

論 文
A2-4

컨테이너 터미널 운영 개선을 위한 시뮬레이션 시스템 설계

김우선 · 남기찬

Design of Simulation Systems for the Evaluation of Container Terminal Operations

W. S. Kim¹⁾ · K. C. Nam²⁾

Key Words : 시뮬레이션 시스템(simulation systems), 터미널 설계 시뮬레이션(terminal design simulation), 터미널 운영 시뮬레이션(terminal operations simulation), 3차원 애니메이션(3/D animation)

Abstract

This paper aims to propose a design for simulation systems for container terminal operation evaluation. The systems cover both terminal design simulation for medium and long term decision making and terminal operations simulation for day to day decision making. And both systems include the container terminal operation components, quay, yard and gate operations. For the flexible and efficient application of the systems, we designed the systems with three modules such as "Define Module", "Simulation Module" and "Animation Module".

1. 서 론

컨테이너 터미널은 고가의 하역 장비와 터미널 운영시스템 등의 정교한 컴퓨터시스템을 필요로 하기 때문에 대규모 투자를 요한다. 또한 터미널은 게이트 시스템, 장치시스템, 이송시스템, 적양하시스템 등 다양한 하부시스템으로 구성되어 있어서 시스템의 최적화가 요구되며, 운영에 있어서도 장비, 인력, 장치장 등 제한된 자원을 효율적으로 사용하는 것이

터미널 경쟁력 강화 측면에서 중요하다. 터미널 배치 및 자원의 최적화는 터미널 개발 단계에서 시뮬레이션 기법을 이용한 설계를 통하여 해결할 수 있다. 터미널을 운영하는 과정에 있어서도 수요의 변화, 기항 선박 특성 변화, 게이트 유출입 트럭 특성 변화, 작업조 운영 변화 등의 환경 변화가 끊임없이 발생하기 때문에 최적 운영을 유지하기 위해서는 수시로 운영 전반을 시뮬레이션 하는 작업이 필요하다. 터미널 업무는 다양한 요소를 포함하고 있으며,

1) 한국해양대학교 대학원 석사과정
2) 정회원 한국해양대학교 교수

많은 요소들이 불확실성을 내포하고 있으나 터미널 시뮬레이션과 관련된 기존 연구 및 개발된 시스템은 복잡한 터미널 상황을 단순화하여 모형화한 단순 시뮬레이션 모형이라 할 수 있다. 또한 이들 대부분은 컨테이너 터미널 설계를 지원할 수 있는 거시적 시뮬레이션 모형을 근간으로 하고 있으며, 아직까지 운영개선을 위한 미시적 수준의 통합시뮬레이션 시스템은 발표되지 않고 있다.

따라서 터미널 운영자들이 자체적으로 계획을 수립하고 운영 시 터미널 배치, 장비 및 인원 운영 등을 재평가할 수 있는 시뮬레이션 시스템을 개발하는 것이 필요하다. 실제 적용될 수 있는 시스템을 개발하기 위해서는 특히, 선박도착, 패턴, 컨테이너 반입 패턴, 트럭 도착 패턴 등 불확실성이 강한 터미널 운영상황을 최대한 현실에 가깝게 반영하는 것이 필요하다. 방법론적인 측면에서는 일반적인 시뮬레이션 기법에 일부 수리모형과 계산시간을 고려하여 적절한 발견적 해법을 개발하는 것이 필요하다. 또한 기존 시뮬레이션 모형들은 그래픽 부문을 소홀히 하고 있어서 시뮬레이션 결과를 쉽게 이해할 수 있도록 3차원 애니메이션을 구축하는 것이 필요하다.

본 연구는 기존 연구의 현황 및 한계를 파악하고 개선 방안을 제시하여 실제 터미널 설계 및 운영 개선에 사용될 수 있는 시뮬레이션 시스템을 개발하기 위한 시스템 설계를 목적으로 한다.

2. 기존연구 및 개선 방안

항만에 관한 시스템적 연구는 1960년대에 주로 대기행렬 모형을 사용하여 항만의 서비스 활동을 분석함으로써 시작되었다. 그러나 해석적 모형은 간결 명료한 결과를 도출하지만 취급 가능한 변수의 수가 수 개 이상을 넘을 수 없고 복잡한 현실을 상당한 정도로 단순화하고 많은 가정을 포함하는 한계를 내포하고 있다. 이 모형들은 주로 대기시간과 자본투자 비용을 혼합한 목적함수를 극대화하는 것을 목적으로 하였다(Edmond, 1975, 1978 ; Novaes, 1972).

이러한 한계로 인하여 컴퓨터를 활용한 모의실험

방법이 항만 시스템 분석에 많이 사용되게 되었다. 모의실험을 통하여 항만 시스템 전반에 걸쳐 발생하는 각종 활동을 망라하여 분석할 수 있으나 현재까지 수행된 연구들은 대부분 그 범위가 특정 하부 시스템에 제한되거나 현실을 지나치게 단순화한 한계를 지니고 있다(Gordon,1969; Reitman, 1971; Fishman, 1973; Pritsker,1974; Pritsker, 1979).

2.1 기존 연구

항만을 체계적으로 분석한 초기 연구로서는 1969년 UNCTAD가 다목적 부두의 운영평가를 위하여 개발한 모형을 들 수 있다. 이 모형은 모로코의 카사블랑카의 항만에 적용되었으며 이 모형은 컨테이너 항이 아닌 일반 부두를 대상으로 한 것이었다.

