

RESEARCH ARTICLE

ICT 기술을 접목한 양우 스마트 축산 연구 동향 및 기술 동향 분석

김민지¹, 홍순중², 김현태³, 조병관⁴, 이대현⁴, 신창섭⁵, 장경제³, 김용현⁶, 심성보⁷, 이홍구⁸, 모창연^{8,9*}

¹강원대학교 농업생명과학연구원, ²한국농수산대학교, ³경상국립대학교 생물산업기계공학과, ⁴충남대학교 바이오시스템기계공학과, ⁵충북대학교 바이오시스템공학과, ⁶전북대학교 생물산업기계공학전공, ⁷경북대학교 생물산업기계공학전공, ⁸강원대학교 스마트농업융합학과, ⁹강원대학교 바이오시스템기계공학전공

Analysis of Research Trends in Cattle Smart Livestock Utilizing ICT Technologies

Min-Jee Kim¹, Soon-Jung Hong², Hyeon Tae Kim³, Byoung-Kwan Cho⁴, Dae Hyun Lee⁴, Chang-Seop Shin⁵, Kyoung Je Jang³, Yong-Hyeon Kim⁶, Sung-Bo Shim⁷, Hong-Gu Lee⁸, Changyeun Mo^{8,9*}

¹Agriculture and Life Sciences Research Institute, Kangwon National University, 1 KNU Ave., Chuncheon, Gangwon, 24341, Republic of Korea

²Korea National University of Agriculture and Fisheries, Deokjin-gu, Jeonju, Jeollabuk-do, 54896, Republic of Korea

³Department of Bioindustrial Machinery Engineering, College of Agriculture and Life Sciences, Gyeongsang National University, Gyeongsangnam-do, Jinju, 52828, Republic of Korea

⁴Department of Biosystems Machinery Engineering, College of Agricultural and Life Science, Chungnam National University, 99 Daehak-ro, Yuseong-gu, Daejeon, 34134, Republic of Korea

⁵Department of Biosystems Engineering, College of Agriculture, Life & Environment Science, Chungbuk National University, 1 Chungdae-ro, Seowon-gu, Cheongju, Chungbuk, 28644, Republic of Korea

⁶Department of Bioindustrial Machinery Engineering, Jeonbuk National University, Jeonju 54896, Republic of Korea

⁷Department of Bio Industrial Machinery Engineering, Kyungpook National University, Daegu 41566, Republic of Korea

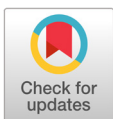
⁸Interdisciplinary Program in Smart Agriculture, College of Agriculture and Life Sciences, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Republic of Korea

⁹Department of Biosystems Engineering, College of Agriculture and Life Sciences, Kangwon National University, 1 KNU Ave., Chuncheon, Gangwon, 24341, Republic of Korea

*Corresponding author: cymoh100@kangwon.ac.kr

Abstract

This study introduces the transformative impact of advancements in information technologies such as artificial intelligence, the internet, the Internet of Things, big data, and cloud computing on the agricultural sector. It specifically focuses on the significance of smart livestock technology in the labor-intensive domain of livestock farming. The study conducts a comprehensive investigation into the current state and emerging trends of smart livestock technologies, with a particular emphasis on environmental management, specification



OPEN ACCESS

DOI: <https://doi.org/10.12972/jame.20230005>

Received: December 01, 2023

Revised: December 28, 2023

Accepted: December 30, 2023

Copyright: © 2023 Journal of Agricultural Machinery Engineering



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

management, and disease management within the livestock industry. Furthermore, the paper proposes improvements for the future development of smart livestock systems and suggests key technologies for future research in the field.

