

자동화 컨테이너 터미널의 복수 장치장 크레인을 위한 실시간 작업 계획 수립

박태진* · 최이** · †류광렬***

*,** 부산대학교 대학원, *** 부산대학교 컴퓨터공학과 교수

Real Time Scheduling for Multiple Yard Cranes in an Automated Container Terminal

Tae-Jin Park* · Ri Choe** · †Kwang-Ryel Ryu***

*,**,***Division of Computer Engineering, Pusan National University, Busan 609-735, Korea

요 약 : 본 논문은 교행이 불가능한 두 대의 자동화 크레인을 운영하는 자동화 컨테이너 터미널의 장치장을 대상으로 국지적 탐색 알고리즘을 이용해 실시간 작업계획을 수립하는 방안을 제안한다. 제안방안은 실시간 제약조건을 만족시키기 위해 현재 이후 일정 시간의 작업만을 작업 계획의 대상으로 삼으며, 장치장의 동적인 작업 특성을 고려하여 새로운 작업이 요청될 때마다 작업 계획을 다시 수립한다. 또한, 교행이 불가능한 두 대의 크레인을 운영할 때 발생할 수 있는 크레인 간의 작업 부하 불균형을 해소하기 위해 작업 계획 과정에서 상대 크레인에 의한 사전 재취급과 사전 이적을 통한 두 크레인 간의 협업을 가능하게 하였다. 시뮬레이션을 이용한 실험 결과 제안 방안이 휴리스틱 방안에 비해 우수하며, 크레인 간의 협업이 작업 효율 향상에 도움이 됨을 확인하였다.

핵심용어 : 자동화 컨테이너 터미널, 장치장 크레인, 실시간 계획, 최적화, 국지적 탐색 알고리즘

Abstract : This paper proposes a realtime scheduling method using local search algorithm for non-crossable yard cranes in automated container terminal. To take into consideration the dynamic property of yard crane operation and satisfy the real time constraint, the proposed method repeatedly builds crane schedule for the jobs in a fixed length look-ahead horizon whenever a new job is requested. In addition, the proposed method enables the co-operation between yard cranes through prior re-handling and re-positioning in order to resolve the workload imbalance problem between the two cranes, which is one of the primary causes that lower the performance of yard cranes. Simulation-based experiments have shown that the proposed method outperforms the heuristic based methods, and the cooperation scheme contributes a lot to the performance improvement.

Key words : Automated container terminal, Yard crane, Real-time scheduling, Optimization, Local search algorithm

1. 서 론

컨테이너 터미널에서는 계획 수립과 하역 장비 운영 등에 상당히 많은 인력을 필요로 하고 있다. 최근 들어 인건비 상승, 초대형 선박의 등장에 따른 작업 생산성 향상 요구 증가 등의 이유로 국내에서도 여러 자동화 터미널의 건설이 계획되고 있다. 컨테이너 터미널의 주요 하역 장비로는 안벽크레인, 내부이송차량, 장치장 크레인의 3가지가 있다. 일반적으로 자동화 컨테이너 터미널에서는 내부이송 차량으로 무인화된 AGV (automated guided vehicle) 또는 ALV (automated lifting vehicle)를 그리고 장치장 크레인으로는 역시 무인화된 ASC(automated stacking crane)를 사용하고 있으며, 최근에 이들 자동화 장비를 이용한 컨테이너 터미널 운영에 대한 많

은 연구가 있어 왔다 (Evers and Koppers, 1996; Kim and Bae, 2004; 최 등, 2006; Kozan and Preston, 1999; 김 등, 2005).

자동화 컨테이너 터미널의 장치장 블록들은 안벽에 대해 수직으로 배치되며 선박 작업과 외부 트럭은 서로 다른 반대편 끝에서 이루어진다. 이런 이유로, 각 블록에 한기의 ASC만을 배치했을 경우 선박 작업과 외부 트럭 작업을 동시에 수행할 수 없는 한계가 있다. 따라서, 대부분의 자동화 컨테이너 터미널에서는 각 블록마다 2기 또는 그 이상의 ASC를 배치하고 있다. 그러나, 이와 같이 각 블록에 2기 이상의 ASC를 배치할 경우 이들 크레인의 작업 계획을 수립할 때 크레인들 간의 간섭을 추가적으로 고려해야 하므로 보다 복잡한 작업 계획 수립 방안을 필요로 한다. 여기에 추가로 각 블록에 배치된 크레

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

** 정회원, choilee@pusan.ac.kr 051)510-3531

† 교신저자 : 류광렬(중신회원), krryu@pusan.ac.kr 051)510-2453

인이 교행이 불가능하여 각 크레인이 선박 작업과 외부 트럭 작업 중 어느 한쪽 작업만을 처리할 수 있게 됨으로 인해 한쪽 크레인에 작업이 편중되고 다른 한 크레인은 작업이 배정되지 않는 작업 부하 불균형 문제가 발생할 수 있다. 최근의 자동화 장치장 운영에 관한 기존 연구들 중 일부는 크레인 간의 간섭을 고려한 운영 방안을 연구하였다 (오 등, 2005; Ng, 2005; Ng and Mak, 2005). 그러나 교행 불가능한 크레인들 사이에서 발생할 수 있는 부하 불균형 문제에 대해서는 아직 연구가 많이 이루어져 있지 않다.

두 크레인 사이의 협업은 이러한 부하 불균형 문제해결에 도움을 줄 수 있다. 크레인이 어떤 컨테이너를 꺼내는 작업을 수행할 때 대상 컨테이너 위에 다른 컨테이너가 쌓여 있다면 그것을 다른 위치로 옮기는 추가적인 재취급 작업이 발생할 수 있다. 대개는 이 재취급 작업을 원래 작업과 묶어서 계획을 수립하기 때문에 대상 컨테이너를 꺼내려는 크레인이 이 재취급 작업도 같이 수행한다. 그러나 만약 재취급을 독립된 별도의 작업으로 간주한다면, 상대 크레인이 유틸 시간을 활용하여 이 재취급 작업을 대신 수행해 줄 수 있을 것이다. 또한, 컨테이너의 장치 위치가 실려야 할 내부이송차량이나 외부 트럭의 정차 위치로부터 매우 멀리 떨어져 있을 경우 이를 그와 가까운 위치로 미리 이동시켜 두는 사전 이적작업을 독립된 작업 계획 대상으로 추가 하게 되면, 역시 상대방 크레인이 유틸 시간을 활용하여 대신 수행해 주도록 할 수 있을 것이다. 이와 같이 추가적인 재취급이나, 사전 이적작업을 작업 계획 대상에 추가하여 여유가 있는 크레인이 수행하게 하면, 처리해야 할 작업이 많은 크레인의 부담을 여유가 있는 크레인이 덜어 줌으로써 부하 균등화에 많은 도움이 된다.

