

자동화 컨테이너터미널에서 운송장비의 운영방안에 관한 연구

최형림^{*1} · 박남규² · 박병주¹ · 권해경³ · 유동호¹

¹동아대학교 경영정보학과 / ²동명정보대학교 유통경영학과 / ³동아대학교 항만물류시스템학과

A Study On Operation Method of Handling Equipments in Automated Container Terminals

Hyung-Rim Choi¹ · Nam-Kyu Park² · Byung-Joo Park¹ · Hae-Kyung Kwon³ · Dong-Ho Yoo¹

¹Department of Management Information Systems, Dong-A University, Busan, 604-714

²Department of Distribution Management, Tongmyung University of Information and Technology, Busan, 608-718

³Department of Port & Logistics Systems, Dong-A University, Busan, 604-714

The main subject to become a hub port is automation. The automated container terminal has already operated in advanced ports and it has been planned for the basic planning and operation design in domestic case. The key of automated container terminal is effective operation of both ATC(automated transfer crane) and AGV(automated guided vehicle) which is automated handling equipments. This is essential to productivity of automated container terminal.

This study suggests the most optimal method of equipment operation in order to minimize loading time using each three types of effective ATC operation methods and AGV dispatching rules in automated container terminals. As the automated equipment operation causes unexpected deadlocks or interferences, it should be proceeded on event-based real time. Therefore we propose the most effective ATC operation methods and AGV dispatching rules in this paper. The various states occurred in real automated container terminals are simulated to evaluate these methods. This experiment will show the most robust automated equipment operation method on various parameters(the degree of yard re-marshaling, the number of containers and AGV)

Keyword: automated container terminal, dispatching rule, automated handling equipments

1. 서론

물류 중심기지로의 발전을 위해서는 국제 시장의 개방화에 따른 컨테이너 처리량의 증가, 화주로부터의 물류비 절감요구, 컨테이너 선사들의 단위당 수송비용 절감요구를 수용할 수 있

도록 컨테이너터미널의 경쟁력을 제고시켜야 한다. 컨테이너 터미널의 경쟁력 제고에는 인력 위주의 하역작업을 탈피하고, 저비용, 고효율의 첨단기능을 보유한 자동화가 주요과제라 할 수 있다. 이와 관련 선진항만에서는 자동화 컨테이너터미널 개발을 미래 항만산업으로 적극 추진하여 이미 실용화되어 발

본 논문은 산업자원부의 출연금 등으로 수행한 지역전략산업 석박사 연구인력 양성사업의 연구결과임.

*연락처 : 최형림 교수, 604-714, 부산시 사하구 하단동 840번지 동아대학교 경영정보과학부, Fax : 051-200-7481,

E-mail : hrchoi@daunet.donga.ac.kr

2003년 4월 28일 접수, 2회 수정 후 2004년 5월 24일 게재 확정.

전단계에 들어서고 있다. 네덜란드 ECT(Europe Combined Terminals)에서는 1997년부터 자동화 터미널을 운영하였으며, 현재는 보다 발전된 자동화를 추진하고 있다. 국내의 경우는 자동화 컨테이너터미널을 구축하기 위한 요소기술 개발을 위한 연구가 진행중이다.

자동화 컨테이너터미널은 AGV(Automated Guided Vehicles)와 ATC(Automated Transfer Crane)와 같은 자동화 운송장비를 사용하는 컨테이너터미널이다. 자동화 컨테이너터미널의 생산성을 향상시키는 데는 효율적인 장비운영이 결정적인 역할을 한다. 효율적인 자동화 장비운영을 통해 컨테이너선의 입항시간과 대기시간을 줄여 단위당 수송비용을 낮출 수 있고, 터미널의 생산성을 증가시켜 터미널 운영사의 비용을 절감시킬 수 있다. 이러한 자동화 장비의 효율적인 운영은 단순하게 이루어질 수 있는 문제가 아니다.

자동화 장비의 운영에 대한 기존의 연구들은 크게 두 가지로 나누어 볼 수 있다. 하나는 자동화 장비별로 운영계획을 최적화 한 것이고, 또 다른 하나는 두 가지 형태 이상의 자동화 장비 간 통합 운영계획을 최적화하고자 한 것이다. Kim과 Kim(1997)은 싱글 트랜스퍼 크레인(Transfer Crane)의 라우팅(routing)을 최적화하기 위해 동적 계획법에 기반한 혼합정수계획 모형을 제시하였고, Kim과 Kim(1999)에서는 이 모형을 해결하기 위한 Beam search 알고리즘을 제안하였다. 그리고 Chen *et al.*(1998), Kim과 Bae(1999)에서는 AGV의 운영계획에 관한 연구가 이루어졌다. Chen 등은 자동화 컨테이너터미널에서 AGV의 할당(dispatching) 문제를 다루기 위해 네트워크 기반 Greedy 휴리스틱 기법을 제안하였다. 여기서는 문제를 단순화하기 위해 트랜스퍼 크레인은 항상 AGV에 양·적하할 준비가 되어 있다고 가정하였다. Kim과 Bae는 AGV의 할당 문제를 해결하기 위해 혼합정수계획 모형을 제시하였다. 여기서는 AGV의 할당을 통한 컨테이너 크레인(Container Crane)의 양적하 작업시간의 최소화를 목적으로 하고 있다. 그러나 컨테이너터미널에서 컨테이너 크레인, ATC, AGV의 운영은 장비들의 상호작용으로 이루어지므로, 개별적인 장비의 운영계획은 낮은 전체 수행도나 교착(deadlock) 상태를 초래하기도 한다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 운송장비들을 통합한 운영계획이 세워져야 한다. Meermans와 Wagelmans(2001)는 자동화 컨테이너터미널에서 자동화 장비의 총 작업소요시간(makespan)을 최소화하기 위한 통합 운영계획 방법으로 Branch & Bound 알고리즘과 Beam search법을 제안하였다.

