

# 적재형태별 재취금을 고려한 기대취금횟수 비교

박퇴경  
부산대학교 공과대학 산업공학과  
(tkpark@sammicomputer.co.kr)

김갑환  
부산대학교 공과대학 산업공학과  
(kapkim@pusan.ac.kr)

.....

유니트로드를 복수의 층으로 쌓아 저장하는 적재장에서 적재 능력은 높으면 1개가 차지하는 유니트로드의 소요 공간은 줄어든다, 적재층이 높아지게 되면 특정 대상 유니트로드를 인출하는데 발생하는 재취금으로 인하여 인출에 따른 작업 시간은 늘어나게 되어 취급비용은 증가 한다. 일반적으로 유니트로드를 적재하는 적재장에는 재취금의 발생이 불가피하다. 따라서 다양한 적재형태의 적재장에서 최하층 열의 수, 컬럼, 적재층을 변화 시켜가면서, 임의의 유니트로드를 인출 할 때 발생하는 기대 취급수를 측정하는 식을 유도한다. 유도된 식을 이용하여 다양한 적재형태들에 대해서 기대 취급수를 서로 비교한다.

.....

논문접수일 : 2005년 11월      게재확정일 : 2006년 6월      교신저자 : 김갑환

## 1. 서론

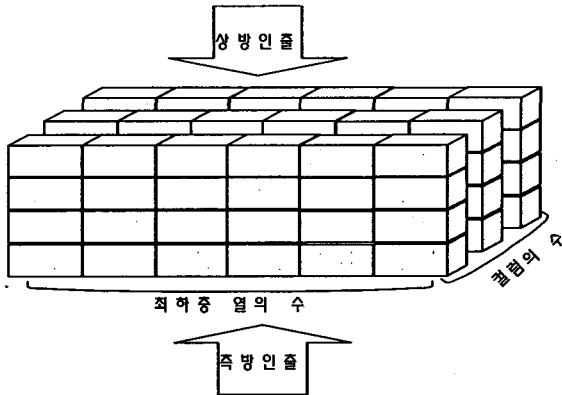
최근 급격하게 증가하고 있는 물류의 흐름으로 인해 유니트로드의 처리를 위한 저장시설의 확충과 시설장비의 능력 확대등을 통해서 늘어난 물류의 해결 요구가 많아지고 있다. 그러나 공간부족의 문제와 자금의 부족 등의 문제로 인해 문제 해결에 어려움을 겪고 있고, 늘어난 물동량의 변화에 신속히 대응하지 못하는 한계를 드러내고 있는 형편이다. 따라서 대부분의 적재장에서는 적재층을 높여서 공간부족을 해결하려고 하나 적재층이 높아지면 필연적으로 재취금이 발생되며, 이 재취금 문제는 창고의 취급 효율을 결정짓는 중요한 문제이다.

재취금은 인출 될 유니트로드의 상단이나 앞에 쌓여 있어서 인출을 위해 필수적으로 취급해야만 하는 유니트로드의 취급을 말한다. 적재장에서 적

재능력을 향상시키기 위해서는 적재층을 높임으로써 공간의 이용률은 높이고 비용을 최소화 시켜려 한다. 그러나 적재층이 높아지게 되면 외부트럭이 특정 대상 유니트로드 인출 요구시 자재 취급 장비가 해당 유니트로드를 인출하기 위하여 필요한 재취금 소요 시간은 늘어나게 된다. 적재장의 적재 효율을 높이고 취급 장비의 생산성을 향상시키기 위해서는 적재층을 적정하게 운영 할 필요가 있다. 이러한 운영의 합리화는 적재장 내에서 발생하는 취급 작업들의 특성을 파악하고 이들을 활용함으로써 이루어질 수 있다.

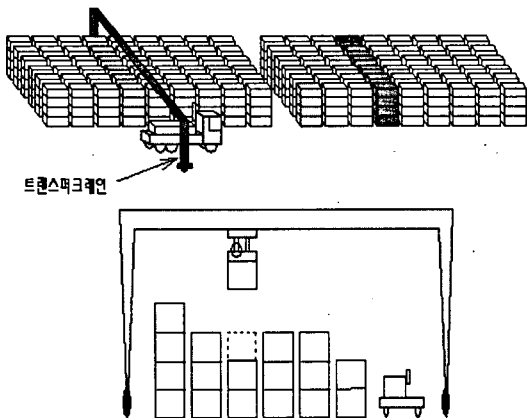
적재형태에 대한 설명을 위하여 적재층의 수, 최하층 열의 수, 컬럼의 수를 [그림 1]과 같이 정의한다. 그리고 상방인출의 경우는 크레인을 이용하여 위에서 아래로 유니트로드를 내려 놓고, 아래에서 위로 들어올리는 인출방식을 말하며, 측방인출은 포크리프트(Fork Lift)나 리치스태커(Reach

Stacker)를 이용하여 정면 앞쪽에서 있는 유니트 로드부터 하나씩 집어내는 방식을 말한다.

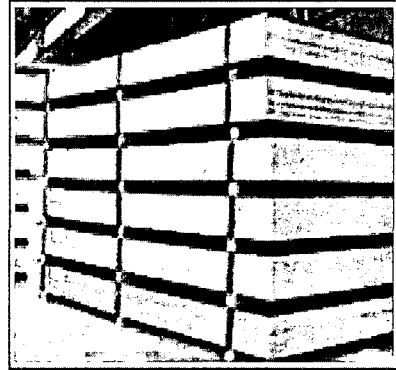


[그림 1] 적재사양과 인출 방식

적재형태에 따라 적재장은 여러가지로 구분된다. 첫째, 상방인출 블록 적재는 유니트로드의 모양과 자재취급 방향이 모두 같으며, 인출은 위로 하는 방식이다. 대표적인 것이 컨테이너나 스틸 플랫폼 적재등이 있다. [그림 2]는 컨테이너 적재와 상 방향 인출의 예를 보여 주고, [그림 3]은 스틸 플랫폼 적재의 예를 보여 주고 있다.



[그림 2] 트랜스퍼 크레인 과 컨테이너 야드



[그림 3] 철판 적재

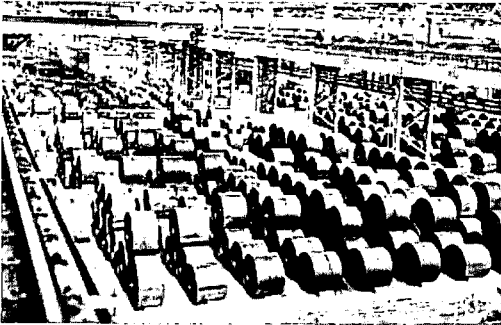
둘째, 측방인출 블록 적재 방식에서는 상방인출 블록적재에서와 같이 벽돌을 쌓아 놓은 듯이 랙과 같은 시설이 없이 바닥에 컨테이너, 상자, 파렛트를 쌓아 놓은 형태인데 인출 방식이 포크리프트(Fork Lift)나 리치스태커(Reach Stacker)와 같이 측방에서 하나씩 인출해 나간다는 점에서 상방인출 방식과 다르다. [그림 4]는 측방인출 블록 적재 방식의 예를 보여 주고 있다.



