Journal of the Society of Korea Industrial and Systems Engineering
Vol, 29, No. 2, pp.58－66, June 2006.

창고시스템에서 보관위치할당 방식에 대한 이동거리와 보관위치 수의 분석

장 석 화

인천대학교 산업경영공학과

Analysis of the Travel Distance and the Number of Storage Location for Storage Location Allocation Methods in a Warehouse System

Suk-Hwa Chang

Dept. of Industrial and Management Engineering, University of Incheon

This paper addresses the analysis of the travel distance and the number of storage location for storage location allocation methods in a warehouse system. The dedicated, randomized, combined and limited storage methods are considered. The combined and the limited storage methods are suggested here, which the combined storage method is to divide the storage locations into the dedicated storage area and the randomized storage area, and the limited storage method is to restrict the storage area of each product. Through a numerical example, the average travel distance between input/output point and the storage locations, and the number of storage location needed in the warehouse are compared between storage location allocation methods. The nearest randomized storage method is shown as the reasonable one in the travel distance and the number of storage location.

Keywords : Warehouse system, Storage location allocation, Travel distance, The number of storage location

1. 서 론

보관활동은 제품의 생산시점과 소비시점을 연결시켜 시간적 가치를 창출하는 것으로 물류영역에서 수송활동 다음으로 중요한 부분이다. 보관활동인 창고관리에서 발생하는 비용 중에서 가장 많은 비용을 차지하는 것은 고객 주문에 대한 인출활동이고, 인출활동 중에서 가장 높은 비중을 차지하는 것은 인출하기 위한 이동시간이다[10]. 창고에서 제품의 인출시 이동거리를 줄일 수 있는 방법으로 제품의 보관위치를 적절하게 할당하는 방법, 인출시 여러 품목을 동시에 인출하거나 여러 보관위치를 방문할 때 적절한 방문경로를 구성하는 방법, 그리고 보관된 제품을 인출자에게 가져오는 방법 등이 있다. 여러 품목을 동시에 인출하는 방법은 창고에서 동시에 여러 품목을 인출하는 환경이 허용하는 경우에 해당한다. 그러나 한번에 한곳씩 방문하며 인출하는 경우에는 제품의 보관위치 할당방법이 이동거리에 가장 중요하게 영향을 미친다. 여기서는 제품의 보관위치를 할당하는 내용에 다루고자 한다.

창고에서 제품의 보관위치에 따라 인출시 이동거리가 결정되기 때문에 창고에 보관되는 제품들에 대해 최대 재고량, 회전률 등의 특성을 고려하여 보관위치를 정한다. 그리고 제품의 보관위치 결정 방법은 인출시 이동거리와 필요한 창고공간의 수에 영향을 주게 된다. 보관에서 인출과 관련된 주요 연구내용은 제품을 창고의 보관위치에 할당하는 방법과 보관된 제품을 인출하는 방법

에 관한 것이다[12]. 또한 자동창고에서 인출기계의 정차점을 어디에 둘 것인가를 구하는 것이다. 이러한 내용에서 시스템의 성과를 측정하는 기준은 이동거리를 최소화하는 것, 창고공간의 이용률을 최대화하는 것, 그리고 창고공간의 이용의 균형을 유지하는 것 등이 있다. 그리고 고객 주문에 대해 창고에서 주문품을 인출하는데 걸리는 이동시간을 줄이기 위해 고객 주문을 배치화하는 문제에 대해 최대 이동시간을 최소화하는 것과 총 이동시간을 최소화하는 것을 목적함수로 하여 다루었다[3, 4]. 기존 연구된 보관위치 할당 방법은 지정식, 무작위식과 구역분할식 등이 있다[12, 13]. 지정식 보관방법은 각 제품을 종류별로 상대적 입출빈도를 고려하여 보관위치를 지정하여 놓는 것으로 각 제품을 지정된 위치에만 보관한다. 이 방법은 관리는 편리하지만 많은 창고공간을 필요로 한다. 반면 무작위식은 각 제품의 보관위치가 정해진 것이 아니고 무작위로 위치를 정해 보관하는 방법이다. 이 방법은 전체적인 보관위치의 수를 줄일 수 있지만 효율적인 관리 방법이 필요하다. 구역분할식은 보관위치와 제품을 각각 몇 개의 그룹으로 나누고, 보관지역에 제품그룹을 할당하고, 그리고 분할된 각 구역내에서는 무작위로 위치를 정하는 방법이다.

Graves[5], Hausman[8] and Schwarz[9]는 보관시스템의 설계, 계획 및 통제를 새로운 연구 주제로 도입하였다. 보관시스템의 운영에 관한 것은 그 이후 상당한 관심을 받아 왔다. 창고시스템의 계획과 통제에 관한 문헌은 인출요청 순서를 정하는 것과 보관위치를 할당하는 것 등의 두 가지 주제에 초점이 맞추어져 왔다. Hausman et al.[8]는 인출요청 순서를 정하는 문제를 단일명령주기만으로 순서를 정하는 것을 연구하였다. Graves et al.[5]은 이중명령주기를 수행하는 효과를 연구하였다. Han[7]은 AS/RS 효율성과는 retrieval 요청에 대해 현명하게 순서를 정함으로서 개선될 수 있음을 보여주었다. 이중명령주기에서 storage and retrieval 사이의 interleaving time을 줄일 수 있도록 순서를 정하여 개선할 수 있음을 보여주었다.

