

컨테이너 터미널에서의 장치장 운용 계획에 관한 연구*

전수민
부산대학교 산업공학과
(1006sumin@pusan.ac.kr)

김갑환
부산대학교 산업공학과
(kapkim@pusan.ac.kr)

김재중
동아대학교 토목공학과
(jkgb@daunet.donga.ac.kr)

류광렬
부산대학교 컴퓨터공학과
(krryu@pusan.ac.kr)

박남규
동명정보대학교 유통경영학과
(nkpark@tmic.tit.ac.kr)

최형림
동아대학교 경영정보과학부
(hrchoi@dau.ac.kr)

컨테이너 터미널에서의 효율적인 운영을 위한 장치장 운용계획은 터미널 생산성을 향상 짓는 중요한 요소이다. 본 연구에서는 장치장 운용 시 고려되는 의사결정 요소들을 살펴보고 그 대안을 제시 하였다.

의사결정 요소는 크게 두 가지로 장치장에 컨테이너 저장 시 고려되는 블록의 용도구분에 관한 것과 각 블록에 할당하는 RMGC(Rail Mounted Gantry Crane) 야드 크레인의 대수를 결정하는 것이다. 각 요소 별 제시되는 대안은 시뮬레이션기법을 통하여 평가해 보고자 한다.

논문접수일 : 2005년 11월

게재확정일 : 2006년 2월

교신저자 : 전수민

1. 서론

항만에 위치한 컨테이너 터미널은 하역, 보관, 환적, 운송이 동시에 이루어지는 대표적인 종합 물류 공간이다. 이러한 기능의 효율적인 운영은 터미널 경쟁에서 성공 요소이고 선박의 접안시간을 줄여줌으로써 물류비용 감소와 서비스 수준을 높여 항만의 국제 경쟁력을 높일 수 있기 때문에 중요하다. 본 연구는 터미널 운영 시 고려되는 장치장 활용에 대해 여러 대안을 제시하고 시뮬레이션을 통한 검증은 하고자 한다.

컨테이너 터미널은 게이트, 장치장, 선석으로

그 영역이 나뉘어 진다. 본 연구에서 다루는 부분은 터미널을 통해 연계 수송되는 화물이 일시적으로 장치되는 장치장을 말한다.

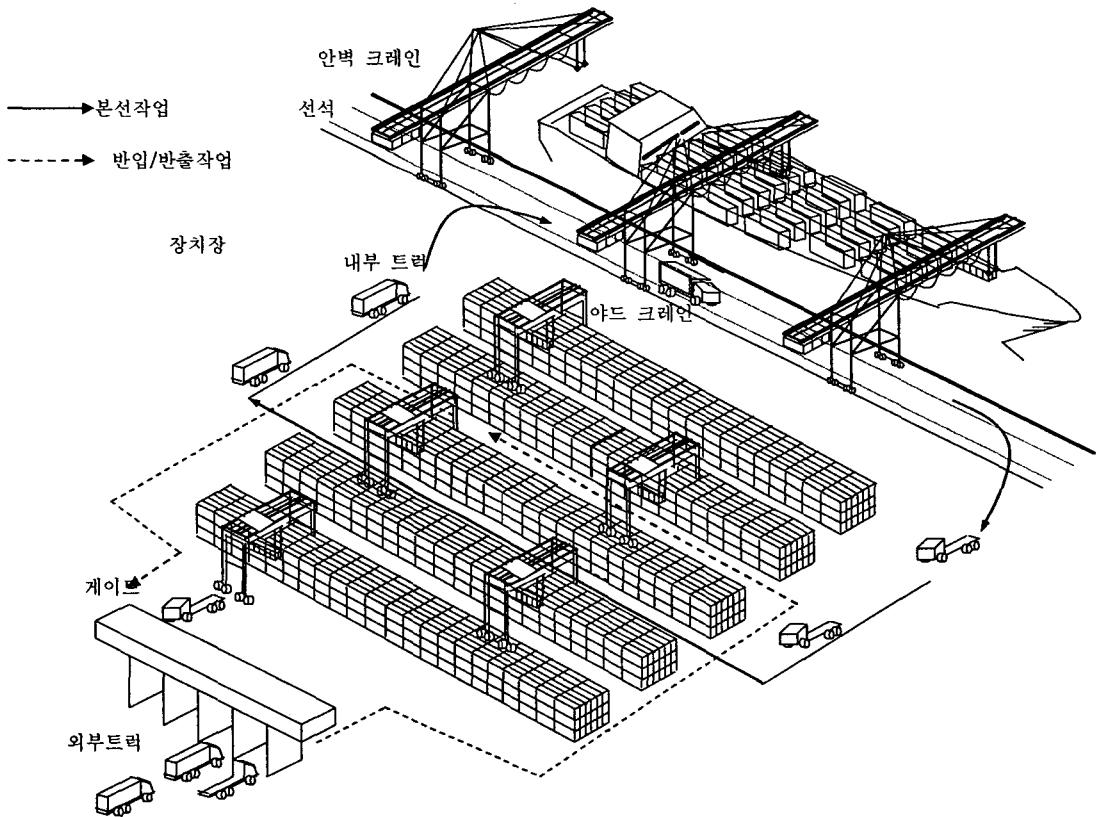
컨테이너의 흐름의 시작은 컨테이너의 특성에 의해서 크게 선석과 게이트로 구분된다. 수출컨테이너의 경우, 흐름의 시작은 게이트가 되며 해당 모선이 터미널에 접안 할 때까지 장치장에 저장되어 있다가 선박에 컨테이너를 싣는 적하작업으로 흐름이 종료된다. 수입컨테이너의 경우, 수출컨테이너의 흐름과 반대로 흐름의 시작은 선석이 되며 선박으로부터 컨테이너를 양하한 후 컨테이너를 실을 외부트럭이 터미널에 도착할 때까지 장치장

* 본 연구는 산업자원부의 출연금 등으로 수행한 지역전략산업 석박사 연구인력 양성사업의 연구 결과입니다.

