

효율적인 로봇 시스템 설계 및 활용 방안 - 물류센터 사례 중심으로

Efficient Robotic System Design and Utilization Strategies - A focus on logistics center case study

최모근*
MoGeun Choi

국문초록

본 논문은 코로나19 팬데믹 이후 온라인 소비가 급격히 증가함에 따라 물류센터의 물동량이 급증하고, 물류창고의 인력 부족 문제가 심화된 상황을 배경으로 한다. 이에 따라 물류 자동화 도입이 가속화되고 있으며, 본 연구는 그 핵심 기술 요소 중 하나인 로봇 시스템의 효율적인 설계 및 활용 방안을 제시한다. 이론적 배경에서는 물류 시스템 전반의 개요, 물류창고 유형과 트렌드 변화, 인공지능 기반 물류 기술, 그리고 주요 물류 로봇 기술의 특성을 다루었다. 이어서, 사례 분석을 통해 국내외 물류센터의 성공 및 실패 사례를 비교하고, 로봇 도입의 실효성과 한계를 파악하였다. 전략적 제언으로는 제조사 검증, POC 기반 실증 절차, ROI 분석을 통한 경제성 평가, 그리고 단계별 로봇 도입 프레임워크를 제안하였다. 로봇 시스템은 생산성과 운영 효율성을 높이는 동시에 반복적이고 위험한 작업의 부담을 경감하고 작업자의 역할을 보완할 수 있다. 또한, 이러한 분석을 바탕으로 물류창고 업무 환경 개선에 적합한 로봇 시스템의 설계 및 활용 방안 도출이 가능함을 시사한다.

주제어: 물류 로봇, AGV(Automated Guided Vehicle), AMR(Autonomous Mobile Robot), ASRS(Automated Storage and Retrieval System), 핸들링 로봇, 인공지능(AI)

I. 서론

1. 연구 배경과 목적

최근 몇 년간 전 세계적으로 코로나19 팬데믹이 확산되면서 소비자의 쇼핑 행태가 급격히 변했다. 이러한 변화는 온라인 쇼핑의 급증을 초래했고, 결과적으로 물류센터의 물동량은 전례 없는 속도로 증가했다. 이로 인해 물류센터에서의 인력 부족 문제는 더욱 심각해졌으며, 이는 물류 처리 속도와 효율성을 저하시키는 주요 요인 중 하나로 작용하고 있다. 더불어 물류센터의 운영 관리에 큰 어려움을 야기하고 있다.

팬데믹으로 인한 사회적 거리두기와 비대면 소비의 증가로 인해 물류 산업은 전례 없는 도전에 직면하게

논문접수일: 2024년 12월 17일, 게재확정일: 2025년 4월 30일

* 서울과학기술대학교 AI 전략경영 석사, keun27@gmail.com

됐다. 특히, 온라인 주문의 폭발적인 증가로 인해 주문 처리 속도와 정확성에 대한 요구가 높아졌다. 팬데믹이 완화되고 사회적 거리두기 조치가 해제된 이후에도 이러한 온라인 쇼핑 트렌드는 지속되고 있으며, 물류량은 계속해서 증가하고 있다. 이는 소비자들이 온라인 쇼핑의 편리함을 경험한 이후 이를 선호하는 경향이 이어지고 있기 때문이다.

이러한 상황에서 인력 부족 문제는 물류센터의 운영에 심각한 영향을 미치며, 고객 만족도와 직접적으로 연결되는 서비스 품질의 저하를 초래할 수 있다. 또한, 노동 집약적인 작업 환경은 인력의 피로도를 증가시키고, 이로 인해 생산성 저하와 높은 이직률, 그리고 안전사고로 이어질 수 있다.

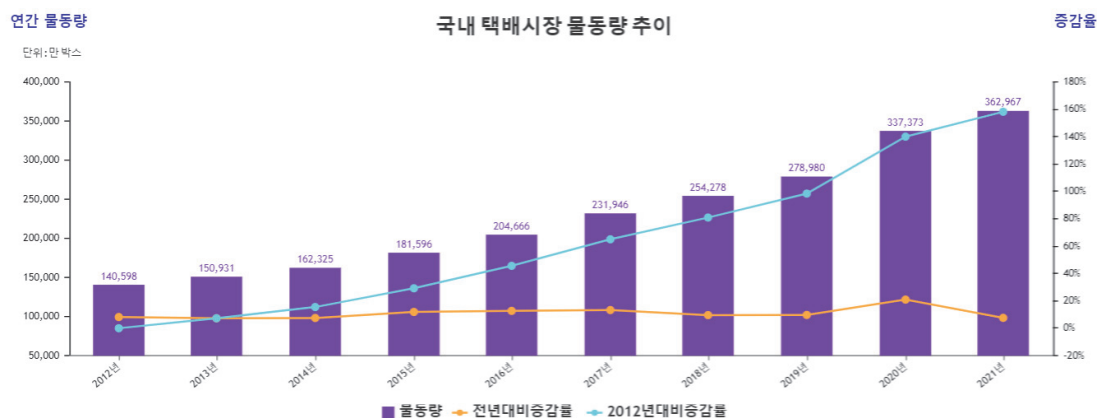
이러한 문제를 해결하기 위해 물류센터는 인공지능(AI), 로봇 기술, 사물인터넷(IoT), 근거리 네트워크와 같은 첨단 기술의 도입을 가속화하고 있다. 이러한 기술들은 물류 작업의 자동화를 가능하게 하여 인력 부족 문제를 해소할 뿐만 아니라, 작업의 정확성을 높이고 운영 비용을 절감하는 데 기여할 수 있다. AI를 활용한 예측 분석은 물류 수요를 보다 정확하게 예측하여 재고 관리의 효율성을 높이며, 로봇 기술은 반복적이고 물리적인 작업을 대신 수행하여 인력의 피로도를 줄이고 작업의 안전성을 높인다.

그러나 로봇 시스템의 도입은 초기 투자 비용이 매우 높으며, 유지보수와 업데이트에도 상당한 비용이 발생한다. 따라서 각 물류센터의 특성과 요구 사항을 충분히 고려하여 로봇 시스템을 선택하고 적용하는 것이 중요하다. 물류센터의 규모, 처리해야 할 물동량, 제품의 특성 등을 종합적으로 분석하여 최적의 솔루션을 도입하는 것이 필요하다. 또한, 도입 후의 운영 효율성을 극대화하기 위해 로봇 시스템과 기존 시스템 간의 통합 및 협업을 원활하게 할 수 있는 설계가 중요하다.

이를 통해 물류센터는 보다 정확하고 전략적인 운영 결정을 내릴 수 있으며, 장기적으로 경쟁력을 유지하고 지속 가능한 성장을 도모할 수 있다. 로봇 시스템 도입 초기에는 세밀한 계획과 설계가 필수적이며, 이는 향후 운영 효율성을 크게 좌우하는 중요한 요소다. 초기 설계 단계에서의 철저한 분석과 계획은 로봇 시스템의 성능을 최대한 발휘할 수 있도록 하며, 불필요한 비용 발생을 최소화할 수 있다.

본 연구는 물류센터에서 사용되는 다양한 로봇 솔루션의 효과성, 강점, 그리고 한계를 평가하고, 전략적 제언을 제공하는 것을 목표로 한다. 이를 위해 먼저 현재 도입되고 있는 주요 로봇 기술과 그 적용 사례를 분석하고, 각 기술의 성능과 비용 효율성을 평가할 것이다. 또한, 물류센터의 특성에 따라 최적의 로봇 솔루션을 선택하는 방법론을 제시하고, 도입 후 운영 관리에서 고려해야 할 요소들을 제안할 것이다. 이러한 연구를 통해 물류센터는 보다 효과적인 로봇 시스템 도입 및 운영 전략을 수립할 수 있을 것이다.

〈표 1〉 국내 택배시장 물동량 추이



자료: 국가물류통합정보센터(2021), 연도별 생활물류실적 - 국내 택배시장 매출액 추이

2. 연구 방법

본 연구는 물류 로봇 시스템의 도입과 운영 효과를 중심으로 한 사례 분석을 주요 연구 방법으로 채택하였다. 이를 위해 이론적 배경으로 물류시스템과 한국의 물류창고 유형, 인공지능 기반 물류 최신기술을 다루었으며, 다음으로 실제 적용 사례를 분석하였다.

사례 분석은 국내외 물류센터를 대상으로 하였으며, 로봇 시스템 도입의 성공 및 실패 사례를 포함하였다. 각 사례는 도입 배경, 적용 기술, 운영 방식, 성과 및 한계 등을 중심으로 정리하였고, 로봇 시스템이 물류 현장에 미치는 영향을 정량적·정성적으로 평가하고자 하였다.

이러한 분석을 통해 물류센터의 유형, 작업 환경, 기술 구성에 따른 운영 성과를 파악하고, 로봇 시스템의 효과적인 도입과 활용을 위한 전략적 시사점을 도출하고자 한다.

II. 관련 연구 및 이론적 배경

1. 물류시스템 전반적 개요

물류 시스템은 상품이나 서비스가 공급자로부터 최종 사용자에게 이동하는 과정을 효율적으로 관리하고 조정하는 일련의 절차와 활동을 의미한다. 여기에는 상품의 수송, 보관, 포장, 배송, 정보 처리 등 여러 과정이 포함되며, 각 단계에서 최적의 시간, 비용, 품질 관리가 이루어져야 한다. 물류 시스템의 주요 목적은 고객 만족도를 극대화하고, 운영 비용을 최소화하는 것이다.

최근, 제조 부문의 원가 절감이 한계에 도달함에 따라 기업들은 비용 절감을 위해 물류 프로세스의 효율성을 높이는 것이 필수적이 됐다. 그러나 여러 요인으로 인해 물류 서비스 비용이 상승하고 있으며, 고객의 요구 또한 더 다양하고 전문화되고 있다. 이러한 시장 변화는 제품의 수명 주기를 단축시키고, 그 결과 다 품종 소량 생산 체제로의 전환이 가속화되고 있다. 이에 따라 소량 다빈도 운송의 필요성이 증가하고 있으며, 이를 해결하기 위해 물류 시스템의 효율성 제고와 합리화를 통해 비용 절감과 서비스 품질을 동시에 달성해야 기업 간의 경쟁 우위를 확보할 수 있기 때문에 물류 시스템의 변화의 필요성이 부각되고 있다.

2. 한국의 물류창고 유형과 트렌드 변화

한국의 물류창고는 최근 급격한 변화와 발전을 겪고 있으며, 이는 소비자 요구, 기술 발전, 그리고 물류 시장의 구조적 변화에 의해 주도되고 있다. 이러한 변화는 물류센터의 유형과 운영 방식에서 뚜렷하게 나타나고 있다.

2.1 물류창고 유형의 다양화

(1) 대규모 일반 물류센터

전통적으로 대규모 물류센터는 수도권 외곽 지역에 위치하며, 국가 물류 네트워크의 중심 역할을 해왔다.

그러나 최근 공급 과잉 및 공실률 증가로 인해 운영 효율성과 수익성 확보가 주요 과제가 되고 있다.

(2) 도심형 소형 물류센터(MFC: Micro Fulfillment Center)

도심 내 근거리·소량·다빈도 구매 패턴에 대응하기 위해 등장한 소형 물류센터는 빠른 배송과 라스트 마일 물류를 지원하는 핵심 인프라로 자리 잡았다. 특히, 공간 효율성을 극대화하기 위해 수직화된 구조와 자동화 설비를 채택하고 있으며, 제한된 도심 부지 활용을 위한 창의적인 입지 전략이 중요해지고 있다.

(3) 콜드체인 물류센터

신선식품 및 의약품 배송 수요 증가로 냉장·냉동 보관이 가능한 콜드체인 물류센터가 주목받고 있다.

