

컨테이너 터미널 장치장에서 블록 내 이적을 위한 컨테이너 이동 순서 계획

강재호* · 오명섭** · 류광렬*** · 김갑환****

*,**부산대학교 컴퓨터공학과 대학원, ***부산대학교 컴퓨터공학과 교수, ****부산대학교 산업공학과 교수

Sequencing Container Moves for Intra-Block Remarshalling in a Container Terminal Yard

Jaeho Kang* · Myung-Seob Oh** · Kwang Ryel Ryu*** · Kap Hwan Kim****

,*Department of Computer Engineering, Pusan National University, Busan 609-735, Korea

****Department of Industrial Engineering, Pusan National University, Busan 609-735, Korea

요 약 : 블록 내 이적이란 컨테이너를 선박에 싣는 적하 작업을 효율적으로 수행하기 위하여 하나의 장치장 블록 여기저기에 흩어져 있는 컨테이너들을 적하 순서에 맞춰 몇 개의 베이로 모으는 작업이다. 이적시 적하 순서를 고려하지 않고 단순히 컨테이너들을 모으기만 하면, 적하 작업 과정에서 보다 일찍 적하될 컨테이너를 반출하기 위하여 상단의 컨테이너들을 임시로 옮겨야 하는 재취급이 빈번히 발생할 수 있다. 이러한 재취급은 적하 작업의 효율을 저해하는 가장 중요한 요소 중의 하나이다. 본 논문에서는 휴리스틱을 이용하여 적하 작업 과정에서 재취급이 발생하지 않게 컨테이너들을 이적할 수 있는 컨테이너 이동 순서를 찾는 방안을 제안한다. 시뮬레이션을 통한 실험 결과 본 제안 방안이 다양한 환경에서 컨테이너 이동 순서를 실시간에 생성할 수 있음을 확인하였다.

핵심용어 : 컨테이너 터미널 장치장, 컨테이너 이동 순서 계획, 재취급 최소화

Abstract : Intra-block remarshalling is the task of rearranging into some target bays those containers which are scattered around within the block, so that the containers can be loaded onto the ship efficiently. However, if we rearrange the containers without considering the container loading sequence, excessive rehandling work will be required at the time of loading because the containers to be fetched are often stacked under other containers. Therefore, the remarshalling should be done by moving the relevant containers in an appropriate order. This paper presents an efficient heuristic search technique for finding an appropriate container moving order during remarshalling to avoid rehandling at the time of loading. Simulation experiments have shown that the proposed method can generate rehandling-free solutions in real time.

Key words : Container terminal yard, Intra-block remarshalling, Rehandling minimization

1. 서 론

컨테이너 터미널의 생산성은 선박에 컨테이너를 싣는 적하 작업과 선박에서 컨테이너를 내리는 양하 작업을 얼마나 효율적으로 수행하느냐에 따라 큰 영향을 받는다. 선박에서 내린 컨테이너들을 장치장의 예약된 여유 공간에 순서대로 장치하는 양하 작업과는 달리, 적하 작업은 적하할 컨테이너들의 목적항과 특성, 선박의 장치 공간의 크기와 위치, 선박의 안정성, 대상 컨테이너들의 장치장에서의 장치 위치 등을 함께 고려하여 계획한 적하 순서대로 장치장에서 컨테이너를 반출하므로 이들 대상 컨테이너들이 장치장의 어디에 위치하느냐에 따라 작업 효율의 차이가 클 수 있다.

이적이란 적하 작업이 수행되기 이전에 장치장의 여기저기에 흩어져 있는 컨테이너들을 한 곳으로 모으는 작업이다. 연이은 적하 순서를 가진 컨테이너들을 한 곳으로 모으게 되면 장치장 크레인은 주행하지 않고 제자리에서 많은 작업을 연속하여 처리할 수 있으므로 적하 작업의 효율은 증대된다. 블록(block) 내 이적은 이러한 컨테이너 이적 작업이 동일 블록 내에서 이루어지는 경우를 말한다. 하지만 이적 작업을 수행할 때 적하 순서를 고려하지 않고 단순히 컨테이너들을 한 곳으로 모으기만 한다면 적하 작업 수행 과정에서 먼저 적하할 컨테이너를 반출하기 위하여 상단의 컨테이너들을 임시로 옮겨야 하는 재취급이 빈번히 발생할 수 있다. 이러한 재취급은 적하 작업의 효율을 저해하는 가장 중요한 요소 중의 하나이

* 대표저자 : 강재호(정회원), jhkang@pusan.ac.kr 051)510-3645
** 정회원, oms1226@pusan.ac.kr 051)510-3645
*** 정회원, krryu@pusan.ac.kr 051)510-2453
**** 종신회원, kapkim@pusan.ac.kr 051)510-2419

다). 따라서 적하 작업의 효율을 극대화하기 위해서는 반출 과정에서 재취급이 발생하지 않도록 컨테이너들을 모아야 한다. 적하 순서를 고려하여 컨테이너들의 이동 순서를 적절히 계획한다면 이러한 재취급이 발생하지 않게 모을 수 있을 것이다.

본 논문에서는 적하 작업에서 재취급이 발생하지 않게 블록 내 컨테이너들을 모을 수 있는 휴리스틱을 제안한다. 본 제안 휴리스틱은 크게 두 단계로 이적 대상 컨테이너들의 이동 순서를 계획한다. 첫 번째 단계에서는 대상 컨테이너들의 장치 상태를 고려하여 반출시 재취급이 발생하지 않게 한 스택(stack)에 쌓을 수 있는 컨테이너들을 그룹으로 묶는다. 두 번째 단계에서는 생성된 컨테이너 그룹을 존중하면서 이적 작업에 소요되는 시간을 줄이는 방향으로 컨테이너 이동 순서를 생성한다. 수동 장치장의 베이 구조로 많이 활용되는 4단 6열과 자동화 장치장의 베이 구조로 많이 사용되는 6단 9열 구조를 대상으로 본 제안 방안을 실험한 결과 다양한 환경에서 재취급이 발생하지 않는 컨테이너 이동 순서 계획을 실시간에 수립할 수 있음을 확인하였다.

