

## S-자동차 부품 물류센터에서 오더픽킹 작업능력 향상을 위한 연구

박정현<sup>1\*</sup> · 박양병<sup>2</sup>

<sup>1</sup>(주) 로템기술연구소 연구개발 6팀

<sup>2</sup>경희대학교 테크노공학대학 기계 · 산업시스템공학부

### A Study on the Improvement of Order-Picking Operation in S-Automobile Parts Distribution Center

Jung-Hyun Park<sup>1</sup> · Yang-Byung Park<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Technical Research Institute, Rotem Company, Yongin, 449-910

<sup>2</sup>Mechanical and Industrial Systems Engineering, College of Advanced Technology, Kyung Hee University, Yongin, 449-701

S-Distribution Center supplies parts to three plants of K-automobile manufacturing company. Since the three plants employ the JIT production system, it is important for S-Distribution Center to deliver small quantities of parts frequently and quickly on time. This paper presents a case study on the improvement of order-picking operation in S-Distribution Center. The study is focused on the reductions of move time and waiting time by redesigning the parts storage location, picking-order terminal location, retrieval policy, and equipment operation policy. The proposed operation system for S-Distribution Center is evaluated through a simple computation analysis and computer simulation. Furthermore, the reducible numbers of equipment and order pickers are investigated by performing a sensitivity analysis.

**Keywords:** distribution center, computer simulation, order-picking operation, productivity, case study

#### 1. 서론

지난 수십 년 동안 많은 국내 기업에서는 저장기능을 생산의 단순 보조활동으로 인식하고 전근대적이고 비과학적인 방법으로 그들의 물류센터를 설계, 운영해 왔다(윤창선, 1995). 하지만 지금의 치열한 국제 경쟁환경에서 원활한 물류는 기업의 생존에 절대적 영향을 미치는 요인으로 인식되고 있으며, 물류센터의 설계와 운영은 원활한 물류를 위해 개선이 가장 필요한 분야로 손꼽히고 있다. 물류관리 전문가들에 대한 설문조사에 의하면, 특히 오더픽킹(order picking) 작업이 물류센터에서 생산성 향상을 위한 최우선 순위의 개선분야로 나타나고 있다(Drury, 1988).

오더픽킹 작업에 소요되는 시간은 물류센터의 작업능력(처리능력)을 결정하는 중요한 요소가 된다. Tompkins *et al.*(1996)

의 조사에 의하면, 물류센터에서 픽커와 장비의 이동 및 대기 시간은 전체 오더픽킹 작업시간의 50% 이상을 차지하고 있는 것으로 나타나 있다. 따라서 물품의 저장위치, 픽커의 불출정책, 장비의 운영방법 등의 개선을 통해 오더픽킹 이동 및 대기 시간을 줄임으로써 물류센터의 작업능력을 향상시킬 수 있다.

본 논문에서는 세 곳의 자동차 생산공장에 부품을 공급하는 S-물류센터에서 오더픽킹을 위한 픽커와 지게차의 이동시간 및 주문지시와 장비의 대기시간 단축을 통하여 물류센터의 작업능력을 향상시키는 사례연구를 소개한다. 오더픽킹 이동 및 대기시간의 단축을 위해 부품저장위치, 주문지시 단말기위치, 불출정책, 지게차와 트럭 운영방법의 재설계에 대해 중점적으로 연구하며, 분석방법으로는 수리적 기법, 휴리스틱 기법, 컴퓨터 시뮬레이션 기법 등을 적용한다. 제안된 운영시스템의 평가를 위해 단순 계산분석과 시뮬레이션 분석을 수행하며,

\* 연락처자 : 박양병 교수, 449-701 경기도 용인시 기흥읍 서천리 1번지 경희대학교 테크노공학대학 기계 · 산업시스템공학부,

Fax : 031-203-4004, E-mail : ybpark@khu.ac.kr

2004년 9월 8일 접수, 1회 수정 후 2004년 11월 8일 게재 확정.

구역별로 지게차와 트럭의 사용대수 및 픽커 수에 대한 민감도 분석을 실시하여 제안된 운영시스템에서 감축 가능한 지게차와 트럭 대수, 그리고 픽커 수를 제시한다.

## 2. S-물류센터

S-물류센터는 경기도 화성에 위치하고 있으며, 인근 지역에 위치한 K-자동차회사의 제 1, 2, 3공장으로부터의 주문에 따라 주로 자동차 인테리어용 부품을 공급하고 있다. S-물류센터는 K-자동차회사 소유의 대지와 건물을 임대하여 자체 인력과 장비를 운영하는 별도의 법인회사이다. K-자동차회사의 각 공장에서는 시간당 40대씩의 자동차를 생산하고 있다. 세 공장은 JIT(just-in-time) 생산방식을 따르고 있기 때문에, 물류센터에 부품주문은 소량씩 빈번히 발생하며 물류센터는 짧은 주문처리시간으로써 주문부품을 공장에 신속히 그리고 적시에 배송해 주는 일이 매우 중요하다.

S-물류센터는 자동화되어 있지 않은 전통적인 평지창고로서 바닥면적은 약 3000여 평 규모이다. 물류센터는 시트 커버, 안전벨트, 계기판 커버, 핸들, 엔진 커버, 필라 등 총 52종류의 자동차 부품(차량 모델별로 분류하면 약 400여 가지, 그리고 수출지역과 옵션별로 분류하면 약 4500여 가지)을 랙(rack) 또는 박스(box)에 저장하고 있다. 현재, 물류센터는 1일 2교대로 운영되고 있다.

<그림 1>은 물류센터에서 저장부품의 현재 배치를 보여준다. 물류센터의 바닥공간은 공장별로 세 구역으로 나누어져 총 52개 품목에 대한 소저장구역이 지정되어 있다. 그림에서 소구역의 숫자는 저장부품 번호를 나타내며, 하나의 소구역은 여러 개의 저장위치(storage locations)로 구성되어 있다. 부품번호 1~11은 1공장용, 12~20은 2공장용, 21~52는 3공장용이다. 면적이 작은 1, 2구역에서 일부 저장품목은 공간소요 크기를 고려하여 다른 공장의 저장구역 내에 소구역을 지정하고 있다. 이를테면, 부품 1번, 9번의 소구역은 2구역 내에 지정되어 있다.

픽킹 품목과 수량에 대한 지시는 저장구역별 전용 컴퓨터 단말기에서 이루어진다. 1, 2구역용으로 각각 1대씩 그리고 3구역용으로 2대가 설치되어 있으며, <그림 1>에 이들 단말기 위치가 흑색의 작은 원으로 표시되어 있다. 원 내의 숫자는 해당 구역번호를 의미한다. 물류센터에서 입·출고점은 분리되어 있으며, 하차장과 인접한 총 3개의 입고점과 상차장과 인접한 총 6개의 출고점이 있다.

