

The Retrieval Batch Size for Feasible System in a Bi-directional Carousel System

Suk Hwa Chang[†]

Department of Industrial and Management Engineering, Incheon National University

양 방향 이동 회전창고시스템에서 실현 가능한 시스템을 위한 인출 배치크기

장 석 화[†]

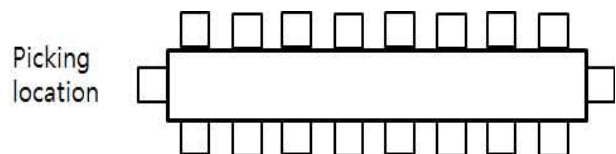
인천대학교 산업경영공학과

This paper deals with the picking batch size which a bi-directional carousel system can be feasible. The items that customers order are retrieved from the bins of carousel with batch size. The mathematical equations representing rotary travel distance and retrieval lead time to pick a given batch size are derived. Rotary travel distance represents the distance which carousel system rotates to retrieve items in a batch. The bi-directional carousel system rotates to minimize the travel distance in retrieving the items in a batch. Rotary travel distance and retrieval lead time are analyzed for the batch size through the simulation approach. From the simulation, the retrieval batch size that carousel system can be feasible is obtained. A numerical example is shown to explain the solution procedure.

Keywords : Bi-directional Carousel System, Feasible Batch Size Retrieval, Retrieval Lead Time, Simulation Approach

1. 서 론

회전창고시스템(Carousel system)은 수평 또는 수직의 타원형으로 움직이는 창고이다. <Figure 1>은 수평으로 회전하는 창고의 예를 위에서 본 것을 나타낸 것이다. 창고의 보관위치(storage location)는 제품을 보관하는 공간을 의미한다. 인출위치(picking location)는 아이템을 인출하는 곳으로 고정되어 있다. 고객이 주문한 제품은 창고에서 인출하기 위해서 아이템을 저장하고 있는 창고의 보관위치 열이 랙의 회전을 통하여 인출위치로 오게 되고, 인출 작업자에 의해 제품이 인출되게 된다. 수평 타원형으로 회전하는 창고시스템의 경우에 수평은 열로 정의한다.



<Figure 1> Visual Structure Of Carousel System

고객이 주문한 제품은 하나씩 인출할 수도 있고, 여러 개를 모아서 함께 인출할 수도 있다. 한 제품씩 인출하는 것은 개별인출, 여러 제품을 모아서 인출하는 것은 배치인출로 정의한다. 배치인출은 여러 제품을 모아서 인출 경로를 세워 인출하게 된다. 인출 배치크기가 커질수록 회전창고의 인출 사이의 회전이동거리와 인출소요시간은 감소할 수 있다. 창고운영과 관련하여 시간 및 비용 등에서 가장 큰 비중을 차지하는 것은 고객의 주문인출과 관련이 있다[16]. 주문인출과 관련한 시간 및 비용을 줄이는 것이

창고운영의 효율을 높일 수 있는 방법 중의 하나이다. 적절한 배치크기로 인출하는 것은 인출과 관련한 시간 및 비용 등을 줄일 수 있는 방법이 될 것이다. 창고의 운영 효율을 높이기 위해 배치인출을 할 경우에 배치인출에 대한 인출 소요시간의 분석이 필요하다. 배치화의 장점은 배치인출의 투여 이동거리는 개별인출의 투여 이동거리의 합보다 적다는 것이다. 그러나 배치크기가 될 때까지 인출이 지연되고, 그리고 어느 주문을 어느 배치 투여에 넣을 것인지, 인출한 후에 인출 제품을 주문별로 분류하는 등과 같은 추가적인 노력이 필요하다. 인출 배치크기는 차량의 취급능력 또는 주어진 인출 이동거리의 상한 등에 의해 정해진다.

자동창고시스템(Automated Storage/Retrieval System)은 1950년대에 도입된 이후 유통과 생산 문제에서 널리 사용되어 왔다. 자동창고시스템(AS/RS)은 보통 랙 사이의 통로를 따라 가동되는 크레인에 의해 서비스되는 랙들로 이루어진다. 자동창고시스템을 설계하는데 있어 많은 물리적인 설계와 통제 문제들이 이 시스템의 이점을 충분히 이용하기 위해 적절한 방법으로 언급되어 왔다. Matson과 White[12]는 자동창고시스템에 관심이 있는 일련의 물류 취급 연구 분야들을 조사하였다. Kusiak[9]는 자동 저장/인출시스템에 대한 설계, 저장과 주문의 통합 정책 등을 토론하였다. 그리고 여러 연구자들이 창고의 설계와 통제에 대한 일반적이고 전반적인 조사를 하였다.(Van den Berg [17], De Koster et al.[4], Roodbergen et al.[14]). Chang[3]은 일반창고시스템에서 인출 배치크기에 대해 평균이동거리와 인출소요시간에 대해 분석하였고, 창고시스템이 실현 가능한 배치크기를 구하는 문제를 다루었다.

회전창고시스템(carousel system)은 소형 및 중형 크기의 제품을 저장하는데 적절하다. Hwang and Ha[7]은 단일 및 더블 carousel 시스템에서 이동시간 모형을 연구하였다. Bengu[2], Seshadri et al.[15]등은 단일 회전창고에서 아이템의 저장위치를 정하는 문제를 연구하였다. Hassini and Vickson[6]는 2-회전창고에서 이동거리를 줄일 수 있는 아이템의 저장위치를 정하는 문제를 다루었다. 회전창고에서 아이템의 보관위치를 정하는 문제가 많이 연구되었다. 배치인출에서의 이동거리를 구하는 문제는 다루어지지 않고 있다.

