

# 컨테이너 터미널의 재정돈 대상 컨테이너 주기적 재선택 방안

박기역\* · 박태진\*\* · † 류광렬

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

## Iterative Container Reselection Methods for Remarshaling in a Container Terminal

Kiyeok Park\* · Taejin Park\*\* · † Kwang Ryel Ryu

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

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

**요 약** : 장치장 재정돈은 선적작업의 효율을 향상시키기 위해 사전에 컨테이너들을 재배치해 두는 작업을 일컫는다. 일반적으로 재정돈 작업에는 상당한 시간이 소요되지만 선적작업 시작 이전에 이를 위한 충분한 유휴 시간이 확보되기 어렵기 때문에 선택적인 재정돈이 필요하게 된다. 본 연구에서는 재정돈 대상 컨테이너의 선택 방안으로 제안된 바 있는 휴리스틱 방안과 유전알고리즘 기반의 방안에 대해 객관적인 비교 실험을 수행하고 각각의 성능 특징을 분석한다. 특히 작업현장의 불확실성 때문에 발생하는 계획과 실행 간의 괴리를 극복하기 위해 제안된 주기적 재선택 방안에 대해서도 면밀한 실험을 통한 검증은 시도한다. 현실성 있는 불확실성 모델을 도입한 시뮬레이션 실험 결과, 휴리스틱 방안의 경우에는 계산 부담이 거의 없기 때문에 재선택 주기가 짧을수록 불확실성에 대한 대처가 빨라서 성능이 좋은 반면, 유전알고리즘 기반의 방안은 탐색에 소요되는 시간 부담 때문에 적절한 세대 변천 수가 보장되는 정도의 주기로 재선택을 하는 것이 유리한 것으로 확인되었다.

**핵심용어** : 자동화 컨테이너 터미널, 재정돈, 재정돈 컨테이너 선택, 주기적 재선택, 불확실성

**Abstract** : Remarshaling is referred to a preparatory task of rearranging containers piled up in a stacking yard to improve the efficiency of loading. Selective remarshaling is required because the time for remarshaling known as large time-consuming task is not enough to remarshaling all containers. In this research, we compare two previous researches in more objectively way: heuristic and genetic algorithm based approaches. In addition, we prove the effect of iterative reselection method on dwindling the gap between plan and execution due to the uncertainty of crane operation during execution. Simulation experiments under realistic uncertainty model show that heuristic approaches which have few computational complexity can cope with the uncertainty well when reselection interval is short, but genetic algorithm based approach has advantages when reselection interval that can ensure appropriate number of evolutions is given because of computational complexity for search.

**Key words** : Automated Container Terminal, Remarshaling, Container Selection, Iterative Reselection, Uncertainty

### 1. 서 론

컨테이너 터미널의 생산성은 선박의 정박시간에 의해 크게 좌우된다. 선박의 정박시간은 컨테이너를 선박에 싣는 적하 작업과 선박에서 컨테이너를 내리는 양하 작업을 수행하는 안벽 크레인의 작업 효율에 따라 결정된다. 양하의 경우 컨테이너들을 선박으로부터 내려 장치장의 가용 공간 어디에든 쌓아두면 되기 때문에 보통 작업이 신속히 진행될 수 있다. 그러나 적하의 경우 선적 대상 컨테이너가 장치장으로부터 제시간에 공급되지 않으면 지연이 생겨 안벽 크레인의 효율이 떨어지는 경우가 많다. 적하 작업 시 컨테이너는 저장 공간인 장치장에서 꺼내어져 내부 이송차량에 실린 다음 안벽 크레인으로 전달된다. 그런데, 만약 적하 대상이 되는 컨테이너 위로 다른 컨테이너들

이 쌓여 있다면, 이들을 장치장 내 다른 위치로 치워야 하므로 장치장 크레인의 작업량이 늘어나게 되고 자연스럽게 적하 작업에는 지연이 생길 수밖에 없게 된다.

최근 장치장 크레인의 작업 효율을 향상시키기 위한 연구가 다양하게 진행되어 왔다. 본 논문에서는 특히 재정돈 방법을 통해 적하 시 장치장 크레인의 효율을 향상시키는 방안을 제안한다. 재정돈이란 적하 작업이 시작되기 전 크레인의 유휴시간을 이용하여 컨테이너들을 정리 정돈해 둬으로써 적하 시 장치장 크레인의 작업 효율을 향상시키고자 하는 준비 작업을 말한다. 장치장 재정돈에 관한 기존의 연구는 대부분 적하 대상 컨테이너들을 모두 재정돈할 수 있을 만큼 충분한 시간적 여유가 있다는 전제 하에 어떤 위치로 어떤 순서에 따라 정리 작업을 수행할 것인가에 초점을 맞추고 있다. 그러나 실제 현장에서는 재

