

## 자동화 수평 배치 블록을 위한 시뮬레이션 기반 컨테이너 장치 전략 평가

김민주\* · 박태진\*\* · 강재호\*\*\* · 류광렬\*\*\*\* · 김갑환\*\*\*\*\*

\*,\*\*,\*\*\*부산대학교 컴퓨터공학과 대학원, \*\*\*\*부산대학교 컴퓨터공학과 교수, \*\*\*\*\*부산대학교 산업공학과 교수

## Simulation-based Evaluation of Container Stacking Strategy for Horizontal Automated Block

Minju Kim\* · Taejin Park\*\* · Jaeho Kang\*\*\* · Kwang Ryel Ryu \*\*\*\* · Kap Hwan Kim\*\*\*\*\*

\*,\*\*,\*\*\*,\*\*\*\* Department of Computer Engineering, Pusan National University, Busan 609-735, Korea

\*\*\*\*\* Department of Industrial Engineering, Pusan National University, Busan 609-735, Korea

**요약 :** 컨테이너 물동량의 증가에 의한 생산성 향상의 필요와 인건비 등의 비용 절감의 이점으로 인해 국내외적으로 컨테이너 터미널의 자동화가 추진되고 있다. 이에 따라 기존의 수동 야드 크레인과는 다른 자동화 야드 크레인인 RMG의 특성을 고려한 새로운 장치 전략이 필요하다. 본 논문에서는 교차 불가능한 2대의 RMG를 사용하는 수평배치블록을 대상으로 작업 생산성을 평가할 수 있는 시뮬레이션 모델을 개발하고 두 가지 컨테이너 장치 전략을 실험하였다. 첫 번째 장치 전략은 기존 장치장 공간 계획과 유사하게 하나의 선박에 대한 본선 작업 컨테이너들을 가능한 모으고, 본선 작업과 반입출 작업을 각각의 크레인에 전담시키는 집중화 전략이다. 두 번째 장치 전략은 두 크레인이 한 선박에 대한 본선 작업을 번갈아 수행함으로써 본선 작업의 효율을 높일 수 있도록 블록 공간을 둘로 나누고 각 구역별로 담당할 크레인을 할당하는 분산화 전략이다. 시뮬레이션 실험 결과 집중화 전략은 양하와 반출이 동시에 발생하는 수입용 블록에 유리하였으며, 분산화 전략은 적하와 반입이 동시에 발생하는 수출용 블록에 효과적인 것으로 확인되었다.

**핵심용어 :** 자동화 컨테이너 터미널 장치장, 수평 배치 블록, TRMG, 시뮬레이션, 장치 전략

**ABSTRACT :** In order to increase the productivity of container terminals, automation is being considered seriously in nowadays. A yard is usually automated by running automated RMGs (rail mounted gantries) which may require somewhat a different stacking strategy to archive a better performance. In this paper, we present a simulation model for RMGs and summarize experimental results with two different stacking strategies applied to a horizontal block which has two non-crossable RMGs. The concentrating strategy, which stacks containers belong to a single ship together and dedicates each RMG to either ship services or external truck services, showed a good performance in ship unloading. In the contrast, the distributing strategy, which partitions a block into two regions and binds each RMG to one of the regions to improve the productivity of ship services by running each RMG alternately, is suggested for blocks of exporting.

**KEY WORDS :** Automated Container Terminal Block, Horizontal Yard, TRMG, Simulation, Container Stacking Strategy

### 1. 서 론

\*정희원, minjoa@pusan.ac.kr 051) 510-3531

\*\*정희원, parktj@pusan.ac.kr 051) 510-3531

\*\*\*정희원, jhkang@pusan.ac.kr 051) 510-3645

\*\*\*\*정희원, kiryu@pusan.ac.kr 051) 510-2453

\*\*\*\*\*종신희원, kapkim@pusan.ac.kr 051) 510-2419

세계적인 물동량의 증가와 인건비 상승, 초대형 선박들의 증가 등 해운 환경이 변하고 있는 가운데 컨테이너 터미널의 경쟁력을 강화하기 위한 노력의 일환으로 독일이나 네덜란드와 같은 선진 항만국에서 컨테이너 터미널을 자동화하여 운영하고 있으

며 국내에서도 광양항에 2008년도 시운전을 목표로 자동화 컨테이너 터미널을 건설 중이다. 기존의 컨테이너 터미널은 자동화 컨테이너 터미널로 가기 위한 전단계로서 장치장만 자동화 한 반자동화 터미널을 운영하기도 한다. 싱가포르의 PPT(Pasir Panjang Terminal)와 영국의 테임즈항 터미널이 반자동화 컨테이너 터미널의 대표적인 예이다.

자동화 터미널에서 사용되는 주요 장비로는 AGV(Automated Guided Vehicle)와 자동화 야드 크레인이 있는데 터미널의 생산성을 높이기 위해서는 각 자동화 장비를 효율적으로 운영하여야 한다. AGV에 대한 연구는 국내외에서 활발하게 이루어지고 있으나 자동화 야드 크레인에 관한 연구는 상대적으로 부족하였다.

자동화 야드 크레인은 크레인의 종류와 운행 방식에 따라 다양하게 나눌 수 있는데 본 논문에서는 TRMG(Two Rail Mounted Gantry) 방식을 사용한 자동화 장치장에 관한 시뮬레이션 모델을 제시한다. 시뮬레이션을 모델을 정의하기 위해 RMG의 운동 모델에 대해 소개하고 장치장의 생산성을 저해하는 요인인 재취급의 처리 방안에 대해 설명한다.

장치장의 블록은 배치 방법에 따라 수직 배치와 수평 배치로 분류되고 배치 방법에 따라 컨테이너의 장치 위치를 결정하는 효과적인 전략이 다르다. 본 논문에서는 수평 배치 장치장을 대상으로 하여 본선 작업 물량을 한 곳으로 집중하여 배치하는 방안과 분산시켜 배치하는 방안을 비교 실험하였다.

