

자동화 컨테이너 터미널의 적하작업 효율 향상을 위한 블록 내 재정돈 계획 수립 방안

김민정^a, 박기역^a, 박태진^a, 류광렬^a

^a부산대학교 공과대학 컴퓨터공학과
부산시 금정구 장전동 산 30번지

Tel: +82-51-510-3645, Fax: +82-51-517-2431, E-mail: {xhymix, nerissa79, parktj, krriu}@pusan.ac.kr

Abstract

장치장 재정돈이란 장치장 크레인의 유휴 시간을 활용하여 최대의 효율로 적하작업을 할 수 있도록 장치장의 컨테이너들을 미리 재배치하는 작업을 말한다. 본 논문에서는 수직 배치 자동화 컨테이너 터미널의 장치장을 대상으로 블록 내 재정돈 작업 계획을 수립하는 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘은 장치장 재정돈 작업 계획을 목표 장치형태 결정 및 크레인 작업 계획의 2단계로 나누어 수립한다. 시뮬레이션 시스템을 이용하여 재정돈을 수행하기 전과 후의 장치장에 대해 적하 작업 효율을 비교한 결과 재정돈 후 안벽 크레인의 대기 시간이 감소하고, 장치장의 재취급 작업 수가 줄어드는 등 적하 작업 효율이 향상되는 것을 확인하였다.

Keywords:

자동화 컨테이너 터미널; 장치장; 재정돈

1. 서론

컨테이너 터미널의 생산성을 결정짓는 가장 중요한 요소는 선박 작업의 지연이다. 선박 작업이 지연되면 선박의 정박 시간이 길어지게 되고 이것은 곧 선사 및 물류기업의 손실이 된다. 손실을 입은 회사는 손실의 원인이 된 컨테이너 터미널에 선박을 정박시키지 않으려 하게 되고 결국 컨테이너 터미널 자체의 손실로 돌아오게 된다. 따라서 컨테이너 선박의 선박과 연계된 작업의 지연을 줄이는 것이 컨테이너 터미널의 생산성을 향상시키는 것이다.

선박 작업에는 적하 작업과 양하 작업이 있다. 적하 작업은 컨테이너 터미널에서 임시로 컨테이너를 적재해 두는 곳인 장치장에서 컨테이너를 꺼내어 선박에 컨테이너를 싣는 작업이고, 양하 작업은 선박에서 컨테이너를 내려 장치장에 쌓는 작업이다. 이 두 작업이 컨테이너 터미널에서 선박과 연관된 작업이므로 두 작업의 수행 시간에 따라 선박의 정박 시간이 결정되는 것이다.

양하와 적하 작업 중 적하 작업이 선박의 정박 시간에 더 큰 영향을 미친다. 양하 작업은 배에서 컨테이너를 내린 후 장치장에 컨테이너를 적재하기 때문에 선박에서 빠르게 컨테이너를 내릴 수만 있다면 지연 없이 수행할 수 있다. 하지만 적하 작업은 장치장에서 컨테이너를 꺼낸 후 선박에 실어야 하기 때문에 장치장에서 얼마나 빠르게 내어 주는가에 따라 지연 시간이 결정된다. 즉, 적하 작업은 장치장의 작업에서 지연이 발생하면 이후의 작업들도 모두 지연이 발생하게 되는 것이다.

그러므로 적하 작업 시 장치장에서 수행되는 작업의 지연이 컨테이너 터미널의 생산성을 결정하게 되는 것이다. 적하 작업을 빠르게 하고 싶어도 장치장의 운영이 제대로 되지 않아 지연이 발생한다면 컨테이너 터미널이 효율적으로 운영되고 있지 않다는 것이다. 즉, 컨테이너 터미널의 생산성을 향상 시키려면 장치장에서 수행되는 작업의 지연을 줄여야 한다.

적하 작업 시 장치장에서 수행되는 작업의 지연을 줄이기 위한 방안은 최적 장치 위치 결정 방안과 재정돈 방안의 두 가지가 있다. 최적 장치 위치 결정 방안은 컨테이너가 장치장으로 들어올 때부터 최적의 위치에 적재 해두는 것이다. 재정돈 방안은 컨테이너가 들어올 때는 적당한 곳에 쌓아두고 여유 시간이 있을 때 컨테이너를 옮겨 적하 작업에 유리한 위치에 재배치 하는 것이다. 두 가지 방안 중 본 논문에서는 재정돈이라고 하는 후자의 방법을 이용해 적하 작업의 성능을 향상시킨다.

본 논문에서 재정돈 작업을 크게 두 단계로 나누어 계획하는 방안을 소개한다. 먼저 재정돈 후에 컨테이너가 쌓여야 할 형태를 국지적 탐색 방법을 이용하여 결정한다. 그리고 그 형태대로 쌓기 위해 컨테이너를 옮겨야 할 순서를 국지적 탐색 방법을 이용하여 결정한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서 대상 컨테이너 터미널에 대해서 설명하고 3장에서 터미널의 성능을 향상시키기 위한 기존의 연구들을 살펴본다.

