

중소기업을 위한 자재 창고 관리용 Find-On 시스템 개발

김송민*, 정승화**¹, 송재진**²

Development of a Find-On System for Material Warehouse Management Suitable for Use in Small and Medium-Sized Businesses

kim songmin*, jung seng-hwa**¹, and jae jin Song**²

요 약

본 논문은 중소기업의 인력난 및 생산성 저하 문제 해결을 위해 스마트공장 기반의 Find-On 시스템을 개발하여 부품 입고 프로세스를 최적화하였다. 개발된 시스템은 부품 등록 시간 단축을 위한 자재관리 프로그램과, RGB LED/QR 라벨 기반의 부품 탐색 시간 단축 하드웨어로 구성된다. Find-On 시스템 도입 전 부품 출고 시간은 큰 편차(92-748분)를 보였고, 평균 278분을 초과하는 경우가 많아 생산 지연의 원인이었다. Find-On 시스템 적용 후 평균 출고 시간은 84분으로 69% 감소했으나, 일부 부품의 평균 초과 문제가 남아있었다. 이에 자주 사용 부품을 입구 근처에 배치하는 가중치 조정을 통해 부품당 출고 시간을 0.6분에서 0.4분으로 추가 감소시켰으며, 최종적으로 시스템 적용 전 대비 77%의 생산 효율성 향상을 확인하였다.

Abstract

This paper developed a smart factory-based Find-On system to optimize parts input/output processes for addressing labor shortages and low productivity in SMEs. The system consists of a material management program to reduce parts registration time and hardware utilizing RGB LEDs and QR labels to shorten parts retrieval time. Before the system's implementation, parts output time showed a wide range (92-748 minutes), with many cases exceeding the average of 278 minutes, causing production delays. After applying the Find-On system, the average output time decreased to 84 minutes, a 69% reduction. However, the issue of some parts still exceeding the average time remained. To address this, a weighted adjustment was implemented, placing frequently used parts near the entrance, which further reduced the output time per part from 0.6 to 0.4 minutes. Ultimately, a 77% improvement in production efficiency was confirmed compared to before the system was applied.

Keywords

smart factory implementation, parts management, shipping optimization, RF search system

* 전북대학교 공과대학 IT응용시스템공학과 교수
- ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1504-7085>

** 전북대학교대학원 IT응용시스템공학과 박사과정
(**¹ 교신저자)

- ORCID¹: <https://orcid.org/0009-0000-3622-3562>

- ORCID²: <https://orcid.org/0009-0002-7119-4052>

• Received: Apr. 21, 2025, Revised: May 14, 2025, Accepted: May 17, 2025

• Corresponding Author: jung seng-hwa

Dept. of IT Applied System Engineering Chonbuk National University

Tel.: +82-63-270-4780, Email: simom49@naver.com

I. 서 론

현재 우리나라의 중소기업은 심각한 인력난을 겪고 있으며, 특히 숙련된 기술자의 부족으로 인해 생산성과 경쟁력이 저하되는 문제가 발생하고 있다.

이를 해결하기 위해 중소벤처기업부에서는 스마트공장 지원 사업을 추진하고 있으며, 이를 통해 중소기업이 자동화된 생산 시스템을 도입하고 효율성을 극대화할 수 있도록 다양한 지원을 제공하고 있다[1].

그러나 소규모 중소기업은 스마트 공장 구축에 필요한 비용 부담과 전문 인력 확보의 어려움으로 인해 정부 지원 사업에도 불구하고 스마트 공장 도입에 어려움을 겪고 있다[2]-[5].

이에 본 논문에서는 스마트공장을 구축하지 못하는 중소기업도 부분적으로 스마트공장의 효과를 적용할 수 있도록[4] 부품 관리 및 출고 과정을 개선하는 시스템을 개발하고자 한다. 이를 위해 조사 대상 기업을 선정하여 2024년 12월 한 달간 부품 관리 현황을 분석하고, 문제점을 도출한 후 이에 대한 개선 방안을 마련하고자 한다.

조사 대상으로 선정된 중소기업은 주문생산 방식으로 운영되며, 주문생산 방식의 특성상 제품에 필요한 부품의 종류는 이미 정해져 있다. 주문이 들어오면 자재와 직원이 해당 부품을 검색하여 출고하는 방식으로 업무가 진행되고 있었다. 그러나 이러한 작업 방식은 직원들의 숙련도에 따라 작업 속도가 크게 차이가 나며, 상당한 경험이 요구된다. 이로 인해 신규 직원의 적응 기간이 길고, 작업 효율성이 낮아지는 문제가 발생하고 있었다.

2024년 12월 한 달간 조사 대상 기업의 입출고 데이터를 분석한 결과, 다음과 같은 문제점이 확인되었다. 첫째, 자재 입고 과정에서 담당자가 자재관리 프로그램에 정보를 수동으로 입력해야 하며, 이로 인해 상당한 시간이 소요되고 있었다. 둘째, 부품 출고 시간의 54.5%가 평균 278분을 초과하여 출고 효율성이 현저히 낮은 것으로 나타났다. 이러한 문제점은 전체 공정의 생산성 저하와 비용 증가로 이어지고 있음을 확인할 수 있었다.

