

# Comparative Analysis of Operation Policies for a Zone Picking System

Mi Lim Lee<sup>†</sup>

School of Business Administration, Hongik University

## 구역 피킹 시스템 운영 방안 비교 분석

이미림<sup>†</sup>

홍익대학교 경영학부

By the recent fast growth of e-commerce markets, it has been stimulated to study order picking systems to improve their efficiency in distribution centers. Many companies and researchers have been developed various types of order picking systems and pursued the corresponding optimal operation policies. However, the performances of the systems with the optimal policies often depend on the structures of the centers and the operation environments. Based on a simulation model that mimics a unique zone picking system operated by a real company in the Republic of Korea, this study compares several operation policies and finds the most appropriate order selection rule and worker assignment policy for the system. Under all scenarios considered in this study, simulation results show that it is recommendable to assign more efficient workers to the zones with heavier workload. It also shows that selecting the order with the maximum number of non-repeatedly visited zones from the order list provides the most consistent and stable performances with respect to flow time, makespan, and utilization of the system even under the scenario with the breakdown zones. On the other hand, selecting the order with the minimum ratio of penalty to the number of zones performs the worst in all scenarios considered.

**Keywords :** Zone Picking System, Simulation, Order Selection Rule, Worker Assignment Rule

### 1. 서 론

대한민국의 전자상거래 시장 규모는 2010년부터 10년간 연평균 19.7%의 성장률로 빠르게 성장해 왔다. 이렇게 급격히 증가하는 전자상거래 수요에 발 맞춰 대형 물류 플랫폼 사업자는 지속적인 물류 시스템 개선을 통해 주문 처리 효율을 높이고자 하였으며, 그 일환으로 전체 물류센터 운영비용 중 상당 부분을 차지하는 주문 피킹(Picking) 작업의 효율성 제고를 추구해 왔다[5, 10, 11].

주문 피킹은 각 주문에 맞는 제품을 물류센터에서 찾아 이를 출하하기까지의 과정에 해당하는 활동으로[12], 수작업을 기반으로 하는 경우가 많아 큰 비용과 노동이 집중되는 활동으로 간주된다[1, 4, 6, 17]. 이러한 주문 피킹 활동 방식은 크게 ‘Picker-to-parts’, ‘Parts-to-picker’, ‘Pick-and-sort’, ‘Pick-to-box’ 등으로 나뉠 수 있는데, 이 중 ‘Pick-and-sort’와 ‘Pick-to-box’ 두 가지 유형은 피킹 작업 시 컨베이어를 이용하는 방식이다[2, 3]. ‘Pick-to-box’ 방식은 작업자가 물류창고에서 주문된 물품들을 찾아 각 배송용 상자에 바로 옮겨 담는 형태로, 피킹 작업과 포장 작업이 함께 처리된다. ‘Pick-to-box’ 방식 중 흔히 사용되는 방식은 각 상자들이 컨베이어를 통해 물류창고의 세부 구역을 순차적으로 방문하고, 이후 각 구역 별로 세부 피킹 작업을 하는 순차적

구역 피킹 방식이다[7]. 이러한 방식은 여러 주문들을 모아 필요 물품들을 다량으로 한꺼번에 피킹한 후 하류에서 분류 및 포장하여 출하하는 ‘Pick-and-sort’ 방식에 비해 피킹 효율이 다소 낮을 수 있으나, 피킹 이후 물품들을 따로 분류할 필요가 없어 간편하다는 장점이 있고 비교적 다양한 현장에 쉽게 적용 가능하기 때문에 많은 물류센터에서 선택 및 운영되고 있다[13, 18]. 최근에는 각 구역을 한 번씩 차례로 방문하는 기존의 순차적 구역 피킹 시스템[15]에서 나아가, 상자의 이동 경로에서 불필요한 구역의 방문을 제외하는 구역 피킹 라인 시스템을 도입하거나, 상자의 경로에 따라 다양하게 변경할 수 있는 가상의 구역 피킹 네트워크 시스템이 연구되기도 하는데, 이렇게 상자 경로의 유연성을 강화한 구역 피킹 시스템은 일반적으로 기존의 순차적 구역 피킹 시스템보다 더 우수한 작업 성능을 보여준다고 알려져 있다[8, 14].

이러한 흐름에 따라 국내 한 물류회사는 기존의 순차적 구역 피킹 시스템 대비 상자의 경로를 보다 더 유연하게 조정할 수 있는 독자적인 피킹 시스템을 개발하였고, 본 연구에서는 이 회사의 구역 피킹 시스템을 본 판 시뮬레이션 모형을 통해 구역별 작업 부하와 작업자별 작업 능률이 서로 다른 상황에서 다양한 주문 선택 방식에 따른 시스템의 성능 차이를 분석함으로써 해당 물류센터의 최적 운영 방식에 대해 논하고자 한다.