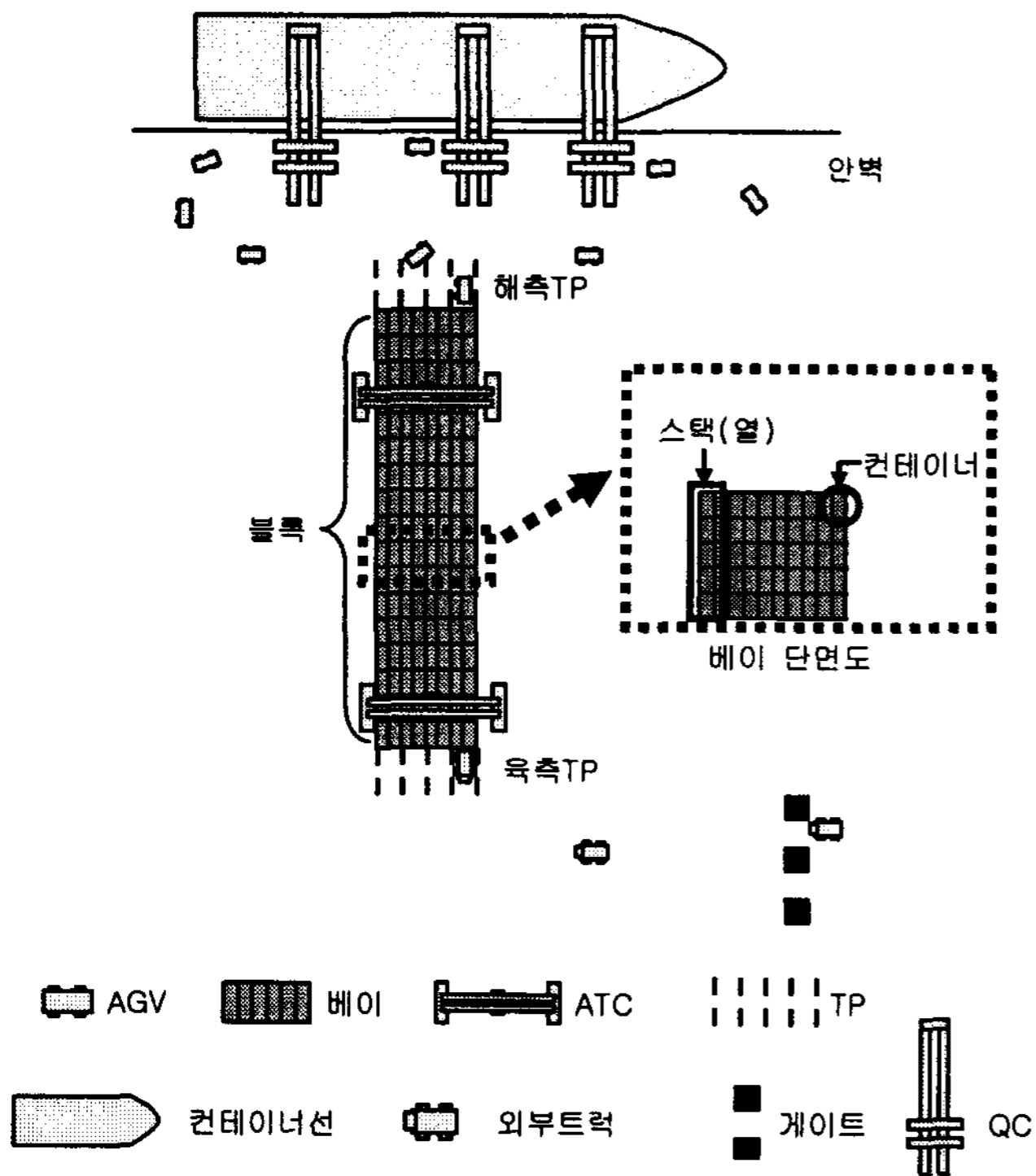


그림 1 수직 배치 자동화 컨테이너 터미널의 배치

4장에서는 본 논문에서 제안하는 알고리즘을 설명하고 5장에서 실험을 통한 결과를 확인한다. 마지막으로 6장에서 결론을 내리고 향후 연구 주제에 대해 언급하며 끝을 맺는다.

2. 컨테이너 터미널

이 장에서는 본 논문 의 이해를 돕기 위해 대상 컨테이너 터미널에 대해 소개한다. 대상이 되는 컨테이너 터미널의 배치를 간략하게 그림 1에 나타내었다.

자동화 컨테이너 터미널의 주요 하역 장비에는 안벽 크레인, 자동화 장치장 크레인, 무인 내부 이송 트럭의 3가지가 있다. 안벽 크레인(Quay Crane, QC)은 선박에 컨테이너를 실거나 선박에서 컨테이너를 내리는 장비이다. 자동화 장치장 크레인(Automated Transfer Crane, ATC)은 장치장 블록에 컨테이너를 넣거나 꺼내는 장비이다. 그리고 무인 내부 이송 트럭(Automated Guided Vehicle, AGV)은 QC와 ATC사이에서 컨테이너를 운반하는 장비이다. 그리고 컨테이너 터미널의 주요 장비라고는 할 수 없지만 외부로부터 컨테이너를 터미널에 가져오거나 터미널에서 컨테이너를 가져가는 외부트럭이 있다.

컨테이너 터미널에서는 양하, 적하, 반출, 반입 작업이 수행된다. 양하 작업은 QC가 컨테이너를 배에서 꺼내 AGV에 싣고 ATC가 받아 장치장에 쌓는 작업이고, 적하 작업은 장치장에서 ATC가 컨테이너를 꺼내 AGV에 싣고 QC가 받아 배에 싣는 작업이다. 반입 작업은 외부 트럭이 가져온 컨테이너를 ATC가 장치장에 쌓는 작업이고, 반출 작업은 ATC가 장치

장에 쌓여있는 컨테이너를 외부 트럭에 실어주는 작업이다.

그림 1과 같이 안벽에서 작업을 하는 QC의 주행 방향과 블록에서 작업을 하는 ATC의 주행 방향이 직교하게 블록이 배치되어 있는 터미널을 수직 배치 컨테이너 터미널이라고 한다. 수직 배치 컨테이너 터미널 장치장의 각 블록에는 ATC가 AGV나 외부트럭과 연계작업을 하는 작업지점(Transfer Point, TP)이 두 곳에 위치하고 있다. 해측에 가까이 있어 AGV와 연계작업을 하는 곳을 해측TP, 육측에 가까이 있어 외부트럭과 연계작업을 하는 곳을 육측TP라고 부른다. 그림 1과 같이 TP가 육측과 해측에 멀리 떨어져 있기 때문에 적하 대상 물량이 반입될 때 육측TP에 가까이 놓이게 되면 해측TP로 나가기 위해 해측의 ATC가 먼 거리를 이동하게 되는 것이다.

