

# 컨테이너 터미널 운영개선을 위한 시뮬레이션 모형 설계 및 개발

김 우 선\* · 남 기 찬\*\*

## Simulation Models for Container Terminal Operations

Woo-Sun Kim\* · Ki-Chan Nam\*\*

### Abstract

Currently in the stage of a container terminal development plan, demand on terminal resources is determined by simulation methods. This can eliminate the waste of investment by determining an appropriate number of equipments, gate lanes and storage blocks. This can also reduce the large amount of cost generated by the increase of waiting time and unloading time of calling ships which is caused by under investment.

Much Attention has therefore been paid on the development of simulation models for container terminal. However, most previous studies on this seem to be mainly concerned with simple simulation models based on significant degree of simplification of the complex terminal environment. Thus it is needed to develop a simulation systems which reflect real situation as close as possible.

This paper therefore proposes the design of simulation systems at both macro and micro level, develops several modules of the simulation models.

### 1. 서 론

컨테이너 터미널은 일반화물 터미널에 비하여 고가의 하역 장비들이 필요하고 경영정

\* 한국해양대학교 물류시스템공학과 석사과정

\*\* 한국해양대학교 물류시스템공학과 교수

보시스템, 터미널 운영시스템 등 정교한 컴퓨터시스템이 필요하기 때문에 대규모 투자를 필요로 한다. 또한 설치된 장비나 시설에 대한 변경이 용이하지 않기 때문에 부적절한 투자가 이루어지는 경우 국가 경제에 막대한 경제적 손실을 입히게 된다. 따라서 원활한 컨테이너 터미널 운영을 위해서는 게이트 시스템, 장치시스템, 이송시스템, 적양하시스템 등 다양한 하부시스템으로 구성된 컨테이너 터미널 시스템의 최적화가 요구된다.

## 2. 본 론

급속한 세계화의 진전으로 인하여 터미널간의 경쟁이 치열해지면서 장비, 인력, 장치장 등 제한된 자원의 효율적인 운영이 어느 때 보다도 중요시 되고 있으며, 현재 터미널 개발 계획을 수립할 때 시뮬레이션 기법을 도입하여 최적 장치장 배치, 장비 도입 등을 결정하는 것이 일반적인 추세이다. 중장기적인 항만운영계획 및 설계시 적정수의 하역장비와 게이트 유출입 차선(lane) 수 그리고 장치장 소요 블록 등을 도출함으로써 과잉투자로 인한 투자비의 낭비를 없애고, 과소투자로 인하여 발생하는 입항선박의 대기시간과 하역시간 증가에 의해서 발생하는 막대한 비용을 줄일 수 있다. 터미널을 운영하는 과정에 있어서도 수요의 변화, 기항 선박 특성 변화, 게이트 유출입 트럭 특성 변화, 작업조 운영 변화 등의 환경변화가 끊임없이 발생하기 때문에 최적 운영을 유지하기 위해서는 수시로 운영 전반을 평가하는 작업이 필요하다.

터미널 업무는 다양한 요소를 포함하고 있으며, 많은 요소들이 불확실성을 내포하고 있으나 터미널 시뮬레이션과 관련된 기존연구 및 개발된 시스템은 대부분 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 운영시 터미널 배치, 장비 및 인원 운영 등을 재평가할 수 있는 시뮬레이션 시스템을 개발하는 것이 필요하다. 실제 적용될 수 있는 시스템을 개발하기 위해서는 특히, 선박도착패턴, 컨테이너 반입패턴, 트럭도착패턴 등 불확실성이 강한 터미널 운영상황을 최대한 현실에 가깝게 반영하는 것이 필요하다.

본 연구는 기존 연구의 현황 및 한계를 파악하고 개선방안을 제시하여 실제 터미널 설계 및 운영 개선에 사용될 수 있는 시뮬레이션 시스템을 설계하고 거시적 목적에 사용될 수 있는 모형의 일부 모듈을 개발하는 것을 그 목적으로 한다. 따라서 복잡한 항만의 현실문제를 최대한 모형에 반영할 수 있도록 모형을 설계하는데 중점을 둔다.