그러나 협업 작업을 작업 계획의 대상으로 포함시킬 경우 크레인 작업 계획 수립 시 의사결정 사항이 늘어나 기존 연구에서 주로 사용하는 휴리스틱 기반의 방법으로는 작업 계획을 수립하기가 어려워진다. 장치장 크레인에 작업을 할당하는 문제는 크레인에 의해 작업 할당 요청이 발생한 후 수초 이내에 이루어져야 한다. 이에 기존 연구들은 대부분 그 시점에 가장 좋아보이는 작업을 크레인에 할당하는 휴리스틱 기반의 방법을 사용하였다. 그러나, 앞서 언급한 바와 같이 크레인 간의 협업을 위해 사전 재취급이나 사전 이적을 작업 계획의 대상으로 포함시킬 경우 이들 사전 작업을 수행할지 여부부터 결정해야 하며, 만약 수행할 경우 어느 크레인이 언제 수행할지, 컨테이너를 어느 위치에 임시로 장치시킬지도 결정해야 한다. 그러나 기존 연구에서 사용하고 있는 휴리스틱 기반의 장치장 크레인 운영 방안으로는 이러한 것들을 모두 고려할 수 없다.

본 논문은 교행이 불가능한 두 대의 ASC를 운용하는 자동화 장치장을 대상으로 국지적 탐색 알고리즘을 이용해 크레인 간의 협업을 고려한 작업 계획을 수립하는 방안을 제안한다. 제안 방안은 재취급 작업과 사전 이적 작업 및 이와 관련된 의사 결정 사항들을 탐색 대상에 포함시켰으며, 이를 위한 적절한 해의 표현 방법과 해석 방법을 제안하였다. 휴리스틱 방

안과 달리 탐색 기반의 방안이 좋은 해를 얻기 위해서는 탐색을 위한 충분한 계산 시간이 필요하다. 크레인이 하나의 작업을 수행하는데 보통 수분이 소요되므로 본 연구에서는 이 시간을 활용해 작업계획을 위한 탐색을 수행하도록 하였다. 그러나 이 경우에도 여전히 탐색 시간의 제약이 존재하기 때문에, 장치장 크레인 운영의 실시간 제약 조건을 만족시키기 위해 계획 대상 기간의 길이를 비교적 짧게 함으로써 계획 대상 작업의 수가 너무 많지 않게 하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 자동화 장치장에서의 크레인 작업에 대해 간략히 설명한다. 3절에서는 크레인 사이의 협업의 필요성과 협업을 수행하는 방법을 설명한다. 4절에서는 휴리스틱을 기반으로 한 크레인 작업 할당 방안을 제시하고, 5절에서는 지역적 탐색알고리즘을 이용한 크레인의 작업계획 최적화 방안 및 최적화 시 협업을 고려하는 방법을 설명한다. 6절에서는 제안방안의 효과를 검증하기 위한 실험에 대해 설명하고 실험결과를 분석한다. 마지막으로 7절에서는 결론을 맺고 향후 연구에 대해 논의한다.

2. 자동화 컨테이너 터미널의 장치장 크레인 운영

2.1 자동화 컨테이너 터미널의 장치장

컨테이너 터미널은 크게 안벽, 장치장, 게이트의 세 부분으로 나누어진다. 안벽은 컨테이너선이 정박하는 곳이며, 안벽에는 안벽 크레인이 있어 선박에 컨테이너를 내리거나 실는다. 장치장은 수출입 컨테이너를 선적 또는 반출 전에 임시로 보관하는 장소이다. 마지막으로 게이트는 터미널 외부로 통하는 출입구로서 터미널 외부로의 컨테이너 운반은 게이트를 통해 들어온 외부트럭에 의해 이루어진다. Fig. 1은 자동화 컨테이너 터미널의 개략적인 구성을 보여준다.

장치장은 여러 개의 블록으로 구성되며, 하나의 블록은 많은 수의 스택으로 구성되는데 각 스택마다 동일한 크기의 컨테이너를 여러 개 포개어 쌓아 보관한다. 블록 내에서는 레일 위를 운행하는 장치장 크레인을 이용하여 컨테이너를 운반한다. 기존의 수동 터미널에서는 장치장 블록들을 장치장 크레인의 이동방향을 기준으로 안벽에 대해 수평으로 배치하고 각 블록의 안벽 쪽(해측) 측면과 게이트 쪽(육측) 측면에 컨테이너 교환을 위한 HP(handover point)를 설치한다. 반면, 자동화 컨테이너 터미널에서는 작업자의 안전을 위해 무인장비의 작업영역과 사람이 작업하는 영역을 분리해야 한다. 이를 위해 장치장 블록들을 안벽에 대해 수직 방향으로 배치하고 각 블록의 해측 끝단과 육측 끝단에 HP를 설치하여, 해측 HP에서는 AGV가 육측 HP에서는 외부트럭이 작업하도록 함으로써 AGV와 외부트럭의 작업영역이 겹치지 않도록 한다.

장치장의 작업은 본선작업과 외부트럭 작업으로 나누어진다. 본선작업은 양화와 적화 작업이 있고 외부트럭 작업은 반입과 반출 작업이 있다. 수입컨테이너가 배에서 내려지면 AGV에 의해 해측 HP까지 운반되고 ASC가 장치장 내부에

쌓는데 이를 양화작업이라 한다. 수입컨테이너는 장치장에서 일정 기간 보관된 후 육측 HP를 통해 외부트럭에 전달되고 게이트를 거쳐 터미널 외부로 반출되는데 이를 반출작업이라 한다. 반대로 수출컨테이너는 외부트럭에 의해 육측 HP까지 운반된 후 선박이 도착할 때까지 장치장에 보관되는데 이를 반입작업이라 한다. 선박이 도착하면 컨테이너는 해측 HP를 통해 AGV에 전달되며 이후 안벽크레인에 의해 컨테이너선에 선적되며 이를 적화 작업이라 한다.

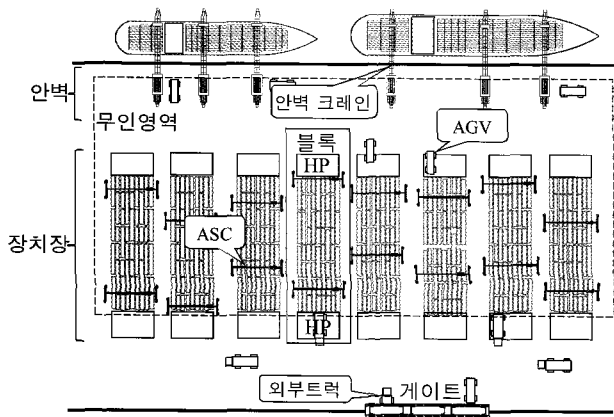


Fig. 1 The layout of an automated container terminal

본 논문의 대상 장치장에는 각 블록마다 크기가 동일한 두 기의 ASC가 사용된다고 가정하였다. 본 논문에서는 두 크레인 중 해측 HP에 가까운 크레인을 해측 크레인, 육측 HP에 가까운 크레인을 육측 크레인이라 한다. 각 크레인은 크기가 동일하기 때문에 서로 교행이 불가능하며, 이로 인해 작업이나 이동시 크레인 사이에 간섭이 발생할 수 있다. 수평 배치 장치장의 경우 HP가 블록의 측면에 위치하므로 두 ASC가 간섭을 일으키지 않고 동시에 서로 다른 본선 작업을 수행하거나 외부트럭 작업을 수행하는 일이 가능하다. 반면, 수직 배치 장치장에서는 HP가 블록의 해측 끝단과 육측 끝단에 각각 위치하므로 육측 크레인이 해측 HP의 작업을 수행하기 위해서는 해측 크레인이 블록 바깥으로 비켜줘야 하고 해측 크레인이 육측 HP 작업을 하는 경우도 마찬가지이다. 두 가지 경우 모두 한 크레인이 작업하는 동안 상대 크레인이 작업을 수행하지 못하기 때문에 크레인 생산성에 나쁜 영향을 미치게 된다. 따라서 수직 배치 장치장에서 교행이 불가능한 두 기의 크레인을 사용하는 경우에는 해측 HP의 작업은 해측 크레인이, 육측 HP의 작업은 육측 크레인이 전담하여 처리하게 하는 것이 일반적이다. (Saanen and Valkengoed, 2005).

