

크레인의 능력을 고려한 MOB 자동창고 시스템의 저장과 불출정책

조용환* · 손권익**

Storage & Retrieval Policies for S/R Machine with Capacity Constraints in Man-On-Board AS/RS

Yong-Hwan Cho* · Kwon-Ik Sohn**

ABSTRACT

This paper deals with storage and retrieval policies for S/R machine with capacity constraints in Man-On-Board AS/RS. It is assumed that storage sequence is based on SFC(spacefilling curve) routine and that storage layout is dedicated by storage policies.

We present several heuristic algorithms for storage and retrieval policies which minimize total distance travelled by the S/R machine. These algorithms are based on COI, group COI, frequency of order, similarity between items and capacity of S/R machine.

Experimental results of 24 combinatorial policies are provided to illustrate the performance of the heuristics under various rack utilization ratios.

In storage policies, the results show that algorithms considering both similarity and frequency are better than those with COI as rack utilization is increasing. And algorithm using group COI is superior to others. In retrieval policies, the method with revision expression is shown to be better than others.

1. 서론

1.1 서론

* 강원대학교 산업공학과 석사과정 졸업

** 강원대학교 산업공학과 교수

자동창고 시스템(AS/RS : Automated Storage and Retrieval System)은 물류의 저장과 불출에 관련된 장비와 운영방식이

자동화된 창고로 좁은 면적에서도 저장 선반을 고층으로 설치하여 공간 비용을 최소화하는 첨단 시스템이다. 따라서 재래식 창고와 비교할 때 컴퓨터 및 데이터 베이스와 연계하여 저장품을 체계적으로 관리할 수 있고 입/출고 시간을 상당히 줄일 수 있어 제조업 뿐만 아니라 유통업에서도 널리 사용되어 가고 있다.

최근 고객 기호의 다양화와 고객만족 생산우위전략에 따라 소품종 대량생산에서 다품종, 소로트, 짧은 납기 생산으로 진행되는 가운데 더욱 효율적인 자동창고 시스템의 운영방안이 필요하게 되었다. 본 연구의 대상인 MOB(Man-On-Board) 자동창고 시스템은 비교적 가벼운 물건을 작업자가 크레인 위에서 저장할 물건을 신고 저장을 하거나 또는 불출 물건들을 가져나오는 형태이다. 이 시스템은 작고 가벼운 제품에 적합하며 운송장비의 운반횟수를 줄일 수 있는 큰 장점이 있어 बै치(batch)단위로 저장과 불출을 하는 면에서 유리하다. 따라서 본 연구는 MOB 자동창고 시스템에서 더욱 빠른 입/출고 시간을 위한 운영방안 모형을 크레인의 능력과 연계하여 연구하고, 이에 대한 여러가지 알고리즘을 개발하여 최선의 대안을 제시하고자 한다.

본 연구의 주된 방향은 저장될 품목들의 저장위치를 미리 결정짓는 것이다. 저장위치의 결정은 저장 뿐 아니라 불출시의 효율적인 운영에 중요한 관건이 된다. 저장위치를 결정짓는데 있어서 중요한 요소들로서는 인출방식, 품목들의 회전율, 품목간의 동시인출 가능성 등을 들 수 있다. 그러므로 이 연구에서 고려할 운영상 두가지 중요한 점은 물품할당(storage assignment)과 불출순서(order picking) 문제이다. 물품할당은 저장랙에 제품들을 효율적으로 할당하는 방법을 결정하는 것이고, 불출순서는 주문요구목록들을 크레인의 능력에 맞게 몇개의 그룹으로 나누어 각 그룹의 순서와 그룹내 제품들의 순서를 결정짓는 것이다.

물품할당이나 주문순서 문제의 대부분은 단일명령이나, 이중명령에 국한되어 연구되었다. 이런 연구들 중의 하나가 COI (Cube-per-Order Index) 규칙이다. COI 규칙은 인출빈도에 대한 물품의 필요공간의 비율로서 COI 값이 커지는 순으로 배치하는 방법이다. 그러나 본 연구는 기존의 단일, 이중명령(single, dual command address)을 확장한 다중명령(multi address) 문제이다. 이를 위해 새로운 접근방식으로 주문빈도(order frequency)와 주문구조(order structure)를 고려한 COI와 유사계수(similarity coefficient)를 사용했다. 이를 바탕으로 저장방식은 크레인의 능력을 고려하여 SFC (SpaceFilling-Curve) 방식대로 저장을 하는 여러가지 방법들을 제시한다. 그리고 불출방식은 TSP(Traveling Salesman Problem) 방식을 크레인의 능력과 결합시킨 여러가지 방법들을 연구한다. 이들에 대한 효율적인 운영방안을 컴퓨터를 이용하여 여러 조건에서 크레인의 운행횟수와 시간을 분석하여 최선의 대안을 제시하고자 한다.

1.2 문헌적 고찰

먼저 운영정책에 관한 연구로서 Graves, Hausman and Schwarz(GHS)[3,4,8]는 3가지 할당규칙으로서 임의할당규칙(random), 회전율기준할당규칙(full turn over based), 등급기준할당규칙(class based storage assignment)을 고려하여 이에 대한 크레인의 평균운행시간을 평가하였다. 여기서 저장랙은 연속적으로 존재하고 입/출고점으로부터 수직 또는 수평방향으로 운행상의 최대거리가 같다(square in time)는 것과 단일명령(single command)을 가정하였다[4]. 그리고 이들의 그후 논문[3]에서는 이중명령(dual command)으로 확장하여, 랙의 위치를 연속적인 함수로 표현하고 물품의 회전을 나타내는 EOQ모형을 사용하여, 이

를 회전율에 따라 2개 또는 3개의 등급(class)으로 나누는 할당규칙과 이중명령으로 운영할 경우 크레인의 운행시간이 많은 감소율을 가져올 수 있다는 것을 보여주었다. 여기서는 특히 최근접 빈위치(COL : Closest-Open-Location) 규칙과 임의할당 규칙(RAN)을 비교 평가하여 실제로 많이 쓰이는 COL과 RAN은 동일한 운영상의 효과를 나타내는 것으로 평가되었다.

