

미래 농업을 위한 바이오시스템공학

미래 농업은 생산, 유통, 소비 등의 모든 시스템이 연결되고 여기에 ICT·로봇·나노(NT)·바이오(BT)의 첨단기술을 결합해 자율적으로 운영되는 신성장동력 산업으로 진화될 것으로 예상된다. 이에 따라 농업은 정밀농업기술, 자동화 및 농업용 스마트 로봇 등의 다양한 공학기술의 접목과 함께 발달되고 있다. 최근에는 농업에 적용이 어려울 것이라고 예상되던 마이크로·나노·바이오공학의 접목도 시도되고 있으며 이에 따른 미래 농업의 전망은 아주 밝다고 볼 수 있다. 본 논문에서는 미래 농업을 위한 바이오시스템공학에 대해 자동화, 로봇화, 마이크로·나노농업공학 및 농업생명가공공학을 중심으로 주요기술들을 설명하고 국내·외 연구개발 동향을 살펴보고자 한다.

■ 주찬영, 박선호, 박영주, 이도현, 김장호, 손형일*
(전남대학교 지역·바이오시스템공학과)

I. 서론

농업은 녹색혁명을 거쳐 백색혁명, 품질혁명, 그리고 지금의 디지털·지식혁명에 이르게 되었다. 시대의 혁명에 따라 농업을 둘러싸고 있는 여러 여건들 또한 외적, 내적 요인에 의해 변화하기 시작했다. 기후변화에 따른 식생변화, 농업 영역의 확대, 전 세계 인구 증가의 가속화 등이 농업에 있어 심각한 문제로 대두되면서 기존의 농업 방식으로는 지속되기 어렵다는 평가를 받게 되었다. 하지만 로봇·사물인터넷(IoT)·바이오(BT)·나노(NT)·빅데이터 등의 기술의 융합과 조화에 따른 제4차 산업혁명의 도래와 함께 농업의 첨단과학기술 접목으로 미래 농업(또는 스마트 농업)을 향해 새롭게 발돋움 하게 되었다. 이에 따라 미래 농업은 기존의 단순한 먹거리 제공 목적을 넘어서 환경의 보존, 고부가가치 신기술개발, 순환 에너지의 공급 등 농업 경쟁력의 강화 및 지속가능한 농업으로 실질적이고 경쟁력가진 산업으로 기대되고 있다.

농업은 미래식량 부족, 고령화로 인한 노동력 부족을 비롯한 작업시간 및 농장 유지비 절감 등을 위해 첨단기술과 접목하여 자동화 및 로봇화 부분에 많은 연구와 투자가 진행되고 있는 추세이다. ICT 융합기술을 사용한 식물공장, 사물인터넷 기반 스마트 농장은 전 세계적으로 확대되고 있으며 현재 농작물의 파종부터 수확, 가공, 저장, 유통까지의 전 과정이 무인 자동화되고 있다. 정밀농업기계, 무인트랙터, 무인항공기와 같은 지능형

농기계와 농업용 스마트 로봇이 등장하고 이들의 자율화, 영상처리, 군집제어에 관한 연구가 급속히 진행되면서 농업용 로봇의 실질적 상용화가 다가오고 있다. 농업의 자동화·로봇화는 작업 속도의 향상 및 효율성 증대로 인한 작업 시간의 단축과 고령화로 인한 노동력 부족 해결의 주력이 될 것이며 생육, 농기계, 온실 등의 정보를 실시간으로 획득하고 농작업을 정밀하게 자동화하여 작물의 품질과 생산량을 극대화할 것이다.

또한 농업에서 적용이 어려울 것이라고 예상되던 마이크로·나노·바이오공학도 기초적으로 연구가 진행되면서 미래 농업을 향해 한 걸음 더 가까워지고 있다. 마이크로·나노 단위 기반의 기술은 농작물의 재배부터 관리 그리고 보관까지 가장 광범위하게 농업 분야에서 적용되고 있으며 최근 마이크로·나노 코팅, 캡슐, 센서 그리고 소재를 이용한 연구가 각광받으며 기존 농업이 가지던 의미보다 더 실질적이고 경쟁력을 가진 산업으로 나아갈 수 있도록 기반을 다지고 있다. 또한 의학 분야에서만 적용 가능할 것이라고 예상되던 바이오기술이 농업과 결합되면서 기존에 쉽게 버려지고, 상품 가치가 없다고 여겨지던 농업생물자원들이 가공되어 의약, 대체연료, 신소재 등의 고부가가치 상품으로 다시 태어나게 되었다. 이러한 농업생물자원을 이용해 새롭게 만들어진 바이오매스들이 기존 농업의 근본적인 변화를 이끌고 있고, 바이오산업과 농업의 결합이 지속적으로 발전해 나가며 미래 농업 전망에 크게 각광받고 있다.

이렇게 농업은 첨단과학기술과의 융합을 통해 기존의 대두

표 1. 주요국과 우리나라의 농업과학기술 수준 비교(6).

7대 분야 (순위)	미국	EU	일본	캐나다	한국	호주
농업생명공학 기술	100	91.1	87.9	82.5	79.2	79.2
국민식량의 안전생산기술	100	89.2	93.6	82.2	84.8	83.2
친환경농업 및 안전 농축산물 생산기술	100	98.5	95.0	27.7	83.7	85.2
농축산물 고품질 안정생산기술	100	99.9	95.7	91.7	90.5	86.6
농업기계화, 자동화 기술	100	95.3	92.9	88.0	78.1	83.4
농업생물자원 다양성 확보 및 이용기술	100	94.5	87.0	82.1	77.9	79.0
미래농업기술	99.7	100	94.8	86.7	80.3	83.1
종합 기술 수준	96.7	92.6	89.9	83.5	80.6	80.6

되던 문제들이 점차 극복되면서 미래 농업 즉, 스마트 농업을 향해 나아가고 있다. 본 논문에서는 미래 농업을 위한 바이오시스템공학을 집중적으로 자동화, 로봇화, 마이크로·나노농업공학 및 농업생명공학의 주요 첨단기술들을 분석하고 국내·외 연구개발 동향을 살펴보고자 한다[1].

II. 농업의 자동화

2.1 자동화기술 소개 및 적용

농업자동화는 노동력 부족을 해소하고, 시간 및 유지비 절감 등 현재 농업이 마주하고 있는 많은 문제를 해결할 수 있는 스마트 농업의 기본적인 여건이다. 현재 농장에서 ICT(Information and Communications Technologies), IoT(Internet of Things), 빅데이터 및 클라우드 기술, 로봇 기술 등을 접목하여 생산·수확·가공·저장·유통의 전 과정에서 자동화가 이루어지도록 연구 및 개발이 진행 중이다[2].

2.1.1 정보통신기술 (ICT)

정보통신기술은 기존의 정보기술인 IT와 통신기술과의 융합을 통해 새롭게 발전한 기술로, 농업에서는 ICT 기술을 적용하여 생산 정밀화 및 유연화, 유통 효율화, 소비안전화, 자동화 등을 구현할 수 있다[3]. 다방면으로 적용 가능한 ICT 융합기술은 현재 정체 상태에 있는 농업을 새로운 성장 동력과 부가가치를 창출하는 미래성장 산업으로 탈바꿈하는 핵심전략이다. 최근 미국, 일본, 네덜란드 같은 농업 선진국들에서는 농업 경쟁력 강화를 위해 농업 ICT 융합기술 연구 및 개발에 많은 투자와 노력을 하고 있으며, 국내에서도 ICT 융합기술 연구가 활발히 진행 중이지만 표 1과 같이 선진국에 대비 대략 80% 정도의 기술 수준으로 평가된다[4].

농업의 ICT 융합기술에 대해 구체적으로 살펴보면, 기존의 1차 산업 중심 농업기술에 자동제어, 센서, 광원, 생육 제어, RFID(Radio Frequency Identification)·USN(Ubiquitous Sensor Network), 로봇, 유무선 통신기술 등 다양한 IT기술을 융합시켜 농업을 자동화하며 생산성과 효율성, 품질을 향상시키는 기술이다. 농업자동화에 적용된 ICT 융합기술시스템은 현재 상용화되어 많은 농민들이 사용하고 있으며 대표적인 사례를 보면, 스마트폰 전용 어플리케이션을 통해 언제 어디서나 농장을 관리 및 제어를 할 수 있으며 다음과 같은 다양한 서비스를 제공한다. 온실 하우스의 보온덮개, 천장, 커튼, 환풍기, 스프링쿨러, 열풍기, 양액/관수 등을 원격으로 쉽게 제어할 수 있을 뿐만 아니라 시설 내외부에 연결된 감시 카메라를 통해 모니터링과 감시를 할 수 있으며, 누가 침입했을 경우나 정전이 발생하는 경우 혹은 오작동, 비상사태일 경우일 때도 실시간 알림 서비스를 이용하여 사용자가 확인할 수 있다. 또한 농장 내의 온도, 습도, 이산화탄소, 조도, 영양분 등은 연결된 각종 센서를 통해 정보를 받으며 센서를 통해 들어온 '빅데이터'는 알아보기 쉽게 통계화되어 보여 진다.

