

## 이형 랙을 가진 자동창고시스템의 운행시간 모형

### Travel Time Models for Automated Storage/Retrieval Systems with Racks of Different Size

전성진\* · 이영해\*

Sung Jin Chun\* · Young Hae Lee\*

#### Abstract

In general, Automated Storage/Retrieval Systems (AS/RS) have racks of equal size. But higher utilization of warehouse storage can be achieved by using AS/RS with racks of different size. Therefore those systems are adequate and efficient in current environment. In this paper, travel time models are developed for AS/RS with racks of different size under randomized storage in each zone. Each zone has its own rack size. In order to confirm the proposed travel time models, some numerical examples are given.

#### 1. 서론

최근에 국내 기업들 사이에 경제 성장으로 인한 생산 물량의 증대와 토지 가격의 상승 및 임금 인상 등으로 인하여 자동창고에 대한 관심이 높아지고 있다. 특히 최근에는 공장자동화의 발전과 더불어 생산자동화의 핵심 요소로서 자동창고의 역할이 대두되고 있는 실정이다.

한편 시장환경의 특징이 다품종소량생산으로

변화였고, 시장 다변화에 따른 생산계획의 빈번한 변화, 수명 주기의 단축, 단납기화, 품질의 고신뢰성 등의 추세를 따르고 있으며, 최근 노동력 부족현상이 심각해지는 가운데 컴퓨터와 각종 기계, 전자 산업의 발달로 물품을 효율적으로 저장하고 물품의 저장 및 관리를 용이하게 하는 자동창고에 대한 설계 및 제작이 많이 진행되고 있다.

이에 따라 적정 재고의 유지와 자재의 적시 공급이 절실히 요구되고 있으며, 이를 효

\* 한양대학교 산업공학과

을적으로 관리하기 위한 수단으로서 자동창고시스템(Automated Storage and Retrieval System ; AS/RS)이 개발 및 운영되고 있다.

자동창고시스템의 설계나 운영을 위하여 스택커 크레인(Stacker Crane ; S/C)의 평균운행시간(Expected Travel Time)에 대한 정보를 미리 아는 것이 중요하므로, 여러 경우에 따라 스택커 크레인의 평균운행시간을 구하는 방법이 개발되어 왔다. 평균운행시간에 영향을 주는 요인은 랙의 형태와 저장방식 그리고 주문 처리 명령 등으로 구분된다.

랙의 형태에는 SIT(Square In Time) 랙과 Non-SIT 랙으로 구분되는데, SIT 랙이란 스택커 크레인이 자동창고의 주행방향으로 제일 끝 행까지 운행하는데 소요되는 시간과 승강방향으로 최상단까지 운행하는데 소요되는 시간이 동일하다고 할 때 이러한 창고의 랙 형태를 SIT 랙이라고 하고, 시간이 동일하지 않을 경우 Non-SIT 랙이라고 한다.

Hausman, et al.[6]에 의하여 처음으로 SIT 랙에 대한 연구가 시작되었는데, 서로 다른 저장 방식에 따라 단일 명령(Single Command)을 수행할 때 평균운행시간을 모델링하였고, Grave, et al.[4]은 서로 다른 저장방식에 따라 이중 명령(Dual Command)을 수행할 때 평균운행시간을 모델링하였다. Rosenblatt와 Eynan[11]은 다등급 저장법(Multi-Class Storage)에 따라 단일명령에 대한 평균운행시간을 모델링하였고, Eynan과 Rosenblatt [2]는 직방 자동창고에서 단일명령하에 등급별 저장법의 구역을 나누어서 각각의 평균운행시간 모형에 대하여 개발하였다.

Bozer와 White[1]은 Non-SIT 랙에 대한 연구를 처음으로 시작하였으며, 임의 저장법에

대한 단일명령과 이중명령을 수행할 때 평균운행시간을 모델링하였으며, Pan과 Wang[9]은 이중명령에 대한 framework를 제시하였으며, Han, et al.[5]은 이중명령을 연속 수행할 경우 명령의 순서를 결정함에 있어 Nearest Neighbor를 방문할 경우 평균운행시간을 구하였다. Foley와 Frazelle[3]은 미니 로드 시스템에서 물품을 인출하는데 소요되는 시간을 포함한 평균운행시간을 모델링하였다. 또한 Hwang과 Ko[7]는 여러 열을 하나의 스택커 크레인이 처리하는 연구를 하였으며, Hwang과 Lee[8]는 스택커 크레인의 가감속을 고려한 단일명령과 이중명령에 대한 평균운행시간의 모형을 개발하였고, Park과 Webster[10]는 설계 단계에서 기존의 평면 연구에서 3차원 입체형으로 전환하여 연구하였다.

지금까지 연구된 저장 랙의 종류는 동형 랙(단위 랙의 크기가 모두 동일함)을 기준으로 여러 분야에서 연구가 진행되어 왔다.