2.2 트렌드 변화

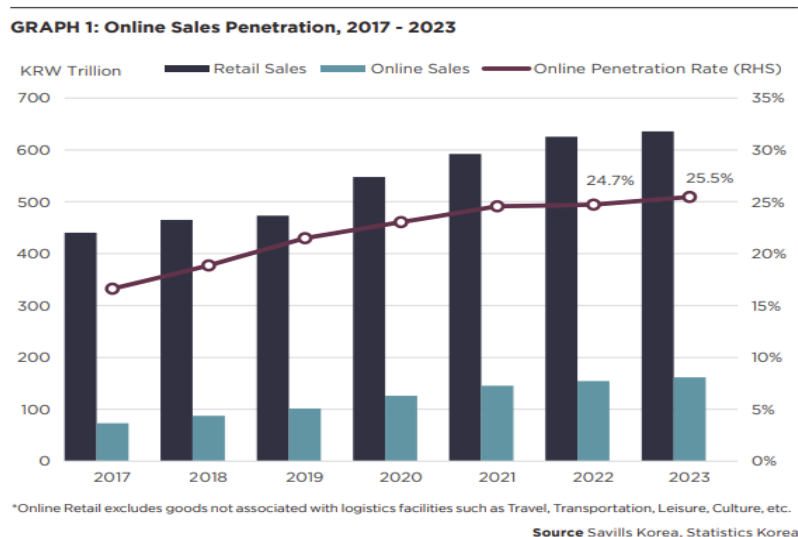
(1) 입지와 공간 활용의 변화

수도권 내 대규모 물류센터에서 도심 내 소규모 MFC로 이동하는 경향이 뚜렷하다. 이는 택배 물동량 증가와 빠른 배송 요구에 대응하기 위한 전략이다. 도심형 소형 물류센터는 제한된 부지를 최대한 활용하기 위해 고층화 및 지하 공간 활용을 적극적으로 고려하고 있다.

(2) 소비 패턴 변화에 따른 대응

근거리·소량·다빈도 구매 패턴의 증가와 온라인 유통 판매의 증가에 따라 MFC와 같은 새로운 형태의 창고가 등장했다. 이는 단순한 저장 기능을 넘어 빠른 분류와 배송을 지원하는 복합적 역할을 수행한다.

〈표 2〉 소매 매출 비교 온라인 판매의 성장



자료: Savills(2024), 2024 Korea Logistics Market Outlook, Savills Research

3. 인공지능 기반 물류 최신기술

3.1 인공지능(AI)과 자동화

인공지능(AI)은 컴퓨터 시스템이 인간의 지능적 행동을 모방하여 데이터를 분석하고, 학습하며, 문제를 해결하는 기술로 정의한다. 이는 복잡한 환경에서 패턴을 인식하고, 예측을 수행하며, 자율적으로 의사결정을 내릴 수 있는 능력을 제공한다. 특히, AI는 물류 산업에서 다양한 데이터 소스를 통합하여 효율성을 증대 시키는 데 활용되며, 수요 예측, 경로 최적화, 작업 자동화, 안전 모니터링과 같은 영역에서 핵심 역할을 한다. 이를 통해 물류 시스템은 정교한 분석과 실시간 대응 능력을 갖추게 된다.

자동화는 특정 작업이나 프로세스를 인간의 개입 없이 수행하도록 설계된 기술 또는 시스템으로 정의한다. 자동화는 물류 작업에서 기계적 반복을 줄이고, 작업 속도와 정확성을 향상시키며, 인적 자원의 부담을 줄이는 데 기여한다. 특히, 물류센터와 창고에서는 로봇과 자동화 설비가 분류, 적재, 하역, 포장과 같은 작업을 효과적으로 수행하도록 설계된다.

AI와 자동화의 결합은 단순한 작업 자동화 수준을 넘어, 환경과 데이터를 기반으로 한 지능형 의사결정을 가능하게 한다. 이러한 융합은 물류 산업에서 운영 효율성을 혁신적으로 향상시키며, 비용 절감, 서비스 품질 향상, 그리고 다운타임 감소와 같은 가치를 창출한다. AI와 자동화는 결국 물류 시스템의 지능화와 유연화를 통해 현대 공급망의 복잡한 요구를 충족시키는 데 필수적인 도구로 자리 잡고 있다.

(1) 수요 예측 및 재고 관리

AI 기반 수요 예측 및 재고 관리는 공급망 운영에서 핵심적인 기술로 자리 잡고 있으며, 이를 뒷받침하는 연구와 이론은 물류 효율성 및 정확성 향상을 중심으로 발전해 왔다. AI와 머신러닝(ML) 기술은 대규모 데이터를 처리하고 소비자 행동, 시장 동향, 계절적 요인 등을 분석하여 정밀한 수요 예측을 가능하게 한다. 이를 통해 기업은 재고를 최적화하고, 비용을 절감하며, 공급망의 안정성을 강화할 수 있도록 지원한다.

AI 기술은 기존의 전통적인 예측 방법보다 더욱 정교한 접근 방식을 제공한다. 과거의 통계적 방법은 제한된 데이터 세트를 기반으로 특정 패턴을 도출했으나, AI는 대규모의 비정형 데이터를 처리하고, 실시간으로 시장 상황과 환경적 변화를 반영할 수 있는 능력을 가진다. 이를 통해 과잉 재고와 품질 문제를 동시에 해결할 수 있는 방안을 제시하며, 물류 프로세스의 전반적인 효율성을 극대화한다.

또한, AI는 소비자 구매 패턴 분석, 지역별 판매 데이터, 계절적 요인을 통합하여 다차원적인 수요 예측을 수행한다. 예를 들어, 특정 제품이 특정 지역에서 특정 시기에 더 높은 수요를 보일 가능성을 예측함으로써, 물류 프로세스를 선제적으로 계획하고 실행할 수 있다. 이러한 예측은 특히 글로벌 시장을 대상으로 운영하는 기업에게 유용하며, 각 지역의 특성과 수요 변동성을 반영한 맞춤형 전략을 수립할 수 있게 한다.

재고 관리 측면에서도 AI는 창고 관리 시스템(Warehouse Management System, WMS)과 통합되어 실시간 데이터를 기반으로 입출고를 최적화한다. 재고 부족 시 보충 주문을 자동으로 제안하거나, 불필요한 과잉 재고를 방지할 수 있는 시뮬레이션을 실행함으로써, 기업의 운영 비용을 절감한다. 특히, 실시간 데이터 분석을 통해 변화하는 소비자 요구에 즉각 대응할 수 있으며, 이는 공급망 전체의 유연성과 안정성을 강화하는 데 기여한다.

실제 사례로 Amazon은 자율 이동 로봇(AMR)과 AI 기반 알고리즘을 창고 운영에 도입하여 주문 처리 속도와 재고 정확성을 크게 향상시켰다. 또한, DHL은 AI 기반 수요 예측 도구를 통해 물류 경로를 최적화

하여 운송 비용을 약 20% 절감한 바 있다. 이와 유사하게, Unilever는 머신러닝 기반의 수요 예측 기술을 활용해 재고 회전율을 15% 개선하고, 과잉 재고 및 품질 문제를 효과적으로 줄였다.

이와 같은 AI 기반 수요 예측 및 재고 관리는 단순히 물류 운영 효율화를 넘어, 변화하는 시장 환경 속에서 기업이 경쟁 우위를 확보할 수 있는 전략적 도구로 작용하고 있다. 이는 공급망 운영에서 데이터를 기반으로 한 의사결정을 강화하며, 기업의 장기적인 성장과 지속 가능성을 지원하는 필수적인 기술로 평가 받고 있다.

(2) 경로 최적화

AI 기반 경로 최적화 기술은 물류 창고와 같은 복잡한 작업 환경에서 로봇이 충돌 없이 효율적으로 이동할 수 있도록 지원하는 핵심 도구다. 이러한 기술은 다수의 로봇이 협력하여 작업을 수행할 때, 각 로봇의 이동 경로를 동적으로 계획하고 작업 효율성을 극대화한다. AI의 도입으로 경로 최적화는 정적인 계획에서 벗어나 실시간으로 데이터를 처리하며 유연한 대응을 가능하게 한다. 이는 물류센터의 처리 속도와 정확도를 동시에 높이고, 운영 전반의 생산성을 향상시키는 데 기여한다.

AI는 대규모 데이터를 분석하고, 로봇의 동역학과 환경 제약 조건을 반영하여 최적의 경로를 계산한다. 특히, AI 알고리즘은 단순히 로봇 간 충돌을 방지하는 것을 넘어, 작업 순서를 동적으로 조정하고 예기치 않은 상황에서도 안정적인 경로를 유지하도록 설계된다. 이러한 시스템은 로봇이 복잡한 환경에서도 최적의 경로를 탐색할 수 있도록 지원하며, 각 로봇이 개별적으로 작동하는 것이 아니라, 전체적인 작업 흐름을 최적화하도록 조율한다.

예를 들어, AI는 로봇의 위치, 속도, 가속도, 회전 반경 등의 동역학 정보를 실시간으로 분석하여, 로봇이 좁은 통로에서도 원활히 작업을 수행할 수 있도록 최적 경로를 제공한다. 또한, AI는 환경의 변화나 작업량의 변동에 따라 경로를 동적으로 재계산하여 작업 지연을 최소화하고, 처리 효율을 극대화한다. 이러한 AI 기반 접근은 단순한 충돌 방지 수준을 넘어, 전체 물류 시스템의 작업 속도를 최적화하고 비용 절감을 실현한다.

참고문헌[15]의 연구에서는 AI 알고리즘이 복잡한 경로 최적화 문제를 해결하는 데 효과적임을 입증했다. AI 기술은 시뮬레이션과 실제 창고 환경에서 모두 높은 성과를 보였으며, 여러 로봇이 좁은 공간에서 동시에 작업할 때도 충돌을 방지하고 안정적인 작업 환경을 유지했다. 이러한 결과는 AI가 단순히 경로 계획을 보조하는 역할이 아니라, 물류 운영의 전반적인 구조를 최적화하는 데 필수적임을 보여준다.

경로 최적화에서 AI의 역할은 단순히 알고리즘의 계산 속도와 정확도를 높이는 데 그치지 않는다. AI는 데이터 기반 의사결정을 통해 로봇 간 협업을 강화하며, 물류 시스템이 예기치 않은 상황에 신속히 적응하도록 돕는다. 이러한 기술은 물류 환경의 복잡성을 효과적으로 다루면서도 처리량을 극대화하고, 운영 비용을 줄이며, 고객 서비스 품질을 향상시키는 데 중요한 역할을 한다.

결과적으로, AI 기반 경로 최적화는 물류센터와 같은 복잡한 작업 환경에서 운영 효율성을 극대화하고, 시스템의 안정성을 높이는 데 기여한다. AI는 물류업계에서 필수적인 기술로 자리 잡았으며, 앞으로도 물류 시스템의 민첩성과 유연성을 향상시키는 데 핵심적인 역할을 할 것이다.

(3) 고장 및 사고 예방

AI 기반 고장 및 사고 예방 기술은 물류 및 공급망 관리에서 시스템의 안정성을 유지하고 운영 효율성을 극대화하는 데 중요한 역할을 한다. 이러한 기술은 예측 분석과 이상 탐지 알고리즘을 활용하여 잠재적인

고장이나 사고를 사전에 감지하고 이를 방지하는 데 중점을 둔다. 특히, 인공지능(AI)과 머신러닝(ML) 알고리즘은 대규모 데이터에서 복잡한 패턴과 이상점을 식별하여 정확한 예측과 실시간 대처를 가능하게 한다.

참고문헌[16]의 연구에서는 최적화 계층적 클러스터링 순환 신경망(OHC-SRNN)을 활용하여 이상 탐지를 수행한다. 이 기술은 복잡한 연속 데이터의 패턴을 분석하여 고장을 예측하며, 데이터의 정규화와 주요 특징 추출 과정을 통해 시스템의 성능과 예측 정확도를 극대화한다. AI 모델은 네트워크의 계층적 구조를 활용해 데이터의 여러 수준에서 관계를 학습하고, 이를 통해 더 나은 고장 예방 및 시스템 안정성을 확보할 수 있다.

예를 들어, Z-Score 정규화와 주성분 분석(PCA)을 통해 데이터 품질을 향상시키고, 훈련 데이터에서 이상 패턴을 학습하여 새로운 데이터에서의 이상 탐지 정확도를 높였다. 또한, 기존 방법론과 비교했을 때, OHC-SRNN 기반 모델은 약 90.2%의 예측 정확도를 달성하였으며, 고장 및 사고로 인한 비용을 약 30% 절감하는 효과를 보여주었다.

이 기술은 단순히 데이터를 분석하는 것을 넘어, 운영 중단을 사전에 방지하고 시스템이 최적 상태를 유지하도록 지원한다. AI 기반 시스템은 실시간 데이터를 처리하여 이상 상황을 신속히 감지하며, 예기치 않은 문제 발생 시 경고를 제공하여 필요한 대응 조치를 가능하게 한다. 또한, 고장과 사고로 인한 재고 손실, 생산 중단 및 고객 불만을 줄이고, 공급망 운영의 전반적인 안정성을 높이는 데 기여한다.

