

자동화 수평 배치 장치장의 효율적인 운영을 위한 휴리스틱의 평가

안은영^a, 강병호^a, 강재호^a, 류광렬^a, 김갑환^b

^a 부산대학교 컴퓨터공학과

부산광역시 금정구 장전2동 산30번지 부산대학교 공과대학 컴퓨터공학과

Tel: +82-51-510-{3582, 3531, 2453}, Fax: +82-51-517-2431, E-mail: {tinyahn, bhokang, jhkang, krriu}@pusan.ac.kr

^b 부산대학교 산업공학과

부산광역시 금정구 장전2동 산30번지 부산대학교 공과대학 산업공학과

Tel: +82-51-510-{2419}, Fax: +82-51-510-7603, E-mail: kapkim@pusan.ac.kr

요약

최근 컨테이너 터미널의 생산성 향상을 위한 자동화가 국내외에서 활발히 이루어지고 있다. 이에 따라 자동화 컨테이너 터미널의 주요 자원을 효율적으로 운영하는 방안에 대한 연구가 진행되어 왔다. 본 논문에서는 자동화 수평 배치장치를 대상으로 ATC 작업 할당 휴리스틱과 YT 배정 휴리스틱을 조합하여 시뮬레이션으로 평가해 본다. 더불어 효율적인 장치 전략과 YT 풀링 범위를 알아보고자 한다. 실험 결과 연속되는 본선 작업들을 두 기의 ATC가 하나씩 번갈아 가며 수행하도록 컨테이너를 분산 장치하고, ATC의 작업 예상 완료 시각을 고려하여 마감 시각이 가장 빠른 작업을 우선 처리하는 작업 할당 휴리스틱과 터미널 전체에서 가장 먼저 올 수 있는 YT에 작업을 배정하는 휴리스틱 조합이 가장 효율적이었다.

주제어

컨테이너 터미널, 수평 장치장, 장치 전략, ATC 작업 할당, YT 작업 배정, YT 풀링

1. 서론

국가간의 물동량 증가와 인건비 상승으로 컨테이너 터미널의 경쟁력 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 장치장만 자동화한 반 자동화 터미널을 운영하고 있다.

자동화 터미널에서 사용되는 주요 장비로는 선석에서 선박에 컨테이너를 싣고 내리는 QC(Quay Crane), 선석과 장치장 사이에서 컨테이너를 운반하는 AGV(Automated Guided Vehicle)와 장치장에서 컨테이너를 블록에 쌓거나 꺼내는 ATC(Automated Transfer Crane)이 있다. 반 자동화 터미널에서는

AGV대신 인력으로 운행하는 YT(Yard Truck)을 사용한다. 자동화 컨테이너 터미널의 생산성을 향상시키기 위하여 개별 장비들의 운영 방안은 이전부터 많이 연구되어 왔지만 통합적인 운영 방안에 대한 연구는 아직 부족한 상태이다.

본 논문에서는 반 자동화 수평 배치 터미널을 대상으로 ATC 작업 할당 휴리스틱 기법과 YT 배정 휴리스틱 기법을 조합하여 그 효과를 분석, 평가하고 적당한 컨테이너 장치 전략과 적절한 YT 풀링(pooling) 범위를 실험적으로 밝히고자 한다. ATC 작업 할당 방법으로는 마감 시각이 빠른 작업을 우선 처리하는 휴리스틱, 본선 작업에 가중치를 두고 마감 시간이 빠른 작업을 우선 처리하는 휴리스틱, 가까운 작업을 우선 처리하는 휴리스틱, 작업 예상 완료 시각을 고려한 마감 시각이 빠른 작업을 우선 처리하는 휴리스틱을 비교 실험하였다. YT 배정 방법으로는 가장 빨리 올 수 있는 YT 선택 휴리스틱, 무부하 이동거리가 짧은 YT 선택 휴리스틱 두 가지를 비교하였다. 장치 전략은 크게 두 가지를 적용해 보았다. 첫 번째는 연속되는 본선 작업 대상 컨테이너들을 한 곳에 모아 두는 집중 배치 전략이다. 두 번째는 두 기의 ATC가 연속된 본선 작업을 번갈아 수행할 수 있도록 두 군데로 나누어 장치하는 분산 배치 전략이다. 분산 배치 전략은 세부적으로 한 곳에서 연속되는 본선 작업 대상 컨테이너 수를 한 개 두 개로 나누어 분산 배치 1, 분산 배치 2를 비교하였다. 또한 효과적인 YT 풀링 범위를 비교하기 위하여 터미널 전체, 선석 단위, QC 단위 이 세 가지 경우를 비교하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 운영 장비와 장치 위치와 관련된 기존 연구들을 살펴 보고, 3장에서 실험에 사용한 ATC 및 YT의 운영 휴리스틱들과 장치 전략에 대해 설명하고, 4장에서는 이를 평가하기 위한 시뮬레이션 모델을 소개한다. 5장에서는 시뮬레이션 실험 결과를 정리하여 분석한다. 마지막

6장에서는 결론과 향후 연구 과제로 끝을 맺는다.

