

컨테이너터미널용 객체지향 시뮬레이터

최용석*

An Object-Oriented Simulator for Port Container Terminal

Yong Seok Choi*

Abstract

Since container throughput is continually increasing, the main issues facing decision-makers at port container terminals are how to expand the existing container terminals and construct new container terminals. Simulations that support user needs require modeling tools that are both easy to use and sufficiently to reflect real world system. The object-oriented approach provides for both reusability and modularity that best fits these requirements.

This paper present the design procedure a simulator for port container terminal that was based on the object-oriented approach. The simulator in order to model and simulate the TC-based container terminals is developed.

Key Words : Container Terminal, object-oriented approach, Simulator

1. 서론

국내 컨테이너 물동량의 약 80%를 처리하는 부산항의 6개 컨테이너터미널은 2002년도 기준 21선석에서 9,453,356TEU를 처리하여 세계 3 위권에 드는 대형 항만이다. 특히 컨테이너터미널은 시설 규모가 크기 때문에 새로운 컨테이너터미널을 건설하는 데는 장기간의 계획과 검토가 요구되므로 시설물 수요에 대한 장기간의 예측이 필요하며, 시장 환경의 변화로 인해 시설물을 증설할 경우나 운영방식을 변경할 경우에도 그 변화가 시스템의 성능에 어느 정도

의 영향을 주는가 또는 효율적인가를 판단하기 위한 의사결정의 도구로서 시뮬레이션 방법을 사용하게 되며, 사용자가 수립한 다양한 대안에 대한 분석이 가능하다는 것도 시뮬레이션 방법을 도구로 사용하는 장점이기도 하다.

최근에는 새로운 컨테이너터미널의 건설을 위한 시뮬레이션의 이용과 함께 기존 컨테이너터미널의 재설계(redesign) 또는 리모델링(remodeling)을 위한 타당성 검증용으로 시뮬레이션을 많이 이용하고 있다(Albert W. et al. 2003).

그러나 실제 문제를 시뮬레이션 방법으로 접근하고자 할 때에도 많은 어려움을 겪게 되는데 그것은 시뮬레이션 시스템을 개발하기 위해

* 한국해양수산개발원 해운물류·항만연구센터

서는 시스템의 상태와 현상을 파악하여 논리적으로 모형화하는 전문가의 경험과 지식이 필요하며, 시물레이션 시스템으로 구현하는데 많은 시간과 노력이 필요하고, 시장 환경의 변화에 따라 실제 시스템이 변화에 대처해야 할 경우 개발된 시물레이션 시스템이 유연성을 제공해야 한다는 것이다. 이러한 요구사항으로 인해 객체지향 시물레이션이 1990년대 중반이후 보편화되고 있다(양창호 & 최용석 2001).

따라서 컨테이너터미널의 새로운 운영 시스템 도입, 운영계획의 타당성 검증, 작업통제 논리의 합리성 테스트, 터미널 설계 대안의 효율성 테스트 등의 목적을 가진 시물레이션 연구에 대상 컨테이너터미널의 모형화가 용이하고 시스템의 변경 시에 유연성을 제공하는 시물레이션 시스템을 개발하는 것이 필요하다.

본 연구에서는 부산항의 컨테이너터미널 시스템을 대상으로 하여 객체지향 시물레이터를 소개한다. 적용 사례로서 개발된 시물레이션 시스템을 이용하여 가상의 컨테이너터미널에 대한 시물레이션 모델을 구축하고 실험, 분석하였다. 또한 개발된 시스템에서 객체의 재사용성과 모델의 확장성 등의 장점을 제공함으로써 사용자의 시스템 사용목적에 따라 다양하게 활용 가능하다는 것을 보이고자 한다.

2. 시스템 분석 및 설계

컨테이너터미널 시스템을 분석할 때 먼저 시물레이션 목적에 근거하여 시물레이션 모델의 상세도를 결정하게 되며, 상세도에 따라 거시적 운영 수준과 미시적 운영 수준을 결정하여야 한다. 거시적 운영 수준은 시설물의 소요규모 및 배치와 관련되며, 컨테이너 흐름에 따라 컨테이너 처리작업의 분석을 행하게 되며, 미시적 운영 수준은 장비의 작업특성을 고려하여 장비간의 상호작용과 장비 자체의 운영 위주로

분석하게 된다.

