

## 재취급을 고려한 최적 혼적결정법\*

양지현  
부산대학교 공과대학 산업공학과  
(yangjee@pusan.ac.kr)

김갑환  
부산대학교 공과대학 산업공학과  
(kapkim@pusan.ac.kr)

원승환  
부산대학교 공과대학 산업공학과  
(shwon@pusan.ac.kr)

.....

물류의 증가로 생산된 제품이 소비자에게 전달되기 전 저장하는 제품 창고의 운영과 유지는 제품원가의 큰 부분을 차지하게 되었다. 취급작업 횟수의 감소, 신속한 출고 작업, 제품의 효율적 관리를 위해 저장설비의 설치, 저장 공간의 추가 확보 등의 시설 투자 방법으로도 이런 문제를 해결 할 수 있지만 기존 저장 공간을 최대한 활용함으로써 취급작업 수를 줄일 수 있다. 저장시설 내에서의 운영방법에는 여러 가지가 있겠지만 저장 공간의 제약이 있기 때문에 제품을 겹쳐 쌓아야 하고 그 경우 반드시 재취급을 고려해야 한다. 재취급 문제는 창고의 취급 효율을 결정짓는 가장 중요한 문제이다. 따라서 창고의 운영 효율을 높이기 위해서는 재취급을 최소화할 수 있는 방법을 고려할 필요가 있다. 본 연구에서는 기대 재취급을 최소화하는 혼적결정 문제를 다루고자 한다. 혼적결정을 위한 최적화 모형을 제시하였고 해를 구하기 위한 유전자 알고리즘을 제시하였다. 이 연구결과는 컨테이너 터미널을 포함하여 재취급이 발생할 수 있는 창고의 운영에 활용될 수 있다.

.....

논문접수일 : 2005년 11월      게재확정일 : 2006년 9월      교신저자 : 양지현

### 1. 서론

인터넷을 통한 물품 구매가 증가함에 따라서 생산된 제품이 소비자에게 전달되는 과정에서 제품 창고의 운영은 중요한 문제로 부각되고 있다. 저장 시설에 있어서 취급작업 횟수의 감소, 신속한 출고 작업, 제품의 효율적 관리를 위하여 저장시설의 증설, 저장공간의 추가 확보 등의 시설 투자 방법으로 해결 할 수도 있지만, 추가적인 시설 투자 없이 기존의 저장 공간을 최대한 활용하는 합리적인 운영 방안을 고려할 필요가 있다.

저장 공간에 제약이 있는 경우에는 제품을 겹쳐

쌓아야 하고 그 결과 재취급이 발생하게 된다. 재 취급은 창고의 취급 효율을 저하시키는 가장 중요한 요인 중의 하나이다. 따라서 창고의 운영 효율을 높이기 위해서 재취급을 최소화할 수 있는 방법을 찾아야 한다.

Rouwenhorst, Reuter, Stockrahm et al.(2000)은 창고의 특성, 역할, 구성 등에 대해 설명 했으며 창고 운영에서 고려되는 문제들을 전략적, 기술적, 운영적 레벨로 나누어서 정의하고 소개 하였다.

Frazelle and Sharp(1989)는 창고에서 동일한 시간창(time window)을 가지거나 함께 취급될 가능성이 높은 저장물을 함께 저장해 두어 작업횟수

\* 이 논문은 교육인적자원부 지방연구중심대학 육성사업(차세대물류IT기술연구사업단)의 지원에 의하여 연구되었음.

를 줄이고자 하는 correlated assignment 방법을 소개하였다.

Kim(1997)은 컨테이너 야드 내에서 하나의 컨테이너를 집는데 기대되는 재취급 횟수와, 초기 장치상황이 주어질 경우 총 기대 재취급 횟수를 평가하는 방법론을 제시하였으며 간단한 회귀분석을 사용하여 재취급의 횟수를 예측하기 위한 연구를 하였다. 또한 하나의 베이에 있는 모든 컨테이너를 집어내는데 기대되는 총 재취급 횟수를 계산하기 위한 근사 계산식도 제시하였다.

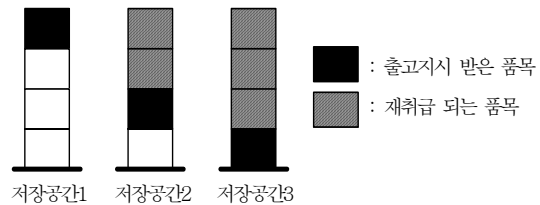
Kim, Park, and Ryu(2000)는 수출 컨테이너의 재취급을 최소화하는 장치위치 결정 문제를 다루었는데 도착하는 컨테이너의 무게를 고려하였다. 동적계획법에 의한 최적 장치위치 결정 결과와 함께 의사결정 트리를 사용한 의사결정규칙 및 결과를 제시하여 제안한 규칙의 효율성을 검증하였다.

Zhang, Xue, and Lai(2002)는 multi-level 창고에서 하나의 저장 공간에 저장될 제품들의 집합을 결정하고, 이 집합에 포함된 제품들의 총 운반 거리를 최소화하는 문제를 다루었다. 문제를 풀기 위해 변형된 유전자 알고리즘을 제시하고 일반적인 유전자 알고리즘과 성능을 비교하였다.

Lai, Xue, and Zhang(2002)은 제품의 크기와 형태가 다양한 paper reel 창고에서 수요와 재고 요구량이 서로 다른 제품들의 저장 위치 결정문제를 다루었다. 문제 해결을 위해 reel grouping 및 cell assignment의 2단계 접근법을 사용했다. 변형된 simulated annealing을 제안하고 일반적인 simulated annealing과 성능을 비교하였다.

재취급은 [그림 1]과 같이 저장공간에서 아래쪽의 품목을 출고하기 위해서 위쪽의 품목을 다른 위치로 옮기는 취급 행동으로 정의한다.

저장되는 품목들 가운데 품목의 유사한 속성으로 인해서 함께 취급될 수 있는 것들이 있다. 이처럼



[그림 1] 재취급의 발생

함께 취급될 수 있는 품목들의 묶음을 저장수요단위라고 정의한다. 물론 동일한 저장수요단위의 품목들은 동일한 저장공간에 적재되더라도 재취급을 유발하지 않는다. 본 연구에서는 저장수요단위별로 저장작업을 한다고 가정한다.