2. 관련 연구

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

ATC 운영 연구와 관련하여 이석준[1]은 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. 왕승진[2]은 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.

AGV 운영에 관한 기존 연구로 Bish[3]는 하나의 QC가 처리할 컨테이너들의 이송작업을 AGV에 그리디(greedy)하게 할당하는 방법을 제시하였다. Meer[4]는 작업장에서 가장 가까운 차량에 작업을 할당하는 방법(NVF; Nearest-Vehicle-First)과 차량에서 가장 가까운 작업장의 작업을 할당 받는 방법(NWF; Nearest-Workstation First)을 비교 평가한 결과 NVF가 NWF보다 성능이 우수하다는 것을 보였다. 강재호 등[5]은 작업 지연뿐 아니라 AGV 활용의 효율성을 고려하여 AGV에 작업을 할당 하는 휴리스틱을 제안하였다.

김민주 등[6]은 수평 배치 블록을 대상으로 시뮬레이션 실험을 수행하였다. 컨테이너 장치 전략으로 하나의 선박에 대한 본선 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 유리하다는 것을 보였다.

대부분 기존 연구들은 하나의 운영 장비를 최적화 하였다. 따라서, 개별 장비들의 운영 방안들을 통합 하였을 때 전체 터미널의 생산성을 평가 해 볼 필요가 있다. 본 논문에서는 여러 개의 블록이 있는 수평 배치 장치장을 대상으로 ATC에 효율적으로 작업을 할당하는 방안과 작업에 YT를 배치 하는 방안을 통합적으로 평가 하고자 한다. 또한 장치 전략과 YT 플링 범위를 달리 하여 그 성능을 비교 평가한다.

3. 장비 운영 휴리스틱

본 연구에서 대상이 되는 컨테이너 터미널은 그림 1과 같이 선박이 정박해 있는 해측의 선석과 수출 또는 수입 되기 전에 컨테이너들을 적재해 두는 육측의 장치장으로 구성된다. 선석에는 선박에 컨테이너를 싣거나 내리는 QC가 있다. 장치장에는 선석과

수평으로 배치된 블록들로 구성되어 있는데 각 블록에는 컨테이너를 장치하거나 꺼내는 ATC 들이 있다. 각 블록에는 내부 트럭(YT) 또는 외부 트럭이 정차할 수 있는 TP(Transfer Point)들이 있다. YT 들은 장치장에 위치한 컨테이너들을 선박에 싣거나 선박에서 내린 컨테이너를 장치장에 장치 하기 위하여 선석과 장치장 사이를 이동하면서 컨테이너들을 운반한다.

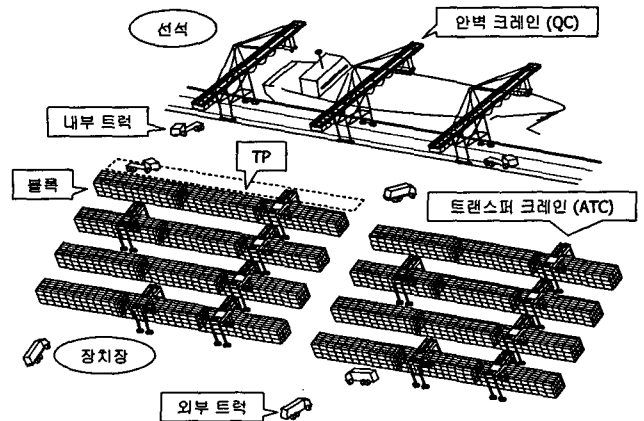


그림 1 - 컨테이너 터미널

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 작업 이 있다. 이 중에서 양적하 작업의 지연은 선박 정박시간을 늘리게 되므로 컨테이너 터미널의 생산성을 저하시킨다. 따라서, 여러 장치 운영 방법과 장치 전략 등을 평가 할 때 양적하 작업의 지연을 줄이는데 큰 비중을 두어야 한다. 컨테이너 터미널의 환경은 매우 유동적이므로 상황에 따라 장비 운영 계획을 자주 세워야 한다. 이를 위해 본 논문에서는 실시간 장비 운영 계획에 적합한 휴리스틱을 대상으로 통합적인 실험을 수행하여 성능을 비교한다.

이 장에서는 ATC의 작업 순서를 결정하는 휴리스틱 방법들과 YT에 작업을 할당하는 휴리스틱 방법들을 설명하고 본 논문에서 실험한 여러 장치 전략을 소개한다.

3.1. ATC 작업 할당 휴리스틱 기법

본 논문에서는 한 블록에 두 기의 ATC를 사용하고 ATC 별로 작업 구역을 지정한다. 각각의 ATC는 해당 작업 구간 내의 작업들에 대하여 우선순위를 세워 처리한다. ATC의 작업 구간을 구분하는 방법으로 한 블록에 일어난 작업들을 두 ATC가 균등하게 처리할 수 있도록 작업 수에 따라 블록을 나누어 각 ATC에 할당한다. 시간이 흐름에 따라 기존 작업이

처리되고 신규 작업이 발생하므로 각 ATC의 담당 영역은 지속적으로 변하게 된다. 계속해서 각 ATC가 작업 구역에서 작업 순서를 결정하는 방법을 설명한다.

