

부정확한 무게 정보를 가진 수출 컨테이너를 위한 장치 위치 결정 규칙 생성 방법

강재호* · 류광렬** · 김갑환***

*부산대학교 컴퓨터공학과 대학원, **부산대학교 컴퓨터공학과 교수, ***부산대학교 산업공학과 교수

Generating a Slot Assignment Rule for Outbound Containers Having Imprecise Weight Information

Jae-Ho Kang* · Kwang-Ryel Ryu** · Kap-Hwan Kim***

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

***Department of Industrial Engineering, Pusan National University, Busan 609-735, Korea

요 약 : 컨테이너 터미널 장치장에 수출을 위하여 반입되는 컨테이너들은 그 무게에 따라 몇 단계의 그룹으로 나뉘어 각 그룹별로 장치된다. 이는 무거운 컨테이너들을 선박에 먼저 실어야 하는 적하 계획을 보다 쉽게 수립하고 장치장 공간을 효율적으로 계획, 관리하기 위함이다. 하지만, 장치장에 컨테이너가 반입될 때 해당 컨테이너의 장치 위치를 결정하는 데 사용되는 컨테이너 무게 정보는 부정확한 경우가 많아 장치장 공간 계획의 의도와는 달리 하나의 스택에 무게 그룹이 다른 컨테이너들이 섞이게 된다. 이러한 경우 적하 작업 시 일부 컨테이너들을 임시로 이동시켜야 하는 재취급이 발생하게 되므로 적하 작업의 지연이 발생할 수 있다. 본 논문에서는 컨테이너 무게 정보의 부정확성이 재취급을 얼마나 발생시키는지 추정할 수 있는 방안을 제시하고, 무게 그룹의 혼적이 허용되는 상황에서 수출 컨테이너의 장치 위치를 실시간에 결정할 수 있는 간단하면서도 효과적인 규칙을 생성하는 방안을 제안한다. 실험 결과 본 논문에서 제안하는 방안으로 생성한 장치 위치 결정 규칙을 사용하는 경우 하나의 스택에 동일한 무게 그룹으로 추정되는 컨테이너들만 장치하는 기존 방안에 비해 재취급 발생을 20% 정도 줄일 수 있음을 예상할 수 있었다.

핵심용어 : 컨테이너 터미널 장치장, 수출 컨테이너, 장치 위치 결정, 규칙 생성과 평가, 재취급 최소화

Abstract : The outbound containers in a container terminal are classified into a few groups by their weights and stacked separately in a yard for easy and efficient handling. In order to maintain the balance of a ship during loading, containers of heavier weight groups should be fetched out of a yard and loaded onto the ship before those of lighter weight groups. However, the weight information used to determine the weight group is usually imprecise. Therefore stacks will actually be filled with mixture of different weight groups and rehandlings are unavoidable during loading operation. This paper presents a method for estimating the number of rehandlings caused by imprecise information and a scheme for generating a simple but efficient slot assignment rule. Experiments have shown that a rule generated by the proposed method can reduce the number of rehandlings by about 20% compared to the traditional slot assignment method which stacks only the containers of the same weight group in a single stack.

Key words : Container terminal yard, Export containers, Slot assignment, Rule generation, Rehandling minimization

1. 서 론

컨테이너 터미널의 생산성은 선석(berth)에서 선박에 컨테이너를 싣고 내리는 본선 작업을 얼마나 효율적으로 수행할 수 있느냐에 따라 큰 영향을 받는다. 본선 작업은 크게 선박에 실린 컨테이너를 내리는 양하 작업과 선박에 컨테이너를 싣는 적하 작업 두 가지로 이루어진다. 이 중에서 적하 작업을 수행할 때에는 선박의 안정성을 고려하여 무거운 컨테이너들을 선박의 바닥 쪽에 배치하는 것을 기본 원칙으로 한다(Cho,

1982). 적하 계획을 수립하는 전문가는 이러한 기본 원칙과 적하 대상 컨테이너들이 장치장의 어디에 위치하고 있는지를 고려하여 적하할 컨테이너의 작업 순서를 결정한다.

적하 작업은 선박의 바닥 쪽부터 컨테이너를 쌓아가는 작업이므로, 선박의 같은 베이에 실을 컨테이너들을 무거운 것부터 장치장에서 반출하는 것이 수월할수록 적하 계획을 쉽게 수립할 수 있고 작업 흐름 또한 원활해진다. 만일 장치장에서 지금 반출하여야 하는 컨테이너의 상단에 다른 컨테이너들이 장치되어 있다면, 부득이하게 위에 놓여 있는 컨테이너들을 옮겨야

* 대표저자 : 강재호(정회원), jhkang@pusan.ac.kr 051)510-3645

** 정회원, krryu@pusan.ac.kr 051)510-2453

*** 중신회원, kapkim@pusan.ac.kr 051)510-2419

하는데 이러한 부가 작업을 재취급이라 한다. 재취급이 빈번히 발생하게 되면 적하 작업은 차질을 빚게 된다¹⁾. 따라서 장치장에서 컨테이너 반출 시 재취급을 가능한 줄일 수 있어야 본선 작업이 원활해지고 터미널의 생산성이 향상될 수 있다.

여러 국내 컨테이너 터미널들은 적하 작업 시 재취급 발생을 줄이고, 장치장 및 적하 계획의 수립과 운영의 효율을 높이기 위하여 수출 컨테이너를 그 무게에 따라 몇 개의 그룹으로 나누고, 같은 무게 그룹에 속하는 컨테이너들은 모아서 장치하는 방식을 취하고 있다. 개별 컨테이너의 무게 그룹은 해당 컨테이너가 터미널에 반입되기 전에 외부에서 컨테이너를 운반하는 운송사로부터 전달 받은 전자 문서에 포함된 무게 정보(이하 운송사 무게라 칭함)를 이용하여 파악되며, 실제 컨테이너가 반입되면 이 무게 그룹을 고려하여 장치할 위치를 결정한다. 하지만, 운송사 무게 정보는 터미널에서 적하 계획을 수립할 때 사용하는 선사로부터 받은 컨테이너 무게 정보(이하 선사 무게라 칭함)와 항상 일치하지는 않기에 장치된 컨테이너의 무게 그룹이 변경되는 경우가 많아 재취급이 빈번히 발생한다.

