

스마트 식품 안전관리 추진현황

The current status of smarter food safety management

권소영^{1*}

Soyoung Gwon^{1*}

¹식품안전정보원

¹National Food Safety Information Service

Abstract

In the 4th industrial revolution, Artificial Intelligence (AI), big data, Internet of Things (IoT) are already around us, making our society hyper-connected and blurring the lines between the digital and biological spheres. We witness drastic changes not only in the food industry, but also in economy, society and our life as a whole. Technologies bring industrial reorganization and greater changes at the system level and the food industry is not exceptional. Human demand for foods continues to grow and the very nature of the food industry remains unchanged, but its production, distribution and marketing face unprecedented innovations. Passing through the global pandemic, the food industry has

been evolved into ‘contact-free’, as the safety become our top priority. Amid the gradual shift to technology-oriented society, the smarter food safety management skills and tools are being adopted in many countries exerting greater efforts to enhance traceability and to upgrade AI-powered safety management system.

Key words: smarter food safety management, artificial intelligence, Internet of Things, fourth industrial revolution, big data

서론

과거부터 지금까지 기술의 발전에 맞춰 많은 산업 혁명을 거처왔으나 최근처럼 미래 환경변화에 대응

*Corresponding author: Soyoung Gwon, Department of Food Safety Technology Research, Office of Policy Research, National Food Safety Information Service, Seoul, 03127, Korea

Tel: 82-2-744-8712

Fax: 82-2-6020-8203

E-mail: sygwon@foodinfo.or.kr

Received August 13, 2021; revised August 29, 2021; accepted August 30, 2021



하고 준비해야 한다는 이야기가 많이 거론된 적은 없었다. 그간 1차 산업혁명부터 3차 산업혁명까지는 기계가 중심이 되어 대량생산과 자동화에 큰 변화를 일으켰지만 4차 산업혁명은 로봇이나 인공지능에 의한 지능화된 알고리즘으로 기술 산업간 사물과 인간의 경계가 사라지는 대 융복합의 시대가 되며 연결을 활용하여 새로운 비즈니스와 부가를 창출하게 될 것이므로 기존 산업혁명과는 다른 특징을 갖는다 (Kang, 2018). 따라서 기존 산업혁명과는 차원이 다르게 일하는 방식, 소비형태와 생활방식 등 사회구조에 거대한 변화가 예상되기 때문에 각 산업 분야별로 대응책 마련에 노력을 기울이고 있다. 4차 산업혁명을 촉발시키는 주요 핵심기술로 ‘인공지능(Artificial Intelligence, AI)’, ‘사물인터넷(Internet of Things, IoT)’, ‘가상현실(Virtual Reality, VR)과 증강현실(Augmented Reality, AR)의 세계 ‘메타버스’, ‘블록체인’, ‘자율주행’, ‘3D 프린팅’, ‘로봇’ 등 다양한 기술이 거론되고 있다. 이러한 기술들은 상호 교류와 기술융합을 통해 서로의 분야를 더욱 증폭시키기도 하고 이미 기술의 변화가 기하급수적으로 빨라져 기술 발전의 변곡점에 도달한 기술도 존재한다(World Economic Forum, 2015).

이러한 기술의 변화는 식품산업에도 빠르게 적용될 것으로 예상되며 주요 핵심기술들이 식품의 제조, 가공, 저장, 유통, 판매, 외식 및 가정에서의 소비까지 적용될 것이다. 특히, 식품산업에는 3D 프린팅, 사물인터넷, 인공지능, 클라우드, 바이오 등의 기술이 융합되는 형태로 발전될 것으로 예측하고 있다 (농림식품기술기획평가원, 2017). 식품산업에 적용되고 있는 4차 산업혁명 관련 주요 기술들은 산업의 발전과 혁신을 도모하기 위한 것뿐만 아니라 안전관리 측면에서도 활용되어 사후적 관리도구가 아닌 사전적 예방 및 예측 목적에서 활용될 수 있을 것으로 보여진다. 본 연구에서는 4차 산업혁명 관련 기술을 중심으로 식품 안전관리 측면에서 추진하고 있는 구체적 사례들과 국가별 주요 추진전략을 살펴보고 시사점을 논의하고자 한다.