본 연구에서는 저장되는 모든 수요들의 입출고 시간 및 순서, 각 저장수요에 포함 된 제품 수 등의 정보를 알고 있다고 가정하고, 기대 재취급 횟수를 최소화시키는 혼적결정법을 제시한다. 또한 저장수요들의 저장기간이 동일한 경우와 상이한 경우를 나누어서 접근하였다.

본 논문은 저장수요와 저장공간 공급 간의 관계를 통한 기대 재취급 횟수 추정, 혼적에 대한 일반 원칙 도출, 저장수요들의 저장기간이 동일한 경우와 상이한 경우 각각의 혼적결정법 제시, 제시한 방법의 성능 실험 순으로 구성된다. 혼적결정 문제를 풀기 위해서 동적계획법과 유전자 알고리즘을 사용하였다.

## 2. 저장수요와 저장공간 공급

### 2.1 저장수요단위와 공간공급단위

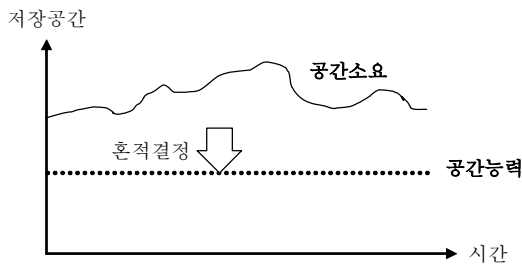
재취급을 고려한 저장위치결정에 가장 큰 영향을 미치는 사항은 저장물들의 인출순서 및 인출시점의 연관성이다. 인출순서의 연관성은 어떤 것들이 연속해서 인출이 되느냐와 관련되고, 인출시점

의 연관성은 어떤 것들이 같은 시점에 인출되느냐와 관련된다. 인출순서 및 인출시점의 연관성을 기준으로 저장수요단위를 설정할 수 있다. 인출 시 어떤 저장물이 먼저 인출되어도 상관이 없는 저장물들의 집합을 동일 저장수요단위라고 정의한다. 예를 들어 컨테이너 야드에 적재된 수출 컨테이너는 동일한 크기와 목적항을 속성으로 가지는 것들이 연속해서 인출되고 어떤 것이 먼저 인출되어도 상관이 없기 때문에 동일한 저장수요단위로 취급한다.

공간공급단위란 저장물을 겹쳐 쌓는 최소단위의 저장공간을 말한다. 예를 들어 컨테이너 야드에 서는 스택(stack)이 공간공급단위가 된다.

## 2.2 공간소요와 공간능력

공간소요란 재취급을 유발하지 않도록 저장했을 때 소요되는 공간의 양을 말한다. 공간소요보다 공간능력이 작을 경우에 여러 품목들을 겹쳐 쌓는 혼적을 결정하게 되고, 이런 경우에 재취급이 발생하게 된다. [그림 2]는 공간소요와 공간능력과의 관계를 나타낸다.



[그림 2] 공간소요와 공간능력과의 관계

## 2.3 기대 재취급 횟수의 추정

### 2.3.1 가정

1) 품목들의 저장 순서는 모른다.

2) 하나의 저장수요단위는 하나의 공간공급단위에만 저장할 수 있다.

3) 한번의 취급작업에서는 하나의 저장물(stock-keeping-unit : SKU)만을 취급한다.

### 2.3.2 사용된 기호의 정의

$i$  : 저장수요를 나타내는 index( $i= 1, 2, \dots, n$ ),

$P_i$ : 저장수요  $i$ ,

$x_i$ : 저장수요  $i$ 의 SKU 수,

$A$ : 전체 저장수요의 집합,

$B$ : 한 공간공급단위에 저장된 저장수요의 집합,

$$B \subset A,$$

$E(B)$ :  $B$ 에 속한 저장수요들을 하나의 공간공급단위에 저장했을 때 기대 재취급 횟수,

$E(B, i)$ :  $P_i$ 를 먼저 인출할 경우  $B$ 에 속한 저장수요들을 하나의 공간공급단위에 저장했을 때 기대 재취급 횟수.

### 2.3.3 기대 재취급 횟수의 추정

한 저장공간에 대해서 입고 전, 입고 완료, 입고 일부 완료의 세 가지 시점을 기준으로 기대 재취급 횟수를 추정한다.  $B = \{P_1, P_2\}$ 이라고 가정했을 때,  $E(B)$ 를 추정해 보았다.

입고 전 시점에서의 기대 재취급 횟수 추정은 다음과 같이 할 수 있다. 이 경우는 입고가 어떤 시점에 이루어져 서로 어떻게 혼적되어 있을지에 대한 정보가 없는 상태로서 저장수요 별 SKU의 개수가 많은 경우에는 보수적인 입장에서 늦게 출고되는 저장수요의 SKU 전체가 재취급된다고 보아도 크게 틀리지 않다.

1)  $P_1$ 이  $P_2$ 보다 먼저 출고될 때,  $E(B, 1) = x_2$ .

2) 출고 순서를 모를 때,  $E(B) = \{E(B, 1) + E(B, 2)\} / 2$ .

3) 출고 순서를 결정할 수 있을 때,  $E(B) = \min \{E(B, 1), E(B, 2)\}$ .

입고 완료 시점에서는 재취급된 SKU를 원래의 저장공간으로 복귀시킬 것인지, 재취급을 위해 이동한 다른 저장공간에 저장할 것인지 의사결정을 해야 한다. 저장된 상태를 알고 있는 입고 완료 시점에서의 기대 재취급 횟수 추정은 다음과 같이 할 수 있다.

1)  $P_1$ 이  $P_2$ 보다 먼저 출고될 때,  $E(B, 1) = \min \{2 \times (P_1 \text{ 중 최하단에 있는 SKU보다 위에 있는 } P_2 \text{의 SKU 수}), x_2\}$ .

2) 출고 순서를 모를 때,  $E(B) = \{E(B, 1) + E(B, 2)\} / 2$ .

3) 출고 순서를 결정할 수 있을 때,  $E(B) = \min \{E(B, 1), E(B, 2)\}$ .

$P_1$ 은 모두 입고되고  $P_2$ 는  $a$ 만큼 추가로 입고예정인 경우, 출고 시점에서의 기대 재취급 횟수 추정은 다음과 같이 할 수 있다.

1)  $P_1$ 이  $P_2$ 보다 먼저 출고될 때,  $E(B, 1) = \min [2 \times \{(P_1 \text{ 중 최하단에 있는 SKU보다 위에 있는 } P_2 \text{의 SKU 수}) + a\}, x_2 + a]$ .

2) 출고 순서를 모를 때,  $E(B) = \{E(B, 1) + E(B, 2)\} / 2$ .

