한국지능정보시스템학회논문지 제12권 제3호 2006년 9월(pp.47~65)

터미널의 장치장 운영*

안은영
부산대학교 컴퓨터공학과
(tinyahn@pusan.ac.kr)

강병호
부산대학교 컴퓨터공학과
(bhokang@pusan.ac.kr)

강재호
부산대학교 컴퓨터공학과
(jhkang@pusan.ac.kr)

류광렬
부산대학교 컴퓨터공학과
(krryu@pusan.ac.kr)

김갑환
부산대학교 산업공학과
(kapkim@pusan.ac.kr)

최근 컨테이너 터미널의 생산성 향상을 위한 자동화가 국내외에서 활발히 이루어지고 있다. 이에 따라 컨테이너 터미널의 개별 장비에 대한 효율적인 운영 방안에 대한 연구가 많이 진척되어 왔다. 하지만 터미널 전체 생산성을 높이기 위해서는 개별 장비의 효율을 높이는 것뿐만 아니라 장비들간의 동기화가 잘 되어야 할 필요가 있다. 본 논문에서는 컨테이너를 쌓아두는 장치장에서 컨테이너를 장치하는 크레인, ATCs(Automated Transfer Crane)와 장치장과 안벽간에 컨테이너를 이송하는 내부트럭, YTs(Yard Truck)의 효율적인 실행 계획을 실시간에 수립할 수 있는 휴리스틱 조합을 제시한다. 이와 함께 컨테이너의 장치 위치 결정을 위한 적합한 장치 전략과 각 작업에 배정할 YT의 적합한 선택 범위에 대해서도 시뮬레이션 실험을 통해 보여준다.

논문접수일 : 2006년 5월 게재확정일 : 2006년 9월 교신저자 : 안은영

1. 서론

국가간의 물동량 증가와 인건비 상승으로 컨테이너 터미널의 생산성 향상이 중요한 이슈로 대두되었다. 이에 따라 네덜란드, 독일 등 항만 선진국에서는 컨테이너 터미널의 자동화가 진척되고 있고 싱가포르와 영국에서는 자동화 컨테이너 터미널로 가기 위한 전 단계로 일부만 자동화한 반 자동화 터미널을 운영하고 있다.

자동화 터미널에서 사용되는 주요 장비로는 안벽에서 선박에 컨테이너를 싣고 내리는 QC(Quay Crane), 컨테이너를 적재해 두는 장치장에서 컨테이너를 쌓거나 꺼내는 ATC(Automated Transfer Crane)가 있다. 그리고 안벽과 장치장 사이에서 컨테이너를 운반하는 AGV(Automated Guided Vehicle) 또는 YT(Yard Truck)가 있다.

컨테이너 터미널의 생산성을 향상시키기 위하여 개별 장비들에 대한 운영 방안은 많이 연구되어 왔다. 하지만 이러한 개별 장비들은 상호 작용을 하기 때문에 각 장비간 동기를 맞출 필요가 있다. 예를 들어, 컨테이너를 배에 싣는 적하 작업은 ATC가 장치장에서 컨테이너를 꺼내어 YT에 싣는 작업, YT가 이를 QC까지 운반하는 작업 그리고 QC가 YT의 컨테이너를 집는 작업으로 이루어

* 본 논문은 2005년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음.

진다. 이 때 ATC가 자체적으로 계획된 효율적인 작업 순서에 따라 작업들을 처리하더라도 YT가 ATC 아래에 제시간에 도착하지 않으면 ATC는 대기하게 될 뿐만 아니라 이 후에 처리되어야 할 ATC 작업들에게 영향을 끼친다. 반대로 YT가 컨테이너를 싣기 위해 ATC 아래에 도착하였더라도 ATC가 제시간에 작업을 처리하지 못하면 YT는 대기하게 된다. 즉, 개별 장비가 효율적인 계획 시스템을 가지고 있더라도 장비들이 연동이 되었을 때 동기가 맞지 않으면 불필요한 대기 시간 및 지연을 가져다 주어 터미널의 생산성을 저하시킬 수 있다. 본 논문에서는 컨테이너 터미널의 다양한 장비 중에서 장치장의 생산성을 크게 좌우하는 ATC와 YT의 통합적인 운영 방안에 대해 다루고자 한다.

뿐만 아니라, 동일한 ATC와 YT의 운영 방법을 사용하더라도 장치장에 들어오는 컨테이너들을 어디에 장치하느냐에 따라 터미널의 생산성은 크게 달라질 수 있다. 예를 들어, 적하 작업 시 컨테이너를 여러 곳에 흩어두는 것보다 한 곳에 모아두는 것이 ATC의 무부하 이동시간을 줄일 수 있기 때문에 장치장의 효율성을 높일 수 있을 것이다. 하지만, 두 기의 ATC가 동시에 작업을 할 수 있다면 두 곳에 흩어 두는 편이 더욱 효율적일 것이다. 본 논문에서는 ATC와 YT의 통합 운영 방안과 더불어 어떠한 장치 전략이 효과적인지 알아보고자 한다.

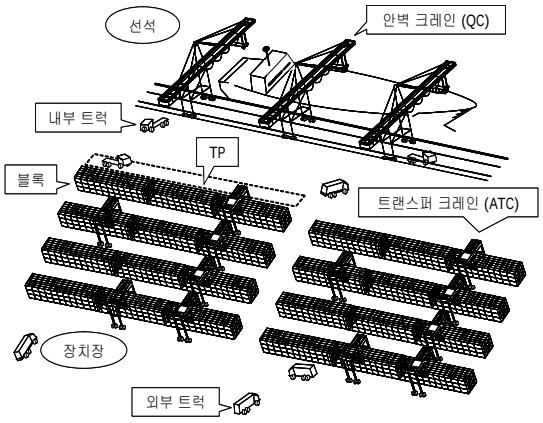
그리고 YT의 운영 계획은 개별 YT가 어떠한 작업들을 어떤 순서로 처리해야 하는지를 결정하는 문제이다. 본 논문에서는 휴리스틱 규칙을 이용하여 YT를 필요로 하는 작업에 선택 가능한 범위 내의 YT들 중에서 하나를 배정한다. 이 때 선택 가능한 YT들의 집합을 YT 풀(Pool)이라 하고 YT 풀에서 작업 할 YT를 선택하는 방식을 YT 풀링(Pooling)이라고 한다. YT 풀링의 범위, 즉 YT들을 각 QC에 할당하느냐 선석에 할당하느냐 또는 전체 YT를 풀로 하느냐에 따라 터미널의 생산성을 평가 해 본다.

컨테이너 터미널에서는 처리해야 하는 작업량과 장비들이 많지만 환경이 매우 유동적이어서 장비들의 운영 계획은 변화된 환경에 알맞게 대처할 수 있도록 빈번히 재계획되어야 한다. 따라서, 본 논문에서는 실시간에 계획할 수 있는 ATC와 YT의 휴리스틱 조합들을 비교 평가해 보았다. 시뮬레이션 실험을 통하여 여러 장비들이 연동되어 상호 작용하면서 전체적으로 좋은 효과를 나타내는 ATC와 YT 운영 휴리스틱, 장치 전략 그리고 YT의 풀링 범위를 찾았다.

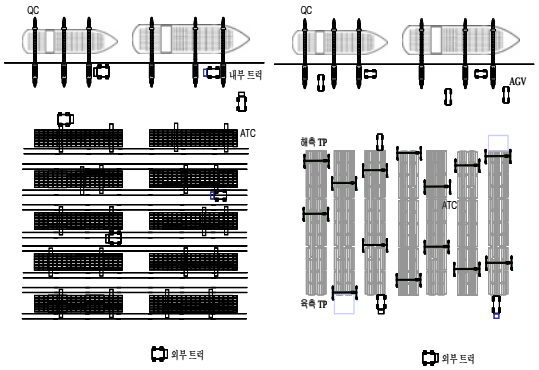
본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 컨테이너 터미널에 대하여 설명하고, 3장에서는 운영 장비와 장치 위치와 관련된 기존 연구들을 살펴본다. 4장에서 실험에 사용한 ATC 및 YT의 운영 휴리스틱들과 장치 전략에 대해 설명하고, 5장에서는 이를 평가하기 위한 시뮬레이션 모델을 소개한다. 6장에서는 시뮬레이션 실험 결과를 정리하여 분석하고, 마지막 7장에서는 결론과 향후 연구 과제로 끝을 맺는다.

2. 컨테이너 터미널

컨테이너 터미널은 [그림 1]과 같이 선박이 정박해 있는 해측의 선석과 수출 또는 수입 되기 전에 컨테이너들을 적재해 두는 육측의 장치장으로 구성된다. 안벽에는 선박에 컨테이너를 싣거나 내리는 QC가 있고 장치장에는 컨테이너를 쌓거나 꺼내는 ATC가 있다. 그리고 선석의 QC와 장치장 사이에서 컨테이너를 이송하는 AGV 또는 YT가 있다.



