

# 재정돈을 포함한 장치장 크레인의 작업 할당 전략 최적화

김태광\* · 양영지\*\* · 배애경\*\*\* · † 류광렬

\*, \*\*, \*\*\* 부산대학교 대학원, † 부산대학교 전자전기컴퓨터공학과 교수

## Optimization of Dispatching Strategies for Stacking Cranes Including Remarshaling Jobs

Taekwang Kim\* · Youngjee Yang\*\* · Aekyoung Bae\*\*\* · † Kwang Ryul Ryu

\*, \*\*, \*\*\* Graduate school of Pusan National University, Busan 609-735, Korea

† Department of Electrical and Computer Engineering, Pusan National University, Busan 609-735, Korea

**요 약** : 자동화 컨테이너 터미널의 장치장은 수출입 되기 전의 컨테이너를 임시로 보관하는 장소이다. 모든 컨테이너는 반드시 장치장을 거치기 때문에 효율적인 장치장 운영은 터미널 생산성 향상에 큰 영향을 미친다. 효율적인 장치장 운영을 위해서 컨테이너의 위치 선정은 매우 중요하며 보통 컨테이너의 적재 위치는 컨테이너가 장치장으로 들어올 때 정해진다. 하지만 컨테이너가 처음에 최적의 장치 위치로 적재 되었다더라도 시간이 흐름에 따라 최적의 위치가 달라질 수 있다. 이에 대부분 터미널에서는 컨테이너를 좋은 위치로 재배치하는 재정돈을 수행하고 있다. 기존 연구에서 재정돈에 관한 여러 가지 방안이 제시되었지만 모두 본 작업이 없는 크레인 유휴 시간을 이용하는 것을 전제로 하여 현실적으로 적용에 제약이 있었다. 본 논문에서는 본 작업 중에 언제라도 기회가 있을 때마다 재정돈을 수행할 수 있는 크레인 작업 할당 방안을 제안한다. 시뮬레이션을 통한 실험 결과 제안 방안이 터미널 생산성 향상에 효과적으로 기여함을 확인하였다.

**핵심용어** : 자동화 컨테이너 터미널, 장치장, 작업 할당 전략, 최적화, 재정돈

**Abstract** : In container terminals, stacking yard is the place where import and export containers are temporarily stored before being loaded onto or after being discharged from a ship. Since all the containers go through the stacking yard in their logistic flow, the productivity of the terminal critically depends on efficient operation of stacking yard, which again depends on how well the stacking locations of the incoming containers are determined. However, a good location for stacking an incoming container later can turn out to be a bad one when that container is to be fetched out of the stacking yard, especially if some rehandling is required. This means that good locations for the containers are changing over time. Therefore, in most container terminals, the so-called remarshaling is done to move the containers from bad location to good locations. Although there are many previous works on remarshaling, they all assume that the remarshaling can be done separately from the main jobs when the cranes are idle for rather a long period of time. However, in reality, cranes are hardly available for a period long enough for remarshaling. This paper proposes a crane dispatching strategy that allows remarshaling jobs to be mixed together with the main jobs whenever an opportunity is detected. Experimental results by simulation reveals that the proposed method effectively contributes to the improvement of terminal productivity.

**Key words** : Automated Container Terminal, Stacking Yard, Crane Dispatching Strategy, Optimization, Remarshaling

### 1. 서론

컨테이너 터미널의 장치장은 수출이나 수입을 위한 컨테이너를 임시로 보관하는 장소이다. 수출입 되는 모든 컨테이너는 장치장을 거치기 때문에 장치장의 효율적인 운영은 컨테이너 터미널의 생산성에 직접적으로 영향을 준다. 효율적으로 장치장을 운영하기 위해서 가장 고려해야 할 사항은 컨테이너가 장치장으로 들어오거나 나갈 때 소요되는 시간이다. 이 시

간을 줄일수록 터미널이 처리할 수 있는 컨테이너 수가 증가하고 이에 따라 터미널의 생산성이 높아지기 때문에 컨테이너가 장치장으로 들어 올 때 신중히 컨테이너의 적재 위치를 결정해야 한다.

이와 같이 장치장에 컨테이너가 들어올 때 컨테이너의 최적 장치 위치를 결정하기 위해서 여러 가지 방안이 연구되었다(Dekker et al., 2007; Park et al., 2011). 하지만 장치장에 들어온 컨테이너는 짧게는 하루, 길게는 3주 정도 보관되므로

\* 대표저자: 정희원, hevniizz@gmail.com 051)510-3645

\*\* 정희원, yangang100@pusan.ac.kr 051)510-3645

\*\*\* 정희원, uou1333@naver.com 051)510-3531

† Corresponding author : 종신회원, krryu@pusan.ac.kr 051)510-2453

시간이 흐름에 따라 컨테이너의 최적의 위치가 달라질 수 있는 문제가 있다.

따라서 컨테이너 터미널에서는 이에 대한 문제를 해결하기 위해 장치장 재정돈을 수행한다. 재정돈이란 장치장에 적재된 컨테이너가 적하 또는 반출이 되기 전에 최적의 위치로 재배치하는 작업을 말한다. 재정돈에 대한 기존의 연구들(Kang et al., 2006; Hirashima et al., 2006)은 재정돈을 할 시간이 충분히 있다는 가정 하에 재정돈 대상 컨테이너의 작업 순서나 장치 위치에 대하여 연구하였다. 하지만 실제 현장의 터미널에서는 재정돈을 위한 시간이 연속적으로 많지 않다는 문제가 있어서 이를 고려하여 주어진 시간 내에서 재정돈을 수행하는 연구(Park et al., 2010a)도 이루어 졌지만 이러한 연구들 또한 여전히 연속된 시간 내에서의 재정돈 작업만을 고려하고 있어 일반 작업과 병행하여 재정돈을 수행하지는 못하게 되어있다. 그러나 본선 작업 중에도 선박의 해치키버 작업 등 안벽 영역에서의 지연으로 장치장에 잠깐의 유휴 시간이 발생할 수도 있음을 감안하면 일반 작업과 재정돈을 병행해서 할 수 있는 방안이 현실적으로 매우 필요하다 하겠다.

