

물류창고 오더피킹에 있어서 다 속성 기반의 싱글오더 할당 알고리즘

김대범[†]

A Single Order Assignment Algorithm Based on Multi-Attribute for Warehouse Order Picking

Daebeom Kim[†]

ABSTRACT

Recently, as the importance of warehouses has increased, much efforts are being made to improve the picking process in order to cope with a small amount of high frequency and fast delivery. This study proposes an algorithm to assign orders to pickers in the situation where Single Order Picking policy is used. This algorithm utilizes five attributes related to picking such as picking processing time, elapsed time after receipt of order, inspection/packing workstation situation, picker error, customer importance. A measure of urgency is introduced so that the units of measure for each attribute are the same. The higher the urgency, the higher the allocation priority. In the proposed algorithm, the allocation policy can be flexibly adjusted according to the operational goal of the picking system by changing the weight of each attribute. Simulation experiments were performed on a hypothetical small logistics warehouse. The results showed excellent performance in terms of system throughput and flow time.

Key words : Warehouse, single order picking, order assignment, picking assignment algorithm, picking process

요약

최근 물류창고의 중요성이 높아지고 있는 가운데 소량 다빈도 및 빠른 납품에 대응하기 위해 피킹 프로세스 개선에 많은 노력을 기울이고 있다. 본 연구는 개별오더 피킹 정책이 사용되는 상황에서 오더를 피커에게 할당하는 알고리즘을 제시한다. 이 알고리즘에서는 피킹과 관련된 피킹 처리시간, 오더 접수후 경과 시간, 검수/패킹 작업대 상황, 피커 오류, 고객 중요도의 다섯 개의 속성을 동시에 고려한다. 각 속성에 대한 측정값의 단위가 동일하도록 긴급도라는 척도를 도입한다. 긴급도의 값이 클수록 할당 우선순위를 높게 설정한다. 제안한 알고리즘에서는 각 속성의 가중치를 변경함으로써 피킹시스템의 운영목표에 따라 할당 정책을 유연하게 조정할 수 있도록 하였다. 가상의 축소된 물류창고를 대상으로 시뮬레이션 실험을 수행한 결과 시스템 쓰루풋과 흐름시간 측면에서 우수한 성능을 보였다.

주요어 : 물류창고, 개별오더 피킹, 오더 할당, 피킹 할당알고리즘, 피킹 프로세스

1. 서론

최근 제품의 수명주기가 짧아지고 다품종 소량생산이

일반화됨에 따라 물류창고에서는 소량 다빈도 그리고 빠른 납품에 대한 요구가 더욱 커지고 있다. 물류창고 프로세스는 입고 - 저장 - 오더피킹 - 출고의 작업으로 이루어진다. 이 중 오더 피킹(Order picking)은 물류창고에서 고객으로부터 수주한 주문별로 보관 중인 품목을 꺼내어 출하하는 과정이며, 물류창고 작업 중에서 비중이 매우 높다. 오더 피킹은 모든 창고 기능 중에서 가장 노동 집약적이며 일반적으로 창고 운영비용의 55%를 차지한다 (Tomkins et al., 2003).

오더 피킹의 성능을 제고하기 위해 많은 연구가 진행

* 본 연구는 2017학년도 강남대학교 교내연구비 지원에 의해 수행되었음

Received: 5 November 2018, Revised: 2 January 2019,
Accepted: 17 January 2019

[†] Corresponding Author: Daebeom Kim

E-mail: dbkim@kangnam.ac.kr

Kangnam University, Industrial System Engineering

되고 있다. 본 연구의 내용과 직접 관련이 있는 참고 레이아웃, 저장방법, 피킹 이동경로, 피킹 작업 정책에 대한 기존의 연구를 살펴본다. Caron et al.(2000)은 수작업 피킹시스템을 대상으로 레이아웃 설계를 위한 시뮬레이션 접근법을 연구하였다. Kim(2009)은 보관, 분류, 대기, 출고 구역을 L형, I형, U형 레이아웃으로 나누고, 각 유형별 효율성을 시뮬레이션을 통해 분석하였다.

저장 방식은 크게 입고되는 순서대로 비어있는 것 중에서 가장 가까운 위치에 보관하는 Closest open location storage, 제품군별로 지정된 zone에 저장하는 Dedicated storage, 입출고 빈도가 높은 제품을 가장 출고하기 좋은 위치에 보관하는 Turnover-based storage, 입출고 빈도의 등급별로 저장하는 Class based storage, 연관성 있는 제품을 그룹핑하여 보관하는 Family group storage 방법이 있다. 각 저장 방식은 저장 및 출고 성능에 장단점이 있다(Park, 2011; Kim, 2018). Jarvis and McDowell(1991)은 이동거리 최소화를 위해서는 주문 빈도가 높은 품목을 출고장 가까이에 보관해야 한다는 것을 분석하였다.

오더 피킹 처리시간은 품목 찾기 20%, 이동 50%, 품목 꺼내기 15%, 준비 및 기타 15%로 세분화 된다(Tompkins et al., 2003). 피킹을 위한 이동경로는 이동 패턴에 따라 S-shape method, Return method, Midpoint method, Largest gap method의 수리적 휴리스틱 기법이 제시되었다(Kunder and Gudehus, 1975; Jarvis and McDowell, 1991). Ratliff and Rosenthal(1983)은 직사각형 창고에 있어서 최적 이동경로를 외판원문제(TSP)로 수리적 모델링을 하고 최적해 알고리즘을 제시하였다. Renaud and Ruiz(2008)은 컨베이어벨트 양측에 품목을 배치하여 피킹하는 방법에서 외판원문제(TSP) 모델을 활용하여 이동경로를 단축시켰다. Li et al.(2011)은 복도형 창고의 오더 피킹에 있어서 Golden Zone을 운영함으로써 이동시간을 개선할 수 있음을 기존의 이동경로 최적화 알고리즘과 비교 분석하였다. Cho et al.(2011)은 복도형 창고의 오더 피킹에 있어서 이동시간 최소화를 위한 개미집단 최적화(Ant colony optimization: AOC) 휴리스틱과 그래프 최적화 알고리즘을 제시하고 시뮬레이션을 통해 ACO 방식이 효과적이고 유연함을 분석하였다. Kim and Cho(2001)는 피킹 작업과 관련한 데이터베이스를 운영하여 피커의 최적 이동경로 이미지를 화면에 보여주는 피킹지원시스템을 제안하였다.