문헌에서 상당한 관심을 받은 주제중 하나는 창고에 들어오는 제품의 보관위치를 정하는 것이다. Hausman et al.[8]은 무작위식 저장, 구역분할식 저장과 지정식 저장 등 세 가지 보관위치 할당 정책을 나타내었다. 지정식과 무작위식은 구역분할식 저장의 극단적인 방법이다. Bozer [1]는 팔레트 랙을 상단 보관구역과 하단 인출구역으로 나누는 문제를 고려하였고, Chebyshev 이동시간을 가정하였고, 그리고 이러한 분리된 보관구역방식이 언제 정당화될 수 있는지 보였다. Hackman and Rosenblatt[6]는 보관구역으로부터 주문인출이 가능한 모형을 나타내었다. Frazelle et al.[2]는 휴리스틱 방법으로 인출구역의 최적크기를 결정하는 내용을 연구하였다. Van den Berg et al.[11]은 보관구역 인출이 가능한 바쁜 기간 및 쉬는 기간으로 된 창고를 생각하였고, 바쁜 기간동안 보충활동을 줄이기 위해 쉬는 기간동안 사전보충을 허용하였다. Van den Berg et al.[13]는 여러 보관위치 할당 정책을 비교하였고, 적은 수의 보관공간을 짧은 이동시간과 혼합하는 새로운 보관위치 정책을 연구하였다.

본 연구에서는 기존의 지정식과 무작위식 외에 두 가지 새로운 제품의 보관위치를 정하는 방법을 제시하고, 기존 방법과 새로운 방법들에 대해 출입구에서 보관위치까지의 이동거리 및 창고에서 필요한 보관위치의 수를 비교하고자 한다. 첫 번째 방법은 혼합식으로 창고를 지정식과 무작위식 보관구역으로 나누어 일부 제품은 지정식 보관위치에 나머지는 무작위식 보관위치에 보관하는 것이다. 두 번째 방법은 제한식으로 창고에서 각 제품의 보관위치의 범위를 제한하여 사용하는 것이다. 기존 방법인 지정식과 무작위식에 새로이 제시하는 방법들에 대해 이동거리와 필요한 보관위치의 수를 비교하여 특성을 분석한다.

2. 보관위치 할당방법

2.1 가정 및 부호

창고의 랙에는 bin 이라 하는 많은 보관위치가 있다. 창고에서 제품을 인출할 때 각 보관위치에서 출입구와의 사이의 거리를 이동거리로 정의한다. 각 보관위치는 출입구로부터의 거리에 따라 중요도에 있어 다르게 평가받는다. 상대적으로 출입구로부터 가까운 보관위치가 먼 보관위치보다 중요하게 사용될 것이다. 창고에 보관될 제품은 다수이고, 이들 제품의 연간 수요량, 1회 입고량 등이 다르기 때문에 창고에서 연간 회전률이 다르다. 회전률이 높다는 것은 해당 제품이 상대적으로 창고에 입고되는 횟수가 많음을 의미한다. 회전률이 높은 제품을 적은 제품에 비해 상대적으로 중요하게 생각할 수 있을 것이다. 창고시스템에서 이동거리를 줄이는 방법은 이동거리가 가까운 위치에 회전률이 높은 제품을 많이 할당하는 것이 효율적일 것이다. 이는 이동거리가 가까운 보관위치의 이용률을 높일 수 있을 것이다. 창고에 제품의 보관위치를 할당하는 방법에 따른 시스템의 성과의 차이는 각 보관방법이 이동거리가 가까운 위치와 회전률이 높은 제품을 어느 정도 중요하게 고려하느냐에 따라 결정된다. 창고에서 제품의 보관위치를 할당하는 방법에 따른 인출시 출입구와 보관위치사이의 이동시간과 보관위치의 수를 분석하려고 한다. 새로운 보관

위치 할당방법을 제시하고 기존 보관위치 할당 방법과 함께 분석한다. 설명을 위해 다음과 같은 가정과 부호를 정의한다.

(1) 가정

① 각 제품의 수요량은 시간에 대해 일정하다.
② 창고에서 각 제품의 안전재고량은 0으로 한다.
③ 창고에 입고되는 각 제품의 입고시점은 재고량이 0일 때 제품별로 일정한 목단위로 일시에 이루어진다.
④ 창고에서 각 제품의 최대 재고량 발생시점은 입고가 발생한 시점이고, 각 제품의 입고시점은 제품별로 다르다.
⑤ 창고에서 제품인출은 단일명령주기로 이루어진다.

(2) 부호

i = 제품을 나타내는 첨자
j = 출입구로부터 거리가 가까운 보관위치부터 순서를 정했을 때 보관위치를 나타내는 첨자
k = 보관위치를 나타내는 첨자
K = 총 보관위치의 수
d_{0j} = 출입구 0에서 보관위치 j까지 거리
R_i = 제품 i의 주어진 기간동안 수요량
Q_i = 제품 i의 1회 입고량
N_i = 제품 i의 주어진 기간동안 회전률, $N_i = \frac{R_i}{Q_i}$을 나타냄
A_1 = 회전률이 높은 그룹으로 정해진 제품 집합
A_2 = 회전률이 낮은 그룹으로 정해진 제품 집합

2.2 보관위치 할당방법

창고에서 제품의 보관위치의 할당방법으로 지정식, 무작위식과 구역분할식 등 크게 3가지가 존재한다. 이 중에서 가장 기본적인 할당방법은 지정식과 무작위식이다. 관리면에서는 지정식이 공간이용률 면에서는 무작위식이 바람직한 방법이다. 공간이용률과 이동거리 두 가지 모두를 동시에 만족시킬 수 있는 보관방법이 있으면 가장 바람직한 보관방법이 될 것이다. 운행시간동안 전체 보관위치에 비해 실질적으로 보관된 보관위치의 수가 평균적으로 적게 되면 거리가 가까운 보관위치를 자주 사용하는 무작위식이 평균 이동거리가 적을 것이다. 그러나 전체 보관위치를 모두 사용하는 것으로 운영하면 지정식이 평균 이동거리는 적을 것이다.