Bozer and White[2]는 GHS의 가정을 보다 현실적으로 접근하여 저장랙의 운영상의 형태가 정사각형이 아닌 직사각형(rectangular in time)일 때 적용이 가능한 운행시간 모델을 개발하였다. 또한 각 저장 위치를 확률변수로 취급하여 입/출고점으로부터 저장위치까지의 운행시간은 확률분포로 구하였고, 두 저장위치 사이의 운행시간은 순서통계량으로 구하였다. 그리고 입/출고점의 위치는 기존의 왼쪽하단에 국한시키지 않고 다양한 대안을 제시했으며, 크레인의 거주위치(dwell-point)에 대해 4가지 방안을 제시하였다.

Kim[6]은 동시인출 요구의 가능성이 많은 품목들을 가능하면 여러개 모아 동일한 저장위치에 저장하면 주어진 인출요구 품목에 대해서 운반횟수를 줄일 수 있다는 상관배치법을 연구하였다. 이것은 품목들을 군집화하여 몇개의 군으로 구분하고 형성된 군의 저장위치를 결정하는 구성방식의 발견적기법(construct heuristics)을 제시하였다. 또한 발주크기가 재고비용에 영향을 미치고 또 소요공간을 결정한다는 점에서 자재비, 재고비, 보충비용까지 고려한 개선식 발견적기법(improvement heuristics)을 제시하였다.

Hwang, Baek and Lee[5]는 여러개의 인출요구가 발생했을 때 인출시간을 줄이기 위하여 TSP로서 문제를 해결했다. 여기에 크레인의 무게와 부피제약을 고려하여 인출요구 품목들을 크레인의 능력에 따라, 각 품목들간의 유사계수(similarity

coefficient)에 따라 그룹으로 나누어서 각 그룹을 TSP로 해결했다.

Lee[7]는 저장품목들의 소요공간, 인출빈도를 고려한 COI 값과 품목간 유사계수 값을 이용하여 그룹을 구하고 이를 토대로 락에 저장할 품목들을 SFC 규칙에 따라 저장할 때의 해를 휴리스틱으로 구하였다. 이 방법은 품목들간의 거리를 줄일 수 있어 인출요구가 있을 시 기존 COL의 방법보다 운행시간을 줄일 수 있다.

2. 크레인의 능력을 고려한 MOB의 저장과 불출법

2.1 SFC를 이용한 저장법

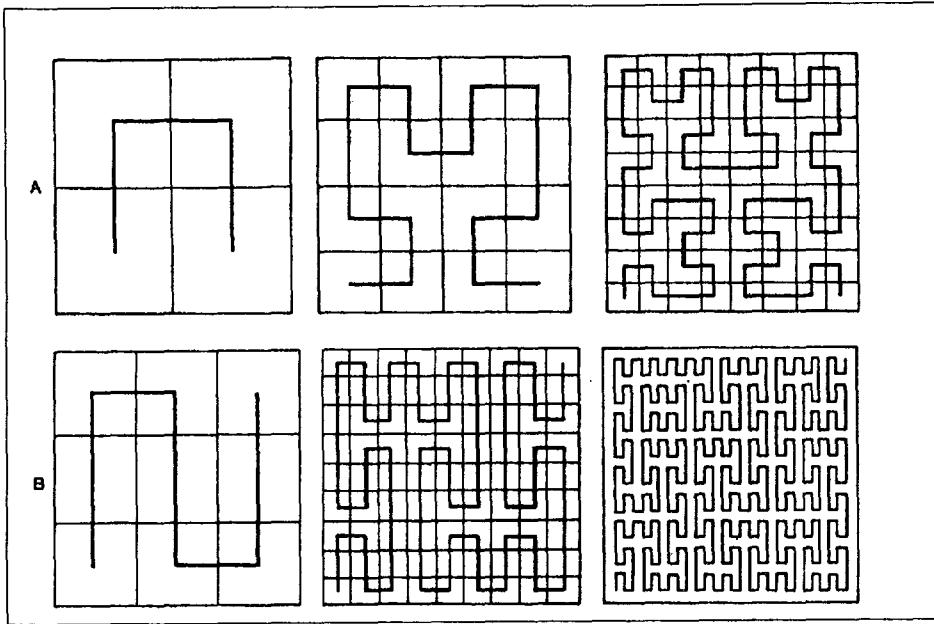
Lee[7]은 MOB 자동창고 시스템에서 크레인의 능력을 고려치 않을 때 저장방법을 개발하여 여러가지 SFC 규칙을 불출시간으로 비교 평가 하였다. SFC를 이용한 저장법의 저장 순서는 기존의 단순한 입/출고점에서 가까운 곳 부터 저장해 나가는 방식(COL)이 아닌 정해진 방향(curve)으로 저장해 나가는 방식이다[1]. SFC란 “단위사각형(unit square) 위에 단위구간(unit interval)을 연속적인 선의 형태가 되게 하는 것”이다. 이런 개념의 목적은 최대 이익 또는 최소비용을 목표로 하기에 다음과 같은 두가지 제약을 바탕으로 목적에 맞게 휴리스틱적으로 SFC를 그려 나간다.

① 접근성(nearness).

② 연속적인 선(continuous line)의 형태.

이 두가지 요소는 결과적으로 SFC의 형태를 포선형(convoluted shape)으로 만든다[1].

창고모형에 적합한 규칙은 일직선으로 연속적인 점을 잇는 것(L-type)보다 curve를 많이 취서 각 품목들간의 유사성(similarity)을 높이는 것이 중요하다. 그러므로 유사성이 높은 품목이 서로 멀어지는



<Figure 1> Spacefilling Curves

오차를 방지할 수 있다. 따라서 자동창고모형에서는 <Figure 1>과 같이 각 저장점들을 선으로 연결하는 것이다.

품목간 상호 인출빈도가 유사한 것 끼리 서로 인접한 곳에 배치하면 저장 불출을 담당하는 크레인의 운송거리가 줄어들어 인출소요시간을 줄일 수 있다.