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

ED(Earliest Deadline)은 마감 시각이 가장 이른 작업을 우선 처리 하는 방법이다. 작업 별 마감 시각은 표 1로 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, YT가 블록 TP에서 출발해야 하는 예상하는 시각으로 이때 ATC가 컨테이너를 YT에 싣지 못하면 QC 지연이 발생한다. 본 논문에서 반출입 작업은 게이트를 통과한 외부트럭이 블록의 TP에 도착하는 시각을 마감 시각으로 보았다. ED 휴리스틱은 아래 수식 (1)을 만족하는 작업을 선택한다.

$$\arg \min_j (deadline_j) \quad (1)$$

여기서 $deadline_j$ 는 작업 j 의 마감 시각을 의미한다.

3.1.2. 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. 가중치를 둔 마감 시각이 빠른 작업 우선 처리 방법은 양적하 작업의 중요성을 ATC 작업 순서 결정 휴리스틱에 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.

$$\arg \min_j (deadline_j / W_j) \quad (2)$$

여기서 $deadline_j$ 는 작업 j 의 마감 시각이고 W_j 는 작업 별 가중치이다. 본 논문에서는 본선작업에 10의 가중치를 두고 반출입 작업은 1만큼의 가중치를 가진다.

3.1.3. 가까운 작업 우선 처리(Closest First; CF)

가까운 작업 우선 처리 방법은 ATC의 현재 베이에서 가까운 베이에 위치한 작업을 우선 처리 하는 방법이다. 이를 수식으로 나타내면 수식 (3)과 같다.

$$\arg \min_j (|loc_j - loc_t|) \quad (3)$$

여기서 loc_j 는 작업 j 의 베이 위치고 loc_t 은 현재 ATC의 베이 위치이다.

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

FTWED(Finish Time Considered WED)는 두 기의 크레인 간의 간섭을 무시했을 때 작업을 처리 할 수 있는 예상 시각이 마감 시각과 가장 가까운 작업을 우선 처리 하는 것이다. 예를 들어, 그림 2는 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 도착 하면 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. 작업 별 중요도를 달리 하기 위하여 WED 같이 가중치로 나누어 평가 한다. 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 허용 하도록 작업 처리 예상 시각과 마감 시각의 차이에 지연 허용 시간을 더하여 계산한다.

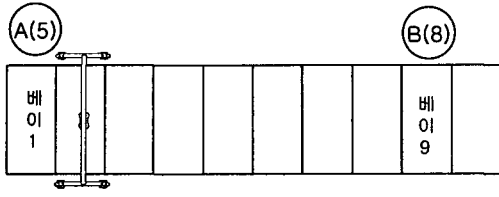


그림 2 - FTWED 휴리스틱의 예

이 방법을 수식으로 나타내면 수식 (4)와 같다.

$$\arg \min_j ((deadline_j - finish_j + C) / W_j) \quad (4)$$

여기서 $finish_j$ 는 간섭을 고려하지 않았을 때 작업을 처리할 수 있는 예상 시각이고 $deadline_j$ 은 작업 j 의 마감 시각, C 는 지연 허용 시간, W_j 는 가중치이다.

3.2. YT 배정 휴리스틱 기법

YT 배정은 배정 가능한 YT들 중에서 한 대의 YT를 선택하여 본선 작업에 할당하는 것이다. 이를 위해, 본선 작업들을 YT 필요 시점을 기준으로 오름차순으로 정렬하고 순차적으로 YT를 배정한다. 여기서 작업별 YT의 필요 시점은 표 2와 같이 정의된다.

표 2 - 작업종류 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 적하 작업이 10분에 일어나고 다른 QC에서 한 개의 양하 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. 여기에서 일관성이란 ATC 또는 QC가 처리하는 작업 순서와 역순으로 YT에 할당되지 않는 상황을 의미한다.

- 한 대의 YT의 작업 순서는 이전에 스케줄링된 한 블록 내 ATC 작업 순서와 일관성이 있어야 한다.
- 한 대의 YT의 작업 순서는 QC의 작업 순서와 일관성이 있어야 한다.

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

FC(First Come)은 작업 j 를 처리하기 위하여 YT를

필요로 하는 지점에 가장 일찍 도착할 수 있는 YT를 선택하는 방법이다. YT y 가 이전에 할당된 모든 작업을 완료하는 시점을 fft_y 라 하고 y 의 마지막 완료 지점에서 작업 j 의 YT 필요 지점까지 이동하는 시간을 $mt_{y,j}$ 라 하면 아래 수식 (5)을 만족하는 YT를 선택하게 된다.

$$\arg \min_y (lft_y + mt_{y,j}) \quad (5)$$

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

SET(Shortest Empty Travel Time)은 수식 (6)과 같이 작업 j 를 처리하기 위하여 YT를 필요로 하는 지점에 가장 가까운 YT를 할당하는 방법이다. 이 경우 지연이 발생하는 것을 무시하고 가까운 YT를 선택하면 먼 곳에 위치한 YT는 작업을 할당받지 못하는 경우가 발생한다. 이를 방지하기 위하여 우선적으로 작업을 하고 있지 않고 필요한 시점 내 도착할 수 있는 YT 중에서 가까운 YT를 선택한다. 이러한 YT가 없다면 FC 휴리스틱 기법을 사용하여 YT를 선택한다.

