 기능별 단일 운영기법에 의한 평가모형과 기능별 복수 운영기법에 의한 평가모형은 다음과 같다.

1) 기능별 단일 운영기법에 의한 평가모형

$$FP[n=1] = CP * \{(w_1 * O_i) + (w_2 * P_j) + (w_3 * I_k) + (w_4 * M_l)\}$$
 식(1)

2) 기능별 복수 운영기법에 의한 평가모형

$$FP[n>1] = CP * \left\{ \sum_{i=1}^n (w_1 * O_i) + \sum_{j=1}^n (w_2 * P_j) + (w_3 * I_k) + (w_4 * M_l) \right\}$$
 식(2)

식(1)에서 기능별 단일 운영기법에 대한 운영투자성장률은 $\{(w_1 * O_i) + (w_2 * P_j) + (w_3 * I_k) + (w_4 * M_l)\}$ 이며, 식(2)의 기능별 복수 운영기법 선택인 경우의 운영투자성장률은 $\left\{ \sum_{i=1}^n (w_1 * O_i) + \sum_{j=1}^n (w_2 * P_j) + (w_3 * I_k) + (w_4 * M_l) \right\}$ 이 된다. 이러한 계수치는 새로운 운영시스템의 개발에 따라 기대되는 각 기능별 운영시스템의 생산성 향상을 나타내는 지수들의 합이므로 운영투자성장률 인자로 고려하였다.

4.2 생산성 향상 지수와 가중 생산성 향상 지수

생산성에 대한 기능별 운영시스템의 가중치는 현재 컨테이

터미널에서 사용하고 있는 운영시스템 중 가장 생산성에 영향을 미치는 기술분야에 대한 우선순위를 파악하는 것이다. 그 대상으로 ① 운영시스템, ② 계획시스템, ③ 종합관제시스템, ④ 정보기술의 4가지 부문에 대해 각각 가중치 부여하고 기대 생산성을 산출하는 데 반영하였다. 기술분야에 대한 가중치는 순차적인 방법을 적용하여 각각 0.4, 0.3, 0.2, 0.1로 부여하였다.

각 기술분야에 대한 생산성 향상 지수는 Table 1의 HIT에서 실제 적용하여 얻은 효과에 대한 값을 반영하여 추정된 값이며, HIT에서 적용하지 않은 신기술에 대해서는 생산성 향상 지수의 값을 보수적인 값을 적용하여 낮게 산정하였다.

각 기술분야에 부여된 가중치와 생산성 향상 지수의 곱의 형태로 가중 생산성 향상 지수를 구하면 다음 Table 5와 같다.

Table 5 Weighted productivity improvement indexes by technology alternatives

기능	운영시스템 기술대안	기술 선호도	가중치	생산성 향상 지수	가중 생산성 향상 지수
운영시스템	실시간 장비 배치 및 제어 기술	①	$w_1=0.4$	$O_1=1.3$	$w_1*O_1=0.52$
	YT 동시 배차 최적화 기술	②	$w_1=0.4$	$O_2=1.3$	$w_1*O_2=0.52$
	YT 운영규칙 최적화 기술	③	$w_1=0.4$	$O_3=1.2$	$w_1*O_3=0.48$
	C/C 자동 양·적하 최적화 기술	④	$w_1=0.4$	$O_4=1.1$	$w_1*O_4=0.44$
	자동 Remarshaling & 구내이적 최적화 기술	⑤	$w_1=0.4$	$O_5=1.1$	$w_1*O_5=0.44$
	반출·입 예약제	⑥	$w_1=0.4$	$O_6=1.05$	$w_1*O_6=0.42$
계획시스템	게이트 자동화 기술	⑥	$w_1=0.4$	$O_7=1.05$	$w_1*O_7=0.42$
	본선계획 최적화 기술	①	$w_2=0.3$	$P_1=1.25$	$w_2*P_1=0.375$
	수출·입장차량 활용계획 최적화 기술	②	$w_2=0.3$	$P_2=1.25$	$w_2*P_2=0.375$
	선석배정계획 최적화 기술	③	$w_2=0.3$	$P_3=1.2$	$w_2*P_3=0.36$
정보기술	자원배정 최적화 기술	④	$w_2=0.3$	$P_4=1.1$	$w_2*P_4=0.33$
	주전산기 및 응용 S/W 기술	①	$w_3=0.2$	$I_1=1.1$	$w_3*I_1=0.22$
	하역장비 추적 기술	②	$w_3=0.2$	$I_2=1.1$	$w_3*I_2=0.22$
종합관제시스템	Data 송수신 Network 기술	③	$w_3=0.2$	$I_3=1.1$	$w_3*I_3=0.22$
	문제발생시 자동 문제해결 기술	①	$w_4=0.1$	$M_1=1.1$	$w_4*M_1=0.11$
	야드작업 통제 기술	②	$w_4=0.1$	$M_2=1.1$	$w_4*M_2=0.11$
	실시간 모니터링 기술	③	$w_4=0.1$	$M_3=1.05$	$w_4*M_3=0.105$
	안벽작업 통제 기술	③	$w_4=0.1$	$M_4=1.05$	$w_4*M_4=0.105$
	게이트작업 통제 기술	④	$w_4=0.1$	$M_5=1.02$	$w_4*M_5=0.102$

