

장치장에서 베이 내 컨테이너의 효율적인 재정돈 방안*

강재호^a, 류광렬^a, 김갑환^b

^a 부산대학교 컴퓨터공학과

609-735, 부산광역시 금정구 장전2동 산30번지 부산대학교 공과대학 컴퓨터공학과
Tel: +82-51-510-{3582, 2453}, Fax: +82-51-517-2431, E-mail: {jhkang, krryu}@pusan.ac.kr

^b 부산대학교 산업공학과

609-735, 부산광역시 금정구 장전2동 산30번지 부산대학교 공과대학 산업공학과
Tel: +82-51-510-2419, Fax: +82-51-510-7603, E-mail: kapkim@pusan.ac.kr

요약

컨테이너 터미널의 적하 작업은 사전에 계획된 순서대로 컨테이너를 장치장(yard)에서 하나씩 반출하여 선박에 선적하는 작업이다. 만일 현재 반출하고자 하는 컨테이너의 상단에 다른 컨테이너들이 장치되어 있다면, 부득이하게 위에 놓여 있는 컨테이너들을 다른 곳으로 옮겨야 하는 재취급(rehandling)이 발생하고 이로 인하여 반출 작업은 지연된다. 본 논문에서는 적하 계획이 수립되어 장치장의 한 베이(bay)내 컨테이너들의 반출 순서가 결정되었을 때, 반출 시작 시점까지 남은 유희 시간을 활용하여 재취급이 발생하지 않도록 컨테이너들을 재정돈(이적, 리마샬링)하는 방안을 제안한다. 본 제안 방안은 분지 한계법(branch and bound)을 적용하여 컨테이너 이동 계획을 탐색하며, 생성된 해는 최소의 컨테이너 이동 횟수가 보장된다. 4단 6열과 5단 9열의 장치장 구조를 대상으로 실험한 결과 99% 이상의 상황에서 허용할 수 있는 시간 내에 계획을 수립할 수 있음을 확인하였다.

주제어

컨테이너 터미널 장치장, 컨테이너 재정돈(이적, 리마샬링), 재취급 최소화

1. 서론

컨테이너 터미널의 적하 작업은 사전에 계획된 순서대로 컨테이너들을 장치장에서 하나씩 반출하여 선박에 선적하는 작업이다. 적하 순서는 컨테이너 무게 정보를 이용하여 선박의 안정성을 고려하되 장치장에서 컨테이너 반출 흐름이 원활하도록 생성한다. 장치장에서 컨테이너 반출 작업을 원활히 수행

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

하기 위해서는 가능한 베이의 상단에 있는 컨테이너들을 우선적으로 반출하도록 적하 계획이 수립되어야 한다. 만일 반출하고자 하는 컨테이너의 상단에 다른 컨테이너들이 장치되어 있다면, 부득이하게 위에 놓여 있는 컨테이너들을 다른 곳으로 옮겨야 하므로 반출 작업은 지연될 수밖에 없다. 이러한 부가 작업을 재취급이라 한다. 적하 계획 수립자는 가능한 재취급이 발생하지 않게 반출 순서를 세우고자 하지만, 컨테이너의 무게를 고려하다 보면 장치된 컨테이너의 배치상 재취급을 피할 수 없는 경우가 종종 발생한다.

본 논문에서는 적하 계획이 수립되어 장치장의 한 베이내에서의 컨테이너 반출 순서가 결정되었을 때, 반출 시작 시점까지 남은 유희 시간에 장치장의 크레인을 활용하여 적하 작업시 재취급이 발생하지 않도록 베이내의 컨테이너들을 재정돈하는 컨테이너 이동 순서를 계획하는 방안을 제안한다. 본 제안 방안은 분지 한계법을 이용하여 최소한의 컨테이너 이동 횟수를 보장하는 계획을 탐색한다. 탐색을 효율적으로 수행하기 위하여 현 상태(state)에서 앞으로 예상되는 최소 컨테이너 이동 횟수 즉 하한값(lower bound)을 효과적으로 계산하는 방안을 함께 소개한다. 실험 결과 수동 장치장에서 많이 활용되는 4단 6열 구조에서는 실시간에 계획 수립이 가능하였으며 자동화 장치장에 주로 도입되는 9열 구조에서는 무게를 고려한 장치 위치 결정 방안[1,2,3]으로 컨테이너를 장치한 경우 1단 분량의 여유 공간을 확보한 5단 구조¹에서 99% 이상의 상황에서 허용할 수 있는 시간 내에 계획을 수립할 수 있음을 확인하였다.

¹ 5단 9열 구조의 장치장 베이 구조에서 1단만큼에 해당되는 공간은 비워 두어 최대 36(= 4×9)개의 컨테이너를 장치하는 것을 가정하였다. 마찬가지로 4단 6열 구조의 경우 최대 18(= 3×6)개의 컨테이너를 장치하는 것을 가정하였다

본 논문은 먼저 2장에서 재취급과 관련된 여러 측면에서의 연구 범위와 관련된 기존 연구들을 소개하며, 3장에서는 본 제안 방안에 대하여 보다 자세히 설명한다. 이어지는 4장에서는 제안한 방안을 이용한 실험 결과를 정리하여 분석한다. 마지막 5장에서 결론과 향후 연구 과제로 매듭을 짓는다.

2. 관련 연구

본 장에서는 먼저 컨테이너 터미널의 장치장의 작업 흐름에서 재취급과 관련한 여러 과정을 살펴보고, 각 과정별로 재취급과 연계하여 간단한 소개와 함께 관련된 연구를 소개한다.

