

물류창고에서 블록별 저장방식 및 주문 처리에 관한 연구

김명훈*, 김종화**

The Block-Based Storage Policy and Order Processing in Logistics Warehouse

Jonghwa Kim *, Myung Hoon Kim **

요 약

물류창고의 적재위치는 창고를 이동하는 물품의 총 자재취급비용에 의해 직접적인 영향을 받는다. 본 논문의 목적은 물류 창고에서의 총 오더피킹 시간을 감소하기 위한 물품 저장방식인 블록 저장방식을 개발하고자 한다. 블록저장방식은 랙들을 블록으로 분할하고, 각 물품은 회전율과 도크와 블록간의 평균 거리를 기준으로 할당한다. 제시한 저장방식의 수행도를 평가하기 위해 다양한 주문 결합 방법들을 이용하여 기존의 등급별 저장방식과 비교 연구한다.

Abstract

Location of stock in a warehouse directly affects the total materials handling expense of all goods moving through the warehouse. The purpose of this paper is to develop a storage policy in order picking warehouse, the block-based storage policy to minimize the total order picking time. In block-based storage policy, the rack is divided into blocks and items are assigned to each block based on the turn-over rate of each item and the average distance between the blocks and the dock. To demonstrate the performance of the proposed policy, we compare with the existing method called class-based storage policy under various matching methods.

▶ Keyword : Order picking, storage policy, warehouse management, item layout

I. 서론

기업이 제품을 생산하여 소비할 때까지의 활동에서는 필연적으로 운반과 보관이라는 기능이 발생된다. 이러한 과정에서 발생하는 운반기능은 과거부터 관심의 대상이 되어 다양한 운반장비가 개발되었고, 효율적인 관리시스템이 많이 개발되어 왔다. 최근들어 경제성장으로 인한 생산물량의 증대, 토지비 상승, 임금상승, 인력부족 등으로 인해 기업이 창고의 중요성과 물류비절감에 대한 노력의 일환으로 도시 근교에 건설하는 창고의 수가 늘어나고 창고의 기능, 성능, 형태 역시 다양화되고 있다(1).

창고는 단순한 보관 기능을 넘어서 수요수준과 생산수준의 변동을 흡수하여 완충작용을 하는 것이다. 또한 생산활동주기가 단축됨으로 인해 제품의 흐름을 합리적으로 조정하여 적합한 제품을 필요한 장소에 필요한 양만큼 적시에 공급하는 것을 목표로 하는 물자흐름 관리가 대단히 중요한 과제로 대두되고 있다. 정보화시대의 도래에 따라 정보의 전달속도가 매우 빠르고 정확하게 이루어지게 되어 제품의 유통도 같이 빨라지지 않으면 안되게 되었다. 즉, 정보가 빠르고 정확하게 전달되어도 제품의 유통이 신속하게 이루어지지 않으면 주문의 접수에서부터 주문된 제품을 인도하는데 걸리는 주문처리시간은 크게 개선되지 않는다. 따라서 효율적인 창고관리를 통하여 주문처리시간을 최소화해야 할 필요가 있으며 주문처리시간의 단축은 고객에 대한 서비스 향상을 의미하고, 이는 곧바로 기업의 경쟁력을 향상시키는 지름길이므로 창고관리의 역할은 크다고 할 수 있다.

창고의 기능은 입하-보관-오더피킹(order picking)-검품-포장-출하 등으로 크게 구분한다. 이 때 단위 시간 당 처리할 수 있는 저장과 불출의 수는 고객에 대한 서비스 수준과 직접 관련이 있는 척도로서 전체 창고의 운영 효율을 결정한다(2). 이를 줄이기 위해서는 보관 제품들에 대한 효율적인 배치가 중요한 역할을 한다고 알려져 있다. 창고에서의 제품 배치에 대한 기존 연구들을 살펴보면 Heskett(5)는 창고의 저장배치방식에서 가장 기본적인 저장배치 알고리즘인 Cube-per-Order Index(COI) 규칙을 개발하였다. COI는 제품 수요를 만족하는 데 필요한 운행 수에서 제품의 총 요구공간의 비율로 정의하여 가장 낮은

COI를 갖는 제품을 도크(dock)에서 가장 가까운 저장장소에 배치하도록 구성하였다.