Meermans와 Wagelmans의 연구에서 장비들의 통합 운영계획을 세우는 탐색적 방법이 제시되었으나, 이는 운영계획의 수행도는 높일 수 있을지 모르나 실제 현장에서 장비 운영계획을 세우는 방법론으로는 적합하지 않다. 왜냐하면, 한번에 세워진 운영계획대로 모든 자동화 장비들이 운영될 수 없기 때문이다. 실제 자동화 장비 운행중에는 예기치 못한 상황이 생겨 계획을 수정해야 할 경우가 빈

번히 발생하는데, 이 때마다 재계획을 하는 것은 너무나 비효율적이다. 그래서 자동화 장비운영은 한번에 정해진 계획대로 이루어지는 것보다, 각 장비가 어떤 작업을 끝내고 작업대기위치(transfer point)에 도착하여 다음 작업을 할 당받기 위한 의사결정이 필요한 경우, 이를 사건(event)이라 하면 그 사건을 효율적으로 해결할 수 있는 단순한 할당 규칙(dispatching rule)에 의해 사건 중심으로 운영하는 것이 현실적이라 할 수 있다. 그래서 본 연구에서는 컨테이너 적하(loading) 시 효율적인 자동화 장비운영을 위해 작업 대기위치에서 다음 작업을 할당시켜 주는 AGV의 할당 규칙과 ATC의 재취급규칙을 제안하고, 이들 규칙 중에서 통합 운영의 여러 상황 - 블록의 리마샬링(re-marshaling) 정도, 컨테이너 처리 개수, AGV 대수 - 에서 가장 로버스터(robust)한 규칙의 조합을 찾고자 한다. 이를 위해 자동화 컨테이너터미널의 장비운영 시뮬레이션 모형을 구축하여 다양한 환경에서 시뮬레이션 하였다.

2. 자동화 컨테이너터미널에서 운송장비의 운영 방안

2.1 자동화 컨테이너터미널의 운송장비

자동화 컨테이너터미널은 컨테이너 크레인과 ATC 그리고 AGV 등 무인 제어가 가능한 자동화 장비를 활용하며, 컨테이너와 각 장비들의 작업계획 및 제어가 보다 실시간에 이루어질 수 있도록 하는 정보통신기술을 활용함으로써 생산성 향상과 인력절감 등을 이룰 수 있다.

자동화 컨테이너터미널에서 컨테이너 운송에 관련된 장비는 크게 3가지의 형태로 나눌 수 있다. 첫 번째는 야드에서 컨테이너를 이동시키기 위해 ATC를 사용하는 경우이다. ATC는 야드에서 컨테이너를 검색한 후, 이동차량인 AGV에 컨테이너를 적재한다. 컨테이너를 실은 AGV는 컨테이너 크레인까지 스스로 이동한다. 두 번째는 컨테이너의 저장과 이동을 위해 스트래들 캐리어(straddle carrier)를 사용하는 경우이다. 스트래들 캐리어는 트랜스퍼 크레인과 AGV의 특징을 동시에 가지고 있다. 그러므로 야드에서 컨테이너를 탐색할 수 있고, 스스로 컨테이너 크레인으로 이동할 수 있다. 그러나 스트래들 캐리어는 비용이 많이 들고, 좀더 많은 야드의 공간이 필요하다. 세 번째는 모든 컨테이너를 샤시(chassis)에 쌓는 시스템인데, 이것은 현재 많이 사용되지 않는다. 각각의 컨테이너는 샤시에 쌓여져 있기 때문에 많은 저장공간이 필요하나, 반면에 각각의 컨테이너는 바로 취급할 수 있는 장점이 있어 터미널의 운영을 좀더 쉽게 만들어 준다. 대부분의 자동화 컨테이너터미널은 운송장비로 ATC와 AGV의 조합을 가장 많이 사용하고 있으며, 국내의 자동화 컨테이너터미널도 이들 조합으로 계획되어 있다.

ATC는 장치장 내에서 컨테이너를 이동하거나, 컨테이너를 AGV나 외부 트럭에 이송하는 작업이 가능한 자동화된 크레인이다. 그리고 AGV는 ATC나 컨테이너 크레인으로부터 컨테이너를 적재하여, ATC와 컨테이너 크레인 사이를 이동하는 자동통제가 가능한 무인 차량이다. 컨테이너 취급은 다른 종류의 장비들, 즉 ATC, AGV, 컨테이너 크레인의 상호작용에 의해서 이루어진다.