앞서 언급하였듯이 적하 지연 시간이 짧을수록 터미널의 생산성이 높다는 것을 의미한다. 그러므로 컨테이너 터미널에서는 적하 작업을 담당하고 있는 장비인 QC가 가장 중요한 자원으로 취급된다. 적하 작업의 지연이 선박의 정박 시간을 결정하는 요인이 되므로 QC가 적하 작업을 지연 없이 처리할 수 있어야 터미널의 생산성을 향상시킬 수 있다.

QC가 적하 작업을 지연 없이 처리하기 위해서는 장치장에서 발생하는 지연을 줄이는 것이 중요하다. 적하 작업은 ATC가 장치장에서 컨테이너를 꺼내어 AGV에 실어주는 작업이므로 AGV가 정확한 시간에 블록에 도착하면 ATC가 AGV를 기다리는 시간은 없다. 하지만 ATC의 지연이 발생하여 AGV에게 컨테이너를 건네주는 시점이 늦어 버렸다면 ATC는 AGV를 기다리지 않지만 QC가 AGV를 기다리게 되어 QC는 작업의 지연을 피할 수 없다. 따라서 적하 시에는 QC보다 앞선 작업인 장치장에서 ATC가 컨테이너를 꺼내는 작업의 지연을 줄여야 하는 것이다.

3. 관련연구

적하 작업을 지연 없이 수행하기 위한 연구는 크게 두 가지 분야가 있다. 하나는 적하될 컨테이너가 반입될 때 최적의 장치 위치를 결정하는 방법이고 다른 하나는 적하 작업을 수행하기 전에 장치 형태를 최적으로 변경하는 재정돈 방법이 있다.

첫 번째 방안, 즉 장치 위치 결정과 관련된 기존의 연구 중 Dekker와 Voogd(2005)[1]는 장치장에 반입되는 컨테이너를 대상으로 여러 가지 장치 전략들을 컨테이너의 재취급 기대값이나 야드 크레인들의 작업 부하 평준화 정도와 같은 다양한 평가 척도를 사용해 비교 분석하였다. 김영훈외 2인의 연구(2006)[4]는 자동화 컨테이너 터미널에서 장치 위치를 결정하기 위해 다양한 평가 요소들을 퍼지로그직을 이용해

결합하는 방안을 제안하였고 기존의 장치위치 결정 휴리스틱들과 비교 실험을 수행하였다. 이러한 기존 연구들은 다양한 평가 척도를 고려하여 컨테이너를 적재하므로 적하시 재 취급을 어느 정도 줄일 수 있다.

하지만 컨테이너의 장치 위치를 결정하는 기존 연구들은 몇 가지 이유에 의해서 적하시 발생하는 재취급을 완벽하게 방지할 수가 없다. 컨테이너가 반입되는 시점에는 정확한 적하 순서를 알 수 없기 때문에 최대한 순서를 고려한다고 해도 재취급의 발생을 피할 수는 없다. 또한, 반입 시점에 해측의 크레인인양하 또는 적하 작업을 수행하고 있을 경우, 육측의 크레인이 두 크레인간의 간섭을 최소화하기 위하여 육측TP에 가까운 곳에 컨테이너를 놓을 것이다. 하지만 이 방안은 적하 작업 시 해측 크레인의 이동 거리 증가와 육측 크레인과의 간섭으로 인해 적하 작업에 큰 지연을 가져다 줄 수 있다.

이러한 문제를 해결하기 위한 방안은 크레인의 유희 시간을 이용하여 장치장에 쌓여 있는 컨테이너들을 재정돈하는 방안이다. 이와 관련된 연구 중 오명섭 외 3인의 연구(2005)[7]에서는 수평 배치 터미널의 장치장 내 하나의 블록 여거저기에 흩어진 컨테이너들의 적하 순서가 결정되면, 적하시 재취급이 발생하지 않도록 몇 개의 빈 베이로 모으는 재정돈 작업을 계획하는 휴리스틱을 제안하였다. 이 연구는 한대의 크레인을 사용하여 재정돈 작업을 수행하였지만 Jaeho Kang 외 3인(2006)[8]은 교차가 불가능한 두대의 크레인을 사용하여 재정돈 작업을 수행하였다.

하지만 이 기존 연구는 본 논문과는 달리 수평 배치 컨테이너 터미널의 장치장을 대상으로 하였다. 또, 항상 재정돈을 위한 목적 베이가 비어있는 채로 존재하고 있다고 가정하였다.

이주호와 최용석(2004)[9]은 수직 배치 자동화 컨테이너 터미널에서 재정돈 작업을 통하여 생산성을 얼마나 향상시킬 수 있는지에 대하여 연구하였다. 이 연구는 각 컨테이너의 예상 체류 시간을 이용하여 명시적인 적하 계획이 수립되기 전에 이 후에 발생할 작업들에 대비하여 컨테이너들을 미리 옮기는 것으로 설정하였다. 이 기존 연구는 ATC의 측면에서 재정돈의 필요성을 언급하고 있다. 하지만 본 논문은 적하 작업에서 중요한 장비는 QC라고 보고 있기 때문에 기존 연구와는 관점을 달리 하고 있다.

4. 블록 내 재정돈 계획 수립

장치장에서 ATC의 작업 지연이 발생하여 적하가 지연될 가능성이 큰 경우는 다음의 2가지 경우가 있다.