본 논문은 먼저 2장에서 관련 연구들을 소개하고, 3장에서는 컨테이너 이동 순서를 계획하는 휴리스틱 방안에 대하여 자세히 설명한다. 이어지는 4장에서는 제안한 방안을 이용한 실험 결과를 정리하여 분석하고, 마지막 5장에서 결론과 향후 연구 과제로 매듭을 짓는다.

2. 관련 연구

본 장에서는 먼저 장치장에서의 작업 흐름을 몇 단계로 나누어서 살펴보고, 각 단계별로 적하 작업의 효율을 개선하기 위한 관련 연구들을 소개한다.

Fig. 1은 선박에 적하할 컨테이너의 이동 흐름을 간략하게 도식화하여 보여 주고 있다. 적하할 컨테이너들은 선박이 입항하기 일정 시점 이전까지 터미널 외부에서 반입되어 사전에 계획된 장치장의 공간에 장치된다¹⁾. 일반적으로 수동 장치장의 공간 할당은 적하 작업의 효율을 위하여 동일한 목적항과 규격을 가진 컨테이너들을 가능한 모을 수 있도록 계획된다. 이는 선박이 이후에 방문할 터미널에서 효율적으로 작업하기 위하여 같은 목적항과 규격을 가진 컨테이너들을 선박 내에서 가능한 동일한 선박 베이에 연이어 장치하고자 하기 때문이다. 적하 계획을 수립하는 전문가가 컨테이너 반입이 완료되면 장치장에서의 장치 상태와 선박의 안정성 등을 고려하여 적하 순서 즉, 장치장에서의 컨테이너 반출 순서를 결정한다. 해당 선박이 입항하여 적하 작업이 시작되면 장치장은 사전에

계획된 순서대로 컨테이너를 반출한다.

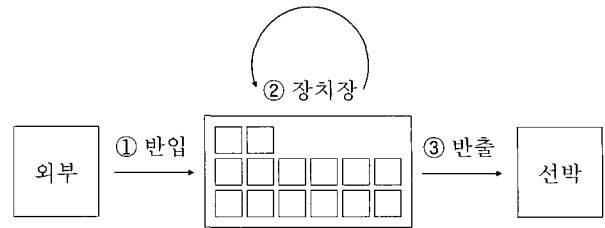


Fig. 1 A brief work flow of outbound containers in a container terminal yard

이와 같은 작업 흐름상에서 ③의 적하를 위한 반출 단계에서 발생할 수 있는 장치장 크레인의 빈번한 이동과 재취급은 적하 작업의 효율에 큰 영향을 미치게 된다. 하지만 이 단계에서는 반출을 아무리 효율적으로 처리한다고 하더라도, 이미 적하 작업을 수행하고 있는 상황이기 때문에 적하 작업 수행 시간을 단축하는 것은 그 한계가 있다. 따라서 적하를 위한 반출 이전 단계인 ① 반입 단계와 ② 장치장에서의 유휴 시간을 효율적으로 활용하여 이후의 적하 작업을 보다 효율적으로 수행할 수 있는 방안이 요구되는 것이다.

①의 반입 단계는 적하 계획에서 동일 선박 베이에 실릴 가능성이 높은 컨테이너들을 가능한 같은 장치장 베이 또는 인접한 장치장 베이에 위치시키는 동시에, 적하 순서를 결정하는데 중요하게 고려되는 컨테이너 무게 정보를 활용하여 장치 위치를 결정하는 방식으로 접근한다. 외부에서 반입되는 컨테이너는 어느 선박에 실려 어느 목적항으로 갈지 정보가 주어지는 경우가 많으므로 이를 장치장 공간 계획에 반영하여 사전에 대략적인 장치 위치를 결정할 수 있다. 효과적인 장치장 공간 계획은 적하 작업 시 장치장 크레인의 불필요한 이동을 줄일 수 있다.

적하 계획은 선박의 안정성을 위하여 무거운 컨테이너들이 선박의 바닥 쪽에 배치되도록 수립되며, 바닥 쪽부터 컨테이너들을 쌓아가므로 무거운 컨테이너가 우선적으로 장치장에서 반출되게 된다. 따라서 반입되는 컨테이너의 무게를 고려하여 장치장내 장치 위치를 결정한다면, 적하 작업을 위한 반출 과정에서 발생하는 재취급을 효과적으로 줄일 수 있다. 특히, 이러한 접근 방안들은 추가의 비용이 거의 발생하지 않기 때문에 매우 효율적인 접근 방법이라 할 수 있다. 반입 컨테이너의 장치 위치를 결정하는 주요 기존 연구들은 다음과 같다.

(Kim et al., 2000)은 수출 컨테이너를 대상으로 재취급을 최소화하기 위하여 반입 시 장치 위치를 결정하는 문제를 다루었다. 이 연구는 가벼움, 보통 그리고 무거움의 세 단계로

1) (류영욱, 1998)의 연구에 따르면, 4단 6열 베이(bay) 구조를 가진 장치장에서 재취급 없이 하나의 컨테이너를 반출하는데 평균 87.9초의 시간이 소요되며, 한 번의 재취급을 수행하는 데는 평균 74.2초의 시간이 필요하였다. 이는 재취급을 한 번 수행하는데 소요되는 시간이 재취급 없이 하나의 컨테이너를 반출하는데 필요한 시간과 크게 차이나지 않아 재취급이 작업 효율에 큰 영향을 줄 수 있음을 의미한다. 장치장의 한 베이에서 컨테이너들을 임의의 순서로 반출할 경우에 발생하는 재취급 횟수를 추정한 (최영진, 오명섭, 강재호, 전수민, 류광렬, 김갑환, 2004)의 연구에 따르면 4단 6열 구조에서 21개의 컨테이너를 반출하는 경우 평균 12회의 재취급이 발생하였으며, 6단 9열 구조에서 49개의 컨테이너를 반출하는 경우에는 평균 36회의 재취급이 발생하였다.

