

시뮬레이션 기반 풀필먼트센터 최적 AGV 및 AMR 운영 계획 수립*

Optimal Operational Plan of AGV and AMR in Fulfillment Centers using Simulation

최준혁¹, 신광섭^{2*}

인천대학교 동북아물류대학원, 석사과정¹, 인천대학교 동북아물류대학원, 교수²

요약

최근 4차산업 혁명 기술의 성장과 코로나바이러스 확산으로 인해 모바일 중심의 온라인 쇼핑 시장이 급격하게 성장하게 되었으며, 다양한 차별화 전략을 앞세운 많은 기업들이 치열하게 경쟁하고 있다. 보다 높은 수준의 배송서비스를 요구하는 고객들을 만족시키기 위해 풀필먼트센터라는 개념이 등장하였고, 이를 통해 기존 주문 이후 집하에서 배송까지 수행되던 프로세스의 전체 처리 시간과 효율성을 개선할 수 있게 되었다. 그러나, 여전히 풀필먼트센터 내에서의 작업 효율성이 전체 배송 서비스의 수준을 결정하는 제약요인으로 작용하고 있다. 이를 해결하기 위해 빅데이터, 사물인터넷 및 인공지능을 활용한 수요 예측과 공급의 조정 등과 같은 다양한 방법이 제시되고 있으나, 그 한계가 분명히 존재한다. 풀필먼트센터 내 가장 많은 작업 시간과 비효율성을 초래하는 과정이 주문된 상품의 집하 작업 이후 배송을 위한 포장까지이므로, 이 과정을 자동화하기 위한 노력이 필요하다. 본 연구에서는 상품이 보관되어 있는 위치에서 포장을 위한 장소로의 집하와 상품 이동을 자동화하기 위한 AGV와 AMR의 효율적 운영을 위한 계획을 수립하기 위한 방안을 제시한다. 풀필먼트센터 내 보관된 상품의 수, 상품별 수요에 따라 투입되는 자동화 장비의 운영 효율성이 달라질 수 있기 때문에 다양한 시나리오를 기반으로 시뮬레이션을 수행하였다. 본 연구를 통해 얻은 결과를 바탕으로 풀필먼트센터 내 자동화 장비 도입 시 검토해야 할 다양한 요인을 확인할 수 있으며, 급변하는 시장 수요에 유연하게 대응하기 위해 효율성을 기준으로 최적 의사결정을 위한 참고자료로 활용할 수 있을 것이다.

■ 중심어 : 풀필먼트센터, 자동화, 용량 산정, 시뮬레이션

Abstract

Current development of technologies related to 4th industrial revolution and the pandemic of COVID-19 lead the rapid expansion of e-marketplace. The level of competition among several companies gets increased by introducing different strategies. To cope with the current change in the market and satisfy the customers who request the better delivery service, the new concept, fulfillment, has been introduced. It makes the leadtime of process from order picking to delivery reduced and the efficiency improved. Still, the efficiency of operation in fulfillment centers constrains the service level of the entire delivery process. In order to solve this problem, several different approaches for demand forecasting and coordinating supplies using Bigdata, IoT and AI, which there exists the trivial limitations. Because it requires the most lead time for operation and leads the inefficiency the process from picking to packing the ordered

2021년 11월 25일 접수; 2021년 12월 08일 수정본 접수; 2021년 12월 20일 게재 확정.

* 본 연구 논문은 해양수산부 2021년도 해운항만물류 전문인력양성사업 지원에 의하여 연구되었음.

† 교신저자 (ksshin@inu.ac.kr)

items, the logistics service providers should try to automate this procedure. In this research, it has been proposed to develop the efficient plans to automate the process to move the ordered items from the location where it stores to stage for packing using AGV and AMR. The efficiency of automated devices depends on the number of items and total number of devices based on the demand. Therefore, the result of simulation based on several different scenarios has been analyzed. From the result of simulation, it is possible to identify the several factors which should be concerned for introducing the automated devices in the fulfillment centers. Also, it can be referred to make the optimal decisions based on the efficiency metrics.

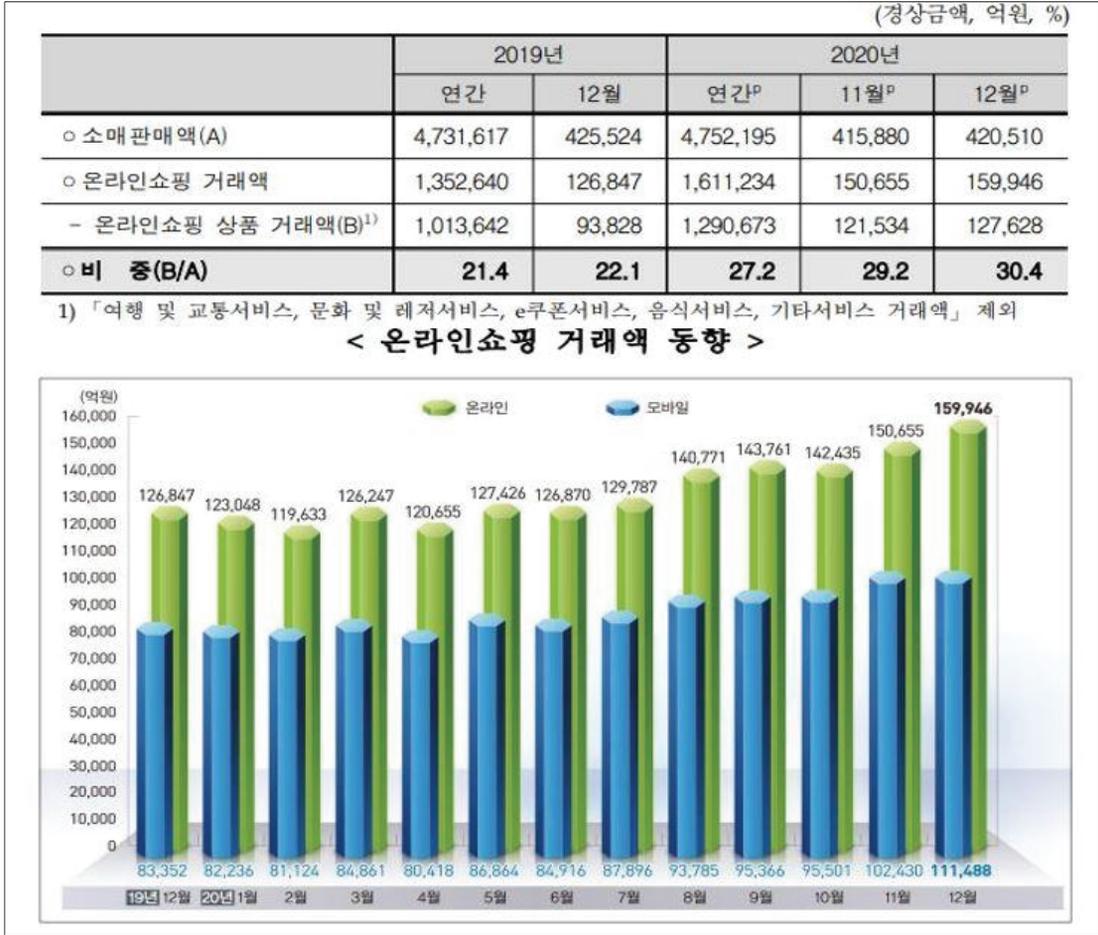
■ Keyword : Fulfillment Center, Automation, Capacity Planning, Simulation