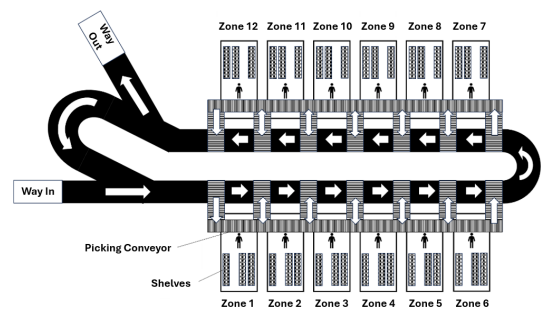
## 2. 연구 배경

### 2.1 구역 피킹 시스템

구현 대상으로 하는 구역 피킹 시스템은 특정 기업의 지역물류센터 내에서 실제 운영되고 있는 시스템으로, <Figure 1>과 같이 한 방향으로 순환하는 컨베이어를 통해 상자들을 운반하도록 설계되어 있으며, 상자가 물류센터의 각 세부 구역에 도달할 시 해당 구역 내에 위치한 주문 상품들이 상자에 채워지는 방식으로 운영된다. 컨베이어가 각 구역을 순차적으로 한 번씩만 방문한 후 작업이 종료되는 기존의 다른 구역 피킹 라인 시스템과는 다르게 컨베이어가 순환 구조로 이루어져 있어, 특정 구역의 작업 적체, 지연 등의 상황에서 필요에 따라 다른 구역의 피킹 작업을 먼저 수행한 후 한번 지나쳤던 구역으로 다시 돌아와 남은 피킹 작업을 수행하는 것이 가능하다는 점에 있어 독특한 차별성을 가진다.

전체 컨베이어는 크게 투입 컨베이어, 완료 컨베이어, 순환 컨베이어, 피킹 컨베이어, 변환 컨베이어로 구분된다. 투입 컨베이어는 상자를 최초로 순환 컨베이어에 올리기 위한 컨베이어이고, 완료 컨베이어는 모든 피킹 작업을

마친 상자를 시스템에서 내보내기 위한 컨베이어이다. 순환 컨베이어는 상자 투입부터 배출 전까지 상자가 올바르게 피킹 구역을 방문할 있도록 상자를 운송하는 메인 컨베이어이다. 피킹 컨베이어는 피킹구역 내에 위치하며, 작업자가 상자에 물품을 담는 동안 정지할 수 있는 컨베이어이다. 변환 컨베이어는 상자가 필요한 구역에 방문할 수 있도록 피킹 컨베이어와 순환 컨베이어를 이어주는 역할을 한다. 전체적으로 이 시스템의 프로세스는 크게 상자의 순환 컨베이어 진입, 피킹 구역 방문, 피킹 작업 완료 후 배출이라는 세 단계로 구분될 수 있다.



<Figure 1> Zone Picking System [16]

피킹 구역은 일정한 간격으로 설계되어 있으며, 각 구역 별로는 중복 없이 서로 다른 상품이 배치되어 있다. 피킹 구역은 작업자, 피킹 컨베이어, 상품 선반 3가지로 구성되는데, 세부 피킹을 담당하는 작업자는 구역 밖으로 이동하지 않고 구역 내에서만 작업을 실시한다. 작업자는 피킹 컨베이어로 들어온 개별 상자의 바코드를 읽어 Stock Keeping Unit Identification(SKU ID)라는 제품 고유 값들을 확인하고, 그에 맞는 제품을 선반에서 필요한 수량만큼 순차적으로 가져온다. 작업이 완료된 상자는 다음 단계로 이동하게 되는데, 만약 방문해야 할 피킹 구역이 남았다면 순환 컨베이어에 올라 다음 작업 가능 구역으로 이동하고, 주문된 모든 제품이 상자에 담겼다면, 완료 컨베이어로 이동하여 시스템을 벗어남으로써 해당 상자에 대한 피킹 작업을 종료하게 된다.

### 2.2 주문 정보

해당 시스템에서는 각 주문이 하나의 상자에 대응된다. 주문 정보는 ‘All Data’와 ‘Order Unique Data’ 파일들을 통해 확인할 수 있는데, 이들은 모두 같은 주문 목록 정보를 다루고 있지만 세부 데이터들의 나열 방식과 중점적으로 다루는 정보에 있어 차이를 보인다[16]. ‘All Data’ 파일에는 각 주문 별 필요 상품의 SKU ID들과 그들이 저장된 구역, 필요 수량, 주문 충족 여부 등이 상세히 기록되어

있으며, 'Order Unique Data' 파일에는 날짜, 각 주문 별로 방문하여야 하는 구역들, 각 구역에서 진행되어야 하는 피킹 작업의 수 등이 중점적으로 기록되어 있다.

### 3. 시뮬레이션

#### 3.1 시뮬레이션 모형

시뮬레이션 모형은 2장에서 소개한 실제 물류센터의 구역 피킹 시스템 및 관련 주문 정보, 제약사항 등을 기반으로 하여 설계되었다. Simio 소프트웨어를 통해 구현된 이 시뮬레이션 모형은 구현 대상 시스템인 <Figure 1>의 구조와 동일하게 총 12개의 피킹 구역으로 이루어져 있으며, 각 구역 별로 단일 작업자가 배치되어 피킹 작업을 수행한다. 'ALL Data'와 'Order Unique Data'는 <Figure 2>와 같이, SQL을 통해 해당 시뮬레이션 모형의 주문 정보로써 연동되었다.

