

제한된 유희시간을 고려한 자동화 컨테이너 터미널의 재정돈 컨테이너 선택 방안

김지은* · 박기역** · 박태진*** · 류광렬†

*,**,*** 부산대학교 컴퓨터공학과, † 부산대학교 컴퓨터공학과 교수

Container Selecting Methods for Remarshaling Considering Restricted Idle Time of Crane in an Automated Container Terminal

Jieun Kim* · Kiyeok Park** · Taejin Park*** · Kwang Ryel Ryu†

*,**,*** Department of Computer Engineering, Pusan National University, Pusan 609-785, Korea

†Professor, Department of Computer Science & Engineering, Pusan National University, Pusan 609-785, Korea

요 약 : 자동화 컨테이너 터미널의 장치장 재정돈이란 장치장의 컨테이너를 장치장 크레인의 유희시간을 이용해 적하 작업 효율을 높일 수 있는 위치로 재배치하는 작업을 의미한다. 이때 재정돈에 사용할 수 있는 크레인의 유희시간이 제한적이므로, 본 논문에서는 전체 컨테이너 중 일부를 재정돈 대상 컨테이너로 선택하여 재정돈 계획을 수립하는 방안을 제안한다. 재정돈 컨테이너 선택 시 사용된 선택 기준과 한 번에 선택하는 컨테이너의 범위에 따라 네 가지 재정돈 대상 컨테이너 선택 방안을 제시하였으며, 선택된 재정돈 컨테이너를 대상으로 휴리스틱 알고리즘을 이용해 크레인의 작업 계획을 수립하였다. 시뮬레이션 시스템을 이용한 실험 결과 유희시간이 제한되어 있는 경우 재정돈 대상 컨테이너를 선택 후 재정돈 계획을 수립하는 방안이 전체 컨테이너를 대상으로 재정돈 계획을 수립 후 주어진 유희시간 동안 해당 계획에 따라 재정돈을 수행하는 방안보다 더 좋은 적하 작업 효율을 보임을 확인하였다.

핵심용어 : 자동화 컨테이너 터미널, 장치장, 크레인, 재정돈, 유희시간

Abstract : In Automated Container Terminal, the remarshaling is the task of rearranging containers for the effective exporting operations. Since available time for the remarshaling is usually restricted, all containers cannot be remarshaled. Therefore, this paper proposes a method that selects some containers from all export containers and then establishes the remarshaling plan with only the selected containers. The experimental results using simulation system shows that our proposal planning method that plans after selecting remarshaling containers is better than plans with all loading containers and remarshals during the available time.

Key words : automated container terminal, the yard, crane, remarshaling, idle time

1. 서 론

컨테이너 터미널을 평가하는 가장 중요한 평가척도 중 하나는 선박 작업의 생산성이다. 선박 작업의 생산성은 선박에 컨테이너를 싣거나 내리는 컨테이너의 시간 당 개수에 의해 좌우된다. 컨테이너 터미널은 선박 작업의 생산성 향상을 위해 터미널 내 컨테이너의 흐름이 막힘없이 이루어지길 원한다. 이를 위해 터미널에서 이루어지는 노력 중 하나는 장치장에서 일어나는 작업의 지연을 막는 것이다. 장치장은 터미널 내로 반입된 수출 또는 수입 컨테이너를 임시로 쌓아 놓는 장소이다. 수출 작업을 수행할 때 장치장에서 원하는 수출 컨테이너를 꺼내는 속도가 매우 중요하다. 장치장에서 수출 컨테이너를 꺼내는 속도가 느리면 이후 컨테이너가 선박에 전달되는 과정이 지연 될 수 있

고, 이는 바로 전체 선박 작업의 지연으로 이어 질 수 있기 때문이다. 이러한 지연을 막기 위한 한 가지 방안으로 장치장 재정돈 작업을 수행할 수 있다.

컨테이너 터미널에서의 장치장 재정돈(remarshaling)이란 적하 작업의 효율을 높이기 위해 장치장 크레인의 유희시간을 이용해 컨테이너를 적하 작업 시 유리한 자리로 옮기는 작업을 말한다. 컨테이너 터미널의 장치장은 장치장 블록이 배치된 형태에 따라 수평 배치 장치장과 수직 배치 장치장으로 나누어 질 수 있다. 수평 배치 장치장에서 재정돈 작업은 컨테이너를 현재 위치에서 해측에 가까운 다른 블록으로 옮기거나 적하 시 크레인이 많이 움직이지 않도록 컨테이너들을 블록 내 지정된 장소로 모으는 작업이다.(강 등, 2004; Hirashima et al., 2006; Kang et al., 2006; Kim et al., 1998; Lee et al., 2007; Zhang et

† 교신저자 : 류광렬(종신회원), krryu@pusan.ac.kr 051)510-2453
* 김지은(정회원), jieun@pusan.ac.kr, 051)570-3531
** 박기역(정회원), nerissa79@pusan.ac.kr, 051) 510-3531
*** 박태진(정회원), parktj@pusan.ac.kr, 051) 510-3531

al., 2007) 최근의 자동화 컨테이너 터미널은 장치장 블록을 안벽에 대해 수직으로 배치하는 수직 배치 장치장을 채택하는 것이 일반적이다. 박 등(2008)은 협력적 공진화 알고리즘을 이용해 수직 배치 장치장의 재정돈 계획 수립 방안을 제안하였다. 재정돈 계획 문제를 재정돈 컨테이너의 장치 형태 결정 문제와 재정돈 컨테이너들 간의 이동 우선 순위 결정 문제로 분할하고 협력적 공진화 알고리즘을 적용하여 재정돈 계획을 최적화 하였다. 이 같은 재정돈 계획 생성 방안은 문제를 분할하지 않고 해결한 방안보다 효과적이었으나 제한된 재정돈 시간을 고려하지 않았다. 실제 컨테이너 터미널에서는 장치장 크레인이 재정돈 작업 외에 다른 작업을 수행해야하므로 재정돈 가능한 크레인의 유희 시간은 제한적이다.

