

## 스마트팜 구현을 위한 연구동향 및 ICT 핵심기술 분석

여욱현 · 이인복\* · 권경석 · 하태환 · 박세준 · 김락우 · 이상연

서울대학교 지역시스템공학과

### Analysis of Research Trend and Core Technologies Based on ICT to Materialize Smart-farm

Uk-hyeon Yeo, In-bok Lee\*, Kyeong-seok Kwon, Taehwan Ha, Se-jun Park, Rack-woo Kim, and Sang-yeon Lee

Department of Rural Systems Engineering, Seoul National University, Seoul 151-921, Korea

**Abstract.** Korean government has planned to increase the productivity of horticultural crops and to expand supply smart greenhouse for energy saving by modernization of horticultural facilities based on ICT in policy. However, the diversity and linkages of monitoring and control are significantly insufficient in the agricultural sector in the current situation. Therefore, development of a service system with smart-farm based on the internet of things(IoT) for intelligent systemization of all the process of agricultural production through remote control using complex algorithm for diverse monitoring and control is required. In this study, domestic and international research trend related to ICT-based horticultural facilities was briefly introduced and limits were analyzed in the domestic application of the advanced technology. Finally, future core technologies feasible to graft in agricultural field were reviewed.

**Additional key words :** converging technology, greenhouse, monitoring, remote control, service platform

### 서 론

2013년 기준 농림업 총생산액 가운데 우리나라의 시설 원예는 약 12%의 비중을 차지하고 있다. 이러한 산업 비중에 비하여 전체 시설원예 온실 중 현대화된 온실의 비중은 10,500ha 정도로 약 20%에 불과하다. 또한 시설의 대형화를 통하여 산업의 생산성을 높여 왔으나 고령화에 따른 노동력 감소와 농한기 등의 문제는 농산업 성장의 저해요인으로서 작용하고 있다. 따라서 농업선진국으로 알려진 네덜란드와 재배작물의 생산성을 비교하였을 때, Table 1에 나타난 것과 같이 평균적으로 60%에 미치지 못한다(MAFRA, 2014). 따라서 농촌 노동력의 지속적 감소, 농업 생산성 저하 등의 문제를 해결하기 위한 방안으로 전통적인 농업 방식을 탈피한 새로운 패러다임의 전환이 필요하다(KISEP, 2015)

주요 농업선진국 가운데 네덜란드는 척박한 토양과 부족한 농업 노동력 등을 극복하기 위하여 자동화 온실 등의 첨단 농업첨단 농업기술을 개발하였으며, 이스라엘

은 제한된 경지면적과 농업용수의 부족 등을 극복하기 위하여 시설채소, 화훼, 과수 등에 첨단 IT 기술을 개발 및 접목하여 작물의 생산 경쟁력을 확보하였다(NIA, 2013). 또한 일본의 경우에도 노령화로 인한 부족한 노동력을 대체하기 위하여 편리성과 농업인의 수익향상에 초점을 맞춘 기술개발과 적용이 추진되고 있으며 환경관리, 생산비용 절감, 농작물의 품질향상 및 작업 효율 향상 등의 실질적인 효과를 위해 IT 융합 기술의 활용을 적극적으로 추진하고 있다. 즉, 농촌공동체가 직면하고 있는 부족한 노동력과 시설 내 환경조절 등과 같은 문제를 해결하기 위한 방법으로 첨단기술(IT, ICT, IoT 등)의 현장 적용이 관심을 받고 있다. 첨단 정보기술을 현장에 적용함으로써 농장 관리인은 상당한 작물생장관련 데이터를 획득할 수 있게 되고, 이는 농장 관리인의 환경 제어에 대한 불확실성을 최소화 할 수 있다

**Table 1.** Index of crop productivity between Korea and Netherlands.

Nation	Index of productivity per 1,000 square meters		
	Tomato	Paprika	Rose
Korea	26 ton	19 ton	124 ton
Netherlands	49 ton	30 ton	302 ton

\*Corresponding author: iblee@snu.ac.kr

Received March 10, 2016; Revised March 23, 2016;

Accepted March 24, 2016

록 할 뿐만 아니라 자동제어 시스템화를 통한 노동력을 감축할 수 있다(Blackmore, 2000). 이에 정부는 정책적으로 ICT 기반 시설원예의 첨단화로 농작물의 생산성을 높이고 에너지 절감형 스마트 온실의 보급 확대를 계획하고자 한다. 그러나 현재까지 농업 분야에 있어서 일부 시설원예 분야를 제외하고는 모니터링 및 제어의 다양성 및 연계성은 매우 부족한 실정이다. 이에 자동화된 시설원예를 활용하여 농작물 생육 및 온실 내부 환경 모니터링을 통한 진단과 다양한 모니터링 및 제어를 위한 복합형 알고리즘을 활용한 농업생산의 전주기적 과정의 지능적 시스템화를 위한 현장 중심형 사물인터넷 기반 스마트팜 융합 서비스 시스템의 개발이 필요하다.

따라서, 본 연구에서는 농업분야 ICT 적용관련 국내·외 연구 동향을 간략하게 소개하고 첨단기술 국내 적용에 있어서 한계점을 파악하였다. 이를 바탕으로 현장 활용 및 접목 가능한 미래 핵심기술에 대한 제의를 하고자 한다.

## 재료 및 방법

### 1. 자료 수집 및 분류 방법

농업 분야에 있어서 ICT와 같은 첨단 기술은 크게 생산, 산지유통 및 소비단계 등에 적용되고 있다. 본 연구에서는 대상 시설을 온실로 설정하였고 ICT, IoT, IT, 유비쿼터스(Ubiquitous), 스마트팜, 정밀농업 등을 주요 키워드로 설정하여 관련 선행연구 자료를 수집하였다(Fig. 1). 수집된 자료를 바탕으로 첨단기술의 소개, 개발 또는 적용에 따른 효율 분석·평가, 문제점에 대한 개선방안 및 미래 활용을 제시하는 1) 동향·정보 분석 및 방향제시, 센서 네트워크를 활용하여 실시한 생육환경 및 이미지 프로세싱을 활용한 모니터링 및 제어와 관련된 2) 모니터링 및 제어, 그리고 모니터링과 제어에 국한되지 않고 빅데이터 처리 분석 및 모바일 또는 웹을 통한 원격 서비스와 관련된 3) 서비스 플랫폼으로 구분하여 검토하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 온실내 ICT 융합 관련 국외 연구

#### 1.1 동향·정보 분석 및 방향제시

연구의 동향 및 정보 분석은 미래선도 사업 및 국가 경쟁력 향상을 위해서는 필수적이다. Gonda와 Cugnasca(2006)은 온실 내의 불균일하게 발생하는 환경적 특성에 따라 무선 센서 네트워크 시스템을 통한 실시간 환경 특성 모니터링뿐만 아니라 효율적인 제어조절을 위하여 온실용 무선 센서 네트워크를 제안함과 동시에 시스템의 장점과 미래 활용에 대해서 기술한 바 있다. 또한 Wang 등(2006)은 무선 센서 기술과 무선 센서에 적용되는 무선 통신 표준의 개발 현황정보를 제공하며, 환경모니터링, 정밀농업, RFID(Radio Frequency Identification) 기반의 추적시스템에 적용되는 무선 센서의 장점과 장애요인을 언급하였다. Miorandi 등(2012)은 사물인터넷의 적용과 개발에 관한 주요한 이슈에 대하여 전반적인 검토를 실시하였으며, Kanjilal 등(2014)은 생산 질 및 양을 증가 시킴과 동시에 노동력 절감 등의 효과를 나타내는 현대 기술의 인지도를 개선하기 위하여 효율적인 스마트팜의 자동화 시스템에 대한 정보 제공 및 분석을 실시하였다.