여기서는 두 가지 새로운 보관위치 할당방법을 제시하고 기존방법들과 평균 이동거리와 필요한 보관공간의 수에 대해 비교한다. 첫 번째 제시하는 방법은 전체 보관위치 중에서 일부 구역은 지정식으로 운영하고, 나머지는 구역은 무작위식으로 운영하는 것이다. 이 경우는 회전률이 높은 제품의 보관위치를 출입구에 가까운 위치에 할당하여 회전률이 낮은 제품이 거리가 가까운 위치에 배치되는 것을 방지할 수 있을 것이다. 두 번째 방법은 각 제품의 보관위치의 범위를 정하는 것이다. 보관위치를 출입구로부터 거리가 가까운 보관위치부터 먼 보관위치로 순서로 번호를 정하고, 각 제품이 보관될 보관위치의 최소번호를 정해 이 최소번호 이후에만 보관할 수 있는 방식으로 각 제품의 보관위치에 대한 범위를 제한하는 방식이다.

회전률에 대해 정의한다. 제품의 회전률을 주어진 기간동안 창고에 입고되는 횟수로 정의한다. 예를 들면, 주어진 기간을 연이라 하면 어떠한 제품의 연간 수요량이 100개이고, 한번에 20개씩 창고에 입고된다면 이 제품의 회전률은 5가 된다. 제품의 회전률은 연간 동일한 수요량에 대해서도 한번에 입고되는 수량이 많으면 회전률은 낮고, 수량이 적으면 회전률은 높아지게 된다. 이와 같이 주어진 기간동안 동일한 수요량일지라고 1회 입고되는 수량에 따라 회전률이 결정되기 때문에 회전률은 재고정책에 따라 결정된다.

(1) 혼합식 보관

혼합식 보관은 창고의 보관위치 중에서 일부는 지정식으로 나머지는 무작위식으로 보관하는 방법이다. 제품의 회전률을 기준으로 제품들을 두 그룹으로 나눈다. 주어진 기준 비율 α와 비교하여 회전률이 상대적으로 높은 제품그룹을 A_1으로 하고, 나머지 제품그룹을 A_2라 한다. 창고의 보관위치 중에서 집합 A_1에 있는 제품들의 최대 재고량의 합에 해당하는 수를 지정식 보관위치의 수로 하고, 나머지 보관위치는 무작위식 보관위치로 한다. 그리고 지정식 보관위치 구역의 위치와 수는 출입구부터 보관위치까지의 거리가 가장 가까운 위치부터 차례로 A_1에 있는 제품들의 최대 재고량의 합에 해당하는 수로 정한다. 이렇게 하면 상대적으로 회전률이 높은 제품을 출입구로부터 가까운 위치에 할당할 수 있으며, 무작위식에 비해 상대적으로 회전률이 낮은 제품들이 출입구로부터 가까운 위치에 보관되는 경우를 방지할 수 있을 것이다.

집합 A_1에 있는 제품들에 대해 회전률이 높은 제품부터 낮은 제품으로 배열하였을 때 각 제품의 최대 재고량일 때를 기준으로 각 제품에 대한 보관위치를 구할 것이다. 집합 A_1에 있는 제품의 종류는 S개이고, 회전률이 높은 것부터 낮은 것으로 순서를 나열할 때 제품의 순서를 나타내는 첨자를 s라 정의한다. w_j는 창고의

출입구로부터 보관위치까지를 거리가 가까운 위치부터 먼 위치의 순서로 보관위치를 나열하였을 때 j번째 보관위치에 보관된 제품의 회전률을 의미한다. 집합 A_1에 있는 모든 제품에 대해 1회 입고량을 최대재고량으로 하여 모든 제품을 회전률이 높은 제품부터 나열하면 보관위치 j의 회전률 w_j는 다음 식 (1)과 같이 표현된다.

$$w_j = \begin{cases} N_1, & j = 1, 2, \ldots, Q_1 \\ N_s, & j = \sum_{l=1}^{s-1} Q_l + 1, \ldots, \sum_{l=1}^{s-1} Q_l + 2, \ldots \\ & \ldots, \quad \sum_{l=1}^{s} Q_l, \quad s = 2, 3, \ldots, S \end{cases} \quad \cdots\cdots (1)$$

여기서 집합 A_1에 있는 제품들에 대한 총 이동거리는 출입구에서 보관위치까지 거리에 각 보관위치의 회전률을 곱하여 구하는데 식 (2)과 같다.

$$D_1 = \sum_{j \in A_1} d_{0j} w_j \quad \cdots\cdots (2)$$

집합 A_2에 속하는 제품들에 대한 평균 이동거리는 보관정책에 따라 결정된다. 무작위보관구역에서의 보관위치의 결정은 무작위보관공간 전체를 대상으로 무작위하게 보관위치를 정하는 방식과 출입구에서 가장 가까운 위치부터 정하는 방식을 생각할 수 있다. 빈 보관위치들 중에서 출입구로부터의 거리가 가장 가까운 보관위치부터 할당한다면 이동거리는 정확히 계산할 수 없다. 이는 사용하는 창고공간의 수가 시간에 따라 계속 변하여 무작위 보관위치의 평균 이동거리를 정확히 계산할 수 없기 때문이다. 그리고 전체 보관위치를 대상으로 무작위로 선택하여 할당하는 방식을 사용하고 보관위치의 수를 일정하게 하면, 이동거리는 전체 무작위 보관위치의 평균거리에 회전률을 곱하여 구할 수 있을 것이다. 즉 창고의 보관위치의 수가 K개이고, 지정식 보관위치의 수는 $\sum_{l=1}^{S} Q_l$이기 때문에 무작위로 보관되는 구역의 보관위치의 수는 $K - \sum_{l=1}^{S} Q_l$개가 되는데 이 무작위 보관위치 모두를 대상으로 무작위로 보관위치를 정한다면, 무작위 보관위치에 보관되는 제품의 총 이동거리 D_2는 식 (3)과 같다.

