

식재료 분류 및 소포장 공정 로봇-자동화 시스템 디지털전환 공정 표준화 모델 개발

김태형¹, 오승일^{2*}

¹한국식품연구원 디지털팩토리사업단, ²한국식품연구원 안전유통연구단

Development of Digital Transformation Standard Process Model for Robot-Automated System for Food Classification and Small Packaging Process

Tae Hyong Kim¹, Seung Eel Oh^{2*}

¹Digital Factory Project Group, Korea Food Research Institute

²Food Safety and Distribution Research Group, Korea Food Research Institute

요약 식품 제조 산업은 자동화 로봇 도입을 통해 변화를 도모하고 있다. 본 연구에서는 구성 블록 식재료 종류만큼 작업자가 투입되는 식재료 분류 및 조합 소포장 공정을 선정하였다. 비전 시스템, 로타리형 피더 자동화 장치, 델타 로봇을 도입함으로써 분류 및 조합 소포장의 로봇-자동화 공정 표준화 모델을 제안하였으며, 기존 수작업 공정의 시스템 및 장치, 작업 환경, 공정 문제점, 로봇 도입 가능 공정 등을 분석하였다. 주요 구성 장치 및 시스템에 대한 2D 설계 및 3D 시뮬레이션을 구축하여 운영시나리오를 도출하고 공정 표준화 모델 솔루션에 대한 시스템구성을 제안하였다. 디지털전환을 위한 DNA 지수를 도출하고 공정 표준화 모델 적용에 따른 정량적 효과 및 투자 회수 기간을 추출하였다. 밀키트 제조공정의 문제점을 개선하기 위해 로봇 장비 자동화 및 디지털전환 스마트 매뉴팩처링 공정 표준화 모델을 제안하였고, 개발된 공정은 기타 수작업 생산/가공/후처리 공정에 적용할 수 있을 것으로 사료된다.

Abstract This study suggests the implementation of automation through the introduction of vision systems, rotary feeder automation devices, and delta robots in a manufacturing of meal-kit ingredients classification and combination small packaging, which relies heavily on manual labor. We sought to create an automated model for the classification and combination packaging process, thereby reducing the reliance on manual labor. The investigation evaluated manual processes, the working environment, process-related challenges, and the suitability of introducing robots for automation in the classification and combination packaging processes. We designed 2D and 3D simulations of crucial components and systems to develop operational scenarios. Moreover, a configuration plan for the standard process model was formulated and encompassed software, hardware, communication, and robotic elements. Furthermore, we identified key indices for digital transformation and quantified the potential returns on investment associated with the adoption of standard process models. Consequently, a standard model for the automation of robot equipment and smart manual processing tailored to the meal-kit manufacturing process was devised. It is anticipated that this model can be readily applied to other manual production, processing, and post-processing operations.

Keywords : Meal-Kit, Industrial Robot, Automation, Digital Transform, Standard Manufacture Manual

본 연구는 산업통상자원부 로봇산업핵심기술개발에 의해 이루어진 것임(과제번호 20018394, GN224000-02).

*Corresponding Author : Seung Eel Oh(Korea Food Research Institute)

email: dr51@kfri.re.kr

Received September 26, 2023

Revised October 25, 2023

Accepted December 8, 2023

Published December 31, 2023

1. 서론

최근 감염병 확산 및 인구의 고령화 등 사회적 구조 변화로 인한 요인으로 급변하는 식생활의 변화는 편의성을 추구할 수 있는 식품에 관심이 증가하였다. 이러한 환경 변화로 인해 배달요리, 즉석요리, 포장 식품 등과 같은 간편하게 식사를 해결할 수 있는 가정간편식(HMR: Home Meal Replacement)의 선호도가 증가하였다[1]. 최근 가정간편식은 구매한 제품을 개봉하여 간단한 조리가 가능한 밀키트(meal-kit)로 개발되었다. 밀키트는 작업자들이 사전에 준비된 원물을 전처리 과정을 거쳐 소분하고 이를 용기에 담고 포장하는 공정 과정이 요구된다[2]. 식재료 분류 및 조합소포장 공정은 반조리/비조리 상태의 포장이 한 상자 내에 여러 개 포함된 형태로 블록 식재료를 완제품의 형태로 만들기 위해서 블록화된 식재료마다 한사람 이상의 인력이 필요하며, 기존 투입공정에서 n 개의 블록 식재료가 완제품이 되기 위해서는 이송되는 식재료 앞에 n 명 이상의 인력이 필요하다[3]. 또한 블록 식재료들은 하나의 박스에 혼합되는데 빈공간에 하나씩 인력이 배치하는 공정으로 되어 있어서 식재료 분류 및 조합 소포장 공정에 대해 로봇의 결합을 통한 자동화 장비로의 개선이 시급한 상황이다.