Keywords: Sensor Networks, Smart Livestock, Precision Livestock Farming, ICT

Introduction

전 세계적으로 인공지능(Artificial Intelligence; AI), 인터넷, 사물인터넷(Internet of Things; IoT), 빅데이터, 클라우드 컴퓨팅과 같은 정보 기술의 급속한 발전으로 인해 혁신적인 변화를 겪고 있다(Kim, 2019; Walter et al., 2017). 이러한 기술적 발전은 농업과 같이 노동 집약적인 산업에서 혁신적인 농업 기술 확보와 미래 식량 안보를 보장하기 위한 중요한 요소로 작용하고 있다(Cowie et al., 2020; Jung and Khoe, 2018; Lin et al., 2017; Tedeschi et al., 2021). 농업 분야 내의 축산 분야는 살아있는 동물을 사육, 도축한 후 축산물을 가공 및 유통하는 구조로 위해요인 등에 매우 취약하다(Berckmans, 2017). 축산 관리는 높은 인력 의존도로 인해 작업 효율이 저하되는 문제가 있어 정보 및 통신 기술(Information and Communications Technology; ICT)을 통합하여 축산 생산성을 향상시키고 체계적이며 정밀한 환경을 통제하고 관리하기 위한 스마트 축산 모델 구축에 관한 다양한 연구가 수행되고 있다(Berckmans, 2017; Koirala and Bhandari, 2019; Patel et al., 2014). 그러나 개발된 기술들이 현장에 미치는 효과 및 성과에 대해 정확한 자료수집과 분석이 이뤄지지 않고 있는 실정이다. 따라서 현재의 스마트 축산에 관한 연구 성과를 종합적으로 분석하고 핵심 기기의 국산화 정도를 조사하여, 향후 스마트 축산 관련 연구 개선방안과 추진 방향을 제시하는 것이 필요하다.

현재, 스마트 축사는 자동 제어 중심의 장비 개발 및 보급된 장비에서 발생하는 빅데이터를 활용한 정밀제어 및 의사결정 지원이 가능한 빅데이터 분석 플랫폼 시장으로 진화하고 있다. 양우 농가는 농장의 규모화나 전업화가 양돈, 양계 등의 타 축종에 비해 늦기 때문에 스마트팜 기술 활용도가 낮은 편이다(Kim et al., 2021).

따라서 본 연구에서는 지능형 ICT 기술을 활용한 양우 스마트 축산 국내외 연구 동향과 기술 개발 동향에 대해 알아보고자 한다. 이를 바탕으로 현장 활용 및 접목 가능한 미래 핵심 기술에 대한 제의를 하고자 한다.

Materials and Methods

축산 분야에서 ICT와 같은 첨단 기술은 크게 환경 관리, 사양 관리, 질병 관리, 경영 관리에 적용되고 있다. 따라서 본 연구에서는 조사 대상을 양우 스마트 축사 시설로 설정하여 환경 관리, 사양 관리, 질병 관리에서의 첨단 기술 적용 연구 동향을 조사하였다. ICT, IoT, IT, AI, 유비쿼터스(Ubiquitous), 스마트축산, 빅데이터 등을 주요 키워드로 설정하여 선행 연구 자료를 수집하였다. 또한 수집된 자료를 바탕으로 주요 스마트 축사 기술을 소개, 개발 및 적용에 따른 효율 분석 및 평가의 연구, 기술 동향 정보 분석을 실시하여 문제점에 대한 개선방안 및 미래 활용 가능성을 검토하였다.

