

무게를 고려한 수출 컨테이너의 장치위치 결정법*

A slot assignment method in the container yard for export containers considering their weights*

김갑환** · 박영만**

Kap-Hwan Kim** · Young-Man Park**

Abstract

In order to reduce the number of rehandles during the loading operation of export containers in port container terminals, the storage location of each arriving container should be determined considering of its weight. We formulate the problem by a dynamic programming model to get the optimal storage location. And a heuristic rule is suggested in order to overcome computational difficulties of the optimization model. The performance of the rule is evaluated by comparing it with the result of DP model.

1. 서론

최근 국제간의 컨테이너 불동량이 급격히 증가하고 있으며 항만의 국제 경쟁력 강화의 필요성이 강하게 대두되고 있다. 이러한 여건하에서는 컨테이너 터미날의 시설 확충 및 신설이 시급한 실정이다. 그러나, 이러한 규모의 확대는 예산 및 부지확보의 어려움, 그리고 환경문제 등에 부딪혀 쉽지 않은 상황

이다. 이러한 상황을 고려해 볼 때 터미날의 운영방법을 개선하여 선박의 접안시간을 줄여줌으로써 물류비용을 감소시키는 동시에 소비자에 대한 서비스 수준을 높이고, 결과적으로는 항만의 국제 경쟁력을 높일 수 있기 때문에 효율적인 운영방법에 대한 연구가 더욱 요구되고 있다.

선박의 접안시간은 크게 양하시간(Unloading time)과 적하시간(Loading time)으로 구성

* 이 논문은 1995년도 학술진흥재단의 공모과제 연구비에 의하여 연구되었음.

** 부산대학교 산업공학과

된다. 선박이 접안하여 보통 수입 컨테이너를 야드장에 하역하는 양하작업(Unloading)을 하고난 후 수출 컨테이너를 선박에 싣는 적하작업>Loading)을 한다. 적하작업이 용이하도록 야드장내에 컨테이너를 쌓아둠으로써 선박의 적하시간을 줄여줄 수 있을 뿐만 아니라 야드내의 컨테이너 취급장비의 효율도 증대시킬 수 있다. 따라서, 선박의 접안시간은 컨테이너 터미널의 물류 취급장비의 성능이나 댓수, 장치장의 규모에도 영향을 받지만 터미널의 운영방법이나 장치장의 컨테이너를 어떤 장소에 어떻게 장치하는가에 따라서도 크게 영향을 받게 된다.

컨테이너 터미널의 야드에서 장치위치를 결정하는 문제는 그다지 많이 다루어지지 않은 주제이다. McDowell(1985)이 처음으로 수입 컨테이너를 대상으로 재취급 문제를 분석하였다[7]. Chung(1987,1988)은 컨테이너 취급장비의 가동률을 향상시키기 위해서 에이프런(Apron) 지역에 완충공간을 활용하는 방안을 제안하고 시뮬레이션을 통해서 그 전략의 성능을 평가하여 보았다[3, 4]. Taleb-Ibrahimi(1989)는 컨테이너 터미널에서 장치공간을 할당하는 여러가지 전략을 제시하였다[9]. Watanabe(1991)는 수입 컨테이너의 장치장에서 재취급의 횟수를 추정하는 간단한 방법을 제시하였고, 같은 문제가 Kim(1995)에 의해서 다루어졌으며 Watanabe의 추정절차 대신에 간단한 공식이 제시되었다[10, 6]. Castilho(1993)도 재취급의 추정방식을 제시하고 수입 컨테이너 장치장에서의 여러가지 저장전략에 따른 취급시간을 추정하는 방법을 제시하였다[2]. 그러나 이상의 연구들은 대부분이 수입 컨테이너를 대상으로 하고 있고

본 연구의 주제인 컨테이너 무게를 고려한 수출 컨테이너의 장치위치 결정에 대한 연구는 찾을 수 없었다.

컨테이너 터미널의 야드장내 운영장비는 크게 세 가지이며 스트래들 캐리어 시스템(Straddle Carrier System), 트랜스퍼 크레인 시스템(Transfer Crane System), 그리고 온샤시 시스템(On-Chassis System)으로 나눌 수 있다. 최근 국내에서는 야드장의 절대부족 현상으로 인해 스트래들 캐리어 시스템에서 점차 트랜스퍼 크레인 시스템으로 옮겨가고 있는 실정이다. 본 연구의 대상인 트랜스퍼 크레인 시스템에서는 수출 컨테이너가 동일 선박에 적하될 컨테이너이면서 동일한 항구에서 양하될 컨테이너만을 모아서 하나의 베이(Bay)에 쌓게 된다. 적하작업시에 선박의 안전성을 확보하기 위해서는 컨테이너의 무게가 중요한 의사결정 고려요소이다. 그러므로 개개의 수출 컨테이너가 게이트(gate)를 통해 반입되어 야드에 장치될 때, 무게를 잘 고려해야 적하작업시에 발생하는 재취급을 줄일 수 있다.

그림 1은 선박의 한 단면으로서 컨테이너가 장치될 베이를 보여주고 있다. 문자 표시가 있는 부분이 적하 대상 셀(cell)이며 각 셀에 장치되어야 할 컨테이너의 속성이 표시되어 있다. 그 속성들 중에서 컨테이너 무게는 선박의 안정성 확보를 위하여 베이의 하단에 무거운 컨테이너를 장치해야 하고 상단에는 상대적으로 가벼운 컨테이너를 장치하는 방식으로 적하작업시 고려하게 된다. 만약 장치장에 놓여있는 수출 컨테이너들이 무거운 컨테이너가 아래에 쌓여있는 형태로 장치되어 있다면 적하작업시에 부득이하게 위에 놓

여있는 가벼운 컨테이너를 일시적으로 다른 곳에 옮겨 놓은 다음에 하단에 놓인 무거운 컨테이너를 먼저 선적할 수 밖에 없을 것이다. 이때 가벼운 컨테이너를 다른 곳으로 옮겨놓는 작업을 재취급이라 한다. 이러한 재취급은 야드에 장치할 때 무게를 고려하여 하단에 가벼운 컨테이너를 쌓고 상단에 무거운 컨테이너를 쌓아두었다면 피할 수 있었던 작업이다.

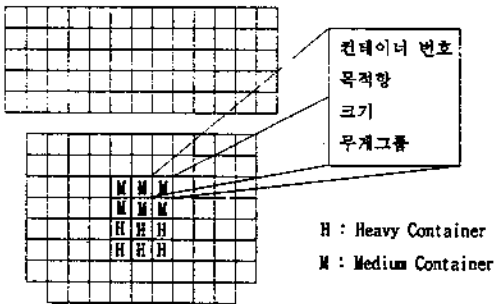


그림 1. 선박내의 컨테이너 장치 계획도

본 연구에서는 적하작업시 발생하는 재취급 횟수를 최소화하기 위해서 특정한 야드 장치장내의 베이 모양이 주어지고 도착 컨테이너의 무게그룹이 불규칙할 때, 수출 컨테이너를 어디에 장치할 것인가를 결정하는 방법을 제시하고자 한다. 본 논문 2장에서 장치위치 결정문제를 정의하고, 3장에서는 베이의 가능한 모든 모양의 경우에 대해 최적의 장치위치를 결정하는 문제를 동적계획법을 이용하여 모델링하고자 한다. 4장에서는 실제 현장에서 트랜스퍼 크레인 시스템을 운영할 때는 짧은 시간에 어느 곳에 장치할 것인가를 의사결정해야 하므로 현장에서 쉽게 사용할 수 있는 발전적 의사결정규칙을 도출하고 그 성능을 평가하고자 한다.

2. 수출 컨테이너 장치장의 운영방법과 문제의 정의

본 연구의 대상시스템은 트랜스퍼 크레인 시스템으로 하나의 베이에는 4단 6열로 컨테이너를 장치하게 된다. 그림 2는 트랜스퍼 크레인 시스템을 보여주고 있다. 수출 컨테이너의 장치장은 블럭단위로 되어 있으며, 각 블럭(Block)은 야드장비인 트랜스퍼 크레인이 움직이지 않고 작업할 수 있는 공간인 여러개의 베이(Bay)로 구성되어 있고, 다시 각 베이는 여러개의 열(Row)로 나누어 진다.

