

시뮬레이션 기법을 이용한 컨테이너 터미널의 운영시스템 결정

(Determination of Container Terminal Operating System Using Computer Simulation)

장 성 용*
박 진 우**

Abstract

This paper deals with the case study that determines the best operating system of a container terminal using computer simulation techniques. For the simulation, SIMAN simulation language is used. The simulation model developed circumvents the dimensional restrictions imposed by the SIMAN package. Non-terminating simulation experiments are conducted for the 90 days' work on the basis of operation practices of real terminals.

1. 연구의 목적 및 배경

우리나라의 경제규모가 확대되고 무역량이 급격히 늘어남에 따라 해상 운송량도 크게 증가하고 있다. 따라서 이를 지원하기 위한 기반시설인 항만의 시설확충 및 운영 효율화에 대한 필요성이 증대하고 있다. 또한 세계 해상무역에서 1960년대 후반부터 일어난 컨테이너화라는 기술혁신은 해상, 항만, 육상 운송 측면에서 체도적, 기술적 및 운영면에 커다란 변화를 가져왔다[5].

컨테이너가 도입된 이래 우리나라는 1986년

에 150만 TEU¹⁾의 컨테이너를 하역함으로써 컨테이너 취급 물량면에 있어서 기록적인 증가 추세를 보여주고 있으며, 이에 따라 컨테이너를 신속하고 원활하게 하역, 보관할 수 있는 컨테이너 터미널의 개발이 활발하게 진행되고 있다[3]. 현재 부산항에는 4개 부두 규모의 컨테이너 터미널이 가동중이며, 3개 부두 규모의 컨테이너 터미널이 건설중에 있다. 광양에도 1개 부두 규모의 컨테이너 터미널이 개발되고 있다[4].

그런데 컨테이너 터미널에 있어서는 터미널의 시설 배치 및 운영시스템에 따라 컨테이너의

* 서울산업대학 산업공학과

**서울대학교 공과대학 산업공학과

註 1) TEU는 Twenty Equivalent Unit의 약자로서 20feet 컨테이너 1개를 의미한다.

처리능력에 커다란 차이를 보이고 있어 컨테이너 터미널 개발사 최적의 터미널 시설 배치 및 운영시스템의 결정은 매우 중요한 문제이다.

또한 터미널 운영시스템이 결정되었을 경우 물동량 증가에 따른 크레인, 야드트럭, 야드면적등을 어느정도 확충할 것인가 하는 것도 매우 중요한 의사결정문제로 등장한다.

컨테이너 터미널의 운영시스템 결정 문제는 문제의 복합성, 상황 변화의 동태성 등으로 인하여 수리계획 문제로서는 풀기가 어려운 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 실제의 컨테이너 터미널을 대상으로 터미널 운영시스템 및 시설 배치 결정을 위한 방법으로써 제안된 몇가지 대안에 대하여 시뮬레이션을 수행함으로써 최적대안을 제시하는 동시에 이와 같은 종류의 문제에 대한 시뮬레이션 기법의 활용가능성을 보여주고자 한다. 이하 제2 절에서는 부산항 컨테이너 터미널과 관련한 실제적 문제가 제시될 것이며 제3 절에서는 시뮬레이션 모델이 소개될 것이다. 제4 절에서는 시뮬레이션 연구의 방법론 및 결과 분석이 취급되며 마지막으로 제5 절에서는 결론 및 추후 연구 방향이 토의된다.

2. 문제의 설명

(1) 컨테이너 터미널의 개요

우리나라의 대표적인 컨테이너 터미널인 부산항 컨테이너 터미널의 배치도를 [그림 1]에 제시하였다. 터미널의 주요 시설은 크게 1) 선박이 접안하는 부두 시설, 2) 컨테이너를 장치하는 야드, 3) 컨테이너 화물을 적입/적출하고 화물을 보관하는 CFS(Container Freight Station), 4) 갠트리 크레인(Gantry Crane), 트랜스테이너(Transtainer) 등의 하역장비, 5) 컨테이너 및 운송 차량의 외부 반입/반출을 관리하는 게이트, 6) 운영건물, 7) 장비 및 컨테이너를 수리하는 수리장으로 되어 있다.

이제 터미널에서의 컨테이너의 일반적인 흐름

을 분석해 보기로 한다. 선박이 부두에 도착하면 각 부두의 에이프런(Apron)상의 레일 위에 2대의 갠트리 크레인이 배정되어 양하 작업(Discharging Operation)을 시작하게 된다. 계획된 양하작업이 완료되면 선적 준비시간을 가진 후 수출화물을 실은 컨테이너를 선적하게 된다. 또한 동 선박은 필요한 경우 선용품 공급, 급유 등을 행한후 이안하여 출항하게 된다.

