한국항해항만학회지 제43권 제3호
J. Navig. Port Res. Vol. 43, No. 3 : 197-208, June 2019 (ISSN:1598-5725(Print)/ISSN:2093-8470(Online))
DOI : http://dx.doi.org/10.5394/KINPR.2019.43.3.197

적하작업을 위한 공 컨테이너 기대 재취급 횟수 추정

† 이훈 · 김갑환*

† ㈜토탈소프트뱅크 물류시스템연구소, *부산대학교 산업공학과

Estimating the Expected Number of Re-handles for Empty Containers during Loading Operation

† *Hoon Lee · Kap-Hwan Kim**

† *Logistics System Institute of Total Soft Bank, Ltd., Korea*
**Department of Industrial Engineering of Pusan National University, Korea*

요 약 : 공 컨테이너 장치장의 사양, 취급 장비, 운영방법이 공 컨테이너 적하 시 발생할 수 있는 재취급 기대횟수에 미치는 영향을 연구하였다. 다수 선사의 다양한 유형의 공 컨테이너를 서로 분리된 공간에 저장한다면 저장 공간을 충분히 활용할 수 없고, 저장 공간의 활용도를 높이기 위해 여러 선사의 공 컨테이너를 혼적하여 함께 저장한다면 적하작업 중에 추가로 재취급이 발생할 수 있다. 한 베이에서 적하작업을 위하여 공 컨테이너를 인출하는 시점에 기대되는 재취급 횟수를 계산하기 위해 필요한 여러 가지 수식을 유도하였다. 트랜스퍼 크레인과 탑 핸들러를 취급 장비로 간주하여 다양한 인출 전략을 검토하였다. 장치장의 다양한 설계 및 운영 매개 변수가 재취급 횟수에 미치는 효과를 확인할 목적으로 수치실험을 수행하였다.

핵심용어 : 컨테이너 터미널, 공 컨테이너, 적하작업, 재취급, 트랜스퍼 크레인, 탑 핸들러

Abstract : *This paper assessed the impacts of the specification of the yard, handling equipment, and operation approaches on the expected number of re-handles during the loading operation for empty containers. When the various types of empty containers from multiple shipping liners are placed in separate spaces from each other, then the storage space cannot be fully utilized. So as to increase the utilization of the storage space, empty containers from multiple vessel liners are stored together incurring additional re-handles during the loading operation. Several formulas are derived for the estimation of the expected number of handles, including re-handles, for empty container retrieval from a bay. Transfer cranes and top handlers are utilized as handling equipment and various retrieval strategies are examined. Numerical analysis was conducted to assess the effects of various designs and operational parameters of the container stacking yard on the expected number of handles.*

Key words : *Container Terminal, Empty Container, Loading Operation, Re-handling, Transfer Crane, Top Handler*

1. 서 론

컨테이너 터미널의 운영 효율에 부정적인 영향을 미치는 여러 요인 중에 대표적인 것이 반출이나 적하 시 재취급이 많이 발생한다는 것이다. 본 연구의 대상인 공 컨테이너에 한정하여 살펴보더라도 재취급의 발생 빈도는 장치장의 사양, 취급 장비의 특성, 그리고 장치장 운영 방법에 크게 영향을 받는다. 장치장의 사양에 해당하는 것은 한 베이(Bay) 내 열(Row)의 수와 층(Tier) 수가 있다. 그리고 하역장비로는 트랜스퍼 크레인(Transfer crane: TC)이냐 탑 핸들러(Top handler: TH)냐에 따라 취급 횟수가 달라진다. 운영방법에 있어서도 어떤 선사들의 컨테이너들을 동일 베이에 혼적하여 보관할 것이냐, 적하목록을 작성할 때 적하 컨테이너를 어떻게 지정할 것이냐에 따라 재취급 발생 빈도는 큰 차이를 보이게 된다.

컨테이너 터미널을 설계하는 엔지니어의 입장에서 장치장을 설계하거나 하역장비를 선정할 때, 비용이나 공간활용도 등의 여러 다른 요소들도 고려하겠지만 특정 설계 사양이나 하역장비가 기대 재취급 횟수에 미치는 영향을 쉽게 추정할 수 있다면 의사결정에 유용하리라 생각한다. 또한 건설된 터미널을 운영하는 운영사의 입장에서 장치 공간이 부족하거나 공간 활용도를 높이기 위하여 서로 다른 선사들의 공 컨테이너를 혼적하는 경우, 그 혼적이 재취급 횟수에 미치는 영향을 쉽게 추정할 수 있다면, 어떤 선사들의 컨테이너들을 동일 공간에 혼적할 것인지를 결정하는 데도 도움이 될 것이다. 또한 적하목록을 작성하는 방법에 따라 재취급 횟수에 얼마만큼 영향을 받는지를 알아보는 것은 장치장 운

† Corresponding author : 정회원, hlee@tsb.co.kr 070)4733-1100
* 종신회원, kapkim@pusan.ac.kr 051)510-2419

영에 의미가 있는 일이라고 생각한다. 재취급 횟수의 추정을 위하여 복잡한 컨테이너 취급과정을 고려한 시뮬레이션과 같은 상세한 방법을 사용할 수도 있겠으나, 터미널 시설계획이나 운영전략 수립과 같이 많은 대안을 검토해야 하는 단계에서는 일부 단순화를 위한 가정을 도입하더라도 사용하기에 간단한 계산식이나 절차가 유용하리라 생각하여 본 연구의 대상으로 삼았다.

1.1 컨테이너 적하작업

컨테이너 선박 대상의 하역작업은 선사로부터 선하적 대상 화물에 대한 목록을 받아서 작업 계획을 수립하게 된다. 이때 적하계획은 선박 대상 하역장비 중심으로 개별 컨테이너에 대한 작업 순서를 결정한다. 컨테이너 선박 대상의 하역작업은 선사로부터 선하적 대상 화물에 대한 목록을 받아서 작업 계획을 수립하게 된다. 이때 적하계획은 선박 대상 하역장비 중심으로 개별 컨테이너에 대한 적하작업 순서를 결정한다. 하역작업의 실행은 계획된 작업 목록 기준으로 순차적으로 하역 및 이송 장비를 이용하여 수행한다. 작업 목록 상의 개별 컨테이너의 적하작업 요청(①)으로 작업이 시작되며, 작업 목록 상의 적하계획 중 컨테이너 번호가 지정되어 있지 않은 경우에는 컨테이너 규격, 소유자, 등의 조건에 부합하는 공 컨테이너를 장치된 현황을 포함하는 선정 조건에 따라 터미널운영시스템 또는 장치장 관리자(Manager or System)를 통해서 후보 컨테이너를 결정(②)한다. 계획된 공 컨테이너 적하작업을 실질적으로 수행할 목적으로 해당 컨테이너가 장치된 위치의 야드장비(Yard Crane), 야드에서 안벽까지 컨테이너를 운반할 이송장비(Truck), 선박 내 특정 위치까지 선적할 안벽장비(Quay Crane)를 결정하고 적하작업을 지시(③)한다. 야드장비는 선적 대상 컨테이너를 장치장에서 인출하여 이송장비 위에 상차(④)하고, 이송장비는 해측의 목적지까지 컨테이너를 운반(⑤)하고, 안벽장비는 운반된 컨테이너를 이송장비로부터 하차(⑥)하여 선박 내 목적지에 선적(⑦)하여 작업 계획 목록 상의 해당 순번의 적하작업을 완수한다 (Fig. 1).

여기서, 2016년도 부산항의 컨테이너 수출입 통계에 따르면, 화물이 적재된 적 컨테이너 기준 수출량이 3,976,626개이고, 수입량이 2,888,611개로 수출 비중이 높아서 수출 화물을 위해 공 컨테이너 약 1백만 개 정도 수입이 요구된다. 다만, 컨테이너 소유주(예: 선사, 화주, 임대 회사, 등)에 따라 수입 화물 적출 이후, 공 컨테이너는 소유주가 지정한 장소인 컨테이너 터미널 또는 내륙화물기지, 등으로 옮겨진다. 이때 선박을 통해서 외국으로 옮겨지는 공 컨테이너 수량은 842,713개로 전체 수출량의 약 17.5%에 이른다 (Table 1). 전체 적하작업 중 적지 않은 비율을 차지하는 공 컨테이너를 대상으로 적하 시점에 수반되는 재취급을 줄여 하역생산성을 향상시킬 필요가 있다. 공 컨테이너 인출 시점의 재취급 횟수를 추정할 수 있는 간단한 방법이 있다면, 공 컨테이너 장치장 설계나 하역장비 선택, 그리고 공 컨테이너 장치장 운영 전략 수립에 활용할 수 있으리라 기대된다.

