

## 항만이송시스템의 성능평가를 위한 3차원 시뮬레이터 개발

서진호\* · 박성철\* · 이권순\*\*\*

\*동아대학교 전기공학과 Post-Doctor, \*\*동아대학교 대학원, \*\*\*동아대학교 전기공학과 교수

## A Development of 3D Simulator Program for Performance Valuation of Port Transportation Systems

Jin Ho Suh\* · Sung Chul Park\*\* · Kwon Soon Lee\*\*\*

\*Dept. of Electrical Engineering, Dong-A University, Busan 604-714, Korea

\*\*Dept. of Electrical Engineering, Dong-A University, Busan 604-714, Korea

\*\*\*Dept. of Electrical Engineering, Dong-A University, Busan 604-714, Korea

**요약 :** 광범위한 컨테이너 무역의 빠른 성장률로 인하여, 모든 주요 항만은 계획된 수용능력 수요에 대처해야하는 압력에 처해있다. 이러한 문제들을 해결하기 위한 결과로서, 컨테이너 보관과 터미널 용량에 대한 수용능력을 개선하고 성장수요를 찾아야한다. 더구나, 구체적 조정순서 재공학은 세계적으로 항공기, 선박회사, 터미널 그리고 창고기업체들의 상세한 계획과 공급의 연쇄 관리자들을 위하여 현재 반드시 필요한 목표이다. 따라서 이 논문의 목적은 항만이송시스템들의 성능평가를 실행하기 위한 3차원 시뮬레이터를 개발하는 것이다. 개발되어진 3차원 시뮬레이터 시스템은 제안된 전체 시스템의 유효성을 측정하게 되고 실제 존재하는 것들과 비교되며 진다. 또한 성능 해석 변화들은 이러한 것들을 비교함으로서 정의되어진다.

**핵심용어 :** 무인반송차(AGV), 선형모터기반 이송기술(LMTT), 크레인, 컨테이너 터미널, 항만 자동화, 이송시스템

**ABSTRACT :** Due to the fast growing rate of the global container trade, every major port is under the pressure of meeting the projected capacity demand. As a result, alternative solutions have been sought for improving capacity and meeting the growing demand for container storage area and terminal capacity. Moreover, material handling process re-engineering is now a critical issue for logistics and supply chain managers of airline, shipping lines, terminal and warehousing enterprises around the world. Therefore, the purpose of this paper is to develop the 3D simulator for executing performance valuation of port transportation systems. The developed 3D simulator system is to measure the effectiveness of the proposed total system and compare it with existing practices. The performance analysis variables are also defined for these comparisons.

**KEY WORDS :** Automatic guided vehicle(AGV), Linear motor-based transfer technology(LMTT), Port automation, Transportation system

### 1. 서 론

일반적으로 항만 컨테이너 터미널 시스템(Container terminal system)은 해상 컨테이너 수송체계에 있어서 해상운송과 육상 운송의 연결점으로서 컨테이너 선박, 하역장비, 운반차량, 컨테이너 야드, 배후 창고 등과 일체가 되어 화물유통을 원활히 수

행하기 위한 시설물과 이를 운영 및 관리하는 시스템을 의미한다. 이러한 컨테이너 터미널 시스템은 화물의 보관, 하역, 이송, 정보 시스템 등의 하부 시스템 그리고 여러 장치들과 같은 많은 시스템들이 유기적으로 연결되어 있으므로, 최적의 성능을 내는 터미널 시스템을 만들기 위해서는 이러한 하부 시스템들의 효과적인 통합 및 배치 그리고 관리가 중요한 문제라고 할 수 있다. 따라서 막대한 비용이 소요되는 항만 컨테이너 터미널 설계 및 재보수 또는 새로운 하역장비의 도입 작업의 특성이라고 할 수 있는 막대한 비용지출을 줄이고 항만 성능을 극대화