'질병 예찰을 위한 축사환경 모니터링 시스템'에서 적용된 ICT 융합기술도 마찬가지이다. 내부 환경정보를 수집하는 환경 센서를 통해 가축 사육에 영향을 미치는 조도, 온도, 습도, 이산화탄소 등 축사 내부 환경 정보와 축사 외부의 환경변화를 측정한다. 그리고 영상 정보를 수집하는 CCTV는 축사의 영상정보 및 가축의 영상정보를 수집하고 그 정보는 가공되어 데이터베이스에 저장된다. 저장된 데이터를 비교분석하여 생산자에게 실시간으로 웹 또는 SMS 등을 통해 정보를 제공한다[5]. 또한 수확한 농산물을 유통, 판매까지 전 과정을 ICT 기술을 통해 자동화가 진행되고 있으며 이를 활용하여 SK그룹에서는 '스마트 로컬푸드'라는 사업을 진행하였다. 스마트 로컬푸드는 그림 1

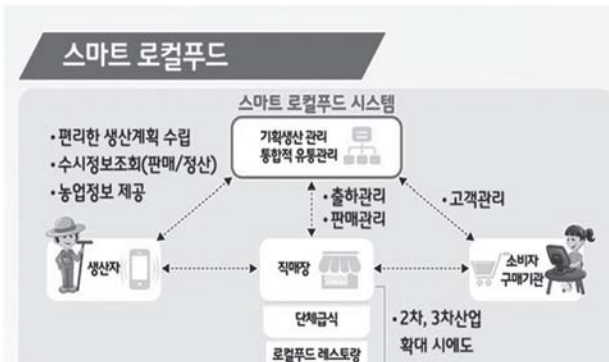


그림 1. 스마트 로컬푸드(7).

과 같이 농작물의 기획생산과 통합 유통관리를 골자로 한다. 본 시스템은 스마트폰 기반의 직거래가 가능해 소농들도 수월하게 농산물을 팔 수 있고 수요 예측이 가능해 생산량과 출하량도 조절할 수 있다.[7]

이렇듯 ICT 융합기술은 농업자동화 부분에 있어 핵심 전략으로 그 중요성을 인식하고 체계적이고 지속적인 연구를 통해 스마트 농업에 적용해야 한다.

2.1.2 사물인터넷 (IoT)

사물인터넷은 이전의 센서 네트워크 기술인 RFID와 USN, 사물 간의 지능통신 기술인 M2M(Machine to Machine)을 거쳐 나타난 기술로, 사물 간의 통신뿐만 아니라 사람과 사람, 사물, 서비스, 공간 데이터 등이 인터넷을 통해 연결되어 지능적 관계를 형성할 수 있는 환경을 형성하는 기술이다[8]. IoT기술은 다양한 산업과 융합하여 혁신적인 가치를 창출해 내고 있어 전 세계적으로 각광을 받고 있으며 가정·의료·교통·제조·농업·에너지 등에 이르기까지 전 산업계에 걸쳐 사용되고 있다. IoT 기술의 핵심은 'Smart Things/Object' 로 사물 간에 상호작용과 통신이 가능한 환경을 만들어 사물에 연결된 센서를 이용해 데이터 및 정보를 생성하고 사물 간의 정보교류를 통해 새로운 서비스를 제공하게 할 수 있다[9]. 따라서 IoT기술은 스마트 농업에 있어 핵심적인 전략으로 농업자동화에 있어 필수적인 기술이다.

스마트 농업에서 사물인터넷 기술은 센서를 통하여 온실이나 축사에서 온도, 습도 등 환경정보 및 작물의 크기, 작물의 색 등 생육정보의 자동측정과 축사에서의 가축의 움직임을 자동적으로 모니터링 하는데 활용될 수 있다. 이렇게 측정된 데이터를 바탕으로 작물과 가축이 최적화된 상태로 유지될 수 있도록 환경을 제어할 수 있다. 또한, 농산물의 유통과정과 이력추적 관리를 위한 방안으로도 활용될 수도 있으며 농작업 자동운전로봇과 트랙터 자율주행 등 농기계 자동제어까지도 확대할 수 있다.

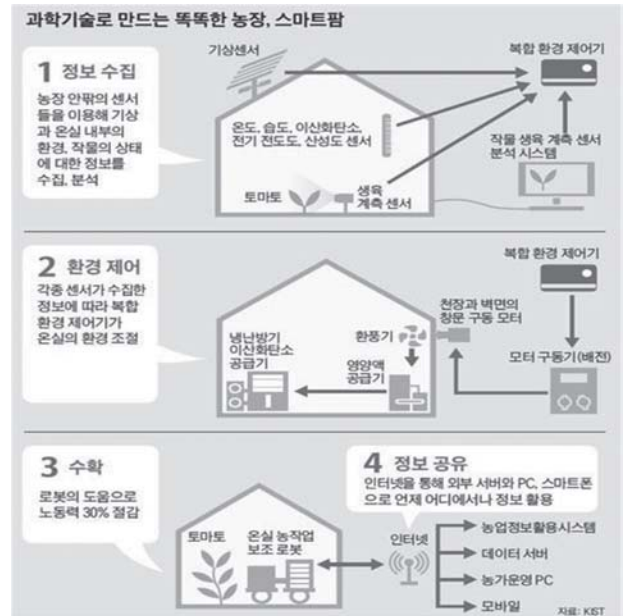


그림 2. IoT 기반 스마트 농장(10).

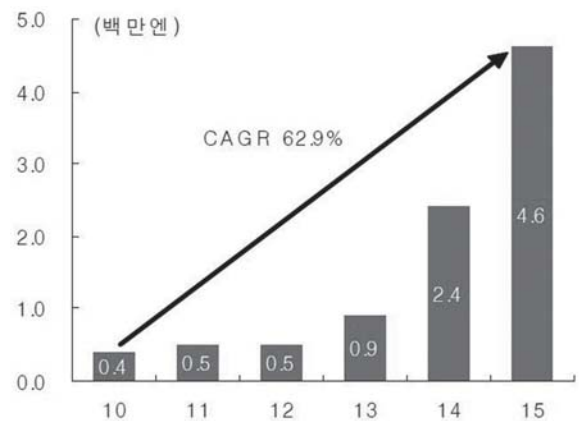


그림 3. 글로벌 농업관련 VC 투자 규모 추이(11). VC (Venture capital) : 벤처기업에 투자하는 기업 또는 자본. CAGR (Compound annual growth rate) : 연평균 성장률.

따라서 IoT를 기반으로 한 스마트 농장은 그림 2와 같이 실시간으로 데이터를 수집하고 분석하여 최적의 재배환경을 만들어 생산량과 품질을 개선시킬 수 있으며, 작물의 병충해를 미리 감지하여 능동적인 대처가 가능해 농업자동화를 위한 밑거름이 될 수 있을 것이다.

2.2 농업자동화 국내외 연구 동향

인구 고령화에 따른 노동력 감소와 저생산성, 높은 임금 구조를 타개하기 위해 전 세계적으로 농업에 첨단기술을 접목하여 농업자동화를 위한 움직임이 확대되고 있다. 그림 3처럼 글로벌 농업관련 벤처캐피탈 투자도 급증하고 있으며 일부 국가 일

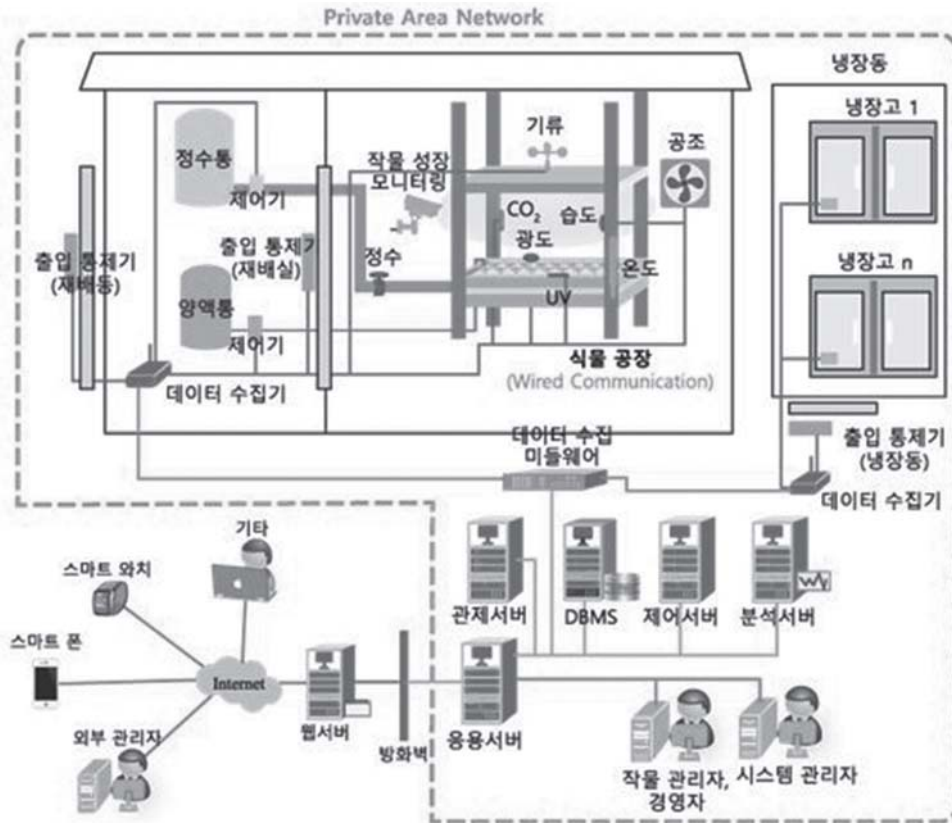


그림 4. 자동화 기반 식물공장(15).

본, 중국, 대만에서는 정책적 지원을 확대하고 있다. 우리나라도 ICT기술을 기반으로 스마트 농업에 대한 투자와 정책적 지원이 늘어날 전망이다[12].