따라서 최근 자동창고시스템은 동일한 크기의 랙을 저장할 수 있게 설계가 되었으나 초기투자비가 크고 건설 후 시스템의 변경이 용이하지 못하기 때문에 앞으로는 다품종 소량생산에 기인하는 급변하는 기업 환경에 신속하게 대응하기 위하여 크기가 단일 크기가 아닌 이형 랙 -단위 랙의 높이가 다른 경우와 단위 랙의 길이가 다른 경우- 을 저장할 수 있는 자동창고를 설치하여 기존의 자동창고는 유연성이 없다는 고정관념을 바꿀 수 있는 이형 랙 각각의 저장공간을 만족하는 자동창고의 설계를 하여야 하며, 자동창고시스템의 수행능력을 평가하는 가장 필수적인 사항으로 평균운행시간을 모형화하여야 한다.

따라서 일반 자동창고의 경우에 많은 연구가 이미 수행되어 활용되고 있으나, 본 연구의 대상시스템인 이형 랙을 가진 자동창고시스템의 그 필요성에도 불구하고 국내는 물론 국제적으로도 아직 연구가 없는 실정이다. 향후 이 시스템의 수요가 증가하고 있으며, 우선 이 분야의 기초 연구로서 시스템의 성능평가를 위한 평균운행시간의 모형을 개발하여 시스템 설계시 중요한 자료로 제공하고자 한다.

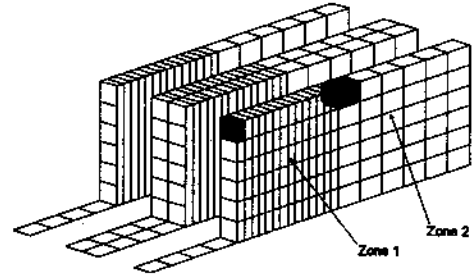


Figure 2. 단위 랙의 길이가 다른 경우

## 2. 이형 랙을 가진 자동창고시스템의 구성

이형 랙을 가진 자동창고시스템이란 단위 랙의 길이와 너비는 같고, 높이가 다른 경우(Figure 1.)와 단위 랙의 너비와 높이는 같고 길이가 다른 경우(Figure 2.)에 대하여 하나의 열(aisle)에 적용하는 것이다. 단위 랙의 너비가 다른 경우 또는 길이와 높이가 동시에 다른 경우를 하나의 시스템에 적용하는 것이 불가능하다.

이형 랙을 가진 자동창고시스템의 수행능력의 평가기준으로는 스택커 크레인의 평균 운행시간, 시스템의 처리량(System Through-

put), 랙과 스택커 크레인의 활용률(Rack and Stacker Crane Utilization) 등으로 구분되며, 운행시간과 처리량은 밀접한 관계를 가지고 있다.

이형 랙을 가진 자동창고시스템의 경우 스택커 크레인의 운행시간이 창고시스템에 미치는 영향이 아주 크므로 본 연구에서는 평균운행시간에 대하여 모델링하고자 한다.

## 3. 평균운행시간 모형

이형 랙을 가진 자동창고시스템의 구역(Zone)별 스택커 크레인의 평균운행시간에 대한 모형을 개발한다.

본 연구를 위한 가정은 다음과 같다.

- (1) 스택커 크레인의 명령 수행은 자동창고 랙의 좌측 하단에 있는 입출고지점에서 시작하며, 입출고지점의 좌표는 (0,0)이다.
- (2) 스택커 크레인의 명령 수행은 단일 명령이고, 물품의 저장법은 입의 저장법이다.
- (3) 스택커 크레인의 주행 및 승강속도는 알고 있으며, 창고의 길이와 높이도 알

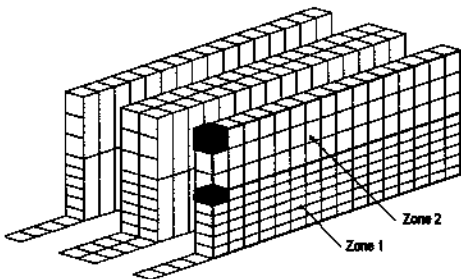


Figure 1. 단위 랙의 높이가 다른 경우

고 있다.

- (4) 스택커 크레인은 동시에 주행방향과 승강방향으로 동시에 운행할 수 있다. 즉 임의의 셀까지 도달하는 운행시간은 주행방향 운행시간과 승강방향 운행시간 중 큰 값이 된다(Tchebychev travel).
- (5) 스택커 크레인의 최대 승강운행시간은 최대 주행운행시간보다 작거나 같다.

가정 5)번에 의하여  $T=t_h, b=t_v/T$ 이다.

