

# 자동화 컨테이너 터미널의 적하 작업 효율 향상을 위한 블록 내 재정돈 계획 수립 방안

박기역

부산대학교 컴퓨터공학과  
(nerissa79@pusan.ac.kr)

박태진

부산대학교 컴퓨터공학과  
(parktj@pusan.ac.kr)

김민정

부산대학교 컴퓨터공학과  
(xhymix@pusan.ac.kr)

류광렬

부산대학교 컴퓨터공학과 교수  
(krryu@pusan.ac.kr)

.....

컨테이너 터미널의 장치장은 외부로부터 반입되거나 수입된 컨테이너가 수출을 위해 선박에 실리거나 외부로 반출되기 전까지 임시로 머무는 공간이다. 선박에 컨테이너를 싣는 적하작업의 경우 싣는 순서가 사전에 결정되어 있기 때문에 장치장에 컨테이너가 잘못 쌓여있을 경우 다수의 재취급 작업이 발생하는 등 작업 효율에 좋지 못한 영향을 끼칠 수 있다. 장치장 재정돈이란 장치장 크레인의 유휴 시간을 활용하여 최대의 효율로 적하 작업을 할 수 있도록 장치장의 컨테이너들을 미리 재배치하는 작업을 말한다. 본 논문에서는 수직 배치 자동화 컨테이너 터미널 장치장을 대상으로 장치장 블록 내 재정돈 작업 계획을 수립하는 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘은 장치장 재정돈 작업 계획을 목표 장치형태 결정 및 크레인 작업 계획의 2단계로 나누어 수립한다. 목표 장치형태 결정 단계에서는 적하시 작업 처리량이 최대가 될 수 있도록 탐색을 이용하여 재정돈 되어야 할 바람직한 장치형태를 결정하며, 크레인 작업 계획 단계에서는 원래의 장치형태에서 시작하여 목표 장치형태로 가능한 빠른 시간 내에 재정돈 작업을 수행할 수 있도록 크레인의 작업 스케줄을 탐색을 이용하여 결정한다. 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.

.....

논문접수일 : 2008년 01월    논문수정일 : 2008년 11월    게재확정일 : 2008년 12월    교신저자 : 류광렬

## 1. 서론

컨테이너 터미널의 생산성을 결정짓는 가장 중요한 요소는 선박에서 컨테이너를 내리고 싣는 선박 작업의 효율이다. 장치장에서의 컨테이너 위치는 투입 장비의 수, 성능 등과 함께 선박 작업에 많은 영향을 미친다. 선박에 컨테이너를 싣는 적하 작업의 경우 컨테이너가 실리는 순서가 적하 계획에 의해 사전에 결정되어 있기 때문에 그 효율이 컨테이너의 장치 상태에 특히 많은 영향을 받는다.

예를 들어, 뒤에 적하될 컨테이너가 먼저 적하될 컨테이너 위에 쌓여있을 경우 이를 처리하기 위해서는 추가적인 재취급 작업을 수행하여야만 한다. 또한 연속적으로 적하 될 컨테이너가 서로 멀리 떨어져서 위치해 있다면, 장치장의 크레인이 이들을 처리하기 위해서는 이동해야 할 거리가 상당히 길어져 많은 시간을 소모하게 된다.

많은 기존 연구들이 컨테이너가 터미널로 반입되는 시점에 최적의 장치 위치를 결정하기 위한 방안을 연구하였다. (김갑환 등, 2000)은 수출 컨테

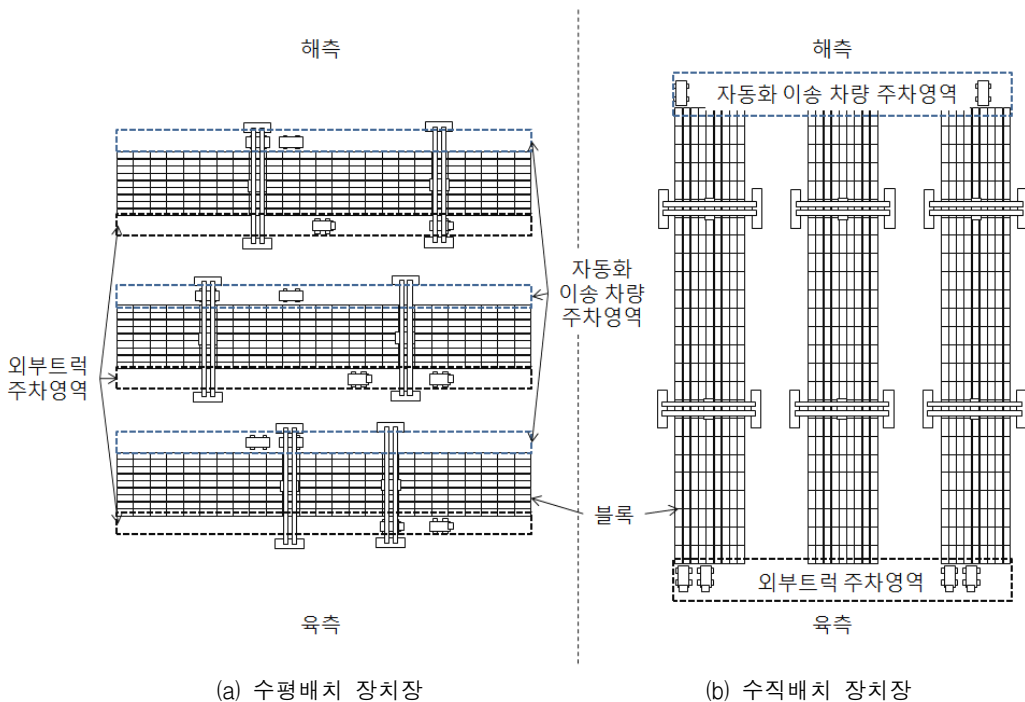
\* 이 논문은 부산대학교 자유과제 학술연구비(2년)에 의해서 연구되었습니다.

이너의 반입 시 장치장의 상태와 무게 그룹별 컨테이너의 분포를 고려하여 컨테이너가 적하되는 시점에 재취급이 최소화될 수 있도록 하는 장치 위치를 결정하는 방안을 제안하였다. (Dekker et al., 2007)는 장치장에 반입되는 컨테이너를 대상으로 컨테이너의 재취급 기대값, 야드 크레인의 작업 부하 평준화 정도 등의 평가 척도를 이용해 다양한 장치 전략들을 비교 분석하였다. (김영훈 등, 2006)은 자동화 컨테이너 터미널의 장치장을 대상으로 컨테이너의 반입 시 장치 위치를 결정하기 위해 다양한 평가 요소들을 퍼지 로직을 이용해 결합하는 방안을 제안하고 기존의 장치위치 결정 휴리스틱들과 비교하였다.

