

---

# 자동화 컨테이너터미널을 위한 3차원 시뮬레이션 모델

최용석, 하태영

## 3-Dimensional Simulation Model for Automated Container Terminals

Yong Seok Choi, Tae Young Ha

### Abstract

In this study, we introduce a 3D simulation model to support the design on ACT(Automated Container Terminal) using 3D animation. The developed simulation model simulate virtual operations of ACT and animate the simulated results with real time. We provide several validation points for the design of ACT. And the developed system applied an object-oriented design and C++ programming to increase the reusability and extensibility. We can perform the various simulation experiment and analyze performances to estimate the required number of equipment using developed simulation model.

Key Words : Animation, Automated Container Terminal, Simulation, Object-oriented Design

---

한국해양수산개발원 해운물류·항만연구센터

## 1. 서론

컨테이너터미널은 대형의 항만물류시스템이므로 기본계획수립, 기본설계, 실시설계 등의 다단계의 설계과정을 거치고 토목공사 및 건설 등에 10년 이상의 장기 개발기간이 소요되는 특성을 가지고 있다. 또한 개발과정에서의 설계 및 시공에 관련된 요구사항이 개발과정에서 변경될 수 있다. 개발 기간이 장기기간이므로 시공단계에서는 설계단계에서 발생하는 문제점을 수정하는 것은 상당한 시간과 노력이 소요되고 가능한 설계단계에서 발생가능한 문제점들이 검토되고 해결되어야 한다.

이러한 문제를 해결하기 위한 수단으로 기본설계 단계에서 설계안을 시물레이션 기술을 이용하여 컨테이너터미널의 설계, 운영, 평가 등의 미래의 불확실한 상황을 테스트하여 사전에 발생될 문제점을 발견하여 해결해 나가는 것이 중요하다. 또한 기본설계 단계에서 시물레이션을 적용할 경우 사용자의 기준을 반영하여 설계가능하다는 장점도 가지고 있다[2].

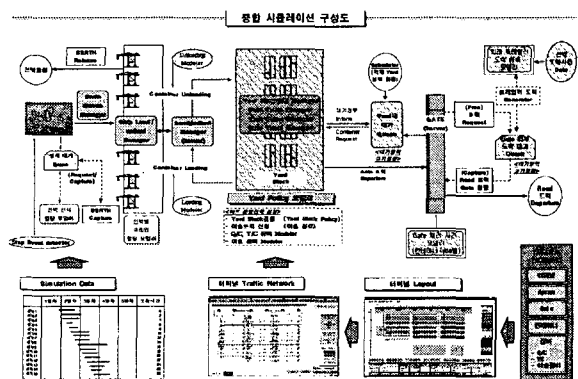
특히 자동화 컨테이너터미널의 경우 유럽의 ECT(Europe Combined Terminal)와 CTA(Container Terminal Altenwerder)에서 적용되고 있으나 국내에는 운영경험이 없으므로 설계단계에서 미리 시물레이션을 통해서 문제해결 능력을 가지는 것이 필요하며, 좀더 현실적이고 구체적인 상황을 반영하기 위해서는 3차원 시물레이션에 의한 가상현실 기술의 적용이 필요하다[1][4].

그러므로 본 연구에서는 자동화 컨테이너터미널의 설계단계에서 3차원 시물레이션을 통하여 자동화 컨테이너터미널을 가상의 환경으로 구현하여 사전에 발생할 문제점을 도출하고 운영상의 문제점을 예측하거나 운영로직의 합리성을 테스트할 수 있도록 하는 시물레이션 모델을 제시한다. 특히 시물레이션 시스템은 시물레이션에서의 정보를 3D 애니메이션으로 전환하여 3차원 애니메이션이 가능하도록 하는 방식으로 3차원 시물레이션을 구현하였다. 자동화 컨테이너터미널의 운영을 가상 환경에 구현할 경우 평가되어야 할 평가항목의 입출력 항목들을 제시하고, 제시된 평가항목들에 대한 실험결과를 토대로 분석을 함으로써 3차원 시물레이션을 통해서 자동화 컨테이너터미널의 설계를 평가할 수 있는 방안을 제시하고자 한다.