$$D_2 = \Big(\sum_{j=\sum_{l=1}^{s} Q_l + 1}^{K} d_{0j} / (K - \sum_{l=1}^{S} Q_l) \Big) \Big(\sum_{i \in A_2} R_i \Big) \quad \cdots\cdots (3)$$

그러므로 모든 보관위치에 보관되는 제품의 총 이동거리는 다음 식 (4)과 같다.

$$D = D_1 + D_2 = \sum_{j \in A_1} d_{0j} w_j + \Big(\sum_{j=\sum_{l=1}^{s} Q_l + 1}^{K} d_{0j} / (K - \sum_{l=1}^{S} Q_l) \Big) \Big(\sum_{i \in A_2} R_i \Big) \quad \cdots\cdots (4)$$

주어진 기간동안 창고에서 인출되는 총 제품의 수는 주어진 기간동안 수요량의 합이 $\sum_i R_i$이므로 인출당 평균 이동거리는 다음 식 (5)과 같다.

$$AD = \Big[\sum_{j \in A_1} d_{0j} w_j + \Big(\sum_{j=\sum_{l=1}^{s} Q_l + 1}^{K} d_{0j} / (K - \sum_{l=1}^{S} Q_l) \Big) \Big(\sum_{i \in A_2} R_i \Big) \Big] / \sum_i R_i \quad \cdots\cdots (5)$$

(2) 제한식 보관

제한식 보관은 무작위 보관방식을 응용한 것으로 각 제품별로 보관구역의 범위를 정하는 것이다. 각 제품별로 보관될 보관위치의 범위를 제한한다. 창고의 보관위치를 출입구로부터의 거리를 기준으로 거리가 가까운 위치부터 먼 위치의 순서로 번호를 정하고, 또한 제품도 회전률을 기준으로 회전률이 높은 것부터 낮은 것으로 순서를 정한다. 그리고 각 제품의 최대재고량을 기준으로 지정식을 적용할 경우에 누적 보관위치 수를 구하고, 이 누적 수에 일정한 비율을 곱하여 얻어진 수를 활용하여 각 제품의 보관위치의 범위로 하는 방식이다. 이 방식은 회전률이 낮은 제품이 무작위식을 적용할 때 이동거리가 가까운 보관위치에 보관되는 가능성을 줄일 수 있을 것이다. 또한 지정식으로 할 때 각 제품에 대해 많은 보관위치가 지정되는 것을 줄일 수 있을 것이다.

제품들을 회전률을 기준으로 순서를 정해 최대 재고량을 기준으로 회전률이 높은 것부터 누적 재고량을 구한 후 이 누적 재고량에 임의의 비율 β를 곱해 각 제품이 보관될 위치를 정한다. 비율 β의 값에 따라 각 제품의 보관위치의 최소 번호가 결정된다. 회전률이 높은 제품부터 순서로 누적 재고량을 구했을 때 어떠한 제품의 바로 직전까지의 누적 재고량이 B이면 이 제품의 보관위치는 번호는 $[B\beta]^+ + 1$ (여기서 $[x]^+$는 x보다 적지 않는 가장 적은 정수)부터 마지막 보관위치까지가 된다. 보관위치 번호 $[B\beta]^+ + 1$부터 마지막 보관위치까지 전체를 대상으로 무작위하게 보관위치를 선택하는 방식과 출입구에서 가장 가까운 위치를 보관위치로 선택하는 방식이 가능할 것이다. 여기서는 보관위치의 선택을 후자에 해당하는 출입구에서 가장 가까운 위치를 선택하는 방식이 평균 이동거리가 적을 것이기 때문에 이 방식만을 고려한다.

비율 $\beta = 1.0$이면, 지정식 보관방법과 동일한 결과를 가져다 줄 것이다. 비율 $\beta = 0.0$이면, 각 제품의 보관위치에 제한이 없는 것으로 무작위식에서 빈 보관위치 중

에서 출입구로부터 거리가 가장 가까운 위치에 보관하는 방법과 동일 할 것이다. 비율 β의 값이 클수록 지정식 보관방법과 비슷한 결과를 나타낼 것이고, 반대로 β의 값이 적을수록 무작위식의 근거리 방식과 비슷한 결과를 나타낼 것이다. 비율 β의 값에 따른 이동시간과 창고공간의 수를 비교하기 위해 β값을 변화시키면서 이들의 값을 구한다.

예를 들어, 제품 1, 2, 3, 4, 5의 연간 회전률이 각각 8, 7, 5, 4, 2인 제품의 1회 입고량이 100, 50, 80, 30, 70일 때 회전률 순서로 제품들의 누적량을 구하면 100, 150, 230, 260, 330이 된다. 보관위치를 거리를 기준으로 가까운 위치부터 번호를 1,2,3,....의 번호를 부여한다. 그리고 β=0.9라면 각 제품의 보관위치 번호는 제품 1은 1부터 마지막, 제품 2는 번호 91부터 마지막, 제품 3은 번호 136부터 마지막, 제품 4는 번호 207부터 마지막, 제품 5는 번호 235부터 마지막이 된다.

제한식에서 비율 β을 크게 할수록 회전률이 낮은 제품이 출입구로부터 거리가 가까운 위치에 보관되는 가능성을 줄일 수 있을 것이다. 이 방식을 적용할 때 모든 제품을 개별적으로 보관구역의 범위를 정하는 경우와 제품을 그룹으로 정해 그룹별로 보관위치 범위를 정하는 경우가 있을 수 있다.