2.2.1 국외 연구동향

해외는 정밀농업의 형태로 이미 농업의 정보화, 자동화가 이루어지고 있으며 최근 IT, 바이오, 환경 기술 등을 적용해 농업 경쟁력을 꾀하는 농업벤처에 재원이 집중되는 추세이다. 유럽, 미국 등 농업 선진국은 이미 누적된 데이터와 센서를 활용한 정밀농업이 발달하였으며 로봇, UAV (Unmanned Aerial Vehicle)를 활용한 노지 경작 자동화 등에 연구와 투자가 확대되고 있다. 또한 생산량을 높이기 위한 정밀 제어기술, 유통 전반에 걸친 유통관리 시스템 및 에너지 절감을 위한 시설기술, 환경보호기술 등 다양하게 연구가 진행 중이며, 주요 IT기업들은 시설농업 (controlled agriculture) 및 수직농장(vertical farm)의 자동화에 대한 관심을 가지고 LED, 배터리 기술 우위를 기반으로 식물공장에 진출했으며 일본 파나소닉 기업의 경우 이미 2015년부터 싱가포르에서 재배된 채소를 유통 중이다. 일본은 고령화 대응과 농업의 국제 경쟁력 강화를 위해 로봇 및 ICT 기술을 활용한 대규모

모 생산, 정밀농업 등 5대분야로 스마트 농업을 정의하고 지원을 강화하고 있다. 중국 또한 13차 5개년 계획에 농업현대화의 대폭적인 진전을 목표로 '신농업인'의 양성을 지원할 계획이며 ICT를 농업생산과 유통에 접목한 기업들의 투자도 증가하고 있다[13].

2.2.2 국내 연구동향

국내에서는 노지재배뿐만 아니라 시설재배에서도 자동화 연구가 활발히 진행 중이다. 최근에는 기후나 면적에 상관없이 식물을 잘 자라게 하며 노지재배보다 재배기간을 단축할 수 있는 온실재배나 일명 '식물공장'에 많은 관심을 가지고 연구 및 개발을 진행하고 있다.

식물공장은 단위면적당 생산성이 높고, 토지의 유효 이용이 가능하며, 계절에 관계없이 연중 계획 생산이 가능하다는 점에서 우리나라 농업이 처한 문제점을 해결할 수 있는 좋은 방법 중 하나이다. 이는 실내에서 작물이 잘 자랄 수 있도록 온도, 습도, 물, 이산화탄소량을 자동으로 조절하여 최적의 인공 환경을 만들어주며 그림 4처럼 데이터를 자동으로 저장하고 활용하기도 한다. 뿐만 아니라 각종 센서를 통해 얻은 정보를 바탕으로

자동으로 광량을 조절하고 인공적인 밤낮을 만들어 식물들이 광합성을 원활하게 하거나 잠을 잘 수 있도록 하며, 영양분과 물을 시기적절한 때에 공급하여 노지채소와 별 차이가 없는 혹은 더 좋은 작물을 생산해 내고 있다[16].

또한 온실재배에서도 자동화를 위한 다양한 연구가 진행되고 있다. 센서를 통해 온실 외부 날씨 변화를 스스로 감지하여 자동으로 개폐기를 열거나 닫고 햇빛에 따라 양액 및 관수를 자동으로 제어하여 농촌의 부족한 일손을 채워주고 있다. 더 나아가 농장을 원격지에서 제어하고 모니터링하기 위해 컴퓨터 S/W나 스마트폰 어플리케이션이 개발 중이며 현재는 상용화가 많이 되어있다. 특히, 스마트폰을 이용한 기술은 언제 어디서든 농장을 관리 및 제어할 수 있어 농민들의 삶이 크게 달라지고 있다.

대기업에서도 현재 스마트 농장 지원 사업에 적극 동참하고 있으며 최근에는 LG그룹에서 3800억 원을 투자해 스마트팜을 만들고 온실 제어 프로그램, 빅데이터 분석, 환경제어기, 양액 공급기, 실내 환경센서, CCTV, LED 등을 사용하여 농작물 생산을 위한 자동화 시스템 개발에 진출하여 화제가 되었다. 그 외에도 농업의 자동화를 위해 많은 연구가 진행되고 있지만 아직까지 우리나라 스마트 농업의 경우 모니터링 및 제어단계에 있는 것으로 판단되며, 빅 데이터 등을 활용한 최적화 알고리즘 개발, 로봇(관수, 이송, 수확, 청소, 작업보조, 파종/이식, 대차, 방제 등)기술 등과 연계된 자동화 연구개발 사업이 추진되고 있다.

III. 농업의 로봇화

농업용 로봇이란 농업 생산과 가공, 유통, 소비의 전 과정에서 스스로 서비스 환경을 인식하고, 상황을 판단하여 자율적인 동작을 통해 지능화된 작업이나 서비스를 제공하는 기계로 정의된다.[17] 초기 농업은 수작업으로 시작되어 기계화, 반자율형 농업 로봇, 나아가 완전 자율형 농업 로봇을 통한 농작업으로 변화하고 있다. 오늘날 사람들이 삶의 질 향상과 안전한 먹거리를 추구하고 세계인구의 급속한 증가로 인한 식량부족이 심화되면서 대안책으로 농업의 로봇화가 빠르게 진행되고 있으며 농업용 로봇 시장 규모는 2013년 9억불에서 2020년 191억불로 급성장이 예상되고 있다.[18]

3.1 농업용 로봇의 특성

농업용 로봇은 오늘날 흔히 사용되는 산업용 로봇과는 다르

표 2. 산업용 로봇과 농업용 로봇의 비교(17).

	산업용 로봇	농업용 로봇
작업 대상의 균일성 및 규격화 가능성	균일/가능	불균일/불가능
작업 대상에 따라 로봇 재배치	가능	대부분 불가능
이동기능의 필요성	거의 불필요	대부분 필요
환경제어의 용이성	용이	곤란
주행노면	대부분 포장된 평탄지	불규칙한 노면 경사지
사용자의 자본정도	대자본	소자본
연간 가동 일수	연중 사용가능	계절적 작업성
전담 오퍼레이터	배치가능	배치불가능
안전을 위한 금지구역 설정	설정가능	설정곤란

게 고려해야 할 변수가 많다. 그 예로 표 2에서 볼 수 있듯이 농업용 로봇의 작업 대상은 규격화 될 수 없고 불균일하며 농업의 특성상 불규칙한 노면에서의 이동을 동반한 작업이 이루어진다. 또한 작업환경이 실외에 노출되어 있어 환경의 제어가 거의 불가능하고 연중 작업이 아닌 계절에 따른 작업에 주로 이용된다. 그러나 사람이나 기존 농기계가 작업하는 것보다 작업속도가 빠르고 다양한 작업이 가능하며 농경지 전체가 아닌 단위면적당 정밀한 분석이 가능하다.[17]

3.2 농업용 로봇의 적용기술

통신, 센서, 바이오 등의 급속한 발달과 기존 산업에 사용되던 첨단기술들이 농업용 로봇에 적용되고 있으며 현재 농업용 로봇의 작업 자율화, 작물 생육상태 분석 및 과채류 이미지 센싱, 농업용 로봇 swarm 등의 기술이 적용되고 있다.[19]

3.2.1 농업용 로봇의 작업 자율화

도로주행 자동차와 상황은 다르지만 농업에서도 자율주행 및 작업을 하는 농업용 로봇의 연구가 꾸준히 진행되었고 곳곳에서 이용되어지고 있으며 최근에는 정밀농업을 위한 핵심기술로 특화되고 있다.

현재 사용되는 자율주행 트랙터나 드론 등의 농업용 로봇은 GPS를 통한 위치정보를 이용하는데 이는 주행 외에도 경운에서 수확까지 변량제어와 같은 정밀농업에 중요한 요소이다. 따라서 정확성을 높이기 위한 연구가 계속되고 있으며 그림 5에서 볼 수 있듯이 농경지 이용의 효율을 높이고 정확한 작업을 위해 DGPS(Differential GPS)나 RTK(Real-Time Kinematic)-GPS를 주로 사용한다. 농업용 로봇은 위성 지도를 바탕으로 작업할 농

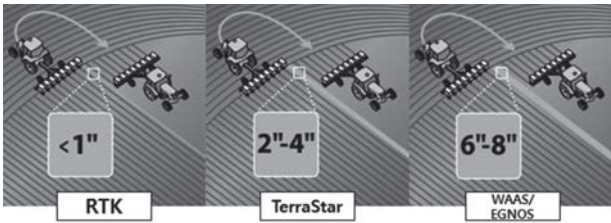


그림 5. GPS 종류에 따른 위치 오차 정도(26).

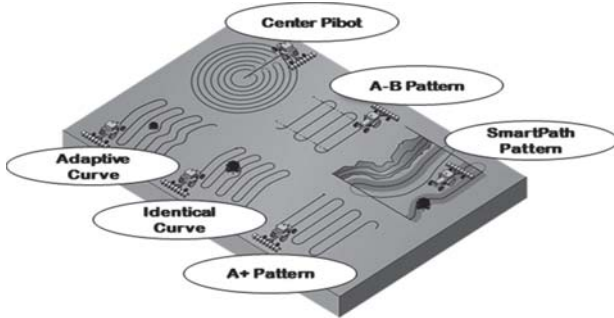
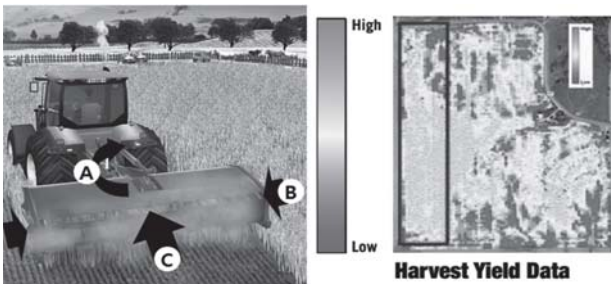


그림 6. 자율주행 트랙터의 최적 경로 설정(26).



A-time delay to grain tank from header B-cutting width C-travel speed
그림 7. 작물 수확량 매핑(26).