#### 1.2 모니터링 및 제어

온실 내부의 환경변수(온도, 습도, pH, 가스 농도 등)의 분석으로부터 환기, 냉·난방장치 등의 제어장치조절을 통한 작물의 최적화된 생육환경 조성과 관련된 연구가 집중적으로 이뤄졌다(Ameur 등, 2001; Matese 등, 2009; Omid, 2004; Riquelme 등, 2009; Zhang 등, 2004). 모니터링 및 제어와 관련된 연구는 크게 모니터링 알고리즘, 계측 시스템 개발 및 이미지 프로세싱을 활용한 모니터링으로 구분될 수 있다. Chen 등(2002)은 다중 스펙트럼 화상 기술을 이용하여 작물의 성장 및 상태 모니터링이 원격 센싱 및 작물의 생리학적 상태를 기반으로 계측 알고리즘을 개발하였다. Kia 등(2009)은 퍼지 논리 방법론을 기반으로 온실 내부의 자동화 관개 시스템에 대한 지능적 관리 시스템 구축에 대한 연구를 수행하였으며 개발된 퍼지 논리 제어기는 관개 모델, 온실 환경 특성, 토양 조건 등을 바탕으로 작물의 수분 흡수량을 효과적으로 예측 할 수 있도록 하였다. 또한 Guerbaoui 등(2013)은 냉·난방기의 On/Off를 결정하기 위하여 퍼지논리를 이용하여 자동적으로 온실 환경을 조절할 수 있는 시스템을 개발하였다.



Fig. 1. Search keywords of domestic and foreign research related to information and communications technology targeting a greenhouse.

Zhang 등(2004)은 센서 네트워크를 활용하여 공기 온도, 습도, 광량, 토양 온·습도를 측정 및 분석함으로써 작물 생육의 실시간 상태 변화를 분석 하였으며 질병 발생을 진단하였다.

Yang 등(2008)은 온실 내에서의 묘목 생산과 관리를 위하여 환경적 특성 센싱과 원격 스펙트럼 이미지와 RFID를 통합한 다기능 원격 센싱 시스템(MFRSS; Multi-Functional Remote Sensing System)을 개발하였다. Mirabella(2011)는 기존의 온실 내부 환경 데이터를 제어 시스템으로 전송하기 위해 주로 유선의 커뮤니케이션 시스템이 이용되었으나 데이터의 수집과 수집된 데이터로부터 적절한 관리모듈의 활용이 어렵다는 단점이 존재함에 따라 이를 보완하기 위해 유선과 무선의 하이브리드 센서 네트워크 시스템 체계를 개발하였다. Zheng 등(2013), Sribinowska 등(2015)은 모니터링 시스템의 내구성과 확장성을 개선하기 위하여 WSN(Wireless Sensor Network) 기반의 시스템 내 소프트웨어 설계를 위한 동적 routing과 localization 알고리즘 설계를 수행하였다. 또한 Striemer 등(2011)은 무선 노드로 구성되어있는 센서의 알고리즘 내 불필요한 모듈을 제거함으로써 Fault-recovering time을 절약할 수 있는 센서 노드를 개발하였으며 이미지 프로세싱 알고리즘으로부터 작물의 정상적인 성장 스트레스 등을 파악하고자 하였다. Ma 등(2015)은 카메라의 영상 분석을 통하여 온실 내 작물의 질병 발생 유무를 확인하고자 하였으며 기존의 영상처리 방식의 IG 알고리즘을 수정하여 각각의 프레임에서 가장 중요한 지역을 획득하도록 수정하여 RGB 색상 정보를 HSV 색상 정보로 변환하여 이미지 분석을 실시함으로써 작물 질병 발생을 확인하였다(Fig. 2).

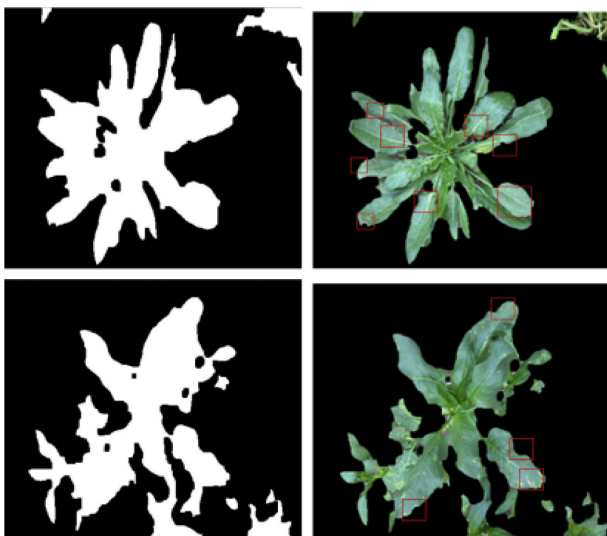


Fig. 2. Final result of information restore: (a) binarized map, (b) the salient region(Ma et al., 2015).

### 1.3 서비스 플랫폼

Mancuso 등(2006)은 온실 내 미기후 모니터링 및 무선 센서 네트워크 기술 적용을 위해 온실 내 설치되는 무선센서를 개발하였으며 개발된 센서의 신호와 현장실험에서의 측정치간의 상관관계를 규명하고 작업자의 의사 결정을 지원하기 위한 시스템 구조를 개발하였다. Anurag 등(2008)은 외부 기상학적 요소들과 작물 재배에 있어서의 환경조건들의 실시간 데이터 측정을 위하여 무선 센서 네트워크 기술을 적용하여 다양한 정보를 취합하고 관개 및 시비시기를 제공하였다. Zheng 등(2011)은 스마트농업 서비스 시스템이 개발되는 가운데 PDA, Zigbee, 그리고 통합 관리 서버 PC와 시스템 구성에 관한 연구를 수행하였으며 PDA와 호스트간의 정보교환을 통해 실시간 관개 의사 정보를 제공하는 기술을 소개하였다. Li 등(2012)은 온실 내 환경변수 측정을 위해 설치된 무선 센서로부터 출력되는 온·습도값을 인터넷 및 모바일으로 전송하여 실시간 온실 환경 모니터링을 위한 시스템을 구축한 바 있다. Li 등(2014)은 또한 독립된 원격 서버와 통신하는 온실 설계에 들어가는 높은 투자비용을 낮추기 위해 데이터를 중앙 집중화하기 위한 Gateway를 만들고 Gateway에서 통합 서버로 데이터를 전송하는 시스템을 설계하였으며, 이로부터 무선 센서 네트워크와 인터넷을 결합한 실시간 온실 환경 모니터링 및 제어 시스템을 개발 하였다. 또한 Chen 등(2013)는 온실 내부의 환경 모니터링을 통하여 생산비 절감 및 관리 효율 개선을 위한 원격제어 가능한 온실 모니터링 및 경보 서비스 플랫폼을 개발한 바 있다. Nugroho 등(2013)은 효율적인 모니터링과 지역적 시설 구조물 및 기계적 제어 방법으로써 작동 체계를 개발하였으며 ICT 기반의 의사 지원 시스템이라 불리는 ‘Agri-eye’를 통하여 작물 재배조건을 충족시키는 환경 변수 조절을 하고자 하였다. 최근에는 Kassim 등(2014)은 무선 센서 네트워크 기반의 온실 환경 모니터링 시스템의 경제적 부담을 줄이기 위하여 오픈소스 기술을 이용한 웹기반 지능형 온실관리 시스템 개발을 연구를 수행한 바 있다. Chen 등(2013)은 또한 조기 경보 시스템을 통하여 고온, 저온, 광저해 그리고 질병 등의 비정상적인 상황에서의 측정 데이터 분석을 통하여 각 온실의 일정시간 이후의 현상을 예측 및 제공 시스템을 개발하였다.