$E(SC)$  : 자동창고의 총 평균운행시간

$E_n(SC)$  : n번째 구역의 평균운행시간

### 3.1 단위 랙의 높이가 다른 경우 평균운행 시간 모형

#### 1) 2-구역 구분의 경우

단위 랙의 높이가 다른 경우 2-구역 구분

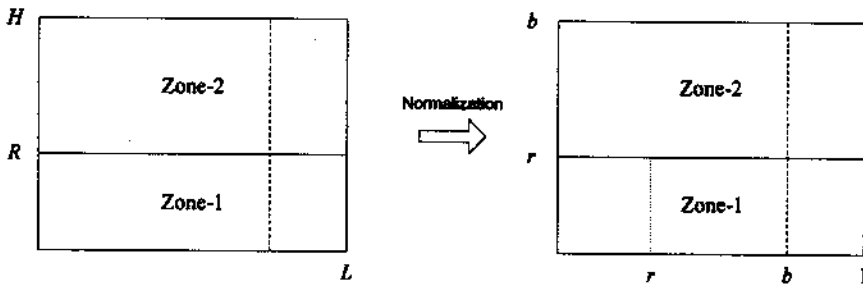


Figure 3. 단위 랙의 높이가 다른 경우 2-구역 구분 및 정규화

- (6) 각 팔레트(Pallet)는 한가지 품목만을 저장하고, 항상 지정된 구역에 저장된다. 이형 랙을 가진 자동창고시스템의 평균운행시간을 계산하기 위하여 사용되는 기호는 다음과 같다.

$S_h$  : S/C의 주행방향 운행속도 (m/min.)

$S_v$  : S/C의 승강방향 운행속도 (m/min.)

$L$  : 랙의 총길이 (m)

$H$  : 랙의 총높이 (m)

$t_h = L/S_h$  : S/C의 주행운행시간 (min.)

$t_v = H/S_v$  : S/C의 승강운행시간 (min.)

$T = \text{Max}\{t_h, t_v\}$

$b = \text{Min}\{t_h/T, t_v/T\}$ , 형태 요소(shape factor) $b=1$ 이면, SIT 랙

$R_i$  : Zone - i 이형 랙의 저장공간 구분 위치

$f_i$  : i 번째 구역의 입출고 빈도수

은 Figure 3.과 같다. 승강방향을 2-구역으로 구분하기 위하여  $R$ 까지 한 종류의 랙의 높이와,  $R$ 에서  $H$ 까지 다른 한 종류의 랙의 높이로 이루어져 있다. 각각의 구역에 대하여 평균운행시간 계산은 Table 1.과 같다.

Table 1.에서 보는 바와 같이 주행방향은 동일하나 승강방향은 범위에 따라 확률도 달라지는 것을 알 수 있다. 따라서 각 구역 평균운행시간이 각각 모형화되어 있다.

#### 2) n-구역 구분의 경우

단위 랙의 높이가 다른 경우 2-구역의 평균운행시간 모형을 확장하여 일반화된 n-구역으로 구분하여 각각의 구역에 대한 평균운행시간 모형을 구한다. Figure 4.는 단위 랙의 높이가 다른 경우 n-구역으로 구분된 경우 및 정규화된 그림을 나타낸다.

Table 1. 단위 락의 높이가 다른 경우 2-구역 구분의 평균운행시간 모형

구 분	Zone-1	Zone-2
주행방향으로의 운행시간이 k보다 적을 확률	$Pr(x \leq k) = k \quad 0 < k \leq 1$	$Pr(x \leq k) = k \quad 0 < k \leq 1$
승강방향으로의 운행시간이 k보다 적을 확률	$Pr(y \leq k) = \begin{cases} \frac{k}{r} & 0 < k \leq r \\ 1 & r \leq k \leq 1 \end{cases}$	$Pr(y \leq k) = \begin{cases} \frac{k-r}{b-r} & r < k \leq b \\ 1 & b \leq k \leq 1 \end{cases}$
k보다 적을 누적확률분포	$H(k) = \begin{cases} \frac{k^2}{r} & 0 \leq k \leq r \\ k & r < k \leq 1 \end{cases}$	$H(k) = \begin{cases} \frac{k^2-rk}{b-r} & r \leq k \leq b \\ k & b < k \leq 1 \end{cases}$
확률밀도함수	$h(k) = \begin{cases} \frac{2k}{r} & 0 \leq k \leq r \\ 1 & r < k \leq 1 \end{cases}$	$h(k) = \begin{cases} \frac{2k-r}{b-r} & r \leq k \leq b \\ 1 & b < k \leq 1 \end{cases}$
평균운행시간	$E(SC) = 2 \int_0^1 kh(k)dk$ $= \int_0^r \frac{2k^2}{r} dk + \int_r^1 2kdk$ $= \frac{1}{3}r^2 + 1 = \left[ \frac{1}{3} \right] \left[ \frac{b}{H} \right]^2 R + 1$	$E(SC) = 2 \int_0^1 kh(k)dk$ $= \int_r^b \frac{2k^2-2rk}{b-r} dk + \int_b^1 2kdk$ $= \frac{1}{3}(b^2+br+r^2)+1$ $= \left[ \frac{1}{3} \right] \left[ \frac{b}{H} \right]^2 (R+RH+H)+1$
T		t <sub>b</sub>

