

첨단 자동화 컨테이너 터미널의 AGV 이동경로 평가 및 적정 운영 대수 산정을 위한 시뮬레이터 개발

The Development of The Automated Container Terminal Simulator for Evaluating of AGV Guide Path and AGV Numbers

민상규¹, 정귀훈¹, 하승진¹, 김형식¹, 변성태², 이영석²

¹현대중공업 선박해양연구소 자동화연구실, ²현대중공업 플랜트사업부 운반하역설계부

Abstract

본 연구에서는 컨테이너 터미널의 자동화 설비 중 안벽용 크레인(Quay Crane:QC)과 장치장용 크레인(Automated Transfer Crane:ATC)간의 컨테이너 이송을 담당하는 AGV(Automated Guided Vehicle)의 운영에 관한 시뮬레이션을 수행할 수 있는 전용의 시뮬레이터를 개발하는데 목적을 두고 수행하였다. 자동화 컨테이너 터미널의 처리 능력은 선석의 QC 능력에 의해서 결정되지만, QC의 능력을 최적화 하기 위해서는 컨테이너 터미널 내에서의 AGV의 운영 효율이 결정적인 역할을 한다. 또한 AGV의 운영 효율에는 장치장의 ATC 작업시간이 영향을 준다. 연구결과, AGV의 운영 효율 평가를 위한 시뮬레이터를 개발하였으며, 이를 이용하여 QC의 작업시간과 ATC의 작업시간에 따른 AGV의 적정대수를 산출하였다. 본 시뮬레이터는 실제 컨테이너 터미널의 운영 상태와 유사한 시뮬레이션을 수행 할 수 있고, 컨테이너 터미널의 운영 능력을 산출하는데 적합하도록 개발되었다.

1. 서론

컨테이너 터미널은 해상 수송과 육상 수송의 접속점이고 원활한 물류를 실현하는 데 있어 그 역할이 매우 크다. 또한 한번 영업을 개시하게 되면, 화물의 지연 및 야드의 과부족 등의 문제점이 발견되어도 그 규모의 크기를 변경하는 것은 어렵다. 따라서, 컨테이너 터미널은 그 설계 단계에 있어서 다양한 상세 검토를 수행하여야 한다[4].

기존 컨테이너 터미널에 대해서는 많은 연구가 진행되고 있는데 최근에 수행된 연구로 윤원영[3]은 컨테이너 터미널 전체의 운영을 분석하거나 평가하는데 시뮬레이터를 개발하여 사용하였으며, 김갑환[1]은 효율적인 적하작업 계획을 자동으로 생성하는 알고리즘을 연구하였다. 또한 최형림[5]은 수출입 컨테이너 화물의 흐름에 관한 모든 정보를 저장할 수 있는 통합데이터베이스를 구축하였다. 이외에도 기존 컨테이너 터미널에 대한 연구가 많이 진행되고 있지만, 기존 연구에서는 장치장과 선석 간의 컨테이너 운반을 담당하는 야드 트랙터(Yard Tractor)를 사람이 조작함으로써 야드에서의 충돌이나 회전구간에서의 감속 등 트랙터의 운영에 대해서는 크게 고려하지 않았다. 그러나, 자동화 컨테이너 터미널에서는 사람의 개입 없이 AGV가 이러한 역할을 수

행하기 위해 장치장과 선석 사이를 주행함으로써 AGV의 하드웨어적인 특성과 AGV의 주행 경로 선정, 충돌 회피, 가감속에 대한 것 등이 컨테이너 터미널의 운영상에 중요한 고려요소가 된다. 이러한 이유로 자동화 컨테이너 터미널의 경우 기존 수동 터미널의 야드 운영 데이터를 이용한 시뮬레이션보다는 기존 컨테이너 터미널과 자동화 컨테이너 터미널의 비교 대상인 AGV, QC, ATC 등의 작업 특성과 작업시간을 이용하여 시뮬레이션을 수행할 필요가 있다. 이러한 시뮬레이션은 기존 터미널을 모델로 비교, 검증하기가 어렵기 때문에 위 3가지 장비들의 실질적인 움직임을 시뮬레이션하여 운영 효율을 분석, 평가해야 할 것이다.

