

시간가치를 고려한 자동화 컨테이너 터미널의 수출 컨테이너 이적계획*

배종욱** · 박영만***† · 김갑환****

Export Container Remarshaling Planning in Automated Container Terminals Considering Time Value*

Jong Wook Bae** · Young-Man Park*** · Kap Hwan Kim****

■ Abstract ■

A remarshaling is one of the operational strategies considered importantly at a port container terminal for the fast ship operations and heighten efficiency of stacking yard. The remarshaling rearranges the containers scattered at a yard block in order to reduce the transfer time and the rehandling time of container handling equipments. This paper deals with the rearrangement problem, which decides to where containers are transported considering time value of each operations. We propose the mixed integer programming model minimizing the weighted total operation cost. This model is a NP-hard problem. Therefore we develop the heuristic algorithm for rearrangement problem to real world adaption. We compare the heuristic algorithm with the optimum model in terms of the computation times and total cost. For the sensitivity analysis of configuration of storage and cost weight, a variety of scenarios are experimented.

Keyword : Remarshaling, Automated Container Terminal, Export Container, Yard, Rearrangement, loading operation, Time Value

논문접수일 : 2007년 03월 21일 논문게재확정일 : 2008년 04월 18일

논문수정일(1차 : 2008년 04월 04일)

* 이 논문은 2005년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임(KRF-2005-003-F00025).

** 전남대학교 경상학부

*** 해군사관학교 경영과학과

**** 부산대학교 산업공학과

† 교신저자

1. 서론

컨테이너 터미널의 주요 평가척도 중에 하나는 입항 선박의 재항시간을 결정짓는 본선작업 생산성이다. 본선작업 생산성은 선박에 컨테이너를 싣는 적하작업과 선박에서 컨테이너를 내리는 양하작업 동안의 시간당 컨테이너 처리 개수를 의미한다.

일반적으로 터미널 운영자는 본선작업의 생산성을 높이기 위해 작업에 투입되는 C/C(Container Crane), YT(Yard Tractor) 또는 TC(Transfer Crane)의 대수를 증가시키거나 장치장 계획, 장비 운영계획 등의 효율화를 모색한다. 특히, 장치장 계획은 본선작업 생산성뿐만 아니라 컨테이너 터미널의 애로자원인 장치공간의 효율적 활용과 밀접한 관련이 있다. 본선작업 생산성 측면에서 장치장 계획은 YT와 TC의 효율성을 높이기 위해 본선작업이 수행되는 선박의 접안위치와 근접한 저장위치를 확보하려고 한다. 또한 적하작업 및 반출작업에서의 재취급 작업(rehandling operation)의 발생과 작업 불가능 공간을 줄이기 위해 동일 특성의 컨테이너를 모아두는 특성이 있다. 그러나 적하계획(loading plan), 베이계획(bay plan) 등의 양적하작업에 대한 정보를 반입 작업 과정에서 정확히 파악하기 어렵고 반출입 작업에 많은 가변성이 존재하기 때문에 사전에 수립된 장치장 계획을 효율적으로 운영하는 것은 매우 어렵다. 이러한 장치장 계획의 어려움을 보완하기 위해 터미널 운영자가 활용하는 중요한 운영 전략의 하나가 이적작업(remarshaling operation)이다.

이적작업은 적하 혹은 반출 작업이 수행되기 전에 장치장의 여기 저기에 흩어져 있는 유사한 특성의 적하 또는 반출 컨테이너들을 같은 공간에 모으거나 장치장에서의 위치를 이동시키는 재배치 작업이다. 하지만 지금까지 컨테이너 터미널의 운영에서 이적작업이 심도 깊게 다루어지지 않은 이유는 이적작업이 TC, YT 등의 장비와 운영인력의 추가 투입이 필요하다는 점과 구체적인 작업을 지시하기에는 현장의 변동적 요인이 많기 때문이다.

그러나 무인화된 첨단 장비로 운영되는 자동화 컨테이너 터미널에서는 이러한 장애가 상당부분 해소될 수 있다. 수동 컨테이너 터미널에 비해 인건비의 비중이 낮아짐에 따라 추가 작업에 대한 비용 부담이 적고 장비의 운영에서 보다 정밀하고 예측 가능한 계획의 적용이 가능하기 때문이다.

이 논문은 자동화 컨테이너 터미널에서 적하 컨테이너의 이적작업을 어떻게 계획할 것인지를 다루고자 한다. 입항 선박의 재항시간을 결정짓는 적하작업시간의 가치와 여유 작업시간을 이용한 이적작업시간의 가치는 하역료를 지불하는 고객의 입장을 고려할 때 다르게 평가되어야 한다. 이 논문은 자동화 컨테이너 터미널에서 수행되는 작업별 시간가치를 고려하여 이적작업과 관련된 총 작업비용을 최소화하면서 본선작업의 생산성을 높이기 위한 이적계획을 정의하고 혼합정수계획법을 이용한 최적화 모형과 계산시간 측면에서 효율적인 휴리스틱 해법을 제시하였다.

2. 문헌연구

컨테이너 터미널에 대한 국내외 초기 연구는 거시적인 수송문제나 컨테이너 터미널의 처리능력에 관련된 것들이 주류를 이루었다. 그러나 항만 운영의 중요성이 인식되면서 최근에는 다양한 분야에서 연구들이 진행되고 있다. 이 연구와 밀접한 연구분야로는 장치장 계획 및 위치결정, 재취급 작업계획, 재배치 전략 등이 있다.

김동조와 박영택(1996)은 터미널 운영방법의 중요한 요소인 컨테이너 장치위치 결정법에 출고지역, 출고날짜, 무게 등의 복합 결정요소를 적용하여 이를 자동화하는 계획시스템을 구현한 사례를 소개하고 있다. 박강태(1997)는 선박의 재항시간을 줄이기 위해서 컨테이너 터미널의 수출 장치장 공간 할당에 관한 연구를 소개하였다. Kim and Kim(1999)은 수입 장치장을 운영하는데 특징적으로 나타나는 재취급 작업을 분석하였고, 이것을 수입 장치장 운영과 관련된 의사결정에 포함시켜서 다루었

다. Castilho and Daganzo(1993)는 컨테이너 터미널의 공간 할당 문제를 처음 다루었고 상세히 문제를 정의한 점에서 가치가 인정된다. 이 연구에서는 예약 공간, 장치 공간, 신규 여유 공간 등의 공간 할당 문제를 이해하기 위한 개념들을 소개하고 있다. Kim 외 2인(2000)의 연구에서는 수출 컨테이너의 무게 등급을 고려하여 재취급 작업을 최소화하는 구체적인 장치위치의 결정문제가 다루어졌다.

컨테이너 터미널에서 수출 컨테이너의 재배치에 관한 Kim and Bae(1998)의 연구에서는 작업배분과 하역장비의 작업순서의 문제로 분할하여 해법을 제시하였다. 그렇지만 제시된 방법은 이적작업에서 YT 또는 AGV(Automated Guided Vehicle)와 같은 이송장비와 복수의 ATC(Automated Transfer Crane)를 필요로 하기 때문에 본 연구에서 다루는 자동화 컨테이너 터미널의 배치 형태에는 적용이 어렵다. 윤원영 외 2인(2003)은 자동화 컨테이너 터미널의 이적작업에 무작위(random) 할당방법과 DOS(Duration of stay) 할당방법을 적용시켜 양적하 작업과 반출입 작업에서 ATC의 작업시간 변화를 비교하였다. 그러나 이는 운영규칙에 대한 비교연구로서 구체적인 이적작업의 계획을 다루지 않았다. 강재호 외 3인(2005)의 연구에서는 재취급 최소화를 고려한 이적작업에 대한 휴리스틱 알고리즘을 제안하였다. 그러나 이 연구에서는 적하 컨테이너를 이적할 목적 베이(bay)에 충분한 장치 공간이 항상 존재하고 베이 내에서의 반출 순서가 사전에 정해져 있다고 가정하였고 이적작업에 소요되는 비용 및 적하작업에서의 ATC 이동비용 등을 고려하지 않았다.