현재, 부품의 저장위치는 먼저 주 공장에 따라 저장구역을 정한 다음, 부품의 크기에 따라 대물과 소물로 구분하여 대물은 팰릿 단위로 입고점에 가깝게 소물은 박스 단위로 출고점에 가깝게 저장하는 지정저장위치(dedicated storage location) 결정방법을 사용하고 있다. 이 방법을 사용해 온 이유는 소물의 경우 하역 후 박스별로 각 소구역에 저장시키기 위한 분류

작업이 하차장을 혼잡하게 하여 저장시간을 지연시키나 팰릿 단위의 대물은 하역과 동시에 그대로 저장 가능하기 때문이다. 또한, 작업자의 높은 이직률에 따라 새로운 픽커와 지게차 운전자의 교육이 빈번하게 발생하고 있는 상황에서 수시로 저장위치가 바뀌고 운영이 복잡한 임의저장위치(randomized storage location) 방법보다는 항상 부품의 저장위치가 고정되어 있는 지정저장위치 방법을 관리자가 선호하기 때문이다.

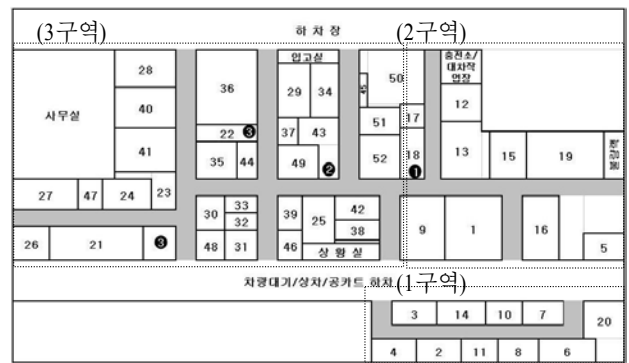


그림 1. 물류센터에서 현재의 저장부품배치와 단말기위치.

S-물류센터에서는 1구역에 6명, 2구역에 5명, 3구역에 19명의 픽커가 할당되어 픽킹작업을 수행하고 있으며, 추가로 1, 2구역을 함께 담당하는 1명의 픽커가 있다. 모든 픽커는 사전에 1~4개의 품목을 지정받아, 해당 품목(들)에 대한 픽킹작업을 전담한다. 모든 픽커는 단일품목 불출정책에 따라 1회 순회(tour)에서 한 종류의 부품만을 불출한다. 이러한 불출방법은 오래 전부터 관행적으로 이루어지고 있다.

소저장구역에서 픽커의 부품확인, 픽킹, 카트적재, 정리 등의 작업은 픽커와 품목에 따라 대략 5~25분이 소요된다. 픽킹한 부품을 담은 카트는 취급부품의 외형에 맞추어 설계가 되어 있으며, 품목별로 3~10개의 전용 카트가 사용되고 있다. 픽커는 작업을 끝낸 후 픽킹한 부품이 담긴 카트(적재카트)를 그대로 소구역에 남겨 두고, 만일 단말기에 대기중인 불출지시가 없으면 하차장으로 이동하여 입고할 소물들의 분류작업을 수행한다.

입고와 출고전용으로 각각 5대와 9대의 2톤 지게차가 사용되고 있다. 세 구역에 대해 입고전용 지게차는 각각 1대, 1대, 3대 그리고 출고전용 지게차는 각각 2대, 2대, 5대가 지정 할당되어 있다. 지게차는 입고점으로부터 소구역까지의 입고물품 운반, 소구역으로부터 출고점까지의 적재카트 운반, 출고점으로부터 소구역까지의 빈 카트 운반에 사용된다.

배송트럭은 1, 2구역에 각각 3대씩 그리고 3구역에 8대가 할당되어, 총 14대의 트럭이 2교대로 운영되고 있다. 이것은 1, 2, 3공장의 배송을 위해 각각 3대, 3대, 8대의 트럭이 사용되고 있음을 의미한다. 트럭은 주문한 공장으로부터 적재카트를 배송하며, 한 대의 트럭에는 카트 크기에 따라 보통 3~5개의 카트가 실어진다. 트럭은 공장에서 하역 후 빈 카트를 싣고 물류센터

로 돌아와 출고점에 내려놓는다.

오더픽킹 작업의 진행과정을 정리하면 다음과 같다: 픽커는 구역 내 전용 단말기로 이동하여 지정 품목에 대한 불출지시서를 출력받아 픽킹할 부품이 저장되어 있는 소구역으로 이동한다. 소구역에서 픽킹한 부품을 대기중인 빈 카트에 담아 놓는다. 그리고 픽커는 다음 불출지시를 받기 위해 단말기로 이동하며, 만일 대기중인 불출지시가 없으면 픽커는 하차장으로 가서 소물 분류작업을 수행한다. 구역의 출고전용 지게차는 소구역에서 대기중인 적재카트를 출고점으로 운반하여 배송 트럭에 상차한다. 상차작업 후 만일 출고점에 해당 구역의 빈 카트가 있으면, 지게차는 이것을 해당 소구역으로 운반해 놓은 다음, 구역 내에서 적재카트를 찾아 출고점으로 운반한다. 지게차가 현재의 작업을 마친 작업이 존재하지 않은 경우에는 그 자리에서 대기한다.

S-물류센터는 JIT 생산방식을 따르는 자동차공장의 일정에 따라 지속적으로 오더픽킹 작업을 수행해야 한다. 이에 따라 연간 오더픽킹 작업에 소요되는 비용이 전체 물류센터의 운영 비용에서 가장 큰 비중을 차지하고 있다. 현재, S-물류센터에서 오더픽킹과 관련하여 관찰된 주요 문제점으로 아래의 네 가지를 들 수 있다.

- (1) 부품의 크기를 기준으로 결정된 저장위치로 인해 픽킹 빈도가 높은 대물의 경우 픽커와 지게차는 저장위치까지 항상 긴 이동을 필요로 한다.
- (2) 불출지시 단말기가 관행적인 위치에 설치되어 있다. 이로 인해 픽커들의 이동흐름이 길고 부드럽지 못하다.
- (3) 비록 한 픽커에 대해 여러 품목의 불출지시가 동시에 대기하고 있더라도 픽커는 한 순회에서 항상 한 품목만을 불출한다. 이에 따라 중복이동이 자주 발생하고 있다.
- (4) 단말기에서의 불출지시와 소구역에서 적재카트의 대기가 긴 시간 자주 발생한다.

이에 따라 S-물류센터에서는 오더픽킹 작업과정에서 발생하는 픽커와 지게차의 이동시간 단축, 단말기에서 불출지시의 픽커 대기시간, 소구역에서 적재카트의 지게차 대기시간 단축을 실현할 수 있는 운영방법 대안을 모색하여 물류센터의 생산성을 향상시키고자 한다.