본 논문에서는 운송사 무게 정보의 부정확성이 적하 작업 과정에서 재취급을 얼마나 발생시킬지 추정할 수 있는 방안을 소개하고, 무게 그룹이 다른 컨테이너들 간의 혼적을 허용하는 상황에서 반입되는 수출 컨테이너의 장치 위치를 결정할 수 있는 규칙을 생성하는 방안을 제안한다. 운송사 무게 정보의 부정확한 정도, 무게 그룹별 비율, 그리고 장치장 베이의 단수와 열수에 따라 가장 효과적인 장치 위치 결정 규칙이 다를 수 있으므로, 생성한 규칙의 유용성을 시뮬레이션을 통해 평가하는 방안을 함께 소개한다. 본 논문에서 제안하는 방안으로 생성한 규칙을 이용하여 반입 컨테이너의 장치 위치를 결정하는 경우, 하나의 스택에는 동일한 무게 그룹으로 추정된 컨테이너들만 장치하는 기존의 방식의 비해 재취급 발생을 20% 정도 줄일 수 있음을 예상할 수 있었다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 2장에서 관련된 연구들을 소개하고, 3장에서는 운송사 무게 정보의 부정확성이 재취급을 얼마나 발생시킬지 추정하는 방안을 소개한다. 4장에서는 장치 위치 결정 규칙을 생성하여 시뮬레이션으로 평가하는 방안을 제시하고, 5장에서는 수집한 자료를 이용하여 실험한 결과를 정리하여 분석한다. 마지막 6장에서는 결론과 향후 연구 과제로 매듭을 짓는다.

2. 관련 연구

본 장에서는 먼저 장치장 관점에서 수출 컨테이너의 이동 흐름을 간략하게 살펴보고 반입 과정에서 적하 작업의 효율을

개선하고자 한 기존 연구들을 소개한다.

Fig. 1은 선박에 적하할 수출 컨테이너의 이동 흐름을 간략하게 도식화하여 보여 주고 있다. 수출 컨테이너들은 선박이 입항하기 일정 시점 이전까지 터미널 외부에서 운송사에 의하여 반입되어 사전에 계획된 장치장의 공간에 장치된다²⁾. 일반적으로 장치장의 공간 할당은 동일한 목적항, 규격, 무게 그룹의 컨테이너들을 가능한 인접하게 장치하도록 계획된다. 이는 목적항과 규격이 같은 컨테이너들을 선박에 연이어 장치하는 것이 해당 선박이 현재 방문한 터미널과 이후에 방문할 터미널에서 본선 작업을 수행하기가 유리하며, 터미널 관점에서는 장치장과 적하 계획을 수립하고 수행하는데 있어 효율적이기 때문이다. 적하 계획을 수립하는 전문가는 컨테이너 반입이 완료되면 수출 컨테이너들의 장치장 내 위치, 선박 프로파일(ship profile), 선박의 안정성 등을 고려하여 적하 순서 즉, 장치장에서의 컨테이너 반출 순서를 결정한다. 이 때, 동일한 목적항에 같은 규격의 컨테이너라면 무게 그룹이 적하 순서 결정에 가장 중요한 영향을 미친다. 해당 선박이 입항하여 적하 작업이 시작되면 장치장은 사전에 계획된 순서대로 컨테이너들을 반출한다.

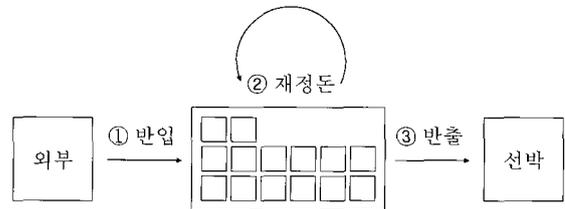


Fig. 1 Work flow of outbound containers in a container terminal yard

이와 같은 작업 흐름상에서 ③의 적하를 위한 반출 단계에서 장치장 크레인이 자주 이동하고 재취급이 빈번히 발생하게 되면 작업의 효율이 떨어지게 된다. 하지만 이 단계에서는 반출을 아무리 효율적으로 처리한다고 하더라도, 이미 계획에 의하여 적하 작업을 수행하고 있는 상황이기 때문에 작업 시간을 단축하는 것은 그 한계가 있다. 따라서 적하를 위한 반출 이전 단계인 ① 반입 단계와 ② 장치장에서의 유휴 시간을 활용하여 이후의 적하 작업을 보다 효율적으로 수행할 수 있게 컨테이너들을 재정돈하는 방안이 요구되는 것이다.

반입 단계에서는 같은 선박 베이에 실릴 가능성이 높은 컨테이너들을 가능한 동일 장치장 베이 또는 인접한 베이에 위치시키는 동시에, 적하 순서를 결정하는데 중요하게 고려되는 컨테이너 무게 정보를 활용하여 효과적인 장치 위치를 결정하는 방식으로 접근한다. 특정 선박에 실릴 컨테이너들이 얼마만큼 발생할 것이고, 각 목적항으로 갈 컨테이너의 비율이 어

1) 류, 1998)의 연구에 따르면, 4단 6열 베이 구조를 가진 장치장에서 재취급 없이 하나의 컨테이너를 반출하는데 평균 87.9초의 시간이 소요되며, 한 번의 재취급 수행에는 평균 74.2초의 시간이 필요하였다. 이는 재취급을 한 번 수행하는데 소요되는 시간이 상당하여 작업 효율에 큰 영향을 줄을 의미한다.

2) 환적 화물의 경우에는 다른 선박의 양하 작업에 의하여 선석에서 장치장으로 반입될 수 있다.

는 정도일지를 기존 자료를 이용하여 추정함으로써 거시적으로 장치장 공간 계획을 수립할 수 있다. 효과적인 장치장 공간 계획은 적하 작업 시 장치장 크레인의 불필요한 이동을 줄일 수 있다.

적하 순서는 선박의 안정성을 위하여 무거운 컨테이너들이 선박의 바닥 쪽에 배치되도록 결정하며, 적하는 바닥 쪽부터 컨테이너들을 쌓아가므로 결과적으로 무거운 컨테이너들을 우선적으로 장치장에서 반출하게 된다. 따라서 반입되는 컨테이너의 무게를 고려하여 장치장내에서의 장치 위치를 결정하면 반출 과정에서 발생하는 재취급을 줄일 수 있다. 특히, 이러한 접근 방안은 추가의 비용이 거의 들지 않기 때문에 매우 효율적인 접근 방법이라 할 수 있다. 반입 컨테이너의 장치 위치를 결정하는 방안에 관한 주요 기존 연구들은 다음과 같다.

(Kim *et al.*, 2000)은 수출 컨테이너의 재취급을 최소화하기 위하여 무게 그룹 정보를 이용하여 반입 시 장치 위치를 결정하는 문제를 다루었다. 이 연구는 혼적을 허용하는 상황에서 가벼움, 보통 그리고 무거움의 세 단계로 구분되는 반입 컨테이너의 무게 그룹 정보를 이용하여 동적 계획법(dynamic program)을 적용하여 재취급이 최소화되는 장치 위치를 결정하는 방안을 제안하였다. 이렇게 생성한 최적 장치 위치 결정 방안의 이해와 적용을 보다 용이하게 하기 위하여 의사 결정 나무(decision tree)로 결과를 표현하는 방안도 함께 제시하였다.