3) 출고 순서를 결정할 수 있을 때,  $E(B) = \min \{E(B, 1), E(B, 2)\}$ .

<표 1> 저장수요 별 SKU 수와 DOS 가정

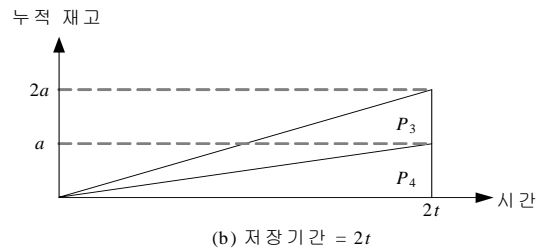
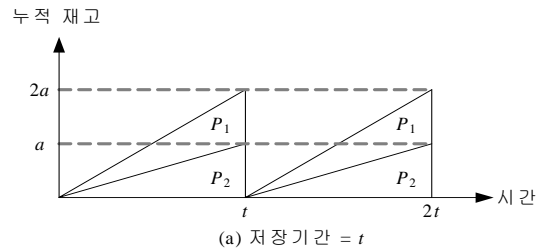
Case	$P_1$		$P_2$		$P_3$		$P_4$	
	$x_1$	DOS	$x_2$	DOS	$x_3$	DOS	$x_4$	DOS
I	$a$	$t$	$a$	$t$	$a$	$2t$	$a$	$2t$
II	$a$	$t$	$a$	$t$	$2a$	$t$	$2a$	$t$
III	$a$	$t$	$a$	$t$	$a$	$t$	$a$	$t$

## 2.4 혼적에 대한 일반 원칙의 도출

혼적에 따른 재취급의 횟수에 영향을 주는 요인으로 저장기간, 저장량, 출하시점 등이 있다. 저장수요를  $P_1, P_2, P_3, P_4$ 로 한정된 후, 저장수요 별 SKU 수와 장치기간(duration-of-stay ; DOS)을 적절히 가정하여 각 요인과 기대 재취급 횟수와의 관계를 도출하였다. <표 1>은 설명에서 사용할 세 가지 경우에 대한 저장수요 별 SKU 수와 DOS를 나타낸다. 단,  $P_1$ 과  $P_2, P_3$ 와  $P_4$ 가 혼적된다고 가정한다.

### 2.4.1 저장기간과 기대 재취급 횟수

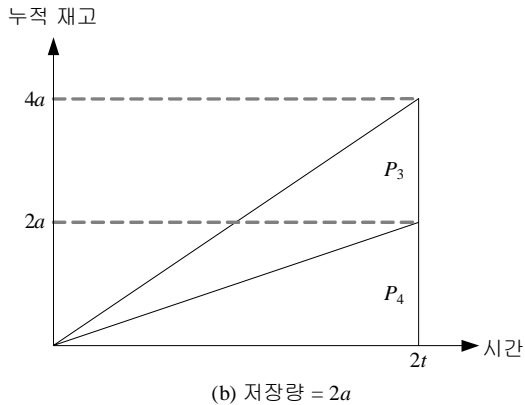
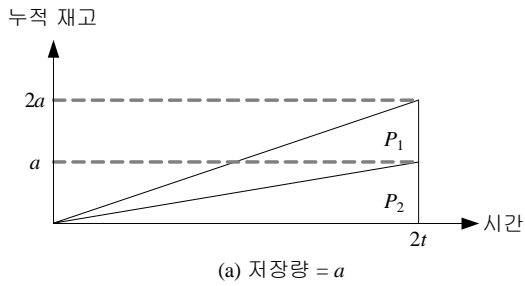
Case I 은 저장량과 출하시점은 동일하고 저장기간이 다른 경우이다. Case I 의 재고수준 변화는 [그림 3]과 같고 기대 재취급 횟수는 (a) 2a, (b) a이다. 저장기간이 긴 저장수요들을 혼적할 경우에 기대 재취급 횟수가 더 줄어들음을 알 수 있다. [그림 3]에서 두 저장수요가 같은 시점에 그려진 것은 동일 공간공급단위에 두 저장수요가 같이 혼적되어 저장된다는 것을 의미한다.



[그림 3] Case I 의 누적 재고수준 변화

### 2.4.2 저장량과 기대 재취급 횟수

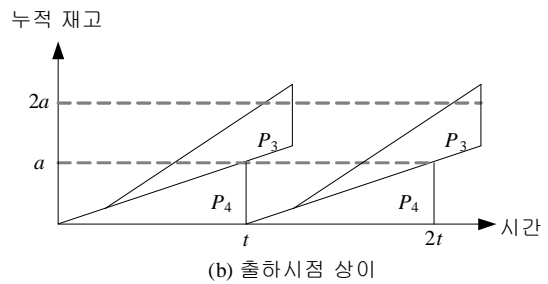
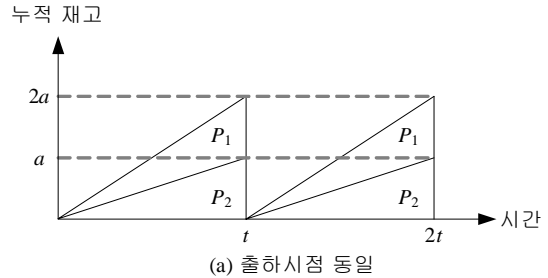
CaseII는 저장기간과 출하시점은 동일하고 저장량이 다른 경우이다. CaseII의 재고수준 변화는 [그림 4]와 같고 기대 재취급 횟수는 (a)  $a$ , (b)  $2a$ 이다. 저장량이 적은 저장수요들을 혼적할 경우에 기대 재취급 횟수가 더 줄어들음을 알 수 있다.



[그림 4] CaseII의 누적 재고수준 변화

### 2.4.3 출하시점과 기대 재취급 횟수

CaseIII는 저장기간과 저장량은 동일하고 출하시점이 다른 경우이다. CaseIII의 재고수준 변화는 [그림 5]와 같고 기대 재취급 횟수는 (a)  $2a$ , (b)  $2a$ 이다. 출하시점은 기대 재취급 횟수에 영향을 주지 않음을 알 수 있다. 그러나 출하시점이 동일한 경우가 그렇지 않은 경우보다 공간활용도가 향상될 수 있다.



[그림 5] CaseIII의 누적 재고수준화

## 3. 혼적결정 문제

저장되는 모든 수요들의 입출고 시간 및 순서, 각 저장수요에 포함된 SKU 수등의 정보를 알고 있을 때, 기대 재취급 횟수를 최소화시키는 혼적결정 문제를 풀고자 한다. 추가적인 가정은 다음과 같다.