국내 제조 기업의 로봇-자동화 시장은 고령화로 인한 노동인구 감소, 근로 시간 단축 등으로 인해 노동시장이 위축됨에 따라 수요가 증가하고 있으며, 수작업으로 진행되던 기존 공정 모델 자동화를 통하여 생산비용 절감 및 품질관리비용 저감을 통한 단가경쟁력 향상이 가능하다. 따라서 로봇을 활용한 공정 표준화 모델 개발을 위하여 수작업 공정 분석, 공정 표준화 모델 설계 및 시뮬레이션 등을 통해 로봇 활용 공정 표준화 솔루션이 필요하다. 로봇-장비 디지털전환 공정 표준화 모델은 식음료분야 가공/생산/포장/저장 등 매뉴팩처링 단계에 대한 공정분석, 위생 및 안전성이 확보된 상태에서의 제조공정 혁신 개선, 지능정보 기반 식음료 품질 관리 및 최적 시스템 개발 등에 필요한 로봇 기계장비 및 운영솔루션 등을 의미한다[4,5].

식품산업은 위생 및 안전 개념이 항상 요구됨에도 불구하고 몇 개의 대기업을 제외한 대다수 식품 제조 기업 규모가 매우 영세한 특성을 가져 낙후된 생산시설 및 열악한 작업환경으로 인해 제조설비 투자 문제가 해마다 반복되고 있다[6]. 특히 식품 제조가공 공정은 열악한 환경에서의 고강도 작업으로 인해 잦은 안전사고 발생, 높은 이직률 등이 항상 사회문제로 부각되고 있어서, 인력

난과 생산경쟁력의 개선을 위한 공정 자동화, 머신 비전 및 로봇 도입을 통해 변화를 도모하고자 하는 추세이다 [7,8]. 예를 들어, 자동화 시스템에 탑재가 가능한 머신 비전을 활용한 어류의 목표 중량 절단 알고리즘을 개발한 사례가 있다[9].

하지만 식음료 제조공정에는 다양한 노하우가 기본적으로 요구되며, 시간, 장소 등 환경요소에 의해 매우 섬세하고 특수한 상황들이 많아 정형화하기 힘든 요소로 인해 장비산업에 대한 기업의 선제적인 투자가 지난하고 소비자 신뢰에 대한 의문으로 장기적인 관점에서 접근이 요구된다[10].

따라서 밀키트 생산 현장에서 지속적으로 요구되는 공정자동화 및 디지털 전환을 위한 스마트 매뉴팩처링 로봇-장비 적용이 가능한 공정 표준화 모델을 개발하였다. 개발한 로봇-장비 자동화 공정은 컨베이어를 통해 이송되는 블록 식재료의 투입공정에 델타 로봇을 배치하여, n 개 블록형 식재료의 투입을 델타 로봇이 대체하여, 비전 및 AI 영상 판단 기술을 융합하여 자동 배치가 가능하도록 공정을 설계하였다.

2. 본론

2.1 대상 공정의 선정

디지털전환을 위한 공정 표준화 모델 대상 공정은 블록 식재료의 투입에 대한 자동화 공정인 식재료 분류 및 조합소포장 공정으로 선정하였다. 해당 공정은 식재료 분류 및 조합소포장 공정, 부품 및 재료의 assorted & mix 공정, 기타 표준화 공정개발에 따른 여러 수작업 생산/가공/후처리 공정 등에 활용할 수 있다. 본 연구에서 선정한 식재료 분류조합 소포장 시스템 공정은 밀키트 식재료에 한정하였다.

일반적으로 표준화된 밀키트 패키지 트레이의 사이즈는 가로 320mm, 세로 230mm 그리고 높이 80mm에 5~6개의 블록 식재료 (예를 들어 포장된 옥수수, 면, 야채 등)로 구성되어 있다. 기존 블록 식재료 분류조합 포장 공정 현장 방문 분석에 따라 자세한 흐름은 다음과 같다. Fig. 1에서 나타난 바와 같이 트레이를 컨베이어 벨트에 공급하고 이송하는 과정을 거쳐 담당 인력을 식재료 종류별 1명씩 배치하여 담당 식재료를 트레이에 수동 공급한다. 공급이 완료된 트레이를 육안 검출로 완제품 검사 후 실링기를 통한 1차 소포장을 완료하고 외포장 과정을 거쳐 적재 및 배출하는 공정이다.

해당 공정은 블록 식재료 분류 조합 포장 분야에서 조합식 공급용 타이밍 호퍼가 결합된 로타리 공급기를 이용한 제품공급과 수작업 분류-조합 포장 공정을 거쳐 생산/포장 및 출고되는 작업 방식이다. 일반적인 식재료 분류 및 조합소포장 공정의 공정 구조는 Fig. 2와 같다.

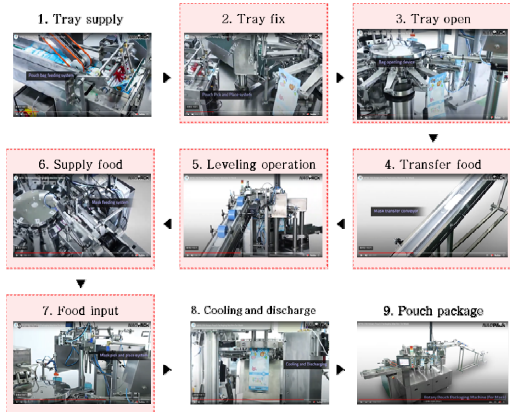


Fig. 1. A flowchart of the process from manufacturing to packaging for a blocky food product



