

시뮬레이션기법을 이용한 자동화 컨테이너터미널의 운용전략에 관한 연구

장성용, 용운중(서울산업대학교 산업정보시스템공학과)

(A Study on the Operational Strategies of the Automated Container Terminals Using Simulation Techniques)

Jang, Seong-Yong Yong, Woon-Jung(Dept. of Industrial & Information Systems Engineering, Seoul National University of Technology)

Abstract

This paper presents the operational planning systems of automated container terminals. The proposed system is composed of berth allocation module, yard planning module, resource allocation module, sequencing module, and simulation module. All the sub-modules except resource allocation module are built into integrated simulation model using simulation package AutoMod.

Simulation experiments are performed according to the the number of AGVs and AGV allocation policies.

1. 서론

우리나라 항만은 수출입화물의 99.7%를 처리하는 우리 경제의 핵심기반시설이다. 따라서 「국민의 정부」는 우리 항만이 가지고 있는 입지여건을 활용하여 부산·광양항을 상해이북의 중국, 일본 서안, 극동 러시아와 대륙횡단철도(Trans Siberia Railway, Trans China Railway, Trans Korea Railway)를 연결하는 컨테이너 환적중심항으로 집중 육성할 계획이다. 또한 컨테이너터미널의 생산성을 극대화하고 운영의 합리화를 기하기 위하여 자동화된 컨테이너터미널에 대한 개발을 추진하고

있다.

자동화 컨테이너터미널은 터미널의 효율적이고 생산성이 높은 터미널을 설계하기 위해서는 터미널 선측장비, 이동장비, 야드장비 등의 자동화된 기계 및 메카트로닉스 등의 요소 기술면 뿐 아니라 이러한 요소기술 들을 활용한 자동제어 및 관리시스템 기술에 대한 연구개발도 대단히 중요하다.

이러한 자동화 컨테이너터미널의 설계안을 제안하고 제안된 설계안을 평가하기 위한 시뮬레이터의 개발은 대단히 중요하다 이 시뮬레이터는 설계 단계 뿐 아니라 실제 운영단계에서 최상의 성능을 발휘할 수 있도록 터미널의 각 장비 구성 뿐 아니라 각 단계에서의 다양한 운영조건에 따른 성능 평가가 필수적이라 판단된다.

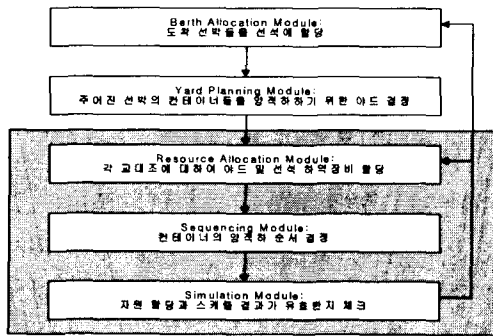
본 연구는 컨테이너터미널내의 각 구성요소를 포괄하는 표준적인 터미널 구성안을 평가하기 위한 시뮬레이터에서 전체적인 터미널의 생산성을 극대화하기 위한 다양한 선석 및 선박 배정 방식, 선측 및 육측 크레인 배정 방식, 이동장비(AGV) 배정방식, 야드 저장위치 결정 로직을 개발하고 주어진 여건 하에서 항만 생산성 등의 성능을 평가하는 기법에 대하여 연구 개발한다.

2. 자동화컨테이너터미널 구성 및 운영시스템 개요

2.1 컨테이너터미널 운영시스템

일반적인 컨테이너터미널의 운영 시스템은 선석 계획, 야드 계획, 자원 할당 계획 및 컨테이너 양

· 적하 계획으로 구성된다. 자동화 컨테이너터미널의 각 구성 요소를 포괄하는 터미널 구성 및 운영안을 평가하기 위해서는 다양한 선석 및 선박 배정 방식, 야드 저장 위치 결정 방식, 선측 및 육측 크레인 배정 방식 및 이동 장비(AGV) 배정 방식을 평가할 수 있어야 한다. [그림 1]은 자동화 컨테이너 터미널의 구성 및 운영안을 평가하기 위한 전체적인 시스템 구성을 보여주고 있다.