[그림 1] 컨테이너 터미널



(a) 수평 배치 장치장 (b) 수직 배치 장치장

[그림 2] 수평 배치와 수직 배치 장치장

• **수평 배치와 수직 배치**

장치장은 여러 개의 블록들로 구성되어 있고, 블록들의 배치 상태에 따라 수평 배치 장치장과 수직 배치 장치장으로 구분한다. 수평 배치 장치장은 [그림 2]의 (a)와 같이 블록들이 선석과 평행하게 배치되어 있고 수직 장치장은 [그림 2]의 (b)와 같이 선석과 수직으로 배치되어 있다. 외부 트럭 또는 내부 트럭이 블록에 정차 할 수 있는 곳을 TP(Transfer Point)라고 하는데 수평 배치 장치장에는 한 블록 내 여러 곳에 TP들이 설치되어 YT가 ATC 바로 옆에 정차 할 수 있다. 반면, 수직 장치장의 경우 TP가 블록의 양쪽 끝에 있기 때문에 AGV는 블록의 해측 끝에 정차 할 수 있고 외부 트럭은 육측 끝에 정차 할 수 있도록 되어 있다. 이러한 레이아웃의 차이는 내부 차량의 종류 및 운행과 관련이 있다. 수직 장치장은 AGV의 운영을 단순화하기 위하여 내부 차량의 동선은 짧고 단순하게 한 반면 ATC가 많은 이동을 부담한 형태이다. 수평 장치장은 이와 반대로 YT 이동 거리가 크고 복잡한 대신 ATC의 이동 부담을 줄인 형태이다. 본 논문에서는 YT를 사용하는 수평 배치 장치장을 대상으로 하였다.

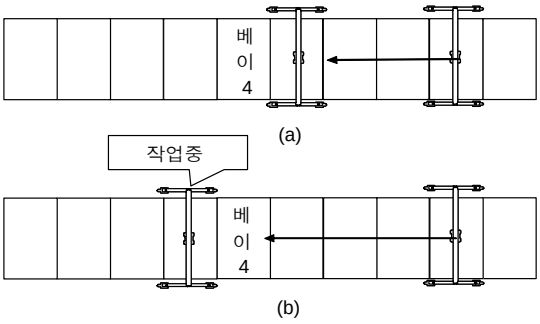
• **베이(bay)와 스택(stack)**

각 블록은 ATC의 본체가 움직이지 않고 컨테이너를 장치 할 수 있는 공간인 베이들로 구성된다. 각 베이는 여러 개의 스택으로 구분되는데, 하나의 스택은 장치 높이만 다른 컨테이너 저장 공간의 집합이다. 베이 내에서 스택의 위치를 열(row)이라 하고, 스택에서 컨테이너의 장치 위치를 단(tier)이라 한다.

• **두 기의 ATC의 간섭**

한 블록에서 두 기의 교차 불가능한 ATC를 사용하는 경우 두 ATC간 간섭이 발생 할 수 있다. [그림 3]의 (a), (b)는 모두 우측 ATC가 4번 베이의 작업을 하기 위해 이동하고자 할 때 좌측 크레인으로 인해 간섭이 발생하는 경우이다. (a)의 경우는 좌측 크레인의 작업이 없는 상태이고 (b)의 경우는 좌측 크레인이 4번 베이의 간섭 범위 내에서 작업중인 상황이다. (a)의 경우 간섭을 해소하기 위해 좌측 크레인이 간섭 범위 밖으로 이동하면 되지만 (b)의 경우 간섭을 해소하기 위하여 한 기의 크레인에 높은 우선 순위를 주어 우선 순위가 높은 ATC가 작업하는 동안 우선 순위가 낮은

ATC는 간섭 범위 밖에 있어야 한다. 두 기의 ATC를 시뮬레이션 하기 위하여 시공간 그래프를 사용하였다(김민주, 2006).



[그림 3] ATC 간섭

• **작업 종류와 특징**

컨테이너 터미널에서 수행되는 작업은 크게 선박에서 컨테이너를 내리는 양하 작업, 컨테이너를 선박에 싣는 적하 작업, 외부 트럭으로부터 들어온 컨테이너를 장치장에 놓는 반입 작업, 외부 트럭이 장치장에서 컨테이너를 가져 나가는 반출 작업이 있다. 이 중에서 양적하 작업의 지연은 선박 정박 시간을 늘이게 되므로 컨테이너 터미널의 생산성을 저하시킨다. 따라서, 장치 운영 방법 등을 평가할 때 양적하 작업의 지연을 줄이는데 비중을 두어야 할 필요가 있다.

실제 컨테이너 터미널에서 양적하 작업은 작업 순서와 시각은 사전에 알 수 있지만 반출입 작업은 외부 트럭이 게이트를 통과하는 시점에서 알 수 있다. 하지만, 외부 트럭의 경우 게이트를 통과한 후 블록에 도착하는 시각은 트럭 별로 오차가 커서 예상하기 힘들다. 본 논문에서는 문제를 간략화하기 위하여 양적하 작업의 시각은 사전에 알 수 있고 반출입 작업은 블록에 도착하였을 때 안다고 가정하였다.

3. 관련 연구

다음은 컨테이너 터미널의 운영 장비들과 장치 위치 전략에 대한 국내 연구들을 소개한 것이다.

ATC 운영 연구와 관련하여 이석준은 수직 장치장에서 시간창(time window)을 이용하여 여러 ATC 운영 전략을 제안하고 크레인 수와 크레인 간의 교차 여부에 따른 여러 환경에서 복수 ATC의 효율적인 운영 방안을 제시하였다(이석준, 2003). 왕승진은 ATC의 운영 전략과 컨테이너의 장치 위치 결정에 대한 시뮬레이션을 수행하여 ATC별로 작업 역할을 구분하고 무부하 이동거리 최소화 규칙을 적용하는 것이 시간당 처리 개수가 가장 많다는 것을 보였다(왕승진, 2002).

AGV 운영에 관한 기존 연구로 Bish는 하나의 QC가 처리할 컨테이너들의 이송작업을 AGV에 그리디(greedy)하게 할당하는 방법을 제시하였다(Bish, 1999). Meer는 작업장에서 가장 가까운 차량을 작업에 할당하는 방법(NVF ; Nearest-Vehicle-First)과 차량에서 가장 가까운 작업장의 작업을 차량에 할당하는 방법(NWF ; Nearest-Workstation First)을 비교 평가한 결과 NVF가 NWF보다 성능이 우수하다는 것을 보였다(Meer, 2000). 강재호 등은 작업 지연뿐 아니라 AGV 활용의 효율성을 고려하여 AGV에 작업을 할당 하는 휴리스틱을 제안하였다(강재호 외, 2004).

장치 전략에 관한 기존 연구로 김민주 등은 수평 배치 블록을 대상으로 시뮬레이션 실험을 수행하였다. 컨테이너 장치 전략으로 하나의 선박에 대한 본선(또는 양적하) 작업 컨테이너들을 가능한 모으고, 본선 작업과 반출입 작업을 각각의 크레인에 전담시키는 집중 배치 전략과 한 선박에 대한 본선 작업을 번갈아 수행하도록 하는 분산 배치 전략 두 가지를 비교 실험하여 평가하였다. 집중

배치 전략은 수입용 블록에 유리 하고 분산 배치 전략은 수출용 블록에 유리 하다는 것을 보였다 (김민주 외, 2005).

대부분의 기존 연구들은 하나의 주요 장비를 대상으로 그 운영을 최적화 하였다. 따라서, 개별 장비들의 운영 방안들을 통합하였을 때 전체 터미널의 생산성을 평가 해 볼 필요가 있다. 이와 관련하여 이정호 등은 수직 배치 장치장에서 한 선석에서 일어나는 본선작업을 대상으로 장비들의 동기화를 고려한 일정 계획을 연구를 하였다. 본선 작업을 부하 이동 작업과 무부하 이동의 요소 작업으로 분류하고 그래프 모델로 표현하고 근시안적 운영 규칙을 이용하여 초기 일정 계획을 수립한 뒤 이웃해 탐색 방법을 사용하였다(이정호, 2005).

본 논문은 기존의 논문과 달리 YT를 사용하는 수평 배치 장치장에서 본선 작업 뿐 아니라 터미널 전체에서 일어나는 반출입 작업을 대상으로 ATC에 효율적으로 작업을 할당하는 방안과 본선 작업에 YT를 배차 하는 휴리스틱 방안을 통합적으로 평가 하고자 한다. 또한 장치 전략과 YT의 풀링 범위를 달리 하여 그 성능을 비교 평가한다.

