

# 시뮬레이션을 이용한 컨테이너 터미널의 수평배치 장치장의 배치도 설계

전수민<sup>1\*</sup> · 김갑환<sup>1</sup> · 류광렬<sup>2</sup>

<sup>1</sup>부산대학교 산업공학과 / <sup>2</sup>부산대학교 컴퓨터공학과

## Designing a Horizontal Yard Layout in Port Container Terminals Using Simulation

Su Min Jeon<sup>1</sup> · Kap Hwan Kim<sup>1</sup> · Kwang Ryel Ryu<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Industrial Engineering, Pusan National University, Busan 609-735

<sup>2</sup>Department of Computer Engineering, Pusan National University, Busan 609-735

The design of the container stacking yard influences significantly the productivity of handling operations in port container terminals. This study proposes methods for determining specifications of the yard considering the travel distance of vehicles and the storage capacity of yards. For a given length and width of a yard, it is discussed how to determine the layout and the dimension of yard blocks. The alternatives of the yard layout are evaluated by using a simulation study.

**Keyword:** simulation, container terminal, layout design

### 1. 서론

항만에 위치한 컨테이너 터미널은 하역, 보관, 환적, 운송이 동시에 이루어지는 대표적인 종합 물류 공간이다. 이러한 항만 기능의 효율적인 운영은 터미널 경쟁에서 성공 요소인데, 항만의 효율적 운영에 장치장의 배치도는 큰 영향을 미친다. 장치장은 필요한 만큼의 저장능력을 갖추어야 할 것이며 장치장의 배치사양에 따라 컨테이너의 저장과 인출시 작업 생산성이 달라지므로 생산성을 고려한 최적의 배치사양을 결정하여야 한다.

배치도 설계는 컨테이너 터미널 건설단계 시 고려되어 지는데 건설이 된 후에는 사용기간이 길고 많은 투자가 필요하므로, 요구사항을 충족하면서 생산성을 향상시킬 수 있는 신중한 설계가 필요하다. 그러나 현재 실무적으로 사용되고 있는

설계방식은 기존의 장치장 사양에 따르거나 장치장의 장치능력만을 고려한 사양결정 방식으로서 장치장의 사양이 취급 작업의 생산성에 미치는 영향이 제대로 고려되고 있지 않다.

터미널의 설계와 관련된 기존연구의 대부분은 터미널의 장치장 운영과 관련하여 고려되는 저장, 재취급, 공간활당과 같은 세부이슈들을 다루고 있다.

터미널의 장치장에서의 저장문제와 유사한 문제들이 창고 운영문제에서도 다루어져 왔는데 Geotschalckx(1990)는 Block Stacking 저장방식에서 저장 공간의 활용도와 창고 배치도 및 자재 취급비용 간의 상충 관계를 고려하여 저장 열별 최적 장치 깊이를 정하는 알고리즘을 제시 하였다.

공간활당 문제는 장치장 배치도 설계 시 요구되는 장치장의 저장능력을 기초로 컨테이너 흐름을 반영하여 적절한 저장 공간을 결정하는 것이다. 관련연구를 살펴보면, 박강태(1997)는

본 논문은 부산대학교 자유과제 학술연구비(2년)에 의하여 연구되었음.

\*연락처 : 전수민, 609-735 부산광역시 금정구 장전동 산 30번지 부산대학교 산업공학과, Fax : 051-609-735,

E-mail : 1006sumin@pusa.ac.kr

2006년 04월 접수, 3회 수정 후 2006년 12월 게재확정.

컨테이너 터미널의 생산성에 큰 영향을 미치는 선박의 접안시간을 줄이기 위해 컨테이너 터미널의 수출 장치장의 공간할당방법을 제안하였다.

컨테이너 터미널의 장치장은 저장 공간이 제한적이어서 재취급 작업이 발생하게 되는데 블록의 단적수가 높을수록 재취급의 횟수는 늘어나게 된다. 따라서 장치장의 효율을 증대시키기 위해서는 재 취급 횟수를 최소화할 필요가 있다. 이와 관련된 연구로, Castilho and Daganzo(1993)는 컨테이너 터미널에서 수입 컨테이너의 장치장 운영 문제에 대해 기술하고 있다. 장치장의 야드 장비를 트랜스퍼 크레인으로 가정하고 컨테이너를 무작위로 쌓여 있는 베이로부터 빼어 낼 때 기대되는 취급횟수를 추정하는 수식을 유도 하였다. Kim(1997)은 저장물 야드 내에서 하나의 컨테이너를 집어내는데 예상되는 재취급의 수와 초기에 베이의 장치현황이 주어진 경우의 총 재 취급 기대횟수를 추정하는 방법론을 제시하였다. Kim *et al.*(2000)은 수출 컨테이너를 대상으로 재 취급 횟수를 최소화하기 위하여 입고 시 장치위치를 결정하는 문제를 다루었는데 도착 컨테이너의 무게를 고려하여 재 취급이 최소화 되는 장치 위치를 결정하는 방법을 제시하였다.

김지환(1999)은 컨테이너 터미널에서 장치장의 여러 배치에 따른 취급장비의 운행거리에 대하여 일반적인 수리모형을 제시하고 적재공간의 활용도 및 장치능력에 대해서도 비교 분석하였다. 진미주(1999)는 장치장의 배치 형태에 따른 취급 장비의 운행거리와 장치능력으로 대표되는 장치장의 성능을 수리모형을 이용하여 분석 및 평가하였다. 장치능력에 따른 블록의 개수 산정은 하였으나 블록을 구성하는 세부 사양은 설계시 산정하지 않았다.

본 연구에서는 시뮬레이션을 이용하여 컨테이너 터미널의 수평배치 장치장에서의 블록 배치와 블록의 사양등을 결정하는 방식을 제안하였다. 시뮬레이션 평가방식에 기초한 장치장에 대한 합리적인 설계 절차를 제시하였다. 제안된 방식을 검증하기 위하여 시뮬레이션 프로그램은 Em-plant를 이용하여 개발하였고, 하나의 선석을 대상으로 실험을 수행하였다.