Results and Discussion

환경 관리 기술

한국의 스마트 축사는 주로 환경 정보 센싱 기술을 중심으로 연구 및 기술 개발이 이루어지고 있다. 환경 관리 시스템은

축종에 상관없이 최적 환경을 제공하기 위해 전반적인 스마트축사 모니터링 및 제어 시스템의 관리자 인터페이스로 축사에서 수집되는 온도, 습도, 이산화탄소 데이터를 모니터링할 수 있는 기술 연구들이 진행되고 있다(Kim et al., 2013; Park et al., 2020; Park and Moon, 2016; Yoon and Chang, 2012). Kim et al.(2013)은 무선 센서 네트워크 기반에서의 축사 환경 모니터링 및 환경 개선 시스템을 개발하는 연구를 수행하였으며 최적 환경 유지를 위해 환경적 요인을 측정하여 상황에 맞게 제어노드를 구동하도록 구성하였다. 환경 정보 측정 노드는 먼지(DUST), 이산화탄소(CO₂), 휘발성유기화합물(VOCs), 암모니아(NH₃), 황화수소(H₂S), 온도(Temperature), 습도(Humidity), 풍향(Wind Direction), 풍속(Wind Speed) 센서를 하나의 노드로 구성한 축사 모니터링 시스템을 제안하였다. Park and Moon (2016)은 u-IT(Ubiquitous Information Technology)을 기반으로 한 낙농 통합 관리 시스템을 설계하여 축사 환경 자동 제어 시스템을 구축하였다. 축사 내의 온도와 습도를 MCU Core, ZigBee 수신, 사료 잔량 센서 수신, 축사 창문 및 천장 제어 릴레이, 이더넷 통신, 풍속, 강우 센서 수신 모듈, 그리고 UART 모니터링 통신 포트로 모니터링하고 조절하며 UART를 통해 환경 정보(온도, 습도, CO₂, 강우량, 풍속 등)를 수집하고 GPIO를 활용하여 천장, 창문, 팬 등을 자동 제어하도록 설계하였다. 또한 국내에서는 스마트폰을 활용하여 축사의 환경을 모니터링하고 축사 시설을 제어할 수 있는 스마트폰 어플리케이션 개발 연구가 수행되었다. 이러한 유비쿼터스 축사 시스템은 센서, CCTV, 축사 시설로부터 수집된 데이터 베이스를 바탕으로 축사 관리 서버가 자동으로 축사 시설을 제어할 수 있도록 설계되었다(Hwang and Yoe, 2012).

국외의 경우, 스마트 포그 컴퓨팅 시스템을 통해 온도, 습도, 가속도계 등 다양한 센서를 동시 제어할 수 있는 시스템을 설계하고 수집된 데이터를 기초로 하여 축사 내의 위험 상황 조기 감지 알람 서비스, 지능형 Edge-IoT 플랫폼 구축, 사용자 편의 음성 도우미 기능 등을 통해 단순 환경 제어를 넘어 의사 결정을 반영한 제어시스템 구축에 관한 다양한 연구가 수행되고 있다(Alonso et al., 2020; Caria et al., 2017; Taneja et al., 2019).

최근에는 육우 생산량의 증진과 작업자의 보건 환경 향상을 목적으로 축사 내부의 분진 발생량 예측 및 공기질 개선에 관한 연구가 진행되고 있다. 국내에서는 TMR 사료 배합 작업으로 인한 분진 발생량을 PTFE 멤브레인 필터를 사용하여 모니터링하는 시스템을 개발하고, 저온 플라즈마 램프를 활용하여 살균하는 방식 등을 통해 축사 내의 공기질을 향상시키는 연구가 수행되고 있다(Park et al., 2017; Taneja et al., 2019). 유럽의 경우, 농장에서 발생하는 메탄 발생 수준을 자발적으로 준수하도록 장려하고 메탄 배출량을 줄이기 위한 실시간 메탄 배출량 측정, 메탄 발생 예측 모델 및 모니터링 시스템 개발 연구가 진행되고 있다(Kumar et al., 2020; O'Grady and O'Hare, 2017). 또한 무인 축사 관리와 로봇 기술을 활용한 스마트 축사를 구축하기 위해 내외부 환경 관리 기술 개발과 더불어 자율주행을 통한 축사 내 사료 급이, 청소, 순찰 등 다양한 작업을 수행하는 로봇시스템을 개발하고 ICT 연동 축사 자동 사료 급여 및 다기능 작업 시스템 개발을 위한 연구도 수행 중에 있다(Brown, 2014; MAFRA, 2018).

