

자동화 컨테이너터미널의 설계를 위한 3차원 시뮬레이션

최용석* · 하태영** · 양창호***

*한국해양수산개발원 책임연구원, **한국해양수산개발원 연구원, ***한국해양수산개발원 연구위원

3-Dimensional Simulation for the Design of Automated Container Terminal

Yong-Seok Choi* · Tae-Young Ha** · Chang-Ho Yang***

Shipping, Logistics and Port Research Center, Korea Maritime Institute, Seoul, Korea

요 약 : 본 연구는 자동화 컨테이너터미널의 설계를 지원하기 위한 3차원 시뮬레이션을 소개한다. 이 시뮬레이션 시스템은 자동화 컨테이너터미널의 가상적 운영을 시뮬레이션 하고 실시간으로 시뮬레이션 결과를 애니메이션 한다. 개발된 시스템은 객체지향 설계와 C++ 프로그래밍을 적용하여 재사용성과 확장성을 높인 시스템이다. 자동화 컨테이너터미널의 설계단계에서 3차원 시뮬레이션을 통하여 자동화 컨테이너터미널을 가상의 환경으로 구현하여 사전에 발생할 문제점을 도출하고 운영상의 문제점을 예측하거나 운영로직의 합리성을 테스트할 수 있도록 사용되는 객체들에 대한 성능평가 항목을 선정하고 평가방안을 제시한다.

핵심용어 : 3차원 시뮬레이션, 자동화 컨테이너터미널, 평가항목, 객체지향 설계

ABSTRACT : In this study, we introduce a 3-dimensional simulation to support the Design on ACT(Automated Container Terminal). This simulation system developed to simulate virtual operations of ACT using 3-dimensional simulation and animate the simulated results with real time. And the developed system applied an object-oriented design and C++ programming to increase the reusability and extensibility. We select several items of performance evaluation for objects used in ACT in terms of problem detection, problem forecast, and logic feasibility, and provide evaluation points for the design of ACT.

KEY WORDS : 3-dimensional simulation, automated container terminal, evaluation, object-oriented design

1. 서 론

컨테이너터미널은 대형의 복잡한 시스템이므로 기본계획수립, 기본설계, 실시설계 등의 다단계의 설계과정을 거치고 토목공사 및 건설 등에 많이 개발 기간이 소요되는 특성을 가지고 있다. 또한 개발과정에서의 설계 및 시공에 관련된 요구사항이 변경될 수 있다. 개발 기간이 장기간이므로 시공단계에서는 설계 단계에서 발생하는 문제점을 수정하는 것은 상당한 시간과 노력이 소요되고 가능한 설계단계에서 발생가능한 문제점들이 검토되고 해결되어야 한다.

이러한 문제를 해결하기 위한 수단으로 기본설계 단계에서 설계안을 시뮬레이션 기술을 이용하여 컨테이너터미널의 설계,

운영, 평가 등의 미래의 불확실한 상황을 테스트하여 사전에 발생할 문제점을 발견하여 해결해 나가는 것이 중요하다. 또한 기본설계 단계에서 시뮬레이션을 적용할 경우 사용자의 기관을 반영하여 설계가능하다는 장점도 가지고 있다(양창호 외, 2002).

특히 자동화 컨테이너터미널의 경우 유럽의 ECT와 CTA에서 적용되고 있으나 국내에는 운영경험이 없으므로 설계단계에서 미리 시뮬레이션을 통해서 문제해결 능력을 가지는 것이 필요하며, 좀더 현실적이고 구체적인 상황을 반영하기 위해서는 3차원 시뮬레이션에 의한 가상현실 기술의 적용이 필요하다(박주용 외, 2002)(윤재문 외, 2003).