이에 Choe et al.(2013a)은 일반 작업과 재정돈 작업의 병행을 위한 크레인 스케줄링의 주기적 재계획 방안을 제안하였다. 이들은 주기적으로 최적의 크레인 작업 계획을 유전 알고리즘을 이용하여 탐색하였다. 하지만 이는 규모가 큰 컨테이너 터미널의 경우 계획의 탐색 비용이 늘어나게 되어 실시간으로 터미널에 적용하기에는 문제가 있다.

본 논문에서는 기존 재정돈 연구의 문제였던 현실적 제약과 실시간 제약을 해결할 수 있는 크레인 작업 할당 방안을 제안한다. 크레인 작업 할당에 영향을 미치는 여러 지표들의 가중 합으로 이뤄진 점수 함수를 통한 작업 할당 전략을 고안하였으며 이는 Wu et al.(2012)이 제안한 일반 작업을 위한 크레인 작업 할당 전략 방안에 재정돈을 포함시켜 보강한 것이다. 또한 유전 알고리즘을 이용하여 전략의 최적화를 수행하였다.

## 2. 장치장 크레인의 작업 할당 문제

본 논문에서는 Fig. 1과 같이 장치장의 블록이 안벽에 대하여 수직으로 배치되어 있는 수직형 자동화 컨테이너 터미널을 대상으로 하고 있다. 안벽과 장치장 사이의 컨테이너 운송은 내부 이송 차량(AGV: Automated Guided Vehicle)이 담당하고 장치장과 게이트 사이의 운송은 외부 트럭(ET: External Truck)이 담당한다. 장치장은 여러 개의 블록으로 구성되어 있으며 각 블록에는 두 개의 교차가 불가능한 자동화 장치 크레인(ASC: Automated Stacking Crane)이 컨테이너를 운반한다.

### 2.1 장치장 주요 작업

컨테이너 터미널의 장치장에서 크레인은 Fig. 2와 같이 크게 네 가지의 일반 작업을 수행하는데 장치장의 컨테이너를

선박에 싣기 위한 작업을 적하, 선박의 컨테이너를 장치장에 적재하기 위한 작업을 양하, 장치장의 컨테이너를 외부 트럭에 싣는 반출, 외부 트럭을 통해 들어온 컨테이너를 장치장에 싣는 반입이 그것이다.

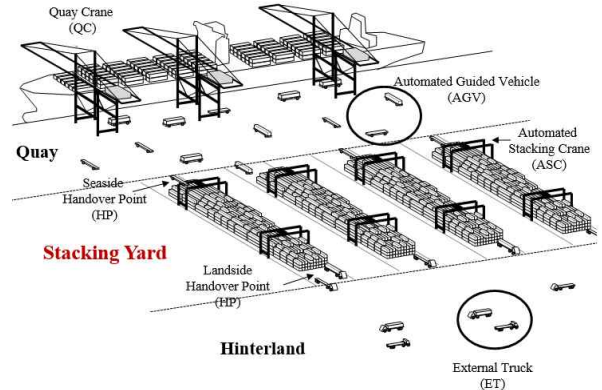


Fig. 1 Partial view of an automated container terminal

또한 일반 작업의 원활한 수행을 위해 추가적으로 필요한 작업인 보조 작업이 있는데 작업 대상 컨테이너 위에 쌓인 컨테이너를 치우는 재취급, 교차가 불가능한 두 크레인의 간섭을 피하고 협업을 도모하고자 하는 재배치가 이에 해당한다.

### 2.2 장치장 재정돈 작업

장치장 재정돈은 장치장 크레인의 작업 지연을 일으킬 수 있는 요소를 사전에 제거하기 위해 미래의 적하 및 반출 컨테이너를 재배치하는 작업이다.

크레인의 작업 지연을 일으키는 요소는 크게 두 가지가 있는데 첫째, 크레인의 이동 거리가 있다. 예를 들어 적하 될 컨테이너가 육측에서 반입 될 때 장치장 상황에 따라 육측에 가깝게 적재가 된다면 이 후 이 컨테이너가 해측으로 적하 될 때 크레인은 긴 거리를 이동해야 하며 이 과정에서 두 크레인 간의 간섭이 발생할 가능성도 커진다. 이에 재정돈 작업을 통해 육측에 쌓인 적하 될 컨테이너를 해측으로 옮긴다면 크레인의 작업 이동거리를 줄일 수 있다. 두 번째 크레인 작업 지연 요소는 재취급 작업이다. 빈번한 재취급 작업은 크레인의 평균 작업 시간을 증가시켜 작업 지연을 발생시키기 때문에 재정돈 작업을 통해 가까운 미래에 적하 또는 반출 될 컨테이너 위에 쌓인 다른 컨테이너를 미리 다른 곳으로 이동시켜 미래의 재취급 작업을 줄임으로써 작업 지연을 줄일 수 있다.