본 연구의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 장치장 설계를 위한 기초자료 및 설계절차를 제시한다. 3장에서는 시뮬레이션을 통하여 제안한 대안을 설계절차에 따라 사례연구를 수행한 후 마지막 5장에서 결론을 맺는다.

## 2. 컨테이너 터미널의 장치장 배치절차

컨테이너 터미널은 <그림 4>와 같이 게이트, 야드, 선석으로 그 영역을 나눌 수 있다. 터미널의 작업은 컨테이너 흐름의 위치가 선석이나 게이트이나에 따라 본선작업(양하, 적하)과 반출입 작업으로 구분된다. 이러한 작업은 컨테이너의 속성에 따라 표현될 수 있는데, 수출컨테이너의 경우는 반입 작업 후 적하 작업이 수행되고, 수입컨테이너의 경우는 양하 작업이

수행된 후 반출작업이 일어나게 된다. 본 연구에서 다루는 물류시설은 터미널을 통해 연계 수송되는 화물이 일시적으로 장치되는 장치장이다. 장치장은 여러 개의 블록으로 구성되고, 하나의 블록에는 여러 개의 베이(bay)가 존재한다. 따라서 장치장의 배치사양을 나타내기 위하여 블록의 배치사양과 베이 사양을 표현할 방법이 필요하다. 장치장의 배치 사양은 해측을 기준으로 장치장내에서 가로축으로 블록의 개수를 나타내는 블록 열과 세로축으로 블록의 개수를 나타내는 블록 행으로 표현 한다. 베이의 사양은 열과 단으로 표현한다. 이때 열은 한 베이에서의 컨테이너 스택의 개수이다. <그림 1>은 장치 장에서의 장치장 배치사양과, 베이의 사양을 나타낸 것이다. <그림 2>는 장치장의 단면을 보여주고 있는데 두개의 인접한 블록에 있어서 동일한 통로에 세 개의 트럭을 위한 레인이 주어지며 두개는 이적 작업레인이고 한 개는 주행레인이다.

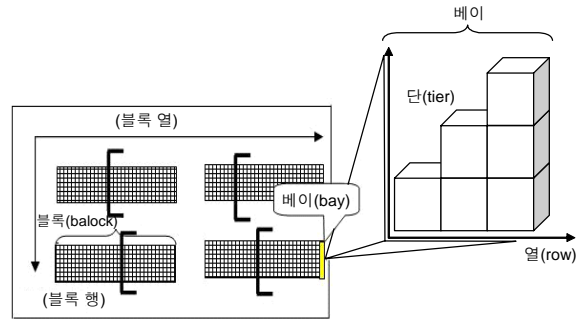


그림 1. 장치장 배치와 베이의 사양

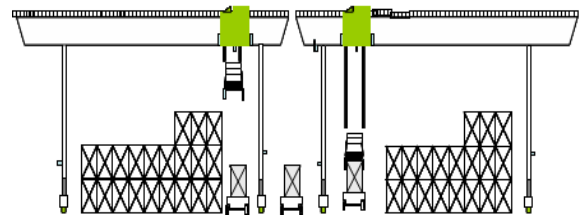


그림 2. 장치장의 단면도

장치장 배치도 설계 시 우선으로 결정해야 할 부분은 블록 배치 형태 결정이다. 기존의 블록 배치방식은 크게 두 가지 형태로 나뉘지며 이송장비와 야드 크레인간의 컨테이너 인수인계를 위한 이적 지점(Transfer Point)의 위치에 따라서 수평배치 장치장과 수직배치 장치장으로 구분한다.

본 연구에서는 블록 내 이적지점이 베이와 나란히 있는 수평배치 장치장을 다루며, 가장한 사양은 다음과 같다. 장치장의 가로 길이와 컨테이너 처리물량은 주어진다. 본 연구에서 다루는 장치장의 크레인은 블록에 설치된 레일 위를 이동하면서 작업을 수행하는 RMGC(Rail Mounted Gantry Crane)이다.

본 연구에서는 제약 조건인 취급 장비의 대수를 만족 시키면서 장치장의 저장능력과 이송능력을 고려한 설계 절차를 제시하고자한다.

2.1 배치도 설계를 위한 입력자료 및 의사결정 변수

장치장 설계에 필요한 입력자료는 다음과 같다.

- v: 장치장 내의 세로 방향 통로의 폭(m)
- b: 장치장의 가로길이(m)

이 값은 한 선석의 길이에 달려있고 선석의 길이는 선박의 길이에 의존적이므로 의사결정 변수가 아니고 고정된 값이라고 가정한다.

- d: 장치장 외곽의 네 변에 접한 양방향 세로통로의 폭(외곽통로)(m)
- s: 컨테이너 1단위(1 ground slot)의 소요 면적(m<sup>2</sup>)
- r: 컨테이너 한 개의 폭 (m)

의사결정 변수는 다음과 같다.

- N: 블록 배치도에서 블록 열의 개수
- M: 블록 배치도에서 블록 행의 개수
- R: 블록의 한 배이의 열의 수
- T: 컨테이너 적재 단의 수
- B: 한 블록에 속한 배이의 수

P를 장치장의 총면적에서 통로 면적을 제외한 장치장의 가용 면적(m<sup>2</sup>)이라고 하고  $f = R \times r$ 이라고 하면,

$$P = \{f \times (b-2d) \times M\} - \{f \times M \times v\} \times (N-1)$$

로 표현된다.

장치장의 배치도를 그림으로 예시하면 아래 그림과 같다.