이를 단축하기 위해 회사에서는 RF 검색 시스템

을 도입하였으나, 현장에서 실제로 사용되지 않고 있었다. RF 검색 시스템이 활용되지 않은 원인을 분석한 결과, 창고 내에서 부품을 탐색할 때 해당 부품의 정확한 위치를 시각적으로 안내하는 장치가 제공되지 않아 작업자들이 불편을 겪었음이 확인되었다. RF-ID(Radio Frequency Identification) 방식은 고 정밀 자동화가 요구되는 대규모 창고나 SMT Reel 관리에는 효과적이거나, 조사 대상 기업과 같이 다양한 종류의 부품을 관리해야 하는 환경에서는 적합성이 낮은 방식으로 판단되었다[6].

이에 본 논문에서는 입력 시간을 단축하고 부품 출고 시간을 효율적으로 개선할 수 있는 자재관리 프로그램을 개발하고자 한다. 또한, 창고 내 부품 관리를 위한 모바일랙(Mobile Rack)과 LED 표시 장치를 개발하여 자재관리의 효율성을 높이하고자 한다. 특히, 다양한 종류의 부품을 관리해야 하는 업체의 특성을 고려하여 시스템 구축비용을 최소화하기 위해 QR 라벨 방식을 도입하고자 한다[7]. 이를 통해 비용 절감은 물론, 다양한 환경에서도 유연하게 활용할 수 있는 시스템을 구축하고자 한다.

본 논문의 2장에서는 Find-On 시스템 개요 및 개발 과정을 상세히 설명하고, 3장에서는 Find-On 시스템 도입 전후의 성능 개선 정도를 분석하여 그 효과를 검증한다. 마지막으로 4장에서는 연구의 결론을 제시하고, 향후 개선 및 연구 방향에 대해 논의한다. 이를 통해 본 연구가 자재 관리 시스템의 효율성과 경제성을 동시에 개선할 수 있는 실질적인 솔루션을 제공할 것으로 기대한다.

II. Find-On 시스템 개요 및 개발

2.1 자재관리 프로그램 개발

그림 1은 본 논문에서 제안한 Find-On 시스템의 전반적인 구성을 나타낸다. 이 시스템은 자재관리 프로그램을 통해 바코드 스캔을 이용하여 부품 정보를 판독하고, 이를 기반으로 부품 등록(Part registration)을 수행한다. 등록된 부품 정보는 서버 데이터베이스에 저장되며, 출고 시에는 출고 정보(Parts delivery information)를 입력하여 관리한다.

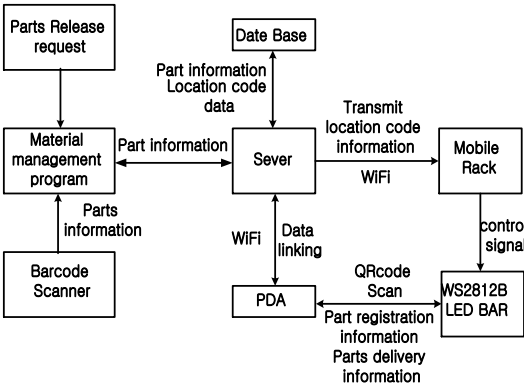


그림 1. Find-On 시스템 개발 구성도
Fig. 1. Block diagram of Find-On system development

서버 데이터베이스는 부품 정보(Part information)와 위치 코드 데이터(Location code data)를 체계적으로 관리하며, PDA(Personal Digital Assistant)는 무선 인터넷 기능을 기반으로 설계된 휴대용 전자 장치로서, 주로 재고 관리, 데이터 수집 등의 업무를 수행하기 위해 사용된다. 본 시스템에서는 PDA를 통해 서버로부터 수신한 데이터를 처리한 후 모바일랙을 통해 제어 신호(Control signal)를 WS2812B LED 바에 전달한다. 이를 통해 특정 위치의 부품을 시각적으로 표시할 수 있다. 또한, WiFi 네트워크를 통해 서버와 PDA가 실시간으로 연동되어 정보를 지속적으로 갱신하고 반영한다.

데이터베이스 테이블은 표 1과 같고, 부품 정보(Parts), 입출고이력(StockHistory), QR 코드 정보(QRCode), 창고 정보(Storage)에 대한 테이블로 구성되며, PDA와 서버 간 실시간 데이터 동기화로 최신 재고를 관리할 수 있도록 하였다.

2.1.1 초기 데이터베이스 구축 및 입고 작업

초기 데이터베이스 구축 시, 서버에 부품 정보가 없으므로 CSV 파일을 업로드하거나, 관리자 대시보드를 통해 IPN, MPN, 제조사명 등을 직접 입력한다.

위치 정보(LocationID)는 창고 레이아웃에 따라 체계적으로 생성된다(예: A-01-01은 Zone A, 선반 1, 칸 1). MPN과 위치 정보를 매칭 하여 저장하고, QR 코드를 생성해 창고의 해당 위치에 부착한다.