2) 환적 화물과 같은 경우에는 다른 선박의 양하 작업에 의하여 선석(berth)에서 장치장으로 반입될 수 있다.

구분되는 반입 컨테이너의 무게 정보를 이용하여 재취급이 최소화되는 장치 위치를 결정하기 위하여 동적 계획법(dynamic program) 적용 방안을 제안하였으며, 이렇게 생성한 최적 장치 위치 결정 결과로부터 의사 결정 트리(decision tree)의 형태로 규칙을 생성하는 방안도 함께 제시하였다.

(양, 2003)은 제품 창고에서 발생하는 재취급 문제에 대해서 연구하였다. 이 연구에서는 저장 공간의 제약 때문에 혼적 결정을 해야 할 때, 적절한 장치 위치 선정의 근거로서 최소 기대 재취급 횟수를 이용하였다. 저장되는 모든 저장 수요들의 입출고 시간, 입출고 순서, 제품 수 등의 사전 정보를 알고 있는 정적인 의사 결정 문제와 사전 정보가 없는 동적인 의사 결정 문제로 나누어서 접근하였다. 또한 동적인 문제를 쉽게 해결하기 위하여 재취급에 영향을 주는 요소들을 고려한 휴리스틱을 제시하였다. (강 외, 2004)는 이 연구에서 제안된 휴리스틱을 기반으로 컨테이너 터미널 장치장에서 반입 컨테이너의 무게 정보를 활용하여 장치 위치를 결정하는 방안을 제시하였다.

적하 작업이 시작되면 반출 순서를 조정하는 것은 매우 어려우므로 단계 ③에서 장치장 크레인의 이동 시간을 줄이는 것은 한계가 있다. 적하 작업이 이루어지는 과정에서 반출 순서상 일부 컨테이너들을 재취급 할 수 밖에 없다면, 이들 컨테이너들을 어느 위치로 옮기느냐에 따라 추가의 재취급이 발생할 수 있다. 추가적인 재취급 역시 적하 작업을 지연시키기 때문에 이를 최소화하는 것은 적하 작업의 효율 측면에서 매우 중요하다. 이와 관련된 연구로 (최 외, 2004)는 장치장에서 컨테이너들이 사전에 결정된 순서대로 반출될 때, 부득이하게 재취급하여야 하는 컨테이너들의 베이 내 이적 위치를 결정하는 여러 방안들을 정리하고, 분지 한계법(branch and bound)을 이용한 최적해 탐색 방안과 비교 실험하였다. 이 연구에서는 최우선 반출 순서 비교 방안이 여러 휴리스틱들 중에서는 가장 효과적인 것으로 제시되었다.

본 논문의 연구 대상인 블록 내 이적은 외부에서 컨테이너들의 반입이 완료된 후 적하 작업이 수행되기 이전까지 생길 수 있는 유휴 시간을 활용한다. 이는 Fig. 1에서 ②의 단계에 해당되는데 세계적으로 장치장의 효율화를 위하여 무인화 운영이 가능한 자동화 크레인이 도입되는 추세이므로 유휴 시간을 이용하여 적하 작업의 효율을 높이는 방안에 대한 연구의 중요성이 점차 증대하고 있다고 할 수 있다.

(Kim et al., 1998)은 장치장의 한 블록에 흩어져 있는 컨테이너들의 베이 위치와 선박 베이의 여유 공간을 함께 고려하여 장치장 크레인의 움직임을 최소화하면서 컨테이너들을 모으는 방안을 제시하였다. 이 연구에서는 먼저 베이 정합(bay matching) 과정을 통하여 장치장의 어느 베이들에 어떤 컨테이너들을 모을 것인지 결정한 후, 장치장 크레인의 이동 최소화 문제를 순회 세일즈맨 문제(travelling salesman problem)로 변환하여 해를 도출하였다. 이 연구는 적하 계획이 구체적으로 수립되기 이전 단계를 대상으로 하였으며, 제시된 컨테이너 이동 순서 계획 방안은 각 컨테이너의 베이 내에서의 위

치나 적하 순서는 고려하지 않았다. 이에 비해 본 논문에서 제시하고자 하는 방안은 적하 순서가 결정된 후 개별 컨테이너의 베이 내 위치까지 고려하여 이동 순서를 계획하는 문제를 다루고 있다.

(강 외, 2004)는 장치장의 하나의 베이에 장치된 컨테이너들의 적하 순서가 결정되면, 반출 시 재취급이 발생하지 않도록 컨테이너들을 베이 내에서 정돈하는 방안을 제시하였다. 이 연구는 최소의 컨테이너 이동 횟수로 컨테이너들을 정돈하기 위하여 분지 한계법을 이용하였다. 이 연구에서는 개별 컨테이너 위치와 반출 순서가 고려되었지만 베이간 이동이 필요 없는 단일 베이 내 컨테이너들만을 대상으로 한다는 점이 본 논문에서 해결하고자 하는 상황과 다른 점이다.

3. 블록 내 이적을 위한 계획 수립 방안

본 장에서는 먼저 블록 내 이적 문제에 대한 가정들을 소개한 후, 제안하는 휴리스틱을 자세히 소개한다.