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

\* 연회원, nerissa79@pusan.ac.kr 051) 510-3531

\*\* 연회원, parktj@pusan.ac.kr 051) 510-3531

정돈 작업을 위한 시간이 충분히 확보되지 않아 적하 대상 컨테이너들 중 일부에 대해서만 정리 작업을 하는 경우가 많다. 본 논문은 기존에 제안된 재정돈 대상 컨테이너 선택방안들을 현실적인 환경에서 실험하여 그 성능을 엄격하게 비교하고자 한다. 제한된 시간 내에 재정돈을 하면서 높은 효율을 얻기 위해서는 적하 작업의 지연을 많이 일으키는 컨테이너를 선택하여 재정돈 하는 것이 유리하다. 이에 Park et al.(2010)은 유전 알고리즘을 이용하여 재정돈 대상 컨테이너를 주기적으로 재선택하는 방안을 제안한 바 있으며 그 성능을 김 등(2009)이 제안한 휴리스틱을 이용한 컨테이너 선택 방안과 비교하였다. 그러나 김 등(2009)이 제안한 휴리스틱 방안의 선택 기준이 유전 알고리즘과 다를 뿐 아니라 재선택 기법도 적용하지 않은 상태로 비교하여 공정한 검증이 이루어지지 못했다. 본 연구에서는 정교한 실험을 위해 작업 환경의 불확실성을 보다 현실성 있게 모형화하고, 휴리스틱의 선택 기준을 Park et al.(2010)의 연구와 동일하게 한 다음, Park et al.(2010)이 제안한 주기적인 재선택 방안을 김 등(2009)의 휴리스틱 방안에도 적용하여 성능을 비교하였다.

이후의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 컨테이너 터미널의 재정돈 문제에 대해 더욱 자세히 설명한다. 3장에서는 본 논문에서 성능 비교를 위해 사용한 방안들에 대해 설명한다. 그리고 4장에서는 시뮬레이션 실험을 통해 제안방안의 효율성을 입증하고, 5장에서 결론을 맺는다.

## 2. 컨테이너 터미널의 재정돈 문제

이 장에서는 먼저 컨테이너 터미널에 대해 간단히 소개한 후, 재정돈 문제를 상세히 설명한다.

### 2.1 컨테이너 터미널

Fig. 1은 본 논문의 대상 컨테이너 터미널을 도식화한 것이다. 컨테이너 터미널은 크게 안벽, 장치장, 배후지의 세 부분으로 구성된다. 안벽은 선박이 정박하는 장소이며 안벽 크레인(Quay Crane, QC)이 수입 컨테이너를 선박에서 내리는 양하 작업과, 수출 컨테이너를 선박에 싣는 적하 작업을 하는 곳이다. 장치장은 컨테이너가 수입, 수출되기 전 임시로 머무는 장소로 여러 개의 블록으로 구성된다. 각 블록에서는 두 대의 장치장 크레인이 선박에서 양하되거나 외부트럭이 반입해 온 컨테이너를 블록에 쌓거나, 선박에 적하되거나 외부트럭에 의해 반출될 컨테이너를 꺼내준다. 안벽과 장치장 사이의 컨테이너 전달은 내부 이송차량이 담당한다. 배후지는 터미널 외부와 연계된 작업 수행을 위해 외부트럭이 컨테이너를 수송하기 위해 드나드는 곳이다.

터미널의 작업들은 여러 장비들의 연계 수행에 의해 처리된다. 예를 들어, 적하 작업의 경우, 외부 트럭이 싣고 온 컨테이너를 장치장 크레인이 넘겨받아 장치장에 쌓아 두었다가, 선박이 입항하면 컨테이너를 꺼내어 내부 이송차량에 실어주면, 내부 이송차량이 안벽크레인까지 컨테이너를 이송하여 안벽 크레

인이 최종적으로 선박에 적재하게 된다. 여기서 내부 이송차량 또는 외부트럭이 정차하여 크레인과의 연계작업을 수행하는 지점을 HP(Handover Point)라 일컬으며 특히, 장치장 블록의 배후지 쪽에 있는 HP를 육측 HP, 안벽 쪽의 HP를 해측 HP라 부른다.

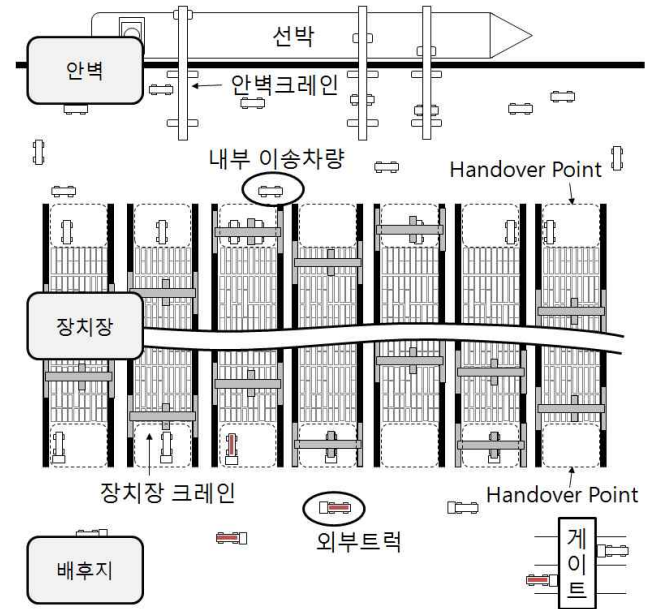


Fig. 1 The layout of target container terminal

### 2.2 장치장 재정돈 문제

터미널의 생산성을 결정짓는 가장 중요한 작업은 선박 작업 중에서도 적하 작업이다. 적하 작업의 경우, 장치장에 쌓여있던 컨테이너를 끄집어내는 장치장 크레인의 작업이 지연되면 뒤 이어지는 차량의 이송 및 QC의 선적 작업도 연이어 지연될 수밖에 없다. 장치장 크레인의 작업은 크게 두 가지 원인에 의해 지연된다. 첫째로는 장치장 크레인의 장거리 이동 때문이다. 수출 컨테이너는 외부 트럭으로 반입되어 육측 HP에서 육측의 장치장 크레인에게 전달된 다음 장치장에 쌓여 있다가, 대상 선박이 입항하면 해측의 장치장 크레인에 의해 꺼내어져 해측 HP에서 내부 이송차량에게 전달된다. 장치장으로 컨테이너가 유입되는 시점에는 장치장 크레인 간의 간섭으로 인한 지연을 피하기 위해 많은 컨테이너들을 유입지점인 육측 HP 근처에 놓게 된다. 그런데 적하 시 유출지점은 유입지점과 정 반대쪽에 있기 때문에 크레인이 먼 거리를 이동을 하게 되어 지연이 발생하는 것이다.