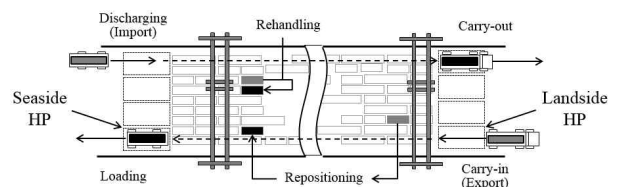


Fig. 2 Crane jobs at a block of the stacking yard

### 2.3 장치장 크레인의 작업 할당

두 대의 장치장 크레인은 효율적인 장치장 운영을 위해 일반 작업과 보조 작업을 적절히 수행하여 내부 이송 차량과 외부 트럭의 지연을 줄여야 한다. 두 크레인은 교차가 불가능하기 때문에 서로 간의 충돌로 인해 지연이 발생할 수 있으며 이를 피하기 위해 두 크레인에 적절한 작업을 할당하여 협업을 유도하고 각 크레인의 작업 부하 균형을 맞춰야 한다. 이와 같은 이유로 Wu et al.(2012)의 방안에서는 보조 작업을 일반 작업과 같이 독립적인 작업으로 취급하여 두 크레인 중 작업 부하가 적은 크레인이 다른 크레인에 할당된 작업의 보조 작업을 수행하게끔 유도하였다. 또한 서론에서 언급한 실시간 제약을 해결하기 위해 점수 함수 형태의 작업 할당 전략으로 계획상의 일반 작업 및 보조 작업을 평가하여 가장 높은 점수의 작업을 크레인에 할당하였다. 하지만 이 방안에는 재정돈을 전혀 고려하지 않기 때문에 본 논문에서는 Wu et al.(2012)의 방안을 바탕으로 재정돈을 고려한 전략 요소를 추가하고 컨테이너 터미널 상황을 보다 현실적으로 반영한 크레인 작업 할당 전략을 제안한다.

### 3. 전략 기반 크레인 작업 할당

이 장에서는 본 논문에서 제안하는 작업 할당 알고리즘과 작업 할당 전략에 대해 자세히 설명한다. 작업 할당 전략은 장치장 크레인에 할당할 작업을 결정하기 위한 의사결정 도구로 각 크레인에 효율적인 작업을 할당한다.

#### 3.1 작업 할당 알고리즘

본 논문에서 사용하는 작업 할당 알고리즘은 Table 1과 같다. Table 1에서  $A_i$ 는 작업 할당 대상 크레인을 의미하는 변수로 해측 크레인( $A_{sea}$ )과 육측 크레인( $A_{land}$ )으로 표현된다.

Table 1 Job Dispatching Algorithm

Variables	
$A_i$	ASC for job assignment, $i = \{sea, land\}$
$J_i$	Candidate job set for $A_i$
$e_{ik}$	Evaluation value of candidate job $j_{ik}$ ( $j_{ik} \in J_i$ )
Algorithm	
Step 1	Configure $J_i$
Step 2	Calculate $e_{ik}$ of $j_{ik}$ in $J_i$ for all $k$
Step 3	Allocate $e_{ik}$ with minimum $j_{ik}^*$ to $A_i$

$J_i$ 는  $A_i$ 의 후보 작업 집합을 의미하는 변수로 해측 크레인에 할당 될 후보 작업 집합( $J_{sea}$ )과 육측 크레인에 할당 될 후

보 작업 집합( $J_{land}$ )로 표현된다.  $e_{ik}$ 는  $J_i$ 의 각각의 후보 작업  $j_{ik}$ 를 평가한 평가 값을 의미한다.

Table 1은 크레인이 유휴 상태가 되었을 때 동작한다. 즉 이 알고리즘은 작업 할당을 기다리고 있는 크레인( $A_i$ )의 후보 작업 집합( $J_i$ )를 구성하고, 후보 작업 집합을 구성하는 모든 작업( $j_{ik}$ )에 대해 작업 할당 전략 평가 값( $e_{ik}$ )을 계산한다. 그리고 평가 값이 가장 작은 작업( $j_{ik}^*$ )를 크레인에 할당한다. 작업 할당 전략 평가 값( $e_{ik}$ )을 계산하는 방법은 3.5장에서 소개하는 여러 가지 평가 요소에 따라 점수를 매겨 최적화된 전략의 가중치에 따라 가중합하여 최종 평가 값을 계산한다.

#### 3.2 작업의 생성

후보 작업 집합 구성을 위하여 작업 계획에 따라 작업을 생성한다. 재취급 작업에 대해서는 Fig. 3과 같이 재취급 대상 컨테이너가 여러 개 존재하더라도 최상단 컨테이너 하나에 대해서만 재취급 작업을 생성한다.

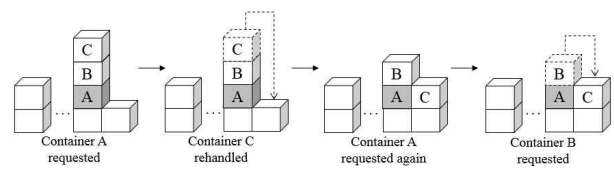


Fig. 3 Rehandling jobs

재배치 작업은 Fig. 4와 같이 장치장을 크게 해측 영역, 중간 영역, 육측 영역의 세 영역으로 나누어 해측 크레인에 의해 적재되어야 하는 컨테이너가 육측 영역에 적재되어 있는 경우 육측 영역에서 해측 영역으로의 재배치 작업을 생성한다. 반대로 육측 크레인에 의해 반출되어야 하는 컨테이너가 해측 영역에 적재되어 있는 경우 해측 영역에서 육측 영역으로의 재배치 작업을 생성한다. 본 논문에서는 장치장을 균등한 크기로 5영역으로 나누어 해측의 두 영역을 해측 영역으로, 육측의 두 영역을 육측 영역으로, 남은 가운데의 한 영역을 중간 영역으로 정의하였다.