\*정희원, suhgang@hanmail.net 051)200-6950

\*\*정희원, lovewiz@gmail.com 051)200-6954

\*\*\*종신희원, kslee@dau.ac.kr 051)200-7739

하기 위하여 국내외에서 항만 컨테이너 터미널의 시뮬레이션 연구가 활발하게 이루어져 왔다. 그러나 국내외에서 연구되어 진 시뮬레이션은 터미널과 하역장비들의 특징적 정보들을 반영하지 않고 터미널의 시스템만을 평가하는 방식으로서, 특히 AGV, LMTT 등과 같은 차세대 무인 자동화 장비들의 알고리즘을 반영하지 못하고 단지 단순화된 터미널 모델들을 사용하여 개발되어진 시뮬레이션 프로그램인 실정이다.

특히, 이와 같이 단순하고 부분적인 기존의 시뮬레이션 방법은 통합적이고 유기적으로 운영되어지고 있는 항만 컨테이너 터미널 시스템을 평가하는데 있어서 매우 중요한 각기 다른 터미널의 안벽과 야드 크기 및 배치 정보, 운송로의 위치 및 배치 정보 등의 각 터미널들의 특징적 정보를 고려하지 못하다는 점과 자동화 장비들에 대한 알고리즘을 반영하지 못하고 단순한 모델들로만 이루어진 시뮬레이션 시스템이므로 실제 산업현장의 현실성과는 많은 거리가 있다는 문제점을 내포하고 있다. 또한 차세대 항만 건설을 위한 무인 자동화 장비들을 이용한 터미널의 성능을 평가할 수 없다는 문제점을 가지고 있다.

따라서 본 연구에서는, 실제 항만 컨테이너 터미널의 수출입 현장에서 사용되어지고 있고 또한 앞으로 도입하게 될 항만 자동화 장비 시스템의 최적 작업계획 설계 및 운영 전략을 도출하는 3차원 가상 시뮬레이션 시스템 개발에 관한 결과로서, i) 종래의 터미널 시뮬레이션 시스템들의 문제점들인 지형적 요소들을 편집할 수 없는 문제를 해결하고, ii) 현재 자동화 장치 모델로서 존재하지 않는 차세대 항만 자동화 장비의 문제 해결, iii) 자동화 장치 모델들의 운행 알고리즘을 표현할 수 없는 문제의 해결, iv) 시뮬레이션 시나리오 생성 패턴 문제의 해결, v) 항만 컨테이너 터미널 시뮬레이션 상황을 실시간 또는 사용자가 원하는 구간을 3차원 가상 영상으로 볼 수 있는 시스템 개발에 관한 것으로서 다양한 형태의 컨테이너 터미널 설계 및 개발을 위한 최적의 정보를 제공하는 것을 목적을 하고 있다. 또한 차세대 항만 터미널에 도입되어질 차세대 항만 자동화 장비 부분에 대한 관련 연구기술 분야를 포함하여 항만 시스템 성능 평가를 위한 정보를 제공할 수 있는 3차원 가상 프로그램 개발도 포함하고 있다.

## 2. 시뮬레이터 시스템

본 단원에서는, 항만 컨테이너 터미널에 대한 기존의 시뮬레이션 프로그램과 본 논문에서 개발되어진 3차원 시뮬레이터 프로그램에 대한 차이점을 비교 및 설명하고자 한다.

### 2.1 기존 시뮬레이터 시스템의 한계성

기존의 컨테이너 터미널 시뮬레이션 시스템은 현재 존재하는 컨테이너 터미널을 대상으로 시뮬레이션 모델을 정의하여 실행한다. 따라서 이러한 시뮬레이션 모델에서는 추후에 개발되어

지거나 또는 개발예정인 미래의 항만관련 기술에 대한 모델은 반영할 수 없고, 현존하는 시스템만을 대상으로 하기 때문에 AGV(Automated Guided Vehicle), LMTT(Linear Motor-based Transfer Technology), TTEC(Two Trolley Elevator Conveyor Crane System) 등과 같은 차세대 하역시스템 모델을 반영하여 항만 컨테이너 터미널 시스템의 성능을 평가하고 해석할 수가 없다는 단점이 있다. 이러한 기존 시뮬레이터 시스템의 근본적인 문제점은 시뮬레이션 모델과 대상이 정적으로 강하게 결합된 구조(tightly coupled structure)로서 새로운 형태의 모델을 반영할 수 없는 구조이기 때문이다.

