

자동화 컨테이너터미널의 이적작업에 관한 시뮬레이션 연구

이주호*, 최용석**

*, ** 한국해양수산개발원, 해운물류항만연구센터

A Study on Simulation of Remarshalling Work in an Automated Container Terminal

Joo-Ho, Lee, Yong-Seok Choi

Shipping, Logistics and Port Research Center, Korea Maritime Institute

요약 : 본 연구의 목적은 시뮬레이션을 통하여 자동화 컨테이너터미널의 ATC에 의한 이적작업의 효과를 분석하는 것이다. 자동화 컨테이너터미널은 수직배치의 장치장 형태이며, 한 블록에서 반입, 반출, 양하, 적하의 네가지 작업이 발생하게 되므로 운영측면에서 장치장 할당이 매우 중요한 문제이다. 그러므로 효율적인 장치장 운영을 위해서 ATC에 의한 한 블록내에서의 이적작업이 반드시 필요하다. 시뮬레이션 실험을 통하여 이적작업의 효율성을 분석하고 장치장 할당에 관한 방법을 제시한다.

핵심용어 : 자동화 컨테이너터미널, 이적작업, 자동화 야드크레인, 시뮬레이션

Abstract : The objective of this study is to analyze the efficiency of marshalling work using ATC(automated transfer crane) for ACT(automated container terminal). It is important fact to assignment of containers, because the character of ACT which block layout is vertical for berth and there are four other works which are inbound, outbound, loading and unloading in one block. And then there is need which assignment of containers with remarshalling work using ATCs in one block. Therefore, we analyze the efficiency of remarshalling work using simulation and suggest the assignment methodology of containers in yard

Key words : automated container terminal, remarshalling, ATC(automated transfer crane), simulation

1. 서론

세계 무역량의 확대에 의하여 항만의 물동량이 지속적으로 증가하고 있으며, 규모의 경제를 실현하기 위하여 선박의 대형화가 진행되고 있다. 이에 화물의 신속한 처리와 서비스질의 확대를 위하여 선진항만에서는 항만 인프라 및 장비, 운영시스템 등의 개선을 수행하고 있다. 현재 항만장비 측면에서 기술적으로 가장 발달한 시스템은 자동화 컨테이너터미널이다. 자

동화 컨테이너터미널은 수동 컨테이너터미널에 비해 인건비의 비중을 50%정도 절감할 수 있고, 장비의 자동화를 통하여 효율성을 높일 수 있는 시스템이다.

ECT(Europe Combined Terminal)는 1984년에 AGV(Automated Guided Vehicle)와 ASC(Automated Stacking Crane)를 사용하는 세계 최초의 자동화터미널인 DDN을 개장하였으며, 기술의 보완을 통하여 1996년에 DDE, 2000년에 DDW를 개장하였다

ECT에 사용된 자동화 장비는 선석단위로 타원을 그리며 안벽과 블록의 해측 TP(Transfer Point)간을 주행하는 방식의 AGV와 수직배치 장치장에 6열의 자동화 야드크레인인 ASC로 구성되어 있다. ECT는 항만장비의 자동화를 이루었지만

* joooho@kmi.re.kr 02)2105 2890
** 종신회원 drasto@kmre.kr 02)2105 2886

AGV의 운영방식의 비효율성과 한 블록에 한대뿐인 ASC로 인하여 장치장의 생산성이 저하되었다.

독일에서는 ECT의 문제점을 보완하여 2002년에 자동화 컨테이너터미널 CTA(Container Terminal Altenwerder)의 1단계를 개장하였다. CTA의 시스템은 C/C(Container Crane)와 작업블록간 움직이는 AGV와 수직배치 장치장에 10열을 처리 가능한 2대의 Cross-Over RMGC(Rail Mounted Gantry Crane)를 사용하여 이송장비와 장치장에서의 효율을 높였다.

현재 운영중인 자동화 컨테이너터미널은 이상과 같으나 엔티워프의 Hesseratie와 ECT의 Euromax 등 개발 또는 계획중에 있으며 국내의 경우 광양 3-2단계에서 건설 계획중에 있다.