크레인의 능력을 고려하지 않은 기존 연구[7]에서는 저장과 불출시에 한번에 모든 명령을 수행하는 것으로 되어진다. 따라서 불출시에는 주문별로 한번에 품목들이 불출되므로 이를 대비한 저장법만이 관심의 대상이 된다. 크레인의 능력을 고려하지 않은 저장법은 현실적인 제약인 크레인의 공간, 무게능력을 무시하여 실제상황에 적용하기에는 무리가 따른다. 그래서 본 연구는 크레인의 능력을 고려한 SFC 규칙에 따르는 저장과 불출법으로서 문제를 정식화 하고 이 문제 해결을 위한 여러가지 저장과 불출 방법 알고리즘을 개발한다. 기존의 경우와 달리 불출법을 개발한 이유는 크레인 용량의 한계로 불출시 주문의 처리

를 한번에 할 수 없으므로 어떻게 그룹을 만들어 불출할 것인가를 결정하는 불출빈도 출고시간을 줄이는데 상당한 영향을 미치기 때문이다.

2.2 가정 및 기호설명

(1) 가정

- ① 입/출고 위치는 왼쪽 하단으로서 단면랙을 가정한다.
- ② 기간당 불출될 품목의 종류와 빈도를 알고 있다.
- ③ 각 주문은 스택어 크레인의 무게, 공간능력을 고려해야 한다.
- ④ 크레인은 한 대이며, 하나의 단면의 랙을 담당한다.
- ⑤ 크레인은 chebychev 형태로 운행한다. 즉 수평방향과 수직방향을 동시에 움직인다.
- ⑥ 저장장소의 크기는 동일하고 한가지 종류의 품목만 저장된다.

⑦ 적재와 하역에 관련된 시간은 고려하지 않는다.

⑧ 랙의 높이와 길이, 크레인의 속도는 미리 안다고 가정한다.

(2) 기호설명

m : 주문 종류의 수.

n : 품목의 수.

O_j : 주문 j .

F_j : O_j 의 기간당 빈도(Frequency).

N : 랙에서 이용가능한 저장장소의 수.

R_i : 품목 i 에 필요한 저장장소의 수.

w_i : 품목 i 의 전체 무게(weight).

s_i : 품목 i 에 필요한 공간(space).

W : 크레인의 무게능력(weight capacity).

S : 크레인의 공간능력(space capacity).

T : 저장 그룹의 수.

$T_{(j)}$: 주문 j 의 불출 그룹의 수.

x_{il} : 품목 i 가 저장위치 l 에 저장될 때 1, 아니면 0.

y_{ik} : 품목 i 가 저장그룹 k 에 속하면 1, 아니면 0.

z_{ik_j} : 품목 i 가 주문 j 의 불출 그룹 k_j 에 속하면 1, 아니면 0.

$$\sum_{l=1}^N x_{il} = R_i \quad i = 1, \dots, n, \dots \textcircled{1}$$

$$\sum_{i=1}^n x_{il} = 1 \quad l = 1, \dots, N, \dots \textcircled{2}$$

$$\sum_{k=1}^T y_{ik} = 1 \quad i = 1, \dots, n, \dots \textcircled{3}$$

$$\sum_{i=1}^n w_i y_{ik} \leq W \quad k = 1, \dots, T, \dots \textcircled{4}$$

$$\sum_{i=1}^n s_i y_{ik} \leq S \quad k = 1, \dots, T, \dots \textcircled{5}$$

$$\sum_{k_j=1}^{T_{(j)}} z_{ik_j} \leq 1 \quad i = 1, \dots, n, \\ j = 1, \dots, m, \dots \textcircled{6}$$

$$\sum_{i=1}^n w_i z_{ik_j} \leq W \quad k_j = 1, \dots, T_{(j)}, \\ j = 1, \dots, m, \dots \textcircled{7}$$

$$\sum_{i=1}^n s_i z_{ik_j} \leq S \quad k_j = 1, \dots, T_{(j)}, \\ j = 1, \dots, m, \dots \textcircled{8}$$

$$x_{il} = 0 \text{ or } 1$$

$$y_{ik} = 0 \text{ or } 1$$

$$z_{ik_j} = 0 \text{ or } 1.$$

2.3 문제의 정식화

Objective function

$$\begin{aligned} \text{Min } Z = & \sum_{k=1}^T d_k (x_{il}, y_{ik} : i=1, \dots, n, \\ & l=1, \dots, N) \dots \textcircled{a} \\ & + \sum_{j=1}^m F_j \sum_{k_j=1}^{T_{(j)}} d_{k_j} (x_{il}, z_{ik_j} : i \in O_j, \\ & l=1, \dots, N) \dots \textcircled{b} \end{aligned}$$

Subject to

위의 목적함수는 저장시간과 불출시간을 최소화 하는 것을 목적으로 하는 것으로 ①은 저장시간을 나타내며 ②는 저장된 배치상태를 바탕으로 불출명령을 수행했을 경우의 불출시간이다. 제약식 ①번은 품목별 필요한 저장칸을 정하는 식이고 ②번은 각 저장칸에는 한 종류의 품목만이 저장된다는 제약이며, ③번은 품목이 저장될 때 하나의 저장 그룹에만 포함된다는 식이고 ④번과 ⑤번은 저장시에 크레인의 능력을 고려한다는 제약이며 ⑥번은 ③번의 개념과 비슷한 뜻으로 불출할 때 주문별 불출 그룹들에 품목들이 한번씩만 선택된다는 개념이다. ⑦번과 ⑧번은 주문별로 불출명령을 수행할 때 저장시와 마찬가지로 크레인의 능력을 고려한다는 개념이다. 그러나 목적함수와 제약식 또한 크레인의 능력을

고려안한 방법과 마찬가지로 문제가 복잡하다. 여기서는 저장과 불출규칙을 함께 정식화 하였으나 문제해결을 쉽게 하기 위해 저장에 대한 휴리스틱 방법과 불출에 대한 휴리스틱 방법을 독립적으로 수행한다.

2.4 저장법

저장법에는 두가지 규칙(저장규칙 A, 저장규칙 B)이 있고 불출법에는 한가지 규칙이 있다. 각 규칙에는 몇가지의 옵션이 주어진다. 이들 저장과 불출규칙의 조합을 위해 다음의 기호를 사용한다.