컨테이너 터미널과 관련된 초기 연구로서는 GPSS 언어를 사용하여 컨테이너선의 적양하 작업을 대상으로 시뮬레이션 모형을 개발한 Nerling(1970)의 연구와 샹시(Chassis) 시스템을 근간으로 하는 컨테이너 터미널의 최적 설계를 위한 모델을 GPSS 언어를 이용하여 개발한 Pierre(1973)의 연구를 들 수 있다. 이들 모형은 특정 컨테이너 하역 작업과 하역 체계를 대상으로 하였다는 한계를 내포하고 있으나 컨테이너 터미널을 시스템적으로 분석하는 연구의 방법론을 제시하였다는 점에서 의의가 있다.

컨테이너 터미널 분석을 위한 본격적인 모의실험 모형은 1978년 미국 Norfolk항을 대상으로 한 Hwang의 연구를 들 수 있다(Hwang, 1978). 본 모형은 FORTRAN-IV 언어로 개발되었으며, Pierre의 경우와 같이 Chassis 체계에 국한된 단점을 지니고 있으나 시뮬레이션 기법이 컨테이너 터미널의 분석에 기여할 수 있는 잠재력을 보여준 점에서 그 기여도가 평가된다.

Hwang의 연구에 앞서서 미국 오레곤주의 Portland 항만청은 전용 컨테이너 터미널의 설계를 위한 시뮬레이션 모형을 위탁 개발하여 경제적인 터미널 형태 및 설비 규모를 결정하는데 사용하였다(Müller, 1974). 이 모형은 터미널 설계에 있어서 그 유용성이 어느

정도 인정되었으나 특정 터미널에 국한되어 타 항구의 분석을 위해서는 적합하지 않다고 판단된다.

보다 최근의 사례로서는 실제 컨설팅 회사에서 시뮬레이션 시스템을 개발하여 터미널 설계에 이용하는 사례를 들 수 있다. 현재 상용화되고 있는 대부분의 시스템은 터미널 설계 목적의 거시적 모형을 중심으로 개발되었으며, 대표적인 시스템으로서는 미국 컨설팅사인 JWD사의 General Marine Terminal Simulation Model(GMTS)과 대표적인 자동화 터미널인 네덜란드 ECT가 개발하여 활용하고 있는 Container Terminal Simulation(CTS) 등이 있다.

운영 개선을 위한 미시적 수준의 시뮬레이션 모형은 1989년 미국 교통부와 Marine Administration 등의 지원으로 Hedrick, R.L. 등에 의해 개발된 사례가 발표되었다.(Hedrick, et. al, 1989) 이들은 터미널 설계용으로 개발된 "Terminal Equipment and Resource Model"을 복잡한 터미널 상황을 어느 정도 반영하는 미시적 수준의 모형으로 개선하여 what if 분석에 사용될 수 있는 "Terminal Operations Simulation Program"을 개발하였다. 그러나 많은 경우에 현실을 단순화하여 처리하였기 때문에 세부적 운영 개선을 위한 분석에는 적합하지 못한 한계가 있다. 또한 게이트, 안벽, 장치장 모듈의 시뮬레이션이 상호 독립적으로 수행되는 결점이 있으며, Dos 버전으로서 애니메이션 기능이 포함되지 않았다.

국내의 연구는 1980년대 중반부터 이루어져왔으나 실제 터미널 계획 및 운영에 적용된 경우는 없으며 전반적으로 이론적인 수준에 머물고 있는 실정이다. 대표적인 연구로서는 "시뮬레이션에 의한 부산 컨테이너 터미널의 체계적인 방안"(김현, 1988)과 "컨테이너 터미널 능력 산정에 관한 연구"(임진수, 1991), 그리고 "효율적인 컨테이너터미널 중장기계획 수립을 위한 시뮬레이션 모형 개발"(곽규석 외, 1998)을 들 수 있다.

첫 번째 연구는 대기이론에 근거하여 제반 상황을 확정적으로 규정하고 터미널 개선방안을 모색하였으며, 두 번째 연구는 시뮬레이션 방법을 이용한 터미널 능력 산정의 정의 및 기본적인 방법을 소개

하였다. 세 번째 연구는 불확실성이 강한 터미널 상황을 확률적으로 묘사하여 이전 연구보다 현실적인 시뮬레이션 모형을 개발하였다.

이 모든 연구는 중장기계획 차원에서 이루어지는 터미널 설계를 목적으로 한 거시적 모형으로서 일단위로 이루어지는 운영 개선에 적용하기에는 많은 한계를 내포하고 있다. 또한 안벽, 장치장, 게이트 모듈이 독립적으로 수행되었으며, 세부적인 애니메이션 기능이 포함되지 않았다.

2.2 한계 및 개선 방안

기존 시뮬레이션 관련 연구는 대부분 터미널 중·장기 계획 수립을 목적으로 하거나 특정 항만 혹은 하역 시스템에 한정된 한계를 내포하고 있다. 또한 복잡한 현실 문제를 단순화하여 시뮬레이션을 실시하였고 모형이 게이트와 안벽을 중심으로 하고 항만운영에 있어서 중요한 부분인 장치장은 복잡성으로 인하여 세부적으로 고려되지 않았다.

