

Implementation of Smart Automatic Warehouse to Improve Space Utilization

Hwa-La Hur*, Yeon-Ho Kuk**, Myeong-Chul Park***

*Professor, School of Software, Kyungwoon University, Gumi, Korea

**CEO, Insterm Co., LTD, Gumi, Korea

***Professor, Dept. of Avionics Engineering, Kyungwoon University, Gumi, Korea

[Abstract]

In this paper, we propose a smart automated warehouse to maximize space utilization. Previous elevator-type automatic warehouses were designed with a maximum payload of 100kg on trays, which has the problem of extremely limiting the number of pallets that can be loaded within the space. In this paper, we design a smart warehouse that can maximize space utilization with a maximum vertical stiffness of 300kg. As a result of the performance evaluation of the implemented warehouse, the maximum payload was 500.6kg, which satisfied the original design and requirements, the lifting speed was 0.5m/s, the operating noise of the device was 67.1dB, the receiving and forwarding time of the pallet was 36.92sec, the deflection amount was 4mm, and excellent performance was confirmed in all evaluation items. In addition, the PLC control method, which designs the control UI and control panel separately, was integrated into the PC system to improve interoperability and maintainability with various process management systems. In the future, we plan to develop it into a fully automatic smart warehouse by linking IoT sensor-based logistics robots.

▶ **Key words:** Smart Warehouse, Smart Factory, Elevator Type, Stiffness Reinforcement

[요 약]

본 논문은 공간 활용 극대화를 위한 스마트 자동 적재창고를 제안한다. 기존 수직형 적재창고의 트레이 최대 강성 하중이 100kg로 설계되어 공간내에 적재할 수 있는 팔레트가 극히 제한적이라는 문제점을 가진다. 본 논문에서는 최대 수직강성을 300kg으로 설계하여 공간 활용도를 극대화할 수 있는 스마트 적재창고를 설계하고 구현된 결과를 보인다. 구현된 적재창고의 성능평가 결과를 살펴 보면, 최대 적재하중은 500.6kg으로 당초 설계 및 요구도를 달성하였으며, 수직강하속도는 0.5m/s, 장치의 작동 소음은 67.1dB, 팔레트의 입출고 시간은 36.92초, 트레이 처짐량은 4mm로 모든 평가항목에서 우수한 성능을 보였다. 또한, 제어부와 조작 패널의 UI를 별도로 설계하는 PLC 방식의 제어방식을 PC 시스템으로 통합하여 다양한 공정관리 시스템과의 연동성과 유지보수성을 증대하였다. 향후 IoT 센서기반의 물류 로봇을 연동하여 완전 자동화된 스마트 적재창고로 발전시키고자 한다.

▶ **주제어:** 스마트 적재창고, 스마트팩토리, 수직형 타입, 강성보강

-
- First Author: Hwa-La Hur, Corresponding Author: Myeong-Chul Park
 - *Hwa-La Hur (haru@ikw.ac.kr), School of Software, Kyungwoon University
 - **Yeon-Ho Kuk (yhkuk@insterm.co.kr), Insterm Co., LTD
 - ***Myeong-Chul Park (africa@ikw.ac.kr), Dept. of Avionics Engineering, Kyungwoon University
 - Received: 2023. 09. 14, Revised: 2023. 10. 06, Accepted: 2023. 10. 10.