## 2. 시스템 구조 설계

최초의 자동화터미널인 네덜란드 ECT에 대한 기술자문을 수행한 Hans는 시물레이션 연구를 통해서 자동화 컨테이너터미널은 대형의 시스템으로서 시스템의 동작과 운영로직이 복잡하여 시스템의 현상을 정확히 반영하는 시물레이션 시스템을 개발하기 위해서는 분석 및 설계단계에서 구성요소의 명확한 정의와 그 역할의 분석, 그리고 개별 작업과 작업간의 상호작용 등을 잘 반영할 수 있는 체계적인 방법론이 요구된다고 지적하고 있다[5]. 1990년대 중반이후 많이 도입된 방법론은 사물을 속성과 행위를 가진 객체로 인식하는 객체지향접근법(object-oriented approach)이며[6], UML(Unified Modeling Language)을 적용하는 것도 보편화되어 가고 있다. 객체지향접근법을 이용하여 시물레이션 프로그램을 개발할 경우 객체발견과 구조화, 객체의 식별과 속성 정의, 메소드 정의 및 메시지 연결 등의 3단계를 통하여 객체지향 시물레이션이 가능하게 된다[3].

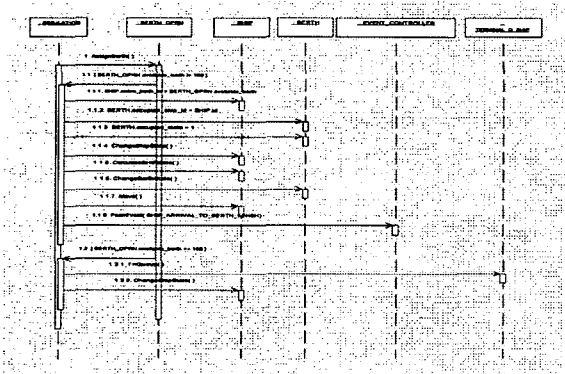
실제로 시물레이션 시스템을 개발하고자 할 경우 도메인 전문가에 의한 시스템 분석 및 설계와 프로그래머에 의한 시스템 구현은 일관성이 유지되어야 하지만 사용하는 도구(tool)의 성격에 따라 불일치가 발생할 수 있다. 설계단계에서 UML은 클래스시퀀스상태 다이어그램 등의 효과적인 도구를 제공한다. 즉, 체계적인 설계 관리 및 구현의 편리성을 소프트웨어 중심의 모델링 도구인 UML을 사용함으로써 설계내용들을 가시화, 명세화, 문서화할 수 있다.



<그림 1> 시물레이션 시스템 구성

전체적인 시스템의 틀 안에서 시뮬레이션이 구현되도록 하기 위해서는 다양한 시뮬레이션 로직과 표현기법을 포함한 통합시뮬레이션 형태가 필요하며, 이를 통합시스템 관점에서 시스템 구성은 <그림 1>과 같이 선박입항에서 크레인 작업, 장치장 적재, 반출입 등의 터미널의 작업과 작업에 필요한 정보생성 및 시설배치 등의 터미널 전반의 시설정보와 컨테이너처리정보를 필요로 한다.

특히 객체지향 시뮬레이션을 위한 객체설계는 보편화된 지식으로 간주되며, 애니메이션을 고려한 시뮬레이션의 경우는 시뮬레이션 프로세스 상에서 각 객체들이 그들간의 관계로 구성된 교류와 그들간의 전달되는 메시지를 명시화하는데 메시지의 시간 순서를 강조하는 시퀀스 다이어그램을 사용한다. 이를 표현하면 <그림 2>와 같으며, 이 다이어그램은 실제 프로그램 코딩을 위한 전단계의 설계서 역할을 한다. 또한 3차원의 애니메이션을 위해서는 2차원적인 시뮬레이션 객체정보를 시분할하여 처리하는 기법도 필요하므로 상세한 시퀀스 다이어그램의 작성이 요구된다.