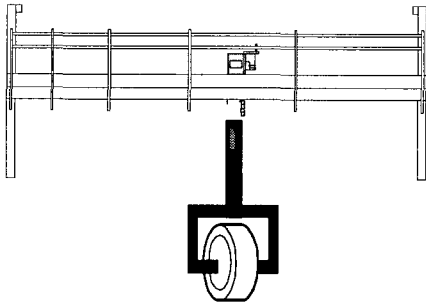
[그림 4] 리치스태커와 컨테이너 야드

셋째, 피라미드 적재는 2층에서는 1층의 유니트 로드와 유니트로드 사이에 저장하는 방식을 취하며, 유니트로드는 무게가 많이 나가기 때문에 인출하기 위하여 양쪽으로 크레인이 1개의 유니트

로드만 권상을 한다. 대표적인 것이 코일, 종이, 스텐레스 코일의 적재가 있다. [그림 5]는 코일 적재의 예를 보여 주고, [그림 6]은 코일 적재의 인출 방법을 보여 주고 있다.

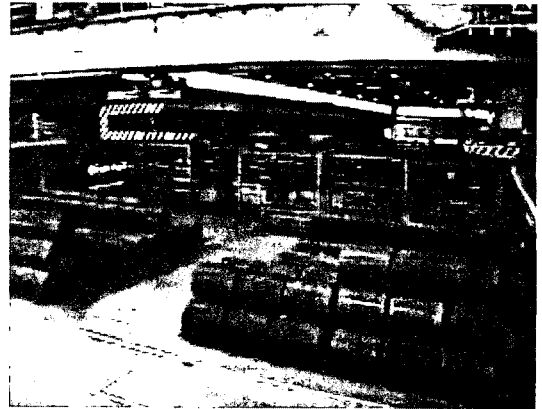


[그림 5] 코일 적재장

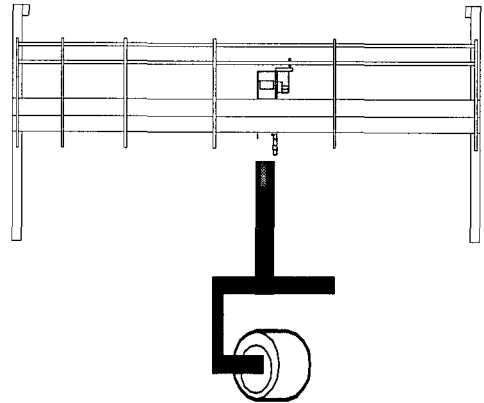


[그림 6] 코일 적재장의 인출 방법

넷째, 덩-레인-피라미드 적재는 피라미드 적재 방식과 매우 유사하다. 피라미드 적재의 방식은 단지 컬럼이 하나인 경우이고, 덩-레인-피라미드는 여러 개의 컬럼이 있는 경우이다. 인출하기 위해서는 크레인이 한쪽의 컬럼의 방향으로만 접근을 하여 유니트로드를 권상을 한다. 대표적인 것이 선재가 된다. [그림 7]은 선재 적재의 예를 보여 주고, [그림 8]은 선재 적재의 인출 방법을 보여 주고 있다.



[그림 7] 선재 적재장

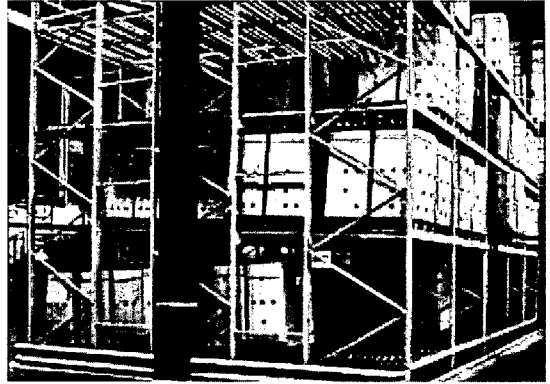


[그림 8] 선재 적재장의 인출 방법

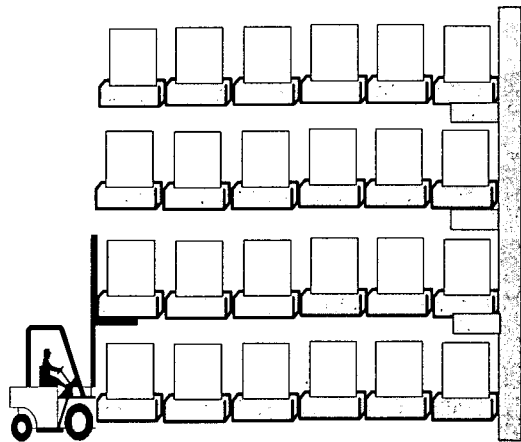
다섯째, 덩-레인-랙 적재는 파렛트를 이용하여 적재를 하게 되는데 랙의 프레임은 고정되어 있고 파렛트가 들어가는 공간에는 아무것도 없으며 파렛트가 들어가면 옆의 프레임을 이용하여 지지를 하게 된다. 인출하기 위해서는 지게차가 앞쪽으로 1개의 유니트로드만 권상을 한다. 대표적인 것이 드라이브-인-랙의 파렛트 적재의 경우이다. [그림 9]는 덩-레인-랙 적재의 예를 보여 주고, [그림 10]은 덩-레인-랙 적재의 인출 방법의 예를 보여 주고 있다.



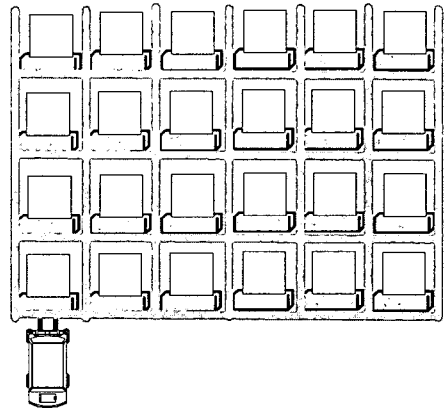
[그림 9] 딥-레인-랙 적재



[그림 11] 호름-랙 적재



[그림 10] 딥-레인-랙 적재 인출 방법



[그림 12] 호름-랙 적재 인출 방법

여섯째, 호름-랙 적재는 딥-레인-랙 적재와 유사하나 랙 자체에 경사를 주어서 앞으로 파렛트 자체가 흘러 내리게끔 구성하여 놓은 형태를 취하는데 인출하기 위해서는 지게차가 앞쪽으로 1개의 유니트로드만 권상을 한다. [그림 11]은 호름-랙 적재의 예를 보여 주고, [그림 12]는 호름-랙 적재의 인출 방법의 예를 보여 주고 있다.

창고 내 운영에서 재취급을 고려한 연구들은 많지 않지만 몇 가지 연구들을 살펴보면 다음과 같다.