I. 서론

최근 4차산업 혁명 기술의 성장과 코로나바이러스 확산으로 인해 모바일 중심의 온라인 쇼핑 시장이 급격하게 성장하게 되었으며, 다양한 차별화 전략을 앞세운 많은 기업들이 치열하게 경쟁하고 있다. 코로나가 시작된 2020년 2월 소비가 위축되면서 전체 소매판매액은 감소하는 모습을 보였으나 온라인 쇼핑을 이용한 거래액은 기존 수준을 꾸준히 유지하는 모습을 보였다. 신종 코로나바이러스 감염증의 상황이 심각하게 확산함에 따라 사회적 거리 두기가 지속하면서 오프라인 쇼핑 및 외식에 제한을 받고 가정에서 보내는 시간이 많아졌다. 이에 식품, 생활용품 등의 거래가 증가하면서 전체적인 온라인 쇼핑의 거래량이 증가했다.

아래 <그림 1>은 그래프는 통계청에서 발표한 온라인 쇼핑물 거래액 변화 추이다. 2020년 전체 온라인 쇼핑물 거래액은 161조 원 규모로, 4분기 기준 거래액은 45.3억 원이다. 이는 전년 동기 대비 약 7.9억 원(121%) 증가한 수치이다. 온라인 쇼핑물의 거래액 비중은 2017년 당시에는 65~67%가량을 차지했는데, 2020년 이후 코로나 19의 영향으로 온라인 쇼핑물 거래량의 비중이 큰 폭으로 증가했다. 따라서 2020년 4분기에는 33.4억 원으로, 전체의 74%에 해당할 정도로 높게 나타났다.

2020년도 12월 기준 온라인 쇼핑물의 총 거래 규모는 15조 9,946억 원으로 전년 같은 달 대비 3조 3,100억 원 총 26.1% 증가하였다. 사회적거리두기 강화로 인해 배달음식, 간편조리식, 식재료 등의 거래가 증가했고 가정 내 생활이 늘어남에 따라 생활 주방 가전과 휴대폰 판매에도 증가하는 모습을 보였다. 모바일 쇼핑도 마찬가지로 11조 1,148억 원으로 전년동월대비 33.8%나 증가한 것을 알 수 있다. 코로나바이러스로 인해 이전과는 다른 소비패턴이 온라인 쇼핑 이용에 반영되어 나타남을 확인할 수 있었으며 비대면 소비 추세에 맞추어 다양한 기업에서 이에 걸맞은 온라인 쇼핑에 특화된 서비스 및 판매전략을 내세우고 있다 [7]. 향후 AR/VR, 생체 보안, 홀로그램 등 다양한 ICT 기술과 결합하여 온라인 쇼핑 시장은 더 다양한 산업으로 확대될 것으로 기대된다. 국내 소매시장에서 온라인 쇼핑이 폭발적으로 성장하면서 자연스럽게 택배 시장의 규모도 함께 성장했다. 2020년 기준 국내 택배 물동량은 전년보다 21% 늘어난 33억 7,367만 상자로 사상 처음으로 30억을 넘어섰으며 [6-9], 그 중 70%는 모바일 기반 거래가 차지했다. 택배사로 포함되지 않는 쿠팡의 물량을 합칠 경우 40억 상자 이상으로 예상된다. 코로나로 인한 사회적거리두기가 완화되더라도 비대면 기반 거래 구조는 크게 변하지 않을 것으로 예상되며, 이는 지속적인 택배 물동량 성장



〈그림 1〉 온라인 쇼핑 거래액 동향 (출처: 통계청_2020년12월 및 연간 온라인쇼핑 동향)

의 요인이 될 것이다.

그러나, 전체 시장의 성장과 함께 다양한 배송 서비스 전략들이 등장하면서, 고객들은 더 다양하고 높은 수준의 배송 서비스를 기대하고 있다. 또한 내부적인 관리의 어려움 역시 증가하고 있다. 이를 크게 1) 물동량의 변화, 2) 운영 난이도 상승, 3) 관리 복잡성의 증가로 구분하여 설명할 수 있다. 먼저 물동량의 변화는 앞서 살펴본 바와 같이 판매 채널의 다양화, 온라인 프로모션의 확대에 의해 전체적인 물동량이 크게 증가하고 있음을 의미한다. 두 번째 운영 난이도 상승은 유통 물류 기업 간 과도한 경쟁으로 인해 발생하는 현상으로, 리드타임 단축, 날개

주문 비중 증가, 주문 로트 감소 등과 같이 풀필먼트 센터의 가장 핵심 업무라고 할 수 있는 피킹 및 패키징의 업무 난이도가 계속해서 증가하고 있다. 마지막 관리 복잡성은 앞의 두 현상과 밀접하게 관련이 있는 것으로, 풀필먼트의 최적 운영 계획을 수립하는 것 자체의 어려움 뿐만 아니라 자동화 설비의 도입 비율 증가, 전체 출고량의 증가, 내·외부 변동성으로 인한 자동화 설비의 효율성이 지속적으로 감소하는 현상에 대한 대응이 어려움을 의미한다.