### 3. 운영방법 대안의 제안

#### 3.1. 부품저장위치의 변경

부품의 크기를 기준으로 저장위치를 결정하는 현재의 방법 대신, 각 구역별로 부품의 활동/공간 비율에 근거한 저장위치 결정방법을 적용한다. Tompkins *et al.*(1996)는 단일 및 다수의 통합 입·출고점을 가진 물류센터에서 저장물품의 활동/공간

비율에 근거한 지정저장위치 결정방법을 소개하였다. 하지만 이 방법을 S-물류센터와 같이 입·출고점이 분리되어 있는 상황에서는 그대로 사용할 수 없기 때문에 그들의 수리모형을 아래와 같이 변형한다. 입·출고점으로부터 각 저장위치 중심점까지의 이동거리는 실제 측정값을 사용한다. 한 종류의 부품이 할당된 소구역 내 각 저장위치에 저장될 확률은 모두 동일한 것으로 가정한다.

$$Min. \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^m \frac{T_j}{S_j} \left( \sum_{i=1}^v p_i d_{ik} + \sum_{o=1}^w p_o d_{ok} \right) x_{jk} \quad (1)$$

s. t.

$$\sum_{j=1}^n x_{jk} = 1 \quad k = 1, \dots, m,$$

$$\sum_{k=1}^m x_{jk} = S_j \quad j = 1, \dots, n,$$

$$x_{jk} = (0,1) \text{ for all } j \text{ and } k.$$

여기서  $m$ 은 저장위치 수,  $n$ 은 품목 수,  $v$ 는 입고점 수,  $w$ 는 출고점 수,  $S_j$ 는 부품  $j$ 를 위하여 필요한 저장위치 수,  $T_j$ 는 부품  $j$ 의 저장 및 불출횟수,  $p_i$ 는 입고점  $i$ 를 통한 저장이동비율,  $p_o$ 는 출고점  $o$ 를 이용한 불출이동 비율,  $d_{ik}$ 는 입고점  $i$ 와 저장위치  $k$  간 이동거리,  $d_{ok}$ 는 출고점  $o$ 와 저장위치  $k$  간 이동거리를 나타낸다. 부품  $j$ 가 저장위치  $k$ 에 할당되면  $x_{jk} = 1$ , 부품  $j$ 가 저장위치  $k$ 에 할당되지 않으면  $x_{jk} = 0$ 이 된다.

목적식 (1)에서  $f_k = \sum_{i=1}^v p_i d_{ik} + \sum_{o=1}^w p_o d_{ok}$  라 하면,  $f_k$ 는 입·출고점과 저장위치  $k$  사이의 기대이동거리가 된다. 예로서, 3구역의 바닥공간을 가로, 세로 각각 1m 간격으로 나누어 구성된 셀을 한 개의 저장위치로 정의하고 모든 저장위치에 대해  $f_k$ 를 구한 결과가 <그림 2>에 편의상 통로 간 저장구역에서의 기대이동거리 분포형태로 나타나 있다.

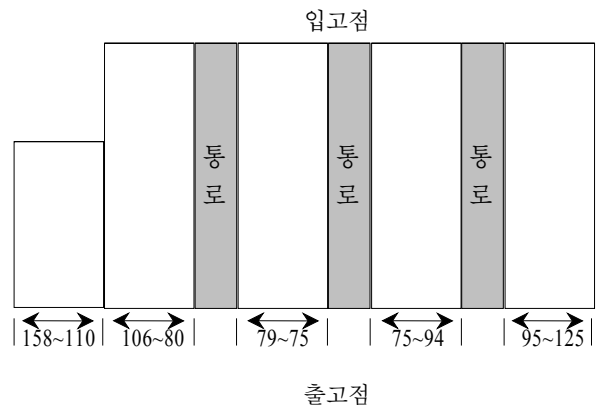


그림 2. 3구역에서 입·출고점과 저장위치 간 기대이동거리의 분포.

새로운 부품저장위치 결정에서는 그동안 비록 동일한 종류의 부품이지만 모델에 따라 공장주문이 분리되어 독립적으로 이루어져 온 부품들에 대해서는 모델별로 구분한다. 3구역에서 21번, 22번, 36번, 41번, 52번 부품이 이에 해당된다. 이를테면, 원래 36번 부품은 main silencer와 pre silencer를 포함하는데, 새로운 배치계획에서는 main silencer와 pre silencer를 각각 36(a)와 36(b)로 구분한다. 새로이 구분된 부품에 대한 픽커 할당은 일일 주문량을 기준으로 결정한다.

실제 구역별 부품저장위치 결정은 위의 수리모형을 토대로 개발한 할당규칙을 다음과 같이 적용한다. 활동/공간 비율 ( $T_i/S_i$ )이 높은 부품을 해당 구역에서 입·출고점으로부터의 기대이동거리( $f_{ik}$ )가 짧은 저장위치에 우선적으로 필요한 공간만큼 할당하면서 해당 픽커에 할당되어 있는 부품그룹 내의 품목(들)을 활동/공간 비율과 기대이동거리를 고려하여 차례로 인접 저장위치에 할당한다. 이러한 배치방법은 한 픽커가 다수 품목을 동시에 불출하는 경우에 유리하다. 동일조건의 경우 한 그룹 내의 품목 중에서 대물은 입고점 가까운 저장위치에 할당하도록 하고, 1, 2구역의 저장부품 중 일부는 소요면적을 고려하여 상대구역의 저장위치에 할당을 허용한다. 모든 부품의 저장위치 할당작업이 완료되면, 소구역들을 통로로부터 지게차의 직접 접근이 가능하도록 가급적 사각형 형태의 외형으로 정리한다.

예로서, 3구역에서 작업하는 19명 픽커의 할당된 부품그룹, 부품그룹의 저장위치 할당순서, 부품그룹 내 부품(들)의 크기가 <표 1>에 정리되어 있다. 부품그룹 옆에서 숫자는 부품번호, a와 b는 동일부품의 모델을 구분한다. 진하게 표기된 부품번호는 부품그룹 내에서 가장 큰  $T_i/S_i$  값의 부품을 나타낸다.

표 1. 3구역에서 부품저장위치 결정에 필요한 픽커별 할당 부품그룹, 부품그룹 할당순서, 부품크기

| 픽커 | 부품그룹          | 할당순서 | 부품크기    |
|----|---------------|------|---------|
| A  | 45, 22(a), 50 | 1    | 대, 대, 대 |
| B  | 44, 36(b)     | 2    | 대, 대    |
| C  | 52(a), 52(b)  | 3    | 대, 대    |
| D  | 32, 33        | 4    | 소, 소    |
| E  | 37, 24        | 5    | 대, 소    |
| F  | 26, 27, 48    | 6    | 소, 소, 소 |
| G  | 47, 38        | 7    | 소, 소    |
| H  | 39, 51        | 8    | 소, 대    |
| I  | 46, 30        | 9    | 소, 소    |
| J  | 34, 36(a)     | 10   | 대, 대    |
| K  | 31, 42        | 11   | 소, 소    |
| L  | 23, 43        | 12   | 소, 대    |
| M  | 29, 35        | 13   | 대, 대    |
| N  | 49, 25        | 14   | 대, 소    |
| O  | 28            | 15   | 대       |
| P  | 40, 22(b)     | 16   | 대, 대    |
| Q  | 21(a)         | 17   | 소       |
| R  | 21(b)         | 18   | 소       |
| S  | 41(a), 41(b)  | 19   | 대       |

제안된 저장위치 결정방법을 적용하여 설계된 부품저장구역 배치안은 <그림 3>과 같다. 그림에서 부품저장 소구역의 모양이 정확히 사각형이지 않은 이유는 물류센터의 전체 저장공간을 가로, 세로가 각각 1m인 셀로 나누어 한 개의 저장위치로 정의했기 때문이다.

