

오더피킹시스템에서의 초기주문집합의  
동적 구성에 관한 연구  
- Dynamic Construction of Initial Order Set  
For The Order Picking System -

노 인 규\*  
Ro, In-Kyu  
박 찬 응\*\*  
Park, Chan-Woong

Abstract

This paper deals with an order picking system in an automated storage and retrieval system(AS/RS). For the order picking system, two fundamental policies, the batching and the picking policies, must be selected. The batching policy determines the manner in which orders are combined for picking in each trip of picking machine. The picking policy determines the sequence of all items in each group of orders. Most of studies for the batching policy doesn't consider dynamic arrivals and due dates of orders. Therefore, we present an batching policy which considers dynamic arrivals and due dates of orders. The presented batching policy is efficient for the automated storage and retrieval system which is connected with a manufacturing system.

1. 서론

자동생산시스템과 공장자동화, 물류자동화의 발전으로 많은 기업에서 이러한 시스템을 구축함에 따라, 제조회사의 운영을 지원하는 물류시스템은 더욱 더 중요한 요소가 되고 있다. 즉, 물류를 담당하는 창고시스템은 물류센터의 제품분배 역할 뿐 만 아니라 제조작업장에서의 부품들의 일시적인 저장장소로도 사용되고 있다. 이는 창고 시스템이 전체 생산시스템의 전반적인 물류 시스템의 기능을 포함하여야 한다는 것을 의미한다. 특히 자동생산시스템에서 필요한 시기에 적절한 부품을 가공 또는 조립하는 것이 매우 중요한 요소이므로 이를 지원할 수 있는 창고시스템의 새로운 운영 방법이 필요하다.

일반적으로, 창고시스템은 크게 두 가지의 운영정책이 필요하다. 즉, 입고정책과 출고정책이다. 본 연구에서는 주문들을 창고의 저장 장소로부터 인출하는 오더피킹시스템(Order picking system)에 관한 연구로 창고 시스템의 출고정책에 관한 것이다.

전통적으로 오더피킹시스템은 주어진 주문들을 어떠한 방법으로 인출해야 인출기계의 운행

† 본 논문은 1996년도 한양대학교 교내연구비의 지원에 의해 연구된 논문임

\* 한양대학교 산업공학과

\*\* 한양대학교 산업공학과 박사과정

시간이나 거리를 단축시킬 수 있겠는가에 대한 연구들이 수행되어 왔다. 주문들을 인출하는 방법은 크게 두 가지 문제로 구성된다. 첫 번째는 주어진 주문들을 인출기계의 각각의 순회에 할당하는 배칭문제(Batching problem)이고 두 번째는 각각의 인출기계의 순회에 할당된 주문들을 어떠한 순서로 인출할 것인가를 결정하는 피킹문제(Picking problem)이다. 여기서 피킹문제는 일반적으로 TSP(Traveling Salesman Problem)로 경영과학분야에서 널리 알려진 문제이다. 따라서 오더피킹시스템에 대한 주된 연구들은 배칭문제에 관한 것으로 인출기계의 총 순회시간 또는 거리를 최소화하는 것을 목적으로 하고 있다.

피킹문제의 목적은 인출기계의 순회거리 또는 시간을 최소화할 수 있는 저장랙의 방문순서를 결정하는 것으로서 TSP에 속하는 문제이다. TSP문제는 Eastman[1]에 의해 처음으로 연구가 시작되었으며, 그 이후로 많은 연구들이 수행되었다[2]. Goetschalckx[3]는 일차원 자동창고시스템의 피킹문제에 대해 발견적 해법을 제시하였으며, Ratliff와 Rosenthal[4]은 사다리꼴 구조의 2차원 창고에서의 피킹문제에 대해 연구를 수행하였다.

본 연구의 대상인 오더피킹시스템의 배칭문제에 대해서는 많은 연구가 수행되지 않았으나 수행된 연구를 살펴보면 다음과 같다.

Elsayed[5]는 공통된 저장 위치의 수를 기초로 한 4 가지 발견적 해법을 제시하였고 Elsayed와 Stern[6]은 공통된 저장 위치의 수와 초기 인출주문을 선정하는 다수의 방법을 조합한 해법을 제시하였다. Hwang[7]등은 주문들의 유사성을 산출하는 2 가지 유사계수를 이용하여 배칭문제를 해결하는 6가지 발견적 기법을 제시하였다. Elsayed와 Unal[8]은 인출기계의 인출시간절약 방법을 사용하여 4 가지의 발견적 해법을 제시하였다.

