

자동화 컨테이너터미널에서 운송 장비의 운영방안에 관한 연구*

(A study on operation method of handling
equipments in automated container terminals)

이상완**, 최형림***, 박남규****, 박병주*****, 권해경*****, 유동호*****
(Sang-Wan Lee, Hyung-Rim Choi, Nam-Kyu Park, Byung-Joo Park,
Hae-Kyung Kwon, Dong-Ho Yoo)

요약 중심(Hub) 항만이 되기 위한 주요과제는 자동화이다. 선진항만은 이미 자동화 컨테이너 터미널을 실용화하고 있는 단계이고, 국내의 경우는 자동화 컨테이너터미널을 구축하기 위한 기본계획 및 실시설계가 되고 있는 실정이다. 자동화 컨테이너터미널의 핵심은 자동화 장비인 ATC(Automated Transfer Crane)와 AGV(Automated Guided Vehicle)의 효율적인 운영이다. 자동화 장비의 효율적인 운영은 자동화 컨테이너터미널의 생산성을 결정짓는 가장 중요한 요소이다.

본 논문에서는 자동화 컨테이너터미널에 효율적인 3가지의 ATC 운영규칙과 AGV 배정규칙을 사용하여 자동화 컨테이너터미널에서 컨테이너 선적시간을 최소로 할 수 있는 가장 적합한 장비운영 규칙을 제안하고자 한다. 자동화 컨테이너터미널에서 자동화 장비 운영에는 예기치 않은 교착이나 간섭이 발생하므로, 장비운영에 관한 계획은 이벤트 중심으로 실시간으로 이루어져야 한다. 그래서 본 논문에서는 실시간 계획에 가장 적합한 ATC 운영규칙과 AGV 배정규칙을 제안하고, 이들 규칙들의 수행도를 평가하기 위해 실제 자동화 컨테이너터미널에서 생길 수 있는 다양한 환경들에서 시뮬레이션 한다. 이 시뮬레이션을 통해 다양한 파라미터 -야드의 리마샬링(re-marshaling) 정도, 컨테이너 처리 개수, 운영 AGV 대수 -에서 가장 로버스터(robust)한 자동화 장비의 통합운영규칙을 제시한다.

Abstract 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 the number of AGVs)

* 본 연구는 한국과학재단 지정 동아대학교 지능형 통합관리 연구센터의 지원에 의한 것입니다.

** 동아대학교 기계·산업시스템공학부 교수

*** 동아대학교 경영정보과학부 교수

**** 동명정보대학교 유통경영학과 교수

***** 동아대학교 경영정보학과 Post Doctor

***** 동아대학교 산업시스템공학과 석사과정

***** 동아대학교 경영정보학과 대학원

1. 서론

물류 중심기지로의 발전을 위해서는 국제 시장의 개방화에 따른 컨테이너 처리량의 증가, 화주로부터의 물류비 절감요구, 컨테이너 선사들의 단위당 수송비용 절감요구를 수용할 수 있도록 컨테이너터미널의 경쟁력을 제고시켜야 한다. 컨테이너터미널의 경쟁력 제고에는 인력위주의 하역작업을 탈피하고, 저비용, 고효율의 첨단기능을 보유한 자동화가 주요 과제라 할 수 있다. 이와 관련 선진항만에서는 자동화 컨테이너터미널 개발을 미래 항만산업으로 적극 추진하여 이미 실용화되어 발전단계에 들어가고 있다. 네덜란드 ECT(Europe Combined Terminals)에서는 97년부터 자동화 터미널을 운영하였으며, 현재는 보다 발전된 자동화를 추진하고 있다. 국내의 경우는 자동화 컨테이너터미널을 구축하기 위한 요소 기술 개발에 대한 연구가 진행 중이다.