실제와 비슷한 운영 환경을 갖추기 위해 피킹 구역별 상품 구성은 실제 현장과 동일하게 설정되었으며, 전체 컨베이어 위의 상자 수는 최대 60개로 제한되었다. 만약 60개의 상자가 이미 컨베이어 위에 올려져 있다면 다음 상자는 더 이상 시스템에 추가 투입되지 않고 대기하게 된다. 각 구역에서 피킹 작업을 진행하던 중 다른 상자가 해당 구역에 진입하면, 그러한 상자는 최대 4개까지 피킹 컨베이어에서 대기할 수 있다. 60개의 상자로 컨베이어가 가득 차지 않았을 때에도, 컨베이어 위 상자들 사이의 거리 간격은 최소 1.2m, 시간 간격은 최소 4.5초를 유지하도록 설정되었으며, 이는 상자들 간의 간섭을 막는 최소한의 조치이다.

#### 3.2 주문 선택 방식

시스템은 접수된 주문 목록 상에서 어떤 주문을 우선적으로 시스템에 투입하여 처리할지 선택하게 된다. 시뮬레이션을 통해 다루어질 각 시나리오에서의 최적 주문 선택 방식을 알아보기 위해서는 다양한 선택 방식이 고려될 필요가 있는데, 본 연구에서는 대상 피킹 시스템과 가장 유사하다고 생각되는 시스템을 연구한 Ho and Lin[8]의 문헌을 참고하여 아래 10가지 주문 선택 방식들을 반영하였다.

##### 3.2.1 무작위(RndSlct)

주문 목록에서 무작위로 주문을 선택한다.

##### 3.2.2 최소 페널티(MinP) 순

각 주문의 페널티를 계산하고, 가장 낮은 페널티를 가진 주문을 선택한다. 각 주문의 페널티는 해당 주문이 방문해야 하는 구역들의 페널티 합으로 계산되는데, 각 구역별 페널티의 값은 해당 구역을 방문해야 하는 현 시스템 내

주문 수와 같다. 즉, 주문 목록 상 구역1을 방문해야 하는 주문 수가 100개, 구역3을 방문해야 하는 주문 수가 50개 존재한다면, 구역1의 페널티 값은 100, 구역3의 페널티 값은 50이 되며, 구역1과 구역3만 방문하는 특정 주문의 페널티는 150이 되는 식이다.

##### 3.2.3 최소 증분 페널티(MinIP) 순

앞서 기술된 MinP 방식과 유사하나, 기존의 구역별 페널티 합 대신 각 구역별 '증분 페널티'의 합을 주문의 페널티로 고려하며, 낮은 페널티를 가진 주문부터 우선 선택한다. 구역별 증분 페널티는 1부터 구역 페널티 값까지의 자연수의 합으로 계산되는데, 만약 어떤 구역의 페널티 값이 3이라면 이 구역의 증분 페널티 값은  $1+2+3=6$ 이 된다.

##### 3.2.4 최소 반복방문구역 수(MinRepZ) 순

각 주문이 방문해야 하는 구역들 중 타 주문에 의해 반복 방문 되는 구역의 수를 계산한 후, 가장 낮은 반복방문 구역 수를 가진 주문부터 선택한다. 예를 들어, 어떤 주문이 1, 2, 5, 8 구역 방문을 요하고, 이 중 1, 2, 5 구역은 목록 내 다른 주문에 의해서도 방문이 되는 구역이라면, 이 주문의 반복방문구역 수는 3이 된다.

##### 3.2.5 최대 비반복방문구역 수(MaxNRepZ) 순

각 주문에 대해 비반복방문구역 수를 계산한 후, 최대 비반복방문구역 수를 가지는 주문을 우선적으로 선택한다. 주문 별 비반복방문 구역 수는 해당 주문이 방문해야 할 총 구역의 수에서 반복방문구역 수를 빼는 것으로 계산될 수 있다.

##### 3.2.6 최소 페널티/구역수 비율(MinPZR) 순

주문의 페널티를 해당 주문이 방문해야 할 총 구역 수로 나눈 비율을 계산하고 가장 낮은 비율을 가진 주문부터 선택한다.