본 논문은 수직 배치 장치장에서 재정돈을 위해 주어지는 크레인의 유희시간이 제한적일 때, 장치장의 재정돈 계획을 세우는 방안을 제안한다. 제한된 시간동안 전체 컨테이너가 모두 재정돈 될 수 없으므로 재정돈 될 컨테이너를 선택하여, 선택된 컨테이너들만을 대상으로 재정돈 계획을 수립한다. 컨테이너를 선택하는 범위와 기준에 따라 4가지 휴리스틱 방안을 제안하였으며, 선택된 재정돈 컨테이너간의 재정돈 순서와 재정돈 목표 위치 또한 간단한 휴리스틱을 통해 결정하였다. 시뮬레이션 실험을 통해 본 논문에서 제안한 재정돈 계획 방안이 전체 컨테이너에 대해 재정돈 계획을 세운 방안에 비해 재정돈 후 더 좋은 적하 효율을 보임을 확인하였다.

본 논문의 구성은 2장에서 자동화 컨테이너 터미널의 구조와 터미널에서의 작업에 대해 소개하고, 3장에서 본 논문에서 제안하는 재정돈 계획 생성 방안에 대해 구체적으로 설명한다. 4장에서는 본 논문에서 제안한 방법의 실험 결과를 나열하고, 비교 방안과의 재정돈 효율을 비교 분석한 후 마지막으로 결론과 발전 방향에 대해 설명한다.

2. 컨테이너 터미널

2.1 컨테이너 터미널의 구조

자동화 컨테이너 터미널은 크게 세 영역으로 나누어질 수 있다. 배가 컨테이너를 내리거나 싣기 위해 임시로 정박하는 장소인 안벽 영역, 컨테이너가 수출 또는 수입되기 전 임시로 저장되는 장소인 장치장, 마지막으로 컨테이너를 실은 외부 트럭이 드나드는 장소인 게이트 영역이다.

Fig. 1은 자동화 컨테이너 터미널의 한 예를 보여준다. 안벽은 선박이 하역 작업을 위해 임시로 정박하는 장소이며 안벽 크레인이 수입 컨테이너를 선박에서 내리고 수출 컨테이너를 선박에 싣는 작업을 담당한다. 장치장은 컨테이너가 수입, 수출되기 전 임시로 머무는 장소로 여러 개의 블록으로 구성된다. 자동화 컨테이너 터미널에서는 일반적으로 Fig. 1과 같이 장치장 블록이 안벽에 수직하게 배열되어 있다. 각 블록에는 장치장 크레인이 블록 내에 컨테이너를 장치하거나 블록 내의 컨테이너를 꺼내주는 작업을 전담한다. Fig. 2와 같이 하나의 블록은 여러 개의 베이(bay)로 이루어져있으며, 각 베이는 다시 여러 개의 스택(stack)으로 이루어진다. 게이트 영역은 외부 트럭에 의해 컨테이너가 터미널로 드나드는 장소이며 컨테이너의 정보와 컨테이너의 손상 여부 등을 체크한다.

장치장에서 안벽(크레인)까지 또는 안벽(크레인)에서 장치장까지 컨테이너를 나르는 작업은 내부 트럭 또는 AGV(Automated Guided Vehicle)가 수행한다. 크레인과 트럭 등 각 장비들이 컨테이너를 주고받는 장소를 HP(Hand-over Point)라고 하며, 블록이 수직형으로 배열되어 있는 경우 대부분 블록의 양 끝에 HP가 존재한다. HP는 위치에 따라 해측 HP와 육측 HP로 나뉘며, 해측 HP의 경우 내부 트럭 또는 AGV와 장치장 크레인이 컨테이너를 교환하며, 육측 HP의 경우 외부 트럭과 장치장 크레인 사이의 컨테이너 교환이 이루어진다.

2.2 컨테이너 터미널의 작업 흐름

컨테이너 터미널에서 이루어지는 작업은 크게 적하, 양하, 반입, 반출 네 가지로 분류된다. 컨테이너를 선박에서 내려 장치장에 적재하는 작업을 양하라 하며 컨테이너를 장치장에서 꺼내 선박에 싣는 작업을 적하라고 한다. 외부 트럭에 의해 터미널 내로 들어온 컨테이너를 장치장에 적재하는 작업을 반입이라 하고 장치장의 컨테이너를 외부 트럭에 실어 외부로 내보내는 작업을 반출이라 한다.

컨테이너 터미널의 장치장에는 이 네 개의 주요 작업 이외에

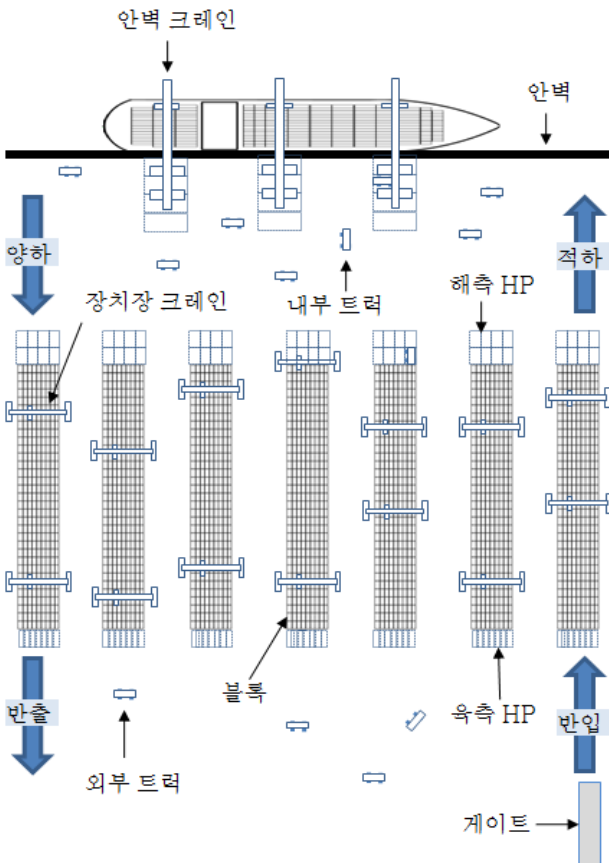


Fig. 1 View of automated container terminal

재취급이라는 추가 작업이 존재한다. 재취급이란, 요청된 컨테이너를 장치장에서 꺼내기 위해 요청된 컨테이너 위에 쌓여있는 컨테이너를 다른 곳으로 이동시키는 작업을 말한다. 이러한 재취급 작업이 많이 발생할수록 요청된 컨테이너의 처리 시간이 길어져 터미널의 생산성을 저해하는 요인이 된다.