회전창고에 대한 연구내용은 회전전략, 보관위치 할당, 성과 모형 등으로 나누어질 수 있다. 회전창고에서 회전전략에 대한 여러 연구가 이루어졌다(Bartholdi and Platzman [1], Ghosh and Wells[5], Lee and Kuo[10], Wen and Chang [19]). Bengu[2]은 저장할당정책은 회전창고에서 아이템들의 고정된 순서에 대한 기대 회전시간을 최소화하는 것에 대해 최적이라는 것을 증명하였다. 이 외에도 추가적으로 보관위치 할당에 대해서도 여러 연구가 이루어졌다(Hassini and Vickson[6], Jacobs et al.[8], Vickson and Lu[18]). 단일

회전창고 모형에서 성과모형은 회전시간을 최소화하는 것에 초점을 두고 있다. Litvak et al.[11]은 가장 근접하고 있는 아이템 발견적 기법이 일련의 배치 아이템을 인출하기 위해 사용될 기대회전시간을 연구하였다. Park and Rhee[13]는 오르겐파이프 보관이 사용될 때 회전시간의 평균과 분산을 연구하였다.

본 논문은 양방향 이동 회전창고시스템에서 배치크기로 제품이 인출될 때 배치크기에 대한 회전이동거리와 인출 소요시간을 구하고, 그리고 회전창고시스템이 실현 가능하기 위한 인출 배치크기를 구하는 것이다. 제 2장에서 양방향으로 이동하는 회전창고의 회전이동거리와 인출소요시간에 대한 내용과 창고시스템을 실현 가능하게 하는 인출 배치크기를 구하는 내용을 설명하고, 시뮬레이션으로 이들을 구하는 방법을 설명한다. 제 3장에서 회전이동거리, 인출소요시간과 인출배치크기를 구하는 문제에 대해 수치적 예제를 제시한다.

2. 배치크기 인출소요시간과 실현 가능한 인출 배치크기

회전창고시스템(carousel warehouse system)은 수평의 타원형으로 회전하는 창고로 수평으로 다수의 보관위치 열이 있고, 수직으로도 다수의 보관위치 행이 있다. 회전창고 시스템에서 제품의 보관위치는 지정되어 있거나 무작위로 정해진다. 고객이 주문한 제품은 일정한 배치크기로 모아져서 인출경로를 만들어 창고의 보관위치에서 인출된다. 인출할 배치에 포함된 제품들은 보관위치가 파악되고, 회전이동거리를 최소화하는 순서로 인출된다. 인출 배치크기가 증가할수록 배치당 창고의 회전이동거리와 인출소요시간은 증가하지만 인출당 창고의 회전이동거리와 인출소요시간은 감소한다. 인출 배치크기에 대해 배치에 포함된 모든 제품을 인출하는데 걸리는 양방향 이동 회전창고의 회전이동거리, 인출소요시간과 인출당 인출소요시간 등이 분석된다. 그리고 창고시스템을 실현 가능하게 하는 인출 배치크기를 구하는 모형을 개발하고 분석한다. 수학적 부호를 정의한다.

- i, j, s = 회전창고에서 보관위치 열을 나타내는 첨자
- L = 회전창고에서 보관위치 열의 수
- g = 제품을 나타내는 첨자
- r_g = 제품 g 의 수요비율
- B_i = 열 i 에 보관중인 제품종류의 집합
- P_i = 열 i 에서 제품의 인출비율
- n = 인출 배치크기
- k_1, \dots, k_n = 인출 보관위치 열

- M = 단위시간당 평균 인출 요청 수
- w = 수평으로 보관위치의 넓이
- v = 회전창고의 단위시간당 평균 회전 이동속도
- θ = 아이템당 인출시간
- α = 회전창고의 단위시간당 이용률

문제와 관련하여 다음과 같은 가정을 한다.

- ① 회전창고의 보관위치 열의 수는 알려져 있다.
- ② 회전창고에 보관되는 제품의 종류는 다수이고, 제품의 보관위치 열은 알려져 있다.
- ③ 동일 제품 종류는 하나의 보관위치 열에만 보관된다.
- ④ 같은 보관위치 열에도 여러 제품 종류가 보관 될 수 있다.
- ⑤ 각 제품 종류는 충분한 재고를 갖고 있어 재고부족은 발생하지 않는다.
- ⑥ 각 제품의 수요비율은 알려져 있고, 장기적으로 각 제품의 수요는 수요비율만큼 발생한다. 따라서 각 열에서 제품이 인출될 비율은 일정하고 알려져 있다.
- ⑦ 회전창고의 이동 방향은 시계 및 반시계 양쪽방향이다.
- ⑧ 창고의 회전이동거리는 열 이동거리만을 고려하는 것으로 회전창고는 전체 회전이동거리를 최소화하도록 회전 이동한다.

제품의 배치 인출 시점에서 각 제품의 보관위치 열은 정해져 있으므로 보관위치 열 i 에서 제품이 인출될 확률,

$P_i = \sum_{g \in B_i} r_g$ 이다. 이 P_i 는 제품의 보관위치 열이 변경되지 않으면 장기적으로 일정하게 고정되어 있다.