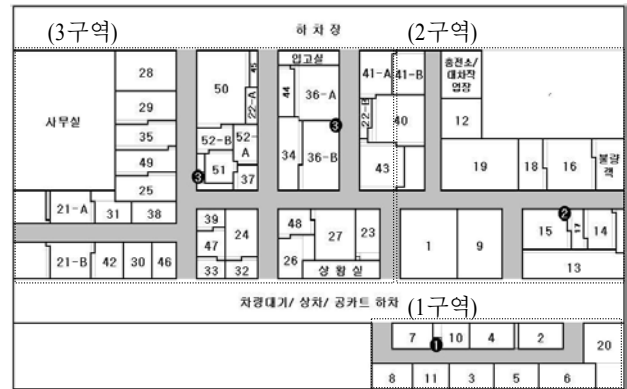


그림 3. 물류센터에서 저장부품 배치와 단말기위치의 개선안.

### 3.2. 단말기위치의 변경

각 구역에서 새로운 단말기 위치는 ‘직각이동거리를 가정한 단일설비 위치결정문제’(Tompkins *et al.*, 1996)를 적용하여 구한다. 픽커의 단말기와 소구역 간 일일 총 이동거리를 최소화하는 단말기 최적위치를 구하는 식은 다음과 같다.

$$\text{Min. } f(X) = \sum_{i=1}^m w_i |x^* - a_i| + \sum_{i=0}^m w_i |y^* - b_i| \tag{2}$$

여기서  $x^*$ 와  $y^*$ 는 단말기의 최적 좌표값,  $a_i$ 와  $b_i$ 는 소구역  $i$ 의  $x$ 와  $y$  좌표값,  $m$ 은 구역 내 소구역 수,  $w_i$ 는 소구역  $i$ 에 저장되어 있는 부품의 일일 픽킹 횟수를 나타낸다.

이 식을 직접 푸는 대신, Tompkins *et al.*(1996)이 소개한 두 가지 수학적 성질을 적용하여  $x^*$ 와  $y^*$ 를 각각 간단히 구할 수 있다. 두 가지 수학적 성질을 단말기 위치결정문제에 맞게 정리하면 다음과 같다.

- (i) 단말기의  $x$  좌표는 어느 한 소구역의  $x$  좌표와 같다.
- (ii)  $x^*$  좌측과 우측에 위치한 소구역들의 일일 픽킹 횟수 합  $x$ 의 크기는 모든 소구역들의 일일 픽킹 횟수 합  $x$ 의 반보다 크지 않다.

각 구역별로 좌표설정을 한다. 해당 구역의 좌측 하단 맨 끝 지점을 (0, 0)으로 정하고,  $x$ 와  $y$  축 방향으로 1m 간격을 눈금 1로 한다. 모든 단말기는 지게차의 저장구역에 대한 접근 용이성을 고려하여 소구역의 모서리에 위치하도록 한다. 따라서 두 가지 수학적 성질을 적용하여 구해진 최적의 단말기 위치에

가장 인접한 2~3곳의 소구역 모서리 위치대안을 찾아 그 중에서 최소 총 이동거리의 대안을 최종 위치로 선정한다. 3구역의 경우는 두 개의 단말기를 설치해야 하므로 3구역을 단순히 중앙 통로를 기준으로 2등분하여 각 부분에 대해 별도로 단말기 위치를 구한다.

<표 2>에 세 구역에 대한 단말기의 이론적 최적위치, 모서리 위치대안, 최종 선정위치가 정리되어 있다. 괄호 속  $x, y$  좌표 값 바로 아래의 수치는 총 이동거리  $f(x)$ 를 나타낸다. 최종 선정위치는 진하게 표시되어 있다. 3구역에는 2대의 단말기가 설치됨을 알 수 있다. <그림 3>에 세 구역에서 단말기의 새로운 위치가 흑색의 작은 원으로 표시되어 있다. 원 내의 숫자는 해당 구역번호를 의미한다.

표 2. 세 구역에서 단말기위치의 개선안

| 구역       | 1구역                       | 2구역                  | 3구역-1                | 3구역-2                |
|----------|---------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 이론적 최적위치 | (19.5, 14.5)<br>3219      | (39.5, 20.5)<br>2679 | (48.5, 27.5)<br>6877 | (75.5, 34.5)<br>3527 |
| 위치 대안    | 1<br>(16.0, 13.5)<br>3271 | (43.5, 17)<br>2943   | (46.5, 25.5)<br>6913 | (79.5, 25.5)<br>3923 |
|          | 2<br>(23.0, 13.5)<br>3305 | (43.5, 19)<br>2857   | (46.5, 28.5)<br>6901 | (79.5, 28.5)<br>3770 |
|          | 3<br>—                    | (43.5, 21)<br>2809   | (46.5, 31.5)<br>6924 | (79.5, 41.5)<br>3683 |

### 3.3. 불출정책의 변경

픽커가 1회 순회의 오더픽킹 작업에서 가능하면 여러 품목을 픽킹하여 카트에 실을 수 있다면 품목당 평균 오더픽킹 이동거리, 즉 평균 오더픽킹 시간을 줄일 수 있다. 현재의 운영에서는 관행적으로 모든 픽커에게 단일품목 불출작업을 요구하고 있다. 그러나 이러한 정책은 픽킹작업의 단순함과 한 픽커에게 1~4개의 적은 수의 품목만이 할당된다는 사실에 비추어 설득력이 떨어진다. 그래서 세 구역 중 현재 주문당 지게차와 픽커의 평균이동거리가 가장 긴 3구역에서 모든 픽커가 다수 품목 불출작업을 수행하도록 불출정책을 변경한다.

### 3.4 지게차와 트럭 운영방법의 변경

물류센터에서 장비운영은 통합 및 분산 통제의 두 가지 방법을 고려할 수 있다. 통합 운영방법은 모든 지게차와 트럭을 세 구역을 망라하여 공동으로 사용하는 방법이며, 분산 운영방법은 각 구역별로 지게차와 트럭을 고정 배치하여 해당 구역 내의 작업만을 수행하는 방법이다. 일반적으로, 통합 운영방법은 장비의 소요대수를 줄여 주는 장점이 있으나 관리가 어렵다. 분산 운영방법은 통합 운영방법과 반대의 특성을 가지고 있다. 현재, S-물류센터에서는 분산 운영방법을 사용하고 있으며, 이로 인해 지게차와 트럭의 이용률이 평균 50% 미만

으로 매우 낮은 실정이다.