본론

1. 스마트 식품 안전관리의 정의 및 범위

스마트 식품 안전관리로 정의하는 명확한 범위나 기준이 현재 존재하진 않으나, 선행연구를 통해 스마트 식품과 관련된 사례를 살펴볼 수 있다. ‘스마트 식품유통시스템’은 식품의 이력, 유통, 영양, 안전, 품질과 신선도 등 식품이 갖고 있는 각종 정보를 공급자와 소비자 및 유통관계자에게 제공하고 관리할 수 있는 식품시스템으로서 ICT, 바이오기술, 센싱기술 등이 융합한 미래형 식품시스템을 의미한다고 정의하였다(중소기업청, 2013). 이와 같은 맥락에서 스마트 식품 안전관리는 기술을 이용하여 사람이 개입하지 않더라도 안전관리에 검토가 필요한 환경적 요소인 온도, 습도, 이산화탄소, 에틸렌 등의 정보를 자동으로 확인할 수 있는 것과 실시간으로 저장되는 식품과 관련된 모든 정보들이 방대한 데이터로 쌓여 그 데이터가 갖는 의미를 인공지능을 활용하여 찾아내고 그 정보를 기반으로 안전관리를 수립하는 것으로 해석할 수 있다.

최근 스마트 식품 안전관리의 필요성이 강조되고 자주 언급되는 이유는 식품안전 확보에 스마트한 관리기술 및 도구가 적용될 경우 추적성 향상을 도모할 수 있을 뿐만 아니라 안전성 확인을 위한 시간과 비용절감이 가능해지기 때문이다. 예를 들어, 식품위생검사시 샘플링 검사를 진행할 때 기존의 검사방법으로는 많은 시간과 비용이 소요되었지만 대량의 샘플검사를 실시하지 않더라도 데이터 분석을 기반으로 적은 비용과 시간을 들여 문제 파악이 가능해질 수 있으며, 최근 코로나로 인해 배달 플랫폼 이용 급증으로 식품 유통시 식품사고 발생 위험에 노출되는 경우가 많은데 유통단계의 모든 데이터가 자동 저장되어 실시간 파악이 가능해진다면 위험 인지 속도가 급격히 빨라져 예방 조치도 가능해질 것으로 사료된다. 또한, 그간 보고된 과학적 근거자료만으로 판단이 어려웠던 안전의 문제들을 인공지능을 활용하여

새로운 판단을 하기 위한 의사결정 지원 도구로 활용이 가능해지기 때문에 많은 국가들이 스마트 식품 안전관리에 관심을 기울이고 있다.

2. 스마트 식품 안전관리에 적용되는 4차 산업혁명 주요 핵심기술

스마트 식품 안전관리에 적용될 수 있는 4차 산업의 핵심기술들로는 사물인터넷, 인공지능, AR/VR, 블록체인 등의 기술들이 인프라 기술로 식품과 결합하여 식품안전관리의 주요한 기술(Gwon, 2019)로 거론되고 있으며 각 기술들이 인공지능의 지능적 융합을 통해 초연결성과 초지능화 되어 빅데이터에 대한 해석을 기초로 판단과 자율제어를 수행할 수 있을 것으로 예상하고 있다(Kim, 2018). 각 기술들이 식품 안전관리에 어떻게 적용되어 역할을 하는지 주요 특징을 살펴보면 다음과 같다.