둘째로는 적하 작업 시 발생하는 재취급이 원인이 된다. 재취급이란 꺼내야 할 컨테이너 위에 다른 컨테이너들이 쌓여 있을 경우 그것들을 다른 곳으로 치우는 작업을 말한다. 적하 작업 시 재취급 발생을 막기 위해서는 컨테이너가 적하될 순서에 맞게 쌓여있어야 한다. 적하 순서는 목적항이 가까운 것들을 선박 화물고의 위쪽에 실어야 한다든지 안정성 유지를 위해 무거운 것들을 아래쪽에 실어야 한다는 등의 제약들에 따라 적하 계획 단계에서 결정된다. 그러나 컨테이너가 장치장으로 반입되는 시점에는 아직 적하 계획이 수립되어 있지 않으므로 경험적 규

척에 따라 재취급이 적게 일어날 법한 위치에 장치할 수밖에 없게 된다. 그러나 이렇게 쌓인 컨테이너들 중에는 적하 계획의 순서와 맞지 않는 것들이 많을 수밖에 없어 재취급이 자주 발생하게 되는 것이다.

이상 설명한 지연들이 적하 시 최소화 되도록 하기 위해서는 적하 작업에 앞서서 컨테이너들을 미리 재정돈해 두어야 한다. 재정돈에 관한 연구로는 다음과 같은 것들이 있다. Kim et al. (1998)은 재정돈에 관한 초기 연구로 본 논문의 대상 터미널과 달리 장치장 블록이 안벽에 대해 수평인 재래식 터미널을 대상으로, 반입되어 블록에 장치되어 있는 적하 대상 컨테이너를 목표 선박의 집안 위치와 가까운 블록으로 이적하는 계획을 수립하였다. 강 등(2006)은 장치장 블록의 한 베이(bay: 크레인 몸체 이동 없이 작업할 수 있는 블록 내 한 열에 해당하는 공간) 내에서 컨테이너를 재정돈하기 위해 분지한계법을 사용하는 방안을 제안하였으며, Hirashima et al.(2006)은 한 베이 내에서 컨테이너를 재정돈하기 위해 강화학습을 이용하는 방안을 제안하였다. Kang et al(2006)은 수평 배치 장치장의 재정돈 계획 수립을 위해 부분순서 제약 그래프와 유사 담금질 알고리즘을 이용하였다. Lee et al(2007)은 동일 베이 내에서 컨테이너 이적 시 작업 효율을 향상시키기 위한 최적화 모형을 제시하였다. Park et al.(2009)은 수직 배치 장치장의 재정돈 계획의 수립을 위해 협력적 공진화 알고리즘을 사용하는 방안을 제안하였다. 이들 연구는 재정돈을 위한 작업시간이 충분히 주어진다 가정 하에 대상 컨테이너들을 어떤 위치에 어떤 순서로 옮겨야 적하 시 작업 효율을 최대화 하면서도 재정돈 자체에 소요되는 시간을 최소화 할 수 있을 것인지에 초점을 맞추고 있다. 앞의 방안들과 달리 Park et al.(2010)과 김 등(2009)은 재정돈을 위한 작업시간이 한정되어 있어 모든 컨테이너를 재정돈할 수 없는 상황에서 적하 효율을 최대화하기 위해 적하 지연을 많이 일으키는 컨테이너들을 선택하는 것에 초점을 맞추고 있다. 김 등(2009)은 재정돈 대상 컨테이너를 선택하는 4가지 휴리스틱 방안을 제안하였으며, Park et al.(2010)은 유전알고리즘을 이용하여 컨테이너를 선택하되, 재정돈 소요 시간의 추정치가 부정확할 뿐 아니라 장치장 크레인의 작업 소요 시간에도 불확실성이 존재한다는 점을 감안하여 주기적으로 재정돈 대상 컨테이너를 재선택하는 방안을 제안하였다. 또한, Park et al.(2010)의 연구에서는 재선택할 때 이전 주기에서 진행된 탐색의 마지막 세대 집단을 현 주기 탐색의 첫 세대 집단으로 사용함으로써 탐색 효율을 개선시키는 방안도 제안되었다.

본 논문에서는 Park et al.(2010)의 유전알고리즘을 이용한 방안과 김 등(2009)의 휴리스틱 방안을 보다 엄격하게 비교 실험하여 그 성능을 검증한다. 이를 위해 장치장 크레인 작업의 불확실성 모형을 보다 현실성 있게 설정하였으며, 주기적인 재선택 방안을 휴리스틱 방안에도 적용하여 유전알고리즘을 이용한 선택 방안과 성능을 객관적으로 비교하였다. 원래 Park et al.(2010)의 비교 실험에서는 주기적 재선택을 하는 유전알고리즘을 주기적 재선택을 하지 않는 김 등(2009)의 휴리스틱 방안과 비교함으로써 공정한 검증이 이루어지지 못했다. 또한, 유전

알고리즘을 이용한 방안은 적하 작업 소요 시간을 컨테이너 선택기준으로 하고, 휴리스틱 방안은 주어진 적하 계획에 따라 작업할 때의 예상 적하 지연 정도를 선택기준으로 함으로 인해, 두 방안 간의 비교 결과가 객관적이지 못했다. 본 논문에서 선택기준을 유전알고리즘의 기준으로 통일하여 실험함으로써 비교 결과의 객관성을 확보하도록 한다. 이후 3장에서는 휴리스틱 방안과 유전알고리즘에 의한 재정돈 컨테이너 선택 방안을 소개하고, 4장에서는 Park et al.(2010)이 제안한 컨테이너 재선택 방안에 대해 설명한다.