##### 3.2.7 최소 페널티/피킹시간 비율(MinPTR) 순

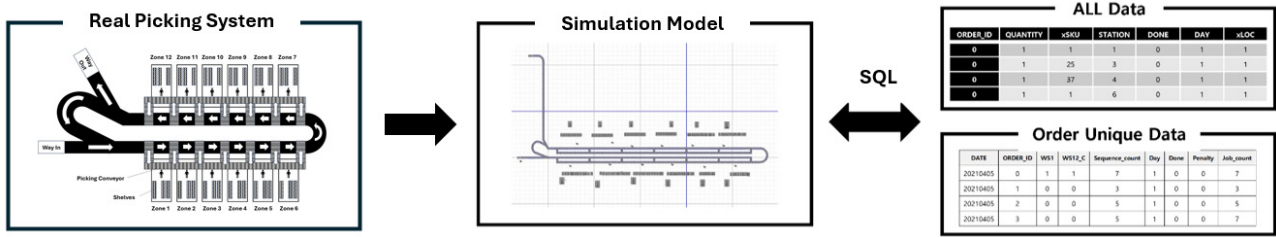
주문의 페널티를 총 예상 피킹 시간으로 나눈 비율을 계산하고, 가장 낮은 비율을 가진 주문부터 선택한다. 이때, 총 예상 피킹 시간은 주문 상품의 수에 사실상 비례한다.

##### 3.2.8 최소 증분페널티/구역수 비율(MinIPZR) 순

주문의 증분페널티를 해당 주문이 방문해야 할 총 구역 수로 나눈 비율을 계산하고, 가장 낮은 비율을 가진 주문부터 선택한다.

##### 3.2.9 최소 증분페널티/피킹시간 비율(MinIPTR) 순

주문의 증분페널티를 주문의 총 예상 피킹 시간으로 나눈



<Figure 2> Simulation Model and Data.

비율을 계산하고, 가장 낮은 비율을 가진 주문부터 선택한다.

3.2.10 최소 피킹시간/구역수 비율(MinTZR) 순

각 주문의 총 예상 피킹 시간을 해당 주문이 방문해야 할 총 구역 수로 나눈 비율을 계산하고, 가장 낮은 비율을 가진 주문부터 선택한다.

3.3 작업자 배치 방식

구역별 작업 부하와 피킹 작업자들의 작업능력(시간 당 피킹 수)이 다른 상황에서, 각 구역 별 작업자를 정하는 작업자 배치 방식에 따라 시스템의 주문 처리 성능에 어떠한 차이가 생기는지 살펴보기 위해, 다음의 세 가지 배치 방식을 우선 고려하였다. 이는 (1) 능률이 높은 작업자일 수록 작업량이 더 많은 구역에 배치하는 경우, (2) 능률이 높은 작업자일수록 작업량이 더 적은 구역에 배치하는 경우, (3) 모든 구역에 능률이 동일한 작업자를 배치한 경우 (로봇에 의한 피킹 혹은 타 배치방식과의 비교를 염두에 둔 가상의 방식)로, 이후부터는 이들 각각을 매칭 방식, 역매칭 방식, 동일배치 방식으로 지칭한다.

3.4 성능 지표

시뮬레이션을 통해 도출하는, 피킹 시스템의 성능 지표로는 주문 당 소요시간, 총 소요시간, 자원 가동률 세가지를 고려하였다.

주문 당 소요시간(Flow Time)은 하나의 상자가 시스템 내에 머문 시간의 평균 값이다. 각 상자가 해당 시스템에 투입되어 배출될 때까지의 시간은 분 단위로 기록되며, 이를 모든 상자에 대해 합산한 후 전체 상자의 수로 나누어 계산한다.

총 소요시간(Makespan)은 첫 상자를 시스템에 투입한 후 주문 목록 상의 모든 주문에 대한 피킹 작업을 완료할 때까지 걸린 총 시간을 시간 단위로 도출하였다.

자원 가동률(Utilization)은 자원의 사용 효율을 대변하는 지표이다. 본 연구에서는 총 소요시간(Makespan) 대비 각 구역의 순수 피킹 작업 시간의 비율을 각 구역 별 가동률로 정의하고, 이후 구역별 가동률의 평균값을 시스템 성능 지

표 중 하나로써 도출하였다.

일반적으로 주문 당 소요시간과 총 소요시간의 값은 낮을수록, 자원 가동률의 값은 높을수록, 보다 효율적이고 우수한 시스템이라 할 수 있다.

3.5 시나리오 설정

다양한 운영 상황을 고려하기 위해 다음의 두 가지 시나리오가 실험에 반영되었다. 우선, 시뮬레이션 상의 시스템과 작업자가 특별한 이상 없이 언제나 작업이 가능하다고 가정된 경우를 기본 시나리오로 설정하였다. 이에 반해, 작업자의 부재 혹은 기계의 고장 등으로 인한 작업 불능 상태를 일부 고려하기 위해 고장 시나리오 역시 구상되었다. 실제 운영상황에서는 고장의 양상이 매우 다양할 수 있겠으나, 본 연구에서는 작업 시작 후 3시간이 경과하였을 때, 작업 부하가 가장 큰 구역과 변동성이 가장 큰 구역(가동률이 가장 높은 구역과 가동률의 표준편차가 가장 큰 구역)들이 동시에 1시간 동안 작업이 불가해지는 단순 상황을 가정하였으며, 이를 고장 시나리오로 지칭한다.