그러나 컨테이너가 장치장으로 반입되는 시점에는 대부분 적하 순서가 아직 결정되어 있지 않

고 무게와 같이 중요한 컨테이너 정보가 부정확하며(Kang et al., 2006), 장치 공간도 제한되어 있기 때문에 반입 시점에 최적의 위치를 결정해서 장치하는 것이 현실적으로 불가능하다. 장치장 재정돈이란 이러한 문제에 대처하기 위해 일단 반입되어 적절히 장치된 컨테이너들을 장치장 크레인의 유희 시간을 활용하여 적하 작업 시 최대의 효율로 작업할 수 있도록 재배치하는 작업이다.

(오명섭 등, 2005; Kang et al., 2006)은 <그림 1>의 (a)와 같은 수평 배치 장치장에서 동일한 장치구역(블록) 여기저기에 흩어진 컨테이너들을 재정돈하는 방안을 제안하였으며(Kim et al., 2006; Zhang et al., 2007)은 작업 수행 중 전체 재취급 수 최소화를 위한 이적 위치 결정 방안을 제안하였다. 수평 배치의 장치장에서는 트럭들이 블록 측



<그림 1> 수평배치 장치장과 수직배치 장치장의 모습

면을 따라 장치장 크레인이 있는 위치까지 직접 와서 컨테이너를 주거나 받는다. 장치장 크레인의 입장에서는 위치 이동 없이 연속적으로 작업을 처리할 수 있어서 효율적이다. 따라서 재정돈 계획도 적하 시 연속적으로 작업되는 컨테이너들을 한 곳에 모음으로써 크레인의 이동을 최소화 하는데 초점을 맞추고 있다. 최근에 개장 했거나 현재 건설 중인 CTA, ECT, Euromax와 같은 완전 자동화 컨테이너 터미널의 경우, 자동화 이송 차량(AGV 등)과 외부 트럭의 작업 영역을 분리하고 자동화 차량의 교통 제어를 용이하게 하기 위해 <그림 1>의 (b)와 같이 장치장 블록을 안벽에 대해 수직으로 배치하는 것이 일반적이다. 이러한 수직 배치 장치장에서는 차량이 블록 양끝의 정해진 지점에만 정차하여 컨테이너를 주거나 받을 수 있으며, 장치장 크레인이 차량에 컨테이너를 싣거나 내리기 위해서는 반드시 차량이 있는 지점까지 이동하여야만 한다. 따라서, 적하 작업 때 크레인의 이동 거리를 줄이기 위해 재정돈을 통해 이후 작업될 컨테이너를 차량에 싣릴 위치 가까이로 옮기는 것이 중요하다. 단, 어떤 배치의 장치장이라 할지라도 적하 순서를 고려하여 재취급 수를 줄여야 하는 것은 공통된 목표가 된다.

본 논문은 수직 배치 자동화 장치장에서 적하 작업이 수행되기 전 재정돈 계획을 수립하는 방안을 제안한다. 본 논문에서 제안하는 방안은 재정돈 계획을 목표 장치형태 결정과 크레인 작업계획 수립의 두 단계로 나누어 수립한다. 목표 장치 형태 결정 단계는 장치장 크레인이 지연 없이 적하 작업을 지원할 수 있도록 적하될 컨테이너들의 장치 상태를 새롭게 결정하는 단계이다. 이 과정에서 최적의 목표 장치형태를 결정하기 위해 국지적 탐색 방법을 이용하였다. 크레인 작업계획 단계에서는 이전 단계에서 결정된 목표 장치형태에 따라 원래

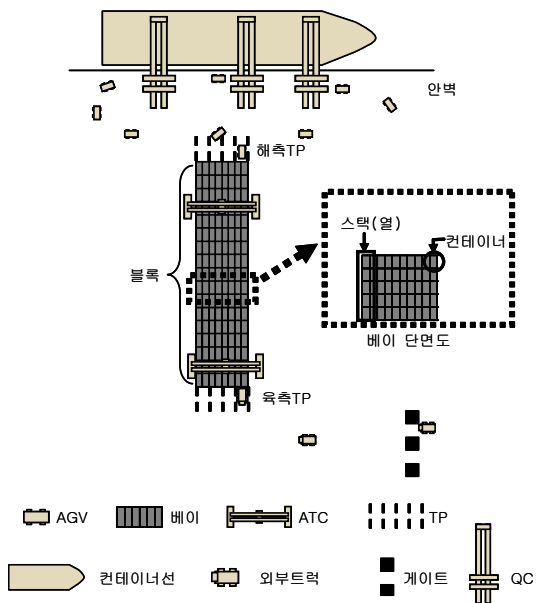
형태에서 목표 형태로 가능한 짧은 시간에 모든 적하 대상 컨테이너들을 옮길 수 있도록 하는 계획을 국지적 탐색 방법을 이용해 수립하였다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 제 2장에서 본 논문에서 다루는 대상 터미널과 대상 문제에 대해서 설명하고 제 3장에서 본 논문에서 제안하는 알고리즘을 설명한다. 제 4장에서 실험을 통한 결과를 확인한다. 마지막으로 제 5장에서 결론을 내리고 향후 연구 주제에 대해 언급하며 끝을 맺는다.

## 2. 자동화 컨테이너 터미널의 블록 내 재정돈 문제

이 장에서는 본 논문이 대상으로 한 컨테이너 터미널에 대해 소개한다. <그림 2>는 컨테이너 터미널의 배치도이다.

자동화 컨테이너 터미널의 주요 하역 장비에는



<그림 2> 수직 배치 자동화 컨테이너 터미널의 배치

안벽 크레인, 자동화 장치장 크레인, 자동화 이송 차량의 3가지가 있다. 안벽 크레인(Quay Crane, QC)은 선박에 컨테이너를 싣거나 선박에서 컨테이너를 내리는 장비이며, 자동화 장치장 크레인(Automated Transfer Crane, ATC)은 장치장 블록에 컨테이너를 넣거나 꺼내는 장비이다. 자동화 이송 차량(Automated Guided Vehicle, AGV)은 QC와 ATC사이에서 컨테이너를 운반하는 장비이다. 그리고 컨테이너 터미널의 주요 하역 장비에 속하지 않지만 외부로부터 컨테이너를 터미널에 가져오거나 터미널에서 컨테이너를 가져가는 외부트럭이 있다.

컨테이너 터미널에서 수행되는 대표적인 작업에는 양하, 적하, 반출, 반입 작업의 네 가지가 있다. 양하 작업은 QC가 컨테이너를 선박에서 꺼내 AGV에 싣고 ATC가 받아 장치장에 쌓는 작업이고, 적하 작업은 장치장에서 ATC가 컨테이너를 꺼내 AGV에 싣고 QC가 받아 선박에 싣는 작업이다. 반입 작업은 외부 트럭이 가져온 컨테이너를 ATC가 장치장에 쌓는 작업이고, 반출 작업은 ATC가 장치장에 쌓여있는 컨테이너를 외부 트럭에 실어주는 작업이다.

