

# 재취급을 최소화하기 위한 수출컨테이너 장치위치 결정법

김갑환\* · 박영만\*

## Locating Export Containers in order to Minimize the Number of Rehandles

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.

### 1. 서론

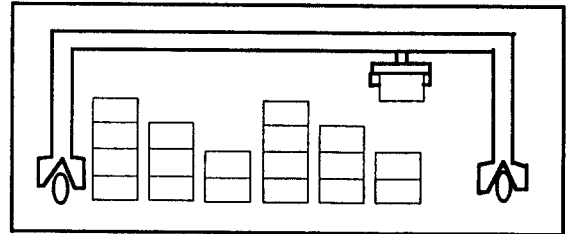
Transfer Crane System의 특성상 수출 컨테이너의 경우 하나의 베이에는 동일 선박에 적하될 컨테이너 이면서 동일한 항구에서 양하될 컨테이너만을 모아서 같이 쌓게 된다. 선적(적하) 작업시에 선박의 안전성을 확보하기 위해서 컨테이너의 무게가 중요한 의사결정 고려요소이므로 개개의 컨테이너가 게이트를 통해 반입되어 야드에 장치될 때 무게를 잘 고려해야 선적 작업시에 발생하는 재취급을 줄일수 있다.

컨테이너 선박은 안정성 확보를 위하여 베이의 하단에 무거운 컨테이너를 장치 해야 하고 상단에는 상대적으로 가벼운 컨테이너를 장치하게 된다. 만약 장치장에 놓여있는 컨테이너들이 무거운 컨테이너가 아래에 쌓여있는 형태로 장치되어 있다면, 선적시에 부득이하게 위에 놓고 가벼운 컨테이너를 일시적으로 다른 곳에 옮겨 놓은 다음, 하단에 놓인 무거운 컨테이너를 먼저 선적할 수 밖에 없을 것이다. 이때 가벼운 컨

테이너를 다른 곳으로 옮겨놓는 작업은 야드에 장치할 때 무게를 고려하여 하단에 쌓아 두었다면 피할수 있었던 작업으로서 이를 우리는 재취급이라고 부르겠다.

### 2. 수출 컨테이너 장치장의 운영 방법과 문제의 정의

본 연구의 대상시스템은 트랜스퍼 크레인 시스템(Transfer Crane System)으로 하나의 베이에는 4단 6열로 컨테이너를 장치하게 된다. <그림 1>은 트랜스퍼 크레인 시스템(Transfer Crane System)을 보여주고 있다. 수출 컨테이너의 장치장은 블럭 단위로 되어 있으며, 각 블럭(Block)은 여러개의 베이(Bay)로 구성되어 있고, 다시 각 베이는 여러개의 열(Row)로 나누어진 다.



<그림 1> Transfer Crane System

수출 컨테이너는 도착 시점이 불규칙하고 무게도 다양하다. 수출 컨테이너가 게이트를 통하여 반입되면 수출 컨테이너의 장치위치를 결정해 주어야 하는데 장치할 블럭과 베이는 결정되어 있다고 하자. 그러면, 반입된 수출 컨테이너가 지정된 블럭의 베이 위치까지 이동하여 야드 장비에 의해 해당 베이에 장치하게 될 때 구체적인 슬롯(slot)의 위치를 결정해 주어야 한다. 본 연구에서 다루고자 하는 것은 이렇게 특정한

슬롯을 결정할 때 현재까지 해당 베이에 장치되어 있는 컨테이너의 쌓인 모양과 그들의 무게를 고려하여 지금 도착한 컨테이너의 장치 위치를 결정 하는 것이다.

본 논문에서 아래와 같은 가정하에 최적 슬롯 위치 결정문제를 다루었다.

(1) 컨테이너의 무게는 Heavy(H), Medium(M), Light(L)의 세가지 그룹으로 나뉘어 구분되고, 같은 그룹에서는 어떤 컨테이너가 먼저 선적 되더라도 안정성에 미치는 영향은 대등하다. 그리고 각 무게 그룹의 컨테이너가 도착할 확률은 1/3 로 동일 하다.