- 1) 각 저장수요의 저장소요공간은 공간공급단위 하나의 저장능력보다 적다.
- 2) 재취급되는 SKU들은 더 이상 재취급이 발생하지 않는 저장공간으로 이동한다.

### 3.1 저장기간이 동일한 저장수요들의 최적 혼적결정

저장수요들의 저장기간이 동일하므로 인출시점의 상대적인 선후관계는 고려할 필요가 없으며, 동일한 저장공간에 저장되는 저장수요들의 집합과 각 저장수요들의 SKU 수를 고려하면 된다.

### 3.1.1 기대 재취급 횟수 추정식의 도출

저장수요의 수가  $n$ 이고 모든 저장수요를 하나의 저장공간에 혼적한다고 했을 때 기대 재취급 횟수를 추정하고자 한다.

저장수요 1, 2가 하나의 저장공간에 저장될 때, 즉  $B = \{P_1, P_2\}$ 일 때 기대 재취급 횟수는 다음과 같다.

- 1)  $P_1$ 이 먼저 출고 될 때,  $E(B, 1) = x_2$ .
- 2)  $P_2$ 가 먼저 출고 될 때,  $E(B, 2) = x_1$ .
- 3) 출고 순서를 모를 때,  $E(B) = \{E(B, 1) + E(B, 2)\} / 2$ .

저장수요 1, 2, 3이 하나의 저장공간에 저장될 때, 즉  $B = \{P_1, P_2, P_3\}$ 일 때 기대 재취급 횟수는 다음과 같다.

- 1)  $P_1$ 이 먼저 출고 될 때,  $E(B, 1) = (x_2 + x_3) + (x_2 + x_3) / 2 = 3(x_2 + x_3) / 2$ .
- 2)  $P_2$ 가 먼저 출고 될 때,  $E(B, 2) = (x_1 + x_3) + (x_1 + x_3) / 2 = 3(x_1 + x_3) / 2$ .
- 3)  $P_3$ 가 먼저 출고 될 때,  $E(B, 3) = (x_1 + x_2) + (x_1 + x_2) / 2 = 3(x_1 + x_2) / 2$ .
- 4) 출고 순서를 모를 때,  $E(B) = \{E(B, 1) + E(B, 2) + E(B, 3)\} / 3 = x_1 + x_2 + x_3$ .

저장수요 1, 2, 3, 4가 하나의 저장공간에 저장될 때, 즉  $B = \{P_1, P_2, P_3, P_4\}$ 일 때 기대 재취급 횟수는 다음과 같다.

- 1)  $P_1$ 이 먼저 출고 될 때,  $E(B, 1) = 2(x_2 + x_3 + x_4)$ .
- 2)  $P_2$ 가 먼저 출고 될 때,  $E(B, 2) = 2(x_1 + x_3 + x_4)$ .
- 3)  $P_3$ 가 먼저 출고 될 때,  $E(B, 3) = 2(x_1 + x_2 + x_4)$ .
- 4)  $P_4$ 가 먼저 출고 될 때,  $E(B, 4) = 2(x_1 + x_2 + x_3)$ .
- 5) 출고 순서를 모를 때,  $E(B) = \{E(B, 1) + E(B, 2) + E(B, 3) + E(B, 4)\} / 4 = 3(x_1 + x_2 + x_3 + x_4) / 2$ .

따라서, 출고 순서를 모르는 상황에서  $n$ 단위의 저장수요를 하나의 저장공간에 혼적 했을 때 기대 재취급 횟수 추정식은 다음과 같이 유도된다.

$$\frac{(n-1)}{2} \sum_{i=1}^n x_i \quad (1)$$

### 3.1.2 최적화 수리모형의 수립

다음과 같은 기호가 사용된다.

$c$ : 공간공급단위의 수,

$S$ : 하나 이상의 저장수요를 원소로 가지는 집합,

$D$ : 모든  $S$ 를 원소로 가지는 집합,

$D_i$ : 저장수요  $i$ 를 포함하는 모든  $S$ 를 원소로 가지는 집합,

$X_S$ :  $S$ 에 포함된 모든 저장수요들이 하나의 저장공간에 저장되면 1, 아니면 0,

$c_S$ :  $S$ 에 포함된 모든 저장수요들이 하나의 저장공간에 저장될 때 기대 재취급 횟수.

추가적으로  $S$ 에 포함된 모든 저장수요들의 양이 저장하고자 하는 공간의 능력을 초과하면  $c_S$ 는 아주 큰 값을 가진다고 가정한다.

예를 들어  $A = \{P_1, P_2, P_3\}$ 일 때,  $S$ 는  $\{P_1\}$ ,  $\{P_2\}$ ,  $\{P_3\}$ ,  $\{P_1, P_2\}$ ,  $\{P_1, P_3\}$ ,  $\{P_2, P_3\}$ ,  $\{P_1, P_2, P_3\}$ 가 될 수 있고  $D = \{\{P_1\}, \{P_2\}, \{P_3\}, \{P_1, P_2\}, \{P_1, P_3\}, \{P_2, P_3\}, \{P_1, P_2, P_3\}\}$ ,  $D_1 = \{\{P_1\}, \{P_1, P_2\}, \{P_1, P_3\}, \{P_1, P_2, P_3\}\}$ ,  $D_2 = \{\{P_2\}, \{P_1, P_2\}, \{P_2, P_3\}, \{P_1, P_2, P_3\}\}$ ,  $D_3 = \{\{P_3\}, \{P_1, P_3\}, \{P_2, P_3\}, \{P_1, P_2, P_3\}\}$ 가 된다.

제시한 문제를 수리모형으로 정식화하면 다음과 같다.

$$(P1) \min \sum_{S \in D} c_S X_S \quad (2)$$

subject to

$$\sum_{S \in D_i} X_s = 1 \quad \text{for all } i \quad (3)$$

$$\sum_{S \in D} X_s \leq c \quad (4)$$

$$X_s = 0 \text{ or } 1 \quad \text{for all } S \quad (5)$$

최소화하려는 목적함수는 전체 저장공간에 대한 기대 재취급 횟수의 합이다. 식 (3)은 하나의 저장 수요가 하나의 공간공급단위에만 저장됨을 의미하며, 식 (4)는 혼적을 결정한 저장수요 묶음의 개수가 공간공급단위의 수보다 클 수 없음을 의미한다.

