

# 공 컨테이너 반출 시 발생하는 재취급 횟수 비교

† 이훈 · 김갑환\*

† (주)토탈소프트뱅크 물류시스템연구소, \*부산대학교 산업공학과

## Comparing Expected Numbers of Re-Handles for Empty Containers During Gate-Out Operation

† Hoon Lee · Kap-Hwan Kim\*

† Logistics System Institute of Total Soft Bank, Ltd.

\*Industry Engineering of Pusan National University, Pusan, Korea

**요 약** : 컨테이너 터미널에서 한정된 공간에서 공 컨테이너를 선사별, 컨테이너 종류별로 구분하지 않고 혼적하여 보관하면 장치공간은 효율적으로 활용할 수 있지만 재취급이 증가하는 문제가 발생한다. 본 연구에서는 여러 가지 보관 전략에 따른 장치장에 공 컨테이너가 섞여 있는 상태와 반출 작업에 사용하는 야드 장비에 따라 재취급의 기대 횟수를 추정하는 수식을 유도하고 수치실험을 통하여 비교하였다. 인출비율과 수리비율 변화에 따른 기대 재취급 횟수 변화도 분석하였다. 그리고 장치 규모 변화에 따른 기대 재취급 횟수를 비교하고, 복수 선박의 컨테이너가 혼재된 상태에서 장치비율 및 인출비율 변화에 따른 기대 재취급 횟수를 분석하였다. 공 컨테이너 대상 기대 재취급 횟수를 고려한 효율적인 운영전략에 대한 연구가 필요하다.

**핵심용어** : 컨테이너 터미널, 공 컨테이너, 장치전략, 재취급, 갠트리 크레인, 컨테이너 핸들러

**Abstract** : If empty containers from multiple shipping liners are mixed together in the same bay, then the space utilization increases; however, the expected number of re-handles also increases. Formulas for estimating the expected number of re-handles are derived for various storage strategies and two types of handling equipment. The expected number of re-handles is compared, through numerical experiments, among those cases. The results of the numerical experiments are used to analyze the change in the number of expected re-handles according to the change in the retrieval ratio and repair ratio. The impacts of the change in the bay size and the distribution of the storage and retrieval ratio of containers among multiple vessel liners on the expected number of re-handles are analyzed. It is necessary to study efficient operational strategies considering the expected number of re-handles for empty containers.

**Key words** : Container Terminal, Empty Container, Storage Strategy, Re-handling, Gantry Crane, Container Handler

### 1. 서 론

화주가 화물을 수출할 목적으로 컨테이너 선사로부터 공 컨테이너 관리를 위임받은 컨테이너 터미널 운영회사(운영사)로부터 공 컨테이너를 대여한다. 이때, 화물의 주인인 화주가 컨테이너 육상 운송회사(운송사)를 이용하여 컨테이너 터미널과 화주 간의 운송을 위임한다. 운송을 위임받은 운송사의 트럭이 공 컨테이너 반출을 위하여 컨테이너 터미널에 도착하면 반출 대상 컨테이너를 결정한다. 이때 두 가지 방법을 고려할 수 있다. (Fig. 1) 첫 번째 방법은 도착 트럭이 특정 컨테이너를 지정하여 요구하는 경우인데, 반출 대상 컨테이너를 운송사에서 지정하여 트럭에 지시하는 상황에 해당한다. 컨테이너 터미널에 도착하면 지정된 컨테이너를 요

청하고 야드 장비는 그 위치에 상관없이 지정된 컨테이너를 트럭에 옮겨 싣는다.

두 번째 방법은 트럭이 특정 컨테이너를 지정하지 않고 선사만 지정하는 경우인데, 트럭기사가 컨테이너 터미널의 입구 게이트(IN-GATE)에 도착 후, 컨테이너 터미널 운영사 측에 공 컨테이너 반출 요청을 하며, 운영사는 반출 대상 공 컨테이너를 선정하는 방법이다. 이때, 화주와 선사의 요청 조건에 부합하는 공 컨테이너 장치장 내 장치 상황을 고려하여 취급이 용이한 공 컨테이너를 선정한다. 공 컨테이너 선정 이후 터미널 내 하역장비에게 반출 작업 지시를 보냄과 동시에 트럭 기사에게 반출 대상에 대한 정보(컨테이너 번호, 규격, 위치, 등)를 제공한다. Fig. 2에 상세 과정이 도식화되어 있다.

트럭기사가 컨테이너가 장치되어 있는 위치로 이동하여

† Corresponding Author : 정희원, hlee@tsb.co.kr 070)4733-1100

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

대기하며, 하역장비는 대기 차량을 식별하여 반출 대상 공 컨테이너를 장치장에서 끄집어내어 트럭에 상차한다. 트럭 기사는 컨테이너가 상차된 후 출구 게이트(OUT-GATE)로 이동하여 반출 컨테이너 인도 검사를 받고 인수도증(EIR)을 발급받으며, 화주 지정 장소까지 공 컨테이너를 운반한다.

공 컨테이너 장치장 운영에 가장 큰 문제가 되는 것은 반출할 때, 재취급이 많아 작업효율이 떨어지고 트럭의 대기시간이 길다는 것이다. 따라서 어떻게 장치하여야 재취급을 줄일 수 있으며 주어진 장치 전략과 장치장의 사양, 장비를 고려할 때 재취급이 어느 정도 발생할지 간단히 추정할 방법이 필요하다.

본 연구의 목적은 공 컨테이너 장치장에서 공 컨테이너 인출 요구 시점에 재취급 횟수를 줄여 작업생산성을 향상하고 운영비용을 절감하는 것이다. 이를 위하여, 널리 보급되어 사용되는 대표적인 두 가지 종류의 하역장비 (갠트리 크레인, 컨테이너 핸들러)를 대상으로 다양한 공 컨테이너 인출 전략을 대상으로 기대 재취급 횟수를 추정하는 수식을 유도하고 수치실험을 통하여 서로 재취급 횟수를 비교하였다. 연구방법으로는 재취급 횟수를 추정하는 수식을 유도하기 위하여 통계적인 접근법을 활용하였다.

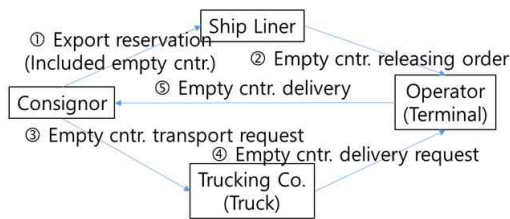


Fig. 1 Process of retrieval operation of an empty container

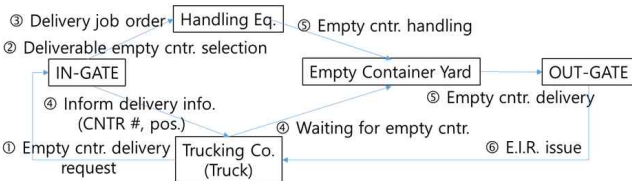


Fig. 2 Process of retrieval operation when only the ship liner is specified

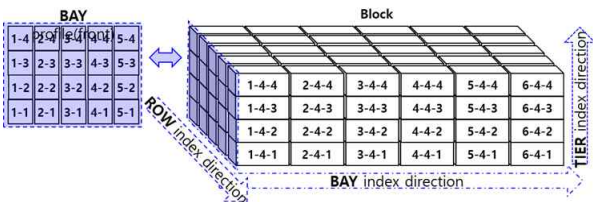


Fig. 3 Storage space naming conventions

컨테이너 장치장은 블록으로 구성되고 하나의 블록(Block)은 20~50개의 베이(Bay)로 구성된다. 하나의 베이는 6~10개의 Row로 이루어지고 하나의 Row에는 4~10개의 층

(Tier)으로 구성된다. 컨테이너 장치장 대상 주소 체계는 Block - Bay - Row -Tier 기준으로 명명하였다 (Fig. 3).

컨테이너를 취급하는 여러 종류의 장비들이 존재하지만, 본 연구에서는 공 컨테이너를 취급하는 보편적으로 많이 사용되는 갠트리 크레인 (Gantry Crane: GC)과 컨테이너 핸들러 (Container Handler: CH)를 대상으로 하였다.