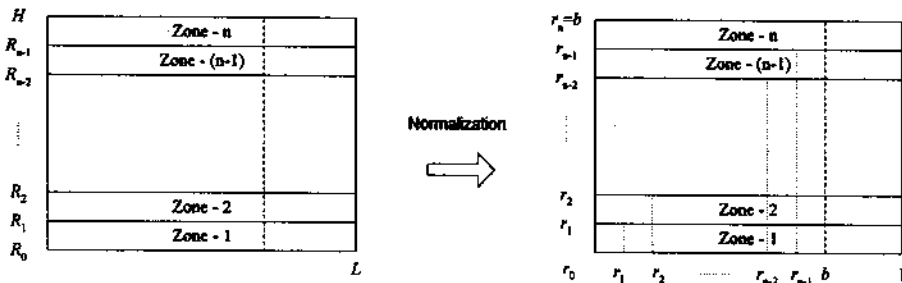


Figure 4. 단위 락의 높이가 다른 경우 n-구역 구분 및 정규화

자동창고시스템에서 실제로 어떤 주문이 들어왔을 때 그 주문을 처리하는 시간을 구하기 위하여 각 구역별로 주어진 빈도수가 있을 것이다. 따라서 각 구역별 빈도수는 정규화된 락에서 각 구역이 차지하는 상대적인

면적과 상호 연관성이 있다. 각 구역별 평균 운행시간과 빈도수를 고려하여 일반화된 모델을 정리하면, Table 2.와 같다.

Table 2.에서 각 구역의 평균운행시간 및 빈도수는 구역에 따라서 규칙적으로 변하는

Table 2. 단위 랙의 높이가 다른 경우 n-구역 구분의 구역별 평균운행시간 모형

구역	평균운행시간모형	T
$E_1(SC)$	$(1/3)(b/H)^2(R_1^2 + R_1R_0 + R_0^2) + 1$	$t_n$
$E_2(SC)$	$(1/3)(b/H)^2(R_2^2 + R_2R_1 + R_1^2) + 1$	
⋮	⋮	
$E_{n-1}(SC)$	$(1/3)(b/H)^2(R_{n-1}^2 + R_{n-1}R_{n-2} + R_{n-2}^2) + 1$	
$E_n(SC)$	$(1/3)(b/H)^2(R_n^2 + R_nR_{n-1} + R_{n-1}^2) + 1$	
Remarks	$R_0 = 0 \quad R_n = H$	

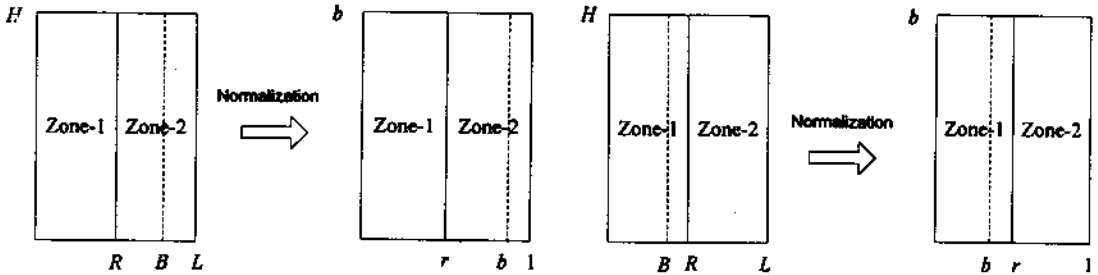


Figure 5. 단위 랙의 길이가 다른 경우 2-구역 구분 및 정규화

것을 알 수 있으며, T는 모든 구역에서 동일한 것을 알 수 있다.

### 3.2 단위 랙의 길이가 다른 경우 평균운행 시간 모형

#### 1) 2-구역 구분의 경우

단위 랙의 길이가 다른 경우 2-구역 구분은 2가지로 나누어진다. 한가지는  $(0 < R \leq B)$ 인 경우이고, 다른 한가지는  $(B < R \leq 1)$ 인 경우이다.

Figure 5.는  $(0 < R \leq B)$ 인 경우와  $(B < R \leq 1)$ 인 경우에 대하여 표현한 그림이다. 두 경우 모두 승강방향은 0에서 H까지 이동이 가능하며, 주행방향은 2-구역으로 구분되어 길이

가 다른 한 종류는 0에서 R까지이고, 다른 한가지는 R에서 L까지 이동이 가능하다. 각각의 구역에 대하여 평균운행시간 계산은 Table 3 및 Table 4.와 같다.

Table 3.에서는 주행방향 및 승강방향의 각 구역에 따라 상대적인 값이 달라지므로, 평균운행시간이 각각 모형화되고, 또한 T도 구역에 따라 달라지는 것을 알 수 있다.

