

# 3D 시뮬레이션 기반 다관절 로봇 자동화 김치 계량 후 포장공정에 관한 연구

김태형<sup>1</sup>, 백승훈<sup>1</sup>, 오승일<sup>2</sup>, 권기현<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>한국식품연구원 디지털팩토리사업단, <sup>2</sup>한국식품연구원 안전유통연구단

## A Study on the Packaging Process After Automating Kimchi for Multi-Joint Robots Based on 3D Simulation

Tae Hyong Kim<sup>1</sup>, Seunghoon Baek<sup>1</sup>, Seung Eel Oh<sup>2</sup>, Ki Hyun Kwon<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Digital Factory Project Group, Korea Food Research Institute

<sup>2</sup>Food Safety and Distribution Research Group, Korea Food Research Institute

**요약** 본 연구에서는 김치를 생산하는 공정 중 약 10kg의 증량과 함께 습도가 높고 온도가 낮은 열악한 환경에서 수행되고 있는 공정에 대한 로봇 자동화 시스템 도입을 통해 개선하고자 하였다. 김치를 생산하는 공장 2곳 공장 공정 분석을 통해 선정된 계량-포장-적재공정을 로봇 자동화 도입이 시급한 공정으로 선정하였다. 현장을 방문하여 로봇 도입 효과성을 검증하고자 로봇 시뮬레이션에 활용되는 입출력 데이터인 공정 순서, 작업 근로 시간, 생산량 등 실제 데이터를 측정하였다. 로봇을 적용하여 개선 후 시뮬레이션 개발을 위해 평가지표로 생산량과 공정 투입 작업자 수를 선정하였다. 사례를 도출하였다. 공장에 실제 적용하기 전에 3D 시뮬레이션을 활용하여 사전에 자유롭게 예측과 검증을 할 수 있으며, 개선 공정의 프로세스를 시각적으로 구현이 되었는지 확인할 수 있도록 하였다. 분석 결과는 로봇을 적용한 개선 공정 모두 생산량이 증가하여 기존보다 약 2~4배 증가하였다. 또한, 로봇을 적용함에 따라 기존 다수의 작업자가 투입되어 수행하는 공정에서 약 30%의 인력을 대체할 수 있는 결과를 분석하였다.

**Abstract** The aim of this study was to enhance the kimchi production process, which involves challenging conditions such as high humidity, low temperatures, and handling of approximately 10 kg of product. This was done through the implementation of a robotic automation system. After analyzing processes at two kimchi production facilities, the weighing, packaging, and loading process were identified as prime candidates for automation. To validate the effectiveness of robot implementation, we visited the site and collected real data on process sequencing, labor hours, and production quantities, which were used for robot simulation. Evaluation metrics, including production output and the number of workers involved in the process, were selected for assessing the impact of robot adoption. Before actual implementation in the factory, a 3D simulation was employed for predictive analysis and validation, ensuring that the improved processes were visually represented. The analysis results showed that the introduction of robots would lead to a significant increase in production of, approximately 2 to 4 times greater than previous manual processes. Additionally, it was found that robot adoption could replace approximately 30% of the labor previously required for these processes. This research highlights the potential of robotics to enhance efficiency and reduce labor requirements in kimchi production, particularly in challenging environments.

**Keywords** : Automation, Articulated Robot, Kimchi Manufacturing Process, Smart Factory, 3D Simulation

This paper was supported by Korea Institute for Robot Industry Advancement(KIRIA) grant funded by the Korea Government(MOTIE)(N2023-05H04-1, G0220900-02)

\*Corresponding Author : Ki Hyun Kwon(Korea Food Research Institute)

email: kkh@kfri.re.kr

Received October 4, 2023

Revised October 31, 2023

Accepted December 8, 2023

Published December 31, 2023

## 1. 서론

김치는 배추와 무 등을 주재료로 사용하여 고춧가루, 마늘, 생강 등이 포함된 제조 양념을 첨가한 한국의 대표적인 전통 발효식품 중 하나이다[1]. 김치에 대한 소비는 기존 가정 내 제조를 통한 소비에서 1인 가구를 포함한 소규모 가정 증가와 함께 외식 및 배달 음식 소비로 변화하였다[2]. 이러한 변화로 현대 사회에서는 가정에서 제조하는 것보다 기업에서 대규모로 생산하고 있다. 식품 산업에서는 대량 생산과 동시에 품질을 개선하고 소비자의 요구를 충족시키기 위하여 적절한 생산 시스템 전략 선택이 필요하고[3], 식품 안전 생산을 위하여 식품 산업에서는 자동화 시스템 적용에 대한 필요성을 제시하고 있다[4].