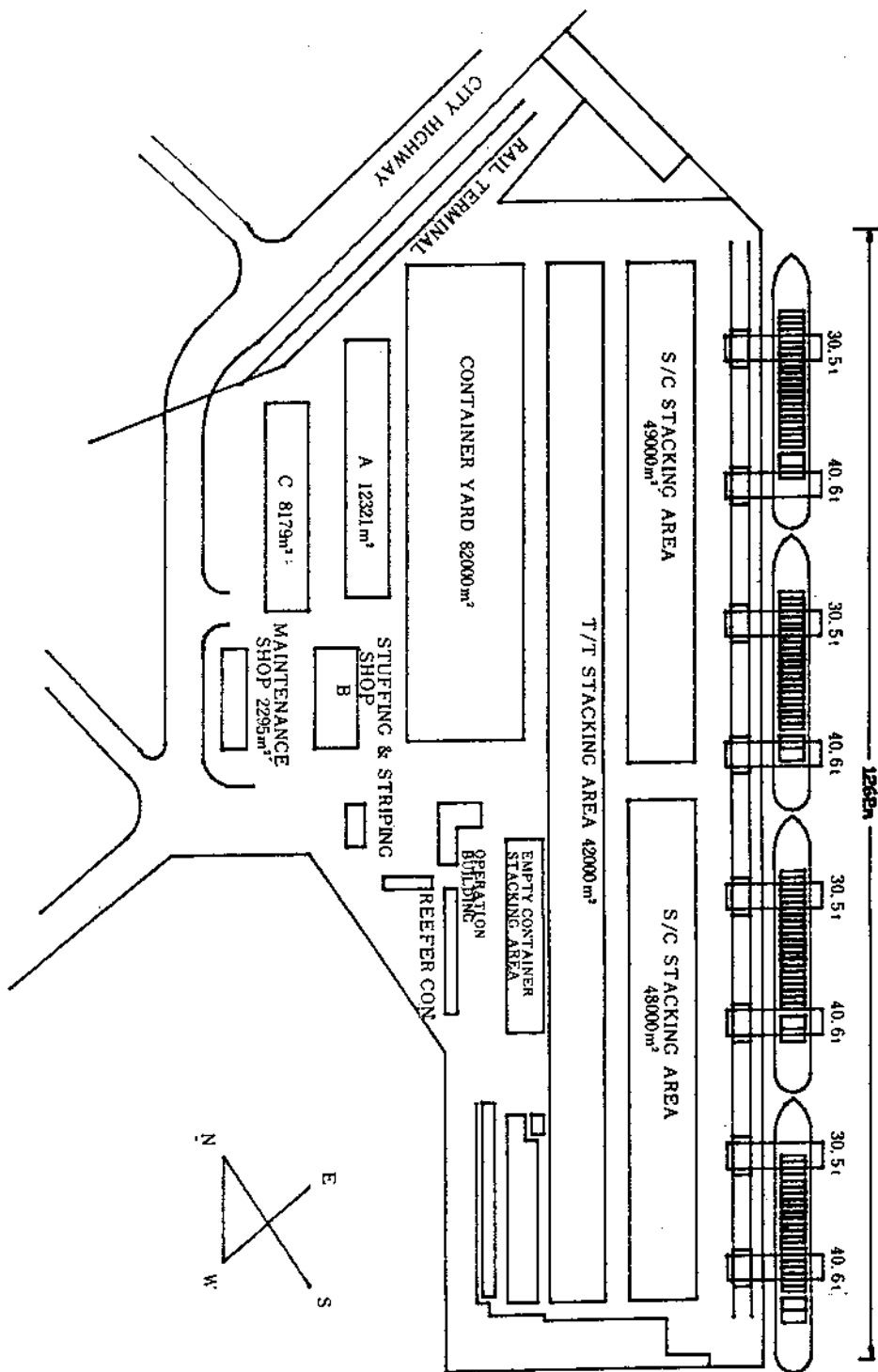
선박에서 양하된 컨테이너는 터미널 내의 컨테이너 트럭에 실려 야드에 이송된 후 트랜스테이너 혹은 스트래دل 캐리어(Straddle Carrier) 등의 장비에 의해 야드에 장치되며 약간의 지연 시간을 가진 후 게이트를 통하여 터미널 밖으로 반출된다.

상기의 컨테이너를 FCL(Full Container Loaded) 컨테이너라 부른다. 일부 LCL(Less Container Loaded) 컨테이너는 터미널 내 CFS에 이송되어 컨테이너에 적입되어 있는 화물을 적출시키고 공 컨테이너는 공 컨테이너 야드에 장치시킨다. 한편 선박에서 양하된 컨테이너는 철도를 이용하여 반출할 수도 있는데 철도를 이용할 경우에는 철도 야드에 이송시켜 장치한 후 반출하며 반입시에는 역순이다. 또한 냉동 컨테이너나 위험물 적재 컨테이너는 각각 특별히 정해진 장소에서 장치된 후 반출된다. 수출용 컨테이너는 외부에서 반입되어 수출용 컨테이너 야드에 선사별, 항로별로 장치되어 있다. 양하 작업이 완료되면 선적 작업이 이루어진다([그림 2] 참조).