새로운 운영시스템에서는 각 구역에서의 현재 장비이용률과 관리문제를 복합적으로 고려하여 구역에 따라 통합과 분산 운영방법을 선택적으로 적용하도록 변경한다. 특히 1, 2구역에서의 장비이용률이 30% 이하로 매우 낮고 또한 현재 픽커 일부가 1, 2구역을 함께 담당하고 있는 사실을 고려하여 1, 2구역에 현재 할당되어 있는 지게차와 트럭을 두 구역에서 공동으로 사용하도록 한다. 장비의 통합운영에 따른 소요대수의 감축에 대한 분석이 제 4.3절에서 기술된다. 그러나 3구역에서는 현재대로 분산 운영방법을 사용한다. 제안된 장비 운영방법에 따라 1, 2구역에서는 4대의 출고전용 지게차와 6대의 배송트럭이 공동 운영되고, 3구역에서는 5대의 출고전용 지게차와 8대의 배송트럭이 고정 운영된다.

## 4. 제안된 운영시스템의 분석

### 4.1 픽커와 지게차 이동시간의 계산분석

간단한 계산분석을 통해, 물류센터의 현재 운영시스템과 제 3장에서 제안한 운영시스템을 픽커 및 지게차 이동시간의 관점에서 비교해 본다. 픽커와 지게차의 평균 이동시간 계산방법은 유사하다. 주문당 평균 픽커 이동시간의 계산 예를 들어 본다. 현재시스템에서 3구역 소속 픽커 A가 WHEEL CAP (#45), BATTERY TRAY(#22-a), SIDE TRIM(#50)의 세 가지 부품의 픽킹을 담당하는 경우, 전용 단말기와 각 저장 소구역 간의 왕복 이동거리는 각각 34m, 184m, 127m로 구해진다. 이와 같은 방법으로 각 구역별로 단말기와 소구역 간의 왕복이동거리를 구한 다음, 모든 저장부품의 일일 픽킹 횟수를 0.0과 1.0 사이의 가중치로 환산하여 기대이동거리를 계산하면 3구역에서 주문당 평균 픽커 이동거리가 61m로 구해진다. 이 값을 픽커의 평균 이동속도 3km/h로 나누면 1.22분이 된다. 참고로, 지게차의 평균 이동속도는 5km/h이다.

세 구역에서 현재와 제안 시스템의 주문당 평균 픽커 이동시간의 비교가 <표 3>에 정리되어 있다. 1, 2구역을 통합 계산한 이유는 일부 픽커가 1, 2구역의 픽킹작업을 함께 담당하고 있기 때문이다. 제안시스템의 경우, 3구역에서의 주문당 평균 픽커 이동시간은 픽커가 1회 순회 시 단말기에서 가까운 순서에 따라 담당 부품그룹의 품목을 순차적으로 모두 픽킹하는 상황을 가정하고 있다.

표 3. 현재 및 제안 시스템의 주문당 평균 픽커 이동시간 비교

| 구역  | 현재시스템 <sup>1)</sup> | 제안시스템 <sup>2)</sup> | 감소율   |
|-----|---------------------|---------------------|-------|
| 1,2 | 2.16분               | 0.58분               | 73.2% |
| 3   | 1.22분               | 0.76분               | 37.7% |
| 전체  | 1.70분               | 0.68분               | 60.0% |

(1) 저장위치 변경, 단말기위치 변경, 단일품목 불출정책, 1, 2구역에서 지게차/트럭 통합운영

(2) 저장위치 변경, 단말기위치 변경, 다수품목 불출정책, 3구역에서 지게차/트럭 독립운영

<표 3>에서 제안시스템의 주문당 평균 픽커 이동시간이 전체적으로 약 1.02분(60%) 감소함을 알 수 있다. 1.02분의 감소는 실제로 픽커가 약 51m 이동하는 거리에 해당된다. 특히, 1, 2구역의 감소율이 3구역에 비교하여 약 2배임을 알 수 있다. 이러한 결과에 근거하여, 3구역에 한해 적용한 다수품목 불출정책이 부품저장위치와 단말기위치 변경과 비교하여 픽커의 이동시간 감소에 상대적으로 효과가 크지 않다고 말할 수 있다.

<표 4>에 3구역에서 현재와 제안 시스템의 평균 지게차 이동시간 비교가 정리되어 있다. 3구역이 세 구역 중 가장 감소율이 높을 것으로 예상되어 비교대상으로 선택하였다. <표 4>로부터, 제안시스템에서 3구역에서의 지게차 이동시간이 입하 및 출하작업 시 각각 평균 0.07분(12.3%)과 평균 0.04분(7.7%) 감소함을 알 수 있다. 이러한 크기의 감소는 실제로 지게차가 각각 약 5.83m와 3.33m 이동하는 거리에 해당된다. 이러한 결과는 제안시스템에서 특히 부품저장위치와 단말기위치의 변경에 기인한 것으로 보인다.

표 4. 3구역에서 현재 및 제안 시스템의 평균 지게차 이동시간 비교

| 입고점 → 소구역           | 소구역 → 출고점 |       |       |
|---------------------|-----------|-------|-------|
| 현재시스템 <sup>1)</sup> | 0.57분     | 현재시스템 | 0.52분 |
| 제안시스템 <sup>2)</sup> | 0.50분     | 제안시스템 | 0.48분 |
| 감소율                 | 12.3%     | 감소율   | 7.7%  |

- (주) 1) 저장위치 변경, 단말기위치 변경, 단일품목 불출정책, 1, 2구역에서 지게차/트럭 통합운영  
 2) 저장위치 변경, 단말기위치 변경, 다수품목 불출정책, 3구역에서 지게차/트럭 독립운영

#### 4.2 주문처리시간과 일일 배송카드 수의 시뮬레이션 분석

물류센터의 현재 운영시스템과 제안한 운영시스템의 수행도 비교를 위해 컴퓨터 시뮬레이션을 시행하였다. 시스템 모델링을 위한 시뮬레이션 언어로는 AweSim 3.0!(Pritsker and O'Reilly, 1999)을 사용하였다.

수행도 평가척도로는 평균 주문처리시간과 일일 배송카드 수를 선정하였다. 주문처리시간이란 물류센터에 주문이 접수된 시점부터 픽킹 후 적재카드가 출고점에 도착할 때까지의 총 소요시간을 의미하며, 구체적으로 단말기와 소구역 간 픽커의 왕복이동시간, 픽커의 작업시간, 출고점까지 지게차의 적재카드 운반시간, 주문지시 및 적재카드 대기시간을 포함한다. 배송카드 수는 하루 동안에 물류센터의 출고점에서 트럭에 의해 공장으로 배송된 총 카드 수를 의미한다.