표 1. 데이터베이스 테이블
Table 1. Database table

Table name	Column name	Data type	Description
Parts	IPN	VARCHAR(20)	Internal part number
	MPN	VARCHAR(20)	Manufacturer part number
	manufacturerName	VARCHAR(50)	Manufacturer name
	componentDescription	TEXT	Component description
	isCommon	BOOLEAN	Common parts or not (80% rule)
	usageFrequency	INT	Usage Frequency
	historyID	INT	History ID
	LOT	VARCHAR(20)	LOT ID
	Quantity	INT	Quantity
	inOut	ENUM('IN', 'OUT')	In/Out
Stock-history	timestamp	DATETIME	working hours
	kitting_no	INT	kitting_no
	supplierID	VARCHAR(10)	supplierID
	supplierName	VARCHAR(50)	supplierName
	supplierCode	VARCHAR(15)	supplierCode
QRCode	pickingID	INT	pickingID
	pickingDate	DATETIME	pickingDate
	isSent	JSON	Mobile rack to
	workerID	VARCHAR(15)	workerID
	workerName	VARCHAR(30)	workerName
	QRCodeID	INT	QRCodeID
Storage	IPN	VARCHAR(20)	Internal Part Number
	LOT	VARCHAR(20)	LOT ID
	locationID	VARCHAR(10)	Location ID
	locationID	VARCHAR(10)	locationID
	zone	VARCHAR(10)	A-01-01 (Zone A, shelf 1, compartment 1)
	maximumCapacity	INT	maximumCapacity
	currentStock	INT	currentStock

QR 코드는 LED 표시기 옆에 설치되며, LED 표시기는 모바일랙에 의해 제어된다.

입고 작업은 납품 상자의 바코드를 스캔하여 LOT 또는 MPN 정보를 추출하는 것으로 시작된다. 서버는 MPN을 기반으로 부품 정보 테이블에서 IPN을 확인하고, 입출고 이력 테이블에 입고(IN) 타입으로 수량과 작업자 정보를 기록한다. 이후 부품 상자에 QR 코드를 부착하고, 해당 정보는 Wi-Fi를 통해 모바일랙으로 전송된다.

2.1.2 부품 등록 및 위치 안내

창고에 부품을 등록할 때, LED 표시기는 직원에게 부품의 정확한 위치를 시각적으로 안내한다. 직원은 PDA를 사용해 부품 적치대의 QR 코드를 스캔하여 부품 상자의 위치 정보와 적치대의 위치 정보가 일치하는지 확인한다. 일치할 경우, 부품을 해당 위치에 보관하고 PDA에서 '등록' 버튼을 눌러 서버에 정보를 저장한다.

2.1.3 출고 작업 및 부품 배치 최적화

출고 작업은 자재관리 프로그램에서 부품을 검색해 키팅(Kitting)지시서를 생성하는 것으로 시작된다. LED 표시기는 위치를 안내하며, 직원은 PDA로 QR 코드를 스캔해 부품을 출고한다. 이후 '출고' 버튼을 눌러 서버에서 재고를 차감하고, 입출고 이력 테이블에 출고(OUT) 타입으로 기록한다.

출고 시간을 최소화하기 위해 부품 사용 빈도가 높은 순서대로 누적 비율을 계산하고, 누적 비율 80% 이내의 부품을 공통 부품으로 지정해 출입구가 가까운 위치에 배치한다. 공통 부품과 비 공통 부품은 가중치의 상대적 변화율을 비교해 구분하며, 키팅작업 시 이를 구별해 관리한다.

그림 2는 개발된 자재관리 프로그램의 구성 화면이고, 표 2는 입출고 과정을 나타낸다.

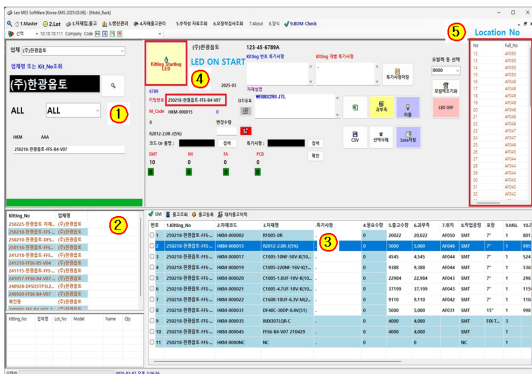


그림 2. 개발된 자재관리 프로그램 구성 화면

Fig. 2. Program configuration screen of developed material management

표 2. 자재관리 프로그램(입/출고)

Table 2. Description of material management program (Inbound/Outbound)

Number	Explanation
①	To search for supplier name and kitting_no
②	Kitting instruction sheet
③	Parts shipment information special notes (Common/Uncommon)
④	Kitting_no information display mobile rack control QR label printing
⑤	Parts storage location information

2.2 Find-On 시스템 설계 및 구현

2.2.1 Find-On 시스템 구성

본 논문에서 제안한 Find-On 시스템의 구성도는 그림 3과 같다. 시스템의 전원부는 LM1117-3.3V IC를 사용해 3.3V 전원을 공급하며, 통신 모듈로 ESP8266 Wi-Fi 모듈을 사용해 서버와 ESP-07S 모듈(모바일랙) 간의 네트워크를 구성한다.

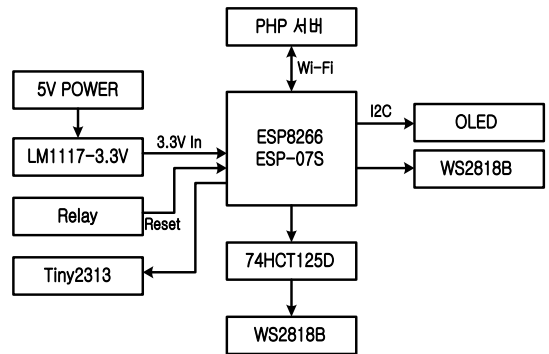


그림 3. Find-On 시스템 하드웨어 구성도

Fig. 3. Block diagram of Find-On system hardware structure

2.2.2 ESP-07S 모듈 및 LED 제어

ESP-07S 모듈 한 대는 최대 1,000개의 WS2812B LED BAR를 제어할 수 있으며, 이를 통해 부품의 위치 및 상태를 효율적으로 관리한다. ESP-07S 모듈은 전원, Wi-Fi 상태, TX, RX 상태를 포함한 4가지 상태를 표시한다.

