한국경영과학회/대한산업공학회 2003 춘계공동학술대회
2003년 5월 16일-17일 한동대학교(포항)

# 자동화 컨테이너터미널의 이송장비 시뮬레이션 모델
# Simulation Model for Transport Vehicle on Automated Container Terminal

양창호, 최용석, 하태영
한국해양수산개발원 해운물류항만연구센터

**Abstract**

The objective of this study is to develop the simulation model of transport vehicle to analyze the required number of transport vehicle and to design the traffic pattern at automated container terminal. To model the transport vehicle, we defined the vehicle model and the traffic model using the state transition model of transport vehicle. An application of a simulation to simulate an automated container terminal with perpendicular layout is developed and described.

From the results of simulation experiment, we obtained the vehicle speed and the number of vehicle under given productivity of container cranes, and analyzed the saving effect by cycle time.

## 1. 서론

자동화된 컨테이너 처리시스템의 시대가 도래함에 따라 로테르담의 ECT(Europe Combined Terminal), 템즈포트(Thamesports), 함부르크의 CTA(Container Terminal Altenwerder), 싱가포르의 PPT(Pasir Panjang Terminal)와 같은 세계적인 항만에서 자동화된 컨테이너 처리시스템에 대한 관심과 이에 적용하기 위한 시도가 이루어지고 있다. 선박의 대형화, 고임금, 숙련된 인력의 부족, 시설물의 고효율화 등에 따른 작업시간의 증가 등의 문제를 해결하기 위해서 현대화된 시설물과 자동화 컨테이너터미널에 대한 관심이 세계적으로 높아지고 있다. 선진 항만 중의 하나인 ECT의 경우 15년 전부터 자동화터미널에 대한 개념을 수립하고 현재는 2세대 자동화 컨테이너터미널을 운영중에 있으며, 1997년부터 3세대 자동화터미널을 위한 기술들을 테스트하고 있다.

자동화 컨테이너터미널은 사용될 시스템이나 기술들에 대한 설계와 테스트단계에서 시뮬레이션 모델을 검증의 수단으로 많이 이용하고 있다.

국외의 경우 독일의 ISL(Institute of Shipping and Logistics)의 SCUSY, 미국의 컨설팅사인 JWD사의 General Marine Terminal Simulation Model, 대표적 자동화터미널인 네덜란드 ECT의 Container Terminal Simulation 등 선진 컨테이너터미널에서는 시뮬레이터 개발을 통한 적용이 터미널 주체별로 이루어지고 있으나 운영 방식이나 시스템이 국내와 달라 국내에 적용하기는 어려운 실정이어서 자체적인 개발이 필요하며, 국내에 활용 가능한 범용성 있는 시뮬레이터를 개발하여 기존의 터미널의 분석 및 개선에도 활용할 수 있을 것이다.

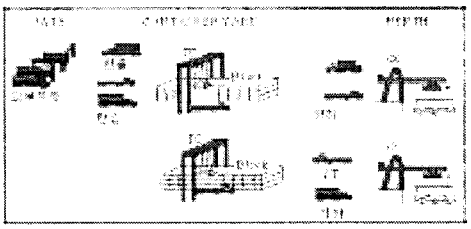
최근에는 국내에서도 자동화 컨테이너터미널에 대한 다양한 시뮬레이션 연구가 수행되고 있으며, 장성용과 용운중(1998)은 자동화 컨테이너터미널의 구성과 운영방식을 소개하고 가상 터미널에 대한 시뮬레이션 모형을 제시하였고 또한 자동화 컨테이너터미널 시뮬레이터의 구상안을 제시하였다. 배종욱 외(2000)는 수평배치의 장치장을 가지는 자동화 컨테이너터미널에서 버퍼 장치장의 장비 규모를 결정하기 위한 시뮬레이션 연구를 하였으며, 실험방법으로 반응표면방법론을 적용하였다. 김갑환 외(2001)의 자동화 컨테이너터미널의 레이아웃 평가방안에 대한 연구, 왕승진 외(2001)의 자동화 컨테이너터미널의 운용전략에 대한 연구, 장성용과 용운중(2001)의 자동화 컨테이너터미널의 안벽능력 분석을 위한 시뮬레이션 연구, 김갑환 외(2002)의 자동화 컨테이너터미널의 장치장 운영 시뮬레이션 연구 등 자동화 컨테이너터미널의 시뮬레이션 모델을 개발하기 위한 연구가 지속적으로 진행되고 있다. 기존의 연구들에서 안벽과 장치장 등의 시설물의 능력 분석과 터미널 전체의 설계에 주안점을 두고 시뮬레이션 연구가 이루어져 왔으며, 컨테이너터미널의 생산성에 영향을 미치는 안벽과 안벽의 이송장비의 설계 및 성능향상을 위한 평가도구에 대한 연구는 미흡한 실정이다.

