

온라인 주문 풀필먼트를 위한 물류센터 피킹 설비 최적화에 대한 연구

A Study on Optimization of Picking Facilities for e-Commerce Order Fulfillment

김태현(TaeHyun Kim)*, 송상화(SangHwa Song)**

초 록

국내 전자상거래는 거래액을 기준으로 최근 5년간 연평균 20% 이상의 성장률을 지속적으로 기록하고 있다. 전자상거래의 급증으로 인해 소비자를 직접 만나기 어려운 유통기업들은 고객과의 유일한 접점이 되는 라스트마일 서비스 경쟁이 치열한데, 특히 최근 가장 경쟁이 뜨거운 배송영역은 서비스 차별화를 위해 풀필먼트 센터의 역할이 매우 중요하다. 소비자가 주문한 제품을 서비스 수준에 맞춰 신속하게 준비 할 수 있는 역량을 반드시 갖추고 있어야 한다. 본 연구는 전자상거래 시장에서 기업이 경쟁력을 갖추기 위한 방안으로써 풀필먼트 센터에서의 신속한 주문처리를 위해 오더피킹 시스템을 대상으로 연구를 진행하였다. 오더피킹 설비에서의 재고 보충 최적화를 위한 수리 모형 알고리즘을 구현하고, 실제 운영 프로세스와 데이터를 활용한 시뮬레이션을 통해 과학적이고 객관적인 방법으로 효과를 검증하였다.

ABSTRACT

The number of domestic e-commerce transactions has been breaking its own record by an annual average growth rate of over 20% based on volume for the past 5 years. Due to the rapid increase in e-commerce market, retail companies that have difficulty meeting consumers in person are in fierce competition to take the lead in the last mile service, which is the only point of contact with customers. Especially in the delivery area, where competition is most intense, the role of the fulfillment center is very important for service differentiation. It must be capable of fast product preparation ordered by consumers in accordance with the delivery service level. This study focuses on the order picking system for rapid order processing in the fulfillment center as an alternative for companies to gain competitive advantage in the e-commerce market. A mixed integer programming model was developed and implemented to optimize the stock replenishment in order picking facilities. The effectiveness was scientifically and objectively verified by simulation using the actual operation process and data.

키워드 : 이커머스 주문 풀필먼트, 오더피킹 시스템, 재고보충 최적화, 혼합정수계획, 시뮬레이션
E-Commerce Order Fulfillment, Order Picking System, Replenishment Optimization,
Mixed Integer Programming, Simulation

* First Author, Master of Logistics Management, Graduate School of Logistics, Incheon National University (th.kim3@cj.net)

** Corresponding Author, Professor, Graduate School of Logistics, Incheon National University (songsh@inu.ac.kr)

Received: 2020-11-24, Review completed: 2020-12-04, Accepted: 2021-12-16

1. 서 론

1.1 연구 배경 및 목적

2020년 상반기의 온라인 쇼핑 판매액은 2019년 같은 기간보다 19.4% 증가한 46조 2108억 원에 달했으며, 이는 2015년 상반기(22조 6000억 원)에 비하면 두 배가 넘는 규모다(통계청, 2020). 코로나 19로 인해 온라인 쇼핑을 체험한 소비층이 급격히 확대되었는데, 빅데이터 분석 플랫폼 모바일 인덱스에 따르면 대형마트의 핵심 고객인 50~60대 중·장년층 마저 온라인 쇼핑에 합류했으며, 50대의 모바일 쇼핑은 68%, 60대는 48% 급증한 것으로 나타났다.

온라인 쇼핑의 증가로 고객과 유일한 접점인 라스트마일 물류 영역에서 경쟁이 치열해지고 있다. 쿠팡은 배송 차별화에 나서며 대규모 적자에도 불구하고 물류 인프라에 투자하여 2014년 약 12만㎡ 규모였던 물류 부지가 2019년 약 122만㎡으로 10배 가량 늘었다(쿠팡, 2010). 쿠팡이 라스트마일 배송 경쟁을 선도 할 수 있었던 비결 중 하나는 소비자 주문을 가장 빠르게 피킹 및 포장 할 수 있는 온라인 주문 대응 물류 서비스 역량, 즉, 풀필먼트 센터에 있다.

풀필먼트 센터는 수요 불확실성과 서비스 복잡도가 큰 폭으로 증가하는 상황에서 빠르게 고객의 주문에 대응해야 하므로 자동화 설비를 통한 대응이 필요하다(송상화, 2017). 이커머스 확대로 피킹 작업 난이도는 더욱 높아졌고, 여기에 대응하기 위해 피킹 작업의 자동화를 추구하고 있으나, 아직 수작업 의존도가 높아 그 최적화 방안에 대한 연구가 지속적으로 필요한 영역이다(이수형, 2014).