Housman과 Schwarz, Graves(4)는 자동창고시스템에서 제품의 회전률에 기초한 지정위치 저장방식이 임의저장 방식보다 평균 스택커 크레인의 이동시간 측면에서 26.5%~70.6%까지 감소한다는 것을 시뮬레이션을 통해 보여 주었으며 이중명령운행(dual command cycle)이 단일명령운행(single command cycle)보다 평균시간 측면에서 약 30%이상 감소한다는 것을 보여주었다. Rosenblatt과 Eynan(7)은 등급별 저장방식을 사용할 경우에 완전회전률에 기초한 저장방식보다 총 이동시간이 90%까지 감소한다는 것을 보여주었다. Jarvis와 McDowell(6)은 오더피킹에 의존하는 창고에 대해 총 이동시간을 최소화해주는 제품의 저장위치(stock location) 알고리즘을 제안하여 주문빈도가 큰 제품을 도크(dock)에서 가장 가까운 저장장소에 배치하였다. 그러나 이 때 한 번 들어간 복도는 무조건 끝까지 지나가는 S자 방법을 사용하여 일반적인 경우에는 적용하기가 어렵다는 것이다. Han 등(3)은 자동창고시스템에서 이중명령운행 환경 하에서 불출물의 위치와 저장물의 저장위치가 가장 가까운 것끼리 쌍(pair)으로 결합하는 nearest-neighbour sequencing 방법을 제안하였다.

본 논문에서는 등급별 저장정책과 유사하지만 전체 랙을 여러 블록으로 나누고, 블록 내에서 지정된 저장장소에 제품을 저장하는 블록별 저장방식(block-based storage policy)을 제안하고, 제안된 저장 방식의 수행도를 등급별 저장 방식과 비교하기 위하여 여러 가지 매칭(matching)방법에 따른 수행도를 평가하기 위하여 TURBO C 언어로 프로그래밍한 프로그램을 구현하여 비교 연구한다.

II. 블록별 저장방식

본 논문의 대상이 되는 창고의 구조는 <그림 1>과 같이 도크(dock)가 직사각형 창고의 한쪽 면 중앙에 위치하고, 도크를 중심으로 랙들이 좌우로 나열되어 있다. 랙 사이에는 수직복도(picking aisles)가 있고 랙의 양쪽 끝단을 연결하는 수평복도(cross aisle)가 있다.

저장물(storage product)은 랙에 저장하기 위해 도크에서 저장장소로 이동하는 제품을 말하고, 불출물(retrieval

product)은 주문 충당을 위해 저장장소에서 도크로 반출하는 제품을 말한다. 저장장소에 제품을 배치하기 위하여 랙을 일정한 크기로 분할한 것을 블록(block)이라 정의하며 본 연구에 적용되는 가정은 다음과 같다.

- ① 저장물과 불출물은 단위화물(unit load)을 사용하며 리프트 트럭처럼 한 번에 하나의 단위화물을 운반하는 장비를 사용한다.
- ② 이중명령운행을 적용하여 저장과 불출을 동시에 수행하고 이를 위해 저장물의 수와 불출물의 수는 같으며 저장물은 항상 빈 저장장소에 저장한다.
- ③ 모든 저장장소와 도크에서 제품을 적재하거나 하역하는 시간은 동일하다.
- ④ 모든 랙과 저장장소의 길이와 폭은 같고, 각 랙의 저장장소수도 같다.
- ⑤ 한 작업 주기는 도크에서 운행(tour)을 시작하고, 도크에서 운행을 종료한다.
- ⑥ 장비의 이동은 최단 경로를 따라 이동한다.
- ⑦ 한 주기에 할당된 저장물과 불출물의 제품번호가 같으면 cross-docking을 한다.
- ⑧ 주문에 어떤 제품이 포함될 확률은 서로 독립적이다.

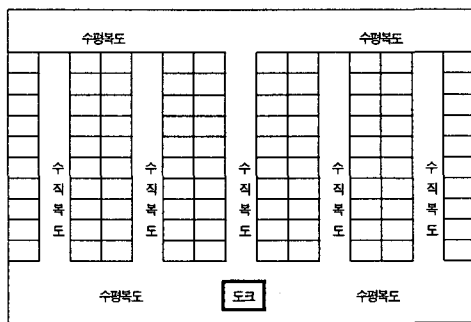


그림 5. 창고의 구조
Fig. 1 Structure of warehouse

블록별 저장 방식은 <그림 2>와 같은 직사각형 구조의 창고에 대해 복도를 중심으로 각 랙을 저장장소 수에 따라 일정한 크기의 블록(block)으로 나눈 후 도크에서 블록간의 평균이동거리를 비교하여 가장 짧은 거리를 갖는 블록에 저장/불출될 확률이 가장 높은 제품군을 저장하고 각 블록 내에서는 할당된 제품군 중에서 저장/불출될 확률이 높은 순으로 도크로부터 가장 가까운 저장장소에 제품을 저장하는