시계 및 반시계 양쪽방향으로 이동하는 회전창고시스템에서 배치크기로 제품을 인출하는 경우에 배치당 평균 이동거리 및 인출소요시간을 분석한다. 회전창고시스템이 양방향으로 이동하는 경우에 배치당 인출 회전이동거리와 인출소요시간을 구하는 문제는 해석적으로 분석하기 어렵다. 이는 회전창고에서 인출 배치크기에 포함된 제품의 보관위치 열은 최단거리로 인출위치로 이동시키는데 있어 일정한 패턴을 갖고 있지 않기 때문이다. 회전창고가 시계 및 반시계 방향 이동이 함께 포함되어 있어 배치크기에 포함된 제품의 마지막 인출을 완료하기까지 이동거리에 대한 인출경로는 수식적으로 표현하기 어렵다. 양쪽 방향 회전이 가능한 회전창고시스템에 대해 최소 회전이동거리를 구하는 경로는 시뮬레이션 방법으로 분석이 적절하다.

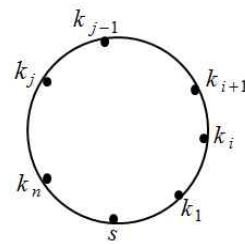
인출할 배치크기 $n=1$ 일 때 회전이동거리를 구한다. 보관위치 열 s 가 인출위치(picking location)에 있고, 인출할 보관위치 열이 k_1 일 때 회전이동거리, $D_s(1)$ 는 다음과 같다.

$$D_s(1) = \begin{cases} \min[k_1 - s, L - k_1 + s], & \text{if } s \leq k_1 \\ \min[s - k_1, L - s + k_1], & \text{if } s > k_1 \end{cases} \quad (1)$$

배치크기 인출에서 최소 회전이동거리와 관련하여 회전창고의 회전방향이 바뀌는 횟수에 대한 정리를 정의한다.

정리 1 : 배치크기 인출에서 최소 회전이동거리는 창고의 회전이동 방향의 변화가 최대 1회 이하일 경우에 얻어진다.

증 명 : 배치크기에 포함된 모든 제품을 인출하기 위해 회전창고의 회전이동 방향의 바뀔이 최소 2회인 경우를 고려한다. <Figure 2>에서 s 가 인출위치에 있고, 인출 보관위치가 k_1, k_2, \dots, k_n 일 때 s 에서 시작하여 k_i 까지 회전이동하며 인출한 후에 회전 방향을 반대로 바꾸어 k_j 까지 회전 이동하여 인출한 후에 다시 회전 방향을 바꾸어 k_{i+1}, \dots, k_{j-1} 까지 회전 이동하며 아이টে를 인출하는 방식으로 2회 회전이동 방향이 바뀌는 경우에 회전이동거리를 생각한다. 이 경우는 인출 보관위치 열을 $k_n, \dots, k_j, \dots, k_1, \dots, k_{j-1}$ 으로 회전방향이 k_j 에서 1회 바뀌는 경우의 회전이동거리에 비해 s 에서 k_i 까지 왕복 회전이동거리가 증가한다. 이는 회전창고의 최소 회전이동거리는 이동방향이 최대 1회 이내에서 바뀌는 경우에 얻어질 수 있다



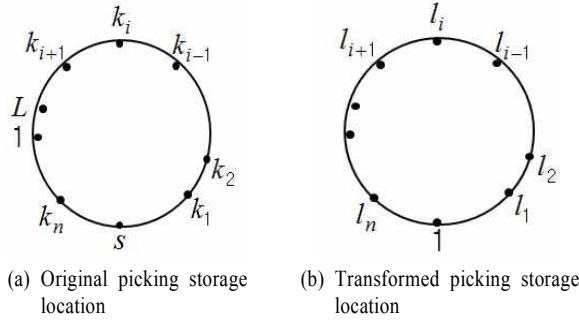
<Figure 2> Layout Of Picking Storage Location

인출할 배치크기 $n > 1$ 인 경우에 회전이동거리를 구한다. 회전창고의 보관위치 열 s 가 인출위치(picking location)에 있고, 배치크기 $n(n > 1)$ 개의 인출 보관위치가 <Figure 3(a)>과 같을 때 보관위치 열 s 부터 n 개의 모든 제품을 인출하기까지 창고의 회전이동거리와 인출소요시간을 구한다. 인출 보관위치 열 사이의 회전은 인출을 시작해서 마지막 인출을 완료하기까지 회전이동거리를 최소화하는 방식으로 이루어진다. <Figure 3(a)>에서 보관위치 열 s 는 인출위치에 있고, 인출 배치크기에 포함된 제품의 보관위치 열은 k_1, k_2, \dots, k_n 이다. 분석의 편의를 위해 보관위치 열 s 을 $1(l_0 = 1)$ 로 변환하고, 시계방향 회전이동

으로 배치크기에 포함된 제품의 보관위치 열도 l_1, l_2, \dots, l_n ($1 \leq l_1 \leq l_2 \leq \dots \leq l_n \leq L$)로 변환하여 <Figure 3(b)>와 같이 나타낸다.