자동화 컨테이너터미널은 AGV(Automated Guided Vehicles)와 ATC(Automated Transfer Crane)와 같은 자동화 운송 장비를 사용하는 컨테이너터미널이다. 자동화 컨테이너터미널의 생산성을 향상시키는데는 효율적인 장비 운영이 결정적인 역할을 한다. 효율적인 자동화 장비운영을 통해 컨테이너선의 입항시간과 대기시간을 줄여 단위당 수송비용 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 운영 계획을 최적화 한 것이고, 또 다른 하나는 두 가지 형태 이상의 자동화 장비간 통합 운영 계획을 최적화 하고자 한 것이다. Kim & Kim[1]은 싱글 트랜스퍼 크레인(Transfer Crane)의 라우팅(routing)을 최적화하기 위해 동적 계획법에 기반한 혼합정수계획 모형을 제시하였고, Kim & Kim[2]에서는 이 모형을 해결하기 위한 Beam search 알고리즘을 제안하였다. 그리고 Chan 등[3], Kim & Bae[4]에서는 AGV의 운영계획에 관한 연구가 이루어졌다. Chan 등은 자동화 컨테이너터미널에서 AGV의 할당(dispatching) 문제를 다루기 위해 네트워크 기반 Greedy 휴리스틱 기법을 제안하였다. 여기서는 문제를 단순화하기 위해 트랜스퍼 크레인은 항상 AGV에 양·적하 할 준비가 되어 있다고 가정하였다. Kim & 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, 트랜스퍼 크레인 AGV의 운영은 장비들의 상호작용으로 이루어짐으로, 개별적인 장비의 운영계획은 낮은 전체 수행도나 교착(deadlock) 상태를 초래하기도 한다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 모든 장비들을 통합한 운영계획이 세워져야 한다. Meermans & wagemans[5, 6]는 자동화 컨테이너터미널에서 자동화 장비의 총작업소요시간(makespan)을 최소화하기 위한 통합 운영계획 방법으로 Branch & Bound 알고리즘과 Beam search법을 제안하였다.

Meermans & wagemans의 연구에서 장비들의 통합 운영계획을 세우는 탐색적 방법이 제시되었으나, 이는 운영계획의 수행도는 높일 수 있을지 모르나 실제 현장에서 장비 운영계획을 세우는 방법론으로 적합하지 않다. 왜냐하면, 한번에 세워진 운영계획대로 모든 자동화 장비들이 운영될 수 없기 때문이다. 실제 자동화 장비 운행 중에는 예기치 못한 상황이 생겨 계획을 수정해야 할 경우가 빈번히 발생하는데, 이 때마다 재계획을 하는 것은 너무나 비효율적이다. 그래서 자동화 장비운영은 한번에 정해진 계획대로 이루어지는 것 보다 각 장비가 어떤 작업을 끝내고 작업대기위치(Transfer Point)에 도착하여 다음 작업을 할당받기 위한 의사결정이 이루어지는 경우, 이를 사건(event)이라 하면 그 사건을 효율적으로 해결할 수 있는 단순한 할당규칙(dispatching rule)에 의해 사건 중심으로 운영되는 것이 현실적이라 생각된다. 그래서 본 연구에서는 작업대기위치에서 다음 작업을 할당 시켜주는 AGV의 할당 규칙과 ATC의 재취급 규칙을 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 운영방안

2.1 자동화 컨테이너터미널의 운송장비

자동화 컨테이너터미널은 컨테이너 크레인과 트랜스퍼 크레인 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 인력 절감 등을 이룰 수 있다.

자동화 컨테이너터미널에서 컨테이너 운송에 관련된 장비는 크게 3가지의 형태로 나눌 수 있다. 첫 번째는 야드에서 컨테이너를 이동시키기 위해 트랜스퍼 크레인을 사용한다. 트랜스퍼 크레인은 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, 좀 더 많은 야드의 공간이 필요하다. 세 번째는 모든 컨테이너를 사시(Chassis)에 쌓는 시스템인데, 이것은 현재 많이 사용되지는 않는다. 각각의 컨테이너는 사시에 쌓여져 있기 때문에 많은 저장 공간이 필요하나, 반면에 각각의 컨테이너는 바로 취급할 수 있는 장점이 있어 터미널의 운영을 좀더 쉽게 만들어 준다. 대부분의 자동화 컨테이너터미널은 운송 장비로 ATC와 AGV의 조합을 가장 많이 사용하고 있으며, 국내의 자동화 컨테이너터미널도 이들 조합으로 계획되어 있다.

