

# 시뮬레이션을 이용한 자동화 컨테이너터미널의 이적운영규칙에 관한 연구\*

윤원영<sup>\*\*,</sup>, 이주호<sup>\*\*\*,</sup>, 최용석<sup>\*\*\*</sup>

## A Study on Remarshaling Operation in Automated Container Terminal

Won-Young Yun, Joo-Ho Lee, Yong-Seok Choi

### Abstract

The operation rules to remarshaling works in yard is very important in automated container terminal (ACT). However, the decision rules for conventional container terminals have some restrictions to be applied to ACT whose block layout is vertical for berth.

The objective of this study is to propose the efficient operations rules for remarshaling works of automated transfer crane (ATC) in ACTs. Then, the various operation rules are simulated to verify the proposed operation rules. The results of the simulation study on various rules are provided and discussed.

**Key Words:** Automated Container Terminal, Automated Transfer Crane, Operation Rule, Remarshaling, Simulation

\* 본 논문은 한국 시뮬레이션 학회 2003년 춘계학술대회에서 발표한 내용을 수정, 보완한 것임.

\*\* 부산대학교 산업공학과

\*\*\* 한국해양수산개발원 해운물류·항만연구센터

## 1. 서론

1960년대 후반부터 본격화된 화물의 컨테이너화는 운송의 신속성과 하역비용의 절감, 물류비용의 절감 효과로 인하여 물류혁명으로 평가받고 있다. 이로 인하여 컨테이너 물동량은 해마다 증가하고 있고, 또한 규모의 경제를 실현하기 위하여 선박의 대형화가 빠르게 진행되고 있는 실정이다. 이에 선진 항만에서는 수동 컨테이너터미널에 비해 인건비의 비중을 50%정도 절감할 수 있고, 장비의 자동화를 통하여 효율성을 높일 수 있는 자동화된 터미널을 개발하고 있다. 선진 항만인 네덜란드는 ECT(Europe Combined Terminal), 독일은 CTA(Container Terminal Altenwerder)를 자동화 컨테이너터미널로 개발하였고, 싱가포르의 PPT(Pasir Panjang Terminal), 일본의 Kawasaki항, 영국의 Thamesport는 컨테이너터미널의 자동화를 진행 중에 있다[5].

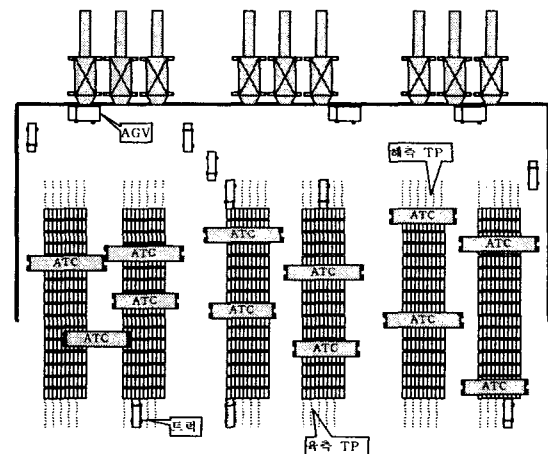
선진항만의 자동화 컨테이너터미널 관련기술은 장비의 기술적 측면뿐만 아니라, 효율성을 높일 수 있는 상세한 운영방식에 대한 것이 알려져 있지 않고, 또한 기존의 연구도 수동 컨테이너터미널에 초점이 맞추어져 있다. 이에 선진 항만으로 도약하기 위하여 자동화 컨테이너터미널의 운영기술 확보를 위한 연구가 필요하다[2].

따라서 본 연구에서는 자동화 컨테이너터미널에서 중요한 운영문제로 대두되는 이적작업(Remarshaling)에 대한 기본전략을 소개하고 시물레이션 실험을 통해서 효율적인 운영전략을 수립하고 그 방안을 제시하고자 한다.

본 연구에서는 자동화 터미널과 연구내용을 2장에서 소개하고, 이적작업의 기본전략 및 운영대안을 3장에서 제시하고, 4장에서는 시물레이션 모델에 대한 설명, 5장에서는 이적의 효율성과 운영전략에 따른 시물레이션 실험결과를 분석하였으며, 결론과 향후과제는 6장에서 정리하였다.