Fig. 2. Traditional block assembly food packaging process on the manufacturing floor

2.2 선정 공정 분석

기존 밀키트 생산 현장의 식재료 분류 및 조합소포장 공정의 로봇 자동화 기술 도입을 위하여 예정 공정에 대한 문제점을 분석하였다. 현재 공정의 문제점으로는 블록 식재료 종류 개수만큼 인력이 배치되어야 하며, 반복 투입작업으로 인한 작업자 근골격계질환이 발생할 수 있고, 많은 작업자 수로 인한 위생 문제 발생률이 증가한다. 추가적으로 진동/소음 요소로 인한 열악한 작업환경이 있다. 이러한 문제점들을 고려하여 밀키트 생산 업체 및 해당 공정에 종사하는 작업자들의 개선 요구사항으로는 로봇 및 비전

시스템을 활용하여 자동 분류 조합 포장이 가능한 공정으로 변환이 필요하며 이를 통한 인건비 감소, 산업재해 문제 저감, 위생위험 문제 차단 등이 있다[11,12].

로봇-장비 통합 자동화 공정의 표준모델 개발을 위하여 5가지 항목을 선정하였다. 선정된 표준모델 항목은 필요성(작업환경, 애로사항, 공정 문제점), 시급성과 난이도(인력난, 작업환경), 적합성(주 생산품 및 핵심 기술), 효과성(생산성 및 매출 증가) 그리고 활용도이다. 각 항목에 대한 전문가들의 자동화 공정 평가의견을 통합하여 분석하였다.

2.3 로봇-장비 연계 디지털전환 공정 표준화 모델 개발

앞서 언급한 바와 같이 밀키트 식재료 분류 및 조합소포장 공정은 트레이 공급, 트레이 고정, 식재료 분류, 식재료 공급, 트레이 이송, 완제품 검사 순서로 구성되어 있다. 이를 로봇 자동화 기술 도입을 통하여 기존 밀키트 생산 공장의 각 공정에서 사용되고 있는 장치는 컨베이어 공급기이며 그 외 공정은 작업자가 수작업으로 수행하고 있다.



Fig. 3. Essentials for Digital Transformation of Robotics and Equipment Standard Models

Fig. 3과 같이 각 공정의 수작업 또는 사용하는 장치(컨베이어 공급기)를 다음과 같이 로타리 공급기(트레이 공급), 로타리 공급기(트레이 고정), 머신 비전(식재료 분류), 델타 로봇(식재료 공급), 로타리 공급기(트레이 이송) 그리고 머신 비전(완제품 검사)으로 대체 가능성을 검토하였다.

다음은 공정 표준화 모델 도입을 위한 솔루션 개발을 위해 3가지 필수요소를 선정하였다. 첫번째는 프로토콜 및 규격 표준화이다. 이는 분류 조합포장 공정에 대한 단위 절차 표준화 및 변형 형태의 로타리형 조합 포장기 로봇-장비에 대한 프로세스를 규격화이다. 또한 식품 위생 안전 관련 지표 연계를 통한 신규 로봇 적용 시 기존 장비 위험 요소 분석 기준점을 연계하여 안전 지표가 재설정되도록 규정화 여부를 적용하였다. 두 번째 단위공정 규격정보 패키지화를 위한 공급, 이송, 충전, 투입 등 대

상 공정 인접 전후 단위공정에 대한 규격을 표준패키지로 병합하여 시스템을 구성하도록 설계하였다. 또한 통합시스템 패키지모델 표준화를 위한 비전과 델타 로봇이 결합된 로타리 공급기 표준패키지를 구성하였다. 마지막으로 소프트웨어 개발 시 제어기능 표준화를 통한 단위 공정별 작업규격에 대한 개별 제어기능 탑재형 소프트웨어 적용과 실시간 모니터링 기능을 탑재하여 전체 시스템과 단위공정에 대한 상태정보 모니터링 기능을 탑재하고 주요 공정 동작, 소모품 상태 등 실시간 로그데이터 관계 기반 정보 알람 기능이 포함되도록 개발하고자 하는 표준공정모델의 기준을 설정하였다.

2.4 로봇-장비 연계 식재료 분류 및 조합소포장 공정 표준화 시스템 구성

밀키트 식재료 분류 및 조합소포장 공정 로봇 자동화를 위한 각 세부 공정별 도입 장치에 대한 시스템 개발 시 고려사항은 다음과 같다. 트레이 공급, 트레이 고정 그리고 트레이 이송 공정에 적용되는 로타리 공급기 적용을 위해 고려해야 하는 사항으로 식재료가 조합 포장될 트레이를 고정된 상태로 회전하며 블록 식재료를 공급해야하며 청결 구역 내 설치를 위한 HACCP 기준을 충족해야 한다[13]. 트레이에 블록 식재료 자동 공급 및 완제품 검사를 위해 적용되는 머신 비전은 식재료가 이송되는 라인의 앞단에 블록 식자재를 판별하고 정보 전송하여 분류하는 기능이 포함되어야 하며 인식능에 따른 컨베이어 라인 길이 표준화를 수행하여야 한다. 공정 분석 결과를 바탕으로 공정 설계도를 구축하고 블록 식재료 분류 및 조합소포장 자동화 시스템 공정 운영설계안 및 작업 순서를 도출하였다.