저장방식을 말한다. 블록별 저장방식은 복도를 중심으로 양쪽 랙의 저장장소 수를 2 등분하여 블록을 정하고, 도크와 블록사이의 평균이동거리를 비교하여 평균이동거리가 짧은 블록을 도크에서 가까운 랙에 배치함으로써 단위시간당 빈도수가 높은 제품을 도크에서 가까운 저장장소에 저장하여 지정 위치 저장과 비슷한 효과를 얻는다. 또한 지정위치 저장 방식은 제품의 위치를 개별 저장장소 단위로 파악해야 하나 블록별 저장은 블록 단위로 저장 위치가 정해진다.

1. 제품 할당 방법

제품의 저장/불출될 확률과 각 블록과 도크간의 거리를 고려하여 제품을 각 저장장소에 할당하기 위해 먼저 그림 2와 같이 복도를 중심으로 양쪽 랙의 저장장소수를 2 등분하여 블록을 설정한다. <그림 2>에서 각 블록은 굵은 선으로 표시되어 있고 각 저장 장소에 부여된 번호는 각 제품이 저장/불출에 포함될 확률이 큰 것부터 순위를 부여한 것이다.

| | | | | | | | | | |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|
| 90 | 89 | 70 | 69 | 39 | 40 | 79 | 80 | 99 | 100 |
| 88 | 87 | 68 | 67 | 37 | 38 | 77 | 78 | 97 | 98 |
| 86 | 85 | 66 | 65 | 35 | 36 | 75 | 76 | 95 | 96 |
| 84 | 83 | 64 | 63 | 33 | 34 | 73 | 74 | 93 | 94 |
| 82 | 81 | 62 | 61 | 31 | 32 | 71 | 72 | 91 | 92 |
| 50 | 49 | 30 | 29 | 9 | 10 | 19 | 20 | 59 | 60 |
| 48 | 47 | 28 | 27 | 7 | 8 | 17 | 18 | 57 | 58 |
| 46 | 45 | 26 | 25 | 5 | 6 | 15 | 16 | 55 | 56 |
| 44 | 43 | 24 | 23 | 3 | 4 | 13 | 14 | 53 | 54 |
| 42 | 41 | 22 | 21 | 1 | 2 | 11 | 12 | 51 | 52 |

그림 6. 블록별 저장방식을 이용한 제품 배치
Fig. 2 Product layout using block-based storage policy

일단 블록이 설정되면 다음 절차에 따라 제품을 각 블록에 할당하는데 사용되는 기호는 다음과 같다.

(기 호)

- N : 전체 제품 수
- L : 전체 제품 집합 $L = \{1, 2, \dots, N\}$
- O : 전체 저장장소 수
- S_i : 블록 i 에 포함된 저장장소 수
- n : 블록 안에 있는 제품 수 ($= |S_i|$)
- D_i : 도크(dock)에서 블록 i 까지 평균이동거리
- d_{ij} : 도크(dock)에서 블록 i 안의 저장장소 j 까지 이동 거리
- l : 각 블록에 배열된 제품 집합

| | |
|--------|--|
| STEP 1 | 저장/불출될 확률이 높은 제품부터 차례대로 배열한다. |
| STEP 2 | 복도를 중심으로 양쪽 저장장소 수의 1/2 개를 한 블록으로 정한다. |
| STEP 3 | 두 저장간의 직각이동거리를 이용하여 도크(dock)에서 각 블록까지의 평균이동거리 $D_i = \sum_{r \in S} \frac{d_{ir}}{n}$ 를 구하여 오름차순으로 배열한다. |
| STEP 4 | 평균이동거리가 가장 짧은 블록에 저장/불출될 확률이 가장 높은 제품부터 n 개씩 차례로 할당한다. |
| STEP 5 | 블록 내에서는 도크(dock)에서 가장 가까운 저장장소부터 할당된 제품들 중 저장/불출될 확률이 가장 높은 제품부터 할당한다. |
| STEP 6 | 모든 제품이 저장장소에 할당되면 중단하고 아니면 STEP 4부터 반복한다. |

저장물과 불출물의 매칭은 두 번째 매칭방법을 적용한다. 이 방법은 가능한 한 복도간의 이동을 줄이기 위한 방법이다.

