

시뮬레이션을 이용한 자동화 컨테이너 터미널의 이적 운영규칙에 관한 연구

윤원영* · 이주호** · 최용석**

Dug Hee Moon* · Jae Heon Sung**

Abstract

Today, for improvement of container terminal productivity, it is necessary to develop ACT(Automated Container Terminal). But, decision rules for conventional container terminals expose various limitations to be applied to ACT. Specially it is important fact to assignment of containers, because the character of ACT which block layout is vertical for berth. And then there is need which assignment of containers with remarshaling work using ATC(Automated Transfer Crane)s. The objective of this study is to provide the operation rules for remarshaling work in ACT. To analyze the proposed rules, the simulation is performed, and we show efficiency of remarshaling on various remarshaling operation rules.

Key Words : ACT(Automated Container Terminal), 수적배치, ATC(Automated Transfer Crane), 이적작업(Remarshaling)

I. 서론

수출입화물의 컨테이너화로 인하여 운송이 신속해지고 하역비용과 물류비용이 절감되어 컨테이너를 이용한 물동량은 지속적으로 증가하고 있다. 또한 규모의 경제를 실현하기 위하여 선박의 대형화도 빠르게 진행되고 있다. 이에 선진항만에서는 수동 컨테이너터미널에 비해 인건비의 비중을 50%정도 절감할 수 있고, 장비의 자동화를 통하여 효율을 높일 수 있는 자동화된 컨테이너터미널을 개발하고 있다.

그러나 자동화 컨테이너터미널에 대한 상세한

운영기술은 공개가 되지 않고 있으며, 항만에 대한 기존의 연구도 수동 컨테이너터미널에 초점이 맞추어져 있다. 이에 선진 항만으로 도약하기 위하여 자동화 컨테이너터미널에 대한 연구가 필요하다.

따라서 본 연구에서는 자동화 컨테이너터미널에서 중요한 운영문제로 야기되는 이적작업에 대한 기본전략을 소개하고 시뮬레이션 실험을 통해서 효율적인 운영전략을 수립하고 그 방법을 제시하고자 한다.

본 연구에서는 이적작업의 기본전략 및 운영대안을 2장에서 제시하고, 3장에서는 시뮬레이션 모델에 대한 설명, 4장에서는 이적의 효율성과 운영전략에 따른 시뮬레이션 실험결과를 분

* 부산대학교 산업공학과

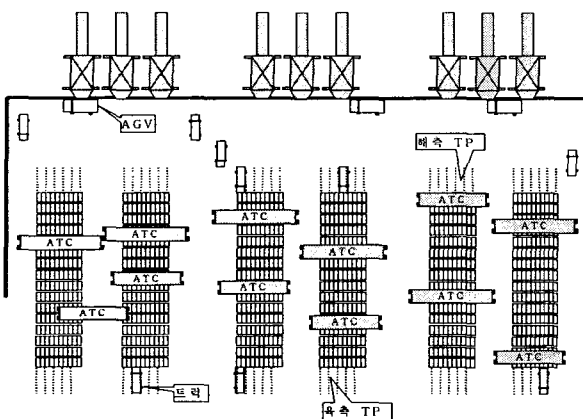
** 한국해양수산개발원 해운항만연구센터

석하였으며, 결론과 향후과제는 5장에서 정리하였다.

2. 자동화 컨테이너터미널의 이적작업

〈그림1〉에서와 같이 자동화 컨테이너터미널은 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 TP(Transfer Point)라는 공간에서 ATC의 작업을 기다리게 된다. 트럭과 AGV의 작업은 수평배치의 컨테이너터미널에서는 목적베이까지 이동하여 대기하지만 수직배치의 경우 블록 양끝의 TP에서만 작업이 이루어지게 된다.

컨테이너를 적재하는 블록내의 작업에는 크기와 성능이 다른 두 대의 ATC를 사용하게 된다. 큰 ATC 밑으로 작은 ATC가 지나갈 수 있도록 되어있다. 컨테이너를 하역하는 호이스트의 높이가 차이로 인하여 ATC 상호간 작업간섭과 이동간섭, 두 가지 형태의 간섭이 발생하게 된다.



〈그림 1〉 자동화 컨테이너터미널의 레이아웃

특히 작업방식이 다른 적하와 양하, 반입과 반출 작업을 하나의 블록내에서 수행하므로 수평 배치와 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 해측TP에 가까운 베이에 체류시간이 적은 수출 컨테이너를, 반출의 경우 육측TP에 가까운 베이에 체류시간이 적은 수입 컨테이너를 장치하는 것이 효율적이다.