### 3. 재정돈 컨테이너 선택 방안

재정돈의 목적은 크레인의 유희시간을 이용하여 적하 작업의 효율을 최대한 향상시킬 수 있도록 미리 준비하는데 있다. 따라서 유희시간이 제한되어 있다면 적하 시 장치장 크레인의 이동 거리가 길거나 재취급이 많이 필요한 컨테이너들을 우선적으로 재정돈 대상으로 선택하되, 이렇게 선택된 컨테이너들에 대한 재정돈 작업이 주어진 유희시간 내에 완료될 수 있어야 한다. 그런데 이동거리나 재취급 수와는 달리, 선택된 컨테이너들을 모두 재정돈하는데 소요되는 시간은, 컨테이너가 옮겨질 위치를 확정한 다음 실제로 옮기는 작업까지 시뮬레이션 해 보기 전에는 정확히 알 수 없다. 본 논문에서는 재정돈 대상 컨테이너들이 모두 해측 HP에 가까이 위치한 베이로 재정돈된다는 가정 하에 이동 시 평균 소요시간을 적용함으로써 (실험에서는 평균치를 해측 HP로부터 2번째 베이로 설정) 재정돈 소요시간을 대략적으로 추정한다.

#### 3.1 휴리스틱을 이용한 재정돈 컨테이너의 선택

재정돈 컨테이너를 선택하는 휴리스틱 방안들은 공히 컨테이너들을 재정돈 필요성이 커 보이는 것부터 차례로 정렬한 후 소정의 단위 개수씩 선택해 나가되, 선택된 것들에 대한 추정 재정돈 소요 시간이 크레인 유희시간을 초과하지 않을 때까지 계속한다. 이들 휴리스틱 방안들은 재정돈 필요성의 판정 기준과 선택 단위의 구분 기준에 따라 SUM-S, AVG-S, MAX-S, MAX-C의 4가지로 나뉜다. SUM-S는 각 스택에 쌓여 있는 적하 컨테이너들의 적하 소요시간의 합이 큰 스택부터 스택 단위로 (즉, 스택 내 적하 컨테이너를 모두) 선택한다. AVG-S는 각 스택에 있는 적하 컨테이너의 적하 소요시간 평균치가 큰 스택부터 스택 단위로 컨테이너들을 선택한다. MAX-S는 적하 소요시간이 가장 긴 개별 컨테이너부터 선택하되, 그 컨테이너가 있는 스택 내의 모든 적하 컨테이너를 선택한다. MAX-C는 적하 소요시간이 가장 긴 개별 컨테이너부터 선택하되, 스택 내에서 그 컨테이너와 그 위에 쌓여있는 컨테이너들만 재정돈 대상으로 선택한다.

SUM-S와 AVG-S는 스택 자체를 하나의 선택단위로 보고 스택 내의 모든 적하 컨테이너의 적하 소요시간의 합 또는 평균을 기준으로 삼기 때문에 적하 컨테이너가 많이 쌓여있는 스택을 선호하게 된다. MAX-S는 개별 컨테이너 단위로 적하 소

요시간을 고려하되 선택은 여전히 스택 단위로 한다. MAX-C는 개별 컨테이너 단위로 적하 소요시간을 고려하고, 선택도 스택 내 일부만으로 한정한다.

### 3.2 유전알고리즘을 이용한 재정돈 컨테이너의 선택

재정돈 컨테이너의 선택을 위한 유전알고리즘의 집단 내 개체는 간단한 이진 벡터 형태로 표현된다. 각 유전자의 이진 값은 해당 컨테이너의 재정돈 여부와 대응된다. 예를 들어  $i$ 번째 유전자의 값이 1인 것은  $i$ 번째 컨테이너가 재정돈 대상으로 선택됨을 의미한다. 적하 컨테이너 전체를 대상으로 재정돈 여부를 결정하여야 하므로 개체의 길이는 적하 컨테이너의 개수와 동일하다.

개체의 적합도 평가는 3.1절의 휴리스틱 방안과 같이 적하 소요시간을 기준으로 이루어진다. 즉, 한 개체의 적합도는 그 개체가 선택한 컨테이너들의 적하 소요시간의 합이 클수록 커지되, 선택된 컨테이너들을 재정돈하는데 소요되는 시간이 크레인의 유휴시간보다 길 경우 초과분에 소정의 가중치가 곱해진 만큼이 벌점으로 감해진다.