WS2812B LED BAR는 5V 전원을 필요로 하므로, 74AHCT125D를 사용해 전원을 공급한다. LED BAR의 상태는 표 3과 같으며, 부품의 입고, 출고, 위치 등록 상태를 색상으로 구분해 나타낸다. 위치 정보가 다른 경우에는 경고음이 울린다.

표 3. 모바일랙을 이용한 WS2812B LED BAR 상태 표시
Table 3. WS2812B LED BAR status display using mobile rack

Color	Status display
blue	Status before registering parts
pink	Status after registering a part
red	Status after registering the location code to save the part
sound	If the location code to save is different
green	Status that the parts have been shipped

2.2.3 모바일랙의 역할 및 부품 출고

모바일랙은 서버에 저장된 부품 정보를 Wi-Fi를 통해 수신하고, 자재관리 프로그램에서 생성된 키팅 지시서를 텍스트 기반의 JSON 데이터로 전송받는다. 이후, 위치 정보를 분석해 해당 WS2812B LED BAR를 제어한다.

ESP-07S 모듈의 Tiny2313은 PB0 핀을 사용해 ESP-07S의 EN 핀을 제어하고, PB1 핀을 사용해 ESP-07S의 상태를 확인하며, PB2 핀을 사용해 릴레이를 제어한다. 이를 통해 ESP-07S의 WORK 상태를 관리하고, STOP 상태 시 릴레이를 통해 리셋을 수행한다.

2.2.4 Find-On 시스템 설계 및 구현

Find-On 시스템은 그림 4와 같이 제작되었고, 시스템의 주요 사양은 표 4와 같다. 그림 5는 시스템의 동작 상태를 시각적으로 보여준다.

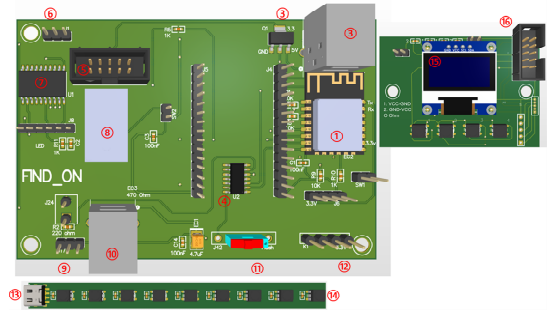


그림 4. Find-On 시스템 하드웨어 설계
Fig. 4. Find-On system hardware design drawing

표 4. Find-On 시스템 사양

Table 4. Find-On system hardware specifications

No	Part Name	Description
①	Wi-Fi Module	ESP8266- ESP07
②	Power Source	5V IN Connector
③	Power Regulator	LM1117-3.3
④	LevelShift Drivers	74AHCT125D
⑤	OLED CON	Header Box 2×5
⑥	Data OUT Signal	3Pin Connector
⑦	MCU ResetControl	AT90S2313
⑧	Reset	HR93DC05H
⑨	Data OUT CON	3Pin Connector
⑩	Power Source	5V IN Connector
⑪	Program Loader	ECH350R (5Pin)
⑫	RS232 Monitoring	ECH350R (4Pin)
⑬	Data IN CON	3Pin Connector
⑭	RGB LED BAR	WS2812B
⑮	Display	OLED (Organic LED)
⑯	OLED CON	Header Box 2×5

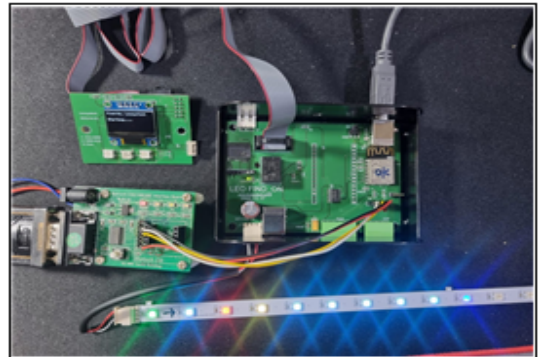


그림 5. Find-On 시스템 동작 상태
Fig. 5. Find-On system operation status

III. Find-On 시스템 적용 전후 결과 분석

3.1 시스템 적용 전 후의 데이터 조사

3.1.1 조사 대상 업체 개요

조사 대상 기업은 중소 규모의 제조업체로, 종업원 수는 약 50명에 이른다. 해당 기업은 20~30개의 협력 업체와의 계약을 통해 주문 제작 방식으로 제품을 공급하고 있다. 자재 창고는 총 23개 동으로 구성되어 있으며, 하루 9시간의 작업이 이루어진다. 또한, 자재관리 부서에는 7명의 직원이 근무하며, 이들은 생산 현장에 필요한 부품을 적시에 공급하는 역할을 수행한다.