에 저장되어 있다가 야드 크레인이 외부트럭에 컨테이너를 상차하고 게이트를 통해 빠져나가는 반출 작업으로 흐름이 종료된다. 따라서 컨테이너의 흐름이 작업에 따라 시작과 끝이 상이하더라도 장치장을 거친다는 공통점인 것을 고려해 볼 때 야드의 효율적인 공간계획은 중요한 부분임을 알 수 있다.

터미널의 생산성척도는 본선작업에서의 안벽 크레인(Quay Crane; QC)의 시간당 컨테이너 처리량이다. 이는 장치장의 공간계획 시 블록 개수, 산정과 블록에 배치되는 크레인의 대수, 컨테이너 속성에 따른 저장 구분과 같은 요소에 의해 영

향을 받게 된다. 따라서 효율적인 본선작업이 되기 위해서는 야드에서의 하역작업이 충분히 뒷받침 되어야 한다. 야드에서 하역 작업의 효율성은 작업 대상의 컨테이너가 어떻게 저장이 되느냐와 어떠한 하역장비를 사용하느냐가 관건이 될 수 있다. 본 연구에서 가정한 터미널은 [그림 1]과 같이 수평배치 장치장 형태이며 6단 9열을 하나의 베이 단위로 하는 블록으로 구성된다. 적용되는 야드 크레인은 블록간의 크레인 이동은 불가 하지만 RTGC(Rubber Tired Gantry Crane)에 비해 주행 속도가 빠르며 하역작업의 자동화로 인해 블록의 고단적재가 가능한 RMGC(Rail Mounted Gantry



[그림 1] 컨테이너 터미널

Crane)을 사용하는 형태이다. 본 연구에서는 장치장의 효율적인 운영을 위하여 고려되는 의사결정 요소에 대해서 대안을 제시하고 시뮬레이션기법을 통하여 평가해 보고자 한다.

컨테이너 터미널 운영에 관한 연구들을 살펴보면 다음과 같다. Taleb-Ibrahimie et al. [9]은 각 선박에 할당되어야 할 수출장치장의 공간의 양에 대해서 다루었다. 초기에 도착하는 수출 컨테이너들을 임시 저장소에 저장해 두었다가 정식으로 공간할당을 하고 재 취급과정을 거쳐 저장하는 전략을 제시하였다. 정식 공간 할당하는 시점과 재 취급 회수의 상충관계를 이용하여 각 선박에 할당되어야 할 공간의 양과 공간할당시점을 구하였다.

Kim and Park [7]은 수출 컨테이너를 위한 공간의 양과 위치결정에 관한 문제를 다루었다. 각 블록의 일정공간을 해당 선박의 수출 컨테이너를 위한 장치공간으로 할당하고 적하 작업 시 운송비용을 최소로 하는 것을 목적함수로 하여 공간의 양 뿐만 아니라 위치결정도 고려 하였다.

Zhang et al. [11]은 터미널의 저장 공간할당에 관한 문제를 블록의 작업부하를 우선적으로 고려하여 공간 할당을 하고 적하작업 수행 시 장비의 이송거리를 최소로 하는 것을 목적 함수로 하였다.

Castilho and Daganzo [4]는 컨테이너 터미널에서의 수입 컨테이너의 장치장 운영 문제에 대해 기술하고 있다. 이 논문은 컨테이너 장치장 운영 문제의 여러 가지 측면에 대하여 분석적인 결과를 제시하고 있다. 장치장의 야드 장비를 트랜스퍼 크레인으로 가정하고 재 취급의 문제가 중요한 상황을 대상으로 하였으며, 컨테이너를 무작위로 쌓여있는 베이로부터 빼낼 때 기대 되는 취급횟수를 추정하는 수식을 유도 하였다.

Kim and Park [8]은 수출 컨테이너를 대상으로

재 취급을 최소화하기 위하여 입고 시 장치 위치를 결정하는 문제를 다루었다. 도착 컨테이너의 무게를 고려하여 재 취급이 최소화되는 장치 위치를 결정하는 방법을 제시하였다. 동적 계획법에 의한 최적 장치 위치 결정 결과를 바탕으로 의사 결정 나무의 형태로 표현된 의사 결정 규칙을 찾아내는 방법을 제시하였으며 발견된 의사 결정 규칙과 동적 계획법에 의한 최적 의사 결정 방법을 비교하여 성능을 검증하였다.