<Figure 3(a)>과 같이 원 문제의 인출 보관위치 열 k_1, k_2, \dots, k_n 을 <Figure 3(b)>와 같이 보관위치 열 l_1, l_2, \dots, l_n 로 변환은 다음 식을 적용하여 구한다.

$$l_i = \begin{cases} k_i - s + 1, & \text{for } s \leq k_i \leq L \\ L - s + 1 - k_i, & \text{for } 1 \leq k_i < s, \quad i = 1, 2, \dots, n \end{cases} \quad (2)$$



<Figure 3> Picking Storage Location

<Figure 3(a)>의 인출 보관위치를 <Figure 3(b)>와 같이 변환하여 나타난 인출 보관위치 열에 대해 $d(l_i, l_{i+1})$ ($i = 1, 2, \dots, n-1$)은 연속적인 두 인출위치 l_i 과 l_{i+1} 사이의 회전이동거리를 나타낸다. $d(l_0, l_1)$ 은 인출위치에 있는 보관위치 1($l_0 = 1$)과 인출 보관위치 l_1 사이의 회전이동거리를 나타내고, $d(l_n, l_{n+1})$ 은 인출 보관위치 l_n 과 보관위치 $L+1$ ($l_{n+1} = L+1$) 사이의 회전이동거리를 나타낸다.

$$d(l_i, l_{i+1}) = w(l_{i+1} - l_i), \quad i = 0, 1, \dots, n \quad (3)$$

여기서, $l_0 = 1, l_{n+1} = L+1$

회전창고의 이동형태에 따라 회전이동거리를 분석한다. 먼저 회전창고가 한쪽 반향으로만 회전 이동하면서 n 개의 제품을 인출할 때 회전이동거리를 구한다. 보관위치 열 s 가 인출위치(picking location)에 있고, 아이템의 인출을 위해 인출 보관위치 열이 시계방향으로 회전 이동하는 것을 고려한다. 이 경우는 n 개의 제품을 모두 인출하는 이동경로는 보관위치 열 l_0 을 시작으로 인출 보관위치 열 l_1, l_2, \dots, l_n 이 차례대로 인출위치로 회전 이동하게 되고, 회전이동거리, $D1_s(n)$ 은 다음 식 (4)과 같다. 회전창고가 반시계 방향으로 회전 이동하는 경우에 n 개의 제품을 모두 인출하는 이동경로는 보관위치 열 l_0 을 시작으로 인출 보관위치 열 l_n, l_{n-1}, \dots, l_1 이 차례대로 인출위치로 회전이동하게 되고, 회전이동거리, $D2_s(n)$ 는 다음 식 (5)과 같다.

$$D1_s(n) = w \sum_{j=0}^{n-1} d(l_j, l_{j+1}) = w(L - d(l_n, l_{n+1})) \quad (4)$$

$$D2_s(n) = w \sum_{j=1}^n d(l_j, l_{j+1}) = w(L - d(l_0, l_1)) \quad (5)$$

회전창고가 양방향으로 회전이동이 가능하므로 회전 이동 방향이 1회 바뀌며 양방향 회전이동하는 경우에 회전 이동거리를 분석한다. 보관위치 열 s 가 인출위치에 있고, 시계-반시계 방향으로 회전이동하는 경우를 고려한다. 시계방향으로 보관위치 열 l_0, l_1, \dots, l_i ($i = 1, 2, \dots, n-1$)이 차례로 인출위치로 회전이동 후 다시 반시계 방향으로 보관위치 열 $l_{i-1}, \dots, l_0, l_n, l_{n-1}, \dots, l_{i+1}$ 이 차례로 인출위치로 회전 이동하여 회전이동거리, $D3_s(n, l_i)$ 은 다음과 같다.

$$D3_s(n; l_i) = w(2 \sum_{j=0}^{i-1} d(l_j, l_{j+1}) + \sum_{j=i+1}^n d(l_j, l_{j+1})) \quad (6)$$

보관위치 열 s 가 인출위치에 있고, 반시계-시계방향으로 회전 이동하는 경우를 고려한다. 반시계 방향으로 보관위치 열 l_n, l_{n-1}, \dots, l_i ($i = 2, 3, \dots, n$)이 차례로 인출위치로 회전 이동한 후에 다시 시계방향으로 보관위치 열 $l_{i+1}, l_{i+2}, \dots, l_n, l_0, l_1, \dots, l_{i-1}$ 이 차례로 인출위치로 회전 이동하여 회전이동거리, $D4_s(n, l_i)$ 은 다음과 같다.

$$D4_s(n; l_i) = w(2 \sum_{j=i}^n d(l_j, l_{j+1}) + \sum_{j=0}^{i-2} d(l_j, l_{j+1})) \quad (7)$$

배치크기 인출에서 회전창고가 양방향 회전이동에서 회전창고의 최대 회전이동거리는 wL 을 초과할 수 없으므로 l_i 의 값은 시계-반시계 방향일 경우는 $0 \leq l_i \leq L/3$ 인 보관위치 열, 반시계-시계방향일 경우는 $2L/3 \leq l_i < L$ 인 보관위치 열만을 고려한다. 식 (6)과 식 (7)은 하나의 보관위치 열 s 에서 시작하여 배치크기에 포함된 모든 제품을 인출하기 위해 회전창고의 회전방향이 보관위치 열 l_i 에서 바뀐 경우에 대한 회전이동거리이다. 최소 이동거리는 회전방향이 바뀌는 보관위치 열 l_i 이 가능한 모든 위치를 고려하여 구한다. 회전창고가 시계-반시계 방향으로 회전 이동할 경우에 최소 회전이동거리, $D3_s(n)$ 은 식 (8)과 같고, 그리고 회전창고가 반시계-시계 방향으로 회전 이동할 경우에 최소 회전이동거리, $D4_s(n)$ 는 식 (9)과 같다.