기존 연구는 대부분 수작업 환경에서의 피킹 작업에 대한 주제들로써 설비가 중요한 역할을

하는 최근 물류 환경을 제대로 반영하지 못하고 있다. 이에 본 논문에서는 이커머스의 핵심 경쟁력인 풀필먼트 센터의 설비 최적화에 대한 연구를 진행하였다.

본 연구의 목적은 다음의 세 가지이다.

첫 번째는 소비자의 실시간 주문을 처리하는 풀필먼트 센터에서 오더피킹 설비 효율 향상을 위한 재고 보충 최적화 수리모형을 설계한다. 두 번째는 오더피킹 관련 제한적 영역에서의 이론적 연구를 뛰어넘어 실제 운영 프로세스와 데이터를 기반으로 한 실증적인 알고리즘을 구현 해 본다. 세 번째는 과학적이고 객관적 방법인 시뮬레이션을 통해 결과를 분석 및 비교하여 최적화 알고리즘의 효과를 측정 해 본다. 이를 통해 풀필먼트 센터의 효율 향상을 위한 오더피킹 설비 최적화 방안을 제시하고자 한다.

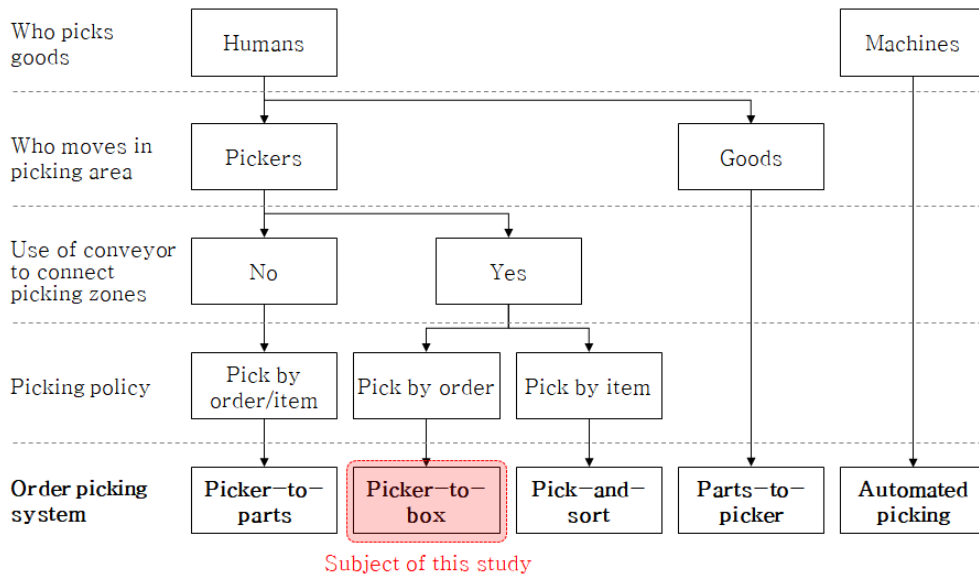
1.2 연구 범위 및 방법

이커머스 물류센터에 활용되는 오더피킹 설비는 DPS(Digital Picking System)와 같은 전통적 설비가 많으며, <Figure 1>에서 Picker-to-box 유형에 해당된다. 본 연구에서는 Picker-to-box 형태의 오더피킹 시스템의 재고보충 최적화에 대한 연구를 진행하였다. 알고리즘 개발에는 혼합정수계획을 활용했으며, 시뮬레이션 툴을 통해 효과를 검증하였다.

2. 선행연구 검토

2.1 풀필먼트 오더피킹 관련 선행연구

Dallari et al.[3]은 이커머스 특성에 따라 물류센터 설계자들이 프로세스를 고려한 적절한



〈Figure 1〉 Classification of Order Picking(Source: Dallari et al., 2009)

오더피킹 시스템의 선택 방법론을 개발하는 연구를 통해 오더피킹을 다섯 가지 영역으로 분류하였다. <Figure 1> 연구 결과 주문의 오더라인 수, 오더의 크기, 아이템 수량 등이 오더피킹 시스템을 선택하는데 주요한 요인인 것으로 밝혀졌다.

Bukchin et al.[1]은 동적인 오더피킹 프로세스를 최적화하기 위한 연구에서 오더피킹 시간을 개선하기 위해 작업자들의 동선 감소를 최우선으로 고려했고, Markov Decision Process와 Heuristic Algorithm을 이용하여 최적화에 관한 연구를 진행하였다.

Henn and Wascher[5]은 수작업 오더피킹의 효율화를 위한 다양한 주문들의 Consolidation 필요성을 제시 했으며, Tabu Search 휴리스틱 알고리즘을 이용하여 주문 간의 배칭 문제를 해결하였다.