실제 기업에서는 김치를 균일한 품질로 대량 생산하기 위해 배추 절단기, 세척 장치, 탈수 장치 등 여러 기계 설비를 사용하고 개발하고 있다[5]. 김치 공정을 개선하기 위하여 수작업 중심의 절임 공정을 스마트화하는 연구도 보고되었다[6].

김치 생산성을 높이기 위해 농협 김치 생산 공장의 제조 현황을 분석하여 개선안을 제시함에 따라 생산성 향상 가능성을 제시하였다[7]. 신규 자동화 설비를 적용하여 원료부터 제조공정을 통하여 최종 제품을 생산하는 도중 미생물 유입 가능성을 분석하여 절임과 세척 공정 사이에 살균공정의 필요성을 제시하였다[8]. 김치를 생산하고 저장고에 보관하거나 유통 중에 품질 변화를 사전에 예측하기 위한 연구도 같이 수행하고 있다[9].

최근 식품공장은 디지털화와 함께 변화하는 추세에서 실제 유연 자동화 적용이 식품 산업에 제공하는 이점들을 보고했다. 특히, 로봇과 관련하여 위생에 대한 안전을 높일 수 있으며, 높은 효율성과 함께 생산성을 증가시킬 수 있는 장점들이 있다고 하였다[10-12]. 로봇과의 융·복합은 다양한 첨단기술이 결합하면서 기능이 다양해지고 활용도가 크기 때문에 파급효과가 매우 클 것으로 예상하였다[13]. 다관절 로봇은 다양한 상호작용이 가능한 그리퍼 장치를 통해 최대 6축 자유도를 제공함에 따라 복잡한 작업을 할 수 있는 장점이 있다. 산업용 로봇은 자유도에 따라 X-Y축 혹은 X-Z축을 활용하여 이송 및 투입을 빠르게 처리하는 2축 로봇, 작은 중량물을 매우 빠른 속도로 처리하거나 소형 팔렛타이징에 적합한 3-4축 병렬(델타)로봇, 그리고 고중량 제품을 넓은 범위와 함께 공간의 제약을 유연하게 대처할 수 있는 6축 다관절 로봇까지 현장에 맞게 적용

할 수 있도록 개발 및 적용되고 있다[14,15]. 실제로 다관절 로봇을 육가공 공장에 적용 및 개선하는 위한 연구를 보고하였다[16,17].

과거에는 로봇과 작업자의 작업공간을 구분하여 별도로 업무를 수행하였으나, 최근에는 작업공간 내에 작업자와 함께 로봇이 협업하여 업무를 수행하는 협동 로봇도 개발됨에 따라 다양한 공정들이 로봇과 함께 작업하여 공정을 개선할 수 있는 연구들이 진행되고 있다[18].

국제 로봇 연맹(International Federal of Robotics, IFR) 보고에 의하면, 로봇 시장의 향상과 함께 다른 산업에서 많이 적용하고 있는 것에 비하면 식품 산업에서는 낮은 수준으로 머물러있다[19]. 이는 식품 산업에서 신규 공장을 구축하지 않고 기존 공장 내 활용 설비와 함께 로봇 자동화 시스템을 바로 적용 및 구축하기는 어려우며, 전·후방 공정들을 고려하여 기존 활용 장비들과의 활용성과 공간 확보를 필요로 하는 등 고려할 점들이 많기 때문이다.