4.3 평가모형에 의한 생산성 향상 분석

컨테이너터미널에 적용할 운영시스템 기술대안은 컨테이너터미널의 각 기능별로 선정된 운영시스템 기술대안에 대해서 기술선호도가 높은 순으로 구한 생산성 향상 지수에 기술별 가중치를 반영한 가중 생산성 향상 지수를 구한 다음 가중 생산성 향상 지수가 높은 개발기술 대안을 선정하였다.

운영시스템 기술대안분석에서는 하나의 시스템 기능 내에서 적용하는 운영시스템 선택대안의 수에 따라 기능별 단일 운영기법 평가모형과 기능별 복수 운영기법 평가모형으로 구분하여 평가모형의 예를 제시하고, 각 평가모형에서의 미래 생산성을 분석하였다.

1) 기능별 단일 운영기법 대안 선택시의 평가모형의 예

컨테이너터미널의 운영시스템을 각 기능별로 한가지의 운영

시스템 기술대안을 개발하여 구성할 경우의 생산성 향상으로 기대되는 미래 생산성을 산출한 결과는 다음 Table 6과 같다.

Table 6 An example of one operation system by function

운영시스템 기능	운영시스템 기술개발 대안	기술 선호도	가중치	생산성 향상 지수	가중 생산성 향상 지수
운영시스템	실시간 장비 배치 및 제어 기술	①	$w_1=0.4$	$O_1=1.3$	$w_1*O_1=0.52$
계획시스템	본선계획 최적화 기술	①	$w_2=0.3$	$P_1=1.25$	$w_2*P_1=0.375$
정보기술	주전산기 및 응용 S/W 기술	①	$w_3=0.2$	$I_1=1.1$	$w_3*I_1=0.22$
종합관제	문제 발생시 자동 문제해결 기술	①	$w_4=0.1$	$M_1=1.1$	$w_4*M_1=0.11$

Table 6에서 가중 생산성 향상 지수의 합인 운영투자성장을 인자는 1.225이며, 이는 22.5%의 생산성 향상효과가 있음을 의미한다.

예를 들어, 2002년 부산항 컨테이너터미널의 C/C 총작업생산성의 평균인 CP를 21.6으로 가정할 경우에 Table 6과 같은 기술대안을 도입시 미래 생산성은 현재보다 22.5% 향상된 26.5가 됨을 의미한다.

2) 기능별 복수 운영기법 대안 선택시의 평가모형의 예

운영시스템 신기술을 도입할 경우의 운영시스템 기술대안 선정은 운영시스템의 자동화 수준을 높여 터미널 전체의 생산성을 향상시킬 수 있는 개발기술 대안을 각 기능별로 선택적으로 선정할 수 있다. 그러므로 정보기술과 종합관제시스템과 같이 하나의 시스템을 선택하여야 하는 경우를 제외한 운영시스템과 계획시스템에 대해서 복수개의 대안을 선정하여 그 효과를 최대화할 수 있는 방안을 찾을 수 있다.

운영시스템 기술대안으로 기능별로 2개의 복수 운영기법 대안을 선택하여 운영시스템에서 2개, 계획시스템에서 2개, 정보기술에서 1개, 종합관제시스템에서 1개, 총 6개의 기술개발 대안이 선정하여 계산하면 Table 7과 같고, 기능별로 3개의 복수 운영기법 대안을 선택하여 운영시스템에서 3개, 계획시스템에서 3개, 정보기술에서 1개, 종합관제시스템에서 1개, 총 8개의 기술개발 대안이 선정하여 계산하면 Table 8과 같다.