2절에서는 개발된 시뮬레이터의 구성 및 기능에 관한 내용과 시뮬레이션에서 사용된 자동화 컨테이너 터미널의 개략적인 레이아웃(Layout), AGV, QC, ATC에 대하여 설명하고, 3절에서는 항만내의 운영 효율을 평가한 실험 내용 및 연구결과를 설명한다.

2. 연구내용

2.1 시뮬레이터 구성 및 기능

시뮬레이터는 객체 생성 기능, 데이터 입출력 기능, 이동경로(Route) 생성 기능 등 크

계 3가지 기능으로 구분되어진다. 객체 생성 기능은 시물레이션을 수행하기 위해 필요한 레이아웃, 장치장, 선석, AGV 등을 생성한다. 데이터 입출력 기능은 객체가 생성되어지면 파일 또는 데이터베이스에 저장하여 그 결과를 관리한다. Route 생성 기능은 AGV가 진행할 수 있도록 가능 경로를 생성하는 기능으로 선석과 장치장 사이에서 AGV가 이동 가능한 모든 경로를 생성한다. AGV 시물레이터 구성도를 그림 1에 나타내었다.

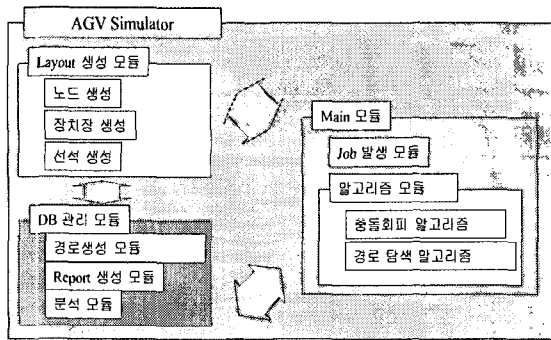


그림 1. AGV 시물레이터 구성도

2.2 레이아웃 구성

본 연구에서는 자동화 컨테이너 터미널에서 사용할 수 있는 다양한 배치안 중 수직 배치안을 사용하였다. 일반적으로 자동화 컨테이너 터미널의 수직 배치안은 육측의 출입구와 장치장간의 컨테이너 차량 흐름과 선석에서 장치장간의 AGV 흐름이 상호 분리되어 있어 자동으로 AGV의 흐름을 제어하는 방안을 좀더 안정적으로 수행할 수 있다는 장점이 있다. 컨테이너 터미널의 구성부분 및 가정사항을 간단히 정리하면 다음과 같다.

[가정]

① 장치장

장치장은 수입, 수출 및 환적 컨테이너를 저장하는 곳이다. 레이아웃은 선석당 7곳의 장치장으로 구성되어 있는 것으로 가정하였으며 장치장 마다 하나의 ATC가 있는 것으로 가정을 하였다. 시물레이션 수행시에는 ATC의 작업시간은 69초, 138초 등으로 가정하였다.

② 선석

선박이 접안하여 양·적하 작업을 수행하는 지역으로 선석 당 6대의 QC가 작업하는 것으로 가정하였다.

③ Lane

Lane은 AGV의 주행로이다. 직선 구간과 곡선 구간으로 구분되어지며, 곡선구간은 반지름 10m의 호로 설정되어 있다.

본 연구에서 사용한 레이아웃은 전체의 구성을 그림 2와 같이 간략한 형태로 개념화하여 사용하였다.