$$\arg \min_y (mt_{y,j}) \quad (6)$$

3.3. 장치 전략

컨테이너 터미널에서 양적하 물량을 장치장에 어떻게 배치하느냐에 따라 QC의 생산성이 크게 달라질 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 적하의 경우 재취급이 발생할 수 있으므로 ATC가 한 기가 QC 작업을 완벽히 지원하기 어렵다. 따라서 본선 작업 대상 컨테이너들을 분산하여 장치하는 방안이 필요하다.[6] 본 연구에서는 하나의 클러스터¹에 속한 컨테이너들을 장치하는가에 따라 집중 배치 전략과 분산 배치 전략으로 구분하였다.

3.3.1. 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 때 한 곳에서 작업이 연속적으로 일어난 뒤 다른 곳에서 나머지 작업이 일어나도록 하였다. 예를 들어 그림 3은 한 개의 클러스터가 10개의 컨테이너로 구성되어 있고 한 기의 QC에서 1부터 10의 컨테이너 순서로 적하하는 경우이다. 집중 배치는 그림 3(a)와 같이 한 곳에서 1부터 5까지의 컨테이너를 장치시키고 다른 곳에 6

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.

부터 10까지의 컨테이너를 장치시켜 적하한다. 즉, 한 기의 ATC가 한 기의 QC를 지원 할 수 있어야 지연이 발생하지 않는 상황이다.

3.3.2. 분산 배치

분산 배치 전략은 집중 배치 전략과 같이 한 개의 클러스터에 속한 컨테이너를 두 곳에 배치 하되 연속적으로 적하 또는 양하될 컨테이너들을 양쪽에서 번갈아 작업한다. 그림 3의 (b)와 같이 QC에서 연속적으로 일어나는 1~6 작업에 대해 한 쪽에는 1, 3, 5 컨테이너들을 다른 쪽은 2, 4, 6 컨테이너를 작업하는 방식이다. 이 방식은 한 기의 ATC가 작업 1을 처리 한 후 QC가 2를 처리 할 시간 동안 작업 3을 미리 하거나 다른 외부 트럭 작업을 처리 할 수 있도록 하는 방식이다. 분산 배치1이란 그림 3의 (b)와 같이 한 곳에서 연속적으로 일어나는 작업 사이 간격이 1인 것이고 분산 배치2는 그림 3의 (c)와 같이 간격이 2인 것이다.

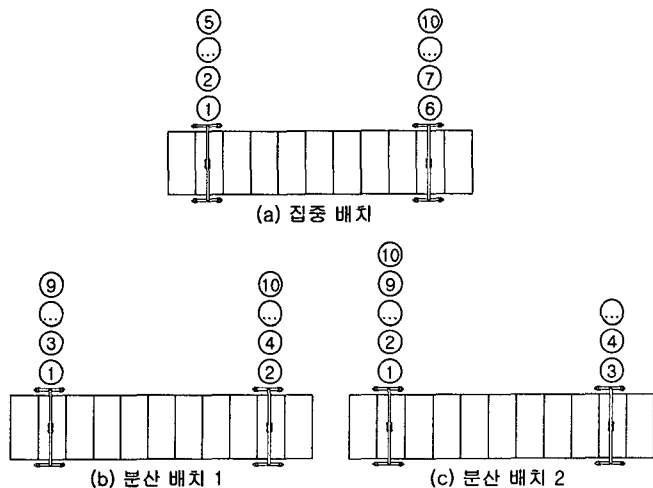


그림 3 - 집중 배치와 분산 배치

4. 시뮬레이션 모델

본 장에서는 여러 환경에서 작업 할당 방법 및 YT 장비 할당 방법의 조합을 평가 하기 위한 시뮬레이션 모델을 소개한다. ATC 운동 모델과 재취급 컨테이너의 장치 위치 방법을 설명하고 YT 시뮬레이션 모델을 소개한다. 이러한 시뮬레이션 모델을 이용하기 위하여 시뮬레이션에 사용한 실제 컨테이너 터미널의 환경과 유사한 물량 발생 모델을 설명한다.

4.1. ATC 시뮬레이션

이 절에서는 본 논문의 실험에서 사용된 ATC의 사양과 재취급 작업 모델에 대해 설명한다.

4.1.1. ATC 운동 모델

ATC의 운동 모델은 주행, 횡행, 권상의 3가지로 나

눌 수 있다. 그림 4와 같이 주행은 ATC가 레일 위로 움직이는 것이고, 횡행은 트롤리가 좌우로 움직인다. 권상은 트롤리가 컨테이너를 집거나 놓기 위해 아래 위로 움직이는 것이다. 실제 터미널에서는 세가지 운동 모두 최대 속도에 도달할 때까지 가속을 하고 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 방지 하기 위해 일정 위치부터 천천히 감속하여 놓아야 한다. 그리고 주행과 횡행은 동시에 가능하지만 권상은 안전 문제로 인하여 다른 운동과 동시에 이루어 질 수 없다. 두 기의 ATC 이동으로 인해 생기는 간섭은 먼저 이동한 ATC가 우선적으로 작업을 처리 하도록 한다.