## 2. 자동화 컨테이너터미널과 이적작업

<그림 1>에서와 같이 자동화 컨테이너터미널은 자동무인운반차량인 AGV(Automated Guided Vehicle)와 트럭과의 교차로 인한 문제점의 해결, 자동화 야드크레인 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 TP(Transfer Point)라는 공간에서 ATC의 작업을 기다리게 된다. 트럭과 AGV의 작업은 수평배치의 컨테이너터미널에서는 컨테이너를 적재하는 블록의 목적배이까지 이동하여 장비 밑의 작업지점에서 대기하지만 수직배치의 경우 블록 양끝의 위치한 ATC와의 작업지점인 TP에서만 작업이 이루어지게 된다. 즉, 블록내부를 이동하는 차량은 존재하지 않게 된다[8][9].



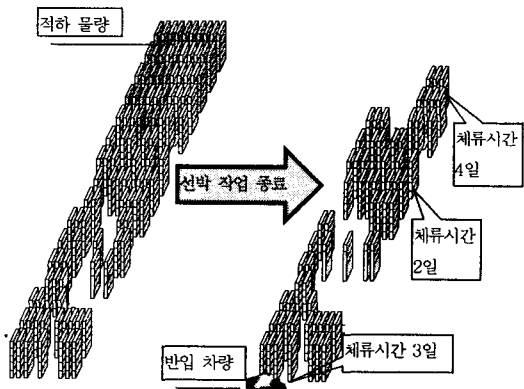
<그림 1> 자동화 컨테이너터미널의 레이아웃

또한 컨테이너를 야적하는 블록내의 작업에는 크기와 성능이 다른 두 대의 ATC를 사용하며, 큰 ATC 밑으로 작은 ATC가 지나갈 수 있도록 되어 있다. 컨테이너를 하역하는 호이스트(Hoist)의 높이 차이로 인하여 ATC 상호간 작업간섭과 이동간섭의 두 가지 유형의

간섭이 발생하게 된다.

특히 작업방식이 다른 적하/양하, 반입/반출 작업을 한 블록내에서 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. <그림 2>와 같이 적하의 경우 선석에 가까운 베이에 체류시간이 적은 수출 컨테이너를, 반출의 경우 육측에 가까운 베이에 체류시간이 적은 수입 컨테이너를 장치하는 것이 효율적일 것이다.



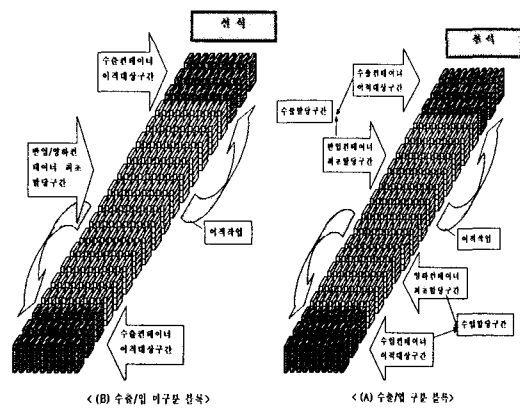
<그림 2> 적하작업 후 블록 모형도

그러나 반입/반출되는 컨테이너는 정확한 도착시간을 사전에 예측하기 어렵고, 각 컨테이너마다 선적될 대상선박, 크기, 그룹 등이 다르기 때문에, 어느 시점에서 블록내 컨테이너에 대하여 블록에 체류하는 시간을 기준으로 수출될 컨테이너와 반출될 컨테이너를 이적작업을 실시하여 컨테이너의 위치를 재할당하는 것이 반드시 필요하다. 이를 통하여 ATC의 작업시간을 줄임으로써 선박의 체류시간과 트럭의 대기시간을 단축시켜 터미널의 생산성을 향상시킬 수 있다.

### 3. 이적작업 운영방안

#### 3.1 이적작업 기본전략

본 연구에서는 ATC 이적작업을 수행하기 위하여 <그림 3>과 같은 기본 운영방안을 제시한다. 하나의 블록 내에서 반입되는 컨테이너와 양하되는 컨테이너를 임시적으로 장치하는 공간과 이적작업을 통하여 새롭게 장치되어지는 공간을 물리적으로 구분한다.



<그림 3> 장치위치에 따른 블록 모형도

- 수출 컨테이너 이적대상구간
- 반입/양하 컨테이너 최초할당구간
- 수입 컨테이너 이적대상구간

이적작업의 기본전략은 다음과 같다.