(3) 지정식 보관

지정식 보관에서는 각 제품의 보관위치가 종류별로 정해진다. 각 제품은 종류별로 보관위치 범위가 정해지고, 각 제품의 보관위치의 수는 최대 재고량에 비례한다. 제품의 보관위치는 회전률을 구해 회전률이 높은 제품부터 낮은 제품으로 배열하고, 모든 보관위치에 대해 출입구에서 보관위치까지의 거리를 구해 거리가 가까운 보관위치에서 먼 보관위치의 순서로 번호를 나열하여 회전률이 높은 제품부터 거리가 가까운 보관위치부터 차례로 할당한다. 어떠한 제품의 최대 재고량이 N이고 이 제품보다 회전률이 높은 제품의 최대 재고량의 합이 B_2이면 이 제품의 보관위치의 번호범위는 $[B_2+1,\ B_2+N]$가 된다. 그리고 이 방식을 적용할 경우 필요한 최대 보관위치의 수 $K=\sum_i Q_i$가 된다.

(4) 무작위식 보관

무작위식 보관은 각 제품의 보관위치가 특정하게 정해진 것이 아니고 무작위로 아무 위치나 될 수 있다. 보관위치를 선택하는 규칙으로 전체 보관위치에 대해 완전 무작위하게 보관위치를 선택하는 방법, 출입구에서 가장 가까운 보관위치부터 선택하는 방법, 가장 먼 보관위치부터 선택하는 방법 등이 사용될 수 있다. 이 규칙들 중 총 보관위치를 대상으로 완전하게 무작위로 보관위치를 결정할 때 평균이동거리는 보관위치의 평균거리에 총 인출량을 곱하여 구할 수 있다. 보관방식이 지정식일 때 필요한 창고공간의 수는 각 제품의 최대 재고량을 기준으로 하기 때문에 정확히 알 수 있지만, 무작위식일 때는 전체적인 최대재고를 유지하는 시점의 재고량을 정확히 알 수 없기 때문에 필요한 창고공간의 수를 정확히 알 수 없다. 그렇지만 창고에 입고되는 제품에 대해 무작위 시간에 입고를 허용할 때 모든 아이템이 동일한 시간에 입고될 수 있음을 가정할 경우는 무작위 보관방식일 때 필요한 공간의 최대 수는 지정식일 경우와 동일할 것이다. 그러나 모든 제품이 동일한 시간에 입고되는 것이 현실적으로 발생할 가능성이 높지 않기 때문에 필요한 창고공간의 수는 지정식일 경우에 비해 훨씬 적다. 지정식에서 필요한 보관위치의 수에 비해 무작위식에서 실질적으로 보관된 보관위치의 평균 수는 상대적으로 매우 적다. 그러므로 출입구에서 가장 가까운 위치부터 먼저 보관하고 또한 가까운 위치부터 먼저 인출할 경우는 지정식에 비해 거리가 가까운 일부의 위치만을 집중적으로 자주 사용하기 때문에 지정식에 비해 평균 이동거리가 적을 수 있다.

(5) 구역분할식 보관

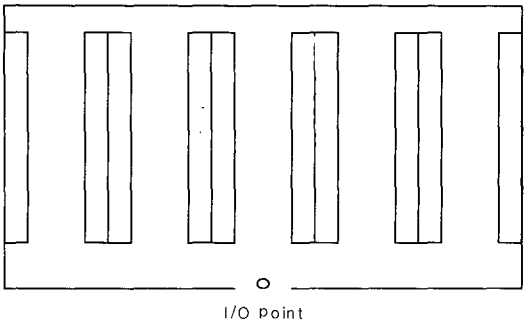
보관구역을 출입구부터의 거리, 위치 등을 고려하여 몇 개의 구역으로 분할하고, 또한 제품도 회전률, 동시출고 가능성 등을 고려하여 구역 수만큼 나누어 각 그룹을 구역에 할당하고 그룹 내에서 제품의 보관위치를 무작위로 선택하는 방식이다. 지정식과 무작위식은 구역분할식의 극단적인 방법이다.

3. 평균 이동거리와 공간의 수 분석

3.1 수치적 예제를 통한 실험

수치적 예제를 사용하여 보관위치 할당방법사이에 출입구에서 보관위치까지의 평균 이동거리와 공간의 수인 시스템 성과를 비교한다. 그림 1과 같은 구조에서 각 랙은 2단으로 된 창고를 생각한다. 두 개의 랙이 통로를 사이에 두고 마주보고 있다. 창고에서 통로는 5개이고, 랙의 수는 10개라 하자. 통로의 폭은 4m이고, 랙의 깊이는 2m이라 한다. 랙의 bin 세로로 50개이고, 창고에서 총 bin의 수는 1000개이다. 보관위치인 bin은 가로가 2m이고, 높이가 2m이고, 깊이가 2m이다. 창고의 출입구인 I/O 위치는 가운데 통로의 아랫단 바닥에 랙으로부터 4m 떨어진 곳에 위치하고 있다. 창고에서 보관위치의

번호는 왼쪽 랙의 2단 세로, 1단 세로, 다음 왼쪽에서 두 번째 랙의 2단 세로, 1단 세로 순서로 부여한다.