그러나 반입, 반출되는 컨테이너의 터미널 도착시간을 정확히 예측할 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 줄임으로써 선박의 체류시간과 트럭의 대기시간을 단축시켜 터미널의 생산성을 향상시킬 수 있다.

3. 이적작업 운영방안

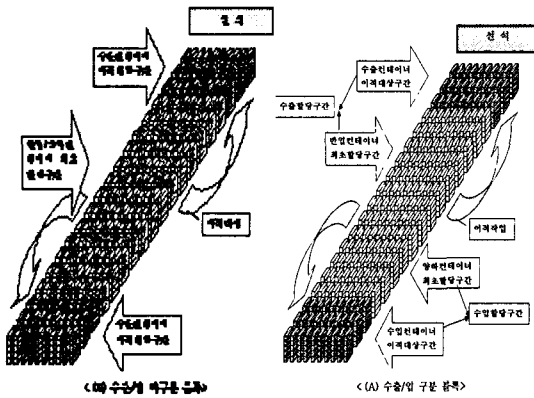
3.1 이적작업 기본전략

본 연구에서는 ATC가 이적작업을 수행하기 위하여 다음과 같은 기본 운영방안을 제시한다. 하나의 블록내에서 반입되는 컨테이너와 양하되는 컨테이너를 임시적으로 장치하는 공간과 이적작업을 통하여 새롭게 장치되어지는 공간을 〈그림 2〉와 같이 물리적으로 구분하게 된다.

- 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 공간이 있을 경우 이적작업을 수행함.
 - 한번 이적된 컨테이너는 다시 이적작업을 실시하지 않음.(이적대상구간내에서는 이적작업

은 없음.)

- 컨테이너의 위치 할당 시 같은 Ship Type, Size, Group은 Stack내 혼재 않음.
- 이적 순서는 Ship Type, Group, 40" Size, 20" Size 순서로 함.
- 입구게이트에서 반입컨테이너, 선박도착시 양 하컨테이너를 최초할당구간에 장치위치 결정.
- 이적작업시에 이적대상구간에 컨테이너의 장치 위치를 결정.



<그림 2> 장치위치에 따른 블록 모형도

2.2 이적작업 운영대안

이적작업 운영대안을 수립하기 위하여 다음 세가지를 고려하였으며, 컨테이너 장치위치 할당은 Random 할당방법과 DOS(Duration-of-stay) 할당방법으로 구분하였다.

- 이적대상구간의 공간 비율
- 블록공간의 수출/입 구분과 미구분
- 컨테이너 장치 위치 할당

① Random 할당방법

② DOS 할당방법

DOS 할당방법은 적하할 컨테이너에 대해서 체류시간이 가장 작은 순서로 할당위치 공간내에서 선석에서 가장 가까운 베이, Stack에 할당하고, 반대로 반출될 컨테이너는 육측TP에 가장 가까운 베이, Stack에 할당한다. 반입되는 컨테이너는 육측TP에 가장 가까운 베이에 할당하고, 양하되는 컨테이너는 선석에 가장 가까운 베이

에 할당한다.

4. 시뮬레이션 분석

4.1 시뮬레이션 모델

이적작업의 효율성과 이적운영대안을 분석하기 위하여 범용성을 가진 Visual C++를 사용하여 모델링하였다.

객체는 크게 구동능력 유무에 따라 스스로의 구동능력으로 위치의 변경과 생성 소멸이 가능한 객체와, 스스로 이동이 불가능한 객체로 나누어진다. 블록은 5단 10열 40베이이며, 각 블록당 크기와 성능이 다른 2대의 ATC가 배치되어 있고, 타 블록으로의 이동은 불가능하다. 또한 각 Stack내에서는 Group과 Size, Ship Type이 틀린 컨테이너는 혼재를 하지 않는다. 해당 Stack내에서는 재취급 작업이 발생하지 않으며, 각 베이내에서는 혼재가 가능하도록 설계하였다.

20", 40" 크기의 컨테이너는 50:50의 비율로 발생하고, 각 선박당 컨테이너의 그룹은 무게와 목적항을 고려하여 3-5사이에서 발생하게 된다.

수직배치에서 최적의 성능을 발휘할 수 있는 ATC의 운영전략은 다음과 같다[2].