## 2. 온실 내 ICT 융합 관련 국내 연구

### 2.1 동향 · 정보 분석 및 방향제시

KREI(2013)는 과학기술을 선장동력원으로써 이용한 경제 성장을 정책적 기조로 삼고 있는 정책적 동향을 바탕으로 향후 농업 발전의 중요한 역할을 수행하게 될 스마트 농업의 현황, 개념과 이의 필요성에 대해서 정리

를 하였으며 농업의 각 분야에 도입 가능한 제반 기술과 이를 적용한 국내·외 사례를 분석함으로써 스마트 농업 도입을 위한 정책 방향을 제시하였다. 또한 Hwang 등(2013)은 농식품 IT 융합기술의 개념과 국내·외 농식품 IT 융합관련 기술 개발 및 표준화 동향을 분석함으로써 국내 농식품 IT 융합기술 발전을 위한 지원 전략 및 방향 등을 제시하였다. 최근에는 NIA(2014)에서 농림식품 분야에서의 첨단정보기술의 활용은 타 분야와 비교하여 초보적인 단계인 현재 실정과 활용도 향상의 한계로 인하여 ICT 융합 확대, 정보 연계강화, 안정적 공급망 구축, 정보 활용 확대 등 4 가지 전략을 바탕으로 농업 전반의 효율성 향상을 통한 지속가능한 농업 구현의 방향을 제시하였다. 이와 더불어 Lee 등(2014) 또한 국내·외 ICT 융합 관련 정책 및 연구동향을 분석하고 농업 ICT 융합 기술 개발 사례와 국내 농업 ICT 융합 기술의 문제점을 분석하여 발전 방안을 모색하고자 하였다.

ETRI(2015)은 농·축산물의 생산, 유통, 판매 등의 전주기적 프로세스에 대한 생산성, 안전성, 경제성 및 품질 향상과 더불어 활동 주체들 간의 연계를 위한 스마트 농업 기술이 중요시 됨에 따라 스마트 농업 기술과 관련한 정책 및 시장 동향, 기술 및 표준화 동향을 제시하고 미래 표준화 정책을 제안하였다. 동향, 정보 및 정책 제언 이외에 Lee 등(2014)은 현재 농업이 직면한 문제를 해결하고 스마트 농업을 구현하기 위한 방안으로 ICT 기술 중 IoT 기술을 적용한 농업분야 개방형 플랫폼 구축 방안을 제안하였다. 또한 ICT의 농업분야의 적용을 위하여 Cho 등(2015)은 스마트온실 기술의 국내 적용 실태와 이의 문제점을 파악하였으며 ICT 기술 적용을 위하여 내재해 단동온실을 기준으로 온실 구조 장애요인 파악 및 설계 방향을 제시하였다.

## 2.2 모니터링 및 제어

환경 모니터링 및 제어는 농업 종사자로 하여금 센서 기반의 환경변수 측정을 통하여 작물생장에 적합한 환경 판단 기준을 마련하였다. 측정된 데이터를 바탕으로 관수 또는 환기 등과 같은 제어 시스템의 조절을 통하여 작업자의 편의성 및 재배 작물의 질을 향상 시켰으며 이와 관련한 연구가 꾸준히 수행되고 있음을 확인할 수 있었다. Seo와 Park(2002)는 환경 변수의 모니터링 및 제어를 위한 시스템의 구성이 C 또는 Visual C++언어 등의 다양한 언어로 구성되어 있어 실질적인 오류의 발생으로 인해 측정데이터에 영향을 주고 있음에도 불구하고 오류를 쉽게 발견하기 어려울 뿐만 아니라 프로그램의 오류를 수정하기가 어렵고 제어장치의 원격 제어를 수행하기 어렵다는 단점을 극복하기 위하여 사용상의 편의성을 제공하는 그래픽컬 언어 인 LabView(Laboratory

Virtua Instrument Engineering Workbench)를 이용하여 실시간 모니터링 정보 습득 및 원격제어의 시각적 표현을 구현하여 온실의 환경 제어 시스템에 적용하였다. Seo와 Park(2009)은 온실 내 환경 상태를 감지하는 환경 상태 추출 알고리즘과 온실 환경에 따른 각 장치의 상태를 자동 제어하는 실시간 반응알고리즘으로부터 효과적인 데이터 수집과 환경데이터의 모니터링을 수행하였다. Lee 등(2009)은 유비쿼터스 농업환경을 조성하기 위해서 온도, 습도, 일사량 CO<sub>2</sub>, 풍속 등의 재배환경 요소를 측정하기 위한 온실 내 센서 네트워크를 구성하고 측정된 환경 요소의 변화에 따라 작동하는 환풍기, 난방기, 영상처리기 등의 제어장치를 제어하는 온실 환경 모니터링 시스템을 제안하였으며 원격제어를 가능케 하여 장소와 시간의 제약 없이 인터넷이 가능한 지역에서 농장을 관리할 수 있는 온실 환경 통합관리 시스템을 설계하였다. Kang 등(2007)은 USN 기반의 토양 및 기상 센서와 CCTV를 이용하여 온실 내 환경 및 토양 정보를 데이터베이스화 하고 실시간으로 온실 내부 모니터링 및 제어가 가능한 시스템을 제안하였다. Kim 등(2010)은 USN 기반의 인공광을 이용하는 식물 공장 모니터링 시스템으로부터 광, 온도 등의 시설 내부의 환경 정보를 실시간 모니터링 하여 재배 작물에 대한 최적 생장조건을 분석하는 연구를 수행하였다. Lee 등(2010)은 기존의 센서 네트워크 기반의 무선 센서 노드들은 각 센서들의 특성에 따라 별도의 변환 및 제어 모듈이 필요하지만 이러한 문제점을 해결하기 위해 여러 센서들을 단일 노드에 통합 할 수 있는 통합 센서 모듈을 개발하였다. Ye 등(2012)은 온실 내부 센서 노드에 설치되는 센서의 종류, 개수, 센서 노드와 관제시스템 사이의 통신환경 등에 따라 관제시스템의 운용성이 크게 달라짐에 따라 운용 효율성을 개선하기 위하여 운용환경에 따른 적절한 컴포넌트를 이용하는 컴포넌트 기반 환경정보모니터링 시스템을 개발하였다. Ahn(2013)은 작물에 발생하는 병해충, 온도, 습도에 관한 정보를 데이터베이스로 구축하였으며 이를 기반으로 병충해 및 온·습도를 관리할 수 있는 유비쿼터스 기반의 원격제어 시스템을 설계하였다. Kim과 Kim(2013)은 성장장애 및 병충해의 피해를 방지하기 위하여 작물의 영상을 취득하여 주기별로 생장 인식 알고리즘을 적용하여 식물의 각 생장 상태를 인식하고 각 성장 단계에 따른 최적 환경을 제공하는 스마트기기 기반의 모니터링 시스템을 개발하였으며 작물 생장 인식과정에 대한 절차는 Fig. 3과 같다.