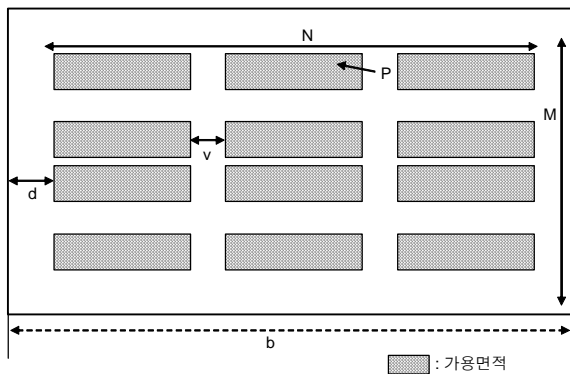


그림 3. 장치장 설계변수

2.2 장치장 설계 절차

본 장에서는 장치장 설계절차를 제시하고 설계시 고려되는 제약조건을 살펴보고자 한다. 장치장 설계절차는 다음과 같다.

단계 1: 설계 시 고려되어지는 저장공간 관련 제약 조건을 설

정한다.

단계 2: 제약을 고려한 블록의 배치대안과 블록 사양에 대한 대안을 수립한다.

단계 3: 가능한 설계요소의 범위를 구하는 절차를 따라서 검토대안을 찾는다.

단계 4: 각 검토 대안에 대해서 시뮬레이션을 수행한다.

단계 5: 시뮬레이션 결과에 따라 최적 대안을 선택한다.

2.2.1 제약조건 설정

설계 시 고려되는 적재능력과 이송능력을 고려하여 최적의 설계 대안을 구하고자 세 가지의 제약조건을 제시한다.

제약조건 1은 장치장의 적재능력을 고려한 것이다.

**제약조건 1:** 설계하는 장치장의 적재능력은 설계자에 의해 요구되는 최소 장치용량 보다는 크거나 같아야 한다.

제약조건 2와 3은 이송능력을 고려한 것이다. 수평 장치장은 이송장비의 진출입 지점이 블록 양 끝단에 있어서 해당블럭 전체를 통과 하여야 하는 특징이 있다. 따라서 장치장의 이송능력을 향상시키기 위해서 블록 내 주행통로를 많이 두어 주행거리를 최소화하여야 한다.

**제약조건 2:** 장치장에서의 운반 장비의 이송거리는 설계자에 의해 요구되는 선석으로부터의 최대 주행거리보다 작거나 같아야 한다.

**제약조건 3:** 장치장에서의 운반 장비의 이송거리는 설계자에 의해 요구되는 게이트로부터의 최대 주행거리보다 작거나 같아야 한다.

2.2.2 블록 배치 대안과 블록 사양의 대안수립

이 단계에서는 장치장의 배치대안과 블록의 사양에 대한 대안을 수립하는 단계이다. 블록배치는 장치장의 다양한 기능을 참고하여 컨테이너를 저장하는 저장능력과 장치장내 컨테이너의 원활한 이송을 위한 이송능력을 고려하여 결정하여야 한다. 저장능력은 얼마만큼의 컨테이너를 장치장에 저장할 수 있는가를 말하며 이는 장치장 설계 시 블록의 사양과 장치장내 블록의 개수 산정에 영향을 미치게 된다. 또한 이송능력은 장치장을 오가는 이송장비의 작업 효율성을 고려하여 장치장의 주행통로 배치결정에 영향을 미친다.

블록의 사양결정 시 저장능력을 높이기 위해서 블록의 단수를 높게 한다면 컨테이너를 처리하는 과정에서 재취급이 발생하는 횟수가 증가하고, 블록배치 시 이송장비의 운행거리를 감소시키기 위하여 블록과 블록사이에 통로를 많이 설치할 경우 장치장의 저장능력은 설치한 통로의 면적만큼 감소하게 된다. 수평배치 야드에 있어서 블록의 배치는 기본적으로 블록의 열의 수(N)와 행의 수(M)을 결정하는 것이다. 행의 수는 각 블록의 사양(R과 T)에 따라 저장수요를 만족시킬 수 있는 값으로 설정되어야 하므로 블록의 사양과 함께 결정한다고 하면

이 단계에서는 열의 수(N)이 의사결정 변수이다. <그림 4>와 <그림 5>는 열의 수(N)가 하나와 둘인 경우의 블록 배치도를 보여주고 있다.

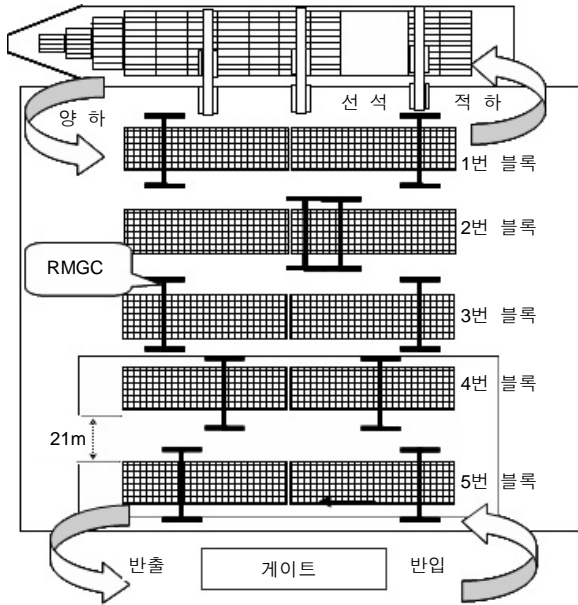


그림 4. 블록 배치대안 I

<그림 4>의 배치대안 I에 비해서 <그림 5>의 배치대안 II는 이송장비의 운행거리는 짧아지는 반면 통로로 인하여 저장공간이 줄어드는 만큼 세로 방향으로 더 많은 블록행이 추가되거나 블록의 적재높이가 높아져야 할 것이다.