3.1 블록 내 이적 문제

Fig. 2는 본 연구에서 블록 내 이적 문제에 대하여 가정한 내용을 담고 있다. 먼저 이적의 대상이 되는 컨테이너들을 모두 장치할 수 있을 만큼의 빈 베이들이 블록 내에 존재한다고 가정하였다(가정 1). 예를 들어 4단 6열 장치장 베이 구조에서 42개의 컨테이너들을 이적하고자 한다면, 2개의 베이이 미리 비워져 있어야 하며 이들 빈 베이를 목적(destination) 베이라 부른다. 블록 내 이적은 이들 이적 대상 컨테이너들을 모두 목적 베이로 옮기는 것이다. 목적 베이를 제외한 나머지 베이들에는 허용 가능한 최대한의 컨테이너들이 장치되어 있다고 가정한다(가정 2). 이적 대상 컨테이너들은 목적 베이를 제외한 나머지 베이들(컨테이너들이 장치된 베이들) 중에서 일부분의 베이들에 무작위로 흩어져 있으며, 그 장치 위치는 임의로 결정된다(가정 3). 각각의 이적 대상 컨테이너를 어느 목적 베이로 옮겨져야 하는지와 목적 베이 내에서의 반출 순서는 이미

1. 이적 대상 컨테이너들을 모두 장치할 수 있는 만큼의 빈 베이들 즉 목적 베이들이 블록에 존재한다.
2. 목적 베이를 제외한 베이들에는 컨테이너들이 가득 장치되어 있다.
3. 이적 대상 컨테이너들은 목적 베이를 제외한 베이들 중 일부분에 무작위로 흩어져 있다.
4. 각각의 이적 대상 컨테이너는 유일한 목적 베이가 있다.
5. 이적 대상 컨테이너는 목적 베이 내에서 반출 순서가 정해져 있다.
6. 이적 대상 컨테이너는 한 번의 이동으로 목적 베이에 옮겨져야 한다.

Fig. 2 Assumptions for intra-block remarshalling

적하 계획에 의하여 결정되어 있다(가정 4, 5). 마지막 가정 6은 계획하고자 하는 컨테이너 이동 순서에 대한 제약으로 최소의 컨테이너 이동 횟수로 이적 대상 컨테이너들을 모두 옮길 수 있는 계획을 수립하기 위하여 포함되었다. 만일 상단에 아직 이적 대상 컨테이너가 남아있는 상황에서 하단의 컨테이너를 먼저 목적 배이로 이동시키고자 한다면 상단의 컨테이너를 임시로 어딘가에 옮겨야 하므로 재취급을 위한 비용이 발생하기 때문이다.

3.2 컨테이너 그룹화와 이동 순서의 제약

본 논문에서 제안하는 블록 내 이적을 위한 컨테이너 이동 순서 계획은 두 단계로 이루어진다. 첫 번째 단계에서는 대상 컨테이너들의 장치 상태를 고려하여 적하를 위한 반출시 재취급이 발생하지 않게 하나의 스택에 쌓을 수 있는 컨테이너들을 각각 그룹으로 묶고, 두 번째 단계에서는 생성된 컨테이너 그룹들을 고려하여 이적 작업에 소요되는 시간을 줄이는 방향으로 이동 순서를 생성한다. 이 절에서는 첫 번째 단계를 설명한다.

Fig. 3은 3단 3열의 배이 구조를 가진 장치장 블록의 일부이다. 그림에서 왼쪽에 있는 2개의 배이는 옮겨야 할 컨테이너들이 장치되어 있는 원천(source) 배이들이며, 오른쪽에 있는 2개의 배이는 해당 컨테이너들이 옮겨질 목적 배이들이다. 숫자가 그려진 사각형은 각각 컨테이너를 의미하며, 숫자는 목적 배이 내에서 해당 컨테이너의 반출 순서, 즉 적하 순서를 의미한다. 회색의 컨테이너들과 흰색의 컨테이너들은 각각 동일한 목적 배이로 이동시킬 컨테이너들이며 점선으로 그려진 사각형은 빈 공간을 의미한다. 3단 3열의 배이 구조이지만 어떠한 상황에서도 임의의 컨테이너를 반출할 수 있도록 각 배이당 최대 7개의 컨테이너만 장치한다고 가정하였다. Fig. 3은 원천 배이의 상태를 이용하여 컨테이너들을 그룹으로 묶는 방법을 단계별로 보여주고 있다.

초기 상태에서 원천 배이들의 최상단에 있는 컨테이너들을 살펴보면, 흰색의 컨테이너가 2개, 회색의 컨테이너는 4개가 있다. 목적 배이의 하나의 스택에 쌓는 컨테이너의 수는 최대 3개이므로 원천 배이들의 최상단에 장치된 회색의 컨테이너들 중에서 3개의 컨테이너를 선택하여 한 그룹을 만들게 되는데, Fig. 4의 그룹 선정상의 제약을 이용하면 컨테이너 {7G, 3G, 4G}가 하나의 그룹으로 묶이게 된다. 7G는 회색의 컨테이너들 중에서 7번째로 반출되는 컨테이너를 의미한다. 동일한 목적 배이로 옮겨질 컨테이너들 간에는 반출시 순서가 존재하므로 <7G, 4G, 3G>의 순서로 컨테이너들을 옮기면 적하 작업 과정에서 재취급이 발생하지 않도록 하나의 스택에 컨테이너들을 쌓을 수 있다. 회색의 컨테이너 그룹을 하나 생성한 후 변화된 원천 배이들을 살펴보면 이번에는 스택의 상단에 흰색 컨테이너가 4개, 회색 컨테이너가 2개임을 알 수 있다. 따라서 이번에는 이들 흰색 컨테이너들 중에서 3개를 골라 하나의 그룹으로 묶으면, 반출 시 재취급이 발생하지 않게 또 하나의 스택을 쌓을 수 있다. 이 경우에는 {7W, 4W, 5W}를 선택하게

되며, 이들 간의 컨테이너 이동 순서를 결정하면 <7W, 5W, 4W>가 된다. 4W는 흰색의 컨테이너들 중에서 4번째로 반출될 컨테이너를 의미한다. 이러한 방식으로 컨테이너들의 그룹을 계속하여 생성하면 최종적으로 {<7G, 4G, 3G>, <7W, 5W, 4W>, <5G, 2G, 1G>, <3W, 2W, 1W>, <6G>, <6W>}라는 컨테이너 그룹 및 각 그룹에서의 컨테이너 이동 순서를 생성할 수 있다. 생성된 그룹별로 소속된 컨테이너들을 하나의 스택에 쌓으면 최종적으로 적하 작업 수행 시 재취급이 발생하지 않는 장치 상태를 만들 수 있다.