$$D3_s(n) = \min[D3_s(n; l_i) | \text{for all } i \text{ that } 0 \leq l_i \leq L/3 \text{ and } 1 \leq i < n] \quad (8)$$

$$D4_s(n) = \min[D4_s(n; l_i) | \text{for all } i \text{ that } 2L/3 \leq l_i < L \text{ and } 2 \leq i \leq n] \quad (9)$$

보관위치 열 s 가 인출위치에 있고, 배치크기 n 에 대해

보관위치 열에 보관중인 제품을 모두 인출하기 위해 회전 창고는 회전이동거리가 최소가 되도록 이동하게 된다. 이는 앞에서 설명된 4가지 가능한 방법 중에서 하나는 최소 회전이동거리 방법이 될 것이다. 회전창고는 양쪽방향으로 회전이동이 가능하고, 보관위치 s 가 인출위치에 있을 때 배치크기 n 으로 제품을 인출하는데 걸리는 최소 회전이동거리, $D_s(n)$ 는 다음과 같다.

$$D_s(n) = \min[D1_s(n), D2_s(n), D3_s(n), D4_s(n)] \quad (10)$$

보관위치 s 가 인출위치에 있으면서 배치인출을 시작할 확률은 보관위치 s 에서 제품이 인출될 확률과 같다. 하나의 배치크기 인출에서 마지막 인출을 한 보관위치 열은 다음 배치크기 인출의 시작 보관위치 열이 된다. 보관위치 열 s 가 배치크기 인출의 마지막 인출 보관위치 열이 될 확률은 이 보관위치 열 s 에 있는 제품의 수요비율 p_s 과 같다. 회전창고시스템 전체적으로 배치크기 n 으로 제품을 인출할 때 배치당 평균 회전이동거리, $D(n)$ 는 다음과 같다.

$$D(n) = \sum_{s=1}^L D_s(n)p_s \quad (11)$$

회전창고시스템 전체적으로 배치크기 n 으로 제품을 인출할 때 인출당 평균 회전이동거리, $AD(n)$ 는 다음과 같다.

$$AD(n) = \frac{\sum_{s=1}^L D_s(n)p_s}{n} \quad (12)$$

그리고 배치크기 n 으로 제품의 인출을 완료하는데 걸리는 인출소요시간은 창고의 회전이동시간에 n 개 제품의 인출시간의 합이다. 회전창고의 회전이동시간은 회전이동거리를 회전이동속도로 나눈 값이 된다. 배치크기 n 으로 아이টে를 인출할 때 배치크기당 평균 인출소요시간, $PT(n)$ 은 다음 식 (13)과 같다. 배치크기 n 개로 아이টে를 인출할 때 인출당 평균 인출소요시간, $UPT(n)$ 은 식 (14)과 같다.

$$PT(n) = \frac{D(n)}{v} + n\theta \quad (13)$$

$$UPT(n) = \frac{D(n)}{nv} + \theta \quad (14)$$

회전창고시스템에서 단위시간당 인출요청의 수가 평균적으로 M 개일 때, 단위시간당 인출하는 제품의 수가 M 개 이상이 되게 하기 위한 최소 인출 배치크기는 시스템을 실현 가능하게 하는 배치크기가 될 것이다. M 개를 n 개씩의 배치크기로 인출하면 단위시간당 인출 배치의 수는 M/n 이 된다. 그리고 회전창고의 단위시간 중에서 서비스 가능

한 시간비율인 이용률은 α 이다. 따라서 단위시간당 발생한 평균 인출 요청의 수 M 개를 배치크기 n 개씩 인출할 경우에 발생하는 총 인출소요시간은 $PT(n)M/n$ 이 되고, 이 인출소요시간은 단위시간당 이용 가능한 시간비율인 α 보다 크지 않아야 한다. 회전창고시스템이 실현가능하기 위한 n 은 다음 식을 만족해야 한다.

$$PT(n) \frac{M}{n} \leq \alpha \quad (15)$$

식 (15)을 만족시키는 배치크기 중에서 최소값이 창고 시스템을 실현 가능하게 하는 최소 배치크기가 된다. 즉, 실현 가능한 최소 배치크기 n^* 는 다음을 만족하는 값이다.

$$n^* = \min[n | PT(n) \frac{M}{n} \leq \alpha, n = 1, 2, \dots] \quad (16)$$

양쪽 방향으로 회전이동이 가능한 회전창고에 대해 시뮬레이션 방법으로 평균 이동거리 및 인출소요시간을 구한다. 식 (10)을 적용하여 얻을 수 있는 회전이동거리는 수리적으로 도출하기 어렵다. 따라서 동일한 상황에서 많은 수의 인출배치를 만들고, 각 인출배치에 대해 인출보관위치를 생성하여 식 (10)과 식 (11)을 적용하여 평균 회전이동거리를 구한다. 배치크기에 대한 회전이동거리를 구하면 나머지 결과들은 쉽게 구할 수 있다. 동일한 상황의 많은 수의 배치를 생성하고, 배치에 포함된 아이টে의 보관위치를 생성하는 것은 시뮬레이션을 이용한다.