결과적으로, AI 기반 고장 및 사고 예방 기술은 물류 및 공급망 관리에서 운영 효율성과 안전성을 보장하며, 기업이 비용을 절감하고 경쟁력을 유지하는 데 필수적인 도구로 자리 잡고 있다. 이러한 기술은 앞으로도 물류 및 생산 현장에서 점점 더 중요한 역할을 하게 될 것으로 기대할 수 있다.

(4) 안전 모니터링

AI 기반 안전 모니터링 기술은 인간과 로봇이 협업하는 작업 환경에서 작업자의 안전을 보장하고, 동시에 로봇의 작업 효율성을 유지하는 데 핵심적인 역할을 한다. 산업 자동화와 인간-로봇 협업이 증가하면서, 기존의 고정형 안전 시스템은 작업자의 위치나 행동을 실시간으로 반영하지 못하는 한계를 드러냈다. 이러한 한계를 극복하기 위해 AI 기술이 적용된 동적 안전 시스템(Dynamic Safety System)이 도입되었으며, 이는 작업자의 위치와 이동 속도, 로봇의 작업 상태를 실시간으로 분석하고 조정하여 안전성과 생산성을 동시에 극대화하는 솔루션을 제공한다.

AI 기반 동적 안전 시스템은 작업자와 로봇 간의 상호작용을 실시간으로 감지하고, 이를 바탕으로 로봇의 동작을 동적으로 조정한다. 작업자가 로봇 근처로 접근하면 로봇의 속도를 점진적으로 줄이고, 작업자가 멀어지면 다시 속도를 높이는 방식으로 작동한다. 이러한 조정은 작업자의 안전 거리를 유지하면서도 작업 중단 시간을 최소화하여 생산성을 유지하도록 한다. 특히, 작업자가 설정된 안전 거리를 초과해 로봇의 위험 구역에 접근하거나 갑작스럽게 예상치 못한 행동을 보일 경우, AI는 즉각적으로 보호 정지(Protective Stop)를 실행하여 사고를 방지한다. 이와 같은 실시간 대응은 단순히 작업 현장을 모니터링하는 것을 넘어, 안전성과 작업 효율성 간의 균형을 유지하는 데 중요한 역할을 한다.

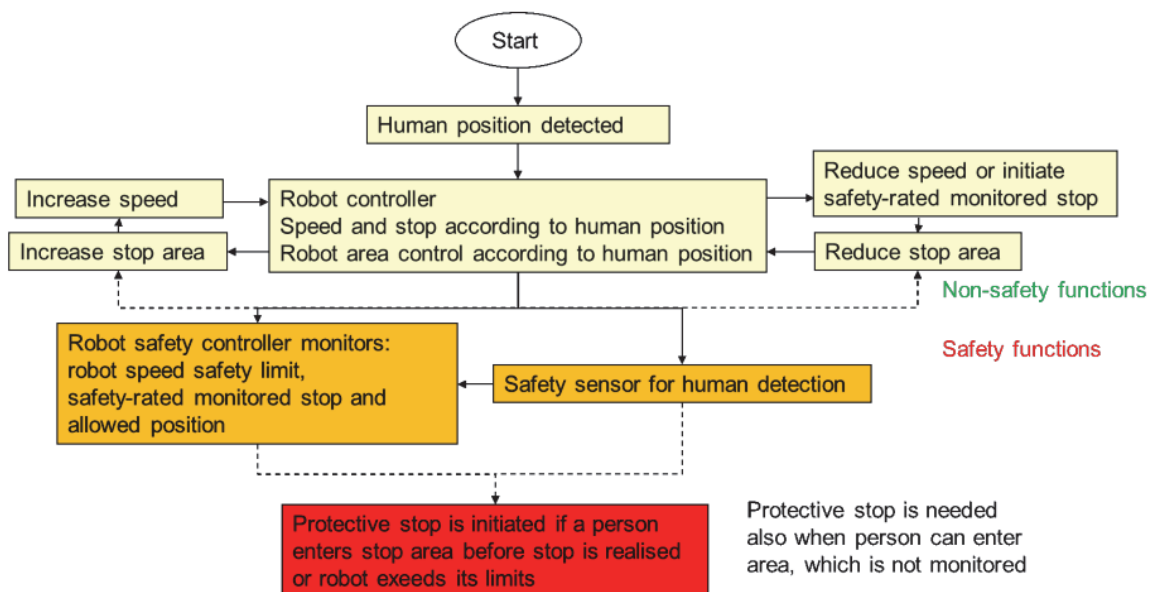
AI 기술은 단순히 데이터를 수집하는 데 그치지 않고, 이를 기반으로 작업 환경의 변화를 분석하고 예측하여 시스템의 유연성을 제공한다. 예를 들어, AI는 작업자의 움직임 데이터를 학습하여 작업자의 의도를 예측하고, 로봇의 작업 경로와 동작 속도를 사전에 조정한다. 이러한 능력은 작업 현장의 복잡성과 변수에 동적으로 대응할 수 있는 기반을 마련하며, 기존의 고정형 안전 시스템으로는 불가능했던 높은 수준의 협업을 가능하게 한다. AI 기반 안전 모니터링 기술은 작업 효율성 뿐만 아니라, 로봇과 인간 간의 상호작용

에서 발생할 수 있는 잠재적 위험을 완전히 새로운 방식으로 해결하고 있다. 기존의 안전 시스템이 고정된 작업 환경을 기반으로 설계되었다면, AI는 변화하는 작업 조건과 다양한 환경적 요인을 반영하여 실시간으로 적응하고 대응할 수 있는 능력을 제공한다. 이는 물류센터, 제조업, 도심형 물류센터(MFC)와 같은 복잡한 작업 환경에서 특히 유용하며, 시스템 오류나 작업자 행동의 예측 불가능성으로 인한 사고를 사전에 방지한다.

더 나아가, AI 기술의 발전은 안전 모니터링 시스템이 더욱 정교해질 가능성을 열어주고 있다. 예를 들어, AI와 머신러닝 알고리즘을 통해 작업자와 로봇의 행동 데이터를 장기적으로 축적하고 분석하여 더 나은 협업 모델을 개발할 수 있다. 또한, 작업자의 개별 행동 패턴에 맞춘 맞춤형 안전 조정 기능이 구현될 수 있으며, 이는 협업의 효율성과 안전성을 동시에 높이는 데 기여할 것이다.

결과적으로, AI 기반 안전 모니터링 기술은 인간과 로봇 간의 협업 환경에서 작업자의 안전을 보장하고 생산성을 유지하는 데 필수적인 역할을 하고 있다. AI가 제공하는 예측 능력과 실시간 대응 능력은 단순히 사고를 방지하는 데 그치지 않고, 협업 환경 전체를 보다 안전하고 효율적으로 만드는 데 기여한다. 향후 AI 기술이 더욱 발전함에 따라, 이러한 시스템은 더욱 복잡한 작업 환경에서도 중요한 역할을 할 것으로 기대된다.

[그림 1] 속도를 줄이고 정지 전 안전 모니터링 정지를 적용하는 과정



자료: Timo Malm, Timo Salmi, Ilari Marstio, and Jari Montonen(2019), Dynamic safety system for collaboration of operators and industrial robots

3.2 IoT 및 근거리 네트워크

다양한 물리적 장치들이 네트워크로 연결되어 데이터를 수집하고 상호작용하며, 이를 통해 효율적이고 지능적인 서비스를 제공하는 기술이다. IoT는 센서, RFID, GPS, 무선 통신 기술과 같은 하드웨어와 소프트웨어를 통합하여 데이터를 실시간으로 분석하고 처리할 수 있다. 이러한 연결성을 통해 IoT는 물류, 헬스케어, 스마트 시티 등 여러 산업에서 혁신을 이끌고 있으며, 특히 물류 분야에서는 자원 흐름 관리, 운송 추적, 창고 자동화 등에서 중요한 역할을 한다.

(1) IOT 기술별 정의와 사용 방식

1) 센서(Sensors): 센서는 물리적 환경에서 발생하는 다양한 데이터를 감지하고 측정하는 장치이다. 온도, 습도, 압력, 움직임, 무게 등 특정 조건을 감지해 디지털 데이터로 변환한다.

• 사용 방식:

- 창고 환경 모니터링: 온도, 습도 센서를 통해 민감한 제품의 보관 상태를 실시간 모니터링한다.
- 장비 상태 감지: 장비나 기계의 진동, 온도 변화를 감지해 유지보수가 필요한 시점을 예측한다.
- 재고 관리: 물품의 위치 및 상태를 추적하고 재고 이상 상황을 자동으로 감지한다.

2) 무선 센서(Wireless Sensors): 무선 센서는 데이터를 감지하고 이를 무선 통신 기술(Bluetooth, LoRa 등)을 통해 중앙 시스템에 전송하는 장치이다.

• 사용 방식:

- 공급망 모니터링: 물류 이동 과정에서 온도, 습도, 충격 여부를 실시간으로 확인하고, 화물의 상태 이상을 감지한다.
- 실시간 위치 추적: 창고 및 운송 중 특정 자산의 위치를 무선 센서를 통해 정확히 파악한다.
- 연결형 인프라 구축: 창고 내 자산 간 네트워크를 무선 센서로 구성하여 데이터 흐름을 최적화한다.

3) GPS(Global Positioning System): GPS는 인공위성에서 송출하는 신호를 기반으로 특정 대상의 위치와 이동 경로를 실시간으로 파악하는 시스템이다.

• 사용 방식:

- 자산 및 차량 추적: 창고나 운송 중 자산의 위치를 정확히 파악하여 분실을 방지한다.
- 경로 최적화: 배송 차량의 GPS 데이터를 통해 가장 효율적인 경로를 설정하고 운송 시간을 단축한다.
- 실시간 모니터링: 차량의 이동 상황과 속도를 실시간으로 분석하여 운영 효율성을 높인다.

4) 클라우드 기술(Cloud Technology): 클라우드 기술은 데이터를 인터넷 기반의 중앙 서버에 저장하고 언제 어디서든 이를 접근, 분석, 처리할 수 있도록 하는 기술이다.

• 사용 방식:

- 데이터 통합 관리: 센서 및 IoT 기기에서 수집된 데이터를 클라우드에 저장하고 실시간으로 분석한다.
- 원격 모니터링: 창고나 물류 차량의 운영 상황을 원격으로 관리하고 즉각적인 조치를 취할 수 있다.
- 에너지 최적화: 창고 내 조명, 난방, 환기 시스템을 클라우드 기반 시스템을 통해 자동으로 제어한다.

5) Bluetooth 및 LoRa: Bluetooth는 근거리 저전력 무선 통신 기술로 기기 간 데이터를 빠르게 전송한다. LoRa는 장거리 저전력 통신 기술로 소량의 데이터를 넓은 범위로 전송하는 데 사용된다.

• 사용 방식:

- 공급망 상태 모니터링: LoRa를 사용해 물류 컨테이너나 제품의 상태를 장거리에서 실시간으로 모니터링한다.
- 위치 기반 서비스: Bluetooth를 통해 창고 내 자산 및 장비의 위치를 정밀하게 추적한다.
- 에너지 효율성 확보: 저전력 특성을 활용해 배터리 기반 IoT 기기의 지속적인 작동을 보장한다.

6) Wi-Fi: Wi-Fi는 근거리 무선 네트워크를 통해 데이터를 빠르게 전송하고 인터넷에 연결할 수 있도록 하는 기술이다.

• 사용 방식:

- 음성 기반 작업 관리: 창고 내 음성 명령 시스템을 Wi-Fi 네트워크와 연동해 작업을 자동화하고 관리한다.
- 실시간 데이터 전송: 창고 장비 및 센서에서 수집한 데이터를 중앙 서버로 전송하여 작업 상황을 실시간으로 모니터링한다.
- 직원 생산성 향상: 무선 네트워크를 통해 직원들이 스마트 기기나 스캐너를 활용해 작업 효율을 높인다.

3.3 물류 창고의 IOT 사용 사례

(1) 실시간 자산 추적: GPS, 빅데이터와 센서를 통해 상품의 위치와 상태를 실시간으로 모니터링하여 저장 비용 절감, 생산성과 효율성 증가, 물품 및 직원의 보안 강화를 한다.

