

반입 컨테이너 무게를 고려한 재취급 최소화 장치 위치 결정 방안*

강재호^a, 오명섭^a, 류광렬^a, 김갑환^b

^a 부산대학교 컴퓨터공학과

609-735, 부산광역시 금정구 장전2동 산30번지 부산대학교 공과대학 컴퓨터공학과
Tel: +82-51-510-{3582,3582,2453}, Fax: +82-51-517-2431, E-mail: {jhkang, oms1226, 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 터미널에서 적하 작업을 수행할 때에는 선박의 안정성을 위하여 무거운 컨테이너들을 선박의 바닥쪽에 우선하여 배치한다. 그러므로 장치장(yard)에서 동일한 선박 베이(bay)에 선적할 컨테이너들을 무게가 무거운 순서로 효율적으로 반출할 수 있다면, 적하 계획의 수립과 수행이 수월해진다. 만일 장치장에서 적하를 위하여 지금 반출하여야 하는 컨테이너의 상단에 다른 컨테이너들이 장치되어 있다면, 부득이하게 위에 놓여 있는 컨테이너들을 임시로 옮겨야 하는데, 이러한 부가 작업을 재취급(rehandling)이라 한다. 재취급이 빈번히 발생하게 되면 적하 작업의 흐름은 차질을 빚게 되므로 재취급의 최소화는 작업 효율 측면에서 매우 중요하다. 본 논문에서는 컨테이너가 장치장에 반입되는 시점에 해당 컨테이너의 무게를 알 수 있다는 가정하에, 적하 작업을 위한 반출시 재취급이 적게 발생하도록 신규 반입된 컨테이너의 장치 위치를 결정하는 휴리스틱을 제안한다. 제안하는 휴리스틱은 각 스택(stack)별로 장치되어 있는 컨테이너들 중에서 가장 먼저 반출될 가장 무거운 컨테이너의 무게를 해당 스택의 대표 무게로 설정하고, 이를 신규 반입 컨테이너의 무게와 비교하여 장치 위치를 결정한다. 장치장 베이 하나로 시뮬레이션한 실험 결과 4단 6열 및 6단 9열의 장치장 베이 구조에서 임의의 위치에 신규 반입 컨테이너를 장치하는 방식에 비해 재취급 횟수를 1/5 이하로 줄일 수 있음을 확인하였다

주제어

컨테이너 터미널 장치장, 장치 위치 자동 결정, 재취급 최소화

* 본 연구는 한국과학재단지정 지능형통합항만관리연구센터의 지원에 의한 것입니다.

1. 서론

컨테이너 터미널의 생산성은 선석(berth)에서 선박에 컨테이너를 싣고 내리는 본선 작업을 얼마나 효율적으로 수행하느냐에 따라 큰 영향을 받는다. 본선 작업은 크게 선박에 실린 컨테이너를 내리는 양하 작업과 선박에 컨테이너를 싣는 적하 작업 두 가지로 이루어진다¹. 이 중에서 적하 작업을 수행할 때에는 선박의 안정성을 고려하여 무거운 컨테이너들을 선박의 바닥쪽에 배치하는 것을 기본 원칙으로 한다. 적하 계획을 수립하는 전문가가는 이러한 기본 원칙과 적하 대상 컨테이너들이 장치장에 어느 위치에 장치되어 있는지를 고려하여 적하 순서를 결정하게 된다

적하 작업은 선박의 바닥쪽부터 컨테이너를 하나씩 쌓아가는 작업이므로, 선박의 같은 베이에 실을 컨테이너들을 무거운 순서로 장치장에서 반출하는 것이 수월할수록 적하 계획의 수립이 쉬워지고 작업의 흐름 또한 원활해진다. 만일 장치장에서 지금 반출하여야 하는 컨테이너의 상단에 다른 컨테이너들이 장치되어 있다면, 부득이하게 위에 놓여 있는 컨테이너들을 다른 곳으로 옮겨야 하는데 이러한 부가 작업을 재취급이라 한다. 재취급이 빈번히 발생하게 되면 적하 작업은 차질을 빚게 된다. 따라서, 장치장에서 적하 작업을 위한 컨테이너 반출시 재취급의 최소화는 선석에서의 작업을 원활히 하여 터미널의 생산성을 향상시키는데 있어 매우 중요하다.

본 논문에서는 컨테이너가 장치장에 반입되는 시점에 획득한 무게 정보를 이용하여 재취급이 발생할 가능성이 낮은 위치에 신규 반입된 컨테이너를 장치하는 휴리스틱을 제안한다. 제안하는 휴리스틱은 신

¹ 본선 작업에는 적하 작업과 양하 작업 이외에도 선박의 균형을 맞추거나 이후에 방문할 목적항에서 보다 효율적인 작업 수행을 위하여 선박에 실린 컨테이너들의 위치를 옮기는 쉬프팅(shifting) 작업도 있다.

규 반입된 컨테이너가 장치될 장치장 베이의 각 스택별로 가장 먼저 반출될 가장 무거운 컨테이너의 무게를 해당 스택의 대표 무게로 설정하고, 이를 신규 반입된 컨테이너의 무게와 비교하여 장치 위치를 결정한다. 신규 반입된 컨테이너를 놓았을 때 재취급이 발생하지 않을 것으로 예상되는 위치가 여럿 있다면, 이들 중에서 가장 비슷한 대표 무게를 가진 스택 또는 빈 스택에 컨테이너를 장치하고, 모든 위치에서 재취급이 발생할 수 밖에 없다면 대표 무게와의 차이가 가장 적은 스택에 장치한다. 수동 장치장 구조로 많이 활용되는 4단 6열 구조와 자동화 장치장에서 많이 쓰이는 6단 9열 구조를 가정하여 시뮬레이션한 실험 결과, 임의의 위치에 컨테이너를 장치하는 방식에 비해 제안된 본 휴리스틱이 적하 작업시 재취급 횟수를 1/5 이하로 줄일 수 있음을 확인하였다

본 논문은 먼저 2장에서 관련된 연구들을 소개하며, 3장에서는 적하 작업과 관련하여 재취급 문제에 대하여 보다 자세히 설명한다. 4장에서는 적하 작업을 위한 반출시 컨테이너 재취급을 최소화하기 위한 장치 위치 결정 휴리스틱을 제안하며, 5장에서는 제안한 휴리스틱을 이용한 시뮬레이션 실험 결과를 정리하여 분석한다. 마지막 6장에서 결론과 향후 연구 과제로 매듭을 짓는다.