이러한 문제점들을 사전에 예측하고 검증하기 위해 시뮬레이션을 활용한 방법들이 활용되고 있다[20]. 최근 시뮬레이션 소프트웨어들은 가상환경에서 실제 제조공장의 작업환경과 기존 활용 장비들 그리고 작업자들의 작업 동선의 구현이 가능해, 기존 논리적 분석뿐만 아니라 3차원(three-dimensional, 3D) 기반 모델링을 제시함에 따라 시각적으로 비교할 수 있게 되었다[21].

시뮬레이션을 활용하여 김치 제조공정 중 수작업 및 노동강도가 높은 공정을 분석 및 선정하고 문제 요소를 파악하여 개선 효과를 확인하였다[22]. 실제 김치공장에서 작업자들의 근골격계질환에 위험 정도가 높은 공정들을 다양한 유해 요인평가기법들을 활용하여 분석하였으며, 고중량 운반공정과 반복 작업을 수행하는 공정에서 즉각 개선이 필요함을 도출하였다[23]. 현 김치 제조공정 중 작업자 배치의 문제점을 파악하고 재배치를 통한 최적 생산계획을 하였다[24].

하지만, 앞서 문헌들에서 제시한 바와 같이 손목 과부하와 함께 근골격계에 위험이 있는 공정 중 반복적이고 고중량 제품을 다루는 제품의 인케이싱 및 팔렛타이징 수작업 공정에 대해 개선점을 제시한 연구는 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 로봇을 적용하여 김치 비닐 포장 계량 후 저장고 보관 혹은 택배 배송을 위해 이송 및 포장공정의 2가지 3D 시뮬레이션 개선안을 도출 및 도입 효과를 분석하였다.

## 2. 연구방법

### 2.1 시뮬레이션 구축을 위한 공정 분석 및 설계

본 연구는 김치를 생산하는 공장 2곳을 실제 방문하여 Fig. 1과 같이 팔레트에 적재된 배추를 투입하는 공정부터 최종 포장하여 배출하는 공정까지 일괄 생산공정을 분석하였다. 공정별 로봇 및 기계발전 자동화 시스템 등 투입하기 적합한 공정들을 검토하였으며, 현장에서 요구하는 계량 후 팔렛타이징 및 상자 적재공정의 개선을 요청함에 따라 기업별 맞춤형 공정 시뮬레이션 모델을 도출하였다.



Fig. 1. Series of Kimchi manufacturing process

두 개의 공장 공정 분석을 통해 선정한 계량-포장-적재공정은 Fig. 2와 같이 구성되어 있다. 해당 공정은 다음과 같은 흐름으로 구성되어 있다. 작업자들이 탈수한 배추를 양념과 버무린 후 컨베이어로 이송하여 금속 검출기를 거쳐 계량-포장 공정 작업자들에게 공급한다. 작업자는 김치를 계량 및 소분하여 김치 내포장 비닐이 씌워진 바구니에 투입한다. 10kg의 내포장된 김치를 받은 작업자는 케이블 타이와 함께 입구를 밀봉하여 옆에 준비한 산업용 플라스틱 상자에 적재하고 빈 계량 바구니는 다시 계량하는 작업자에게 전달하는 반복 공정이다. 계량 작업을 수행하는 작업자는 결속-포장 공정을 수행

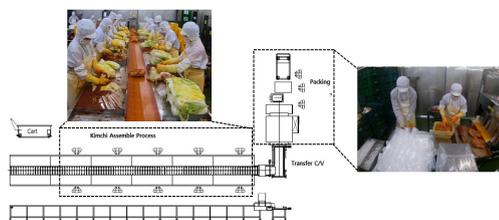


Fig. 2. Post-weighing package loading process

하는 동안 대기시간이 발생하여 병목현상 구간이 생겨 생산량에 한계가 있음을 분석하였다. 본 공정은 노동강도가 높은 공정과 함께 열악한 환경(4~17℃)에서 작업자들의 기피 공정으로 작업자의 이탈로 인한 인력 유출 문제가 있어 로봇 적용이 필요한 공정이다.