(2) 선적 순서는 Heavy, Medium, Light 순으로 이루어진다.

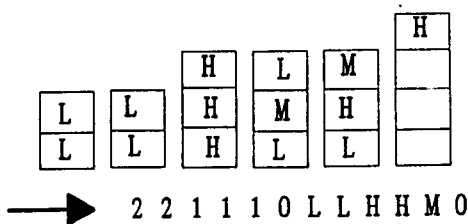
(3) 일단 컨테이너가 재취급 되면 더이상 재취급이 일어나지 않는 슬롯에 장치된다.

### 3. 동적 계획법 모형의 수립

본 논문에서는 앞 장에서와 같은 최적 슬롯 결정 문제를 아래와 같이 동적 계획 법으로 모델링 한다.

단계(stage) : 본 연구에서는 단계를 아직 장치 되지 않은 슬롯의 수로서 정의한다.

상태(state) : 첫번째 상태 변수는 각 열(Row)에서 비어있는 슬롯의 수와 그 밑에 장치 되어있는 컨테이너 중 가장 무거운 컨테이너가 소속된 무게 그룹으로 나타내며 비어있는 슬롯의 수가 감소하는 순서로 재나열하고 비어있는 슬롯의 수가 같을 경우에는 무게 그룹이 가벼워지는 순서로 정하여 표시한 것이다. 따라서 <그림 2>의 경우는 단계 7이며 상태는 (221110LLHHM0) 으로 나타낸다.



<그림 2> 무게를 고려 하였을때 장치 되어있는 컨테이너의 베이 모양

본 연구에서는 한 베이가 모두 장치되어있는 초기 모양으로 부터 그 베이에 컨테이너가 하나도 장치되지 않아 베이가 비어 있는 최후의 모양 까지를 동적 계획법을 이용하여 재취급을 최소로 하는 최적의 장치 위치를 결정하고자 한다.

임의의 모양에서 재취급 횟수를 최소로하는 수출 컨테이너의 장치 위치를 결정하는 방법은 다음과 같은 알고리즘(Algorithm)을 이용하여 구할수 있다. 각각의 stage에서의 재취급을 최소로 하는 최적 장치위치 결정 algorithm을 아래에 설명해 보겠다.

우선 몇가지 기호를 소개하면 다음과 같다.

$N$  : 총 stage의 수

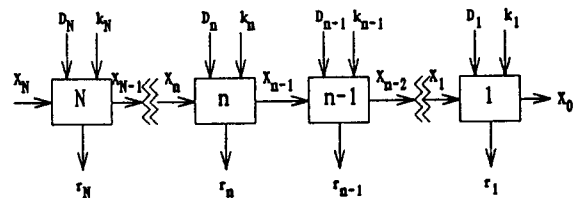
$n$  : stage를 나타내는 인덱스, 비어있는 슬롯의 수를 나타냄.

$X_n$  : n번째 단계의 입력 상태 (input state, <그림 2> 참조)

$k_n$  : 단계 n에서 도착한 컨테이너의 무게그룹 (확률 변수)

$D_n$  : 단계 n에서 결정된 장치 위치(의사 결정 변수). 의사 결정 변수  $D_n$  은  $X_n$  과  $k_n$  의 함수이며 열(Row) 번호로 표현된다.

$p_n(k_n)$  : 단계 n 에서 그룹  $k_n$  에 해당되는 무게를 가진 컨테이너가 도착할 확률. 본 연구에서는 H, M, L 각각에 대해서 모두 1/3 로 주어짐.



<그림 3> 불확실성하의 다단계 최적화 모형

$r_n(X_n, D_n, k_n)$  : 입력 상태가  $X_n$  이고 무게 그룹이  $k_n$  인 컨테이너가 도착한 경우 장치 위치

를  $D_n$ 로 하였을때 단계 n에서 추가되는 재취급 횟수의 기대값  
 $R_N(X_N, D_N, \dots, D_1)$  : 단계 N에서 단계 1까지의 총 재취급 횟수의 기대값.

목적 함수는 재취급의 총 기대횟수를 최소화 하는 것으로 다음과 같이 표현할 수 있다.