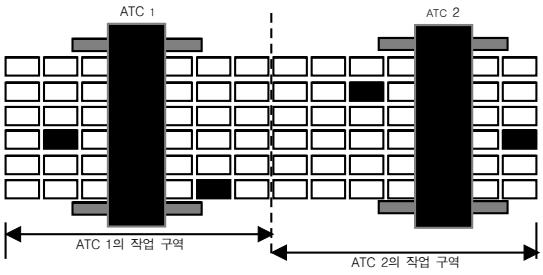
4. 장비 운영 휴리스틱

이 장에서는 ATC, YT 장비들의 운영을 위한 작업 할당 휴리스틱을 설명한다. 본 논문에서는 장치장에서 ATC를 YT 보다 더욱 중요한 장비로 고려하기 때문에 ATC 실행 계획을 우선 수립하고 이를 바탕으로 YT 실행 계획을 수립하도록 하였다. 1절에서는 한 블록에 두 기의 ATC를 도입하였을 때 간섭을 최소화하기 위하여 작업들을 각 ATC에 할당하는 휴리스틱과 한 기의 ATC에 작업들이 주어졌을 때 처리 순서를 결정하는 휴리스틱 방법들을 설명한다. 2절에서는 각 작업에 YT를 배정하는 휴리스틱 방법들을 설명하고 3절에서는 본 논문에서 실험한 여러 장치 전략을 소개한다.

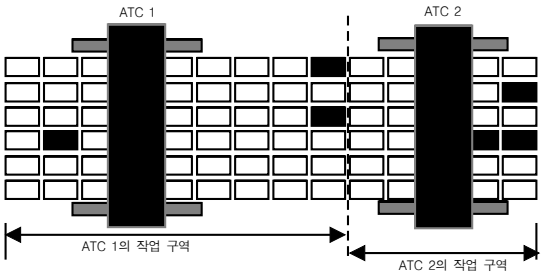
4.1 ATC 작업 할당 휴리스틱 기법

한 블록에 두 기의 ATC가 도입되면 상호간의 간섭에 의해 작업을 처리하는데 지연이 발생할 수 있다. 이러한 지연을 최소화하기 위하여 실시간에 각 ATC에 작업들을 분배하는 효과적인 방안이 필요하다. 본 논문에서는 요청된 작업을 어느 ATC에 할당할 것인지를 결정하기 위하여 ATC 별로 작업 구역을 구분해 주는 방식을 제안한다. [그림 4]는 물리적 작업 구역 구분 방안과 논리적 작업 구역 구분 방안을 나타낸다. [그림 4]의 (a)는 한 블록의 물리적인 위치를 기준으로 작업 구역을 구분하는 방식으로 하나의 블록에 14개의 베이가 있다면 좌측의 7개의 베이는 좌측의 ATC가 처리하고 우측의 7개의 베이는 우측의 ATC가 처리한다. 이러한 방식은 극히 단순해 보이나 ATC의 작업 범위를 제한함으로써 상대적으로 간섭이 생길 가능성이 낮아지고 하나의 작업을 완료한 후 다른 작업을 처리하기 위하여 ATC가 이동하여야 하는 거리가 짧아지므로 상당한 향상이 이루어 질 수 있다. 하지만 이 방안은 특정 ATC가 담당하는 구역에 집중적으로 작업이 요청된 경우 다른 ATC가 이를 지원하지 못한다. 이러한 상황에 대처하기 위하여 요청된 작업들의 위치를 고려하여 두 기의 ATC에 작업들을 균등하게 나눌 필요가 있는데 이를 논리적 작업 구역 구분 방안이라고 한다. [그림 4]의 (b)와 같은 상황에서 물리적 작업 구역 구분 방안을 사용하면 ATC 2는 5개의 작업을 처리하여야 하지만, 논리적 작업 구역 구분 방안은 작

업들을 대략 절반에 가깝게 나눌 수 있다. 실험 결과 논리적 구역 구분 방안이 효과적인 것으로 밝혀져 본 논문에서는 논리적 구역 구분 방안을 사용하였다. 또한 이 방안에서, 시간이 흐름에 따라 기존 작업이 처리되고 신규 작업이 발생하므로 각 ATC의 담당 영역은 지속적으로 변하게 된다.



(a) 물리적 작업 구역 구분 방안의 예



(b) 논리적 작업 구역 구분 방안의 예

[그림 4] 작업 구역 구분 방안

요청된 작업들이 각 ATC에 할당이 되면 개별 ATC는 할당된 작업들의 처리 순서를 결정하여야 한다. 이 후 작업 순서 결정 방안에 관련된 네 가지 방안에 대하여 설명한다.

4.1.1 마감 시각이 빠른 작업 우선 처리 (Earliest Deadline; ED)

ED(Earliest Deadline)은 마감 시각이 가장 빠른 작업을 우선 처리 하는 방법이다. 작업 별 마감 시각은 <표 1>로 정의된다.

<표 1> 작업 종류별 ATC 작업 마감 시각

작업 종류	마감 시각
양하	QC deadline + YT의 QC에서 블록 TP로 평균 이동 시간
적하	QC deadline - YT의 블록 TP에서 QC로 평균 이동 시간
반출	외부 트럭의 TP 도착 시각
반입	외부 트럭의 TP 도착 시각

본 논문에서는 QC가 YT에서 컨테이너를 집는 시각 또는 내려 놓는 시각을 QC deadline이라 하였고 이 시점까지 YT가 도착하지 않으면 QC 지연이 발생하는 것으로 보았다. 따라서, 양하 작업의 ATC 마감 시각은 QC deadline에서 YT가 블록의 TP까지의 평균 이동 시간을 더한 값이고, 적하 작업의 ATC 마감 시각은 QC deadline에서 YT가 블록의 TP에서 QC까지의 평균 이동시간을 뺀 값이다. 즉, ATC의 양하 작업 마감 시각이란 YT가 QC에서 컨테이너를 싣고 이동하여 블록 TP에 도착할 예상시각이고 그 시점에 ATC가 YT의 컨테이너를 집지 않을 경우 YT 대기가 발생한다. 적하 작업의 경우, YT 마감 시각이란 YT가 블록 TP에서 출발해야 하는 예상하는 시각으로 이때 ATC가 컨테이너를 YT에 싣지 못하면 QC 지연이 발생할 가능성이 크다. 본 논문에서 반출입 작업은 게이트를 통과한 외부트럭이 블록의 TP에 도착하는 시각을 마감 시각으로 보았다. ED 휴리스틱은 아래 수식 (1)을 만족하는 작업을 선택한다.

$$\mathrm{argmin}_j(deadline_j) \qquad (1)$$

여기서 $deadline_j$는 작업 j의 마감 시각을 의미한다. ED 휴리스틱은 마감 시각을 위반하는 작업을 최소화하기 위한 가장 간단한 휴리스틱이다.

4.1.2 작업 별 가중치를 둔 마감 시각이 빠른 작업 우선 처리(Weighted Earliest Deadline; WED)

컨테이너 터미널의 생산성은 본선 작업 처리율과 직결된다. 다시 말해, 반출입 작업과 양적하 작업의 지연 시간이 같더라도 경제적 손실은 양적하 작업이 훨씬 크다. WED(Weighted Earliest Deatline)은 ATC 작업 순서 결정 휴리스틱에 양적하 작업의 중요성을 반영하기 위하여 앞서 제시한 ED 휴리스틱에 작업별로 가중치를 부여한 것이다. 가중치를 부여하기 위하여 수식 (2)에서 표현된 것처럼 마감 시각을 가중치로 나누어 작은 값을 가지는 작업을 선택한다.

$$\text{argmin}_j(deadline_j / w_j) \quad (2)$$

여기서 $deadline_j$는 작업 j의 마감 시각이고 $w_j(\geq 1)$는 작업 별 가중치이다. 이 방법은 양적하 작업에 가중치를 크게 주기 때문에 앞의 ED 휴리스틱에 비해 본선 작업 처리율을 높겠지만 외부 트럭의 대기 시간을 증가 시킨다.

4.1.3 가까운 작업 우선 처리(Closest First; CF)

CF(Closest First)방안은 ATC의 현재 베이에서 가까운 베이에 위치한 작업을 우선 처리 하는 방법이다. 이를 수식으로 나타내면 수식 (3)과 같다.

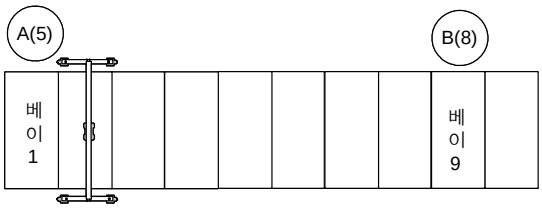
$$\text{argmin}_j(|loc_j - loc_t|) \quad (3)$$

여기서 loc_j는 작업 j의 베이 위치고 loc_t은 현재 ATC의 베이 위치이다. 이 방안은 ATC의 무부하 이동 시간을 줄여주므로 ATC의 생산성을 높일 수 있다. 하지만 마감 시각에 긴박한 작업의 대기 시간을 크게 늘릴 위험이 있다. 예를 들어, 마감 시각에 긴박한 작업이 현재 ATC 위치로부터 멀리 위치하고 있고 현재 ATC 위치와 가까운 곳에 작업 요청이 들어 왔다면 먼 곳에 요청에 들어온 작업의 대기 시간이 길어진다.