2. 주문매칭(matching)방법

이중명령운행에서는 한 주기에 저장과 불출 업무를 동시에 수행하는 것을 원칙으로 하는데 이 때 함께 수행되는 저장 업무와 불출 업무의 연계 방법을 주문 매칭이라 칭한다.

본 연구에서는 다음과 같은 3 가지 주문매칭방법을 제시한다.

- ① 불출물과 저장물을 저장/불출될 확률이 높은 제품부터 각각 순서대로 나열하여 매칭하는 방법
이 방법은 제품의 저장/불출될 확률에 따라 제품의 블록이 정해지므로 저장/불출될 확률이 비슷한 제품들을 함께 처리할 경우 같은 블록 내에서 작업할 확률이 높다는 점에 착안한 방법이다.
- ② 저장/불출될 확률이 높은 불출물을 우선적으로 가장 가까운 거리에 있는 저장물을 매칭하는 방법(3)
이 방법은 도크에서 저장물 저장장소까지의 거리와 도크에서 불출물 저장장소까지의 거리는 고정된 값이므로 불출물 저장장소와 저장물 저장장소사이의 거리를 최소화함으로써 전체 이동시간을 단축하고자 하는 방법이다.
- ③ 동일 복도 내에 있는 저장물과 불출물에 대해 가장 가까운 거리에 있는 저장물과 불출물을 매칭하는 방법
이 방법은 먼저 동일 복도 내에 있는 저장물과 불출물을 먼저 매칭하고 난 후에 서로 다른 복도에 있는 저장물과 불출물을 매칭한다. 서로 다른 복도에 있는

III. 수치 예

수치 예에 사용된 창고의 구조는 앞 절의 그림 1과 같은 형태로 복도의 수가 5개, 랙의 수는 10개, 각 랙의 저장장소 수는 10개인 직사각형 구조이고 저장장소의 길이와 폭은 1단위거리인 정사각형이라 가정한다. 저장할 수 있는 제품의 수는 100개이고, 편의상 저장/불출될 확률의 내림차순으로 제품 번호를 부여하였는데 각 제품이 저장/불출될 확률을 그래프로 표시하면 그림3과 같이 나타난다.

비교 대상이 되는 등급별 저장방식을 적용하기 위해서 모든 제품을 3등급으로 나누는데 A등급은 전체 주문 빈도의 약 45%를 차지하는 1번 제품부터 16번 제품까지, B등급은 전체 주문 빈도의 약 35%를 차지하는 17번 제품부터 40번 제품까지, C등급은 전체 주문 빈도의 약 20%를 차지하는 41번 제품부터 100번 제품까지로 구분하였다.

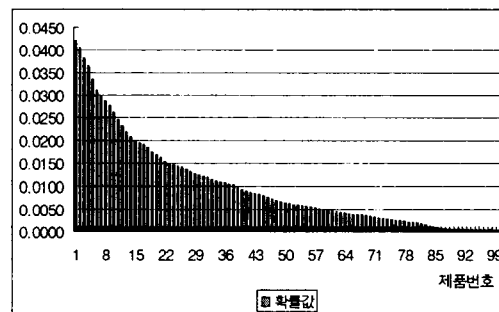


그림 3. 각 제품의 재고 회전률
Fig. 3 Inventory turnover of each product

블록별 저장방식과 등급별 저장방식에 따른 제품의 배치는 각각 <그림 4>와 같다. <그림 4>에서 각 저장장소에 부여된 번호는 해당 위치에 저장된 품목을 나타내며 굵은 선은 각각 등급과 블록들의 경계를 표시한다.

| | | | | | | | | | |
|----|----|-----|----|----|----|----|----|----|----|
| 85 | 44 | 64 | 41 | 47 | 45 | 70 | 77 | 67 | 60 |
| 62 | 82 | 87 | 71 | 88 | 73 | 58 | 91 | 84 | 43 |
| 97 | 49 | 99 | 80 | 63 | 78 | 76 | 68 | 98 | 74 |
| 48 | 92 | 89 | 83 | 42 | 94 | 66 | 52 | 79 | 54 |
| 86 | 50 | 100 | 33 | 35 | 27 | 40 | 51 | 53 | 81 |
| 57 | 93 | 65 | 25 | 18 | 32 | 36 | 96 | 61 | 69 |
| 95 | 59 | 30 | 21 | 4 | 8 | 31 | 22 | 90 | 75 |
| 72 | 37 | 17 | 7 | 1 | 12 | 2 | 38 | 29 | 55 |
| 56 | 19 | 28 | 10 | 15 | 11 | 5 | 26 | 20 | 46 |
| 34 | 23 | 16 | 13 | 9 | 6 | 14 | 3 | 39 | 24 |
| 도크 | | | | | | | | | |