본 논문의 구성은 먼저 2장에서 자동화 야드 크레인에 관한 기존 연구를 소개하고, 3장에서 TMRG에 대한 시뮬레이션 모델을 설명한다. 그리고 4장에서는 시뮬레이션을 이용한 실험에 사용한 데이터 분석 결과를 정리하고, 5장에서는 TRMG를 사용하는 수평 배치 블록에서 본선 작업 컨테이너를 배치하는 전략에 대해 제안하고 6장에서 제안한 전략을 이용한 실험 결과를 정리하여 분석한다. 마지막 7장에서 결론과 향후 연구 과제로 끝을 맺는다.

## 2. 관련 연구

국내에서 이루어진 자동화 터미널에 관한 다양한 연구들 중 자동화 야드 크레인과 관련된 기존의 연구들을 이 장에서 정리하여 소개한다.

이상완 등(2003)는 수직 배치 형태의 장치장을 갖는 자동화 컨테이너 터미널에서 ATC(Automated Transfer Crane)의 운영 규칙과 AGV 배정 규칙을 사용하여 선적시간을 최소로 할 수 있는 장비 운영 규칙을 제안하였다. 여기서 블록 당 하나의 ATC가 작업하는 것으로 가정하였다.

왕승진(2002)은 시뮬레이션을 이용하여 성능이 다른 두 대의 ATC 운영 규칙을 작업 할당(Allocation) 문제와 작업 순서 결정(Sequencing) 문제로 나누어서 접근하였다. 본선 작업 ATC와 반입출 작업 ATC를 전용으로 할당하고 작업 선택 시 무부하

이동이 최소인 작업을 선정하는 휴리스틱이 우수하다는 것을 보였고, 작업 순서 결정 문제에서는 선입출 우선처리 전략(FIFO)과 무부하 이동거리 최소화(METD) 전략을 비교하여 무부하 이동거리 최소화 전략의 우수함을 실험적으로 보였다. 장치장 운영 규칙으로는 스텝단위 할당이 베이 단위 할당보다 장치장 효율을 높인다는 것을 보여 주었으며, 양적 하작업 시 블록 집중화 보다 무작위 블록 선택 규칙이 ATC의 작업부하를 고르게 배분하는 효과가 있어서 더 우수하다는 결론을 제시하였다.

이석준(2003)은 수직 배치 장치장에서 자동화 야드 크레인(ATC)의 운영 규칙 연구를 위하여 시간창(Time Window)을 이용하여 ATC를 운영하기 위한 여러 가지 규칙과 전략을 제안하였다. 제안한 운영 규칙과 전략을 시뮬레이션을 이용한 실험을 통해 자동화 야드 크레인에 적합한 운영 규칙을 제시하였다.

이러한 국내의 다양한 연구들은 대부분 수직 배치 블록을 기반으로 한 연구로서 수평 배치 블록에서 TRMG를 사용한 환경에 대한 연구는 활발하지 못하다. 따라서 본 논문에서는 자동화 수평 배치 블록을 대상으로 컨테이너 장치 전략에 대한 연구를 하였다.

## 3. 자동화 크레인의 시뮬레이션 모델

자동화 컨테이너 터미널에 쓰이는 자동화 야드 크레인에는 ASC(Automated Stacking Crane), RMG(Rail Mounted Gantry Crane), OHBC(Over Head Bridge Crane) 등이 있다. RMG는 대표적인 자동화 야드 크레인으로서 블록 당 2기의 RMG를 사용할 경우 운행 방식에 따라 DRMG(Double Rail Mounted Gantry Crane)과 TRMG로 나눌 수 있다.

먼저 DRMG 방식은 Fig. 1의 (a)와 같이 크기가 다른 2기의 RMG가 별도의 크레인 궤도를 이용하여 운행한다. 이 방식은 두 기가 교차하여 운행이 가능하고 야드 크레인 중 하나가 고장이나 파손 된 경우에 다른 한 기로도 작업 처리가 가능한 장점이 있다. 독일의 CTA(Container Terminal Altenwerder)에서 사용되고 있는 방식이다.

TRMG 방식은 Fig. 1의 (b)와 같이 크기가 같은 2기의 RMG를 동일 크레인 궤도에서 운행하는 방식으로 크레인 간에 교차 운행이 불가능 하다. 그러나 DRMG 방식에 비해 필요한 레인의 수가 작고 장치장 공간 활용도 측면에서도 유리하다(김우선, 2004). TRMG 방식을 사용하고 있는 자동화 컨테이너 터미널로 네덜란드의 ECT(Europe Container Terminal)가 있다.

이 장에서는 시뮬레이션에 사용된 RMG의 사양에 대해서 알아보고 RMG의 운동 모델을 소개한다. 그리고 블록 당 2기의 RMG를 사용할 때 필연적으로 발생하는 간섭에 대해 알아보고 간섭이 발생하였을 때 이를 해소하기 위한 방법을 제시한다. 또한 블록에서 컨테이너를 꺼낼 때 발생하는 재취급 컨테이너의 장치 위치 결정 방법을 설명한다.

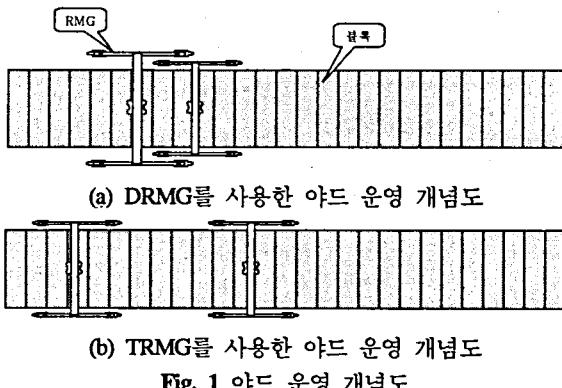


Fig. 1 야드 운영 개념도

### 3.1 RMG 운동 모델

RMG의 운동은 Fig. 2와 같이 주행, 횡행, 권상의 3가지로 나눌 수 있는데 주행은 RMG가 레일 위로 움직이는 것이고 횡행은 RMG의 트롤리가 좌우로 움직이는 것이다. 그리고 권상은 트롤리가 상하로 움직이는 것을 말한다. RMG의 3가지 운동은 모두 최대 속도에 다다를 때까지 가속을 하고 정지하기 위해서는 감속을 하는데 권상은 주행이나 횡행과 다른 운동 모델을 따른다.