갠트리 크레인은 Ramen 형태와 Cantilever 형태로 구분할 수 있으나, 트럭 대상 상·하차 작업 위치(Service Lane) 외 장치장 내 컨테이너 취급 행위는 동일한 특성을 가지므로 본 연구에서 단일 형태로 간주한다. 갠트리 크레인은 Fig. 4과 같이 개별 Row 기준으로 최상단부터 동일한 작업 시작 순번을 부여할 수 있다.

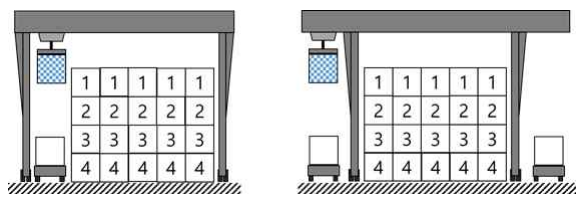


Fig. 4 Sequence of retrieval operations of gantry crane (Ramen, Cantilever)

컨테이너 핸들러는 스프레더가 장비의 측면에 부착되어 있고, 장치장 대상으로 측면에서 접근한다. 장비와 근접한 위치의 최상단에 장치된 컨테이너부터 인출이 가능하여, 장비가 접근하는 방향의 인접 Row의 최상단부터 작업 순번을 차례로 부여할 수 있다. (Fig. 5)

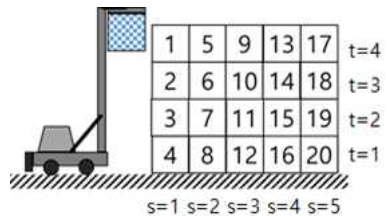


Fig. 5 Sequence of retrieval operations by a container handler

## 2. 선행 연구

Castilho and Daganzo(1993)는 컨테이너 터미널에서 적재된 수입 화물의 인출에 따른 기대 재취급 횟수에 대한 수리모형을 제시하고, 두 가지 운영 전략(Nonsegregating, Segregating)을 기준으로 비교 실험 결과를 제시하였다. Kim(1997)은 트랜스퍼 크레인을 이용하는 장치장에서 장치장 베이의 사양에 따른 컨테이너 인출 시 재취급 횟수를 추정하는 모델 및 평가 방법 제시하였다. Avriel et al.(1998)은 컨테이너 선박 내 컨테이너 적재 계획 대상으로 재취급 최소화 목적을 가지는 적재 계획을 작성하기 위한 수리 모델 및 휴리스틱 알고리즘을 제시하였다. Kim and Kim(1999, 2002)

은 수입 화물에 대한 장치 공간 및 장비 수량 결정을 위해 비용 모델을 이용하여 수리모델을 제시하고, 장치장 운영에서 특징적으로 나타나는 재취급 작업을 분석하였는데, 특히, Kim and Kim(1999)은 공간 크기 결정에 관한 연구를, Kim and Kim(2002) 공간 할당에 관한 연구를 수행하였다. Kim et al.(2000)은 수출 컨테이너를 대상으로 재취급을 최소화하기 위하여 입고 시점에 장치 위치를 결정하는 문제에 대해서 도착 컨테이너 무게를 고려하여 재취급이 최소화되는 장치 위치 결정 방법을 제시하였다. Imai et al.(2006)는 선박에서 컨테이너 적재 계획과 선박에 컨테이너를 양적하 계획 문제를 연구하였는데 컨테이너를 선박에 하역하는 중에 발생하는 재취급 문제를 주요 의사결정 요소로 고려하였다. Kang et al.(2006)은 수출 장치장에서 컨테이너 무게 그룹을 이용한 장치 전략 문제에 관해서 연구를 수행하였다. Kim and Hong(2006)은 수출 장치장에서 컨테이너 인출 시점의 재취급 문제에 대해서 재취급 최소화 목적으로 Branch & Bound 및 휴리스틱 알고리즘을 제시하고 성능 비교 연구를 수행하였다. Lee and Hsu(2007)은 수출 장치장에서 컨테이너 인출 시점의 재취급 문제를 다루며 장비 기준 이동 순서를 결정하는 네트워크 모델로 해법을 제시하였다. Lee and Chao(2007)는 수출 장치장에서 컨테이너 인출 시점의 재취급 문제를 다루며, 이동 순서를 결정하는 수리모델을 연구하였다. Zhu et al.(2010)은 수출 컨테이너 야적장에서의 컨테이너 재배치 문제에 대해서 재배치 횟수, 크레인 동작 비용, 재배치 작업 시간을 고려하여 결정하는 문제를 연구하였다. Wu and Ting(2010)은 컨테이너 야적장에서 컨테이너 인출 시점에 선적 순서가 결정된 야적장에서 재취급에 대한 문제를 연구하였다. Park and Kim(2010)은 화물 장치장 규모(행, 열, 단수) 및 취급 장비 특성에 따른 재취급 횟수 추정을 위한 수리 모델 제시 및 비용을 산출하였다. Lee and Lee(2010)은 하역장비의 최소 이동 및 최소 작업 시간으로 인출 대상 컨테이너를 인출할 수 있는 3단계 휴리스틱 알고리즘을 소개하였다. Jang et al.(2011)은 재취급 기대치를 고려한 반입 컨테이너의 장치장 설계 문제를 다루었다. Jang et al.(2013)은 갠트리 크레인 시스템과 유사한 쌍방향 취급 장비를 대상으로 반출 대상 유닛로드가 가지는 특성 정보가 기대 재취급 회수에 미치는 영향을 연구하고 장치장의 사양을 결정하는 문제를 연구하였다.

본 연구와 직접 관련이 있는 장치장에서의 재취급 추정 문제나 재취급을 최소화하기 위한 장치 전략을 다룬 논문을 요약하여 정리하였다.

저자	연구내용	연구결과	차이점
Castilho and Daganzo (1993)	컨테이너 터미널에서 적재된 수입 화물의 인출 문제	기대 재취급 횟수에 대한 수리 모델 제시, Non-segregating 장치방법과, Segregating 장치방법을 비교	공 컨테이너를 대상으로 다양한 상황에서 재취급 횟수 추정

Kim (1997)	트랜스퍼 크레인 이용하는 장치장에서 장치장 배의 규모에 따른 컨테이너 인출 시 재취급 횟수 추정 문제	수리 모델 및 평가 방법 제시	공 컨테이너 장치 전략, 장비 특성, 선사별 장치비용을 고려하여 재취급 추정식 제시
Kim and Hong (2006)	수출 장치장에서 컨테이너 인출 시점의 재취급 문제	재취급 최소화 목적으로 Branch & Bound 및 휴리스틱 알고리즘 제시하고, 성능 비교	반출 목적의 공 컨테이너 인출 문제를 다룸
Wu and Ting (2010)	컨테이너 야적장에서 컨테이너 인출 시점에 선적 순서가 결정된 야적장에서 재취급되는 컨테이너 위치 결정 문제	Tabu Search 알고리즘과 Branch and Bound 로직 간 비교 성능 실험 결과 제시	선적이 아니라 반출문제를 다룸
Park and Kim (2010)	화물 장치장 규모(행, 열, 단수) 및 취급 장비 특성에 따른 인출 시점의 재취급 횟수 추정 문제	피라미드 장치 형태 및 규모에 따른 인출 시점의 재취급 회수 추정 수리 모델 제시 및 비용을 산출	공 컨테이너 인출 전략에 따른 재취급 횟수의 차이를 분석함
Lee and Lee (2010)	장치장에서 컨테이너 인출 계획 수립 문제	하역장비의 최소 이동 및 최소 작업 시간으로 인출 대상 컨테이너를 인출할 수 있는 휴리스틱 알고리즘	재취급 회수를 최소화하기 위한 알고리즘 연구가 아니라 재취급 횟수를 추정하는 연구임
Jang et al. (2011)	수입 컨테이너 대상 장치 공간 할당 문제	기대 재취급 횟수를 고려한 수입 컨테이너의 장치 공간 할당에 대한 연구	공 컨테이너 장치 전략을 고려한 재취급 횟수 추정 방법을 제시하였다는 차이가 있음
Jang et al. (2013)	반출 대상 유닛로드가 가지는 특성 정보에 기대 재취급 회수에 미치는 영향 연구	그를 정보를 이용한 위치 결정으로 인출 시점 재배치 횟수를 줄이는 수리 모델 및 실험 결과 제시	

본 연구에서는 공 컨테이너 장치장 대상으로 하역장비 종류와 서로 상이한 컨테이너 인출 전략을 중심으로 연구하였다. 컨테이너 터미널의 대표적인 인출 전략은 첫째, 도착 트럭이 특정 공 컨테이너를 지정하여 요구하는 경우와 둘째, 특정 공 컨테이너를 지정하지 않고 선사만 지정하는 경우이다. 두 번째 경우는 선사가 소유한 공 컨테이너이면 어느 컨테이너라도 반출이 가능한 경우이다.