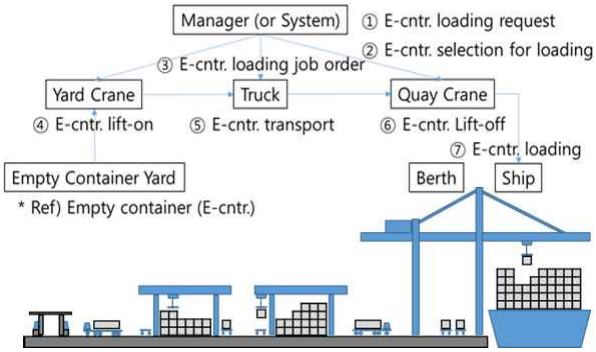

Fig. 1 Process of the loading operation of an empty container

1.2 공 컨테이너 취급 하역장비

컨테이너를 취급하는 여러 하역장비들이 존재하며, 본 연구는 공 컨테이너 취급 하역장비 중 보편적으로 많이 활용되는 트랜스퍼 크레인과 탑 핸들러를 대상으로 하였다.

트랜스퍼 크레인은 스프레드(Spreader)가 장치장의 최상층 위쪽으로 수평 이동이 가능하여, 특정 열(Row)의 최상층에 적치된 컨테이너부터 인출이 가능하고, 탑 핸들러는 스프레드가 장비의 측면에 부착되어 있고, 장치장 대상으로 측면에서 접근하여, 장비와 가장 가까운 열의 최상층에 적치된 컨테이너부터 인출이 가능하다. Fig. 2와 Fig. 3은 각각 트랜스퍼 크레인과 탑 핸들러를 사용하는 장치장에서 한 베이내 위치한 특정 컨테이너를 인출하기 위하여 필요한 취급횟수를 보여주고 있다. 여기서, 6열(S)의 4층(T)인 베이(Bay)에서 개별 컨테이너를 적치할 수 있는 세부 장치공간(Slot)의 열(s)과 층(t)으로 구분하고, 특정 위치(s=3, t=2)에서 컨테이너를 인출하기 위해서는 상부에 적치된 컨테이너(t>2)에 대해서 다른 공간으로 옮기는 재취급이 필요하다. 만약 취급 하역장비가 탑 핸들러(TH)인 경우에는 장비가 접근하는 방향의 컨테이너들(s<3)에 대한 재취급이 요구된다. 트랜스퍼 크레인(TC)의 경우 s열과 t층에 장치된 컨테이너를 (s, t)로 나타낼 때, 컨테이너 {(3, 1), (3, 2)}에 대해서 순차적으로 재취급이 요구되며, 탑 핸들러(TH)의 경우는 {(1, 4), (1, 3), (1, 2), (1, 1), (2, 4), (2, 3), (2, 2), (2, 1), (3, 4), (3, 3)}에 대해서 순차적으로 재취급이 요구된다.

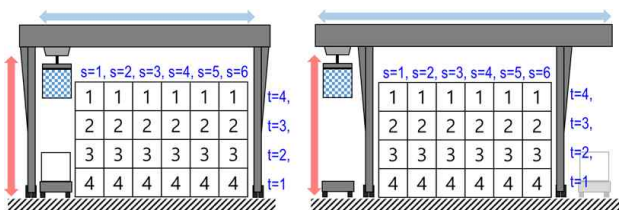

Fig. 2 Sequence of retrieval operations of transfer crane (Ramen, Cantilever)(Lee and Kim, 2018)

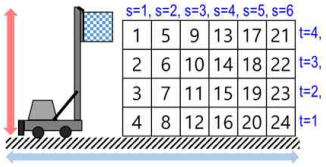

Fig. 3 Sequence of retrieval operations by a container handler(Lee and Kim, 2018)

본 연구의 목적은 이종의 하역장비(트랜스퍼 크레인, 탑 핸들러)를 대상으로 공 컨테이너 장치장에서 컨테이너 적하를 위한 인출 요청 시점에 재취급 횟수를 추정하는 방법을 제시하되, 다양한 공 컨테이너 장치장의 사양, 장비 종류, 인출 전략을 기준으로 기대 재취급 횟수를 비교하는 것이다.

1.3 선행 연구

그동안 컨테이너와 관련된 재취급 문제가 여러 분야와 시각에서 수행되어 왔다. 본 연구가 컨테이너 재취급 관련된 연구이므로 이 분야를 중심으로 문헌 조사하였다. 우선, 선박 내에 적하된 컨테이너를 다음에 방문하는 여러 항만에서 양하 시 발생하는 재취급 문제를 다룬 연구들이 있었다(Table 2 참조). 그 다음으로는 컨테이너 장치장의 사양과 재취급과의 관계를 다룬 논문들이 있는데 이들은 적재 컨테이너에 관한 연구들이고 공 컨테이너에 관한 연구는 없었다. 다음으로는 장치위치 결정 등 장치장 운영방법을 최적화하여 재취급을 줄이고자 하는 연구들이 있었다. Table 2에서 수출입 장치장 운영이란 그룹에 속한 논문들이 여기에 해당한다. 마지막으로 사전에 구내이적하여 반출이나 선적시 재취급을 줄이고자 하는 연구가 있었다. 이들 연구는 본 연구의 주제와 관련이 있을 뿐만 아니라 본 연구의 후속연구 주제로 고려할 만한 내용이 있어 여기서 소개한다.

선박 내 컨테이너 적하계획의 재취급 문제에 대해서 Avriel et al.(1998)은 선박 내 수직으로 적재된 컨테이너 화물 대상으로 컨테이너 인출 시 양하지 순서에 따른 재취급을 최소화할 목적의 수리 모델 및 휴리스틱 알고리즘을, Imai et al.(2006)은 양적하 계획 문제를 선박에서 컨테이너를 하역하는 중에 발생하는 재취급 문제를 선박의 운항 안정성과 함께 고려한 수리 모델 및 실험 결과를 제시하였다. 선박 내 재취급 문제는 야드 내 장치장에서 화물의 적재 형태 및 인출 과정에 따른 재취급 문제와 유사한 점이 있다.

화물을 적재 보관하는 장치장의 하역장비 결정과 관련해서 Kim(1997)은 트랜스퍼 크레인을 이용하는 장치장에서 장치 베이를 결정하는 높이 및 열의 갯수에 따른 컨테이너 인출 시점의 재취급 횟수를 추정하는 수리 모델 및 평가 방법을, Kim and Kim(1999)은 수입 컨테이너 화물에 대한 장치 공간의 적재 높이와 기대 재취급 사이의 관계에 대한 수리 모델 및 평가 방법을 다루었다. Kim and Kim(2002)은 수입 컨테이너 화물을 위한 필요 공간 요구량 및 장비 수량 결정을 위해 재취급을 포함하는 하역 및 이송 비용을 고려한 다양한 수리 모델 및 평가 방법을, Jang et al.(2011)은 수입 컨테이너 화물을 대상으로 반출 시점의 재취급 기대치를 고려한 장치장 설계 문제를 다루었다. Jang et al.(2013)은 트랜스퍼 크레인의 일종인 쌍방향 취급 장비를 이용하여 반출 대상 화물의 속성 정보가 기대 재취급 회수에 미치는 영향으로부터 장치장 규모 결정하는 문제를 연구하였고, Park and Kim(2010)은 컨테이너 외 다양한 형상의 화물 장치장의 행, 열, 층수와 하역장비의 특성에 따른 기대 재취급 횟수를 고려한 수리 모델을 제시하고, 다른 유형의 장치장을 대상으로 화물 처리 비용과 공간 비용을 서로 비교 실험을 수행하였다. Lee and Kim(2018)은 공 컨테이너를 반출할 때 인출 대상 컨테이너 지정 조건, 취급 장비 등에 따른 재취급 기대 횟수를 추정하는 방식을 제시하였다.

선박에 하역될 컨테이너 화물을 일시 보관하는 장치장 운영에 대해서 Castilho and Daganzo(1993)는 적재된 수입 컨테이너 화물의 인출 시점의 기대 재취급 횟수에 대한 수리모형과 두 가지 운영 전략을 대상으로 비교 실험을 수행하였다. Kim et al.(2000)은 수출 컨테이너 도착 시에 컨테이너 무게를 고려하여 기대 재취급 횟수가 최소화될 수 있는 장치 위치 결정 방법을, Kang et al.(2006)은 수출 화물의 속성 중 컨테이너 중량을 이용한 재취급을 줄이는 문제에 대한 연구를, Kim and Hong(2006)은 컨테이너 인출 시점에 재취급을 최소화할 수 있는 Branch & Bound 알고리즘과 휴리스틱 알고리즘 간 성능 비교 연구를 수행하였다.