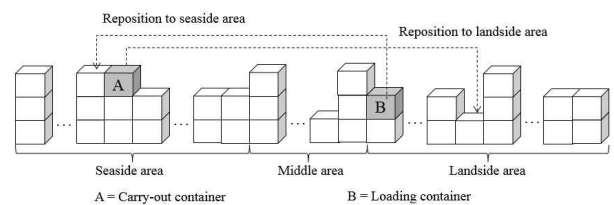


Fig. 4 Repositioning jobs

재정돈 작업은 Table 2에 의해 생성되며 크게 해측 재정돈 작업( $R_{sea}$ )과 육측 재정돈 작업( $R_{land}$ )으로 구성된다. 해측 재정돈 작업은 미래에 적하될 컨테이너를, 육측 재정돈 작업은 미래에 반출될 컨테이너를 대상으로 생성된다. 적하 컨테이너의 경우 가까운 미래에 적하될 컨테이너의 적하 시점을 알 수

있기 때문에 다음 배에 적하 될 컨테이너가 해측 재정돈 작업의 대상이 된다. 반면 반출 컨테이너의 경우 일반적으로 장치장에 오래 적재된 컨테이너가 그렇지 않은 컨테이너 보다 먼저 반출 될 가능성이 크기 때문에 적재된 기간을 기준으로 대상을 선정한다. 이렇게 재정돈 작업 대상이 구성되면 이 중 실제로 재정돈 할 필요가 없는 작업을 제외한다. 재정돈 대상 컨테이너 위에 곧 처리될 일반 작업이 있는 경우와 재정돈 대상 컨테이너 위에 이미 재정돈 된 컨테이너가 있는 경우는 재정돈 대상에서 제외한다. 또한 재정돈 대상 컨테이너가 이미 좋은 위치에 있는 경우, 즉 반출 컨테이너가 장치장의 육측 영역에, 적하 컨테이너가 장치장의 해측 영역에 적재되어 있는 경우 또한 재정돈 대상에서 제외한다.

Table 2 Algorithm for generating a set of remarshaling Jobs

Variable	
$R_{sea}$	Candidate job set for seaside remarshaling
$R_{land}$	Candidate job set for landside remarshaling
Algorithm	
Step 1	Configure $R_{sea}$ and $R_{land}$
Step 2	Screen the candidate job sets
Step 3	Calculate priority for each candidate remarshaling job
Step 4	Select $n$ highest priority jobs for both seaside and landside remarshaling

제외 작업이 끝나면 해측 재정돈 후보 작업과 육측 재정돈 후보 작업에 대해 우선순위를 평가하여 우선순위가 높은 작업을 선택하여 생성한다. 재정돈 작업의 우선순위 계산은 수식 (1)에 의해 계산된다.

$$T(j) = O(j) + R(j)$$

$$O(j) = t_p(j) + t_t(j) + t_d(j) \quad (1)$$

$$R(j) = \sum_{k \in Rehandle} O(k)$$

$j$ 는 재정돈 대상 작업을 의미한다.  $T(j)$ 는 적하 또는 반출 시 걸리는 예상 수행 시간을 의미하는 것으로 재정돈 대상 작업  $j$ 의 작업 수행 시간  $O(j)$ 와  $j$  위에 놓인 재취급 컨테이너들의 작업 수행 시간  $R(j)$ 의 합으로 계산된다. 작업 수행 시간  $O(j)$ 는 크레인이 컨테이너  $j$ 를 들어 올리는 시간  $t_p(j)$ , 크레인이 컨테이너  $j$ 를 운반하는 시간  $t_t(j)$ , 목적 위치에 컨테이너  $j$ 를 장치하는 시간  $t_d(j)$ 의 합으로 계산된다. 재정돈 작업의 우선순위 식 (1)은 크레인의 이동 시간이 많이 걸리거나 재취급이 많이 필요한 컨테이너를 우선적으로 재정돈 하기 위해서 작업 처리 소요 시간이 큰 작업의 우선순위를 높게 본다. Fig. 5와 같이 재정돈 작업이 생성되면 재정돈 작업을 위

한 재취급 작업도 생성되며 재정돈 작업을 위한 재취급 작업은 앞서 소개한 일반적인 재취급 작업의 생성과 동일한 방법으로 생성된다.

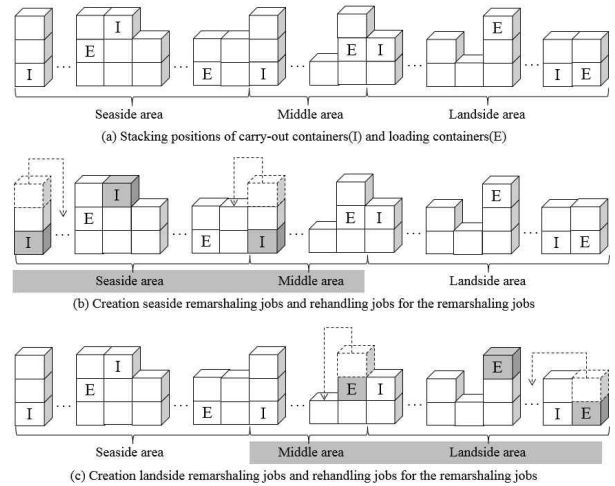


Fig. 5 Creation of remarshaling jobs

### 3.3 후보 작업 집합 구성

각 크레인의 후보 작업 집합은 Fig. 6과 같이 작업 할당 시점을 기준으로 구성된 하나의 작업 집합( $J$ )을 이용한다. 작업 집합은 작업 할당 시점으로부터 일정 시간( $h$ ) 내에 수행되어야 하는 양하, 적하 작업과 이에 필요한 보조 작업, 작업 할당 시점 이전에 요청된 반입, 반출 작업으로 구성된다. 또한 이에 대한 보조 작업과 재정돈 작업을 포함한다. 작업 집합이 구성되면 각 크레인의 후보 작업 집합은 Table 3의 조건에 따라 구성된다. 양하와 적하 작업은 해측 크레인의 후보 작업 집합에, 반입과 반출 작업은 육측 크레인의 후보 작업 집합에 속하며 이를 제외한 나머지 작업들은 해측, 육측 후보 작업 집합에 모두 속할 수 있다.

