



융합연구리뷰

Convergence Research Review

메디푸드 개발 및 스마트팜 생산 기술 동향

노주원(한국과학기술연구원 천연물연구소 책임연구원)

김호연(한국과학기술연구원 천연물연구소 책임연구원)

스마트 축산기술 및 연구 동향

김세한(한국전자통신연구원 기술기획부장)



CONTENTS

- 01** 편집자 주
- 03** 메디푸드 개발 및 스마트팜 생산 기술 동향
- 35** 스마트 축산기술 및 연구 동향
- 69** 국가 R&D 현황 분석

융합연구리뷰

Convergence Research Review

2024 February Vol.10 No.03

발행일 2024년 3월 20일

발행인 임혜원

발행처 한국과학기술연구원 미래융합전략센터
02792 서울특별시 성북구 화랑로 14길 5
Tel. 02-958-4987 | <https://kist.re.kr/fcsc>

펴낸곳 공간기획 Tel. 044-863-0978

편집자주

메디푸드 시장 활성화, 스마트팜 생산기술로 활기를 찾다.

메디푸드(특수의료용도식품)는 음식의 정상적인 섭취 및 소화가 어려운 환자의 식사를 대신할 수 있도록 제조된 식품을 뜻한다. 우리나라에서는 인구고령화와 더불어 코로나19 팬데믹으로 인해 건강 식단의 중요성을 인지하게 되었고, 이에 따라 메디푸드의 수요도 꾸준히 증가하고 있다.

농림축산식품부와 식품의약품안전처에서도 메디푸드 시장을 활성화하기 위한 계획 및 제도 개선 등을 시행하고 있다. 정부부처의 지원은 향후 우리나라의 메디푸드 시장 경쟁력에도 큰 영향을 미칠 것으로 전망되는데, 메디푸드의 원료 생산을 위한 스마트팜 생산기술 개발이 특히 중요하다.

메디푸드의 특수한 목적에 부합하기 위해서는 기존에 없던 새로운 특성의 작물을 생산해야 한다. 이를 위해서는 전통 방식의 농업에서 더 나아가, 정보·통신·생명·유전·환경공학 등 다양한 첨단기술의 융·복합을 통한 스마트팜 내에서 원료 생산이 이루어져야 할 것이다.

본 호 1부에서는 메디푸드 개발과 스마트팜 생산기술 동향을 다룬다. 메디푸드가 우리의 건강과 식생활에 어떠한 변화를 가져오는지 탐구하고, 이러한 변화를 더욱 빠르게 이끌 스마트팜 생산기술에 대해 알아본다.

스마트 축산기술, 정보통신과 인공지능의 융합으로 기회를 찾다.

우리나라 축산업이 맞이한 위기는 결코 단순하지 않다. 기후변화로 인한 폭우와 가뭄은 가축의 생활 환경에 영향을 미치고, 매년 새롭게 발생하는 전염병은 가축과 사육 농가 모두에게 고통을 준다. 물가상승 역시 농가에 타격을 입힌다. 농림부에 따르면 우리나라의 배합사료 자급률은 20% 수준으로, 대부분을 수입에 의존하고 있다. 사료의 가격이 변동하면 그대로 축산물 생산 단가에 영향을 미치는 구조다.

이러한 상황 속에서 저렴한 수입산 축산물이 증가하고, 축산 선진국 대비 우리나라의 축산기술 경쟁력이 저하되는 것은 우리 국민의 안전한 먹거리 확보를 위협하는 결과를 낼 것이다. 우리나라 축산업의 복합적 위기를 돌파하고 세계 시장에서도 경쟁력 있는 산업으로 육성하기 위해서는 융합이 필수적이다. 최근에는 디지털트윈과 인공지능, 빅데이터 등 ICT 기술을 축산 분야에 접목하는 연구가 활발하게 진행되고 있다.

본 호 2부에서는 이러한 ICT 융합기술에 초점을 맞추어, 축산 데이터 활용, 질병 탐지 및 환경관리 기술, 인공지능 활용 기술, 통합 플랫폼 기술 및 표준화 등의 최신 동향을 살펴본다.



융합연구리뷰
Convergence Research Review

2024 March Vol. 10

No. 03



1

메디푸드 개발 및 스마트팜 생산 기술 동향

노 주 원

한국과학기술연구원 천연물연구소 책임연구원

김 호 연

한국과학기술연구원 천연물연구소 책임연구원

1. 메디푸드 개발 및 스마트팜 생산 기술 동향

노 주 원 (한국과학기술연구원 천연물연구소 책임연구원)

김 호 연 (한국과학기술연구원 천연물연구소 책임연구원)

I. 서론

최근 국내에서 코로나19 팬데믹 확산 이후 메디푸드의 수요가 증가하면서 메디푸드시장이 활성화되고 있다. 2022년 메디푸드 생산량과 생산액은 최근 5개년 기준 최고치로 추정되며, 수술이나 질환 치료를 위해 입원한 환자뿐 아니라 고령사회로 진입하면서 간편영양관리에 대한 역시 증가하면서 관련 기업들의 생산규모도 확대되었다. 이와 함께, 농림축산식품부가 2019년에 발표한 메디푸드 시장육성계획과 2020년 식품의약품안전처에서 공시한 메디푸드 관련 개편안 등 우리나라 정부지원도 향후 국내 메디푸드 시장에 큰 영향을 미칠 것으로 전망된다.

본 리뷰에서는 국내외 메디푸드 개발 및 시장동향과 관련 산업 전망을 예측하고 메디푸드 제품의 기능성 식물성 소재(원료)를 생산하기 위한 스마트팜 생산기술 개발에 대한 동향도 함께 다루고자 한다.

1. 메디푸드의 개념

우리나라에서 메디푸드는 '정상적으로 섭취, 소화, 흡수 또는 대사할 수 있는 능력이 제한되거나 손상된 환자 또는 질병이나 임상적 상태로 인해 일반인과 생리적으로 특별히 다른 영양요구량을 가진 사람의 식사의 일부 또는 전부를 대신할 목적으로 이들에게 경구 또는 경관급식을 통해 공급할 수 있도록 제조·가공된 식품'으로 정의하고 있다.

우리나라는 2020년 11월 26일, 메디푸드(특수의료용도식품)를 독립된 식품군으로 분류하고 종전의 환자용식품을 당뇨·신장질환·장질환 등 질환별로 세분화하였다. 메디푸드는 질환별 영양요구 특성에 맞게 영양성분 함량을 조절하는 등의 방법으로 제조·가공하여 환자의 식사관리 편리를 제공하는 식사 대체 목적의 일반식품으로 질병의 예방 및 치료를 목적으로 하는 제품이 아니다. 특히, 건강에 유용한 효능이 있는 특용작물들을 이용하여 건강보조식품을 메디푸드로 제품화하려는 문의가 많아 우리나라 식품의약품안전처(식약처)는 아래와 같이 특수의료용도식품의 범위를 지정하고 있다.

그림 1. 특수의료용도식품에 해당하지 않는 항목

< 다음의 것은 '특수의료용도식품'에 해당하지 않음 >

- **질병의 치료나 예방** 목적 → 의약품
- **특정 영양성분 섭취** 목적(예, 비타민, 무기질) → 의약품, 건강기능식품
- **생리활성 증진** 목적(예, 혈행개선, 노화예방, 피로해소) → 의약품, 건강기능식품
- **특정 성분 강화 또는 제거**(예, 고칼슘, 무유당) → 건강기능식품, 일반식품(영양강조표시)
- **일반적 식습관 개선** 사항에 해당하는 것(예, 저염, 저당) → 일반식품(영양강조표시)
- 특정 성분을 함유한 일반식품(예, **고등어-DHA**)이 이와 **관련된 질병(예, 뇌질환)의 관리에 효과가 있는 것으로 표방하는 것**

* 출처: 식품의약품안전처 (2020)

2. 메디푸드의 개발의 필요성

전 세계적으로 인구고령화 및 개인맞춤형 수요가 증가하면서 메디푸드의 개발의 필요성이 더욱더 대두되고 있다. 특히, 코로나19 팬데믹 이후에 건강관리에 대한 개인 및 사회적 인식이 높아졌고 만성질환자뿐 아니라 일반인도 건강한 삶을 위한 식단관리의 중요성을 인식하기 때문에 관련 규제가 신설되거나 완화되는 등 관련 산업이 꾸준한 성장세에 있다.

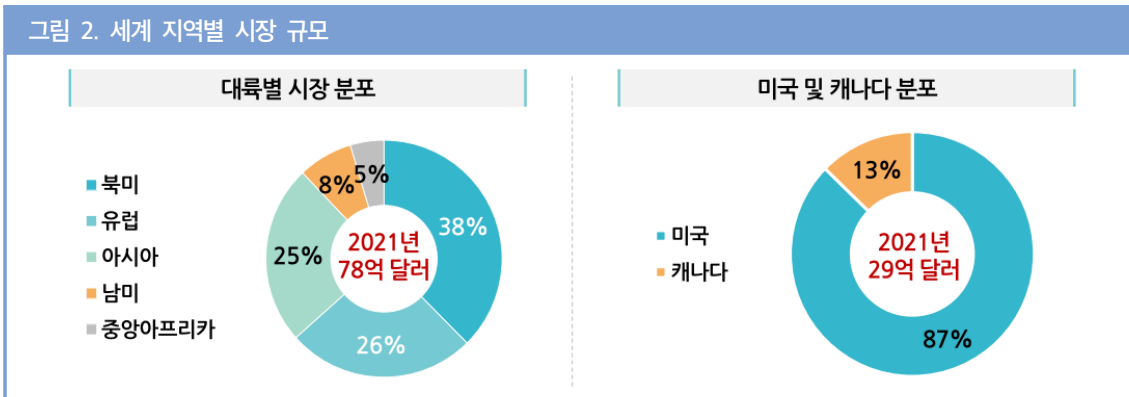
특히, 현대사회에서 당뇨, 신장질환 등 만성질환 증가로 개인맞춤형 환자용식품 및 메디푸드에 대한 소비자 관심과 수요가 지속적으로 증가하고 있다. 이에 따라 식약처는 다양한 형태의 메디푸드를 개발 공급하기 위한 기반을 마련하고, 질환별 맞춤형 관리체계를 구축하기 위해 식품 분류체계와 기준 규격에 대한 제도를 합리적으로 개선하고 관련 산업체에 대한 이해와 지원이 필요하다고 분석된다.

II. 메디푸드 개발 및 시장 동향

1. 국외 메디푸드 개발 및 시장 동향

국내의 특수의료용도식품에 해당하는 용어로 Medical Foods(미국), Foods for Special Medical Purposes(코덱스, 유럽연합, 호주&뉴질랜드), 특수용도식품(일본) 등을 사용하고 있다. 한국농수산물유통공사(aT)의 식품산업통계정보에 의하면 2021년 세계 메디푸드 시장 규모는 2020년 74억 달러(약 10조 3천억원) 대비 4.1% 증가한 78억 달러로 나타났으며, 이는 2017년 67억 달러(약 8조 8천억원) 대비 16.3% 늘어났다. 또한, 이러한 메디푸드 시장은 대사증후군과 만성질환자의 증가에 따라 연평균 7.95%의 성장률을 보이며 확대될 것으로 전망된다.

그림 2. 세계 지역별 시장 규모



* 출처: 농림식품기술기획평가원 (2022)

1.1. 미국

미국은 Medical Foods(의료용 식품)를 식품으로 관리하고 있으며, 식품의약국(FDA) 허가약품법에는 ‘과학적 원칙에 근거한 의학적 평가를 거쳐 설정된 영양 요구량에 따라 특정 질병이나 상태에서 식이조절을 하기 위한 목적으로 의사의 감독하에 섭취하거나 장관으로 투여하도록 가공된 식품’으로 정의하고 있다. 미국은 1972년 이전에는 주로 유전성 대사 질환자를 관리하기 위한 의약품으로 관리되었으나, 1973년부터는 Medical Foods 라는 공식적인 정의가 만들어지고 현재는 중환자 및 고령자 관리에 있어 생명유지 양식의 범위까지 다양한 형태로 시판되고 있다. Medical Foods에 대해 별도의 판매 전 승인이나 등록절차가 없는 대신 제조시설 등록 및 감사프로그램, 식품라벨링(Labeling) 등을 통해 전반적으로 관리받고 있으며, Medical foods를 위한 자율준수프로그램(Medical Foods Program-Import and Domestic)에 따라 제조과정을 감시하고 위생에 대한 검사를 실시한다.

글로벌 의료용 식품시장에서 미국이 차지하는 비중은 매우 높으며, 2021년 기준 약 25억 달러 수준으로 나타난다. 이후 2021년부터 2028년까지 연평균 4.3%의 성장률을 보이며 성장할 것으로 보이며, 미국 내 고령화와 당뇨병 등 대사성질환 유병률이 크게 증가하여 의료용 식품시장의 수요는 지속될 것으로 전망된다. 의료용 식품 중 가장 큰 점유율을 차지하는 품목은 신진대사 환자용 식품으로, 미국 의료용 식품시장의 약 40%를 차지하고 있으며 연평균 10%의 성장세를 나타내고 있다.

미국의 의료용 주요 식품 형태는 주로 분말, 젤, 바, 액상형태의 제조 가공식품이며 다양한 글로벌 식품회사에서 판매 중이다.

그림 3. 미국의 의료용 주요 식품 형태

타겟 질환	제조사	설명	이미지
당뇨병	Nestle Healthcare	당뇨병 환자에게 균형 잡힌 영양을 제공하는 음료로 혈당치를 관리 하는데 도움이 되도록 고품질 단백질, 탄수화물, 25개의 비타민과 미네랄의 영양소가 포함된 제품	
신장질환	Nestle Healthcare	신장질환자의 영양보충을 위해 단백질, 비타민, 미네랄이 포함된 제품	
당뇨병 및 고혈당증	Nestle Healthcare	당뇨병이나 고혈당증 환자의 혈당 조절과 영양공급을 위해 튜브식으로 만들어진 제품이며 소화작용을 도와주는 프리바이오틱 섬유소인 PREBIO가 포함된 제품	
당뇨병	Abbott Laboratories	당뇨병 환자들을 위한 대용식으로, 혈당 지수를 낮추고 소화되는 속도를 늦춰 혈당 수치의 상승을 최소화 시키는 역할을 함	
유아용 보충제		단백질 섭취가 어려운 유아들을 위한 경구 및 경관급식용 아미노산 보충제	

* 출처: 한국농수산식품유통공사 (2018)

1.2. 유럽

유럽의 특정의료용도식품(FSMPs)은 미국과는 달리 의료진의 처방에 의해서만 구매할 수 있으며, 처방전이 있는 경우 의료보험 적용이 가능하다. 유럽의 의료식품 시장 규모는 2008년에서 2012년 사이 감소 추세를 보였으나, 2017년에 2.5%의 연평균 성장률을 보이며 성장세로 전환되었으며, 서유럽 의료식품 시장은 2017년에서 2027년 사이에 3.3%의 연평균 성장률을 기록할 것으로 예측된다(출처: Berkely Market Analysts, 2018). 2021년 기준, 유럽의 FSMPs 시장 규모는 약 56억 달러로 2030년에는 72억 달러의 규모를 가질 것으로 전망된다.

FSMPs 제조업체를 포함한 모든 식품사업자는 관청으로 신고하여 업체를 등록해야 하며 효율적인 공식 모니터링을 위해 해당 식품이 판매되고 있는 회원국에 신고하여야 함. 유럽의 의료식품 시장도 유럽연합(EU)의 28만 5천만 명이 넘는 노령 인구의 증가와 함께 더욱 성장할 것으로 보인다.

유럽의 의료용 주요 식품 형태 역시 미국과 유사하여 주로 분말, 젤, 바, 액상형태의 제조 가공식품이며 다양한 타겟 질환을 대상으로 시장에서 판매 중이다.

1.3. 일본

일본의 특별용도식품제도는 일본의 건강증진법 제26조 규정에 따라 특별한 용도(유아용, 영아용, 임신부용, 병자용 등)에 적합하다는 표시를 하려면 소비자청 장관의 허가를 받아야하는 제도이다. 특별용도식품의 허가제도는 일본 후생노동성이 관리하였으나, 2009년 9월1일 부로 소비자청으로 업무가 이관되었다.

일본의 경우 의료용 식품은 병자용식품과 연하곤란자용식품으로 나누어 볼 수 있으며, 고령화율이 높은 특성상 의료용 식품 시장도 꾸준히 성장하고 있는 것으로 분석된다. 일본의 특별용도식품 시장 규모는 2015년 2억 5천 달러 대비 2021년 시장규모는 약 268% 증가한 약 9억 2천만 달러로 나타난다.

일본은 이미 초고령 사회에 진입하여 고령자 비율이 지속적으로 증가하고 있어 환자/고령자용 식품 시장은 더욱 성장할 것으로 전망된다. 일본에서 생산되는 연하식의 약 90%는 병원 및 고령자 시설에서 사용 중이며, 약 10%는 재택환자 및 고령자용으로 슈퍼마켓, 드럭스토어 등에서 판매되고 있다.

그림 4. 일본의 의료용 주요 식품 형태

타겟 질환	제조사	설명	이미지
탈수환자	오츠카제약	물에 녹여서 사용하는 파우더 타입으로, 전해질과 당질의 배합밸런스를 고려한 경구보수액분말임. 경도~중도의 탈수상태 환자가 수분, 전해질을 보충, 유지하는데 적합한 환자용식품	
유당불내증	메이지	무유당 식품. 유청단백질을 효소분해하고 유당을 함유하지 않아 지방질, 탄수화물, 비타민, 미네랄을 섭취할 수 있는 식품	
위장성대장염	기린 홀딩스	위장성대장염 환자용 식품. 발아한 보리로 조제한 경증 및 중증 위장성대장염 환자를 위한 식품으로 변의 상태를 개선해줌	
영양실조	닛산오일리오 그룹	단백질이 전혀 함유되지 않은 에너지 보충식품. 비타민, 철, 아연 등을 보충할 수 있는 환자용음료	
알러지	유키지루시빈 스톡	알레르겐, 유당 제거식품. 자체 개발한 효소분해기술을 사용해 알레르기의 원인인 단백질을 분해한 식품	



* 출처: 한국농수산식품유통공사 (2018)

2. 국내 메디푸드 개발 및 시장 동향

2.1. 메디푸드(특수의료용도제품) 분류

우리나라 식품의약품안전처고시 제 2020-114호 개정고시를 통하여 개편된 분류체계는 환자를 대상으로 하는 식품시장 확대에 대응하여 중분류인 특수의료용도식품을 대분류로 확대하고 하위에 표준형 영양조제식품, 맞춤형 영양조제식품, 식단형 식사관리식품 등 3개의 중분류와 11개의 식품유형으로 세분화하였다.

그림 5. 국내 메디푸드(특수의료용도제품) 분류

구분	표준형 영양조제식품	맞춤형 영양조제식품	식단형 식사관리식품
형태	액상, 페이스트, 분말 (바로 마시거나, 물에 타서 마시는 형태)		가정간편식 형태의 제품 (도시락, 밀키트)
대상	식품유형으로 지정된 4개 질환 및 균형영양, 열량공급	특정 영양요구가 있는 모든 질환대상 제조 가능	식품유형으로 지정된 질환 (당뇨, 신장질환)
영양기준	식약처가 정한 표준기준	제조사 자율 설정(실증)	식약처가 정한 표준 기준
예시			 질환맞춤 밀키트
특수의료용도식품			
11-1 표준형 영양조제식품		(1) 일반 환자용 균형영양조제식품	
		(2) 당뇨환자용 영양조제식품	
		(3) 신장질환자용 영양조제식품	
		(4) 장질환자용 단백질수분해 영양조제식품	
		(5) 열량 및 영양공급용 식품	
		(6) 연하곤란자용 점도조절 식품	
11-2 맞춤형 영양조제식품 (신설)		(1) 당뇨환자용 식단형 식품	
		(2) 신장질환자용 식단형 식품	

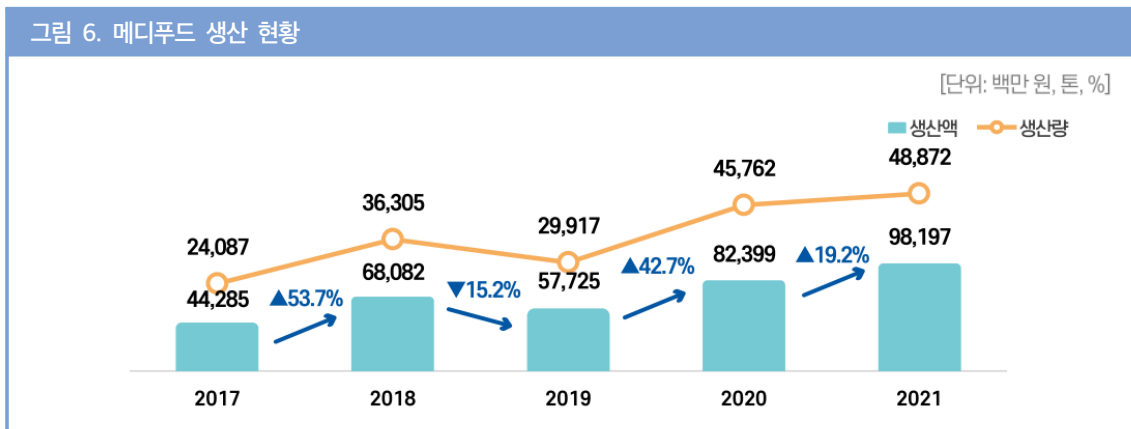
* 출처: 식품의약품안전처 (2020)

2.2. 국내 메디푸드 산업(시장)현황

우리나라 정부 정책에 관련 법규 개선에 따라 영양성분 함량에 민감한 만성질환자가 신경쓰지 않고 식사할 수 있도록 ‘식단형 식사관리 식품’ 유형을 신설하고, 환자용 식품의 유형을 3개의 질환(당뇨, 신장질환, 장질환)별로 세분화하는 내용의 기준 및 규격을 개정하여 시행하고 있으며, 현재는 암 환자용 식품과 고혈압 환자에 대한 식품유형 신설을 추진 중으로 향후 국내 메디푸드 산업은 더욱 확대될 전망이다.

국내 메디푸드 생산량은 2020년 45,762톤에서 2021년 48,872톤으로 전년 대비 6.8% 증가했으며, 같은 기간 생산액은 824억 원에서 982억 원으로 19.2% 증가하였다. 수술이나 질환 치료를 위해 입원한 환자들이 병원 또는 요양병원에서 메디푸드를 많이 소비하고 있고, 고령사회로 진입하면서 노인 인구 및 만성질환자가 증가하고 간편한 영양관리에 대한 수요가 증가하면서 생산규모가 확대되었다.

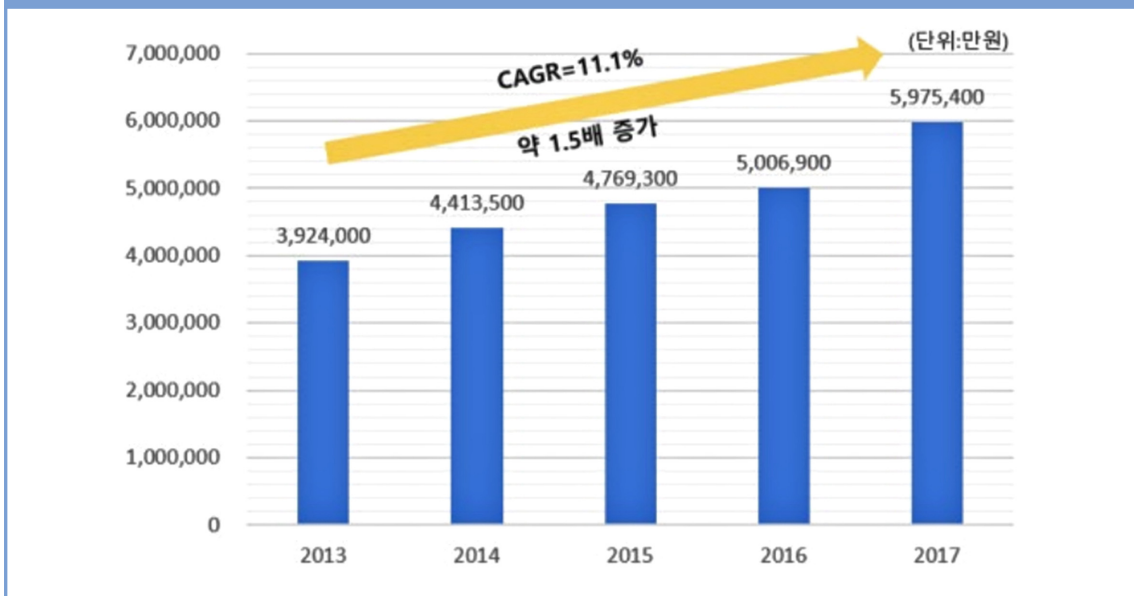
그림 6. 메디푸드 생산 현황



* 출처: 식품의약품안전처 (2022)

국내 메디푸드 시장 규모는 2017년 기준 597억 5천4백만 원 규모로 크지 않지만, 지난 5년간 연평균 약 11%의 성장률을 나타내고 있다.

그림 7. 국내 메디푸드 시장 규모 (출고가격 기준)



* 출처: 농림축산식품부, 2020 해외 우수 식품특허 트렌드북 에서 재인용(원출처: 한국농수산식품유통공사)

국내 메디푸드 시장 초기에는 물성조절 및 연하방지 중심의 제품 등이 주를 이루었으나 2019년부터는 영양 중심의 제품으로 변화하고 있다. 물성조절식품, 영양강화식품은 대기업 중심으로 형성되어 일반유통(할인점, 대형마트, 백화점 등)을 중심으로 판매되고 있으며, 질환예방식품의 경우 중소, 중견기업 중심으로 개발되고 있다.

그림 8. 생산 방법에 따른 수소 구분

물성조절식	영양강화식	질환예방식
<p>1. 풀무원 푸드머스 : 연하 생산 3종 출시</p>  <ul style="list-style-type: none"> - 브랜드: 풀'스케어 - 소화증기설비 도입 - 고령친화식품 인증도입 <p>2. 삼성웰스토리 : '19년內 전 카테고리 런칭</p>  <ul style="list-style-type: none"> - 브랜드: 라라밀스 - 한식연기기술(효소, 고압)이전 - 연화육(등갈비, 동파육 등) - 김치(미니김치, 다진김치 등) - 야채(연근 등) <p>3. 현대그린푸드 : 카테고리 다양화</p>  <ul style="list-style-type: none"> - 브랜드: 그리틸소프트 - 소화증기설비활용 - 연화육, 조림(콩, 견과), 생선류 상품화  <ul style="list-style-type: none"> - 브랜드: 케어플러스 - 효소활용 - 양념고기류 	<p>1. 매일유업 : 시니어 전용 단백질상품</p>  <ul style="list-style-type: none"> - 브랜드: 셀렉스 - 분유, 음료, 바 - 시니어에 필요한 단백질, 비타민, 미네랄 강화 <p>2. 삼성웰스토리 : 영양강화라인 구축</p> <ul style="list-style-type: none"> - Nutrition care : 비타민 등 영양성분중심 (유산균/칼슘파우더, 프로바이오틱스 등) - Medical care : 치료목적 당뇨, 암대응식 - Lifestyle care : 저작/연화/소화 (연화육류, 죽류, 다점류 등)  <p>3. 대상웰라이프 : 영양균형분말, 음료</p>  <ul style="list-style-type: none"> - 브랜드: 뉴케어 - 고령자, 중장년층 - 단백질 (1/3식), 비타민D, 칼슘, 아연 등 함유 	<p>1. 만성질환예방식</p> <ul style="list-style-type: none"> - 분류: 당뇨식, 고단백 면역식 (암환자식), 신부전식, 저염식 등 - 특징: 온라인에서 주문하여 가정으로 배달하는 냉장 제품 - 가격대: ₩5,000~14,000원/식 - 형태: 도시락(밥+반찬) / 반찬 / 밀키트 - 대표업체: 닥터키친 : 저염/저탄수화물 밀키트  <p>2. 다이어트식</p> <ul style="list-style-type: none"> - 칼로리 제한: 냉동밥, 음료, 부식류 등 - 小食 -> 포만감을 주는 소제 食(곤약 등)

* 출처: 농림식품기술기획평가원 (2020)

2.2. 국내 메디푸드 개발 기술 동향

국내 메디푸드 개발은 2020년 식약처에서 메디푸드 제품 관리 규정을 개정함으로써 다양하게 변화하고 있지만 아직까지 물성조절식 또는 영양강화식에 집중해 있고 만성질환(당뇨, 신장질환, 장질환)예방식에 대한 연구개발은 아직 미흡한 편이다. 그러므로 '제형, 영양 및 기능' 부분의 연구개발을 통한 제품 다양화가 관건이며, 글로벌 기술 경쟁력을 강화하기 위해서는 '품질 및 유통관리, 기준 규격 확립, 원료 및 가공기술의 국산화, 전문인력 양성 등'을 통한 품질 및 기술 경쟁력 제고가 시급하게 필요하다고 할 수 있다.

영양 및 기능분야 기술력 제고에 있어서 현재는 메디푸드의 타겟질환군이 다양하지 않고 단순 영양균형을 위해 제조되고 있지만, 향후 기능성이 부가된 원료소재(신장질환자용 저칼륨 채소 등)를 활용한 밀키트, 도시락, 반찬 등의 형태로 확대될 수 있기에 국내 천연물 유래 기능성 소재군을 학문적 효능검증을 통해 발굴하는 것이 필요하다. 이러한 기능성 소재를 식품에 적용할 경우 가공공정에 의해 기능성분이 파괴되어 효능이 손실될 가능성이 높기 때문에 공정시 그 효능저하를 최소화할 기술개발이 필수적으로 요구된다. 또한, 메디푸드의 원료의 경우 제조방법 및 지표성분 등의 제조규격은 표준화되어 있지만, 타겟 질환별 영양설계 및 효능 검증기술이 요구되고 있고 수요자의 개별 니즈에 맞춘 메디푸드 개발 기술이 필요한 상황이다.

2.3. 스마트팜 기반의 메디푸드 소재 생산 기술 필요성

개인 건강 맞춤형 메디푸드 소재의 경우에는 특수한 목적을 지닌 식품으로써, 관련 목적에 부합하는 원료의 생산이 필요한 상황이다. 이에 기능성 물질의 증진이나 기존에 없던 새로운 특성이 부여된 작물의 생산이 필요하게 되므로, 해당 소재를 관행농업으로 생산하는 것은 한계가 있을 수 있다. 예를 들어 신장질환자용 메디푸드 소재인 저칼륨 채소인 경우, 수경재배 중 배양액 제어를 통해 케일의 칼륨 함량을 감소시킨 연구결과가 있다(한국과학기술연구원 천연물연구소의 연구결과 내용). 반면, 관행 토경재배에서는 칼륨이 토양에 이미 풍부하게 함유되어 있으며 토양 내 칼륨의 제거가 어려워 '저칼륨' 작물의 재배가 극히 어렵다. 메디푸드는 의약품은 아니나 주로 환자를 대상으로 하므로 의약품 관리와 같이 생산 및 제조 공정에 대한 표준화가 중요한 지표 중 하나라서, 원료 식물의 품질관리와 표준화가 필수적이다. 따라서, 안정적인 메디푸드 원료 생산을 위해서는 재배 파라미터와 총생산량의 규격화 등이 매우 중요하며 관련 연구개발에 대한 정부의 집중적인 투자가 이루어져야 한다.

수직농장형 스마트팜(Vertical Farm)의 선도국가 중 하나인 일본은 약 30년간 정부지원 및 기업참여가 지속되고 있으며, 수직농장의 대형화에 의한 규모의 경제를 통해 경제성을 확보하는 등 지속적인 증가 추세에 있다. 이와 대조적으로 국내 대다수 수직농장 기업은 노지 대비 여전히 경제성이 낮아 일반 작물 보다는 단가가 높은 특수목적용 기능성 식물의 도입이 절실한 상황이다. 국내에서는 수직농장의 단점을 극복할 수 있는 고부가가치 기능성 소재를 발굴하고, 이들을 제품의 표준화된 원료로 생산하는 재배 매뉴얼 개발이 정부출연연구소인 한국과학기술연구원 천연물연구소를 중심으로 2014년부터 활발히 진행되어왔다. 최근에 신장질환자용 저칼륨 케일을 수직농장형 스마트팜(인공광형 식물공장)에서 생산하는 기술을 개발하여 SCI 우수 저널에 게재되었고 각종 언론매체를 통해 주목받았다. 이러한 연구성과는 저칼륨 케일을 수직농장에서 대량으로 규격생산 할 수 있을

뿐 아니라, 케일이 원래 가지고 있는 항암성분 함량(글루코시놀레이트)도 증대시켜 다른 기능성도 함께 높일 수 있는 가능성을 보여준 성공적인 사례라 볼 수 있다. 또한, 본 기술은 신장질환자를 위한 메디푸드 개발을 목적으로 ‘저칼륨 고기능성 케일 생산기술’을 국내 수직농장 1위 기업인 플랜티팜(주)으로 기술이전하여 현재 개인건강 맞춤형 식단 및 샐러드 제품형태의 메디푸드 산업화를 위해 기업에서 개발 중이다.

그림 9. (좌)고기능성 저칼륨 케일 생산기술 관련 논문(Food Chemistry (2021)), (우)관련 보도자료(조선일보 (2021))

Production of low potassium kale with increased glucosinolate content from vertical farming as a novel dietary option for renal dysfunction patients
 Yang-Ju Son¹, Jal-Eok Park¹, Junho Kim, Gyhye Yoo, Taek-Sung Lee, Chu Won Nho*
 Smart Farm Research Center, Gangneung Institute of Natural Products, Korea Institute of Science and Technology (KIST), Gangneung, Gangwon-do 25451, South Korea

ARTICLE INFO
 Keywords: Kale, Glucosinolate, Low potassium, Renal dysfunction, Vertical farm

ABSTRACT
 The production of low potassium vegetables arose out of the dietary needs of patients with renal dysfunction. Attempts have been made to reduce potassium content in vegetables and fruits; however, induced potassium deficiency has often resulted in decreased yields. Here, we investigated a new method of producing low potassium kale and present the characteristics of the resulting produce. By substituting potassium nitrate with calcium nitrate in the nutrient solution 2 weeks before harvesting, the potassium content of kale was reduced by 70% without a deterioration in yield and semblance qualities. Despite no relationships being detected between potassium deficiency and anti-oxidative properties, the total glucosinolate content, an indicator of the anti-cancer effect of cruciferous vegetables, was significantly increased by potassium deficiency in kale. This study demonstrates a novel method of producing low potassium kale for patients with renal failure, without a reduction in yield but with beneficial increase in glucosinolates.