피킹 정책(Policy)으로는 한 번에 하나의 주문을 처리하는 개별 피킹(Single order picking or strict picking), 오더 피커(Picker)에게 지정된 보관구역을 할당하는 구역

별 피킹(Zone picking), 여러 주문을 묶어서 동일 품목을 한꺼번에 처리하는 배치 피킹(Batch order picking), 웨이브(Wave)라고 하는 짧은 시간 간격 동안에 처리할 주문 그룹을 할당하는 웨이브별 피킹(Wave Picking)이 있다. 피킹 방법에 따른 장단점이 있으므로 최적의 피킹 성능을 확보하기 위해서는 보관 품목, 주문 패턴, 피킹 장비 등의 특성이 잘 고려되어야 한다(Park, 2011; Yim, 2015). 주문량에 따른 피킹 구역 수 산정, 구역 간 작업부하 균등 그리고 구역별 피킹 품목 할당 방법으로는 작업부하 균등화 알고리즘, 주문 간 유사계수(Similarity coefficient) 기반 구역 할당, 혼합정수계획법 활용한 구역 수 결정 모델 등이 제시되었다(Jane, 2000; Jane and Laith, 2005; Le-Duc and De Koster, 2005). Koo(2008)는 작업자가 피킹하는 물품을 동적이고 자율적으로 할당하는 Bucket Brigade 피킹 전략을 제시하고 기존의 존(Zone) 피킹 방식에 비해 리드타임과 총 작업시간(Makespan)측면에서 우수함을 비교 분석하였다. You et al.(2012)는 디지털 피킹 방식인 DPS(Digital Picking System)과 DAS(Digital Assorting System)을 대상으로 시뮬레이션을 통해 고객사의 수, 품목 수, 주문량 세 가지 변수에 따른 두 시스템의 생산성의 비교하였는데 고객사의 수에 따라 생산성의 차이가 분명하게 나타났다. Oh(2018)는 식품물류센터를 대상으로 개별 피킹과 배치 피킹의 생산성을 비교 분석하여 일일 품목 수와 배송처별 품목 수에 조건에 따른 피킹 정책을 제시하였다.

본 연구에서는 개별 피킹 정책이 사용되는 상황에서 개별오더를 피커에게 할당하는 알고리즘을 제시한다. 피커에게 개별오더를 할당할 때 피킹 처리시간, 오더 접수 후 경과 시간, 검수/패킹 작업대 상황, 피커 오류, 고객 중요도의 다섯 가지 속성을 고려하여 피킹시스템의 성능을 개선해보고자 한다.

본 논문의 구성은 2장에서 다섯 개의 속성을 동시에 고려한 오더피킹 할당 알고리즘을 제시하며, 3장에서 시뮬레이션을 통해 제시된 알고리즘의 효과성을 검증하고, 마지막 4장에서 결론 및 향후 연구 과제를 언급한다.

2. 오더피킹 할당 알고리즘 개발

2.1 오더피킹 프로세스 현황

본 연구에서 대상으로 하는 물류창고의 레이아웃은 Fig. 1과 같다. 창고 입구로 품목(item)이 팔렛트(Pallet) 단위로 입고되면 품목별로 분류되어 저장선반(Storage rack)에 보관된다. 보관된 품목은 주문된 수량만큼 피킹

되어 검수/패킹 구역을 거쳐 출하된다.

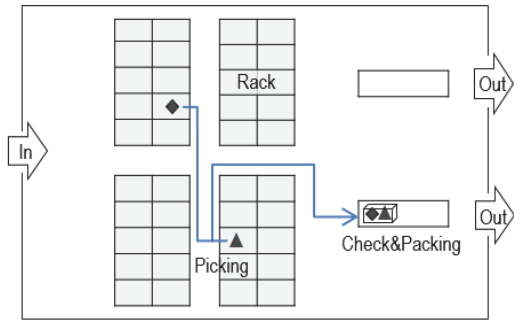


Fig. 1. Warehouse layout

입고 또는 출고되는 품목은 재고보관단위(SKU: Stock Keeping Unit)로 구분하여 관리한다. SKU는 물류창고에 보관된 품목을 구분하는 기본단위이며 품목별 인식코드가 부여된다. 저장선반을 할당하는 방법은 고정위치 저장 방식(Dedicated storage)을 따른다. 저장방식은 본 연구와 직접적인 연관성이 적으므로 기존연구에서 제시한 다양한 저장방식 중에서 운영 용이성을 감안하여 고정위치 저장방식을 사용하기로 한다. 오더(Order)는 고객이 요구하는 하나 또는 그 이상의 품목과 각 품목별 수량을 기입한 목록표이다. 주문 품목은 SKU로 표시되어야 하며 그렇지 않으면 출하가 이루어 질 수 없다.