온실 시설 내부의 환경조절 이외에도 최근에는 Kim 등(2014)은 압력 센서와 강우 센서를 통해 폭설과 폭우에 의한 농가 피해를 최소화하고 작물 생장환경을 유지시키기 위해 IoT 기술을 온실 천창 제어 시스템에 적용

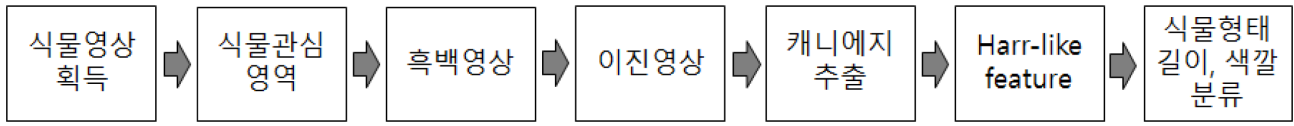


Fig. 3. Plant cycle-specific growth recognition process proposed(Kim and Kim, 2013).

한 자동화 시스템을 설계하였다. 또한 센서로부터 측정된 데이터를 바탕으로 온실 또는 시설 내부에서의 환경을 진단하고 추후의 환경 예측을 통하여 질병 발생 가능성 또는 이미지 프로세싱을 통한 병해충 발생 유무를 판단하는 연구가 수행되고 있다.

### 2.3 서비스 플랫폼

모니터링 및 제어 수준을 넘어서서 작물의 최적 성장 환경의 제어와 센서 기반의 재배작물의 성장 데이터 수집뿐만 아니라 분석을 함으로써 웹 또는 모바일을 통하여 하나의 서비스 형태로 결과를 제공하는 서비스 플랫폼과 관련한 연구가 수행중이다. Seo 등(2008)은 Kang 등(2007)과 동일하게 CCTV를 활용하여 기상, 토양 그리고 작물의 생체정보를 측정함으로써 작물의 최적성장 조성을 위한 알고리즘을 개발하여 온실의 실시간 모니터링 및 제어 가능한 USN 기반의 온실 관리 시스템을 연구하였다. Yoo 등(2009)은 시설에 설치된 센서들로부터 측정되는 데이터들을 바탕으로 기상정보와 연동하여 분석하는 유비쿼터스 센서 네트워크(USN) 기술을 적용하여 농산물 생산, 가공, 유통 및 판매 분야에 다양하게 활용함으로써 농업종사자들의 의사결정 지원을 위한 통합 시스템을 연구하였다. Jeong와 Kim(2011)은 성장환경 자동 조절 클라이언트 시스템과 농가의 데이터를 저장하는 서버시스템을 구축하였고 인터넷과 3G망을 통해 각 농가의 자료를 수집하여 최적 작물 성장환경을 분석하였다. 또한 Kim 등(2011)은 온실 내 환경제어를 위한 조절 시스템의 On/Off에 따른 작동시간 및 제어횟수 등을 UI 서버에 데이터베이스를 구축하였으며 1일 최대 6주기로 분할하여 각 주기마다 환기, 냉·난방 등의 설정 값을 독립적으로 입력이 가능하도록 시스템을 구축한 웹기반 온실 모니터링 시스템을 개발했을 뿐만 아니라 온실 환경정보에 대한 데이터베이스를 구축하고 작물성장 환경을 실시간으로 관리하기 위하여 선형회귀분석과 DIF 분석을 이용하여 최적 생육환경을 분석하는 모니터링 시스템을 제안하였다. Son 등(2012)은 단순히 임계값 설정에 의한 제어 조절 장치의 운영의 한계에 따라 온도와 습도 환경에 대한 수학적 모델링을 기반으로 궤환 선형화(Feed-back linearization) 개념을 이용한 제어 알고리즘을 도출하였으며 시뮬레이션을 통하여 복수의 제어장치 제어방법을 제시하였다. Choi(2012)는 온실의 환경특성

을 실시간으로 분석하여 온실 환경을 최적의 상태로 유지하도록 하고 사용자가 원하는 환경에 대해서 필요시 시스템을 수동모드로 변환하여 일시적으로 작동시킬 수 있도록 온실 자동화 시스템을 구현하였다. 또한 수집된 데이터를 모니터링 서버 컴퓨터로 전송하여 웹을 통하여 실시간으로 온실 상황분석을 실시하고 즉각적인 제어가 가능하도록 웹기반 시스템을 개발하였다.

Hwang 등(2010)은 토양센서 및 환경 특성 측정 센서, GPS 모듈, CCTV 등을 통합한 실시간 온실 내 환경 모니터링 서버 시스템을 제안하였으며 외부의 추가적인 전원 공급 장치 없이 태양광 모듈을 적용하여 시스템을 운영하였다. Lim 등(2007)과 Sim와 Lim(2008)은 온실의 토양 및 실내·외 환경정보를 모니터링하는 온실 모니터링 서비스, 병충해의 발생 유무, 예방 정보 및 방제 방법 등을 위한 병충해 정보 관리 서비스를 제공함으로써 온실 환경의 효율적인 관리를 가능하게 하였다. Ju 등(2008)은 온실에서의 작물 재배 및 수확을 위한 농산물 수확량 모니터링 시스템을 설계하여 농업종사자의 단말기를 통한 수확량 모니터링 서비스, 농산물 재배관리 및 지침 서비스, 현장 영상 정보 서비스를 제공하는 시스템을 제안하였다.

### 3. 국내 ICT 적용 및 확산 실패 원인 및 해결방안

시설원에 농가의 99%가 유리온실을 채택하고 있는 네덜란드와 달리 우리나라는 90% 이상의 농가가 플라스틱온실에 의존하고 있다. 플라스틱온실은 유리온실과 비교하여 내구성이 낮은 동시에 생산성이 저조하기 때문에 ICT 융합기술의 현장 적용, 보급 및 확대가 어려운 실정이다. 또한 ICT 융·복합과 관련한 농업종사자의 인식, ICT 관련 시장 부족과 타 정부부처(미래창조과학부, 산업통상자원부 등)와 비교한 농림축산식품부의 농산업 ICT 관련 R&D 투자액 및 예산 문제 등도 포함된다. 따라서 ICT 융·복합의 한계와 문제점에 관하여 1) 국가적 측면, 2) 산업적 측면, 3) 기술적 측면, 4) 농가 경영주 측면과 같이 4 가지로 구분하여 설명하고자 하였다.

