

# 컨테이너 터미널에서 컨테이너 크레인의 하역능력 추정에 관한 시뮬레이션 연구†

윤원영<sup>1</sup> · 최용석<sup>1</sup> · 송진영<sup>2</sup> · 양창호<sup>3</sup>

<sup>1</sup>부산대학교 산업공학과 / <sup>2</sup>토탈소프트뱅크 / <sup>3</sup>한국해양수산개발원

## A Simulation Study on Efficiency of Container Crane in Container Terminal

Won Young Yun<sup>1</sup> · Yong Seok Choi<sup>1</sup> · Jin Young Song<sup>2</sup> · Chang Ho Yang<sup>3</sup>

This paper describes the simulation study which estimates the container crane efficiency in container terminal. In most simulation studies, it is assumed that container cranes are available at any time. Though the failures of container cranes don't occur often, they are very serious problems on terminal efficiency. As usual, the failures of container crane cause arrived ships to delay the departure time. In this study, a queueing simulation model for container terminal, which focuses on the failures of container cranes, is designed. The simulation approach appears to be the most appropriate one because it allows to avoid the usual exponential assumption on interarrivals of ships and service times of container cranes. Using the developed model, we tested the efficiency of container cranes considering failures with a real system size and performed the simulation experiment on real container terminal to validate the developed simulation model. The results of simulation experiment were analyzed using output statistics, which include the waiting times of vessels and yard tractors, the utilization for container cranes, and the berth occupancy rates.

### 1. 서론

우리 나라 항만에 입출항하는 선박은 매년 증가하고 있으며, 입항하는 선박 수의 증가에 비하여 톤 수의 증가가 현저하여 선박의 대형화가 급속히 진행되고 있음을 알 수 있다. 이러한 입출항 선박의 증가, 대형화, 그리고 항만 물동량의 증가에 따라 항로, 묘박지, 안벽 등의 항만기초시설의 부족은 1990년대 이후 가속화되었으며, 특히 컨테이너 전용부두의 경우 매년 증가하는 컨테이너 물동량으로 인해 물동량의 처리가 매우 어려운 상태이다(이철영, 1998). 이와 같은 만성적인 항만시설의 부족은 대형항만을 중심으로 극심한 체증현상을 유발시켜 선박이 장기간 대기해야 하는 상황에 직면하게 된다. 그러므로 컨테이너 터미널의 서비스 수준을 나타내는 여러 가지 지표

중에서 선박의 평균 선석 대기시간을 중요한 지표라고 할 수 있다.

컨테이너 터미널에 대한 분석을 할 때 의사결정자의 입장에서 고려되어야 할 사항은 여러 가지가 있는데 그 중 특히 화물의 유통량, 접안시설의 규모와 하역설비의 하역능력이 중요하다. 컨테이너 터미널의 효율은 컨테이너 크레인(Container Crane; CC)의 하역능력, 즉 시간당 양하 또는 적하 되어진 컨테이너 수에 의해 측정될 수 있다(Tongzon, 1995). 컨테이너 크레인의 하역능력에 영향을 미치는 직접적인 변수로는 크레인의 특성, 크레인 조작자의 숙련도, 화물의 가용도, 선박의 특성, 크레인에 할당된 차량의 고장, 크레인의 자체고장 등을 들 수 있으며, 크레인의 생산성 척도로서 크레인의 작업시간을 사용하므로 컨테이너 크레인 하역능력 산출에서 가장 직접적인 변수로 컨테이너 크레인의 고장을 생각할 수 있다. 컨테이너 크레인의

† 본 연구는 한국과학재단 지정 동아대학교 지능형 통합항만관리연구센터의 지원에 의한 것임.

고장이 발생하면 수리가 완료되어 크레인이 재가동될 때까지 컨테이너의 처리작업이 중단되므로 자연히 컨테이너 크레인의 하역능력이 떨어질 수밖에 없다. 또한 컨테이너 크레인의 하역능력이 떨어지므로 모든 작업을 완료하는 데 걸리는 시간이 지연되어 선박의 평균 선석 대기시간에 영향을 주게 된다. 그러므로 컨테이너 크레인의 고장은 컨테이너 터미널의 여러 서비스 수준에 영향을 미치는 중요한 요인이라 할 수 있다.

따라서 항만 컨테이너 터미널 시스템에서 고객인 선박의 대기시간과 주요 서버인 컨테이너 크레인의 하역능력은 컨테이너 터미널의 생산성을 나타내는 핵심적 요소이며, 선박의 대기시간과 컨테이너 크레인의 하역능력을 산정할 때 컨테이너 크레인의 고장이 고려되어야 한다.

컨테이너 터미널에 관련된 연구를 살펴보면 이철영, 문성혁(1983)은 부산항의 항만운송시스템의 분석에 관한 연구로서 대기모형을 이용하였으나 선박의 도착은 지수 분포이고 서비스 시간은 일랑(Erlang) 분포로 가정한 경우에만 적용 가능하다는 한계가 있다. 김창근(1999, 1992)은 대기이론의 간략한 기술과 포항항 원료부두의 250,000 톤급 부두건설에 대한 타당성 검토의 전 단계로서 시뮬레이션 결과를 사례로 제시하였고 또한 전용부두에서의 화물유통량을 고려한 하역능력 검토를 위해서 시뮬레이션 모델을 제시하였다.

장성용, 박진우(1993)는 실제의 컨테이너 터미널을 대상으로 터미널 운영 시스템 및 시설 배치 결정을 위한 방법으로 몇 가지 제안된 대안에 대하여 시뮬레이션을 수행함으로써 최적 대안을 제시했는데, 1개의 선석만을 가정하고 모델링 하였으므로 적용범위에 제한이 따른다. 선석과 크레인의 최적 조합에 관한 연구로는 Schonfeld *et al.*(1985)과 윤영철(1996)의 연구가 있다. 그 외에 컨테이너 터미널의 문제를 다룬 연구들은 시뮬레이션에 의한 컨테이너 터미널의 물류 시스템 분석에 관한 연구(임봉택, 이재원, 성경빈, 이철영, 1998), 경영과학을 이용한 항만운영 의사결정 시스템 설계에 관한 연구(박남규, 1989), 우리나라 주요 수출입 항만에서의 선박 입출항시간 분포 추정과 관련한 연구(장영태, 1994), 적절한 선석의 수를 결정하는 문제에 대한 연구(하영석, 1993) 등이 있다.

기존의 연구에서 컨테이너 터미널의 복잡성을 고려하여 시뮬레이션으로 분석한 연구가 많으며, 이때 현실에서 일어나고 있는 컨테이너 크레인의 고장을 반영한 연구는 아직 이루어지지 않고 있다.

일반적으로 선박 도착률, 컨테이너 하역률, 그리고 매 선박에서 처리되는 컨테이너 수는 모두 동적이므로 선박이 선석 배정을 기다리는 동안 불가피하게 채선 현상이 발생하게 되어 선박들이 대기하게 된다. 항만 운영자의 입장에서 볼 때, 컨테이너 터미널에 입항하는 선박들의 대기시간에 대한 보다 정확한 정보를 알고 있다면 여러 가지 의사결정을 하는 데 중요한 지표가 될 수 있다. 컨테이너 터미널에서의 대기현상을 분석하는 접근방법으로 과거의 연구에서 많이 이용되었거나 현재 이용 중에 있는 기법으로는 대기행렬이론과 시뮬레이션기법

을 들 수 있다. 해법적 모델인 대기행렬이론에서는 주로 도착 시간이나 서비스 시간이 지수 분포인지 아닌지가 중요한 기준이었다. 시뮬레이션기법에서는 대기이론과는 달리 선박의 도착시간 간격과 컨테이너 크레인의 서비스 시간에 대한 특정한 분포의 가정이 중요한 고려 사항이 아니다(문성혁, 1994). 선박의 대기현상은 야드 트랙터(Yard Tractor)라는 터미널 내부 트럭에 의해 영향을 받으며, 또한 야드 트랙터의 대기현상은 컨테이너 크레인에 의해 영향을 받는다. 즉, 컨테이너 터미널의 대기모형은 서로 연결되어 있어서 영향을 주고 받는 대기 네트워크를 형성하게 된다.