피킹 프로세스는 피킹리스트 작성-피킹-검수-패킹으로 이루어진다. 고객 오더는 피킹을 위해 피킹 리스트로 변환되며, 일반적으로 품목, 수량, 저장위치 및 피킹 순서 정보가 포함된다. 피킹 작업은 피킹 작업자가 운반대차에 피킹한 품목을 담은 용기를 준비한 후, 주문별 피킹 리스트를 참고하여 이동경로를 따라 정해진 순서대로 해당 품목을 저장 선반(Rack)에서 꺼내어 용기에 담고, 모든 품목이 완료되면 검수(Checking)하는 곳으로 운반한다. 피킹을 위한 이동 경로는 기존에 연구된 다양한 방식 중에서 S-shape 방식을 따른다. 본 연구에서는 특정 이동경로 방식 하에서 오더를 할당하는 것이기에 이동거리는 길지만 간편하고 이해하기 쉬운 S-shape 방식을 사용하기로 한다. 이 방식은 피킹 대상 품목이 있는 통로를 방문한 후 무조건 직진하고 해당 통로가 다 끝나면 그 다음 통로로 이동하여 반복한다. 피킹 리스트에 있는 품목이 피킹되면 정해진 검수/패킹 구역으로 이동한다. 그리고 선반에서 물품을 꺼내는 작업에 소요되는 시간은 선반의 위치, 품목 수량, 작업자의 숙련도 등의 요소에 의해 좌우된다. 수량에 따라 팔레트(Pallet), 박스(Box), 또는 날개

(Each) 단위로 피킹되며 각 단위별 처리시간은 다르다.

피킹 정책은 개별처리(Single order picking) 방식을 따른다. 이는 피커가 한 번에 하나의 주문을 할당받아 저장선반을 이동하면서 모든 품목을 꺼내는 방식이다. 이는 재분류 작업이 없고 주문 처리의 정확성이 높다는 장점으로 인해 널리 사용되는 방법이다.

검수 과정에서는 피킹 용기에 담긴 품목 및 수량을 주문서와 일치하는 지를 확인하고, 품목의 불량 여부를 체크한다. 오류가 발생한 품목에 대해서는 검수/패킹 담당자가 오류를 수정한다. 패킹(Packing)은 검수가 끝난 피킹 용기의 품목을 포장하는 과정이다. 검수와 패킹은 같은 공간에서 이루어 지며, 피킹 작업자와는 별도의 인력이 배치된다. 제한된 공간으로 인해 피킹작업과 검수/패킹 작업의 균형이 요구된다. 검수/패킹 작업대는 주문의 배송처별 분류기능을 동시에 수행한다.

피킹의 성능을 측정하는 지표로는 한 건의 오더 피킹 처리에 걸리는 평균시간인 흐름시간(Flow time), 시간당 오더피킹 처리 건수인 쓰루풋(Throughput), 정해진 오더 건수를 처리하는 데 걸리는 총 소요시간(Makespan), 피킹 작업의 어려와 관련한 피킹 정확성(Picking accuracy) 등이 사용된다.

2.2 알고리즘 프레임워크

물류창고에 있어서 오더는 피커에게 할당되어 오더에 포함된 모든 품목이 피킹된 후에 물류창고를 떠난다. 특정 피커는 할당받은 하나의 오더에 대해 피킹이 완료되면 그 다음 오더를 할당받게 된다.

오더 할당에 있어서 다섯 가지의 속성을 동시에 고려한다. 고려되는 속성으로는 '처리시간', '체류시간', '검수/패킹 대기', '피커 오류', '고객 중요도'이다. 처리시간은 한 오더 내의 품목을 모두 피킹하는 데 걸리는 시간이며 피커의 가용성을 높이기 위해 고려한다. 피킹 처리시간은 준비 및 품목 찾기, 이동, 품목 꺼내기, 검수 및 패킹의 시간으로 세분화 된다. 체류시간은 오더가 도착한 이후에 경과한 총 시간을 의미하며 오래 머문 오더에 대한 빠른 서비스를 위해 반영한다. 검수/패킹 대기는 검수 및 패킹 작업대에서 피킹된 품목이 든 용기가 대기하는 상황을 의미하며 원활한 작업과 피커의 활용도를 높이기 위해 고려한다. 검수/패킹 작업대에 용기가 대기할 수 있는 공간이 제한되어 있다. 용기를 내려놓을 공간이 없으면 공간이 생길 때까지 대기한다. 또한 대기하는 용기가 없으면 검수/패킹 작업자가 유희하게 된다. 피커 오류는 피커가 피킹에서 오류를 범하는 것으로 오류로 인한 재작업

을 줄이고 납품 품질을 높이기 위해 고려한다. 그리고 고객 중요도는 오더를 내는 고객의 중요한 정도를 의미하며, 중요한 고객의 오더일수록 피킹 순서에 영향을 줄 수 있도록 고려한다.

다섯 가지 속성의 측정값은 단위가 상이하다. 단위 통일을 위해 긴급도라는 척도를 도입한다. 각 속성의 측정값을 0과 1 사이 값으로 환산한 것이 긴급도이다. 긴급도의 값이 클수록 할당 우선순위를 높게 설정한다.

특정 피커에게 오더를 할당할 때 대기하고 있는 오더를 대상으로 각 평가 속성별로 긴급도를 평가하고, 그 다음 각 속성별로 부여한 가중치를 반영하여 가중 합계한 총 긴급도 점수를 계산하고, 마지막으로 총 긴급도 점수가 가장 높은 오더를 할당한다. 가중치는 물류창고 운영 전문가의 지식을 기초로 설정한다.

2.3 속성별 긴급도 계산

오더와 관련된 속성별 측정값을 바탕으로 긴급도를 계산하는 방법을 언급한다. 각 속성에 대한 긴급도는 [0, 1]의 값을 부여하며, 값이 클수록 긴급도가 높다.