또한, 수출 컨테이너는 화물 적하 이전에 적하계획을 통해 작업 순서를 결정하고, 적하 시점에 하역 생산성을 높일 목적의 사전 준비 작업에 대해서 Lee and Hsu(2007)는 적하 순서를 고려한 사전 재취급 문제에 대해 장비 이동 순서를

Table 1 Annual container throughput at Busan port (unit: TEU, %), (Busan Port Authority, 2017)

	2015					2016				
	Total	Loaded	%	Empty	%	Total	Loaded	%	Empty	%
Total	19,468,725	16,088,514	82.6	3,380,211	17.4	19,456,291	16,124,689	82.9	3,331,602	17.1
Local	9,363,396	6,675,826	71.3	2,687,571	28.7	9.620,465	6,865,237	71.4	2,755,229	28.6
Import	4,713,229	2,842,613	60.3	1,870,616	39.7	4,801,127	2,888,611	60.2	1,912,516	39.8
Export	4,650,167	3,822,213	82.4	816,955	17.6	4,819,339	3,976,626	82.5	842,713	17.5
T/S	10,105,318	9,412,679	93.1	692,640	6.9	9,835,826	9,259,453	94.1	576,373	5.9

결정하는 네트워크 모델을 이용한 해법을, Lee and Chao(2009)는 휴리스틱 수리 모델을, Lee and Lee(2010)는 컨테이너 이동 수와 크레인의 총 작업 시간의 가중 합을 최소화하는 방법을, Wu et al.(2010)은 Tabu Search 알고리즘 및 성능 비교 실험을, Zhu et al.(2010)은 재배치 횟수, 장비 동작 비용 및 재배치 작업 시간의 가중 합을 고려한 수리 모델을 제시하였다.

Table 2는 본 연구와 직접 관련이 있는 논문을 선박 내 기대 재취급 횟수 추정, 장치장 사양 결정, 수출입 장치장의 효율적인 운영 및 장치장에서 사전 재취급 순서 계획으로 분류하여 정리하였다.

본 연구에서는 공 컨테이너 장치장을 대상으로 두가지 하역장비를 사용하고 서로 다른 공 컨테이너 인출 전략을 채택한 경우를 대상으로 분석하였고, 공 컨테이너를 선박에 적하하기 위한 세 가지 전략을 비교하였다. 첫 번째로 적하작업 이전에 장치 위치를 고려하지 않고 적하 컨테이너와 적하 순서를 사전에 지정한 경우, 두 번째로 순서를 사전에 지정하지 않고 그때그때 인출이 편리한 컨테이너를 인출하는 경우, 세 번째로 복수 선사의 공 컨테이너가 혼재된 경우로 구분하여 분석하였다. 본 연구는 기존 연구와 달리 공 컨테이너의 재취급 문제를 다루었고, Lee and Kim (2018)의 논문에서는 복수 선사의 컨테이너 혼재 여부 및 선사별 상대적인 인출빈도를 고려한 공 컨테이너 반출작업을 대상으로 하였으나 본 연구에서는 단일 선사의 공 컨테이너 인출 순서 지정 여부 및 복수 선사의 공 컨테이너 인출 순서 미지정한 적하작업을 대상으로 하였다는 점이 다르다.

적하작업과 반출작업은 인출 방식에 있어서 큰 차이가 있기 때문에 재취급의 추정 방식에도 차이가 날 수밖에 없다. 적하작업의 경우는 선박이 접안하고 있는 시간 동안 집중적으로 발생하여 해당 장치 베이가 완전히 비어질 때까지 계속해서 인출이 일어난다. 이에 반하여, 반출의 경우는 오랜 시간 동안 무작위로 도착하는 트럭의 반출요구에 따라 인출이 발생하고 완전히 해당 베이가 비어지기 전에 다른 선박에서 양하된 컨테이너가 동일 베이에 추가로 놓일 수 있다는 점에서 재취급의 발생 행태가 큰 차이가 있다고 할 수 있다. 재취급 횟수는 일부 세부적인 작업방법에 의해서 영향을 받을 수 있다. 예를 들어 재취급된 컨테이너를 장치하는 위치 결정 방법에 영향을 받을 수 있다. 그러나 재취급 컨테이너의 장치위치 결정 문제 자체만으로도 복잡한 의사결정 문제이다. 이처럼 복잡한 의사결정 문제가 있더라도 추정치의 신뢰도를 많이 절하시키지 않는 범위 내에서 이에 대해 단순화한 가정을 도입하여 재취급 횟수 추정식을 도출하였다.

Table 2 A summary of previous studies

Classification	Issue	Details	Paper
Expected rehandling in ship	Minimization of expected rehandling according to POD	Operational stability is not considered	Avriel et al. (1998)
		Operational stability is considered	Imai et al. (2006)
Stack specification and equipment determination	Considering the number of expected re-handles at the time of retrieval	Stack size (height, row) determination	Kim (1997)
		Expected re-handles rate according by stack height	Kim and Kim (1999)
		Considering unloading and transport costs together	Kim and Kim (2002)
		Stack design problem	Jang et al. (2011)
		Decisions stack size	Jang et al. (2013)
		Comparison of cargo handling and space costs	Park and Kim (2010)
		Estimate the number of handling in retrieving empty container	Lee and Kim (2018)
Operation of export and import stacks	Considering the number of expected re-handles at the time of retrieval	At the time of import container retrieval	Castilho and Daganzo (1993)
		Considering export container weight	Kim et al. (2000)
		Considering export container weight	Kang et al. (2006)
		B&B vs. heuristic method comparison	Kim and Hong (2006)
Prior re-handles of import and export container	Considering prior re-handles based on given loading sequence	Network model usage method	Lee and Hsu (2007)
		Heuristic method	Lee and Chao (2009)
		Weighted sum of work quantity and time	Lee and Lee (2010)
		Tabu search usage method	Wu et al. (2010)
		Considering working quantity, operation and time cost	Zhu et al. (2010)

2. 인출 순서를 사전에 지정한 단일 선사의 공 컨테이너 인출을 위한 기대 재취급 횟수 추정

적하작업은 단시간에 많은 양의 컨테이너를 연속적으로 인출하는 특성이 있어, 일단 적하가 시작되면 해당 베이에 다른 컨테이너가 추가로 장치되지 않고 한 베이에 장치된 한 선사의 공 컨테이너가 모두 다 인출될 때까지 연속적으로 인출 작업이 일어나는 특성이 있다.

공 컨테이너 적하를 위한 적하목록을 작성할 때 두 가지 방식을 고려해 볼 수 있다. 첫 번째 방식은 적하목록에 개별 컨테이너를 사전에 지정하여 순서를 나열한 경우이다. 이 경우는 장비기사가 목록에 기재된 순서대로 장치장에서 인출을 수행하면 되어 추가적인 의사결정이 필요 없어 편리한 측면은 있으나 재취급이 많이 발생한다. 다른 한 가지 방법은 특정 선사의 공 컨테이너를 몇 개 적하하는지만 지정해 두고 개별 컨테이너 선택은 장비기사가 처리하는 방식이다. 이 두 가지 방식에 대해서 본 연구에서 다루려고 한다.

본 장에서는 선사가 사전에 적하할 공 컨테이너의 순서를 지정한 경우를 대상으로 한다. 즉, 적하 목록에 적하할 공 컨테이너가 사전에 지정되어 있고 대상 컨테이너들의 장치 위치를 고려하지 않고, 적하 순서를 사전에 지정한 경우이다. 이 경우 전체 컨테이너를 인출하는데 소요되는 재취급 횟수를 추정하려 한다. 적하순서가 사전에 지정되지 않은 경우에 대해서는 3장에서 다루고자 한다.

단일 선사의 공 컨테이너 인출을 위한 기대 재취급 횟수 추정 모델 수립을 위하여 다음과 같은 가정을 도입한다.

1) 인출하는 동안에는 새로운 컨테이너의 추가도 없고, 다른 선사를 위한 컨테이너 인출 요구가 없다.
2) 재취급된 컨테이너는 다른 열로 가는 것이 정상이나 그 현상을 분석하기 어려우므로 단순화시켜, 재취급된 컨테이너는 원위치로 돌아오는 것으로 가정한다.

수식 표현을 위해 공통으로 사용하는 기호는 다음과 같다.