야드장에서는 블럭별로 야드 장비인 트랜스퍼 크레인이 외부의 트럭으로부터 컨테이너를 받아 장치장에 장치하고, 적하작업시는 장치된 컨테이너를 야드 트레일러에 실어주는 역할을 수행한다.

수출 컨테이너를 컨테이너 선박에 적하할 때 야드에서 발생하는 재취급을 줄이기 위해서는, 야드장에 수출 컨테이너를 장치할 때 무거운 컨테이너가 가벼운 컨테이너 위에 장치되게 하는 것이 중요하다.

수출 컨테이너는 도착시점이 불규칙하고 무게도 다양하다. 수출 컨테이너가 게이트를 통하여 반입되면 수출 컨테이너의 장치위치를 결정해 주어야 한다. 수출 컨테이너의 장치위치를 결정할 때는 크게 두가지 단계를 통해 장치위치를 결정하게 된다[1, 5]. 첫번째 단계는 반입된 컨테이너의 장치위치로서 특정 블럭의 베이 위치를 결정해 준다[1]. 두번째 단계는 반입된 수출 컨테이너가 지정된 블럭의 베이 위치까지 이동되어 야드 장비에 의해 해당 베이에 장치하게 될 때 구체적인 장치위치인 슬롯(Slot)의 위치를 결정하는

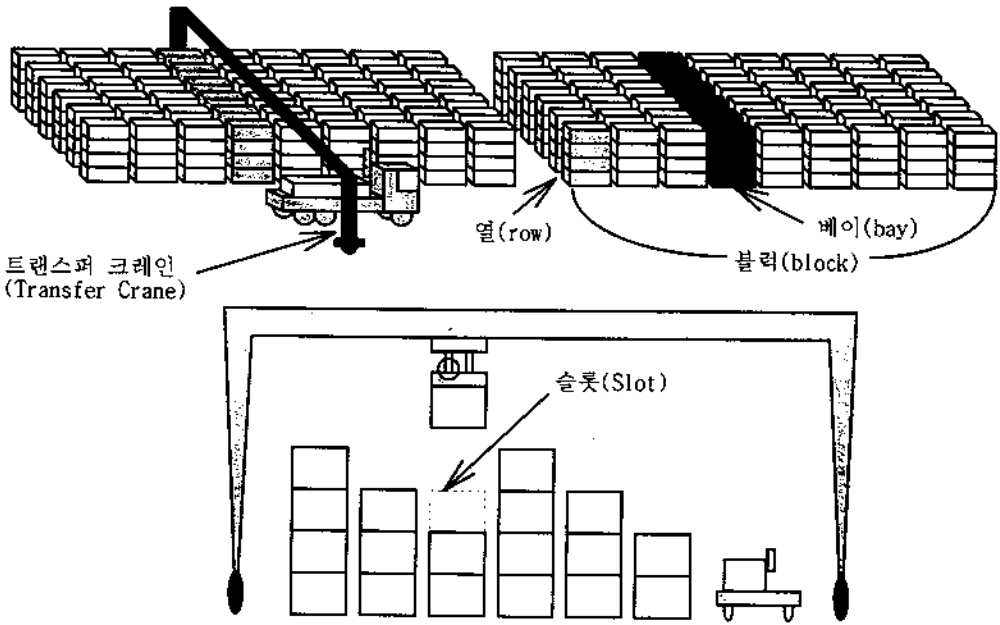


그림 2. 트랜스퍼 크레인 시스템

것이다. 김[1]의 연구가 첫번째 단계의 문제를 다루었던 것과 달리 본 연구에서 다루고자 하는 것은 장치위치결정의 두번째 단계로서 특정한 슬롯을 결정할 때, 현재까지 해당 베이에 장치되어 있는 컨테이너의 장치되어 있는 모양과 그들의 무게를 고려하여 지금 도착한 컨테이너의 장치위치를 어떻게 결정할 것인가하는 문제이다.

본 논문에서 아래와 같은 가정하에 최적 장치위치 결정문제를 다루었다.

(1) 컨테이너의 무게는 Heavy(H), Medium(M), Light(L)의 세가지 그룹으로 나뉘어 구분된다. 같은 그룹에서는 어떤 컨테이너가 먼저 선적되더라도 안정성에 미치는 영향은 대등하다. 그리고 각 무게그룹의 컨테이너가 도착할 확률은 1/3로 동일하다.

(2) 선적순서는 Heavy, Medium, Light 순으로 이루어진다. 일반적으로 무거운 컨테이너가 선박의 하단에 적하되지만 장치장내에 컨테이너가 어떻게 장치되어 있는가에 따라서 적하계획시 다소의 융통성을 발휘하여 적하순서를 결정할 수 있다. 그러나 장치장에서 재취급이 일어나는 것은 무거운 컨테이너가 하단에 장치되어 있기 때문에 발생하는 것이므로 이와같은 가정은 현실보다는 다소 엄격하지만 타당하다고 할 수 있다.

(3) 일단 컨테이너가 재취급되면 더 이상 재취급이 일어나지 않는 슬롯에 장치된다. 이 가정은 문제를 단순화하기 위해서 도입되었다. 실제로 재취급이 발생하였을 때 인출 대상 컨테이너의 위에 놓여 있었던 컨테이너들은 다른 열의 무거운 컨테이너 위에 놓인다

면 다시 그 열에서의 재취급 횟수를 증가시키는 효과를 가져오게 된다. 따라서 재취급 대상 컨테이너를 어느 위치로 재취급해야 하는가의 또 다른 최적화 문제가 발생하게 된다. 이것을 고려하는 문제는 너무 복잡하고 실제로 재취급된 컨테이너는 다시 재취급이 발생하지 않을 위치에 장치될 가능성이 높기 때문에, 본 연구의 대상이 되는 의사결정문제에 그 영향이 작으리라 생각된다.

3. 동적계획법 모형의 수립

본 논문에서는 앞장에서와 같은 최적 슬롯 결정문제를 아래와 같이 동적계획법으로 모델링한다:

단계(stage): 본 연구에서는 단계를 아직 장치되지 않은 슬롯의 수로서 정의한다. 그림 3의 경우 7개의 슬롯이 비어 있으므로 단계 7로서 취급된다.

상태(state): 상태변수는 각 열에서 비어있는 슬롯의 수와 그 밑에 장치되어 있는 컨테이너 중 가장 무거운 컨테이너가 소속된 무게그룹(해당열의 대표무게그룹)으로 나타내며, 비어있는 슬롯의 수가 감소하는 순서로 재나열하고 비어있는 슬롯의 수가 같을 경우에는 대표무게그룹이 가벼워지는 순서로 정

하여 표시한다. 따라서 그림 3의 경우는 (221110LLHHM0)으로 나타낸다.

본 연구에서는 한 배이에 모두 장치되어 있는 초기 모양으로부터 컨테이너가 하나도 장치되지 않아 배이가 비어있는 최후의 모양까지를 네트워크(network)모형으로 나타내어 동적계획법을 이용하여 재취급을 최소로 하는 최적의 장치위치를 결정하고자 한다.

그림 4는 무게를 고려하였을 때 수출 컨테이너가 장치되어 가는 과정을 네트워크로 표현한 것이다. 즉 초기에 모두 장치되어 있는 상태(000000000000)에서 수출 컨테이너를 장치할 수 있는 공간을 하나씩 증가시켜 최종적으로 배이의 전 공간이 모두 비어있는 모양(444444000000)까지를 나타내고 있다.