따라서, 본 연구에서 개발되어진 시뮬레이터 시스템은 기존의 시뮬레이터 시스템이 가지는 단점을 보완하여 동적으로 관련 모델을 반영하고 인터페이스 기반의 모델을 정의하여 느슨한 결합구조(loosely coupled structure)로 시스템을 구성하였다.

### 2.2 3차원 시뮬레이터 시스템

본 논문에서 개발되어진 시뮬레이터 시스템은, 먼저 시뮬레이션의 현실성과 사용자의 현실감을 보다 높이기 위하여 모든 디스플레이 모델은 3차원 그래픽을 사용하였다.

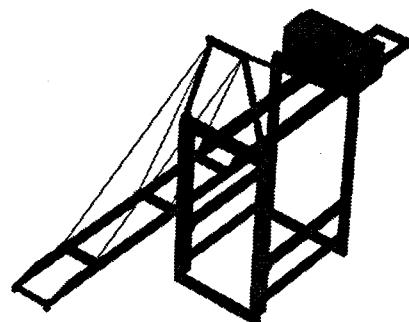


Fig. 1 3D configuration model of TTEC crane system

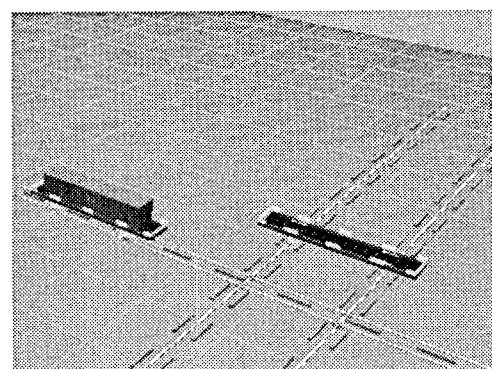


Fig. 2 3D LMTT model

특히, 3차원 그래픽은 사용자가 시뮬레이션 진행과정에 대한

이해도를 높이고, 실제 기계적 메커니즘을 표현하는데 유용하다고 할 수 있으므로, Fig. 2와 Fig. 3에서 보여지는 것처럼 본 논문에서 개발되어진 3차원 시뮬레이터 시스템을 위한 3차원 크레인 모델과 3차원 LMTT 모델을 나타낸다.

### 3. 3차원 시뮬레이터 시스템의 구성

본 논문에서 개발되어진 3차원 시뮬레이터 시스템의 구성도는 Fig. 3과 같이 구성되어지며, 개발되어진 시뮬레이터 시스템의 구성은 다음과 같은 여러 개의 모듈별로 구성되어 있으며 각각의 모듈은 인터페이스를 만족하도록 설계되었다. 그러므로 추후에 새로운 하역장비나 서브시스템이 개발되어지더라도 시뮬레이션 인터페이스만 만족하면 본 연구에서 개발되어진 3차원 시뮬레이터 시스템의 추가적인 수정 없이 시뮬레이션이 가능하도록 한 개방적 시스템으로 구성되어졌다.