2.3.1 처리시간 기준

피커의 가용성을 높이기 위해 피킹 처리시간 측면의 긴급도를 계산한다. 특정 오더의 처리시간은 피커의 숙련도, 피킹 작업의 난이도 그리고 피킹 오류 등에 따라 달라진다. 준비 및 품목 찾기, 이동, 품목 꺼내기, 검수 및 패키징의 시간을 계산함에 있어서 숙련도, 난이도, 오류 가능성을 반영한다.

긴급도 값을 부여하기 위한 기준값을 정하기가 힘든 측면이 있다. 여기서는 피킹이 완료된 오더의 평균 처리시간과 평균대비 추가 소요된 시간을 더한 값을 기준값으로 설정한다.

- t : 피커에게 오더를 할당하는 현재 시점
- i : 시점 t 에 피킹을 기다리고 있는 오더의 인덱스, $i = 1, 2, \dots, I$
- n : 시점 t 에 피킹이 완료된 오더의 인덱스, $n = 1, 2 \dots N$
- j : 오더 i 에 포함된 품목의 인덱스, $j = 1, 2, \dots, J$
- k : 피커의 인덱스, $k = 1, 2, \dots, K$
- d_{ij} : 오더 i 내에 있는 품목 j 의 피킹 난이도, $d_{ij} = [0, 1]$. 운영실적을 바탕으로 품목 j 의 특성, 수량, 작업 시간대 등을 고려하여 난이도

값을 설정한다.

- D_i : 오더 i 의 난이도, $D_i = \sum_{j=1}^J d_{ij} / J$. 각 품목별 난이도의 평균값으로 산정한다.
- S_k : 피커 k 의 숙련도, $S_k = [0, 1]$. S_k 의 값이 클수록 숙련도가 높다.
- M_{ik} : 오더 i 를 피커 k 가 피킹할 경우 발생할 피킹 오류 가능성, $M_{ik} = D_i(1 - S_k)$. 난이도가 높을수록, 피커가 미숙할수록 오류 가능성이 높다.
- $t1_i$: 오더 i 를 숙련도가 1인 피커가 작업할 경우 요구되는 준비작업, 품목찾기 및 이동에 소요되는 총 시간
- $t1_{ik}$: 오더 i 를 피커 k 가 피킹할 경우 요구되는 준비작업, 품목찾기 및 이동에 소요되는 총 시간으로 미숙련자의 경우 숙련자보다 더 걸리는 시간은 운영 실적에 근거하여 산정하는데 여기서는 최대 20% 더 소요되는 것으로 한다. $t1_{ik} = t1_i(1 + 0.2(1 - S_k))$.
- $t2_i$: 오더 i 를 숙련도가 1인 피커가 작업할 때 품목 꺼내기에 소요되는 총 시간
- $t2_{ik}$: 오더 i 를 피커 k 가 피킹할 때 품목 꺼내기에 소요되는 총 시간으로 미숙련자의 경우 숙련자보다 더 걸리는 시간은 운영 실적에 근거하여 산정하는데 여기서는 최대 2배 소요되는 것으로 한다. $t2_{ik} = t2_i(2 - S_k)$.
- $t3_i$: 오더 i 를 검수 및 패키징하는데 걸리는 시간
- $t4$: 검수에서 에러 발생 시 재작업을 하는 데 걸리는 시간. 재작업은 검수/패킹 담당자가 수행한다.
- $t3_{ik}$: 오더 i 를 피커 k 가 피킹할 경우 검수 및 패키징에 걸리는 시간. 피킹 오류가 생기면 오류 품목을 검수/패킹 담당자가 수정해야 하는데 수정 시간은 피커의 오류가능성 M_{ik} 값에 비례하는 것으로 설정한다. $t3_{ik} = t3_i + (t4 \times M_{ik})$.
- P_{ik} : 오더 i 에 포함된 모든 품목을 피커 k 가 피킹할 경우에 소요된 총 처리시간 $= t1_{ik} + t2_{ik} + t3_{ik}$
- P_n : 피킹이 완료된 오더 n 의 실제 처리시간
- \overline{P}_n : 피킹이 완료된 오더 n 개의 평균 처리시간
- α_n : 피킹이 완료된 오더 n 개에 대해 피킹 처리시간의 평균대비 추가소요율

$$= \left(\sum_{n=1}^N \frac{\max(0, P_n - \overline{P_n})}{\overline{P_n}} \right) \times \left(\frac{1}{N} \right). \text{ 오더 피킹}$$

이 완료될 때 마다 $\overline{P_n}$ 값을 업데이트한다.

U_{ik} : 오더 i 를 피커 k 가 피킹할 경우 처리시간 기준의 긴급도

$$= \begin{cases} 1 - \frac{P_{ik}}{\overline{P_n}(1+\alpha_n)} & P_{ik} \leq \overline{P_n}(1+\alpha_n) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

처리시간이 짧을수록 긴급도가 높게 설정된다.

2.3.2 체류시간 기준

체류시간은 피킹 시스템의 주요 성능지표이다. 오더가 물류창고에 접수된 이후 체류한 시간이 길수록 긴급도를 높게 부여한다. 체류시간은 자원 및 시스템 운영 상황에 따라 달라진다. 여기서는 완료된 오더의 평균 체류시간과 평균대비 추가 소요된 시간을 더한 값을 기준값으로 하여 긴급도를 설정한다.

A_i : 오더 i 의 접수 시간

T_n : 피킹이 완료된 오더 n 이 실제로 체류한 시간

$\overline{T_n}$: 피킹이 완료된 오더 n 개의 평균 체류시간

β_n : 피킹이 완료된 오더 n 개에 대해 오더 체류시간의 평균대비 추가소요율

$$= \left(\sum_{n=1}^N \frac{\max(0, T_n - \overline{T_n})}{\overline{T_n}} \right) \times \left(\frac{1}{N} \right). \text{ 오더 피킹}$$

이 완료될 때 마다 $\overline{T_n}$ 값을 업데이트한다.