자동화 컨테이너터미널에 대한 연구는, 배종욱 외(2000)는 수평배치 장치장에서 버퍼 야드의 기능과 효과, 반응표면방법론을 이용하여 필요 AGV 대수와 야드크레인 대수를 구하는 연구를 수행하였으며, 김갑환 외(2000)는 자동화 컨테이너터미널에서의 선석크레인 할당, 장치전략 및 C/C와 AGV의 장비할당 및 배차계획에 관한 연구, 장성용 외(2001)는 자동화 컨테이너터미널의 안벽능력 분석을 위한 시뮬레이션 연구를 왕승진(2002)은 수직배치 장치장에서 Cross-over RMGC의 운영방안에 관한 연구를 수행하였다. 기존의 연구는 자동화 컨테이너터미널에서의 장비의 할당 및 운영전략에 초점을 맞춰서 수행되어져왔다.

따라서 본 연구에서는 자동화 컨테이너터미널에서 자동화의 이점의 활용과 터미널의 생산성을 향상시킬 수 있는 방안인 이적작업에 대한 기본전략을 소개하고, 블록의 할당방식에 따른 선박의 재항시간과 C/C의 생산성의 변화를 시뮬레이션 실험을 통해서 분석하고자 한다.

본 연구에서는 이적작업의 기본전략 및 장치장할당의 운영대안을 2장에서 제시하고, 3장에서는 시뮬레이션 모델에 대한 설명, 4장에서는 운영전략에 따른 시뮬레이션 실험결과를 분석하였으며, 결론은 5장에서 정리하였다.

2. 이적작업

자동화 컨테이너터미널은 Fig. 1에서와 같이 AGV와 트럭과의 교차로 인한 문제점의 해결, ATC의 블록간 이동으로 인한 AGV와의 마찰을 피하기 위하여 블록의 구조가 선석에 수직인 세로로 긴 형태의 레이아웃을 갖게 된다. 이로 인하여 컨테이너를 실은 트럭과 AGV는 수직 배치 블록의 양끝에 위치한 TP라는 공간에서 ATC의 작업을 기다리게 된다. 트럭과 AGV의 작업은 수평배치의 컨테이너터미널에서는 목적베이까지 이동하여 대기하지만 수직배치의 경우 블록 양끝의 TP에서만 작업이 이루어지게 된다.

CTA타입의 자동화 컨테이너터미널은 컨테이너를 적재하는 블록내의 작업에는 크기와 성능이 다른 두 대의 ATC를 사용하게 된다. 큰 ATC 밑으로 작은 ATC가 지나갈 수 있도록 되어 있다. 컨테이너를 하역하는 호이스트의 높이 차이로 인하여

ATC 상호간 작업간섭과 이동간섭, 두 가지 형태의 간섭이 빈번하게 발생하게 된다.

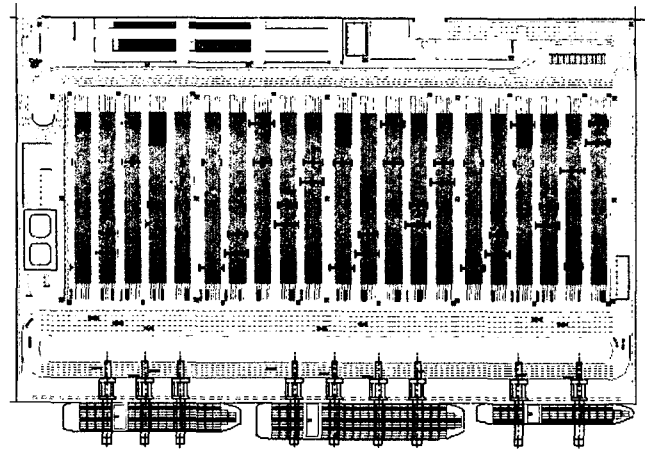


Fig. 1 Layout of automated container terminal

특히 작업방식이 다른 적/양하, 반/입출작업을 한 블록 내에서 수행하므로 수평배치와 완전히 다른 장치장 계획 및 운영방식이 필요하다.