다음은 블록 식재료 분류 및 조합소포장 표준공정모델 개발 때 로봇-장비 하드웨어 구성이다. 하드웨어 구축을 위해 로봇-장비 전후 연결부에 대한 일체형 하드웨어를 구축하고 장비/센서류의 상태를 real-time 모니터링 할 수 있는 PLC와 디스플레이가 포함되도록 설계하였다. 또한 위험 요소 파트에 대한 비상 제어, 미시비전과 델타 로봇, 델타 로봇과 로타리 공급기 간 발생할 수 있는 위험 요소에 대한 비상 제어가 포함되도록 설계안을 구성하였다. 추가적으로 공정 표준화 모델 설계 운영시나리오의 성능 검증을 위한 실제 작업 현장에서 생기는 버퍼를 고려할 수 있도록 인력 투입부 및 블록 투입수, 라인 길이 및 그리퍼 성능이 고려된 시뮬레이션 환경을 솔리드웍스 소프트웨어를 활용하여 3D 시뮬레이션을 구축하고 검증하였다.

2.5 디지털전환 표준공정모델 DNA 지수

Table 1. The method for calculating the DNA Index

Category	Level Definition	Level
Data Index (40%)	Lack of Data Management	0
	Manually Collection/Storage	1
	Auto-Collection/Storage(Integers)	2
	Auto-Collection/Storage(Real Numbers)	3
	Query/Search using DB	4
Network Index (30%)	Synchronized Storage from Equipment	5
	No Interface	0
	Simple Contact(DIO)	1
	Non-Standard Communication Protocols	2
	MES/ERP with Non-Standard Protocols	3
AI Index (30%)	Standard Communication Protocols	4
	MES/ERP with Standard Protocols	5
	Fully Manual	0
	Operator + Simple Equipment Program	1
	Robot + Simple Equipment Program	2
Robot + Lowly Intelligent Equipment	3	
Robot + Highly Intelligent Equipment	4	
	Unmanned	5

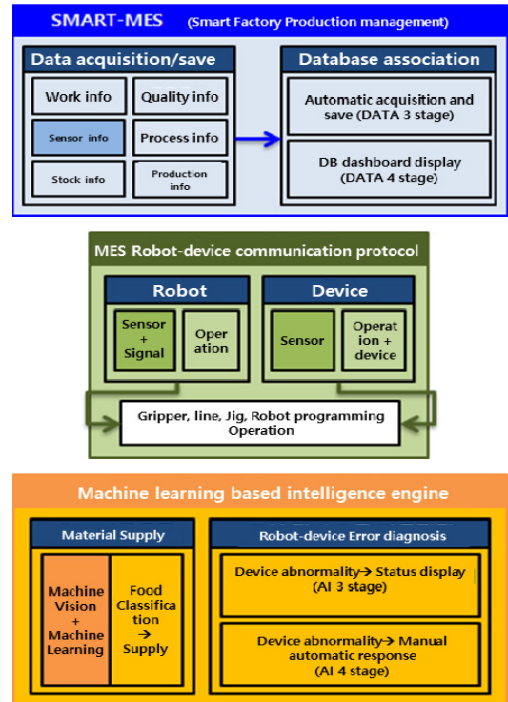


Fig. 4. Block-type Food Material Classification and Combination Packaging Robot-Equipment Standard Model Collection Data DNA(Data, Network, AI) Index

4차 산업혁명 시대에 다양한 분야에서 ICT 기술 간 융합에 대한 요구가 증가됨에 따라 Table 1에서 보는 바와 같이 데이터, 네트워크, 인공지능 기술이 결합된 DNA(Data, Network, AI) 지수가 활용되고 있다[14]. 본 연구에서도 식재료 분류 및 조합 소포장 로봇 자동화 공정 표준화 모델 개발에 따른 기존 공정과 로봇 자동화 투입을 통한 개선된 공정에 대한 DNA 지수를 도출하였다(Fig. 4).