3.1.2 조사 방법

조사는 세 단계로 진행되었으며, 그 결과는 표 5와 같다.

1단계(2024년 12월): Find-On 시스템 적용 전, kitting_no 44종에 사용된 부품 6,438개에 대한 출고 시간(분) 데이터를 수집하였다.

2단계(2025년 1월): Find-On 시스템을 그림 6과 같이 창고 한 곳에 설치한 후, 동일한 조건에서 출고 시간 데이터를 수집하였다.

3단계(2025년 2월): Find-On 시스템에 가중치 조정 방식을 추가 적용한 후, 출고 시간 데이터를 다시 수집하였다.



그림 6. Find-On 시스템 적용
Fig. 6. Application of the Find-On system

표 5. Find-On 시스템 적용 전후 데이터
Table 5. Data before and after applying the Find-On system

kitting_no	Number of parts	Time per part before applying the system (minutes)	After applying the Find-On system (minutes)	Weight value adjustment after applying the Find-On system(minutes)
LCM-1	47	92	9	9
LCM-2	43	85	9	9
P2M-1	63	169	21	21
P2M-2	68	182	23	23
P2M-3	77	273	15	15
P2M-4	112	286	118	75
P2M-5	110	281	116	74
P2M-6	107	218	155	99
HKM-1	192	256	64	64
HKM-2	100	330	30	30
HKM-3	78	99	16	16
OTM-1	32	99	6	6
KTM-1	128	243	38	38
KTM-2	184	304	77	77
KTM-3	80	360	79	50
KTM-4	309	386	350	235
OPM-1	78	99	16	16
OPM-2	209	279	87	87
OPM-3	171	282	114	75
AIM-1	147	333	61	61
AIM-2	236	295	303	204
TRM-1	230	288	295	196
TRM-2	125	238	21	21
TRM-3	168	381	112	69
TRM-4	102	267	70	44
TRM-5	135	257	59	59
TRM-6	171	282	114	71
TRM-7	143	324	55	55
CBM-1	132	251	121	77
CBM-2	92	146	31	31
NCM-1	125	240	21	21
NCM-2	111	283	117	74
ALM-1	311	389	352	237
ALM-2	148	335	57	57
ALM-3	204	272	68	68
MPM-1	115	293	27	27
MPM-2	100	330	113	75
MPM-3	81	365	80	50
EVM-1	78	99	16	16
SAM-1	561	748	47	47
SAM-2	262	328	66	66
SAM-3	101	333	30	30
SAM-4	129	245	41	41
SAM-5	139	315	60	60
SAM-6	104	272	26	26
Total	6438	12229	3702	2799
Time/Part		2	0.6	0.4
Average time		278	84	64

3.2 시스템 적용 전 후의 데이터 분석

그림 7은 표 5의 데이터를 기반으로 *kitting_no*별 부품 출고 시간을 시스템 도입 전과 후의 세 가지 방법으로 비교한 결과를 나타낸다. 시스템 적용 후 출고 시간이 어느 정도 단축되었는지를 보여준다.

3.2.1 시스템 적용 전 출고 시간 분석

Find-On 시스템 적용 전, 출고 시간은 *kitting_no* 별로 최소 92분에서 최대 748분까지 큰 편차를 보였다. 이는 부품 배치, 접근성, 출고 빈도, 작업 효율성 등의 차이에 기인한 것으로 판단된다. 특히, 출고 시간이 300분을 초과하는 경우가 다수 존재했는데, 이는 특정 부품이 원활하게 출고되지 않거나 출고 경로가 비효율적으로 구성되어 있음을 나타낸다. 부품당 평균 출고 시간은 2분(114초)으로 측정되었으며, 부품 출고 시간의 54.5%가 평균을 초과했다. 이는 전체적인 출고 프로세스의 개선이 필요함을 보여준다.

3.2.2 시스템 적용 후 출고 시간 분석

Find-On 시스템 적용 후, 평균 출고 시간은 부품당 2분(114초)에서 0.6분(35초)으로 크게 단축되었다.

이는 시스템 도입으로 인한 출고 프로세스의 효율성 개선을 보여준다. 그러나 출고 대기 시간의 편차는 여전히 크게 나타났으며, 최소 9분에서 최대 352분까지 다양한 분포를 보였다. 특히, 특정 *kitting_no*에서 극단적으로 긴 출고 시간이 295분에서 352분까지 4건 발생했고, 부품 출고 시간의 30%가 평균을 초과했다. 이는 특정 *kitting_no*에 대한 추가적인 개선이 필요함을 시사한다.

3.2.3 가중치 조정 방법 및 출고 시간 분석

Find-On 시스템 적용 후에도 긴 출고 시간이 나타나는 문제를 해결하기 위해, 본 논문에서는 Find-On 시스템 적용 후 가중치 조정 방법을 제안한다. 가중치를 적용하기 위해 *kitting_no*별 부품 종류를 분석하고, 부품 수량이 많은 순서대로 누적하여 전체 수량 대비 누적 비율을 계산했다. 누적 비율이 80%에 도달하는 부품을 공통 부품으로 지정하였다[8]-[10].

i 번째 부품의 사용수량을 f_i 라 하면 i 번째 부품의 사용 비율 r_i 는 식 (1)과 같다.