입의의 모양에서 재취급 횟수를 최소화하는 수출 컨테이너의 장치위치를 결정하는 방법은 다음과 같은 알고리즘(Algorithm)을 이용하여 구할 수 있다. 트랜스퍼 크레인 시스템에서 배이에 비어있는 공간의 수를 하나의 단계로 생각할 수 있다. 각각의 단계에는 하나 이상의 입력상태가 있다. 4단 6열로 장치하는 트랜스퍼 크레인 시스템에서는 장치공간이 한개인 단계 1에서부터 배이내의 모든 장치공간이 비어있는 단계 24까지 가능하다. 각 단계에서는 각 열의 빈 공간의 수와 장치

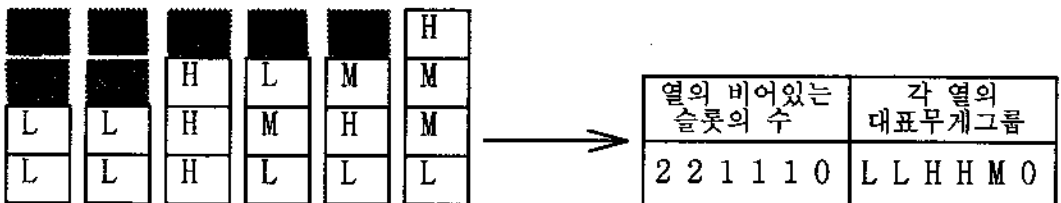


그림 3. 컨테이너의 배이 모양에 대한 상태표현

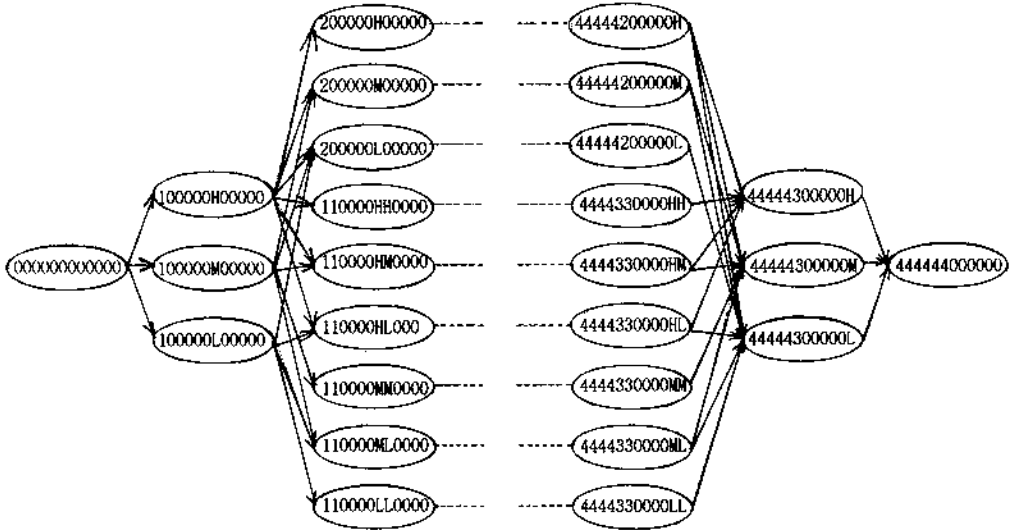


그림 4. 무게를 고려한 수출컨테이너 장치 네트워크

된 컨테이너의 대표무게그룹에 따라서 상태가 나누어 진다. 각각의 단계에서 최적의 장치위치를 결정해 나감으로써 모든 경우의 최적 장치위치를 결정할 수 있다. 각각의 단계에서의 재취급을 최소화 하는 최적 장치위치 결정 알고리즘은 아래와 같다:

우선 몇가지 기호를 소개하면 다음과 같다.

N : 총 단계의 수

n : 단계를 나타내는 인덱스(index), 비어있

는 슬롯의 수.

X_n : n 번째 단계의 입력 상태(input state, 그림 3 참조)

k_n : 단계 n 에서 도착한 컨테이너의 무게그룹(확률 변수)

D_n : 단계 n 에서 결정된 장치위치(의사결정 변수). 의사결정 변수 D_n 은 X_n 과 k_n 의 함수이며 열 번호로 표현된다.

$P_n(k_n)$: 단계 n 에서 그룹 k_n 에 해당되는 무

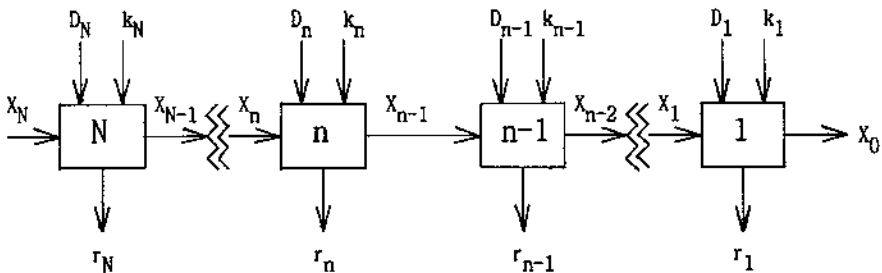


그림 5. 불확실성하의 다단계 최적화 모형

게를 가진 컨테이너가 도착할 확률. 본 연구에서는 H, M, L 각각에 대해서 모두 1/3 로 가정한다.

$r_n(X_n, D_n, k_n)$: 입력상태가 X_n 이고 무게그룹이 k_n 인 컨테이너가 도착한 경우 장치위치를 D_n 로 하였을 때 단계 n에서 추가되는 재취급의 횟수.

$t_n(X_n, D_n, k_n)$: 입력상태가 X_n 이고 무게그룹이 k_n 인 컨테이너가 도착한 경우 장치위치를 D_n 로 하였을 때 입력상태 X_{n-1} 를 나타내는 함수.

목적함수는 재취급의 총 기대횟수를 최소화 하는 것으로 다음과 같이 표현할 수 있다:

$$f_N(X_N) = \sum_{k_1} \dots \sum_{k_N} [\text{Min}_{D_{N-1}, D_1} \dots \sum_{D_{N-1}, D_1} P_{n-1}(k_n) \sum_{n=1}^N r_n(X_n, D_n, k_n)].$$

여기서 모든 k_n 에 대해서 $P_n(k_n) = 1/3$ 이므로

$$f_N(X_N) = \sum_{k_1} \dots \sum_{k_N} \left[\left(\frac{1}{3} \right)^N \text{Min}_{D_{N-1}, D_1} \dots \sum_{D_{N-1}, D_1} r_n(X_n, D_n, k_n) \right].$$

이 된다. (1)

이때 $X_{n-1} = t_n(X_n, D_n, k_n)$ 이다. (2)

식 (1)은 부록에 있는 유도과정을 통하여 다음과 같이 간략하게 정리 된다:

$$f_N(X_N) = \frac{1}{3} \sum_{k_N} \text{Min}_{D_N} [r_N(X_N, D_N, k_N) + f_{N-1}(t_N(X_N, D_N, k_N))]. \quad (3)$$

동일한 과정을 거쳐서 우리는 다음과 같은 recursive equation을 얻을수 있다:

$$f_n(X_n) = \frac{1}{3} \sum_{k_n} \text{Min}_{D_n} [r_n(X_n, D_n, k_n) + f_{n-1}(X_{n-1})],$$

$$n = 1, \dots, N, f_0(X_0) = 0. \quad (4)$$

식 (4)의 recursive equation을 이용하여 임의의 모양에서 재취급을 최소로 하는 장치위치를 결정할 수 있다. 또한 같은 방법으로 단계 24(놓여있는 컨테이너가 하나도 없는 상태)까지 최적해를 구해 봄으로써 베이에 컨테이너가 쌓여있는 모든 가능한 모양에 대하여 무게를 고려한 수출 컨테이너의 재취급을 최소로 하는 최적장치위치를 결정할 수 있다. 구체적인 절차를 나열하면 다음과 같이 각 단계별로 최적의 장치위치를 결정할 수 있다.

단계 1. (n=1) 즉 하나의 공간이 비어 있는 경우에는 아래와 같은 세가지 입력 상태가 있다.

이 경우는 어떤 무게그룹의 컨테이너가 들어와도 그 위치에 놓을 수 밖에 없다.



입력 상태 1:

$$X_1 = 100000H00000, f_1(X_1) = 1/3(0+1+1) = 2/3.$$

입력 상태 2:

$$X_1 = 100000M00000, f_1(X_1) = 1/3(0+0+1) = 1/3.$$

입력 상태 3:

$$X_1 = 100000L00000, f_1(X_1) = 1/3(0+0+0) = 0/3.$$

그리고 세가지 입력상태 전부에 대해서

$$X_0 = t_1(X_1, D_1, k_1) = 000000000000.$$

단계 2. (n=2) 빈 공간이 2개인 경우는 아

래와 같은 입력상태들이 있다. 이 각각의 경우에 있어서 도착 컨테이너의 무게그룹이 H, M, L인 경우에 장치위치를 결정하는 문제이다. 앞의 세가지 경우와 맨 뒤의 세가지 경우는 선택의 여지가 없거나 어디에 놓아도 상관없는 경우가 된다.