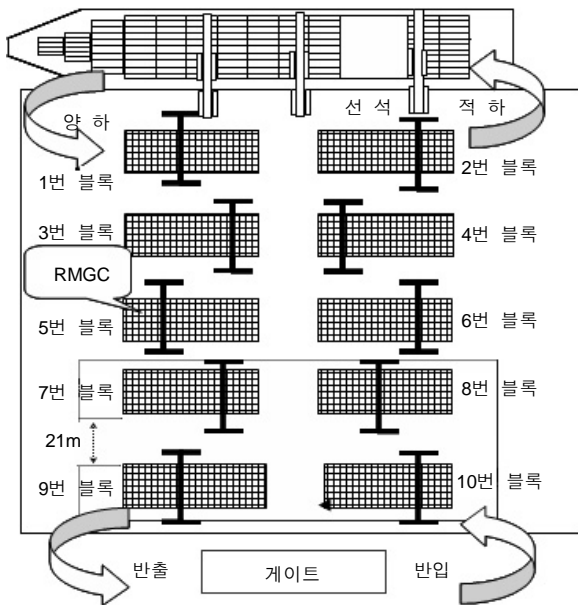


그림 5. 블록 배치대안 II

블록 사양변수들로서 베이의 수, 한 베이내의 열의 수(R), 그리고 단의 수(T)가 있다. 그 중에서 베이의 수는 장치장의 폭(b)

이 주어져 있는 상황이므로 블록의 열의 수(N)이 결정되면 따라서 결정되는 것이므로 여기서는 고려하지 않겠다. 한 베이내 컨테이너의 열의 수(R)과 층의 수(T)는 <표 1>과 같은 조합만 고려하였으나 다른 결합들도 가능하리라 본다.

표 1. 블록 사양 대안의 예

대안 1	대안 2	대안 3	대안 4
4열6단	6열4단	8열3단	12열2단

<표 1>에 제시된 네 가지 대안을 대상으로 하여 성능측면의 여러 가지 요소들을 비교해 보자. 네 가지 대안에서 열의 수가 커질수록 단의 수는 낮아진다. <그림 6>과 같이 블록 사양에 따른 영향요소를 살펴보면 컨테이너 적재높이가 낮아지면 컨테이너 재취급 횟수는 줄어들지만 장치장내 블록의 폭이 넓어져 RMGC 하역작업 시 트롤리 주행거리가 길어지는 단점이 있다.

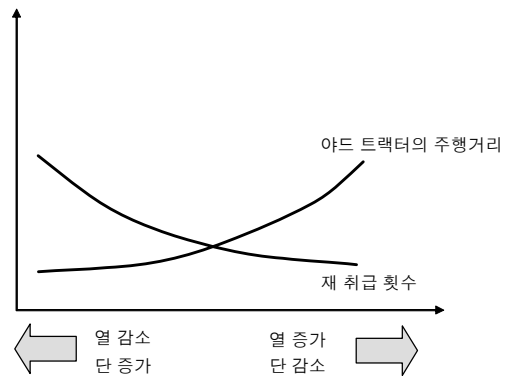


그림 6. 블록사양에 따른 영향요소

또한 블록의 폭이 넓어지게 되면 이송장비의 선석까지 운행거리가 길어지게 되어 선적작업이 지연되는 경우가 생겨 터미널의 생산성이 낮아질 수가 있다.

블록 사양에 영향을 미치는 요소 중 재취급 횟수는 다음과 같은 식에 의해서 구할 수 있다(Kim, 1997). 열수가 R이고 층수가 T인 베이에서 무작위로 하나의 컨테이너를 인출할 경우 요구되는 평균 재취급 횟수는 아래와 같이 표현된다.

$$\text{평균 재 취급 횟수} = \frac{T-1}{4} + \frac{T+2}{16R}$$

<표 2>는 네 가지 대안 각각에 대해서 평균 재취급 횟수를 구한 것을 보여준다.

표 2. 대안별 평균 재취급 횟수

구분	4열6단	6열4단	8열3단	12열2단
평균 재취급횟수	1.26회	0.76회	0.51회	0.26회

2.2.3 검토대안의 설정

이 단계에서는 단계 2와 3에서 수립된 블록 배치대안들과 블록사양대안들의 조합을 이용하여 설계 대안들을 만들어 낸 후, 각 설계 대안이 단계 1에서 제시된 제약조건을 만족하는지를 점검한다. 제약조건을 만족하는 설계 대안들을 검토대안으로 설정하게 되고 이 검토대안들이 시물레이션 대상 대안들이 된다. 특성대안이 제약조건들을 만족하는지 여부를 판단하는 방법은 아래와 같다. 블록의 열수(N)와 블록의 사양(R과 T)가 주어지면 제약조건 1인 장치능력을 만족시키기 위해서 필요한 블록의 행의 수(M)이 계산된다. 이를 바탕으로 제약조건 2와 3이 제시하는 선석으로 부터의 이송장비 운행거리와 게이트로 부터의 트럭의 운행거리가 만족되는지 점검하여 만족하면 검토대안으로 채택하고 만족하지 않으면 삭제한다.

2.2.4 검토대안에 대한 시물레이션의 수행

이 단계에서는 각 검토대안에 대해서 시물레이션연구를 수행하여 성능을 평가하게 된다. 시물레이션연구를 통하여 평가하게 되는 검토대안 각각에 대한 성능 지표로서는 외부트럭이 도착후 서비스를 받고 나가는 데 까지 소요되는 시간(서비스 시간)과 본선작업 시 안벽 크레인의 생산성을 들 수 있다. 이 두 가지 지표상에서 좋은 성능을 보여주는 검토대안을 선정하게 된다.

3. 시물레이션 모형의 소개

시물레이션이란 복잡한 공정 또는 시스템의 설계안 및 운영방법을 효율적으로 평가하는 도구중의 하나이다. 시물레이션은 실제 시스템의 모델을 설계하고 시스템의 운영에 대해 실행 가능한 여러 방법을 이해하기 위하여 모델을 실험하는 일체의 과정이라고 정의할 수 있다(장성용, 박진우, 1988). 본 장에서는 각 검토대안에 대하여 성능을 평가하기 위해 개발된 시물레이션 시스템을 소개한다.