I. Introduction

기업은 제조공정에서 원가를 절감하기 위해 생산계획 수립, 자재 입/출고, 원/부자재 수불, 작업 실적관리의 관리 효율화를 위해 MES(Manufacturing Execution System)를 도입하여 전산 재고와 현물의 불일치로 발생하는 손실을 최소화하기 위한 업무 프로세스 도입을 추진하고 있는 추세이다. 스마트창고는 물류센터 내 정보시스템 출입과 솔루션을 구성하여 기존의 단순 보관 기능을 하던 창고가 공급 사설망 관리 및 부가가치를 창출할 수 있는 창고로 단순한 업무를 처리하던 물류창고의 기능이 복잡해지고 고도화되고 있어 다양한 시스템 및 기계장치 도입이 가속화되고 있다. 하지만, 국내에서는 자동 적재 창고를 제조하는 업체가 없고 전량 수입에 의존하고 있어 국산화가 절실한 실정이다. 2026년까지 6,200억 달러의 시장 규모로 성장이 예상되는 글로벌 스마트 시장은 2023년에는 더 많은 제조업체가 디지털 전환을 가속화하고 산업 자동화를 도입하여 친환경 기반을 마련할 전망이다[1].

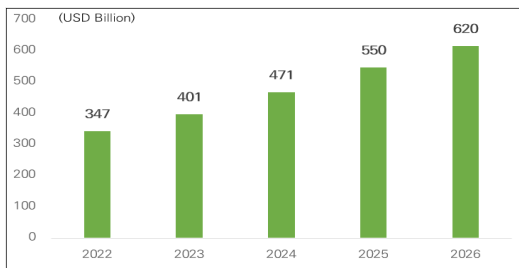


Fig. 1. Global Smart Manufacturing Market Forecast, 2022~2026 - TrendForce, Aug. 2022[1]

스마트 적재창고의 기능이 다양해지면서 복잡해지고 고도화되고 있어 MES, ERP(Enterprise Resource Planning), PLM(Product Lifecycle Management)와 같은 다양한 시스템 및 기계장치들이 도입되어 자동화가 이루어지고 있다[2]. 또한, 다양한 시장 요구사항으로 인한 물품의 종류와 수량의 증가로 인해 창고의 공간적 효율성과 유연한 관리 시스템이 요구되고 있다. 창고는 공간 활용의 최적화를 요구하는 동시에 높은 수준의 비용 효율성을 달성해야 한다. 또한, 자동화된 애플리케이션이 창고 및 공급망 운영보다 중요해지고 있으며 스마트 자동적재창고는 스마트 팩토리와 연계하여 부품의 재고파악과 입고 및 출고를 효율적으로 담당하여 작업현장의 공간적 효율과 보안을 향상시키는 이상적인 해결책이 될 것이다[3]. 논문의 구성은 2장에서 다양한 적재창고의 특징에 대해 살펴보고 3장에서 구체적인 설계 및 구현에 대해 기술한다.

4장에서 구현된 적재창고의 요소별 성능측정의 결과에 대해 상세히 설명하고 5장에서 결과에 관해 기술한다.

II. Background

1. Related works

다양한 시장 요구 사항으로 인한 물품의 종류와 수량의 증가로 인해 창고의 공간적 효율성과 유연한 관리시스템이 필요하다. 창고는 공간 활용의 최적화를 요구하는 동시에 높은 수준의 비용 효율성을 달성해야 한다[4]. 제조 생산 공정에서 모델 변경으로 단위 부품이 공정에서 보관되어야 하는 상황에 적합한 수직 타입 스마트창고 도입 검토에 있어 설치공간을 확보하기 위해 높이강성을 보강하여 공간효율성을 확보해야 한다[5]. 스마트 적재창고는 크게 Staker 타입, Elevator 타입, Rotary 타입으로 구분되어 입출고 적재물의 특성에 따라 적절한 모델을 선정하여 활용한다면 기업의 경쟁력 강화를 목적으로 근래에 들어서 선진기업을 필두로 도입을 검토하여 수요가 증가하고 있는 현실이다[6].



Fig. 2. Type of Smart Warehouse

기존 개발된 수직형 자동적재창고 Tray의 최대 강성 하중이 100kg으로 설계되어 공간활용이 제한적이다. 이를 극대화하기 위해 수직강성을 증가시켜 최대 300kg까지 견디도록 설계하여 Tray 및 전체 하중을 견디는 몸체의 안정적인 동작을 위한 설계 및 개발을 수행하고자 한다.