U_{2i} : 시점 t 에 오더 i 에 대한 체류시간 기준의 긴급도

$$= \begin{cases} \frac{t - A_i}{\overline{T_n}(1+\beta_n)} & t - A_i \leq \overline{T_n}(1+\beta_n) \\ 1 & \text{otherwise} \end{cases}$$

오더 접수 후 경과된 시간이 길수록 긴급도가 높다.

2.3.3 검수/패킹 대기 기준

검수와 패킹은 한 작업자가 수행한다. 검수/패킹 작업대 수는 배송처와 처리 물량을 고려하여 정한다. 검수/패킹 작업대는 배송처 구분 역할을 겸하며, 각 오더는 자신의 검수/패킹 작업대가 미리 정해진다. 검수/패킹 작업대의 크기가 제한되어 있어 적정한 양으로 통제할 필요가 있다. 너무 많은 물량이 쏟아지면 혼잡으로 인해 다른 작

업에 영향을 주고 또한 피킹된 품목이 검수/패킹 작업대 앞에서 대기하게 된다. 작업대에 물량이 없으면 검수/패킹 작업자가 유힬하게 되고 너무 많으면 불필요한 시간이 요구되므로 검수/패킹 작업대기 상황을 고려한 긴급도를 산정한다.

O_i : 오더 i 의 검수/패킹 작업대 크기로 최대 용기 개수로 설정한다.

$O_i(t)$: 시간 t 에 오더 i 가 가야할 검수/패킹 작업대에서 기다리고 있는 용기와 기 할당되어 도착 예정인 용기의 총 개수

U_{3i} : 오더 i 의 검수/패킹 대기 기준의 긴급도

$$= \begin{cases} 1 - O_i(t)/O_i & O_i(t) \leq O_i \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

검수/패킹 작업대에 작업할 물량이 적을수록 높은 긴급도 값을 갖는다.

2.3.4 피커 오류 기준

피커의 오류는 피킹 처리시간의 지연뿐만 아니라 고객이 느끼는 품질수준에 밀접한 영향을 미친다. 검수과정에서 오류가 발견되어 수정되지만 검수자의 실수도 있기 때문에 피킹오류를 줄이는 것이 중요하다. 피킹 상에서의 오류 요인은 다양하지만 본 연구에서는 피킹작업의 난이도와 피커의 숙련도를 반영하여 긴급도를 설정한다.

U_{4ik} : 오더 i 를 피커 k 가 처리할 때 피커 오류 기준의 긴급도

$$= 1 - M_{ik}$$

피킹 오류 가능성이 낮을수록 큰 긴급도 값을 갖는다.

2.3.5 고객 중요도 기준

중요한 고객의 오더일수록 좀 더 우선적으로 처리할 필요가 있다. 오더의 중요도를 5개 등급으로 나누고 등급 별로 긴급도 값을 부여한다. 고객의 중요도를 고려하지 않은 경우 모든 고객에게 똑 같은 등급을 부여한다.

U_{5i} : 오더 i 에 대한 중요도 기준의 긴급도

$$= \begin{cases} 1.0 & \text{매우 중요} \\ 0.8 & \text{중요} \\ 0.6 & \text{보통} \\ 0.4 & \text{중요도 낮음} \\ 0.2 & \text{중요도 아주 낮음} \end{cases}$$

고객의 중요도가 높을수록 큰 긴급도 값을 갖는다.

2.4 알고리즘의 단계별 적용 절차

2.4.1 총 긴급도 계산

오더의 각 속성별 긴급도를 계산한 후에 통합된 하나의 값인 총 긴급도를 계산한다. 여기서는 각 속성별 긴급도를 다음과 같이 가중 합계한다.

$$U_{ik} = \sum_{l=1}^5 (W_l \times U_{lik}) \quad (1)$$

여기서,

U_{ik} : 오더 i 를 피커 k 가 피킹할 때의 총 긴급도

l : 할당 평가기준의 인덱스, $l = 1, 2, \dots, 5$

U_{lik} : 오더 i 를 피커 k 가 피킹할 때의 평가기준 l 에 대한 긴급도, $0 \leq U_{lik} \leq 1$

W_l : 속성 l 의 가중치, $0 \leq W_l \leq 1, \sum_{l=1}^5 W_l = 1$

총 긴급도의 값이 가장 큰 것이 할당 우선순위가 가장 높다.

2.4.2 가중치 파라미터 설정

오더의 각 속성에 대한 가중치 W_l 은 물류창고 운영 전문가가 경험적 지식을 바탕으로 설정한다. 본 연구에서는 피킹 시스템의 운영 목표와 각 속성 간의 상호 연관성을 고려하여 다음과 같이 속성별 가중치를 달리 적용하는 방법을 제시한다.

If (고객의 중요도 관리가 우선)

$W_1 = 0.2, W_2 = 0.1, W_3 = 0.1, W_4 = 0.1,$
 $W_5 = 0.5$

Elseif (오더 접수시간이 우선)

$W_1 = 0.2, W_2 = 0.4, W_3 = 0.2, W_4 = 0.1,$
 $W_5 = 0.1$

Elseif (피킹/접수 여러 최소화가 우선)

$W_1 = 0.3, W_2 = 0.1, W_3 = 0.1, W_4 = 0.4,$
 $W_5 = 0.1$

Else (흐름시간(Flow time) 최소화가 우선)

$W_1 = 0.4, W_2 = 0.3, W_3 = 0.1, W_4 = 0.1,$
 $W_5 = 0.1$

Endif

2.4.3 알고리즘 순서도

제시한 알고리즘은 피커 k 가 오더 피킹 작업을 완료한 시점 t 에 피커 k 에게 다음 오더를 할당할 때 실행된다. 오더의 할당 과정을 순서도로 나타내면 Fig. 2와 같다. t 시점에 대기 중인 모든 오더를 규명한 후, 각 오더별 긴급도 U_{lik} 를 계산하고, 가중 합계한 U_{ik} 값이 가장 큰 오더 i 를 피커 k 에게 할당한다.

