

AS/RS 플랫폼 기반 컨테이너 장치장을 위한 리마살링에 관한 연구

김창현¹ · 최상희² · 서정훈³ · 배종욱^{1†}

A Study on Remarshalling for AS/RS Platform Based Container Yard

Chang Hyun Kim · Sang Hei Choi · Jeong Hoon Seo · Jong Wook Bae

ABSTRACT

Due to the recent technological advance, new types of AS/RS which can handle containers are being developed, and it is expected that they will be applied to related industries before long. Some companies and institutes in our country have constructed pilot systems for high-density-high-stacking systems and tested them to develop AS/RS-typed warehouses for containers. Along with this kind of construction efforts, development of rules to operate such systems efficiently and safely is also important. When outward-bound shipment is scheduled in container port, re-marshalling which rearranges containers in the yard to make shipment easy is conducted. In this paper, operating rules for the re-marshalling as well as simulation experiments to evaluate the performance of the rules are presented.

We suggested two kinds of alternative sets of operating rules for re-marshalling and described the relevant logics corresponding to all possible cases for each alternative of operating rules. Through various simulation experiments, we found that each alternative has the merits and demerits at the same time and we could not say the one is always superior to the other. As a useful strategy, changing the applying operating rule is recommended from moment to moment depending on the expected number of operations at the landside input/output position.

Key words : AS/RS, Container terminal, Container yard, Performance evaluation

요약

최근 기술 발전으로 컨테이너를 취급할 수 있는 새로운 형태의 AS/RS가 개발되면서 조만간 컨테이너 터미널과 같은 관련 산업분야에 적용될 것으로 기대되고 있다. 우리나라에서도 차세대 항만을 위한 고밀도 고단적 적재시스템의 파일럿 시스템을 건설, 동작 테스트를 하고 있는 바, 향후 개발될 컨테이너를 위한 자동창고를 대상으로 창고의 운영규칙 개발에 대한 필요성이 높아지고 있다.

컨테이너 항만에 출항 선박의 일정이 정해지면 적하작업이 용이하도록 장치장의 컨테이너를 재배치하는 과정인 리마살링 작업이 수행된다. 본 논문에서는 리마살링 작업의 운영 규칙을 제안하고, 제안된 운영 규칙들의 수행도를 평가하기 위하여 시물레이션 과정을 통하여 살펴보았다. 리마살링 작업의 방법으로 2개의 대안을 제시하여 각 대안의 로직을 발생가능한 케이스별로 나누어 제시하였다. 그리고 제시된 로직의 성능을 평가하기 위하여 평가항목별로 다양한 시물레이션을 실시하였다. 시물레이션 결과 두 대안은 각기 장단점을 가지고 있으며, 두 대안 가운데 어느 한 대안이 일방적인 우위를 갖기 보다는 작업 상황에 따라 두 대안을 적절하게 혼용하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

주요어 : AS/RS, 컨테이너 터미널, 컨테이너 장치장, 수행도 평가

*이 연구는 국토해양부의 지원으로 수행한 지능형항만물류시스템개발의 연구결과이다.

2009년 9월 25일 접수, 2010년 3월 31일 채택

¹⁾ 전남대학교 물류교통학전공

²⁾ 한국해양수산개발원 미래전략연구본부

³⁾ 싸이버로지텍

주 저 자 : 김창현

교신저자 : 배종욱

E-mail : jwbae@chonnam.ac.kr

1. 서론

최근 중국의 대규모 항만 개발과 함께 세계 각국의 컨테이너 터미널간의 경쟁이 그 어느 때보다 치열하다. 또한 컨테이너 선형이 급격히 증가함에 따라 선사선박의 회전율을 높이기 위하여 운항시간의 상당 부분을 차지하고 있는 하역작업시간의 단축이 가능한 고생산성의 터미

널을 요구하고 있다. 따라서 컨테이너 터미널 운영의 최적화를 통하여 항만 경쟁력을 갖추려는 많은 노력들이 이루어져 왔다. 그러나 지면상에 컨테이너를 수직으로 쌓는 현재의 컨테이너 장치장 구조는 부지 확보의 어려움과 함께 하단의 컨테이너를 추출하기 위하여 상단의 컨테이너를 옮겨야하는 재작업의 발생으로 터미널 생산성 저하, 장비운영 비용의 증가를 발생시키고 있다.

최근 창고/보관 분야에서 괄목할 만한 하드웨어적인 기술 발전에 힘입어 중량 20톤 이상의 컨테이너와 같은 중량물을 건물 형태의 창고형 고단적 자동창고(AS/RS)시스템을 적용하려는 시도가 세계 주요 항만에서 꾸준히 추진되고 있다(최와 하, 2005; Chen 등, 2003; Hu 등, 2005; Khoshnevis and Asef-Vaziri, 2000). 전통적인 자동창고의 Storage/ Retrieval 기기는 수직, 수평이동이 일체화되어 설계되어 있다(이 분야에 관심 있는 독자들은 대표적인 연구조사 논문들인 Berg and Zijm(1999), Gu 등 (2005, 2007), Rouwenhort 등 (2000)을 참조하기 바란다). 반면, 컨테이너와 같은 중량물을 대상으로 한 자동창고는 수직 이동 기기와 수평 이동 기기가 별개로 존재한다. 따라서 기기의 수직, 수평이동이 독립적이기 때문에 20톤 이상의 중량물을 비교적 빠른 속도로 이동시킬 수 있다.

컨테이너 터미널에서의 자동창고에 대한 관심과 필요성이 제기된 시기가 최근이기 때문에 그에 대한 연구는 드물다. Khoshnevis and Asef-Vaziri(2000)는 미국 컨테이너 항만에서 컨테이너를 위한 AS/RS를 도입할 경우, 도입에 대한 경제적 타당성을 검토하기 위하여 가상적인 항만 환경에서 시간당 처리능력, 공간 활용률, 장비 이용률 등 3가지 평가항목을 두고 시뮬레이션 실험을 실시하였다. 그들은 시뮬레이션을 통하여 평가항목들이 현재 시스템보다 현격하게 개선되어 경제적 타당성이 충분하다는 것을 입증하였으며, 실용화에 대비하여 향후 연구 방향을 제시하였다.

Chen 등 (2003)과 Hu 등 (2005)은 중량물인 컨테이너를 처리할 수 있는 AS/RS 플랫폼(Platform) 기반 창고로 하여 컨테이너를 입고하거나 출고할 때 소요되는 주기를 수리적인 모형으로 제시하였다. 그들은 창고의 규모를 결정하는 요소인 베이(Bay)수, 층수, 셀(Cell)의 수, 셀의 높이, 셀의 길이 등에 의한 다양한 조합으로 이루어지는 대안들에 대하여 입고 또는 출고의 소요 주기와 시간과 함께 요소들에 대한 민감도를 분석하였다.

최와 하(2005)는 우리나라 차세대 항만을 위한 고효율 야드시스템의 개발과 발전방향을 제시하였다. 이들은 야드에서 랙 구조물을 이용한 고단적 적재 시스템을 항만에

적용할 경우 평면배치에 따른 부지절감의 효과 등을 추정하였다. 연구 결과로서 컨테이너 처리 생산성은 기존 야드시스템에 비하여 고단적 적재장치시스템의 생산성이 약 2.7배 높을 것으로 추정하였고, 부지 절감 효과는 160만 TEU를 처리할 경우 기존 부지의 약 17.8%~26.7%만이 소요될 것으로 추정하였다. 이들은 향후 과제로서 고밀도 고단적 적재시스템에 대한 다양한 운영규칙 개발과 장치 내부의 구조 변화에 따른 생산성 변화 등을 평가하여 최적화 연구가 이루어져야 한다고 강조하였다.