[그림 1] 터미널 운영 시스템 구성도

- 선석할당모듈은 도착 선박들을 선석에 할당하는 다양한 방식들을 설정하는 모듈이다. 터미널에서 할당하는 일반적인 규칙들을 적용할 수도 있고 최적화 전략을 설정할 수도 있다.
- 야드배정모듈은 주어진 선박 계획에 근거하여 컨테이너들을 양·적하하기 위한 야드를 결정
- 자원할당모듈은 각 교대조에 대하여 야드별 소요 야드 장비와 선석별 소요 하역 장비, 야드와 선석간의 이동 장비 대수를 할당한다. 본 모듈은 네트워크 설계 최적화 모형과 결합하여 최적 할당 정책을 제시할 수 있다.
- 하역순서결정모듈은 자원 할당에 근거하여 컨테이너의 양·적하 순서를 결정한다. 각 컨테이너의 특성인 중량, 크기, 컨테이너와 자원과의 거리, 컨테이너의 목적지 및 할당된 야드 자원의 수량 등을 고려하여 컨테이너의 순서를 결정할 수 있다.
- 시물레이션 모듈은 자원 운영 계획과 컨테이너 양·적하 순서 결정 모듈에서 제안된 관리 정책을 평가하기 위한 시험대로서 다양한 자원 할당 정책과 순서 규칙을 평가한다. 또한 관리자에게 what-if 분석을 할 수 있는 기능을 제공한다.

본 연구에서는 자동화 컨테이너터미널을 대상으로 하여 자동화 터미널 운영의 병목이 되는 선측 및 육측 크레인과 이동장비(AGV)의 배정 방식을 최적화하고 그 전략의 성능을 시물레이터를 이용하여 평가하는 방안을 제시한다.

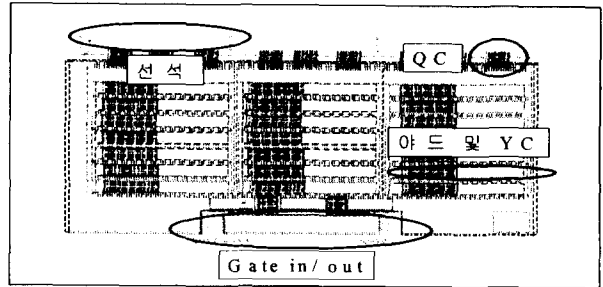
2.2 컨테이너터미널 구성

2.2.1 터미널 Layout 및 장비 구성

본 연구에서 사용한 내용은 1998.12. 한국해양수산개발원(KMI)에서 작성한 “자동화 컨테이너터미널 개발사업 타당성 검토 용역”의 자료를 참조하였으며, 일부내용은 위 모델에 맞게 변형하여 계산하였다.

자동화컨테이너터미널의 설계 전제조건은 다음과 같다.

KMI에서 제시한 자동화 컨테이너터미널의 개략적인 Layout은 [그림 2]과 같다.

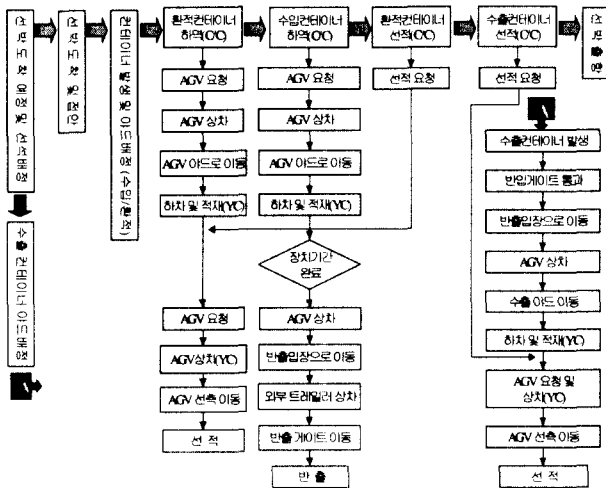


[그림 2] 전체 Layout

- 터미널의 안벽길이 : 1050m (350×3선석)
- 연간 작업시간 : 8,640 시간/년 (360×24 시간)
- 선석은 컨테이너 공용부두로 설계 (기본적인 layout 참고자료 활용)
- 기본 위는 시간 - H, 처리량 - VAN, 거리 - M
- 연간 컨테이너 처리 물동량의 예측 수준은 1,200,000 TEU
- 터미널의 전체 크기는 1050 * 600 M
- 선박의 크기는 5만톤급 기준, 3개의 선석으로 구성
- 컨테이너 크레인은 총 9 대로서 고정배치(영역 배치방식)되어 있음
- AGV path는 단방향으로 설계하였으며, AGV는