2.2 장치장 크레인 작업계획 수립

기존의 수동 컨테이너 터미널의 경우 각 ASC가 전담할 안벽크레인이 한 기씩 지정되며, 각 ASC는 지정된 안벽크레인을 위한 작업만을 수행한다. 이 경우, 각 ASC의 작업 순서는 안벽크레인의 적화 또는 양화 순서에 의해 의존적으로 결정되

기 때문에 운영 시 추가적인 의사결정 사항이 없어 운영이 간단해 지는 장점이 있다. 반면, 안벽크레인의 작업처리능력과 이 안벽크레인에 할당된 모든 ASC의 작업처리능력의 합이 동일하지 않을 경우, 한 종류의 장비의 작업처리능력이 낭비되는 문제가 있을 수 있다. 이러한 문제에 대처하기 위해, 자동화 컨테이너 터미널에서는 각 ASC를 특정 안벽 크레인에 할당하지 않고 여러 안벽크레인의 작업을 처리할 수 있도록 함으로써, 장비의 운영 효율을 극대화 한다. 그러나, 이러한 운영 방식은 각 ASC가 어떤 안벽 크레인의 작업을 먼저 처리할지를 추가로 결정해야만 한다. 본 논문에서는 이러한 의사결정을 위해 휴리스틱 기반의 방법과 국지적 탐색 기반의 방법을 사용해 크레인의 작업 계획을 수립하였다.

장치장 크레인의 운영은 매우 동적인 특성을 가지고 있다. 반출입 작업의 경우에는 외부 트럭의 운행 계획이 별도로 없으므로 트럭이 게이트를 통과할 때마다 새로운 외부트럭 작업이 요청된다. 반면, 본선 작업은 양적화 작업 계획을 따르기 때문에 AGV의 도착시간을 어느정도 예측할 수 있다. 그러나 안벽크레인의 작업 지연, AGV 사이의 간섭으로 인한 지연 등으로 인해 AGV 도착시간의 예측이 정확하지 않으므로 크레인 작업계획을 수립할 때 이러한 불확실성을 고려해야만 한다. 이와 같은 동적인 특성을 감안하여 본 논문에서는 새로운 작업이 요청될 때마다 크레인 작업계획을 다시 수립하도록 한다.

한편, 크레인이 쉬지 않고 작업을 수행하기 위해서는 크레인 작업을 완료할 때마다 즉시 다음에 수행할 작업을 지시해 주어야 한다. 하나의 작업을 크레인에 할당한 후 그 작업이 끝나기 전까지 다음에 수행할 작업을 결정해줘야 하며, 실제 터미널에서 이 시간은 수십 초에서 수 분 사이이다. 휴리스틱에 바탕을 둔 크레인 작업할당 방안은 간단한 휴리스틱 룰에 의해 현재 요청된 작업 중에서 가장 적절해 보이는 작업을 선택하여 크레인에 할당하므로 매우 짧은 시간 안에 크레인에 작업을 할당할 수 있다. 이와 달리 탐색에 바탕을 둔 방안은 현재부터 향후 일정 시간 이내에 발생할 작업들만 탐색의 대상으로 사용함으로써 연산 시간을 줄인다. 그와 더불어 작업계획 수립을 위한 탐색을 수행하는 동안에는 이전에 수립된 계획에 따라 크레인이 작업을 수행할 수 있도록 함으로써 실시간 제약을 만족시켰다.

장치장 생산성을 높이기 위해서는 본선작업과 외부트럭 작업이 모두 효율적으로 이루어져야 한다. 본선작업을 수행할 때에는 양적화 작업계획에 따라 AGV와의 컨테이너 교환이 이루어지며 각 작업마다 최종 기한이 존재한다. AGV의 작업 지연은 안벽크레인의 지연을 야기하여 선박의 정박시간을 늘리기 때문에 AGV의 지연을 줄이는 것은 매우 중요하다. 외부트럭 작업의 경우 트럭의 도착 시간이 불규칙하기 때문에 본선작업처럼 각 작업의 최종 기한을 예측할 수 없으며 게이트를 통과한 트럭의 작업에 대해서만 크레인 작업을 계획한다. 이 때 외부트럭이 육측 HP에 도착한 후 서비스를 받을 때까지 대기하는 시간을 줄일수록 트럭에 대한 서비스 수준을 높일 수 있다. 따라서 본 논문에서는 크레인 작업 계획의 효율을

판단하는 척도로서 AGV의 작업 지연 시간과 외부트럭의 대기시간을 사용한다.

3. 두 크레인 간의 협업 계획 수립

앞서 언급한 바와 같이, 두 대의 교행 불가능한 크레인을 사용하는 수직 배치 장치장에서는 해측 HP와 육측 HP에서의 작업을 해측 크레인과 육측 크레인에 각각 나누어 전담시킨다. 이 때, 크레인의 작업효율을 최대한으로 올리기 위해서는 두 크레인 간의 협업이 매우 중요하다. 장치장의 해측 작업과 육측 작업은 시간에 따른 작업의 분포가 동일하지 않기 때문에 해측 또는 육측 한쪽으로 작업부하가 집중되는 상황이 자주 발생한다. 이 경우 부하가 집중된 쪽 크레인의 작업은 지연되는 데 반해 반대쪽 크레인은 처리할 작업이 없는 상황이 발생한다. 따라서 블록의 생산성을 향상시키기 위해서는 부하가 적은 크레인이 부하가 많은 크레인의 작업을 보조해 주는 협업을 통해 작업부하를 분산할 수 있어야 한다. 본 절에서는 협업의 수단으로 사전 재취급 작업과 사전 이적 작업을 설명한다.