S = 한 베이(Bay) 내 열(Row or Stack)의 개수
T = 열(Row or Stack) 내 공 컨테이너 최대 적재 층(Tier)의 개수
s = 대상 공 컨테이너가 위치하는 열 ($1 \le s \le S$)
t = 대상 공 컨테이너가 위치하는 층 ($1 \le t \le T$)
p = 인출 대상의 공 컨테이너의 비율
r = 공 컨테이너 중 수리 대상 컨테이너의 비율
u = 인출 대상의 공 컨테이너로써 사용 가능한 공 컨테이너의 비율
E = 한 베이 내 인출 대상 공 컨테이너를 모두 인출에 따른 총 기대 취급 횟수이며, 장비 종류에 따라서 트랜스퍼 크레인은 E_c와 탑 핸들러는 E_h로 구분
U = 한 베이 내 인출 대상 공 컨테이너 하나를 인출하는데 필요한 기대 취급 횟수. 장비 종류에 따라서 트랜스퍼 크레인은 U_c와 탑 핸들러는 U_h로 구분
Y = 모든 선사를 고려하여 하나의 공 컨테이너 적하를 위하여 필요한 기대 취급 횟수

2.1 트랜스퍼 크레인을 이용하는 장치장

트랜스퍼 크레인을 이용하고 인출 순서가 사전에 정해져 있는 적하작업은 특정 열의 t 층의 컨테이너를 인출하는 시점의 재취급 대상 범위는 상위층 컨테이너가 인출 대상 컨테이너에 포함되는 경우와 포함되지 않는 경우로 구분된다. 상위층의 컨테이너가 인출 대상 컨테이너에 포함되는 경우에는 인출 순서에 따라서 상위층의 컨테이너가 해당 컨테이너보다 먼저 인출되는 경우와 늦게 인출되는 경우로 구분된다. 즉, 상위층 컨테이너가 재취급되는 경우와 그렇지 않은 경우를 아래와 같이 정리할 수 있다.

(TC-1) 하위층 컨테이너는 인출 대상에 포함되고 상위층 컨테이너가 인출 대상에 포함되지 않는 경우 재취급 발생한다. 이 경우는 상위층에 적재된 컨테이너가 이번 적하 컨테이너 목록에 포함되지 않는 경우로 그 상위층 컨테이너는 해당 컨테이너를 인출할 때 재취급되어야 하는 컨테이너이다.

(TC-2) 상위층 컨테이너와 하위층 컨테이너가 둘 다 인출 대상에 포함되는 경우, 둘 간의 상대적인 인출 순서에 따라 상위층 컨테이너가 재취급될 수도 안될 수도 있음

(TC-2-1) 상위층의 인출 대상 컨테이너가 하위층 컨테이너보다 늦게 인출되는 경우 재취급 발생한다.

(TC-2-2) 상위층의 인출 대상 컨테이너가 하위층 컨테이너보다 늦게 인출되는 경우 재취급이 발생하지 않는다.

여기서, (TC-1)과 (TC-2-1) 경우가 상위층 컨테이너를 재취급하는 경우이다.

그리고, 최고 높이가 T인 하나의 베이를 대상으로 특정 선사에 소속된 공 컨테이너의 비율이 p이고, 그중 수리가 필요한 컨테이너의 비율이 r이면, 사용 가능한 공 컨테이너의 비율(인출대상 컨테이너 비율)은 $u=(1-r)p$ 이 된다.

특정 컨테이너가 재취급되는 횟수는 (TC-1)과 (TC-2-1)을 고려하여 다음과 같이 구할 수 있다. 대상 컨테이너가 인출 가능 컨테이너가 아니고 하위 컨테이너가 인출대상 컨테이너일 확률은 $(1-u)\times u=(1-u)u$ 이다. 특정 컨테이너가 인출 가능 컨테이너이고 하위 컨테이너도 인출대상 컨테이너이면서 하위 컨테이너보다 늦게 인출될 확률은 $(u\times u\times 0.5)=u^2/2$ 이다. 하위 컨테이너 하나로 인하여 발생할 재취급 횟수의 기대치는 $(1-u)u+u^2/2=u-u^2/2$ 이다. t층에 있는 컨테이너 1개당 재취급 횟수 기대치는 $(t-1)(u-u^2/2)$ 이다.

컨테이너 하나를 적하하는데 필요한 평균 취급 횟수의 기대치는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} U_c &= 1+\left(\frac{1}{STu}\right)\sum_{s=1}^{S}\sum_{t=1}^{T}\{(t-1)(u-u^2/2)\} \\ &= 1+(T-1)(1-u/2)/2 \\ &= 1+(T-1)(2-u)/4 \end{aligned} \quad (1)$$

예를 들어, Fig. 2와 같이 열(S=6)과 층(T=4)으로 구성된 한 베이에서 특정 선사의 공 컨테이너가 50% (p=0.5) 장치되어 있고, 그중에서 수리가 필요한 컨테이너가 30% (r=0.3)로 추정하는 경우, 전체 24개의 컨테이너 중에서 선적할 수 있는 해당 선사의 공 컨테이너의 비율은 35% ($u=(1-r)p$=0.35)가 된다. 선적할 수 있는 컨테이너 중에서 무작위로 한

개를 선택하여 인출하는 과정에서 상층에 적치된 컨테이너로 인해 재취급이 발생할 수 있다. 해당 인출 과정을 반복하여 인출 순서를 사전에 지정한 단일 선사의 공 컨테이너들을 한 베이로부터 모두 인출하는 경우에 발생 가능한 컨테이너당 평균 기대 취급 횟수는 수식(1)에 따라 2.238회(U_c=1+(T-1)(2-u)/4=2.238)가 된다.

이 경우는 Kim(1997)에서 하나의 베이에서 무작위로 모든 컨테이너를 인출하는데 필요한 총 취급 횟수와 비교하여 공식의 정확도를 검증해 볼 수 있으며, 수식(1)에 u=1을 대입한 상황에 해당한다. Kim(1997)은 통계적인 방법으로, 초기 완전히 적재된 베이에서 시작하여 각 컨테이너가 인출될 확률을 고려하여 기대 취급 횟수를 계산하고 다음 단계에서의 베이 모양을 나열하고 각 모양이 나타날 확률을 계산하였다. 이 변화하는 과정을 컨테이너를 하나씩 제거하면서 각 단계별로 분석하여 컨테이너가 전부 인출되는 단계까지 분석하였다. 이 과정을 통하여 컨테이너를 전부 인출하는데 필요한 총 취급 횟수를 정확하게 추정하였다. Kim(1997)은 다양한 초기 베이의 크기 사양에 대해서 Table 3의 세 번째 열과 같이 제시하였다. 이 정확한 취급횟수 결과를 본 연구에서 유도한 계산식과 Table 3에서 비교하였다. 한 베이에 있는 모든 컨테이너를 처리하는데 필요한 취급 횟수에 대해서 수식(1)은 평균 3.69%의 오차를 보여 주었다.

2.2 탑 핸들러를 이용하는 장치장

탑 핸들러(TH)를 이용하여 인출 순서가 사전에 정해져 있는 적하작업의 경우, 특정 열과 층 (s, t) 위치의 컨테이너는 동일 열의 하위층에 있던지 뒤 열에 있는 컨테이너가 먼저 인출되는 경우 재취급을 할 수밖에 없다. 다음 두 가지 경우에 재취급이 발생한다.

(TH-1) 특정 컨테이너가 인출 대상 컨테이너에 포함되지 않으나, 동일 열 하위층 및 뒤 열의 컨테이너가 인출 대상에 포함된다.

(TH-2) 특정 컨테이너가 인출 대상 컨테이너에 포함되고, 동일 열 하위층 및 뒤 열의 컨테이너가 해당 컨테이너보다 먼저 인출된다.

여기서, (TH-1)과 (TH-2) 경우에 동일 열 하위층 및 뒤 열 컨테이너로 인해 재취급이 발생한다.

특정 컨테이너가 재취급되는 횟수는 (TH-1)과 (TH-2)를 고려하여, 대상 컨테이너가 인출 가능 컨테이너가 아니고 뒤쪽 열이 나 동일 열의 하위에 있는 컨테이너가 인출 대상 컨테이너일 확률은 (1-u)×u=(1-u)u 이다. 특정 컨테이너가 인출 가능 컨테이너이고 뒤쪽 열이 나 동일 열의 하위에 있는 컨테이너도 인출 대상 컨테이너이면서 뒤쪽 열이 나 동일 열의 하위에 있는 컨테이너보다 늦게 인출될 확률은 (u×u×0.5)=u^2/2 이다. 뒤쪽 열이 나 동일 열의 하위에 있는 컨테이너 하나로 인하여 발생할 재취급횟수의 기대치는 (1-u)u+u^2/2=u-u^2/2 이다.

(s, t) 위치에 있는 컨테이너가 그 뒤쪽 열이 나 동일 열의 하위에 있는 {t-1+(S-s)T}개의 컨테이너로 인하여 겪는 재취급횟수의 기대치는 {t-1+(S-s)T}(u-u^2/2)와 같다.