따라서 확률적인 변수가 많고, 시스템 요소들간의 상호연관성이 높은 컨테이너 터미널과 같은 동적인 시스템의 상태를 분석하기 위해서 시뮬레이션 기법이 가장 널리 사용되고 있다. 지금까지 컨테이너 터미널에 대한 대부분의 시뮬레이션 연구는 컨테이너 크레인은 항상 가동 가능하다고 가정하고 분석하였다. 그러나 아무리 회수가 많지 않다 하더라도 컨테이너 크레인의 고장은 실제로 일어나고 있고, 이로 인한 작업 불가능 상태는 컨테이너 터미널의 하역능력에 영향을 미친다. 그러므로 컨테이너 크레인의 고장으로 인한 선박의 지연을 고려한다면 좀 더 현실을 잘 반영하는 시뮬레이션 모델이 될 수 있다.

따라서 본 연구에서는 먼저 크레인과 야드 트랙터의 작업을 대기이론을 이용하여 대기 네트워크로 모형화하였다. 야드 트랙터의 대기모형만 보더라도 여러 가지 변수에 의해서 매우 복잡하므로 해석적으로 분석하기가 쉽지 않다. 또한 선박, 크레인, 야드 트랙터가 혼합된 대기 네트워크는 상호관계에 의하여 매우 복잡하므로 더욱 해석적으로 분석하기가 쉽지 않다. 그러므로 본 연구에서는 이 대기 네트워크를 분석하기 위해서 시뮬레이션기법을 이용하였다. 또한 컨테이너 크레인의 고장 현상을 반영하여 시뮬레이션 모델을 개발하고 이를 PECT(Pusan East Container Terminal; 신선대부두)라는 실제 컨테이너 터미널에 적용해 보았다. 또한 랜덤한 고장현상이 반영된 경우, 고객에 대한 서비스 수준을 나타내는 선박의 대기시간과 컨테이너 터미널의 생산성을 나타내는 컨테이너 크레인의 시간당 처리 개수와 활용도 그리고 선석의 가동률을 나타내는 선석 점유율을 산정하였으며, 터미널의 실적자료와 시뮬레이션 결과가 유의한지를 분석하였다.

## 2. 컨테이너 터미널에서의 대기모형

### 2.1 선박의 흐름

정해진 일정에 맞추어 입항한 컨테이너 선박은 터미널에 빈 선석이 있을 경우 즉시 접안을 한 후 컨테이너 크레인에 의해 하역작업을 하고 작업이 끝나면 출항한다. 만일 빈 선석이 없을 경우 묘박지 등에서 대기하다가 선석이 비면 접안하여 작업을 하게 된다. 일반적으로 선박이 선석에 접안하고 이안하는

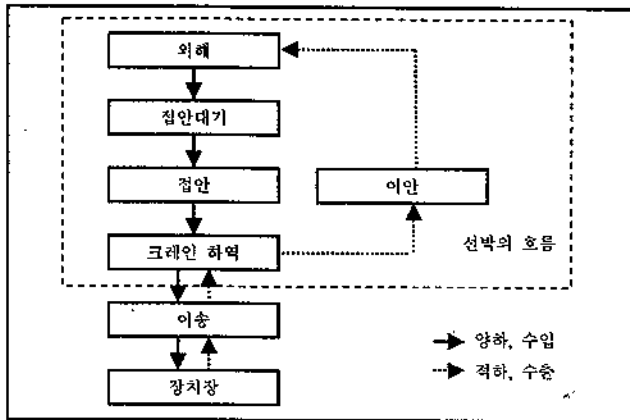


그림 1. 양하 및 적하 단계.

데에는 각각 1시간씩이 소요되어 약 2시간 정도가 선석의 접이 안에 소요된다(윤영철, 1996). 선박이 접안한 후 선석에서의 작업은 <그림 1>과 같이 양하 및 적하 단계를 거치게 되며, 주로 크레인 하역, 이송, 그리고 선석과 장치장 간의 컨테이너 흐름으로 수입과 수출의 단계와 동일하다.

## 2.2 컨테이너의 흐름

컨테이너는 선박, 트럭 또는 열차에 의해 컨테이너 터미널에 반입되어 일정기간을 장치장에서 머문 후 선박, 컨테이너, 트럭 또는 기차에 의해 터미널 밖으로 반출되며, 일반적으로 컨테이너는 작업 목적과 유형에 따라 수입 컨테이너, 수출 컨테이너, 환적 컨테이너로 나눌 수 있다.

### • 수입 컨테이너

수입 컨테이너는 외항 선박에 의하여 컨테이너 터미널의 선석에 도착한 후 컨테이너 크레인에 의해 하역되어 미리 작성된 수입 장치장계획에 의하여 지정된 장치장의 블록으로 야드 트랙터에 의해서 이송되어 장치된다.

### • 수출 컨테이너

컨테이너 트럭에 실려 도착한 컨테이너는 게이트에서 반입 컨테이너를 장치할 위치를 지정받아서 지정 블록으로 간 후 트랜스퍼 크레인에 의하여 하차한다. 수출 컨테이너의 경우 미리 선적될 선박명, 선적일시, 목적지항구 등의 정보를 미리 알 수 있기 때문에 장치계획 수립 시부터 본선 적하계획과 양하계획에 맞추어 장치할 수 있으므로 수입 컨테이너의 경우보다는 장치 단적수를 높게 할 수 있다. 장치된 수출 컨테이너는 선적될 선박에 적하된 후 터미널을 떠나게 된다.

### • 환적 컨테이너

환적 컨테이너는 외항 선박에 의하여 터미널에 도착한 후 장치장에 일정기간 장치되었다가 다시 외항 선박에 적하되어 터미널을 떠난다. 양하한 선박이 도착한 후 다시 적하할 선박이 도착할 때까지 시간이 많이 소요되므로 수입 컨테이너보다는 장치기간이 길다.

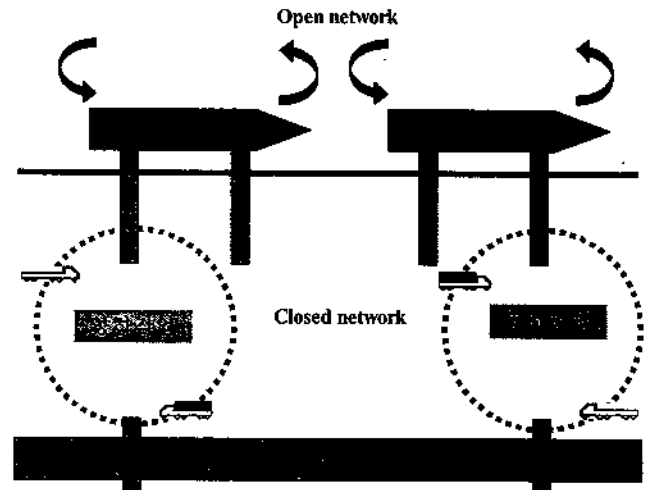


그림 2. 컨테이너 터미널의 대기 네트워크.

## 2.3 컨테이너 터미널의 대기 네트워크

컨테이너 터미널은 선박의 대기행렬과 야드 트랙터(YT)의 대기행렬이 서로 연결되어 있는 복합 대기 네트워크(Mixed Queueing Network)를 형성한다. 이런 시스템은 동적이고 상호 의존성이 크기 때문에 해석적인 접근을 어렵게 한다. 따라서 선박의 대기행렬, 야드 트랙터가 컨테이너 크레인(CC)을 기다리는 대기행렬, 그리고 야드 트랙터를 기다리는 컨테이너 크레인의 대기현상을 하나의 복합 대기 네트워크로 정의하면 다음 <그림 2>와 같다.