- 현 선박 출항부터 다음 선박 도착 전 시간까지 이적작업을 수행함
- 이적대상구간의 여유 공간을 있을 경우 이적작업을 수행함
- 한번 이적된 컨테이너는 다시 이적작업을 실시하지 않음(이적대상 구간내에서는 이적작업이 발생하지 않음)
- 컨테이너의 위치 할당시 같은 선박유형 (Ship Type), 크기, 그룹은 스택(Stack)내 혼재하지 않음
- 이적 순서는 선박유형, 그룹, 40" 크기, 20"

크기 순서로 함

- 입구게이트에 도착한 반입컨테이너와 선박 도착시 양하컨테이너를 최초의 할당구간에 장치위치를 결정함
- 이적작업시에 이적대상구간에 컨테이너의 장치 위치를 결정함

### 3.2 이적작업 운영대안

이적작업 운영대안을 위한 고려요소들은 다음과 같다.

- 이적대상구간의 공간 비율
- 블록공간의 수출/입 구분과 미구분
- 컨테이너 장치 위치 할당
  - ① 랜덤(Random) 할당방법
  - ② DOS(Duration-of-stay) 할당방법 : 적하할 컨테이너는 체류시간이 가장 짧은 순서로 할당위치 공간내에서 선석에서 가장 가까운 베이, 스택에 할당하고, 반대로 반출될 컨테이너는 선석에 반대쪽인 육측 TP에 가장 가까운 베이, 스택에 할당한다. 반입되는 컨테이너는 육측 TP에 가장 가까운 베이에 할당하고, 양하되는 컨테이너는 선석에 가장 가까운 베이에 할당한다[1][7].

## 4. 시물레이션 모델

이적작업의 효율성과 이적작업 운영대안을 분석하기 위하여 범용성을 가진 Visual C++를 사용하여 시물레이션 모델을 개발하였다.

시물레이션 모델에서 정의한 객체는 크게 구동능력 유무에 따라 스스로의 구동능력을 가지고 위치 변경과 생성 소멸이 가능한 객체(ATC, AGV, 트럭)와 스스로 이동이 불가능한 객체(컨테이너와 베이, 스택 등의 물리적 공간)로 분류된다[3][4]. 모델에서 가정한 블록은 5단 10열 40베이로 구성되며, 한 블록에는 크기와 성능이 다른 2대의 ATC가 배치되어 있고, 타 블록으로의 이동은 불가능하다. 또한 각 스택내에서는 그룹, 크기, 선박유형이 다른

컨테이너는 혼재를 하지 않는다. 해당 스택내에서는 재취급 작업이 발생하지 않으며, 각 베이내에서는 혼재가 가능하도록 설계하였다.

컨테이너는 20", 40"가 50:50의 비율로 발생하고, 각 선박당 컨테이너의 그룹은 무게와 목적항을 고려하여 3-5사이의 유형 발생하도록 하였다.

시물레이션 모델에서 고려한 운영전략은 <표 1>의 세 가지 우선순위로 구분된다[6].

<표 1> ATC의 운영전략

우선 순위	큰 ATC	작은 ATC	대상작업이 2개 이상일 경우
1	양하/적하	반입/반출	무부하운동 최소
2	반입/반출	양하/적하	
3	이적작업	이적작업	

## 5. 시물레이션 실험 및 분석

### 5.1 실험방법 및 조건

먼저 이적작업의 효율성 실험에서는 수직 배치 하에서의 이적을 실행한 경우와 이적을 실행하지 않은 경우의 ATC의 작업시간을 실험을 통해서 비교하였고, 두번째 이적운영대안 실험에서는 수출/수입 공간을 구분한 경우와 구분하지 않은 경우의 이적대상구간의 크기, 컨테이너의 장치위치 결정방법, 이적작업시간의 비율을 변경해 가면서 ATC의 작업시간을 측정하였다. 마지막으로 작업에 영향을 크게 미치는 선박의 도착간격과 무료장치기간의 변화에 따른 실험을 하였다.

이적의 효율성을 검증하기 위한 실험에서는 수출/수입 공간을 구분하여 장치위치를 랜덤하게 할당한 후, 이적대상구간이 10%인 이적작업을 수행한 경우와 미수행한 경우를 비교하였다.