즉, 블록에서 컨테이너를 하역하는 장비인 ATC에 의해 작업될 컨테이너의 장치 위치가 ATC의 작업시간에 중요한 요소가 된다. 적하의 경우 선석에 가까운 베이에 체류시간이 적은 수출 컨테이너를, 반출의 경우 육측에 가까운 베이에 체류시간이 적은 수입 컨테이너를 장치하는 것이 효율적일 것이다.

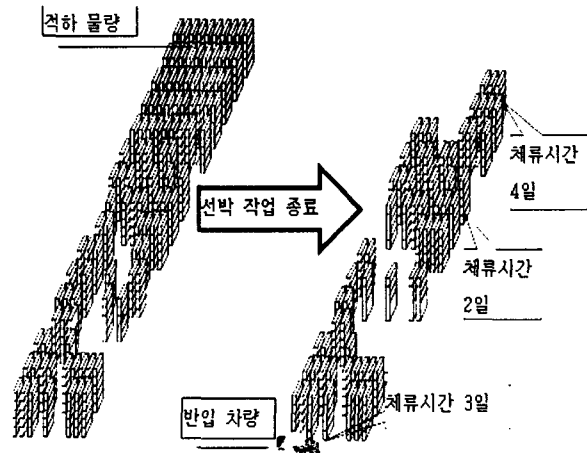


Fig. 2 Block layout

그러나 반/입출되는 컨테이너의 터미널 도착시간을 정확히 알 수 없기 때문에, 어느 시점에서 블록내 컨테이너에 대하여 체류시간을 기준으로 적하될 컨테이너와 반출될 컨테이너를 이적작업을 실시하여 컨테이너의 위치를 재할당하는 것이 필요하다. 이를 통하여 ATC의 작업시간을 단축시킴으로서 C/C의 작업생산성이 향상될 수 있고 선박의 체류시간을 단축시켜 터미널의 생산성을 향상시킬 수 있다.

2.1 이적작업 기본전략

본 연구에서 ATC 이적 작업을 수행하기 위한 이적작업의 기본전략은 다음과 같다.

- 현 선박 출항부터 다음 선박 도착 전 시간까지 이적 작업을 수행
- 이적대상구간의 여유 공간이 있을 경우 이적 작업 수행
- 한번 이적된 컨테이너는 다시 이적 작업을 실시하지 않음
- 컨테이너의 위치 할당 시 같은 선박종류, 크기, 그룹은 Stack내 미혼재
- 이적 순서는 선박종류, 그룹, 40" Size, 20" Size 순서
- 입구게이트에서 반입컨테이너, 선박도착시 양하컨테이너를 최초할당구간에 장치위치 결정
- 이적 작업시에 이적대상구간에 컨테이너의 장치 위치 결정

ATC에 의한 이적작업 순서는 다음과 같다

- [단계 1] 이적가능시간이 되었을 경우 ATC에 통보
 [단계 2] ATC의 작업이 없을 경우, 이적대상구간에 여유공간이 존재할 경우 단계 3으로, 존재하지 않을 경우 이적작업 종료
 [단계 3] 체류시간이 가장 빠른 선박종류의 컨테이너를 40"부터 이적. 이적대상구간에 40"를 이적할 공간이 없거나, 당 선박종류의 40"를 이적 완료하였을 경우 단계 4로 이동. 이적가능시간이 종료되었을 경우 이적작업 종료
 [단계 4] 체류시간이 가장 빠른 선박종류의 20"컨테이너를 이적. 당 선박종류의 20" 이적작업을 완료한 후 이적대상구간의 여유공간이 있을 경우 단계 3으로, 없을 경우 이적작업 종료

2.2 장치장할당 운영대안

수직배치 장치장은 수평배치 장치장과 달리 수출 컨테이너와 수입컨테이너의 적재공간이 다른 블록으로 물리적으로 분리되어 있지 않은 형태이다. 즉 한 블록 내에서 운영방식에 따라서 다양한 형태로 나누어서 사용이 가능하다. 본 논문에서는 한 블록을 절반으로 구분하여 해측부분에는 수출컨테이너, 육측부분에서는 수입컨테이너만을 적재하는 분할방식과 한 블록 전체를 공용으로 사용하는 대안을 제시하여 비교 분석한다.