2.1 컨테이너터미널 시스템 분석

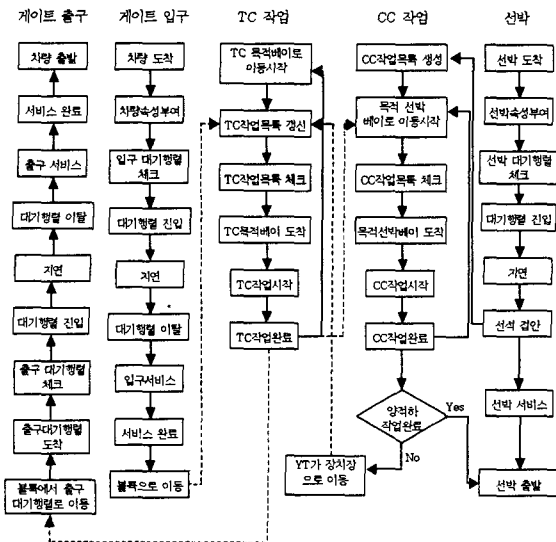
컨테이너터미널 시스템은 육상 컨테이너 물류와 해상 컨테이너 물류를 중계하는 기능을 수행하는 시스템으로서 하역이송기능(transferring function), 보관기능(stowing function), 혼재기능(consolidating function) 등의 기본 기능을 수행한다. 이러한 기능을 수행하기 위해서 고정 시설물과 가동 장비를 보유하고 있으며, 이를 분류하면 고정 시설물은 세계의 서브시스템인 게이트(gate), 장치장(container yard), 선석(berth)으로 구성되며, 컨테이너를 취급하는 가동 장비로는 트랜스퍼크레인(transfer crane:TC), 컨테이너 크레인(container crane:CC), 야드 트랙터(yard tractor:YT), 외부트럭(truck) 등이 사용된다.

본 연구에서는 부산항 컨테이너터미널에서 운영중인 전형적인 TC-YT-CC 체제를 대상으로 하였으며, 운영되는 컨테이너터미널 시스템의 주요 시설물은 크게 게이트, 장치장, 선석의 세부분으로 구성되며, 사용되는 장비로는 장치장에서 사용되는 TC, 선석에서 사용되는 CC, 장치장과 선석간을 이동하는 YT, 그리고 터미널 외부에서 게이트를 통과하여 장치장과 게이트간을 이동하는 외부트럭 등이 있다.

컨테이너터미널의 작업의 기본 유형은 컨테이너를 실은 차량의 목적지 이동 방향에 따라 반입(receiving), 반출(delivery), 양하(unloading), 적하(loading) 등으로 구분되며, 반입과 적하가 컨테이너 화물을 수출하기 위한 작업과정이고, 양하와 반출이 컨테이너 화물을 수입하기 위한 작업과정이다. 컨테이너터미널은 시설물의 규모가 크고 사용 장비 대수가 많으므로 이러한 장비들의 작업이 동시에 여러 지점에서 일어나면서 서로 상호작용을 하고 있다. 이러한 작업들은 <그림 1>과 같이 연속적

인 사건과정을 따르며, 각 작업유형에 대해서는 사건 순으로 진행되므로 이산-사건 시물레이션에서 사건 순으로 묘사가 가능하다.

<그림 1>에서 화살표로 표현된 것은 컨테이너 작업을 위한 흐름을 묘사한 것이며, 점선으로 표현된 것은 서브 시스템간의 이동이 발생하는 경우로서 게이트와 장치간의 이동은 외부트럭이 담당하고, 장치장과 선석간의 이동은 YT가 담당하게 된다. 따라서 외부트럭과 YT는 TC작업이 수행되는 장치장의 블록에서 만나게 되며, 이 경우에 이동경로, 대기현상, 작업순서 선정 등이 문제가 된다. 그러므로 이러한 문제를 해결하기 위해서 장비운영 로직이 필요하며, 작업을 위한 계획이 수립되어야 한다.