본 연구의 분석 대상이 된 경우는 다음과 같다. 첫 번째 경우로 특정 선사의 공 컨테이너를 인출하는 경우이다. 이 경우의 기대 재취급 횟수를 추정한다 (3장). 두 번째 경우로서 복수 선사의 컨테이너들이 혼적되어 있는 경우 기대 재취급 횟수를 추정하는 문제이다 (4장). 이 두 번째 경우도, 선사별 상대적인 인출빈도가 선사별로 장치된 컨테이너 수에 비례하는 경우와 선사별 상대적인 인출빈도가 선사별로 장

치된 컨테이너 수에 비례하지 않는 경우의 두 경우로 나누어 분석한다.

### 3. 단일 선사의 공 컨테이너 반출을 위한 기대 재취급 횟수 추정

반출을 위하여 공 컨테이너가 한 베이에 쌓여 있을 때, 그 중 특정한 공 컨테이너를 인출하려는 경우와 특정 선사의 공 컨테이너이면 어느 것이나 상관없이 두 가지 경우로 나누어 비교한다.

- 1) 지정된 특정 공 컨테이너를 인출하는 경우
- 2) 지정된 특정 선사의 공 컨테이너이면 어느 것이나 상관없이 없는 경우

컨테이너를 인출하는 장치장의 여건에 대해서 다음과 같이 가정한다.

1) 인출 직전에 한 베이 내 항상 일정한 개수의 컨테이너가 유지된다. 이 가정은 동일 베이에서 인출작업만 계속 발생하는 것이 아니라 저장작업도 동일한 빈도로 섞여 발생하여서 한 베이 내 일정한 개수의 컨테이너가 유지된다는 뜻이다.

2) 한 베이 내 저장되는 한 선사의 컨테이너 비율은 일정하게 유지된다. 인출과 저장이 발생하면서 대상 선사의 컨테이너 장치비율이 시간에 따라 변할 수도 있지만 본 장에서는 일정하게 유지된다는 단순한 가정하에 분석한다.

수식 표현을 위해 공통으로 사용하는 기호는 다음과 같다.

$S$  = 한 베이(Bay) 내 열(Row 또는 Stack)의 개수

$T$  = 열(Row 또는 Stack) 내 공 컨테이너 최대 적재 층수 (Tier)

$N$  = 한 베이 내 존재할 수 있는 공 컨테이너의 전체 개수 ( $=S \cdot T$ )

$s$  = 인출 대상 공 컨테이너가 위치하는 열 ( $1 \leq s \leq S$ )

$t$  = 인출 대상 공 컨테이너가 위치하는 층 ( $1 \leq t \leq T$ )

$P$  = 공 컨테이너가 특정 위치에서 인출될 확률

GC의 경우,  $P_c(t)$  = 공 컨테이너가  $t$ 층에서 인출될 확률 ( $=1/T$ )

CH의 경우,  $P_h(s, t)$  = 공 컨테이너가  $s$ 열,  $t$ 층에서 인출될 확률 ( $=1/S \cdot T = 1/N$ )

$h$  = 특정 위치에서 공 컨테이너를 하나 인출하기 위하여 필요한 취급 횟수

GC의 경우,  $h_c(t)$  =  $t$ 층 공 컨테이너를 하나 인출하기 위하여 필요한 취급 횟수 ( $=T-t+1$ )

CH의 경우,  $h_h(s, t)$  =  $s$ 열,  $t$ 층에서 공 컨테이너를 하나 인출하기 위하여 필요한 취급 횟수 ( $=(T-t+1)+(s-1)T$ )

$E$  = 한 베이에서 하나의 공 컨테이너를 인출하기 위하여 필요한 기대 취급횟수

여러 선사의 공 컨테이너가 섞여 있더라도 한 선사의 공

컨테이너를 위한 기대 재취급 횟수를 아래와 같이 추정할 수 있다.

#### 3.1 도착 트럭이 특정 공 컨테이너를 지정하여 요구하는 경우

이 경우는 선사가 인출할 공 컨테이너의 위치를 고려하지 않고 사전에 인출대상 컨테이너가 정해졌기 때문에 인출을 위한 공 컨테이너의 위치가 랜덤한 위치라고 할 수 있다.

##### 3.1.1 갠트리 크레인을 이용하는 장치장

갠트리 크레인을 이용하여 공 컨테이너 취급 시, 하나의 공 컨테이너를 인출하기 위하여 취급해야 하는 공 컨테이너 개수를 계산하는 방식은 다음과 같다.

공 컨테이너가  $t$ 층에서 인출될 확률( $P_c(t)$ )과  $t$ 층 공 컨테이너를 하나 인출하기 위하여 필요한 취급 횟수( $h_c(t)$ )로부터, 한 베이에서 하나의 공 컨테이너를 인출하기 위하여 필요한 기대 취급횟수( $E_c$ )를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$P_c(t) = 1/T$$

$$h_c(t) = (T - t + 1)$$

$$E_c = \sum_{t=1}^T h_c(t)/T = \sum_{t=1}^T (T - t + 1)/T = (T + 1)/2 \quad (1)$$

##### 3.1.2 컨테이너 핸들러를 이용하는 장치장

컨테이너 핸들러를 이용하여 공 컨테이너 취급 시, 하나의 공 컨테이너를 인출하기 위하여 취급해야 하는 공 컨테이너 개수를 계산하는 방식은 다음과 같다.

한 베이에 장치된 공 컨테이너 총 개수는  $S \times T$  개이다. 하역장비 특성으로 특정 공 컨테이너를 인출하기 위해서는 인출 대상 공 컨테이너 위와 앞에 적재된 공 컨테이너가 있는 경우에는 재취급이 발생하므로(Fig. 5 참조), 특정 공 컨테이너를 인출 시점에 재취급되어야 하는 공 컨테이너 개수를 더한 모든 공 컨테이너에 대해서 총 취급 공 컨테이너 개수( $h_h(S, T)$ )는 다음과 같이 표현된다.

$$h_h(S, T) = \sum_{i=1}^S \sum_{j=1}^T ij = \frac{S(S+1)T(T+1)}{4}$$

따라서 임의의 공 컨테이너를 인출하는데 소요되는 기대 취급수( $E_h$ )를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$E_h = h_h(S, T)/(S \cdot T) = \frac{(S+1)(T+1)}{4} \quad (2)$$

#### 3.2 특정 공 컨테이너를 지정하지 않고 선사만 지정하는 경우

만약 인출 대상 공 컨테이너 집합을 운송사 또는 선사로부터 통보를 받고 트럭이 도착할 때마다 그중의 하나를 상차해 주는 경우이다. 이 경우  $p$ 를 한 베이에 장치되어 있는 전체 공 컨테이너 중 인출 대상의 공 컨테이너의 비율이라고

가정하고,  $r$ 을 공 컨테이너 중 수리 대상 공 컨테이너의 비율이라고 가정한다. 실제로 무시 못 할 비율의 공 컨테이너가 수리 대상 공 컨테이너라는 사실을 반영하기 위한 변수이며, 이 비율이 일정하게 유지된다고 가정한다.