Watanabe(1991)는 재취급의 회수를 추정하는 방법을 제시하였다. 이를 나타내는 지표로서 “Accessibility Index”라는 것을 제시하였다. 이 개념을 스택들운반 시스템과 트랜스퍼 크레인 시스템의 두 가지 경우에 적용하여 재취급을 고려하여 취급회수를 추정하는 방법을 제시하였다.

Castilho and Daganzo(1993)는 컨테이너터미널

에서 수입 컨테이너의 장치장 운영 문제에 대해 기술하고 있다. 이 논문은 컨테이너가 무작위로 쌓여 있는 배로부터 빼어 낼 때 기대 되는 취급 회수를 추정하는 수식을 유도하였다. 이 논문에서는 분석적인 방법보다는 시물레이션으로 가능한 전략을 평가하는 방법을 활용 하였다.

Kim(1997)은 저장물 야드 내에서 하나의 컨테이너를 처리하는데 예상되는 재취급의 수와 초기에 배의 장치현황이 주어진 경우의 총 재취급 기대횟수를 평가하는 방법론을 제시하였다.

Avriel, et al.(1998)은 선박내 컨테이너 적재계획을 다루면서 재취급 작업에 대해 분석하고 있다. 이 논문에서는 단지 안정성이나 다른 제약은 고려하지 않고 재취급 회수만을 고려하여 적재계획의 최적해를 찾을 수 있는 간단한 이진선형 모형을 제시하였다. 계산 시간을 줄이기 위해서 이 논문에서는 재취급을 고려한 suspensory heuristic procedure 방법을 개발하고, 이를 이용한 적재계획 방법을 제시하였다.

Kim and Kim(1999, 2002)은 수입 장치장을 운영하는데 특징적으로 나타나는 재취급 작업을 분석하고, 이것을 수입 장치장 운영과 관련된 의사결정에 포함시켜 다루었다. 연구 내용은 장비 대수 및 공간 크기를 결정하는 부분(Kim and Kim, 1999)과 공간 할당에 대한 부분(Kim and Kim, 2002)으로 크게 나누어진다.

Kim et al.(2000)은 수출 컨테이너를 대상으로 재취급을 최소화하기 위하여 입고시 장치위치를 결정하는 문제를 다루었는데 도착 컨테이너의 무게를 고려하여 재취급이 최소화되는 장치위치를 결정하는 방법을 제시하였다.

Imai, et al.(2004)는 선박내에서의 컨테이너 적재 계획과 선박에 컨테이너를 싣고 내리는 양하 및 적하 계획 문제를 다루었다. 이 논문에서는 컨

테이너를 배에 싣고 내릴 때 발생하는 재취급 문제를 중요한 의사결정 요소로 다루었다.

저장시설의 운영에 관한 연구 중 재취급에 관한 연구는 그 중요성에 비하여 연구가 그다지 많지 않은 실정이고, 대부분의 연구가 컨테이너 장치장이 그 대표적인 예인 블록적재에 대해서만 재취급을 고려하여 문제를 접근하였는데 본 연구는 블록적재뿐 아니라 피라미드적재, 덩-레인-피라미드, 덩-레인-랙, 흐름-랙 다양한 적재에서 재취급 횟수를 측정한 연구는 이제까지 없었다.

본 연구의 내용은 다양한 적재형태의 적재장에서 최하층 열의 수와 컬럼, 적재층을 변화시키면서 임의의 유니트로드를 인출하는데 필요한 기대취급수를 식으로 유도하고, 유도된 식을 이용하여 다양한 적재형태의 적재장에서의 재취급 횟수를 상호 비교하여 본다. 2절에서는 적재형태별 재취급 작업의 분석을 하여 임의의 유니트로드 기대 취급수를 식으로 유도하고, 3절에서는 유도 된 식을 이용하여 적재형태별로 어떤 영향을 미치는지에 대한 분석을 하여 본다. 끝으로 4절에서는 결론과 향후 연구 방향에 대하여 기술한다.

## 2. 적재형태별 재취급 횟수 분석

본 연구에서의 가정은 아래와 같다.

- (1) 단일 형태의 유니트로드만 적재한다.
- (2) 유니트로드의 인출은 무작위로 한다.

본 연구에서 사용되는 기호는 아래와 같다.

$t$  : 적재층의 수

$r$  : 최하층 열의 수

$c$  : 컬럼의 수

$N(r,t,c)$  : 적재층의 수가  $t$ , 최하층 열의 수가  $r$ , 컬럼의 수가  $c$ 인 적재장에 적재 된 유니트로드의

총 개수

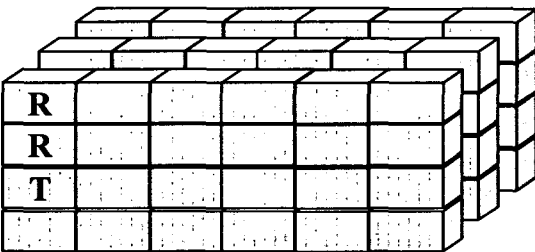
$T(r,t,c)$  : 적재층의 수가  $t$ , 최하층 열의 수가  $r$ , 컬럼의 수가  $c$ 인 적재장에 적재된 각 유니트로드를 인출하기 위한 취급 횟수를 모은 유니트로드에 대한 더한 값

$E(r,t,c)$  : 적재층의 수가  $t$ , 최하층 열의 수가  $r$ , 컬럼의 수가  $c$ 인 적재장에 적재된 임의의 유니트로드 인출시 기대 취급수

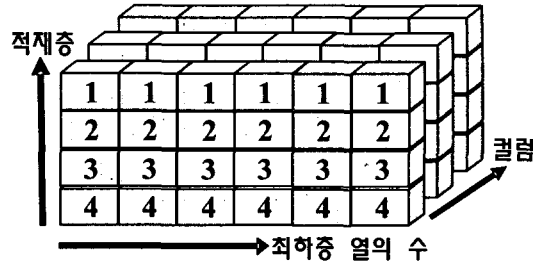
상방인출 블록 적재, 측방인출 블록적재, 피라미드 적재, 덩-라인-피라미드 적재, 덩-라인 적재, 흐름-랙 적재에서 각각의 적재형태별로 유니트로드의 총 개수, 모든 유니트로드에 대해서 소요 취급 횟수를 더한 총 취급횟수, 임의의 유니트로드를 인출하는데 소요되는 기대 취급수를 구한다.

### 2.1 상방인출 블록 적재

상방인출 블록 적재에서는 특정 유니트로드를 인출하기 위해서는 인출 대상 유니트로드 위에 적재된 유니트로드가 있는 경우에는 재취급이 발생한다. [그림 13]에서 보면 인출 대상의 유니트로드가 "T"표시의 유니트로드라면 "R"표시의 유니트로드는 재취급 대상 유니트로드이다. [그림 14]는 적재층의 수  $t=4$ , 최하층 열의 수  $r=6$ , 컬럼의 수  $c=3$ 인 상방인출 블록 적재의 예를 보여 주고 있으며 각 유니트로드에 적힌 숫자는 해당 유니트로드를



[그림 13] 상방인출 블록 적재의 재취급 대상



[그림 14] 상방인출 블록 적재 취급 기대횟수

인출하는데 아래의 수식은 적재층, 컬럼, 최하층 열의 수에 따른 취급횟수의 변화를 수식으로 나타낸다.