경지의 면적과 형태를 인식하고 그림 6처럼 사용자가 지정하거나 스스로 작업 경로를 설정하여 작업하게 된다. 또한 농업에서는 단순 이동과 동시에 상황에 따른 작업을 자율적으로 하게 되는데 경운에서 수확 순서로 사용되고 있는 기술은 다음과 같다.[19,29]

경운에서는 농경지에 분포된 다양한 균기의 토양을 유압을 이용해 일정한 깊이로 경운이 될 수 있도록 하고 이양이나 파종 또한 동일한 깊이 또는 토양 성분이나 함수량을 고려해 적정 깊이에 심거나 간격들 또한 변량적으로 적용한다. 또한 비료나 농약을 살포할 때에는 작물의 생육상태와 토양정보를 바탕으로 변량 적용하며 작물이 없는 지역을 판단하여 살포를 중지하고 낭비를 방지한다. 마지막 수확 단계에서는 수확량을 측정하고 mapping을 하게 되는데 정확성을 위해 수확기 헤더에 작물이 들어오는 면적을 파악해야 하고 농경지 특성상 바퀴의 슬립이 발생하는 경우를 고려하여 속도를 측정한다. 수확량 측정은 주로

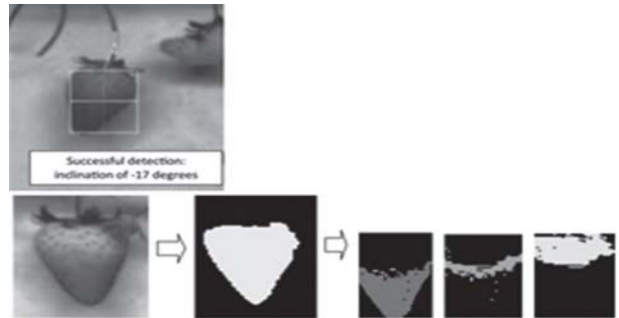


그림 8. 딸기 영상 처리(22).

load cell을 사용한다. 그림 7과 같이 mapping은 수확량을 측정하면서 동시에 진행되는데 수확을 하는 헤더에서 수확량 측정 장치까지 도달하는 시간과 앞서 측정된 헤더의 면적, 속도를 고려하여 정확한 위치에 mapping을 하게 된다.[26]

3.2.2 농업용 로봇의 영상처리

농업용 로봇은 비료나 농약의 변량적 적용을 위해 작물을 파악하거나 과채류를 수확할 때 작물에 손상 없이 열매만을 수확하기 위해 영상처리 기술을 사용한다. 넓은 관측시야를 가진 비행 로봇은 농경지 전체의 작물 상태를 파악하고 지상 로봇은 관측시야는 좁지만 정밀하게 관찰하고 조치를 즉각적으로 취하게 된다. 관측에 사용되는 분광기나 RGB 카메라를 통해 작물의 반사에너지와 방출에너지의 가시광선과 근적외선 범위의 스펙트럼을 이용하고 열화상 카메라를 이용하여 작물을 분석한다. 이때 잘 자란 작물의 스펙트럼을 기준으로 비교하여 차이를 분석하거나 열이 높게 나타나는 작물은 내부적으로 질병과 작용이 일어나는 것으로 판단할 수 있다. 또한 'red edge' 라고 불리는 0.68-0.78 μ m 파장대의 변화나 NDVI(Normalized Difference Vegetation Index, 식생지수)를 통해 엽록소 수치를 분석하여 작물의 상태를 파악하고 토양과 작물을 구분한다.[19]

과채류를 수확할 때에는 이미지 합성이나 RGBD 카메라, 3D 스테레오 카메라 등을 이용하여 열매를 구분하고 익은 열매만을 파악하여 수확한다. 예를 들어 딸기 수확 로봇은 두 대의 컬러 CCD 카메라를 사용하며 그림 8과 같이 완숙 딸기는 적색계열 미숙 딸기는 녹색계열로 판단하고 딸기의 2차원 외형은 원형, 역삼각, 타원형으로 나타나고 줄기는 직선의 형태로 나타나게 되어 색도, 채도 특성에 의해 이진화된 각 영상에 대해 논리곱 연산을 수행하고 식별하여 수확한다.[20,22]

농업에서의 영상처리 기술은 작물의 생육상태나 과채류 수확 외에도 제초를 위해 사용된다. 생육상태를 파악하는 방법과 동일하게 단지 토양과 녹색 식물을 구분하여 제초제를 뿌리는



그림 9. 유럽 MARS 프로젝트(24).

방법이 사용되었지만 현재 작물과 잡초를 초분광영상(hyperspectral imaging)을 이용하여 구분하고 제초제를 분사하는 연구가 진행되고 있다. 이와 관련해 미국 블루리버테크놀러지는 상추와 잡초를 구별하여 제초작업을 진행하는 'Lettuce Bot'을 개발하였다. 제초에 대한 연구는 나아가 작물과 잡초를 구분할 뿐 아니라 잡초의 종류도 구분하여 성질에 맞는 제초제를 선택 분사하는 방향으로 진행될 것으로 예상된다.[21]

3.2.3 농업용 로봇의 Swarm

농업용 로봇의 효율을 높이고 다양한 작업을 위해 로봇의 swarm이 이슈이다. Swarm을 이루기 위해서는 세 가지 원리를 고려해야 한다. 첫 번째, 로봇이 근접한 로봇을 인지하고 소통할 수 있어야 하고 두 번째, 각 로봇들은 다른 로봇이 특정한 로봇이라는 것을 알아서는 안 된다. 즉 일정 대형을 이룬 상태에서 로봇을 더하거나 빼도 단지 다른 로봇에 반응을 해서 대형을 유지해야 한다는 것을 의미한다. 마지막으로 세 번째, 로봇들의 대형을 수학적으로 표현해 주어야 한다. 현재 ZigBee 통신의 mesh 기능을 통해 농업용 항공로봇 및 육상로봇의 swarm이 이루어지고 있으며 농업용 로봇이 작아지는 대신 많은 수의 로봇을 사용하는 것이 가능해지고 있다. 이를 통해 항공로봇은 한번의 비행으로 경작지 전체를 mapping하고 작물을 파악할 수 있을뿐더러 육상로봇은 작물들의 개별 상태를 전달하여 상세하게 파악 및 조치를 취할 수 있다. 또한 농업용 로봇들을 군집화하여 사용하게 되면 기존의 방법보다 약 10%의 수확량 향상과 약 25%의 농업용수 사용량의 감소를 가져올 수 있을 것으로 보여진다.[25]

농업용 로봇 swarm 기술은 세계적인 이슈로서 유럽에서는 그림 9에 나타난 MARS(Mobile Agricultural Robot Swarms)라는 옥수수 파종시 여러 대의 소형 로봇을 투입해 작업하는 군집 로봇을 개발하는 대형 프로젝트를 진행하고 있다. 이 프로젝트에서는 logistic unit이라는 차량이 군집 로봇을 운반할 뿐 아니라 씨앗

을 공급하고 배터리 충전 및 군집 로봇이 정확한 위치에 작업하는 것을 돕는다. 이때 군집 로봇과 logistic unit은 클라우드를 통해 통신하게 된다. MARS 프로젝트에서는 군집 로봇의 장점으로 농업용 로봇이 소형화되기 때문에 토양에 피해를 줄이고 연료사용과 이산화탄소 및 소음공해의 감소의 효과를 얻을 수 있으며 각각의 로봇이 좀 더 정확한 위치에서 상황에 적합한 작업을 진행할 수 있게 된다. 따라서 swarm은 농작업에서 씨앗, 비료 등의 input은 줄이고 생산량과 같은 output을 증가시킬 수 있는 미래 농업에 꼭 필요한 형태로 생각되고 있다.[23,24]

3.3 국내외 농업용 로봇 연구 동향

농업의 로봇화는 이제 필수불가결한 사항이 되었다. 작업 시간, 인력, 인건비 등을 절감시켜 농가의 이익을 최대한 보장할 수 있기 때문이다. 전 세계적으로 농업로봇 실용화를 위해 연구가 활발히 진행되고 있으며 선진국들을 중심으로 농업용 로봇 기술 교류가 활발하게 진행되고 있다.[28]

3.3.1 국외 농업용 로봇 연구 동향

국외의 농업용 로봇 연구는 크게 일본, 미국, 유럽에서 이루어지고 있다.

먼저 일본은 농업용 로봇의 자율주행에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있으며 고성능 농기계의 개발과 실용화, 농작업의 안전성 확보를 목표로 농업용 로봇 개발을 추진하고 있다. 벼, 보리 등 토지 이용형 농업의 자동 농사 체계화 기술을 개발하고 농업용 작업자 로봇 슈트를 주력으로 개발하고 있다. 또한 2018년까지 자율주행 시스템을 탑재한 농업용 로봇을 상품화할 계획이며 2020년에는 원격조작까지 가능하게 할 계획이다.[17,18,31]

다음으로 미국은 세계 최대의 농기계 생산 업체인 John Deere사를 선봉으로 매우 활발하게 연구되고 있으며 수확, 관리 등 다양한 분야에 적용 가능한 농업용 기술을 보유하고 개발 중이다. John Deere사의 로봇 트랙터부터 잡초제거, 각종 과채류 수확 로봇 등이 개발되어 사용 중에 있으며 이를 통해 미국 전체의 20%인 농경지 면적을 전체 취업인구의 2.5%의 인구가 관리하여 세계 최대의 농산물 수출국을 유지하고 있다.[17,18]

마지막으로 유럽은 EU가 후원하는 다수의 농업용 로봇 프로젝트를 진행하고 있다. 현재 진행되고 있는 프로젝트를 통해 연구 동향을 살펴보면 최근 RHEA(Robot Fleets for Highly Effective Agriculture and Forestry Management) 프로젝트를 통해 다수의 무인 트랙터와 드론을 이용해 경작지의 잡초를 제거하고 제초제

를 뿌리는 로봇 시스템을 개발했으며, CROPS(Clever Robots for Crops) 프로젝트를 통해서 고부가가치의 작물 생산 및 수확을 위한 지능적 센싱과 다양한 작업이나 상황에 적용 가능한 모듈형 매니플레이터가 개발되었다. 또한 Horizon 2020 Sweeper 프로젝트를 통해 온실용 파프리카 재배 및 수확 로봇을 개발 중에 있으며, 마지막으로 앞에서 소개한 MARS(Mobile Agricultural Robot Swarms) 프로젝트를 통해 농업용 로봇의 swarm 기술개발을 진행하고 있다.[24,30]