기존 적재창고는 효율적인 물류관리를 위하여 자동화 형태로 개발되었으나 물품 입출고에 많은 시간이 소요되는 단점이 있다. 이를 해결하고자 로터리형 자동창고가 개발되었으나 이는 구조가 복잡하고 내구성이 약하다는 문제점을 가진다[7]. 본 연구에서 제안하는 스마트 적재창고는 안내 가이드가 형성되어 체인에 가해지는 하중 및 하중의 방향을 모니터링 및 위치를 제어하여 체인의 파손을 방지하는 기술을 적용한다. 또한 기존 고무벨트 타입의 픽업장치는 벨트의 마모 및 손상의 문제점이 있으며, 재질의

한계로 인한 하중의 한계가 있어 기존 벨트를 체인타입으로 변경하여 벨트의 마모 및 손상의 문제점을 보완하여 구동 안정성 확보와 적재하중의 향상을 기대할 수 있다.

Table 1. Key Features of Smart Warehouse

Type	Key Features and Performance
Stacker	<ul style="list-style-type: none"> - Possible to load heavy items - High load item: over 1 ton - Pallet-based packing products - Based on box packaging - Logistics movement: forklift
Elevator	<ul style="list-style-type: none"> - Real-time status management based VISION - Shipment of up to 2 trays - Ergonomic design - Intuitive by loading unit parts - The loading part can be adjusted according to the size of the product
Rotary	<ul style="list-style-type: none"> - Applied touch screen control - Product box suitable for user's convenience - Up to 20 rotary pallets - Loading based on small box - High loading efficiency per unit area - Appropriate for uniform product size

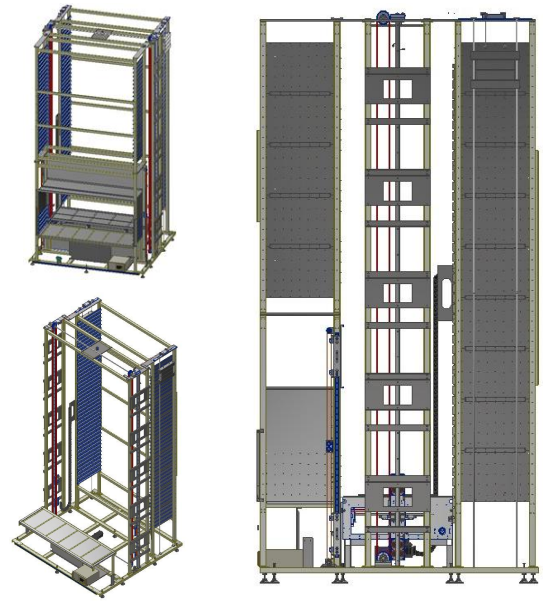


Fig. 3. 3D Structure Diagram of Automatic Loading Warehouse

III. Design & Implementation

1. Design of Main Frame

메인 프레임 구조해석을 통한 취약부 파악 및 강성보강은 상부 또는 측면에 확장시 다른 바디장치가 안정성 있게 체결 유지될 수 있도록 체결부를 설계하고 트레이 간격이 100mm가 되도록 설계하였다. 그리고 전체 적재 하중이 10,000Kg 이상에서도 견고 및 안정성을 유지하게 하였다. Fig. 3은 본 연구에서 제안하는 자동적재창고의 3차원 개념도를 보인 것이다. 구조 프레임의 설계는 소비자의 요구 사항에 따른 보관 물품의 무게 증량을 증가하는 반면, 설치공간의 최소화를 위한 강성 및 수직 타입의 수직설치를 위한 구조로 공간효율화를 우선하였다. 또한, 로드셀을 활용한 무게측정 시스템 내에 모터 구동에 따른 도어 개폐 기어와 사용자의 움직임 감지 센서를 통한 인터페이스를 추가적으로 설계하였다. 적재를 위한 팔레트 공간은 Fig. 4와 같이 최대 70개 팔레트 부품을 적재할 수 있는 엘리베이터 타입의 오토매틱 스토리지로 설계하였으며 기본 선반의 공간 한계성을 극복한 수직형 스토리지로 수평 공간 대비 공간 효율성을 우선하여 설계하였다.