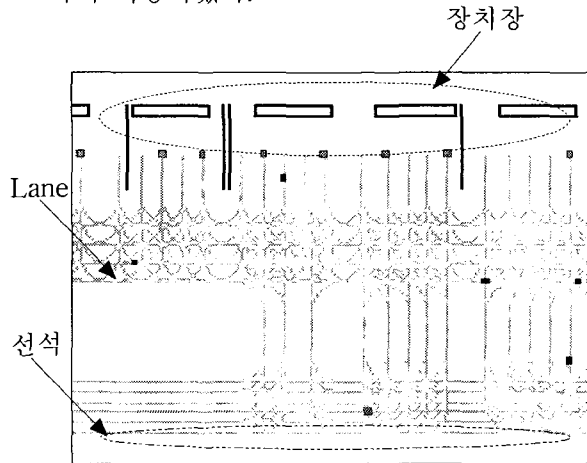


그림 2. 레이아웃 구성 화면

2.3 AGV

자동화 컨테이너 터미널에서의 AGV는 선석과 장치장 사이에서 컨테이너의 이송을 담당한다. AGV의 성능은 AGV의 하드웨어적인 성능에 따라 정의하였다. AGV의 초기위치는 장치장의 AGV 정지위치로 설정하였다.

AGV의 주행은 QC의 호출에 의해서 시작된다. 선석에서 양적하 작업이 이루어지면 QC는 AGV를 호출한다. 호출된 AGV는 초기위치의 장치장에서 QC까지의 이동경로를 선택한다. 이동경로는 시물레이션 수행 전에 Off-Line으로 생성되어져 있다[2].

AGV는 최고 주행속도까지 가속을 하여 주행한다. 주행이 시작되면 AGV는 최소정지거리와 안전거리 만큼에 대하여 충돌 탐색을 수행한다[2]. 만약, 주행 중 다른 AGV와의 충돌이 예측되면 우선 순위에 의해서 계속 주행 또는 감속하게 된다. 이러한 현실적인 문제를 감안하여 시물레이터는 현 지점에서의 AGV 주행속도에서 곡선구간 시작 지점까지의 감속 시작 지점을 탐색하여 충돌이 예상되지 않는 경우에 가감속을 하여 곡선구간 진입시 회전구간 속도를 유지할 수 있도록 하였다. 만약 충돌이 예측되어 감속을 한다면 곡선구간에서도 곡선구간 주행가능 속도 이하로 주행 또는 정지한다. AGV의 주행 규칙 및 직선 구간에서의 충돌예측시 가감속의 경우와 회전구간에서의 감속에 대하여 아래와 같이 정리하였다.

① 이동규칙

- 초기위치 : 장치장
- QC의 호출에 의해 장치장에서 QC로 이동 후 초기위치(장치장)로 이동

② 가속 및 감속

가. AGV 충돌 예측시 감속

그림 3은 AGV_1과 AGV_2의 충돌 예측의 예를 나타낸 것이다. AGV_2는 최고 주행속도로 진행하고, AGV_1은 최고 주행 속도까지 가속을 하면서 진행 중이다. 그림 3에서 AGV_1의 교차점 탐색범위가 AGV_2의 교차점 탐색범위보다 작다. 이 경우 AGV_1은 최고 주행속도까지 가속하면서 진행하고, AGV_2는 감속하여 충돌을 회피하게 된다.

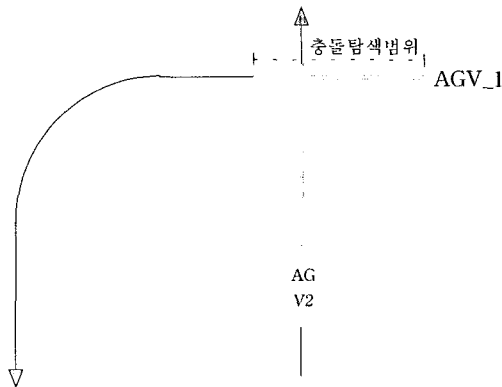


그림 3. 충돌 예측 예

나. 회전구간 예측시 감속

그림 4는 회전구간 예측시 AGV가 진행하는 예를 나타낸다. AGV가 충돌 탐색을 하면서 회전구간 시작 지점을 탐색하면 회전구간 주행속도까지 감속을 한다. AGV가 회전구간 종료지점을 벗어나면 최고 주행속도까지 가속하여 진행한다.