3.1 시물레이션 프로그램 설계

모델링 되어있는 프로그램은 Em-Plant 5.5버전을 사용하여 개발하였다. 이 프로그램의 특징은 확장성과 효율적인 모듈화 지원이 가능한 객체지향 프로그램이다. 객체는 물량을 처리하는 객체와 정보가 흐르는 객체 그리고 이동객체로 나누어지며 다음 그림은 시물레이션에서 사용한 객체들의 분류를 보여준다.

<그림 7>에서 보듯이 컨테이너 터미널을 컨테이너의 흐름에 따라 3개의 영역으로 나누었다. 선석 프레임에서는 선박의 입출항, 컨테이너 크레인의 작업, 그리고 이송장비의 작업이 이루어지는 곳으로 초기 데이터를 생성하게 된다. 선석 프레임에서는 선박이 도착하게 되면 해당 선석에서 작업이 시작되고 이전의 선박의 작업이 완료하기 전에 다음 선박이 도착

하게 되면 대기한다. 하나의 선석에는 여러 대의 CC를 할당할 수 있게 설계되어 있으며 각각의 CC는 내부트럭이 동일한 수로 할당되며 할당되는 대수는 조절이 가능하다. 선석 프레임에서의 사건흐름은 선박이 도착하여 소멸할 때까지 나타내었으며 <그림 8>과 같다.

선석에서 일어나는 작업은 컨테이너를 배에서 내리는 양하작업과 배로 싣는 적하작업으로 구분할 수 있으며 양하할 물량의 장치위치 결정은 양하할 컨테이너를 트럭에 상차하기 이전에 결정된다. 마지막 컨테이너를 트럭에 상차함으로써 작업이 완료된다. 더 이상 양하할 물량이 없을 경우 바로 적하작업이 이루어지며 적하작업을 마치면 선박은 선석을 떠나게 된다.

장치장 프레임은 저장 및 반출입 공간으로 여러 개의 블록 프레임으로 다시 나뉜다. 하나의 블록에는 이송장비의 블록 내 진출입 시 대기를 위한 버퍼를 하나씩 두었다. 장치장 프레임에서 사건의 흐름은 반입, 반출의 차량 또는 본선작업의 트럭이 장치장에 도착한 사건으로 시작하게 되는데 RMGC가 유효한 시점에 작업이 도착하면 어느 RMGC가 작업을 처리할지 결정 하게 된다.

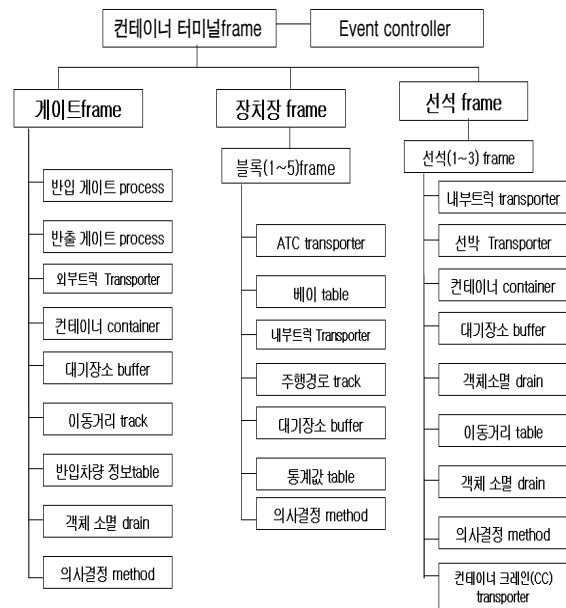


그림 7. 설계된 프로그램에서 객체들의 분류

그렇지 않은 경우는 작업리스트에 정보를 리스트에 등록하고 대기한다. RMGC가 하나의 작업을 완료한 시점에는 어떤 작업을 처리할지 의사결정을 하게 된다. 작업이 할당되면 작업리스트의 내용은 삭제되고 RMGC는 해당 지역으로 이동한다. 작업을 완료한 차량은 장치장을 빠져나가게 되며 <그림 9>와 같이 나타내어진다.

게이트 프레임은 반입물량과 반출물량을 처리하는 외부트럭의 출입이 있는 곳이다. 입구 게이트는 반입물량의 차량과 반출을 위한 트럭이 들어오는 곳이며, 출구 게이트는 반입 작업을 마친 트럭과 반출 물량을 실은 트럭이 나가게 되는 곳

다. 반입 게이트와 반출 게이트에는 각각 하나의 버퍼를 두었다. 게이트 프레임에서의 사건 흐름은 외부에서 터미널로 들어오는 트럭의 사건과 터미널에서 외부로 나가는 사건으로 구성되어 있다. 입구 게이트에서는 트럭이 게이트에 도착하게 되면 도착하는 순서대로 컨테이너의 저장

위치를 결정하여 그 정보를 받게 되고 반출 물량을 가지러 온 트럭은 반출 컨테이너 위치정보를 전달 받게 된다. 정보를 받은 트럭은 해당 블록 프레임으로 이동하게 된다. 출구 게이트에서는 작업을 완료한 트럭들이 터미널을 빠져나가게 된다. 게이트 부분에서의 이벤트 다이어그램은 <그림 10>과 같다.