[그림 14]에 쌓여 있는 유니트로드의 총 개수는

$$N(r,t,c) = rtc \tag{1}$$

모든 유니트로드에 대해서 소요 취급 횟수를 더한 총 취급횟수는

$$\begin{aligned} T(r,t,c) &= \sum_{i=1}^r \sum_{l=1}^c \sum_{k=1}^t k = \sum_{i=1}^r \sum_{l=1}^c \frac{t(t+1)}{2} \\ &= \frac{rct(t+1)}{2} \end{aligned} \tag{2}$$

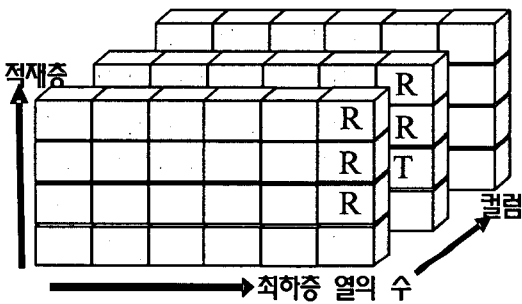
임의의 유니트로드 인출하는데 소요되는 기대 취급수는

$$\begin{aligned} E(r,t,c) &= \frac{T(r,t,c)}{N(r,t,c)} = \frac{\frac{rct(t+1)}{2}}{rtc} \\ &= \frac{t+1}{2} \end{aligned} \tag{3}$$

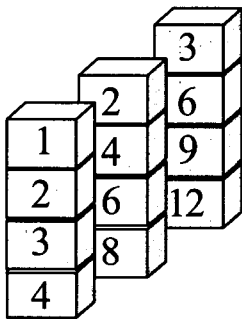
### 2.2 측방인출 블록 적재

측방인출 블록 적재에서는 특정 유니트로드를 인출하기 위해서는 인출 대상 유니트로드 위와 앞에 적재된 유니트로드가 있는 경우에는 재취급이

발생한다. [그림 15]에서 보면 인출 대상의 유니트로드가 “T” 표시의 유니트로드라면 “R” 표시의 유니트로드는 재취급 대상 유니트로드이다. [그림 16]은 측방인출 블록 적재의 예를 보여 주고 있으며 각 유니트로드에 적힌 숫자는 해당 유니트로드를 인출하는데 필요한 해당 취급 기대횟수를 보여 주고 있다.



[그림 15] 측방 인출 블록적재의 재취급 대상



[그림 16] 측방인출 블록적재의 기대횟수

아래의 수식은 적재층, 컬럼, 최하층 열의 수에 따른 취급횟수의 변화를 수식으로 나타낸다.

[그림 16]에 쌓여 있는 유니트로드의 총 개수는

$$N(r,t,c) = rtc \tag{4}$$

모든 유니트로드에 대해서 소요 취급 횟수를

더한 총 취급횟수는

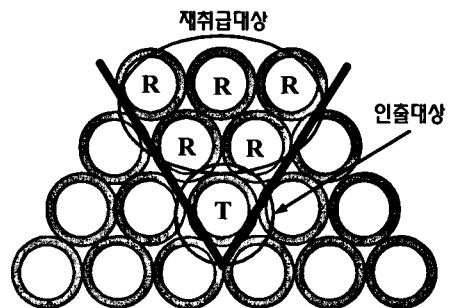
$$T(r,t,c) = \sum_{i=1}^r \sum_{l=1}^c \sum_{k=1}^t lk = \frac{rt(t+1)c(c+1)}{4} \tag{5}$$

입의 유니트로드 인출하는데 소요되는 기대 취급수는

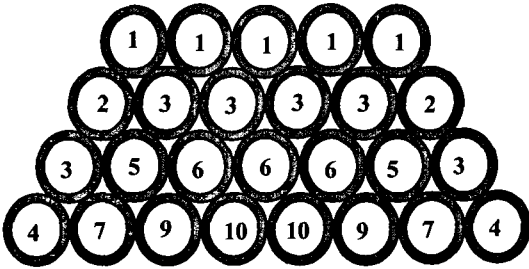
$$E(r,t,c) = \frac{T(r,t,c)}{N(r,t,c)} = \frac{(c+1)(t+1)}{4} \tag{6}$$

### 2.3 피라미드 적재

피라미드 적재에서는 [그림 17]에서 보면 “T” 표시의 유니트로드를 인출하기 위해서는 인출 대상의 상단 부분은 “V”자 안에 있고 “R” 표시의 유니트로드가 재취급 대상이 된다. [그림 18]은 적재층의 수 t=4, 최하층 열의 수 r=8, 컬럼의 수 c=1인 피라미드 적재의 예를 보여 주고 있으며, 각 유니트로드에 적힌 숫자는 해당 유니트로드를 인출하는데 필요한 해당 취급 기대횟수를 보여주고 있다.



[그림 17] 피라미드 적재의 재취급 대상



[그림 18] 피라미드 적재의 경우 유니트로드별 인출을 위한 소요 취급수

아래의 수식은 적재층의 수, 컬럼, 최하층 열의 수에 따른 취급횟수의 변화를 수식으로 나타낸다. [그림 18]에 쌓여 있는 유니트로드의 총 개수는

$$\begin{aligned}
 N(r,t,c) &= \sum_{l=1}^c \sum_{i=1}^l (r-i+1) \\
 &= \sum_{l=1}^c \left\{ rt - \frac{t(t+1)}{2} + t \right\} \\
 &= ct \left( r - \frac{t}{2} + \frac{1}{2} \right) \quad (7)
 \end{aligned}$$

적재 되어 있는 층이 위에서 첫번째 층인 유니트로드에 대해서 소요 취급 횟수를 더한 취급수는

$$H_1(r,t,c) = c(r-t+1)$$

적재 되어 있는 층이 위에서 두번째층인 유니트로드에 대해서 소요 취급 횟수를 더한 취급수는

$$\begin{aligned}
 H_2(r,t,c) &= c \{ (1+2) \{ r-t+1 + (-2+1) \} \\
 &\quad + 2(1+2-1) \}
 \end{aligned}$$

따라서 적재 되어 있는 층이 위에서 k층인 유니트로드에 대해서 소요 취급 횟수를 더한 취급수는

$$\begin{aligned}
 H_k(r,t,c) &= \sum_{l=1}^c \left\{ \left( \sum_{i=1}^k i \right) (r-t+1-k+1) \right. \\
 &\quad \left. + 2 \sum_{j=1}^{k-1} \left( \sum_{i=1}^k i - \sum_{i=1}^j i \right) \right\}
 \end{aligned}$$