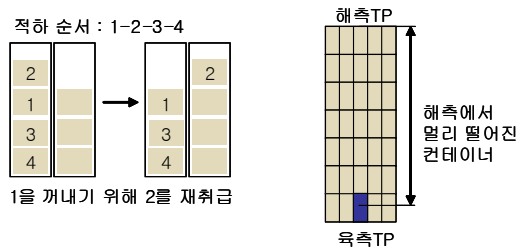
앞서 언급하였듯이 안벽에서 작업을 하는 QC의 주행 방향과 블록에서 작업을 하는 ATC의 주행 방향이 직교하게 블록이 배치되어 있는 터미널을 수직 배치 컨테이너 터미널이라고 한다. 이와 같은 터미널 장치장의 각 블록에는 AGV나 외부트럭이 ATC와 연계작업을 하기 위해 주차하는 영역(Transfer Point, TP)이 두 곳에 위치 하고 있다. 해측에 가까이 있어 AGV가 주차하는 곳을 해측 TP, 육측에 가까이 있어 외부트럭이 주차하는 곳을 육측 TP라고 부른다. 이로 인해 반입된 후 적하되는 컨테이너와 양하된 후 반출되는 컨테이너는 장치장의 어느 한쪽 끝을 통해 장치장으로 들

어와서 반대쪽 끝을 통해 장치장을 빠져나간다.

컨테이너 터미널에서 적하 순서를 고려하여 반입 시점에 컨테이너를 최적의 위치에 장치하는 것은 현실적으로 불가능하다. 첫째로, 컨테이너 반입 시점에는 정확한 적하 순서를 알 수 없다. 일반적으로 컨테이너는 선박이 터미널로 들어오기 약 1주일 전부터 하루 전까지 반입되는 반면, 적하 순서는 선박이 터미널로 들어오기 불과 몇 시간 전에 결정된다. 따라서, 반입 컨테이너를 적하 순서를 고려해 최적의 위치에 장치하는 것은 불가능하다. 둘째로, 반입 컨테이너의 정보가 정확하지 않다. 일반적으로 무거운 컨테이너가 선박의 아래에 적재되기 때문에 무거운 컨테이너들이 먼저 적하되는 경향이 있다. 따라서, 컨테이너 터미널에서는 정확한 적하 순서를 모르더라도 이러한 상대적인 순서를 고려하여 재취급 작업이 적게 발생하도록 하는 컨테이너의 장치위치를 결정할 수 있다. 그러나 반입시의 컨테이너 정보, 특히 무게 정보 등이 상당히 부정확하기 때문에 이 정보에 기반을 두어 컨테이너들의 위치를 결정하더라도 실제 컨테이너를 적하 할 때에는 상당수의 재취급이 발생할 수 있다. 셋째, 컨테이너 터미널 장치장의 공간이 제한되어 있다. 이러한 공간 제약 때문에 반입 당시 최적의 장치위치가 적하 시에도 최적이라고 보장할 수 없다. 극단적인 예로 장치장의 모든 곳에 하나 이상의 컨테이너가 쌓여 있을 때 적하 순서상 가장 늦게 적하될 컨테이너가 반입된다면 이 컨테이너를 어디에 장치하더라도 재취급을 피할 수 없다. 마지막으로 수직 배치 장치장의 특성상 육측 TP로 반입된 컨테이너가 즉시 해측 TP 가까이로 가기 힘들다. 컨테이너가 반입되는 시점에 해측 ATC가 본선 작업을 하고 있다면 육측 ATC는 해측 ATC와의 간섭을 고려하여 육측 TP 가까이 에 컨테이너를 놓게 되기 때문이다.

이처럼 적하 작업 때 불리할 수 있는 위치에 장치된 컨테이너를 적하할 때 ATC의 작업 지연이 발생하여 적하 작업이 지연될 가능성이 큰 경우는 2가지가 있다. 첫째는 장치장에서 대상 컨테이너를 꺼낼 때 재취급이 발생하는 경우이다. <그림 3>의 (a)와 같이 장치장에 적하 순서를 어기는 순으로 컨테이너가 쌓여있다면 아랫단의 적하 순서가 빠른 컨테이너를 처리하기 위해서 윗단의 적하 순서가 늦은 컨테이너를 다른 곳으로 옮기는 재취급 작업을 해야 한다. 재취급 작업이 많이 발생하면 ATC가 재취급 작업에 많은 시간을 소비하게 되므로 적하 작업이 지연될 수 있다. 둘째, 컨테이너가 해측 TP에서 멀리 떨어진 곳에 적재되어 있는 경우이다. 수직 배치 장치장의 특성상 반입 컨테이너는 육측 ATC와 해측 ATC의 간섭을 피해 일반적으로 <그림 3>의 (b)와 같이 육측 TP 근처에 적재될 가능성이 높다. 그러나 육측 TP에 가깝게 장치된 컨테이너를 꺼내기 위해 해측 ATC가 먼 거리를 이동하게 되므로 육측 ATC와 간섭이 발생할 수 있다. 이와 같이 해측 TP에서 멀리 떨어진 곳에 장치된 컨테이너를 처리하기 위해 많은 시간을 소비하게 되므로 적하 작업이 지연될 수 있다.

본 논문의 재정돈 작업은 위의 두 가지 적하 작



(a) 재취급 (b) 크레인의 장거리 이동  
<그림 3> 적하를 지연시키는 요인

업 지연 요인을 제거하기 위해 ATC의 유휴 시간을 활용하여 일단 반입되어 적절히 장치된 컨테이너들을 적하 작업 시 최대의 효율로 작업할 수 있도록 재배치하는 작업이다. 다음 장에서 제안할 재정돈 작업 계획 수립 방안은 목표 장치형태 결정 단계와 크레인 작업 계획 단계로 이루어진다. 이 단계는 다시 목표 스택 결정과 목표 장치형태 결정의 두 단계로 나누어진다. 목표 스택 결정 단계에서는 재정돈 작업 때 컨테이너들이 옮겨져 적하 작업 때 크레인의 이동 거리를 줄어줄게 하는 목표 위치를 결정한다. 목표 장치형태 결정 단계에서는 적하 순서를 고려하여 적하 작업 때 재취급이 발생하지 않도록 각 목표 위치에 컨테이너들이 쌓이게 될 형태를 결정한다. 즉, 해측 TP에 가까운 목표 스택을 선정하여 크레인의 장거리 이동 문제를 해결하고, 적하 시 재취급이 일어나지 않도록 목표 스택에 컨테이너가 쌓인 모습을 결정하는 단계이다. 크레인 작업 계획 단계에서는 초기 장치형태에서 목표 장치형태로 최단 시간에 재정돈 할 수 있도록 하는 크레인 작업 순서를 결정한다.

