



# 융합연구리뷰

Convergence Research Review

## 인공지능 기반 스마트팜 기술 및 연구 동향

고광은(한국생산기술연구원 인간중심로봇연구부문 선임연구원)

장인훈(한경국립대학교 AI반도체융합학과 교수)

## 감각대체를 통한 포용적 기술 개발

정치윤(한국전자통신연구원 감각확장연구실 책임연구원)

신승용(한국전자통신연구원 감각확장연구실 책임연구원)

# CONTENTS

- 01** 편집자 주
- 03** 인공지능 기반 스마트팜 기술 및 연구 동향
- 37** 감각대체를 통한 포용적 기술 개발
- 67** 국가 R&D 현황 분석

## 융합연구리뷰

Convergence Research Review

2024 April Vol.10 No.04

발행일 2024년 4월 24일

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

### 미래 농업기술, 인공지능을 만나 혁신적 발전을 기대하다.

우리나라의 농가인구는 지속적으로 감소하고 있을 뿐만 아니라 고령화도 심화되고 있다. 통계청에 따르면, 국내 농가인구는 2001년 393.3만명에서 2022년 216.6만명으로 감소하였고, 국내 65세 이상 농가인구 비율은 2001년 24.4%에서 2022년 49.8%로 두 배 이상 증가하였다.

인구수도 줄어드는 데다 청년 농업인마저 사라지고 있는 상황. 우리나라 농업의 노동력 부족을 우려하지 않을 수 없다. 이와 같은 문제의 해결사는 바로 융합이다. 빅데이터에 기반한 인공지능 기술이 농업과 결합하면 보다 정밀화된 농업으로 생산성을 향상시킬 수 있다. 특히 스마트팜은 IoT 및 인공지능, 로봇 등 첨단 기술이 농업환경에 도입되어 노동집약적인 작업이 자동화되고 생육환경이 모니터링되어 최적의 영농의사결정을 수행할 수 있는 농업시스템이다.

본 호 1부에서는 인공지능 기반 스마트팜 기술 개발 및 정책 동향을 다룬다. 국내외 기업이 개발한 인공지능을 활용한 생육 모니터링 기술과 스마트농업 로봇 기술들을 소개하고, 우리나라와 해외 주요국의 스마트팜 추진전략과 및 투자 현황을 살펴본다.

### 감각대체 기술로 장애인에게 더 많은 경험을 제공한다.

시각 또는 청각장애인은 각각 저하된 감각을 대신하는 다른 감각 정보에 의존하여 의사소통을 하는데, 감각 대체 기술은 이러한 과정에 큰 도움을 준다.

예를 들어 딥러닝을 통해 한국어 문장을 수어 원고로 변환하고, 이를 수어 애니메이션으로 구현하는 한국수어 자동번역 소프트웨어는 시각 정보로 청각 정보를 보완하는 기술이다. 또한, 소리 정보를 받아들여 특정 주파수 신호로 분해하고, 주파수별 특징에 따라 진동 패턴을 생성하여 사용자에게 전달하는 VEST는 촉각을 이용한 음성 단어 인지 기술에 해당한다.

감각대체 기술이 다른 분야와 융합되면 보다 폭넓은 경험을 제공할 수 있다. 시각장애인에게 모나리자의 아름다움을 전달하고 싶다면 어떻게 해야 할까? 미술작품의 경우 정보 전달보다는 감성적 전달이 중요하다. 이는 문자화된 정보 전달이 아니라, 시각장애인이 직접 작품을 만지며 감상할 수 있도록 질감과 입체감을 입힌 촉각 이미지 인쇄 기술을 통해 구현할 수 있다.

본 호 2부에서는 사람들에게 효율적인 의사소통 경험을 제공할 뿐만 아니라, 문화예술 분야에서도 널리 활용되어 삶의 질을 향상시킬 수 있는 감각대체 기술에 대해 알아본다. 감각대체 기술은 향후 더 많은 분야와 융합되어, 보다 포괄적이고 혁신적인 서비스를 제공하는 데 기여할 것으로 기대된다.



**융합연구리뷰**  
Convergence Research Review

2024 April Vol. 10  
**No. 04**





# 1

## 인공지능 기반 스마트팜 기술 및 연구 동향

**고 광 은**

한국생산기술연구원 인간중심로봇연구부문 선임연구원

**장 인 훈**

한경국립대학교 Si반도체융합학과 교수

# 1. 인공지능 기반 스마트팜 기술 및 연구 동향

고 광 은 (한국생산기술연구원 인간중심로봇연구부문 선임연구원)

장 인 훈 (한경국립대학교 시반도체융합학과 교수)

## I. 인공지능 기반 스마트팜 기술의 정의 및 필요성

우리나라의 농업은 식량자급 및 안보와 직결된 기간산업이자 노동집약적 특성을 가진 생산 위주의 1차 산업임에도 수급불균형 해소 및 가격안정을 위해 정부가 예산과 노력을 투입하기 때문에 공공 의존도가 높다. 하지만 최근 국내 농가인구 감소 및 고령화로 인한 농업분야의 노동력 부족이 심화되고 있으며 이에 대비한 노동인력절감 및 생산성 증대 방안의 필요성이 대두되고 있다. 통계청에 따르면, 국내 농가호수는 2001년 135.4만호에서 2022년 102.3만호로, 국내 농가인구는 2001년 393.3만명에서 2022년 216.6만명으로 지속적으로 감소하는 상황에서, 국내 65세 이상 농가인구 비율은 2001년 24.4%에서 2022년 49.8%로 절반에 육박하는 반면 40세 미만 청년농 인구는 2020년 39.5만명에서 2022년 28.3만명으로 감소하였는데, 이러한 추세는 계속될 것으로 전망되고 있다(〈표 1〉 참고). 또한 전 세계적인 기후변화의 영향이 심화되면서 작물생산이 계획대로 이뤄지지 않아 생산량이 일정하지 못한 수급 불안 문제와 FTA 등 농산물 시장 개방화에 따른 이슈 등 다양한 대·내외적 문제들이 있다. 상술한 문제를 극복하여 농업의 지속가능성을 확보하고 농축산물 품질개선 및 생산성 향상을 통한 경쟁력을 제고하기 위하여 농업과 IoT(Internet of Things) 기술을 융합하려는 시도가 계속되어 왔으며 정밀농업(Precision Agriculture), 디지털 농업(Digital Farming), 스마트팜링(Smart Farming), 스마트팜(Smart Farm) 등의 용어로 혼용되어 사용되고 있다. 인공지능 기반 스마트팜 기술이란 최근 인공지능과 로봇기술이 폭발적인 수준의 기술혁신을 보임에 따라 인공지능 기술을 보다 강조한 용어로 정의할 수 있으며 이에 관한 관심과 필요성이 더욱 증가하고 있다.

표 1. 농가호수, 농가인구 동향과 전망

구분	2001	2020	2021	2022
농가수 (만가구)	135.4	103.5	103.1	102.3
농가인구 (만명)	393.3	231.4	221.5	216.6
40세 미만 농가인구 (만명)	-	39.5	31.2	28.3
65세 이상 농가인구 비율(%)	24.4	42.3	46.8	49.8
총인구중 농가인구 비율(%)	8.3	4.5	4.3	4.2

\* 출처: 통계청(2022), 재가공

### 1.1. 스마트농업을 위한 인공지능 기술

인공지능(Artificial Intelligence, AI)이란 인간의 지적능력(학습능력, 추론능력, 인지능력, 자연언어 이해능력 등)을 컴퓨터 프로그램으로 구현하기 위한 ICT 기술을 의미하며 단일 기술이라기보다는 인간의 인식, 판단, 학습 등을 필요로 하는 작업을 대체하기 위해 적용되는 기술의 모음을 일컫는다. 인공지능 관련 분야는 인지과학, 정보학, 통계추론학, 전산신경과학, 정보공학 등 다양한 영역을 망라하지만, 최근 기계학습, 딥러닝이 주요 기술용례로 활용되고 있다. 기본적으로 빅데이터 플랫폼을 통한 데이터 획득, 대규모 데이터셋 가공, 학습을 통한 모델 생성 등의 과정을 통하여 인공지능 서비스를 구축하고 있다(그림 1) 참고).



\* 출처: 과학기술정보통신부 (2018)

이러한 인공지능 서비스를 제공하기 위해서는 우선 대규모의 데이터셋을 기반으로 활용분야에 특화된 알고리즘을 인공지능 모델로 구현해야 한다. 모델의 학습 및 테스트에 활용되는 데이터의 품질에 따라 서비스 성능에 직결되기 때문에 양질의 데이터를 대규모로 확보하고 가공할 수 있는 기술이 매우 중요하다. 이러한 대규모 데이터셋을 처리하고 복잡한 알고리즘을 효율적으로 실행하기 위해서는 모델 학습 및 테스트에 걸리는 시간을 크게 줄여주는 GPU, TPU 및 분산 컴퓨팅 인프라가 확보되어야 한다. 이러한 인프라를 활용하여 모델의 개발 주기가 빨라지고 더 크고 복잡한 알고리즘을 처리할 수 있게 된다. 모델 아키텍처, 최적화 기술, 다양한 작업과 데이터셋에 따라 확장하고 적응하는 알고리즘도 인공지능 서비스의 핵심요소이다. 이러한 알고리즘을 계층화하면 다음과 같다.

- **머신러닝(Machine Learning, ML)** : 컴퓨터가 특정 작업을 위해 명시적으로 프로그래밍하지 않고도 경험을 통해 학습하고 개선할 수 있도록 하는 인공지능 분야로 데이터를 분석하여 패턴을 발견하고 이러한 패턴을 기반으로 의사결정이나 예측하는 확률모델, 신경망, 의사결정트리 등 방법론을 포괄하며 분류, 예측, 이상탐지 등 다양한 작업에 적용할 수 있다. 이를 위해 정답을 알려주며 학습시키는 '지도학습', 입력 데이터와 결부되는 정답을

알지 못하는 상태에서 데이터의 새로운 특징을 찾는 ‘비지도학습’, 현재 어떻게 행동하는 것이 최적인지를 외부보상을 통해 알아낸 후 보상을 최대화하는 방향을 행동하도록 학습하는 ‘강화학습’으로 구분할 수 있다.

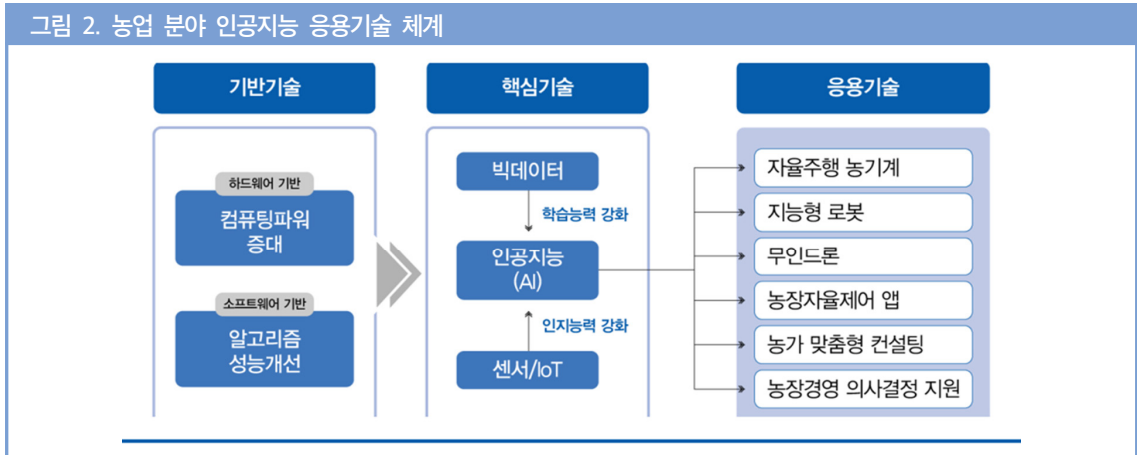
■ **딥러닝(Deep Learning)** : 딥러닝은 머신러닝의 하위집합으로 인공 신경망을 계층적 방식으로 대규모 데이터셋으로부터 특징을 추출하며 다양한 수준의 추상화를 통해 입력의 패턴을 인식하는 기능을 수행한다. 영상, 음성, 자연어 처리와 같이 고난도 데이터 분석 작업에 특화되어 있으며 최근 대규모 데이터셋의 가용성 향상과 GPU, TPU 등 고성능 컴퓨팅 인프라의 발전에 따라 가장 널리 활용되고 있다. 기본적으로 합성곱 신경망(Convolutional Neural Network, CNN), 순환 신경망(Recurrent Neural Network, RNN), 적대적 생성 신경망(Generative Adversarial Network, GAN), 심층강화학습, Attention mechanism과 Transformer 등의 다양한 방식이 시도되고 있다.

■ **컴퓨터 비전** : 컴퓨터가 사람처럼 영상을 분석하여 필요한 정보를 추출하기 위한 인공지능 기술로 영상 내 사물, 장소, 사람 등을 식별하는 인식(classification)과 영상 내 객체의 존재 여부 및 위치 정보를 검출하는 탐지(detection), 영상 내 유의미한 객체 및 인스턴스들을 픽셀 수준으로 검출하는 분할(segmentation) 등의 다양한 요소기술을 포함하고 있다. 대부분의 컴퓨터 비전 기술이 딥러닝을 활용하여 정확도와 효율성이 크게 개선되었으며 산업 전반에 걸쳐 광범위하게 적용되어 빠르게 성장하고 있다.

■ **데이터마이닝** : 데이터마이닝은 결과 예측을 위해 대규모 데이터셋으로부터 패턴, 상관관계, 이상치 등의 연관성을 발견하는 프로세스로 과거 데이터를 기반으로 미래값을 예측하는 예측 모델 및 최적화 등을 수행한다. 이를 통해 다양한 작업에서 의사결정을 지원하여 효율성을 크게 개선할 수 있다.

농업 분야에서 이러한 인공지능기술은 크게 ① 스마트팜 복합환경제어, ② 농작업 자동화 로봇, ③ 농작물 모니터링 기반 생산량 예측 등의 형태로 적용되고 있다. 구체적으로는, 카메라, IoT 센서 네트워크 등을 통해 수집한 농작물의 재배단계와 생육상태, 물리적 환경정보 등으로 빅데이터를 구축하고 이를 분석함으로써 최적화된 생육환경을 조성하기 위한 환경요소 제어를 수행하는 스마트팜 복합환경제어 기술과 사람 대신 로봇을 활용한 농작물 수확, 제초제 살포, 잡초 제거 등 농작업을 수행하는 농업용 로봇 기술과 위성이나 드론으로 촬영한 고해상도의 대용량 영상을 인공지능으로 실시간 분석, 모니터링하고 예측되는 생산량과 이를 극대화 하기 위한 전반적인 농작업 의사결정 지원 기술이 있다(〈그림 2〉 참고).

그림 2. 농업 분야 인공지능 응용기술 체계

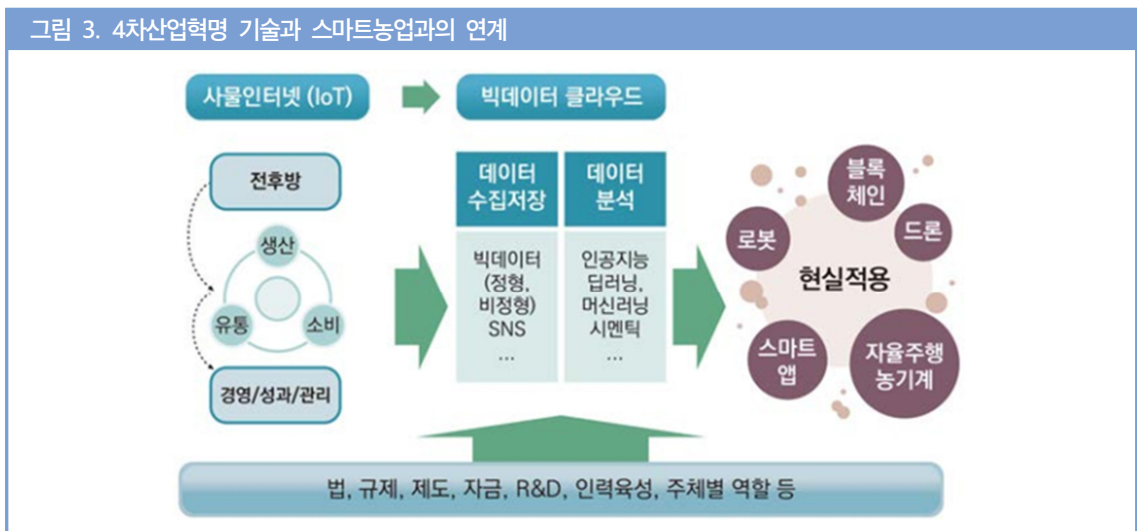


\* 출처: 김연중 외 (2017)

### 1.2. 농업분야에 인공지능 기술 적용 필요성

현재 농업이 당면한 노동인력 감소 및 생산성 하락 문제를 해결하고 지속 가능한 농업기술 확보를 위하여 인공지능, IoT, 빅데이터, 로봇 등 첨단 ICT 기술과의 융합 필요성이 부각되고 있다. 한국농촌경제연구원에 따르면, 미래 농업기술의 방향은 IoT 센서네트워크로 구축된 빅데이터를 인공지능으로 분석하여, 분석된 정보를 클라우드 시스템으로 연동하여 로봇, 드론, 농기계 등이 해당 정보를 기반으로 자율 작업을 수행하는 일련의 프로세스를 지향한다고 한다. 이러한 첨단 ICT 기술과 노동집약적 1차산업인 농업분야의 융합을 통해 기술집약적 디지털농업으로 전환함으로써 요구되는 노동력의 절감과 생육환경 개선 및 자원효율화를 통한 생산량 증대 등 혁신적인 발전이 기대된다(그림 3) 참고).

그림 3. 4차산업혁명 기술과 스마트농업과의 연계



\* 출처: 김연중 외 (2017)

농촌진흥청에 따르면, 디지털 농업은 기존의 정밀농업이나 스마트농업보다 생산, 수확 후 처리, 유통 등 농업 활동의 전 과정에서 데이터를 적극 활용하며, 활용 방식도 수집된 데이터를 인간이 분석·모델화하여 작업을 자동화하는 것에서 수집된 빅데이터를 사람이 아닌 인공지능이 분석하여 의사결정을 내리는 방식으로 변화하고 있다(〈표 2〉 참고).

표 2. 농업환경별 인공지능을 활용한 제품 및 서비스 현황

AI 적용 단계/분야	노지환경 작물대상	시설원예환경 작물대상	식품가공과정
생산	- 지능형 트랙터, 콤바인, 이앙기 등 농기계 - 드론 기반 생육 예찰 - 노지 스마트팜	- 수확, 방제, 잡초제거 로봇 - 수확로봇, 작물이송로봇 - 시설원예 스마트팜	- 생산이력관리 - 원산지 판별 - SCM(공급망관리)
수확 후 처리	- 비파괴 품질 및 원산지 선별기 - 신선 가공 시스템	- 비파괴선별기 - CA저장고	- CA저장고 - 스마트팩토리
유통관리	- 농산물 이력관리	- 농산물 이력관리	- ERP(자원관리) - SCM(공급망관리)

\* 출처: 정선옥 (2020), 재가공

## 2. 스마트농업 기술의 용어 정의와 발전 방향

인공지능을 비롯한 ICT 기술이 농축산업과 결합하여 자동화, 지능화가 구현된 스마트농업과 관련하여 연구자에 따라 정밀농업, 디지털 농업, 스마트팜 등으로 지칭하고 있다.

표 3. 스마트농업 관련 용어 및 개념

용어	정의	출처
정밀농업 (Precision Agriculture)	<ul style="list-style-type: none"> <li>가장 오래된 개념으로 농경지를 세밀하게 모니터링하고 적재적소에 물과 양분을 투입하는 농업이며, 최근 위성·항공영상, 센서 등이 상용화되며 현실화되고 있음</li> <li>최소투입을 통한 최적 생산으로 환경부하를 최소화하고 경제성을 높이는 것을 목적으로 하는 농업기술체계</li> </ul>	농식품부  McKinsey
디지털농업 (Digital Farming)	<ul style="list-style-type: none"> <li>지식기반 농업생산시스템인 정밀농업으로부터 진화한 농업 및 농업엔지니어링 방법론으로써 가용한 모든 데이터와 전문 지식을 사용하여 농업의 지속 가능한 프로세스를 자동화하는 것을 목표로 함</li> </ul>	CEMA (유럽농기계협회)
스마트팜 (Smart Farm)	<ul style="list-style-type: none"> <li>스마트 기술이 적용된 실내 시설농장(온실, 축사)으로써, 사물인터넷, 빅데이터 등을 이용해 생육환경이 모니터링 되고 적기에 최적의 영농의사결정이 수행되는 농장</li> </ul>	관계부처합동, 시설원예학
스마트파밍 (Smart Farming)	<ul style="list-style-type: none"> <li>스마트 기술이 적용된 농업생산 방식 및 과정으로써 스마트팜이 노지로 확장되는 개념, 시설농업과 노지농업을 포괄함</li> <li>소프트웨어/하드웨어 기반 첨단 기술의 농업 분야 적용을 의미함</li> </ul>	농촌진흥청  Forbes

\* 출처: 서현권 (2021), 재가공

그 중, 특히 스마트팜은 3개 세대로 구분하고 있으며 세대별 농업 자동화 및 제어 시스템의 발전은 다음과 같이 요약할 수 있다:

- **1세대 스마트팜** : 이 단계에서는 온실 내에서 관개, 온도 및 습도 조절을 위한 기본적인 자동화 시스템 구축을 목표로 함. 주로 타이머 기반 시스템, 간단한 센서 사용, 기록 유지 및 기본적인 데이터 분석을 위한 초기 컴퓨터 응용 프로그램을 사용하는 수준.
- **2세대 스마트팜** : 정밀농업의 시행으로, 작물의 생육 조건에 맞추어 물, 비료, 살충제의 조절이 가능한 가변비율기술(VRT)을 도입하고 수확량 모니터링과 농장지도 생성을 위해 GPS 및 GIS 기술을 활용함. 이 시기는 생산 효율성의 개선, 외부 환경 영향을 최소화하면서 최적화된 입력 제공, 데이터 기반 의사결정의 도입을 시도함.
- **3세대 스마트팜** : IoT 및 빅데이터 처리 기술, AI, 로봇 등 첨단 ICT 기술이 농업환경에 도입되는 시기. 농장 내 실시간 환경분석 및 의사결정 지원, 다양한 농작업의 자동화를 위한 연구 개발이 진행. 현장에서 수집된 데이터는 클라우드에 저장되어 관제시스템에서 처리되거나 로컬에서 실시간으로 처리. 이를 통해 운영 효율성을 기존 정밀농업 대비 개선을 목표로 하며, 파종, 제초, 수확 등 노동집약적인 작업을 로봇으로 대체하여 인간의 개입을 줄이고 무인 자율화 실현을 지향함.

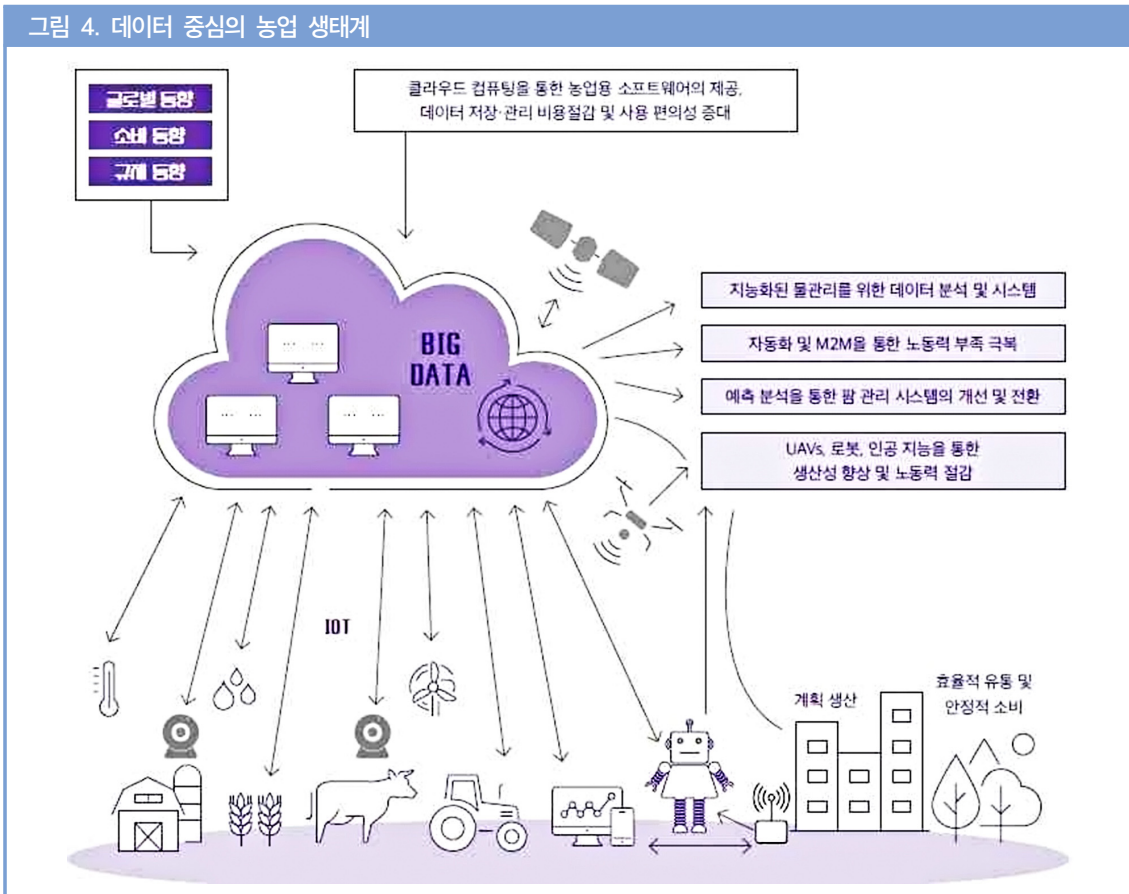


## II. 인공지능 기반 스마트팜 기술의 R&D 현황

### 1. 국내·외 인공지능 기반 스마트팜 기술 R&D 동향

최근 고령화로 인한 농업종사 인구의 감소 및 기후변화 등의 산업위협요인을 극복하고 지속 가능한 농업을 위해 빅데이터, ICT, 인공지능, 로봇과 같은 첨단기술 도입이 가속화되고 있다. 일반적으로 스마트팜은 시설원예, 노지·밭, 식물공장 영역으로 구분하여 볼 수 있는데 각 환경별로 생산·유통·소비 밸류체인인 전 영역에 걸쳐 새로운 형태의 산업이 창출되고 있다. 이는 데이터 중심의 농업 생태계로 기존 농업환경의 재편이 이루어지고 있음을 의미한다(그림 4) 참고). 배지, 토양, 기후정보, 주요 농지의 과거 수확량 등 데이터를 기반으로 작물의 생육/성장상황, 병해충 모니터링, 수확량 예측 등의 정보를 실시간 제공함으로써 자원의 효율적인 사용과 수익을 극대화하면서 지속 가능한 농업을 실행하는 방식이다. 스마트농업에서는 의사결정을 지원하는 정보제공뿐만 아니라 시설원예, 노지환경에서 실제 인력을 대체하여 로봇을 활용한 농작업을 수행하는 기술의 수요 또한 증가하고 있다.

그림 4. 데이터 중심의 농업 생태계



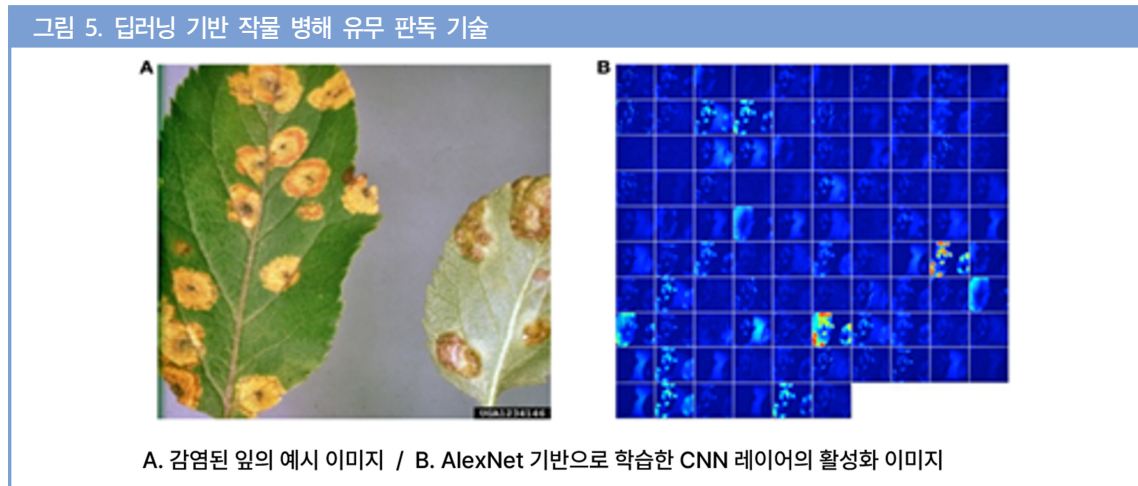
\* 출처: 김세한 (2019)



이번 장에서는 인공지능을 활용하여 농업 의사결정을 지원하는 기술 중 대표적인 생육모니터링 및 병충해 예측/진단 기술과 로봇기술을 활용한 농작업 자동화에 활용되는 인공지능 기술의 R&D 동향을 알아보려 한다.

### 1.1. 생육모니터링 및 병충해 예측/진단 기술

인공지능으로 농작물의 생육모니터링과 병충해 예측 및 진단 기술과 관련된 대표 사례 중 미국 펜실베이니아 주립대학교와 스위스 EPFL 팀은 스마트폰에서 작동할 수 있는 농작물 질병 식별 인공지능 앱을 개발하였다.<sup>1)</sup> 질병 작물과 정상 작물로 구성된 53,000여 장의 이미지로 훈련된 딥러닝 모델을 기반으로 농작물 잎 상태를 통해 질병 유무를 진단한다. 이 기술로 99% 정확도를 달성한 것으로 보고하였다(〈그림 5〉 참고).