두 공장 모두 플라스틱 상자의 적재가 끝나면 냉장창고로 이송하여 보관하고 기업의 납품 일정 혹은 개인 택배 주문에 따라 작업자들이 수작업으로 종이상자 혹은 택배 상자에 직접 포장하는 공정으로 이루어진다. 각 공장의 환경 조건 및 개선 중점에 부합에 따라 Fig. 3과 같이 공정 요소별 적합 장비를 모델링 하였다. 동일한 개선 공정에 대해 기업별 맞춤형 개선안 2가지를 제시하여 시뮬레이션으로 로봇 도입을 통한 효과성을 분석하였다.

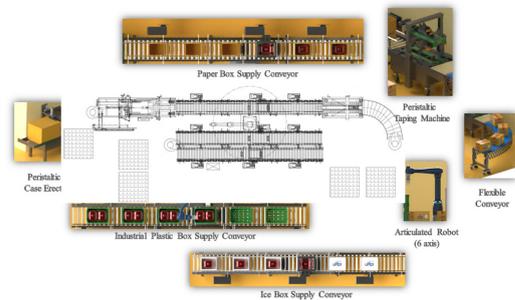


Fig. 3. Component modeling for process simulation

### 2.2 시뮬레이션 모델링을 위한 설정 조건

공정 개선에 해당 대상은 10kg으로 계량된 김치 비닐 내포장 제품이다. 로봇 도입 효과성을 검증하고자 로봇 시뮬레이션에 활용되는 입출력 데이터인 공정 순서, 작업 근로 시간, 생산량 등 실제 데이터를 측정하였다.

식품 제조공정 로봇 자동화 시뮬레이션을 위해 지멘스 테크노매틱스(Tecnomatix Process Simulate V16.0, SIEMENS Inc., Germany)를 사용하여 시간적으로 개선 공정 프로세스를 구현함과 동시에 가상으로 공정 생산량에 대한 예측을 수행하였다. 기존 공정 순서와 실제 작업자들의 작업 속도 및 생산량을 측정한 데이터를 기반으로 로봇을 적용한 최적 공정라인 레이아웃을 설계하였다. 실제 작업자의 작업 동선에 적합하며 제한된 공간에서 유연하게 움직일 수 있으며, 열악한 낮은 온도에서도 운영이 가능한 6축 다관절 로봇(0~40℃)을 활용하였다. 3D 시뮬레이션 공정 분석에서 작동하는 모습을 비교 및 검토하기 위한 평가지표로 생산량과 공정 투입 작업자 수를 선정하였다. 공통설정 조건으로 설비 이용률

(Availability)과 작업 일정(Shift Calendar)을 적용하였다. 시뮬레이션 구동을 위한 초기 설정 조건으로는 설비 이용률 95%, 로봇이 고장 났을 때 수리 시간(Mean Time To Repair, MTTR)은 '분' 단위로 설정하였으며, 작업 일정은 주 40시간으로 하였다.

### 3. 결과

#### 3.1 개선 공정 시뮬레이션 프로세스

##### 3.1.1 로봇 적용 자동화 이송-적재 공정 사례 1

첫 번째 개선 공정은 Fig. 4와 같이 김치 포장 공정에서 생산된 포기김치를 자동 계량 후 로봇 적용 자동화 시스템을 도입하여 포장된 김치를 플라스틱 박스에 이송/적재가 가능하도록 개선 모델을 도출하였다. 작업자가 김치를 10kg씩 계량하여 공급하면 기존 작업자가 밀봉 및 케이블 타이 묶는 작업을 내포장 자동 결속기를 도입하여 개선하였다. 자동 결속기는 비닐을 위로 세움과 동시에 가이드가 하부에서 상부로 올라와 공기를 제거하여 홀딩 후 케이블 타이로 자동 결속 하는 공정으로 구성하였다. 결속된 내포장 김치는 자동 라벨링 부착 후 가반 하중 25kg의 로봇을 활용하여 결속 부분을 그림 후 산업용 플라스틱 상자에 적재하고 빈 바구니는 5kg의 가반 하중을 가진 협동 로봇이 회수하여 작업자에게 다시 공급하는 공정으로 개선하였다.