- OPabc = a : 저장규칙 A의 옵션(0~3)
- b : 저장규칙 B의 옵션(0~1)
- c : 불출규칙의 옵션(0~2)

저장규칙 A는 저장시에 그룹을 결정하는 과정에서 해당 그룹에 처음 들어갈 품목과 추가될 품목을 결정하는데 사용되며, 저장규칙 B는 결정된 그룹의 배치순서를 결정하기 위한 선택사항으로 쓰인다. 반면에 불출규칙은 불출시의 그룹화를 위한 것이다.

(1) 휴리스틱 방법

본 방법의 주된 논리는 다음과 같다. 저장규칙 A에 따라 정해진 품목을 seed로 하나 선택한다. 이것을 기준으로 각 품목의 COI 값이나 유사계수값에 의해 한 품목을 선정하여 그 품목이 저장용기에 추가되었을 때 크레인의 용량을 초과하면 그 다음으로 저장규칙 A에 따라 해당 품목을 선정한다. 만약 크레인의 용량을 초과하지 않고는 추가될 수 있는 품목이 없다면 첫번째 운행할 크레인에 대한 품목은 정해진다. 첫번째 운행에 배정된 품목을 제거한 다음, 위의 절차를 반복하여 두번째 운행할 크레인에 대한 품목을 선정한다. 이상의 절차를 모든 품목에 대한 배정이 끝날 때까지 계속한다. 그리고 저장규칙 B에 따라서 저장규칙 A에서 만들어진 그룹의 그룹

COI(GCOI)의 채택 여부를 결정하고 채택한다면 GCOI 값이 커지는 순으로 그룹의 순서를 다시 배정한다. 마지막으로 그룹내의 품목의 순서는 COI 값이 증가하는 순으로 정한다.

(2) 저장규칙

저장규칙은 품목별 COI* 값과 인출빈도* 수 그리고 품목간 유사관계(유사계수)*를 고려한 저장규칙 A와 이것에 의해 만들어진 그룹의 그룹 COI(GCOI)* 채택 여부를 결정하는 저장규칙 B로 나눌 수 있다.

*

$$COI_i = R_i / \sum_{j=1}^m a_{ij}, \quad i = 1, \dots, n$$

여기서, 품목 i가 주문 j에 해당되면 $a_{ij} = F_j$, 아니면 $a_{ij} = 0$.

인출빈도 :

$$\sum_{j=1}^m a_{ij}, \quad i = 1, \dots, n.$$

유사계수 :

$$S_{kl} = \sum_{j=1}^m (a_{kj} a_{lj})^{1/2} / \sum_{j=1}^m (a_{kj} + a_{lj})^{1/2}$$

(k와 l은 품목(k≠l)).

$$GCOI_k = \sum_{i \in Group_k} R_i / \sum_{i \in Group_k} \sum_{j=1}^m a_{ij}, \quad k = 1, \dots, T.$$

i) 저장규칙 A

OP 0 . . . : 제일 먼저 seed로 COI 값이 가장 작은 품목을 선택하고 크레인의 능력을 초과하지 않는 범위내에서 COI 값이 증가하는 순으로 그룹을 정하는 방법.

OP 1 . . . : 제일 먼저 seed로 인출빈도가

가장 높은 품목을 선택하고 크레인의 능력을 초과하지 않는 범위에서 최종선택된 품목과 유사계수가 가장 높은 것을 계속 선택한다. 새로운 그룹이 시작될 때는 먼저 만들어진 그룹의 마지막 선택된 품목과 유사관계가 높은 품목을 seed로 선택하고 나머지 과정은 위와 같다.

OP 2 . . . : OP 1 . . . 과 새로운 그룹이 시작되는 부분만이 다르다. 새로운 그룹이 시작될 때는 인출빈도가 가장 높은 품목을 선택한다.

OP 3 . . . : 제일 먼저 seed로 인출빈도가 가장 높은 품목을 선택하고 크레인의 능력을 초과하지 않는 범위에서 해당 그룹의 seed로 선택된 품목과 유사관계가 가장 높은 것을 선택해 나가는 방법. 새로운 그룹이 시작될 때도 마찬가지이다.

ii) 저장규칙 B

OP . 0 . . : 결정된 그룹의 GCOI를 이용하지 않음.

OP . 1 . . : 결정된 그룹의 GCOI를 이용하여 GCOI 값이 증가하는 순으로 순서를 정함.

(3) 저장방법 알고리즘

위의 저장규칙 A와 저장규칙 B를 이용하여 저장 알고리즘을 만들면 다음과 같다.

Step 1. $k = 1$

$$\text{Set} = \{I_1, I_2, I_3, \dots, I_n\}$$

$$\text{Group}_k = \emptyset.$$

Step 2. Set에서 seed로 저장규칙 A(옵션 0, 1, 2, 3)에 따라 품목 I_s 를 하나 택하고 크레인의 능력을 검토한다.

$$\text{Group}_k = \text{Group}_k \cup \{I_s\}$$

$$\text{Set} = \text{Set} - \{I_s\}$$

$$RW_k^* = W - w_s$$

$$RS_k^{**} = S - s_s.$$

* $RW =$ 크레인의 남아있는 무게능력.
(remaining weight capacity)

** $RS =$ 크레인의 남아있는 공간능력.
(remaining space capacity)

Step 3. Step 2에서 선택한 seed, I_s 다음으로 선택될 품목을 저장규칙 A에 따라 품목 I_x 를 선택하여 남아있는 크레인의 능력과 비교한다. 능력이 된다면 그룹에 포함시키고 능력을 초과한다면 다음 품목을 계속 검색해 나간다. I_x 가 그룹에 포함되면,

$$RW_k = W - w_x$$

$$RS_k = S - s_x$$

$$\text{Group}_k = \text{Group}_k \cup \{I_x\}$$

$$\text{Set} = \text{Set} - \{I_x\}.$$

만약, $RW_k > 0$, $RS_k > 0$ 이면 Step 3을 되풀이하고, 더이상의 품목을 크레인에 실을 수 없으면 Step 4로 간다.