본 연구에서는 안벽과 장치장간의 이송장비의 설계를 위한 시뮬레이션 모델을 개발하며, 이송장비의 소요대수 및 설계를 분석할 수 있는 평가척도를 제시하고자 한다. 또한, 본 연구에서 제시하는 시뮬레이션 모델은 다양한 종류의 이송장비에 대한 개념적인 설계와 새로운 컨테이너터미널의 건설 시에 대안 평가를 위하여 사용될 수 있으며, 개발된

시스템을 이용하면 사전에 설계된 이송장비의 성능을 점검해 볼 수 있어 시행착오로 인한 비용을 크게 절감할 수 있다. 또한 개발된 기술은 기존의 터미널의 운영 분석에도 적용이 가능하다. 이를 위하여 시뮬레이션 모델 구축시 또는 실험 시에 컨테이너터미널의 장비제원의 선택과 운영 정책 반영을 돕기 위해 가능한 다양한 입력 항목을 사용자에게 제공할 수 있도록 사용자 입력화면을 설계하였다.

## 2. 대상 시스템 분석

본 연구에서 대상으로 하는 컨테이너터미널 시스템은 아래 [그림 1]과 같이 시설물은 게이트(gate), 장치장(container yard), 선석(berth) 등이며, 장비는 장치장에 자동화 트랜스퍼크레인(T/C: Transfer Crane), 선석에 자동화 컨테이너크레인(C/C: Container Crane), 장치장과 선석간을 이동하는 이송장비, 그리고 외부트럭으로 하였다. 본 연구에서 정의한 이송장비는 장비제원의 설정에 따라 AGV(Automated Guided Vehicle), SC(Shuttle Carrier), Y/T(Yard Tractor) 등의 장비로 사용될 수 있다. 본 연구에서는 다양한 이송장비에 대해 적용가능한 시뮬레이션 모델을 소개하지만 특히 이송장비를 자동화 컨테이너터미널에 적용되는 AGV를 위주로 소개하고자 한다.



[그림 1] 컨테이너터미널 시스템

시뮬레이션 모형의 개발은 설계 및 모델링 단계에서 장비위주의 개체설계를 하며, 시뮬레이션 모형에서 적용되는 컨테이너터미널의 작업 유형은 다음과 같이 반입, 반출, 양하, 적하로 구분하여 처리로직을 구성한다.

1) 반입 작업
수출물량에 대한 본선적하계획(stowage plan)에서 반입차량의 시간 정보를 참조하여 반입시간(receiving time)을 결정하고, 결정된 반입시간에 컨테이너와 차량을 생성하며, 컨테이너를 실은 외부차량이 수출컨테이너를 싣고 터미널에 들어와서, 수출 장치장에 도착하면, T/C가 차량에 실린 컨테이너를 집어서 장치장에 내려놓고, 외부 차량은 터미널을 빠져나간다.

2) 반출 작업
수입장치장계획(import yard plan)에서 컨테이너의 반출시간(delivery time)을 읽어서 반출차량의 반입시간(receiving time)을 결정하고, 결정된 반입시간에 빈 외부 차량이 터미널에 들어와서, 수입 장치장에 도착하면, T/C가 장치되어 있는 수입 컨테이너를 집어서 차량에 실으면, 외부차량은 터미널을 빠져나간다.

3) 양하 작업
본선양하계획에서 작성된 C/C의 작업목록(C/C sequence list)에 따라 선박에 실린 수입 컨테이너를 C/C가 집어서, 이송장비에 옮겨 실은 후, 이송장비가 수입 장치장으로 이동하여 장치장에 도착하면 T/C가 컨테이너를 집어서 장치장에 내려놓으면, 이송장비는 해당 선석의 할당된 C/C의 대기 장소로 돌아간다.