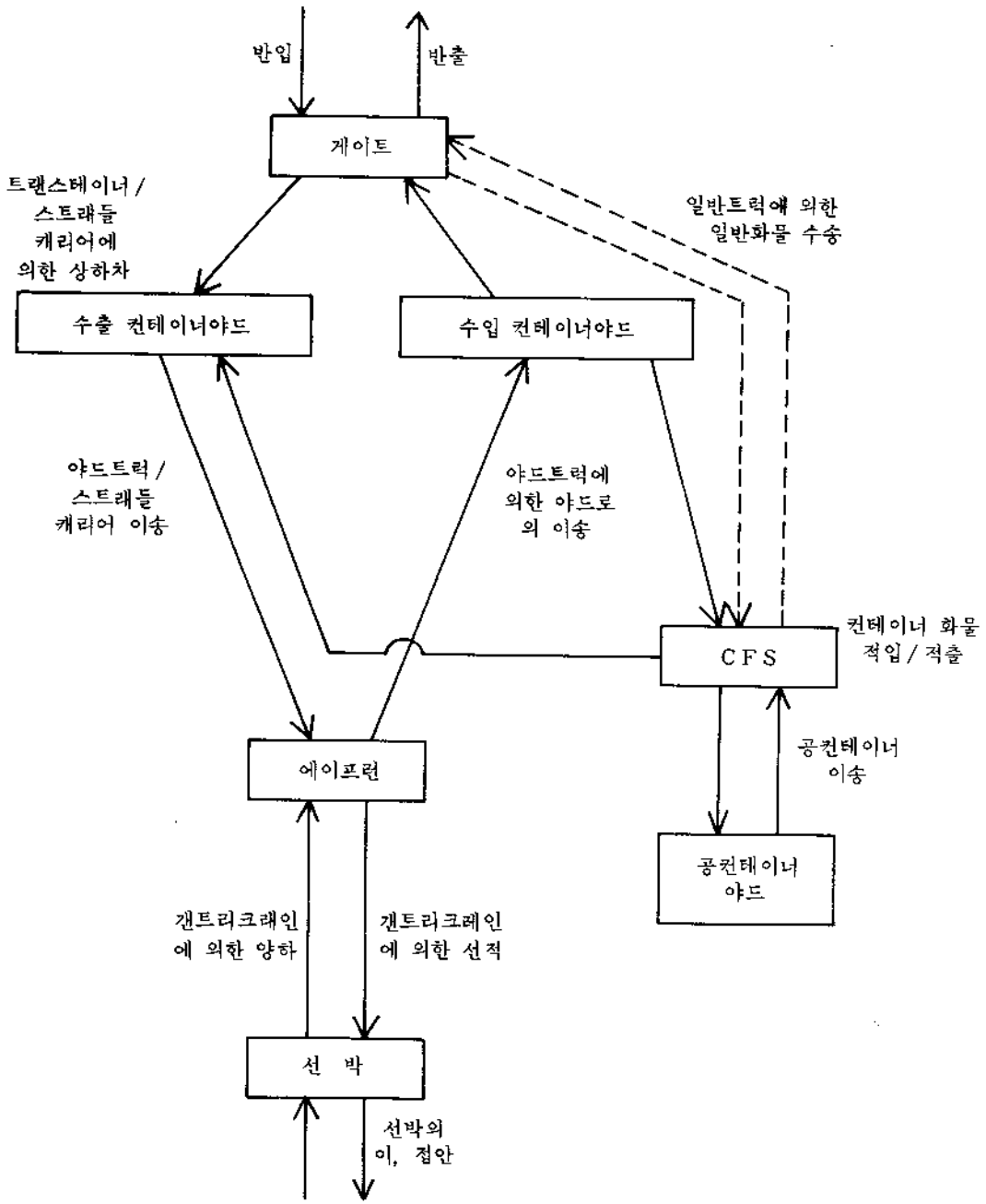
(2) 컨테이너 터미널 운영 시스템

컨테이너 터미널 운영 시스템은 터미널의 수입 및 수출 컨테이너의 야드 배치, 기타 특수 컨테이너의 야드 배치, 각 야드에서 하역 작업에 사용할 장비의 결정 등에 관한 것인데 전 세계적으로 사용되고 있는 터미널의 주요 운영시스템은 크게 세가지로 분류할 수 있다[5].

첫번째 시스템은 수출과 수입 모두 컨테이너



[그림 1] 부산항 컨테이너 터미널 배치도



[그림 2] 컨테이너 터미날의 컨테이너 흐름도

트럭에의 상하차 작업(Loading and Unloading)이 야드에서 트랜스테이너에 의해 수행되며, 부두에 있는 갠트리 크레인과 야드간의 이송은 야드용 트럭에 의해 수행되는 시스템이다. 트랜스테이너는 Transfer Crane 혹은 Yard Crane으로도 불리우며 장비 몸체가 일정한 레일 위로 좌우 이동이 가능하며 최대 5 단적, 10열로 적재가 가능하다. 컨테이너의 상하차 작업을 위해 컨테이너를 붙잡아 주는 스프레더(Spreader)는 상하, 좌우 동작이 가능하기 때문에 5 단적 10열까지 적재 작업이 가능함으로써 단위 면적당 적재량이 다른 장비에 비해 높다.

두번째 시스템은 수출용 컨테이너의 하역과 이송은 스트래들 캐리어라는 장비에 의해 수행되고 수입 컨테이너 하역에는 첫번째 시스템과 동일하게 트랜스테이너가 사용되는 것이다. 이 경우 스트래들 캐리어는 순수하게 트럭에의 상하차 작업만을 수행하고 이송은 야드 트럭을 이용하는 방법과 스트래들 캐리어가 컨테이너를 갠트리 크레인 옆까지 직접 이송하는 방법으로 나누어진다. 스트래들 캐리어는 일정한 레일 위를 움직이는 것이 아니기 때문에 어느 장소이든지 용이하게 접근할 수 있는 융통성은 있으나, 적재 용량이 최대 3 단적 평균 2 단적에 불과하며, 스트래들 캐리어의 접근 통로로 많은 공간을 필요로 하기 때문에 단위 면적당 이용율이 낮은 편이다.

세번째 시스템은 이송 및 보관은 트럭-사이에 의해 수행되고, 외부 반출 및 이적은 스트래들 캐리어에 의해 이루어짐으로써 적재 용량이 1 단적이며 보관면적이 많이 필요한 단점이 있으나 이송 및 하역의 신속성이 보장된다.

이외에도 다양한 시스템이 존재하지만 상기의 3가지 시스템이 대부분을 차지하고 있으며 그중에서도 두번째 유형의 시스템이 가장 널리 사용되고 있다. 상기의 어느 시스템이든지 선박에서의 하역은 갠트리 크레인에 의해 이루어진다.

(3) 축소된 컨테이너 터미널 및 운영 시스템

본 연구의 주된 연구대상인 부산 컨테이너 터미널의 부두는 선석 4개, 갠트리 크레인 8기, 스트래들 캐리어 16기, 트랜스테이너 10기, 야드 트랙터 43대 등으로 이루어져 있다. 또한 야드상에는 평균 10,000-15,000 TEU가 적재되어 있어서 이를 시뮬레이션을 위한 모델링을 할 경우에 대단히 많은 메모리를 필요로 한다.