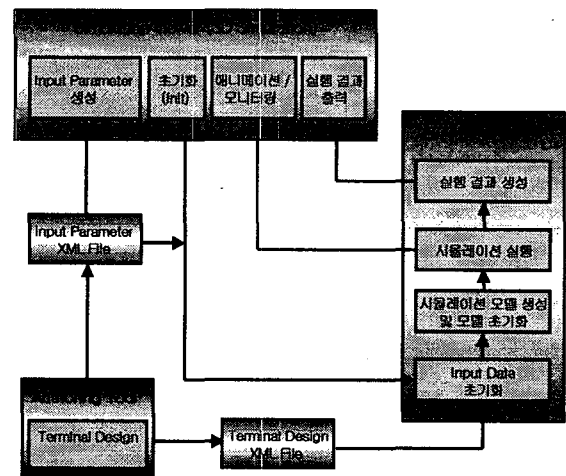
<그림 2> 시퀀스 다이어그램

3차원 시뮬레이션은 시뮬레이션 수행과정에서 얻어진 각 객체의 작업내용을 기초로 객체간의 연관작업 흐름을 가시적으로 사용자에게 제공하는 애니메이션 기능을 가지고 있다. 3차원 시뮬레이션의 개발은 시뮬레이션 결과값에 대하여 수치적인 검증단계 외에 추가적으로 가시적인 확인절차를 병행하여 설계모듈의 신뢰성을 최종적으로 검증하는데 그 목적이 있다고 할 수 있으며, 검증의 용이성을 제공한다는 측면에서 매우 유용하다고 할 수 있다.

자동화 컨테이너터미널용 3차원 시뮬레이션은 여러 개의 객체들이 상호 연관성을 가지며 작업이 이루어지는 복잡한 하역시스템구조이기 때문에 시

뮬레이션을 통한 결과 분석에 있어 수치적인 결과값에 의한 검증이 용이하지 않으며 모델 설계시 고려해야할 사항과 누락부분이 상당히 발생하게 된다.

따라서 본 연구에서 제공하는 3차원 시뮬레이션 기능은 수치만으로는 이해하기 힘든 시뮬레이션 상황을 가시적으로 표현하여 시뮬레이션 수행과정을 쉽게 파악할 수 있도록 하고 보다 나은 터미널 운영시스템을 분석·설계할 수 있도록 하는 의사결정지원시스템(DSS: Decision Support System) 역할을 제공한다고 할 수 있다.



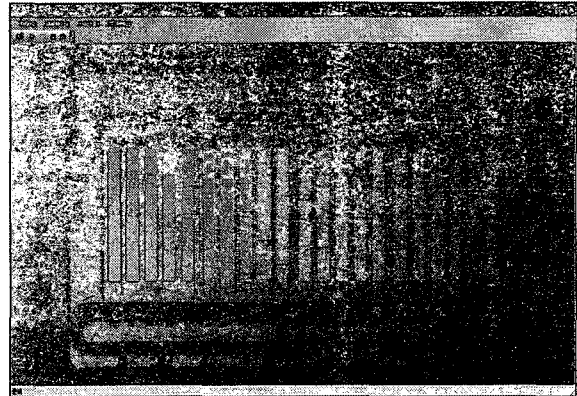
<그림 3> 시뮬레이션과 3D 시뮬레이션간의 관계

<그림 3>과 같이 터미널 설계를 위한 저작도구 (Authoring Tool), 입력자료의 초기화, 시뮬레이션 모델 생성, 시뮬레이션 실행, 실행 결과 생성을 위한 시뮬레이션 시스템(Simulation System), 3차원 애니메이션으로 가시화하기 위한 시뮬레이션 뷰어(Simulation Viewer) 등의 세가지 영역이 상호 연계되며, 시뮬레이션 정보 및 설계정보는 XML file로 작성된다.

