Journal of the Korean Institute
of Industrial Engineers
Vol.22, No.2, June, 1996

등급별 저장방식 자동창고에서의 평균 이동시간과 등급할당

Expected Travel Time and Class Layout for Class-based Automated Storage/Retrieval Systems

임 상 규*

Sanggyu Lim*

Abstract

We study n-class-based storage policy for an automated storage/ retrieval system (AS/RS) and derive the closed form expressions of expected travel times under single command cycle. In order to confirm the correctness of the derivations, we consider both discrete and continuous storage racks, and show that the expressions for expected travel times of discrete rack converge to those of continuous one.

We also derive the expected travel times when the coordinate locations for storages or retrievals are triangularly distributed and we try to solve class layout problem using the obtained results. Numerical examples are given in case of 3-class-based storage policy.

1. 서론

최근 자동저장시스템 혹은 자동창고(Automated Storage/Retrieval Systems - AS/RS)는 저장의 효율을 높이는 측면 뿐만 아니라 공장자동화의 필수 구성요소로서 그 중요성이 더욱 커지고 있다. 자동창고는 재래식 창고에 비해 제작, 설치 비용이 훨씬 더 고가이기 때문에 그 설계나 운영이 경제적으로 충분히 정당화 될 수 있는 효율적인 것이 되어야만 한다.

자동창고의 크기나 외관적 모양을 설계함에 있어서는 우선 저장이 요구되는 품목들의 총괄적 재고수준의 파악이 필요하며 이를 근거로 하여 전체적인 저장공간의 소요가 추정되어야 한다. 또한 단위화물(unit load)로 저

* 경상대학교 공과대학 산업공학과

장되는 자동창고에서는 단위화물(unit load)의 크기를 어떻게 할 것인지가 결정되어야 하고 이에따른 팰럿크기(pallet size)가 결정되면 전체적인 저장공간의 필요개소가 추정될 수 있다. 그리고 총 저장공간의 개소가 결정되면 이를 외관적인 모양으로 실현시켜야 한다.

이러한 외관적인 모양 설계를 함에 있어서 주요한 점은 저장 aisle의 수와 이에 따른 storage/retrieval(S/R) machine의 수, transfer car의 이용여부, 각 aisle의 높이와 길이 등 전체적인 자동창고의 크기(dimension)를 결정하는 것이다. 또한 S/R machine의 속도와 요구되는 제어수준(control level)이 동시에 고려되어야 하고 입출고점(I/O point)들의 수와 위치가 함께 결정되어야 한다.

자동창고의 운영에 있어서의 주요문제는 배치설계(layout design)에 관한 것이다. 배치설계를 함에 있어서의 2개의 고려 변수(parameter)는 저장되는 품목들에 대한 공간소요(space capacity)와 단위시간당 요구되는 저장/회수의 수(throughput capacity)인데 어떻게 하면 요구되는 공간소요를 만족시키면서 요구되는 단위시간당 저장/회수의 수(throughput)를 달성해 낼수 있느냐 하는 것이다. 여기에서 하나 간과해서는 안될 점은 자동창고의 효율적 설계는 효율적 운영과 서로 밀접히 관련되어 있고 서로 직접적인 영향을 미친다는 것이다. 따라서 자동창고를 도입함에 있어서는 그 외관 설계를 하면서 운영의 문제를 함께 고려함이 꼭 필요하다.

자동창고의 운영에 있어서 중요하게 고려되어야 하는 점은 어떤 저장방식을 택할 것이냐 하는 것이다. 일반적으로 적용되고 있는 저장방식들에는 임의 저장법(Randomized Storage), Closest Open Location(COL) 저장법, 할당 저장법(Dedicated Storage), 등급별 저장법(Class-based Storage)이 있다.

임의 저장법은 이용방법상의 편리 뿐만 아니라 공간적인 이점(space benefit) 이 있기 때문에 throughput의 불리한 점에도 불구하고 폭넓게 이용되고 있는 방식이며 COL 저장법은 저장공간의 활용도가 충분히 큰 경우에는 임의 저장법과 거의 동일한 저장상의 작용형태(behavior)를 갖는 것으로 알려져 있다.