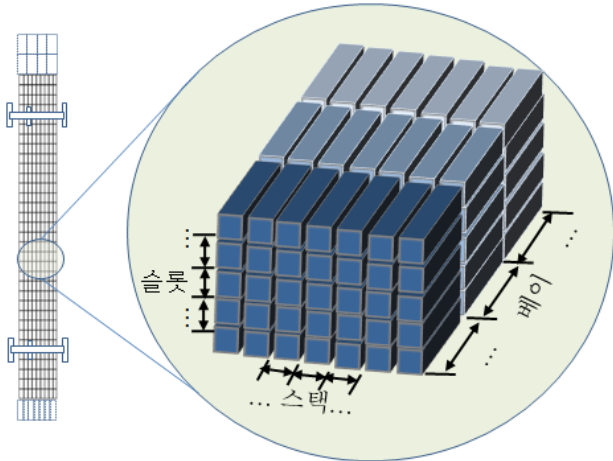


Fig. 2 Bays and stacks

자동화 컨테이너 터미널의 경우 일반적으로 장치장 블록이 안벽에 대해 수직으로 배치되어 있으며, 블록의 양 끝에 HP가 존재한다. 수출 컨테이너의 경우 일반적으로 육측 HP를 통해 장치장으로 반입되어 장치장에 일정 기간 동안 머물다 해측 HP를 통해 적하된다. 반대로 수입 컨테이너의 경우 해측 HP를 통해 장치장으로 들어오고 육측 HP를 통해 반출된다. 컨테이너의 장치장 유입 시 크레인 간의 간섭과 긴 이동 거리에 의한 작업 지연을 막기 위해 대부분 반입된 HP 가까이에서 장치될 것이다. 그러나 이는 대부분의 컨테이너가 반출될 HP에서 멀리 떨어져 적하되어 반출 시 크레인이 먼 거리를 이동해야 함을 의미하며, 이는 터미널 생산성을 저해하는 요인이 된다.

이와 같이 재취급과 긴 이동 거리에 의한 장치장의 작업 지연을 최소화하기 위해 반입, 양하 컨테이너의 최적 장치 위치 결정에 대한 연구가 있었다.(김 등, 2007; Choe et al., 2007) 그러나 컨테이너 반입 시에 적합 계획이 수립되어있지 않아 재취급 작업이 전혀 발생하지 않도록 컨테이너를 적재하는 것이 힘들다. 컨테이너는 장치장에 일정 기간 저장 후 수출 또는 수입 되는데, 이 기간 동안 장치장 상황의 변동에 따라 장치장 반입 시 최고의 자리가 컨테이너가 반출 또는 적하 될 때 최고의 자리가 아닐 수 있다. 또 반입, 양하 시 유리한 위치와 반출 적하 시 유리한 위치가 상이한 어려움이 있다.

재정돈은 컨테이너를 미래 작업의 효율을 위해 컨테이너를 재배치하는 작업을 말한다. 예를 들어 반입 시 육측 HP에 가깝게 장치된 컨테이너를 재정돈 작업을 통해 해측 HP에 가까운 위치로 옮기거나 재취급이 예상되는 컨테이너를 사전에 다른 위치로 옮겨둘 수 있다. 일반적으로 컨테이너 터미널에서 한 선박의 작업을 끝낸 후 다음 선박이 들어오기까지 상당한 시간의 유휴시간이 주어지기 때문에 이 시간을 이용해 재정돈 작업을

수행할 수 있다. 본 논문에서는 컨테이너 터미널의 생산성에 가장 큰 영향을 미치며 장치장 정돈 상태에 가장 큰 영향을 받는 적하 컨테이너의 재정돈 작업에 대해서만 고려하였다.

3. 재정돈 계획

본 논문에서 제시하는 재정돈 작업 계획 생성 방안은 크게 두 단계로 이루어진다. 먼저 전체 적하 컨테이너 중 재정돈 대상 컨테이너를 선택한 후 선택된 컨테이너들만을 대상으로 휴리스틱 방안을 이용해 컨테이너들의 재정돈 작업 순서와 재정돈 후의 장치 위치를 결정한다. 재정돈에 사용할 수 있는 장치장 크레인의 유휴시간이 한정되어있기 때문에 장치장 블록 내 모든 컨테이너를 재정돈할 수는 없다.(김 등, 2008) 이에, 재정돈 대상 컨테이너 선택 과정에서는 전체 적하 컨테이너 중 주어진 유휴시간 동안의 재정돈 작업 후 적하 작업 효율이 가장 많이 개선될 것으로 예상되는 컨테이너들을 재정돈 대상으로 선택한다.

3.1 컨테이너 선택

본 논문에서는 재정돈 계획 수립 이전에 다음과 같이 적하 작업 계획 L 이 주어진다고 가정하였다.

$$L = \{(c_1, d_1), (c_2, d_2), \dots, (c_i, d_i), \dots, (c_N, d_N)\} \quad (1)$$

여기서 c_i 는 i 번째로 적하되는 컨테이너이며, d_i 는 컨테이너 c_i 가 내부 트럭에 전달되어야 하는 duetime이다. 실제 양·적하 계획에는 안벽 크레인이 적하 컨테이너를 처리하는 시간만 주어진다. 본 논문에서는 각 안벽 크레인에서 블록까지의 예상 이동 시간이 고정되어 있다고(deterministic하다고) 가정한 후 안벽 크레인에서 블록까지의 거리와 차량의 평균 이동 속도를 이용해 d_i 를 계산하였다.