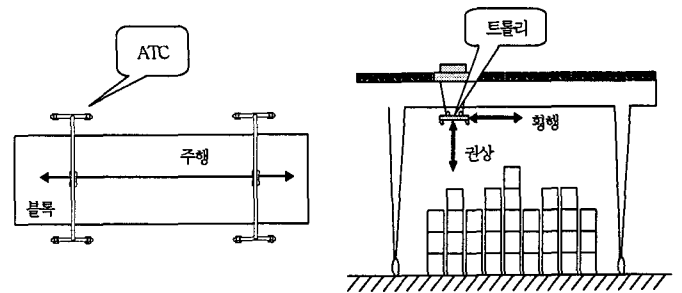


그림 4 - ATC의 운동

4.1.2. 재취급 컨테이너에 대한 장치 위치 결정 방법

적하 또는 반출의 경우 꺼내고자 하는 컨테이너 위에 다른 컨테이너가 있으면 그 컨테이너를 다른 곳에 장치 시켜야 하고 이를 재취급 작업이라 한다. 적하 작업은 정해진 시간 내에 일어날 작업들과 그 순서를 미리 알기 때문에 반출 작업과 재취급 방법이 다르다.

적하 작업에서 재취급은 동일 베이 내에서 정해진 시간 내에 내 적하 작업이 없는 스택들 중에서 가장 낮은 단에 장치한다. 그러한 스택이 없을 경우에는 이후 적하될 컨테이너의 수가 적은 스택에 놓는다. 반출 작업에서는 일어날 작업을 미리 알지 못하기 때문에 재취급 컨테이너를 같은 베이 내에서 가장 낮은 단에 장치 한다.

4.2. 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 최

단 경로로 이동한다.

- YT 이동 시간에는 불확실성이 존재하지 않는다.
- 블록의 TP 또는 QC에 도착한 YT는 순서에 상관없이 작업할 수 있다.

첫 번째 가정으로부터 YT의 출발지에서 목적지까지의 거리를 얻고 이것을 평균 YT 속도(40km/h)를 나누면 평균 이동시간을 구할 수 있다. 두 번째 가정에서 YT의 이동 시간에는 불확실성이 없으므로 첫 번째 가정으로부터 얻은 평균 이동 시간이 YT 이동 시간이 된다. 세 번째 가정의 경우, 한 개의 블록 TP아래 YT a가 도착한 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.

4.3. 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.[1]

본 논문에서는 여러 개의 선석을 대상으로 하기 때문에 양하 또는 반입 컨테이너에 대해서 장치할 블록을 결정해야 한다. 한 선석에 적하하기 위하여 반입된 컨테이너들은 입항할 선박에 위치한 다섯 개의 블록에 끌고루 장치되고 이와 유사하게 한 선석에서 양하된 컨테이너는 해당 선석에 위치한 블록에 끌고루 장치된다. 그리고 한 블록 내에서는 3장에서 언급한 장치 위치 결정 방안에 따라 컨테이너의 위치가 결정이 된다.

5. 실험 및 결과 분석

본 논문에서 제시한 YT와 ATC의 휴리스틱 조합, 장치 전략, YT 풀링 범위를 다르게 실험하여 QC 생산성과 외부트럭 지연 시간을 비교해 보았다.

5.1. 실험 환경

실험 환경은 아래 표 3과 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 36개 베이로 구성되어 있다. 한 선박에서 양하와 적하하는 컨테이너 수는 각각 1,000 인데 이 중 40피트 컨테이너가 60%를 차지 한

다. 4개의 선석을 차례로 1, 2, 3, 4라고 하면 선석 1 과 선석 3에는 각각 2일, 6일 전에 선박이 도착하였고 2 일, 6일 후에 각각 한 대의 선박이 도착할 것이라고 설정하였다. 이 두 개의 선석에서는 양하된 컨테이너들을 반출하고 적하될 컨테이너들을 반입하는 작업이 일어난다. 선석 2와 4에서는 4일 전에 도착한 선박과 4일 후에 도착할 선박에 대한 반출, 반입 작업과 오늘 도착한 선박에 대하여 양하, 적하 작업이 일어난다. 본 실험은 선석 2에서는 양하 작업이 일어나고 선석 4에서는 적하 작업이 일어나는 상황에서 8시간 동안의 작업에 대하여 평가 하였다. 그리고 선박 2와 4에서는 세 기의 QC가 각각 배치 되어 있으므로 총 24대의 YT를 사용하였다.

표 3- 실험 환경

장치장 Layout	4 선석, 선석 당 5블록 총 QC 수: 14 기
블록 Layout	20 ft 기준 36 베이 20ft: 40ft 컨테이너 비율 = 2:3
선박 별 물량	양적하 각각 1,000 box
선석 별 선박 도착 일	선석 1: 6일 전, 2일 전, 2일 후, 6일 후 선석 2: 4일 전, 오늘, 4일 후 선석 3: 6일 전, 2일 전, 2일 후, 6일 후 선석 4: 4일 전, 오늘, 4일 후
YT 수	작업하는 QC 당 4 대

5.2. 장치 전략 별 ATC, YT 운영 휴리스틱 비교

3장에서 제시한 장치 전략을 다르게 하여 ATC와 YT 운영 휴리스틱 조합들을 평가해 보았다. 장치 전략을 비교한 후 ATC 작업 할당 휴리스틱들과 YT 배치 휴리스틱들을 분석한다.