4) 적하 작업
수출 장치장에 장치되어 있는 컨테이너의 장치정보(yard status table)를 참조하여 수출 컨테이너를 T/C가 집어서 빈 이송장비에 실은 후, 이송장비는 해당 선석의 할당된 C/C의 대기장소로 이동한 후 C/C가 컨테이너를 집어서 선박에 실으며, 이송장비는 다시 장치장으로 이동한다.

위에서 분류된 네가지 작업유형에서 장비에 대한 상태 변화인 이동, 작업, 대기 등을 상태전이모델로 표현하면 장비의 작업 상태를 모두 반영할 수 있으며, 게이트, 장치장, 선석에 대해서는 점유상태(occupied state)와 비점유상태(unoccupied state)의 두가지 상태로 정의하여 작업의 유무에 따라 시설물의 이용상태를 파악할 수 있다.

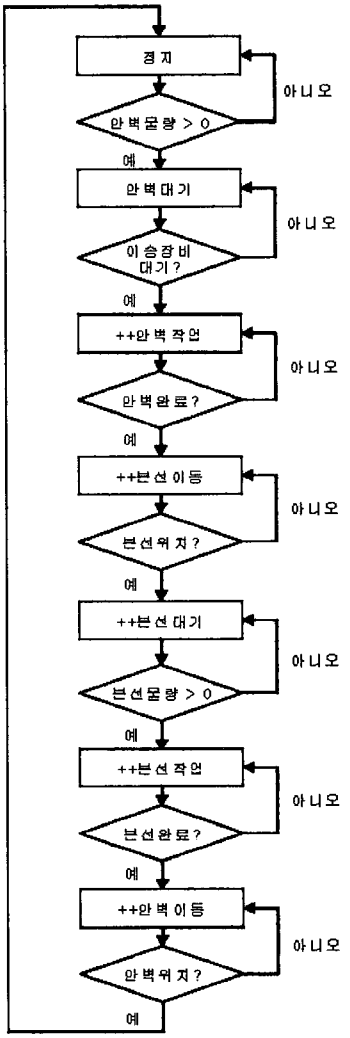
## 3. 시뮬레이션 모델 설계

컨테이너터미널의 이송장비에 대한 시뮬레이션 모델을 설계하기 위해서는 이송장비와 연계작업을 수행하는 C/C 및 T/C 장비가 함께 고려되어야 한다. 이들 각각은 서로 독립적으로 운영되기 보다는 상호연계된 형태로 작업을 수행하기 때문에 이송장비 시뮬레이션 모델 설계시 이들 관계성을 충분히 반영하여야 할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 이송장비에 대한 분석을 위해 C/C, T/C 및 이송장비를 위주로 설계하였으며, 추가적으로 이송장비의 대기공간, 주행레인 등의 설계가 반영되었다. 본 연구에서 개발한 시뮬레이션 모델에서 사용되는 각 개체에 대한 설계내용은 다음과 같다.

3.1 C/C
선석에 접안한 선박에 대하여 컨테이너를 싣고 내리는 작업을 수행하는 장비로 모델에 적용된 개체의 속성과 상태는 다음과 같다.
1) 개체속성
- id: C/C의 고유번호
- trolley: C/C의 trolley 위치
- state: C/C의 trolley 상태(정지/이동/작업/대기)
- mn: C/C의 trolley 최소이동거리(본선방향값)
- mx: C/C의 trolley 최대이동거리(안벽방향값)
- productivity: C/C의 생산성(lifts/hour)
- dis: C/C에 배정된 양하물량
- load: C/C에 배정된 적하물량
- w_spd: C/C의 작업속도(sec)
2) 개체상태
- 정지: 배정된 작업이 없을 때
- 본선이동: trolley가 본선방향으로 이동할 때
- 안벽이동: trolley가 안벽방향으로 이동할 때
- 본선작업: 본선에서 load/unload 할 때
- 본선대기: 본선작업 준비

- 안벽작업: 이송장비에 load/unload 할 때
- 안벽대기: 이송장비를 기다릴 때

시뮬레이션 분석에서 C/C의 주요 통계량은 컨테이너처리 개수로 보통 시간당 크레인 생산성(lifts/hour)이 된다. [그림 2] C/C 작업과정흐름도의 1cycle에서 1개의 컨테이너가 처리된다.