사양 관리 및 질병 관리 기술

축산업에서 안정적인 사양 관리 기술은 가축의 사료, 환경, 건강 등에 대한 일련의 관리 활동을 포함하고 있으며 이를 통해 가축의 생산성 향상, 품질 유지 및 노동력 효율성을 목표로 한다(Kim et al., 2021). 가축의 사양 관리에는 사료 관리, 질병 관리와 데이터 기반 사양관리 연구들이 수행되고 있다.

사양 관리에서 중요한 부분 중 하나는 적절한 사료 급여 및 조절이다. 영양적인 요구와 목적에 맞게 사료의 구성과 양을 조절하여 가축의 건강과 생산성을 유지하는 것이 중요하다. 국외에서는 로봇 착유시스템과 제고 관리 시스템을 통한 기술적, 사회적 효과를 분석하는 연구가 2010년대 초반부터 수행되어왔으며 젖소와 비육우의 사료 자동 급여기와 자동 사료 배합기를 설계하여 에너지 소비 효율과 노동력 부하 감소, 도체 특성 및 소의 행동 패턴에 기초한 사료 급여기 설계, MFR (Mixing and Feeding Robot)을 통한 자동 사료 급여 방식 등의 연구가 있다(Butler et al., 2012; Oberschätzl et al., 2015; Tangorra and Calcante, 2018; Verdú et al., 2017). 국내에서도 최근 로봇시스템을 통한 자동화 급여 시스템 개발에 관한 연구가 늘어나

고 있는 추세이다. Ahn et al., (2017)은 무인이송로봇기반 자동 소 사료 공급 시스템 개발 연구를 수행하였다. 해당 공급 시스템은 우사를 이동하며 사료를 공급하고 배출 속도를 설정하여 사료 공급량을 조절할 수 있는 시스템으로 RFID(Radio-Frequency Identification) 칩에 미리 저장된 사료 배출 정보를 통해 알맞은 사료 급이가 가능하다. 국내 기업의 경우 자동으로 다양한 사료 성분을 필요한 비율로 혼합 및 제공하고 자율주행을 통한 사료 급이를 수행할 수 있는 지능형 무인 TMR 급이 로봇(Dawoon, Incheon, Republic of Korea)을 개발하였다. TMR 급이로봇은 송아지에 부착된 목걸이 또는 귀걸이의 RFID 칩을 활용하여 개별 소의 정보를 식별하여 최적의 급이를 제공할 수 있다고 보고되고 있다(Yong et al., 2021). 국외의 경우는 사료 급이 및 조절 이후 사료 섭취량과 증체율을 측정하기 위해서도 첨단 기술들이 활용되고 있으며 3D 이미지 기술을 이용한 젖소의 체중 증체율 및 신체 상태 점수 추정 모델 개발, 압력 센서와 온라인 데이터 분석을 통한 젖소의 반추, 사료 섭취 및 물 섭취를 자동 측정하는 모니터링 시스템 개발, 수유 행동 및 사료 섭취 행동 특성 구명을 통한 사료 공급 모니터링 시스템 개발 등의 연구를 수행하였다(Anglart, 2014, Zehner et al., 2012, Chizzotti et al., 2015)

영국에서는 소의 중량을 측정하기 위해 3D 카메라를 이용하여 식별 모델을 개발하고 185마리의 소에 대한 중량을 측정한 결과 6.1%의 오차 범위와 18 kg의 오차 범위로 증체량을 예측할 수 있다고 보고하였다(Hansen et al., 2018).