Hu 등 (2005)은 자동창고 내 기기 사이의 물품 상하차 시간은 무시할 만큼 적다는 조건에서 입고출고시 소요되는 평균 시간을 추정하였다. 그러나 최와 하(2005)에 의하면 한국형 신개념 자동창고의 경우, 기기간 상하차 시간은 중량물을 취급하는 관계로 결코 무시할 수 없는 것으로 알려져 있다. 김(2009)은 Hu 등 (2005)의 연구를 보다 일반화하여 기기간 상하차 시간을 고려하여야 하는 경우, 물품을 입고하거나 출고할 때 소요되는 주기시간 추정 모형을 제시하였다.

본 연구는 최와 하(2005)가 그 필요성을 언급한 바 있지만, 우리나라에서 개발하고자 하는 고밀도 고단적 적재 시스템을 위한 운영규칙, 그 가운데 해측으로의 반출 작업을 원활하게 하기 위하여 적하순서에 맞추어 반출하기 쉽도록 저장된 컨테이너들을 재배치하는 과정인 리마샬링(remarshalling)의 운영규칙을 개발하고, 그 성능을 시뮬레이션 기법을 통하여 평가하고자 한다.

논문의 2장에서는 AS/RS 플랫폼 기반 자동창고의 구조와 운영에 대하여 설명하고, 3장에서는 고려하고 있는 적재시스템에서의 리마샬링 운영규칙을 케이스별로 대별하여 소개한다. 4장에서는 운영규칙에 따른 운영 성능을 평가하기 위하여 시뮬레이션을 실시한 바, 이들의 결과를 소개한다.

2. AS/RS 플랫폼 기반 컨테이너 장치장

창고의 구조는 Chen 등 (2003)과 Hu 등 (2005)이 제시한 그림 1과 같이 두 개의 랙으로 구성된 하나의 저장 모듈에는 랙마다 수직 방향으로 움직이는 한 대의 승강기(VP: Vertical Platform)와 각 층에서 통로를 수평 방향으로 움직이며, 양쪽 랙을 담당하는 대차(HP: Horizontal Platform)로 구성된다. VP는 층간을 움직이며 각 층의 HP와 물품을 교환하며, HP는 층내를 움직이며 저장셀에 물품을 저장하거나 끄집어낸다. I/O 지점은 랙의 하단에

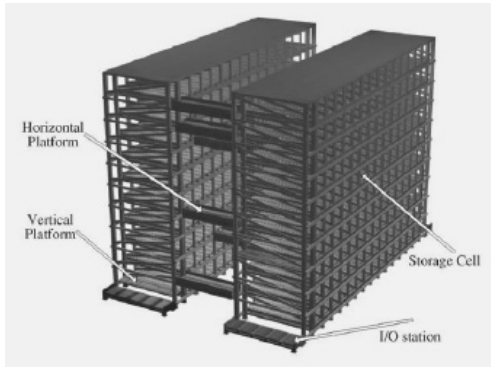


그림 1. AS/RS 플랫폼 기반의 자동창고

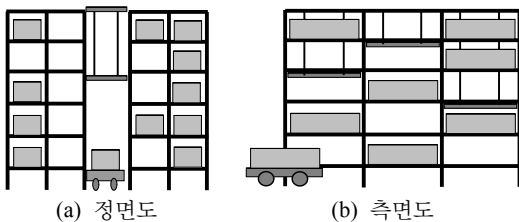


그림 2. 한국형 고단적 컨테이너 장치시스템

위치하며 VP와 물품을 교환한다. 각 층의 첫 번째 베이(베이 0)는 VP와 HP가 물품 교환 장소로 사용한다.

입고의 경우에 VP는 대기장소에서 I/O 지점으로 이동하여 물품을 받은 후, 입고시킬 해당 층으로 간다. 동시에 HP는 물품을 인도 받기 위하여 대기장소에서 베이 0로 이동한다. 다음으로 베이 0에서 VP가 HP에게 물품을 인도한다. 끝으로 VP는 대기장소로 이동하고, HP는 저장 셀로 이동하여 물품을 입고시킨 후 다시 대기장소로 되돌아 간다. 출고작업은 입고작업의 역순으로 진행된다.

부산 신선대 컨테이너터미널(PECT)에서 파일럿 시스템으로 시운전되었던 한국형 자동창고는 HSS(High Stack System)라고 불린다. 이는 그림 2와 같이 그림 1과는 반대로 양쪽 측 사이의 통로를 한 대 또는 두 대의 HP가 수평으로 움직이고, 여러 대의 VP가 한 대, 또는 두 대의 HP를 공유하며 수직으로 움직이는 형태이다. 그림 2는 5층 높이, 3개 베이, 통로로부터의 저장 깊이가 2인 구조에서 한 대의 HP를 운용할 때의 개념도를 보여주고 있다(최와 하(2005)의 그림을 재편집). 그림 2에서 통로로부터의 저장 깊이가 1이고, 두 대의 HP가 수평으로 움직이는 경우는 그림 1을 옆으로 누여 놓은 형태가 되기 때문에 하여 과정은 그림 1과 동일하다.

컨테이너 저장을 위한 자동창고는 여러 장점을 지닌다.

표 1. AS/RS 플랫폼 기반 자동창고들의 공통점과 차이점

연구자	창고 구조	공통점	차이점
Chen 등 (2003) Hu 등 (2005)	-랙당 1대의 VP -N대의 층별 HP	기기가 수평, 수직 방향으로 독립 이동	저장 깊이가 1로 재작업 발생 없음
최와하 (2005)	-N대의 베이별 VP -1대의 HP		저장 깊이가 1이상이므로 재작업 발생 가능

첫째 VP와 HP가 독립적으로 움직이므로 전통적인 자동창고 S/R기기가 다루지 못한 컨테이너와 같은 중량물을 다룰 수 있다. 둘째 다수의 HP들이 동시에 작업 가능하므로 단위 시간 당 물품 처리량이 많아지게 되어 생산성이 증가한다.

셋째, 전통적인 자동창고는 S/R기기가 고장이 나면 전체 저장 모듈의 작동이 정지되지만, AS/RS 플랫폼 기반의 자동창고는 한 대의 HP가 고장이 나더라도 해당 HP가 작동하는 구간에서만 영향을 받을 뿐, 다른 HP와 VP의 작동과는 무관하여 전체 저장 모듈의 작동에는 지장을 주지 않으므로 기기의 고장에 자유롭다.

최와 하(2005)에 의하면 관련 기술개발과 창고 운영측면에서 구현 가능한 베이 높이는 최대 20~30 단적, 통로로부터 저장 깊이는 최고 3의 깊이인 것으로 알려져 있다. HSS는 통로로부터 저장 깊이가 1보다 큰 경우도 고려하고 있으므로 경우에 따라서는 안쪽에 있는 컨테이너를 꺼내기 위해서는 통로 쪽의 셀에 있는 컨테이너를 다른 곳으로 옮겨야 하는 재작업이 발생할 수 있다. 표 1은 AS/RS 플랫폼 기반 자동창고 모형들의 공통점과 차이점에 대하여 정리한 것이다.

3. 리마살링을 위한 운영 로직

3.1 리마살링 작업의 목적

HSS의 저장 깊이가 1보다 큰 경우 통로로부터 안쪽의 컨테이너를 추출하기 위해서는 재취급이 불가피할 수 있다. 리마살링은 해측(seaside)으로 반출작업을 하기 전에 재취급으로 인한 반출작업 시간을 단축하기 위하여 반출 예정 컨테이너의 저장위치를 재배치하는 것을 말한다. 이러한 사전작업은 장치 층고를 낮추어 반출 작업을 하는 동안 승강기의 이동거리와 작업시간을 감소시키고, 반출 작업시 예상되는 재취급을 최소화함으로써 시간당 반출 생산성을 극대화하는 효과가 있다. HSS의 반출 능

력이 높아지면 선석에서의 선박 회전율이 높아지게 되는데, 이는 컨테이너터미널의 경쟁력과 직결되므로 중요한 관리지표이다.

지면상에 장치장을 운영하는 컨테이너 터미널에 대해 Kim and Bae(1998)는 리마살링에 대한 필요성과 효과를 제시하면서 수평 배치된 컨테이너 장치장에서의 작업순서와 장비배치를 다루었다. 배 외(2008)는 수직 배치형 자동화 컨테이너 터미널에서 리마살링의 추가적 작업시간과 해측 반출작업시간의 단축을 함께 고려하여 재배치 저장위치를 연구하였다.