<그림 1> 컨테이너터미널에서의 작업흐름

2.2 객체지향 모델링

본 연구에서는 컨테이너터미널의 객체지향 시물레이션을 위해 대상 시스템을 객체지향 접근법을 사용하여 모델링하며, 객체는 컨테이너터미널에서 사용되는 실물 개체와 시물레이션 모델에서의 객체가 일대일 대응이 되도록 객체를 선정하였으며, 이러한 대응관계를 이용하여

발견된 객체들을 구조화하기 위해 사용되는 목적에 따라 물류객체(material flow object), 정보흐름객체(information flow object)로 구분하여 모델링 하였다(윤원영 외 2000). 물류객체는 컨테이너, 기계장비, 운송장비, 시설물, 대기장소 등 물리적인 요소이며, 정보흐름객체는 컨테이너 정보, 객체속성과 같이 정확한 물류를 위해 사용되는 정보에 관한 객체이다.

물류객체 모델링

물류객체 모델링을 위해서 객체의 대표성을 가진 4개의 슈퍼클래스를 구분하고, 동일한 기능의 클래스를 상속시켜서 물류객체를 정의하였다. 물류객체의 특성구분은 속성을 부여하여 구분하며, 여기에 메소드를 정의하여 구체적인 행위를 지정할 수 있다. <표 1>에서의 같이 대표성을 가진 슈퍼클래스로 TRANSPORTER, FACILITY, CONTAINER, BUFFER 등을 정의하였다.

정보흐름객체 모델링

정보흐름객체는 사용자 정의 속성으로 정의되는 객체속성, 작업제어를 위한 메소드, 작업의 구체적인 위치와 시간을 가지는 작업일정 테이블 등의 세가지로 구분될 수 있다. 사용자 정의 객체속성과 메소드는 클래스의 설계에서 정의된다.

<표 1> 물류객체로 정의한 클래스

슈퍼클래스	클래스	속성	메소드
TRANSPORTER	CC	work_state, work_type current_location destination	move() work() decision_dest() work_control()
	TC	work_state work_type current_location destination	move(), work() work_control()
	YT	work_state speed destination	move() work_control()
	외부트럭	state speed destination	move() work_control()
	선박	arrival_time departure_time export_num import_num trans_num	
FACILITY	게이트	type, service_time	decision_dest() process()
	블록	type, specification,	tc_position()
	선석	ship_id assigned_block occupied_mode	
CONTAINER	컨테이너	size, state, destination	-
BUFFER	게이트 버퍼	location, capacity	enqueue() dequeue()
	블록베이 버퍼	location, capacity	enqueue() dequeue()
	선석버퍼	location, capacity	enqueue() dequeue()
	CC버퍼	location, capacity	enqueue() dequeue()
	선박베이 버퍼	location, capacity	enqueue() dequeue()

작업일정 테이블의 정보를 사용하기 위해 정의된 테이블의 정보는 다음 <표 2>와 같다. <표 2>에서 사건 목록, 선박 생성 정보, 차량 생성 정보는 시물레이션에서 빈번히 사용되므로 구조체를 사용하였으며, 작업정보를 생성하기 위한 기본 정보는 선박 생성 정보에서 만들어지며, 이 기본 정보를 이용하여 TC 작업목록, CC 작업순서목록, 장치장 정보 등이 작성되며, 이 정보를 바탕으로 반입/반출 차량발생 정보를 생성하고 장치장에서의 작업을 위한 정

보를 가지고 있게 된다. 또한 정의된 테이블들은 동적 데이터베이스를 사용하여 필요한 시점에 지속적으로 갱신되도록 되어 있으며, 사건 목록과 TC의 작업위치 정보를 제외한 테이블에서는 컨테이너의 선박유형을 결정하는 'Ship_Type'이 데이터베이스에서 primary key 역할을 한다.