3.1 사전 재취급 작업

사전 재취급 작업은 적화작업이나 반출작업 시 소요시간을 줄이기 위해 재취급 작업을 미리 수행해 놓는 것을 말한다. 컨테이너를 스택에서 꺼내기 위해서는 대상 컨테이너의 위에 쌓인 컨테이너를 치워야 하는데 이를 재취급 작업이라 한다. 적화 또는 반출 작업에 소요되는 시간은 크레인이 목적 컨테이너를 운반하는 시간뿐만 아니라 그 위에 쌓인 컨테이너를 재취급 하는 시간이 포함된다. 재취급 작업이 빈번하게 발생하면 적화 또는 반출 작업을 처리하는데 소요되는 평균 시간이 증가하게 되어 크레인의 작업효율이 감소하게 된다. 따라서 이러한 재취급 작업을 본 작업을 시작하기 전에 미리 수행해 놓을 수 있다면 본 작업 수행 시 소요시간을 줄일 수 있다. 특히, 부하가 적은 크레인이 부하가 많은 크레인의 재취급 작업을 미리 처리하게 함으로써 부하가 많은 크레인의 작업 부하를 부하가 적은 크레인으로 분산할 수 있다.

3.2 사전 이적 작업

본 논문에서 말하는 사전이적 작업이란 이동 거리가 긴 컨테이너를 미리 그 컨테이너가 차량에 실릴 작업 HP와 가까운 위치로 옮겨 두는 작업이다. 컨테이너가 작업 HP에서 가까운 위치에 장치되어 있을수록 크레인의 이동거리가 짧아지고 다른 크레인과의 간섭확률 또한 감소한다. 따라서 적화 또는 반출 컨테이너를 그 컨테이너의 작업 HP에 가까운 위치에 장치할수록 크레인의 작업효율을 증가시킬 수 있다. 그러나 수직 장치장의 경우 컨테이너가 들어오는 HP와 이후 장치장을 나가는 HP가 서로 반대쪽에 위치하고 있으므로 인해 어려움이 발생한다. 수출 컨테이너의 경우 육측 HP를 통해 장치장에 반입되고 이후 적화 작업 시 해측 HP를 통해 장치장을 나간다.

수입 컨테이너의 경우 해측 HP를 통해 장치장에 들어온 후 육측HP를 통해 장치장 밖으로 반출된다. 수출 컨테이너의 반입 작업 시간을 줄이기 위해서는 컨테이너를 육측 HP와 가까운 위치에 장치하는 것이 유리하겠지만 이후 대상 컨테이너가 적화 되는 시점에는 해측 크레인의 이동거리가 늘어나게 되어 해측 크레인의 생산성을 떨어뜨리게 된다. 반대로 적화 작업에 드는 시간을 줄이기 위해 해측 HP에 가까운 곳에 장치하게 되면 육측 크레인의 이동거리가 증가하게 되어 육측 생산성이 감소하게 된다. 더구나 육측이든 해측이든 크레인의 이동 거리가 길어지면 크레인 사이의 간섭확률이 증가하여 지연이 발생할 수 있다.

이와 같은 문제를 해결하기 위해서는 앞서 언급했던 사전이적이 필요하다. 사전 이적 작업을 위해서는 컨테이너를 원래의 위치에서 다른 위치로 옮기는 작업이 추가적으로 수행되어야 하기 때문에 전체 작업량이 늘어나게 된다. 그러나 작업부하가 적은 크레인이 유휴시간을 이용하여 작업부하가 많은 크레인이 작업할 컨테이너를 작업 HP 가까이로 옮겨 준다면 두 크레인 사이의 작업 부하를 어느 정도 분산할 수 있으며 결과적으로 장치장의 전체적인 생산성 향상을 기대할 수 있다.

4. 휴리스틱 기반 크레인 작업 할당

본 절에서는 두 대의 교행 불가능한 크레인을 대상으로 휴리스틱을 이용하여 크레인에 작업을 할당하는 방안을 제안한다. 휴리스틱을 바탕으로 하는 크레인 작업 할당 방안(HCD: Heuristic based Crane Dispatching)은 한 크레인이 작업을 완료할 때마다 대기 중인 작업 중 하나를 휴리스틱 규칙에 의해 선택하여 크레인에 할당한다. HCD는 작업할당 시 주 작업 외에도 사전 재취급 작업을 고려하여 작업을 할당한다. 재취급 작업은 다른 컨테이너 아래에 있는 컨테이너에 대해 작업을 수행하기 위해서 반드시 선행되어야 하는 작업이며 재취급 시 이동위치도 근처에 있는 적화또는 반출작업이 없는 스택 중에 하나를 선택하면 되기 때문에 의사결정이 간단하다. 반면, 사전 이적 작업은 크레인이 컨테이너를 집고 내리는 동작을 추가로 필요로 하며 크레인의 이동거리도 재취급 작업에 비해 길기 때문에 다른 크레인과 간섭이 발생할 확률이 높아진다. 따라서 사전 이적을 수행하였을 때 얻을 수 있는 이득에 대한 정확한 예측 없이 근시안적으로 사전 이적을 수행하는 것은 오히려 크레인의 작업효율을 떨어뜨릴 가능성이 있다. 이러한 이유로 HCD를 사용할 때에는 크레인 작업 할당 시 협업을 위한 보조 작업 중 사전 재취급만 고려하며 사전 이적은 고려하지 않는다.

HCD는 크레인이 수행 가능한 후보 작업을 결정하는 여과 단계와 후보 작업 중에서 수행할 작업을 선택하는 작업 선택의 두 단계로 구성된다. 휴리스틱에 의한 작업 할당 절차는 다음과 같다. 작업을 완료한 크레인이 다음 작업 할당을 요청하면 수행 가능한 주 작업과 보조 작업 모두를 대상으로 여과 휴리스틱을 이용해 할당 후보 작업들을 선별한다. AGV나 의

부트럭이 도착하지 않은 경우 크레인이 작업을 완료하지 못하고 차량이 도착할 때까지 HP에서 대기해야 하며 이는 크레인의 불필요한 대기 시간을 초래할 수 있기 때문에, 주 작업의 경우 HP에 AGV나 외부트럭이 도착한 작업만 수행 가능한 작업으로 본다. 반면, 재취급 작업은 AGV나 외부트럭의 도착 여부에 관계없이 수행 가능하므로 항상 수행 가능한 작업으로 본다. 그러므로 AGV나 외부트럭이 도착하지 않더라도 재취급 작업은 후보 작업으로 선택될 수 있기 때문에 주 작업을 수행하기 훨씬 전에도 수행이 가능하다. 할당 후보 작업을 선택한 후에는 작업 선택 휴리스틱을 이용해 모든 작업을 평가해 가장 좋은 하나를 선택하여 크레인에 할당한다.

작업 여과 휴리스틱은 크레인 사이의 협업을 얼마나 고려할지에 따라 그 종류를 달리한다. 본 논문에서는 여과 휴리스틱으로 세 가지 종류를 사용하였다. 첫 번째 휴리스틱은 본선 작업의 재취급 작업은 해측 크레인이 모두 처리하고 외부트럭 작업의 재취급 작업은 육측 크레인이 처리하게 한다. 이는 주 작업을 수행할 크레인에 재취급 작업도 할당하는 방안으로 두 크레인 사이의 협업을 고려하지 않는 방안이다. 두 번째로는 두 크레인 사이의 협업을 허용하는 것이다. 단, 크레인 사이의 간섭을 줄이기 위해 블록을 삼등분한다. 그 중 해측에 가까운 부분의 작업은 해측 크레인이 육측 크레인에 가까운 부분의 작업은 육측 크레인이 전담하고 가운데 부분의 작업은 두 크레인이 모두 처리할 수 있도록 하며 어느 크레인이 작업할지는 작업 선택 휴리스틱에 의해 결정된다. 마지막 휴리스틱 또한 두 크레인 사이의 협업을 고려한다. 본선 작업이 외부트럭 작업보다 중요하므로 재취급 작업은 육측 크레인이 전담되되 다만 해측 크레인과 간섭을 피하기 위해 해측으로부터 삼분의 일 지점까지의 재취급은 해측 크레인이 처리하도록 하는 것이다.