한국과학기술 연구원 (KIST)

- 저칼륨에 항암 성분 높이는 식물 생산법 개발
- 배양액 성분과 농도 조절해 질병 치료 등 특수 목적용 식물 재배
- 항암 성분인 글루코시놀레이트 함량 44% 증가 (자료=각 기관)

일본 산업종합연구소와 카지마 건설은 수직농장에서 원료의약품(그린백신)을 재배하여 표준화된 동물용 그린백신을 생산하고 제품화에 성공하였으며, 생산량은 연간 100만 마리 이상의 동물에게 공급할 수 있는 양이라 알려져 있다. 또한, 수직농장에서 생산한 아이스플랜트를 이용하여 임신부용 건강기능식품(베지마마)과 만성 신장질환자용 저칼륨 상추는 2010년부터 제품화되어 온오프라인 마켓에서 쉽게 구입할 수 있을 정도로 대중화되었다.

그림 10. 일본 수직농장 생산 아이스플랜트로 만든 건강기능식품(좌) 및 저칼륨 상추(우)



* 출처: monipla

향후 메디푸드 소재가 다양해짐에 따라 원료 소재에 대한 작물육종기술 고도화를 통해 메디푸드에 적합한 작물 개발 요구가 증대되고 있다. 최근 각광을 받고 있는 생명공학기술과 4차산업혁명기술이 융합된 디지털육종 기술을 통해 육종효율 향상(육종 기간 단축/경비 절감)시키고, 이러한 첨단 기술을 활용하여 환자 맞춤형 작물 개발에 활용이 가능하리라 예측된다.

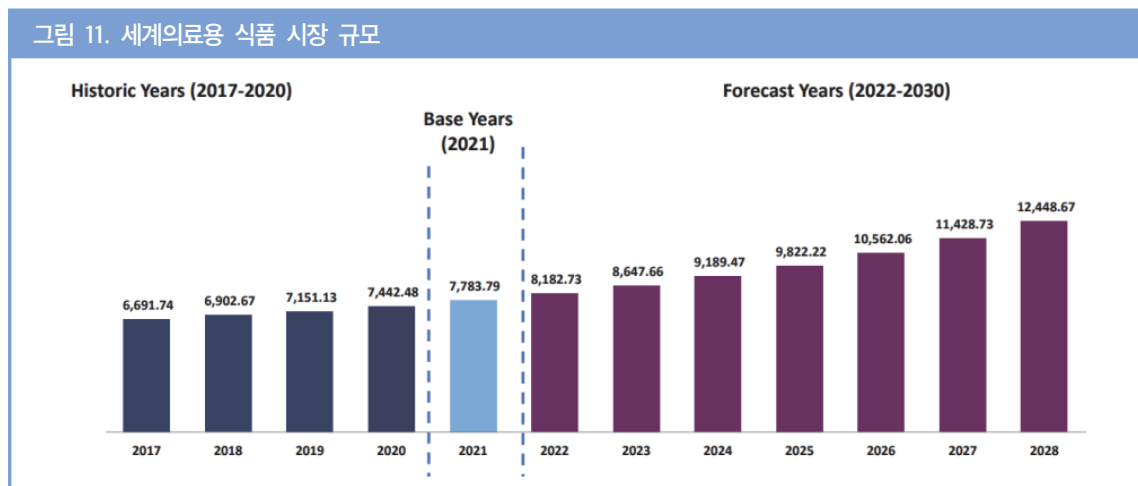
최근 농촌진흥청은 디지털육종 기술을 이용하여 한국 고유의 콩 핵심집단으로부터 메디 푸드 품종(Soybean Core Collection Elite Line-1, 에스셀원) 개발(식품저널뉴스, 2020. 06. 24)하였다. 또한, GMO를 대체할 유전자편집 등 신육종기술을 적용하여 다양한 메디푸드 개발에 활용가능하리라 전망하고 있다.

이러한 메디푸드 소재 원료 작물 재배 및 생산에 적합한 스마트농업 시스템 구축도 필요하다는 산업계의 니즈가 있어 스마트팜 혹은 수직농장 등 첨단 생산시스템의 구축을 통해 표준화되고 안정된 식물 재배가 가능해지리라 보인다. 첨단 정보통신기술이 활용된 스마트농업을 통해 농식품 생산·유통 과정에서의 리스크 감소는 물론 농축산물 안전에 대한 소비자 신뢰도 제고도 가능해질 것이라 기대된다.

III. 메디푸드 산업 및 시장 전망

세계보건기구에 따르면 만성질환 유병률은 2020년까지 57% 증가하였다. 특히 개발도상국에서 인구증가가 가장 클 것으로 예상되기 때문에, 인구증가와 더불어 만성질환 유병률의 증가가 될 것이며 특히 만성질환은 의료시스템 이용률의 증가와 함께 경제적인 부담을 예측하게 된다. 이러한 배경으로 2017-2030년까지의 글로벌 경장영양 시장은 대사증후군과 만성질환자의 증가와 함께 평균 7.95%의 증가율을 보일 예정이다.

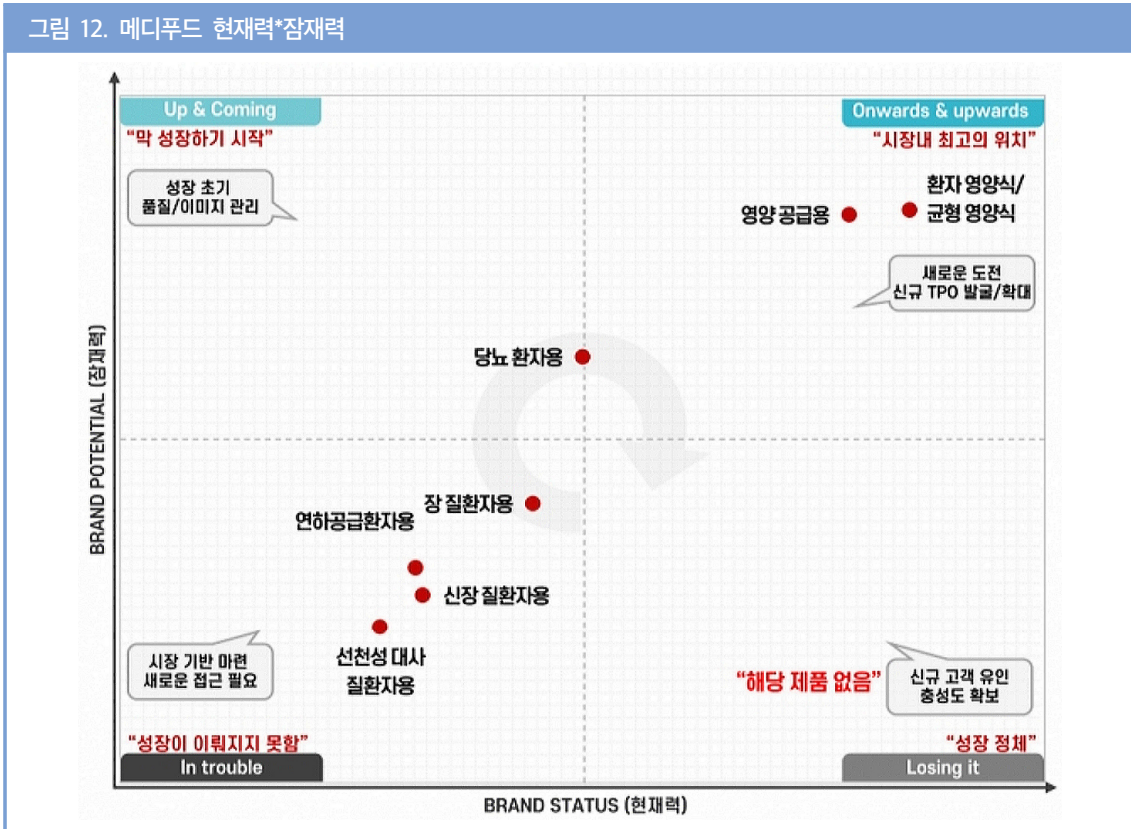
최근 만성질환자뿐 아니라 일반인들도 일상에서 식사를 통해 생활 전반을 관리하는 것이 건강수명 연장에 있어 더욱 효과적이라고 인식하고 있으며, 코로나19와 같은 팬데믹을 겪으면서 개인맞춤형 건강관리에 대한 폭발적인 관심이 메디푸드 시장의 활성화와 연계되어 있다. 즉, 치료보다 예방 관점에서 환자가 되기 전에 일상에서부터 관리가 필요하다는 인식이 확대되고 있다.



* 출처: Astute Analytica (2022)

메디푸드 품목 중 소비자의 현재 및 향후 태도 측면에서 경쟁력이 가장 우수한 품목은 환자영양식·균형영양식과 영양공급용 품목이며, 당뇨환자용은 현재는 경쟁력이 낮지만 성장잠재력을 보유하고 있고, 장질환자용, 신장질환자용, 연하공급환자용, 선천성 대사질환자용은 현재 경쟁력 및 향후 성장 잠재력이 다소 부족한 품목으로 분석되었다.

그림 12. 메디푸드 현재력*잠재력



* 출처: 푸드아이콘-FOODICON (2023)

향후 메디푸드 시장의 전망은 매우 밝은 편이며, 개인의료, 진료 기록에 대한 분석기술 발전과 빅데이터, 디지털 기술의 접목을 기반으로 개인맞춤형 시장으로 발전하고 있다. 하지만, 정부의 메디푸드 관련 생산관리 규제 개선과 식품의약품안전처의 '의료용 식품법' 제정 여부에 따라 규제 환경이 달라지기 때문에 메디푸드 관련 산업계도 유연하게 대처할 필요가 있다.

특히, 기존의 메디푸드 제품이 제형변경 위주의 영양식 개념이었다면 향후 메디푸드 시장은 다양한 타겟질환군을 예방 및 관리할 수 있는 기능성 부분이 더욱 강화될 것으로 전망된다. 이미 우리나라 식약처는 2021년 11월, 개정안을 통해서 암환자용 영양조제식품과 암환자용 식단형 식품의 식품유형과 제조가공기준을 신설하였다. 또한, 2026년까지 고혈압환자용, 폐질환환자용, 간질환자용, 염증성 장질환자용, 전해질보충용 등 5종의 표준제조기준을 마련할 예정이다. 앞으로 이러한 질환 맞춤형의 메디푸드 소재 개발과 스마트팜 등을 이용한 메디푸드 소재원료(기능성 작물) 생산 관련 기술개발이 반드시 함께 동반되어야만 국내 메디푸드 산업경쟁력이 제고될 수 있고, 글로벌 메디푸드 시장으로 진출할 수 있을 것으로 보인다.

IV. 스마트팜 기반 메디푸드 생산 기술

1. 스마트팜의 개요

1.1. 스마트팜의 정의

농업과 ICT(정보통신기술), BT(생명공학기술), GT(유전공학기술), ET(환경공학기술) 등 다양한 첨단기술의 융·복합이 이뤄지면서 스마트팜은 스마트농업이라는 보다 발전된 형태로 점차 진화해나가고 있다. 스마트팜은 농업과 ICT의 융복합을 통해 좁게는 농업의 생산 분야에서, 넓게는 생산뿐만 아니라 유통과 소비를 포함한 농업과 관련된 다양한 분야로 새로운 가치를 창출하는 것을 의미하며, 일반적으로 ICT를 비닐하우스·축사·과수원 등에 접목하여 원격·자동으로 작물과 가축의 생육환경을 적정하게 유지·관리할 수 있는 농장을 의미한다. 작물의 생육 및 환경정보 등에 대한 정확한 데이터를 기반으로 장소와 시간의 제약 없이 작물과 가축의 생육환경을 점검하고 적기에 처방함으로써, 노동력·에너지·양분 등을 기존 관행 농법에 비해 덜 투입하고도 농산물의 생산성과 품질 향상이 가능하다. 또한, 스마트팜의 광원에 따라 자연광형 스마트팜과 인공광형 스마트팜으로 나눌 수 있으며, 인공광형 스마트팜은 식물공장 또는 수직농장으로 더 많이 알려져 있다.

유럽 농기계위원회(2017)는 기술 발달에 따라 농업의 발전과정을 구분, 녹색혁명을 통한 농업 생산성의 획기적 증가를 Agriculture 2.0, GPS를 활용한 맞춤형 정밀농업 기술의 등장을 Agriculture 3.0으로 정의하고 있고, 2010년대 초반 ICT기술 융합을 통해 정밀농업이 심화·발전된 형태인 스마트팜은 Agriculture 4.0, 인공지능과 로봇을 활용한 무인·자율 의사결정 농업시스템은 Agriculture 5.0으로 정의한다.

표 1. 스마트 농업 관련 용어 정의

용어	정의(출처)
정밀 농업 (Precision Agriculture)	가장 오래된 개념으로 농경지를 세밀하게 모니터링하고 적재적소에 물과 양분을 투입하는 농업이며, 최근 위성·항공영상, 센서 등이 상용화되며 현실화되고 있음
스마트팜 (Smart Farm)	실내 시설농장(온실, 축사)에 해당하는 것으로, 사물인터넷, 빅데이터 등을 이용해 생육환경이 모니터링 되고 적기에 최적의 영농의사결정이 수행되는 농장을 의미함
디지털 농업 (Digital Agriculture)	농업 관련 전반의 데이터를 디지털화하여 수집·분석하고 공유하는 기술을 의미함
스마트 파밍 (Smart Farming)	스마트팜이 노지로 확장되는 개념으로 시설농업과 노지농업을 포괄함

* 출처: 한국과학기술기획평가원 (2021)

표 2. 스마트팜 세대별 구별

발전단계	시기	특징
Agriculture 1.0	1900년대 초반 (전통농업)	<ul style="list-style-type: none"> • 노동집약적이며 생산성이 낮은 관행농업 • 식량제공에는 성공했으나 투입인력 소모가 지나치게 큼
Agriculture 2.0	1950년대 후반 (녹색혁명)	<ul style="list-style-type: none"> • 비료, 농약, 농기계 활용 확대로 녹색혁명 이름 • 투입재 비용이 절감되면서 생산성이 기하급수적으로 늘어났으며, 더불어 농업의 규모를 대폭 증가
Agriculture 3.0	1990년대 중반 (정밀농업)	<ul style="list-style-type: none"> • GPS를 이용한 정밀농업 기술 등장 • 정밀농업 기술의 성숙에 따라 비용절감은 물론 품질개선 및 다양화 등으로 목표가 확대
Agriculture 4.0	2010년대 초반 (스마트팜)	<ul style="list-style-type: none"> • ICT 기술과 농업용 기계와의 결합을 통한 정밀농업의 디지털화, 클라우드 기반 ICT 시스템, 빅데이터 등 기술발전예 근거 • non-physical service, eco-system, cooperation의 중요성 증대, “Industry 4.0”의 농업 버전 • 스마트팜, 디지털농업, 데이터농업과 동일한 개념

* 출처: 과학기술정책연구원 (2018)

2. 스마트팜 기술개발 동향

2.1. 스마트팜 주요 기술

2.1.1. 사물 인터넷 (IoT)

사물인터넷(IoT)은 사물에 센서를 부착해 실시간으로 데이터를 인터넷으로 주고받는 네트워크 기술로, 사람, 사물, 프로세스 등 모든 것을 인터넷으로 연결해 정보를 생성·수집·공유·활용하도록 함. 사물인터넷 시대를 통해 인터넷에 연결된 기기는 사람의 도움 없이 서로 알아서 정보를 주고받으며 대화를 나눌 수 있다. 스마트팜에 사물인터넷 기술을 활용하는 방안으로는 농작업자 등에게 손목 팔찌를 착용하도록 하여 착용자의 활동량 감지, 가스 감지, 화재 감지, 농작업 사고 발생 등을 감지하여 이상 증상이 있을 경우 신속하게 알리는 솔루션 등이 있다.

2.1.2. 인공지능 (AI)

인공지능은 인간처럼 생각하며 행동하는 시스템으로, 기계가 이성적으로 생각하며 행동하는 시스템을 통해 인간의 지능으로 할 수 있는 사고, 학습, 자기개발 등을 컴퓨터가 할 수 있도록 하는 것이다. 스마트팜에서 생산되는 작물의 생리현상 및 생육상태에 대한 모니터링과 이와 연관된 환경제어를 복합적으로 계산해 작물이 최적의 생육환경을 유지할 수 있도록 그 결과값을 도출해 농작업의 솔루션을 제공하는 역할을 한다. 특히나, 한국과학기술연구원 천연물연구소에서는 최근 과기정통부 첨단GW바이오사업을 통해서 식물공장에서 인공지능 알고리즘을 활용해 케일의 글루코시놀레이트 함량을 증가시키는 기술을 개발했다. AI 알고리즘을 활용해 재배법을 만드는 국내 최초의 시도였다.

그림 13. 농업에서의 사물인터넷, 인공지능, 빅데이터, 클라우드 활용 모습



* 출처: Pinterest

2.1.3. 빅데이터

빅데이터는 정형/반정형/비정형 데이터를 해석이 가능한 데이터로 처리하고, 목적에 따라 모델링을 통한 예측 및 추천이 가능하도록 하는 기술로, 데이터의 양, 생성주기(실시간 생산), 형식(문자, 영상, 소리와 같은 비정형 데이터 포함) 등 과거 데이터에 비해 규모가 크고, 형태가 다양하여 기존의 방법으로는 수집, 저장, 검색, 분석이 어려운 방대한 크기의 데이터를 의미한다. 스마트팜에서 나오는 방대한 환경데이터 및 작물의 생육데이터를 빅데이터화해 인공지능 등의 알고리즘과 결합시켜 미래 먹거리를 위한 솔루션 제공을 위한 움직임이 진행 중이다.

2.1.4. 클라우드

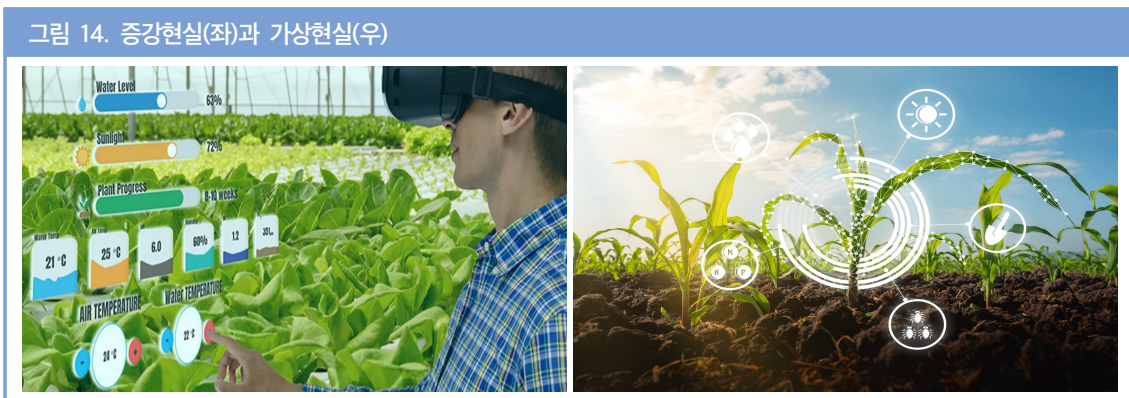
클라우드는 사물인터넷 등을 통해 수집된 데이터, 인공지능을 통해 가공된 정보 등을 접속 매체에 저장해 올려놓는 기술을 의미한다. 클라우드를 이용하게 되면 애플리케이션을 최소한의 비용으로 개발, 배포하고 시스템을 빠르게 확장 가능하게 하며 인터넷이 연결된 전 세계 어디에서나 이용할 수 있다. 스마트팜에서도 이러한 가상의 저장공간을 활용해 사물인터넷, 인공지능 알고리즘 및 빅데이터를 활용해 센서들을 제어하는 작업들을 진행하고 있다. 특히나, 한국과학기술연구원 천연물연구소에서는 산업부 과제를 통해 진행한 스페인과의 국제기술협력사업에서 토양의 수분 센서값이나 작물 주변의 마이크로 환경에서의 온도, 습도, CO₂ 등의 값을 이용해 작물이 필요로 하는 양분 값을 클라우드의 저장된 인공지능 알고리즘에 의해 계산되어 양분을 공급하는

양액기에 신호를 전달해 양액공급을 제어하는 기술을 개발해 스페인 지역에서 사용하는 토양을 기준으로 물 사용량을 50%가량 절약하는 성과를 달성하였다.

2.1.5. 블록체인

블록체인은 모든 구성원이 분산형 네트워크를 통해 정보 및 가치를 검증, 저장, 실행함으로써 특정인의 임의적인 조작이 어렵게 설계된 분산 컴퓨팅 플랫폼 기술을 의미한다. 신뢰를 담보할 수 있는 제3의 기관(Trusted Third Party)의 도움 없이 거래 참가자들이 거래 기록을 각자 보관하며, 각 참가자들이 공동으로 인증하여 거래가 성립되는 P2P(Peer to Peer) 형태의 기술이다. 예를 들어, 작물의 수급정보, 가격정보 등을 블록체인 네트워크 형태로 서비스하게 되면 특정 집단이나 개인이 그 정보를 조작, 독점할 수 없는 농업정보 서비스를 구현할 수 있다. 더 나아가, 앞으로 스마트팜에서 작물을 재배함에 있어 기존에 재배하던 작물에 대한 표준 재배법에 대한 IP의 형태가 크게 작용하지 않지만, 새로운 작물의 재배 프로토콜에 대한 IP에 대한 보안은 상당히 큰 이슈로 부각될 것이다. 이에 이러한 블록체인의 기술 도입은 스마트팜 기술의 글로벌화 및 미래의 안정적인 산업구조 형성을 위해서도 반드시 수반되어야 할 기술이다.

그림 14. 증강현실(좌)과 가상현실(우)



* 출처: Shutterstock

2.1.6. 가상/증강현실 (VR/AR)

가상현실은 특수한 안경과 장갑 등을 사용하여 인간의 시각, 청각 등 감각을 통하여 가상세계가 현실인 것처럼 유사 체험하게 하는 기술을 말하며, 증강현실은 실물에 3차원의 가상물체를 겹쳐서 보여주는 기술을 활용해 현실과 가상환경을 융합하는 기술을 뜻한다. VR(가상현실)이 스마트팜에 적용이 되면 새로운 작물을 재배함에 있어 사전 테스트를 진행할 수 있는 교육체험 기회를 만들 수 있으며, 농촌으로의 귀농·귀촌의 활성화 및 안정적인 농업에 대한 이해도 증가를 통한 농업사회 활성화를 기대할 수 있다. AR(증강현실)의 농업 부문에 대한 적용은 스마트팜 내에서 작물을 키우는 경우, 발생하는 다양한 정보를 농가 현장에 설치된 실제 환경에 가상의 그래픽 영상을 더하여 실제 보이지 않는 정보를 안경 등을 통해 디스플레이하고, 관련 병해 및 생육 정보 등을 전문가와 직접 상담이 가능하게 하는 데 이용될 수 있다.

3. 스마트팜 산업 동향

3.1. 스마트팜 산업의 특징 및 구조

생산·가공·유통·소비 등 농축업의 전 가치사슬에 걸쳐 ICT와의 융합 가속화가 진행 중이며, 생산 단계의 효율성, 품질 등 제고에 ICT 활용이 증가하는 추세이다. 최근 가공, 유통 단계 및 관리 경영 영역으로 빠르게 확장 중이고 센서, 네트워크, 메카트로닉스(Mechatronics), 인공지능(Artificial Intelligence, AI), 로봇, 스마트디바이스 등이 대표적인 농축업의 ICT 융합 기술로 표현할 수 있으며 최근 빅데이터, IoT, 클라우드 등을 활용한 시스템과 적용 사례가 확대되고 있다. 스마트팜 산업의 경우 전방 및 후방 모두에 산업 파급효과가 큰 수준이며, 정부의 지속적인 투자 정책을 통하여 시장의 변화가 이루어지고 있다. 정부 기관과 기업의 협업을 통하여 시스템 및 시설을 구축하고 있으며 일부 지역을 중심으로 스마트팜 시설을 적용 및 운영하고 있다.

표 3. 전후방산업과 스마트팜 분야 산업구조

후방산업	스마트팜 분야	전방산업
실내 환경 감지 시스템, 식품 바이오산업, 고효율 에너지 산업, 지능형 로봇, 기계용 소재 및 부품, 가공 및 도장 모듈, 서비스 시스템 조립	시설인프라(비닐하우스, 유리온실, 축사) AI, 빅데이터 기반 ICT 기술 사물인터넷, 원격 센서 기술	전자기기, 유무선통신 시스템, 종자개량, 병해충 예방 약품, 기계용 작업기 조립생산, 휴대용 전자기기, 판매 및 기술 서비스

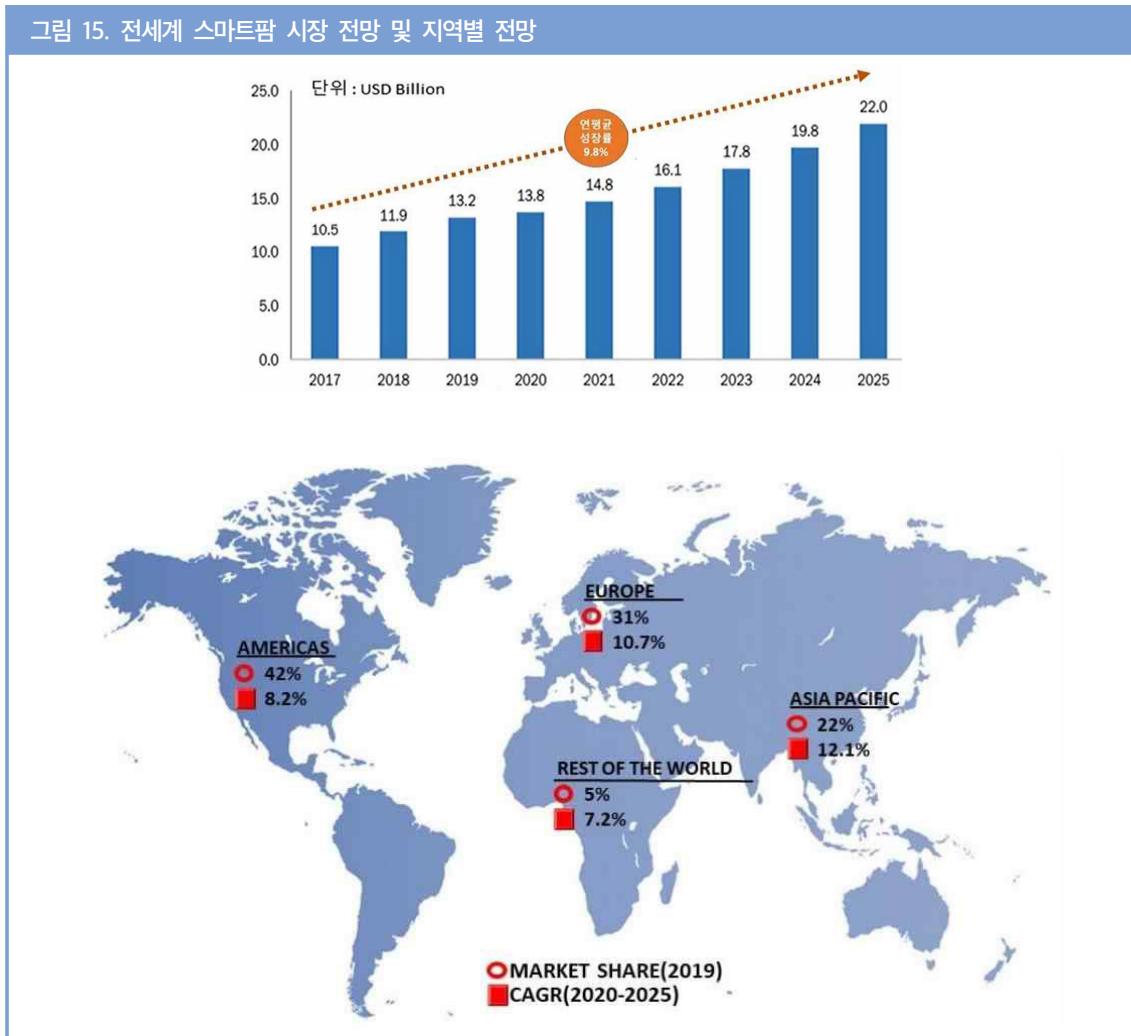
* 출처: KOTRA (2019)

스마트팜 분야가 영향을 미치는 전방산업은 휴대용 전자기기, 무선통신 시스템, 바이오(종자개량, 병해충 예방 약품 등) 기술 등이 직간접적으로 영향을 미치고 있으며 후방산업은 고효율 에너지 산업(LED, 인공조명, 태양열, 지열 등), 지능형 로봇, 실내 환경감지시스템, 식품바이오산업 등과 관련이 있다.

3.2. 글로벌 스마트팜 시장 동향

2021년 전 세계 스마트팜 시장 규모는 148억 달러로 추정, 앞으로 지속 증가하여 2025년에는 220억 달러로 연평균 9.8% 성장률을 보일 것으로 전망하고 있다. 각국의 스마트팜 기술혁신과 정책이 뒷받침되어 경쟁력이 향상되고 있는 만큼 스마트팜 시장의 성장세도 가파르게 증가하고 있으며, 스마트팜은 화학물질 및 이산화탄소 배출 억제, 토양 및 지하수 오염 감소 등의 지속 가능한 농업으로의 전환을 촉진시키는 핵심요소로 부각되고 있어 성장 추세가 증가할 것으로 보인다. 전 세계 스마트팜 시장은 미주와 유럽시장이 각각 42%, 31%로 전체 시장의 73%를 차지하고 있으며, 아시아 및 그 외 지역은 27%의 비중을 차지하고 있다.

그림 15. 전세계 스마트팜 시장 전망 및 지역별 전망



* 출처: (재)스마트팜연구개발사업단 (2022)

스마트팜 시장의 주요기업들(Deere & Company (US), Trimble (US), AgJunction (US), Topcon Positioning Systems (US), Heliospectra (Sweden), and DeLaval (Sweden)은 미국에 거점을 두고 사업을 추진하고 있으며, 향후에도 시장형성 추세는 현재와 비슷할 것으로 전망하고 있다. 중국, 호주, 인도 등 인구가 급증하는 국가들은 스마트팜의 시장 초기 단계에 있으며, 앞으로 아시아 및 그 외 국가에 비해 높은 성장세를 보일 것으로 전망하고 있다.

3.3. 글로벌 스마트팜 산업 동향

3.3.1 미국

글로벌 기업들의 합종연횡 및 벤처캐피탈·빅테크 기업들의 투자 확대로 빅데이터 플랫폼 기반의 처방식 농업(파종, 비료·농약 투입, 수확 등의 영농의사결정을 빅데이터 기반 인공지능이 처방하는 농업)이 활성화되고 있다.

전통적 농업 분야의 대기업들은 농업 분야의 인공지능, 데이터 관련 스타트업에 인수하여 데이터 플랫폼 기업으로 전환하여 농업인들을 대상으로 영농의사결정 지원 서비스를 운영하고 있다. 사모펀드, 벤처캐피탈 및 MS, Google 社 등 빅테크 기업들은 스마트농업 분야 스타트업에 대한 투자를 빠르게 늘리고 있고, 스마트농업 및 어그테크(AgTech, 어그테크는 농업 및 식품 생산, 유통, 소비 전반에 ICT·BT 기술이 융합되는 혁신기술을 총칭) 분야 투자는 빅데이터·인공지능 기반 소프트웨어, 로봇틱스·농기계 분야를 중심으로 최근 10년('10~'19)간 연 24.5%씩 빠르게 증가하고 있다. 관리의 편리성과 생산성 증대를 제공하는 스마트농업 서비스는 빠르게 보급되어, 현재 미국 전체 농업인의 약 60%가 1~2개의 데이터 서비스를 이용 중이다.

3.3.2. 유럽

시설 고도화에 따라 채산성 확보를 위해 농장이 대규모화되고 있는 추세이며, 시설농업 선도 기업들이 세계에 장비 및 운용 플랫폼을 수출하고 있다.

네덜란드는 세계 2위 농산물 수출국으로, 스마트 시설원에 선도기업을 보유하고 있으며, 농장의 대규모화와 첨단 기술 집적으로 생산량·효율성을 극대화하고 있다. Priva, Hortimax 社 등은 환경제어 장비 및 제어 솔루션을 공급하며, Certhon Dalsem 社 등은 전 세계를 상대로 턴키(turn-key, 구매자가 바로 사용할 수 있도록 모든 장비와 소프트웨어를 패키지 형태로 제공하는 것) 방식의 첨단 온실을 시공을 진행하고 있다. 채소 농장당 평균 재배면적은 1980~2017년 사이 약 7배 증가하여(총 재배면적은 유지) 40,000㎡에 달하며, 면적당 생산량 및 물 사용 효율성이 매우 우수하다. 면적당 토마토 생산량, 톤/ha으로 보면 네덜란드 507, 한국 65.5, 면적당 물 사용량, 갤런/파운드로 보면 네덜란드 1.1, 세계평균 25.6이다.

독일은 네덜란드와 같이 농장의 대형화 추세가 뚜렷하며, 기계·자동차 분야 기술력을 기반으로 노지 스마트농업 장비·설비 및 데이터 관리 솔루션 산업이 활성화되고 있다. Bosch 社は 스마트 노지농업 기계·시스템을 공급하고 있으며, Deepfield Robotics 社를 설립하여 센서기술 기반의 스마트농업(노지, 축산 등) 시스템을 상용화하고 있다. 단, 농촌 지역의 네트워크 인프라 보급률이 낮아(1.4%) 스마트농업 확산에 한계 존재하고 있다.

3.3.3. 일본

노지·시설농업 전반으로 스마트농업의 보급이 활성화되고 있으며, 이를 통해 효성 및 부가가치 제고 사례가 창출되고 있다. 클라우드 기반 스마트팜(Fujitsu, Seraku 社 등), 축산·낙농 정밀관리 솔루션(Farmnote 社) 등이 상용화되어 있으며, 식물공장의 경우 Spread 社 등 잎채소 재배 분야가 활성화 되고 있다. 노지농업 분야는 기존 농기계 및 일반 기계 분야 선도기업(농기계_Kubota, Yanmar 社, 일반기계_Yamaha, Mitsubishi, Hitachi 社 등)이 주도하여 상용화를 주도하고 있으며, 드론 정밀살포를 이용한 저농약 산물을 고부가가치화 하는 등의 산업화 사례가 창출되고 있다. Optim 社は 친환경 스마트 쌀, 스마트 채소를 2~3배 가격으로 고부가가치 하는데 성공했으며, Kubota 社は 빅데이터 기반 영농의사결정 지원 플랫폼 KSAS(Kubota Smart Agri System)을 2014년부터 운영하고 있다. 2018년 기준 이용 농가 수는 6,000 농가가 넘어섰다.