그러므로 본 연구에서는 자동화 컨테이너터미널의 설계단계에서 3차원 시뮬레이션을 통하여 자동화 컨테이너터미널을 가상의 환경으로 구현하여 사전에 발생할 문제점을 도출하고 운영상의 문제점을 예측하거나 운영로직의 합리성을 테스트할 수 있도록 설계를 위한 성능평가 방안을 제시한다. 특히 시뮬레이

*중신회원, drasto@kmi.re.kr 02)2105-28865

**haty@kmi.re.kr 02)2105-28865

***yang@kmi.re.kr 02)2105-2881

선 시스템은 시뮬레이션에서의 정보를 3D 애니메이션으로 전환하여 3차원 애니메이션이 가능하도록 하는 방식으로 3차원 시뮬레이션을 구현하였다. 자동화 컨테이너터미널의 운영을 가상환경에 구현할 경우 평가되어야 할 평가항목을 제시하고, 제시된 평가항목들에 대한 실험결과를 토대로 분석을 함으로써 3차원 시뮬레이션을 통해서 자동화 컨테이너터미널의 설계를 평가할 수 있는 방안을 제시하고자 한다.

2. 시스템 설계

Hans 외(2000)는 ECT에 대한 기술자문 시뮬레이션 연구를 통해서 자동화 컨테이너터미널은 대형의 시스템으로 시스템의 동작과 운영로직이 복잡하여 시스템의 현상을 정확히 반영하는 시뮬레이션 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. 1990년대 중반이후 많이 도입된 방법론은 사물을 속성과 행위를 가진 객체로 인식하는 객체지향접근법(object-oriented approach)이며(Yun 외, 1999), UML을 적용하는 것도 보편화되어 가고 있다. 객체지향접근법을 이용하여 시뮬레이션 프로그램을 개발할 경우 객체발견과 구조화, 객체의 식별과 속성 정의, 메소드 정의 및 메시지 연결 등의 3단계를 통하여 객체지향 시뮬레이션이 가능하게 된다(윤원영 외, 2000)

실제로 시뮬레이션시스템을 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 클래스·시퀀스·상태 다이어그램 등의 효과적인 도구를 제공한다. 즉, 체계적인 설계 관리 및 구현의 편리성을 소프트웨어 중심의 모델링 도구인 UML을 사용함으로써 설계내용들을 가시화, 명세화, 문서화할 수 있다(양창호 외, 2002).

전체적인 시스템의 틀 안에서 시뮬레이션이 구현되도록 하기 위해서는 다양한 시뮬레이션 로직과 표현기법을 포함한 통합시뮬레이션 형태가 필요하며, 이를 통합시스템 관점에서 구성하면 Fig. 1과 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 객체체계는 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. 시퀀스 다이어그램은 시간 진행에 따른 메시지 순서를 강조하며, 형태는 교류에 참가하는 객체들을 도해 위쪽의 가로축에 배치하고 교류를 주도하는 객체를 왼쪽에 배치한다. 이 객체들이 주고받는 메시지들은 세로축에 따라 배치시켜 위에서 아래로 시간흐름에 맞춘다. 이를 표현하면 Fig. 2와 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.

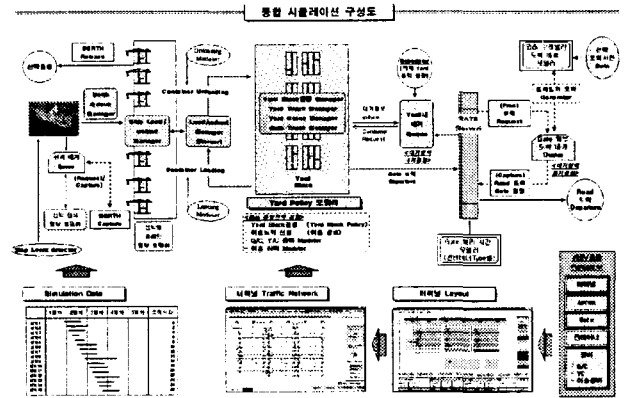


Fig. 1 Configuration of integrated simulation system

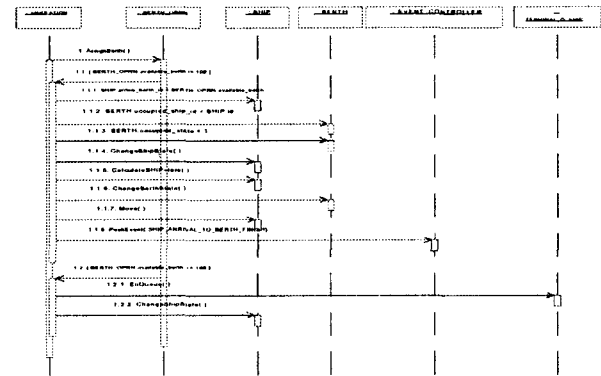


Fig. 2 Sequence diagram

3. 3차원 시뮬레이션

3.1 3차원 시뮬레이션 시스템

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 설계모델의 신뢰성을 최종적으로 검증하는데 그 목적이 있다고 할 수 있으며, 검증의 용이성을 제공한다는 측면에서 매우 유용하다고 할 수 있다.