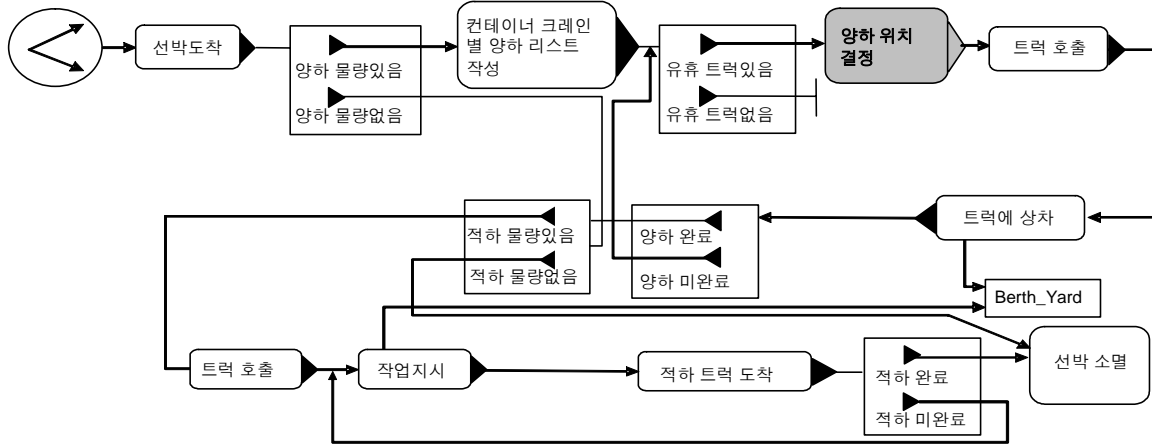


그림 8. 선석부분에서의 이벤트 다이어그램

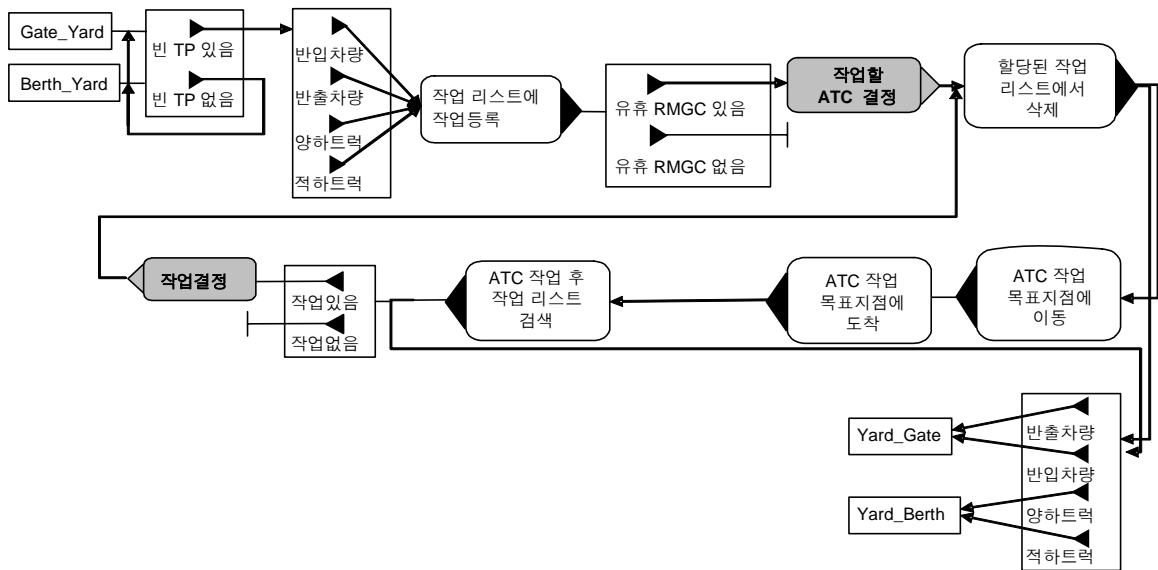


그림 9. 장치장 부분에서의 이벤트 다이어그램

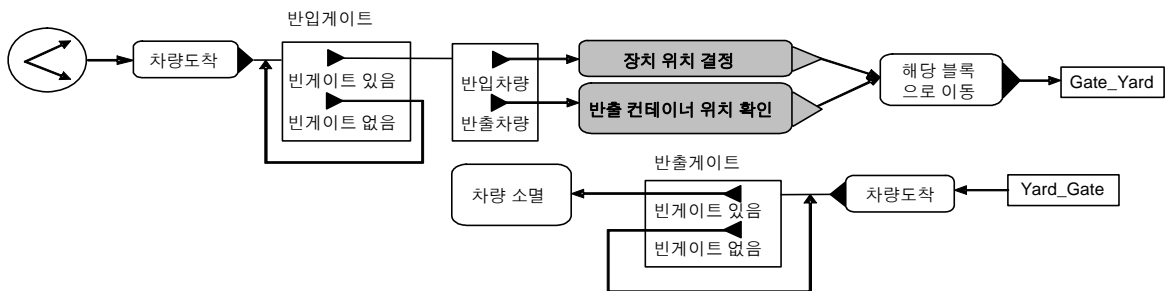


그림 10. 게이트 부분에서의 이벤트 다이어그램

#### 4. 사례연구

앞 장에서 제시한 제약조건을 만족하는 설계 대안을 구하는 절차를 적용한 사례연구를 소개한다. 본 예제에서 활용되는 자료는 국내의 컨테이너 회사에서 수집된 자료를 기초로 작성하였다.

##### 4.1 제약조건 설정

다음과 같은 세가지 제약조건을 설정하였다.

**제약조건 1.** 요구되어지는 장치장의 총 장치능력은 3960(TEU)이다. 한 베이의 컨테이너 개수( $R * T$ ) \* 블록당 베이의 총 개수( $B$ ) \* 총 블럭수( $M * N$ )로부터 구해진다. 설계자에 의해 주어진 장치장의 가용저장면적은 120,000m<sup>2</sup>이다.

**제약조건 2.** 장치장 운반장비의 이송거리는 설계자에 의해 요구되는 선석으로부터의 최대 주행거리 900m 보다 작거나 같아야 한다.

**제약조건 3.** 장치장의 운반장비의 이송거리는 설계자에 의해 요구되는 게이트로부터의 최대 주행거리 900m 보다 작거나 같아야 한다.

##### 4.2 제약조건을 만족하는 설계대안 추출

블록 배치와 제시한 네 가지 블록 사양에 따른 초기 입력 자료는 <표 3>과 같다.