데이터 수집에 대한 지수를 도출하기 위해 7가지 요소를 분석하였다. 해당 요소로는 전체 공정에서 발생하는 설비 고유 데이터 실시간 수집, 제품별 가공 유형별 구동 모터의 부하 데이터 수집, 설비와 텔타 로봇의 서로 다른 기종간 PLC 및 컨트롤러 데이터 변환, 트레이 적재기의 PLC 정보 실시간 수집, 소모품 상태 변화에 따른 장비의 부하 데이터 수집, 식재료 공급 관련 형태와 타입에 대한 비전 데이터 수집 그리고 제품별 분류, 가공, 포장 후 전반적인 측정 데이터 수집에 대한 정량적 값을 도출하였다. Network 지수는 로봇-장비 간 인터페이스 통신에 대한 요소들로 자세한 설명은 다음과 같다. 텔타 로봇 기반 공급 설비와 로터리 공급기 간의 직접 통신 구성, 통신(CC-Link) 방식으로 상호 연동 및 일원화 제어 조작, 장비/설비 발생 데이터 기반 메타데이터 추출과 데이터 베이스 생성, 시계열 데이터 형식의 부하 데이터와 PLC 및 컨트롤러 데이터 간 매칭, 비전 기반 식재료 판별 데이터와 센서 신호 간 데이터 매칭, 그리퍼, 라인, 지그, 로봇 프로그래밍 동작 및 구동에 대한 연동 그리고 장비 통합관리시스템과 MES 연동으로 생산 현황 관리를 고려하였다. 마지막으로 인공지능(Artificial Intelligence) 지수 평가를 위해서 6단계의 수준별 정의를 선정하였다. 수준 0은 완전 수작업 단계, 수준 1은 작업자 및 단순 프로그램된 장비로써 소재 공급/배출, 장비 세팅, 프로그램, 검사 및 운영, 수준 2는 로봇 및 단순 프로그램화된 장비로써 소재 공급/배출은 로봇이 수행하고 장비 세팅, 프로그램, 검사 및 운영은 작업자가 수행, 수준 3은 로봇과 낮은 수준의 지능화 장비로써 소재 공급/배출은 로봇, 검사는 지능화 장비, 장비 세팅, 프로그램, 운영은 작업자가 수행, 수준 4는 로봇과 높은 수준의 지능화 장비로써 장비 세팅 및 프로그램의 50%는 로봇-자동화, 운영은 작업자가 수행 마지막 수준 5는 무인화로 자율 운영으로 정의되었으며, 이를 기반으로 기존 대비 해당 공정의 지능화를 수치화하였다. 해당 공정의 경우 비전 데이터 기반으로 식재료의 유형 판별을 위한 AI 예측 모델 엔진 구성으로 제품 혼입 오류 방지 감시 제어, 장비 측정 정보와 생산

데이터 정보를 시계열로 매칭하고 데이터베이스화, 로봇 및 장비의 설정 임계값에 대한 실시간 모니터링 및 이상 데이터 감지를 통하여 알림 연계 여부를 전달하는 수준으로 기존 로봇 및 장비에 기초 제공되는 형태의 프로그램에서 향상시켰다.

2.6 디지털전환 표준공정모델 정량적 분석

식재료 분류 및 조합 소포장 공정 로봇 자동화에 따른 기대효과로 Return of Investment, benefit 분석을 수행하였다[15]. 이를 위해 해당 공정에 대한 총원가를 계산하였으며, 구축 인건 비용(공정설계, 사용자 교육, 자체 교육비 등), 일회성 비용(원자재, 기구, 전장, PLC 프로그램 등), 유지관리비용(시스템 관리, 교육, 자동화 장비 유지관리비용) 등을 추출하였다.

3. 연구결과 및 논의

본문의 내용 중 연구의 핵심 결론과 논점을 기술한다. 밀키트 생산 현장의 식재료 분류 및 조합소포장 공정 로봇 자동화를 위한 표준공정모델을 개발하였으며, 공정의 5가지 평가 항목에 대한 전문가 분석 및 평가의견 결과는 Table 2와 같다.

해당 공정의 분석 결과 로봇 자동화 필요성으로는 모든 공정이 수작업으로 구성되어 있으며 동일한 동작을 하루에 1,000번 이상 작업자가 지속적으로 반복함으로써 단순 자동 공급 공정에 로봇-장비 대체가 적합하다고 분석되었다. 시급성 및 난이도 항목에서는 근골격계 질환을 유발할 수 있는 가능성이 크고 소음, 진동 발생에 의한 열악한 환경으로 작업 기피가 높으며 인력 유출이 심각한 상황으로 분석되었다. 또한, 적합성과 효과성 항목의 경우 로봇-장치 자동화 시스템 도입을 통해 영세한 기업의 제품 가격 경쟁력 강화 및 생산성 증대가 기대된다고 분석하였으며, 분류 및 조합 포장 공정의 경우 업종의 구분 없이 대중적인 공정으로 활용도 및 파급 효과가 높을 것으로 분석되었다.

식재료 분류 및 조합소포장 표준공정모델 설계 운영시 나리오 검증을 위해 3D 시뮬레이션을 구축하였다. 분류 조합포장 공정에 대한 단위 절차, 변형 형태의 로타리형 조합포장기 로봇-장비에 대한 프로세스, 신규 로봇 적용 시 기존 장비 위험 요소(HA) 분석 기준점(CCP)을 연계하여 안전 지표 재설정, 공급, 이송, 충전, 투입 등 대상 공정 인접 전후 단위공정에 대한 규격을 표준패키지로

Table 2. Summary of the evaluation results of food ingredient classification and combination packaging automation process

Model parameter	Score	Evaluated Score
	Evaluation Review	
Necessity	20	20
	- All processes are performed manually - The daily production volume is so large that the same operation is often repeated more than 1,000 times per worker. - Suitable for replacing robots and equipment for simple automatic supply	
Urgency, Difficulty	20	19
	- Simple, repetitive work processes can cause musculoskeletal disorders in workers and avoid work in environments with noise and vibration. - A clear decline in quality due to replacement by foreign workers due to manpower outflow every year.	
Compatibility	20	19
	- Effective in replacing automated processes with manual and simple repetitive processes - A clear difference in hygiene and quality between domestic and foreign workers	
Effectiveness	20	19
	- Expected that the price competitiveness of products will be strengthened and productivity will increase due to the rapid increase in the minimum wage	
Usability	20	19
	- Classification and combination packaging process is a popular process regardless of industry - Expected to have significant utilization and ripple effects	
Total	100	96