그림 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 장치된다². 일반적으로 장치장의 공간 할당은 적하 작업의 효율성을 위하여 동일한 목적항과 규격을 가진 컨테이너들을 모을 수 있도록 계획된다. 이는 선박이 이후에 방문할 터미널에서의 작업 편의를 위하여 동일한 목적항과 규격의 컨테이너들은 선박내에서 가능한 동일한 선박 베이에 위치시키기 때문이다. 적하 계획을 수립하는 전문가는 컨테이너 반입이 완료되면 장치장에서의 장치 상태와 선박의 안정성을 고려하여 적하 순서 즉, 장치장에서의 컨테이너 반출 순서를 결정한다. 해당 선박이 입항하여 적하 작업이 시작되면 장치장은 사전에 계획된 순서대로 컨테이너를 반출한다.

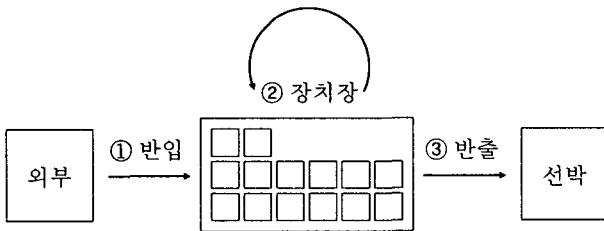


그림 1- 장치장에서의 적하 컨테이너의 흐름

이와 같은 적하 컨테이너 흐름상에서 실제 재취급은 ③에 해당되는 적하를 위한 반출 과정에서 발생한다. 하지만 이 과정에서는 아무리 재취급을 효율적으로 처리한다고 하더라도, 이미 적하 작업을 수행하고 있는 상황이기 때문에 추가 발생 가능한 재취급을 줄여 적하 작업 수행 시간을 단축하는 것은 한계가 있다. 따라서, 적하를 위한 반출 이전 과정인 ① 반입 과정과 ② 장치장에서의 유휴 시간을 효율

적으로 활용하여 이후에 발생할 수 있는 재취급을 최소화할 수 있는 방안이 요구되는 것이다.

먼저 과정 ①의 반입 단계는 신규 반입된 컨테이너를 가능한 재취급을 줄일 수 있는 위치에 장치하는 방식으로 접근한다. 적하 순서를 결정하는데 주요하게 사용되는 컨테이너 무게 정보를 활용하여 사전에 재취급 발생 가능성을 줄이는 것이다. 적하 계획은 선박의 안정성을 위하여 무거운 컨테이너들을 선박의 바닥쪽에 배치하도록 수립하며, 적하 작업은 바닥쪽부터 컨테이너들을 쌓아가므로 무거운 컨테이너가 우선적으로 장치장에서 반출되게 된다. 따라서, 컨테이너의 무게를 고려하여 장치장내 장치 위치를 결정한다면, 반출시 발생하는 재취급을 효과적으로 줄일 수 있다. 특히, 반입시 재취급을 고려하는 방안은 반입 처리를 포함한 전체 작업 시간 측면에서 추가 비용이 거의 발생하지 않기 때문에 매우 효율적인 접근 방법이라 할 수 있다³. 이러한 관점에서 재취급을 최소화하기 위한 주요 기존 연구들을 살펴보면 다음과 같다.

김갑환과 박영만(2000)[1]은 수출 컨테이너를 대상으로 재취급을 최소화하기 위하여 반입시 장치 위치를 결정하는 문제를 다루었다. 이 연구는 반입 컨테이너의 무게를 그룹 단위로 고려하고, 재취급이 최소화되는 장치 위치를 결정하는 방안으로 동적 계획법(dynamic program)을 적용하는 방안을 제안하였으며, 동적 계획법으로 생성한 최적 장치 위치 결정 결과로부터 의사 결정 트리(decision tree)의 형태로 규칙을 생성하는 방법도 함께 제시하였다.

양지현(2003)[2]은 제품 창고에서 발생하는 재취급 문제에 대해서 연구하였다. 이 연구에서는 저장 공간의 제약 때문에 혼적 결정을 해야할 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.

적하 작업이 시작되면 반출 순서상 일부의 컨테이너들은 재취급이 발생할 수 밖에 없는 상황이 된다. 하지만 이들 컨테이너들을 실제 재취급 발생시 어느 위치로 옮기느냐에 따라 추가의 재취급이 발생할 수 있다. 추가적인 재취급 역시 적하 작업을 지연시킬 수 있기 때문에 때문에 이를 최소화하는 것은 적하 작업의 효율 측면에서 매우 중요하다. 이와 관련된 연구로 최영진, 오명섭, 전수민, 강재호, 류광렬 그리

² 환적 화물과 같은 경우에는 다른 선박의 양하 작업에 의하여 터미널 내부에서 장치장에 반입될 수 있다.

³ 장치장의 한 베이 또는 베이 그룹내에서 신규 반입된 컨테이너를 장치할 위치를 결정하는 문제이므로 반입 작업 수행 시간에 영향을 미치지 않는다. 하지만, 이를 위해서는 컨테이너 무게 정보를 반입 시점 이전에 충분한 수준의 정확도로 획득할 수 있어야 한다.

고 김갑환(2004)[3]은 장치장에서 컨테이너들이 사전에 결정된 순서대로 반출될 때, 부득이하게 재취급하여야 하는 컨테이너들의 베이내 이적 위치를 결정하는 여러 방안들을 정리하고, 이들을 분지 한계법(branch and bound)을 이용한 최적해 탐색 방안과 비교 실험하였다. 이 연구에서는 최우선 반출 순서 비교 휴리스틱이 휴리스틱들 중에서는 가장 효과적인 것으로 제시되었다.