(a) 등급별 저장방식에 의한 제품배치
(a) Product layout of class-based storage policy

| | | | | | | | | | |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|
| 90 | 89 | 70 | 69 | 39 | 40 | 79 | 80 | 99 | 100 |
| 88 | 87 | 68 | 67 | 37 | 38 | 77 | 78 | 97 | 98 |
| 86 | 85 | 66 | 65 | 35 | 36 | 75 | 76 | 95 | 96 |
| 84 | 83 | 64 | 63 | 33 | 34 | 73 | 74 | 93 | 94 |
| 82 | 81 | 62 | 61 | 31 | 32 | 71 | 72 | 91 | 92 |
| 50 | 49 | 30 | 29 | 9 | 10 | 19 | 20 | 59 | 60 |
| 48 | 47 | 28 | 27 | 7 | 8 | 17 | 18 | 57 | 58 |
| 46 | 45 | 26 | 25 | 5 | 6 | 15 | 16 | 55 | 56 |
| 44 | 43 | 24 | 23 | 3 | 4 | 13 | 14 | 53 | 54 |
| 42 | 41 | 22 | 21 | 1 | 2 | 11 | 12 | 51 | 52 |
| 도크 | | | | | | | | | |

(b) 블록별 저장방식에 의한 제품배치
(b) Product layout of block-based storage policy

그림 4. 제품배치
Fig. 4 Product layout

일단 제품의 배치가 결정된 후에 두 저장 방식의 수행도 즉, 총 이동시간의 비교를 위해 그림 3에 주어진 확률에 따라 임의로 주문을 생성하였다. 각 주문에 포함되는 저장물과 불출물의 수가 각각 10개씩인 경우, 20개씩인 경우, 30개씩인 경우를 묶어서 하나의 문제를 생성하였는데 총 20개의 문제(60개의 주문)를 생성하였으며 각 주문에 대해 앞서 제시한 3가지 매칭 방식을 적용하여 총 이동 거리를 비교하였다.

등급별 저장방식과 블록별 저장방식에 의한 제품배치에서 총 이동거리에 대한 실험 결과를 요약하면 <표 1>과 같다. <표 1>의 각 열은 저장물과 불출물의 매칭방법에 따른 결과 차이를 보여주며 2행부터 5행까지는 등급별 저장방식과 블록별 저장방식에 대해 각 매칭방법별로 실험한 20개의 문제에 대한 평균값을 주문 당 저장물과 불출물의 수가 10개, 20개 30개인 경우와 전체 합계를 보여주고 있다. 마지막 행은 실험한 20개의 문제 중 블록별 저장 방식의 수행도

가 우수한 문제의 수를 주문 당 포함된 제품의 수별로 보여 주고 있다.

표 1. 수행도 비교
Table 1. Analysis of performance comparison

| | 매칭방법 1 | | | 매칭방법 2 | | | 매칭방법 3 | | |
|---------------------|--------|------|-------|--------|------|------|--------|------|------|
| | 10개 | 20개 | 30개 | 10개 | 20개 | 30개 | 10개 | 20개 | 30개 |
| 등급별 저장방식 | 4678 | 8564 | 11406 | 4202 | 7236 | 9568 | 4068 | 7080 | 9266 |
| 합계 | 24648 | | | 21006 | | | 20414 | | |
| 블록별 저장방식 | 4342 | 8246 | 10838 | 3858 | 7026 | 9334 | 3696 | 6852 | 8974 |
| 합계 | 23426 | | | 20218 | | | 19522 | | |
| 등급별 보다 거리가 짧은 문제의 수 | 15 | 13 | 14 | 17 | 14 | 11 | 18 | 14 | 13 |

<표 1>에 주어진 결과를 그래프로 표시하면 <그림 5>와 같다. <그림 5>에서 보는 바와 같이, 주문 당 품목 수나 매칭 방법에 상관없이 블록별 저장 방식이 총 이동거리 면에서 더 좋은 결과를 제공한다는 것을 알 수 있다. 이는 등급별 저장 방식에서는 등급별 구역만 설정하고 구역 내에서는 임의 배치를 사용하기 때문인 것으로 추론할 수 있다.