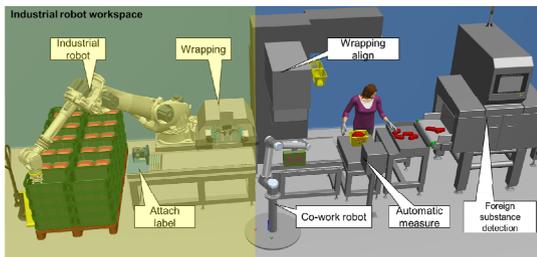


Fig. 4. Case study 1: Robot applied automated transfer stacking process

##### 3.1.2 로봇 적용 자동화 이송-적재 공정 사례 2

두 번째 개선 공정은 Fig. 5와 같이 모델을 구축하였다. 공장에서 냉동 창고 내 산업용 플라스틱 상자에 적재된 김치들을 납품 일정 혹은 택배 주문에만 맞춰 종이상자 혹은 스티로폼 택배 상자에 인케이싱하는 개선된 공정모형을 구축하였다.



Fig. 5. Case study 2: Robot applied automated transfer stacking process

작업자는 10kg 비닐 포장된 김치 2묶음씩 들어있는 산업용 플라스틱 상자를 컨베이어에 공급과 동시에 종이 상자 혹은 스티로폼 상자를 선택하여 공정을 선택할 수 있도록 하였다. 로봇은 가반하중 25kg의 다관절 로봇을 적용하였으며, Fig. 6과 같이 김치가 적재된 플라스틱 산업용 상자를 투입하면 작업자가 선택한 택배용 종이상자 혹은 스티로폼 택배 상자에 투입 센서에 맞춰 순차적으로 움직일 수 있도록 설정하여 시뮬레이션을 구성하였다.

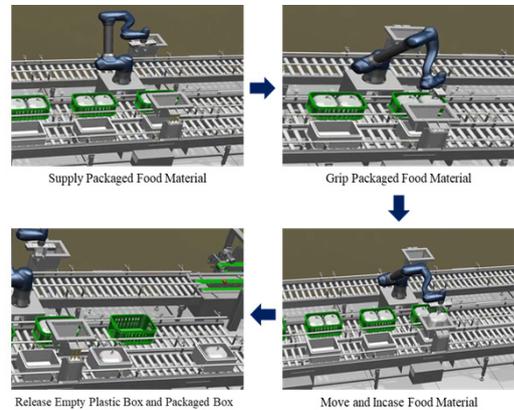


Fig. 6. Case study 2: Simulation scenarios for the robotic application process

로봇은 비닐 포장된 김치 적재된 플라스틱 산업용 상자가 일정 위치에 도달하면 1봉지씩 그림하여 외포장 상자(종이상자, 택배용 스티로폼 상자)에 투입을 하고 컨베이어를 통해 봉합기로 공급되며 자동 밀봉하여 배출하는 순서로 공정을 구성하였다.

#### 3.2 개선 공정 시뮬레이션 효율성 검증

첫 번째 개선 전 공정은 10kg을 계량하는데 평균 걸리는 시간은 약 26.8(±4.76)초가 소요되었으며, 이후 포

장하는데 소요 시간은 약 22.25(±2.38)초가 소요되었다. 이를 해결하기 위해서는 약 시간당 72개의 김치를 계량 및 포장하는 것으로 분석하였다. 두 번째 개선 전 공정은 하루 평균 약 3시간 공정을 수행하며 약 1,566kg의 제품을 생산하며 실제 인케이싱 및 테이핑 작업을 거쳐 약 시간당 52.2 상자를 생산하는 것을 분석하였다.

두 개선 공정 시뮬레이션의 생산량은 같은 소요 시간 동안 비교하여 기존보다 개선하였을 때 Table 1과 같이 상승하는 효과를 보였다. 첫 번째 공정의 경우 계량 작업의 소요 시간과 비닐 내포장 공정 중 비닐을 결속 후 케이빙 타이틀 묶는 공정의 시간을 포함하고 있음에도 기존보다 2배 이상의 생산량 증가세를 보였다. 이는 결속-포장 공정으로 인해 계량하는 작업자의 대기시간 또한 감소함에 따라 생산량을 증가하였음을 파악하였다.