<그림 1> 창고의 예

창고에서 출입구로부터 각 보관위치까지의 거리를 구한 후에 이 거리를 기준으로 거리가 가까운 보관위치부터 먼 보관위치의 순서로 번호를 추가로 새로이 부여한다. 그리고 각 제품의 회전률을 구하여 회전률이 큰 값부터 적은 값의 순서로 제품에 번호를 부여한다. 단위기간을 분기로 하고, 이 창고에 보관될제품은 20가지로 각 제품에 대한 분기별 수요량, 1회 입고량은 표 1과 같다. 각 제품의 입고량인 최대 재고량은 삼각분포 (20, a, 70) ((20<a<70))를 사용하여 생성하여 모든 제품의 최대 재고량의 합을 950으로 유지하였다. 제품의 입고는 배치로 출고는 개별적으로 발생하는 것으로 한다. 그리고 회전률은 삼각분포 (2, b, 15) ((2<b<15))를 사용하여 생성하였고, 이 회전률을 최대재고량 크기의 순서대로 배열하여 각 제품의 회전률을 구하였고, 또한 분기별 수요량은 최대재고량에 회전률을 곱하여 구하였다. 여기서 최대재고량의 크기 순서와 회전률의 크기 순서를 동일하게 적용하였다. <표 1>에 나타난 자료는 실험 1에 해당하는 자료로 분기별 수요량, 발주량 및 분기별 회전률을 나타낸다. 실험 2와 실험 3은 최대재고량과 회전률의 최빈값에 해당하는 a와 b를 변화시키면서 다음의 실험형태에 맞는 자료를 생성하여 얻은 것이다. 그리고 각 제품의 초기 재고량은 [1,발주량] 사이에서 난수를 사용하여 생성하였다. 초기재고량은 혼합식 $\alpha=0.0$, $\beta=0.0$, 근거리는 같고, 그리고 $\alpha=1.0$, $\beta=1.0$, 지정식은 같도록 생성하였고, 나머지의 경우에는 실험 때마다 동일한 조건으로 새로이 생성하였다.

(1) 실험 형태

제품의 회전률의 비율을 달리하여 다음의 3가지 경우에 대해 실험한다. 실험 1, 2 3은 제품의 회전률이 높은 제품과 중간인 제품, 낮은 제품의 비율을 서로 달리하여 만들어진 것이다.

1) 실험 1 : 제품 수에서 회전률 상위 20%가 전체 수요량의 35%, 다음 회전률 상위 30%가 전체 수요량의 35%, 나머지 회전률 50%가 전체 수요량의 30% 정도가 되도록 하였다.
2) 실험 2 : 제품 수에서 회전률 상위 20%가 전체 수요량의 40%, 다음 회전률 상위 30%가 전체 수요량의 35%, 나머지 회전률 50%가 전체 수요량의 25% 정도가 되도록 하였다.
3) 실험 3 : 제품 수에서 회전률 상위 20%가 전체 수요량의 45%, 다음 회전률 상위 30%가 전체 수요량의 35%, 나머지 회전률 50%가 전체 수요량의 20% 정도가 되도록 하였다.

<표 1> 제품의 분기별수요량, 1회 발주량과 분기별 회전률의 예

제품	분기별 수요량	발주량	분기별 회전률	제품	분기별 수요량	발주량	분기별 회전률
1	640	60	10.67	11	460	50	9.20
2	320	40	8.00	12	540	55	9.82
3	830	65	12.77	13	820	65	12.62
4	100	20	5.00	14	650	60	10.83
5	250	35	7.14	15	550	55	10.00
6	400	45	8.89	16	250	35	7.14
7	410	45	9.11	17	480	50	9.60
8	640	60	10.67	18	270	35	7.71
9	140	25	5.60	19	970	70	13.86
10	340	40	8.50	20	340	40	8.50

(2) 보관위치 할당방법

다음과 같은 4가지 보관위치 할당방식에 대해 실험한다. 다음과 같은 보관위치 할당방식에 대해 앞의 3가지 실험형태에 대해 평균이동거리와 필요한 공간의 수를 구한다.

1) 혼합식 보관방식

지정식 보관위치의 크기를 정하는 기준 α가 다음일 경우에 대하여 분석한다. 무작위구역에서 보관위치는 출입구에서 가장 가까운 위치를 선택하는 근거리 방식을 사용한다.

α= 0.0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 1.0

2) 제한식 보관방식

각 제품이 보관될 보관위치 범위를 정하는 기준 β가 다음일 경우에 대하여 분석한다. 보관위치는 출입구에서 가장 가까운 위치를 선택하는 근거리 방식을 사용한다.

β= 0.0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0

3) 지정식 보관방식

각 제품의 보관방법이 고정되어 있고, 동일 제품일 경우에 인출 위치는 무작위로 정한다. 보관위치가 정해져 있고, 재고가 0이 될 때까지 모든 제품이 인출되기 때문에 인출순서에 관계없이 이동거리는 동일하다.

4) 무작위식 보관방식

보관위치 할당 방법으로 두 가지 경우를 고려한다. 주어진 전체 보관위치(K=700, 800, 900, 1000)에 대해 전체 보관위치를 대상으로 입고시는 보관위치를 무작위로 선택하고 또한 인출시도 무작위로 선택하는 방법과 전체 보관위치 중에서 입고시는 출입구로부터 거리가 가장 가까운 보관위치부터 보관하고 인출시도 거리가 가까운 보관위치부터 인출하는 방법(근거리)을 고려한다.

4가지 보관위치 할당방법에 대해 3가지 실험을 위해 Matlab으로 시뮬레이션 프로그램을 개발하였고, 평균 이동거리와 필요 공간의 수를 구하는 실험을 하였고, 실험결과는 <표 2>와 같다.

3.2 실험 분석

<표 2>에 나타난 것과 같이 앞에서 정한 보관위치 할당 방법에 대해 3가지 실험을 실험기간을 1년으로 하여 시뮬레이션을 수행하였다. <표 2>에서 최대 공간의 수는 왼쪽은 창고에 최대 재고량이 발생한 시점에서의 제품의 재고량을 의미하고, 오른쪽은 창고에 보관된 제품 중에서 출입구에서 거리 순서로 가장 먼 보관위치에 보관된 제품의 보관위치의 번호를 의미한다. 그러므로 실제 필요한 창고공간의 최대 수는 오른쪽 값에 해당한다. 실험을 통하여 분석한 내용은 다음과 같다.