야드의 컨테이너를 선적하기 위해서는 ATC를 이용하여 AGV에 컨테이너를 적재하고, AGV는 컨테이너를 컨테이너 크레인으로 이송하여 선적을 대기한다. 기존 컨테이너터미널의 경우는 야드에서 터미널 셔틀 트럭으로 이송하게 되므로 담당자가 작업계획을 수작업으로 작성한 후, 작업자에게 작업 지시를 내리는 형식으로 운영되고 있으나, 자동화 컨테이너터미널에서는 야드에서 컨테이너 크레인까지 AGV와 ATC를 이용하여 컨테이너를 이동시키기 위한 자동화된 운영정책이 필요하다.

2.2 자동화 장비 할당규칙(dispatching rule)

할당규칙은 복잡한 수학적인 모형의 사용 없이 간단하고, 쉽게 사용할 수 있다는 장점이 있다. 특히 정보가 많지 않거나 불확실한 상태에서 할당규칙은 매력적인 방법으로 인식되고 있다. 당연히 이러한 규칙은 최고의 해를 산출하려는 복잡한 수학적인 모형과는 비교될 수 없으나, 빠른 시간에 쉽게 적용할 수 있다는 장점으로 동적인 상황에서는 가장 좋은 방법으로 인정되고 있다.

2.2.1 ATC의 재취급(re-stacking) 규칙

일반적으로 야드에서 컨테이너는 다단으로 적재되는 특징이 있다. 컨테이너터미널에서 야드 운영의 효율을 높이기 위해서는 재취급을 최소화할 수 있는 방법을 강구할 필요가 있다. 이는 우선 야드에 컨테이너가 장치될 때 장치위치를 합리적으로 결정하여야 하고, 이송 시에 이적되는 저장물들의 장치위치와 이송순서를 합리적으로 결정하여 재취급을 최소화하여야 할 것이다.

야드의 컨테이너 재취급은 재취급의 시점에 따라 두 가지로 나눌 수 있다. 먼저 컨테이너 크레인의 유휴 시간 동안 이후의 이동을 예상해서 컨테이너를 이동하는 Proactive 재취급이 있고(re-marshaling), 컨테이너를 이송할 때 이송하려는 컨테이너 위에 다른 컨테이너가 위치해 있는 경우, 이 컨테이너를 이동시키는 Reactive 재취급이 있다(Duinkerken *et al.*, 2001).

첫 번째 문제는 야드 계획에서 다루어져야 하는 문제이고, 본 연구에서는 선적 작업 시 자동화 장비의 효율적인 운영을 위해 Reactive 재취급 정책을 다룬다. 현실적으로 Proactive 재취급 시간의 한계로 인하여 완벽한 재취급 상태로 선적작업을 하는 것은 불가능하다. 그래서 선적 작업 시 Reactive 재취급이 발생하게 된다. 컨테이너 재취급 시간을 최소로 하는 이적 컨

테이너의 위치결정은 선적 시에 출하시간을 단축하고 장비의 효율을 높이는 데 영향을 준다.

이적 컨테이너의 위치를 결정하는 ATC의 재취급 규칙은 다음과 같다.

(1) Random

컨테이너가 최고 높이에 다다르지 않게 random하게 위치를 결정하는 방법으로 처리되어야 할 컨테이너 위에 있는 컨테이너를 이동시킬 때 최고 단적높이가 아닌 가까운 위치에 random하게 컨테이너를 처리하는 방법이다.

(2) Closest Position

컨테이너가 최고 높이가 되지 않는 가장 가까운 위치를 선택하는 방법으로 처리되어야 할 컨테이너 위에 있는 컨테이너를 이동시킬 때, 최고 단적높이가 아닌 위치 중에 이동해서 놓을 곳의 아래 컨테이너의 선적순서가 이동할 컨테이너의 선적순서보다 빠르지 않는 가장 가까운 위치에 컨테이너를 처리하는 방법이다.

(3) RSC(Remaining Stack Capacity)

각 컨테이너의 저장위치 (i, j) i=열, j=단적수에 대해 컨테이너를 재취급하기 전과 후의 RSC_{ij} 값을 구해서, 그 값의 차이가 최소가 되는 곳을 이적 위치로 결정하는 방법이다. 각 컨테이너의 저장 위치 (i, j)에서의 RSC_{ij}는 다음의 식으로 구할 수 있다 (Meermans *et al.*, 2001).

$$RSC_{ij} = (H - h_{ij}) * C_{ij}$$

H = 최고 저장높이
 h_{ij} = 현 지점 (i, j)에서 저장높이
 C_{ij} = 현 지점 (i, j)에서 최고 위의 컨테이너 처리순서(값)
 만약, 현 지점 (i, j)에 컨테이너가 없다면 $C_{ij} = C$
 C = 마지막 컨테이너 처리순서(값)
 c_n = 컨테이너의 처리순서(값) ($n=1,2,\dots,C$)

<그림 1>은 적하순서가 1인 컨테이너를 처리할 때, 그 위에 위치해 있는 적하순서가 5인 컨테이너를 임시로 이동시켜 놓을 위치를 결정하기 위해 RSC 값을 구하는 과정을 보여준다. RSC 값은 적하순서가 5인 컨테이너를 옮기기 전의 각 위치 (i, j)에서의 RSC_{ij} 값과 옮긴 후의 RSC_{ij} 값의 차이 중 가장 작은 값으로 결정된다. RSC 값을 구하는 식은 다음과 같다.

$$RSC = Min[(H - h_{ij}) * (C_{ij} - c_5) + c_5],$$

$$h_{ij} < H \text{인 } \sim \text{모든 } (i, j) \text{에서}$$

이 방법은 장치능력의 감소분이 최소가 되는 최고 높은 위치나 순서의 차이가 적은 곳으로 재취급하게 된다.