(1) 사물인터넷

IoT는 정보통신산업의 핵심분야로 다양한 센서와 함께 적용되어 식품 안전 뿐만 아니라 품질과 관련된 정보까지 실시간 데이터 접근을 가능하게 해준다(Ahumada와 Villalobos, 2009). 식품의 저장온도, 습도, 이산화탄소 등 식품의 신선도를 확인할 수 있는 물리환경적 데이터를 사물인터넷이 무선 전송하여 자동 저장하고 기록하게 된다. 따라서, 사물인터넷은 신선식품의 품질을 보존하고 기준을 준수할 수 있는 모니터링 시스템으로 역할을 하게된다. 농식품의 신선도 관리, 식품의 안전유통을 위한 센서 네트워크 솔루션 등은 이미 상당부분 실용화되어 적용중에 있다(농림식품기술기획평가원, 2014). 실제 적용되고 있는 센서로 대표적인 것은 무선 주파수 인식장치(Radio Frequency Identification, RFID) 센서 태그를 이용하여 유통과정의 온도, 습도, 조도 등을 인식하여 모니터링을 가능하게 한다(Oh 등, 2011).

(2) 인공지능

인공지능은 IoT를 통해 수집되는 방대한 실시간

데이터를 이용하여 예측 기능과 더불어 머신러닝 알고리즘을 통해 식품 관련 위해로부터 사전예측 가능성을 확보하고 위험에 대한 불확실성을 개선해주는 역할을 할 수 있다. 그동안 활용되지 못했던 방대한 데이터를 머신러닝을 통해 데이터가 갖는 의미를 분석하여 위해평가와 더불어 미래에 발생 가능한 위해성 예측에도 활용될 수 있다. 또한, 기존에 해결하지 못했던 안전문제를 인공지능을 활용하여 식별하고 분석 및 평가가 가능해질 것이다.

(3) 로봇

로봇은 동시에 여러 처리단계를 반복 수행할 수 있는 장점을 활용하여 식품 제조 공정 전반에 걸쳐 로봇기술이 적용되어 식품처리, 가공, 운반 등 식품 제조 공정 전반에 로봇기술이 적용되어 식품 안전을 예방하고 작업의 단순 자동화와 생산성 향상에 기여한다(Atkinson과 Ezell, 2019). 특히, 인간의 실수에 취약한 식품제조 단계에 로봇을 적용하여 위험 요소 식별하고 제거할 수 있어 식품 생산의 질적 및 정량적 최적화가 가능해진다.

(4) 블록체인

블록체인은 모든 단계마다 생성되는 정보가 영구적으로 변조되지 않게 기록되는 디지털 분산 원장 기술(Treiblmaier, 2018)을 말하며 식품안전에 있어서 신뢰와 투명성을 높이는 도구로 활용될 수 있다. 온라인 거래의 복잡성과 비용을 줄이는 동시에 데이터의 출처와 식품의 물류가 이동하는 경로를 신속하게 파악할 수 있는 특징이 있어 식품 관련 사기 및 범죄를 줄일 수 있다(Kamilaris 등, 2019). 세계경제포럼에서도 블록체인 기술을 언급하며 추적가능성을 활용하여 식품 손실을 12% 감소시킬 수 있다고 하였다(World Economic Forum, 2019).

(5) 증강현실과 가상현실

증강현실(AR)은 실제 환경과 가상환경이 결합되어 이미지를 3차원으로 구현하는 기술(Azuma, 1997)로 식품안전에 있어서는 증강현실이 교육에