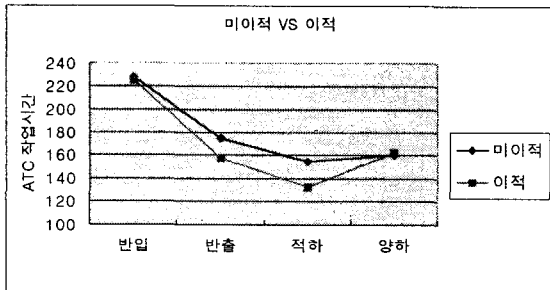
실험에서 선박의 도착 간격은 12-18 시간 사

이에 발생하도록 하였고, 선박의 물량은 하나의 블록에 할당할 수 있도록 수출 물량과 수입 물량은 각각 70-130 TEU 사이에서 발생하도록 하였다. 블록 내에서는 재취급은 발생하지 않는다고 가정하였고, 무료장치기간은 4일을 가정하였다. 작은 ATC작업시간은 N(98,10), 이동속도는 3m/sec, 큰 ATC작업시간은 N(70,10), 이동속도는 2m/sec 이다. 실험 시간은 180일로 하였으며, 안정화기간(Warmup Period)은 10일로 하였다. 실험결과에서 블록을 물리적으로 구분하지 않은 경우, (미)라고 표기한다.

## 5.2 실험결과 및 분석

### 5.2.1 이적작업의 효율성 실험결과

ATC의 작업시간은 해당 작업의 지시를 받은 시점에서 작업을 완료한 시점까지의 시간을 나타낸 것으로 장치위치를 할당하는 방법은 모두 랜덤하게 하였다. <그림 4>에서는 반입과 양하의 경우 장치위치를 할당하는 방법은 같으므로 이적과 미이적시 실험결과 컨테이너를 이적하는 작업이 발생하지 않으므로 차이의 변화는 거의 발생하지 않았다.



<그림 4> 이적과 미이적 작업의 ATC 작업시간

그러나 수출 컨테이너를 이적하는 적하의 경우, 이적작업을 수행했을 경우 이적을 수행하지 않은 경우보다 15% 정도의 ATC 적하작업시간을 단축시킬 수 있었다. 또한 수입 컨테이너를 이적하여 반출하는 경우 10%의 작

업시간을 줄일 수 있다. 적하에 비해 반출의 작업 효율이 낮은 것은 수출되는 컨테이너의 적하되는 시간은 배의 도착시간에 따라 미리 정해져 있기 때문에 한꺼번에 많은 물량이 빠져 나가는 반면, 반출은 컨테이너가 빠져 나가는 시간이 무료장치기간 내에 계속 발생하게 되고, 소수의 물량만이 트럭에 의해서 빠져나가므로 블록내 차지하는 공간이 많기 때문이다. 또한 이적작업을 수행하는 경우, 적하는 다음 선박의 컨테이너를 우선적으로 옮기고 이적된 컨테이너를 선박에 적재하지만 반출의 경우, 블록에 적재된 컨테이너간 무료장치기간이 겹치는 경우가 발생하므로 지금 반출될 컨테이너가 이적작업이 수행되지 않을 가능성이 적하보다 크기 때문이다.

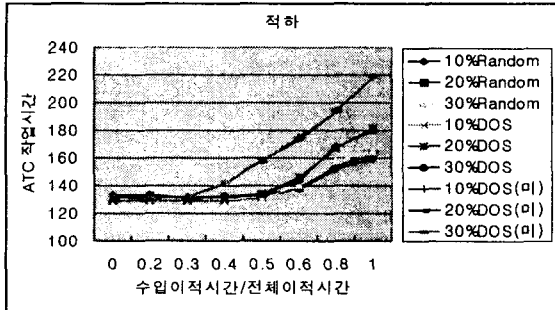
### 5.2.2 이적작업 유형별 실험결과

#### ● 적하작업

수출 컨테이너를 선박에 적재하는 적하 작업의 경우, 선박에 적재될 컨테이너를 모두 옮기는 시간 동안에는 수출 컨테이너의 이적작업의 효과가 크게 나타난다. 또한 수출 이적작업시간이 일정 비율 이하인 경우에 시간의 변화에 따른 적하시간의 차이는 거의 발생하지 않는다. 이는 이적작업시 체류시간이 가장 빠른 수출 컨테이너를 가장 먼저 적하에서 이적하기 때문이다. 그러나 수입 컨테이너 이적을 많이 실시할 경우, 적하 작업 대상 구간이 넓어지게 되므로 적하 작업시간이 증가하게 된다. 수출/수입을 구분한 경우의 DOS의 경우는 수출 이적작업을 수행하지 않을 경우, 반입 컨테이너의 위치가 선석에 반대쪽에 할당되므로 랜덤한 경우보다 적하시간이 길어지게 된다.