### 3. 블록 내 재정돈 계획 수립 방안

#### 3.1 목표 장치형태 결정

목표 장치형태 결정 단계에서는 적하 작업 지연 요인을 제거하여 적하 작업의 효율을 향상시키는 것을 주된 목표로 한다. 크레인의 장거리 이동 문제는 적하 작업 대상 컨테이너를 적하에 유리한 위치인 해측 TP에 가까운 곳으로 옮기는 것으로 해결할 수 있고, 재취급 발생 문제는 적하 작업 순서에 맞도록 컨테이너의 적재 순서를 변경하는 것으로 해결할 수 있다.

본 논문에서는 두 가지 적하 작업 지연 요인을

각개격과하기 위해 목표 장치형태 결정 단계를 목표 스택을 선택하는 단계와 장치형태를 결정하는 단계로 분리하였다. 각 목표 스택은 기존에 컨테이너가 장치되어 있을 수 있으므로 쌓을 수 있는 적하 대상 컨테이너의 수가 스택마다 다르다. 그러므로 어떤 목표 스택을 선택하였는가에 따라서 장치형태가 다양하게 나타날 수 있다. 또, 목표 스택을 선택한 후에 해당 목표 스택에 어떤 모습으로 몇 개의 컨테이너를 쌓을 지 결정할 수 있기 때문에 목표 스택 선택 후에 장치형태를 결정하도록 하였다.

본 논문에서는 목표 장치형태를 결정하기 위해 국지적 탐색 방안을 사용한다. 앞의 설명에서 알 수 있듯이 목표 스택과 컨테이너의 수에 의해 상당히 많은 수의 장치형태를 만들어 낼 수 있다. 모든 장치형태를 다 평가하기에는 그 양이 매우 많으므로 국지적 탐색을 사용해 좋은 장치형태를 단 시간에 찾아내려고 한다. 또, 목표 스택을 다양하게 선택하게 되면 국지적 탐색을 사용하더라도 좋은 장치형태를 찾아낸다는 보장이 없어지므로 탐색의 효율을 높이기 위해 목표 스택은 휴리스틱으로 선택하고 장치형태만 탐색을 통해 결정한다.

먼저 목표 스택 선택 단계에서는 해측 TP에 가까이 있고 추가적인 작업이 적게 발생하는 스택을 선택한다. 이 단계는 적하 성능을 향상시키고 더불어 재정돈 시간도 단축 시킬 수 있는 스택을 선택하려는 단계이다. 목표 스택은 재정돈 후에 적하될 컨테이너가 쌓이는 곳이므로 적하 작업이 일어나는 해측 TP에 가까이 있어야 크레인의 이동거리가 줄어들어 적하 성능이 향상될 수 있다. 또, 재정돈 시에 해측 TP 가까이에 공간을 확보하기 위해 스택을 비우기도 하는데, 이 때 추가적인 작업이 적게 발생하는 스택을 선택해야 재정돈 시간을 단축시킬 수 있다.

목표 스택을 선택하기 위해 먼저 필요한 빈 공

간의 수( $n_{need}$ )를 파악한다. 재정돈 대상 컨테이너의 수를  $n_{cont}$ 라하면 기본적으로  $n_{need} = n_{cont}$ 가 된다. 그러나 서로 다른 QC에 할당된 컨테이너들은 어떤 컨테이너가 먼저 작업될지 알 수 없기 때문에 재취급 발생 가능성을 없애기 위해 하나의 스택에는 같은 QC에서 처리되는 컨테이너들만을 장치해야 한다. 또, 추후 목표 장치형태 탐색 시 탐색 효율을 높이기 위해 약간의 추가적인 빈 공간을 마련하게 하였다. 따라서 본 논문에서는 필요한 빈 공간의 수  $n_{need} = a \times n_{cont}$ 로 정의하였으며 실험에는  $a$ 를 1.5로 설정하였다.

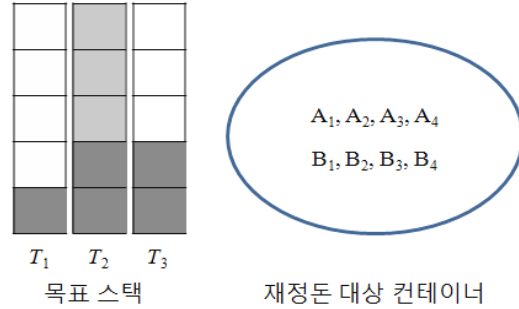
다음으로 해측 TP로부터 일정 거리 이내의 배이에서 목표 스택 선택 우선 순위에 따라  $n_{need}$  개의 빈 공간을 확보할 수 있도록 목표 스택을 선택한다. 앞서 언급하였듯이 해측 TP에 가까운 위치에 있고, 재정돈 시 추가로 컨테이너를 옮기는 작업이 적게 생기거나 추가적인 컨테이너의 이동을 통해 부가적인 이득이 생기는 스택이 목표 스택으로 우선 선택된다. 다음은 목표 스택을 선택하기 위해 필요한 우선 순위이다.

1. 빈 스택
2. 반출 컨테이너로 이루어져 있거나 이후 적하될 컨테이너가 2~3개 쌓여있는 스택
3. 재정돈 대상 컨테이너만 쌓여 있는 스택

빈 스택은 추가적인 작업이 발생하지 않기 때문에 가장 우선적으로 선택된다. 반출될 컨테이너를 육측 TP에 가까운 위치에 가져다 놓으면 해당 컨테이너가 반출될 때 육측 ATC가 짧은 거리를 이동하게 되므로 해측 ATC와의 간섭이 줄어들기 추가적인 작업이 발생하게 되더라도 두번째로 선택하게 된다. 또한 이후 적하될 컨테이너가 2~3개 쌓여있는 스택은 공간이 상대적으로 적지만 추가

작업을 하지 않으므로 동일한 우선순위로 선택한다. 마지막으로 재정돈 대상 컨테이너만 쌓여있는 스택은 일반적으로 해측 TP에서 멀리 떨어져 있기 때문에 가장 낮은 우선 순위로 선택된다. 또한, 우선 순위만으로 목표 스택을 선택하다 보면 해측에서 굉장히 멀리 떨어진 베이의 빈 스택이 목표 스택으로 선택될 수 있기 때문에 오히려 적하 지연이 발생할 수도 있다. 따라서 본 논문에서는 스택 선택 한계 거리  $d$ 를 두어 일정 거리 이상의 베이에서는 스택을 선택하지 않도록 하였다.

구체적인 목표 스택 선택 과정은 다음과 같다. 먼저 해측 TP에서 가장 가까운 베이부터  $d$  거리만큼 떨어진 베이까지 한 베이씩 육측으로 가며 베이 내의 비어있는 스택을 선택한다. 빈 베이를 선택하여  $n_{need}$ 개 이상의 빈 공간을 확보하지 못했다면 같은 방법으로 이번에는 반출 컨테이너로 이루어져 있거나 기존에 쌓여있는 컨테이너가 2~3개인 스택을 선택한다. 만약 이번에도 빈 공간을 충분히 확보하지 못했다면 마지막으로 재정돈 대



<그림 4> 목표 스택과 재정돈 대상 컨테이너

상 컨테이너로 이루어진 스택을 선택한다. 이 때 언제나 목표 스택은 충분히 확보할 수 있다고 가정한다.