Renaud and Ruiz[14]은 물류센터에서 컨베이어벨트를 중심으로 양측에 상품을 배치하여

피킹하는 기존의 오더피킹 프로세스에서 간단한 TSP(Traveling Salesman Problem, 외판원문제) 알고리즘을 적용하여 피킹 동선을 단축하였다.

오더피킹과 관련한 선행연구 검토 결과, 작업자 동선 및 피킹 시간 단축 관련 연구가 주로 진행되었으나, 오더피킹 설비의 생산성 향상을 위한 재고 보충에 대한 연구는 부족한 상황이다.

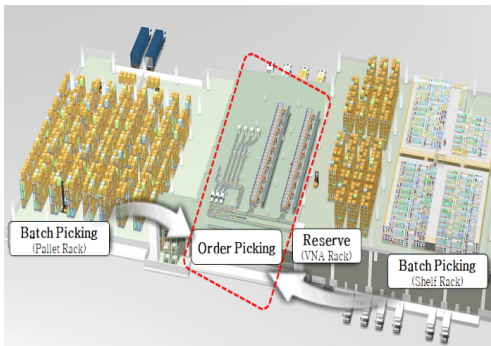
2.2 본 연구의 차별성

본 연구의 차별성은 실제 물류센터의 운영 중인 데이터를 활용하였고, 최적화 모형을 설계하여 시뮬레이션을 통해 효과성을 검증한 것이다. 연구를 통해 구현한 최적화 모형이 단순한 이론적인 고찰이나 수많은 제약을 가정한 상황에서의 시뮬레이션 결과가 아니라, 실제의 사례를 적용하여 실증적인 연구를 진행하였다.

3. 이커머스 풀필먼트 최적화 알고리즘

3.1 센터 레이아웃 및 오더피킹 설비

풀필먼트 센터의 일반적인 레이아웃 구조는 <Figure 2>와 같이 오더피킹 설비가 중앙에 배치되어 있고, 상품별 물동 특성에 맞는 다양한 형태의 선반(rack)이 오더피킹 설비의 좌측과 우측에 배치되어 있다.



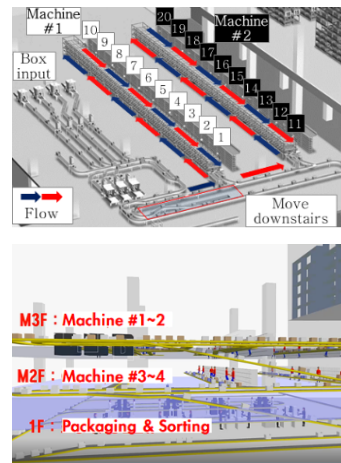
<Figure 2> Layout of Fulfillment Center

우측에 위치한 선반랙(shelf rack)에는 소량 다빈도 특성의 재고를 보관하여 신속한 피킹에 대응하며, VNA(Very Narrow Aisle rack)에는 소빈도 재고를 보관하여 다양한 상품(SKU)을 효율적으로 운영 할 수 있도록 하는 것이 일반적이다. 재고가 보관되어 있는 shelf rack과 pallet rack에서 각 상품별 총량 피킹(total picking)을 진행 후 화살표 방향으로 오더피킹 설비에 보충하는 작업이 진행된다.

3.2 오더피킹 설비의 구조 및 피킹 프로세스

본 연구에서 다루고자 하는 오더피킹 설비는 <Figure 3>과 같이 동일한 형태의 호기 4개 세

트가 직렬 연결된 구조를 가지고 있으며, 각 호기는 10개의 피킹 스테이션으로 구성되어 총 4개 호기, 40개 스테이션으로 구성되어 있다.



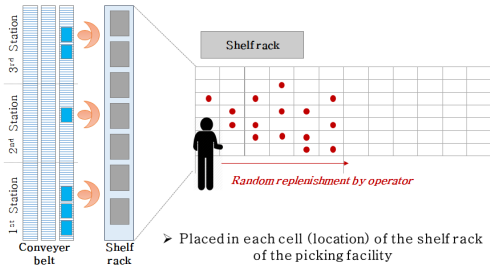
<Figure 3> Structure of Order Picking Facility

오더피킹은 설비 1호기부터 4호기까지 순차적으로 지나면서 작업이 진행된다. 출고(주문) 박스를 투입하면 설비 1호기로 이동하여 1~10번의 스테이션을 지나며 주문별 SKU를 담은 오더피킹이 진행되고, 완성되지 않은 주문은 2호기, 3호기, 4호기를 거치며 주문을 완성하게 되는데, 이 때 오더피킹 작업이 없는 호기에는 출고박스가 진입하지 않는다. 이렇게 최소 1개의 호기에서 완성되거나, 최대 4개 호기를 경유하여 주문이 완성된다.