3.3.4. 국내

정부 주도로 개발된 기술이 시설원에 위주로 보급되기 시작하였으나, 고비용이라 대형 농가 위주로 도입되고 있으며 과잉생산 우려도 존재하는 상황이다. 시설원에 설비·장비 기업을 중심으로 스마트농업의 현장 보급이 수행되고 있으며, 스타트업들은 민간 투자를 유치하여 자체 기술·제품을 개발 및 출시하고 있다. 시설원에 자동화 온실 시공업체 등 설비·장비 기업은 공공(농진청, 대학, 출연연) 연구성과의 기술이전 또는 공동개발을 통해 개발된 성과를 민간에 보급하는 역할을 수행하고 있고, 대표적으로 나래트랜드, 그린씨에스, KT, 유비엔, 신한에이텍 등이 있으며, 무선통신사들은 자사의 LTE나 5G망을 이용하여 직접 또는 기존 업체와의 협력을 통해 스마트팜 산업에 진출하고 있다. 스마트팜의 정부 주도 국내 도입 사례를 보면, 2018년부터 경상남북도, 전라남북도에 25ha 규모로 각각 1,000억원의 대단위 스마트팜 혁신밸리를 구축했으며, 스마트팜 교육을 받고 나오는 졸업생들을 위한 실증공간인 임대형스마트팜(4ha이상, 200억/개소)을 전국에 12개를 선정했다(2024년 기준).

4. 스마트팜 기반 메디푸드 생산 전략

앞에서도 언급한 것처럼 농업에 있어 스마트팜의 도입은 많은 변화를 가져왔다. 노지에서 자연의 조건 그대로 키워야 하는 작물이 시설원에 안으로 들어오고 더 나아가 그 안에서의 환경을 재배자의 주관으로 마음껏 변화시킬 수 있게 되면서, 기존에 알려진 원산지에서만 식물이 자란다는 개념을 완전히 바꿔놓은 게 현 작물재배의 상황이다. 물론 그럼에도 불구하고 경제적인 이유 등을 언급하며 여전히 많은 문제점이 대두되고 있지만, 여기서 언급하고 싶은 내용은 기존에 재배되어오면서 가지고 있던 성분들이 변화하고 있다는 것을 말한다.

식물은 움직일 수 없기에 외부에서 가해지는 많은 스트레스를 2차 대사산물 즉, 파이토케미컬 생성을 통해 회피한다. 그 대표적인 물질이 9200만 년 전에 등장한 십자화목 식물이 가지고 있는 글루코시놀레이트이다. 이 물질은 고추냉이와 겨자의 특 쓰는 맛을 나타내는 것으로 주로 해충들이 잎을 가해할 때 평소에는 세포안에서 서로 분리되어 있던 글루코시놀레이트와 마이로시나제(myrosinase)가 세포가 파괴되면서 글루코시놀레이트를 포도당과 이소티아시오네이트(isothiocyanate)로 쪼개고, 이때 나온 이소티아시오네이트가 독성을 나타내 해충도 퇴치하고, 더 나아가 이를 이용했을 시 동물에서 암세포도 타겟을 해 항암효과가 나타나는 것이다. 이렇듯 2차 대사산물의 이용은 다양하게 나타나는데 최근 메디푸드를 통한 기능성 소재작물들이 각광을 받고 있는 실정이다.

4.1. 저칼륨 엽채류

케일이 가지고 있는 글루코시놀레이트가 항암에 효과가 좋다는 건 많은 연구 및 언론 보도를 통해서 알려진 사실이다. 하지만 이러한 항암에 효과가 좋은 음식도 엽채류들이 가지고 있는 다량의 칼륨 농도로 인해 환자들이 섭취하기 부담이 크다. 이에 한국과학기술연구원에서 개발한 저칼륨의 케일은 기존의 관행재배로 생산된 케일에 비해 거의 절반의 칼륨만을 포함하고 있어 암환자들 및 신장질환자들이 섭취하기에 탁월한 소재로 주목받고 있다.

뿐만 아니라 바질도 주목해야 할 소재 중에 하나다. 유럽에서 허브로 많이 알려져 있어 음식의 풍미를 올려주기 위한 소재로 많이 사용되고 있으나, 최근 바질이 가지고 있는 로즈마릭산이 알츠하이머에 탁월한 효과가 있다는 연구결과를 바탕으로 다시금 주목을 받고 있다. 로즈마릭산은 알츠하이머를 유발하는 대표적인 단백질인 타우(Tau)와 베타아밀로이드(amyloid- β)의 응집을 막아주고 응집된 단백질의 해리도 돕는다는 연구결과가 나와 알츠하이머의 예방 음식이 없는 상황에서 메디푸드의 소재로 주목받고 있다.

칼륨(Potassium)은 식물의 주요 영양원 중 하나이며, 주로 수분 유지와 관련한 세포팽창압력에 영향을 미쳐 식물세포의 팽압을 통한 식물의 지지에 관여한다. 또한, 기공의 개폐에 관여해 증산량을 조절하고, 식물체 내의 양분 이동에 관여하는 아주 중요한 양분 인자이다. 하지만, 인체에서 칼륨은 신장을 통해서 배출되기에 사구체의 여과율이 저하되고 소변량이 감소하는 만성신부전 환자들에게는 칼륨이 배설되지 않아 혈중 칼륨 농도가 비정상적으로 올라가게 되고 고칼륨혈증으로 인해 근육쇠약, 심장부정맥, 호흡마비, 심장마비 등을 유발할 수 있다.

이러한 상황에서 한국과학기술연구원 천연물연구소 스마트팜융합연구센터에서는 스마트팜을 이용해 식물체의 재배중에 칼륨 농도를 제어해 생육에는 영향을 받지 않으며, 케일이나 바질이 가지고 있는 건강 기능성분인 글루코시놀레이트 및 로즈마릭산을 유지하면서 칼륨의 양을 절감시키는 연구가 진행되었고, 각 생육 시기마다 샘플 수집을 통해 생육의 변화 및 기능성분의 함량을 분석함으로써 최적 재배법을 개발하게 되었다고 한다.

4.2. 저당 과일 및 채소

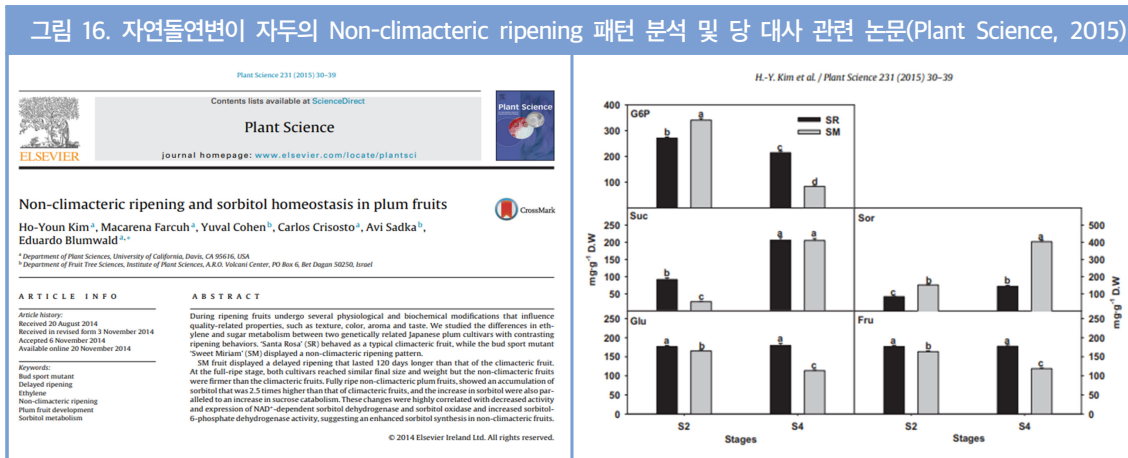
스마트팜의 장점은 온도, 습도, CO₂, 광량을 조절할 수 있으며, 양액을 조절해 재배할 수 있다는 점이다. 앞서 언급한 저칼륨 엽채류와 비슷하게 저당 채소의 생산은 당이 식물의 생육에 미치는 영향이 아주 크기에 막연히 당을 양분에서 줄인다고 저당 식물체를 생산할 수 있는 것이 아니다. 적절한 시기와 농도를 조절해서 적용하되, 시기별 샘플링을 통한 기능성분 분석을 병행해야 생산량과 기능성분은 유지가 되면서 당뇨환자들을 위한 당성분을 제거하는 효과를 가져올 수 있다.

스테비아 토마토가 대표적인 저당 과채류라고 광고를 많이 하고 있다. 기존에 토마토에 있는 당을 줄이는 것과는 다르게 외부에서 대체 감미료를 사용하고 있기 때문이다. 설탕 보다 900배 단맛, 칼로리는 1/90으로 낮은 스테비아를 토마토에 대체감미료로 재배 중 또는 수확 후에 주입함으로써 아이들이 잘 먹지 않는 토마토에 단맛을 추가한 컨셉으로 정확하게 말해 저당이라고 할 수는 없다. 하지만 대체감미료를 첨가해 그 정도의 당도를 느끼지만 칼로리는 낮아 저당/저칼로리 채소라고 불리고 있다. 스테비아는 당알콜이라고 하는 스테비올을 배당체로서, 단맛을 내지만 인체에 들어와 흡수가 느려 당이 우리 몸에 흡수되어 혈당을 높이기 전에 배출된다. 스테비아를 양액에 타서 주거나, 토마토 종자를 스테비아에 넣어두었다가 심어서 재배를 한다고 알려져 있지만 소비자에 따라 호불호가 갈리고 여러 가지 부작용이 발생해 잠깐 인기를 얻었다가 지금은 많이 잠잠해진 상태이다.

이토록 저당 채소 재배법을 개발하는 것은 대체 감미료를 활용하는 것 외에는 아직 뚜렷한 방법이 없어 보인다. 식물체의 에너지를 없앴고 동시에 생육과 기능성분을 유지시키는 것이 쉽지 않기 때문이다. 한국과학기술연구원

천연물연구소의 연구자가 2014년에 캘리포니아에 있는 대학(UCDavis)에서 발표한 연구결과에 따르면, 캘리포니아 중부에 있는 프레즈노라는 곳에 위치한 한 농장에서 자두나무에 자연돌연변이가 발생해 수확시기의 변화가 있다는 것을 발견했고, 이는 기존 자두가 열매를 맺고 수확시기까지 걸리는 기간이 3개월 남짓인 것에 비해 돌연변이체는 2배 이상인 7개월 이상이 걸리는 것이었다. 이에 연구진이 밝힌 결과에 특이하게도 자연 돌연변이가 일어난 자두는 기존의 자두가 가지고 있는 당 구성(포도당과 과당)과 달리 당알콜이라고 불리는 소비톨 함량이 기존에 비해 거의 4배가량 많이 함유하고 있다는 사실을 알아냈다. 이렇듯 저당 과일 및 채소를 개발하기에는 현재까지는 유전자적 변화가 일어나 기존 당 대사에서 다른 당 대사로 변환되어 에너지원으로의 전환이 이루어지지 않고서는 힘든 상황이다.

그림 16. 자연돌연변이 자두의 Non-climacteric ripening 패턴 분석 및 당 대사 관련 논문(Plant Science, 2015)

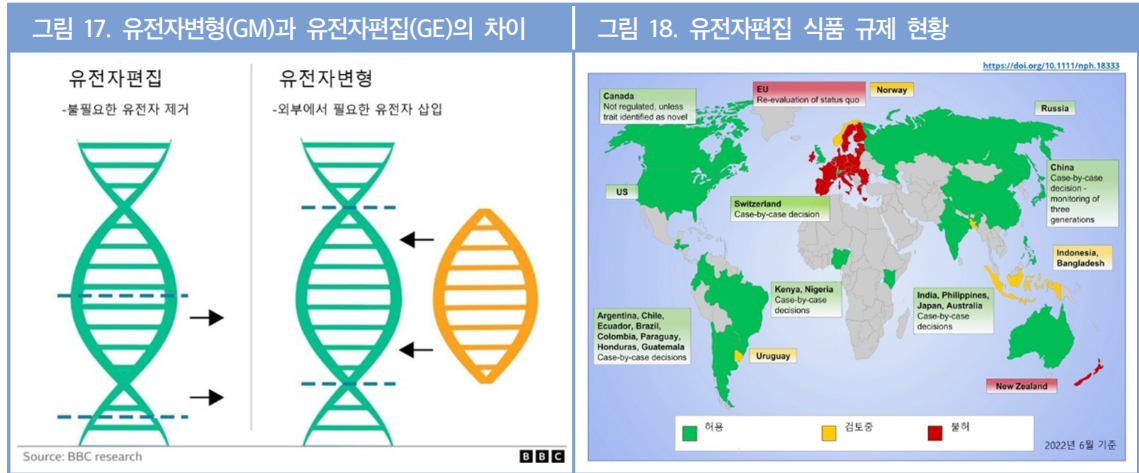


* 출처: Ho-Youn Kim et al. (2015)

이에 2016년 미국에서 처음으로 유전자 가위(CRISPR)를 이용해 DNA 염기서열에서 코드 2개를 바꿔 만든 산화되지 않는 양송이버섯이 있다. 펜실베이니아 주립대학교의 Yang 박사팀에서 개발한 이 버섯은 미국 농무성이 인정한 최초의 유전자가위 농식품이 되었다. 2018년 USDA의 입장발표에서 미국 농무부 Sonny Perdue 장관은 CRISPR 유전자편집기술을 포함하는 혁신적인 육종기술을 통해 생산되는 식물에 대한 명확한 입장을 밝히는 성명서를 발표하고, 식물해충이 아니거나 식물해충을 이용하여 개발된 경우가 아닌 이상 전통적인 육종기술을 통해 개발된 식물을 규제하거나 규제할 계획이 없다고 밝혔다. 또한, 유전자 편집과 같은 최신 기술은 식물형질을 보다 신속하고 정확하게 도입할 수 있기 때문에 전통 육종도구를 확장하여 농부들에게 필요한 새로운 품종을 제공하는데 수년 또는 수십 년을 단축시켜줄 아주 중요한 기술이라고 언급했다. 끝으로 농무부 장관은 안전과 관련된 우려에 있어 “이러한 접근을 통해 미 농무부는 위험이 존재하지 않을 때 혁신을 허용한다. 동시에 소비자들에게 우리가 규제 책임에서 벗어나지 않았음을 분명히 밝히고 싶다”고 언급했다.

일본에서도 관련 기술을 이용한 토마토가 시판되고 있다. 혈압상승을 억제하고 스트레스를 완화하는데 도움을 주는 가바(감마-아미노부티르산, GABA)의 함량을 기존 토마토에 비해 4~5배 증가시킨 토마토를 개발해

2021년 4200여 곳 농가에 보급이 되어 생산되었다. 이는 기존에 허가를 득해 개발이 되었지만 시판이 늦어진 세계 다른 사례(미국의 유전자 편집 식용유(대두), 캐나다의 크리스퍼 옥수수, 미국의 갈변 억제 양송이)와 달리 크리스퍼 식물이 시판된 세계 첫 사례이다.



* 출처: (좌)한겨레 (2023), (우)Marcel Buchholzer et al. (2022)

V. 스마트팜 기반 메디푸드 생산 플랫폼 기술 전망

1. 메디푸드 소재 생산 인공지능형 스마트팜 기술

기존 비료, 농약, 생산기술 농업에서 바이오, ICT가 융합된 디지털 농업으로 패러다임 전환이 이미 이루어지고 있다. 바이오, 정보통신 분야와의 융합을 통한 신규 사업화 모델 도출이 활발하고, 다국적기업 합병 및 대규모 투자를 통한 데이터 기반 농업기업으로 전환을 통해 농업의 거대 공공화가 진행되고 있다. 국내외 인공광형 스마트팜(식물공장) 재배 작물의 생산량과 규모는 노지 생산에 비해 낮은 편이나 최근 완전 제어형 고부가가치 식물 생산 및 무농약 청정재배의 이점을 동반한 기능성분 강화식품, 제약원료의 표준화 생산 시설로 다시금 큰 주목을 받고 있다. 이에 국가 경쟁력 확보를 위한 첨단 스마트팜 설비 연구와 더불어 인공지능 기술을 활용한 자동생산 시스템 및 과학영농 기술개발의 필요성을 다시금 상기시켜 본다. 인공지능 스마트팜 최적재배 플랫폼의 핵심은 다양한 환경/양액조건에서 나타나는 재배식물의 생육 및 기능성분 변화값의 학습 데이터 세트를 빠른 시간에 다량으로 확보하고 이를 인공지능 예측 모델 개발을 통한 최적재배 조건을 구명하는 것에 있다. 특히나, 메디푸드 소재 생산을 위해서는 다양한 규모의 멀티 독립환경제어 생장상 구축과 학습 데이터세트 인공지능 분석 플랫폼 등을 통한 신속하고 정확한 데이터 수집과 그에 따른 학습알고리즘 기반의 정밀 모델 구현이 중요하다.

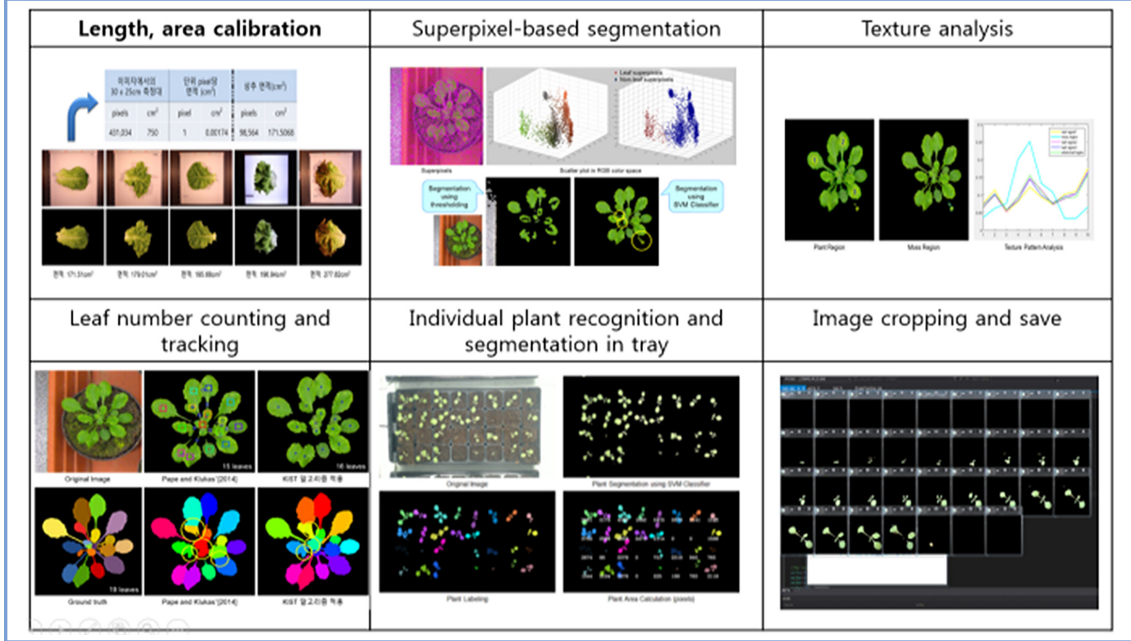
최근 ICBM((사물인터넷(IoT), 클라우드 컴퓨팅(Cloud Computing), 빅데이터(Big Data), 모바일(Mobile)), 기계학습, 농업용 로봇 기술 등이 급격하게 발전하면서 정밀농업이 실현될 수 있는 기반이 조성되고 있다. IoT 기반 데이터 수집 → 표준화된 데이터베이스 구축 → 인공지능 기반 최적화 예측과 맞춤 처방 → 지능화된 농기계·농업로봇 등에 의한 최적화 작업 → 모바일 기기를 통한 농업인에게 정보 제공이 과거에 비해 정밀하게 수행 가능하며 진정한 의미의 정밀농업 구현이 가시화되고 있다.

비정형적이고 방대한 양의 데이터 등의 특성을 갖는 농업 분야는 빅데이터 인공지능 분석의 활용도가 가장 높다. 인공지능으로 작물의 재배환경과 생육의 모델 개발을 통한 최적 환경 예측기술이나, 질병 상태 진단 및 모니터링 기술은 재배 전 과정의 의사결정을 지원하는 ‘클라우드 플랫폼’으로 연결되어 농사 경험이 적은 젊은 창농인이나 ICT에 미숙한 고령 농업인에게도 큰 도움이 된다, 특히나, 인공광형 스마트팜은 밀식재배 및 원활한 전원 공급 특성상 다량의 IoT센서를 통한 빅데이터 수집체계 구축 및 인공지능 플랫폼을 통한 빅데이터 분석 등이 용이하여 메디푸드 농업 인공지능 분석 플랫폼 적용의 효과가 극대화될 수 있다.

메디푸드 생산 플랫폼 도출을 위한 최적 생육환경 조건 구명 연구 및 재배생산 메뉴얼 개발에 있어 전통적 표본 추출, 통계추론 기반 연구개발 방법은 노동 및 시간 집약적이며 연구개발 결과물을 일반화시키고 표준 확산시키는 데 한계가 있다. 하지만, 성능이 입증된 인공지능 네트워크 알고리즘을 도입·적용하면 신속·정확한 환경조건이 미치는 생육 예측모형 및 재배생산 메뉴얼 개발이 엄청난 속도로 가능하게 된다. 더 나아가 새로운 지점에 대한 예측모형 구축에 있어 기존 물리 모델 대비 개발 소요시간을 단축시키고, 분석 소요시간도 단축시키는 장점이 있으며, 측정 위치별·변수별·시점별 데이터를 입체적으로 분석함으로써 예측 정확도도 향상시켜 데이터 확대 및 품질개선을 통한 정확한 예측모형 개발이 가능할 것이다.

이러한 인공지능을 활용한 메디푸드 생산 플랫폼 기술을 위해서는 다양한 요소기술의 개발 또한 필요하다. 한국과학기술연구원 천연물연구소에서 보유하고 있는 기술 중 하나인 식물영상 피노타이핑 기술은 식물영상 분석을 통한 생육지표 도출하고, 이를 영상처리 SW 기술로 가공하여, 피노믹스 시스템의 목표 작물 생육모델링을 통해 데이터 기반 식물 정밀생산과 기능성분제어까지 확장하는 모델을 적용할 수 있는 기술이다.

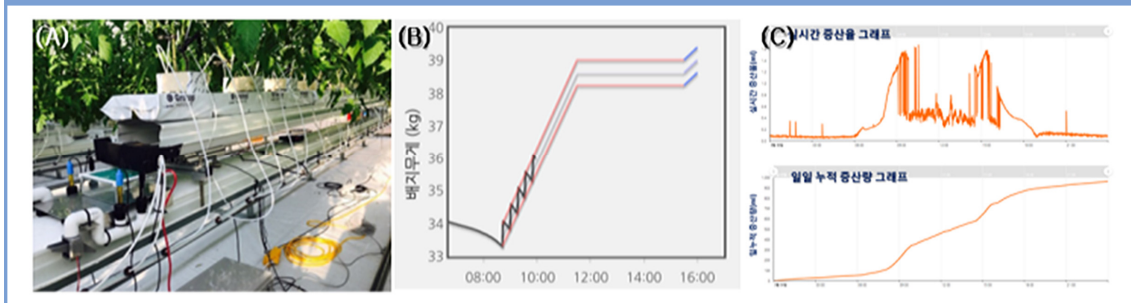
그림 19. 피노타이핑 장비 기반 이미지 DB 구축 플랫폼



* 출처: 한국과학기술연구원 천연물연구소 스마트팜융합연구센터

센서 정보 기반 스마트 양액 제어 기술은 식물의 지상부 및 근권부 생리 측정 장치를 통한 식물 함수량 및 증산량을 계산하여 이를 기반으로 최적 관수제어를 하는 것으로 기계학습 예측 모델을 활용한 양액기 EC/pH 조절 알고리즘 구현을 동반하고 있다.

그림 20. 근권부 배지 함수율 측정 장치



* 출처: 한국과학기술연구원 천연물연구소 스마트팜융합연구센터

스마트팜 영상을 통한 생육 정보 측정 기술은 경험 기반에서 데이터 중심으로 전환하기 위해 필요한 기술로서, 식물 생육정보의 계측-분석-활용을 위해 딥러닝 알고리즘 적용으로 보다 정확한 지표획득을 통해 생육지표 정보와 누적 제어환경 정보를 통한 생육 모델링 및 이를 통한 기능성 식물 정밀환경제어를 통한 생육(생산량 등) 제어가 가능하게 한다.

그림 21. 영상 기반 생육 정보 모니터링 기술 보도기사



* 출처: 한국과학기술연구원 천연물연구소 스마트팜융합연구센터

스마트팜 제어 설비 통합 및 자동 분석 DB 구축을 기반으로 스마트팜 환경제어, 양액제어 PLC 시스템 구축 및 통신연결을 통한 통합서버 데이터 관리 플랫폼 개발을 완성했다. 다시 말해, 통신을 통한 냉방/난방 설정 제어, 통합환경 제어 시스템 및 빅데이터 DB 구축을 통한 모든 구역 재배실의 환경 및 양액 정보 모니터링 정보 로깅, 데이터 가시화, 작물 재배공간의 온도, 습도, CO₂ 농도를 유지하기 위한 센서 정보 기반 자동제어 알고리즘 구현, 분리된 DB가 아닌 생육, 환경, 제어 이력 등의 모든 데이터 통합 DB 구성을 완료하여 실증 재배 기간 중 생육정보와 환경과의 기본 통계분석 지원 등을 구축하였다.

그림 22. 스마트팜 제어 설비 통합 장치



* 출처: 한국과학기술연구원 천연물연구소 스마트팜융합연구센터

저자소개 **노주원** (Chu Won Nho)

• 학력

일리노이대학 천연물과학 박사
위스콘신대학 미생물학 석사
한림대학교 유전공학 학사

• 경력

現) 한국과학기술연구원 강릉분원 천연물연구소
책임연구원
現) 농림식품기술기획평가원 비상임이사
前) 한국과학기술연구원 스마트팜융합연구단장
前) 한국과학기술연구원 천연물융합연구센터장

저자소개 **김호연** (Ho-Youn Kim)

• 학력

UC 데이비스 대학 농학 박사
경북대학교 농학 석사
경북대학교 농학 학사

• 경력

現) 한국과학기술연구원 강릉분원 천연물연구소
책임연구원
現) UST 부교수
前) Florida 대학 박사후연구원
前) Arizona 대학 박사후연구원

참고문헌

〈국내문헌〉

- 1) 과학기술정책연구원 (2018). 스마트농업 현장 착근을 위한 기술정책 제고방안.
- 2) 농림식품기술기획평가원 (2022). 메디푸드 및 고령친화식품 분야 동향보고서.
- 3) 농림식품기술기획평가원 (2020). 고부가가치 메디푸드 산업동향 및 기술개발 이슈.
- 4) 농업기술실용화재단 (2020). 해외 우수 식품특허 트렌드북.
- 5) 식품의약품안전처 (2022). 식품 등의 생산실적 자료(2017년~2021년).
- 6) 식품의약품안전처 (2020). 특수의료용도식품 분류개편 관련 자료.
- 7) 한국과학기술기획평가원 (2021). 스마트농업. KISTEP 기술동향브리프 2021-03호.
- 8) 한국과학기술연구원 천연물연구소 스마트팜융합연구센터 관련 자료.
- 9) 한국농수산식품유통공사(2022). 가공식품 세분시장 현황 자료.
- 10) KOTRA (2019). 스마트팜 글로벌 트렌드 및 진출 전략.

국외문헌:

- 1) Ho-Youn Kim, Macarena Faruch, Yuval Cohen, Carlos Crisosto, Avi Sadka, Eduardo Blumwald (2015) Non-climacteric ripening and sorbitol homeostasis in plum fruits. *Plant Science* 231:31-39.
- 2) Marcel Buchholzer, Wolf B. Frommer (2022) An increasing number of countries regulate genome editing in crops. *New phytologist* 237: 7-8.
- 3) Yang-Ju Son, Jai-Eok Park, Junho Kim, Gyhye Yoo, Taek-Sung Lee, Chu Won Nho. (2021). Production of low potassium kale with increased glucosinolate content from vertical farming as a novel dietary option for renal dysfunction patients. *Food Chemistry* 339: 128092.

기타문헌:

- 1) (재)스마트팜연구개발사업단 (2022). 올해 농림부 주요 정책 ‘스마트팜’, 이래서 주목받는다. https://www.kosfarm.re.kr/www/brd/m_274/view.do?seq=17&srchFr=&srchTo=&srchWord=&srchTp=&multi_itm_seq=0&itm_seq_1=0&itm_seq_2=0&company_cd=&company_nm=&page=28 (02.09.)
- 2) Astute Analytica (2022). Global Medical Food Market Size, By Value, 2017-2030 (USD Million)

참고문헌

- 3) Berkely Market Analysts (2018).
- 4) Monipla 新妊活サプリ『VEGEMAMA ベジママ』상품페이지. https://monipla.jp/vegestory/etp_review_item/pdcd-vegemama/
- 5) 매일경제 (2023). '환자식?NO!...맞춤형 건강식단, 메디푸드를 아십니까' <https://www.mk.co.kr/economy/view.php?sc=50000001&year=2023&no=825156> (10.27.)
- 6) 연합뉴스 (2020). '칼륨 70% 줄이고 항암성분 2배 늘리는 케일 재배기술 개발' <https://www.yna.co.kr/view/AKR20201125140000017> (11.26.)
- 7) 조선비즈 (2020). '당뇨환자에 독약인 칼륨 100% 없애는 케일 재배법 개발' https://biz.chosun.com/site/data/html_dir/2020/11/25/2020112501318.html (11.26.)
- 8) 푸드아이콘-FOODICON (2023). '메디푸드, 10명 중 7명이 구입 경험...대중화로 1000억 시장' <http://www.foodicon.co.kr> (01.02.)
- 9) 한겨레 (2023). 유전자'편집' 겨자잎 샐러드 나왔다...GMO와 뭐가 다르지? https://www.hani.co.kr/arti/science/future/1092448.html?utm_source=copy&utm_medium=copy&utm_campaign=btn_share&utm_content=20240226 (05.19.)



융합연구리뷰
Convergence Research Review

2024 March Vol. 10

No. 03



2

스마트 축산기술 및 연구 동향

김 세 한

한국전자통신연구원 기술기획부장

2. 스마트 축산기술 및 연구 동향

김 세 한 (한국전자통신연구원 기술기획부장)

I. 서론

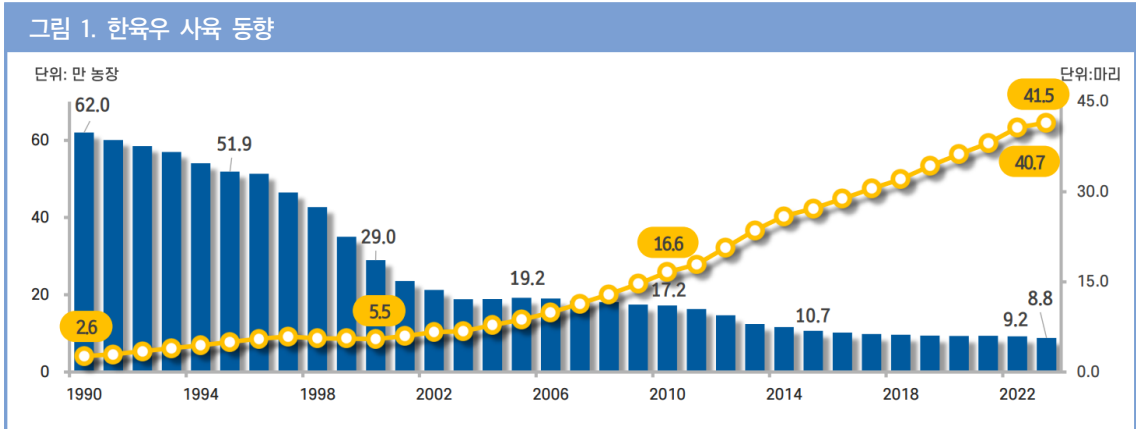
기후변화로 인한 역대급 폭우, 가뭄, 최악의 장마, 일교차의 급격한 증가, 인수공통 전염병의 확산, COVID-19로 인한 소비침체와 인플레이션 등 매우 다양한 문제로 인해 국내외 농축산 생산 및 소비 환경은 매우 불안정한 상황이다. 국내 축산 산업은 대부분 수입되는 사료 가격의 증가에 기인한 축산물 생산단가의 상승, 매년 새롭게 발생하고 있는 질병으로 인한 어려움을 겪고 있다. 또한 해외 기업들의 장기간 데이터의 축적을 통한 기자재 및 시스템과 기술적 경쟁으로 생산 자체뿐만 아니라, 생산기술조차 해외에 의존해야 하는 어려움에 직면하고 있다. 농업 부분의 GDP 및 수출 규모는 증가하는 반면 농촌인구는 감소하고 고령화 비율이 증가하고 있어 이를 극복하기 위해 무인화와 자동화, 지능화된 시스템 개발이 핵심 이슈이기도 하다. 이러한 상황에서는 정부는 축산 부분의 디지털 전환을 통해 국내에서의 위기를 세계 시장에서 경쟁력 있는 산업으로 키우기 위해 IoT, 인공지능, 빅데이터 기술 등 ICT 융합 기술에 투자해 오고 있다. 이를 통해 기존의 한계를 극복하고 새로운 성장을 가능케 하는 기회로 삼으려 노력 중이다.

하지만 축산 분야는 기술적으로 생산 과정에서 다양한 요인들이 상호 작용하는 매우 복잡한 분야로 단편적 기술 중심의 접근 방법으로는 한계가 있다. 최근에는 이러한 한계를 극복하고 더욱 효율적으로 관리하기 위해 센싱 중심의 IoT 기술에서 한층 더 진화하여 데이터 중심의 디지털트윈, 메타버스와 같은 차세대 플랫폼을 활용하여 전주기 무인화 생산 방안도 제기되고 있다. 또한 산업화 측면에서 기업육성과 보급을 위한 표준화에도 집중하고 있다. 본 융합연구리뷰에서는 국내에서 진행되고 있는 ICT 융합 기술을 중심으로 축산 분야의 데이터 중심 개발 방향, 축산 질병 및 환경관리 기술, 인공지능 기반의 축산 서비스와 통합 플랫폼 기술 및 국내외 표준화 동향 등을 살펴보고 앞으로의 연구개발 방향에 대해 논해본다.