목적 함수는  $Min_{D_N, \dots, D_1} R_N(X_N, D_N, \dots, D_1)$

인데 이를  $f_N(X_N)$ 으로 나타내면,

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

여기서 모든  $k_n$ 에 대해서  $p_n(k_n) = 1/3$  이므로

$$Min_{D_N, \dots, D_1} \sum_{k_1} \dots \sum_{k_N} [(\frac{1}{3})^N \sum_{n=1}^N r_n(X_n, D_n, k_n)] \quad (1)$$

$$X_{n-1} = t_n(X_n, D_n, k_n)$$

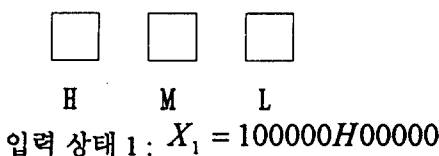
식(1)에서 부터 다음과 같은 recursive equation을 얻을수 있다.

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

$$n = 1, \dots, N, f_0(X_0) = 0 \quad \text{-----}(2)$$

식(2)의 recursive equation을 이용하여 임의의 모양에서 재취급을 최소로 하는 장치위치를 결정할 수 있으며 또한 위와 같은 방법으로 단계 1에서 부터 단계 24(놓여있는 컨테이너가 하나도 없는 상태) 까지 최적해를 구해 봄으로써 가능한 모든 배이의 모양에 대하여 무게를 고려한 수출 컨테이너의 재취급을 최소로 하는 최적의 장치 위치를 결정할수 있게된다. 구체적인 절차를 나열 하면 다음과 같이 각 단계별로 최적의 장치위치를 결정할수 있게 된다.

단계 1. (n=1) 즉, 하나의 공간이 비어 있는 경우에는 아래와 같은 세가지 입력 상태가 있다. 이 경우는 어떤 무게의 컨테이너가 들어와도 그 위치에 놓는 수 밖에 없다.



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

$$f_1(X_1) = 1/3\{0+1+1\} = 2/3$$

입력 상태 2 :  $X_1 = 100000M00000$

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

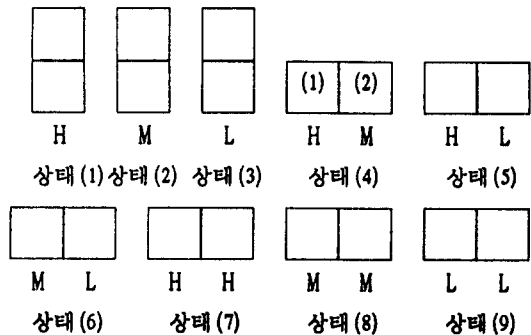
$$f_1(X_1) = 1/3\{0+0+1\} = 1/3$$

입력 상태 3 :  $X_1 = 100000L00000$

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

$$f_1(X_1) = 1/3\{0+0+0\} = 0/3$$

단계 2. (n=2) 빈 공간이 2개인 경우는 아래와 같은 입력 상태들이 있다. 이 각각의 경우에 있어서 H,M,L 이 도착했을때 어디에 놓아야 하는냐 인데 앞의 세 경우와 맨 뒤의 세 경우는 선택의 여지가 없이 장치 위치가 결정된다.



<그림 4> 단계 2에서 여러가지 상태

가운데 세 경우중 첫번째인 H,M의 경우(상태 (4))를 예로 따져보면, 현재 M이 도착했다고 할 때 (1)의 위치에 놓으면 당장 재취급이 1회 발생하며, 그리고 다음에 H,M,L이 각각 같은 확률로 도착한다고 하면 L의 경우에는 0회, M의 경우도 0회, H의 경우에는 1회 재취급이 발생하므로 합계가  $1 + (0/3 + 0/3 + 1/3) = 4/3$  회의 재취급 기대치가 된다. (2)의 위치에 놓는 경우도 이러한 방법으로 계산하면  $0 + (0/3 + 1/3 + 1/3) = 2/3$  이 되어 상태(4)의 경우 M이 도착하였을경우 어디에 놓는것이 최적인지 알수 있다. 마찬가지로 H나 L이 도착한 경우에 대해서도 최적 위치를 구할수 있고 H,M,L이 도착할 확률이 각각 1/3임을 감안하여 상태(4)의 경우 기대 재취급 횟수를 구할수 있다. 이상의 내용을 요약해서 입력 상