모든 유니트로드에 대해서 소요 취급 횟수를 더한 총 취급횟수는

$$\begin{aligned}
 T(r,t,c) &= \sum_{l=1}^c \sum_{k=1}^l H_k(r,t,c) \\
 &= \sum_{l=1}^c \sum_{k=1}^l \left\{ \left( \sum_{i=1}^k i \right) (r-t+1-k+1) \right. \\
 &\quad \left. + 2 \sum_{j=1}^{k-1} \left( \sum_{i=1}^k i - \sum_{i=1}^j i \right) \right\} \\
 &= \frac{1}{24} ct (-3t^3 - 2t^2 + 9t + 8) \\
 &\quad + \frac{1}{6} crt (t^2 + 3t + 2) \quad (8)
 \end{aligned}$$

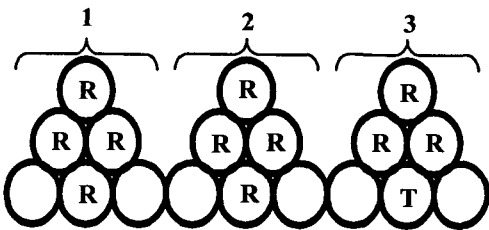
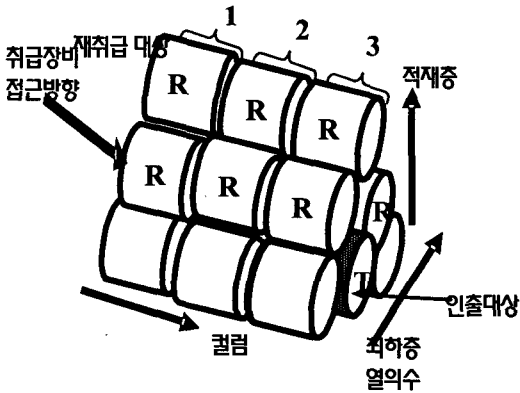
임의의 유니트로드 인출하는데 소요되는 기대 취급수는

$$\begin{aligned}
 E(r,t,c) &= \frac{T(r,t,c)}{N(r,t,c)} \\
 &= \frac{\frac{1}{24} ct (-3t^3 - 2t^2 + 9t + 8) + \frac{1}{6} crt (t^2 + 3t + 2)}{ct \left( r - \frac{t}{2} + \frac{1}{2} \right)} \\
 &= \frac{(-3t^3 - 2t^2 + 9t + 8) + 4r(t^2 + 3t + 2)}{12(2r-t+1)} \quad (9)
 \end{aligned}$$



### 2.4 덩-레인-피라미드 적재

덩-레인-피라미드 적재는 여러 컬럼의 유니트로드가 붙어서 적재가 되기 때문에 특정 유니트로드를 인출하기 위해서는 인출 대상 유니트로드의 앞의 컬럼과 동일 컬럼에 저장된 유니트로드들 중에서 인출 대상 유니트로드 상단의 “V”자에 포함되는 유니트로드들이 재취급 대상이 된다. [그림 19]에서보면 인출 대상의 유니트로드가 “T” 표시의 유니트로드라면 “R” 표시의 유니트로드는 전부 재취급 대상 유니트로드이다. [그림 19]는 적재층의 수 t=3, 최하층 열의 수 r=3, 컬럼의 수 c=3 인 덩-레인-피라미드 적재의 예를 보여 주고 있다.



[그림 19] 덩-레인-피라미드 적재의 예 및 재취급 대상

아래의 수식은 적재층, 컬럼, 최하층 열의 수에 따른 취급횟수의 변화를 수식으로 나타낸다.

[그림 19]에 쌓여 있는 유니트로드의 총 개수는

$$\begin{aligned}
 N(r,t,c) &= \sum_{l=1}^c \sum_{i=1}^t (r-i+1) \\
 &= c \left\{ rt - \frac{t(t+1)}{2} + t \right\} \\
 &= ct \left( r - \frac{t}{2} + \frac{1}{2} \right) \tag{10}
 \end{aligned}$$

적재 되어 있는 층이 위에서 첫번째 층인 유니트로드에 대해서 소요 취급 횟수를 더한 취급수는

$$W_1(r,t,c) = \sum_{l=1}^c l(r-t+1) = \frac{c(c+1)}{2}(r-t+1)$$

적재 되어 있는 층이 위에서 두번째 층인 유니트로드에 대해서 소요 취급 횟수를 더한 취급수는

$$\begin{aligned}
 W_2(r,t,c) &= \sum_{l=1}^c l \{ (1+2)(r-t+1-2+1) \\
 &\quad + 2(1+2-1) \}
 \end{aligned}$$

따라서 적재 되어 있는 층이 위에서 k층인 유니트로드에 대해서 소요 취급 횟수를 더한 취급수는

$$\begin{aligned}
 W_k(r,t,c) &= \sum_{l=1}^c l \left\{ \left( \sum_{i=1}^k i \right) (r-t+1-k+1) \right. \\
 &\quad \left. + 2 \sum_{j=1}^{k-1} \left( \sum_{i=1}^k i - \sum_{i=1}^j i \right) \right\}
 \end{aligned}$$

모든 유니트로드에 대해서 소요 취급 횟수를 더한 총 취급횟수는

$$\begin{aligned}
 T(r, t, c) &= \sum_{k=1}^t W_k(r, t, c) \\
 &= \sum_{l=1}^c l \sum_{k=1}^t \left\{ \left( \sum_{i=1}^k i \right) (r-t+1-k+1) \right. \\
 &\quad \left. + 2 \sum_{j=1}^{k-1} \left( \sum_{i=1}^k i - \sum_{i=1}^j i \right) \right\} \\
 &= \frac{c(c+1)}{2} \left\{ \frac{1}{24} t(-3t^3 - 2t^2 + 9t + 8) \right. \\
 &\quad \left. + \frac{1}{6} rt(t^2 + 3t + 2) \right\}
 \end{aligned}
 \tag{11}$$

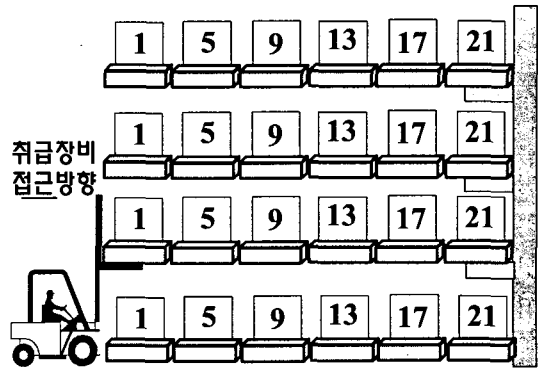
입의의 유니트로드 인출하는데 소요되는 기대  
취급수는

$$\begin{aligned}
 E(r, t, c) &= \frac{T(r, t, c)}{N(r, t, c)} \\
 &= \frac{\frac{c(c+1)}{2} \left\{ \frac{1}{24} t(-3t^3 - 2t^2 + 9t + 8) \right. \\
 &\quad \left. + \frac{1}{6} rt(t^2 + 3t + 2) \right\}}{ct \left( r - \frac{t}{2} + \frac{1}{2} \right)} \\
 &= \frac{(c+1) \{ (-3t^3 - 2t^2 + 9t + 8) + 4r(t^2 + 3t + 2) \}}{24(2r - t + 1)}
 \end{aligned}
 \tag{12}$$

### 2.5 딥-레인-랙 적재

딥-레인-랙 적재에서는 특정 유니트로드를 인출하기 위해서는 인출 대상이 첫번째 컬럼의 유니트로드인 경우에는 채취급이 발생하지 않으나 두

번째 컬럼의 유니트로드인 경우에는 첫번째 컬럼의 전체 유니트로드를 다른 장소로 이적하여야 한다. [그림 20]은 적재층의 수  $t=4$ , 컬럼의 수  $c=6$ 인 딥-레인-랙 적재의 예를 보여 주고 있으며, 각 유니트로드에 적힌 숫자는 해당 유니트로드를 인출하는데 필요한 해당 취급 기대횟수를 보여주고 있다. 서로 다른 열에서는 독립적으로 인출 작업을 할 수 있다.