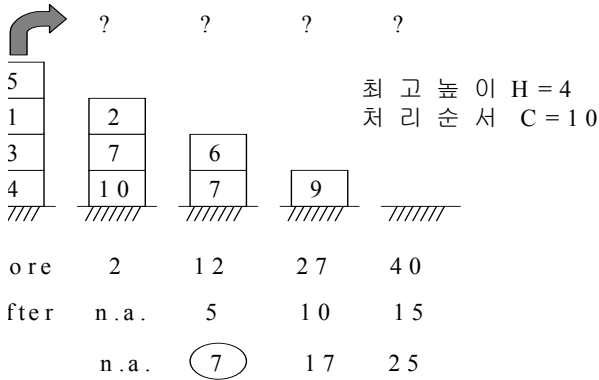


그림 1. RSC 계산의 예.

2.2.2 AGV 할당규칙

자동화 컨테이너터미널에서 AGV 할당규칙의 적용은 몇 가지 문제를 야기시킬 수 있다. AGV는 컨테이너를 싣고 내릴 수 없어, ATC와 AGV, 컨테이너 크레인과 AGV 사이의 종속적인 스케줄 결과로 블로킹(blocking)과 교착(deadlock)이 발생할 수 있다.

이러한 블로킹과 교착문제를 해결하기 위해 본 연구에서는 작업(컨테이너) 중심이 아닌 장비(AGV) 중심의 할당규칙을 사용한다. 빈 AGV는 작업이 할당되기 전이나 선적 시 컨테이너 크레인이 컨테이너를 처리한 후에 생긴다. 빈 AGV는 다음 컨테이너를 배정받을 작업대기위치(transfer point)로 이동한다. 작업대기위치에 들어온 AGV는 도착순서대로 컨테이너를 할당받는데, 각 컨테이너 크레인의 선적순서에 따라 다음에 선적되어야 하는 컨테이너들 중 하나를 할당받는다. 다음은 AGV에 컨테이너를 할당하는 할당규칙이다.

(1) Random

빈 AGV가 작업대기위치에 도달하면 컨테이너 크레인의 선적순서에 따라 다음에 선적되어야 하는, 할당되지 않은 컨테이너들 중 하나를 Random하게 할당한다.

(2) CCB (Container Crane Balancing)

작업대기위치에 도착한 각각의 AGV에 컨테이너 크레인들의 선적순서에 따라 다음에 선적되어야 하는 할당되지 않은 컨테이너들 중 컨테이너 크레인이 처리해야 할 컨테이너의 수가 가장 많이 남아 있는 컨테이너 크레인의 컨테이너를 할당한다.

(3) CBB (Container Block Balancing)

작업대기위치에 도착한 각각의 AGV에 컨테이너 크레인들의 선적순서에 따라 다음에 선적되어야 하는 할당되지 않은 컨테이너들 중 각 블록에서 처리해야 할 컨테이너의 수가 가장 많이 남아 있는 블록의 컨테이너를 할당한다.

표 1. 자동화 장비의 운영 방안

컨테이너 크레인	ATC	AGV
계획된 작업 순서에 따라	random	random
	closest position	CCB
	RSC	CBB

2.3 자동화 장비의 통합 운영계획

본 연구에서는 ATC 재취급규칙과 AGV 할당규칙 그리고 컨테이너 크레인의 운영을 통합한 효율적인 자동화 컨테이너터미널의 통합 운영방안을 제시하고자한다.

자동화 장비들의 상호작용으로 이루어지는 컨테이너 적하 작업의 총 작업소요시간(makespan)을 구하기 위해서는 장비별 운영에서 생기는 대기시간을 고려하여야 한다. ATC가 컨테이너를 집어 올린 후, 빈 AGV가 작업대기위치에 도착해서 컨테이너를 싣을 때까지 AGV는 대기해야 한다. 게다가 AGV는 컨테이너 크레인에서 앞서 도착한 AGV의 컨테이너가 처리될 때까지 대기해야 한다. 즉, 컨테이너 크레인과 ATC 그리고 AGV 운영에는 대기시간이 발생한다. 본 연구에서는 다양한 장비 운영방법들의 조합을 통해서 이러한 대기시간을 줄여 총 작업소요시간을 최소로 할 수 있는 통합 운영방법을 찾고자 한다. <그림 2>는 본 연구에서 고려한 컨테이너 선적 시 자동화 장비들의 통합 운영과정이다.