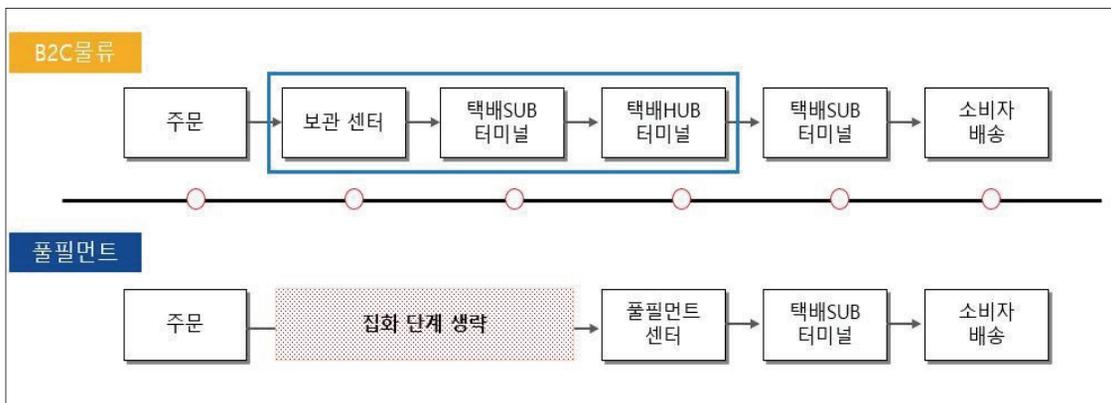
다양한 유통 및 물류 기업들이 앞에서 언급한 세 가지로 인해 발생하는 복합적 어려움을 해결하기 위해 자동화 기반 풀필먼트의 개념을 새롭게

게 도입하고 있다. 기존에는 온라인 구매 제품이 각 사 물류센터-대형 택배사 서버터미널-허브터미널-다시 서버터미널 등 4개 단계를 거쳐 최종 배송지로 발송되었다. <그림 2>와 같이 풀필먼트센터는 고객이 주문할 법한 상품을 미리 물류센터에 보관해 놓고 고객이 상품을 주문하면 즉시 배송을 시작하는 서비스를 위해 생겨난 개념이다. 풀필먼트 서비스를 통하면 허브터미널에서 서버터미널로의 이동만 이뤄져 배송에 걸리는 시간이 대폭 감소한다. 이로써 주문 마감 시간이 오후 3시에서 오후 12시로 크게 연장되어 밤늦게 시키더라도 다음날 받아볼 수 있게 된다. 수요의 불확실성으로 인한 제품의 보관 및 폐기 비용, 상품의 재고 고갈 비용 등이 발생할 가능성이 높지만, 빅데이터와 인공지능 기술을 활용한 상품에 대한 수요 예측의 정확도가 높아짐과 동시에 수요의 폭발적 증가는 이러한 비용을 상쇄할 수 있는 수준으로 발전하였다.

그러나, 풀필먼트센터가 가진 근본적인 개념이 전체 프로세스의 혁신적 개선을 가져 온 것은 분명한 사실이지만, 여전히 상품의 집하와 센터 내 이동, 포장 후 배송까지의 프로세스에서 발생하는 비효율성은 개선의 필요가 있다. 이를 위해 빅데이터 기반의 저장 위치 결정, 상품 보관 위치의 재정의, 동선 최적화를 위한 집

하 계획 및 작업자 할당 등의 방법이 제시되고 있지만, 여전히 인력 중심의 오작업 및 효율성 저하 문제는 해결되지 못하고 있다. 결국 AGV와 AMR와 같은 자동화 장비의 도입을 통해 사람에 의한 작업 비용을 줄이기 위한 방안이 필요하다. 이에 본 연구에서는 풀필먼트센터 내 자동화 설비를 도입하기 위한 방법과 최적의 운영 방식을 제시한다. 상품별 수요 변화와 저장 위치, 투입되는 자동화 설비의 규모와 위치에 따라 시스템의 효율성이 결정될 수 있으므로, 다양한 시나리오를 기반으로 시뮬레이션을 수행한다. 시뮬레이션의 결과는 시스템의 성능을 평가하기 위한 다양한 지표를 기준으로 종합 분석하고, 풀필먼트센터 내 효율성 극대화를 위한 대안을 선택한다.

본 연구는 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 기존 연구에 대해 간략하게 살펴보고, 본 연구에서 제안하는 문제 해결 방안에 대해 설명한다. 3장에서는 시뮬레이션을 수행하기 위한 기본적인 가정 사항과 시나리오에 대해 설명한다. 다음 4장에서는 시뮬레이션의 수행 과정과 그 결과를 분석한다. 마지막으로 5장에서는 본 연구의 의미와 시사점을 요약하고, 한계점과 추후 연구 수행 방안을 제시하는 것으로 결론을 맺는다.



<그림 2> 풀필먼트센터 도입에 따른 배송 프로세스 변화

II. 기존 연구

김정훈 외 2인(2016)은 국내 유명 편의점 기업인 A사의 유통물류센터를 기준으로 자동화 설비의 도입을 위한 투자 타당성 연구를 진행하였다. 물류센터 운영 중 시간과 인력이 가장 많이 소요되는 피킹(Picking) 프로세스를 대상으로 AutoMod를 활용하여 시물레이션 분석을 실시하였고 AGV의 적정 투입 대수를 산출하고 장비 도입에 따른 생산성 증가 및 비용 절감 효과를 분석하였다. 선일석 외 1인(2016)은 최근 물류센터 내·외부 환경이 변화함에 따라 최소한의 비용으로 운영 성과를 개선할 필요성이 대두되었음을 시사하였고 입고 프로세스에서의 효율적인 운반 장비 소요량을 AutoMod를 이용한 시물레이션을 통해 운영 효율화 방안을 제시하였으며, 실제 현장에서 활용할 수 방안을 제시하였다.

황현철 외 1인(2019)은 온라인 쇼핑의 급성장과 다품종 소량상품의 빠른 배송 수요가 증가함에 따라 인건비와 인력 수급의 어려움이 생기고 있음을 시사하였다. 이러한 문제를 해결하기 위해 물류센터 내 물류 로봇의 도입 적용을 위한 요인들을 분석하였다. 결과적으로 용이성이 클수록 물류 로봇 도입에 대한 고려가 커짐을 나타냈다. 공인택 외 2인(2019)은 물류센터에서 자동화 시설 중 IoT(Internet of Things)를 도입 시 고려해야 하는 주요 요인에 대한 분석을 실시하였으며 AHP 방법을 활용하여 분석을 실시하였으며, 분석결과 사물인터넷 및 자동화 시설을 도입하기 위해서는 프로세스 신뢰성을 높이기 위한 방법을 가장 먼저 고려해야 하며, 업무 자동화, 사고 예방 등의 요인이 중요한 요인으로 시사하였다. 김병기 외 1인(2019)은 기존 물류센터에서 운영되고 있는 피킹 관련 반자동 설비를 최대한 재활용하여 생산성을 개선하는 방법을 제안하였으며, 일반적으로 물류센터는 보관공

간 부족, 작업자의 운영 동선 비효율화, 제한된 공간에서 설비 변경의 어려움 등의 문제가 있음을 시사하였다. 이를 해결하기 위한 방법으로 Forward 영역에서 DS(Dedicated Storage) 방식과 RS(Random Storage) 방식을 혼합한 방식을 제안하였으며, 기존 물류센터에서 작업자의 노동 시간을 비교 분석하였다. 분석 결과 혼합 저장 방식이 주문량이 평균 이하이거나 최대일 때 더 효율적임을 언급하였다.