이러한 시뮬레이션 시스템을 개발하기 위해 사용된 환경은 [표 1]의 요약과 같이 개발언어는 범용언어인 Visual C++를 사용하였고 DB는 XML File DB를 사용하였다. 입출력을 위한 GUI는 Visual C++, 그래픽 라이브러리는 ActiveX를 사용하였다.

[표 1] 시뮬레이션 개발 환경

구분	시스템 개발 환경	3D 시뮬레이션 환경
H/W	펜티엄 4 이상 VGA, 64메가 이상	-
OS	Window 2000 이상	-
언어	Visual C++	-
DB	XML File DB	VRML97 : ISO/IEC 14772
GUI	Visual C++	3DS MAX, Cosmo World
Graphic Library	ActiveX	OpenGL

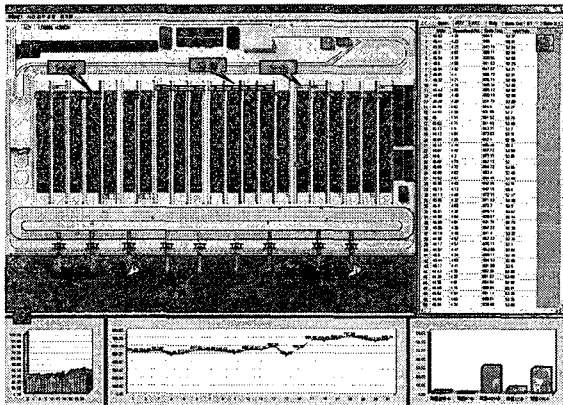


<그림 5> 3D 시뮬레이션의 주화면

### 3. 애니메이션 상세설계

#### 3.1 시뮬레이션 화면 구성

<그림 4>는 통합시뮬레이션 시스템으로 개발된 2차원 애니메이션이며, 전체의 작업 진도를 파악하기에는 용이하나 개별 장비의 간섭문제와 작업의 상세 진행상황을 명확히 파악하기 힘들기 때문에 이를 위한 3차원 시뮬레이션이 필요하다.



<그림 4> 시뮬레이션과 2D 애니메이션 연동

본 연구에서 개발된 3차원 시뮬레이션은 <그림 5>와 같이 3차원 시뮬레이션 수행시의 전체 조감도로써 터미널의 구조적인 묘사가 잘 이루어져 있으며 터미널의 하역시스템을 이루는 각 객체의 생성이 설계시의 조건을 만족하도록 구현이 된 것이다. 개발된 본 시스템은 터미널 하역시스템 작업 상황들을 상세히 관찰할 수 있도록 다양한 View Point 기능을 제공하고 있다.

#### 3.2 시뮬레이션 수행 객체

시뮬레이션 수행시 생성되는 주요 객체는 실행 초기에 생성되는 것과 실행 중에 생성되어 소멸되는 객체로 나누어진다.

##### 1) C/C(Container Crane) 객체

터미널의 선석에 배치되는 하역장비로서, 총 3개의 선석에 9대의 C/C 객체가 시뮬레이션 초기화 과정에서 생성된다. 선박의 입출항에 따른 양적하 작업을 수행하며, 고 생산성의 Dual Trolley C/C로 설계되었다. C/C객체는 프로그램 실행시 초기에 생성되어 종료시까지 보존되는 객체이며, 해측의 선박객체와 육측의 AGV(Automated Guided Vehicle) 객체와 상호 연동관계를 가지며 작업을 하게 된다.