창고에서 해측 반출작업은 적하가 수행되는 특정시간에 적하계획에 따라 집중적으로 이루어진다. 반면에, 육측(landside) 반출작업은 언제, 어떤 컨테이너가 처리되는지 예측할 수 없다. 따라서 육측 반출을 고려하여 리마살링 작업을 한다는 것은 큰 효과가 없고 해측 반출 작업을 원활하게 하기 위한 사전 작업이다. 적하계획에 의하여 적하될 컨테이너의 추출 순서를 미리 알 수 있으므로 리마살링은 이 정보를 바탕으로 해당 베이에서 어떠한 작업도 발생하지 않는 유휴시간에 이루어진다. 본 연구는 우리나라에서 실용화 측면에서 적극적으로 검토되고 있는 HSS를 대상으로 리마살링 운영규칙을 개발하였다.

3.2 리마살링 작업의 대안

본 연구는 리마살링의 효과를 분석하기 위하여 3가지의 대안을 수립하였다. 대안1은 리마살링 작업을 하지 않는 경우이다. 컨테이너 반입시 장치된 상태 그대로 지속되다가 반출되는 상황으로 타 대안들과 비교 평가하기 위한 목적으로 제시되었다. 다음은 리마살링을 하되 이적 회수와 시간을 최소화하는 관점에서 시행할 것이냐 또는 리마살링후 반출작업을 극대화하는 관점에서 시행할 것이냐에 의해 두 가지 대안으로 구별하였다. 대안2는 적하 대상이 아닌 컨테이너들은 현재 장치되어 있는 위치 그대로 둔 채, 추출 순서상 재취급이 발생되지 않도록 추출하고자 하는 컨테이너들을 고층에서 저층으로 컨테이너를 옮기는 것이다. 리마살링이 종료되면 1층부터 컨테이너들을 장치된 층까지는 빈 셀이 존재하지 않는다. 통로 안쪽에 추출 대상 컨테이너가 있고, 통로 쪽에 추출 대상이 아닌 컨테이너가 장치되어 있어서 통로 쪽의 컨테이너를 다른 곳으로 옮겨야 하는 재취급 작업이 필요한 경우를 제외하고는 추출 대상이 아닌 컨테이너를 옮길 필요가 없다. 따라서 비교적 이적작업 건수가 적고 소요 시간이 짧은 장점이 있다. 반면, 단점은 추출 대상 컨테이너만으로 1층부터 소요 공간만큼 채워나가는 대안 3 방식보다 추출 대

상 컨테이너들의 평균 장치 높이가 다소 높아진다.

대안3은 재취급이 발생되지 않도록 컨테이너 추출 순서를 고려하여, 적하계획상 고층에 장치되어 있는 반출 컨테이너들을 저층으로 옮기는 방법이다. 이때 반출하고자 하는 컨테이너 수만큼의 공간이 1층부터 위쪽 방향으로 반출 대상 컨테이너만으로 빈 셀이 없이 채워진다. 특징은 추출 대상 컨테이너들의 평균 장치 높이가 가장 낮은 반면, 1층부터 적하 대상의 컨테이너 수만큼의 공간을 확보하기 위해서는 반출대상이 아닌 컨테이너들을 다른 곳으로 옮겨야 하므로 많은 이적작업이 필요하다.

3.3 대상 자동창고의 구조 및 기호설명

본 절은 HSS의 저장 깊이가 2인 것으로 가정하고 대안 2와 대안 3의 운영 로직에 대하여 알아보하고자 한다. 기호에 대한 설명으로서 해측에서 HSS를 바라보며 대차가 진행되는 방향에서 바라보았을 때, 임의의 층에 컨테이너가 장치되어 있는 모양은 대차를 포함하여 그림 3(a)와 같다. 통로를 중심으로 저장셀이 좌우 대칭이므로 통로의 한 측면을 도식하면 그림 3(b)와 같다. 이는 저장셀이 좌우 대칭인 특성을 이용하면 그림 3(c)와 같이 나타낼 수 있다. 이하 상술되는 내용부터 대차 그림을 제거하여 저장셀에 장치된 컨테이너를 그림 3(d)와 같이 나타내고자 한다.

- ■ : 적하 대상이 아닌 컨테이너로 계속하여 장치될 요하는 컨테이너
- ◎ : 적하계획상 반출하고자 하는 컨테이너. 셀 내에 표시된 번호는 해당 층에서의 추출 순서를 나타낸다.

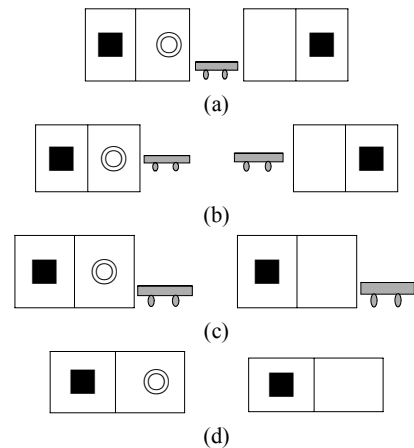


그림 3. HSS내 장치 셀 표시방법

번호가 작을수록 반출순서가 빠르다.

- 스토리지: 동일 베이, 동일 층에는 1, 2열에 각각 컨테이너를 장치할 수 있는 두 개의 셀이 있다. 이때 1, 2열 장치 셀을 하나로 묶어 통칭하는 저장 장소로 정의한다. 동일 베이, 동일 층에는 통로를 중심으로 좌우에 두 개의 스토리지가 있다.
- 1열 장치 셀: 동일 스토리지에서 통로 쪽에 위치하는 장치 셀
- 2열 장치 셀: 동일 스토리지에서 통로 안쪽에 위치하는 장치 셀

3.4 대안별 시뮬레이션 절차 및 운영 로직

가. 대안 2

1) 시뮬레이션 절차

(단계 0) 전처리 단계

- 0.1 블록 내의 모든 컨테이너들에 대하여 ‘반출 대상재 여부’와 ‘장치확정 여부’, ‘적하 순서’ 필드를 작성한다.
- 0.2 블록 내의 모든 컨테이너들을 대상으로 ‘적하 물량 비율’ 만큼 반출 대상재를 랜덤하게 발생시킨다.
- 0.3 블록에 있는 모든 컨테이너를 1층부터 빈 셀이 없도록 장치하였을 경우 최고층에 해당하는 층수를 구한다. 이 층을 MAX_STORAGE_LEVEL 이라 한다.
- 0.4 발생된 반출 대상재들에 대하여 ‘적하 순서’(반출 순서)를 임의로 부과하고, ‘장치확정 여부’ 필드를 ‘장치 미확정’으로 초기치 부여한다.

반출 대상재 여부는 “반출 대상재” 또는 “반출 대상재 아님”으로 구분되고 장치확정 여부는 반출 대상재에 한하여 “장치 확정” 또는 “장치 미확정”으로 구분된다. 적하 순서는 반출 대상재에 대하여 일련번호를 부여한다.

(단계 1) CASE 1에 해당되는 물량 처리

- 1.1 MAX_STORAGE_LEVEL 범위내의 CASE 1에 해당되는 반출 대상 컨테이너들의 ‘장치확정 여부’ 필드를 ‘장치 확정’으로 값을 변경한다.

(단계 2) 1층의 스토리지에서 고층으로 진행하면서 스토리지별로 하나씩 알고리즘을 수행하되, 컨테이너가 저장된 최상층의 스토리지까지 진행한다.

- 2.1 반출 대상 컨테이너들의 ‘장치확정 여부’ 필드가 ‘장치 미확정’의 값을 갖는 하나의 스토리지를 대상으로 다음의 4가지 CASE를 조사하여 해당되는 CASE에 속한 알고리즘을 수행한다.

(단계 3) 1층의 스토리지부터 MAX_STORAGE_LEVEL

까지 빈 셀이 없을 때 까지 단계2 과정을 반복한다. (단계 4) 평가항목별로 통계량을 수집한다.