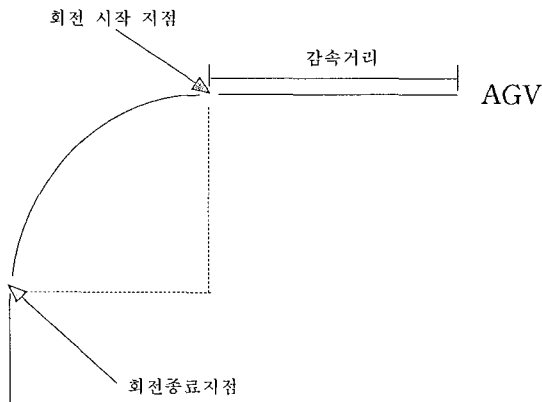


그림 4. 회전 구간 예측

다. 장치장, 선석 예측시 감속

라. AGV 진행시 주행속도까지 가속

2.4 QC

QC는 AGV로 운반되어야 할 컨테이너를 양·적하 한다. 선석당 QC 대수 및 컨테이너

처리 속도는 아래와 같다.

- QC 대수 : 6대/선석
- 컨테이너 처리 속도 : 1분/TEU (AGV 상차 : 10초, Container 양하 작업 : 50초)

QC의 컨테이너 처리 작업순서를 아래 그림 5에 나타내었다.



그림 5. QC의 작업 방법 및 작업시간

2.5 ATC

ATC는 장치장에 위치하여 AGV로부터 컨테이너를 받아서 장치장에 적재하거나, 적재된 컨테이너를 AGV에 상차하는 작업을 수행한다.

ATC의 작업 수행 시간은 장치장에서의 컨테이너 처리 능력을 결정하는 가장 중요한 요소이다. 본 연구에서는 ATC 작업시간을 138초/TEU, 69초/TEU로 설정하였고 하나의 장치장에는 한 대의 ATC가 있는 것으로 설정하였다. ATC 작업시간은 AGV로부터 컨테이너를 받아 장치장의 지정 위치에 컨테이너를 적재하고 다음 AGV로부터 컨테이너를 받기 위한 준비과정을 마치는 시간이다.

3. 실험 내용 및 연구결과

본 절2.1에서 설명한 시뮬레이터를 이용하여 장치장과 선석간의 컨테이너의 이송을 담당하는 AGV에 대하여 ATC의 작업시간과 AGV 대수 변화에 따른 AGV의 운영효율 및 컨테이너 처리량 변화를 실험하였다. 실험에 적용한 레이아웃은 그림 6과 같다.

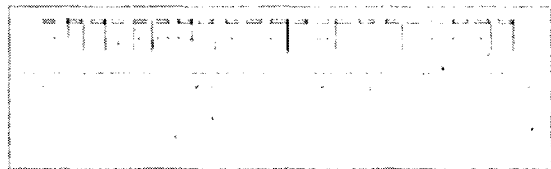


그림 6. 3선석 레이아웃

실험은 ATC의 작업시간이 138초인 경우와 69초인 경우에 대하여 AGV의 대수를 변화하면서 실험을 하였다. 먼저, ATC의 작업시간이 138초인 경우에 대하여 AGV 대수에 따른 AGV 운영 효율 및 QC의 대기 시간 비율에 대하여 실험하였다. QC의 대기 시간 비율은 시뮬레이션 수행 시간에 대하여 QC가 컨테이너를 상차할 AGV를 기다리는 시간의 비율이다. 실험결과를 그림 7에 나타내었다.