- $p$  = 한 베이 내 장치되어 있는 전체 공 컨테이너 중 인출 대상의 공 컨테이너의 비율
- $r$  = 공 컨테이너 중 수리 대상 컨테이너의 비율

### 3.2.1 갠트리 크레인을 이용하는 장치장

갠트리 크레인을 이용하여  $t$ 층에 장치된 공 컨테이너가 인출될 확률은 다음과 같다.

$$P_c(t) = \frac{\{1 - (1-r)p\}^{(T-t)S} [1 - \{1 - (1-r)p\}^S]}{1 - \{1 - (1-r)p\}^{TS}} \quad (3)$$

분자의  $\{1 - (1-r)p\}^{(T-t)S}$ 은  $t$ 층 위에서 해당 선사의 컨테이너가 없을 확률이고  $1 - \{1 - (1-r)p\}^S$ 은  $t$ 층에 해당 선사의 컨테이너가 존재할 확률이다. 분모는 이 베이에 해당 선사의 컨테이너가 존재한다는 조건부 확률을 계산하기 위한 것이다. 즉, 일단 트럭이 해당 베이에 도착했다는 것은 그 베이에 인출대상 컨테이너가 존재한다는 의미이고, 그 조건으로 인출 위치별 인출이 발생할 확률을 계산하고 이를 이용하여 기대치를 계산하였다. 만약 조건부 확률을 사용하지 않을 때에는 "어디에도 인출대상 컨테이너가 없을 확률"이 양의 값을 가지므로 인출위치별 인출확률을 다 합쳐도 1이 되지 않는다.

그리고  $t$ 층의 공 컨테이너를 인출하기 위하여 필요한 취급 횟수는 다음과 같다.

$$h_c(t) = (T - t + 1)$$

$E(t)$ 를  $t$ 층에서 인출되는 공 컨테이너로부터 발생할 수 있는 기대 취급횟수라고 정의하면, 하나의 공 컨테이너를 인출하기 위하여 필요한 취급 횟수의 기대치는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} E_c &= \sum_{t=1}^T E_c(t) = \sum_{t=1}^T (h_c(t)P_c(t)) \\ &= \sum_{t=1}^T h_c(t) \frac{\{1 - (1-r)p\}^{(T-t)S} [1 - \{1 - (1-r)p\}^S]}{1 - \{1 - (1-r)p\}^{TS}} \quad (4) \end{aligned}$$

여기서  $T$ 와  $S$ 는 정수이다. 그러나 한 베이 내의 공 컨테이너 수  $N$ 가 주어지는  $N=TxS$  이므로  $S$ 는 정수가 되어야 하나,  $T$ 는 반드시 정수가 되어야 할 필요는 없다.  $S=6$ 이고  $T=4.5$ 인 예로서, 1~3열까지는 5층까지 컨테이너가 적재되어 있고 나머지 열에는 4층까지 적재된 경우를 예로 들 수 있다. 이 경우  $E$ 값을 구하기 위하여 인접한 정숫값에 대해서 (4)식을 이용하여  $E$ 값을 구한 다음, 보간법을 이용하여  $E_c$  값을 구할 수 있다. 위의 예에서는  $T=4$ 와  $T=5$ 에 대해서 (4)식을 이용하여 취급횟수 기대치를 구한 다음 두 값의 평균값을  $T=4.5$ 의 경우 기대 취급횟수로 간주한다.

Fig. 6에서 갠트리 크레인 기준 인출 대상 공 컨테이너 비

율( $p$ )과 수리 컨테이너의 비율( $r$ )이 변화했을 때 하나의 공 컨테이너 반출을 위한 기대 취급횟수( $E_h$ )를 그래프로 표시하였다. 여기서 가장 위에 있는 점선(reference)은 트럭이 특정 컨테이너를 요구하였을 때의 기대 취급횟수 ((1)식)를 나타내고 있다. 특정 컨테이너를 요구하는 경우에 비교하여 특정 컨테이너를 지정하지 않고 선사만 지정하는 경우가 재취급을 대폭 줄일 수 있음을 알 수 있다. 그리고 해당 선사의 컨테이너가 전체 베이내의 컨테이너에서 차지하는 비율이 낮아질수록 재취급 횟수가 증가함을 알 수 있다.

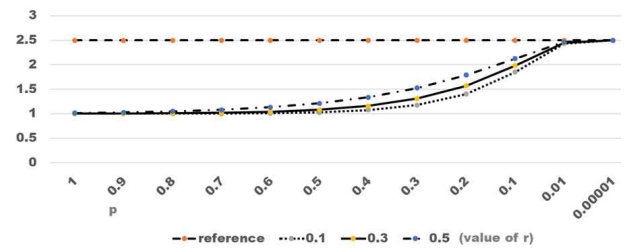


Fig. 6 Expected number of handles for various values of retrieval ratio for GC ( $S=6, T=4$ )

Fig. 7에는 갠트리 크레인 장치장에서 다양한 장치장의 열수( $S$ ) 및 층수( $T$ )의 변화에 따른 1개의 공 컨테이너 반출을 위한 기대 취급횟수( $E_h$ )를 그래프로 표시하였다. 열수가 작아지고 단수가 커질수록 취급 횟수가 급격하게 증가함을 보여주고 있다. 열수가 많아지는 경우 재취급이 거의 없어짐을 알 수 있다.

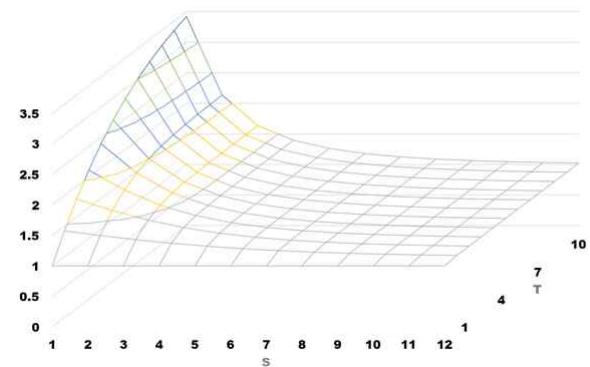


Fig. 7 Expected number of handles per retrieval for various values of  $S$  and  $T$  in case of GC ( $r=0.1, p=0.3$ )

### 3.2.2 컨테이너 핸들러를 이용하는 장치장

컨테이너 핸들러를 이용할 때,  $(s, t)$  위치에 장치된 컨테이너가 인출될 확률은 아래와 같다. 이 확률은  $s$ 열 이전과  $s$ 열의  $t$ 단 상단에 동일 선사의 컨테이너가 없다는 말이다.

$$P_h(s, t) = \{1 - (1-r)p\}^{\{(T-t)+(s-1)T\}} (1-r)p \quad (5)$$

베이 내  $(s, t)$  위에 있는 공 컨테이너를 인출하기 위하여 필요한 취급 횟수는 다음과 같다.

$$h_h(s, t) = (T - t + 1) + (s - 1)T$$

그리고,  $E_h(s, t)$ 를  $(s, t)$ 에서 인출되는 공 컨테이너로부터 발생할 수 있는 기대 취급횟수라고 정의하면 하나의 공 컨테이너를 인출하기 위하여 필요한 취급 횟수의 기대치는 다음과 같다.

$$E_h = \sum_{s=1}^S \sum_{t=1}^T E_h(s, t) = \sum_{s=1}^S \sum_{t=1}^T h_h(s, t) P_h(s, t)$$

$$= \sum_{s=1}^S \sum_{t=1}^T \left[ \frac{\{(T-t+1) + (s-1)T\}}{1 - \{(1-r)p\}^{(T-t)+(s-1)T}} \right] \quad (6)$$

여기서  $T$ 와  $S$ 는 정수이다. 그러나 한 베이 내의 공 컨테이너 수  $N$ 가 주어진 정숫값인  $N$ 이고, 그 값은  $T \times S$  이니  $S$ 는 정수되어야 하나,  $T$ 는 반드시 정수가 되어야 할 필요는 없다. 이 경우  $E_h$  값을 구하기 위하여 인접한 정숫값에 대해서 (6)식을 이용하여  $E_h$  값을 구한 다음, 보간법을 이용하여  $E_h$  값을 구할 수 있다.