<표 2> 보관방식에 따른 평균이동거리와 최대 공간의 수

보관방식	매개변수		평균 운반거리			최대 공간의 수		
			실험 1	실험 2	실험 3	실험 1	실험 2	실험 3
혼합식	$\alpha = 0.0$		44.29	43.72	43.61	697 697	687 687	693 693
	$\alpha = 0.1$		49.35	48.24	47.47	701 723	674 749	698 740
	$\alpha = 0.2$		53.03	51.61	50.71	684 780	683 776	687 773
	$\alpha = 0.3$		56.14	53.61	52.21	656 811	671 790	685 817
	$\alpha = 0.4$		58.21	55.28	53.35	668 829	658 836	704 838
	$\alpha = 0.5$		59.89	56.33	54.06	670 884	699 870	693 882
	$\alpha = 1.0$		61.76	57.65	55.20	691 950	702 950	718 950
제한식	$\beta = 0.0$		44.29	43.72	43.61	697 697	687 687	693 693
	$\beta = 0.1$		45.12	44.24	44.41	684 698	702 719	694 708
	$\beta = 0.2$		46.23	45.10	45.15	685 711	672 690	671 700
	$\beta = 0.3$		47.80	46.37	44.73	681 744	709 731	666 705
	$\beta = 0.4$		49.28	47.39	45.86	691 732	687 782	684 716
	$\beta = 0.5$		50.52	48.30	46.46	674 738	673 754	644 737
	$\beta = 0.6$		52.16	49.75	49.72	660 771	672 764	667 753
	$\beta = 0.7$		54.43	51.68	49.41	702 776	680 796	713 770
	$\beta = 0.8$		57.34	53.43	51.53	721 834	670 833	667 846
	$\beta = 0.9$		59.82	56.01	53.64	701 890	700 893	698 888
	$\beta = 1.0$		61.76	57.65	55.20	691 950	702 950	718 950
지정식			61.76	57.65	55.20	691 950	702 950	718 950
무작위식	무작위	K=700	55.32	55.33	55.25	683 700	674 700	692 700
		K=800	60.23	60.28	60.31	667 800	672 800	688 800
		K=900	65.33	65.30	65.33	666 900	691 900	694 900
		K=950	67.79	67.73	67.68	683 950	664 950	700 950
	근거리		44.29	43.72	43.61	697 697	687 687	693 693

(1) 혼합식에서 $\alpha = 0.0$일 때, 제한식에서 $\beta = 0.0$일 때, 무작위식에서 근거리 방식은 모두 동일한 방식에 해당하는 것으로 평균이동거리가 동일하게 얻어졌다. 제품이 창고에 입고되어 보관위치를 정할 때 출입구로부터 거리가 가장 가까운 위치부터 보관되고, 인출시 가장 가까운 보관위치부터 인출하는 방식으로 전체 보관위치 공간 중에서 상대적으로 거리가 가까운 일부의 위치에 주로 보관하는 방식으로 이동거리가 적게 나타났다.

(2) 혼합식에서 α=1.0일 때, 제한식에서 β=1.0일 때, 지정식은 동일한 방식으로 각 제품의 보관위치가 지정되게 된다. 이는 실제 보관되어 있는 재고량의 수는 적은데도 보관위치의 지정으로 인해 거리가 먼 보관위치에도 상대적으로 자주 보관되기 때문에 무작위식에 비해 평균이동거리가 길게 나타나고 있다.

(3) 무작위 보관방식에서 입고시 주어진 전체 공간 중에서 무작위로 선택하고, 인출 시 동일한 제품이 여러 곳에 보관되어 있을 때 인출위치를 무작위로 선택하는 방식은 상대적으로 긴 평균이동거리가 나타났다 (무작위 : K=700, 800, 900, 1000). 이는 빈 보관위치 중에서 출입구에서 가장 가까운 위치를 선택해야 하는 것이 바람직한데 무작위로 선택되기 때문에 거리가 먼 보관위치가 선택될 수 있어 가까운 보관위치에 빈 공간이 발생하기 때문이다.

(4) 혼합식, 제한식, 지정식에서 회전률이 높은 제품의 수요량이 많을수록 평균이동거리가 적음을 알수 있다. 실험 1보다 실험 3의 평균이동거리가 적게 나타나고 있다. 이는 회전률이 높은 제품이 많을수록 거리가 가까운 위치에 보관되는 제품의 빈도가 상대적으로 크게 발생하기 때문이다.

(5) 혼합식에서 α의 값이 적을수록 평균이동거리가 적게 나타나고 있다. 이는 지정식 보관위치의 수를 적게 할수록 이동거리가 적게 발생하는 것을 의미한다.

(6) 제한식에서 β의 값이 적을수록 평균이동거리가 적게 나타남을 알 수 있다. β의 값이 적은 것은 많은 빈 공간이 발생할 때 상대적으로 가까운 보관 위치를 더 사용하게 하는 것을 의미한다. 그리고 최대 보관위치의 번호가 적게 나타나고 있다.

(7) 혼합식에서 α의 값, 제한식에서 β의 값이 클수록 보관된 제품의 보관위치의 최대 번호가 커짐을 알 수 있다. 이는 α, β의 값이 커질수록 거리가 먼 곳의 보관위치에도 보관되기 때문이다.

(8) 전체적으로 무작위식의 근거리 보관위치 할당방식이 평균 이동거리가 적고 필요한 보관위치의 수가 적음을 알 수 있다. 이는 다른 보관방법에 비해 전체 보관위치들 중에서 상대적으로 사용되는 보관위치의 수는 적으면서 출입구로부터 거리가 가까운 보관위치에 주로 보관되기 때문에 평균이동거리가 적게 발생하고 있다. 반면 다른 보관방식은 보관된 제품의 수에 비해 거리가 먼 보관위치를 사용하고 출입구로부터 가까운 보관위치가 자주 빈 상태가 되기 때문에 평균 이동거리가 더 크게 나타나고 있다.