첫째, 장치장에서 대상 컨테이너를 꺼낼 때 재취급이 발생하는 경우이다. 그림 2-(a)와 같이 장치장에 적하 순서를 어기는 순으로 컨테이너가 쌓여 있다면

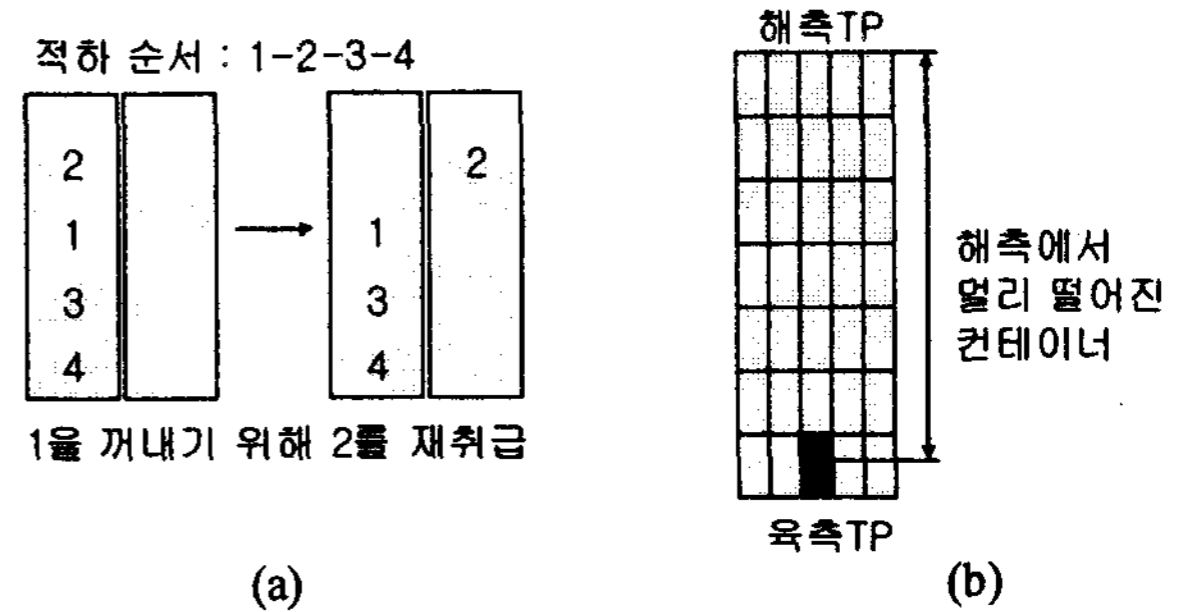


그림 2 적하를 지연시키는 요인
(a) 재취급, (b) 크레인의 장거리 이동

밀단의 적하 순서가 빠른 컨테이너가 나가기 위해서 앞단의 적하 순서가 느린 컨테이너를 다른 곳으로 옮기는 재취급 작업을 해야 한다. 재취급 작업이 많으면 ATC가 작업을 처리하는데 많은 시간이 소요되기 때문에 적하 작업이 지연될 수 있다. 그리고 반입 당시에는 정확한 적하 순서를 알 수 없으므로 후에 결정될 적하 순서에 맞춰 장치할 수 없다. 즉, 반입시에는 재취급의 발생을 피할 수 없게 되는 것이다.

둘째, 컨테이너가 해측에서 멀리 떨어진 곳에 적재되어 있는 경우이다. 수직 배치 장치장의 특성상 반입이 된 컨테이너는 해측 크레인과의 간섭을 최소화하기 위하여 그림 2-(b)와 같이 육측에 가까운 곳에 적재된다. 하지만 이 방법은 반입 작업 시에는 매우 유리할 수 있지만, 해당 컨테이너가 적하 될 때에는 해측 크레인의 이동 거리가 길어지게 되어 해측 크레인의 효율을 크게 저하시킬 수 있다.

이와 같은 적하 지연이 발생시키는 원인을 제거하기 위하여 본 논문에서는 자동화 컨테이너 터미널을 대상으로 하는 블록 내 재정돈 계획 수립 방안을 제안한다. 블록 내 재정돈이란 장치장 크레인의 유희 시간을 활용하여 최대의 효율로 적하 작업을 할 수 있도록 장치장 한 블록 내의 컨테이너들을 미리 재배치하는 작업을 말한다.

본 논문에서 제안하는 재정돈 작업 계획 알고리즘은 장치장 재정돈 작업 계획을 목표 장치형태 결정 및 크레인 작업 계획의 2단계로 수립한다. 목표 장치형태 결정 단계에서는 적하 작업을 최고의 성능으로 할 수 있도록 하는 재정돈 후의 바람직한 장치 위치와 형태를 탐색을 통해 결정한다. 크레인 작업 계획 단계에서는 최단 시간에 원래 장치형태에서 목표 장치형태로 재정돈 할 수 있는 크레인 스케줄을 탐색을 통해 결정한다.

4.1. 목표 장치형태 결정

적하 작업을 최고의 성능으로 할 수 있는 목표 장치 형태를 결정하기 위해서는 먼저 적하 대상 컨테이너가 재정돈되어 장치될 목표 스택을 선택해야 한다.

선택해야 할 목표 스택의 수는 블록에 재정돈 대상

물량이 n 개 적재되어 있고, 스택의 높이가 r 단이라면, 최소 $\lceil n/r \rceil$ 개이다. 재정돈 대상을 배치할 목표 스택의 수가 결정되었다면 재정돈 대상 컨테이너가 모두 재정돈 될 수 있을 만큼의 목표 스택을 선택한다.

목표 스택을 선택할 때는 해측TP 가까이 있는 스택이 좋다. 적하 작업은 ATC가 장치장에서 컨테이너를 꺼내어 해측TP에서 대기하는 AGV에게 넘겨주는 작업이므로 해측TP에 가까운 곳에 적하 대상 컨테이너가 있다면 ATC가 짧은 거리를 이동하기 때문에 빨리작업 할 수 있다.

또 목표 스택을 선택할 때는 우선순위가 높은 스택을 선택한다. 목표 스택으로 선정할 때에는 표1과 같은 우선 순위가 있다.

표1 목표 스택 선정 우선순위

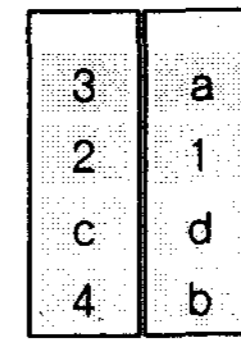
우선순위	스택명칭
1	빈 스택
2	쌓여있는 물량이 적은 스택 반출 컨테이너로만 이루어진 스택
3	재정돈 대상 컨테이너들로만 이루어진 스택

먼저 가용공간이 많은 스택을 목표 스택으로 선택한다. 재정돈 중에 목표 스택에 쌓여 있는 기존 물량을 재배치 하는 것도 시간이 걸리기 때문에 작업 계획을 세울 때 를 대비하여 비우지 않고도 가용공간이 많은 스택을 최우선으로 선택한다.