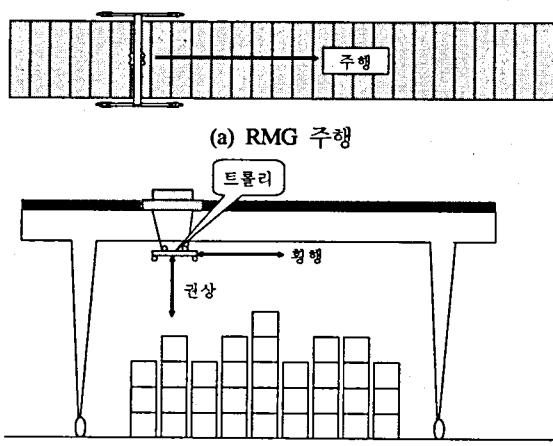


Fig. 2 RMG의 운동

#### 1) 주행과 횡행

RMG가 주행이나 횡행을 할 때는 Fig. 3과 같이 최대 속도에 다다를 때까지 등가속 운동을 하다가 최대 속도가 되면 그 속도를 유지하면서 움직인다. 그리고 감속 시간을 고려하여 도착 지점으로부터 일정 거리 전부터 등감속 운동을 하여 정지한다. 주행과 횡행의 경우 RMG 자체의 무게가 상당하므로 RMG가 컨테이너를 들고 있는지 여부 (부하/무부하)나 들고 있는 컨테이너의 무게에 영향을 받지 않고 정해진 가속도와 최대 속도에 따라 움직인다.

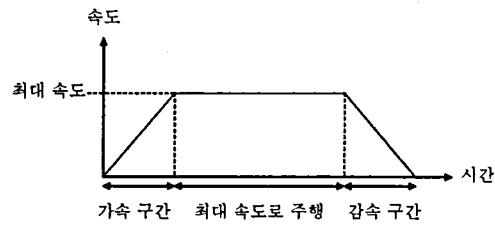


Fig. 3 RMG의 운동 모델

#### 2) 권상

권상은 트롤리가 상하로 움직이는 것을 말하며 들고 있는 컨테이너의 무게에 따라 최대 속도, 가속 시간, 감속 시간에 따라 달라진다. 컨테이너 무게에 따른 RMG의 권상 최대 속도와 가속 시간은 RMG가 들 수 있는 최대 무게를 이용하여 컨테이너 무게에 대한 선형 방정식을 이용하여 추정한다.

$w_{max}$  : RMG가 들 수 있는 최대 무게

$t_{max}$  : 최대 무게의 컨테이너를 들었을 때 가속 시간  
(최대 무게의 컨테이너를 들었을 때 감속 시간)

$t_{min}$  : 컨테이너를 들고 있지 않을 때 가속 시간  
(컨테이너를 들고 있지 않을 때 감속 시간)

$v_{max}$  : 최대 무게의 컨테이너를 들었을 때 권상 속도

$v_{min}$  : 컨테이너를 들고 있지 않을 때 권상 속도

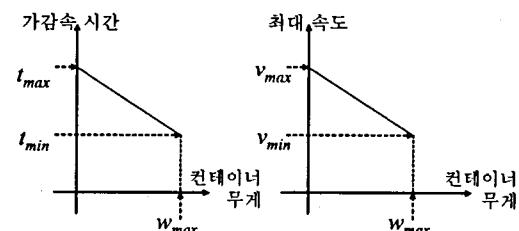
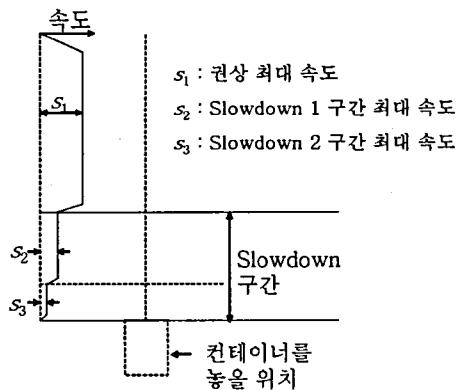


Fig. 4 무게에 따른 가감속 시간과 최대 속도

컨테이너를 트럭이나 블록에 놓을 경우 파손을 방지하기 위해 일정 위치부터 감속을 하여 천천히 놓아야 한다. 이 구간을 Slowdown 구간이라고 하고 여러 단계에 걸쳐 속도를 줄이게 된다.

Fig. 5에서 보는 바와 같이 트롤리는 무게를 고려한 권상 최대 속도로 움직이다가 Slowdown 구간 전에 감속을 한다. 이 때 완전히 정지하는 것이 아니고 Slowdown 1 구간의 최대 속도가 될 때까지만 속도를 줄이게 된다. 마찬가지로 Slowdown 1 구간의 최대 속도로 주행하다가 Slowdown 2 구간 전에 감속을 하여 Slowdown 2 구간의 최대 속도로 주행을 하고 컨테이너를 놓기 전에 감속을 하여 정지하게 된다.

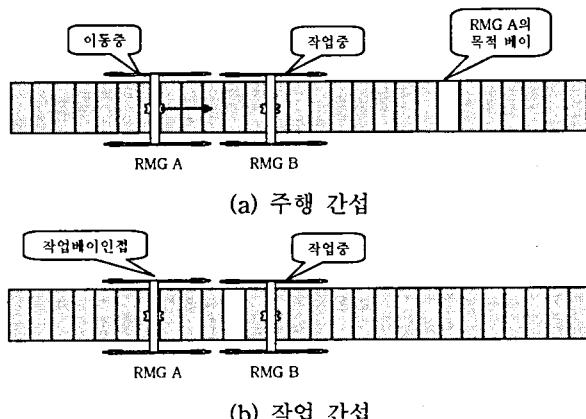


RMG가 움직일 때는 주행과 횡행은 같이 수행할 수 있으나 권상은 안전 문제 때문에 동시에 수행이 불가능하다. Table 1은 시뮬레이션에 사용한 RMG의 사양으로 주행, 횡행, 권상 운동에 대해 최대 속도와 가감속 시간을 정리하였다.