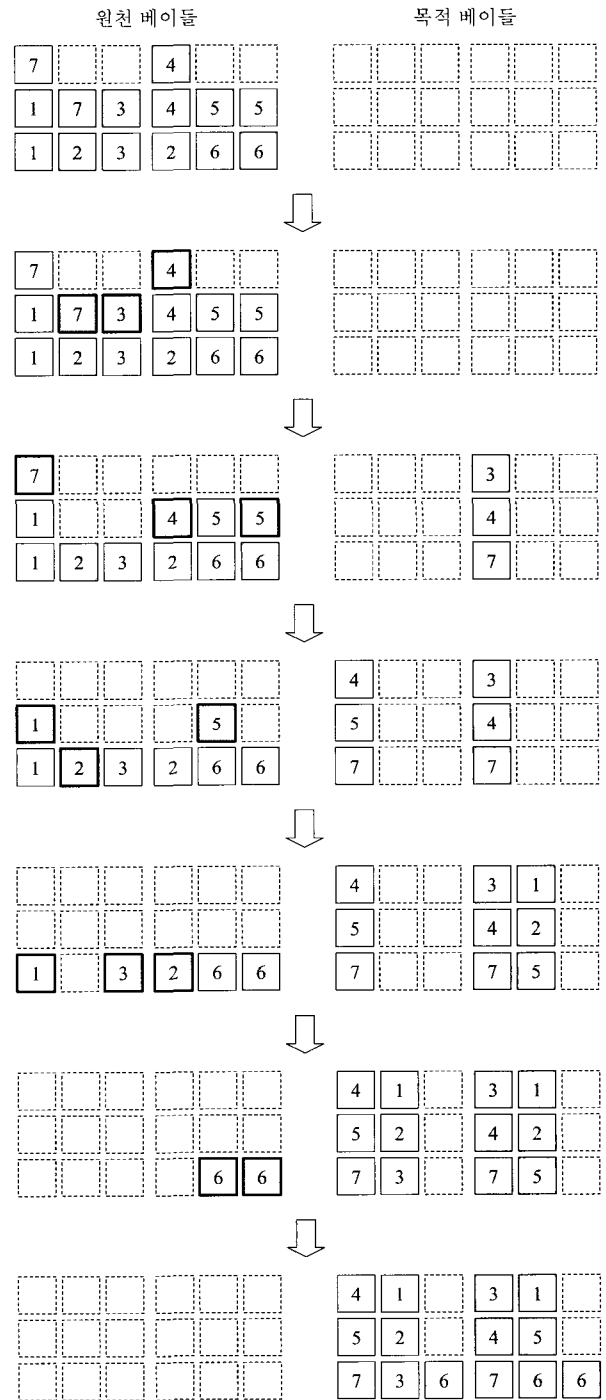


Fig. 3 An example of container grouping

상단에 이적 대상 컨테이너가 없는 컨테이너들 중에서

1. 이적 대상 컨테이너가 가능한 많이 장치되어 있는 스택의 최상단의 컨테이너를 우선한다.
2. 자신과 동일한 목적 베이를 가진 컨테이너가 바로 하단에 장치되어 있는 컨테이너를 우선한다.

1, 2의 조건을 가능한 만족하도록 동일한 목적 베이를 가진 컨테이너들을 그룹으로 선정하되, 옮겨야 할 목적 베이의 한 스택에 장치할 수만큼 선정한다.

Fig. 4 Container grouping method

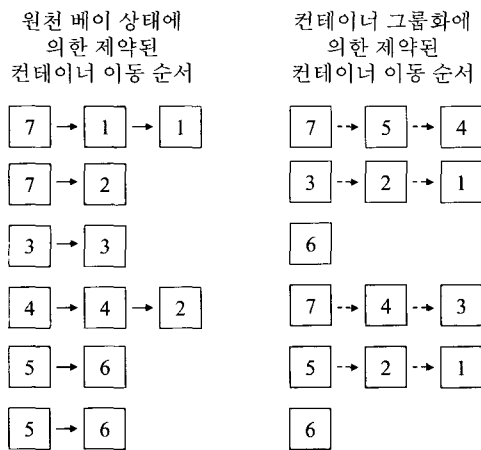


Fig. 5 Constraints on container moving sequence imposed by the initial state of source bays and the container grouping

본 논문에서 사용한 컨테이너 그룹의 의미를 개념적으로 설명하면 다음과 같다. Fig. 5의 왼쪽은 원천 베이에서 제약되는 컨테이너의 이동 순서이다. 그림에서 컨테이너들을 연결하는 화살표는 이동 순서에 대한 제약으로 이 경우에는 원천 베이의 상단에 있는 컨테이너를 먼저 옮겨야 하단에 있는 컨테이너를 옮길 수 있다는 제약을 표시한 것이다. 이는 Fig. 2의 가정 6을 만족하기 위함이다. Fig. 5의 오른쪽은 원천 베이에서 컨테이너를 그룹한 결과로 생성되는 이동 순서상의 제약이다. 동일 그룹의 컨테이너들을 하나의 스택에 쌓는 것을 가정하였으므로, 이들 간에 이동 순서상의 선후 관계가 그림과 같이 존재하게 된다. 본 논문에서 제안하는 방안은 이 두 가지 순서 관계를 모두 만족하는 컨테이너 이동 순서를 생성한다. 두 가지 순서 관계를 모두 만족하는 컨테이너 이동 순서는 (원천 베이 상태에서의 순서 제약에 의하여) 컨테이너를 옮기는 과정에서 재취급이 발생하지 않으며, (그룹화에 의한 순서상의 제약에 의하여) 모든 대상 컨테이너를 이동시킨 후 목적 베이 내에서 반출하는 상황에서도 재취급이 발생하지 않게 된다. Fig. 6은 Fig. 5의 두 가지 이동 순서상의 제약을 하나의 그래프로 병합하여 표현한 것이다.