또한 3차원 시뮬레이션은 시뮬레이션 수행에서 얻어진 각 객체에 대한 정보를 기초로 하여 객체간의 연관성이 있는 작업흐

를을 가지적으로 제공하는 기능으로 이러한 3차원 시뮬레이션은 터미널의 업무흐름을 쉽게 파악하여 문제점을 찾는 데 효과적인 도구의 역할을 한다.

특히 자동화 컨테이너터미널용 3차원 시뮬레이션은 여러 개의 객체들이 상호 연관성을 가지며 작업이 이루어지는 복잡한 하역시스템구조이기 때문에 시뮬레이션을 통한 결과 분석에 있어 수치적인 결과값에 의한 검증이 용이하지 않으며 모델 설계 시 고려해야 할 사항과 누락부분이 상당히 발생하게 된다.

이러한 점에서 시뮬레이션 모델과 연동된 3차원 시뮬레이션은 모델의 검증을 단순한 수치적 검증이 아닌 가시적 검증을 제공함으로써 보다 개선된 검증단계를 거쳐 모델의 신뢰성을 확보할 수 있는 기능을 제공한다고 볼 수 있다. 즉, 3차원 시뮬레이션 기능은 단순한 구현효과 이상의 이점을 가지는 기능이다.

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.

개발된 자동화 컨테이너터미널용 3차원 시뮬레이션 시스템은 항만을 구성하는 물리적인 요소에 대한 3차원 모델링 및 3차원 시뮬레이션을 위한 애니메이션 인터페이스 설계를 기반으로 하여 실시간으로 수행되는 자동화 컨테이너터미널용 통합시뮬레이션 시스템이다.

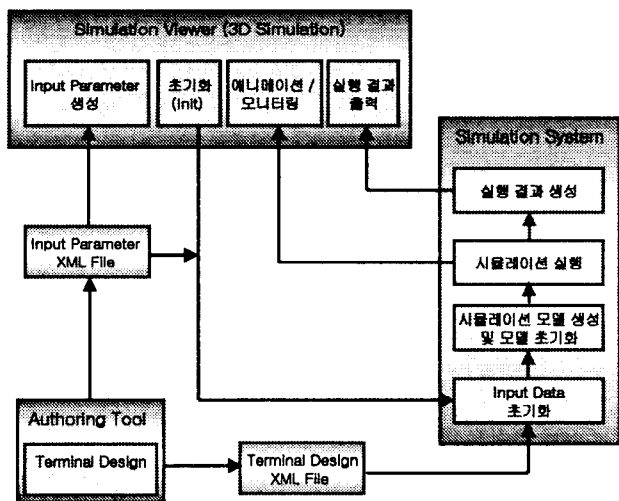


Fig. 3 Relationship between simulation modules and 3D simulation

특히, 항만 개발시 사용자(설계자 또는 분석자)의 요구사항으로부터 상세 분석이 필요한 적용 가능한 대안들을 도출하고 이에 대한 상세한 검증을 수행함으로써 의사결정의 시간과 노력을 줄이는 것이 중요하다. 또한 그 과정에서 사용되는 정보와 결과들은 체계적으로 관리되어 재사용과 수정이 용이해야 한다. 개발된 시스템은 컨테이너터미널의 계획단계에서 소요자원

의 규모 및 운영전략을 평가하기 위해 시뮬레이션을 이용할 경우에 효율적인 의사결정이 이루어 질 수 있도록 관련 정보와 기능들을 통합 관리할 수 있는 시스템을 구현하는 것이다. 이를 위하여 시스템의 확장성과 유연성을 고려하여 구성 모듈의 역할과 그들간의 정보흐름을 분석하여 의사결정의 프로세스와 각 구성 모듈이 수행하게 될 기능을 정의하였다.