**Table 1. RMG 사양의 예**

	최대 속도 (m/min)	가속 시간 (초)	감속 시간 (초)
주행	150	8.0	8.0
횡행	120	5.0	5.0
권상(무부하)	75	4.5	4.0
권상(부하)	45	2.7	2.4

### 3.2 RMG간의 간섭 해소 방법



2기의 RMG가 동시에 작업을 할 때 한 RMG 때문에 다른 RMG가 작업이나 이동을 할 수 없는 경우를 간섭(interference)라고 한다. 간섭은 두 가지 상황에서 발생할 수 있다. 두 기의 RMG를 각각 RMG A와 RMG B라고 했을 때 첫 번째 간섭 상황은 RMG B가 작업 중일 때, RMG A가 RMG B의 작업지점

을 통과해야 하는 경우이다. 두 번째로 RMG B가 작업 중이고, RMG A의 작업위치가 RMG B가 차지하고 있는 베이 이내인 경우이다. 본 연구에서 사용한 간섭 해소 방법은 두 경우 모두 먼저 작업을 수행하기 시작한 RMG B에 우선순위를 준다. 따라서 RMG A가 작업이나 이동 할 수 있는 위치까지 RMG B가 작업을 끝내고 비켜줄 때까지 RMG A가 안전거리 밖에서 대기 한다(김우선, 2004).

### 3.3 재취급 컨테이너에 대한 장치 위치 결정 방법

장치장에서 컨테이너를 꺼내려고 할 때 해당 컨테이너 위에 다른 컨테이너가 있는 경우 재취급(rehandling)이 발생한다. 재취급 대상 컨테이너는 추가로 발생할 재취급을 최소화 하는 위치로 옮겨놓는 것이 바람직하다. 재취급은 적하 작업과 반출 작업 중에 발생하는데 적하 작업은 적하 순서를 알고 있지만 반출 작업은 반출 순서를 모르기 때문에 작업 종류에 따라 재취급 처리 방법이 다르다.

#### 1) 적하 작업 중 발생한 재취급 처리 방안

적하의 경우 각 클러스터<sup>1)</sup>에 속한 컨테이너를 무게에 따라 Heavy(H), Medium(M), Light(L)의 3가지 무게 그룹으로 나눴을 때 무거운 무게 그룹부터 적하되고 같은 무게 그룹에 속한 컨테이너들 사이에는 순서가 유동적으로 결정된다고 가정한다.<sup>2)</sup> 적하될 컨테이너가 반입되는 시점에서 컨테이너의 무게에 대한 예상치를 기준으로 무게 그룹이 같은 컨테이너를 같은 스택 또는 베이에 장치한다. 그러나 컨테이너 무게 그룹에 대한 예상은 100% 정확하지 못하며 적하되는 시점에 이르러서야 각 컨테이너의 실제 무게를 알게 된다. 본 연구에서는 컨테이너 무게 그룹에 대한 예상은 50%의 정확도를 가지며 예상 무게 그룹이 틀린 경우에 대해 다른 무게 그룹에 속할 확률은 다음 Table 2와 같이 가정하였다.

**Table 2. 예상 무게 그룹에 따라 실제 다른 그룹에 속할 확률의 예**

예상 \ 실제	H	M	L
H	50%	40%	10%
M	25%	50%	25%
L	10%	40%	50%

이 표는 M 그룹에 속할 것이라고 예상한 컨테이너 중 25%는

1) 모선, 적하날짜, 목적항, 컨테이너 규격이 같은 컨테이너는 한 클러스터에 속한다.

2) 선박의 안정성을 위하여 무거운 컨테이너를 선박의 하단에 장치한다.

실제로 H 그룹에, 25%는 L 그룹에 속한다. 또한 L 그룹에 속할 것이라고 예상한 컨테이너 중 40%는 실제로 M 그룹에, 10%는 실제로 H 그룹에 속한다고 가정한 것이다.

적하 작업 중 재취급이 발생했을 때 재취급 컨테이너는 추가 재취급이 적게 발생하는 위치로 장치하기 위해 본 연구에서는 각 스택의 대표 무게 그룹을 고려하는 방법을 사용하였다.[8] 스택의 대표 무게 그룹을 각 스택에 쌓여있는 컨테이너 중 가장 무거운 컨테이너의 무게 그룹이라고 할 때 같은 베이 내에 재취급 컨테이너의 무게 그룹과 같거나 더 가벼운 대표 무게를 가진 스택에 재취급 컨테이너를 놓는다. 그럼으로써 재취급 컨테이너보다 무거운 무게 그룹의 컨테이너가 반출하기 위해 재취급된 컨테이너를 다시 재취급 해야 하는 상황을 방지 할 수 있다. 만약 재취급 컨테이너 보다 가벼운 대표 무게 그룹의 스택이 없다면 스택 중 가장 낮은 단의 스택을 선택한다.

## 2) 반출 작업 중 발생한 재취급 처리 방안

반출 작업의 경우 적하 작업과는 달리 각 컨테이너가 반출될 시점에 대해 알기 어려워 재취급 대상 컨테이너를 특정 위치에 놓았을 때 추가로 발생 가능한 재취급에 대해 추정하기 어렵다. 단지 재취급 컨테이너를 놓는 단의 위치가 높을수록 하단의 컨테이너를 반출하기 위한 추가 재취급이 발생할 가능성이 높다고 판단할 수 있다. 따라서 가능한 낮은 단에 재취급 컨테이너를 놓는 것이 추가 재취급을 줄일 수 있다(최영진 등, 2003). 단 수가 같은 여러 개의 스택이 있을 경우에는 재취급 시 소요 시간이 가장 짧은 곳으로 이동시킨다.

## 4. 컨테이너 물량 발생 모델

시뮬레이션 환경을 실제 상황과 비슷하게 만들기 위해 실제 컨테이너 터미널에서 발생하는 물량에 대하여 조사하였다. Table 3은 국내 한 컨테이너 터미널에서 2004년 6월에서 2004년 8월까지 발생한 컨테이너 작업에 대한 물량을 분석하여 하나의 CC가 처리한 물량을 표시한 것이다.