[그림 2] C/C 작업과정흐름도

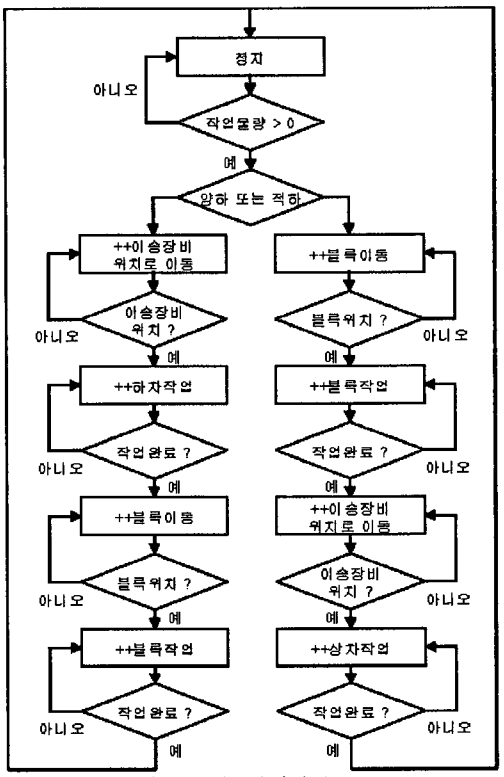
3.2 T/C

야드에 적재되어 있는 컨테이너를 이송장비에 적재하거나 이송장비에 적재되어 있는 컨테이너를 야드에 적재하는 작업을 수행하며, 모델에 적용된 개체의 속성과 상태는 다음과 같다.

1) 개체속성
- id: T/C의 고유번호
- pos: T/C의 현재위치(또는 블록내 위치)
- state: T/C의 현재상태(정지/이동/작업)
- wk_no: T/C의 상하차작업수
- wklst(): T/C 작업물량

2) 개체상태
- 정지: 상하차 작업이 없을 때
- 이동: 작업지점으로 이동할 때
- 작업: 블록 또는 상하차 작업할 때

시뮬레이션 분석에서 T/C의 역할은 C/C의 작업에서 대기시간이 발생하지 않도록 이송장비의 작업요청을 최대한 신속하게 처리해주는 것이다. [그림 3] T/C 작업과정흐름도의 1cycle에서 1개의 컨테이너가 처리된다.




[그림 3] T/C 작업과정흐름도

3.3 이송장비

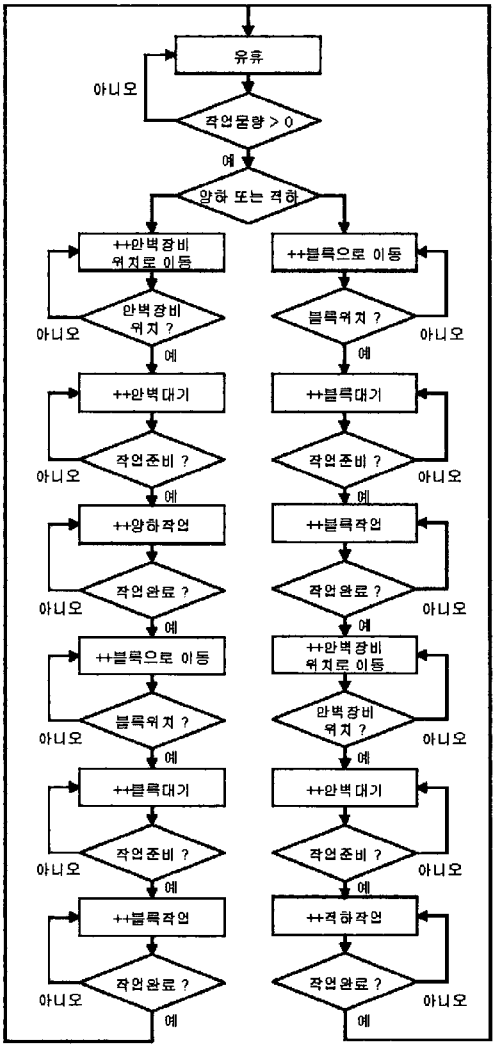
C/C로부터 넘겨받은 컨테이너를 블록으로 이송하거나 T/C로부터 컨테이너를 넘겨받아 C/C까지 이송해 주는 작업을 수행하며, 모델에 적용된 개체의 속성과 상태는 다음과 같다.