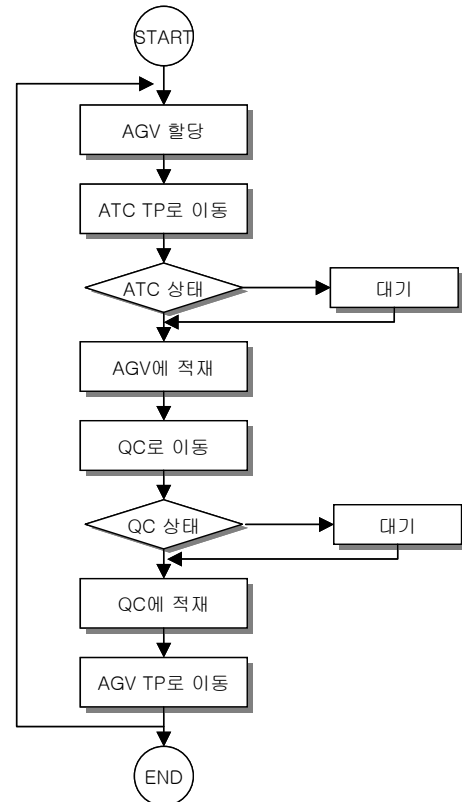


그림 2. 자동화 장비 통합운영 흐름도.

먼저, AGV는 AGV 작업대기위치에서 컨테이너 크레인이 처리해야 할 컨테이너의 적재순서에 따라 처리해야 할 컨테이너 블록을 할당받는다. AGV는 할당받은 블록으로 이동하여 ATC로부터 선적할 컨테이너를 받는다. 그리고 AGV는 컨테이너 크레인이 컨테이너를 적재할 지점으로 이동하고, 컨테이너 크레인은 컨테이너 적재순서에 따라 컨테이너를 적재한다. 여기서 AGV의 할당과 ATC의 재취급은 제시한 AGV 할당규칙과 ATC 재취급규칙에 따라 컨테이너를 이동, 적재한다.

- 컨테이너 크레인 수 : 4대
- 블록 수(수직배열) : 7 블록 (각 블록당 10열, 4단적)
- AGV의 속도 : 평균 6m/s
- AGV의 운행방식 : 반시계방향의 단일 사이클
- AGV의 운행 라인 수 : 5
- ATC의 작업속도 : 횡속 2m/s, 종속 3m/s, 권상 1m/s
- ATC의 작업 버퍼 : 5개
- 컨테이너 크레인의 작업속도 : 평균 1 lift/min

3. 시뮬레이션 모형 및 실험

본 연구에서는 자동화 컨테이너터미널의 장비 통합운영에 가장 적합한 운영방안들을 평가할 수 있는 시뮬레이션 모형을 개발하였다. 가상의 자동화 컨테이너터미널의 형태는 <그림 3>과 같다. 시뮬레이션은 Visual Basic 언어로 작성된 프로그램에 의해 이루어졌으며, 광양항 자동화 컨테이너터미널 기본계획을 바탕으로 하였다(한국해양수산개발원, 2001).

각 컨테이너 크레인별로 점유 블록이 정해져 있고, 블록별 적하순서와 컨테이너 크레인의 적하순서는 정해져 있다. 평가 함수로는 마지막 컨테이너를 처리하는 컨테이너 크레인의 적재가 끝나는 시간, 총 작업소요시간(makespan)이며, 이를 최소로 하는 것이 목적이다.

자동화 장비들의 상호작용으로 이루어지는 컨테이너 적하 작업에서 총 작업소요시간을 최소로 하는 운영방안을 제시하기 위해서는 장비운영에서 생기는 대기시간을 고려한 총 작업소요시간이 산출되어야 한다.



그림 4. 시뮬레이션 프로그램.

3.1 시뮬레이션 환경

자동화 컨테이너터미널의 시뮬레이션 환경을 정리하면 다음과 같다.

- 선석 수 : 1
- 선석의 길이 : 300m

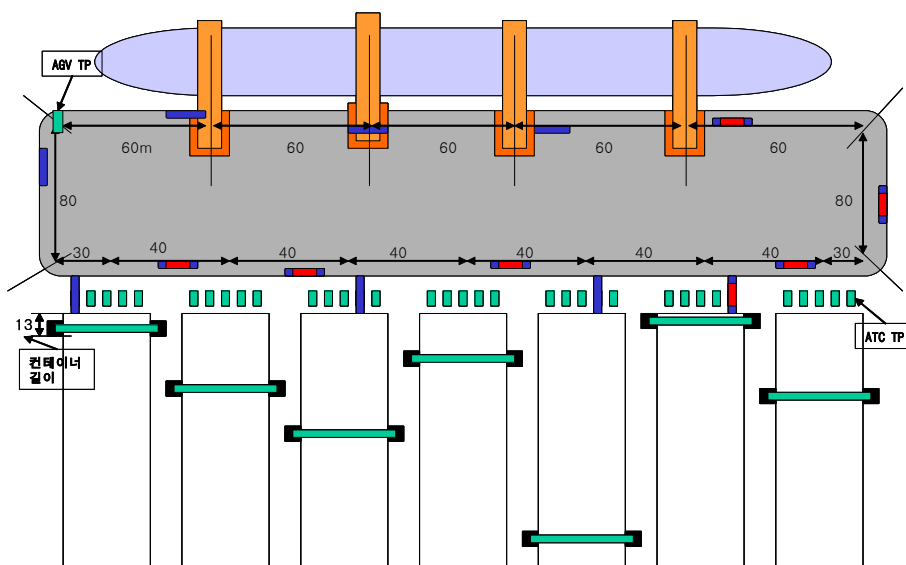


그림 3. 자동화 컨테이너터미널의 배치.