(양, 2003)은 제품 창고에서 발생하는 재취급 문제를 연구하였다. 이 연구에서는 저장 공간의 제약 때문에 혼적 결정을 해야 할 때, 적절한 장치 위치 선정의 근거로서 최소 기대 재취급 횟수를 이용하였다. 저장되는 모든 저장 수요들의 입출고 시간, 입출고 순서, 제품 수 등의 사전 정보를 알고 있는 정적인 의사 결정 문제와 사전 정보가 없는 동적인 의사 결정 문제로 나누어서 접근하였다. 동적인 문제를 쉽게 해결하기 위하여 재취급에 영향을 주는 요소들을 고려한 휴리스틱을 제시하였다. (강 외, 2004)는 이 연구에서 제안된 휴리스틱을 기반으로 컨테이너 터미널 장치장에서 반입 컨테이너의 무게 정보를 활용하여 장치 위치를 결정하는 방안을 제시하였다.

이상에서 소개한 반입 시 무게 정보 또는 반출 순서 정보를 활용하여 장치 위치를 결정하는 방안에 대한 기존 연구들은 결정에 사용되는 무게 또는 반출 순서가 정확하다는 가정 하에 출발하였다. 이에 비해 본 논문에서는 현실적으로 장치 위치 결정에 사용하는 운송사 무게 정보가 부정확할 수 있다는 관점에서 접근하고 있다.

컨테이너 재취급 횟수 추정과 관련한 기존 연구로는 (Kim, 1997; Castilho *et al.*, 1993; Watanabe, 1991)이 있다. (Kim, 1997)은 컨테이너 터미널 수입 장치장 내에서 하나의 컨테이너를 반출하는데 예상되는 재취급 횟수와 초기 배의 장치 현황이 주어진 상황에서 모든 컨테이너를 반출하는데 발생할 총 재취급 횟수를 계산하는 방안을 제시하였다. 이 연구에서는 하나의 배에 있는 모든 컨테이너가 반출될 때까지 예상되는 총 재취급 횟수를 추정할 수 있는 근사 계산식도 함께 제시하였다.

(Castilho *et al.*, 1993)에서는 컨테이너 터미널의 수입 장치장 운영 문제를 연구하였다. 이 논문은 수입 컨테이너 장치장에서 발생하는 여러 측면의 문제를 소개하고 분석적인 결과를 제시하였다는 점에서 중요한 연구라 할 수 있다. 트랜스퍼 크레인(transfer crane; TC)을 활용하는 장치장에서 재취급 문제가 가장 심각한 상황을 가정하여, 반출하고자 하는 컨테이너를 무작위로 쌓여 있는 배로부터 빼어 낼 때 예상되는 컨테이너 취급 횟수를 추정하는 수식을 유도하였다. 이 논문은 분석적인 방법보다는 시뮬레이션을 통하여 제시한 전략을 평가하였다.

(Watanabe, 1991)은 재취급 발생 횟수를 추정하여 나타내는 지표로 접근 지수(accessibility index) 개념을 제시하였다. 스트래들 캐리어 시스템(straddle carrier system)이나 TC 시스템을 사용하는 두 가지 상황에서 접근 지수를 적용하여 재취급을 고려한 전체 컨테이너 취급 횟수를 추정하는 방법을 제안하였다.

이들 연구들은 본 연구와 같이 반입되는 수출 컨테이너의 효과적인 장치 위치를 결정하기 위함이 아니라, 장치장에서 컨테이너들을 반출하는데 소요되는 비용 즉 장치장의 작업 부하를 예상하기 위한 목적으로 재취급 발생 횟수를 추정하였다.

3. 재취급 횟수 추정 방안

본 장에서는 먼저 운송사 무게 정보의 부정확성을 표현하는 방안을 소개하고 이를 이용하여 적하 작업 시 예상되는 재취급 횟수를 추정하는 방안에 대하여 자세히 설명한다.

3.1 운송사 무게 정보의 부정확성

일반적으로 터미널에서는 동일한 목적항, 규격 그리고 무게 그룹을 가진 컨테이너들이 모이도록 장치장 공간을 계획한다. Fig. 2에 이러한 장치장 공간 계획의 예를 들었다. 그림에서 홍콩, 싱가포르, 일본은 목적항에 해당되며, L, M, H는 각각 가벼움(light), 보통(medium), 무거움(heavy)에 해당되는 컨테이너 무게 그룹을 의미한다. 무게 그룹은 컨테이너가 터미널에 반입되기 전에 운송사에서 터미널로 보내지는 운송사 무게 정보를 이용하여 결정된다. 이 예에서는 세 가지 무게 그룹으로 나눈 예를 보이고 있지만, 무게 그룹은 더 세분화될 수도 있다. 관련 자료를 수집한 대상 컨테이너 터미널에서는 무게 그룹을 세 단계로 나누고 있었으며, 대개의 국내 컨테이너 터미널들도 이와 유사한 기준으로 무게 그룹을 구분하므로 본 연구에서는 무게 그룹을 세 단계로 나누는 상황을 가정한다.

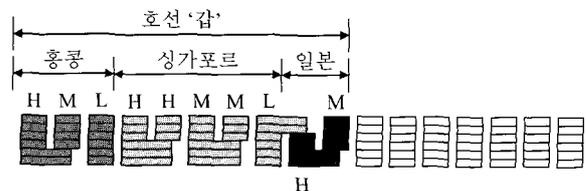


Fig. 2 An example of yard storage plan

운송사 무게 정보가 언제나 정확하다면 적하 작업 시 컨테이너 재취급은 거의 발생하지 않겠지만³⁾, 현실적으로 상당수의 운송사 무게 정보에는 무시 못할 수준의 오차가 존재한다. Fig. 3에 이러한 예를 보이고 있다. Fig. 3의 (a)는 운송사 무게 정보를 근거로 무게 그룹 M으로 분류된 컨테이너들만 모아서 장치한 4단 6열 구조의 베이 하나를 보이고 있다. 모든 컨테이너들이 반입된 이후에 선사로부터 건네받은 선사 무게 정보로 해당 베이를 확인해 보면 (b)와 같이 일부 컨테이너들의 무게 그룹이 잘못된 것을 확인할 수 있게 된다. 결과적으로 이 베이에는 본래 의도하였던 무게 그룹 M 이외에 다른 무게 그룹에 속하는 컨테이너들이 상당수 섞이게 된다. 그림에서 이러한 컨테이너들은 회색으로 표시하였다. 일부 컨테이너들은 자신들보다 무거운 그룹에 속하는 컨테이너가 하단에 있어 적하 작업 시 재취급 되어야 한다. 그림에서 반드시 재취급 되어야 하는 컨테이너들은 굵은 사각형으로 표시하였다. 적하 작업의 순서는 선사 무게 정보를 기준으로 계획되므로 운송사 무게 정보가 부정확한 이상 이러한 재취급은 피할 수 없다.