선박은 터미널에 빈 선석이 있을 경우 즉시 접안하고 빈 선석이 없을 경우 표박지에서 대기행렬을 형성한다. 선석을 점유하게 된 후 서버인 컨테이너 크레인의 사용을 마치고 출항한다. 따라서 <그림 2>에서와 같이 개방형 네트워크(Open Network)를 형성한다.

컨테이너 크레인이 작업을 시작하게 되면 야드 트랙터가 도착하여 컨테이너를 싣고 장치장(Yard)으로 운반하는 작업을 한다. 장치장에서 트랜스퍼 크레인(Transfer Crane)에 의해 작업을 받고, 다시 할당된 컨테이너 크레인이 있는 선석으로 돌아간다. 이때 컨테이너 크레인이 작업 중이면 대기행렬을 형성한다. 야드 트랙터는 할당된 수가 장치장 내에서 순환하므로 <그림 2>에서와 같이 폐쇄형 네트워크(Close Network)를 형성한다.

## 3. 시스템 분석 및 모델링

### 3.1 객체지향 분석

일반적으로 부품의 제조과정과 같은 간단한 대기행렬의 시뮬레이션 모델링 기법으로 과정지향접근법(Process-oriented Approach)을 많이 사용하나 컨테이너 터미널과 같은 상호작용이 복잡한 시스템은 과정지향접근법과 같은 방법으로 모델링

하는 데에는 한계가 있다. 이렇게 할 경우 주요 관심 대상이 컨테이너 터미널의 개체(entry)인 컨테이너 자체가 될 수 있으며, 본 연구에서 사용하는 객체지향접근법(Object-oriented Approach)에서는 시스템을 구성하고 있는 주요 장비들인 컨테이너 크레인이나 야드 트랙터, 그리고 선박 등이 관심의 대상이 될 수 있다. 따라서 본 연구에서는 시스템 분석의 단위를 객체로 보는 객체지향접근법을 사용하도록 하였다.

객체지향접근법은 객체(object), 객체의 속성(attribute)과 동작(behavior), 클래스(class), 객체 사이의 관계(relationship) 등을 기본 개념으로 하고 있다. 기존의 분석기법에 비해 실제계의 현상을 보다 정확히 모델링할 수 있기 때문에 어려운 응용분야에 적용이 가능하고, 분석과 설계의 표현에 큰 차이점이 없어 시스템 개발을 용이하게 해준다는 큰 장점을 가지고 있다.

객체지향분석에서 가장 중요하며 선행되어야 할 모델링이 바로 시스템에서 요구되는 객체들을 식별하는 것이다. 시스템의 기능에 초점을 맞추기보다는 시스템을 구성하고 있는 객체를 강조함으로써 실제계에 더욱 근접한 표현을 가능하게 하기 때문이다. 유효한 객체를 선정하기 위해서 적용한 기준은 다음과 같다.

- 여러 객체가 동일한 대상을 설명하면, 하나로 통일한다.
- 문제의 본질과 무관한 객체는 제거한다.
- 모호하거나 지나치게 광범위한 객체는 제거한다.
- 단일 정보를 갖는 객체는 다른 객체의 속성으로 편입한다.

위의 기준으로 선정된 컨테이너 터미널을 구성하고 있는 주요 객체는 <표 1>과 같다.

<표 1>에서 식별된 객체를 클래스로 표현하기 위해 클래스는 사각형으로 나타내고, 맨 위에 클래스 이름을 적고 그 아래에 속성과 메소드를 표현하면 아래 <그림 3>과 같은 클래스 관계도가 작성된다. 클래스에 정의된 속성은 객체 식별자, 작업상태 정보, 작업위치 정보, 통계량산출 정보 등이 정의되어 있으며, 메소드는 장비의 작업과 이동을 지시하기 위한 함수들로 구성된다. <그림 3>의 클래스는 시뮬레이션 모델을 구성하기 위한 기본 클래스이며, 시뮬레이션 실행시에는 사용자 입력에 의해 구체적인 속성값을 가진 사래화(Instance)된 객체들이 사용된다.

### 3.2 컨테이너 크레인의 고장

컨테이너 크레인이 컨테이너를 하역할 때 바다로부터 불러

표 1. 객체의 선정

객체 유형 구분	객체명
고정시설	게이트, 블록, 선석
장비	야드 트랙터, 선박, 컨테이너 크레인, 트랜스퍼 크레인
개체	컨테이너

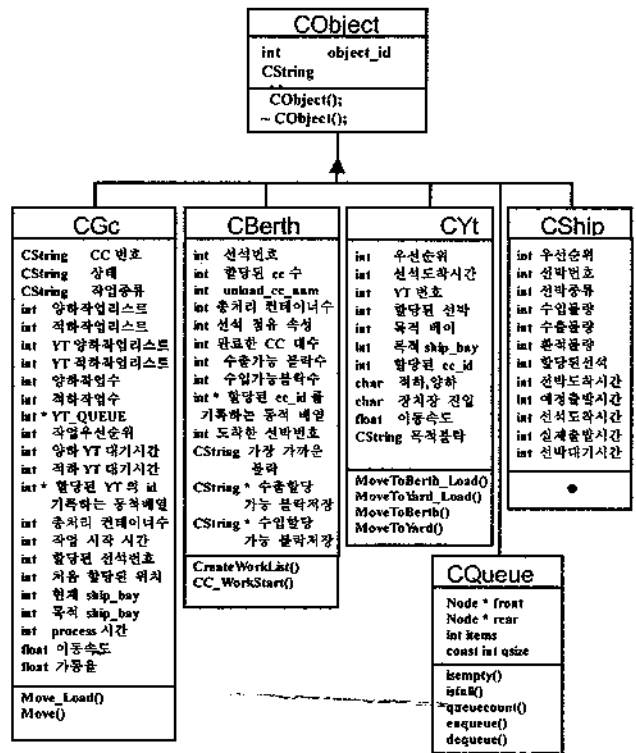


그림 3. 클래스의 정의.

오는 바람과 같은 외란 때문에 스프레더의 흔들림으로 시설물과의 충돌이나 운반물체의 파괴 및 손상을 초래할 뿐만 아니라 때에 따라서 인명피해를 야기시키기도 한다(이영진, 이권순, 1998). 이러한 작업 방해 요인들은 항상 현실에 존재하는 변수로서 예측하기가 불가능하다. 실제 컨테이너 터미널에서 컨테이너 크레인어 고장나게 되면 다음과 같은 절차를 밟게 된다(컨테이너 터미널 운영실무, 1993).

- ① 컨테이너 크레인 기사가 고장 사항을 Under Clerk에게 통보한다.
- ② Under Clerk은 본선담당에게 통보한다.
- ③ 본선담당은 운영과장에게 보고 및 장비계에 통보 조치한다.
- ④ 장비계에서는 전산으로 정비부에 수리의뢰서 입력과 동시에 유선으로 통보한다.
- ⑤ 정비사는 현장 점검 후 수리시간 및 가동여부를 통보하고 Under Clerk은 본선담당에게 통보한다.
- ⑥ 본선담당은 장시간 수리를 요할 경우는 운영과장에게 보고하고, 또한 선사에 통보하여 출항시간 연장 요청을 한다.

컨테이너 크레인이 고장나게 되면 정박된 선박으로부터 컨테이너를 하역하는 시간이 당연히 지연되기 때문에 컨테이너 터미널의 생산성 지표인 하역능력에 직접적인 영향을 미친다. 또한 출항시간 연장에 따른 추가비용을 지불함으로써 전체 운영비용이 증가된다. 그러므로 이러한 컨테이너 크레인의 고장은 중요한 고려 요소이다.