할당 저장법은 저장공간소요가 많아지는 불리한 점이 있지만 저장되는 품목들 사이에 회전율 차이가 현저히 존재할 때에는 throughput을 올리는 면에서는 상당한 이점이 있다. 할당 저장법에서 저장공간 개소마다 품목들을 할당하는 방법은 주로 회전율(turnover rate)을 근거로 하는데 입출고(transaction)가 빈번한 고 회전율 품목(fast mover)들일수록 입출고점 가까운 곳에 저장되게 함으로써 저장상의 우선 순위를 부여하게 된다.

등급별 저장법은 임의 저장법의 공간적인 이점과 할당저장법의 throughput 이점을 동시에 실현시킬 수 있는 절충적인 방법으로서 앞으로 가장 많이 적용될수 있는 저장방법으로 판단된다. 또한 할당저장법은 등급별 저장법의 하나의 특수한 경우이다. 즉 등급별 저장법에서 등급의 수를 저장되는 품목의 종류 수와 같게 하면 이 저장법은 할당저장법과 완전히 일치하게 된다.

자동창고의 설계와 운영에 관한 가장 기본적이고 중요한 연구는 Hausman et al.[4]에 의해 행해졌다. 그들은 AS/RS 의 S/R machine

이동시간에 대한 분석적 연구를 수행하였는데, 다양한 범위의 재고 분포에 대해 할당저장법이 임의 저장법에 비해 26~71% 까지 이동시간이 단축되고 2등급과 3등급별 저장법은 임의 저장법에 비해 18~53% 까지 이동시간이 단축됨을 보였다.

Graves et al.[3]은 그들의 연구를 저장과 회수의 순서(sequencing)를 고려하는 dual command(입출고점에서 품목을 하나 가져가서 어떤 저장개소에 저장하고 다른 저장개소에 저장되어 있는 품목하나를 입출고점까지 끄집어 내어 오는 이동)의 경우로 확장 적용하였다.

Schwarz et al.[7]은 Hausman et al.[4]과 Graves et al.[3]의 연구결과를 Computer Simulation을 이용하여 다양한 비교분석을 하였다.

Bozer와 White[1]는 single command(입출고점에서 품목하나를 가져가 저장개소에 저장하고 빈손으로 입출고점으로 돌아오거나, 입출고점에서 empty hand로 저장개소로 가서 저장되어 있는 품목하나를 끄집어 내어 입출고점으로 가져오는 이동)를 가정한 다음 통계적인 접근방법으로 평균적인 이동거리들을 구하였으며 이를 입출고점의 수와 위치를 변화시켜가며 확대 적용하였다.

Foley와 Frazelle[2]은 Mini Load AS/RS의 운영에 있어서, dual command하에서의 throughput값을 저장 랙(rack)의 크기, S/R machine의 속도, Picker의 속도로 표현되는 함수값으로 구하였다.

Hodgson과 Lowe[5]는 생산로트의 크기와 이에따른 저장공간의 결정문제를 다루었는데 그들은 준비교체, 재고유지, 창고 물자취급비용등 총비용을 최소화하는 것을 목적으로 하는 최적화문제를 연구하였다.

Rosenblatt et al.[6]은 AS/RS의 설계 및 운영에 관련되는 총비용을 최소화하는 문제를 다루었다. 그들은 주어진 저장능력(storage capacity)소요와 throughput 소요, 저장랙(rack)과 팰럿크기의 주어진 범위하에서, 총비용을 최소화할수 있는 최적 설계모형을 aisle의 수 및 S/R machine의 수, 저장랙과 팰럿의 크기로 표현되는 비선형 계획문제를 풀었다.

본 연구에서는 먼저 각각의 저장개소와 입출고점사이의 입/출고 횟수의 빈도가 삼각분포(triangular distribution)를 따를때의 평균적인 이동시간을 구한다. 그리고 등급수가 n개인 n등급별 저장법(n-class-based storage)일 때 입출고점에서 각 등급구역까지의 평균적인 이동시간들을 이산적인 저장랙과 연속적인 저장랙 각각에 대해 구하고 또한 이산적인 저장랙의 경우가 연속적인 저장랙의 경우로 수렴됨을 보여줌으로써, Hausman et al.[4]이 도출한 연속적인 저장랙에서의 2등급별 저장법일 경우의 평균적인 이동시간을 일반적인 n등급별 저장법의 경우로 일반화한다. 또한 삼각분포를 따르는 각 등급별 throughput비를 함께 고려하여 저장랙 전체구역에 대한 평균적인 이동시간을 도출하고, 3등급별 저장법의 최적 등급할당을 수치적인 예와함께 보여준다.

