

# 식품 이송 및 해체 공정 로봇 자동화를 위한 데이터 기반 생산 시뮬레이션 연구

김태형\* · 백승훈 · 권기현  
한국식품연구원 디지털팩토리사업단

## Data-Based Production Simulation Study for Robot Automation of Food Transport and Disassembly Manufacturing Process

Tae Hyong Kim\*, Seunghoon Baek, and Ki Hyun Kwon

Digital Factory Project Group, Korea Food Research Institute

### Abstract

This study selected two labor-intensive processes in harsh environments among domestic food production processes. It analyzed their improvement effectiveness using 3-dimensional (3D) simulation. The selected processes were the “frozen storage source transfer and dismantling process” (Case 1) and the “heavily loaded box transfer process” (Case 2). The layout, process sequence, man-hours, and output of each process were measured during a visit to a real food manufacturing factory. Based on the data measured, the 3D simulation model was visually analyzed to evaluate the operational processes. The number of workers, work rate, and throughput were also used as comparison and verification indicators before and after the improvement. The throughput of Case 1 and Case 2 increased by 44.8% and 69.7%, respectively, compared to the previous one, while the utilization rate showed high values despite the decrease, confirming that the actual selected process alone is a high-fatigue and high-risk process for workers. As a result of this study, it was determined that 3D simulation can provide a visual comparison to assess whether the actual process improvement has been accurately designed and implemented. Additionally, it was confirmed that preliminary verification of the process improvement is achievable.

**Keywords:** 3D simulation, food smart factory, robot, automation system

## 서 론

최근 제조 산업 분야뿐만 아니라 농업, 식품 분야에서도 로봇, 센서 데이터 등을 기반으로 한 기술 요소들을 적용하여 디지털화로 변화하는 추세이다. 특히 식품 제조 분야에서 디지털화를 위해 생산 시스템 단계에서 자동화 장치 또는 로봇을 적용하여 데이터를 기반으로 자동화 전환을 수행하고 있다(Baierle et al., 2022). 로봇은 공장에서 작업자들이 작업을 수행하는 과정에서 발생하는 사고 발생 위험성, 작업자 피로도 증가 등의 제약 요소들로부터 자유롭기 때문에 다양한 수작업 공정이 로봇으로 대체하고 있다(Iqbal et al., 2016).

식품 제조 공장에서는 여러 식품을 소량 생산 및 다양한

물성 또는 형상을 바탕으로 제조되는 다품종 공정 특성에 따라 다수의 작업자가 투입되기 때문에 이를 개선하기 위한 여러 연구가 보고되고 있다(Wang et al., 2022). 식음료 제조 공정에서도 작업자의 기피율이 가장 높은 공정으로 고중량 제품 예를 들어 포장김치, 생수 등을 이송 또는 적재하는 작업 공정으로 보고되고 있다. 이러한 작업자 기피 공정에 적용되고 있는 산업용 로봇은 열악한 환경에서도 업무 수행에 있어 지속 반복 작업을 높은 정확성과 함께 효율적인 성능으로 고속 생산이 가능하며, 여러 기능을 저장해 둬에 따라 다양한 제품들에 대해 유연하게 대처할 수 있는 특징들이 있다(Bader & Rahimifard, 2018).

최근 대기업 및 중견기업에서도 로봇 또는 자동화 장치를 활용하여 다양한 공정 라인 수정 또는 보안을 통한 최적화 및 생산성 향상 등을 위하여 사전에 공정에서 발생할 수 있는 문제점 분석, 생산량 예측 및 검증하기 위한 방법으로 시뮬레이션이 활용되고 있다. 모의실험이라고도 불리는 시뮬레이션은 개별 개체(entity)를 기반으로 가상에서 현실의 상황을 유추하고 비슷하게 모사하고 관찰하는 과정을 의미한다(Kelton et al., 2015; Bangsow, 2020). 기존 연

\*Corresponding author: Tae Hyong Kim, Digital Factory Project Group, Korea Food Research Institute, 245, Nongsaengmyeong-ro, Iseo-myeon, Wanju-gun, Jeollabuk-do 55365, Korea  
Tel: +82-63-219-9149  
E-mail: thkim@kfri.re.kr  
Received August 28, 2023; revised November 18, 2023; accepted November 20, 2023

구들에서 공정 분석 또는 최적화를 위해 적용한 시뮬레이션 소프트웨어들은 대부분 2D 기반의 모델링 개체들을 기반으로 하기 때문에 실제 제조 현장의 설비 및 작업자 작업동선을 구현하는데 한계가 있다(Park et al., 2021). 이러한 한계를 보완하고자 논리적 분석뿐만 아니라 3D 기반 모델링 개체들을 지원하며, 작업 환경 및 실제 제조 공정을 구현한 3D 공장 시뮬레이션 소프트웨어들이 등장하였다(Jo & Kim, 2018).

실제 식품 공장에 로봇 적용 가능성을 판단하고자 제품 포장 라인에 협동 로봇을 투입하여 수작업 공정을 개선하였을 때의 연구를 보고하였다(Accorsi et al., 2019). 또한, 식음료 제품의 이송, 디팔레타이징 그리고 팔레타이징 공정에 산업용 6축 로봇을 적용하기 위해 수작업 대비 로봇 자동화 도입 후 가동률을 분석하는 연구가 보고된 바가 있다(Misimi et al., 2016). 요거트 생산 공정에 시뮬레이션을 활용하여 얻은 결과와 실제 생산량과 거의 동일한 수준을 구명하였다(Hasan et al., 2019). 또한, 대부분 수작업으로 피자를 생산하는 중소기업을 대상으로 투입되는 작업자 수와 생산과정을 조사하여 기존 생산 데이터와 피자 반죽과 토핑 제조공정을 개발하여 개선 후 시뮬레이션으로 동일 생산시간(6.5시간)일 때, 기존 생산량보다 8.67%의 생산 증가의 결과를 나타냈다(Ahmad et al., 2021). 국내에서는 김치 생산 공정에서도 노동 집약적인 공정 중 하나인 절임 공정을 분석하여 적용 설비, 공정 시간 등의 데이터를 획득하여 병목 원인을 시뮬레이션으로 해소하는 연구가 있다(Park et al., 2015).