1) 개체속성
- id: 이송장비의 고유번호
- posx: 이송장비의 현재 x좌표값
- posy: 이송장비의 현재 y좌표값
- state: 이송장비의 현재 작업상태
- DL: 이송장비의 양적하상태
- apn: 안벽작업위치
- blk: 블록작업위치

2) 개체상태
- 유휴: 안벽 또는 블록작업위치에서 대기할 때
- 안벽대기: 안벽작업지점에서 대기할 때
- 블록대기: 블록작업지점에서 대기할 때
- 안벽작업: 안벽작업지점에서 load/unload할 때

- 블록작업: 블록작업지점에서 load/unload할 때
- 이동중(안벽→블록, 블록→안벽)
- 블록으로 이동
- 안벽으로 이동

[그림 3] 이송장비 작업과정흐름도의 1cycle에서 1개의 컨테이너가 처리된다. 이송장비의 경우 AGV와 Y/T의 경우 동일한 작업cycle과 작업상태를 적용할 수 있으며, 자체 하역능력을 가진 S/C를 고려할 경우 S/C 적용이 가능한 모듈을 적용하도록 하였다.




[그림 4] 이송장비 작업과정흐름도

## 4. 이송장비 모델

시뮬레이션 모델에서 설계된 이송장비를 AGV로 적용할 경우 AGV에 대한 상태정의와 상태전이도는 다음과 같다.

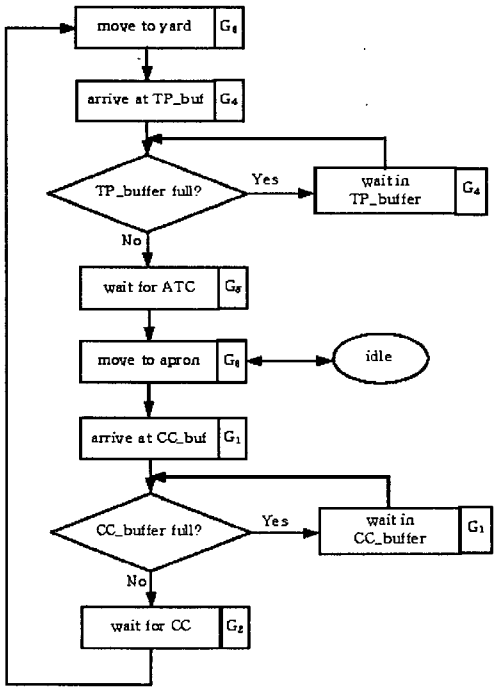
4.1 상태정의

AGV의 상태를 작업을 위한 1cycle에 포함된 6가지로 정의하며, 6가지 상태의 시간합이 1cycle이 된다.