2) 컨테이너 장치 형태 및 CASE별 로직

CASE 1. 그림 4처럼 리마살링을 필요로 하지 않는 형태로 컨테이너들이 장치된 경우이다. 적하 대상이 아닌 컨테이너들이 셀을 점유하고 있거나, 적하 대상인 컨테이너라 하더라도 통로 쪽에서 컨테이너를 추출할 때 재취급 작업을 필요로 하지 않으므로 리마살링이 필요 없다.

CASE 2. 그림 5와 같이 임의의 적하 대상 컨테이너로 빈 셀을 채울 수 있는 경우이다.

CASE 2는 통로 쪽 셀이 비어 있으므로 임의의 적하 대상 컨테이너를 장치할 수 있다. 승강기가 위치하고 있는 위치로부터 위쪽 방향으로 ‘장치확정 여부’ 필드가 ‘장치 미확정’인 반출대상 컨테이너 중 다음 우선순위로 빈 셀에 장치할 컨테이너를 찾아 빈 셀에 장치하고, ‘장치확정 여부’ 필드를 ‘장치 확정’으로 한다.

- 1 순위: MAX_STORAGE_LEVEL 범위 내 탐색 대상 스토리지의 두 셀 모두 반출 대상재이고, 2열의 컨테이너가 1열의 컨테이너 보다 ‘적하 순서’가 빠른 컨테이너 가운데 1열에 장치되어 있는 컨테이너 중 ‘적하 순서’가 가장 늦은(즉, 반출이 가장 늦은) 컨테이너를 선택한다. 그 이유는 1열에 있는 ‘적하 순서’가 가장 늦은 컨테이너를 먼저 제거하여, 2열의 ‘적하 순서’가 빠른 컨테이너를 즉시 추출할 수 있도록 하기 위함이다.
- 2 순위: MAX_STORAGE_LEVEL 범위 밖에서 재취급 작업 없이 즉시 반출할 수 있는 것 가운데 ‘적하 순서’가 가장 빠른 컨테이너
- 3 순위: MAX_STORAGE_LEVEL 범위 내 1열이 비어있고, 2열에 반출 대상 컨테이너가 있는 스토리지를 탐색한다. 이들 중 ‘적하 순서’가 가장 빠른(즉, 반출이 가장 빠른) 컨테이너를 선택한다. 그 이유는

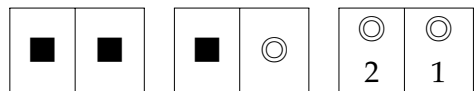


그림 4. 대안 2에서 CASE 1의 장치형태

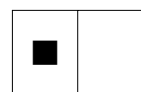


그림 5. 대안 2에서 CASE 2의 장치형태

‘적하 순서’가 빠른 컨테이너가 2열에 장치되고, ‘적하 순서’가 느린 컨테이너가 1열에 장치될 가능성을 줄이기 위함이다.

CASE 3. 그림 6과 같이 이적 작업이 수반되지 않으나, 적절한 컨테이너를 탐색하여 장치하여야 하는 경우이다.

CASE 3인 경우라면 반출시 재취급이 발생되지 않도록 적절한 적하 대상 컨테이너를 탐색하여 장치하여야 한다. 진행 순서는 1) 그림 B의 모습을 그림 A의 모습으로 만들고, 2) 그림 A에서 1열을 채우는 순서이다. 먼저, 그림 B를 그림 A로 만드는 과정은 ‘장치확정 여부’ 필드가 ‘장치 미확정’인 컨테이너 가운데 다음 우선순위에 의거하여 탐색한 후, 그림 B의 2열에 장치하고, ‘장치확정 여부’ 필드를 ‘장치 확정’으로 한다.

- 1 순위: MAX_STORAGE_LEVEL 범위내 탐색 대상 스토리지의 두 셀 모두 반출 대상재로서 2열의 컨테이너가 1열의 컨테이너 보다 ‘적하 순서’가 빠른 컨테이너 가운데 1열에 장치되어 있는 컨테이너 중 ‘적하 순서’가 가장 느린 컨테이너
- 2 순위: MAX_STORAGE_LEVEL 범위 밖에서 재취급 작업 없이 즉시 반출할 수 있는 것 가운데 ‘적하 순서’가 가장 느린 컨테이너

다음으로 그림 A에서 1열 채우기 작업은 ‘장치확정 여부’ 필드가 ‘장치 미확정’인 컨테이너 가운데 다음 우선순위에 의거하여 탐색한 후, 그림 A의 1열에 장치하고 ‘장치확정 여부’ 필드를 ‘장치 확정’으로 한다.

- 1 순위: MAX_STORAGE_LEVEL 범위내 탐색 대상 스토리지의 두 셀 모두 반출 대상재로서 2열의 컨테이너가 1열의 컨테이너 보다 ‘적하 순서’가 빠른 컨테이너 탐색한다. 이들 중 1열의 컨테이너 ‘적하 순서’가 그림 A의 2열에 장치된 것보다 ‘적하 순서’가 빠른 것 가운데 가장 느린 것 선택한다.
- 2 순위: MAX_STORAGE_LEVEL 범위내 1열이 비어있고, 2열에 반출 대상 컨테이너를 탐색한다. 이들 중 그림 A의 2열에 장치된 것보다 ‘적하 순서’가 빠른 것 가운데 가장 빠른 것 선택한다.
- 3 순위: MAX_STORAGE_LEVEL 범위 밖에서 재

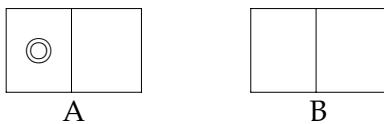


그림 6. 대안 2에서 CASE 3의 장치형태

취급 작업 없이 즉시 반출할 수 있는 것 가운데 그림 A의 2열에 장치된 것보다 ‘적하 순서’가 빠른 것 중 가장 느린 것 선택한다.

위 과정 중 CASE 3.A에 해당하는 스토리지가 여러 개 존재할 때의 스토리지 선정은 2열의 컨테이너 ‘적하 순서’가 가장 빠른 컨테이너부터 시행한다. CASE 3.A에 해당하는 스토리지가 채워지지 않으면, 이를 이적하여야 한다. 2열의 컨테이너를 추출하여 CASE 2의 1열을 채운다.

CASE 4. 그림 7과 같이 리마살링 작업시 이적 작업이 수반되는 경우이다.

CASE 4에서는 반출 전, 그림 A, B의 1열에 있는 컨테이너(재취급 대상)를 다른 위치로 이적 하여야 한다. 따라서 재취급 대상재가 옮겨가야 할 위치를 먼저 결정하여 탐색된 위치로 옮기고 나면, 재취급 대상재가 있던 빈 자리에 장치하여야 할 컨테이너의 결정 문제는 CASE 3 문제로 귀결된다. 그림 A에서 재취급 대상재가 옮겨가야 할 위치의 결정은 다음 우선순위에 따른다.

- 1 순위: MAX_STORAGE_LEVEL 범위 내에서 두 셀이 모두 비어 있는 스토리지를 찾아 2열에 장치한다.
- 2 순위: MAX_STORAGE_LEVEL 범위 내에서 2열에 반출 대상이 아닌 컨테이너가 장치되어 있는 스토리지를 찾아 1열에 장치한다.
- 3 순위: MAX_STORAGE_LEVEL 범위 밖에서 두 셀이 모두 비어 있는 스토리지를 찾아 2열에 장치한다.
- 4 순위: MAX_STORAGE_LEVEL 범위 밖에서 2열에 반출 대상이 아닌 컨테이너가 장치되어 있는 스토리지를 찾아 1열에 장치한다.

그림 B에서 재취급 대상재가 옮겨가야 할 위치 결정은 다음 우선순위에 따른다.

- 1 순위: MAX_STORAGE_LEVEL 범위 내 2열에 반출 대상재이고, 적하 순서가 재취급 대상재보다 느린 컨테이너가 장치되어 있는 스토리지를 찾아 1열에 장치한다.
- 2 순위: MAX_STORAGE_LEVEL 범위 내 2열에 반출 대상이 아닌 컨테이너가 장치되어 있는 스토리지를 찾아 1열에 장치한다.