Table 3 CC 별 양하 작업과 적하 작업의 물량

작업 \ 물량	평균	최대
양하	200	500
적하	150	500

보통 한 선박 당 2대에서 4대의 CC (Container Crane)가 작업을 하고, 1~1.5대의 야드 크레인이 하나의 CC의 작업을 지원한다. 따라서 한 기의 야드 크레인이 처리하는 물량을 알기 위해 한 선박에 대해 한 CC가 처리하는 양하 작업과 적하 작업의 물량을 조사하였고 본 연구에서는 이를 한 블록에서 처리하는 물량으로 가정하였다.

수입 컨테이너는 선박으로부터 양하되면 일정 기간에 걸쳐 반출이 일어나고, 수출 컨테이너는 선박이 입항하기 일정 기간 전에 반입되어서 선박으로 적하된다. 이 때 장치장 이용료 등을 고려하여 반입, 반출되는 컨테이너가 블록에 장치되어 있는 기간을 최대 7일로 가정하였을 때 날짜별로 반입, 반출되는 컨테이너 물량을 적하, 양하 물량에 대한 비율로 나타낸 것이 Fig. 7이다. 예를 들어 100개의 컨테이너가 양하 되고 나면 양하가 끝난 시점을 기준으로 24시간 동안 평균 20개의 컨테이너가 반출 되고 그 후 24시간동안 평균 25개가 반출된다. 반출 물량은 양하 후 2일 째에 최대치를 보이면서 그 때 반출되는 물량은 양하 물량의 약 25%이고, 반입 물량은 역시 적하 전 2일 째에 최대가 되면서 적하 물량의 약 30%가 반입된다.

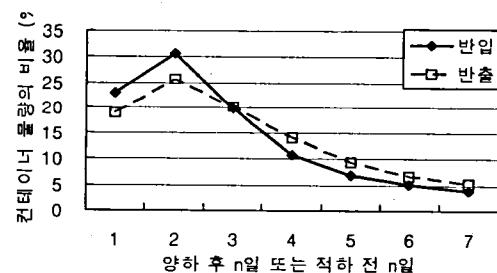


Fig. 7 양하와 적하 날짜에 따른 반입출 물량의 비율

## 5. 수평 배치 블록을 위한 장치 전략

수평 배치 구조의 블록은 내부 운송장비나 외부 트럭과의 작업을 위한 TP(Transfer Point)가 각 베이마다 존재 한다는 특징이 있다. 수직 배치 블록의 경우 블록 양 끝에 TP가 있으며 해측 TP에서 내부 운송장비와의 작업을 처리하고 육측 TP에서는 외부 트럭과 작업을 수행하게 된다. 수직 배치에 비해 수평 배치의 블록에서는 작업들이 모여 있는 경우 RMG의 주행 거리가 짧아지거나 혹은 RMG가 주행 없이도 작업 처리가 가능하여 작업 효율이 증가한다. 따라서 연이어 발생하는 적하 작업이나 양하 작업 물량을 블록의 여러 곳에 흩어지게 배치하는 것보다 한 곳에 모아두는 것이 유리하다.

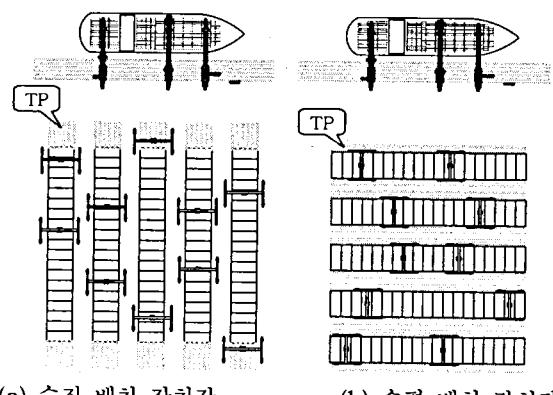


Fig. 8 장치장 배치도

블록 당 2기의 RMG가 작업하는 것을 고려하여 본 논문에서는 다음의 두 가지 장치 전략을 제안한다.

### 5.1 집중 배치

집중 배치 전략은 한 CC가 처리할 본선 작업(양하 작업 또는 적하 작업) 물량을 블록의 한 곳으로 집중하여 배치해서 그 본선 작업 물량에 대해서 한 RMG가 전담하여 처리하는 방식이다.

블록의 일부분에서 본선 작업을 처리하고 있을 때 나머지 부분에서는 반입 또는 반출 작업이 발생하게 되는데 집중 배치 방식에서는 본선 작업을 하지 않는 나머지 RMG가 이 부분에서 일어나는 반입출 작업을 맡아 처리하게 된다.

### 5.2 분산 배치

분산 배치 전략은 한 CC에 대한 본선 작업 물량을 블록의 두 군데에 분산시켜 배치하는 방법이다. 따라서 두 RMG는 각 영역의 본선 작업에 대해 처리를 하면서 본선 작업이 없는 여유 시간에 대기하고 있는 반입출 작업을 처리한다.

본선 작업의 경우 두 RMG가 번갈아 가면서 작업을 할 수 있도록 작업을 할당한다. 이를 위하여 적하 작업의 경우 컨테이너가 반입될 때 미리 같은 클러스터에 속한 컨테이너를 두 군데로 나눠서 장치해야 한다.

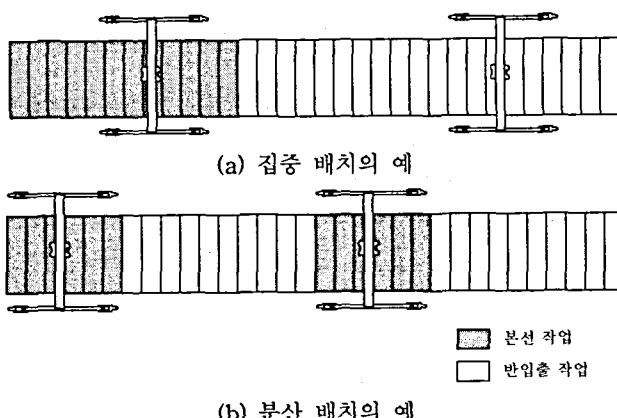


Fig. 9 집중 배치 vs 분산 배치

## 6. 실험 및 결과 분석

먼저 앞서 제시한 시뮬레이션 모델을 사용하여 각 작업에 대한 대의 RMG의 작업 처리율을 실험하였다.