지금까지 배칭문제에 관한 연구들은 기본적으로 주어진 주문집합내에서 인출기계의 총 순회 시간 또는 거리를 최소화하기 위한 인출방법으로 주문들을 인출기계의 각각의 순회에 분배하는 연구들이다. 그러나 창고시스템이 제조시스템과 동적으로 연결되어 입출고가 빈번한 생산시스템에서 주문의 창고시스템으로의 도착은 매우 유동적이다. 따라서 주문들의 동적인 상황을 반영할 수 있는 배칭정책이 필요하다. 또한 기존 연구들은 주문들의 납기를 고려하지 못하므로서 제조시스템의 물류의 흐름에 부응할 수 없다.

따라서 본 연구는 주문들의 동적인 도착 상태 및 주문들의 납기를 고려한 오더피킹시스템의 배칭문제에 대한 해법을 개발하는데 그 목적이 있다.

## 2. 모델의 설정

본 연구에서 고려하는 창고의 구조는 2차원 저장랙(storage rack)이며, 하나의 주문에 다수의 인출 항목들이 포함되어 있는 것으로 가정하며, 또한 한 번의 순회에 인출되는 주문들의 수는 인출기계의 중량 및 부피의 제약에 의해 제한되며, 하나의 주문은 한 번의 순회로 모두 인출되어야 하는 것으로 가정한다.

### 2.1 기호정의

본 연구에서 사용되는 기호의 정의는 다음과 같다.

$O_i$  : 주문  $i$  ( $i=1,2,\dots,L$ )

$UOS$  : 초기 주문 집합

$W_i$  : 주문  $O_i$  의 총 중량

$V_i$  : 주문  $O_i$  의 총 부피

- $W$  : 인출기계의 중량 제한
- $V$  : 인출기계의 부피 제한
- $T_j$  : 인출기계의  $j$  번째 순회 ( $j=1, 2, \dots, T$ )

### 2.2 모델의 정식화

본 연구에서는 주문의 납기만족과 인출기계의 총 운영시간을 최소화시키는 주문들의 배칭 문제이므로 아래와 같은 비선형 정수계획법으로 정식화할 수 있다.

목적식은 두 가지 함수로 구성되며,  $f_j(x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{Lj})$  함수는 인출 주문들의 납기와 인출시간의 차를 나타내며,  $t_j(x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{Lj})$  함수는 주문들을 인출하는 데 소요되는 인출기계의 운영시간을 나타낸다. 여기서  $c_1$  과  $c_2$ 는 각 함수에 대한 비용계수이다.

$$\begin{aligned} \text{Minimize} \quad & \sum_{j=1}^T c_1 f_j(x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{Lj}) + c_2 t_j(x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{Lj}) \\ \text{s. t.} \quad & \sum_{j=1}^T x_{ij} = 1, \quad \text{for } i=1, 2, \dots, L \end{aligned} \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^L W_i x_{ij} \leq W, \quad \text{for } j=1, 2, \dots, T \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^L V_i x_{ij} \leq V, \quad \text{for } j=1, 2, \dots, T \quad (3)$$

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{if } O_i \in T, \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

제약식 (1)은 인출주문의 항목들이 인출기계의 한 번의 순회에 모두 인출되어야 함을 나타내며, 제약식 (2)는 인출기계의 중량 제약식이며, 제약식 (3)은 인출기계의 부피 제약식을 나타낸다.

### 2.3 유사계수

배칭문제는 인출기계의 각 순회에 할당할 주문들의 조합을 구성하는 문제이다. 따라서 본 연구에서는 주문들간의 유사성을 고려하여 주문들의 조합을 구성한다. 본 연구에서는 주문의 납기와 인출기계의 순회거리를 동시에 고려하므로 다음과 같은 두 가지의 유사계수를 합성하므로써 주문들간의 유사도를 결정한다.