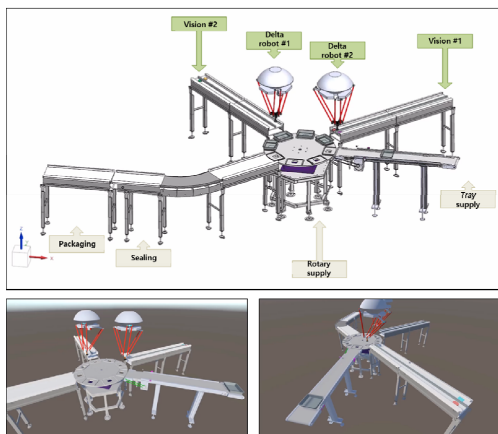


Fig. 5. Verification of simulation of solidworks of standard model of block-type material classification and combination packaging robot

병합하였다. 이러한 다양한 프로토콜/시스템/소프트웨어 환경하에 시뮬레이션 조건변동에 대한 검증을 수행하였으며 그 결과는 Fig. 5에 나타나 있다.

기존 식재료 분류 및 조합소포장 공정 자동화를 위해 로봇-장비 자동화 시스템 표준공정모델 개발을 통하여 그림 6과 같이 공정 작업 순서를 도출하였다. 작업자가 수행하던 밀키트 트레이 공급 방법을 밀키트 트레이 공급기 자동화 장치로 대체하여 공급하고, 로타리 공급기에 트레이를 고정, 식재료 A/B/C/D 중 A와 B를 라인을 통해 이송, AI 비전을 통한 식재료 인식 후 분류, 로타리 공급기에 델타 로봇으로 식재료 공급, 나머지 식재료 C와 D 등을 라인으로 이송, AI 비전을 통한 나머지 재료 인식 및 분류, 로타리 공급기에 식재료 C와 D를 공급, 완제품 검사 및 소포장 그리고 외포장 과정을 거쳐 적재 및 배출하는 작업 순서로 개발되었다(Fig. 6).

다음은 분류 및 조합 소포장 공정 로봇-장비 표준모델 도입 시 정량적 효과로 Return of Investment를 분석하였다. Fig. 7에서 나타난 바와 같이 기업의 내부수익률 1.843%를 기준으로 연차별 Return of Investment는 분석을 위해 분류 및 조합 소포장 공정 로봇-장비 모델 시스템의 총원가를 계산하였다. 총원가는 구축 인건 비용 (공정설계 참여비, 테스트비, 사용자 교육비, 자재 교육비), 일회성 직접 비용(원자재, 기구, 전장, 기구 조립, PLC 프로그램, 로봇 주변 설비비, 포장 및 운반비 등), 유지관리 지원비용(시스템 관리비, 교육 및 훈련비, 자동화 장비 유지 관리비, 자동화 장비 감가상각비 등)을 활용하였다. 그 결과 연차별 ROI는 각 32%, 59% 그리고 111%로 나타났다. 또한 투자 회수 기간은 약 2.69년으로 나타났으며 이는 로봇-자동화 모델을 도입 후 목표 투

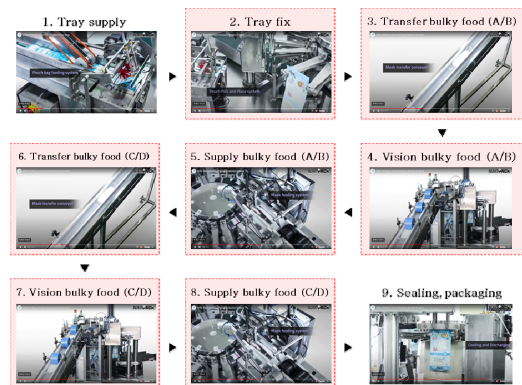


Fig. 6. Process flow chart for meal kit food classification and combination packaging after robot-device automation

자 비용 회수 기간을 3년으로 잡고 분석한 ROI 결과가 유의미하게 나타났다.