Table 7 An example of two operation system by function

운영시스템 기능	운영시스템 기술개발 대안	기술 선호도	가중치	생산성 향상 지수	가중 생산성 향상 지수
운영시스템	실시간 장비 배치 및 제어 기술	①	$w_1=0.275$	$O_1=1.3$	$\sum_{j=1}^2 (w_2*O_j)=0.6875$
	YT 동시 배차 최적화 기술	②		$O_2=1.3$	
계획시스템	본선계획 최적화 기술	①	$w_2=0.175$	$P_1=1.25$	$\sum_{j=1}^2 (w_3*P_j)=0.4375$
	수출·입 장치장 활용 계획 최적화 기술	②		$P_2=1.25$	
정보기술	주전산기 및 응용 S/W 기술	①	$w_3=0.15$	$I_1=1.1$	$w_4*t_1=0.165$
종합관제	문제 발생시 자동 문제해결 기술	①	$w_4=0.075$	$M_1=1.1$	$w_1*g_1=0.0825$

따라서 Table 7에서 계산된 가중 생산성 향상 지수의 합인 운영투자성장률 인자가 1.37이므로 37%의 향상이 가능하다고 판단할 수 있다.

예를 들어 현재 생산성으로 C/C의 총작업생산성을 사용하였을 경우 2002년 부산항 컨테이너터미널의 평균 C/C의 총작업생산성 CP=21.6을 가정할 경우는 미래 생산성은 29.6으로 현재 생산성 21.6에 대해서 37% 향상된다고 할 수 있다.

그리고 Table 8에서 계산된 가중 생산성 향상 지수의 합인 운영투자성장률 인자가 1.48이므로 48%의 향상이 가능하다고 판단할 수 있다.

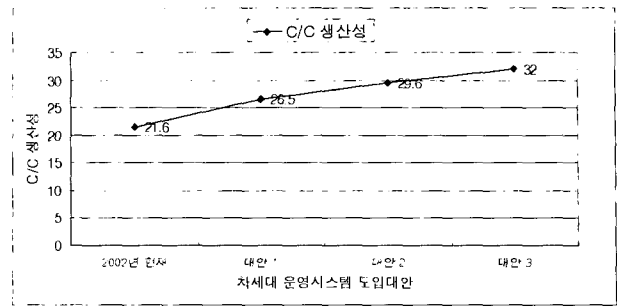


Fig. 3 C/C productivity analysis by alternatives

주 : 생산성 기준은 C/C 총작업시간당 생산성이며, 현재 생산성은 2002년 평균값인 21.6lifts/h 적용

Table 8 An example of three operation system by function

운영 시스템 기능	운영시스템 기술개발 대안	기술 선호도	가중치	생산성 향상 지수	가중 생산성 향상 지수
운영 시스템	실시간 장비 배정 및 제어 기술	①	$w_1=0.2$	$O_1=1.3$	$\sum_{j=1}^3 (w_2 * O_j) \cdot 0.76$
	YT 동시 배차 최적화 기술	②		$O_2=1.3$	
	YT 운영 규칙 최적화 기술	③		$O_3=1.2$	
계획 시스템	본선계획 최적화 기술	①	$w_2=0.15$	$P_1=1.25$	$\sum_{j=1}^3 (w_3 * P_j) \cdot 0.555$
	수출·입 장치장 환용계획 최적화 기술	②		$P_2=1.25$	
	선석배정계획 최적화 기술	③		$P_3=1.2$	
정보 기술	추천산기 및 응용 S/W 기술	①	$w_3=0.1$	$I_1=1.1$	$w_1 * t_1=0.11$
종합 관제	문제 발생시 자동 문제해결 기술	①	$w_1=0.05$	$M_1=1.1$	$w_1 * g_1=0.055$

예를 들어 현재 생산성으로 C/C의 총작업생산성을 사용하였을 경우 2002년 부산항 컨테이너터미널의 평균 C/C의 총작업생산성 CP=21.6을 가정할 경우는 미래 생산성은 32.0으로 현재 생산성 21.6에 대해서 48% 향상된다고 할 수 있다.

단, 여기서 C/C의 총작업생산성은 차세대 운영시스템의 생산성을 분석하기 위해서 도입한 척도이며, 다른 생산성 척도도 평가기준을 변경하여 적용할 수 있다.