기타 별도로 언급되지 않은 실험 환경 변수들에 대해서는 비슷한 실험 환경을 갖춘 Kim et al.[9]의 설정들을 참조하였다.

4. 실험 결과 및 분석

각 시나리오에 따른 시뮬레이션 결과는 <Table 1>부터 <Table 6>까지의 표 안에 정리되어 있다.

<Table 1>, <Table 2>, <Table 3>은 각각 고장이 없는 기본 시나리오 상에서의 작업자 배치 방식과 주문선택 방식 조합에 따른 주문 당 소요시간, 총 소요시간, 자원 가동률 성능 결과치를 보여주고 있다. 이를 이용하여 각 성능치에 대한 이원분산분석을 실시한 결과, <Table 7>과 같이 5% 유의수준에서 작업자 배치 방식과 주문 선택 방식이 각 성능치에 영향을 미치지 못한다는 귀무가설이 모두 기각되었으며, 작업자 배치 방식과 주문 선택 방식에 따라 시스템의 성능치가 유의미하게 달라질 수 있음을 확인하였다.

다만, <Table 1>, <Table 2>, <Table 3>의 각 표 안의 성능치들의 차이를 살펴보면, 작업자 배치 방식에 의한 차이보다는 주문 선택 방식에 따른 성능 변화가 더 뚜렷함을 알 수 있다. 또한, 대체로 하나의 성능치 면에서 좋은 결과를 낸 작업자 배치 방식 혹은 주문 선택 방식은 다른 성능치 면에서도 역시 좋은 결과를 보여주고 있음을 알 수 있

는데, 이는 고려된 시스템 성능치들 사이에 연관관계가 존재하기 때문인 것으로 파악된다.

구체적으로, 작업자 배치 방식 중에서는 능률이 높은 작업자를 더 많은 작업이 필요한 구역에 배치하는 매칭 배치 방식이 모든 고려 상황 하에서 타 배치 방식 대비 가장 우수한 성능을 보였다. 한편, 주문 선택 방식 중에서는 무

<Table 1> Flow Time under the Basic Scenario

	Matching	Reversed Matching	Identical
RndSlct	5.9715	6.4012	6.1240
MaxNRepZ	5.9753	6.4584	6.1278
MinP	6.2158	6.4663	6.2175
MinIP	6.2726	6.5645	6.3852
MinIPTR	6.3264	7.7742	6.4308
MinIPZR	6.6750	7.0314	6.9134
MinPTR	7.1094	7.7605	7.3073
MinRepZ	7.3600	7.9724	7.3218
MinTZR	7.0507	8.4751	7.7575
MinPZR	8.2868	10.3269	8.8916

<Table 4> Flow Time under the Breakdown Scenario

	Matching	Reversed Matching	Identical
RndSlct	6.5620	7.1484	6.7169
MaxNRepZ	6.5301	7.1411	6.7268
MinP	6.4318	7.0798	6.4700
MinIP	6.5635	7.0461	6.6036
MinIPTR	6.5820	7.2039	6.7221
MinIPZR	7.0093	7.1792	7.1078
MinPTR	7.6245	8.1936	7.3440
MinRepZ	7.7688	8.561	7.9067
MinTZR	7.8184	10.8995	7.9944
MinPZR	9.2507	13.7537	11.5422

<Table 2> Makespan under the Basic Scenario

	Matching	Reversed Matching	Identical
RndSlct	9.2479	9.9367	9.4688
MaxNRepZ	9.2390	10.0030	9.4602
MinP	9.6889	10.0464	9.6402
MinIP	9.7718	10.1897	9.9124
MinIPTR	9.8235	10.5105	10.7082
MinIPZR	10.3623	10.9013	10.7082
MinPTR	11.0023	12.0493	11.3295
MinRepZ	11.3996	12.4533	11.3594
MinTZR	10.9448	13.3121	12.0635
MinPZR	12.9387	16.1107	13.8198

<Table 5> Makespan under the Breakdown Scenario

	Matching	Reversed Matching	Identical
RndSlct	10.1237	11.0538	10.3624
MaxNRepZ	10.0568	11.0301	10.3551
MinP	9.9955	11.0265	10.0112
MinIP	10.2329	10.9933	10.2382
MinIPTR	10.1882	11.1786	10.4417
MinIPZR	10.827	11.1265	11.0078
MinPTR	11.23	12.7482	11.3636
MinRepZ	12.0391	13.3279	12.2644
MinTZR	12.1687	17.0549	12.4433
MinPZR	14.3949	21.4102	17.9368

<Table 3> Utilization under the Basic Scenario

	Matching	Reversed Matching	Identical
RndSlct	0.6599	0.6370	0.6599
MaxNRepZ	0.6606	0.6328	0.6605
MinP	0.6299	0.6300	0.6482
MinIP	0.6246	0.6212	0.6304
MinIPTR	0.6213	0.6022	0.6269
MinIPZR	0.5890	0.5806	0.5836
MinPTR	0.5547	0.5253	0.5516
MinRepZ	0.5354	0.5083	0.5501
MinTZR	0.5576	0.4755	0.5180
MinPZR	0.4717	0.3929	0.4522