Table 4.에서는 승강방향의 확률은 동일하지만, 주행방향의 확률은 범위에 따라 달라지는 것을 알 수 있으며, 따라서 평균운행시간도 각 구역에 따라 모형화되지만, T는 동일한 것을 알 수 있다.

Table 3. 단위 랙의 길이가 다른 경우 2-구역 구분의 평균운행시간 모형 ( $0 < R \leq B$ )

구 분	Zone-1	Zone-2
주행방향으로의 운행시간이 k보다 적을 확률	$Pr(x \leq k) = \begin{cases} \frac{k}{rb} & 0 < k \leq rb \\ 1 & rb \leq k \leq 1 \end{cases}$	$Pr(x \leq k) = \frac{k-r}{1-r} \quad r < k \leq 1$
승강방향으로의 운행시간이 k보다 적을 확률	$Pr(y \leq k) = k \quad 0 < k \leq 1$	$Pr(y \leq k) = \begin{cases} \frac{k}{b} & 0 < k \leq b \\ 1 & b \leq k \leq 1 \end{cases}$
k보다 적을 누적확률분포	$H(k) = \begin{cases} \frac{k^2}{rb} & 0 \leq k \leq rb \\ k & rb < k \leq 1 \end{cases}$	$H(k) = \begin{cases} \frac{k^2 - rk}{b(1-r)} & r \leq k \leq b \\ \frac{k-r}{1-r} & b < k \leq 1 \end{cases}$
확률밀도함수	$h(k) = \begin{cases} \frac{2k}{rb} & 0 \leq k \leq rb \\ 1 & rb < k \leq 1 \end{cases}$	$h(k) = \begin{cases} \frac{2k-r}{b(1-r)} & r \leq k \leq b \\ \frac{1}{1-r} & b < k \leq 1 \end{cases}$
평균운행시간	$E_1(SC) = 2 \int_{k=0}^1 kh(k)dk$ $= \int_0^{rb} \frac{bAk^2}{rb} dk + \int_{rb}^1 2kdk$ $= \frac{1}{3b^2}r^2 + 1 = \frac{1}{3(bL)^2}R^2 + 1$	$E_2(SC) = 2 \int_{k=0}^1 kh(k)dk$ $= \int_r^b \frac{bAk^2 - 2rk}{(1-r)b} dk + \int_b^1 \frac{2k}{1-r} dk$ $= \frac{1}{3(1-r)b} (b^3 - 3rb^2 + 3b - r^3)$ $= \frac{\left\{ b^3 - 3 \left( \frac{R}{L} \right) b^2 + 3b - \left( \frac{R}{L} \right)^3 \right\}}{3(1 - (R/L))b}$
T	$t_v$	$t_h$

Table 4. 단위 랙의 길이가 다른 경우 2-구역 구분의 평균운행시간 모형 ( $B < R \leq 1$ )

구 분	Zone-1	Zone-2
주행방향으로의 운행시간이 k보다 적을 확률	$Pr(x \leq k) = \frac{k}{r} \quad 0 < k \leq r$	$Pr(x \leq k) = \frac{k-r}{1-r} \quad r < k \leq 1$
승강방향으로의 운행시간이 k보다 적을 확률	$Pr(y \leq k) = \begin{cases} \frac{k}{b} & 0 < k \leq b \\ 1 & b \leq k \leq r \end{cases}$	$Pr(y \leq k) = \begin{cases} \frac{k}{b} & 0 < k \leq b \\ 1 & b \leq k \leq 1 \end{cases}$
k보다 적을 누적확률분포	$H(k) = \begin{cases} \frac{k^2}{rb} & 0 \leq k \leq b \\ \frac{k}{r} & b < k \leq r \end{cases}$	$H(k) = \frac{k-r}{1-r} \quad r < k \leq 1$
확률밀도함수	$h(k) = \begin{cases} \frac{2k}{rb} & 0 \leq k \leq b \\ \frac{1}{r} & b < k \leq r \end{cases}$	$h(k) = \frac{1}{1-r} \quad r < k \leq 1$
평균운행시간	$E_1(SC) = 2 \int_{k=0}^1 kh(k)dk = \int_0^b \frac{bAk^2}{rb} dk + \int_b^r \frac{2k}{r} dk$ $= \frac{1}{3r} (b^3 + 3r^2) = \frac{1}{3(R/L)} \left\{ b^3 + 3 \left( \frac{R}{L} \right)^2 \right\}$	$E_2(SC) = 2 \int_{k=0}^1 kh(k)dk$ $= \int_r^1 \frac{2k}{1-r} dk = 1 + r + \frac{R}{L}$
T	$t_h$	