앞서 살펴보았듯이 이적작업과 관련된 기존 연구들은 자동화 컨테이너 터미널에서 ATC의 이동시간과 장치위치에 대한 특성을 제대로 반영하지 못하였거나 너무 세부적인 문제를 다루어 실제 문제에 적용하기에는 많은 어려움이 있었다. 따라서 본 연구에서는 ATC와 이송장비의 작업지점 등의 자동화 컨테이너 터미널이 지니는 특성들을 반영하여 이적계획문제를 다루고자 한다. 이 연구에서 이

적작업은 1대의 ATC가 한 블록 내에 산재되어 있는 적하 컨테이너들을 해측 작업지점(Transfer Point : TP)에 가까운 베이로 장치공간의 여유를 감안하여 이동시간을 최소화하면서 동일 특성의 컨테이너를 모아서 장치시키는 작업과정을 의미한다.

3. 자동화 컨테이너 터미널의 이적 계획

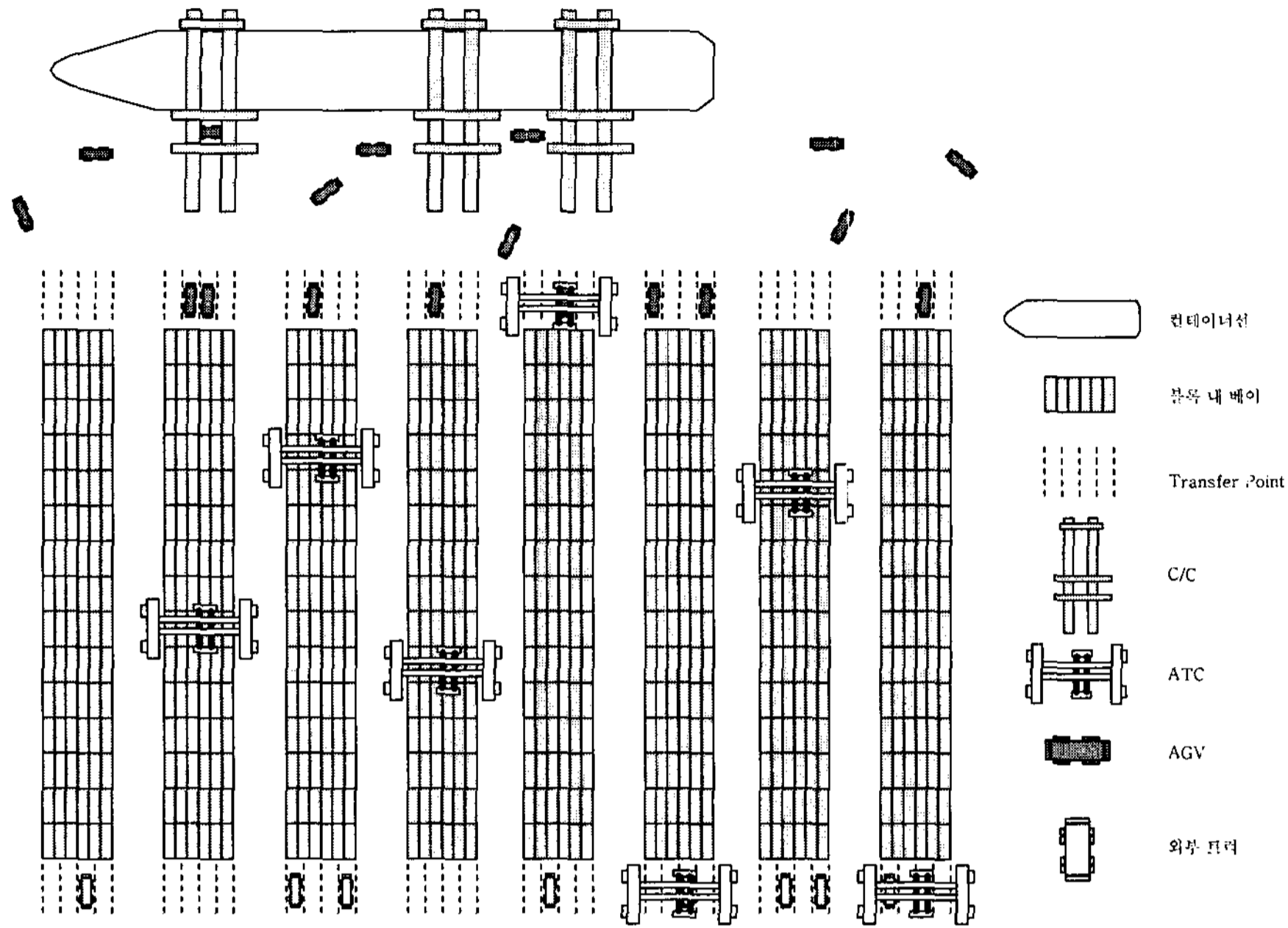
3.1 문제정의

일반적으로 자동화 컨테이너 터미널에서 장치장 하역장비와 이송장비의 인터페이스 지점은 [그림 1]과 같이 야드 블록(block)의 양끝에 설치되어 있다. 이러한 형태는 무인으로 운행되는 내부 이송장비와 외부 반출입 트럭의 이동 흐름을 분리하여 차량 혼잡과 사고를 예방하기 위한 것으로 대표적인 자동화 컨테이너 터미널로 운영되고 있는 네덜란드 ECT(Europe Combined Terminal)와 독일의 CTA(Container Terminal Alternwerder)에서 채택하고 있는 배치형태이다.

컨테이너 터미널의 장치장은 하역장비의 작업영역이 구분되는 블록으로 구성되고, 블록은 1개의 컨테이너가 차지하는 길이 방향의 공간을 의미하는 야드 베이로 이루어진다. 이 연구는 한 블록 내에 1대의 ATC가 컨테이너 장치와 상하차 작업을 수행하는 것으로 가정한다. 그리고 ATC는 해측의 TP에서 내부 이송장비인 AGV와 연계작업을 하고 육측 작업지점에서는 외부 트럭과 연계작업을 수행한다.

[그림 1]에서 컨테이너선과 장치장 블록 사이에 이동하는 차량은 AGV와 같은 내부 이송장비이고 각 블록의 양끝에 점선으로 표시된 영역에서 위쪽 부분이 해측 TP 그리고 아래쪽 부분이 육측 TP을 의미한다.

적하될 컨테이너들은 선박이 입항하기 일정 시점 이전까지 터미널 외부에서 반입되어 블록에 장치된다. 역으로 양하한 컨테이너들은 블록에 장치



[그림 1] 자동화 컨테이너 터미널의 배치도

되었다가 일정 기간 내에 터미널 외부로 반출된다. 반입작업에서 ATC의 운반 거리는 반입 컨테이너가 육측 TP에서 블록 내 장치위치까지의 이동하는 거리이다. 그리고 적하 컨테이너의 장치위치에서 해측 TP까지의 이동거리는 적하작업에서 ATC의 운반 거리이다. 따라서 수출 컨테이너를 위한 블록 내에서의 ATC 운반거리는 반입작업과 적하작업을 함께 고려할 때 육측 TP에서 해측 TP까지의 거리와 같다. 즉, ATC의 총 운반 작업 시간은 일정하다.

AGV나 외부트럭 등 이송장비와 ATC의 연계작업에서 ATC의 운반시간이 본선 및 반출입 작업시간에 큰 영향을 미친다. 반입작업에서 ATC의 운반시간을 최소화하기 위해서는 반입 컨테이너의 저장위치를 육측 TP에서 가까이 하는 것이 유리하다. 그러나 육측 TP에 가까운 장치위치는 적하작업에서 해측 TP까지의 운반거리를 증가시켜 적하작업의 생산성을 떨어뜨린다. 그러므로 적하작업의 생산성 향상을 위해서는 반입작업의 편의성과 반대로 적하할 컨테이너들을 해측 TP에 가깝게 장치시

켜 적하작업 시의 ATC 이동거리를 단축시키는 것이 바람직하다. 또한, 수출 컨테이너의 반입 시점에는 적하작업에 대한 구체적인 계획이 수립되기 어렵기 때문에 여유 공간의 활용 위주로 장치된다. Kim 외 2인(2000)의 연구가 제시하였듯이 서로 다른 그룹의 컨테이너가 한 베이 내에 혼재하게 되면 적하작업 시점의 차이에 따라 하단의 컨테이너를 끄집어내기 위해 상단의 컨테이너를 다른 위치로 옮기는 재취급 작업의 발생 가능성이 커진다. 재취급 작업은 ATC의 추가 작업을 의미하고 적하작업 시간을 증가시킨다. 따라서 ATC의 재취급 작업을 줄이기 위해서는 적하작업 이전에 목적항, 항차, 크기 등이 같은 동일 그룹의 수출 컨테이너들을 동일 또는 근접한 베이에 장치하는 것이 유리하다.