회전창고가 양쪽방향으로 회전이동이 가능한 경우에 배치크기로 제품을 인출할 때 회전이동거리를 최소화하도록 하는 방법을 적용하여 회전이동거리, 인출소요시간과 시스템을 실현 가능하게 하는 최소 배치크기 등을 구하는 해 절차는 다음과 같다.

해 절차

단계 1 : 회전창고의 열의 수, L ; 보관위치의 넓이, w ; 회전이동의 속도, v ; 제품당 인출시간, θ ; 회전창고의 이용률, α ; 단위시간당 인출 요청의 수, M 등을 정의한다. 최대 인출 배치크기, N 을 준다.

단계 2 : 회전창고의 보관위치 열에 일련번호를 부여하고, 보관위치 열 s ($s=1, 2, \dots, L$) s 에서 제품의 인출비율, p_s 을 정의한다. 실험횟수, H 을 준다.

단계 3 : 인출비율 p_s 을 확률로 하여 번호순으로 누적확률

$cp_u = \sum_{s=1}^u p_s$ ($u=1, 2, \dots, L$)을 구한다. $n^* = N$ 로 한다.

단계 4 : $n=1$ 로 한다.

단계 5 : $s=1$ 로 한다.

단계 6 : $CD_s(n)=0$ 으로 놓고, $m=1$ 로 한다.

단계 7 : n 개의 난수, R_1, R_2, \dots, R_n 을 생성한다. 생성된 난수 $R_t (t=1, 2, \dots, n)$ 가 누적확률 cp_u 에서 포함된 구간을 찾아 해당 난수의 보관위치 열 y_t 을 구한다. 난수가 $0 < R_t \leq cp_1$ 이면, $y_t = 1$ 이고, $cp_{k-1} < R_t \leq cp_k (k=2, 3, \dots, L-1)$ 이면, $y_t = k$ 이고, $cp_{L-1} < R_t \leq 1$ 이면, $y_t = L$ 이 된다.

단계 8 : 인출 보관위치 열 y_1, y_2, \dots, y_n 에 대해 $1 \leq y_{[1]} \leq y_{[2]} \leq \dots \leq y_{[j]} \leq s \leq y_{[j+1]} \leq \dots \leq y_{[n-1]} \leq y_{[n]} \leq L$ 의 순서로 정렬한다.

단계 9 : $k_1 = y_{[j+1]}, k_2 = y_{[j+2]}, \dots, k_{n-j} = y_{[n]}, k_{n-j+1} = y_{[1]}, \dots, k_{n-1} = y_{[j-1]}, k_n = y_{[j]}$ 으로 둔다.

단계 10 : 식 (2)을 적용하여 k_1, k_2, \dots, k_n 을 l_1, l_2, \dots, l_n 으로 변환한다.

단계 11 : $n=1$ 이면, 식 (1), $n > 1$ 이면, 식 (10)을 적용하여 최소 회전이동거리, $D_s(n)$ 을 구한다. 누적 회전이동거리 $CD_s(n) = CD_s(n) + D_s(n)$ 을 구한다.

단계 12 : $m < H$ 이면, $m = m + 1$ 로 하여 단계 7로 가고, $m \geq H$ 이면 다음으로 간다.

단계 13 : 평균 회전이동거리, $D_s(n) = CD_s(n) / H$ 을 구한다.

단계 14 : $s \leq L$ 이면, $s = s + 1$ 로 하여 단계 6으로 가고, $s > L$ 이면 다음으로 간다.

단계 15 : 식 (11)을 적용하여 $D(n)$ 을 구한다.

단계 16 : 식 (13)과 식 (14)을 적용하여 $PT(n), UPT(n)$ 을 구한다.

단계 17 : 다음 조건에 맞는 하나의 경우를 행한다.
 $PT(n) \frac{M}{n} \leq \alpha$ 이고 $n \leq n^*$ 이면, $n^* = n$ 으로 한다.

$PT(n) \frac{M}{n} \leq \alpha$ 이고 $n > n^*$ 이면, $n^* = n^*$ 으로 한다.

$PT(n) \frac{M}{n} > \alpha$ 이면, $n^* = n^*$ 으로 한다.

단계 18 : $n < N$ 이면 $n = n + 1$ 로 하여 단계 5로 가고, $n \geq N$ 이면 다음으로 간다.

단계 19 : 배치크기 $n (n=1, 2, \dots, N)$ 에 대해, 배치당 회전 이동거리 $D(n)$, 배치당 인출소요시간 $PT(n)$, 인출당 인출소요시간 $UPT(n)$ 이 구해졌다. 창고시스템을 실현 가능하게 하는 배치크기는 n^* 이다.

3. 수치적 예제

양방향 이동 회전창고에서 제품의 보관위치는 고정된 경우로 한다. 각 보관위치 열에 할당된 제품 종류와 각

제품의 수요비율에 의해 각 보관위치 열에서 제품의 인출 확률은 고정적이다. 수평으로 20개의 보관위치 열이 있는 회전창고의 예를 생각한다. 수평으로 배열된 보관위치 열에 일련의 번호를 부여하고, 각 보관위치 열에서 제품이 인출될 확률은 <Table 1>과 같다. 수평으로 보관위치의 넓이는 1m이고, 회전이동속도는 분당 10m이다. 보관위치에서 물품을 인출하는데 걸리는 시간은 인출당 0.25분이다. 시간당 인출요청의 수는 100개이다. 시스템의 이용률은 90%이다.