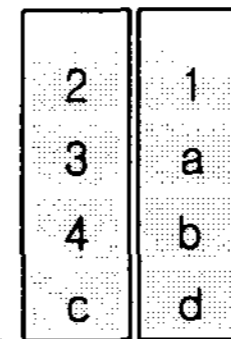
다음으로는 스택을 비우는 것으로 여러 가지 이익이 있는 스택을 선택한다. 반출 컨테이너는 ATC가 육측TP에 도착한 외부트럭에 컨테이너를 실어주는 작업이다. 그러므로 컨테이너가 육측TP에 가까이 적재되어 있는 것이 좋다. 따라서 양하되어 해측TP에 가까이 있는 반출 컨테이너를 육측TP로 옮기는 작업을 하게 되면 해측TP에는 여유공간이 생기게 되어 재정돈에 좋고, 반출 컨테이너는 육측TP로 옮겨가게 되어 반출의 성능이 향상되어 좋다. 쌓여있는 물량이 적은 스택은 기존 물량을 비우지 않아도 되는 장점이 있지만 그만큼 가용공간의 수가 적기 때문에 반출 컨테이너로만 이루어진 스택과 같은 우선순위를 가진다.

재정돈 대상 컨테이너들로만 이루어진 스택은 우선 순위 1, 2위의 스택만으로 공간이 모자랄 때 해측TP 가까이로 가져오는 것을 포기하고 재취급만을 없앨 목적으로 선택하는 스택이다. 이 스택은 육측TP에 가까이 있을 가능성이 있으므로 ATC의 이동거리는 변하지 않지만 장치 형태가 변하게 되어 재 취급이 없

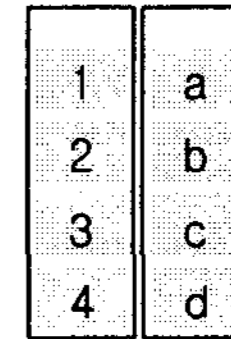
적하 순서 : 1-2-3-4-a-b-c-d



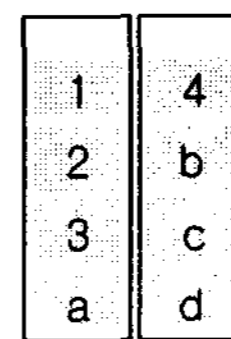
(a) 초기형상



예상 재취급 수 : 4
(b) 초기해



예상 재취급 수 : 4
(c) 이웃해



예상 재취급 수 : 0
(d) 목적 장치형태

그림3 목표 장치형태 결정 예

어지게 되는 효과가 있다. 목표 스택은 해측TP로부터 일정 거리 안에 있는 스택 중에서 우선 순위에 따라 결정한다. 하지만 재정돈 대상 컨테이너는 거리와 관계없이 선택한다.

목표 스택 선정 후 목표 스택에 배치될 목표 장치 형태를 결정하기 위해 국 지적 탐색 방법을 이용하였다. 먼저 각 스택에 임의로 적하 대상 컨테이너를 배치하여 초기해를 생성한다. 이 초기해를 평가하기 위해서 각 스택에 임의로 배치된 컨테이너를 적하 순서에 맞게 스택 내에서 재배치한다. 적하 시의 재취급을 최소화시키는 목표형상을 찾기 위한 단계이다. 이렇게 해석된 초기 해를 재정돈 시의 예상되는 재취급 수와 재정돈을 하기 위해 크레인이 이동하는 거리를 계산한다. 실제로 일어날 재취급의 횟수를 모두 알 수 없기 때문에 다음과 같이 반드시 발생하는 횟수만을 계산하여 평가 값으로 활용한다.

- 원래 스택에서의 순서가 바뀌지 않고 그대로 목표 스택에 쌓이는 경우
- 같은 스택의 다른 위치로 옮겨지는 경우
- 위치가 바뀌지 않는 컨테이너 밑단의 컨테이너가 바뀌는 경우

초기해에서 임 의의 두 컨 테이너를 바꾼 다음 초기해를 해석했던 것과 마찬가지로 이웃해를 해석하여 재취급 횟수와 크레인 이동거리를 계산한다. 만약 재 취급 횟수가 동일하다면 이동 거리가 짧은 해

가 더 좋은 해라고 평가한다.

그림 3은 목표 장치 형태를 결정하는 예를 보여 주고 있다. (단, 이 그림은 재취급 수만을 가지고 평가한 예이다.) 그림 3-(a)의 초기형상과 적하 순서를 이용해 재취급이 발생하지 않는 순서로 배열하여 그림 3-(b)와 같은 초기해를 생성할 수 있다. 기본적으로 적하시에는 재취급이 일어나지 않아야 하므로 해를 생성할 때 재취급이 일어나지 않는 순서로 배열하는 것이다. 이 때 재정돈 시 예상되는 재취급의 수는 4개이다. 그림 3-(c)는 초기해에서 컨테이너 (1)과 컨테이너 (c)를 바꾼 다음 다시 재취급이 일어나지 않는 순서로 배치하여 만든 이웃해이다. 그림 3-(d)와 같이 재취급 수가 0이 되거나 탐색에 할당된 시간을 모두 소비하였을 경우 현재까지 가장 좋은 해를 목표 장치 형태로 결정한다.

4.2 크레인 작업 계획

크레인 작업 계획 단계에서는 초기 장치 형태에서 목표 장치 형태로 최단 시간에 컨테이너를 재정돈하는 크레인 작업 계획을 수립한다. 크레인의 작업이 없는 유휴 시간이라도 최소한으로 동작하는 것이 컨테이너 터미널의 입장에서는 이익이 된다. 그리고 작업시간의 불확실성이 존재하기 때문에 충분한 여유 시간을 가지는 것이 재정돈 작업을 하는 크레인 입장에서 좋다.