따라서 본 연구에서는 국내 식품 공장들 중 열악한 환경에서 작업자들이 반복작업과 수작업이 많은 공정 2가지를 선정하였다. 선정된 공정은 냉동저장고에 박스포장 상태로 보관되어 있는 원물들에 대해 고중량 박스를 작업자가 직접 이송하는 공정과 작업대에서 박스 내의 원물과 폐기물

을 대해 별도 해체하는 공정이며, 실제 제품 생산량과 작업자 근로 스케줄을 기반으로 데이터를 측정 및 획득하였다. 개선 전 데이터를 기반으로 2가지 공정의 로봇 적용 시뮬레이션 모델을 제시하였다. 이는 실제 로봇을 공장에 적용하기 전에 시뮬레이션을 구현함으로써 실제 얻을 수 있는 효율에 대해 사전에 예측하고 생산성 향상 및 인력 대체 등에 대한 결과를 도출하였다. 추후 본 연구에서 제안하는 식품 제조 공정의 로봇 자동화 시뮬레이션을 바탕으로 실제 현장에 로봇을 도입함으로써 시뮬레이션의 성능을 검증할 수 있다.

### 재료 및 방법

#### 공정시뮬레이션 개발을 위한 주변 장치 및 로봇 설계

본 연구에서 선정한 공정은 ‘1차 가공품 이송 및 해체 공정’(Case 1) 및 ‘고중량 적재 박스 이송 공정’(Case 2)으로 식품 제조 기업에서 작업자 기피 현상으로 인해 개선 요청한 공정들이다. 식품 공정 로봇 시뮬레이션 구축을 위해 입력 및 출력으로 활용되는 데이터 획득을 위해 실제 생산 공장을 방문하여 공정 별 layout, 공정 순서를 분석하였다. 기존 작업자들의 근로 시간과 공장의 생산 계획을 기준으로 실제 선정한 공정의 작동 시간에 따른 일간 생산량, 주간 생산량, 월간 생산량을 입력 값으로 활용하였다. 해당 입력 값으로 출력된 가동률은 개선 전 실제 공정을 수행하는 작업자 중 가장 과부하와 함께 병목현상이 발생하는 작업을 도출할 수 있다. 가동률이 높은 작업자 및 해당 공정에 로봇 자동화 시스템 도입으로 개선한 공정 시뮬레이션에서 로봇에게 걸리는 가동률과 함께 시간에 따른 생산량을 출력 값으로 획득하였다. 구축한 개선 시뮬레이션 공정을 기반으로 Fig. 1과 같이 현장에서 측정한 공정 작동 시간에 따른 생산량의 입력으로 도출된 출력 값인 작

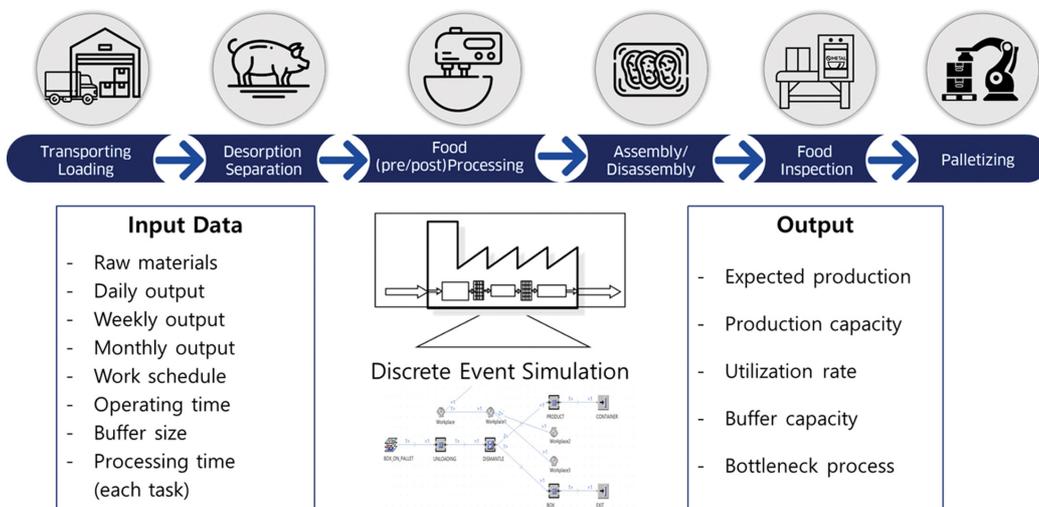


Fig. 1. The overall process of food manufacturing.

업 가동률, 예상 생산량, 그리고 근로 시간 기준 최대 생산량을 통해 로봇 도입 및 적용 가능성을 분석하였다.

3D 공정 시뮬레이션 모델 구축을 위해 공정이 이루어지는 실제 현장과 동일한 스케일로 구현하기 위하여 공장의 크기를 측정하기 위한 장치로 Faro Focus<sup>3D</sup> Premium 70 레이저 스캐너(FARO, Lake Mary, FL, USA)를 활용하였다. 레이저 스캐너로부터 획득된 촬영 결과는 클라우드 포인트 데이터다. 획득한 3D 클라우드 포인트 데이터는 3D 공정 시뮬레이션 모델링 설계 소프트웨어와 연동이 되며 3D 도면 설계에 직접 활용이 가능해 전처리 과정을 거친 후 기존 현장 시뮬레이션 모델로 적용되었다.