### 3.1.3 동적계획법 모형의 수립

저장기간이 동일한 저장수요들의 혼적결정 문제를 동적계획법으로 모형화하기 위해 단계(stage)와 상태(state)를 다음과 같이 정의한다.

- 1) 단계 : 고려하는 공간공급단위의 수를 나타내며 기호  $k$ 를 사용한다.
- 2) 상태 : 고려하는 공간공급단위의 수와 저장수요의 집합으로 표현한다.

$$f(k, A) = \min_B [E(B) + f(k-1, A-B)] \quad (6)$$

동적계획법 모형을 사용한 다음의 절차를 통해서 최적의 혼적결정을 한다.

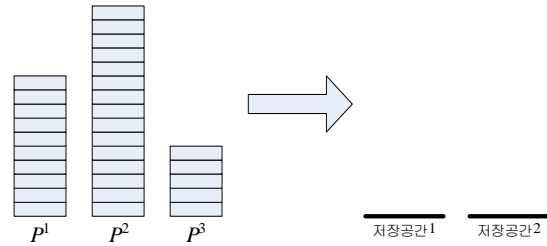
- Step 1. (초기화)  $k \leftarrow 1$ .
- Step 2.  $k$ 가 고려중인 공간공급단위의 수보다 크면 종료하고 아니면 Step 3으로 간다.
- Step 3. 고려중인 저장수요에 대해서 하나 이상의 저장수요를 원소로 가지는 집합 ( $A$ )을 구성한다.

Step 4. 집합  $A$ 의 모든 부분집합 ( $B$ )을 나열한다. 단,  $B \neq \emptyset$ .

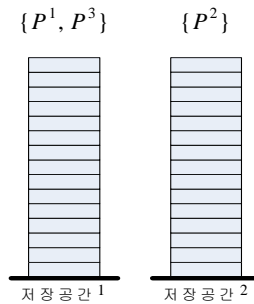
Step 5. 집합  $A$ 별로 나열된 집합  $B$ 를 사용하여  $f(k, A)$ 를 계산하고 계산된 값 중에서 최소값을 현 단계의 값으로 유지한다.

Step 6.  $k \leftarrow k + 1$ . Step 2로 간다.

위의 절차를 사용한 혼적결정 예제를 제시한다. [그림 6]과 같이 저장수요  $P_1, P_2, P_3$ 를 저장능력이 45인 2개의 공간공급단위에 저장하려고 한다.  $P_1$ 의 SKU 수는 10,  $P_2$ 의 SKU 수는 15,  $P_3$ 의 SKU 수는 5라고 할 때 혼적을 결정하고자 한다.



[그림 6] 혼적결정 예제 1



[그림 7] 동적계획법을 사용한 혼적결정 결과

제시한 절차를 사용하여 예제를 푼 결과는 [그림 7]과 같다. 풀이 절차는 생략한다. 기대 재취급 횟수는 7.5회이며, 하나의 저장공간에  $P_1, P_3$ 를 다

른 저장공간에  $P_2$ 를 저장한다. 제시한 혼적결정은 기대 재취급 횟수를 최소로 하는 의사 결정이 된다.

### 3.2 저장기간이 상이한 저장수요들의 최적 혼적결정

저장기간이 동일한 저장수요와는 달리 저장수요마다 입출고 시점이 다르므로 의사결정을 통해 기대 재취급 횟수를 증가시키지 않는 혼적결정이 가능하다. 즉 인출시점의 연관성과 관련이 있다. 기대 재취급 횟수를 구할 때, 저장기간이 동일한 경우에는 저장수요들의 수와 각 저장수요의 SKU 수만을 이용했으나 저장기간이 상이한 경우에는 SKU의 출고시점까지 고려해야 한다.

#### 3.2.1 최적화 수리모형의 수립

저장기간이 동일한 저장수요들의 최적 혼적결정 문제의 수리모형에 사용된 기호에 다음 기호를 추가하여 모형화한다.

$a_{st}$ : 임의의 시점  $t$ 에서  $S$ 에 포함된 저장수요 중의 하나가 저장공간에 저장되어 있으면 1, 아니면 0.

추가적으로 모든 시점에서  $S$ 에 포함된 모든 저장수요들의 양이 저장하고자 하는 공간의 능력을 초과하면  $c_s$ 는 아주 큰 값을 가진다고 가정한다.

제시한 문제를 수리모형으로 정식화하면 다음과 같다.

$$(P2) \min \sum_{S \in D} c_S X_S \quad (6)$$

subject to

$$\sum_{S \in D_i} X_S = 1 \quad \text{for all } i \quad (7)$$

$$\sum_{S \in D} a_{St} X_S \leq c \quad \text{for all } t \quad (8)$$

$$X_S = 0 \text{ or } 1 \quad \text{for all } S \quad (9)$$

(P1)과 마찬가지로 최소화하려는 목적함수는 전체 저장공간에 대한 기대 재취급 횟수의 합이다. 식 (7)은 하나의 저장수요가 하나의 저장공간에만 저장됨을 의미하며, 식 (8)은 모든 시점에서 사용된 저장공간의 수가 사용 가능한 저장공간의 수보다 클 수 없음을 의미한다.

## 4. 유전자 알고리즘의 적용

### 4.1 유전자 알고리즘 모형의 수립

저장수요들의 최적 혼적결정 문제를 풀기 위해서 유전자 알고리즘을 도입하고 다음과 같이 모형화한다.

1) 후보해 : 유전자(gene)는 각 저장수요에 해당되고 염색체(chromosome)는 고려중인 유전자들의 순서 있는 리스트가 된다. 염색체에 위치한 유전자들의 순서는 혼적을 고려하는 저장수요들의 순서를 의미한다.

예를 들어 저장수요  $P_1, P_2, P_3$ 를 저장하고자 한다면 염색체는 123, 132, 213, 231, 312, 321로 표현된다. 염색체 123을 사용하여 혼적을 고려한다면  $P_1$ 과  $P_2, P_2$ 와  $P_3$ 의 순으로 적용된다.

2) 초기화 : 초기 모집단 (population)은 난수를 이용하여 모집단의 크기만큼 구성한다. 단, 하나의 염색체에는 동일한 유전자(저장수요)



가 나타나지 않아야 한다. 예를 들어 고려되는 저장 수요가  $P_1, P_2, P_3, P_4, P_5$ 일 때 염색체 12245는 허용되지 않는다.