### 3.3 재정돈 대상 컨테이너의 재선택

이상에서 소개한 재정돈 컨테이너 선택 방안은 컨테이너의 재정돈 목표 위치를 모르는 상태에서 선택된 컨테이너를 재정돈하는데 소요되는 시간을 추정하고 있다. 일단 컨테이너들이 선택되고 나면 간단한 휴리스틱으로 이들의 목표 재정돈 위치가 결정되고 재정돈이 수행되는데, 이 때 실제 소요시간은 예측과 달라질 수 있다. 즉, 주어진 시간 내에 재정돈을 마치지 못하거나 반대로 시간이 남게 되는 것이다. 더욱이 장치장 크레인의 작업에도 시간적 불확실성이 존재하므로, 재정돈 목표 위치를 안다 하더라도 재정돈 작업 소요시간을 정확히 예측하기는 어렵다.

이러한 상황 하에서 재정돈의 효과를 극대화하기 위하여 Ahn et al.(2007)이 제안한 주기적 재계획 방안을 차용하여 주기적으로 컨테이너를 다시 선택하는 방안이 제안되었다. 이 방안은 소정의 주기마다 앞으로 남은 시간 동안 재정돈할 컨테이너들을 다시 선택하고 그렇게 선택된 컨테이너로 계획을 재수립하여 계획과 실제 재정돈 작업과 결과의 차이를 줄이고자 하는 것이다. 당연히, 이미 재정돈된 컨테이너는 다음 계획에서 선택 대상에 포함되지 않는다.

또한, 탐색 성능 향상을 위해 이전 주기에서 진행된 탐색의 마지막 세대 집단을 현 주기 탐색의 첫 세대 집단으로 사용하는 방법이 제안되었다. 주기적 재선택의 경우, 매번 문제가 바뀔 때 따라 유전알고리즘의 집단을 무작위로 다시 생성할 수도 있다. 그러나 앞서 선택된 컨테이너들 중 이미 재정돈이 된 것들을 제외하고 난 나머지와 전혀 다른 컨테이너들이 새로 선택될 가능성은 크지 않다. 이렇게 제안된 해 집단 재사용 방안은 대상 문제의 변화가 크지 않을 경우 이전 해 집단을 재사용함으로써 탐색의 효율을 향상시킬 수 있을 것이란 점에 착안한 것이다.

## 4. 실험

### 4.1 실험 환경

본 논문에서 비교 대상이 되는 재정돈 컨테이너 선택 방안들의 성능을 평가하기 위한 실험 환경은 다음과 같다. 먼저 대상 터미널은 한 선박에 3대의 안벽 크레인이 적하 작업을 수행하는 것으로 가정하였다. 장치장에는 7개의 블록이 있으며 각 블록은 41개의 베이로 이루어져 있고, 각 베이는 10개의 5단 스택으로 구성되어 있다. 각 블록에는 같은 크기의 장치장 크레인 두 대가 설치되어 있지만 해측의 장치장 크레인만 재정돈 작업을 수행한다고 가정하였다. 장치장 크레인은 부산 신항에 건설 중인 자동화 터미널에 도입예정인 장비와 같은 사양을 가지는 것으로 설정하였다.

각 비교 대상 방안에 따라 컨테이너들을 선택하고 재정돈한 결과가 이후 적하 시 효율 향상에 얼마나 도움이 되는지를 알아보기 위해서는 선택된 컨테이너들을 실제로 재정돈한 다음 적하까지 해 보아야 한다. 재정돈을 위해서는 김 등(2009)이 제안한 휴리스틱을 이용하여 계획을 수립하고 시뮬레이션을 수행하였다. 이 휴리스틱은 적하 순서를 감안하여 재정돈될 컨테이너들의 이동 순서와 목표위치를 결정해 준다. 적하 효율 향상 정도를 알아보기 위해서는 역시 시뮬레이션을 통해 장치장 크레인이 블록 내에서 적하 컨테이너들을 모두 해측 HP까지 옮기는데 소요되는 누적 시간을 측정하였다. 장치장 크레인의 경우 이동 소요시간에는 거의 불확실성이 없으나 컨테이너를 집거나 놓는 작업은 컨테이너 장치 상태에 따라 그 소요시간에 상당한 불확실성이 존재한다. 본 연구에서는 현장 조사를 바탕으로 크레인의 컨테이너를 집거나 놓는 동작에 표준 정규분포에 기반을 둔 불확실성이 발생하도록 하였다.

재정돈에 주어진 크레인 유휴시간은 1시간부터 13시간까지 1시간씩 늘려가며 실험하였다. 각 유휴시간 별로 적하될 컨테이너 1000개가 7개의 블록에 서로 다르게 나누어져 있는 10가지 다른 장치상황에 대해 각각 시뮬레이션 실험을 한 후 적하 시 장치장 크레인의 컨테이너 처리 시간을 평균하였다. 시뮬레이션을 위해서는 장치장의 상황 및 크레인의 움직임을 모사할 수 있는 시뮬레이터를 직접 개발하였다. 이 시뮬레이터는 장치장 크레인의 주행, 권상, 권하, 횡행을 가감속을 반영하여 모사할 수 있으며, 이동 거리 및 작업 상황에 따라 작업 수행 시간을 정교하게 계산할 수 있다. 본 연구의 가정이 한 대의 크레인이 작업을 수행하는 상황이므로 크레인 두 대의 간섭 등 복잡한 상황은 시뮬레이션하지 않았다. 또한, 본 연구의 목표는 재정돈 수행 후 블록에서의 적하 시 컨테이너 처리 시간을 최소화하는 것이므로, 이송 차량의 시뮬레이션까지 필요한 안벽 크레인의 효율을 직접 측정하지는 않았다.