##### 2) ATC(Automated Transfer Crane) 객체

수직배치형 블록에 대하여 각각 2대의 객체가 생성되며 본선 양적하 작업을 지원하는 큰 ATC와 반출입 작업을 지원하는 작은 ATC로 구분된다. 이 두 ATC는 작업상황에 따라 동일 블록내에서 교차주행이 가능하도록 설계되었다. ATC객체는 프로그램 실행시 초기에 생성되어 종료시까지 보존되는 객체이며, 안벽측 AGV와 육측의 외부트럭

객체와 상호 연동관계를 가지며 작업을 하게 된다.

3) AGV 객체

C/C와 야드간의 컨테이너 이송을 담당하는 장비로서 시뮬레이션에서 총 63대의 객체가 생성된다. AGV객체는 프로그램 실행시 초기에 생성되어 종료시까지 보존되는 객체이며, 해측의 C/C객체와 육측의 ATC객체와 상호 연동관계를 가지며 작업을 하게 된다.

4) 외부트럭 객체

컨테이너의 반출입 기능을 수행하는 외부트럭으로 터미널의 운영조건에 따라 객체의 생성과 소멸이 빈번하게 발생한다. 외부트럭객체는 프로그램 수행 중에 특정시간에 생성되어 해당 작업이 완료되면 소멸하는 객체로써 터미널의 게이트 객체와 장치장의 ATC객체와 상호 연동관계를 가지며 작업을 하게 된다.

5) 선박 객체

컨테이너의 물량정보를 가진 객체로서 터미널의 안벽과 반출입물량을 생성시키는 기초가 되는 객체이다. 선박 객체는 프로그램 수행 중 특정시간에 생성되어 작업이 완료되면 소멸하는 객체로써 안벽의 C/C객체에 의해서 작업을 하게 된다.

6) 장치장 객체

터미널의 배치구조 정보를 가진 객체로서 타 객체들의 속성과 이벤트 처리시 기초 정보로 빈번하게 활용된다. 특히 안벽 이송장비 주행경로를 상세히 정의하도록 설계되었다. 장치장 객체는 프로그램의 수행시 생성되어 종료시까지 보존되는 객체로써 AGV, ATC, 외부트럭의 이동시 관련 정보의 토대가 되는 객체이다.

7) 게이트 객체

외부트럭의 반입과 반출작업을 처리하는 객체로써 크게 반입게이트 객체와 반출게이트 객체로 나누어진다. 게이트 객체는 외부트럭의 반입.반출시 컨테이너 객체의 정보를 수집하는 객체이다.

8) 컨테이너 객체

터미널의 통계자료의 기초정보가 되는 객체로써 컨테이너 객체가 생성된다. 컨테이너 객체는 프로그램 수행 중 가장 빈번하게 생성 및 소멸되는 객체로써 C/C, AGV, ATC, 외부트럭, 게이트 객체와 연관성을 가지는 객체라 할 수 있다.

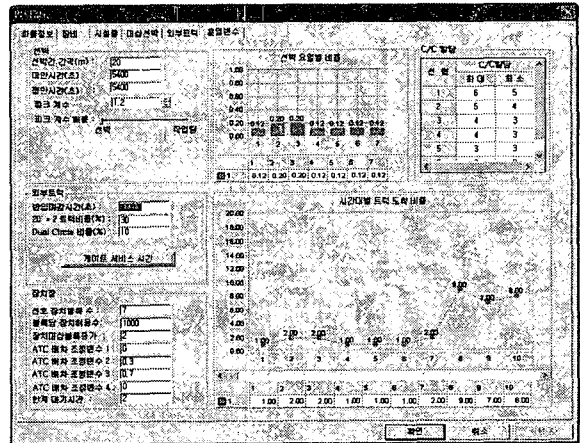
C/C	선박, AGV, 컨테이너	프로그램 실행시 생성되어 종료시까지 보존되는 객체
ATC	AGV, 외부트럭, 컨테이너	
AGV	C/C, ATC 컨테이너	
장치장 게이트	AGV, ATC, 컨테이너 외부트럭, 컨테이너	
컨테이너	C/C, AGV, ATC, 선박, 외부트럭, 게이트, 장치장	프로그램 수행중 특정시각에 생성되며 작업이 완료되면 자동으로 소멸되는 객체
외부트럭	ATC, 게이트, 컨테이너	
선박	C/C, 컨테이너	

3.3 입력화면 설계

사용자의 요구사항을 반영하여 자동화 컨테이너 터미널을 구성하기 위한 시뮬레이션 모델은 다음의 입력화면들로 구성된다.