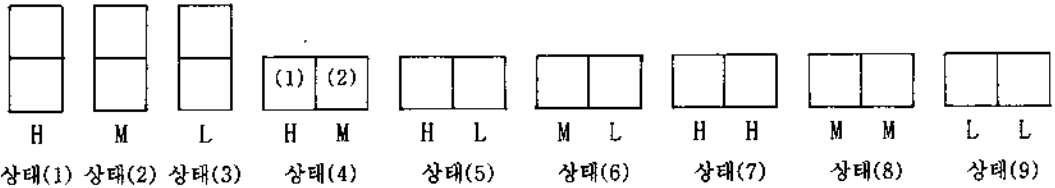


그림 6. 단계 2에서의 여러가지 상태

표 2에는 단계 2에서의 최적 의사결정 결과가 요약되어 있다.

도출과정을 $X_2 = 110000HM0000$ 에 대해서 예를 들어 설명해 보겠다.

$k_2 = M$ 이라고 하자.

(1) $D_2 = 1$ 인 경우

$$r_2(X_2, D_2, k_2) = r_2(110000HM0000, 1, M) = 1 \text{ (H위에 M이 놓이게 된다.)}$$

$$\begin{aligned} \text{그리고 } X_1 &= t_2(X_2, D_2, k_2) \\ &= t_2(110000HM0000, 1, M) \\ &= 100000M00000 \end{aligned}$$

$$f_1(X_1) = 1/3 \text{ (표 1에 의해서)}$$

(2) $D_2 = 2$ 인 경우

$$r_2(X_2, D_2, k_2) = r_2(110000HM0000, 2, M) = 0 \text{ (M위에 M이 놓이게 된다.)}$$

$$\begin{aligned} \text{그리고 } X_1 &= t_2(X_2, D_2, k_2) \\ &= t_2(110000HM0000, 2, M) \\ &= 100000H00000 \end{aligned}$$

$$f_1(X_1) = 2/3 \text{ (표 1에 의해서)}$$

$$\text{따라서 } \underset{D_2}{\text{Min}}[r_2(110000HM0000, D_2, M) + f_1(X_1)]$$

$$= \text{Min}\{1 + 1/3, 0 + 2/3\}$$

$$= 2/3$$

그러므로 $D_2^* = 2$

같은 방식으로 해서 $k_2 = H$ 일때, $k_2 = L$ 일때 도 위와 같이 구할 수 있으며 그 결과 $k_2 = H$ 일때

$$D_2^* = 1, \underset{D_2}{\text{Min}}[r_2(X_2, D_2, H) + f_1(X_1)] = 1/3, k_2 = L \text{ 일때}$$

$$D_2^* = 1, \underset{D_2}{\text{Min}}[r_2(X_2, D_2, L) + f_1(X_1)] = 4/3 \text{ 와 같은 결과를 얻는다. 이것을 이용하여 } f_2(X_2) = 1/3 \{1/3 + 2/3 + 4/3\} = 7/9 \text{ 이 된다.}$$

단계 3에서부터 단계 24까지는 단계 2와 동일한 방법으로 계속하면 모든 단계의 최적 장치위치를 구할 수 있다.

표 1. n=1에서의 최적의사결정

입력상태 \ k_1	H	M	L	$f_1(X_1)$
100000H00000	1 / 0	1 / 1	1 / 1	2/3
100000M00000	1 / 0	1 / 0	1 / 1	1/3
100000L00000	1 / 0	1 / 0	1 / 0	0

* 사선의 위부분은 최적장치위치 열 D_1 이며 사선의 아래부분은 $\underset{D_1}{\text{Min}}[r_1(X_1, D_1, k_1) + f_0(X_0)]$ 을 나타냄

표 2. n=2에서의 최적의사결정

입력상태	k_2	H	M	L	$f_2(X_2)$
200000H00000	1	1 2/3	1 5/3	1 5/3	4/3
200000M00000	1	1 2/3	1 1/3	1 4/3	7/9
200000L00000	1	1 2/3	1 1/3	1 0	1/3
110000HM0000	1	1 1/3	2 2/3	1 4/3	7/9
110000HL0000	1	1 0	2 2/3	2 2/3	4/9
110000ML0000	1	1 0	1 0	2 1/3	1/9
110000HH0000	1	1 2/3	1 5/3	1 5/3	4/3
110000MM0000	1	1 1/3	1 1/3	1 4/3	2/3
110000LL0000	1	1 0	1 0	1 0	0

* 사선의 윗부분은 최적장치위치 열 D_2 이며 사선의 아래부분은 $\text{Min}(f_2(X_2, D_2, k_2) + f_1(X_1))$ 을 나타냄

표 3은 동적계획법을 이용한 재취급을 최소로 하는 수출 컨테이너의 최적의 장치위치 결정 결과중 일부를 보여주고 있다. 즉 장치 가능한 빈 공간이 5개인 단계 5의 몇몇의 상태들에 대하여 도착한 수출 컨테이너의 무게 그룹이 H, M, L인 경우의 최적의 장치위치를 열의 번호로서 나타내어 주고 있다. 또한 이때 총 재취급의 기대값의 최소값 $f_2(X_2)$ 을 나타내어 주고 있다.

계산 결과 중 하나를 예로 들어보면 배이의 상태가(211100MHML00)인 경우에는 장치하고자 하는 무게그룹이 H인 경우에는 2번

표 3. 동적계획법에 의한 최적 장치위치 결정결과

X_n	k_n	H	M	L	$f_n(X_n)$
211100HHML00	2	2	3	4	1.49
211100MHHL00	3	3	1	4	1.03
211100HHMM00	2	2	4	2	1.93
211100HHHL00	3	3	4	4	2.34
211100MHMM00	2	2	1	2	1.68
211100MHML00	2	2	1	4	0.85
211100MHHM00	3	3	1	3	1.73

열에 장치하고, M인 경우에는 1번 열, L인 경우에는 4번 열에 장치하는 것이 적화작업 시에 발생하는 컨테이너의 재취급을 최소로 하는 장치위치임을 알 수 있다. 이러한 모양에서 컨테이너의 도착확률이 무게그룹별로 동일하다고 하면 비어있는 공간에 앞으로 쌓게 될 컨테이너로 인해서 발생하는 총 기대 재취급 횟수는 0.85가 된다. 그림 7은 현재의 배이 모양과 동적계획법에 의한 최적의 장치위치결정 결과 후의 배이의 모양을 보여주고 있다. 즉 도착하는 컨테이너의 무게그룹이 H인 경우에는 두번째 열에 장치하고, M인 경우에는 첫번째 열에, L인 경우에는 네번째 열에 장치하는 것이 최적이라는 것이다.

그러나 실제로 트랜스퍼 크레인 시스템을 사용하는 현장에서는 장치위치를 결정하는데 시간이 많이 소요되면 컨테이너 차량의 대기 시간이 많이 소요되게 되므로 가능한 짧은 시간내에 최적에 가까운 장치위치를 결정해야 할 필요가 있다. 따라서 다음 장에서는 짧은 시간내에 최적에 가까운 장치위치를 결정할 수 있는 발전적 기법을 제시하고자 한다.

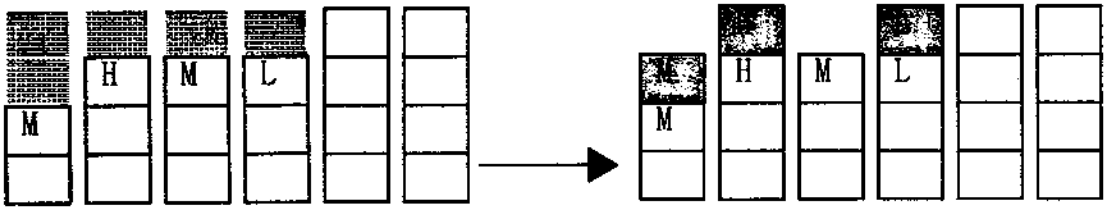


그림 7. 수출 컨테이너의 최적 장치위치

4. 장치위치 결정의 발견적 의사결정 규칙

본 연구에서는 현장에서 짧은 시간에 쉽게 최적에 가까운 장치위치를 결정할 수 있도록 하는 발견적 장치위치 결정규칙을 제시하고, 그 성능을 최적의 장치위치 결정방법과 비교하여 보고자 한다. 본 연구에서 최적의 장치위치 결정결과를 토대로 하여 현장에서 짧은 시간 안에 간단하게 최적에 가까운 수출 컨테이너의 장치위치를 결정할 수 있도록 하는 발견적 장치위치 결정규칙을 다음과 같이 제안한다. 편의상 H, M, L 순서로 무게그룹의 수준이 높다고 정의 하겠다.