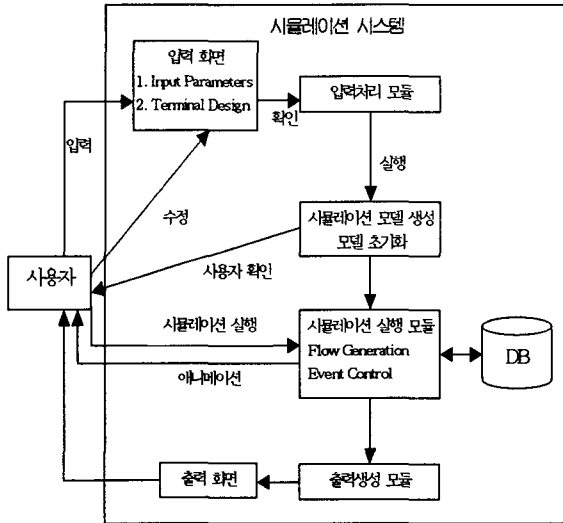
<표 2> 작업정보 테이블

테이블 명	역할
Event_List	사건 목록
Tb_Ship	선박 생성 정보
Tb_Tr_Info	반입/반출 차량생성 정보
Tb_Block_Info	수입/수출 블록장치 정보
Tb_Assign_Ex_Block	수출 블록 우선순위 정보
Tb_Assign_Im_Block	수입 블록 우선순위 정보
Tb_Export_Info	수출물량 정보
Tb_Import_Info	수입물량 정보
Tb_Tc_Position	TC의 작업위치 정보
Tb_Tc_WorkList	TC 작업목록
Tb_Cc_workList	CC 작업순서목록

3. 시스템 구현

시스템 구현시의 기본 방향은 객체지향모델링에 기초하여 시스템을 개발하여 지속적으로 운영로직을 추가하여 더욱 상세한 단계까지 묘사가 가능하도록 하는 것이다. 또한 객체지향 시물레이션에서 추구하는 클래스 라이브러리를 구축하기 위해 컨테이너터미널의 물리적인 구성요소 및 시뮬레이터 실행 모듈들을 클래스 단위로 개발하였다.

시뮬레이터의 구성 모듈들과 그 관계를 묘사한 것이 <그림 2>이며, 주요 모듈들의 기능을 다음과 같이 구분하였다.



<그림 2> 시뮬레이터 구조

3.1 시뮬레이터 모듈

시뮬레이터 모듈은 <그림 2>와 같이 시스템을 구성하는 입력처리 모듈, 시뮬레이터 실행 모듈, 출력생성 모듈, 데이터베이스 등으로 구성되어 있으며, 이 모듈들이 주화면, 사용자 입력화면, 실행화면, 출력화면 등을 제어한다.

사용자 입력 모듈은 입력화면을 통해서 사용자에게 시뮬레이션 모델 생성을 위한 입력변수와 터미널 사양을 입력받으며, 사용자가 입력한 내용을 시뮬레이션 모델 생성 화면에서 수정/확인한 후 이것을 이용하여 실행화면을 구성한다. 실행화면에서는 시설물 상태와 장비의 작업 상황을 애니메이션으로 직접 작업 상황을 감시하거나 확인 할 수 있다. 특히 애니메이션 기능은 컨테이너터미널의 작업 상황을 한 화면에서 확인할 수 있도록 해주며, 각 사건의 발생시간마다 사건과 관련된 정보가 계속 갱신되므로 애니메이션으로 시뮬레이션 실행을 사용자가 감시할 수 있다. 그리고 애니메이션이 진행되는 객체는 지속적으로 객체 자체의 통계량을 누적하여 계산하므로 통계량의 정확도를 높일 수 있다.