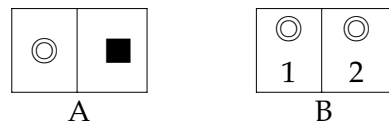


그림 7. 대안 2에서 CASE 4의 장치형태

- 3 순위: MAX_STORAGE_LEVEL 범위 내에서 두 셀이 모두 비어 있는 스토리지를 찾아 2열에 장치한다.
- 4 순위: MAX_STORAGE_LEVEL 범위 밖에서 2열에 반출 대상이 아닌 컨테이너가 장치되어 있는 스토리지를 찾아 1열에 장치한다.
- 5 순위: MAX_STORAGE_LEVEL 범위 밖에서 두 셀이 모두 비어 있는 스토리지를 찾아 2열에 장치한다.

나. 대안 3

1) 시뮬레이션 절차

(단계 0) 전처리 단계

- 0.1 블록내의 모든 컨테이너들에 대하여 ‘반출 대상재 여부’와 ‘장치확정 여부’, ‘적하 순서’ 필드를 만든다.
- 0.2 블록내의 모든 컨테이너들을 대상으로 ‘적하 물량 비율’ 만큼 반출 대상재를 랜덤하게 발생시킨다.
- 0.3 블록에 있는 반출 대상 컨테이너만으로 1층부터 빈 셀이 없도록 장치하였을 때, 최고층에 해당하는 층수를 구하고 이를 MAX_OUTBOUND_LEVEL 이라 한다. 또한, 모든 컨테이너가 장치된 상태에서의 최고층을 MAX_LEVEL이라 한다.
- 0.4 발생된 반출 대상재들에 대하여 ‘적하 순서’를 임의로 부과하고, ‘장치확정 여부’ 필드를 ‘장치 미확정’으로 초기치 부여한다.

(단계 1) CASE 1에 해당되는 물량 처리

- 1.1 MAX_OUTBOUND_LEVEL 범위내의 CASE 1에 해당되는 반출 대상 컨테이너들의 ‘장치확정 여부’ 필드를 ‘장치 확정’으로 값을 변경한다.

(단계 2) 저층의 스토리지부터 시작(1층부터 시작)하여 MAX_LEVEL 스토리지까지 고층으로 진행하면서 스토리지별로 하나씩 알고리즘을 수행한다.

- 2.1 하나의 스토리지를 대상으로 다음의 4가지 CASE를 조사하여 해당되는 CASE에 속한 알고리즘을 수행한다.

(단계 3) 1층의 스토리지부터 MAX_OUTBOUND_LEVEL 까지 반출 대상재만으로 셀들을 채울 때 까지 단계2 과정을 반복한다.

(단계 4) 평가항목별로 통계량을 수집한다.

2) 컨테이너 장치 형태 및 CASE별 로직

1층부터 MAX_OUTBOUND_LEVEL까지 스토리지 단위로 조사하여 컨테이너를 추출할 때, 재취급을 필요로 하지 않는 경우를 제외하고는 리마살링 작업이 필요하다.

CASE 1. 리마살링을 필요로 하지 않는 경우로써 그림 8과 같이 컨테이너를 추출할 때 재취급 작업이 필요 없으므로 리마살링 작업을필요로 하지 않는다.

CASE 2. 이적 작업이 수반되지 않으나, 적절한 컨테이너를 탐색하여 장치하여야 하는 경우로 그림 9와 같은 장치형태이다.

이 경우는 반출시 재취급이 발생되지 않도록 적절한 적하 대상 컨테이너를 탐색하여 장치하여야 한다. 먼저, 그림 B의 모습을 그림 A의 모습으로 만들고, 그림 A에서 1열을 채우는 순서로 진행된다. 그림 B를 그림 A로 만드는 과정은 ‘장치확정 여부’ 필드가 ‘장치 미확정’인 컨테이너 가운데 다음 우선순위에 의거하여 탐색하여 추출한 후, 그림 B의 2열에 장치하고, ‘장치확정 여부’ 필드를 ‘장치 확정’으로 한다.

- 1, 2 순위: MAX_OUTBOUND_LEVEL(1순위) 및 MAX_LEVEL(2순위) 범위내 탐색 대상 스토리지의 두 셀 모두 반출 대상재로서 2열의 컨테이너가 1열의 컨테이너 보다 ‘적하 순서’가 빠른 컨테이너 가운데 1열에 장치되어 있는 컨테이너 중 ‘적하 순서’가 가장 늦은 컨테이너
- 3, 4 순위: MAX_OUTBOUND_LEVEL(3순위) 및 MAX_LEVEL(4순위) 범위 내에서 재취급 없이 즉시 반출할 수 있는 것 가운데 ‘적하 순서’가 가장 늦은 컨테이너

다음으로 그림 A에서 1열 채우기 작업은 ‘장치확정 여부’ 필드가 ‘장치 미확정’인 컨테이너 가운데 다음 우선순위에 의거하여 탐색하여 추출한 후, 그림 A의 1열에 장치하고, ‘장치확정 여부’ 필드를 ‘장치 확정’으로 한다.

- 1, 2 순위: MAX_OUTBOUND_LEVEL(1순위) 및 MAX_LEVEL(2순위) 범위내 탐색 대상 스토리지의 두 셀 모두 반출 대상재로서 2열의 컨테이너가 1열의 컨테이너 보다 ‘적하 순서’가 빠른 컨테이너 탐색

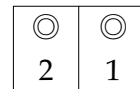


그림 8. 대안 3에서 CASE 1의 장치형태

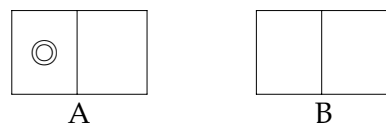


그림 9. 대안 3에서 CASE 2의 장치형태

한다. 이들 중 그림 A의 2열에 장치된 것보다 ‘적하 순서’가 빠른 것 가운데 가장 늦은 것 선택한다.

- 3, 4 순위: MAX_OUTBOUND_LEVEL(3순위) 및 MAX_LEVEL(4순위) 범위내 1열이 비어있고, 2열에 반출 대상 컨테이너를 탐색한다. 이들 중 그림 A의 2열에 장치된 것보다 ‘적하 순서’가 빠른 것 가운데 가장 빠른 것 선택한다.
- 5, 6 순위: MAX_OUTBOUND_LEVEL(5순위) 및 MAX_LEVEL(6순위) 범위 내에서 재취급 작업 없이 즉시 반출할 수 있는 것 가운데 그림 A의 2열에 장치된 것보다 ‘적하 순서’가 빠른 것 중 가장 늦은 것 선택한다.

CASE 3. 리마살링 작업시 한 번의 이적 작업이 필요한 경우로써 그림 10과 같이 3가지 형태가 있다.

이 경우는 그림 A에서는 2열에 있는 컨테이너(재취급 대상)를, 그림 B, C에서는 1열에 있는 컨테이너를 다른 위치로 이적 하여야 한다. 따라서 재취급 대상재가 옮겨 가야 할 위치를 먼저 탐색하여 결정된 위치로 옮기고 나면, 재취급 대상재가 있던 빈 자리에 장치하여야 할 컨테이너를 결정하는 문제는 CASE 2 문제로 귀결된다. 그림 A, B에서 재취급 대상재가 옮겨가야 할 위치의 결정은 다음 우선순위에 따른다.