본 연구에서는 single command, 하나의 입출고점, 각 저장공간개소마다 하나의 품목(혹은 단위하물)이 저장되는 것을 가정하고, 2장에서는 Square-in-Time (SIT)랙(입출고점에서 랙의 수평방향과 수직방향끝까지 S/R machine이 도달하는데 걸리는 시간이 동일한

랙)이 아닌 일반적인 저장랙을 가정하고 3장 이후부터는 SIT랙을 가정한다.

2. 평균 이동시간

AS/RS의 S/R machine은 Tchebychev 이동을 하는데, 이는 어떤 특정 저장개소까지 찾아가는데 있어서 S/R machine이 수평방향과 수직방향으로 동시에 이동해 나가는 것을 의미한다. 따라서 어떤 저장 위치까지 S/R machine이 찾아가는데 걸리는 시간은 수평방향 이동시간과 수직방향 이동시간중 최대값이된다.

그리고 저장랙을 직사각형의 평면이라 생각하고 S/R machine이 수평방향으로 랙의 처음부터 끝까지 이동하는데 걸리는 시간과 수직방향으로 처음부터 끝까지 이동하는데 걸리는 시간중에서 큰 값을 1로 잡고 작은 값을 b(여기에서 $0<b<1$)로 잡으면 저장랙은 시간(거리)이 $1\times b$인 직사각형으로 정규화(normalize)될수있다. 또한 $b=1$이면 시간적으로 정사각형(SIT)인 랙이 됨을 알 수 있다. 또한 평균이동시간을 계산함에 있어서 pickup/deposit time은 무시하고 이동시간만 고려한다. 이제 X축, Y축 상에서의 storage/retrieval location의 분포가 각각 uniform과 uniform분포를 따를 때(uniform-uniform분포) 및 triangular와 triangular분포를 따를 때(triangular-triangular분포)를 고려한다.

2.1 Uniform-uniform 분포

$1\times b$의 연속적인 정규화된 랙(normalized rack)에서, 단 하나의 입출고점의(시간상의) 좌표가 (0,0)이라고 하자. 만약 저장(혹은 회수)되는 위치가 좌표(x,y)라면 (0,0)에서 (x, y)까지의 이동시간 t_{xy}는 S/R machine의 Tchebychev이동에 의해

$$t_{xy} = Max\,(t_x, t_y)$$

여기에서 t_x, t_y 는 각각 X축상으로 x위치, Y축상으로 y위치까지 S/R machine이 이동하는데 걸리는 시간이다.

그리고 x위치와 y위치까지의 이동시간이 각각 uniform분포를 따른다면

$$f\,(t_x) = 1,\quad 0 \le t_x \le 1$$

$$f\,(t_y) = \frac{1}{b},\quad 0 \le t_y \le b$$

여기에서 t_x와 t_y는 독립이므로

$$H\,(z) = \Pr\{t_{xy} \leqq z\}$$

$= \Pr\{t_x \le z\}\,\Pr\{t_y \le z\}$이고 $h(z)$를 $H(z)$의 확률밀도함수라고 하면, Bozer와 White [1]에 의해, single command하에서 uniform-uniform분포일 경우의 평균 이동시간

$$E_{UU}\,(SC) = 2\int_0^1 z\,h(z)\,dz = \frac{1}{3}b^2 + 1 \quad (1)$$

2.2 Triangular-triangular 분포

다음과 같이 X축상으로 x위치, Y축상으로 y위치까지의 이동시간이 각각 삼각분포(triangular distribution)를 따른다고 하자.

$$f(t_x) = 2\,(1-x),\quad 0 \le t_x \le 1$$

$$f(t_y) = \frac{2}{b^2}\,(b-y),\quad 0 \le t_y \le b$$

여기에서 각각의 분포는 그래프상으로 삼각형의 모양을 갖기 때문에 삼각분포라고 정의한다.