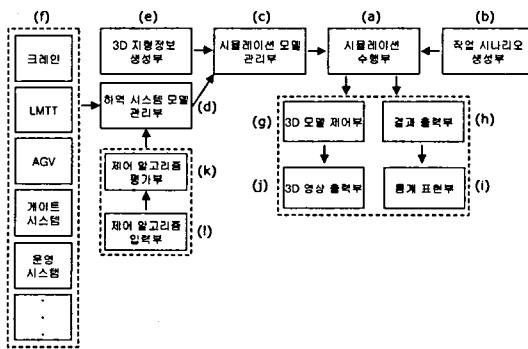


Fig. 3 Schematic configuration of 3D simulator system for a container terminal

또한 Fig. 3에서 기술되어진 각 모듈별 기능을 간략하게 기술하면 다음과 같이 구성되어진다.

#### (a) 시뮬레이션 수행부

시뮬레이션 인터페이스를 만족하는 시뮬레이션 모델과 작업시나리오를 이용하여 시뮬레이션을 실행하고, 시뮬레이션 결과를 출력하는 핵심 모듈이다. 이 모듈은 시뮬레이션의 타당성을 평가하며 시뮬레이션 결과를 수치적으로 데이터화하여 결과내용을 도표로서 표현하며, 사용자가 3차원 영상 출력 옵션을 선택하였을 경우 시뮬레이션 과정을 가상의 3차원 영상으로 출력하기 위한 정보를 생성하여 출력하게 된다.

#### (b) 작업 시나리오 생성부

실제 항만에서 선적 및 하역작업을 수행할 때 일어나게 되는 일련의 과정들을 시나리오화 하여 시뮬레이션 수행부가 처리할 수 있는 스크립트 파일을 생성해내는 모듈이다. 작업 시나리오는 시스템 사용자가 직접 생성하여 입력할 수 있으며, 기본적으

로 시뮬레이션 시스템에서 제공하는 시나리오를 선택할 수 있다.

#### (c) 시뮬레이션 모델 관리부

시뮬레이션에 필요한 시뮬레이션 모델들을 관리하는 모듈로써 각각 개별적으로 개발 관리되고 있는 항만 시스템 모델들을 관리하는 모듈이다. 3차원 지형 제작 도구를 사용하여 얻어진 터미널 지형 정보와 항만에 사용되는 서브시스템 그리고 기계적 모델들을 관리한다.

#### (d) 항만 시스템 모델 관리부

항만 시스템 모델만을 관리하는 모듈로 서브시스템과 기계적 모델을 관리한다. 시뮬레이션 수행부와 항만시스템 모델간의 연결을 담당하는 모듈로 시뮬레이션 수행부에서 항만 시스템 모델의 정보를 요청할 경우에 해당 모델의 정보를 넘겨주는 역할을 한다.



Fig. 4 GUI display of model control part

#### (e) 3차원 지형정보 생성부

사용자가 시뮬레이션 하고자 하는 컨테이너 터미널의 지형, 즉, 애드의 배치, 선석의 크기, 게이트의 위치 등을 설계하는 작업이다. 실제 터미널과 같은 지형을 제작함으로써 시뮬레이션의 신뢰도를 높일 수 있다.

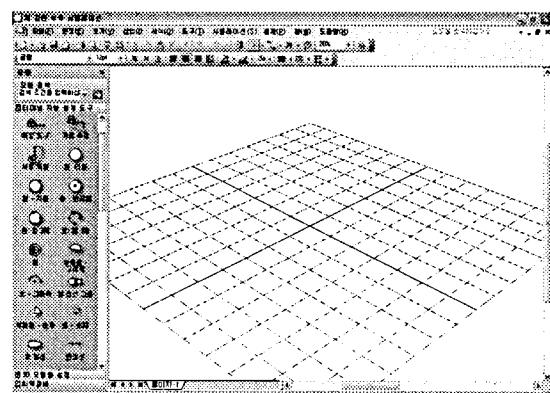


Fig. 5 An execute screen of topographic information map

#### (f) 항만 시스템 모델

크레인과 같은 선적 및 하역작업 장비, AGV, LMTT와 같은 야드 이송장비, 게이트 시스템, 운영시스템과 같은 서브시스템 등, 컨테이너 터미널에 사용되는 모든 시스템을 각각 개별적으로 그 특성을 모델링한 모듈들이다. 이때, 시뮬레이션을 수행하기 위한 기본적인 인터페이스를 만족하는 모든 모델은 시뮬레이션 이 가능하도록 구성되어있다.