적하작업에서 ATC의 운반시간 및 재취급시간을 단축하기 위한 이적작업 계획은 운영자 측면의 작업시간 최소화보다는 컨테이너 터미널의 주 고객인 선박에 대한 서비스 측면이 보다 중요하다. 따라서 실질적으로 선박의 재항시간이 단축될 수 있도록 ATC의 작업별 시간가치가 고려되는 이적계획에

관한 연구가 필요할 것이다. 본선작업 또는 반출입 작업은 주로 낮 시간대에 이루어지므로 ATC의 작업시간 가치는 높고 반면에 본선작업이나 반출입 작업이 없는 유휴시간이나 야간에는 ATC의 작업시간가치는 상대적으로 낮다. 즉, ATC가 어떤 시점에 사용되는지에 따라 ATC의 작업시간가치는 다르다. 유휴시간을 활용하여 본선작업시간을 줄이도록 저장위치를 변경하는 것은 이동시간 측면에서는 영향이 없지만 시간가치가 낮은 유휴시간을 이용하여 시간가치가 높은 본선작업시간을 줄임으로서 터미널의 처리능력을 높이고 고객에 대한 서비스수준을 향상시킬 수 있다.

따라서 자동화 컨테이너 터미널에서 적하 컨테이너들은 해측 TP에 가까운 베이에 동일 특성의 적하 컨테이너들과 함께 장치되는 것이 본선작업의 효율성 측면에서 유리하다. 그러나 이를 위해 수행되는 이적작업의 운반작업 비용과 적하작업의 운반작업 및 재취급 작업 비용은 상충관계(trade-off)를 가진다. 따라서 이적작업은 ATC의 작업별 시간가치를 고려하여 관련 총비용이 최소화되도록 계획되어야 한다.

3.2 혼합정수계획모형

이 절에서는 최적화 모형을 수립하기 위해 이적계획 문제에 대한 본 연구의 가정들을 살펴본 후, 혼합정수계획모형을 소개한다.

이 연구는 취급 컨테이너의 크기가 동일하다고 보고 블록 내의 모든 베이이 이적이 가능한 장치공간이고 ATC의 작업시간은 이적 컨테이너의 그룹과는 무관하다고 가정한다. 그리고 블록 내 이적작업에서 이적 대상 컨테이너 그룹에 포함되지 않는 컨테이너들은 저장위치를 재배치하지 않는 것으로 가정하였다. 왜냐하면 블록 양끝에 장비간의 연계작업이 수행되는 경우에 한 블록 내에 수출입 및 환적 컨테이너가 혼재되어 장치된 컨테이너들 중에서도 이적작업이 필요하지 않은 경우도 존재하기 때문이다.

이적작업에서 발생하는 재취급 작업은 ATC의 이적작업시간에 고려하지 않음으로써 이적작업을 위해 소요되는 시간은 ATC의 이동시간 외에 pick up과 drop off 작업시간만을 포함하는 것으로 가정하였다. 그리고 적하작업에서 발생될 수 있는 재취급 작업시간은 한 베이 내에 동일 그룹의 컨테이너들이 장치될 때 최소가 되는 것으로 가정하였다. 재취급작업시간은 적하작업 순서와 수출 컨테이너의 장치 상태에 따라 달라지지만 일반적으로 베이 내에 혼재된 컨테이너 그룹의 수가 많을수록 재취급작업 시간이 증가하는 관계를 가진다. 이적계획을 수립하기 위한 혼합정수계획모형에 사용되는 주요 기호와 의사결정변수는 다음과 같다.

입력 파라미터 :

- α : 적하작업 동안의 ATC 작업시간에 대한 가중치로 단위시간당 비용을 의미함
- β : 이적작업 동안의 ATC 작업시간에 대한 가중치로 단위시간당 비용을 의미함
- γ : 적하작업 동안에 재취급을 위한 ATC 작업시간에 대한 가중치로 단위시간당 비용을 의미함
- B : 블록을 구성하고 있는 베이의 집합
- G : 이적작업이 고려되는 컨테이너 그룹의 집합
- E : 이적작업이 고려되지 않는 컨테이너 그룹의 집합
- C : 베이 내에 최대로 장치할 수 있는 컨테이너 수량
- M_k : 블록 내에 장치된 k 그룹 컨테이너가 필요로 하는 최소 베이 수, $k \in G$
- D_i : i 베이에서 해측 작업위치까지의 ATC 운반작업 시간과 pick up 및 drop off 작업시간의 합, $i \in B$
- D_{ij} : i 베이에 있는 컨테이너 한 단위를 j 베이로 이적할 때 소요되는 시간으로 운반시간과 pick up 및 drop off 작업시간의 합, $i, j \in B$
- S_{ik} : 이적작업 수행 이전에 i 베이에 있는 집합 G 에 속하는 k 그룹의 컨테이너 수량

U_i : 이적작업 수행 이전에 i 베이에 있는 집합 E 에 속하는 그룹의 컨테이너 총 수량

의사결정변수 :

x_{ik} : 이적작업 수행 이후에 i 베이에 있는 k 그룹 컨테이너의 수량, $i \in B$ 그리고 $k \in G$

y_{ijk} : i 베이에서 j 베이로 이동한 k 그룹 컨테이너의 수량, $i, j \in B$ 그리고 $k \in G$

n_k : 이적작업 수행 이후에 k 그룹의 컨테이너가 장치된 베이 수, $k \in G$

e_{ik} : 이적작업 수행 이후에 i 베이에 k 그룹의 컨테이너가 있으면 1 그렇지 않으면 0, $i \in B$ 그리고 $k \in G$

이적계획을 위한 혼합정수계획모형은 다음과 같다.

Minimize

$$\alpha \sum_{i \in B} \sum_{k \in G} D_i x_{ik} + \beta \sum_{i \in B} \sum_{j \in B, j \neq i} D_{ij} y_{ijk} + \gamma \sum_{k \in G} (n_k - M_k) \quad (1)$$

Subject to

$$x_{ik} - \sum_{j \in B, j \neq i} y_{jik} + \sum_{j \in B, j \neq i} y_{ijk} = S_{ik} \quad (2)$$

for all $i \in B$ and $k \in G$

$$\sum_{k \in G} x_{ik} + U_i \leq C \text{ for all } i \in B \quad (3)$$

$$\sum_{j \in B, j \neq i} y_{ijk} \leq S_{ik} \text{ for all } i \in B \text{ and } k \in G \quad (4)$$

$$x_{ik} - M_k e_{ik} \leq 0 \text{ for all } i \in B \text{ and } k \in G \quad (5)$$

$$n_k - \sum_{i \in B} e_{ik} = 0 \text{ for all } k \in G \quad (6)$$

x_{ik} , y_{ijk} , n_k 는 정수형 for all $i, j \in B$ and $k \in G$
 e_{ik} 는 0 또는 1 for all $i \in B$ and $k \in G$

식 (1)은 이적계획 최적화 모형의 목적식으로 관련 작업을 수행하는데 소요되는 총비용을 최소화하는 것이다. 목적식의 첫 번째 항은 적하작업 시에 ATC가 컨테이너를 AGV 또는 ALV에 옮겨 싣기 위해 해측 TP로 운반하는데 소요되는 작업 시간에

대한 부분으로 각 그룹별 적하 컨테이너들이 장치된 위치에서 해측 TP까지 이동하는 거리와 수량이 곱하여 구해진 운반시간 비용을 의미한다. 두 번째 항은 이적작업 시에 ATC 작업시간 비용을 의미한다. 이는 각 컨테이너 그룹별로 이적작업이 이루어진 컨테이너 수량과 운반 작업 시간을 곱한 형태로 표현된다. 세 번째 항은 적하작업 시에 발생하는 재취급 작업시간 비용을 나타낸다. 여기서 M_k 는 k 그룹 컨테이너가 다른 그룹의 컨테이너 혼재가 없이 장치될 때 소요되는 베이 수이다. 따라서 블록 내에 있는 k 그룹의 컨테이너 물량을 T_k 라 할 때 $\lceil T_k/C \rceil$ 를 의미한다. 예를 들면 T_k 이 36이고 C 가 21이면 M_k 는 2이다.