Fig. 8에서 컨테이너 핸들러 기준 인출 대상 공 컨테이너 비율( $p$ )의 변화에 따른 1개 공 컨테이너 반출을 위한 기대 취급횟수( $E_h$ )를 다양한 수리 대상 공 컨테이너 비율( $r$ )에 대해 그래프로 표시하였다. 수리 대상 공 컨테이너 비율이 증가할수록 재취급 비율이 높아져 비교 대상인 특정 컨테이너를 요청하는 경우의 취급 횟수에 수렴함을 알 수 있다.

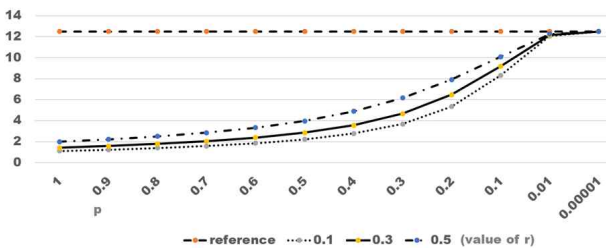


Fig. 8 Expected number of handles per retrieval for various values of retrieval ratio in case of CH (S=6, T=4)

Fig. 9에는 컨테이너 핸들러를 사용하는 장치장에서 공 컨테이너 장치 열수( $S$ ) 및 층수( $T$ )의 변화에 따른 1개의 공 컨테이너 반출을 위한 기대 취급횟수( $E_h$ )를 그래프로 표시하였다. 그림에서는 작은  $S$ 값과  $T$ 값에서는 취급 횟수가  $S$ 와  $T$ 값의 증가에 민감하게 증가하였으나,  $S$ 값과  $T$ 값이 증가하는 경우 어느 값을 초과하게 되면 기대 취급횟수가 더 이상 증가하지 않는 경향을 보여 주었다. 이는  $S$ 값과  $T$ 값이 커지더라도 우선순위가 낮은 열이나 층에서 인출될 확률이 아주 낮아지기 때문에 기대 취급횟수가 더 증가하지 않는다고 할 수 있다. 갠트리 크레인의 경우는 열수가 많아지면 재취급 횟수가 감소하였으나 컨테이너 핸들러의 경우는 열수가 많아질수록 재취급 횟수가 증가한다는 점이 특이하다고 할 수 있다.

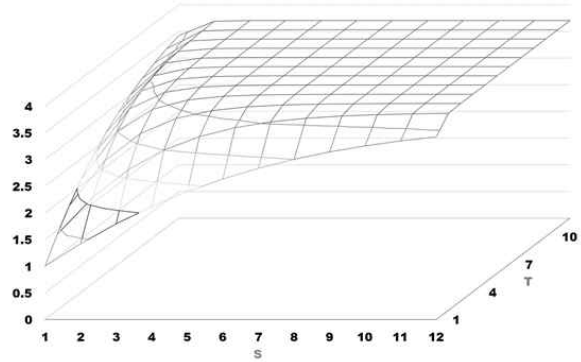


Fig. 9 Expected number of handles per retrieval for various values of S and T in case of CH ( $r=0.1$ ,  $p=0.3$ )

#### 4. 혼적된 복수 선사 공 컨테이너에 대한 기대 재취급 횟수 추정

앞장에서는 하나의 선사를 대상으로 특정 선사의 컨테이너를 반출하는데 소요되는 취급 횟수를 추정하였으나, 터미널 입장에서는 복수의 선사를 대상으로, 대상 선사 전체의 컨테이너를 반출하는데 어느 정도의 취급 횟수가 필요한지 추정이 필요하다고 할 수 있다. 즉, 복수 선사들의 공 컨테이너들이 동일 베이 내 혼적이 되어 있는 경우, 전체 선사를 모두 고려하여 하나의 공 컨테이너를 인출하는데 소요되는 취급 횟수를 추정하는 방법을 제시한다. 만약 서로 다른 선사들이 동일한 저장 공간을 공유하고 있고, 각 선사의 공 컨테이너들이 일정한 비율의 공간을 차지하고 있으며 그 비율이 계속 유지된다고 가정한다.

복수의 선사가 동일 장치장에 공 컨테이너를 함께 장치하는 경우, 선사별로 장치 물량이 서로 다를 수 있다. 이 경우 인출 요구 빈도가 장치량에 비례한다고 가정하는 것이 일반적이다. 그렇지 않은 경우는 선사별로 공 컨테이너 평균 장치장 체류 시간(dwel time)이 다른 경우에는 인출빈도가 장치량에 비례하지 않을 수 있다. 전자의 경우는 4.1장에서 다루고, 후자의 경우는 4.2장에서 다루도록 한다.

##### 4.1 선사별 상대적인 인출빈도가 선사별로 장치된 공 컨테이너 수에 비례하는 경우

선사  $g$ 의 공 컨테이너가 요구될 확률이  $p_g$  이고 선사  $g$ 의 공 컨테이너가 수리해야 할 상태에 있을 확률이  $r_g$  라고 정의한다.

$p_g$  = 선사  $g$ 의 공 컨테이너가 요구될 확률

$r_g$  = 선사  $g$ 의 공 컨테이너가 수리해야 할 상태에 있을 확률

###### 4.1.1 갠트리 크레인을 이용하는 장치장

갠트리 크레인을 이용하여  $l$ 층에 장치된 공 컨테이너가 인출될 확률은 다음과 같다.

$$P_c(t) = \sum_{g=1}^m \left( p_g \times \frac{\{1 - (1 - r_g)p_g\}^{(T-t)S} [1 - \{1 - (1 - r_g)p_g\}^S]}{1 - \{1 - (1 - r_g)p_g\}^{TS}} \right) \quad (7)$$

여기서  $\{1 - (1 - r_g)p_g\}^{(T-t)S}$ 는 1에서  $t-1$ 층까지 사용 가능한  $g$ 선사의 컨테이너가 없을 확률이고  $1 - \{1 - (1 - r_g)p_g\}^S$ 는  $t$ 층에 사용가능한  $g$ 선사의 컨테이너가 존재할 확률이다. 분모는 해당 선사의 컨테이너가 존재하는 경우에만 그 베이에서 컨테이너 인출을 요구할 것이므로 조건부 확률로 만들기 위해서 사용되었다. 이 확률을 모든 선사에 대해서 인출요구확률로 가중 평균해 주면  $t$ 층에서 반출될 확률이 계산된다. 한 베이로부터 임의의 공 컨테이너를 인출할 때 기대되는 취급 횟수는 다음과 같다.

$$E_c = \sum_{t=1}^T \{h_c(t) \times P_c(t)\} = \sum_{t=1}^T \left[ h_c(t) \times \sum_{g=1}^m \left( p_g \times \frac{\{1 - (1 - r_g)p_g\}^{(T-t)S} [1 - \{1 - (1 - r_g)p_g\}^S]}{1 - \{1 - (1 - r_g)p_g\}^{TS}} \right) \right] \quad (8)$$

이때  $h_c(t) = (T - t + 1)$  이다.