작업 선택 휴리스틱으로 잘 알려진 최단마감시간우선(Earliest Deadline First, EDF)과 최소공차주행(Minimum Empty Travel, MET) 휴리스틱을 사용하였다. EDF는 각 작업의 마감시간(deadline)을 고려하여 마감시간이 가장 빠른 작업을 후보작업 중에서 선택하는 방법이다. 본선작업의 경우 작업의 지연은 곧 안벽크레인의 작업지연으로 이어지므로 작업의 마감시간을 중시한다. 단, 외부트럭 작업의 경우 마감시간이 정해져 있지 않으므로 블록에 도착한 시간 후 일정 시간(실험에서는 15분)을 마감시간으로 설정하였으며 결과적으로 블록에 도착된 순서대로 크레인에 작업이 할당된다. MET는 크레인의 현재 위치에서 가까운 곳에 있는 작업을 우선 할당하는 방법이다. 이 방법은 크레인의 무부하 이동시간(empty travel time)을 줄이는 것을 목적으로 하며 각 작업의 마감시간은 고려하지 않는다. 앞서 소개한 작업 여과 휴리스틱과 작업 선택 휴리스틱을 조합하면 EDF1, EDF2, EDF3, MET1, MET2, MET3의 6 가지 크레인 작업 할당 방안이 생긴다.

HCD는 간단하고 계산 부담이 적어 실시간 제약이 있는 응용에 적합하다. 반면, 미래에 수행될 작업에 대해 계획을 수립하지 않고 현재 상황만을 고려하여 작업을 할당하므로 근시안적인 작업 계획만을 수립할 수 있다. 또한 협업을 위한 수단으

로 사전 재취급만 고려하며 사전 이적은 고려하지 못하는 한계가 있다. 다음 절에서는 이러한 근시안적인 작업할당의 단점을 보완하기 위해 향후 일정한 기간에 수행될 작업에 대해 계획을 수립하고 이를 바탕으로 크레인에 작업을 할당하는 방안에 대해 설명한다.

5. 지역적 탐색을 이용한 크레인 작업 계획 수립

본 절에서는 지역적 탐색알고리즘을 이용하여 교행이 불가능한 두 대의 크레인의 작업 계획을 수립하는 방안을 제안한다. 지역적 탐색을 이용한 크레인 작업 계획 방안(Local search based Crane Scheduling method, LCS)은 보다 효율적인 작업을 위하여 현재 대기 중인 작업뿐 아니라 향후 일정 시간 동안에 발생할 작업들까지 계획 대상에 포함하며 크레인의 작업계획을 최적화하기 위해 지역적 탐색알고리즘을 이용한다. 계획 수립에 포함되는 시간을 비교적 짧게 잡아 대상 작업의 수를 제한하는데, 이는 문제의 규모를 줄임으로써 실시간 제약을 만족하고자 하는 이유도 있지만 장치장 운영의 동적인 특성에 의해 먼 미래의 작업의 경우 불확실성이 너무 커져 작업계획 시 고려를 한다 해도 크게 의미가 없기 때문이다. 실험에서는 마감시간이 현재부터 향후 일정 시간(실험에서는 15분) 이내인 작업에 대해 작업계획을 수립하였다. LCS를 위해서는 해의 정의, 이웃해 생성 방법 및 해 평가방법이 필요하다. HCD가 한 크레인이 작업을 완료할 때마다 새 작업을 할당하는 것과는 달리 LCS는 하나의 블록을 대상으로 새로운 작업 요청이 있을 때 마다 그 때까지 요청된 작업들 중 앞의 마감시간 조건을 만족하는 작업들에 대해 작업계획을 수립한다. 작업계획 수립의 결과로 각 크레인에 작업이 할당되고 크레인의 작업 순서와 크레인 간 간섭 발생 시 우선순위가 결정된다. 한 크레인이 작업을 완료하면 가장 최근에 수립된 작업 계획으로부터 그 크레인에 할당된 작업 중 가장 순서가 앞선 작업이 크레인에 할당된다.

5.1 해의 표현 및 초기해 생성

제안방안에서 국지적 탐색을 위한 해는 1차원 배열 형태로 표현된다. 이 배열에는 컨테이너 운반 작업과 작업을 처리할 크레인이 값으로 들어간다. 작업의 종류에는 적화(l), 양화(d), 반입(i), 반출(o)의 네 가지 주 작업과 재취급(r), 사전 이적(p)의 두 가지 보조 작업이 있다. 주 작업의 수가 매 번 다를 수 있으며 보조 작업의 수 또한 장치장의 컨테이너 장치 상태에 따라 달라지므로 매 작업계획 시 해의 길이는 서로 다를 수 있다. 해에서 나열된 순서는 각 크레인에 할당된 작업의 수행 순서가 된다. 두 크레인 사이에 간섭이 발생할 경우에는 해에서의 순서가 앞선 작업이 먼저 처리되도록 크레인 사이의 우선순위를 부여한다.

초기해는 다음과 같이 생성된다. 우선 주 작업을 요청된 순서대로 나열한다. 그 후 모든 적화와 반출 작업에 대해 사전 이적 작업 하나를 생성한다. 또 적화, 반출 작업의 대상 컨테

이너 중 스택의 가장 아래에 위치한 컨테이너들을 찾아 그 위에 쌓인 모든 컨테이너에 대해 재취급 작업을 생성한다. 이렇게 생성된 보조 작업들은 주 작업 바로 뒤에 삽입된다. 이후 해를 해석할 때 주 작업 뒤에 있는 보조 작업들은 무시되는데, 이는 작업계획을 위한 탐색이 협업을 고려하지 않는 작업계획에서부터 시작함을 의미한다. 마지막으로 크레인을 할당하는데, 크레인이 서로 교행할 수 없으므로 주 작업의 경우 본선 작업에는 해측 크레인을 할당하고 외부트럭 작업에는 육측 크레인을 할당한다. 보조 작업의 경우 육측, 해측 크레인 중 하나를 임의로 할당한다. 한편, 이후 다시 작업 계획을 수립할 때에는 이전에 수행한 탐색의 해로부터 완료된 작업을 제거하고 새로 요청된 주 작업과 그에 따른 보조 작업을 해의 마지막에 추가하여 초기해로 사용한다. Fig. 2는 초기해 생성의 예를 보여준다. Fig. 2와 같이 같은 스택에 쌓여있는 세 컨테이너 c_1, c_2, c_3 중 c_1 과 c_3 에 대해 각각 반출 작업 o_1 과 o_3 가 요청되었다고 가정한다. 해에는 반출 작업 o_1, o_3 와 사전 이적 작업 p_1, p_3 이 추가된다. 또 컨테이너 c_3 가 반출되기 위해 필요한 재취급작업 r_1, r_2 이 추가되어 총 6개 작업이 존재한다. 그림에서 각 작업의 아래첨자 번호는 그 작업의 대상 컨테이너의 아래첨자 번호와 같다. 또한 아래첨자 L 은 그 작업에 육측 크레인이 할당되었음을 의미하며 S 는 해측 크레인이 할당되었음을 의미한다. 그림의 해에서 o_{1L} 는 컨테이너 c_1 의 반출작업에 육측 크레인이 할당되었음을 의미한다.