시뮬레이션 실행시간은 물류센터의 일일 작업시간(정규시간+잔업시간)과 동일한 600분으로 하였으며, 현재 및 제안 시스템에 대해 난수발생을 다르게 하면서 각각 5회씩 반복실험을 수행하였다. 시뮬레이션에는 2002년 11월 기준 회사보유 자료와 저자들에 의해 수집된 실측자료를 사용하였다. 구할

수 없는 정보나 실제 측정할 수 없는 자료에 대해서는 실무자의 의견과 실제적 상황을 고려하여 다음과 같이 합리적으로 설정하였다.

- (1) 모든 소구역에는 필요한 양의 부품이 항상 저장되어 있으며 품절은 발생하지 않는다.
- (2) 물류센터와 공장 간 트럭의 왕복이동시간과 해당 공장에서의 하역시간의 합은 1, 2공장의 경우 [20분, 30분]의 일양분포, 3공장의 경우 [30분, 40분]의 일양분포를 따른다. 실제, S-물류센터와 1, 2공장 간 왕복 이동시간은 약 10분, 물류센터와 3공장 간 왕복 이동시간은 약 15분이 소요되고 있다.
- (3) 한 트럭에는 항상 4개의 카트가 적재된다. 트럭은 4개 카트가 모두 적재될 때까지 출고점에서 대기한다.

구축된 시뮬레이션 모델의 타당성을 검증하기 위해서 세 구역에서의 주문처리시간(Y)에 대해 양측 t-검정(김재원, 1996)을 수행하였다. 먼저, 1구역에서의 주문처리시간은 평균 40.62분으로 실측되었으며, 5회 반복 시뮬레이션을 통한 주문처리시간은 평균 41.41분과 표준편차 1.16분으로 구해졌다. 이에 따라  $H_0 : E(Y) = 40.62$ ,  $H_1 : E(Y) \neq 40.62$ 의 가정을 설정하고, 양측 t-검정을 실시하였다. 계산결과,  $t_0 = \frac{\bar{Y}_1 - \mu_0}{S/\sqrt{n}} = 1.52 < t_{0.0025, 4} = 2.78$ 이므로  $H_0$ 는 채택되고, 신뢰도 95%로서 시뮬레이션 모델이 올바르게 구축된 것으로 판단할 수 있었다. 나머지 2, 3구역에 대해서도 동일한 방법으로 양측 t-검정을 실시하여 구축된 시뮬레이션 모델의 타당성을 확인하였다.

<표 5>는 현재 및 제안 시스템에 대한 5회 반복 시뮬레이션 결과와 구해진 수행도 평가척도의 비교를 보여준다. 현재 및 제안 시스템에서 괄호 속 두 수치는 순서대로 평균 주문처리시간(분)과 일일 배송카드 수(개)를 나타낸다. 괄호 속 첫 번째 수치에 해당되는 주문처리시간 개선율은 소수점 이하 두 자리까지 구한 시간값으로 계산한 결과이다. 제안시스템에서 평균 주문처리시간은 세 구역에서 각각 5.1분(12.1%), 1.2분(2.6%), 3.6분(13.7%) 감소하고, 3구역에서 가장 큰 개선율을 보인다. 일일 배송카드 수는 세 구역에서 각각 3개(1.3%), 2개(1.1%), 4개(1.0%) 증가하며, 개선율이 모두 매우 낮다.

제안시스템에서 전체 평균 8.4%의 주문처리시간 단축은 부품저장위치, 단말기위치, 불출정책의 변경에 따른 픽커 이동시간과 불출지시 대기시간 단축, 부품저장위치의 변경에 따른 지게차의 적재카드 운반시간 단축, 그리고 1, 2구역에서 장비 운영방법의 변경에 따른 카드 대기시간 단축의 결과이다. 만일 현재 픽커가 수행하고 있는 입고장에서의 소물 분류작업을 면제해 주거나 각 픽커들에게 배정되어 있는 부품을 작업부하의 균등화 차원에서 새롭게 배분한다면, 단말기에서의 불출지시 대기시간을 줄여 주문처리시간의 추가감축이 가능할 것이다. 시뮬레이션 결과, 제안시스템에서 특히 3구역 픽커들의 개

별 이용률이 25%~95%로서 매우 큰 변동폭을 보이고 있다.

**표 5.** 시뮬레이션 분석에 의한 현재 및 제안 시스템의 주문처리시간과 배송카트 수 비교

| 반복 실험 | 현재시스템                            |          | 제안시스템   |          | 개선율(%)                                |           |
|-------|----------------------------------|----------|---|----------|---------------------------------------|-----------|
|       | 1구역<br>2구역<br>3구역                | 전체       | 1구역 <sup>1)</sup><br>2구역 <sup>1)</sup><br>3구역 <sup>2)</sup> | 전체       | 1구역<br>2구역<br>3구역                     | 전체        |
| 1     | (42,204)<br>(51,176)<br>(26,416) | (39,796) | (37,206)<br>(49,178)<br>(23,420)                            | (36,804) | (12.0,1.0)<br>(3.9,1.1)<br>(8.9,1.0)  | (7.8,1.0) |
| 2     | (43,201)<br>(51,176)<br>(27,416) | (40,793) | (36,206)<br>(49,178)<br>(24,420)                            | (36,804) | (16.6,2.4)<br>(3.1,1.1)<br>(11.9,1.0) | (9.9,1.4) |
| 3     | (41,204)<br>(51,176)<br>(28,416) | (40,796) | (36,206)<br>(49,178)<br>(23,420)                            | (36,804) | (12.2,1.0)<br>(2.9,1.1)<br>(18.1,1.0) | (9.6,1.0) |
| 4     | (40,204)<br>(51,176)<br>(27,416) | (39,796) | (37,206)<br>(50,178)<br>(21,420)                            | (36,804) | (9.4,1.0)<br>(0.6,1.1)<br>(21.6,1.0)  | (8.4,1.0) |
| 5     | (41,204)<br>(51,176)<br>(24,416) | (39,796) | (36,206)<br>(50,178)<br>(22,420)                            | (36,804) | (10.3,1.0)<br>(2.5,1.1)<br>(8.2,1.0)  | (6.4,1.0) |
| 평균    | (41,203)<br>(51,176)<br>(26,416) | (40,796) | (36,206)<br>(50,178)<br>(23,420)                            | (36,804) | (12.1,1.3)<br>(2.6,1.1)<br>(13.7,1.0) | (8.4,1.1) |

(주) 1) 저장위치 변경, 단말기위치 변경, 단일품목 불출정책, 1, 2구역에서 지게차/트럭 통합운영  
2) 저장위치 변경, 단말기위치 변경, 다수품목 불출정책, 3구역에서 지게차/트럭 독립운영