제약식 (2)는 각 베이별로 장치된 그룹별 컨테이너 수량은 초기 장치된 수량에서 다른 베이로 부터 이적되어온 컨테이너 수량과 다른 베이로 이적되어나간 컨테이너 수량의 변화에 따라 결정되는 것을 나타낸다. 제약식 (3)은 각 베이에 장치되어 있는 컨테이너 수량과 빈 공간의 합이 한 베이의 최대 장치능력을 초과할 수 없다는 조건이다. 제약식 (4)는 각 그룹별로 한 베이에서 이적되는 컨테이너 수량은 초기에 장치된 수량보다는 적다는 것을 의미한다. 제약식 (5)와 제약식 (6)은 이적작업 후에 특정 그룹의 컨테이너가 베이별로 장치되어 있는지 여부와 각 그룹의 컨테이너가 몇 개의 베이에 장치되었는지를 나타낸다. 식 (5)에서 M 은 아주 큰 수를 의미한다.

3.3 이적계획의 적용예

앞 절에서 제시한 수리모형을 이용하여 이적계획을 보여주는 간단한 적용예를 제시한다.

예제에서 이적작업이 수행되는 블록은 8개의 베이로 구성된다. 이적 대상 컨테이너들은 4종류의 그룹으로 분류되며 각 그룹별 컨테이너들이 블록 내에 장치된 베이 위치와 수량은 <표 1>과 같다. 각 베이에는 컨테이너를 4단 6열로 장치할 수 있지만 최대 장치가능 수량은 재취급 작업을 감안하여

21개로 정한다. 그리고 ATC가 1베이를 이동하는데 소요되는 시간은 10초이고 해측 TP를 이동하기 위해서는 1베이를 더 이동한다. 이적작업에서 ATC의 pick up과 drop off 작업에 소요되는 시간은 총 30초로 가정한다.

<표 1> 이적작업 전의 블록 장치현황

Bay \ Group	A	B	C	D	Other
1	1	3	3	1	4
2	0	1	2	2	3
3	1	3	1	0	5
4	0	4	0	7	9
5	6	0	5	3	2
6	7	3	4	4	0
7	5	2	5	2	5
8	6	5	2	4	2
Sum	26	21	22	23	30

<표 2>는 α 를 1,000원/초, β 를 100원/초 그리고 γ 를 100,000원/베일로 설정한 후에 혼합정수계획모형을 통해 구한 최적해에서 이적계획을 요약한 표이다. 이 표에서는 각 그룹의 컨테이너들이 현재 장치된 베이에서 다른 베이로 몇 개가 옮겨지는지를 보여준다. 각 칸의 알파벳은 이적되는 컨테이너의 그룹을 의미하고 괄호안의 숫자는 이적되는 컨테이너 수를 뜻한다. <표 3>은 이적작업이 완료된 후 각 그룹별 컨테이너들이 블록 내에서 장치된 베이 위치와 수량으로 정리한 것이다. <표 1>과 <표 3>을 비교하면 대상 컨테이너들이 해측 TP에 가까운 베이로 재배치되고 한 베이 내에 혼재되는 컨테이너 그룹의 수가 적어지면서 동일 그룹의 컨테이너들이 한 베이에 장치되는 경향이 확인된다. 이적작업 전후의 차이를 정리하면 이적작업을 통해 재배치된 컨테이너는 총 64개이며 총 비용은 6,281,000원이다. 총 비용중 적하작업시 비용은 이적작업 전 7,650,000원에서 이적작업 후 5,800,000원으로 1,850,000원이 줄어들었으며, 재취급작업에서는 2,000,000원에서 100,000원으로 이적작업후 1,900,000원이 감

소하였다. 반면에 이적작업에는 381,000원의 추가 비용 부담이 발생한 것으로 나타났으며 총 비용감소액은 3,369,000원이었다.

<표 2> 최적 이적작업 계획

To \ From	1	2	3	4	5	6	7	8
1	-	A(1) D(1)	-	-	-	-	-	-
2	B(1) C(2)	-	-	-	-	-	-	-
3	C(1)	A(1)	-	-	-	-	-	-
4	-	-	B(4)	-	-	-	-	-
5	C(5)	D(2)	-	D(1)	-	-	-	-
6	-	-	B(3)	D(4)	A(7)	-	-	-
7	B(1) C(1)	A(5) D(2)	B(1)	-	-	C(4)	-	-
8	-	D(4)	B(5)	-	A(6)	C(2)	-	-

<표 3> 최적화 모형을 이용한 이적작업 후의 블록 장치현황

Bay \ Group	A	B	C	D	기타
1	0	5	12	0	4
2	7	0	0	11	3
3	0	16	0	0	5
4	0	0	0	12	9
5	19	0	0	0	2
6	0	0	10	0	0
7	0	0	0	0	5
8	0	0	0	0	2
합계	26	21	22	23	30

4. 휴리스틱 방법

4.1 기호 및 알고리즘

앞서 제시한 수리모형은 이적 대상이 되는 컨테이너 그룹 수, 블록을 구성한 베이 수가 증가하면 최적해 도출에 많은 시간이 소요되어 현실 문제에 적용이 어렵다. 따라서 이 절에서는 이적계획의 실

제 적용을 위해 개발한 휴리스틱 알고리즘을 제시한다.

알고리즘에서 사용하는 기호는 다음과 같다.

a_{ik} : 현재 베이 i 에 있는 k 그룹 컨테이너 수량.

e_i : 베이 i 의 빈 공간 크기로 장치 가능한 컨테이너 수량을 의미함.

m_{ijk} : 베이 j 의 k 그룹 컨테이너 수와 베이 i 의 빈 공간중 작은 값으로 $\min\{a_{jk}, e_i\}$.

b_{ijk} : 베이 j 의 k 그룹 컨테이너를 베이 i 로 m_{ijk} 만큼 이적할 때 k 그룹 컨테이너가 장치되어 있는 베이수의 감소분으로 $m_{ijk} = 0$ 이면 0. 만일 $m_{ijk} > 0$ 인 경우에는 $m_{ijk} = a_{jk}$ 이면 1. $m_{ijk} = e_i$ 이고 $a_{jk} = 0$ 이면 -1, 그렇지 않으면 0임.

c_{ijk} : k 그룹의 컨테이너를 베이 j 로부터 베이 i 로 m_{ijk} 개의 컨테이너를 이적시 발생하는 해당 감소 비용으로 $\{\alpha(D_j - D_i)m_{ijk} - \beta D_{ij}m_{ijk} + \gamma b_{ijk}\}/m_{ijk}$ 을 의미함.

Δc_{ik} : i, k 의 각 조합에 관련된 c_{ijk} 중에서 가장 큰 값.

i_{j^*k} : $\Delta c_{ik} = c_{ijk}$ 가 성립하는 j 베이.

i^* : 이적 대상 컨테이너가 옮겨지는 i 베이.

j^* : 이적 대상 컨테이너가 장치되어 있는 j 베이.

k^* : 이적 대상 컨테이너가 속하는 k 그룹.

이적작업을 통한 총 비용의 감소가 발생할 때까지 반복적인 절차를 가지는 단계별 계산과정은 다음과 같다.

[초기화] 주어진 배치안에 대해 a_{ik} 와 e_i 를 설정.

[단계 1] m_{ijk}, b_{ijk} 의 이용하여 c_{ijk} 를 계산한 다음에 Δc_{ik} 와 i_{j^*k} 를 구함.

[단계 2] 양의 값을 갖는 Δc_{ik} 중에서 가장 큰 Δc_{ik} 를 찾아 i^*, k^* 를 결정하고, 이때 $i^* = i_{j^*k^*}$ 인 j^* 를 결정. 만약 양의 값을 갖는 Δc_{ik} 가 없는 경우에는 수행을 종료함.