<Table 1> Retrieval Probability For The Storage Location Row

Row Number	Retrieval Probability	Row Number	Retrieval Probability
1	0.040	11	0.060
2	0.035	12	0.035
3	0.020	13	0.055
4	0.035	14	0.060
5	0.055	15	0.055
6	0.070	16	0.035
7	0.075	17	0.045
8	0.085	18	0.040
9	0.070	19	0.030
10	0.065	20	0.035

회전창고가 양쪽 방향으로 회전 이동하고 각 보관위치 열이 인출위치에 있을 때 인출을 시작하여 배치크기에 포함된 모든 제품을 인출하는데 걸리는 평균 회전이동거리는 <Table 2>와 같다. 이는 Matlab 프로그램으로 시뮬레이션을 개발하여 값을 구하였다. 각 경우에 $N=10, H=10000$ 으로 하여 실험을 실시하여 얻어진 회전이동거리를 평균한 값이다.

<Table 2>에서 배치크기가 적은 것이 큰 것에 비해 인출위치에 있는 시작 보관위치 열에 따라 회전이동거리의 최대값과 최소값의 차이가 상대적으로 크게 나타나 있다. 이는 인출 배치크기가 클수록 인출위치에 있는 시작 보관위치 열의 영향이 감소함을 알 수 있다. 그리고 양쪽방향으로 회전 이동할 경우에 배치크기에 따른 평균 인출소요시간과 인출당 평균 인출소요시간은 <Table 3>과 같다. <Table 3>에서 배치크기가 증가함에 따라 배치당 인출소요시간은 증가하지만 인출당 인출소요시간은 감소함을 알 수 있다.

양방향 이동 회전창고시스템이 실현 가능하도록 하는 인출 배치크기를 구한다. 단위시간인 1시간당 창고시스템이 인출 서비스에 이용할 수 있는 시간은 $60 \times 60 = 3600$ 분이다. 평균적으로 시간당 인출 요청한 수 100개가 54분

<Table 2> Average Rotary Travel Distance For Batch Size Starting Row Number In A Bi-Directional Carousel System

Row Number	Average Rotary Travel Distance(m)									
	<i>n</i> = 1	<i>n</i> = 2	<i>n</i> = 3	<i>n</i> = 4	<i>n</i> = 5	<i>n</i> = 6	<i>n</i> = 7	<i>n</i> = 8	<i>n</i> = 9	<i>n</i> = 10
1	5.697	8.912	10.907	12.178	13.094	13.763	14.256	14.668	15.015	15.300
2	5.659	8.932	10.939	12.268	13.187	13.864	14.419	14.805	15.138	15.396
3	5.523	8.839	10.937	12.269	13.271	14.007	14.575	14.999	15.378	15.672
4	5.329	8.681	10.659	12.156	13.117	13.942	14.532	15.007	15.460	15.726
5	5.108	8.315	10.496	11.932	13.026	13.845	14.462	14.968	15.414	15.772
6	4.845	8.005	10.247	11.698	12.806	13.628	14.378	14.885	15.319	15.704
7	4.604	7.811	9.949	11.442	12.653	13.493	14.222	14.817	15.302	15.695
8	4.418	7.537	9.696	11.320	12.465	13.383	14.155	14.751	15.294	15.650
9	4.246	7.444	9.684	11.257	12.486	13.466	14.200	14.822	15.360	15.734
10	4.250	7.446	9.745	11.338	12.599	13.533	14.302	14.892	15.394	15.744
11	4.341	7.479	9.902	11.465	12.670	13.634	14.423	14.948	15.449	15.791
12	4.390	7.622	9.998	11.652	12.906	13.797	14.554	15.161	15.674	16.028
13	4.506	7.800	10.043	11.598	12.844	13.770	14.439	15.052	15.524	15.912
14	4.661	7.956	10.064	11.626	12.680	13.585	14.281	14.808	15.298	15.656
15	4.878	7.987	10.067	11.569	12.666	13.438	14.138	14.640	15.116	15.414
16	5.144	8.247	10.259	11.647	12.712	13.491	14.120	14.635	15.073	15.404
17	5.364	8.453	10.348	11.700	12.697	13.453	14.058	14.528	14.942	15.312
18	5.604	8.735	10.556	11.813	12.775	13.536	14.061	14.571	14.961	15.271
19	5.704	8.855	10.718	11.956	12.908	13.605	14.146	14.662	15.009	15.333
20	5.749	8.909	10.862	12.067	12.983	13.665	14.215	14.644	15.034	15.312
Average	4.865	8.056	10.190	11.663	12.769	13.609	14.285	14.816	15.276	15.619

내에 인출이 되어야 한다. 배치 인출소요시간과 시간당 배치 인출 횟수의 관계가 $PT(n)M/n \leq 54$ 을 만족하는 *n* 값을 찾는다.

n = 1, 2, ...에 대한 계산 결과는 다음과 같다.

n = 1, $0.737(100/1) = 73.7 > 54$

n = 2, $1.306(100/2) = 65.3 > 54$

n = 3, $1.769(100/3) = 59.0 > 54$

n = 4, $2.166(100/4) = 54.2 > 54$

n = 5, $2.527(100/5) = 50.5 < 54$

n = 6, $2.861(100/6) = 47.7 < 54$

평균적으로 1시간당 주문인출 요청 수 100개를 1시간 내에 창고의 보관위치에서 인출하기 위해서는 인출 배치 크기는 5 이상이 되어야 한다. 그러므로 창고시스템이 실현 가능하기 위한 최소 인출 배치크기는 5이다.