4.1.4 작업 예상 완료 시각을 고려한 마감 시각이 가장 빠른 작업 우선 처리(Finish Time Considered WED; FTWED)

FTWED(Finsih Time Considered WED) 휴리스틱은 작업을 완료할 수 있는 예상 시각이 마감 시각과 가장 가까운 작업을 우선 처리 하는 것이다. 이 때 계산을 간략하게 하기 위하여 작업을 완료할 수 예상 시각은 두 기의 크레인 간의 간섭 시간은 무시하고 계산한다. 예를 들어, [그림 5]는 현재 ATC가 베이 2에 있고, 베이 1과 베이 9에 마감 시각이 각각 5분과 8분인 반출 작업 A, B가 있는 상황이다. 한 베이를 이동하는데 소요되는 시간이 1분이고 해당 베이에 도착하면 작업을 바로 처리 할 수 있다면, 현재 시간이 0분일 때 작업 A, B를 처리 할 수 있는 시각은 각각 1분, 7분이다. 작업 A의 경우, 현재 시점에서 작업을 처리 했을 때 마감 시각까지 4분이 남고 작업 B의 경우에는 1분이 남는다. 이 방법은 마감 시각까지 남은 시간이 적은 즉 보다 긴급하다고 판단되는 B를 우선 처리 한다. 만약, 현재 시간이 5분이라면 두 작업 모두 지연이 되는데 이때 작업 A, B를 처리 할 수 있는 시각은 각각 6분, 12분이고 마감 시각과의 차이가 -1분, -4분이 되어 B를 우선으로 처리 하게 된다. 이 방법 역시 작업 별 중요도를 달리 하기 위하여 WED 같이 가중치로 나누어 평가한다. 하지만, 이 방법은 반출입 작업과 본선 작업의 작업 처리 예상 시각과 마감 시각의 차이가 각각 -1분, 1분이면 항상 반출입 작업을 항상 우선 처리되는 문제가 발생한다. 이러한 경우를 보완하기 위하여 모든 작업에 정해진 시간만큼의 지연은 허용하도록 작업

처리 예상 시각과 마감 시각의 차이에 지연 허용 시간을 더하여 계산한다.



[그림 5] FTWED 휴리스틱의 예

이 방법을 수식으로 나타내면 수식 (4)와 같다.

$$\text{argmin}_j((deadline_j - finish_j + C)/w_j) \qquad (4)$$

여기서 $finish_j$는 간섭을 고려하지 않았을 때 작업을 처리 할 수 있는 예상 시각이고 $deadline_j$은 작업 j의 마감 시각, C는 지연 허용 시간, w_j는 가중치이다. FTWED 휴리스틱은 WED 방법과 유사하나 작업 처리 시간을 고려했다는 점에서 지연을 좀 더 줄일 수 있을 것이다. 뿐만 아니라 지연 허용 시간을 두어 양적하 작업의 가중치로 인해 늘어날 수 있는 외부 트럭의 대기 시간을 줄일 수 있을 것이다.

4.2 YT 배정 휴리스틱 기법

YT 배정은 선택 가능한 YT들 중에서 한 대의 YT를 선택하여 본선 작업에 할당하는 것이다. 이를 위해 본선 작업들을 YT 필요 시점을 기준으로 오름차순으로 정렬한 뒤 순차적으로 YT를 배정한다. 여기서 작업 별 YT의 필요 시점은 각 본선 작업에서 YT를 처음으로 필요로 하는 시점으로 <표 2>와 같이 정의된다. 양하 작업의 경우 YT 필요 시점은 QC에서 컨테이너를 내려 놓는 시점으로 QC Deadline이다. 적하 작업의 YT 필요 시점은 ATC가 YT에 컨테이너를 내려 놓는 예상 시점으로 ATC 스케줄링 단계에서 가상 시뮬레이션을 함께 수행하기 때문에 알 수 있다.

<표 2> 작업 종류 별 YT 필요 시점

작업 종류	YT 필요 시점
양하	QC에서 컨테이너를 내려 놓는 시점
적하	ATC가 YT에 컨테이너를 내려 놓는 예상 시점

예를 들어, 한 기의 QC에서 한 개의 양하 작업이 10분에 일어나고 다른 QC에서 한 개의 적하 작업이 10분에 일어나기로 했다면 양하 작업의 YT 필요 시점은 QC에서 컨테이너를 내리는 시점인 10분이 된다. 반면, 적하 작업의 경우 ATC 스케줄링 결과 ATC가 YT에 컨테이너를 놓을 수 있는 예상 시각이 7분이라면 YT 필요 시점은 7분이 된다.

YT를 각 작업에 배정할 때 교착(deadlock)을 막기 위하여 아래 조건을 만족해야 한다.

- 한 YT의 작업들 중 동일한 ATC에 의해 수행되는 작업들간의 순서는 해당 ATC의 작업 순서와 같아야 한다.
- 한 YT의 작업들 중 대산 AC가 동일한 작업들간의 순서는 QC의 작업 순서와 같아야 한다.

4.2.1 가장 빨리 올 수 있는 YT 선택 방법(First Come; FC)

FC(First Come)는 작업 j를 처리하기 위하여 YT를 필요로 하는 지점에 가장 일찍 도착할 수 있는 YT를 선택하는 방법이다. YT y가 이전에 할당된 모든 작업을 완료하는 시점을 lft_y라 하고 y의 마지막 완료 지점에서 작업 j의 YT 필요 지점까지 이동하는 시간을 $mt_{y,j}$라 하면, 이 방법은 아래 수식 (5)을 만족하는 YT를 선택한다. 이는 완료 시

점을 위반하는 작업을 최소화하기 위한 간단한 방법이다.

$$\text{argmin}_y(lft_y + mt_{y,j}) \quad (5)$$

4.2.2 무부하 이동거리가 가장 짧은 YT 선택 방법(Shortest Empty Travel Time; SET)

SET(Shortest Empty Travel Time)는 수식 (6)과 같이 작업 j를 처리하기 위하여 YT를 필요로 하는 지점에서 가장 가까운 YT를 할당하는 방법이다. 이 경우 지연이 발생하는 것을 무시하고 가까운 YT를 선택하면 먼 곳에 위치한 YT는 작업을 할당 받지 못하는 경우가 발생한다. 이를 방지하기 위하여, 작업을 하고 있지 않고 필요한 시점 내 도착할 수 있는 YT 중에서 가장 가까운 YT를 우선적으로 선택한다. 이러한 YT가 없다면 FC 휴리스틱 기법을 사용하여 YT를 선택한다. 이 방안은 YT의 무부하 이동시간을 줄이기 위한 방안이다.

$$\text{argmin}_y(mt_{y,j}) \quad (6)$$

4.3 장치 전략

컨테이너 터미널에서 양적하 물량을 장치장에 어떻게 배치 하느냐에 따라 QC의 생산성이 크게 달라 질 수 있다. 한 기의 QC에 할당된 양하 또는 적하 물량을 장치장 한 곳에만 둔다면 ATC 이동은 적겠지만, 이 경우 한 기의 ATC가 한 기의 QC를 지원할 수 있어야 한다. 그러나 적하 작업의 경우 재취급이 발생할 수 있으므로 한 기의 ATC가 QC 작업을 완벽히 지원하기 어렵다. 따라서 본선 작업 대상 컨테이너들을 분산 장치하는 방안이 필요하다(김민주 외, 2005). 본 연구에서는 하나의 클러스터[1]에 속한 컨테이너들을 장치장에 어떻게 배치하는가에 따라 집중 배치 전략과 분산 배치 전략으로 구분하였다.

4.3.1 집중 배치

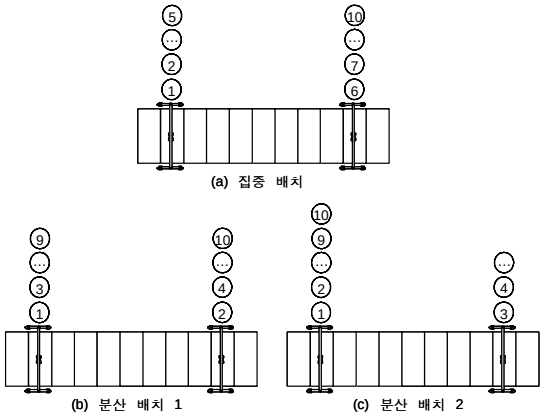
집중 배치는 한 기의 QC에서 연속적으로 작업되는 양적하 컨테이너들을 한 곳에 모아 두는 전략이다. 본 논문에서는 한 개의 클러스터에 속한 컨테이너를 한 블록 내 두 곳에 장치하는데, 이 배치 방법에서는 한 곳에서 작업이 연속적으로 일어난 뒤에 다른 곳에서 나머지 작업이 발생된다. [그림 6]은 한 개의 클러스터가 10개의 컨테이너로 구성되어 있고 한 기의 QC에서 컨테이너 1부터 컨테이너 10까지 순서대로 적하되는 경우를 대상으로 장치장의 배치 상태를 각 전략 별로 보여준다. 집중 배치는 [그림 6]의 (a)와 같이 한 곳에서 1부터 5까지의 컨테이너를 장치시키고 다른 곳에 6부터 10까지의 컨테이너를 장치한다. 따라서 이 배치 전략에서는 한 기의 ATC가 한 기의 QC를 지원할 수 있어야 지연이 발생하지 않는다.