식품 제조 공정 로봇 자동화 시뮬레이션 구축을 위해 사용된 프로그램은 2D/3D 환경에서 공정 흐름 설계에 적합하며(Miltenyi & Czégé, 2019), 이산사건시뮬레이션을 기반으로 공정을 예측할 수 있는 Siemens Process Simulate V16.0 (Tecnomatix Process Simulate, Siemens Inc., Germany)을 사용하였다. 획득한 3D 스캔 데이터를 기반으로 기존 현장에서 활용하고 있는 장비들을 모델링 구현하였다. 구현 모델링을 활용하여 기존 생산 시뮬레이션 데이터 획득하고 공정 최적화를 위한 다관절 로봇(Fig. 2(a)) 및 주변 설비(Fig. 2(b), (c)) 모델링을 구현하여 공정 개선 시뮬레이션에 활용하였다.

### 로봇 적용을 위한 식품 제조 공정 설명

본 논문에서 선정한 로봇 적용 식품 제조 공정에 대한 설명은 다음과 같다. 공정에 투입된 작업자 별로 동일 작업 위치에서 작업하는 일련의 프로세스를 각각의 공정 단위로 세분화하여 나열하여 검토하였다. 첫번째 공정은 원물의 상태를 유지 및 보관하기 위해 열악한 냉동 창고에서 이루어지는 공정이다. Fig. 3에서 나타난 바와 같이 작업자는 작업대 없이 약 20kg의 고중량 원물이 포함된 박스포장들을 사전에 적재되어 있는 랙으로부터 직접 옮겨온 후, 박스와 원물 적재 포장물을 분리하는 작업을 거친다. 이후 원물과 폐기물을 별도로 분리하는 공정 흐름으로 구성되어 있기 때문에 모든 작업이 작업자가 수작업으로 수행하는 노동집약적 공정으로 구성되어 있다. 해당 공정은 약 2명의 작업자가 전 공정을 수행하고 있음을 확인하여 시뮬레이션에 활용될 데이터에 반영하였다.

두 번째 공정은 소포장된 반찬류의 제품을 플라스틱 박스에 적재하여 저온 살균조로 이송-투입하는 공정이다. 3개의 제조라인으로부터 제품이 생산되어 소포장으로 공급되며, 라인별 3인의 작업자와 함께 총 9명 다수의 작업자가 투입되어 있다. 라인별 수십 개의 소포장된 반찬류들이 공급되어 하나의 플라스틱 박스의 무게는 약 30kg으로 고중량이며, 반찬류를 다루다 보니 액상류들이 많아 바닥의



Fig. 2. 3D modeling used in robot-based 3D simulation. (a) Articulated robot, (b) Conveyor machine, (c) Gripper.

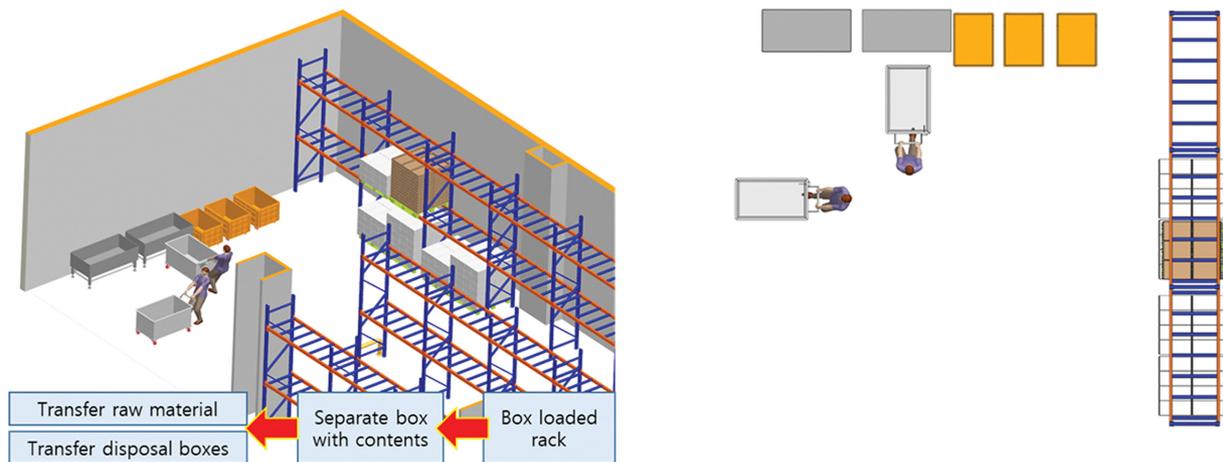


Fig. 3. 3D simulation modeling of manual ‘transporting/loading’ processes working in harsh manufacturing environments.