조작 장치는 PC 기반의 터치스크린 컨트롤 콘솔을 통해 제품 적재와 호출이 가능한 사용자 중심의 인터페이스를 제공하여 운영자가 편리하게 제품을 입출고할 수 있도록 설계하였다. 지능형 높이 측정 센서로 제품 적재 시 맞춤 적재를 할 수 있는 편리하며 다양한 하중의 제품들을 적재할 수 있게 팔레트를 규격화함으로써 공간 효율성이 매우 높은 시스템이다. 제품 출고 시에는 바코드 및 QR코드 리딩 또는 직접 위치 팔레트 및 다중 키워드를 통하여 적재된 제품을 검색할 수 있도록 설계하여 쉽고 신속하게 제품을 출고 시킬 수 있게 하였다.



Fig. 4. Elevator Type Automatic Storage

2. Implementation of Elevating Device

적재창고의 승하강장치는 트레이 저장 위치에 따른 이동 시 등가속도를 제어하는 모터 드라이버를 이용하여 구동되며 모터 구동의 소음은 70dB 이하, 수직 강하속도는

0.4 m/s 이상이 되도록 구현하였다. 또한, 적재하중 300Kg 이상에서 동작되며 물품 적재 시 수직형의 Y축 유닛이 원활하게 구동되도록 최적의 모터 RPM을 적용하고 물체 이동 시 흔들림이 5mm 이하로 적재물의 무게 균형을 제어하도록 설계 및 구현하였으며 최종 구현한 결과는 Fig. 5와 같다.



Fig. 5. Final Implemented Elevating Device

승하강장치의 구동방식은 구동 부품의 내구성과 구동 안정성을 확보하기 위하여 기존의 유압식 구동방식을 Fig. 6과 같이 체인타입 구동방식으로 개선하여 적용하였다. 기존 유압식에 비하여 생산 단가가 낮고 고장시 문제해결이 용이하다는 장점이 있으며, 일정한 승하강 속도를 유지할 수 있기 때문에 유압식에 비하여 팔레트의 안정적인 입출고가 가능하다.

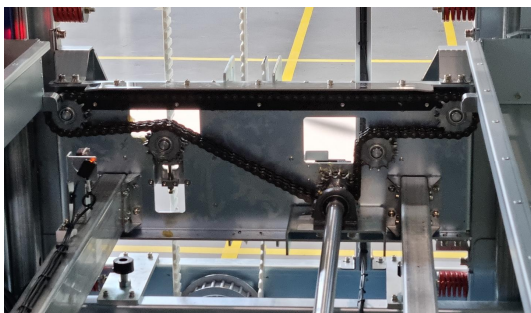


Fig. 6. Drive Device of Chain type

안정적인 승하강이 가능하므로 수직강하 속도를 기존 0.3m/s에서 0.5m/s로 40%가량 향상시켜 최상단부에 적재된 트레이의 이송시간을 단축하였으며 Fig. 7과 같이 팔레트를 2단으로 구성하여 입출고를 동시에 진행할 수 있도록 구조를 개선하였다.



Fig. 7. The Two-Stage Palette for Simultaneous Receiving and Forwarding

또한 트레이에 적재된 부품들로 인한 트레이의 처짐량을 개선하기 위하여 기존 연구에서 확인된 물성치를 통한 탄소성 해석결과를 인용하여 트레이 하단에 SS400 재질의 지지부를 추가적으로 구성하였다[8]. Fig. 8에서 트레이 처짐량을 측정하기 위한 실험을 보이고 있으며, 실험결과는 4장에서 보인다.