(2) 환경 모니터링: 온도, 습도 등 민감한 상품의 보관 조건을 지속적으로 관리하며, 에너지 소비 분석 및 제어를 하여 운영비를 관리한다.

(3) 음성 기반 창고 관리: 작업 효율성을 향상하고, 작업 효율성을 향상하고, 음성 통신을 통해 수작업 처리와 기타 작업에 여유를 제공하며, 시설 관리를 더욱 용이하게 한다.

〈표 3〉 Application of IoT technologies in warehousing

Product/application	Company	Technology used	Results
SmartLift: tracking the location of goods in the warehouse in real-time and the speed and direction of the forklift	Swisslog (Switzerland)	Big Data, sensors, GPS	Reduced storage costs, higher productivity and efficiency and increased security of supplies and employees [16]
Smart systems installation in the energy consumption of the warehouse, sensors placed in the infrastructure of the warehouse monitor and regulate the lighting ventilation and heating level	OHL (SAD)	Sensors, cloud technology	The analysis of the collected data enables control of energy consumption, reduction of costs [16]
Supply chain monitoring, temperature, chain compliance and visibility tracking, refrigerated containers monitoring	GlobeTracker (Denmark)	Wireless sensors, Bluetooth, LoRa	The company has insight into events inside the warehouse, increased income, increased efficiency [17]
VoiceXtreme: real-time voice warehouse management	Spica (Croatia)	Wi-Fi, sensors	Improved work efficiency, speech communication leaves more room for manual handling and other tasks, easier management of industrial facilities [20]

자료: Dominika Crnjac Milić, Irena Dujmenović, Marina Peko(2022), An Approach to the Application of the Internet of Things in Logistics

[그림 2] Swisslog SmartLIFT Technology for Forklifts: 실시간 자산 추적 사례



자료: James Macaulay, Lauren Buckalew, & Gina Chung(2015), Internet of Things in logistics, DHL Trend Research Report.

3.4 로봇 시스템

로봇 시스템은 인간의 개입을 최소화하면서 자동으로 물체를 이동, 분류, 포장 및 취급할 수 있는 기계적 장치이다. 이 시스템은 센서, 알고리즘, 데이터 처리 기능을 통합하여 복잡한 작업을 수행할 수 있다. 특히, 로봇 시스템을 도입하면 단순히 사람의 생산량만을 활용했을 때보다 물류 프로세스의 예측 정확도가 높아지고, 작업 효율성과 안정성이 향상되는 장점이 있다. 이는 물류 관리의 효율성과 효과성을 높이는 데 필수적인 기술로, 대규모 물류센터나 복잡한 공급망 환경에서 더욱 주목받고 있다.

로봇 시스템은 다음과 같은 주요 기능을 통해 물류 산업의 경쟁력을 강화한다.

- 자동화된 작업 수행: 반복적이고 시간이 많이 소요되는 작업을 자동으로 처리하여 작업 속도를 향상한다.
- 데이터 기반 예측 및 운영: 실시간 데이터 수집 및 분석을 통해 최적의 물류 흐름을 예측한다.
- 작업 안정성 및 일관성 보장: 인간 작업자의 피로로 인한 오류를 방지하고, 24시간 작업이 가능하다.
 - 이송 자동화 로봇: 물류센터 내에서 물품을 이동시키는 역할을 수행하며, 대형화된 물류센터에서 긴 거리의 물품 이동 작업을 자동화한다.

(1) 주요 종류

1) AGV(Automated Guided Vehicle): QR 코드, 자기 테이프, 또는 레이저와 같은 인공 표식을 따라 주행하며, 다양한 형태로 발전하고 있다. 최근 고층, 고단 보관랙과 결합되어 공간 효율성을 극대화하고 있다.

- Shelf 이송형 AGV: 보관 선반을 통째로 운반.
- 소팅 AGV: 배송 물품을 분류하고 지정된 위치로 이동.

- AGV의 장점

- 설치와 운영의 안정성: QR 코드와 같은 인공 표식을 따라 고정된 경로로 이동하기 때문에 시스템 구축이 비교적 간단하며 안정적인 운영 가능.
- 대규모 작업에 적합: 넓은 공간에서 대량의 물품을 정해진 경로로 반복적으로 이송하는 작업에 효율적.
- 비용 효율성: SLAM과 같은 복잡한 기술을 요구하지 않아 초기 도입 및 유지 비용이 비교적 낮음.
- 보관 효율성: 고층 보관 랙과 결합해 공간 활용도를 극대화하며, 선반 이동 작업에서 뛰어난 성능.

- AGV의 단점

- 유연성 부족: 고정된 경로로만 주행 가능하므로 동적인 작업 환경에서 적응력이 떨어짐.
- 장애물 처리 제한: QR 코드 기반으로 작동하기 때문에 동적 장애물 회피가 어렵고, 경로에 장애물이 생기면 작업 중단 가능성.
- 공간 제약: 넓은 이동 경로와 명확히 정의된 작업 영역이 필요하여 공간 활용의 유연성이 제한됨.

[그림 3] Shelf 이송형 AGV



자료: 쿠팡 뉴스룸(2022), 「글로벌 투자자들을 놀라게 한 쿠팡의 5가지 핵심 신기술, 4분 총정리, YouTube, <https://www.youtube.com/watch?v=QULDFE3RF5U>

[그림 4] Sorting AGV



자료: 쿠팡 뉴스룸(2022), 「글로벌 투자자들을 놀라게 한 쿠팡의 5가지 핵심 신기술, 4분 총정리, YouTube, <https://www.youtube.com/watch?v=QULDFE3RF5U>

2) AMR(Autonomous Mobile Robot): AMR은 비전 및 LiDAR(레이저 거리 측정 센서)를 활용해 SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) 기술로 주행하며, 고정된 경로 없이 동적으로 이동 경로를 탐색하는 자율 이동 로봇이다. 작업 환경의 변동성이 큰 장소에서 사용되며, 작업자와 동일한 공간에서 협력 작업이 가능하다.

• AMR의 장점

- 높은 유연성: 비전 및 LiDAR를 활용해 SLAM 기술로 동적으로 경로를 탐색하며, 고정 경로 없이도 작업 수행 가능.
- 동적 장애물 회피: 실시간으로 장애물을 탐지하고 회피할 수 있어 작업 환경 변화에 즉각 대응 가능.
- 작업 공간 절약: AGV보다 더 적은 공간을 필요로 하며, 작업자와 동일 공간에서 효율적으로 작업 가능.
- 다양한 활용 가능성: 물류센터 뿐 아니라 작업 경로가 자주 바뀌는 공장이나 복잡한 환경에서 유리.

• AMR의 단점

- 복잡한 초기 설정: 정밀한 환경 매핑과 SLAM 설정이 필요해 도입 초기 작업량이 많음.
- 높은 비용: 고급 센서와 AI 기술을 사용하기 때문에 초기 도입 비용이 AGV보다 높음.
- 환경 의존성: 조명, 반사율, 장애물 특성 등 환경적 요인에 따라 센서 성능이 저하될 가능성.

[그림 5] Shelf 이송형 AMR



자료: 광경민, 박범, 고은지, 윤철주, 김경훈(2022), 급속 확산되는 물류현장의 로봇적용 사례

3) ASRS(Automated Storage and Retrieval System): ASRS는 자동화된 보관 및 적재 시스템으로, 서랍형 또는 그리드형 구조를 통해 물품을 보관, 적재, 입출고까지 자동으로 수행한다. 물류센터에서 고밀도 보관과 정밀한 재고 관리가 필요한 환경에서 주로 사용된다.

• ASRS의 장점

- 공간 효율성 극대화: 그리드형 ASRS는 3차원적 보관 구조를 활용해 동일 면적에서 더 많은 물품 보관 가능.

- 고속 작업: 셔틀형 ASRS는 수평 및 수직 이동을 결합해 빠른 입출고 작업 수행.
 - 정확한 재고 관리: 위치 추적과 자동 입출고 기능으로 오류 없는 재고 관리 가능.
 - 고밀도 보관: 최소한의 공간으로 최대 보관 용량 제공, 창고 효율성 극대화.
- ASRS의 단점
- 도입 및 확장 비용: 복잡한 설계와 장비 설치로 초기 도입 비용이 높으며, 확장에도 제약이 존재.
 - 구조 변경 어려움: 시스템이 고정된 물리적 구조에 의존해 환경 변화에 적응하기 어려움.
 - 유지보수 복잡성: 기계적, 전자적 요소가 많아 고장 발생 시 전문적인 유지보수가 필요.
 - 낮은 이동성: AGV나 AMR처럼 자유롭게 이동할 수 없고, 특정 영역 내에서만 작동 가능.

[그림 6] Shuttle type ASRS



자료: 곽경민, 박범, 고은지, 윤철주, 김경훈(2022), 급속 확산되는 물류현장의 로봇적용 사례

- 4) 핸들링 로봇: 핸들링 로봇은 물품을 집거나 이동시키는 작업을 자동화하여, 물류 현장에서 주로 피킹 및 적재 작업에 활용된다. 이 로봇은 단순 반복 작업을 효율적으로 수행하며, 높은 정밀도와 속도를 통해 작업 생산성을 향상시킨다. 다양한 상품 크기와 형태를 처리할 수 있는 기술적 유연성을 갖추고 있으며, 물류센터와 제조업 환경에서 필수적인 장비로 자리 잡고 있다.

(2) 주요 종류

- 1) 박스 핸들링 로봇: 박스 핸들링 로봇은 주로 팔레트 단위의 박스를 적재하거나 분리하는 작업을 수행하며, 물류센터의 대형 물품 이송 및 적재 프로세스를 자동화한다.

- 디팔레타이징 로봇: 팔레트에 적재된 박스를 하나씩 꺼내는 작업을 자동화. 다양한 크기와 중량의 박스를 처리할 수 있는 유연한 설계. 반복 작업에서 인건비를 절감하며 작업 속도를 크게 향상.
- 팔레타이징 로봇: 박스를 팔레트에 안정적으로 적재하며, 물류센터의 적재 작업 효율성을 높임. 다양한 크기의 박스를 정해진 패턴에 따라 쌓아 올릴 수 있음. 비정형 패턴으로 적재 작업의 난이도가 높아 고도화된 기술 요구.

• 박스 핸들링 로봇의 장점

- 고중량 물품 처리: 대형 및 중량 물품의 핸들링을 안정적으로 수행.
- 효율성 증가: 반복 작업을 자동화하여 시간 및 인건비 절감.
- 유연한 설계: 다양한 크기와 중량의 박스를 처리할 수 있는 유연성.

• 박스 핸들링 로봇의 단점

- 높은 초기 비용: 팔레타이징과 디팔레타이징 기능을 위한 고성능 로봇과 주변 장비 도입 비용이 높음.
- 기술적 한계: 비정형 패턴 적재 및 복잡한 팔레트 구성에 대한 작업에서 높은 기술 난이도.
- 공간 제약: 대형 로봇 설치를 위한 충분한 작업 공간이 필요.

2) 날개 핸들링 로봇: 날개 핸들링 로봇은 소형 상품을 개별적으로 인식하여 피킹하고 주문 박스에 투입하는 작업을 자동화한다. 전자상거래 증가로 인해 수요가 급증하고 있으며, 고속 처리와 높은 정밀도를 요구한다. 다관절 로봇과 비전 시스템, 고속 그리퍼를 사용해 다양한 형태와 크기의 소형 상품 처리하며, 고속 작업 환경에서 여러 상품을 동시에 피킹할 수 있는 기술이 점차 개발되고 있다. 그리고 제품의 무게, 크기, 표면 상태 등 다양한 조건에 유연하게 대응이 가능하다.

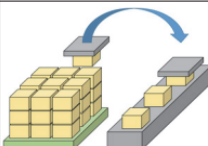
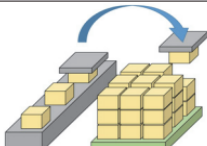
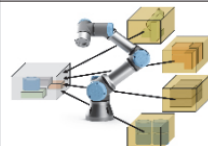
• 날개 핸들링 로봇의 장점

- 전자상거래에 최적화: 소형 상품의 피킹 및 분류를 자동화해 주문 처리 시간을 단축.
- 고속 작업: 고속 그리퍼와 정밀한 비전 시스템으로 작업 생산성 극대화.
- 정확성 향상: 상품의 크기와 형태를 자동으로 인식하여 작업 오류를 줄임.