표 2. 컨테이너 크레인 고장의 분류

고장 구분	수리시간	비율
경미한 고장	15분	0.64
일반적 고장	1시간 30분	0.32
치명적 고장	4시간	0.04

표 3. 컨테이너 크레인의 작업상태 구분

장비 상태	장비 작업 행동
idle	선석에 선박이 도착하지 않아서 작업이 없는 상태
work	순수하게 컨테이너를 처리하는 작업 상태
wait	목적 ship bay에 도착했으나 야드 트랙터가 도착하지 않아 대기하고 있는 상태
move	할당받은 작업을 하기 위해 목적 ship bay로 이동하고 있는 상태

겨센 파도나 바람으로 인해 기상 조건이 좋지 못하게 되면 컨테이너 크레인은 예측하기 힘든 많은 고장을 발생할 우려가 생기게 된다. 선박이 접안해서 이안할 때까지 실제로 고장난 사건에 대한 자세한 자료를 구하기가 쉽지 않았으나 컨테이너 터미널에 의뢰한 결과 <표 2>와 같은 개략적인 자료를 얻었다.

컨테이너 크레인의 고장은 노후화로 인한 고장이 아니라 불규칙적인 외부 충격으로 인한 고장을 따르므로 고장까지의 시간에 대한 분포로 지수 분포를 가정할 수 있으며, 본 연구에서는 <표 2>의 자료에 따라 단위 시간당 고장율을 추정하여 고장시간 간격을 지수 분포로 발생시키도록 하였다. 또한 고장 사건이 발생하면 수리시간은 지수 분포에 따라 발생시킨다. 컨테이너 크레인의 작업상태는 <표 3>과 같이 4가지로 구분하였다.

컨테이너 크레인의 4가지 작업상태 중에서 고장은 실제 작업을 위해 이동하고 있는 상태인 'move'와 순수하게 컨테이너를 처리하고 있는 상태인 'work'중에만 관측 가능하다고 가정하였으며, 이는 고장시점이 'idle'과 'wait'상태일지라도 그 고장의 관측시점은 'idle'과 'wait'상태 이후 가동상태인 'move'와 'work'상태에서 관측가능하기 때문이다.

이동 또는 작업 중 고장이 발생하면 고장의 종류에 따라 다른 평균값을 가지는 수리시간을 지수 분포로 발생시키고 수리가 완료되면 다시 가동시킨다.

### 3.3 시물레이션 모델

본 연구에서는 이산적으로 존재하는 사건들의 발생을 기초로 시물레이션을 진행하는 이산 사건 시물레이션 방법을 사용하였다. 이산 사건 시물레이션 방법은 시스템에서의 상태 변

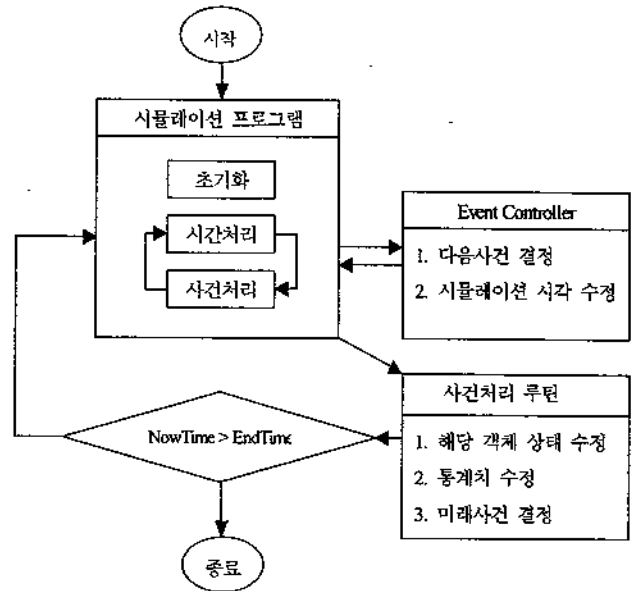


그림 4. 시물레이션 프로그램 흐름도.

화를 의미하는 사건(Event) 발생과 함께 사건에 관련된 객체의 상태를 변화시킨다. 모든 객체들은 자신에게 발생하는 사건에 대해서 그 사건을 처리해주는 사건 루틴(Event Routine)을 갖는다. 즉 사건 루틴의 주 역할은 스케줄링이며, 또한 발생한 사건에 기초해서 해주어야 할 그 외 작업들을 수행해 준다. 따라서 이산 사건 시물레이션에서는 발생하는 사건들과 그 사건이 발생하는 시간을 담아 놓은 사건 목록(Event List)이 필요하다.

사건 목록의 역할은 시물레이션을 주관하는 프로세서로 하여금 가장 최근에 발생해야 할 사건을 선택할 수 있도록 정보를 제공하는 것이다. 사건 제어기(Event Controller)는 사건 목록의 시간 정보를 참고해서 가장 최근의 값을 갖는 사건을 발생시킨다. 여기서 발생한 사건에 의해서 시물레이션 시스템은 시물레이션 시각(Clock)을 증가시키게 된다. 시물레이션 시각은 시물레이션 전체 모델에 공통적으로 적용되는 시간이다. 또한 발생한 사건에 의해서 사건 루틴이 구동되고 이에 의해서 사건 목록에 새로운 사건이 추가된다. 이러한 시물레이션 과정은 <그림 4>와 같이 시물레이션 프로그램에서 모델 초기화를 거친 후 시간처리와 사건처리를 통해 이루어지며, 외부 모듈로서 사건 제어기와 사건처리 루틴이 있다.

### 3.4 사건 정의와 사건 루틴

시물레이션을 진행시키는 원동력이 연속적 모델에서는 시간이라고 한다면, 이산형 모델에서는 사건이라고 할 수 있다. 즉 사건이란 시스템의 상태를 변화시키는 행위이다. 따라서 시물레이션 하고자 하는 대상 시스템의 상태변화를 표현할 수 있는 사건의 정의가 필요하다. 컨테이너 터미널의 대기모형을 분석하기 위한 최소한의 사건들과 사건들간의 상호관계는 <그림 5>와 같다.

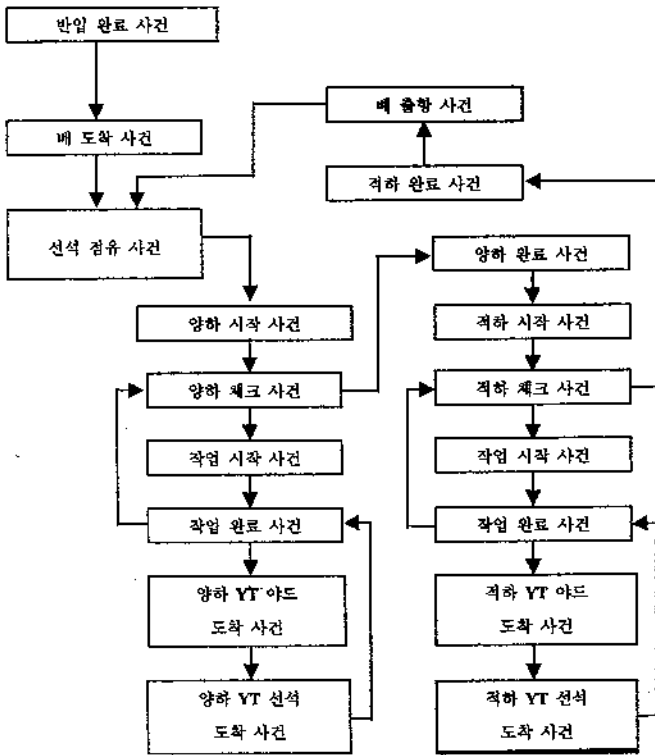


그림 5. 사건들간의 상호관계.