Table 3 Accuracy of the proposed formula for the case with gantry crane and specified sequence of retrieval

No. of rows	No. of tiers	True value of total no. of handles (Kim,1997)	Estimated value of total no. of handles by (1)	Error (%)
4	2	10.57	10	5.39
4	4	30.18	28	7.22
4	6	58.68	54	7.98
4	8	96.17	88	8.50
4	10	142.68	130	8.89
6	2	15.6	15	3.85
6	4	43.89	42	4.31
6	6	84.78	81	4.46
6	8	138.5	132	4.70
6	10	205.15	195	4.95
8	2	20.61	20	2.96
8	4	57.55	56	2.69
8	6	110.88	108	2.60
8	8	180.88	176	2.70
8	10	267.7	260	2.88
10	2	25.62	25	2.42
10	4	71.17	70	1.64
10	6	136.93	135	1.41
10	8	223.25	220	1.46
12	2	30.62	30	2.02
12	4	84.67	84	0.79
12	6	162.95	162	0.58
12	8	265.58	264	0.59
			Average error (%)	3.69

컨테이너 하나를 적하하는데 필요한 평균 취급 횟수의 기대치는 다음과 같다.

$$
\begin{aligned}
U_h &= 1 + \left(\frac{1}{STu}\right)\sum_{s=1}^{S}\sum_{t=1}^{T}\{(t-1)+(S-s)T\}(u-u^2/2) \\
&= 1 + [\{(T-1)/2 + ST - (S+1)T/2\}(1-u/2)] \\
&= 1 + \left(\frac{ST}{2} - \frac{1}{2}\right)(1-u/2) \\
&= 1 + (ST-1)(2-u)/4
\end{aligned} \qquad (2)
$$

예를 들어, 열(S=6)과 층(T=4)으로 구성된 한 베이에서 특정 선사의 공 컨테이너가 50% (p=0.5) 장치되어 있고, 그 중에서 수리가 필요한 컨테이너 비율이 30% (r=0.3)로 추정하는 경우, 전체 24개의 컨테이너 중에서 선적할 수 있는 해당 선사의 공 컨테이너의 비율은 35% (u=(1 - r)p=0.35)가 된다. 선적할 수 있는 컨테이너 중에서 무작위로 한 개를 선

택하여 인출하는 과정에서 상층 및 탑 핸들러가 접근하는 방향에 적치된 컨테이너로 인해 재취급이 발생할 수 있다. 인출 순서를 사전에 지정한 단일 선사의 공 컨테이너들을 위와 같은 해당 인출 과정을 반복하여 한 베이로부터 모두 인출하는 경우, 컨테이너당 평균 기대 취급 횟수는 수식(2)에 따라 10.488회 (U_h=1+(ST-1)(2-u)/4=10.488)가 된다.

3. 인출 순서를 사전에 지정하지 않은 단일 선사의 공 컨테이너 인출을 위한 기대 재취급 횟수 추정

개별 컨테이너에 대한 인출순서가 사전에 지정되어 있지 않은 경우에는 장비기사가 컨테이너의 장치 위치를 보고 재취급 횟수를 최소화할 수 있는 순서로 컨테이너를 장치장에서 인출하게 된다. 이 경우, 인출순서가 사전에 지정된 2장의 경우에 비해서 재취급 횟수가 줄어들 것으로 예상된다.

3.1 트랜스퍼 크레인을 이용하는 장치장

공 컨테이너의 인출 순서를 지정하지 않아 해당 선사의 공 컨테이너 중 어느 것이나 먼저 인출할 수 있는 경우에는 작업자가 취급이 용이한 상층에 놓인 컨테이너부터 순차적으로 인출하게 된다. 이때 기대 취급 횟수는 앞서 소개된 (TC-1) 조건을 고려하여 다음과 같이 추정한다.

대상 컨테이너가 인출 가능 컨테이너가 아니고 하위 컨테이너가 인출 대상 컨테이너일 확률은 (1-u)×u=(1-u)u 이다. t층에 있는 대상 컨테이너는 (t-1)개의 하위 컨테이너가 있으므로 (t-1)(1-u)u 회수의 재취급이 발생할 것이 기대된다.

$$U_c = 1 + \left(\frac{1}{STu}\right)\sum_{s=1}^{S}\sum_{t=1}^{T}\{(t-1)(1-u)u\} = 1 + (T-1)(1-u)/2 \quad (3)$$

예를 들어, 특정 선사의 컨테이너이면 아무것이나 인출할 수 있는 Fig. 2와 같은 베이에서, 특정 선사의 공 컨테이너 비율 50% (p=0.5) 이고 수리가 필요한 컨테이너 비율 30% (r=0.3)로 가정하면, 인출 대상 컨테이너 비율이 35% (u=(1 - r)p=0.35)가 된다. 인출 순서를 사전에 지정하지 않은 단일 선사의 공 컨테이너들을 한 베이로부터 모두 인출하는 경우에 발생 가능한 컨테이너당 평균 기대 취급 횟수는 수식(3)에 따라 1.975회 (U_c=1+(T-1)(1-u)/2=1.975)가 된다.

Fig. 4는 트랜스퍼 크레인을 사용하는 경우, 단일 선사의 공 컨테이너 인출을 위한 기대 재취급 횟수를 인출 순서가 사전에 정해져 있는 경우(Fixed Sequence: F.S) 수식(1)과 정해져 있지 않은 경우(Random Sequence: R.S) 수식(3)을 이용하여 제시하였다. 가로축의 p값의 변화에 따른 세로축의 기대재취급횟수(E)의 변화를 표시하였다. 또한 r값에 따른 E의 변화에 따른 기대 재취급 횟수 변화를 구분하여 표시하였다. 여기서, p값이 감소할수록 E값이 증가하고, r값이 높을수록 E값이 상대적으로 높게 나타났다. 또한, F.S의 경우가 R.S 경우보다 상대적으로 E값이 높게 나타남을 알 수 있으며, E값이 증가하더라도 최댓값이 수식(1)에 의하여 계산된 기대 재취급 횟수의 최댓값(2.5)에 수렴하였다.

3.2 탑 핸들러를 이용하는 장치장

공 컨테이너의 인출 순서가 지정되어 있지 않은 경우에는 작업자가 상층에 위치한 컨테이너부터 순차적으로 인출이 가능하게 된다. (TH-1) 조건을 고려하여 대상 컨테이너가 인출 가능한 컨테이너가 아니고 하위에 있는 컨테이너가 인출대상 컨테이너일 확률은 (1-u)×u=(1-u)u 이다. (s, t) 위치에 있는 컨테이너가 그 뒤쪽 열이 나 동일 열의 하위에 있는 {t-1+(S-s)T}개의 컨테이너로 인하여 발생될 재취급 횟수의 기대치는 {t-1+(S-s)T}(1-u)u 와 같다.

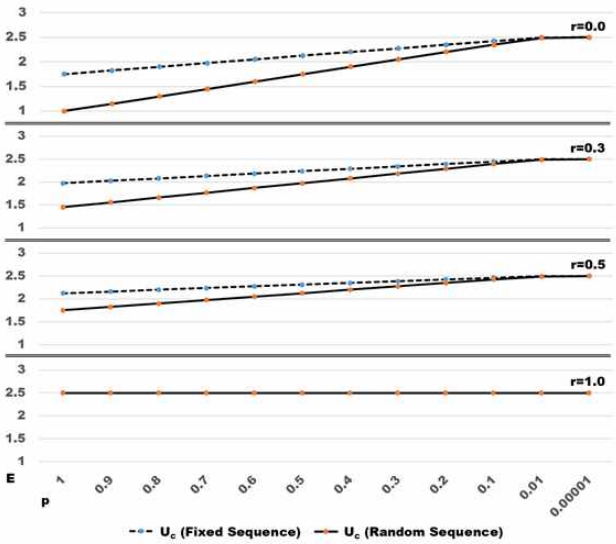

Fig. 4 Expected number of handles for picking up one container by the fixed sequence strategy and the random sequence strategy in case of TC (S=6, T=4)

$$U_h = 1 + \left(\frac{1}{STu}\right)\sum_{s=1}^{S}\sum_{t=1}^{T}\{(t-1)+(S-s)T\}(1-u)u = 1 + \left[\{((T-1))/2 + ST - (S+1)T/2\}(1-u)\right] = 1+(\ ST/2\text{-}1/2)\ (1-u) = 1+(\ ST\text{-}1)\ (1-u)/2 \quad (4)$$

예를 들어, 열(S=6)과 층(T=4)으로 구성된 한 베이에서 특정 선사의 공 컨테이너 비율이 50% (p=0.5)이고 수리가 필요한 컨테이너 비율 30% (r=0.3)로 가정 시, 인출 대상 컨테이너 비율이 35% (u=(1 - r)p=0.35)가 된다. 인출 순서를 사전에 지정하지 않은 단일 선사의 공 컨테이너들을 한 베

이로부터 모두 인출하는 경우에 발생 가능한 컨테이너당 평균 기대 취급 횟수는 수식(4)에 따른 8.475회 (U_h=1+(ST-1)(1-u)/2=8.475)가 된다.