Fig. 8. Experiments to Improve Tray Deflections

3. Implementation of Control UI

자동적재창고는 Sensor Data 수집 컨트롤러 및 표준화된 인터페이스와 센서 등을 활용하여 통합 장치별 Controller HW 제작 및 SW 개발하였다. 장치 제어와 화면구성은 작업 사용자의 제어 시스템 편의성 및 간소화 극대화를 위하여 PC 타입 시스템으로 개발하였다. PC 제어 프로그램을 적용하여 스마트 팩토리 대응 시스템 구현, 자재창고 관리, 생산공정 관리, 외주 관리, 품질 관리, 납품 관리 등 제조 생산공정 전반적인 정보 제공 및 대응 시스템 개발의 확장성을 고려하였다. 개발환경은 Table 2와 같이 PC 환경에서 호스트 언어는 Visual C++를 사용하였고 사용자 요청에 따른 입출고 동작을 위한 정보관리용 데이터베이스는 MS-SQL을 적용하였다. 또한 동작을 위한 서보모터 및 입출력 신호 등도 모두 PC에서 제어하도록 하였다.

Table 2. Software Development Environment for Device Operation

Items	Description
OS	Windows 10
CPU	Intel(R) CPU @1.60GHz
RAM	8GB
Language	Visual C++, MFC
Database	MS-SQL

먼저, Fig. 9와 같이 디스플레이 패널을 조작하기 위해서는 매니지먼트 프로그램에서 서버에 등록된 사용자만 각 기능을 정상적으로 사용할 수 있으며 사용자와 관리자의 권한을 설정할 수 있다. 사용자는 AUTO 기능만 사용이 가능하며 관리자의 경우는 MANUAL, SETTING, LOG 등의 기능을 활성화하고 사용할 수 있다.

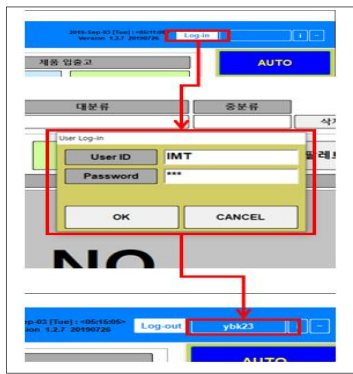


Fig. 9. The Screen for Login

구현된 스마트 적재창고의 조작을 위한 화면 인터페이스 설계는 Fig. 10의 상단과 같이 크게 세 가지의 주요 기능과 동작을 위한 추가적인 버튼으로 구성되어 있다.

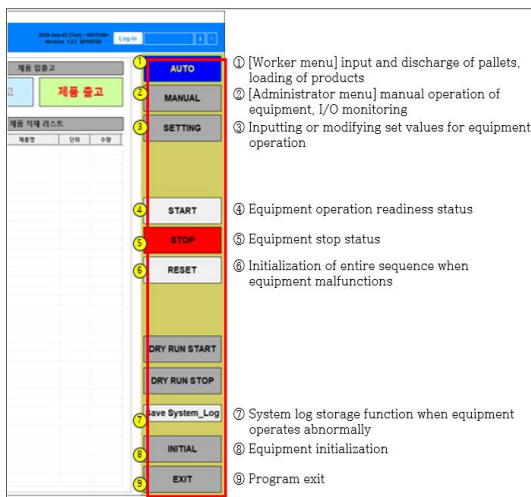


Fig. 10. Main Functions of the UI

Fig. 10의 ① AUTO 기능은 일반 작업자가 사용하는 메뉴로서 팔레트의 투입 및 배출, 제품 적재 기능을 수행한다. 세부적인 화면 인터페이스는 Fig. 11과 같으며 ①은 실 적재 상태를 표시하는 영역이며 ②는 AUTO 메뉴의 메인 기능으로서 팔레트의 입출고 및 제품 입출고를 설정하는 영역이다.