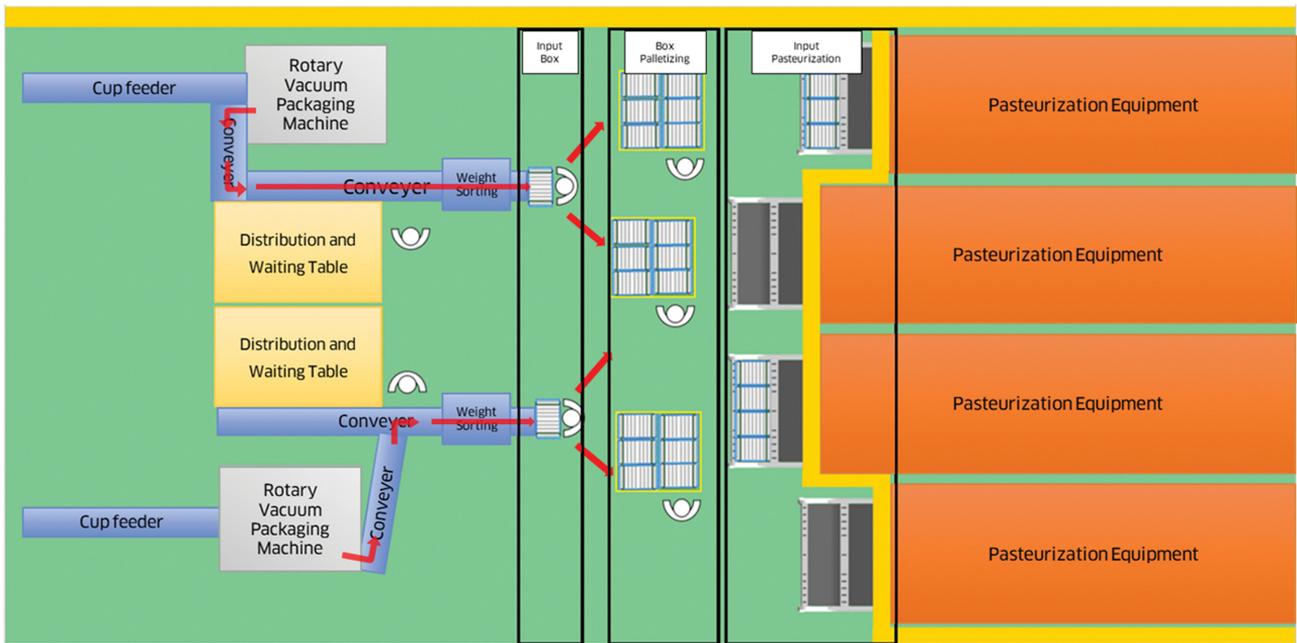


Fig. 4. High weight product transfer process for low temperature sterilization.

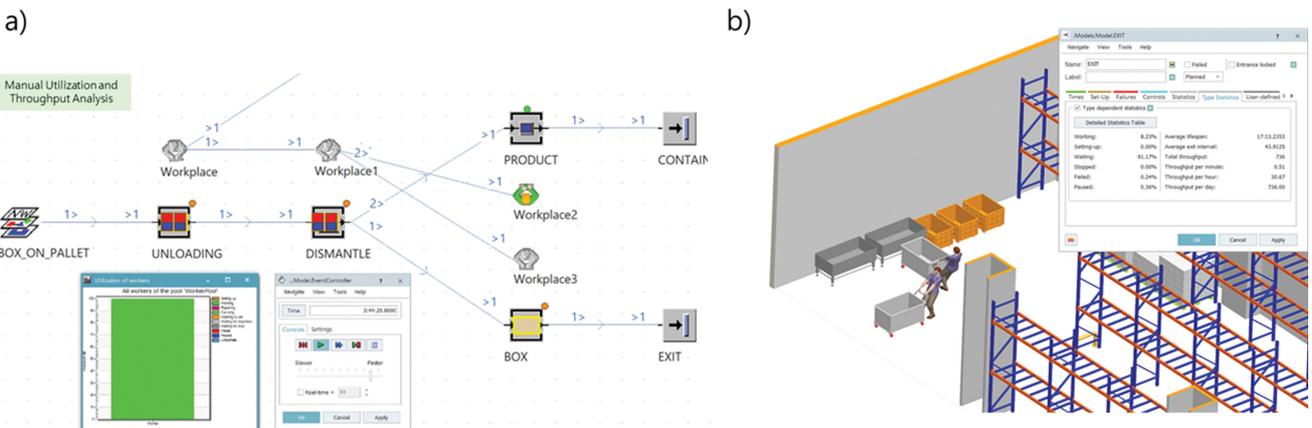


Fig. 5. Process application for 3D simulation modeling. (a) Manual utilization and throughput analysis, (b) 3D simulation.

물기로 인해 작업자들이 미끄러지기 쉬운 열악한 환경으로 구성되어 있다. 또한 다수의 살균조에 준비된 플라스틱 박스를 투입하기 위하여 약 3명의 작업자가 서로 번갈아가며 공정 투입 시간에 맞춰 이송하며, 작업 동선이 정해지지 않고 뒤엉켜 작업을 수행하고 있으며, 고중량의 플라스틱 박스를 살균조에 투입하는 반복 공정으로 근로 강도가 높은 공정임을 분석하였다(Fig. 4).

### 3D 시뮬레이션 모델링을 위한 공정 적용 경계 조건

공정을 개선하기 위해 작업 공간 및 작업자의 작업 동선, 투입 인력 재배치와 로봇 반경에 따른 안전 구역을 고려하여 프로세스를 간소화하고자 최적 공정라인으로 레이아웃 설계를 검토하였다.

3D 시뮬레이션 모델 분석에서 공정이 작동되는 모습을 시각적으로 분석하는 것 외에 개선 전후 비교 및 검토하기 위한 평가지표로 생산량과 작업률, 투입 작업자 수를 설정하였다. 공통 설정 조건으로는 설비 이용률과 작업 스케줄을 적용하였다. 시뮬레이션 구동에 적용한 초기 설정 조건으로 설비 이용률은 95%로 설정하였다. 실제 작업자들이 해당 공정을 수행하는 동안은 3~4시간 전처리 제품 및 가공된 식품소재가 생산되는 동안은 거의 쉬지 않고 작업하나, 작업자의 이동 및 일부 후처리 시간을 반영하였다. 로봇이 고장 났을 때 수리 시간(Mean Time To Repair)은 ‘분’ 단위로 로봇이 멈췄을 때 로봇 시스템 초기화 후 재가동을 가정하여 15분으로 설정하였다. 작업 스케줄은 주 5일 40시간을 기준으로 설정하였다. Fig. 5(a)에서 나타난 바와

같이 설정한 조건 및 해당 조건 초기 값들과 실제 현장에서 측정된 데이터들을 기반으로 로봇 도입 전 수작업 공정 생산량과 가동률을 분석하였으며, 실제 현장 작업 동선을 기반으로 Fig. 5(b)과 같이 시뮬레이션을 구축 및 분석하였다.