ATC는 장치장 내에서 컨테이너를 이동하거나, 컨테이너를 AGV나 외부트럭에 이송하는 작업이 가능한 자동화된 크레인이다. 그리고, AGV는 ATC나 컨테이너 크레인으로부터 컨테이너를 적재하여, ATC와 컨테이너 크레인 사이를 이동하는 자동 통제가 가능한 무인 차량이다. 컨테이너 취급은 다른 종류의 장비들, 즉 ATC, AGV, 컨테이너 크레인의 상호작용에 의해서 이루어진다. 야드의 컨테이너를 선적하기 위해서는 ATC를 이용하여 AGV에 컨테이너를 선적하고, AGV는 컨테이너를 컨테이너 크레인으로 이송하여 선적을 대기해야한다. 기존 컨테이너 터미널의 경우는 야드에서 터미널 셔틀 트럭으로 이송하게 되므로 담당자가 작업계획을 수작업으로 짠 후에, 작업자에게 작업 지시를 내리는 형식으로 운영되고 있으나, 자동화 컨테이너터미널에서는 야드에서 컨테이너 크레인까지 AGV와 ATC를 이용하여 컨테이너를 이동하기 위해 자동화된 운영정책을 필요하게 된다. 하지만 AGV와 ATC, 컨테이너 크레인을 정적인 환경에서 적재시간을 최소화하는 운영계획 문제는 NP-hard 문제이다[5].

2.2 자동화 장비 할당규칙(dispatching rule)

할당규칙은 복잡한 수학적인 모형 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 적체되는 특징이 있다. 컨테이너터미널에서 야드 운영의 효율을 높이기 위해서는 재취급을 최소화할 수 있는 방법을 강구할 필요가 있다. 이는 우선 야드에 컨테이너가 장치될 때 장치위치를 합리적으로 결정하여 야 하고, 이송 시에 이적되는 저장물들의 장치 위치와 이송 순서를 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 컨테이너의 위에 다른 컨테이너가 위치해 있는 경우, 이 컨테이너를 이동시키는 Reactive 재취급이 있다[7].

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 선적 작업을 하는 것은 불가능하다. 그래서 선적 작업 시 Reactive 재취급이 발생하게 된다. 컨테이너 재취급 시간을 최소로 하는 이적 컨테이너 장치위치의 결정은 선적 시에 출하시간을 단축하고 장비의 효율을 높이는데 영향을 준다.

이적 컨테이너의 위치를 결정하는 ATC의 재취급 규칙은 다음과 같다.

(1) Random

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

(2) Closed Position

컨테이너가 최고 높이가 되지 않는 가장 가까운 위치를 선택하는 방법으로 처리되어야 할 컨테이너 위에 있는 컨테이너를 이동시킬 때, 최고 단적 높이

가 아닌 위치에서 이동해서 놓는 곳의 아래 컨테이너의 선적 순서가 빠르지 않는 가장 가까운 위치에 컨테이너를 처리하는 방법이다.

(3) Maximum RSC

RSC(Remaining Stack Capacity)값을 구해서, RSC가 최소가 되는 곳을 이적 위치로 결정하는 방법이다. RSC는 다음의 식으로 구할 수 있다[7].

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

H = 최고 저장 높이

h_{ij} = 현 지점에서 실제 저장 높이

c_{ij} = 현 지점에서 최고 위의 컨테이너의 범주

C = 최고 범주의 수

그림 1에서 RSC의 결과는 다음 식으로 구할 수 있다.

$$\text{Min}[(H - h_{ij}) \times (c_{ij} - c_2) + c_2],$$

$h_{ij} < H$ 인 모든 (i, j) 에서

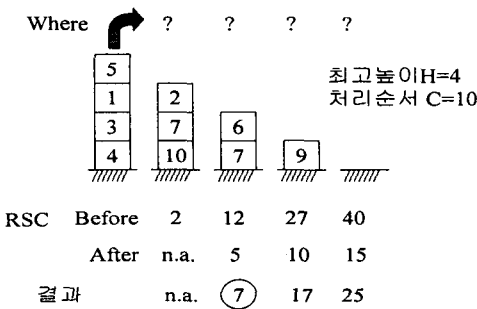


그림 1. RSC 계산의 예

2.2.2 AGV 할당 규칙

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 다음의 할당규칙을 사용한다. 빈 AGV가 생긴다는 것은 선적 시 컨테이너 크레인이 컨테이너를 처리한 후이다. 컨테이너 크레인이 컨테이너를 처리하면, AGV는 다음 컨테이너를 배정 받을 작업 대기위치(Transfer Point)로 이동한다. 작업대기위치

에 들어온 AGV는 도착 순서대로 컨테이너를 할당 받는데, 각 컨테이너 크레인의 선적 순서에 따라 다음에 선적되어야 하는 컨테이너들 중 하나를 할당받는다. 다음은 AGV에 컨테이너를 할당하는 할당규칙이다.