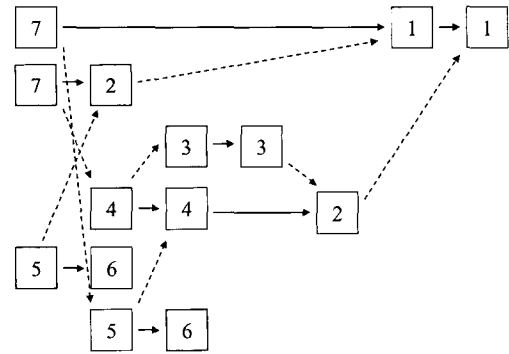


Fig. 6 A partial ordering of container moves

3.3 이적 시간을 줄이기 위한 컨테이너 이동 순서의 결정

휴리스틱의 두 번째 단계에서는 이렇게 병합된 컨테이너 이동 작업간의 선후 관계를 유지하되 이적에 소요되는 전체 시간을 줄일 수 있게 컨테이너 이동 순서를 결정하는 것이다³⁾. 이를 위하여 현 상황에서 옮길 수 있는 컨테이너들 중에서 현재의 장치장 크레인 위치에서 이동시켰을 때 수행 시간 관점에서 가장 이득이 높은 컨테이너를 선정하여 이동시킨다. 예를 들어 Fig. 6의 경우에서 회색의 7번 컨테이너 7G를 처리한 상황이라면 Fig. 7에서와 같이 흰색 화살표로 표시된 7W, 2G, 4G, 5G 컨테이너들을 옮길 수 있는 상태가 된다. 이들 컨테이너 중에서 어떤 것을 선택하여 옮기느냐에 따라 이적 작업에 소요되는 시간이 달라진다. Fig. 8은 이때의 장치장 블록의 상태를 위에서 본 그림이다. T^G 와 T^W 는 각각 회색과 흰색 컨테이너들을 이동시켜 장치할 목적 베이이다. 7G를 옮긴 직후이므로 장치장 크레인은 T^G 베이에 위치하게 된다. 이 상태에서 옮길 수 있는 컨테이너 7W, 2G, 4G, 5G 중에서 4G와 5G의 경우 장치장 크레인이 T^G 위치보다는 T^W 위치에 있을 때 보다 효율적으로 이동시킬 수 있다(T^G 에 장치장 크레인이 있을 경우에는 6개의 베이를 이동하여야 하지만, T^W 에 있을 경우

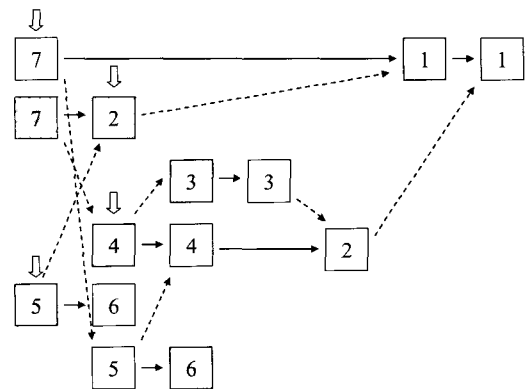


Fig. 7 A partial ordering of container moves after moving the container 7G

3) Fig. 6의 컨테이너 이동 순서는 모든 컨테이너 이동간의 선후 관계가 완전히 정해진(total ordering) 상태가 아니라 부분적으로 제약된(partial ordering) 상태이다. 부분적으로 결정된 순서를 충족하는 전체 순서는 여러 가지가 있을 수 있으며, 본 논문에서는 이들 중에서 가능한 이적에 소요되는 시간이 적은 경우를 찾고자 하는 것이다.

에는 5개의 베이를 이동함으로써 컨테이너 4G 또는 5G를 이동시킬 수 있다). 컨테이너 7W와 2G는 장치장 크레인이 T^W 에 있을 경우보다 현 위치인 T^G 에 있을 때 옮기는 것이 작업 시간 측면에서 이득이 높으며 이 경우에는 두 컨테이너 모두 그 이득이 동일하므로 임의로 하나를 선정한다.

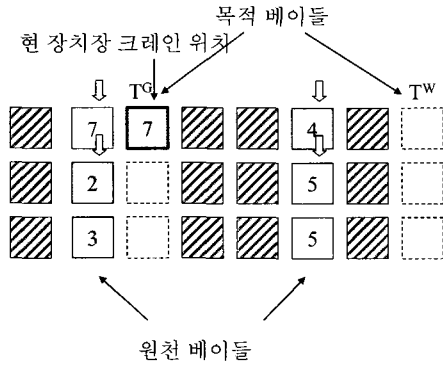


Fig. 8 The state of the block after moving the container 7G

4. 실험결과

이상에서 제안한 블록 내 이적을 위한 컨테이너 이동 순서 계획 수립 방안의 효과를 확인하기 위하여 제안한 방안과 함께 두 가지 휴리스틱 방안을 추가로 구현하여 Fig. 9와 같은 실험에 대한 설정 하에서 그 성능을 비교하였다. 비교 방안 중 Closest 방안은 장치장 크레인의 현 위치에서 가장 가까운 컨테이너를 선택하여 옮기는 방안이며, Delay-min 방안은 장치장 크레인의 현재 위치에서 옮기는 것이 이적 시간을 줄이는데 가장 효과적인 것으로 추정되는 컨테이너를 옮기는 방안이다. 이적 시간을 줄이는데 효과적인 컨테이너의 파악은 3.3절에서 소개한 방법으로 결정하였으며, 옮길 수 있는 컨테이너가 여럿 있는 경우에는 목적 베이 내 재취급 발생 가능성을 줄이기 위하여 반출 순서가 가장 늦은 컨테이너를 선택하였다. Closest와 Delay-min 방안은 본 제안 방안과는 달리 대상 컨테이너를 목적 베이의 어느 위치에 옮길 것인지 명확하게 지정하지 못하므로 이동시킬 컨테이너를 반입되는 컨테이너로 가정하여 장치 위치를 결정하였다. 장치 위치를 결정하는 방법으로는 (강 외, 2004)의 연구에서 사용한 Minimum Difference First (MDF) 휴리스틱을 이용하였다. 실험에서는 한 블록에 총 33개의 베이가 있다고 가정하였다.