3) 적합도 평가 : 모집단 내의 각 염색체를 사용하여 기대 재취급 횟수를 평가한다.

저장수요  $n$ 단위와 각 저장수요  $i$ 의 SKU 수  $x_i$ 를 가지고 서로 동일한 저장 공간에 혼적되었을 때, 적절한 기대 재취급 횟수 추정식을 이용한다. 주어진 저장수요들의 공간소요 값을 공간능력 제약을 만족 시킬 때까지 하나씩 줄여가면서 제약을 만족시킨다. 공간능력 제약을 만족시킬 때의 최소 기대 재취급 횟수가 염색체의 적합도 평가 값이 된다.

예를 들어 12345로 표현된 염색체를 고려한다. 재취급이 발생 하지 않고 저장하려면 공간공급 5단위가 요구된다. 즉 공간소요가 5이다. 주어진 공간능력이 2라고 가정하고 혼적결정을 해 보겠다.

먼저 주어진 공간소요에서 1만큼 줄인 공간공급 4단위에 저장하는 혼적결정을 고려한다. 혼적결정 순서에 의해  $P_1, P_2$ 를 한 공간공급단위에 저장하면 기대 재취급 횟수는 12.5이며  $P_2, P_3$ 의 경우는 10,  $P_3, P_4$ 의 경우는 12.5,  $P_4, P_5$ 의 경우는 14이다. 이 중 최소값을 가지는  $P_2, P_3$ 는 한 공간공급단위에 저장한다고 결정한다.

다음으로 공간공급 3단위에 저장하는 혼적결정을 고려한다. 단, 전 단계에서 결정한  $P_2, P_3$ 를 한 공간공급단위에 저장한다는 사항을 이용한다.  $P_1, P_2, P_3$ 를 한 공간공급단위에 저장하면 기대 재취급 횟수는 30이며  $P_2, P_3, P_4$ 의 경우는 40이다. 또한  $P_2, P_3$ 를 한 공간공급단위에  $P_4, P_5$ 를 다른 공간공급단위에 저장하면 기대 재취급 횟수는 24이다. 이 중 최소값을 가지는  $P_2, P_3$ 와  $P_4, P_5$ 는 각각 동일한 공간공급단위에 저장한다고 결정한다.

다음으로 공간공급 2단위에 저장하는 혼적결정

을 고려한다. 단, 전 단계에서 결정한  $P_2, P_3$ 와  $P_4, P_5$ 를 각각 동일한 공간공급단위에 저장한다는 사항을 이용한다.  $P_1, P_2, P_3$ 를 한 공간공급단위에 저장하고  $P_4, P_5$ 를 다른 공간공급단위에 저장하면 기대 재취급 횟수는 44이며,  $P_2, P_3, P_4, P_5$ 를 한 공간공급단위에 저장하면 공간능력을 초과한다. 따라서 염색체 12345는  $P_1, P_2, P_3$ 를 한 공간공급단위에  $P_4, P_5$ 를 다른 공간공급단위에 혼적한다는 결정을 하게 된다. 염색체 12345의 적합도 평가 값은 44이다. 위의 절차가 [그림 8]에 요약되어 있다.

염색체 12345 $k = 4$ {1, 2}, {3}, {4}, {5} 12.5 {1}, {2, 3}, {4}, {5} 10 {1}, {2}, {3, 4}, {5} 12.5 {1}, {2}, {3}, {4, 5} 14 $k = 3$ {1, 2, 3}, {4}, {5} 30 {1}, {2, 3, 4}, {5} 40 {1}, {2, 3}, {4, 5} 24 $k = 2$ {1, 2, 3}, {4, 5} 44 {1}, {2, 3, 4, 5} 공간능력 초과
---

[그림 8] 염색체에 대한 적합도 평가의 예

4) 선별 (selection) : 적자생존의 원리를 기초로 환경에 대한 적합도에 의해 현 세대의 모집단으로부터 다음 세대에 생존할 염색체를 선택한다.

- 5) 유전연산자 : 두 부모의 염색체를 조합하여 자손을 생성하는 교차(crossover)와 한 염색체에서 아주 적은 수의 유전자를 임의로 변화시키는 돌연변이(mutation)가 있다. 교차는 좋은 해가 가지는 유전자의 구조를 이용하는 역할을 하고, 돌연변이는 유전자 형질을 변화시킴으로써 해 공간을 다양하게 탐색하게 하는 역할을 한다.
- 6) 유전자 매개변수 : 모집단의 크기, 교차율, 돌연변이율, 종료 조건 등이 있다. 모집단의 크기는 모집단을 구성하는 염색체의 수를 의미하며, 교차율은 각 염색체가 교차될 확률을 나타낸다. 예를 들어 모집단의 크기가 100이고 교차율이 0.5일 때, 평균 50개의 염색체가 교차된다는 것을 의미한다. 돌연변이율은 각 유전자가 돌연변이가 될 확률을 나타낸다. 예를 들어 100개의 염색체가 있고 각 염색체가 10개의 유전자로 구성되었을 때, 돌연변이율 0.01은 전체 1,000개의 유전자 중에서 평균 10개의 유전자가 돌연변이 된다는 것을 의미한다. 종료 조건으로는 진행된 세대 수, 해의 개선이 이루어지지 않고 진행된 세대 수, 계산 소요시간 등이 주로 사용 된다.

유전자 알고리즘의 적용절차는 다음과 같다.

- Step 1. (초기 모집단)  $t \leftarrow 0$ . 초기 모집단을 생성한다.
- Step 2. (적합도 평가) 모집단에 있는 모든 염색체에 대해서 기대 재취급 횟수를 평가한다.
- Step 3. (선별)  $t \leftarrow t + 1$ . 현 세대의 모집단으로부터 염색체를 선별한다.
- Step 4. (교차) 난수를 발생시켜 각 염색체의 교차 여부를 결정한다. 교차 대상 염색체 중에서 임의의 쌍을 만든다. 각 쌍의 염

색체를 교차하여 자손을 생산한다. 모집단에서 교차된 부모 염색체를 제거하고 생산된 자손을 추가한다.

- Step 5. (돌연변이) 난수를 발생시켜 염색체의 각 유전자들을 돌연변이 시킨다.
- Step 6. (적합도 평가) 모집단에 있는 모든 염색체에 대해서 기대 재취급 횟수를 평가한다.
- Step 7. (종료 조건) 종료 조건을 만족하면 끝낸다. 그렇지 않으면 Step 3으로 간다.