#### (g) 3차원 모델 제어부

시뮬레이션 결과로부터 나오는 3차원 영상 출력정보를 이용하여 3차원 영상모델을 관리하는 모듈이다. 3차원 모델 제어부는 어떤 상황에서도 지정된 모델이 어떻게 영상을 출력하여야 하는지를 결정하고 해당되는 3차원 모델을 호출하는 역할을 한다.

#### (h) 3차원 영상 출력부

3차원 모델을 디스플레이 화면에 출력하도록 한다. 일종의 스크린 같은 역할로써 사용자가 보고 있는 화면에 어떤 객체가 디스플레이 되고 있는지를 계산하여, 실제 보이는 모델들만을 디스플레이 함으로써 시스템 리소스(resource) 사용을 최적화한다.

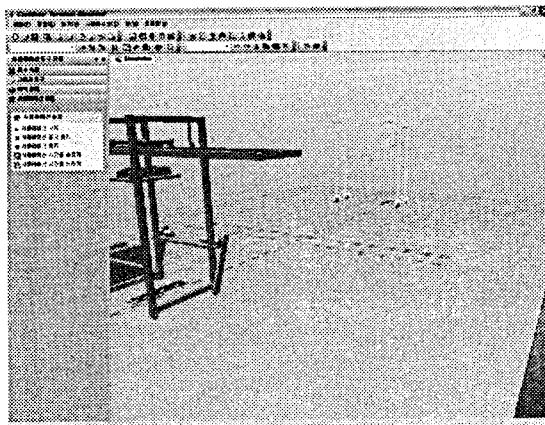


Fig. 6 The executing display screen of 3D image

#### (i) 결과 출력부

시뮬레이션 수치결과를 출력하는 모듈로써, 사용자가 원하는 다양한 정보를 수치 데이터로 출력하는 역할을 한다.

#### (j) 통계 표현부

다양한 수치 데이터를 통계화하여 도식화하는 모듈로써, 사용자가 시뮬레이션 결과를 이해하기 쉽도록 그래프을 사용하여 출력하는 모듈이다.

#### (k) 제어 알고리즘 평가부

하역시스템의 특성상 시스템이 제어 알고리즘을 필요로 할 수

있다. 이때, 입력된 제어 알고리즘을 평가하고 시뮬레이션 모델이 받아들일 수 있는 스크립트를 생성해내는 부분이다.

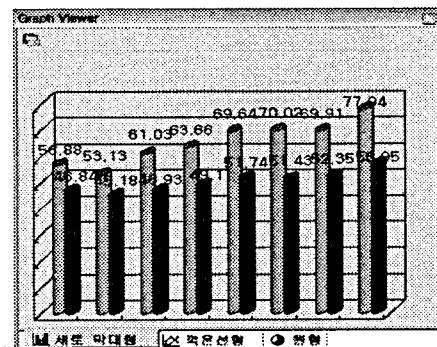


Fig. 7 A sample result screen of statistical chart

#### (l) 제어 알고리즘 입력부

시뮬레이션 시스템의 특징을 나타낼 수 있는 제어 알고리즘 입력 모듈로써, 제어 알고리즘을 사용자 또는 모델 개발자가 원하는 제어 알고리즘을 여러 가지 프로그래밍 언어(C, C++ 등)로서 표현하면 제어 알고리즘 입력부에서 문법적인 오류가 있는지를 검사하고서, 이것을 제어 알고리즘 평가부로 전송하여 실행 스크립트를 생성하게 하게 되는 부분이다.