Benefit flow				
Benefit Drivers	Year			
	0	1	2	3
Tangible benefit				
1. Productivity increase		₩ 69,650,000	₩ 69,650,000	₩ 69,650,000
2. Cost reduction		₩ 1,050,000	₩ 1,050,000	₩ 1,050,000
3. Production process increase		₩ 22,483,333	₩ 22,483,333	₩ 22,483,333
4. Business effect		₩ 4,375,000	₩ 4,375,000	₩ 4,375,000
Total annual benefits		₩ 97,558,333	₩ 97,558,333	₩ 97,558,333
Implementation filter		79%	83%	93%
Total benefits realized		₩ 73,168,730	₩ 82,924,583	₩ 92,881,417
Cost flow				
	year 0	year 1	Year 2	Year 3
Direct cost				
Labor cost	₩ 5,220,000	-	-	-
Temporary infrastruct cost				
Capital cost	₩ 262,600,000	-	-	-
Continuous indirect cost				
Fatigue, maintenance cost		₩ 4,720,833	₩ 4,720,833	₩ 4,720,833
Other expenses		-	-	-
<Additional cost or investment>				
Total	₩ 297,820,000	₩ 4,720,833	₩ 4,720,833	₩ 4,720,833
Return flow				
	Year 0	Year 1	Year 2	Year 3
Annual benefit flow	₩ 267,820,000	₩ 65,447,917	₩ 78,203,750	₩ 87,958,583
Cumulative benefit flow	₩ 267,820,000	₩ 198,372,083	₩ 61,168,833	₩ 26,791,251
Current discount rate (IRR) 1.8%				
Cost of capital				
NPV(Discounted return flow)				
	Year 0	Year 1	Year 2	Year 3
Discounted costs	₩ 207,820,000	₩ 4,631,442	₩ 4,490,032	₩ 4,466,374
Discounted benefits	-	₩ 71,829,792	₩ 61,467,043	₩ 50,986,986
Total discounted benefit flow	₩ 207,820,000	₩ 67,198,350	₩ 76,857,432	₩ 85,379,991
Total cumulative discounted benefit flow	₩ 207,820,000	₩ 140,624,690	₩ 63,767,249	₩ 22,790,243
NPV (Net present value)				
ROI				
ROI (Return on Investment (%))	-	3%	6%	11%
BEP (Breakeven Point)				
Payback (in year)		2.69		
Discounted Payback (in year)		2.73		

Fig. 7. The result of return of investment by applying robot-device automation system to meal-kit manufacturing process

매뉴얼 수립을 통해 정보화지수-연동지수-지능화지수 (DNA)를 나타내는 디지털 전환지수는 기존 정보화지수 16점, 연동지수 6점, 지능화지수 6점에서 24점, 12점, 12점으로 나타났다. 이는 기존 2단계 자동화 단계에서 자율화 단계로 높아졌으며 자동화 설비로부터 측정되는 센서 raw data 및 생산 데이터를 표준체계에 의해 클라우드에 수집 및 저장하고 이를 활용하여 실시간으로 공정을 작업자가 모니터링 할 수 있는 단계로 향상되었다.

마지막으로 Table 3에서 나타난 바와 같이 밀키트 생산공정 중 하나인 식재료 분류 및 조합소포장 공정 표준 공정모델의 시스템 구성안을 도출하였다.

Table 3. Summary of 3D Simulation Model Boot Rate, Output, and Manpower Replacement Results for Robot Implementation

Hardware	Specifications and required functions
Robot	<ul style="list-style-type: none"> - Type: Delta Robot, Payload: 15kg - Working radius: 650mm - Cycle time : 0.45s (payload 6kg) - Number of units invested: 2
Gripper	<ul style="list-style-type: none"> - Grip 6kg (workpiece weight) - Gripper capable of handling up to 2 types of raw material boxes - Compatible use possible according to changes in parts (ITEM)

Processing machine	<ul style="list-style-type: none"> - Sealing machines, coating machines, marking machines, shredders, etc. - Engineering jig suitable for pickup
Loading/unloading machine	<ul style="list-style-type: none"> - Product unloading positioning using STOPPER or ESCAPER devices - Product transfer using CHAIN, BELT & FEEDING devices
Input/output machine	<ul style="list-style-type: none"> - Fixing mechanism for input/output - Product (or loading box) input and discharge system
Logistic/transportation machine	<ul style="list-style-type: none"> - In-process product input and discharge system - Logistics system for product transfer
Diagnostic device	<ul style="list-style-type: none"> - Vision systems, product recognition, dimensional inspection equipment, metal detectors, etc.
Measurement device	<ul style="list-style-type: none"> - Product presence detection sensors (proximity, photo, ultrasonic, vision)
HACCP Device	<ul style="list-style-type: none"> - Air blower, brush, vacuum, etc.
S/W, I/F	<ul style="list-style-type: none"> - Control program through PLC, industrial PC, embedded controller - Industrial standard communication for teaching path DB, user screen, and equipment interlock
Controller	<ul style="list-style-type: none"> - Wired PLC for digital signal control - Establishment of a system to check pressurization force (pneumatic pressure, pressurization force, etc.)
Smart factory	<ul style="list-style-type: none"> - MES
Control panel	<ul style="list-style-type: none"> - Communication : Ethernet & RS232 - Compatibility with sensors, grippers, equipment, etc.
Vision system	<ul style="list-style-type: none"> - High-resolution vision system - Application of 1 million pixel retrograde vision system
Conveyor	<ul style="list-style-type: none"> - Conveyor system for product transfer and loading
Tray input device	<ul style="list-style-type: none"> - Automatic tray feeders and box feeders for fully unmanned automation - Realization of completely unmanned process through automatic 2-hour supply device

4. 결론

본 연구는 식품 제조가공 분야 중 하나인 밀키트 생산 현장에서 열악한 작업환경으로 인해 발생하는 고강도 작업, 잦은 안전사고 등의 문제점을 개선하기 위해 지능형 자동공정화 및 디지털 전환을 위한 스마트 매뉴팩처링 로봇-장비 공정 표준화 모델 개발하였으며 생산성 및 효율성을 개선한 사례를 분석하였다. 식품 제조 분야에서 로봇 및 장비 자동화 기술의 실제 현장 도입을 통하여 개발한 모델 검증에 위한 후속 연구가 필요하며, 밀키트 생산을 위해 활용된 식재료 외 다른 식재료 분류 및 포장 공정에 적용 될 수 있는 가능성에 대한 분석이 필요하다.