특히, 터미널 운영 개선 측면에서는 세부적인 운영 상황들이 모형에 반영되어야 하나 기존 연구는 상당한 수준으로 이를 집단화 하였다. 구체적으로는 안벽부분에 있어서 선박도착 패턴 및 특성과 컨테이너 적양하 개수 등을 단순히 특정 확률분포를 따르는 것으로 처리함으로써 선박의 길이, 적양하 갯수 등 선박 관련 특성이 제대로 고려하지 못하였다. 또한 게이트 부문 역시 트럭 도착 분포를 중심으로 하였으며, 컨테이너 타입별 게이트 처리시간과 EDI의 사용유무등 현실적인 특성을 제대로 반영하지 못하였다. 장치장의 경우 안벽, 게이트, CFS, 철송장 등과 컨테이너의 유출입이 동시에 이루어지지만 이들을 통합적으로 고려하지 못하였다.

이외에도 시뮬레이션 결과를 쉽게 이해할 수 있는 애니메이션 기능이 지극히 초보적인 단계에 머물고 있으며, 기존 터미널 운영시스템과 호환성이 결여된다는 한계를 들 수 있다.

국내의 관련 연구 및 상용화되고 있는 시스템의 한계와 이를 해결하기 위한 개선 방안은 다음 표와 같다.

<Table 1> The shortcoming of literature and direction for improvement

기존 연구의 한계	개선방안
<ul style="list-style-type: none"> ○ 중·장기 계획 목적에 사용되는 거시적 모형 ○ 복잡한 터미널 상황을 단순화한 모형 ○ 비교적 접근이 용이한 안벽과 게이트를 중심으로 하고 장치장 부분은 지극히 단순하게 처리 ○ 안벽, 게이트, 장치장 모듈이 각각 독립적으로 구성됨 ○ 애니메이션 기능 미흡 ○ 기존 터미널 운영시스템과의 호환성 결여 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 터미널 설계뿐 아니라 단기 운영개선 목적에 사용될 수 있는 미시적 수준의 모형 개발 ○ 도착 선박 특성, 장치장 현황 등 실제 터미널 상황을 최대한 반영한 시스템 개발 ○ 운영 개선에 있어서 큰 비중을 차지하는 장치장 중심의 모형 개발 ○ 최적화 모형과 시뮬레이션 모형을 결합한 통합 모형 개발 ○ 게이트, 안벽, 장치장, 등 각 하부 모듈을 통합한 통합 시뮬레이션 시스템 개발 ○ 3차원 애니메이션과 접목된 시뮬레이션 시스템 개발 ○ 기존 터미널 운영시스템의 한 모듈로서 운영 개선을 위한 시뮬레이션 시스템으로 개발

3. 시뮬레이션시스템 구성

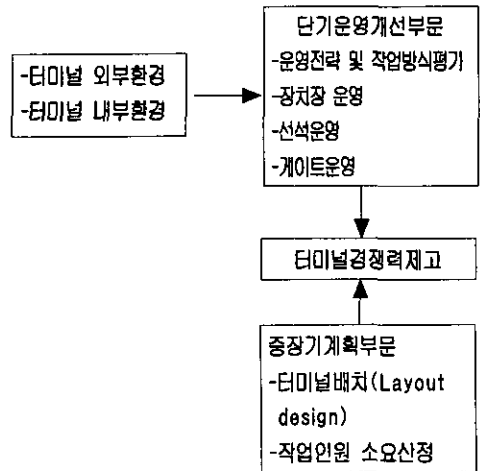
3.1 터미널 의사결정

컨테이너 터미널에서 이루어지는 의사결정 문제는 일(日) 단위로 이루어지는 단기 운영의사결정과 중장기 계획에 해당하는 야드 배치, 장비 소요 산정 및 배치 계획, 작업 인원 소요 산정 및 배치 계획 등이 있다.

운영 의사결정 문제는 터미널 운영계획 및 작업 통제와 직접 관련되며, 기존의 작업방식 등의 적합성을 검증하는 것이다. 즉, 이것은 운영과 관련된 제반 사항에 대한 what-if 분석에 해당한다.

중장기 의사결정 문제는 신규 터미널을 건설하는 단계에서 터미널의 최적 설계 및 배치와 관련되며, 기존 터미널의 경우 운영 시스템의 변환 등 터미널 restructuring과 관련이 된다. 특히 컨테이너 터미널

의 초기 단계라고 할 수 있는 70년대에 건설된 터미널들은 장비의 수명주기가 다하거나 최신 시스템과 비교 시 시스템의 효율성이 극히 낮을 수 있기 때문에 대규모 설비 전환을 하게 되는데 이때 신규 터미널과 유사한 중장기 의사결정 문제에 직면하게 된다.