2. 관련 연구

컨테이너 터미널의 장치장을 포함하여 전반적인 창고 운영에 있어서 재취급을 고려한 기존 연구들을 살펴보면 다음과 같다.

김갑환(1997)[1]은 컨테이너 터미널 장치장 내에서 하나의 컨테이너를 반출하는데 예상되는 재취급 횟수와 초기 베이의 장치 현황이 주어진 상황에서 모든 컨테이너를 반출하는데 발생할 총 재취급 횟수를 회귀 분석으로 추정하는 방안을 제시하였다. 이 연구에서는 하나의 베이에 있는 모든 컨테이너가 반출될 때까지 예상되는 총 재취급 횟수를 추정할 수 있는 근사 계산식도 함께 제시하였다.

Castilho와 Daganzo(1993)[2]는 컨테이너 터미널의 수입 장치장 운영 문제를 연구하였다. 이 논문은 수입 컨테이너 장치장에서 발생하는 여러 측면의 문제를 소개하고 분석적인 결과를 제시하였다는 점에서 중요한 연구라 할 수 있다. 트랜스퍼 크레인(transfer crane; TC)을 활용하는 장치장에서 재취급 문제가 가장 심각한 상황을 가정하여, 반출하고자 하는 컨테이너를 무작위로 쌓여 있는 베이로부터 빼어 낼 때 예상되는 컨테이너 취급 횟수를 추정하는 수식을 유도하였다. 이 논문은 분석적인 방법보다는 시뮬레이션을 통하여 제시한 전략을 평가하였다.

김갑환과 박영만(2000)[3]은 수출 컨테이너를 대상으로 재취급을 최소화하기 위하여 반입시 장치 위치를 결정하는 문제를 다루었다. 이 연구는 반입 컨테

이너의 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. 이 연구는 본 논문과 같이 반입된 컨테이너의 무게 정보를 이용하여 재취급을 최소화할 수 있는 장치 위치를 결정하고자 하는 목적은 동일하지만, 무게를 {무거움, 보통, 가벼움}이라는 세 가지 경우로 제한하였다는 점이 본 논문에서의 가정과 다른 점이다.

김갑환과 김홍배(1996)[4]는 수입 장치장을 운영하는데 특징적으로 나타나는 재취급 작업을 분석하고, 이를 수입 장치장 운영과 연관된 의사 결정에 포함시켜 연구하였다. 이 연구는 장비의 수와 공간의 크기를 결정하는 부분과 공간의 할당에 대한 부분으로 크게 나누어지며, 수입 장치장 운영에 대한 운영 정책, 운영 방법 및 공간 배정을 위하여 수입 장치장의 공간 소요 및 공급 능력을 변화시키는 방법과 개별 컨테이너의 장치 위치 결정에 대하여 다루었다. 이전까지의 연구는 대부분 시뮬레이션을 이용하여 소요 장비 수를 결정하였으나, 이 연구에서는 수리적인 접근법을 이용하여 그 영향을 살펴보았다.

Watanabe(1991)[5]는 재취급 발생 횟수를 추정하여 나타내는 지표로 접근 지수(accessibility index)라는 개념을 제시하였다. 스태들 캐리어 시스템(straddle carrier system)이나 TC 시스템을 사용하는 두 가지 상황에서 접근 지수를 사용하여 재취급을 고려한 전체 컨테이너 취급 횟수를 추정하는 방법을 제안하였다.

Mordecai, Penn, Shpirer 그리고 Witteboon(1998)[6]은 컨테이너 적하 계획을 다루면서 쉬프팅(shifting)² 작업에 대하여 언급하였다. 쉬프팅은 효율적인 적하 계획을 수립함으로써 어느 정도 피할 수 있다. 이 연구에서는 안정성이나 다른 제약은 고려하지 않고 단지 쉬프팅 횟수만을 고려한 최적의 적하 계획을 찾을 수 있는 이진 선형 모델을 제시하였다. 하지만 실제 적하 계획에서는 너무 많은 이진 변수와 제약 때문에 이 모델을 사용하여 최적해를 찾는 것은 한계가 있다. 이러한 한계를 극복하기 위해 이 연구에서는 쉬프팅을 고려한 미결 휴리스틱 절차(suspensory heuristic procedure)를 제안하고, 이를 이용한 적하 계획 수립 방법을 제시하였다.

양지현(2003)[7]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 제품들의 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 동적

² 쉬프팅은 장치장이 아닌 선박에서 발생하는 재취급이다.