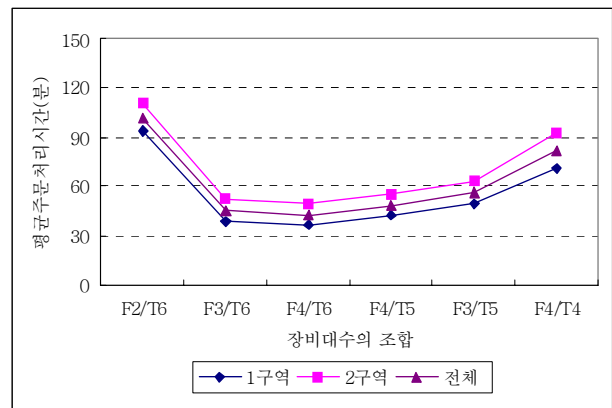
제안시스템에서 일일 배송카트 수의 개선율이 전체 평균 1.1%로 매우 작게 나타난 이유는 현재의 물류센터 작업능력이 세 공장으로부터의 일일 수요를 처리하는 데 있어 충분하기 때문이다. 즉, 주문처리시간의 단축이 일일 배송카트 수에 영향을 미칠 정도의 많은 수요가 실제 발생하고 있지 않기 때문이다. 하지만 미래에 공장으로부터의 주문이 현재보다 늘어나게 되면 그 개선율은 더 커질 것이다. 이러한 결과에 따라 물류센터의 현재 주문처리능력을 유지하면서 제안된 운영시스템에서 작업인력과 장비의 감축 가능성에 대한 분석의 필요성이 제기된다. 다음에 계속되는 두 절에서 이에 대한 분석이 기술된다.

**4.3 구역별 출고전용 지게차/트럭 사용대수 조합의 민감도 분석**

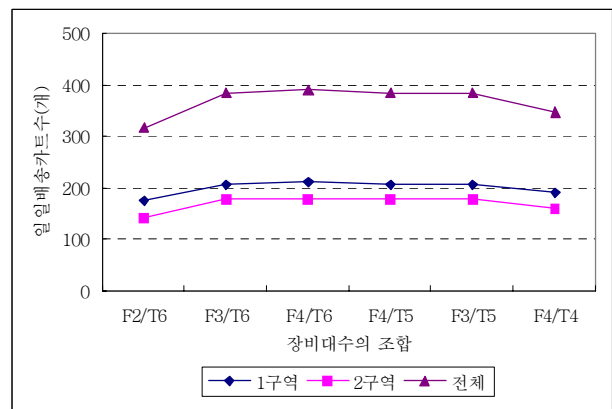
제안된 운영시스템에서 구역별로 출고전용 지게차(F)/트럭(T) 사용대수 조합에 따른 주문처리시간과 일일 배송카트 수의 변화를 분석한다. 민감도분석을 위해 제 4.2절에서 소개한 시뮬레이션 모델을 적용하였으며, 현재의 출고전용 지게차와 트럭의 사용대수를 각각 1~2대와 1~3대 감축하면서 시물레이

션을 시행하였다. 현재, 1, 2구역에는 4대의 출고전용 지게차와 6대의 트럭, 그리고 3구역에는 5대의 출고전용 지게차와 8대의 트럭이 할당되어 있다. 제안된 운영시스템에서 1, 2구역은 장비가 통합 운영된다.

<그림 4>와 <그림 5>는 1, 2구역에서 두 장비의 사용대수 조합에 따른 평균 주문처리시간과 일일 배송카트 수의 변화를 보여준다. 두 그림으로부터, 현재의 장비 사용대수 조합(F4/T6)의 경우에 가장 짧은 주문처리시간과 가장 많은 배송카트 수가 구해짐을 알 수 있다. 하지만 두 그림에서 주문처리시간과 배송카트 수는 F4/T6 좌우 두 조합, 즉 F3/T6, F4/T5의 경우와 거의 차이가 나지 않음을 알 수 있다. 이것은 1, 2구역에서 제안시스템의 작업능력을 거의 유지하면서 출고전용 지게차나 트럭을 최소 1대 줄일 수 있음을 의미한다.



**그림 4.** 1, 2구역에서 출고전용 지게차와 트럭 사용대수 조합에 따른 주문처리시간의 변화.



**그림 5.** 1, 2구역에서 출고전용 지게차와 트럭 사용대수 조합에 따른 배송카트 수의 변화.

<그림 6>과 <그림 7>은 3구역에서 두 장비의 사용대수 조합에 따른 평균 주문처리시간과 일일 배송카트 수의 변화를 보여준다. 두 그림으로부터, 현재의 장비 사용대수 조합(F5/T8)

의 경우에 가장 짧은 주문처리시간과 가장 많은 일일 배송카드 수가 구해짐을 알 수 있다. 하지만 1, 2구역에서와 유사하게 두 그림에서 주문처리시간과 배송카드 수는 F5/T8 좌측의 F4/T8 경우와 거의 차이가 나지 않음을 알 수 있다. 이것은 3구역에서 제안시스템의 작업능력을 거의 유지하면서 출고전용 지게차를 최소 1대 줄일 수 있음을 의미한다.

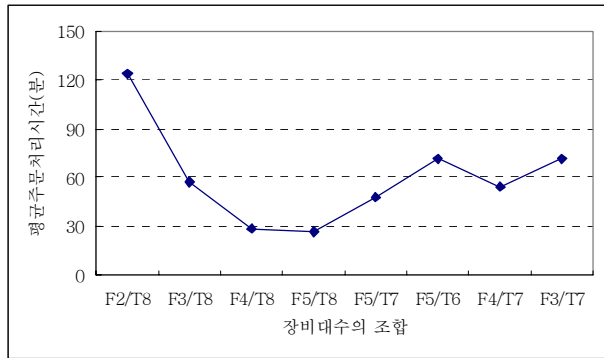


그림 6. 3구역에서 출고전용 지게차와 트럭 사용대수 조합에 따른 주문처리시간의 변화.

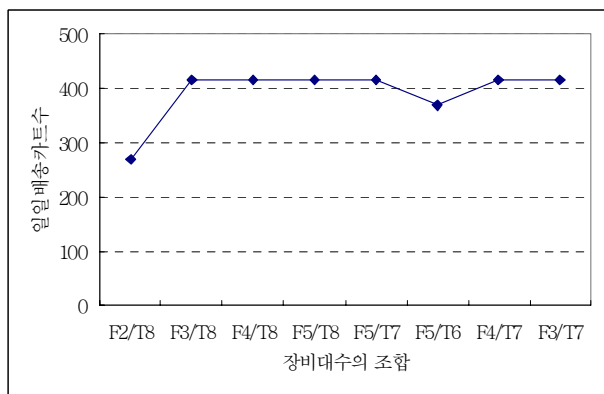


그림 7. 3구역에서 출고전용 지게차와 트럭 사용대수 조합에 따른 배송카드 수의 변화.

#### 4.4 3구역 픽커 이용률의 분석

제안시스템의 시뮬레이션 결과, 세 구역 중 평균 픽커 이용률이 가장 낮게 나타난 3구역을 대상으로 픽커의 감소에 따른 픽커 이용률과 배송카드 수의 변화를 분석한다. 분석을 위해 제 4.2절에서 소개한 시뮬레이션 모델을 적용하여 현재 19명의 픽커 수를 한 명씩 감축하면서 일일 배송카드 수를 구해 보았다. 그 결과, 픽커 수가 14명일 때까지 일일 배송카드 수는 420개로 픽커 수가 19명일 때와 같았다.