본 연구의 재취급 최소화 방안은 외부에서 컨테이너들의 반입이 완료된 후 적하 작업이 수행되기 이전에 발생할 수 있는 유힬 시간을 이용하여 컨테이너들을 재정돈하는 방법으로 접근한다. 이는 그림 1에서 ②의 과정에 해당되는데 대개의 경우 반입 완료 후 적하 작업 시작 시점까지는 다소 시간적인 여유가 있다고 볼 수 있다. 특히 세계적으로 장치장의 효율화를 위하여 무인화 운영이 가능한 자동화 크레인이 도입되는 실정이므로 이러한 유힬 시간을 이용한 효율적인 재정돈 방안의 필요성은 점차 증대하고 있다고 할 수 있다.

적하할 컨테이너의 흐름과는 반대로 선박에서 양하된 컨테이너가 장치장에서 반출되어 터미널에서 빠져나갈 때에도 재취급이 발생하게 된다. 이러한 경우에는 어떤 순서로 컨테이너들이 반출될 지 사전에 알기가 어려우므로, 대부분의 연구는 임의 반출을 가정하고 반출에 필요한 재취급 횟수를 추정하는 연구들이 주류를 이룬다[4,5,6]. 반출 순서를 사전에 알 수 없는 임의 반출시에는 높게 쌓인 스택(stack)일수록 재취급 발생 가능성도 높아지므로, 재취급 대상 컨테이너는 적은 수의 컨테이너가 쌓여 있는 스택으로 옮기는 것이 효율적이라 할 수 있다.

3. 베이 내 컨테이너 재정돈 방안

본 장에서는 장치장의 구조에 대한 간략한 소개와 함께 분지 한계법을 이용하여 베이 내 컨테이너들을 재정돈하기 위한 컨테이너 이동 순서를 계획하는 방안을 소개한다.

3.1. 장치장의 구조와 베이 내 컨테이너 재정돈

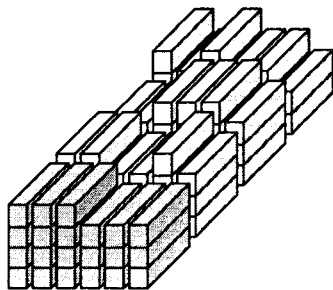


그림 2- 컨테이너가 장치된 블록의 일부분

장치장은 그림 2과 같은 블록(block)이 여럿 모인 구조로 이루어져 있으며, 각 블록은 트랜스퍼 크레인(transfer crane; TC)의 몸체가 움직이지 않고 작업할 수 있는 공간인 여러 개의 베이로 구성되어 있다. 각 베이는 여러 개의 스택으로 이루어지는데, 하나의 스택은 장치 높이만 다른 컨테이너 저장 공간의 집합이다. 베이내에서 스택의 위치를 열(row)이라 하며, 스택에서 컨테이너의 장치 위치를 단(tier)이라 한다. 그림 2는 4단 6열 베이 구조의 장치장에서 컨테이너가 장치된 블록의 일부분을 보여주고 있다. 그림에서는 진한색으로 표시된 컨테이너들은 동일한 베이에 속한다.

그림 3은 3단 3열 장치장 구조의 장치장의 한 베이내에서 컨테이너 재정돈이 이루어지는 예를 보이고 있다. 맨 왼쪽 위의 그림은 초기 베이 상태로 컨테이너들을 출하 순서와 함께 보이고 있다. 각 사각형은 컨테이너에 해당되며, 사각형 안에 표시된 숫자는 해당 컨테이너의 반출 순서를 의미한다. 초기 상태의 경우 2번 컨테이너 상단에 4번 컨테이너가 장치되어 있고, 5번 컨테이너 상단에 6번 컨테이너가 장치되어 있다. 따라서 4번과 6번 컨테이너는 각각 하단에 있는 자신보다 반출 순서가 빠른 컨테이너가 있어 반출시 재취급이 발생하게 된다. 그림에서 이후 과정은 이러한 재취급을 해소하기 위하여 컨테이너들을 이동시키는 과정을 단계별로 보이고 있다. 각 단계에서 위치를 이동시킨 컨테이너는 색이 있는 사각형으로 표시하였다. 총 5번의 컨테이너 이동으로 재취급이 발생하지 않는 상태로 바뀌었다.