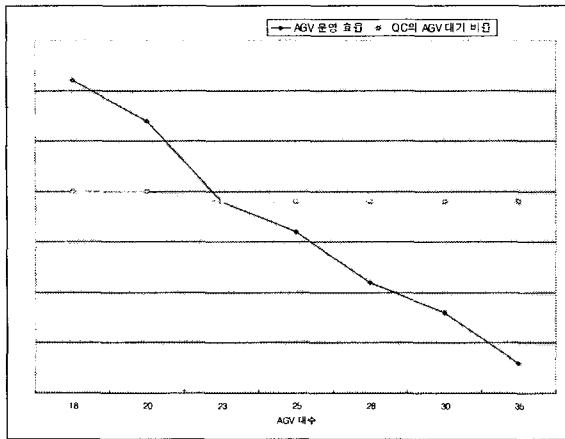


그림 7. ATC 작업시간 138초인 경우
시물레이션 수행 결과

위 실험 결과, AGV의 대수가 증가할수록 AGV의 운영 효율이 낮아짐을 알 수 있다. 반면에, QC의 AGV 대기 비율과 QC의 컨테이너 처리량은 AGV의 대수 증가에 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. 그 결과, ATC의 작업시간이 138초인 경우 AGV의 대수가 증가하더라도 항만의 운영 효율에는 영향이 없고, 전체적으로 AGV의 대기 시간(Idle Time)이 증가하여 AGV의 운영 효율만 낮아짐을 알 수 있었다.

AGV의 대기 시간이 증가하는 원인은 QC에서 컨테이너를 적재하여 장치장에 도착한 AGV가 ATC의 작업을 기다리는 대기시간이 많기 때문이다.

실험에서의 레이아웃은 3개 선석의 경로가 서로 겹쳐 있어서 AGV가 진행시 다른 선석의 AGV와 간섭이 발생할 수 있다. 이러한 간섭으로 인하여 각 선석별 AGV 주행속도와 컨테이너 처리량의 차이가 발생 할 수 있으므로, 선석별 AGV의 평균주행속도와 선석당 컨테이너 처리량의 변화에 대하여 실험을 하였다. AGV의 주행속도는 AGV가 QC로부터 호출을 받아서 장치장에 도착하는 시간까지의 평균주행속도이다.

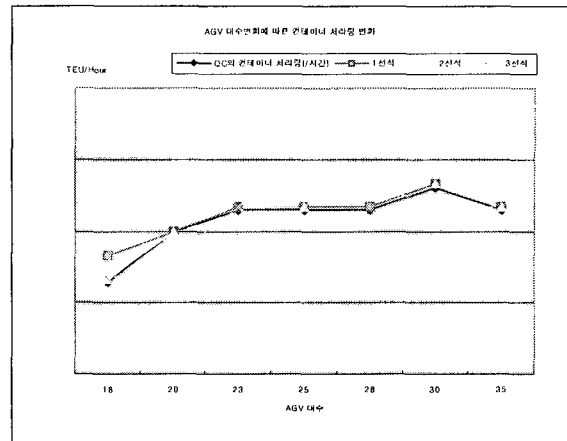


그림 8. AGV 대수변화에 따른 컨테이너
처리량 변화

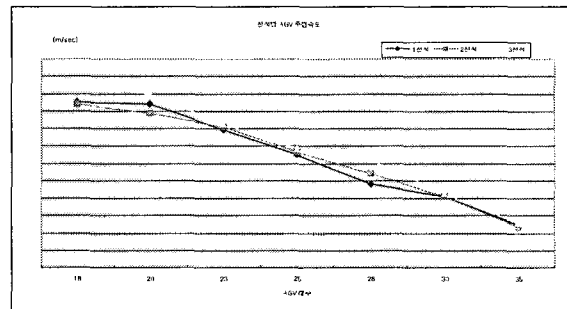


그림 9. 선석별 AGV 주행속도

위 실험 결과를 보면 각 선석간 AGV의 평균 주행 속도 및 QC의 컨테이너 처리량이 유사함을 알 수 있다. 이는 각 선석의 이동경로 간섭이 선석간 운영 효율의 차이에 크게 영향을 미치지 않음을 알 수 있다.