[그림 20] 딥-레인-랙 적재의 파렛트 취급 기대횟수

아래의 수식은 적재층, 컬럼, 최하층 열의 수에 따른 취급횟수의 변화를 수식으로 나타낸다.

[그림 20]에 쌓여 있는 유니트로드의 총 개수는

$$N(r, t, c) = rtc \tag{13}$$

적재 되어 있는 컬럼이 1인 유니트로드에 대해서 소요 취급 횟수를 더한 취급수는

$$C_1(r, t, c) = rt$$

적재 되어 있는 컬럼이 2인 유니트로드에 대해서 소요 취급 횟수를 더하면 취급수는

$$C_2(r, t, c) = r\{(2-1)t+1\}t$$

따라서 적재 되어 있는 컬럼이 k인 유니트로드에 대해서 소요 취급 횟수를 더한 취급수는

$$C_k(r, t, c) = r\{(k-1)t+1\}t$$

모든 유니트로드에 대해서 소요 취급 횟수를 더한 총 취급횟수는

$$\begin{aligned} T(r, t, c) &= \sum_{k=1}^t C_k(r, t, c) \\ &= \sum_{i=1}^r \sum_{k=1}^c \{(k-1)t+1\}t \\ &= \frac{rtc}{2}(tc-3t+2) \end{aligned} \quad (14)$$

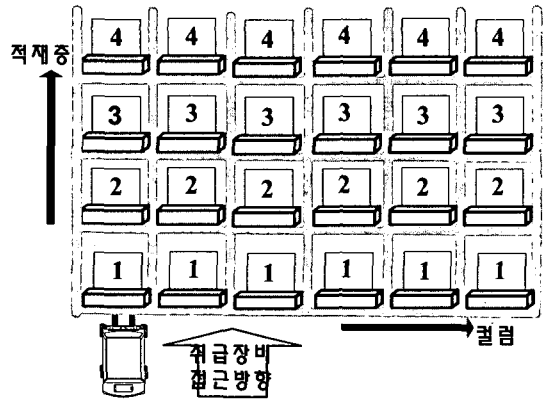
임의의 유니트로드 인출하는데 소요되는 기대 취급수는

$$\begin{aligned} E(r, t, c) &= \frac{T(r, t, c)}{N(r, t, c)} = \frac{\frac{rtc}{2}(tc-3t+2)}{rtc} \\ &= \frac{tc-3t+2}{2} \end{aligned} \quad (15)$$

## 2.6 흐름-랙 적재

흐름-랙 적재에서는 덤-레인-랙 적재와 동일하게 재취급이 발생하며, [그림 21]에서 보면 인출 대상의 유니트로드가 두번째 컬럼에 놓여 있으면 동일한 저장 위치의 첫번째 컬럼에 놓여 있는 유

니트로드를 타 위치로 이적하여야 한다. [그림 21]은 적재층의 수 t=4, 컬럼의 수 c=6인 흐름-랙 적재의 예를 보여 주고 있으며, 각 유니트로드에 적힌 숫자는 해당 유니트로드를 인출하는데 필요한 해당 취급 기대횟수를 보여주고 있다. 서로 다른 열에서는 독립적으로 인출 작업을 할 수 있다.



[그림 21] 흐름-랙 적재의 파렛트 취급 기대 횟수

아래의 수식은 적재층, 컬럼, 최하층 열의 수에 따른 취급횟수의 변화를 수식으로 나타낸다.

[그림 21]에 쌓여 있는 유니트로드의 총 개수는

$$N(r, t, c) = rtc \quad (16)$$

모든 유니트로드에 대해서 소요 취급 횟수를 더한 총 취급횟수는

$$T(r, t, c) = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^t \sum_{k=1}^c k = \frac{rtc(c+1)}{2} \quad (17)$$

임의의 유니트로드 인출하는데 소요되는 기대 취급수는

$$E(r, t, c) = \frac{T(r, t, c)}{N(r, t, c)} = \frac{rtc(c+1)}{2} = \frac{c+1}{2} \quad (18)$$

### 3. 적재형태간의 비교

앞에서 구한 모든 유니트로드에 대해서 소요 취급 횟수를 더한 총 취급횟수와 임의의 유니트로드 인출하는데 소요되는 기대 취급수에 대하여 최하층 열의 수, 컬럼의 수, 적재층의 수를 변화 시키면서 적재형태간의 변화에 대하여 비교한다.

<표 1>은 수치 실험에 사용되는 최하층 열의 수 변화에 따른 수치 실험 입력 자료를 나타내고, <표 2>는 컬럼 수의 변화에 따른 수치 실험 입력 자료를 나타내며, <표 3>은 적재층의 수에 대한 변화에 따른 수치 실험 입력 자료를 나타낸다.

<표 1> 최하층 열의 수 변화에 따른 입력 자료

최하층 열의 수 변화		상방인출 블록 적재	측방인출 블록 적재	피라미드 적재	답-레인-피라미드 적재	답-레인-랙 적재	흐름-랙 적재
컬럼(c)	고정	20	20	1	20	20	20
적재층(f)	고정	10	10	10	10	10	10
최하층 열의 수(f)	변화1	10	10	10	10	10	10
	변화2	13	15	15	15	15	15
	변화3	20	20	20	20	20	20
	변화4	25	25	25	25	25	25
	변화5	30	30	30	30	30	30