Step 4. Set = \emptyset 이면 Step 5로 가라. 그렇지 않으면

$$k = k + 1$$

$\text{Group}_k = \emptyset$, 그리고 Step 2로 가라.

Step 5. 그룹의 순서는 저장규칙 B(옵션 0, 1)의 $GCOI_k$ 에 따라 순서를 정하고 그룹내의 품목들의 순서는 COI_i 값이 커지는 순서에 따른다.

Step 6. Step 5에서 정해진 순서로 SFC 규칙으로 저장을 한다.

2.5 불출법

(1) 휴리스틱 방법

불출규칙에 따라 정해진 품목을 seed로 하나 선택한다. 이것을 기준으로 다음 가까운 품목을 선택한다. 이때 크레인의 용량을 초과하면 다음 그룹으로 넘어가는 방법(옵션 0)과 마지막 선택된 품목이 크레인의 용

량을 초과하면 다음 품목들을 계속 검색해서 크레인의 용량을 최대한 활용하는 방법(옵션 1)이 있고 마지막으로 두가지의 방법의 장점을 적절히 조화시킨 방법(옵션 2)이 있다. 즉 옵션 0과 옵션 1의 장점을 선택하는 보정식(revision expression)이 있다. 그리고 불출은 불출 주문별로 각각 시행된다. 따라서 불출법은 각 주문별로 적용된다.

(2) 불출규칙

OP . . 0 : 불출품목들이 결정되면 먼저 입출고점에서 가장 가까운 품목을 선택하고 다음으로 선택된 품목과 가장 가까운 품목을 선택하는 방법이지만 크레인의 용량을 초과하면 다음 불출 그룹을 선택한다.

OP . . 1 : 선택과정에서 크레인의 용량을 초과하는 경우 옵션 0과는 달리 다음의 품목들에 대하여도 선택가능성을 계속 검색해 가는 방법.

OP . . 2 : 보정식에 의해 옵션 0의 그룹수와 비교하여 보정식의 그룹수가 줄어들면 옵션 1을 추가 수행하고 아니면 옵션 0을 택한다.

(3) 불출 알고리즘

Step 1. $k = 1$

$$\text{Set} = \{I_1, I_2, I_3, \dots, I_n\}$$

$$\text{Group}_k = \emptyset.$$

Step 2. Set에서 seed로 불출규칙(옵션 0, 1, 2(옵션 2의 경우는 1차로 옵션 0을 수행한다))에 따라 품목 I_s 를 하나 택하고 크레인의 능력을 검토한다.

$$\text{Group}_k = \text{Group}_k \cup \{I_s\}$$

$$\text{Set} = \text{Set} - \{I_s\}$$

$$RW_k = W - w_s$$

$$RS_k = S - s_s.$$

Step 3. Step 2에서 선택한 seed I_s 다음

으로 선택될 품목을 불출규칙에 따라 품목 I_x 를 선택하여 남아있는 크레인의 능력과 비교하여 능력이 된다면 그룹에 포함시키고 능력을 초과한다면 옵션 0은 Step 4로 가고 옵션 1은 다음 품목을 계속 검색해 나간다. I_x 가 그룹에 포함되면,

$$RW_k = W - w_x$$

$$RS_k = S - s_x$$

$$\text{Group}_k = \text{Group}_k \cup \{I_x\}$$

$$\text{Set} = \text{Set} - \{I_x\}.$$

한편, $RW_k > 0$, $RS_k > 0$ 이지만 I_x 가 RW , RS 의 능력을 초과하면 옵션 0은 Step 4로 가고 옵션 1은 Step 3을 되풀이하고 더 이상의 품목을 크레인에 실을 수 없으면 Step 4로 간다.

Step 4. $\text{Set} = \emptyset$ 이면 Step 5로 가라. 그렇지 않으면

$$k = k + 1$$

$$\text{Group}_k = \emptyset,$$

그리고 Step 2로 가라.

Step 5. 옵션 2인 경우 옵션 0의 불출그룹 수가 보정식(뒤의 (4))의 값보다 크면 옵션 1의 방법을 택하여 Step 1부터 Step 4까지를 반복한다.

Step 6. 그룹의 순서는 $\text{Group}_1, \text{Group}_2, \dots$ 순서로 정하고 그룹내의 품목들의 순서는 Step 3에 의해 정해진 순서로 한다.

Step 7. Step 6에서 정해진 순서로 불출 명령을 수행한다.

(4) 보정식

불출규칙의 방식중 옵션 0의 방식과 옵션 1의 방식에는 장단점이 발생하게 된다. 불출명령을 수행할 때 불출규칙중 옵션 0과 옵션 1을 비교할 때 불출 그룹의 수가 같으면 옵션 0의 방법이 우수하고, 반대로

불출 그룹의 수가 줄어들 수 있다면 옵션 1의 방법이 우수하다. 그래서 서로의 장점을 골라내는 방법이 보정식이다. 보정식의 논리는 다음과 같다. 각 품목별로 무게와 부피가 다르기 때문에 평균값을 구해서 크레인의 능력으로 나누어 주면 크레인의 최대 운반갯수가 나온다. 그러나 실제로 크레인이 각 품목들을 운반함에 있어서 항상 운반능력을 100% 발휘하는 것은 아니다. 그래서 평균적으로 운반할 수 있는 적재효율을 구해서 최대운반 갯수와 곱하면 크레인의 평균운반 갯수가 나오는데 이를 바탕으로 판단을 내린다. 이에 대한 기호 및 보정식은 다음과 같다.

i) 기호설명

- RE_j : 주문 j별 크레인의 평균 운반 횟수.
- ON_j : 주문 j별 불출 품목수.
- AN : 크레인의 평균 운반 갯수.
- MN : 크레인의 최대 운반 갯수.
- SE : 크레인의 적재효율.
- sn : 이론상 운반횟수.
- tn : sn 의 올림값.
- ao : 평균 불출 품목수.