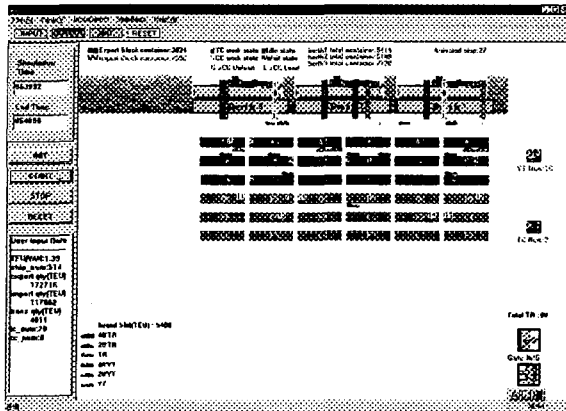
3.2 사건목록과 사건제어

시뮬레이션 실행은 이산-사건 시뮬레이션 방식으로 실행되므로 컨테이너터미널에서 발생하는 객체들의 사건들을 분류하여 객체별로 사건을 정의하였다. 사건은 Event_List에 정의된 구성요소인 객체이름(ObjectName), 객체식별자(Object_ID), 사건식별자(Event_ID), 사건시간(Event_Time) 등이 기록되어 이들 사건들이 사건목록을 구성한다. 사건목록에서 가장 이른 사건이 발생하면 사건발생 시간을 시뮬레이션 시계에 기록하고, 해당 사건과 관련된 객체의 메소드를 실행하고 메소드는 장비의 작업 및 시설물의 상태변화 갱신, 통계량의 계산 등을 수행한 후 다음 사건을 사건목록에 기록한다. 이러한 사건처리기의 제어방식은 next-event time advance 기법을 적용하여 사건을 진행하게 되며, 사건목록은 이동성 객체와 고정성 객체의 상태전이네트워크에서 갱신되는 사건들을 관리한다.

4. 프로토타입 적용 예제

4.1 개발된 시뮬레이터

개발된 시뮬레이터에서는 <그림 3>과 같이 시스템 묘사를 위해 애니메이션 단계를 1수준으로 하였으며, 그림의 좌측부분은 시뮬레이션 실행기이고, 우측화면이 컨테이너터미널 시스템을 묘사하는 애니메이션 화면이다. 특히 실행 모델에서는 애니메이션을 위하여 CC, TC, YT, 외부트럭 같은 장비와 게이트, 블록, 선석 등을 객체로 묘사하므로 개별적인 정보를 표현할 수 있으며, 시설물인 선석, 장치장, 게이트는 고정되어 있지만 장비의 경우 작업을 위한 이동이 묘사되도록 하였다.



<그림 3> 개발된 시뮬레이터 실행 화면

<그림 3>에서 CC, TC, YT, 외부트럭 등의 장비는 시물레이션 시간이 진행됨에 따라 애니메이션을 통해서 작업의 상태 및 이동을 묘사하며, 작업정보는 그 객체의 속성에 기록되어 진다.

4.2 적용 예제

본 연구에서 개발된 시뮬레이터를 이용한 프로토타입 적용 예제는 계획관점에서의 기본 계획단계에서 항만 건설 계획을 입안하여 선석 길이와 장치장 면적이 결정되었다는 전제 하에서 운영관점에서 장비의 사양을 결정하고 시설물의 배치 및 운영방법 결정을 위한 대안 실험의 성격을 가지고 있다. 또한 시뮬레이터에서 구현된 구체적인 입력과 출력의 범위, 그리고 적용범위를 보이기 위해 다음과 같은 프로토타입 예제로 문제를 정의하였다.

- 터미널 규모 : 선석이 3개이고, 선석의 길이는 총 1,000m이며, 장치장의 적재규모는 5,400TEU

위의 터미널 규모에서 개별 시설물의 범위를 결정하면, 선석은 3개이며, 블록은 총 36개이며, 수출 블록 18개, 수입 블록 18개이다. 게이트는 입구 5개, 출구 2개이다. 사용자 입력을

한 후 시물레이션 실험을 위한 실행시간은 3달이며, 준비시간은 10일로 하였다.

4.3 실험 결과

입력 화면에서 사용자 입력값은 임의로 설정된 값을 사용하였으며, 프로토타입 예제의 실험에서 얻어진 통계량은 다음과 같다.

<표 3>에서와 같이 선석 점유율의 경우 선석에 따라 다른 값을 보였으며, 선석 점유율이 높을수록 평균 컨테이너 처리시간이 감소하였다. 또한 장치장 점유율의 경우 입력에서 고려한 물동량이 수출 컨테이너 물량이 많았으므로 수출 장치장의 점유율이 높게 나타났다.