Table 1. 3D simulation analysis effect of robot-applied improvement process

Category		As-Is	To-Be
Case 1	Throughput	72 packs/hr	140 packs/hr
	Replacement of workers	3	1
Case 2	Throughput	52.2 boxes/hr	216.6 boxes/hr
	Replacement of workers	6	2

두 번째 공정의 경우 앞서 계량 및 결속 공정이 빠지고 김치가 적재된 산업용 플라스틱 상자와 내포장 상자들이 일괄적으로 공급되면 단순 그립-투입-인케이싱-테이핑 작업까지 일괄 자동화 공정으로 구성되어 있어 첫 번째 공정보다 생산 속도가 빠른 점이 있다. 기존 시간당 약 52상자를 공급하여 사람이 수작업 인케이싱 했던 것에 비해 로봇 자동화를 적용하여 약 217개의 산업용 플라스틱 상자를 처리 및 생산할 수 있어 기존보다 약 4배의 빠른 생산 처리를 할 수 있음을 분석하였다.

두 개선 공정 모두 작업자 수 또한 감소함에 따라 로봇 적용의 효과성을 분석하였다. 첫 번째 공정에서는 기존 계량하는 사람을 제외하고 로봇 2대를 도입함에 따라 2명의 작업자가 하는 결속-포장 이송-적재 공정을 대체할 수 있음을 나타냈다. 계량 공정에서 실제 현장 공간 제약에 따라 추가 투입 없이 1인 작업 기준으로 계량 공정의 작업자 수는 유지하였다.

두 번째 공정은 앞서 김치가 적재된 산업용 플라스틱 상자와 포장 상자를 공급하며 인케이싱 된 제품을 테이핑 및 팔렛타이징 하는 수작업으로 구성된 모든 공정에

투입되었던 기존 6명의 작업자를 공정 개선을 통해 최종 2명으로 공정을 수행할 수 있음을 분석하였다. 2명의 작업자는 산업용 플라스틱 상자 공급과 포장 후 배출된 제품을 팔렛타이징에 옮기는 공정만 수행하여 다수의 작업자가 투입된 공정을 개선할 수 있음을 분석하였다.

이는 실제 해외 달걀 생산 공장에 로봇을 투입하여 생산량을 약 55% 증가하였음에도 작업자 수를 더 고용한 것을 통해 본 연구에서도 로봇 적용이 미래 잠재적 효과가 있음을 나타냈다[25]. 이를 통해 대체된 작업자 수 또한 현장의 작업공간 제약이 아니면 계량 공정 등 병목현상 공정에 투입되어 작업자들의 공정 과부하를 감소시키며 균일제품 생산에 도움이 될 수 있음을 나타낸다.

실제 로봇을 도입하게 되면 약 10kg의 고중량물인 김치를 로봇이 결속 부분만을 그립하여 적재할 수 있도록 공정을 설정으로 실제 제품이 흔들릴 수 있어 예측 시뮬레이션 시간보다 더 소요될 수 있으며, 로봇 방수 재킷 등의 적용을 통해 수분 침투 등 방지할 수 있는 방안이 필요하다.

다양한 산업군에서 로봇이 적용이 되고 있는 만큼 식품 분야에서도 로봇을 적용하여 공정을 개선하고 있으나 정형화된 박스 팔렛타이징 등에 많이 적용하고 있으며, 비정형화되고 편차가 큰 제품들에 대해 아직 많은 연구가 필요하다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 공장 및 기업에서 대규모로 자동화 설비 활용을 통해 대량 생산으로 변화하는 현대 사회 흐름에 맞게 로봇을 적용하여 기존 수작업 공정 개선효과에 대한 연구를 수행하였다. 본 논문에서 수행한 내용은 다음과 같다.

첫째, 실제 현장을 방문하여 계량 후 이송-적재 포장 공정의 실제 생산량과 작업 속도 등의 분석을 통해 로봇을 적용한 개선 공정 시뮬레이션 사례를 도출하였다.