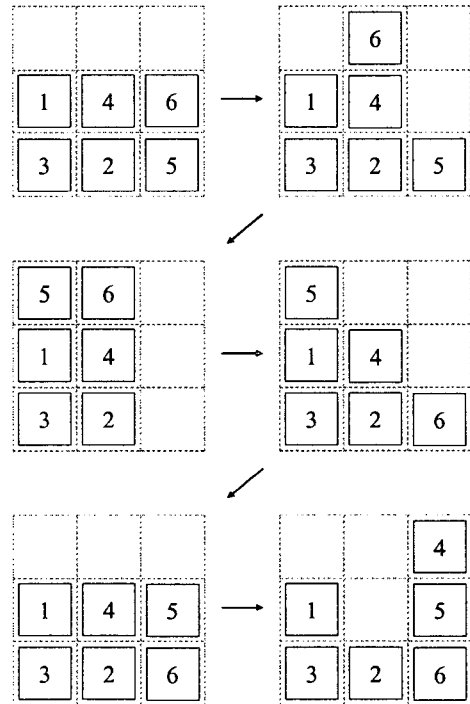


그림 3- 베이내 컨테이너 재정돈의 예

컨테이너를 재정돈하는 방안은 추가적인 비용이 거의 발생하지 않는 반입시 장치 위치 결정 방안이나, 반출시 재취급 컨테이너의 장치 위치를 효과적으로 결정하는 방안에 비해 컨테이너 이동 횟수가 많아 지게 된다. 그림 3의 경우 반출시에는 최소 두 번의 재취급이 발생하지만, 컨테이너 재정돈에는 5회의 컨테이너 이동이 필요하다⁴. 특히 장치장의 단수를 높일수록 재정돈에 필요한 컨테이너 이동 횟수가 늘어나므로 그 격차는 점차 커지게 된다. 실험적으로 4단 6열 구조의 베이에서 18개(= 3단 × 6열)의 컨테이너를 임의로 장치할 경우 반출시 필요한 평균 재취급 횟수는 약 8회이지만, 재정돈에 필요한 컨테이너 평균 이동 횟수는 약 11회였다. 하지만 앞에서 밝힌 바와 같이 컨테이너 재정돈은 장치장에서 유휴 시간을 활용하는 것이며, TC의 사용 시간 보다는 적하 시간의 단축이 터미널의 생산성에 있어 보다 중요하므로 이러한 재정돈은 충분히 그 의미가 있다⁵.

3.2. 분지 한계법을 이용한 이동 순서 계획

본 절에서는 분지 한계법을 이용하여 컨테이너 이동 계획을 수립하는 방안에 대하여 자세히 설명한다.

그림 4는 그림 3과 같은 해를 도출하기 위하여 컨테이너 이동 순서를 탐색하는 과정을 보여주고 있다. 초기 상태에서 하나의 컨테이너를 이동시켜서 생성할 수 있는 상태를 ‘깊이(depth) 1’의 상태라고 한다. 그림에는 직전의 상태에서 해당 상태로 변환시키는데 사용된 컨테이너 이동 방법을 각 상태의 상단에 함께 기록해 두었다. ‘깊이 1’의 각 상태에서 다시 하나의 컨테이너를 이동시켜서 생성할 수 있는 상태를 ‘깊이 2’의 상태라고 한다. 이러한 과정을 계속해서 반복하여 수행하면 반출시 재취급이 발생하지 않는 상태 즉 ‘목적 상태(goal state)’를 발견하게 된다⁶. 그림에서 큰 동그라미가 그려진 목적 상태에서 초기 상태로 거슬러 올라가면서 컨테이너 이동을 추적하면 초기 상태에서 목적 상태로 바꿀 수 있는 컨테이너 이동 순서를 얻게 된다. 그림 4에서 진하게 표시된 상태가 목적 상태 또는 목적 상태에 이르는 경로(path)에 해당되며, 발견된 컨테이너 이동 순서는 <(3열 → 2열), (3열 → 1열), (2열 → 3열), (1열 → 3열), (2열 → 3열)>이다.

이러한 방식으로 해를 탐색하는 방법을 ‘폭 우선 탐색(breadth-first search)’이라고 한다[7]. 폭 우선 탐

색 방법으로 찾아진 해는 한 번의 컨테이너 이동 비용이 모두 동일한 경우 최적해임이 보장된다. 하지만, 폭 우선 탐색 방법의 가장 큰 문제점은 본 예에서와 같이 하나의 상태에서 다음 상태로 변화시킬 수 있는 방법, 즉 컨테이너 이동 방법의 가짓수가 많고 해를 찾기까지 필요한 컨테이너 이동 횟수가 많아져서 탐색의 깊이가 깊어질수록 각 상태를 저장하는데 필요한 공간은 기하 급수적으로 증가한다는 점이다. 4단 6열 구조의 경우 한 상태에서 적용 가능한 1회의 컨테이너 이동 방법은 최대 30가지(= 6열 × 5열)이며, 재정돈에 필요한 평균 최적 컨테이너 이동 횟수는 11회에 달하기 때문에 ‘폭 우선 탐색’ 방안으로 해를 찾는 것은 현실적으로 적용하기는 어렵다고 할 수 있다.

본 논문에서 최소 컨테이너 이동 횟수를 보장하기 위하여 적용한 방안은 ‘깊이 우선 탐색(depth-first search)’의 일종인 분지 한계법을 이용하는 것이다[7]. 깊이 우선 탐색은 깊이별로 모든 상태를 생성하고 확인한 후 다음 깊이의 상태를 탐색하는 폭 우선 탐색과는 달리 각 상태에서 가능한 컨테이너 이동 방법을 적용하여 생성할 수 있는 상태들 중에서 우선적으로 하나를 골라 탐색을 진행하는 방법이다. 탐색 과정에서 해를 발견하지 못한다는 확신이 든다면 이전 상태로 돌아가서, 아직 시도해 보지 않은 다른 상태로 탐색을 계속한다. 탐색 과정에서 조건에 맞는 해를 구하게 되면 탐색은 종료된다. 깊이 우선 탐색 적용시 필요한 저장 공간은 탐색의 깊이에만 선형 비례하지만, 발견된 해가 최적해를 보장하지 못한다는 점과 본 문제와 같이 동일한 장치 상태가 반복하여 나타나는 경우(예를 들어 1열의 컨테이너를 2열로 옮긴 후, 방금 옮긴 2열의 컨테이너를 1열로 다시 옮기면 본래의 상태가 된다)를 확인하여 적절히 처리하지 않으면, 해를 찾지 못하고 무한히 탐색이 진행될 수 있다는 문제점이 있다.