[단계 3] $a_{i^*k^*} = a_{i^*k^*} + m_{i^*j^*k^*}, a_{j^*k^*} = a_{j^*k^*} - m_{i^*j^*k^*}$,

$e_i = e_i + m_{i^*j^*k^*}, e_j = e_j - m_{i^*j^*k^*}$ 로 갱신

하고 단계 1로 돌아감.

이적계획을 위한 혼합정수계획모형의 목적함수에는 적하작업에 소요되는 비용, 이적작업 비용, 재취급 비용의 세가지 비용 요소를 가지고 있다. 여러 가지 이적계획 중에서 이적작업에 추가적으로 소요되는 비용이 적하작업과 재취급 작업 비용의 감소분 보다 작을 때에만 유효한 이적계획이 될 수 있다. 따라서 본 연구에서 제시한 휴리스틱 알고리즘은 컨테이너 1개에 대한 이적작업에 소요되는 비용, 적하작업의 비용 감소분 그리고 베이 내 재작업 비용 감소분의 합인 Δc_{ik} 를 계산하여 이익이 발생될 때까지 이적작업을 계획하는 과정을 가진다. 이때 이적 컨테이너는 한 베이 내의 동일 그룹 컨테이너를 모두 옮기는 것으로 가정하지만 옮겨질 베이의 장치 가능 공간도 함께 고려한다. 따라서 실질적인 이적 컨테이너 수는 현재 베이 내에 장치된 동일 그룹의 컨테이너 수량과 이적할 베이의 최대 여유공간 중에서 작은 값으로 정한다. <표 1>의 배치 자료에 휴리스틱 알고리즘을 적용하여 해를 구하는 과정은 다음과 같다.

(초기화) <표 1>의 배치 자료를 이용하여 a_{ik} 와 e_i 를 설정한다.

(단계 1) Δc_{ik} 를 정리하면 <표 4>와 같다. 예를 들면 Δc_{11} 을 산출하기 필요한 $c_{111}, c_{121}, c_{131}, c_{141}, c_{151}, c_{161}, c_{171}, c_{181}$ 의 값은 0, 0, 115000, 0, 49667, 56286, 71000, 76667이다. 이때 c_{131} 는 $\{1000 \times (20) \times 1 - 100 \times (15 + 20 + 15) \times 1 + 100000 \times 1\} / 1$ 이고 m_{131} 와 b_{131} 는 모두 1이다.

(단계 2) <표 4>에서 가장 큰 양의 값은 Δc_{11} 로 i^*, j^*, k^* 는 각각 1, 3, 1(그룹 A)이다.

(단계 3) 3번 베이에서 그룹 A 컨테이너 1개를 1번 베이로 이적작업을 수행한 후 변경된 배치형태에 따른 a_{ik} 를 정리하면 <표

5>와 같고 다시 단계 1로 돌아가 모든 Δc_{ik} 의 값이 0이 될 때까지 위의 단계 별 과정을 반복하여 수행한다.

<표 4> (단계 1)에서의 Δc_{ik} 값

$i \backslash k$	A	B	C	D
1	115,000	106,000	115,000	101,000
2	51,000	92,000	106,000	92,000
3	75,000	86,000	92,000	42,000
4	0	75,000	0	64,000
5	75,000	24,000	75,000	65,000
6	64,000	56,000	65,000	56,000
7	53,000	42,000	56,000	31,000
8	42,000	36,000	42,000	36,000

<표 5> 휴리스틱(단계 1) 후의 블록 장치현황

$i \backslash k$	A	B	C	D	기타
1	2	3	3	1	4
2	0	1	2	2	3
3	0	3	1	0	5
4	0	4	0	7	9
5	6	0	5	3	2
6	7	3	4	4	0
7	5	2	5	2	5
8	6	5	2	4	2
합계	26	21	22	23	30

<표 6> 휴리스틱을 적용한 이적작업 후의 최종 블록 장치현황

$i \backslash k$	A	B	C	D	기타
1	2	6	6	3	4
2	0	0	11	7	3
3	0	15	0	1	5
4	0	0	0	12	9
5	14	0	5	0	2
6	10	0	0	0	0
7	0	0	0	0	5
8	0	0	0	0	2
합계	26	21	22	23	30

<표 6>은 휴리스틱 알고리즘을 통해 작성된 이적계획에 따라 재배치한 결과이다. 블록 내에 산재되어 있는 수출 컨테이너들이 안벽 측으로 옮겨져 이적계획 후 적하작업에서 소요되는 작업비용은 5,800,000원으로 이적작업 전 적하비용 7,650,000원과 비교하면 비용감소분은 1,850,000원이다. 그리고 동일 그룹의 컨테이너가 장치되는 베이의 수를 줄임으로써 절감되는 재취업 작업의 비용은 2,000,000원에서 500,000원으로 1,500,000원이 감소하였다. 반면에 이에 소요되는 이적작업 비용은 350,000원이 추가되었다. 따라서 총 비용 감소액은 3,000,000원이다. 휴리스틱 알고리즘을 이용한 이적계획 결과를 최적화 모형을 통해 구한 결과와 비교할 때 적하작업 비용은 동일하며 이적작업에 따른 비용은 최적화모형에 비해 31,000원, 재취업 작업 비용은 250,000원이 더 많은 것으로 나타났다. 따라서 최적해와 비교할 때 369,000원이 많게 이적계획이 수립되었다. 최적해와 휴리스틱 알고리즘 해법간의 성능 차이는 5.9%로 계산에 소요되는 시간을 고려할 때 현실적으로 수용할 수 있는 실용적인 알고리즘으로 판단된다.

4.2 실험 및 분석

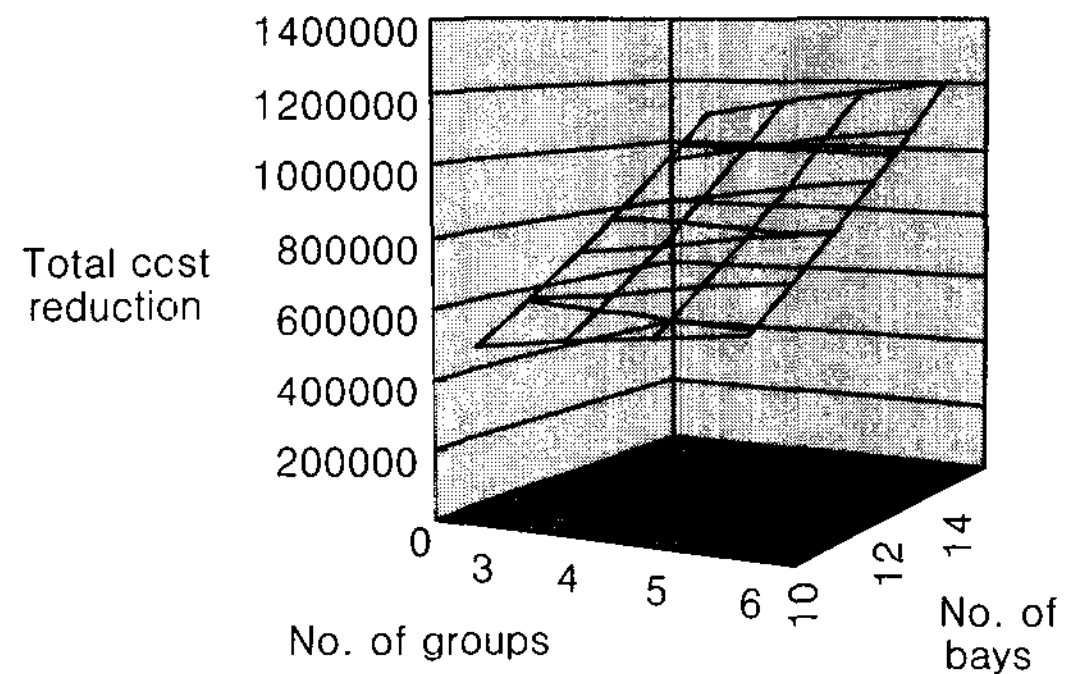
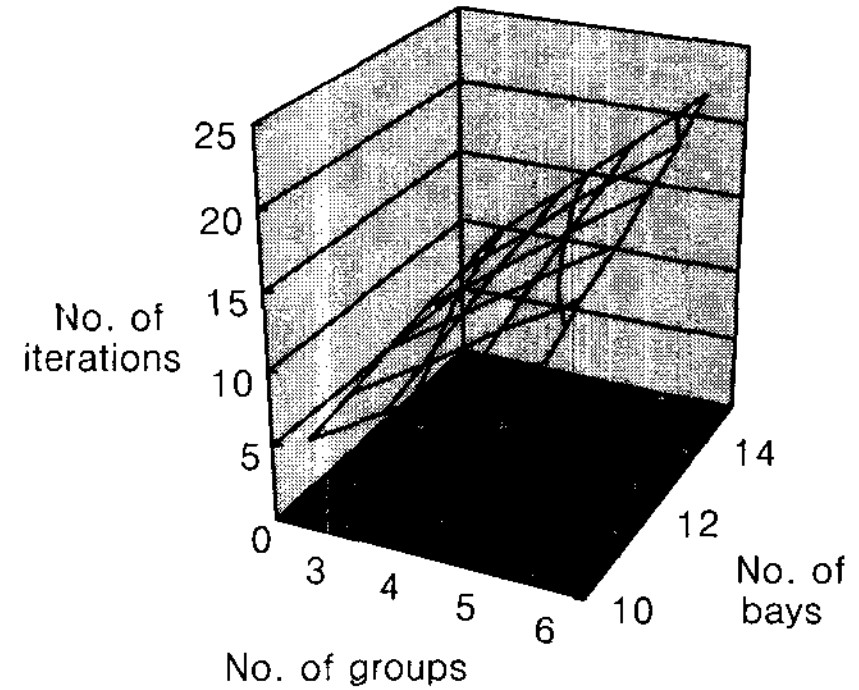
이 절에서는 수치 실험을 통하여 제안된 휴리스틱 알고리즘과 최적해를 비교 분석하였다. 또한 휴리스틱 알고리즘을 이용하여 수치실험에서 가정하였던 입력변수들의 값에 대하여 분석하였다.