<Figure 1> Decision making area on container terminals

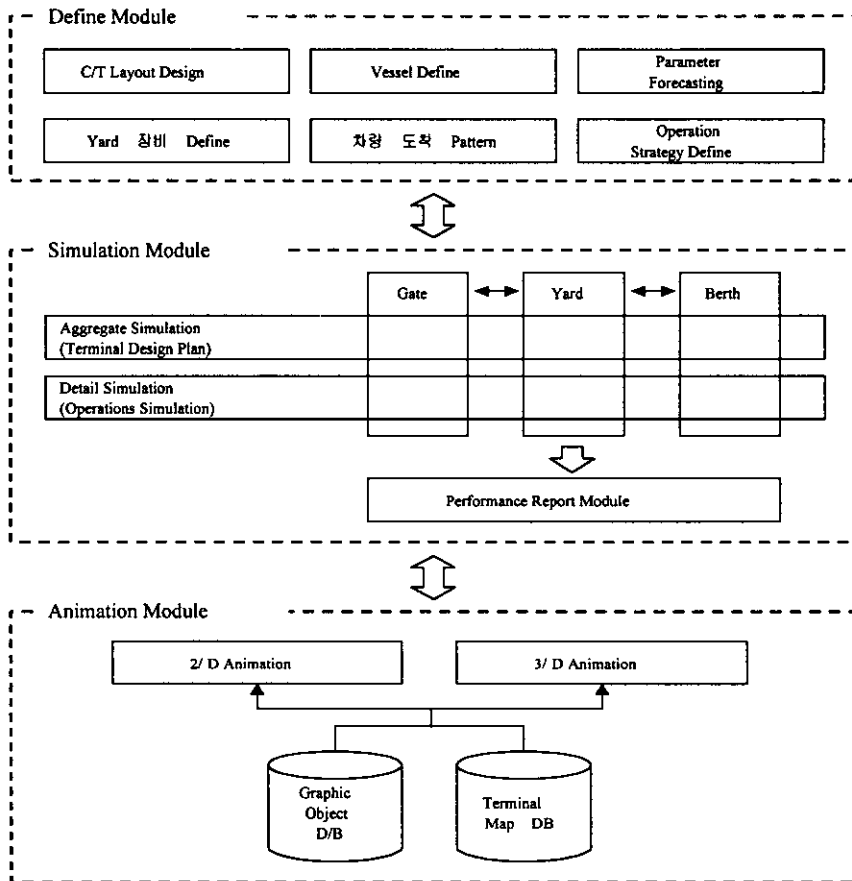
3.2 시뮬레이션 시스템 구성

컨테이너터미널 최적 설계 및 운영 개선을 위한 시뮬레이션 시스템은 크게 Simulation의 기본 입력 자료 생성을 위한 Define Module, Simulation Logic Module 그리고 Simulation 결과 Animation을 위한 Module로 나눌 수 있다.

Define Module은 다음과 같이 6개로 대별된다.

- C/T Layout 설계
- Yard 장비(T/C, S/C, G/C 등) 정의
- 대상으로 하는 선박의 정의
- 컨테이너 차량 및 컨테이너의 도착 및 출발 Pattern 정의
- 터미널별 운영 계획 전략의 정의
- 입력 변수의 추정을 위한 Parameter 예측 및 도출

시뮬레이션 모듈은 중장기적 관점에서 터미널 설계를 위한 Simulation과 단기적 측면의 터미널 운영



<Figure 2> Simulation systems components

효율화를 위한 Simulation Module로 나누어 설계한다. 기능별 Simulation은 Gate Simulation, Yard Simulation, Berth Simulation 등으로 나누고 각각 시스템을 설계하며, 각 기능별 Logic을 연결하여 터미널 전체 차원에서 분석 가능한 통합 Simulation Logic을 설계한다.

Animation Module은 simulation의 결과를 실제로 동영상으로 볼 수 있도록 전문 graphic tool을 이용하여 개발하며, Animation의 속도와 복잡도를 고려하여 2D와 3D Animation을 위한 Module을 별도로 개발한다.

시뮬레이션시스템의 구성도는 <Figure 2>와 같다.

3.3 시스템 구현시 주요 고려사항 및 방법론

시뮬레이션 시스템 구현시 주요 고려 사항은 실제 적용 가능한 수준으로 터미널 상황을 반영하며, 전체 시스템 중에서 가장 중심이 되는 Simulation Logic과 터미널 상황에 따라 가변적인 각종 입력 자료 정의 모듈 및 Animation Module을 독립적으로 구축하여 다양한 상황에 적용이 용이하게 하는 것이다. 구체적인 내용은 다음과 같다.

- 항만의 기능을 Gate, Yard, Berth로 나누고 각 기능별 Simulation Module 개발
- 각 기능들을 연계하여 전체 터미널 차원에서의 통합 Simulation Module 개발

- 터미널 설계 계획 Simulation(Aggregate Simulation)과 터미널 운영 Simulation (Detail Simulation) Logic 개발
- Simulation Logic 내에서 하부적으로 필요한 운영 계획 작성을 위한 계량적 모형 설계 및 구현
- Simulation을 위한 기본 입력자료를 쉽게 구현할 수 있는 GUI환경의 자료 정의 Module 개발
- Simulation 결과의 Animation화를 위한 Data Convert Routine 설계

방법론 측면에서는 시뮬레이션 전문 언어가 제공하는 기능의 한계로 인하여 시뮬레이션 언어 외에 Visual Basic과 Animation tool을 사용한다. 기본적인 시뮬레이션 과정은 전문 언어를 이용하여 구현하고 터미널 운영 계획 전략과 Yard 및 Stowage Plan에 필요한 의사결정 과정을 Simulation에 반영하기 위한 계량 모형은 일반 언어를 사용하여 구현한다. 애니메이션은 전문 tool인 MultiGen II를 이용한다. 시뮬레이션 접근방법으로서는 거시적 모형의 경우 터미널의 확률적 특성을 최대한 반영하는데 중점을 두며, 예상 총물동량 결정, 피크 주 물동량 산출 혹은 서비스 수준 설정, 안벽 길이, Q/C, 장치장, 하역 Mode, 게이트 등의 소요 규모 도출의 과정을 따른다. 미시적 모형의 경우 특정 터미널 상황으로 반영하는데 중점을 두며, 실제 터미널 운영과 매우 가깝게 설계한다. 분석 과정은 적용 터미널 운영 실태 반영, what if 설정, 대안 설정, 대안 평가의 과정을 따른다.