블록에 장치되는 단의 수를 달리하여 실험하였는데 각 설정 단수에 따라 본선 작업 베이에 장치되는 컨테이너 개수는 다음과 표와 같다. 컨테이너가 쌓일 단을 정해놓고 재취급을 위해 한 단을 더 사용한다. 5.5단의 경우 베이에서 재취급을 고려하

여 최대로 쌓은 상태로 6단 9열의 경우 총 49개의 컨테이너가 한 베이에 쌓일 수 있다.

이 결과는 한 블록에 대해 1대의 RMG가 쉬지 않고 같은 종류의 작업을 수행했을 때 얻어지는 작업 처리율로서 RMG가 간접의 영향을 받지 않고 처리할 때 나올 수 있는 생산량이다.

양하 작업은 한 베이에 대한 물량을 다 채울 때까지 같은 자리에서 작업하고 그 다음에 옆 베이로 옮겨 가기 때문에 작업 처리율이 제일 좋다. 적하 작업은 마찬가지로 한 베이에 적재된 컨테이너를 모두 적하할 때까지 같은 자리에서 작업하지만 재취급이 발생하기 때문에 작업 처리율이 양하 작업보다 낮다. 반입 작업과 반출 작업이 발생하는 베이 위치는 임의로 발생하기 때문에 본선 작업에 비해 주행 시간이 늘어나고 반출 작업의 경우는 재취급까지 처리해야 하기 때문에 작업 처리율이 떨어진다.

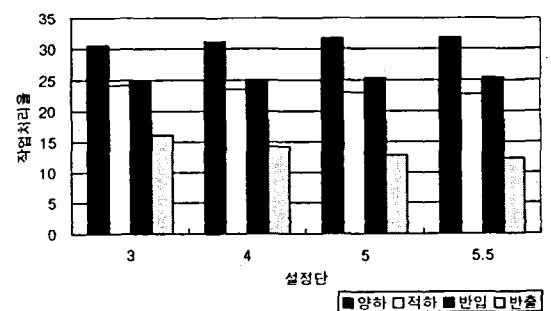


Fig. 10 RMG 한 대의 작업 처리율

다음으로 앞 장에서 제안한 집중 배치 전략과 분산 배치 전략에 대해 비교 실험하였다. 시뮬레이션에 사용된 컨테이너 터미널 환경은 Table 4와 같다.

블록은 20 피트 용 베이 12개와 40피트 용 베이 12개로 구성되어 있고 각 베이는 6단 9열이다. 총 24베이 중에서 8베이에 본선 작업 물량이 적재되어 있거나 적재될 것이며, 나머지 16 베이는 반입출 작업 물량을 위한 공간이다.

8개 베이에 대한 물량은 최소 216개, 최대 392개로서 CC별 양적하 물량의 평균값과 최대값 사이의 물량에 대한 실험이 가능하다고 볼 수 있다.

블록의 용도는 수출 전용 또는 수입 전용으로 나뉘는데 수출용 블록에서는 반입된 컨테이너가 적하고 수입용 블록에서는 양하 된 컨테이너가 반출된다. 수출과 수입을 모두 처리해주는 혼용 블록인 경우 적하나 양하의 작업이 발생할 때 반입 작업과 반출 작업이 발생 가능하다. 본 논문에서는 블록의 각 종류에 따라 실험하였다.

CC의 시간당 작업량은 30개로 가정하였으며 실험에서 시간당 양하 또는 적하 작업이 30개가 발생한다는 의미이다. 그리고 분산 배치의 경우에는 두 곳의 본선 작업 베이에서 각각

15개씩 작업이 번갈아 가며 일어나게 된다.

Table 4. 실험 환경 설정

• 블록 Layout
◦ 20피트 기준 36베이 6단 9열 - 20피트 용 베이 : 12개 - 40피트 용 베이 : 12개
• 작업 베이
◦ 본선 작업 물량 : 8개 베이 ◦ 반입출 작업 물량 : 16개 베이
• 블록의 종류
◦ 수입용 블록 (양하 + 반출 작업) ◦ 수출용 블록 (적하 + 반입 작업) ◦ 수출입 혼용 블록 (양하 + 반출 + 반입 작업 또는 적하 + 반입 + 반출 작업)
• CC 생산성
◦ 시간당 30개의 작업 처리

Table 5. 설정 단수에 따른 본선 작업 컨테이너 개수

설정 단	컨테이너 수
3단	216
4단	288
5단	360
5.5단	392

각 실험에서 장치장의 생산성을 나타내기 위한 지표로 본선 작업에 대해서는 시간당 작업 처리율을 보았고 반입출 작업에 대해서는 트럭의 대기 시간을 살펴보았다. 본선 작업은 시간당 CC가 30개를 처리하기 때문에 그 이하로 작업 처리율이 나온다면 CC의 작업이 그만큼 지연되는 것이라고 볼 수 있다. 그리고 반입출 작업에 대해 트럭의 평균대기 시간을 살펴봄으로서 트럭에 대한 서비스를 얼마나 원활히 처리하는지를 알 수 있다.

### 6.1 수입용 블록

수입 블록의 경우 본선 작업 영역에서는 양하 작업이 발생하고 있고 블록의 나머지 영역에서는 그 전에 양하된 물량에 대한 반출 작업이 발생하고 있다. 반출 영역 16베이가 모두 한 CC에 의해 양하된 물량이라고 보기 힘들기 때문에 8베이씩 나눠서 두 CC가 양하한 물량이라고 가정할 수 있다.<sup>3)</sup> 즉 한

3) 16베이에는 최소 432개(3단 적재) 최대 784개(5.5단 적재)의 컨테이너를 장치할 수 있는데 이것은 한 CC의 물량으로 보기에는 많은 양이다.

블록에 각기 다른 선박을 위한 3대의 CC에 대한 양하 물량을 서비스 하도록 하는데 양하 작업이 1일 전과 4일 전에 발생하였다고 가정하였다. 따라서 1일 전에 양하된 컨테이너가 적재되어 있는 영역에서는 8베이에 쌓여있는 물량에 대하여 20%의 컨테이너가 하루에 반출되고 있고, 4일 전에 양하된 컨테이너의 영역에서는 이 전 3일 동안 약 65%가 반출된 상태에서 약 15%의 컨테이너가 하루 동안 반출된다.