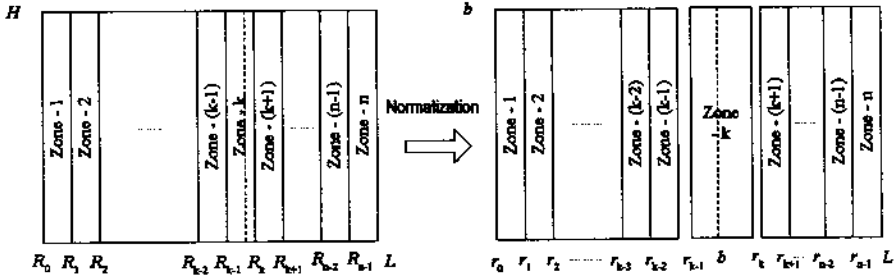


Figure 6. 단위 랙의 길이가 다른 경우 n-구역 구분 및 정규화

Table 5. 단위 랙의 길이가 다른 경우 n-구역 구분의 구역별 평균운행시간 모형

구역	평균주행시간모형	T
$E_1(SC)$	$\{1/3(bL)^2\}(R_0^2 + R_0 R_1 + R_1^2) + 1$	$t_v$
$E_k(SC)$	$\{1/3(bL)^2\}(R_k^2 + R_k R_{k+1} + R_{k+1}^2) + 1$	
$E_{k+1}(SC)$	$\{1/3(bL)^2\}(R_{k+1}^2 + R_{k+1} R_{k+2} + R_{k+2}^2) + 1$	
$E_n(SC)$	$\{1/3(bL)^2\}(R_n^2 + R_n R_{n+1} + R_{n+1}^2) + 1$	
$E_k(SC)$	$\frac{b^3 - 3(R_{k+1}/L)b^2 + 3(R_k/L)^2 b - (R_{k+1}/L)^3}{[3b(R_k - R_{k+1})/L]}$	$t_h$
$E_{k+1}(SC)$	$(R_{k+1} + R_k)/L$	
$E_n(SC)$	$(R_{n+1} + R_n)/L$	
$E_n(SC)$	$(R_n + R_{n+1})/L$	
Remarks	$R_0 = 0$ <span style="float: right;"><math>R_n = L</math></span>	

2) n-구역 구분의 경우

단위 랙의 길이가 다른 경우 2-구역에 대하여 구한 평균운행시간 모델을 확장하여 일반화된 n-구역으로 구분하여 각각의 구역에 대한 평균운행시간 모델을 구한다. Figure 6. 은 단위 랙의 길이가 다른 경우 n-구역으로 구분된 경우 및 정규화된 그림을 나타낸다.

앞에서도 언급하였듯이 자동창고시스템이 실제로 어떤 주문이 들어왔을 때 그 주문을 처리하는 시간을 구하기 위하여 각 구역별로 주어진 빈도수가 있을 것이다. 따라서 각 구

역별 빈도수는 정규화된 랙에서 각 구역이 차지하는 상대적인 면적과 상호 연관성이 또한 있다. 따라서, 각 구역별 평균운행시간과 빈도수를 고려하여 일반화된 모델을 정리하면, Table 5.와 같다.

Table 5.에서 알 수 있듯이 1구역에서 (k-1) 구역까지, k구역 및 (k+1)구역에서 n구역까지로 구분하여 각각 규칙적으로 평균운행시간이 변하는 것을 알 수 있다. 또한 T는 범위에 따라 구분되는 것을 알 수 있다.



4. 수치예제

3장에서 제시한 모델의 검증을 위하여 실제 자동창고시스템의 이산적인 모델과 본 논문에서 제시한 결과와 비교, 분석할 필요가 있다. 구역은 2-구역에서 4-구역까지의 각 구역의 빈도수가 1인 이형 락을 가진 자동창고를 대상으로 하였으며, 평균운행시간을 비교하기 위한 기초데이터가 Table 6.에 있다.

Table 6.의 데이터와 Table 7.의 구역별 level의 구성에 따라  $b=0.5$ ,  $b=0.9$  각 경우에 대하여 단위 락의 높이가 다른 경우 연속모델과 이산모델의 결과와 두 결과의 편차의 백분율(%)이 Table 7.에 있다.

Table 7.의 결과에서 알 수 있듯이, 실험한 모든 결과의 편차 범위는  $b=0.5$ 인 경우에 0.84%에서 2.69% 사이의 근소한 차이가 있고,  $b=0.9$ 인 경우에 0.86%에서 3.23% 사이의 차이가 있는 것으로 나타났다. 따라서,  $b$ 의 값이 증가하면 편차가 증가하는 것으로 나타났다으며, 구역의 수가 증가할수록 입출고지점으로 부터 멀리 있는 구역의 편차가 큰 것으로 나타났다.

Table 8.은 단위 락의 길이가 다른 경우 연속모델과 이산모델의 결과와 두 결과의 편차의 백분율(%)을 나타낸 것이다.