김갑환[1]은 컨테이너 터미널의 장치장 배정에 대한 전산시스템 개발에 관한 사례를 소개 하였다. Watanabe [10]는 실제 터미널에서 사용되고 있는 파라미터 값을 이용하여 터미널 디자인 단계에서 필요한 공간의 크기와 장비의 효율에 대한 간단한 수식을 제시 하였다. Kim and Kim [6]은 수입 장치장을 운영하는데 특징적으로 나타나는 재 취급 작업을 분석하고, 이를 수입 장치장 운영과 관련된 의사 결정에 포함시켜 다루었다. 연구 내용은 장비 대수 및 공간 크기를 결정하는 부분과 공간 할당에 대한 부분으로 크게 나누어진다. 수입 장치장 운영에 대한 운영정책, 운영방법 및 공간배정에 대한 내용으로서 수입 장치장의 공간 소요 및 공급능력을 변화 시키는 방법과 개별 컨테이너의 장치 위치결정에 대하여 다루었다.

장성용 박진우[3]는 컨테이너 터미널의 운영 시스템을 SIMAN을 이용하여 시뮬레이션 하였고 그 결과를 제시하였다. 윤원영, 최용석, 송진영, 양창호[2]는 컨테이너 크레인의 하역능력을 산정하기 위한 시뮬레이션 모델을 제시하였다. Duinkerken and Ottjes[5]는 자동화 컨테이너 터미널에서의 운영장비를 소개하고 AGV의 작업할당 방법과 컨테이너 크레인 활용도를 시뮬레이션을 통하여 제시하였다.

본 연구의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 컨테

이러한 터미널의 효율적인 운영을 위한 의사결정 요소를 살펴보고 3, 4장에서는 제시한 대안에 대해 시뮬레이션을 통해 터미널 생산성을 평가하고 5장에서 결론 및 향후 과제로 맺는다.

2. 장치장 운영을 위한 대안제시

컨테이너 터미널의 업무를 컨테이너 흐름에 따라 분류한다면 반입, 적하, 양하, 반출로 구분할 수 있다.

2.1 터미널의 작업분석

터미널에서 처리되는 작업은 컨테이너의 흐름에 따라 크게 본선작업과 반출입 작업이며, 대표적으로 4가지의 작업으로 나눌 수 있다.

1. 반입: 외부트럭이 컨테이너 터미널의 게이트에 도착하여 장치위치를 배정받고 장치장의 해당 베이까지 진입하여, RMGC가 외부트럭의 컨테이너를 들어올려 장치장에 장치하는 작업
2. 적하: 적하 계획에 따라 장치장에 장치되어 있는 컨테이너를 RMGC, YT(Yard Truck), QC를 이용하여 선박에 옮겨실는 작업
3. 양하: 양하 계획에 따라 RMGC, YT, QC를 이용하여 선박으로부터 컨테이너를 내려 장치장에 장치하는 작업
4. 반출: 외부트럭이 컨테이너 터미널의 게이트에 도착하여 인출위치를 배정받고 장치장의 해당 베이까지 진입하여 RMGC가 장치장에 장치되어 있는 컨테이너를 들어올려 외부트럭에 상차하는 작업

실제 터미널에서 이러한 작업들은 장치장 내에

서 동시에 일어나므로 터미널의 생산성을 향상시킬 수 있는 장치장의 운영방안이 무엇보다 중요한 이슈가 된다. RMGC 장치장을 어떻게 운영할 것인가에 대한 의사결정 요소들에 대한대안을 제시하였다.

정책 수준의 의사결정은 운영단계 이전에 결정해야 할 사항이며 본 연구를 하면서 논의된 의사결정 요소에 따른 의사결정사항은 <표 1>과 같다.

<표 1> 정책수준의 의사결정 요소

의사결정 요소	내용
야드블록의 용도 구분	효율적인 장치장 사용을 위해 장치장 용도 구분을 어떻게 할 것인지에 대한 결정
블록 별 RMGC 배치대수	장치장 운영의 효율성 극대화를 위해 블록 별 몇 대의 RMGC를 투입할 것인지 결정

야드 블록의 용도 구분과 블록 별 RMGC배치대수의 경우는 실험이나 증명을 통해 결정하는 부분이라 할 수 있다. 본 연구에서는 실험을 통한 결정사항에 대해서 초점을 맞추고자 한다.

3. 터미널 운영 시뮬레이션

터미널의 운영논리를 적용한 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션의 주요 내용을 살펴 보면 다음과 같다.

3.1 시뮬레이션 시스템의 구조

사용자의 매개변수 입력은 블록의 열과 단의 수, 블록의 수, 양하, 적하, 반입, 반출 작업에 대한 블록 별 작업 우선순위 등의 의사결정 변수를 조

정하는 기능이다. 시뮬레이션 지시는 시뮬레이션의 시작과 중지 종료를 지시하며, 터미널의 기초 자료와 이벤트 자료는 실제로 터미널이 운영된 과거 자료를 바탕으로 차량도착 및 모선도착의 초기 이벤트를 발생시킨 자료이다. 통계는 시뮬레이션 수행으로 계산되는 트럭 서비스타임, 공간부족, 안벽 크레인의 작업지연 시간 등의 정보를 말한다.