3.3.2 국내 농업용 로봇 연구 동향

국내의 농업용 로봇에 관한 연구는 자동화와 동시에 진행되었고 현재 대부분의 핵심 기술을 독자적으로 가지고 있다. 그러나 국내의 농업용 로봇시장은 아직 초기 단계이며 미국이나 유럽의 대형 농업용 로봇과는 다르게 우리나라의 상황에 맞게 소규모의 로봇 개발이 진행되고 있다. 주로 LS 엠트론, 농촌진흥청 등에서 연구되고 있으며 자율주행 트랙터와 각종 수확로봇들이 개발 중에 있다. 현재까지의 농업용 로봇들이 제조용, 시비용, 수확용과 같이 생산 단계별로 특화되어 개발되었지만 우리나라처럼 규모가 작은 농업 구조를 가진 나라에서는 단계별 로봇을 모두 구매하기에는 비용적 부담이 매우 크기 때문에 트랜스포머형 농업용 로봇이 연구되고 있다.[17,18,28]

IV. 마이크로·나노농업공학

4.1 미래 농업을 위한 마이크로·나노공학

전자현미경을 비롯한 최첨단 기계 및 기술들의 등장으로 물질의 원자와 분자 수준의 탐구가 가능해지면서 다양한 분야에서 마이크로, 나노 단위의 연구가 각광받고 있다[32]. 물리적인 강도, 화학적 성질 등을 포함한 물질들의 특성은 그 크기와 규모 등에 따라 달라지기 때문에 마이크로, 나노 기술은 차세대 기술혁명으로 여겨지며 농업에서 또한 필수불가결의 공학으로 떠오르고 있다.

농업은 다른 분야에 비해서 마이크로, 나노 기술의 적용이 매우 어렵다고 알려져 왔다. 하지만 최근 국가 차원의 주도로 농업에서의 마이크로, 나노공학 응용 연구가 우선순위에 포함되고 있다[33]. 특히 미국, 유럽 등 선진국들을 중심으로 마이크로 및 나노농업에 대한 지원이 강화되고 있으며 우리나라 또한 그 중요성이 인식되고 있다. 2016년 농림축산식품부는 '농림식품 과학기술 육성 계획'을 통해 나노소재 개발 등에 1,124억 원을 투자하여 관련 연구를 강화시키겠다는 의지를 밝히기도 하였

표 3. 농업에 적용된 마이크로·나노 기술 (39, 40).

적용 분야	적용 방법	예시	
작물 생산	식물 보호제	캡슐, 파티클, 에멀전, 바이러스 캡시드	캡슐 농약 (BASF, 독일) Neem oil (VIT대, 인도) 고효율 유화제 (Syngenta, 미국)
		비료	캡슐, 파티클, 에멀전, 바이러스 캡시드
토양	토양 수분 보유		소재 (제올라이트, 점토)
정화	수질 정화 및 오염 제거	소재 (점토, 필러링 소재)	TiO ₂ 필름 (Ulster대, 영국)
진단	나노센서 및 진단장치	소재, 구조 (CNTs, Nanofibers, Fullerenes)	살충제 검출 (Crete대, 독일) 음식 오염 측정 (Nestle, 미국) 병원균 검출 (Comell대, 미국)
			식물 육종
식물 육종	바이러스 및 병해충		

다. 예를 들어, 현재 유·무기물을 이용한 농약 및 비료의 효율성 조절 기술이나, 나노 소재를 이용한 생체촉매 개발기술, 진단 그리고 병해충진단용 센서 등이 유망 분야로 떠오르고 있다 (표 3). 하지만 전 세계적으로 농업에서 마이크로, 나노공학의 적용은 연구 수준에 머물러 있는 실정으로 학계 및 국가 기관 간의 적극적인 정보 교류 및 공동 연구가 수반되어야 한다.

4.1.1 마이크로·나노 센서

작물의 여러 병원균 검출이나 토양 환경 상태를 쉽게 평가할 수 있는 농업용 센서는 일정 부분 실용화 단계에 있다고 할 수 있다. 하지만 모든 물질은 각각 고유의 특성을 가지고 있고 작은 차이의 크기나 규모에 따라 그 발현이 다르기 때문에 마이크로 및 나노 단위의 보다 정밀한 센서 개발이 작물 병원균 검출 등 농업응용에 있어 핵심적 요소로 대두되고 있다.

농업에 있어 마이크로, 나노 센서의 종류로는 토양 상태 분석, 식품의 유해 정도 검출, 작물의 바이러스 검출, 과일 숙성 정도를 측정하는 등 다양한 범위의 센서가 개발되었고 최근에는 검출 시간의 단축이나 검출 한계를 줄이는 등 좀 더 전문적이고 세부적인 센서가 연구 중에 있다.

센서의 소재로는 물질의 항원-항체 반응을 이용하거나 적은

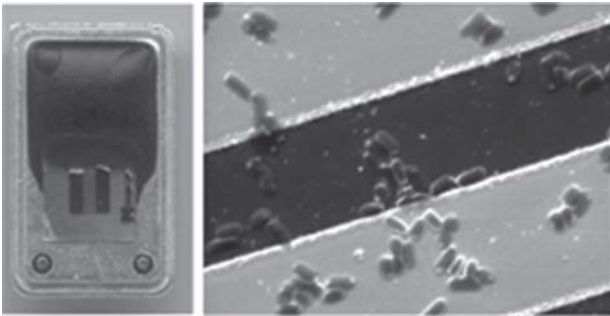


그림 10. 항체와 광 신호를 이용한 살모넬라균 검출을 위한 마이크로·나노-바이오센서(36).

양으로도 검출이 가능한 금과 은을 비롯한 금속도 많이 이용되며 여러 분야에서 각종의 나노물질들이 주목을 받으면서 탄소 나노튜브(CNTs)나 풀러렌이 센서의 소재로 각광받고 있다[35]. 그림 10과 같이 정부연구기관인 농촌진흥청에서는 2006년 살모넬라균을 3분 안에 검출할 수 있는 키트를 개발하였고 2016년에는 농산물의 식중독균 5종(병원성대장균 0157, 살모넬라, 황색포도상구균, 바실러스 세레우스, 리스테리아)을 1시간 안에 동시에 검출할 수 있는 키트를 개발하였다.

또한 최근에는 작물의 상태를 간단하면서 조기에 진단 가능한 종이 기반의 센서가 개발되기도 하였다. 기존의 현장 진단이 어렵고 분석 시간이 오래 걸린다는 단점을 저렴한 종이 센서로 극복한 사례이다[37].

4.1.2 마이크로·나노코팅

농산물 또는 식품은 습기나 가스, 지질 축적 등의 요인들로 부패가 시작된다. 농·식품의 부패를 보호하기 위해 기존의 방부제 투입 및 저온 냉장 방법 대신 표면에 마이크로, 나노 코팅 방법을 이용한 연구들이 진행되고 있다.

예를 들어, 나노 라미네이트 코팅은 라미네이트화를 통한 코팅 방법으로 인해 얇고, 가공하고자 하는 물질에 무해한 소재들의 사용 때문에 효율적인 식품 보존에 적합하다고 할 수 있다. 사람 및 동물이 섭취 시에도 별다른 영향을 끼치지 않는 키토산과 알지네이트와 같은 다당류, 지질이 주재료로 이용이 되며 부패의 주원인이 되는 산소와 이산화탄소와 같은 기체와 습기로부터 농산물의 부패를 막는데 효과적이라고 한다. 또한, 2009년 Predicala는 라미네이트 코팅을 이용함으로써 과일의 중량 손실을 막을 수 있다는 연구로 그 효과를 증명해냈다[34, 35].

식품 포장소재에 있어 살균성과 항균성이 포함된 표면 코팅도 중요한 요소 중 하나인데 이를 해결하기 위해 은, 마그네슘, 아연 등의 나노 입자들이 포장재에 소재로 이용이 되기도 하며

독일의 바이엘이라는 회사에서는 실리케이트 나노 입자를 이용하여 기존보다 가벼우면서 높은 강도와 고열에도 강한 코팅 필름을 개발하였다[35].

최근 우리나라에서도 나노기술을 접목한 고기능성 농업용 필름을 개발했는데 기존 필름에 비해 투광량이 상승해 10~20%의 수확량의 증가 효과를 기대하고 있으며 냉해와 병충해 발생을 약 20% 정도 낮춰주는 효과도 가지고 있어 사용률이 약 70%에 이르는 기존의 일본 제품을 대체를 기대하고 있다[38].

4.1.3 마이크로·나노 캡슐

약물을 담지하고 일정 시간을 두며 서서히 방출이 가능한 방법의 마이크로, 나노 캡슐 기반 약물 시스템 기술이 수확 작물을 위한 새로운 살충제와 제초제로의 응용으로 개발 중에 있다.

주로 100~1,000 nm 크기의 다양한 범위에서 제작이 되며 지질이나 바이러스성 캡시드 등으로 제작된 캡슐은 활성화학물을 방출 전까지 보호하며 용해의 증진과 식물 조직에 침투성을 향상시킬 수 있다[35]. 또한 기존의 농약 살포가 90%가 대기에서 유실되기 때문에 비용은 물론이고, 환경문제에 있어서 많은 단점이 존재했는데 캡슐화로 유지 기간이 길어 농약 사용량 최소화가 가능하기 때문에 농가 및 농약 제조 회사에 있어 큰 주목을 받고 있다[41]. Sygenta는 목화나 땅콩 등의 병해충을 위한 농약을 담지한 나노 캡슐 형태의 Karate® ZEON을 제작해 판매하고 있는데 캡슐의 활성성분이 특별 부위와 닿을 경우 방출이 되기 때문에 기존의 식물 조직에 대한 침투성이 개선이 되었다고 할 수 있다.