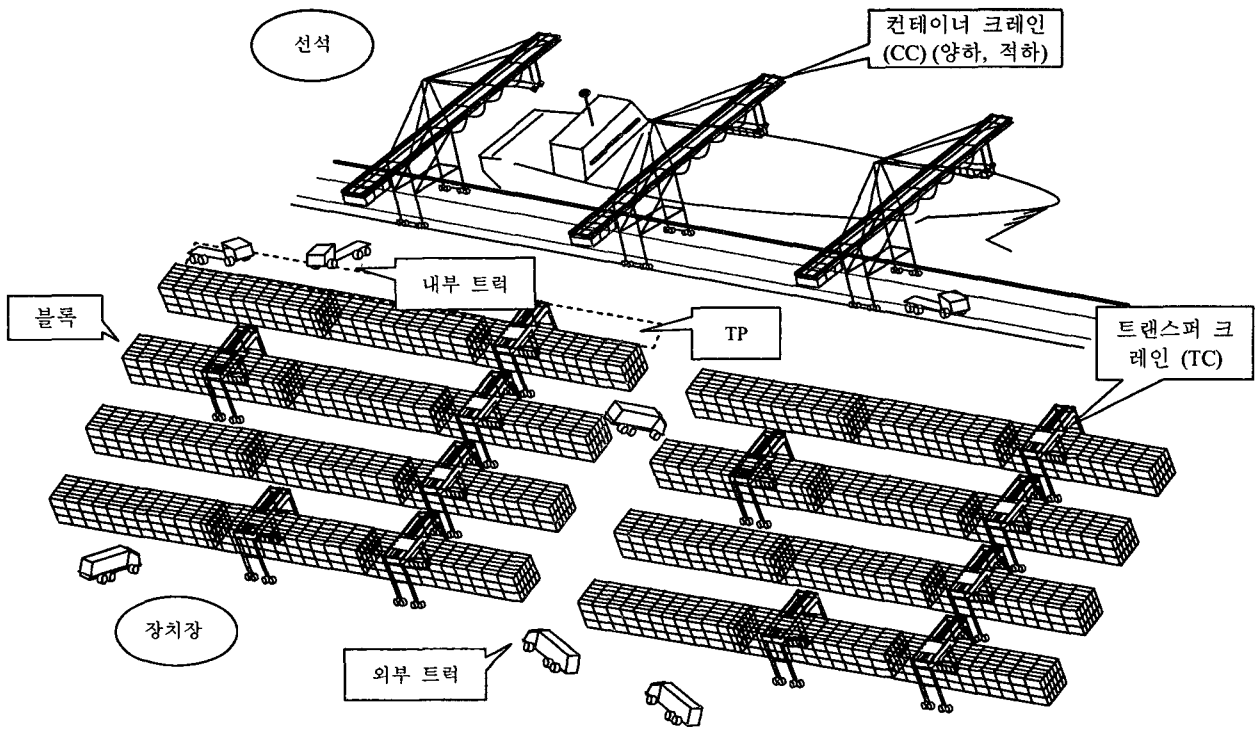


그림 1- 본선 작업과 관련한 컨테이너 터미널의 구조

인 문제를 쉽게 해결하기 위하여 재취급에 영향을 주는 요소들을 고려한 휴리스틱을 제시하였다. 본 논문의 장치 위치 결정 휴리스틱은 이 연구에서 제안된 휴리스틱을 컨테이너 장치장의 특성에 맞춰 특화시킨 것이라 할 수 있다.

최영진, 오명섭, 전수민, 강재호, 류광렬 그리고 김갑환(2004)[8]은 장치장에서 컨테이너들이 사전에 결정된 순서대로 반출될 때 부득이하게 재취급해야 할 컨테이너들의 배내 이적 위치를 결정하는 여러 휴리스틱 방안들을 정리하고, 분지 한계법(branch and bound)을 이용한 최적해 탐색 방안과 비교 실험하였다. 이 연구에서 가장 우수한 성능을 보인 최우선 반출 비교 방법이 본 연구에서 반입 컨테이너의 장치 위치 결정 방안으로 제안되는 휴리스틱이다.

3. 반입 컨테이너의 장치 위치 결정 방안

본 장에서는 컨테이너 터미널에 대한 간략한 소개와 함께 적하 작업시 장치장에서의 컨테이너 재취급 문제 및 재취급 발생의 최소화를 위한 휴리스틱에 대하여 보다 자세하게 설명한다.

3.1. 컨테이너 터미널

컨테이너 터미널에서 본선 작업과 관련한 부분의 구조를 살펴보면 대략 그림 1과 같다. 터미널은 해측의 선석과 육측의 장치장으로 구성된다. 일반적인

컨테이너 터미널은 선석에 하나 이상의 선박이 동시에 정박할 수 있다. 그림 1은 하나의 선박이 정박된 경우를 가정하여 도시하고 있다. 선석에는 선박으로부터 수입 컨테이너를 내리거나 선박에 수출 컨테이너를 싣는 컨테이너 크레인(container crane; CC)들이 있다. CC는 내부 트럭(yard trackter)에 선박에 컨테이너를 싣거나 들어낸다. 장치장은 수출입 컨테이너를 적재해두는 곳으로 TC를 이용하여 컨테이너를 내부 트럭에 싣거나 내린다. 장치장과 CC사이의 컨테이너 운반은 내부 트럭이 담당하게 된다. 장치장은 여러 개의 블록으로 구성되며 각 블록마다 트럭이 정차할 수 있는 공간으로 TP(transfer point)가 있다. 내부 트럭이 TP에 도착하면 TC는 내부 트럭에 수출 컨테이너를 싣거나 양하된 수입 컨테이너를 내부 트럭에서 집어 블록내에 장치하게 된다. 내부 트럭들은 장치장 블록의 TP와 선석의 CC 사이를 오가면서 컨테이너를 운반한다.

일반적으로 컨테이너 터미널의 생산성은 CC의 작업이 얼마나 원활히 이루어지는가에 달려 있다. 즉, CC가 쉬지 않고 지속적으로 작업할 때 생산성이 높아지게 된다. 따라서 CC에서 작업 지연이 발생하지 않도록 장치장에서 수출입 컨테이너를 처리할 수 있어야 한다. 양하 작업은 장치장의 미리 할당된 공간에 컨테이너를 쌓는 작업이므로 특별한 지연없이 처리할 수 있으나, 적하 작업은 서론에서 설명한 바와 같이 다른 컨테이너들의 장치 상태에 따라 재취급이 필요할 수 있어 작업 효율이 떨어질 수 있다.