$$r_i = \frac{f_i}{\sum_{i=1}^n f_i} \quad (1)$$

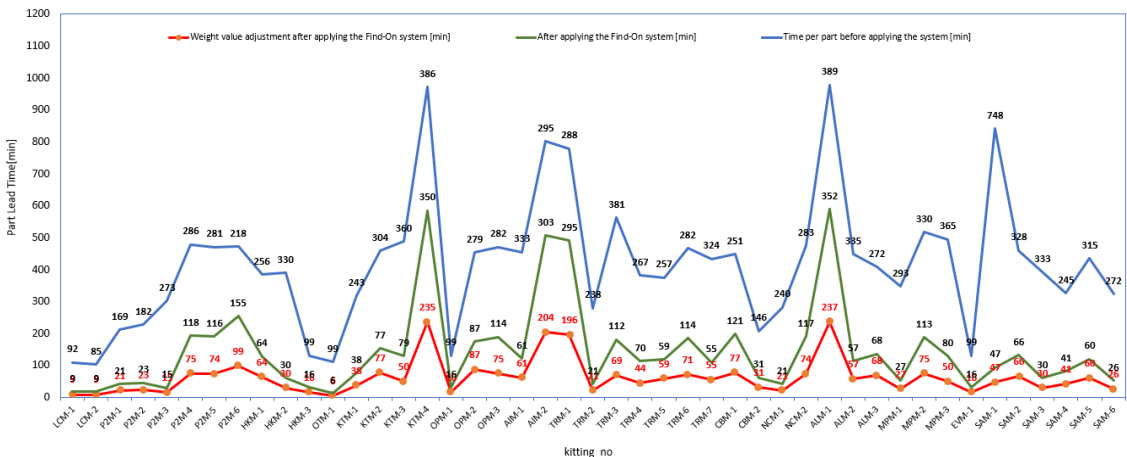


그림 7. Find-On 시스템 적용 전후 세 단계 데이터
Fig. 7. Three types of data before and after applying the Find-On system

공통 부품과 비 공통 부품을 구분하기 위한 일반화된 수식을 다음과 같이 정의할 수 있다.

사용 비율 차이가 큰 부품을 공통 부품으로 지정하거나 부품이 전체 사용량에서 차지하는 비율이 급격히 감소하는 구간을 찾는다. 보통 상위 80%를 차지하는 부품을 공통 부품으로 지정하는 방법(파레토 법칙)이나, 특정 임계값을 설정하여 판단할 수 있다. 특정 비율 이하의 부품 중 비율 차이가 크지 않은 부품들을 비 공통 부품으로 지정한다.

식 (1)을 이용하여 계산한 결과를 내림차순으로 정렬한 후 누적 비율을 식 (2)와 같이 계산한다.

$$R_k = \sum_{i=1}^k r_i \quad (2)$$

여기서, R_k 는 상위 k 개 부품의 누적 비율, r_i 는 개별 부품의 비율이다.

공통 부품은 식 (3)과 같이 누적 비율이 특정 임계값 T 이상인 범위에서 선정한다. 일반적으로 80% 기준($T=0.8$)을 사용한다.

$$C_i = \sum_{i=1}^m r_i \geq T \begin{cases} r_i \geq 0.8 & C_i = 1 \\ r_i < 0.8 & C_i = 0 \end{cases} \quad (3)$$

식 (3)에서 m 번째 부품까지 공통 부품으로 지정한다.

비 공통 부품은 공통 부품을 제외한 부품 중에서 두 인접한 부품 간 비율 차이의 상대적 변화율이 작은 경우를 기준으로 선정된다. 이를 식 (4)로 표현할 수 있다.

$$\frac{|r_i - r_{i+1}|}{r_i} \leq \varepsilon \quad (4)$$

여기서, ε 은 비율 차이의 허용 한계값이다. 공통 부품의 가중치 α, β 는 식 (6)과 같다.

$$\alpha = \sum_{i=1}^n r_i C_i, \quad \beta = 1 - \alpha \quad (6)$$

각 부품별 가중치 S_i 는 식 (7)과 같다.

$$S_i = (r_i C_i) \alpha + r_i (1 - C_i) \beta \quad (7)$$

각 부품의 가중치 S_i 를 계산한 후 지시함수를 활용하여 부품 i 의 순위를 결정하는 수식은 식 (8)과 같다.

$$Rank_i(S_i) = 1 + \sum_{j \neq i} [I(S_j > S_i) + I(S_j = S_i) \times I(Q_i > Q_j)] \quad (8)$$

여기서, $I(S_j > S_i)$ 는 지시 함수(Indicator function)로 [11] $S_j > S_i$ 일 때 1, 그렇지 않을 때 0을 의미한다.

각 부품의 가중치 S_i 와 다른 모든 항목의 가중치 S_j 를 비교하여 순위를 정한다. 이때 S_j 는 S_i 를 제외한 모든 항목의 가중치를 포함한다. 전체 항목이 n 개라면, S_j 는 $n-1$ 개의 가중치를 가진다. $S_j > S_i$ 인 경우, S_i 의 순위가 1씩 증가한다.

만약, 가중치가 동일한 경우가 발생하거나 비교 과정에서 순위가 뒤바뀌는 역전 상황이 생기는 경우 다음과 같은 방식으로 처리한다. 먼저, 가중치가 동일한 경우 세 가지 기준을 적용한다. 첫째, 해당 부품이 여러 제품에 공통으로 사용되는 공통 부품인지 판단한다. 공통 부품이라면 우선적으로 높은 순위를 부여한다.