[그림 22]에서는 최하층 열의 수의 변화에 따른 적재형태별 비교를 하였다. [그림 22]에서 위의 그

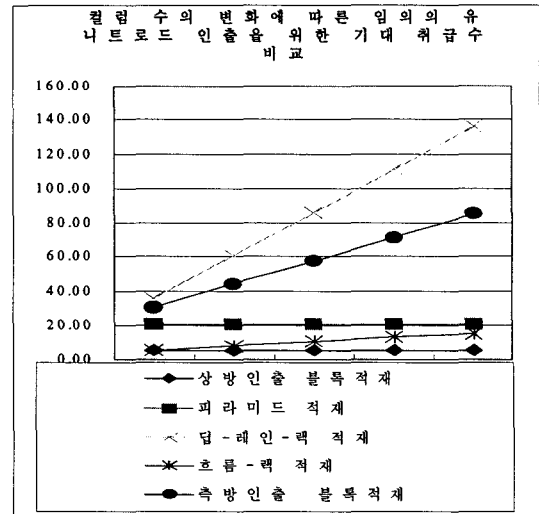
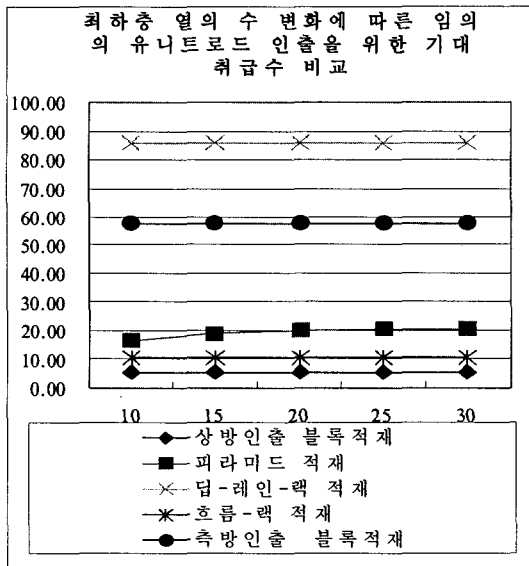
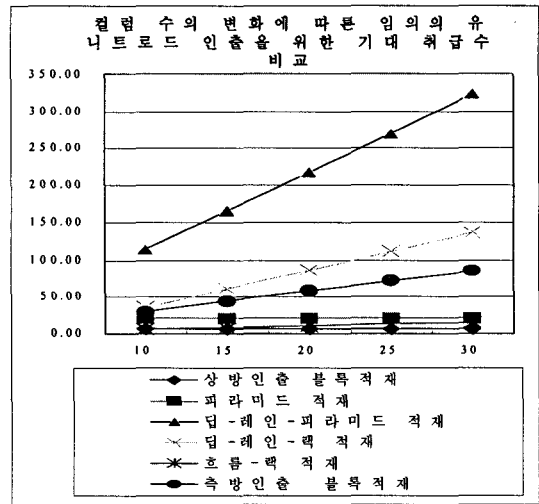
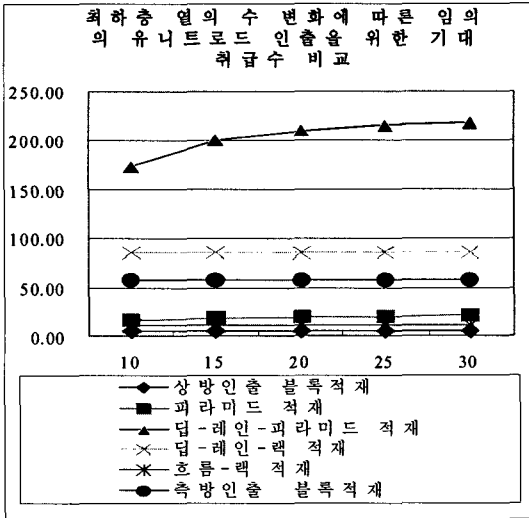
림은 전체를 나타내는 그림이고, 밑의 그림은 답-레인-피라미드 적재와 다른 형태의 적재와는 숫자의 차이가 매우 크게 나타나므로 답-레인-피라미드를 제외하고 다른 적재형태만 좀 더 정밀하게 나타내는 그림이다. 최하층 열의 수가 늘어 남에 따라 임의의 유니트로드 인출시 피라미드 적재와 답-레인-피라미드만 약간의 기대 취급수가 늘어나고, 상방인출 블록 적재, 측방인출 블록 적재, 답-레인-랙, 흐름-랙은 최하층 열의 수와는 독립적이기 때문에 변화가 없다.

<표 2> 컬럼 수 변화에 따른 입력 자료

컬럼 변화		상방인출 블록 적재	측방인출 블록 적재	피라미드 적재	답-레인-피라미드 적재	답-레인-랙 적재	흐름-랙 적재
최하층 열의 수(f)	고정	30	30	30	30	30	30
적재층(f)	고정	10	10	10	10	10	10
컬럼(c)	변화1	10	10	1	10	10	10
	변화2	15	15	1	15	15	15
	변화3	20	20	1	20	20	20
	변화4	25	25	1	25	25	25
	변화5	30	30	1	30	30	30

<표 3> 적재층의 수 변화에 따른 입력 자료

적재층 변화		상방인출 블록 적재	측방인출 블록 적재	피라미드 적재	답-레인-피라미드 적재	답-레인-랙 적재	흐름-랙 적재
최하층 열의 수(f)	고정	30	30	30	30	30	30
적재층(f)	고정	20	20	1	20	20	20
컬럼(c)	변화1	10	10	10	10	10	10
	변화2	15	15	15	15	15	15
	변화3	20	20	20	20	20	20
	변화4	25	25	25	25	25	25
	변화5	30	30	30	30	30	30

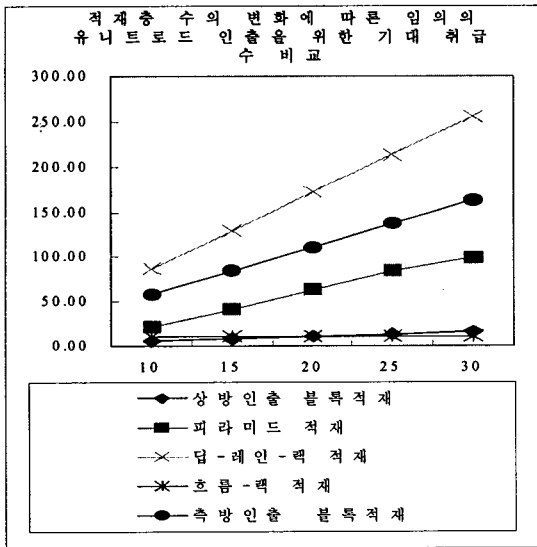
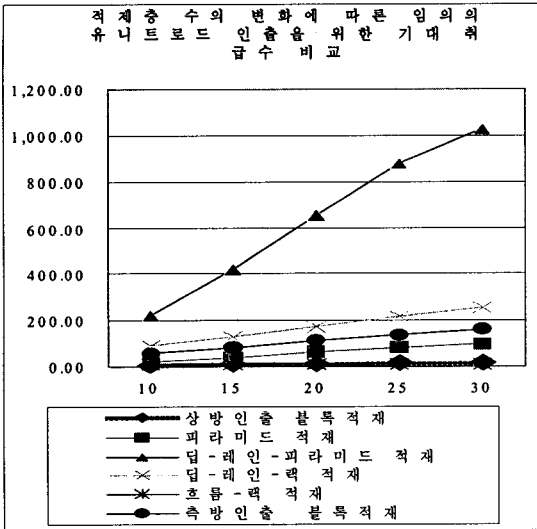


[그림 23] 컬럼 수의 변화에 따른 비교

[그림 22] 최하층 열의 수의 변화에 따른 비교

[그림 23]에서는 컬럼의 변화에 따른 적재형태별 비교를 하였다. [그림 23]에서 위의 그림은 전체를 나타내는 그림이고, 밑의 그림은 덩-레인-피라미드 적재와 다른 형태의 적재와는 숫자의 차이가 매우 크게 나타나므로 덩-레인-피라미드를 제외하고 다른 적재형태만 좀 더 정밀하게 나타내는 그림이다.