### 결 과

본 논문에서 제안하는 식품 제조 공정 개선을 위한 3D 시뮬레이션 모델의 결과는 다음과 같다. 첫 번째 선정된 고중량 제품 이송 공정의 결과는 아래 Fig. 6에 나타난 바

와 같다. 다관절 로봇 1대, 이송 컨베이어, 공팔레트 스택커, 이송-배출 컨베이어로 구성하였다. 작업자가 지게차로 적재된 고중량 박스 팔레트를 투입하면 다관절 로봇으로 각 이송 컨베이어에 공급하고 작업자는 박스를 해체하여 공박스 배출 컨베이어에 이송하는 공정으로 공정을 최소화 하였다. 기존 작업자가 카트 이송부터 고중량 원물이 적재된 팔레트에서 직접 작업하던 공정으로부터 최종 원물과 박스 폐기물만 적재된 카트만 이송하면 되는 공정으로 개선하였다.

기존 팔레트에 적재된 고중량 박스를 언로딩 및 해체하

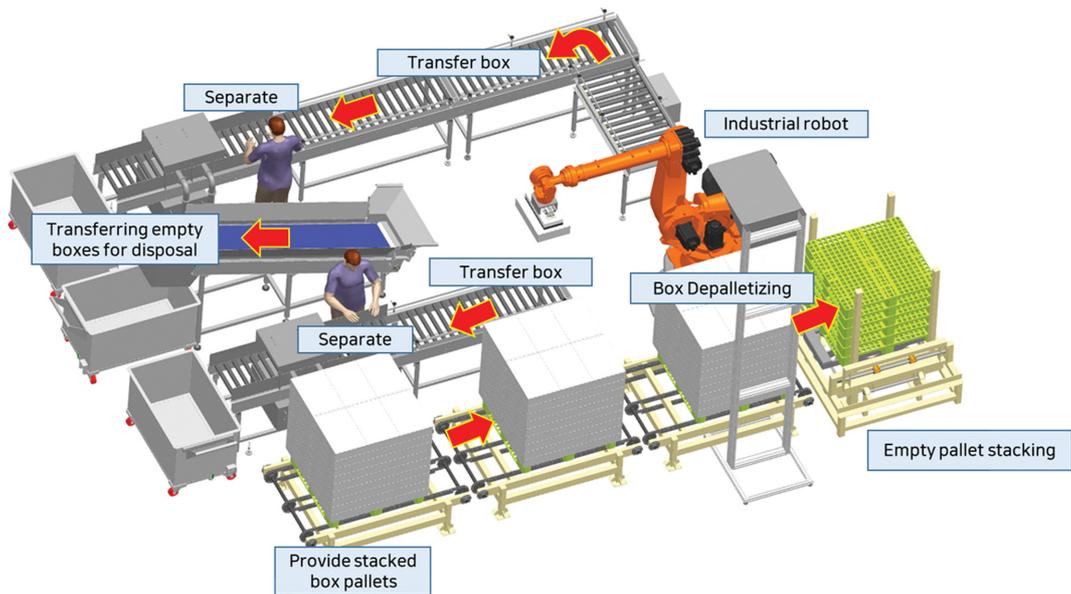


Fig. 6. 3D simulation modeling for application of robot in high weight transfer manufacturing process.

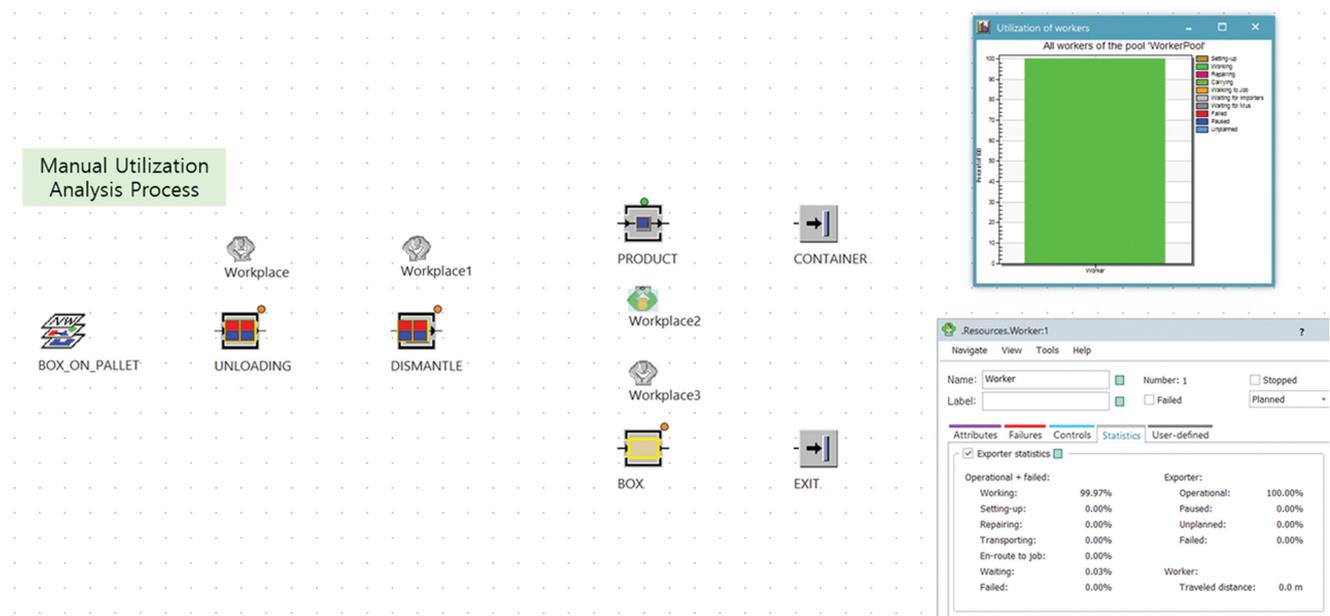


Fig. 7. Analysis of food transport utilization rates in manual operations.