Table 1은 4단 6열 구조의 장치장에서 목적 베이가 하나일 때 실험한 결과를 정리한 것이다. 표에서 각 이동 순서 계획

방안의 괄호 안에 쓰인 숫자는 하나의 베이에 장치하는 컨테이너 수(Fig. 9의 m)를 의미한다. 4단 6열의 경우 최대 24($= 4 \times 6$)개까지 컨테이너를 장치할 수 있지만, 재취급이 발생하는 최악의 상황에서도 반출이 가능하도록 하고자 한다면 21($= 4 \times 6 - 3$)개까지만 컨테이너를 장치하여야 한다. 하지만, 본 문제와 같이 반출할 순서가 이미 결정된 상황에서는 재취급이 발생하지 않게 이적할 수만 있다면 최대 한도인 24개까지 컨테이너를 장치하여도 반출에 문제가 없다. 이적 대상 컨테이너들이 블록에 어느 정도로 흩어져 있는가에 따른 성능을 분석하기 위하여 목적 베이와 동일한 수의 베이에 무작위로 쌓여 있는 경우, 블록 전체 베이 수의 25%, 50%, 그리고 전체 블록에 흩어져 있는 경우(Fig. 9의 p)를 각각 실험하였다.

1. 블록에 미리 설정된 k 개의 빈 베이를 임의로 선택한다.
2. 나머지 베이들 각각에는 m 개의 컨테이너들을 놓는다.
3. 나머지 베이들 중 지정된 비율 p 에 해당되는 베이들을 임의로 선정하고, 이들 베이의 컨테이너들 중에서 k 개의 빈 베이에 이적할 컨테이너들을 무작위로 선정한다.
4. 제안한 방안 및 비교 방안들로 해당 컨테이너들을 빈 베이로 이동하는 순서를 계획한다.
5. 제안한 방안 및 비교 방안들로 이적하는데 소요되는 시간과 이적 후 적하 작업에서 발생하는 재취급 횟수를 구한다.
6. 이러한 실험을 1,000회 수행하여 그 평균값을 구한다.

Fig. 9 The experimental procedure

Table 1에서 알 수 있듯이 본 제안 방안은 실험한 모든 경우에 반출시 재취급이 발생하지 않도록 컨테이너를 이동하는 것이 가능하였다. Closest 방안은 현 위치에서 가장 가까운 컨테이너를 선택하므로 적하 작업 시 임의로 컨테이너를 반입하는 경우와 동일한 수준의 재취급이 필요하였다. Delay-min 방안은 Closest 방안에 비해 상대적으로 우수한 성능을 보였지만, 반출 시 재취급을 피할 수 없음을 알 수 있다. Table 1에서 4단 6열이 허용할 수 있는 최대 컨테이너 수인 24개를 장치하는 경우 본 제안 방안과 기타 휴리스틱간의 재취급 횟수에서의 격차가 더 커짐을 알 수 있다⁴⁾. Table 2는 동일한 4단 6열 구조에서 목적 베이가 3개일 때를 실험한 결과를 보이고 있으며, 이 경우에는 비교 방안들의 재취급 횟수가 훨씬 증가함을 알 수 있다⁵⁾.

4) 4단 6열 장치장 베이 구조에서 24개의 컨테이너를 장치하는 경우 Closest와 Delay-min은 반출시 필요한 재취급 횟수를 정확하게 추정하기 어렵다. 이는 재취급이 요구되는 컨테이너가 장치된 베이 내에 재취급을 위한 여유 공간이 없을 수 있기 때문이다. Table 1부터 Table 4에서 해당 베이 구조 하에서 허용 가능한 최대한의 컨테이너를 장치하였을 때 Closest와 Delay-min의 반출시 재취급 횟수는 (강재호, 류광렬, 김갑환, 2004)에서 제시한 반출시 최소 재취급 횟수(하한값; lower bound) 계산 방법으로 추정하였다.
 5) Closest 방안은 임의로 컨테이너를 반입하는 경우와 재취급 횟수 측면에서는 동일한 성능을 보이므로 3개의 목적 베이가 있는 경우 1개의 목적 베이가 있는 경우에 비하여 재취급 횟수가 대략 3배 정도 증가한다. 이에 비해 Delay-min 방안의 경우에는 보다 높은 비율로 재취급 횟수가 증가함을 알 수 있는데 이는 목적 베이 수가 많아지면 문제가 어려워짐을 의미한다.

Table 1 Estimated count of rehandlings when there is a single destination bay with 4 tier/6 row bay structure

이동 순서 계획	1 베이	블록(25%)	블록(50%)	블록(전체)
Closest (21)	2.47	2.23	2.27	2.37
Delay-min (21)	0.31	0.00	0.00	0.00
제안 방안 (21)	0.00	0.00	0.00	0.00
Closest (24)	4.46	4.46	4.27	4.43
Delay-min (24)	1.93	0.35	0.15	0.09
제안 방안 (24)	0.00	0.00	0.00	0.00

Table 2 Estimated count of rehandlings when there are three destination bays with 4 tier/6 row bay structure

이동 순서 계획	3 베이	블록(25%)	블록(50%)	블록(전체)
Closest (21)	7.20	6.93	7.24	7.02
Delay-min (21)	4.16	4.98	5.03	5.21
제안 방안 (21)	0.00	0.00	0.00	0.00
Closest (24)	13.14	13.18	13.31	13.16
Delay-min (24)	10.88	11.14	11.26	11.01
제안 방안 (24)	0.00	0.00	0.00	0.00

Table 3 Estimated count of rehandlings when there is a single destination bay with 6 tier/9 row bay structure

이동 순서 계획	1 베이	블록(25%)	블록(50%)	블록(전체)
Closest (49)	7.76	7.81	7.85	8.01
Delay-min (49)	2.04	0.08	0.02	0.01
제안 방안 (49)	0.00	0.00	0.00	0.00
Closest (54)	10.73	10.71	10.49	10.47
Delay-min (54)	6.90	1.56	0.92	0.36
제안 방안 (54)	0.00	0.00	0.00	0.00