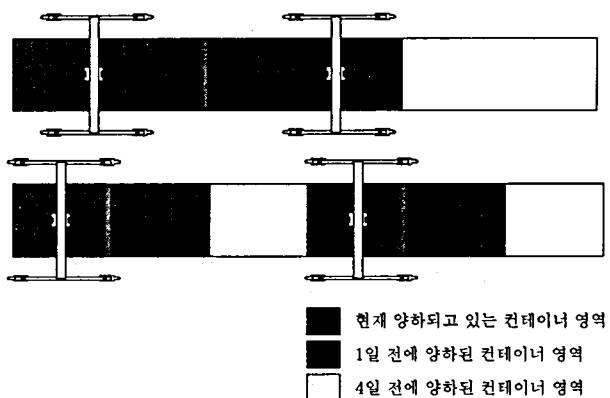


Fig. 10 수입용 블록에 대한 집중 배치와 분산 배치에서의 환경 설정

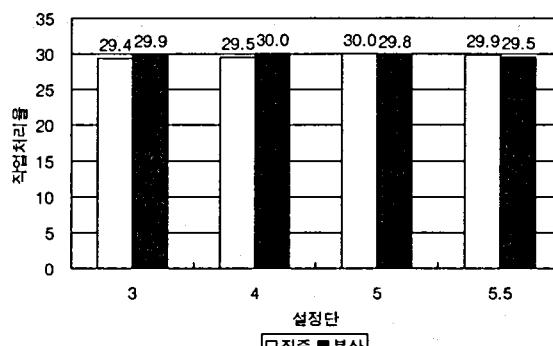


Fig. 11 수입용 블록(양하+반출 작업)에서 양하작업 처리율

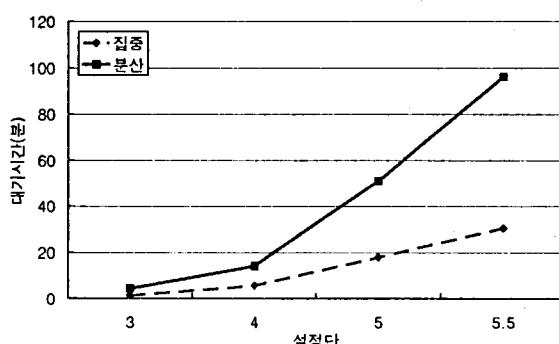


Fig. 12 수입용 블록(양하+반출 작업)에서 반출 차량의 평균대기 시간

실험 결과 위의 그라프에서 보는 것과 같이 양하 작업 처리율면에서는 두 방법이 비슷한 것으로 나타났다. 그러나 반출 차량의 대기 시간은 집중 배치 방법이 반출 작업을 전담해서 처리하는 RMG가 있기 때문에 더 좋은 결과가 나왔다.

## 6.2 수출용 블록

수입용 블록에서는 본선 작업 영역에서 적하가 발생하고 있고 나머지 16베이에서는 차후에 적하할 컨테이너들이 반입되고 있다. 수출용 블록과 마찬가지로 16베이를 8베이씩 두 부분으로 나눠서 각각 1일과 4일 후에 적하될 컨테이너를 받고 있다고 가정한다.

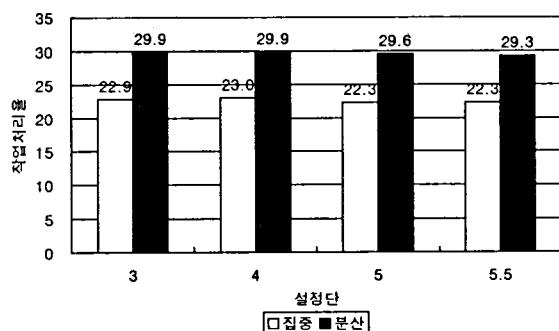


Fig. 13 수출용 블록(적하+반입 작업)에서 적하작업 처리율

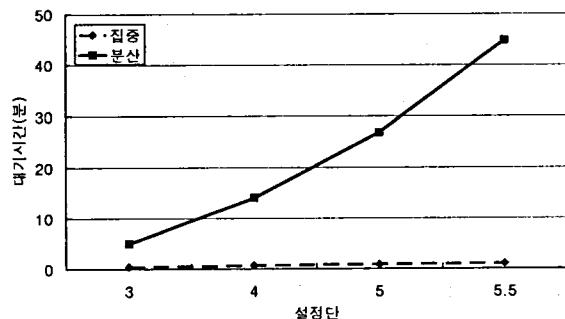


Fig. 14 수출용 블록(적하+반입 작업)에서 반입 차량의 평균대기 시간

Fig. 13과 Fig. 14의 그라프에서 적하 작업을 처리할 때는 집중 배치 방법이 낫다는 것을 알 수 있다. 이것은 한 대의 RMGC는 적하 작업을 시간 내에 처리해 줄 수 없기 때문이다.

## 6.3 수출입 혼용 블록

한 블록을 수출과 수입 혼용으로 사용할 경우 양하 작업과 반입출 작업이 동시에 발생할 수도 있고 적하 작업과 반입출 작업이 동시에 발생할 수도 있다. 이 때 16개의 반입출 작업 베이 중 8개 베이에서는 반입 작업, 나머지 8개 베이에서는

반출 작업이 발생한다고 가정하였다. 본 논문에서는 본선 작업이 양하 작업인 경우와 적하 작업인 경우 두 가지 상황 모두에 대해 실험하였고 그 결과는 다음과 같다.