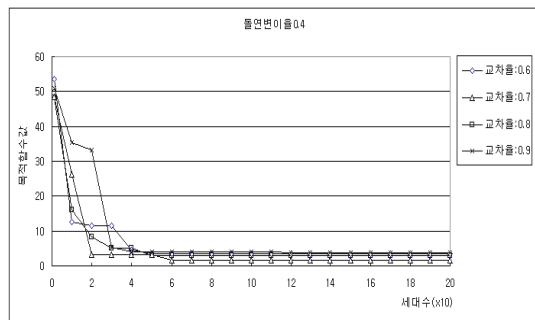
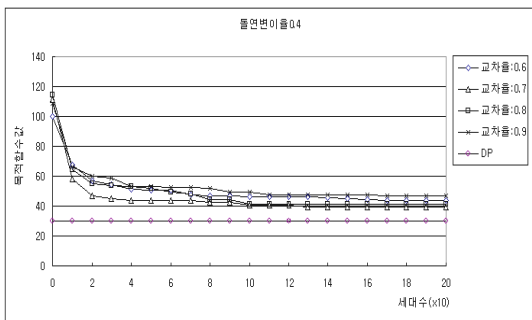
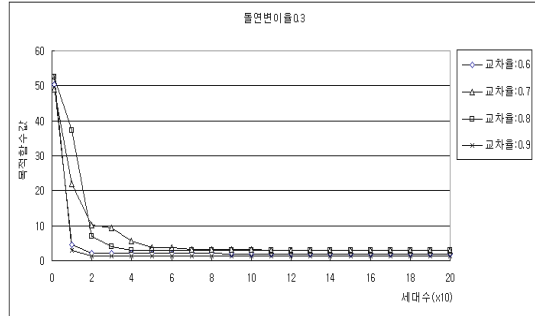
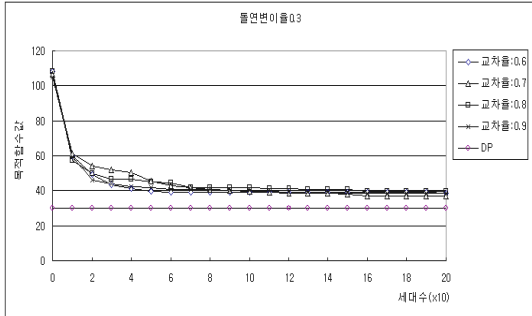
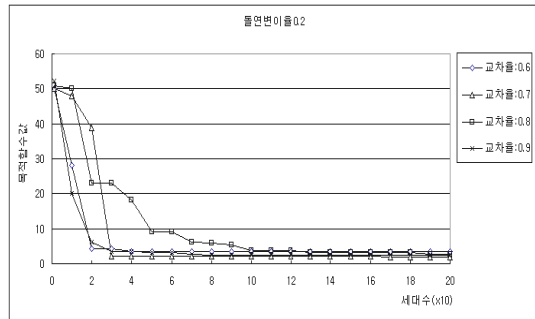
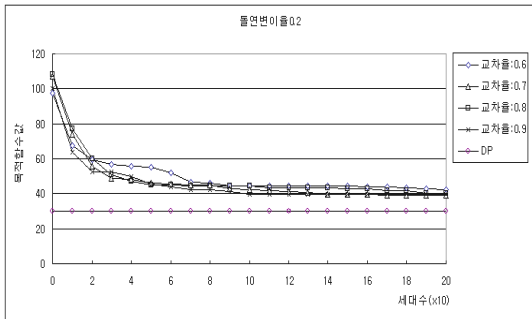
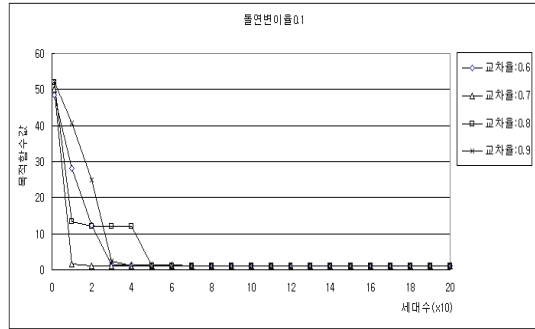
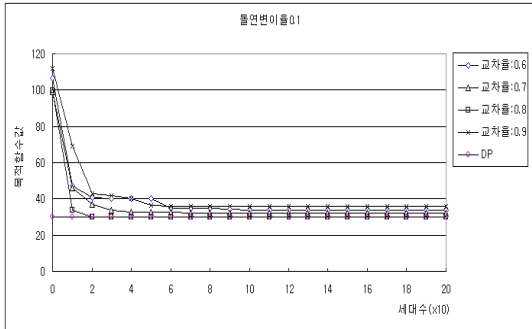
#### 4.2 수치실험결과

난수를 이용하여 생성시킨 문제에 대해 유전자 매개변수를 변화시켜가면서 본 문제에 적합한 유전자 매개변수를 찾는 실험을 하였다. 비교 대상이 되는 최적해는 동적계획법을 사용하여 구하였다. 알고리즘은 Microsoft Visual C++로 구현하였으며 펜티엄 2.4GHz PC에서 실험되었다.

문제에 알맞은 돌연변이율과 교차율을 구하기 위해서 저장수요가 10단위인 경우와 30단위인 경우에 대해 각 5회 반복실험을 통해 동적계획법으로 구한 최적해와 유전자 알고리즘으로 구한 해를 비교하였다. 목적함수 값은 현 세대까지 가장 좋은 세대의 기대 재취급 횟수 평균이다. 동일한 문제에 대해서 돌연변이율이 0.1, 0.2, 0.3, 0.4인 경우, 교차율이 0.6, 0.7, 0.8, 0.9인 경우를 각각 고려하여 총 16가지 조합에 대해서 실험하였다. 실험 결과를 [그림 9]와 [그림 10]에 제시하였다.

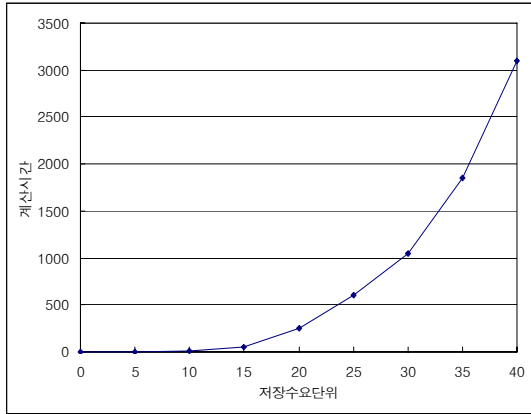
실험결과를 통해 돌연변이율이 0.1, 교차율이 0.7일 때 목적함수 값이 최적해에 보다 빠르게 수렴함을 알 수 있다.