일반적으로, 축산 산업은 동시에 많은 개체를 효율적으로 관리해야 하므로 ICT 기반 기술과 객체 인식 기술을 이용한 사양 관리 기술 개발 연구가 수행되고 있다. 기존에는 RFID 센서와 비콘 센서 등을 통해 개체 관리를 하였지만 동물 복지 측면에서 문제가 지적되고 있어 최근에는 객체 인식 기술에 대한 연구가 늘어나고 있는 추세다(Kim et al., 2021). 객체 인식 기술은 소 식별 및 추적, 행동 분석을 통한 건강 상태 감시, 질병 관리, 출산 및 번식 관리 등의 다양한 목표를 달성하기 위해 적용되고 있다. Gaber et al. (2016)은 소의 코 이미지를 이용하여 소 개체 식별 기술 연구를 수행하였으며 소의 코 이미지에서 특징을 추출하기 위해 WLD 알고리즘을 활용하고 AdaBoost 알고리즘을 통해 소 개체를 99% 분류 정확도로 판별하였다. Zin et al. (2018)은 젖소 몸체의 무늬 패턴을 인식하여 DCNN 모델을 통해 소 개체 판별 모델을 개발하였다. Bello et al. (2020) 또한 젖소 몸체 무늬 패턴 이용 소 개체 인식 CNN 모델을 개발한 결과 92.59%의 정확도로 소 개체 식별이 가능하고 본 기술을 통해 절도와 같은 위험으로부터 보호할 수 있다고 보고하였다. 국내에서는 우사 내 카메라를 설치하여 영상 데이터를 획득하고 객체 인식 알고리즘 기반의 소의 특이 행동 검출 알고리즘을 개발하였으며 스마트 축사에서 수집되는 다양한 소의 생체 데이터를 활용하여 정상 개체와 질병 개체를 80% 이상의 정확도로 분류할 수 있다고 보고하고 있다(Chae and Cho, 2020; Lee et al., 2017). 또한 출산과 번식 관리를 위해서 객체 인식 기술이 시도되고 있으며 일본에서는 소의 이미지 처리 기술과 머신러닝 모델인 support vector machine 기반으로 소의 발정 행위 중 승가 행위를 97% 정확도로 예측 가능한 모델을 개발하였다(Noe et al., 2020). 중국에서는 다변량 시계열 데이터와 소 이상 행동 탐지를 통해 LSTM 모델과 CNN 모델을 결합한 NB-IoT 기반 발정 체크 시스템을 개발하였다(Ma et al., 2020). 가축의 질병은 생체 활동, 자세 변화, 사료 섭취 행위 등을 통해 질병 예측과 발정기, 수정 적기 등을 판단할 수 있다(Kim et al., 2021). 개체식별번호가 새겨진(귀표)에 온도 센서를 부착하거나 경구 투여 방식의 바이오센서를 이용하여 축우의 체온을 실시간으로 측정하고 모니터링하면서 유방염, 구제역 등과 같은 질병에 대응할 수 있는 기술이 연구되었다(Islam et al., 2020; Kim et al., 2019).

Conclusion

본 논문에서는 ICT 기술을 접목한 양우 스마트 축산 연구 및 기술 동향을 살펴보았다. 양우 스마트 축사의 환경 관리 ICT 기술은 환경 모니터링 시스템과 환경 관리 로봇으로 분류되어 연구 개발이 이루어지고 있다. 양우 스마트 축사는 환경 센싱 모니터링 기술에 중점을 두어 선진국 수준의 기술력을 보유하고 있다. 그러나 다목적 축사 관리 로봇은 환경 관리 시스템에 비해 기술적으로 아직 미흡하여 노동력 절감을 위해 자율 주행 기술 및 사육화 연구가 더욱 지속되어야 한다.

국내외에서 연구 중인 사양 관리 및 질병 관리 ICT 및 IoT 기술은 현재 도입 및 구축 단계에 있지만 건강하고 품질이 우수

한 축우 생산이 가능하기 위해서는 각 개체 별 사양 관리 기술 개발이 필요하다. 최근에는 RFID 칩과 다양한 센서 기반의 사양 관리 기술에서 영상 기반 객체 인식 및 컴퓨터 비전 기술을 결합한 사양 관리 시스템 개발에 대한 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 정확한 개체 관리를 위한 개체인식 기술, 개체 위치 식별 기술, 생체 정보 측정 기술, 행동 패턴 예측 기술들의 고도화가 필요하며 각 요소 기술이 유기적으로 접목됨으로써 스마트 사양관리 기술 보급이 가능할 것으로 보인다.