<그림 5>에서와 같이 배가 도착하여 선석에 점유한 이후의 사건은 배에 실린 컨테이너를 내리는 양하작업을 우선 처리하고 양하완료 사건이 발생하면 배에 컨테이너를 싣는 적하작업을 수행하여 이 적하작업이 완료되면 배가 출항하게 된다.

따라서 <그림 5>에서 정의된 사건들은 해당 사건이 일어날 때마다 사건에 관련된 사건 루틴을 실행하여 서로 작업정보를 주고받게 되는데 이러한 과정은 객체지향 접근법에서 메시지 전달을 통해서 객체의 메소드를 이끌어내는(trigger) 메소드 호출방식을 사용하였다. 따라서 <표 4>와 같이 앞에서 정의된 사건에 해당하는 사건 루틴을 실행하여 다음 사건의 사건루틴에 필요한 정보를 생성하여 다음 사건으로 넘어가도록 하여 시뮬레이션이 진행된다.

위의 시뮬레이션 처리로직을 반영하여 시뮬레이션 시스템을 개발하기 위해 객체지향접근법을 지원하는 Visual C++를 사용하였으며, 사건 관리, 통계량 산출, 그리고 사건진행 정보들을 관리하기 위해 데이터베이스로서 Microsoft Access를 사용하여 퍼스널 컴퓨터에서 구현하였다.

표 4. 사건에 따른 사건루틴 설명

사건 정의	사건 루틴	루틴 기능
반입 완료	InsertExport(m pEventList)	반입 차량의 정보를 DB에 생성
배 도착	ShipGenerator(m pEventList)	선박도착 분포에 의한 선박의 발생 및 속성 부여
선석 점유	CreateWorkList(ship type)	선박의 물량에 대한 컨테이너 크레인의 작업목록 생성
양하 시작	CallUnloadcheck(m pEventList)	양하 작업 조건 검색을 위해 양하 체크 사건 호출
양하 체크	UnloadCheck(cc id)	컨테이너 크레인별로 양하 작업이 가능한지 확인
CC작업(양하) 시작	CC_WorkStart(cc_id) Move Load(cc id)	컨테이너 크레인별로 작업위치 이동과 양하 작업 수행
CC작업(양하) 완료	MoveToYard(yt id)	작업을 완료한 YT는 야드로 이동
양하 YT 야드 도착	MoveToBerth(yt id)	야드 도착 후 선석으로 이동
양차 YT 선석 도착	enqueue(yt id)	선석 도착 후 대기라인에 합류
양하 완료	queuecount(cc_id)	양하 작업이 완료되었는지 컨테이너 크레인의 작업 대기라인 검색
적하 시작	CallLoadcheck(m pEventList)	적하 작업 조건 검색을 위해 적하 체크 사건 호출
적하 체크	LoadCheck(cc id)	컨테이너 크레인별로 적하 작업이 가능한지 확인
CC작업(적하) 시작	Cc_WorkStart(cc_id) Move Load(cc id)	컨테이너 크레인별로 작업위치 이동과 적하 작업 수행
CC작업(적하) 완료	MoveToYrad Load(yt id)	작업을 완료한 YT는 야드로 이동
적하 YT 야드 도착	MoveToBerth Load(yt id)	야드 도착 후 선석으로 이동
적하 YT 선석 도착	enqueue(yt id)	선석 도착 후 대기라인에 합류
적하 완료	queuecount(cc_id)	적하 작업이 완료되었는지 컨테이너 크레인의 작업 대기라인 검색 후 적하 작업이 완료되었으면 배 출항 사건을 호출
배 출항	StatisticShip(ship id)	작업 완료한 선박을 출항시키고 선박의 통계량을 작성

4. 적용 사례

4.1 실험 설계

본 연구에서 대상으로 하는 컨테이너 터미널인 PECT(신선대부두)는 1998년 처리실적이 1,195,563 TEU(Twenty foot Equivalent Unit)로 부산항 처리물량의 20.8%를 차지하는 주요한 컨테이너 터미널이다. 시뮬레이션 입력자료는 한국 컨테이너 부두공단에서 제공하는 컨테이너화물 유통추이 및 분석(컨테이너화물 유통 추이 및 분석, 1999)의 자료를 사용하였고, 모델의 유효성을 검증하기 위해 1998년도 자료에 대해 분석해 보았다. 실험의 절차는 다음과 같다.

- ① 신선대 컨테이너 터미널의 현황 파악
- ② 입력자료 결정
- ③ 선박도착자료 수집 및 분석
- ④ 양적하물량자료 수집 및 분석
- ⑤ 크레인 서비스 시간과 교장자료 수집
- ⑥ 시뮬레이션 실험
- ⑦ 시뮬레이션 출력 통계량 분석
- ⑧ 컨테이너 크레인의 교장을 고려한 통계량 분석

세계적인 선박의 대형화 추세와 부산항의 컨테이너 물동량 증가에 대응하여 1991년 6월 개장한 신선대부두는 포스트 파나막스형 선박 4척 동시 접안과 최신 하역장비 및 첨단 전산시설로 24시간 연중무휴로 터미널을 운영하고 있다.

PECT의 시설물로는 게이트는 9개의 입구와 3개의 출구를 가지며, 부두길이는 1,200m로 4개의 선석이 있으며, 컨테이너 장치장은 수출 블록 30개와 수입 블록 26개로 구성되며, 한 블록은 25개 베이(Bay)이며, 한 베이는 6열로 4단까지 할 수 있다. 컨테이너 크기는 20피트, 40피트 2종류를 사용하며, 비율은 <표 6>에서와 같이 1.55이며, 장비로는 컨테이너 크레인 11기, 트랜스퍼 크레인 32기, 야드 트랙터 61대 등을 보유하고 있다(윤원영, 안창근, 최용석, 김갑환, 1998).

<표 5>의 실적자료를 보면 PECT에서 처리한 컨테이너 물동량은 매년 증가추세였으나 1998년에는 경기침체로 인해 약간의 감소를 보였다. 컨테이너 선박의 척당 평균 접안시간은 16.5시간, 척당 평균 하역량은 1,165 TEU였으며, 접안 가능시간 중에 실제로 선박이 접안해 있었던 시간의 비율인 선석 점유율의 평균은 47.5%로 나타났다.

<표 5>의 PECT 실적자료 중 시뮬레이션의 입력자료로 활용되는 부분은 수출입물량과 환적물량, 총 접안선박이며, 선석점유율, 척당 평균 접안시간, 척당 평균 하역량 등은 시뮬레이션 결과를 검증할 때 사용될 수 있다. PECT의 시뮬레이션 실험을 위해 입력한 자료는 <표 6>과 같이 컨테이너 터미널의 실제 관측값인 실적자료 항목과 시스템의 운영을 반영하는 운영정책 항목, 그리고 장비의 특성 항목 등이 사용되었다.