크레인 작업 계획 단계에서는 간단한 휴리스틱으로 초기해를 생성하고 탐색을 통해 최적 해를 결정한다. 먼저 결정된 목표 장치 형태에서 밑단의 컨테이너부터 나열하여 초기해를 생성하기 위한 준비를 한다(그림 4-(a)). 초기해는 나열된 컨테이너를 각 컨테이너가 장치될 목표 스택의 번호로 변경한 것이다(그림 4-(b)). 이 때 목표 스택에 어느 컨테이너가 먼저 쌓여야 제대로 된 순서로 쌓이는지를 알 수 있기 때문에 스택의 번호로만 표시하여도 컨테이너간의 작업 순서를 알 수 있다. 이렇게 부호화된 초기해에서 임의의 서로 다른 목표 스택의 번호 두 개를 교환하여 이웃해를 생성한다(그림 4-(c)). 스택 간의 작업 순서를 변경하면 컨테이너 작업 순서가 바뀌게 되므로 이웃해의 생성이 가능한 것이다. 이웃해의 예상 재정돈 작업시간을 계산하기 위해 목표 장치 형태에 따라 이웃해를 해석한다(그림 4-(d)). 원래 장치 형태에서 목표 장치 형태로 재정돈하는데 걸리는 예상 작업 시간을 계산하여 짧아지는 것을 현재해로 선택한다.

여기서 예상 작업 시간은 식(1)과 같이 계산된다.

$$Eval(S) = \sum_{j \in SUR} \left(\frac{(d_{t_{j-1}c_j} + d_{c_j t_j})}{V_c} + \frac{(d_{pick_j} + d_{drop_j})}{V_t} \right) \quad (1)$$

- S : 크레인 스케줄
- R : 재정돈 시 발생하는 재취급

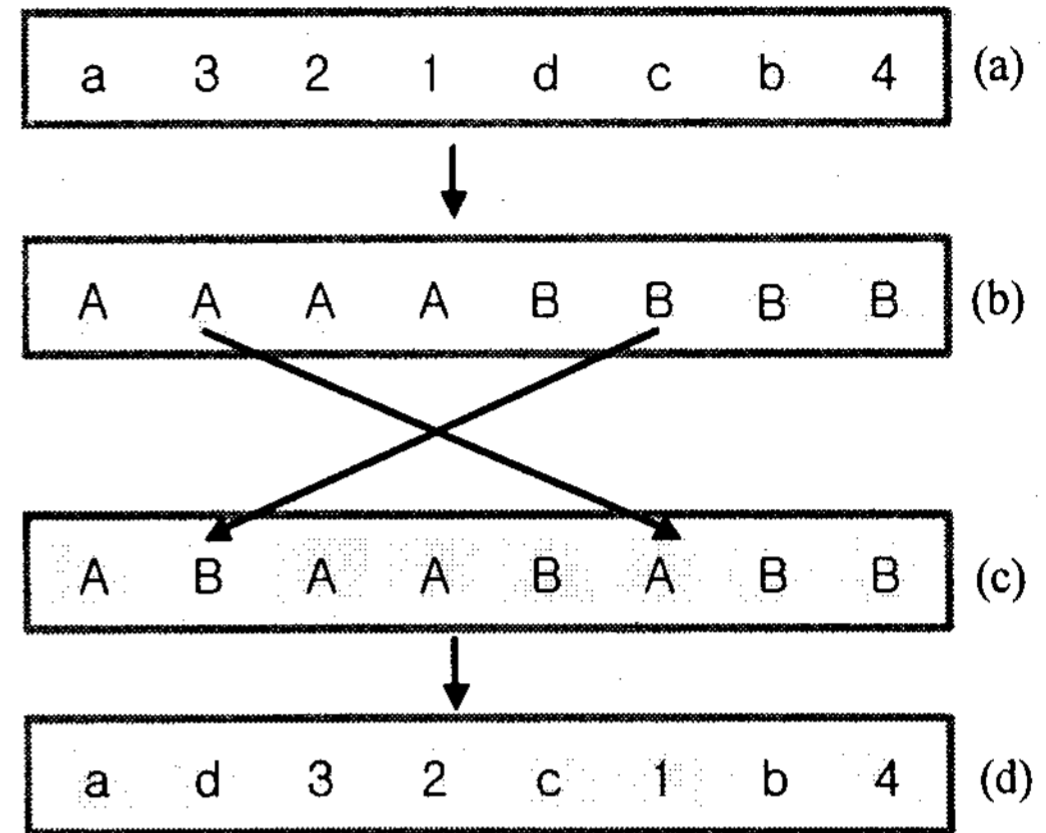
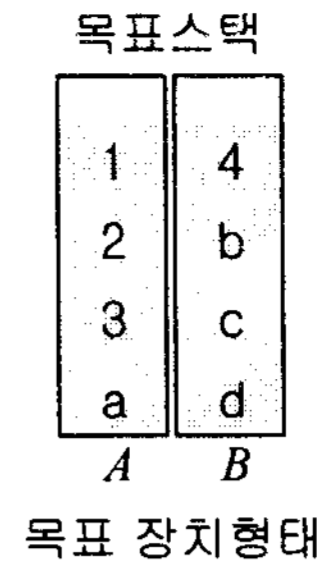


그림 4 크레인 작업 계획의 예;
(a) 초기해의 작업순서, (b) 초기해, (c) 이웃해, (d) 이웃해로부터 알 수 있는 작업순서

- j : SUR에 포함된 컨테이너
- c_j : 컨테이너 j 가 적재되어 있는 베이
- t_j : 컨테이너 j 의 목표 스택이 있는 베이 (단, $t_1=0$)
- $d_{t_{j-1}c_j}$: 크레인이 이전 작업의 목표 스택이 있는 베이 t_{j-1} 에서 c_j 까지 이동한 거리
- $d_{c_j t_j}$: 크레인이 c_j 에서 t_j 까지 이동한 거리
- d_{pick_j} : j 를 집기 위해 트롤리가 이동한 거리
- d_{drop_j} : j 를 적재하기 위해 트롤리가 이동한 거리
- V_c : 크레인의 주행속도
- V_t : 트롤리의 이동속도

크레인의 현재 위치로부터 컨테이너가 있는 스택까지 이동거리와 컨테이너를 들고 목표 스택으로 이동한 거리를 크레인의 주행속도로 나눈 값과 스택에서 컨테이너를 들어올리기 위해 크레인의 트롤리(trolley)가 움직인 거리와 목표 스택에서 컨테이너를 내려놓기 위해 움직인 거리의 합을 트롤리의 이동

속도로 나눈 값의 합이다.