References

- [1] Heard, B. R., Bandekar, M., Vassar, B., & Miller, S. A. "Comparison of life cycle environmental impacts from meal kits and grocery store meals". *Resources, Conservation and Recycling*, 147, 189-200, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/i.resconrec.2019.04.008>
- [2] Cho, M., Bonn, M. A., Moon, S., & Chang, H. S. "Home chef meal kits: Product attributes, perceived value and repurchasing intentions the moderating effects of household configuration". *Journal of Hospitality and Tourism Management*, 45, 192-202, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhtm.2020.08.011>
- [3] Mahalik, N. P., & Nambiar, A. N. "Trends in food packaging and manufacturing systems and technology". *Trends in food science & technology*, 21(3), 117-128, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/i.tifs.2009.12.006>
- [4] Kaivo-Oja, J., Roth, S., & Westerlund, L. "Futures of robotics. Human work in digital transformation". *International Journal of Technology Management*, 73(4), 176-205, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1504/IJTM.2017.083074>
- [5] Iqbal, J., Khan, Z. H., & Khalid, A. "Prospects of robotics in food industry". *Food Science and Technology*, 37(2), 159-165, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/1678-457X.14616>
- [6] Oh, J. K., Rapisand, W., Zhang, M., Yegin, Y., Min, Y., Castillo, A., ... & Akbulut, M. "Surface modification of food processing and handling gloves for enhanced food safety and hygiene". *Journal of Food Engineering*, 187, 82-91, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.04.018>
- [7] Firouz, M. S., Mohi-Alden, K., & Omid, M. "A critical review on intelligent and active packaging in the food industry: Research and development". *Food Research International*, 141, 110113, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/i.foodres.2021.110113>
- [8] Jagtap, S., Bader, F., Garcia-Garcia, G., Trollman, H., Fadiji, T., & Salonitis, K. "Food logistics 4.0: Opportunities and challenges". *Logistics*, 5(1), 2, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/logistics5010002>
- [9] Jang, Y. H., & Lee, M. S. "A technique for predicting the cutting points of fish for the target weight using AI machine vision". *Journal of the Korea Society of Computer and Information*, 27(4), 27-36, 2022. DOI: <https://doi.org/10.9708/iksoci.2022.27.04.027>
- [10] Anukiruthika, T., Sethupathy, P., Wilson, A., Kashampur, K., Moses, J. A., & Anandharamkrishnan, C. "Multilayer packaging: Advances in preparation techniques and emerging food applications". *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 19(3), 1156-1186, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12556>
- [11] G. Graetz, G. Michaels, "Robots at work: The impact on productivity and jobs". *The Review of Economics and Statistics*, Vol.100, No.5, pp.753-768, 2018. DOI: https://doi.org/10.1162/rest_a_00754
- [12] D. Acemoglu, P. Restrepo, "Automation and newtasks: The implications of the task content of production for labor demand", *Journal of Economic Perspectives*, Vol.33, No.2, pp.3-30, Nov, 2018.
- [13] Kho, J. S., & Jeong, J. "HACCP-based cooperative model for smart factory in South Korea". *Procedia computer science*, 175, 778-783, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/i.procs.2020.07.116>
- [14] Youn, J., Han Y. "DNA (Data, Network, AI) Based Intelligent Information Technology". *KIPS Transactions on Computer and Communication Systems*, 9(11), 247-249, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3745/KTCCS.2020.9.11.247>
- [15] Jung, W. K., Kim, D. R., Lee, H., Lee, T. H., Yang, I., Youn, B. D., ... & Ahn, S. H. "Appropriate smart factory for SMEs: concept, application and perspective". *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, 22, 201-215, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12541-020-00445-2>

김 태 형(Tae Hyong Kim)

[정회원]



- 2012년 11월 : 토론토대학교 생명과학과 (이학사)
- 2022년 2월 : 성균관대학교 바이오메카트로닉스학과 (공학박사)
- 2022년 3월 ~ 2022년 12월 : 성균관대학교 바이오메카트로닉스 박사후연구원

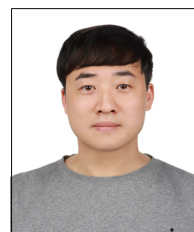
• 2022년 12월 ~ 현재 : 한국식품연구원 연구원

<관심분야>

인공지능, 로봇틱스

오 승 일(Seung Eel Oh)

[정회원]



- 2005년 2월 : 성균관대학교 바이오메카트로닉스학과 (공학사)
- 2007년 2월 : 성균관대학교 바이오메카트로닉스학과 (공학석사)
- 2013년 2월 : 성균관대학교 생명공학과 의공학전공 (공학박사)

• 2013년 3월 ~ 현재 : 성균관대학교 바이오메카트로닉스학과 겸임교수

• 2015년 7월 ~ 현재 : 한국식품연구원 선임연구원

<관심분야>

식품로봇자동화, 예측모델링, 데이터사이언스