<Table 3> Retrieval lead time for a batch and a item

Batch Size	Batch Retrieval Lead Time(m)	Item Retrieval Lead Time(m)
1	0.737	0.737
2	1.306	0.653
3	1.769	0.590
4	2.166	0.542
5	2.527	0.505
6	2.861	0.477
7	3.179	0.454
8	3.482	0.435
9	3.778	0.420
10	4.062	0.406

4. 결 론

수평으로 양방향 회전이 가능한 회전창고시스템에서 배치크기로 제품을 인출할 때 배치크기당 회전이동거리와 인출소요시간, 인출당 평균 인출소요시간을 구하는 문제를 분석하였고, 인출소요시간을 활용하여 회전창고시스템이 실현 가능하게 되는 인출 배치크기를 구하는 문제를 다루었다. 배치크기로 제품을 인출하면 인출당 인출소요 시간을 줄일 수 있다. 창고에서 단위시간당 인출할 수 있는 아이템의 수가 단위시간당 발생한 인출요청의 수를 초과할 수 있도록 인출소요시간이 통제되어야 시스템이 실현 가능하게 된다. 창고시스템에서 단위시간당 발생한 인출 요청을 주어진 단위시간 내에 해결할 수 있는 인출 소요시간을 유지할 수 있게 하는 인출 배치크기를 구하였다. 수치적 예제에 대해 시뮬레이션으로 해를 구하였다.

추가 연구과제로는 배치크기 인출로 인한 인출소요시간 단축 이익과 인출시작지연으로 인한 비용을 고려하여 경제적인 인출 배치크기를 구하는 문제가 있을 것이다. 그리고 단일방향 회전창고시스템에서 회전이동거리와 인출소요시간에 대해 해석적으로 구하는 문제와 다수의 랙으로 이루어진 회전창고시스템에서 배치크기로 인출하는 문제가 있을 것이다.

References

- [1] Bartholdi, J.J., Platzman, L.K., Retrieval strategies for a carousel conveyor. *IIE Transactions*, 1986, Vol. 18, p 166-173.
- [2] Bengu, G., An optimal storage assignment for automated rotating carousels. *IIE Transactions*, 1995, Vol. 27, p 105-107.
- [3] Chang, S.H., The picking lead time for the picking batch size in a warehouse system. *Society of Korean Industrial and Systems Engineering*, 2013, Vol. 36, No. 2, p 17-24.
- [4] De Koster, R., Le-Duc, T., and Roodbergen, K.J., Design and control of warehouse order picking : A literature review. *European J. of Operational Research*, 2007, Vol. 182, No. 2, p 481-501.
- [5] Ghosh, J.B., Wells, C.E., Optimal retrieval strategies for carousel conveyors. *Mathematical Computer Modeling*, 1992, Vol. 16, p 59-70.
- [6] Hassini, E. and Vickson, R.G., A two-carousel storage location problem. *Computers and Operations Research*, 2003, Vol. 30, p 527-539.
- [7] Hwang, H. and Ha, J.W., Cycle time models for single/double carousel system. *International J. of Production Economics*, 1991, Vol. 25, p 129-140.
- [8] Jacobs, D.P., Peck, J.C., and Davis, J.S., A simple heuristic for maximizing service of carousel storage. *Computers and Operations Research*, 2000, Vol. 27, p 1351-1356.
- [9] Kusiak, A., Material handling in flexible manufacturing systems. *Materials Flow*, 1985, Vol. 2, p 79-95.
- [10] Lee, S.D., Kuo, Y., Exact and in exact solution procedures for the order picking in an automated carousel conveyor. *International Journal of Production Research*, 2008, Vol. 46, p 4619-4636.
- [11] Litvak, N., Adan, I.J.B.F., Wessels, J., and Zijm, W.H.M., Order picking in carousel systems under the nearest item heuristic. *Probability in the Engineering and Informational Sciences*, 2001, Vol. 15, p 135-164.
- [12] Matson, J.O. and White, J.A., Operational research and material handling. *European J. of Operational Research*, 1982, Vol. 11, p 309-318.
- [13] Park, B.C., Rhee, Y., Performance of carousel systems with 'organ-pipe' storage. *International Journal of Production Research*, 2005, Vol. 43, p 4685-4695.
- [14] Roodbergen, K.J. and Vis, I.F.A., A survey of literature on automated storage and retrieval systems. *European J. of Operational Research*, 2009, Vol. 194, p 343-362.
- [15] Seshadri, S., Rotem, D, Segev, A, Optimal arrangement of cartridges in carousel type mass storage system. *The Computer Journal*, 1994, Vol. 37, No. 10, p 873-887.
- [16] Tompkins, J.A., White, J.A., Bozer, Y.A., Frassel, E.H., Tanchoco, J.M.A. and Trevino, J., Facilities Planning, John Wiley and Sons, Inc, NY, 1996.
- [17] Van den Berg, J.P., A literature survey on planning and control of warehousing systems. *IIE Transactions*, 1999, Vol. 31, p 751-762.
- [18] Vickson, R.G., Lu, X., Optimal product and server locations in one-dimensional storage racks. *European Journal of Operational Research*, 1998, Vol. 105, p 18-28.
- [19] Wen, U.P., Chang, D.T., Picking rules for a carousel conveyor in an automated warehouse. *OMEGA*, 1988, Vol. 16, p 145-151.