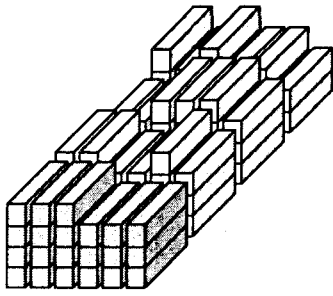


그림 2- 컨테이너가 장치된 블록의 일부분

장치장에는 그림 1과 같이 여러 개의 블록(block)이 있으며, 각 블록은 TC의 몸체가 움직이지 않고 작업할 수 있는 공간인 여러 개의 베이로 구성되어 있다. 각 베이는 여러 개의 스택(stack)으로 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 구조의 장치장에서 컨테이너가 장치된 블록의 일부분을 보여주고 있다. 그림에서는 표시된 컨테이너들은 동일한 베이에 속한다. 계속해서 적하 작업시 장치장에서의 컨테이너 재취급 문제에 대하여 보다 자세히 소개한다.

3.2. 적하 작업시 장치장에서의 컨테이너 재취급

그림 3은 장치장을 기준으로 적하할 컨테이너의 이동 흐름을 간략하게 도식화하여 보여주고 있다. 적하할 컨테이너들은 선박이 입항하기 일정 시점 이전까지 터미널 외부에서 반입되어 사전에 계획된 장치장의 공간에 장치된다³. 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 전문가들은 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.

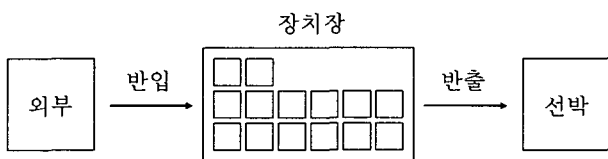
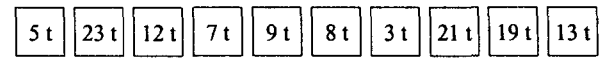


그림 3- 장치장에서의 적하 컨테이너의 흐름

³ 환적 화물과 같은 경우에는 다른 선박의 양하 작업에 의하여 터미널 내부에서 장치장에 반입될 수 있다.



컨테이너 반입 순서

그림 4- 컨테이너 반입 순서와 무게의 예

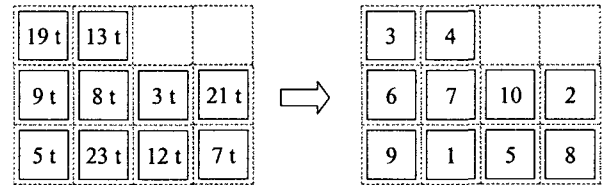


그림 5- 무게 고려없이 컨테이너를 장치한 예

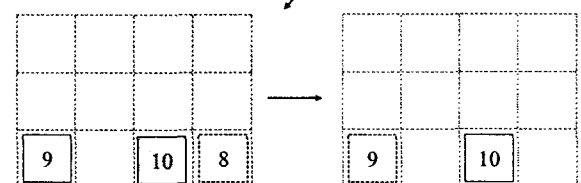
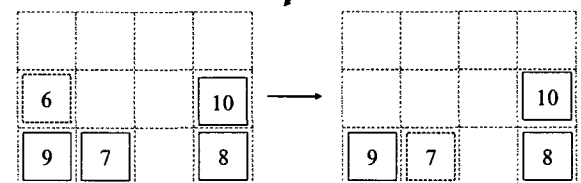
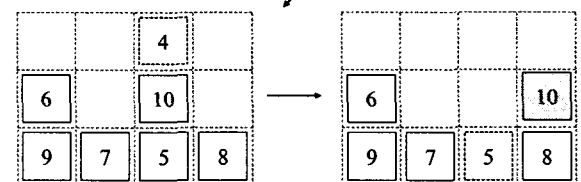
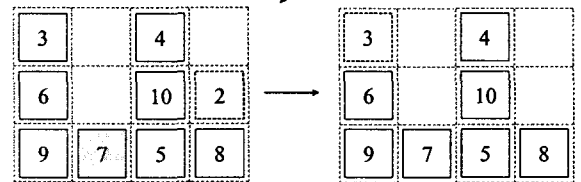
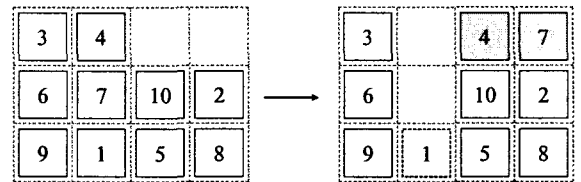


그림 6- 임의 장치한 컨테이너의 반출과 재취급

서론에서 밝힌바와 같이 적하 순서를 생성할 때 가장 중요하게 고려되어야 하는 요소의 하나는 개별 컨테이너의 무게이다. 따라서 무게를 고려하지 않고 반입되는 컨테이너들을 장치하게 되면 적하 작업시 재취급이 빈번히 발생할 수 있는데, 이를 예를 들어 설명하고자 한다. 그림 4는 10개의 컨테이너들의 반입 순서와 함께 무게를 톤 단위로 표시하고 있다. 3단 4열의 베이 구조를 갖는 장치장을 가정했을 때, 무게 정보를 무시하고 반입된 순서대로 바닥에서부터 컨테이너를 장치한다면 그림 5의 왼쪽 그림과 같은 최종 장치 상태를 갖게 될 것이다⁴. 3단 4열 구조의 경우 한 베이당 최대 12개의 컨테이너를 장치할 수 있지만, 최악의 경우 재취급을 위한 여유 공간을 확보하기 위하여 10개까지만 컨테이너를 장치한다.