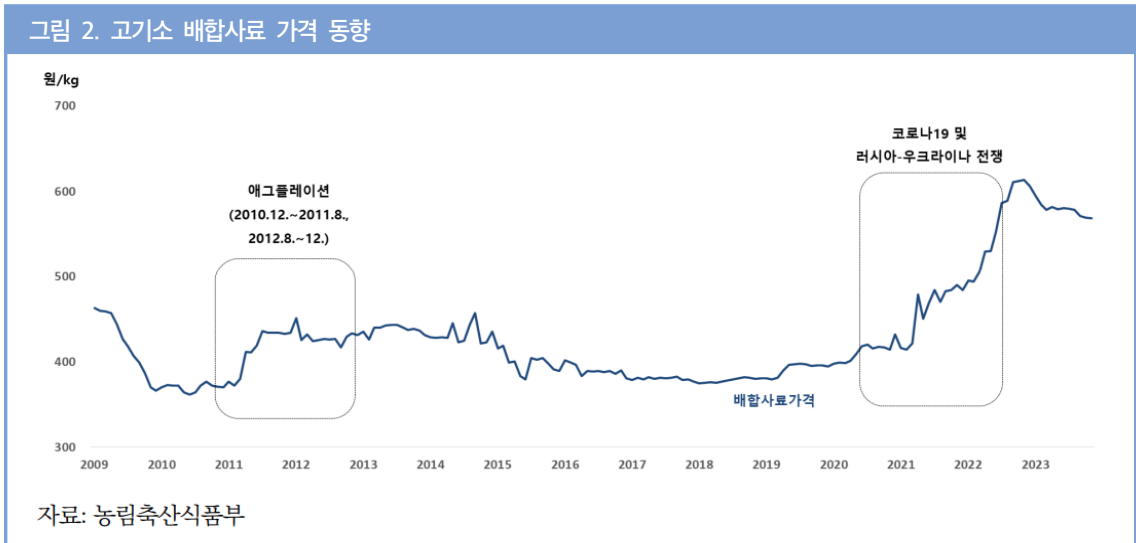
1. 국내 축산 산업 현황을 통해 본 스마트 축산기술의 필요성

국내 축산업 부문은 한육우, 양돈과 양계, 오리를 중심으로 규모 측면에서 전업화, 계열화, 대형화가 빠르게 진행되고 있으며 농업 전체에서 산업화가 가장 빠르게 진행되고 있다. 규모가 가장 큰 한우와 돼지를 살펴보면, 한육우는 사육 마릿수 2014년부터 연평균 3.9%씩 증가하며 2022년 역대 최고치를 기록했으며, 농장 수는 매년

감소해서 8만 8천 개소 수준으로 사육 마릿수보다 농장 수 감소가 커서 전업화, 규모화, 일관 사육화로 전환 중이다. 특히 50마리 이상 전업 농장이 68.7% 수준이다.



* 출처: 통계청, KREI 농업관측센터

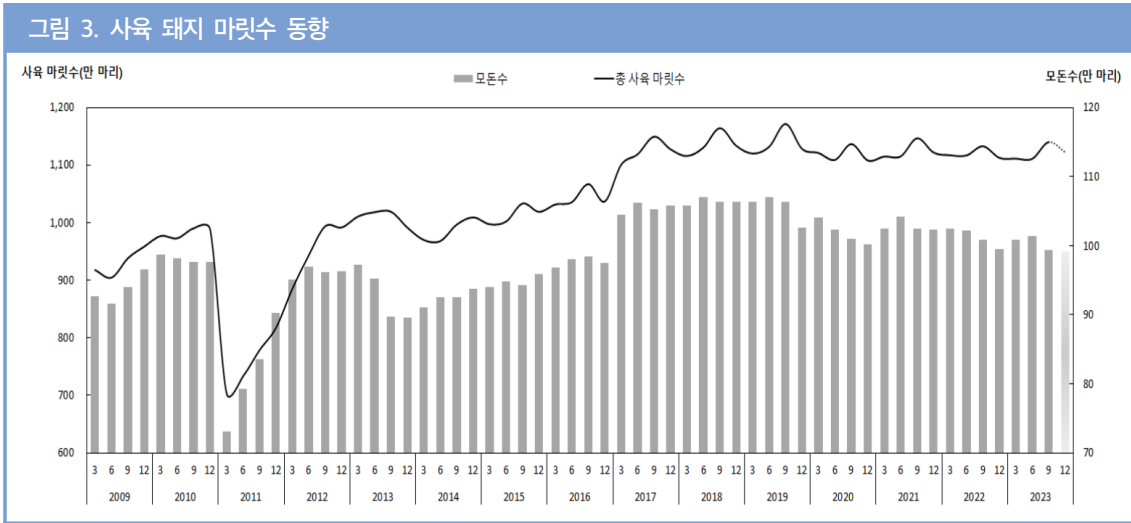


자료: 농림축산식품부

* 출처: 한국농촌경제연구원 (2024)

돼지의 경우 사육 마릿수는 2000년 8,371(천마리), 2014년 10,090(천마리), 2022년 11,326(천마리) 수준으로 매년 증가 중이나 한육우와 마찬가지로 2000년 23,841호, 2014년 5,177호, 2022년 5,695호 수준으로 매년 증가 중이나 한육우와 마찬가지로 대형화 및 계열화가 진행 중인 대표 산업이다.

그림 3. 사육 돼지 마릿수 동향

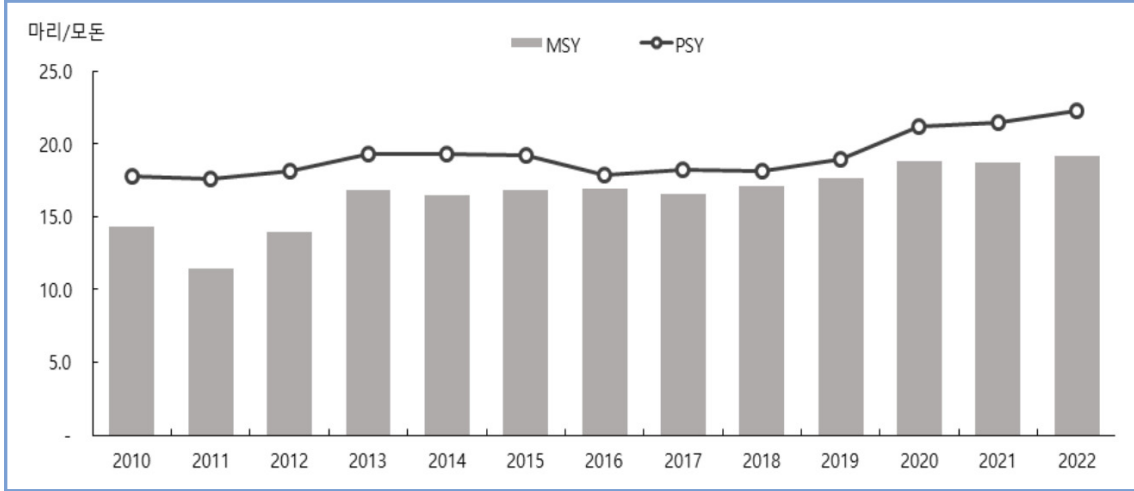


* 출처: 통계청, 축산물품질평가원, KREI 농업관측센터

상기 내용과 같이 수요 증가에 따라 축산 산업의 대표 품종이 한육우와 돼지의 생산 마릿수는 매년 증가하고 있으나 사육 농가 수는 감소하는 추세이다. 즉 농가당 사육 수가 증가하는 현상은 규모화에 따른 자동화의 필요성 증대와 더불어 추가적인 도입 비용이 들어가는 ICT융합 시스템의 현장 수요가 높아질 수 있는 환경이 조성되고 있다. 특히 증가하는 사료 가격의 영향으로 적정 사료로 최대한의 체중 증가를 통한 생산성 향상을 이루도록 하는 것이 중요한 이유이다.

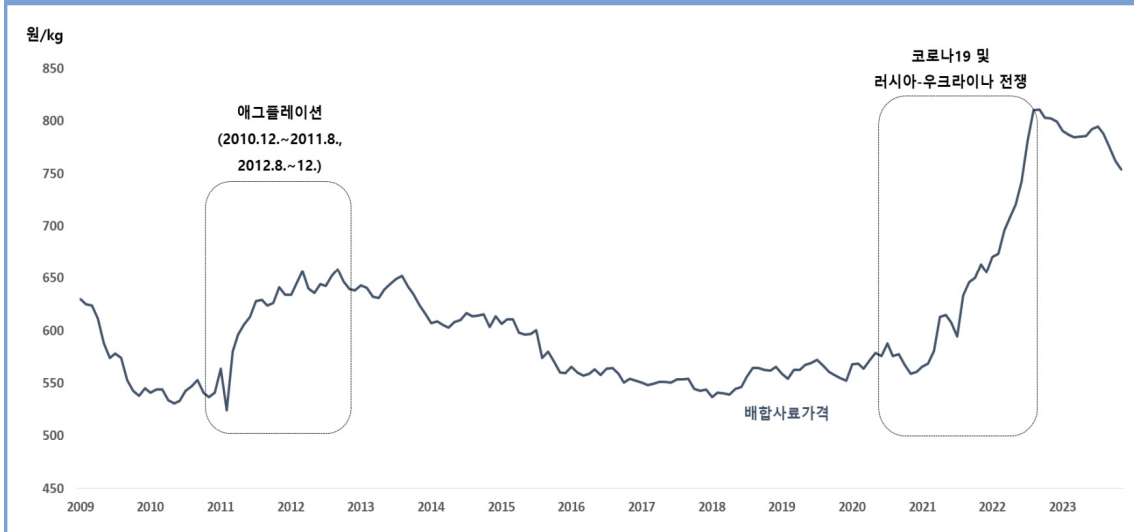
국내 축산관련 질병을 살펴보면 2011년 구제역 백신접종 이후 피해 규모는 감소하였지만 매년 지속해 발생하고 있고, 2015년 축산업 생산액 19.2조 원일 때 가축전염병에 의한 손실액은 3.8조 원 손실로 추정할 만큼 그 피해는 막대하다. 2017년에는 구제역 O형과 A형이 발생, 2023년 5월에는 충북 청주시 한우 농장에서 구제역 발생을 시작으로 당해연도에 총 11건, 이중 한우 농장에서 10건이 발생하기도 하였다. 특이하게 2023년 10월에 충남 서산시 한우 농장에서 림피스킨(Lumpy Skin Disease, LSD)이 국내 최초로 발생하였다. 림피스킨은 경기, 인천 강화 등 서해안을 중심으로 확대되어 제주를 제외한 모든 도에서 발생하여 총 107건이 9개 시도, 34개 시군에서 발생하였으며, 이중 한우 81건, 젃소 23건, 육우 3건이었다. 아프리카돼지열병(African Swine Fever, ASF)은 지난 2019년 9월 경기도에서 처음으로 발생하였으며, 2019년에는 경기도 파주시와 인천광역시를 중심으로 14건, 2020년과 2021년에 강원도를 중심으로 각각 2건, 5건, 2022년은 7건, 2023년 10건 발생하여 5년간의 총 발생 건수는 38건이었다. ASF로 인한 연간 돼지 살처분 마릿수는 2019년 36만 5천 마리였으며, 2020년 5천 마리, 2021년 9천 마리, 2022년은 3만 5천 마리, 2023년은 10만 6천 마리였다. 아프리카돼지열병의 직접적 원인으로 알려진 지난 5년간 야생 멧돼지 ASF 발생 건수는 총 3,489건으로 2019년 55건, 2020년 856건, 2021년 964건, 2022년 878건, 2023년 736건으로 나타났다.

그림 4. 돼지 PSY, MSY 동향



* 출처: 통계청, 축산물품질평가원, KREI 농업관측센터

그림 5. 돼지 배합사료 가격 동향



* 출처: 한국농촌경제연구원 (2024)

2023년 발생 지역별로는 경상북도 370건, 강원도 193건, 충북 172건, 부산 1건이었다. 증가하는 질병으로부터 피해를 줄이기 위해 백신을 통한 방어가 가장 중요하지만 새롭게 발생하는 신종 전염병으로 인해 고통과 경제적 손실을 피할 수 있도록 다양한 환경 요인으로부터의 질병 전파를 최소화하기 위한 노력이 요구되고 있다. ICT기술을 활용한 위험 요소의 차단, 예방관리, 가축 질병 진단, 방역 및 차단 등에 기술개발이 진행되고 있다. 결국 시설 대형화 및 생산성 향상, 질병 방어 및 피해 최소화를 위해 데이터 중심의 시스템 개발과 최적화된 시스템 개발을 위해 전 세계가 집중하고 있다.

국내 축산 시스템 관련 기술개발은 최고 선진국에 비해 기술 격차를 보인다. 이를 해소하고자 농축산 분야와 관련된 ICT 원천기술을 확보하고 농축산 관련 기술을 적극적으로 활용하려는 노력이 진행 중이다. 특히, 덴마크, 네덜란드 등 축산 분야에서 선진국과 경쟁할 수 있는 수준의 IoT, AI 등의 지능정보 ICT 기반 기술을 확보하는 연구가 도입되고 있다. 최근에는 축사 시스템에 인공지능을 중심으로 디지털트윈, 메타버스 등의 기술도 고려되고 있다. 세계 최고 수준이 세계적 기업들과 경쟁하기 위해 매우 복잡한 생태계를 가진 축산 산업의 요소들인 사람, 생물, 시설, 환경, 기자재, 로봇 등의 실물 객체와 디지털 객체를 정밀하게 연동시켜 생산, 유통, 가공, 에너지, 환경오염, 질병 관리, 저탄소 등 다양한 분야에서의 현장 문제를 해결하기 위한 개발이 필요하다. 특히, 디지털트윈 기술은 다양한 분석 방법과 사전 예측 기능을 활용하여 경제성, 생산성, 다양성, 부작용 등 다양한 관점에서 종합적이고 객관적인 데이터를 제공하며, 조치 후 부작용을 최소화함으로써 산업 전반의 갈등을 해소하는 데 도움을 줄 수 있다.

2. 농축산 산업을 위한 정책 동향

국내 농축산 분야에서는 첨단기술의 융복합을 통해 데이터 및 ICT 기반 첨단기술을 농업 분야에 확장하여 농식품 기술 수준을 향상하고 혁신성장 기반을 강화하는 데 주력해 왔다. 이러한 노력의 결과로 기술 수준은 2018년의 80%에서 2022년에는 84.3%로 상승했으며, 축산 스마트팜의 보급도 2017년 801호에서 2021년에는 4,743호로 492%의 괄목할만한 성장을 이루어내고 있다. 동시에, 농업생물자원을 활용한 고부가 농산업 소재 개발, 방역, 스마트 농업 등의 다양한 노력을 통해 농업의 혁신생태계 기반도 조성되고 있다. 그럼에도 불구하고 기후변화로 인한 자연재해 증가, 농촌인구 고령화, 농업인력 부족, 그리고 질병의 증가와 같은 여건의 악화에 대응하여 연구개발 투자에 대한 필요성은 점차 높아지고 있다. 이러한 도전에도 불구하고 국가 12대 국가전략기술 등 정부의 R&D 투자 방향에서 농업 분야 해당 기술은 전무한 상태로 다소의 위축된 상황이며, 국가적 안보 측면에서의 식량안보와 지속가능성을 고려할 때, 더욱 높은 수준의 투자와 전략이 필요한 시점이다. 농식품 주요 정책을 효율적으로 지원하기 위해 정부는 스마트 농업 확산, 그린바이오, 푸드테크와 같은 신성장 산업 분야에 중점 투자를 예정하고 있다. 최근 발표된 여러 정책 중에는 2050 농식품 탄소중립 추진전략(‘21.12.), 스마트 농업 확산을 위한 농업혁신 방안(‘22.10.), 푸드테크 산업발전방안(‘22.12.), 그린바이오 산업 육성전략(‘23.2.) 등이 있다.

「생명공학육성법」에 따라 과기정통부 주관 등 15개 부처·청¹⁾이 공동으로 수립하는 생명 공학 분야 최상위 법정 계획인 제4차 생명공학육성 기본계획에 따르면 바이오 대전환 선도를 위해 기술·산업역량 확보의 필요성이 강조되고 있으며 기술 선도국과의 기술 격차에 따른 선도국 도약은 다소 지체되는 상황이다. 18년 기준 선도국 대비 기술 수준 80% 이상인 기술 10개 중 '20년 기준으로 기술 수준이 향상된 기술 분야는 2개에 불과한 것으로 조사되고 있으며, '21년 국내 바이오산업 규모는 48조 원으로 세계 시장(2,480조) 대비 영세(1.9%)하며, 그나마

1) 기획재정부, 교육부, 과학기술정보통신부, 외교부, 농림축산식품부, 산업통상자원부, 보건복지부, 환경부, 해양수산부, 중소벤처기업부, 식품의약품안전처, 특허청, 질병관리청, 농촌진흥청, 산림청

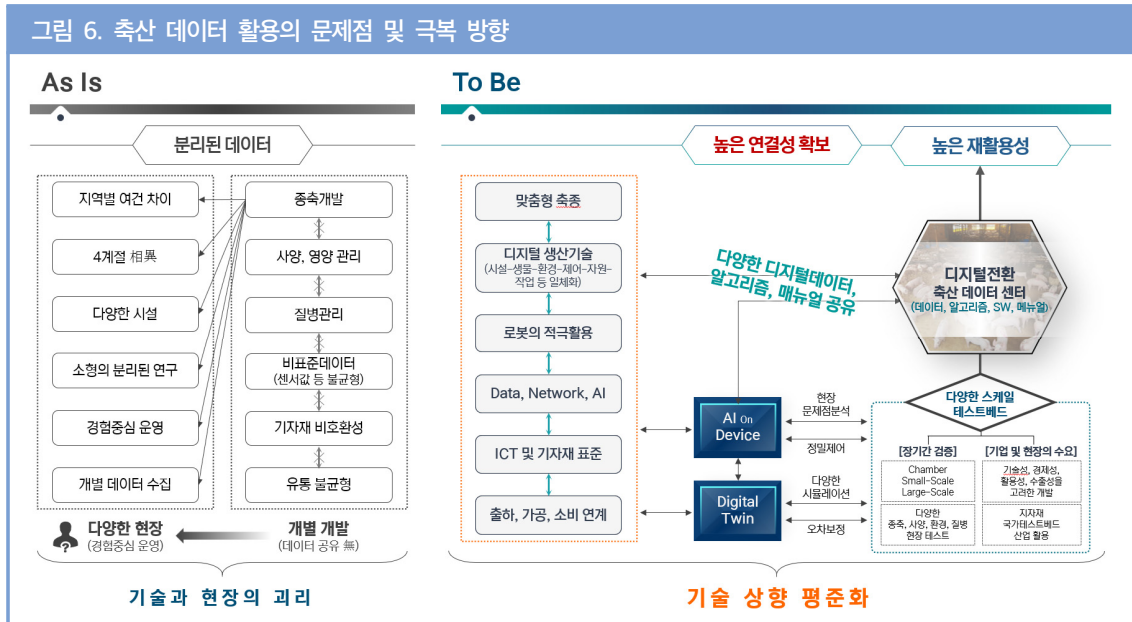
의약품·의료기기 분야에 집중되는 한계를 지적하고 있다. 이에 대책으로 융합과 연결의 바이오 대전환을 통해 기존 한계를 극복하기 위한 전략을 펼칠 것으로 예상된다. 농림수산·식품 국가연구개발 투자 방향(25)에서는 기후 위기, 고령화 등 글로벌 농업 생산 불확실성 증대에 따라 농업과 ICT 등 첨단기술을 융합한 농업 기술(Ag Tech)이 주목받을 것으로 예상하며, 생산-소비-유통 등 농수산업 전 분야에 첨단기술 융복합 혁신을 통한 차세대 스마트 농수산업 확산과 국제 경쟁력 제고가 요구되고 있다. 국민 안전 먹거리 공급을 위한 동·식물 감염병, 기후 위기, 재난 재해 등 대내외 위협 대응 역량 확보, 신·변종 동물 감염병 대응 차세대 핵심 기술 확보 및 방역체계 고도화가 강화될 것으로 판단된다. 노지 스마트 농업 확산, 차세대 스마트팜 원천기술 확보 등을 통해 스마트 농수산업 기술 수준 향상 및 국제 경쟁력 강화를 위해 축산자원의 완전 순환형 차세대 기술 등 타 분야 선도 기술 융복합을 통한 혁신적·도전적 연구 활성화 및 우수 성과확산을 통해 농수산 분야 차세대 기술 확산이 핵심 쟁점이 될 전망이다.

이러한 정부의 노력은 농산업 디지털 전환을 가속화하고 국가전략기술의 도입을 통해 농업의 미래 성장 산업화를 견인하는 데 주력하고 있다. 디지털 전환 측면에서는 데이터 기반 농축수산업 지능화와 농기계 가상 실증 등을 통해 스마트 농업을 확산시키고 있다. 그린바이오 분야에서는 마이크로바이옴, 동물용 의약품, 농생명 자원 기반 고부가 산업용·의약품 소재 등의 첨단바이오 산업화를 촉진하는 등 관련 산업의 혁신성장을 모색하고 있다. 또한 글로벌 전환을 위해 농식품 분야에서 세계 최고 수준의 대학, 기업 연구소 등과의 협력을 강화하여 국제공동연구를 활성화가 요구되는 시점이다. 농식품 시스템을 저탄소 구조로 전환하고, 농축산 분야의 탄소 모니터링, 친환경 농기계 에너지원(전기·수소)을 지원하여 탄소중립을 실현하고, 농업·농촌의 구조적 문제 해결을 위해 농작업(밭, 과수) 기계화, 대체 로봇 등의 개발을 통해 현장에서의 문제에 대응하고 있으나 축산 분야에 대한 투자는 여전히 미흡한 상황이다.

II. 데이터 중심 축산 시스템 연구 개발 방향

축산 분야는 지역별 기후, 시설 등의 차이로 시설 외부와 내부의 환경에 대한 이해가 필요하다. 이는 해외의 우수 시설과 기술을 그대로 도입하였으나 실제 생산성은 오히려 떨어지는 사례는 매우 많다. 축사 내·외부의 방역, 백신 및 질병 감시, 축사 내부의 온·습도·악취관리, 사양관리, 에너지·자동화·기자재 관리, 축·품종에 대한 이해, 출하 및 폐기물 관리 등 매우 많은 요소가 서로 얽히는 구조이다.

그림 6. 축산 데이터 활용의 문제점 및 극복 방향



* 출처: 저자 작성

그러나 국내 현장에 적용하기 위한 기술들은 대부분 단편적 연구 결과를 활용한 단위 기술들로 현장에서 활용하는 것에 한계가 있다. 일례로 현대화된 축사를 방문해 보면 서로 다른 회사의 시스템이 개별적으로 연결되어 있으며 기자재 및 소프트웨어에 대한 투자는 이뤄졌으나 정작 통합되어 운영되지 못하는 한계로 생산성에 큰 영향을 주지 못하고 있으며, 스마트 축사 기술의 무용(無用)론이 언급되기도 한다. 또한 대형화된 국내 축산농가가 영세한 국내 기업의 제품을 기피하고 해외의 토털 솔루션을 도입을 선호하는 이유이기도 하다. 다양한 형태의 정형·비정형 데이터의 활용, 복합기술의 높은 수준의 정합도, 자동화 기술의 고속화·정확도 등에 있어 기술적 한계, 소형 및 파편적 연구의 연결 부족, 데이터 및 관련 기술의 표준화 부족 및 천차만별 수준의 제품으로 인한 상호 공유할 수 없는 문제점이 있다. 축산 시스템을 구성하는 개별 요소의 연결이 가능하고, 다양한 정보들을 디지털화하여 통합분석이 가능한 시스템이 필요하며, 이를 지원하기 위한 중대형 규모의 시스템 기업이 필수적이다. 또한 이를 뒷받침할 수 있는 질병, 사양, 에너지, 사양관리, 급이기, 청소 등 축산기계로봇 자동화, 공기질, 에너지 등 효율화, 축산 교육시스템에 ICT를 활용한 기술 개발은 필수이다.

이른 시일 안에 대형화된 선진 시스템과 경쟁력 확보를 위해서는 데이터의 연결성을 중심으로 하는 인공지능 및 디지털트윈 기술의 적극적인 도입을 생각해 볼 수 있다. 디지털트윈은 사물인터넷, 클라우드 컴퓨팅, 빅데이터, 인공지능 등을 기술을 복합적으로 활용하는 플랫폼 기술이다. 특히 축산기술과 융합하여 미래 사회문제에 대응하고 디지털 전환을 통한 통합적 분석과 예측을 목표로 한다. 농장의 물리적 구성을 가상화하여 연결하는 수준의 의미에서 확대하여 초자동화·초연결화와 인공지능이 탑재되어 다양한 분석과 예측을 할 수 있는 동물·사람·환경의 시·공간 기술 융합 수단으로 활용할 수 있다. 특히 현장 농가에서 발생하는 다양한 문제 해결을 위한 시간, 비용, 공간, 정보의 한계를 극복 가능케 하는 미래지향적 새로운 비즈니스 모델의 창출이 가능하다. 물리적 대상과 이를 디지털로 복사하기 위해 디지털 대상을 시간 및 공간으로 동기화하고, 다양한 목적에 따라 상황을 분석하고 모의 결과를 기반으로 예측하여 물리적 대상의 최적화가 가능하다. 단순히 숫자, 도표, 2D/3D, VR/AR/XR 등의 기술을 통해 가상화하는 기술 수준이 아니다. 이러한 관점에서 축산처럼 다양한 요소들이 상호 간 직·간접적 영향을 미치는 매우 복잡한 환경에서 환경오염·에너지·저탄소·질병 등 현안 해결, 노동력 절감·생산성 최적화 등을 통해 시스템 산업으로 발전을 가능케 하는 핵심기술이 될 수 있다.

한 예로 돼지를 대상으로 하는 스마트 축사의 경우, 제어 대상이 되는 시설별 모델링을 위해서는 시설 내부에 직접적 영향을 줄 수 있는 국지적 외부 환경 정보(온습도, 일사량, 풍향/풍속 등)와 시설 내부의 환경에 영향을 주는 피복, 구조, 시설(환풍·배기팬, 냉난방기, 분무, 사양 자동화 기기 등), 각 돈방에서 돼지의 행동 분석을 통한 적절한 환경의 제공, 동물의 질병 감시 및 스트레스 분석, 동물 상태에 따른 급이 등 자동으로 수집되는 시공간 데이터에 대한 분석의 종합적 제공이 가능하다. 이를 통한 무계별 적정 사료 공급과 환경제어는 최적의 생산성을 만들 수 있으며, 기존의 수동 제어나 기기별 단순 제어로 인한 모니터링 수준의 정보에서 인공지능 기술을 통합 복합 환경제어와 증체량 예상이 가능할 것이다. 이러한 것 외에도 현장에서 축사시설을 개보수하는 경우 생산 활동이 중단되는 점을 고려 하였을 때 가상의 환경에서 가상화된 시험은 불확실성을 줄이는 데 사용될 수 있다. 축사 내의 불안정한 대기 환경의 개선을 위해 배기팬을 신규로 설치하는 경우 설치비용과 개선에 대한 불확실성으로 시설에 대한 투자에 반대할 것이다. 배기팬 설치 전 가상의 실험을 통해 현재 시설에서의 설치에 대한 실익을 예측할 수 있어 투자에 따른 리스크를 최소화할 수 있다. 현장에서의 에너지 비용 및 운영비용 최소화, 산성 최대화 등 다양한 목적의 시뮬레이션을 통해 현장의 제어가 가능하다. 이때 단순히 가상화뿐만 아니라 시설, 환경, 돼지 행동, 사료·음수, 백신 정보 등을 실시간으로 연계하여 복합적인 활용을 가능하게 한다. 또한 시스템의 장비 운용 시스템의 모니터링과 제품개발 또는 프로세스 개선 측면에서 새로운 기회를 식별하는 데 도움이 되며, 기존 시스템 내에서 전반적인 축사 성능을 향상, 실제 축산 전문가, 시스템 기업, 컨설팅과 새로운 협업 기회도 마련할 수 있다.

III. 축산 질병 및 환경관리 기술

국내 축산업의 패러다임의 전환을 위하여 정부는 매년 빈발하게 발생하는 구제역, 고병원성 조류 인플루엔자 등 재난성 가축전염병, 다양한 소모성 질병, 악취 발생 등으로 축산업에 대한 국민의 불신 증가를 해소하기 위한 노력을 진행하고 있다. 또한 장기적으로 가축전염병을 예방하기 위한 위험관리 시스템과 국내 일반적인 축산농장을 동물복지 축산농장으로 단계별 전환하기 위하여 보편적인 동물복지 축산과 동물복지 인증 축산농장에 대한 사후 관리시스템 구축을 위해 연구개발이 진행 중이다. 그럼에도 불구하고 각종 가축 질병과 환경관리는 농가 현장의 수의·축산 관련 공무원, 축주 및 관련 산업 종사자의 인력과 국가동물방역통합시스템(KAHIS) 및 방역조직시스템 등으로 문제 해결을 시도하고 있어 여전히 어려움이 있다. 매년 반복되는 질병으로 인해 투입되는 해당 공무원과 당사자인 축주 및 관련 산업의 종사자들 모두 어려움을 참아내는 형태로 높은 이직률과 총원 인력조차 확보하지 못하는게 현실이기도 하다. 그동안 국내 축산업은 재래식 또는 소규모로부터 출발하여 전업화 및 규모화가 되면서 외향적으로는 크게 성장하였으나, 정부의 노력에도 불구하고 축주 및 관리자들의 방역 의식과 동물보호·복지 의식 수준은 소비자의 의식변화를 따라가지 못하고 있다. 또한 축산농장 및 축사시설의 건립 지역이 질병 발생 우려가 큰 고위험 지역에 건립되어 있고, 또한 축산농장 및 축사시설이 외부로부터 유입되는 위험 요소(오염원)에 대한 예방 및 방역관리와 축사 내 사육동물에 대한 보호 및 복지를 구현할 수 있는 구조로 대부분의 축산농가 및 축사시설이 설치되지 않아 선진국형 방역 및 동물복지 축산농장으로 진입하는 데 있어서 커다란 걸림돌로 작용하고 있다.

1. 가축 질병 대응 국내외 현황

세계동물보건기구(Office of International Epozooticsa: OIE)는 2016년 사람, 동물, 환경을 통합적으로 관리할 수 있는 원헬스(One-Health) 정책을 추진하고 있으며, 원헬스 정책은 60%의 인간 병원체가 동물에서 유래하며 매년 5가지의 신종 인간 감염병이 발생하며 전체 축산물 생산액의 20%가 질병에 의해 손실이 발생하므로 동물을 보호하여 인류의 미래를 보존한다는 정책이다. OIE에서는 142종의 가축 질병은 전파속도 및 범위의 심각성에 따라 List A, B, C로 분류하여 가축 질병 발생 시 국제동물위생규약(International Animal Health Code)을 근거로 전염병 청정도에 따라 오염된 동물이나 그 생산물의 국제교역을 차단하는 조치를 시행하고 있다. 현재 WHO 주도하에 FAO, OIE와 함께 인수공통감염병을 포함한 주요 동물 질병에 대한 Global Early Warning System(GLEWS) 운영 중이다. 국내의 경우 가축전염병 예방법에 따라 1종~3종으로 분류하고 제1종 가축전염병 15종 제2종 가축전염병 24종 제3종 가축전염병 5종 등 총 44종의 질병으로 분류하여 관리하고 있다.

구제역(Foot-and mouth disease, FDM)의 경우 발굽이 둘로 갈라진 동물(우제류)에 감염되는 질병으로 전염성이 매우 강하며 입술, 혀, 잇몸, 코 또는 지간부 등에 물집(수포)이 생기며 체온이 급격히 상승하고 식욕이 저하되어 심하게 앓거나 어린 개체의 경우 폐사가 나타나는 질병으로 제1종 가축전염병으로 분류되어 있으며,

병원체는 7개의 혈청형 즉, A, O, C, Asia 1, SAT 1, 2, 3으로 나뉜다. 실제로 2010년 11월부터 2011년 4월까지 이어졌던 전국 구제역 사태 때 부산, 대구, 경기 등 75곳에서 총 347만 9,900마리가 살처분되어 막대한 국가적 손실을 초래했다. 일반적으로 감염된 동물의 이동 때문에 전파되며, 감염 동물의 콧물, 침, 분변, 공기가 주요 감염 경로다. 접촉한 사람이나 차량 등에 의해 전파되기도 한다. 지금까지 알려진 바에 따르면 공기를 통해 확산하는 경우 육지에서는 50km, 바다에서는 250km 이상 전파되었다는 보고가 있다. 최근에는 구제역 예방접종에 대한 강화, 항체 양성률에 따른 차별화된 강화를 통해 그 피해가 많이 줄어든 상황이다.

조류 인플루엔자(Avian Influenza, AI)는 고병원성과 저병원성으로 나누어지며 고병원성(HPAI)은 호흡기 증상을 보이며 폐사율이 100%에 가까운 정도로 위험도가 높다. 3개의 혈청형(A, B, C형)으로 분류되며 이중 B형과 C형 바이러스는 사람에게 감염되며, A형 바이러스는 사람을 비롯하여 가금류 및 다양한 척추동물에 감염된다. 매년 겨울철의 국내에 도래하는 야생조류가 주요 바이러스의 유입원으로서 환경에 오염된 바이러스가 가금으로 유입되지 않도록 하는 것이 중요하며, 가금에서의 조기 검출에 실패하면 농장 간 수평 전파의 우려가 매우 큰 상황이다. 2018년 기준 총 94,1천 마리에 달하며, 이와 관련하여 총 1조 1,728억 원이라는 막대한 직·간접적 피해액이 발생하였다. 2020/2021년 발생에 따른 살처분 가금의 숫자는 2월 현재 27,126천 마리에 달한다.

아프리카돼지열병(African Swine Fever)은 감염된 돼지의 폐사율이 100%까지 이르는 열성 출혈성 바이러스성 질병으로, 2007년 아프리카에서 동유럽에 유입되어 유럽 여러 나라와 러시아로 확산한 것으로 판단한다. 2018년 8월에는 아시아 최초로 중국에서 발생한 이후 중국 전역으로 확산하였고, 2019년에는 몽골, 베트남, 캄보디아, 홍콩, 북한, 라오스, 필리핀, 미얀마, 동티모르, 인도네시아, 우리나라 등으로 확산하여 아시아지역 양돈 산업에 혼란을 초래하고 사회경제적 피해를 낳고 있다. 아프리카돼지열병은 아스파바이러스과(Asfarviridae)로 분류된 지질단백 바이러스로 150개 이상의 유전자, 28개 이상의 단백질, 22개의 다양한 유전형질을 가진 DNA 바이러스로 pH 4~10 범위에서 안정하며 범위 밖에서도 수 시간 ~ 3일 동안은 불활화되지 않으며 배설물에서는 11일, 부패한 혈액 내에서는 15주, 부패한 골수에서는 수개월 동안 불활화되지 않는 특성을 가진다. 매우 빠른 전파력으로 국가 간 전파 동물 질병 중 하나로 세계동물보건기구(OIE) 관리 대상 질병이며, 국내에서는 제1종 가축전염병으로 지정하여 관리하고 있다.