이처럼 스마트 축사 시스템을 구축하기 위해서는 수집된 데이터 관리가 중요하므로 데이터 수집 플랫폼 구축과 이를 축산농사에서 활용할 수 있는 원격 측정 및 분석 시스템의 개발이 필요하다. 스마트 축사 시스템 구축을 위해 이전의 국외 기술과 시스템을 그대로 국내 축사에 적용하거나 수입 부품을 사용할 경우 운용 및 유지 보수 비용과 부품 수급 문제가 발생할 수 있다. 따라서, 국내 스마트 축사 시스템 설계 관련 표준화 방안과 부품 국산화를 통해 운용 및 유지 보수 비용을 줄이고 원활한 사후 관리가 요구되며 스마트 축사[서 기기, 설비와 함께 데이터 수집도 중요한 요소이기 때문에 국가 차원에서 데이터 수집과 그에 따른 소유 및 공유에 대한 체계적인 제도를 마련하여 방대한 데이터 양을 효과적으로 관리하고 활용한다면 스마트 축사 시스템의 생산성과 효율성을 극대화할 수 있을 것이다.

Acknowledgements

본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 지역지능화혁신인재 양성사업의 연구결과로 수행되었음 (IITP-2023-RS-2023-00260267)

References

- Ahn SS, Lee YC, Yoo JH, Lee YJ. 2017. Development and verification of the automated cow-feeding system driven by AGV. *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, 18(3), 232–241, <https://doi.org/10.5762/KAIS.2017.18.3.232> [in Korean]
- Alonso RS, Sittón-Candanedo I, García Ó, Prieto J, Rodríguez-González S. 2020. An intelligent Edge-IoT platform for monitoring livestock and crops in a dairy farming scenario. *Ad Hoc Networks*, 98, 102047. <https://doi.org/10.1016/j.adhoc.2019.102047>
- Anglart D 2014. Automatic estimation of body weight and body condition score in dairy cows using 3D imaging technique, Swedish University of Agricultural Sciences Faculty of Veterinary Medicine and Animal Science, Swedish University, Sweden
- Bello RW, Talib AZ, Mohamed ASA, Olubummo DA, Ootobo FN. 2020. Image-based individual cow recognition using body patterns. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 11(3), 92–98. <https://doi.org/10.14569/ijacsa.2020.0110311>
- Berckmans D. 2017. General introduction to precision livestock farming. *Animal Frontiers*, 7(1), 6–11. <https://doi.org/10.2527/af.2017.0102>
- Brown E. 2014. Lightweight DBMS guides Linux-based cow feeding robot. Accessed in <https://linuxgizmos.com/lightweight-dbms-guides-linux-based-cow-feeding-robot/> on 29 October 2014
- Butler D, Holloway L, Bear C. 2012. The impact of technological change in dairy farming: robotic milking systems and the changing role of the stockperson. *Journal of the Royal Agricultural Society of England*, 173(January), 1–6.
- Caria M, Schudrowitz J, Jukan A, Kemper N. 2017. Smart farm computing systems for animal welfare monitoring. *2017 40th International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics, MIPRO 2017 - Proceedings*, 152–157. <https://doi.org/10.23919/MIPRO.2017.7973408>