이정만(2020)은 자동화 설비 중 작업자를 따라다니는 피킹카트를 도입한 주문피킹 시스템을 대상으로 운영정책들이 생산성에 미치는 영향을 분석하였다. 각 문제는 저장 위치 할당 문제, 주문 묶음 문제, 이동경로 정책 문제, 구역 피킹 문제로 구분하여 분석하였으며, 시물레이션 모델을 개발하여 분석한 결과 기존 물류센터의 운영정책에서도 작업자 추종 피킹카트를 도입하면 물류시스템의 생산성을 개선할 수 있으며, 상품의 zone 구성, 주문 묶음 등과 같은 효과에 대해서도 분석하였다. 이를 통해 물류센터에 자동화 설비 도입 전에 시물레이션 비교를 통해 물류센터에 적합한 자동화 설비 설계에 대한 방안을 제시하였다. 김태현 외 1인(2021) 소비자의 실시간 주문을 처리하는 풀필먼트 센터에서 오더피킹(Order-picking) 설비의 효율 향상을 위한 재고 보충 최적화 수리모형 및 시물레이션을 연구하였다. 일반적으로 풀필먼트 센터는 그 특성상 기존 물류센터보다 수요 불확실성과 서비스 복잡도가 높고 고객의 다양한 주문에 대응하기 위해서 풀필먼트 센터 내에 자동화 시설이 필요함을 언급하였으며 혼합정수계획을 활용한 최적의 설비 도입 수준을 제시하였으며 시물레이션을 통해 제시한 방법의 검증을 실시하였다.

또한, 편의점 유통물류센터의 AGV도입 연구에서는 물류센터 레이아웃을 변경하지 않은 범위에서 최적의 AGV 자원 산정을 위해 시물레이션 기법을 활용하여 최적의 AGV 수를 제시 하

였다[3]. T.Lamballais(2016) 연구에서는 물류센터의 다양한 레이아웃구성(워크스테이션 수/위치, AGV 동선)에서 최적화 알고리즘 모델링을 통한 최적을 운영 효율화를 제시 하였다[4]. 이홍철은(2011)은 AGV의 성능을 평가하기 위해 차량 이용률 최대화, 차량 혼잡도 최소화, AS/RS 이용률 처리량 최대화의 4개요인의 고려하기 위해 직교배열로 실험을 수행하여 진화전략을 이용한 최적화 기법보다 실험 횟수와 시간을 절약할 수 있음을 제시하였다[5].

다양한 연구자들을 통해서 연구를 살펴본 결과 풀필먼트 센터 및 물류센터에서 발생하는 다양한 활동 중 IoT, 물류 로봇과 같은 자동화 시설을 도입했을 때 효율성이 얼마나 향상되는 정도에 대한 연구가 주를 이루었다. 특히, 자동화 시설을 도입하기 위한 적절한 시설 수준, 용량 등 시뮬레이션을 통해 분석이 진행되었으나 본 연구에서는 다음과 같은 차별성을 갖는다. 첫째, 현재 운영되는 풀필먼트 센터의 운영 위험 요인을 분석을 실시하였다. 기존 물류센터 및 풀필먼트센터 운영 효율성 시뮬레이션 연구들에서는 시설의 도입 수준을 결정하는 연구가 주된 연구였으나, 본 연구에서는 물류센터에서 발생할 수 있는 실제 위험 요인을 분석을 하였고 향후 센터에서 발생할 수 있는 다양한 상황들을 정의하였다. 둘째, 풀필먼트 센터에 AGV/AMR를 도입했을 때 앞서 분석된 리스크 변화에 따른 센터에서 피킹프로세스의 운영 효율화 방안과 시설의 적정 수준을 제안했다는 점에서 본 연구의 차별성을 갖는다.

III. 시뮬레이션 배경과 목적

최근 유통 물류 시장에서의 가장 중요한 고객의 요구사항 중 하나는 바로 빠른 배송이라고 할 수 있다. 이를 지원하기 위해 물류센터에서는 효율적이고 빠른 제품의 보충과 피킹이 필요

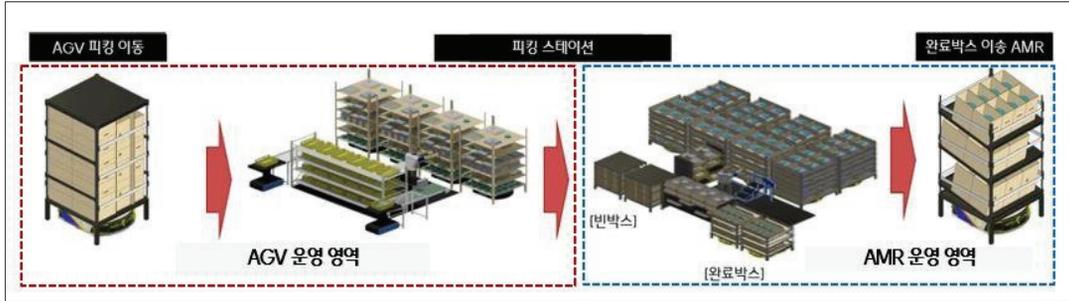
하며, 이를 위한 내부의 효율적인 운영 프로세스 및 시스템이 뒷받침되어야 한다. 결국, 자동화 시스템 도입을 통해 물류센터의 운영 생산성과 작업의 정확도 향상이 궁극적인 목표라고 할 수 있다.

따라서, 본 연구에서는 기존 고정형 설비 플랫폼 외에 투자 Risk가 적고 유연성이 높은 AGV, AMR 피킹 플랫폼 중심으로 실제 Biz Model과 Data 기반의 풀필먼트센터 운영 생산성/정확도 향상을 위한 자동화 시스템 설계 (AGV, AMR 중심) 방법에 관련한 연구를 국내 물류회사 사례를 통해 효과 분석하려고 한다.