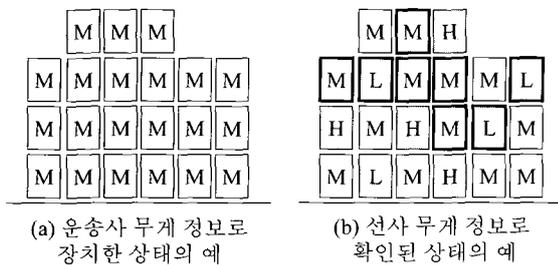


Fig. 3 States of a bay before and after obtaining true container weight information

운송사 무게 정보가 어느 정도 부정확한지를 파악하기 위하여 동부산 컨테이너 터미널⁴⁾의 2004년도 6월부터 10월 사이에 처리된 수출 컨테이너들 중 일부⁵⁾에 대한 자료를 분석하여 보았다. Table 1은 운송사 무게 정보를 이용하여 분류된 무게 그룹(이하 운송사 무게 그룹)과 선사 무게 정보를 이용하여 분류된 무게 그룹(이하 선사 무게 그룹)과의 일치 정도를 나타내고 있다. 운송사 무게 그룹과 선사 무게 그룹과의 일치 정도가 70%를 넘지 못함을 알 수 있다.

Table 1 Accuracies of container weight information

컨테이너 크기	무게 그룹의 정확도
20피트	69.3%
40피트	64.8%

Table 2와 Table 3은 각각 20피트와 40피트 컨테이너들을 대상으로 운송사 무게 그룹과 선사 무게 그룹 간의 쌍으로 이루어진 모든 가능한 조합에 대하여 발생 빈도를 표현한 혼돈 행렬(confusion matrix)이다. 예를 들어 Table 2에서 회색으로 표시된 7.1%는 20피트 컨테이너들 중에는 운송사 무게 그룹으로 M으로 분류되어 장치장에 장치되었지만, 선사 무게 그룹으로는 L로 분류된 컨테이너가 전체 물량의 7.1%에 달한다는 것을 의미한다. 이 두 표에는 운송사 무게 그룹별 분포와 선사 무게 그룹별 분포를 함께 표기하고 있는데 이들 분포 간에 상당한 차이가 남을 알 수 있다. 20피트 컨테이너와 40피트 컨테이너 간에는 무게 그룹을 분류하는 기준이 다를 수 있으며, 무게 그룹 분포도 다르므로 각각 따로 분석하여 정리하였다. 이러한 혼돈 행렬은 터미널에 반입되어 적하되었던 컨테이너들에 대한 기존 자료를 정리하여 분석하면 손쉽게 얻을 수 있다.

Table 2 A confusion matrix for 20 feet containers

운송사 무게 그룹	선사 무게 그룹		
	L (20.0%)	M (23.1%)	H (56.9%)
L (13.9%)	11.1%	1.9%	0.9%
M (39.7%)	7.1%	17.4%	15.2%
H (46.4%)	1.8%	3.8%	40.8%

Table 3 A confusion matrix for 40 feet containers

운송사 무게 그룹	선사 무게 그룹		
	L (24.2%)	M (46.2%)	H (29.6%)
L (13.9%)	9.6%	3.8%	0.5%
M (59.9%)	12.8%	36.6%	10.5%
H (26.2%)	1.8%	5.8%	18.6%

3.2 컨테이너 재취급 횟수 추정 방안

이 절에서는 컨테이너 무게 정보의 부정확성으로 인하여 발생하는 컨테이너의 재취급을 설명하고, 혼돈 행렬 정보를 이용하여 재취급 횟수를 추정하는 방안을 소개한다.

Fig. 4는 Fig. 3의 (b)와 같이 장치된 상황에서 적하 작업이 진행되어 컨테이너들이 반출되는 과정을 순차적으로 보이고 있다. 무거운 컨테이너들을 먼저 적하한다고 가정한다면⁶⁾, 무게 그룹이 H, M, L인 순서로 컨테이너들을 장치장에서 반출하게 된다. 이 과정에서 하단에 자신보다 일찍 반출되어야 하는 컨테이너가 있는 컨테이너는 반드시 재취급이 발생하게 된다. Fig. 3의 (b)를 살펴보면 이러한 경우에 해당되는 컨테이너는 모두 8개가 있으므로 최소 8번의 재취급이 발생한다. 반드시 재취급이 일어나는 컨테이너 수만을 세었기 때문에 이렇게 구한 재취급 횟수는 하한값(lower bound)이 된다. Fig. 4

3) 장치장 공간 부족으로 인해 다른 무게 그룹의 컨테이너가 있는 스택에 반입되는 컨테이너를 장치하여야 하는 경우나 이미 장치된 컨테이너의 대상 선박이나 목적항이 변경되는 경우 재취급이 발생할 수 있다.
 4) <http://www.shinsundae.co.kr/>
 5) 냉동, 위험물 등과 같은 특수 컨테이너들과 자(自)부두에서 환적하여 수출하는 컨테이너들은 외부에서 게이트를 통하여 반입되는 수출 컨테이너들과 그 처리 과정이 다르므로 분석에서 제외하였다.
 6) 적하 계획을 수립하거나 수행하는 과정에서 작업의 효율을 위하여 안전한 범위 내에서 무게 그룹에 의한 적하 순서상의 제약을 일부 어길 수 있으나, 본 논문에서는 고려하지 않는다.

은 하한값에 해당되는 횟수의 재취급으로 베이 내 모든 컨테이너를 반출하는 예를 보이고 있다. 각각의 상태에서 반출하고자 하는 컨테이너들은 굵은 테두리로 표현하였고, 재취급되어야 하는 컨테이너들은 회색 사각형으로 나타내었다. 장치가 완료된 장치장 베이의 현 상태를 기준으로 최적의 적하 계획을 수립하고 적하 과정을 시뮬레이션 하여 예상되는 재취급 횟수를 구할 수 있지만, 이러한 접근 방안은 상당한 계산 비용을 필요로 한다. 대부분의 베이 상태의 경우 Fig. 4와 같이 하한값만큼의 재취급으로 한 베이 내의 컨테이너들을 모두 반출할 수 있으므로, 본 논문에서는 문제 모형을 단순화하여 재취급 횟수 추정에 필요한 계산 비용을 줄이기 위하여 재취급된 컨테이너는 다시 재취급되지 않는다고 가정하였다.