그러면

$$\Pr t_x \le z = \int_0^z 2(1-x)\,dx$$
$$= 2z - z^2,\ 0 \le z \le 1$$

$$\Pr t_y \le z = \int_0^z \frac{2}{b^2}(b-y)\,dy$$

$$= \begin{cases} \frac{2z}{b} - \frac{z^2}{b^2}, & 0 \le z \le b \\ 1, & b \le z \le 1 \end{cases}$$

그러므로

$$H(z) = \Pr\{t_{xy} \le z\}$$

$$= \Pr\{t_x \le z\}\Pr\{t_y \le z\}$$
$$= \begin{cases} \frac{2}{b^2}\left\{\frac{1}{2}z^4 - (b+1)z^3 + 2bz^2\right\}, & 0 \le z \langle b \\ 2z - z^2, & b \le z \le 1 \end{cases}$$

확률밀도함수

$$h(z) = \begin{cases} \frac{2}{b^2}\{2z^3 - 3(b+1)z^2 + 4bz\}, & 0 \le z \langle b \\ 2 - 2z, & b \le z \le 1 \end{cases}$$

따라서 single command하에서 triangular-triangular분포일 경우의 평균 이동시간

$$E_{TT}(SC) = 2\int_0^1 z\,h(z)\,dz$$

$$= 2\int_0^b \left\{\frac{2}{b^2}(2z^4 - 3(b+1)z^3 + 4bz^2\right\}dz$$

$$+ 2\int_b^1 (2z - 2z^2)\,dz$$

$$= \frac{10 + 5b^2 - b^3}{15} \qquad (2)$$

이 경우는 x축 방향과 y축 방향으로 가까워지면 질수록 그 함수값이 커지고, 실제 저장랙에서는 수평, 수직 방향으로 입출고점에 가까운 저장공간개소일수록 입/출고 빈도가 많아지는 것을 나타낸다.

만약 SIT 랙, 즉 $b=1$ 이면

$$E_{UU}(SC) = \frac{1}{3} \times 1^2 + 1 = \frac{4}{3}$$

$$E_{TT}(SC) = \frac{10 + 5 \times 1^2 - 1^3}{15} = \frac{14}{15}$$

그래서 $E_{TT}(SC)$값은 $E_{UU}(SC)$값에 비해 30% 감소함을 알수 있다.

2.3 삼각분포와 등급별 저장법

AS/RS에 저장되는 여러종류의 제품들에 대한 등급할당을 하는 방법은 각 제품종류별로 제품공간개소당 회전율(한 제품종류의 평균적인 저장시간의 역수)을 계산하여, 회전율값이 큰 제품종류일수록 입출고점에서 (시간적으로) 가까운 등급구역에 저장하게 된다. 따라서 각 등급구역별로 단위시간당 발생하는 입/출고 횟수의 빈도는 삼각분포와 유사한 형태를 갖게된다.

3. 등급별 할당저장

먼저 일반적인 n등급별 저장법에서 각 등급까지의 평균 이동시간들을 가상의 이산적인 저장랙에 대해 구하고 이산적인 경우에서 저장개소의 수가 충분히 많으면 연속적인 경우로 수렴됨을 보임으로써 평균 이동시간들의 도출결과가 옳다는 것을 확인한다.

다음과 같은 가상의 이산적인 SIT랙을 생각하자. 하나의 I/O point(입출고점)가 저장

랙의 왼쪽아래 끝에 있고 저장공간개소의 총수는 $m_n \times m_n$이며, 분석의 편의상 입출고점에서 저장공간까지의 이동시간은 수평방향이든 수직방향이든 한 저장공간개소 이동마다 1의 시간이 소요되는(저장랙의 크기를 재조정한) 가상의 SIT랙을 고려하자. 이를 각 저장공간개소마다 입출고점에서의 이동시간을 표시하여 도시해 보면 그림 1과 같다.

m_n	m_n	m_n	m_n	m_n	m_n	m_n	m_n	m_n	m_n	m_n	·	·	·	m_n
	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·
	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·
	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·
m_i	m_i	m_i	m_i	m_i	m_i	m_i	m_i	m_i	·	m_i	·	·	·	m_n
	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	m_n
m_2	m_2	m_2	m_2	m_2	m_2	·	·	m_2	·	m_i	·	·	·	m_n
	·	·	·	·	·	·	·	·	·	m_i	·	·	·	m_n
	·	·	·	·	·	·	·	·	·	m_i	·	·	·	m_n
m_1	m_1	m_1	m_1	m_1	m_1	·	·	m_2	·	m_i	·	·	·	m_n
	·	·	·	·	·	·	·	m_2	·	m_i	·	·	·	m_n
	3	3	3	·	m_1	·	·	m_2	·	m_i	·	·	·	m_n
	2	2	3	·	m_1	·	·	m_2	·	m_i	·	·	·	m_n
	1	2	3	·	m_1	·	·	m_2	·	m_i	·	·	·	m_n
I/O														