기존 물류센터를 대상으로 한 시뮬레이션 모델은 대부분의 화물의 보관위치, 피킹 방식, 포장 장비의 운영 등과 같이 개별 기능의 최적화에 집중하고 있다. 그러나 최근의 풀필먼트 센터에서는 급변하는 수요에 대응하기 위한 복잡한 문제의 해결을 위해 실제와 유사한 모형을 구축, 모의 실험을 통해 예측 상황의 선제적 파악 및 전체 최적화가 더욱 중요시 되고 있다. 본 연구에서는 서로 다른 장비가 연결되어 운영되는 프로세스를 대상으로 모델을 선정하였고, 단순히 단일 기능의 최적화보다는 전체 프로세스 측면에서의 생산성 향상을 목표로 하고 있다.

시뮬레이션 수행을 위해 실제 국내 물류기업에서 운영 중인 풀필먼트 센터의 상품 보관, 피킹 스테이션, 포장 기능과 운영 방식을 모형화 하였으며, 무작위로 배치되는 상품을 피킹하여 최종 완료박스로 이동하는 과정을 모사하였다. 반복 실험을 통해 생산성을 기준으로 물류 현장에 투입되는 AGV와 AMR의 투입 용량을 결정한다.

다음 <그림 3>은 AGV와 DAS, AMR을 활용한 제품의 집하와 이동 포장의 과정을 보여준다. 먼저, 출고 지시가 내려지면 AGV는 피킹 대상 품목이 들어 있는 선반을 피킹 작업자 앞으로 이동한다. 프로젝트가 피킹할 제품 위치와 수량



〈그림 3〉 AGV 및 AMR 기반 운영 프로세스

을 표시, 작업자는 총량 피킹 후 양 옆에 배치된 고객별 선반에 디지털 표시된 수량만큼 분류한다. 작업이 완료되면 AGV가 선반을 원위치시키고, 다음 지시 작업을 연속적으로 수행한다. 완료된 작업은 이송 AMR로 검수/포장 스테이션으로 이동한다.

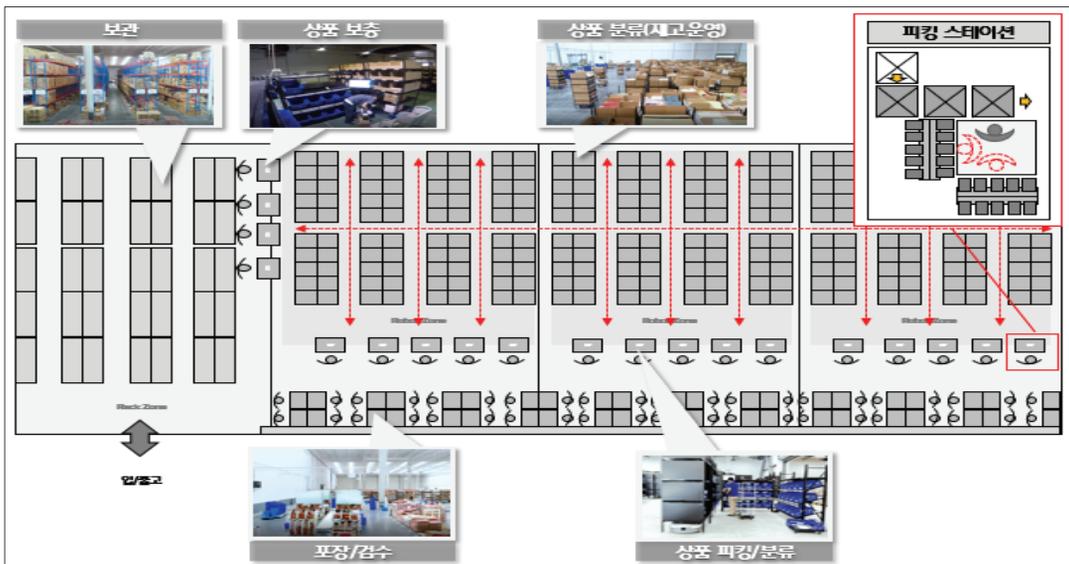
AGV 시스템은 풀필먼트센터 전체 시스템의 성능을 향상시키는 데 매우 중요한 역할을 담당한다. 특히, 물류센터에서 가장 높은 고정비용 중 하나인 인건비는 원가를 상승시켜 가격 경쟁력을 약화시키는 주요 원인이므로, 무인 공급을 통해 물류 인력을 감축시킬 수 있다는 것은

AGV의 매우 큰 장점이라고 말할 수 있다[2]. 본 연구에서는 수행하는 시뮬레이션의 가장 큰 목적은 자동화 시스템을 구성하는 AGV와 AMR의 적정 투입 대수와 함께 이를 통한 개선 효과를 검증하는 것이다.

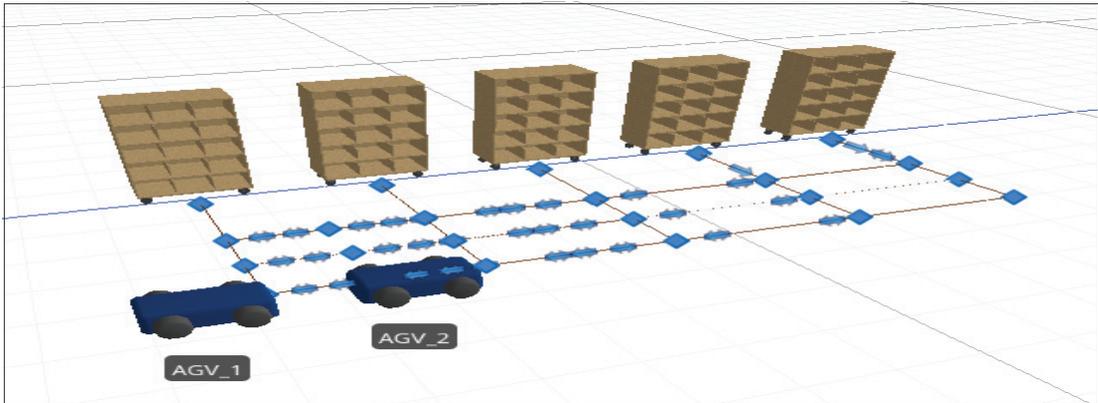
IV. 시뮬레이션 모델링 및 결과

4.1 시뮬레이션 모델 및 가정 사항

본 연구는 AGV 최적 생산성을 산출하기 위해 시뮬레이션을 실시하였으며, 시뮬레이션 작



〈그림 4〉 풀필먼트센터 레이아웃



〈그림 5〉 AGV 이동 방식 및 거리 측정 기준

업은 시뮬레이션 소프트웨어인 SIMIO에 반영하여 실제 모델과 같은 환경으로 구현하였다. 다음 <그림 4>는 시뮬레이션을 수행 및 분석 대상인 풀필먼트센터의 구조를 보여준다.