3.2 시뮬레이션 파라미터

다양한 장비 운영방안들의 조합에서 실제 현장에서도 효율적으로 사용될, 가장 로버스트(robust)한 운영방안을 찾기 위해 다음 상황에서 운영방안들의 수행도를 평가하였다. 블록 내의 리마살링 정도는 각 컨테이너 처리 개수별로 컨테이너 처리순서에 따른 재취급 컨테이너 개수를 조정하여 배치 데이터를 만들어 실험하였다.

- 한 블록 내에서의 선적 컨테이너의 리마살링 정도 : 80%, 90%, 100%
- AGV의 대수 : 14, 18, 22, 26
- 컨테이너 처리 개수 : 300, 400, 500

3.3 실험 결과 및 분석

각 파라미터들에 대해 AGV와 ATC의 운영규칙의 조합으로 구한 총 작업소요시간은 <표 2>, <표 3>, <표 4>와 같고, 각 파라미터별로 구한 그래프는 <그림 5>, <그림 6>, <그림 7>과 같다. <그림 5>는 AGV의 대수가 22대이고 400개의 컨테이너를 선적할 때 리마살링 정도에 따른 총 작업소요시간을 나타낸 것이다. <그림 6>은 리마살링 정도가 90%이고 500개의 컨테이너를 선적할 때 AGV의 대수에 따른 총 작업소요시간이다. AGV 대수가 22대 이상에서는 작업시간의 감소가 거의 이루어지지 않았다. <그림 7>은 리마살링 정도가 90%이고 AGV의 대수가 18일 때 컨테이너 개수에 따른 총 작업소요시간이다.

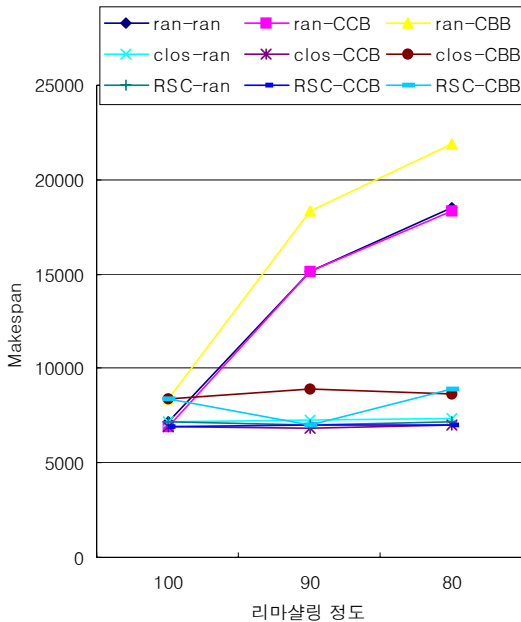


그림 5. 리마살링 정도에 따른 Makespan.

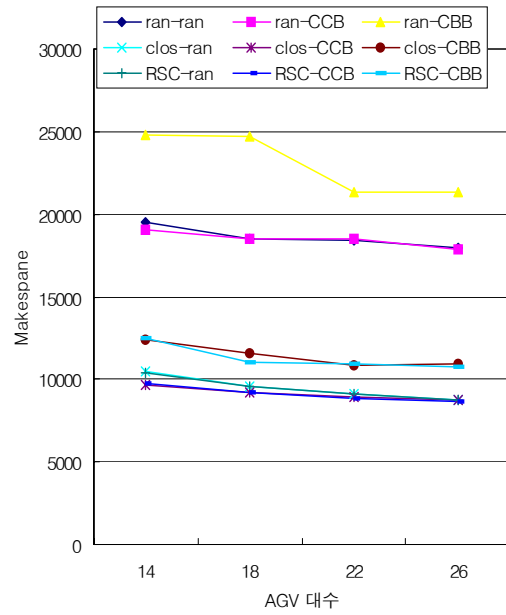


그림 6. AGV 대수에 따른 Makespan.

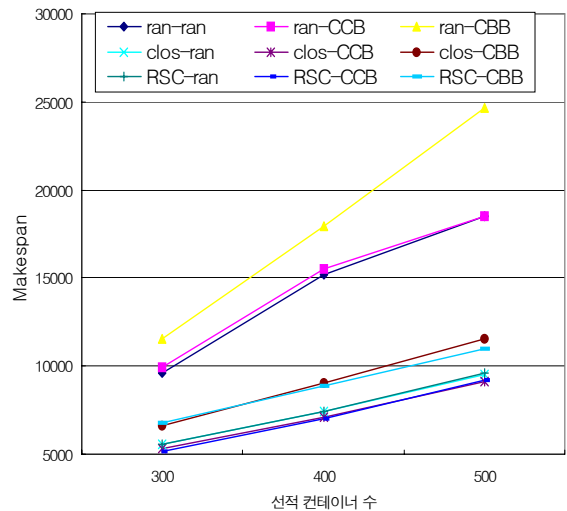


그림 7. 컨테이너 수에 따른 Makespan.