럼피스킨(Lumpy Skin Disease, LSD)은 세계동물보건기구(WOAH) 리스트(List), 제1종 가축전염병으로 흡혈 파리, 모기, 진드기 등 매개곤충에 의해 전파가 주된 원인이며, 가축간 직접 접촉, 오염 사료·물 섭취, 오염 주사기 등에 의한 전파로 장거리 전파가 가능하다. 감염 소의 피부·점막에 수많은 작은 결절(~5cm), 우유생산 급감, 가죽 손상, 유산, 수소 불임 등 심각한 경제적 손실을 불러온다. 폐사율은 10% 이하로 판단된다. 국내 발생 시 농림축산 검역 본부에서는 발생 농장을 대상으로 1.6km 이내 축사 내·외부의 매개충 방제, 약제 즉시 살포, 방역대 내(10km 이내) 및 발생 사군 비발생 농장을 대상으로 방제약제 예방적 살포를 진행하고 있다. 축산관계시설(도축장, 사료공장, 분뇨처리장 등)도 시설 내외부 방제약제 예방적 살포(일 1회)를 실시한다. 축산차량 이동 시 차량 내외부에 소독약을 충분히 살포하여 매개충이 차량에 부착되어 이동하지 않도록 하고 있다.

미국은 농무부(USDA) 산하 동식물검역소(Animal and Plant Health Inspection Service: APHIS)는 가축

방역 업무를 담당하고 수의 서비스(Veterinary Service)는 가축의 질병 방역 업무를 담당하며, 가축전염병 비상사태 발생 시 가축 질병 비상 관리 국립센터(National Center for Animal Health Emergency Management: NCAHEM)에서 관리한다. 동식물 검역소(APHIS)는 동식물 건강진단 및 보호, 동물복지법 관리, 야생동물 피해 관리 활동, 병충해 감시 및 방제, 국제무역에서의 미국 농산물 수출 지원 등의 임무 수행을 통해 식품, 농업, 천연자원을 보호하고 활성화하는 활동을 통해 농무부(USDA)의 전반적인 업무를 지원한다. 수의 서비스(VS)는 가축 질병의 예방, 통제, 방제 및 모니터링을 통해 가축 보건 및 생산성 향상함으로써 미국의 가축, 육류제품, 수의 생물학이 안전하고 고품질을 가질 수 있도록 함으로써 시장가치를 향상하는 목적으로 활동하며, 특히 감시, 대비 및 대응(SPRS), 국가 수출입 서비스(NIES), 과학기술 및 분석(STAS), 프로그램 지원 서비스(PSS)등 4개의 전략과제에 맞춘 조직 단위로 구성되어 운영하고 있다. 영국과 호주는 정부와 민간업체가 연합조직을 구성하여 방역체계를 갖추고 있는 것이 특징이며 영국은 장관 아래 국가질병관리센터(NDCC)와 하부조직으로 연합관리센터(JCC) 그리고 지방질병관리센터(LDCC)로 구성되어 활동하나 호주의 경우 실질적인 업무는 비영리 연합조직인 호주동물보건연합(Animal Health Australia)에서 수행하며 긴급 가축 질병 대비 프로그램 운영을 통해 긴급한 가축 질병에 대한 국가적 예방 태세를 지원한다.

일본은 농림수산성이 지방자치단체와 연계하여 전국의 방역체계를 관리하고 있으며, 지방자치단체에서 사양위생관리기준 지도 및 점검, AI 발생 시 방역 조치로서 살처분 및 이동 제한 등 농가에 대한 방역관리 업무를 수행한다. 농림수산성은 “가축전염병 예방법 시행령” 및 “시행규칙, 구제역에 관한 특정 가축전염병 방역 지침” 등을 통해 질병 발생 시 긴급방역 및 초동대응에 관한 지침을 제공한다.

농림축산검역본부는 가축 및 질병의 특성에 따라 긴급행동지침(SOP)를 마련하고 아래와 같은 질병 관리를 진행 중이다. 소독 및 질병 예방관리, 축사 안전·효율 운영, 가축 및 환경 이상 감지 등의 분야는 인공지능 등 ICT 기술이 도입될 수 있는 분야로 판단된다.

2. 가축 질병 차단과 방역을 위한 감시 시스템 기술 현황



* 출처: 농림축산검역본부, 재가공

가축질병의 차단과 방역은 축산농가와 국가의 경제적 안정과 생산성을 위해 중요하다. 경제성 위주의 밀식사육 및 방역 미흡으로 가축전염병 발생이 늘어나고 있는 현상은 여러 문제를 초래하고 있다. 가축 전염병은 가축 농가에서 생산량 감소를 일으키기 때문에 축산물의 공급이 줄어들게 되며 이는 국내 소비자에게 영향을 미치면서 가격 상승과 공급 부족을 초래할 수 있다. 또한 국가 간의 축산물 교역이 중단될 가능성이 높으며, 가축 질병에 대한 질병 관리 및 방역 비용 또한 막대하며 질병 예방을 위한 백신 개발, 검사나 모니터링 활동, 치료 등은 농가 및 정부에 큰 비용 부담을 주게 된다. 생산 환경의 불안정성 증대로 인해 생산자들의 수익 안정성을 약화하고, 전염병에 대한 국민 불안감을 키울 수 있다. 이러한 경제적 손실을 최소화하고 가축질병의 효과적인 관리를 위해서는 강화된 차단과 방역 정책, 국제적인 협력체계 구축, ICT가 융합된 혁신적인 기술의 도입은 필수다. 국내 구제역 역학조사 분석 결과(농림축산검역본부 역학조사과, 2015)에 따르면 농장 간 전파에서 차량에 의한 유입 비율이 78.9%로 가장 높았으며, 사람(10.8%), 인근 전파(8.6%), 동물이동(1.6%)의 순으로 나타났으며 이를 통제하기 위한 기술 개발도 진행 중이다.

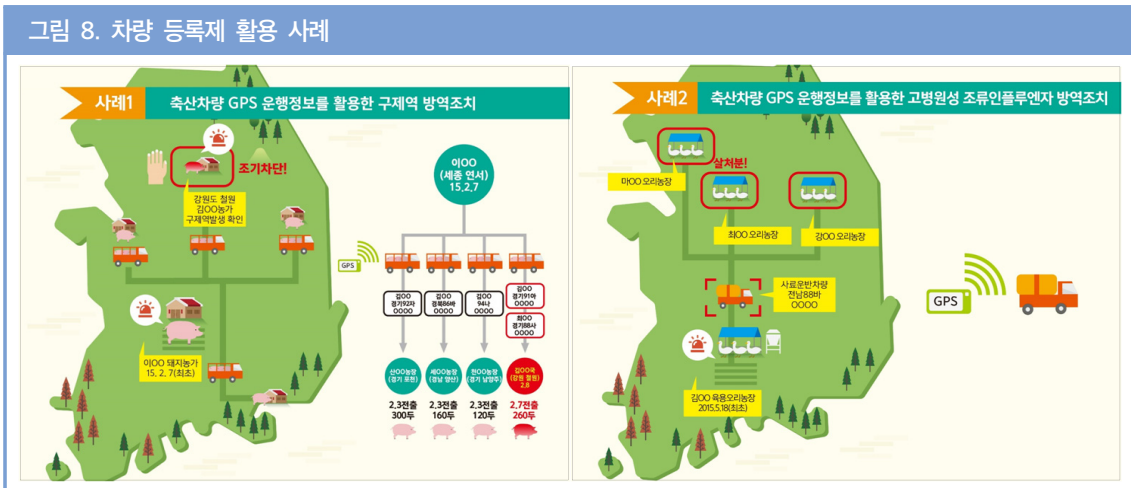
LG이노텍은 농촌진흥청, 국립축산과학원, 가금연구소와 함께 카메라와 각종 센서가 수만 마리 닭의 상태와 날씨 등 환경 변화를 실시간으로 자동 분석하고 AI 기술로 양계장 온도와 습도를 자동 제어하며, 닭의 발육상태를 분석해 출하 시점에 예측하는 과정을 추진 중에 있다. 또한 LG이노텍의 AI 스마트팜 기술은 양계 농가의 전염병 피해를 줄이는 데에도 활용하며, 스마트팜에서 관리하는 닭이 감염 증상을 보이면 즉시 양계 농가에 닭의 상태와 위치를

알려줘 빠른 방역을 가능하게 한다. 대동테크는 가속도 및 바이오 캡슐 센서를 활용한 축산 IoT 관리시스템으로 가속도 및 기울기 센서 통합 기술을 이용한 실시간 축우발정감지 시스템 'DDK-히트콜(HeatCall)'을 개발하였다. 피앤에스 바이오테크는 귀에 부착하는 기기를 통해 소의 체온과 움직임의 변화를 감지하고 이를 분석해 건강 상태를 파악해 주는 팜-프로(Farm-Pro)'를 개발했는데, 기기에는 온도 센서, 6축 가속도 센서, 통신 모듈이 탑재되어 있으며, 질병 감지와 발진 감지 기능을 동시에 제공하나 대부분 센서값을 중심으로 하는 IoT 기술을 활용하는 수준이다.

캐나다 Be Seen Be Safe사의 방역관리 소프트웨어는 사람·차량에 대해 농장이나 농장 자산 출입 자동 모니터링하여 스마트폰이나 GPS 지원 장치에 탑재한 시스템을 활용한다. 축산 관련 다양한 자산을 시스템에 등록하고 등록된 시스템에 펜스(fence) 설정, 펜스 내에 제어할 수 있는 인프라 목록을 설정하고 이벤트 처리 기능 연계하여 질병을 관리한다. Disease Simulation Demo(Outbreak 시뮬레이션)에서는 감염일/잠복기/감염농장 입력하면 가능한 질병 확산 네트워크를 가시화한다. 정확도 높이기 위해 바람 이동, 야생 조류 이동 등의 가시화가 가능하다. 농장별 감염 매개체 정리, 농장 감염 경로 추적, 감염원을 기준으로 격리 구역 생성, 감염 자산과 매개체 리스트 요약이 가능하다. 하지만 국내에서 사용하기에는 농가의 지형적 특성을 고려하지 않은 지오펜스 적용으로 출입 기록의 정확도가 떨어지며, 각 시점 대처 전략 및 의견 등이 불일치하여, 일관성 있는 진단, 예방 및 차단이 어려움이 있다.

농림축산검역본부의 국가가축방역통합시스템(KAHIS)은 가축전염병 발생 시 차량 등록제 운영관리시스템을 활용하여 축산 차량의 출입 정보를 분석하고 이동 경로를 확인하여 질병 확산을 조기에 차단한다.

그림 8. 차량 등록제 활용 사례

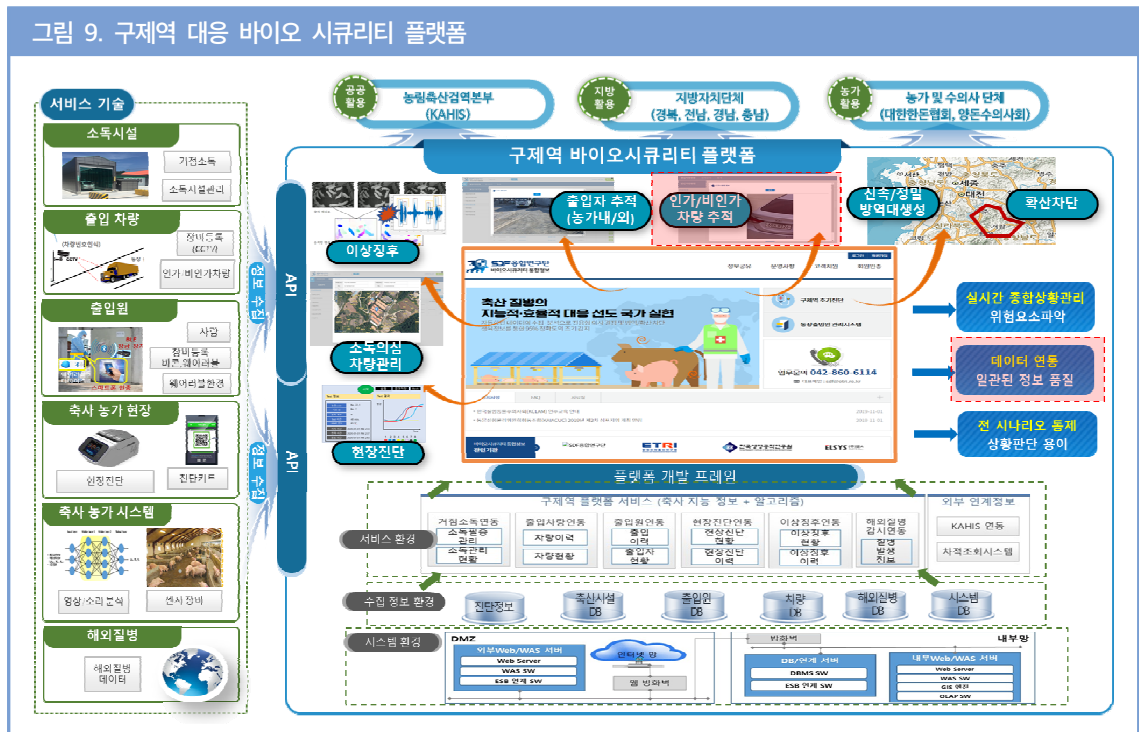


* 출처: 농림축산검역본부

축산농장에 출입하는 차량과 사람이 가축전염병의 주요한 확산경로로 지목되고 있음에 시스템에 등록된 축산 차량의 이동에 대한 기록에 한정되어 있어 축산농장에 출입하는 사람에 대한 관리 또한 문제가 되고 있다. 미등록 축산 차량 방역 조치 미등보 명세와 같이 조류독감 발생 기간 실시한 역학조사 결과 축산 차량으로 등록하지 않고

농장에 출입한 차량의 차고지를 알 수 없다는 이유로 해당 차량에 대한 방역 조치하지 못한 경우도 발생하고 있다. 전염병 예찰/예방 기술, 백신, 동물용 의약품 개발에 주력하고 있지만, 최적 방역을 위한 융복합 기술 개발은 여전히 미흡한 상황이다.

국내에서는 양돈농장의 구제역을 대상으로 전체 시나리오(조기진단, 현장 진단, 초동방역, 확산 차단)에 대한 일괄 정보를 제공하고, 구제역 상황 대처를 통한 질병 상황 판단을 일체화시키는 시스템을 개발하기도 하였다(ETRI, 2022).



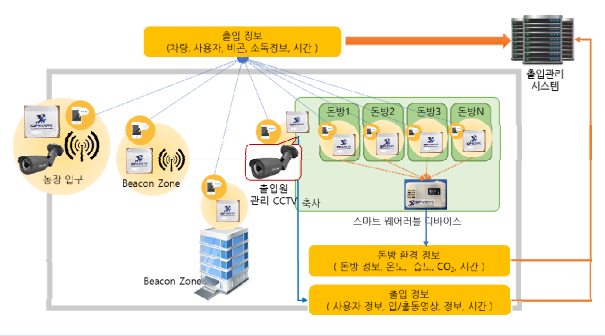
* 출처: ETRI

본 시스템에서는 발생 농장의 질병 확산 위험 요소(출입 차량, 출입 원) 파악을 위해 비인가 출입 차량을 포함하는 인공지능 모델과 지오펜스 기반 실시간 출입원 이력 관리시스템 개발을 통해 가축전염병 전파의 신속한 차단 효과를 기대한다. 또한 도입 시 구제역 대상 농장뿐만 아니라 향후 소, 닭 농장에 확대 적용하여 효율적인 가축 질병 초동방역에 이용될 수 있으며, 가축 질병에 의한 전국단위 피해 규모 감소를 기대할 수 있다. 특히 인공지능 기술을 활용하여 일반 승용차뿐만 아니라 건설기계, 오토바이, 전기차 등 90년대부터 생성된 다양한 번호판과 차종에 대한 인식 기술과 오염원이 될 수 있는 하차 인원의 감시 가능한 시스템을 개발하였다. 특히 축산농가의 다양한 출입 여건을 고려한 점이 특색이다. 또한 농장 내부 및 외부인의 출입자 관리는 비컨(BLE)을 이용하여 축산농장 출입자의 동선 확인할 수 있으며, 축사 출입구에 출입자의 마스크 착용 여부까지 판단하는 CCTV를 개발하여 현장에 적용 테스트 중이다.

그림 10. 차량 및 출입원 인식



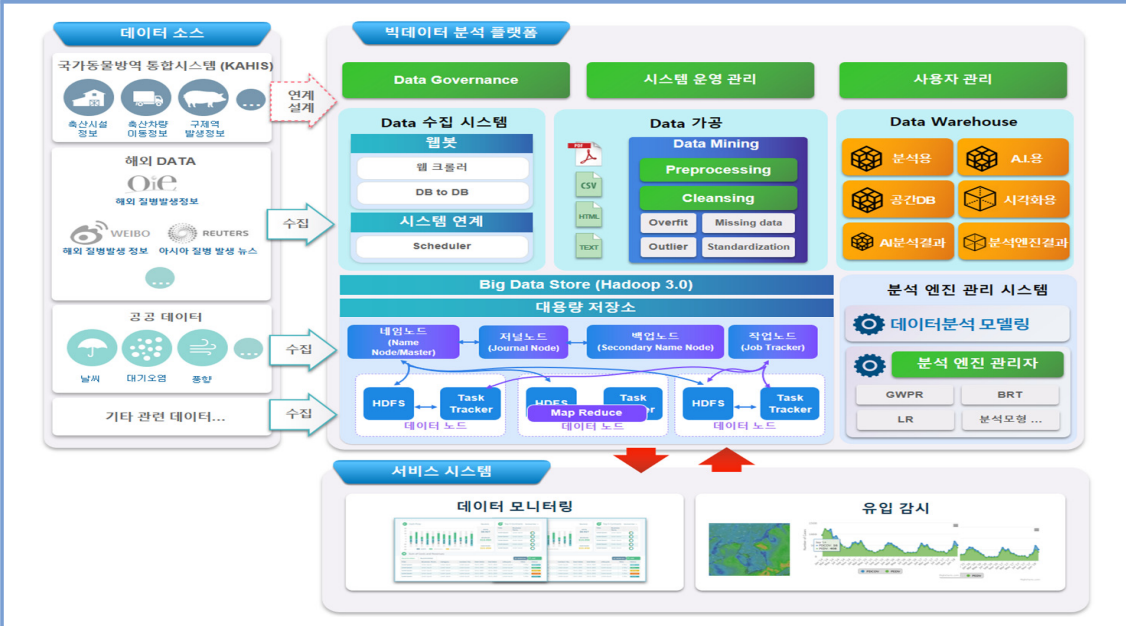
그림 11. 축산 출입 관리시스템



* 출처: ETRI

가축 질병은 다양한 경로를 통해 해외에서 유입되는 경우가 대부분이다. 해외 질병의 국내 유입 위험도 조기 감지는 매우 중요하다. 상기 시스템에서 전 세계의 해외 구제역 발생 보고서 및 뉴스 등의 정보를 실시간 자동 수집하여 빅데이터 플랫폼에 DB로 저장하고, 해외 발생 상황에 대한 실시간 모니터링과 국내외 질병 발생 패턴 분석을 통해 해외 구제역 국내 유입 위험도를 평가할 수 있는 시스템에 대한 개발 시도가 있었다. 해외 구제역 국내 유입 위험도 평가 시스템의 구성도는 아래와 같으며, 해외 구제역 발생 상황에 대한 정보 수집 시스템, 수집된 정보를 저장/처리할 수 있는 빅데이터 플랫폼으로 구성되며, 플랫폼에서 국내 구제역 발생 위험도를 분석하여 FDM 바이오 시큐리티시스템에 정보를 송신하는 구조이다.

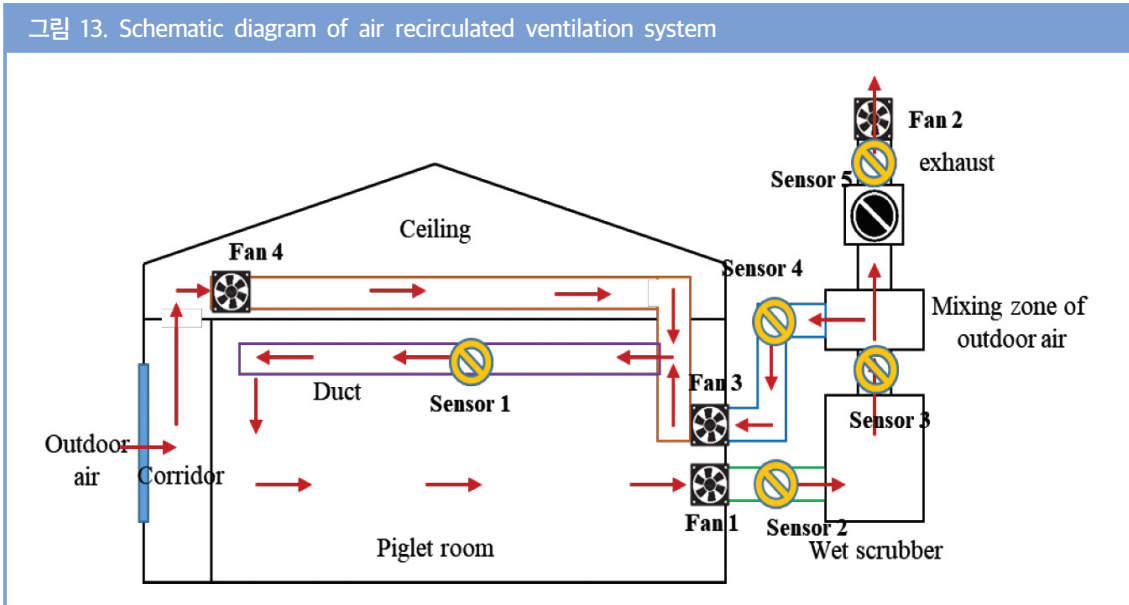
그림 12. 해외 구제역 발생 정보 빅데이터 플랫폼 및 국내 유입 위험도 평가 시스템



* 출처: ETRI, SDF융합연구단 사업평가자료

축사시설의 환경관리뿐만 아니라 질병의 확산 방지는 생산성에 막대한 영향을 가진다. 국내뿐만 아니라 해외에서도 축산 환경관리 기술을 이끄는 것은 서울대 연구팀이다. 육계 생산량은 2020년 가축 생산량의 12.5%를 차지하나 최근 지구 온난화로 인한 폭염과 고밀도 사육환경으로 인해 육계의 사육환경이 점차 악화 추세에 있다. 육계의 경우 대사 열 발생이 높고 깃털로 덮여 있어 체온 조절에 어려움을 겪는 동물이다. 특히 여름 온도에 취약하여 이를 해결하기 위해 여름철 열 스트레스를 효과적으로 완화하기 위해 가정용 육계에서 대표적인 방식인 터널 환기를 사용하고, 건물 에너지 시뮬레이션을 이용하여 가축의 열 스트레스를 정량적으로 평가할 수 있는 에너지 모델을 검증하고 개발하여 계사 내의 내부 마이크로 기후 데이터를 측정된 후 현장 데이터를 사용하여 모델 검증을 수행하기도 하였다. 오리사를 대상으로 내부의 열 및 수분 환경을 정량적으로 예측한 연구는 매우 부족하다. 기계적 및 자연적 환기가 이루어지는 오리 집의 내부 공기 온도 및 상대 습도를 예측하기 위해 높은 정확도의 순환 신경망(RNN) 모델을 사용하고, 내부 및 외부 환경의 모니터링 데이터를 학습하여 오리 집의 유형, 계절 및 환경 변수에 따른 모델을 개발하였다. 실제 검증 결과 공기 온도 및 상대 습도 모두 1% 오차 이내로 정확하게 예측이 가능한 수준으로 단순화된 RNN 모델만으로도 실시간으로 오리사 내부 공기 온도 및 상대 습도를 예측하기 위한 기본 모델과 유사함을 밝혔다. 양돈 시스템의 경우 돈사 내부의 성장환경은 주로 환기로 조절되기 때문에 충분한 환기율이 요구되지만, 겨울철에는 환기율이 낮아 과도한 악취 및 유해가스 축적을 극복하기 어렵다. 또한 공기를 통한 질병 전파 우려로 환기가 어려운 상황이다. 돼지의 발열로 인해 시설 내부의 열에너지가 높아서 이 열에너지를 재활용하고 외기의 교환을 최대한 줄여 질병을 예방할 필요가 있다. 서울대 연구팀에서는 돈사의 공기순환 환기시스템을 세계 최초로 개발 성공하였다. 공기순환 환기시스템은 1) 공기 스크러버 모듈, 2) 외부 공기 혼합 모듈, 3) UV 청소 모듈, 4) 태양열 모듈 및 5) 공기 분배 모듈로 구성되며, 각 모듈의 데이터를 기반으로 최적 환기율과 외기 혼합률을 결정한다. 선정된 환기율과 외기 혼합률을 제어하기 위해 압력 손실을 고려한 반폐쇄 덕트 시스템을 설계하여 국내 농가에 적용하여 운용 중이다.

그림 13. Schematic diagram of air recirculated ventilation system



* 출처: 이인복 (2022)

네덜란드 기업인 INNO+는 기후, 공기 정화 및 공기 세척 기술에 대한 넓은 범위의 사업을 진행하고 있으며 기술 집약적 축산 및 산업을 위한 암모니아, 악취 및 미립자 물질을 줄이는 솔루션을 제공하는 기업으로 와게니겐 대학 출신들을 주축으로 최적의 기후 조건을 제공하여 가축들이 일 년 내내 최적의 성능을 발휘하게 한다. 특히 (1) 동물의 복지 향상 (2) 암모니아 및 냄새 및 미립자 물질 배출 감소, (3) 에너지 중립적 사업 창출을 목표로 환경관리 기술 개발을 진행 중이다. INNO+의 에어 스크러버는 비교적 간단한 구조이나 환기 공기는 스크러버의 물과 접촉하고, 세척수는 지속해 주위에 펌핑하는 구조로 세척수는 먼지, 냄새 및 암모니아 입자를 흡수하는 형태를 가진다.

축산 질병을 판단하는 데 필요한 진단키트 개발에 있어 항체는 면역진단기기의 핵심 요소 부품으로서 진단기기의 성능, 즉 민감도(sensitivity)와 특이도(specificity)를 결정하는 데 중요한 역할을 한다. 전통적인 단일클론항체 제조 기술로서 하이브리도마 기술이 있으며, 이를 통해 타겟 바이러스 항원을 생쥐에 면역화하여 바이러스에 특이적인 항체를 생산하는 B세포와 Myeloma 세포가 융합된 하이브리도마 세포의 제조가 가능하다. 또한 이 세포를 배양함으로써 결과적으로 바이러스에 특이적인 단일클론항체를 생산할 수 있도록 한다.

국내 대부분의 면역진단기기 제조업체는 이러한 하이브리도마 기술을 이용하여 바이러스 등의 진단에 필요한 단일클론항체를 개발하고 있으나 여러 가지 한계를 가지고 있어서 자체 개발이 안 되는 항체는 해외 수입을 통해 조달하고 있다. 하이브리도마 기술의 가장 큰 한계는 단순 스크린에만 의존하여야 한다는 점으로 특정 성능의 항체를 의도적으로 선별하기가 기술적으로 불가능하며 항체 생산 안정성 및 효율성에 대한 문제 등으로 인해 파아지디스플레이(phage display)와 같은 in vitro display를 이용한 항체 라이브러리 기술로 대체되고 있다. 또한, 하이브리도마 세포를 주사하여 배양하는 방법을 이용하여 항체를 생산하는 방식은 대량의 동물 사용에 따른 동물복지 및 윤리적 문제뿐만 아니라 생산된 항체의 마우스 혈중 항체 오염 문제 등으로 인해 동물 세포배양기술로

대체되고 있다. 파아지디스플레이를 이용한 항체 라이브러리 기술은 최근 치료용 항체 개발 분야에서 범용적으로 사용되고 있는 기술로 단순한 스크린에 의존하는 하이브리도마 기술과는 달리 원하는 성능의 항체를 선택적으로 골라내기 위해 다양한 패닝 전략을 활용할 수 있는 장점이 있다. 국내 제약 업계 등에서는 항체 라이브러리 기술을 이용하여 치료용 항체의 개발을 활발히 진행하고 있으나, 아직 진단 분야에서는 활용도가 많지 않다. 한국생명공학연구원에서는 20여 년간 항체 라이브러리 제조 및 항체 공학 기술을 진행해 오고 있으며, 최근 국내 수요기업들 (주)에스디바이오센서, (주)수젠텍 등)의 요청에 대응하여 업체가 요구하는 특정 성능의 진단용 항체 개발에 항체 라이브러리 기술을 성공적으로 적용하고 있다.

진단키트 성능향상 기술 분야로 감염병 증상 발현 시 신속, 저비용 진단법인 면역 항원 검사가 수행되나 선택성 및 민감도가 다소 낮은 문제가 있다. 확진을 위해 PCR 검사가 수행되나, 복잡한 진단과정으로 시간과 높은 비용이 소요되어 잠복기(3~14일) 중 광범위한 바이러스 전파와 변종 바이러스 발생으로 신속한 대응이 불가한 상황이 종종 발생하는 어려움이 존재한다. 최근 기존 확진법에 상응하는 민감도의 면역진단법과 빠른 확진을 위한 자동 유전자 검사 키트 및 장치가 개발되고 있으나, 전문 사용자에 의해 반자동 구동되고 장치 가격과 1회 검사 비용이 고가인 점으로, 대규모 빈번한 검사가 필요한 감염병 진단에 낮은 적용성이 문제로 남아 있다. 2010년 발생한 '구제역 파동'은 당시 간이진단키트의 부적합한 사용으로 발생 초기 부정확한 초기 진단이 원인으로, 이후 현장에서 정확한 결과 판별이 가능한 간이진단키트 필요성이 지속해 요구되고 있으며, 현재 신종 코로나19 선별검사에도 여전히 민감도가 낮은 신속항원검사를 활용하고 있다. 현장에서 사용하는 항원 또는 항체 진단키트는 현장 시료 속에 일정량 이상 바이러스가 존재하지 않으면 검사 대상 동물이 감염병에 걸려 있어도 위음성*이 나올 확률이 높으며 검사 결과 음성이 나올 경우, 반드시 RT-PCR이나 ELISA(enzyme-linked immunosorbent assay), 바이러스 중화시험 등 다른 검사를 해 확실한 음성임을 재확인해야 하는 번거로움이 있다. 이처럼 신속 항원 진단키트는 위음성 여부를 재확인해야 하는 번거로움으로 농림축산검역본부 차원에서 널리 배포하지 않고 있는데, 분자 진단법이나 세포배양법보다 민감도가 낮아 위음성 확률이 높아 재확인 절차가 필수지만 관련 시설과 장비를 갖춘 곳이 드물다는 것도 이유 중 하나이다. 가축 질병 신속 현장 진단 항원검사키트를 모든 일선 시험소에 나누어 준다고 할지라도 구제역 확인 검사를 할 수 있는 인력과 장비를 갖추게 하지 않는 한 일선 시험소에는 여전히 위음성 판정에 의한 오진의 가능성이 남아 있다. 현재 대부분의 가축 질병 진단용 래피드 키트는 낮은 민감도와 특이도로 인해 정성적 판단 목적으로 주로 사용되고 있으며, 질병의 정확한 진단 검사는 실험실에서의 PCR 등의 분자 진단 방식에 의존하고 있으며 분자 진단을 위한 고정밀 진단시스템은 이미 상용화되어 사용되고 있다. 래피드 키트에서 가장 많이 사용되는 방식은 금나노입자를 이용하여 멤브레인의 반응영역에서의 항원-항체 결합에 의한 금나노입자 응집에 의한 발색으로 색깔이 형성되는 것으로, 육안으로 확인할 수 있는 방식이며, 사용자에게 의한 육안 판별과 이에 따른 양성-음성 판정 오류와 정량화의 한계를 극복하고, 측정 결과의 신뢰도를 향상시키고 관리하기 위한 목적으로 래피드 키트의 반응 신호를 정량화해주는 래피드 키드 리더기가 다수 개발되고 있다.

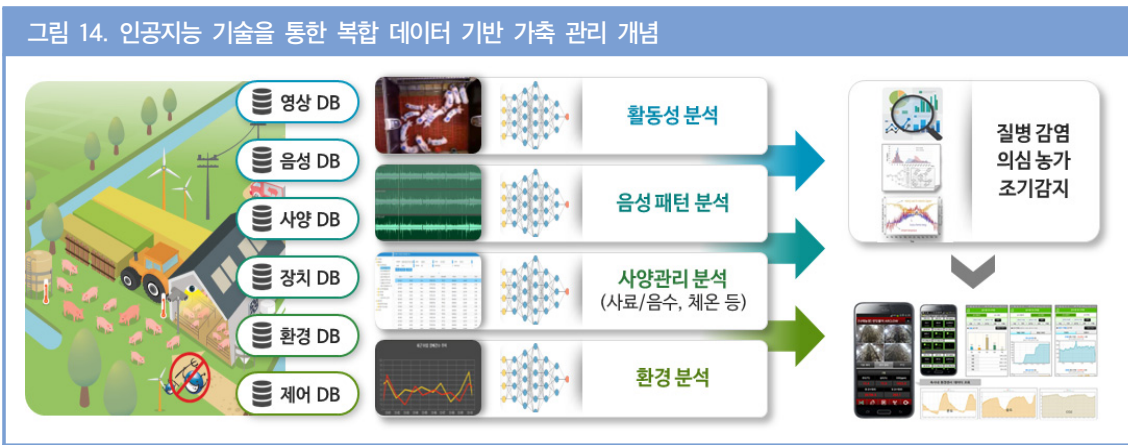
* 위음성(False Negative) : 실제로는 양성임에도 결과를 음성으로 예측하는 경우

리더기는 발색, 형광, 화학발광 등의 신호 생성 방법과 사용하는 물질의 최적 파장 영역에 맞추어 다양한 형태와 방식으로 개발되고 있으며, 외형, 측정 영역 범위, 파장 영역, 신호 생성 방법, 반응조건에 맞추어 업체별 전용 리더기를 구축하여 판매되고 있으며, 일회성으로 다수 사용되는 래피드 키트 판매를 위하여 무상 혹은 저가로 공급되는 판매 방식이 적용되고 있다.