전체 시뮬레이션은 <그림 4>의 레이아웃에 따라 수행되었으며, 피킹 작업장 별 동시에 1대 AGV가 처리 가능한 것으로 설정하였다. 만약, 동시에 여러 대의 AGV가 한 작업장에 할당되어 도착하면, 그 순서대로 대기 후 작업을 처리한다. 시뮬레이션 결과 분석에서 가장 중요한 지표인 이동 거리와 시간을 측정하기 위한 기준 자료로는 위치 사이의 직선거리가 아닌 CAD 도면 상의 실제 이동 가능 거리를 기준으로 계산하였다.

AGV투입 대수에 따른 효율성을 평가하기 위한 기본적인 가정사항과 시나리오는 다음과 같다. 우선 국내 생활건강상품 판매사(이하 A사)의 가장 빈번한 Batch단위(주문 120건) 기준으로, 임의의 Batch 30개를 대상으로 하였다. <표 1>과 같이 주문 120건을 구성하는 상품이 평균 160SKU로, 주문 대비 피킹해야 할 상품 수가 상당히 많은 상황이다. 피킹 작업대 수는 작업공간 제약(약 20미터) 및 주문 수를 고려하여 3개로 가정한다.

또한 작업자 업무 속도와 AGV스펙은 물류

〈표 1〉 상품 주문데이터 및 AGV 선보충 정보

구분	값
Batch수	30 Batch
주문수	120 건
주문당SKU수	2.6 SKU/주문
총SKU수	160 SKU
총PCS수	683 pcs
피킹 작업대 별 동시 작업 가능 주문 수	20 Box(오더)

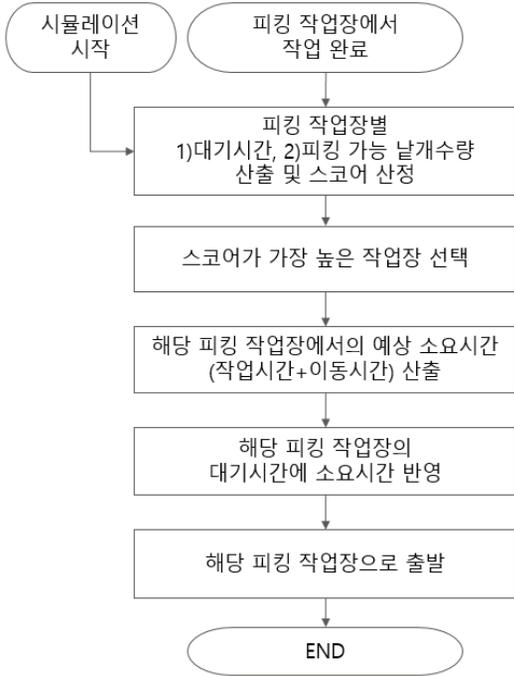
현장 체크 및 AGV 공급사의 레퍼런스를 참고하여, <표 2> 같이 지정하였다.

〈표 2〉 작업자 업무 속도 및 AGV스펙

기타 파라미터	값
(피킹 작업장) 피킹속도	5 sec/pcs
AGV 속도	1.5 m/sec

AGV는 피킹 작업장, 보충장에서 각각 피킹 및 보충 작업 완료 시 다음 <그림 6>과 같은 절차에 따라 다음 행선지를 결정한다.

AGV가 상품들을 피킹 작업대로 이동시키는 역할을 한다면, AMR은 피킹 작업대에서 완료된 선반을 포장 작업대로 옮기는 작업을 수행한다. AMR은 <그림 7>과 같이 피킹 완료된 선반



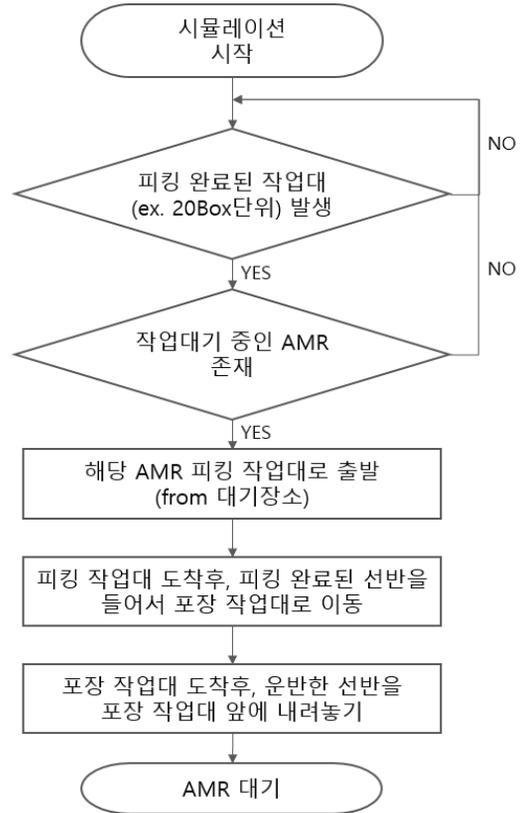
〈그림 6〉 AGV별 피킹 작업장 할당 로직

이 발생할 경우 해당 피킹 작업대로 이동하며, 관련 작업이 없을 경우 특정 위치에서 대기한다. 투입되는 AMR에 작업을 할당하는 기준은 선입 선출 조건을 적용하여, 우선 대기 중인 AMR에 작업을 할당한다.

4.2 시뮬레이션 결과 분석

피킹 작업장 3곳 기준으로, AGV를 2대부터 1대씩 늘리면서 생산성 증가분을 분석하였고 <표 3>과 같이 AGV대수별 인/시 생산성을 산출하였다. AGV대수 별 45회 테스트를 진행하였고, 테스트 별로 AGV당 보충되는 SKU들을 랜덤으로 선정하였다. AGV별 보충되는 SKU수는 84개를 넘지 않도록 설정하였다.

AGV 추가에 따른 생산성 증가율은 <그림 8>과 같으며, 10대에서 1대 늘어날 때 첫 1%미만대(0.3%)로 증가한다.