Table 8.의 결과는 단위 락의 높이가 다른 경우와는 달리 구역의 수에 따라 경우의 수

Table 6. 기초 데이터

$b$	0.5	0.9
창고 높이 ( $H$ )	15 m	27 m
창고 길이 ( $L$ )	120 m	
단위 락 크기	높이가 다른 경우 : 폭 : 1.0m 길이 : 1.0m 높이 : 0.5m, 1.5m, 2.0m 길이가 다른 경우 : 폭 : 1.0m 높이 : 1.0m 길이 : 1m, 1.5m, 2.0m, 2.5m	
S/C capacity	$S_h$ ; 120 m/min.	$S_v$ ; 30m/min.

Table 7. 단위 락의 높이가 다른 경우 평균운행시간의 비교

$b$	Zone	Height (m)	Level 구성	Cont. Times	Disc. Times	% Dev.	$b$	Zone	Height (m)	Level 구성	Cont. Times	Disc. Times	% Dev.		
0.5	2	2	15	1.5m×6	1.13	1.15	2.01	0.9	2	2	27	1.5m×10	1.44	1.48	2.41
		1	6	1m×6	1.01	1.02	1.06			1	12	1m×12	1.05	1.07	1.25
	3	3	15	1.5m×5	1.15	1.17	2.07		3	3	27	2m×6	1.50	1.55	3.20
		2	7.5	1m×5	1.03	1.04	1.20			2	15	1.5m×6	1.13	1.15	2.01
		1	2.5	0.5m×5	1.00	1.01	0.86			1	6	1m×6	1.01	1.02	1.06
	4	4	15	2m×3	1.16	1.20	2.69		4	4	27	2m×5	1.55	1.60	3.23
		3	9	1.5m×3	1.05	1.07	1.68			3	17	1.5m×6	1.18	1.21	2.15
		2	4.5	1m×3	1.01	1.02	1.06			2	8	1m×5	1.04	1.05	1.41
		1	1.5	0.5m×3	1.00	1.01	0.84			1	3	0.5m×6	1.00	1.01	0.86

Table 8. 단위 랙의 길이가 다른 경우 평균운행시간의 비교

b	Case	Zone	Length (m)	Bay 구성	Cont. Model	Disc. Model	% Dev.	b	Case	Zone	Length (m)	Bay 구성	Cont. Model	Disc. Model	% Dev.
70	1m×70	0.73	0.75	2.57	110	1m×110	1.21	1.23	1.68						
2	2	120	2m×35	1.42	1.43	1.17	2	2	120	2m×55	1.30	1.33	1.76		
		50	1m×50	0.62	0.64	3.60			10	1m×10	0.90	0.93	3.45		
1	3	120	2m×10	1.83	1.85	0.90	1	3	120	2m×2	1.97	1.98	0.84		
		100	1.5m×20	1.42	1.43	0.87			116	1.5m×4	1.88	1.90	0.66		
		70	1m×70	0.73	0.75	2.57			110	1m×110	1.21	1.23	1.68		
2	3	120	2m×20	1.67	1.68	0.99	2	3	120	2m×5	1.92	1.93	0.86		
		80	1.5m×20	1.08	1.10	1.19			110	1.5m×70	1.23	1.25	1.78		
		50	1m×50	0.62	0.64	3.60			5	1m×5	0.90	0.93	3.52		
3	3	120	2m×35	1.42	1.43	1.17	3	3	120	2m×10	1.83	1.85	0.95		
		50	1.5m×20	0.68	0.70	3.02			100	1.5m×60	1.19	1.21	1.87		
		20	1m×20	0.52	0.55	5.34			10	1m×10	0.90	0.93	3.45		
1	4	120	2.5m×6	1.88	1.90	1.10	1	4	120	2.5m×2	1.96	1.98	1.05		
		105	2m×13	1.53	1.55	1.08			115	2m×1	1.90	1.92	0.87		
		79	1.5m×30	1.24	1.25	1.00			113	1.5m×2	1.86	1.87	0.67		
		70	1m×70	0.73	0.75	2.57			110	1m×110	1.21	1.23	1.68		
2	4	120	2.5m×8	1.83	1.85	1.12	2	4	120	2.5m×2	1.96	1.98	1.05		
		100	2m×15	1.42	1.43	1.16			115	2m×2	1.88	1.90	0.88		
		70	1.5m×30	0.84	0.85	2.02			111	1.5m×60	1.29	1.31	1.57		
		25	1m×25	0.53	0.56	5.07			21	1m×21	0.91	0.94	3.29		
3	4	120	2.5m×20	1.58	1.60	1.30	3	4	120	2.5m×4	1.92	1.94	1.08		
		70	2m×10	1.00	1.02	1.69			110	2m×25	1.47	1.49	1.35		
		50	1.5m×20	0.68	0.70	3.02			60	1.5m×20	1.06	1.09	2.27		
		20	1m×20	0.52	0.55	5.34			30	1m×30	0.92	0.95	3.14		
4	4	120	2.5m×30	1.38	1.40	1.51	4	4	120	2.5m×12	1.76	1.78	1.20		
		45	2m×10	0.67	0.70	3.37			90	2m×20	1.29	1.31	1.71		
		25	1.5m×10	0.55	0.57	4.76			50	1.5m×20	1.00	1.03	2.59		
		10	1m×10	0.50	0.54	5.85			20	1m×20	0.91	0.94	3.30		