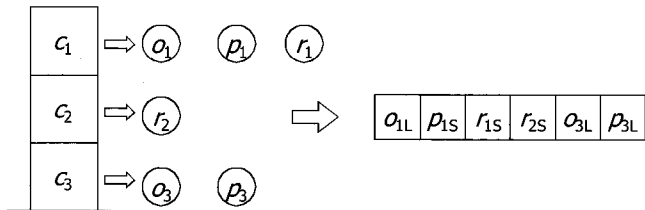


Fig. 2 An example of initial solution

5.2 이웃해 생성

탐색을 위한 이웃해는 두 가지 방법으로 생성할 수 있다. 첫 번째는 작업의 수행 순서를 변경하는 방법으로 무작위로 작업 하나를 선택하여 무작위로 선택된 위치로 이동시킨다. 두 번째는 보조 작업에 할당된 크레인을 변경하는 방법으로 재취급 및 사전 이적 작업 중 하나를 임의로 결정하여 할당된 크레인을 변경한다. 제안방안에서는 이웃해를 생성할 때 두 가지 방법 중 한 가지를 동일한 확률로 선택하여 이웃해를 생성한다.

이웃해 생성방법 중 수행순서 변경 방법으로 이웃해를 생성하는 경우 실현 불가능한 해가 생성될 수 있다. 적화와 반출 작업의 경우 컨테이너를 스택에서 꺼내기 위해서는 그 컨테이너 위에 쌓인 컨테이너를 먼저 치워야 하므로 그들 사이에 선후관계가 존재한다. 예를 들어 Fig. 2의 각 작업 사이에는 Fig. 3과 같이 $(o_1, p_1, r_1) \rightarrow (r_2) \rightarrow (o_3, p_3)$ 의 선후관계가 존재한다. 이러한 선후관계에 의해 어떤 작업을 수행하기 위해서는 그보다 선후관계가 앞선 작업 중 적어도 하나는 그 전에 수행

되어야 한다. 예를 들어 작업 r_2 를 수행하기 위해서는 그 전에 적어도 o_1, p_1, r_1 중 하나는 수행되어야 한다. 그러나 선택한 작업을 임의의 위치로 옮기는 과정에서 이러한 선후관계를 어기는 경우가 발생한다. Fig. 4는 Fig. 2의 초기해로부터 순서 변경을 통해 이웃해를 생성하는 예를 보여준다. Fig. 4의 (b) 처럼 작업 p_{3L} 이 p_{1S} 앞에 이동되는 경우 작업 o_{1L} 에 의해 컨테이너 c_1 이 반출된 후 p_{3L} 에 의해 c_3 에 대해 사전 이적을 수행해야 하지만 컨테이너 c_2 를 꺼내지 않고 c_3 를 꺼낼 수 없으므로 실행 불가능한 계획이다.

이와 같은 이유에 의해 제안방안에서는 수행순서 변경을 이용해 이웃해를 생성한 경우에는 수선(repair) 과정을 거친다. 해의 수선 과정은 새 위치로 삽입된 작업의 대상 컨테이너와 같은 스택에 있는 모든 컨테이너의 작업을 대상으로 작업 선후관계에 따라 정렬함으로써 이루어지며 자세한 알고리즘은 Fig. 5와 같다. Fig. 4의 (c)는 이 알고리즘에 따라 (b)의 해를 수선한 결과이다. 수선 과정은 다음과 같다. 먼저 단계 1에서 가장 우선순위가 높은 작업 o_{1L}, p_{1S}, r_{1S} 가 J 에 삽입된다. 그리고 단계 2에서는 J 에 있는 작업에서 가장 순서가 빠른 작업인 o_{1L} 이 Q 에 삽입된 후 J 에서 제거된다. 단계 3에서 o_{1L} 은 J 에서 가장 우선순위가 낮은 작업이므로 다음 우선순위를 가지는 r_{2S} 를 J 에 추가한다. 다시 단계 2부터 반복하면 그 다음으로 p_{1S}, r_{1S} 의 순으로 J 에서 제거된 후 Q 에 삽입된다. 그 다음에는 r_{2S} 가 J 에서 꺼내지는 데 이 때 r_{2S} 는 J 에 남아있는 작업 중에서 우선순위가 가장 낮으므로 그 다음 우선순위를 가지는 o_{3L} 과 p_{3L} 이 J 에 추가된다. 그리고 남은 작업 o_{3L} 과 p_{3L} 중에서 순서가 앞선 p_{3L} 이 먼저 J 에서 꺼내져 Q 에 삽입된다. 마지막으로 o_{3L} 이 Q 에 삽입된 후 J 가 비었으므로 Q 에 작업이 삽입된 순서 $o_{1L}, p_{1S}, r_{1S}, r_{2S}, p_{3L}, o_{3L}$ 따라 작업을 정렬한다.

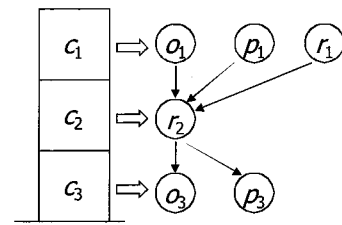


Fig. 3 An example of precedence constraints among the jobs in figure 2

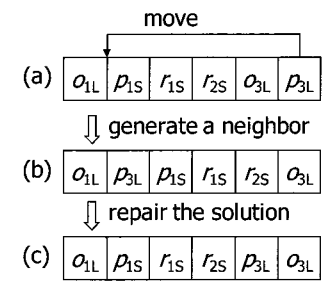


Fig. 4 (a) The original solution. (b) A neighbor generated by changing the job sequence. (c) The solution after repairing the neighbor in (b).

step 1. 우선순위가 가장 높은 작업들을 set J 에 삽입한다.
 step 2. J 에 속한 작업 중에서 해에서 순서가 가장 빠른 작업 j 를 찾아 queue Q 에 삽입하고 J 에서 j 를 제거한다.
 step 3. j 의 우선순위가 J 에 속한 작업 중 우선순위가 가장 낮은 것의 우선순위와 같다면 j 의 바로 다음 우선순위의 작업들을 모두 J 에 추가한다.
 step 4. J 가 빌 때까지 step 2, 3을 반복한다.
 step 5. Q 의 순서대로 작업들을 정렬한다.