<표 7>은 최적해와 휴리스틱 알고리즘에 대한 성능 비교 결과로서 베이 수가 5인 경우와 15인 두 가지 경우로 두고 그룹수를 4로 고정하여, 각 경우에 대하여 3번씩 총 6문제를 임의로 생성하여 총 작업비용을 비교 분석하였다. 최적해는 ILOG CPLEX 11.0을 사용하여 구하였으며, 휴리스틱 알고리즘은 VC++6.0으로 작성하여 Celeron(R) CPU 2.93GHz 컴퓨터에서 실험을 수행하였다. 실험 결과 최적화 모형은 베이 수가 증가함에 따라 알고리즘 수행시간이 크게 증가하지만, 휴리스틱 알고리

증은 1초 이내로 나타나 알고리즘 수행시간 측면에서 제안된 휴리스틱 알고리즘은 좋은 수행결과를 보여주고 있다. 최적 이적작업은 이적작업을 하지 않는 경우에 비하여 평균 60% 정도 비용이 감소하였으며, 휴리스틱 알고리즘 결과는 평균 66% 정도 비용이 감소되는 것으로 나타났다. 따라서 휴리스틱 알고리즘의 결과는 최적해와 비교하여 약 10%의 성능차이로 알고리즘의 수행시간을 고려해 볼 때 효율적인 알고리즘으로 판단된다.

제안한 휴리스틱 알고리즘을 적용하여 컨테이너 장치 형태와 작업별 시간적 가치 비용의 영향을 비교하기 위하여 7가지 요인을 변화시켜 실험을 수행하였다. 변화 요인은 장치 블록을 구성하는 베이 수, 블록 내에 장치된 컨테이너 그룹 수, 베이별 평균 장치 컨테이너 수, 베이별 평균 컨테이너 그룹 수 그리고 α, β, γ 의 값이다. 각 시나리오로부터 해를 산출하기 위한 알고리즘상의 반복 횟수와 총 비용의 감소분을 구하였다. 그리고 결과의 통계적 유의성을 높이기 위해 각 시나리오별로 10회씩 반복 실험하여 구한 평균값을 통해 결과를 분석하였다.

[그림 2]에서는 베이 수와 컨테이너 그룹 수에 따른 반복 횟수 및 개선효과를 나타낸 그림이다. 그림에서 베이 수가 증가하고 그룹 수가 많을수록 반복횟수가 증가하여 활발하게 이적작업이 이루어지고 총 비용의 감소가 커짐을 알 수 있다.