<표 1> ATC의 운영전략

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

4.2 실험방법 및 조건

먼저 이적작업 효율성 실험에서는 수직 배치 하에서의 이적을 실행한 경우와 이적을 실행하지 않은 경우의 ATC의 작업시간을 실험을 통해서 비교하였고, 두 번째는 이적작업 운영대안 실험에서는 수출입 공간을 구분한 경우와 구분하지 않은 경우 이적대상구간의 크기, 컨테이너의 장치위치 결정방법, 이적작업시간의 비율을 변

경해 가면서 ATC의 작업시간을 측정해 보았다.

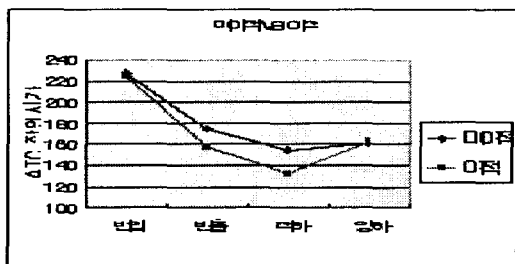
먼저 이적작업의 효율성을 검증하기 위한 실험에서는 수입과 수출의 공간을 구분하고, Random하게 장치위치를 할당하는 조건에서, 이적대상 구간이 10%인 이적작업 수행 경우와 미수행 경우를 비교하였다.

실험에서 선박의 도착 간격은 12-18 시간 사이에 발생하도록 하였고, 배의 물량은 하나의 블록에 할당할 수 있도록 수출 물량과 수입 물량은 각각 70-130 TEU 사이에 발생하도록 하였다. 블록 내에서 재취급은 발생하지 않는다고 가정하였고, 무료장치시간은 현재 가동중인 국내 컨테이너터미널에서 보편적으로 사용하는 4일로 하였다. 작은 ATC작업 시간은 N(98초,10초), 이동속도는 3m/sec, 큰 ATC작업시간은 N(70초,10초), 이동속도는 2m/sec 이다. 실험 시간은 180일로 하였으며, Warmup Period는 10일로 하였다. 실험결과에서 미구분의 경우 (미)라고 표기한다.

4.3 실험결과 및 분석

4.3.1 이적작업의 효율성 실험결과

ATC의 작업시간은 해당 작업의 명령을 받은 시점에서 작업을 완료한 시점까지의 시간을 나타낸 것으로, 장치를 할당하는 방법은 모두 Random으로 같다.



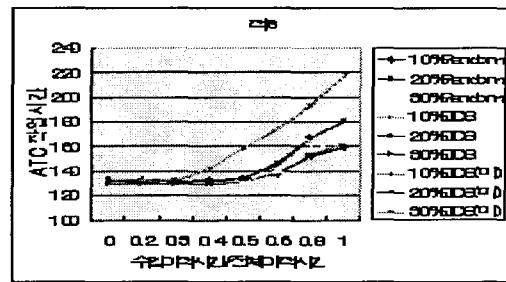
〈그림 3〉 이적작업과 미이적작업의 ATC 작업시간

〈그림 3〉에서 반입과 양하의 경우 장치위치를 할당하는 방법이 같으므로, 이적과 미이적시 실험시 컨테이너를 이적하는 작업이 발생하지 않으므로 차이가 거의 발생하지 않았다. 그러나 수

출 컨테이너를 이적하는 적하의 경우, 이적작업을 수행했을 경우 이적을 수행하지 않은 경우보다 15% 정도의 ATC 적하 작업 시간을 단축시킬 수 있음을 볼 수 있다. 또한 수입 컨테이너를 이적하여 반출하는 경우 10%의 작업 시간을 줄일 수 있다.

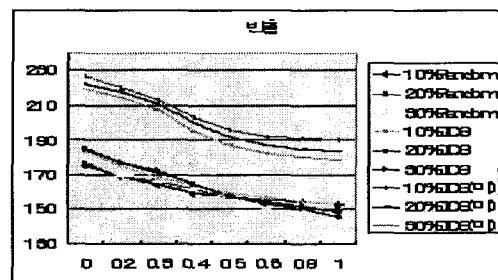
4.3.2 이적작업 운영대안 실험결과

〈그림 4〉에서와 같이 반입된 수출 컨테이너를 이적하는 작업이 수행된 컨테이너를 선박에 적재하는 적하 작업의 경우, 선박에 적재될 컨테이너를 모두 옮기는 동안에는 수출 컨테이너의 이적작업의 효과가 크게 나타난다.