본 연구에서는 발견된 해가 최적해임을 보장 받기 위하여 분지 한계법에 ‘반복적 깊이 증가 탐색(iterative deepening search)’ 방식을 적용하였다. 반복적 깊이 증가 탐색은 먼저 깊이가 1인, 즉 1회의 컨테이너 이동으로 해가 있는지 탐색하고, 해를 발견하지 못하면 최대 깊이를 하나 증가시켜 재탐색한다. 분지 한계법은 탐색 과정에서 지정된 최대 깊이에도달할 때까지 해를 찾지 못하거나, 해를 찾지 못할 것이라는 확신이 들면 현 상태에서 하위 깊이로의 탐색을 중지하고 아직 시도해보지 않은 다른 방향으로 탐색을 진행한다. 예를 들어, 그림 4에서 5회의 컨테이너 이동으로 가능한 해를 찾는다고 할 때, 깊이 4에서 첫번째 맨 왼쪽은 이미 컨테이너를 4번 이동한 상태이며, 앞으로 최소 2회 이상의 추가 컨테이너(4번과 5번 컨테이너) 이동이 필요함을 알 수 있다. 따라서 이 상태는 더 이상 탐색을 진행하여도 전체 5회 이내로 목적 상태를 발견할 수 없음이 확실하므로 해당 상태에서 하위 깊이로의 탐색은 중지된다..

⁴ 반출시 하나의 컨테이너를 재취급하는데 소요되는 시간과 컨테이너 정돈시 하나의 컨테이너를 이동시키는데 소요되는 시간은 동일하다고 볼 수 있다. 그림 3의 경우에는 컨테이너 재정돈에 필요한 최소 이동 횟수가 5회이다.

⁵ 작업에 필요한 인력 측면에서만 설명한다면, 재정돈의 경우 TC 기사 한 명이 필요하거나 경우에 따라서는 무인화가 가능하지만, 적하 작업의 경우에는 컨테이너 크레인(container crane; CC) 기사, TC 기사, 작업 관리자, 선상 신호수, 그리고 여러 명의 내부 트럭 기사가 필요하다.

⁶ 해가 존재하는 경우에만 발견할 수 있다.