3.3 재고 보충 프로세스

오더피킹 설비의 로케이션 운영은 출고량이 많은 A급 상품들은 고정 로케이션(fixed location, flow rack)에 위치시켜 신속성을 확보 하고, 출고량이 적은 B급과 C급 상품들은 그 종류가

상당히 많기 때문에 <Figure 4>와 같이 변동형 로케이션(R존, dynamic location, shelf rack)을 활용하여 다양성에 대응한다.



<Figure 4> Replenishment Process

변동형 로케이션에 보충하는 작업을 작업자의 임의결정으로 진행하고 있어, 설비의 각 스테이션 작업량 편차가 크게 나타나고 있다. 이에, 본 연구에서는 B급과 C급 상품을 변동형 로케이션에 보충하는 문제를 MIP(Mixed Integer Programming) 모형을 활용하여 최적해를 도출하는 방식을 도입하고자 한다.

4. 최적화 모형 설계 및 시뮬레이션

4.1 재고 보충 최적화를 위한 수리 모형

4개 호기와 40개 스테이션으로 구성된 오더 피킹 설비에서 작업량 편차를 최소화 하기 위한 수리모형은 다음과 같다.

■ Set

$S = \{1, 2, \dots, s\}$ 작업장(Station) Set($s = 40$)
 $H = \{1, 2, \dots, m\}$ 호기(Machine) Set($m = 4$)
 $s_1 = \{1, 2, \dots, 10\}$ 1호기(Machine)의 스테이션 Subset

$s_2 = \{11, 12, \dots, 20\}$ 2호기(Machine)의 스테이션 Subset

$s_3 = \{21, 22, \dots, 30\}$ 3호기(Machine)의 스테이션 Subset

$s_4 = \{31, 32, \dots, 40\}$ 4호기(Machine)의 스테이션 Subset

$P = \{1, 2, 3, \dots, p\}$ 상품(SKU) Set

$O = \{1, 2, 3, \dots, o\}$ 주문(Order) Set

p_o 주문 o 의 상품(SKU) set

■ Parameter

t_j 전체 주문 처리 시 상품 j 의 터치 수
 sum_o 주문 o 의 터치 수 합
 $avgsku$ 스테이션별 평균 SKU 수(전체 SKU 수÷스테이션 수)
 $avgtc$ 스테이션별 평균 작업 수(전체 작업 수÷스테이션 수)
 fs_i 작업장 i 의 flow rack에 이미 할당된 SKU 수(A급)
 ft_i 작업장 i 의 flow rack에 이미 할당된 작업 수(A급)
 f_{oh} 주문 o 가 호기 h 의 flow rack에 이미 할당된 작업 수(A급)

■ Decision Variables

$x_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{스테이션 } i \text{에 상품 } j \text{가 할당 될} \\ 0 & \text{경우(1)와 아닌 경우(0)} \end{cases}$
 $y_{oh} = \begin{cases} 1 & \text{주문 } o \text{가 호기 } h \text{에서 작업 될} \\ 0 & \text{경우(1)와 아닌 경우(0)} \end{cases}$
 $z_{ok} = \begin{cases} 1 & \text{주문 } o \text{가 조합 } k \text{로 완성 될 경우(1)와} \\ 0 & \text{아닌 경우(0)} \end{cases}$
 tc_i 스테이션 i 의 터치 수 편차(전체 평균과의 차이)
 sku_i 스테이션 i 의 SKU 보충 수 편차(전체 평균과의 차이)

〈Table 1〉 Combination Pattern of Orders

	Pattern (k)														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1															
2															
3															
4															

의사결정 변수는 각각의 SKU를 스테이션에 할당하는 x_{ij} , 주문의 패턴을 정의하기 위한 y_{oh} , z_{ok} , 작업량 밸런싱 정도를 계산하기 위한 tc_i , sku_i 로 구성되며, Parameter에 정의된 $avgtc$, $avgsku$ 값과 스테이션 별 절대 편차의 합을 최소화 한다. 이 때 주문이 완성되는 조합 k의 값을 <Table 1>에 정의하였는데, 패턴 1은 주문이 1호기에서만 완성되는 경우, 15는 모든 호기를 거쳐야 하는 경우를 의미한다.

작업량 밸런싱을 위한 목적함수는 평균작업량 (전체 작업 부하량÷40)을 계산하여, 각 스테이션 작업량의 평균절대편차(MAD, Mean Absolute Deviation)를 최소화 하도록 설정하였다. 목적 함수 (1)의 첫째, 둘째 항은 스테이션 별 작업의 수와 SKU 수를 평준화 하며, 변수는 각 호기 별 작업완료 패턴을 극대화하기 위해 추가하였다.