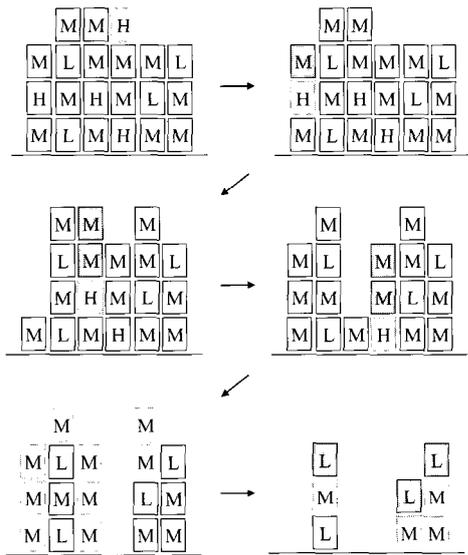


Fig. 4 Sequence of a bay state as containers are fetched out for loading

계속해서 혼돈 행렬 정보를 이용하여 컨테이너 재취급 횟수를 추정하는 방안에 대한 간단한 예를 보이고자 한다. 먼저 동일한 운송사 무게 그룹으로 분류된 컨테이너들 중에서 상대적인 선사 무게 그룹별 비율을 분석해 보면 Table 4와 같은 행렬을 얻을 수 있다. 예를 들어 표에서 회색으로 표시된 20%의 경우 운송사 무게 그룹으로는 L로 분류된 컨테이너들 중에서 20%가 선사 무게 그룹으로는 H에 해당하였다는 의미이다. 여기서는 예제의 계산 편의를 위하여 확률을 임의로 설정하였다. 이러한 표는 앞에서 소개한 혼돈 행렬 정보를 간단하게 가공하여 얻을 수 있다.

Table 4 An example of a confusion matrix in which the values of each weight group are normalized

운송사 무게 그룹	선사 무게 그룹		
	L (33.3%)	M (33.3%)	H (33.3%)
L (33.3%)	60%	20%	20%
M (33.3%)	30%	50%	20%
H (33.3%)	10%	30%	60%

하나의 스택에 3단으로 컨테이너를 쌓는다면 선사 무게 그룹으로는 Fig. 5와 같이 27가지 경우 중의 하나가 될 것이다. 그림에서 회색으로 표시된 컨테이너들은 반출 시 재취급 되어야 하는 컨테이너를 의미한다. 이제 운송사 무게 그룹으로 장치된 상태가 주어진다면 선사 무게 그룹으로 표현된 27개 상태 각각의 발생 확률을 구할 수 있다. 예를 들어 하나의 스택에 운송사 무게 그룹을 기준으로 하단부터 LLM으로 쌓았다고 가정하자. 이 스택이 선사 무게 그룹으로 MLH 상태일 가능성은 다음과 같이 구할 수 있다. 첫 번째 단의 컨테이너가 선사 무게 그룹으로 M일 가능성 0.2, 두 번째 단의 컨테이너가 선사 무게 그룹 L일 가능성 0.6, 세 번째 단의 컨테이너가 선사 무게 그룹 H일 가능성 0.2를 곱하여 0.024의 장치 상태 발생 확률을 구할 수 있다. 이 상태에서는 두 번째 단의 컨테이너(선사 무게 그룹 L)는 하단에 자신보다 무거운 무게 그룹의 컨테이너(선사 무게 그룹 M)가 존재하므로 반출시 1회의 재취급이 발생하게 된다. 이러한 방식으로 모든 발생 가능한 경우를 대상으로 발생 확률과 재취급 횟수를 구하여 가중합을 구하면 운송사 무게 그룹 LLM인 스택의 예상 재취급 횟수를 구할 수 있다.

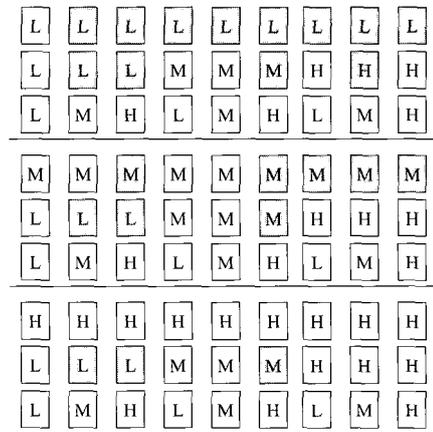


Fig. 5 Twenty-seven possible state of stacking with three containers

Table 5는 Table 2와 Table 3의 20피트와 40피트 컨테이너의 혼돈 행렬 정보를 이용하여 동일한 운송사 무게 그룹으로 분류된 컨테이너들만 하나의 스택에 쌓는 즉, 혼적을 허용하지 않고 장치할 때 하나의 컨테이너에 대한 평균 예상 재취급 수를 장치단별로 구한 것이다. 예를 들어 컨테이너를 3단으로 쌓는다면 혼적을 허용하지 않으므로 운송사 무게 그룹으로는 LLL, MMM, HHH의 세 가지 경우가 나타날 수 있다. 각각의 경우에 대하여 앞에서 소개한 방식으로 예상되는 재취급 수를 구한 후, 혼돈 행렬에 표현되어 있는 운송사 무게 그룹 L, M, H에 해당되는 컨테이너의 발생 확률을 곱하여 가중합하면 한 스택에서 발생할 것으로 예상되는 재취급 횟수를 추정할 수 있다. Table 5는 이렇게 구한 값들을 장치 단수로 나눈 것이다. 예를 들어 20피트 컨테이너의 경우 3단으로 쌓는다면 하나의 컨테이너는 약 15% 확률로 재취급 된다. 따라서 하나의

스택에서는 약 0.45회 (= 0.15 × 3), 하나의 3단 6열 배이에서는 약 2.7회 (= 0.45 × 6)의 재취급 발생이 예상된다. 장치 단 수가 높아질수록 예상 재취급 수는 급격히 증가함을 확인할 수 있는데, 이는 컨테이너를 고단으로 장치하는 경우 운송사 무게 정보의 정확도와 반입 컨테이너의 장치 위치 결정에 더욱 신경을 써야 함을 의미한다. 상대적으로 운송사 무게 그룹의 정확도가 떨어지는 40피트 컨테이너의 경우 재취급이 더 빈번히 발생하였다.

Table 5 Estimated probability of rehandling for a container for various number of tiers

컨테이너 규격	개별 컨테이너의 재취급 발생 확률			
	3단	4단	5단	6단
20피트	0.150	0.187	0.215	0.236
40피트	0.207	0.263	0.307	0.343

4. 장치 위치 결정 규칙의 생성과 평가

본 장에서는 혼적을 허용하는 상황에서 반입 컨테이너의 장치 위치를 실시간에 결정할 수 있는 규칙 표현법을 소개하고, 시뮬레이션을 통하여 여러 가능한 규칙들을 평가하여 가장 효과적인 규칙을 선정하는 방안을 소개한다.

4.1 장치 위치 결정 규칙의 표현

본 연구에서 생성하고자 하는 장치 위치 결정 규칙은 다음과 같은 조건들을 만족하는 것을 목표로 하였다. 첫 번째로 실시간에 장치 위치 결정이 가능하여야 한다. 터미널 외부에서 컨테이너를 실은 트럭이 게이트에 도착하면 트럭 기사는 신분 확인을 할 수 있는 증표(국내에서는 바코드가 인쇄된 카드를 이용)를 시스템(리더기를 통하여)에 제시하게 된다. 터미널 운영 시스템은 해당 기사와 연관된 컨테이너 정보를 확인하여 적절한 장치 위치를 즉시 제시하여 트럭 기사가 장치장의 어느 위치로 향해야 할지 지시한다. 이러한 반응이 늦어지면 게이트에서 정체가 발생할 수 있으므로 장치 위치 결정은 실시간에 처리되어야 한다. 두 번째로 장치 위치 결정 규칙은 관련 전문가가 쉽게 이해하고 필요한 경우 직접 규칙을 생성하거나 변경하는 것이 손쉬워야 한다. 이러한 조건들을 만족시키기 위하여 본 연구에서는 (김 외, 1996)의 연구에서 제안한 장치 위치 결정 휴리스틱을 참고하여 규칙 표현법을 만들었다.