규칙 1. 장치하고자 하는 컨테이너와 무게 그룹의 수준이 같거나 낮은 대표무게그룹의 열이 존재하는 경우에는 가능한 한 수준이 가까운 대표무게그룹의 열 위에 장치하며, 존재하지 않는 경우에는 무게그룹의 수준이 높은 대표무게그룹이 있는 열위에 먼저 장치한다.

즉, 장치하고자 하는 컨테이너의 무게 그룹이 H인 경우에는 대표무게그룹이 H, M, L 인 열의 순서로 장치한다. 컨테이너의 무게 그룹이 M인 경우는 대표무게그룹이 M, L, H 인 열의 순서로 장치한다. 컨테이너의 무게 그룹이 L인 경우는 대표무게그룹이 L, H, M

인 열의 순서로 장치한다.

규칙 2. 규칙 1에서 동물(tie)이 발생하면 (즉, 우선순위가 가장 높은 대표무게그룹의 열이 둘이상일 경우) 아래 규칙에 따른다.

1) 도착 컨테이너의 무게그룹이 H인 경우에는 대표무게그룹 H, M, L 세 가지 경우 모두 가능한 한 장치위치가 높은 열에 장치한다.

2) 도착 컨테이너의 무게그룹이 M 또는 L 인 경우에는 대표무게그룹이 H인 열 위에 장치하고자 하는 경우에는 장치위치가 높은 열에 장치한다. 대표무게그룹이 M 또는 L 위에 장치하고자 하는 경우에는 가능한 한 장치위치가 낮은 열에 장치한다.

제안되어진 발견적 의사결정 규칙의 기본적인 착상은 현재 장치장의 장치상황에서 대상 컨테이너가 장치되었을 때 지금 당장 재취급이 발생하지 않는 장치위치를 찾아서 장치하고자 하는 규칙이다. 또한 반드시 재취급이 발생하는 경우에는 가장 수준이 높은 무게그룹이 장치되어 있는 열에 장치한다. 즉 가능한 한 장치대상 컨테이너와 무게그룹의 수준이 동일한 열이나 그 보다 가벼운 대표 무게그룹을 갖는 열에 장치하는 규칙이다. 이때 동물이 발생하면 장치하고자 하는 컨테이

너의 무게그룹의 특성에 따라서 장치위치를 결정하게 된다. 즉 도착 컨테이너의 무게그룹이 H인 경우에는 장치 위치가 높은 열위에 장치한다. 도착 컨테이너의 무게그룹이 M이나 L인 경우에는 대표무게그룹이 H인 경우에는 높은 열위에 장치한다. 대표무게그룹이 M 또는 L인 경우에는 낮은 장치 위치에 장치하는 것이다.

4.1 최적 의사결정 빈도에 의한 발견적 의사결정 규칙의 평가

앞에서 제안한 발견적 의사결정규칙에 대하여 동적 계획법에 의한 최적 장치위치 결정방법의 결과를 토대로 하여 제안된 규칙에 대하여 그 성능을 평가해 보고자 한다.

4.1.1 전체 규칙의 성능에 대한 평가

위의 단계 1과 2로 구성된 규칙집합 전체의 성능은 이 규칙들에 의해서 결정된 장치 위치가 최적화 모델에 의해서 결정된 위치와 얼마나 일치하느냐하는 정도로 나타낼 수 있다. 이는 아래와 같은 척도로 나타낼 수 있다.

$$\text{평가 척도} = \frac{\text{제안된 규칙에 의한 결과가 DP의 결과와 일치하는 경우의 수}}{\text{총 경우의 수}}$$

본 연구에서 제안된 발견적 의사결정 규칙을 동적계획법에 의한 최적의 장치위치 결정방법의 결과와 비교해 본 결과 총 24021경우 중 이 규칙을 벗어나는 경우는 894회이었다. 이 결과를 평가척도로 살펴보면 96.28%가 이 규칙을 만족하는 것으로 나타났다. 표 4에서 무게그룹별 예외수를 살펴보면 장치하고자 하는 컨테이너의 무게그룹이 H인 경우에는

제안된 규칙을 따르지 않는 경우가 0.80%로 거의 발생하지 않았다. 무게 그룹 M의 경우에는 대표무게그룹이 L인 열위에 장치할 때 규칙을 따르지 않는 경우가 6.37%로 비교적 많이 발생하는 것으로 나타났다. 그리고 무게 그룹 L인 경우에는 대표무게그룹이 M이나 L인 열위에 장치하고자 할 때 규칙을 따르지 않는 경우가 4.00% 발생한 것으로 나타났다. 따라서 장치하고자 하는 무게그룹이 H인 경우에는 제안된 발견적 의사결정 규칙에 따라 장치하는 것이 대부분의 경우에 있어서 최적의사결정인 것으로 나타났다.

제안된 발견적 의사결정규칙을 사용하였을 때 최적의사결정과 일치하는 경우의 비율은 도착 컨테이너의 무게그룹 H, M, L에 대하여 각각 99.20%, 93.63%, 96.00%로 나타났으며 비교적 좋은 결과를 나타냈다.

4.1.2 대표무게그룹의 선택에 관한 규칙의 성능평가

다음에는 전체 규칙집합에 대한 성능이 아니라 개개의 규칙의 성능을 평가해 보고자 한다. 이렇게 함으로써 본 연구에서 제시하는 규칙집합 중 어느 부분이 가장 취약한가를 파악하고자 하는 것이다. 우선 앞의 규칙 중에서 가장 주된 규칙은 첫번째 단계의 규칙으로서 이는 하단에 장치된 컨테이너의 대표무게그룹을 이용하여 장치 열을 선택하는 규칙이다.

표 4는 도착 컨테이너의 무게그룹과 발견적 규칙에 의한 장치 열의 대표무게그룹의 조합에 대한 총 경우의 수를 나타내고 있으며, 도표에서 알 수 있듯이 각 무게그룹은 동일한 대표무게그룹의 열 위에 장치하는 것이

가장 많은 횡수를 차지하였다.

도착 컨테이너의 무게그룹 H의 경우에는 대표무게그룹이 H인 열 위에 장치하는 것이 대표무게그룹이 M이나 L인 열에 장치하는 것에 비해 항상 우선되어야 함을 보여주고 있다. 대표무게그룹이 H인 열이 없는 경우에는 그 다음으로는 대표무게그룹이 M인 열위에 장치하는 것이 좋은 것으로 나타났다. 그런데 4.25%의 경우에는 대표무게그룹이 M인 열위에 장치하는 것보다 대표무게그룹이 L인 열위에 장치하는 것이 더 좋은 결과를 가져왔다. 그에 반해 무게그룹이 H인 컨테이너를 대표무게그룹이 L인 열위에 장치하는 경우는 전체 경우의 수중에서 3.41% 밖에 되지 않으므로 가능한 대표무게그룹이 L인 열위에는 장치하지 않는 것이 바람직하다.

도착 컨테이너의 무게그룹 M의 경우에는 대표무게그룹이 M인 열에 장치하는 경우(72.21%)가 많았으며 대표무게그룹이 L인 열위(26.75%), 대표무게그룹이 H인 열위(1.04%) 순으로 나타났다. 대표무게그룹이 H인 열위에 장치하는 경우에는 항상 대표무게그룹 M 또는 L인 열이 없는 경우에만 장치하게 된다. 즉 가능한 한 대표무게그룹이 H인 열위에는 장치하지 않는 것이 좋았다.