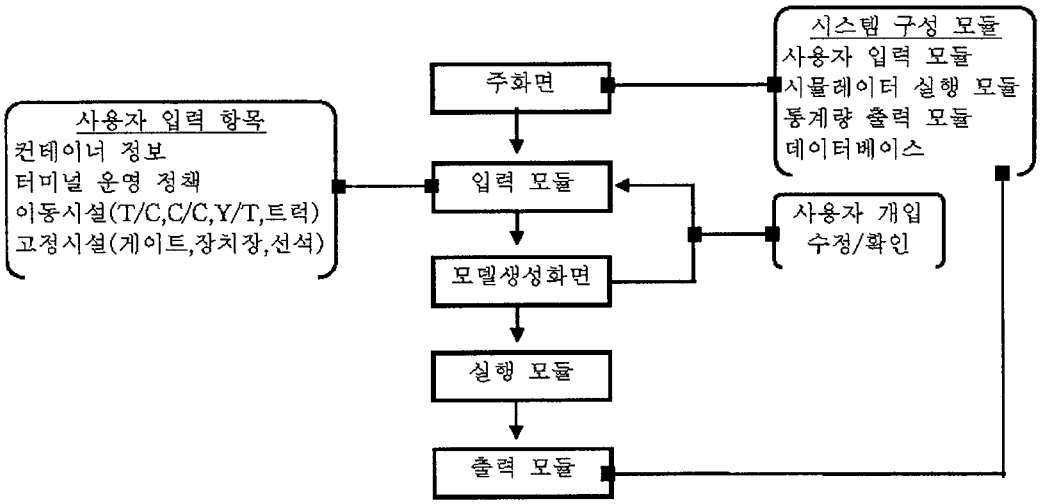
[표 1] AGV의 상태정의

| AGV | |
|---|---|
| $\overline{G_1}$ | Mean waiting time in buffer of apron |
| $\overline{G_2}$ | Mean waiting for loading/unloading by CC |
| $\overline{G_3}$ | Mean moving time from apron to yard |
| $\overline{G_4}$ | Mean waiting time in buffer of yard |
| $\overline{G_5}$ | Mean waiting for loading/unloading by ATC |
| $\overline{G_6}$ | Mean moving time from yard to apron |
| $CT\ (\text{Cycle Time}) = \sum_{i=1}^{6} \overline{G_i}/N$ | |
| $N$ : Average number of transported container per AGV | |
| $\overline{G_1} + \overline{G_4}$ = Mean waiting time in buffer zone | |
| $\overline{G_2} + \overline{G_5}$ = Mean waiting time for loading/unloading | |
| $\overline{G_3} + \overline{G_6}$ = Mean moving time between apron and yard | |

AGV의 이송작업에 [표 1]에서 정의된 상태를 반영한 것이 [그림 5]와 같다. [그림 5]에서 작업이 할당되기 전과 작업을 완료한 후에는 유휴(idle)상태가 되며, 이를 제외한 6가지가 실제 작업을 위한 상태이다.




[그림 5] AGV의 상태전이도




[그림 6] 시뮬레이터 모듈 구성도

## 5. 시뮬레이션 모델

본 연구는 상태전이모델에 기초하여 시스템을 개발하며, 지속적으로 운영로직을 추가하여 더욱 상세한 단계까지 묘사하도록 하였다. 이를 위하여 객체지향시뮬레이션에서 추구하는 클래스 라이브러리를 구축하기 위해 컨테이너터미널의 구성요소 및 시뮬레이션 실행 모듈들을 객체단위로 개발하였다. 시뮬레이션 모델의 구성 모듈들과 관계를 묘사한 것이 [그림 6]이다.

5.1 클래스 라이브러리

시뮬레이션 모델에서 컨테이너터미널 묘사를 위해 사용되는 클래스는 게이트, 장치장, 선석을 묘사하기 위한 고정 시설 클래스와 C/C, T/C, 이송차량, 외부트럭 등을 묘사하기 위한 장비 클래스로 구성되며, 클래스의 개발은 사용될 클래스에 속성을 정의하고 사용되는 메소드의 논리를 코딩하여 각 클래스를 개발한 후 시뮬레이션에서 사용되도록 클래스 라이브러리에 등록하여 재사용하면 된다.

시뮬레이션을 위해 내부적으로 실행되는 시뮬레이터 초기화 실행 메소드, 장비 운영 메소드, 게이트 운영 메소드, 장치장 운영 메소드, 선석 운영 메소드, 정보 생성 메소드 등도 사용범위와 유사성에 따라 분류하여 클래스 라이브러리화하였다.

5.2 시뮬레이션 모듈

시뮬레이션 모듈은 [그림 6]와 같이 시스템을 구성하는 사용자 입력 모듈, 시뮬레이터 실행 모듈, 통계량 출력 모듈 등으로 구성되어 있으며, 이 모듈들이 주화면, 사용자 입력화면, 실행화면, 출력화면 등을 제어한다.