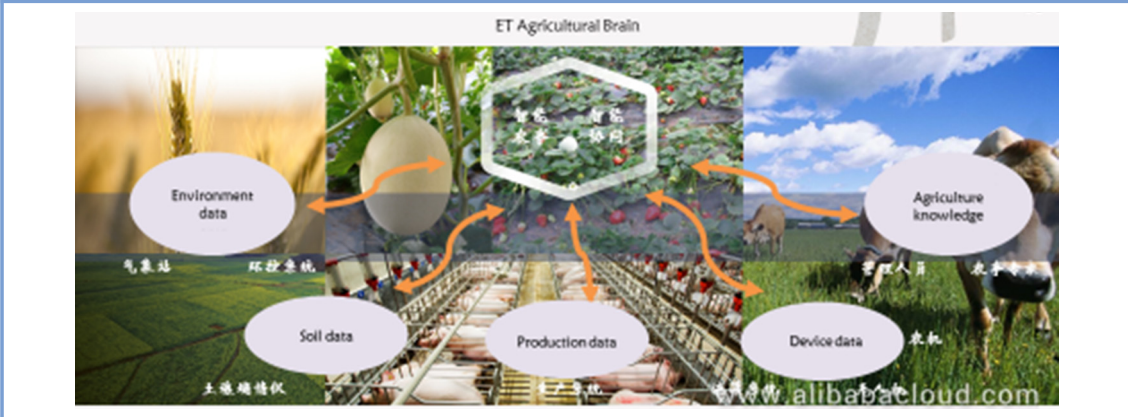


\* 출처: Mohanty et al. (2016)

중국 알리바바 클라우드(Alibaba Cloud)는 ET CityBrain (2016. 10.), ET Aviation Brain (2017. 12.) 등 다양한 분야별 ET Brain을 출시하였는데 2018년에는 영상인식, 음성인식, 실시간 환경 모니터링 등의 인공지능 기술과 빅데이터 기술을 적용한 작물 재배 모니터링 시스템인 ET Agricultural Brain을 출시하였다.<sup>2)</sup> 해당 기술을 기반으로 양돈이나 과수재배 시 농장의 환경분석, 생육관리, 농사 효율 분석, 이력 추적 등 농업 환경 및 생육 전 과정을 실시간으로 모니터링할 수 있다(〈그림 6〉 참고). 이 시스템을 통해 생산된 작물의 90%는 알리바바의 농촌 전자상거래 플랫폼인 ‘농촌타오바오(农村淘宝)’ 및 ‘허마셴성(盒马鲜生)’을 통해 판매된다. 농작물의 생산 과정에서 발생하는 환경·생육 데이터는 물론 유통·판매 데이터가 모두 ‘ET 농업 브레인’에 누적되어 시스템 업그레이드를 위한 피드백이 이루어지고, 결과적으로 생산 효율을 높이고 매출을 극대화하는 데 활용된다.

1) <https://www.psu.edu/news/research/story/artificial-intelligence-could-help-farmers-diagnose-crop-diseases/>  
 2) <https://www.businesswire.com/news/home/20180606006487/en/Alibaba-Cloud-Launches-ET-Agricultural-Brain-at-the-Shanghai-Computing-Conference>

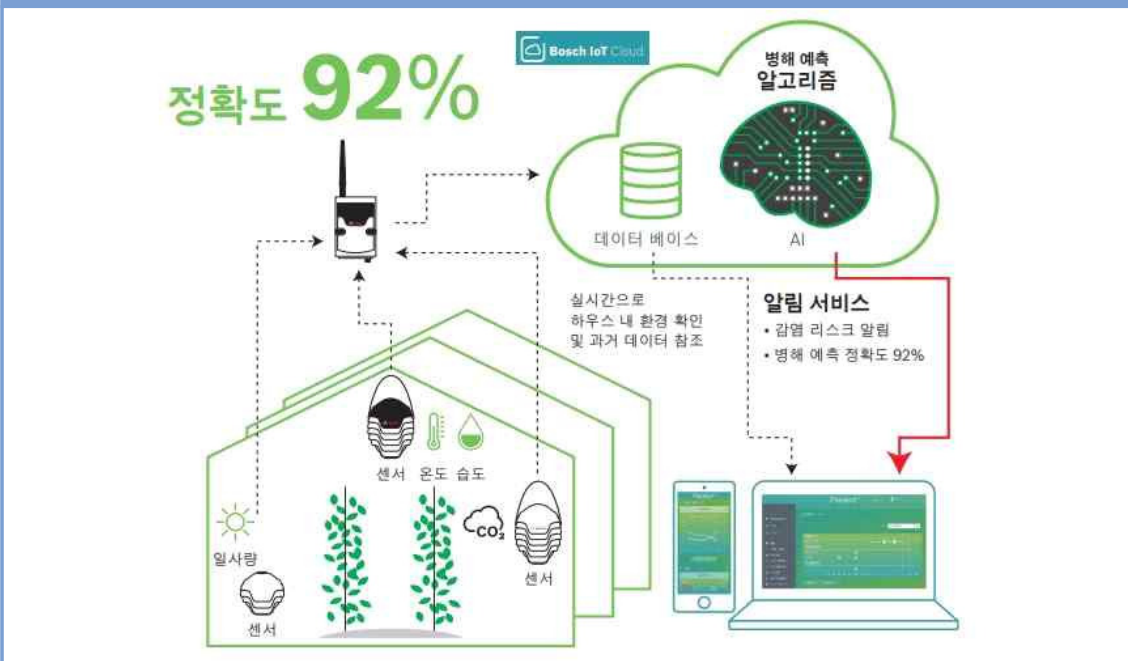
그림 6. 알리바바 클라우드의 ET Agriculture Brain



\* 출처: alibabacloud 웹사이트

보쉬 일본법인(Bosch Japan)은 인공지능을 이용하여 작물의 병해충 진단 및 예찰서비스 플랜텍트(Plantect)를 출시하여, 과수의 병해충을 모니터링하고 있다.<sup>3)</sup> 온실 환경 모니터링 정보를 인공지능 알고리즘으로 분석하여 토마토, 딸기 등 과수에 대해 병해충 예측 서비스를 제공함. 병해충 예측 정확도가 92%에 이르러 화학물질의 사용량은 30% 감소하고 수확량은 20%가 증가하는 효과가 있는 것으로 보고하였다(그림 7) 참고).

그림 7. 보쉬의 인공지능 기반 병해 예측 알고리즘



\* 출처: 오승환 외 (2020)

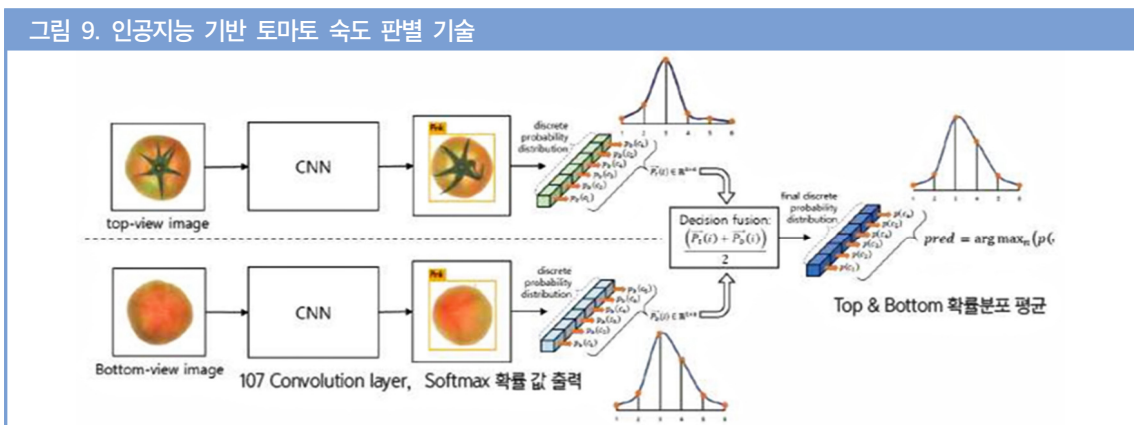
3) <https://www.bosch-presse.de/pressportal/de/en/keeping-tomatoes-healthy-141888.html>

이스라엘 Prospera Technologies는 카메라와 센서를 통해 농작물을 모니터링하고 실시간 해충/질병을 식별하고 질병 발병 가능성을 판단하는 솔루션을 개발하였다.<sup>4)</sup> 작물 영상 분석에 특화된 컴퓨터 비전, 영상처리 및 딥러닝 등 인공지능 기술을 활용하여 수확량 예측 및 최대 수확량 달성을 위한 수분, 영양분 최적화 방안을 제시하였다(〈그림 8〉 참고). 2021년 Valmont Industry가 Prospera Technologies를 인수하여 해당 파트너십을 통해 지능형 솔루션을 확장하였다.



\* 출처: Prospera 웹사이트

한국생산기술연구원과 한국식품연구원은 인공지능 기반 토마토 속도 판별 기술을 개발하여 논문으로 발표하였다. 수확한 토마토의 색을 숙성도에 따라 6단계로 구분해 컴퓨터에 학습시킨 뒤 딥러닝 기반 영상처리 기술을 이용하여 토마토 속도를 분류하였으며 선별장에서 상용화할 수 있을 수준으로 6단계 토마토 속도 판별 기능을 자동화하였다(〈그림 9〉 참고).



\* 출처: Ko et al. (2021)

4) <https://prospera.ag/crop-health-monitoring/>

### 1.2. 스마트농업용 로봇 기술

농업 분야에서 활용이 가능한 자동화 로봇 기술은 크게 데이터 획득/활용 기술과 매니플레이터 작업 제어 기술로 구별될 수 있다. 이 중에서 데이터 획득/활용 기술은 크게 센서를 통한 데이터 획득 방식과 획득된 데이터를 활용하여 생육 환경을 제어하는 기술이 주로 연구된다. 매니플레이터 관련 기술은 수확과 관련된 분야, 선별과 관련된 분야 및 포장과 관련된 분야에서 연구가 이루어지는 것으로 조사되었다(〈표 3〉 참고).

표 4. 인공지능과 로봇기술을 활용한 스마트 농작업 시스템 특허 기술분류

대분류	중분류	소분류	기술 정의
인공지능과 로봇 기술을 활용한 스마트 농작업 시스템 (A)	IoT 기반 스마트팜	센서를 통한 데이터 획득 방법 (AAA)	센서(ex. 적외선, 카메라 등)를 통해 농작물의 속도, 생육 등과 관련한 데이터 획득 방법 관련 기술
	데이터 획득 기술 (AA)	데이터 기반 생육 환경 제어 방법 (AAB)	센서를 통해 획득한 데이터에 기반하여 생육환경을 제어하는 방법 관련 기술
	농업용 로봇매니플레이터 및 작업 보조기 기술 (AB)	수확 로봇/자동화 관련 기술 (ABA)	수확 목적의 농업용 로봇매니플레이터 및 작업 보조기 관련 기술
		선별 로봇/자동화 관련 기술 (ABB)	선별 목적의 농업용 로봇매니플레이터 및 작업 보조기 관련 기술
		포장 로봇/자동화 관련 기술 (ABC)	포장 목적의 농업용 로봇매니플레이터 및 작업 보조기 관련 기술

\* 출처: 농림식품기술기획평가원 (2022), 재가공

호주 퀸즐랜드 공과대학교(QUT) 연구팀은 카메라, 센서, AI 소프트웨어가 탑재된 애그봇 2세대(AgBot II)을 개발하여 센서 네트워크 및 드론과의 연동을 통해 실시간 농장 환경 데이터를 수집, 분석하고 물리적 제초나 제초제 살포 등의 농작업을 스스로 판단하여 실행하는 기능을 보유하고 있다(〈그림 10〉 참고). 잡초 탐지 및 분류에서 90% 이상의 전체 성공률을 달성했으며 목화(97.8%)와 야생귀리(97.3%)에 대한 성공률이 가장 높게 나타난 반면, 엉겅퀴(82.0%)에서 가장 낮은 성공률을 보였다. 이 로봇은 선별된 잡초만을 목표로 제초제를 살포하는 스팟 스프레이와 토양에서 잡초를 기계적으로 제거하는 기능을 탑재하고 있다.



그림 10. QUT 애그봇 2세대



\* 출처: QUT 웹사이트

네덜란드의 국립농업대학 와게닝겐과 국립연구기관이 통합되어 설립된 WUR(Wageningen University & Research)에서는 IoT, 빅데이터, 인공지능 및 농업로봇 등 디지털 농업분야를 연구하고 있으며 온실 내 파프리카 자동 수확로봇 상용화를 위한 프로젝트를 진행하고 있으며, 인공지능 기반의 자율주행 제초로봇, 양계장 내의 달걀 수거 로봇 등의 개발 연구를 진행하고 있다(그림 11) 참고). 작물의 모양, 크기 및 부드러움의 다양성으로 인해 발생하는 문제를 해결하는 그리퍼 개발에 집중하고 있는 것으로 알려져 있다.

그림 11. WUR 온실 파프리카 수확로봇 SWEEPER



\* 출처: WUR 웹사이트

뉴질랜드의 오클랜드 대학은 와이카토 대학, Plant & Food Research, Robotics Plus와 협력하여 키위 수확 과정을 자동화하여 과수원의 효율성을 높이는 것을 목표로 하는 The Autonomous Mobile Multipurpose Platform (AMMP) 로봇 개발 프로젝트를 진행하였다(〈그림 12〉 참고). 노지 과수 환경의 글로벌 노동력 부족 문제와 생산 비용 증가에 대처하기 위한 기술로 농업 생산성과 지속가능성을 향상시킨 결과로 평가된다.

그림 12. Autonomous Mobile Multipurpose Platform 로봇



\* 출처: University of Auckland 웹사이트

국내에서는 한경국립대학교, 한국생산기술연구원, 한국전자기술연구원, 성부산업 연구팀이 노지분야 스마트 농업기술단기고도화 사업(2022~2024, 농림축산식품부)을 통해 노지 만감류 수확이 가능한 로봇 시스템을 개발하고 있다. 노지 환경에서 컴퓨터 비전을 기반으로 수확 대상 과실의 속도, 위치, 방향 등의 정보를 추정하고 이를 기반으로 모바일 매니플레이터를 활용한 수확모션 제어기술을 개발한다(〈그림 13〉 참고). 또한 비평탄 노지 환경에서도 자율주행을 위한 이동 로봇 플랫폼과 자율주행 기술을 개발하고 있다.

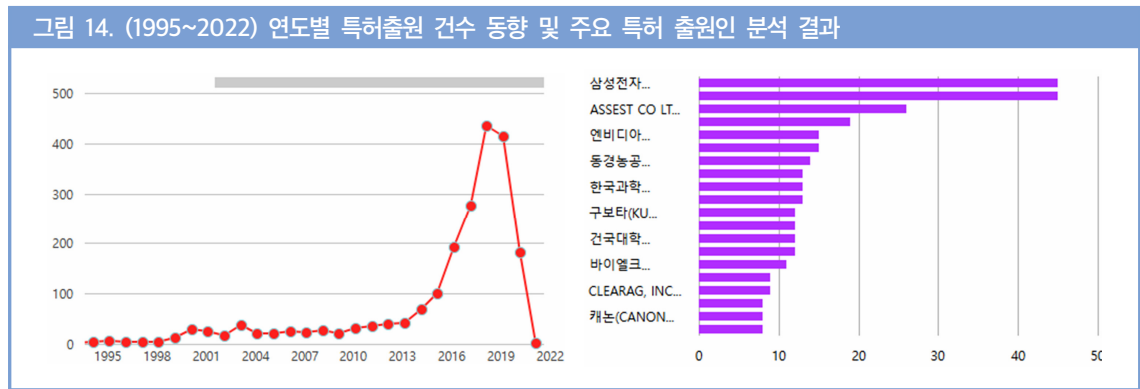
그림 13. 노지 만감류 수확 로봇 시스템



\* 출처: 저자 작성

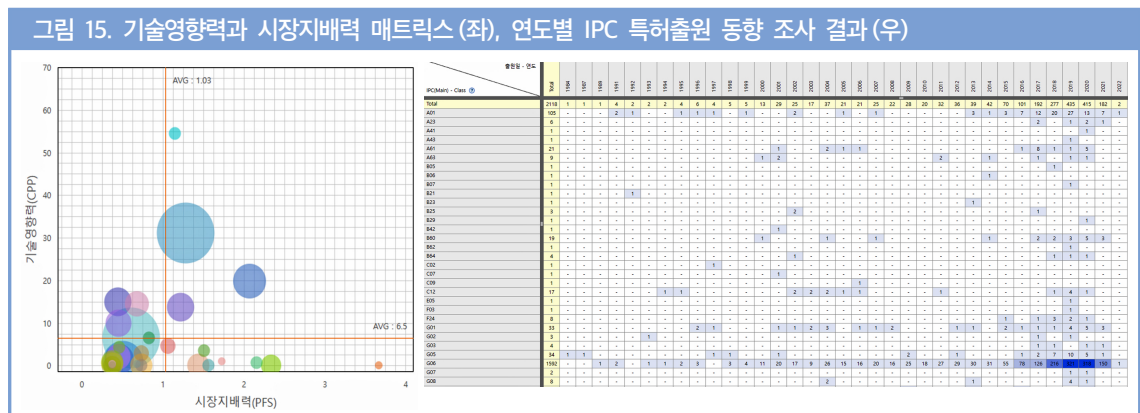
## 2. 인공지능 스마트팜 기술 관련 국내·외 특허 동향

스마트팜에서 인공지능 기술 활용 관련 국내·외 특허 동향을 분석한 결과, 2010년 이후 뚜렷한 특허출원의 증가 추세가 나타나고 있으며 삼성전자와 ASSET이 최다 출원건수를 나타내고 있다. 기업체 외 연구기관/연구소 중에는 도쿄 농공대학(JP), 한국과학기술연구원(KR), 건국대학교(KR), 서울대학교(KR), 전북대학교(KR), 일본 종합연구소(JP) 등이 상위 출원인에 해당한다(〈그림 14〉 참고).



\* 출처: 농림식품기술기획평가원 (2022)

피인용지수를 기초로 하는 기술영향력(CPP)과 패밀리 국가 비율을 기초로 하는 시장 지배력(PFS) 매트릭스 분석 결과, 삼성전자와 한국전자통신연구원, 일본농업기술연구원의 특허들이 기술영향력이 높은 것으로 나타난다(〈그림 15〉 참고). 또한 연도별 IPC(기술분야)의 조사 결과, 물리학/인공지능에 관한 G06 분류가 2018년 이후 가장 많은 특허가 출원된 것을 확인할 수 있으며 인공지능 외의 분야에 있어서 A01 분류는 농업/축산에 관한 것으로, G06 분류와 A01 분류가 공통되는 특허출원건수가 전반적으로 증가하는 추세를 보인다.



\* 출처: 농림식품기술기획평가원 (2022)

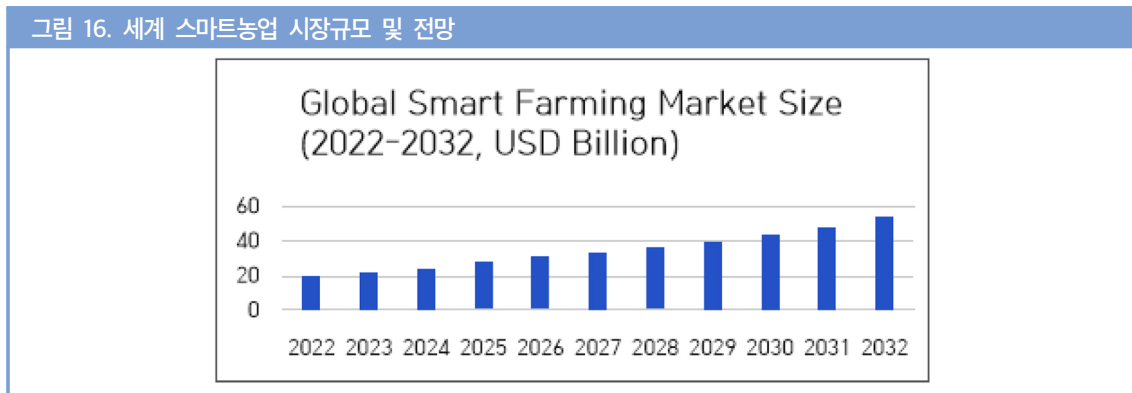
### III. 인공지능 기반 스마트팜 산업 및 기업 동향

#### 1. 국내·외 스마트팜 관련 산업 동향

##### 1.1. 해외 시장 현황 및 전망

해외 스마트농업 시장은 2023년 195억 달러에서 2032년 530억 달러로 연평균 10.5%의 성장률을 보일 것으로 전망된다(〈그림 16〉 참고). 그중에서도 가장 비중이 큰 정밀농업분야<sup>5)</sup>와 스마트 온실분야<sup>6)</sup>는 각각 2023년 87억 달러, 20억 달러에서 2024년부터 2032년까지 연평균 13.4%와 10.1% 성장하여 2032년 268억 달러와 47억 달러에 이를 것으로 예측된다.

그림 16. 세계 스마트농업 시장규모 및 전망



\* 출처: Globenewswire (2023), 재가공

현재 시점에서 인공지능 기술을 활용한 스마트농업과 관련된 글로벌 시장규모는 가파르게 성장하고 있다. 농업 분야에서의 인공지능 기술 도입 및 상용화는 미국, 네덜란드를 중심으로 발전하고 있는 것으로 나타나고 있다. 최근에는 John Deere (미국, 시장점유율 16.1%), CHN (영국, 시장점유율 9.4%), KUBOTA (일본, 시장점유율 8.2%), AGCO (미국, 시장점유율 7.1%) 등의 주요 글로벌 농기계 업체들이 개발한 인공지능 기반 자율주행 농기계가 주력으로 제품화되고 있다.<sup>7)</sup> John Deere는 CES 2023에서 레벨4 수준의 자율주행 트랙터를 선보이기도 하였다(〈그림 17〉 참고).

5) Expert Market Research, Global Precision Agriculture Market Size, Share, Forecast: By Technology: GNSS/GPS Systems, GIS, Remote Sensing, Variable Rate Technology (VRT), Others; By Type: Automation and Control Systems, Sensing and Monitoring Devices, Farm Management Systems; By Component; By Application; Regional Analysis; Competitive Landscape; 2024-2032

6) Expert Market Research, Global Smart Greenhouse Market Size, Share, Growth, Trends, Forecast: By Type: Hydroponics, Non-Hydroponics; By Component: HVAC Systems, LED Grow Lights, Irrigation Systems, Sensor and Control System, Valves and Pumps, Others; By End-User: Commercial Growers, Others; Regional Analysis; Competitive Landscape; 2024-2032

7) 기업리서치센터 기업분석 2023.06.30. “대동(000490) 국내를 넘어 미국에서 고성장 중인 농기계업체”



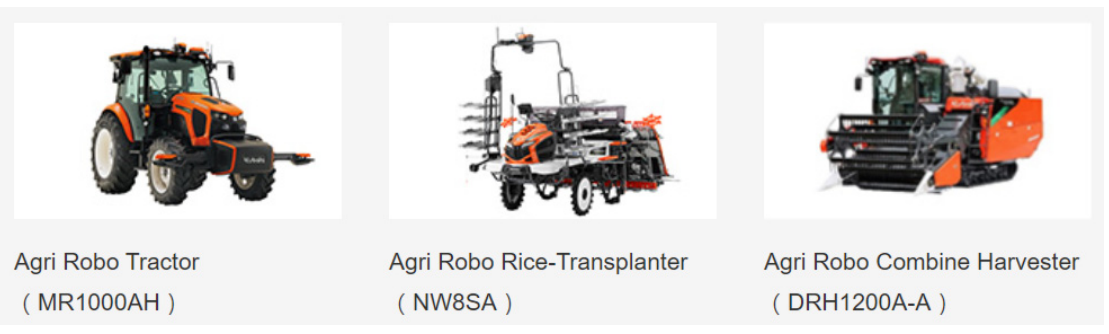
그림 17. Autonomous Tractor by John Deere



\* 출처: ces.tech 웹사이트

일본의 경우 농기계 제조업체와 IT 서비스 기업이 자율주행 트랙터, 농업용 로봇, 드론 등의 다양한 스마트 농기계를 개발/판매하고 있으며, 농장 경영을 위한 통합솔루션도 제공하고 있다(그림 18) 참고). Kubota, Yanmar 등 일본 농기계 제조업체들은 스마트 농기계(트랙터, 헬기, 이앙기 등) 개발을, 후지쯔, NTT 등 IT 대기업들은 농업과 ICT를 접목한 솔루션을 제시하고 있다.

그림 18. Kubota 자율주행 스마트 농기계 시리즈



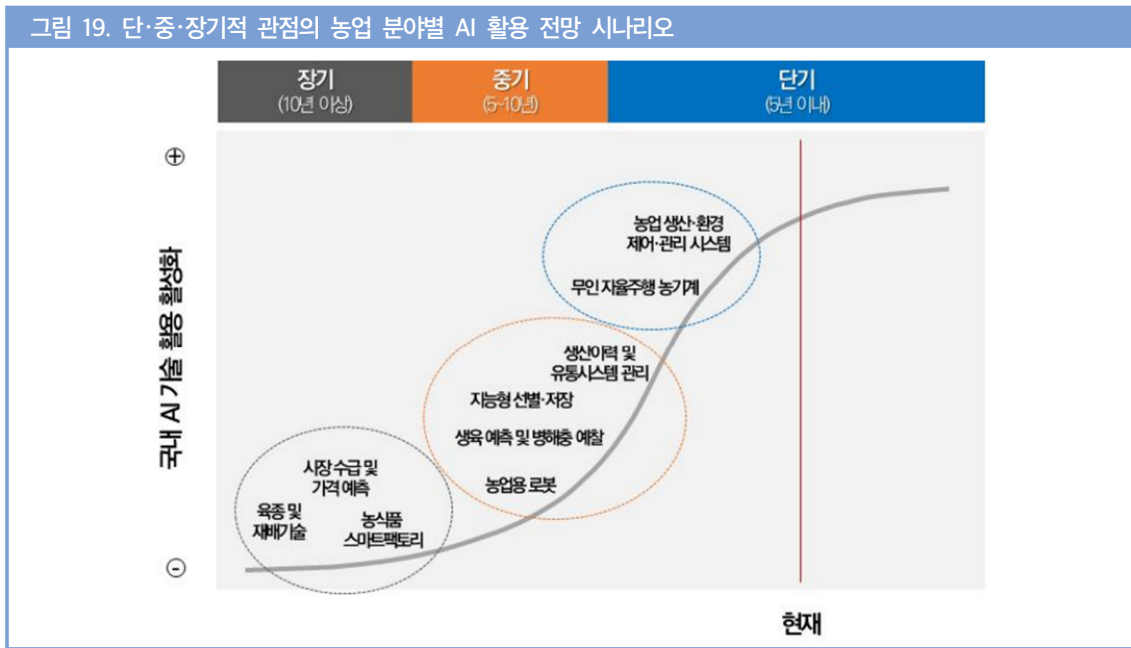
\* 출처: Kubota 웹사이트

중국은 인공지능 기술을 토양의 성분분석, 파종 자동화, 스마트축산 등 다양하게 활용하고 있으며, 알리바바(阿里巴巴), 텐센트(腾讯), 징둥(京东) 등 ICT 플랫폼 기업이 농업 솔루션을 개발하고 보급하는 사업에 참여를 확대하고 있다.

## 1.2. 국내 시장 현황 및 전망

한국농수산식품유통공사 식품산업통계정보에 따르면 국내 스마트농업 시장은 2020년 2.4억 달러에서 2025년 4.9억 달러로 연평균 15.5% 성장할 것으로 전망된다. 농림축산식품부의 농업 전반의 디지털화를 통한 성장동력 확보를 목표로 하여 스마트농업 기술 보급을 확대하고 있다. 우리나라 스마트농업과 농업용 인공지능 시장은 정부지원 연구와 스타트업 위주의 형태로 진행되고 있다. 과학기술정책연구원에 따르면, 기술적 측면에서는

인공지능이 부분적으로 도입된 2세대 스마트팜이 구현되고 있어, 연구·개발 투자와 속도, 농업현장에서의 실증과 수용 여건에 따라 빠르게 활성화될 여지가 있으나 장기 전망(10년 이후)에 대한 비중이 상대적으로 높게 나타난 농식품 스마트팩토리, 시장 수급 및 가격 예측, 육종 및 재배기술 분야는 인공지능 기술의 도입 및 구현에 어려움이 있어, 초기 도입기 또는 논의 단계 수준으로 볼 수 있다(그림 19) 참고). 이는 우리나라에서 스마트농업기술이 활성화되기까지 상당한 시간이 소요될 가능성을 나타낸다.



\* 출처: 오승환 외 (2020)

## 2. 인공지능 스마트팜 기업 동향

본 장에서는 인공지능기술을 도입한 스마트팜 기술과 관련된 국내·외 기업들과 각 기업들이 출시한 제품 및 솔루션을 정리하였다.

### 2.1. 국내 주요 플레이어

- 라온피플** : 딸기와 사과 등 농산물 데이터를 구축 및 인공지능 스마트팜 솔루션 '라온팜'을 개발하여 농장에 설치된 레일을 따라 카메라가 이동하면서 촬영한 작물 영상을 인공지능 비전기술로 작물의 품질을 분석한다. 인공지능에 기반한 영상 분석을 통해 딸기의 생육단계를 측정하고 딥러닝을 통해 정상 농작물의 데이터 및 질병, 영양장애, 생육장애 등 60만장 이상의 데이터를 수집할 수 있다(그림 20) 참고). 온도, 습도, 이산화탄소, 일사량 등 분석으로 최적화된 생육 환경을 도출할 수 있으며 질병 및 영양장애 예측과 진단 등 관련 데이터를 구축하고 농가/농축산 유관기관/관계기업 등에 제공한다.

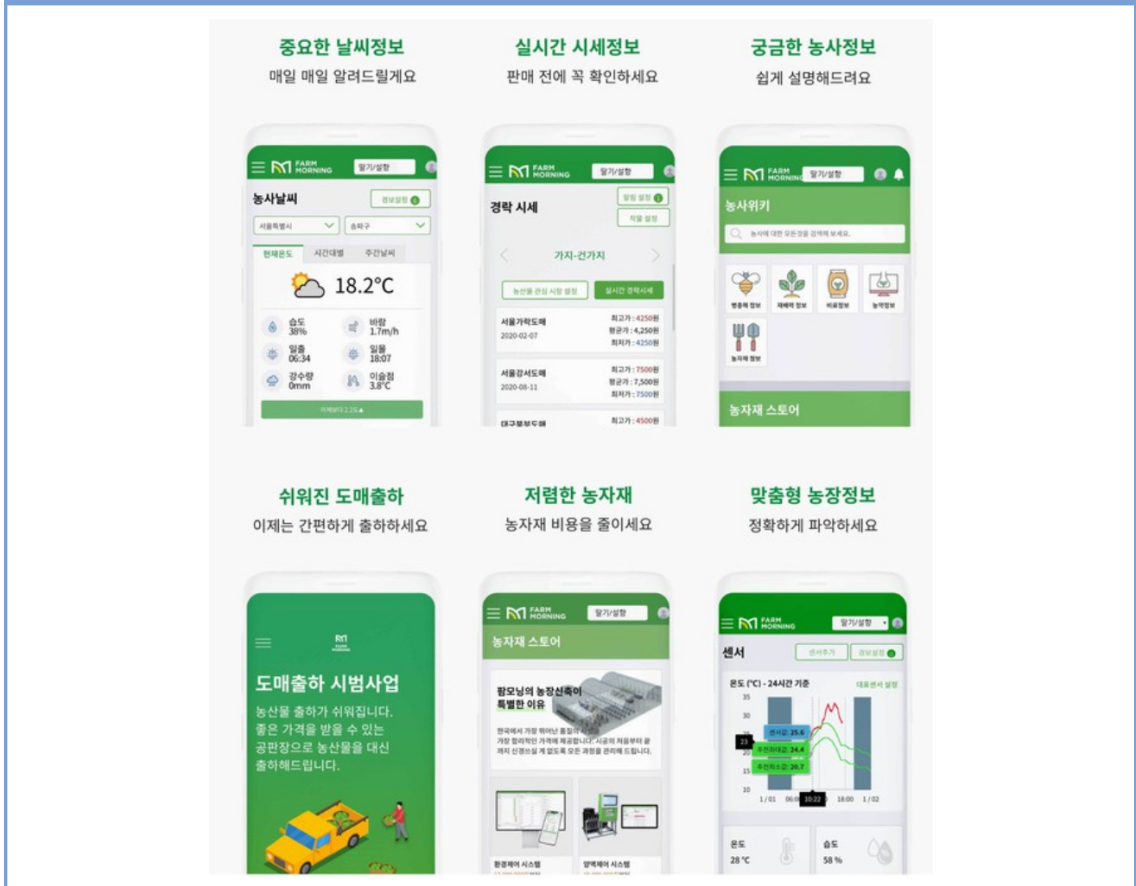
그림 20. 딸기 열매 개수 측정 및 색깔 변화 추적 관찰



\* 출처: 라온피플 웹사이트

- **그린랩스** : 인공지능 앱과 IoT를 이용해 농작물을 재배하는 스마트 농장 시스템 ‘팜모닝’을 개발하였다. 스마트폰 앱으로 작물 생육 모니터링부터 농장 환경 원격 제어까지 농작물 상태를 실시간 확인할 수 있는 클라우드 기반 데이터 농업 솔루션을 제공하여 외부 환경/작물 생육 정보를 통합 분석해 최적의 작물 환경을 제안하고 폭염이나 폭우 등 기상이변 발생 시에는 스마트폰 앱으로 알람을 제공하는 기능이 탑재되어 있다(그림 21) 참고).