Fig. 5는 탑 핸들러(TH)를 사용할 경우, 단일 선사의 공 컨테이너 인출을 위한 기대 재취급 횟수 비교를 인출 순서가 사전에 정해져 있는 경우(Fixed Sequence: F.S) 수식(2)와 정해져 있지 않은 경우(Random Sequence: R.S) 수식(4)를 이용하여 재취급 횟수를 비교하였다.

가로축의 p값의 변화에 따른 세로축의 기대재취급횟수(E)의 변화를 표시하였으며, r값에 따른 E의 변화에 따른 기대 재취급 횟수 변화를 구분하여 표시하였다. 여기서, p값이 감소할수록 E값이 증가하고, r값이 높을수록 E값이 상대적으로 높게 나타났다. 또한, F.S의 경우가 R.S 경우보다 상대적으로 E값이 높게 나타남을 알 수 있으며, E값이 증가하더라도 최댓값이 수식(2)에 의해서 계산된 순서가 지정된 경우의 최대 기대 재취급 횟수의 최댓값(12.5)에 수렴하였다.

Fig. 6에서 인출 순서가 사전에 정해져 있는 경우(Fixed Sequence)에 장치장의 크기 변화에 따른 개별 하역장비의 기대재취급횟수(E)의 변화를 나타냈다. 한 베이 내 열의 개수인 S가 증가할수록 하역장비의 특성에 따라 E값의 변화가 확연히 다름을 알 수 있다. 그리고, Fig. 7은 인출 순서가 정해져 있지 않은 경우(Random Sequence)에 하역장비 종류별 E값을 나타냈으며, 인출 순서가 정해져 있지 않은 경우가 상대적으로 E값이 작음을 알 수 있다.

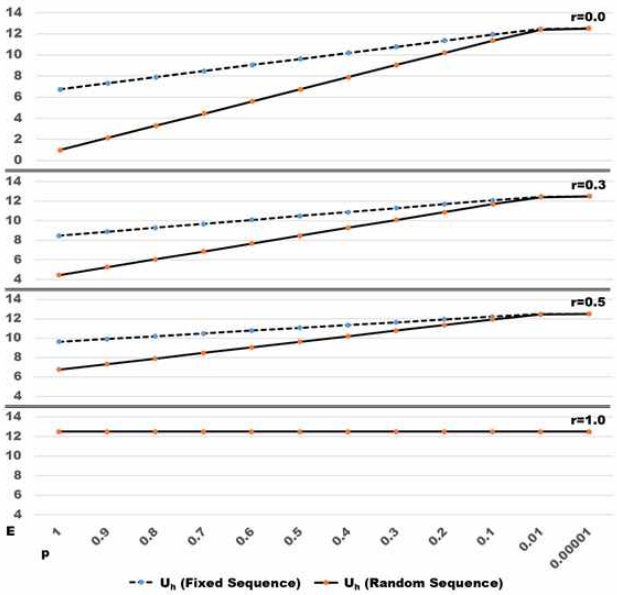

Fig. 5 Expected number of handles for picking up one container by the fixed sequence strategy and the random sequence strategy in case of TH (S=6, T=4)

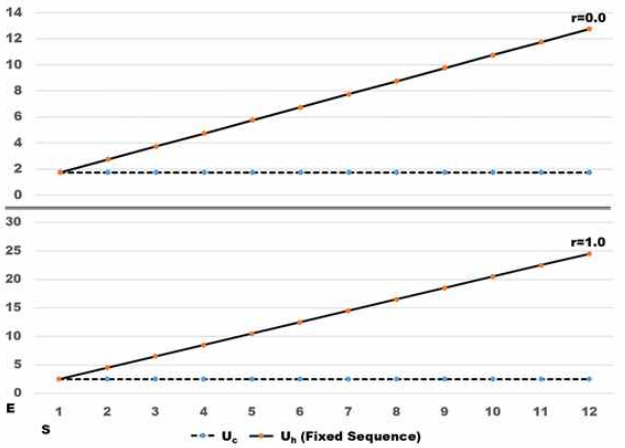

Fig. 6 Expected number of handles for picking up one container to compare between TC and TH with different stack size by the fixed sequence strategy (T=4, p=1)

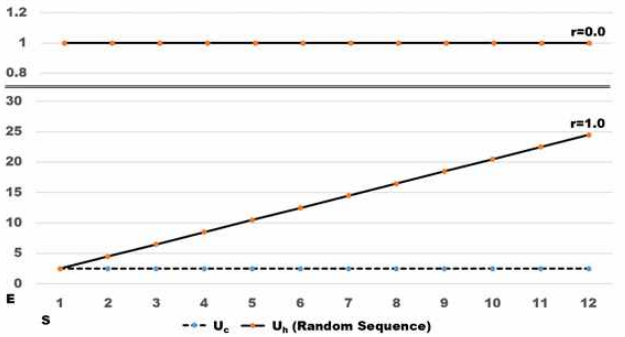

Fig. 7 Expected number of handles for picking up one container to compare between TC and TH with different stack size by the random sequence strategy (T=4, p=1)

4. 인출 순서를 사전에 지정하지 않은 복수 선사의 공 컨테이너 인출을 위한 기대 재취급 횟수 추정

앞 장에서는 하나의 선사 입장에서 선사 소유의 컨테이너를 장치장에서 인출하는 경우, 적하작업 시에 발생하는 취급 횟수의 기대치를 추정하여 보았다. 그러나 여러 선사 소유의 공 컨테이너들이 혼적되어 있는 경우, 컨테이너 터미널의 입장에서는 궁극적으로 모든 선사를 망라한 전체 공 컨테이너를 적하하는데 발생하는 기대 취급 횟수가 관심이 있는 내용이 된다. 이 장에서는 복수의 선사들이 독립적인 장치장에 공 컨테이너를 적치하지 않고 같은 장치장에 혼재하여 적치하는 경우에 터미널 입장에서 전체 선사를 대상으로 평균 취급 횟수를 추정하는 계산식을 도출하고자 한다. 2장, 3장과 마찬가지로 인출순서가 사전에 지정된 경우와 인출순서

를 현장에서 결정할 수 있는 두 가지 경우로 나누어 볼 수 있는데 본 연구에서는 재취급 횟수가 작은 인출순서가 사전에 지정되지 않은 경우를 대상으로 분석하고자 한다.

2장과 3장에서 해당 선사의 컨테이너가 전체 컨테이너에서 차지하는 비율이 취급 횟수의 기대치에 영향을 미치듯이 선사 간 취급 컨테이너의 상대적인 비율이 취급 횟수의 기대치에 영향을 미친다. 여기서, 선사별 컨테이너 취급(적하) 비율을 만들기 위하여 적하 비율이 가장 높은 선사로부터 가장 낮은 선사까지 순번을 1부터 G까지로 부여하고, 선사별 적하 비율의 집중도를 나타내는 파라미터 c를 이용하여 다음과 같이 선사별 적하 비율을 표현할 수 있다:

$$v_g = \left(\frac{g}{G}\right)^c - \left(\frac{g-1}{G}\right)^c.$$

이때 G는 컨테이너를 동일한 장치 구역에 혼적 적치한 선사들의 총 개수이고, g는 대상 선사 번호이다 ($1 \le g \le G$). 이 경우 $0 \le c \le 1$이고 1에 가까울수록 장치 비율이 선사 간에 상호 비슷해지고, 0에 가까울수록 선사 간의 차이가 벌어져 편중도가 심해진다. Fig. 8은 비교 실험을 위해 선사를 세 개로 가정하고, 선사별(g) 취급량의 상대적인 집중도(c)를 변화시키면서 컨테이너 취급량의 상대적인 비율을 도식화하였다.

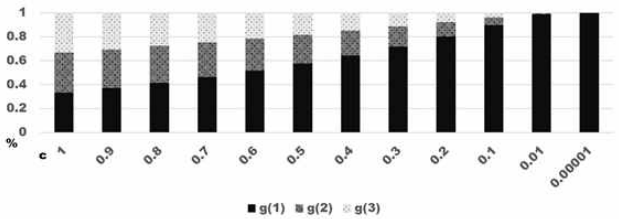

Fig. 8 Illustration of ratios of container throughput of three shipping liners for various values of c

4.1 트랜스퍼 크레인을 이용하는 장치장

만약 m개의 선사가 동일 공간을 사용하고 있고, 선사 g를 위한 컨테이너 적하 시점에서 장치장 내에 존재하는 선사 g를 위한 컨테이너의 비율이 p_g라고 하자. 그리고 선사 g의 공 컨테이너 중 수리 대상 컨테이너의 비율이 r_g라고 하자. 그러면 특정 컨테이너가 선사 g의 인출 가능한 컨테이너일 확률은 $u_g=(1-r_g)p_g$ 이다.