<Table 6> Utilization under the Breakdown Scenario

	Matching	Reversed Matching	Identical
RndSlct	0.6192	0.5877	0.6191
MaxNRepZ	0.6234	0.5889	0.6196
MinP	0.6273	0.5892	0.6408
MinIP	0.6127	0.5909	0.6266
MinIPTR	0.6154	0.5811	0.6144
MinIPZR	0.5791	0.5839	0.5828
MinPTR	0.5583	0.5096	0.5646
MinRepZ	0.5208	0.4874	0.5231
MinTZR	0.5152	0.3809	0.5151
MinPZR	0.4355	0.3029	0.3577

작위(RndSlct) 선택방식이 주문 당 소요시간 면에서, 최대 비반복방문구역 수(MaxNRepZ) 순으로 주문을 선택하는 방식이 총 소요시간과 자원가동률 면에서 가장 우수한 성능을 보였다. 이에 반해, 능률이 높은 작업자를 작업 부하가 낮은 구역에 배치하는 역매칭 배치 방식과 최소 페널티/구역수 비율(MinPZR) 순으로 주문을 처리하는 주문 선택 방식은 모든 면에서 가장 부족한 성능을 보여주었으며, 특히 이 두 방식이 조합된 경우, 다른 조합에 비해 시스템 성능이 현저히 떨어지는 것으로 분석된다.

이는 비슷한 주문 선택 방식들을 고려한 후, 총 소요시간 면에서 최소 페널티/피킹시간 비율(MinPTR) 순 주문선택방식을 최선으로, 무작위(RndSlct) 주문 선택 방식을 최악으로 꼽았던 Ho and Lin[8]의 연구결과와는 매우 상이한 결과로, 고려하는 대상 시스템, 운영 상황 등의 차이에 따라 가장 적합한 주문 선택 방식이 크게 다를 수 있음을 시사한다.

<Table 4>, <Table 5>, <Table 6>은 각각 고장 시나리오 상에서의 작업자 배치 방식과 주문선택 방식 조합에 따른 주문 당 소요시간, 총 소요시간, 자원 가동률 성능 결과치를 보여주고 있다. 고장 시나리오에서는 두 개의 구역이 작업을 1시간 동안 멈추었기 때문에 전체적으로 기본 시나리오에 비해 주문 당 소요시간과 총 소요시간은 증가하고 자원 가동률은 낮아진 것을 확인할 수 있다.

이 결과를 이용하여 역시 <Table 8>과 같이 각각의 성능치에 대한 이원분산분석을 실시한 결과, 기본 시나리오

에서와 마찬가지로 5% 유의수준에서 작업자 배치 방식과 주문 선택 방식이 각 성능치에 영향을 미치지 못한다는 귀무가설이 모두 기각되었으며, 작업자 배치 방식과 주문 선택 방식에 따라 시스템의 성능치가 달라질 수 있음을 재확인하였다. 또한, 작업자 배치 방식에 의한 성능 차이 보다는 주문 선택 방식에 의한 성능차이가 더 뚜렷하게 나타난다는 점, 하나의 성능치에서 좋은 결과를 보여준 운영 방식이 다른 성능치 면에서도 우수한 결과를 보인다는 점, 매칭 배치 방식이 다른 작업자 배치 방식에 비해 모든 면에서 더 우수한 성능을 보인다는 점 역시 기본 시나리오의 결과와 비슷하였다.

다만 주문 선택 방식에 있어서는 기본 시나리오에서의 결과와 차이를 보였는데, 무작위(RndSlct)와 최대 비반복방문구역 수(MaxNRepZ) 순 주문 선택 방식이 가장 우수한 성능들을 보여주었던 기본 시나리오와는 다르게, 매칭 배치 방식을 사용한 경우에는 최소 페널티(MinP) 순, 그리고 최대 비반복방문구역 수(MaxNRepZ) 순의 주문 선택 방식이 차례로 가장 좋은 결과를 보였으며, 그 외의 작업자 배치 방식에서는 최소 증분 페널티(MinIP) 순 주문 선택 방식 또한 때에 따라 가장 우수한 결과를 보여주었다. 이는, 고장 시나리오에서 필연적으로 발생하게 되는 두 구역에서의 작업 적체와 병목 현상을 해소하는데, 최소 페널티 혹은 증분 페널티 순 주문 선택방식이 도움이 되는 것으로 볼 수 있다.