수입/수출 공동사용

- AGV는 야드의 모든 영역을 움직인다. 난 반출입 출구는 별도 운영
- 야드 크레인 18 대, 반출입 크레인 2 대 - 총 20 대 운영
- AGV는 72 대(몇가지 구성 대안을 고려함)



[그림 3] 자동화 컨테이너터미널의 개체 흐름도

3. 시물레이션 모형

시물레이션은 현실문제를 반영하는 모형을 만들어 실험을 함으로써 현실문제를 이해하고 여러 가지 대안(alternatives)의 결과를 예측하는 기법으로 다양한 분야에서 응용되어지고 있다. 전용 시물레이션 S/W는 주로 특정분야의 시물레이션을 목적으로 개발되었기에 여러 분야에 두루 사용될 수 있는 범용 시물레이션 S/W 보다는 그 응용범위가 적으나, 문제의 특성을 나타내는 입력자료들을 시물레이터가 요청하는 데로 입력하면 시물레이션이 완료되어 프로그램 및 Model을 개발하는데 소요시간이 단축됨과 동시에 분석 및 결과 도출이 용이한 장점이 있다. 그러므로 생산 시스템 및 물류시스템 전용 시물레이션 S/W인 AutoMod 8.2을 사용하여 개발하였다.

3.1. 개체 흐름 개요

시물레이션에서 사용된 개체들의 흐름을 [그림 3]에 나타내었다.

3.1.1 선박 입항 예정 모듈

선박도착예정 모듈에서는 선박도착예정을 발생시키고, 수출용컨테이너 반입작업을 지시한다. 시물레이션 모델에서 선박의 도착예정 분포값으로 나타내는 방법과 기존의 터미널 자료를 이용하여 계획에 의해 발생하는 방법이 있으며, 본 연구에서는 연간처리 목표량과 해당 평균 컨테이너량으로부터 선박도착 모수값을 산출하였으며 도착분포는 기존연구 결과를 토대로 Erlang 분포를 사용하였다.

- 연간처리 목표량(AnnualTEU): 120만 TEU
- 해당 컨테이너량 분포(Vanpership): Triangular(800, 1000, 1200TEU)
- 모선도착간격(ShipInterval): Erlang(8640 / AnnualTEU / 1000 / 2, 2)

3.1.2 선박입항 모듈

선박입항 사건은 선박입항예정으로부터 그 선박에 선적될 수출컨테이너 반입에 소요되는 시간이 지난 후에 자동으로 발생한다. 본 연구에서는 수출컨테이너는 선박입항 예정 시점부터 선박도착 시점 12시간 이전까지 균일하게 도착하는 것으로 하였다. 따라서 수출 컨테이너가 모두 반입되는데 소요되는 시간은 다음과 같이 계산된다.

$$\bullet \text{ 반입소요시간} = (\text{수출컨테이너 장치기간 평균치} - 12\text{시간}) * 2 + 12$$

3.1.3 선적 할당 모듈

일반적으로 컨테이너 터미널은 선박을 선적에 할당하는 정책으로서 빈 선적에 대하여 무작위방식을 사용하고 있다. 무작위 할당방식을 포함하여 다음 3가지 선적할당방식을 고려할 수 있으며 본 연구에서는 순차적인 할당 규칙으로 하였다.

- 무작위로 선박을 선적에 할당
- 누적처리 선박수가 최소인 선적에 선박을 할당
- 대기 선박이 적은 선적에 선박을 할당
- 순환 배정 방식

3.1.4 양·적하 작업 모듈

선석에서 양·적하 작업은 QC에 의해 이루어진다. 현재의 모델에는 하나의 선석에는 일정한 대수의 QC가 있는 것으로 가정하였으나, 향후 자원할당 문제와 연계시킬 경우에는 자원할당 문제에서 나온 결과에 따라 선석별 QC 대수가 일정 시간 단위(Shift)로 유동적으로 배치되는 것으로 업그레이드될 예정이다. QC에 의해 양하적 작업에 소요되는 시간은 상수값으로 하였으며, AGV가 미처 도착하지 못함으로 인하여 대기시간이 발생할 수 있다.