장치장에 적치된 컨테이너들의 선사 간 비율이 적하되는 컨테이너들의 선사들 간의 비율과 동일하다고 할 수 없다. 장치장에 적치된 컨테이너 수는 평균 인출빈도에 컨테이너당 평균 장치 기간을 곱한 값에 비례한다고 할 수 있기 때문에 동일한 인출빈도를 가지고 있다 하더라도 평균 장치 기간이 다르다면 장치장에 적치된 컨테이너의 개수에는 차이가 날 수밖에 없다.

전체 대상 선사들 중에서 선사g의 컨테이너 적하 물량의 비율을 v_g라면 전체 선사에 대한 컨테이너 한 개를 적하하기 위하여 필요한 취급 횟수의 기댓값은 다음과 같이 표현된다.

$$Y_c = \sum_{g=1}^{m} v_g U_c = \sum_{g=1}^{m} v_g\{1 + (T-1)(1-u_g)/2\} \quad (5)$$

예를 들어, 열(S=6)과 층(T=4)으로 구성된 한 베이에서 총 3개의 선사(m=3)의 공 컨테이너가 혼재 되어 있는 것으로 가정한다. Table 7로부터 개별 선사(g)의 공 컨테이너 비율이 (p_g={0.754, 0.582, 0.413})이고, 개별 선사의 수리가 필요한 컨테이너 비율을 r_g={0.3, 0.3, 0.3}로 가정 시, 인출 순서를 사전에 지정하지 않은 개별 선사(g)의 공 컨테이너들을 한 베이로부터 모두 인출하는 경우에 발생 가능한 컨테이너당 평균 기대 취급 횟수는 수식(5) 중 U_c 산출 수식에 따라 각각 1.708회, 1.889회, 2.066회 (U_c={1.708, 1.889, 2.066})가 된다. 이때 개별 선사(g)의 적하 물량의 비율을 Fig .8로 부터 v_g={0.577, 0.239, 0.184}로 가정하면, 전체 선사에 대한 컨테이너 한 개를 적하하기 위하여 필요한 취급 횟수의 기댓값은 수식(5)에 따라 1.817회 ($Y_c=\sum_{g=1}^{m} v_g\{1+(T-1)(1-u_g)/2\}$=1.817)가 된다.

한 선박의 적하작업 시작 시점이 주어지면, 그 선박에 적하될 컨테이너들이 7-10일 전부터 터미널에 도착하기 시작하며 그 도착 분포는 대부분 일정한 패턴을 보이고 있다. Table 4가 그 예를 보여주고 있다.

특정 선사의 선박이 적하 시점에 발생하는 취급 횟수는 그 시점에 장치장에 존재하는 해당 선사의 컨테이너 재고비율(p_g)에 달려 있고, 이 비율(p_g)은 동일한 장치 공간에 존재하는 다른 선사의 컨테이너 개수에 의해서 영향을 받는다. 각 시점에서의 특정 선박의 컨테이너 재고량은 적하 시점을 고려하여 그때까지 도착할 컨테이너의 비율에 따라서 추정할 수 있다. 즉, 각 선사의 선박이 주간 단위로 규칙적으로 방문한다면 Fig. 9에서처럼 요일마다 일정한 재고 패턴을 보여 줄 것이다. 그러면 적하가 일어나는 시점에 각 선사의 공 컨테이너 재고량의 비율을 추정할 수 있다.

Table 4 Dwell time distribution of export containers

Hours	%
24 below	14
24-48	24
48-72	21
72-96	19
96-120	12
120-144	7
144-168	3
Total	100

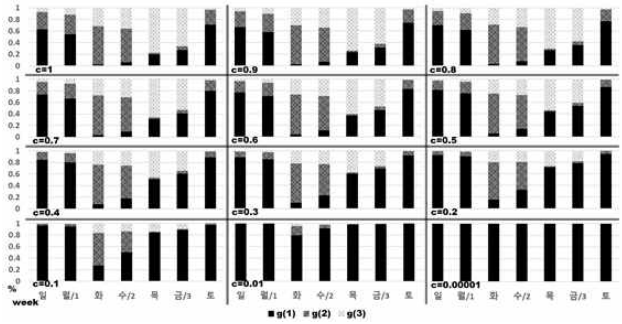

Fig. 9 Changes in container inventory ratio for each vessel liner by day of week for various degrees of concentration (c)

Fig. 9에서는 3개 선사 대상으로 요일별 선사별(g) 공 컨테이너 재고량을 상대적인 집중도(c)를 1부터 0.00001까지 변화시켜 가면서 도식화하였다. 이때, 컨테이너 체류시간 분포는 모두 Table 4의 자료를 이용하였고 모든 선사에 대해서 동일한 분포를 가정하였다. 그리고, Fig. 9에서 선사1(g=1)은 매주 월요일 적하작업을 수행하고, 선사2(g=2)는 매주 수요일, 그리고 선사3(g=3)은 매주 금요일로 가정하였다. 또한, 선사는 선대를 구성하여 매주 지정 요일에 선박이 입항하여 하역작업을 수행하는 주 단위 서비스를 제공하고 있고, 운영사는 선박 대상 하역작업 이전에 작업계획 수립 시간을 확보할 목적으로 적하 대상 화물의 반입, 등을 제한하는 Cargo Closing Time(CCT)을 두고 있어, 적하작업 시작 시점에 대부분의 공 컨테이너가 장치장에 준비된 것으로 가정하였다.

의 컨테이너 수량의 선사별 상대적인 비율이므로, Table 4의 도착비율을 이용하여 요일별 변화를 고려하여 재고량의 상대적인 양을 예측해 보면 Table 5의 각 요일 아래에 표시된 숫자와 같다. 요일별로 합이 100%가 되도록 조정하면 Table 6과 같이 된다. 각 선박에 적하할 당시의 장치장에서의 해당 컨테이너의 비율(p_g)을 여러 가지 c값에 대해서 정리해 보면 Table 7과 같이 된다. 이 값이 수식(5, 6)을 계산하는데 p_g로 사용되었다.

Fig. 10은 모든 선사의 공 컨테이너 장치장 내 체류시간 분포가 동일하다는 가정하에서 다양한 컨테이너 장치량 집중도(c)에 대해서 전체 선사를 대상으로 컨테이너 하나를 적하하기 위하여 필요한 총 기대재취급횟수(Y)를 도식화 하였다. 여기서, c값이 감소할수록 Y값이 감소하고, r값이 높을수록 Y값이 상대적으로 높게 나타났다.

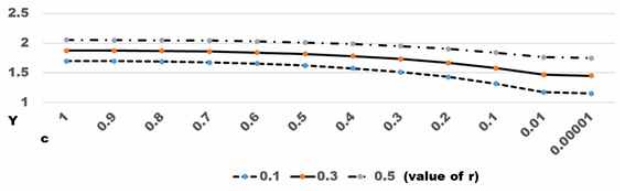

Fig. 10 Expected number of handles for loading an empty container with mixed storage among three vessel liners in case of TC (S=6, T=4)

Table 5 Proportion of containers to be loaded onto each vessel and inventory in the yard on each day (c=1)

	Divide	SUN	MON	TUE	WED	THU	FRI	SAT
g(1)	0.333	0.287	0.333	0.01	0.033	0.073	0.137	0.207
g(2)	0.333	0.137	0.207	0.287	0.333	0.01	0.033	0.073
g(3)	0.333	0.033	0.073	0.137	0.207	0.287	0.333	0.01
SUM	1	0.457	0.613	0.433	0.573	0.37	0.503	0.29

Table 6 Proportion of containers in the yard bound for each vessel on each day (c=1)

	SUN	MON	TUE	WED	THU	FRI	SAT
g(1)	0.628	0.543	0.023	0.058	0.198	0.272	0.713
g(2)	0.299	0.337	0.662	0.581	0.027	0.066	0.253
g(3)	0.073	0.12	0.315	0.360	0.775	0.662	0.034
SUM	1	1	1	1	1	1	1