#### 3.1 국가적 측면

IT 융합 컨트롤 타워 역할의 중요성이 강조되고 있지만 주요 정책 사업국과 R&D 관련 부서 등의 종합적인

기획 및 조정에 한계가 있는 실정이다(KREI, 2014). 다시 말해, ICT 융합 기술 개발 및 기술의 현장 보급 확산을 실질적으로 추진하기에는 추진전략 및 상세 기획이 미흡하여 현장에 적용 가능한 다양한 모델 발굴이 어렵다는 점이 있다. 또한 ICT 융·복합 모델의 검증에 대한 한계 역시 현장 확산 부진에 영향을 미치는 것으로 판단된다. 농업 선진국들과 비교하여 사업규모가 작고, 연구기간도 충분하지 않은 실정이다. 또한 투입재산업 육성 정책과 ICT 활용에 관한 농업종사자의 교육훈련 지원 정책 미흡 등이 한계로 나타나고 있다. 이를 위하여 KREI(2014)는 컨트론타워로써 개별적으로 추진되고 있는 국내 스마트 농업 관련 융·복합 관련 연구 현황 및 기술 수요 조사를 통해 정부 차원에서 정책 간 연계성을 고려한 스마트 농업의 중장기 비전과 목표 설정 및 체계적인 추진 전략 수립이 필요함을 언급하였다.

### 3.2 산업적 측면

네덜란드는 장기간 누적된 작물 재배 환경 및 관련 데이터를 바탕으로 각종 센서와 환경 관리 제어 장치를 개발하였으며 이러한 농업 IT 기술을 통해 생산량 및 품질 최적화를 도모하였다(KEIT, 2011). 작물 주변 정보를 수집하여 소프트웨어기반의 제어 장치를 통한 온실 내부 환경을 최적화하며 표준화된 시설뿐만 아니라 시설 내부의 환경제어 장치 등을 일괄적으로 생산함으로써 기술을 표준화하였다.

그러나 우리나라는 농업 ICT 관련 업체의 영세성으로 인하여 시설 내부의 환경 관리 시스템 개발에 있어서 일부의 기술만을 활용하는 경우가 존재해왔으며 독립적으로 개발된 장치로 인해 장치의 표준화가 어려운 실정이다(KREI, 2014). 더욱이 ICT 융합 시스템 간의 호환성 문제와 영세한 업체의 장기적인 사후 관리 서비스가 미흡하다. 이에 국산 제품의 상대적인 낮은 가격에도 불구하고 사후 관리 서비스의 문제 등으로 인하여 농업 선진국들로부터 수입한 ICT 접목 시설원에 환경 제어 시스템에 의존하고 있다. 그러나 이러한 국외 기술을 이용할 경우 높은 가격의 문제뿐만 아니라 오류나 작은 고장에도 농가경영주의 대처가 어려운 현실이다. 또한 수입제품이기 때문에 장거리 A/S를 필요로 한다는 한계가 존재하고 있다. 더욱이 FTA가 범국가적으로 확대되고 있는 시점에서 국내 농업 경영정보의 해외유출 등의 문제를 야기시킬 가능성이 농후하다(MAFRA 2013; Choi, 2014). 따라서 ICT 관련 장치 및 시스템의 국산화를 위한 노력이 우선적으로 필요할 것으로 판단된다. 관련 장비의 고장 및 오류로 인한 온실 내 환경조절의 실패는 농가 경영에 많은 피해를 야기함으로써 표준화를 통한 제품의 사후관리 서비스 개선이 필요하다.

### 3.3 기술 활용 측면

ICT 관련 기술에 있어서 우리나라가 강국임에도 불구하고 농업분야에 ICT 기술의 융·복합 현황은 초기 단계로써 원예, 과수 등의 스마트 그린하우스, 과수재배 관리시스템 등을 현장에 보급·확산하는데 어려움을 겪고 있다(KISTEP, 2015). KREI(2014)은 ICT 관련 원천 기술은 대부분 정부와 민간에 의하여 개발되지만, 실질적으로 농가에 적용 또는 응용 되는 기술은 정부에서 개발된 기술이라는 점이다. 기술개발과 농업 정책 간의 연계성이 불명확한 상태에서 연구 개발이 이루어짐에 따라 개발 기술의 활용이 적절히 연계되지 못한다고 언급하였다. ICT 융·복합에 있어서 센서, 계측기 등의 국산화가 미흡할 뿐만 아니라 표준화 및 생육 알고리즘과 같은 핵심기술의 개발이 미진한 실정이다. 현장의 열악한 환경과 모니터링 및 제어의 대상이 많고 이들의 관계 규명이 부족하며, 국내 대부분의 온실이 단동형으로 이루어져 있어 첨단기술을 적용하기에는 낙후된 시설 조건을 가진다.

작물별 환경 및 생육제어 등 최적 성장환경 알고리즘 개발이 매우 중요한 부분임에도 불구하고 다른 농업선진국들과 비교하여 앞서 언급한 바와 같이 사업의 규모가 작을 뿐만 아니라 기간도 매우 부족하다. 따라서 다양한 모델 개발을 위한 기초자료로 활용할 수 있는 작물 생육, 시설 내·외부의 환경 특성 데이터 등의 수집 정보가 많지 않아 다양한 조건을 고려한 모델 개발에 한계가 존재하고 개발된 모델의 검증을 위한 시범사업의 한계로 보급 및 확산이 미미한 것으로 판단된다. 따라서 KISTEP(2015)는 농작물 생육관리, 빅데이터 처리 관련 과학기술과 ICT 기술이 결합된 스마트팜 기술의 국산화 및 현장 보급이 시급하며, 현재 시스템 개발에 이어 네트워크, 분석 소프트웨어, 스마트기기와의 연계를 강화해야한다고 언급하였다.

### 3.4 농가 경영주 측면

국내 ICT 기술의 현장 확산률은 시설원에 자동화 온실에서 16%에 불과하다(KREI, 2014). Cho(2015)의 연구에서 또한 ICT 등의 첨단 과학 기술의 도입에 있어서 장애요인으로 시설비 부담(24%)을 농민들이 가장 많은 부담을 느끼는 것으로 조사되었으며 그 뒤를 이어 설치업체의 고장 또는 유지관리 측면에 있어서의 사후관리 미흡(19%)을 언급하였다. 또한 대부분의 농업종사자들의 연령이 높고 새로운 기술에 대한 도입의지 부족에 따라 기술 이용의 어려움을 겪고 있으며, 잦은 고장(16%)과 이에 따른 관리 기술 미흡(15%)에 따라 첨단 과학기술의 현장접목이 쉽지 않은 것으로 나타났으며 추가적으로 농민의 주관적인 판단에 근거한 성능의 미흡과 소득기여

에 대한 신뢰성 부족이 각각 13%와 12%로 조사되었다 (Fig. 4).

농촌 인구 고령화에 따라 대부분의 농가 경영주는 새로운 기술에 대한 지식습득 의지가 낮게 나타나고 있으며 이로 말미암아 계측장치 및 부분적 시스템 오류 및 고장에 즉각적인 대처에 한계가 있을 것으로 사료된다.

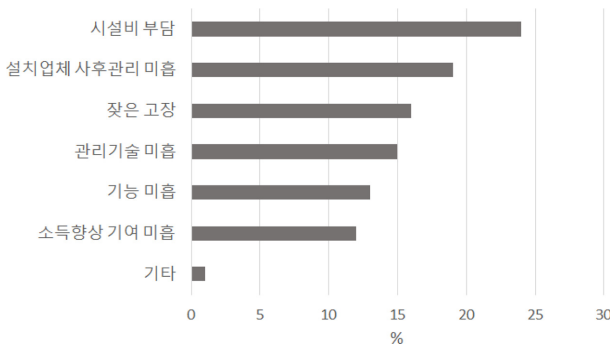


Fig. 4. Limitation factor for application of ICT in the agriculture(Cho et al., 2015).