역매칭 작업자 배치 방식과 최소 페널티/구역수 비율(MinPZR) 순 주문 선택 방식의 조합은 기본시나리오에서

<Table 7> ANOVA under the Basic Scenario

Flowtime

Source	Sum of Square	df	Meam Square	F	p-value
Worker Assignment Rule	3.396505011	2	1.698252505	15.47789114	0.000122805
Order Selection Rule	23.80754529	9	2.64528281	24.10913527	0.000000029
Error	1.974981269	18	0.109721182		
Total	29.17903157	29			

Makespan

Source	Sum of Square	df	Meam Square	F	p-value
Worker Assignment Rule	6.487197893	2	3.243598946	13.96857229	0.000217759
Order Selection Rule	61.09620284	9	6.788466982	29.23456116	0.000000006
Error	4.179724301	18	0.232206906		
Total	71.76312503	29			

Utilization

Source	Sum of Square	df	Meam Square	F	p-value
Worker Assignment Rule	0.005527982	2	0.002763991	12.03637197	0.000480225
Order Selection Rule	0.133275263	9	0.014808363	64.4860855	0.000000000
Error	0.004133458	18	0.000229637		
Total	0.142936703	29			

<Table 8> ANOVA under the Breakdown Scenario

Flowtime

Source	Sum of Square	df	Meam Square	F	p-value
Worker Assignment Rule	7.894234995	2	3.947117497	7.118508056	0.005275444
Order Selection Rule	62.60652951	9	6.956281057	12.54544431	0.000004488
Error	9.980759225	18	0.554486624		
Total	80.48152373	29			

Makespan

Source	Sum of Square	df	Meam Square	F	p-value
Worker Assignment Rule	20.85057999	2	10.42529	7.881219337	0.003479752
Order Selection Rule	154.169042	9	17.12989356	12.94970676	0.000003554
Error	23.81042982	18	1.322801657		
Total	198.8300518	29			

Utilization

Source	Sum of Square	df	Meam Square	F	p-value
Worker Assignment Rule	0.015635822	2	0.007817911	11.63055452	0.000572248
Order Selection Rule	0.184088719	9	0.020454302	30.42946837	0.000000004
Error	0.012099371	18	0.000672187		
Total	0.211823912	29			

뿐만 아니라 고장시나리오 상에서도 최악의 성능 지표를 제공하며, 특히 기본 시나리오가 아닌 고장 시나리오로의 변화 시, 여타 조합들에 비해 더욱 큰 폭의 시스템 성능 저하를 일으키는 것으로 나타났다.

<Table 1>부터 <Table 6>까지의 모든 표 안에서, 무작위(RndSlct), 최대 비반복방문구역 수(MaxNRepZ) 순, 최소 페널티(MinP) 순, 최소 증분 페널티(MinIP) 순 주문 선택 방식들이 대체로 좋은 성능 결과를 도출하였으며 그 수치의 차이가 크지 않았던 것에 비해, 최소 페널티/구역 수 비율(MinPZR) 순 주문 선택 방식은 다른 방식들과 뚜렷이 구분되는 현격한 성능 열화를 초래하므로, (고려된 주문 선택 방식들 중에서는) 우수한 주문 선택 방식을 고르는 것에 대한 효용보다 열등한 주문 선택 방식을 피하는 것의 효용이 더 크다고도 볼 수 있다.

다양한 결과들을 고려하였을 때, 기본 시나리오처럼 각 구역에서 원활히 작업이 이루어지는 상황 하에서는 매칭 방식의 작업자 배치와 함께 무작위(RndSlct) 또는 최대 비반복방문구역 수(MaxNRepZ) 순 주문 선택 방식이 추천되며, 특정 구역들 내 심각한 작업 적체 발생 시에는 (역시 매칭 방식의 작업자 배치와 함께) 최소 페널티(MinP) 순, 최대 비반복방문구역 수(MaxNRepZ) 순 주문 선택 방식이 추천될 수 있겠다. 만약 기본 시나리오와 고장 시나리오 같은 상황이 때에 따라 번갈아 발생할 수 있는 상황이라면, 두 시나리오 모두에서 안정적으로 좋은 성능을 보여준 최대 비반복방문구역 수(MaxNRepZ) 순 주문 선택 방식을 선택하는 것이 합리적일 것으로 보인다.

### 5. 결론 및 정리

본 연구는 국내 한 물류업체의 독특한 구역 피킹 시스템을 본 뜬 시뮬레이션 모형을 구축하고, 이를 통해 다양한 상황 하에서의 여러 작업자 배치 방식과 주문 선택 방식 조합에 따른 해당 시스템의 성능을 평가하였다. 그 결과, 작업자의 배치 방식과 주문 선택 방식 모두가 시스템의 주문 처리 성능에 유의미한 영향을 미친다는 것을 확인하였으며, 구체적으로는 작업속도가 빠른 작업자일수록 작업량이 많은 구역에 매칭하는 작업자 배치 방식과 주문 목록 상에서 최대 비반복방문구역 수(MaxNRepZ)를 가진 주문을 우선 선택하는 방식이 다른 방식들에 비해 보다 안정적으로 우수한 성능을 보임을 확인할 수 있었다.

또한 해당 시스템에서는 대체로 작업자 배치 방식에 의한 성능 차이 보다는 주문 선택 방식에 의한 성능차이가 더 뚜렷하게 나타난다는 점, 하나의 성능치에서 좋은 결과를 보여준 운영 방식은 대체로 함께 고려된 다른 성능치 면에서도 우수한 결과를 보인다는 점, 우수한 주문 선택 방식을 고르는 것에 대한 효용보다 열등한 주문 선택 방식을 피하는 것의 효용이 더 클 수 있다는 점을 밝혔다.