또한 이러한 캡슐 제작방법을 물속에서 이용을 하였을 때, 약물이 흩어지지 않으면서 어류 성장을 위한 영양제를 비롯한 약물을 무방비하게 제공하던 기존의 방법과 다르게 특정 어류에 효과적으로 전달이 가능하다는 연구 결과를 통해 농업뿐만 아니라 크게 수산업 등에서도 큰 영향을 끼칠 것이라고 예상된다[42].

4.1.4 마이크로·나노 소재

최근 마이크로 및 나노입자를 이용한 작물의 성장 조절 및 촉진에 관한 연구가 진행되고 있다. 예를 들어, 탄소나노튜브(CNT)는 원통모양의 탄소와 동소체로 가벼우면서 열과 전기에 강하다는 성질 때문에 여러 분야에서 적용되고 있다. 그 중 미국 아칸소 대학교의 Khodakovskaya에 의해서 CNT를 이용해 받아들이지 않은 종자의 껍질을 뚫는 방법에 대해 연구되기 시작해, 2009년 수분 흡수 능력을 증가시켜 토마토 씨앗의 발아를 촉진



그림 11. 탄소나노튜브를 이용한 식물 성장 조절 및 촉진. 녹색: 식물 잎, 빨강색: 식물 세포내 탄소나노튜브 (44).

한다는 사실이 확인되었다[43]. 그림 11과 같이, MIT의 Strano에 의해서 CNTs가 지질 교환으로 엽록체를 통과해 광합성을 촉진해 식물의 성장 촉진 사실이 밝혀지기도 하였다[44].

또한 다른 주 소재인 금속산화물이 최근 들어 농업에서 적용되고 있으며 TiO_2 , ZnO , CeO_2 등이 연구에 응용되고 있다. 즉, 다양한 금속산화물의 농업 응용 가능성이 확인되고 있다. TiO_2 는 식물의 질소 대사를 촉진시킴으로써 시금치의 성장을 촉진시켰으며 광합성을 높이고 곡물의 발병률을 낮추며 수확량의 30%를 증가시켰다는 연구 결과가 밝혀졌다. 또한 포장된 식품에 대한 공기 노출 감지 센서로 사용된 TiO_2 는 공기 누출에 따른 전기적 변화와 색의 차이를 보였으며 광감성을 계속 지니기 때문에 재사용이 계속 가능함이 연구되었다. 추가적으로, 병방제의 효과도 입증되고 있는데 옥수수 등의 잎만점병과 잎마름병의 발생률도 감소되었으며 벼의 도열병과 토마토가가지균, 포도의 노균병, 흰가루병의 발생이 효과적으로 통제되었다[34].

반대로 ZnO 는 옥수수과 독보리의 발아를 저해하는 결과를 보였으나 식물의 뿌리 부분에 다공을 존재하여 미래 영양분 전달 시스템의 소재로 가능성을 확인하였다[45].

마이크로 나노소재의 여러 적용을 통해 미래 농업으로 가능성을 확인하였다. 하지만 초기단계로 연구실 수준의 가능성을 확인한 정도만 여겨지며, 본 플랫폼의 실용화를 위한 다양한 추가연구가 필요하다고 사료된다.

최근의 마이크로, 나노 기술은 여러 분야에 적용되면서 미래 농업에 있어 핵심적인 역할을 할 수 있을 것으로 기대되고 있다. 또한 농업 생산성 증가뿐만 아니라 토양의 축적되어 있는 오염물질의 제거, 농약의 안전한 살포 등의 친환경적인 방향으로 진행될 것으로 기대된다. 이를 위하여 국가적 차원의 연구 지원과 학계 및 연구기관 단위의 공동연구가 더욱 강화되어야 한다.

V. 농업생명가공공학

5.1 미래 농업을 위한 농업생명가공공학

최첨단 가공공학 기술의 발달과 함께 농업생물자원의 활용

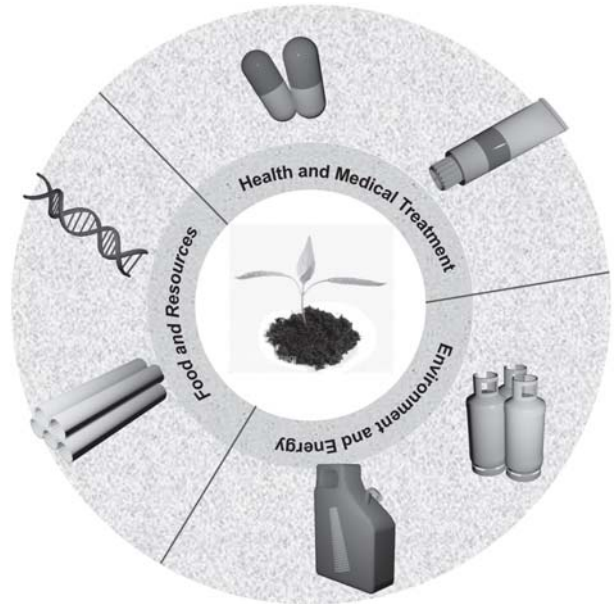


그림 12. 농업생물자원의 기반 다양한 공학 플랫폼.

가치가 급속도로 확대되고 있다. 즉, 풍부한 농업생물자원소재를 고부가가치의 미래 대체 자원으로 활용 가능하게 되었다(그림 12). 농업생물가공공학을 이용한 산업은 “특정 부품, 제품이나 프로세스를 만들기 위해 살아있는 생물시스템 (예: 동물, 식물, 인간)을 응용하는 기술”로 생물자원가공기술을 중심으로 다양한 기술과 융합되어 창출되는 산업을 의미한다. 하지만, 다양한 산업에 이용될 수 있는 농업생물자원은 안타깝게도 대부분 버려지거나 낭비되고 있다. 이렇게 버려지는 농업생물자원은 총 16억 톤 이상으로, 이를 돈으로 환산하면 1조 달러(약 1138조원)이상에 이른다. 또한 이렇게 버려지는 농업생물자원은 부패과정에서 유해가스를 방출하여 환경에 악영향을 미치게 되는데, 대표적으로 폐기된 농작물에서 발생하는 온실가스가 지구온난화에 8%에 달하는 영향을 끼치고 있다고 보고되고 있다.

농업생물자원(식물, 동물, 미생물, 곤충, 해조류 등)으로부터 얻어지는 천연 또는 바이오소재에 최첨단 가공공학을 접목시켜 고부가가치 소재를 개발하여 농·생명소재 산업 육성이 미래 농업의 하나로 인식되고 있다. 농업생물자원을 활용하는 농업생물가공공학의 현황에 대해 간단히 소개하고자 한다.

5.1.1 농업생물자원 기반 식량·자원 플랫폼

최첨단 생명과학 및 공학 기술이 발전함에 따라 기존에 먹거리로만 인식되던 식물, 동물, 미생물 등이 농업생물자원가공을 통해 미래 새로운 자원, 소재, 제품으로 새롭게 태어나고 있다. 이렇게 생산된 소재, 제품들은 작물 바이오매스, 바이오 케미

컬, 바이오에너지, 농업플랜트, 우주농업, 환경생태 등의 분야에 사용되고 있으며, 다양한 분야의 제품의 생산에 원료물질로 사용되기 때문에 더욱 높은 가치를 가지게 된다고 평가된다.

최근 감귤의 차츰 후의 나머지 부산물 또는 폐기물을 이용해 고온, 고압의 공정을 통해 바이오셀룰로오스로 만들어내는 기술이 보고되었고[46], 왕겨를 약 알칼리/약산을 이용하여 정제해 고순도 바이오셀룰로오스를 제조하는 기술이 보고되었다[47]. 이러한 기술로 제조한 바이오셀룰로오스는 바이오매스의 원료, 기능성 성분의 추출 시료, 식이섬유소 활용, 특수섬유제조 원료, 동물사료 등 다양한 활용이 가능하며 폐기물로 버려질 예정이었던 부산물을 재활용함으로써 폐기물 처리를 가장 이상적으로 할 수 있는 방법으로 생각되며, 환경보호 또한 동시에 할 수 있을 것으로 기대가 된다. 또한 해조류로부터 복합다당류를 추출한 뒤 저분자 최적화를 통해 바이오매스로 사용하는 기술이 보고되었다. 해조류에서 추출한 복합다당류는 기능성식품, 의약품, 화장품의 기초원료 및 첨가제로써 다양한 분야에 활용가능하다[48].

이러한 농업생물자원가공공학의 발전과 함께 농가소득 증대 및 국내 농업의 경쟁력 강화가 될 것으로 예상되며, 바이오에너지/바이오화학 소재 이외에도 다양한 활용으로 국가 경쟁력 발전에 이바지 할 수 있을 것으로 기대된다. 특히, 소외되었던 농촌 지역을 바이오 경제의 거점 지역으로 개발함으로써, 도시와 농촌 지역 간의 경제적 불균형을 해소하고, 삶의 질을 높이는데 기여할 수 있을 것이다.

5.1.2 농업생물자원 기반 환경·에너지 플랫폼

기존에 화학연료, 소재를 대신하여 농업생물자원가공을 통해 만들어진 바이오매스를 원료로 2차 공정을 거쳐 바이오 기반 화학제품(유기산, 아미노산, 폴리올, 바이오폴리머 등) 또는 바이오연료(바이오에탄올, 바이오디젤, 바이오부탄올) 등을 생산하는 기술이 개발되고 있다.

이중에 현재 가장 많이 개발되고 있는 것이 화석연료를 대체할 수 있는 바이오연료분야인데, 현재 친환경에너지 시장을 주도하고 있으며, 바이오 연료는 사회기반시설 분야에 커다란 변화 없이도 사용가능한 에너지이기 때문에 각광 받고 있다. 특히, 유가상승 및 온실가스 부담 등으로 인하여 시장 확대가 전망되고 있다.