논문의 구성은 1장 서론에 이어서 제 2장에서는 컨테이너 터미널을 구성하는 시스템과 터미널과 관련하여 이루어지는 의사결정 문제를 서술한다. 3장에서는 문헌 조사를 통하여 기존 연구의 동향을 파악하고 개선 방안을 제시한다. 특히, 현실적인 결과를 얻기 위해서 시뮬레이션 과정에서 고려되어야 하는 몇 가지 요소들을 구체적으로 제시한다. 4장은 미시적 및 거시적 수준의 시뮬레이션 시스템을 설계하며, 시스템의 구성, 모듈별 입출력 자료, 시뮬레이션 절차 등을 포함한다. 5장은 4장에서 제시된 시스템의 일부 모듈을 개발하여 가상의 상황에 적용함으로써 제시된 모형의 활용 방안을 소개한다. 6장은 연구의 결과를 요약하고 향후 연구 방향을 제시한다.

본 논문은 기존 연구들의 한계를 바탕으로 하여 미시적 수준에서 적용될 수 있는 터미널 운영 개선을 위한 시뮬레이션 시스템을 설계하고 컨테이너 터미널 설계 등 중장기 의사결정을 위한 거시적 시뮬레이션 모형을 개발하는 것을 목적으로 하여, 세부적인 시스템 설계를 제시하였으며 일부 모듈의 모형을 개발하여 적용 사례를 들었다.

문헌 조사 결과 특히, 선박 길이 반영, 장치장 특성 반영, 게이트 특성 반영 등이 미흡한 것으로 나타났으며, 이들을 보다 현실적으로 반영할 수 있는 방안을 제시하였다. 설계에 있어서 시뮬레이션 시스템을 터미널 의사결정과 관련하여 크게 운영 개선을 위한 미시적 모형과 터미널 설계를 위한 거시적 모형으로 구분하였다. 각 모형은 터미널 배치 등 가변적인 터미널 상황을 쉽게 작성할 수 있는 설정 모듈과 시뮬레이션 로직을 포함하는 시뮬레이션 모듈 그리고 시뮬레이션 결과를 표현하는 애니메이션 모듈로 분리하여 구성하였다.

설정 모듈은 터미널에 따라 가변적인 터미널 특성 및 장비 특성 등을 손쉽게 모형에 반영하기 위한 모듈로서 컨테이너 터미널 레이아웃 디자인, 선박 발생기(vessel generator), 트럭 발생기(truck generator), 운영전략(operation strategy), 파라미터 예측(parameter forecasting), 하역장비정의(handling mode define)등으로 구성하였다.

특히 중점을 두는 부분은 선박 발생기 모듈과 트럭 발생기 모듈이다. 선박발생기 모듈은 기항이 예상되는 선박들의 실제 길이, 적양하 컨테이너 수, 할당되는 겐트리크 레인 대수, 요일별 실제 선박 도착 비율 등을 구체적으로 설정하는데 초점을 맞추었으며, 트럭 발생기 모듈은 실제 게이트 상황을 최대한 반영하는 것으로서 반입 반출 트럭 종류별 분포, 적재컨테이너 도착 트럭의 적재 및 공컨테이너 반출, 빈 사시 반출 현황, 컨테이너를 싣고 들어왔다가 컨테이너를 싣고 나가는 경우인 이중작업 비율, 위험 화물(D&H), EDI 사용율, 게이트에서 문제 발생 트럭 및 평균문제발생트럭처리시간, 컨테이너 종류별 처리시간 등을 포함하였다.

시뮬레이션 모듈은 중장기적 관점에서 터미널 설계를 위한 시뮬레이션과 단기적 측면의 터미널 운영효율화를 위한 시뮬레이션 모듈로 나누어 설계함으로써 보다 실질적

인 시스템이 될 수 있도록 하였다.

애니메이션 모듈은 시뮬레이션의 결과를 실제로 동영상으로 볼 수 있도록 전문 그래픽 툴을 이용하여 개발하는 것을 제의하였으며, 애니메이션의 속도와 복잡도를 고려하여 2차원과 3차원 애니메이션을 위한 모듈을 별도로 개발하는 것을 제시하였다.