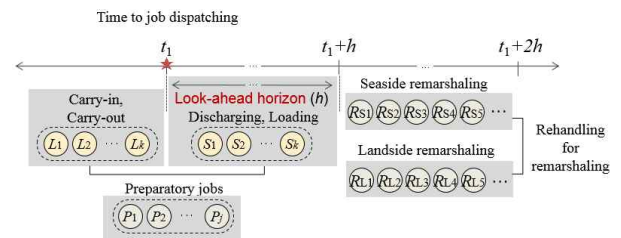


Fig. 6 Configuration of job set  $J$

### 3.4 작업 할당 전략

이렇게 구성된 후보 작업 집합에서 크레인에 할당 할 작업을 선택하기 위해 작업 할당 전략을 이용하여 각 후보 작업의 평가 값을 계산한다. 본 논문에서 사용하는 작업 할당 전략은 Table 4에 기재된 8개의 평가 요소로 구성된다. 이 평가 요소 값들은 값의 크기가 다양하게 분포할 수 있으므로 이를 일치시키는 정규화가 필요하다. 정규화는 수식 (2)으로 수행한다.

$$x_{new} = (x - x_{min}) / (x_{max} - x_{min}) \quad (2)$$

후보 작업  $j$ 의 평가 값  $e(j)$ 는 수식 (3)과 같이 8개의 작업 할당 전략 평가 요소의 가중 합으로 계산 할 수 있다.

$$e(j) = \sum_{i=1}^8 w_i \times j_i \quad (3)$$

$j_i$ 는 정규화 과정을 거친  $i$ 번째 평가 요소 값을 나타내며,  $w_i$ 는  $i$ 번째 평가 요소 값에 대한 가중치를 의미한다.

Table 3 Configuration of candidate job set  $J$

① Discharging and loading jobs planned for the next look-ahead horizon
② Carry-in and carry-out jobs requested for the same horizon
③ Rehandling jobs for loading and carry-out jobs
④ Repositioning jobs for loading and carry-out jobs
⑤ Seaside remarshaling jobs
⑥ Landside remarshaling jobs
⑦ Rehandling jobs for the remarshaling jobs
- Candidate job set for seaside ASC: Configure without ②
- Candidate job set for landside ASC: Configure without ①

### 3.5 작업 할당 전략에 사용되는 평가요소

작업 할당 전략에는 Table 4에 보인 바와 같은 평가요소들이 사용된다.

Table 4 Evaluation criteria for dispatching strategy

$E$	Empty travel time of ASC
$U$	Urgency value of a job
$I$	Probability of interference of the ASCs
$X$	Estimated processing time with interferences taken into account
$G$	Gain when the job is processed
$D$	Relative value for workload of opposite ASC
$H$	Waiting time by interference of the ASCs
$S$	Block occupancy rate around the target container

이 중 몇 가지 요소에 대해 자세히 설명하자면,  $E$ 는 크레인 의 무 부하 이동시간을 나타내는 요소로 현재 크레인의 위치 에서 작업 시작 위치까지의 이동시간을 의미한다. 즉 크레인 이 컨테이너의 운반 없이 이동하는 시간을 값으로 평가한 것으로 이 값이 작을수록 크레인 작업 효율은 높다고 볼 수 있다.

$U$ 는 작업의 긴급도를 나타내는 요소로 해당 작업의 급한

정도를 의미한다. 일반적으로 크레인이 급한 작업부터 할당 받아 처리한다면 작업 지연을 최소로 할 수 있다. 작업의 급한 정도는 작업의 마감시간을 의미하는 내부 이송 차량이나 외부 트럭의 도착 시간과 현재 시간과의 차이로 계산 할 수 있다. 하지만 재정돈 작업의 경우 마감 시간을 알 수 없으므로 재정돈 간 우선순위 계산식인 수식 (1)의 작업 예상 수행 시간  $T(j)$ 의 상대적인 순위로 계산한다.

$T$ 는 크레인이 작업을 수행함으로써 상대 크레인과 간섭이 생길 확률을 값으로 평가한 것으로 크레인 간 간섭을 최소로 하기 위한 것이다. Park et al.(2010b)는 크레인이 컨테이너를 선택하는 위치와 내려놓는 위치에 따른 크레인 간섭 확률을 측정하였는데, 이들이 측정한 확률을 이용하여 크레인 간섭 확률이 작은 작업을 선호하도록 한다.

이 외에 간섭을 고려한 작업 수행 시간을 고려하는  $X$ , 작업 수행 시 얻는 이득을 고려하는  $G$ , 상대 크레인의 작업 부하를 고려하는  $D$  등의 요소가 있다.

### 3.6 전략의 최적화

작업 할당 전략은 앞서 설명했듯이 평가 요소의 가중 합 형태로 이루어진다. 각 평가 요소는 경험적으로 얻은 지식을 바탕으로 개발하였지만 어떤 평가 요소가 다른 평가 요소에 비해 상대적으로 얼마나 중요한지는 알 수 없으므로 전략을 최적화하려면 각 평가 요소의 가중치를 최적의 값으로 설정하여야 한다. 본 논문에서는 유전 알고리즘을 이용하여 가중치 값들을 탐색하며 Fig. 7과 같이 알고리즘을 구성하였다.