농업생물자원을 이용한 바이오 연료로의 예로 옥수수 및 사탕수수 등에서 추출한 전분 및 당류로 바이오 에탄올을 생산하는 기술이 가장 대표적이다. 2015년 한국생명공학연구원에서

는 돼지감자의 섬유소에 기반을 둔 돼지감자 발효공정을 통해 바이오 연료의 일종인 바이오 에탄올을 생산했다[49]. 이처럼 버려지는 농업 부산물이나 잡초, 잡목 등에서 연료를 생산할 수 있어, 기존에 대립하던 바이오 자원과 식량 공급 문제를 해결하는데 핵심적인 기술이 될 것으로 예상된다. 또한, 많은 비용을 들여 폐기하던 가축분뇨를 이용해 바이오 연료의 일종인 바이오 가스를 추출해 내는 기술이 고효율로 각광받고 있다. 하지만 다량의 황화수소와 수분으로 기계적 결함과 부식의 문제가 나타나게 되면서 문제점을 개선하기 위해 지속적으로 연구가 되고 있다. 가까운 미래에 더욱 정밀한 분리가 이루어질 것이라고 생각되며 고부가가치의 바이오가스로 실용화 가능할 것으로 예상된다[50].

농업생물자원을 이용한 기술의 발달은 폐기물을 이용해 각종 재활용 비율도 대폭 높여줌으로, 완전한 물질 순환에 큰 기여를 할 수 있을 것이라 생각된다. 현재 Coca cola사에서는 사탕수수에서 모노에틸렌글리콜을 생산하여 바이오 PET에 사용하고 있으며, NatureWorks사에서는 옥수수 추출물과 PLA를 합성하여 유기농 우유의 포장재로써 사용하고 있다.

이러한 농업생물자원공학과 친환경자원의 재활용을 통하여 제품을 생산하는 것이 보편화 된다면, 화석연료 및 공급이 한정된 천연자원의 의존에서 벗어나 생산 관련 원가를 낮추며 환경 보전에도 크게 기여할 것으로 기대된다.

5.1.3 농업생물자원 기반 보건·의료 플랫폼

현재 바이오산업의 대표적인 분야로 절반이 넘는 시장규모를 차지하고 있는 보건·의약품 시장은 다양한 농업생물자원에 다양한 융·복합 공학기술을 적용하여 천연 의약품, 기능성 식품·화장품 및 식·의약 소재를 개발하는 연구가 진행되고 있다. 주로 질병 치료 등에 활용되는 의약품을 개발하고 있고, 재조합 바이오 의약품(단백질의약품, 치료용 항체, 백신, 유전자 의약품 등), 재생 의약품(세포 치료제, 조직 치료제, 바이오인공장기 등), 저분자 및 천연물의약품, 바이오의약기반 구축 기술 등을 연구하며 발전해가고 있다.

농업생물자원을 소재로 한 연구의 예로서, 버려지는 말의 뼈와 키토산 용액을 이용하여 천연세라믹을 만들어내는 기술이 보고되었다[51]. 또한 녹각영지버섯, 감초 등 혼합추출물 유래 위암예방 건강기능식품 소재개발, 국산 정제봉독 이용 동물의약품 개발, 뽕/오디 함유 항비만 활성물질 대량분리 및 고기능성 식품 소재화 등의 농업생물자원을 소재로 한 의약품 개발 연구가 진행 중에 있다.

미국에서는 농업생물자원을 재료로 만든 제품으로써 녹차에서 추출한 시네카테킨이 주성분인 생약제제로 만들어진 베리겐연고가 FDA 승인을 받아서 판매되고 있다. 미국의 1호 천연물의약품 베리겐연고는 사마귀 치료에 효과를 입증받아 제품으로 판매되게 되었고 두 번째로 열대작물로부터 추출된 붉은색 수액을 소재로 개발된 천연물의약품인 풀리작 또한 농업생물자원을 재료로 만들어졌다. 열대작물로부터 추출된 붉은색 수액을 소재로 개발된 약물로서, 에이즈 환자의 설사 증상을 완화시킬 수 있는 의약품으로 사용되고 있다[52].

이러한 식물유래 천연의약품은 전체의약품에서 약 23% 비중을 차지하고 있으며, 의약바이오 시장은 계속해서 커져가고 있다. 앞으로도 무궁무진한 발전가능성이 있기 때문에 천연의약품은 종래 기존의 화학의약품의 비중을 추월할 것이라고 예상된다.

농업생물자원공학은 미래 농업에 있어 핵심 기술이 될 것으로 전망된다. 즉, 기존에 버려지거나 사용되지 않던 농업생물자원을 최첨단 가공기술을 접목시켜 고부가가치 천연자원으로 활용할 수 있게 되었다. 앞으로 농업생물자원공학의 중요성은 점점 더 커질 것이며, 그로 인해 소외된 농촌 지역의 개발 및 새로운 직종 창출이 파생될 것이라 기대된다. 농업에 대한 관심이 점점 높아지는 지금, 미래 농업으로 나아가기 위하여 다양한 분야의 연구기관 사이에 지속적인 협동연구와 국가적 차원의 연구지원이 필요할 것이다.

VI. 결론

전 세계적으로 인구증가 및 고령화 가속으로 인한 노동력 감소와 식량부족 문제가 예견되면서 농업은 로봇·사물인터넷(IoT)·나노(NT)·바이오(BT)·빅데이터 등의 첨단기술과 융합하여 미래 농업을 향해 나아가고 있다.

농업은 ICT와 IoT의 발달을 통해 시설농업 및 수직농장의 자동화와 농업용 로봇을 활용한 노지 경작 자동화를 비롯하여 작물의 생산, 수확, 포장, 유통에 이르기까지 광범위하게 자동화가 진행되고 있다. 특히, 우리나라에서는 기후나 면적에 관계없이 작물을 자라게 하는 식물공장에 많은 투자와 개발이 이루어지고 있으며 일부 농업 선진국에서는 이미 자동화된 식물공장에서 수확한 작물을 유통하고 있다. 또한 무인트랙터, 무인항공기의 상용화로 노지경작의 자동화가 증가하고 있으며 과채류 수확로봇은 딸기, 파프리카 등의 한정된 작물 외에도 사용 범위를 넓히기 위한 연구가 꾸준히 진행되고 있다. 뿐만 아니라 다

수의 농업용 로봇을 군집 제어하여 작업을 수행하는 swarm에 대해서도 많은 연구가 진행되면서, 머지않은 미래엔 다양하고 복잡한 작업이 농업용 로봇에 의해 신속 정확하게 동시 다발적으로 이루어 질 것으로 보인다.

마이크로·나노 및 생물자원가공 등 최첨단 공학기술을 접목한 미래농업은 더욱더 효율적이고 부가가치의 극대화가 가능한 산업으로 발돋움하게 될 것으로 기대된다. 과거의 먹거리에만 중점을 두었던 농업에서, 자연과 인간의 상생을 위한 산업으로 확대가 되고 있다. 하지만, 아직 관련 분야는 대부분 연구 초기 단계에 지나지 않고 있는 것도 사실이다. 따라서 좀 더 진취적이고 적극적으로 농업을 위한 마이크로, 나노 및 농업생물가공공학의 원천 기술 확보에 중점을 두어야 한다. 이러한 기술의 발전과 함께 새로운 직종 창출을 통해 일자리 문제를 해소할 수 있고, 친환경자원을 이용한 제품들의 생산과 재활용을 통하여 환경보존에도 이바지할 수 있을 것이다. 지속적인 연구를 통해 마이크로, 나노 및 농업생물가공공학의 새로운 기술을 개발하고 앞서나간다면, 미래 농업 분야에서 높은 경쟁력을 가지게 될 것이다.

현재 농업은 최첨단 기술과의 결합으로 커다란 전환점을 겪고 있다. 미래 농업을 향한 가능성의 현실화가 진행 중에 있으며 예견되는 문제점은 충분히 극복할 수 있을 것으로 기대된다. 전 세계적으로 농업에 대해 높아진 관심도와 농업의 혁신에 대해 박차를 가하는 지금, 미래 농업으로 향하는 가장 좋은 시기라고 여겨진다. 이를 위해서, 농학, 공학, 의학, 의학 등 다양한 분야의 전문가들의 긴밀한 협동연구와 국가의 전폭적인 지원이 요구되고 있다. 미래 농업 분야는 국가적 신성장동력 산업으로써 사회전반에 걸쳐 크게 기여할 것으로 기대된다.

사사

본 논문은 농림축산식품부의 재원으로 농림수산식품기술기획평가원의 첨단생산기술개발사업(과제번호: 115062-2)의 지원과 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호: PJ0123022016)의 지원을 받아 연구되었음

참고문헌

- [1] 농림수산식품기술기획평가원, “제4차 산협혁명과 농업,” R&D 이슈보고서, 2016.07
- [2] 김관중, 허기웅 “스마트팜 기술동향 및 전망,” 한국전자통