- 1 순위: MAX_OUTBOUND_LEVEL 범위 밖에서 두 셀이 모두 비어 있는 스토리지를 찾아 2열에 장치한다. 같은 조건이면, 이적 시작지점에서 가까운 층을 선택한다.
- 2 순위: MAX_OUTBOUND_LEVEL 범위 밖에서 2열에 반출 대상이 아닌 컨테이너가 장치되어 있는 스토리지를 찾아 1열에 장치되되, 장치율에 따른 장치 방법을 준수한다(2차년도 보고서 참조). 같은 조건이면, 이적 시작지점에서 가까운 층을 선택한다.
- 3 순위: MAX_OUTBOUND_LEVEL 범위 내에서 2열에 반출 대상이 아닌 컨테이너가 장치되어 있는 스토리지를 찾아 1열에 장치한다. 3 순위가 필요한 이유는 MAX_OUTBOUND_LEVEL 범위 밖에서 재취급 대상재가 옮겨가야 할 위치가 없을 경우, 임

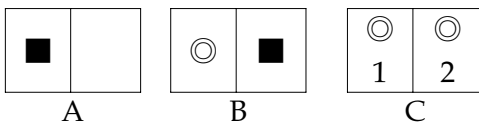


그림 10. 대안 3에서 CASE 3의 장치형태

시로 MAX_OUTBOUND_LEVEL 범위 내에서 2열에 재취급 대상재를 옮긴 다음, 다음 순서에서 이를 해결하기 위함이다.

그림 C에서 재취급 대상재가 옮겨가야 할 위치의 결정은 다음 우선순위에 따른다.

- 1 순위: MAX_OUTBOUND_LEVEL 범위 내에서 두 셀이 모두 비어 있는 스토리지를 찾아 2열에 장치한다.
- 2 순위: MAX_OUTBOUND_LEVEL 범위 내 2열에 반출 대상재가 있고, 그것의 ‘적하 순서’가 재취급 대상재보다 늦은 컨테이너가 장치되어 있는 스토리지를 찾아 1열에 장치한다.
- 3 순위: MAX_OUTBOUND_LEVEL 범위 밖에서 2열에 반출 대상이 아닌 컨테이너가 장치되어 있는 스토리지를 찾아 1열에 장치한다.
- 4 순위: MAX_OUTBOUND_LEVEL 범위 밖에서 2열에 반출 대상인 컨테이너가 장치되어 있는 스토리지를 찾아 1열에 장치한다.
- 5 순위: MAX_OUTBOUND_LEVEL 범위 밖에서 두 셀이 모두 비어 있는 스토리지를 찾아 2열에 장치한다.

CASE 4. 리마살링 작업시 두 번의 이적 작업이 필요한 경우로 그림 11과 같은 2가지의 장치형태이다.

그림 A에서는 2열에 있는 컨테이너를 MAX_OUTBOUND_LEVEL 밖으로 이적시켜야 하므로 1, 2열에 있는 컨테이너 모두가 이적 대상이 된다. 1열에 있는 재취급 대상재에 대하여 MAX_OUTBOUND_LEVEL 내에서 이적할 장소를 찾아 이적을 시키고 나면, 2열에 있는 컨테이너의 장치 모습이 CASE 3의 그림 A 모습과 동일해지므로 CASE 3의 그림 A 상황을 적용한다. 그림 B를 보면 1, 2열에 있는 컨테이너를 모두 옮겨야 하므로 이들 재취급 대상재 모두를 MAX_OUTBOUND_LEVEL 밖으로 이적시킨 후, 비어 있는 두 셀에 반출 대상재를 장치시키는 CASE 2의 그림 B상황을 적용한다.

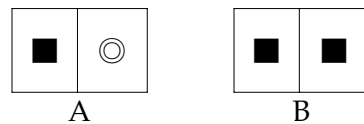


그림 11. 대안 3에서 CASE 4의 장치형태

4. 운영로직 평가를 위한 시뮬레이션

본 장에서는 몇 가지 평가지표를 기준으로 대안별 운영로직의 성능을 평가하기 위하여 실시한 시뮬레이션에 대하여 살펴보고자 한다.

4.1 시뮬레이션 대상물 및 평가지표의 구성

가. 시뮬레이션 대상 HSS의 구조

- 층수 : 20층
- 열수 : 4열(좌우 2열)
- 베이수 : 6베이. 20피트와 40피트 컨테이너가 교대로 겹치는 형태
- 레인수 : 2레인. 각 레인별로 한 대의 대차가 수평으로 움직임
- 승강기수 : 각 베이별로 1기 장착
- 운영요소로서의 최대 장치율 : 85%

나. 평가지표의 구성

본 연구에서는 리마샬링 방법을 평가하기 위한 지표로서 표 2의 항목들을 적용하였다. 이들 평가지표는 현장의 의견을 반영하여 작성된 것이며, 크게 두 가지로 리마샬링 작업과 직접적으로 관련되는 것들과 리마샬링 작업 전, 후의 효과를 비교할 수 있는 지표들로 구성되어있다.

다. 시뮬레이션 관련 데이터

시뮬레이션에서 적용한 자동창고의 구조물 사양(랙 구조물의 사이즈)과 물류기기에 관한 사양(승강기의 수직 이동 속도, 대차의 수평 이동 속도, 승강기와 대차의 loading/unloading 시간, 기기간 이동에 필요한 시간)은 관련 제작

업체에서 제공한 제작사양을 바탕으로 적용하였다. 이들 데이터들은 상수값으로 주어졌다. 시뮬레이션 모형에 포함된 확률적인 요소는 반출 대상재의 생성과 적하순서의 생성이다. 20피트와 40피트 컨테이너의 구성비율은 50:50으로 발생하는 것으로 가정하였다.

라. 시뮬레이션을 위한 전제조건

- 반출 작업은 HSS에의 입고가 최대 장치율에 이를 때 까지 진행되고 난 후 시작된다고 가정한다. 실제 현장에서는 반출 작업이 그 이하의 장치율에서도 이루어 질 수 있겠지만, 최대 장치율하에서의 리마샬링 작업은 보다 엄격한 조건이므로 가혹한 조건에서의 지표 평가가 보다 의미가 있기 때문이다.
- 선박에 대한 선적계획에 의하여 적하될 컨테이너의 추출 순서는 미리 결정된다. 이에따라 HSS에서의 출고 순서도 동시에 정하여 진다.

4.2 시뮬레이션 결과 및 평가지표의 해석

시뮬레이션의 실행은 통계적으로도 충분히 의미가 있도록 10회 반복 실시하였다. 그러나 물류기기에 관한 사양은 상수이고, 반출 대상재의 생성과 적하순서의 생성만이 확률적인 요소이다 보니 10회 반복에 의한 평가치들의 분산은 그다지 크지 않아 여기서는 평균치만 언급하고자 한다. 한정된 공간 내에서의 처리 물량이 많고 적음에 따라 로직의 성능에 큰 차이를 보일 수 있으므로 본 시뮬레이션에서는 적하율을 주요 변수로 두고 적하율에 따른 민감도를 분석하였다. 적하율은 장치되어 있는 물량 가운데 반출시키려는 물량의 비율로서 적하율이 높을수록 리마샬링 작업량은 많아진다.

표 2. 성능평가를 위한 평가지표

평가 항목	설 명
리마샬링 소요 시간	리마샬링 작업을 시작하여 종료하는 데 까지 소요되는 시간
이적 작업 소요 건 수	반출 작업에 장애가 되는 컨테이너를 다른 장소로 옮겨야 하는 이적 작업수
이적 작업 수행 건 수	2열에 위치한 컨테이너의 추출이 1열의 컨테이너로 인해 장애가 될 경우, 1열의 것을 이적한 후 2열의 것을 다른 장소로 옮겨야하므로 실제 이적 건 수는 소요 건 수보다 많거나 같다.
반출물량의 반출소요 시간	한 블록에서 타 작업(해측 입고, 육측 입고, 육측 출고)없이 해측 반출만 시행하였을 때, 해당 베이에서 반출 대상재 전량을 저장층에서 1층까지만 운반하는 데 소요되는 승강기 운행시간
반출 대상재들의 평균 높이(전)	리마샬링 전(前) 반출 대상재들의 평균 높이. 이는 적재 높이의 변화를 측정하기 위함이다.
반출 대상재들의 평균 높이(후)	리마샬링 후(後) 반출 대상재들의 평균 높이
비반출 대상재들의 평균 높이(전)	리마샬링 전 비반출 대상재들의 평균 높이
비반출 대상재들의 평균 높이(후)	리마샬링 후 비반출 대상재들의 평균 높이

그림 12에서 이적작업 소요 건 수는 당연한 결과로 1안<2안<3안 순으로 나타났다. 적하율이 커짐에 따라 반출 대상재가 많아지므로 이적작업 소요 건 수는 증가하나, 적하율 80%에서 3안의 경우에는 오히려 감소한다. 이러한 이유는 장치율 85%에서 적하율이 80%이면, $85\% \times 80\% = 68\%$, 즉 최대 68%의 물량은 현재 장치된 위치에 그대로 장치될 수 있으므로 적하율이 커지더라도 이적작업 소요 건 수는 감소할 수 있기 때문이다. 2안과 3안의 이적작업 소요 건 수를 비교하여 보면 3안이 적어도 1.7배(적하율 80%)에서 3.5배(적하율 20%) 정도 많음을 알 수 있다.