<표 4>는 시물레이션 실험으로 얻은 장비의 평균 통계량을 요약한 것으로 컨테이너터미널에서 서버의 역할을 하는 CC, TC, YT 등의 내부장비와 고객의 역할을 하는 선박과 외부트럭의 통계량을 보여준다.

<표 3> 선석과 장치장 통계량

선석 통계량		
선석 구분	점유율(%)	평균 컨테이너 취급수
선석 1	70.17	154.69
선석 2	54.98	171.85
선석 3	42.87	191.85
선석 평균	56.01	168.42
장치장 통계량		
장치장 구분	점유율(%)	평균 장치개수
수출 장치장	23.02	138.12
수입 장치장	11.08	66.50
장치장 평균	17.05	102.31

<표 4> 예제의 장비 평균 통계량

통계량 항목	크레인	
	C/C	TC
활용도(%)	28.83	19.73
작업시간(%)	20.54	12.56
이동시간(%)	0.51	4.34
대기시간(%)	7.78	2.83
유휴시간(%)	71.17	80.27
	YT	
선회회수	235.5	
평균선회시간	460.42	
TC대기시간(초)	249.40	
CC대기시간(초)	62.11	
	외부 서비스	
	선택(시간)	외부트럭(분)
최소서비스시간	3.83	1.60
평균서비스시간	10.52	8.77
최대서비스시간	25.39	87.52

CC와 TC는 크레인이라는 유사한 속성으로 인해 동일한 통계량 항목을 제공하며, YT는 선회시간과 TC와 CC앞에서의 대기시간을 산출한 것이다.

외부장비인 선택과 외부트럭은 고객의 입장에서 시스템 내에서의 체재시간인 선택의 접안 시간과 평균서비스시간을 구한 것이다.

<표 3>과 <표 4>의 성능평가 통계량을 요약하면 시설물의 규모에 비해 컨테이너 물동량이 적고 전체적으로 장비의 작업시간이 적으므로 장비의 활용도가 낮고, 장치장 점유율이 낮은 것으로 나타났다. 따라서 개발된 시뮬레이터를 이용하여 프로토타입 예제에서 사용자가 입력한 컨테이너 물동량을 처리할 경우의 컨테이너터미널에 대한 성능을 분석할 수 있음을 알 수 있으며, 또한 TC체제를 사용하는 컨테이너터미널에 적용하여 성능을 분석할 수 있을 것이다.

5. 결론

본 연구에서는 먼저 항만 컨테이너터미널에 대한 시스템적 측면을 살펴보고, 객체지향형

시뮬레이터를 위한 물류객체와 정보흐름객체 모델을 소개하였다. 퍼스널 컴퓨터 상에서 실행이 가능하도록 시뮬레이션 엔진이 아닌 자체 개발된 시뮬레이션 구조로 시뮬레이션 로직을 구현하였다. 이러한 객체화된 컨테이너터미널 구성요소를 사건 처리 로직으로 시뮬레이션 할 수 있도록 시뮬레이터를 개발하였으며, 시뮬레이션 실험시 사용자의 입력값을 반영하여 대안 분석이 가능하도록 하였다.

개발된 시뮬레이터를 이용한 시뮬레이션 실험으로 하나의 적용 예제에 대해서 실험하여 컨테이너터미널의 성능을 반영하는 다양한 통계량을 제공할 수 있음을 보였다.

참고 문헌

- [1] 양창호, 최용석, “컨테이너터미널 계획 시뮬레이션 모델링 개발방향 연구”, 해양정책연구, 제17권, 제4호, pp.67-110, 2002.
- [2] 윤원영, 최용석, 이명길, 송진영, “객체지향 접근법을 사용한 컨테이너 터미널 시뮬레이터의 설계”, IE Interface, Vol.14, No.4, 2000.
- [3] Albert W. Veenstra, Niels Lang, Bastian van de Rakt, “Economic Analysis of a Container Terminal Simulation”, The International Association of Maritime Economists Annual Conference 2003, 343-353, 2003.