3.1.5 AGV 이동작업 모듈

자동화 컨테이너 터미널의 경우 선석과 야드 사이에는 일반적으로 AGV가 컨테이너를 운반하는 수단으로 사용되고 있으며, AGV의 대수와 경로(Path) 네트워크, 그리고 Layout에 따라 모델 상의 여러 가지 변수가 존재한다. 선석작업을 우선순위가 높은 것으로 하며 경로규칙은 최단경로로 한다. 선석과 야드사이에서 이동을 담당하는 AGV와 야드와 반출입 작업장 사이의 이동을 담당하는 AGV는 별도로 구분되어 사용되는 것으로 가정하였다. 현재 설계되어 있는 선석 크레인은 시간당 약 22개의 컨테이너를 처리하며, 야드 크레인의 경우는 시간당 약 20개의 컨테이너 처리량을 가지고 있다.

3.1.6 야드 배정 모듈

야드 배정방식은 선박당 처리되는 컨테이너가 야드에 적재될 때 결정해야할 내용으로서 본 연구에서는 정해진 야드에 적재한다는 가정을 적용하였다. 컨테이너는 야드 적재상황과 선석과 야드간의 평로 이동거리를 이용하여 우선순위 규칙을 적용한다. 컨테이너의 선박당 배정될 적재 야드 개수는 PECT의 결과 분석을 토대로 하여 수출·입별로 결정한다. 구체적인 야드배정방식은 선박당 배정 야드 수를 결정하고 나서 야드 위치를 결정한 후 야드별로 할당할 컨테이너 수를 결정하는 3단계로 이루어진다.

- 단계1:야드 수 결정규칙

1) 수입, 수출, 환적별로 할당 가능한 모든

야드에 배정하는 방식

2) 컨테이너 개수 비례로 적재 야드 개수를 배정

- 단계 2: 야드 위치 결정 규칙

1) 선석과의 최단 거리 우선

2) 무작위 결정

- 단계 3: 야드별 컨테이너 수량 결정

1) 균등하게 할당

2) 현재 여유장치능력 비례하여 할당

3) 여유장치능력의 내림차순으로 야드의

여유장치능력 범위 내에서 모두 할당

3.1.7 야드 하역작업 모듈

야드의 하역작업은 컨테이너가 AGV에 의해 도착되며 야드크레인에 의해 하차되어 적재된다. 또는 반출요청이 있으면 야드크레인에 의해 반출되어 AGV에 상차된다. 반출입 및 상하차 시간을 위치 단적수에 관계없이 일정한 것으로 가정하였다. 야드의 하역작업에는 선박에서 발생한 컨테이너의 자료에 의해 이루어진다. 수입과 수출 그리고 환적에 대한 컨테이너 발생은 분포값으로 처리할 수 있으며, 수입의 경우에는 선박의 접안 시점에서 발생한다. 또한 수입 컨테이너는 순수한 내륙반출 컨테이너와 환적 컨테이너로 나뉘어진다. 수출의 경우는 선박의 도착 반입소요기간(약7일)전부터 야드로 쌓이기 시작하여 선박의 도착이후 적하되어진다.

3.1.8 하역작업 순서결정 모듈(Sequencing module)

수출용야드에 적재된 컨테이너는 모선에 선적작업을 하기 위한 순서를 결정하여야 한다. 하역작업은 우선 순위 규칙에 의해 결정된다. 우선순위 규칙은 원래 야드에서의 재작업이 최소화 되도록 결정되어야 하나 본 연구에서는 컨테이너 목적지항(거리), 무게 등을 고려하여 결정한다.