도착 컨테이너의 무게그룹 L의 경우에도 같은 대표무게그룹 L인 열 위(88.47%)에 가장 많이 장치하였다. 그 다음으로 대표무게그룹이 H인 열위(8.72%), 대표무게그룹이 M인 열위(2.81%) 순으로 나타났다. 장치하고자 하는 컨테이너의 무게그룹이 L인 경우에 대표무게그룹이 M이나 H인 열위에 장치한 경우는 대표무게그룹이 L인 열이 없는 경우에만 장치하게 되며, 무게그룹 L인 컨테이너를

대표무게그룹이 M이나 H인 열위에 장치하게 되는 경우에는 대표무게그룹이 M보다는 H인 열위에 우선(81.24%)하여 장치하는 것이 대체로 좋은 결과가 나타났다.

표 4. 도착 컨테이너의 무게그룹과 장치열의 대표무게그룹의 조합에 대한 경우의 수

장치 하고자 하는 CT의 무게 그룹	장치된 열의 하단에 놓인 CT의 최상의 대표무게그룹	발생된 총 경우의 수	최적 의사결정과 일치하는 경우의 수	성능 평가 척도(%)
H	H	6292	6292	100
H	M	1442	1442	100
H	L	273	209	76.56
M	H	83	83	100
M	M	5782	5782	100
M	L	2142	1632	76.19
L	H	698	698	100
L	M	225	83	36.89
L	L	7084	6906	97.49

4.1.3 동률 해결 규칙(tie-breaking)에 대한 성능평가

표 5는 각 도착하는 컨테이너의 무게그룹 별로 어떠한 높이의 장치위치에 장치하는 것이 재취급이 적게 발생하는지를 보여주고 있다.

도착 컨테이너의 무게그룹 H를 장치하고자 할 때, 규칙 1에 의해서 하단의 대표무게그룹이 H인 열을 선정하였다. 이때, 대표무게그룹이 H인 열이 2개 이상일 경우에는 대표무게그룹이 H인 열 중에서 가장 높은 장치위치에 장치하는 것이 항상 좋은 결과가 나타났다. 대표무게그룹이 M 또는 L인 열위에 장치할 때는 낮은 장치 위치에 장치하는 경우가 더 많은 것으로 나타났으나 재취급의 차이를 비교해 본 결과 0.01회 이하로 그 차

이는 아주 적은 것으로 나타났다.

컨테이너의 무게그룹 M을 대표무게그룹이 H인 열위에 장치하고자 할 때는 장치위치가 높은 열위에 장치하는 것이 항상 좋은 결과를 보이며, 대표무게그룹이 M 또는 L인 열위에 장치할 때는 높은 장치위치 보다는 낮은 장치위치에 장치하는 것이 훨씬 더 좋은 결과를 가져오는 것으로 나타났다.

도착 컨테이너의 무게그룹 L을 장치하고자 할 때는 대표무게그룹이 H인 열 위에 장치할 때는 높은 장치 위치에 장치하는 것이 항상 좋은 결과를 보였으며, 대표무게그룹이 M 또는 L인 열위에 장치하고자 할 때는 장치위치가 낮은 곳에 장치하는 것이 더 좋은 결과를 가져왔으며, 비교적 재취급이 적게 발생하는 것으로 나타났다.

표 5에서 살펴본 결과 대표무게그룹이 H인 열위에 장치하고자 할 때는 항상 높은 장치위치에 장치하는 것이 재취급을 최소로 발생시키는 것으로 나타났으며, 대표무게그룹

이 M이나 L인 열위에는 대체로 낮은 위치에 장치하는 것이 높은 장치위치에 장치하는 것보다 비교적(최저 51.56%, 최고 99.74%) 좋은 결과를 가져왔다.

4.2 기대 재취급횟수에 의한 발견적 의사 결정 규칙의 평가

단계별로 각 상태에 도달할 확률을 고려하여 최적장치위치 결정방법, 제안된 발견적 의사결정규칙, 그리고 무작위로 장치위치를 결정하였을 때 발생하는 총 재취급횟수의 기대값을 비교하여 보고자 한다.

4.2.1 무작위로 장치위치를 결정한 경우의 재취급의 기대값

도착하는 수출 컨테이너에 대하여 무작위로 장치위치를 결정하여 장치한 경우의 재취급의 기대값은 6개의 열이 서로 동일하므로 하나의 열만 고려하면 된다.

1단에 장치된 컨테이너에 대해서는 어떠한 무게그룹의 컨테이너가 장치되더라도 재취급이 발생하지 않으므로 재취급의 기대값은 0이 된다.

2, 3, 4단에 장치된 컨테이너는 자기 위치보다 아래에 장치된 컨테이너들 중에서 가장 무거운 무게그룹보다 가벼운 무게그룹이면 재취급이 발생하게 된다. 즉, 장치된 컨테이너의 무게그룹이 H인 경우에는 아래에 장치된 컨테이너가 어떤 종류의 무게그룹 이든지 해당 컨테이너는 재취급이 발생하지 않게 된다. 장치된 컨테이너의 무게그룹이 M인 경우에는 아래에 무게그룹이 H인 컨테이너가 적어도 하나 이상 장치된 경우에만 재취급이 발생하게 된다. 장치된 컨테이너의 무게그룹

표 5. 2열 이상의 대표무게그룹이 동일할 경우 장치 높이에 의한 동률해결규칙의 성능

장치 하고자 하는 CT의 무게 그룹	본 연구에서 제안된 규칙	발생한 총 경우의 수	총 경우의 수 중 최적인 경우의 수	성능 평가 척도
H	높은 H위에장치	3916	3916	100
H	높은 M위에장치	1119	542	48.44
H	높은 L위에장치	269	90	33.46
M	높은 H위에장치	80	80	100
M	낮은 M위에장치	3795	3758	99.03
M	낮은 L위에장치	1918	1913	99.74
L	높은 H위에장치	631	631	100
L	낮은 M위에장치	221	197	89.14
L	낮은 L위에장치	5236	5008	95.65

이 L인 경우에는 아래에 장치된 컨테이너의 무게그룹이 모두 L인 컨테이너가 장치된 경우에만 재취급이 발생하지 않으며 그 외의 경우에는 재취급이 발생하게 된다. 따라서 도착하는 수출 컨테이너에 대하여 무작위로 장치위치를 결정하였을 때 발생하는 재취급의 기대값은 다음과 같이 구할 수 있다.

q_i 를 i 번째 단(Tier)에 놓인 컨테이너가 재취급 될 확률이라고 하자.

i 번째 단에 놓인 무게그룹이 H인 컨테이너는 재취급되지 않는다. 무게그룹이 M인 컨테이너가 i 번째 단위에 놓이게 되면 1단부터 ($i-1$)단까지 놓인 컨테이너가 모두 무게그룹 M 또는 L에 속한 경우만 재취급이 되지 않고 이런 경우의 수는 $2^{(i-1)}$ 이다. 즉, 1단부터 ($i-1$)단까지 발생할 수 있는 $3^{(i-1)}$ 개의 경우 중에서 $3^{(i-1)} - 2^{(i-1)}$ 개의 경우는 i 번째 단에 놓인 무게그룹 M인 컨테이너가 재취급 된다. 또 i 번째 단에 놓인 컨테이너의 무게그룹이 L인 경우에는 1단부터 ($i-1$)단까지 모두 무게그룹이 L인 컨테이너가 장치되어 있을 경우만 재취급이 발생하지 않으므로 재취급이 발생하는 경우는 $3^{(i-1)} - 1$ 개의 경우가 있다.

1단부터 i 번째 단까지의 총 경우의 수가 3^i 개 이므로 i 단에 놓인 컨테이너가 재취급 될 확률 q_i 는 다음과 같이 표현된다.

$$q_i = \{(3^{i-1} - 2^{i-1}) + (3^{i-1} - 1)\} / 3^i. \quad (5)$$

도착하는 수출 컨테이너를 무작위로 장치 위치를 결정하였을 때 4단으로 이루어진 한 열에서 발생하는 재취급의 기대치는 각 단에서 발생할 수 있고, 확률이 q_i 이고 발생 횟수는 1회가 아니면 0이므로 $\sum_{i=1}^4 (1 \times q_i)$ 가 된다.