(9) 창고에서 총 보관위치의 수에 비해 실시간으로 실질적으로 보관되어 있는 제품의 수가 상대적으로 적기 때문에 출입구로부터 거리가 가까운 보관위치를 집중적으로 자주 많이 사용하는 방식이 이동거리가 적음을 알 수 있다. 이러한 방식으로 무작위식의 근거리 방식이 이동거리가 적게 나타났다. 무작위식의 근거리 방식의 관리가 합리적으로 된다면 이동거리와 필요공간의 수 등에서 바람직한 방법이 될 것이다.

(10) 일반적으로 무작위식이 지정식보다 이동거리가 큰 것은 양 방식이 동일한 보관공간의 수를 대상으로 할 때 무작위식이 모든 빈 보관공간에 대해 균등한 확률로 보관공간을 선택할 경우에 해당할 것이다. 그러나 일반적으로 무작위식이 지정식에 비해 적은 수의 보관공간을 사용한다. 이는 각 제품의 최대 재고량 시점이 동시에 발생하지 않기 때문이다. 그리고 적은 수의 보관공간을 사용하는 것이 무작위식의 중요한 장점중의 하나이다. 그러나 어느 정도 적은 수의 보관공간을 사용할지에 대한 것은 쉬운 문제가 아니다. 지정식에 비해 무작위식이 적은 수의 보관공간을 사용하기 때문에 보간공간의 수에 따라서는 지정식이 무작위식에 비해 이동거리가 클 수도 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 창고에서 제품의 보관위치의 할당방법에 대한 연구로써 새로운 할당방법을 제시하고, 기존 보관위치 할당방법인 지정식과 무작위식과 함께 수치적 예제를 통한 시뮬레이션으로 보관위치 할당방법들에 대해 평균 이동거리와 필요공간의 수에 대한 것을 분석하였다. 이동거리를 줄이면서 필요한 공간의 수를 줄일 수 있다면 창고에서 발생하는 비용을 줄일 수 있는 가장 좋은 방법이 될 것이다. 보관위치 할당방법 중에서 무작위식에서 입고시 출입구로부터 거리가 가장 가까운 보관위치부터 보관하고 인출시 가까운 보관위치부터 인출하는 무작위식 근거리 방식이 이동거리와 필요공간의 수에서 좋은 결과를 보여주고 있다. 이는 창고의 총 보관위치의 수에 비해 실시간으로 제품의 입출고를 통하

여 실질적으로 보관된 제품의 수가 적어 전체 보관위치가 아닌 일부 보관위치만을 필요로 하고, 이동거리가 가까운 보관위치를 빈번하게 사용하기 때문이다. 창고에서 이동거리를 줄이기 위한 보관위치 할당방법으로 가장 바람직한 방법은 출입구로부터 거리가 가까운 보관위치를 빈번하게 사용하는 방법이 될 것이다.

참고문헌

[1] Bozer, Y. A., *Optimizing throughput performance in design order picking system*, PhD thesis, Georgia Institute of Technology, Atlanta, GA., 1995.

[2] Frazelle, E. H., Hackman, S. T., Passy, U., and Platzman, L. K., "The forward reserve problem," in Optimization in Industry 2, Cirani, T.A. and Leachman, R.C.(eds), John Wiely, pp. 43-61, 1994.

[3] Gademann, N., Van den Berg, J. and Van der Hoff, H., "An order batching algorithm for wave picking in a parwllel-aisle warehouse," *IIE Transactions*, 33 : 385-398, 2001.

[4] Gademann, N. and Van De Velde, S., "Order batching to minimize total travel time in a parallel-aisle warehouse," *IIE Transactions*, 37 : 63-75, 2005.

[5] Graves, S. C., Hausman, W. H., and Schwarz, L. B., "Storage-retrieval interleaving in automatic warehousing systems," *Management Sci.*, 23(9) : 935-945, 1977.

[6] Hackman, S. T. and Rosenblatt, M. J., "Allocating items to an automated storage and retrieval system," *IIE Transactions*, 22(1) : 7-14, 1990.

[7] Han, M.-H., MaGinnis, L.F., Shieh, J. S. and White, J.A., "On sequencing retrievals in an automatic storage/retrieval system," *IIE Transactions*, 19 : 56-66, 1987.

[8] Hausman, W. H., Schwarz, L. B., and Graves, S. C., "Optimal storage assignment in automatic warehousing systems," *Management Sci.*, 22(6) : 629-638, 1976.

[9] Schwarz, L. B., Graves, S. C., and Hausman, W. H., "Scheduling policies for automatic warehousing systems: simulation results," *AII Transactions*, 10(3) : 260-270, 1976.

[10] Tompkins, J. A., White, J. A., Bozer, Y. A., Fraselle, E. H., Tanchoco, J. M. A., and Trevino, J., *Facilities Planning*, John Wiley & Sons, Inc, NY, 1996.

[11] Van Den Berg, J. P., Sharp, G. P., Gademann, A. J. R. M., and Pochet, Y., "Forward reserve allocation in a warehouse with unit-load replenishments," *European J. of Operational Research*, 111 : 98-113, 1998.

[12] Van Den Berg, J. P., "A literature survey on planning and control of warehousing systems," *IIE Transactions*, 31 : 751-762, 1999.

[13] Van Den Berg, J. P. and Gademann, A. J. R. M., "Simulation of an automated storage/retrieval system," *Int. J. Prod. Res.*, 38(6) : 1339-1356, 2000.