이적작업 수행 건 수는 앞서 설명한 바와 같이 소요 건 수보다 많으며, 이적작업 소요 건 수의 경우와 마찬가지로 그림 13과 같이 1안<2안<3안의 순서로 나타났다. 이적작업 수행 건 수 역시 적하율이 커짐에 따라 증가하나, 적하율 80%에서 3안의 경우에는 오히려 감소하는 현상을 보이고 있다. 2안과 3안의 이적작업 수행 건 수를 비교하여 보면 3안이 적어도 1.6배(적하율 80%)에서 2.3(적하율 20%)배 정도 많음을 알 수 있다.

그림 14는 6개 베이 전체에 대한 리마샬링 소요시간으로 리마샬링 소요시간은 2안<3안으로 이적작업 수행 건

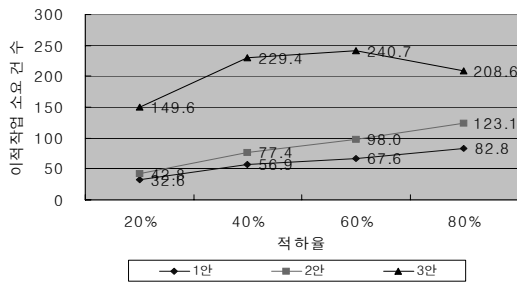


그림 12. 대안별 적하율 변화에 따른 이적작업 소요 건 수

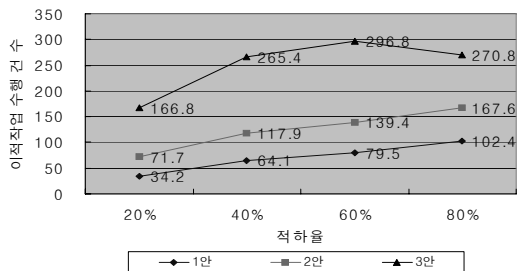


그림 13. 대안별 적하율 변화에 따른 이적작업 수행 건 수

수와 그 경향이 같다. 2안과 3안의 리마샬링 소요시간을 비교하여 보면 3안이 적어도 1.8배(적하율 80%)에서 2.4배(적하율 20%, 40%) 정도 많음을 알 수 있다. 단일 베이에서의 평균 리마샬링 소요시간은 2안의 경우 적하율이 80%일 때 61.7 분으로 최장 약 한 시간 정도 소요되며, 3안의 경우에는 적하율이 60%일 때 123.1 분으로 최장 약 두 시간 정도 소요된다.

한 블록에서 타 작업(해측 입고, 육측 입고, 육측 출고) 없이 해측 반출만 시행하였을 때, 해당 베이에서 반출 대상재 전량을 저장층에서 1층까지만 운반하는 데 소요되는 승강기 운행시간인 반출 소요시간은 그림 15와 같다. 예상한 바와 같이 3안<2안<1안 순으로 1안이 가장 많은 것으로 나타났다.

단일 베이에서의 평균 반출 소요시간은 표 3과 같다. 각 대안별 반출 소요시간의 비는 적하율이 증가할수록 줄어든다.

즉, 리마샬링 시간을 투자하여 반출 소요시간을 감소시키는 효과가 줄어든다는 의미이다. 리마샬링 시간을 투자 개념으로 보고 반출 시간을 성과 개념으로 보아, 투자 대 성과를 살펴보기 위하여 리마샬링 시간이 있는 대안 2와 대안 3을 비교하면 다음 표와 같다.

표 4를 보면 2안 대비 3안의 리마샬링 시간 증가율에 비하여 반출 시간의 감소율이 현저히 적음을 알 수 있다.

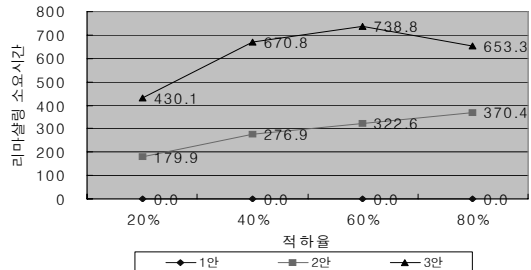


그림 14. 대안별 적하율 변화에 따른 리마샬링 소요시간

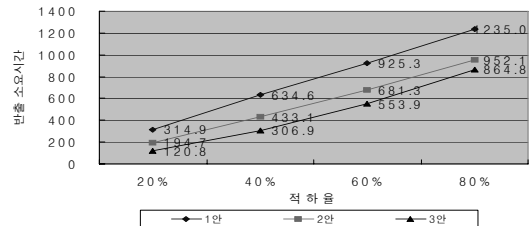


그림 15. 대안별 적하율 변화에 따른 반출 소요시간

표 3. 베이당 반출 소요시간

적하율	시간(분)			비율(배)		
	1안	2안	3안	1안 /2안	1안 /3안	2안 /3안
20%	52.5	32.4	20.1	1.6	2.6	1.6
40%	105.8	72.2	51.1	1.5	2.1	1.4
60%	154.2	113.6	92.3	1.4	1.7	1.2

표 4. 베이당 반출 소요시간

리마살링 시간(분)		증가율	반출 시간(분)		감소율
2안	3안		2안	3안	
30	71.7	139%	32.4	20.1	38%
46.2	111.8	142%	72.2	51.1	29%
53.8	123.1	129%	113.6	92.3	19%
61.7	108.9	76%	158.7	144.1	9%

주: 증가(감소)율은 2안 대비 3안의 비율을 의미함

반출 대상재들의 평균 높이가 1개층 낮아질 경우 승강기의 상하 이동시간이 그 만큼 적어지기 때문에 단위시간당 반출 능력도 어느 정도 커질 수 있는 여지가 있다(엄밀히 말하면 반출 능력은 타 물류기기와의 상호 작용으로 나타나기 때문에 승강기 운행 시간 절감분만큼 향상되지 않을 수 있으나, 일정 부분 향상될 수 있다).

그림 16을 살펴보면 2안과 3안 모두 리마살링 작업 실시후의 반출 대상재 높이가 낮아짐을 볼 수 있다. 3안의 평균 높이가 2안과 비교하여 큰 차이가 나는 이유는 2안은 적하 대상이 아닌 컨테이너들은 현재 장치되어 있는 위치 그대로 둔 상태에서 추출 순서상 재취급이 발생되지 않도록 추출하고자 하는 컨테이너들을 고층에서 저층으로 컨테이너를 옮기고, 3안은 반출하고자 하는 컨테이너 수 만큼의 공간이 1층부터 위쪽 방향으로 반출 대상 컨테이너만으로 빈 셀이 없이 채워지기 때문이다. 이에 따라 3안의 경우에는 장치되어 있는 물량 가운데 적하하는 물량의 비율인 적하율이 낮을수록 타 대안과 비교하여 리마살링 작업 전, 후의 반출 대상재 높이에 현격한 차이를 보이고 있다.