4. 시뮬레이션 시스템 설계

4.1 Define Module

Define module은 터미널에 따라 가변적인 터미널 특성 및 장비 특성 등을 손쉽게 모형에 반영하기 위한 모듈로서 C/T Layout Design, vessel generator, truck generator, operation strategy, parameter forecasting, handling mode define등으로 구성된다 <Table 2>.

C/T Layout Design 모듈은 graphic interface를

통하여 실제 터미널 형태를 손쉽게 생성할 수 있도록 설계되며, 장치장 블록을 수출, 수입, 냉동, 위험물, 공컨테이너 장치장 등 실제 상황에 맞게 구분한다. 또한 장치장내 장비 위치 및 운행 트랙, 내부 도로 등 공간적인 속성들을 포함한다.

<Table 2> Define module configuration

하부 모듈	주요 내용
C/T Layout Design	- graphic interface를 통한 실제 터미널 형태 생성 - 장치장 블록 구분 (수출, 수입, 냉동, 위험물, 공컨테이너 장치장 등) - 장비 위치 및 트랙 - 내부 도로
Vessel Generator	- 실제 선박 길이 - 적양하 컨테이너 수 - Q/C 할당 대수 - 요일별 시간대별 선박 도착 현황
Truck Generator	- 반입 트럭 종류별 분포 - 반출 트럭 종류별 분포 - 적재컨테이너 도착 트럭의 적재, 공컨테이너 반출, 빈 차시 반출 등 - Double Cycle(컨테이너를 싣고 들어왔다가 컨테이너를 싣고 나가는 경우) - 위험화물(D&H) - EDI 사용율 - 게이트에서 문제 발생 트럭 및 평균 trouble parking dwell time - 컨테이너 종류별 EDI 사용 및 비 사용률 - 게이트 처리시간 및 확률
Operation Strategy	- 장비, 인원, 선박, 물동량, 게이트, 서비스 수준 등 대안
Parameter Forecasting	- 제반 확률적 특성
Handling Mode Define	- 장비 사양 - 생산성

Vessel Generator 모듈은 기항이 예상되는 선박들의 실제 길이, 적양하 컨테이너 수, 할당되는 Q/C 대수, 요일별 실제 선박 도착 비율 등을 구체적으로

설정한다. 연간 throughput 설정, peak주 throughput 산출, mean lifts/ship call 산출, number of ship call/week 산출, 실제 적양하 컨테이너 개수 산출(각 선박별 난수 발생), 실제 lifts의 합과 피크 주 throughput 비교 및 수정 등의 과정을 거친다.

Truck Generator 모듈은 실제 게이트 상황을 최대한 반영하는 것으로서 반입 반출 트럭 종류별 분포, 적재컨테이너 도착 트럭의 적재, 공컨테이너 반출, 빈 샤시 반출 현황, 컨테이너를 싣고 들어왔다가 컨테이너를 싣고 나가는 경우인 Double Cycle, 위험화물(D&H), EDI 사용율, 게이트에서 문제 발생 트럭 및 평균 trouble parking dwell time, 컨테이너 종류별 처리시간 등을 포함한다.

Operation Strategy 모듈은 터미널 운영 개선과 관련된 주요 의사결정 문제를 세부적으로 분류하여 모듈화한다. 크게 장비, 인원, 서비스 수준, 물동량, 선박 특성, 게이트 상황 등으로 나뉘어 진다.

Parameter Forecasting 모듈은 선박 길이에 따른 lifts, Q/C 할당 대수, 제반 일정의 확률적 분포 등 불확실성을 내포한 투입 자료들을 집계한 데이터 베이스이다.

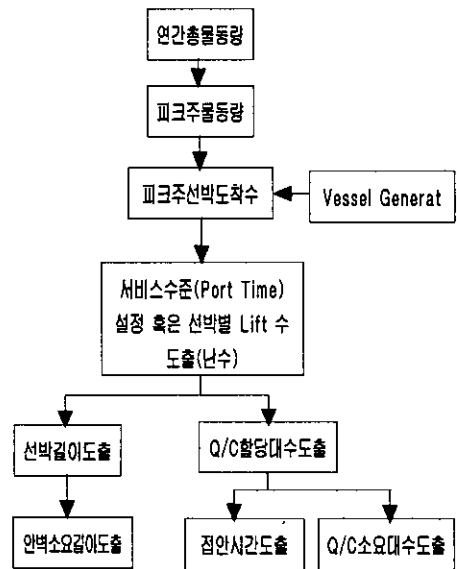
Handling Mode Define 모듈은 다양한 하역 장비들의 사양 및 특성, 생산성 등을 포함한다.

4.2 Berth Simulation Module

안벽 시뮬레이션은 총물동량 혹은 예측 물동량을 기준으로 하여 Q/C 생산성 혹은 서비스 수준(port time)을 설정하고 안벽, 크레인, 장치장(storage resources) 수요에 초점을 맞추며, 터미널 layout과 게이트 및 철송장 운영은 고려하지 않는다.

반복적으로 주어진 주기를 시뮬레이션하며, 각 반복마다 선박 도착을 발생시키고 각 반복에서 일어난 선박 도착에 대해서 선박 접안 기간 동안의 선석과 크레인 수요를 산출한다. 사용 가능한 선석 및 크레인에는 아무런 제한이 없으며 최종 반복 후 시간대별 최소값, 평균, 최대값 그리고 선석과 크레인에 대한 95% 수요 등을 산출한다.