만약 컨테이너가 장치장 크레인에 의해 내부 트럭에 d_i 보다 늦게 전달될 경우 안벽 크레인의 작업에 지연이 발생할 수 있다. 주어진 적하 계획 정보 L 과 컨테이너들의 장치 위치에 의해 각 컨테이너 c_i 의 예상 지연(overdue) o_i 는 다음 식(2)과 같이 계산될 수 있다.

$$o_i = \max(0, (d_{i,1} + w_i) - d_i) \quad (2)$$

여기서 w_i 는 c_i 가 적하 될 때, 장치장 크레인이 c_i 를 현재 위치에서 해측 HP의 내부 트럭까지 이동시키는데 걸리는 시간이다. 이는 해측 HP에서 현재 컨테이너 위치까지의 크레인의 왕복 이동 시간, 컨테이너를 집고 내리는데 걸리는 시간, 재취급 작업 처리 시간의 합으로 계산된다. 즉, w_i 는 컨테이너 c_i 의 현재 장치 위치와 재취급 작업의 개수에 의해 결정되며, 재정돈은 이 w_i 를 줄여서 전체 적하 컨테이너들의 작업 지연의 합을 최소화하는 작업이라고 볼 수 있다.

재정돈에 사용할 수 있는 장치장 크레인의 유휴시간이 한정되어 있기 때문에 전체 적하 컨테이너를 대상으로 재정돈을 수

행할 수 없다. 본 논문에서는 각 컨테이너 또는 스택을 평가한 후 평가값에 따라 한 번에 하나 이상의 컨테이너를 평가값 대상 컨테이너로 선택한다. 만약 컨테이너를 적게 선택하여 선택된 컨테이너를 모두 평가하는 데 소요되는 예상 시간(r_{sum})이 재정돈에 사용하도록 주어진 유희 시간(T)보다 짧은 경우 정해진 유희시간 내에 최대한 많은 컨테이너를 재정돈할 수 있도록 r_{sum} 이 T보다 커질 때까지 선택 과정을 반복한다. r_{sum} 은 다음의 (3)와 같이 계산될 수 있다.

$$r_{sum}(C) = \sum_{i \in C} r_i \quad (3)$$

여기서 C는 재정돈 대상으로 선택된 컨테이너들의 집합이며 r_i 는 컨테이너 c_i 를 재정돈하는데 소요되는 예상 시간이다. 사실 정확한 r_i 의 측정을 위해서는 재정돈 후 장치위치, 재정돈 컨테이너의 작업순서가 결정되어 있어야 한다. 그러나 컨테이너 선택 단계에서는 이들을 결정할 수 없으므로 본 연구에서는 컨테이너가 재정돈 후 해측 HP에 가까이 배치된다는 점을 이용하여, 컨테이너가 해측 HP에 가까운 베이로 재정돈된다고 가정하고 재정돈 소요 시간을 추정하였다.

본 논문에서 제안한 재정돈 컨테이너를 선택하는 방법은 선택 기준과 선택 단위에 따라 4가지로 나뉜다. 우선 재정돈 컨테이너를 선택하는 단위는 크게 컨테이너 단위와 스택 단위로 나눌 수 있다. 컨테이너 단위의 방법은 컨테이너가 위치한 스택에 상관없이 예상 지연(o_i)이 큰 컨테이너부터 선택하는 방법이며, 스택 단위의 방법은 각 스택에 대푯값을 부여하고 부여된 대푯값이 가장 큰 스택부터 스택 내의 모든 컨테이너를 재정돈 대상으로 선택하는 방법이다. 컨테이너 단위로 재정돈 컨테이너

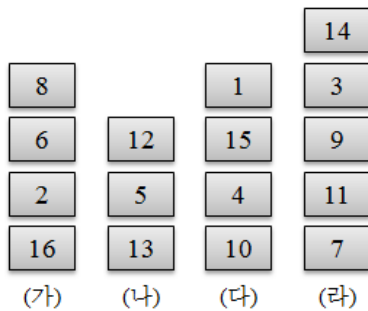


Fig. 3 Stack section of loading containers

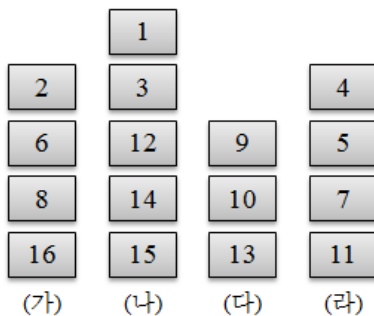


Fig. 4 Stack section after remarkshaling

를 선정할 경우, 세밀하게 컨테이너를 선택할 수 있어 재정돈이 필요한 컨테이너를 주로 선택할 수 있지만, 재정돈 작업을 위한 재취급 작업으로 재정돈 시간을 낭비할 가능성이 있다. 그리고 스택의 일부만 비워지므로 장치장 공간 효율이 떨어질 가능성이 있다. 스택 단위로 재정돈 컨테이너를 선정할 경우, 한 스택의 컨테이너가 모두 이동하므로 하나의 새로운 공간이 생겨 공간 효율이 상승할 가능성이 있지만, 상대적으로 부적절한 컨테이너가 추가적으로 선택될 수도 있다.

다음은 본 논문에서 제안한 컨테이너를 네 가지 재정돈 컨테이너 선택 방안이다.

1) Sum-S

이 방안은 스택 단위로 재정돈 대상 컨테이너를 선택하며 한 스택 s_j 의 평가값 s_{sum} 을 (4)와 같이 계산한다. 즉, Sum-S는 스택 내 적하 컨테이너의 예상 지연의 합이 가장 큰 스택부터 선택하는 방안이다.

$$s_{sum}(s_j) = \sum_{i \in s_j} o_i \quad (4)$$

2) Avg-S

Avg-S는 스택 단위로 재정돈 컨테이너를 선택하며, (5)와 같이 스택 내의 모든 적하 컨테이너의 예상 지연의 평균을 계산하여, 이 값이 가장 큰 스택부터 선택한다.

$$s_{avg}(s_j) = \frac{1}{|s_j|} \sum_{i \in s_j} o_i \quad (5)$$

3) Max-S

Max-S는 스택 내 적하 컨테이너의 예상 지연 값 중 가장 큰 값을 스택의 대푯값으로 설정하고 가장 큰 대푯값을 가진 스택부터 선택한다. 스택 내 모든 적하 컨테이너를 재정돈 컨테이너로 선택하며, 대푯값 계산을 식으로 나타내면 (6)과 같다.