### 4. 3차원 시뮬레이터 시스템의 실행

본 연구에서 개발되어진 3차원 시뮬레이터 시스템의 실행단계는 아래와 같은 단계로서 진행되어지고, 이러한 실행단계에 대한 순서도는 Fig. 8과 같이 표현되어진다.

#### (a) 시작

사용자가 프로그램을 시작하는 단계로써, 프로그램에 관한 교육이 끝난 상태이다.

#### (b) 터미널 지형 정보 입력

지형 정보 제작부에서 터미널 선적의 위치와 크기, 야드의 배치와 크기, 선적에서 야드까지 컨테이너를 운송하게 되는 운송로 등의 고정 시설물 등의 3차원 지형 제작 프로그램을 이용하여 터미널 지형 정보를 입력하는 단계이다.

#### (c) 하역 장비 정보 입력

이후, 상기 터미널 지형 정보를 토대로 크레인 종류별(컨테이너 크레인, 트랜스페 크레인 등), AGV, LMTT 등의 항만 하역 장비의 초기화 및 항만 운송 물동량의 수량을 결정하는 하역 장비 정보를 입력하는 단계이다.

#### (d) 알고리즘 입력

시뮬레이션에 이용되는 장비가 무인 자동화 장비일 경우, 운송 물동량의 시나리오는 바탕으로 자동화에 필요한 제어 알고리즘의 입력 조건을 파악하는 단계이다.

#### (e) 제어 알고리즘 생성

위의 단계에서 언급되어진, 제어 알고리즘의 입력 조건이 있을 시에는 제어 알고리즘 입력부를 통해서 C 또는 C++ 같은 프로그램 언어로 무인 자동화 장비의 제어 알고리즘을 생성하는 단계이다.

#### (f) 제어 알고리즘 평가

제어 알고리즘 평가 단계를 통하여 제어 알고리즘의 유효성을 평가 받은 후 무인 자동화 장비에 제어 알고리즘을 입력하는 단계이다.

#### (g) 작업 시나리오 생성

시나리오 생성부에서 실제 터미널에서의 조건과 같은 방식의 작업 시나리오에 영향을 주는, 컨테이너 수, 애드의 적재 상태, 작업에 투입될 하역장비의 수 등과 같은 모든 변수들의 조합을 이용하여 각 하역 장비들에게 전달할 명령어가 포함된 다양한 작업 시나리오를 생성하는 단계이다. 더구나, 만약 제어 알고리즘의 입력 조건이 없을 시에는 바로 작업 시나리오를 생성하게 된다.

#### (h) 시뮬레이션 실행

시뮬레이션 수행부가 지형 정보 제작부에서 입력된 터미널의 지형 정보와 하역 장비 모델 관리부에서 설정된 하역 장비 정보 그리고 시나리오 생성부에서 생성된 명령어와 작업 시나리오를 이용하여, 시뮬레이션 수행부에서 모든 작업 시나리오에 대한 시뮬레이션 알고리즘을 평가하고 시뮬레이션 모델이 받아들일 수 있는 스크립터를 생성해 내는 단계이다.

#### (i) 모델 제어부에서 제어 명령 통신

해당하는 모델을 제어하기 위하여 모델 제어부에서 제어 명령을 전송하기 위한 통신 모듈 단계이다.

#### (j) 3차원 영상 출력 결정

사용자가 3차원 영상을 보기위한 옵션을 선택하였는지를 확인하는 단계이다.

#### (k) 3차원 작업 시뮬레이션 출력

사용자가 실시간으로 작업처리 상황을 3차원 가상 영상으로 보기를 선택하면, 3차원 시뮬레이션 출력부를 통하여 직접 시나리오에 해당하는 명령을 3차원 모델 관리부에게 전달하여 해당 작업의 3차원 영상을 출력하는 단계이다.

#### (l) 작업별 시나리오 통계 및 분석

시뮬레이션 수행부에서 작업 시나리오를 수행하면서, 하역장비의 컨테이너 처리량, 하역장비에 걸리는 시간, 평균 이송거리 등을 분석하고 통계 처리할 수 있는 단계이다.