3.2 시뮬레이션을 위한 주요 입력자료

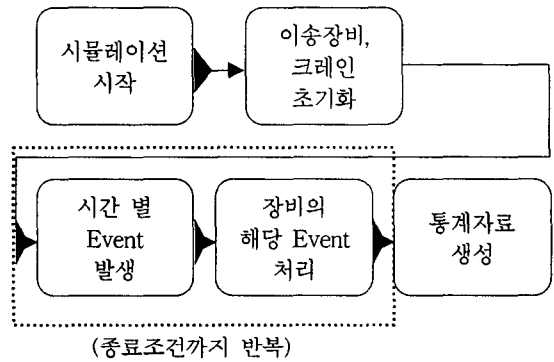
시뮬레이션 시스템은 변경 가능한 요소들에 대하여 사용자가 여러 대안을 평가 할 수 있게 하였다. 시뮬레이션 시스템에서 사용자가 변경 가능한 주요 요인들은 다음 표와 같다.

<표 2> 시뮬레이션을 위한 주요 입력자료

구분	입력 항목
컨테이너 정보	수출, 수입 컨테이너 처리량
	컨테이너 크기 별 비율
선박 정보	선박 별 작업 물량
장치장 운영규칙	무료 장치기간
장비 운영 규칙	선석 당 할당된 안벽 크레인대수
	안벽 크레인 별 내부트럭 대수
본선하역 장비	안벽 크레인 투입대수
	안벽 크레인 사양
장치장 하역장비	RMGC 투입대수
	RMGC 사양
이송장비	내부,외부 트럭의 투입대수
	내부, 외부트럭의 사양
게이트	게이트 서비스 시간
	게이트 레인 개수
장치장	장치장의 블록 개수
	블록 내 베이, 열, 단 개수
선석	선석의 수
	선석과 장치장의 거리

3.3 시뮬레이션의 사건처리 흐름

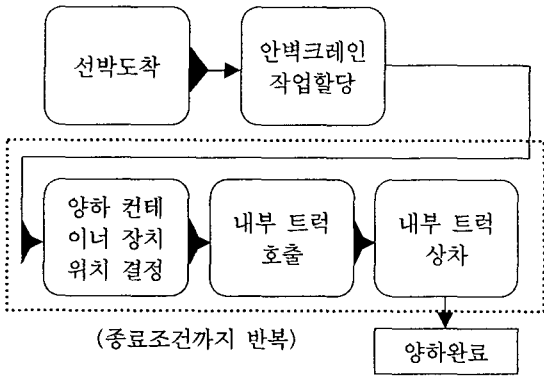
이벤트를 처리하기 위한 전체모듈은 [그림 2]와 같이 이벤트 초기화 과정 및 시간의 진행에 따른 반복적인 Event 처리와 결과를 생성하기 까지를 처리한다.



[그림 2] 이벤트 다이어그램

3.3.1 선 석에서의 사건흐름

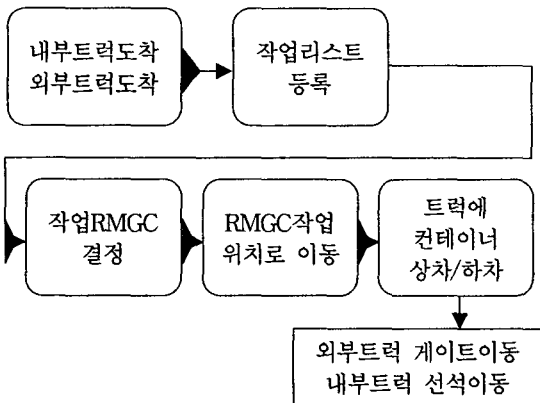
선 석에서의 사건 흐름은 선박이 도착하여 소멸할 때까지이다. 선박이 선석에 도착하게 되면 할당된 안벽크레인이 선박으로부터 컨테이너를 싣고 내리는 양 적하 작업을 하게 된다. 이러한 작업을 본선작업이라고 하며 본 연구에서 본선작업은 양하 작업이 적하 작업보다 우선한다고 가정하였다. 양하 작업 시 컨테이너의 장치위치 결정시점은 양하 할 컨테이너를 내부트럭에 상차하기 이전에 결정된다. 양하 물량이 없을 경우 적하 작업이 이루어진다. 적하 작업이 없거나 완료 하였을 경우 선박은 선석을 떠나게 된다. [그림 3]은 선 석에서의 양하 작업에 대한 이벤트 다이어그램을 나타내었다.



[그림 3] 선석의 양하작업 이벤트 다이어그램

3.3.2 장치장에서의 사건흐름

장치장은 저장 및 반출을 위한 공간으로 여러 개의 블록으로 구성되어 있다. 하나의 블록에는 이송장비 과부하를 위하여 버퍼를 두었다. 장치장의 사건의 흐름은 반입, 반출을 위한 외부트럭 또는 본선작업을 위한 내부트럭이 장치장에 도착한 사건으로 시작하여 RMGC가 유틸한 시점에 작업이 도착하면 블록에 할당된 RMGC가 복수대일 경우 어느 RMGC가 작업을 처리할지 결정하게 된다. RMGC가 작업하고 있는 경우 차량은 RMGC 작업



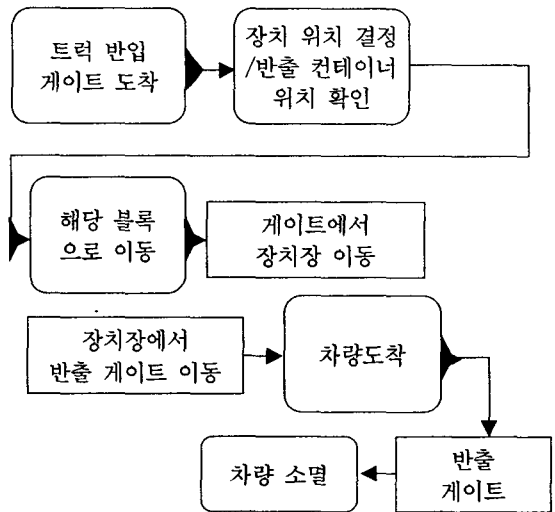
[그림 4] 장치장의 이벤트 다이어그램

리스트에 등록을 하고 대기하게 된다. RMGC가 하나의 작업을 완료한 시점에는 어떠한 작업을 처리할 지 결정하게 되며 RMGC의 할당된 작업을 처리하면 해당 트럭은 장치장을 빠져나감으로써 사건의 흐름은 끝나게 된다.