태(4)에서의 최적의 장치위치 결정은 아래와 같이 이루어진다.

$$X_2 = 110000HM0000$$

$$f_2(X_2) = 1/3\{Min(0+1/3, 0+2/3) + Min(1+1/3, 0+2/3) + Min(1+1/3, 1+2/3)\}$$

$$= 1/3(1/3+2/3+4/3) = 7/9$$

따라서 H를 장치하고자 할 때에는 1번 열에, M를 장치할 때에는 2번 열, L을 장치하고자 할 때에는 1번 열에 장치하는 것이 재취급을 최소로 하는 의사 결정임을 알 수 있다.

단계 3. 앞 단계와 같은 방식으로 3개의 Slot이 비어있는 모든 경우를 나열할 수 있고 특정한 Slot에 특정 그룹의 무게를 가지는 컨테이너를 놓았을 때 기대되는 재취급의 횟수는 당장 발생하는 재취급 (0 또는 1) 횟수와 그곳에 놓았을 때의 다음번 (단계 2)의 모양이 가지는 기대취급 횟수를 더한 값으로 구할 수 있다. 따라서 특정 그룹의 무게를 가지는 컨테이너의 최적 장치 위치를 구할 수 있다.

단계 4에서 부터 단계 24까지는 단계 2와 단계 3의 동일한 방법으로 계속하면 모든 단계의 최적 장치 위치를 구할 수 있다.

아래 <표 1>은 동적 계획법을 이용한 재취급을 최소로 하는 수출 컨테이너의 최적의 장치 위치 결정 결과중 일부이다. 즉 장치 가능한 빈공간이 5개인 단계 5의 각각의 상태(state)들에 대하여 각각 수출 컨테이너의 무게 그룹의 종류가 H, M, L인 경우의 최적의 장치 위치를 열(Row)의 번호로서 나타내어 주고 있다. 또한 이때 총 재취급의 기대값의 최소값  $f_n(X_n)$ 을 나타내어 주고 있다.

<표 1> 동적 계획법에 의한 최적 장치 위치 결정 결과

$X_n$	H	M	L	$f_n(X_n)$
211100HLMH00	1	3	2	1.489712

211100MLHH00	3	1	2	1.032922
211100HMMH00	1	2	1	1.925926
211100HLHH00	1	2	2	2.337449
211100MMMH00	4	1	1	1.679012
211100MLMH00	4	1	2	0.851852

#### 4. 결론 및 향후 과제

본 연구에서는 다양한 무게를 가지고 불규칙하게 도착하는 수출컨테이너에 대해서 선박의 선적 작업시 발생하는 재취급을 최소화하기 위한 수출컨테이너의 최적 장치 위치를 동적 계획법을 통하여 최적의 장치 위치를 결정하는 알고리즘을 제시 하였다. 본 연구는 Transfer Crane System을 사용하는 항만에서 선적 작업시에 발생하는 재취급을 줄여줌으로써 야드장 장비의 효율을 높일 수 있으며, 야드장 장비의 효율이 증대됨에 따라 선박의 집안시간이 줄어들게 되어 선적의 효율을 높일 수 있고, 궁극적으로는 날로 증가하고 있는 수출 컨테이너 물량을 효율적으로 처리하여 항만의 컨테이너 처리 능력을 높일 수 있을 것으로 생각된다.

#### 참고문헌

- [1] 김갑환 외 10명, "수출입 컨테이너 장치장 배정을 위한 소프트웨어의 개발", 경영과학 제12권 제3호, pp. 1-15, 1995.
- [2] Kim, K. H. and D. Y. Kim, " Group Storage Methods at Container Port Terminals", The Material Handling Engineering Division 75th Anniversary Commemorative Volume ASME 1994, MH-Vol. 2 (1994), pp. 15-20.
- [3] Nemhauser, George L. "Introduction to dynamic programming" New York, Wiley, 1966