Table 7 Proportion of containers in the yard of each vessel when the loading operation begins for various values of c

c	1	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0.01	0.00001
g(1)	0.543	0.582	0.623	0.665	0.708	0.754	0.801	0.849	0.898	0.949	0.995	0.999995
g(2)	0.581	0.587	0.591	0.592	0.59	0.582	0.567	0.538	0.481	0.360	0.064	0.000069
g(3)	0.662	0.623	0.579	0.530	0.475	0.413	0.345	0.269	0.186	0.096	0.01	0.000009
SUM	1.787	1.792	1.793	1.787	1.773	1.749	1.712	1.655	1.565	1.405	1.068	1.000074

집중도 c=1인 경우에 대해서 p_g를 계산하는 예를 아래에 보여 주었다. Table 5의 두번째 열은 각 선박의 적하 컨테이너 총량의 비율(v_g)을 보여주고 있다. 이 비율은 적하 직전

4.2 탑 핸들러를 이용하는 장치장

전체 대상 선사 중에서 선사 g의 컨테이너 적하 발생 비

율을 v_g라면 전체 선사에 대한 컨테이너 한 개를 적하하기 위하여 필요한 취급 횟수의 기댓값은 다음과 같이 표현된다.

$$Y_h = \sum_{g=1}^{m} v_g U_h = \sum_{g=1}^{m} v_g\{1+(ST-1)(1-u_g)/2\} \quad (6)$$

예를 들어, 열(S=6)과 층(T=4)으로 구성된 한 베이에서 총 3개의 선사(m=3)의 공 컨테이너가 혼재 되어 있는 것으로 가정한다. Table 7로부터 개별 선사(g)의 공 컨테이너 비율이 (p_g={0.754, 0.582, 0.413})이고, 개별 선사의 수리가 필요한 컨테이너 비율을 r_g={0.3, 0.3, 0.3}로 가정 시, 인출 순서를 사전에 지정하지 않은 개별 선사(g)의 공 컨테이너들을 한 베이로부터 모두 인출하는 경우에 발생 가능한 컨테이너당 평균 기대 취급 횟수는 수식(6) 중 U_h 산출 수식에 따라 각각 6.43회, 7.185회, 9.175회 (U_h={6.43, 7.815, 9.175})가 된다. 이때 개별 선사(g)의 적하 물량의 비율을 Fig .8로부터 v_g={0.577, 0.239, 0.184}로 가정하면, 전체 선사에 대한 컨테이너 한 개를 적하하기 위하여 필요한 취급 횟수의 기댓값은 수식(6)에 따라 7.266회 (Y_h=$\sum_{g=1}^{m} v_g$\{1+(ST-1)(1-u_g)/2\}=7.266)가 된다.

Fig. 11에서 Fig. 9와 Table 5-7의 분포도를 이용하여, 복수 선사의 컨테이너가 혼적 적치된 하나의 베이에 적치된 모든 선사의 컨테이너를 인출하여 적하하는데 소요되는 총 기대취급횟수(Y)의 변화를 그래프로 표시하였다. 여기서, c값이 감소할수록 Y값이 감소하고, r값이 높을수록 Y값이 상대적으로 높게 나타났다.

Fig. 12에서 장치장의 크기 변화에 따른 개별 하역장비의 총 기대재취급횟수(Y)의 변화를 나타냈다. 한 베이 내 열의 개수인 S값이 증가할수록 하역장비의 특성에 따라 Y값의 변화가 확연히 다름을 알 수 있다.

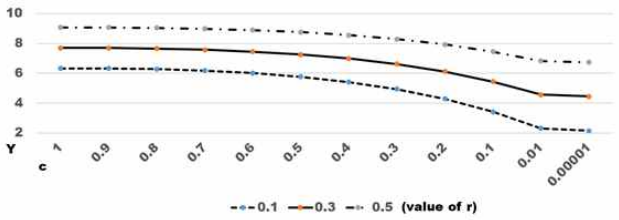

Fig. 11 Expected number of handles for loading an empty container with mixed storage among three vessel liners in case of TH (S=6, T=4)

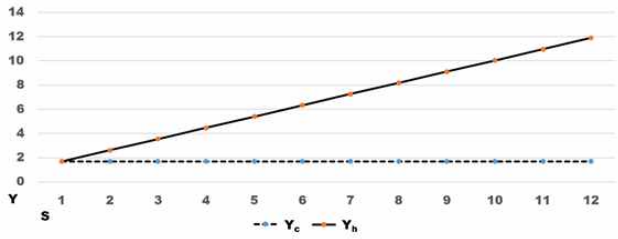

Fig. 12 Expected number of handles for loading an empty container to compare between TC and TH with different stack parameters (T=4, c=1, r=0.1)

5. 결 론

컨테이너 터미널에서 장치장의 역할은 중요하고 수직 복층 적재 (block stacking) 형식의 컨테이너 장치장의 장치 특성상 재취급은 장치장의 운영효율을 결정하는 가장 중요한 요소이다.

본 연구에서는 컨테이너 터미널에서 공 컨테이너를 적하하는 시점에 발생 가능한 기대 재취급 횟수를 추정하는 계산식과 절차를 제안하였다. 그리고 재취급 횟수가 공 컨테이너 적하를 위한 야드에서의 인출 전략과 사용하는 하역장비의 종류에 따른 차이점을 비교하였다. 다양한 사양과 운영 전략별로 기대 재취급 횟수 추정식이 유도되었다.

이들 유도된 계산식을 이용하여 다양한 수치 실험을 수행하였다. 그 결과, 공 컨테이너 대상 인출 순서를 사전에 지정하지 않는 경우가 인출 순서를 사전에 부여한 경우보다 적하작업 시 기대 재취급 횟수가 더 작다는 것을 알 수 있었다. 복수 선사의 공 컨테이너가 혼재 장치된 경우에는 적하 대상 공 컨테이너의 야드 내 재고가 선사 상호 간에 비슷한 비율로 존재하는 경우에 기대 재취급 횟수가 가장 높게 나타나며, 특정 선사에 공 컨테이너 재고 비율이 집중된 경우에는 기대 재취급 횟수가 상대적으로 더 낮게 나타났다. 특히, 선사는 주간 단위로 화물 운송 서비스를 제공할 목적으로 선대를 구성하여 지정 요일에 선박 하역작업이 진행될 수 있도록 하고 있다는 점을 수치실험에 반영하였다.

이상의 수치실험 결과들은 어느 정도 직관적으로 예상할 수 있었던 대안별 재취급 횟수의 차이를 본 연구에서 구체적인 수치로 나타내었다는 점에서 의의가 있다고 할 수 있다. 다양한 장치장 대안별, 사양별, 운영전략별 공 컨테이너 재취급 횟수를 추정할 수 있는 간단한 수식들은 장치장의 사양 결정, 장치장의 용량 설계, 하역장비의 결정 및 사양 결정, 그리고 장치장 운영 전략의 수립에 있어서 유용하게 활용될 수 있으리라 기대된다.

본 연구에서는 선박을 대상으로 하는 공 컨테이너 적하작업으로 하였으나, 철도 운송으로 확장 및 다른 형태의 하역장비로 본 연구를 확장할 수 있을 것으로 기대한다. 그리고 장치장 사양 결정이나 장비 선정 등의 후속연구에 유용하게

활용될 수 있을 것으로 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] Busan Port Authority(2017), 2016 Port of Busan Container Statistics, “2016 Port of Busan Container Statistics.pdf”, 13, http://www.busanpa.com/boardFile.do?fs=16997

[3] 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.

[4] 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.

[5] 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.

[6] 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.

[7] 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.

[8] Kim, K. H.(1997), “Evaluation of the Number of Rehandles in Container Yards”, Computers & Industrial Engineering Vol. 32, No. 4. pp. 701-711.

[9] Kim, K. H. and Hong, G. P.(2006), “A Heuristic Rule for Relocating Blocks”, Computers & Operations Research, Vol. 33, Issue 4, pp. 940-954.

[10] 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.

[11] 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.

[12] 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.

[13] Lee, H. and Kim, K. H.(2018), “Comparing Expected Number of Re-Handles for Empty Containers During Gate-out Operation”, Journal of Korean Navigation and Port Research, Vol. 42, Issue 3, pp. 207-216.

[14] Lee, Y. and Hsu, N. Y.(2007), “An Optimization Model for the Container Pre-marshalling Problem”, Computers & Operations Research, Vol. 34, Issue 11, pp. 3295-3313.

[15] Lee, Y. 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.

[16] 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

[17] 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.

[18] Wu, K. C., Ting, C. J. and Hernandez, R.(2010), “Appling Tabu Search for Minimizing Reshuffle Operations at Container Yards”, Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol. 8, pp. 2379-2393.

[19] Zhu, M., Fan, X. and He, Q.(2010), “A Heuristic Approach for Transportation Planning Optimization in Container Yard”, 2010 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, pp. 1766-1770.

Received 14 January 2019
Revised 20 February 2019
Accepted 16 May 2019