$$s_{max}(s_j) = \max_{i \in s_j} o_i \quad (6)$$

4) Max-C

이 방안은 Max-S와 스택을 선택하는 방법은 동일하다. 그러나 재정돈 컨테이너를 선택하는 단위가 Max-S와 다르다. 이 방안은 스택 내 모든 적하 컨테이너를 재정돈 컨테이너로 선택하지 않는다. (6)의 값을 기준으로 스택을 먼저 선택한 후, 스택 내의 가장 큰 예상 지연 값을 가지는 컨테이너 c_i 와 c_i 의 위에 쌓여 있는 적하 컨테이너만 재정돈 컨테이너로 선택한다. 스택에서 재정돈 컨테이너의 선택이 끝난 후에 재정돈 컨테이너로 선택되지 않은 적하 컨테이너가 스택에 있을 경우 선택되지 않은 적하 컨테이너를 (6)을 적용하여 값을 다시 계산함으로써, 스택에 남은 적하 컨테이너가 재정돈 컨테이너로 선택될 수 있도록 한다.

3.2 재정돈 순서 및 재정돈 위치 결정

각 재정돈 대상 컨테이너 선택 방안으로 선택된 컨테이너들만을 대상으로 컨테이너의 재정돈 작업 순서와 재정돈 후 장치 위치를 결정해야 한다. 재정돈 후 장치 위치 결정 시에는 특히 적하 시 재취급 작업이 발생 하지 않도록 해야 한다.

1) 재정돈 컨테이너의 재정돈 순서 결정

재정돈 컨테이너 간의 재정돈 순서는 간단한 규칙을 이용해서 정하며, 그 규칙은 다음과 같다. 재정돈 순서가 결정되지 않은 모든 재정돈 대상 컨테이너 중 다른 재정돈 대상 컨테이너가 자기 위에 놓여있지 않으며, 가장 뒤에 적하 될 컨테이너부터 재정돈한다. Fig. 3는 재정돈되기 전 재정돈 후보 컨테이너로 선택된 컨테이너들이 쌓여 있는 스택의 단면을 나타낸다. 총 16개의 컨테이너가 쌓여있으며 컨테이너에 적힌 숫자는 컨테이너의 적하 순서를 나타내고 있다. 재정돈 후 재취급이 발생하지 않는 형태가 되기 위해서는 Fig. 4와 같이 나중에 적하 되는 컨테이너가 밑쪽에 쌓여야 하고, 적하 순서가 빠른 컨테이너가 위쪽에 쌓여야 한다. 이와 같은 형태로 재정돈하기 위해 적하 순서가 늦은 컨테이너부터 재정돈 작업을 수행한다. Fig. 3의 경우 14번, 12번 컨테이너 순으로 재정돈 될 것이다.

2) 재정돈 컨테이너의 위치 결정

재정돈 컨테이너의 재정돈 후의 위치를 결정하기 전에 재정돈 컨테이너의 후보 목표 스택부터 결정한다. 우선 컨테이너가 적재될 수 있는 후보 스택을 먼저 결정하는 이유는 다른 안벽 크레인에 의해 적하되는 컨테이너는 다른 스택에 쌓여야 하기 때문이다. 적하 작업에는 적하 시 각 컨테이너를 처리할 안벽 크레인이 명시 되어 있다. 한 선석을 위해 적하 작업을 수행하는 안벽 크레인은 여러 대이고 각 안벽 크레인은 여러 블록에서 오는 컨테이너를 처리한다. 안벽 크레인에 따라 적하 작업 시 발생하는 작업 지연이 다를 것이고 각 작업 지연은 해당 안벽 크레인이 처리할 적하 컨테이너가 작업될 시간이 지연됨을 의미한다. 컨테이너를 적하하는 크레인에 따라 지연 시간이 다를 것이고 지연 시간에 따라 장치장 크레인이 컨테이너를 처리하는 순서가 뒤바뀔 수도 있다. 이와 같은 이유로 다른 안벽 크레인에 의해 적하되는 컨테이너는 같은 스택에 쌓지 않으므로써 잠재적인 재취급 작업의 발생을 막는다. 재정돈 후 각 안벽 크레인에 의해 적하되는 적하 컨테이너가 해측 HP에서 평균적으로 같은 거리에 쌓여있어야 적하 작업이 공평하게 이루어 질 것이다. 그를 위해 재정돈 컨테이너의 목표 스택으로 해측에 가까운 스택부터 사용하며 각 안벽 컨테이너에 할당 된 적하 컨테이너의 비율별로 스택을 할당한다.

재정돈 목표 스택으로 사용 가능한 스택에는 적하 컨테이너가 쌓여있지 않아야 한다. 적하 컨테이너가 쌓여 있는 스택 위에 다른 컨테이너를 쌓을 경우 생길 수 있는 적하 시 재취급 발생 가능성을 배제하기 위함이다. 반출 컨테이너와 재정돈 후보 컨테이너가 쌓여있는 자리는 빈자리로 간주한다. 반출 컨테이너는 육측 HP 가 가까운 자리로 옮겨져야 유리한 컨테이너이

다. 재정돈 시 장치장 크레인이 한 차례 재정돈 컨테이너를 해측 HP가 가까운 곳으로 나른 후 다음 재정돈 컨테이너를 위해 육측 HP 쪽으로 이동 시 장치장 크레인이 반출 크레인을 가지고 이동함으로써 반출 크레인의 재정돈 작업과 재정돈 컨테이너를 위한 빈자리가 늘어나는 이익을 얻을 수 있다. 재정돈 컨테이너가 쌓여 있는 스택의 경우 재정돈 컨테이너가 재정돈되어 다른 자리로 옮겨진 후 해당 스택을 목표 스택으로 사용 할 수 있다. Fig. 5은 해측 HP 에 가까운 베이의 스택 단면을 보여주고 있다. 최대 한 스택에 5단까지 적재가 가능하다고 할 때, 각 스택에 재정돈 컨테이너를 쌓을 수 있는 재정돈을 위한 빈공간은 모두 다르다. (가) 스택의 경우 위의 두 개의 반출 컨테이너가 존재함으로써 빈 공간은 총 4자리이다. 그러나 (나)와 같이 반출 컨테이너 위에 다른 배에 적하될 컨테이너 쌓여 있을 경우 해당 스택의 빈자리는 1자리이다. 반출 컨테이너 이외의 다른 컨테이너는 제자리에서 이동시키지 않는다. 같은 이유로 (다)스택의 빈자리는 1자리이며, (라)의 경우 재정돈 컨테이너가 재정돈되기 전에는 빈자리가 없는 스택으로 간주되지만 재정돈 후에는 빈자리가 2자리로 계산된다.