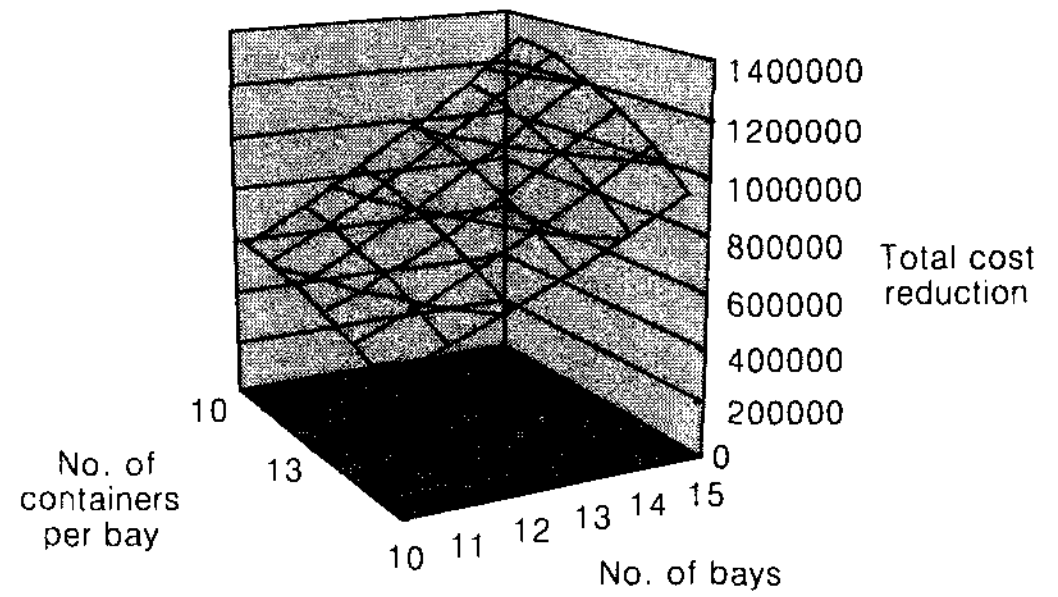
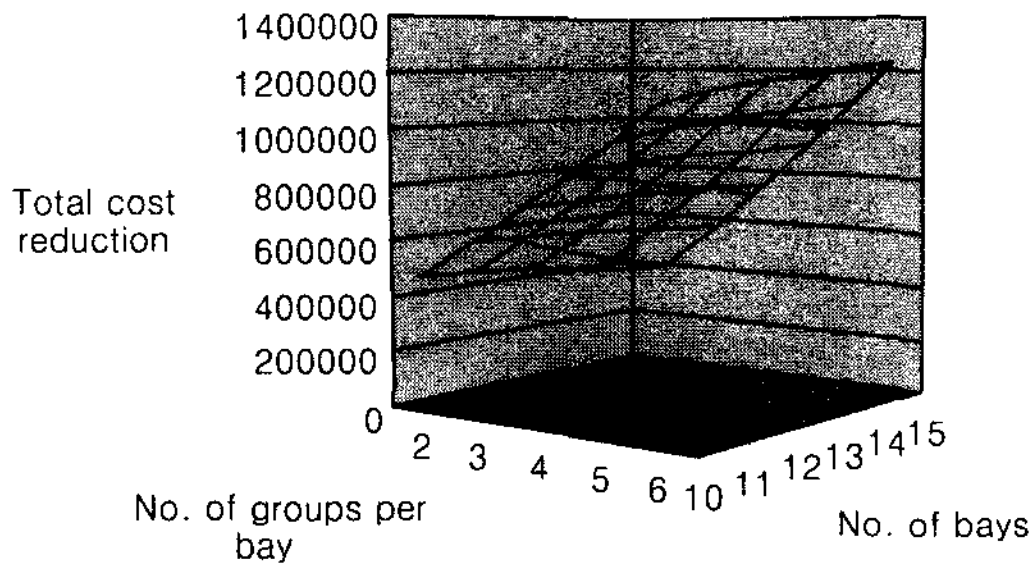
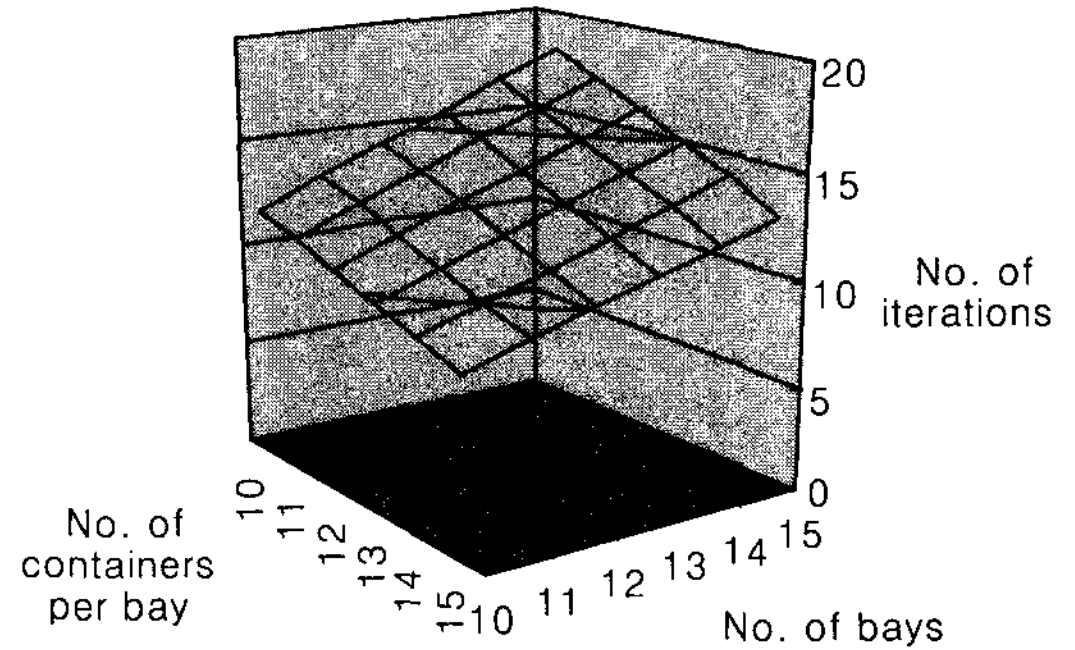
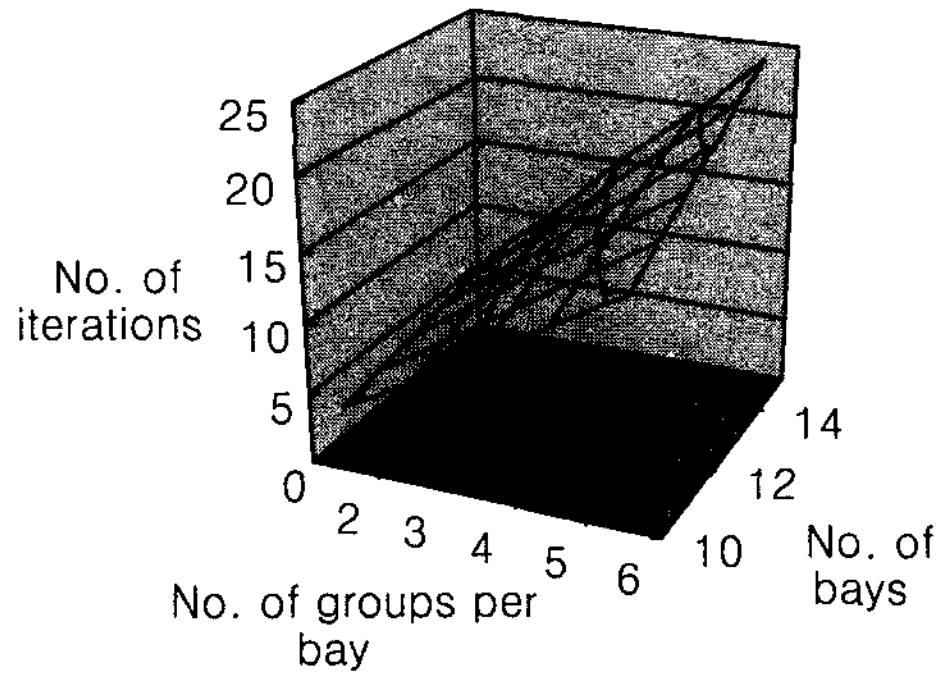
[그림 2] 베이 수와 그룹 수의 변화에 따른 이적계획 효과

[그림 3]에서는 베이 수와 베이당 그룹 수의 변화에 따른 반복 횟수 및 개선효과를 보여주고 있다. 그림에서 베이 수가 증가하고 베이당 그룹 수가 많을수록 알고리즘의 반복 횟수가 증가하여 활발하게 이적작업이 이루어지고 총 개선효과도 커짐을 알 수 있다.

<표 7> 최적해와 휴리스틱 알고리즘의 성능 비교

(단위 : 천원)

문제 번호	베이수, 그룹수	이적작업전 총 비용(A)	최적해			휴리스틱 알고리즘			
			총 비용 (B)	수행시간 (초)	비율 (B/A)	총 비용 (C)	수행시간 (초)	비율 (C/A)	비율 (C/B-1.0)
P1	5, 4	9,650	6,281	23	65.1%	6,650	<<1	68.9%	5.9%
P2		6,820	3,765	3	55.2%	4,202	<<1	61.6%	11.6%
P3		9,330	5,952	8	63.8%	6,659	<<1	71.4%	11.9%
P4	15, 4	19,470	11,776	160	60.5%	13,145	<<1	67.5%	11.6%
P5		20,340	10,851	221	53.3%	11,656	<<1	57.3%	7.4%
P6		23,270	14,800	162	63.6%	16,429	<<1	70.6%	11.0%