4.3.2 분산 배치

분산 배치 전략은 집중 배치 전략과 같이 한 개의 클러스터에 속한 컨테이너를 두 곳에 배치하되 연속적으로 적하(또는 양하)될 컨테이너들을 양쪽에 번갈아 배치하는 전략이다. 예를 들어 [그림 6]의 (b)와 같이 QC에서 연속적으로 발생되는 10개의 컨테이너에 대해 한 쪽에는 1, 3,…,9 컨테이너들을 배치하고 다른 쪽에는 2, 4,…,10 컨테이너들을 배치한다. 이 방식에서는 한 기의 ATC가 컨테

1) 같은 선박에 실리는 컨테이너들은 목적항, 크기(20피트, 40피트), 무게 그룹에 따라 여러 개의 클러스터로 분류된다. 본 연구에서 한 개의 클러스터에 속한 컨테이너들은 한 기의 QC에서 연속적으로 작업된다고 가정하였다.

이너 1을 처리한 후 QC가 컨테이너 2를 처리하는 동안 컨테이너 3을 미리 작업하거나 다른 외부 트럭 작업을 수행할 수 있도록 하는 방식이다. 분산 배치 전략은 한 클러스터의 컨테이너들을 한 기의 본선 작업 순서상 얼마 간격으로 한 곳에 배치하느냐에 따라 분산 배치 1과 분산 배치 2로 구분될 수 있다. 분산 배치 1이란 [그림 6]의 (b)와 같이 본선 작업 순서 상에서 간격 1단위로 교대로 컨테이너를 배치하고, 한 곳에서 연속적으로 일어나는 작업 사이 간격이 1인 것이고 분산 배치 2는 [그림 6]의 (c)와 같이 그 간격이 2이다.



[그림 6] 집중 배치와 분산 배치

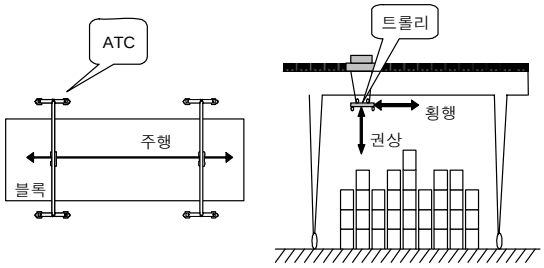
5. 시뮬레이션 모델

본 장에서는 여러 환경에서 ATC의 작업 할당 및 YT 배차 휴리스틱들을 평가하기 위한 시뮬레이션 모델을 소개한다. ATC 운동 모델과 재취급 컨테이너의 장치 위치 방법을 설명하고 YT 시뮬레이션 모델을 설명한다. 또한, 전체적으로 시뮬레이션을 수행하기 위한 방법을 소개하고 실제 컨테이너 터미널의 환경과 유사한 물량 발생 모델에 대하여 설명한다.

5.1 ATC 시뮬레이션

• ATC 운동 모델

ATC의 운동 모델은 주행, 횡행, 권상의 3가지로 나눌 수 있다. [그림 7]과 같이 주행은 ATC가 레일 위로 움직이는 것이고, 횡행은 트롤리가 좌우로 움직이다. 권상은 트롤리가 컨테이너를 집거나 놓기 위해 아래 위로 움직이는 것이다. 실제 터미널에서는 세가지 운동 모두 최대 속도에 도달할 때까지 가속하고, 정지하기 위하여 감속을 하지만 주행은 등속도 운동을 한다고 가정하였다. 주행이나 횡행의 경우 부하 또는 무부하인지 여부에 영향을 받지 않고 정해진 가속도와 최대 속도에 따라 움직인다. 반면 권상의 경우 트롤리가 들고 있는 컨테이너의 무게에 따라 가속도와 최대 속도가 바뀌고 컨테이너를 놓을 때에는 파손을 방지하기 위해 일정 위치부터 천천히 감속하여 놓아야 한다. 그리고 주행과 횡행은 동시에 가능하지만 권상은 안전 문제 때문에 다른 운동과 동시에 수행할 수 없다.



[그림 7] ATC의 운동

한 개의 블록에 두 기 이상의 교차 불가능한 ATC가 사용이 되면 ATC는 서로 간섭을 회피하며 이동한다. 본 논문에서는 간섭을 회피하며 이동하는 ATC를 시뮬레이션하기 위하여 시공간 그래

프를 이용하였다(김민주, 2006). 2장에서 간섭을 회피하기 위한 방안으로 한 기의 ATC에 우선순위를 두는 방법이 있는데 본 논문에서는 간섭이 발생시 먼저 이동한 ATC가 우선적으로 작업을 처리하도록 하였다.

- **재취급 컨테이너에 대한 장치 위치 결정 방법**

적하 또는 반출 작업 시 꺼내고자 하는 컨테이너 위에 다른 컨테이너가 있으면, 먼저 그 컨테이너를 다른 곳에 장치 시켜야 하는데 이를 재취급 작업이라 한다. 재취급 컨테이너의 효과적인 장치 위치 결정 방안은 이 후에 일어날 재취급 횟수를 줄일 수 있다. 뿐만 아니라 재취급 횟수는 적하 작업 또는 반출 작업의 성능과 직결되므로 효율적인 재취급 컨테이너의 장치 위치 결정 휴리스틱이 필요하다.

반출 작업은 이후에 일어날 반출 작업을 미리 알지 못하기 때문에 동일 베이 내에서 가장 낮은 단에 장치한다. 가장 낮은 단에 쌓으면 이후 발생할 재취급 수를 줄일 가능성이 크기 때문이다. 또한, 다른 베이에 컨테이너를 장치하여도 되지만 재취급 시 베이 간의 이동시간은 외부 트럭 지연을 가져오기 때문에 이를 최소화하기 위하여 같은 베이 내에 장치한다(강재호 외, 2004).

5.2 YT 시뮬레이션

실제 컨테이너 터미널에서 YT는 여러 경로로 이동 할 수 있기 때문에 이동 경로를 선택해야 한다. 본 논문에서는 YT 운동 모델을 간략하게 하기 위하여 아래와 같이 세 가지를 가정하였다.

- 모든 YT는 주어진 이동 방향을 지키면서 최단 경로로 이동한다.
- YT의 속도는 $N(40,1^2)$을 따른다.
- 블록의 TP 또는 QC에 도착한 YT는 순서에 상관없이 작업 할 수 있다.

첫 번째 가정으로부터 YT의 출발지에서 목적지까지의 거리를 얻을 수 있고 이를 두 번째 가정으로부터 얻은 YT 속도로 나누어 이동시간을 구할 수 있다. 세 번째 가정의 경우, 한 개의 블록 TP 아래 YT a가 도착 한 후 YT b가 도착해도 ATC에서 YT b를 먼저 처리 해야 한다면 YT b가 작업을 먼저 처리 할 수 있고 그 순서 변경으로 인하여 드는 비용은 없다고 가정한다.

5.3 ATC와 YT 통합 시뮬레이션

QC, ATC, YT를 통합적으로 시뮬레이션 하는 방법을 소개한다. 장비의 종류마다 수행할 수 있는 동작(Operation)과 현재의 상태(state)들이 있고 각 장비마다 각기 다른 현재의 시각과 상태를 가진다. 모든 작업에는 그 작업을 수행하기 위하여 필요한 모든 장비들에 대한 원천 위치와 목적 위치가 있다. 원천 위치는 컨테이너가 옮겨지기 전의 위치이고 목적 위치는 컨테이너가 옮겨져야 할 위치이다. 예를 들어 양하 작업의 경우 YT의 원천 위치는 특정 QC가 되고 목적 위치는 블록의 특정 TP가 될 것이다. 그리고 ATC의 원천 위치는 특정 TP이고 목적 위치는 블록 내 한 곳이 될 것이다. 이후에서는 원천 위치를 Src로 목적 위치를 Dst로 나타낸다.