목표 장치형태 결정 단계에서는 적하 작업 시 재취급이 생기지 않고 재정돈 작업을 빨리 끝낼 수 있도록 장치형태를 결정한다. 재정돈 작업이 계획되기 전에 적하 순서가 미리 결정되어 있다고 가정하고 있으므로 이를 고려하여 적하 시에 재취급이 발생하지 않는 장치 형태를 결정할 수 있다.

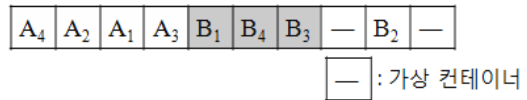
1. 재정돈 될 컨테이너의 수( $n_{cont}$ )를 구한다.
2.  $n_{need}$ (필요한 공간의 수) =  $a \times n_{cont}$ ; (본 논문에서는  $a = 1.5$ )
3. 목표 스택 집합( $T$ ) 내의 스택의 가용 공간이 충분하거나 거리  $d$ 에 도달할 때까지 아래 단계 수행
  - 3.1 목표 스택 집합 내에 없고 안벽에 가까운 빈 스택 중 하나를 선정하여 목표 스택 집합( $T$ )에 추가한다.
4. 목표 스택 집합( $T$ ) 내의 스택의 가용 공간이 충분하거나 거리  $d$ 에 도달할 때까지 아래 단계 수행
  - 4.1 목표 스택 집합 내에 없고 안벽에 가까운 반출 컨테이너로 이루어져 있거나 이후 적하될 컨테이너가 2~3개 쌓여있는 스택 중 하나를 선정하여 목표 스택 집합( $T$ )에 추가한다.
5. 목표 스택 집합( $T$ ) 내의 스택의 가용 공간이 충분할 때까지 아래 단계 수행
  - 5.1 목표 스택 집합 내에 없고 안벽에 가까운 재정돈 대상 컨테이너만 쌓여 있는 스택 중 하나를 선정하여 목표 스택 집합( $T$ )에 추가한다.
6. 목표 스택 집합( $T$ ) 내의 스택이 지닌 가용 공간을 일렬로 나열한다.
7. 다음 조건을 만족하는 범위 내에서 가용공간에 컨테이너를 임의로 할당한다.  
조건 : 동일 스택의 가용 공간에는 단일 QC가 적하할 컨테이너만 할당됨

<그림 5> 목표 스택 선택 및 초기해 생성 알고리즘

그리고 기존의 장치형태를 알고 있기 때문에 재정돈 작업을 빠르게 끝내기 위해서 재정돈 작업 시 재취급이 발생하지 않고 크레인이 짧은 거리를 움직이는 장치형태를 결정할 수 있다.

탐색을 위한 해는 목표 스택의 빈 공간에 재정돈 대상 컨테이너를 배치한 것이다. 목표 스택 선택 및 초기해 생성 알고리즘은 <그림 5>에 나타내었다. 만약 <그림 4>와 같이 목표 스택  $T_1 \sim T_3$ 까지의 총 빈 공간의 수가 10개 이고, QC A에 할당된 재정돈 대상 컨테이너의 수가 4개, QC B에 할당된 컨테이너의 수가 4개라면 탐색의 어느 한 시점에서의 해는 <그림 6>과 같이 표현될 수 있다. <그림 6>의 해는 목표 스택의 빈 공간을 일렬로 배치한 후 서로 다른 QC에 할당된 컨테이너가 동일한 목표 스택의 빈 공간에 배치되지 않도록 조

건부 임의 배치한 것이다. 여기서 가상 컨테이너는 재정돈 대상 컨테이너가 목표 스택의 빈 공간의 수 보다 적을 경우 컨테이너가 할당되지 않은 빈 공간도 추후에 컨테이너를 할당해 탐색의 유연성을 높일 수 있도록 하기 위해 추가된 것이다.



<그림 6> 해의 표현

<그림 6>과 같이 표현된 해를 평가하기 위해서 각 스택에 배치된 컨테이너를 적하 순서에 맞게 스택 내에서 정렬한다. 이렇게 정렬된 해에서는 컨테이너가 적하 순서에 맞게 적재되었으므로 적하

해의 표현	해의 해석	적하 순서에 맞게 정렬	평가
			시간: $t_1$ 재취급수 : $r_1$
			시간: $t_2$ 재취급수 : $r_2$

<그림 7> 목표 장치형태 결정 예



시 재취급이 발생하지 않는다. 이 해에서 재정돈 시 발생할 것으로 예상되는 재취급 수와 재정돈을 하기 위해 크레인이 이동할 거리를 계산하여 평가 값으로 사용한다. 크레인의 이동거리는 초기 장치 형태와 목표 장치형태로부터 각 개별 컨테이너를 옮기기 위해 크레인이 이동해야 할 거리를 추정한 후 모두 합하여 구할 수 있다. 하지만 재취급 수는 크레인 작업 계획에 따라 달라질 수 있으므로 현 단계에서 정확히 알 수 없다. 따라서 다음과 같이 명확하게 발생하는 경우만을 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

이웃해는 이전 해에서 동일한 QC에 할당 되어 있고 목표 스택이 서로 다른 두 컨테이너를 바꾼 것이다. 앞서 설명하였듯이 한 스택에는 동일한 QC에 할당된 컨테이너만을 적재해야 재취급을 막을 수 있다. 또, 목표 스택이 동일한 컨테이너는 서로 교환하여도 평가 시 적하 순서에 따라 정렬하게 되므로 이전과 같은 해가 된다. 그러므로 앞선 설명과 같이 이웃해를 생성하고, 적하 순서에 따라 컨테이너를 정렬한 후 평가하여 재취급 횟수가 적은 해를 현재 해로 선택되 재취급 횟수가 이전 해와 동일하다면 이동거리가 짧은 해를 더 좋은 해로 평가한다.