(김 외, 1996)의 연구에서 제안한 장치 위치 결정 휴리스틱 방안은 장치하고자 하는 컨테이너의 무게 그룹과 장치 가능한 스택의 대표 무게 그룹을 비교한다. 스택의 대표 무게 그룹은 해당 스택에 있는 컨테이너들 중에서 가장 무거운 무게 그룹에 해당되는 컨테이너의 무게 그룹이다. 스택에서 가장 무거운

무게 그룹에 해당되는 컨테이너들이 적하 시 가장 먼저 반출되기 때문에 스택의 대표 무게 그룹은 재취급 최소화를 위한 장치 위치 결정 시 해당 스택을 표현하는 가장 중요한 정보이다⁷⁾.

장치 가능한 여유 공간이 있는 스택의 대표 무게 그룹은 e, L, M, H의 4가지 중의 하나가 되는데 e는 해당 스택이 완전히 비어있음(empty)을, L, M, H는 해당 스택에서 가장 무거운 컨테이너의 무게 그룹이 각각 L, M, H임을 나타낸다. 예를 들어 LML로 장치된 스택의 대표 무게는 M이 된다. 각각의 가능한 무게 그룹에 속한 컨테이너가 반입되었을 때 이 4가지에 대하여 우선순위를 미리 매겨 놓는다면 어떤 스택에 컨테이너를 장치할 지 결정할 수 있다. 예를 들어 무게 그룹 L에 대하여 eLHM이라는 우선순위를 설정한다면, 무게 그룹이 L로 분류된 수출 컨테이너가 반입되었을 때 장치 가능한 스택들 중에서 빈 스택에 우선 장치한다. 만일 빈 스택이 없다면 대표 무게 그룹이 L인 스택 중에서 고르게 된다. 대표 무게 그룹이 L인 스택이 없다면 순차적으로 대표 무게 그룹이 H인 스택 그리고 M인 스택을 찾아보게 된다. 동일한 대표 무게 그룹을 가진 스택이 여럿 있다면 이들 중에서는 이미 장치된 컨테이너가 많은(high) 스택 또는 반대로 적은(low) 스택을 선호하도록 설정할 수 있다.

Table 6은 이러한 방식으로 표현한 규칙의 한 예이다. 반입된 컨테이너의 무게 그룹이 L, M, H인 각 경우에 대하여 순서대로 우선순위를 표현하고, 동일한 대표 무게를 가진 스택이 여럿 있을 때 장치된 컨테이너의 수가 적은 스택을 선호하는 경우에는 소문자로 반대의 경우에는 대문자로 표현한다면 Table 6의 규칙은 eLhm/Mleh/HMLe와 같이 간결하게 표현될 수 있다. 본 규칙 표현 방법에서 빈 스택이 여럿 있으면 이들 간의 우선순위 설정은 의미가 없으므로 빈 스택은 언제나 소문자로 나타내었다.

Table 6 An example of a slot allocation rule

운송사 무게 그룹	1순위	2순위	3순위	4순위
L	e	L(high)	h(low)	m(low)
M	M(high)	l(low)	e	h(low)
H	H(high)	M(high)	L(high)	e

이러한 규칙 표현 방식을 이용할 때 우선순위의 조합으로 생성 가능한 규칙의 수는 $(4! \times 2^3)^3$ 으로 약 700만개이다. 본 연구에서는 모든 가능한 규칙들을 생성하여 시뮬레이션으로 평가하고 이들 중에서 가장 효과적인 규칙을 선정하고자 하므로 생성 가능한 규칙의 수를 적절히 제한할 필요가 있다. 이를 위하여 반입된 컨테이너는 장치 가능한 스택들 중에서 운송사 무게 그룹을 기준으로 재취급이 발생하지 않는 위치를 우선적으로 고려하고, 이러한 위치가 없다면 재취급이 발생하는 위

7) 운송사 무게 정보가 언제나 정확하다면 장치 가능한 스택들의 대표 무게 그룹과 반입 컨테이너의 무게 그룹을 비교함으로써 최적의 장치 위치를 결정할 수 있다(Kim et al, 2000).

치 중에서 고른다고 가정하였다. 예를 들어 운송사 무게 그룹 L인 컨테이너가 반입된다면 재취급이 발생하지 않는 대표 무게 그룹이 e 또는 L인 스택들을 우선 고려하고, 이러한 조건을 만족하는 장치 공간이 없다면 대표 무게 그룹이 H 또는 M인 스택들을 고려하도록 하였다. 즉, 반입 컨테이너의 무게 그룹 L에 대하여 LeMH는 조합 가능한 우선순위이지만, MeLH는 허용되지 않는다. 이러한 제약을 통하여 생성 가능한 규칙의 수를 약 29만개로 줄일 수 있다⁸⁾.

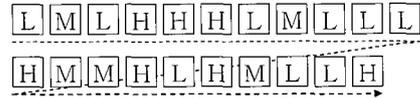
생성 가능한 규칙의 수를 좀 더 줄이기 위하여 동일한 의미를 갖는 규칙이 없는지 분석하였다. 만일 무게 그룹이 w인 컨테이너가 반입되었을 때 동일한 대표 무게 그룹의 스택을 1순위로 두었다면, 장치 가능한 스택이 늘어나지 않는 한 대표 무게 그룹이 w인 스택은 하나 이상 될 수 없다. 대표 무게 그룹이 w이며 장치 여유 공간이 있는 스택이 있다면 먼저 이 스택에 쌓을 것이기 때문이다. 따라서 장치 규칙 elmh/mleh/hmle의 경우 장치 규칙 eMH/MleH/HMle 또는 eMh/Mleh/hMle와 동일하다. 이러한 방식으로 동일한 의미를 가진 규칙들은 하나만 생성함으로써 91,800개의 규칙을 얻을 수 있었다.