■ Objective Function

$$\begin{aligned} \text{Minimize } Z = & \sum_{i=1}^s (tc_i + sku_i) \\ & + \sum_{o=1}^r \sum_{h=1}^4 y_{oh} - \sum_{k=1}^4 \sum_{o=1}^r z_{ok} \end{aligned} \quad (1)$$

■ Subject to

$$\sum_{i=1}^s x_{ij} = 1 \quad \forall j = \{1, 2, \dots, p\} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} (\sum_{j=1}^p x_{ij} + fs_i) - avgsku & \leq sku_i \\ \forall i & = \{1, 2, \dots, s\} \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} avgsku - (\sum_{j=1}^p x_{ij} + fs_i) & \leq sku_i, \\ \forall i & = \{1, 2, \dots, s\} \end{aligned} \quad (4)$$

$$(\sum_{j=1}^p t_j x_{ij} + ft_i) - avgtc \leq tc_i \quad (5)$$

$$\forall i = \{1, 2, \dots, s\}$$

$$avgtc - (\sum_{j=1}^p t_j x_{ij} + ft_i) \leq tc_i \quad (6)$$

$$\forall i = \{1, 2, \dots, s\}$$

$$\sum_{i \in s_h} \sum_{j \in p_o} x_{ij} + f_{oh} \leq sum_o y_{oh}, \quad (7)$$

$$\forall h = \{1, 2, 3, 4\}, \quad \forall o = \{1, 2, \dots, r\}$$

$$\sum_{k=1}^{15} z_{ok} = 1, \quad \forall o = \{1, 2, \dots, r\} \quad (8)$$

$$y_{o1} - y_{o2} - y_{o3} - y_{o4} \leq z_{o1}, \quad \forall o = \{1, 2, \dots, r\} \quad (9)$$

$$y_{o2} - y_{o1} - y_{o3} - y_{o4} \leq z_{o2}, \quad \forall o = \{1, 2, \dots, r\} \quad (10)$$

$$y_{o3} - y_{o1} - y_{o2} - y_{o4} \leq z_{o3}, \quad \forall o = \{1, 2, \dots, r\} \quad (11)$$

$$y_{o4} - y_{o1} - y_{o2} - y_{o3} \leq z_{o4}, \quad \forall o = \{1, 2, \dots, r\} \quad (12)$$

$$y_{o1} + y_{o2} - y_{o3} - y_{o4} \leq z_{o5} + 1, \quad (13)$$

$$\forall o = \{1, 2, \dots, r\}$$

$$y_{o1} + y_{o3} - y_{o2} - y_{o4} \leq z_{o6} + 1, \quad (14)$$

$$\forall o = \{1, 2, \dots, r\}$$

$$y_{o1} + y_{o4} - y_{o2} - y_{o3} \leq z_{o7} + 1, \quad (15)$$

$$\forall o = \{1, 2, \dots, r\}$$

$$y_{o2} + y_{o3} - y_{o1} - y_{o4} \leq z_{o8} + 1, \quad (16)$$

$$\forall o = \{1, 2, \dots, r\}$$

$$y_{o2} + y_{o4} - y_{o1} - y_{o3} \leq z_{o9} + 1, \quad (17)$$

$$\forall o = \{1, 2, \dots, r\}$$

$$y_{o3} + y_{o4} - y_{o1} - y_{o2} \leq z_{o10} + 1, \quad (18)$$

$$\forall o = \{1, 2, \dots, r\}$$

$$y_{o1} + y_{o2} + y_{o3} - y_{o4} \leq z_{o11} + 2, \quad (19)$$

$$\forall o = \{1, 2, \dots, r\}$$

$$y_{o1} + y_{o2} + y_{o4} - y_{o3} \leq z_{o12} + 2, \quad (20)$$

$$\forall o = \{1, 2, \dots, r\}$$

$$y_{o1} + y_{o3} + y_{o4} - y_{o2} \leq z_{o13} + 2, \quad (21)$$

$$\forall o = \{1, 2, \dots, r\}$$

$$y_{o2} + y_{o3} + y_{o4} - y_{o1} \leq z_{o14} + 2, \quad (22)$$

$$\forall o = \{1, 2, \dots, r\}$$

$$y_{o1} + y_{o2} + y_{o3} + y_{o4} \leq z_{o15} + 3, \quad (23)$$

$$\forall o = \{1, 2, \dots, r\}$$

$$x_{ij}, y_{oh}, z_{ok} \in \{0, 1\} \quad tc_i, sku_i \geq 0 \quad (24)$$

제약식 (2)는 모든 SKU는 하나의 스테이션에 할당 될 수 있으며, 같은 SKU가 서로 다른 두 개 이상의 스테이션에 할당 될 수 없음을 의미한다. 제약식 (3), (4)는 각 스테이션에 할당되는 SKU 수의 합이 평균 SKU 수와 얼마나 차이가 있는지를 절대값으로 계산한다. 제약식 (5), (6)은 각 스테이션에 할당되는 피킹 회수(터치 수)의 합이 평균 피킹 회수와 얼마나 차이가 있는지를 절대값으로 계산한다. 제약식(3)~(6)에 사용된 Parameter fs_i, ft_i 는 문제를 풀기 전 이미 각 스테이션 별 할당된 SKU 수와 피킹 회수를 의미하며, 현실에서는 특정 기간을 중심으로 판매량이 매우 높은 SKU의 경우 각 스테이션 별로 미리 할당하는 경우가 있다.