또한 컨테이너의 블록내 적재 방식은 Random하게 하는 방식과 체류시간에 따라 할당하는 DOS(Duration-of-stay)방법을 비교분석한다. 장치장에서 DOS방식은 적하할 컨테이너는 체류시간이 가장 작은 순서로 할당위치 공간내에서 선석에서 가장 가까운 베이, Stack에 할당하고, 반대로 반출될 컨테

이너는 육측 TP에 가장 가까운 베이, Stack에 할당한다. 반입되는 컨테이너는 육측 TP에 가장 가까운 베이에 할당하고, 양하되는 컨테이너는 선석에 가장 가까운 베이에 할당하는 방식이다.

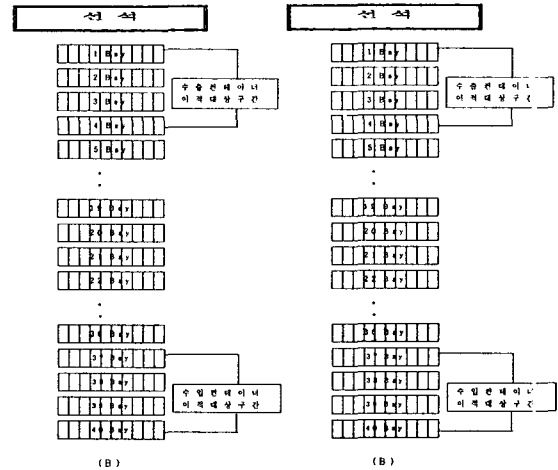


Fig. 3 Block division of container type

Table. 1 Alternatives of block assignment

대안	할당방식	블록분할방식
1	DOS	수/출입 구분
2	DOS	수/출입 미구분
3	Random	수/출입 구분
4	Random	수/출입 미구분

3. 시뮬레이션 모델

이적작업의 효율성과 이적운영대안을 분석하기 위하여 범용성을 가진 VC++을 사용하여 모델링하였다.

객체는 크게 구동능력 유무에 따라 스스로의 구동능력으로 위치의 변경과 생성 소멸이 가능한 객체인 선박, C/C, ATC, AGV, 외부트럭과 스스로 이동이 불가능한 객체인 선석, 장치장, 게이트로 나누어진다.

선석은 7개의 블록으로 구성되어 있다. 선석에는 2개의 트롤리를 사용하여 해측영역과 육측영역의 작업을 분리하여 안벽생산성을 향상시킨 DHST(Dual Hoist Second Trolley) C/C로 구성되어 있다. 블록은 5단 10열 41베이이며, 각 블록당 크기와 성능이 다른 2대의 ATC가 배치되어 있고, 타 블록으로의 이동은 불가능하다. 큰 ATC와 작은 ATC는 작업간섭, 이동간섭을 고려하여 작업을 수행하고, 블록내 각 Stack내에서는 그룹과 크기, 선박종류가 틀린 컨테이너는 혼재를 하지 않는다. 해당 Stack내에서는 재취급 작업이 발생하지 않으며, 각 베이내에서는 혼재가 가능하도록 설계하였다.

수직배치에서 초적의 성능을 발휘할 수 있는 ATC의 운영전략은 다음과 같다(왕승진, 2002).

Table. 2 Job dispatch priority of ATC

순위	큰 ATC	작은 ATC	대상작업 2이상일 경우
1	양/적하	반/입출	무부하운동 최소화
2	반/입출	양/적하	
3	이적작업	이적작업	

양/적하작업과 반/입출작업, 이적작업을 수행하는 ATC의 이벤트 다이어그램은 다음과 같다.