• 날개 핸들링 로봇의 단점

- 기술적 제약: 다수의 상품을 동시에 처리하는 기술이 아직 초기 단계로, 추가적인 연구 개발 필요.
- 비용 부담: 고속 그리퍼와 정밀 비전 시스템의 도입으로 초기 설치 비용이 높음.
- 상품 다양성 제한: 일부 복잡한 형태나 표면 상태가 까다로운 상품에 대해 작업 효율이 낮을 수 있음.

[그림 7] Box handling과 Piece handling의 차이점

Box handling		Piece handling
De-Palletizing	Palletizing	Piece picking
		
Same volume ¹⁾ , Different volume ²⁾ Box	Same volume ¹⁾ , Different volume ²⁾ Box	Same volume ¹⁾ , Different volume ²⁾ Box and Irregular shape ³⁾
Difficulty medium	Difficulty medium	Difficulty high

¹⁾Same volume box: A box has same W x D x H with volume

²⁾Different volume box: A box has different W x D x H with volume

³⁾Irregular shape: every other shape except box (Ex. Pouch, Sack, etc.)

자료: 광경민, 박범, 고은지, 윤철주, 김경훈(2022), 급속 확산되는 물류현장의 로봇적용 사례

III. 사례 분석

본 BP에서는 물류 로봇의 적용 사례를 심층적으로 분석하고자 하였으나, 물류 로봇의 적용에 대한 학문적 연구나 구체적인 통계 데이터가 부족한 한계가 있었다. 이에 따라, 실제 물류 로봇을 제조하는 주요 로봇 기업과 공급사 그리고 물류 자동화를 도입한 기업이 직접 소개하는 사례를 중심으로 구체적인 적용 사례와 성공 성과를 살펴보고, 실패 사례는 필요에 따라 “C사와 같은” 같이 기업명을 익명으로 처리하여 분석하였으며, 이를 통해 실질적으로 활용되고 있는 물류 로봇의 효율성과 그 영향을 설명하고자 한다.

1. 국내 사례

1.1 쿠팡 대구 센터 물류 로봇 도입 성공 사례

(1) 도입 배경

쿠팡은 한국 최대의 전자상거래 기업으로, 팬데믹 상황에서 급증하는 온라인 주문량에 직면하며 물류 효율성과 운영 안정성을 확보해야 했다. 하지만 다음과 같은 문제점이 부각되었다:

- 급증하는 주문량: 팬데믹 동안 전자상거래 주문량이 폭발적으로 증가하며, 기존의 물류 프로세스만으로는 대응하기 어려운 상황이 발생하였다.
- 노동력 부족: 물류센터 위치 특성상 교외 지역의 노동 인프라인가 부족했으며, 반복적이고 신체적으로 부담이 큰 작업으로 인력의 이직률도 높았다.
- 효율성 제고의 필요성: 물류 처리 속도와 정확성, 공간 활용성을 동시에 개선할 자동화 솔루션 도입이 요구되었다.

(2) 도입된 로봇 솔루션

쿠팡은 물류 효율성을 강화하기 위해 물류 로봇 시스템을 도입하였다.

주요 도입 솔루션과 전략은 다음과 같다:

- 로봇 피킹 및 소팅 시스템: 해당 물류센터에서 가장 많은 노동력을 요구하는 피킹과 소팅 작업을 자동화함으로써 작업의 정확성과 속도를 대폭 향상시킬 수 있었으며, 노동력 부족 현상을 해소하였으며, 특히, 로봇 피킹 시스템은 반복적이고 신체적으로 부담이 큰 작업을 대체하여 작업자의 피로를 효과적으로 감소시켜 인력 이직률 하락에 기여하였다.
- 안전 및 경로 최적화 설계: 물류센터를 작업자와 로봇이 안전하면서 효율성이 공존할 수 있도록 구역별로 나누어 운영하였다. 이는 작업자의 안전성을 보장하면서도 로봇 운영의 효율성을 극대화한 설계이다.
- 신속한 도입과 적응: 공급사의 대형 프로젝트 첫 성공에 대한 강력한 의지와 본사의 지원, 그리고 사용자 측의 적극적인 협력을 통해 새로운 솔루션이 신속히 배치되었다. 이를 통해 물류센터는 16주 이내에 자동화 시스템으로 원활히 전환될 수 있었다.

(3) 결과 및 성과

물류 로봇 도입 후 다음과 같은 성과가 나타났다:

- 운영 효율성 강화: 피킹 및 소팅 작업의 속도가 기존 대비 약 300% 이상 증가하였으며, 주문 처리량이 대폭 확대되었으며, 하루 최대 6만 건의 주문을 처리할 수 있는 시스템 구축이 가능 해졌다.
- 작업자의 노동 강도 완화: 물류 로봇이 물리적 반복 작업을 대체함으로써 작업자의 도보 이동과 신체적 부담을 감소시켰다. 이로 인해 작업 환경이 개선되고, 이직률 감소에도 긍정적인 영향을 미쳤다.
- 공간 활용성 증대: 로봇 시스템 도입으로 물류센터 공간의 활용도가 최적화되었으며, 단위 면적당 처리량이 크게 향상되었다.
- 안전성 강화: 로봇과 작업자가 구역을 분리하여 동작하도록 설계함으로써 작업 중단 없이 안전한 환경을 유지하였다.

1.2 C사의 저온센터의 로봇 도입 실패 사례

(1) 도입 배경

- 급증하는 신선식품 배송 수요: 팬데믹 이후 온라인 식품 주문이 폭발적으로 증가하면서, 기존 물류 시스템만으로는 이를 처리하는 데 한계가 발생했다. 그리고 또한 신선 식품의 경우 짧은 유통기한과 까다로운 보관 조건으로 인해 물류 프로세스의 속도와 정확성이 중요하였다.
- 노동력 문제와 작업 환경 개선: 저온(신선)물류센터는 냉장 환경에서 작업해야 하므로, 노동 강도가 높은 작업 환경이 지속적으로 문제로 지적되어 왔다. 반복적이고 신체적으로 부담이 큰 작업을 로봇이 대체함으로써, 작업자의 안전성과 편의를 개선하고 이직률을 줄이는 효과를 기대했다.

(2) 도입된 로봇 솔루션

C사는 물류 효율성을 강화하기 위해 물류 로봇 시스템을 도입하였다.

주요 도입 솔루션과 전략은 다음과 같습니다:

- 로봇 피킹 및 포크리프트: 해당 물류센터에서 가장 많은 노동력을 요구하는 피킹과 박스 단위 운반에 필요한 포크리프트를 적용하였다.

(3) 결과

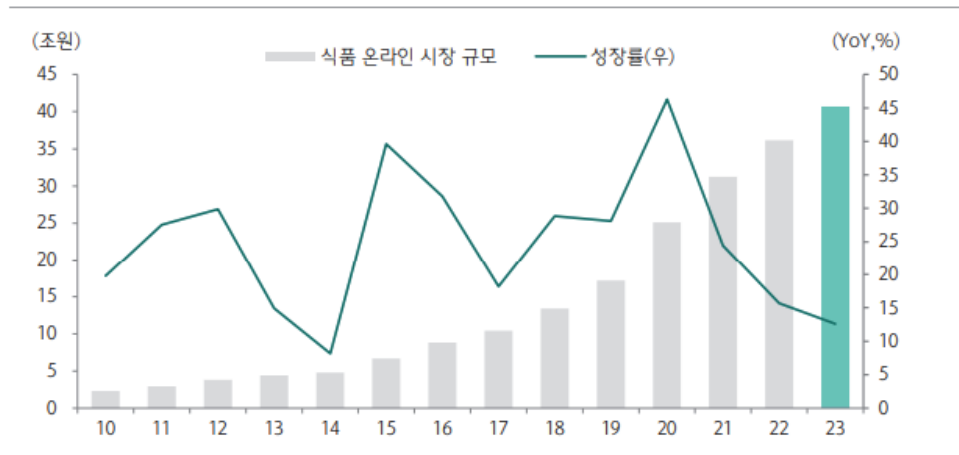
물류 로봇 도입 후 다음과 같은 결과가 나타났다:

- 저온에서 낮은 로봇의 리튬 배터리 효율로 인한 잦은 충전 및 방전: 저온 환경에서 리튬 배터리 효율 저하로 인해 로봇의 잦은 충전과 방전이 발생하였으며, 이는 로봇 운영 수량에 영향을 미쳤다. 이러한 문제로 인해 로봇의 운용률이 낮아졌고, 결과적으로 운영 효율이 저하되었다.
- 신선식품의 낙하 시 상품의 파손 및 로봇의 오염 및 파손: 신선식품은 다른 상품에 비해 파손 시 내용물이 유출되어 로봇 및 작업 환경에 영향을 미쳤다.

- 저온창고의 수요 예측 실패: 식품 온라인 시장 규모는 지속적으로 성장하고 있었으나, 시장 내 경쟁 강도가 심화되면서 냉장창고의 축소 결정이 이루어졌다. 이는 로봇 도입에 따른 비용 투자에 손실을 발생시켰다.

〈표 4〉 식품 온라인 시장 규모와 성장률

도표 1. 식품 온라인 시장 규모와 성장률



자료: 서현정(2024), 산업분석_Brief-유통, 하나증권

(4) 시사점

- 저온 환경에서의 적합한 기술 선택의 중요성: 저온 환경에서 리튬 배터리를 사용하는 로봇의 한계는 자동화 장비를 도입할 때 환경적 특성을 면밀히 고려해야 한다는 점을 보여준다. 이러한 환경에서는 배터리 기반 로봇보다 상시 전원이 공급되는 모듈형 자동화 장비가 더 적합하며, 안정적인 작동과 운영 효율성을 동시에 확보할 수 있다. 이는 기술 선택에서 초기 비용 뿐만 아니라 장기적인 안정성과 운영성을 평가해야 함을 시사한다.
- 신선식품 물류의 특수성 이해: 신선식품의 파손 및 낙하로 인한 문제는 자동화 시스템이 처리 대상 상품의 특성을 충분히 반영해야 한다는 교훈을 준다. 신선식품과 같은 민감한 상품은 로봇 설계와 물류 프로세스에서 충격 완화 및 오염 방지를 위한 추가적인 고려가 필요하며, 이를 통해 작업 중단과 비용 증가를 예방할 수 있다.
- 정확한 수요 예측의 중요성: 수요 예측 실패로 인해 냉장창고 축소와 같은 의사결정이 발생했으며, 이는 로봇 도입의 경제적 타당성에 부정적인 영향을 미쳤다. 이는 자동화 시스템 도입 전에 철저하고 정확한 수요 예측이 필수적임을 보여준다. 또한, 시장 환경 변화와 경쟁 강도를 면밀히 분석하고 이에 대응할 수 있는 유연한 운영 전략이 필요하다는 점을 강조한다.

2. 국외 사례

2.1 European pharmacy giant Dr. Max 체코 프라하 센터 물류 로봇 도입 성공 사례

(1) 도입 배경

Dr. Max는 유럽 6개국에서 약 3,000개의 약국을 운영하는 대형 약국 체인으로, 수작업 기반의 주문 피킹과 재고 보충 작업에서 여러 문제를 겪었다:

- 작업 효율성 부족: 노동 집약적인 작업으로 인해 처리 속도가 한계에 도달.
- 작업 오류: 약품 피킹 및 분류 과정에서 발생하는 오류가 환자 안전과 비용 증가로 이어짐.
- 증가하는 물류 수요: 점점 더 많은 약국 네트워크와 온라인 주문량 증가로 물류 자동화의 필요성이 대두.

(2) 도입된 로봇 솔루션

Dr. Max는 물류센터 내 Shuttle type ASRS 로봇 9대를 도입하여 주문 피킹과 재고 보충을 자동화했습니다. 도입된 기술의 주요 특징은 다음과 같다:

- AI와 3D 머신 비전 기술: 로봇은 AI와 3D 머신 비전을 활용해 자율적으로 피킹 작업을 수행하며, 복잡한 창고 환경에서도 정확히 이동.
- 유연한 자율 주행: QR 코드나 자기 테이프 없이 좁은 통로에서도 자율적으로 작동하여, QR코드나 자기 테이프의 유지보수 비용 절감.
- 독립적 운영: 모든 로봇이 개별적으로 작동하여 단일 장애 지점(Single Point of Failure)을 제거, 시스템 신뢰성을 보장.
- 확장성: 추가 로봇 도입을 통해 작업량을 쉽게 확장 가능.