둘째, 도출한 시뮬레이션을 통해 로봇 적용한 개선 공정 사례1에서는 생산량이 약 2배 증가한 것을 확인하였으며, 작업자 수는 1인으로 공정을 수행할 수 있음을 분석하였다. 개선 공정 사례2에서는 약 4배의 생산량 증가를 나타냈으며, 작업자는 기존 6인에서 2인으로 감소할 수 있음을 분석하였다.

향후, 본 연구의 자동화, 최적화 등 3D 시뮬레이션 조건의 모델을 실제 적용하고 보다 효과적으로 활용하기

위해서는 전후방 공정에서 실제 배추 양념 숙냉기 공정 등 실제 다양한 요소들의 고려와 함께 로봇 방수 재킷 등의 적용을 통해 수분 침투 등 방지할 수 있는 방안이 필요하다. 추후 본 연구에서 도출한 시뮬레이션을 확대 및 플랫폼 시뮬레이션에 활용하여 데이터 수집과 전 공정 일괄 생산을 예측 분석하고자 한다.

## References

- [1] S. Y. You, J. S. Yang, S. H. Kim, I. M. Hwang, "Changes in the physicochemical quality characteristics of cabbage kimchi with respect to storage conditions", *Journal of Food Quality*, vol. 2017, pp. 1-7, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1155/2017/9562981>
- [2] I. S. Kim, S. H. Jeong, G. Y. Jeong, "An Analysis of the Impact of Changes in Kimchi Imports on the Korean Kimchi Industry", *Korean Journal of Organic Agriculture*, vol. 30, no. 2, pp.151-170, 2022. DOI: <https://doi.org/10.11625/KJOA.2022.30.2.151>
- [3] E. R. Wedowati, M. L. Singgih, I. K. Gunarta, "Production system in food industry-A literature study", *6<sup>th</sup> International Conference on Operations and Supply Chain Management*, Bali, pp. 274-285, 2014.
- [4] R. Henry, "Innovations in Agriculture and Food Supply in Response to the COVID-19 Pandemic", *Molecular plant*, vol. 13, no. 8, pp.1095-1097, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/i.molp.2020.07.011>
- [5] E. S. Han, et al. "Development of Mak-Kimchi Manufacturing Technology", *Food Preservation and Processing Industry*, vol. 19, no.1, pp. 19-29, 2020.
- [6] B. B. Kim, J. W. Park, W. E. Jeong, J. E. Park, H. R. Kim, "Smart Kimchi Raw Material Processing Plant System Design", *Industrial Engineering & Management Systems Fall Conference*, pp. 1510-1515, 2015.
- [7] E. S. Han, "Business Analysis of Process Improvement in Nonghyup Kimchi Factory", *Cooperative Economics and Management Review*, vol. 34, pp.91-114, 2005.
- [8] J. S. Kim, J. Y. Jung, S. K. Cho, J. E. Kim, T. J. Kim, B. S. Kim, N. S. Han, "Microbial Analysis of Baechu-kimchi during Automatic Production Process." *Korean Journal of Food Science and Technology*, vol. 42, no. 3, pp.281-286, 2010.
- [9] J. Y. Kim, B. S. Kim, J. H. Kim, S. I. Oh, J. Koo, "Development of dynamic model for real-time monitoring of ripening changes of kimchi during distribution", *Foods*, vol. 9 no. 8, pp. 1075, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods9081075>
- [10] J. Iqbal, Z. H. Khan, A. Khalid, "Prospects of robotics in food industry", *Food Science and Technology*, vol. 37, no. 2, pp. 159-165, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1678-457X.14616>
- [11] F. Bader, S. Rahimifard, "A methodology for the selection of industrial robots in food handling", *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, vol. 64, 102379, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102379>
- [12] G. Gratez, 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](https://doi.org/10.1162/rest_a_00754)
- [13] D. Acemoglu, P. Restrepo, "Automation and New Tasks: The Implications of The Task Content of Production for Labor Demand", *Journal of Economic Perspectives*, vol. 33, no. 2, pp. 3-30, 2019.
- [14] Z. H. Khan, A. Khalid, J. Iqbal, "Towards realizing robotic potential in future intelligent food manufacturing systems", *Innovative food science & emerging technologies*, vol. 48, pp. 11-24, 2018.
- [15] F. Bader, S. Rahimifard, "Challenges for industrial robot applications in food manufacturing", *Proceedings of the 2nd international symposium on computer science and intelligent control*, pp.1-8, Sep. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1145/3284557.3284723>
- [16] S. Choi, G. Zhang, T. Fuhlbrigge, T. Watson, and T. Tallian, "Applications and requirements of industrial robots in meat processing", *IEEE International Conference on Automation Science and Engineering(CASE)*, IEEE, pp. 1107-1112, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1109/CoASE.2013.6653967>
- [17] E. Misimi, E. R. Øye, A. Eilertsen, J. R. Mathiassen, O. B. Åsebø, T. Gjerstad, J. Bulijo, Ø. Skotheim, "GRIBBOT-Robotic 3D vision-guided harvesting of chicken fillets", *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 121, pp. 84-100, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/i.compag.2015.11.021>
- [18] A. Dzedzickis, J. Subačiūtė-Žemaitienė, E. Šutinys, U. Samukaitė-Bubnienė, V. Bučinskas, "Advanced applications of industrial robotics: New trends and possibilities", *Applied Sciences*, vol. 12, no.1, pp. 135, 2021. DOI:<https://doi.org/10.3390/app12010135>
- [19] International Federation of Robotics, "Executive Summary World Robotics 2021 Industrial Robots", pp. 12-16, 2021.
- [20] S. Bangsow, "Tecnomatix plant simulation", Springer International publishing, 2016.
- [21] D. S. Jo and J. W. Kim, "A survey on characteristics and application domains of 3D factory simulation technology", *The Journal of Information Systems*, vol. 27, no. 4, pp. 35-70, 2018. DOI: <https://doi.org/10.5859/KAIS.2018.27.4.35>
- [22] J. W. Park, D. Y. Kim and Y. J. Cho, "Simulation-based process improvement of a food manufacturing system", *Proceedings of Society of CAD/CAM conference*, pp. 160-163, 2015.
- [23] G. S. Park, K. W. Kim, C. H. Kim, D. H. Lee, S. H. Kang, "A Study of Musculoskeletal Disorders in