#### (m) 작업 시나리오 종료

본 시뮬레이션 프로그램에서 생성된 다양한 작업 시나리오를 모두 시뮬레이션 하였는지를 확인하는 단계이다.

#### (n) 전체 시나리오 통계 및 분석

작업 시나리오 별로 분석된 데이터를 종합하여 전체적으로 통계 및 분석하는 단계이다.

#### (o) 통계 및 분석 결과 출력 종료

각종 차트와 도표를 사용하여 사용자에게 전체 시뮬레이션 결과를 보고할 수 있도록 하는 단계이다.

#### (p) 종료

시뮬레이션 프로그램을 종료한다.

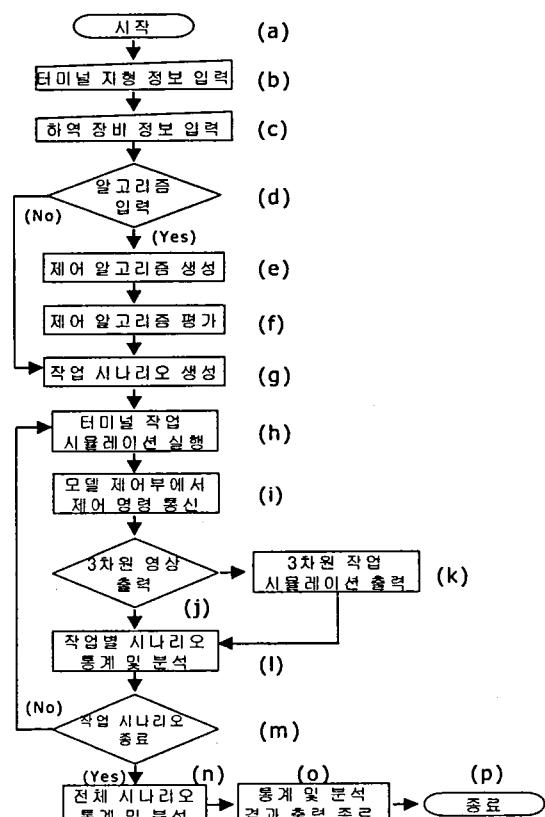


Fig. 8 The simulation flowchart of 3D simulator system

Fig. 9는 본 논문에서 개발되어진 3차원 시뮬레이터 시스템의 실제 실행화면을 나타내고 있다. 특히, Fig. 9(a)는 항만 컨

테이너 터미널의 기본적 성능평가에서 컨테이너 화물 이송 시스템을 AGV로 구현한 결과를 나타내고 있고, Fig. 9(b)는 차세대 하역 시스템인 LMTT를 구현한 시뮬레이션 구현 결과를 나타내고 있다.