상당히 긴 기간을 대상으로 모델링을 수행하여 피크시의 최대 크레인 사용 대수를 도출하며, 적정수의 크레인을 결정하기 위해서 99% 피크 통계치를 사용한다. 분석 과정은 <Figure 3>과 같으며, 각 하부모듈의 투입변수 및 주요 산출물은 <Table 3>과 같다.



<Figure 3> Quay simulation process

4.3 Gate Module

Gate시뮬레이션은 목표 물동량 혹은 안벽 길이를 대상으로 최적 게이트 규모를 도출하는 것이 주목적이다. 시뮬레이션 모형을 통하여 다양한 규모의 게이트를 분석하여 게이트 규모에 따른 performance를 분석하여 최적 규모를 도출한다. 또한 점심시간 동안 터미널을 폐쇄하는 방안과 one stage와 two stage entry system 등을 비교 검토한다. 분석과정 및 방법은 트럭을 lane에 할당하고 인원을 트럭 처리에 할당하여 트럭이 게이트를 통과하는 것을 시뮬레이션 한다. 이때 처리시간 분포도에 따라 각 step마다 process time을 확률적으로 도출하며, 분석동안 각 대기 및 처리 lane내에 있는 트럭의 수와 게이

<Table 3> Input and output features of each simulation module

모듈		투입자료	산출물
Berth Simulation		<ul style="list-style-type: none"> -시뮬레이션 반복 주기(1주일) -선박 기항 일정 -Variation in arrivals -안벽 소요 길이(선박에 의해 점유되는 안벽 길이와 선박 사이의 간격) -Q/C 소요 대수 	<ul style="list-style-type: none"> -매시간대 점유된 총안벽 길이 -사용중인 총 크레인 수
Gate Simulation		<ul style="list-style-type: none"> -Gate layout : 대기 및 처리 lane의 배치 및 길이, 처리 lane에 대한 인원 배정 -작업원 일정 -Truck type -트럭 종류별 처리 규칙 -처리 소요시간과 화물분포 -시간당 유출입 트럭수 -트럭 종류 분포 	<ul style="list-style-type: none"> -lane utilization -worker utilization -truck cycle time(진입, 대기 처리 시간) -대기길이 -게이트 인원 -게이트 관련 주차 공간 수요 (trouble transactions)
Yard Simulation	Inventory	<ul style="list-style-type: none"> -throughput : 터미널의 컨테이너 혹은 TEU 수. -크레인 생산성(productivity) : lifts/gross hour. -터미널 운영 일정 : 22시간/일, 7일/주. -선박 특성(각 선박의 예정 도착 및 출발 시각, 예정 시각의 변동(variation), the ship work sequences 등) -각 선박에 의해 점유되는 안벽 길이 -장치일수 -장치 효율(75%) -터미널 총 장치능력 -Effective Stack Height(6열 4단의 경우 3.5단) 	<ul style="list-style-type: none"> -6-10주 기간의 장치장 장비에 따른 최대 컨테이너 재고(inventory)와 시간대별 재고 현황. -Berth utilization -Ship queus -Q/C Utilisation -게이트 통과 컨테이너 흐름. -매시간 컨테이너 장치장에서 이루어지는 컨테이너의 이동
	Handling Mode	<ul style="list-style-type: none"> -터미널 layout : 블록 수, 길이(TEU) 등 -하역 작업 상황 : 안벽 길이, 선박 척수, Q/C 할당 대수, Q/C 생산성, 컨테이너 종류 비율 -장치 특성 : 수출, 수입 화물 Q/C당 장치장 크레인 할당 대수, 컨테이너 장치 위치 결정 규칙 -게이트 특성 : 피크일 시간당 반입 트럭 대수, 도착패턴, 컨테이너 종류별 비율 -철송 특성 : 철송 물량, 사용 장비 명칭 -Equipment fleet -장비 생산성 : RTG, RMG, 생산성, 처리시간 활용 분포, 트럭 속도 	<ul style="list-style-type: none"> -각 mode별(RMG, RTG) Q/C 1대당 소요 트럭터 대수 -총 블록에 소요되는 RMG 수 -평균 Q/C 생산성 -게이트 통과 트럭의 평균 지체 시간 -장치장 크레인의 생산성 -제반 민감도 분석

트 진입을 대기하는 트럭의 수를 도출한다.

시뮬레이션 결과의 주안점은 진입, 진출부 필요 대기 공간, 진입, 진출 트럭의 평균 소요시간(mean overall time)이며, 대기 분석 결과는 피크시 lane별 대기 길이로 나타난다. 이때 각 lane마다 일정 길이의 대기 공간을 가정하게 된다.

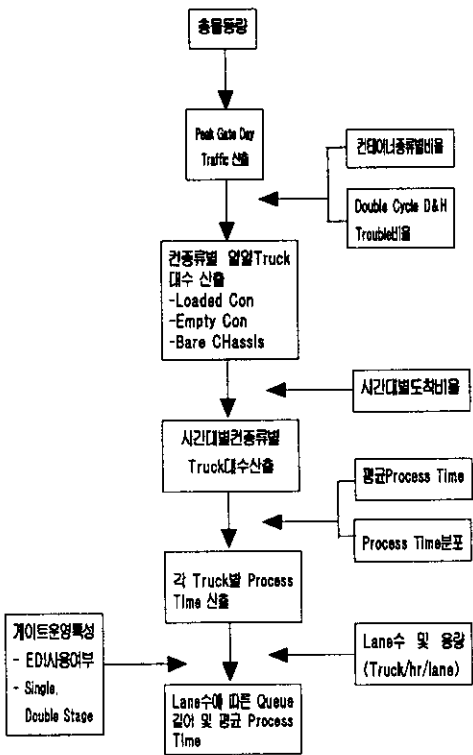
4.4 Yard Module

장치장 모듈은 특정 물동량에 대한 장치장 container

inventory 도출과 장치장 하역 시스템(handling mode)을 비교 평가하는 하부 모듈로 대별된다.