ii) 보정식

$$RE_j = ON_j / AN$$

where,

$$AN = MN \times SE$$

$$= \frac{(\sum_j O_j / m)}{tn}$$

$$MN = \text{Min} \left(\frac{W}{\sum_i w_i / n}, \frac{S}{\sum_i s_i / n} \right)$$

$$ao = (\sum_j O_j / m)$$

$$sn = ao / MN$$

$$SE = sn / tn = \frac{(\sum_j O_j / m) / MN}{tn}$$

이상에서 RE_j (소수부분은 무조건 1로 계산한다) 값으로 옵션 0의 운반횟수와 비교하여 RE_j 값이 작으면 옵션 1의 방법으로 불출명령을 수행하고 그렇지 않으면 옵션

< Table 1 > Data of Example

order item	1	2	3	4	5	6	R_i	w_i	s_i
item 1	v		v	v	v	v	2	70	0.3
item 2	v		v		v		3	80	0.3
item 3	v	v		v		v	2	110	0.5
item 4	v				v		3	80	0.3
item 5		v	v	v	v	v	1	70	0.4
item 6	v			v			2	100	0.2
item 7	v	v	v			v	2	50	0.3
item 8	v			v		v	1	70	0.4
F_i	1	2	1	3	2	4			

v : symbol where items are required by the corresponding order

0의 방법으로 불출명령을 수행한다. 결국 옵션 0과 비교하여 옵션 1이 불출 그룹수를 줄일 수 있는가를 판별하는 것이다.

2.6 예제

이상의 휴리스틱 방법을 설명하기 위하여 4×4랙의 작은 범위의 저장배치 문제를 해결해 본다. 여기서 주문의 횟수는 6번이고 크레인의 용량 $W=250\text{kg}$, $S=1\text{m}^3$ 이다. '필요한 데이터는 <Table 1>에 있다.

(1) 저장법

Step 1. $k = 1$

$$\text{Set} = \{I_1, I_2, I_3, I_4, I_5, I_6, I_7, I_8\}$$

$$\text{Group}_1 = \emptyset.$$

Step 2. Set에서 seed로 저장규칙 1에 따라 품목 I_5 를 택하는 과정으로 옵션에 따른 결과는 다음과 같다.

옵션 0 : COI 값이 가장 작은 품목 I_5 를 택한다.

$$\text{COI}_1 = 0.18, \text{COI}_2 = 0.75, \text{COI}_3 = 0.20,$$

$$\text{COI}_4 = 1.00, \text{COI}_5 = 0.08, \text{COI}_6 = 0.50,$$

$$\text{COI}_7 = 0.25, \text{COI}_8 = 0.11$$

옵션 1, 2, 3 : $\sum_j a_{ij}$ 가 제일 큰 품목 I_5 를

택한다.

$$\left(\sum_j a_{1j}=11, \sum_j a_{2j}=4, \sum_j a_{3j}=10, \sum_j a_{4j}=3, \right.$$

$$\left. \sum_j a_{5j}=12, \sum_j a_{6j}=4, \sum_j a_{7j}=8, \sum_j a_{8j}=9 \right)$$

이상 선택한 품목에 대해 크레인의 능력을 검토한다.

$$\text{Group}_1 = \{I_5\}$$

$$\text{Set} = \{I_1, I_2, I_3, I_4, I_6, I_7, I_8\}$$

$$\text{RW}_1 = 250 - 70 = 180$$

$$\text{RS}_1 = 1 - 0.4 = 0.6.$$

Step 3. Step 2에서 선택한 품목을 중심으로 다음 선택될 품목을 저장규칙 A에 따

라 선택한다.

옵션 0 : 품목 I_8 을 택한다.

옵션 1, 2, 3 : 품목간 유사관계를 구하여 각 옵션별로 규정된 유사관계가 가장 높은 품목 하나를 택한다.

(예 : seed(I_5)와의 유사관계가 가장 높은 품목 1을 택한다.

$$S_{51}=0.9, S_{52}=0.31, S_{53}=0.84, S_{54}=0.22,$$

$$S_{56}=0.32, S_{57}=0.67, S_{58}=0.76).$$

이상 선택한 품목에 대해 크레인의 능력을 검토한다. 크레인의 능력에 여유가 있다면 Step 3의 과정을 저장규칙 A에 따라 되풀이 한다. 결과는 다음과 같다.

옵션 0 : $\text{Group}_1 = \{5, 8, 6\}$

옵션 1, 2, 3 : $\text{Group}_1 = \{5, 1, 7\}$.

Step 4. Set = \emptyset 이 될 때까지 위의 과정을 되풀이 하면

옵션 0 : $\text{Group}_2 = \{1, 3\}$

$\text{Group}_3 = \{7, 2, 4\}$

옵션 1 : $\text{Group}_2 = \{8, 3\}$

$\text{Group}_3 = \{6, 4\}$

$\text{Group}_4 = \{2\}$

옵션 2, 3 : $\text{Group}_2 = \{8, 3\}$

$\text{Group}_3 = \{2, 4\}$

$\text{Group}_4 = \{6\}$.

Step 5. 그룹의 순서는 저장규칙 B에 따라서 순서를 정하고, 그룹내의 품목의 순서를 COI 값이 증가하는 순으로 정한다.

(옵션 0 : $\text{GCOI}_1 = 0.16, \text{GCOI}_2 = 0.19,$
 $\text{GCOI}_3 = 0.53$

옵션 1 : $\text{GCOI}_1 = 0.16, \text{GCOI}_2 = 0.16,$
 $\text{GCOI}_3 = 0.71, \text{GCOI}_4 = 0.75$

옵션 2, 3 : $\text{GCOI}_1 = 0.16, \text{GCOI}_2 = 0.16,$
 $\text{GCOI}_3 = 0.86, \text{GCOI}_4 = 0.5$).

옵션별 배치 순서는 다음과 같다.

OP00. , OP01. : 5-8-6-1-3-7-2-4

OP10. , OP11. : 5-1-7-8-3-6-4-2

OP20. , OP30. : 5-1-7-8-3-2-4-6

OP21. , OP31. : 8-3-5-1-7-6-2-4.

Step 6. 이상의 결과를 SFC방식으로 <Table 2>와 같이 저장을 한다.