[유사계수 1]

유사계수  $SD$ 는 주문의 납기를 고려한 주문의 긴급도를 나타내는 것으로 긴급도가 클수록 우선적으로 인출기계의 순회에 할당되어야 한다.

$$SD = \frac{D_{\max} - D_i}{D_{\max} - D_{\min}}$$

$D_i$  : 주문  $O_i$ 의 납기

$D_{\max}$  : 주문들의 납기중 최대의 납기

$D_{\min}$  : 주문들의 납기중 최소의 납기

[유사계수 2]

유사계수 SA는 Hwang[7]등이 제시한 것으로, 두 주문  $O_i$ 와  $O_j$ 에 의해 구성되는 총 저장랙의 면적에 대한 공통된 저장랙의 면적의 비율을 의미한다.

$$SA = \frac{\min\{a_i, a_j\} \min\{b_i, b_j\}}{a_i b_i + a_j b_j - \min\{a_i, a_j\} \min\{b_i, b_j\}}$$

$a_i$  : 주문  $O_i$ 의 항목들의 저장랙의 위치중 최대의 수평 좌표값

$b_i$  : 주문  $O_i$ 의 항목들의 저장랙의 위치중 최대의 수직 좌표값

따라서 본 연구에서의 유사도는 다음과 같이 두 유사계수에 가중치  $w_1$ 과  $w_2$ 를 고려한 유사계수의 값으로 표현할 수 있다.

$$S_{ij} = w_1 SD + w_2 SA, \quad w_1 + w_2 = 1$$

### 3. 해법의 개발

본 연구에서의 오더피킹시스템에 대한 배칭문제의 해법은 동적인 주문 및 주문들의 남기를 고려하면서 인출기계의 순회거리를 최소화하는 것으로 해법의 절차는 다음과 같다.

(단계 0) 초기화

$$j=1, T_j = \emptyset, UOS = \emptyset$$

(단계 1) 도착한 주문을 남기순서로 정렬하고 초기주문집합  $UOS$ 를 구성한다.

(단계 2)  $UOS$ 에서 긴급도 순위가 첫 번째인 주문을 초기주문  $O_s$ 로 결정하고  $j$  번째 순회에 포함시킨다.

$$T_j = T_j \cup \{O_s\}$$

$$UOS = UOS - \{O_s\}$$

$$RW = W - W_s$$

$$RV = V - V_s$$

(단계 3) 수용가능한 중량 및 부피를 만족시키는 주문집합  $F$ 를 구성한다.

$$P = \{O_i \mid O_i \in UOS, W_i \leq RW, V_i \leq RV\}$$

만일  $P = \emptyset$  이면 (단계 5)로 간다.

(단계 4) 집합  $F$ 의 각 주문에 대해  $O_s$ 와의 유사계수를 산출하여 가장 큰 유사계수를 갖는 주문  $O_x$ 를  $j$  번째 순회에 포함시킨다.

$$O_s = O_s + O_x$$

$$T_j = T_j \cup \{O_x\}$$

$$P = P - \{O_x\}$$

$$RW = W - W_x$$

$$RV = V - V_x \dots$$

만일  $RW > 0$  이고  $RV > 0$ 이면 (단계 3)으로 간다.  
 (단계 5)  $j = j + 1$ 로 수정하고 (단계 1)로 간다.