4.4.1 컨테이너 inventory 도출

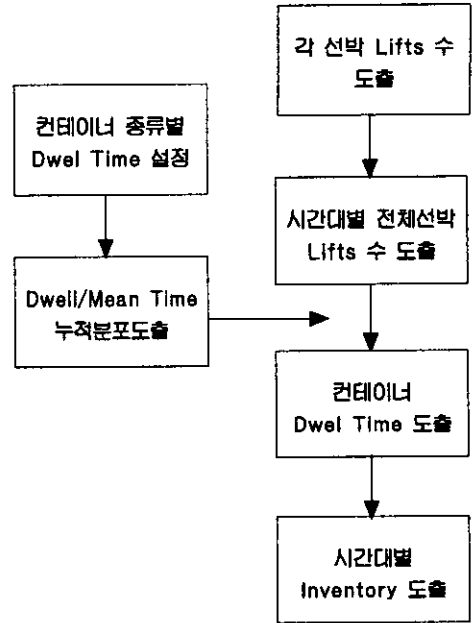
장치장 컨테이너 inventory는 안벽을 최대 용량으로 운영할 때 추정되는 장치 수요이다. 예상 물동량 혹은 안벽 용량을 기준으로 평균 장치 소요 일수(dwelling time)를 가정하여 예상 장치 수요를 추정한다. 이때 다양한 장치일 수를 가정하여 컨테이너 장치기간 단축 및 연장이 장치장에 미치는 영향을 분석한다.



<Figure 4> Gate simulation process

적컨테이너와 공컨테이너는 구분하며, 적컨테이너는 함께 장치되는 것으로 가정한다. 공컨테이너는 선박 관련 공컨테이너와 depot empty로 구분하여 처리하며, depot empty는 import load의 일정 비율을 가정한다.

본 모듈은 random seeds를 선택하고 random arrival pattern에 따라 선박 schedule을 변화시킨다. 이러한 자료를 사용하여 약 20주간에 걸쳐 터미널 운영을 시뮬레이션하며 장치장의 컨테이너 수가 0에서 시작하고 안정화가 되기까지 수주가 소요되기 때문에 이 가운데 중간 10주를 분석에 사용한다. 분석 과정은 다음과 같다.

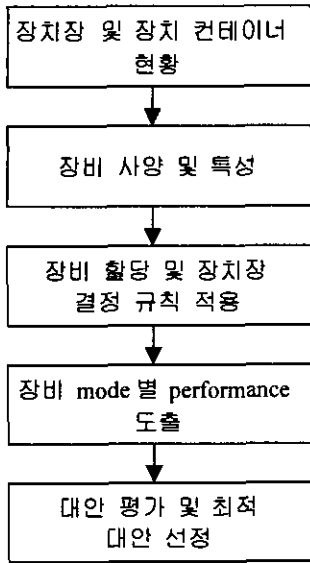


<Figure 5> Container inventory simulation process

4.4.2 소요 장비 대수 산정 및 모드 비교 평가

장치장 하역 장비 종류(mode)별 장비 소요 대수, 지원 장비 소요 대수, 생산성 등을 비교 평가한다. 터미널 블록 수, 길이(TEU), 안벽 길이, 선박 척수, Q/C 할당 대수, Q/C 생산성, 컨테이너 종류 비율, 수출, 수입 화물 Q/C당 장치장 크레인 할당 대수, 컨테이너 장치 위치 결정 규칙, 피크일 시간당 반입 트럭 대수, 도착패턴, 컨테이너 종류별 비율, 장비 생산성 등을 감안한다.

산출물은 각 mode별(RMG, RTG) Q/C 1대당 소요 트럭 대수, 총 블록에 소요되는 RMG 수, 평균 Q/C 생산성, 게이트 통과 트럭의 평균 지체 시간, 제반 민감도 분석 등이다. 분석 과정은 다음과 같다.



<Figure 6> Comparison of handling modes

5. 결 론

본 논문은 컨테이너 터미널의 중장기 의사결정 뿐 아니라 운영 개선에 사용될 수 있는 거시적 및 미시적 시뮬레이션 시스템을 설계하는 것을 목적으로 한다. 시스템 설계에 앞서 기존 연구 및 시스템의 현황을 분석하여 한계를 파악하고 이를 바탕으로 개선 방안을 도출하였다.

주요 한계로서는 복잡한 터미널 상황을 단순화하여 모형을 개발한 점과 안벽, 게이트, 장치장 모듈로 구성되는 전체 시스템의 부분적인 시스템을 구축한 것과 애니메이션 기능이 미흡한 점을 들었다. 개선 방안으로는 터미널 설계뿐 아니라 단기 운영개선 목적에 사용될 수 있는 미시적 수준의 모형 개발, 실제 터미널 상황을 최대한 반영한 시스템 개발, 운영 개선에 있어서 큰 비중을 차지하는 장치장 중심의 모형 개발, 최적화 모형과 시뮬레이션 모형을 결합한 통합 모형 개발, 각 하부 모듈을 통합한 통합 시뮬레이션 시스템 개발, 3차원 애니메이션과 접목된 시뮬레이션 시스템 개발, 기존 터미널 운영시스템의 한 모듈로서 운영 개선을 위한 시뮬레이션 시스템으

로 개발 등을 제시하였다.