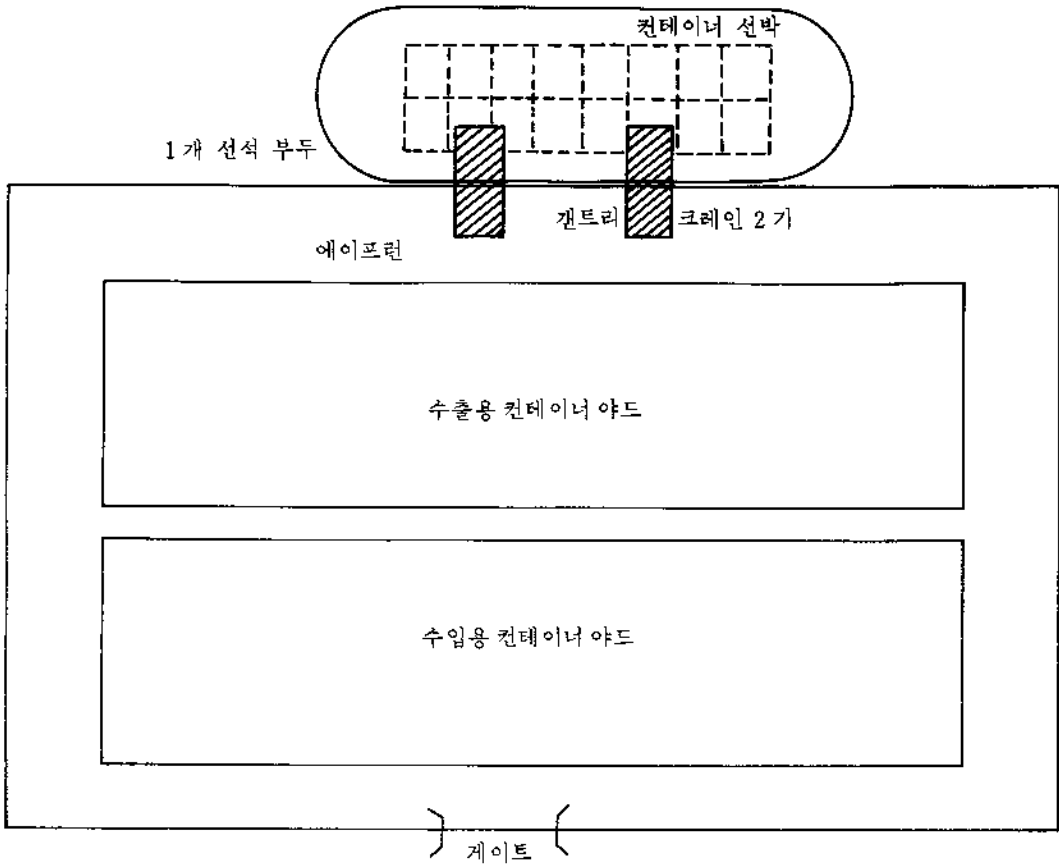
따라서 본 연구에서는 연구의 현실성과 효과를 살리면서도 시뮬레이션 연구의 효율성을 높이기 위하여 다음과 같이 1개의 부두만을 고려하는 축소된 모델을 사용하기로 하였다. 이는 실제 컨테이너 터미널의 운영이 부두 위주로 비교적 독립적으로 수행되고 있을 뿐만 아니라 전체 터미널의 운영이 완전 독립적으로 운영될 경우의 시스템 효율을 평가하는데도 도움이 될 것이라고 판단되었기 때문이다.

하역 작업은 2개의 갠트리 크레인이 선박에서의 양적하 작업을 수행한다. 따라서 부두 시스템은 선박을 실체(Entity)로 볼 때는 서버(Server) 수가 1이며 컨테이너를 실제로 보는 경우에는 서버 수가 2이다. 수출용 컨테이너 야드는 게이트에 근접해 있다. 각 야드에서의 장비 시스템은 대안별로 상이하다.

수출용 컨테이너 야드와 컨트리 크레인과의 거리는 500m, 수입용 컨테이너와 갠트리 크레인과의 거리는 800m 떨어진 것으로 가정하였으나 연구의 진행에 따라 수시로 변동 가능하도록 모델링 하였다([그림 3] 참조).

각 운영 시스템 대안별 특성은 다음과 같다.

- 대안 1 : 수출용 야드와 수입용 야드 모두 트랜스테이너를 사용한다. 수출용 야드에는 2기, 수입용 야드에는 1기의 트랜스테이너가 고정 설치되어 있다. 각 야드와 컨트리 크레인과의 이송에는 3대의 트럭이 사용된다.
- 대안 2 : 대안 1 과 유사하나 수출용 야드의 트랜스테이너 2기 가운데 1기는 외부



[그림 3] 모델 컨테이너 터미널

에서 들어온 컨테이너에 대한 야드 트럭의 상하차 작업 전용이며 다른 1기는 선적 전용으로 사용한다.

- 대안 3 : 수입용 야드에서는 1기의 트랜스태이너, 수출용 야드에서는 3대의 스트래들 캐리어가 각각 하역에 사용된다. 수출 및 수입용 야드와 갠트리 크레인 사이의 이송에는 3대의 트럭이 사용된다.
- 대안 4 : 수입용 야드에서는 1기의 트랜스태이너가 사용되며, 수출용 야드에서의 하역과 수출용 야드와 갠트리 크레인 사이의 이송에는 5기의 스트

래들 캐리어가 사용된다. 수입용 야드와 갠트리 크레인 사이의 이송에는 2대의 트럭이 사용된다.

3. 시뮬레이션 모델의 개발

(1) SIMAN 소개

본 연구에서 시뮬레이션 언어로는 SIMAN을 활용하였다. SIMAN은 이산형이나 연속형 그리고 양자복합형 시뮬레이션에 적합한 범용의 시뮬레이션 언어이다.