초기 상태

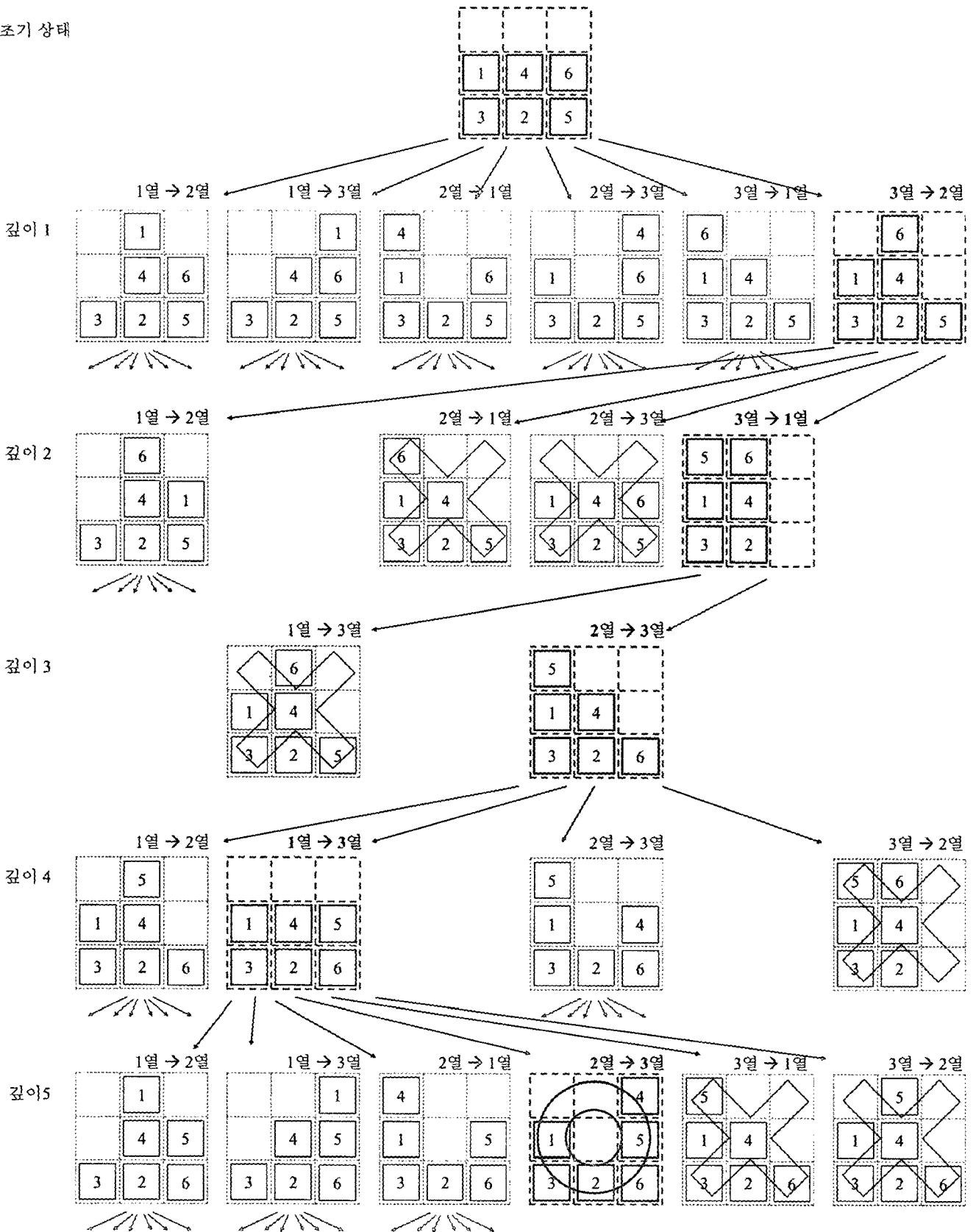


그림 4- 탐색 기법을 이용한 컨테이너 이동 순서 계획

분지 한계법의 효율은 현 상태가 최적해로의 가능성이 없음을 얼마나 일찍 발견하느냐에 따라 큰 영향을 받는다. 본 연구에서는 이를 위하여 현 상태에서 추가로 필요한 컨테이너 이동 횟수의 하한값을 효과적으로 계산할 수 있는 방안을 제시한다. 최적해가 존재하지 않는 상태들의 일부는 손쉽게 파악이 가능하는데 그림 4에서 가위표로 표시된 상태들의 경우 추가의 탐색이 필요하지 않는다. 이 상태들은 이전 상태에서 옮긴 컨테이너를 다시 옮기는 경우이다. 예를 들어 1열에서 2열로 컨테이너를 옮긴 후, 2열에서 3열로 컨테이너를 옮기면 1열에서 3열로 컨테이너를 한 번에 옮긴 경우와 동일한 상태가 되므로 이 상태에서는 더 이상 최적해를 기대할 수 없다. 이러한 경우는 동일한 상태로 변하지만 컨테이너 이동 횟수가 다른 경우이며, 이동 계획 <(1열 → 2열), (3열 → 4열)>과 이동 계획 <(3열 → 4열), (1열 → 2열)>의 경우처럼 컨테이너 이동 순서만 다를 뿐 동일한 이동 횟수로 같은 상태를 만드는 경우도 사전에 파악하여 둘 중에서 한가지 경우만 탐색하는 방안을 개발할 수 있다. 그림 5는 본 논문에서 사용한 탐색 방안을 간략하게 정리하였으며, 계속해서 하한값을 계산하는 방법에 대하여 설명한다.

1. 초기 상태에서 하한값을 구하고 이를 lb 로 둔다.
2. lb 를 최대 값으로 두고 분지 한계법으로 탐색한다.
3. 해가 발견되면 해를 출력하고 종료한다.
4. lb 를 1 증가시키고 단계 2부터 반복한다.

그림 5- 컨테이너 이동 횟수 탐색 방법

3.3. 효율적인 탐색을 위한 하한값 계산

본 절에서는 분지 한계법을 효과적으로 적용하기 위하여 주어진 상태에서 컨테이너 재정돈에 필요한 최소 이동 횟수를 계산하는 방법에 대하여 소개한다.

15	16	2	17	1	18
9	8	10	11	14	12
6	7	4	13	3	5

그림 6- 하한값 9: (반출시 최소 재취급 횟수)

그림 6은 4단 6열 구조에서 반출시 필요한 최소 재취급 횟수를 구한 것이다. 각각의 컨테이너의 하단에 자신보다 일찍 출하될 컨테이너가 있는 경우 반출시 반드시 재취급이 발생하므로 이를 이용하여

하한값을 구할 수 있다. 그림의 예에서는 최소 9회의 컨테이너 이동이 필요한 것으로 계산되었다.

15	16	2	17	1	18
9	8	10	11	14	12
6	7	4	13	3	5

그림 7- 하한값 11: (재정돈시 최소 재취급 횟수)

그림 7은 앞의 경우에 비해 큰 하한값을 계산할 수 있는 예를 보이고 있다. 재정돈하기 위해서는 반출시 재취급 대상 컨테이너들은 모두 한 번 이상의 이동이 필요하다. 이들 컨테이너들을 이동시키기 위해서는 각 컨테이너들의 상단에 있는 컨테이너들도 함께 이동되어야 한다. 따라서 앞에서는 하한값 계산에 포함되지 않았던 1번과 2번 컨테이너도 이동 대상으로 선정되며, 이 경우에는 11회의 하한값을 얻을 수 있다.

탐색을 보다 효율적으로 수행하기 위해서는 실제 최소 이동 횟수에 가까운 하한값이 요구된다. 본 논문에서 최종적으로 하한값을 계산하기 위하여 사용한 방법은 그림 8과 같다. 만일 이동 대상 컨테이너들을 모두 꺼낸 뒤 최적의 방법으로 다시 장치하였을 때 재취급이 발생하지 않도록 장치하는 것이 불가능하다면, 꺼낸 컨테이너 수보다 더 많은 컨테이너들을 이동시켜야 한다는 원리를 이용한 것이다. 그림에서 맨 윗줄에 해당되는 두 개의 그림은 그림 7에서 하한값을 구하는데 사용된 컨테이너를 모두 꺼내고 이를 다시 장치해 본 경우이다. 꺼내어진 컨테이너들은 반출 순서의 역순으로 정렬한 후 하나씩 장치하되, 가장 일찍 반출되는 컨테이너의 순번을 가진 스택에 장치하였다. 이 경우 18번 컨테이너를 재취급 없이 장치할 수 있는 공간이 없음은 쉽게 알 수 있다. 따라서 11번의 컨테이너 이동으로는 컨테이너 재정돈이 불가능하다는 결론을 내릴 수 있다. 그림에서 가운데 줄은 추가로 하나의 컨테이너를 더 꺼내 동일한 방법으로 반복한 경우이다. 이 경우 모든 가능한 경우 즉 하나의 컨테이너를 추가로 꺼내는 총 6가지 경우를 모두 시도해 보아야 한다. 여기서는 가장 일찍 반출될 3번 컨테이너를 선택하는 것이 가장 적절하다. 이렇게 12개의 컨테이너를 다시 장치해보면 이번에도 장치가 불가능한 것을 알 수 있다. 동일한 과정을 반복하여 이번에는 2개의 컨테이너를 추가로 꺼내어 시도한 경우가 마지막 줄의 그림들이다. 이 경우에는 재취급이 발생하지 않는 장치가 가능하였으며, 이는 주어진 상태가 최소 13