3.1.9 반출입 작업장 이적 작업

반출입 작업장은 일반 야드 적재 작업이 무인자동으로 이루어질 뿐만 아니라 야드 주위에 다수

의 무인 AGV가 이동함으로써 외부 컨테이너 트레일러가 야드에 들어갈 경우에 안전문제가 발생할 가능성이 높고 또한 터미널의 성능이 낮아질 가능성이 높아져 Gate 인접지역에 반출입 작업을 수행할 수 있는 일종의 버퍼 역할을 수행하는 곳이다. 반출입 작업장은 일반 야드와 마찬가지로 무인 자동 혹은 반자동의 야드 크레인에 의해 작업이 이루어진다. 반출입 작업장은 외부 트레일러에 실려 게이트를 통과하여 반입된 수입컨테이너를 AGV로 이적해주거나 반대로 AGV에 실려 야드로부터 이동해온 반출 컨테이너를 외부 트레일러에 이적해주는 작업을 수행한다.

반출입 작업장의 야드 크레인에 의한 이적 작업은 외부 트레일러의 구조가 다양하고 정확한 위치 정지작업이 어렵고, 특히 20피트의 컨테이너의 경우 외부 트레일러상의 상차 위치가 다양하여 완전 무인화 작업이 어려울 것으로 예상되어 반자동의 작업이 될 가능성이 높다. 어떤 경우이든지 반출입 작업장의 이적 작업의 일반 야드 작업에 비해 단위 컨테이너 당 하역작업시간이 길 것으로 판단된다.

3.1.10 게이트 작업

게이트는 터미널 외부로부터 컨테이너가 유입되고 내부에서 적재되어 있던 컨테이너가 외부 지역으로 유출되면서 여러 가지 정보처리가 이루어지는 터미널의 관문이다. 게이트는 반입 게이트와 반출 게이트를 분리하여 설치되는 것으로 하였다.

3.2. 시뮬레이션 실행 결과분석 사례

3.2.1 운영 대안 설정

컨테이너 터미널 운영에서 다양한 운영 정책을 활용함으로써 터미널의 생산성을 높일 수가 있다. 사용 가능한 운영 정책들로는 선박의 선석 배정 정책, 컨테이너 야드 배정 방식, 크레인 등의 자원 할당 방식, 스케줄링 방식, AGV 요청 방식, 야드 레이아웃 방식 등을 들 수 있다.

앞에서 구축된 컨테이너 터미널 시뮬레이터를 활용하여 각종 운영 정책들을 바꿔 가면서 전체적

인 컨테이너 터미널의 성능을 비교 평가함으로써 최선의 운영 정책을 결정하는 것이 가능하다. 또한 각종 설비나 장비들의 대수를 증가시켜 가면서 컨테이너 터미널의 성능을 비교 평가함으로써 최적의 장비 및 설비 조합을 구성하는 것이 가능하다.

본 연구에서는 그 중에서 2가지 AGV의 할당방법, 선석에 있는 AGV를 선석별로 고정 배치하는 대안과 <표 1>와 같은 5가지 대안으로 한 10가지 운영대안에 대하여 컨테이너 터미널의 성능을 비교 평가하기로 한다.

<표 1> 운영대안 구성과 대안별 처리선박수

대안	선석별 AGV 배정 방식	선박처리량	대안	선석 공동 AGV 배정 방식	선박처리량
1	AGV 96대	278	6	AGV 96대	273
2	AGV 90대	278	7	AGV 90대	273
3	AGV 84대	278	8	AGV 84대	272
4	AGV 78대	276	9	AGV 78대	273
5	AGV 72대	84	10	AGV 72대	265

컨테이너 터미널의 성능 평가 척도로는 다음의 3가지를 기준으로 하였다.

- 1년 동안의 처리 선박척수
- AGV 활용율 (4가지 파라미터값)
- 선박의 평균 터미널 체류시간

3.2.2 결과 분석

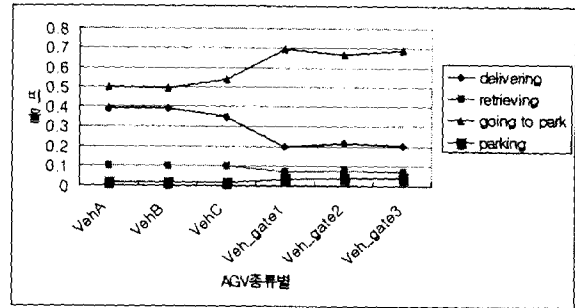
다음의 표는 각각의 대안들의 결과값을 나타내고 있다. 표에서와 같이 AGV는 6종류로 나누었으며 6곳의 Parking 하는 곳을 두었다. VehA, VehB, VehC 는 각각의 선석에 위치하는 AGV 종류이며, Veh_gate1, Veh_gate2, Veh_gate3은 출입 게이트에 위치하는 AGV 종류이다.