(1) Random

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

(2) Container crane balancing

작업대기위치에 도착한 각각의 AGV에는 컨테이너 크레인의 선적 순서에 따라 다음에 선적되어야 하는 할당되지 않은 컨테이너들 중 컨테이너 크레인이 처리해야할 컨테이너의 수가 가장 많이 남아 있는 컨테이너 크레인의 컨테이너를 할당한다.

(3) Container block balancing

작업대기위치에 도착한 각각의 AGV에는 컨테이너 크레인의 선적 순서에 따라 다음에 선적되어야 하는 할당되지 않은 컨테이너들 중 블록에서 처리해야할 컨테이너의 수가 가장 많이 남아 있는 블록의 컨테이너를 할당한다.

표 1. 자동화 장비의 운영 방안

컨테이너 크레인	ATC	AGV
계획된 작업순서에 따라	random	random
	closed position	container crane balancing
	maximum RSC	container block balancing

2.3 자동화 장비의 통합 운영계획

본 연구에서는 ATC 재취급 규칙과 AGV 할당규칙 그리고 컨테이너 크레인의 운영이 통합된 자동화 컨테이너터미널의 통합 운영계획이 이루어진다.

자동화 장비들의 상호작용으로 이루어지는 컨테이너 적하 작업에서의 총작업소요시간을 구하기 위해서는 장비별 운영에서 생기는 대기시간을 고려하여야 한다. ATC가 컨테이너를 집어 올린 후, 빈 AGV가 작업대기위치에 도착해서 컨테이너를 실을 때까지 AGV는 대기해야 한다. 게다가 AGV는 컨테이너 크레인에서 앞서 도착한 AGV의 컨테이너가 처리될 때까지 대기해야 한다. 즉, 컨테이너 크레인

과 ATC 그리고 AGV 운영에는 대기 시간이 발생한다. 본 연구에서는 다양한 장비 운영방법들의 조합을 통해서 이러한 대기시간을 줄여 총작업소요시간을 최소화 할 수 있는 통합 운영계획이 이루어진다. 그림 2는 자동화 장비의 통합 운영 과정이다.

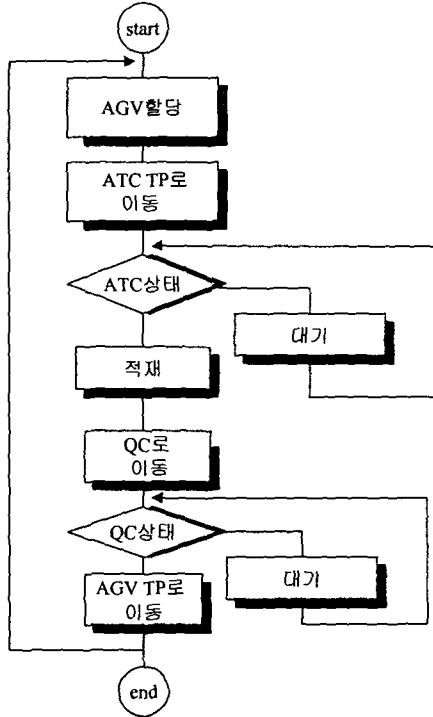


그림 2. 자동화 장비 통합 운영 흐름도

먼저, AGV는 AGV 작업대기위치에서 컨테이너 크레인이 처리해야할 컨테이너의 적재 순서에 따라 처리해야할 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 AGV를 할당과 ATC의 재취급은 제시한 AGV 할당 규칙과 ATC 재취급 규칙에 따라 컨테이너를 이동, 적재한다.

3. 시뮬레이션 모형 및 실험

본 연구에서는 자동화 컨테이너터미널에서 통합 운영정책을 평가할 수 있는 시뮬레이션 모형을 개발하였다. 가상의 자동화 컨테이너터미널의 형태는 그림 3과 같다. 시뮬레이션은 Visual Basic 언어로 작

성된 프로그램에 의해 이루어졌으며, 광양항 자동화 컨테이너터미널 기본 계획을 바탕으로 하였다.