이동시킬 컨테이너들

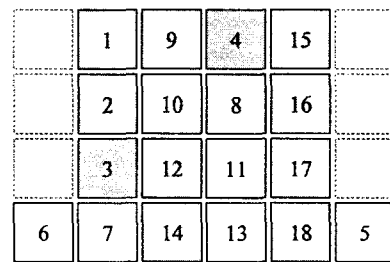
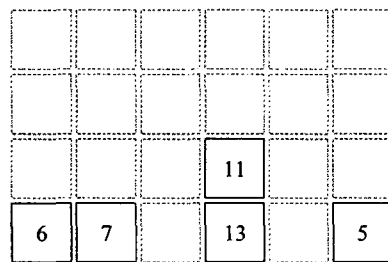
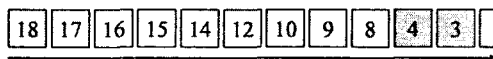
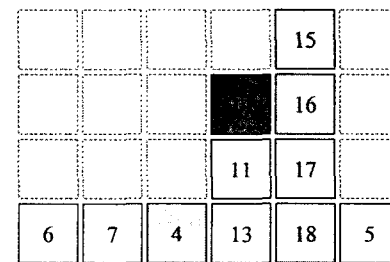
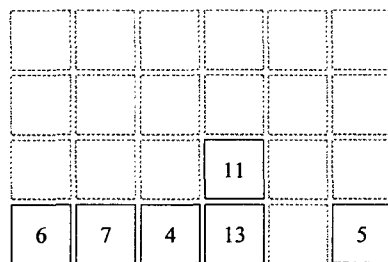
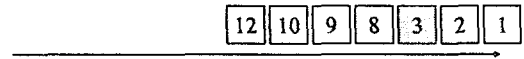
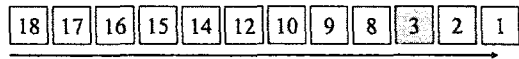
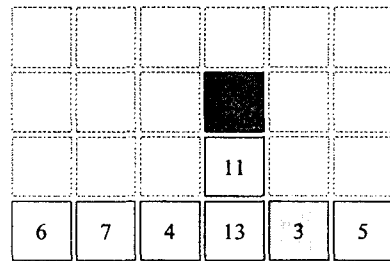
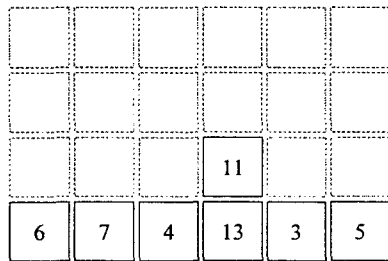
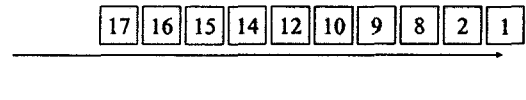
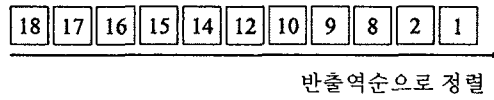


그림 8- 하한값 13: (재정돈시 최소 이동 횟수)

번 이상 컨테이너를 이동시켜야 재정돈이 가능하다는 의미가 된다.

4. 실험 결과 및 분석

이상에서 제안한 컨테이너 재정돈 방안의 효과를 확인하기 위하여 그림 9와 같은 방법으로 실험을 수행

하였다. 반입되는 컨테이너를 어떠한 방안으로 장치하느냐에 따라 평균 재취급 수와 재정돈 작업의 난이도가 달라지므로 임의의 위치에 장치하는 경우(임의 장치)와 무게를 고려하여 재취급을 최소화하면서 장치하는 경우(MDF 장치)[1,2,3] 두 가지 경우를 비교하였다. 장치장의 베이 구조로는 4단과 5단을 대상으로 열 수를 변화시켜가며 실험을 수행하였다. 4

단의 경우 컨테이너 이동을 위한 공간을 확보하기 위하여 3단 분량의 컨테이너를 쌓는 것을 가정하였다.

1. 반입 컨테이너의 순서와 무게를 임의로 생성한다.
2. 순서대로 컨테이너를 반입하고 장치 위치를 결정한다.
3. 컨테이너 무게로 적하를 위한 반출 순서를 생성한다.
4. 제안한 방안으로 컨테이너 재정돈을 수행한다.
5. 이러한 실험을 1,000회 수행하여 재정돈에 필요한 평균 컨테이너 이동 횟수를 구한다.

그림 9 - 실험 방법

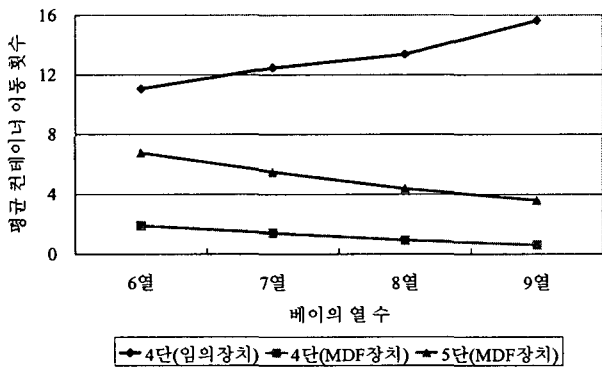


그림 10 - 발견된 해의 평균 컨테이너 이동 횟수

표 1 - 발견된 해의 평균 컨테이너 이동 횟수

	6열	7열	8열	9열
4단(임의 장치)	11.05	12.47	13.36	15.65
4단(MDF 장치)	1.89	1.42	0.93	0.61
5단(MDF 장치)	6.75	5.48	4.37	3.60