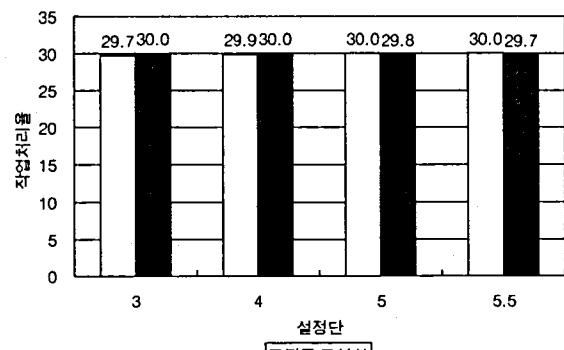


Fig. 15 수출입 혼용 블록(양하+반입+반출 작업)에서 양하작업 처리율

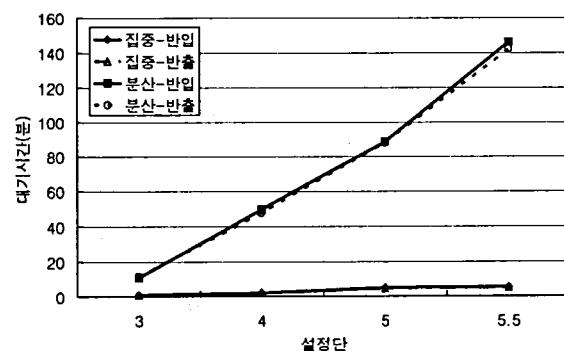


Fig. 16 수출입 혼용 블록(양하+반입+반출 작업)에서 차량의 평균대기 시간

먼저 양하 작업과 반입출 작업이 섞인 경우에 배치 방법에 상관없이 양하 작업을 처리해 줄 수 있는 것으로 나타났다. 그러나 반입출 차량의 대기 시간 면에서 집중 배치 방법이 훨씬 효율적인 것을 알 수 있다. 단 수가 늘어날수록 차량의 대기 시간이 길어지는 것은 반입출 작업의 절대적인 물량이 늘어날 뿐 아니라 반출의 경우 단이 높아질수록 재취급이 더 많이 발생하고 따라서 하나의 반출 작업을 처리하는데 걸리는 시간이 길어지기 때문이다.

Fig. 17과 Fig. 18은 수출입용 블록을 대상으로 할 때 본선 작업이 적하인 경우에 대한 실험의 결과이다.

적하 작업의 경우 수출용 블록에 대한 실험의 결과와 마찬가지로 집중 배치 방법을 사용해서는 작업을 원활히 처리할 수 없는 것으로 나타났다.

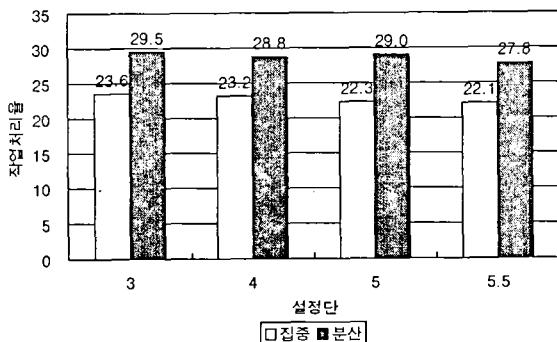


Fig. 17 수출입 혼용 블록(적하+반입+반출 작업)에서 적하 작업 처리율

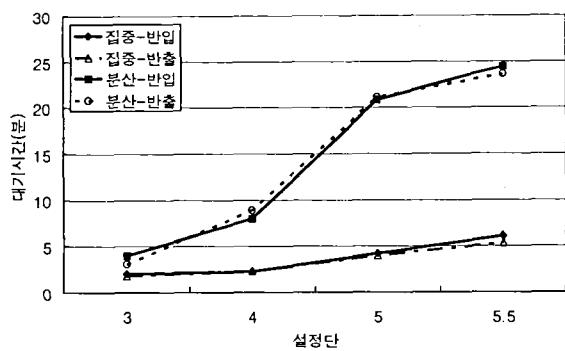


Fig. 18 수출입 혼용 블록(적하+반입+반출 작업)에서 차량의 평균대기 시간

## 7. 결론 및 향후 과제

본 연구에서는 TRMG를 사용하는 수평 배치의 자동화 블록의 대하여 시뮬레이션 실험을 수행하였다. 본선 작업 물량에 대한 두 가지 배치 전략을 제안하고 비교 실험한 결과 본선 작업이 양하인 경우는 집중 배치 전략이 양하 작업 뿐 아니라 반입 또는 반출 작업 처리 면에서도 효율적이었다. 적하 작업의 경우에는 한 대의 RMG로 CC의 작업을 원활히 서비스 할 수 없기 때문에 분산 배치 전략을 사용하면 적하 작업을 지연 없이 처리할 수 있는 것으로 나타났다. 즉 본선 작업의 종류에 따라 배치 전략을 달리하여야 한다.

실험 결과 블록에 수출입 물량을 혼합하여 적재하는 경우에 양하 작업은 처리하더라도 적하 작업은 처리하기 어려운 것으로 나타났다. 블록을 혼용하여 사용할 때는 다른 장치장 운영 전략을 개발할 필요가 있다.

## 참 고 문 헌

- [1] 권해경(2002), “자동화 컨테이너터미널에서 운송장비의 효율적인 운영방안”, 석사학위논문, 동아대학교
- [2] 김우선(2004), “자동화 컨테이너터미널 ATC 운영시뮬레이션 설계”, 한국해양수산개발원 해양정책연구
- [3] 박중배, 이윤한, 홍성대(2003), “자동화 컨테이너터미널 운영의 새로운 추세”, 대한토목학회지 기술기사 제51권 제5호
- [4] 왕승진(2002), “자동화 컨테이너터미널에서의 이적 운영규칙에 관한 연구”, 석사학위논문, 부산대학교
- [5] 이상완, 최형립, 박남규, 박병주, 권해경, 유동호(2002), “자동화 컨테이너터미널에서 운송장비의 효율적인 운영방안”, 한국항해항만학회 제26권 제2호, pp. 63~70
- [6] 이석준(2003), “자동화 컨테이너터미널에서의 자동화 야드 크레인의 작업순서 결정법”, 석사학위논문, 부산대학교
- [7] 이주호(2002), “자동화 컨테이너터미널에서의 이적 운영규칙에 관한 연구”, 석사학위논문, 부산대학교
- [8] 최영진, 오명섭, 강재호, 전수민, 류광렬, 김갑환(2004), 컨테이너 재취급 최소화를 위한 이적 위치 결정 휴리스틱의 성능 비교, 2004년 한국지능정보시스템학회 춘계학술대회 논문집, pp. 382-391

## 후 기

본 연구는 과학기술부의 지방연구중심대학사업 ‘차세대물류 IT기술 연구사업단’의 지원에 의한 것입니다.