그림 5와 그림 6은 장치 전략과 휴리스틱 별 QC 생산성을 실험한 결과이다. 가로 축은 장비 운영 휴리스틱 조합을 나타내고 “ATC 운영 휴리스틱_YT 운영 휴리스틱”으로 표현이 된다. 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. FTWED의 지연 허용 시간 C는 10분을 적용하였다.

그림 5에서 WED_FC 장비 운영 조합을 사용하였을 때 장치 전략 별 QC 생산성을 비교해 보면, 집중 배치 전략은 적하 작업 시 QC 생산성이 QC 최대 생산성(40box/시)의 54.7% 밖에 되지 않는다. 반면, 분산 전략 1와 분산 전략 2은 각각 QC 최대 생

산성의 각각 87.1%, 86.1%의 생산성을 가진다. 이것은 집중 배치 전략을 사용하면 QC에서 연속적으로 일어 나는 작업이 ATC에서도 연속적으로 일어나는데 한 기의 ATC가 한 기의 QC를 지원하지 못하므로 발생한 결과이다. 그림 6의 양하 작업의 경우, 집중 배치 전략이 대체로 좋지 않지만 다른 장치 전략과의 차이가 적하 작업시보다 작다. 적하 작업에서는 재취급이 발생하기 때문에 집중 배치 전략이 더욱 불리하다는 것을 알 수 있다. 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 당 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 하기 때문에 반출입 작업이 지연되었을 때 우선적으로 처리해 주는 경우가 WED보다 많아서 QC 생산성은 조금 낮은 것이다.

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

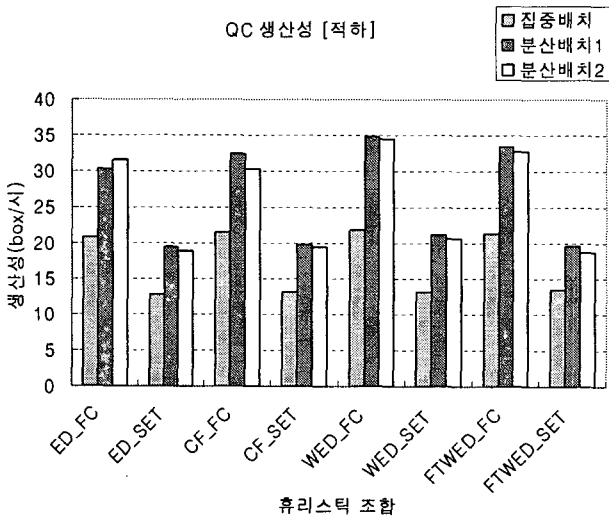


그림 5- 적하 작업의 휴리스틱 조합 별 QC 생산성

표 4- 적하 작업의 휴리스틱 조합 별 QC 생산성 (단위: box/시)

	집중배치	분산배치1	분산배치2
ED_FC	20.7	30.4	31.5
ED_SET	12.8	19.5	18.8
CF_FC	21.4	32.4	30.3
CF_SET	13.2	19.8	19.4
WED_FC	21.9	34.8	34.4
WED_SET	13.2	21.0	20.6
FTWED_FC	21.3	33.5	32.7
FTWED_SET	13.5	19.5	18.7