- 1) 화물정보
- 2) 장비
- 3) 시설물
- 4) 대상선박
- 5) 외부트럭
- 6) 운영변수

<그림 6>은 입력화면 중 운영변수를 입력받기 위한 화면으로 컨테이너터미널의 서비스개체인 선박과 외부트럭의 도착분포를 입력받고, 장치장의 조정변수를 입력받도록 설계되었으며, 도착분포의 경우 경험분포를 입력받도록 설계되었다.



[표 2] 3D 시뮬레이션의 주요 객체들

객체명	연관객체	객체의 생성 및 소멸
-----	------	-------------

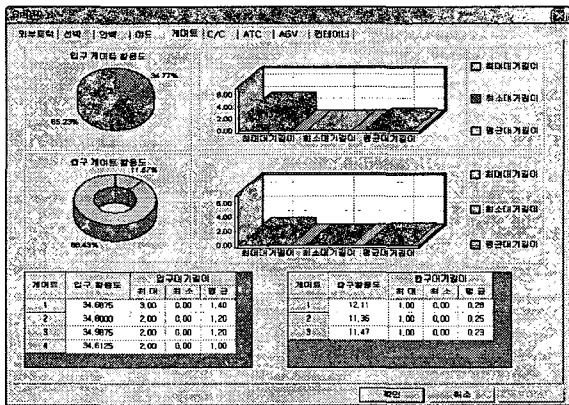
<그림 6> 입력화면 Dialog 예

3.4 출력화면 설계

출력화면은 의사결정자에게 다양한 정보를 제공하기 위해서 자동화 컨테이너터미널의 구성요소들에 대한 정보를 제공하도록 구성하였다.

- 1) 외부트럭 서비스개체
- 2) 선박 서비스개체
- 3) 안벽 시설물
- 4) 야드 시설물 출력화면
- 5) 게이트 시설물 출력화면
- 6) C/C 장비 출력화면
- 7) ATC 장비 출력화면
- 8) AGV 장비 출력화면
- 9) 컨테이너 서비스개체 출력화면

<그림 7>은 출력화면 중 게이트 시설물에 대한 출력화면을 보여주고 있다. 출력결과를 통해서 컨테이너의 반입과 반출을 위한 게이트 서비스와 대기로 인한 애로공정을 판단할 수 있다.



<그림 7> 출력화면 Dialog 예

#### 4. 시물레이션 및 애니메이션

##### 4.1 시물레이션 실험결과

시물레이션 실험을 위한 실험조건은 [표 3]과 같다.

[표 3] 시물레이션의 실험조건

구분		실험 조건		
시설물	안벽 길이		1,050 m	
	게이트	입구게이트	4레인	
		출구게이트	3레인	
	장치장	배치형태	수직배치	
		블록수	21 블록	
		블록용량	5단×10열×41베이	
대기공간		육측(4), 해측(5)		
장비	C/C		DHST 9대	
	ATC	배치형태		2 ATC/블록당 TYPE-A, TYPE-B
		TYPE - A	속도	180 m/ Min
			대수	21 대
		TYPE - B	속도	120 m/ Min
			대수	21 대
		AGV	속도	180m / Min
	대수		63 대	

[표 3]의 시물레이션 실험조건으로 C/C 대수를 9대, 10대, 11대, AGV대수를 7대, 8대로 변화시킨 시나리오 실험을 통한 성능분석의 결과는 <그림 8>과 같이 분석된다. 실험결과로 얻은 C/C의 통계값은 가동율(%), 대기시간비율(%), 시간당생산성(lifts/h), 평균대기시간(초) 등을 제공하므로 작업에서의 성능과 최적작업조건을 판단할 수 있는 근거를 제공한다. 또한 이러한 시물레이션 결과값은 시물레이션 실행 중에 3D 애니메이션을 통해서 시각적으로 판단이 가능하다.