따라서 농가 경영주를 대상으로 첨단기술 교육 및 고장 및 오류에 대한 사용자 중심형 가이드라인 구축이 필요할 것으로 판단된다.

#### 4. ICT 융합 기술 활용 및 핵심기술 방안 제시

농촌 사회가 직면한 문제를 해결하고 농촌 경제 활성화를 위하여 ICT 융합 한국형 스마트팜을 성장 동력원으로 육성할 계획이며, RDA(2015)은 표준화 및 개방형 공동 플랫폼, 센서 및 계측기술 등과 같은 기술들을 필요기술로 구분하였다. 농촌진흥청에서 고시한 필요기술을 연구목표로 설정하여, 국내·외 연구동향 분석으로부터 판단되는 핵심기술은 다음 Table 2와 같다.

국내에서 스마트팜 관련 기술이 개발되고 있으나 농가 단위의 개별적 서비스 구조로 운영되고 있다. 시설농업에 적용되는 ICT 기술 중에 복합환경 제어기술은 호환성 및 표준화가 미흡하여 다른 기기들과의 복합적 사용이 불가능하다(Lee 등, 2014). 그러므로 여러 기술들을 융·복합 하는 과정이 필요할 것으로 판단된다. 또한 농

Table 2. Core technologies for realization of Smart-farm based on ICT.

연구 목표	연구 내용
표준화 및 개방형 공동 플랫폼 개발	센서, 제어기, 통신장치 등 센서 제반 기술의 표준화 개방형 서비스 플랫폼 구축 사용자 중심형 인터페이스 개발
센서 및 계측 기술	이미지 프로세싱을 통한 작물 모니터링 기술 개발 근권부 토양 및 작물 생체 정보 계측 장치 개발 고효율의 센서 및 계측 장치 개발 온실 단지 내 전기 사용량 실시간 모니터링 주변 생태계 및 환경에 대한 부하 모니터링 및 대응 사용자 중심의 시각화 모니터링 정보 제공 시스템 개발 센서 네트워크 체계 구축과 무선 계측 기기의 배터리 또는 신호 증폭 기술 개선
제어, 자동화, 그리고 로봇화	시설원에 복합 환경 관리 기술 개발 온실 복합 환경 제어 시스템 및 알고리즘 개발 에너지 절감기술(신재생에너지)과 연계된 스마트 그리드 통합형 온실 제어 알고리즘 개발 지역적 차별형 환기팬 및 순환팬 제어 시스템 개발 환기량 분석을 통한 추가적인 강제환기 운영 알고리즘 개발
생육 생체 모델	우리나라 대표 작물 대상의 현열 및 잠열을 포함하는 생장모델 개발 작물의 동적 생육 모델링 개발 및 진단 및 의사 결정 알고리즘 개발 에너지 부하 관련 장기적 현장 실험 생산성 관련 주요인자들의 통계적 접근을 통한 가중치 분석과 이의 모델화 및 알고리즘 설계
빅데이터 활용 모델 개발 및 성과평가	ICT 기반 빅데이터 표준화, DB 구축방안 개발 및 생육 DB 구축 데이터 베이스 분석 및 활용 소프트웨어 개발 스마트 팜 모델 성과 분석 프로그램 개발
스마트 원예시설	차세대 한국형 스마트원예시설 모델 개발 스마트팜 적용을 위한 온실 모델 표준화 스마트 온실 운영모델 개발
웹 및 모바일 서비스	웹 시스템을 통한 실시간 관리 및 생산 정보 제공 이미지 프로세싱을 이용한 병충해 식별 시스템 및 경보 시스템 개발
신재생에너지 및 에너지 부하절감 기술	경제성을 고려한 단위 농가의 적정 용량 신재생에너지 시스템 개발 온실 구조 및 운영측면에서 에너지 부하 절감 기술 개발 신재생에너지를 활용한 에너지 효율적 운영 기술 개발

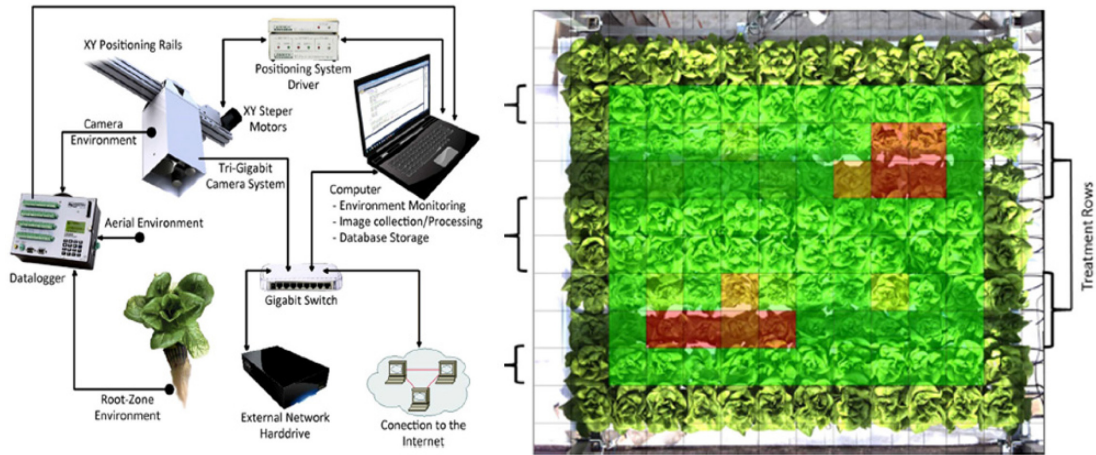


Fig. 5. Computer vision-guided crop diagnostics system components overview(Story and Kacira, 2015).

가간의 데이터 정보 교환 및 작물 생육 환경 정보를 통한 생육모델 및 관련 모델 개발에 있어서 개방형 플랫폼 구축이 필요하다.

작물 재배 생산과정에 있어서 ICT 기술 적용의 출발은 센서 등과 같은 계측 장비로부터 비롯된다. 센서 및 계측 기술에 있어서는 저렴하면서 유지보수가 용이함과 동시에 정확도가 높은 센서 및 시스템의 개발이 필요하다. 또한 단편적인 환경 조절변수를 통한 제어 조절 장치의 운용을 떠나 작물의 작물 생체 정보 계측 장치 등과 같은 측정 기기의 개발이 독려되어야 한다.

계측장비로부터 측정된 데이터들로부터 시설의 환기·난방·냉방 등의 제어장치의 자동 및 원격 제어를 위한 알고리즘 개발 및 서비스 플랫폼 개발이 필요하며, 이 과정에서 시설 내·외부에서 발생하는 다양한 환경적 특성을 반영하는 것이 중요할 것으로 판단된다. 따라서 다중 센싱과 모니터링을 통한 측정치의 편차 파악과 자유로운 제어 장치 조절을 위해서 센서들의 무선화가 중요시 된다. 그러나 유선 센서와 달리 무선 센서를 이용할 경우에는 배터리의 문제와 데이터 전송을 위한 신호 증폭의 문제를 가지고 있으므로 이에 관한 기술 개발이 필요할 것으로 판단된다.