이어서 제시된 설계에 따라 일부 모듈의 모형을 시뮬레이션 전문 언어인 AweSim을 사용하여 구현하였다. 안벽, 게이트, 장치장의 세 가지 하부모듈로 구분하여 개발하였으나 시간의 제약으로 인하여 설계의 내용에 비하여 단순화된 로직으로 구성하였다.

구현된 모형의 실제 적용 사례를 나타내 보이기 위하여 연간 처리 물동량을 170만 적양하 컨테이너 수, 225만 적양하 컨테이너 수, 265만 적양하 컨테이너 수의 세 가지로 설정하여 안벽 소요 길이, 안벽 크레인 대수, 장치장 소요 면적, 게이트 소요 등을 도출하였다. 이 모든 경우에 민감도 분석을 실시하였으며, 분석 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 안벽 시뮬레이션에서는 선박의 안벽 점유와 겐트리크레인 사용을 좀더 현실적으로 적용하기 위하여 선박의 적양하 컨테이너 수에 따라 할당 겐트리크레인 대수를 2~4 대로 차등하여 적용하였으며, 그에 따른 선석이용율을 구함으로써 기존 연구에서 적양하 컨테이너 수에 관계없이 일정하게 적용하던 한계를 극복하였다.

둘째, 게이트 시뮬레이션에서는 점심시간과 저녁시간에 게이트를 폐쇄하는 기본경우와 점심시간과 저녁시간에 인원의 50%를 운영하는 경우를 시뮬레이션하여 인원의 50%를 운영하는 경우의 차량대기시간 등을 도출하여 효율적인 게이트 운영방안을 제시하였으며, 단일 게이트(one stage entry)와 두 단계 게이트(two stage entry)를 비교하여 운영상 소요인력의 감소 방안을 제시하였다. 최적의 게이트 운영 방안은 인원의 50%를 점심시간과 저녁시간에 운용하는 방안과 두 단계 게이트(two entry 게이트) 시스템을 사용하는 것이다.

셋째, 장치장 시뮬레이션에서는 난수의 발생으로 도출된 선박의 하역 컨테이너와 육상으로부터 유입되는 컨테이너, 그리고 철송으로부터 유입되는 컨테이너의 장치기간을 설정하여 각 예상 물동량 별로 피크시 장치장 사용율을 60%로 하여 필요 장치 블럭의 수를 도출하였다.

제반 시뮬레이션 결과를 최근 수행된 부산신항만 설계 결과 및 단순 계산에 의한 결과와 비교한 결과 본 연구의 결과가 합리적인 범위에 포함되는 것으로 나타났다. 그러나 시뮬레이션 로직의 합리성을 입증하기 위해서는 실제 터미널을 대상으로 한 평가가 수반되어야 할 것이다.

### 3. 결 론

본 연구에서는 컨테이너 터미널의 설계 및 중장기 운영계획에 사용할 수 있는 시뮬레이션 시스템 설계를 제시하고 일부 모듈의 모형을 개발하여 가상의 상황에 적용하였으며, 그 결과를 비교하였으나 몇 가지 한계를 내포하고 있다. 즉, 컨테이너 터미널 상황을 단순화하여 모형을 개발하였으며, 안벽, 게이트, 장치장 모듈로 구성되는 전체 시스템의 부분적인 시스템을 구축하여 전체적인 관점에서 항만을 고찰하지 못하였고, 실제 단기적인 운영에 사용할 수 있는 미시적인 야드 장비의 운영은 고려하지 못하였다.

따라서, 앞으로의 연구과제는 첫째, 4장에서 제시한 시스템 설계에 따라 터미널 설계 뿐 아니라 단기 운영개선 목적에 사용될 수 있는 미시적 수준의 모형을 개발하고 실제 터미널 상황을 최대한 반영한 시스템을 개발하고, 둘째, 최적화 모형과 시뮬레이션 모형을 결합한 통합 모형과, 각 하부 모듈을 통합한 통합 시뮬레이션 시스템을 개발하고, 셋째, 3차원 애니메이션과 접목된 시뮬레이션 시스템을 개발하며, 넷째, 기존 터미널 운영시스템의 한 모듈로서 운영 개선을 위한 시뮬레이션 시스템을 개발하는 것을 들 수 있다.