4.2 시뮬레이션을 이용한 장치 위치 결정 규칙 평가

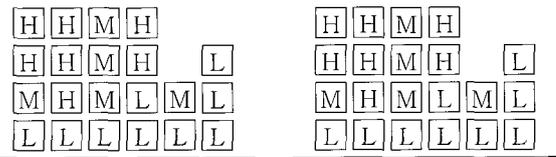
하나의 규칙에 대하여 충분한 횟수의 시뮬레이션을 수행하여 3장에서 소개한 방법으로 재취급 발생 횟수를 추정하여 평균값을 산출한다면 해당 규칙이 얼마나 유용한지 평가할 수 있다. Fig. 6은 이러한 시뮬레이션 한 번에 해당되는 과정을 나타내고 있다. 먼저 운송사 무게 그룹⁹⁾ 분포를 기준으로 임의의 컨테이너 무게 그룹 순서를 장치장의 한 베이 분량만큼 생성한다. 그림의 예는 4단 6열을 기준으로 21개의 컨테이너를 생성한 경우이다. 어느 위치의 컨테이너라도 처음으로 반출이 가능하도록 세 개의 컨테이너에 해당되는 공간은 비워두었다. 운송사 무게 그룹 분포는 혼돈 행렬에 표현되어 있으며 Table 2의 경우라면 13.9%, 39.7%, 46.2%가 각각 L, M, H 운송사 무게 그룹의 발생 확률이 된다. 이렇게 생성한 컨테이너들을 평가하고자 하는 규칙으로 장치 위치를 결정하여 베이에 장치한다. 장치가 완료되면 앞 장에서 소개한 재취급 발생 횟수를 각 스택별로 구할 수 있으며 이를 합하면 해당 베이의 예상 재취급 수를 얻을 수 있다.

얼마만큼의 시뮬레이션을 수행할 것인지 결정하기 위하여 4단 6열 구조의 베이에 20피트 컨테이너 21개를 장치하는 상황에서 elmh/LmeH/MHLe¹⁰⁾ 장치 규칙을 평가해 보았다. 시뮬레이션 횟수를 100회에서 100만회까지 변화시켜가며 각각 10번의 실험을 수행하여 결과의 편차를 살펴 보았다. Fig. 7의 가로축은 시뮬레이션 실험 횟수에 해당되며 세로축은 한 베이에서 발생할 것으로 예상되는 재취급 횟수이다. 그래프에서 각 점은 해당 횟수만큼 반복한 시뮬레이션 실험이다. 시뮬레

이션 횟수가 늘어날수록 결과의 편차는 자연스럽게 줄어들었다. 시뮬레이션을 1만회를 수행하였을 때 10회 실험 간의 예상 재취급 횟수의 최대 편차는 약 0.5%였으며, 100만회를 수행하였을 때의 편차는 약 0.1%였다. 따라서 1만회 이상 시뮬레이션을 수행하여 얻은 결과는 실용적으로 그 가치가 충분하다고 예상할 수 있다. 동일한 방식으로 6단 9열에 대해서도 실험하였으며 4단 6열에서 같은 횟수로 시뮬레이션 한 경우에 비해 더 적은 편차를 보였다.



1. 운송사 무게 그룹 분포로 임의의 컨테이너 무게 그룹 순서를 생성한다. (예: 4단 6열 21개)



2. 평가하고자 하는 규칙으로 컨테이너들을 장치한다. (예: eLHM/MeLH/HMLe)

3. 혼돈 행렬을 이용하여 재취급 횟수를 추정한다.

Fig. 6 The experimental procedure used to evaluate a rule

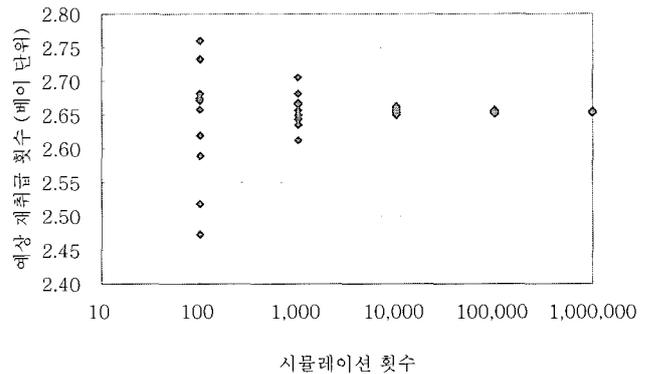


Fig. 7 A distribution for estimated number of rehandlings with various numbers of simulation

본 연구에서는 생성 가능한 규칙의 수가 상당히 많으므로 모든 규칙을 동일한 횟수의 시뮬레이션으로 평가하기에는 상당한 시간이 소요된다. 따라서 본 연구에서는 성능이 좋을 것으로 예상되는 규칙들을 점차 추려가며 시뮬레이션 횟수를 늘이는 방안을 사용하였다. 먼저 약 9만개에 달하는 모든 규칙들에 대하여 100회씩 시뮬레이션을 수행하여 가장 좋은 성능을 보인 1만개의 규칙들을 선정하였다. 선정된 1만개의 규칙

8) 조합 가능한 규칙의 수는 (2!×21)×(2!×22)×(3!×22)×(1!×21)×(4!×23)=294,912이다.
 9) 컨테이너가 장치장에 반입되는 시점에는 운송사 무게 정보만 알 수 있다.
 10) 실험에서 가장 좋은 성능을 보인 규칙이다.

에 대해서는 이전 실험의 10배에 해당되는 1,000회의 시물레이션 수행하고, 시물레이션 한 규칙의 1/10에 해당되는 1천 개의 가장 좋은 규칙들을 추출하였다. 이러한 방식으로 점차 시물레이션 횟수는 늘이고, 대상 규칙의 수는 줄여가며 최종적으로는 10개의 규칙에 대하여 100만회의 시물레이션을 수행하여 결과를 도출하였다¹¹⁾.

5. 실험 결과

제안한 방안의 효과를 확인하기 위하여 수행한 실험 결과가 이 장에서 정리하여 분석한다. Table 7은 20피트 컨테이너를 대상으로 최대 100만회 시물레이션 한 결과이다. 베이 구조로는 4단 6열과 6단 9열 두 가지를 대상으로 실험하였다. 각각의 베이 구조에 대하여 모든 장치 가능한 공간에 컨테이너를 채우는 경우와 첫 컨테이너 반출 시 필요할 수 있는 재취급 공간만큼 비워 두는 두 가지 경우를 실험하였다. 비교 방안으로 Classic은 터미널에서 일반적으로 활용하는 하나의 스택에는 동일한 무게 그룹으로 분류된 컨테이너들만 장치하는 방안으로 3장에서 소개한 모델링 결과를 이용하여 재취급 횟수를 추정하였다. DP 방안은 (Kim *et al.*, 2000)에서 제시한 운송사 무게 그룹 정보가 정확하다는 가정 하에 최적의 장치 위치를 결정하는 동적 계획법을 사용한 경우이다.