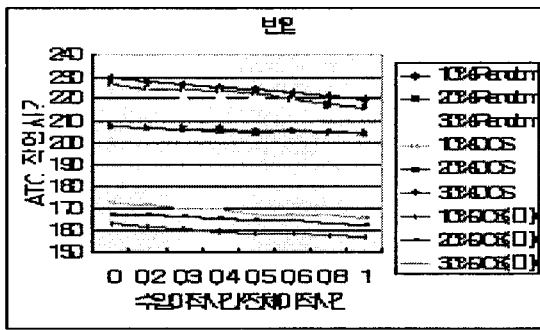
〈그림 4〉 ATC의 적하 작업시간

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



〈그림 5〉 ATC의 반출 작업시간

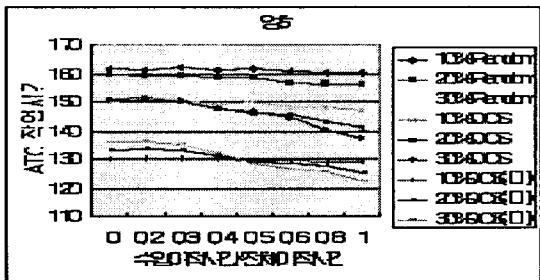
수출입을 구분하지 않을 경우는 양하되는 위치가 수출 컨테이너 이적대상구간의 크기에 영향을 받기 된다. 이로 인하여 30%를 DOS(미)한 경우가 10% DOS(미)한 경우보다 ATC의 이동 시간이 조금 줄어들게 된다. 그러나 수출입을 구분한 경우는 공간이 양하되는 위치가 수입 공간에 할당되므로, 수출 공간내에 있는 수출 컨테이너 이적대상구간 크기의 영향을 받지 않는다.



〈그림 6〉 ATC의 반입 작업시간

〈그림 6〉과 같이 컨테이너를 반입하는 경우의 ATC의 작업시간은 수출 컨테이너를 할당하는 위치에 따라 큰 차이를 보이고 있다.

양하된 컨테이너가 적재되어 있는 기간은 장치장에서의 장치울의 변화와 블록에서 작업을 처리하는 ATC의 작업시간에 영향을 주게 된다. 무료장치기간이 감소할수록 반출되어야 할 컨테이너의 양이 증가하게 된다. 이는 ATC의 작업량의 증가로 인하여, 반입/출, 양적/하를 우선적으로 처리하는 ATC의 작업방식으로 인하여 이적할 컨테이너의 수의 감소로 이어진다.



〈그림 7〉 ATC의 양하 작업시간

이는 적하와 반출의 유리한 위치로의 이적량이 적어지므로 ATC의 작업시간의 증가로 이어지게 된다.

5. 결론 및 향후 과제

본 연구에서는 자동화 컨테이너터미널의 수직 배치 장치장에서 필요한 이적작업을 수행하기 위한 기본적인 운영전략을 제시하였으며, 시뮬레이션 실험 결과, 이적작업을 수행함으로써 적하 시 15%, 반출 시 10%의 효율이 증가함을 알 수 있었다. 또한 블록을 사용하는 방법의 차이에 따라서 수출입을 구분한 경우와 구분하지 않은 경우에서의 수출 컨테이너 이적대상구간, 수입 컨테이너 이적대상구간의 크기와 장치위치 할당 방법의 차이에 따른 반입, 적하, 반출, 양하 작업에서 ATC의 작업시간의 변화를 실험을 통하여 비교, 분석하였다.

본 연구에서는 ATC의 이적작업을 수행함으로써 제기되는 ATC의 비용적인 측면을 고려하지 않았으며, CC와 AGV를 반영한 이적작업은 고려하지 않았다. 그러나 자동화 컨테이너터미널의 운영에 대한 연구가 많이 진행되지 않은 상황에서 수직배치하의 ATC 이적작업의 효율성과 운영방안을 제시하고, 비교 분석한데서 연구의 효과를 찾을 수 있다.

참고문헌

- [1] 왕승진, "자동화 컨테이너 터미널에서 장치장 운영 규칙에 관한 연구", 석사학위논문, 부산대학교, 2002.
- [2] 김홍배, "컨테이너 터미널의 수입 장치장 운영정책", 박사학위논문, 부산대학교, 1999.
- [3] 이종술, "계약만족기법을 이용한 컨테이너 터미널의 수출 장치장 공간 할당 계획", 석사학위논문, 부산대학교, 2000.

- [4] 이경모, 김갑환, “트랜스퍼 크레인의 반입 및 반출 작업순서 결정규칙의 도출과 비교 실험연구”, 「한국경영과학회/대한산업공학회 '99 춘계공동학술대회논문집」, pp.303-303, 1999.
- [5] 한국해양수산개발원, “광양항 3단계 자동화 컨테이너터미널 개발 기본계획”, 2001.