그림 21. 그린랩스 ‘팜모닝’ 앱 구현화면



\* 출처: 한국농기계신문 (2020)

- 팜에이트** : 인공지능, IoT, 빅데이터 기술을 농업에 도입하여 수경 재배시설에 알맞은 조명, 양분이 채워진 수경 재배 블록으로 채소를 재배하는 기술을 보유하고 있다. 서울시철도와 함께 서울 지하철 역사 내 빈공간을 식물공장으로 구축한 ‘메트로팜’을 개발하였으며 외부와 차단된 시설 내에서 빛, 온도, 습도, 이산화탄소, 배양액 등의 환경조건을 인공지능으로 제어하여 작물을 계절과 관계없이 계획적, 연속적 생산이 가능한 식물공장 시스템을 통해 농작물 각 품종에 적합한 최적의 환경을 인공지능과 빅데이터 분석을 통해 제공할 수 있다(〈그림 22〉 참고).

그림 22. 팜에이트 식물공장



\* 출처: 팜에이트 웹사이트

- 엔싱** : IoT 기반 소프트웨어, 인공지능 등을 활용하여 컨테이너 안에서 로메인 등 잎채소류와 허브 등을 키울 수 있는 모듈형 수직농장 ‘플랜티 큐브’를 개발하였다. 인공지능이 생육 단계별 작물의 변화를 파악하고 적절한 의사결정을 지원하며 재배 데이터에 기반해 작물에 최적화된 환경을 자동으로 조성하는 큐브 OS에서, 나아가 작물의 성장 변화를 평가하고 정확한 수확 시기를 결정하는 큐브 인공지능으로 고품질 작물을 더 짧은 주기로 생산할 수 있도록 한다(〈그림 23〉 참고).

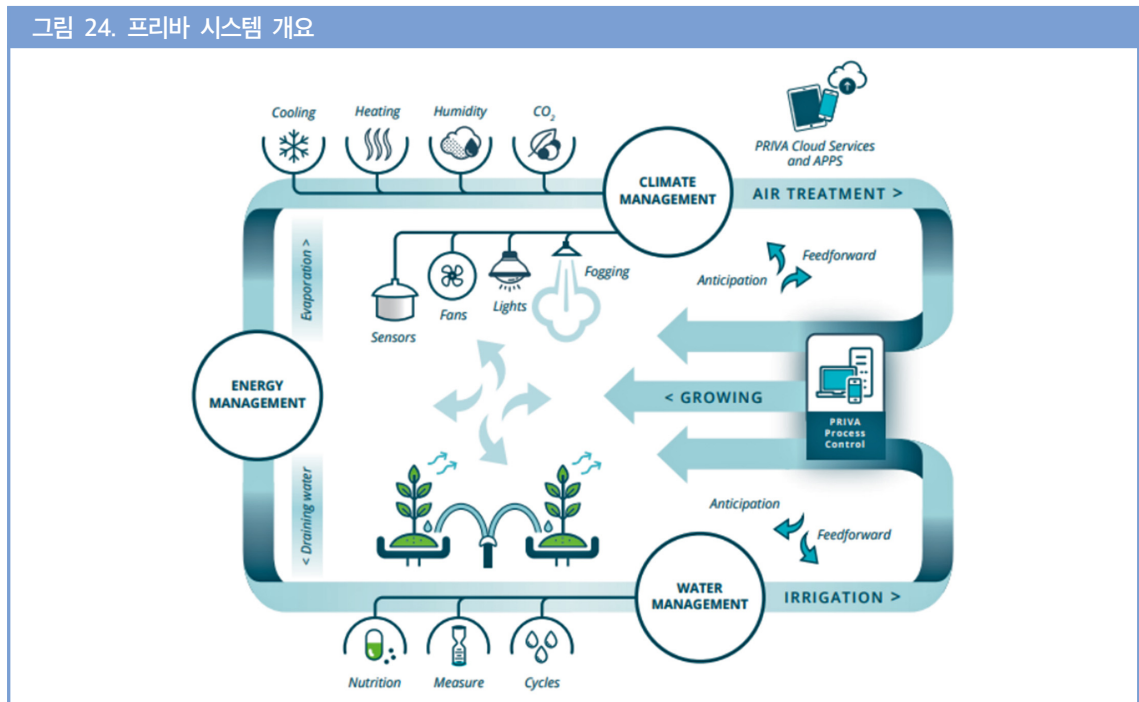
그림 23. 엔싱 인공지능 적용사례



\* 출처: 엔싱 웹사이트

## 2.2. 해외 주요 플레이어

- Priva** : 전 세계 스마트팜 솔루션 시장의 약 70%를 점유하고 있으며 최고 수준의 온실용 환경제어 기술력을 보유하고 있는 스마트 시설원에 전문기업이다. 온실 자동화를 통해 노동력과 물 등 자원 사용량을 줄이면서 작물 생산성을 최대화하는 지속 가능한 농업을 지향한다(〈그림 24〉 참고). 시설원에 솔루션뿐만 아니라 실내농장(indoor farming), 수직농장(vertical farming), 빌딩 자동화(building automation) 관련 기술을 개발하면서 현재 전 세계 100개 이상 국가에서 진출하고 있으며 10,000여개 프로젝트를 진행 중이다(〈표 4〉 참고).



\* 출처: 프리바 웹사이트

표 5. 네덜란드 프리바의 시설원에 첨단 온실 자동화 제품 라인업

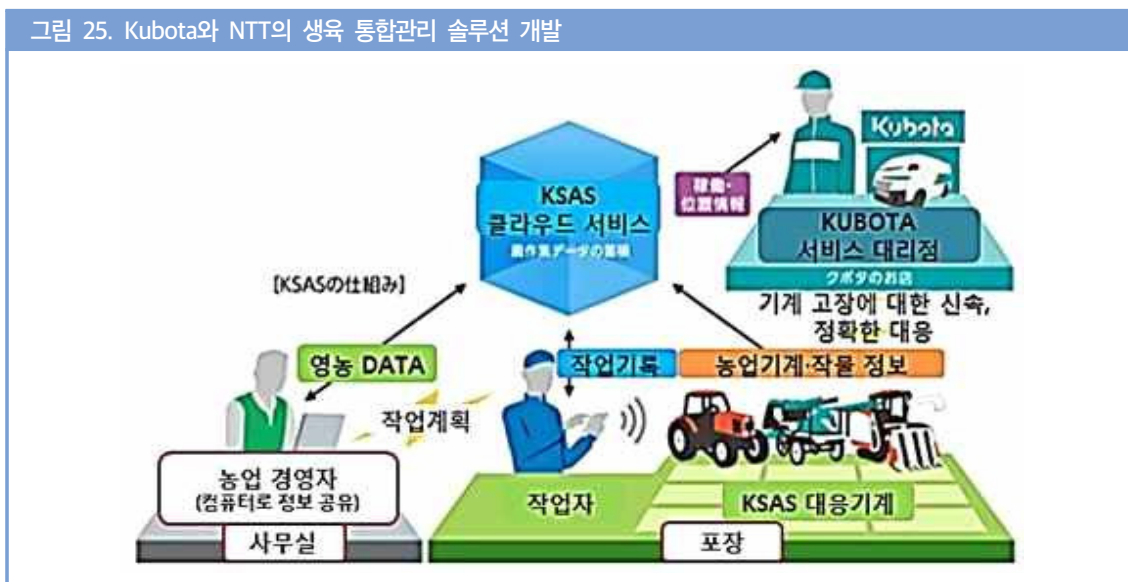
구분	주요 제품 라인업	
온실 자동화 (Greenhouse automation)	Priva Process Control	Priva Alarm for growers
	Priva Connex	Priva Sensores
	Priva Compact CC	Priva EcoFan+
	Priva Compass	
급수 관리 (Water management)	Priva Nutri-line	
	Priva Vialux-Line	
	Priva Neutralizer	
	Priva Moisture Balance Module	
경영정보관리 (Info. Management)	Priva FS Performance	

\* 출처: 프리바 웹사이트



- **Fujitsu** : 2012년 출시한 식·농 클라우드 ‘아키사이(Akisai, 秋彩)’는 농장에 설치된 IoT 센서를 통해 작물 재배와 관련된 다양한 데이터를 실시간으로 수집하고 클라우드 서비스를 통해 필요한 정보를 제공함으로써 작물 재배에 활용하는 시스템으로, 현지 다수의 농업생산법인, 협동조합에 보급되어 있다.
- **Kubota-NTT** : Kubota와 NTT는 함께 농작물의 생육정보와 환경정보 분석을 통한 농업 통합관리 솔루션을 개발하고 있다. Kubota는 세계적인 농기계 기업으로 농기계와 드론을 이용하여 작물의 생육 정보를 클라우드 서버에 제공하고, NTT는 GPS정보, 수확량예측, 기상정보 등을 제공하여 비료나 농약 살포 등 원격 통합관리를 위한 솔루션을 제공한다(〈그림 25〉 참고).

그림 25. Kubota와 NTT의 생육 통합관리 솔루션 개발



\* 출처: 오승환 외 (2020)

- **AppHarvest** : 인공지능을 활용한 수확 로봇 Virgo를 개발한 스타트업 Root AI (〈그림 26〉 참고)를 인수하여 여러 작물을 식별 및 수확하고 귀중한 데이터를 수집하여 작물 상태를 평가하고 수확량을 정확하게 예측하며 통제된 환경 농업(CEA) 시설 내 운영을 최적화하는 솔루션을 개발하고 있다. 전통적인 노지 농업보다 물 사용량을 90% 줄이는 방법을 사용하여 더 높은 수확량을 생산하고 환경에 미치는 영향을 줄임으로써 보다 지속가능한 농업을 시도하고 있다.

그림 26. Root AI의 인공지능 수확로봇 Virgo 1



\* 출처: AppHarvest 웹사이트

- John Deere** : 자율작업이 가능한 3단계 수준의 자율주행트랙터 일부 상용화 및 완전한 무인 자율작업이 가능한 4단계 수준의 트랙터를 개발하였으며 컴퓨터 비전과 머신러닝 알고리즘으로 잡초를 식별하고 제초제를 타게팅하여 도포하는 See&Spray 로봇과 상추 농업에 적용하여 정밀한 수확이 가능한 LettuceBot을 개발한 Blue River Technology 인수하였다(그림 27) 참고). See&Spray 로봇은 머신비전 인공지능 시스템을 통해 경작지를 돌아다니며 잡초에만 제초제를 정밀 분사함으로써 제초제 사용을 줄인다. LettuceBot은 자율주행 트랙터에는 퍼지제어(Fuzzy logic control) 기술을 이용한 GPS 가이드스 자동조향 시스템 탑재로 모바일 기반의 농작업을 수행할 수 있도록 하며 수백만장의 식물 이미지가 저장된 데이터베이스를 활용한 인공지능이 트랙터 전단에 설치된 영상 수집모듈을 통해 상추밭을 지나면서 1분 동안에 5,000개 장면을 수집하고 이를 실시간 분석한다. 이러한 기술들을 기반으로 농업을 보다 효율적이고 지속 가능하게 만드는 것을 목표로 한다.

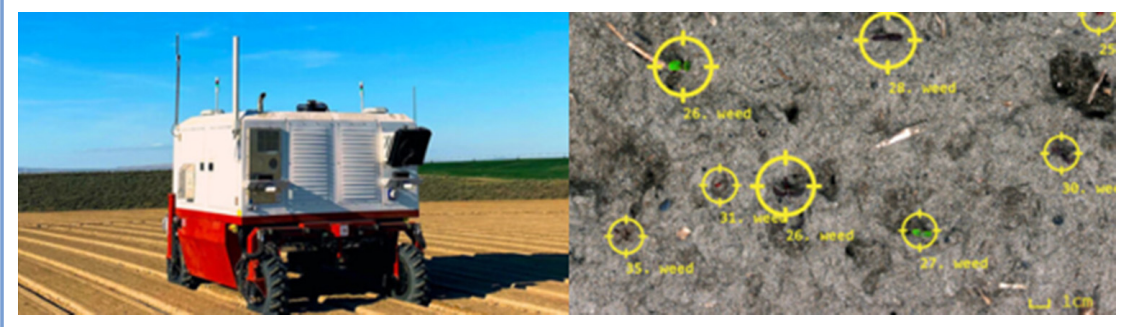
그림 27. Blue River Technology의 See&amp;Spray 로봇 (좌), LettuceBot (우)



\* 출처: DTN 웹사이트 (좌), FORTUNE (2015) (우)

- **Carbon Robotics** : 2022년에 GPS와 컴퓨터 비전을 통한 자율주행으로 농지 범위를 벗어나지 않고 CO<sub>2</sub>레이저를 사용하여 잡초를 정밀하게 제거하는 인공지능 기술을 탑재한 잡초제거로봇 “LaserWeeder”을 개발하였다(〈그림 28〉 참고). 고화질의 카메라가 지면과 농작물, 잡초를 실시간으로 스캔, 로봇에 장착된 슈퍼컴퓨터가 머신러닝을 통해 잡초를 걸러내고 레이저를 투사하여 잡초를 제거할 수 있다.

그림 28. 레이저투사 잡초제거 로봇(좌), 딥러닝을 통해 잡초탐지 모습(우)



\* 출처: businesswire (2022)

- **Naïo Technologies** : 농업용 로봇 기술의 선두주자로 RTK GPS 네비게이션 및 인공지능 기반 농작업 수행 로봇 시스템을 개발하고 있다. 대표적인 제품으로 작물모니터링, 토양개간 등 농작업로봇 Oz, 작물 이송로봇 Orio, 포도밭 잡초제거로봇 Ted, 좁은 덩굴줄 작업용 자율 크롤러 Jo가 있다(〈그림 29〉 참고).



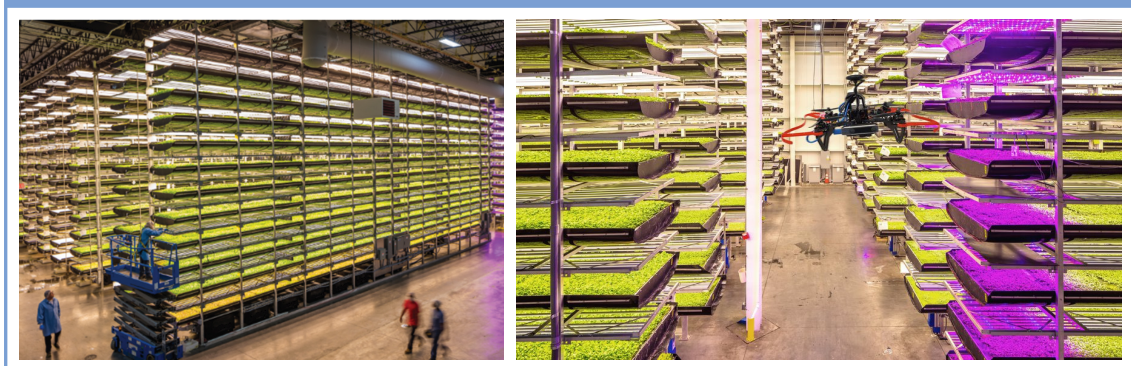
그림 29. Naïo Technologies 농업용 로봇 제품군



\* 출처: Naïo Technologies 웹사이트

■ **AeroFarms** : 지속 가능한 농업 실현을 위하여 실내수직농장을 개발하는 스타트업으로 잎채소, 허브, 새싹채소 등을 재배한다. 머신러닝, 머신비전을 이용해 작물 관련 정보를 분석하여 식물의 스트레스 레벨을 조절해 상품성이 높은 작물 생산에 초점을 두고 있다. Nokia Bell Labs와 협력하여 고급 AI 및 드론 기술을 활용하여 수직농업의 환경 제어 기술과 AI 기반 식물관리 및 모니터링 기술에 자율 드론 시스템을 융합한 전략적 파트너십을 체결하였다(〈그림 30〉 참고). 2021년 Spring Valley Acquisition에 인수되었다.

그림 30. AeroFarms 수직농장 및 자율 드론 시스템



\* 출처: Nokia Bell Labs (2021)

## IV. 인공지능 기반 스마트팜 기술 관련 정책 동향

### 1. 국내·외 정책 동향

#### 1.1. 해외 주요국 정책 동향

- **미국** : 빅데이터, 인공지능 분야에 선제적 전략 투자로 세계 최고의 경쟁력을 보유하고 있으며 미국 농무부에서 농림부 전반의 정보기술 전략 및 관리 업무를 총괄하고 있다. 산업분야 별 인공지능 활용, 촉진을 위해 인공지능 기술개발을 지원하고 있으며, 산업 적용을 저해시키는 규제를 완화하기 위한 정책을 추진하고 있다. 인공지능 분야에서 미국의 리더십 유지에 대한 내용의 2020 국가 인공지능 이니셔티브 법(The National AI Initiative Act of 2020)을 제정하여 연방정부기관이 인공지능 관련 정책 고려시, 인공지능 기술 개발 및 활용을 저해하는 규제를 줄이는 방향으로 접근할 것을 정부차원에서 요구한다. 지속가능한 농업 촉진전략으로, 중점투자 분야에 농수산물분야 ICT 융합기술을 포함시키고 있으며 기후변화에 따른 스마트 농업전략 등을 발표하였다. 국가과학기술위원회(NSTC) 주도로 인공지능 원천/상용화 기술에 대한 투자를 확대하고 있다. 미국 로보틱스 로드맵(16)에서는 농업 분야의 생산성 및 자동화 수준을 향상하기 위한 정밀농업 및 정밀 목축업의 방향을 제시하고 있다. 자율주행 및 위치인식기술 결합 농업용 로봇 상용화가 상당 수준 진척되었으며, 의사결정 시스템 및 운송로봇에 대한 투자도 진행되고 있다.
- **EU** : '최소 투입 최대 산출'을 핵심 가치로 하며 농업의 지속가능성을 강조하고 있으며 스마트농업 혁신에 중점을 두고 농업성장전략을 펼치고 있다. 곡물 및 축산 분야의 정밀농업을 실현할 농업로봇 및 농장관리 시스템을 개발하고 있는 'ICT-Agri' 프로젝트와 스마트팜의 경영과 운영관리, 물류 등을 지원하기 위한 'Smart Agri-Food' 프로젝트 등 스마트팜 정책을 추진하고 있다. EU 국가들이 합의한 인공지능 협력선언을 구체화하여 2018년에 "유럽을 위한 AI 정책"을 발표했으며 인공지능 분야에 대한 대규모 투자 추진 및 개인 데이터 보호 강화와 관련한 제도를 정비하며 공동농업정책 개혁안(Post 2020 CAP)을 제시하였다. 농촌에서의 삶의 질과 생산성의 제고를 위하여 빅데이터와 최신기술 이용에 대한 관리·감독 및 농촌 디지털화를 위한 제도를 지속적으로 마련하고 있다. 2020년에는 인공지능 데이터의 공유 및 자국의 IT기업 육성 등에 대한 가이드라인이 포함된 'EU 인공지능 백서'를 발표하고 유럽연합 집행위(European Commission)의 기금(Horizon 2020)으로 운영되는 EU 차원의 농업 분야 ICT 국제공동 연구 프로젝트 중 하나로 'ICT-Agri 프로젝트'를 추진하여 정밀농업 분야에 대한 EU 차원의 연구역량 및 연구협력 네트워크를 통해 농업분야 ICT 및 로봇기술 연구개발을 수행하였다. 7th Framework Programme에서 농업분야 융합기술에 대하여 구체화하고 있다.
- **네덜란드** : 농업생산 및 유통·소비부문의 강점 강화를 위한 빅데이터 분석 기반의 농업시스템 구축에 관하여 연구 중이며, 친환경 농업기술 개발 및 농업의 정밀화, 온실가스 감축 등으로 지속가능한 농업발전을 목표로 하는 민간 공동출자에 기반한 "정밀농업 프로젝트"를 추진하고 있다.
- **일본** : 기상재해 예측, 농업용수 관리, 농기계 자동화 등 스마트팜 구현을 위한 세부 요소기술 개발에 집중하고 있다. 스마트 농림수산업 추진 및 개혁을 위한 '미래투자전략 2018 정책'을 수립하였으며 빅데이터 개방을

확대하고 2019년 주요 산업에서 인공지능의 상용화를 조속히 추진할 수 있도록 농업 데이터 연계기반(WAGRI)을 구축하였다. 일본 농림수산성은 일본 재생부흥 전략의 일환으로 ‘로봇 신전략(Japan’s Robot Strategy, 2015~2020)’을 추진하면서, 농업 등 5개 분야를 중점 추진 분야로 설정하였는데 농업 분야에 대해서는 자율주행 농기계를 포함하는 농업용 로봇 자동화를 위한 투자를 지원하였다. 4차산업혁명에 대응한 농업과학기술 혁신 방안으로, 기업 농지 소유 자유화, 무인경작 확대, 식물공장 건설 확대 등 기술 기반 혁신정책을 추진 중이다. 또한 농업 분야 IT 시스템의 고도화 및 빅데이터 활용을 위해 농사 관련 명칭, 환경정보 데이터 항목, 인터페이스 등에 대한 세부 지침을 마련하고 ICT, 로봇 기술 등 첨단기술을 응용한 농림수산물기술개발 방안이 포함된 ‘농림수산 연구 기본계획’을 수립하였다. 일본의 성장전략인 미래투자전략 2018에서는 인공지능, IoT, 센싱 기술, 로봇, 드론 등의 첨단 ICT를 연구·개발부터 현장 보급까지 연계하기 위해 산학연 전문가 그룹이 협력하여 4차산업혁명에 대응하는 농업과학기술 혁신방향을 구상하며, 2025년까지 대부분의 농업 종사자가 데이터를 활용하는 농업을 실현할 것을 목표로 하고 있다.

- **중국** : 데이터, 인공지능 분야에 대한 대규모 선행투자과 산업별 플랫폼 육성에 박차를 가하고 있으며 정부 주도하에 인공지능 기술 개발과 관련한 투자 및 인력 양성, 데이터 개방 등의 정책이 추진되고 있다. 2013년도 수립한 전국 농업농촌 정보화 발전 계획과 인터넷 플러스(+) 전략 및 빅데이터 전략 등의 정책을 배경으로 2019년 디지털농촌 발전전략을 통해 스마트농촌으로의 방향을 제시하였다. 농업기계 설비 분야에 대한 투자계획을 담은 중국 제조 2025 계획과 국가 중장기 과학기술 발전계획(‘06~’20)에서 11개 중점 영역과 8개 첨단기술 분야에 농업용 로봇 관련 기술·제품을 포함시켰으며, IT 기업과 정밀농업, 식물공장 등 관련 연구 협력을 추진하고 있다.

## 1.2. 대한민국 정책 동향

우리나라 정부는 2017년 4차산업혁명위원회를 발족하며 데이터, 네트워크, 인공지능을 3대 혁신 신산업으로 삼고, 분야별 대책을 발표하는 것을 시작으로 2018년에는 제5차 경제관계장관회의에서 스마트팜을 혁신성장 선도사업으로 선정하였다(〈그림 31〉 참고). 2019년에는 대통령 주재 제53회 국무회의에서 스마트팜에 인공지능기술을 도입하여 스마트팜 기술 고도화 및 스마트팜 플랜트 수출 확대를 위한 지원 증대 등을 골자로 하는 “인공지능 국가전략”을 발표하였고 2022년에는 4곳의 농축산업과 인공지능 융합 추진방안으로, 인공지능 스마트팜 혁신밸리를 조성함으로써 2027년까지 인공지능 등 스마트 기술로 농수산 종사자 지원 및 산업 고부가가치화, 지능형 스마트팜 솔루션 개발을 적극 지원하고 있다.

그림 31. 스마트팜 확산방안 정책비교

구분	현행	개선	
스마트팜 보급	온실	온실	(‘17) 4,010ha → (‘22) 7,000
	축사	축사	(‘17) 790호 → (‘22) 5,750
	-	기타	노지채소, 수직형 농장 등 도입
정책대상	기존 농업인	기존 농업인	스마트팜 보급 + <b>규모화·집적화</b> * 대량안정적 공급체계 토대로 국내외 시장개척
	-	청년 농업인	<b>청년 창업보육 프로그램</b> 신설 <b>청년 임대형 스마트팜</b> 조성 자금·농지·경영회생 지원체계 마련
	-	전후방 산업	<b>스마트팜 실증단지</b> 조성 * 농업-기업-연구기관 공동 R&D로 기술혁신, 신시장 창출
확산거점	-	스마트팜 혁신밸리	생산·유통, 인력양성, 기술혁신 및 전후방산업 동반성장의 거점

\* 출처: 제5차경제관계장관회의 (2018)

2020년 8월 농림축산식품부, 농촌진흥청, 산림청은 제3차 농림식품과학기술 육성 종합계획을 발표하고 스마트농업을 중점연구분야 중 하나로 설정하고 시설원예, 축사, 노지농업, 유통분야 R&D 로드맵을 제시하였다 (<그림 32> 참고).

그림 32. 스마트팜 다부처 패키지 혁신기술 개발사업 개요

사업구성		
분야	I. 스마트팜 실증·고도화 연구사업	II. 차세대 융합·원천기술 연구사업
Plant Farm	<ul style="list-style-type: none"> <li>고생산성 디지털 재배관리 기술개발</li> <li>현장 맞춤형 스마트팜 최적화 기술개발</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>완전 자율형 스마트온실 통합제어 플랫폼 개발</li> <li>온실 생산 전주기 무인·자동화 기술</li> <li>온실 그린에너지 순환 및 이용 기술</li> </ul>
	[2개 전략과제]	[3개 전략과제]
Animal Farm	<ul style="list-style-type: none"> <li>고생산성 정밀가축관리 기술개발</li> <li>스마트축사 지능형 복합환경관리 기술개발</li> <li>스마트 축산 K-FARM 모델 최적화 기술개발</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>무인 자율형 스마트 축산 K-FARM 통합 솔루션 개발</li> <li>에너지/자원 완전 순환형 축산 모델 개발</li> </ul>
	[3개 전략과제]	[2개 전략과제]

\* 출처: 농림축산식품부 (2019)

농림축산식품부는 2018년에 스마트온실에 사용되는 센서와 구동기 22종에 대한 국가표준과 2020년에 스마트축사에 사용되는 외부/내부/안전 센서 19종에 대한 국가 표준(안)을 제정하였다. 농촌진흥청은 2020년 농업현장을 데이터로 진단하고 인공지능으로 처방해 편리성과 생산성을 구현하는 디지털농업을 촉진하기 위해



디지털농업추진단을 출범하였다. 2022년에는 디지털농업 촉진 기본계획을 발표하고 디지털기술을 농업에 접목할 데이터와 시를 활용한 농업기술의 혁신과 디지털 생태계 조성을 통한 디지털농업기술 확산을 주요 정책방향으로 제시하였다(〈표 6〉 참고). 과수 생육품질 데이터를 추가한 총 240개의 공공데이터와 연구 데이터를 공유·개방하여 데이터 연구를 보다 활성화하고, 자율주행 벼 이앙기의 보급 확대 및 자율주행 트랙터의 상용화도 추진하겠다는 계획을 발표하였다. 또한 스마트팜에 인공지능의 활용도를 높여 스마트팜 기술·제품을 고도화하는데 목표를 둔 R&D 사업인 스마트팜 다부처 패키지 혁신기술개발사업에 2021년부터 2027년까지 총 7년간 약 3,867억 원이 투입될 예정으로 농림축산식품부, 농촌진흥청 및 과학기술정보통신부가 인공지능 및 데이터 기반의 지능화·자동화 2~3세대 스마트팜 개발 및 안정적인 농업생산체계 확립에 필요한 핵심기술 개발을 위해 협조 체계를 구축하기로 하였다.

표 6. 디지털기술 농업 접목 10대 핵심과제

비전	인류를 위한 세계 일류의 디지털농업 구현				
목표	농업의 디지털 전환으로 농업의 경쟁력과 지속성 확보				
정책 방향	데이터와 시를 활용한 농업기술의 혁신 디지털 생태계 조성을 통한 디지털농업기술 확산				
핵심 과제	①스마트팜 스마트팜 최적환경제어 시스템 개발	②노지정밀농업 노지정밀농업 시스템 개발	③농업로봇 자율주행 농기계 및 농업로봇	④농업기상예보 농업기상 예보 및 기상 재해 조기 경보 서비스	⑤시병충해진단 인공지능 병충해 진단 서비스
	⑥스마트축산 가축관리 및 질병 조기 탐지 서비스	⑦디지털육종 데이터 기반 디지털육종시스템 구축	⑧농업경영 데이터 기반 농업경영 진단 서비스	⑨농촌재생 디지털 기반 농촌공간 재생 모델 개발	⑩기술상담챗봇 농업기술 안내 챗봇 서비스 개발
기반 조성	① 시학습용 데이터 구축 ② 디지털농업 인프라 구축 ③ 제도정비, 협력체계 구축 ④ 인력양성, 문화 조성				

\* 출처: 농촌진흥청 (2022), 재가공

## 2. 인공지능 기반 스마트팜 발전을 위한 정책 제언

농업과 농촌 지역의 지속 가능한 발전을 위해 젊은 세대의 유입을 유인할 수 있고 전후방 산업을 견인할 수 있는 농산업 가치사슬 생태계를 확보하는 것은 국가적으로 매우 중요하다. 이러한 측면에서 인공지능 기반 스마트팜 기술 발전을 위한 정책 제언은 크게 기술 개발 및 연구 지원, 교육 및 인력 양성, 인프라 구축, 그리고 법률 및 규제 개선, 국제 협력 및 시장 확대 등으로 나눌 수 있다.

### 2.1. 기술 개발 및 연구 지원

- 농업기술 혁신 지원 : 첨단기술 (스마트팜, 인공지능, 로봇기술 등)을 농업에 적용하여 생산성을 높이고, 노동

강도를 줄일 수 있는 연구 개발의 지원을 확대할 필요가 있다.

- 산학연 협력 강화: 대학, 연구소, 기업 간의 협력을 촉진하여 기술 개발의 실용화와 상용화를 가속해야 하며 이를 위한 플랫폼 구축 및 협력 네트워크 활성화가 필요하다.
- 농업 관련 창업 경진대회 및 인큐베이팅 프로그램 운영: 창의적인 아이디어를 가진 젊은이들이 농업 분야에서 창업할 수 있도록 경진대회, 인큐베이팅 프로그램을 운영하고, 우수 프로젝트에 대한 투자를 지원할 필요가 있다.