<Table 2> Results of Storage Layout

OP00.	OP01.	OP10.	OP11.
4 2 2 2	4 2 2 2	2 4 4 4	2 4 4 4
4 4 7 7	4 4 7 7	2 2 6 6	2 2 6 6
8 6 3 3	8 6 3 3	1 1 3 3	3 3 7 7
5 6 1 1	5 6 1 1	5 7 7 8	8 5 1 1
T=29	T=29	T=37	T=34

OP20.	OP21.	OP30.	OP31.
6 4 4 2	4 2 2 2	6 4 4 2	4 2 2 2
6 4 2 2	4 4 6 6	6 4 2 2	4 4 6 6
1 1 3 3	3 3 7 7	1 1 3 3	3 3 7 7
5 7 7 8	8 5 1 1	5 7 7 8	8 5 1 1
T=36	T=35	T=36	T=35

T : travel time

이상으로 저장시간과 배치(layout)상태가 결정되어진다.

(2) 불출법

불출법은 저장법의 알고리즘과 단계가 유사한 관계로 자세한 풀이과정은 생략한다. <Table 3>은 불출알고리즘 중 OP20.의 결과를 보여주고 있다. 불출규칙의 옵션 0인 OP200을 보면 주문 1의 크레인 이동횟수가 4번이고 그에 따른 불출시간은 30.083이다. 그러나 불출규칙의 옵션 1인 OP201은 크레인의 능력을 최대한 활용하므로 크레인의 이동횟수가 3번이고 이에 따른 불출시간은 25.750으로 옵션 0의 결과보다 향상되었다. 이는 크레인의 이동 횟수를 줄여서 나온 결과이다. 그리고 불출규칙의 옵션 2인 OP202를 보면 OP201과 마찬가지로의 결과로 OP200보다 좋은 결과가 나왔다. 이유는 보정식에 의하여 크레인의 이동횟수가 작은 것을 채택한 결과이다.

3. 실험절차 및 결과

<Table 3> Some Results for Retrieval Options(OP20.).

	주문	불출순서		크레인 이동횟수	불출시간	합계
		그룹	품목순서			
OP200	1	1	1-7	4	30.083	102.25
		2	3-8			
		3	6-4			
		4	2			
	2	1	5-7	2	12	
		2	3			
	3	1	5-1-7	2	15.75	
		2	2-8			
	4	1	5-1-6	2	15.5	
		1	3-8			
	5	1	5-1-4	2	14.667	
		2	2			
6	1	5-1-7	2	14.25		
	2	3-8				
OP201	1	1	1-7-8	3	25.750	97.917
		2	3-2			
		3	6-4			
	2	1	5-7	2	12.0	
		2	3			
	3	1	5-1-7	2	15.75	
		2	2-8			
	4	1	5-1-6	2	15.5	
		2	3-8			
	5	1	5-1-4	2	14.667	
		2	2			
	6	1	5-1-7	2	14.25	
2		3-8				
OP202	1	1	1-7-8	3	25.75	97.917
		2	3-2			
		3	6-4			
	2	1	5-7	2	12	
		2	3			
	3	1	5-1-7	2	15.75	
		2	2-8			
	4	1	5-1-6	2	15.5	
		2	3-8			
	5	1	5-1-4	2	14.667	
		2	2			
	6	1	5-1-7	2	14.25	
2		3-8				

앞서 제시한 두가지 저장규칙과 한가지 불출규칙의 옵션별 조합을 컴퓨터를 이

용 비교 분석하여 최적의 대안을 제시하고자 한다.

3.1 실험절차

본 실험에서 가정하는 저장랙은 수평 방향이 20칸 수직방향이 8칸인 선반으로 총 160개의 저장위치가 있다. 이 저장랙의 SFC 규칙에 따르는 저장순서는 기존 연구[1,7]의 순서에 따르며 <Figure 1>의 B에 경로가 나타나 있다. 그리고 실험에 사용한 크레인의 각 칸의 이동거리의 운행시간을 1로 계산하였다.

실험은 다음의 관점에서 수행되었다. 먼저 저장규칙의 2가지 방법과 이에 따른 불출규칙의 유용성을 랙 이용율의 변화에 따라 검증하였다. 따라서 각 이용율에 따른 저장 불출규칙의 검토사항이 24가지(저장규칙 A(4) × 저장규칙 B(2) × 불출규칙(3))이다.

이상의 휴리스틱 방법의 수행도 평가를 위하여 다음의 실험범위를 정하였다.

- 랙 이용율 : LOW(10-30%)
- MIDDLE(40-70%) HIGH(90%이상).
- 랙 크기 : 8(ROW)×20(COLUMN).
- 불출품목수의 분포 : U(2, 20).
- 인출빈도의 분포 : U(1, 10).
- 전체 품목수 : 20개.
- 주문횟수 : 15회.

그리고 위의 실험범위를 기초로 하여 각 이용율별 50회씩 총 150번의 반복 실험을 수행하였다.

3.2 실험결과

이상의 실험결과는 <Table 4>에 나타나 있다.

저장규칙 A중 단순 COI 방법(옵션 0)은 랙 이용율이 적어질수록 유리하고 랙 이용율이 높아질수록 인출빈도가 가장 높은 품목을 중심으로 유사계수에 의한

<Table 4> Comparison Data of Travel Times

이용율 옵션	LOW	MIDDLE	HIGH
OP000	11990.0	15895.4	24884.9
OP001	11800.9	15507.9	24839.3
OP002	11682.3	15343.9	24311.0
OP010	11698.5	15186.9	24617.8
OP011	11808.5	15193.5	24171.2
OP012	11638.4*	15141.4	24120.7
OP100	13042.4	17428.1	27061.6
OP101	12895.3	17221.7	26583.1
OP102	12843.7	17160.6	26543.8
OP110	11714.0	15566.1	24130.5
OP111	11941.8	15551.4	24127.1
OP112	11645.7	15320.6	23910.7
OP200	12883.3	16726.5	26749.5
OP201	12688.7	16630.8	26067.6
OP202	12659.0	16563.1	25965.9
OP210	11845.7	15561.2	24348.8
OP211	12005.5	15531.8	24295.4
OP212	11752.5	15427.6	24063.9
OP300	12770.4	16769.8	26764.0
OP301	12657.6	16582.3	26037.8
OP302	12560.3	16528.3	25938.2
OP310	11796.7	15450.3	24208.0
OP311	11964.9	15465.6	24134.2
OP312	11731.2	15011.1*	23859.9*