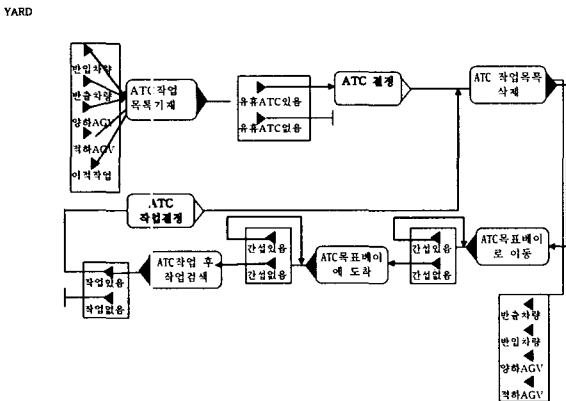


Fig. 4 Event diagram of ATC

ATC의 작업목록의 데이터베이스는 다음과 같으며, 작업수행 후 기재된 작업 중 우선순위를 결정하여 다음 작업을 수행한다.

Table. 3 Database structure of ATC WorkList

목록	설명
ATC_No	ATC 번호
Block	작업 목적 블록
Bay	작업 목적 베이
Stack	작업 목적 스택
Car_type	작업유형 구분
Distance	목적베이까지 거리
Empty_Distance	무부하운동거리
Car_Arrival_Time	차량의 TP 도착시간

적재된 컨테이너정보를 저장하는 장치장의 데이터베이스는 다음과 같다

Table. 4 Database structure of block information

목록	설명
Ship_No	선박종류
Block_No	블록번호
Bay_No	베이번호
Stack_No	스택번호
Con_Size	컨테이너크기
Capa	적재 컨테이너수
Con_Type	컨테이너종류
Rework	이적작업구분

4. 실험결과

4.1 실험조건

실험자료는 국내에 건설예정인 자동화 컨테이너터미널인 광양3-2단계 기본계획을 참조하였다.

연간처리 물동량은 110만 TEU이며, 수출입 비율은 50:50, 20'와 40'컨테이너의 비율은 50:50이며, 컨테이너의 그룹은 목적하, 무게 등을 고려하여 3~5개로 나누어진다.

실험 설계된 시스템의 시설물 사양은 다음과 같다

Table. 5 Facility data of simulation experiment

구분	세부사양
안벽	3개 선석 (1,050m)
장치장	21개 블록 (5단 10열)
게이트	입구게이트 4 출구게이트 2

실험에 적용된 장비의 수량과 사양은 다음과 같다.

Table. 6 Equipment data of simulation experiment

구분		세부사양	
C/C		9대	N(70,8)
ATC	Big	작업시간	N(98,10)
		이동시간	2m/sec
	Small	작업시간	N(70,10)
		이동시간	3m/sec
AGV		63대	6m/sec

이적작업은 두 대의 ATC를 사용하며, 반/입출작업을 우선적으로 처리한다. 각 블록마다 이적대상구간을 블록의 약 25%, 즉 41베이 중 수출컨테이너 이적대상구간을 10베이, 수입컨테이너 이적대상구간을 10베이를 할당한다. 이적작업시 이적작업순서는 수출컨테이너를 먼저 처리하고 수입컨테이너를 처리하며, 각 작업의 시간은 균등하게 사용한다.

실험기간은 총 5주이며, 장비와 장치장의 초기화를 위하여 1주일의 준비기간을 두었으며, 각 대안별로 총 10회에 걸쳐 반복실험을 수행하였다

4.2 실험결과 및 분석

실험은 블록을 수/출입공간으로 구분한 경우와 구분하지 않은 경우의 이적작업시와 이적작업을 수행하지 않은 경우에 선박재항시간과 C/C의 생산성을 비교 분석하였다. 또한 선박의 도착시간의 변화에 따른 선박재항시간을 분석하였다.