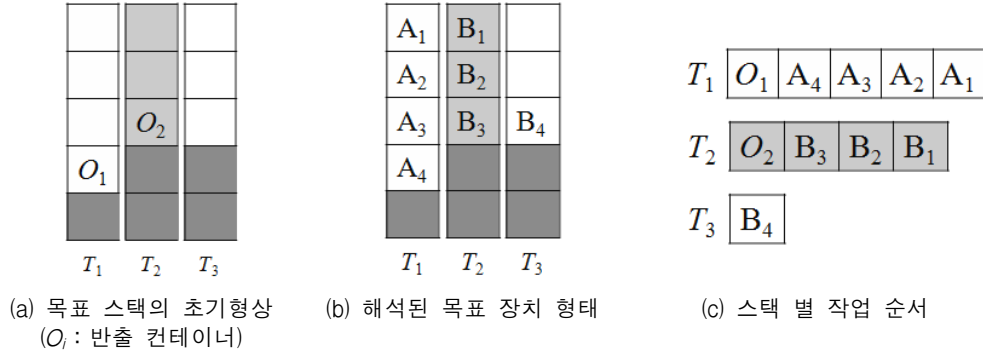
다음의 <그림 7>은 목표 장치형태를 결정하는 상세한 예를 보여주고 있다. 먼저 <그림 4>와 같은 목표 스택과 재정돈 대상 컨테이너가 존재하는 환경에서 <그림 7>의 (a)와 같은 초기해가 생성되

었다고 하자. 그 해를 목표 스택에 할당하는 것으로 해를 해석할 수 있다(<그림 7>의 (b)). 그리고 적하 순서를 고려하여 목표 스택에 할당된 컨테이너를 정렬(<그림 7>의 (c))하여 재정돈 시 재취급 수( $r_1$ )와 재정돈에 걸리는 시간( $t_1$ )을 측정한다. 앞서 설명한 이웃해의 생성방법을 통해 이웃해를 생성(<그림 7>의 (d), (e))하여 초기해와 같은 방법으로 해석(<그림 7>의 (f), (g))하고 평가하여 재정돈 시 재취급 수( $r_2$ )와 재정돈에 걸리는 시간( $t_2$ )을 측정한다. 초기해의 재취급 수가 이웃해의 재취급 수보다 많다면( $r_1 > r_2$ ) 이웃해를 현재해로 하여 탐색을 진행하고, 두 해의 재취급 수가 같다면( $r_1 = r_2$ ) 재정돈에 걸리는 시간이 짧은 쪽을 현재해로 하여 탐색을 진행한다.

### 3.2 크레인 작업 계획

크레인 작업 계획 단계에서는 초기 장치형태에서 목표 장치형태로 최단 시간에 재정돈하는 크레인 작업 계획을 수립하는 것을 목표로 한다. 실제 작업 중에는 장비의 불확실한 동작으로 계획과 다르게 작업될 가능성이 있다. 그러므로 주어진 시간보다 빨리 끝나는 작업 계획을 세우면 동작의 불확실성에서 오는 지연을 수용할 수 있을 만큼의 여유시간을 가질 수 있을 것이다. 그리고 컨테이너 터미널의 입장에서는 장비가 적게 움직이는 것이 여러 면에서 이익이 되기 때문에 단시간에 작업이 끝나는 계획을 수립하는 것이다.

본 논문에서는 크레인 작업 계획을 수립하기 위해 국지적 탐색 방안을 사용한다. 크레인 작업 계획은 작업 대상 컨테이너의 나열로 이루어진다. 여기서 작업 대상 컨테이너는 재정돈 대상 컨테이너와 비워내어야 할 반출 대상 컨테이너들이다.  $n$ 개의 작업 대상 컨테이너가 있을 때, 우리는  $n!$  가지



<그림 8> 스택별 작업 순서의 결정

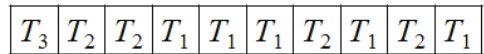
의 후보 작업 계획을 얻을 수 있다. 작업 대상 컨테이너의 수가 증가할수록 가능한 모든 후보 작업 계획을 만들어내는데 많은 비용이 소모되기 때문에 국지적 탐색 방안을 사용하여 최적해를 찾는 속도를 증가시키고자 한다.

크레인 작업 계획을 수립하기에 앞서 목표 스택의 초기형상과 이전 단계에서 결정된 목표 장치 형태를 통해 스택 별 작업 순서를 결정할 수 있다. <그림 8>의 (a)와 같이 재정돈 하기 전의 목표 스택에는 재정돈 되어 옮겨질 반출 대상 컨테이너와 재정돈 후에도 옮겨지지 않을 컨테이너가 이미 적재되어 있다. 그리고 <그림 8>의 (b)와 같은 목표 장치형태로 재정돈을 해야한다. 따라서 먼저 반출 컨테이너를 꺼낸 후 목표 장치형태의 최하단 컨테이너부터 목표 스택에 적재해야 한다. 이런 원리에 의해 <그림 8>의 (c)와 같은 스택 별 작업 순서를 결정할 수 있다.

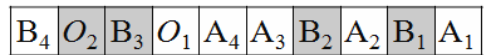
개별 스택에서의 컨테이너 작업 순서는 이미 결정되었으므로 크레인의 스택 방문 순서를 결정하면 재정돈 작업 계획을 수립할 수 있다. 그러므로 크레인 작업 계획 단계의 탐색을 위한 해의 표현은 <그림 9>의 (a)와 같이 스택 별 작업 순서에서

알 수 있는 각 스택에 할당된 컨테이너의 수만큼 목표 스택 번호를 임의의 순서로 배치한 것이다. 즉, 목표 스택  $T_1$ 에서는 5개,  $T_2$ 에서는 4개,  $T_3$ 에서는 1개의 컨테이너가 장치되어야 하므로 하나의 해에는  $T_1$ 이 5번,  $T_2$ 가 4번,  $T_3$ 가 1번 등장하게 된다. 이 때, 실제 작업을 위해서는 <그림 9>의 (b)와 같이 탐색을 위한 해의 목표 스택의 번호와 스택 별 작업 순서의 컨테이너를 순서대로 교환하여 해를 해석한다.

이 단계에서의 평가값은 실제 재정돈에 걸리는 시간이다. 이때는 따로 재취급 횟수를 계산할 필요가 없다. 재정돈하는 도중 발생하는 재취급의 작업 시간은 재정돈 작업 시간에 포함되기 때문에 따로



(a) 탐색을 위한 해의 표현



(b) 실제 작업을 위한 해의 해석

<그림 9> 크레인 작업 계획

횟수를 계산하지 않아도 이미 포함되어 있다. 본 논문에서는 이 시간을 측정하기 위해서 시뮬레이션 프로그램을 이용하였다.