IV. 인공지능 활용 기술

축산 분야에서 최근 인공지능 기술의 적용은 국내외 기업이나 연구기관들의 핵심 주제이다. 특히 축종의 차이, 지역과 기후, 다양한 시설제어, 사양관리, 질병 관리 등 매우 복잡한 상황이 고려된 복합 데이터를 기반으로 활용될 때 큰 의미가 있다. 인공지능 기술이 적용되는 분야는 사람이 24시간 관리가 어려운 부분을 중심으로 선도적인 연구가 진행되고 있다. 가축 행동 및 생체정보를 실시간 감시 시스템을 통해 수집하고, 축사 내의 온도, 습도, CO2, NH3, 급이/급수량, 체온 데이터 제공 및 실시간 감시 시스템 제공을 통해 사양관리에 적용하여 이를 통한 생산성 향상과 질병 관리, 동물복지 분야에 적용하는 것을 목적으로 연구가 진행되고 있다.

그림 14. 인공지능 기술을 통한 복합 데이터 기반 가축 관리 개념



* 출처: 저자 작성

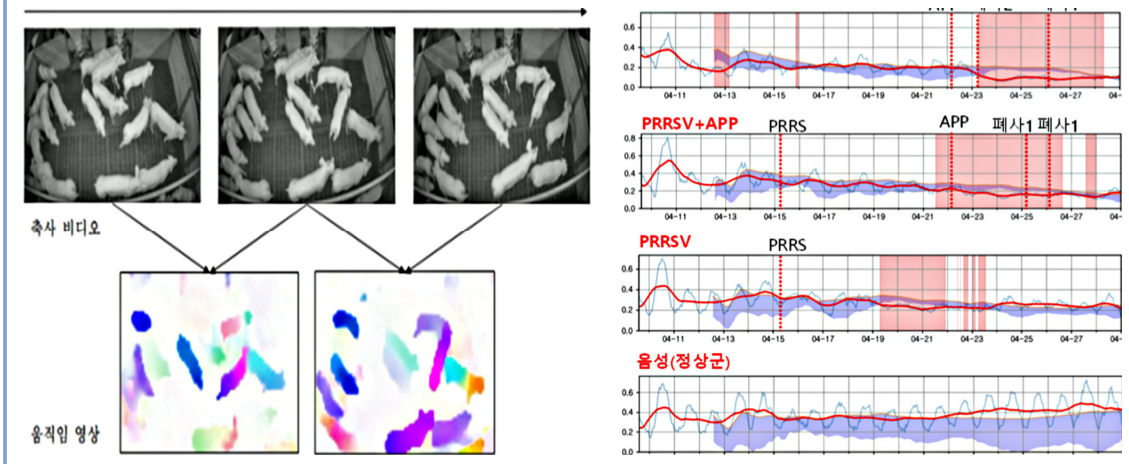
동물의 행동 분석을 통해 질병 및 사양관리 활용하는 데 초점이 맞춰 있는 연구가 많다. 대표적으로 육계 및 양돈 생산에서 발생하는 호흡기 질환으로 인해 생산성, 항생제 사용 및 동물복지에 영향을 미치며 상당한 경제적 손실을 해결하기 위한 PLF(Precision Chalest Farming) 기술 보유기업으로 벨기에의 SoundTalks社가 있다. 닭과 돼지에서 방출되는 소리를 24시간 모니터링하는 클라우드 기반 센서 기술의 대표주자로 인공지능을 기반으로 농장에서 수집된 소리 데이터를 처리하고, 동물의 호흡기 건강 상태(ReHS)를 나타내는 메트릭(0 - 100)으로

변환하여 임계값 아래로 떨어지면 시스템이 조기 경고를 발하여 호흡기 질환의 임상 징후가 치료 대상자에게 명백한 시점 이전에 생산자가 개입할 수 있도록 하고 있다. 원천기술은 벨기에 루벤대로 매우 긴 시간 동안 관련 데이터의 축적과 많은 수의 농가를 테스트 베드로 시험이 이뤄졌다. 호흡기 감염 질환과 같은 가축 질병은 전 세계적으로 양돈 산업에 상당한 경제적 손실을 초래하고 있다. 이는 비육돈에서 높은 항균제 사용의 주요 원인이며, 항생제 내성이 전 세계적으로 문제가 되어 가축과 공중 보건을 위협함에 따라 항생제 사용을 줄이는 조치가 취해져야 하는 발표가 있다(Aarestrup et al., 2008; Holmer et al., 2019). 호흡기 증상의 자동 감지를 기반으로 돼지의 호흡기 건강 상태를 지속해 모니터링하면 질병 발병의 초기 단계에서 동물을 치료할 수 있는 솔루션을 제공하여 결과적으로 항균제 사용을 줄일 수 있다(Berckmans et al., 2015; Chung et al., 2013년, Ferrari et al., 2008년, Genzow et al., 2014년, Guarino et al., 2008년, Gutierrez et al., 2010; Polson et al., 2018).

또한 네덜란드의 팬컴(FANCOM)사는 양돈, 가금류 등을 위한 환기 및 난방, 사료 및 물 분배, 조명, 동물 체중 측정 등에 IoT와 인공지능 솔루션을 사용한 기술 개발을 진행하고 있다. 특히 영상 및 음성을 분석하여 동물들의 건강과 복지를 모니터링하고, 질병이나 스트레스의 초기 징후를 감지한다. 또한 에너지 소비 최적화 등 비용을 절감하는 상용 제품을 제공한다. 국내에는 한돈 농가 생산성 향상, 환경개선 등 양돈 관련 연구와 선진국형 현장 교육을 수행하고, 친환경 양돈장 표준모델의 제시를 위해 경남 하동군에 한돈혁신센터가 구축되었는데, 팬컴(Fancom)사의 기술을 활용하여 냄새 없는 농장을 구현하고, 중앙집중배기시스템과 연계한 냄새제거 공기정화시스템을 도입하기도 하였다. 축산 선진국인 유럽의 벨기에, 네덜란드, 독일을 중심으로 관련 연구가 활발하게 이뤄지고 있다. 특징적인 연구로 돼지의 꼬리 물기의 경우 농장 축산에서 심각하고 복잡한 문제를 나타내게 되는데 이런 돼지 행동의 변화는 피 묻은 꼬리 병변이 발생하기 최대 6일 전에 관찰될 수 있다는 최근 선행 연구가 보고되고 있다. 인공지능이 적용되기 전에는 대부분 오차 범위가 넓고 시간이 너무 많이 소요되는 사람의 육안 관찰을 통해 수행됐던 분야이다. 다양한 유형의 행동을 실시간으로 자동 추적하는 소프트웨어 시스템들을 제시하고 있으며 꼬리의 자세는 조기경보 시스템의 기본 지표로 보고되기 때문에 꼬리 물기 사건이 발생한 날부터 최대 12일 전까지의 영상을 평가하여 꼬리 자세 감지에 중점을 둔다. 정상 및 비정상 꼬리 자세의 자동 감지에 중점을 두고 비정상/정상 꼬리 자세의 관계를 계산하여 실제 관계와 예측된 관계 사이의 편차가 10% 미만인 것으로 나타났으며, 이 성능은 통계적 평가에 충분하다고 판단할 수 있다. 분석된 꼬리 물어뜯기 발병에 대한 인간 관찰은 발병 2일 전에 매달린 꼬리 또는 접힌 꼬리의 적당한 증가세를 보여주었다. 또한 이러한 행동은 어린 돼지의 동물복지 척도가 될 수 있으며, 컴퓨터 비전을 활용하여 원격 감지에 관한 연구가 다양하게 이뤄지고 있다. 또한 체온과 연계하여 출생체중이 낮은 신생아 새끼 돼지의 활력과 생존 가능성에 중요한 특성을 제공하고, 최적이지 아닌 체온은 스트레스나 질병의 증가를 나타내거나 유발할 수도 있다. 이 경우 열화상 기술을 활용하여 직장 온도를 추정하거나 신체의 다른 부분(귀, 눈, 등, 이마 등)의 다중 클로즈업 이미지를 사용하기도 한다. 최근에는 전신, 머리, 등, 후단과 같은 영역의 감지를 위해 컨볼루션 신경망(YOLOv3-SPP)을 훈련한 다음 정확한 평균을 생성하기 위해 알고리즘을 사용하기도 한다. 한국의 경우 ETRI에서는 CCTV 영상에서 돈방 내 돼지의 평균 활동성을 정량화하여 질병 감염에 의한 평균 활동성의 저하 여부를 감지하는 기술 개발을 진행 중이다. 특히 질병과

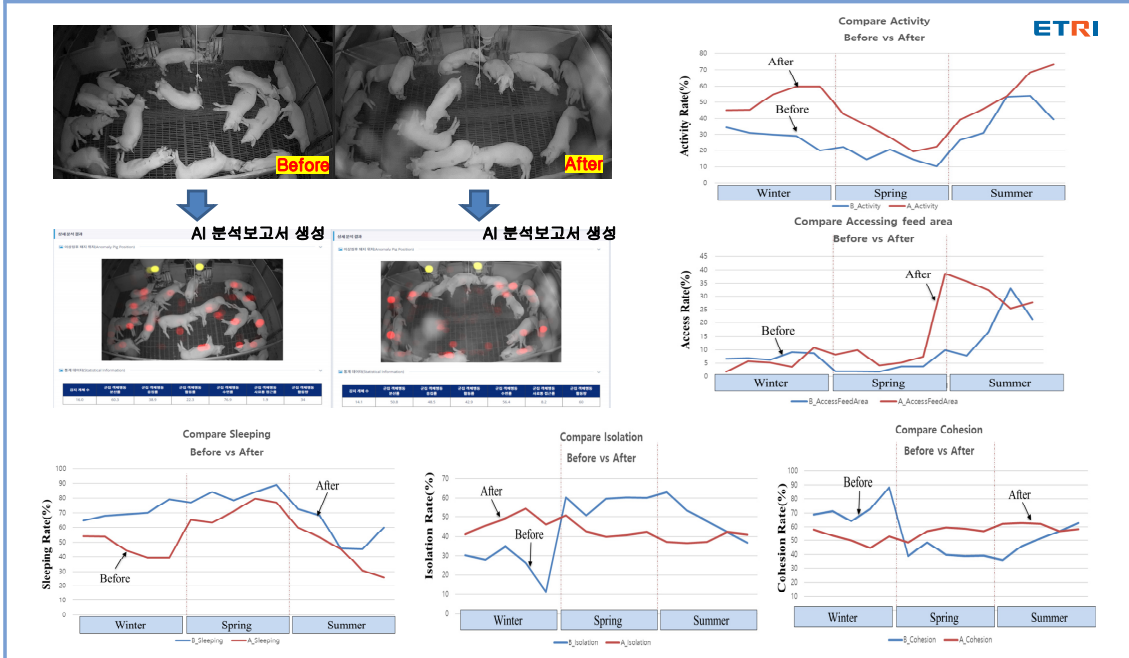
연계하여 영상, 음성, 음수량 등이 연계하여 완성도를 높이고 있다. 2022년에는 실제 농가에서 수집된 약 86,000마리 이상의 돼지 영상을 활용하여 돼지의 자세(서있음, 누움, 엎드림), 응집성, 방향성, 주변의 객체(돼지, 먹이통, 물통, 센서, 사람 등)의 인식이 가능한 기술을 개발하고, 이를 통해 폐사체의 감시, 환경감시, 행동 분석, 영상 기반 움직임 추적 등이 가능한 기술을 개발하기도 하였다.

그림 15. 움직임 분석기술 및 등방 평균 활동성 저하 감지 기술



* 출처: ETRI (2024)

그림 16. 축산환경에 따른 동물 행동 분석



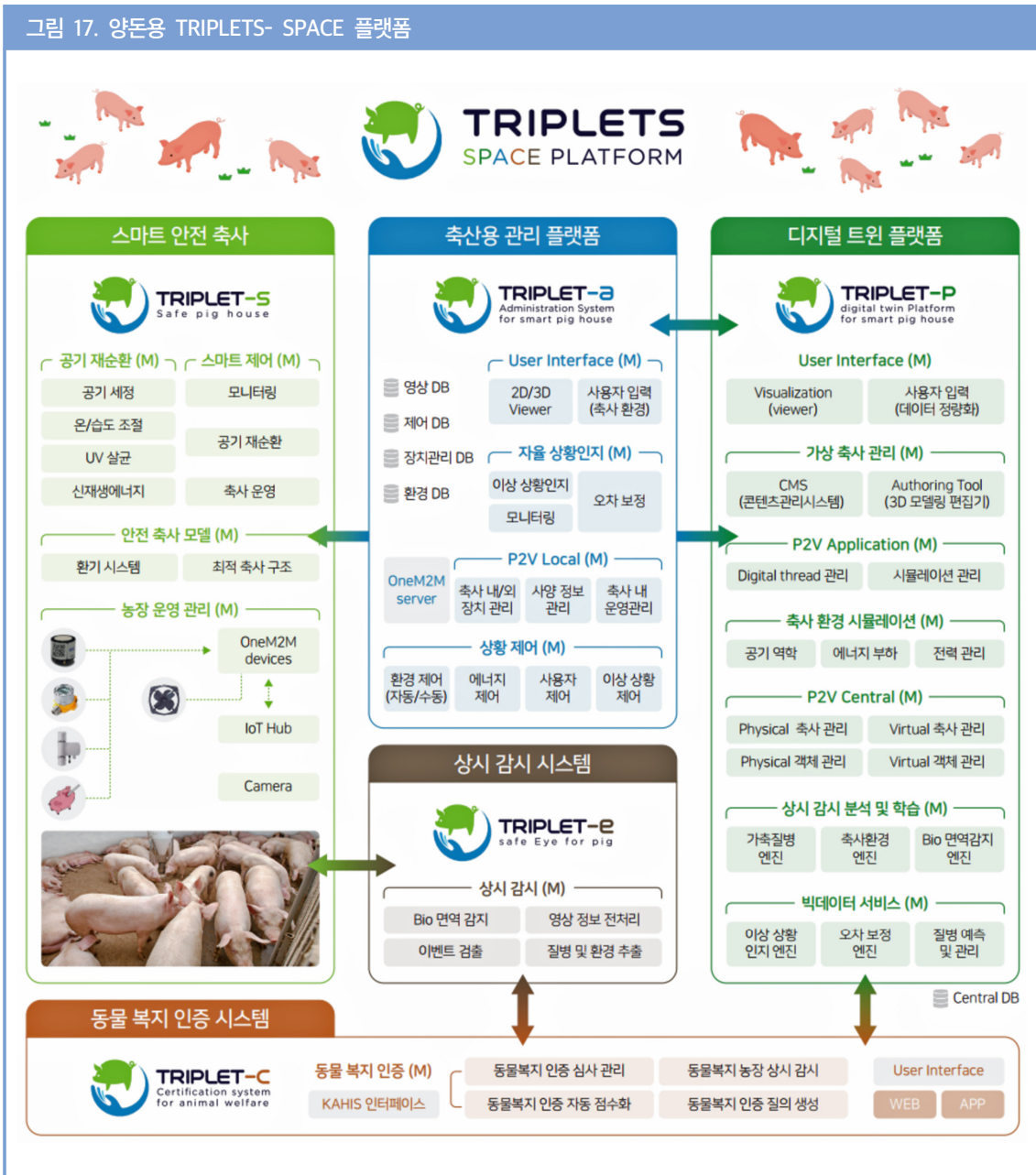
* 출처: ETRI (2022)

특히 이 기술은 사람이 관리하는 체계를 벗어나 CCTV 기반으로 농장주가 아침에 출근하여 밤새 있었던 돼지의 활동 상태의 분석이 가능하고, 섭취하는 사료량과의 연관 관계 분석, 자동/수동으로 조절되는 축사 내 환경(온습도)이 돼지 행동과의 연계성 등의 분석이 가능한 시스템으로 개발되었다. 본 시스템을 활용하여 동물복지농장을 대상으로 종사자의 위반 행위 영상분석에도 활용할 수 있다.

V. 통합 플랫폼 기술

축산 분야의 다양한 관리 요소인 질병, 사양, 영양, 환경, 에너지 등 다양한 데이터의 상호 간 유효성과 활용성 증대를 위해서는 플랫폼 구조의 통합 기술이 중요함을 앞에서 기술하였다. ETRI에서는 “사람과 동물과 환경”, “안전과 복지와 지속” 등이 하나로 융합된 차세대 축산 플랫폼인 트리플렛(Triplets-SPACE) 플랫폼을 개발하였다. Triplet-S는 서울대학교 연구팀과 함께 축산 대표 현안을 동시에 해결하는 차세대 축산 시스템으로 축사 내부의 환기시스템을 혁신적으로 개선하여 축산악취 유출 저감, 질병의 유출입 저감, 열악한 사육환경 개선, 에너지 부하 절감 등을 달성했다. 세계 최고 수준의 공기재순환 시스템을 도입하여 상시 환기량, 대사에너지 재활용률, 암모니아 농도 저감도 등에서 높은 성과를 창출했다. Triplet-P는 세계 최초로 디지털트윈을 활용하여 실시간 정보를 활용해 가상의 축사를 구축하고 분석하는 기술을 개발하여 축사 제어, 운영, 환경 변화를 미리 시뮬레이션하고 실제 축사에 반영함으로써 에너지 중심의 최적 축사환경을 조성하는 데 성공했다. 특히 디지털트윈을 위한 매핑률, 축사 내 팬 제어 오차, 실시간 외부 환경적용 등 면에서 세계 최고기술 수준을 보인다. Triplet-A는 현실적인 농가 보급을 위한 통합 자율 운영 시스템으로 국내 양돈시설에 대한 표준설계를 기반으로 자율 운영 시스템을 제공하여 농가들에 다양한 사양, 질병, 환경관리 등의 통합 서비스를 제공한다. Triplet-C는 동물의 복지 증진을 위해서 심사, 자동 점수화, 상시 감시 등 동물복지 인증과 관련된 다양한 기술이 포함되어 있다. Triplet-E는 인공지능을 활용한 축사 상시 안전 감시 시스템으로, 농민들의 경험에 의존하는 운영방식에서 해방됨으로써 대형화된 축산시설에서의 감시가 가능해졌다. AI 기술과 바이오 센서를 활용하여 돼지의 스트레스, 면역력 변화, 이상 징후 등을 실시간으로 감지하고 분석하여 건강 상태를 종합적으로 관리한다. 세계 최고 수준의 센서 어레이와 스트레스 분류 센서 감도를 보유하고 있으며, 돼지 객체의 실시간 트래킹과 축사환경 이상 상황 감지 등에서도 세계 최고의 정확도를 자랑한다.

그림 17. 양돈용 TRIPLETS- SPACE 플랫폼



* 출처: ETRI (2023)

VI. 국내외 표준화 동향

축산 분야의 표준화는 스마트팜 기술의 발전과 함께 진행 중이다. 이는 농축수산물 생산성 향상 및 유통물류 효율화를 목표로 시설원예, 노지 과수, 축산, 수산양식, 그리고 유통물류 분야를 아우르고 있다. 국내 표준 개발은 생산자 소득증대와 산업 활성화를 촉진하기 위해 ICT 기술과의 융합을 통한 경쟁력 강화를 핵심 목표로 삼고 있다. 해외의 경우 스마트팜 관련 표준은 한국보다 긴 기간에 걸친 데이터 축적을 기반으로 하는 기업 중심의 시장에서의 우월권을 무기로 제품 단위로 인지력을 올리는 전략이었으나, 최근에는 네덜란드, 브라질, 미국 등 시스템 및 생산 대국을 중심으로 국제표준화에 적극적인 모습을 보이고 상황이다.

그림 18. TTA 표준화 전략 지도



* 출처: 한국정보통신기술협회 (2022)

국내에서는 해외보다 더 빠르게 표준화의 필요성에 대한 논의가 이뤄져 왔으며, 시설원예를 중심으로 2010년부터 정보 통신 분야 중심의 표준화가 진행됐으며, 축산 등은 최근 들어서야 진행되기 시작한 상태이다. 국제적인 표준화 측면에서는 스마트팜 기술에 대한 국제표준화가 ITU-T SG13 및 ITU-T SG20을 기반으로 진행 중이며, GS#1 사실표준화기구를 통한 국제표준화에 계속 기여하고 있다. 또한, 농업용 기계류에 대한 표준화는 ISO TC23과의 협력을 통해 국제적인 표준화가 추진되고 있다.

중소기업의 경쟁력 강화 측면에서는 스마트팜 표준을 통해 기존의 표준이 기계 장비의 성능과 안전에서 데이터와 ICT 기술 중심으로 전환되고 있다. 이는 단순한 기계 장비에서 시스템 중심으로, 안전과 호환성을 넘어 경영 효율성 향상으로 이어지고 있다. 관련 사업의 기자재 생산기업뿐만 아니라 다른 산업 분야에서 농축산 분야에 쉽게 진입할 수 있도록 하여 시스템 산업의 활성화에 이바지할 것으로 예상된다. 이는 소비자의 제품 탐색 비용 절감 및 농업인 편의 증진에도 이바지하게 될 것입니다. 표준의 제정으로 호환성 확보, 무역장벽 제거, 자원의 선순환, 규모의 경제, 상업화 촉진, 비용 절감, 제품 개선, 공공안전 등 다양한 효과를 기대할 수 있을 것으로 예상된다. 또한 농어촌 고령화와 지역소멸 문제 해결을 통해 농어업인 삶의 질 향상, 기술 집약적 농어업 실현을 통한 국내 식량 자급률 향상, 식량안보 증진 및 환경적 가치 증진에 이바지할 것으로 기대된다.

1. 국외 표준화 현황

ISO는 TC23 등을 통하여 농업에 대한 표준화를 수행하고 있으나, 농기계 위주의 표준 추진으로, 스마트 농업에 대한 표준화는 미흡함. 축산과 연관된 표준화는 2건으로 확인되고 있다.

표준 번호	표준명
1 ISO 22941:2021	Rubber sheets for livestock – Dairy cattle – Specification
2 ISO 14223	(Radiofrequency identification of animals -- Advanced transponders)

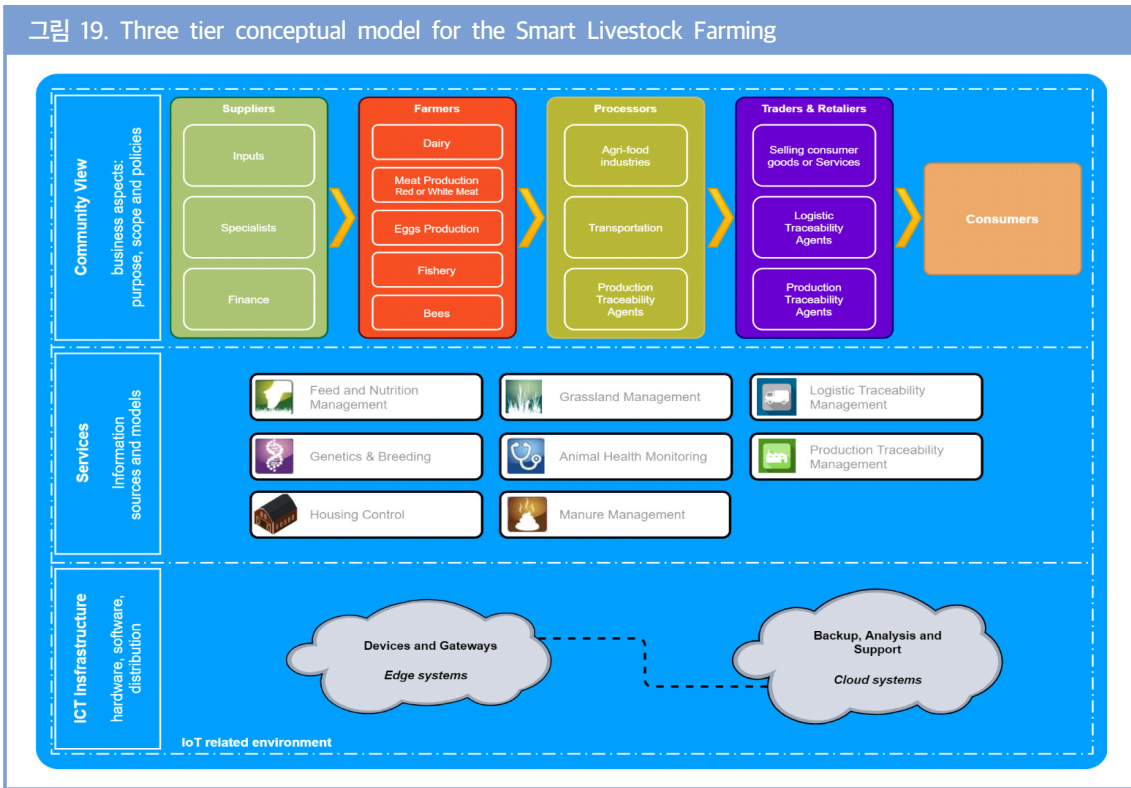
IoT 기반의 스마트 축사환경 관리표준은 ITU-T SG20, ISO을 중심으로 사물인터넷 기반의 스마트 축산 프레임워크에 대한 표준화를 추진중에 있으나, 현재까지 스마트축사를 대상으로 요소 기술에 대한 표준화를 수행하는 기구는 없는 것으로 확인된다.

표준 번호	표준명
ITU-T SG20-TD2472 (진행 중, 2022)	Y.lOT-SLF, Framwork and capabilities for Smart Livestock Farming Based on Internet of Things
ITU-T SG20-C214 (기고 단계, 2023)	Y.DM-SLF: Proposed texts on data entities for SLF service

스마트 축산 프레임워크에서는 축산 가치 사슬에 적용되는 기술(ICT), 정밀 축산업 (PLF), 경영 정보 시스템 (MIS), 농업 자동화 및 로봇 공학 프로세스를 통합하여 보다 나은 의사결정, 더욱 효과적인 활용 운영 및 관리를 제공함으로써 보다 생산적이고 지속 가능한 생산을 제공할 수 있는 잠재력을 최대화하는 것으로 목적으로 한다. 본 표준에서 가축(Livestock)이라는 용어는 고기, 계란, 우유, 꿀, 모피, 가죽, 양털 등 노동력과 상품을 생산하기 위해 사육되는 가축을 지칭하는 데 사용됩니다. 가축은 광범위하거나 집약적인 공간 사용 가축 사육에 사용될 수 있으며, 말, 소, 돼지, 가금류, 토끼, 양, 염소, 물고기나 꿀벌 등 여러 동물 종과 인공된 여러 품종 및 변형을 포함하는 범위를 지정하고 있다.

SLF(Smart Livestock Farming)에서 사물인터넷(IoT) 기술을 사용하는 것은 가축 가치 사슬과 관련된 프로세스의 전체 범위를 제공하는 것을 목표로 한다. 이는 전체 생태계에서 자료를 수집하고 전송하는 것을 기본으로 한다. 또한 무역 시장과 고객의 식탁에 도달할 때까지 생산 프로세스 전반에 걸쳐 투입물 구매 및 소비를 등록하고 제어되는 것을 의미한다. SLF는 IoT 기술을 사용하여 생산자, 서비스 제공자, 물류 및 유통, 시장이나 소비자 간의 워크플로를 동시에 실행할 수 있으며, 관련 기술을 적용하지 않아도 축산업은 계속 진행될 수 있지만 더 높은 성능 수준을 달성하고 적시에 문제 해결에는 어려움을 강조하고 있다. 본 표준의 SLF는 축산 분야 가치 사슬의 각 참가자와 접촉하여 프로세스에 대한 정보를 가져오고 수집함으로써 작업의 효율성에 대한 통제 및 개선 가능성을 높일 수 있음을 의미한다. 스마트 축산농장의 3계층 개념 모델을 기본으로 가장 높은 수준에는 주요 이해관계자를 나타내는 커뮤니티 뷰가 있다. 공급자, 농부, 가공업자, 무역상, 소매상 및 소비자는 주요 활동과 의무에 대한 설명을 제공하고, 현지, 국내 및 국제법과 요구사항을 동시에 받는 ICT 변화에 대응할 수 있도록 한다. 또한 식품 품질 표준과 지속가능성 라벨을 준수하여 차별화된 시장을 달성할 수 있어 제품의 가치를 높인다. 중간 계층에는 커뮤니티 운영을 지원하는 서비스가 제공한다. 각 서비스 계층에는 하나 이상의 이해관계자 사용을 위한 결과를 달성하기 위해 서로 다른 프로세스를 가진 여러 하위 서비스가 연결된다. 하위 계층에는 축산 가치 사슬을 따라 모니터링 및 제어 목적을 달성하는 IoT 엔진의 기능을 허용하는 기술 장치 및 인프라 목록을 두고 있다.

그림 19. Three tier conceptual model for the Smart Livestock Farming



* 출처: Mun Hwan Choi et al. (2022)

2. 국내 표준화 현황

축산 분야의 국내 표준은 정보통신기술협회(TTA), 농업기술진흥원(KOAT), 한국표준협회(KSA)에서 진행되고 있다. TTA의 ICT융합 기술위원회(TC4) 내부 스마트농축수산 프로젝트그룹(PG426)에서는 ICT기반의 스마트농축수산 서비스(프레임워크, 시나리오, 기자재 인터페이스), 농축수산물 생산생육 관리 및 유통 메타데이터, 가축의 복지 및 질병관리를 위한 ICT 기술 등에 대한 표준을 추진하고 있으며, 현재까지 22건의 축산 표준을 제정한 이력이 있다.

표준 번호	표준명
1	TTAK.KO-10.1446-Part2 스마트 축사환경 데이터 감시 시스템 - 제2부: 질병 관리 데이터
2	TTAK.KO-10.1446-Part1 스마트 축사환경 데이터 감시 시스템 - 제1부: 일반 요구사항
3	TTAK.KO-10.1448 스마트 축사 가상 센서 운용을 위한 기능 구조
4	TTAK.KO-10.1346 디지털트윈 기반 스마트 축사 서비스 요구사항
5	TTAK.KO-10.1164-Part2 스마트팜 용어 정의 - 제2부: 축사
6	TTAK.KO-10.1168 스마트 축사 내기 센서 메타데이터 구조
7	TTAK.KO-10.1169 스마트 축사 외기 센서 메타데이터 구조

표준 번호	표준명
8 TTA.KO-10.1176	축산 빅데이터 서비스 제공자와 스마트 축사 관리시스템 간의 인터페이스
9 TTA.KO-10.1004	스마트 축사 센서 데이터에 대한 EPCIS 이벤트 스키마 설계 지침서
10 TTA.KO-10.1246-Part1	동물복지인증시스템과 사용자시스템 간 인터페이스 - 제1부: 양돈
11 TTA.KO-10.1179	동물복지 농장 심사를 위한 ICT 기반 인증시스템 서비스 요구사항
12 TTA.KO-10.1175-Part1/R2	축산 분야 ICT 융복합 장비 운용 요구사항 및 설치 지침 - 제1부: 돼지
13 TTA.KO-10.1175-Part2/R2	축산 분야 ICT 융복합 장비 운용 요구사항 및 설치 지침 - 제2부: 닭
14 TTA.KO-10.1175-Part3/R2	축산 분야 ICT 융복합 장비 운용 요구사항 및 설치 지침 - 제3부: 한우
15 TTA.KO-10.1175-Part4/R2	축산 분야 ICT 융복합 장비 운용 요구사항 및 설치 지침 - 제4부: 젓소
16 TTA.KO-10.1175-Part5	축산 분야 ICT 융복합 장비 운용 요구사항 및 설치 지침 - 제5부: 오리
17 TTA.KO-10.1175-Part6	축산 분야 ICT 융복합 장비 운용 요구사항 및 설치 지침 - 제6부: 사슴
18 TTA.KO-10.1175-Part7	축산 분야 ICT 융복합 장비 운용 요구사항 및 설치 지침 - 제7부: 육우
19 TTA.KO-10.1175-Part8	축산 분야 ICT 융복합 장비 운용 요구사항 및 설치 지침 - 제8부: 곤충
20 TTA.KO-10.1175-Part9	축산 분야 ICT 융복합 장비 운용 요구사항 및 설치 지침 - 제9부: 꿀벌
21 TTA.KO-10.1372-Part1	디지털트윈 기반 스마트 돈사 시스템 - 제1부: 데이터 수집 인터페이스
22 TTA.KO-10.1372-Part2	디지털트윈 기반 스마트 돈사 시스템 - 제2부: 제어 인터페이스

농업기술진흥원(KOAT)에서는 스마트팜 표준·적용·확산과 관련된 표준 수요조사, 표준제정 추진을 진행하고 있으며, KBIZ 중소기업중앙회 단체 표준인 SPS의 스마트 농업 분야의 담당 기관으로 역할을 수행하고 있다. 또한 COSD 기관으로 선정되어 국가표준을 추진하고 있다. KOAT에서 추진 중인 축사 연관 표준은 3건으로 확인된다.

표준 번호	표준명
1 SPS X KOAT 0027	스마트축사 기본 데이터 모델 - 제 1부 소
2 SPS X KOAT 0028	스마트축사 기본 데이터 모델 - 제 2부 돼지
3 SPS X KOAT 0029	스마트축사 기본 데이터 모델 - 제 3부 닭

한국표준협회(KSA)는 기존 농기계 장비에 대한 표준화를 수행하였으며, 최근 스마트 농업까지 분야를 확대하고 있다. 축산 연관 표준화는 5건으로 확인된다.

표준 번호	표준명
1 KS X 3279	스마트 축사를 위한 센서 인터페이스
2 KS B 7956-1	축사 사양관리기기 - 데이터 수집 기준 - 제 1부 공통사항
3 KS B 7956-2	축사 사양관리기기 - 데이터 수집 기준 - 제 2부 돼지
4 KS B 7956-3	축사 사양관리기기 - 데이터 수집 기준 - 제 3부 소
5 KS B 7956-4	축사 사양관리기기 - 데이터 수집 기준 - 제 4부 닭

Ⅶ. 결론

축산과 같이 생물을 다루는 분야는 가축을 키우는 데는 관련 시설, 내부 및 외부의 환경 관리를 통한 적정 환경 제공과 질병의 감시 및 대응, 노동력 절감 기술, 가축의 복지와 축종의 특성에 따른 생산성 향상 등을 함께 고려해야 하는 종합기술분야이다. 이를 위해서는 다양한 방식의 데이터 수집, 다양한 예측, 제어가 필요하며 최종적인 생산성 향상을 위해서는 현장 상황에 맞춤형 이어야 하며, 축종에 따라 수개월에서 수년의 시간이 소모되는 점도 함께 고려해야 한다. 이는 일반적인 ICT 응용 분야에 비해 많은 시간이 걸리는 점과 현장에서 수용 가능한 투자대비 효율 측면도 함께 고려해야 한다. 또한 대부분의 축사 시스템은 다양한 가스 및 분진으로 인해 시설 지속성에 한계, 악취와 질병으로 민원과 경제적 피해의 문제점을 가지고 있다. 스마트 축사를 구성하는 기본 요소인 센서의 수명이 매우 짧아 열악한 환경에서 유지보수의 어려움도 함께 가지고 있는 기술적으로 어려운 분야이다. 특히 지역 특성에 적합하며 세계 최고기술만이 시장경쟁력을 갖는 점을 고려해 한국형 스마트 축산 시스템의 성공적인 완성과 경쟁력 확보 후 해외시장에 도전을 진행해야 한다. 이는 결국 1차 산업에 디지털화라는 수단을 통해 이뤄질 수 있을 것으로 기대한다.