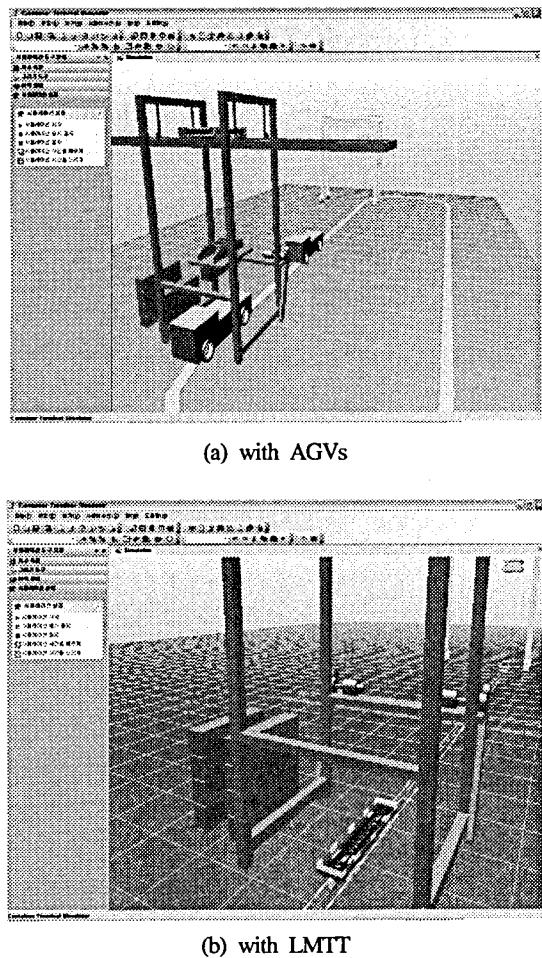


Fig. 9 The execute screen of developed 3D simulator system

## 5. 결 론

본 연구는 실제 항만 컨테이너 터미널의 수출입 현장에서 사용되어지고 있고 또한 앞으로 도입하게 될 항만 자동화 장비 시스템의 최적 작업계획 설계 및 운영 전략을 도출하는 3차원 가상 시뮬레이션 시스템 개발에 관한 결과로서 종래의 터미널 시뮬레이션 시스템들의 문제점들을 해결하고 항만 컨테이너 터미널 시뮬레이션 상황을 실시간 또는 사용자가 원하는 구간을 3차원 가상 영상으로 볼 수 있는 시스템 개발에 관한 것으로서 다양한 형태의 컨테이너 터미널 설계 및 개발을 위한 최적의 정보를 제공하는 것을 목적을 하고 있다. 또한 차세대 항만 터미널에 도입되어질 차세대 항만 자동화 장비 부분에 대한 관련 연구기술 분야를 포함하여 항만 시스템 성능평가를

위한 정보를 제공할 수 있는 3차원 가상 프로그램 개발도 포함하고 있다.

이러한 연구결과로서, 신규 항만 운송시스템 건설 및 기존 컨테이너 운송터미널 개발에서, 계획단계에서부터 새로운 항만 운송시스템을 직접 적용한 설계 작업 및 추후의 경제적 효과와 설치되어질 항만 시스템들의 효율성이 고려된 새로운 형태의 항만 운송 시스템의 성능평가가 가능한 프로그램이므로, 차세대 항만 컨테이너 운송 및 하역 시스템 개발방향을 기준의 방법과는 다르게 새로운 성능평가 및 설계방법을 제시할 수 있을 것이다.

## 후 기

본 연구는 한국과학기술부(MOST)의 국가지정연구실사업(NRL)의 지원에 의한 것입니다.

## 참 고 문 헌

- [1] 이권순, 이진우, 서진호, 이영진(2004), 차세대 항만 하역장비 이송시스템, 제어·자동화·시스템공학회 학술대회 발표논문집, pp.3-10
- [2] C. I. Liu, H. Jula, and P. A. Ioannou(2002), Design, Simulation, and Evaluation of Automated Container Terminals, IEEE Trans. on Intelligent Transportation Systems, Vol. 3, No. 1, pp.12-26
- [3] A. A. Shabayek, W. W. Yeung(2002), A simulation model for the Kwai Chung container terminal in Hong Kong, European Journal of Operational Research, Vol. 140, pp.1-14
- [4] B. Khoshnevis and A. Asef-Vaziri(2000), 3D virtual and physical simulation of automated container terminal and analysis of impact on inland transportation, METrans Center, University of Southern California(USC), December
- [5] P. Ioannou and A. Chassiakos(2002), Automated container transport system between inland port and terminals, METrans Center, University of Southern California, December
- [6] W. Y. Yun and Y. S. Choi(1999), A simulation model for container-terminal operation analysis using an object-oriented approach, International Journal of Economics, Vol. 59, pp.221-230
- [7] 윤원영, 최용석(1999), 컨테이너 터미널의 장비규모 및 처리능력에 대한 시뮬레이션 연구, 항국항해항만학회 추계학술대회, pp.177-185