한 배이에 6개의 열이 있으므로 총 기대횟수는 다음과 같이 계산된다.

$$6 \times \sum_{i=1}^4 (1 \times q_i) = 6 \times (3/9 + 13/27 + 45/81) \\ = 6 \times (111/81) = 8.222(\text{회})$$

4.2.2 특정 장치위치 결정방법을 사용할 경우의 재취급횟수의 기대값

단계 n에서 i 번째의 상태를 X_n^i 라고 표시하자. 그리고 상태 n에서 상태가 X_n^i 이고 단계 (n-1)에서 상태가 X_{n-1}^j 일 확률을 $P_n(i, j)$ 라고 나타내면 단계 (n-1)에서의 상태가 X_{n-1}^j 일 확률은 다음과 같이 표현할 수 있다:

$$P_{n-1}(j) = \sum_i P_n(i, j). \quad (6)$$

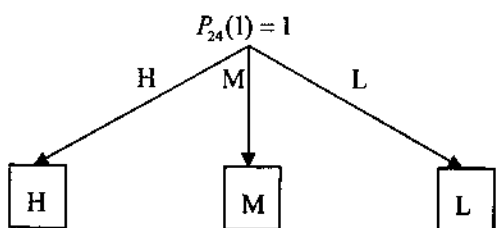
이때 $P_n(i, j) = P_n(i) \cdot P_n(i, j|i)$ 로 나타낼 수 있다. 여기서 $P_n(i, j|i)$ 는 단계 n에서의 상태가 X_n^i 라는 조건하에서 단계 (n-1)에서 X_{n-1}^j 로 상태가 바뀔 확률을 의미한다.

k_n 이 H, M 또는 L의 값을 가질 확률이 각각 1/3이므로 특정한 k_n 의 값에 대해서 의사결정규칙 D_n^* 를 적용하여 X_n^i 가 X_{n-1}^j ($X_{n-1}^j = t_n$ (X_n^i, D_n^*, k_n))로 바뀐다면 $P_n(i, j|i) = 1/3$ 이고 그렇지 않으면 $P_n(i, j|i) = 0$ 이 된다.

단계 n에서 단계 (n-1)로 바뀌면서 추가되는 재취급의 기대횟수를 $R_n = \sum_i \sum_j P_n(i, j) r_n(i, j)$ 로 표현할 수 있다. 이때 $r_n(i, j)$ 는 X_n^i 에서 X_{n-1}^j 로 상태가 변화될 때 재취급이 추가되는 횟수를 나타내는데 1 또는 0의 값을 갖는다.

아래에서 예를 들어 설명해 보자.

n=24 경우: 장치되어 있는 컨테이너가 하나도 없는 빈배이의 경우에는 도착무게그룹 H, M, L 각각의 도착확률이 1/3이며, 이때에



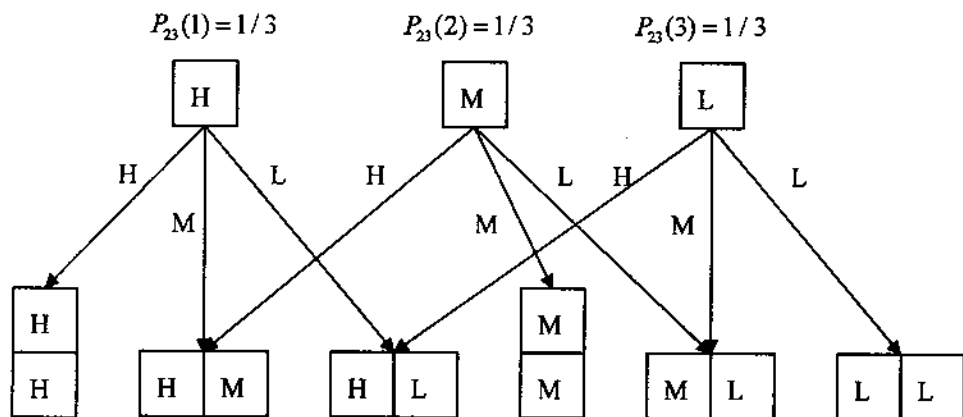
$$P_{24}(1,1) = 1/3 \quad P_{24}(1,2) = 1/3 \quad P_{24}(1,3) = 1/3$$

$$P_{23}(1) = 1/3 \quad P_{23}(2) = 1/3 \quad P_{23}(3) = 1/3$$

그림 8. 단계 23에서의 각 상태의 확률 및 재취급의 횟수

$r_{24}(i, j) = 0$ 이 된다.

$n=23$ 의 경우: 베이(Bay)에 컨테이너가 한 개 장치되어있을 때, 도착 컨테이너의 무게 그룹이 각각 H, M, L인 경우에 대하여 새롭게 생기는 단계 22의 상태는 주어진 장치위치 결정법에 의한 장치위치 결정결과에 따라 정해진다. 도착 컨테이너의 무게그룹 H, M, L 각각에 대하여 장치위치결정 결과를 이용하여 얻어지는 단계 22의 각 상태가 그림 9와 같다고 할 때, $P_{23}(i, j)$ 과 $P_{22}(i)$ 를 그림 9에 서처럼 구할 수 있고 $r_{23}(i, j) = 0$ 임을 알 수 있다.



상태 1	상태 2	상태 3	상태 4	상태 5	상태 6
$P_{23}(1,1) = 1/9$	$P_{23}(1,2) = 1/9$	$P_{23}(1,3) = 1/9$	$P_{23}(2,4) = 1/9$	$P_{23}(2,5) = 1/9$	$P_{23}(3,6) = 1/9$
	$P_{23}(2,2) = 1/9$	$P_{23}(3,3) = 1/9$		$P_{23}(3,5) = 1/9$	
$P_{22}(1) = 1/9$	$P_{22}(2) = 2/9$	$P_{22}(3) = 2/9$	$P_{22}(4) = 1/9$	$P_{22}(5) = 2/9$	$P_{22}(6) = 1/9$

그림 9. 단계 22의 각 상태의 확률 및 재취급의 기대값

는 장치되어있는 컨테이너가 없으므로 어느 곳에 장치하더라도 재취급이 발생하지 않으므로 $r_{24}(i, j) = 0$ 이며 $P_{24}(i, j)$ 값은 $1/3$ 이 된다. 따라서 단계 24에서 단계 23으로 될 때에 발생하는 재취급의 기대값 $R_{24} = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 P_{24}(i, j)$

단계 22부터 단계 1까지는 동일한 방법을 통하여 장치위치 결정방법에 의하여 도착 컨테이너에 대한 장치위치를 결정한 경우의 각 상태의 확률과 각 단계별 재취급의 기대값을 구할 수 있다.

본 연구에서는 동적계획법에 의한 의사결정 결과에 의해 장치하였을 경우와 앞에서 제시한 발견적 기법으로 장치위치를 결정하였을 경우에 대해서 이상의 방법으로 컨테이너를 4단 6열로 쌓는 경우에 대한 기대 재취급횟수를 계산해 본 결과 표 6과 같은 결과를 얻었다.

표 6의 결과를 보면 발견적 기법에 의한 장치위치 결정은 최적 장치위치 결정법에 비교해서 총 기대 재취급횟수에 있어서 큰 차이가 없으며, 무작위 위치결정 방식에 비해서는 두 방법 다 크게 재취급횟수를 감소시킬 수 있음을 알 수 있다.

표 6. 총 기대 재취급횟수의 비교

의사결정방법	총 기대 재취급횟수
무작위 위치장치	8.222
발견적 기법	0.395
최적위치장치(동적계획법)	0.286

5. 결론 및 향후 과제

본 연구에서는 다양한 무게를 가지고 불규칙하게 도착하는 수출 컨테이너에 대해서 선박의 적하작업시 발생하는 재취급을 최소화하기 위한 수출 컨테이너의 장치위치를 동적계획법을 통하여 최적의 장치위치를 결정하는 알고리즘을 제시하였다. 또한 실제 현장에서 짧은 시간안에 최적에 가까운 장치위치를 결정할 수 있는 발견적 의사결정규칙을 제시하고 최적장치위치 결정법의 결과를 이용하여 그 성능을 평가해 보았다.