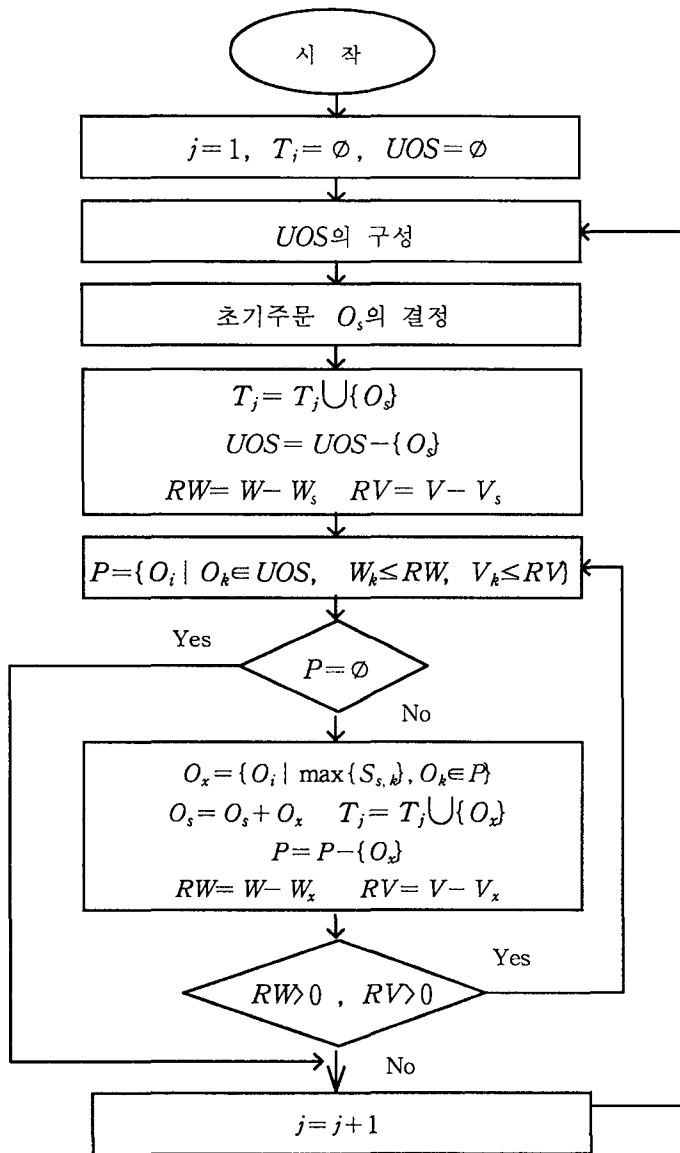


그림 1. 해법의 순서도

4. 수치예제

본 절에서는 제시한 해법의 간단한 수치예제를 제시하여 해법의 절차를 살펴본다. 지금까지 시스템에 도착한 인출주문들의 정보는 표 1과 같으며, 현재시간은 0으로 한다. 인출기계의 용량을 증량은 10, 부피는 10으로 제한하며, 유사계수의 가중치는 각각 0.5로 가정한다.

표 1. 인출주문의 정보

주문	항목	저장랙의 위치	총 증량	총 부피	납기
O1	a	(2, 5)	5	4	5
	b	(1, 3)			
	c	(4, 2)			
O2	d	(7, 3)	2	3	8
	e	(2, 6)			
O3	b	(1, 3)	3	2	10
	c	(4, 2)			
O4	c	(4, 2)	5	4	15
	d	(7, 3)			
	f	(5, 5)			
O5	b	(1, 3)	2	2	8
	e	(2, 6)			
O6	i	(3, 5)	6	5	13
	j	(6, 3)			
	k	(4, 7)			

(단계 0) 초기화

$$j=1, T_j = \emptyset, UOS = \emptyset$$

(단계 1) 납기순서로 정렬

$$UOS = \{O_1, O_2, O_5, O_3, O_6, O_4\}$$

(단계 2)

$$O_s = O_1, T_1 = \{O_1\}$$

$$UOS = \{O_2, O_5, O_3, O_6, O_4\}$$

$$RW = 10 - 5 = 5$$

$$RV = 10 - 4 = 6$$

(단계 3) 수용가능한 집합 구성

$$P = \{O_2, O_5, O_3, O_4\}$$

$$P = \emptyset$$

(단계 4) 유사계수 산출

$$S_{s,2}^* = 0.5 \times \frac{15-8}{15-5} + 0.5 \times \frac{4 \times 5}{4 \times 5 + 7 \times 6 - 4 \times 5} = 0.5881^*$$

$$S_{s,5} = 0.5 \times \frac{15-8}{15-5} + 0.5 \times \frac{2 \times 5}{4 \times 5 + 2 \times 6 - 2 \times 5} = 0.5773$$

$$S_{s,3} = 0.5 \times \frac{15-10}{15-5} + 0.5 \times \frac{4 \times 3}{4 \times 5 + 4 \times 3 - 4 \times 3} = 0.5500$$

$$S_{s,4} = 0.5 \times \frac{15-15}{15-5} + 0.5 \times \frac{4 \times 5}{4 \times 5 + 7 \times 5 - 4 \times 5} = 0.2875$$

$$\therefore O_x = O_2$$

$$O_s = O_5 + O_2 \quad T_1 = T_1 \cup \{O_2\} \quad P = \{O_5, O_3, O_4\}$$

$$RW = 5 - 2 = 3 \quad RV = 6 - 3 = 3$$

(단계 3)으로 간다.