(1) 선박재항시간 분석

Fig. 5에서와 같이 선박재항시간은 이적작업을 수행한 경우 블록을 구분했을 때는 17.12시간, 구분하지 않았을 때는 16.79시간, 이적작업을 수행하지 않았을 경우는 19.37시간, 19.07시간이 소요되었다. 이적작업을 수행하였을 경우 약 11~12%, 약 2.2시간정도의 감소효과를 보여준다. 선박의 재항시간에서 장치장의 이적작업의 유무가 큰 영향을 미침을 알 수 있다.

또한 이적작업을 수행하는 경우, 수/출입공간을 분할하지 않는 장치장 할당방법이 분할하는 방법보다 이적작업시 더 효율적임을 알 수 있다. 이는 수입컨테이너의 최초에 할당하는 위치가 유리하므로 ATC의 작업간 거리가 단축되기 때문이다.

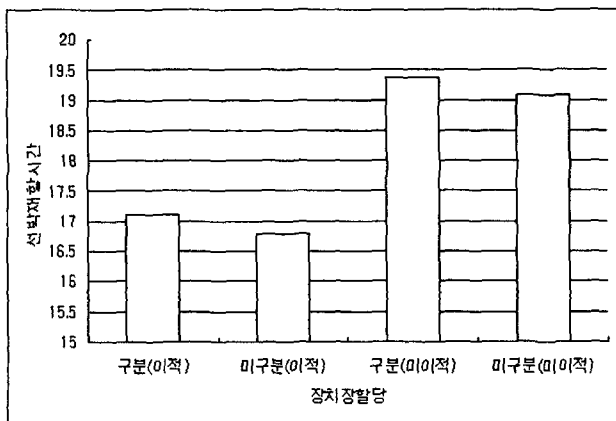


Fig. 5 Turnaround time of ship

(2) C/C 생산성분석

C/C 생산성은 이적작업을 수행한 경우 34~35개로 수행하지 않은 경우보다 약 10%정도로 향상되어진다.

이적작업을 수행한 경우 C/C생산성은 수/출입을 분할하지

않은 할당방법은 35.11lifts/hr, 분할한 방법은 34.43lifts/hr로서 분할하지 않은 방법이 더 나은 생산성을 보였다. 이는 이적작업을 통하여 적하컨테이너는 10베이이내, 양하 컨테이너는 16 베이이내 컨테이너를 적재할 수 있으므로 ATC의 작업시간을 단축시킬 수 있다. 이로 인해 해측 TP에서의 AGV의 ATC대기시간을 줄임으로서 C/C의 생산성을 향상시킬 수 있다.

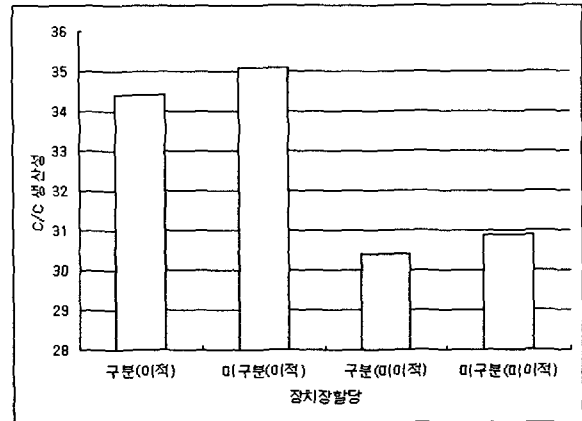


Fig. 6 C/C productivity

(3) 선박도착시간 변화에 따른 선박재항시간 분석

실험에서 각 선박은 9~15시간의 도착간격을 가지고 있다. Fig. 7에서는 선박의 도착시간의 증가에 따른 선박재항시간의 변화를 볼 수 있다. 선박의 도착시간 간격이 단축됨에 따라 ATC에 의한 블록내 이적작업을 수행할 수 있는 시간이 단축되므로 해당 선박에 적하할 컨테이너와 반출할 컨테이너를 충분히 이적할 수 없게 된다. 그러므로 컨테이너의 초기 할당위치에서 선박에 바로 적/양하를 수행하게 되므로 선박의 재항시간은 증가하게 된다.