Fig. 3과 같이 터미널 설계를 위한 저작도구(Authoring Tool), 시뮬레이션 실행을 위한 시뮬레이션 시스템(Simulation System), 3차원 애니메이션으로 가시화하기 위한 시뮬레이션 뷰어(Simulation Viewer)의 세가지 영역이 상호연계되며, 시뮬레이션 정보 및 설계정보는 XML file로 작성된다.

Table 1 Development environment of integrated simulation

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

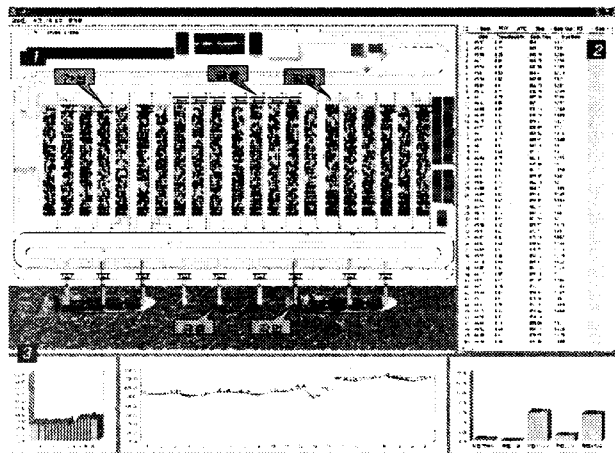


Fig. 4 2D animation interfaced with integrated simulation system

Fig. 4는 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.

본 연구에서 개발된 3차원 시뮬레이션은 Fig. 5와 같이 3차원 시뮬레이션 수행시의 전체 조감도로써 터미널의 구조적인 묘사가 잘 이루어져 있으며 터미널의 하역시스템을 이루는 각 객체의 생성이 설계시의 조건을 만족하도록 구현이 된 것이다. 개발

된 본 시스템은 터미널 하역시스템작업 상황들을 상세히 관찰할 수 있도록 다양한 View Point 기능을 제공하고 있다.

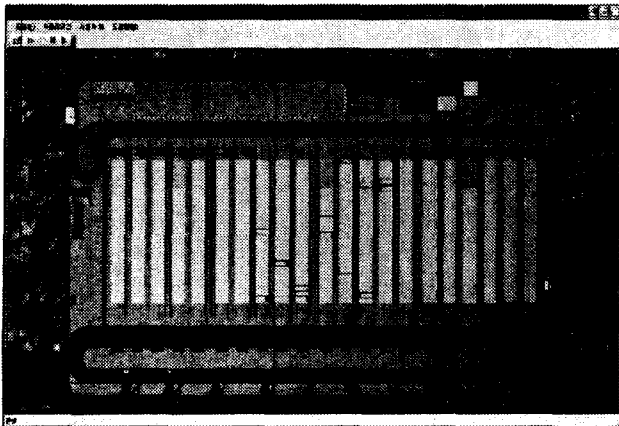


Fig. 5 Main display of 3D simulation

3.2 시뮬레이션 수행 객체

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

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 지원하느 큰 ATC와 반출입 작업을 지원하는 작은 ATC로 구분된다. 이 두 ATC는 작업상황에 따라 동일 블록 내에서 교차주행이 가능하도록 설계되었다. ATC객체는 프로그램 실행시 초기에 생성되어 종료시까지 보존되는 객체이며, 안벽측 AGV와 육측의 외부트럭객체와 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 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 반입 게이트객체와 반출게이트 객체로 나뉘어진다. 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.