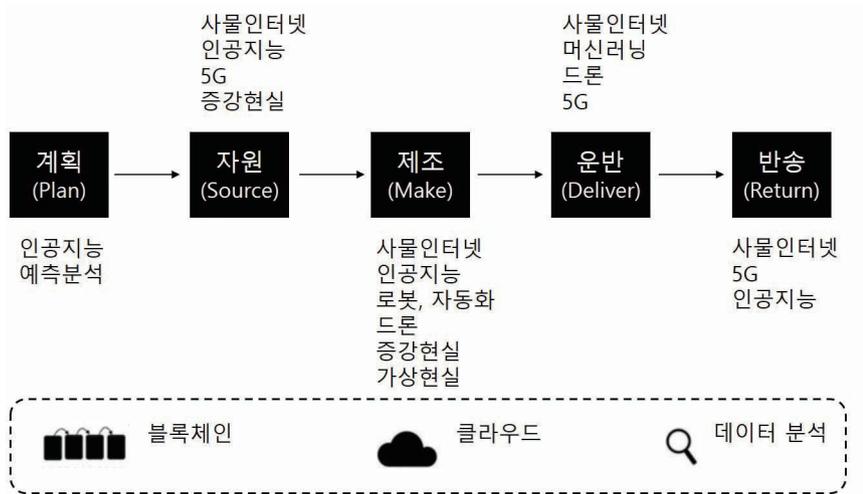


그림 1. 식품 공급망에 적용될 수 있는 4차 산업혁명의 핵심기술(Detwiler, 2021) 저자 재구성

활용되는 사례가 많으며 강의나 영상을 통한 주입식 교육방식이 아닌 현장 체험을 통한 교육 도구로 활용되어 교육 효과성을 높이는 걸로 보고된 바 있다 (Crandall, 2019). 가상현실(VR)은 실제 해당 환경에 존재하는 느낌을 주는 시뮬레이션 환경을 조성하는 것으로 이용자들에게 실재감과 몰입 경험을 제공하는 미디어로 주목받고 있다(Desai 등, 2014).

그림 1은 앞서 살펴본 4차 산업혁명 관련 주요 핵심 기술이 식품 공급망의 계획 단계에서부터 생산단계를 거쳐 소비자에게 전달되고 문제 발생시 반품이 되는 일련의 프로세스로 볼 때 각 단계별로 적용될 수 있는 사례들을 보여준다. 식품 제조 전 계획 단계에서부터 AI에 기반하여 수요, 공급 및 재고 예측 분석을 실시하고 생산단계에서는 로봇, 드론, 3D 프린팅 등을 활용하여 반복 작업의 자동화와 더불어 생산과 관련된 모든 기록 저장과 안전과 관련된 습도, 온도 등의 정보는 실시간으로 저장되어 위험에 노출될 확률을 줄이게 된다. 모든 단계마다 생성되는 정보는 블록체인으로 연결되고 클라우드에 자동 저장되며 저장된 데이터를 기반으로 분석이 가능해지게 된다. 따라서, 식품의 제조부터 유통, 소비 전 단계에 걸쳐 인공지능과 로봇, 빅데이터가 하나로 결합되어 스마트해지는 시스템으로 빠르게 진화하고 있다.

3. 국내외 스마트 식품안전관리 적용 현황 및 추진계획

(1) 미국 FDA 'New Era of Smarter Food Safety'
2020년 7월 미국 FDA는 최근 급격하게 변화하고 있는 사회환경을 반영하고 과학기술의 발전을 식품 안전 시스템에 적용하기 위한 새로운 계획을 발표하였다. 스마트 식품안전 새 시대는 사람이 중심이 되어 주도하고, 식품안전현대화법을 기반으로 하며, 기술을 통해 식품안전 시스템을 구현한다는 세 가지 원칙을 기반으로 규제 프레임워크를 현대화 하고 식품사고의 예측역량 및 예방대책을 강화하기 위한 목적으로 미래 청사진을 발표하였다(표 1).

앞서 제시한 세 가지 원칙 아래에 (1) 기술 기반 이력추적 완성, (2) 사고 예방 및 대응 강화를 위한 스마트한 접근방식 개발, (3) 새로운 식품 사업 모델에 대한 안전 대응 및 소규모 사업장 관리 현대화, (4) 식품 안전문화 개선의 4 가지 핵심요소를 제시하였다. '기술 기반의 이력추적'은 사고 대응 및 회수조치를 위한 역추적시 블록체인과 같은 기술을 활용하여 빠르게 이력추적을 완성하고 추적의 투명성 제고 및 산업계의 참여독려를 위한 기술 지원 등을 적극 장려하는 것을 목표로 하고 있다. '사고예방 및 대응 강화를 위한 스마트한 접근방법 개발'은 인공지능 및