[표 4] 시설물의 실험결과

구분		실험 결과		
시설물	안벽	점유율	43.29 %	
		대기비율	6.02 %	
		Norm-Time 초과비율	4.86 %	
	게이트	입구	활용도	34.77 %
		출구	활용도	11.56 %
		배치 형태	평균장치율	31.71 %
		평균장치수	650.09 개	
		평균해측대기길이	2.02 개	

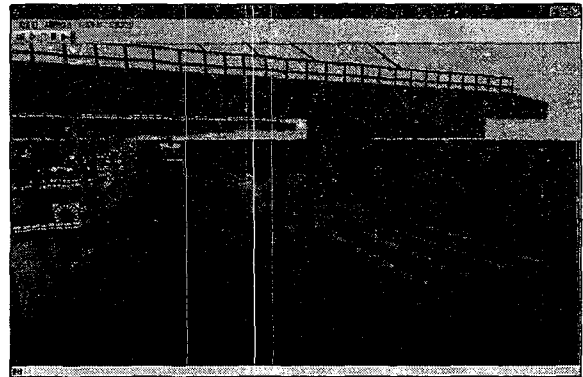
[표 5] 장비의 실험결과

구분		실험 결과		
장비	C/C	가동율	33.39 %	
		대기시간비율	34.35 %	
		시간당 생산성	29.78 개	
		평균대기시간	30.92 초	
	ATC	TYPE - A	가동율	46.32 %
			대기시간비율	2.44 %
			이동시간비율	47.34 %
			간섭비율	2.37 %
		TYPE - B	시간당 생산성	17.26 개
			가동율	44.58 %
			대기시간비율	6.43 %
			이동시간비율	49.18 %
AGV	간섭비율	6.12 %		
	시간당 생산성	15.13 개		
	가동율	45.13 %		
	대기시간비율	53.11 %		
	시간당생산성	4.26 개		
	평균사이클타임	845.92 초		

이 <그림 9>, <그림 10>, <그림 11>이다.

<그림 9>는 선석에서 선박에 대한 C/C의 양적 하 작업시의 작업상황을 판단하기 위한 것으로 C/C의 작업성능에 따른 부하와 작업의 효율성을 평가할 수 있다.

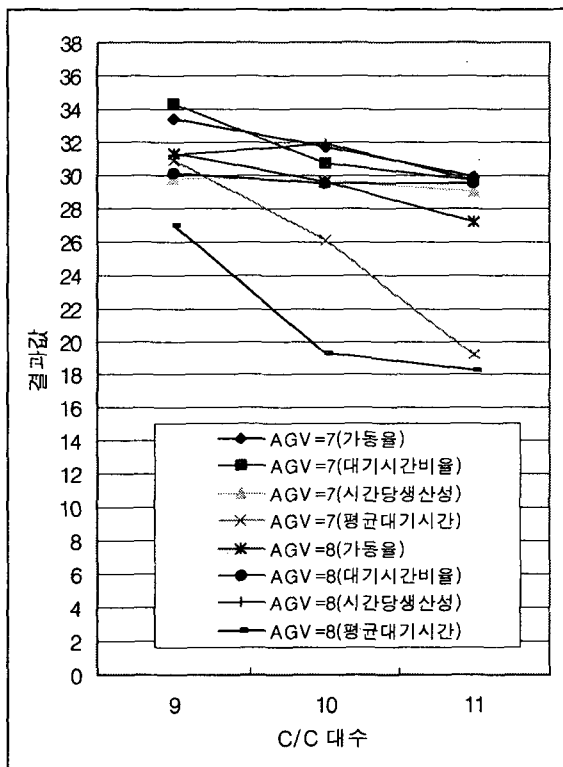
<그림 10>은 해측의 TP에서 AGV에 대해 서비스를 하는 ATC와의 연계작업을 판단하는 것으로 두 대의 ATC간의 연계와 작업의 할당 및 역할분담 상황, AGV의 작업상황 등을 평가할 수 있다.