오더가 접수되었을 때 유희한 피커가 여러 명일 경우 가장 먼저 작업을 끝낸 피커에게 할당한다. 피커가 바쁘고 오더가 대기하는 경우가 일반적이기 때문에 하나의 오더가 여러 피커 중에서 하나를 선택하는 경우는 많지 않다. 시스템 운영 중에 유희한 피커가 많아지면 피커의 수를 조정할 필요가 있다.

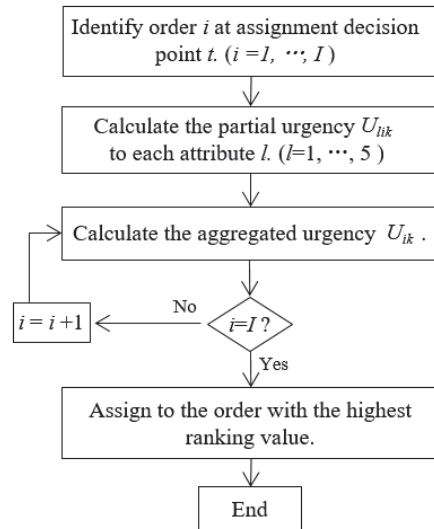


Fig. 2. Flowchart of the proposed algorithm

3. 제시한 알고리즘의 성능 평가

본 연구에서 제시한 다섯 개의 속성을 동시에 고려한 오더피킹 할당 알고리즘에 대한 효과성을 검증하기 위해 시뮬레이션을 실시하였다. 실제 운영되고 있는 물류창고에 제시한 운영 규칙을 적용하기에는 현실적으로 어려움이 많아 본 연구의 목적에 맞게 물류창고 규모를 축소하고 프로세스를 간략화한 가상의 물류창고를 대상으로 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 전용 언어인 ARENA Ver. 15.10으로 Fig. 3과 같이 모델링하고 실험을 수행하였다.

오더에는 품목과 수량 정보가 담겨 있으며, 오더가 접

수되면 피커가 할당된다. 피커는 할당받은 오더에 필요한 피킹용기 채킹 등의 준비 작업과 품목위치 찾기를 수행한다. 그 다음에는 품목위치로 이동하면서 품목을 꺼내어 검수/패킹 작업대에 피킹용기를 올려놓는다. 검수/패킹 작업자가 피킹용기에 대한 오류여부 검사 및 패킹 작업을 수행함으로써 피킹 프로세스가 완료된다. Fig. 3의 ARENA 모델에서 피커는 정해진 수만큼의 개체(Entity)로 생성되고, 오더는 도착시간 간격 분포에 따라 개체로 생성된다. 피커가 할당받은 오더를 처리하는 과정은 오더 개체와 피커 개체를 매치(Match)하여 임시적으로 개체 묶음(Batch)을 만든다. 그 후 개체묶음이 준비작업, 품목찾기, 이동, 품목 꺼내기의 시간을 보낸 후 피커 개체와 오더 개체는 원래 상태로 분리(Separate)된다. 분리된 오더 개체는 검수/패킹 작업대로 이동하고, 분리된 피커 개체는 다음 오더 개체를 할당받는다. 오더를 할당하는 과정은 오더 개체를 홀드(Hold)에 저장해두고 검색(Search)모듈에서 할당 알고리즘을 통해 오더를 선정한 후에 꺼냄(Remove) 모듈을 통해 선정된 오더 개체를 홀드에서 꺼낸다. 검수/패킹 과정에서 피킹 오류가 발견되면 검수/패킹 작업자가 오류정정 작업을 수행한다. 피킹용기 수는 랜덤(random)하게 발생하는 주문 수량을 기초로 피킹용기 수를 계산하는 과정이 지나치게 복잡하여 피킹용기 수가 랜덤하게 발생하는 것으로 모델링하였다.

시뮬레이션에 필요한 오더, 피커, 저장공간, 검수/패킹 작업대에 대한 입력 데이터는 Table 1과 같이 설정하였다. 이 데이터는 수작업과 기계화 작업이 혼재되어 있는 일반 물류창고 현장과 물류센터 피킹에 관한 기존 연구

에서 제시된 데이터를 참고하였다.

본 연구에서 제시한 할당규칙과의 성능비교 대안으로 FCFS(First-come first-Served)의 규칙을 채택하였다. 이는 오더를 피커에게 할당할 때 오더가 물류창고에 접수된 시간이 빠른 오더를 먼저 할당한다. 단일오더 피킹 정책 적용 시에 기존 연구에서 주로 채택하고 있는 방법이다. 평가지표는 평균 흐름시간(Flow time)과 평균 쓰루풋(Throughput)을 사용하였다. 평균 흐름시간은 한 건의 오더 피킹 처리에 걸리는 평균시간을 의미한다. 평균 쓰루풋은 주어진 시간당 오더 피킹의 평균 처리 건수를 의미한다.

실험 대안은 ‘현재의 FCFS 기반 규칙’과 ‘제안한 다속성 기반 규칙’ 두 가지이다. 제시한 알고리즘 상의 가중치는 $W_1 = 0.4$, $W_2 = 0.3$, $W_3 = 0.1$, $W_4 = 0.1$, $W_5 = 0.1$ 로 설정하였다. 파일럿(pilot) 시뮬레이션 실험을 통해 안정상태 도달시간을 확인하고, 피커와 검수/패킹 작업자의 수에 따라 한가해 지거나 바빠지게 되는 상황을 확인했다. 각 대안별 실험 결과치는 안정상태(steady-state)에서 10시간 운영하고 반복 실험을 수행하여 얻었다. 반복 실험 방법은 파일럿 시뮬레이션 결과를 이용하여 피커의 수를 3가지 수준, 검수/패킹 작업자 수를 3가지 수준으로 설정하였고, 각 수준에서 5회 실험의 데이터를 얻어 현재의 FCFS 규칙과 제안한 규칙에 대응한 (paired) 성능치 샘플을 총 45개(set) 얻었다. 각 수준별 5회 실험의 평균 쓰루풋과 평균 흐름시간은 Table 2와 같다.