제약식 (7)은 SKU할당에 따라 각 주문 별, 호기 별 작업 여부를 변수에 할당하기 위함이며, 제약식 (9)~(23)과 함께 주문완성 패턴을 구분한다. 제약식 (9)~(12)는 하나의 호기에서 주문이 완성되는 경우, 제약식 (13)~(18)은 2개의 호기에서 주문이 완성되는 경우, 제약식

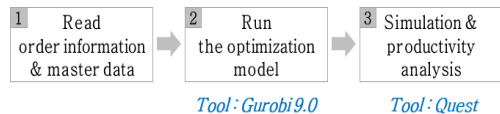
(19)~(22)는 3개의 호기에서 주문이 완성되는 경우, 제약식 (23)은 4개 호기 모두를 거쳐서 주문이 완성되는 경우를 정의한다.

제약식 (8)은 주문완성 패턴이 15가지 타입 중 하나여야 함을 의미하며, 제약식(24)는 비음 제약 조건과 이진 변수를 정의한다.

본 연구에서 설계한 최적화 모형의 확대 적용을 위해 제약식 (9)~(23)은 설비 호기의 대수에 따라 다양한 조합이 가능하며, 호기 별 연결 Layout에 따라 표현 방식이 달라 질 수 있다.

4.2 시뮬레이션 수행

최적화 알고리즘을 평가하기 위하여 <Figure 5>와 같은 프로세스로 진행했으며, 최적화 모형 설계를 위한 툴은 Gurobi 9.0을 활용하였고, 시뮬레이션을 위한 툴은 Quest를 활용하였으며, CPU intel CORE i7, 메모리 16GB 환경에서 수행하였다.



<Figure 5> Step of Simulation

첫 번째 단계에서는 주문 정보(Order line)와 Rack(Location)의 마스터 정보를 읽고 병합한다. 이 과정을 통해 운영 시점에 각 주문의 상품이 어느 위치에서 오더피킹 되었는지 과거 히스토리를 확인 할 수 있고, 데이터 병합에 따른 결과 값은 현재 수준을 평가 할 수 있는 Baseline 시나리오로 활용된다.

두 번째 단계에서는 최적화 모형에서 정의된 Parameter 값을 <Table 2>와 같이 계산한다.

〈Table 2〉 Parameter Calculation Method

Parameter	Calculation
$avgtc$	Total picks÷Number of stations
$avgsku$	Total SKUs÷Number of stations
t_j	Number of orders per SKU
sum_o	Number of SKUs per order
ft_i	Number of picks per station in F zone
fs_i	Number of SKUs per station in F zone
f_{oh}	Number of orderlines per station in F zone

세 번째 단계에서는 시뮬레이션을 통해 생산성 분석을 수행하는데, 시뮬레이션 모델링은 센터의 설비와 장비 등 레이아웃을 동일한 형태로 구성하고 입력된 고정변수와 변동변수 등을 적용하여 프로그램을 실행한다. 시뮬레이션에 필요한 수행 결과로 작업의 편차, 작업 완료 시간, 시간당 처리량 등의 수치를 산출하여 결과를 비교한다.

본 연구에서의 시뮬레이션은 실제 운영 환경에서 발생한 실적 데이터를 그대로 활용하였기 때문에 상품을 피킹하는데 소요되는 단위 시간 등은 가정이거나 대표값을 활용하지 않음 실적 데이터를 그대로 활용하였다.

4.3 시뮬레이션 결과 분석

시뮬레이션은 이커머스 주문 약 3만 7천 여 건, 오더라인 기준으로 약 17만 여 건을 대상으로 수행하였고 총 18차수의 실제 주문과 피킹을 처리 한 실적을 기초로 하였다. 이 데이터를 동일한 Input 값으로 하여 AS-IS의 성과는 실제 처리 실적을 산정하고, TO-BE의 성과는 최적화 알고리즘이 적용된 분석결과를 산정하여 두 가지 시나리오를 비교 평가하였다.