자동화 컨테이너터미널에서의 보다 현실적인 장비 운영방안을 찾기 위해 실제 터미널에서 이루어지는 선적과정에 따라 현장의 다양한 환경에서의 시뮬레이션을 통해 가장 좋은 AGV-ATC 운영규칙의 조합을 찾아보았다. 위의 결과를 통해 AGV의 CCB 할당규칙과 ATC의 RSC 재취급규칙의 조합을 다양한 파라미터에서 가장 짧은 총 작업소요시간을 산출하는 로버스트(robust)한 운영방안이라 할 수 있다. 특히 리마살링 정도가 100%인 경우, 즉 ATC의 할당규칙의 영향이 없는 경우에서 AGV의 CCB 할당규칙이 가장 우수함을 볼 수 있고, ATC의 RSC 할당규칙과 조합되었을 때 거의 모든 환경에서 가장 좋은 결과를 얻을 수 있다. 특히 리마살링 정도가 낮을수록 더

표 2. ATC-AGV의 운영규칙에 따른 Makespan(컨테이너 개수 = 300)

(단위 : 초)

ATC 규칙	AGV 규칙	리마샬링 정도											
		80%				90%				100%			
		AGV 대수				AGV 대수				AGV 대수			
		14	18	22	26	14	18	22	26	14	18	22	26
ran	ran	11760	11705	11468	11661	9688	9583	9606	9395	6038	5685	5176	5030
	ccb	11673	11685	11689	11684	10409	9898	9411	9403	5423	5238	5078	5118
	cbb	15361	12647	14553	14064	12470	11525	11434	10976	6900	6256	6137	5452
clos	ran	6148	5788	5351	5152	6076	5556	5336	5536	6038	5685	5176	5030
	ccb	5488	5280	5351	5215	5692	5336	5336	5185	5423	5238	5078	5118
	cbb	7165	6402	6360	5951	7702	6630	6644	6237	6900	6256	6137	5452
RSC	ran	6196	5554	5235	5037	6155	5592	5137	5068	6038	5685	5176	5030
	ccb	5414	5193	5042	5037	5440	5127	5085	4981	5423	5238	5078	5030
	cbb	7204	6542	6459	5775	7049	6807	6312	6314	6900	6256	6137	5452

표 3. ATC-AGV의 운영규칙에 따른 Makespan(컨테이너 개수 = 400)

ATC 규칙	AGV 규칙	리마샬링 정도											
		80%				90%				100%			
		AGV 대수				AGV 대수				AGV 대수			
		14	18	22	26	14	18	22	26	14	18	22	26
ran	ran	18382	18484	18473	18344	15897	15167	15116	14764	8295	7351	7144	6885
	ccb	18420	18411	18344	18346	15454	15490	15175	15011	7350	7045	6955	6695
	cbb	24054	21750	21897	20768	20154	17926	18341	18764	9229	8332	8383	7642
clos	ran	8373	7489	7348	6957	8168	7406	7235	6847	8295	7351	7144	6885
	ccb	7645	7202	7000	6955	7478	7100	6824	6801	7350	7045	6955	6695
	cbb	9730	8733	8649	8433	9818	9042	8893	8048	9229	8332	8383	7642
RSC	ran	8492	7577	7163	6992	8358	7403	6987	6876	8295	7351	7144	6885
	ccb	7500	7091	7042	6955	7249	7021	6983	6801	7350	7045	6955	6695
	cbb	10389	9230	8919	7949	9781	8873	6983	6801	9229	8332	8383	7642

표 4. ATC-AGV의 운영규칙에 따른 Makespan(컨테이너 개수 = 500)

ATC 규칙	AGV 규칙	리마샬링 정도											
		80%				90%				100%			
		AGV 대수				AGV 대수				AGV 대수			
		14	18	22	26	14	18	22	26	14	18	22	26
ran	ran	24396	23157	22725	22661	19522	18536	18387	17950	10369	9249	8826	8558
	ccb	24301	23125	22677	22655	19032	18520	18498	17888	9324	8868	8742	8405
	cbb	31484	28779	28695	28649	24819	24668	21317	21360	12038	10691	10714	9778
clos	ran	10632	9591	9151	9051	10453	9564	9121	8713	10369	9249	8826	8558
	ccb	9832	9388	9147	8824	9672	9166	8945	8712	9324	8868	8742	8405
	cbb	13233	11317	11317	11001	12413	11535	10894	10948	12038	10691	10714	9778
RSC	ran	10159	9643	9218	8793	10375	9590	9141	8773	10369	9249	8826	8558
	ccb	9655	9123	8924	8764	9760	9176	8864	8675	9324	8868	8742	8405
	cbb	13018	11092	10561	10481	12484	11002	10923	10738	12038	10691	10714	9778

욱 좋은 결과를 산출함을 확인할 수 있는데, 이는 현장의 낮은 리마살링률을 가진 실제 터미널에 적합한 할당규칙의 조합이라 판단된다. 이들 결과들은 random을 포함한 다른 규칙들의 조합을 사용한 결과에 비해 많은 수행도의 개선을 이루고 있다.