자동화 터미널의 선석에서 각 QC에 대한 이상적인 컨테이너 처리량이 60TEU/시간 일 때 ATC의 작업시간이 138초 인 경우에는 레이아웃 수정 또는 AGV 운영 방법 변경 없이는 목표를 달성 할 수 없는 것으로 나타났다.

위와 같이 ATC 작업시간이 전체 컨테이너 터미널의 물량 처리에 많은 영향을 미치는 것으로 판단되어 ATC의 이상적인 작업시간을 추정하기 위해 작업시간이 69초인 경우에 대해서 실험을 하였다. 먼저, AGV의 대수 변화에 따른 AGV의 운영 효율과 QC의 AGV 대기 비율 변화에 대한 실험을 수행하였다. 실험 결과는 그림 10과 같다.

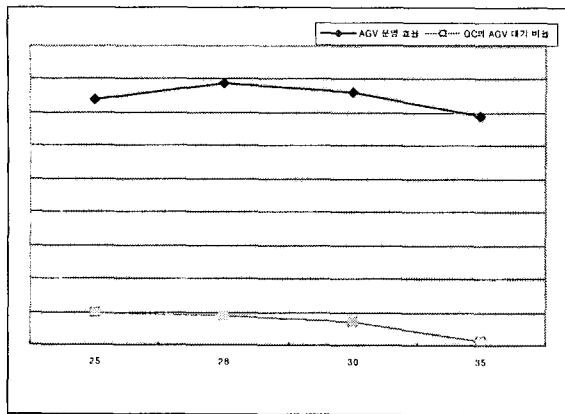


그림 10. 시뮬레이션 수행 결과

위 실험 결과, AGV의 대수가 증가할수록 QC의 AGV 대기 비율이 낮아짐을 알 수 있었다. AGV 대수가 35대인 경우에는 QC의 AGV 대기 비율이 1.3%로 대기가 거의 발생하지 않음을 알 수 있었다. QC의 대기가 발생하지 않는다는 것은 선석에서의 운영효율이 최적임을 의미한다. 선석별 AGV의 주행속도와 선석당 컨테이너 처리량의 변화에 대하여 실험을 하였다.

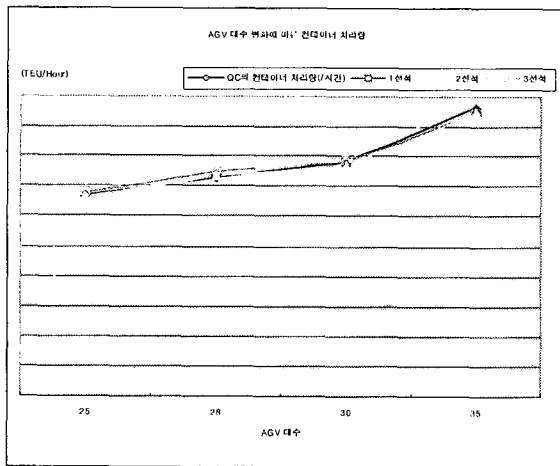


그림 11. AGV 대수 변화에 따른 컨테이너 처리량

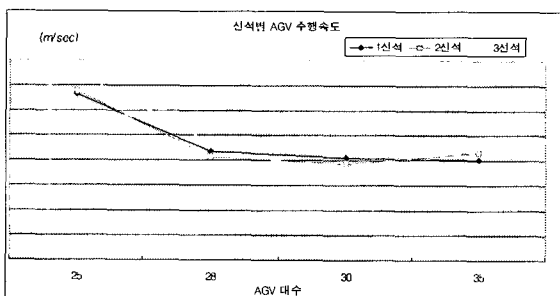


그림 12. 선석별 AGV 주행속도

위 실험결과, AGV대수가 증가함에 따라서 컨테이너 처리량이 증가함을 알 수 있었다. 선석간 AGV 주행속도 차이는 선석간에 중첩된 부분으로 인해 AGV의 진행에 간섭이 발생하여 같은 규칙을 적용하여도 선석간 AGV의 주행 흐름이 다르기 때문이다. 시뮬레이션 수행중 임의 구간에서의 AGV 속도 변화의 예를 그림 13에 나타내었다.