SIMAN은 이산형에 있어서 과정지향적(Process Oriented) 시뮬레이션과 이산적 사전지향

적(Discrete - Event Oriented) 시뮬레이션이 공히 가능하나 전자가 SIMAN의 주된 기법이다.

SIMAN은 SLAM, GASP IV와 유사한 특성을 가지고 있으며 특히 제조 시스템, 자재 취급 시스템 모듈이 보완되어 현실 문제의 시뮬레이션에 용이하게 사용 가능할 뿐 아니라 대형 컴퓨터, 미니 컴퓨터, 16비트 마이크로 컴퓨터 등에서도 모두 사용 가능하다. 현재는 CINEMA라는 그래픽 기능이 첨가되어 시뮬레이션 과정을 시각적으로 보여줄 수 있도록 보완되었다 [7].

(2) 시뮬레이션 모델의 개발

터미널 시스템을 SIMAN을 활용하여 과정 지향적 시뮬레이션 모델로서 개발하였다. 본 모델에서의 실체(Entity)는 컨테이너 선박과 컨테이너의 2가지로 정의하였다. 컨테이너는 수입용과 수출용으로 분류된다. 선박의 도착시간, 양하 컨테이너 갯수, 적하 컨테이너 갯수는 선박의 속성(Attribute)으로 볼 수 있다. 선박이 도착해야 컨테이너 양하작업이 시작되고 컨테이너 적하작업이 완료되어야 선박의 모든 서어비스가 완료되어 출항하게 된다.

모델에 사용된 자원(Resource)은 부두(Berth) 1개, 갠트리 크레인 2기, 트랜스테이너 3기(대안 3, 4는 1기), 스트래들 캐리어 5기(대안 1, 2는 없고 대안 3은 3기), 트레일러 3기(대안 4는 2기) 등이다. 실제의 흐름 과정을 대안 1을 기준으로 [그림 4]에 제시하였다.

(3) 매개변수(Parameter) 추정

시뮬레이션 실행 중에 사용된 매개 변수들은 실제 부산항 컨테이너 터미널에서 수집된 자료들을 분석하여 추정하였다[1,2]. 확률변수의 매개 변수들은 경우에 따라 각각 다르지만 예를 들어 선박입출항 도착간 시간분포는 1개년도 선박 도착시간 자료를 가지고 통계적 검정을 거쳐 결

정하였다. 자세한 통계적 절차는 제시하지 않았으나 추정된 결과는 다음과 같다.

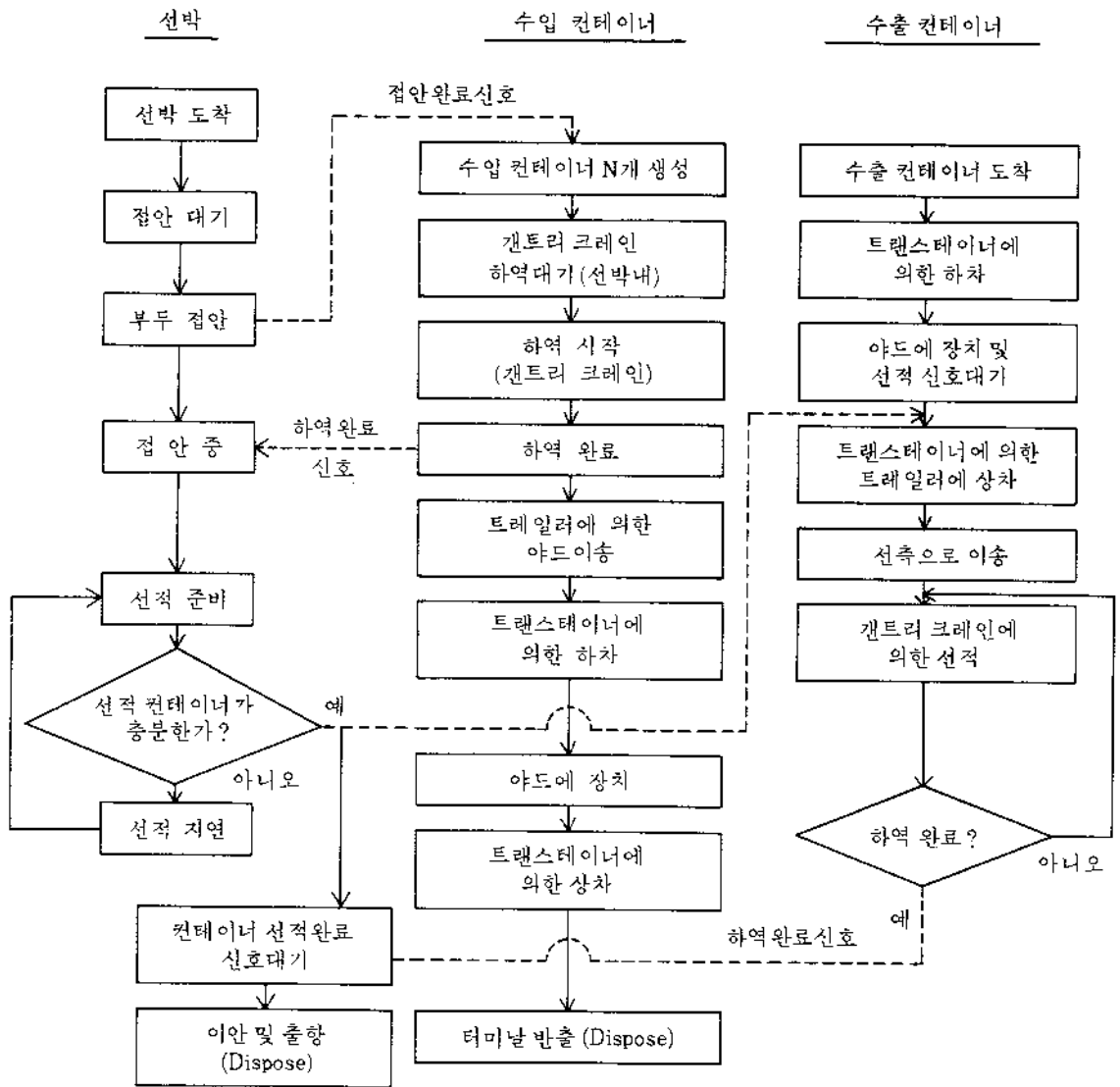
- 선박 입출항 도착간 시간 분포 : Exponential (1200분)
- 수출 컨테이너 반입 도착간 시간 분포 : Exponential(10분)
- 컨테이너 당 갠트리 크레인 하역시간 분포 : Uniform (2.5, 3.5분)
- 트랜스테이너 상하차 작업시간 분포 : Uniform (2.5, 3.5분)
- 스트래들 캐리어 상하차 작업시간 분포 : Uniform (2.0, 3.0분)
- 스트래들 캐리어 이송시간 분포 : Uniform (2.5, 3.0분)
- 야드와 갠트리 크레인 사이의 야드트럭 이송 시간 분포 : Uniform (1.0, 2.0분)
- 선박 1척당 구입 컨테이너 갯수 : Uniform (100, 170)
- 선박 1척당 수출 컨테이너 갯수 : Uniform (160, 250)
- 수입 컨테이너 야드 장치기간 - Exponential (2880분)
- 양하 작업완료 후 선박의 선적 준비시간 : Uniform (20, 30분)
- 선적 완료 후 선박의 출항 준비시간 : Uniform (20, 40분)