그림 10과 표 1은 여러 가지 상황에서 재정돈하는데 필요한 컨테이너 평균 이동 횟수를 보이고 있다. 4단에 대해서만 실험이 수행된 임의 장치의 경우에는 열 수가 늘어남에 따라 재정돈에 필요한 컨테이너 이동 횟수 즉 비용이 점차 높아짐을 알 수 있다. 이에 비해 무게 정보를 이용하여 가능한 재취급이 발생하지 않도록 컨테이너를 장치하는 MDF 장치의 경우에는 열 수가 증가하면 오히려 재정돈에 필요한 비용이 낮아지는 것을 볼 수 있다. 이는 열 수가 늘어날수록 반입되는 컨테이너를 재취급 없이 놓을 수 있는 공간이 상대적으로 많아지기 때문이다. 수동 장치장 구조로 많이 활용되는 4단 6열의 경우 임의 장치는 재정돈을 위하여 평균 11회의 컨테이너 이동이 필요한 데 비해, MDF 장치는 평균 2회 이내로 재정돈이 가능함을 알 수 있다. 자동화 장치장 구조로 많이 활용되는 9열 구조에서는 임의 장치시 5단

이상의 경우에는 만족할 만한 시간내에 해를 도출하지 못하였으나, MDF 장치는 5단에서도 큰 무리가 없었다.

그림 11과 표 2는 해를 도출하는데 필요한 평균 시간을 측정한 결과이다. 1,000번의 실험 중 대부분의 경우 1분 이내에 수행이 완료되었다. 하지만, 가장 많은 시간이 걸린 경우만을 표시한 표 3을 살펴보면 단 수가 높아짐에 따라 해를 찾는데 상당한 시간이 필요한 경우도 있음을 알 수 있다. 실험한 환경에서 가장 해를 찾기 어려운 5단 6열 MDF 장치의 경우, 총 1,000번의 실험 중 6번을 제외하고는 모두 1분 이내에 해가 도출되었다.

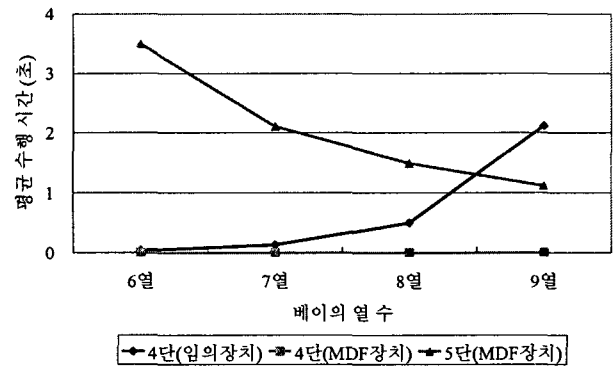


그림 11 - 해를 발견하는데 소요되는 평균 시간

표 2 - 탐색 소요 평균 시간 (단위: 초)

	6열	7열	8열	9열
4단(임의 장치)	0.04	0.13	0.50	2.12
4단(MDF 장치)	0.01	0.01	0.01	0.01
5단(MDF 장치)	3.49	2.10	1.49	1.11

표 3 - 탐색 소요 최대 시간 (1,000회 중, 단위: 초)

	6열	7열	8열	9열
4단(임의 장치)	1.00	5.64	40.48	153.54
4단(MDF 장치)	0.28	0.23	0.21	1.44
5단(MDF 장치)	1481.13	625.85	563.15	209.51

5. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 적하 작업의 효율에 큰 영향을 미치는 재취급을 없애기 위하여 장치장에서 유희 시간을 활용하여 컨테이너를 재정돈하는 컨테이너 이동 순서 계획 방안을 제시하였다. 제안 방안은 장치 상태에 따라 그 수행 시간의 편차가 다소 심하지만, 대

부분의 경우 실시간에 해를 도출할 수 있음을 확인할 수 있었다.

향후 최소의 컨테이너 이동 횟수를 보장하지 못하더라도, 실시간에 허용할 수 있는 수준으로 재정돈 계획을 수립할 수 있는 휴리스틱에 대한 연구와 이웃 베이의 공간을 활용하는 보다 효율적인 재정돈 계획을 수립할 수 있는 방안에 대한 연구가 필요하다.

참고문헌

- [1] 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.
- [2] 양지현 (2003). "재취급 최소화를 위한 혼적 결정 수리 모형 및 해법", 석사 학위 논문, 부산대학교 대학원 산업공학과.
- [3] 최영진, 오명섭, 전수민, 강재호, 류광렬, 김갑환 (2004), "컨테이너 터미널에서 재취급 최소화를 위한 이적 위치 결정 방안", *한국지능정보시스템학회 2004년 춘계학술대회 논문집*, pp. 382-391.
- [4] Kim, K. H. (1997). "Evaluation of the Number of Rehandles in Container Yards", *Computers and Industrial Engineering*, Vol.32, No.4, pp.701-711.
- [5] Castilho, B. and Daganzo, C. F. (1993). "Handling Strategies for Import Containers at Marine terminals", *Transportation Research*, Vol.27B, No.2, pp.151-166.
- [6] Watanabe, I. (1991). "Characteristics and Analysis Method of Efficiencies of Container Terminal - An Approach to the Optimal Loading/Unloading Method", *Container Age*, pp.36-47.
- [7] Russell, S. and Norvig, P. (2003). *Artificial Intelligence - A Modern Approach*, Prentice Hall.