만일 컨테이너 무게를 엄격하게 고려하여 적하 계획을 수립한다면 그림 5의 왼쪽 장치 상태로는 그림 5의 오른쪽 그림과 같이 적하 순서가 결정될 것이다. 그림에서 사각형안의 숫자는 해당 컨테이너가 반출될 순서를 의미한다. 그림에서 첫 번째 컨테이너를 반출하기 위해서는 상단에 있는 두 개의 컨테이너를 옮겨야 하는 재취급이 발생함을 쉽게 알 수 있다. 그림 6은 컨테이너를 적하 순서대로 하나씩 반출하는 과정을 단계별로 도시하고 있다. 그림에서 회색으로 표시된 사각형은 재취급이 발생하여 위치를 옮기게 된 컨테이너를 나타내며, 점선으로 나타낸 사각형은 현재 반출할 컨테이너를 의미한다. 이 예에서는 10개의 컨테이너를 모두 반출하기 위하여 총 5번의 재취급이 발생하였다.

4. 최소 차이 우선 휴리스틱

본 장에서는 무게를 고려하여 컨테이너의 장치 위치를 결정하는 최소 차이 우선(minimum difference first; MDF) 휴리스틱을 소개한다. MDF 휴리스틱은 신규 반입된 컨테이너 c_i 의 무게 w_i 와 이미 장치된 컨테이너들의 무게를 비교하여 반출시 재취급이 발생되지 않을 것 같은 위치에 컨테이너를 장치하는 방법이다. 스택마다 c_i 를 장치하였을 때 재취급 발생 여부를 파악하기 위하여 각 스택에서 가장 일찍 반출될 컨테이너 즉, 가장 무거운 컨테이너의 무게를 해당 스택의 대표 무게로 두고 이를 w_i 와 비교한다. w_i 보다 큰 대표 무게를 가진 스택에 c_i 를 장치하면 반출시 반드시 재취급이 발생하게 된다⁵. 재취급이 발생하지 않을 것 같은 스택이 여럿인 경우에는 이들 중에서 w_i 와 대표 무게간의 차이가 가장 적은 스택에 c_i 를 장치한다. 장치 가능한 모든 스택에서 재취급이 발생할 수 밖에 없다면, w_i 와 대표 무게간의 차이가 가장 적은 스택에 c_i 를 장치한다. 컨테이너가 하나도

쌓여있지 않은 빈 스택은 가장 늦게 반출될 가상의 컨테이너가 지면 아래에 존재한다고 가정하여 대표 무게를 0으로 둔다.

그림 7은 그림 4의 컨테이너들이 순서대로 반입될 때 MDF 휴리스틱을 이용하여 베이에 장치하는 상황을 한 단계씩 순서대로 보여주고 있다. 그림에서 빗금이 그어진 사각형이 현재 반입되는 신규 컨테이너를 의미하며, 각 스택의 아래쪽에 표기된 무게 정보는 해당 스택의 대표 무게를 나타낸다. 그림 8은 MDF 휴리스틱으로 장치한 최종 상태와 무게를 고려했을 때의 반출 순서를 보여주고 있다. 무게에 대한 고려없이 장치한 그림 5와 비교해보면 상대적으로 재취급이 적게 발생하도록 정돈되었다.

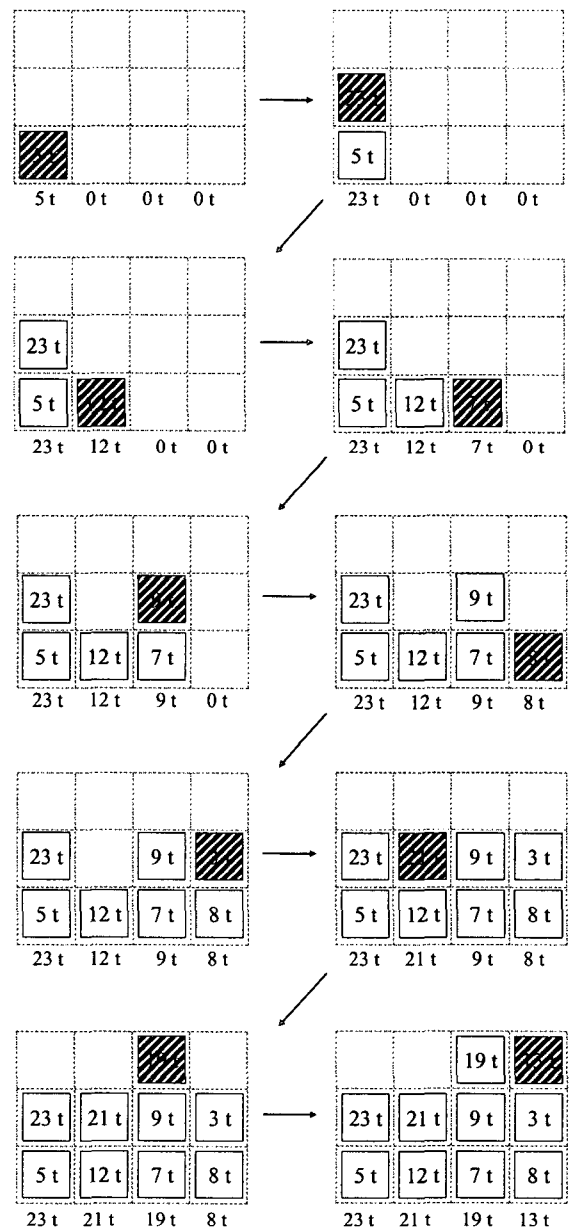


그림 7-MDF 휴리스틱을 이용한 장치 과정

⁴ 국내의 장치장들은 일반적으로 4단 6열 구조를 가지고 있으나, 여기서는 설명의 편의를 위하여 3단 4열 구조를 예로 보이고 있다.