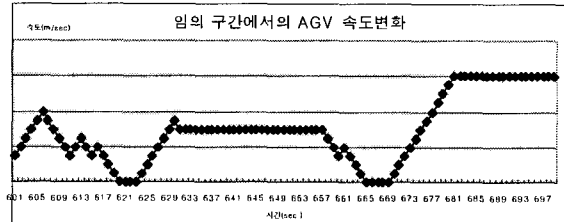


그림 13. 임의 구간에서의 AGV 속도 변화

위 AGV 속도 변화를 보면 최고 주행속도로 가속하다 605초 지점에서 다른 AGV와 충돌이 예상되어 감속을 실행한다. 610초 ~ 620초 사이의 속도변화는 AGV의 가감속에 따른 충돌 탐색 범위의 변화에 따라서 가속, 감속을 하다 정지하는 AGV의 속도 변화이다. 이후 곡선구간 진입을 위해 속도를 3m/s로 유지하고 회전 구간을 벗어난 후 충돌 예상으로 감속하여 정지하였다가 직선구간에서 가속하여 최고 속도를 유지하면서 진행한다.

ATC 작업시간 69초/TEU와 138초/TEU에 대하여 AGV의 대수를 변화하면서 시간당 QC의 컨테이너 처리량을 비교하였다. 각 경우에 대한 비교 결과는 아래 표와 같다.

표 1. ATC 작업시간에 따른 AGV 대수별 컨테이너 처리량 비교

AGV 대수(대)		25	28	30	35
ATC	69초/TEU	47	54.6	55.6	59.3
작업시간	138초/TEU	30.3	30.3	30.6	30.3

4. 결론

본 연구에서 개발한 시뮬레이터를 이용하여 3선석 규모의 항만에 대한 시뮬레이션을 수행하였으며 그 결과로 자동화터미널의 컨테이너 처리 요구 조건에 맞는 ATC 작업시간과 AGV 대수를 얻을 수 있었다. 본 연구에서 개발한 시뮬레이터는 AGV의 가감속을 고려하였고, 구간 선점 알고리즘을 개발하여 AGV의 충돌을 방지 할 수 있었다[2]. 또한, 실제 AGV의 곡선 구간 가감속과 시작점, 목표지점에서의 가감속을 시뮬레이션에서 구현함으로써

써 보다 현실적인 실험을 수행하였다. 향후에는 장치장과 게이트에서의 컨테이너 이송과 환적, 수출, 수입 컨테이너에 대한 데이터를 확보하여 항만 전체의 운영 효율을 평가 할 수 있는 시뮬레이터로 확대 개발해야 할 것이다.

5. Reference

- [1] 김갑환, 류광렬, 박영만, 강진수, 이용환, "Meta-heuristic 기법을 이용한 2단계 컨테이너 적하계획 알고리즘", 대한산업공학회/한국공업경영학회 공동학술대회, pp.9-12, 2000
- [2] 민상규, 정귀훈, 하승진, 김형식, "가감속을 고려한 Multiple AGV 시스템의 Traffic Control에 대한 연구", 한국경영과학회/대한산업공학회 춘계공동학술대회, pp.125, 2001
- [3] 윤원영, 최용석, 이명길, 송진영, "객체지향 기법을 이용한 컨테이너 터미널 시뮬레이터 개발", 대한산업공학회/한국공업경영학회 공동학술대회, pp.1074-1077, 1999
- [4] 첨단항만핵심기술개발사업단, "항만시뮬레이션 및 자동화 컨테이너터미널 설계 기술개발", 첨단항만핵심기술개발 상반기 진도보고서 3·4과제, 2000
- [5] 최형립, 김현수, 박남규, 박영재, 김성훈, 이현철, "수출입컨테이너화물 통합데이터베이스 구축", CIIPMS, 2000