(3) 도입 결과

Dr. Max는 로봇 도입 이후 물류 작업에서 다음과 같은 구체적인 성과를 달성했다:

- 노동 절감 효과: 피킹 작업에서 100%의 노동력 절감을 이루었으며, 기존 작업 인력을 품질 관리 등 다른 핵심 업무로 재배치.
- 처리량 증가: 같은 공간 내에서 40%의 처리량 증가를 기록, 공간 효율성이 크게 향상.
- 피킹 정확도 개선: 로봇이 피킹 오류를 거의 완전히 제거하며, 환자 안전성과 재고 추적 정확도를 향상시켰고, 주문 수정으로 인한 비용 절감 효과도 얻음.
- 운영 안정성: 도입 이후 로봇은 100% 가동률(Uptime)을 유지하며, 안정적인 작업 환경 제공.
- 확장 용이성: 추가 로봇을 최소한의 노력으로 도입할 수 있어, 물류센터의 처리량 확장이 용이.

2.2 미국의 온라인 식료품 배송업체 웹밴(Webvan) 실패 사례

(1) 도입 배경

- 효율적 물류 시스템 구축 필요성: 신선식품 유통의 높은 비용 구조와 재고 관리의 어려움을 해결하기 위해 대규모 물류센터와 자동화 시스템 도입을 계획하였다.
- 온라인 쇼핑의 편리함 제공: 소비자들이 매장 방문 없이 간편하게 신선식품을 주문하고 배송받을 수

있는 새로운 서비스를 제공하려고 하였다.

- 수요 예측 및 최적화: 고객의 주문 데이터를 기반으로 수요를 예측하고, 물류 프로세스를 최적화하여 비용 효율성을 높이고자 하였다.

(2) 도입된 로봇(자동화) 솔루션

- 캐로젤 시스템(Carousel System): 물류센터 내부의 대규모 자동화 설비로, 소수의 작업자가 많은 상품을 효율적으로 피킹할 수 있도록 설계. 1개 물류센터에 평균 12개의 대형 캐로젤 설치, 각각 7,500개 이상의 보관 장소 보유.
- 배송 최적화 시스템: 데카르트 시스템즈와 협력하여 배차 및 배송 최적화 알고리즘 개발. 고객이 지정한 30분 타임윈도우에 맞춰 주문을 배송.
- 고정형 대규모 물류센터: 1개의 물류센터 구축에 약 3,500만 달러 투자. 신선식품뿐만 아니라 일반 상품 유통으로 확장 가능하도록 설계.

(3) 결과

웹밴의 자동화 물류 시스템은 당시 기술로는 매우 혁신적이었으나, 실패로 끝났다. 주요 결과는 다음과 같다.

- 매출 대비 높은 고정비용: 물류센터와 자동화 시스템에 과도한 초기 투자(총 10억 달러 이상)가 이루어졌으나, 수요 예측 실패로 인해 물류센터 가동률이 25~30%에 그침. 초기 수요 부족으로 인해 주문당 처리비용이 급격히 증가.
- 수요 예측 실패: 시장 확장 속도가 예상보다 느리고, 고객 기반이 충분히 확보되지 못함. 고정된 배송 시간 옵션을 제공했으나, 많은 고객이 신선식품을 오프라인 매장에서 직접 구매하길 선호.
- 운영 비용 증가: 낮은 물류센터 가동률로 인해 고정비 부담이 커지고, 운영비가 매출 증가를 초과. 닷컴 버블 붕괴로 추가 자금 확보 실패.
- 파산: 2001년 웹밴은 서비스를 중단하고 2002년에 파산.

(4) 시사점

- 수요 예측의 중요성: 고객 수요가 예측 불가능한 초기 단계에서는 고정비용이 높은 대규모 자동화 설비 투자보다는 점진적 도입이 필요하다는 것을 알게 해주었다.
- 유연한 자동화 전략의 필요성: 고정된 대규모 자동화 시스템(캐로젤) 대신, 고객 수요 변화에 대응 가능한 유연한 자동화 기술(예: 이동 로봇 기반 시스템)에 영향을 주었다.
- 고정비용 관리의 중요성: 초기 단계에서 대규모 인프라 구축은 고정비용 부담을 증가시키며, 수익성을 낮출 위험이 있다. 단계별로 확장하며 고정비용을 관리하고, 수익 구조를 먼저 안정화하는 전략이 필요하다.
- 서비스 설계와 소비자 행동의 이해: 모든 고객이 빠른 배송을 원하지는 않는다는 점에서, 고객의 실제 요구와 행동을 반영한 현실적인 서비스 설계가 필수적이다. 지나치게 이상화된 서비스보다, 고객이 실

제로 가지 있게 여기는 것을 제공해야 한다.

- 기술과 시장의 균형: 혁신적인 기술 도입이 기업 성공을 보장하지 않으며, 기술 도입과 시장 수요 간 균형을 유지하는 것이 기업의 지속 가능성을 확보하는 데 중요하다는 것을 배울 수 있었다.

IV. 전략적 제언

로봇 시스템 도입은 물류 효율성을 향상시키는 강력한 도구가 될 수 있지만, 초기 투자 비용과 유지보수 비용이 크며 각 물류센터의 특성에 맞춘 최적화 과정이 필수적이다. 따라서 로봇 시스템을 도입하려면 신중한 분석과 전략적 계획이 필요하다.

1. 기술적 제언

물류 로봇의 성능과 안정성을 극대화하기 위해서는 도입 단계부터 운영 및 유지보수에 이르는 전 과정에서 체계적인 기술적 접근이 이루어져야 한다. 이를 위해, 물류센터의 특성과 작업 환경에 적합한 설계와 검증 과정을 통해 로봇 시스템의 신뢰성을 보장하고, 운영 중 발생할 수 있는 문제를 최소화할 것을 제안한다.

1.1 제조사 검증의 중요성 (최우선 사항)

제조사 및 공급사 검증은 로봇 시스템 도입의 첫 단계로, 안정적인 운영과 장기적인 기술 지원을 보장하기 위해 필수적이다.

물류 로봇 시장에는 스타트업 기업이 많으므로, 제조사의 재무 안정성, 기술력, 과거 성공 사례(레퍼런스), 유지보수 및 기술 지원 능력을 철저히 평가해야 한다.

스타트업의 경우, 장기적인 기술 지원 가능성을 확인하고 리스크를 관리하기 위한 추가 보증 방안을 마련해야 한다.

1.2 레퍼런스 검토 및 POC(Project of Concept) 활용

제조사의 레퍼런스를 검토하여 기술이 다양한 환경에서 효과적으로 작동했는지 확인해야 한다.

레퍼런스가 부족하거나 새로운 환경에 도입되는 경우, POC를 통해 실질적인 성능과 적합성을 검증하여 신뢰성을 확보해야 한다.

1.3 로봇 시스템 ‘도입 시’ 주요 고려 사항

(1) 기존 물류창고의 물류량 증가에 대한 대응으로 인한 물류 로봇 도입

- 유기적 연계와 확장성 확보: 기존 프로세스와의 원활한 연계가 필수적이며, 로봇 시스템은 기존 작업 흐름을 보완하고 강화해야 한다. 물류량 증가 가능성을 고려해, 확장성과 유연성을 갖춘 설계가 필요하다.

- 점진적 도입 전략: 초기에는 특정 작업 영역에서 파일럿 프로젝트를 운영해 효과를 검증하고, 점진적으로 확대하여 리스크를 최소화할 수 있다.

(2) 새로운 물류창고 구축 시 물류로봇 도입

공간 활용 최적화와 고효율 자동화 시스템 설계: 물류창고의 전략적 목표에 맞춰 초기 설계 단계에서부터 고효율 자동화 시스템을 반영해야 한다.

- 미래 성장을 반영한 유연한 설계: 물류량 증가와 기술 발전에 대비하여 확장 가능성을 갖춘 설계가 필요하다.
- 환경과 구조적 요소 반영: 로봇 시스템의 성능을 극대화하기 위해 물류창고의 층고 높이, 이동 경로, 전원 배치, 냉난방 환경 등 구조적 요소를 설계에 반영해야 한다. 예를 들어, 고밀도 저장 시스템의 효율적인 운영을 위해 충분한 층고를 확보하거나, 로봇 이동 경로의 장애물을 최소화하는 설계가 필요하다.
- 바닥 환경의 중요성: 물류 로봇과 로봇의 고충 구조물은 바닥 상태에 크게 영향을 받기 때문에, 바닥의 평탄도, 재질, 내구성 등이 로봇의 요구사항에 맞게 설계되어야 한다. 특히 AGV/AMR 같은 이동형 로봇은 바닥의 마모 저항성 (AR), 평탄도 등 작업 속도와 안정성에 직접적으로 영향을 미치므로, 로봇 제조사의 권장 사양에 맞는 바닥재를 적용해야 한다.

1.4 유지보수 및 기술 지원 체계 강화

- 정기적인 유지보수 계획: 정기적인 유지보수 계획을 수립하고, 예상치 못한 다운타임을 최소화할 수 있는 신속 대응 체계를 마련해야 한다.
- 공급자의 유지보수 보증 확보: 공급자로부터 유지보수 보증(SLA: Service Level Agreement)을 통해 신속한 부품 교체와 기술 지원을 보장받아야 하며, 장기적인 기술 지원, 부품 공급 정책, 시스템 업데이트 및 업그레이드 지원을 계약 단계에서 명확히 정의해야 한다.
- 예비 부품 확보와 전담 인력 교육: 주요 예비 부품을 사전에 확보하고, 유지보수를 담당할 전담 인력을 체계적으로 교육하여 즉각적인 문제 해결이 가능하도록 준비해야 한다.

2. 비즈니스적 제언

물류 로봇 도입의 경제적 타당성을 높이고, 도입 이후 운영 효율성을 극대화하기 위해 특히 ROI 분석을 통한 명확한 경제적 평가와 점진적 도입 전략을 제안한다. 이를 통해 초기 투자에 따른 리스크를 최소화하고, 비용 대비 효과를 극대화할 수 있는 방안을 마련해야 한다.

2.1 ROI 측정과 비용 대비 효과 분석

물류 로봇 도입은 초기 투자 비용이 상당히 크기 때문에, 이를 합리적으로 정당화하고 도입 이후 운영 효율성을 극대화하기 위해서는 경제적 타당성을 명확히 평가하는 체계적인 접근이 필요하다. ROI(Return on Investment) 분석은 물류 로봇 도입이 기업에 제공할 수 있는 경제적 가치를 구체적으로 평가하고, 이

를 기반으로 도입의 적합성과 장기적인 이점을 검토할 수 있는 핵심 지표로 활용된다.

특히, ROI 분석을 통해 물류 로봇이 인건비 절감, 생산성 향상, 공간 활용성 개선 등에서 얼마나 효과적인 도구로 작용할 수 있는지를 수치적으로 평가함으로써, 물류 로봇 도입의 타당성을 보다 객관적으로 확인할 수 있다. 이러한 분석 결과는 초기 투자에 따른 리스크를 최소화하고, 비용 대비 효과를 극대화하는데 중요한 역할을 한다.

(1) 인건비 기준의 ROI 측정

물류 로봇의 도입 비용은 대당 약 3,000만 원에서 5,000만 원이며, 관제 소프트웨어 시스템 구축에는 약 2,500만 원에서 1억 원의 추가 비용이 소요된다. 이에 따라, ROI 계산 시 최저 시급이나 평균 인건비를 기준으로 로봇이 대체하거나 보완할 수 있는 작업량을 분석해야 한다.

예를 들어, 로봇 한 대가 수행할 수 있는 작업량(예: 물품 이송, 피킹 작업 등)을 기존 인력의 작업량과 비교하고, 이를 통해 연간 인건비 절감 효과를 산출할 수 있다. 이 분석은 물류 로봇의 경제적 타당성을 객관적으로 평가하는 데 기여한다.