## 2.2. 교육 및 인력 양성

- 청년 농업인 교육 프로그램 개발 및 지원: 첨단 농업기술, 스마트팜 운영, 농업경영 등에 대한 전문 교육 프로그램을 제공하여 젊은이들이 농업에 대한 새로운 시각을 가지고 필요로 하는 다양한 기술과 지식을 습득할 수 있도록 해야 한다.
- 농업 스타트업 및 기업가 정신 교육: 젊은이들이 농업 관련 사업을 시작할 수 있도록 기업가 정신 및 사업 운영에 필요한 지식을 제공하는 프로그램을 개발할 필요가 있다.
- 기술 보급 및 교육 프로그램 운영: 청년 농업인뿐만 아니라 기존 농업 종사자들이 인공지능 기술을 이해하고 활용할 수 있도록 교육 프로그램 개발 및 운영을 지원해야 한다.
- 이러한 프로그램은 대학과 협력하여 진행할 수 있으며, 실습 중심의 교육을 통해 농업 종사자들이 직접 스마트팜 기술을 체험하고, 자신의 농장에 적용할 수 있는 능력을 키울 수 있도록 해야 한다.

## 2.3. 인프라 구축 및 자금지원

- 데이터 공유 및 활용 체계 마련: 스마트팜 운영에 필수적인 농업 관련 데이터의 수집, 공유, 활용을 위한 체계를 마련해야 하며, 이를 위해 데이터 표준화, 개방형 플랫폼 구축 등이 필요하다.
- 중소규모 농가 스마트팜 인프라 구축 지원: 중소규모 농가에서도 스마트팜 기술을 접근하고 활용할 수 있도록 필수 인프라(예: 센서, IoT 기기, 데이터 분석 플랫폼 등) 구축을 위한 정부 지원 확대가 필요하다.
- 창업 지원 및 자금 조달: 젊은 농업인들이 자신의 농장을 시작하거나 혁신적인 농업기술의 도입 또는 창업을 할 수 있도록 초기 투자 자금, 사업 개발 자금, 기술 개발 자금 등의 지원확대 및 저리 대출, 보조금 등을 제공할 필요가 있다.
- 농지 제공 및 임대 지원: 농업에 참여하고자 하는 젊은이들에게 농지를 저렴하게 제공하거나 임대할 수 있는 프로그램 마련이 필요하다.

## 2.4. 법률 및 사회적 인식 개선

- 스마트팜 관련 법률 및 규제 마련: 스마트팜 기술의 발전과 활용을 촉진하기 위해 필요한 법률 및 규제를 마련하고, 기존 법률 및 규제의 개선을 지속적으로 추진해야 한다.
- 농업의 가치와 기회 홍보: 농업이 단순한 생산 활동이 아닌, 지속 가능한 발전, 환경 보호, 식량 안보 등 국가적으로

중요한 역할을 한다는 인식을 확산시킬 필요가 있다.

- 지식재산권 보호 강화 : 기술 개발자와 연구자들의 지식재산권 보호를 위한 법률적, 제도적 장치를 마련해야 한다.

## 2.5. 국제 협력 및 시장 확대

- 국제 협력 강화 : 글로벌 스마트팜 기술 트렌드 파악 및 국제 기준에 맞는 기술 개발을 위해 해외 연구 기관, 기업과의 협력을 강화해야 한다. 이는 국제 시장에서의 경쟁력 확보에도 기여할 수 있다.
- 수출 지원 정책 마련 : 스마트팜 기술 및 시스템의 수출을 촉진하기 위한 지원 정책 마련 및 확대가 필요하다. 이는 국내 스마트팜 기업의 글로벌 시장 진출을 돕고, 한국 스마트팜 기술의 국제적인 위상을 높일 수 있다.

### 저자소개 고헌은 (KwangEun Ko)

#### • 학력

중앙대학교 전자전기공학부  
제어및시스템공학 공학박사  
중앙대학교 전자전기공학부 공학사

#### • 경력

現) 한국생산기술연구원 선임연구원  
前) 한국생산기술연구원 박사후연구원

### 저자소개 장인훈 (Jang In Hoon)

#### • 학력

중앙대학교 로보틱스및지능정보시스템 공학박사  
중앙대학교 로봇공학및자동화공학 공학석사  
중앙대학교 제어계측공학과 공학사

#### • 경력

現) 한경국립대학교 부교수  
前) 한국생산기술연구원 수석연구원

## 참고문헌

### 〈국내문헌〉

- 1) 과학기술정보통신부(2018). I-Korea 4.0 실현을 위한 인공지능(AI) R&D 전략.
- 2) 김세한(2019). (제3부 제4장) 농축산 분야 데이터 비즈니스. 2019 데이터산업 백서, 22, p.136.
- 3) 김연중 외(2017). 4차산업혁명에 대응한 스마트농업 발전방안, 한국농촌경제연구원.
- 4) 농림식품기술기획평가원(2022). 식품R&D 이슈 스마트 제조 분야 동향보고서.
- 5) 농림축산식품부(2019). 보도자료.
- 6) 농촌진흥청(2022). 보도자료.
- 7) 서현권(2021). 인공지능 기반 스마트농업 주요 이슈 및 활성화 방안, KISDI AI Outlook, 2021권 5호.
- 8) 오승환 외(2020). 인공지능 기술 활용 강국을 향한 과학기술정책 제고 전략. 정책연구 2020-02, p.169-170.
- 9) 정선옥(2020). 인공지능의 농업 분과 청사진, p.11 재가공.
- 10) 제5차경제관계장관회의(2018). 관계부처합동보도자료.
- 11) 통계청(2022) 통계청, 농림어업조사 통계 재가공.

### 〈국외문헌〉

- 1) Globenewswire (2023). Smart Farming Market Poised for Substantial Growth, Forecasted to Surpass USD 53 Billion by 2032 | Market.us Report.
- 2) Ko, K., Jang, I., Choi, J. H., Lim, J. H., & Lee, D. U. (2021). Stochastic decision fusion of convolutional neural networks for tomato ripeness detection in agricultural sorting systems. Sensors, 21(3), 917.
- 3) Mohanty, S. P., Hughes, D. P., & Salathé, M. (2016). Using deep learning for image-based plant disease detection. Frontiers in plant science, 7, p.1419.

### 〈기타문헌〉

- 1) alibaba 웹사이트. [https://www.alibabacloud.com/blog/the-road-to-digital-intelligence-with-alibaba-cloud-et-brain\\_594066](https://www.alibabacloud.com/blog/the-road-to-digital-intelligence-with-alibaba-cloud-et-brain_594066)
- 2) AppHarvest 웹사이트. [https://appharvest.com/press\\_release/appharvest-acquires-agricultural-robotics-and-artificial-intelligence-company-root-ai-to-increase-efficiency/](https://appharvest.com/press_release/appharvest-acquires-agricultural-robotics-and-artificial-intelligence-company-root-ai-to-increase-efficiency/)



## 참고문헌

- 3) businesswire (2022). <https://www.businesswire.com/news/home/20220207005189/en/Carbon-Robotics-Unveils-New-LaserWeeder-with-30-Lasers-to-Autonomously-Eradicate-Weeds>
- 4) ces.tech 웹사이트. <https://www.ces.tech/innovation-awards/honorees/2023/best-of/j/john-deere-autonomous-tractor.aspx>
- 5) DTN 웹사이트. <https://www.dtnpf.com/agriculture/web/ag/crops/article/2018/02/21/spray-system-aims-search-destroy-2>
- 6) FORTUNE (2015). <https://fortune.com/2015/06/03/3d-crop-scanner/>
- 7) Kubota 웹사이트. <https://www.kubota.com/innovation/smartagri/index.html>
- 8) Naïo Technologies 웹사이트. <https://www.naio-technologies.com/en/home/>
- 9) Nokia Bell Labs (2021). <https://www.bell-labs.com/institute/blog/flying-horticulturist-how-nokia-bell-labs-ai-and-drones-are-helping-aerofarms-revolutionize-vertical-farming/#gref>
- 10) Prospera 웹사이트. <https://prospera.ag/crop-health-monitoring/>
- 11) QUT 웹사이트. <https://research.qut.edu.au/qcr/Projects/agbot-ii-robotic-site-specific-crop-and-weed-management-tool/>
- 12) University of Auckland 웹사이트. <https://cares.blogs.auckland.ac.nz/research/robots-in-agriculture/orchard-robots/>
- 13) WUR 웹사이트. <https://www.wur.nl/en/project/SWEEPER-the-sweet-pepper-harvesting-robot.htm>
- 14) 라온피플 웹사이트. [https://www.laonpeople.com/business/business\\_list.php?s\\_dep=87&list=2](https://www.laonpeople.com/business/business_list.php?s_dep=87&list=2)
- 15) 엔씽 웹사이트. <https://nthing.net/TECH>
- 16) 팜에이트 웹사이트. <http://www.farm8.co.kr/freshfarm/plant-factory>
- 17) 프리바 웹사이트. <https://www.priva.com>
- 18) 한국농기계신문 (2020). <https://www.kamnews.co.kr/news/articleView.html?idxno=4728>



**융합연구리뷰**  
Convergence Research Review

2024 April Vol. 10  
**No. 04**



# 2

## 감각대체를 통한 포용적 기술 개발

**정 치 윤**

한국전자통신연구원 감각확장연구실 책임연구원

**신 승 용**

한국전자통신연구원 감각확장연구실 선임연구원

## 2. 감각대체를 통한 포용적 기술 개발

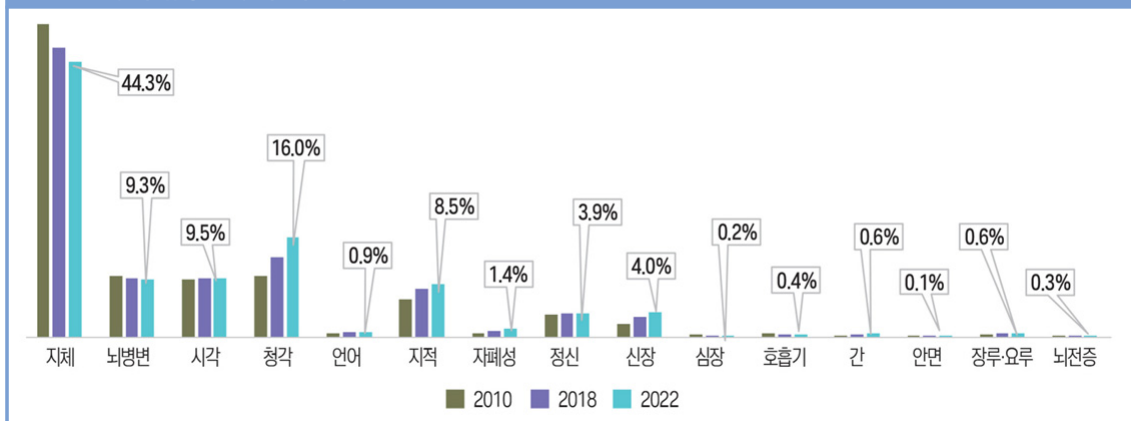
정 치 윤 (한국전자통신연구원 감각확장연구실 책임연구원)

신 승 용 (한국전자통신연구원 감각확장연구실 선임연구원)

### I. 서론

감각(sensation)은 주변 환경으로부터 눈, 코, 귀, 혀, 피부 등을 통해 입력되는 다양한 물리적 자극을 전기적 형태로 바꾸어 신경계를 통해 전달하고 수용기를 통해 받아들이는 생리적 과정을 의미한다. 감각은 단순히 자극을 감지하는 수동적인 과정으로, 주변 환경에서의 데이터를 수집하는 역할을 한다. 감각은 뇌에서 수집한 데이터를 해석하고 조직화하는 과정인 지각(perception)과 지각된 정보를 사용하여 사고, 이해, 학습, 기억, 문제 해결과 같은 더 복잡한 정신적 과정을 의미하는 인식(cognition)과 구분된다. 예를 들어, 눈이 빛 자극을 받아들이는 것은 감각의 단계이고, 자극의 의미를 해석하여 풍경이나 특정 객체를 알게 되는 과정을 지각 단계에 해당하며, 지각된 정보를 사용하여 사건을 기억하거나 문제를 해결하는 것을 인지 과정으로 볼 수 있다. 감각은 외부 환경으로부터 정보를 수집하는 기본적인 수단임과 동시에 주변 환경을 인지하고, 이 정보를 바탕으로 반응하고 상호작용함으로써 위험으로부터 자신을 보호하고, 환경에 대한 탐색 및 학습을 통한 소통과 사회적 상호작용을 위한 기본적이며 필수적인 과정이다.

그림 1. 장애 유형별 장애인구 비율



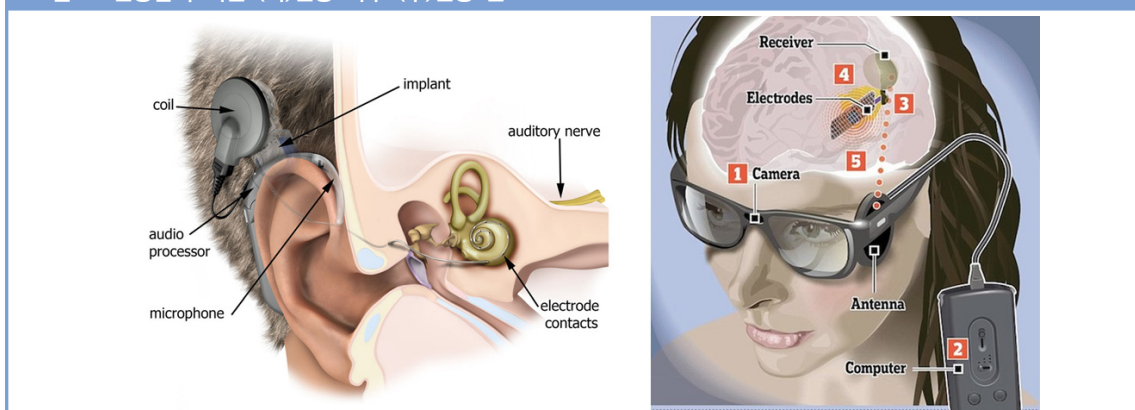
\* 출처: 한국장애인개발원

## 1. 감각 상실 및 저하

최근 발표에 따르면, 감각기관의 이상에 기인하여 감각 상실 또는 기능적 저하를 경험하는 인구가 점진적으로 증가하고 있다. 세계보건기구(WHO, World Health Organization)에 따르면 2050년에 약 25억명의 사람들이 청각손실을 경험하며, 최소 0.7억명의 사람들이 청각 재활이 필요할 것으로 예측하고 있다[55]. 또한, 전 세계 약 22억명의 사람들이 근시 또는 원시로 인한 시각 장애를 겪고 있으며, 시각 장애로 인한 전 세계 생산성 저하는 연간 약 4,110억 달러에 이를 것으로 추정하고 있다[54]. 국내의 경우, 2022년 기준 전체 등록장애인의 수는 전체 인구의 약 5.2%에 해당하는 약 265만 3,000명으로, 감각기관의 손실 또는 저하로 발생하는 시각 및 청각장애인의 수는 전체 등록장애인의 약 26% 정도라고 알려져 있다[49]. 특히, 복잡해지는 생활환경의 변화에 따른 다양한 소음과 빛 공해의 증가는 잠재적인 청각장애인과 시각장애인의 증가 요인으로 알려져 손실 또는 저하된 감각 기능을 복원하는 방법에 관한 연구가 필요하다.

감각기관의 손실이나 저하로 발생하는 문제를 해결 할 수 있는 대표적인 방법으로는 인공감각 기관을 신체에 삽입하는 방법이다. 대표적으로 청각 기능을 복원하는 인공와우(cochlear implants)와 시각 기능을 복원하는 인공 눈(bionic eyes)이 있다. 인공감각 기관은 사람이나 동물의 자연 감각기관을 모방하거나 대체하는 기술적 수단을 의미하며, 선천적으로 감각적 손실을 경험하는 사람들을 돕거나, 질병이나 사고로 상실한 감각 기능을 복원하기 위한 목적으로 개발되었다. 그러나, 인공와우의 경우 청각 신호를 청신경으로 전달하는 데 사용되는 전극의 수가 제한적이어서 사용자는 낮은 해상도의 소리를 듣게 되어 배경 소음 속에서 말을 이해하거나 음악을 감상하는 데 어려움을 겪을 수 있다. 인공 눈은 단순한 빛과 그림자의 변화만을 제공하며, 복잡한 이미지나 세부 사항을 인식하는 데 한계가 있다. 또한, 인공감각 기관을 이용하기 위해서는 외과적인 수술이 필요하고 이 과정에서 감염, 출혈, 신경 손상과 같은 위험이 있으며, 유지와 관리를 위해 비싼 경비와 적응을 위한 재활이 필요하다. 따라서 최근에는 비침습적인 방법을 통해서 감각기관의 기능을 복원하는 방법에 관한 관심이 높아지고 있다.

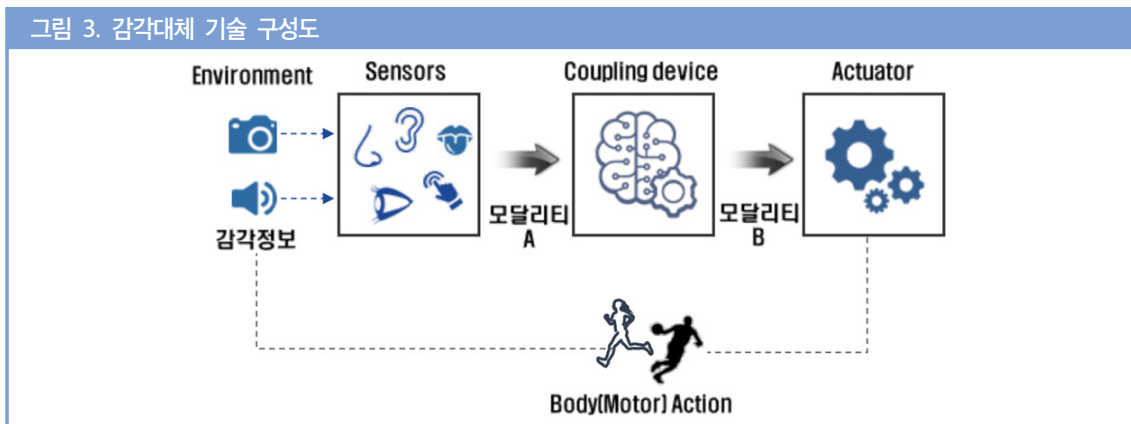
그림 2. 인공감각 기관 (좌)인공 와우 (우)인공 눈



\* 출처: (좌) Yousef A. Alohalí (우) adafruit

## 2. 감각대체

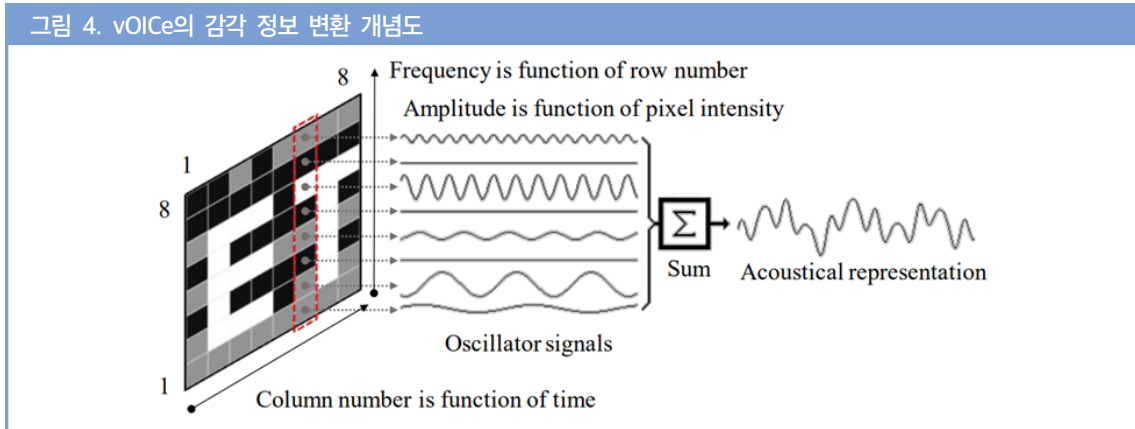
뇌는 새로운 환경에 적응하기 위해 경험에 따라 스스로 구조와 기능을 변화시키면서 재구성하는 신경가소성(neuroplasticity)을 가지고 있다. MIT의 Mriganka Sur 연구팀의 페럿을 이용한 연구를 통해 신경가소성을 증명하였다[43]. 그들은 페럿의 망막과 연결된 시신경을 청각 피질 영역에 연결하고 페럿의 뇌 활동을 분석하였다. 그 결과 청각 피질 영역이 일반적인 페럿의 시각 피질 영역과 유사한 활동성을 보였으며, 이는 청각 피질 영역이 시각 정보를 처리하는 영역으로 변화했다는 것으로 볼 수 있다. 신경가소성은 학습과 기억에서 중요한 역할을 하며, 손상된 뇌 기능의 회복, 새로운 기술 습득, 환경 변화에 대한 적응 등 다양한 상황에서 관찰된다. 특히, 신경가소성은 뇌 손상 후 회복이나 재활, 학습과 기억의 과정, 심지어 나이에 따른 뇌 변화에도 적용되는 중요한 개념이다. 최근에는 신경가소성에 기반하여 사람의 손상 또는 저하된 감각 정보를 다른 감각기관의 정보로 변환하여 전달함으로써 원래 감각 정보를 지각할 수 있게 하는 감각대체(sensory substitution) 기술에 관한 연구가 진행되고 있다.



\* 출처: 한국전자통신연구원

감각대체 기술은 사람의 감각기관을 대신하여 정보를 수집하는 센서, 센서 정보를 다른 감각기관 정보로 변환하는 커플링 장치, 변환된 감각 정보를 전달하는 액추에이터로 구성된다. 감각 정보를 수집하는 센서로는 시각 정보 수집을 위한 카메라, 청각 정보 수집을 위한 마이크 등이 될 수 있으며, 변환된 감각 정보를 사용자에게 전달하기 위한 인터페이스 장치인 액추에이터는 청각 정보 전달을 위한 스피커, 촉각 정보 전달을 위한 진동 모터, 시각 정보 전달을 위한 디스플레이 등이 될 수 있다. 데이터 처리 장치인 커플링 장치는 감각 신호를 변환하는 알고리즘이 작동하는 핵심 부분으로, 수집된 감각 데이터를 처리하고 변환한다. 추가로, 감각대체 기술의 효과적인 사용을 위해서는 사용자의 훈련과 적응과정이 필수적이다. 사용자는 변환된 감각 정보를 해석하고 이를 자신의 경험과 연결 짓는 방법을 학습해야 하며, 이 과정은 사용자의 뇌가 새로운 정보를 처리하고 인식하는 방식을 학습하는 것과 관련 있다. 감각대체 기술은 외부적인 장치와 인터페이스를 활용하기 때문에 수술 없이 상실/저하된 감각기관의 기능을 부분적으로 대체할 수 있는 장점이 있다.

그림 4. vOICe의 감각 정보 변환 개념도



\* 출처: Peter B. L. Meijer

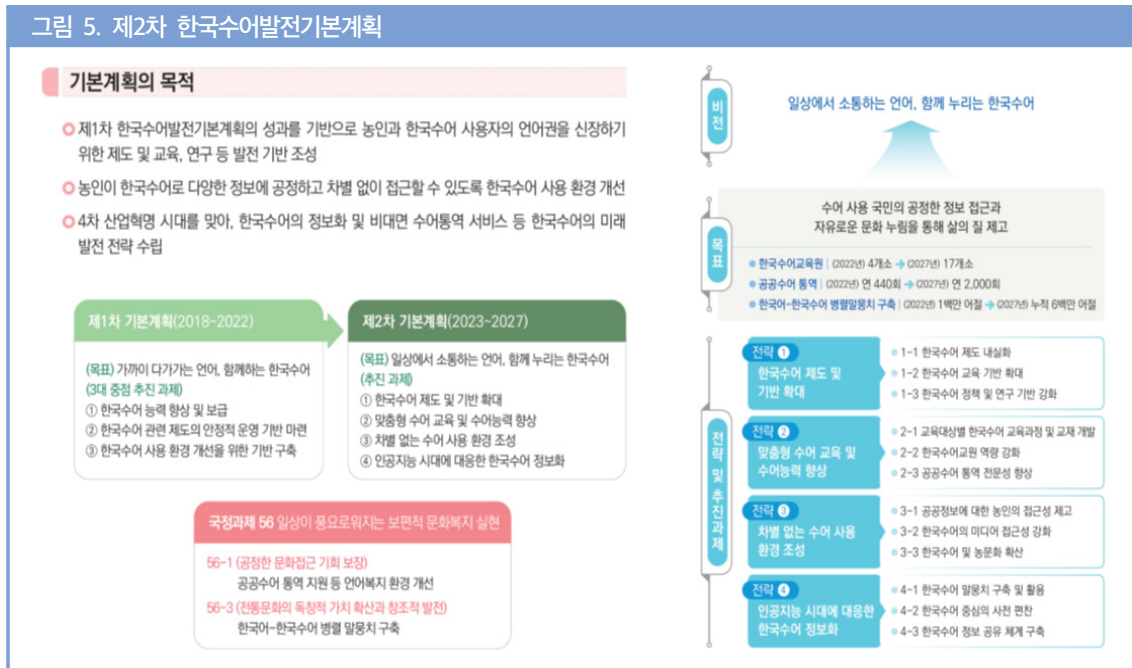
vOICe[28]는 시각 정보를 청각 정보로 변환하여 전달하는 감각대체 기술의 대표적인 방법이다. 사람의 감각 기관 중 시각은 가장 많은 정보 전달량을 가지고 있기 때문에 시각 정보를 다른 감각으로 전달하기 위해서는 정보의 축약이 필요하다. 따라서, vOICe는 시각 정보가 입력으로 들어오면 해상도를 낮춘 후, 그레이스케일 영상으로 변환한다. 이후, 이미지의 높이는 소리의 높낮이로, 이미지의 밝기는 소리의 볼륨으로, 그리고 이미지의 가로 위치는 소리가 나는 시간으로 매핑된다. 이렇게 변환된 소리를 들음으로써 사용자는 이미지의 형태와 위치, 그리고 움직임 등의 시각적 정보를 청각을 통해 인식할 수 있다.

기존 대부분의 연구에서는 감각을 기준으로 기술 분류를 진행하였다. 하지만 감각대체 기술의 경우 손상된 감각기관을 가진 사용자들에게 도움을 주려는 기술이다. 따라서, 본 보고서에서는 감각대체 기술을 사용자 중심의 응용 서비스를 기준으로 분류하여 의사소통 지원기술, 일상생활 지원기술, 그리고 문화예술 지원기술로 구분하여 연구 동향을 살펴보고자 한다.

## II. 감각대체 기반 의사소통 지원기술

일반적으로 인간의 의사소통은 음성언어를 통해 이루어지기 때문에 청각장애인의 경우 의사소통에 어려움을 겪을 수 있다. 따라서, 감각대체 기반의 의사소통 지원기술은 음성언어 인지에 어려움을 보이는 청각장애인을 위해 개발되고 있다. 감각대체 기반 의사소통 지원기술은 사람이 발화하는 음성언어를 청각이 아닌 시각 및 촉각으로 대체하여 전달함으로써 음성언어 인지를 보조하는 기술이다.

그림 5. 제2차 한국수어발전기본계획



\* 출처: 문화체육관광부

### 1. 시각을 이용한 의사소통 지원기술

시각을 이용한 가장 보편적인 의사소통 보조 방법은 문자 소통이다. 음성언어를 문자로 변환하는 연구는 오랜 역사가 있으며 인공지능의 발전과 함께 최근 급속도로 성장하고 있다. 하지만 일부 청각장애인 경우 한글이 아닌 수어를 주 의사소통 언어로 사용한다. 이들에게는 문자보다는 수어를 통한 의사소통 접근 방식이 더 효과적이다. 또한, 수어는 문자와 달리 의미 외에도 다양한 감정을 표현할 수 있어 더 정확하고 풍부한 정보를 전달할 수 있다. 따라서 본 보고서에서는 문자를 통한 시각화가 아닌 수어를 통한 시각화, 즉 수어 자동 통역 관련 기술에 대해 살펴본다.

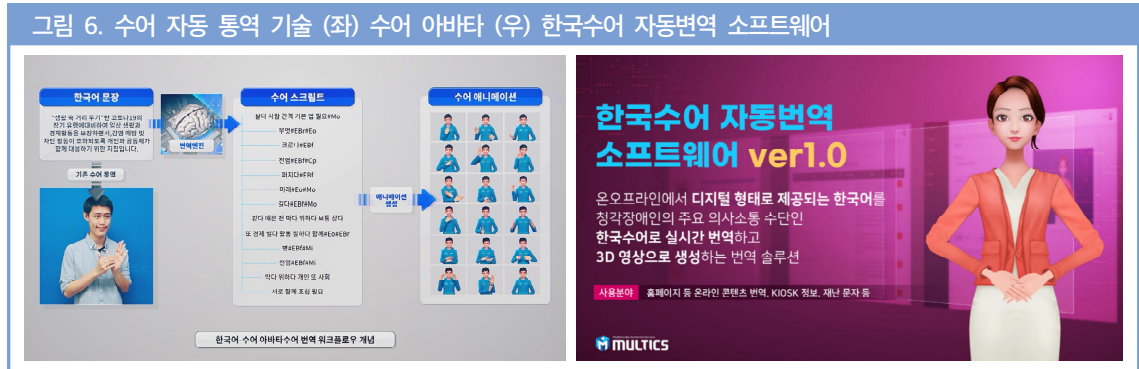
수어-문자 자동 통역 기술은 최근 증가하는 미디어에 대한 접근성을 개선하고, 수어통역사 전문인력 부족 현상을 해결할 수 있는 기술이다. 2023년 문화체육관광부에서 발표한 제2차 한국수어발전기본계획에서는 수어 사용



국민의 공정한 정보 접근과 자유로운 문화 누림을 위한 네가지 추진전력을 발표하였으며, 그중 인공지능 시대에 대응한 한국수어 정보화 전략이 포함되었다[2]. 이 전략은 한국수어 말뭉치(수어 단어)를 구축하고 미디어 데이터를 수집하여 한국수어-한국어 자동 통역 기술 개발을 촉진하고자 하려는 의도를 가진다.

한국전자통신연구원과 이규포울은 한글을 한국수어로 변환하는 수어 아바타를 개발하였다[50]. 수어 아바타는 한국어 문장을 딥러닝 번역 엔진을 통해 수어 원고로 변환하고 이를 다시 수어 애니메이션으로 제작하는 방식이다. 수어는 손과 손가락 움직임뿐만 아니라 표정과 몸짓도 의사를 전달하는데 중요한 요소로 작용한다. 수어 아바타에서는 입, 눈썹, 뺨, 몸통 등 손 외 22개의 신체 부위 신호를 아바타 생성에 활용한다. 이 기술은 코로나19 방역 절차를 진행하는 무인 단말기에 적용되었으며, 다양한 미디어 콘텐츠, e-러닝, 공공시설 민원안내로 확장하여 기술을 적용할 계획이다.

국내 멀틱스사에서는 한글을 한국수어로 실시간 번역하고, 3D 영상으로 생성하는 한국수어 통번역 솔루션을 제공하고 있다[56]. 이 솔루션의 경우 기본 말뭉치 외에도, 다양한 전문분야의 말뭉치를 추가해 새롭게 학습 모델을 생성할 수 있다. 한글 입력부터 최종적으로 생성된 수어 영상까지 단계별 확인이 가능한 검수모드 기능과 수어 단어 정보, 영상 재생 속도, 영상 저장 및 사용 통계 등과 같은 관리모드 기능까지 제공한다. 개발한 솔루션을 활용하여 챗봇, 민원안내 및 처리 키오스크, QR 수어 등 다양한 응용에 적용하여 상용화 중이다.