대기행렬에 관련된 시뮬레이션에 있어서 확률변수는 주로

표 5. PECT의 실적자료

연도	1994	1995	1996	1997	1998
총처리물량(TEU)	1,161,928	1,262,692	1,325,917	1,452,036	1,195,563
수출물량(TEU)	482,025	542,495	564,896	605,856	548,283
수입물량(TEU)	510,307	533,767	542,915	591,026	466,038
환적물량(TEU)	169,596	186,430	218,106	255,154	181,242
총 접안선박(척)	1,274	1,379	1,213	1,181	1,035
선석점유율(%)	75.0	84.4	84.2	76.5	47.5
척당 평균 접안시간	15.5	16.1	18.2	17.9	16.5
척당 평균 하역량(TEU)	912	915	1,093	1,229	1,165
이용선박 평균톤수(G/T)	31,180	28,994	35,783	40,598	38,171

표 6. 시뮬레이션 기본 입력 자료

항목 구분	입력 항목	1998년도
실적 자료	수출 컨테이너 물량(TEU)	548,283
	수입 컨테이너 물량(TEU)	466,038
	환적 컨테이너 물량(TEU)	181,242
	TEU/VAN 비율	1.55
	총 선박수	1,035
운영 정책	반입 허용시작시간	선박도착 4일 전
	반입 허용마감시간	선박도착 10시간 전
	선석 1의 컨테이너 크레인의 수	2
	선석 2의 컨테이너 크레인의 수	3
	선석 3의 컨테이너 크레인의 수	3
	선석 4의 컨테이너 크레인의 수	3
	컨테이너 크레인 당 야드 트랙터 대수	4
장비 특성	총 야드 트랙터 대수	61
	야드 트랙터 속도(km/h)	10
	컨테이너 크레인 속도(km/h)	2.7
	컨테이너 크레인 작업시간	N(112.8초, 31.2초)

고객의 도착시간과 서비스 시간이다. 이러한 확률변수들의 성격은 포아송 프로세스와 지수 분포에 의해 규정되는 것이 일반적이다. 시뮬레이션 방법이 대기행렬 이론과 비교해서 큰 장점이라면 실제 데이터 또는 다양한 일반 분포를 적용해 볼 수 있다는 것이다. 본 연구에서는 고객인 선박의 도착시간에 대한 분포를 1998년도 1년간의 실제 관측 자료 중 <표 7>의 선석 배정 현황 자료를 이용하여 추정하였다.

표 7. 1998년도 선석배정 현황

선석 번호	선박 예정도착시간	양하(수입) 물량	적하(수출) 물량	환적 물량
1	97-12-30 21:00	951	999	100
3	98-01-01 1:00	476	415	0
2	98-01-01 1:00	113	161	0
4	98-01-01 1:00	0	0	0
4	98-01-01 2:00	283	183	50
2	98-01-01 9:00	378	262	0
1	98-01-01 17:00	503	311	6
4	98-01-01 19:00	79	369	72
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
4	98-12-31 19:00	641	296	0
1	98-12-31 19:00	726	816	0

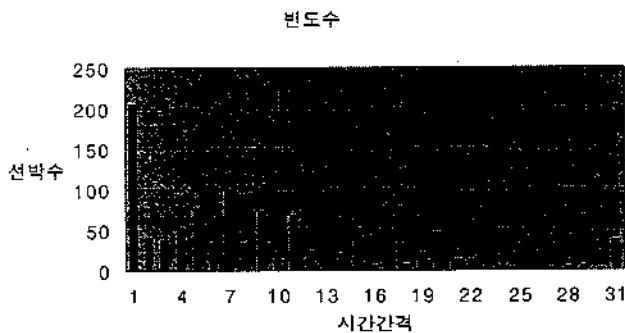


그림 6. 총 선박도착시간 간격 분포.

<표 7>을 이용하여 총 선박들의 도착시간 간격 분포를 히스토그램으로 나타내면 <그림 6>과 같으며, 이 결과로 PECT의 1998년도 선박의 평균 도착시간 간격은 8.49시간 즉, 시간당 0.118척이 도착하였다.

4개의 선석별로 선박의 도착시간 간격을 분석해 본 결과 <그림 7>과 같은 알량(ExpMean, 2)인 분포를 가정하는 것이 무리가 없음을 확인할 수 있었다. 선석별 ExpMean은 13.9시간, 13.5시간, 16시간, 18.4시간이었다.

또한 선박들의 하역(수출, 수입, 환적) 컨테이너 수량의 분포는 <그림 8>과 같이 분석되었다.

컨테이너 크레인의 이동속도는 2.7(km/h)이고, 서비스 시간은 평균 112.8초, 표준편차 31.2초인 정규분포를 따른다고 가정하였다(윤원영, 안창근, 최용석, 김갑환, 1998).

4.2 시뮬레이션 실험

시뮬레이션 실험은 시스템을 초기에는 빈-그리고-한가한 (Empty-and-Idle) 상태로 초기화하여 준비기간(Warm-Up Period)

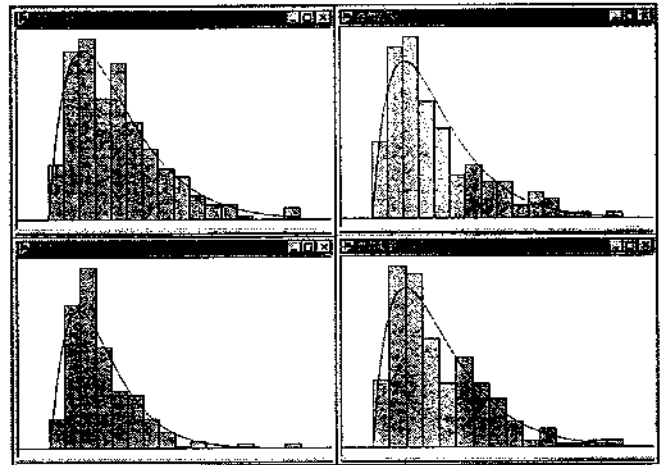


그림 7. 선석별 도착시간 간격 분포.

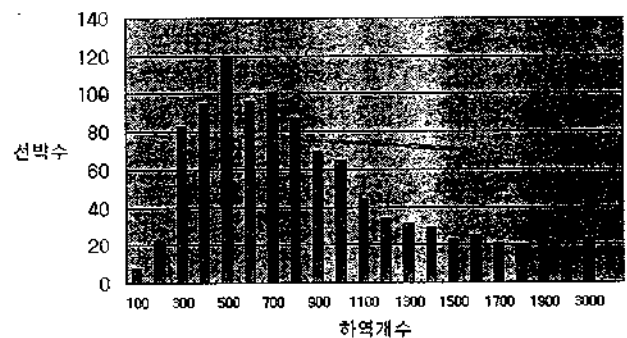


그림 8. 선박당 컨테이너 하역 개수 분포.

을 4일로 하였다(문일경, 윤원영, 조규갑, 최원준, 1999). 준비기간 4일은 <표 6>의 반입허용 시작시간이 경과하여 적하작업을 할 컨테이너가 장치장에 장치되고 양하작업을 할 컨테이너를 실은 선박이 도착되는 시간을 고려한 것으로 준비기간이 경과하면 컨테이너 터미널은 안정상태를 가진다. 따라서 초기에는 장비가 유힘상태이고 개체인 컨테이너와 선박이 도착하지 않은 상태에서 시뮬레이션을 시작한 후, 준비기간 4일 이후부터 통계량을 수집하기 시작하였고 14일간의 시뮬레이션 실험을 25회 반복 실험하였다(장성용, 박진우, 1988). 시뮬레이션 실행길이 14일은 컨테이너 터미널에 입항하는 선박의 입항주기가 주단위로 계획되고 운영되므로, 선박의 입항주기 2회를 고려하여 14일을 실행길이로 결정하였다.

<그림 9>는 개발된 시스템의 실행화면으로 선박의 접안 상태, 개별 장비의 작업 상태, 컨테이너 처리 수량 등을 애니메이션으로 제공함으로써 사용자가 시스템의 상황을 검증할 수 있도록 하였다.

실험에서 얻어진 컨테이너 크레인의 출력 통계량은 <표 8>과 같이 개별 컨테이너 크레인에 대해서 야드 트랙터에 대한 대기시간, 총 처리한 컨테이너 수량, 각 작업상태별 시간비율, 총 작업시간 등 다양한 통계량을 얻을 수 있다.