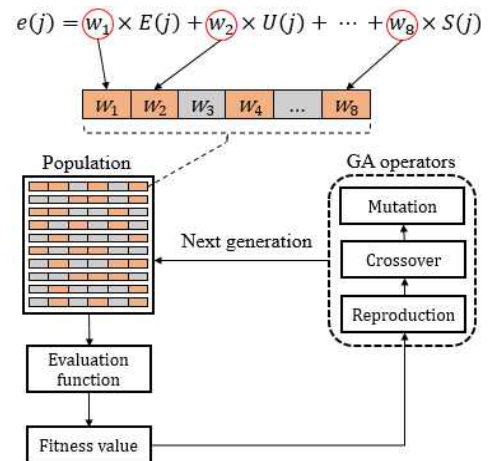


Fig. 7 Configuration the genetic algorithm for weights search

유전 알고리즘이란 생물의 진화과정을 모방하여 만들어진 탐색 알고리즘으로 문제의 해를 유전자 형식으로 표현하여 세대를 거듭할수록 해들을 문제의 답에 적합하도록 진화시켜나가는 방법을 사용한다. 따라서 해들이 얼마나 문제의 답에 적합한지 평가할 수 있는 적합도 함수가 필요하며 본 논문과 같은 경우 전략을 해로 표현했기 때문에 적합도 함수는 식 (4)

와 같이 나타내었다. 적합도 함수는 전략의 해측 생산성 평가를 위한 내부 이송차량의 지연 시간( $D_{AGV}$ )과 육측 생산성 평가를 위한 외부트럭의 대기 시간( $D_{ET}$ ), 여기에 추가로 크레인 무부하 이동거리( $E$ )와 하루 평균 일반 작업 누락 개수( $N_F$ )로 구성하였으며 이 값들은 시뮬레이션을 수행한 결과로 얻어진다. 이렇게 얻어진 적합도 값이 작은 값을 선호하는 방향으로 탐색을 수행하였다.

$$f(x) = w_{AGV} \times D_{AGV} + w_{ET} \times D_{ET} + w_E \times E + w_F \times N_F \quad (4)$$

평가 함수 각 요소의 가중치는 일반적으로 해측 생산성이 육측 생산성보다 중요하므로  $\{w_{AGV}:50, w_{ET}:1, w_E:30, w_F:10\}$ 으로 설정하였다.

세대 구성을 위한 부모 선택 방법은 이진 토너먼트 선택(binary tournament selection) 방법을, 교배 및 돌연변이 연산자는 실수 형태의 개체를 다루기 위한 모의 의진 교차(simulated binary crossover), 비 균등 돌연변이 기법(non-uniform mutation)을 사용하였다.

#### 4. 실험 및 결과

본 연구에서 제안한 방안을 평가하기 위하여 제안 방안의 전략을 적용하여 시뮬레이션을 이용한 실험을 하였다. 실험에 사용된 시뮬레이션 시스템은 Park et al.(2010b)이 개발한 것으로 두 장치장 크레인의 상호 간섭을 포함한 상세한 움직임까지 반영된 것이다. 해당 시뮬레이터 모델을 사용하여 시뮬레이션을 하는 화면을 Fig. 8에 나타내었다.

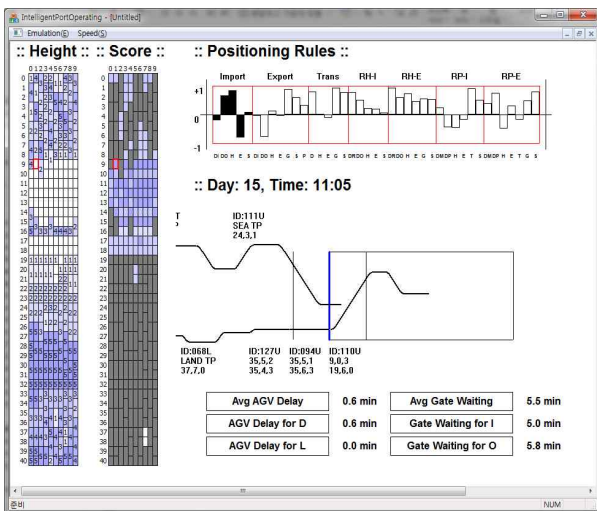


Fig. 8 Screen of the simulator for a experiment

장치장 시뮬레이션을 위해서는 크레인 작업할당 알고리즘과 컨테이너의 적재 위치를 결정하는 장치위치 결정 알고리즘이 필요한데 크레인 작업할당은 본 논문에서 제안하는 방안을

사용하였고 장치위치 결정 방안은 Choe et al.(2013b)가 제안한 방안을 사용하였다. 하지만 Choe et al.(2013b)의 방안에는 재정돈을 위한 장치 규칙은 없으므로 리포지션과 재취급 장치위치 결정 규칙으로 재정돈 작업의 장치 위치를 결정하였다.

실험 환경은 Table 5와 같이 구성하였으며 컨테이너 터미널 장치장 중 하나의 블록을 대상으로 시뮬레이션을 수행하였다. 장치장이 안정적으로 운영될 때 평가를 하기 위하여 7일 동안 시뮬레이션 한 후 다음 3일의 결과를 측정하였다.