<표 1>은 대안별 처리선박수를 보여주고 있다. 이 결과 값에서는 AGV를 선석에 고정 할당하는 것보다 모든 선석에서 작업하는 대안이 보다 나은 결과값을 보여주고 있다. 하지만 AGV대수가 작아지면 대안5에서와 같은 결과를 보인다. 원인은 모든

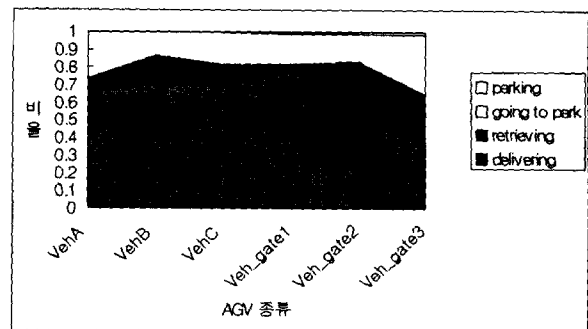
AGV가 작업대기 상태에 놓이게 되는 것이다. 더 이상 AGV Call을 할 수 없는 상태가 되는 것이다. 즉 적은 AGV를 가지고 운영 할 경우에는 AGV를 선석에 고정 할당하는 대안이 효과적이라 할 수 있다.

다음의 <그림4>, <그림5>, <그림6>은 주요 대안별 AGV에 대한 운행결과 성능 척도값을 나타낸 것이다. AGV의 4가지 운행 평가 항목은 로드 즉 컨테이너를 싣은 AGV가 목적지까지 이동하는데 소요되는 시간(delivering)이며, AGV가 Parking 장소에서 로드를 싣기 위해 이동하는데 소요되는 시간(retrieving), 작업을 끝낸 AGV가 Parking 장소로 이동하는데 소요되는 시간(going to park) 그리고 작업을 하기 위해 대기하는 시간(Parking)이다.

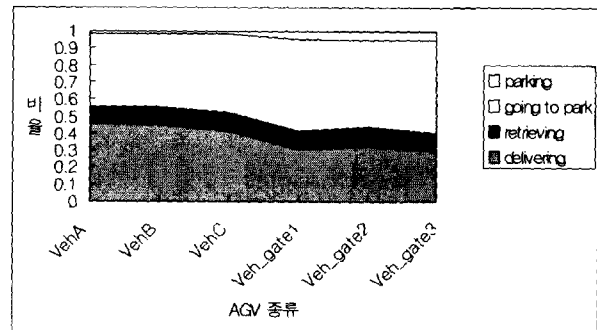
대안별로 AGV대수가 증가하면 나은 결과 값을 볼 수 있다. 또한 AGV 대수를 72대 이하로 줄이면 AGV를 공동으로 운영하는 대안 5를 제외한 다른 대안에서의 AGV 운행결과는 [그림 4]에서와 같은 패턴을 가지는 것을 볼 수 있다. 이 패턴은 AGV의 Parking 장소에 따라 달라질 수 있다. 즉 AGV의 Parking 장소가 어디에 있느냐가 운행에 많은 영향을 주는 것이다. 작업하는 영역이 가까운 곳에 있다면 운행 효율은 올라갈 것이고, 반대로 작업 영역이 분산되었거나 먼 곳에 위치하고 있다면 작업을 하기 위해 소요되는 시간이 많다. 또한 AGV의 운행중 회전이 많거나 회전영역의 크기가 작으므로 운행의 효율이 떨어지는 것을 초기의 모델에서 발견 할 수 있었다. 대안 5는 기존의 AGV 운행결과와는 많은 차이를 보이고 있는데 보는 바와 같이 모든 AGV가 Deliveing 상태에 있는 것이다. 또한 Retrieving의 패턴도 기존의 것과는 다른 양상을 보이고 있다. 이것은 선행 작업이 끝나지 못하고 있기 때문에 다음 작업이 대기 장소에서 많은 시간을 대기하고 있는 것이다. 이것의 원인은 크레인이 야드에 있는 로드를 들어 AGV에 옮겨 주어야하는데 작업을 할 AGV가 없기 때문에 발생하는 것이다.