<그림 9> 선박작업 Viewpoint



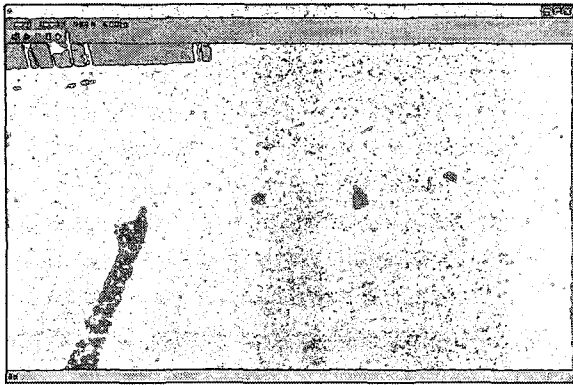
<그림 10> AGV 작업 Viewpoint



<그림 8> C/C 결과값

#### 4.2 애니메이션

애니메이션을 수행하여 객체간 상호 연관성을 가지는 작업상황에 대한 3차원 시뮬레이션 화면



<그림 11> 야드크레인 작업 Viewpoint

<그림 11>은 해측 TP와 안벽간의 이송작업을 판단하기 위한 화면으로 AGV의 주행상태, 육측 TP와 해측 TP에서의 대기상황 등을 평가할 수 있다.

- [3] 윤원영, 최용석, 이명길, 송진영, “객체지향접근법을 사용한 컨테이너 터미널 시뮬레이터의 설계”, IE Interfaces, Vol.13, No.4, 2000.
- [4] 윤재문, 이창민, “가상현실기술을 응용한 항행정보 지원 시스템 개발”, 선박해양기술, 제 35호, pp.105-114, 2003.
- [5] Hans, P.M. Veeke and Jaap, A. Ottjes, “TOMAS: Tool for Object-Oriented Modeling and Simulation”, *Proceedings of the Business and Industry Simulation Symposium*, 2000.
- [6] Yun, W.Y. and Choi, Y.S., "Simulation Model for Container-Terminal Operation Analysis Using Object-Oriented Approach", *International Journal of Production Economics*, Vol.59, 1999.

## 5. 결론

본 연구에서는 자동화 컨테이너터미널의 설계 단계에서 3차원 시뮬레이션을 통하여 사전에 발생할 문제점을 도출하고 운영상의 문제점을 예측할 수 있도록 설계를 위한 성능평가 기능을 가지는 시뮬레이션 모델을 제시하였다. 자동화 컨테이너터미널의 운영을 가상환경에 구현할 경우 객체의 사실성, 객체간의 상호연관성, 설계모듈의 반영성 등을 제시하고, 시뮬레이션 실험결과로 시나리오 분석 결과를 얻을 수 있다. 자동화 컨테이너터미널에서 사용되는 C/C, ATC, AGV, 장치장, 게이트, 컨테이너, 외부트럭, 선박 등에 대한 시뮬레이션과 애니메이션의 적용으로 자동화 컨테이너터미널의 설계를 개선하는데 이용할 수 있다.

## 참 고 문 헌

- [1] 박주용, 차태인, 강현진, 김혜정, “선박조립과정의 3차원 시뮬레이션에 관한 연구”, 2002년 한국시뮬레이션학회 학술대회논문집, pp.11 -14, 2002.
- [2] 양창호, 최용석, “컨테이너터미널 계획 시뮬레이션 모델링 개발방향 연구”, 해양정책연구, 제17권, 2호, 2002.