본 논문에서 제안한 방안은 4가지 경우 모두 elmH/LmeH/MHLe 규칙이 가장 좋은 성능을 보였다. 표에서 각 항목은 한 베이의 컨테이너들을 모두 반출하는데 예상되는 재취급 횟수이다. 괄호 안의 숫자는 Classic에 비해 재취급이 얼마나 줄었는지 그 비율을 나타낸 것이다. 실험 결과 제안 방안이 가장 우수한 성능을 보였으며, 첫 반출을 위한 재취급 공간을 남겨두는 경우에는 Classic에 비해 재취급을 25% 이상 줄일 수 있었다. DP는 반입되는 컨테이너 무게 정보가 정확하다는 가정 하에 장치 위치를 결정하므로 30% 이상 컨테이너 무게 그룹 정보가 틀린 본 문제에서는 우수한 성능을 보이지 못하였다.

Table 7 Expected number of rehandlings for 20 feet containers

베이 설정	Classic	DP	제안 방안
4단 6열 (21개)	3.59	3.03 (15.7%)	2.65 (26.2%)
4단 6열 (24개)	4.49	4.01 (10.6%)	3.65 (18.6%)
6단 9열 (49개)	11.04	9.88 (10.5%)	8.22 (25.6%)
6단 9열 (54개)	12.74	12.02 (5.7%)	10.08 (20.9%)

Table 8은 40피트 컨테이너에 대하여 동일한 실험을 수행한 결과이다. 전반적으로 20피트 컨테이너를 대상으로 실험한 경우에 비해 예상 재취급 수가 늘어났는데 그 이유는 40피트

컨테이너의 경우 무게 그룹의 정확도가 20피트 컨테이너에 비해 약 5% 정도 더 떨어지기 때문이다. 또한 40피트 컨테이너의 경우 가장 분류하기 까다로운 무게 그룹 M에 해당되는 컨테이너의 비중이 높아 문제가 더 어렵다고 할 수 있다¹²⁾. 40피트 컨테이너에 대한 실험에서도 elmH/LmeH/MHLe 규칙이 최종적으로 선택되었다. 이 실험에서도 본 제안 방안이 가장 우수한 성능을 보였지만, 앞서 실험에 비해 그 개선 정도는 낮았다. 그 이유는 본 연구에서 사용한 규칙 표현법은 스택별 대표 무게 그룹은 고려할 수 있지만, 각 스택에 장치된 컨테이너의 수는 활용하지 못하기 때문으로 풀이된다. 상대적으로 DP 방안의 경우 각 스택이 현재 몇 단까지 장치되었는지까지 고려하기 때문에 앞의 실험에 비해 그 개선 정도가 높았다.

Table 8 Expected number of rehandlings for 40 feet containers

베이 설정	Classic	DP	제안 방안
4단 6열 (21개)	5.02	4.08 (18.7%)	3.98 (20.7%)
4단 6열 (24개)	6.31	5.29 (16.1%)	5.29 (16.2%)
6단 9열 (49개)	15.91	13.68 (14.0%)	12.58 (20.9%)
6단 9열 (54개)	18.52	16.37 (11.6%)	15.04 (18.8%)

6. 결 론

본 논문에서는 반입 컨테이너의 무게 정보가 부정확하여 발생하는 적하 작업 시 재취급 횟수를 추정하는 방안을 소개하고, 재취급 발생을 줄이기 위하여 효과적인 장치 위치 결정 규칙을 생성하여 평가하는 방안을 제안하였다. 실험 결과 본 제안 방안으로 생성한 규칙은 하나의 스택에 동일한 무게 그룹으로 분류된 컨테이너들만 장치하는 기존 방안에 비해 20% 가량 재취급을 줄일 수 있음을 확인할 수 있었다.

본 연구에서는 무게 그룹을 세 단계로 구분하는 상황에서 이해하기 쉬운 간단한 형태의 장치 위치 결정 규칙을 생성하고 평가하는 방안을 제안하였다. 컨테이너 무게 그룹을 보다 세분화하거나, 또는 복잡하지만 더 유용한 규칙을 발견하여 사용하고자 하는 경우에는 생성 가능한 규칙의 수가 급격히 늘어나게 된다. 이러한 경우에는 모든 규칙을 생성하고 평가하기 보다는 일부의 유용한 규칙들을 선별적으로 생성하고 평가하여 최종 결과를 도출할 수 있는 접근 방안이 요구된다. 이를 위하여 모의 담금질(simulated annealing)이나 유전 알고리즘(genetic algorithm)과 같은 탐색(search) 기법을 본 제안 방안에 융합하여 적용함으로써 효과적인 장치 위치 결정 규칙을 효율적으로 생성할 수 있는 방안에 대한 연구가 필요하다.

11) 본 연구에서는 대상 컨테이너 터미널이 사용하는 세 단계 무게 그룹 적용 기준을 적용하였다. 무게 그룹을 보다 세분화하게 되면 조합 가능한 장치 위치 결정 규칙의 수는 급격히 증가하며 수행하여야 하는 시물레이션 횟수도 이에 비례하여 늘어난다.
12) 상대적으로 무게 그룹 L과 H로 분류된 컨테이너들은 정확도가 높다.

후 기

본 연구는 교육부에서 주관하는 "차세대물류IT기술연구사업단"에 의해 지원 받은 연구입니다. 자료 수집에 도움을 주신 동부산 컨테이너 터미널 관계자분들께 지면을 빌어 감사의 마음을 전합니다.

참 고 문 헌

- [1] 강재호, 오명섭, 류광렬, 김갑환 (2004): "반입 컨테이너 무게를 고려한 재취급 최소화 장치 위치 결정 방안," 한국지능정보시스템학회 2004년 추계학술대회 논문집, pp. 271-278.
- [2] 김갑환, 박영만 (1996): "무게를 고려한 수출 컨테이너의 장치위치 결정법," 대한산업공학회지, 제22권, 4호.
- [3] 류영욱 (1998): "컨테이너 터미널에서의 작업시간에 관한 연구," 석사 학위 논문, 부산대학교 대학원 산업공학과.
- [4] 양지현 (2003): 재취급 최소화를 위한 혼적 결정 수리 모형 및 해법, 석사 학위 논문, 부산대학교 대학원 산업공학과.
- [5] Castilho, B. and Daganzo, C. F. (1993): "Handling Strategies for Import Containers at Marine terminals," *Transportation Research*, Vol. 27B, No. 2, pp. 151-166.
- [6] Cho, D. W. (1982): *Development of a Methodology for Containership Load Planning*, Ph. D. Dissertation, Oregon State University.
- [7] Kim, K. H. (1997): "Evaluation of the Number of Rehandles in Container Yards," *Computers and Industrial Engineering*, Vol. 32, No. 4, pp. 701-711.
- [8] Kim, K. H., Park, Y. M., and Ryu, K. R. (2000): "Deriving Decision Rules to Locate Export Containers in Container Yard," *European Journal of Operational Research*, Vol. 124, pp. 89-101.
- [9] Watanabe, I. (1991): "Characteristics and Analysis Method of Efficiencies of Container Terminal - An Approach to the Optimal Loading/Unloading Method," *Container Age*, pp. 36-47.

원고접수일 : 2005년 3월 31일
원고채택일 : 2005년 5월 31일