#### 4.1.2 컨테이너 핸들러를 이용하는 장치장

인출 확률이 각각  $p_g$  인  $m$ 개의 선사를 위한 공 컨테이너 하나를 컨테이너 핸들러를 이용하여 인출할 때,  $s$ 열  $t$ 층에 장치된 공 컨테이너가 인출될 확률은 다음과 같다.

$$P_h(s, t) = \sum_{g=1}^m \left[ p_g \times \frac{\{1 - (1 - r_g)p_g\}^{((T-t)+(s-1)T)} (1 - r_g)p_g}{1 - \{1 - (1 - r_g)p_g\}^{TS}} \right] \quad (9)$$

$\{1 - (1 - r_g)p_g\}^{((T-t)+(s-1)T)}$ 는  $s$ 번째 열의 앞 열까지 그리고  $s$ 번째 열의  $t$ 층 위에 사용 가능한 해당 선사의 컨테이너가 없을 확률이다.  $(1 - r_g)p_g$ 는  $s$ 열,  $t$ 층에 있는 컨테이너가 해당 선사의 사용 가능한 컨테이너일 확률이다. 그러면 한 베이로부터 임의의 공 컨테이너를 인출할 때 기대되는 취급 횟수는 다음과 같다.

$$E_h = \sum_{s=1}^S \sum_{t=1}^T E_h(s, t) = \sum_{s=1}^S \sum_{t=1}^T h_h(s, t) P_h(s, t) = \sum_{s=1}^S \sum_{t=1}^T \{((T - t + 1) + (s - 1)T)\} \times \sum_{g=1}^m \left[ p_g \times \frac{\{1 - (1 - r_g)p_g\}^{((T-t)+(s-1)T)} (1 - r_g)p_g}{1 - \{1 - (1 - r_g)p_g\}^{TS}} \right] \quad (10)$$

다음으로 서로 컨테이너를 동일한 베이에 혼적을 하는 선사 간의 인출빈도에 있어서의 차이가 기대 취급횟수에 어떤 영향을 미치는지를 알아본다. 이를 위하여 인출빈도의 편중도를 다양하게 변화시켜 가면서 수치실험을 수행하였다. 여기서, 선사별 인출 확률을 만들기 위하여 인출빈도가 가장

높은 선사로부터 가장 낮은 선사까지 순번을 1부터  $G$ 까지로 붙였다. 선사별 인출빈도의 집중도를 나타내는 파라미터  $c$ 를 이용하여 다음과 같이 인출빈도를 표현할 수 있다.

$$p_g = \left(\frac{g}{G}\right)^c - \left(\frac{g-1}{G}\right)^c \quad (11)$$

이때  $G$ 는 혼적 장치된 선사 총수이고,  $g$ 는 인출 대상 선사 번호이다 ( $1 \leq g \leq G$ ). 이 경우  $0 < c \leq 1$  이고 1에 가까울수록 인출빈도가 상호 비슷해지고, 0에 가까울수록 편중도가 심해진다.

Fig. 10에서 비교 실험을 위해 선사를 3개로 가정하고 선사별( $g$ ) 상대적인 집중도( $c$ )를 도식화하였다.

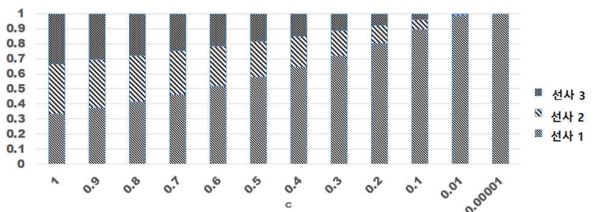


Fig. 10 Illustration of ratios of retrieval frequencies of three shipping liners for various values of  $c$

Fig. 11에서 복수 선사의 컨테이너가 혼적 장치되어 있고, 선사별( $g$ ) 상대적인 인출빈도( $p_g$ )가 선사별로 장치된 컨테이너 수에 비례하는 경우에 대해서 선사의 인출빈도집중도 변화에 따른 기대 취급횟수( $E_c$ )의 변화를 그래프로 표시하였다. 장치 수량과 인출빈도가 상호 비례 관계가 있는 경우, 인출빈도의 집중도가 증가하면 재취급 횟수가 줄어드는 경향으로 나타났다. 즉, 인출빈도가 선사 상호간에 비슷한 경우 재취급 횟수가 가장 높게 나타났다. 수리 대상 컨테이너 비율이 낮아질수록 재취급 횟수가 낮게 나타난다.

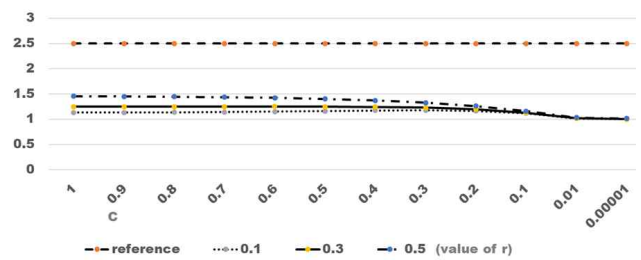


Fig. 11 Expected number of handles with the retrieval frequency for a vessel liner proportional to storage amount for GC ( $S=6, T=4$ )

Fig. 12에서 복수 선사의 공 컨테이너가 혼적 장치되어 있고, 선사별( $g$ ) 상대적인 인출빈도( $p_g$ )가 선사별로 장치된 공 컨테이너 수에 비례하는 경우에 대해서 선사의 인출빈도 집중도의 변화에 따른 기대 취급횟수( $E_h$ )의 변화를 그래프로 표시하였다. 한 선사의 공 컨테이너가 집중될 수록 재취급 비율이 낮아지며, 수리 대상 공 컨테이너 비율이 작을 수록 재취급 횟수가 낮게 나타난다.

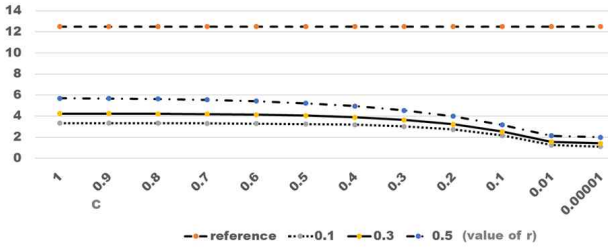


Fig. 12 Expected number of re-handles with retrieval frequency proportional to storage amount in case of CH (S=6, T=4)

#### 4.2. 선사별 상대적인 인출빈도가 선사별로 장치된 공 컨테이너 수에 비례하지 않는 경우

앞 장에서는 장치장에 장치되어 있는 공 컨테이너의 비율과 인출 요구가 발생하는 비율이 일치하는 경우를 다루었으나, 이 장에서는 이 두 가지 비율이 서로 다른 경우를 다루고자 한다. 이 장에서 다루고자 하는 경우가 더 일반적이라고 할 수 있다.

몇 개의 추가적인 기호와 수식을 소개한다.

$d_g$  = 선사  $g$ 의 공 컨테이너의 평균 장치장 체류 시간

$f_g$  = 선사  $g$ 의 공 컨테이너 단위 시간당 평균 인출빈도

$q_g$  = 장치장내 임의의 공 컨테이너가 선사  $g$ 의 공 컨테이너일 확률

선사  $g$ 가 필요로 하는 인출빈도와 장치장 체류 시간을 만족시키기 위하여 장치하고 있어야 할 수리가 필요 없는 공 컨테이너의 장치량은  $d_g f_g$ 이다. 그러나 수리가 필요한 공 컨테이너의 비율이  $r_g$ 이므로 수리가 필요한 공 컨테이너를 포함한 전체 장치량은  $s_g$ 이다.

$$s_g = \frac{d_g f_g}{1 - r_g}$$

선사별 공 컨테이너 평균 인출빈도와 평균 체류 시간을 이용하여  $q_g$ 를 다음과 같이 계산 할 수 있다.

$$q_g = \frac{s_g}{\sum_{i=1}^m s_i} \quad (12)$$

인출 요구가 선사  $g$ 의 공 컨테이너일 확률( $p_g$ )은 다음과 같다.

$$p_g = \frac{f_g}{\sum_{g=1}^m f_g} \quad (13)$$

##### 4.2.1 갠트리 크레인을 이용하는 장치장

갠트리 크레인을 이용하여  $t$ 층에 장치된 공 컨테이너가 인출될 확률  $P_c(t)$ 은 다음과 같다.

$$P_c(t) = \sum_{g=1}^m (p_g \times \frac{\{1-(1-r_g)q_g\}^{(T-t)S} [1-\{1-(1-r_g)q_g\}^S] }{1-\{1-(1-r_g)q_g\}^{TS}}) \quad (14)$$

여기서  $\{1-(1-r_g)q_g\}^{(T-t)S}$ 는 위에서  $J$ 에서  $t-t$ 층까지 사용 가능한  $g$ 선사의 컨테이너가 없을 확률이고,  $1-\{1-(1-r_g)q_g\}^S$ 는  $t$ 층에 사용 가능한  $g$ 선사의 컨테이너가 존재할 확률이다. 분모는 해당 선사의 컨테이너가 존재하는 경우에만 그 배이에서 컨테이너 인출을 요구할 것이므로 조건부 확률로 만들기 위해서 사용되었다.