사용자 입력 모듈은 사용자에게서 입력항목을 입력받으며, 사용자가 입력한 생성화면을 수정/확인한 후 이것을 이용하여 실행화면을 구성한다. 실행화면에서는 시설물 상태와 장비의 작업 상황을 애니메이션으로 직접 작업 상황을 감시하거나 확인할 수 있다. 특히 애니메이션 기능은 컨테이너터미널의 작업 상황을 한 화면에서 확인할 수 있도록 해주며, 각 사건의 발생시간마다 계속 갱신되므로 애니메이션으로 시뮬레이션 실행을 사용자가 감시할 수 있다. 그리고 애니메이션이 진행되는 객체는 지속적으로 객체 자체의 통계량을 누적하여 계산하므로 통계량의 정확도를 높일 수 있다.

5.3 사건 처리기(Event Controller)

시뮬레이션 실행은 이산사건 시뮬레이션 방식으로 실행되므로 컨테이너터미널에서 일어나는 사건들을 정의하였다. 사건목록에서 가장 이른 사건이 발생하면 사건발생 시간을 시뮬레이션 시계에 기록하고, 해당 사건과 관련된 객체의 메소드를 실행하고 메소드는 장비의 작업 및 시설물의 상태 갱신, 통계량의 계산 등을 수행한 후 다음 사건을 사건목록에 기록한다. 이러한 사건처리기의 제어방식은 next-event time advance 기법을 적용하여 사건을 진행하게 되며, 사건목록은 상태전이모델(state transition model)에서 갱신되는 사건들을 관리한다.

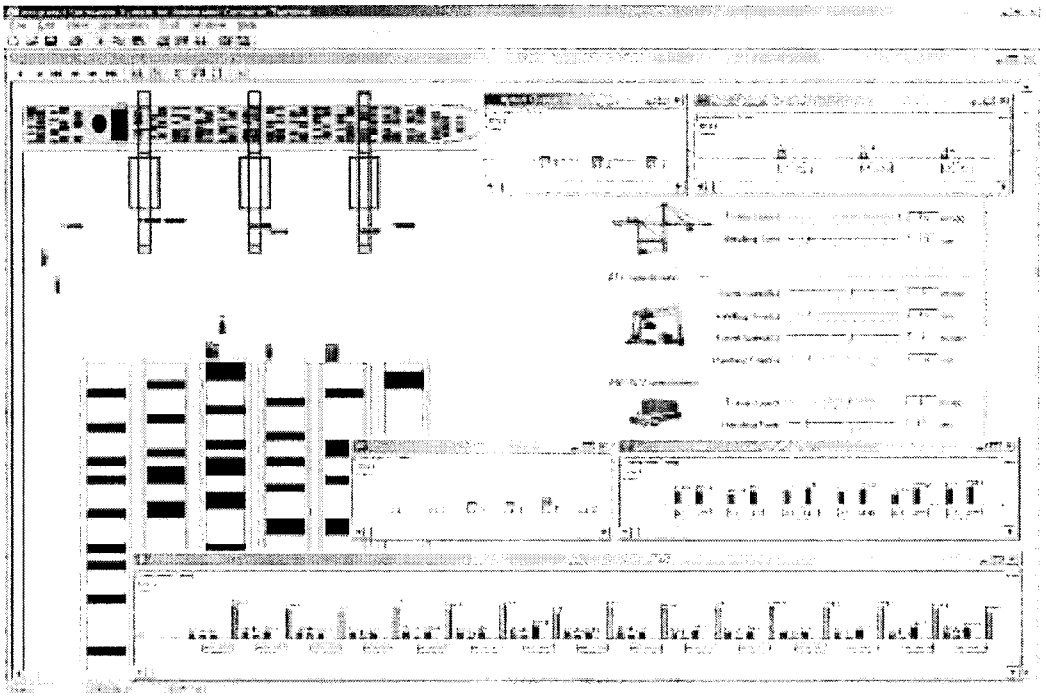
5.4 통계량

시뮬레이션 모델에서 제공하는 통계량은 기능에 따라 크게 두가지로 나누어 정의하였다. 첫째, 장치장과 선석의 Layout 평가를 위한 통계량으로 선석 점유율, 선박 대기시간, 장치장 점유율, 컨테이너 평균 처리시간 등을 정의하였으며, 둘째, 장비 활용도 평가를 위한 통계량으로 C/C, T/C, 이송장비의 사이클타임, Y/T선회시간, 각 작업상태별 시간, 각 장비별 평균 처리개수 등을 정의하였다.