Fig. 5 The repair algorithm for a neighbor solution

5.3 후보해 평가

각 후보해의 평가는 장치장 작업 시뮬레이션을 통해 이루어진다. 해가 주어지면 각 크레인운 해에 의해 주어진 순서에 따라 자신에게 할당된 작업을 수행한다. 앞서 언급한 바와 같이 적화와 반출 작업의 경우, 협업 고려를 위해 초기해 생성 시 하나의 사전 이적 작업과 대상 컨테이너 위에 쌓인 컨테이너 수만큼의 재취급 작업이 추가된다. 만약 이러한 보조 작업이 해에 의해 주어진 작업 순서에서 본 작업보다 앞선 경우에는 순서에 따라 보조작업을 수행하고 본 작업을 수행한다. 반대로 본 작업이 보조 작업보다 순서가 앞서는 경우에는 협업을 하지 않는 것으로 해석하여 본 작업만을 수행하고 뒤의 보조 작업은 무시한다. 또한 동일한 컨테이너에 대한 보조 작업들 사이의 해석은 사전 이적 작업이 먼저 수행되는 경우 사전 이적 작업을 위해 대상 컨테이너를 원래 위치에서 꺼내면 재취급 작업을 수행한 것과 마찬가지로 뒤에 있는 재취급 작업은 무시한다. 반대로 재취급 작업이 사전 이적 보다 앞서는 경우에는 재취급을 수행한 후, 다시 사전 이적을 수행한다. 왜냐하면 재취급 시에는 크레인 작업 시간을 줄이기 위해 대상 컨테이너의 장치위치 근처로 옮길 뿐이므로 HP에 가까운 위치로 컨테이너를 이동시키기 위해서는 사전 이적 작업을 통한 추가 이동이 필요하기 때문이다.

재취급이나 사전 이적 작업을 수행할 때 컨테이너의 장치 위치는 다음과 같이 결정된다. 재취급 시 장치 위치는 재취급된 컨테이너로 인해 추가의 재취급이 발생하지 않도록 컨테이너의 원래 위치에 가까운 스택 중에서 적화나 반출작업이 없는 곳을 무작위로 선택하여 결정한다. 사전 이적 작업 시 장치 위치는 다음의 조건을 만족해야 한다. 다른 크레인이 현재 수행 중인 작업에 대해 간섭을 발생시키지 않아야 하며, 사전 이적된 컨테이너가 추가의 재취급을 발생시키지 않도록 적화나 반출작업이 없는 스택이어야 한다. 이러한 스택 중 목적화는 HP와 가장 가까운 곳을 사전 이적의 임시 장치 위치로 선택한다.

이웃해의 평가는 해에 있는 모든 작업이 수행되는 동안 수집한 평가지표에 의해 이루어진다. 본 논문에서는 AGV의 지연시간과 외부트럭의 대기 시간을 측정하고 이를 가중 취합하여 이웃해 평가지표로 사용한다. 식1은 임의의 해 s 에 대한 평가 함수 이다.

$$\text{cost}(s) = w \times \sum_{j \in V} \max(0, \text{finish}_j - \text{deadline}_j) + \sum_{j \in E} \text{wait}_j \quad (1)$$

식 1에서 V 는 양적화 작업의 집합이고 E 는 반출입 작업의 집합이다. AGV의 지연시간은 해측 크레인의 마감시간과 종료시간의 차에 의해 계산한다. 외부트럭 대기시간은 트럭이 도착하고 나서 크레인으로부터 서비스를 받을 때까지의 대기시간의 합으로 계산한다. 가중치 w 는 두 지표 사이의 중요도를 나타내며 터미널의 전체 생산성의 입장에서 본선 작업의 지연이 외부트럭 대기 시간보다 중요하므로 보통 1보다 큰 값으로 설정한다. 실험에서는 기존 터미널에서 AGV의 지연을 초단위로 측정하는데 반해 외부트럭의 대기시간을 분 단위로 측정하는 점을 고려하여 w 의 값으로 60을 사용하였다.

6. 실험 결과

6. 1 실험 설정

제안방안의 효과를 확인하기 위해 시뮬레이션 실험을 수행하였다. 실험에 사용된 시뮬레이터는 각 크레인과 트롤리의 가감속 운동까지 모사하는 상세한 시뮬레이션이 가능하다. 실험은 하나의 선석을 대상으로 선박 한 척에 대한 적화 작업을 시뮬레이션 하였다. 선석에는 안벽 크레인 3기와 7개의 블록이 있으며 각 블록은 20피트 기준 41 베이, 5단 10열로 구성된다. 초기 장치장의 점유율은 70%로 가정하였다. 해측에서 적화작업을 수행하는 동안 육측에서는 이후에 입항할 선박에 적화될 컨테이너의 반입 작업과 이전에 양화된 컨테이너의 반출 작업을 수행한다.

6.2 실험 결과 분석

세 가지 경우를 실험하여 그 결과를 비교하였다. 각 경우는 크레인 간의 협업 적용 여부에 의해 구분된다. 첫 번째는 크레인 작업 계획 시 협업을 고려하지 않은 경우를 실험하였다(사례 1). 사례 1에서 사용된 크레인 작업 계획 방안들은 크레인 작업 계획 시 재취급과 사전 이적을 대상 작업에 추가하지 않으며 재취급은 원래 작업에 속한 일부로 생각하여 주 작업을 수행하기 직전에 수행하도록 한다. EDF와 MET는 4절에 소개된 HCD를 구현한 것이다. 두 방안은 각각 작업선택 휴리스틱으로 같은 이름의 휴리스틱을 적용하였으며 작업 여과 휴리스틱으로는 첫 번째 것을 사용하였다. 그리고 HC는 5장에 소개된 LCS에 언덕 오르기 탐색(hill climbing search)을 적용한 것이며 SA는 담금질 기법(simulated annealing)을 적용한 방안이다. 두 번째는 사전재취급만 적용한 경우이다(사례 2). 사례 2에 사용된 크레인 작업 계획 방안은 대상 작업에 재취급은 추가하지만 사전 이적은 추가하지 않는다. EDF1,2,3과 MET1,2,3는 HCD를 구현한 방안이며 각각의 이름은 구현에 적용된 작업 선택 휴리스틱과 여과 휴리스틱을 나타낸다. 그리고 탐색방안인 HC와 SA를 실험하였다. 마지막으로 사전재취급과 사전 이적 둘 다 적용한 경우(사례 3)를 실험하였다.

사례 3에서 사용된 작업 계획 방안들은 대상 작업에 재취급과 사전 이적 둘 다 추가한다. 탐색방안인 HC와 SA를 실험하여 결과를 비교하였다. 세 가지 경우의 각 방안마다 시물레이션을 수행하였으며 각 컨테이너의 운반 작업 당 AGV 지연시간(초)과 외부트럭 대기시간(초)을 측정하여 평균을 구하였다.

Table 1은 사례 1의 결과를 보여준다. 휴리스틱 방안에 비해 탐색방안이 더 나은 성능을 보이고 HC보다는 SA가 더 좋다. MET의 경우 공차 주행 시간을 최소화하는데 초점을 맞추기 때문에 EDF에 비해 성능이 좋지 않은 것을 확인할 수 있다.