여기서 재취급은 실제 재정돈 시에 발생하는 것을 의미한다. 목표 장치형태 결정단계에서는 재정돈 시에 발생할 것이라고 예측되는 것 중 확실한 세가지 경우만을 제거한 것이다. 그러므로 실제 재정돈을 수행할 당시에는 예상 하지 못한 재취급이 발생할 수도 있는 것이다.

본 논문의 대상 컨테이너 터미널의 장치장에는 두대의 ATC가 존재하지만 재정돈을 위한 크레인 작업은 해측 크레인을 대상으로만 생성한다. 육측 크레인은 반출과 반입 작업을 담당한다고 가정하고 있기 때문에 재정돈을 하지 않는다. 따라서 4.2절의 알고리즘을 통해 해측 크레인의 재정돈 작업 계획이 결정된다.

여기서 우리는 해를 표현할 때 스택의 번호로 나타내었다. 이것을 통해 우리는 탐색해야 하는 해 공간의 크기를 줄일 수 있다. n 개의 적하 대상 작업이 있다고 할 때, 컨테이너 번호를 이용하여 탐색을 하게 되면 생성되는 이웃해의 수는 식(2)와 같다

$$nPn = n! \quad (2)$$

하지만 한 스택에 r 개의 컨테이너가 쌓일 수 있을 때 컨테이너 번호 대신 스택 번호로 표기하면 식(3)과 같이 이웃해의 수가 변경된다.

$$\frac{(n-1)!}{(r-1)!} \quad (3)$$

여기서 우리는 식(2)에서 식(3)로 변경되면서 이웃해의 수가 줄어드는 것을 확인할 수 있다. 이웃해의 수가 적다는 것은 짧은 시간 동안 탐색하여도 많은 이웃해를 평가하여 더 좋은 해를 찾아낼 확률이 높아질 수 있음을 의미한다.

5. 실험 및 결과

본 논문에서 제안한 재정돈 알고리즘의 성능을 확인하기 위해서 다음과 같은 시뮬레이션 실험을 하였다.

5.1 실험 환경

본 논문에서 제안한 알고리즘을 평가하기 위해서 표 2와 같은 실험 환경을 가정하였다.

본 논문에서는 한 척의 선박이 정박 할 수 있는 하나의 선석을 대상으로 실험하였다. 한 선석에는 7개의 블록이 할당되어있다. 이 블록은 5단 10열 41베이로 구성되어 있으며 크기가 동일하여 교차가 불가능한 ATC가 두 기씩 배치되어 있다. 재정돈 수행 전에 모든 적하 대상 컨테이너가 반입되었고 재정돈 수행 중에 반입과 반출은 모두 육측 크레인이 전담

표 2 실험 환경

항목	설정 환경
장치장 배치	1 선석 7 블록
블록 배치	5 단 10 열 41 베이 두 기의 교차 불가능한 ATC
해측 크레인	재정돈 전담
육측 크레인	반입, 반출 전담
적하 물량	400, 700, 1000, 1300 개/선박

하고 재정돈은 해측 크레인이 전담한다고 가정하였다.

시뮬레이션을 위한 환경은 다음과 같이 구성하였다. 초기 장치장에 쌓인 컨테이너를 적하 대상 물량의 수에 따른 성능을 비교 평가하기 위해 적하 대상 물량을 400개, 700개, 1000개, 1300개로 조정하여 생성했다. 탐색 방안은 능선 오르기(Hill-Climb) 알고리즘과 유사 담금질(Simulated Annealing) 알고리즘을 사용했다. 목표 장치형태 결정 단계에서는 능선 오르기 알고리즘만을 사용했다. 이 단계는 생성되는 이웃해가 적고 빠른 시간 안에 최적해가 찾아지기 때문이다.

5.2 실험 결과

다음의 결과들은 탐색 방안마다 적하 작업 수 별로 5회씩 실험을 하여 결과를 평균한 것이다.

표 3 컨테이너 당 평균 적하 지연(단위: 초)

적하 작업수	재정돈 전	재정돈 후 (HC)	재정돈 후 (SA)
400	35.09	15.76	14.82
700	12.78	5.36	6.01
1000	16.38	5.25	4.18
1300	27.48	17.02	15.09

표 3은 재정돈 하기 전과 재정돈 한 후의 적하 대상 컨테이너 당 평균 지연 시간을 보여주고 있다. 모든 경우에 대해 약 40% 이상의 감소율을 보이고 있다. (전체 평균 56.2%) 이것은 본 논문에서 제안한 방안이 적하 작업의 효율 향상에 크게 기여했다는 것을 증명하는 것이다.

표 4는 재정돈 하기 전과 재정돈 한 후의 적하 작업 시 발생한 전체 재취급 횟수를 보여준다. 재취급 작업의 수가 재정돈 한 후 평균 62% 감소하였다. 하지만 앞서 설명한 목표 장치형태 결정 방안이 따르면 재취급이 발생하지 않아야 한다. 여기서 재취급이

표 4 전체 재취급 횟수 (단위: 개)

적하 작업수	재정돈 전	재정돈 후 (HC)	재정돈 후 (SA)
400	242.00	94.20	100.20
700	354.00	147.00	146.80
1000	634.00	173.60	163.00
1300	729.00	339.40	298.20

발생하는 이유는 시뮬레이션 프로그램에서 적하 작업 중 여유 시간이 생긴 크레인이 사전 재취급 작업을 하기 때문이다. 사전 재취급 작업이란 발생할지도 모를 재취급 작업을 미리 수행하는 것을 말한다. 크레인은 적하 작업의 순서를 모르기 때문에 적하 순서에 맞게 쌓여있다 하더라도 여유 시간에 윗단의 컨테이너를 치우는 불필요한 재취급 작업을 하게 된다. 하지만 이것은 재정돈을 하지 않았을 때도 발생하는 것이므로 재취급 작업의 상당한 감소 효과를 확인할 수 있다.