둘째, 공통 부품이 아닌 경우에는 부품 수량 $I(Q_i > Q_j)$ 을 비교해 수량이 많은 부품에 더 높은 순위를 매긴다. 셋째, 동점자가 여전히 해결되지 않으면 동점자 수만큼 순위를 건너뛰어 부여한다.

순위가 역전되는 상황을 방지하려면 두 가지 방법을 고려할 수 있다. 하나는 가중치 S_i 를 미리 내림차순으로 정렬해 비교 과정에서 혼란을 줄이는 것이고, 다른 하나는 순위를 매길 때 이미 순위가 정해진 부품을 비교 대상에서 제외한다. 이렇게 하면 중복 비교나 역전 오류를 피할 수 있다.

표 6과 그림 8에서와 같이 공통 부품은 저장, 커패시터, IC로 구성되며, 이들 부품의 비율은 각각 37%, 28%, 12%이다. 이들 부품은 전체의 77%를 차지하며, 가중치 0.77을 적용한 후 가중치는 각각

28.6%, 21.7%, 9.3%로 계산되었다. 이러한 부품들은 출입구와 가장 가까운 위치에 배치하여 출고 동선을 최소화하고 효율성을 높일 수 있다. 트랜지스터와 인덕터의 경우 가중치가 동일하여 부품의 수량을 비교하여 그 값이 큰 쪽에 우선순위를 부여한다.

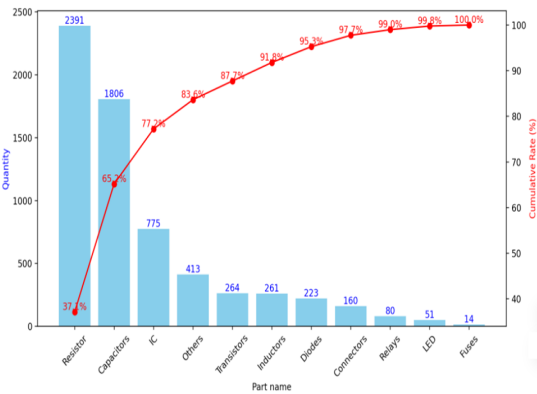


그림 8. 부품사용 빈도에 따른 가중치 계산
Fig. 8. Weight calculation according to frequency of use of parts

그림 7에서와 같이 Find-On 시스템에 가중치 조정 방식을 적용한 후, 대부분의 kitting_no에서 검색 시간이 안정적으로 감소하는 경향을 보였다. 출고 시간의 균등한 분포는 시스템의 전반적인 안정성과 균형이 개선되었음을 나타내며, 가중치를 적용한 후 Find-On 시스템 부품의 평균 출고 시간을 기준으로 86%가 평균 출고 시간 이하로 나타났다.

표 6. 부품사용 빈도에 따른 가중치 계산
Table 6. Weight calculation according to frequency of use of parts

Part name	f_i	r_i	R_k	$C_i = 1$ or $C_i = 0$	$\alpha = 0.772$ $\beta = 0.228$	S_i	$Rank_i(S_i)$	Note
Resistor	2,391	37.1%	37.0%	1	0.772	0.286	1	Common
Capacitors	1,806	28.1%	65.0%	1	0.772	0.217	2	Common
IC	775	12.0%	77.0%	1	0.772	0.093	3	Common
Others	413	6.4%	84.0%	0	0.228	0.015	4	
Transistors	264	4.1%	88.0%	0	0.228	0.009	5	264>261
Inductors	261	4.1%	92.0%	0	0.228	0.009	6	264>261
Diodes	223	3.5%	95.0%	0	0.228	0.008	7	
Connectors	160	2.5%	98.0%	0	0.228	0.006	8	
Relays	80	1.2%	99.0%	0	0.228	0.003	9	
LED	51	0.8%	99.8%	0	0.228	0.002	10	
Fuses	14	0.2%	100.0%	0	0.228	0.0005	11	

그림 9는 Find-on 시스템 도입 전후의 세 가지 방법에 따른 성능 향상을 비교 분석한 결과를 나타낸다. 시스템 적용 전 부품당 출고 시간은 약 2분(114초), 시스템 적용 후에는 0.6분(35초)으로 감소하여 69%개선 효과를 보였다. 추가적으로 가중치 조정 방식을 적용한 후에는 0.4분(26초)으로 줄어들어 시스템 적용 전에 비해 77%의 개선 효과가 있었다.

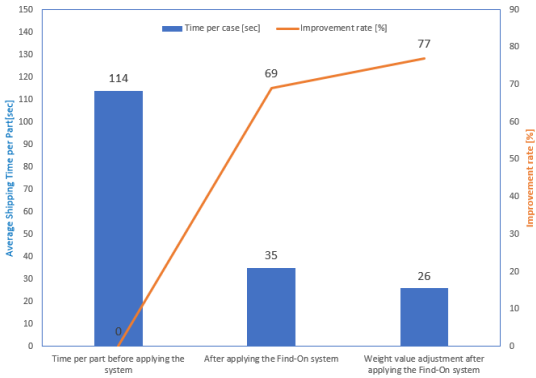


그림 9. Find-On 시스템 적용 전 후의 개선율
Fig. 9. Improvement rate before and after applying the Find-On system

IV. 결 론

본 논문에서는 소규모 중소기업에서 부품 출고 대기 시간의 편차를 최소화하고 생산 효율성을 향상시키기 위한 방안을 제시하였다.