시뮬레이션 결과 리마살링이 90%일 때가 100%인 경우보다 더 짧은 총 작업소요시간을 산출한 경우가 있었는데, 이는 효율적인 ATC 재취급규칙에 의한 이동거리 단축으로 총 작업소요시간을 줄일 수 있음을 의미한다. 그리고 AGV 할당규칙에서 CBB 규칙의 조합은 오히려 Random의 조합보다 나쁜 결과를 산출하였다. 이는 선적순서가 정해진 경우, 수행도는 ATC보다 컨테이너 크레인에 영향을 많이 받는다는 것을 나타낸다 하겠다. 또한 적정하 수준 이상의 장비, 즉 AGV의 투입은 총 작업소요시간을 줄이지 못한다는 결과 또한 확인할 수 있었다.

4. 결론

현재 자동화 컨테이너터미널 관련 연구는 장비 관련과 작업계획 및 작업지시 같은 운영관련 연구가 주로 이루어지고 있으며, 이들은 서로 밀접하게 연관되어 있다. 현재 장비 관련 기술은 빠르게 발전하고 있으나 운영 관련 연구는 상대적으로 뒤떨어진 상황이다.

본 연구에서는 자동화 컨테이너터미널에서 사용되는 자동화 장비들의 운영방안에 대해 연구하였다. 자동화 컨테이너터미널에서의 장비운영은 컨테이너 크레인, ATC, AGV 장비들의 상호작용으로 이루어지고, 여러 동적(dynamic)인 상황들이 발생하므로 이를 고려한 운송장비들의 통합운영이 이루어져야 한다. 그래서 본 연구에서는 선적에 소요되는 총 작업소요시간

을 최소로 하는 할당규칙을 바탕으로 한 사건(event) 중심의 자동화 장비 통합 운영방안을 제시하였다.

본 연구에서 제시된 자동화 컨테이너터미널의 실시간 자동화 장비운영을 위한 시뮬레이션 모형을 통해 좀더 현실적인 다양한 형태의 문제들을 해결해 나갈 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

- 한국해양수산개발원 (2001), 광양항 3단계 자동화 컨테이너터미널 개발 기본계획.
- Kim, K.H. and Kim, K.Y. (1997), A Routing Algorithm for a Single Transfer Crane to Load Export Containers onto a Containership, Computers ind. Engng, 33(3-4), 673-679.
- Kim, K.H. and Kim, K.Y. (1999), An Optimal Routing Algorithm for a Transfer Crane in Port Container Terminals, Transportation Science, 33(1), 17- 33.
- Chen, Y., Leong., T.Y., Ng, J.W.C., Demir, E.K., Nelso, B.L. and Simchilevi, D. (1998), Dispatching automated guided vehicles in a mega container terminal, paper presented at INFORMS, Montreal, Canada.
- Kim, K.H. and Bae, J.W. (1999), A dispatching method for automated guided vehicles to minimize delays of containership operation, International Journal of Management Science, 5(1), 1-25.
- Meermans, P.J.A. and wagemans, A.P.M. (2001), Report series research in management-Effective algorithms for integrated scheduling of handling equipment at automated container terminals, 1-20, Erasmus Research Institute of Management.
- Meermans, P.J.A. and wagemans, A.P.M. (2001), Dynamic scheduling of handling equipment at automated container terminals, Report series research in management, ERASMUS Research Institute of Management, 1-26.
- Duinkerken, M.D., Evers, J.J.M. and Ottjes, J.A. (2001), A simulation Model for Integrating Quay Transport and Stacking Policies on Automated Container Terminals, Proceeding of the 15th European Simulation Multiconference, June.



최형림

서울대학교 경영학 학사
한국과학기술원 경영과학 석사
한국과학기술원 경영과학 박사
현재: 동아대학교 경영정보과학부 교수
관심분야: 생산관리, 인공지능기술 응용, 전자상거래 관련 기술 개발, 항만 · 물류시스템



박병주

동아대학교 산업공학 학사
동아대학교 산업공학 석사
동아대학교 산업공학 박사
현재: University of Nebraska-Lincoln Post-Doctor
관심분야: 일정계획, 최적화 기법 응용, 항만 · 물류시스템



박남규

한국해양대학교 항해학 공학사
한국해양대학교 경영학 석사
한국해양대학교 경영학 박사
현재: 동명정보대학교 유통경영학과 부교수
관심분야: 항만 · 물류시스템, 응용시스템 개발



권해경

동아대학교 산업공학 학사
동아대학교 산업공학 석사
현재: 동아대학교 항만 · 물류시스템학과 박사과정
관심분야: 항만 · 물류시스템, 정보시스템, 최적화 기법 응용



유 동 호

동서대학교 경영학 학사

동아대학교 경영학석사

현재 : 동아대학교 경영정보학 박사과정

관심분야: 항만 물류, 시스템 분석 및 설계,

e비즈니스 전략, 지식관리