4. 실험방법 및 결과 분석

(1) 실험방법

본 실험은 실제 터미널 작업이 24시간 거의 연중 무휴로 진행됨을 감안하여 Non-terminating 실험으로 진행하였다 [6].

각 대안별로 1회 시뮬레이션 시간을 21600분(15일분)으로 하여 시스템 상태 변수값을 초기화하지 않고 6회 반복하여 총 129600분(90일분)의 작업을 시뮬레이션 하였다. 사용된 컴퓨터는 16bit의 Televideo 80286 AT 기종으로 메모리 용량은 640KB이며, 80287 Coprocess-



[그림 4] 시물레이션 모델 Flow Chart

[표 1] 대안별 시뮬레이션 소요시간

단위: 초

구 분	1 회	2 회	3 회	4 회	5 회	6 회	계
대안 1	1179	1449	1435	1765	2015	1559	9402
대안 2	1505	1855	1889	1911	1531	1795	10494
대안 3	1391	1740	658	1572	1771	1732	8964
대안 4	820	992	1041	1043	1061	1072	6029

or가 장치되어 있다. 각 대안별, 반복 횟수별 시뮬레이션 CPU시간은 [표 1]과 같다.

각 대안별, 반복 횟수별로 수집한 통계치는 다음과 같다.

- 선박 접안시간(Time at Berth)
- 서비스받은 선박 척수(Number of ships served)
- 선박 접안 대기시간(Waiting Time for Berthing)
- 선박 대기 척수(Number of ships waiting)
- 부두 이용률(Berth Utilization)
- 수출 컨테이너 처리량(Number of containers exported)
- 수입 컨테이너 처리량(Number of containers imported)
- 갠트리 크레인 이용률(Gantry crane utilization)
- 트랜스테이너 이용률(Transtainer utilization)
- 야드 트럭 이용률(Yard truck utilization)

(2) 결과 분석

Non-terminating 시뮬레이션으로 실험하여 수집된 주요 통계치들을 6 회 반복 횟수별로 [표 2] - [표 9]에 제시하였다. 선박대기척수, 선박접안시간 및 선박접안대기시간은 반복된 시뮬레이션의 전회의 통계치가 다음회의 관측치에 누적된 효과를 보이고 있어 exploding state로 점점 접근해가는 시스템임을 보여주고 있다. 대안 1 과 2 는 반복 횟수간의 약간의 편차가 있으며 비교적 완만한 속도로 exploding state로 접

근하고 있으나, 대안 3, 4 의 경우에는 반복 횟수의 편차도 크고 빠른 속도로 exploding state로 접근하고 있다.

한편 서비스받은 선박 척수, 컨테이너 처리량, 갠트리 크레인 이용률 및 야드트럭의 이용률 등의 최후관측치 및 평균치는 15일간의 결과를 보아도 안정상태(Steady state)에서의 시스템 상태를 잘 나타내고 있는 것으로 보여진다. 따라서 각 대안별로 평가 기준의 평균치를 비교함으로써 최적대안을 선정하였다.

운영 시스템 평가 기준은 크게 2 가지로 대별할 수 있다. 첫째는 선주(Ship Owner)에 대한 서비스 차원에서 선박 접안시간, 선박 접안 대기 시간, 평균 대기 선박 척수등이 평가 기준으로 사용될 수 있다. 이러한 기준을 사용할 경우, 관측값이 낮을수록 효율이 높은 것으로 평가할 수 있다. 둘째는 컨테이너 터미널 운영자(Terminal Operator) 입장에서의 시스템 효율 평가 기준으로써 컨테이너 처리량, 부두 이용률 그리고 갠트리 크레인, 트랜스테이너, 스트래들 캐리어, 야드 트럭등의 장비 이용률등을 들 수 있다. 부두 이용률이나 장비 이용률은 운영자 측면에서는 효율이 높을수록 좋으나, 지나치게 이용률이 높을 경우에는 컨테이너 하역상의 대기 발생 요인이 될 뿐만 아니라 컨테이너 처리량의 감소 및 선박 접안시간의 증가를 가져오게 되어 일관성 있는 평가기준으로 사용하기 어렵기 때문에 컨테이너 처리량을 가장 적합한 평가기준으로 선정할 수 있다.