표 3. 수치예제의 입력자료

구 분	값
장치장의 가로길이(b)	300m
세로방향 통로폭(v)	21m
가로방향 통로 폭(h)	20m
1그라운드슬롯 소요면적(s)	26.1m <sup>2(1)</sup>
블록 열의 수 (N)	1
	2
블록의 사양과 폭(f)	4열6단   14m
	6열4단   20m
	8열3단   26m
	12열2단   37m

(1) ISO 규격 컨테이너 (20' 컨테이너) 기준 1

**제약조건 1 만족여부 점검.** 블록 배치와 블록사양으로부터 실제 컨테이너를 저장하는데 소요되는 장치면적은 다음과 같이 구할 수 있다.

표 4. 대안별 장치장 면적

블록 열의 개수	장치장 면적(m <sup>2</sup> )			
	4열6단	6열4단	8열3단	12열2단
N=1	90,000	103,950	118,650	148,800
N=2	87,984	101,934	116,634	146,784

설계자에 의해 주어진 장치장의 가용면적을 만족시키는 대안은 블록열의 개수 N=1, N=2일 때 4열6단, 6열4단, 8열3단이 된다.

**제약조건 2와 3의 만족여부 점검.** 제약조건 2와 3을 만족시키는 대안은 블록열의 개수 N=1일 때 8열3단을 제외한 나머지 대안들이 된다. 따라서 설계절차에 따라 제약조건을 만족하는 설계 대안들에 대하여 시물레이션을 통하여 평가해 보고자 한다.

표 5. 대안별 선석으로부터 평균거리

블록 열의 개수	선석으로부터 평균거리(m)		
	4열6단	6열4단	8열3단
N=1	813.5	860	906.5
N=2	565.4	622.4	680.3

표 6. 대안별 게이트로부터 평균거리

블록 열의 개수	선석으로부터 평균거리(m)		
	4열6단	6열4단	8열3단
N=1	803.5	852	906.5
N=2	565.4	622.4	680.3

##### 4.3 대안 별 시물레이션 수행평가

장치장 설계 시 고려되는 저장능력과 이송능력을 블록 배치대안과 블록 사양에 대하여 각 대안별 성능을 시물레이션을 이용하여 평가하고자 한다.

Warmup period는 7일로 하였으며 시물레이션 총 시간을 100일로 하여 10회 반복 실험하여 그 평균값을 결과로 사용하였다.

시물레이션 초기화 단계에서 야드의 초기 상태는 모두 비어있는 것으로 가정하였으며 블럭에 배치된 동일 크기의 두 대의 RMGC는 고정적인 위치에 생성되며 두 RMGC간의 작업 안전 영역으로 2베이 간격을 두었다. 20피트(ft)와 40피트(ft) 컨테이너는 구분하여 저장하도록 하였다. 컨테이너 터미널 환경을 최대 반영하기 위하여 실제 터미널에서의 수출 화물 터미널 내 반입 분포를 수출 화물이 터미널에 반입된 후 선박에 적하 할 때까지 장치되는 화물량의 비율(%)로서 적하 시작 전 7일간의 자료를 수집하였으며, 수입화물 반출 분포에 대해서는 수입화물이 선박으로부터 양하 된 후 반출되기 까지 터

미널 내 장치되는 화물량의 비율(%)로서 양하 후 7일간의 자료를 수집하였다. 외부트럭 Gate 도착시간 분포는 하루를 기준으로 2시간단위씩 나누어 외부트럭의 도착비율(%)을 수집하였다.

1. 하루 동안 터미널의 게이트를 통과하는 외부 트럭의 시간대별 도착분포를 구하였다.
2. 분포가 가장 높은 시간대의 동일 모선에 실릴 수출 컨테이너를 실은 트럭의 도착 분포를 구하였다. 아래 그림과 같이 데이터 수집 결과 오후 2시~4시 사이에 외부트럭의 게이트 도착 빈도가 가장 높았음을 알 수 있었다.

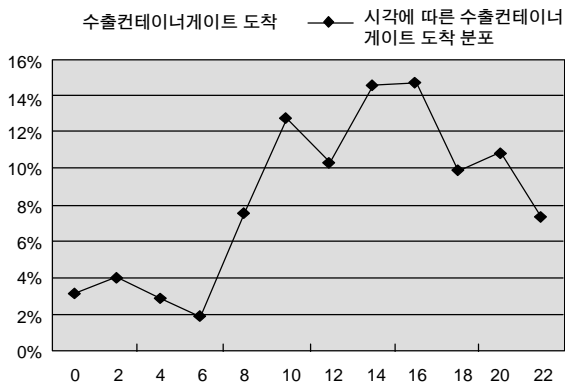


그림 11. 시간대별 수출컨테이너 게이트 도착 분포

선박의 도착정보는 2004년 6월~8월 동안 실제 터미널에 도착한 선박 정보를 기초로 하였다. 시뮬레이션은 하나의 선석을 대상으로 하였으며 CC는 3대를 할당 하였다. 블록의 용도는 수출입 혼용으로 가정하였으며 터미널 내 양 적하작업과 반출입 작업이 동시에 일어난다고 가정하였다.

시뮬레이션을 수행한 다섯 가지 대안에 대하여 CC 시간당 처리율(Throughput rate)은 <그림 12>와 같다.

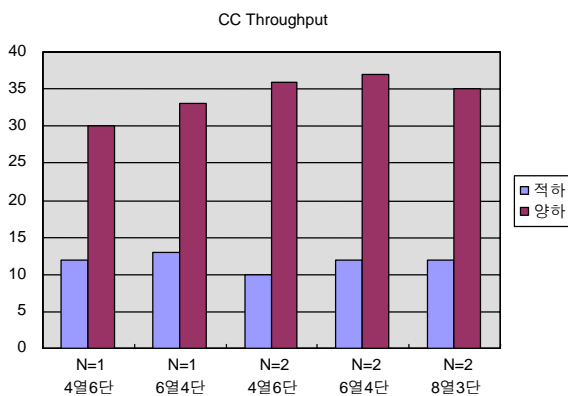


그림 12. CC의 시간당 처리율

그 중에서 생산성이 가장 좋은 대안은 블록의 행의 수는 N=2이고 블록 사양은 6열4단일 경우이다. 즉, 블록에 통로를

두어 이송능력을 우선시 하는 블록 배치와 사양의 대안들이 저장능력을 우선시 하는 대안들에 비해서 CC의 시간당 처리율이 높음을 알 수 있다. 그리고 4열6단에 비해서 6열4단은 운송거리 측면에서는 불리하나 재취급의 감소로 생산성이 높아졌다고 할 수 있다.