각 YT의 현재 상태는 현재 수행하고 있는 작업과 그 작업의 진행 상태를 나타내는 5가지(Idle, Src Ready, Src Finish, Dst Ready, Dst Finish) 상태 중 한 가지로 나타낸다. Idle 상태는 작업을 받았지만 아직 작업을 수행하지 않은 상태이다. Src Ready란 YT가 원천 위치에 도착한 상태지만 아직 컨테이너를 싣지 않은 상태이고 Src Finish란 YT가 원천 위치에서 컨테이너를 상차한 상태로 YT는 부하 상태가 된다. Dst Ready는 YT가 목적 위치에 도착한 상태이고 Dst Finish는 목적 위치

에서 QC 또는 ATC에 의해 컨테이너를 하차한 상태로 무부하 상태이다. Dst Finish 상태가 되면 YT는 스케줄 상의 새로운 작업을 요청하게 된다. 이후 새로운 작업을 받지 않으면 YT는 Dst Finish상태에 있게 된다. 이러한 상태 변화 중에서 YT의 이동이 발생하는 구간은 Idle과 Src Ready, Src Finish와 Dst Ready 사이로 각각 YT의 MoveSrc와 MoveDst Operation에 의해 수행된다. 예를 들어, YT가 새로운 적하 작업을 받으면 Idle 상태가 되고 컨테이너를 싣기 위해 MoveSrc Operation을 통해 블록의 TP에 도착하면 SrcReady 상태가 된다. ATC가 YT에 컨테이너를 놓으면 YT는 SrcFinish 상태가 되고 MoveDst Operation을 통해 QC 아래에 도착하면 DstReady 상태가 된다. 마지막으로 QC가 YT의 컨테이너를 집으면 YT는 DstFinish 상태가 되고 새로운 작업을 다시 할당받게 된다.

QC의 경우 Ready와 Done 상태를 가진다. 본 논문에서는 QC에 대하여 구체적으로 다루지 않기 때문에 QC의 시뮬레이션 모델을 간략화 하였다. QC에서 발생되는 모든 작업들에는 QC Deadline이 있는데, QC Deadline이 되면 QC는 Ready 상태로 되고 이 때까지 YT가 QC아래 도착하면 YT에 컨테이너를 내려 놓거나 YT로부터 컨테이너를 집을 수 있다. 그렇지 않으면 QC는 YT가 QC 아래 도착할 때까지 대기 한 후 작업을 처리한다. 이러한 작업이 끝나면 QC가 수행한 작업은 Done 상태로 되고 QC는 새로운 작업을 받는다. 컨테이너를 YT에 내려 놓거나 YT로부터 집을 때 QC의 상태도 바뀌지만 QC의 작업에 의해 YT의 상태도 바뀌게 된다. 양하 작업의 경우 QC가 컨테이너를 YT에 놓으면 QC는 Done 상태가 되는 동시에 YT는 SrcFinish 상태로 된다. 적하 작업의 경우 QC가 YT에서 컨테이너를 집으면 QC의 작업은 Done이 되고 YT는 DstFinish 상태로 된다. 즉, QC는 특정 작업의 QC 상태를 Ready에서 Done으로 바꾸어 주는 동작과 해당 YT를 SrcReady에서 SrcFinish 또는 DstReady에서 DstFinish 상태로 바꾸어 주는 동작을 가지고 있다.

```
procedure Simulate
  Input : QC Schedule, ATC Schedule, YT Schedule,
  Terminal Status
  Ouput : Terminal Status after simulate

  do
    do
      for each qc in QC do
        job←qc.QCRequest()
        yt ←GetCorrespondingYT(job)

        if( job.type = 'L' and yt.state = SrcReady)
          yt.state ← SrcFinish
          qc.state ← Done
        else if(job.type = 'U' and yt.state = DstReady)
          yt.state ←DstFinish
          qc.state ← Done
    while(IsThereAvailableQCJob())

    do
      for each yt in YT do
        job ← yt.YTRequest()

        if(yt.state = Idle)
          yt.MoveToSrc(job)
          yt.state = SrcReady

        else if(yt.state = SrcFinish)
          yt.MoveToDst(job)
          yt.state = DstReady
    while(IsThereAvailableYTJob())

    do
      for each atc in ATC do
        job ← atc.ATCRequest()
        yt ← GetCorrespondingYT(job)

        if(job.type = 'U' and yt.state = DstReady)
          yt.state ← DstReady
        else if(job.type = 'L' and yt.state = SrcReady)
          yt.state ← SrcReady

    while(IsThereAvailableATCJob())

  while(IsThereAvailableJob())
```

[그림 8] 통합 시뮬레이션 알고리즘

ATC도 QC와 유사한 동작을 가지고 있다. 적하 작업의 경우 컨테이너를 블록에서 가져와 YT에 싣고 나면 YT는 SrcReady 상태에서 SrcFinsih 상태로 바뀐다. 또한 양하 작업의 경우 QC에서 컨테이너를 싣고 블록에 도착한 YT로부터 컨테이너를 집으면 YT의 상태는 DstReady에서 DstFinish 상태로 바뀐다. 통합 시뮬레이션 알고리즘을 [그림 8]에 나타내었다.

5.4 컨테이너 물량 발생 모델

앞서 제시한 ATC와 YT 휴리스틱, 장치 전략 등을 시뮬레이션을 통해 비교 실험하기 위하여 실제 환경을 반영한 컨테이너 물량 발생 모델이 필요하다. 본 논문에서는 한 선석당 3기 또는 4기의 QC가 작업을 하고 한 기의 QC는 40개의 컨테이너를 한 시간 동안 처리한다. 한 선박에서 양하, 적하되는 물량은 각각 1,000개이고 반출입 되는 물량은 반출입되는 컨테이너가 블록에 장치되어 있는 기간을 최대 7일로 가정한 날짜별 반출입 비율을 사용하여 생성한다(김민주 외, 2005).

본 논문에서는 여러 개의 선석을 대상으로 하기 때문에 양하 또는 반입 컨테이너에 대해서 장치할 블록을 결정해야 한다. 한 선석에 적하하기 위하여 반입된 컨테이너들은 해당 선박의 선석에 위치한 여러 블록에 골고루 장치되고 이와 유사하게 한 선석에서 양하된 컨테이너는 해당 선석에 위치한 여러 블록에 골고루 장치된다. 그리고 한 블록 내에서는 4장에서 언급한 장치 위치 결정 방안에 따라 컨테이너의 위치가 결정이 된다.

6. 실험 및 결과 분석

본 논문에서 제시한 YT와 ATC의 휴리스틱 조합, 장치 전략을 달리 하여 QC 생산성과 외부트럭 지연 시간을 비교해 보았다. 뿐만 아니라, 작업에 YT를 할당할 수 있는 범위(YT 풀링 범위)를 다르게 설정하여 실험하였다.

6.1 실험 환경

실험 환경은 아래 <표 3>과 같다. 장치장 내에는 4개의 선석이 있고 한 선석당 5개의 블록이 있다. 한 개의 선석에는 세 기 또는 네 기의 QC가 배치되어 있고 한 기의 QC에 평균 4대의 YT가 할당된다. 한 개의 블록은 6단 9열의 34개 베이로 구성되어 있다. 한 기의 QC는 한 시간에 최대 40box를 처리 할 수 있다.

이와 같은 실험 환경 하에서 양적하 작업은 서로 떨어진 두 개의 선석에서 각각 발생되고, 각 선석에서 세 기의 QC에 의해 작업된다. YT의 수는 한 기의 QC에 평균 4대의 YT가 투입된다고 보고 총 24대의 YT를 사용하였다.

<표 3> 실험 환경

장치장 Layout	4선석, 선석 당 5블록 총 QC 수 : 14기
블록 Layout	20ft 기준 34베이 20ft : 40ft 컨테이너 비율 = 2 : 3
QC 생산성	40box/h
YT 수	작업하는 QC당 4대

본 논문에서는 컨테이너 터미널에서 발생할 수 있는 다양한 상황을 모사하기 위하여 <표 4>와 같이 반출입 작업 수와 장치장 초기 상태를 다르게 한 두 가지 시나리오를 설정하였다. <표 4>는 각 시나리오의 장치장 초기 점유율과 반출입 트럭 수를 나타내고 있다. 초기 장치장에 적재된 컨테이너 수와 반출입 트럭의 수가 적은 쪽이 첫 번째 시나리오이고, 보다 많은 쪽이 두 번째 시나리

오이다.

양적하 작업과 반출입 작업이 동시에 일어나는 환경에서 8시간 동안 일어날 작업을 대상으로 시뮬레이션 한다면 컨테이너 터미널에서 일어 날 수 있는 다양한 상황이 발생할 수 있다. 따라서, 본 논문에서는 효율적인 ATC 운영 휴리스틱, YT 운영 휴리스틱, 장치 전략 및 YT 풀링 범위를 찾기 위하여 각 휴리스틱 조합으로부터 나온 운영 계획을 시뮬레이션하여 평가하였다. 각 조합에 대하여 각 시나리오 별로 서로 다른 random seed를 사용하여 5회 실험하여 평균하여 평가하였다.