3.3.3 게이트에서의 사건흐름

게이트는 외부 트럭이 터미널로 들어오는 트럭의 반입 사건과 터미널에서 외부로 나가는 반출사건으로 구성되어 있다.

반입 게이트에서 트럭이 게이트에 도착하게 되면 도착하는 순서대로 컨테이너의 저장위치 정보를 받고 해당 목적지로 이동하게 된다. 반출 게이트에서는 작업을 완료한 트럭들이 빠져 나가게 된다.



[그림 5] 게이트의 이벤트 다이어그램

4. 시뮬레이션 연구

본 장에서는 2장에서 제시한 블록 별 RMGC배치대수와 야드 블록의 용도 구분에 대해 시뮬레이션을 통해 알아보고자 한다. 실험 환경에 필요한 자료는 실제 터미널에서의 데이터를 기초로 하였다.

시뮬레이션의 초기설정은 다음과 같이 가정하였다.

1. 장치장은 6단 9열 34베이로 구성된 5개의 블록으로 구성된다.
2. 작업하는 안벽크레인(QC)은 3대이다.
3. 시뮬레이션 수행 시 양하, 적하, 반입, 반출 작업은 동시에 일어난다.
4. 모든 야드 크레인은 동일하며 동일한 블록에서 교차가 불가능하다.
5. 실험에 적용한 RMGC의 주행속도는 180m/min이다.
6. 데이터를 분석한 결과 안벽 크레인이 하나의 컨테이너를 처리하는데 평균 120초가 걸리며 최빈값은 80초이다.
7. 수입 컨테이너의 장치비율은 수입 컨테이너가 선박으로부터 양하 된 후 반출되기 까지 터미널 내에 장치되는 컨테이너 수의 비율(%)로써 양하 후 7일간의 자료를 <표 3>과 같이 수집하였다.

<표 3> 수입 컨테이너 장치 비율

양하 후 N일	컨테이너 수	비율(%)
1	18,141	19%
2	24,579	26%
3	19,276	20%
4	13,523	14%
5	8,955	9%
6	6,416	7%
7	5,007	5%

8. 수출 컨테이너의 장치 비율은 수출 컨테이너가 터미널에 반입된 후 선박에 적하 할 때까지 장치되는 컨테이너의 수의 비율(%)로써 적하 작업을 시작하기 전 7일간의 자료를 <표 4>와 같이 수집하였다.

<표 4> 수출 컨테이너 장치 비율

적하 전 N일	컨테이너 수	비율(%)
1	20,897	23%
2	27,892	31%
3	17,951	20%
4	9,874	11%
5	6,267	7%
6	4,667	5%
7	3,491	4%

9. 외부트럭의 게이트 도착 시간분포는 하루를 기준으로 2시간 단위씩 나누어 외부 트럭의 도착 비율(%)을 <표 5>와 같이 수집하였다.

<표 5> 외부트럭의 게이트 도착 시각분포

도착시각	컨테이너 수	비율(%)
0	3,657	3%
2	4,605	4%
4	3,256	3%
6	2,196	2%
8	8,663	7%
10	14,500	13%
12	11,758	10%
14	16,544	15%
16	16,719	15%
18	11,169	10%
20	12,326	11%
22	8,345	7%

10. 수출입 컨테이너의 무료 장치기간은 3일이다.

4.1 블록별 RMGC 배치 대수 결정

블록 별 RMGC 배치 대수 결정은 터미널 생산성 측면에서 중요한 결정사항이다. 블록에 배치된 RMGC가 충분히 그 역할을 못해 작업부하가 증가하면 이송장비의 대기현상과 QC의 작업지연이 생겨 터미널의 생산성저하를 가져오게 된다. 시뮬레이션을 통해 제시한 대안이 얼마만큼의 생산성을 나타 낼 지를 알아보려고 한다.

제시한 대안은 네 가지로 구분 할 수 있다.

대안 1: 4개의 블록 중 해측에 가까운 블록에는 크레인을 2대 할당하지만 나머지 블록에는 1대의 크레인을 할당하는 경우.

대안 2: 5개의 블록에 크레인을 1대씩 할당하는 경우.

대안 3: 3개의 블록 중 육측에 가까운 블록에는 1대의 크레인을 할당하고 그 외 블록에는 동일크기 2대의 크레인을 할당하는 경우.

대안 4: 5개의 블록에 크레인을 2대씩 할당하는 경우.

제시한 대안에 대하여 시뮬레이션 결과는 <표 6>과 같다.