[그림 4] AGV 종류별 운행 상태 (대안1)



[그림 5] 대안 5에서의 AGV 운행상태 정보



[그림 6] 대안 10에서의 AGV 운행상태 정보

4. 결론 및 추후 연구

본 연구에서는 자동화 컨테이너 터미널의 각 구성 요소를 포괄하는 표준적인 터미널 구성안을 평가하거나 운영전략을 평가하기 위한 시뮬레이션 모형을 AutoMod라는 시뮬레이션 패키지를 이용하여 개발하였다.

대상 자동화터미널은 5만 톤급 선박 3대를 동시에 처리할 수 있는 선석과 9대의 선석 크레인, 18대의 야드 크레인, 2대의 반출입장 크레인, 야드와 선석간 또는 야드와 반출입장 간 모델간의 72~96

대의 AGV로 구성되어 있다. 본 연구에서는 주어진 터미널 환경하에서 AGV의 배정 정책으로서 선석별로 야드와 AGV를 균등하게 배정하는 전략과 모든 선석과 야드에 공동으로 배분하는 전략의 2가지와 AGV 대수를 72, 78, 84, 90, 96대의 5가지 경우를 혼합시켜 터미널의 운용 성능을 평가하였다. 평가 척도로는 1년간의 처리선박수, 컨테이너 처리량, 터미널을 운행하는 AGV의 운행 효율, 평균 터미널 체류시간을 사용하였다.

시물레이션 결과 AGV대수가 78대 이하가 되는 경우 선석별로 야드와 AGV를 균등하게 배정하는 전략이 우수하였으며, AGV대수가 78대 이상일 경우에는 모든 선석과 야드에 AGV를 공동으로 배분하는 전략이 처리 선박수, 컨테이너 처리량, 터미널 체류시간이 근소하나마 우위를 차지하였다. 또한 AGV운행에 있어 AGV를 공동하게 배분하는 전략은 AGV 대수를 증가하므로 인한 처리시간이 최고 70.36%로 현저히 좋아지는 반면 선석별로 균등하게 분배하는 전략은 처리시간이 최고 15.36%로 상대적으로 미비하게 향상되었다.

참고 문헌

- [1] Bontempi G., Gambardella L.M. and Rizzoli A.E., Simulation and Optimization for Management of Intermodal Terminals, 1998.
- [2] Crainic T.G., Service Network Design in Freight Transportation, European Journal of Operational Research, 122, pp. 272-288, 2000.
- [3] Gambardella, L.M., Rizzoli A.E. and Zaffalon M., Simulation and Planning of an Intermodal Container Terminal, SIMULATION, Vol. 71, No. 2, pp. 107-116, 1998.
- [4] Hassan, S.A., Port Activity Simulation: An Overview, Simulation Digest, Vol. 23, No. 2, pp. 17-36, 1993.
- [5] Hayuth, Y., Pollatschek, M.A. and Roll, Y., Building a Port Simulator, SIMULATION, Vol. 63, No. 3, pp. 179-189, 1994.
- [6] Merkurjev Y., Tlujew J., Blumel E., Novitsky L., Ginters E., Viktorova E., Merkurjeva G. and Pronins J., A Modeling and Simulation Methodology for Managing the Riga Harbour Container Terminal, SIMULATION, Vol. 71, No. 2, pp. 84-95, 1998.
- [7] Mosca, R., Giribone, P. and Bruzzone, A., Management Problems of a System of Flat-cars for Handling Containers, Proceedings of the 1993 European Simulation Symposium, 1993.
- [8] Mosca, R., Giribone, P. and Bruzzone, A., Simulation and Automatic Parking in a Training System for Container Terminal Yard Management, Proceedings of ITEC, the Hague, April 26-28, 1994.
- [9] Tolujev, J., Merkurjev, Y., Blumel, E. and Kikitins, M., Port Terminal Simulations: State of the Art-A Survey, ANCAI, 1996.