* : Optimal options

품목간의 근접 배치방법(옵션 1, 3)이 우수함을 보여준다. 그러므로 랙 이용율이 높을 경우가 현실적이므로 인출빈도와 유사계수를 이용한 방법이 좋다. 여기서 옵션 0은 크레인의 능력을 고려치 않은 방법과 유사하므로 현실적인 면에서 불

리하다. 저장규칙 B는 랙 이용율과 상관 없이 그룹 COI를 적용하는 것이 유리하다. 마지막으로 불출규칙은 각 불출옵션 수행시 불출 그룹수에 의해서 전체결과를 좌우하므로 불출 그룹수를 줄이는 것이 유리하다. 그러나 예제에서 보듯이 각 옵션을 실행했을 때 불출 그룹수가 줄지 않으면 옵션 0이 우수하고 불출 그룹수가 줄면 옵션 1이 우수하다. 그리고 옵션 2의 보정식은 두가지 옵션 0, 1의 유리한 옵션을 채택하는 것으로 본 실험에서 옵션 2의 보정식이 채택될 확율은 98% 이상으로 우수하다.

SFC 방식을 이용한 저장방식 특징중의 하나는 정해진 저장위치규칙과 유사하게 각 품목의 저장위치를 미리 정해진 위치에 저장하고 불출명령을 수행한다는 점이다. 따라서 정전시나 컴퓨터 이상시 수작업으로의 전환이 용이하다. 게다가 크레인의 능력을 고려했으므로 현실적인 접근이 가능하므로 실제적인 입/출고 시간을 줄일 수 있다. 그리고 품목별 저장위치가 미리 정해진 상태이므로 랙 이용율이 높을 때 가장 의미가 있기 마련이다. 랙 이용율이 낮을 때와 중간일 경우 나머지 빈 저장랙은 유힬(idle)상태가 되며 차후 저장품목이 생길 경우 다시 전체 저장랙의 저장위치를 결정해야 하는 단점이 있다. 그러므로 처음부터 랙 이용율을 높게 잡고 실행하는 것이 경제적인 측면이나 자동창고의 효율면에서 월등하다고 볼 수 있다.

4. 결 론

비교적 작고 가벼운 물건을 취급하는 MOB 자동창고는 한번에 여러 물건들을 운반하기 때문에 SFC 규칙을 이용하여 물건들을 저장하는 것이 기존의 COL의 형태보다 유리하다.[7] 본 연구는 이를 바탕으로한

크레인의 용량이 고려되지 않은 기존의 연구[7]를 개선하여 문제 해결의 방법을 새롭게 설정하고 새로운 저장과 불출에 대한 알고리즘을 만들었다. 먼저 저장법은 저장 시간을 줄이는 것이 목적이지만 더욱 중요한 것은 저장배치 형태에 따라 불출시간을 상당히 줄일 수 있으므로 저장법에 주안점을 두어 두가지 저장규칙을 만들어 각 저장규칙에 따른 옵션을 2~4가지를 만들었고 이때 쓰이는 도구로는 COI, 그룹 COI, 인출빈도 및 유사계수 등을 들 수 있다. 불출법은 3가지 옵션이 있는 불출규칙을 만들었다.

총 24가지 옵션별 조합을 랙 이용율에 따라 상황 실험을 하였다. 먼저 저장시간만을 살펴 보면 일정한 추세를 발견할 수 없어 우열을 가릴 수 없었다. 그러나 저장법에 따라 저장한 뒤 불출시간을 보면 저장시간만을 비교했을 때와는 현저히 다른 결과가 나타난다. 우선 저장법은 랙 이용율이 증가할수록 인출빈도가 높은 품목을 중심으로 유사관계가 높은 품목들을 순서적으로 그룹을 만드는 방법(OP3 . .)과 이를 통해 만들어진 그룹을 그룹 COI를 통해 소요공간에 비해 인출빈도가 높은 품목을 다시 입/출고점에 가까운 곳에 배치하는 방법(OP . 1 .)이 우수하였다. 불출법에서는 불출 그룹수가 적은 방법이 불출시간을 줄이므로 보정식에 의한 방법(OP . 2)이 좋은 결론이 나왔다.

참 고 문 헌

- [1] J.J. Bartholdi III and L.K. Platzman, "Heuristics based on Spacefilling Curves for Combinatorial Problems in Euclidean Space," *Management Science*, 34(3), 1988, pp.291-305.

- [2] Y.A. Bozer and J.A. White, "Travel Time Models for Automated Storage/Retrieval Systems," *IIE Transactions*, 16(4), 1984, pp.329-337.
- [3] S.C. Graves, W.H. Hausman and L.B. Schwarz, "Storage Retrieval Interleaving in Automatic Warehousing Systems," *Management Science*, 23(9), 1977, pp.935-945.
- [4] W.H. Hausman, L.B. Schwarz and S.C. Graves, "Optimal Storage Assignment in Automatic Warehousing Systems," *Management Science*, 22(6), 1976, pp.629-638.
- [5] H. Hwang W.J. Baek and M.K. Lee, "Clustering Algorithms for Order Picking in an Automated Storage and retrieval system," *International Journal of Production Research*, 26(2), 1988, pp.189-201.
- [6] K.H. Kim, "A Joint Determination of Storage Locations and Space Requirements for Correlated Items in a Miniload Automated Storage Retrieval System," *International Journal of Production Research*, 31(11), 1993, pp.2649-2659.
- [7] M.K. Lee, "A Storage Assignment Policy in Man-On-Board Automated Storage/Retrieval System," *International Journal of Production Research*, 30(10), 1992, pp.2281-2292.
- [8] L.B. Schwarz, S.C. Graves and W.H. Hausman, "Scheduling Policies for Automatic Warehousing Systems: Simulation Results," *AIIE Transactions*, 10(3), 1978, pp.260-270.