목표 컨테이너가 선정된 후 재정돈 컨테이너의 위치를 정할 때는 컨테이너가 여러 곳에 퍼져서 쌓이는 것을 방지하기 위하여 먼저 재정돈된 컨테이너 위에 쌓이는 것을 원칙으로 한다. 만약 재정돈 컨테이너가 먼저 재정돈된 컨테이너가 쌓여있는 스택으로 재정돈될 경우 적하 시 재취급이 발생된다면 후보 스택 중 다른 스택을 선택하여 쌓이도록 한다.

4. 실험

4.1 실험 환경

본 논문에서 제안한 재정돈 계획 생성 방안의 적합성을 실험하기 위해 실제 터미널을 모사한 시뮬레이션 시스템을 이용하여 시뮬레이션 실험을 수행하였다. 한 척의 선박에 3대의 안벽 크레인이 미리 정의된 실험 물량을 적하하는 상황을 고려하였다. 각 블록에는 같은 장치장 크레인 두 대가 존재하지만 해측의 장치장 크레인만 재정돈 작업을 수행한다고 가정한다. 각 블

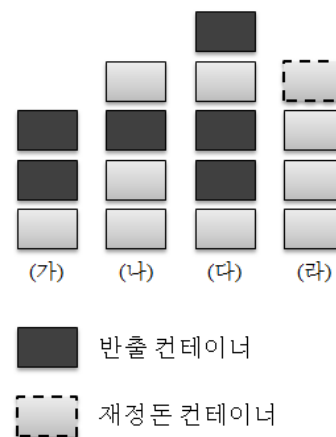


Fig. 5 Available stacks for remashing containers

록은 41개의 베이로 이루어져 있고, 각 베이는 10개의 스택으로 구성되며, 한 스택에 최대 컨테이너 5개를 쌓을 수 있다고 가정한다. 컨테이너의 길이는 20ft와 40ft 두 종류의 컨테이너만 고려한다. 적하 될 컨테이너 1000, 1500개가 7개의 블록에 서로 다르게 나누어져 있는 10가지 다른 상황에 대해 각각 시뮬레이션 실험을 한 후 적하 시 장치장 크레인의 컨테이너 처리 시간을 평균하였다. 본 논문에서 알아보하고자 하는 것은 재정돈 수행 후 단축되는 블록에서의 컨테이너 처리 시간이다. 즉, 만약 블록에서 최대의 능력으로 서비스를 수행한다면 얼마나 빠른 서비스가 가능한가를 확인하고자 하는 것이다. 이는 내부 이송 차량과 같은 컨테이너 터미널 내 기타 장비의 영향을 배제하고 재정돈의 효과를 확인하기 위한 것이다.

제안한 재정돈 계획 방안과의 비교 방안으로 전체 컨테이너를 대상으로 한 재정돈 계획 방안을 제시한다. 이 방안은 장치장 내 모든 적하 컨테이너를 대상으로 본 논문에서 제안한 방법과 동일한 방법으로 재정돈 계획을 수립하며 이 방안을 All-C라 부르겠다. 수립된 계획을 따라 재정돈 작업을 수행하며 주어진 장치장 크레인의 유희시간 내에서만 재정돈 작업을 수행한다.

4.2 실험 결과

Fig. 6과 Fig. 7은 주어진 장치장 크레인 유희시간 내에 재정돈 작업을 수행한 후 적하 시 장치장 크레인의 컨테이너 당 평균 처리 시간을 나타낸 그래프이다. 두 그래프에서 본 논문에서 제안한 재정돈 계획 방안들이 All-C보다 좋은 성능을 보임을 확인할 수 있다. 적하 컨테이너가 1000개일 경우에 All-C를 제외한 방안들은 비슷한 효율을 보이고 있다. 적하 컨테이너가 1000개일 경우에 All-C를 제외한 방안들은 비슷한 효율을 보이고 있다. 그 중에서도 컨테이너의 예상 적하 지연 시간의 최대 값을 기준으로 컨테이너를 선택한 Max-C가 가장 좋은 효율을 보인다. 주어진 재정돈 시간이 2시간에서 8시간 사이의 경우의 적하 효율을 살펴보면 All-C와 Max-C의 성능 차이를 좀 더 확실하게 확인할 수 있다. 특히, All-C가 Max-C와 동일한 성능을 내기 위해서는 2시간 정도의 재정돈 시간이 더 필요한 것으로 보인다. 그러나 적하 대상 컨테이너가 1000개 일 경우, 주어진 재정돈 시간이 11시간 이상이 되면 모든 적하 컨테이너를 재정돈 할 수 있는 충분한 시간이므로 네 방안 모두 모든 컨테이너를 선택하기 때문에 그 결과가 All-C의 결과와 동일한 것을 확인할 수 있다. 이러한 결과는 1500개의 컨테이너가 있는 상황에서 13시간 이상이 주어지면 동일하게 발생한다.

Fig. 8의 그래프는 주어진 장치장 크레인 유희시간 내에 재정돈 작업 수행 후 적하 시 발생하는 재취급 작업 횟수를 보여준다. 주어진 재정돈 시간이 0일 때의 재취급 개수가 재정돈 작업을 하지 않고 적하할 때 예상되는 재취급 작업의 횟수이다. 이를 기준으로 재정돈 작업 수행 후의 적하 시 발생하는 재취급 작업 횟수와 비교하여 재정돈 작업으로 감소되는 재취급 작업량을 알 수 있다. 제안 방안들은 거의 비슷한 재취급 작업 감소를 보여 주지만 제안 방안 중 Avg-S는 가장 나쁜 효율을 보여

준다. Avg-S 방안은 재정돈 컨테이너 선택 시 평균 지연을 계산하게 되는데, 재취급은 모든 컨테이너에 대해 반드시 발생하는 것은 아니므로 평균을 취하게 되면 상대적으로 그 비중이 낮아진다. 따라서 한 스택의 평균 지연은 주로 해측 HP와의 거리에 의해 결정되며 이처럼 재취급 수 감소에 집중하지 않다보니 그 효과가 적은 것으로 보인다.