자동화 장비들의 상호작용으로 이루어지는 컨테이너 적하 작업에서 총작업소요시간(makespan)을 최소화 하는 운영방안을 제시하기 위해서는 총작업소요시간에 장비 운영에서 생기는 대기시간이 고려되어야 한다.

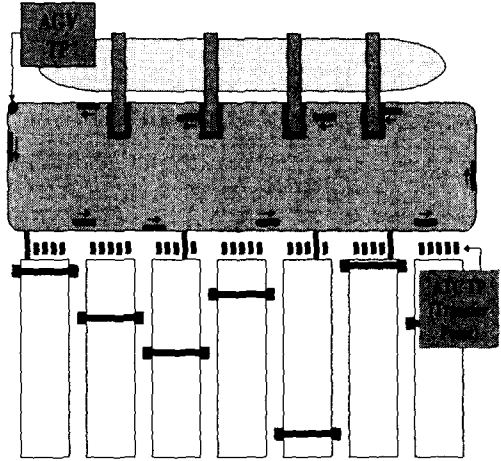


그림 3. 자동화 컨테이너터미널의 배치

3.1 시뮬레이션 환경

자동화 컨테이너터미널의 시뮬레이션 환경을 정리하면 다음과 같다.

- 선석수 : 1
- 선석의 길이 : 300m
- 컨테이너 크레인 수 : 4대
- 블록 수(수직배열) : 7열
- AGV의 속도 : 평균 5m/s
- AGV의 운행방식 : 반시계방향의 단일 사이클
- AGV 운행레인 수 : 5
- ATC의 작업속도 : 횡속 1m/s, 종속 2m/s, 권상 1m/s
- ATC의 작업 버퍼 : 5개
- 컨테이너 크레인의 작업속도 : 평균 1 lift/min

각 컨테이너 크레인별로 점유블록이 정해져 있고, 블록별 적하순서와 컨테이너 크레인의 적하순서는 정해져 있다. 평가합수로는 마지막 컨테이너를 처리하는 컨테이너 크레인의 적재가 끝나는 시간, 총작업소요시간(makespan)이며, 이를 최소화 하는 것이 목적이다.

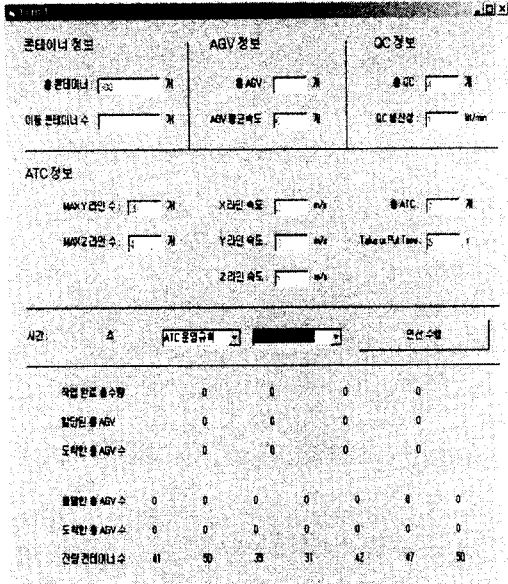


그림 4. 시뮬레이션 프로그램

3.2 시뮬레이션 파라미터

다양한 장비 운영방안들의 조합에서 실제 현장에서도 효율적으로 사용될, 가장 로버스트(robust)한 운영방안을 찾기 위해 다음 상황에서 운영방안들의 수행도를 평가하였다.

- 한 블록내에서의 선적 컨테이너와 비선적 컨테이너 비율 (리마살링의 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 운영 규칙의 조합으로 구한 총작업소요시간은 표 2, 표 3, 표 4와 같고, 이들의 그래프는 그림 5, 그림 6, 그림 7과 같다.