⁵ 컨테이너 무게를 절대적으로 반영하여 반출 순서를 결정하는 경우이다.

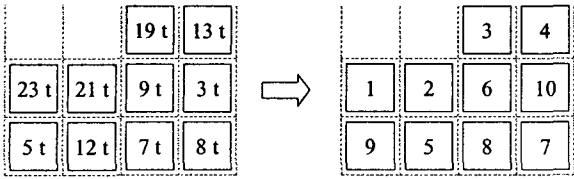


그림 8-MDF 휴리스틱으로 장치 완료한 상태

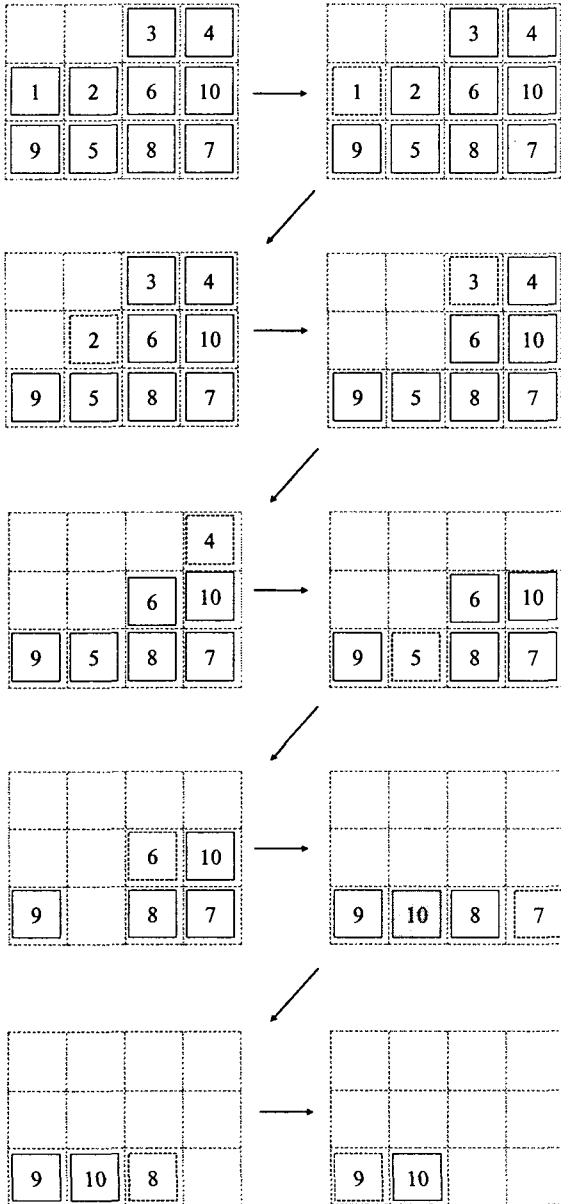


그림 9-MDF 휴리스틱으로 장치한 후 반출 과정

그림 9는 MDF 휴리스틱으로 장치한 상태에서 적하 순서대로 하나씩 반출하는 과정을 각 단계별로 보여주고 있다. 총 5번의 재취급이 발생한 그림 5의 경우와는 달리 단 1번의 재취급으로 모든 컨테이너를 반출할 수 있음을 알 수 있다. 반출시 발생하는 재취급 대상 컨테이너의 위치는 MDF 휴리스틱을

이용하여 결정할 수 있다[8]. 이 경우에는 무게 대신 반출 순서를 비교한다.

MDF 휴리스틱은 컨테이너 c_i 를 장치하고자 할 때 재취급이 발생하지 않을 것으로 예상되는 스택이 여럿 있다면, w_i 와 대표 무게간의 차이가 가장 적은 스택을 선호한다. 이는 이후에 임의의 컨테이너가 반입되었을 때 재취급이 발생하지 않는 위치가 존재할 가능성을 높이기 위함이다. 이러한 예로 그림 7에서 19t의 컨테이너가 반입되었을 때 스택내에서는 재취급이 발생하지 않는 두 가지 다른 장치 상태를 그림 10에 비교하고 있다. 왼쪽은 대표 무게가 9t이었던 스택에 19t의 컨테이너를 장치하였으며, 오른쪽은 대표 무게가 8t이었던 스택에 장치하였다. 새로이 경신된 대표 무게를 살펴보면, 왼쪽의 경우에는 8t 이상의 컨테이너가 반입되면 재취급이 발생하지 않게 장치할 수 있는 공간이 있지만, 오른쪽의 경우에는 9t 이상의 컨테이너에 대해서만 이러한 장치가 가능하다.

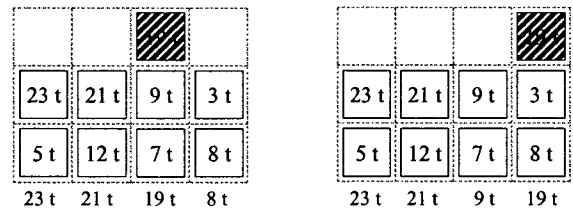


그림 10- 재취급이 발생하지 않는 장치 위치들

MDF 휴리스틱이 재취급을 피할 수 없는 경우에 대표 무게와 무게 차이가 적은 스택을 선호하는 이유는 반출 과정에서 c_i 를 재취급하여야 하는 상황에 부딪혔을 때 c_i 를 추가의 재취급이 발생하지 않는 위치로 옮길 수 있는 가능성을 높이기 위함이다. w_i 와 차이가 적은 대표 무게를 가진 스택에 c_i 를 장치할수록 반출시 c_i 가 재취급되는 시점을 늦출 수 있고, c_i 가 재취급되는 시점이 늦어질수록 c_i 를 옮겼을 때 추가의 재취급이 발생하지 않는 위치는 많아질 수 있다. 그림 11은 그림 7에서 3t의 컨테이너가 반입되었을 때 대표 무게와 차이가 가장 많이 나는 위치에 장치한 경우이다. 그림에서 첫번째 컨테이너를 반출하기 위해서는 상단에 있는 컨테이너를 재취급하여야 하는데, 이 컨테이너는 어떤 위치로 옮기더라도 추가의 재취급을 피할 수 없다.