표 5 컨테이너 당 크레인 평균 이동시간 (단위: 초)

적하 작 업수	재정돈 전	재정돈 후 (HC)	재정돈 후 (SA)
400	71.08	49.06	48.37
700	81.01	58.70	58.55
1000	87.57	74.95	75.60
1300	92.92	88.43	89.65

표 5는 재정돈 하기 전과 재정돈 한 후의 컨테이너 하나를 작업하기 위한 ATC 평균 이동시간을 보여준다. ATC의 이동시간은 전체 평균 19.3%의 감소율을 보인다. 이는 재정돈을 하며 육측TP에 가까이 있던 컨테이너들을 해측TP 가까이로 가져오기 때문에 실제 적하 작업을 수행할 때 ATC의 이동시간이 감소하는 것이다. 하지만 적하 대상 컨테이너 수가 증가할수록 필요한 스택의 수가 많아지고 가용 공간은 적어지게 되어 앞서 설명한 목표 스택을 선택할 때 재정돈 대상 컨테이너들로만 이루어진 스택을 선택하는 빈도가 높아진다. 즉, 육측 가까이 있는 스택이 많이 선택되어 해측으로 가져오는 효과가 줄어들게 되므로 ATC의 이동시간의 감소가 적은 것이다.

표 6은 본 논문에서 사용한 탐색 알고리즘 두 종류에 대해 재정돈 작업을 하는데 소요되는 시간을 나타내었다. 표에서 알 수 있듯이 두 알고리즘을 통해 나온 작업 계획이 비슷한 성능을 낸다. 그 이유로는 4장에서 설명했듯이 해 표현을 부호화하면서 해 공간이 줄어들어 탐색이 용이해졌기 때문이다.

표 6 탐색 알고리즘별 재정돈 작업 시간 (단위: 시)

적하 작업수	재정돈 시간 (HC)	재정돈 시간 (SA)
400	2.178	2.188
700	3.340	3.359
1000	5.603	5.614
1300	7.385	7.379

6. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 자동화 컨테이너 터미널의 적하 작업 효율 향상을 위한 블록 내 재정돈 계획 수립방안을 제시하였고 시뮬레이션을 통해 제안된 알고리즘이 성능향상에 기여할 수 있다는 것을 확인하였다. 적하 지연시간이 56.2%나 줄어들기 때문에 적하 작업을 효율적으로 수행할 수 있음을 확인하였다. 여기에는 재취급 횟수가 약 62% 감소하고 ATC의 이동시간이 약 19% 감소한 영향이 크다.

하지만 본 논문에서 제안하는 알고리즘은 몇 가지 제약을 두고 있다. 첫째, 장치장의 다른 작업인 반입과 반출은 다른 크레인 한 대가 전담하고 있다는 가정하였다. 둘째, 터미널의 작업 중 적하 작업이 가장 중요하다고 보고 적하 작업에 대해서만 재정돈을 하였다. 셋째, 재정돈 시간은 무한정 주어진다고 가정하였다.

그러므로 재정돈을 한 대의 크레인이 전담하는 것이 아니라 두 대의 크레인이 서로 협력하여 작업을 하는 경우 크레인 작업을 계획하는 방안에 대한 연구와 또 다른 선박의 정박 시간을 결정하는 작업인 양하 작업의 효율을 높이기 위한 재정돈 방안이 필요하다. 또, 시간에 제약이 있을 경우 재정돈의 작업 계획을 수립하는 방안도 필요하다.

7. Acknowledgements

이 논문 또는 저서는 2007년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (지방연구중심대학육성사업/차세대물류IT 기술연구사업단)

8. 참고 문헌

- [1] Dekker, R, and Voogd, P. (2005). "Advanced Methods for Container Stacking," *Proceedings of International Workshop on Intelligent*.
- [2] 양지현 (2003). "재취급 최소화를 위한 혼적 결정 수리 모형 및 해법," 석사 학위 논문, 부산대학교

대학원 산업공학과.

- [3] 강재호, 오명섭, 류광렬, 김갑환 (2004). “반입 컨테이너 무게를 고려한 재취급 최소화 장치 위치 결정 방안,” *한국 지능 정보 시스템 학회 2004년 추계학술대회 논문집*, pp. 271-278
- [4] 김영훈, 박태진, 류광렬 (2006). “자동화 컨테이너 터미널의 장치 위치 결정 방안,” *한국 지능 정보 시스템 학회, 2006년 추계 학술대회 논문집*, pp.345-352
- [5] Kim, K. H. and Bae, J. W,(1998). “Re-Marshaling Export Containers,” *Computers and Industrial Engineering, Vol. 25, No. 3-4*, pp. 655-658
- [6] 강재호, 오명섭, 류광렬, 김갑환 (2005). “컨테이너 터미널 장치장에서 블록 내 이적을 위한 컨테이너 이동 순서 계획,” *한국 항해 항만 학회지 제 29권 1호*, pp. 83-90
- [7] 오명섭, 강재호, 류광렬, 김갑환(2005). “복수 크레인을 활용한 블록 내 컨테이너 이적 계획,” *한국 항해 항만 학회지 제 29권 5호*, pp. 447-455
- [8] Jaeho Kang, Myung-Seob Oh, Kwang Ryel Ryu, and Kap Hwan Kim (2006). “Planning for Intra-block Remarshaling in a Container Terminal,” *The Nineteenth International Conference on Industrial, Engineering & Other Applications of Applied Intelligent Systems*.
- [9] 이주호, 최용석 (2004). “자동화 컨테이너터미널의 이적작업에 관한 시뮬레이션 연구,” *한국 항해 항만 학회 제 28권 제 2호 추계학술대회논문집*, pp.203-208