- Chae JW, Cho HC. 2020. Detecting abnormal behavior of cattle based on object detection algorithm. *Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers*, 69(3), 468–473. <https://doi.org/10.5370/KIEE.2020.69.3.468>. [in Korean]
- Chizzotti ML, Machado FS, Valente EE, Pereira LG, Campos MM, Tomich TR, Coelho SG, Ribas MN. 2015. Technical Note: Validation of a system for monitoring individual feeding behavior and individual feed intake in dairy cattle. *Journal of Dairy*. 98:3438–3442. doi:10.3168/jds.2014-8925
- Cowie P, Townsend L, Salemin K. 2020. Smart rural futures: Will rural areas be left behind in the 4th industrial revolution?. *Journal of Rural Studies*, 79(August), 169–176. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2020.08.042>
- Gaber T, Tharwat A, Hassanien AE, Snasel V. 2016. Biometric cattle identification approach based on Weber's Local Descriptor and AdaBoost classifier. *Computers and Electronics in Agriculture*, 122, 55–66. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2015.12.022>
- Hwang JH, Yoe H. 2012. SmartPhone-based Application Development for the Implementation of the Ubiquitous Livestock Barn. *Smart Media Journal*, 1(1), 53–57. [in Korean]
- Islam MA, Lomax S, Doughty AK, Islam MR, Clark CEF. 2020. Automated monitoring of panting for feedlot cattle: Sensor system accuracy and individual variability. *Animals*, 10(9), 1–20. <https://doi.org/10.3390/ani10091518>
- Jung JS, Khoe KI. 2018. 6th Industrialization of Agriculture Utilizing the Technology of 4th Industrial Revolution. *Journal of Convergence Information Technology*, 8(5), 211–217. <https://doi.org/10.22156/CS4SMB.2018.8.5.211>. [in Korean]
- Kim G. 2019. A Case Study on Smart Concentrations Using ICT Convergence Technology. *International Journal of Advanced Smart Convergence*, 8(1), 159–165. <https://doi.org/10.7236/IJASC.2019.8.1.159>. [in Korean]
- Kim HK, Moon SJ, Lee JD, Choi SOC. 2013. Cattle Shed Management System Based on Wireless Sensor Network with Bio and Environmental Sensors. *The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences*, 38(7), 573–586. <https://doi.org/10.7840/kics.2013.38C.7.573>. [in Korean]
- Kim H, Min Y, Choi B. 2019. Real-time temperature monitoring for the early detection of mastitis in dairy cattle: Methods and case researches. *Computers and Electronics in Agriculture*, 162, 119–125. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.04.004>
- Kim MJ, Mo C, Kim HT, Cho BK, Hong SJ, Lee DH, Shin CS, Jang KJ, Kim YH, Baek I. 2021. Research and Technology Trend Analysis by Big Data-Based Smart Livestock Technology: a Review. *Journal of Biosystems Engineering*, 46(4), 386–398. <https://doi.org/10.1007/s42853-021-00115-9>
- Koirala A, Bhandari P. 2019. Impact of Climate Change on Livestock Production. *Nepalese Veterinary Journal*, 36(January 2018), 178–183. <https://doi.org/10.3126/nvj.v36i0.27778>
- Kumar P, Singh A, Kumar D. 2020. An overview of working models and approaches to climate smart livestock farming. *International Journal Of Life Sciences & Applied Sciences*, 2(1), 28–36. www.ijlsas.com
- Lee W, Kim SH, Ryu J, Ban TW. 2017. Fast detection of disease in livestock based on deep learning. *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, 21(5), 1009–1015. <https://doi.org/10.6109/jkiice.2017.21.5.1009> [in Korean]
- Lin YP, Petway JR, Anthony J, Mukhtar H, Liao SW, Chou CF, Ho YF. 2017. Blockchain: The evolutionary next step for ICT e-agriculture. *Environments*, 4(3), 50. <https://doi.org/10.3390/environments4030050>