초기 분석 결과, 출고 시간의 변동성이 크며, 평균 초과 부품 비율이 전체의 절반을 초과하여 생산 지연이 발생하는 것으로 나타났다. 이러한 문제를 해결하기 위해 Find-On 시스템을 도입하여 부품 위치의 시각화 및 검색 효율성을 개선한 결과, 평균 출고 시간이 69% 감소하였다. 그러나 여전히 출고 시간의 편차와 평균 초과 부품 비율의 문제점이 존재하였으며, 이를 추가적으로 개선하기 위해 공통 부품을 출입구 인근에 재배치하는 가중치 기반 동선 최적화 기법을 적용하였다. 그 결과, 전체 작업 효율성이 77% 향상됨을 실증을 통해 확인하였다. 향후 인공지능 기반 동선 최적화 알고리즘을 개발하여 적용할 계획이다.

References

- [1] Announcement of 2025 Ministry-Collaborative Smart Factory Construction Support Project, <https://www.mss.go.kr/site/smba/ex/bbs/View.do?cbIdx=310&bcIdx=1056648> [accessed: Feb. 27, 2025]
- [2] B. B. Hojnik and I. Hudek, "Small and Medium-Sized Enterprises in the Digital Age: Understanding Characteristics and Essential Demands", *Information*, Vol. 14, No. 11, pp. 606, Oct. 2023. <https://doi.org/10.3390/info14110606>.
- [3] Y. S. Kang and J. Y. Son, "Appropriate Smart Factory for Small and Medium-sized Enterprises: Concept, Application and Perspectives", *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, Vol. 21, No. 6, pp. 1093-1105, Dec. 2020. <https://doi.org/10.1007/s12541-020-00445-2>.
- [4] H. Lee, Y. Kim, J. Yim, Y.-W. Kim, and S.-H. Lee, "Analysis of Field Conditions and Requirements for Deploying Smart Factory", *Journal of the Korean Society for Precision Engineering*, Vol. 34, No. 1, pp. 29-34, Jan. 2017. <https://doi.org/10.7736/KSPE.2017.34.1.29>.
- [5] G. Kim and J. Lee, "A Systematic Literature Review on Smart Factory Research: Identifying Research Trends in Korean Academia", *Journal of Digital Convergence*, Vol. 18, No. 11, pp. 59-71, Nov. 2020. <https://doi.org/10.14400/JDC.2020.18.11.059>.
- [6] M. K. Lim, W. Bahr, and S. C. H. Leung, "RFID in the warehouse: A literature analysis (1995-2010) of its applications, benefits, challenges and future trends", *International Journal of Production Economics*, Vol. 145, No. 1, pp. 409-430, Sep. 2013. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2013.05.006>.
- [7] S.-H. Jung and S.-M. Kim, "Using RGB LED for EMS companies Design and implementation of warehouse management system", *Proc. of the 2023 KIIT Summer Conference*, Jeju, Korea, pp. 232-234, Jun. 2023.
- [8] S.-H. Jang, "Evolutionary Multi-Objective Optimization Algorithms using Pareto Dominance Rank and Density Weighting", *The KIPS Transactions: Part B*, Vol. 11B, No. 2, pp. 213-220, Apr. 2004. <https://doi.org/10.3745/KIPSTB.2004.11B.2.213>.
- [9] S. Jeong, S. W. Sungg, C. K. Kim, and E. Sim, "A Study on the Optimal Material Allocation for a Smart Factory in Electronics Manufacturing", *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, Vol. 48, No. 2, pp. 198-210, Apr. 2022. <https://doi.org/10.7232/JKIE.2022.48.2.198>.
- [10] R. Kumar, O. Patil, K. Nath S, K. Rohilla, and K. S. Sangwan, "Machine Vision and Radio-Frequency Identification (RFID) based Real-Time Part Traceability in a Learning Factory", *Procedia CIRP*, Vol. 104, pp. 630-635, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2021.11.106>.
- [11] K. Q. Ye, "Indicator function and its application in two-level factorial designs", *The Annals of Statistics*, Vol. 31, No. 3, pp. 984-994, Jun. 2003. <https://doi.org/10.1214/aos/1056562470>.

저자소개

김 송 민 (kim songmin)



1998년 8월 : 조선대학교대학원
전자공학과(공학박사)
1998년 9월 ~ 현재 : 전북대학교
공과대학 융합기술학부
IT응용시스템공학과 교수
관심분야 : 공공데이터분석, ITS,
스마트팜, 자율주행자동차

정 승 화 (jung seng-hwa)



2015년 2월 : 목원대학교
산업정보연론대학원
전자정보통신공학전공(공학석사)
2023년 3월 ~ 현재 :
전북대학교대학원
IT응용시스템공학과 박사과정
관심분야 : 공공데이터분석, ITS,

스마트팜, 자율주행자동차

송 재 진 (jae jin Song)



2015년 2월 : 목원대학교
산업정보연론대학원
전자정보통신공학전공(공학석사)
2022년 3월 ~ 현재 :
전북대학교대학원
IT응용시스템공학과 박사과정
관심분야 : 공공데이터분석, ITS,

스마트팜, 자율주행자동차