한국의 축산 시스템의 경쟁력은 상위권으로 판단된다. 하지만 유럽, 미국 등의 최고기술과는 여전히 격차가 있는 것이 현실이며 이를 극복하기 위해서는 사물인터넷, 인공지능, 디지털트윈 기술 등 ICT 기술과의 융합을 통해 빠르게 향상해 나가야 한다. 특히 막대한 피해를 주는 질병의 조기진단, 현장 진단, 초동방역, 확산 차단에 대한 종합적 관리 체계가 지능화 되어야 한다. 기후변화에 따른 환경 부적응 및 신기술에 대한 현장 적용의 어려움으로 여전히 연구개발 자체가 어렵지만 해외 기술의 토털 솔루션의 무분별한 도입과 기술 의존성을 극복하기 위해서 축산 분야의 복합환경제어, 기자재, 에너지 제어 등 다양한 기술을 통합할 연구가 시도되어야 하며 이를 사업화 할 수 있는 중견기업의 육성도 필요한 시점이다. 최근 인공지능 기술은 매우 빠르게 진행되며 전산업에 적용되고 있다. 축산 분야 또한 다양한 기자재, 로봇, 모니터링 및 예측 소프트웨어 전반에 적용되어 실제 농가에서 사용할 수 있도록 개발 및 검증이 이뤄져야 한다. 단순히 활용되는 기술이 아니라 축산분야 특성에 맞춘 기술개발이 필요한 시점이며, 같은 시·공간에서 수집된 데이터를 활용하여 양적인 발전이 아니라 질적인 향상을 만들어야 한다. 또한 지속 가능한 축산 산업을 위해 자원순환 문제의 해결, 질병과 환경오염 대응, 탄소중립 등 사회적 이슈에 최적화된 농업 방식에 대응을 위한 신규 분야에 대한 연구지원도 필요하다.

저자소개 김세한 (KIM SEHAN)

• 학력

충남대학교 컴퓨터네트워크 박사
한국항공대학교 통신공학 석사
한국항공대학교 컴퓨터공학 학사

• 경력

現) 국가과학기술심의회 위원
現) 국가연구개발사업평가 위원
現) 한국전자통신연구원 기술기획부장
前) 농축산지능화연구센터장

참고문헌

〈국내문헌〉

- 1) 농림축산식품부 (2019). 구제역 긴급행동 지침 SOP2019.9
- 2) 생명공학융합정책심의회 (2023). 제4차 생명공학육성 기본계획('23~'32)
- 3) 정득영 외 (2021). 농·축산 산업을 위한 디지털트윈 아키텍처 및 세부 기술 구현에 관한 연구, 특집논문 (Special Paper)방송공학회논문지 제26권 제4호, 2021년 7월 (JBE Vol. 26, No. 4, July 2021)<https://doi.org/10.5909/JBE.2021.26.4.398>ISSN 2287-9137 (Online) ISSN 1226-7953 (Print)
- 4) 조성균 외 (2020). 디지털트윈 기반 스마트축사- 사례연구, The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences '20-08 Vol.45 No.08 <https://doi.org/10.7840/kics.2020.45.8.1472>
- 5) 한국농촌경제연구원 (2024). 농업전망 2024 (2권) : 불확실성시대의 농업·농촌, 도전과 미래,
- 6) 한국정보통신기술협회 (2022). ICT표준화전략맵 Ver. 2022

〈해외문헌〉

- 1) Cho (2022). Development of Heat Stress Forecasting System in Mechanically Ventilated Broiler House Using Dynamic Energy Simulation, Agriculture 2022, 12(10), 1666, Special Issue Advances in Agricultural Engineering Technologies and Application)
- 2) Franziska Hakansson et al (2023). Automatic monitoring and detection of tail-biting behavior in groups of pigs using video-based deep learning methods, Front. Vet. Sci., 11 January 2023 Sec. Animal Behavior and Welfare, Franziska Hakansson, Dan B ørge Jensen
- 3) <https://doi.org/10.3390/agriculture12101666S>
- 4) Jun-gyu Kim (2022). Development of an Air-Recirculated Ventilation System for a Piglet House, Part 2: Determination of the Optimal Module Combination Using the Numerical Model, Agriculture 2022, 12(10), 1533; <https://doi.org/10.3390/agriculture12101533>
- 5) Mun Hwan Choi, Ju Young Park (2022). Trends of Technologies and Standards for Digital Agriculture and Future Standardization Initiative. Precision Agriculture Science and Technology 4(4) December 2022.
- 6) S. -K. Jo (2018). "Smart Livestock Farms Using Digital Twin: Feasibility Study," 2018 International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC), 2018, pp. 1461-1463, doi: 10.1109/ICTC.2018.8539516.

참고문헌

- 7) Sang-yeon Lee et al (2022). Machine Learning Approach to Predict Air Temperature and Relative Humidity inside Mechanically and Naturally Ventilated Duck Houses: Application of Recurrent Neural Network, *Agriculture* 2022, 12(3), 318; <https://doi.org/10.3390/agriculture12030318>
- 8) Steffen Küster, Lion Haverkamp, Martin Schlather, Imke Traulsen (2023). An Approach towards a Practicable Assessment of Neonatal Piglet Body Core Temperature Using Automatic Object Detection Based on Thermal Images, *ORCID Agriculture* 2023, 13(4), 812; <https://doi.org/10.3390/agriculture13040812>, March 2023, Special Issue Artificial Intelligence in Livestock Farming

〈기타자료〉


- 1) Be Seen Be Safe Ltd. 유튜브 채널. <https://www.youtube.com/@beseenbesafeltd.6603>
- 2) Fancom 홈페이지. <https://www.fancom.com/>
- 3) SoundTalks 홈페이지. <https://www.soundtalks.com/>
- 4) 농림축산검역본부 e-book 자료관. <https://ebook.qia.go.kr/>
- 5) 농림축산검역본부 홈페이지. <https://www.qia.go.kr>



융합연구리뷰
Convergence Research Review

2024 March Vol. 10

No. 03





3

국가 R&D 현황 분석

3. 국가 R&D 현황 분석

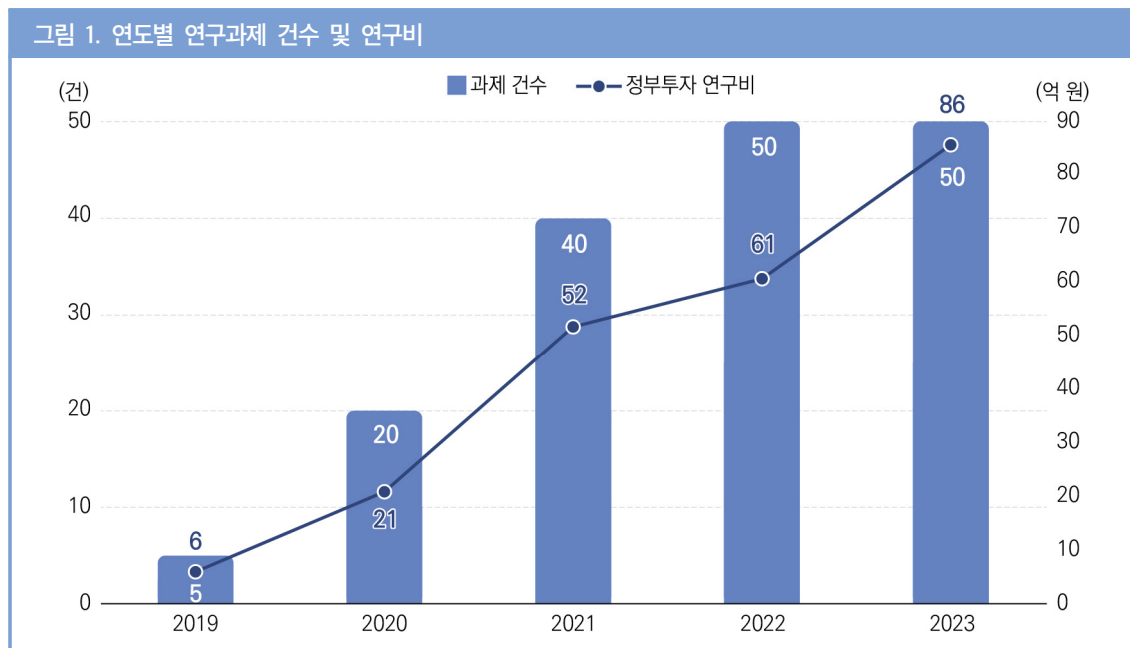
본 호에서 다룬 2개의 주제에 대한 각각의 국가 R&D 현황을 살펴보기 위해 국가연구개발 과제 분석을 수행하였다. 정부투자연구비를 기준으로 연구비 규모별 과제수, 연구수행주체, 연구지원부처, 연구개발단계, 주집행지역, 연구분야(국가과학기술표준분류, 미래유망신기술분류) 측면에서의 분석 결과를 제시한다.

I. 메디푸드 개발 및 스마트팜 생산 기술 동향

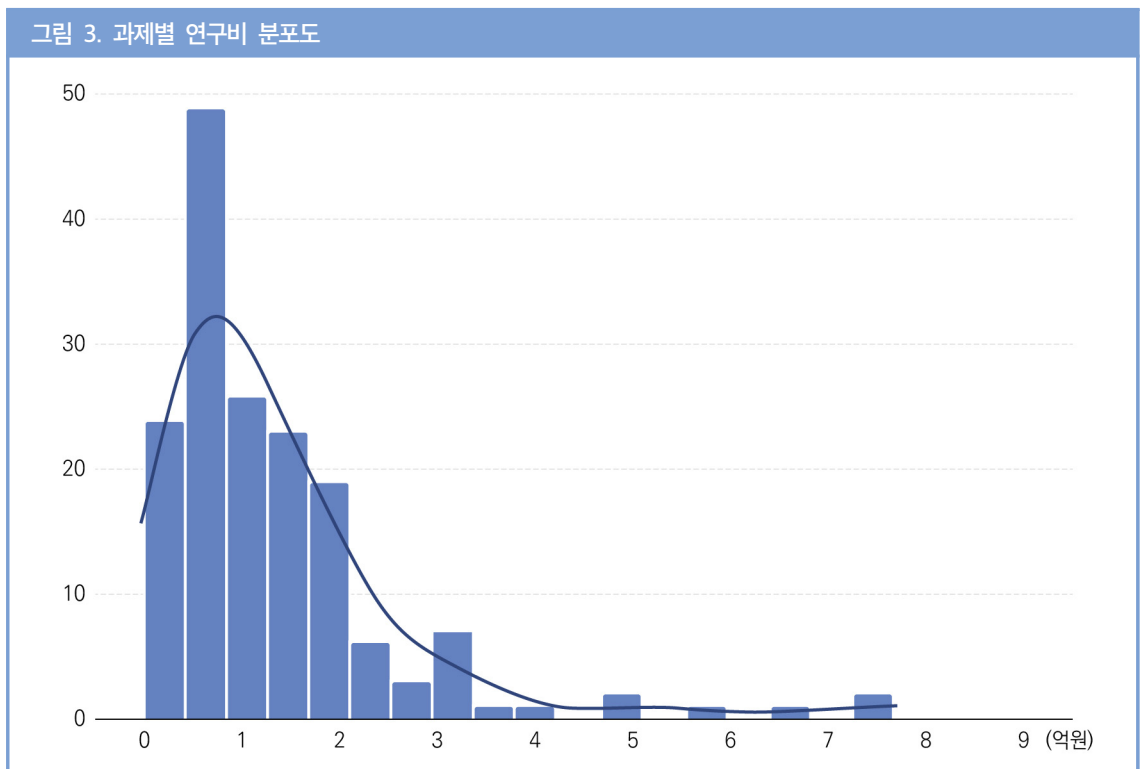
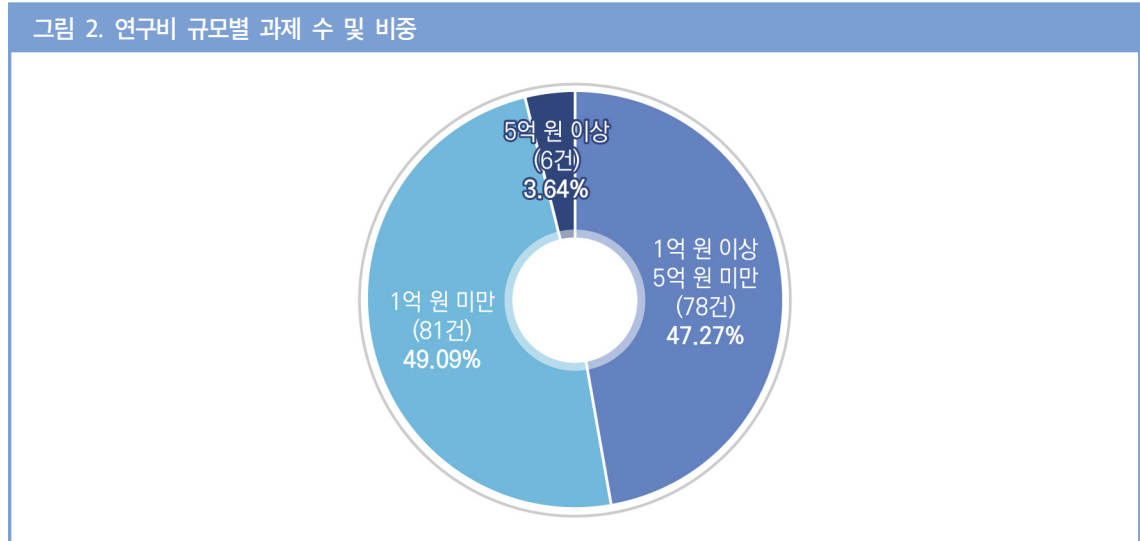
■ **(개요)** 최근 5년간('19~'23) 총 165건의 과제에 대해 225.8억 원의 연구비가 투자됨

※ 국가과학기술지식정보서비스(NTIS) 플랫폼 기반 분석 수행 : 핵심 키워드인 '메디푸드', '특수의료용도식품', '개인맞춤형식품' 중 하나를 정확히 포함하는 결과로 검색

그림 1. 연도별 연구과제 건수 및 연구비

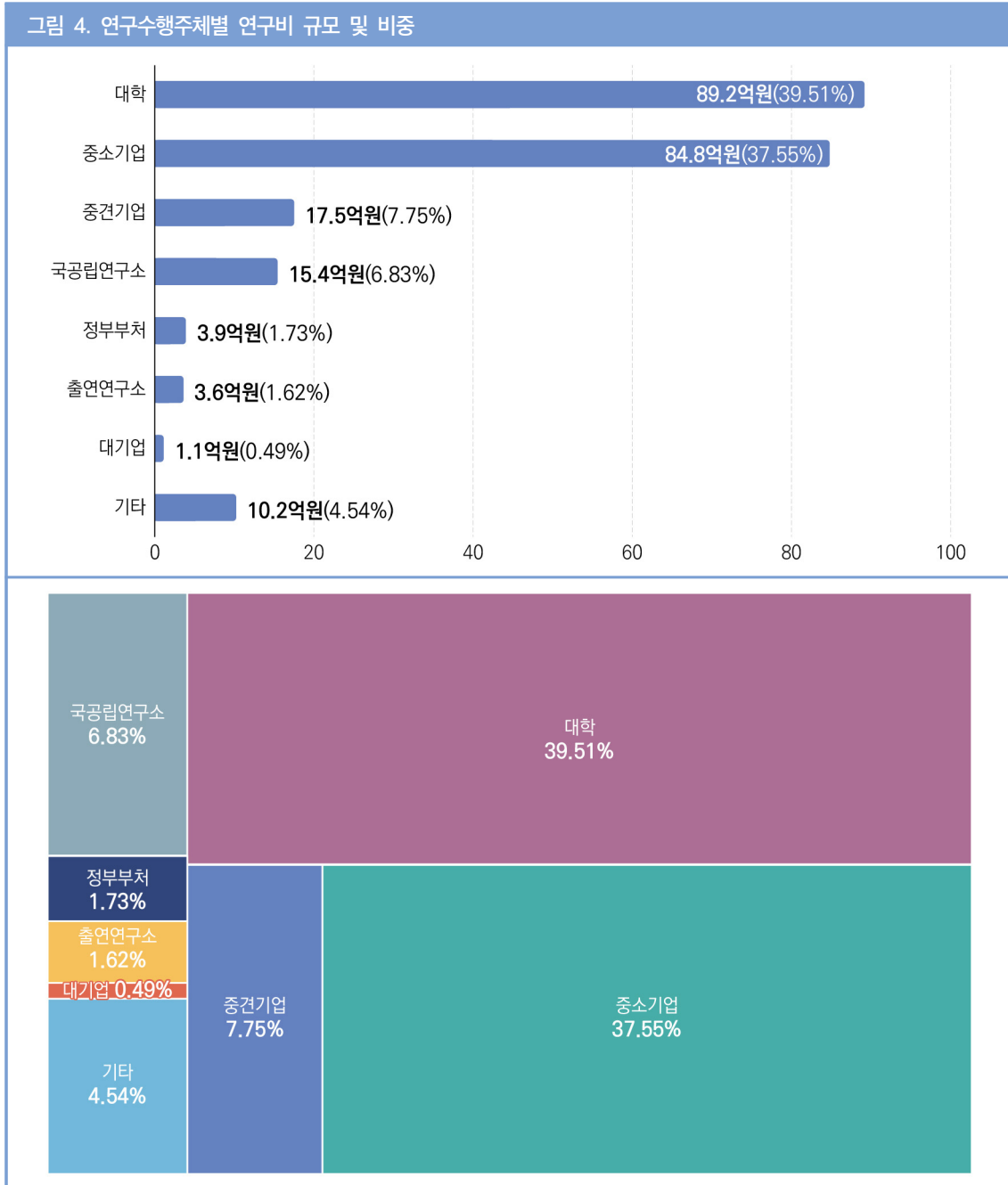


- **(연구비 규모별 과제 수)** 연구비가 1억 원 미만인 과제가 49.09%(81건)로 가장 큰 비중을 차지하고, 1억 원 이상 5억 원 미만인 과제가 47.27%(78건), 5억 원 이상 과제는 3.64%(6건)의 비중을 차지함



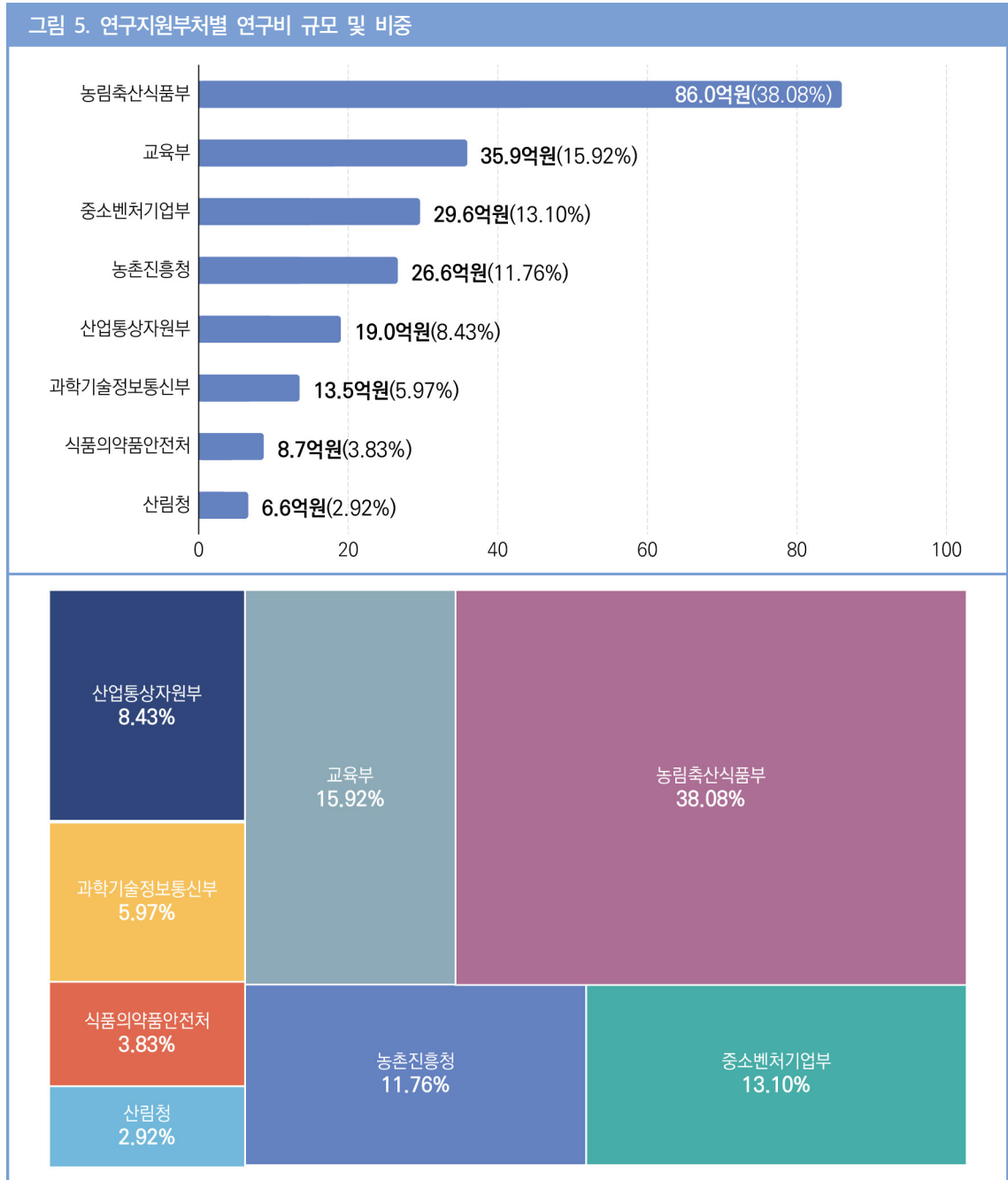
- **(연구수행주체)** 메디푸드 개발 및 스마트팜 생산 기술 동향 관련 총 연구비 중 대학이 지원받는 연구비의 비중이 39.51%(89.2억 원)로 가장 크고, 중소기업이 지원받는 연구비의 비중이 37.55%(84.8억 원)로 그 뒤를 이음

그림 4. 연구수행주체별 연구비 규모 및 비중



- **(연구지원부처)** 총 연구비 중 농림축산식품부가 지원하는 연구비의 비중이 38.08%(86억 원)로 가장 크고, 교육부(15.92%, 35.9억 원), 중소벤처기업부(13.1%, 29.6억 원), 농촌진흥청(11.76%, 26.6억 원) 순으로 비중이 크게 나타남

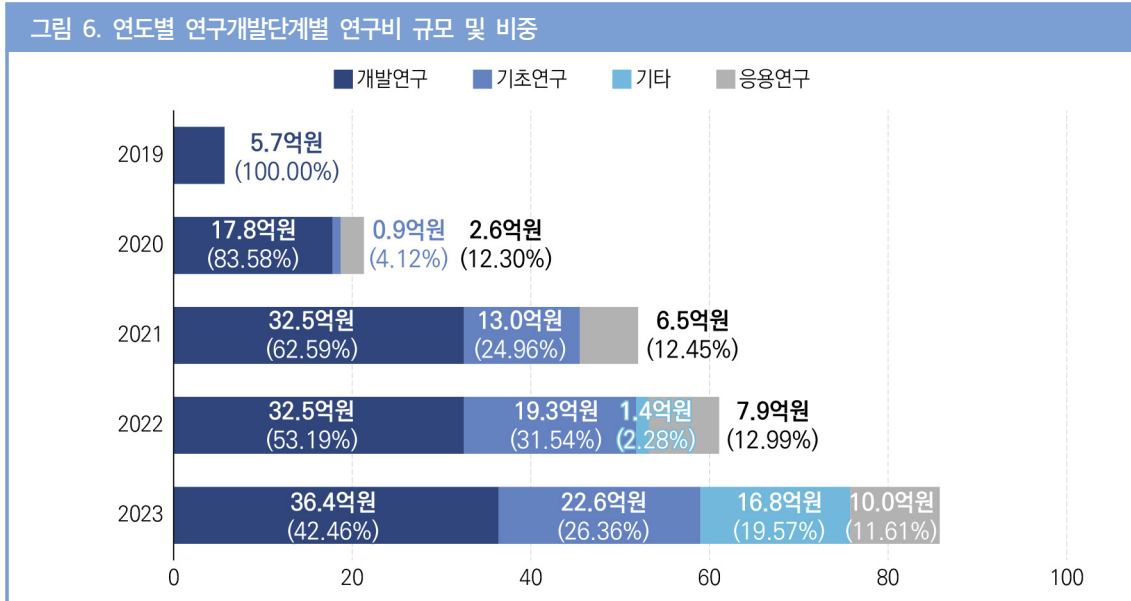
그림 5. 연구지원부처별 연구비 규모 및 비중



■ **(연구개발단계)** 연구개발단계별 연구비 규모 및 비중을 연도별로 분류했을 때, 모든 연도에서 개발연구의 비중이 가장 높게 나타나며, 2021년부터 기초연구의 비중이 크게 늘어남

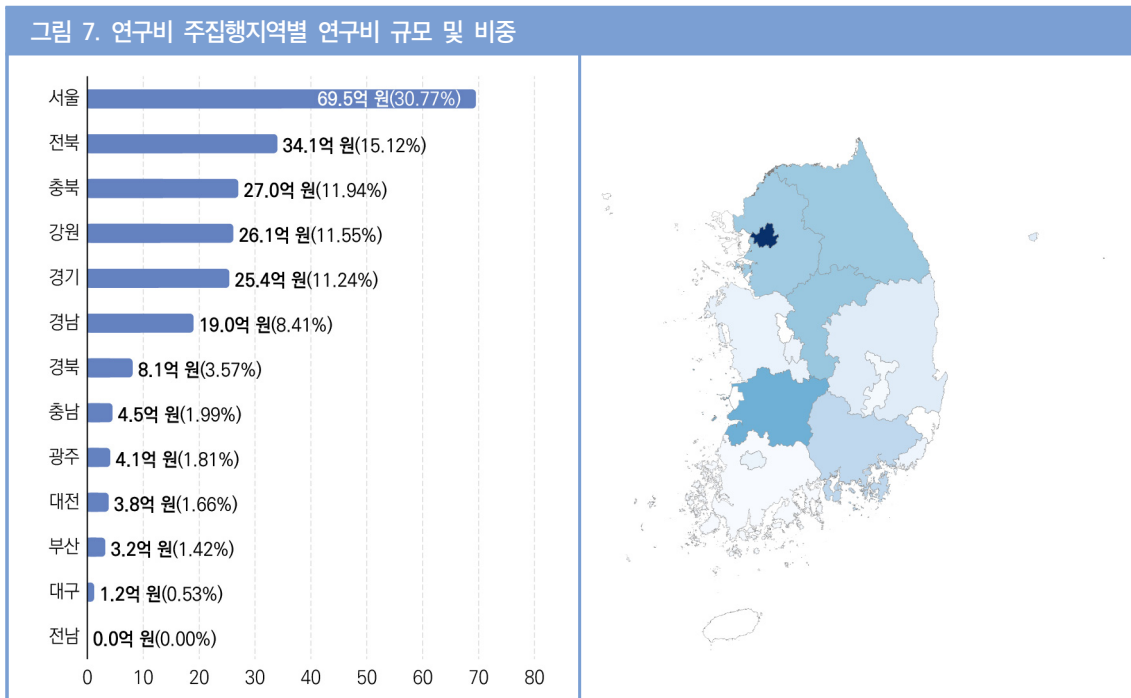
※ 기초연구(새로운 과학지식 획득) → 응용연구(신규 용도 개척) → 개발연구(신기술 확립)

그림 6. 연도별 연구개발단계별 연구비 규모 및 비중



■ **(주집행지역)** 서울이 전체 연구비의 30.77%(69.5억 원)를 지원받아 가장 높고, 전북(15.12%, 103.1억 원), 충북(11.94%, 27억 원), 강원(11.55%, 26.1억 원), 경기(11.24%, 25.4억 원) 순으로 높은 연구비를 지원받음

그림 7. 연구비 주 집행지역별 연구비 규모 및 비중



- **(연구분야)** 메디푸드 개발 및 스마트팜 생산 기술 동향 관련 연구비는 국가과학기술표준분류 기준으로 '농림수산식품' 분야, 그리고 미래유망신기술분류(6T) 기준에서는 '생명공학기술(BT)' 분야 위주로 투자되고 있음
 - **(국가과학기술표준분류 분석 결과)** '농림수산식품' 분야의 연구비 비중이 75.29%(170억 원)을 차지하며, 이어서 '생명과학'(13.75%, 31.1억 원), '보건의료'(7.2%, 16.3억 원) 분야의 연구비 비중이 큰 것으로 나타남
 - ※ 연구책임자가 최대 3개까지 지정한 국가과학기술표준분류의 대분류에 대한 각 가중치를 고려한 결과임
 - **(융합과제 분류)** 융합과제에 해당하는 비중은 23.03%(2개 분야 선택 비중: 22.59%, 3개 분야 선택 비중: 0.44%)이며, 총 52억 원의 연구비가 투자됨
 - ※ 융합과제란 연구책임자가 지정한 국가과학기술표준분류의 대분류가 두 개 이상의 분류에 해당하는 과제를 의미함
 - **(미래유망신기술분류(6T) 결과)** 미래유망신기술분류 분석 결과, 생명공학기술(BT) 분야에 투자되는 연구비 비중이 73.63%(166.3억 원)로 가장 큰 것으로 확인됨

그림 8. 국가과학기술표준분류별 연구비 규모 및 비중

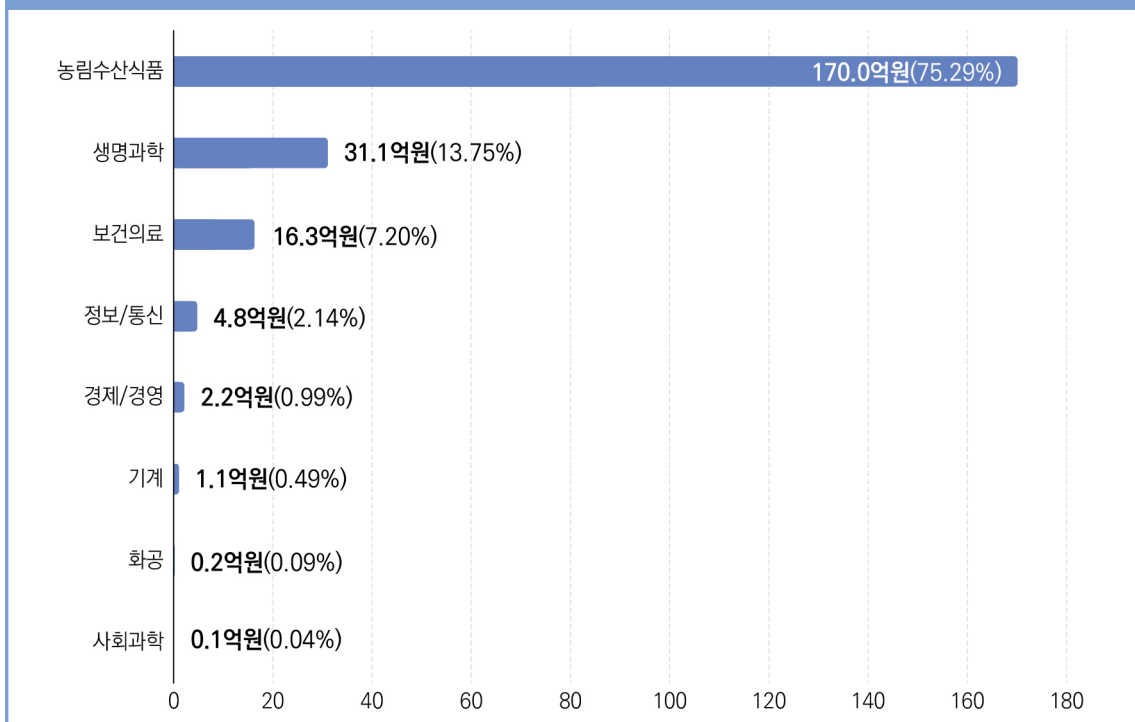


그림 9. 융합 R&D 과제 연구비 규모 및 비중

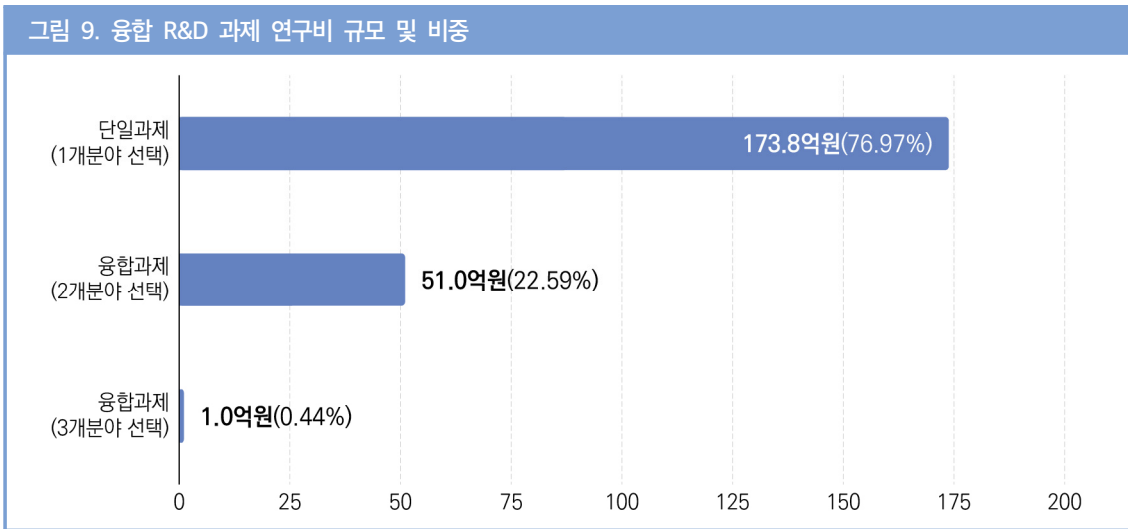
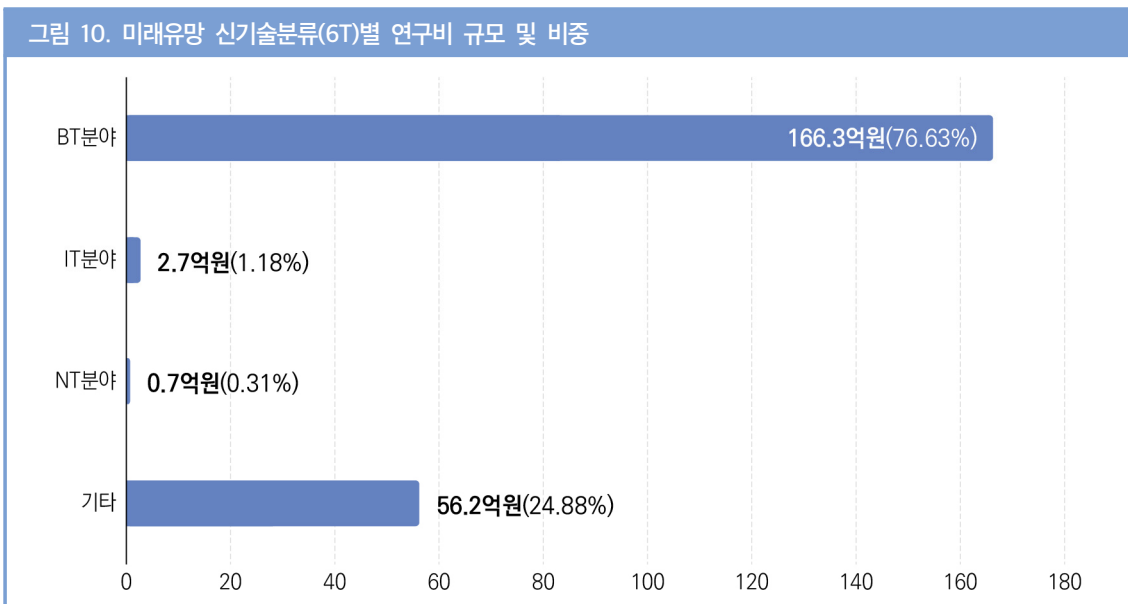