유전알고리즘(Genetic Algorithm, 이하 GA)의 집단 크기는 100이며 이진 토너먼트 선택 방식을 사용하였고 각 세대의 최적 개체가 다음 세대로 전달되는 엘리티즘(elitism) 전략을 사용하였다. 자손 생성을 위해서는 이점 교배와 bit-wise

mutation을 사용하였고 변이 확률은  $L$ 을 개체 길이라 할 때  $1/L$ 로 두었다.

상세한 성능 분석을 위해, 제안된 GA를 사용한 방안을 GA-NR, GA-R, GA-RR의 세 가지로 나누었다. GA-NR은 유전알고리즘을 이용하여 재정돈 컨테이너를 한 번 선택한 후 다시 선택하지 않는 방안이다. GA-R은 GA-NR과 같으나 주기적으로 컨테이너를 다시 선택한다. GA-RR은 GA-R과 같으나, 이전 탐색의 결과를 다음 탐색 시 이용하는 방안이다.

모든 방안을 재선택 하지 않는 경우와 5분, 30분의 주기로 재선택하는 경우로 나누어 실험하였다. GA-R과 GA-RR은 재선택 주기가 5분인 경우 10회, 그리고 재선택 주기가 30분인 경우 60회의 세대 변천을 허용하였다. 이는 Park et al.(2010)의 방식대로 탐색 소요시간을 동일하게 주어 성능 비교의 공정성을 기하기 위함이다. GA-NR의 총 세대 변천 수는 재정돈이 이루어지는 유희시간 전체 동안 GA-R과 GA-RR에 허용된 누적 세대 변천 수와 동일하게 하였다.

4.2 실험 결과

Fig. 2와 Table 1은 각 방안들이 처음 선택한 컨테이너들을 재선택 없이 한 번만 재정돈한 후 적하 시 장치장 크레인의 컨테이너 당 평균 처리시간을 보인 것이다. 재정돈 가능 유희시간이 0이라는 것은 재정돈을 하지 않았다는 것을 의미한다. 재정돈 하지 않은 경우에 비해 재정돈 했을 경우에는 적하 시 컨테이너 처리 시간이 최소 10%에서 최대 54%까지 단축되는 것을 확인할 수 있다. 김 등(2009)의 연구에서 보고된 바와 같이 재정돈 시간이 충분하면 (Fig. 2에서 10시간 이상) 어떤 방안이든 비슷한 적하 효율을 달성하지만, 시간이 모자랄 경우 방안 별로 차이가 나고 특히, AVG-S 방안이 보이는 효율이 가장 떨어짐을 볼 수 있다. SUM-S와 MAX-C, MAX-S의 성능은 김 등(2009)의 결과와 달리 거의 유사하게 나타났다. 이는 크레인 불확실성 모형의 차이에 기인한 결과라고 추정된다. 그림에서 확인할 수 있듯이 유전알고리즘을 이용한 컨테이너 선택 방안인 GA-NR이 여러 다른 방법들 보다 약간 나은 성능을 보인다.

Fig. 3은 각 휴리스틱 방안으로 5분마다 컨테이너를 다시 선택하며 재정돈 한 경우 장치장 크레인의 적하 시 컨테이너 처리 시간을 보인 것이다. 재선택하지 않은 경우와의 비교를 위해 Fig. 2에 보인 실험 결과 중 가장 좋은 성능을 보인 GA-NR을 함께 도식화하였다. 상세한 비교를 위해 이 그림에서는 성능 차이가 두드러지는 크레인 유희시간 3 - 10 시간 구간 사이의 결과만 도시하였고, 성능이 너무 많이 떨어지는 AVG-S 방안의 결과는 제외하였다. Fig. 3에서 볼 수 있듯이 4시간 이상의 유희시간이 주어질 때부터 재선택을 적용한 방안들이 GA-NR보다 적하 시 컨테이너 당 처리시간이 최소 10초 이상 더 짧음을 알 수 있다. Park et al.(2010)의 실험에서는 휴리스틱 방안들에 대해서는 재선택 기법을 적용하지 않았기 때문에 재선택이 가져다주는 성능 향상 효과와 탐색이 가져다주는 향상 효과의 구분이 어려웠다. Fig. 3의 실험 결과는 불확실성에 대처하는 주기적 재선택 방안이 휴리스틱에 적용되어도 그 성능을 상당히

향상시킬 수 있다는 것을 보여준다.