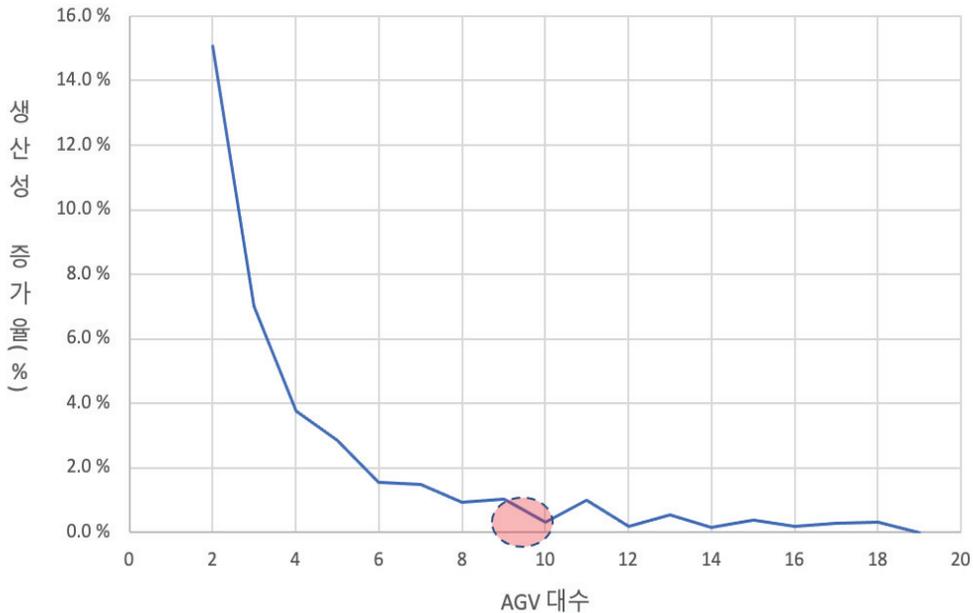
〈그림 7〉 AMR 작업 할당 로직

〈표 3〉 시뮬레이션 결과 및 생산성 산출값

구분	값
주문수	120 건
투입 인원(피킹 작업대)	3 명
AGV 대수	2~20 대
소요시간	26~37분
인당/시간당 생산성	55~96 Box

<그림 8>에서 알 수 있듯이, AGV의 대수가 1대씩 늘어날 때, 생산성 증가율이 점차 둔화되는 것을 알 수 있다. 최적 AGV 투입 대수를 결정하기 위해서는 AGV가 한 대씩 추가로 투입될 때의 생산성의 증가율을 의미하는 한계생산성 향상 비율이 가장 둔화되는 시점을 적정 대수로 산정한다.

AGV와 달리 AMR은 피킹 완료된 선반을 열



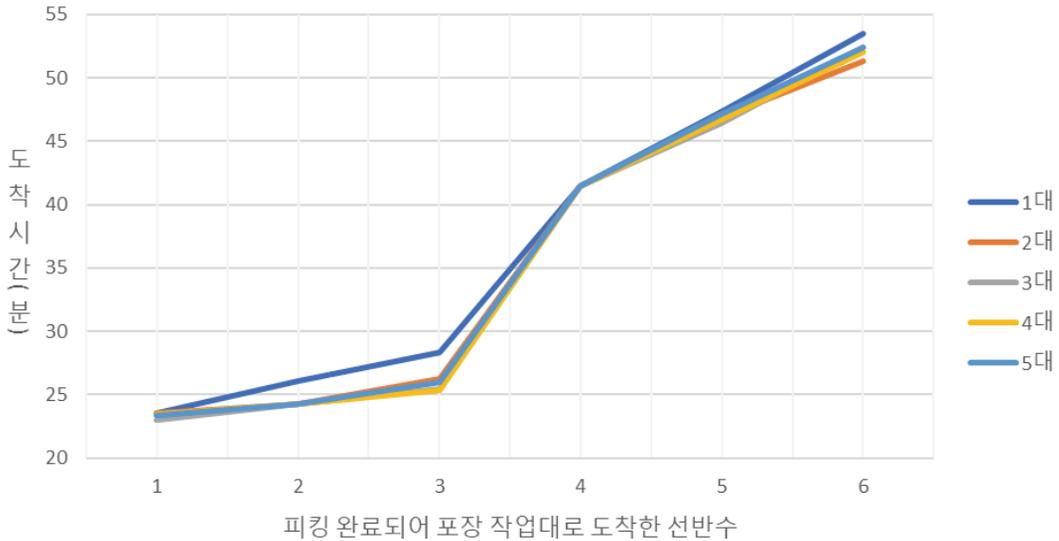
〈그림 8〉 AGV대수 별 생산성 증가율

마나 빠르게 포장 작업대로 이동시키는 지가 최적 투입 대수를 결정하는 기준이 된다. 포장 작업대로 지연없이 도착할수록 포장 작업자의 유휴 시간을 감소시킬 것이며, AGV와는 달리 도착 시간의 차이가 가장 둔화되는 시점을 최적 AMR 투입 대수로 선정할 수 있다. AGV적정 대수 10대를 기준으로, AMR를 1대부터 피킹 작업 대수와 같은 5대까지 늘려가며 시뮬레이션을 진행하였다. AMR 대수 별 45회 시뮬레이션 진행하였고, 시뮬레이션 별 AGV당 적치되는 SKU는 마찬가지로 무작위로 선정하였다

시뮬레이션 결과, <그림 9>와 같이 AMR 대수 별 선반의 포장 작업대 도착시간은 큰 차이가 발생하지 않는다. 피킹 작업대가 3곳 이므로, 3xN번째 선반이 AMR 1대 일 경우 조금 늦게 도착할 때가 있지만 AMR 대수 간5분 이내의 차이가 있으므로, 경제적인 측면에서 AMR 1대가 적정하다. 피킹 작업대와 주문수가 증가할 경우 적정 AMR 대수는 2대로 증가할 수 있다.