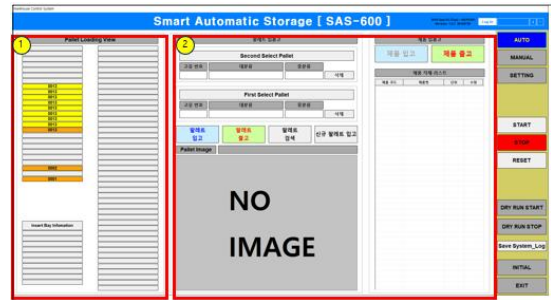


Fig. 11. Main Screen of AUTO Menu

Fig. 11 ②의 상세화면은 Fig. 12와 같으며 배출된 팔레트가 있을 경우 자동으로 팔레트를 입고하는 메뉴(①)와 선택된 팔레트가 있을 경우 자동으로 팔레트를 출고하는 메뉴(②), 팔레트 자동 검색 메뉴(③), 신규 팔레트 입고를 위한 신규 메뉴(④), 배출된 팔레트에서 제품을 출고하는 제품 출고 메뉴(⑤)와 선택된 팔레트의 제품 적재 리스트를 표시하는 영역(⑥)으로 구성되어 있다.

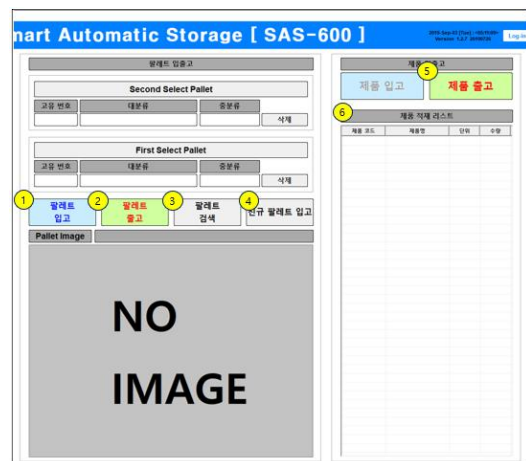


Fig. 12. A Detailed Screen of the Main AUTO Menu

Fig. 12의 ③에 해당하는 팔레트 검색화면은 Fig. 13과 같다. 적재 제품의 바코드 인식 또는 품명으로 검색하여 해당 제품이 적재된 팔레트를 검색할 수 있고 입출고 팔레트를 선택할 수 있다. 배출 조건이 맞을 경우는 자동으로 리스트에 추가되지만 배출 조건이 부합되지 않을 경우에는 추가되지 않는다. 배출 조건은 두 가지 이며, 첫째는 작

적재하중에 대한 시험은 벽돌 500kg을 적재하여 시스템의 로드셀을 확인하고 입고 및 출고 작동여부를 확인하였다. 시험 전경과 시험결과화면은 Fig. 17과 같다.



Fig. 17. Payload Test and Results Screen

수직강하 속도에 대한 시험은 자동적재창고 엘리베이터 모듈 좌측의 사다리 1 Pitch(0.3m) 수직 강하 영상을 촬영하고 1 Pitch 수직 강하 시 소요되는 시간을 측정하여 이를 속도로 환산한 결과이다. 총 10회의 시험결과 1Pitch 이동시간은 0.6sec, 수직 강하 속도는 0.5m/s로 동일하게 측정되었다. 소음에 대한 시험은 입출고 시 도어로부터 1m 위치에서 사운드 레벨메타(CENTER 322, CENTER TECHNOLOGY CORP.)를 이용하여 소음을 측정하였다. 시험 전경과 시험 결과 측정은 Fig. 18과 같고 최저 65.2dB에서 최고 67.1dB까지의 결과를 보여 최대값을 성능측정값으로 지정하였다.