Table 2 Key objects of 3D simulation

객체명	연관객체	객체의 생성 및 소멸
C/C	선박, AGV, 컨테이너	프로그램 실행시 생성되어 종료시까지 보존되는 객체
ATC	AGV, 외부트럭, 컨테이너	
AGV	C/C, ATC 컨테이너	
장치장	AGV, ATC, 컨테이너	
게이트	외부트럭, 컨테이너	프로그램 수행중 특정 시각에 생성되며 작업이 완료되면 자동으로 소멸되는 객체
컨테이너	C/C, AGV, ATC, 선박, 외부트럭, 게이트, 장치장	
외부트럭	ATC, 게이트, 컨테이너	
선박	C/C, 컨테이너	소멸되는 객체

4. 3차원 시뮬레이션 성능 평가

4.1 평가항목

3차원 시뮬레이션은 시뮬레이션 엔진에서 생성된 원시자료를 사실적으로 묘사하는 것이 주목적이므로 평가항목을 설정하는데 있어서도 이러한 점을 주요항목으로 보아야 한다. 사실적 묘사란 엔진에서 생성된 원시자료를 왜곡없이 가시적으로 표현하는 것으로써 이를 통하여 엔진 설계상의 오류를 쉽게 파악할 수가 있는 것이다.

3차원 시뮬레이션의 성능평가를 위한 항목은 객체의 사실적인 묘사, 객체간의 상호 연관된 묘사, 그리고 설계 모듈의 반영 등

이다.

1) 객체의 사실적인 묘사

객체의 사실적인 묘사는 시뮬레이션 모델 설계시 각 객체에 정의한 속성 및 이벤트가 시뮬레이션 수행중에 정확히 반영되었는가를 나타내는 정도이다. 객체의 사실적 묘사에 오류가 발생하면 시뮬레이션의 결과값은 상당히 왜곡되어 유효한 결과치를 가질 수 없는 경우가 많이 발생하며, 반대로 유효한 결과치를 보였다 하더라도 왜곡된 수행간의 상호효과에서 발생하는 것이 대부분이며, 이를 엔진에서 생성된 원시적인 결과치만 가지고 인지하기란 사실상 불가능하다고 볼 수 있다. 그러나 3차원 시뮬레이션은 이러한 점을 가시적으로 쉽게 인지할 수 있게 하므로 주요 평가 항목으로 설정할 필요가 있다.

평가항목에서 객체의 사실적인 묘사의 오류는 객체의 특성이나 작업상황에 따라서 시뮬레이션의 결과에 다소 영향을 미치게 되는데 이러한 영향의 정도를 확인할 수 있는 이점이 있으므로 시뮬레이션에서 제공하는 부수적인 기능이라고도 볼 수 있다.

객체의 사실적인 효과는 다시 크게 2가지 세부항목으로 나누어 평가할 필요가 있는데 시뮬레이션 수행 정보의 오류에서 발생하는 객체 묘사의 오류와 단순한 동작의 묘사오류의 2가지가 있다.

① 수행정보에 의한 오류묘사

이 오류는 시뮬레이션 엔진에서 얻어진 수행 결과값에 오류가 있음을 의미하는 것으로 오류의 수정이 필요한 부분이다. 따라서 시뮬레이션에서는 이러한 오류에 대해서는 수정작업을 하여야 한다.

② 동작의 오류묘사

이것은 시뮬레이션 엔진의 결과값을 표현하는 과정에서 발생한 단순한 View 처리 오류이다. 이 오류는 시뮬레이션 엔진과는 무관하며, 시뮬레이션 결과값에는 전혀 영향이 없다. 따라서 작업을 이해하는데 큰 무리가 없는 경우이며 수정을 요하지 않는다.

따라서 시뮬레이션 평가에서는 상위의 2가지 오류 모두에 대하여 확인 작업을 거치는 검증(validation)이 필요하다.

2) 객체간의 상호 연관된 묘사

객체의 사실적인 묘사는 정의된 속성과 이벤트의 충실도를 나타내는 것으로 오류의 발견 및 수정이 용이한데 비하여 객체간의 상호 연관된 묘사는 상당히 구현하기 어려운 점이 많으며 불가능한 경우도 종종 발생한다. 본 연구의 3차원 시뮬레이션은 기존에 개발된 타 시뮬레이션 모델들과 달리 엔진에서 생성된 정보를 충실히 반영하도록 설계되었기 때문에 이러한 연관

작업에 대한 처리시 타이밍을 맞추기가 어려운 점이 많다. 따라서 시뮬레이션 수행 중에 발생하는 이러한 객체간의 상호 연관된 묘사의 충실도를 어느 정도 허용할 것인가를 우선적으로 정의하여야 할 필요가 있다. 즉 객체간의 상호 연관된 묘사에 다소 오류가 있더라도 시뮬레이션 결과에 크게 영향이 없을 것으로 판단되면 시뮬레이션의 엔진설계에 대한 신뢰성을 확보한 것으로 봐도 무방하다고 판단할 수 있다. 이러한 측면에서 객체간의 상호 연관된 묘사는 단일 객체의 묘사에 비해 완화된 평가기준으로 설정하였다.