본 연구에서 제안된 발견적 의사결정규칙

은 실제 현장에서 짧은 시간안에 쉽게 최적에 가까운 장치위치를 결정할수 있는 규칙이며, 그 성능을 평가해 본 결과 좋은 결과를 가져오는 것으로 판단된다. 특히 도착 컨테이너의 무게그룹이 Heavy인 경우 발견적 의사결정 규칙의 결과를 최적 의사결정과 비교할 때는 예외가 아주 적게 나타나 좋은 결과를 보여 주었다. 그에 반해 무게그룹 M과 L에 대해서는 제안된 규칙이 비교적 잘 적용되었지만 예외도 다소 발생하였다.

또한 도착하는 수출 컨테이너의 장치위치를 결정할 때 최적장치위치 결정방법을 따랐을 때 발생하는 재취급의 기대값과 발견적 의사결정 규칙에 의한 방법, 그리고 무작위로 장치위치를 결정하였을 때 발생하는 재취급의 기대값을 구하는 방법을 제시하였다. 배이에 모든 컨테이너가 장치 되었을 때 발생하는 총 재취급의 기대값을 구한 결과, 최적 장치위치 결정방법에 의한 결과와 발견적 의사결정 규칙에 의한 결과는 큰 차이가 없었으나 무작위 장치위치 결정규칙에 비해서는 기대 재취급횟수가 크게 줄어들게 됨을 알 수 있었다. 따라서 제안된 발견적 의사결정 규칙은 현장에서 비교적 짧은 시간에 좋은 결과를 가져오는 의사결정 규칙임을 알 수 있다.

본 연구는 트랜스퍼 크레인 시스템을 사용하는 항만에서 적하작업시에 발생하는 재취급을 줄여줌으로써 야드 장비의 효율을 높일 수 있으며, 야드 장비의 효율이 증대됨에 따라 선박의 접안시간이 줄어들게 되어 선박의 효율을 높이는데 활용될 수 있으리라 기대된다.

그리고 본 연구의 결과를 기초로 하여 다

음과 같은 연구가 계속되어야 할 것으로 사료된다. 본 연구에서는 수출 컨테이너가 선박의 안정성 문제로 항상 무거운 무게그룹부터 적하작업이 일어난다고 가정하였지만, 장치가 완료되어 장치위치가 고정되었을 경우에도 적하작업계획자가 선박내 베이의 적하순서를 결정할 때 장치장에서 재취급 횟수가 최소화될 수 있도록 융통성을 발휘할 수 있는 여지가 있다. 이에 대한 연구도 재취급을 줄이는데 기여할 수 있으리라 생각된다. 또한 현재는 4단 6열 시스템이 가장 주된 트랜스퍼 크레인의 사양이지만 6단과 같이 더 고단적을 하는 장비도 사용되는 경우가 있다. 본 연구에서의 4단 6열 시스템을 일반화하고 무게그룹의 수도 세그룹에서 더욱 일반화한 경우에 대한 연구가 필요하다고 생각한다. 선박 건조 기술의 발달로 인해 어느 정도의 무게의 불균형은 선박자체에서 조절이 가능하게 된다. 따라서 이와 같은 점들을 고려하여 실제적인 적하계획과 연계한 연구가 필요할 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

- [1] 김갑환 외 10명, "수출입 컨테이너 장치장 배정을 위한 소프트웨어의 개발", 경영과학 제 12권 제 3호, pp.1-15, 1995.
- [2] Castilho, B.D., Daganzo, C.F., "Handling Strategies for Import Containers at Marine Terminals", Transp. Res. B, Vol.27b, No. 2, pp.151-166, 1993.
- [3] Chung, Y.G., Randhawa, S.U., and McDowell, E.D., "A Simulation Analysis for Transtainer-based Container Handling Facility", Computers & IE, Vol.14, No.2, pp.113-125, 1988.
- [4] Chung, Y.G., An Animated Simulation Model for a Transtainer based Container Handling Facility, Master Thesis, Oregon State Univ., 1987.
- [5] Kim, K.H., and Kim, D.Y., "Group Storage Methods at Container Port Terminals", The Material Handling Engineering Division 75th Anniversary Commemorative Volume ASME 1994, MH-Vol.2, pp.15-20, 1994.
- [6] Kim, K.H., "Analysis of Rehandles of Transfer Crane on a Container Yard", Proceedings of APORS'94, Edited by Masanori Fushimi, Kaoru Tone, World Scientific, pp.357-365, 1995.
- [7] McDowell, E., Cho, D., Martin, G., and West, T., A Study of Maritime Container Handling, Oregon State Univ., Sea Grant College Program Ads 403, Publication No. ORESU-T-85-003, 1985.
- [8] Nemhauser, G.L., Introduction to dynamic programming, Wiley, New York, 1966.
- [9] Taleb-Ibrahimi, M., Modeling and Analysis of Container Storage in Ports, Ph.D. Thesis, Univ. of California at Berkeley, 1989.
- [10] Watanabe, I., Characteristics and Analysis Method of Efficiencies of Container Terminal - An Approach to the Optimal Loading/Unloading Method, Container Age, pp.36-47, March 1991.

부 록

본 연구에서 제안된 재취급을 최소화 하는 수출 컨테이너의 장치위치 결정법에 사용되는 recursive equation은 다음의 과정을 통해 유도할 수 있다.
 목적함수식은 다음과 같이 된다.

$$f_N(X_N) = \sum_{k_1} \dots \sum_{k_N} [\text{Min}_{D_N, \dots, D_1} \prod_{n=1}^N p_n(k_n) \sum_{n=1}^N r_n(X_n, D_n, k_n)]$$

본 연구의 가정에서 $p_n(k_n) = 1/3$ 이므로

$$f_N(X_N) = \left[\frac{1}{3} \right]^N \sum_{k_1} \dots \sum_{k_N} \text{Min}_{D_N, \dots, D_1} \sum_{n=1}^N r_n(X_n, D_n, k_n)$$

X_n, D_n 은 k_{n-1}, \dots, k_1 과는 무관하므로,

$$\begin{aligned} &= \left[\frac{1}{3} \right] \sum_{k_N} \text{Min}_{D_N, \dots, D_1} r_N(X_N, D_N, k_N) + \left[\frac{1}{3} \right]^2 \sum_{k_N, k_{N-1}} \sum_{D_N, \dots, D_1} \text{Min} r_{N-1}(X_{N-1}, D_{N-1}, k_{N-1}) \\ &+ \dots + \left[\frac{1}{3} \right]^N \sum_{k_N, k_{N-1}} \dots \sum_{k_1} \text{Min}_{D_N, \dots, D_1} r_1(X_1, D_1, k_1) \end{aligned}$$

X_n, D_n 은 D_{n-1}, \dots, D_1 과는 independent 하므로,

$$\begin{aligned} &= \left[\frac{1}{3} \right] \sum_{k_N} \text{Min}_{D_N} r_N(X_N, D_N, k_N) + \left[\frac{1}{3} \right]^2 \sum_{k_N, k_{N-1}} \sum_{D_N, D_{N-1}} \text{Min} r_{N-1}(X_{N-1}, D_{N-1}, k_{N-1}) \\ &+ \dots + \left[\frac{1}{3} \right]^N \sum_{k_N, k_{N-1}} \dots \sum_{k_1} \text{Min}_{D_N, \dots, D_1} r_1(X_1, D_1, k_1) \tag{A1} \\ &= \left[\frac{1}{3} \right] \sum_{k_N} \text{Min}_{D_N} [r_N(X_N, D_N, k_N) + \left[\frac{1}{3} \right] \sum_{k_{N-1}} \text{Min}_{D_{N-1}} r_{N-1}(X_{N-1}, D_{N-1}, k_{N-1}) \\ &+ \dots + \left[\frac{1}{3} \right]^{N-1} \sum_{k_{N-1}} \dots \sum_{k_1} \text{Min}_{D_{N-1}, \dots, D_1} r_1(X_1, D_1, k_1)] \end{aligned}$$

따라서 (A1)식을 다시 사용하면 다음과 같은 recursive equation을 구할 수 있다.

$$f_N(X_N) = \frac{1}{3} \sum_{k_N} \text{Min}_{D_N} [r_N(X_N, D_N, k_N) + f_{N-1}(X_{N-1})]$$