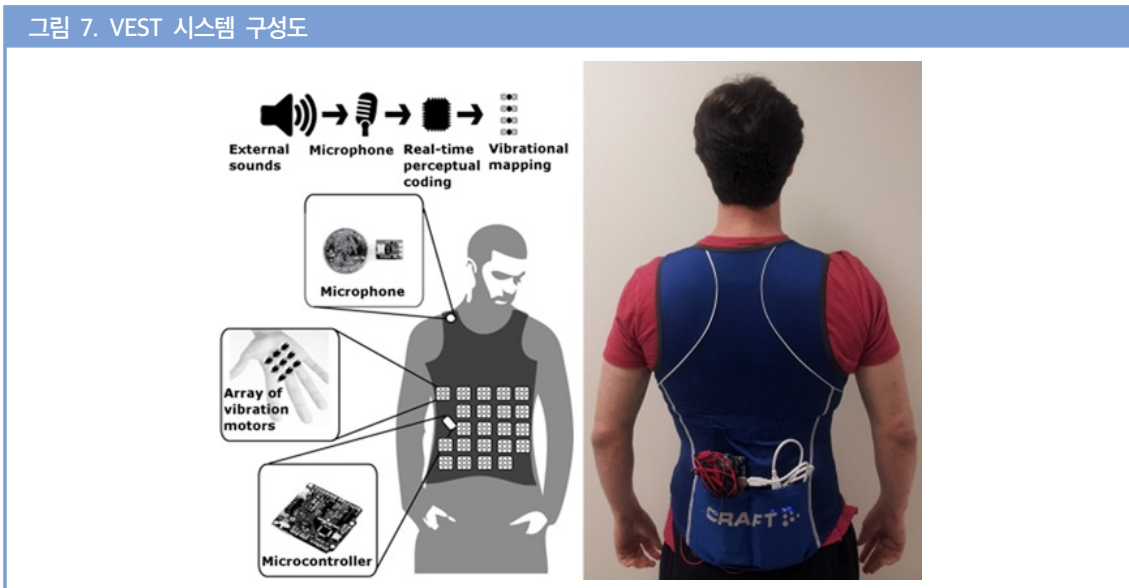
\* 출처: (좌) 한국전자통신연구원 (우) 멀틱스

수어 자동 통역 기술을 통해 청각장애인의 의사소통 문제를 해결하기 위해서는 문자로 수어 영상을 생성해주는 기술뿐만 아니라 수어 영상을 문자 혹은 음성으로 변환해주는 양방향 수어 통역 기술이 필요하다. 이를 위해 서울대학교에서는 수어 생성과 번역을 동시에 할 수 있는 통합 딥러닝 모델을 제안하였고[1], 한국전자통신연구원은 청각장애인과 수어로 대화 가능한 아바타 기술을 개발하고 있다[50]. 국내뿐만 아니라 세계적으로 Sign Language to Text(SLTT) 연구는 시도되고 있으나, 현재 기술 개발 초기 단계로 영상 인식을 통해 수어 손동작을 분석하는 통역기술에 그친다. 하지만, 수어를 의사소통이 가능한 수준으로 통역하기 위해서는 표정, 몸짓 등의 데이터를 같이 활용한 통역기술로 발전해 나가야 한다.

## 2. 촉각을 이용한 의사소통 지원기술

촉각을 이용한 대표적 방법은 미국 신경과학자 데이비드 이글만이 2015년에 제안한 Versatile Extra-Sensory Transducer(VEST)가 있다[58]. VEST는 마이크, 마이크로컨트롤러 및 다수의 진동 모터로 구성되어 있다. 소리 정보가 입력으로 들어오면 정보를 특정 주파수 신호로 분해하고, 주파수별 특징에 따라서 진동 패턴을 생성하게 된다. 생성된 진동 패턴은 조끼에 장착된 32개의 진동 모터를 통해서 사용자에게 전달된다. VEST를 이용해 48개의 음성 단어를 12일 동안 학습한 결과, 학습한 단어뿐만 아니라 학습하지 않은 음성 단어에 대한 인지 능력도 학습 전보다 30% 개선되었다. 이는 촉각을 이용한 음성 단어 인지가 단순 암기가 아니라 음성언어를 인지하는 하나의 능력으로 발전되었다고 볼 수 있다.

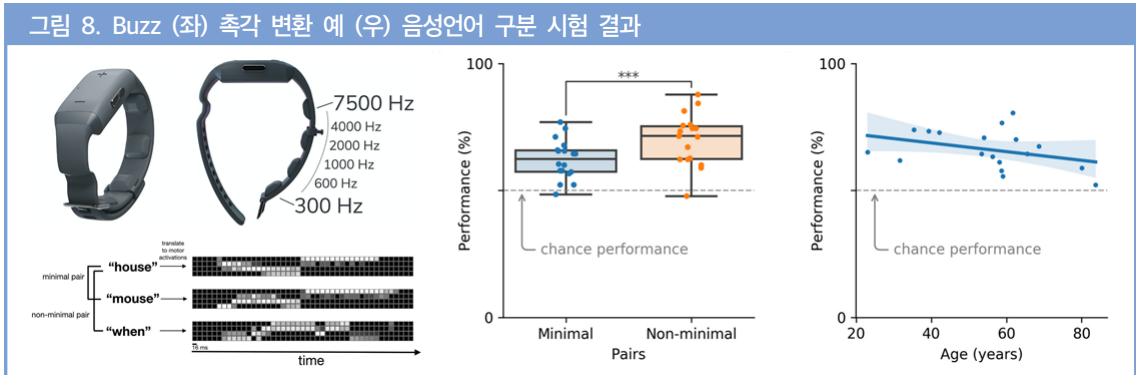
그림 7. VEST 시스템 구성도



\* 출처: David Eagleman

VEST는 조끼 형태로 일상생활에서 사용하기 불편하다. 이런 점을 보완하기 위하여 데이비드 이글만은 Neosensory사를 설립하고, 진동 모터 수를 획기적으로 줄이고 착용이 간편한 손목밴드 형태의 제품인 Buzz를 개발하였다[32]. Buzz는 4개의 진동 모터로 구성된 밴드 형태이며, 촉각 착각 현상(haptic illusion)을 활용하여 300Hz부터 7500Hz의 주파수 영역의 정보를 전달할 수 있다. 소리 정보가 입력으로 들어오면 16ms 단위로 소리 정보를 분리하고, 분리된 소리 정보를 주파수 정보로 변환하여 주파수 대역의 진폭을 계산한다. 이후 최대 진폭을 갖는 주파수 대역의 값을 진동 패턴으로 생성하여 전달한다. 18명의 사용자 대상으로 한 달 동안 하루 4시간 이상 착용하도록 하여 자연스럽게 촉각 패턴을 학습하게 한 후, 음성언어를 구분하는 테스트를 진행하였다. “House”와 “Mouse” 같이 한 음소(phoneme)가 다른 단어를 구분하는 테스트의 경우 평균 62%의 정확도로 단어를 구분할 수 있었으며, 여러 음소가 다른 단어를 구분하는 테스트의 경우 평균 70%의 정확도를 보여주었다.

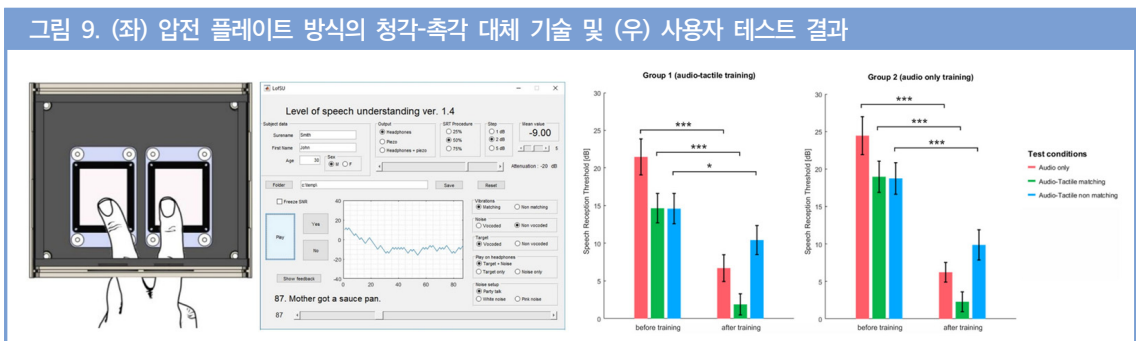
그림 8. Buzz (좌) 촉각 변환 예 (우) 음성언어 구분 시험 결과



\* 출처: Michael V. Perrotta

노이즈가 많은 환경에서는 보청기 및 인공와우 사용자들의 음성언어 인지률이 떨어진다. 이런 환경에서 청각장애인은 음성언어를 인지하기 위해 입모양을 참고하는 경우가 있다. 그러나 코로나19 이후 마스크 착용이 늘어나면서 청각장애인들이 어려움을 겪고 있다. 이를 해결하기 위해 촉각을 이용하여 노이즈가 있는 환경에서 음성언어의 인지 능력 개선을 위한 감각대체 기술이 제안되었다[14]. 이 연구는 검지와 중지애 진동을 전달할 수 있는 2개의 압전 플레이트(piezoelectric plates)로 구성된 감각대체 장치와 감각대체 장치를 제어하는 사용자 인터페이스로 구성된다. 사용자가 음성언어를 이야기하는 경우 음성으로부터 기본 주파수(fundamental frequency)를 추출하고 이를 압전 플레이트를 통해서 진동 주파수로 전달한다. 사용자는 전달된 소리 정보와 촉각 정보를 모두 활용하여 학습하고, 노이즈가 심한 환경에서도 소리와 연계된 촉각 정보를 활용하여 음성언어를 더 잘 이해할 수 있게 된다. 음성언어와 촉각 정보를 모두 활용하여 학습한 사용자 그룹 1과 오디오 정보로만 음성언어를 학습한 사용자 그룹 2를 대상으로 어음인지역치(SRT, Speech Reception Threshold) 검사를 수행하였다. 그 결과 촉각을 동시에 사용한 그룹 1이 그룹 2에 비해 낮은 데시벨의 음성언어를 더 잘 인지한다는 것을 확인할 수 있었다. 이는 촉각 정보를 활용하는 것이 음성언어를 이해하는 데 중요한 요소가 됨을 확인할 수 있다.

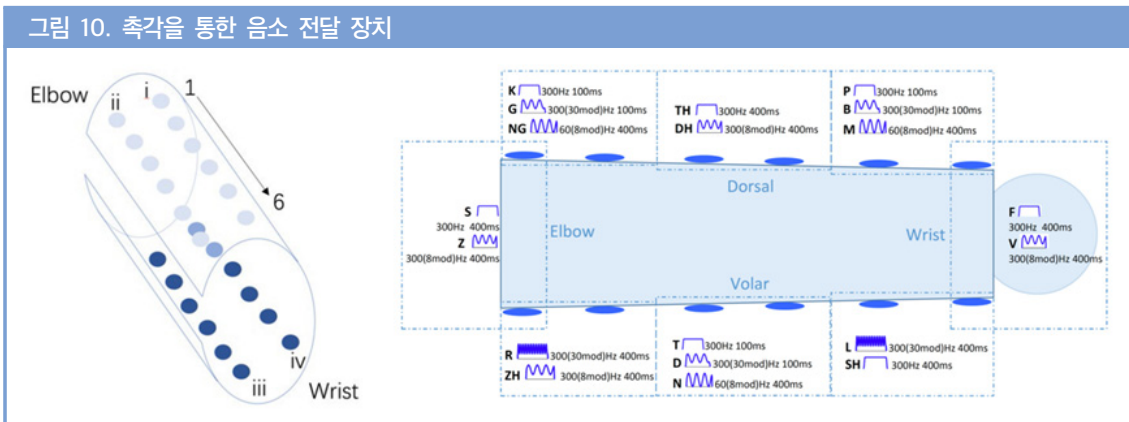
그림 9. (좌) 압전 플레이트 방식의 청각-촉각 대체 기술 및 (우) 사용자 테스트 결과



\* 출처: Katarzyna Ciesla

소리 정보의 음향적 특성을 기반으로 진동 패턴으로 변환하여 전달하는 방법과 달리 언어 정보를 촉각으로 전달하는 방법에 관한 연구도 진행되고 있다. Facebook에서는 자동 음성 인식(automatic speech recognition)을 통해 인식한 단어의 음소 정보를 촉각 패턴으로 전달하여 사용자가 음성언어를 인지 할 수 있는 방법을 제안하였다[37]. 팔뚝에 착용하는 4×6 형태의 촉각 디스플레이를 활용하여 사전에 맵핑 된 각 음소에 대한 촉각 패턴을 사용자에게 전달하였다. 촉각 패턴의 경우 진동 모터의 주파수, 자극 시간 등을 조합하여 활용하였으며, 자극에 대한 공간적인 위치는 해당 음소의 입안에서 발화되는 지점과 연관 지어 직관적으로 설계하였다. 24개의 진동 모터로 구성된 촉각 디스플레이는 음소를 24개의 자음과 15개의 모음으로 구분하여 총 39의 촉각 패턴을 전달할 수 있다. 촉각 디스플레이를 사용자가 최소 한 시간에서 최대 4시간 정도 학습하면 평균적으로 약 86% 정확도로 음소를 인지할 수 있으며 학습을 통해 인식률이 증가하는 것을 확인하였다.

그림 10. 촉각을 통한 음소 전달 장치



\* 출처: Charlotte M. Reed

촉각을 통한 정보 전달은 피부의 면적에 비례해 전달할 수 있는 정보량이 증가하는 특성 때문에, 청각과 같은 정보 전달량을 만족시키면서 편한 착용감과 편의성을 제공하는 것은 어렵다. 하지만 청각장애인이 청각을 촉각으로 대체하는 기술을 실용적으로 활용하기 위해서는 의사소통에 필요한 정보 전달과 함께 사용자의 편의성을 고려해야 한다. 현재 이런 문제점은 청각-촉각 대체 기술이 널리 상용화되는 데 걸림돌이 되고 있다. 이런 문제점을 해결하기 위해 청각 장애의 특성을 이해하고 감각대체를 효율적으로 접근하는 연구들이 필요하다. 예를 들어, 청각 장애의 정도와 주파수에 대한 인지 능력은 개인마다 다르며, 현재 보청기와 인공와우 장치들은 이러한 개별적 특성을 고려하여 소리의 증폭과 해상도를 조절한다. 이와 유사한 방식으로, 촉각 대체 장치도 사용자 개개인에게 최적화된 촉각 변환을 제공함으로써, 제한된 정보량으로도 효과적으로 청각 정보를 전달하는 것이 가능하다.

### III. 감각대체 기반 일상생활 지원 기술

인간 사회는 대체로 시각과 청각에 의존하여 설계되어 있어, 시각 또는 청각장애인들이 일상에서 불편함을 겪는 경우가 많다. 청각장애인은 경보음이나 차량 소음 같은 중요한 소리를 듣지 못해 위험에 처할 수 있으며, 시각장애인은 주변 환경과 사물에 대한 시각적 정보가 부족하여 생활과 보행에 어려움을 겪는다. 특히, 시각장애인은 위치, 모양, 공간 등의 시각적 정보를 청각과 촉각으로 인지한다. 그러나 많은 환경이 이러한 촉각이나 청각 정보를 충분히 제공하지 않아, 접근성이 제한되며, 이로 인해 독립적인 판단과 움직임이 어렵다. 이를 해결하기 위해 많은 감각대체 기술들이 연구되고 있다. 감각대체 기술은 시각장애인의 기존 인지 방식을 유지하면서 인지 가능한 상황과 인지 범위를 넓혀 자연스럽게 일상생활과 사회 참여의 접근성을 개선할 수 있다. 본 보고서는 시각장애인의 사물을 인지와 보행을 지원하는 감각대체 기술에 대해 살펴본다.

#### 1. 사물 인지 지원기술

사물 인지는 시각장애인이 주변 환경을 안전하고 독립적으로 탐색하고 상호작용하는 데 필수적이다. 시각장애인은 주변 사물을 식별하고 이해함으로써 정보에 기반한 결정을 내리고, 장애물을 회피하며, 일상 활동을 더욱 효과적으로 수행할 수 있다. 예를 들어, 의자를 인식함으로써 좌석을 찾고, 문을 식별하여 건물 안팎으로의 길을 찾으며, 차량이나 장애물 인식을 통해 안전하게 보행할 수 있다. 이처럼 다양한 사물을 식별하는 능력은 시각장애인의 이동성, 독립성, 삶의 질을 크게 향상시킨다.

감각대체를 활용한 사물인지 실험은 미국 위스콘신대학교의 바흐이리타(Bach-y-Rita) 교수가 제안한 Tactile Vision Sensory Substitution(TVSS)으로부터 시작되었다[6]. 피험자들은 TVSS를 통해 선, 외곽선, 입체 기하학적 형태 등을 훈련하고 이를 통해 전화기, 의자, 컵 등의 실제 사물을 구별하는 훈련을 했다. 20-40시간 훈련 후 피험자들은 선의 방향과 바둑판의 기울기 등의 다양한 시각적 정보를 식별할 수 있었다. 이 연구는 피부가 시각 수용체인 망막을 대신하는 역할을 할 수 있다는 것을 밝혔다.

그림 11. Wicab사의 BrainPort 장치



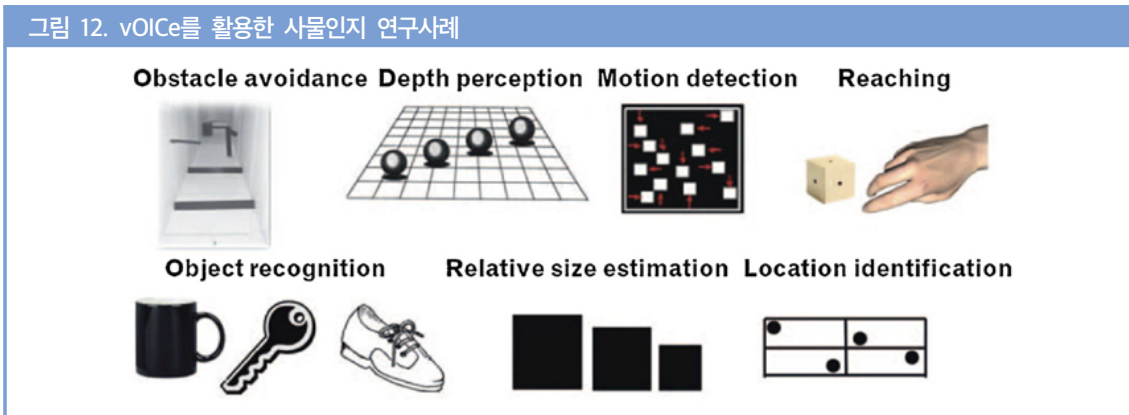
\* 출처: Wicab



TVSS의 다른 형태인 Tongue Display Unit (TDU)를 사용한 연구가 제안되었다[7]. TDU 장치는 7×7 전극 배열을 활용하여, 시각 장애가 없는 참가자들에게 원, 사각형, 삼각형과 같은 기본 도형을 식별하는 훈련을 진행했다. 이 연구에서 각 도형은 네 가지 다른 크기로 제시되었으며, 참가자들은 훈련을 통해 크기와 상관없이 각 도형을 성공적으로 식별할 수 있게 되었다. 최근 미국의 Wicab사는 TDU 장치를 개선한 브레인포트(BrainPort) 장치를 개발하였다. 브레인포트는 카메라로 수집된 영상을 약 400개로 구성된 전기자극 배열로 혀를 자극하여 사물 인지 능력을 개선해 준다.

시각을 촉각으로 대체하는 기술의 문제점은 전달할 수 있는 시각 정보가 체성감각의 해상도에 따라 제한된다는 점이다. 즉, 인간의 피부나 혀는 눈에 비해 공간적 패턴을 세밀하게 구별하지 못한다. 반면 청각은 음악, 언어와 같은 복잡한 패턴을 처리하는 데 있어 촉각보다 유리하다. 이는 청각이 촉각보다 높은 해상도로 시각 정보를 처리할 능력을 가질 수 있음을 시사한다. 시각을 소리로 변환하는 기술로는 서론에서 언급한 vOICe가 있다[27]. 짧은 훈련 기간 후, 선천성 시각장애인들은 vOICe 사용을 통해 사물 인지 능력이 개선됨을 보였다. 이들은 소리를 통해 이미지에서 복잡한 패턴을 인식하고[34], 양말을 구분하는[8] 등의 일상적인 작업을 수행할 수 있게 되었다. 또한, 이 기술을 통해 동작을 식별하고 추적하며[13,35], 깊이 정보를 인지하고[10], 사물의 거리를 추정하는 능력을 개발하였다[40]. 특히, 공간에서 비어 있는 의자를 인식하는 것과 같은, 실제 생활에서 유용한 능력을 키우게 되었다[27]. 이 결과는 시각 정보를 청각 정보로 전환해 시각장애인에게 제공하는 것이 사물 인지에 효과적인 방법임을 시사한다.

그림 12. vOICe를 활용한 사물인지 연구사례



\* 출처: Shachar Maidenbaum

vOICe는 입력되는 영상을 그레이스케일로 변환하여 데이터를 처리하기 때문에 색상 정보의 손실이 발생한다. 또한, vOICe를 통해 생성되는 인위적인 소리는 사용자가 듣기에 거부감이 있어 사용에 불편함이 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 이스라엘 히브리대학 연구진은 EyeMusic을 개발하였다[5]. EyeMusic은 기존의 사운드 스케이프를 기반으로 영상의 색상 정보를 6개의 색상(빨간색, 파란색, 초록색, 노란색, 흰색, 검은색)으로 분류하여 색상별로 다른 악기를 사용하여 소리 정보를 생성한다. 사용자 테스트 결과, 선천적 시각장애인도 훈련을



통해 앞에 놓인 사물의 모양, 크기, 색상까지 구분할 수 있고, 지속적인 훈련을 거치면 방 전체의 풍경을 묘사하거나 구별할 수 있으며, 나아가 글자를 인식하거나 단어를 읽을 수 있다고 발표하였다[39]. 또한, EyeMusic은 생성되는 소리를 5음계에 매핑하여 사용자가 듣기 친숙한 오디오 신호를 생성하고 전달하여 사용 거부감을 감소시켰다.



\* 출처: Sami Abboud

앞선 연구들은 시각 정보를 소리로 전달하기 위해 이미지 정보의 하나의 축을 소리의 시간으로 변환한다. 이는 하나의 장면을 전달하기 위해 일정 시간이 필요하며, 결과적으로 높은 해상도의 이미지를 전달하기 위해서는 더 많은 시간이 소요된다. 이 과정에서 발생하는 지연은 사용자가 사물을 인지하는 데 딜레이를 발생시키며, 특히 변화가 빠른 동적 환경에서의 사용성을 저하시킨다. 이러한 문제를 해결하기 위해, 이미지의 해상도를 효과적으로 압축하면서도 중요한 정보는 상세히 전달할 수 있는 방법에 관한 연구가 필요하다.

## 2. 보행 지원기술

익숙한 환경에서의 보행은 어느 정도 시각 정보에 의존하지 않고도 생활에 필요한 보행을 할 수 있지만, 새로운 환경에서 이동을 하기 위해서는 시각 정보가 절대적으로 유리하다. 실제로 시각장애인의 가장 큰 어려움 중 하나는 안전하고 효율적인 보행과 관련이 있다는 연구 결과가 발표되었다[19]. 미국 의학연구소의 장애 위원회는 보행 관련 보조 기술의 중요성이 지속적으로 증가할 것으로 예측한다[18]. 또한, 기술의 발전이 모바일 장치의 계산 능력과 센서 기능을 향상시키면서, 보행 기능 개발에 새로운 가능성을 열어주고 있다. Csapo[15]의 연구에 따르면, 최근 모바일 플랫폼은 장애인 보조 기술 구현을 위한 가장 일반적인 시스템으로 빠르게 성장하고 있다. 이러한 기술적 변화를 반영하여 보행을 지원하는 전자방향보조장치(EOA), 위치탐지장치(PLD), 전자보행 보조장치(ETA) 관련 많은 기술들이 개발되고 있다[21,22,26,44].

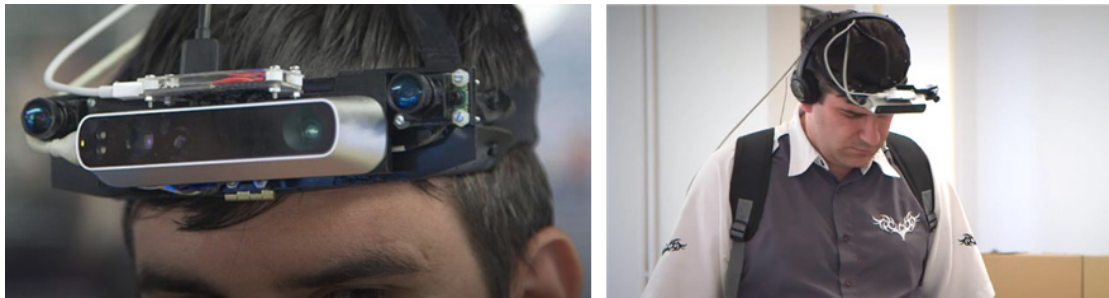
시각 장애가 있다고 해서 반드시 보행의 독립성이 제한되는 것은 아니다. 오히려, 시각 정보에 크게 의존하지 않고 다른 감각들을 활용하여 개인적인 보행 능력을 개발하는 과정을 통해 독립적인 보행 능력을 터득할 수 있다. 예를

들어, 일부 연구에 따르면 시각장애인은 보행에 있어서 반향 측위(echolocation)와 같은 음향 기술을 효율적인 방법으로 사용하는 것을 배울 수 있으며, 이는 소리를 통해 주변 환경의 구조와 물체를 파악하는 데 도움을 준다. 또한, 후각을 이용하여 탐색에 필요한 랜드마크와 단서를 인지하는 경우도 있다. 이처럼 다양한 감각을 활용하는 능력은 시각장애인에게 보다 독립적인 이동성을 제공하며, 이를 지원하기 위한 감각대체 기술이 시각장애인 보행 기술 분야에서 주목받고 있다.

Tyflos 시스템[9]은 2개의 카메라를 사용하여 선택적으로 주변 환경의 이미지를 캡처하고, 이미지에 해당하는 음성 설명(verbal description)으로 변환하여 사용자에게 전달한다. 추가로 복부에 부착된 4x4 형태의 2차원 진동 디스플레이를 이용하여 사용자에게 보행에 관련된 피드백을 전달한다. Schwarze[42]는 자전거 헬멧에 양안 카메라, 관성 측정 장치(IMU), 이어폰을 통합한 시각장애인 보행지원 장치를 제안하였다. 보행 중에 특정 위치에서 물체가 감지되면 이를 바이노럴 렌더링(binaural rendering)으로 방향과 거리에 따라 위치를 측정(localization)하고 음원으로 변환하여 이어폰을 통해 사용자에게 전달한다.

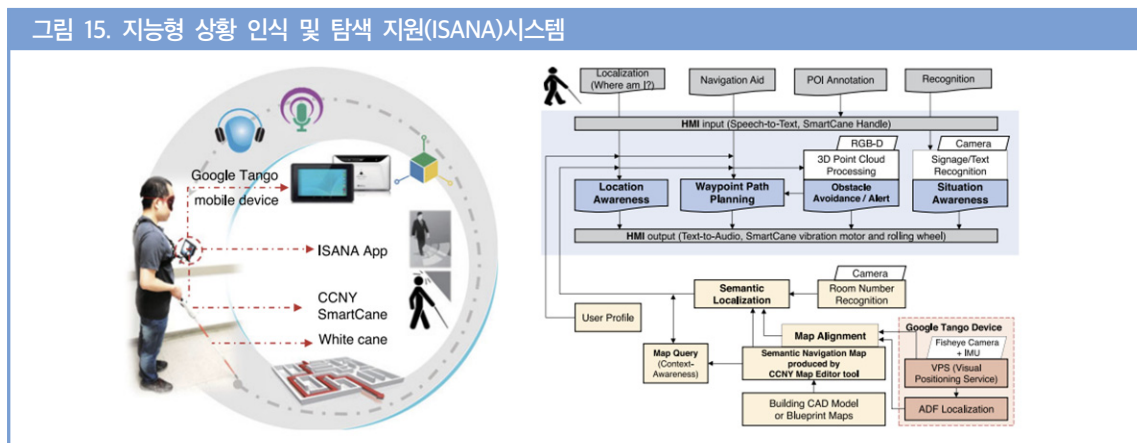
Sound of Vision(SoV)[11]은 IMU 장치와 함께 IR 기반 깊이 센서와 스테레오 비전 시스템을 통합하여 모든 환경(실내 또는 실외), 모든 조명 조건에서 깊이 정보를 청각 및 촉각 정보로 표현해주는 웨어러블 감각대체 장치이다. SoV 시스템은 실내외 다양한 환경 및 조명 조건에서도 신뢰성 있게 동작하기 위해서 실내에서는 Time of Flight(ToF) 카메라, 실외에서는 스테레오 카메라를 사용하며 조명 조건에 따라 색상 정보를 선택적으로 결합하여 깊이맵(depth map)을 생성할 수 있도록 설계되었다. 깊이맵을 수평 방향으로 10개의 영역으로 구분한 후, 각 영역의 깊이 정보에 대한 특성값을 추출하여 음향 신호를 생성한다. 음향 신호 생성에 있어서, 전통적인 방법들과는 다른 접근으로 유체 흐름 소리 모델(fluid flow sound model)이 사용되었다. 이 모델은 소리를 생성함에 있어서 유체의 흐름과 그로 인해 발생하는 소리의 특성을 모방하여 보다 자연스러운 음향 효과를 만들어낸다. 이 과정에서 10개의 영역을 설정하고, 각각을 왼쪽부터 20도씩의 각도로 매핑하여 입체 음향 효과를 구현했다. 이러한 방식으로 생성된 음향 신호는 듣는 이에게 공간적 방향감을 제공하며, 특히 시각장애인 사용자에게 주변 환경에 대한 정확하고 직관적인 이해를 가능하게 해준다.

그림 14. Sound of Vision 시스템



\* 출처: Euronews

지능형 상황 인식 및 탐색 지원(ISANA) 시스템[25]은 Google Tango 태블릿을 모바일 컴퓨팅 플랫폼으로 사용하는 지능형 전자 지팡이이다. 온보드 RGB-D 카메라를 사용하고 칼만 필터 알고리즘을 기반으로 장애물을 감지하는 방식을 사용한다. 이렇게 분석된 정보는 지능형 전자 지팡이를 통해 음성 및 촉각 피드백을 통해서 사용자에게 전달한다. 이와 관련된 다른 연구로는 RGB-D 카메라를 이용해 물체를 감지하고 장면을 이해하기 위한 사이버 물리 시스템을 개발하는 연구[48], 실내 보행 개선을 목표로 한 연구[24] 등이 있다.