컬럼이 늘어남에 따라 임의의 유니트로드 기대 취급수는 덩-레인-피라미드 적재가 급격히 늘어남은 재취급이 많이 발생된다는 것을 의미하며, 상방인출 블록 적재, 피라미드 적재는 컬럼과는 독립적이기 때문에 변화가 없고, 측방인출 블록 적재, 덩-레인-랙이나 흐름-랙은 약간 늘어나고 있다. 이것은 컬럼의 수가 증가함은 재취급이 늘어남을 의미한다.



[그림 24] 적재층 수의 변화에 따른 비교

[그림 24]에서는 적재층의 변화에 따른 적재형태 별 비교를 하였다. [그림 24]에서 위의 그림은 전체를 나타내는 그림이고, 밑의 그림은 탑-레인-피라미드 적재와 다른 형태의 적재와는 숫자의 차이가 매우 크게 나타므로 탑-레인-피라미드를 제외

외하고 다른 적재형태만 좀 더 정밀하게 나타내는 그림이다. 적재층이 늘어남에 따라 임의의 유니트로드 기대 취급수는 탑-레인-피라미드 적재가 급격히 늘어나는 것을 알 수가 있다. 이것은 컬럼의 수가 증가하는 것보다 더 급격히 증가하게 되는 것은 컬럼보다는 적재층이 더 민감하게 재취급에 영향이 있고, 이는 곧 재취급이 많이 발생된다는 것을 의미한다. 상방인출 블록 적재, 측방인출 블록 적재, 피라미드 적재, 탑-레인-랙 적재는 약간 늘어나고 있으며, 호름-랙 적재는 적재 층과는 독립적이므로 변화가 없다.

#### 4. 결론 및 향후 계획

다양한 적재형태의 적재장에서 최하층 열의 수, 컬럼, 적재층을 변화 시키면서 비교를 하였다. 결과적으로 최하층 열의 수의 증가는 임의의 유니트로드 기대 취급수에 큰 변화가 없고, 컬럼의 증가는 임의의 유니트로드 기대 취급수를 늘어나게 하고, 적재층의 증가는 임의의 유니트로드 기대 취급수를 아주 많이 늘어나게 한다. 따라서 적재층이 늘어나게 되면 재취급 작업에 소요되는 시간이 길어짐으로써 인출 대상 물건을 뽑아내는 작업 시간은 늘어나게 된다.

소요공간을 적게 차지하게 하기 위해서는 적재층의 수를 높일 필요가 있다. 적재층의 수를 높이면 소요공간이 적게 차지하므로 비용의 감소로 이어지나 이것은 재취급의 문제가 발생하여 다시 비용의 증가로 이어진다. 적재층은 공간과 취급비용이 트레이드오프 관계가 있으므로 어느 정도의 적재층이 적절한지의 의사결정은 앞으로 연구해야 할 것이다.

본 연구에서는 장치장의 내부 배치 문제나 물건이 도착하는 시간, 트럭의 대기시간등은 다루지 않았으나, 장치장의 배치가 어떻게 되느냐에 따라서 적재 공간의 소요를 추정할 수도 있을 것이고, 유니트로드의 도착시간이나 크레인이나 지게차의 댓수가 트럭의 대기시간등을 좌우하여 서비스시간 등에 영향을 미치게 될 것이다. 이러한 부분은 더 연구를 하여 접목하여야 할 것이다. 또한 효율적인 공간 할당을 통해서 재취급 횟수를 줄임으로써 고객의 서비스 수준을 향상시키고 동태적으로 공간소요가 발생하는 경우에 재취급 횟수를 최소화에 대하여서도 향후 연구가 이루어져야 할 것이다.

## 참고문헌

- [1] Avriel, M., M. Penn, N. Shpirer, and S. Witteboon, "Stowage planning for container ships to reduce the number of shifts", *Annals of Operations Research*, Vol.76(1998), 55-71.
- [2] Castilho, B. and C. F. Daganzo, "Handling Strategies for Import Containers at Marine terminals", *Transportation Research*, Vol. 27B, No.2(1993), 151-166.
- [3] Chung, Y. G., S. U. Randhawa, and E. D. McDowell, "A Simulation Analysis for a Transtainer-based Container Handling Facility", *Computers & Industrial Engineering*, Vol.14, No.2(1988), 113-125.
- [4] Francis, R. L., L. F. McGinnis, and J. A. White, *Facility Layout and Location: An Analytical Approach*, 2nd edition. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ., 1992.
- [5] Imai, A., K. Sasaki, E. Nishimura, and S. Papadimitriou, "Multi-objective simultaneous stowage and load planning for a container ship with container rehandle in yard stacks", *European Journal of Operational Research*, To appear, 2005.
- [6] Kim, K. H., "Evaluation of the Number of Rehandles in Container Yards", *Computer & Industrial Engineering*, Vol.32, No.4(1997), 701-711.
- [7] Kim, K. H. and H. B. Kim, "Segregating Space Allocation Models for Container Inventories in Port Container Terminals", *International Journal of Production Economics*, Vol.59(1999), 415-423.
- [8] Kim, K. H., and Y. M. Park, and K. R. Ryu, "Deriving Decision Rules Locate Export Containers in Container Yards", *European Journal of Operation Research*, Vol.124 (2000), 89-101.
- [9] Kim, K. H., and H. B. Kim, "The Optimal Sizing of the Storage Space and Handling Facilities for Import Containers", *Transportation Research*, Vol.B36(2002), 821- 835.
- [10] Tompkins, J. A., J. A. White, Y. A. Bozer, E. H. Frazelle, J. M. A. Tanchoco, and J. Trevino, *Facilities Planning*, 2nd edition. John Wiley & Sons Inc., 1996.
- [11] Watanabe, I. R., "Characteristics and Analysis Method of Efficiencies of Container Terminal - An Approach to the Optimal Loading /Unloading Method," *Container Age*, March(1991), 36-47.

Abstract

## Comparing Various Types of Stacking Methods Considering Relocations

Twae-Kyung Park\* · Kap Hwan Kim\*

When unit loads are stacked in multiple tiers, as the number of tiers increases, the space consumption per unit load decreases; at the same time, the number of relocations during retrieval operations increases. This study derives formulas for estimating the expected number of relocations for retrieving a random unit load from various types of stacks with different combinations of the number of rows, the number of columns, and the number of tiers. Based on the derived formulas, the handling cost and the space cost of the different types of stacks are compared with each other.

**Key words** : Relocation, Warehouse, Handling cost, Space cost

---

\* Department of Industrial Engineering, Pusan National University