Table 5 Experimental setup

	Setting
Block	5 tiers, 10 stacks, 41 bays
Simulation time	7 days of initialization + 3 days of evaluation
Yard operation time	24 hours
Number of main jobs per day	seaside: 200, landside: 200
Average occupancy rate	60%

크레인 작업 할당 전략의 최적화를 위한 유전 알고리즘 집단의 크기는 100으로 500세대 동안 진화하여 총 50,000번의 평가를 하였다. 이렇게 얻은 크레인 작업 할당 전략으로 시뮬레이션을 하여 재정돈 작업을 병행했을 때(제안 방안)와 병행하지 않았을 때(기존 방안)의 장치장 작업 효율을 비교하였다. 해측 생산성을 비교하기 위해 작업 당 평균 내부 이송차량의 지연시간을, 육측 생산성을 비교하기 위해 작업 당 평균 외부트럭 지연시간을 측정하여 총 10번 실험한 결과의 평균값으로 비교하였다. 'No RM'이 재정돈을 수행하지 않았을 때를 나타내고 'RM'이 재정돈을 수행 했을 때를 나타낸다. 또한 제안 방안이 어느 정도 최적화가 됐는지 가늠하기 위하여 이상적인 경우를 추가 비교하였다. 제안 방안의 결과와 이상적인 경우의 결과 값의 차이가 작을수록 최적화가 잘 되었다고 판단할 수 있을 것이다. 'Ideal'이 이상적인 경우를 나타내며 재정돈 작업을 수행 할 시 걸리는 시간을 0이라고 설정하고 실험한 것이다. 즉, 시간에 구애받지 않고 모든 재정돈 대상 컨테이너를 재정돈하는 경우이다. 해측 생산성을 비교한 결과를 Fig. 9에, 육측 생산성을 비교한 결과를 Fig. 10에 나타내었다.

실험 결과, 재정돈을 수행하는 제안 방안이 수행하지 않는 경우에 비해 생산성이 확연히 향상됨을 확인할 수 있었다. 이는 본선 작업 중 잠깐의 유희시간이 날 때 마다 재정돈 작업을 하는 것이 생산성 향상에 상당히 효과가 있다는 것을 의미한다. 또한 이상적인 경우와 비교 했을 때 생산성 차이가 크지 않은 것을 확인 하였으며 이는 제안 방안의 전략이 잘 최적화 되었음을 의미한다.

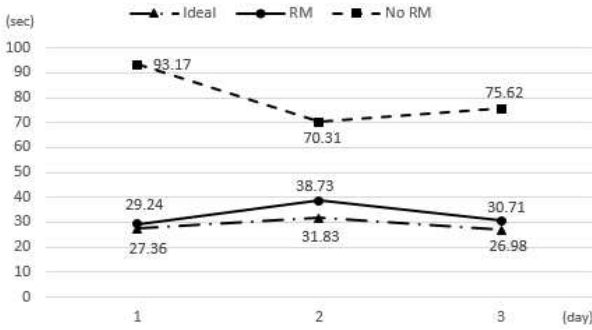


Fig. 9 Comparison for seaside performance (AGV delay time)

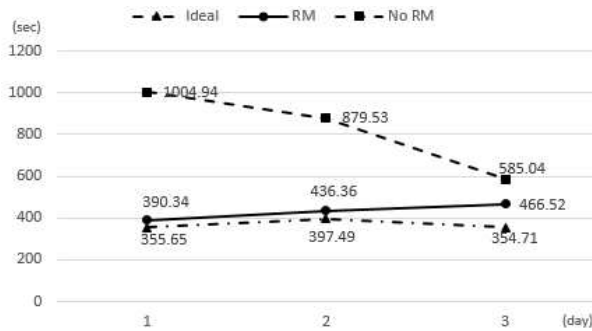


Fig. 10 Comparison for landside performance (ET delay time)

재정돈 작업을 했을 때 생산성이 향상이 되려면 재정돈 작업을 함으로써 발생하는 손실보다 미래에 얻는 이득이 더 커야한다. 재정돈 작업을 함으로써 발생하는 손실 정도를 가늠할 수 있는 요소로 재정돈 작업 수행 시간이 있을 수 있다. 재정돈 작업 수행 시간이 크면 클수록 손실이 많이 발생한다고 추정할 수 있을 것이다. 반대로 미래에 얻는 이득을 알아보려면 재취급 작업 발생 정도를 알아보면 될 것이다. 재취급 작업 발생이 줄어드는 정도가 미래에 얻는 이득이라고 추정할 수 있기 때문이다. 이에 재정돈을 수행 하였을 때, 재정돈 작업 수행 시간을 측정하였으며 그 결과를 Fig. 11에 나타내었다. 또한 재정돈을 수행하였을 때와 하지 않았을 때의 재취급 작업 횟수를 측정하였고 그 결과를 Fig. 12와 Fig. 13에 나타내었다. 적하를 위한 재취급 횟수를 Fig. 12에서, 반출을 위한 재취급 횟수를 Fig. 13에서 확인 할 수 있다.