〈표 5〉 물류 로봇 가격 참고

구 분		마로로봇테크	국내 AGV (H사)	국내 (T사)	중국 AGV(HIKVISION)	일본 AGV(무라타)
로봇 응용 위치인식 기술	QR코드 위치인식	○	X (수입판매)	X	○	X
	마그네틱	○	○	X	X	○
	라인 위치인식	○	X	X	X	X
	SLAM	○	X	○	X	○
	추종형	○	X	○	X	X
관제 소프트웨어 유무		○	○	○	○	○
수요처 Needs에 맞는 Customize		○	○	X	○ 10대 이상 가능	X
주차로봇(3000kg)		○	X	X	○	X
적재중량(Payload)		30kg ~ 3,000kg	300kg ~ 3,000kg	60kg ~ 500kg	500kg ~ 3,000kg	500kg ~ 1,500kg
제품가격		30kg~500kg : 3,500만원 1,000kg : 4,500만원 3,000kg : 12,000만원	정확한 금액을 알 수 없으나 마그네틱 방식의 경우 1,500 ~ 5,000만원 수준	60kg~500kg : 2,500~3,500만원	500kg : 2,900만원 1,000kg : 4,200만원 3,000kg : 10,000만원	
관제 소프트웨어		대당 600만원	Copy 당 2,500만원		Copy 당 1억	

자료: Funding4u(2022), 위치 인식 기반 ‘물류&주차 로봇’ 개발 선도 기업 (주)마로로봇테크
<https://www.funding4u.co.kr/invest/projects/11073>

(2) 공간 활용성과 물류량을 고려한 ROI 측정

물류량이 많은 대규모 창고에서는 시간당 작업 처리 능력(Capability)과 공간 효율성(Space Utilization)을 중심으로 ROI를 계산해야 한다. 로봇 도입으로 단위 면적당 물류 처리량을 증가시키고, 기존 공간을 효율적으로 재배치함으로써 물류 운영의 전반적인 효율성을 분석할 수 있다.

(3) 총 소유 비용(TCO: Total Cost of Ownership) 관점의 분석

물류 로봇 도입 시 초기 투자 비용 뿐만 아니라, 유지보수 비용, 시스템 통합 비용, 소프트웨어 업데이트 비용 등을 포함한 총 소유 비용(TCO)을 평가해야 한다. TCO 분석은 단순한 초기 비용이 아닌 장기적인 운영 효율성을 기반으로 도입 결정을 내리는 데 유용하다.

2.2 로봇 도입을 위한 의사결정 프레임워크

효과적인 로봇 도입과 운영을 위해 다음의 의사결정 프레임워크를 활용할 수 있다.

(1) 요구사항 분석

현재 물류창고의 운영 프로세스를 평가하고, 개선이 필요한 문제를 정의한다.

예: 물류 처리 속도 향상, 인건비 절감, 작업 안전성 개선 등 구체적인 목표를 설정한다.

(2) 기술 선택

AGV, AMR, ASRS 등 다양한 로봇 기술을 비교·분석하여, 물류창고의 특성과 요구사항에 적합한 기술을 선택한다.

각 기술의 장단점, 확장 가능성, 초기 투자 및 유지보수 비용을 종합적으로 고려한다.

(3) 운영 시뮬레이션

선택된 로봇 시스템의 운영 시뮬레이션을 통해 예상 성능과 비용 효율성을 검증한다.

시뮬레이션 결과를 바탕으로 로봇 시스템이 실제 환경에서 적합한지 판단하고, 필요 시 최적화를 진행한다.

(4) 통합 계획

기존 시스템과 로봇 시스템 간의 하드웨어 및 소프트웨어 통합 전략을 수립한다.

시스템 간 호환성을 확인하고, 물류창고의 전체 프로세스를 재설계하여 원활한 운영이 가능하도록 준비한다.

(5) 성과 측정(도입 이후)

도입 이후 ROI, 생산성 향상, 운영 비용 절감, 작업 안전성 개선 등 주요 성과 지표(KPI)를 정기적으로 측정하고 분석한다.

지속적인 KPI(Key Performance Indicator) 모니터링을 통해 로봇 도입의 효과를 검증하고 필요한 개선 사항을 도출한다.

2.3 제조사와 공급사의 POC(Project of Concept)지원 활용

(1) POC(Project of Concept)의 활용

POC는 제조사와 공급사 모두에게 유익한 과정으로, 초기 파일럿 프로젝트를 통해 로봇 시스템의 성능과 적합성을 사전에 검증할 수 있다. POC 결과는 ROI 평가와 최종 도입 결정에 중요한 데이터를 제공하며, 이를 통해 공급사는 기술적 강점을 증명하고 고객 신뢰를 확보할 수 있다. 제조사와 공급사는 POC 지원을 통해 고객 요구를 반영하고, 맞춤형 솔루션을 개발할 기회를 얻을 수 있으므로 적극적으로 협력할 가능성이 높다.

2.4 비즈니스적 기대 효과

(1) 경제적 효율성

로봇 도입으로 인건비를 절감하고, 물류 프로세스의 자동화를 통해 생산성을 극대화할 수 있다.

(2) 공간 활용 최적화

로봇 시스템은 기존 창고 공간을 보다 효율적으로 활용할 수 있도록 설계되며, 단위 면적당 처리량을 증가시킨다.

(3) 리스크 최소화와 신속한 확장성

POC를 통해 리스크를 최소화하고, 향후 물류량 증가에 따른 시스템 확장이 용이한 환경을 구축할 수 있다.

(4) 경쟁력 강화

효율적인 로봇 통합 전략은 물류센터의 운영 효율성을 높이고, 기업의 시장 경쟁력을 강화하는 데 기여한다.

3. 사회적 제언

물류 로봇의 도입은 노동 시장에 큰 변화를 가져오며, 이를 사회적으로 수용하고 적응하기 위해서는 체계적이고 논리적인 접근이 필요하다. 단순히 노동자를 대체하여 인력을 줄이는 것이 아니라, 사람과 로봇이 협력하여 더 나은 일자리와 작업 환경을 만드는 데 초점을 맞춰야 한다. 이를 위해 다음과 같은 전략을 제안한다.

3.1 로봇의 역할 재정의: 대체가 아닌 협력

물류 로봇은 단순히 인간의 노동을 대체하는 기계가 아니라, 사람의 작업을 돕는 보조적인 도구로 자리 잡아야 한다. 로봇 기술은 단순 반복적이고 신체적으로 힘든 작업을 대신 수행함으로써 인간 노동자들이 더 안전하고 쾌적한 환경에서 일할 수 있도록 돕는다. 예를 들어, 신체적으로 부담을 주는 행위는 로봇이 노동자를 대신해 작업을 수행함으로써 작업자의 건강과 안전을 보호할 수 있다. 이러한 보조적 역할은 작업 효율성을 높이고, 인간 노동자가 보다 창의적이고 가치 있는 업무에 집중할 수 있는 기회를 제공한다.

3.2 기술과 재교육의 결합: 쉽게 배우는 작업 환경 조성

로봇의 운영과 관리와 관련된 재교육 프로그램은 기술적 배경이 없는 사람도 이해하기 쉬운 방식으로 설계되어야 한다. 예컨대, 단순한 버튼 조작, 시각적 피드백을 활용한 작업 안내, 그리고 반복 학습이 가능한 시뮬레이션 툴을 통해 누구나 쉽게 기술을 습득할 수 있다. 이로 인해 기존에는 숙련되기 어려웠던 작업도 로봇의 도움으로 간단해지며, 노동자는 새로운 역할로의 전환에 대한 부담을 줄이고 생산성을 유지하거나 오히려 향상시킬 수 있다. 특히, 이러한 작업 환경은 다양한 연령대의 노동자들이 참여할 수 있는 기회를

확대하고, 물류 로봇 도입이 노동 시장의 포용성을 강화하는 긍정적인 효과를 가져올 것이다.

3.3 노동 환경 개선과 직업의 질 향상

물류 로봇은 단순히 작업의 효율성을 높이는 데 그치지 않고, 노동 환경을 전반적으로 개선하는 데 기여해야 한다. 로봇이 무거운 짐을 옮기거나 위험한 작업을 수행함으로써 노동자들은 보다 안전하고 쾌적한 환경에서 근무할 수 있다. 이는 신체적 부담을 줄이고, 더 나아가 업무의 질을 높여 노동자의 직업 만족도를 향상시킨다. 이렇게 개선된 일자리는 단순히 '존재하는 일자리'가 아닌, 더 나은 일자리로 평가받을 수 있다.

3.4 정부와 기업의 협력: 균형 있는 정책 추진

물류 로봇 도입이 가져올 수 있는 부작용을 완화하고 긍정적 효과를 극대화하기 위해 정부와 기업의 협력이 필수적이다.

(1) 정부의 역할

정부는 로봇 기술의 연구·개발(R&D)을 적극적으로 지원해야 하며, 고령화 사회의 진행으로 인해 노동 가능 인구가 감소하고 있는 현실을 인식해야 한다. 특히, 물류와 같은 노동 집약적 산업에서의 인력 부족 문제를 해결하기 위해, 물류 로봇이 신체적으로 힘든 작업(예: 중량물 이동, 반복적 작업)을 대체하고, 고령 노동자들이 안전하고 쾌적한 환경에서 근무할 수 있도록 돕는 보조적 도구로 작용한다는 점을 주목해야 한다. 이를 통해 작업 효율성을 유지하고, 이직률 감소와 사고 예방에 기여할 수 있음을 정책적으로 반영해야 한다. 또한, 노동자들이 새로운 기술에 적응할 수 있도록 재교육과 전환을 지원하는 정책을 마련해야 한다.

(2) 기업의 역할

기업은 로봇 도입 과정에서 노동자의 권익을 보호하며, 로봇과 인간이 조화를 이루는 작업 환경을 설계해야 한다. 이를 통해 노동자들이 로봇을 경쟁자가 아닌 협력자로 인식하게 하고, 작업 만족도와 생산성을 높일 수 있는 방안을 모색해야 한다.

(3) 협력의 중요성

정부와 기업이 협력하여 로봇 도입을 단순한 비용 절감 수단이 아니라, 지속 가능한 성장의 도구로 기능하도록 방향을 설정해야 한다. 이는 노동 시장의 변화에 대응하고, 경제적·사회적 안정을 도모하는 데 필수적인 요소이다.

3.5 사회적 인식 개선: 인간-로봇 협력 강조

물류 로봇이 가져올 긍정적인 영향을 널리 알리고, 로봇과 인간이 협력할 수 있는 환경을 조성하는 것이 필요하다. 로봇은 인간을 대체하기 위해 만들어진 것이 아니라, 인간의 능력을 보완하고 한계를 극복하기 위한 도구라는 점을 강조해야 한다. 이를 통해 물류 산업은 물론, 전체 노동 시장에서 로봇 기술에 대한 신

퇴와 긍정적 인식을 확산시킬 수 있다.

3.6 지속 가능한 발전과 그린 물류의 실현

물류 로봇은 단순히 효율성을 높이는 것을 넘어 환경적으로 지속 가능한 물류 시스템을 구축하는 데도 기여할 수 있다. 최적화된 경로 설정, 에너지 효율적인 작업 방식 등을 통해 물류 프로세스의 탄소 배출량을 줄이고, 친환경 물류를 실현하는 데 도움을 줄 것이다.

V. 결론

1. 물류센터의 변화와 로봇 도입의 필요성

현대 물류 환경은 급격한 변화와 복잡성을 맞이하며, 기업들은 이에 대응하기 위한 새로운 전략을 필요로 하고 있다. 많은 기업이 핵심 역량 강화를 위해 물류 기능을 외부 전문업체에 아웃소싱하는 제3자 물류(3PL)와 제4자 물류(4PL)의 활용을 확대하고 있으며, 이는 물류의 대형화와 복잡화를 더욱 가속화하고 있다. 이러한 변화는 물류센터의 효율성과 생산성을 극대화할 수 있는 새로운 솔루션의 필요성을 제기하며, 물류 로봇 도입을 필수적인 선택지로 자리 잡게 만들고 있다.

물류 로봇은 단순히 비용 절감을 위한 도구를 넘어, 생산성 향상, 작업 안전성 강화, 노동력 부족 문제 해결 등 물류센터의 근본적인 문제를 해결하는 핵심 솔루션으로 작용하고 있다. 특히, 물류 로봇 도입의 필요성은 다음과 같은 이유에서 더욱 절실하다.