- Ma N, Pan L, Chen S, Liu B. 2020. NB-IoT estrus detection system of dairy cows based on LSTM networks. *IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*, 1-5, PIMRC, 2020-Augus. <https://doi.org/10.1109/PIMRC48278.2020.9217214>
- Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs(MAFRA). 2018. ICT multi-functional automatic feeding system. [in Korean]
- Noe SM, Zin TT, Tin P, Hama H. 2020. Detection of Estrus in Cattle by using Image Technology and Machine Learning Methods. *2020 IEEE 9th Global Conference on Consumer Electronics*, 320–321. <https://doi.org/10.1109/GCCE50665.2020.9291987>
- O’Grady MJ, O’Hare GMP. 2017. Modeling the smart farm. *Information Processing in Agriculture*, 4(3), 179–187. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2017.05.001>
- Oberschätzl R, Haidn B, Peis R, Reiter K, Bernhardt H. 2015. Automatic feeding systems for cattle - A study of the energy consumption of the techniques. *XXXVI CIOSTA CIGR V Conference, Saint Petersburg, the Russian Federation*, 1–9.
- Park G, Kwon K, Lee I, Yeo U, Lee SY, Kim JG. 2017. Dust Concentration Monitoring in Korean Native Cattle Farm according to Sampling Location and TMR Process. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, 59(4), 75–83. <https://doi.org/10.5389/KSAE.2017.59.4.075>. [in Korean]
- Park J, Kim, JY, Kim JH, Bang JH, Jung SH, Sim, CB. 2020. A Study on Smart Korean Cattle Livestock Management Platform based on IoT and Machine Learning. *Journal of Korea Multimedia Society*, 23(12), 1519–1530. [in Korean] <https://doi.org/10.9717/kmms.2020.23.12.1519>
- Park Y, Moon J. 2016. Smart Dairy Management System Development Using Biometric/Environmental Sensors and Farm Control Gateway. *IEMEK Journal of Embedded Systems and Applications*, 11(1), 15–20. [in Korean] <https://doi.org/10.14372/iemek.2016.11.1.15>
- Patel SJ, Kumar R, Chaudhari GM, Sawarkar SW, Patil SS. 2014. Application of Information and Communication Technology (ICT) in Livestock Sector- a Review. *The Indian Journal of Veterinary Science*, 2(2), 14–20. <http://www.ijvs.info/index.php/ijvs/article/view/34>
- Taneja M, Jalodia N, Byabazaire J, Davy A, Olariu C. 2019. SmartHerd management: A microservices-based fog computing–assisted IoT platform towards data-driven smart dairy farming. *Software: Practice and Experience*, 49(7), 1053–1193. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/spe.2704>
- Tangorra FM, Calcante A. 2018. Energy consumption and technical-economic analysis of an automatic feeding system for dairy farms: Results from a field test. *Journal of Agricultural Engineering*, 49(4), 228–232. <https://doi.org/10.4081/jae.2018.869>
- Tedeschi LO, Greenwood PL, Halachmi I. 2021. Advancements in sensor technology and decision support intelligent tools to assist smart livestock farming. *Journal of Animal Science*, 99(2), 1–11. <https://doi.org/10.1093/jas/skab038>
- Verdú M, Bach A, Devant M. 2017. Effect of feeder design and concentrate presentation form on performance, carcass characteristics, and behavior of fattening Holstein bulls fed high-concentrate diets. *Animal Feed Science and Technology*, 232, 148–159. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2017.07.003>
- Walter A, Finger R, Huber R, Buchmann N. 2017. Smart farming is key to developing sustainable agriculture. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 114(24), 6148–6150. <https://doi.org/10.1073/pnas.1707462114>
- Yong HI, Kim T, Cha JY, Kang M, Kim MR, Choi Y. 2021. Smart Robotization Strategy Technology for Food Science of Animal Resources. *Food Science of Animal Resources and Industry*, 10(2), 53–67. [in Korean]

- Yoon M, Chang JW. 2012. Design and Implementation of an Advanced Cattle Shed Management System using a Infrared Wireless Sensor nodes and Surveillance Camera. *The Journal of the Korea Contents Association*, 12(10), 22–34. <https://doi.org/10.5392/jkca.2012.12.10.022>. [in Korean]
- Zehner N, Niederhauser JJ, Nydegger F, Grothmann A, Keller M, Hoch M, Haeussermann A, Schick M, 2012, July. Validation of a new health monitoring system (RumiWatch) for combined automatic measurement of rumination, feed intake, water intake and locomotion in dairy cows. *In Proceedings of international conference of agricultural engineering CIGR-Ageng*, (p. C0438).
- Zin TT, Phyo CN, Tin P, Hama H, Kobayashi I. 2018. Image Technology based cow identification system using deep learning. *Lecture Notes in Engineering and Computer Science*, 320–323.