- 신연구원 전자통신동향분석, 제 30 권, 제 5 호, 2015.10
- [3] 김홍상, 이명기, 윤성은, “창조농업 실현을 위한 ICT 기술융합의 전략과 과제,” 한국농촌경제연구원 기본연구보고서, pp. 1-171, 2014.12
- [4] 권용덕, “농업과 IT 융합기술을 활용한 경남 IT농업의 방향과 과제,” 경남정책 Brief, pp. 1-12, 2012.06
- [5] 이지용, 황정환, 여현, “농업 ICT 융합기술 동향 및 발전 방향,” 한국통신학회지(정보와통신), 제 31 권, 제 5 호, pp. 54-60, 2014.04
- [6] 김태현, “농촌진흥청 연구 개발 7대 분야 기술 수준, 미국의 83.4%,” 농촌진흥청 보도자료, 2016.03
- [7] MEDIA SK, 스마트한 기술로 살 맛 나는 농촌을 만든다, NEWS SK 라 이 브, <http://www.cdnews.co.kr/blog/blog/OpenView.html?idxno=236030>, 2014.10
- [8] 편집부, “첨단 ICT기술을 적용한 스마트 농업 확산전략 방안에 대한 연구,” 한국경영학회 통합학술발표논문집, pp. 1896-1910, 2015.08
- [9] O. Vermesan et. al., “Internet of Things Strategic Research Roadmap,” The Cluster of European Research Projects, Global Technological and Societal Trends 1, pp.9-52, 2011.
- [10] 이영완, 한국형 ‘스마트팜’ 뜬다, 조선일보 보도자료, http://biz.chosun.com/site/data/html_dir/2016/01/13/2016011303518.html, 2016.01
- [11] AgFUNDER, “AGTECH FUNDING REPORT 2015:YEAR IN REVIEW,” Investing Report, 2016.02
- [12] 김남훈, “IT기술과의 융합으로 재조명 받는 스마트 농업,” 하나금융연구소 Weely Kana Financial Focus, 제 6 권, 제 22 호, 2016.06
- [13] 구한승, 민재홍, 박주영, “스마트농업 동향분석,” 한국전자통신연구원 전자통신동향분석, 제 30 권, 제 2 호, 2015.04
- [14] 한국농촌경제연구원, “세계농업,” 제 185 호, 2016.01
- [15] Agronics, ICT 스마트팜팩토리 통합 운영 플랫폼, <http://agronics.co.kr/wp/>, 2014
- [16] 손종구, “차세대 식물공장,” KISTI MARKET REPORT, Vol. 3, Issue 12, 2013
- [17] 박현섭, 김상철, “농업로봇 기술동향과 산업전망,” KEIT PD Issue Report, vol. 15-2, pp. 35-49, 2015.02
- [18] 김대중, “미래 농업을 말한다. 전라북도 농업용 로봇 미래,” Issue & Tech, vol. 38, pp. 01-20, 2015.06
- [19] John Deere, “The Precision-Farming Guide for Agriculturists,” Deere & Company, pp. 02.1-05.22, 2010
- [20] Y. Zhao, L. Gong, Y. Huang and C. Liu., “Robust Tomato Recognition for Robotic Harvesting Using Feature Images Fusion,” *Sensors*, vol. 16(2), 173, 2016
- [21] Wendel, Alexander, and James Underwood., “Self-supervised weed detection in vegetable crops using ground based hyperspectral imaging,” *Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pp. 5128-5135, 2016
- [22] S. Hayashi, S. Yamamoto, S. Saito and Y. Ochiai., “Field operation of a movable strawberry-harvesting robot using a travel platform,” *Japan Agricultural Research Quarterly*, vol. 48(3), pp. 307-316, 2014
- [23] H. Anil, K. S. Nikhil, V. Chaitra, B. S. Gurusharan, “Revolutionizing farming using swarm robotics,” *Proceedings of the IEEE International Conference on Intelligent Systems, Modelling and Simulation*, pp. 141-147, 2015
- [24] FENDI, Project MARS: Research in the field of agricultural robotics, <https://www.fendt.com/int/11649.asp>
- [25] TEDxPenn, Vijay Kumar: The future of flying robots, https://www.ted.com/talks/vijay_kumar_the_future_of_flying_robots, 2015.04
- [26] Ag Leader Technology, Products & services, pp. 01-36, 2016
- [27] Intorobotics, 35+ Robots in Agriculture, <https://www.intorobotics.com/35-robots-in-agriculture>, 2016.07
- [28] 이성규, 농업이 로봇 · 빅데이터와 만나면, <http://www.bloter.net/archives/222676>, 2015.03
- [29] Jeremy H. Brown, From Precision Farming to Autonomous Farming, <http://robohub.org/from-precision-farming-to-autonomous-farming-how-commodity-technologies-enable-revolutionary-impact/>, 2013.11
- [30] SPARC, Farming with robots, www.robohub.org/farming-with-robots/, 2016.05
- [31] 김들풀, 일본 농업위기 ‘드론 · 무인 트랙터 · 로봇 · 클라우드’ 로 돌파구 찾는다, <http://www.itnews.or.kr/?p=18684>, 2016.06
- [32] 성진혁, 나노기술과 농업과학의 만남, 국가산업융합지원센터, 2014.07.17.
- [33] 조우석, 나노과학: 농약, 비료 효과적인 전달에 작지만 강한 힘 발휘, 농업인신문, 2015.06.19.
- [34] Ali et al., “Nanotechnology: A new frontier in Agriculture,”

Advancements in Life Sciences, Vol. 1, pp. 129-138, 2014.05.

[35] 김현란, 변영웅, 이병서, 김윤희, 강방훈, “나노기술: 농업의 신 개척지,” 농촌진흥청, 2014.12.

[36] 김기영, “농식품 안전성 식속판정기술 개발,” 농촌진흥청, 2008.

[37] 정진태, 김밖금, 김철수, 이경환, “작물 가뭄스트레스 진단을 위한 종이 기반 센서” 한국농업기계학회, Vol. 20, pp. 135-136

[38] 심영보 외 6인, “양면 열-나노임프린트를 이용한 극저반사 필름 제조”, 한국정밀공학회, pp 726-727, 2016. 05

[39] Siddhartha S Mukhopadhyay, “Nanotechnology in agriculture: prospects and constraints,” *Nanotechnology Science and Applications*, Vol. 7, pp 63-71, April 2014.

[40] Claudia Parisi, Mauro Vigani and Emilio Rodríguez-Cerezo, “Agricultural Nanotechnologies: What are the current possibilities?,” *Nanotoday*, Vol. 10, pp. 124-127, 2015

[41] Tiju Joseph and Mark Morrison, “Nanotechnology in Agriculture and Food,” A Nanoforum report, April 2006.

[42] ETC (Action Group on Erosion, Technology and Concentration), “Down on the Farm: The Impact of Nanoscale Technologies on Food and Agriculture,” 2003.

[43] Khodakovskaya et al., “Carbon nanotubes are able to penetrate plant seed coat and dramatically affect seed germination and plant growth,” *Acs Nano*, Vol. 3, pp 3221-3227, 2009.

[44] Giraldo et al., “Plant nanobionics approach to augment photosynthesis and biochemical sensing,” *Nature materials*, Vol. 13, pp 400-408, 2014

[45] Maria C. DeRosa, Carlos Monreal, Morris Schnitzer, Ryan Walsh and Yasir Sultan, “Nanotechnology in fertilizer,” *Nature nanotechnology*, Vol. 5, pp 91, 2010.

[46] 윤석권, “감귤박을 이용한 바이오소재의 생산 방법”, 대한민국특허청, 2014. 11. 26.

[47] Young Ju Lee, Yong Joo Sung, “Preparations Purified Cellulose from Rice Hull”, *Journal of Korea TAPPI*, Vol. 44. No. 3, pp 79-85, June 2012.

[48] Jeong-Hwan Kim, Yeon-Hee Kim, Sung-Koo Kim, Byung-Woo Kim, Soo-Wan Nam, “Properties and Industrial Applications of Seaweed Polysaccharides-degrading Enzymes from the Marine Microorganisms”, *Korean J. Microbiol. Biotechnol*, Vol. 39, No. 3, pp 189-199, August 2011.

[49] 농림축산식품부, “비목재 자원을 활용한 바이오신소재 개발: 고온성 효모(KM) 세포공장 플랫폼 구축 및 그린바이오신소재 생산기술 개발”, 2015. 07 30.

[50] Jong Eon Kim, Byeong Eun Moon, Byung Ok Jin, Sang Yun Lee, Chung Seop Lee et al., “Evaluation on Separation and Purification Efficiency of Biogas from Livestock Manure using Hollow Fiber Membrane”, *Jouran of Agriculture & Life Science*, 48(6), pp 425-434, November 2014.

[51] Kim et al., “Development and characterization of fast-hardening composite cements composed of natural ceramics originated from horse bones and chitosan solution”, *Tissue Engineering and Regenerative Medicine*, Volume 11, Issue 5, pp 362-371, October 2014.

[52] Milen I. Georgiew, *Natural products utilization*, Springer Science+Business Media Dordrecht, 13, pp 339-341, May 2014.

저 자 약 력



주 찬 영

· 2012년~현재 전남대학교 지역·바이오시스템 공학과 학석사연계과정.
· 관심분야 : 로봇 원격제어.



박 선 호

· 2016년 전남대학교 지역·바이오시스템공학과 졸업.
· 2016년~현재 전남대학교 지역·바이오시스템 공학과 석사과정.
· 관심분야 : 생물재료공학.



박 영 주

· 2012년~현재 전남대학교 지역·바이오시스템 공학과 학석사연계과정.
· 관심분야 : 로봇 원격제어.



이 도 현

· 2010년~현재 전남대학교 지역·바이오시스템 공학과 학부과정.
· 관심분야 : 마이크로 나노 파티클.



김 장 호

- 2006년 전남대학교 생물산업공학과 학사.
- 2009년 서울대학교 바이오시스템공학전공 석사.
- 2014년 서울대학교 바이오시스템공학전공 박사.
- 2009년~2010년 University of Illinois at Urbana-Champaign 연구원.
- 2010년~2012년 서울대학교 농업생명과학연구원 연구원.
- 2015년~현재 전남대학교 지역·바이오시스템공학과 조교수.
- 관심분야 : 생물재료, 생체모사공학, 세포 및 조직공학, 마이크로/나노 농업.



손 형 일

- 1998년 부산대학교 생산기계공학과 학사.
- 2000년 부산대학교 지능기계공학과 석사.
- 2010년 KAIST 기계공학과 박사.
- 2003년~2005년 LG전자 생산기술원 선임연구원
- 2005년~2009년 삼성전자 ITD센터 책임연구원
- 2010년~2012년 독일 막스플랑크연구소 박사후연구원
- 2012년~2015년 삼성중공업 중앙연구소 수석연구원
- 2015년~현재 전남대학교 지역·바이오시스템공학과 조교수.
- 관심분야 : 햅틱 및 원격제어, 필드 로보틱스.