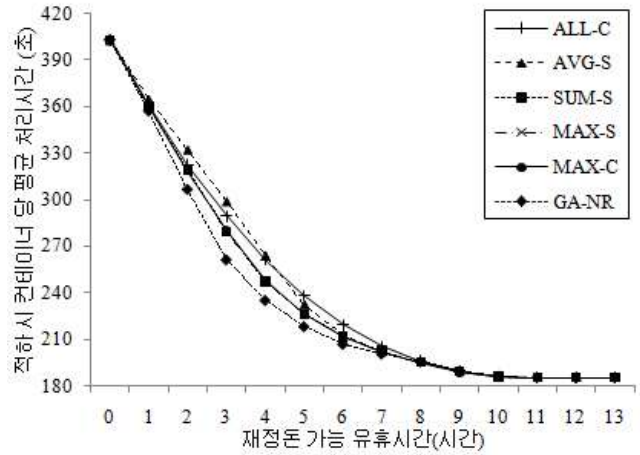


Fig. 2 Average retrieval time per container at loading

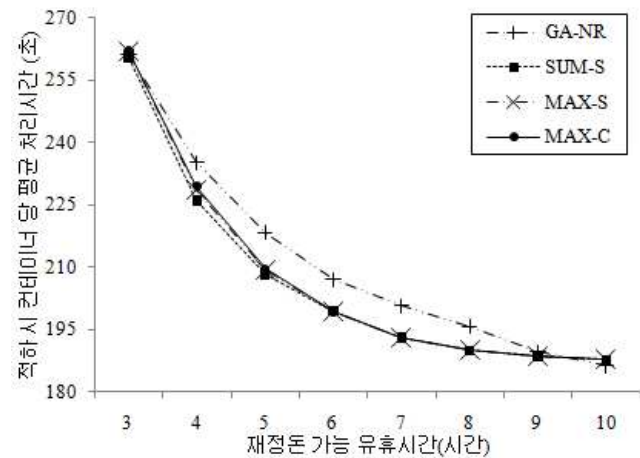
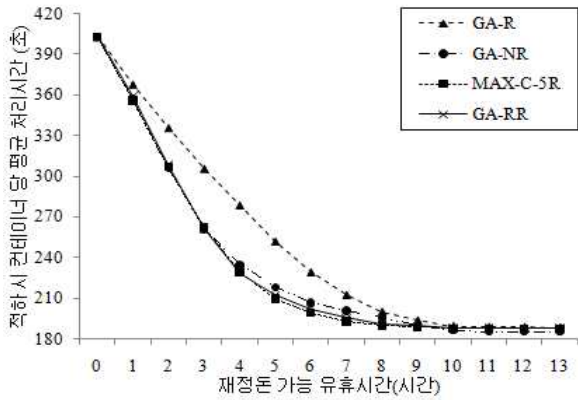


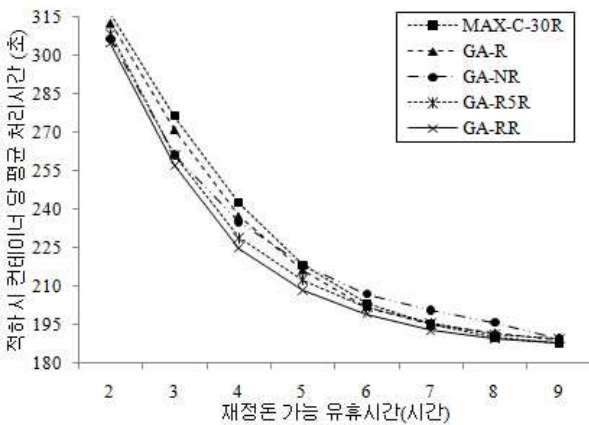
Fig. 3 Average retrieval time per container at loading for each when reselection is not utilized. heuristic methods when the reselection interval is 5 minutes.

Table 1 Average retrieval time per container at loading when reselection is not utilized (seconds)

	0	1	2	3	4	5	6	
SUM-S		360.19	318.85	279.53	247.35	226.22	211.71	
AVG-S		364.60	332.21	298.85	263.88	232.24	212.47	
MAX-S	403.08	360.14	318.87	279.13	247.64	226.34	211.67	
MAX-C		360.10	318.67	279.74	248.05	226.00	211.49	
ALL-C		360.72	322.70	289.32	261.47	238.39	219.39	
GA-NR		356.87	306.50	261.21	235.11	218.28	206.89	
		7	8	9	10	11	12	13
SUM-S		202.07	195.35	189.14	186.13	185.48		
AVG-S		202.24	195.36	189.16	186.14	185.48		
MAX-S		202.15	195.34	189.15	186.14	185.48		
MAX-C		201.98	195.20	189.12	186.14	185.48		
ALL-C		205.64	196.07	189.16	186.14	185.48		
GA-NR		200.68	195.74	189.48	186.27	185.48	185.44	185.44



(a) Reselection interval is 5 minutes.



(b) Reselection interval is 30 minutes.

Fig. 4 Average retrieval time per container at loading for each genetic algorithm based methods.

Fig. 4는 휴리스틱 방안들 중 가장 성능이 좋은 MAX-C와 유전알고리즘 기반의 세 가지 방안들에 대해 모두 재선택을 적용하면서 재정돈 후의 적하 작업 시 장치장 크레인의 컨테이너 당 평균 처리시간을 보여준다. Fig. 4-(a)는 재선택 주기가 5분인 경우의 결과 전체를 보여주고 있으며, Fig. 4-(b)는 재선택 주기가 30분인 경우의 결과 중 성능의 차이가 두드러진 부분만을 집중적으로 보여준다. Fig. 3과 4의 MAX-C-5R, MAX-C-30R은 MAX-C 휴리스틱을 사용하되 각각 5분 또는 30분마다 재선택을 한 방안이다. 그리고 주기가 30분인 경우의 실험결과를 주기가 5분인 경우와 쉽게 비교할 수 있도록 5분 주기에서 가장 성능이 좋았던 GA-RR 방안(GA-R5R)의 결과를 함께 도시하였다. Fig. 4-(a)를 보면 GA-R이 다른 모든 방안에 비해 뚜렷하게 나쁜 결과를 보이고 있다. 그 이유는 본 실험에서도 Park et al.(2010)의 연구에서와 유사하게 매 주기 당 세대 변천 수를 10회로 제한함으로써 인해 상황 변화에 적응하기 위한 탐색이 충분히 이루어지지 못했기 때문 것으로 분석된다. 이는 Fig. 4-(b)에 나타난 재선택 주기가 30분인 경우의 결과를 보면 명확해진다. 재선택 주기가 30분이 되어 주기 당 세대 변천횟수가 60회로 늘어나자 GA-R의 결과가 다른 알고리즘과 비슷한 정도로 뚜렷하게 개선된 것을 확인할 수 있다.