〈Table 3〉 Picking Productivity(AS-IS)

Order	Deviation of picks per station (%)	Order completion-rate by floor (%)	Picking time (Min.)	Productivity (Box/hr)
1	15.7%	19.4%	117	1,072
2	22.5%	18.5%	75	906
3	18.7%	19.4%	124	1,064
4	12.3%	15.7%	120	1,002
5	29.9%	21.9%	115	1,104
6	46.9%	20.8%	75	904
7	40.5%	22.1%	117	1,076
8	33.5%	21.9%	84	1,110
9	16.8%	19.8%	119	1,098
10	9.3%	20.6%	159	1,153
11	32.5%	20.5%	73	981
12	11.2%	17.0%	129	1,115
13	20.9%	23.9%	87	996
14	12.4%	21.9%	158	1,153
15	34.4%	23.8%	121	1,008
16	37.6%	22.4%	101	1,039
17	9.9%	24.1%	125	1,188
18	11.3%	22.4%	185	1,209
Ave.	23.1%	20.9%	116	1,065

최적화와 시뮬레이션 툴을 활용하여 각 주문 차수별 결과를 산출하는데 평균 253초의 시간이 소요되었으며, 이 때의 주문 특성은 주문 차수별 평균 주문 2,090건, 오더라인 9,758건이었다.

AS-IS 운영에서 실제로 주문을 처리한 시간당 처리 생산성은 <Table 3>에서 보듯이 1,065 Box/hr이며, 40개 스테이션의 작업량 편차는 23.1%, 층별 주문완성 비율은 20.9%로 분석되었다.

재고보충 최적화 알고리즘을 적용한 TO-BE 시나리오의 시간당 처리 생산성은 <Table 4>와 같이 1,245Box/hr이며, 스테이션의 작업량 편차는 1.1%, 층별 주문완성 비율은 56.5%로 분석되었다.

〈Table 4〉 Picking productivity(TO-BE)

Order	Deviation of picks per station (%)	Order completion rate by floor (%)	Picking time (Min.)	Productivity (Box/hr)	Vs. AS-IS (%)
1	1.5%	54.5%	105	1,202	12.1%
2	0.3%	58.4%	59	1,147	26.7%
3	3.1%	51.3%	108	1,227	15.3%
4	7.4%	49.0%	101	1,186	18.4%
5	0.9%	57.7%	99	1,278	15.8%
6	0.8%	61.3%	55	1,241	37.2%
7	0.2%	58.5%	99	1,282	19.1%
8	0.0%	57.6%	75	1,256	13.2%
9	1.0%	55.3%	103	1,270	15.6%
10	0.1%	53.6%	143	1,284	11.4%
11	1.1%	59.9%	60	1,192	21.5%
12	1.3%	51.9%	114	1,268	13.7%
13	0.8%	62.5%	72	1,201	20.6%
14	0.7%	56.0%	141	1,289	11.8%
15	0.2%	57.6%	96	1,270	26.0%
16	0.7%	58.6%	82	1,275	22.7%
17	0.1%	57.8%	118	1,261	6.1%
18	0.2%	54.7%	174	1,287	6.4%
Ave.	1.1%	56.5%	100	1,245	16.9%

지표 항목별 결과는 <Table 5>와 같이 스테이션의 작업량 편차는 약 22% point, 층별 주문 완성 비율은 35.6% point 가 각각 개선되었으며 그 결과 시간당 주문처리 생산성은 16.9%가 향상되는 것으로 분석되었다.

〈Table 5〉 Comparison of Simulation Results

Order	Deviation of picks per station (%)	Order completion-rate by floor (%)	Picking time (Min.)	Productivity (Box/hr)
AS-IS	23.10%	20.90%	116	1,065
TO-BE	1.10%	56.50%	100	1,245
Effect (%)	↑ 22%	↑ 35.6%	△ 13.8%	↑ 16.9%

5. 결론 및 시사점

2019년 국내 전자상거래 거래액은 약 134조 5830억원으로, 전년 대비 18.3% 증가했으며, 최근 5년간 연평균 약 20%의 성장을 지속하고 있다. 전자상거래의 급증으로 소비자를 직접 만나기 어려운 유통기업들은 라스트 마일 서비스 경쟁이 치열하다. 특히 최근 가장 경쟁이 뜨거운 배송영역은 풀필먼트 센터의 역할이 매우 중요하다. 소비자가 주문한 제품을 서비스 수준에 맞춰 신속하게 준비 할 수 있는 역량을 반드시 갖추고 있어야 한다.

본 연구는 풀필먼트 센터에서의 신속한 주문 처리를 위해 오토피킹 시스템을 대상으로 재고

보충 최적화를 위한 수리 모형 알고리즘을 구현하고 시뮬레이션을 통해 과학적이고 객관적인 방법으로 효과를 검증하였다.

본 연구 수행의 주요 시사점은 다음과 같다.

첫 번째, 연구 대상인 오퍼피킹 설비가 운영되고 있는 물류센터를 대상으로 하여 실제의 프로세스와 주문 및 출고 데이터 등을 활용함으로써 실증적이고 현실 적용이 가능한 최적화 알고리즘을 개발했는데, 이는 기존 연구에서 도출하지 못했던 차별화된 결과라 할 수 있다.