\* 출처: Bing Li

최근 자율주행 자동차 및 로봇 분야에서 LiDaR의 사용이 증가하면서 시각장애인 보행 지원 시스템에 LiDaR를 적용한 연구 사례가 발표되고 있다. 대표적으로 LASS(LiDaR Assist Spatial Sensing) 시스템[45]은 LiDaR 센서를 사용하여 장애물을 식별하고 이를 다양한 주파수의 스테레오 사운드로 변환하여 사용자의 보행을 지원한다. 예를 들어, LiDaR 센서와 장애물 사이의 방향이나 거리와 같은 공간 정보를 음향의 상대적인 음높이(pitch)로 변환한다. 이외 시각장애인용 지팡이에 LiDaR 센서를 통합하여 시각장애인의 보행을 지원하는 기술에 관한 연구가 있다[34].

보행 지원기술은 장애인 지원기술 분야 중에서도 특히 주목을 받아 왔으며, 자율주행 자동차와 로봇 기술의 발전에 힘입어 빠르게 진보하고 있다. 그러나 대다수의 연구가 기술적 우수성에 초점을 맞추면서, 사회적 수용성이 낮고 실제 사용자인 시각장애인들에게 외면받는 경우가 종종 발생한다. 사용자들은 자신의 장애를 외부에 드러내는 것을 선호하지 않으며, 이는 보행 지원 기술에도 그대로 적용된다. 이에 대응하기 위해서는 기술적 우수성뿐만 아니라, 보행 지원 기술의 사회적 수용성과 기술이 시각장애인들의 일상생활에 자연스럽게 도입될 수 있도록 사용자 중심의 설계 및 다학제적 접근 방법을 통한 연구가 필요하다.

그림 16. LASS 시스템



\* 출처: Carolyn Ton

## IV. 감각대체 기반 문화예술 지원기술

기술 발전과 각국의 정책적 지원으로 장애인의 의사소통과 일상생활에서의 어려움은 빠른 속도로 개선되고 있다. 생활 속 어려움들이 해결되면서 자연스럽게 장애인들의 문화예술에 대한 관심이 증가하고 있다. 이런 장애인들의 요구에 맞춰 각국에서는 문화예술에 대한 접근성을 개선하는 정책적 시도들이 이루어지고 있다. 1995년 영국에서는 장애인차별금지법(Disability Discrimination Act)에 이어 2010년 영국 평등법(Equalities Act)을 제정하여 장애인들의 문화예술에 대한 접근성을 개선하고, 나아가 장애인 예술인들을 지원하고 있다. 이후 많은 국가들에서 법률 제정을 통해 장애인들의 문화예술에 대한 접근성 개선에 노력을 기울이고 있다. 국내에서는 2015년 한국장애인문화예술원을 설립하고, 2020년 '장애예술인 문화예술 활동 지원에 관한 법률'이 시행되었다. 2022년에는 '제1차 장애예술인 문화예술 활동 기본계획'이 수립되어 발표되었다. 본 보고서에서는 특히 감각 장애 관련하여 시각장애인과 청각장애인의 문화예술에 대한 접근성을 개선하는 기술에 대해 살펴본다.

### 1. 시각장애인을 위한 문화예술 지원기술

시각장애인은 음성과 점자를 통해서 정보를 전달받을 수 있다. 대부분의 박물관, 전시관, 미술관 등에서는 시각장애인을 위한 음성 및 점자 해설 서비스를 제공하고 있다. 하지만 문화예술의 경우 명확한 정보 전달 보다는 감성적 전달이 중요하다. 이런 감성적 전달은 문자로 변환된 정보가 아닌 예술 자체의 아날로그적 정보를 기반으로

감성적 사고를 하는 것이 중요하다. 예를 들어, 미술작품의 경우 동일한 작품을 감상하더라도 보는 사람의 경험, 배경, 지식, 기분, 성향 등에 따라 다른 감정을 느낄 수 있다. 하지만 예술작품을 문자화하면 많은 정보가 함축되고 일반화된 감정을 사용자에게 주입해 진정한 의미에서의 예술 감상이 힘들다.

그림 17. Tactile Images사에서 제작한 모나리자의 촉각 이미지



\* 출처: Tactile Images

이런 한계를 극복하고자 많은 박물관, 전시관, 미술관 등에서는 시각장애인이 직접 작품을 만지며 감상할 수 있는 전시들을 개최하고 있다. 콜롬비아 국립 박물관에서는 루브르의 유명 조각 작품들의 모작을 제작하여 Louvre's Tactile Gallery Collection을 개최하였다. 이 전시에서 시각장애인들은 조각 작품을 실제로 만지며 감상할 수 있었다. 이 외에도 호주의 서호주 박물관, 오스트리아의 The Wedge - Performing Arts Centre, 벨기에의 Brailleliga, 미국의 The Metropolitan Museum of Art, 스페인의 Prado Museum 등에서도 만질 수 있는 예술작품 전시인 Tactile Tour를 실시하고 있다. 이런 전시관들의 요구에 맞춰 기업들과 HCI 연구 분야에서는 감각대체를 이용하여 시각장애인들의 예술 감상 경험을 개선하는 방법을 연구하고 있다.

Tactile Images사에서는 시각장애인들이 미술작품을 감상할 수 있도록 기존 작품에 질감과 입체감을 입힌 촉각 이미지를 인쇄하는 기술을 개발하였다[60]. 촉각 이미지를 통해 시각장애인들은 음성 설명이나 동반자의 해석에 의존하지 않고 독립적으로 예술작품을 감상할 기회를 가질 수 있다. 현재 10개의 테마를 구성하여 국제적으로 이동식 전시회를 열고 있으며, 시각장애인들이 접근할 수 있는 예술작품을 구성하고자 하는 예술가 및 전시관들과 협업하여 촉각으로 느낄 수 있는 작품을 제작하는 데 도움을 주고 있다.

시각장애인이 감성적으로 예술작품을 경험할 수 있도록 다양한 음향을 제공하는 연구도 진행되었다. Eyes-Free Art[36]는 시각장애인이 2D 미술작품과 상호작용할 수 있도록 돕는 근접 음향 인터페이스에 관한 연구다. 일반적으로 시각을 이용하여 작품을 감상할 때 거리에 따라 감상 내용과 수준이 달라진다는 점을 이용하여



사용자와 그림의 거리에 따라 배경음악, 비음성 오디오, 음향효과, 음성 설명의 4가지 방식을 변경하는 인터페이스를 제안한다. 이 연구는 5개의 작품을 이용하여 13명의 시각장애인 대상으로 연구를 수행했고, 사용자들이 얼마나 작품을 즐기는지를 관찰하였다. 나아가 Eyes-Free Art를 이용하여 시각장애인 예술가와 협업해 The Oregon Project를 전시하였다[61]. 이 전시는 3×5 배열의 스피커와 4개의 동작 인식 센서를 이용하여 사용자의 위치에 따라 다른 음향효과를 제공하는 예술 설치물로 24일간의 전시 동안 시각장애인 포함 100명이 넘는 관람객이 찾았다.



\* 출처: Kyle Rector

청각 및 촉각 단일 감각을 이용한 감각대체는 시각에 비해 적은 정보를 전달한다. 따라서, 다중감각을 이용하여 예술작품의 접근성을 개선하려는 연구가 증가하고 있다. 성균관대에서는 다중감각을 이용한 시각장애인의 예술작품 감상에 관한 연구를 진행했다[12]. 이 연구는 청각과 촉각을 활용하여 시각장애인이 예술작품에 대해 자율적으로 정보에 접근하고 감상할 수 있도록 하는 인터랙티브 멀티모달 가이드 프로토타입을 여러 가지 버전으로 제안한다. 촉각으로 작품을 감상할 수 있도록 2D 작품을 2.5D로 변환하고, 사용자가 터치하는 제스처를 인식하여 터치 위치에 따라 다양한 음성 피드백을 받을 수 있다.



\* 출처: Luis Cavazos Quero

시각장애인의 예술작품 접근성 개선 관련 연구들이 꾸준히 증가하고 있다[29]. 이에 따라 국내외 많은 전시관이 이런 기술들을 도입하게 되었고, 시각장애인의 예술작품에 대한 접근성은 개선되고 있다. 하지만 예술작품에 맞는 청각/촉각 정보를 생성하기 위해서는 전문성과 많은 시간이 필요하여 시각장애인들의 수요를 만족시키기에는 한계가 있다. 이를 해결하기 위해 변환 과정을 자동화하는 시도가 진행되고 있으나, 단순한 형태로 복잡한 예술작품들을 표현하는 것은 아직 힘들다[17,20]. 따라서, 이런 문제를 해결하기 위해 인공지능을 활용한 고품질의 자동 변환 기술에 관한 연구가 필요하다. 또, 현재 대부분의 연구가 정적인 작품을 대상으로 하고 있다. 영화, 연극, 뮤지컬과 같은 동적인 시각 문화예술 분야에서도 시각장애인을 위한 감각대체 방법 연구가 필요하다. 마지막으로 청각 및 촉각뿐만 아니라 후각, 온감, 등의 다양한 감각을 이용해 예술작품을 표현하는 시도들을 통해 감상의 경험을 더 풍부하게 해주는 연구들이 시도되어야 한다.

## 2. 청각장애인을 위한 음악 감상 지원기술

장애의 특성상 청각장애인은 다양한 문화예술 분야 중 음악 분야에 대한 접근성이 약하다. 음악은 감정, 웰빙, 영감, 휴식 등과 같은 개인적 이점과 사회적 결속, 문화 체계의 개발과 전달에도 기여한다[38]. 또한, 음악은 인간의 말과 언어 능력 향상에 큰 역할을 한다. 이런 음악의 이점은 청각장애인의 문화생활에 기여할 수 있을 뿐만 아니라 언어 재활에도 큰 도움을 줄 수 있다. 농학교 교육과정 운영지침에 따르면 청능 및 발화 훈련에 있어 국어와 동등한 중요도로 음악을 보고 있으며, 특수학교 및 재활 훈련에서 음악교육은 활발하게 시도되고 있다. 사랑의 달팽이는 청각장애인에게 클라리넷을 가르치고 공연을 올리고 있으며, 파라다이스 복지재단에서는 청각장애인 아동으로 구성된 아이소리양상블 합창단을 운영하고 있다. 아울러, 최근 청각장애인들의 음악에 대한 관심이 높아짐에 따라 방탄소년단은 퍼미션 투 댄스(Permission to Dance)에서 국제 수어를 활용한 안무를 만들었고, 2023년 미국 최대 스포츠 행사인 슈퍼볼과 영국 찰스 3세 국왕 대관식 기념행사에서 음악을 수어로 표현하는 전문 음악 수어 통역사를 통해 행사를 생중계하였다. 하지만 높아지는 관심과 달리 청각장애인에게 음악을 가르치거나, 음악을 수어로 표현할 수 있는 전문가는 턱없이 부족하여 여전히 일상생활에서 청각장애인이 음악을 접하기는 어렵다. 이런 문제를 해결하기 위해 감각대체를 이용해 전문가의 도움 없이 음악을 배우고 즐길 수 있는 기술에 관한 연구가 진행되고 있다.

그림 20. 음악 수어 통역 사례 (좌) 슈퍼볼, (우) 찰스3세 대관식



\* 출처: (좌) New York Post, (우) 조선일보

음악의 시각화 연구는 20세기 초반 예술가들과 과학자들에 의해 시작되었다. 이후, 디지털 시대에 들어서면서 컴퓨터 그래픽과 소프트웨어를 이용한 시각화 연구가 현재도 활발히 이루어지고 있다. 하지만 일반적인 음악 시각화는 소리와 함께 인지할 경우 감성적인 이점을 제공하지만 소리 없이 시각 정보만으로 음악을 파악하기는 힘들다. 즉, 청각장애인을 위한 음악 시각화 연구는 많지 않다.

2019년 한국장애인재단에서 발행한 장애의 재해석 논문지에서는 청각장애인의 음악교육을 위한 시각정보디자인에 관해 다룬다[3]. 본 연구에서는 기호학, 기초지각이론, 게슈탈트 이론, 프레그넌츠 법칙을 이용하여 음악을 소리로 듣지 못하더라도 시각을 통해서 인지할 수 있도록 단순성, 규칙성, 대칭성, 기억의 용이성을 기반으로 시인성 높은 시각요소를 사용하였다. Vitune[15]은 음악을 자동으로 시각화해주는 소프트웨어다. 기존의 시각화 연구와 달리 설계 과정에서부터 청각장애인들을 개입시켜 다양한 시각화 방법론을 시도하고 검증하는 과정으로 시각화 기술을 개발하였다. 이외 시각 효과가 아닌 사람의 표정 변화로 음악의 감정을 전달하는 연구 사례가 있다[47]. 이 연구는 음악에서 감정을 도출하고, 도출한 감정을 이용하여 가상 얼굴의 표정을 변화시켜 음악의 감정을 청각장애인에게 전달하고자 하였다. 미국의 사회적 기업인 CymaSpace는 청각장애인이 음악을 볼 수 있도록 하는 아두이노 기반의 디지털 조명 시스템인 AUDIOLUX를 오픈소스 형태로 제공하고 있다[53]. 이를 통해 관심 있는 누구나 청각장애인을 위한 시각화 시스템을 개발할 수 있도록 장려하고 있다.

그림 21. 청각장애인을 위한 음악 시각화 기술 (좌) Vitune, (우) Audiolux

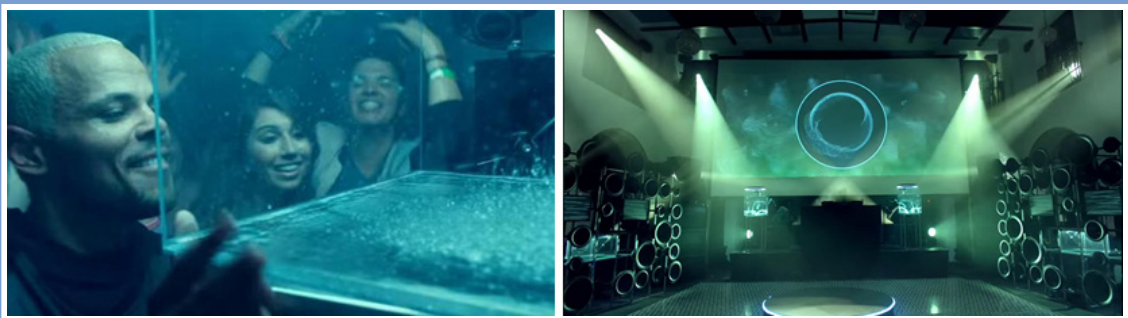


\* 출처: (좌) Jordan Aiko Deja, (우) CymaSpace

청각과 가장 유사한 특징을 가지는 감각은 촉각이다[23,46]. 실제로 많은 청각장애인들이 스피커에서 나오는 물리적 진동을 통해서 음악을 즐기고 있다. 이에 따라 음악의 진동을 증강 시키거나 촉각 패턴으로 변환하여 청각장애인에게 전달하는 방법들이 연구되고 있다.

기업들에서는 촉각을 이용한 음악 감상 시스템을 개발하고 이를 이용하여 청각장애인이 즐길 수 있는 라이브 음악 공연을 개최하고 있다. 7UP사와 EDM 아티스트인 Martin Garrix는 청각장애인을 위한 EDM 공연을 개최하였다 [52]. 공연장 주위에 대형 스피커와 우퍼를 다수 설치하고, 바닥에 음악에 맞춰 진동하는 패드를 배치하여 진동을 통해서 음악을 즐길 수 있게 공연 설비를 구성하였다. 또한, 화려한 레이저 효과와 음악에 맞춰 진동하는 물을 통해서 음악을 볼 수 있게 하였다. Not Impossible Labs에서는 Music: Not Impossible 프로젝트를 통해서 청각장애인이 음악을 즐길 수 있는 기술을 개발하고 음악 공연을 꾸준히 진행하고 있다[57]. 음악 소리로부터 촉각 패턴을 생성하여 지연 없이 사용자에게 전달하는 기술로 손목, 발목 등을 포함하여 신체 8개 영역에 총 24개의 진동 모터를 통하여 음악을 촉각으로 전달한다. 또한, 설정을 통해 관객들의 소리, 연주자의 소리, 악기 소리 등을 선택적으로 사용자에게 실시간으로 전달해준다. 2018년 미국 LA에서 청각장애인 및 음악 애호가를 대상으로 라이브 콘서트를 개최한 이후, 영국, 미국, 브라질, 일본, 호주 전역에서 지속적으로 음악 공연을 진행하고 있다.

그림 22. Martin Garrix가 기획한 청각장애인을 위한 EDM 라이브 공연



\* 출처: Martin Garrix



그림 23. 착용형 촉각 전달 장치 (좌) Music: Not Impossible (우) Soundshirt

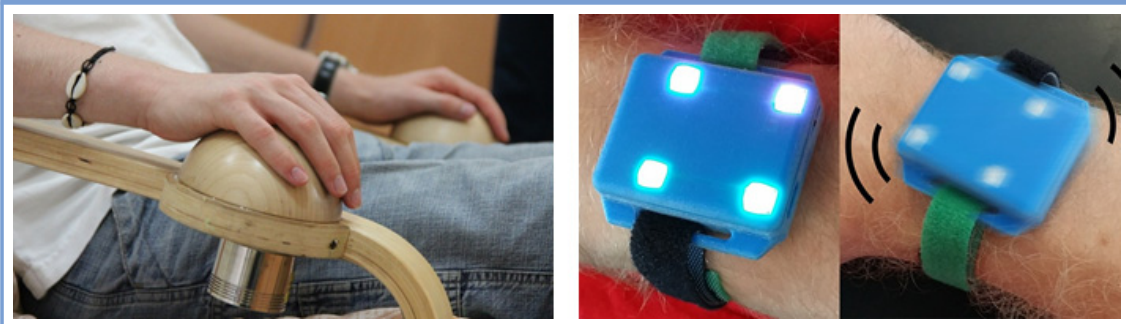


\* 출처: (좌) Not Impossible Labs, (우) CuteCircuit

CuteCircuit사는 다수의 햅틱 액추에이터가 장착된 Soundshirt를 개발하였다[59]. Soundshirt 는 총 28개의 햅틱 액추에이터가 장착되어 있으며, 각 액추에이터마다 악기를 매핑하여 음악을 진동으로 변환하여 전달한다. 예를 들어 트럼펫 소리의 경우 팔에 장착된 액추에이터를 통해 진동으로 전달되고, 드럼은 등에 장착된 액추에이터를 통해서 전달하여 악기의 소리를 촉각으로 전달한다. Soundshirt는 2023년 Lyric opera에서 오페라 음악과 배우의 목소리를 청각장애인에게 촉각으로 전달하는 데 사용되었다.

음악 감상 외에도 음악 교육 및 재활에 활용하기 위해 음악을 촉각으로 대체하는 연구들이 진행되고 있다. Haptic Chair[30]는 청각장애인의 음악 감상 경험을 개선하기 위해 촉각 액추에이터가 설치된 의자를 개발하였다. 청각장애인 43명 대상으로 한 연구에서, 모든 참가자가 Haptic Chair를 통한 음악 경험을 선호하였고, 나아가 Haptic Chair를 이용한 청각 재활 효과도 검증하였다. Music Sensory Substitution (MUSS) Bits [33]는 실시간으로 음악의 리듬 정보를 추출하여 사용자에게 리듬을 촉각으로 전달해주는 장치다. 본 연구에서는 MUSS Bits를 실제 청각장애인들의 음악 수업에 적용하고 효과를 검증하였다. 단기간 실증으로 비록 음악 능력 개선은 확인하지 못했지만, 음악 수업에 참여한 교사와 학생들에게 교육에 효과적이라는 긍정적인 평가를 받았다.

그림 24. (좌) Haptic Chair (우) MUSS Bits 프로토타입

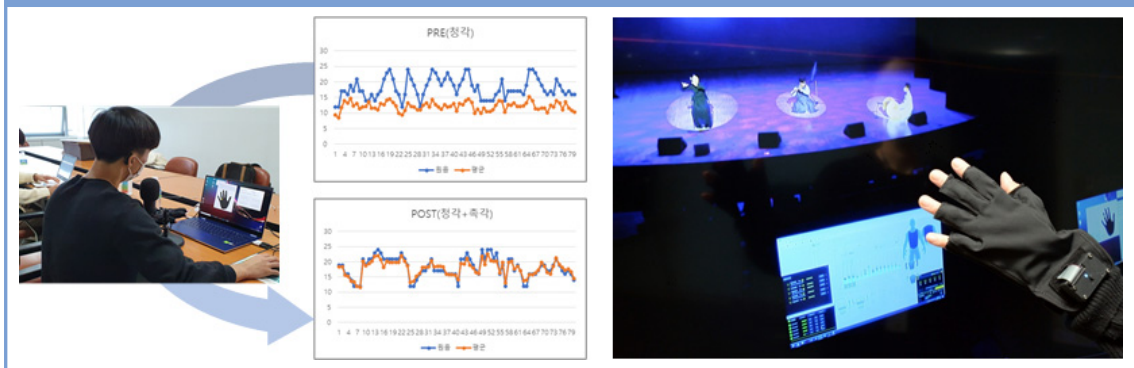


\* 출처: (좌) Suranga Nanayakkara (우) Benjamin Petry



한국전자통신연구원에서는 실시간으로 음악의 음정을 분석하여 음정에 매핑된 촉각 패턴을 장갑 형태의 웨어러블 장치를 통해 사용자에게 전달하는 Tactile Tone System(TTS)을 개발하였다[4]. TTS는 3옥타브에 해당하는 36개의 음계를 실시간으로 변환하여 청각장애인이 음정을 인지할 수 있도록 보조해준다. TTS를 이용해 9명의 청각장애인 대상으로 사용자 테스트를 진행했으며, 10회의 훈련을 통해서 참가자들의 음정 및 멜로디 인지 능력이 개선됨을 검증하였고, 나아가 개선된 음정 인지 능력을 통해 최종적으로 처음 듣는 멜로디를 따라 부르는 시창 능력이 개선됨을 검증했다. 한국전자통신연구원은 비햅틱스와 이음풍류와의 협업을 통해서 TTS를 청각장애인을 위한 국악공연에 적용하였다[51].

그림 25. (좌) TTS를 이용한 사용자 테스트 결과, (우) 청각장애인을 위한 국악 공연



\* 출처: 한국전자통신연구원

청각장애인의 음악 접근성을 개선시키는 시도들은 지속적으로 진행되고 있지만 음악 감상에 관한 시도들이 높은 비중을 차지한다. 하지만 음악을 배우고, 듣고, 나아가 창작하고 표현할 수 있어야 청각장애인의 음악 접근성 문제를 해결할 수 있다. 따라서 감각대체를 이용한 음악 교육 기술 및 방법론, 음악을 창작할 수 있는 플랫폼, 노래 및 악기 연주를 보조하는 기술에 대한 연구가 필요하다.

## V. 결론

감각대체 기술은 인공감각 기관의 발전과 함께, 감각 손실을 겪는 사람들에게 새로운 감각 경험을 제공하는 비침습적 방법으로 성장하고 있다. 이 기술은 장애인들의 의사소통, 일상생활, 그리고 문화예술을 지원하는 다양한 분야에 적용되며, 최신 연구 동향을 통해 그 가능성이 확장되고 있다.

- **감각대체 기반 의사소통 지원기술**은 음성 정보를 다른 감각 형태로 변환해 청각장애인들의 언어 이해와 의사소통 능력을 개선한다.
- **감각대체 기반 일상생활 지원기술**은 시각장애인들이 안전하고 자율적으로 활동할 수 있도록 돕고 그들의 독립성을 증진시킨다.
- **감각대체 기반 문화예술 지원기술**은 장애인이 문화예술 활동에 적극적으로 참여할 수 있도록 하며, 미술작품을 ‘듣는’ 경험이나 음악을 ‘보는’ 경험을 가능하게 하여 감각적 제약을 넘어선 인간 경험의 확장을 도모한다. 기술적 진보에도 불구하고, 감각대체 기술의 보다 넓은 적용과 접근성 향상을 위해 기술 접근성 개선, 사용자 경험 최적화, 법적 및 정책적 지원 강화 등의 도전 과제가 있다. 또한, 윤리적 고려와 개인성 존중이 중요한 디자인적 고려사항이다. 감각대체 기술은 감각 손상이 있는 사람들에게 새로운 정보 전달 방법을 제공함으로써 포괄적이고 포용적인 사회 구현에 기여하고, 인간의 삶의 질을 향상시킬 뿐만 아니라 더 많은 기회를 제공하는 방향으로 발전할 것이다. 이를 위해서는 다학제적 연구와 협업, 지속적인 기술 개발이 필수적이다.

### 저자소개 정치윤 (Chi Yoon Jeong)

#### • 학력

KAIST 전산학 공학박사  
POSTECH 전자전기공학 공학석사  
POSTECH 전자전기공학 공학사

#### • 경력

現) 한국전자통신연구원 책임연구원  
現) 과학기술연합대학원대학교 부교수

### 저자소개 신승용 (Sungyong Shin)

#### • 학력

고려대학교 컴퓨터학 석사  
고려대학교 컴퓨터학 학사

#### • 경력

現) 한국전자통신연구원 선임연구원

## 참고문헌

### 〈국내문헌〉

- [1] 김민선, 이도희, 권혁윤, “양방향 수어 생성 및 번역을 위한 통합 모델”, 한국컴퓨터종합학술대회, 2022, 1486-1488.
- [2] 문화체육관광부, 제2차 한국수어발전기본계획, 2023.
- [3] 최세화, “청각장애인의 음악교육을 위한 시각정보디자인”, 장애의 재해석, 2019, 197-278.
- [4] 한국전자통신연구원, “신체 기능의 이상이나 저하를 극복하기 위한 휴먼 청각 및 근력 증강 원천 기술 개발”, 2022.

### 〈국외문헌〉

- [5] Abboud, Sami, et al. “EyeMusic: Introducing a visual colorful experience for the blind using auditory sensory substitution.” *Restorative neurology and neuroscience* 32.2 (2014): 247-257.
- [6] Bach-y-Rita, Paul, et al. “Vision substitution by tactile image projection.” *Nature* 221.5184 (1969): 963-964.
- [7] Bach-y-Rita, Paul, et al. “Form perception with a 49-point electrotactile stimulus array on the tongue: a technical note.” *Journal of rehabilitation research and development* 35 (1998): 427-430.
- [8] Bologna, Guido, Benot Deville, and Thierry Pun. “Blind navigation along a sinuous path by means of the See ColOr interface.” *International Work-Conference on the Interplay Between Natural and Artificial Computation*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2009.
- [9] Bourbakis, Nikolaos G., and Despina Kavraki. “An intelligent assistant for navigation of visually impaired people.” *Proceedings 2nd annual IEEE international symposium on bioinformatics and bioengineering (BIBE 2001)*. IEEE, 2001.
- [10] Butorova, Anastasia S., et al. “The vOICe Visual-Auditory Sensory Substitution Technology in the Depth Perception Task.” *2022 6th Scientific School Dynamics of Complex Networks and their Applications (DCNA)*. IEEE, 2022.
- [11] Caraiman, Simona, et al. “Computer vision for the visually impaired: the sound of vision system.” *Proceedings of the IEEE international conference on computer vision workshops*. 2017.

## 참고문헌

- [12] Cavazos Quero, Luis, Jorge Iranzo Bartolome, and Jundong Cho. "Accessible visual artworks for blind and visually impaired people: comparing a multimodal approach with tactile graphics." *Electronics* 10.3 (2021): 297.
- [13] Chekhchoukh, Abdesslem, Nicolas Vuillerme, and Nicolas Glade. "Vision substitution and moving objects tracking in 2 and 3 dimensions via vectorial electro-stimulation of the tongue." *ASSISTH'2011*. 2011.
- [14] Ciesla, K., et al. "Effects of training and using an audio-tactile sensory substitution device on speech-in-noise understanding." *Scientific Reports* 12.1 (2022): 3206.
- [15] Csapo, A, L da Lm, et al. "A survey of assistive technologies and applications for blind users on mobile platforms: a review and foundation for research." *Journal on Multimodal User Interfaces* 9 (2015): 275-286.
- [16] Deja, Jordan Aiko, et al. "Vitune: A visualizer tool to allow the deaf and hard of hearing to see music with their eyes." *Extended Abstracts of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. 2020.
- [17] Ferro, Tyler J., and Dianne TV Pawluk. "Automatic image conversion to tactile graphic." *Proceedings of the 15th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility*. 2013.
- [18] Field, M. J., and C. K. Cassel. "Institute of Medicine (US)." *Committee on Disability in America: a new look. The future of disability in America*. Washington (DC): National Academies Pr (2007).
- [19] Giudice, Nicholas A., and Gordon E. Legge. "Blind navigation and the role of technology." *The engineering handbook of smart technology for aging, disability, and independence* (2008): 479-500.
- [20] Gonzalez, Ricardo, Carlos Gonzalez, and John A. Guerra-Gomez. "Tactiled: Towards more and better tactile graphics using machine learning." *Proceedings of the 21st International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility*. 2019.
- [21] Hoang, Van-Nam, et al. "Obstacle detection and warning for visually impaired people based on electrode matrix and mobile Kinect." *2015 2nd National Foundation for Science and Technology Development Conference on Information and Computer Science (NICS)*. IEEE, 2015.
- [22] Huang, Hsieh-Chang, Ching-Tang Hsieh, and Cheng-Hsiang Yeh, "An indoor obstacle detection system using depth information and region growth." *Sensors* 15.10 (2015): 27116-27141.

## 참고문헌

- [23] Karns, Christina M., Mark W. Dow, and Helen J. Neville. "Altered cross-modal processing in the primary auditory cortex of congenitally deaf adults: a visual-somatosensory fMRI study with a double-flash illusion." *Journal of Neuroscience* 32.28 (2012): 9626-9638.
- [24] Lee, Young Hoon, and G" L erard Medioni. "RGB-D camera based wearable navigation system for the visually impaired." *Computer vision and Image understanding* 149 (2016): 3-20.
- [25] Li, Bing, et al. "Vision-based mobile indoor assistive navigation aid for blind people." *IEEE transactions on mobile computing* 18.3 (2018): 702-714.
- [26] Lin, Bor-Shing, Cheng-Che Lee, and Pei-Ying Chiang. "Simple smartphone-based guiding system for visually impaired people." *Sensors* 17.6 (2017): 1371.
- [27] Maidenbaum, Shachar, and Amir Amedi. "Applying plasticity to visual rehabilitation in adulthood." *Plasticity in sensory systems* (2012): 229.
- [28] Meijer, Peter BL. "An experimental system for auditory image representations." *IEEE transactions on biomedical engineering* 39.2 (1992): 112-121.
- [29] Mukhiddinov, Mukhriddin, and Soon-Young Kim. "A systematic literature review on the automatic creation of tactile graphics for the blind and visually impaired." *Processes* 9.10 (2021): 1726.
- [30] Nanayakkara, Suranga, et al. "An enhanced musical experience for the deaf: design and evaluation of a music display and a haptic chair." *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. 2009.
- [31] O'Keeffe, Rosemary, et al. "Long range LiDAR characterisation for obstacle detection for use by the visually impaired and blind." *2018 IEEE 68th Electronic Components and Technology Conference (ECTC)*. IEEE, 2018.
- [32] Perrotta, Michael V., Thorhildur Asgeirsdottir, and David M. Eagleman. "Deciphering sounds through patterns of vibration on the skin." *Neuroscience* 458 (2021): 77-86.
- [33] Petry, Benjamin, et al. "Supporting rhythm activities of deaf children using music-sensory-substitution systems." *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. 2018.
- [34] Poirier, Colline, et al. "Pattern recognition using a device substituting audition for vision in blindfolded sighted subjects." *Neuropsychologia* 45.5 (2007): 1108-1121.
- [35] Ptito, Maurice, et al. "Recruitment of the middle temporal area by tactile motion in congenital blindness." *Neuroreport* 20.6 (2009): 543-547.