매칭 방법으로 비교해 보면 매칭방법 3의 수행도가 가장 좋은 것으로 나타났는데 이는 저장물과 불출물을 저장/불출할 때 복도간 이동거리와 저장물과 불출물 사이의 거리를 동시에 줄일 수 있기 때문이다.

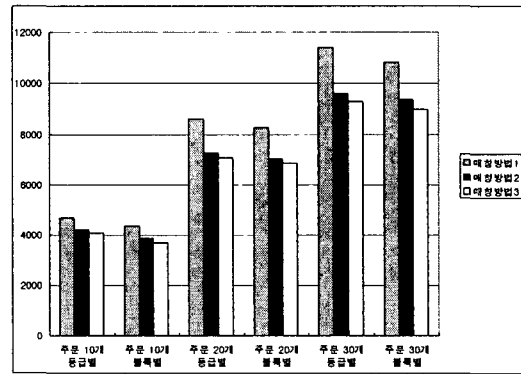


그림 5. 등급별 저장방식과 블록별 저장방식의 총 이동거리 비교
Fig. 5 Total distance comparison of class-based storage policy and block-based storage policy

마지막으로 품목 당 주문 수에 따른 결과를 비교해 보면 주문개수가 증가할수록 총 이동거리도 당연히 증가한다는 것을 보여주는데 총 이동거리의 증가폭은 감소하는 것으로 나타났다. 이는 주문 당 품목 수가 많아지면 저장 방식이나 창고 내에서의 이동 방식이 총 이동 거리에 미치는 영향이 적어지기 때문이다.

IV. 결론

본 논문은 전형적인 물류창고에서 리프트 트럭과 같은 단위화물 운반장비를 사용하여 저장과 불출을 동시에 수행하는 창고 시스템을 대상으로 양쪽 랙의 저장 장소수를 2등분하여 블록을 정하고, 도크에서 블록간의 평균이동거리를 비교하여 블록별로 제품을 할당하고 블록 내에서도 도크에서 가장 가까운 저장장소부터 제품번호를 지정하는 저장 방식인 블록별 저장방식을 제안하였다.

블록별 저장방식의 수행도를 평가하기 위해 등급별 저장 방식과 비교한 결과 블록별 저장방식을 이용한 제품배치에서 주어진 저장물과 불출물의 처리시간이 단축되었고, 실험한 20개의 문제 중에서 주문개수별로 등급별 저장방식의 주문처리시간보다 블록별 저장방식의 주문 처리 시간이 짧은 문제 수가 11번에서 18번까지였다. 이는 블록별 저장 방식이 저장과 불출 업무를 효율적으로 수행할 수 있도록 해 준다는 것을 보여준다. 또한 블록별로 제품의 위치가 결정되고 블록 내에서도 특정 저장 장소에 제품 위치가 할당되므로 저장물과 불출물의 저장장소를 파악하기 쉽고, 작업자의 노동력도 절감시킬 수 있을 것이다.

참고문헌

- [1] 산업연구원, "자동창고 시스템의 특성과 이용," 산업기술정보센터, 1992.
- [2] Cormier, G., and E. A. Gunn, A Review of Warehouse Models, *European Journal of Operational Research*, Vol. 58, pp.3-13, 1992.
- [3] Han, M. H., et. al., On Sequencing Retrievals in an Automatic Storage/Retrieval System, *IIE Transactions*, Vol. 19, No.1, pp.56-66, 1987.
- [4] Hausman, W. H., L. B. Schwarz, and S. C. Graves, Optimal Storage Assignment in Automatic Warehousing Systems, *Management Science*, Vol. 22, No. 6, pp.629-638, 1976.
- [5] Heskett, J. L., Cube-Per-Order Index - A Key to Warehouse Stock Location, *Transportation and Distribution Management*, Vol. 3, pp.27-31, 1963.
- [6] Jarvis, J. M., and E. D. McDowell, Optimal Product Layout in an Order Picking Warehouse, *IIE Transactions*, Vol. 23, No. 1, pp.93-102, 1991.
- [7] Rosenblatt, M. J. and A. Eynan, Deriving the Optimal Boundaries for Class-Based Automatic Storage/Retrieval System, *Management Science*, Vol. 35, No. 12, pp.1519-1524, 1989.

저자소개

김명훈

건국대학교 산업공학과

김종화

건국대학교 산업공학과