Table. 1은 1000개의 적하 컨테이너가 있는 상황에서 Max-C와 All-C에 의해 선택되어 재정돈된 컨테이너들의 평균 위치와 표준 편차를 나타낸 것이다. 베이 숫자는 숫자가 낮을수록 해측에 가까이 있는 베이를 나타낸다. Max-C와 All-C의 재정돈 작업 후 평균 컨테이너 위치는 거의 비슷하나, 컨테이너 위치의 표준 편차 값은 Max-C가 작다. 이를 통해 Max-C방안이 블록 내 퍼져 있는 적하 컨테이너를 적하되어 나갈 해측 HP 가까이로 더 잘 모으기 때문에 적하 시 크레인의 이동거리가 줄어 컨테이너 당 처리시간이 짧아졌다는 것을 알 수 있다.

본 연구에서는 재정돈을 통해 옮겨진 컨테이너의 수보다 컨테이너의 종류에 따라 이후 결과가 달라질 것이라 예상하였다. 그리하여 가장 좋은 성능을 보인 Max-C와 가장 나쁜 성능을 보인 All-C, 그리고 두 방안의 중간 효율을 보여주는 Avg-S에 의해 선택된 컨테이너의 수를 살펴보았다. 그 결과 1000개의 컨테이너가 있는 실험 데이터에서 재정돈 시간이 2시간 주어졌을 때 평균적으로 Max-C는 248개, Avg-S는 240개, All-C는 254개의 컨테이너를 선택하였고, 4시간이 주어진 경우에 Max-C는 370개, Avg-S는 299개 All-C는 357개의 컨테이너를 선택하였다. All-C는 평균적으로 가장 많은 컨테이너를 재정돈 하였으

Table 1 Average location of Loading containers after remarking using Max-C and All-C method and standard deviation

재정돈 시간(시)	Max-C		All-C	
	재정돈 후 컨테이너 평균위치 (베이)	표준편차	재정돈 후 컨테이너 평균위치 (베이)	표준편차
0	14	11.5	14	11.4
1	13	11.6	13	11.7
2	11	11.4	11	11.7
3	10	11.3	10	11.6
4	9	10.5	8	11.2
5	8	9.4	7	10.5
6	6	7.6	6	9.3
7	4	5.6	5	8.4
8	3	3.9	4	7.7
9	3	3.1	3	5.5
10	2	2.9	2	3.8
11	2	2.4	2	2.4
12	2	2.4	2	2.4
13	2	2.4	2	2.4

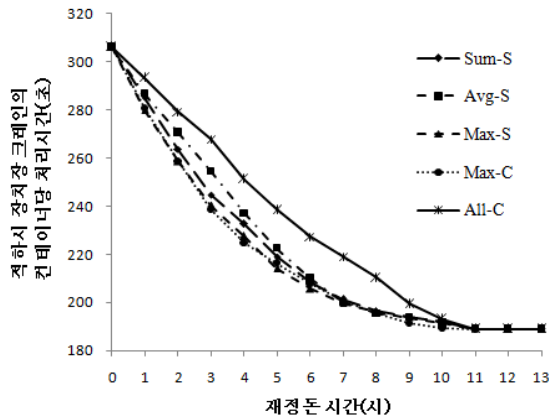


Fig. 6 1000 loading containers, Loading operation time per container after remarshaling during given crane idle time

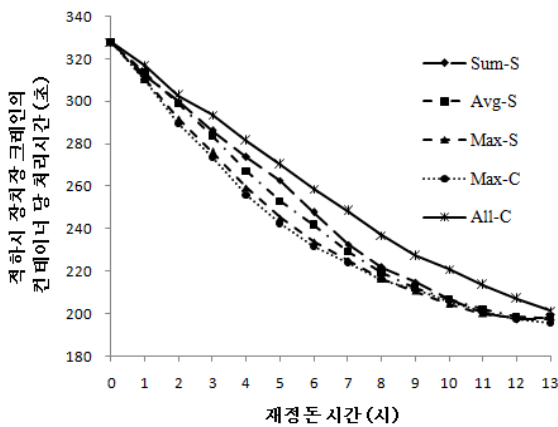


Fig. 7 1500 loading containers, Loading operation time per container after remarshaling during given crane idle time

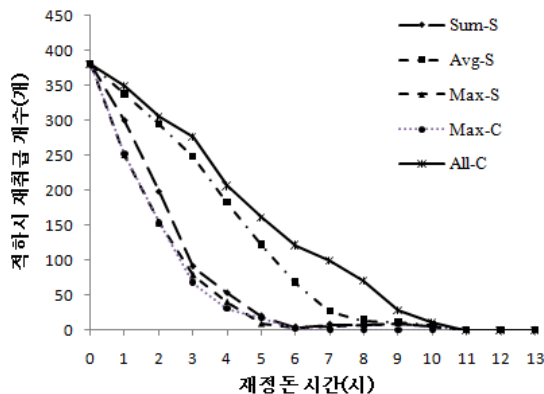


Fig. 8 Rehandling operation numbers when load 1000 containers

나 재정돈 이후의 결과가 가장 적은 컨테이너를 재정돈한 Avg-S 보다 좋지 않았고, MAX-C와 Avg-S는 2시간일 경우

비슷한 수의 컨테이너를 재정돈하였지만 Max-C의 효율이 더 좋았다. 즉, 주어진 시간 내에 재정돈되는 컨테이너의 수도 중요하지만 컨테이너의 종류 역시 중요하다는 것을 실험적으로 알아낼 수 있었다.