는 공정은 실제 현장에서 작업자 1인이 하루 254개의 박스를 처리하며, 총 2인이 약 508개의 상자를 해체하는 것을 측정하였다. 측정된 생산량을 기반으로 시뮬레이션 결과 Fig. 7에서 분석한 것과 같이 작업자의 가동률은 99.97%로 분석되었다. 전체 수행 공정 중에 거의 모든 공정이 수작업으로 이루어져 있어 작업자에게 노동 과부하가 되는 것을 도출하였다. 반면에, Fig. 8(a)과 같이 로봇을 적용하여 개선한 공정의 경우, 로봇의 가동률은 88.5%로 일부 개선하였으며, 동일한 생산 시간 동안 고중량의 작업물을 이송하는 공정을 제외함에 따라 2인의 작업자는 약 736개의 상자를 처리할 수 있음을 분석하였다.

다음은 본 연구에서 제안하는 두번째 공정에 로봇 도입 후 3D 시뮬레이션을 활용한 반찬류가 적재되어 고중량 적재 박스 이송 공정에 대한 결과이다. 시뮬레이션 모델 구현을 통해 수정된 공정은 Fig. 9와 같이 6축 다관절 로봇

1대와 결합 이송 컨베이어를 활용하여 각 저온 살균기에 배치되었던 작업자 3인을 대체하였다. 각 식품 생산 라인별 작업자의 배치가 필요했던 상황을 로봇 1대를 적용함에 따라 작업자의 이동 동선을 최적화하여 가동률이 감소하고 생산량을 증가하는 결과를 보였다. 이는 작업자 미끄러짐 등의 안전 위험 요소를 줄일 수 있을 것으로 사료된다.

기존 저온살균기 투입 공정에 배치된 작업자에서 도출된 가동률은 99.55%로 고중량물을 이송 및 투입하며 지속해서 생산되어 오는 식품 제품들을 저온 살균기 투입 공간이 생기기 전까지 대기를 위해 팔레트에 적재하기까지 작업 과부하가 높은 것을 분석하였다. 로봇을 적용하여 3개의 생산라인을 처리할 수 있도록 개선한 결과 로봇의 가동률은 95.09%로 도출하였다(Fig. 10(a)). 개선한 공정에서 로봇의 가동률도 높게 나타남에 따라 실제 작업자에게 위험성이 높은 공정임을 확인하였으며, 1대의 로봇으로 작업자

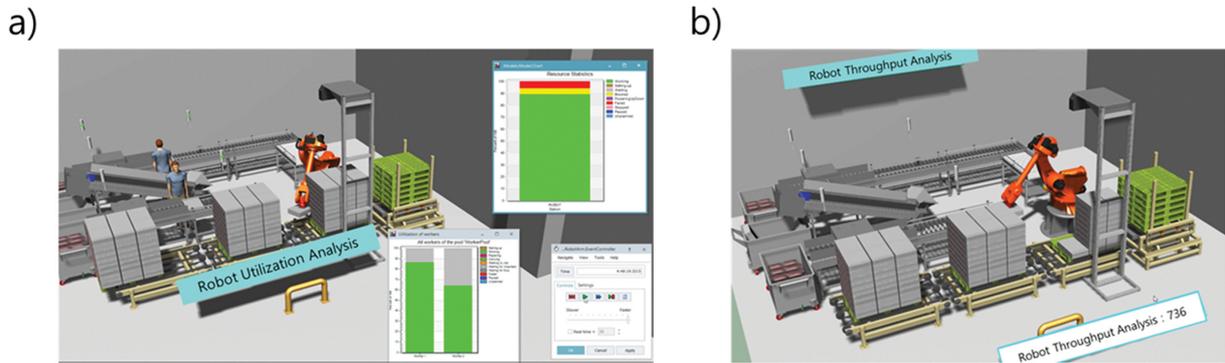


Fig. 8. Robot-applied food transport process: (a) Plant capacity utilization rate, (b) Process throughput.

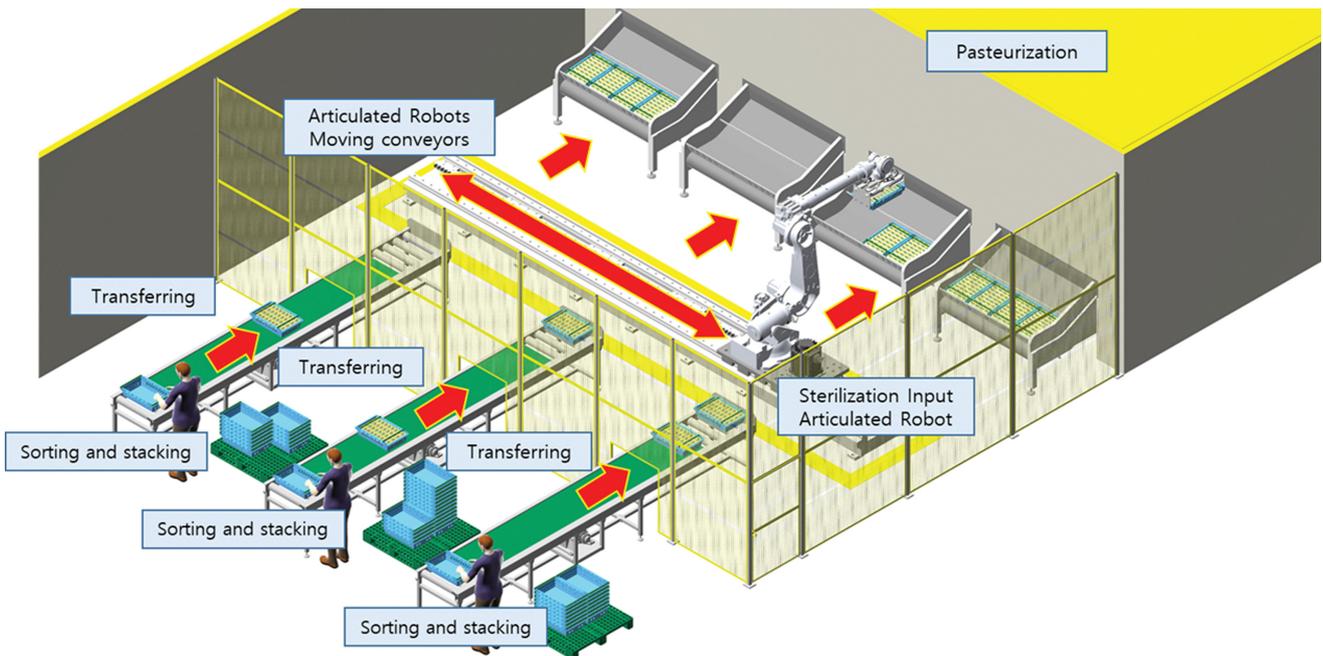


Fig. 9. 3D simulation modeling for application of robot in high weight transfer manufacturing process.