비반출 대상재 평균 높이의 변화를 정리한 그림 17을 살펴보면 2안의 경우에는 적하율이 증가하여도 이들의 높이에 큰 변화가 없는 반면, 3안의 경우에는 적하율이 커지면 큰 폭으로 비반출 대상재 높이가 증가하고 있음을 볼 수 있다. 이러한 이유는 2안의 경우 비반출 대상재가 적하 대상재의 추출에 방해가 되지 않는 한 원래의 장치

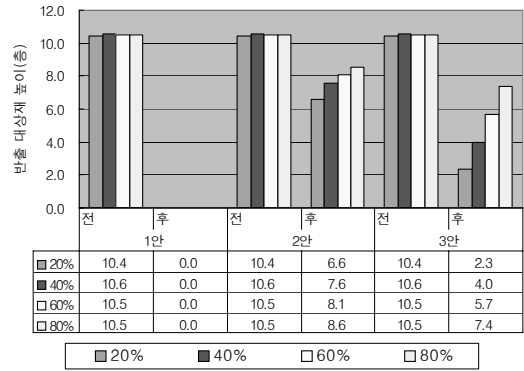


그림 16. 대안별 반출 대상재의 높이 변화

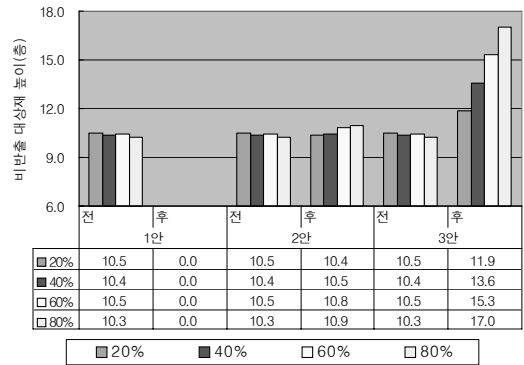


그림 17. 대안별 비반출 대상재의 높이 변화

위치에 그대로 존치시키며, 3안의 경우에는 저층에 있던 비반출재들이 모두 고층으로 이적되기 때문에 발생하는 현상이다.

4.3 리마살링 대안의 적용 방안

2안은 최대 장치율 85%에서 적하율에 따라 반출 시간이 3안에 비해 1.1 배에서 1.6배 정도 길지만, 최장 리마살링 시간이 약 한 시간 정도 짧다(2안은 약 한 시간, 3안은 약 두 시간). 두 가지 안 가운데 어느 한 가지 안이 일방적으로 우위를 갖는다고 볼 수 없다. 또한, 본 시뮬레이션은 6개 베이에 적하물량이 골고루 배분이 이루어진다는 가정하에서 진행되었지만, 실제 HSS의 운영은 수출이나 환적물량은 해측 베이에 장치하는 것이 유리하고, 수입 물량은 육측 베이에 장치하는 것이 유리하기 때문에 각 베이마다 적하율이 다르다. 따라서 리마살링 작업에 대한 실제 운영은 2안과 3안의 혼용 운영이 바람직하다고 볼

수 있다. 즉, 어느 한 쪽 베이에 육측 입고 및 출고가 빈발 하리라 예상되면 오랜 시간 동안 리마샬링 작업을 수행할 수 없으므로 2안의 로직을 적용한 리마샬링 방안이 적절하고, 육측 입고 및 출고가 적으면 3안의 로직을 적용하여 반출 속도를 높이는 방안이 적절하다는 것이다.

5. 결 론

최근 컨테이너 터미널에서의 자동창고에 대한 관심과 필요성이 꾸준히 제기되고 있고, 우리나라에서도 차세대 항만을 위한 고밀도 고단적 적재시스템의 파일럿 시스템을 건설, 동작 테스트를 하고 있는 바, 본 연구에서는 향후 개발될 자동창고를 대상으로 창고의 운영규칙을 개발하고 이들 운영규칙들에 대한 성능 평가를 실시하였다.

창고의 운영규칙 개발은 해측의 반출 작업을 원활하게 하기 위하여 유휴시간을 이용하여 적하순서에 맞추어 반출하기 쉽도록 저장된 컨테이너들을 재배치하는 과정인 리마샬링 작업에 초점을 맞추어 이루어졌다. 본 연구에서는 리마샬링을 어떻게 할 것이냐는 방법론으로서 2개의 대안을 제시하여 각 대안의 로직을 케이스별로 개발하였고, 개발된 로직의 성능을 평가하기 위하여 시뮬레이션을 실시하였다. 시뮬레이션 결과 두 대안은 각기 장단점을 가지고 있으며, 두 대안 가운데 어느 한 대안이 일방적인 우위를 갖기 보다는 작업 상황에 따라 두 대안을 적절하게 혼용하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 김창현, “중량물 적재를 위한 자동창고의 주기시간 평가”, 경영과학, 26(1), pp. 93-112, 2009년.
2. 배종욱, 박영만, 김갑환, “시간가치를 고려한 자동화 컨테이너 터미널의 수출 컨테이너 이적계획”, 한국경영과학회지, 33(2), pp. 75-86, 2008년.
3. 최상희, 하태영, “차세대항만 대응을 위한 고효율 야드시스템의 개발 연구”, 해양정책연구, 20(2), pp.81-126, 2005년.
4. Chen, C., Huang, S. Y., Hsu, W. J., Toh, A. C. and Loh, C. K., “Plaforms-based AS/RS for container storage”, Proceedings of the 2003 IEEE International Conference on Robotics & Automation, Taipei, Taiwan, pp. 181-187, 2003.
5. Gu, J., Goetschalckx, M. and McGinnis, L. F., “Research on warehouse design and performance evaluation: A comprehensive review”, Working Paper, Virtual Factory Laboratory, Georgia Institute of Technology, 2005.
6. Gu, J., Goetschalckx, M. and McGinnis, L. F., “Research on warehouse operation: A comprehensive review”, European Journal of Operational Research, Vol. 177, pp. 1-21, 2007.
7. Hu, Y. H., Huang, S. Y., Chen, C., Hsu, W. J., Toh, A. C., Loh, C. K. and Song, T., “Travel time analysis of a new automated storage and retrieval system”, Computers & Operations Research, Vol. 32, pp. 1515-1544, 2005.
8. Khoshnevis, B. and Asef-Vaziri, A., 3D Virtual and Physical Simulation of Automated Container Terminal and Analysis of Impact on In Land Transportation, Transportation Center, University of Southern California, 2000.
9. Kim, K. H. and Bae, J. W., “Re-marshalling Export Containers in Port Container Terminals”, Computers & Industrial Engineering, Vol. 35 No. 3-4. pp. 655-659, 1998.
10. Rouwenhort, B., Reuter, B., Stockrahm, V., van Houtum, G. J. and Mantel, R. J., “Warehouse design and control: Framework and literature review”, European Journal of Operational Research, Vol. 122, pp. 515-533, 2000.
11. van den Berg, J. P. and Zijm, W. H. M., “Models for warehouse management: Classification and examples”, International Journal of Production Economics, Vol. 59, pp. 519-528, 1999.



김 창 현 (chkim@chonnam.ac.kr)

1984 한양대학교 산업공학과 학사
1986 한국과학기술원 산업공학과 석사
1998 포항공과대학교 산업공학과 박사
2002~현재 전남대학교 부교수

관심분야 : 생산 및 물류시스템, 물류정보



최 상 희 (shchoi@kmi.re.kr)

1992 고려대학교 토목환경공학과 학사
2006 연세대학교 도시공학과 석사
2008 고려대학교 경영정보공학전문대학원 박사과정중
1995~현재 한국해양수산개발원 부연구위원

관심분야 : 시뮬레이션, 제품개발, 설계



서 정 훈 (seogo@paran.com)

1996 부산대학교 산업공학과 학사
1998 부산대학교 산업공학과 석사
2009~현재 (주)싸이버로지텍 수석

관심분야 : 시뮬레이션, 항만물류, 컨테이너터미널 시스템



배 중 옥 (jwbae@chonnam.ac.kr)

1993 부산대학교 산업공학과 학사
1995 부산대학교 산업공학과 석사
2001 부산대학교 산업공학과 공학박사
2002~현재 전남대학교 부교수

관심분야 : 항만물류, 항만하역시스템, 시뮬레이션