저장수요단위의 변화에 대한 유전자 알고리즘의 계산시간을 비교한 결과가 [그림 11]에 제시된다.



[그림 9] 유전자 알고리즘 실험 결과 (저장수요 10단위)

[그림 10] 유전자 알고리즘 실험 결과 (저장수요 30단위)



[그림 11] 저장수요단위 변화에 대한 계산시간

## 5. 결론 및 향후 과제

본 논문에서는 재취급 횟수를 최소화하는 혼적 결정 문제를 다루었다. 기대 재취급 횟수를 추정하는 식을 제시하고, 재취급 횟수에 영향을 주는 요인과 재취급 횟수와의 관계를 통해 혼적에 대한 일반적인 원칙을 도출하였다. 저장되는 모든 수요들의 입출고 시간 및 순서, 각 저장수요에 포함된 SKU 수 등의 정보를 알고 있을 때, 기대 재취급 횟수를 최소화시키는 혼적결정 문제를 저장기간이 동일한 경우와 상이한 경우로 나누어 접근하였다. 저장기간이 동일한 경우에 대해서 최적화 수리모형, 동적계획법 모형을 제시하였고, 저장기간이 상이한 경우에 대해서 최적화 수리모형을 제시하였다. 그리고 계산시간을 줄이기 위하여 유전자 알고리즘이 제시되었고 이에 대한 수치실험결과가 제시되었다. 본 연구는 모든 정보를 알고 있는 정적인 상황을 가정하였지만 재취급이 빈번히 발생하고 공간능력이 충분하지 않은 제품 및 원재료 창고, 컨테이너 야드의 운영계획 수립에 응용될 수 있을 것이다.

향후에는 저장수요들의 입출고 시간 및 순서, 각 저장수요에 포함된 SKU 수에 대한 정보를 모두 알 수 없는 상황에서 혼적결정 문제를 다루어야 할 것이다. 또한 본 연구에서 배제한 재취급된 SKU가 놓이는 위치를 함께 고려하여 혼적결정 문제를 연구할 필요가 있다.

## 참고문헌

- [1] 양지현, “재취급 최소화를 위한 혼적결정 수리모형 및 해법”, 부산대학교 산업공학과 석사학위논문, 2003.
- [2] de Castilho, B. and C. F. Daganzo, “Handling Strategies for Import Containers at Marine Terminals”, *Transportation Research*, Vol.27B(1993), 151-166.
- [3] Daniels, R. L., J. L. Rummel, and R. Schants, “A Model for Warehouse Order Picking”, *European Journal of Operational Research*, Vol.105(1998), 1-17.
- [4] Francis, R. L., L. F. McGinnis, Jr., and J. A. White, *Facility Layout and Location: An Analytical Approach*, 2<sup>nd</sup> edition, Prentice Hall, New Jersey, 1992.
- [5] Frazelle, E. A. and G. P. Sharp, “Correlated Assignment Strategy can Improve Any Order-Picking Operation”, *Industrial Engineering*, (1989, April), 33-37.
- [6] Goetschalckx, M. and D. Ratliff, “Shared Storage Policies Based on the Duration Stay of Unit Loads”, *Management Science*, Vol.36(1990), 1120-1132.
- [7] Goetschalckx, M. and D. Ratliff, “Optimal Lane Depths for Single and Multiple Products in Block Stacking Storage Systems”, *IIE Transactions*, Vol.23(1991), 245-258.

- [8] Goldberg, D. E., *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*, Addison- Wesley, 1989.
- [9] Jeroen, P. and V. D. Berg, "A Literature Survey on Planning and Control of Warehousing Systems", *IIE Transactions*, Vol. 31(1999), 751-762.
- [10] Kim, K. H., "Evaluation of the Number of Rehandles in Container Yards", *Computers and Industrial Engineering*, Vol.32 (1997), 701-711.
- [11] Kim, K. H., Y. M. Park, and K. R. Ryu, "Deriving Decision Rules to Locate Export Containers in Container Yard", *European Journal of Operational Research*, Vol.124 (2000), 89-101.
- [12] Lai, K. K., J. Xue, and G. Q. Zhang, "Layout Design for a Paper Reel Warehouse : A Two-Stage Heuristic Approach", *International Journal of Production Economics*, Vol.75(2002), 231-243.
- [13] Raymond, G. and V. Fujimoto, "Optimal Storage Locations in a Carousel Storage and Retrieval System", *Location Science*, Vol.4(1996), 237-245.
- [14] Reeves, C. R., *Modern Heuristic Techniques for Combinatorial Problems*, McGraw-Hill Book Co., 1995.
- [15] Rouwenhorst, B., B. Reuter, and V. Stockrahm et al., "Warehouse Design and Control : Framework and Literature Review", *European Journal of Operational Research*, Vol.122(2000), 515-533.
- [16] Tompkins, J. A. and J. D. Smith, *The Warehouse Management Handbook*, Tompkins Associates, 1998.
- [17] Tompkins, J. A., J. A. White, and Y. A. Bozer et al., *Facilities Planning*, Wiley, New York, 1996.
- [18] Zhang, G. Q., J. Xue, and K. K. Lai, "A Class of Genetic Algorithms for Multiple-Level Warehouse Layout Problems", *International Journal of Production Research*, Vol.40 (2002), 731-744.

Abstrac

## Optimal Mixed Storage Methods Considering Rehandles of Inventories

Jee Hyun Yang\* · Kap Hwan Kim\* · Seung Hwan Won\*

In order to decrease the number of handles, speed up retrieval operations, and manage products efficiently, the investment of facilities such as the installation of the storage equipment and the enlargement of the storage area may be attempted. However, the same objectives can be accomplished by utilizing the existing storage area efficiently. In many types of storage facilities, because of the limitation of storage areas, products are usually piled up, which may cause rehandles of inventories. Rehandles influence significantly the handling efficiency of warehouses. This study develops methods for minimizing rehandles of inventories to improve the operational efficiency of warehouses. A mixed storage problem is addressed for minimizing the expected number of rehandles. Optimization models are proposed and the genetic algorithm is applied to solve the problem.

**Key words** : Rehandles Mixed Storage, Container Terminal, Optimization Model, Genetic Algorithm, Warehouse

---

\* Department of Industrial Engineering, Pusan National University