트럭의 서비스 타임을 살펴보면 <그림 13>과 같다. 트럭의 서비스 타임을 장치장에서 트럭이 머무르는 시간이다. 장치장의 형태가 수평배치일 경우 블록내 진입 진출지점이 다르기 때문에 동일 블록에 차량이 집중하게 되면 대기가 발생할 가능성이 높다. 이 대기시간이 반영된 것이 <그림 13>의 트럭 서비스 시간이다.

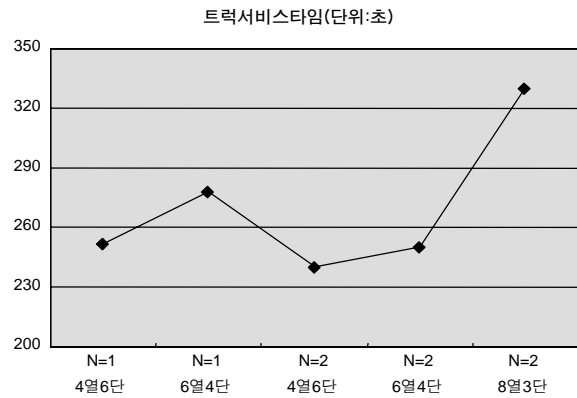


그림 13. 트럭 서비스 타임

실험결과 4열6단과 6열4단의 대안의 경우 블록의 행의 수가 N=1일 때와 N=2일 때를 비교하면 이송능력을 우선시 하였을 때 트럭의 서비스 타임을 짧음을 알 수 있다. 블록의 행의 수 N=2일 때 블록사양이 8열3단일 경우는 나머지 대안들과 비교하면 상대적으로 시간이 길어짐을 알 수 있는데 이는 적절한 블록의 배치와 블록의 사양의 조합이 필요함을 알 수 있다.

결론적으로 생산성과 외부트럭 대기시간을 고려하여 블록의 행의 수 N=2일 때 6열4단인 안을 선택하기로 하였다.

### 5. 결론 및 추후과제

본 연구에서는 장치장 설계를 위한 기초자료 및 설계절차를 제시하였다. 컨테이너 터미널의 설계 시 고려되어지는 블록 배치 및 블록사양에 대하여 터미널 생산성과의 관계를 수평 배치 장치장을 대상으로 분석하여 보았다. 컨테이너 처리물량은 정해져있다는 가정 하에 블록의 열의 수와 단의 수를 동시에 바꾸어 다양한 배치도 대안들을 제시하였다. 장치장 설계에 있어서 고려될 수 있는 제약조건을 제시하고 이를 설계 과정에서 어떻게 적용할 수 있는지를 보였다.

추후 연구로는 현재까지 고려된 제약조건 외에 복잡한 요



구사항들을 조사하고 이를 적용할 수 있는지 여부를 점검하여 적용에 있어서의 범용성을 향상시키는 방안을 연구할 필요가 있다. 평가해 보았다. 대기이론과 같은 좀 더 정밀한 평가방법을 이용하여 시뮬레이션 단계이전에 확실적인 성능을 예측하여 대안을 줄일 수 있는 방안에 대한 연구도 필요하다고 보인다.

**참고문헌**

Castilho, B. and Daganzo, C. F. (1993), Handling strategies for import containers at marine terminals, *Transportation Research*, 27B(2), 151-166.  
 Goetschalckx, M. and Ratiliff, D. (1990), Shared storage policies based on the duration stay of unit loads, *Management Science*, 36(9), September, 1120-1132.

Jang, S. Y. and Park, J. W. (1988), Determination of Container Terminal Operating system using computer simulation, *IEInterface*, 1(1), 49-62.  
 Jin, M. J. (1999), Travel distance models and applications for the marshalling yard in port container terminals, Master's thesis, Pusan National University.  
 Kim, J. H. (1999), An analysis of vehicle travel distance storage capacity in block stacking yard, Master's thesis, Pusan National University.  
 Kim, K. H. (1997), Evaluation of the number of rehandles in container yards, *Computers Industrial Engineering*, 32(4), 701-711.  
 Kim, K. H., Park, Y. M. and Ryu, K. R. (2000), Deriving decision rules to locate export containers in container yard, *European Journal of Operation Research*, 124, 89-101.  
 Park, K. T. (1997), *A space allocation method for export containers in port container terminals considering liability to model changes*, Master's thesis, Pusan National University.  
 Ryu, M. W. (1998), *A study on the container handling time in port container terminals*, Master's thesis, Pusan National University.



**전수민**  
 한국해양대학교 물류시스템공학과 학사  
 부산대학교 산업공학과 석사  
 현재: 부산대학교 산업공학과 박사과정  
 관심분야: 물류관리, 시뮬레이션



**류광렬**  
 서울대학교 전자공학과 학사  
 서울대학교 전자공학과 석사  
 University of Michigan 컴퓨터공학과 박사  
 현재: 부산대학교 정보컴퓨터공학부 교수  
 관심분야: 인공지능, 지능형물류시스템



**김갑환**  
 서울대학교 산업공학과 학사  
 한국과학기술원 산업공학과 석사  
 한국과학기술원 산업공학과 박사  
 현재: 부산대학교 산업공학과 교수  
 관심분야: 생산관리, 물류시스템