<표 6> 대안 별 시뮬레이션 결과

구분		대안 1	대안 2	대안 3	대안 4
트럭 서비스 타임 (단위:분)		31	32	38	11
안벽 크레인 시간당 처리 개수 (단위:개)	양하	22	24	23	24
	적하	17	14	9	18
공간 부족 (단위:%)	양하	15.54	5.85	14.27	14.27
	적하	0.76	0.21	2.17	0.13

각 대안 별 터미널의 생산성을 살펴보기 위하여 트럭의 서비스 타임과, 안벽 크레인의 시간당 처리개수에 대해 시뮬레이션을 수행하였다. 트럭의 서비스 타임은 외부트럭이 터미널 내 장치장에 진입하여 RMGC에 컨테이너를 전달하고 장치장을 빠져나가는 시간을 말한다. 안벽 크레인의 시간당 처리개수는 터미널의 생산성을 결정짓는 중요한 부분이며, 이는 양하, 적하 작업에 따라 구분된다. 공간 부족은 대안 별 장치장의 블록 배치 개수와 블록 별 RMGC의 배치에 따른 양하와 적하 작업 시 부족한 저장공간 비율을 나타낸다.

대안 별 트럭 서비스 타임을 살펴보면 대안 4의 경우가 가장 짧았고, 동일한 5대의 크레인이 배치되는 나머지 대안 중에서는 대안 1이 가장 짧음을 알 수 있다. 공간부족을 고려한다면 대안 2는 대안 1의 트럭서비스 타임과 많은 차이가 나지 않지만 공간 부족 비율이 낮음을 보여준다. 즉 동일 블록에 복수대의 크레인을 할당하는 경우보다 저장공간을 확보하는 것이 중요하다.

대안 별 안벽 크레인의 시간당 처리개수를 살펴보면 양하 작업의 경우 많은 차이가 나지 않았지만, 적하 작업의 경우 대안 3의 경우가 가장 낮음을 보여준다. 이는 동일 블록에 복수대의 크레인을 할당 시 저장공간이 충분하지 않아 소수의 블록에 트럭이 집중되어 트럭의 대기시간이 길어졌음을 간접적으로 나타내고 있다.

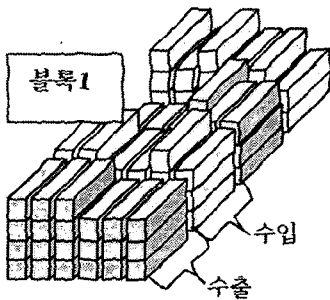
4.2 야드 블록의 용도구분

장치장 운영계획 시 블록의 용도 구분은 중요한 의사결정 부분이다. 왜냐하면 블록의 용도를 어떻게 구분하느냐에 따라서 운영방식이 달라지며 결국 터미널 생산성에 영향을 미치기 때문이다. 블록의 용도는 수출입에 따라 구분하며, 이를

어떤 단위로 저장할 것인가를 고려하게 된다. 본 연구에서는 블록의 용도 구분을 블록단위로 구분하고자 한다.

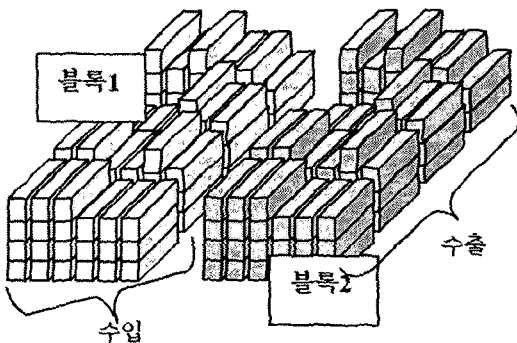
우선 블록의 용도 구분은 다음 [그림 6], [그림 7]과 같이 크게 2가지로 나눌 수 있다.

대안 1) 동일 블록에 수입 컨테이너와 수출컨테이너를 같이 장치할 경우



[그림 6] 블록 내 수출입 컨테이너혼용

대안 2) 블록 별 수출입컨테이너를 구분 할 경우



[그림 7] 블록 별 수출입 컨테이너 구분

대안 1의 경우는 동일 블록에 수출입 컨테이너를 같이 저장할 경우를 나타낸 것으로써 하나의 블록을 구성하는 베이 단위로 수출입 컨테이너를

구분하여 저장하는 방법이다. 이에 비해 대안 2의 경우는 블록이 수출 컨테이너와 수입컨테이너를 구분하여 저장하는 방식을 나타낸 것이다.

대안 1의 경우 RMGC의 작업부하가 분산되는 장점을 가질 수 있지만 야드 관리가 복잡해 질 수 있고 재 취급 작업의 위치 제약을 가져 올 수 있는 특징이 있다. 반면 대안 2의 경우 야드 관리가 대안 1에 비해 간단하지만 본선 작업 시 특정 블록에 작업이 집중될 수 있다. 대안 2의 경우에는 블록 별 용도를 구분하는 경우 본선작업의 생산성을 고려하여 해측에 가까운 블록일수록 본선작업의 선호도를 높게 두는 방법이 있다. 블록의 수출입 선호도 비율을 고려한다면 블록의 용도를 구분하는 대안 2를 다시 3가지로 구분할 수 있다.

대안 1: 동일 블록에 수출입 컨테이너를 혼합하여 장치할 수 있게 허용하고 수출 컨테이너, 수입 컨테이너 각각에 대해서 블록 별 장치 선호도가 같은 경우.