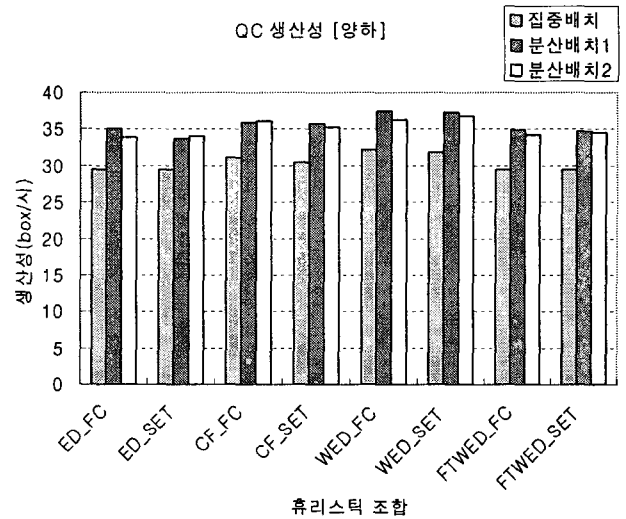


그림 6- 양하 작업의 휴리스틱 조합 별 QC 생산성

그림 7과 8은 반출입 작업과 양적하 작업이 같이 일어나는 혼합 블록에서의 반입, 반출 트럭의 평균 대기 시간을 나타낸다. 대체적으로 집중 배치 전략은 모든 휴리스틱 조합에서 외부 트럭 지연이 적다. 집중 배치 전략이 외부 트럭 대기 시간이 짧은 이유는 한 기의 ATC가 본선 작업을 처리 하는 동안 다른 ATC는 반출입 작업을 전담하여 처리 하는 효과를 가져다 주기 때문이다. 분산 배치2가 분산 배치1보다 외부트럭 대기 측면에서 좋은 성능을 보이는데 이것은 한 곳에서의 연속적인 본선 작업간의 간격이 길어서 그 동안 분산 배치1보다 더 많은 반출입 작업을 처리 할 수 있기 때문이다. QC 생산성이 가장 좋았던 WED는 다른 휴리스틱과 비교하여 외부 트럭 지연이 컸지만, FTWED는 WED에 외부 트럭 지연 한계 시간을 더해 줌으로서 QC 생산성은 조금 낮지만 외부 트럭 지연 측면에서 좋은 성능을 보였다.

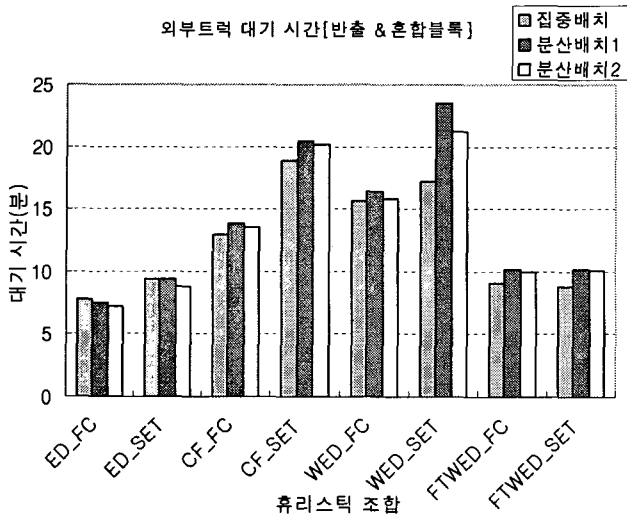


그림 7- 반출 트럭 평균 대기 시간 (혼합블록)

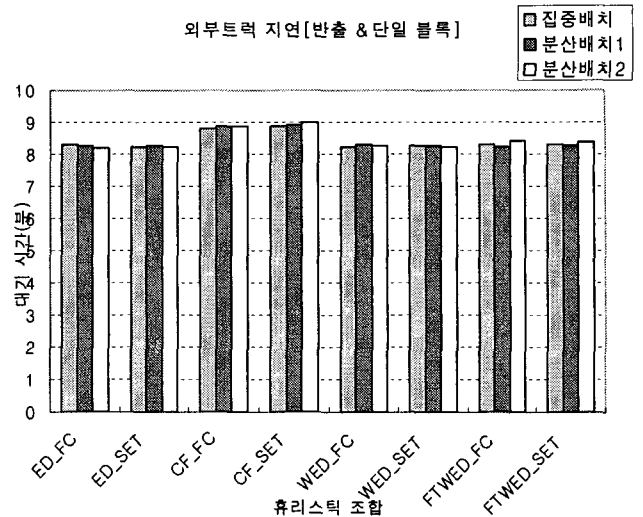


그림 9- 반출 트럭 평균 대기 시간 (단일 블록)

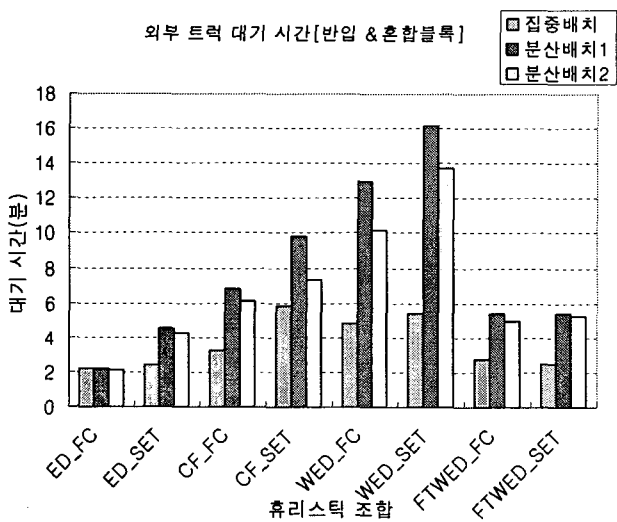


그림 8- 반입 트럭 평균 대기 시간 (혼합 블록)

그림 9은 반출입 작업만 일어나는 단일 블록에서 반출 트럭 한 대의 평균 대기 시간을 나타낸다. 외부트럭이 한번에 작업이 연속적으로 일어나는 일은 드물기 때문에 ATC 작업 할당 휴리스틱과 장치 전략에 상관없이 비슷한 결과를 보인다.

본선 작업의 지연 최소화를 중요시 한다는 측면에서 QC 생산성과 외부트럭 대기 시간을 통합하여 보았을 때 장치 전략 분산 전략1과 FTWED_FC를 적용하였을 때 QC 생산성도 좋았고 외부 트럭 대기 시간도 적었다.