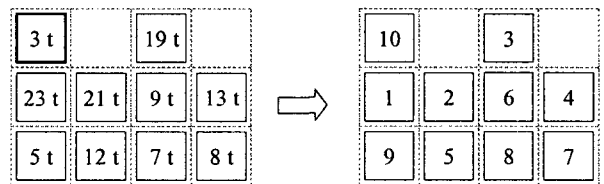


그림 11- 추가의 재취급이 발생하는 장치 위치

5. 실험 결과 및 분석

이상에서 소개한 MDF 휴리스틱의 효과를 확인하기 위하여 다음과 같은 시뮬레이션 실험을 수행하였다. 먼저, 그림 12은 실험에 사용한 가정으로 장치장은 최소한의 정보만 제공받으며, 내부 트럭과 같은 자원의 활용 및 이후 단계의 계획 수립에 있어 유연성이 가장 낮은 경우를 상정하고 있다⁶. 그림 13에는 구체적인 실험 방법을 기술하였다.

1. 한 번에 하나의 컨테이너만 장치장에 반입된다.
2. 컨테이너 무게 정보는 장치장 반입 순간에 획득된다.
3. 모든 컨테이너의 무게는 서로 다르다.
4. 무거운 컨테이너가 먼저 적하된다.
5. 아무리 적은 무게 차이도 적하 순서에 영향을 미친다.
6. 장치장에서의 반출 순서는 적하 순서를 따른다.

그림 12 - 실험에 대한 가정

1. 반입 컨테이너의 순서와 무게를 임의로 생성한다.
2. 순서대로 컨테이너를 반입하고 장치 위치를 결정한다.
3. 컨테이너 무게로 적하를 위한 반출 순서를 생성한다.
4. 반출 중 재취급이 발생하면 지정한 방법으로 재취급 대상 컨테이너의 이적 위치를 결정한다.
5. 이러한 실험을 1,000회 수행하여 평균 재취급 횟수를 구한다.

그림 13 - 실험 방법

이상의 가정과 실험 방법으로 임의의 위치에 반입 컨테이너를 장치하는 방안(임의장치)을 MDF 휴리스틱을 이용하는 방안(MDF장치)과 비교 실험하였다. 반출시 발생하는 재취급 횟수는 재취급 대상이 되는 컨테이너를 베이내의 어디에 이적하느냐에 따라 다소 차이가 있으므로, 본 실험에서는 기존 연구[8]에서 제안된 최적의 위치에 재취급 컨테이너를 이적하는 방안(B&B반출 - 적용 가능한 경우에만)과 MDF 휴리스틱을 이용하는 방안(MDF반출) 이 두 가지 방안으로 이용하여 재취급 횟수를 구하였다.

표 1은 4단 6열의 장치장 구조에서 3단 분량의 컨테이너를 장치하는 경우(18개)와 최대한의 컨테이너를 장치하는 경우(21개)에 대하여 실험한 결과를 보

⁶ 이 가정들에 의한 제약들은 터미널의 상황에 따라 다소 완화가 가능하다. 예를 들어 이미 도착한 일부 반입 컨테이너들간의 순서와 무게 정보의 파악이 가능할 수 있다. 또한, 적하 계획 수립시 선박의 안정성에 영향을 미치지 않는 범위 내의 컨테이너 무게 차이는 무시할 수 있으며, 이러한 점을 이용하여 현 장치 상태에서 보다 효율적인 반출이 가능한 적하 순서를 계획할 수 있다. 마찬가지로 충분한 수의 내부 트럭을 활용할 수 있다면 적하 순서와 다소 다르게 반출 순서를 계획할 수 있다.

이고 있다. 먼저 18개의 컨테이너를 장치하는 경우와 21개를 장치하는 경우를 비교해보면 추가 장치한 컨테이너 갯수(3개)에 비해 반출시 재취급 횟수는 다소 많이 증가하는데, 이는 장치하는 단이 높아짐에 따라 재취급 없이 장치할 수 있는 공간이 상대적으로 줄어들기 때문이다⁷. 표에서 MDF장치가 임의장치에 비해 재취급 횟수를 1/5 이하로 줄일 수 있음을 알 수 있다. 재취급이 적하 작업의 효율에 어느 정도 영향을 미칠지 예상하기 위하여 장치장에서 TC의 작업 시간을 분석한 류영욱(1998)[9]의 연구를 참고하여 전체 반출에 소요되는 시간을 추정하였다. 이 연구는 RTGC(rubber tyred gantry crane)를 사용하는 4단 6열의 장치장에서 RTGC의 동작을 분석하였는데, 재취급이 발생하지 않는다면 하나의 컨테이너를 반출하는데는 평균 87.9초, 한 번의 재취급을 수행하는데는 평균 74.2초의 시간이 필요한 것으로 측정되었다. 표 2는 이를 바탕으로 한 베이에 장치된 모든 컨테이너를 적하 순서대로 반출하는데 소요되는 전체 시간을 추정한 결과이다. MDF장치는 4단 6열 장치장 구조에서 임의장치에 비해 전체 반출 소요 시간을 25% 이상 단축할 수 있는 것으로 나타났다.