<표 4> 시나리오 별 장치장 점유율과 외부트럭 수

	시나리오 1	시나리오 2
장치장 초기 점유율	48%	57%
반입[단일블록]	8.0(box/h)	12.1(box/h)
반출[단일블록]	7.2(box/h)	9.7(box/h)
반입[혼합블록]	2.4(box/h)	5.1(box/h)
반출[혼합 블록]	2.8(box/h)	4.2(box/h)

6.2 장치 전략 별 ATC, YT 운영 휴리스틱 비교

4장에서 제시한 장치 전략을 다르게 하여 ATC와 YT 운영 휴리스틱 조합들을 평가해 보았다. 장치 전략을 비교한 후 ATC 작업 할당 휴리스틱들과 YT 배치 휴리스틱들을 분석하고자 한다.

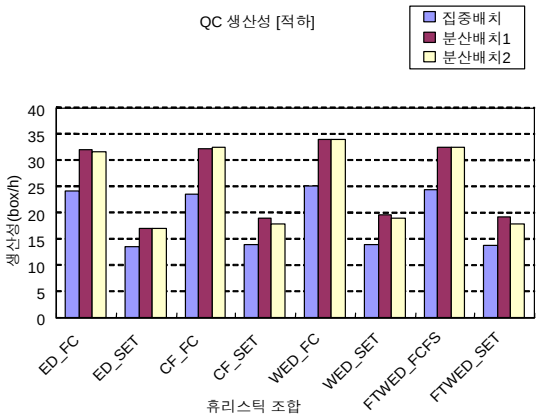
[그림 9], <표 5>와 [그림 10]은 장치 전략과 휴리스틱 별 QC 생산성을 실험한 결과로 적하 및 양하 작업의 QC 생산성을 보여준다. [그림 9]와 [그림 10]에서 가로 축은 ATC와 YT 운영 휴리스틱 조합을 나타내고 “ATC 운영 휴리스틱_YT 운영 휴리스틱”으로 표현이 된다. 왼쪽부터 ED_FC, ED_SET, CF_FC, CF_SET, WED_FC, WED_SET, FTWED_FC, FTWED_SET이다. 예를 들어 ED_FC란 ATC 운영 휴리스틱으로 ED를 사용하였고 YT 운영 휴리스틱으로 FC를 사용한 것을 의미한다. 세로 축의 QC 생산성은 한 기의 QC가 한 시간 동안 처리한 컨테이너 수를 나타내는 것이다. ATC 운영 휴리스틱 WED와 FRWED에서 본선 작업 가중치로 20을, 반출입 작업의 가중치로 1을 사용하였고, FTWED의 지연 허용 시간 C는 10분을 적용하였다.

[그림 9]에서 WED_FC 장비 운영 조합을 사용하였을 때 장치 전략별 QC 생산성을 비교해 보면, 집중 배치 전략은 적하 작업 시 QC 생산성이 QC 최대 생산성(40box/시)의 64.8% 밖에 되지 않는다. 반면, 분산 전략 1와 분산 전략 2은 각각 QC 최대 생산성의 각각 86.3%, 86.5%의 생산성을 가진다. 이것은 집중 배치 전략을 사용하면 QC에서 연속적으로 발생되는 작업이 ATC에서도 연속적으로 일어나는데 한 기의 ATC가 한 기의 QC를 지원하지 못하므로 발생한 결과이다. [그림 10]의 양하 작업의 경우, 집중 배치 전략이 대체로 좋지 않지만 다른 장치 전략과의 차이가 적하 작업시보다 작다. 이것은 적하 작업에서는 재취급이 발생하기 때문에 집중 배치 전략이 더욱 불리하다는 것을 의미한다. 분산 배치 1과 분산 배치 2는 적하 작업에서는 큰 차이가 없었으나 양하 작업에서는 분산 배치 1이 대체로 효율적이었다. 장치 전략으로 집중 배치를 사용하면 ATC와 YT 스케줄을 효율적으로 세운다고 하더라도 높은 생산성을 얻기 힘들기 때문에 이후 실험 분석은 분산 배치를 사용한 경우를 대상으로 하였다.

같은 장치 전략과 YT 운영 휴리스틱을 사용하고(ED_FC, CF_FC, WED_FC, FTWED_FC) ATC 작업 할당 휴리스틱을 변경 하였을 때 WED,

FTWED, ED, CF 순으로 성능이 좋았다. WED와 FTWED는 양적하 작업에 가중치를 두었기 때문에 높은 QC 생산성을 보인다. FTWED는 어떤 작업의 지연이 주어진 한계를 넘으면 그 작업을 우선적으로 처리하도록 하여 반출입 작업이 크게 지연되는 것을 방지 하는 대신 QC 생산성은 조금 낮은 결과를 보인다.

같은 장치 전략과 ATC 운영 휴리스틱을 사용하고(ED_FCFS, ED_SET) YT 배정 휴리스틱을 다르게 하여 비교하여 보면, 모든 경우에서 FC가 좋은 성능을 보인다.

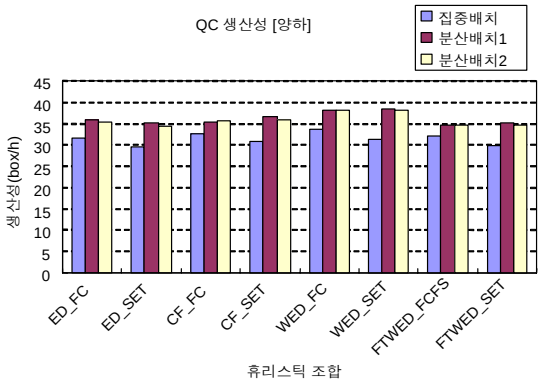


[그림 9] 적하 작업의 휴리스틱 조합별 QC 생산성

<표 5> 적하 작업의 휴리스틱 조합 별 QC 생산성

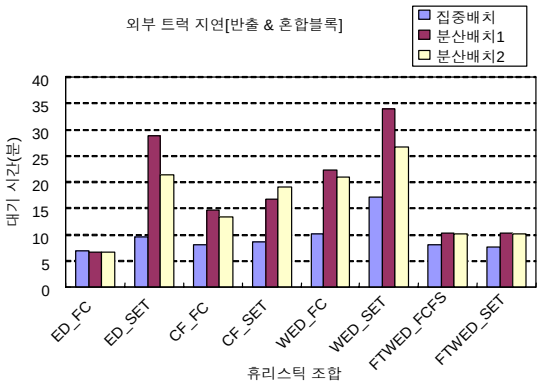
(단위 : box/시)

	집중 배치	분산 배치 1	분산 배치 2
ED_FC	25.3	33.3	32.5
ED_SET	14.0	16.9	17.1
CF_FC	25.3	32.1	32.7
CF_SET	14.2	18.7	18.9
WED_FC	25.9	34.5	34.6
WED_SET	14.2	18.9	18.5
FTWED_FC	25.7	33.7	33.7
FTWED_SET	13.5	19.6	17.7



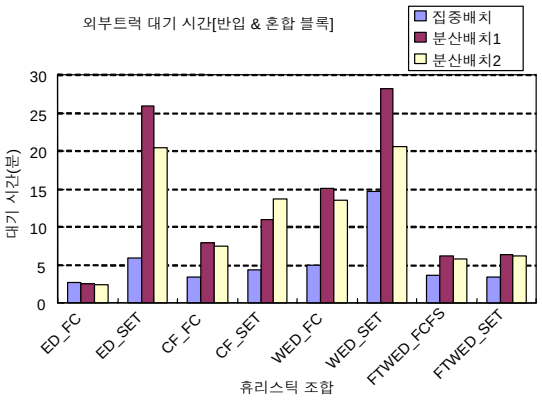
[그림 10] 양하 작업의 휴리스틱 조합별 QC 생산성

[그림 11]과 [그림 12]는 반출입 작업과 양적하 작업이 같이 일어나는 혼합 블록에서의 반출, 반입 트럭의 평균 대기시간을 나타낸다. 대체적으로 집중 배치 전략은 모든 휴리스틱 조합에서 외부 트럭 지연이 적다. 집중 배치 전략이 외부 트럭 대기시간이 짧은 이유는 한 기의 ATC가 본선 작업을 처리 하는 동안 다른 ATC는 반출입 작업을 전담하여 처리하는 효과를 가져다 주기 때문이다. 분산배치 2가 분산 배치 1보다 외부트럭 대기 측면에서 좋은 성능을 보이는데 이것은 한 곳에서의 연속적인 본선 작업간의 간격이 길어서 그 동안 분



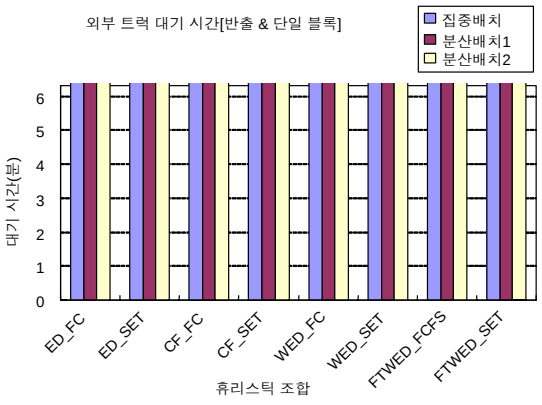
[그림 11] 반출트럭 평균 대기시간(혼합블록)

산 배치 1보다 더 많은 반출입 작업을 처리 할 수 있기 때문이다. QC 생산성이 가장 좋았던 WED는 다른 휴리스틱과 비교하여 외부트럭 지연이 크지만, FTWED는 WED에 외부트럭 지연 한계 시간을 더해 줌으로서 QC 생산성은 조금 낮지만 외부트럭 지연 측면에서 좋은 성능을 보였다.