첫번째 평가 기준을 적용하는 경우에 선박 접

안시간, 선박 접안 대기시간, 평균 대기 선박 척수는 상호 연관된 것으로 결과치에 있어 비례 관계를 관찰할 수 있기 때문에 선박 접안시간만을 평가 기준으로 하여 대안별 비교를 하기로 한다.

접안시간을 기준으로 볼 때는 대안 1 이 가장 우수한 시스템으로 평가되었으며, 대안 2 와 대안 3 은 거의 유사한 결과를 보여주고 있으며 대안 4 와 대안 3 은 거의 유사한 결과를 보여주고 있으며 대안 4 는 가장 좋지않은 결과를 보여주고 있다.

한편 두번째 평가 기준을 적용하는 경우에는 대안 2 가 가장 우수한 것으로 판단되며 대안 1 과 대안 3 은 처리량에 차이가 거의 없는 것으로 보인다. 대안 4 는 가장 효율이 낮은 것으로 평가되었다([표 5] 참조).

상기 두가지 평가 기준 가운데 어느 것을 택할 것인지는 터미널 운영자의 경영방침에 따라 달라질 것이다. 따라서 어느 대안이 가장 바람직한지 판단하는 문제는 경영자에게 맡겨져야 할 것이다.

[표 2] 대안별 평균 선박 접안시간 및 서어비스 척수

단위 : 분(척)

구 분	1 회	2 회	3 회	4 회	5 회	6 회	평 균
대안 1	1599 (15)	2661 (14)	2561 (16)	3100 (18)	9105 (18)	7470 (14)	4489 (15.8)
대안 2	3161 (16)	7712 (18)	9419 (19)	6713 (17)	3476 (16)	5243 (17)	6149 (17.2)
대안 3	2154 (15)	4631 (17)	1592 (9)	5083 (18)	7097 (17)	12107 (17)	5842 (15.5)
대안 4	4113 (12)	8110 (14)	7568 (15)	21145 (14)	21968 (14)	227840 (14)	16274 (13.8)

[표 3] 대안별 선박 접안 대기시간

단위 : 분(척)

구 분	1 회	2 회	3 회	4 회	5 회	6 회	평 균
대안 1	610 (15)	1369 (14)	1389 (16)	2310 (18)	7839 (18)	6305 (14)	3384 (15.8)
대안 2	2049 (16)	6943 (18)	8085 (19)	5228 (17)	2184 (16)	4352 (17)	4716 (17.2)
대안 3	818 (15)	3520 (17)	426 (9)	4140 (18)	5993 (17)	11066 (17)	4712 (15.5)
대안 4	2664 (12)	7066 (14)	16485 (15)	20239 (14)	20112 (14)	21548 (14)	14850 (13.8)

[표4] 평균 대기 선박 척수

단위:척

구 분	1 회	2 회	3 회	4 회	5 회	6 회	계
대안 1	0.43	0.93	1.01	2.79	6.77	5.19	2.84
대안 2	1.99	7.34	5.91	3.69	1.55	4.21	4.12
대안 3	0.97	2.32	0.20	3.87	6.36	7.29	3.62
대안 4	1.94	8.78	13.16	14.90	17.55	17.27	11.27

[표5] 대안별 컨테이너 처리량

단위:개

구 분	1 회	2 회	3 회	4 회	5 회	6 회	평 균	
대안 1	수입	2011	1908	2236	2409	2495	1978	2173
	수출	2474	2785	3392	3470	3695	2658	3079
	계	4485	4693	5628	5879	6190	4636	5252
대안 2	수입	2178	2380	2584	2384	2163	2289	2330
	수출	3212	3652	3869	3611	3389	3766	3583
	계	5390	6032	6453	5995	5552	6055	5913
대안 3	수입	2001	2406	1235	2314	2298	2288	2090
	수출	3033	3650	1842	3689	3510	3510	3206
	계	5034	6056	3077	6003	5802	5798	5296
대안 4	수입	1625	1856	1825	1922	1909	1951	1848
	수출	2508	2924	2950	2898	2757	2985	2837
	계	4133	4780	4775	4820	4666	4936	4685

[표6] 부두 이용율

구 분	1 회	2 회	3 회	4 회	5 회	6 회
대안 1	0.73	0.76	0.86	0.92	1.00	1.00
대안 2	0.90	1.00	1.00	1.00	0.87	1.00
대안 3	0.89	0.97	0.52	1.00	1.00	1.00
대안 4	0.89	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

[표7] 갠트리 크레인 1기당 이용율

구 분	1 회	2 회	3 회	4 회	5 회	6 회
대안 1	0.53	0.53	0.61	0.65	0.71	0.53
대안 2	0.62	0.67	0.68	0.68	0.60	0.61
대안 3	0.54	0.59	0.32	0.60	0.62	0.61
대안 4	0.79	0.86	0.87	0.87	0.89	0.88

[표8] 수입용 야드의 트랜스테이너 이용율

구 분	1 회	2 회	3 회	4 회	5 회	6 회
대안 1	0.54	0.57	0.59	0.65	0.73	0.60
대안 2	0.60	0.67	0.70	0.69	0.59	0.66
대안 3	0.46	0.54	0.64	0.52	0.55	0.55
대안 4	0.77	0.91	0.91	0.92	0.94	0.92

[표9] 야드 트럭 이용율

구 분	1 회	2 회	3 회	4 회	5 회	6 회
대안 1	0.71	0.71	0.83	0.89	0.97	0.72
대안 2	0.85	0.94	0.95	0.95	0.82	0.94
대안 3	0.74	0.81	0.43	0.83	0.84	0.84
대안 4	0.62	0.69	0.69	0.69	0.71	0.68