표 1. '스마트 식품안전의 새 시대' 핵심요소 및 주요내용(FDA, 2020)

| 핵심요소 | 주요내용 |
|--------------------------------|---|
| 기술기반 이력추적 | 기본 구성요소 개발(Develop Foundational Components) 업계의 신기술 도입 권장(Encourage and Incentivize Industry Adoption of New Technologies) 디지털 혁신 활용(Leveraging the Digital Transformation) |
| 사고 예방 및 대응 강화를 위한 스마트한 접근방식 개발 | 근본원인분석 활성화(Invigorate Root Cause Analyses) 예측 분석 역량 강화(Strengthen Predictive Analytics Capabilities) 국내 상호 의존(Domestic Mutual Reliance) 검사, 교육 및 규제준수 도구(Inspection, Training, and Compliance Tools) 사고 대응(Outbreak Response) 회수조치 현대화(Recall Modernization) |
| 새로운 비즈니스 모델 대응 및 소매단계 현대화 | 새로운 비즈니스 모델 이용 생산·배달식품 안전성 보장(Ensure Safety of Food Produced or Delivered Using New Business Models) 전통적 소매식품 안전 접근방식 현대화(Modernize Traditional Retail Food Safety Approaches) |
| 식품안전문화 개선 | 식품 시스템 전반에 걸친 식품안전문화 진흥(Promote Food Safety Culture Throughout the Food System) FDA를 통한 식품안전문화 촉진(Further Promote Food Safety Culture Throughout the Agency) 식품안전 소비자 교육 캠페인 개발 및 홍보(Develop and Promote a Smarter Food Safety Consumer Education Campaign) |

머신러닝을 적극 활용하여 예측 분석 역량을 강화하고 그간 활용하지 못했던 데이터를 활용하여 유해화 학물질 식별 및 독성예측도구로 활용하는 것을 말한다. 또한, 우리나라 뿐만 아니라 미국에서도 최근 급격하게 증가하고 있는 배달업체 또는 새로운 비즈니스 모델을 활용한 신사업의 경우 기존 규제를 적용받기 어려운 경우가 많으므로 신사업과 관련된 위험요인을 관리하는 것과 더불어 안전에 취약한 소규모 사업장의 안전관리를 강화하기 위한 방안을 주요내용으로 하고 있다. 마지막으로 식품안전 문화를 형성하기 위하여 SNS를 활용한 바람직한 식품안전 행동을 유도하고 디지털 플랫폼 등을 활용하여 기업 및 소비자와 소통을 확대하겠다는 것을 발표하였다. 스마트 식품안전의 새 시대를 맞이하기 위하여 디지털 기술기반으로 식품안전 정책을 수립하는 것을 큰 목표로 두고 학계, 정부, 전문가, 산업계, 소비자 등 관련 이해관계자의 공감대를 바탕으로 식품안전 시스템을 현대화하는 것이 목표가 가장 주요한 방향성으로 볼 수 있다.

(2) EU EFSA 'Food Safety Regulatory Research Needs 2030'

유럽식품안전청(EFSA)은 정기적으로 유럽 과학 위원회와 과학 패널 위원들의 권고와 의견을 종합하여 식품안전에 관련된 연구 우선순위를 도출하고 향후 5~10년간 추진되어야 할 3대 연구방향과 연구 주요내용, 기대성과를 발표한다. 2019년 7월에 발표된 3대 추진 전략은 (1) 지속가능하고 안전한 식품생산 시스템 구축, (2) 미래 패러다임 변화에 맞게 위해평가의 혁신, (3) 빅데이터의 실시간 분석 및 인공지능 등 혁신적 도구를 위해평가에 적극 활용하여 과학적 근거자료의 자동 추출 및 분석을 통해 연구결과의 편향을 최소화하여 투명성을 확보하는 것을 주내용으로 하고 있다. 스마트 식품안전 측면에서 추진중인 과제들을 살펴보면 실시간 데이터 분석을 통해 조기 경보시스템을 마련하고 위해평가를 지원하기 위한 데이터 개방 시스템 구축, 데이터의 실시간 분석과 인공지능을 활용한 위해평가 개념 도입 등을 주요내용으로 하고 있다. 스마트 식품 안전관리에 새롭게