그림 1. 이산적 SIT랙과 이동거리(시간)

그리고 저장랙을 다음과 같은 n개의 등급으로 구분하여 등급별 저장법을 적용한다고 하자. 첫번째 등급은 $m_1 \times m_1$ 구역내의 저장공간들, 두번째 등급은 $m_2 \times m_2$ 구역내의 저장공간들에서 첫번째 등급구역을 제외한 저장공간들, · · ·, n번째 등급은 $m_n \times m_n$ 구역(전체저장공간)에서 (n-1) 번째 등급구역을 제외한 저장공간들을 포함한다. (이때 $m_{i-1} < m_i$, $i = 2, 3, \cdots, n$).

그러면 입출고점에서 i 번째 등급구역내로의 한 방향(one way) 평균 이동시간 $E_i(TD)$는,

$$E_1(TD) = \frac{\sum_{j=1}^{m_1} j(2j-1)}{\sum_{j=1}^{m_1} (2j-1)}$$

$$= \frac{(m_1+1)(4m_1-1)}{6m_1}$$

$$E_i(TD) = \frac{\sum_{j=m_{i-1}+1}^{m_i} j(2j-1)}{\sum_{j=m_{i-1}+1}^{m_i} (2j-1)}$$

$$= \frac{m_i(m_i+1)(4m_i-1)}{6(m_i^2 - m_{i-1}^2)}$$

$$- \frac{m_{i-1}(m_{i-1}+1)(4m_{i-1}-1)}{6(m_i^2 - m_{i-1}^2)} \quad (3)$$

$i = 2, 3, \cdots, n$

만약 $m_n \times m_n$랙을 1×1랙으로 정규화(normalize)하면,

$$\frac{E_1(TD)}{m_n} = \frac{1}{m_n} \cdot \frac{(m_1+1)(4m_1-1)}{6m_1}$$

$$\fallingdotseq \frac{2}{3}\frac{m_1}{m_n},$$

(충분히 큰 m_n 에 대해)

$$E_i(TD) = \frac{1}{m_n} \cdot \frac{m_i(m_i+1)(4m_i-1)}{6(m_i^2 - m_{i-1}^2)}$$

$$- \frac{1}{m_n} \cdot \frac{m_{i-1}(m_{i-1}+1)(4m_{i-1}-1)}{6(m_i^2 - m_{i-1}^2)}$$

$$\fallingdotseq \frac{2}{3} \cdot \frac{m_i^3 - m_{i-1}^3}{m_n(m_i^2 - m_{i-1}^2)}, \; i = 2, \cdots, n \quad (4)$$

(충분히 큰 m_n 에 대해)

이제 n개의 등급을 갖고 등급별 저장법이 적용되는 저장랙을 1×1의 연속적인 정규화된 랙(normalized rack)으로 도시하면 그림 2와 같다.

그런데 정규화된 저장랙에서 이동시간분포의 j번째 percentile에 있는 저장위치와 $\sqrt{j} \times \sqrt{j}$ 정사각형의 시간상의 등거리 경계직선(contour line)을 생각하면, 입출고점에서 이 contour line까지의 이동시간은 $\sqrt{j}$가 되고 전체 저장위치들의 j%는 j번째 percentile 저장위치보다도 (시간적으로) 입출고점에서 가까운 곳에 위치한다.

따라서

$$E_1(TD) = \frac{1}{\alpha_1^2}\int_0^{\alpha_1^2} \sqrt{u}\,du$$

$$= \frac{2}{3}\alpha_1,$$

$$E_i(TD) = \frac{1}{\alpha_i^2 - \alpha_{i-1}^2}\int_{\alpha_{i-1}^2}^{\alpha_i^2} \sqrt{u}\,du$$

$$= \frac{2}{3}\frac{\alpha_i^3 - \alpha_{i-1}^3}{\alpha_i^2 - \alpha_{i-1}^2} \quad (5)$$

$i = 2, 3, \cdots, n$

(이때에도 $\alpha_{i-1} < \alpha_i$, $i = 2, \cdots, n$).