3) 설계 모듈의 반영

시뮬레이션에서는 여러 개의 단위모듈들이 복합되어 시뮬레이션이 수행되도록 설계되었다. 이것은 시뮬레이션 수행 중에 단위모듈에서 제공하는 각종 운영방식이 적용되는 것으로 시뮬레이션 엔진의 핵심부분이라고 할 수 있다. 시뮬레이션의 각 단위 모듈에는 시뮬레이션을 위한 설계모델이 정의되어 있는데 이것은 터미널의 운영시스템을 의미한다. 이러한 운영시스템이 시뮬레이션 수행에 어느 정도 잘 반영되어 결과치를 얻었는가를 판단하기 위해서는 시뮬레이션 수행시에 설계모델의 반영여부를 확인해야 한다. 설계모델의 반영여부를 쉽게 확인하는데 있어서도 3차원 시뮬레이션이 유용하게 사용될 수 있으므로 평가항목으로 설정하였다. 그러나 이 평가항목은 일정기간의 운영상황을 주시한 후에 적합성 여부를 판단할 수 있기 때문에 1), 2)의 평가항목에 비해 평가기간이 다소 오래 걸리는 단점이 있다.

Table 3 Evaluation items of 3D Simulation

항목	평가내용
객체의 사실성	생성된 객체가 설계시에 정의한 속성 및 이벤트를 충실히 수행하는지 여부를 확인하는 것임
객체간의 상호연관성	2개 이상의 객체가 설계시에 정의한 상호 연관성을 충실히 수행하는지 여부를 확인하는 것임
설계모듈의 반영성	설계시 정의한 각종 운영방식에 의거하여 전체 객체들이 충실히 수행되는지 여부를 확인하는 것임

4.2 평가내용

시뮬레이션을 통해서 평가되는 내용은 장비별 단독작업과 장비간 연계작업이며, 장비별 단독작업일 경우는 안벽작업과 야드작업으로 구분되며, 장비간 연계작업은 육측 TP(Transfer Point)영역, 해측 TP영역, 안벽영역으로 구분되며, 각 작업에 대한 상황은 Table 4와 같이 객체의 연관성에 따른 대부분, 작업영역에 따른 구체적인 작업이 소분류로 작성되었다.

Table 4 Simulation situation for evaluation of 3D simulation

대분류	소분류	
장비별 단독 작업	안벽 영역	C/C의 본선양하작업 상황
		양하시 First Trolley의 버퍼적재작업 상황
		양하시 Second Trolley의 버퍼추출작업 상황
		양하시 해측에서의 이송작업 상황
		적하시 육측에서의 이송작업 상황
		적하시 Second Trolley의 버퍼적재작업 상황
		적하시 First Trolley의 버퍼추출작업 상황
		C/C의 본선적하작업 상황
		야드 영역
	양하시 큰 ATC의 블록적재작업 상황	
	적하시 큰 ATC의 블록추출작업 상황	
	반출트럭의 반출작업 상황	
	반입시 작은 ATC와 트럭의 육측 TP 작업 상황	
	장비간 연계 작업	육측 TP영역
양하시 큰 ATC와 AGV의 해측 TP 작업 상황		
해측 TP영역		적하시 큰 ATC와 AGV의 해측 TP 작업 상황
		양하시 Second Trolley와 AGV의 안벽 작업 상황
안벽 영역		적하시 Second Trolley와 AGV의 안벽 작업 상황

평가항목을 앞에서 정의한 객체의 사실성, 객체간 상호 연관성, 설계모듈의 반영성으로 두고 평가대상을 시뮬레이션 수행 객체에 대해서 단독작업과 연계작업에 대해서 평가내용을 작성한 것이 Table 5이다.