대안 2: 해측에 인접한 3개의 블록은 수입 컨테이너의 장치 선호도를 높게 하고 그 외 블록은 수출 컨테이너의 장치 선호도를 높게 하는 경우.

대안 3: 해측에 인접한 3개의 블록은 수출 컨테이너의 장치 선호도를 높게 하고 그 외 블록은 수입 컨테이너의 장치 선호도를 높게 하는 경우.

대안 4: 해측에 가장 인접한 하나의 블록은 수출입 컨테이너 각각에 대하여 장치 선호도를 동일하게 하고, 나머지 4개의 블록 중 2개의 블록은 수출 컨테이너의 장치 선호도를 높게 하고 나머지 2개의 블록은 수입 컨테이너의 장치선호도를 높게 하는 경우.

장치 선호도를 고려하여 블록을 구분한 4가지 대안에 대해서 기존의 수평 장치장 저장 방식인

집중화 방식과 분산화 방식에 대해서 실험을 수행하였다. 현행 터미널에서 수평 장치장에서의 작업은 수출 컨테이너의 경우 동일선박에 적하될 컨테이너들을 목적항, 크기, 무게 별로 그룹화 하여 베이에 할당시킨다. 수입컨테이너의 경우 장치장 하역장비의 운행거리를 줄이고자 모선에서 양하되는 컨테이너를 인접 공간에 연속하여 집중적으로 장치시킨다. 이 경우 연속하여 특정블록으로 이송장비가 배차됨으로써 그 특정 블록에서는 이송장비의 대기가 발생하게 되고 그 외의 블록에서는 크레인이 유휴상태가 발생한다. 그러나 연속하여 동일한 블록에 배차하는 대신(집중화 전략) 첫 이송장비는 1번 블록, 두 번째 이송장비는 2번 블록, 세 번째 이송장비는 3번 블록에 배차하는 것처럼 분산하여 배차하는 경우(분산화 전략)이송장비의 대기시간이 짧아지게 될 가능성이 있다

실험 결과 <표 7>과 <표 8>의 트럭의 평균 서비스 타임과 안벽 크레인의 시간당 처리개수를 살펴 보면 기존의 수평장치장의 집중화 작업 방식에 비해 분산화 방식의 경우가 좋은 결과 값을 가지는 것으로 나타났다.

<표 7>은 기존의 수평 장치장 운영방식의 결과로써 제시한 4가지 대안 중 대안 1의 경우가 안벽 크레인의 생산성이 가장 높았으며 트럭의 서비스 타임도 가장 짧음을 알 수 있다. 이는 내부트럭의 블록방문 집중도가 다른 대안에 비해서 낮기 때문이다.

내부트럭의 블록방문 집중도는 식(1)과 같이 구해진다.

i : 선박의 수 $i : 1, 2, \dots, l$

j : 블록의 수 $j : 1, 2, \dots, m$

k : 구간 수 $k : 1, 2, \dots, n$

X_{ijk} = 선박 i 의 본선 작업을 위해서 할당된 내부 트럭이 블록 j 를 구간 k 에 방문한 횟수.

R_{ik} = 선박 i 의 본선 작업을 위하여 구간 k 에 도착한 범위

$R_{ik} = \text{Max}_j \{X_{ijk}\} - \text{Min}\{X_{ijk}\}$ for all (i, k)

$$\bar{R}_i = \frac{\sum_{k=1}^n R_{ik}}{n}$$

$$\bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^l \bar{R}_i}{l} \quad (1)$$

내부트럭의 블록 방문 집중도가 높을수록 안벽 크레인의 시간당 처리개수가 낮아짐을 알 수 있다. 안벽 크레인의 시간당 처리개수와 내부트럭의 블록 방문 집중도 사이의 관계를 알아보고자 안벽 크레인의 작업 지연시간과 내부트럭의 대기시간을 살펴보면 안벽 크레인의 작업지연시간이 길어

<표 7> 집중화 배차 전략하에서의 대안 별 시뮬레이션 결과

구분	대안1	대안2	대안3	대안4	
내부트럭의 블록 방문 집중도	42.1	60.2	70.4	64.1	
외부트럭의 평균 서비스 타임 (단위:분)	11.4	12.8	11.5	11.6	
안벽 크레인의 시간당 처리개수 (단위:개)	양하	31	31	30	31
	적하	20	18	19	19
안벽 크레인의 작업 지연시간 (단위:초)	양하	27	29	29	29
	적하	88	111	104	105
내부 트럭 대기시간 (단위:초)	양하	801	793	838	828
	적하	102	173	153	175
공간부족 (단위:%)	양하	3.82	5.06	3.86	3.61
	적하	0.08	0.29	0.08	0.05

질 수록 내부트럭의 대기시간도 길어짐을 알 수 있다. 이는 특정 블록의 야드 크레인의 작업부하로 블록 내 진입한 내부트럭의 대기 시간이 길어지게 되고 그 결과 안벽크레인에 할당된 내부트럭의 도착이 늦어져 안벽 크레인의 시간당 처리개수가 낮아짐을 알 수 있다.

<표 8>은 여러 블록의 야드 크레인이 동시에 작업 하게하여 특정 블록의 야드 크레인의 작업부하를 분산시키는 방식에 대한 대안 별 실험 결과이다. <표 7>과 비교 하면 각 대안 별 생산성이 대체로 높음을 알 수 있으며 대안1의 경우가 가장 좋음을 알 수 있다.