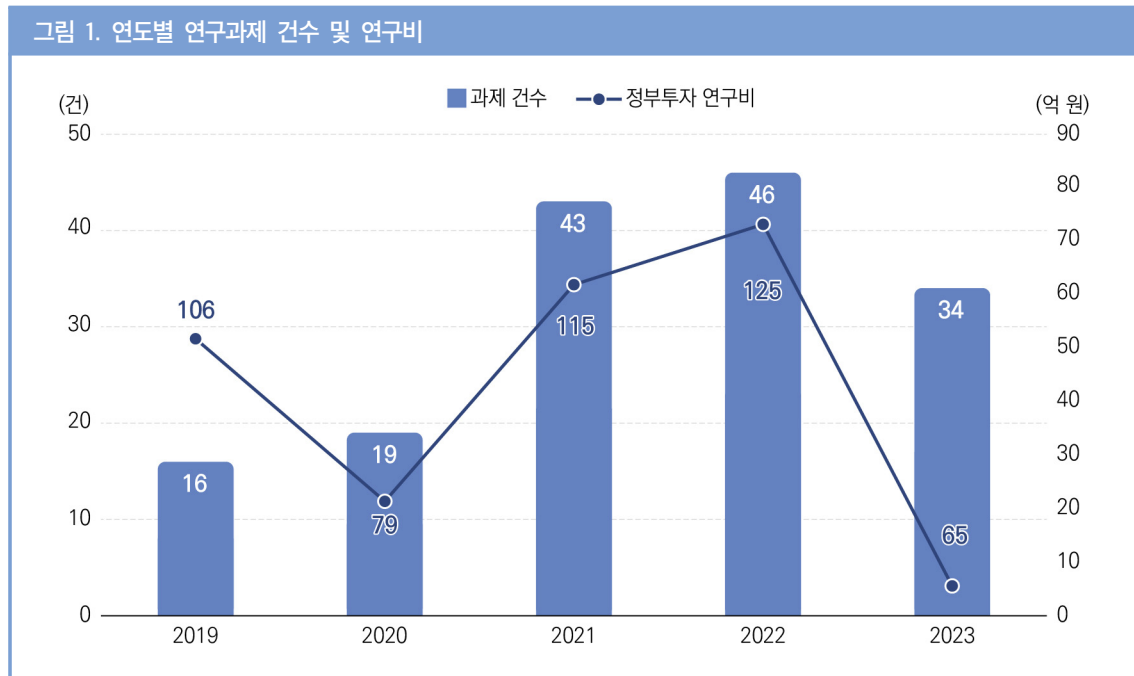
그림 10. 미래유망 신기술분류(6T)별 연구비 규모 및 비중



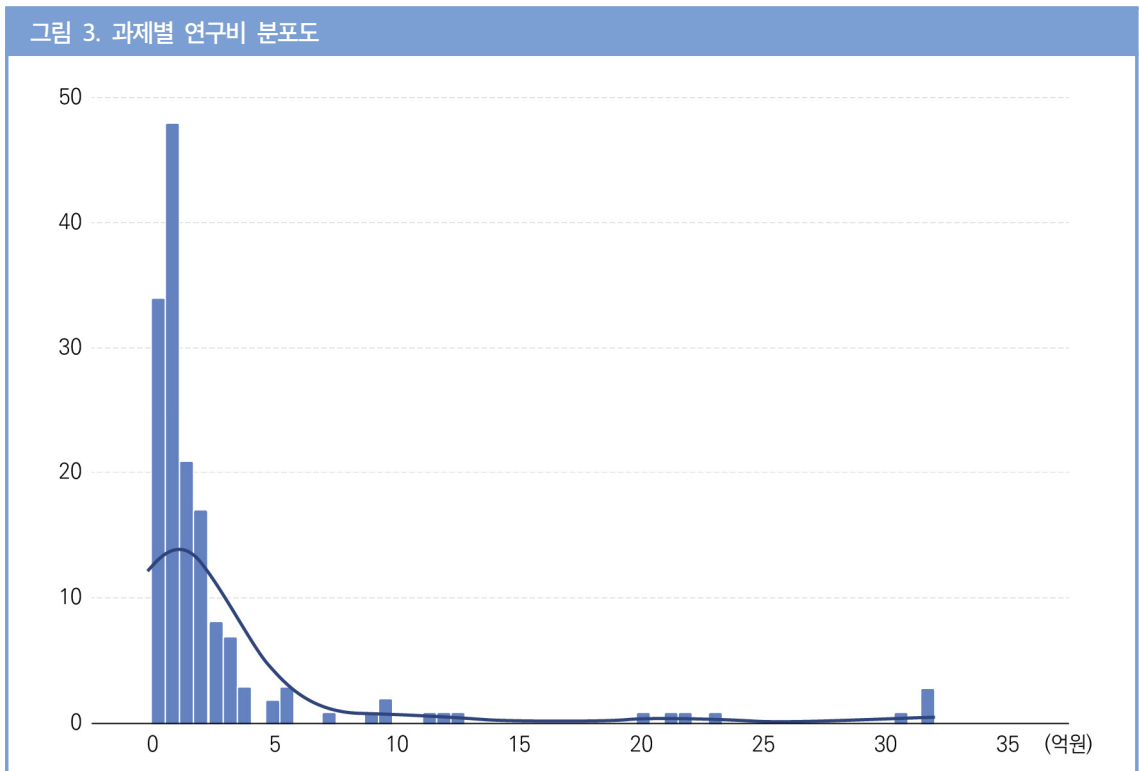
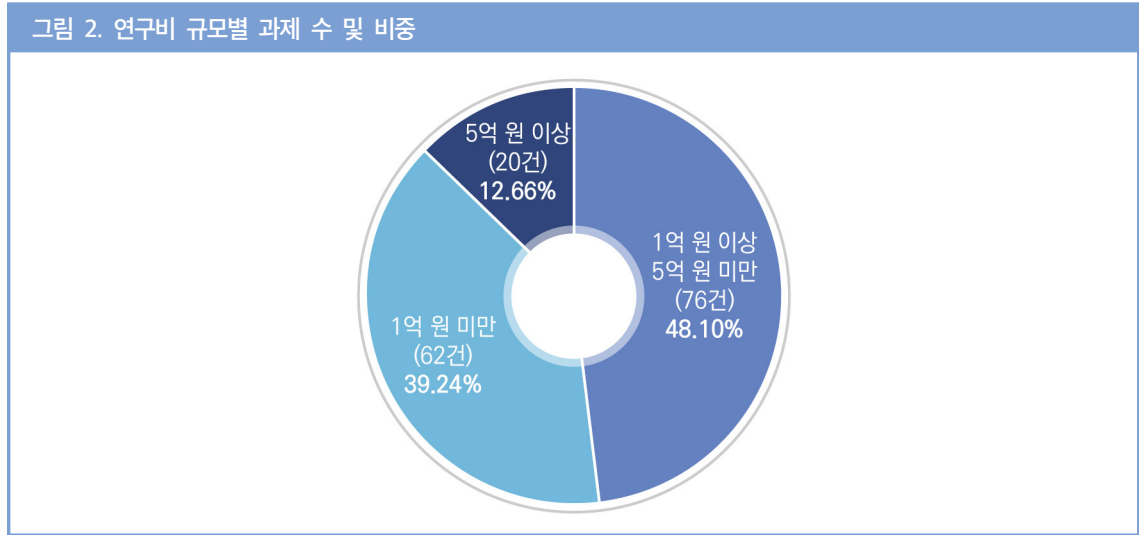
II. 스마트 축산기술 및 연구 동향

■ (개요) 최근 5년간('19~'23) 총 158건의 과제에 대해 489.3억 원의 연구비가 투자됨

※ 국가과학기술지식정보서비스(NTIS) 플랫폼 기반 분석 수행 : 핵심 키워드인 '스마트축산 가축질병'에 'AI', '디지털트윈', '인공지능', 'ICT' 중 하나를 포함하는 결과로 검색

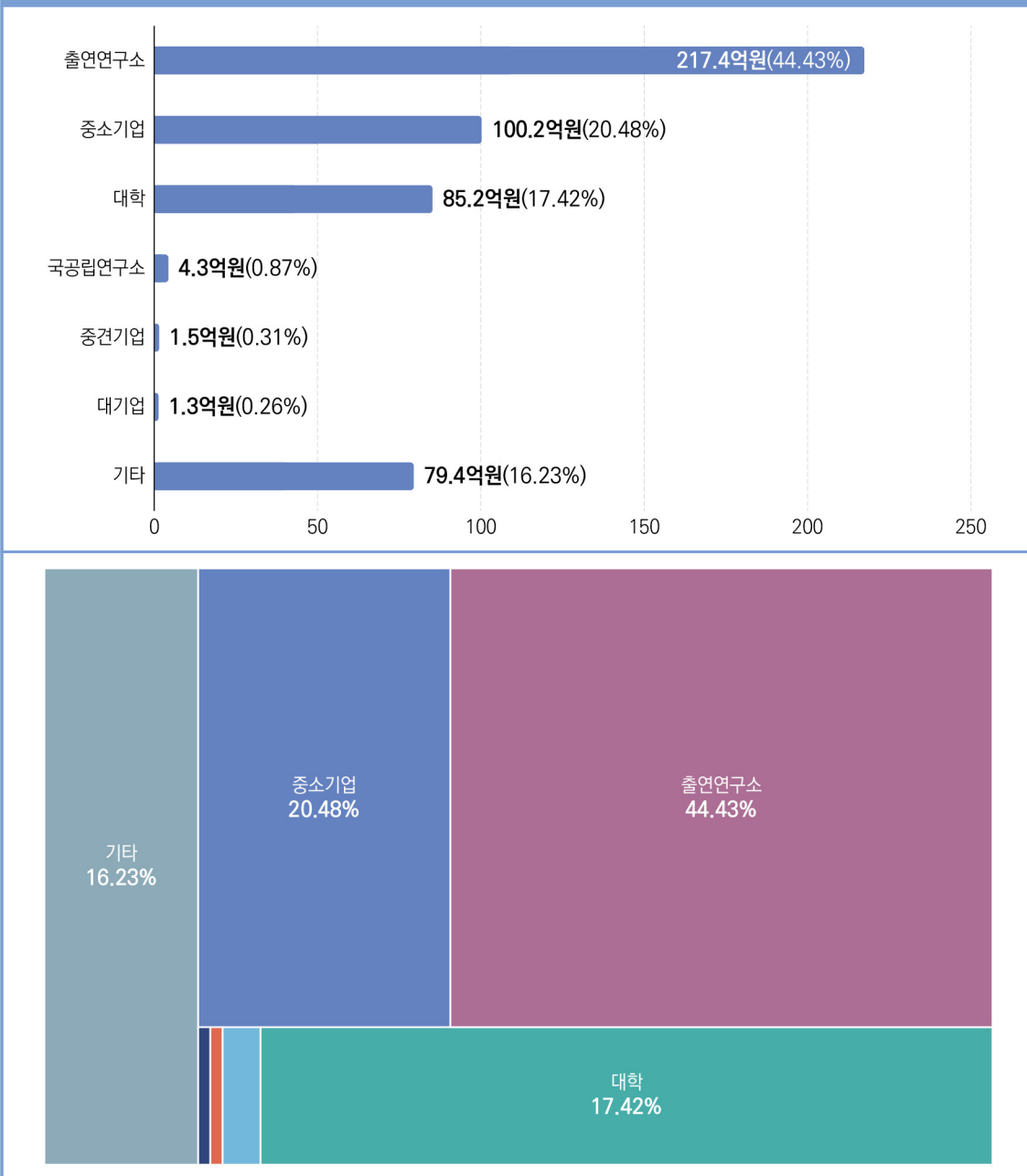


- **(연구비 규모별 과제 수)** 연구비가 1억 원 이상 5억 원 미만인 과제가 48.1%(76건)로 가장 큰 비중을 차지하고, 1억 원 미만인 과제가 39.24%(62건), 5억 원 이상 과제는 12.66%(20건)의 비중을 차지함



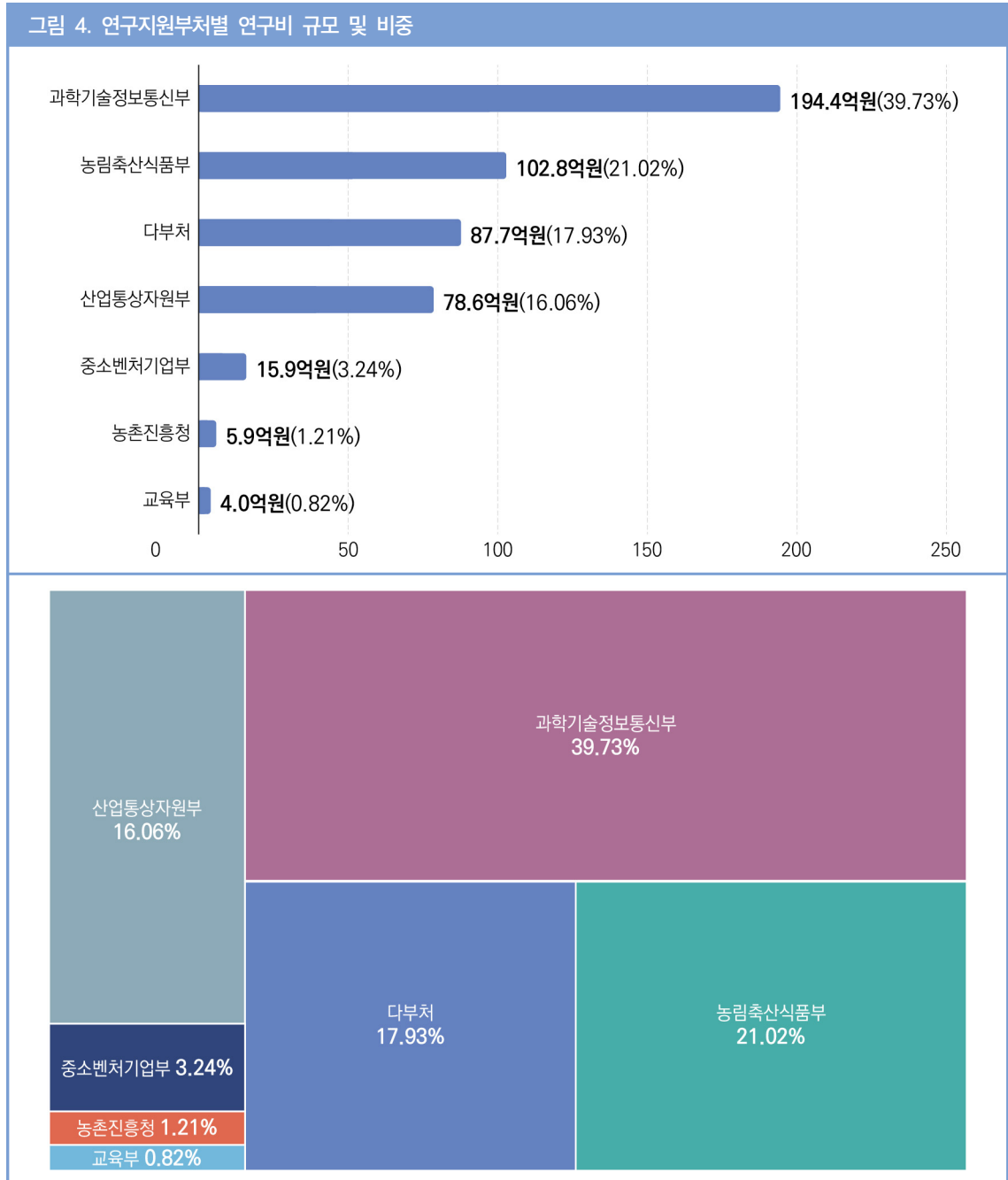
- **(연구수행주체)** 스마트 축산기술 및 연구 동향 관련 총 연구비 중 출연연구소가 지원을 받는 연구비의 비중이 44.43%(217.4억 원)로 가장 크고, 중소기업(20.48%, 100.2억 원), 대학(17.42%, 85.2억 원) 순으로 많은 연구비를 지원받고 있음

그림 4. 연구수행주체별 연구비 규모 및 비중



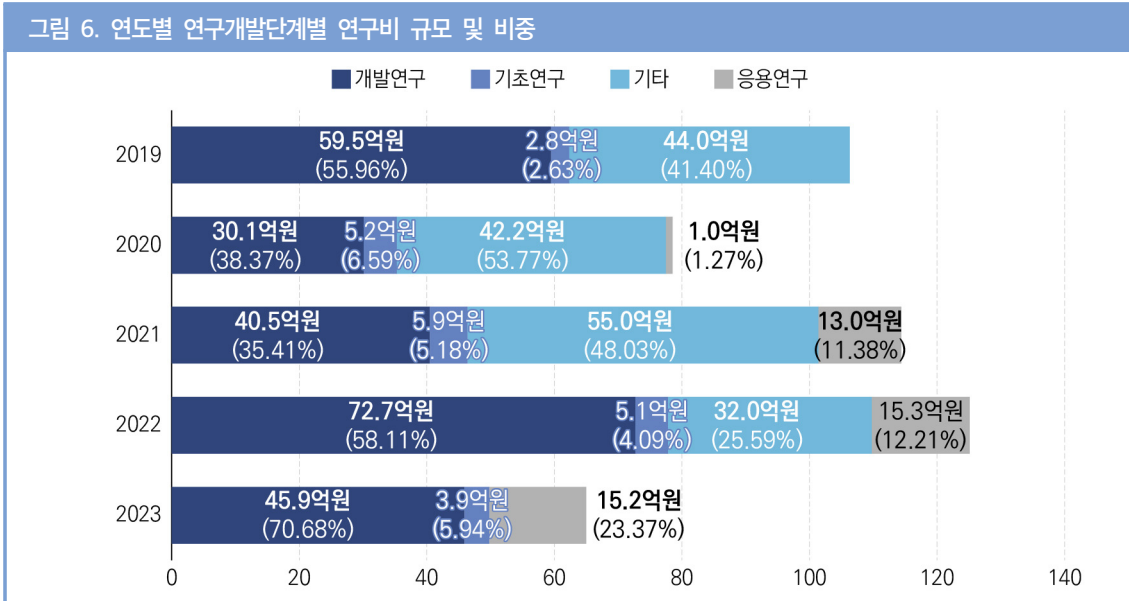
- **(연구지원부처)** 총 연구비 중 과학기술정보통신부가 지원하는 연구비의 비중이 39.73%(194.4억 원)로 가장 크고, 농림축산식품부가 지원하는 연구비의 비중이 21.02%(102.8억 원)로 그 뒤를 이음
- ※ 다부처 지원 규모는 87.7억 원, 비중은 17.93%로 확인됨

그림 4. 연구지원부처별 연구비 규모 및 비중



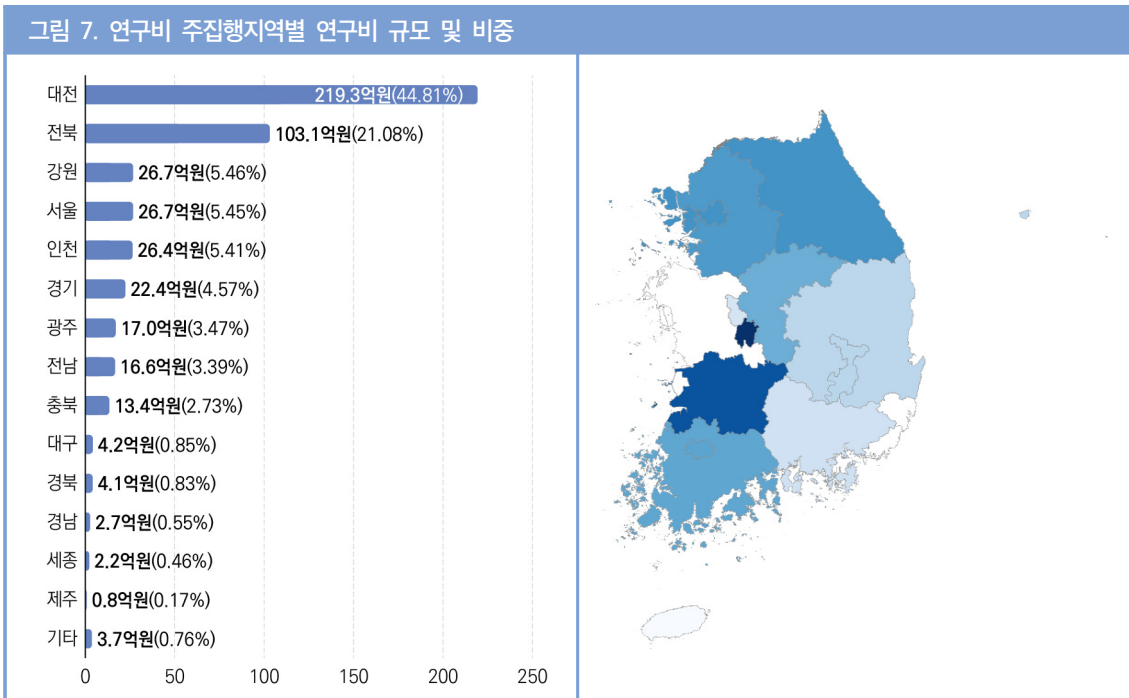
- **(연구개발단계)** 연구개발단계별 연구비 규모 및 비중을 연도별로 분류했을 때, 기초연구의 비중은 큰 변화가 없고, 응용연구의 비중은 2021년부터 크게 증가하기 시작했으며, 개발연구의 비중은 2023년에 가장 높게 나타남
 ※ 기초연구(새로운 과학지식 획득) → 응용연구(신규 용도 개척) → 개발연구(신기술 확립)

그림 6. 연도별 연구개발단계별 연구비 규모 및 비중



- **(주집행지역)** 대전이 전체 연구비의 44.81%(219.3억 원)를 지원받아 가장 높고, 전북이 21.08%(103.1억 원)로 두 번째로 높게 나타남

그림 7. 연구비 주집행지역별 연구비 규모 및 비중



- **(연구분야)** 스마트 축산기술 및 연구 동향 관련 연구비는 국가과학기술표준분류 기준으로 '농림수산식품' 분야, 그리고 미래유망신기술분류(6T) 기준에서는 '생명공학기술(BT)' 분야 위주로 투자되고 있음
 - **(국가과학기술표준분류 분석 결과)** '농림수산식품' 분야의 연구비 비중이 66.3%(324.4억 원)을 차지하며, 이어서 '정보/통신'(23.28%, 113.9억 원) 분야의 연구비 비중이 큰 것으로 나타남
 - ※ 연구책임자가 최대 3개까지 지정한 국가과학기술표준분류의 대분류에 대한 각 가중치를 고려한 결과임
 - **(융합과제 분류)** 융합과제에 해당하는 비중은 57.67%(2개 분야 선택 비중: 50.88%, 3개 분야 선택 비중: 6.78%)이며, 총 282억 원의 연구비가 투자됨
 - ※ 융합과제란 연구책임자가 지정한 국가과학기술표준분류의 대분류가 두 개 이상의 분류에 해당하는 과제를 의미함
 - **(미래유망신기술분류(6T) 결과)** 미래유망신기술분류 분석 결과, 생명공학기술(BT) 분야에 투자되는 연구비 비중이 81.54%(399억 원)로 가장 큰 것으로 확인되었으며, 다음으로 정보통신기술(NT)의 연구비 비중(16.7%, 81.7억 원)이 큰 것으로 확인됨

그림 8. 국가과학기술표준분류별 연구비 규모 및 비중

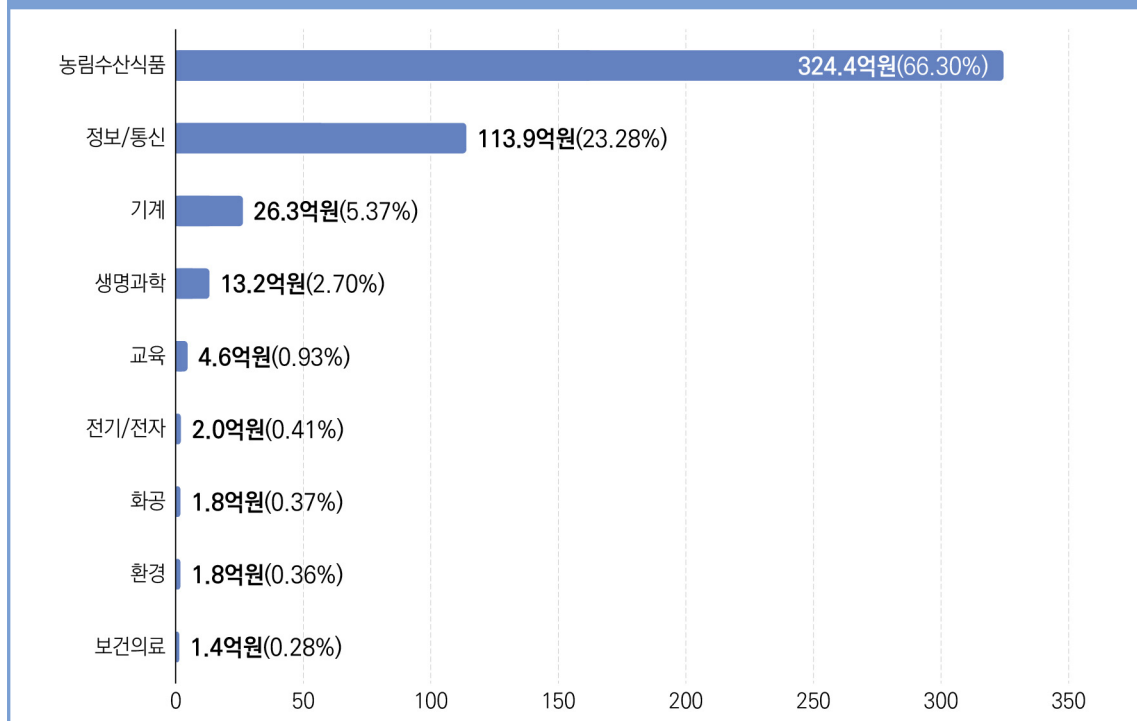


그림 9. 융합 R&D 과제 연구비 규모 및 비중

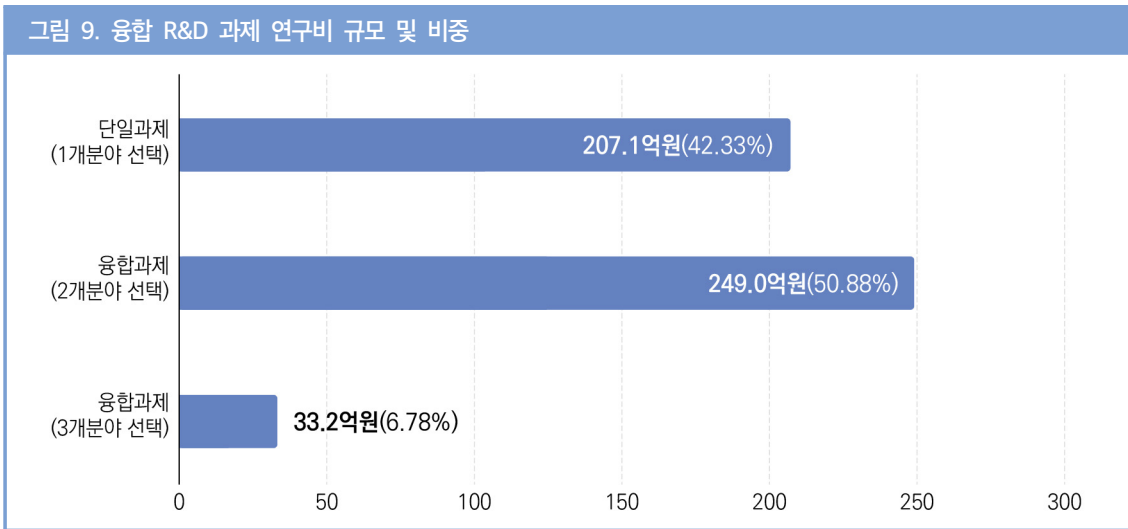
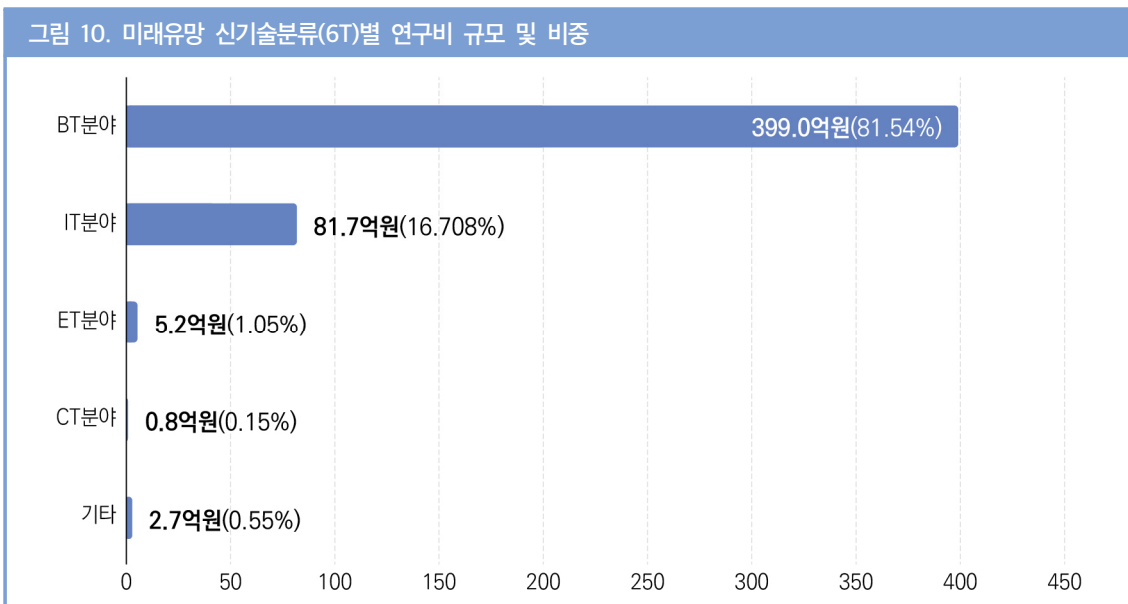


그림 10. 미래유망 신기술분류(6T)별 연구비 규모 및 비중



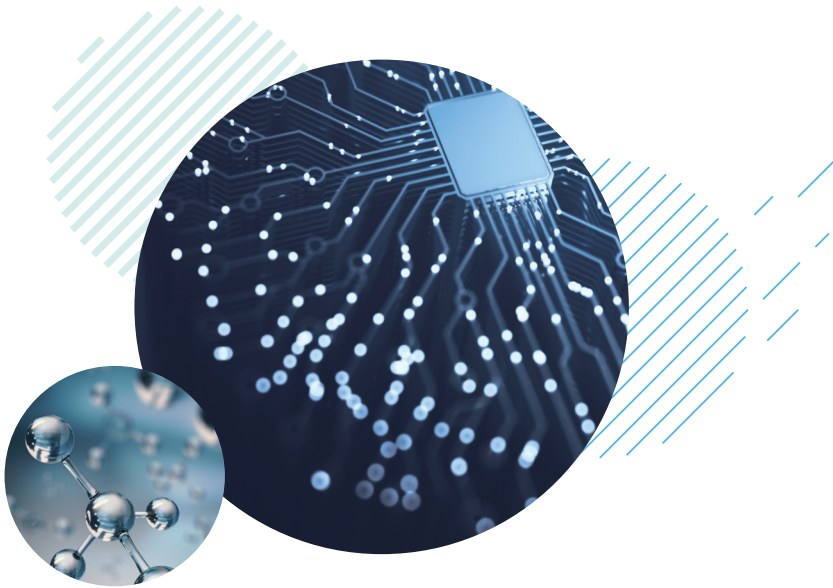
■ 연구비 지원규모 상위 3개 과제

※ 계속과제의 경우 최신년도를 기준으로 작성

기준년도	과제명 (사업명, 부처명)	연구책임자	정부투자연구비
2022	축산질병 예방 및 통제 관리를 위한 ICT 기반의 지능형 스마트 안전 축사 기술 개발 (ICT융합산업혁신기술개발사업, 과기정통부)	김세한 (한국전자통신연구원)	32.0억 원
2021	스마트 농생명 시스템 산업 혁신거점 구축 사업 (지역혁신클러스터육성(R&D), 산업통상자원부)	이영춘 (재)전북테크노파크)	23.0억 원
2019	ICT를 접목한 효율적인 구제역 대응 기술 개발 (국가과학기술연구회연구운영비지원(R&D)(주요사업비), 과학기술정보통신부)	유한영 (한국전자통신연구원)	20.0억 원

■ (주요 키워드) 과제 검색결과의 한글키워드를 수집하여 가장 빈번하게 등장한 키워드를 워드클라우드로 시각화





융합연구리뷰

Convergence Research Review



이 보고서는 2024년 과학기술정보통신부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 작성되었음.

(2023M3C1A604340012)



융합연구리뷰

Convergence Research Review