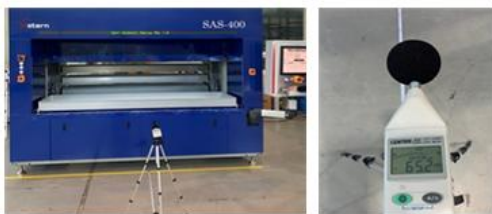


Fig. 18. Testing for Noise Measurement

입출고시간 항목의 시험은 트레이를 도어 입수에서 위치시킨 후 타코메타(PLT200, MONARCH)를 이용하여 입구에서부터 적재 창고내로 입고되는 시간과 출고되는 시간을 측정하였다. 시험측정을 Table 4와 같으며 측정결과의 평균값을 성능측정값으로 지정하였다.

Table 4. Result of Measuring Receiving and Forwarding Time(unit : sec)

Items	Number of Tests				
	1	2	3	4	5
Receiving	25.3	25.8	25.4	26.0	25.1
Forwarding	11.5	11.6	10.9	11.2	11.8
Total	36.8	37.4	36.3	37.2	36.9

마지막으로 트레이 처짐량은 미적재 상태 및 벽돌 500kg 적재 상태에서의 트레이 상단에서 바닥면까지 높이

를 측정하여 두 상태의 오차를 트레이 처짐량으로 판단하였고 시험 데이터의 미적재 높이(140 mm)와 적재 높이의 차이 중 최대값 4mm를 성능측정값을 지정하였다.

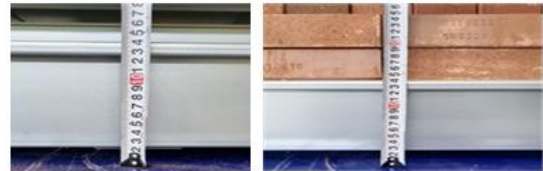


Fig. 19. Measurement Image of Tray Deflections Height

Fig. 19는 중량물 적재 전후의 높이를 측정하는 장면이고 상세한 측정 결과값은 Table 5와 같다.

Table 5. Measurement Result of Tray Deflections Height(unit : mm)

Items	Test Data				
	1	2	3	4	5
L	137	137	137	136	136
M	137	137	137	136	136
R	137	137	136	136	136

트레이 처짐량 측정은 전체 트레이를 기준으로 왼쪽과 오른쪽 끝, 정 중앙의 세 지점에서 측정하였으며, 측정 위치는 Fig. 20과 같다.

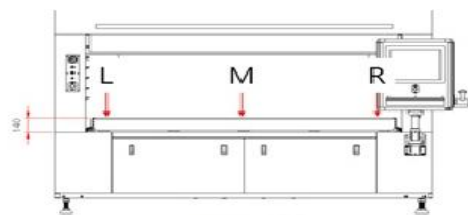


Fig. 20. Position for Measuring Deflection

Fig. 21은 본 연구에서 제안하는 스마트 적재창고의 최종 구현결과를 보인 것이다.