5.5 시뮬레이션 모델 구현

시뮬레이션 모델을 자동화 컨테이너터미널을 대상으로 하여 정의된 사용자 입력을 하였을 경우 생성된 실행 모델은 다음 [그림 7]과 같다.

[그림 7]의 시스템 묘사는 애니메이션단계를 1수준으로 하였으며, 그림의 메뉴바는 시뮬레이션 실행기이고 메인화면이 컨테이너터미널 시스템을 묘



[그림 7] 시뮬레이터 모듈 구성도

사하는 애니메이션 화면이다. 특히 실행 모델에서는 애니메이션을 위하여 C/C, T/C, 이송장비(AGV), 외부차량 같은 장비와 게이트, 블록, 선석 등을 객체로 묘사하므로 개별적인 정보를 표현할 수 있으며, 시설물인 선석, 장치장, 게이트는 고정되어 있지만 장비의 경우 작업을 위한 이동이 묘사된다. [그림 7]에서 C/C, T/C, 이송장비(AGV), 외부차량 등의 장비는 시뮬레이션 시간이 진행됨에 따라 애니메이션을 통해서 작업의 상태 및 이동을 묘사하며, 작업정보는 그 객체의 속성에 기록되어 화면상에서 출력된다.

## 6. 결론

자동화 컨테이너터미널의 개발을 위한 연구가 최근 많이 시도되고 있었으나 국내에서 적용되지 않은 시스템으로 구조 및 기술의 복잡성으로 인해 시뮬레이션을 이용한 설계 및 분석이 실용적인 대안으로 제시되고 있다. 그러나 가상의 시스템을 대상으로 모델링하여 분석하기 위해서는 설계자에게 다양한 선택의 대안과 평가척도의 제공이 중요하며, 이를 위해서 유연성이 높은 시뮬레이션 모델이 효과적이다.

따라서 본 연구에서는 자동화 컨테이너터미널 시스템에서 고려되는 다수의 고정 시설물과 이동 장비를 개체화하기 위해서 시뮬레이션 모델을 개발하였으며, 특히 자동화 컨테이너터미널의 이송장비를 설계하고 분석하기 위한 시뮬레이션 모델을 소개하였다. 또한 이송장비 모델을 다양한 유형에 적용이 가능하도록 유연성을 높여 사용자 위주의 입출력 제공, 애니메이션에 의한 로직의 검증 등의 장점을 제공할 수 있을 것이다.

## 참고문헌

[1] 김갑환, 원승환, 김영훈, 배종욱, 양창호, "시뮬레이션을 사용한 자동화 컨테이너터미널 레이아웃의 평가", 한국경영과학회/대한산업공학회 공동학술대회 논문집, 2001.

[2] 김갑환, 왕승진, 박영만, 양창호, 김영훈, "자동화 컨테이너터미널에서의 장치장 운영 시뮬레이션 연구", 한국경영과학회/대한산업공학회 공동학술대회 논문집, 2002.

[3] 김창곤, 양창호, 윤동한, 최종희, 배종욱, "시뮬레이션 모델을 이용한 컨테이너터미널 안벽능력 분석", 한국시뮬레이션학회, 2001춘계학술대회논문집, pp.43-48, 2001.

[4] 배종욱, 양창호, 김갑환, "표면반응법을 이용한 자동화 컨테이너 터미널의 버퍼 장치장에서의 장비 규모 결정, 한국항만학회, 2000 추계학술대회논문집, pp.121-129, 2000.

[5] 왕승진, 김갑환, 박영만, 양창호, 김영훈, "컨테이너 터미널에서의 자동화 야드크레인 운영 시뮬레이션 연구", 대한산업공학회 학술대회논문집, 2001.

[6] 장성용, 용운중, "자동화컨테이너터미널의 설계 및 운용 최적화를 위한 시뮬레이션 기법의 적용", 한국시뮬레이션학회, 1998년 추계학술대회논문집, pp.25-35, 1998.

[7] 장성용, 용운중, "시뮬레이션기법을 이용한 자동화 컨테이너터미널의 운용전략에 관한 연구", 한국시뮬레이션학회 학술대회논문집, 2001.