농가 경영에 있어서 에너지 부담 비용을 절감시키기 위해서는 기상 정보와 시설 내부의 실시간 환경 모니터링을 통한 통합 알고리즘을 통하여 에너지 효율적인 제어 알고리즘의 개발이 필요할 것으로 판단되며, 온실 내 환경을 적절하고 안정적으로 유지하며 균일성을 향상시킬 수 있는 공조 시스템의 설계 및 개발이 중요하다. 더불어, 알고리즘을 기반으로 제어되는 환경 조절 장치들의 올바른 작동을 위하여 현열과 잠열을 포함한 정확도 높은 작물 생육 모델의 도출이 필요하다.

이미지 프로세싱을 활용하여 작물의 형태학적 특성 및



Fig. 6. Example of user focused interface made by Naretrends.

스펙트럼 계열 특성을 실시간 모니터링하고 색상 전환 기술을 바탕으로 균류, 질병의 발생유무를 알리는 정보 시스템 체계 구축은 농가 경영의 편의성을 제공할 뿐만 아니라 작물의 질적 향상을 기대할 수 있을 것으로 판단된다(Fig. 5).

그러나 다양한 ICT 기반의 운영 시스템의 보급 확산을 위해서는 모델의 실증과 산업화를 위한 국가적 차원에서의 지원이 필요하다. 시설 내·외부에서 측정되는 데이터들의 실시간 모니터링 및 제어도 중요하지만 이들의 현장 실측치의 데이터베이스화 또한 중요하다. 시설 내·외부로 형성되는 현재의 환경 변수 측정 및 진단을 통하여 일정시간 이후에 형성 가능한 환경 특성의 분포를 예측하고, 웹 또는 모바일 서비스를 제공받을 수 있다. 이 역시 신뢰성 있는 예측을 위해서는 데이터베이스화된 데이터의 분석 및 활용을 위한 소프트웨어 개발이 필수적으로 수행되어야 한다.

또한 데이터를 활용하는 주체가 농민임을 인식하고 웹 또는 모바일을 통한 가시화 소프트웨어 개발에 있어서



사용자 중심의 인터페이스 개발이 요구된다. 재배환경과 관련된 정보를 웹 또는 모바일 기반의 서비스 형태로 소비자에게 관리 및 생산 정보를 실시간 제공함으로써 안전한 먹거리가 중요시 되는 시점에서 소비자의 신뢰를 향상 시킬 수 있을 것으로 판단된다(Fig. 6).

## 적 요

정부는 정책적으로 ICT 기반 시설원예의 첨단화로 농작물의 생산성을 높이고 에너지 절감형 스마트 온실의 보급 확대를 계획하고자 한다. 그러나 농업 분야에 있어서 모니터링 및 제어의 다양성 및 연계성은 매우 부족한 실정이다. 이에 자동화된 시설원예를 활용하여 다양한 모니터링 및 제어를 위한 복합형 알고리즘을 활용한 농업생산 전주기적 과정의 지능적 시스템화를 위한 현장 중심형 사물인터넷 기반 스마트팜 융합 서비스 시스템의 개발이 필요하다. 따라서, 농업분야 ICT 현장적용 관련 국내·외 연구 동향을 소개하고 이로부터 시설원예 분야에 접목 가능한 ICT 기반 미래 핵심기술을 분석 및 제시하고자 하였다.

**추가 주제어** : 모니터링, 서비스플랫폼, 온실, 융합기술, 원격 제어

## Literature cited

Ahn, B.T. 2013. A study of crop remote control system based on ubiquitous. *Journal of advanced information technology and convergence*. 11(6):77-84. (in Korean).

Ameur, S., M. Laghrouche, and A. Adane. 2001. Monitoring a greenhouse using a microcontroller-based meteorological data acquisition system. *Renewable energy*. 24:19-30.

Anurag, D., S. Roy, and S. Bandyopadhyay. 2008. Agro-sense: precision agriculture using sensor-based wireless mesh networks. K-INGN. First ITU-T Kaleidoscope Academic Conference. p. 383-388.

Aubert, B.A., A. Schroeder, and J. Grimaudo. 2012. IT as enabler of sustainable farming: An empirical analysis of farmers' adoption decision of precision agriculture technology. *Decision Support System*. 54:510-520.

Alexandru, D., D. Stefanoiu, and J. Culita. 2013. Remote monitoring and control system for environment applications. *advances in intelligent control systems and a computer science*. 187:223-234.

Barpounakis, S., A. Kaloxylos, A. Groumas, L. Katsikas, V. Sarris, K. Dimtsa, F. Fournier, E. Antoniou, N. Alonistioti, and S. Wolfert. 2015. Management and control applications in agriculture domain via a future internet business-to-business platform. *Information Processing in Agriculture*. 2:51-

63.

Baek, M.R., M.B. Lee, H.G Kim, T.H. Kim, N.J Bae, Y.G Cho, J.W Park, and C.S Shin. 2013. A novel model for greenhouse control architecture. 8th international conference, GPC 2013 and colocated workshops. p. 262-269. (in Korean).

Blackmore, S., 2000. Developing the principles of precision farming. In ICETS 2000: Proceedings of the ICETS 2000 (China Agricultural University, Beijing, China). p. 11-13.

Camilli, A., C.E. Cugnasca, A.M. Saraiva, A.R. Hirakawa, and P.L Correa. 2007. From wireless sensors to field mapping: Anatomy of an application for precision agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*. 58:25-36.

Chen, S., M. T. Li, C. T. Chen, Y. C. Lin, C. W. Huang, T. H. Wu, K. and W. Hsieh. 2002. Remote sensing of crop growth characteristics in greenhouses. *Proceedings of international symposium on design and environmental control of tropical and subtropical greenhouses*. p. 295-301.

Chen, J.I.Z., Y.C. Chen, and S.D. Chung. 2013. Implementation of a greenhouse crop remote monitoring system with IOT technology. p. 1-5.

Cho, K.J. K.Y. Kim, S.Y. Kim, and W.M. Yang. 2015. Survey of ICT status and new design of on-roof greenhouse. *Journal of the Korean society for bio-environment control*. p. 355-356. (in Korean).

Choi, Y.S., H.J. Lee, and S.T. Joung. 2012. A design and implementation of web-based green house automation system. *Journal of the Korea institute of electronic communication sciences*. 7(6):1519-1527. (in Korean).

David, S. and M. Kacira. 2015. Design and implementation of a computer vision-guided greenhouse crop diagnostics system. *Machine vision and applications*. 26:495-506.

Electronics and Telecommunications Research Institute (ETRI). 2015. Survey of ICT-agriculture convergence. p. 50-58. Daejeon, Korea (in Korean).

Gonda, L. and C. Cugnasca. 2006. A proposal of greenhouse control using wireless sensor networks. *Computers in agriculture and natural resource*. 4th world congress conference. p. 24-26.

Guerbaoui, M., A. Ed-dahhak, Y. EIAfou, A. Lachhab, L. Belkoura, and B. Bouchikhi. 2013. Implementation of direct fuzzy controller in greenhouse based on labview. *International journal of electrical and electronics engineering studies*. 1(1):1-13.