따라서 안벽 크레인의 시간당 처리개수를 향상시키기 위해서 특정 블록의 야드 크레인 작업 부하를 분산시켜 특정 블록에 이송장비가 집중되지 않도록 해야 한다.

<표 8> 분산화 배차 전략하에서의 대안 별 시뮬레이션 결과

구분		대안1	대안2	대안3	대안4
내부트럭의 블록 방문 집중도		24.48	58.29	59.66	58.5
외부트럭의 평균서비스 타임(단위:분)		7.5	9.2	10.8	10.3
안벽 크레인의 시간당 처리개수 (단위:개)	양하	40	34	28	32
	적하	23	20	23	23
안벽 크레인의 작업 지연시간 (단위:초)	양하	16.9	17.9	34.9	27.3
	적하	67.5	96.5	81.6	72.9
내부트럭 대기시간 (단위:초)	양하	111.6	437.6	790	623.3
	적하	42.4	65.37	53.4	65.9
공간부족 (단위:%)	양하	6.32	8.0	7.63	4.65
	적하	0.28	0.57	0.53	0.7

5. 결론

본 연구에서는 장치장 운용계획 시 고려되는 의사결정 요소를 살펴보고 대안을 제시하였다. 또한 시뮬레이션을 통하여 제시한 대안의 타당성을 검증하였다. 시뮬레이션 수행결과 저장공간의 확보가 블록의 크레인 할당 보다 중요함을 알 수 있었으며, 수평장치장의 경우도 수직 장치장과 마찬가지로 이송장비의 분산화 배치전략을 적용하여 특정 블록에 작업을 집중하는 것 보다 여러 블록에 작업을 분산하는 것이 터미널의 생산성을 향상시킨다는 것을 알 수 있었다. 본 연구에서는 저장공간 단위를 베이 단위로 한정하였다. 이후의 연구에서는 다양한 저장공간 단위전략과 터미널 생산성과의 관계 파악이 필요하다.

참고문헌

- [1] 김갑환, 김홍배, 홍봉희, 김기영, 배종욱, 김두열, 최진오, 이영기, 박영만, 박강태, 손행태 (1995), "수출입 컨테이너 장치장 배정을 위한 소프트웨어의 개발", *경영과학* 제 12권, 제 3호, pp.1-15.
- [2] 윤원영, 최용석, 송진영, 양창호(2001), "컨테이너 터미널 에서 컨테이너 크레인의 하역능력 추정에 관한 시뮬레이션 연구", *대한산업공학회지* 제 14권, 제 1호, pp.67-78
- [3] 장성용, 박진우(1988), "시뮬레이션 기법을 이용한 컨테이너 터미널의 운영시스템 결정", *산업공학* 제 1권, 제1호, pp.49-62.
- [4] Castilho, B.and Daganzo, C. F. (1993). "Handling Strategies for Import Containers at Marine terminals", *Transportation Research*, Vol.27B(2), pp.151-166.
- [5] DuinKerken, M B. and Ottjes, J.A (1999), A

simulation model for automated container terminals. *Proceedings of the Business and Industry Simulation Symposium*.

- [6] Kim, H. B. and Kim, K. H. (1996). "A Segregating Space Allocation for Import Containers in Port Container Terminal", *Proceedings of the 20th International Conference on Computers and Industrial Engineering*, Vol.2, pp.1263-1266.
- [7] Kim, K. H. and Park, K. T. (2003). "A note on a dynamic space-allocation method for outbound containers", *International Journal of Operation Research*, Vol.148, pp.92-101.
- [8] Kim, K. H., Park, Y. M. and Ryu, K. R. (2000). "Deriving Decision Rules to Locate Export Containers in Container Yard", *European Journal of Operational Research*, Vol.124, pp.89-101.
- [9] Taleb-Ibrahimi, M., Castilho, B., and Daganzo, C. (1993). "Storage space vs handling work in container terminals space allocation in container terminals", *Transportation Research*, Vol.27B(1), pp.13-32.
- [10] Watanabe, I. (2001). *Container terminal planning a theoretical approach*. WCN Publishing.
- [11] Zhang, C. Liu., Wan, Y., Murty, K., and Linn, R., (2003). "Storage space allocation in container terminal", *Transportation Research*, Vol.37B, pp.883-903.

Abstract

A Study on Yard Operation in Container Terminal

Su Min Jeon* · Kap Hwan Kim* · Jae Joong Kim** · Kwang Ryel Ryu*** ·
Nam Kyu Park**** · Hyung Rim Choi*****

One of the important tactical problems for the efficient operation of container terminals is to determine the usage of storage space. There are two different strategies for stacking containers; mixing strategy, in which outbound containers and inbound containers are mixed in the same block, and segregating strategy, in which outbound containers and inbound containers are stacked in blocks different from each other. The performance of space allocation strategies also depends on the types of handling equipment in the yard and the number of handling equipment allocated to each block. A simulation model is developed considering various handling characteristics of yard cranes. Performances of various space and equipment allocation strategies are evaluated by using the simulation model.

Key words : 컨테이너 터미널, 장치장, 시뮬레이션

* Department of Industrial Engineering, Pusan National University

** Civil&Ocean Engineering, Dong-A University

*** Department of Computer Engineering, Pusan National University

**** Department of Distribution Management, Tongmyung University

***** Division of Management Information Science, Dong-A University