5.3. YT 풀링 범위 비교

앞 절의 실험에서는 YT의 풀링 범위를 전체 장치를 대상으로 하였다. YT 풀링 범위란 작업에 YT를 할당할 때 YT 선택 범위를 말하는 것으로 크게 세 가지로 나눌 수 있다. 전체 YT를 대상으로 하는 방법(All), YT를 선석 별로 할당하여 해당 선석에 속한 YT 중 선택하는 방법(Berth), 각 QC에 4대의 YT를 할당하여 해당 QC에 속한 YT 중 선택하는 방법(QC)이 있다. 본 실험에서는 FTWED_FC 장비 운영 휴리스틱 조합을 사용하고 장치 전략으로 분산 전략 1를 사용하여 YT 풀링 범위를 달리 하여 비교해 보았다. 그림 10은 YT 풀링 범위 별 QC 생산성을 나타낸다. 전체를 대상으로 풀링하는 방법이 가장 좋았지만 해당 선석에 속한 YT를 풀링하는 방법과 큰 차이를 보이지 않았다. 적하 작업에서 해당 QC에 속한 YT를 대상으로 풀링을 하는 경우 다른 풀링 범위 보다 50.1% 낮은 QC 생산성을 보였다. 본 논문의 실험 환경은 두 개의 떨어진 선석에서 본선 작업이 일어나지만 인접한 두 개의 선석에서 본선 작업이 일어난다면 전체 터미널을 대상으로 풀링하는 방법이 더욱 효과적일 것이다.

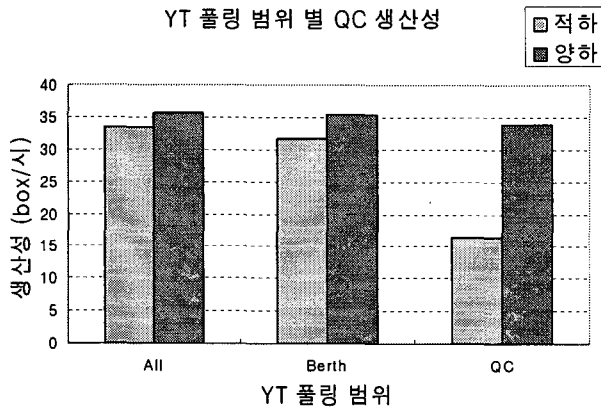


그림 10 - YT 플링 범위에 따른 QC 생산성

6. 결론 및 향후 과제

본 연구에서는 수평 배치 자동화 장치장에서 ATC 작업 할당 휴리스틱과 YT 배치 휴리스틱을 여러 환경에서 비교 실험을 하였다. 한 기의 QC를 여러 기의 ATC가 지원할 수 있도록 QC의 연속된 작업을 두 기의 ATC가 번갈아 가며 수행 할 수 있도록 분산 장치하는 환경에서 이동 시간을 고려하였을 때 작업의 마감 시각과 가까운 작업을 선택하는 ATC 작업 할당 휴리스틱과 작업에 가장 빨리 오는 YT를 장치 할당 휴리스틱을 사용하는 것이 가장 효율적이었다. 그리고 YT 플링 범위를 전체 장치장으로 두었을 때 QC의 생산성을 높일 수 있었다.

본 연구에서는 반출입, 양적하 작업을 대상으로 하였고 적하 작업 시 사전 재취급을 수행하지는 않았다. 향후 연구에서는 실제 컨테이너 터미널에서 QC의 생산성을 높이기 위하여 사전에 적하 작업에 대한 재취급을 할 수 있는 방향으로 나아가야 한다. 또한 개별적인 ATC와 YT 장비의 계획이 아니라 장비간에 계획 정보를 주고 받음으로써 장비간 연동과정에서 발생하는 손실을 줄일 수 있는 방안에 대한 연구가 필요하다.

감사의 글

본 연구는 해양수산부의 '지능형 항만물류 시스템 기술개발' 사업의 일환으로 수행되었으며, 이에 감사 드립니다.

참고 문헌

- [1] 이석준(2003), "자동화 컨테이너터미널에서의 자동화 야드 크레인의 작업순서 결정법", 석사학위논문, 부산대학교
- [2] 왕승진(2002), "자동화 컨테이너 터미널에서의 장치장 운영규칙에 관한 연구", 석사학위논문, 부산

대학교

- [3] Bish,E.K.(1999), "Theoretical Analysis and Practical Algorithm for Operational Problems in Container Terminals", Ph.D. Thesis Northwestern University
- [4] Van der Meer, R. (2000), "Operational Control of Internal Transport", Erasmus Research Institute of Management, Ph.D. Series Research in Management 1
- [5] 강재호, 김민주, 이정호, 이진경, 이용완, 강시협, 류광렬, 김갑환(2004), "자동화 컨테이너 터미널의 AGV 작업 할당 휴리스틱", 한국지능정보시스템학회 2004 춘계학술논문발표회 논문집, pp. 373-381
- [6] 김민주, 박태진, 강재호, 류광렬, 김갑환(2005), "자동화 수평 배치 블록을 위한 시뮬레이션 기반 컨테이너 장치 전략 평가", 2005년 한국항만학회 학술대회 논문집, pp. 359~367