$P_c(t)$ 와  $h_c(t)$ 를 이용하여  $t$ 층에서 인출되는 공 컨테이너로부터 발생할 수 있는 기대 취급횟수  $E_c(t)$ 를 구하면 다음과 같다.

$$E_c(t) = h_c(t) \times P_c(t) = h_c(t) \times \sum_{g=1}^m (p_g \times \frac{\{1-(1-r_g)q_g\}^{(T-t)S} [1-\{1-(1-r_g)q_g\}^S] }{1-\{1-(1-r_g)q_g\}^{TS}}) \quad (15)$$

한 배이로부터 하나의 공 컨테이너를 인출할 때 필요한 기대 취급횟수  $E_c$ 는 다음과 같다.

$$E_c = \sum_{t=1}^T E_c(t) = \sum_{t=1}^T \left[ h_c(t) \times \sum_{g=1}^m (p_g \times \frac{\{1-(1-r_g)q_g\}^{(T-t)S} [1-\{1-(1-r_g)q_g\}^S] }{1-\{1-(1-r_g)q_g\}^{TS}}) \right] \quad (16)$$

수치 실험을 위하여 선사별 인출빈도와 평균 장치장 체류 시간을 생성한다. 이를 위하여 인출빈도와 체류 시간이 가장 높은 선사로부터 가장 낮은 선사의 순서로 선사의 번호를 1부터  $G$ 까지로 붙였고, 본 수치실험에서는 인출빈도가 높은 선사의 컨테이너의 체류 시간도 길다고 가정하고 선사별 인출빈도와 체류 시간의 집중도를 나타내는 파라미터  $c$ 를 이용하여 다음과 같이 인출빈도와 체류 시간을 생성하였다

$$d_g = \left(\frac{g}{G}\right)^{c1} - \left(\frac{g-1}{G}\right)^{c1} \quad \text{그리고} \quad f_g = \left(\frac{g}{G}\right)^{c2} - \left(\frac{g-1}{G}\right)^{c2}$$

이때  $c1$ 과  $c2$ 는 각각 평균 체류 시간과 인출빈도의 선사간 상대적 차이 정도를 나타내는 집중도 파라미터이다. 유사한 파라미터가 (11)에 정의된 바 있다.

Fig. 13에서 선사별( $g$ ) 상대적인 인출빈도가 선사별로 장치된 공 컨테이너 수에 비례하지 않는 경우를 대상으로 인출빈도( $f_g$ )와 장치장 체류 시간( $d_g$ )의 집중도의 변화에 대해서 기대 취급횟수( $E_c$ )의 변화를 그래프로 표시하였다. 본 실험에서는 인출빈도가 많은 선사의 컨테이너가 체류 시간도 길게 되도록 자료를 생성하였다. 동일한 인출빈도 분포를 가질 경우, 체류 시간의 집중도가 커질수록 장치장 내 특정 선사의 컨테이너 비율이 증가하게 되는데, 이 경우에는 오히려 기대 취급횟수가 커지는 경향을 보였다. 인출빈도의 집중도가 커지는 경우는 취급횟수가 작아지는 경향을 보였다. 인출빈도가 많은 선사의 장치장 내에 컨테이너 비율도 높아지기 때문이라고 추정된다. 체류 시간이 선사간에 차이가 큰 경우, 기대 취급횟수가 인출빈도의 집중도에 따라 그 차이가 커졌다.



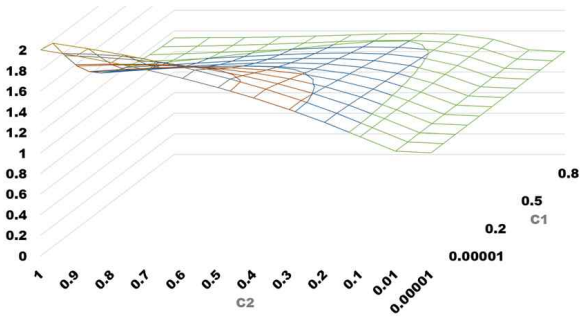


Fig. 13 Expected number of handles with retrieval frequency proportional to storage amount in case of GC (S=6, T=4, r=0.1)

4.2.2 컨테이너 핸들러를 이용하는 장치장

컨테이너 핸들러를 이용하여 (s, t)에 장치된 공 컨테이너가 인출될 확률은 다음과 같다.

인출요구가 (s, t)에 있는 공 컨테이너일 확률  $P_h(s, t)$ 은 다음과 같다.

$$P_h(s, t) = \sum_{g=1}^m \left[ p_g \times \frac{\{1 - (1 - r_g)q_g\}^{((T-t)+(s-1)T)} (1 - r_g)q_g}{1 - \{1 - (1 - r_g)q_g\}^{TS}} \right] \quad (17)$$

$P_h(s, t)$ 와  $h_h(s, t)$ 를 이용하여 (s, t)에서 인출되는 공 컨테이너로부터 발생할 수 있는 기대 취급횟수  $E_h(s, t)$ 를 구하면 다음과 같다.

$$E_h(s, t) = h_h(s, t) \times P_h(s, t) = h_h(s, t) \times \sum_{g=1}^m \left[ p_g \times \frac{\{1 - (1 - r_g)q_g\}^{((T-t)+(s-1)T)} (1 - r_g)q_g}{1 - \{1 - (1 - r_g)q_g\}^{TS}} \right] \quad (18)$$

한 베이로부터 하나의 공 컨테이너를 인출할 때 필요한 기대 취급횟수  $E_h$ 는 다음과 같다.

$$E_h = \sum_{s=1}^S \sum_{t=1}^T \{h_h(s, t) \times P_h(s, t)\} = \sum_{s=1}^S \sum_{t=1}^T \left( \{(T-t+1) + (s-1)T\} \times \sum_{g=1}^m \left[ p_g \times \frac{\{1 - (1 - r_g)q_g\}^{((T-t)+(s-1)T)} (1 - r_g)q_g}{1 - \{1 - (1 - r_g)q_g\}^{TS}} \right] \right) \quad (19)$$

Fig. 14에서 선사별(g) 상대적인 인출빈도가 선사별로 장치된 공 컨테이너 수에 비례하지 않는 경우를 대상으로 장치장 내 인출빈도( $f_g$ )와 체류 시간( $d_g$ )의 변화로부터 기대 취급횟수( $E_h$ )의 변화를 그래프로 표시하였다. Fig. 13에서와 마찬가지로 동일한 인출빈도 분포를 가질 경우, 체류 시간의 집중도가 커질수록 기대 취급횟수가 커지는 경향을 보였다. 인출빈도의 집중도가 커지는 경우는 취급횟수가 작아지는 경향을 보였다. 체류 시간이 선사간의 차이가 큰 경우, 기대 취급횟수가 인출빈도의 집중도에 따라 그 차이가 커졌다. 본 실험에서는 인출빈도가 많은 선사의 컨테이너가 체류 시간도 길게 자료를 생성하였으나 현실적으로는 다양한 상황이 있을 수 있으니, 과거 자료를 활용하여 인출빈도와 체류 시

간에 대한 선사별 분포를 수집하여 위에서 제시한 방법으로 기대 취급횟수를 추정하여 운영이나 설계를 위한 의사결정에 활용할 수 있다.