<표 9>와 같이 선박과 야드 트랙터의 출력 통계량에서는 선박에 대해서 선박유형별로 대기시간, 서비스시간, 컨테이너





표 10. 고장에 대한 출력 통계량 (시간단위:초)

수리 시간	고장난 컨테이너 크레인 번호	고장난 시간
4	6	183,089
97	4	333,492
275	7	436,710
413	4	465,011
12,450	11	875,396
⋮	⋮	⋮
1,797	9	1,820,234
844	8	1,921,592
321	6	2,236,535

표 11. 선석에 대한 출력 통계량

선석 번호	점유율(%)	총 처리 선박 대수	총 처리 컨테이너 수량
1	47.779	17	12,708
2	45.919	17	17,013
3	50.564	21	15,964
4	40.035	19	14,138

수량 및 작업한 선석번호 등을 제공하며, 야드 트랙터의 통계량에서는 할당된 컨테이너 크레인의 번호에 따라 총 컨테이너 크레인 대기시간을 구할 수 있다.

이외에도 출력 통계량으로 <표 10>과 같이 컨테이너 크레인의 고장에 대한 통계량(수리시간, 고장 컨테이너 크레인 번호, 고장시간)과 <표 11>의 개별 선석에 대한 통계량(선석번호, 점유율, 선석별 집안 선박대수, 선석별 처리 컨테이너 개수) 등이 있다. 이러한 출력 통계량을 요약하면 <표 12>와 같다.

표 12. 출력 통계량 요약

출력 통계량 항목	통계량
총 작업한 선박 대수	74
총 선석 작업시간(초)	3,569,398
총 고장시간(초)	17,990
총 고장난 컨테이너 크레인 대수	7
총 컨테이너 처리 개수	59,823
평균 선석 점유시간(초)	48,235
평균 선석 점유율(%)	46.0742
평균 컨테이너 크레인 고장율(%)	0.00504
평균 YT의 컨테이너 크레인 대기시간(초)	90.7849
평균 양하 YT 대기시간(초)	48.0337
평균 적하 YT 대기시간(초)	21.1942

### 4.3 컨테이너 크레인의 고장을 고려한 통계량 분석

컨테이너 크레인의 하역능력을 추정하기 위하여 컨테이너 터미널에서 실적 자료를 얻을 수 있는 평균 선석 점유율, 하역 능력, 크레인 활용도 등에 대해서 시뮬레이션 실험을 한 결과와 유의한자를 분석하고, 실적 자료를 얻을 수는 없지만 하역 능력에 영향을 미치는 각 장비의 대기시간에 대한 통계량을 분석하였다.

#### • 선석 점유율에 대한 통계량

선석 점유율은 선석 집안 가능시간 중에 실제로 선박이 집안해 있었던 시간의 비율로 정의하며, 더 정확하게는 선박이 집안하기 위해서 본선의 첫 라인을 선석의 고정기구에 걸었을 때부터 작업 완료 후 선석에 걸려 있던 여러 개의 라인 중(보통 8라인)에서 마지막 남은 라인이 선석의 고정기구에서 이탈할 때까지의 시간비율을 의미한다. 1998년도 실제 PECT의 평균 선석 점유율은 47.49%이고 본 시뮬레이션을 통하여 구해진 평균 선석 점유율은 <표 13>과 같이 25회 반복 실험한 결과 평균이 47.64%이었다. 시뮬레이션을 수행하여 얻은 선석 점유율 평균이 실제 PECT의 선석 점유율과 유의한 차이가 있는지를 유의수준( $\alpha$ ) 0.05에서 T 검정을 한 결과 T값은 0.21이었으며, 이 값은  $t(24; 0.025) = 2.064$ 보다 작은 값이고, p 값이 0.84이므로 모평균과 유의한 차이가 없다는 결론을 내릴 수 있었다. 즉 실제 선석 점유율을 잘 반영한다고 할 수 있다.

#### • 컨테이너 크레인의 처리 개수와 활용도에 대한 통계량

<표 13>과 같이 컨테이너 크레인이 시간당 처리하는 컨테이너 개수는 총 작업시간에 대한 총 고장시간의 비율이 평균 0.34%인 상황에서 평균 27.67VAN이 구해졌다. 1998년 실제 관측된 값인 26.8VAN보다 약간 큰 값이며, 이는 컨테이너 크레인의 실제 고장 자료와의 차이에 의한 것으로 추정할 수 있다.

컨테이너 크레인의 활용도에 대한 실적 자료는 43.85%이었으며, 시뮬레이션을 수행한 결과 평균값은 43.28%이었다. 실제 활용도와 유의한 차이가 있는지를 유의수준 0.05에서 T 검정을 한 결과 T값은 -0.96으로  $t(24; 0.025) = 2.064$ 보다 작은 값으로 모평균과 유의한 차이가 없었다.

#### • 대기시간에 대한 통계량

대기시간의 통계량은 다음의 네 가지 항목에 대해서 관찰하였고, 시뮬레이션 실험에서 구한 25회 반복 실험의 결과는 <표 14>와 같다.

- T<sub>1</sub>: 선박의 평균대기시간(초)
- T<sub>2</sub>: 야드 트랙터가 컨테이너 크레인을 기다린 평균시간(초)
- T<sub>3</sub>: 컨테이너 크레인이 양하 야드 트랙터를 기다린 평균시간(초)
- T<sub>4</sub>: 컨테이너 크레인이 적하 야드 트랙터를 기다린 평균시간(초)

표 13. 선석 점유율과 컨테이너 크레인 통계량

실험 횟수	분석 항목 선석 점유율 (%)	컨테이너 크레인 통계량		
		시간당 처리 개수(VAN)	크레인 활용도(%)	고장시간 비율(%)
1	45.88	27.73	41.28	0.53
2	46.07	27.82	42.41	0.50
3	46.60	27.69	41.77	0.18
4	47.05	27.65	41.52	0.31
5	51.46	27.66	43.87	0.59
6	46.52	27.65	41.93	0.47
7	46.88	27.64	42.25	0.03
8	48.95	27.67	43.75	0.56
9	48.96	27.66	43.75	0.20
10	49.17	27.66	43.25	0.53
11	53.98	27.67	45.54	0.13
12	43.50	27.69	41.49	0.10
13	46.66	27.69	43.80	0.24
14	43.48	27.65	39.06	0.41
15	41.04	27.69	39.15	0.26
16	46.88	27.67	41.36	0.15
17	40.28	27.68	39.20	0.40
18	48.90	27.65	43.41	0.44
19	48.23	27.64	43.44	0.46
20	55.43	27.65	50.33	0.15
21	47.64	27.67	43.09	0.15
22	53.67	27.66	49.71	0.55
23	51.29	27.68	48.28	0.04
24	47.56	27.67	47.08	0.90
25	44.93	27.65	41.29	0.24
실험평균	47.64	27.67	43.28	0.34
실제값	47.49	26.80	43.85	0.32 (일반적 고장비율)

<표 13>과 같이 야드 트랙터가 컨테이너 크레인을 기다린 평균 대기시간은 90.06초였고, 컨테이너 크레인은 양하작업 야드 트랙터를 평균 46.51초, 적하작업 야드 트랙터를 20.83초 기다려야 했다. 적하작업에 비해서 양하작업시 컨테이너 크레인의 대기시간이 많은 것은 수입 장치장이 수출 장치장에 비해 선석과의 거리가 상대적으로 가깝기 때문이라고 할 수 있다. 선박이 선석에 접근하기 위한 평균 대기시간은 0.29시간(1050.71초)이었다.