본 연구에서는 문제 상황으로써 열두 개의 피킹 구역 중 두 구역이 일정시간 정지하는 단순 고장 시나리오를 가정하였으나, 보다 다양한 타 고장 상황을 가정하여 실험하였을 때에도 최적 주문 선택 방식 및 작업자 배치 방식에 대한 결론은 대동소이하았음을 언급해 둔다.

구역별 상품 구성은 실제 현장과 동일하게 설정되어 구

역별 작업 부하의 차이는 이번 연구의 대상 범위에 두지 않았으나, 병목현상의 해소가 시스템의 주문 처리 성능 향상과 연계되어 있는 만큼, 실제 주문이 특정 구역에 집중되지 않도록 하는 유연한 상품 배치 방식을 추후 후속 연구로써 고려해 볼 수 있겠다.

## Acknowledgement

This study was partially supported by 2021 Hongik University Research Fund.

## References

- [1] Coyle, J.J., Bardi, E.J., and Langley Jr., C.J., *The Management of Business Logistics: A Supply Chain Perspective*, 7th ed. South-Western/Thomson Learning: Mason, 2003.
- [2] Dallari, F., Marchet, G., and Melacini, M., Design of Order Picking System, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2009, Vol. 42, pp. 1-12.
- [3] De Koster, R., Le-Duc, T., and Roodbergen, K.J., Design and Control of Warehouse Order Picking: a Literature Review, *European Journal of Operational Research*, 2007, Vol. 182, No. 2, pp. 481-501.
- [4] Drury, J., *Towards More Efficient Order Picking*, IMM Monograph No. 1. Report, The Institute of Materials Management, Cranfield, UK, 1988.
- [5] Eisenstein, D.D., Analysis and Optimal Design of Discrete Order Picking Technologies along a Line, *Naval Research Logistics*, 2008, Vol. 55, No. 4, pp. 350-362.
- [6] Frazelle, E.H., *World-Class Warehousing*, Logistics Resources International Inc.: Atlanta, 1996.
- [7] Frazelle, E.H. and Apple, J.M., Warehouse Operations, Tompkins, J.A. and Harmelink, D.A. Ed., *The Distribution Management Handbook*, McGraw-Hill: New York, 1994.
- [8] Ho, Y.C. and Lin, J.W., Improving Order-Picking Performance by Converting a Sequential Zone-picking Line into a Zone-Picking Network, *Computer and Industrial Engineering*, 2017, Vol. 113, pp. 241-255.
- [9] Kim, S., Kim, H., Park, C., Jeong, J., Yang, H., and Kong, S., Optimal Computing Budget Allocation for Operations of a Zone-Picking System, *International Journal of Simulation Modelling*, 2024, Vol. 23, No. 2, to be printed.
- [10] Kim, T.H. and Song, S.H., A Study on Optimization of Picking Facilities for e-Commerce, *The Journal of Society for e-Business Studies*, 2021, Vol. 26, No. 1, pp. 67-78.
- [11] Lerher, T., Borovinsek, M., Ficko, M., and Palcic, I., Parametric Study of Throughput Performance in SBS/RS Based on Simulation, *International Journal of Simulation Modelling*, 2017, Vol. 16, No. 1, pp. 96-107.
- [12] Park, B.C., *Order Picking: Issues, Systems and Models*, Manzini, R. ed. Warehousing in the Global Supply Chain: Advanced Models, Tools and Applications for Storage Systems, Springer-Verlag: London, 2012. pp. 1-30.
- [13] Parikh, P.J. and Meller, R.D., Selecting between Batch and Zone Order Picking Strategies in a Distribution Center, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 2008, Vol. 44, No. 5, pp. 696-719.
- [14] Petersen, C.G., An Evaluation of Order Picking Routeing Policies, *International Journal of Operations and Production Management*, 1997, Vol. 17, No. 11, pp. 1098-1111.
- [15] Petersen, C.G., An Evaluation of Order Picking Policies for Mail Order Companies, *Production and Operations Management*, 2000, Vol. 9, No. 4, pp. 319-335.
- [16] Ryu, J., Park, Y., and Ha, S., Comparative Study of Order Selection Rules based on Worker Efficiency and Assigned Workloads, Technical report, Seoul, Korea: Hanyang University, 2023.
- [17] Tompkins, J.A., White, J.A., Bozer, Y.A., and Tanchoco, J.M.A., *Facilities Planning*, John Wiley & Sons, 2010.
- [18] Van Der Gaast, J.P., De Koster, R.B., Adan, I.J., and Resing, J.A., Capacity Analysis of Sequential Zone Picking Systems, *Operations Research*, 2020, Vol. 68, No. 1, pp. 161-179.

## ORCID

Mi Lim Lee | <https://orcid.org/0000-0001-6646-9619>