그리고 이산적인 저장랙의 경우와 연속적인 저장랙의 경우를 비교하여 보면,

이산적인 경우에서

$\frac{m_i}{m_n} = \alpha_i$ 라 두면

충분히 큰 m_n에 대하여 식 (4)는 식 (5)와 일치하게 된다.

이제 다시 single command일때의 평균 이동시간을 구해보자.

w_i를 다음과 같이 정의한다.

w_i = 일정기간동안의 전체 transaction(저장/회수)수에 대한 등급 i내에서 일어나는 transaction수의 비율.

여기에서 $\sum_{i=1}^{n} w_i = 1$.

그러면

$$E(SC) = 2 \times \sum_{i=1}^{n} w_i E_i(TD)$$

$$= \frac{4}{3}\sum_{i=1}^{n} \frac{w_i(\alpha_i^3 - \alpha_{i-1}^3)}{\alpha_i^2 - \alpha_{i-1}^2}$$

$$= \frac{4}{3}\sum_{i=1}^{n} \frac{w_i(\alpha_i^2 + \alpha_i\alpha_{i-1} + \alpha_{i-1}^2)}{\alpha_i + \alpha_{i-1}}, \quad (6)$$

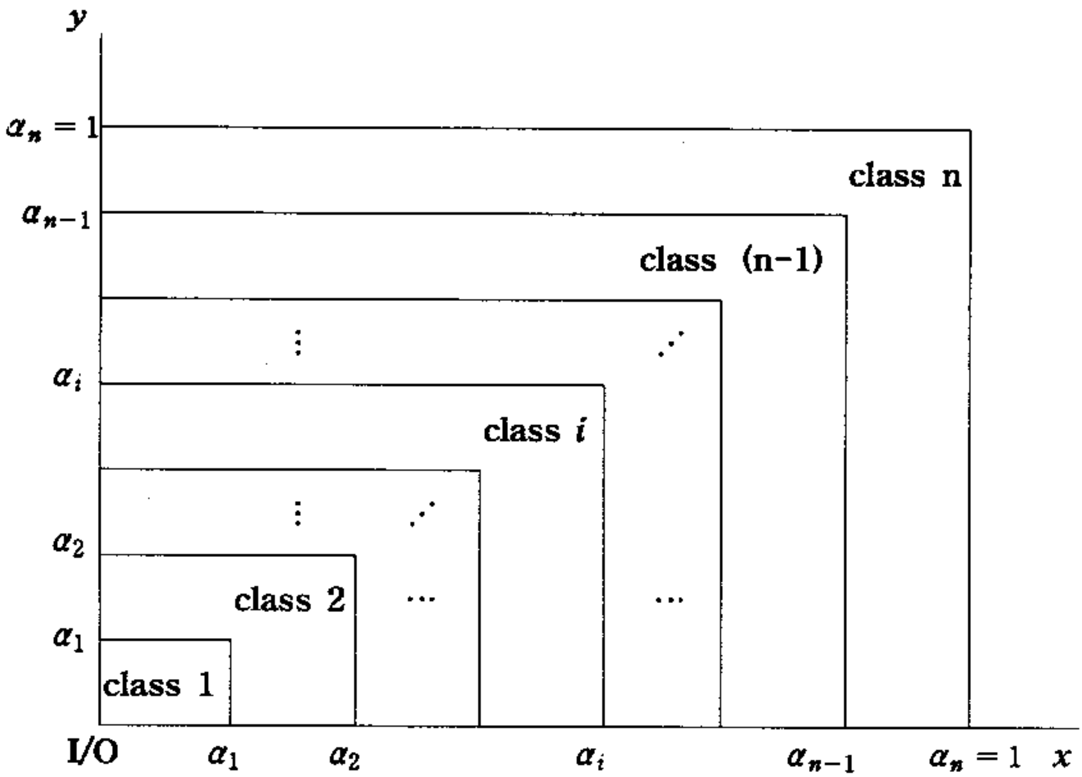

그림 2. 연속적인 정규화된 저장랙과 n등급별 저장법

여기에서 $\alpha_0 = 0$, $\alpha_n = 1$.