Kim-chi Factory", *Conference of Ergonomics Society of Korea*, pp. 204-210, 2009.

- [24] H. S. Lee, M. S. Shin, G. Y. Ryu, Y. J. Jo, "Optimization of resource allocation and storage of collaborative process for Kimchi manufacturing", *Spring Conference of Korean Industrial Engineers*, Korean Institute Of Industrial Engineers, pp. 1687-1694, 2016.
- [25] W. Grobbelaar, A. Verma, V. K. Shukla, "Analyzing Human Robotic Interaction in the Food Industry", *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1714, no. 1, 2021.  
DOI: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1714/1/012032>

김 태 형(Tae Hyong Kim)

[정회원]



- 2012년 11월 : 토론토대학교 생명 과학과 (이학사)
- 2022년 2월 : 성균관대학교 바이오메카트로닉스학과 (공학박사)
- 2022년 3월 ~ 2022년 12월 : 성균관대학교 바이오메카트로닉스 박사후연구원
- 2022년 12월 ~ 현재 : 한국식품연구원 연구원

<관심분야>

인공지능, 로보틱스, 자동화시스템

백 승 훈(Seunghoon Baek)

[정회원]



- 2017년 2월 : 전북대학교 생물산업기계공학과 (석사)
- 2019년 2월 : 전북대학교 농업기계공학과 (석사)
- 2023년 현재 : 충남대학교 바이오시스템기계공학과 (박사수료)

<관심분야>

3D 시뮬레이션, 식품 공정

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

권 기 현(Ki Hyun Kwon)

[정회원]



- 2006년 2월 : 성균관대학교 바이오메카트로닉스학과 (박사)
- 1991년 01월 ~ 현재 : 한국식품연구원 디지털팩토리사업단 (단장)

<관심분야>

식품 자동화, 식품 공정