이에 따라 시뮬레이션 시스템은 크게 Simulation Logic Module과 Simulation의 기본 입력 자료 생성을 위한 Define Module, 그리고 Simulation 결과 Animation을 위한 Module로 나누었으며, 시뮬레이션 모듈은 중장기적 관점에서 터미널 설계를 위한 Simulation과 단기적 측면의 터미널 운영효율화를 위한 Simulation Module로 나누어 설계하였다. 기능별 Simulation은 Gate Simulation, Yard Simulation, Berth Simulation 등으로 나누고 각각 시스템을 설계하며, 각 기능별 Logic을 연결하여 터미널 전체 차원에서 분석 가능한 통합 Simulation Logic을 설계한다. 터미널 상황에 따라 가변적인 각종 입력 자료 정의 모듈인 Define Module과 Animation Module을 독립적으로 구축하여 다양한 상황에 적용이 용이하게 설계하였다.

방법론 측면에서는 기본적인 시뮬레이션 과정은 전문 언어를 이용하여 구현하고 시뮬레이션 언어의 한계를 극복하기 위하여 터미널 운영 규칙 등의 구현을 위한 계량 모형은 Visual Basic을 이용하여 구현하고, Animation은 전문 tool인 MultiGen II를 사용하는 것으로 하였다.

시뮬레이션 접근방법으로서는 거시적 모형의 경우 터미널의 확률적 특성을 최대한 반영하는데 중점을 두며, 예상 총물동량 결정, 피크 주 물동량 산출 혹은 서비스 수준 설정, 안벽 길이, Q/C, 장치장, 하역 Mode, 게이트 등의 소요 규모 도출의 과정을 따른다.

미시적 모형의 경우 특정 터미널 상황을 확정적으로 반영하는데 중점을 두며, 실제 터미널 운영과 매우 가깝게 설계한다. 분석 과정은 적용 터미널 운영 실태 반영, what if 설정, 대안 설정, 대안 평가의 과정을 따른다.

참고문헌

- [1] 광규석, 남기찬, 신재영, 1998, "효율적인 컨테이너 터미널 중장기 계획 수립을 위한 시뮬레이션 모형 개발," 한국해양대학교 물류연구센터.

- [2] 김현, 1988, "시뮬레이션에 의한 부산 컨테이너 터미널의 체계적인 방안", 한국해양대학교 석사 학위 논문.
- [3] 임진수, 1991, "컨테이너 터미널 능력산정에 관한 연구", 해운산업연구원.
- [4] 장성용, 박진우, 1988, "시뮬레이션 기법을 이용한 컨테이너 터미널의 운영시스템 결정" 산업공학 제1권, 제1호, 49 - 62.
- [5] A. Ballis, C. Abacoumkin, 1995, "A Container Terminal Simulation Model with Animation Capabilities," *Journal of Advanced Transportation*, Vol. 30. No. 1, 37 - 57.
- [6] A. Ballis, J. Golias, C. Abakoumkin, 1997, "A comparison between conventional and advanced handling systems for low volume container maritime terminal," *Marit. Pol. MGMT.*, Vol. 24, No. 73 - 92.
- [7] Edmond, E.D. , 1976, "Operating Capacity of Container Berths for Scheduled Services by Queue Theory," *Dock and Harbor Authority*, November, 1976.
- [8] Edmond, E.D. , 1978, "How Useful Are Queue Models in Port Investment Decisions for Container Berths," *Journal of Operational Research Quarterly*, Vol. 29, No. 8.
- [9] Fishman, G.S., 1973, "Concepts and Methods in Discrete Event Digital Simulation," John Wiley and Sons, Inc., New York.
- [10] Gordon, G., 1969, "System Simulation, Prentice Hill, New Jersey.
- [11] Hiroyuki YAMATO, Takeo KOYAMA, Akira FUSHIMI, Tomohiro TSUNODA, 1997, "An Analysis and Design of the Container Terminal Based on the Simulation" *International Maritime Conference*.
- [12] Itsuro Watanabe, 1991, "Analysis on Characteristics and Relationship between Annual Handling Ability and Stowing Capacity in Container Terminals," *日本造船學會論文集* 第171号 621 - 625.
- [13] Miller, J.R. et al., 1974, "Digital Computer Simulation of the Rivergate Container Terminal," a report to the Port of Portland, Oregon.
- [14] Novaes, A.G.N., 1972, "An Appraisal of Queueing Model for the Solution of Port Capacity Problem," *Commodity Transportation and Economic Development Laboratory, M.I.T., Cambridge, Mass.*
- [15] Pritsker, A. Allan, 1974, "The GASP-IV Simulation Language," John Wiley and Sons, New York.
- [16] Pritsker, A. Allan, 1979, "The SLAM-II Simulation Language," John Wiley and Sons, New York.
- [17] Reitman, Julian, 1971, "Computer Simulation Applications," John Wiley and Sons, New York.
- [18] Roger L. Hedrick, 1989, "Simulation Modeling of Marine Terminal Facilities and Their Operation," *Spring Meeting /STAR Symposium*, New Orleans, Louisiana.
- [19] Wen-Chih HUANG, Takeshi CHISHAKI, Wen-Hsioung SHIH, Miin-Jye HUANG, Sheng-Chieh, 1997, "Optimal Determination of Berths and Cranes in Container Ports," *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Vol. 2, No. 1, 55 - 71.