또한 실험결과를 표시하지 않았지만 각 방안들이 선호하는 컨테이너의 종류를 알 수 있었다. Sum-S의 경우 컨테이너가 많이 쌓여있는 스택을 주로 선택하였으며, Avg-S는 주로 해측에서 멀리 떨어진 스택을 선택하는 경향을 보였다. Max-S와 Max-C는 재취급이 많고 멀리 있는 스택 또는 컨테이너를 선택하였다. Max-S와 Max-C는 비슷한 성능을 보이지만 가장 큰 차이점은 한 스택에서 선택하는 컨테이너의 수이다. Max-S는 스택 내의 모든 컨테이너를 선택하기 때문에 재정돈하지 않아도 될 컨테이너마저 재정돈하여 최종적인 성능에서는 Max-C에 뒤지는 것으로 보인다. Sum-S의 경우 한 스택에 있는 모든 컨테이너의 지연시간을 더하기 때문에 실제 지연을 많이 일으키는 하나의 주요 컨테이너에 집중하기보다 하나씩의 지연은 크지 않지만 더할 경우 커지는 다수의 덜 중요한 컨테이너에 집중하며, Avg-S는 평균의 효과로 한 컨테이너의 큰 지연이 다른 컨테이너에게 분배되어 상대적으로 적어보이게 되므로 좋은 성능을 보이지 못한다.

5. 결 론

본 논문에서는 자동화 컨테이너 터미널에서의 적하 작업 효율 향상을 위하여 제한된 크레인의 유휴시간에 장치장을 재정돈하는 작업 계획 생성 방안을 제안하였다. 제한된 크레인의 유휴시간을 고려하여 제안된 4가지 방안으로 재정돈 대상 컨테이너를 선별하여 재정돈 작업을 계획을 수립하는 방법과 전체 컨테이너를 대상으로 재정돈 작업을 계획하여 주어진 유휴시간만큼 계획을 실행하는 방법을 비교하여 제안 방안의 효과를 확인할 수 있었다.

또한 시간이 제한되어 있을 경우 재정돈하기 위해 많은 컨테이너를 선택하는 것보다 신중하게 선택하는 것이 이후 작업의 성능에 많은 영향을 미친다는 것을 알 수 있었다. 제안한 방안들이 재정돈 되었을 경우 적하 시 크레인의 이동 거리와 재취급 작업의 수를 감소시켜 블럭에서의 컨테이너 처리 효율을 향상시키는데 도움을 주는 컨테이너들을 선별할 수 있음을 확인하였다. 비록 개별 컨테이너의 처리시간은 재정돈 방안에 따라 최대 20~30여 초밖에 차이가 나지 않더라도 전체 컨테이너가 적하 될 때 누적된 감소시간은 전체 작업 시간을 줄이기에 충분할 것으로 예상된다.

본 논문에서는 한 기의 크레인을 활용하여 재정돈을 수행하는 계획을 수립하는 방법을 제안하였다. 그러나 블럭 내 두 크레인을 협력적으로 사용한다면 좀 더 빠른 시간 내에 효율적인 재정돈 작업이 이루어질 수 있을 것이다. 또한 재정돈 컨테이너 선택 시 휴리스틱한 방법이 아닌 진화형 알고리즘 등을 이용함으로써 보다 효과적인 재정돈 컨테이너를 선택하는데 도움이 될 것으로 기대된다.

후 기

“이 논문 또는 저서는 2009년 교육과학기술부로부터 지원받아 수행된 연구임” (지역거점연구단육성사업/차세대물류IT기술연구사업단)

원고접수일 : 2009년 10월 16일
심사완료일 : 2009년 12월 12일
원고채택일 : 2009년 12월 12일

참 고 문 헌

- [1] 강재호, 류광렬, 김갑환(2004), “장치장에서 베이 내 컨테이너의 효율적인 재정돈 방안”, 한국지능정보시스템학회, pp.287-295.
- [2] 김영훈, 박태진, 류광렬(2007), “자동화 컨테이너 터미널의 장치 위치 결정을 위한 동적 가중치 조정 알고리즘”, 한국항해항만학회 추계학술대회 논문집, pp.255-256.
- [3] 김지은, 박기역, 박태진, 류광렬(2008), “유희시간 제한을 고려한 자동화 컨테이너 터미널의 장치장 재정돈 계획”, 한국 지능정보시스템학회 추계학술대회 논문집, pp.246-252.
- [4] 박기역, 박태진, 류광렬(2008), “자동화 장치장의 재정돈 계획 최적화를 위한 협력적 공진화 알고리즘”, 한국항해항만학회 추계학술대회 논문집, 제 32권 제2호, pp. 303-034.
- [5] 배중욱, 박영만, 김갑환(2008), “시간가치를 고려한 자동화 컨테이너 터미널의 수출 컨테이너 이적 계획”, 한국경영과학회지 33권 2호, pp.75-86.
- [6] Choe, L., Kim, Y.H., Park, T., and Ryu, K.R.(2008), “AnOnline Search for an Optimization of Container Stacking Policy in a Container Terminal”, 15th International Symposium on Inventories, pp.87.
- [7] Hirashima, Y., Ishikawa, N., and Takeda, K.(2006), “A New Reinforcement Learning for Group-Based Marshalling Plan Considering Desired Layout of Containers in Por Terminals”, Proc. IEEE Conf. Networking , Sensing and control, pp.670-675.
- [8] Kang, J., OH, M.S., AHN, E.Y., RYU, K.R., and KIM, K,H.(2006), “Planning for Intra-block Remarshalling in a Container Terminal”, 19th International Conference on Industrial, Engineering and Other Applications of Applied Intelligent Systems, vol.4031, pp.1211-1220.
- [9] Kim, K.H., and Bae, J.W.(1998), “Re-marshalling export containers in port containers terminals”, Computers and Industrial Engineering, vol.35, no.3-4, pp.655-658.
- [10] Lee, Y., and Hsu, N.Y.(2007), “An optimization model for the container pre-marshalling problem”, Computer and operations Research, vol.34, pp.3395-658.
- [11] Zhang, Y., Mi, W., Chang, D., and Yan, W.(2007), “An Optimization Model for Intra-Bay Relocation of Outbound Container on Container Yards”, IEEE International Conference on Automation and Logistics, pp.776-781.