그리고 앞에서 분석한 삼각-삼각분포에 의해 w_i값이 주어지면, 이는 제품종류들의 throughput과 저장공간들의 크기가 함께 고려되기 때문에 w_i값을 주는 하나의 근사적 방법이 될수있다.

다시 1×1의 연속적인 정규화된 SIT랙을 생각하면,

Pr{x 축상의 class i 내에서의 transaction}

= Pr{y 축상의 class i 내에서의 transaction}

$$= \int_{\alpha_{i-1}}^{\alpha_i} 2\,(1 - u)\,du$$

$$= (\alpha_i - \alpha_{i-1})\,(2 - \alpha_i - \alpha_{i-1})$$

여기에서 $i = 1, \cdots, n$, $\alpha_0 = 0$, $\alpha_n = 1$.

만약 n=3, 즉 3등급별 저장법의 경우를 생각해 보면,

$$w_1 = \Pr\{\,0 < x \le \alpha_1,\ 0 < y \le \alpha_1\}$$
$$= \alpha_1^2\,(2 - \alpha_1)^2,$$
$$w_2 = \Pr\{\,0 < x \le \alpha_1,\ \alpha_1 < y \le \alpha_2\}$$
$$+ \Pr\{\,\alpha_1 < x \le \alpha_2,\ 0 < y \le \alpha_2\}$$
$$= (\alpha_2 - \alpha_1)\,(2 - \alpha_2 - \alpha_1)$$
$$\times\{2\alpha_1(2 - \alpha_1) + (\alpha_2 - \alpha_1)\,(2 - \alpha_2 - \alpha_1)\}$$
$$= (\alpha_2 - \alpha_1)\,(2 - \alpha_2 - \alpha_1)$$
$$(2\alpha_1 + 2\alpha_2 - \alpha_1^2 - \alpha_2^2),$$
$$w_3 = \Pr\{\,0 < x \le \alpha_2,\ \ \alpha_2 < y \le 1\}$$
$$+ \Pr\{\,\alpha_2 < x \le 1,\ \ 0 < y \le 1\}$$
$$= (1 - \alpha_2)^2\{\alpha_1(2 - \alpha_1) + (\alpha_2 - \alpha_1)$$

$$(2-\alpha_2-\alpha_1)+(1-\alpha_2)^2+(\alpha_2-\alpha_1)$$
$$(2-\alpha_2-\alpha_1)+\alpha_1(2-\alpha_1)\}$$
$$= (1-\alpha_2)^2(1+2\alpha_2-\alpha_2^2)\ .$$

그러므로 하나의 예로서 3등급별 저장법일 경우의 single command하에서의 평균 이동시간

$$E(SC) = 2\sum_{i=1}^{3} w_i\, E_i(TD)$$

$$= \frac{4}{3}\alpha_1^3(2-\alpha_1)^2$$

$$+ \frac{4}{3}\cdot\frac{(\alpha_2-\alpha_1)(2-\alpha_2-\alpha_1)}{\alpha_2+\alpha_1}$$

$$\times\ (2\alpha_1+2\alpha_2-\alpha_1^2-\alpha_2^2)(\alpha_2^2+\alpha_1\alpha_2+\alpha_1^2)$$

$$+ \frac{4}{3}\cdot\frac{(1-\alpha_2)^2(1+2\alpha_2-\alpha_2^2)(1+\alpha_2+\alpha_2^2)}{1+\alpha_2} \quad (7)$$

α_1과 α_2값에 대해 각각 0.1간격으로 변화시켜 가면서 $E(SC)$값을 구해보면 표 1과 같은데 $\alpha_1 = 0.4$, $\alpha_2 = 0.7$ 일때 $E(SC)$값은 최소로 되어서 하나의 근사적인 최적할당이 됨을 알 수 있다. 또한 이때의 각 등급별 저장공간크기의 비는

$$S_1 = \alpha_1^2 = 0.16$$
$$S_2 = \alpha_2^2 - \alpha_1^2 = 0.33$$
$$S_3 = 1 - \alpha_2^2 = 0.51$$

각 등급별 throughput비는

$$w_1 = \alpha_1^2(2-\alpha_1)^2$$
$$= 0.4096$$

$$w_2 = (\alpha_2-\alpha_1)(2-\alpha_2-\alpha_1)$$
$$(2\alpha_1+2\alpha_2-\alpha_1^2-\alpha_2^2)$$
$$= 0.4185$$

$$w_3 = (1-\alpha_2^2)(1+2\alpha_2-\alpha_2^2)$$
$$= 0.1719$$

따라서 이때에는 첫번째 등급은 16%의 저장공간에서 약 41%의 throughput이, 두번째 등급은 33%의 저장공간에서 약 42%의 throughput이, 세번째 등급은 51%의 저장공간에서 약 17%의 throughput이 처리된다.