## 4. 실험 및 결과

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

### 4.1 실험 환경

본 논문에서 제안한 알고리즘을 평가하기 위해서 <표 1>과 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. 재정

<표 1> 실험 환경

항 목	설정 환경
장치장 배치	1 선석 7블록
블록 배치	5단 10열 41 베이 두 기의 교차 불가능한 ATC
해측 크레인	재정돈 전담
육측 크레인	반입, 반출 전담
적하 물량	500, 1000, 1500개/선박

돈 수행 전에 모든 적하 대상 컨테이너가 반입되었고 재정돈 수행 중에 반입과 반출은 모두 육측 크레인이 전담하고 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 500개, 1000개, 1500개로 조정하여 생성했다. 각 물량별 초기 장치장의 상태를 10가지로 만들어 실험의 결과들을 평균하였다. 크레인 작

**procedure** Remarshalling( block )

**input** : block-현재 재정돈 하길 원하는 블록

**output** : 해당 블록의 재정돈 계획

**C** : 해당 블록의 재정돈 대상 컨테이너 집합

$T \leftarrow \text{SelectTargetStacks}( |C| );$

$Conf \leftarrow \text{MakeTargetConfiguration}( T , C );$

**until** meet terminating condition **do**

Search good configuration using a search method(Hill-climbing or Simulated Annealing);

$Plan \leftarrow \text{MakeWorkingOrder}(Conf);$

**until** meet terminating condition **do**

Search good working order using a search method(Hill-climbing or Simulated Annealing);

**return** Plan;

<그림 10> 재정돈 계획 알고리즘

업 계획 시에는 능선 오르기(Hill-Climb) 알고리즘과 유사 담금질(Simulated Annealing) 알고리즘(Kirkpatrick et al., 1983)을 사용하여 재정돈 시간의 감소량을 비교했다. 아래 <그림 10>은 탐색을 수행하는 알고리즘을 표현하였다. 하지만 목표 장치형태 결정 단계에서는 능선 오르기 알고리즘만을 사용했다. 이 단계는 생성되는 이웃해가 생각보다 적고 빠른 시간 안에 최적해가 찾아지기 때문이다.

#### 4.2 실험 결과

<표 2>는 재정돈을 적용하지 않은 경우와 재정돈을 적용한 경우의 적하 대상 컨테이너 당 평균 지연 시간을 보여주고 있다. 모든 경우에 대해 약 70%를 넘는 감소율을 보이고 있다(전체 평균 85.86%). 이것은 본 논문에서 제안한 방안이 적하 작업의 효율 향상에 크게 기여했다는 것을 증명하는 것이다.

<표 2> 컨테이너 당 평균 적하 지연 (단위 : 초)

적하 작업수	재정돈 미적용	재정돈 적용
500	18.02	1.24
1000	37.37	2.97
1500	45.87	12.41

<표 3>과 <표 4>는 재정돈을 적용하지 않은 경우와 재정돈을 적용한 경우의 적하 작업 시 발생한 전체 재취급 횟수와 컨테이너 하나를 작업하기 위한 ATC 평균 이동시간을 보여준다. 이 두 가지 항목이 본 논문에서 적하 작업 지연 요소로 정의한 것들이다. 재취급 작업은 완전히 없어진 것을 확인할 수 있고, ATC의 이동시간은 전체 평균

<표 3> 컨테이너 당 크레인 평균 이동시간 (단위 : 초)

적하 작업수	재정돈 미적용	재정돈 적용
500	92.17	34.71
1000	82.77	46.48
1500	74.77	69.90

<표 4> 전체 재취급 횟수 (단위 : 개)

적하 작업수	재정돈 미적용	재정돈 적용
500	88.50	0
1000	429.80	0
1500	813.50	0

37.52%의 감소율을 보임을 확인할 수 있었다. 이는 재정돈을 하며 적하 순서에 맞춰 목표 장치 형태가 결정되었다는 것이고, 또 육측 TP에 가까이 있던 컨테이너들을 해측 TP 가까이로 가져오게 되었다는 것이다. 하지만 재정돈 대상 컨테이너의 수가 증가할 수록 필요한 스택의 수도 증가하지만 일정한 스택 선정 한계거리 내의 가용 공간은 일정한 수를 넘을 수 없다. 그러므로 스택 선정 한계 거리를 증가시켜야 하고 그렇게 되면 육측 가까이에 있는 스택이 많이 선택되므로 컨테이너를 해측으로 가져오는 효과가 줄어들어 ATC의 이동시간이 상대적으로 적게 감소하는 것이다.

<표 5>는 재정돈을 적용하지 않은 경우와 재정돈을 적용한 경우의 적하 작업 시간을 나타낸 표이다. 적하 작업 시간은 앞의 실험 결과를 모두 아우른다고 할 수 있다. 앞에서 언급한 결과의 영향으로 작업 시간이 전체평균 19.94% 감소하였지만 앞의 결과들보다 상당히 적은 양의 감소가 일어났

다. 이것은 본 논문에서는 블록에서의 응답속도를 높여 적하 성능을 높이하고자 하였지만 터미널에는 AGV도 같이 상호작용을 하고 있고 이 시물레이션에서는 AGV의 작업방식으로 상당히 기초적인 방법을 사용하고 있기 때문이다. 본 논문에 신지는 않았으나 실제로 크레인 작업 준비가 되었는데 AGV가 도착하지 않아 크레인 대기 시간이 3배 이상 증가하는 것을 확인하였다.

<표 5> 적하 작업 시간 (단위 : 시간)

적하 작업수	재정돈 미적용	재정돈 적용
500	5.90	5.09
1000	13.21	9.97
1500	20.85	16.18

<표 6> 탐색 알고리즘별 재정돈 작업 시간 (단위 : 시간)

적하 작업수	재정돈 시간 (HC)	재정돈 시간 (SA)
500	2.113	2.110
1000	4.203	4.171
1500	7.267	7.241

<표 6>은 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. 이웃해 생성시 제약 조건이 많기 때문에 처음 생각했던 것보다 탐색 영역이 좁았을 것이라 생각한다. 게다가 충분한 탐색 시간을 주었기 때문에 능선오르기 알고리즘도 충분히 좋은 해를 찾은 것으로 보인다.

## 5. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 자동화 컨테이너 터미널의 적하 작업 효율 향상을 위한 블록 내 재정돈 계획 수립 방안을 제시하였고 시물레이션을 통해 제안된 알고리즘이 성능향상에 기여할 수 있다는 것을 확인하였다. 실험 결과 재정돈 후 적하작업 지연시간이 약 86% 줄어들어 적하 작업을 보다 효율적으로 수행할 수 있음을 확인 하였다. 이는 재정돈을 통해 적하 시 ATC가 추가적인 재취급 작업을 수행하지 않으며, ATC의 평균 이동시간이 약 38% 감소하였기 때문이다.

본 논문에서 제안하는 알고리즘은 몇 가지 추가적인 연구의 가능성을 남겨두고 있다. 첫째, 재정돈 작업은 해측 크레인이 반입과 반출 작업은 육측 크레인이 전담하고 있다고 가정하였다. 본 논문에서 결과로 제시한 적하 작업의 효율은 재정돈에 투입되는 크레인 수에 영향을 받지 않는다. 그러나 만약 복수의 크레인을 이용한다면 재정돈 작업에 소요되는 시간을 단축할 수 있을 것이므로 복수 크레인을 이용한 재정돈에 대해 추가적인 연구가 필요할 것이다. 둘째, 터미널의 작업 중 적하 작업이 가장 중요하다고 보고 적하 작업에 대해서만 재정돈을 하였다. 실제 터미널의 생산성은 양하 작업과 적하 작업의 효율에 의해 결정되지만 그 중 터미널의 생산성을 좌우하는 것은 적하 작업의 효율이기 때문에 본 논문에서는 적하 작업의 효율을 향상시키기 위한 연구를 진행하였다. 그러나 양하 작업 역시 터미널의 생산성에 영향을 미치므로 둘을 모두 고려한다면 터미널의 생산성을 더욱 향상시킬 수 있을 것이라 생각한다. 셋째, 재정돈 시간은 무한정 주어진다고 가정하였다. 본 논문에서는 재정돈 작업으로 얻을 수 있는 적하 작업의 효율 향상 정도를 알아보기 위한 실험을 하였다. 따라서