이 결과를 통해 AGV의 Container Crane Balancing 할당계획과 ATC의 Maximum RSC 재취급 규칙의 조합이 다양한 파라미터에서 가장 작은 총작업소요시간을 가지는 로버스트(robust) 한 운영방안이라 할 수 있다. 그리고 AGV의 Container Crane Balancing 할당계획과 ATC의 Closed

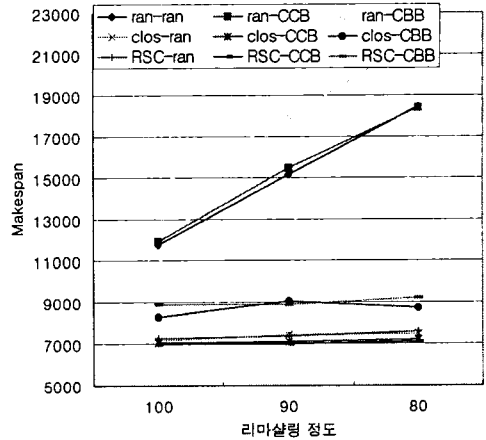


그림 5. 리마살링 정도에 따른 Makespan

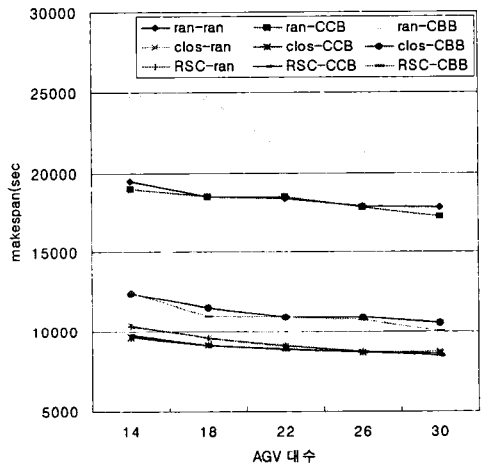


그림 6. AGV 수에 따른 Makespan

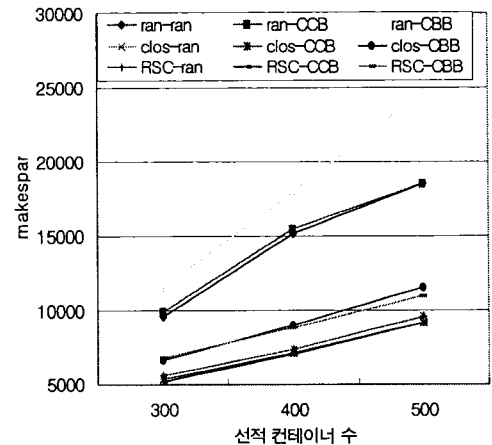


그림 7. 컨테이너 수에 따른 Makespan

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

ATC 규칙	AGV 규칙	리마살링 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 운영 규칙에 따른 Makespan(컨테이너 개수 = 400)

ATC 규칙	AGV 규칙	리마살링 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	11903	11759	11522	11412
	ccb	18420	18411	18344	18346	15454	15490	15175	15011	12509	11922	11765	11738
	cbb	24054	21750	21897	20768	20154	17926	18341	18764	15373	14614	14193	14909
clos	ran	8373	7489	7348	6957	8168	7406	7235	6847	7912	7169	7048	6947
	ccb	7645	7202	7000	6955	7478	7100	6824	6801	7277	7064	6789	6947
	cbb	9730	8733	8649	8433	9818	9042	8893	8048	9607	8304	8661	8322
RSC	ran	8492	7577	7163	6992	8358	7403	6987	6876	8082	7261	7016	7000
	ccb	7500	7091	7042	6955	7249	7021	6983	6801	7315	7011	6789	6947
	cbb	10389	9230	8919	7949	9781	8873	6983	6801	9063	8876	8529	6947

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

ATC 규칙	AGV 규칙	리마살링 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	14562	14383	14214	13850
	ccb	24301	23125	22677	22655	19032	18520	18498	17888	15005	14574	13945	13944
	cbb	31484	28779	28695	28649	24819	24668	21317	21360	19156	18033	17827	18273
clos	ran	10632	9591	9151	9051	10453	9564	9121	8713	9920	9139	8940	8657
	ccb	9832	9388	9147	8824	9672	9166	8945	8712	9619	8891	8614	8536
	cbb	13233	11317	11317	11001	12413	11535	10894	10948	12363	11199	10587	10165
RSC	ran	10159	9643	9218	8793	10375	9590	9141	8773	9978	9321	8914	8590
	ccb	9655	9123	8924	8764	9760	9176	8864	8675	9543	9218	8674	8588
	cbb	13018	11092	10561	10481	12484	11002	10923	10738	12160	11259	10320	9878