표 1. 3등급별 저장법에서의 *E(SC)*값

α_1 \ α_2	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0.1	-	1.233	1.157	1.091	1.048	1.034	1.052	1.104	1.189
0.2		-	1.156	1.086	1.037	1.015	1.023	1.063	1.134
0.3			-	1.087	1.032	1.000	0.997	1.024	1.078
0.4				-	1.037	0.999	0.985	0.997	1.035
0.5					-	1.014	0.992	0.991	1.013
0.6						-	1.019	1.011	1.019
0.7							-	1.055	1.055
0.8								-	1.120
0.9									-

4. 결론

지금까지 n개의 등급을 갖는 등급별 저장법에서의 single command에 대한 평균 이동시간을 도출하고, 삼각분포를 이용하여 3등급별 저장법에서의 하나의 근사적인 등급할당을 하였다.

대부분의 등급별 저장법에서 등급의 수는 3~5개인 것이 적당하다고 알려져 있으나, 등급의 수가 충분히 많은 경우는 할당저장법의 경우로도 거의 접근해 가기 때문에 일반적인 n등급별 저장법에 대한 분석결과는 더 일반적으로 적용될수 있을 것이다.

또한 등급별 저장법에서는 등급의 수를 결

정하는 문제와 각 등급별 공간배치를 결정하는 문제가 동시에 고려되어야 하는데, 이를 위해서는 각 저장 제품종류별 throughput소요와 저장공간 소요가 함께 입력, 분석되어야 한다.

본 연구에서는 할당저장법이나 등급별 저장법에 적용될수 있는 저장/회수 위치의 좌표상 분포로 삼각분포를 제시하였는데 또 다른 적합한 분포형태에 대한 연구도 필요하다고 하겠다.

그리고 본 연구에서의 주요결과는 SIT랙과 single command라는 가정하에서 도출되었는데, 실제로 AS/RS를 새로 제작, 건설할 때에는 SIT랙을 만드는 것이 경제적이고 운용상으로도 유리하다.

앞으로 single command의 결과를 기초로 하여 등급별 저장법에서 dual command를 적용하는 문제, 특히 회수에서의 요구(requests)순서를 최적결정하는 문제가 연구될 수 있을 것이다. 또한 본 연구의 결과를 더 일반적인 비SIT랙인 경우로 확장하는 문제도 연구될 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

[1] Bozer, Y. A. and White, J. A., "Travel-Time Models for Automated Storage/Retrieval Systems", IIE Transactions, Vol. 16, No. 4, 329-338, 1984.

[2] Foley, R. D. and Frazelle, E. H., "Analytical Results for Miniload Throughput and the Distribution of Dual Command Travel Time", IIE Transaction, Vol. 23, No. 3, 273-281, 1991.

[3] Graves, S. C., Hausman, W. H., and Schwarz, L. B., "Storage-Retrieval Interleaving in Automatic Warehousing Systems", Management Science, Vol. 23, No. 7, 935-945, 1977.

[4] Hausman, W. H., Schwarz, L. B., and Graves, S. C., "Optimal Storage Assignment in Automatic Warehousing Systems", Management Science, Vol. 22, No. 6, 629-638, 1976.

[5] Hodgson, T. J. and Lowe, T. J., "Production Lot Sizing with Material-Handling Cost Considerations", IIE Transactions, Vol. 14, No. 1, 44-51, 1982.

[6] Rosenblatt, M. J., Roll, Y., and Zyser, V., "A Combined Optimization and Simulation Approach for Designing Automated Storage/Retrieval Systems", IIE Transactions, Vol. 25, No. 1, 40-50, 1993.

[7] Schwarz, L. B., Graves, S. C., and Hausman, W. H., "Scheduling Policies for Automatic Warehousing Systems : Simulation Results", AIIE Transactions, Vol. 10, No. 3, 260-270, 1978.

95년 9월 최초 접수, 96년 4월 최종 수정