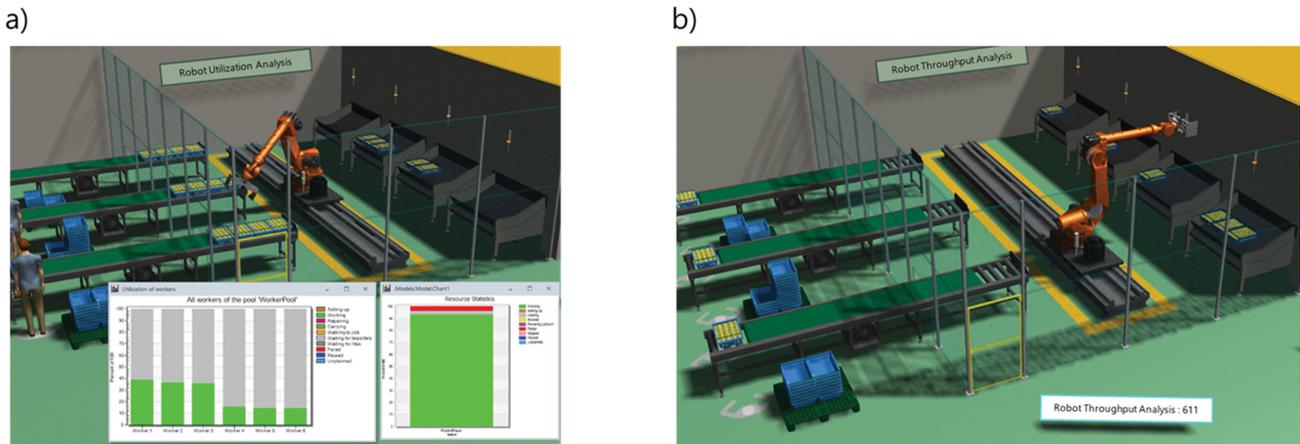


Fig. 10. Robot-applied food transport process: (a) Plant capacity utilization rate, (b) Process throughput.

Table 1. Representative 3D simulation model results (process throughput, utilization rate and replacement of workers) by implementing robot for two manufacturing process cases

Category		As-Is	To-Be
Case 1	Throughput	508 Box (254 Box/man)	736 Box
	Utilization Rate	99.97% (Manual)	88.5% (Applied Robot)
	Replacement of Workers	2	2
Case 2	Throughput	360 Box	611 Box
	Utilization Rate	99.55% (Manual)	95.09% (Applied Robot)
	Replacement of Workers	3	0

들에게 발생하는 공정 과부하를 대체할 수 있을 것으로 판단된다. 기존 현장에서 측정된 작업 생산량은 하루 360상자를 저온 살균기에 투입하여 처리하는 것으로 분석하였으며, 개선한 공정 시뮬레이션에서는 하루 611상자를 처리할 수 있음에 따라 약 69% 생산량이 증가하였다.

## 고찰

본 연구는 식품 제조 공정에서 원물 투입부터 팔레타이징까지 전 공정 중-열악한 환경과 노동집약적인 공정을 중심으로 선정하여 기존 생산량 및 작업 시간과 함께 현장 데이터를 획득하였다. 획득한 데이터와 로봇을 적용하여 동일한 공정을 수행했을 때를 시뮬레이션으로 비교하고자 개선 공정 모델을 도출하였으며, 개선 전-후 공정의 생산량과 가동률을 비교하여 효과성을 검증하였다. 추가로, 선정된 공정에 투입되는 작업자의 수를 비교 분석하였다.

개선한 시뮬레이션의 결과는 Table 1과 같다. 1차 가공품 이송 및 해체 공정(case1) 개선 시뮬레이션 결과는 기존 508상자를 생산하는 것에서 736상자를 처리할 수 있음에 따라 약 44.8%의 증가량을 나타냈다. 고중량 적재 박

스 이송 공정(case2)은 기존 360상자를 생산하던 것으로 로봇을 적용함에 따라 736상자를 처리가 가능함에 따라 약 69.7%의 높은 생산량 증가폭을 보였다. 두 공정 모두 개선하기 전에 작업자에게 각각 99.94%, 99.55%로 높은 가동률을 보임에 따라 개선이 필요한 공정임을 확인하였다. 작업자에게 높은 과부하가 걸리는 공정들을 로봇 적용으로 가동률을 각각 88.5%, 95.09%로 감소하여 작업자 과부하를 줄이는 효과를 나타냈다. 작업자 수는 case1에서 고강도의 업무를 로봇으로 대체하여 작업자의 업무를 보다 간단하게 개선하여 생산량 증가를 보이며, case2에서는 기존 작업자 3인을 투입하는 공정을 로봇 1대로 대체할 수 있는 가능성을 나타냈다.