## 참고문헌

- [36] Rector, Kyle, et al. "Eyes-free art: Exploring proxemic audio interfaces for blind and low vision art engagement." *Proceedings of the ACM on Interactive, Mobile, Wearable and Ubiquitous Technologies* 1.3 (2017): 1-21.
- [37] Reed, Charlotte M., et al. "A phonemic-based tactile display for speech communication." *IEEE Transactions on Haptics* 12.1 (2018): 2-17.
- [38] Rehfeldt, Ruth Anne, Ian Tyndall, and Jordan Belisle. "Music as a cultural inheritance system: a contextual-behavioral model of symbolism, meaning, and the value of music." *Behavior and Social Issues* 30.1 (2021): 749-773.
- [39] Reich, Lior, and Amir Amedi. "'Visual' parsing can be taught quickly without visual experience during critical periods." *Scientific reports* 5.1 (2015): 15359.
- [40] Renier, Laurent, and Anne G. De Volder. "Vision substitution and depth perception: early blind subjects experience visual perspective through their ears." *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology* 5.3 (2010): 175-183.
- [41] Roentgen, Uta R., et al. "The impact of electronic mobility devices for persons who are visually impaired: A systematic review of effects and effectiveness." *Journal of Visual Impairment & Blindness* 103.11 (2009): 743-753.
- [42] Schwarze, Tobias, et al. "A camera-based mobility aid for visually impaired people." *KI-Kunstliche Intelligenz* 30 (2016): 29-36.
- [43] Sur, Mriganka, and Catherine A. Leamey. "Development and plasticity of cortical areas and networks." *Nature Reviews Neuroscience* 2.4 (2001): 251-262.
- [44] Thaler, Lore, and Melvyn A. Goodale. "Echolocation in humans: an overview." *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science* 7.6 (2016): 382-393.
- [45] Ton, Carolyn, et al. "LIDAR assist spatial sensing for the visually impaired and performance analysis." *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering* 26.9 (2018): 1727-1734.
- [46] Von Bekesy, Georg. "Similarities between hearing and skin sensations." *Psychological review* 66.1 (1959): 1.
- [47] Wang, Yubo, et al. "Music-to-facial expressions: emotion-based music visualization for the hearing impaired." *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence*. Vol. 37. No. 13. 2023.
- [48] Xiao, Jizhong, et al. "An assistive navigation framework for the visually impaired." *IEEE transactions on human-machine systems* 45.5 (2015): 635-640.

## 참고문헌

### 〈기타자료〉

- [49] 2023 장애통계연보, [https://www.koddi.or.kr/data/research01\\\_view.jsp?](https://www.koddi.or.kr/data/research01\_view.jsp?)
- [50] 국내연구진 수어아바타개발, <https://news.kbs.co.kr/news/pc/view/view.do?ncd=5167527>
- [51] 청각장애인도 국악 공연 즐긴다,  
<https://news.kbs.co.kr/news/pc/view/view.do?ncd=5363304>
- [52] A Concert for the Deaf, <https://www.youtube.com/watch?v=vGF1KlaGa1E>
- [53] Audiolux, <https://www.cymaspace.org/audiolux/>
- [54] Blindness and Vision Impairment, <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/blindness-and-visual-impairment>
- [55] Deafness and Hearing Loss, <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/deafness-and-hearing-loss>
- [56] Multics Portfolio, <https://www.multics.kr/portfolio>
- [57] Music: Not Impossible, <https://www.notimpossible.com/projects>
- [58] Sensory Substitution, <https://eagleman.com/science/sensory-substitution/>
- [59] Soundshirt, <https://cutecircuit.com/soundshirt/>
- [60] Tactile Images, <https://www.tactileimages.com/>
- [61] The Oregon Project, <https://m.facebook.com/bbcscotlandnews/videos/1530515023639377/>



**융합연구리뷰**  
Convergence Research Review

2024 April Vol. 10  
**No. 04**





# 3

---

## 국가 R&D 현황 분석

### 3. 국가 R&D 현황 분석

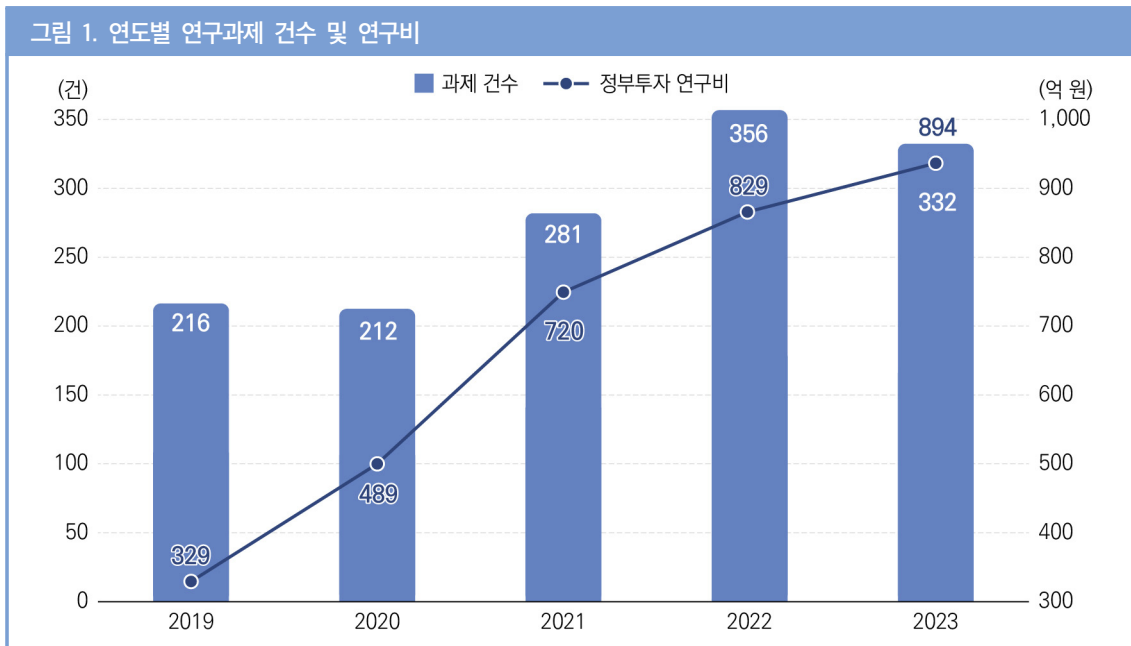
본 호에서 다룬 2개의 주제에 대한 각각의 국가 R&D 현황을 살펴보기 위해 국가연구개발 과제 분석을 수행하였다. 정부투자연구비를 기준으로 연구비 규모별 과제수, 연구수행주체, 연구지원부처, 연구개발단계, 주집행지역, 연구분야(국가과학기술표준분류, 미래유망신기술분류) 측면에서의 분석 결과를 제시한다.

#### I. 인공지능 기반 스마트팜 기술 및 연구 동향

■ **(개요)** 최근 5년간('19~'23) 총 1,397건의 과제에 대해 3,260억 원의 연구비가 투자됨

※ 국가과학기술지식정보서비스(NTIS) 플랫폼 기반 분석 수행 : 핵심 키워드인 '스마트팜', '농업'에 '데이터' 또는 '인공지능', '로봇' 중 하나를 포함하는 결과로 검색

그림 1. 연도별 연구과제 건수 및 연구비





- **(연구비 규모별 과제 수)** 연구비가 1억 원 이상 5억 원 미만인 과제가 57.12%(798건)로 가장 큰 비중을 차지하고, 1억 원 미만인 과제가 34.79%(486건), 5억 원 이상 과제는 8.09%(113건)의 비중을 차지함

그림 2. 연구비 규모별 과제 수 및 비중

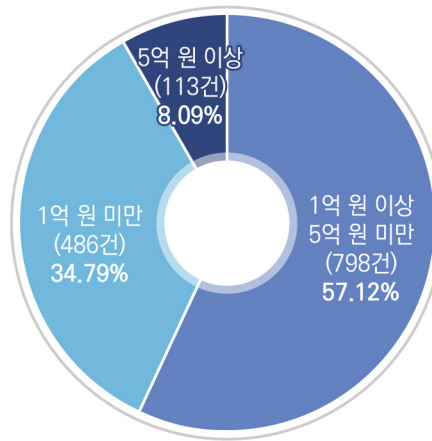
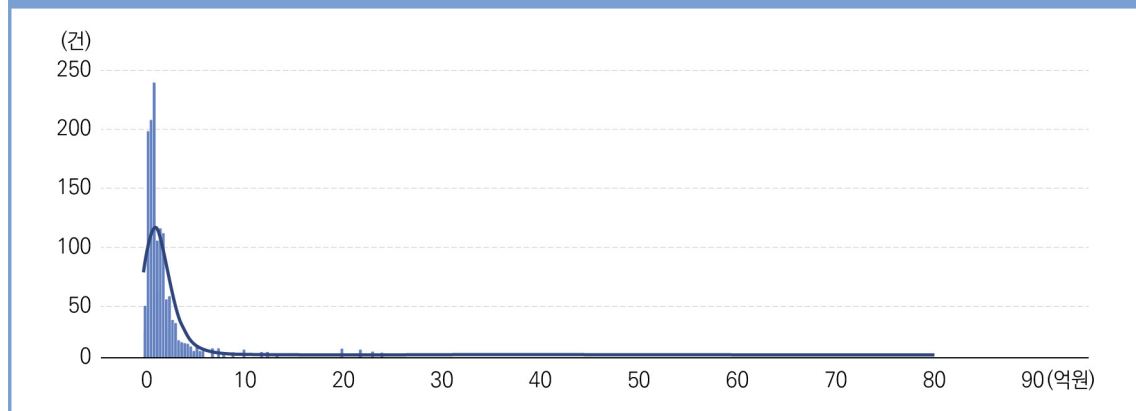
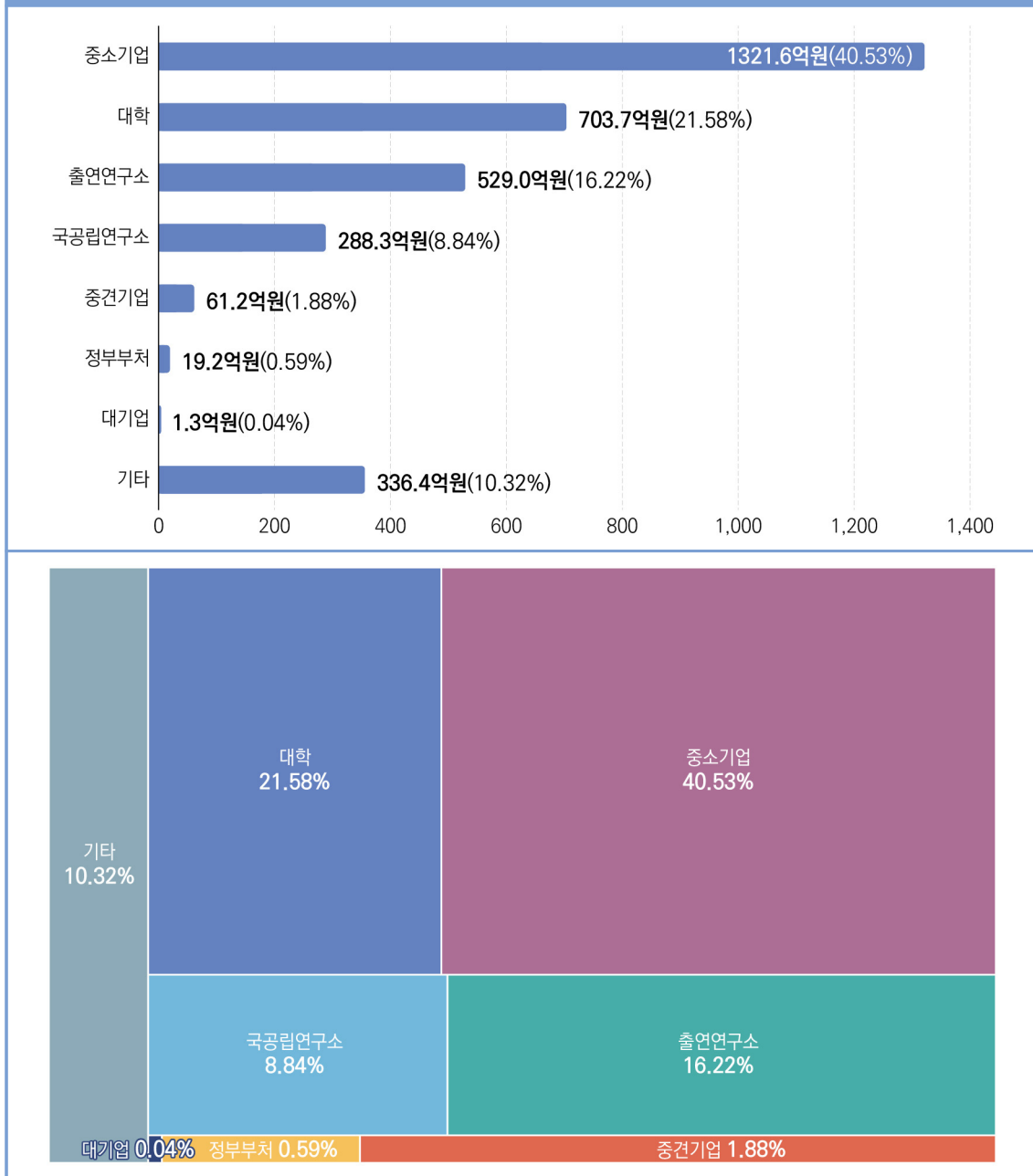


그림 3. 과제별 연구비 분포도



- **(연구수행주체)** 인공지능 기반 스마트팜 기술 및 연구 동향 관련 총 연구비 중 중소기업이 지원받는 연구비의 비중이 40.53%(1,321.6억 원)로 가장 크고, 대학이 지원받는 연구비의 비중이 21.58%(703.7억 원)로 그 뒤를 이음

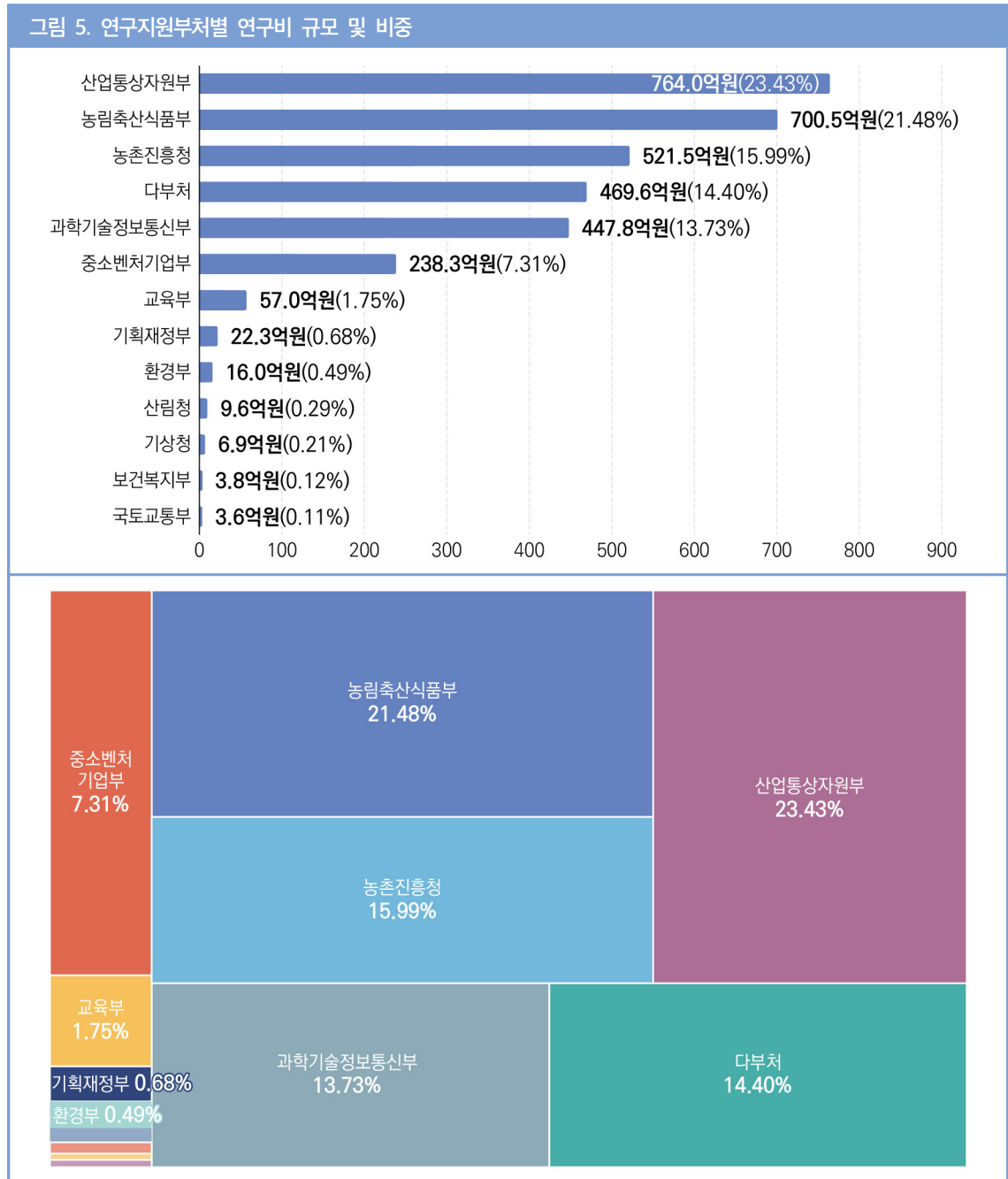
그림 4. 연구수행주체별 연구비 규모 및 비중



- **(연구지원부처)** 총 연구비 중 산업통상자원부가 지원하는 연구비의 비중이 23.43%(764억 원)로 가장 크고, 농림축산식품부(21.48%, 700.5억 원), 농촌진흥청(15.99%, 521.5억 원) 순으로 비중이 크게 나타남

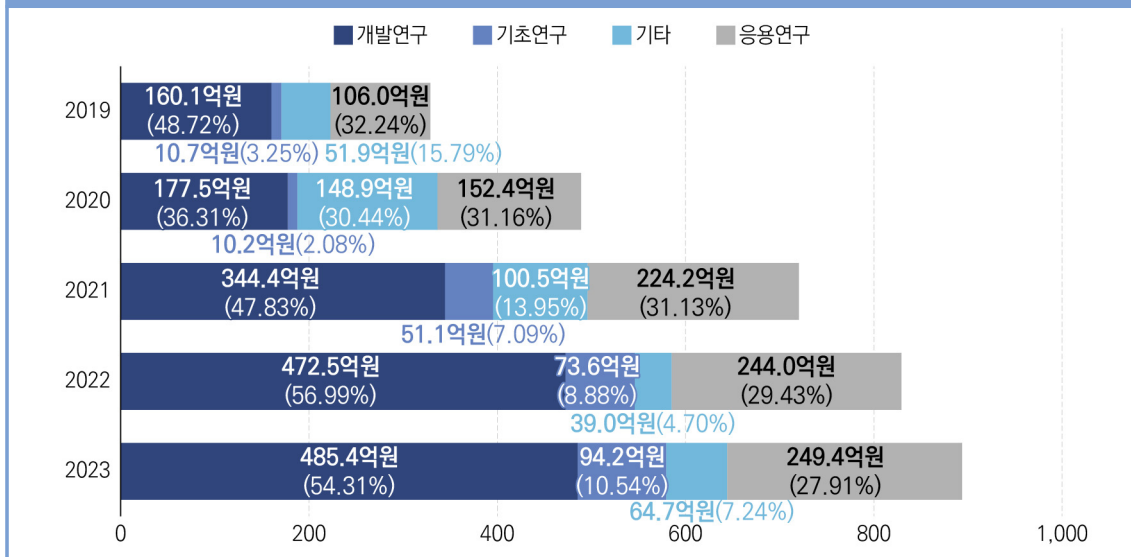
※ 다부처 지원 규모는 469.6억 원, 비중은 14.4%로 확인됨

그림 5. 연구지원부처별 연구비 규모 및 비중



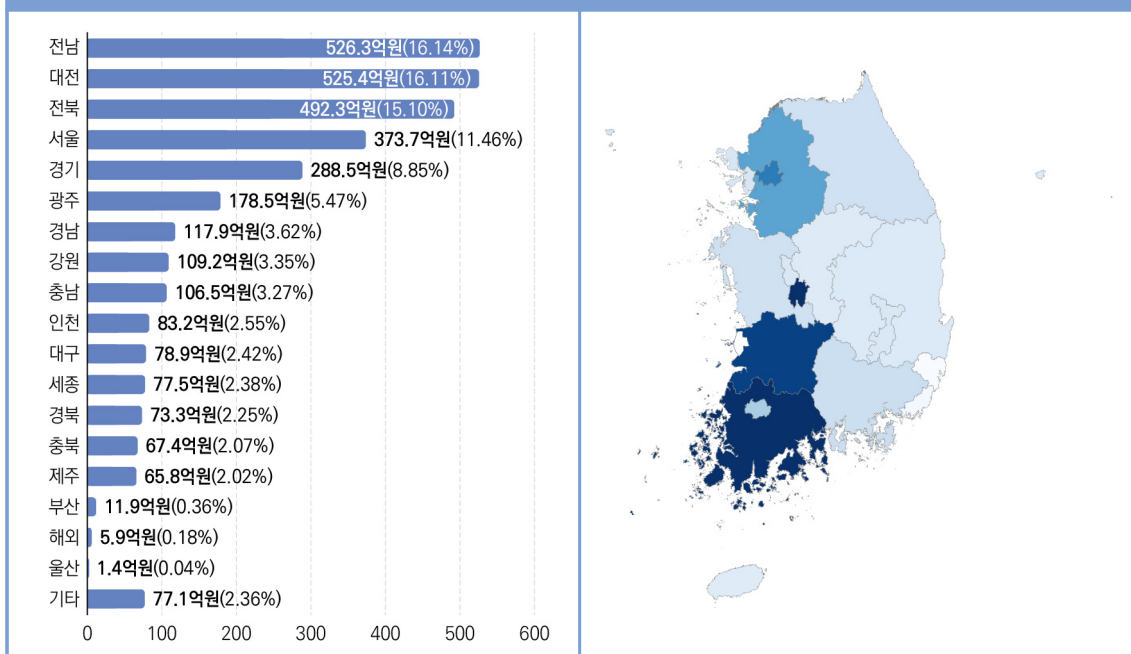
- **(연구개발단계)** 연구개발단계별 연구비 규모 및 비중을 연도별로 분류했을 때, 모든 연도에서 개발연구의 비중이 가장 높고, 응용연구가 그 뒤를 이으며, 2021년부터 기초연구의 비중이 크게 늘어남  
 ※ 기초연구(새로운 과학지식 획득) → 응용연구(신규 용도 개척) → 개발연구(신기술 확립)

그림 6. 연도별 연구개발단계별 연구비 규모 및 비중



- **(주집행지역)** 전남이 전체 연구비의 16.14%(526.3억 원)를 지원받아 가장 높고, 대전(16.11%, 525.4억 원), 전북(15.1%, 492.3억 원), 서울(11.46%, 373.7억 원), 경기(8.85%, 288.5억 원) 순으로 높은 연구비를 지원받음

그림 7. 연구비 주집행지역별 연구비 규모 및 비중



- **(연구분야)** 인공지능 기반 스마트팜 기술 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 60.97%(1,988억 원)을 차지하며, 이어서 '정보/통신'(11.07%, 361억 원), '에너지/자원'(9.41%, 306.9억 원) 분야의 연구비 비중이 큰 것으로 나타남
    - ※ 연구책임자가 최대 3개까지 지정한 국가과학기술표준분류의 대분류에 대한 각 가중치를 고려한 결과임
  - **(융합과제 분류)** 융합과제에 해당하는 비중은 33.98%(2개 분야 선택 비중: 23.9%, 3개 분야 선택 비중: 10.07%)이며, 총 1,108억 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 42.06%(1,371.5억 원)로 가장 크고, 정보통신기술(IT) 분야의 연구비 비중이 26%(847.7억 원)로 뒤를 이음

그림 8. 국가과학기술표준분류별 연구비 규모 및 비중

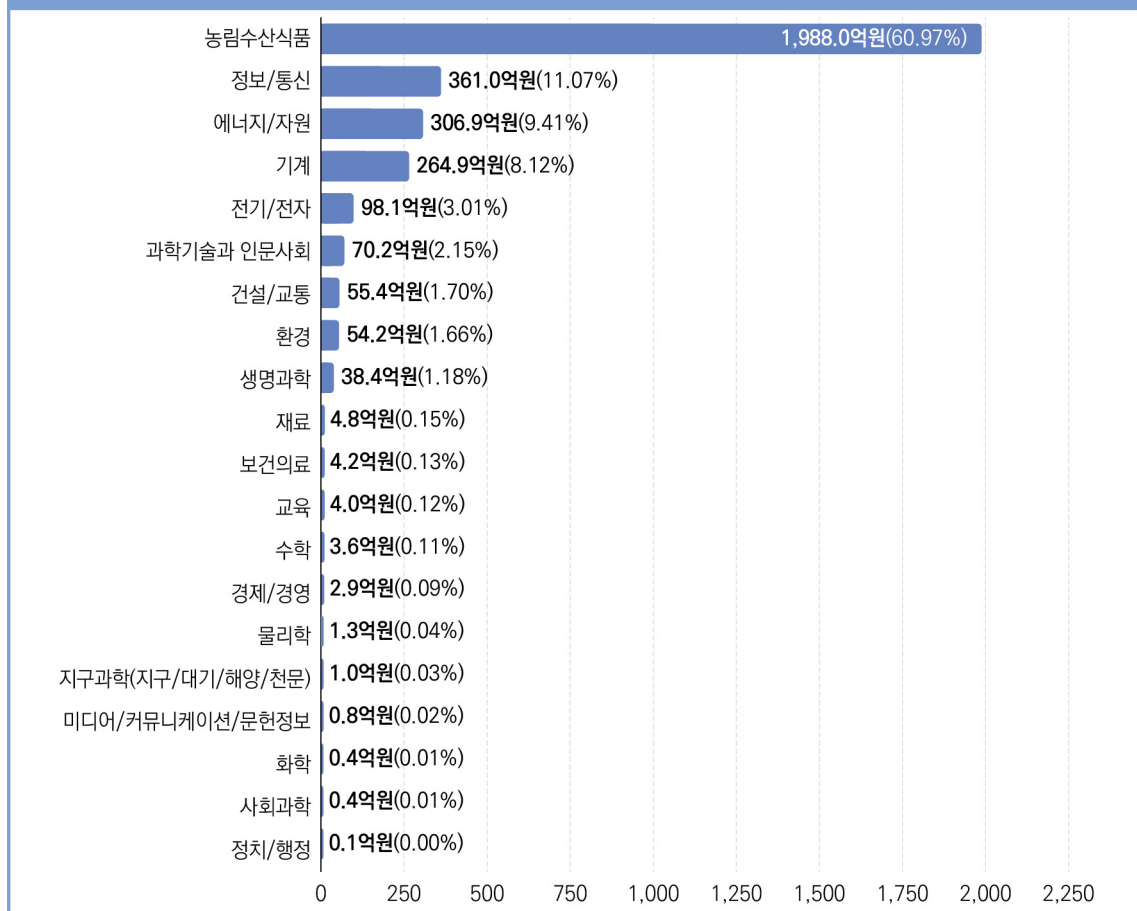




그림 9. 융합 R&D 과제 연구비 규모 및 비중

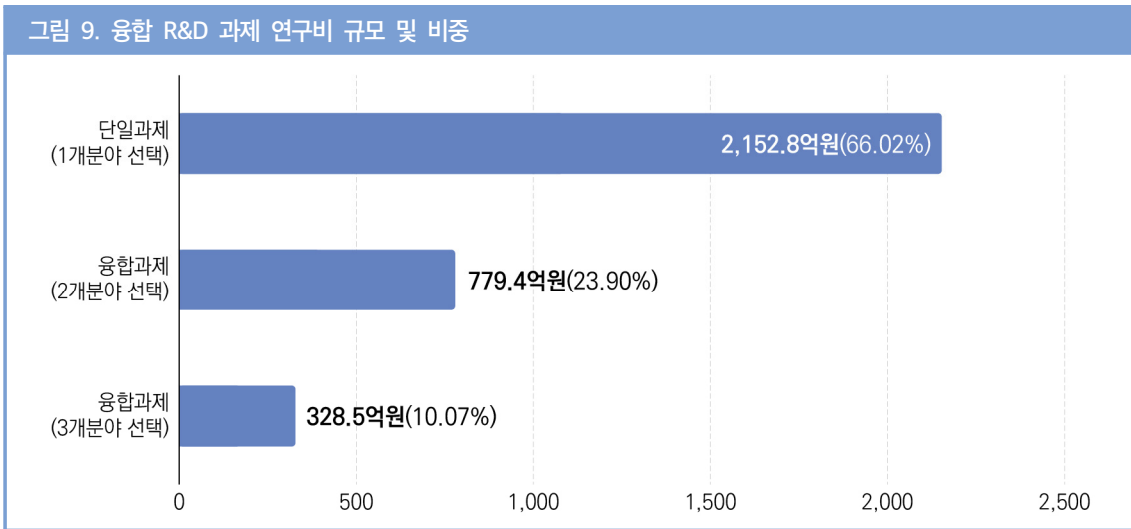
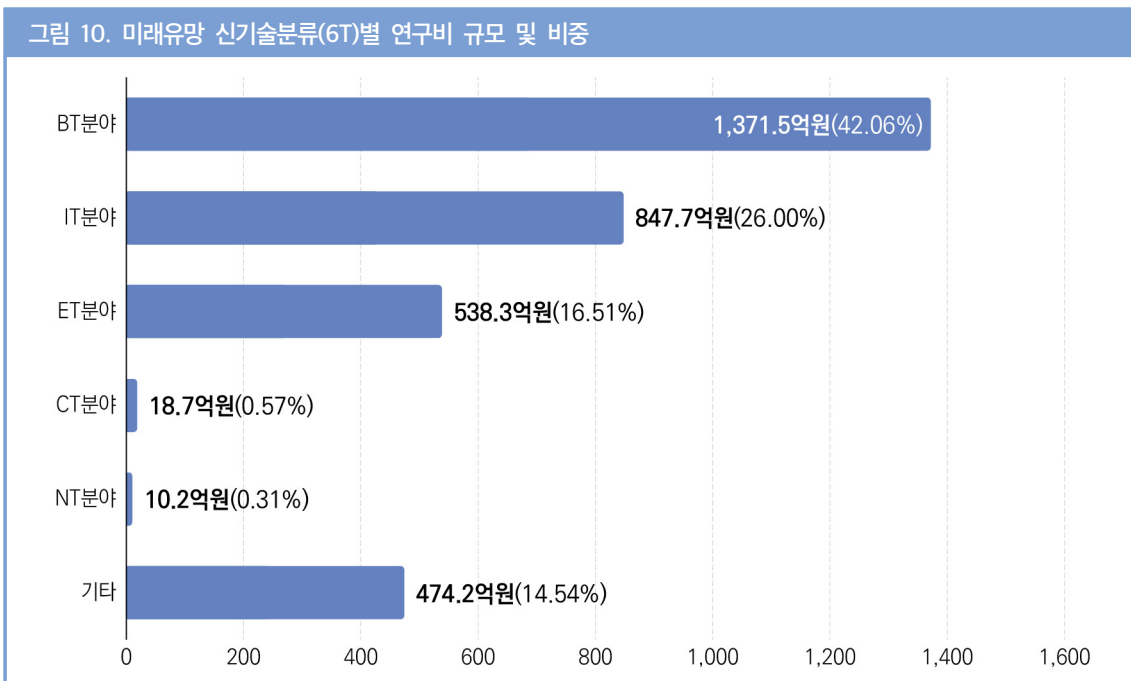