선박의 도착시간이 증가하는 경우, 적하/반출할 컨테이너의 이적작업량의 변화가 발생하지 않으므로 일정시점부터는 재항시간의 변화가 발생하지 않는다.

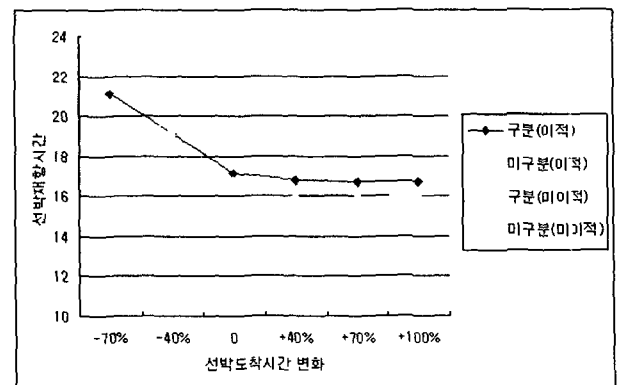


Fig. 7 Turnaround time of ship through arrival time

5. 결론 및 향후 과제

본 연구에서는 자동화 컨테이너터미널의 수직배치 장치장에서 반드시 필요한 이적작업을 수행하기 위하여 기본적인 운영전략을 제시하였다. 이적작업의 효과를 분석하기 위한 시뮬레이션 모델을 개발하였으며, 실험을 통하여 이적작업을 수행하였을 경우 11%의 선박재항시간의 단축과 10%정도의 C/C 생산성이 향상됨을 알 수 있었다. 또한 이적작업을 수행하는 경우, 수/출입공간을 분할하지 않는 할당방식이 분할하는 방식보다 좀 더 효율적인 장치장 운영방식임을 알 수 있었다.

Simulation Model for Automated Container Terminals”, Proceedings of the Business and Industry Simulation Symposium.

참 고 문 헌

- [1] 김갑환 외(2000), “컨테이너 터미널의 시뮬레이션을 위한 의사결정시스템”, CIIPM(Center for Intelligent & Integrated Port Management Systems), 2000년 연구결과 발표 논문집.
- [2] 왕승진 (2002), “자동화 컨테이너 터미널에서 장치장 운영 규칙에 관한 연구”, 석사 학위논문, 부산대학교.
- [3] 배종욱, 양창호, 김갑환 (2000), “표면반응법을 이용한 자동화 컨테이너터미널의 버퍼장치장에서의 장비규모 결정”, 한국항만학회, 추계학술대회논문집.
- [4] 김홍배(1999). “컨테이너 터미널의 수입 장치장 운영정책”, 박사학위논문, 부산대학교.
- [5] 이종술(2000). “계약만족기법을 이용한 컨테이너 터미널의 수출 장치장 공간 할당 계획”, 석사학위논문, 부산대학교.
- [6] 이경모, 김갑환(1999), “트렌스퍼 크레인의 반입 및 반출 작업순서 결정규칙의 도출과 비교 실험연구”, 한국경영과학회 /대한산업공학회 '99춘계공동학술대회논문집.
- [7] 정성용, 용운중(1998), “자동화 컨테이너터미널의 설계 및 운용최적화를 위한 시뮬레이션 기법의 적용”, 한국시뮬레이션학회.
- [8] 한국해양수산개발원(2001), “광양항 3단계 자동화 컨테이너터미널 개발 기본계획”, 2001 용역보고서.
- [9] Chang Ho Yang, Yong Seok Choi, and Tae Young Ha (2004), “Simulation-based Performance Evaluation of Transport Vehicles at Automated Container Terminals”, Vol.26, 149-170.
- [10] Chin-I.Liu, Hossein Jula and Petros A. Loannou (2002). Simulation and Evaluation of Automated Container Terminal, IEEE Transaction on Intelligent Transportation system, Vol.3, No.1,
- [10] Marc Goetschalckx and H. Donald Ratliff (1990), “Shared Storage Policies based on the Duration Stay of Unit Loads”, Management Science, Vol.36, No.9.
- [11] Mark B. Duinkerken and J. A. Ottjes(1999), “A