Table 4 Estimated count of rehandlings when there are three destination bays with 6 tier/9 row bay structure

이동 순서 계획	3 베이	블록(25%)	블록(50%)	블록(전체)
Closest (49)	24.79	24.68	24.21	24.33
Delay-min (49)	16.91	16.93	16.57	16.10
제안 방안 (49)	0.00	0.00	0.00	0.00
Closest (54)	32.86	32.58	32.53	32.44
Delay-min (54)	27.91	27.22	26.46	26.39
제안 방안 (54)	0.00	0.00	0.00	0.00

Table 5 Estimated time of remارشalling when there are three destination bays with 6 tier/9 row bay structure (unit: minutes)

이동 순서 계획	3 베이	블록(25%)	블록(50%)	블록(전체)
Closest (49)	272.8	415.4	534.0	601.5
Delay-min (49)	271.4	413.8	531.9	599.3
제안 방안 (49)	279.2	419.8	537.9	605.6
Closest (54)	295.8	497.7	606.8	694.6
Delay-min (54)	294.3	495.7	604.4	692.1
제안 방안 (54)	303.2	502.6	612.0	699.4

Table 3과 Table 4는 자동화 장치장의 베이 구조로 활용되는 6단 9열 구조에 대하여 동일한 실험을 수행한 결과이다. 6단 9열의 경우 보다 높은 단수로 컨테이너를 장치하기 때문에 반출시 재취급이 발생할 가능성이 그만큼 더 높아지므로 이적시 컨테이너의 이동 순서를 보다 신중히 생성하여야 한다. 특히 이러한 베이 구조에서 자동화 크레인을 도입하는 경우 블록 내 이적 작업은 유휴 시간을 이용하여 자동으로 수행할 수 있으므로 블록 내 이적 작업의 중요성이 더욱 높아진다. 표에서 알 수 있듯이 본 제안 방안은 실험한 모든 경우에서 반출시 재취급이 발생하지 않도록 컨테이너를 옮길 수 있었으며, Closest와 Delay-min 방안의 경우 Table 1과 Table 2에서 목적 베이의 수가 동일한 경우의 실험 결과보다 더 많은 수의 재취급이 발생함을 알 수 있다.

Table 5는 각 방안에 의하여 수립된 컨테이너 이동 순서를 이용하여 실제 이적 작업을 수행할 경우 소요되는 시간을 추정한 결과이다. 6단 9열 베이 구조에서 장치장 크레인의 작업 시간은 본 연구진이 시뮬레이션을 통하여 추정된 모델을 사용하였다. Delay-min 방안은 1차적으로 이적 작업에 소요되는 시간을 가능한 최소화되도록 컨테이너들의 이동 순서를 계획하므로 이적 작업에 소요되는 시간이 가장 적었다. 제안 방안은 비교 방안들에 비해 소요되는 시간이 상대적으로 긴 계획을 수립하였지만, 가장 적은 작업 시간이 필요한 Delay-min 방안과 비교하더라도 추가 소요 시간은 약 3% 이내에 불과하였다. 반출시 재취급이 발생함으로써 필요한 추가 비용을 고려한다면, 제안 방안에 의하여 필요한 추가 작업 시간은 충분히 허용할 수 있다고 할 수 있다⁶⁾. 4단 6열 구조 및 목적 베이의 수가 다른 경우에도 Table 5와 비슷한 양상을 보였다.

5. 결론

본 논문에서는 적하 작업을 효율적으로 수행하기 위하여 블록 내에서 컨테이너들을 이적하고자 할 때, 적하 작업 과정에서 재취급이 발생하지 않도록 컨테이너들의 이동 순서를 실시간에 수립할 수 있는 휴리스틱을 제안하였다. 본 제안 방안을 다양한 환경에서 실험한 결과 재취급을 발생시키지 않는 이동 계획의 수립이 가능함을 실험적으로 확인하였다. 향후 제안한 방안과 인공지능의 탐색 기법을 융합하여 재취급이 발생하지 않으면서 이적에 소요되는 시간도 줄일 수 있는 보다 효율적인 방안에 대한 연구가 필요하다.

후 기

본 연구는 과학기술부의 지방연구중심대학사업 ‘차세대물류 IT기술 연구사업단’의 지원에 의한 것입니다.

6) 작업에 필요한 인력 측면에서만 설명한다면, 적하 작업 시 재취급이 발생하면 컨테이너 크레인 기사, 장치장 크레인 기사, 작업 관리자, 선상 신호수, 그리고 여러 명의 내부 트럭 기사가 처리 시간만큼 작업 또는 대기하여야 한다.

참 고 문 헌

- [1] 강재호, 류광렬, 김갑환, (2004): “장치장에서 베이 내 컨테이너의 효율적인 재정돈 방안,” 한국지능정보시스템학회 2004년 추계학술대회 논문집, pp. 287-295.
- [2] 강재호, 오명섭, 류광렬, 김갑환, (2004): “반입 컨테이너 무게를 고려한 재취급 최소화 장치 위치 결정 방안,” 한국지능정보시스템학회 2004년 추계학술대회 논문집, pp. 271-278.
- [3] 류영욱 (1998): “컨테이너 터미널에서의 작업시간에 관한 연구,” 석사 학위 논문, 부산대학교 대학원 산업공학과.
- [4] 양지현 (2003): 재취급 최소화를 위한 혼적 결정 수리 모형 및 해법, 석사 학위 논문, 부산대학교 대학원 산업공학과.
- [5] 최영진, 오명섭, 전수민, 강재호, 류광렬, 김갑환 (2004): “컨테이너 터미널에서 재취급 최소화를 위한 이적 위치 결정 방안,” 한국지능정보시스템학회 2004년 추계학술대회 논문집, pp. 382-391.
- [6] Kim, K. H. and Bae, J.-W, (1998): “Re-Marshaling Export Containers,” Computers and Industrial Engineering, Vol. 35, No. 3-4, pp. 655-658.
- [7] 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.

원고접수일 : 2004년 11월 8일
원고채택일 : 2005년 2월 2일