Table 2는 사례 2에 대한 실험결과를 보여준다. Table 1과 마찬가지로 휴리스틱에 비해 탐색방안이 성능이 좋고 SA가 가장 좋은 성능을 보였다. EDF1과 MET1의 경우 협업 없이 사전 재취급만을 고려하는 방안인데 Table 1의 결과에 비해 상당한 성능 개선을 보인다. 사전 재취급을 수행함으로써 AGV나 외부트럭이 도착하지 않더라도 재취급 작업을 미리 수행할 수 있기 때문에 H.P.에서의 다른 장비와의 동기화 문제로 인한 크레인 작업 효율의 손해가 적어 성능이 개선되는 것으로 보인다. 또, 협업을 고려하는 경우 성능이 더욱 개선되는 것을 확인할 수 있다. EDF2, 3 둘 다 EDF1보다 AGV 지연시간 및 외부트럭 대기시간이 모두 감소하였다. 특히, EDF3는 EDF1에 비해 22.38%의 AGV 지연 감소를 보였다. 단, EDF3는 의도적으로 육축 크레인이 해축 크레인을 보조하도록 하기 때문에 EDF2에 비해 외부트럭 대기시간은 길어진다. 그러나 EDF1에 비해서는 오히려 외부트럭 대기시간이 짧은 것을 확인할 수 있다.

Table 1 Results without co-operation

method	AGV delay	External truck waiting time
EDF	12.1	1106
MET	15.45	1867
HC(no co-operation)	11.2	682
SA(no co-operation)	10.08	643

Table 2 Results with prior rehandling only

method	AGV delay	External truck waiting time
EDF1	4.29	383
EDF2	4.20	258
EDF3	3.33	325
MET1	4.45	476
MET2	4.10	447
MET3	3.75	445
HC(re-handling only)	3.21	198
SA(re-handling only)	3.15	190

Table 3은 사례 3에 대한 실험결과이다. 사례 2의 결과와 비교할 때, 사전 이적을 고려함으로써 AGV 지연시간과 외부트럭 대기시간이 모두 개선되었지만 개선 폭은 비교적 작았다. 그 이유는 사전 이적은 작업 특성 상 추가적인 집고 내리는 동작을 요하므로 크레인의 작업부하를 늘리는 경향이 있으며 컨테이너가 사전 이적 될 중간 위치는 탐색 시 고려되지 않고 간단한 규칙만을 사용하여 결정하였기 때문이다. 그럼에도 불구하고 사전 이적을 적용함으로써 HC의 성능이 Table 2에서 가장 좋은 성능을 보인 SA보다 좋아지는 것을 확인할 수 있다.

Table 3 Results with both prior rehandling and repositioning

method	AGV delay	External truck waiting time
HC(with co-operation)	3.12	189
SA(with co-operation)	3.12	178

7. 결론

본 논문에서는 자동화 컨테이너 터미널의 장치장 크레인을 위한 작업 계획 방법에 대해 연구하였다. 교행 불가능한 두 대의 크레인의 작업 계획 문제를 대상으로 휴리스틱 기반의 작업 할당방안과 탐색을 이용하여 작업계획을 최적화하는 방안을 제안하였다. 크레인의 작업 효율을 떨어뜨리는 주요 원인인 두 크레인 간의 작업부하 불균형 문제를 해결하기 위해 사전 재취급과 사전 이적 작업을 작업 계획 시 추가함으로써 크레인 사이에 협업이 이루어지도록 하였다. 시물레이션 실험을 통해 제안방안의 효과를 검증해 본 결과 크레인 사이의 협업을 고려하여 작업계획을 세우는 경우 크레인의 작업 효율이 확연히 향상되는 것을 확인할 수 있었다. 또한 협업을 고려하는 경우 의사결정 사항이 늘어나게 되므로, 탐색을 통해 크레인 작업계획을 최적화한 경우가 휴리스틱을 이용한 경우보다 더 나은 성능을 보였다.

본 논문에서는 제안방안의 효과를 검증함에 있어 시물레이션 결과 얻은 AGV의 지연시간과 외부트럭의 대기시간만을 측정하여 비교하였다. 그러나 협업이 크레인의 작업효율 향상에 어떠한 영향을 주는지 확인하기 위해 각 크레인 사이의 부하분포 측정 및 협업을 통한 부하분산 효과에 대한 분석이 필요하다. 또한 제안방안은 실시간 제약을 만족하기 위해 일부 의사결정을 단순한 규칙에 의해 근시안적으로 내리도록 하였다. 특히 사전 이적의 경우 의사결정 사항이 많아 HCD에서는 고려하지 않았으며 LCS 경우에도 사전 이적의 수행 여부와 타이밍은 고려하였지만 중간 장치위치는 단순한 규칙에 따라 결정하도록 하였다. 따라서 차후에는 이와 같은 의사결정을 더욱 빠르고 효율적으로 하기 위한 방안에 대한 연구가 필요하다.

후 기

본 논문은 교육인적자원부 지방연구중심대학육성사업(차세대물류IT기술연구사업단)의 지원에 의하여 연구되었습니다.

참 고 문 헌

- [1] 김민주, 박태진, 강재호, 류광렬, 김갑환 (2005), “자동화 수평 배치 블록을 위한 시뮬레이션 기반 컨테이너 장치 전략 평가”, 한국항해항만학회 춘계학술대회논문집, 29권, 1호, pp.359-367.
- [2] 오명섭, 강재호, 류광렬, 김갑환 (2005), “복수 크레인을 활용한 블록 내 컨테이너 이적 계획”, 한국항해항만학회지, 29권, 5호, pp. 447-455.
- [3] 최이, 박태진, 류광렬 (2006), “가감속을 고려한 교착없는 AGV 주행경로 설정”, 한국항해항만학회지, 30권, 10호, pp. 855-860.
- [4] Evers, J. J. M. and Koppers, S. A. J. (1996), “Automated guided vehicle traffic control at a container terminal”, Transportation Research-A, Vol. 30, pp. 2134.
- [5] Kim, K. H. and Bae, J. W. (2004), “A Look-Ahead Dispatching Method for Automated Guided Vehicles in Automated Port Container Terminals”, Transportation Science, Vol. 38, No. 2, pp. 224-234.
- [6] Kozan, E. and Preston, P. (1999) “Genetic Algorithms to Schedule Container Transfers at Multimodal Terminals”, International Transactions in Operational Research, Vol. 6, pp. 311-329.
- [7] Ng, W. C. (2005): “Crane scheduling in container yards with inter-crane interference”, European Journal of Operational Research, Vol. 164, pp. 64-78.
- [8] Ng, W. C., Mak, K. L. (2005), “An effective heuristic for scheduling a yard crane to handle jobs with different ready times,” Engineering Optimization, vol. 37, pp. 867-877.
- [9] Saanen, A. Y. and Valkengoed, V. M. (2005): “Comparison of three automated stacking alternatives by means of simulation”, Proc. of the 37th conference on Winter simulation, pp. 1567-1576.

원고접수일 : 2007년 8월 17일

원고채택일 : 2007년 10월 24일