그러므로 이 실험에서 추정된 컨테이너 크레인의 하역능력은 선석 점유율 47.64%인 상황에서 고장시간비율이 0.34인 컨

표 14. 각 장비별 평균 대기시간

실험횟수	시뮬레이션에 의한 선박과 장비의 대기시간			
	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>
1	989.80	95.89	46.64	20.54
2	693.07	91.18	47.29	21.44
3	1532.60	92.46	46.24	20.17
4	1090.35	87.68	46.98	22.32
5	3127.35	90.83	44.27	20.99
6	795.99	88.26	43.69	22.08
7	937.84	92.94	43.27	21.23
8	2166.67	94.38	46.73	19.48
9	1109.54	90.64	44.41	20.89
10	1139.44	86.66	47.21	22.61
11	904.30	86.88	45.08	21.92
12	573.14	97.08	45.90	21.90
13	309.31	86.23	44.37	21.13
14	169.47	78.06	44.34	22.39
15	204.85	95.04	47.36	21.38
16	1054.33	93.41	49.77	17.40
17	249.11	93.71	48.64	16.85
18	0.00	88.00	47.52	21.83
19	248.85	88.20	46.17	20.57
20	3927.69	91.63	47.70	18.99
21	2274.04	86.47	45.09	23.13
22	1937.42	81.58	49.03	24.22
23	832.70	92.66	49.35	19.91
24	0.00	91.81	46.36	20.74
25	0.00	89.77	49.27	16.69
실험평균	1050.71	90.06	46.51	20.83
표준편차	989.70	4.39	1.87	1.85

테이너 크레인이 활용도 43.28%로 시간당 27.67개의 컨테이너를 처리하였으며, 이때 컨테이너 크레인과의 대기네트워크에서 상호작용을 하는 선박의 평균대기시간은 1050.71초이며, 야드 트랙터가 컨테이너 크레인을 기다린 시간은 평균 90.06초, 컨테이너 크레인이 양하 야드 트랙터를 기다린 시간은 평균 46.51초, 적하 야드 트랙터를 기다린 시간이 평균 20.83초 이었다고 요약할 수 있다.

따라서 컨테이너 크레인의 랜덤한 고장현상이 반영된 경우의 컨테이너 크레인의 하역능력을 추정하기 위해서 시뮬레이션 방법을 이용하여 선석의 가동율을 나타내는 선석의 점유율과 선박의 대기시간을 구하였고, 컨테이너 크레인의 활용도에 관련된 컨테이너 처리개수, 컨테이너 크레인의 대기시간, 야

드 트랙터의 대기시간에 대한 통계량을 구하여 고장을 반영한 컨테이너 크레인의 하역능력을 추정하였다. 시뮬레이션에 의해 추정된 장비의 대기시간들은 실제 자료에서는 추정하기 어려운 항목들로 컨테이너 크레인의 하역능력에 영향을 미치는 요소로서 고려될 수 있다.

### 5. 결론

본 연구에서는 컨테이너 터미널에서의 계획, 설계 및 능력분석에 있어서 중요한 요소인 컨테이너 크레인의 하역능력을 산정하기 위해 선박과 야드 트랙터를 고객으로 컨테이너 크레인을 서버로 하는 대기모형으로 모델링한 시뮬레이션 모델을 제시하였으며, 모델링 과정에서 컨테이너 크레인의 고장 현상을 반영하였다. 시뮬레이션 모델의 적용사례로서 부산의 신전대 부두를 대상으로 하여 컨테이너 터미널의 주요 자원인 선박의 점유율, 컨테이너 크레인의 활용도와 고장시간비율을 시뮬레이션 실험으로 구하여 실적자료와 비교하여 시뮬레이션 모델의 유효성을 검증하였다. 그리고 개발된 모델을 이용하여 컨테이너 크레인의 하역능력에 영향을 미치는 선박의 대기시간과 야드 트랙터의 작업중 크레인 앞에서의 대기시간 등의 항목에 대한 상세한 통계량들을 구하였다. 이러한 상세한 통계량들은 컨테이너 크레인의 하역능력을 상세히 분석하는 데 사용될 수 있다.

실제 컨테이너 터미널에서는 중요한 서버인 컨테이너 크레인의 고장시간에 대한 분포를 알고 있지도 않았고 단지 대략적인 고장회수와 전체 작업시간에 대한 고장시간이 어느 정도 인가만을 알고 있었다. 이로 인해 컨테이너 크레인의 정확한 하역능력 추정이 어려우므로 본 연구에서 제시한 시뮬레이션 모델을 이용하여 컨테이너 크레인의 고장 데이터를 반영한 하역능력을 추정할 수 있을 것이다. 또한 본 연구에서 제시한 시뮬레이션 모델을 이용하여 컨테이너 크레인의 고장률이 변화하는 상황에서 선박에 대한 대기시간, 컨테이너 크레인의 하

역능력 등 여러 가지 지표들의 평가가 가능할 것이다.

### 참고문헌

김창곤 (1999), *항만에서의 물류시스템 및 대기모형 I)-UNLOADER에 의한 기계하역을 중심으로-*, 해운정책연구, 5(3), 401-426.

김창곤 (1992), *전용부두에서의 화물 유통량을 고려한 하역능력 검토*, Ocean Research, 14(1), 53-62.

문성혁 (1994), *모델링 기법에 의한 항만계획 및 분석*, 한국해운학회지, 18, 337-365.

문일경, 윤원영, 조규갑, 최원준 (1999), *ARENA를 이용한 시뮬레이션 교보문고*.

박남규 (1989), *경영과학을 이용한 항만운영의사결정 시스템 설계에 관한 연구*, 한국해운학회지, 9, 209-233.

윤영철 (1996), *컨테이너 터미널 사용자 비용을 최소로 하는 선박과 크레인의 최적구성에 관한 연구*, 한국해양대학교 석사학위논문.

윤원영, 안창근, 최용석, 김갑환 (1998), *시뮬레이션을 이용한 컨테이너 터미널의 운영계획 평가*, 한국시뮬레이션학회 논문지, 7(2), 91-104.

이영건, 이권순 (1998), *진화전략을 이용한 컨테이너 크레인의 최적제어에 관한 연구*, 한국항만학회지, 12(2), 217-224.

이철영 (1998), *항만물류시스템, 효성출판사*.

이철영, 문성혁 (1983), *항만운송시스템의 분석에 관한 연구*, 한국항만학회지, 7(1), 1-32.

임봉택, 이재원, 성경빈, 이철영 (1998), *시뮬레이션에 의한 컨테이너 터미널의 물류시스템의 분석에 관한 연구*, 한국항만학회지, 12(2), 1-9.

장성용, 박진우 (1988), *시뮬레이션 기법을 이용한 컨테이너 터미널의 운영시스템 결정*, 산업공학, 1(1), 49-62.

장영태 (1994), *우리나라 주요 수출입 항만에서의 선박 입출항시간분포 추정에 관한 연구*, 한국해운학회지, 19, 123-163.

컨테이너 터미널 운영실무 (1993), *㈜신전대 컨테이너 터미널*.

컨테이너화물 유통 추이 및 분석 (1999), *한국컨테이너 부두공단*.

하영석 (1993), *부산항 컨테이너 터미널의 적성선석 규모*, 한국해운학회지, 17, 227-245.

Schonfeld, P., ASCE, A. M. and Sharafeldien, O. (1985), *Optimal Berth and Crane Combinations in Containerports*, Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, 111(6), 17-28.

Tongzon, J. L. (1995), *Determinants of Port Performance and Efficiency*, Transp. Res.-A, 29(3), 245-252.



**윤원영**  
 서울대학교 산업공학과 학사  
 한국과학기술원 산업공학과 석사  
 한국과학기술원 산업공학과 박사  
 현재: 부산대학교 산업공학과 교수  
 관심분야: 신뢰성 공학, 시뮬레이션



**송진영**  
 동아대학교 산업공학과 학사  
 부산대학교 산업공학과 석사  
 현재: (주)토탈소프트뱅크  
 관심분야: 항만 운영시스템



**최용석**  
 창원대학교 산업공학과 학사  
 부산대학교 산업공학과 석사  
 부산대학교 산업공학과 박사  
 현재: 부산대학교 BK21핵심 연수연구원  
 관심분야: 항만물류 시뮬레이션



**양창호**  
 서강대학교 경영학과 박사  
 현재: 한국해양수산개발원 항만시스템연구실  
 실장  
 관심분야: 항만 시스템 설계, 항만 시뮬레이션 시스템