두 번째, 오퍼피킹과 관련된 전체 프로세스를 설계하고 분석함으로써 단순히 설비 생산성만을 고려한 부분 최적화가 아닌 풀필먼트 센터 전체 Throughput을 최적화 하는 관점에서 연구를 수행했고, 분석 내용을 단순히 수치로만 판단하지 않고 비즈니스 프로세스와 연계하여 좀 더 실증적인 결과를 도출하였다.

세 번째, 연구를 통해 개발한 알고리즘을 시뮬레이션을 기반으로 현재의 수준과 비교하고 효과를 검증하였다.

본 연구는 전자상거래의 급증과 함께 비즈니스 측면에서 큰 화두가 되고 있으나 아직 관련된 연구 사례가 부족한 풀필먼트 센터의 성과 향상을 위한 오퍼피킹 설비의 운영 최적화와 관련한 향후 연구에 많은 도움이 될 것으로 기대된다.

References

- [1] Bukchin, Y., Khmel'nitsky, E., and Yakuel, P., "Optimizing a Dynamic Order-picking Process," *European Journal of Operational Research*, Vol. 219, No. 2, pp. 335-346, 2012.
- [2] Chackelson, C., Errasti, A., Cipres, D., and Alvarez, M. J., "Improving Picking Productivity by Redesigning Storage Policy Aided by Simulations Tools," *Proceeding of the 5th International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management*, pp. 306-313, 2011.
- [3] Dallari, F., Marchet, G., and Melacini, M., "Design of Order Picking System," *International Journal of Advance Manufacturing Technology*, Vol. 42, No. 1/2, pp. 1-12, 2009.
- [4] Goetschalck, M., McGinnis, L., Sharp, G., Bodner, D., Govindaraj, T., and Huang, K., "Development of a Design Methodology for Warehousing Systems: Hierarchical Framework," *Proceedings of the Industrial Engineering Research*, Orlando, FL, USA, 2001.
- [5] Henn, S. and Wascher, G., "Tabu Search Heuristics for the Order Batching Problem in Manual Order Picking Systems," *European Journal of Operation Research*, Vol. 222, No. 3, pp. 484-494, 2012.
- [6] Jeon, S. M., "An Empirical Analysis on Long Tail Patterns with Online Daily Deals," *The Journal of Society for e-Business Studies*, Vol. 19, No. 1, pp. 119-129, 2014.
- [7] Joo, S. H. and Hur, S., "Logistics Competitiveness under Electronic Commerce," *The Journal of Society for e-Business Studies*,

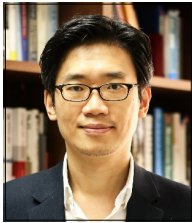
- Vol. 5, No. 1, pp. 19-37, 2000.
- [8] Kim, B. K. and Kim, S. H., "Improvement of Productivity of an e-Commerce Warehouse by Order Picking with Mixed Storage," *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, Vol. 45, No. 1, pp. 53-69, 2019.
- [9] Kim, D. B., "A Single Order Assignment Algorithm Based on Multi-Attribute for Warehouse Order Picking," *Journal of the Korea Society for Simulation*, Vol. 28, No. 1, pp. 1-9, 2019.
- [10] Koster, R. D., Le-Duc, T., and Roodbergen, K. J., "Design and Control of Warehouse Order Picking: A Literature Review," *European Journal of Operation Research* Vol. 182, No. 2, pp. 481-501, 2007.
- [11] Li, J., Lee, Y. D., and Kim, S.-K., "An Evaluation of Routing Methods and the Golden Zone Effect in the Warehouses Order Picking System," *Journal of the Korea Society for Simulation*, Vol. 20, No. 2, pp. 67-76, 2011.
- [12] Oh, J. H. and Woo, S. H., "Evolution of E-Business Fulfillment Model: a case study of South Korea," *The e-Business Studies*, Vol. 17, No. 3, pp. 27-49, 2016.
- [13] Park, B. C., "Order Picking Performance: Strategies, Issues, and Measures," *Journal of Korean Institute of Industrial Engineers*, Vol. 37, No. 4, pp. 271-278, 2011.
- [14] Renaud, J. and Ruiz, A., "Improving Product location and Order Picking Activities in a Distribution Center," *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 59, No. 12, pp. 1603-1613, 2008.

저 자 소 개



김태현
2001년
2018년
현재
관심분야

(E-mail: th.kim3@cj.net)
충실대학교 산업학과 (학사)
인천대 동북아물류대학원 (석사)
CJ대한통운 물류기술연구소 수석컨설턴트
SCM, 풀필먼트, 도심물류



송상화
1997년
1999년
2003년
현재
관심분야

(E-mail: songsh@inu.ac.kr)
KAIST 산업공학과 (학사)
KAIST 산업공학과 (석사)
KAIST 산업공학과 (박사)
인천대 동북아물류대학원 교수
SCM, 기업물류