[그림 12] 반입트럭 평균 대기시간(혼합 블록)

[그림 13]은 반출입 작업만 일어나는 단일 블록에서 반출트럭 한 대의 평균 대기시간을 나타낸다. 외부트럭이 한번에 작업이 연속적으로 일어나는 일은 드물기 때문에 ATC 작업 할당 휴리스틱과 장치 전략에 상관없이 비슷한 결과를 보인다.



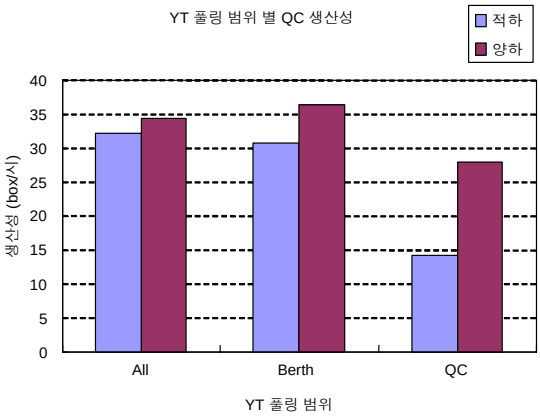
[그림 13] 반출트럭 평균 대기시간(단일 블록)

본선 작업의 지연 최소화를 중요시 한다는 측면에서 QC 생산성과 외부트럭 대기 시간을 통합하여 보았을 때 장치 전략 분산 배치 전략 1과 FTWED_FC를 적용하였을 때 QC 생산성도 좋았고 외부트럭 대기시간도 적었다.

6.3 YT 선택 범위에 따른 QC 생산성 비교

YT를 배차할 때 선택 가능한 YT의 집합을 풀이라고 하였다. 이렇게 YT를 배차하는데 있어서 풀을 형성하고 선택 가능한 풀에서 YT를 선택하는 방식을 풀이라고 한다. 본 절의 실험에서는 YT의 풀링 범위를 세 가지로 나누었다. 각 QC에 4대의 YT를 할당하고 각 QC에서 일어나는 작업들은 할당된 YT들이 처리하는 방안(QC), 선석 별로 YT를 할당하여 각 선석에서 일어나는 작업들은 해당 선석에 할당된 YT들이 처리하는 방안(Berth) 그리고 YT를 특정 범위에 할당하지 않고 장치장에서 일어나는 본선 작업을 모든 YT 중에서 선택하여 처리하는 방안(All)이 있다.

본 실험에서는 ATC와 YT 운영 휴리스틱 조합으로 FTWED_FC를, 장치 전략으로 분산 전략1를 사용하였을 때, YT 풀링 범위를 다르게 하여 실험한 결과를 비교해 보았다. [그림 14]는 YT의 풀링 범위 별 QC 생산성을 나타낸다. YT에 특정 범위를 할당하지 않는 방법과 각 선석에 YT를 할당하는 방법과 큰 차이를 보이지 않았다. 적하 작업에서 해당 YT를 QC별로 할당을 했을 때 범위를 할당하지 않은 방법보다 44% 낮은 QC 생산성을 보였다. 본 논문의 실험 환경은 두 개의 떨어진 선석에서 본선 작업이 발생되지만 인접한 두 개의 선석에서 본선 작업이 발생되면 전체 터미널을 대상으로 풀링하는 방법이 더욱 효과적일 것으로 예상된다.



[그림 14] YT 풀링 범위에 따른 QC 생산성

7. 결론 및 향후 과제

본 연구에서는 수평 배치 장치장 터미널에서 양적하 작업과 반출입 작업이 동시에 발생되는 다양한 상황을 대상으로 시뮬레이션을 통해 여러 가지 ATC 작업 할당 휴리스틱, YT 배정 휴리스틱, 장치 전략 그리고 YT 풀링 범위들을 비교 실험 하였다. 이러한 실험을 통해 장치 전략은 한 QC의 연속된 작업을 두 ATC가 번갈아 가며 수행할 수 있도록 컨테이너를 분산 배치하는 전략이 좋은 성능을 보였다. ATC 작업 할당을 위해서는 작업의 마감 시각으로부터 작업의 예상 완료 시각을 뺀 값이 적은 작업을 선택하는 휴리스틱이, YT 배정을 위해서는 가장 빨리 도착할 수 있는 YT를 배정하는 휴리스틱을 사용하는 것이 가장 좋은 성능을 보였다. 그리고 YT 풀링 범위는 터미널 전체 또는 선석 단위로 하는 것이 보다 더 QC의 생산성을 높일 수 있음을 보였다.

향후 연구로 개별적인 ATC와 YT 장비의 계획이 아니라 장비간에 계획 정보를 주고 받음으로써 장비간 연동과정에서 발생하는 손실을 줄일 수 있는 방안에 대한 연구가 필요하다. 그리고 QC의 생산성을 높이기 위하여 적하 작업에 대한 재취급을 사전에 할 수 있는 방향으로 나아가야 한다. 또한, 본 논문에서는 양적하 작업과 반출입 작업을 대상으로 실험 하였는데, 이들 작업 외에도 터미널에서는 주로 블록 내(또는 블록간)에서 컨테이너를 옮기는 이적 작업이 있다. 이적 작업에 대해서도 효율적인 실행 계획 수립 방안을 마련하여 반영할 필요가 있다.

참고문헌

[1] 강재호, 김민주, 이정호, 이진경, 이용완, 강시협, 류광렬, 김갑환, “자동화 컨테이너 터미널의 AGV 작업 할당 휴리스틱”, *한국지능정보시스템학회 2004 춘계학술논문발표회 논문집*, (2004), 373-381.

[2] 강재호, 오명섭, 류광렬, 김갑환, “반입 컨테이너 무게를 고려한 재취급 최소화 장치 위치 결정 방안”, *한국지능정보시스템학회 2004 춘계학술논문발표회 논문집*, (2004), 271-278.

[3] 김민주, 박태진, 강재호, 류광렬, 김갑환, “자동화 수평 배치 블록을 위한 시뮬레이션 기반 컨테이너 장치 전략 평가”, *2005년 한국항만학회 학술대회 논문집*, (2005), 359-367.

[4] 김민주, “자동화 컨테이너 터미널의 장치장 크레인을 위한 실시간 작업 계획 최적화”, 석사학위논문, 부산대학교, 2006.

[5] 왕승진, “자동화 컨테이너 터미널에서의 장치장 운영규칙에 관한 연구”, 석사학위논문, 부산대학교, 2002.

[6] 이석준, “자동화 컨테이너터미널에서의 자동화 야드 크레인의 작업순서 결정법”, 석사학위논문, 부산대학교, 2003.

[7] 이정호, “자동화 컨테이너 터미널에서 본선작업의 실시간 스케줄링에 관한 연구”, 석사학위논문, 부산대학교, 2005.

[8] Bish, E. K., "Theoretical Analysis and Practical Algorithm for Operational Problems in Container Terminals", Ph.D. Thesis Northwestern University, 1999.

[9] Van der Meer, R., "Operational Control of Internal Transport", Erasmus Research Institute of Management, Ph.D. Series Research in Management 1, 2000.

Abstract

The Operation of the Yard in a Terminal

Eun Yeong Ahn* · Byoungho Kang* · Jaeho Kang* · Kwang Ryel Ryu* · Kap Hwan Kim**

These days, the number of automated container terminals is increasing to encourage the productivity of the container terminal inside and outside of the country. So far, there have been a lot of researches on the operating one type of equipments in a container terminal. However, there is still room for further improvement as none of equipment works itself but cooperate each other to finish a job, which means synchronization among the equipments is necessary. Among lots of equipments in a terminal, this paper concerns with the operation of ATCs (Automated Transfer Crane) and YTs (Yard Truck). The purpose of this paper is to find the efficient heuristic methods for operating ATCs and YTs that can set up a schedule in a real time. Moreover, using simulation this paper shows the efficient stacking strategy to decide the location of containers to be put and the proper selection range of YTs.

Key words : Container Terminal, Automated Transfer Crane Job Allocation, Yard Truck Job Allocation, YT Pooling, Heuristic

* Department of Computer Science & Engineering, Pusan National University
** Department of Industrial Engineering, Pusan National University