4.4 운영시스템 대안분석

컨테이너터미널 운영시스템 평가모형에서는 운영시스템 기술개발 대안선택에 따른 모형별 생산성을 분석하였으며, 운영시스템의 개발 범위에 따라 기능별 단일 운영기법 평가모형과 기능별 복수 운영기법 평가모형으로 구분하였다.

Table 9에서는 차세대 운영시스템 선정을 위한 대안을 운영시스템 기능별로 단일 운영기법 개발시 대안 1, 운영시스템과 계획시스템에서 2개 운영기법 개발시 대안 2, 운영시스템과 계획시스템에서 3개 운영기법 개발시 대안 3으로 하여 차세대 운영시스템 대안을 선정하였다.

Table 9 Comparison results analyzed by alternatives

대안	운영투자 성장률	생산성 향상(%)	미래 생산성(Lifts/h)
대안 1	1.225	22.5	26.5
대안 2	1.37	37.0	29.6
대안 3	1.48	48.0	32.0

선정된 차세대 컨테이너터미널 운영시스템의 세가지 대안에 대해서 개발시의 생산성 향상을 분석하기 위하여 현재 생산성을 2002년 부산항 컨테이너터미널의 C/C 생산성 평균을 기준으로 하였으며, Fig. 3의 운영시스템 개발대안별 생산성 분석결과를 이용하여 생산성 향상 요구수준을 만족하는 대안을 선택하는 것이 가장 효과적일 것이라 판단된다. 즉, 개선요구가 가장 많고 개선 효과가 가장 큰 운영시스템과 계획시스템의 운영기법을 개선하는 것이 바람직하며, 운영시스템과 계획시스템의 2개 운영기법은 각각 장비를 위한 운영시스템과 작업순서 최적화를 위한 계획시스템들로 구성되어 있다.

각 운영시스템 개발대안에 대해서 생산성 향상정도가 컨테이너터미널에 미치는 영향을 파악하기 위해 C/C 생산성에 따른 초대형 컨테이너선의 선박재항시간을 간략히 분석하였다.

먼저 초대형 컨테이너선은 8,000TEU급과 12,000TEU급을 고려하였으며, 선박재항시간은 각 대안별 C/C의 총작업시간당 생산성과 선박접이안 시간을 합한 시간으로 산출하였으며, 선박접이안 시간은 평균접안시간 1.08시간, 평균이안시간 1.43시간으로 설정하였다. 선박은 3 port calling을 가정하며, 선박의 총작업 컨테이너수인 양적컨테이너수량은 8,000TEU급 선박에 대해서는 최대 3333LPC(Lift per Call), 12,000TEU급 선박에 대해서는 최대 5,000LPC를 가정하였다. 그리고 C/C 장비는 8,000TEU급 선박에는 5대, 12,000TEU급 선박에는 6대를 할당하는 것으로 가정하였다. 이러한 값들을 이용하여 선박재항시간을 추정한 결과는 Table 10과 같다.

Table 10 Analysis of vessel lay time by alternatives

구분	현재	대안 1	대안 2	대안 3	
C/C 총작업시간당 생산성(시간당 처리개수)					
	21.6	26.5	29.6	32.0	
선박크기 (TEU)	선박재항시간(시간)				
	8,000	33.4	27.7	25.0	23.3
	12,000	41.1	34.0	30.7	28.6

Table 10의 추정결과와 같이 3개 운영기법을 도입하는 대안 3의 경우 8,000TEU급 선박에 대해서 23.3시간, 12,000TEU

급 선박에 대해서 28.6시간의 선박재항시간을 가질 것으로 분석되었다. 따라서 현재 생산성 보다 48%가 향상될 경우 8,000TEU급 선박의 24시간내 서비스는 가능하지만 12,000TEU급 선박은 24시간내 서비스는 만족시키지 못하였다. 그러나 운영시스템 신기술 도입으로 현재 생산성 보다 약 50%를 향상시키는 전략을 기존의 컨테이너터미널에 적용한다면 선박에 대한 서비스 수준향상에 크게 기여할 것으로 판단된다.

위에서의 선정된 운영시스템 기술대안들은 장비의 작업정보와 컨테이너 계획정보를 실시간으로 최적화 전략이 달성되어야 한다는 공통점을 가지고 있다. 즉, 계획시스템에서 선박의 작업을 계획한 후 C/C의 작업순서를 계획하는 본선 계획을 최적화하면서 동시에 수출입 장치장 활용계획을 최적화하며, 운영시스템에서 장비의 실시간 작업을 가능하게 하는 실시간 장비 배정 및 제어와 YT를 동시 배차하여 최적화하며, 그리고 터미널 전체의 작업상황을 모니터링하여 문제 발생시 자동으로 문제를 해결하는 기술 등은 실시간 정보처리와 정보공유를 지원하는 정보기술의 주전산기 및 응용 S/W 기술이 지원되어야 하는 운영시스템 기술들이다.