<그림 5>에서와 같이 수출입을 구분하지 않은 경우는 반입되는 컨테이너의 위치가 육측 TP에 가까운 곳에 할당되므로, 이적작업을 수행하는 시간이 길어지게 된다. 이로 인하여 구분한 경우보다 같은 시간내에 이적량이 적

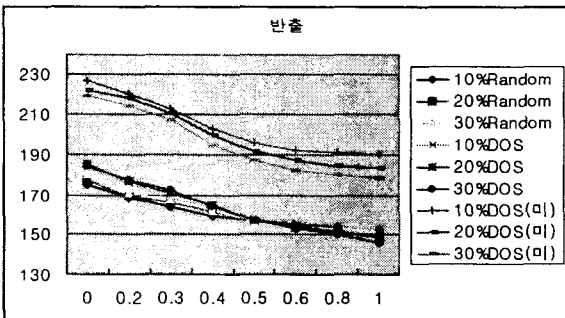
게 되므로 ATC의 이동시간이 길어져 적하 작업시간이 길어지게 된다.



<그림 5> ATC의 적하 작업시간

● 반출작업

반출 작업시간은 수입 이적 시간이 증가하면 반출 작업시간도 감소하게 된다. 수입 이적 시간이 적을 경우, 수출/수입을 구분한 경우의 랜덤과 DOS한 경우와 수출/수입을 구분하지 않은 경우의 반출 작업시간의 차이가 발생하는데, 이는 양하되는 컨테이너의 할당 위치의 차이로 인하여 양하된 컨테이너를 바로 반출하기 위한 ATC의 이동시간이 다르기 때문이다.



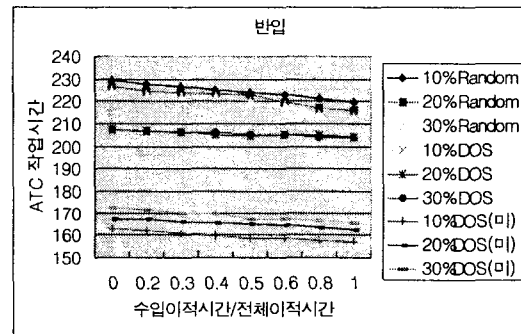
<그림 6> ATC의 반출 작업시간

<그림 6>과 같이 수출/수입을 구분하지 않을 경우는 양하되는 위치가 수출 컨테이너 이적대상구간의 크기에 영향을 받게 된다. 이로 인하여 30%를 DOS(미)한 경우가 10%를

DOS(미)한 경우보다 ATC의 이동시간이 약간 줄어들게 된다. 그러나 수출/수입을 구분한 경우는 블록공간이 양하되는 위치가 수입 공간에 할당되므로 수출 공간 내에 있는 수출 컨테이너 이적대상구간 크기의 영향을 받지 않는다.

● 반입작업

컨테이너를 반입하는 경우의 ATC의 작업시간은 수출 컨테이너를 할당하는 위치에 따라 큰 차이를 보이고 있다. 수출/수입을 구분하지 않은 경우, 구분한 경우 DOS, 구분한 경우 랜덤 순으로 육측 TP에 가까운 베이에 할당하게 된다.



<그림 7> ATC의 반입 작업시간

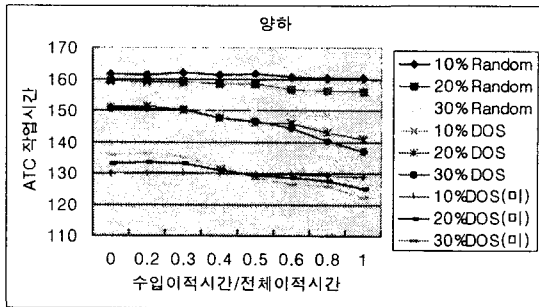
<그림 7>에서 장치 위치의 차이로 인하여 ATC의 반입 작업시간의 차이를 보이게 된다. 즉, 육측 TP에 가까운 위치에 할당하는 것이 효율적임을 보여주고 있다. 수입 이적 시간이 증가할수록 ATC의 반입 작업시간이 줄어드는 것은 수입 이적작업이 육측 TP에 가까운 곳에서 작업 완료가 되므로 반입 작업시간이 줄어들게 된다.