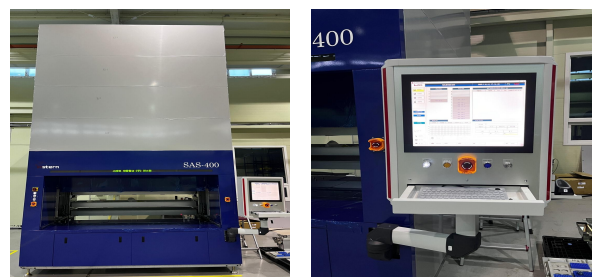


Fig. 21. Final Implementation Result of Smart loading Warehouse

V. Conclusions

본 논문은 공간 활용을 극대화하기 위하여 수직 승하강 방식과 트레이의 최대 수직강성을 증대시켜 다수의 팔레트를 보관할 수 있는 자동적재창고를 제안하였다. 또한, 수직강하 속도를 향상시키고 팔레트를 2단으로 구성하여 입고와 출고를 동시에 진행할 수 있도록 설계하여 트레이의 이송시간을 단축하도록 하였다. 그리고 트레이 하단에 로드셀을 부착하여 팔레트의 무게를 측정하고 임계치 초과 시에는 알람으로 사용자가 알림으로서 적재의 안정성을 확보하였다. 사용자의 조작을 위한 패널은 PC시스템 기반으로 구현하여 향후 관련 프로그램과의 연동과 유지보수성을 고려하여 구현하였으며 QR코드 및 다차원 내용 검색을 통한 대상 팔레트를 신속하게 지정할 수 있도록 인터페이스를 구현하였다. 향후, 최적의 보관 위치 탐색을 위한 알고리즘 개발과 물류 로봇과 연동한 센서 기반의 자율 동작이 가능한 전자동 스마트 적재창고에 대한 연구를 지속할 예정이다.

REFERENCES

- [1] Global Smart Manufacturing Market, <https://www.trendforce.com/presscenter/news/20220817-11342.html>
- [2] Tong Q, Ming X, Zhang X, "Construction of Sustainable Digital Factory for Automated Warehouse Based on Integration of ERP and WMS," *Sustainability*, 15(2): 1022, 2023. DOI: 10.3390/su15021022
- [3] Zhen L., Li H, "A literature review of smart warehouse operations management," *Front. Eng. Manag.*, Vol. 9, pp. 31-55, Jan. 2022. DOI: 10.1007/s42524-021-0178-9
- [4] Ali Kamali, "mart Warehouse vs. Traditional Warehouse-Review," *International Journal of Automation and Autonomous System*, Vol 11(1), pp. 9-16, Jan. 2019. DOI: 10.36039/ciitaas/11/1/2019/180349.9-16
- [5] Van Geest M, Tekinerdogan B, Catal C., "Smart Warehouses: Rationale, Challenges and Solution Directions," *Applied Sciences*, 12(1): 219, 2022. DOI: 10.3390/app12010219
- [6] Ponis ST, Efthymiou OK., "Cloud and IoT Applications in Material Handling Automation and Intralogistics," *Logistics*, 4(3): 22, 2020. DOI: 10.3390/logistics4030022
- [7] M. Di Capua, A. Ciaramella, and A. De Prisco, "Machine Learning and Computer Vision for the automation of processes in advanced logistics: the Integrated Logistic Platform (ILP) 4.0," *Procedia Comput. Sci.*, Vol. 217, pp. 326-338, Jan. 2023. DOI: 10.1016/j.procs.2022.12.228
- [8] Hun-Kee Lee, Myeong-Chul Park, "Design and Implementation of the Front part of an Agricultural Electric Vehicle based on Vacuum Forming using Computational Structural Analysis," *Journal of The Korea Society of Computer and Information* Vol. 26(10), pp. 45-51, October 2021. DOI: 10.9708/jksci.2021.26.10.045

Authors



Hwa-La Hur received a M.S. degree in Computer Engineering from Dong-a University in 1992, a Ph.D. degrees in Electronic Engineering from Pusan National University in 2001.

He is currently a Professor in the Department of Aeronautical Software Engineering, KyungWoon University. He is interested in Time-Dealy, Model predictive control, Remote control robot.



Yeon-Ho Kuk received a B.S. degree in Department of Mechanical Engineering from Kumho University of Technology in 1993, and the M.S. and Ph.D. degrees in Department of Industrial Engineering from

Kumho University of Technology. He is currently working as the CEO of Instern Co. Ltd. He is interested in Smart Factories and robot automation.



Myeong-Chul Park received a B.S. degree in Computer Science from Korea National Open University in 1999, and the M.S. and Ph.D. degrees in Computer Science from GyeongSang National University in 2002 and

2007, respectively. He is currently a Professor in the Department of Avionics Engineering, KyungWoon University. He is interested in Visualization, Simulation, Education of Software, Healthcare, and DTx(Digital Therapeutics).