본 연구에서 도출 개선 공정 모델들은 박스를 이송하기 위해 박스의 규격이 동일하거나 동일 제품을 생산해야 한다는 제한이 있으며, 실제 공장에서도 가장 높은 생산량을 보이는 제품을 대상으로 공정을 분석한 것이다. 실제 국내 식품 공장은 다품종 소량생산을 하는 구조와 함께 연속 생산을 하는 특성이 있어 실증을 위해서는 유연 생산이 가능하며, 실제 설비가 고장 났을 때 혹은 작업자 인원수 및 활용 방식이 변경되는 등 다양한 요소들에 대해 검토할 필

요성이 있다.

3D 시뮬레이션을 활용하여 실제로 개선한 공정이 정확하게 설계 및 구현이 되었는지 등을 시각적으로 비교할 수 있으며, 공정 개선에 대해 사전 검증이 가능하다는 장점이 있다. 따라서, 수요 기업이 공정의 스마트화 및 디지털화 도입하기 위한 사전 분석을 통하여 로봇을 활용한 공정 자동화에 대한 타당성을 판단하는 데 도움이 될 수 있을 것으로 사료된다. 이처럼 도출한 새로운 공정의 시뮬레이션을 기반으로 추후 실제 실증 적용을 하기 위해서는 전-후방 공정을 적용해야 할 필요가 있다. 다양한 요소들 예를 들어 원물 투입량 및 전처리 공정 등을 추가함으로써 단일 공정 시뮬레이션이 아닌 플랜트 시뮬레이션 레벨로 모델 업그레이드를 통한 전 공정 가상 환경 예측 시스템 개발에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

## 요 약

본 연구는 국내 식품 생산 공정들 중 열악한 환경에서 노동집약적인 공정 2개를 선정하고 3D 시뮬레이션을 활용하여 개선 효과성을 구명하고자 하였다. 선정된 공정은 ‘1차 가공품 이송 및 해체 공정’ (Case 1)과 ‘고중량 적재 박스 이송 공정’ (Case 2)을 선정하였다. 선정된 공정을 실제 생산하는 식품공장을 방문하여 각 공정별 layout, 공정 순서, 작업자 근로시간, 생산량 등을 측정하였다. 획득한 데이터를 기반으로 3D 시뮬레이션 모델 분석에서 개선 개선 전후 비교 및 검토하기 위한 평가지표로 생산량과 작업률, 투입 작업자 수를 설정하였다. Case 1과 case 2의 생산량 모두 개선 전보다 증가하였으며, 가동률은 감소하였음에도 높은 값을 보임에 따라 실제 선정된 공정만으로도 작업자에게 높은 피로도와 위험성이 높은 공정임을 확인하였다. 본 연구 결과를 바탕으로 3D 시뮬레이션을 활용하여 실제로 개선한 공정이 정확하게 설계 및 구현이 되었는지 등을 시각적으로 비교할 수 있으며, 공정 개선에 대해 사전 검증이 가능함을 확인할 수 있었다.

## Acknowledgements

This paper was supported by Korea Institute for Robot Industry Advancement (KIRIA) grant funded by the Korea Government (MOTIE) (P20008963, Development of Manufacturing Robot Utilization Technology for Food and Beverage Manufacturing Process Improvement) (GN200900-04).

## References

- Accorsi R, Tufano A, Gallo A, Galizia FG, Cocchi G, Ronzoni M, Abbate A, Manzini R. 2019. An application of collaborative robots in a food production facility. *Procedia Manuf.* 38: 341-348.
- Ahmad SSS, Kasim ASA, Masood I, Ho FH, Abdullah H. 2021. Capacity study of a food processing company using Arena simulation software. *Res. Prog. Mech. Manuf. Eng.* 2: 166-173.
- Bader F, Rahimifard S. 2018. Challenges for industrial robot applications in food manufacturing. In *Proceedings of the 2nd international symposium on computer science and intelligent control.* 37: 1-8.
- Bangsow S. 2020. *Tecnomatix plant simulation.* Springer International Publishing.
- Baierle IC, da Silva FT, de Faria Correa RG, Schaefer JL, Da Costa MB, Benitez GB, Benitez Nara EO. 2022. Competitiveness of food industry in the era of digital transformation towards agriculture 4.0. *Sustainability* 14: 11779.
- Hasan KAM, Kadhum AH, Morad AH. 2019. Evaluation of yogurt production line simulation using arena software. *Al-Khwarizmi Eng. J.* 15: 71-78.
- Iqbal J, Islam RU, Abbas SZ, Khan AA, Ajwad SA, 2016. Automating industrial tasks through mechatronic systems—a review of robotics in industrial perspective. *Tehnički Vjesnik* 23: 917-924.
- Jo DS, Kim JW. 2018. A survey on characteristics and application domains of 3D factory simulation technology. *J. Inf. Syst.* 27: 35-70.
- Kelton WD, Sadowski R, Zupick N. 2015. *Simulation with Arena by Kelton.* McGraw-Hill Education.
- Miltényi M, Czégé L. 2019. Simulation of production processes with plant simulation. *Int. J. Eng. Manage. Sci.* 4: 10-16.
- Misimi E, Øye ER, Eilertsen A, Mathiassen JR, Åsebø OB, Gjersetad T, Buljo J, Skotheim Ø. 2016. GRIBBOT - Robotic 3D vision-guided harvesting of chicken fillets. *Comput. Electron. Agric.* 121: 84-100.
- Park JS, Park S-H, Kim JW. 2021. 3D Factory simulation-based process pre-study for smart factory operational design. *J. Korean Inst. Ind. Eng.* 47: 117-129.
- Park JW, Kim DY, Cho YJ. 2015. Simulation-based process improvement of a food manufacturing system. *Proceedings of the Society of CAD/CAM Conference,* 160-163.
- Wang Z, Hirai S, Kawamura S. 2022. Challenges and opportunities in robotic food handling: A review. *Front. Rob. AI* 8: 433.

## Author Information

**김태형:** 한국식품연구원 디지털팩토리사업단(연구원)

**백승훈:** 한국식품연구원 디지털팩토리사업단(학생)

**권기현:** 한국식품연구원 디지털팩토리사업단(책임연구원)