통계패키지 MINITAB Ver. 18을 활용하여 통계분석을 실시하였다. 각 대안별 성능치 샘플의 평균에 대한 차이 여부를 확인하기 위해 쌍체 t 검정(paired t-test)을 실

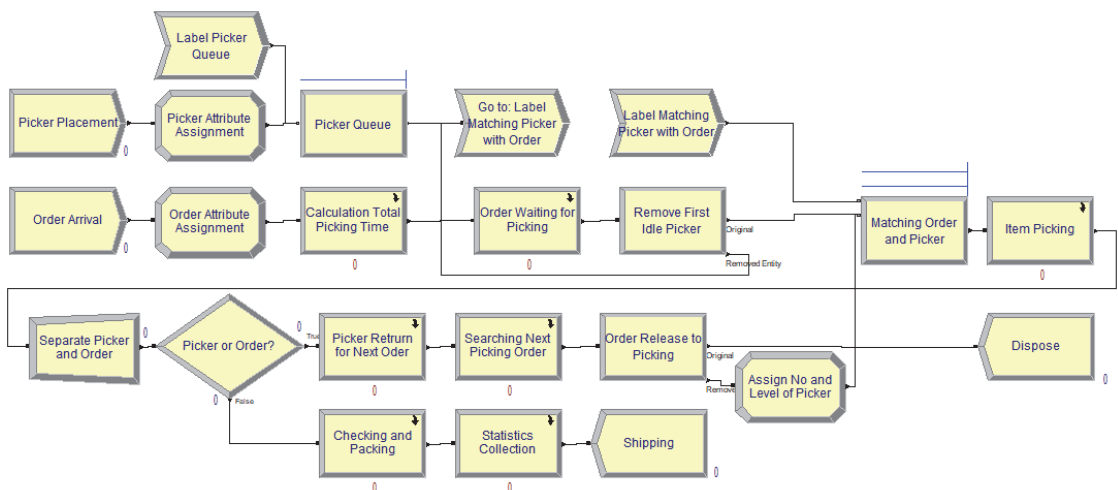


Fig. 3. ARENA simulation model for a virtual logistics warehouse

Table 1. Input data of the simulation model

Parameters for warehouse picking simulation	
Order	order arrival: Exponential(2)min, items per order: Disc(0.2,1, 0.4,2, 0.7,3, 1.0,4), number of containers: Disc(0.5,1,0.7,2,1.0,3), inspection station allocation: Disc(0.33,1,0.66,2,1.0,3), customer importance: G1 10%, G2 20%, G3 50%, G4 15%, G5 5%, Disc(0.1,1.0, 0.3,0.8, 0.8,0.6, 0.95,0.4, 1.0,0.2)
Picker	skill level of picker: Uniform(0,1)
Storage rack	picking setup time: Uniform(3,5)min, item search time: Uniform(1,5)min, travel time between items: Triangular(1,5,7)min, item picking time: Triangular(3,7,15)min, item picking difficulty: Uniform(0,1)
Inspection/packing	3 inspection/packing stations, 10 containers of station buffer, inspection time: Triangular(1,3,5)min, packing time: Triangular(3,7,10)min, error correction time: Triangular(5,15,30)min

Table 2. System throughput and flow time under varying the number of pickers and inspectors

		1 inspection/packing worker		2 inspection/packing workers		3 inspection/packing workers	
		FCFS	Proposed	FCFS	Proposed	FCFS	Proposed
10 pickers	Throughput	58.20	85.40	59.60	86.40	59.80	87.40
	Flow time	374.91	230.13	363.38	215.30	363.15	212.11
20 pickers	Throughput	83.00	93.00	113.00	144.40	114.60	147.40
	Flow time	340.68	263.84	309.12	207.45	306.31	194.83
40 pickers	Throughput	94.40	96.20	166.60	182.60	192.40	228.40
	Flow time	337.40	276.47	262.99	216.79	244.23	182.29

시하였다. $H_0 : \mu_{\text{현재}} = \mu_{\text{제안}}$, $H_1 : \mu_{\text{현재}} \neq \mu_{\text{제안}}$ 의 가설을 설정하였다. 여기서 $\mu_{\text{현재}}$, $\mu_{\text{제안}}$ 은 각각 현재의 FCFS 규칙과 제안된 규칙의 성능치 평균값이다.

평균 쓰루풋 성능치에 대한 쌍체 t 검정을 실시한 결과 유의수준 $\alpha = 0.05$ 에서 $t\text{-값} = -12.85$, $p\text{-값} = 0.000$ 을 얻어 현재 규칙과 제안된 규칙 간에 통계적으로 유의한 차이가 있음을 보였다. 또한 평균 흐름시간에 대한 쌍체 t 검정을 실시한 결과 유의수준 $\alpha = 0.05$ 에서 $t\text{-값} = 16.47$, $p\text{-값} = 0.000$ 을 얻어 현재 규칙과 제안된 규칙 간에 통계적으로 유의한 차이가 있음을 보였다. Table 2에서 보는 바와 같이 모든 실험 수준에서 제안된 규칙의 성능이 우수한 결과를 나타내고 있다. 피커 40명, 검수/패킹 작업자 3명의 실험 수준의 결과를 살펴보면, 평균 쓰루풋(Throughput)은 약 19% $((228.4 - 192.4) / 192.4 \times 100)$ 증가되고, 흐름시간(Flow time)은 약 25% 감소되었다.