제안시스템에서 3구역 픽커 수가 19명과 14명인 경우의 픽커 이용률, 장비이용률, 작업능력이 <표 6>에 정리되어 있다. 현재의 픽커 19명을 14명으로 줄이면 픽커 이용률은 54.7%에서 74.2%로 증가함을 알 수 있다. 또한, 5명의 픽커 수 감축에

따라 지게차와 트럭 이용률은 각각 3.0%와 0.2% 감소하고 주문처리시간은 9분 증가하나, 일일 배송카드 수는 420개로 변함없다는 것을 알 수 있다. 이러한 사실은 3구역에서 제안시스템의 일일 배송카드 수를 그대로 유지하면서 19명의 픽커를 최대 5명까지 감축할 수 있다는 것을 의미한다.

표 6. 3구역에서 픽커 수가 14명일 때 작업자 및 장비이용률과 작업능력의 변화

| 픽커 수 (명) | 픽커 이용률 (%) | 지게차 이용률 (%) | 트럭 이용률 (%) | 주문 처리시간 (분) | 일일 배송 카드 수 (개) |
|----------|------------|-------------|------------|-------------|----------------|
| 19       | 54.7       | 48.2        | 76.3       | 23          | 420            |
| 14       | 74.2       | 45.2        | 76.1       | 32          | 420            |

### 5. 결론 및 향후과제

본 논문에서는 K-자동차회사의 세 공장에 부품을 공급하는 S-물류센터에서 오더픽킹 이동시간과 대기시간의 단축을 통하여 물류센터의 작업능력을 향상시키는 사례연구를 소개하였다.

오더픽킹 이동시간과 대기시간의 단축을 위해 세 구역에서 부품저장위치와 주문지시 단말기위치를 변경하고, 3구역에서 다수품목 불출정책을 실시하고, 1, 2구역에서 지게차와 트럭을 통합 운영하는 새로운 운영시스템을 제안하였다. 분석방법으로는 수리적 기법, 휴리스틱 기법, 할당규칙 등을 사용하였다. 그리고 단순계산분석과 컴퓨터 시뮬레이션 기법을 적용하여 제안시스템에 의해 운영되는 물류센터의 작업능력을 평가해 보았다. 시뮬레이션 언어로는 AweSim! 3.0을 사용하였다.

현재시스템과 비교한 제안시스템의 평가결과를 정리하면 다음과 같다.

- (1) 전체적으로, 주문당 평균 픽커 이동시간은 약 60% 감소하며, 특히 1, 2구역의 감소율이 3구역에 비교하여 약 2배 정도 크다.
- (2) 전체적으로, 입·출고점과 소구역 간의 평균 지게차 이동시간은 약 10% 감소한다.
- (3) 전체적으로, 평균 주문처리시간은 약 8.4% 감소하고, 일일 배송된 카드 수는 약 1.1% 증가하며, 특히 1, 3구역에서 평균 주문처리시간의 감소율이 높다.
- (4) 제안시스템의 작업능력을 유지하면서 1, 2구역에서는 출고전용 지게차나 트럭을 1대, 3구역에서는 출고전용 지게차 1대를 줄일 수 있다.
- (5) 3구역에서 제안시스템의 일일 배송카드 수를 그대로 유지하면서 픽커를 최대 5명 감축할 수 있다.

향후, 물류센터의 작업능력 향상을 위해 픽커의 부품할당, 픽커의 작업방법, 주문처리 우선순위 결정방법, 트럭 배송계



획의 개선에 대한 연구가 지속되어야 한다. 특히, 주문처리시간에서 큰 비중을 차지하고 있는 픽커 작업시간과 불출지시대기시간의 감축에 대한 연구가 필요하다. 더불어, 픽커의 균등한 작업부하를 위해 부품의 주문빈도 및 주문량, 픽커의 작업시간 등의 분석을 통한 부품할당 재설계가 필요하다. 제안 시스템에서 일일 배송카트 수의 증가효과는 공장으로부터의 주문이 현재보다 늘어나게 되면 더 커질 것이다.

입하부품의 도착시간 간격과 수량에 대한 정확한 자료부족으로 인해 물류센터의 운영에서 입하와 저장 과정이 배제된 채 시뮬레이션 모델이 만들어졌다. 보다 정확하고 사실적인 물류센터의 시뮬레이션 분석을 위해서는 입하와 저장 활동은 물론 트럭 배송과정이 모델에 포함되어야 할 것이다.

끝으로, 본 논문을 통해 저자들이 제안한 새로운 운영시스템에 대한 S-물류센터의 실제적용 여부는 아직 결정되어 있지 않다.

## 참고문헌

김재련 (1994), *컴퓨터시뮬레이션*, 박영사.  
 윤창선, 최경일 (1995), 배송센터 분석과 설계를 위한 공학적  
 틀, *산업공학 Interfaces*, 8(1).

Cormier, G., Gunn, E.A. (1992), A Review of Warehouse Models, *European Journal of Operational Research*, 58, 3-13.  
 David, E. (1994), *Warehouse Distribution & Operations Handbook*, McGraw-Hill.  
 Drury, J. (1988), Towards More Efficient Order Picking, IMM Monograph No. 1, *The Institute of Materials Management*, Cranfield, United Kingdom.  
 Francis, R.L., McGinnis, L.F., and White, J.A. (1992), *Facility Layout and Location: An Analytical Approach*, 2nd ed., Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.  
 Pritsker, A.A.B. and O'Reilly, J.J. (1999), *Simulation with Visual SLAM and AweSim*, 2nd ed., John Wiley & Sons.  
 Pritsker, A.A.B., Sigal C.E., and Hammesfahr, R.D.J. (1989), *SLAM II Network Models for Decision Support*, Prentice-Hall.  
 Tompkins, J.A., White, J.A., Bozer, Y.A., Frazelle, E.H., Tanchoco, J.M.A., and Trevino, J. (1996), *Facilities Planning*, John Wiley & Sons, Inc., New York.  
 Wilde, B. (1990), An Operating Plan is Critical in Distribution Center Design to Minimize Risks of Change. *Industrial Engineering*, 20, 37 ~ 41.



**박정현**

경희대학교 산업공학과 학사  
 경희대학교 산업공학과 석사  
 현재: (주)로템 기술연구소 체계공학팀 연구원  
 관심분야 : 생산 및 물류 시스템, Computer Simulation



**박양병**

한양대학교 산업공학과 학사  
 Pennsylvania State University 산업공학과 석사  
 Oklahoma State University 산업공학과 박사  
 Northeastern University 산업 및 정보공학과 조교수  
 현재: 경희대학교 테크노공학대학 산업공학과  
 관심분야: 물류 및 SCM, 컴퓨터 시뮬레이션