도 같이 증가하는 것을 알 수 있으며, 실험한 모든 결과의 편차 범위는  $b=0.5$ 인 경우에 0.87%에서 5.85%로 편차가 조금 있는 것으로

나타났고,  $b=0.9$ 인 경우에 0.66%에서 3.52%의 근소한 차이가 있는 것으로 나타났다. 따라서, 단위 랙의 높이가 다른 경우와는 다르

계  $b$ 의 값이 증가할수록 편차가 감소하는 것으로 나타났고, 구역의 수가 증가할수록 입출고지점으로부터 멀리 있는 구역의 편차가 큰 것은 단위 락의 높이가 다른 경우와 유사하다.

## 5. 결론

기존의 자동창고 개념을 탈피하여 하나의 자동창고시스템에 여러 종류의 다른 단위 락을 저장할 경우 구조적인 문제를 감안하여 설계하였을 경우 각 구역별로 평균운행시간 모델에 대하여 연구를 수행하였다.  $n$ -구역에 대하여 단일명령의 경우 평균운행시간을 도출하고, 빈도수를 고려하여, 총 평균운행시간을 산출하였다. 또한 각각의 구역에 대하여 이산적인 모델과 비교, 분석하였다.

이형 락을 가진 자동창고는 기존의 등급별 저장법을 적용하지 못하므로, 추후에 이형 락을 가진 자동창고의 최적설계에 필수적인 제약조건으로 필요한 사항이다.

추후 연구과제로는 이형 락을 가진 자동창고의 비교, 분석시 다양한 데이터를 이용하여 계산이 필요하며, 특히 지금까지는 락간 이동이 없었으나 앞으로는 큰 저장공간에 작은 락이 저장되는 가정을 도입하여 평균운행시간의 모형 개발이 요구되며, 마지막으로 이중명령에 대하여도 분명히 필요하다고 사료된다.

## 참고 문헌

- [1] Bozer, Y. A., and J. A. White, "Travel-Time Models for Automated Storage/Retrieval Systems," *IIE Transactions*, Vol.16, No.4, pp.329-338, 1984
- [2] Eynan, A., and M. J. Rosenblatt, "Establishing Zones in Single-Command Class-Based Rectangular AS/RS," *IIE Transactions*, Vol.26, No.1, pp.38-46, 1994
- [3] Foley, R. D., and E. H. Frazelle, "Analytical Results for Miniloan Throughput and the Distribution of Dual Command Travel Time," *IIE Transactions*, Vol.23, No.3, pp.273-281, 1991
- [4] Graves, S. C., W. H. Hausman, and L. B. Schwarz, "Storage-Retrieval Interleaving in Automatic Warehousing Systems," *Management Science*, Vol.23, No.9, pp.935-945, 1977
- [5] Han, M. H., L. F. McGinnis, J. S. Shieh, and J. A. White, "On Sequencing Retrievals in an Automated Storage/Retrieval System," *IIE Transactions*, Vol.19, No.1, pp.56-66, 1987
- [6] Hausman, W. H., L. B. Schwarz, and S. C. Graves, "Optimal Storage Assignment in Automatic Warehousing Systems," *Management Science*, Vol.22, No.6, pp.629-638, 1976
- [7] Hwang, H., and C. S. Ko, "A Study of Multi-Aisle System served by a Single Storage/Retrieval Machine," *International Journal of Production Research*, Vol.26, No.11, pp.1727-1737, 1988
- [8] Hwang, H., and S. B. Lee, "Travel-time Models Considering the Operating Characteristics of the Storage and Retrieval

- Machine”, *International Journal of Production Research.*, Vol.28, No.10, pp1779-1789, 1990
- [9] Pan, C.-H., and C.-H. Wang, “A Framework for the Dual Command Cycle Travel Time Model in Automated Warehousing Systems,” *International Journal of Production Research.*, Vol.34, No.8, pp.2099-2117, 1996
- [10] Park, Y. H., and D. B. Webster, “Design of Class-Based Storage racks for Minimizing Travel Time in a Three-Dimensional Storage System,” *International Journal of Production Research.*, Vol.27, No.9, pp. 1589-1601, 1989
- [11] Rosenblatt, M. J., and A. Eynan, “Deriving the Optimal Boundaries for Class-Based Automatic Storage/Retrieval Systems,” *Management Science.*, Vol.35, No. 12, pp.1519-1524, 1989
- 

97년 2월 최초 접수, 97년 4월 최종 수정