4. 결론 및 향후 연구

본 연구에서는 물류창고 피킹프로세스에 있어서 싱글 오더피킹(Single order picking) 정책 하에서 오더를 피커에게 할당하는 방법을 제안하였다. 오더할당 시에 피킹

처리시간, 오더 접수후 경과 시간, 검수/패킹 작업대 상황, 피커 오류, 고객 중요도의 다섯 가지 속성을 동시에 고려하는 알고리즘을 제시하였으며, 시뮬레이션 실험을 통해 제안한 알고리즘이 피킹시스템 성능개선에 기여할 수 있음을 확인하였다.

제시한 할당규칙은 피킹시스템의 운영목표에 맞게 각 속성의 가중치를 조정할 수 있도록 설계되어 있다. 고객의 중요도가 우선적으로 고려되는 경우, 오더 접수순서가 우선 시 되는 경우, 피킹에러 감소를 우선시 하는 경우, 쓰루풋과 흐름시간을 우선 시 하는 경우로 나누어 가중치를 조정할 수 있다. 이는 기존연구에서 주로 다루었던 오더 접수순서로 할당하는 것을 포함하고 있으며 보다 유연한 할당 정책을 반영할 수 있다.

본 연구는 가상의 물류창고를 대상으로 한 이론적 연구라 현장에서의 일반화에 한계점을 가지고 있다. 실제 물류창고 현장을 접목시킨 추가 연구가 필요하다. 제시한 알고리즘 상의 각 속성별 긴급도를 보다 정교하게 설계하는 연구가 필요하다. 또한 보다 다양한 성능지표와 실험 인자에 대한 추가적인 시뮬레이션 연구가 요구된다. 피커 혼잡도에 의한 피킹시간 지체와 주문수량에 기초한 피킹용기 수 산정 방법에 대한 추가연구가 필요하다.

References

- Caron, F., Marchet, G. and Perego, A. (2000) "Layout design in manual picking systems: a simulation approach", *Integrated Manufacturing Systems*, 11, 94-104.
- Cho, S. Y., Chang H. Y. and Choe, K. I. (2011) "Ant Colony Optimization Heuristics and Graph Optimization Algorithms of an Aisle-Based Order Picking System", *Journal of the Korean Society of Supply Chain Management*, 11(2), 13-19.
- Jane, C. C. (2000) "Storage location assignment in a distribution center", *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 30(1), 55-71.
- Jane, C. C. and Laith, Y. W. (2005) "A clustering algorithm for item assignment in a synchronized zone order picking system", *European Journal of Operational Research*, 166, 489-496.
- Jarvis J. M., and Mcdowell E. D. (1991) "Optimal product layout in an order picking warehouse", *IIE Transactions*, 23(1), 93-102.
- Kim, K. H. (2009) *A Study on the Simulation for Optimal Layout Type in the Logistics Center*, Myongji University Doctoral Thesis.
- Kim, J. H. and Cho, S. W. (2001) "Developing an Order Picking Supporting System and Comparison of Picking Policies", *Journal of the Korean Institute of Plant Engineering*, 6(2), 109-129.
- Kim, G. G. (2018) *A study on the distribution standard of Order Picking Operation in warehouse*, Inha University Doctoral Thesis.
- Koo, P. H. (2008) "Application of Bucket brigades to Order Picking in Warehouses", *IE Interfaces*, 21(3), 333-342.
- Kunder R., and Gudehus T., (1975) "Average travel times for one-dimensional order picking", *Zeitschrift für Operations Research*, 19, 53-72.
- Le-Duc, T. and Koster, R. D. (2005) "Determining Number of Zones in a Pick-and-pack Order picking system", *Erasmus Research Institute of Management*.
- Li, J., Lee y. D. and Kim S. K. (2011) "An Evaluation of Routing Methods and the Golden Zone Effect in the Warehouse Order Picking System", *Journal of the Korea society for simulation*, 20(2), 67-76.
- Oh, D. C. (2018) "A Study on Efficiency Comparison between Order Picking and Batch Picking in Food Distribution Center", *Korea Logistics Review*, 28 (4), 21-33.
- Park, B. C. (2011) "Order Picking Performance : Strategies, Issues, and Measure", *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, 37(4), 271-278.
- Ratliff, H. D. and Rosenthal, A. D. (1983) "Order Picking in rectangular warehouse : a solvable case of the traveling salesman problem", *Operations Research*, 31, 507-521.
- Renaud, J. and Ruiz, A. (2008) "Improving Product Location and Order Picking Activities in a Distribution Center", *Journal of the Operational Research Society*, 59(12), 1603-1613.
- Tompkins, J. A., White, J. A., Bozer, Y. A., Frazelle, E. H. & Tanchoco, J. M. A. (2003) *Facilities Planning*, NJ: John Wiley & Sons.
- Yim, W. T. (2015) *A Simulation Study on Optimal Method for Book Distribution Center*, Myongji University Doctoral Thesis.
- You, K. C., Kang, K. S. and Rim, S. C. (2012) "Productivity comparison between DPS and DAS for optimal order picking system design of distribution centers", *Journal of the Korean Society of Supply Chain Management*, 12(2), 111-120.



김 대 범 (dbkim@kangnam.ac.kr)

1989 고려대학교 산업공학과 졸업(학사)
 1991 KAIST 산업공학과 졸업(석사)
 1995 KAIST 산업공학과 졸업(박사)
 1995~1999 삼성SDS(주) 책임연구원
 1999~현재 강남대학교 교수

관심분야 : 생산 및 물류시스템, 시뮬레이션, IT/IS