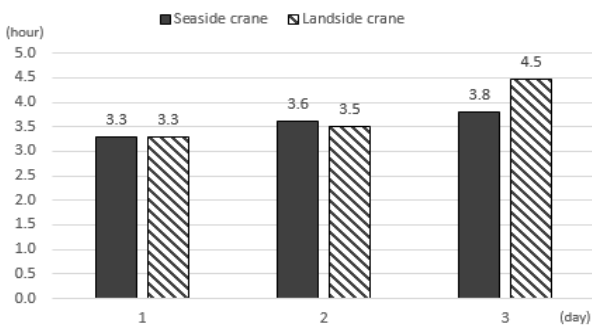


Fig. 11 Processing time of remarshaling

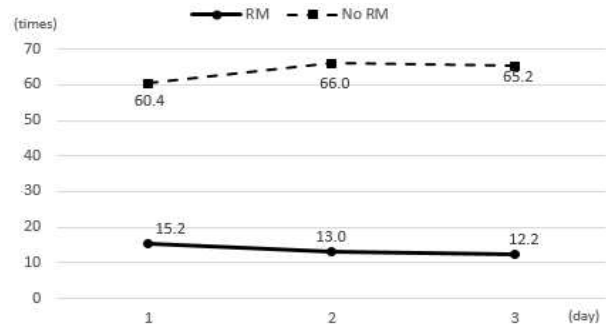


Fig. 12 Number of rehandling for loading

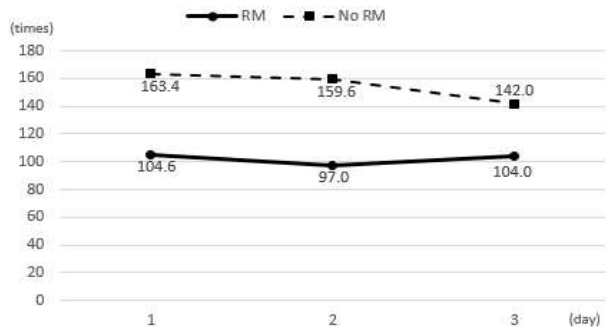


Fig. 13 Number of rehandling for carry-out

재정돈 작업으로 해측, 육측 크레인 각각 3~4시간 정도 소요 됨을 볼 수 있었다. 하지만 실제로 장치장 운영 사이 사이 발생하는 유휴 시간을 활용하여 재정돈 작업을 수행하므로 손실로 추정되는 소요 시간은 이보다 더 적을 것이다. 그리고 재취급 횟수 측정 결과 재정돈을 수행 했을 때가 재정돈을 하지 않을 때보다 재취급 작업 발생이 확연히 줄어드는 것을 확인할 수 있었다. 특히 적하를 위한 재취급의 경우 상당한 차이를 보이는데 이러한 차이가 재정돈을 하였을 때 장치장 성능을 향상시키는 원인으로 작용함을 알 수 있다.

## 5. 결 론

본 논문에서는 재정돈 작업을 포함한 장치장 크레인 작업 할당 문제를 작업 할당 전략을 이용한 방안으로 해결하였다. 제안 방안은 크레인에 할당 가능한 후보 작업 중 최적화된 전략에 의해 가장 좋은 평가 값을 갖는 크레인에 할당한다. 작업 전략은 여러 평가 요소의 가중 합 형태로 구성하였고 가중치 조합을 유전 알고리즘을 이용하여 탐색하였다. 또한 재정돈 작업의 수행을 위한 재정돈 대상 컨테이너의 선정 및 우선순위를 결정하는 방안을 제안하였다.

실험 결과, 제안 방안은 재정돈을 수행하지 않는 경우에 비해 내부 이송차량과 외부트럭의 지연 시간이 감소하여 장치장 생산성이 개선됨을 확인하였으며 이상적인 경우와도 근소한 차이를 보여 최적화가 잘 되었음을 확인하였다.

또한 제안 방안은 작업을 평가하는데 많은 계산 비용을 요구하지 않으므로 실시간 컨테이너 터미널에 적합하며 현재와

미래의 터미널 생산성을 높일 수 있다.

## 후 기

“이 논문은 한국해양수산개발원의 저탄소 터미널 운영기술 개발 과제로부터 지원받아 수행된 연구임” (과제번호: 201309550001)

- [9] Wu, J., Yang, Y., Choe, R., Ryu, K. R.(2012), “Automated Stacking Crane Dispatching Strategy in a Container Terminal using Genetic Algorithm”, *Journal of Navigation and Port Research*, Vol. 36, No. 5, pp. 17-24.

---

원고접수일 : 2014년 3월 11일

심사완료일 : 2014년 4월 18일

원고채택일 : 2014년 4월 22일

## References

- [1] Choe, R., Kim, T. S., Kim, T., and Ryu, K. R.(2013a), “Crane Scheduling for Opportunistic Remarshaling of Containers in an Automated Stacking Yard”, *Flexible Services and Manufacturing Journal* (online).
- [2] Choe, R., Jang, H., and Ryu, K. R.(2013b), “Deriving a Robust Policy for Container Stacking Using a Noise-Tolerant Genetic Alogorithm”, *Information-an International Interdisciplinary Journal*, Vol. 16, No. 8(B), pp. 6219-6242.
- [3] Dekker, R., Voogd, P. and Asperen, E. V.(2007), “Advanced Methods for Container Stacking”, *Container Terminals and Cargo Systems*, pp. 131-154.
- [4] Hirashima, Y., Ishikawa, N., and Takeda, K.(2006), “A New Reinforcement Learning for Group-Based Marshalling Plan Considering Desired Layout of Containers in Port Terminals”, *Proceedings of IEEE Conference on Networking, Sensing and Control*, pp. 670-675.
- [5] 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”, *Proceedings of International Conference on Industrial Engineering and Other Applications of Applied Intelligent Systems*, pp. 1211-1220.
- [6] Park, T., Kim, J., and Ryu, K. R.(2010a). “Iterative Replanning using Genetic Algorithms for Remarshaling in a Container Terminal,” *Proceedings of IASTED International Conference on Artificial Intelligence and Applications(AIA 2010)*.
- [7] Park, T., Choe, R., Ok, S. M., and Ryu, K. R.(2010b). “Real-time Scheduling for Twin RMGs in an Automated Container”, *OR Spectrum*, Vol. 3, pp. 593-615.
- [8] Park, T., Choe, R., Kim, Y. H., and Ryu, K. R.(2011), “Dynamic Adjustment of Container Stacking Policy in an Automated Container Terminal”, *International Journal of Production Economics*, Vol. 133, pp. 385-392.