Table 5의 평가내용 중 객체간 상호 연관성을 가지는 작업상황에 대한 3차원 시뮬레이션 화면이 Fig.6 - Fig.9이다.

Fig. 6은 선석에서 선박에 대한 C/C의 양적하 작업시의 작업상황을 평가하기 위한 것으로 C/C의 작업성능에 따른 부하와 작업의 효율성을 평가할 수 있다.

Fig. 7은 해측의 TP에서 AGV에 대해 서비스를 하는 ATC와의 연계작업을 평가하는 것으로 두 대의 ATC간의 연계와 작업의 할당 및 역할분담 상황, AGV의 작업상황 등을 평가할 수 있다.

Table 5 Evaluation items and contents

평가 항목	평가대상	평가내용
객체의 사실성	C/C	C/C객체의 생성 및 동작
	ATC	ATC객체의 생성 및 동작
	AGV	AGV객체의 생성 및 동작
	장치장	장치장객체의 생성
	게이트	게이트객체의 생성
	컨테이너	컨테이너객체의 생성 및 소멸
	외부트럭	외부트럭객체의 생성, 소멸 및 동작
	선박	선박객체의 생성 및 소멸
객체간 상호 연관성	선박↔C/C	본선 양적하 작업
	C/C↔AGV	본선 양적하 작업
	AGV↔ATC	본선 양적하 작업
	ATC↔외부트럭	장치장 반출입 작업
실제 모듈의 반영성	게이트↔외부트럭	게이트 입출 작업
	장치장 계획	수출입 컨테이너의 장치위치할당
	외부트럭 도착패턴	반출입 트럭의 도착간격
	AGV 작업할당	양적하시 이송작업 할당
	C/C 작업할당	본선 양적하 작업물량 배정
	선박도착패턴	터미널의 선박 도착 시간간격
ATC 작업할당	장치장 작업 할당	



Fig. 7 Viewpoint of C/C operation in berth

Fig. 8은 장치장에서 ATC의 상하차(loading/unloading) 작업을 평가할 수 있는 화면으로 두 대의 ATC간의 교행이 시각적으로 분석 가능하다.

Fig. 9는 해측 TP와 안벽간의 이송작업을 평가하기 위한 화면으로 AGV의 주행상태, 육측 TP와 해측 TP에서의 대기상황 등을 평가할 수 있다.