수출/입 구분한 DOS의 경우 양하와 달리 DOS한 경우에 수출 이적작업시간이 길어진다면 하더라도 지금 반입되는 컨테이너가 체류시간이 가장 빠르다고 할 수 없다. 이는 수출 이적 작업시 현 컨테이너를 이적한다고 볼 수 없기

때문에 이적대상구간의 크기에 따른 차이는 보이지 않는다.

● 양하작업

양하는 수입되는 컨테이너의 할당하는 방법과 수입 컨테이너 이적대상구간의 크기에 따른 ATC의 양하 작업시간의 변화가 발생한다.



<그림 8> ATC의 양하 작업시간

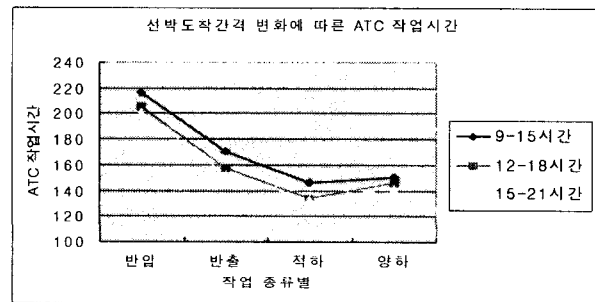
<그림 8>에서 수출/수입을 구분한 경우와 구분하지 않은 DOS의 경우에는 선석에 가까운 베이부터 할당을 하게 되므로 이적 수입 이적 시간이 적을 경우, 수입 컨테이너 이적대상구간의 크기에 따른 차이는 없다. 그러나 이적시간이 증가할수록 수입 컨테이너 이적대상구간의 크기에 따른 양하시간의 차이를 보이게 된다. 즉, 수입 컨테이너의 이적량이 많아지기 때문이다.

5.2.3 선박도착간격과 무료장치기간 변화에 따른 실험결과

선박의 도착 시간의 변화에 따라서 터미널에 영향을 주게 된다. 먼저 장치장의 장치율의 차이에 따라 컨테이너의 할당되는 장치위치의 변화와 이적 시간의 변화로 인하여 이적량의 차이가 발생하게 된다.

선박의 도착간격이 줄어드는 것은 장치 물량이 증가하는 것과 같은 현상을 일으키게 된다. 이는 장치장의 장치율을 상승시키게 되고, 이적 가능 시간의 감소로 인하여 이적량이 감

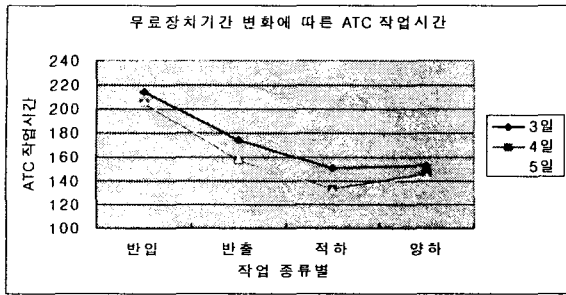
소하게 된다. 즉, 반입되는 컨테이너는 육측 TP에 가까운 위치에 장치위치를 할당하려고 하나, 수출 컨테이너의 이적량의 감소로 인하여 유리한 위치에 할당을 하지 못하게 된다. 적하의 경우, 이적대상구간으로의 이적량의 감소로 인하여 적하 작업 대상구간이 수출 공간 전체로 확대됨으로 인하여 ATC의 작업시간이 증가하게 된다. 양하와 반출의 경우도 유사한 결과를 보이고 있다.



<그림9> 선박도착간격의 변화에 따른 ATC 작업시간

그러나 <그림 9>와 같이 선박도착 간격이 증가할수록(12~18시간, 15~21시간) 블록내에서 장치율이 감소하게 되고, 이적 시간이 증가됨으로 인하여 작업유형별 ATC의 작업시간의 변화는 크게 나타나지 않는다. 특히 적하의 경우, 똑같은 DOS의 장치위치 할당 방법을 사용하게 되므로 차이가 발생하지 않는다.

양하된 컨테이너가 적재되어 있는 기간은 장치장에서의 장치율의 변화와 블록에서 작업을 처리하는 ATC의 작업시간에 영향을 주게 된다. <그림 10>과 같이 무료장치기간이 감소할수록 반출되어야 할 컨테이너의 양이 증가하게 된다. 이는 ATC의 작업량의 증가로 인하여, 반입/반출, 양하/적하를 우선적으로 처리하는 ATC의 작업방식으로 인하여 이적할 컨테이너 수의 감소로 이어진다. 이는 적하와 반출의 유리한 위치로의 이적량이 적어지므로 ATC의 작업시간의 증가로 이어지게 된다.