표 1 - 4단 6열 구조에서의 재취급 횟수

반출 방안 (장치수)	임의장치 (A)	MDF장치 (B)	비율 (B/A)
B&B반출 (18개)	8.07	0.81	10%
MDF반출 (18개)	8.47	0.82	10%
B&B반출 (21개)	11.26	2.26	20%
MDF반출 (21개)	12.37	2.33	19%

표 2 - 4단 6열 총반출 소요 예상 시간 (단위: 분)

반출 방안 (장치수)	임의장치 (A)	MDF장치 (B)	비율 (B/A)
B&B반출 (18개)	44.7	33.6	75%
MDF반출 (18개)	46.1	33.6	73%
B&B반출 (21개)	36.4	27.4	75%
MDF반출 (21개)	36.8	27.4	74%

표 3은 RMGC(rail mounted gantry crane)를 도입한 자동화 터미널의 장치장에서 많이 쓰이는 6단 9열 구조를 대상으로 동일한 실험을 수행한 결과이다. 이 실험에서는 기존 연구[8]에서 밝힌바와 같이 재취급을 고려한 최적 반출 순서를 적절한 시간내에 생성하기 어려워 MDF반출 방안만으로 재취급 횟수

⁷ 같은 4단 6열 구조이지만 18개의 컨테이너를 장치하는 경우에는 평균 3단까지 장치된다. 이에 비해, 21개의 컨테이너를 장치하는 경우에는 평균 3.5단까지 장치된다.

를 구하였다. 4단 6열 실험에서와 같이 MDF장치는 재취급 발생 비율을 임의장치에 비해 1/5 이하로 줄일 수 있었다. 6단 9열 구조의 장치장에서 RMGC를 사용하는 경우 본 연구진이 시뮬레이션을 통하여 추정하는 바에 따르면 재취급 없이 하나의 컨테이너를 반출하는데 소요되는 평균 시간은 97초, 한 번의 재취급을 수행하는 평균 시간은 77초로 예상되었다. 이를 바탕으로 한 베이에 장치된 모든 컨테이너를 적하 순서대로 반출하는데 소요되는 예상 시간을 추정해보면 표 4와 같다. 6단 9열의 장치장 구조에서는 MDF장치가 임의장치에 비해 적하 작업을 위한 총 반출 시간을 30% 이상 줄일 수 있는 것으로 예측되었다.

표 3-6단 9열 구조에서의 재취급 횟수

반출 방안 (장치수)	임의장치 (A)	MDF장치 (B)	비율 (B/A)
MDF반출 (45개)	33.18	4.74	14%
MDF반출 (49개)	41.38	8.25	20%

표 4-6단 9열 총 반출 소요 예상 시간 (단위: 분)

반출 방안 (장치수)	임의장치 (A)	MDF장치 (B)	비율 (B/A)
MDF반출 (45개)	132.3	89.8	68%
MDF반출 (49개)	115.3	78.8	68%

이상과 같은 실험을 통하여 반입된 컨테이너의 무게 정보를 활용하여 장치 위치를 결정하는 MDF 휴리스틱은 적하 작업을 위한 반출시 컨테이너의 재취급 횟수를 줄일 수 있어 적하 작업의 효율화에 기여할 수 있음을 확인하였다.

6. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 반입된 컨테이너의 장치 위치를 이미 장치된 컨테이너들의 무게와 비교하여 결정함으로써, 적하 작업시 장치장에서의 재취급을 효과적으로 줄일 수 있는 휴리스틱을 제안하였다. 4단 6열과 6단 9열의 장치장 구조를 가정하여 수행한 시뮬레이션 실험 결과, 본 제안 휴리스틱은 임의의 위치에 반입 컨테이너를 장치하는 방안에 비해 재취급 횟수를 1/5 수준으로 줄일 수 있음을 확인할 수 있었다.

향후 실험에서 가정한 다소 강한 제약들을 면밀히 분석하여 현실에서 적용 가능한 수준으로 완화하고, 완화된 가정하에서 작업 대기열과 같이 추가로 획득할 수 있는 정보를 활용하여 반입 컨테이너의 보다 나은 장치 위치를 결정할 수 있는 방안에 대한 연구가 요청된다.

참고문헌

- [1] Kim, K. H. (1997). "Evaluation of the Number of Rehandles in Container Yards", *Computers and Industrial Engineering*, Vol.32, No.4, pp.701-711.
- [2] Castilho, B. and Daganzo, C. F. (1993). "Handling Strategies for Import Containers at Marine terminals", *Transportation Research*, Vol.27B, No.2, pp.151-166.
- [3] 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.
- [4] Kim, H. B. and Kim, K. H. (1996). "A Segregating Space Allocation for Import Containers in Port Container Terminal", *Process of the 20th International Conference on Computers and Industrial Engineering*, Vol.2, pp.1263-1266.
- [5] 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.
- [6] Avriel, M., Penn, M., Shpirer, N., and Witteboon, S. (1998). "Stowage planning for container ships to reduce the number of shifts", *Annals of Operations Research*, Vol.76, pp.55-71.
- [7] 양지현 (2003). "재취급 최소화를 위한 혼적 결정 수리 모형 및 해법", 석사 학위 논문, 부산대학교 대학원 산업공학과.
- [8] 최영진, 오명섭, 강재호, 전수민, 류광렬, 김갑환 (2004). "컨테이너 터미널에서 재취급 최소화를 위한 이적 위치 결정 방안", *한국지능정보시스템학회 2004년 춘계학술대회 논문집*, pp. 382-391.
- [9] 류영욱 (1998). "컨테이너 터미널에서의 작업시간에 관한 연구", 석사 학위 논문, 부산대학교 대학원 산업공학과.