그림 10. 미래유망 신기술분류(6T)별 연구비 규모 및 비중

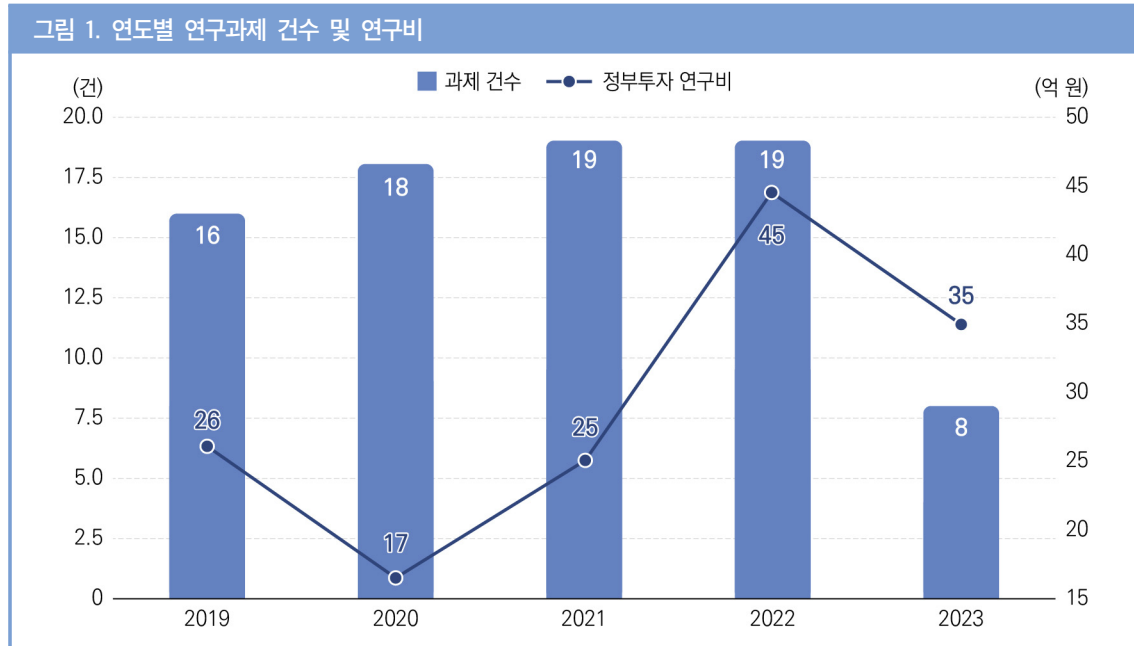




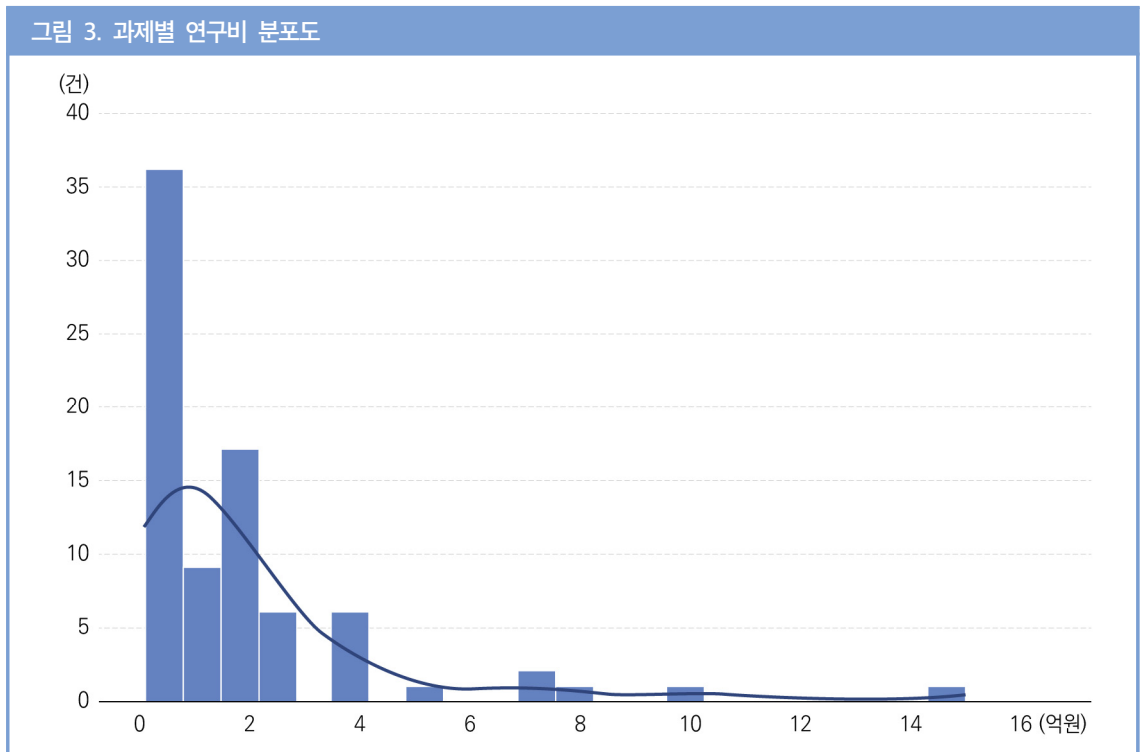
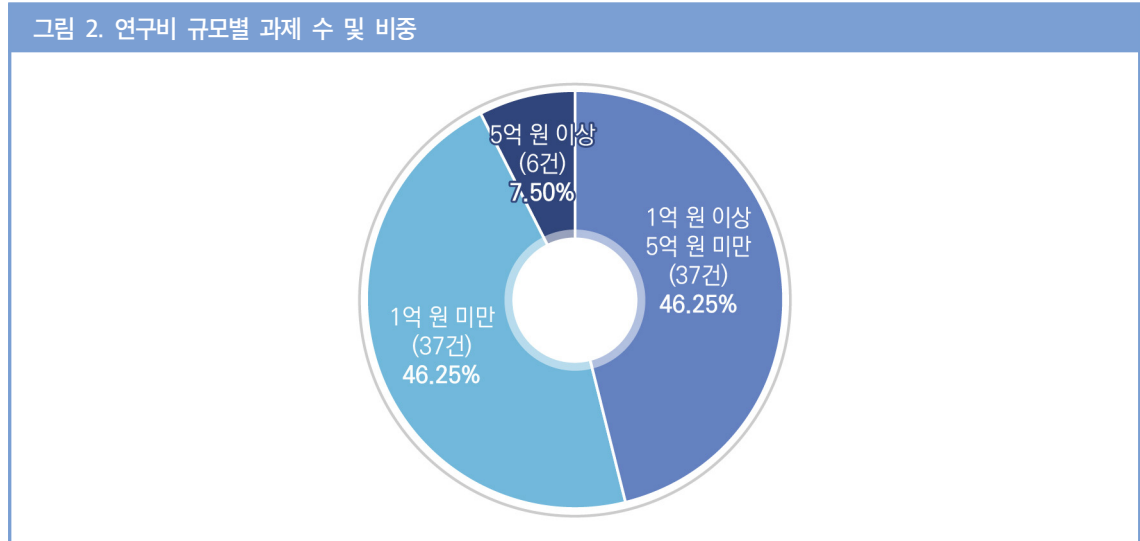
## II. 감각대체를 통한 포용적 기술 개발

■ (개요) 최근 5년간('19~'23) 총 80건의 과제에 대해 148억 원의 연구비가 투자됨

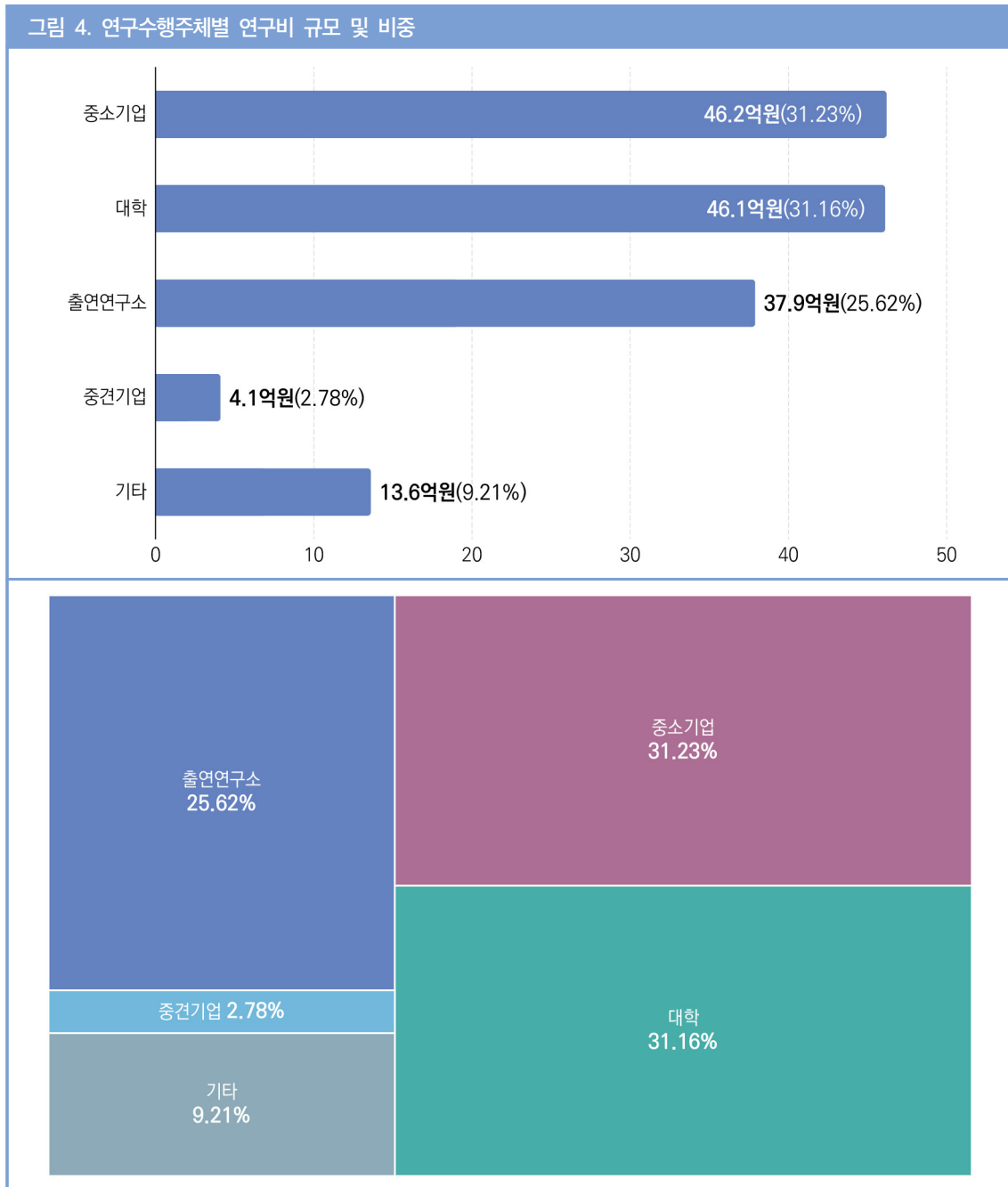
※ 국가과학기술지식정보서비스(NTIS) 플랫폼 기반 분석 수행 : 핵심 키워드인 '감각 대체'와 '보조 기술'을 포함하는 결과로 검색



- **(연구비 규모별 과제 수)** 연구비가 1억 원 이상 5억 원 미만인 과제와 1억 원 미만인 과제가 각각 46.25%(37건)로 동일한 비중을 차지하며, 5억 원 이상인 과제는 7.5%(6건)로 나타남



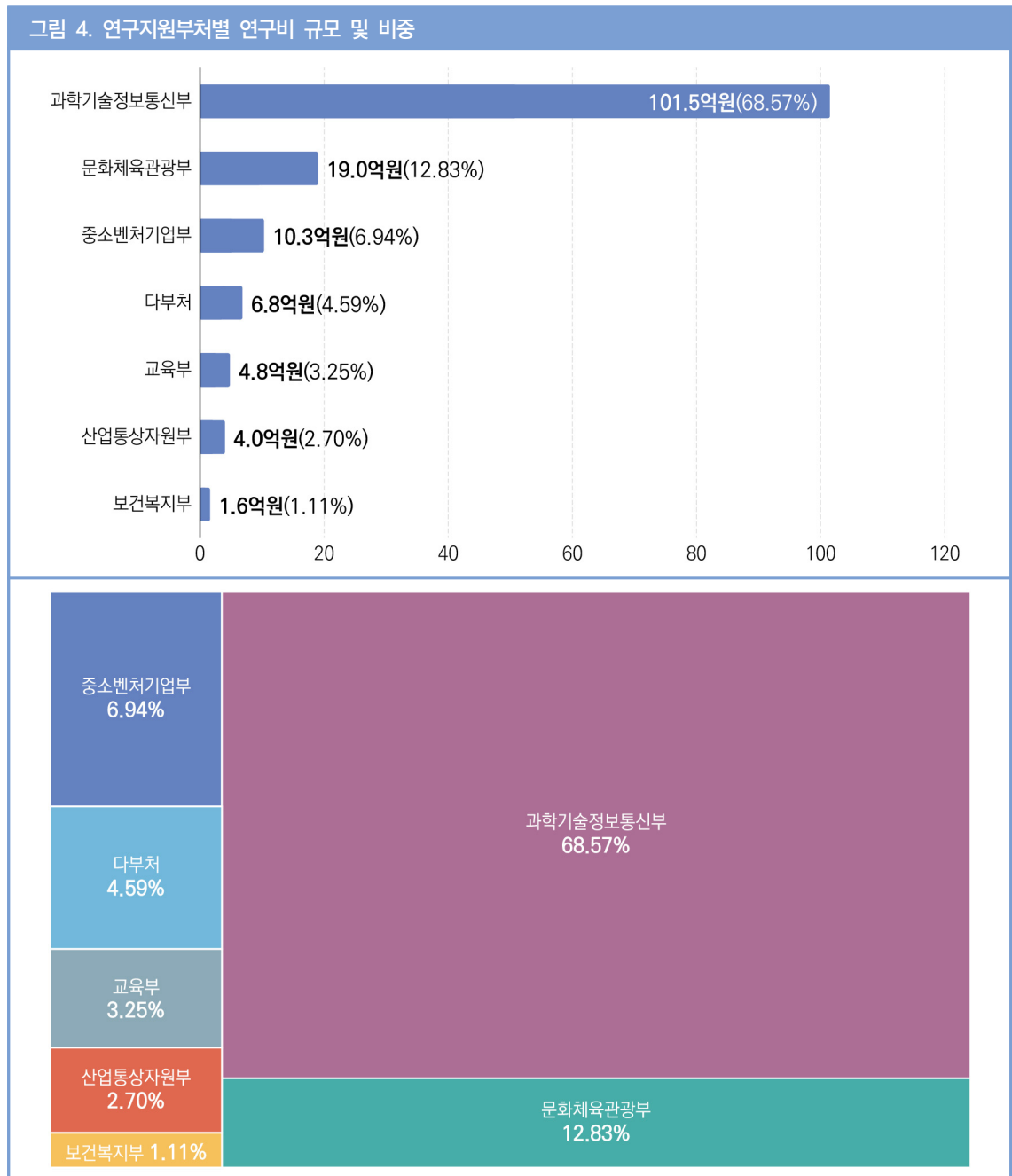
- **(연구수행주체)** 각각대체를 통한 포용적 기술 개발 관련 총 연구비 중 중소기업이 지원을 받는 연구비의 비중이 31.23%(46.2억 원), 대학이 31.16%(46.1억 원), 출연연구소가 25.62%(37.9억 원)로 대다수를 차지하고 있음





- **(연구지원부처)** 총 연구비 중 과학기술정보통신부가 지원하는 연구비의 비중이 68.57%(101.5억 원)로 가장 크고, 문화체육관광부가 지원하는 연구비의 비중이 12.83%(19억 원), 중소벤처기업부가 6.94%(10.3억 원)로 그 뒤를 이음

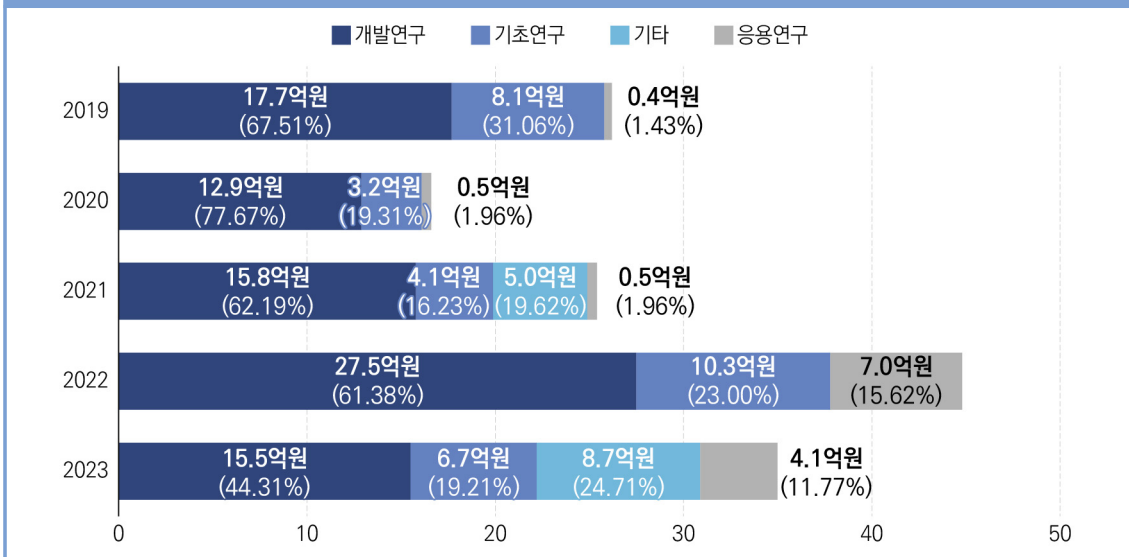
※ 다부처 지원 규모는 6.8억 원, 비중은 4.59%로 확인됨



■ **(연구개발단계)** 연구개발단계별 연구비 규모 및 비중을 연도별로 분류했을 때, 모든 연도에서 개발연구의 비중이 가장 높고, 2022년부터 응용연구의 비중이 늘어남

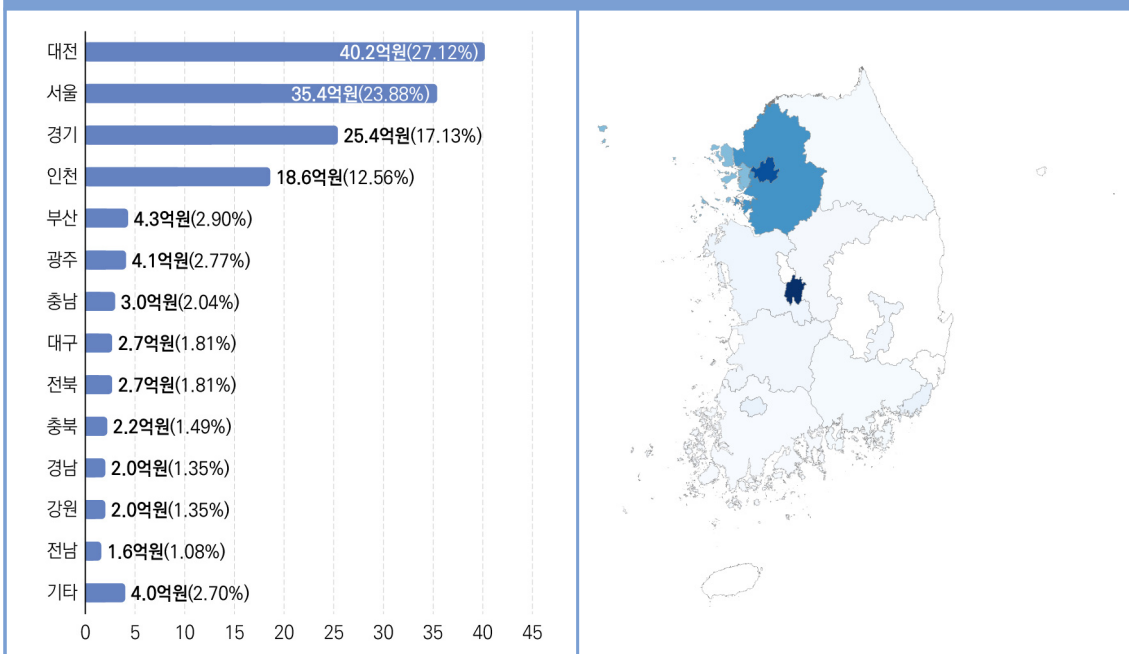
※ 기초연구(새로운 과학지식 획득) → 응용연구(신규 용도 개척) → 개발연구(신기술 확립)

그림 6. 연도별 연구개발단계별 연구비 규모 및 비중



■ **(주집행지역)** 대전이 전체 연구비의 27.12%(40.2억 원)를 지원받아 가장 높고, 서울(23.88%, 35.4억 원), 경기(17.13%, 25.4억 원), 인천(12.56%, 18.6억 원) 순으로 수도권에서 많은 연구비를 지원받은 것으로 나타남

그림 7. 연구비 주집행지역별 연구비 규모 및 비중



- **(연구분야)** 감각대체를 통한 포용적 기술 개발 관련 연구비는 국가과학기술표준분류 기준으로 ‘보건의료’ 분야, 그리고 미래유망신기술분류(6T) 기준에서는 ‘생명공학기술(BT)’ 분야 위주로 투자되고 있음
  - **(국가과학기술표준분류 분석 결과)** ‘보건의료’ 분야의 연구비 비중이 64.72%(95.8억 원)을 차지하며, 이어서 ‘정보/통신’(11.81%, 17.5억 원) 분야의 연구비 비중이 큰 것으로 나타남
    - ※ 연구책임자가 최대 3개까지 지정한 국가과학기술표준분류의 대분류에 대한 각 가중치를 고려한 결과임
  - **(융합과제 분류)** 융합과제에 해당하는 비중은 43.91%(2개 분야 선택 비중: 24.36%, 3개 분야 선택 비중: 19.55%)이며, 총 65억 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 56.13%(83.1억 원)로 가장 큰 것으로 확인되었으며, 다음으로 문화콘텐츠기술(CT)의 연구비 비중(28.45%, 42.1억 원)이 큰 것으로 확인됨

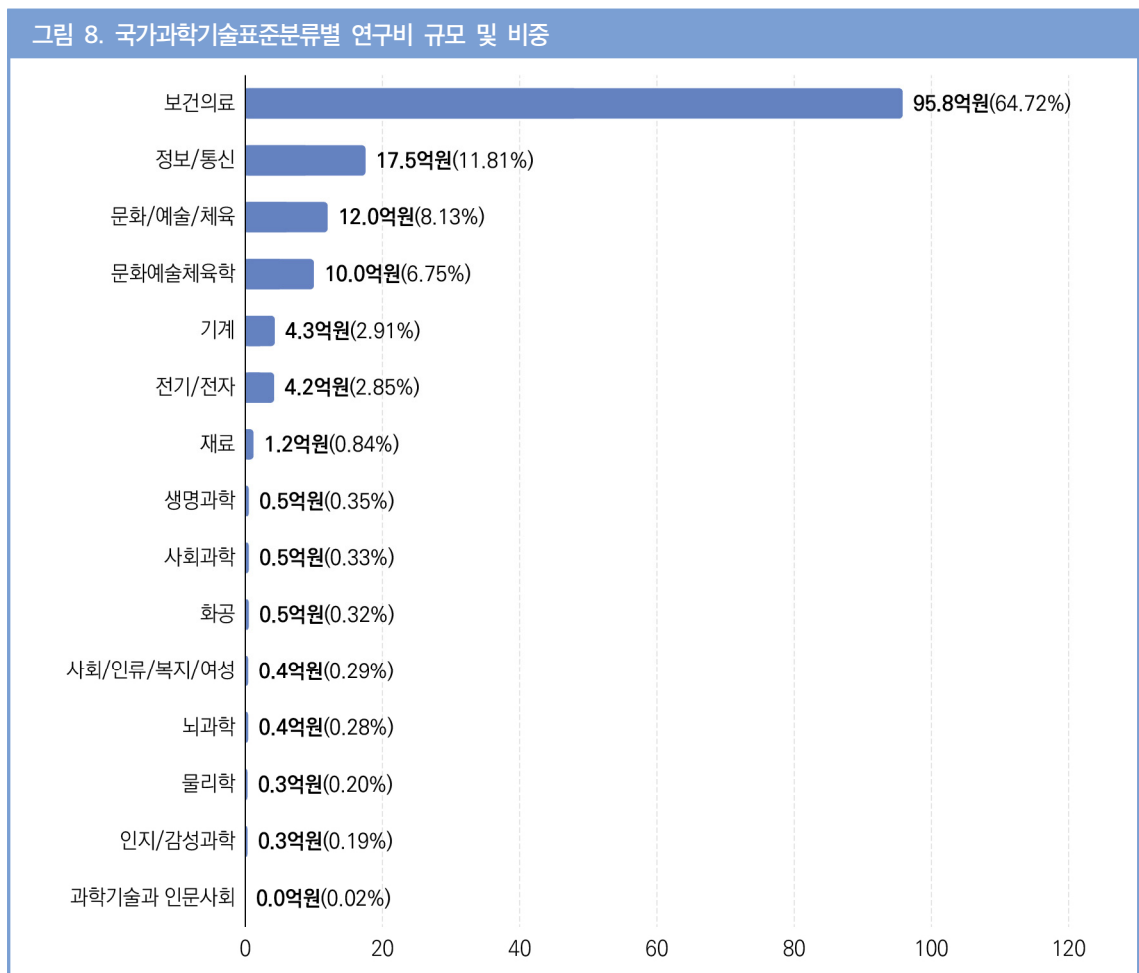


그림 9. 융합 R&D 과제 연구비 규모 및 비중

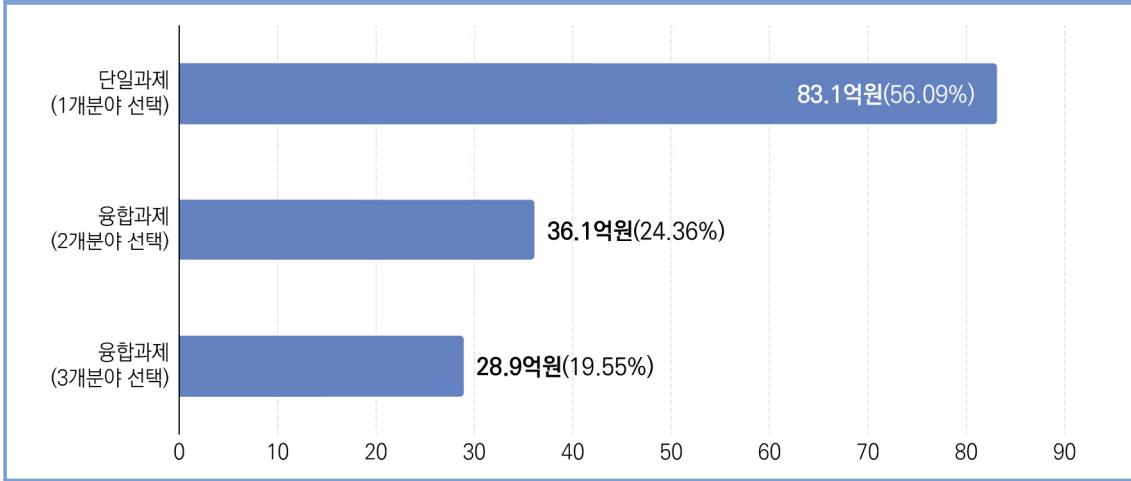
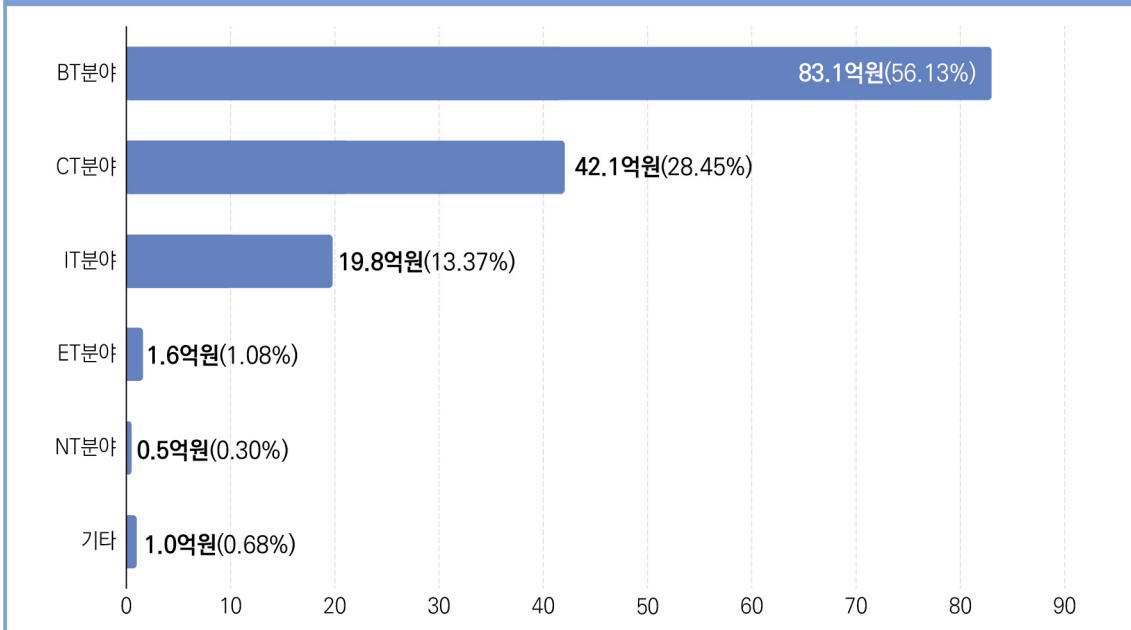


그림 10. 미래유망 신기술분류(6T)별 연구비 규모 및 비중



■ 연구비 지원규모 상위 3개 과제

※ 계속과제의 경우 최신년도를 기준으로 작성

기준년도	과제명 (사업명, 부처명)	연구책임자	정부투자연구비
2023	청각장애인을 위한 다감각 음악 실감 시스템 및 교육 솔루션 개발 (ICT융합디지털포용기술개발, 과학기술정보통신부)	신승용 (한국전자통신연구원)	15.0억 원
2022	자폐증 환자의 의사소통 능력 향상을 위한 디지털치료제 개발 (디지털치료제 활성화를 위한 XR 트윈 핵심기술개발, 과학기술정보통신부)	윤현수 (주)플레이투큐어)	10.0억 원
2019	다체널, 고선택비 생체친화형 장기 이식용 양방향 신경전극 개발 (STEAM연구(R&D), 과학기술정보통신부)	김진석 (한국과학기술연구원)	7.8억 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