<그림 10> 무료장치기간의 변화에 따른 ATC 작업시간

6. 결론

본 연구에서는 자동화 컨테이너터미널의 수직배치 장치장에서 반드시 필요한 이적작업을 수행하기 위하여 기본적인 운영전략을 제시하였으며, 시물레이션 실험을 통하여 이적을 수행함으로써 적하시 15%, 반출시 10%의 효율이 증가함을 보였다.

또한 블록을 사용하는 방법의 차이에 따라서 수출/수입을 구분한 경우와 구분하지 않은 경우에서의 수출 컨테이너 이적대상구간, 수입 컨테이너 이적대상구간의 크기와 장치위치 할당 방법의 차이에 따른 반입/반출, 양하/적하에서 ATC의 작업시간의 변화와 블록의 장치량에 영향을 미치는 선박의 도착간격과 무료장치기간의 변화에 따른 효과를 시물레이션 실험을 통하여 비교, 분석하였다.

본 연구에서는 이적작업을 수행함으로써 발생하는 ATC의 추가적인 비용측면을 고려하지 않았으며, CC와 AGV가 연관된 이적을 고려하지 않았다는 한계점은 가지고 있으나 자동화 컨테이너터미널의 운영기술에 대한 연구가 많이 진행되지 않은 상황에서 수직배치하의 ATC 이적의 효율성과 운영방안을 제시하고 분석한데 연구의 주안점을 두었다.

참고문헌

- [1] 박영만, 김갑환, “컨테이너 터미널의 시물레이션을 위한 의사결정시스템”, Center for Intelligent & Integrated Port Management Systems, 2000년 연구결과발표 논문집, 2000.
- [2] 박창호, 노홍승, 정희균, 시스템적 접근에 의한 자동화컨테이너터미널 개발 과제 도출, 한국항만학회 '98 추계학술대회논문집(1998) pp.51-58
- [3] 이명길, 컨테이너 터미널의 장비계획을 위한 시물레이션 시스템 개발, 석사학위논문, 부산대학교, 2000
- [4] 최용석, 컨테이너 터미널의 객체지향 시물레이션 시스템, 박사 학위 논문, 부산대학교, 2001
- [5] 한국해양수산개발원, 광양항 3단계 자동화컨테이너터미널 개발 기본계획, 2001 용역보고서, 2001.
- [6] Kim, K. H. and Wang, S. J., A Simulation Study on Operation Rules for Automated Container Terminal, *Proceedings of International Conference on Industrial Engineering*, 250-253, 2002
- [7] Marc Goetschalckx and H. Donald Ratliff, Shared Storage Policies based on the Duration Stay of Unit Loads, *Management Science*, Vol.36, No.9, 1990
- [8] Mark B. Duinkerken and J. A. Ottjes, A simulation model for automated container terminals, *Proceedings of the Business and Industry Simulation Symposium*, 1999
- [9] Watanabe, I., An Approach to the Automated Container Terminals, Seminar on Automated Container Terminals by Korean Institute of Machinery & Materials, 1996



주 작성자 : 윤 원 영  
 논문투고일 : 2003. 9. 19  
 논문심사일 : 2003. 10. 22  
 심사판정일 : 2003. 10. 22

● 저자소개 ●

윤원영



1982 서울대학교 산업공학과 학사  
 1984 한국과학기술원 산업공학과 석사  
 1988 한국과학기술원 산업공학과 박사  
 1987~현재 부산대학교 산업공학과 교수  
 관심분야: 신뢰성공학, 시뮬레이션

이주호



2000 동아대학교 응용통계학과 학사  
 2002 부산대학교 산업공학과 석사  
 2002~현재 한국해양수산개발원 해운물류·항만연구센터 연구원  
 관심분야: 자동화컨테이너터미널, 시뮬레이션

최용석



1993 창원대학교 산업공학과 학사  
 1995 부산대학교 산업공학과 석사  
 2001 부산대학교 산업공학과 박사  
 2001~2002 (주)현대오토넷 선임연구원  
 2002~현재 한국해양수산개발원 해운물류·항만연구센터 책임연구원  
 관심분야: 객체지향시뮬레이션, 물류시스템