표 2. '식품안전 규제 연구수요' 연구주제 및 기대성과 (EFSA, 2019)

| 연구주제 | 기대성과 |
|--|---|
| 위해 및 안전성 평가에 새로운 평가 방법론 도입 및 새로운 지식 통합 | 새로운 데이터를 수집하고 사용 가능한 데이터를 효율적으로 재사용하여 패러다임 변화를 촉진 신기술로 생성된 지식을 위해평가 및 규제 프로세스에 통합하여 반영 |
| 데이터 기반 식품 시스템을 위한 도구 | 대중이 보유하고 있는 정보의 적절한 사용(클라우드 소싱)과 실시간 모니터링 등 신호가 될만한 정보를 적절히 활용할 수 있는 빅데이터 분석 플랫폼의 효과성 평가 위해평가 지원을 위해 다양한 영역에서 개방적이고 상호 운용 가능한 데이터 개방 공급망 모니터링 및 잠재적 식품 사기 예방 등을 위한 식품 공급사슬에서 블록체인 기술의 이점 연구 |
| 인공지능 및 머신러닝 | 빅데이터(사물 인터넷 등)의 실시간 분석에 기초한 머신러닝 기반 인공지능(머신 러닝 등)을 활용한 리스크 평가가 사회에 기여하는 가치를 폭넓히고 사회 전체와 협력 강화 데이터 증거 확보 프로세스(검색, 평가, 통합)의 효율성 제고 |

수집되는 정보를 기반으로 위해평가에도 그 정보를 적용하여 평가할 수 있는 시스템을 개발하는 것을 주요내용으로 하는 것을 확인할 수 있다.

(3) 국내 스마트 식품 안전관리 추진동향

우리나라는 기후변화 등에 따른 신종 위해물질의 출현과 1인 가구 및 노인 인구 증가, 비대면 중심

의 생활 소비형태 변화로 인해 발생하는 다양한 정책 수요에 부응하기 위하여 2021년 2월 관계부처 합동으로 제5차 식품안전관리 기본계획을 수립하였다(국무조정실, 2021). 4차 산업혁명의 주요 핵심기술을 적용하여 식품 안전관리를 고도화 하고자 하는 측면에서 가장 대표적으로 추진되는 것은 '스마트 HACCP 시스템 확산 추진'이다(그림 2). HACCP의



그림 2. 「제5차 식품안전관리 기본계획」(국무조정실, 2021) 일부 발췌

중요관리점(CCP) 모니터링시 자료기록 누락이나 실수로 인한 모니터링 미숙 등의 문제를 해결하기 위하여 안전관리 중요공정(가열, 금속검출 등)의 관리상황(온도, 시간 등)의 CCP 모니터링 데이터를 실시간 자동 기록하고 저장하도록 하여 자체 분석 및 추출이 가능하도록 업종별 스마트 공동 표준 소프트웨어를 개발하여 보급하고 스마트 공장 구축사업과 연계하여 2025년까지 확산하는 것을 목표로 하고 있다.

또한, 인공지능 기반 유통·수입 안전관리시스템을 구축하기 위하여 '지능형 농축수산물 안전관리 시스템'과 '지능형 수입식품 통합관리시스템'을 구축할 계획도 발표하였다(그림 2). 관계부처 연계 정보를 활용하여 데이터 기반으로 농축수산물의 부적합 예측모델 구축을 안전관리 선진화를 도모하고 수입식품의 위해도 기반 검사체계를 완성하여 해외 생산 및 제조업소를 관리할 수 있는 체계를 구축할 것을 발표하였다.