[그림 3] 베이 수와 베이당 그룹 수의 변화에 따른 이적계획 효과

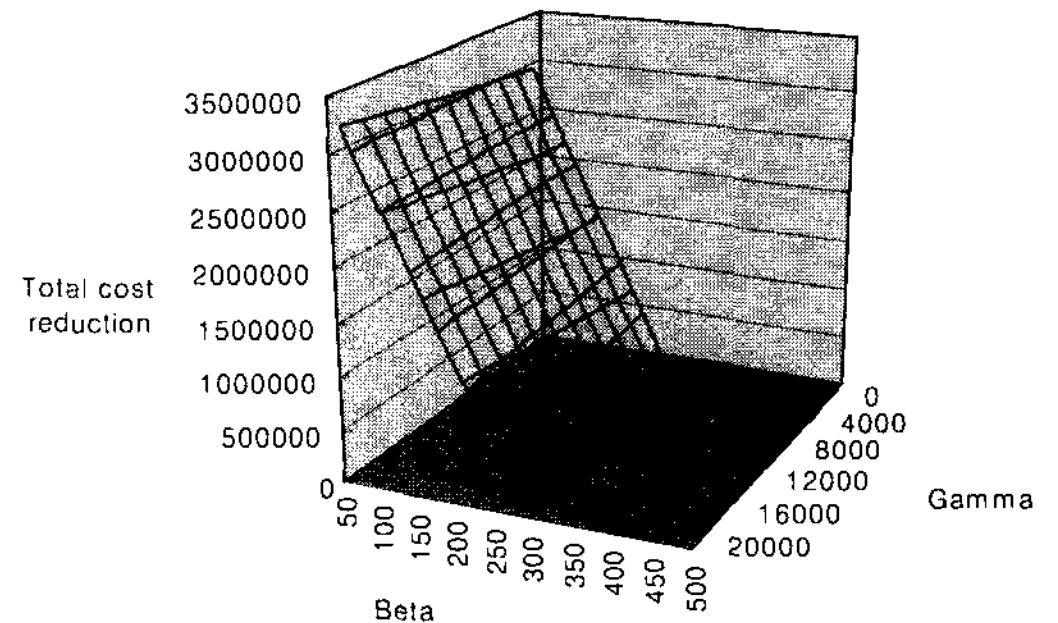
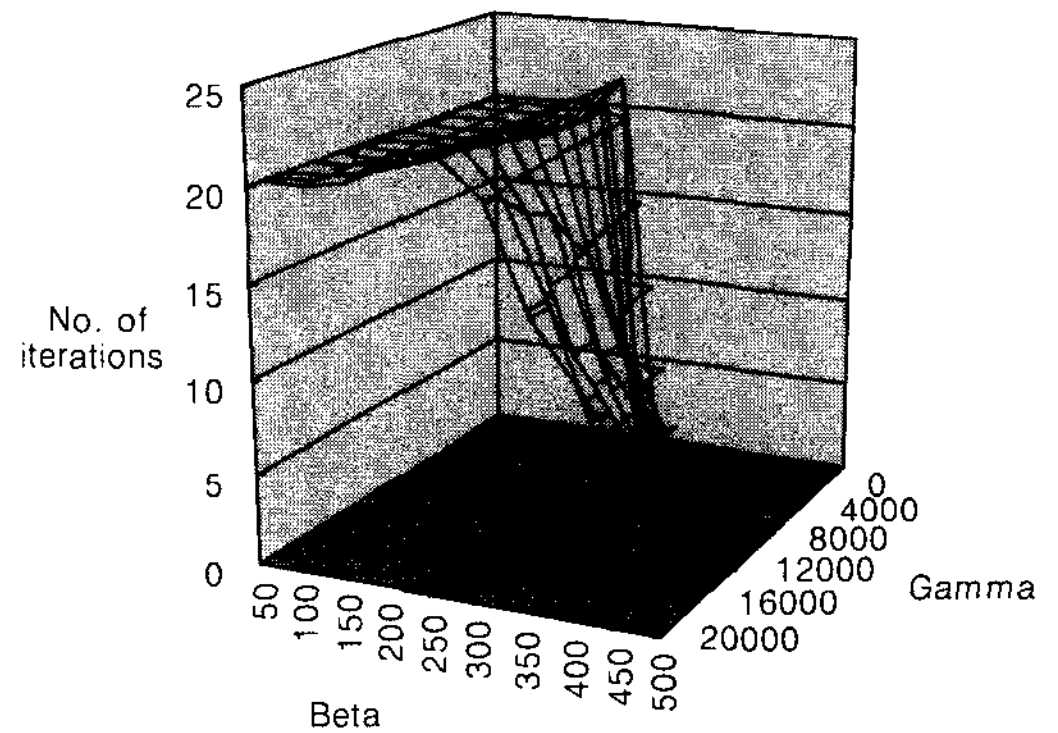
[그림 4] 베이 수와 베이당 컨테이너 수의 변화에 따른 이적계획 효과

[그림 4]에서는 베이 수가 증가하고 베이당 컨테이너 수가 적을수록 반복횟수가 증가하여 활발하게 이적작업이 이루어지고 총 개선효과도 커짐을 알 수 있다. 이는 베이당 활용할 수 있는 빈 공간이 많을수록 이적작업으로 인한 효과가 커진다는 것을 알 수 있다.

[그림 5]는 α 를 기준으로 β 와 γ 의 시간당 비용의 가치를 변화시키면서 이적계획의 효과를 분석하였다. 실험결과 베타값(이적작업 비용 가중치)이 작고 감마값(재취급 개선비용 가중치)이 클수록 이적작업을 수행하는 것이 전체 비용을 감소시키는 방안임을 알 수 있었다. 반대로 베타값이 크고 감마값이 작을수록 알고리즘의 반복횟수가 감소하여 이적작업으로 인한 총 비용 감소효과가 떨어짐을 알 수 있다.

5. 결론 및 추후연구

본 연구는 자동화 컨테이너 터미널에서 적하작업을 신속하게 처리하기 위해 수출 컨테이너의 장



[그림 5] 비용 계수의 변화에 따른 이적작업 효과

치위치를 재배치하는 이적계획을 다루었다. 이적계획에서는 적하작업 시 재취급 작업의 발생 가능성을 줄이기 위해 동일 그룹의 컨테이너를 동일 베이 내에 모을 뿐 아니라 적하작업 시에 ATC의 운반작업 시간을 줄이기 위해 해측 TP 가까운 지점으로 옮겨주는 것도 함께 고려하였다. 터미널 운영자에게 이적계획은 추가적인 운반작업이 요구하기 때문에 어떤 컨테이너를 어느 장치위치에 옮길 것인지를 계획하는 것은 매우 중요하다.

본 연구에서는 적하작업에서 ATC 운반작업 비용 및 재취급 작업의 비용 그리고 이적작업에 따른 추가 작업 비용을 고려한 총비용을 최소화하는 정수계획모형을 제시하였다. 그리고 수리적 모형의 적용 과정을 보여주기 위한 예제를 제시하였다. 그러나 최적화 모형은 장치 블록 내의 장치 베이 수, 컨테이너 그룹 수가 큰 현실 문제에 적용하기 어렵다. 따라서 본 연구에서는 이적작업을 통한 총비용의 감소가 발생할 때까지 컨테이너 이적을 수행하는 반복 구조를 가진 계산 소요시간이 작은 휴리스틱 알고리즘을 개발하였다.

다양한 배치형태를 갖는 여러 가지 문제를 생성하여 적용해 본 결과 베이 수, 컨테이너 그룹 수, 베이당 그룹 수가 증가할수록 이적작업 횟수가 증가하는 반면에 반대로 베이당 컨테이너수가 많을수록 이적작업의 기회는 줄어들음을 알 수 있었다. 또한 이적작업 비용 가중치가 작고 재취급 개선비용 가중치가 클수록 이적작업이 아주 효과적인 것으로 나타났다. 향후 연구로는 이적 컨테이너의 이동위치와 이동수량을 이용하여 ATC가 어떤 순서로 작업을 이적작업을 처리해야 하는지에 관한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] 박강태, 「모델변경의 용이성을 고려한 컨테이너 터미널의 공간할당 계획」, 석사학위논문, 부산대학교, 1997.
- [2] 강재호, 오명섭, 류광렬, 김갑환, “컨테이너 터미널 장치장에서 블록 내 이적을 위한 컨테이너 이동 순서 계획”, 「한국항해항만학회지」, 제29권, 제1호(2005), pp.83-90.
- [3] 김동조, 박영택, “Planning 기반 컨테이너 장치 계획 시스템”, 「한국지능정보시스템」, 제5권, 제1호(1996), pp.145-166.
- [4] 윤원영, 이주호, 최용석, “시뮬레이션을 이용한 자동화 컨테이너 터미널의 이적 규칙에 관한 연구”, 「한국시뮬레이션학회논문집」, 제12권, 제3호(2003), pp.21-29.
- [5] Castilho, B.D. and Daganzo, C.F., “Handling Strategies for Import Containers at Marine Terminals,” *Transportation Research-A*, Vol.27B, No.2(1993), pp.151-166.
- [6] Kim, K.H. and Bae, J.W., “Re-marshalling Export Containers in Port Container Terminals,” *Computers and Industrial Engineering*, Vol.35 No.3-4(1998), pp.655-659.
- [7] Kim, K.H. and Kim, H.B., “Segregating Space Allocation Models for Container Inventories in Port Container Terminals,” *International Journal of Production Economics*, Vol.59(1999), pp.415-423.
- [8] Kim, K.H., Park, Y.M., and Ryu, K.R., “Deriving Decision Rules to Locate Export Containers in Container Yard,” *European Journal of Operational Research*, Vol.124(2000), pp.89-101.
- [9] Mounira, T.I., Castilho, B.D., and Daganzo, C.F., “Storage space vs handling work in container terminals,” *Transportation Research-A*, Vol.27B, No.2(1993), pp.13-32.

[1] 박강태, 「모델변경의 용이성을 고려한 컨테이