V. 결론

최근 모바일 시장의 성장과 COVID-19의 확산으로 인해 유통과 물류 시장에서의 빠른 배송에 대한 요구사항은 계속해서 증가하고 있으며, 이에 대응하기 위해 풀필먼트센터라는 개념이 등장하였다. 물리적인 한계를 극복할 수 있는 것으로 이해되지만, 궁극적인 목적을 달성하기 위해서는 풀필먼트센터 내 자동화 설비의 도입을 통한 효율성 향상을 보장할 수 있어야 한다. 따라서 본 연구에서는 실제 풀필먼트센터를 대상으로 AGV와 ARM과 같은 자동화 장비를 도입하기 위한 주요 의사 결정을 지원하기 위해 시뮬레이션 기법을 활용하였다. 투입되는 자동화 장비의 작업 방식과 이동 경로를 실제 물류 기업에서 운영 중인 풀필먼트 센터의 레이아웃에 따라 모델링하였으며, 다양한 투입 대수에 따른 생산성의 변화를 측정하였다. 이를 통해 수요에 따른 최적의 투입 대수를 결정할 수 있게 된다. AGV의 추가 투입될 때의 생산성 향상



〈그림 9〉 AMR대수 별 피킹 완료 선반의 포장 작업대 도착시간

정도가 가장 둔화되는 시점에서 최적의 투입 대수를 결정할 수 있으며, AMR의 경우 포장 작업대에 도착하는 시간의 변화를 기준으로 선정하였다. 이를 통해 풀필먼트 센터의 작업 효율성과 함께 실제 운영 측면의 적정성을 고려한 최적의 자동화 장비 투입 용량을 결정할 수 있으며, 시장의 수요 변동에 유연하게 대응할 수 있을 것이다. 즉, 수요의 변동에 따라 자동화 장비의 투입 용량을 실시간으로 조정함으로써, 수요 변동과 내부 관리 운영의 복잡성 문제를 해결할 수 있을 것이다.

그러나, 현재 고정된 주문량과 단일 상품을 가정으로 시뮬레이션을 수행했기 때문에 실제 현장에 적용하기 위해서는 더욱 다양한 시나리오를 구성하여 비교 분석할 필요가 있다. 이를 위해 피킹 작업장 별 주문의 변화, AGV 대수 별 적치 위치, SKU의 다양화, 수요의 변동성을 고려한 시나리오를 구성하여 내부 운영 효율성을 기준으로 최적의 시나리오를 선택할 수 있다. 또한, 자동화 장비의 추가 투입에 따른 비용 투자 계획을 함께 고려하면 자동화를 위한 예산

범위 내에서의 최적 용량 계획을 수립할 수 있을 것이다.

최적의 센터 운영과 비용 절감을 위해서는 풀필먼트 센터 내 자동화 장비의 모니터링부터 관제, 제어까지 모든 데이터들이 유기적으로 연결되고 실시간으로 처리되어야 한다. 따라서 작업장 내 모든 데이터들을 수집 및 분석할 수 있는 Digital Twin 기술 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

- [1] 손병석, 김태복 (2008). 물류센터의 부가가치활동에 대한 고찰 및 사례, 물류학회지, 18(2), 77-103.
- [2] 한상훈, 김시래 (2017). 온라인 쇼핑몰의 물류시스템 도입 사례 연구, 전자무역연구, 15(2), 73-92.
- [3] MH Kang & CJ Kwak., "Simulation Analysis of A Logistics System for Automobile Parts: A Case Study of A Car Manufacturer", Asia-Pacific Journal

of Business & Commerce, vol. 6, no. 1, pp. 101-112, 2014.

[4] 김정훈, 김연진, 이홍철 (2016). 편의점 유통물류 센터의 AGV 도입에 대한 시뮬레이션 분석, 한국산학기술학회, 17(6), 61-69.

[5] Lamballais, Tim, Debjit Roy, and M. B. M. De Koster. "Estimating performance in a robotic mobile fulfillment system." *European Journal of Operational Research* 256.3 (2017): 976-990.

[6] 조선일보 "[NOW] 코로나 1년, 택배 33억개가 움직였다" 2021.01.20. <https://www.chosun.com/economy/2021/01/20/TPOLAJWLFBSL5SDAJ2WNEFUA/>

[7] 쉬핑뉴스넷, "네이버, 물류 생태계 구축 시작하다!", 2020.07.09. <http://www.shippingnewsnet.com/news/article-View.html?idxno=35002>

[8] 뉴스1, CJ대한통운 "네이버쇼핑 38만 셀러 품는다...풀필먼트 서비스 제공", 2020.11.01. <https://www.news1.kr/articles/?4113487>

[9] 바이라인네트워크, "네이버 풀필먼트가 온다"2020.03.16. <https://byline.network/2020/03/16-87/>

[10] 정종필, 신광섭 (2020), 스마트팩토리 핵심기술 및 제조 혁신 고도화 전략, 스마트 물류 관련 기술 동향과 도입 사례), 융합연구 리뷰, 융합연구정책센터, 2020.12.07

[11] 황현철, 송상화 (2019), 기술수용모형을 통한 물류센터 내 물류 로봇 구매의도에 영향을 미치는 요인에 관한 연구, 한국산학기술학회논문지, 20(12), 287-297

[12] 공인택, 신광섭, 민윤홍 (2019), AHP 기법을 이용한 물류센터 내 사물인터넷 기반 정보시스템 도입 요인의 중요도 분석, 로지스틱스연구, 27(3), 1-12

[13] 김병기, 김선호 (2019), 혼합보충 방식의 오더피킹에 의한 전자상거래 물류센터의 생산성 개선,

대한산업공학회지, 45(1), 53-69

[14] 이정만, 김영주, 이태훈, 홍순도 (2020), 작업자 추종 피킹 카트를 도입한 주문피킹 시스템의 시뮬레이션 기반 생산성 분석, 한국물류학회지, 30(1), 1-12

[15] 박율기, 엄인섭, 이홍철 (2011), 직교배열을 이용한 통합물류시스템의 실험 설계 및 분석방법, 한국산학기술학회 논문지, 12(12), 5622-5632

[16] 김태현, 송상화, 온라인 주문 풀필먼트를 위한 물류센터 피킹 설비 최적화에 대한 연구, 한국전자거래학회지, 26(1), 67-78

[17] 선일석, 이원동 (2016), 물류센터에서의 효율적인 운반장비 배치를 위한 시뮬레이션 분석, 한국물류학회지, 26(5), 93-100

저자 소개



최준혁(JunHyuk Choi)

- 2020년 3월~현재: 인천대학교 동북아물류대학원 석사과정
- 현재 : CJ대한통운 TES물류기술연구소 책임연구원
- 관심분야 : 시뮬레이션, 물류 및 SCM, 풀필먼트



신광섭(KwangSup Shin)

- 2003년 2월 : 서울대학교 산업공학과 (공학사)
- 2006년 2월 : 서울대학교 산업공학과 (공학석사)
- 2012년 2월 : 서울대학교 산업공학과 (공학박사)
- 2012년 2월~현재 : 인천대학교 동북아물류대학원 교수
- 관심분야 : 빅데이터, 물류 및 SCM, 위험 관리