재정돈 작업을 위한 여유시간이 충분히 있다고 가정하고 재정돈을 완료한 후의 적하 작업의 소요시간을 측정하였다. 그러나 실제 터미널에서는 소수의 컨테이너를 재정돈 하기에 충분한 시간이 주어지지만 초대형 선박을 대상으로 한 적하 작업과 같이 컨테이너의 양이 본 논문에서 실험한 분량보다 많을 경우에는 충분하지 않을 수 있다. 그러므로 시간 제약을 고려하여 지연을 더 많이 일으킬 것으로 보이는 컨테이너를 먼저 재정돈하는 방법에 대한 연구를 수행해야 할 것이다.

## 참고문헌

- 강재호, 오명섭, 류광렬, 김갑환, “반입 컨테이너 무게를 고려한 재취급 최소화 장치 위치 결정 방안”, *한국지능정보시스템학회 2004년 추계학술대회논문집*, (2004), 271~278.
- 강재호, 오명섭, 류광렬, 김갑환, “컨테이너 터미널 장치장에서 블록 내 이적을 위한 컨테이너 이동 순서 계획”, *한국 항해 항만 학회지*, 29권 1호(2005), 83~90.
- 김영훈, 박태진, 류광렬, “자동화 컨테이너 터미널의 장치 위치 결정 방안”, *한국 지능 정보 시스템 학회, 2006년 추계 학술대회논문집*, (2006), 345~352.
- 오명섭, 강재호, 류광렬, 김갑환, “복수 크레인을 활용한 블록 내 컨테이너 이적 계획”, *한국 항해 항만 학회지*, 29권 5호(2005), 447~455.
- 양지현, 재취급 최소화를 위한 흔적 결정 수리 모형 및 해법, 석사학위논문, 부산대학교 대학원 산업공학과, 2003.
- Dekker, R., P. Voogd, and E. v. Asperen, “Advanced Methods for Container Stacking”, *Container Terminals and Cargo Systems*, (2007), 131~154.
- Kang, J., K. R. Ryu, and K. H. Kim, “Determination of storage locations for incoming containers of uncertain weight”, *IEA/AIE*, (2006), 1159~1168.
- Kang, J., M. S. Oh, K. R. Ryu, and K. H. Kim, “Deriving Stacking Strategies for Export Containers with Uncertain Weight Information”, *Journal of Intelligent Manufacturing*, Vol.17, No.4(2006), 399~410.
- Kang, J., M. S. Oh, K. R. Ryu, and K. H. Kim, “Planning for Intra-block Remarshalling in a Container Terminal”, *The Nineteenth International Conference on Industrial, Engineering and Other Applications of Applied Intelligent Systems*, 2006.
- Kim, K.H., and G.P. Hong, “A heuristic rule for relocating blocks”, *Computers and Operations Research*, Vol.33(2006), 940~954.
- Kim, K. H. and J. W. Bae, “Re-Marshaling Export Containers”, *Computers and Industrial Engineering*, Vol.25, No.3-4(1998), 655~658.
- Kim, K. H., Y. M. Park, and K. R. Ryu, “Deriving decision rules to locate export containers in container yards”, *European Journal of Operational Research*, Vol.124(2000), 89~101.
- Kirkpatrick, S., C. D. Gelatt, and M. P. Vecchi, Optimization by simulated annealing, *Science*, Vol.220(1983), 671~680.
- Zhang, Y., W. Mi, D. Chang, and W. Yan, “An optimization model for intra-bay relocation of outbound container on container yards”, *IEEE International Conference on Automation and Logistics*, (2007), 776~781.

Abstract

## Planning for Intra-Block Remarshaling to Enhance the Efficiency of Loading Operations in an Automated Container Terminal

Kiyeok Park\* · Taejin Park\* · Min-jung Kim\* · Kwang Ryel Ryu\*

A stacking yard of a container terminal is a space for temporarily storing the containers that are carried in or imported until they are carried out or exported. If the containers are stacked in an inappropriate way, the efficiency of operation at the time of loading decreases significantly due to the rehandlings. The remarshaling is the task of rearranging containers during the idle time of transfer crane for the effective loading operations. This paper proposes a method of planning for remarshaling in a yard block of an automated container terminal. Our method conducts a search in two stages. In the first stage, the target stacking configuration is determined in such a way that the throughput of loading is maximized. In the second stage, the crane schedule is determined so that the remarshaling task can be completed as fast as possible in moving the containers from the source configuration to the target configuration. Simulation experiments have been conducted to compare the efficiency of loading operations before and after remarshaling. The results show that our remarshaling plan is really effective in increasing the efficiency of loading operation.

**Key Words** : Automated Container Terminal, Stacking Yard, Remarshaling

---

\* Department of Computer Engineering, Pusan National University

## 저자 소개



**박기역**

2006년 부산대학교 정보컴퓨터공학과 학사, 2008년 부산대학교 컴퓨터공학과 석사, 2008년 3월~현재 부산대학교 컴퓨터공학과 박사과정 재학 중이며, 관심분야는 인공지능, 기계학습, 최적화, 지능형물류시스템 등이다.



**박태진**

현재 부산대학교 컴퓨터공학과 BK21 박사후연구원으로 재직 중이다. 부산대학교 컴퓨터공학과 학사(2001년) 부산대학교 컴퓨터공학과 석사(2003년) 부산대학교 컴퓨터공학과 박사학위(2008년)를 취득하였다. 관심분야는 인공지능, 유전 알고리즘, 데이터마이닝, 지능형물류시스템 등이다.



**김민정**

2007년 부산대학교 정보컴퓨터공학부 학사, 2007년 3월~현재 부산대학교 컴퓨터공학과 석사과정 재학중이며, 관심분야는 인공지능, 기계학습, 최적화, 지능형물류시스템 등이다.



**류광렬**

현재 부산대학교 컴퓨터공학과 교수로 재직 중이다. 서울대학교 전자공학과 학사(1979년), 서울대학교 전자공학과 석사(1981년), University of Michigan 전기 및 컴퓨터공학과 박사학위(1992년)를 취득하였다. 1983년 3월부터 1984년 8월 동안 충북대학교 컴퓨터공학과 전임강사를 역임하였으며, 1992년 3월부터 1993년 2월까지 Ford Motor Company의 Scientific Research Lab. 에서 선임연구원으로 재직하였다. 주요 연구분야는 인공지능, 기계학습, 지능형물류시스템, 정보검색 등이다.