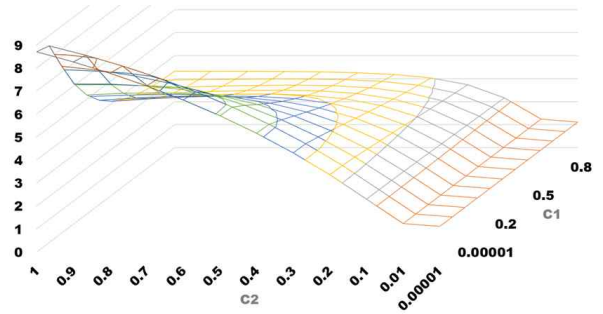


Fig. 14 Expected number of handles with retrieval frequency proportional to storage amount in case of CH (S=6, T=4, r=0.1)

5. 결 론

본 연구에서는 컨테이너 터미널에서 공 컨테이너 반출 시에 발생하는 재취급 횟수를 추정하는 방법을 제안하였다. 그리고 재취급 횟수가 반출을 위한 공 컨테이너 인출 전략과 사용하는 하역장비의 종류에 따라 큰 차이가 나타남을 보였다. 즉, 대상 하역장비(갠트리 크레인, 컨테이너 핸들러)의 종류에 따른 컨테이너 취급 행위의 특성과 장치장 규모(열수, 층수)에 따른 공 컨테이너 반출을 위한 평균 재취급 횟수가 명확히 차이가 나타나므로, 하역장비의 특성과 장치장 규모를 고려한 장치장의 사양 결정, 하역장비의 선정, 그리고 운영 전략 결정이 요구된다.

우선 단일 선사의 공 컨테이너를 인출하는 경우에 대해서 분석하였다. 공 컨테이너를 반출할 때, 특정 컨테이너를 요구하는 방법에 비교하여 선사만 지정하고 현장에서 장치 위치를 고려하여 구체적인 컨테이너를 선정하게 하는 것이 재취급을 줄일 수 있는 효과적인 방법임을 밝혔다. 선사만 지정하는 경우에도 특정 선사의 컨테이너가 해당 베이에서 차지하는 비율이 낮아지는 경우, 재취급 횟수가 증가함을 보였다. 또한, 장치장 규모 관점에서는 갠트리 크레인은 층수에 영향을 받고, 컨테이너 핸들러는 열수 및 층수 크기에 재취급 횟수가 영향을 받음을 보였다. 그리고 컨테이너 핸들러의 경우가 갠트리 크레인의 경우보다 재취급이 더 많이 발생함을 밝혔다. 갠트리 크레인의 경우는 열수가 많아지면 재취급 횟수가 감소하였으나 컨테이너 핸들러의 경우는 열수가 많아질수록 재취급 횟수가 증가한다는 점이 특이하다고 할 수 있다. 수리 컨테이너 비율이 증가할수록 재취급 횟수도 증가함을 알 수 있었다.

장치장 작업 베이 공간 내 복수의 선사를 혼재하여 보관하는 상황에서 선사별 상대적인 인출빈도가 선사별로 장치된 공 컨테이너 수에 비례하는 경우에 대해 분석하였다. 복수 선사 사이에 인출빈도가 균등하게 나타나는 경우보다 특

정 선사에 편중된 경우가 기대 취급횟수가 낮게 나타나는 경향이 있었다. 선사별 상대적인 인출빈도가 선사별로 장치된 공 컨테이너 수에 비례하지 않는 사례도 분석하였다. 동일한 인출빈도 분포를 가질 경우, 체류 시간의 집중도가 커질수록 기대 취급횟수가 커지는 경향을 보였다. 인출빈도의 집중도가 커지는 경우는 취급횟수가 작아지는 경향을 보였다. 체류 시간이 선사간의 차이가 큰 경우, 기대 취급횟수가 인출빈도의 집중도에 따라 그 차이가 벌어졌다. 이 경우는 장치장 내 컨테이너의 체류 시간과 인출빈도의 선사 간 차이가 서로 복합적인 영향을 미치므로 이들 변수에 대한 자료를 수집, 분석한 후 운영 전략을 결정하는 것이 필요하다.

본 연구에서는 반출 작업만을 대상으로 하였으나 공 컨테이너를 선적하기 위하여 야드에서 인출하는 경우도 있으므로 본 연구를 확장할 수 있으리라 기대한다.

## 후 기

이 논문은 2016년도 대한민국 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단 국제협력사업의 지원으로 수행한 연구결과임 (과제번호: NRF-2016K1A3A1A48954044)

## References

- [1] Avriel, M., Penn, M., Shpirer, N. and Witteboon, S.(1998), "Stowage Planning for Container Ships to Reduce the Number of Shifts", *Annals of Operations Research* Vol. 76, pp. 55 - 71.
- [2] Castillo, B. and Daganzo, C. F.(1993), "Handling Strategies for Import Containers at Marine Terminals", *Transportation Research Part B: Methodological* Vol. 27, Issue 2, pp. 151-166.
- [3] Imai, A., Sasaki, K., Nishimura E. and Papadimitriou, S.(2006), "Multi-objective Simultaneous Stowage and Load Planning for a Container Ship with Container Rehandle in Yard Stacks", *European Journal of Operational Research* 171, No. 2, pp. 373 - 389.
- [4] Jang, D. W., Kim, S. W., and Kim, K. H.(2011), "Storage Space Allocation Considering Mixed Groups of Inbound Containers in Terminals", *Journal of the Korean Society of Supply Chain Management*, Vol. 11, No. 2, pp. 1-34.
- [5] Jang, D. W., Kim, S. W. and Kim, K. H.(2013), "The Optimization of Mixed Block Stacking Requiring Relocations", *International Journal of Production Economics*, Vol. 143, Issue 2, pp. 256-262.
- [6] Kang, J. H., Ryu, K. R. and Kim, K. H.(2006), "Deriving Stacking Strategies for Export Containers with Uncertain Weight information", *Journal of Intelligent Manufacturing*, Vol. 17, Issue 4, pp. 399 - 410.
- [7] Kim, K. H.(1997), "Evaluation of the Number of Rehandles in Container Yards", *Computers & Industrial Engineering* Vol. 32, No. 4. pp. 701-711.
- [8] Kim, K. H. and Hong, G. P.(2006), "A Heuristic Rule for Relocating Blocks", *Computers & Operations Research*, Vol. 33, Issue 4, pp. 940-954.
- [9] Kim, K. H. and Kim, H. B.(1999), "Segregating Space Allocation Models for Container Inventories in Port Container Terminals", *International Journal of Production Economics*, Vol. 59, Issues 1 - 3, pp. 415-423.
- [10] Kim, K. H. and Kim, H. B.(2002), "The Optimal Sizing of the Storage Space and Handling Facilities for Import Containers", *Transportation Research Part B: Methodological*, Vol. 36, Issue 9, pp. 821-835.
- [11] Kim, K. H., Park, Y. M. and Ryu, K. R.(2000), "Deriving Decision Rules to Locate Export Containers in Container Yards", *European Journal of Operational Research* 124, pp. 89-101.
- [12] Lee, Y. A. and Hsu, N. Y.(2007), "An Optimization Model for the Container Pre-marshalling Problem", *Computers & Operations Research*, Vol. 34, Issue 11, pp. 3295-3313.
- [13] Lee, Y. S. and Chao, S. L.(2009), "A Neighborhood Search Heuristic for Pre-marshalling Export Containers", *European Journal of Operational Research*, Vol. 196, Issue 2, pp. 468-475.
- [14] Lee, Y. and Lee, Y. J.(2010), "A Heuristic for Retrieving Containers from a Yard", *Computers & Operations Research*, Vol. 37, Issue 6, pp. 1139-1147
- [15] Park, T. K. and Kim, K. H.(2010), "Comparing Handling and Space Costs for Various Types of Stacking Methods", *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 58, Issue 3, pp. 501-508.
- [16] Wu, K. C., Ting, C. J. and Hernandez, R.(2010), "Applying Tabu Search for Minimizing Reshuffle Operations at Container Yards", *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Vol. 8, pp. 2379-2393.
- [17] Zhu, M., Fan, X. and He, Q.(2010), "A Heuristic Approach for Transportation Planning Optimization in Container Yard", *Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)*, IEEE International Conference on, p. 1766.

Received 5 February 2018

Revised 3 May 2018

Accepted 14 May 2018