[표10] 야드 트럭을 5대로 증가시킨 대안 3의 주요 결과치

구 분		1 회	2 회	3 회	4 회	5 회	6 회	평 균	증감율(%)
처리량	수 입	2656	2415	2459	2411	2361	2475	2468	18.1
	수 출	4050	3795	3701	3593	3567	3798	3751	17.0
	계	6706	6210	6160	6034	5928	6273	6219	17.4
잠안시간		1757	1941	2650	1611	1653	1758	1892	*67.6
선박척수		21	18	18	18	17	19	18.5	19.4

주) *는 감소 표시임

(3) 민감도 분석

운영 시스템의 성능을 증가시키기 위한 방안을 찾기 위해 현행 부산항에서 채용하고 있는 방안인 대안 3을 선택해서 민감도 분석을 실시하였다. 현재의 시스템 여건하에서는 야드 트럭의 대당 평균 이용율이 80% 이상으로 비교적 높은 편인데, 이는 트럭 3대로써는 주어진 컨테이너를 처리하기에는 부족하며 컨테이너의 대기 시간을 많이 유발한다는 것을 의미한다. 따라서 다른 장비는 현재와 동일하게 고정시킨 상태에서 야드 트럭을 5대로 증가시켜 동일한 실험을 실시하였다.

실험 결과 시스템의 성능 변화는 [표10]과 같다.

대안 3에서 야드 트럭을 2대 증가시켜 5대로 했을 때 컨테이너 처리량에서 수입은 18.1%, 수출은 17.0%, 제 17.4%의 증가를 보였으며 선박 접안시간은 평균 5841.57분에서 1892.30분으로 67.6%나 현저하게 감소되었다. 평균 서어비스 선박 척수는 15.5척에서 18.5척으로 19.4% 증가되는 결과를 보였다.

이 결과를 토대로 볼 때 야드 트럭을 적절한 몇수만큼 증가시키는 경우 시스템의 성능을 크게 높일 수 있음을 관찰할 수 있다.

5. 결론 및 추후 연구 방향

본 연구에서는 컨테이너 터미널의 복잡한 운영 시스템의 효율을 시뮬레이션 기법에 의해 평가하는 동시에 최적의 운영 시스템을 찾아내기 위한 방법이 제시되었다.

터미널 운영 시스템의 분석은 의사 결정자의 관점에 따라 대안 선정 기준이 상이할 수 있기 때문에 최적 대안 또한 다를 수 있다. 즉, 선주와 터미널 운영자간에는 주어진 대안에 대하여 Trade-off가 존재할 수 있음은 본문에 제시된 바와 같다. 그러나 상이한 평가기준에도 불구하고 본 연구의 결과는 의사결정자가 컨테이너

터미널의 운영시스템 결정을 위한 기본 지침을 제공하는 데에 크게 기여할 수 있을 것으로 생각된다.

현재 부산항의 컨테이너 터미널은 대안 3과 유사한 시스템을 사용하고 있다.

본문에 제시한 바와 같이 터미널 운영자의 입장에서 볼 때에는 대안 2가 최적대안으로 나타났고 선박회사 입장에서 볼 때에는 대안 1이 최적 대안으로 나타났으며, 현재 사용중인 대안 3은 터미널 운영자나 선박회사 측면에서 공히 차선의 대안으로 나타났다. 따라서 현재의 부산항 컨테이너 터미널 시스템은 개선의 여지가 있는 것으로 판단된다. 향후 새로운 터미널을 추가로 건설할 시에는 대안 1이나 대안 2의 터미널 운영 시스템을 사용하여야 할 것으로 생각된다.

동일 시점에 시스템 내에 대단히 많은 실체가 존재하는 컨테이너 터미널과 같은 시스템의 모델링에는 허용 메모리의 제약으로 인하여 실제 시스템의 모델링에 한계가 있을 수 있다. 컨테이너 터미널은 1개 부두일 경우에도 최대로는 2000개 이상의 컨테이너가 야드에 장치되는 경우가 있으나 실험 결과 SIMAN 모델에서는 1600개의 실체 수까지가 가능함을 발견하였다. 본 연구에서는 제약 조건을 해결하기 위하여 결론 도출에 영향을 미치지 않는 한도 내에서 실체의 도착시간 분포를 변경하여 사용하였으나 실제 터미널은 대부분이 부두가 2개 이상이기 때문에 이러한 터미널의 시뮬레이션을 위해서는 대형 컴퓨터용 시뮬레이션 패키지를 사용하거나 모델의 축소화에 세심한 주의를 기울여야 할 것으로 생각된다.

마지막으로 모델 터미널 시스템에서 반영되지 않았던 CFS, 공 컨테이너 야드, 장비 고장 및 수리, 기상 여건 등으로 인한 작업 불능 등의 요인을 모델에 반영할 경우, 보다 정확한 결과가 가능할 것이며 그 결과는 컨테이너 터미널 최적 운영 시스템 결정을 위한 지침으로 사용될 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

(국문)

1. 여수지방해운항만청, 광양만 컨테이너 부두 개발 사업보고서, 1986. 12.
2. 한국교통개발연구원, 화물유통체제 개선 방안에 관한 연구, 1986. 11.
3. 한국해운기술원, 항만운영 효율화방안 연구, 1987. 6.
4. 해운항만청, 컨테이너 항만 입지선정 조사연구, 1985. 5.

(영문)

5. Institute of Shipping Economics and Logistics Bremen, Port Management Textbook Containerization, 1985.
6. Law, A. M. and W. D. Kelton, Simulation Modelling and Analysis, McGraw-Hill Book Co., 1982.
7. Pegden, C. D., Introduction to SIMAN, System Modelling Co., 1986.