GA-RR은 Fig. 4-(a)에서 보듯이 재선택 주기가 짧아서 허용되는 세대 변천 수가 매우 적을 때에도 여전히 가장 좋은 성능을 보인다 (그림에서는 MAXC-5R과 그 성능이 구별되지 않지만 실제 실험 데이터에서는 근소한 차이가 확인 됨). 이는 직전 주기의 탐색 결과에 해당하는 마지막 세대의 해 집단을 새 주기의 탐색을 위한 초기집단으로 사용하는 전략이 실제로 탐색 효율의 향상에 크게 기여하고 있음을 입증하는 결과라 하겠다. Fig. 4-(b)를 보면 GA-RR의 경우에도 재선택 주기와 더불어 세대 변천 수가 길어지면 성능이 더욱 향상됨을 알 수 있다. Fig. 4의 (a)와 (b)를 비교하여 시각적으로 확인하기는 어렵지만, MAX-C의 경우에는 재선택 주기가 길어질수록 성능이 다소 저하되는 결과를 보임이 확인된 바 있다. 휴리스틱의 경우 계산 부담이 거의 없으나 정교한 계획이 불가능하므로 주기가 짧을 때는 불확실성에 대한 대처가 빨라 성능이 좋지만, 주기가 길수록 대처가 늦어지기 때문에 생기는 현상이다. 그러나 유전 알고리즘에 기반을 둔 방식들은 주기가 너무 짧아 세대 변천 수를 적게 할 경우 탐색이 충분히 이루어지지 못하기 때문에 오히려 좋지 못한 성능을 보이게 되는 점이 다르다.

## 5. 결 론

본 논문에서는 재정돈 작업을 할 수 있는 크레인 유희시간이 제한적일 경우 재정돈 대상 컨테이너를 어떻게 선택하느냐에 따라 적하 시 작업 효율의 개선 정도가 상당히 달라질 수 있다는 것을 실험을 통해 확인하였다. 비교 대상이 되는 휴리스틱 선택 방안 4 가지와 유전알고리즘에 기반을 둔 선택 방안 중에서는 유전알고리즘에 기반을 둔 방안의 성능이 가장 우수하였다. 재정돈 컨테이너 선택 문제는 크레인 작업 소요시간의 불확실성 때문에 동적 최적화 (dynamic optimization) 문제로 분류될 수 있다. 즉, 계획을 실행해 가는 동안 상황의 변화로 인해 계획대로 결과가 달성되지 않게 되는 것이다. 이 문제의 극복 방안으로는 주기적으로 컨테이너를 다시 선택하여 재계획하는 것이 해결책으로 제시된 바 있고 그 효과도 실험적으로 확인되었다. 다만, 휴리스틱 방안의 경우에는 계산 부담이 거의 없기 때문에 재선택 주기가 짧을수록 불확실성에 대한 대처가 빨라서 성능이 좋은 반면, 유전알고리즘 기반의 방안은 탐색에 소요되는 시간 부담 때문에 적절한 세대 변천 수가 보장되는 정도의 주기로 재선택을 하는 것이 유리한 것으로 확인되었다.

본 논문은 실험을 위해 현장 조사를 통해 얻은 통계적인 수치를 토대로 만들어진 데이터를 이용하였다. 그러나 이는 실제 현장의 자료와는 일치한다는 보장이 없다. 따라서 좀 더 정교한 비교를 위해서는 실제 데이터를 대상으로 한 연구가 필요할 것으로 보인다.

## 후 기

“이 논문 또는 저서는 2010년 교육과학기술부로부터 지원받아 수행된 연구임” (지역거점연구단육성사업/차세대물류IT기술 연구사업단)

## 참고문헌

- [1] 강재호, 류광렬, 김갑환(2006), "장치장에서 베이 내 컨테이너의 효율적인 재정돈 방안", 한국지능정보시스템학회, pp. 287-295.
- [2] 김지은, 박기역, 박태진, 류광렬(2009), "제한된 유휴시간을 고려한 자동화 컨테이너 터미널의 재정돈 컨테이너 선택 방안", 한국항해항만학회지, vol. 33, No. 10, pp. 715-722.
- [3] Ahn, E. Y., Park, K., Kang, B. and Ryu, K. R.(2007), "Real Time Scheduling by Coordination for Optimizing Operations of Equipments in a Container Terminal", Proceedings of ICTAI 2007, vol. 1, pp. 44-48.
- [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", Proc. IEEE Conf. 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", 19th International Conference on Industrial, Engineering and Other Applications of Applied Intelligent Systems, vol. 4031, pp. 1211-1220.
- [6] Kim, K. H., and Bae, J. W.(1998), "Re-marshalling export containers in port containers terminals", Computers and Industrial Engineering, 35(3-4), 655-658.
- [7] 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
- [8] Park, T., Kim, J., and Ryu, K. R.(2010), "Iterative Replanning using Genetic Algorithms for Remarshalling in a Container Terminal", Proceedings of AIA 2010, CD, ISBN-(Book)978-0-88986-817-5.
- [9] Park, K., Park, T., and Ryu, K. R.(2009), "Planning for remarshalling in an automated container terminal using cooperative coevolutionary algorithms", Proceedings of SAC 2009, 1098-1105.

---

원고접수일 : 2010년 5월 27일

심사완료일 : 2010년 8월 4일

원고채택일 : 2010년 8월 13일