(단계 3) 수용가능한 집합 구성

$$P = \{O_5, O_3\}$$

(단계 4) 유사계수의 산출

$$S_{s,5}^* = 0.5 \times \frac{10-8}{10-5} + 0.5 \times \frac{2 \times 6}{7 \times 6 + 2 \times 6 - 2 \times 6} = 0.3423^*$$

$$S_{s,2} = 0.5 \times \frac{10-10}{10-5} + 0.5 \times \frac{4 \times 3}{7 \times 6 + 4 \times 3 - 4 \times 3} = 0.1423$$

$$\therefore O_x = O_2$$

$$O_s = O_5 + O_5 \quad T_1 = T_1 \cup \{O_5\} \quad P = \{O_3\}$$

$$RW = 3 - 2 = 1 \quad RV = 3 - 2 = 1$$

(단계 3)으로 간다.

(단계 3)  $P = \emptyset$ 이므로 (단계 5)로 간다.

(단계 5)  $j = j + 1$ , (단계 1)로 간다.

(단계 1) 도착한 주문들을 포함한 새로운 UOS를 구성하여 위의 단계를 반복 수행한다.

위 해법의 결과 인출기계의 첫 번째 순회에 할당된 주문들은  $O_1, O_2, O_5$ 이다.

## 5. 결론

오더피킹시스템은 크게 두 가지 문제로 분류된다. 주문들을 인출기계의 각 순회에 어떻게 할당할 것인가 하는 배칭문제와 할당된 인출기계의 각 순회의 주문들을 어떤 순서로 인출할 것인가를 결정하는 피킹문제이다. 본 연구는 2차원 저장택으로 구성된 창고에서 오더피킹시스템의 배칭문제에 관한 연구이다.

배칭문제에 대한 기존의 연구들은 초기 주문집합내의 모든 주문들을 인출기계의 각 순회에 할당하는 것으로서 이는 주문들의 동적인 도착상태를 반영할 수 없다. 또한 주문의 납기를 고려하지 않으므로 제조시스템과의 연계성을 제고할 수 없다. 따라서 본 연구에서는 주문들의 동적인 도착상태를 반영하고 주문들의 납기를 고려한 배칭문제에 대한 해법을 제시함으로써 기존 연구들의 단점을 해결하였다. 그러므로 본 연구에서 제시한 해법은 제조시스템과 연결된 창고의 인출시스템에서 적시에 주문들을 인출함으로써 제조시스템과의 연계성을 효율적으로 고려할 수 있다.

추후 연구과제로는 인출기계의 순회에 할당된 주문들을 인출하는 시기를 결정하기 위한 연구와 적시적정생산시스템(Just-In-Time Production System)과 연계된 오더피킹시스템에서의 배칭문제에 대한 연구가 필요할 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

1. Eastman, W.L., "Linear programming with pattern constraints," Ph D. Thesis, Harvard University, U.S.A., 1958.
2. Parker, R.G., and Rardin, R.L., "The travelling salesman problem : an updated of research," *Naval Research Logistics Quarterly*, Vol.30, 69-78, 1983.
3. Goetschalckx, M., "Storage and retrieval policies for efficient order picking operations," Ph D. Thesis, Georgia Institute of Technology, U.S.A., 1983.
4. Ratliff, H.D., and Rosenthal, A.S., "Order picking in a rectangular warehouse : a solvable case of the travelling salesman problem," *Operations research*, Vol.31, 507-567, 1983.
5. Elsayed, E.A., "Algorithms for optimal material handling in automatic warehousing system," *International Journal of Production Research*, Vol.19, 525-537, 1981.
6. Elsayed, E.A., and Stern, R.G., "Computerized algorithms for order processing in automated warehousing systems," *International Journal of Production Research*, Vol.21, 579-590, 1983.
7. Hwang, H, Baek, W.J., and Lee, M.K., "Clustering algorithms for order picking in an automated storage and retrieval system," *International Journal of Production Research*, Vol.26, 189-201, 1988.
8. Elsayed, E.A., and Unal, O.I., "Order batching algoritrhms and travel-time estimation for automated storage/retrieval systems," *International Journal of Production Research*, Vol.27, 1091-1114, 1989.