요약

4차 산업혁명과 더불어 기술의 발전 속도는 더욱 빨라지고 있는 추세에 있다. 4차 산업혁명의 주요 핵심이 되는 기술들을 중심으로 산업구조, 사회환경과 메가트렌드가 변화하고 있다. 특히, 코로나 팬데믹의 상황은 혁신기술의 적용을 촉진하고 사회 모든 분야에 걸쳐 적용될 것을 요구하고 있다. 식품 산업은 노동집약적으로 이루어져 있고 사람 간 접촉이 불가피한 특성이 있기 때문에 코로나와 같은 상황에서는 기술의존도가 더욱 높아져 식품의 제조 및 가공에 기계 및 자동화 도입은 필수적이라고 볼 수 있다. 앞서 국내를 포함한 주요국들의 스마트 식품 안전관리 추진동향을 살펴본 결과, 인공지능이나 사물인터넷 등 사람이 아닌 스마트한 기술적 접근을 통해 사고예방 및 예측력을 강화하는 방향으로 발전해가고 있다. 빠르게 변화하고 있는 식품산업에 발맞춰 식품 안전관리에 있어서도 혁신기술을 빠르게 도입하려는 노력을 기울이고 있으므로 향후 몇 년 뒤에는 지금보다 빠른 식품사고 원인규명과 예측 및 분석능력 증대를

통해 사후관리가 아닌 사전적 대응체제로 전환해 나갈 수 있을 것으로 기대한다.

References

- Ahumada O, Villalobos JR. Application of planning models in the agri-food supply chain: A review. *European J. Oper Res.* 196: 1-20 (2009)
- Atkinson RD, Ezell S. The manufacturing evolution: how AI will transform manufacturing and the workforce of the future. Available from: <https://itif.org/publications/2019/08/06/manufacturingevolution-how-ai-will-transform-manufacturing-and-workforce>. Accessed Nov. 2, 2020.
- Azuma RT. A survey of augmented reality. *Presence (Camb).* 6: 355-385 (1997)
- Clark J, Crandall, PG. Educational affordances of Google glass as a new instructional platform for foodservice training. *Journal of Foodservice Management & Education.* 13: 28-32 (2019)
- Desai PR, Desai PN, Ajmera KD, Mehta K. A review paper on oculus rift-a virtual reality headset. *Int J. Eng. Trends. Tech.* 13: 175-179 (2014)
- Detwiler D. Building the future of food safety technology. Academic press (2020)
- EFSA. Food safety regulatory research needs 2030. Available from: <https://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/pub/e170622>. Accessed Jun. 14, 2019.
- Food and Drug Administration. New era of smarter food safety blueprint. Available from: <https://www.fda.gov/food/new-era-smarter-food-safety/new-era-smarter-food-safety-blueprint>. Accessed Jul. 15, 2021.
- Kamilaris A, Fonts A, Prenafeta-Boldó, FX. The rise of blockchain technology in agriculture and food supply chains. *Trends Food Sci. Tech.* 91: 640-652 (2019)
- Kang HJ. Established smart disaster safety management response system based on the 4th industrial revolution. *Journal of Digital Contents Society.* 19: 561-567 (2018)
- Oh KH, Ahn YH, Koo JM, Kim JY, Kim BS, Jung JY. A cold chain food quality monitoring system for ubiquitous food logistics management. *Journal of Information Technology and Architecture.* 8: 328-386 (2011).
- Treiblmaier H. The impact of the blockchain on the supply chain: A theory-based research framework and a call for action. *Supply Chain Management.* 23: 545-559 (2018)
- World Economic Forum. Deep Shift Technology Tipping Points and Societal Impact (2015)
- World Economic Forum. Innovation with a purpose: Improving traceability in food value chains through technology innovations.



Available from: http://www3.weforum.org/docs/WEF_Traceability_in_food_value_chains_Digital.pdf. Accessed Jan. 22, 2019.

권소영. 미래 식품 스마트 안전관리 연구개발사업 기획연구 (2019)
김윤정. 인공지능 기술 발전에 따른 이슈 및 대응 방안 (2018)
국무조정실. 제5차 식품안전관리 기본계획 ('21~'25) (2021)
농림식품기술기획평가원. 농식품 과학기술 미래전망대회 발표집

(2017)

농림식품기술기획평가원. 농식품 제조공정·유통의 스마트 품질관리 기술, 농림식품 과학기술 육성 중장기 계획에 따른 핵심기술 상세기획 보고서 (2014)
중소기업청. 2012년 중소기업 기술로드맵 수립 사업 (2013)