첫째, 로봇은 자동화를 통해 반복적이고 시간이 소요되는 작업을 정밀하고 빠르게 수행함으로써 효율성과 정확성을 극대화한다. 상품 피킹, 분류, 적재와 같은 작업에서 인간이 발생시킬 수 있는 오류를 줄이며, 재고 관리의 정확성을 높이는 데 기여한다.

둘째, 로봇은 고중량 물품의 운반과 반복 작업을 대신 수행하여 작업자의 신체적 피로와 부상을 줄이고, 더 안전한 작업 환경을 조성한다. 또한, AI와 센서를 기반으로 작업 중 충돌 방지 및 실시간 안전 모니터링을 구현하여, 작업자와 로봇 간 협업을 안전하게 유지할 수 있다.

셋째, 고령화와 노동력 부족 문제는 물류센터의 운영 안정성을 위협하고 있으며, 물류 로봇은 이러한 문제를 해결할 수 있는 효과적인 수단이다. 특히 젊은 세대의 물류업 기피 현상과 같은 사회적 문제 속에서, 로봇은 인력 공백을 보완하고, 숙련된 인력이 부족한 상황에서도 생산성을 유지할 수 있는 대안을 제공한다.

넷째, 전자상거래의 급성장으로 인해 물류센터는 점점 더 빠르고 정확한 주문 처리를 요구 받고 있다. 물류 로봇은 이러한 요구에 부응하여 주문 처리 속도를 비약적으로 향상시키며, 소비자의 기대에 부응하는 서비스를 가능하게 한다.

마지막으로, 물류 로봇은 초기 투자 비용이 소요되더라도 장기적으로 높은 ROI(Return on Investment)를 제공하여, 비용 절감을 넘어 기업의 경쟁력을 확보하기 위한 전략적 도구로 활용된다.

그러나 물류 로봇은 도입만으로 효과가 발휘되는 것이 아니라, 이를 물류센터의 특성과 운영 요구에 맞게 효율적으로 적용하는 것이 무엇보다 중요하다. 물류 로봇은 AGV, AMR, 핸들링 로봇, ASRS와 같은 다

양한 유형이 존재하며, 각각 고유한 강점과 특성을 가지고 있다. 따라서 단일 로봇 솔루션을 도입하기보다는 여러 로봇 기술을 혼합하여 적용함으로써, 물류 환경의 복잡성과 다양성에 대응하고 운영 효율성을 극대화할 수 있다. 예를 들어, AGV와 AMR은 물품 이송 작업에서, 핸들링 로봇은 피킹 및 적재 작업에서, ASRS는 고밀도 보관 및 입출고 작업에서 강점을 발휘한다. 이러한 로봇의 특성과 강점을 물류센터의 요구와 환경에 맞게 조합함으로써 운영의 최적화를 실현할 수 있다.

물류 로봇의 효율적인 적용을 위해서는 업무 프로세스를 세밀히 분석하고 각 작업 단계에 적합한 로봇의 역할을 정의해야 하며, AI와 IoT와 같은 스마트 기술을 통합하여 데이터 기반의 운영 최적화를 실현해야 한다. 또한, 로봇의 이동 경로를 최적화하고, 작업 공간을 설계하여 로봇과 작업자 간의 협업을 강화할 필요가 있다. 유지보수 및 운영 데이터 분석을 통해 로봇의 성능을 지속적으로 관리하고 개선하는 것도 필수적이다.

결론적으로, 물류 로봇은 현대 물류센터의 필수적인 도구로 자리 잡고 있으며, 물류센터 운영의 효율성과 안정성을 높이는 데 중요한 역할을 한다. 로봇은 생산성 향상, 안전성 강화, 유연성 확보 등 다방면에서 가치를 제공하며, 물류센터의 운영 패러다임을 혁신적으로 변화시키고 있다. 기업은 물류 로봇 기술을 전략적으로 도입하고, 이를 운영 요구에 맞게 최적화함으로써 지속 가능한 성장과 경쟁력을 확보할 수 있을 것이다.

2. 향후 연구 방향

2.1 정량적 데이터 기반의 효과 분석

물류 로봇 도입이 실제 운영 성과에 미치는 영향을 장기적으로 평가하기 위해, 다양한 환경에서 정량적인 데이터 축적이 필요하다. 예를 들어, 처리 속도, 비용 절감 효과, 작업 환경 개선 등의 주요 성과 지표(KPI)를 통해 로봇 도입의 경제적·운영적 효과를 분석할 수 있다.

2.2 환경별 맞춤형 로봇 솔루션 개발

냉동 창고, 도심형 소형 물류센터(MFC), 대규모 일반 물류센터 등 각 환경에 최적화된 로봇 시스템 설계 방안을 추가로 연구해야 한다. 특히, 환경 요인(온도, 바닥 상태 등)이 로봇 성능에 미치는 영향을 심층적으로 분석하여 적합한 기술적 대안을 제시할 필요가 있다.

2.3 AI 기술과 로봇의 통합 연구

현재 AI 기술은 물류 로봇의 예측 분석, 경로 최적화, 자율적 의사결정 등에서 높은 잠재력을 가지고 있지만, 기술적 한계와 비용 문제로 인해 완전한 통합은 어려운 상황이다. 그러나 지속적인 연구 개발을 통해 AI가 로봇의 자율성과 적응력을 강화할 것으로 기대되며, 머신러닝 기반의 수요 예측, 장애물 회피, 유지보수 자동화 등이 주요 응용 분야로 자리잡을 것이다.

2.4 로봇 기업의 생존과 성공 요인 분석

향후 연구에서는 생존한 물류 로봇 기업과 시장에서 도태된 기업의 비교가 중요한 주제가 될 것이다. 성공한 기업의 기술력, 시장 적응력, 유지보수 지원 체계, 비용 관리 능력을 분석하여, 물류 로봇 산업의 지속 가능성을 평가할 필요가 있다. 이를 통해 기업의 성공 요인을 도출하고, 새로운 기술과 비즈니스 모델이 물류 로봇 산업에 어떤 영향을 미치는지 연구해야 한다.

2.5 노동 시장에 미치는 영향 분석

로봇 도입이 노동 시장, 특히 고령화 사회에서의 노동자 재교육 및 고용 구조 변화에 미치는 영향을 심층적으로 분석해야 한다. 이를 바탕으로, 로봇 도입이 사회적으로 수용되고, 노동자와 기업 모두가 상생할 수 있는 방안을 제시해야 한다.

2.6 지속 가능한 물류 시스템 구축

물류 로봇이 친환경 물류 시스템을 구축하는 데 기여할 수 있는 방안을 탐구해야 한다. 에너지 효율적 로봇, 최적화된 경로 설계, 탄소 배출량 감소 등 지속 가능성을 강화하기 위한 기술적·운영적 개선 방안을 연구해야 한다.

3. 종합적인 기대 효과

본 연구는 물류센터에서 로봇 시스템의 도입이 가져올 수 있는 경제적, 기술적, 사회적 효과를 통합적으로 분석하고, 물류 로봇이 물류 산업의 지속 가능성과 효율성을 강화하는 핵심 요소로 자리 잡는 데 기여할 것이다.

특히, AI 기술과의 결합 가능성과 로봇 기업의 성공 요인 분석은 물류 로봇 산업의 미래 발전 방향을 제시하며, 물류 로봇이 더 정교하고 혁신적인 도구로 자리 잡을 수 있는 기반을 마련할 것이다.

참고문헌

- 곽경민, 박범, 고은지, 윤철주, 김경훈(2022), “급속 확산되는 물류현장의 로봇적용 사례,” 로봇학회 논문지, 17(4), 387-396.
- 김수빈, 강예린(2023), “물류시장의 변화에 따라 등장한 도심형 소형 물류센터의 공간 특성 분석,” 대한건축학회논문집, 39(1), 89-99.
- 국가물류통합정보센터(2021), 연도별 생활물류실적 - 국내 택배시장 매출액 추이, <https://www.nlic.go.kr/nlic/parcelServiceSales.action>, 검색일 2025.04.30.
- 서현정(2024), 산업분석_Brief-유통, 하나증권.

- 송상화(2016), “[송상화의 물류돋보기] 실패의 역사 속에서 바라본 물류 스타트업의 미래,” CLO매거진, <https://clomag.co.kr/article/1400>, 검색일 2025.04.30.
- 쿠팡 뉴스룸(2022), 「글로벌 투자자들을 놀라게 한 쿠팡의 5가지 핵심 신기술, 4분 총정리」, YouTube, <https://www.youtube.com/watch?v=QULDFE3RF5U>, 검색일 2025.04.30.
- Funding4u(2022), 위치 인식 기반 ‘물류&주차 로봇’ 개발 선도 기업 (주)마로로봇테크, <https://www.funding4u.co.kr/invest/projects/11073>, 검색일 2025.04.30.
- Geekplus(2023), 쿠팡 사례 연구: 한국의 전자상거래 대표기업이 단일 창고에 각플러스 로봇 1,000대 이상을 배치하다, 사례연구 보고서.
- Alp Yildirim, Emel Aktas, & Hendrik Reefke(2023), Mobile robot automation in warehouses: A framework for decision making and integration, *Springer Nature*, <https://doi.org/10.1007/978-3-031-12307-8>
- Albert Gomes, Nishat Margia Islam, & Md Rashidul Karim(2024), Intelligent automation in supply chain optimization, *Academic Journal on Science, Technology, Engineering & Mathematics Education*, 4(04), 124-133. <https://doi.org/10.69593/ajsteme.v4i04.139>
- Brightpick(2024), European pharmacy giant Dr. Max automates order picking and replenishment with Brightpick Autopicker, <https://brightpick.ai/resources/dr-max>, 검색일 2025.04.30.
- Dominika Crnjac Milić, Irena Dujmenović, & Marina Peko(2023), An approach to the application of the Internet of Things in logistics, *Tehnički glasnik*, 17(1), 134-140. <https://doi.org/10.31803/tg-20220609190233>
- James Macaulay, Lauren Buckalew, & Gina Chung(2015), Internet of Things in logistics, *DHL Trend Research Report*.
- Alan Davies, Alberto Oca, Ignacio Prieto, & Umit Sarilar(2023), Getting warehouse automation right, <https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/getting-warehouse-automation-right>, 검색일 2025.04.30.
- Savills(2024), 2024 Korea Logistics Market Outlook, *Savills Research*.
- Timo Malm, Timo Salmi, Ilari Marstio, & Jari Montonen(2019), Dynamic safety system for collaboration of operators and industrial robots, *Open Engineering*, 9(1), 61-71. <https://doi.org/10.1515/eng-2019-0011>
- Vassilissa Lehoux-Lebacque, Tomi Silander, Christelle Loiodice, Seungjoon Lee, Albert Wang, & Sofia Michel(2024), Multi-agent path finding with real robot dynamics and interdependent tasks for automated warehouses, *The 27th European Conference on Artificial Intelligence (ECAI)*, Santiago de Compostela, Spain, 19-24 October.
- Vinoth S., Sachin Gupta, Vipin Jain, & Usha Kumari(2024), Improving anomaly identification in demand forecasting and inventory management with AI-based optimization, *Multidisciplinary Science Journal*, 6, 2024ss0403. <https://doi.org/10.31893/multiscience.2024ss0403>

Abstract

Efficient Robotic System Design and Utilization Strategies

– A focus on logistics center case study

MoGeun Choi

This study proposes efficient design and utilization strategies for robotic systems—one of the core technologies in logistics automation—in response to the sharp increase in logistics volumes and worsening labor shortages in warehouse operations following the surge in online shopping after the COVID-19 pandemic. The theoretical background covers an overview of logistics systems, changes in warehouse types and trends, AI-powered logistics technologies, and the characteristics of key logistics robots such as AGVs, AMRs, ASRS, and handling robots. Subsequently, case analyses compare successful and unsuccessful implementations in domestic and international logistics centers to examine both the effectiveness and limitations of robotic adoption. Strategic recommendations include vendor verification, POC-based validation, ROI-driven cost-effectiveness analysis, and a phased framework for robot deployment. Robotic systems can enhance productivity and operational efficiency while reducing the burden of repetitive and hazardous tasks and supporting human workers, and also suggest the potential for designing and utilizing robotic systems optimized to improve warehouse working environments.

Keywords: Logistics robots, AGV(Automated Guided Vehicle), AMR(Autonomous Mobile Robot), ASRS(Automated Storage and Retrieval System), Handling robots, Artificial Intelligence(AI)