5. 결 론

본 연구의 목적은 국내 컨테이너터미널에 적합한 운영시스템 기술대안을 제시하고 도입에 따른 생산성 향상 효과를 분석하는 것이다. 이를 위해 국내 컨테이너터미널 운영시스템에서 가장 개선이 필요한 내용과 해외 선진 터미널에서 적용하고 있거나 발표된 신기술 등을 검토하여 운영시스템 기술대안을 선정하였다.

수요조사에서는 차세대 컨테이너터미널 운영시스템 기술대안의 우선순위 선정을 위한 자료를 확보하였고, 각 기능별로 운영시스템에서 기술대안들의 기술별 우선순위를 도출하였다. 수요조사의 결과를 바탕으로 생산성 향상지수와 가중 생산성 향상지수를 구한 후 평가모형으로 운영시스템 기술대안의 생산성 향상 정도를 분석하였다.

평가모형에 의한 분석결과와 같이 운영시스템과 계획시스템에서 3가지 기법을 도입하는 대안의 경우 현재 생산성 보다 48%가 향상되는 것을 분석되었다. 이 대안을 선박재항시간 분석에 적용할 경우 8,000TEU급 선박은 24시간내 서비스가 가능하며, 12,000TEU급 선박은 28.6시간에 서비스가 가능한 것으로 분석되었다.

또한 기술선호도와 생산성 향상지수가 높은 운영시스템 기술대안들의 특징은 기존의 Rule Based Planning과 전문가 시스템 또는 둘의 혼합시스템(Hybrid System)을 사용하던 방식에서 지능형 의사결정과 최적화 알고리즘을 적용하기 위한 인공지능을 적용하는 것이 필요하다는 것이다.

그러나 본 연구에서 살펴본 평가모형은 기술대안의 선정과정에서 현장의 전문가들에 의한 수요조사를 통하여 가중치를 선정하였으나 평가모형의 생산성 향상 지수와 가중치 부여 등에서 객관적인 근거확보를 위한 추가적인 노력이 필요하다.

참 고 문 헌

- [1] 강현철, 최종후(2001), "확산모형과 성장곡선모형을 이용한 중장기 수요예측에 관한 연구", 응용통계연구, 제14권, 제2호, pp.233-243.
- [2] 김갑환, 김기영, 고창성(1997), "컨테이너터미널에서의 유전자해법을 이용한 적하계획법", 대한산업공학회지, 제23권, 제4호, pp.645-660.
- [3] 김갑환, 김홍배, 윤원영, 김종훈, 권봉재, 조지운(1998), "컨테이너터미널의 효율적 운영을 위한 의사결정지원시스템", 산업공학, 제11권, 제1호, pp.105-118.
- [4] 김갑환, 박강태(2000), "컨테이너터미널에서의 라그랑지 완화법을 이용한 선석계획", Working Paper.
- [5] 김갑환, 박강태, 원승환, 이준호(1999), "자동화 컨테이너터미널의 통제시스템 설계와 운영방법 연구", 대한산업공학회/한국공업경영학회 공동학술대회 논문집.
- [6] 유영달, 강대성(1998), "게이트 자동화를 위한 컨테이너식별자 인식시스템", 한국항만학회지, 제12권, 제2호, pp.137-141.
- [7] 윤원영, 안창근, 최용석, 김갑환(1998), "시뮬레이션을 이용한 컨테이너터미널의 운영계획 평가", 한국시뮬레이션학회논문지, 제7권, 제2호, pp.91-104.
- [8] 이홍걸, 이철영(1995), "발견적 알고리즘에 의한 컨테이너터미널의 선석배정에 관한 연구", 한국항만학회지, 제9권, 제2호, pp.1-9.
- [9] 장성용, 이원영(2002), "시뮬레이션 기법을 이용한 컨테이너터미널 운영규칙의 평가", 한국항만경제학회지, 제18집, 제1호, pp.27-41.
- [10] 한국컨테이너 부두공단(각년도), "컨테이너화물 유동추이 및 분석".

원고접수일 : 2004년 5월 14일

원고채택일 : 2005년 2월 16일