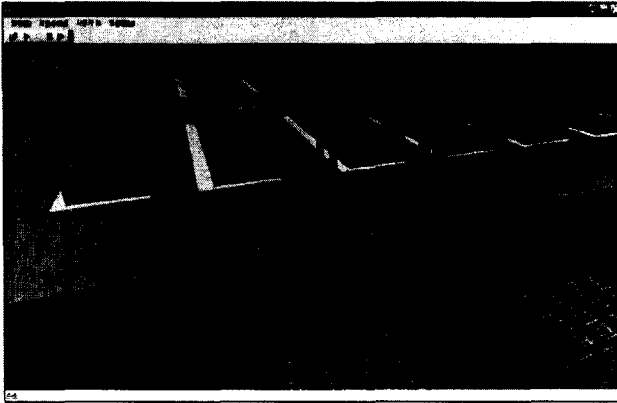


Fig. 8 Viewpoint of ATC operation in seaside transfer point

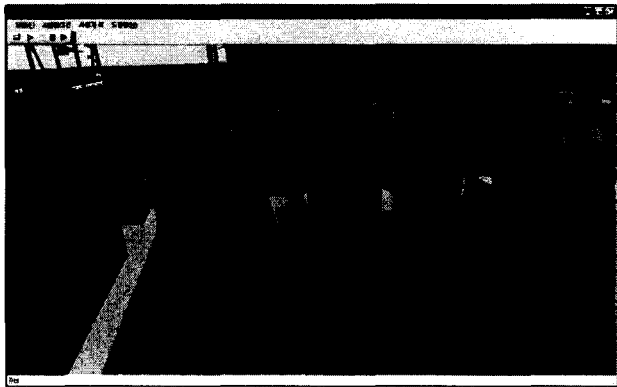


Fig. 9 Viewpoint of ATC operation in yard

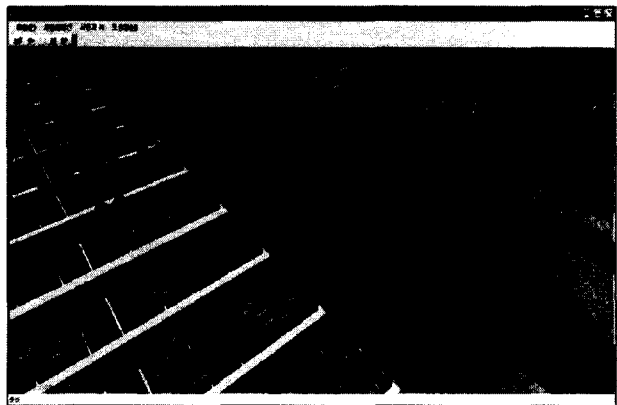


Fig. 10 Viewpoint of transport operation between seaside transfer point and apron

5. 결 론

자동화 컨테이너터미널의 경우 유럽의 ECT와 CTA에서 운영 중에 있으나 국내에는 아직 운영경험이 없으므로 시제품을 통한 검증이 불가능하며, 설계단계에서 미리 시뮬레이션을 통해

서 사전에 검증단계를 거치는 것이 필요하다. 자동화 컨테이너터미널은 시스템이 복잡하므로 새로운 설계에 대한 검토가 어려우며, 자동화 장비의 운영기술 측면에서도 좀더 현실적이고 구체적인 상황을 반영하기 위해서는 3차원 시뮬레이션으로 운영상의 문제점에 대한 성능평가 항목설정과 성능평가가 중요하다.

본 연구에서는 자동화 컨테이너터미널의 설계단계에서 3차원 시뮬레이션을 통하여 자동화 컨테이너터미널을 가상의 환경으로 구현하여 사전에 발생할 문제점을 도출하고 운영상의 문제점을 예측하거나 운영로직의 합리성을 테스트할 수 있도록 설계를 위한 성능평가 항목을 선정하고 성능평가 방안을 제시하였다. 자동화 컨테이너터미널의 운영을 가상환경에 구현할 경우 평가되어야 할 평가항목으로 객체의 사실성, 객체간의 상호연관성, 설계모듈의 반영성 등을 제시하고, 제시된 평가항목들에 대한 실험에서는 장비별 단독작업과 장비간 연계작업을 시뮬레이션 결과를 토대로 분석을 함으로써 컨테이너터미널에서 사용되는 평가대상 객체인 C/C, ATC, AGV, 장치장, 게이트, 컨테이너, 외부트럭, 선박 등에 대한 평가항목의 적용으로 자동화 컨테이너터미널의 설계를 평가할 수 있는 방안을 제시하였다.

참 고 문 헌

- [1] 박주용, 차태인, 강현진, 김혜정(2002), "선박조립과정의 3차원 시뮬레이션에 관한 연구", 2002년 한국시뮬레이션학회 학술대회논문집, pp.11-14.
- [2] 양창호, 최용석(2002), "컨테이너터미널 계획 시뮬레이션 모델링 개발방향 연구", 해양정책연구, 제17권, 2호.
- [3] 윤원영, 최용석, 이명길, 송진영(2000), "객체지향접근법을 사용한 컨테이너 터미널 시뮬레이터의 설계", IE Interfaces, Vol.13, No.4.
- [4] 윤재문, 이창민(2003), "가상현실기술을 응용한 항행정보 지원 시스템 개발", 선박해양기술, 제35호, pp.105-114.
- [5] Hans, P.M. Veeke and Jaap, A. Ottjes(2000), "TOM:AS: Tool for Object-Oriented Modeling and Simulation", Proceedings of the Business and Industry Simulation Symposium.
- [6] Yun, W.Y. and Choi, Y.S.(1999), "Simulation Model for Container-Terminal Operation Analysis Using Object-Oriented Approach", International Journal of Production Economics, Vol.59.