Guzman, J.L., M. BerenGuel, F. Rodriguez, and S. Dormido. 2004. Web-based remote control laboratory using a greenhouse scale model. *Computer Applications in Engineering Education*. 13:111-124.

Hwang, D.H., J.H. Lee, J.H. Kim, and W.I. Kim. 2010. Research of smart farm system for low carbon-green industry. *Journal of the Korea entertainment industry association*. 4(2):46-51. (in Korean).

Hwang, J.H. 2014. A study on the greenhouse integrated con-

- trol system based on big data platform. PhD Diss., Suncheon Univ. (in Korean).
- Hwang, J.H., C.S. Shin, and H. Yoe. 2010. Study on an agricultural environment monitoring server system using wireless sensor networks. *Sensors* (Basel, Switzerland). 10(12):11189-11211. (in Korean).
- Hwang, S.I., J.M. Joo, and S.Y. Joo. 2015. ICT-based smart farm factory systems through the case of hydroponic ginseng plant factory. *Journal of Korean institute of communications and information sciences*. 40(4):780-790. (in Korean).
- Im, H.J., H.D. Ju, M.H. Lee, and H. Yoe. 2008. Energy efficient sensor network for ubiquitous greenhouse by using wireless mesh networks. *Journal of the Korean institute of communications and information sciences*. p. 208-211. (in Korean).
- Jeong, H.S. and H. Yoe. 2015. A study on the environmental control system in closed-type plant factory. *Journal of the Korean institute of communications and information sciences*. p. 73-74. (in Korean).
- Jeong, K.J. 2013. Greenhouse smart raising environment system based on crop growth model. PhD Diss., Suncheon Univ. (in Korean).
- Jeong, K.J. and W.J. Kim. 2011. The implementation of smart raising environment management system based on sensor network and 3G telecommunication. *Journal of the Korea institute of electronic communication sciences*. 6(4):595-601. (in Korean).
- Ju, H.D., J.H. Hwang, and H. Yoe. 2008. A design of yield monitoring system for precision farming based on u-IT. *Journal of the Korean institute of communications and information sciences*. p. 200-203. (in Korean).
- Jung, S.K. and H.J. Kang. 2014. Development of smartfarm technique for intelligent cultivation management. *Journal of hydro-environment research*. 47(2):76-80. (in Korean).
- Kanjilal, D. D., Singh, R. Reddy, and J. Mathew. 2014. Smart Farm : Extending automation to the farm level, *International Journal of Scientific & Technology Research*. 3(7):109-113.
- Kang, M.S., J.S. Seo, K.R. Park, Y.G. Kim, C.B. Sim, and C.S. Shin. 2007. A greenhouse monitoring system for optimal growth environment. *Journal of Korean society for internet information*. 8(1):285-290. (in Korean).
- Kassim, M.R.M., I. Mat, and A.N. Harun. 2014. Wireless sensor network in precision agriculture application. *International Conference on Computer, Information and Telecommunication Systems (CITS)*. p. 1-5.
- Kia, P.J., T. Far, M. Omid, R. Alimardani, and L. Naderloo. 2009. Intelligent control based fuzzy logic for automation of greenhouse irrigation system and evaluation in relation to conventional systems. *World applied sciences journal*. 6(1):16-23.
- Kim, B.G., W.J. Lee, S.Y. Heo. 2010. Construction of a test-bed for ubiquitous plant factory monitoring system using artificial lighting. *Proceedings of KIIT Summer conference*. p. 272-275. (in Korean).
- Kim, K.O. and E.K. Kim. 2013. Cycle-by-cycle plant growth automatic control monitoring system using smart device. *Journal of Korean society for internet information*. 8(5):745-750. (in Korean).
- Kim, K.O., K.W. Park, J.C. Kim, M.S. Jang, and E.K. Kim. 2011. Establishment of web-based remote monitoring system for greenhouse environment. *Journal of the Korea institute of electronic communication science*. 6(1):77-83. (in Korean).
- Kim, K.O., J.C. Kim, K.J. Ban, E.K. Kim, and M.S. Jang. 2011. U-IT based greenhouse environment monitoring system. 5<sup>th</sup> FTRA International conference on multimedia and ubiquitous engineering. p. 203-206. (in Korean).
- Kim, S.Y., H.H. Kim, and H. Yoe. 2014. Design of IoT sensor-based greenhouse skylights control system. *Journal of the Korean institute of communications and information sciences*. p. 176-177. (in Korean).
- Kim, J.M., D.Y. Shin, and H.S. Kim. 2011. Composite monitoring system for real-time control of greenhouse. *Institute of control, robotics and system*. p. 116-119. (in Korean).
- Kim, J.Y. and D.M. Glenn. 2015. Measurement of photosynthetic response to plant water stress using a multi-modal sensing system. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*. 58(2):233-240.
- Kim, Y.W., S.J. Lee, K.H. Kim, and I.S. Lee. 2011. An implementation of a wireless gas automatic measurement and identification system for monitoring of crop growth environment. *Journal of advanced information technology and convergence*. 9(1):11-23. (in Korean).
- Korea Evaluation Institute of Industrial Technology (KEIT). 2011. Trend and prospect of IT convergence technologies in agriculture. p. 21-27. Daegu, Korea (in Korean).
- Korea Institute of Science and Technology Evaluation and Planning (KISTEP). 2015. Progress direction and Project of agriculture, fisheries and food R&D to realize smart-agriculture. p. 3-36. Seoul, Korea (in Korean).
- Korea Rural Economic Institute (KREI). 2013. The present status and development direction of smart agriculture. p. 16-27. Naju, Korea (in Korean).
- Korea Rural Economic Institute (KREI). 2014. Strategies and tasks of ICT convergence for the creative agriculture realization. p. 85-104. Naju, Korea (in Korean).
- Lee, E.J., K.I. Lee, H.S. Kim, and B.S. Kang. 2010. Development of agriculture environment monitoring system using integrated sensor module. *The Korea contents association*. 10(2):64-71. (in Korean).
- Lee, J.W., J.H. Hwang, and H. Yoe. 2014. Trend and direction of improvement of convergence technology in agriculture ICT. *Journal of the Korean institute of communications and information sciences*. 31(5):54-60. (in Korean).

- Lee, J.Y., S.H. Kim, S.B. Lee, H.J. Choi, and J.J. Jung. 2014. A study on the necessity and construction plan of the internet of things platform for smart agriculture. *Journal of Korea multimedia society*. 17(11):1313-1324. (in Korean).
- Lee, M.H., C.S. Shin Y.Y. Jo, and H. Yoe. 2009. Integrated management system of a greenhouse environment in ubiquitous agriculture. *Journal of communications of the Korea information science society* 27(6):21-26. (in Korean).
- Li, G., W. Zhang, and Y. Zhang. 2014. A design of the IOT gateway for agricultural greenhouse. *Sensors & Transducers*. 172(6):75-80.
- Li, S., Y. Han, G. Li, M. Zhang, L. Zhang, and Q. Ma. 2012. Design and implementation of agricultural greenhouse environmental monitoring system based on internet of things. *Applied Mechanics and Materials*. 121(126):2624-2629.
- Riquelme, L.J.A., F. Soto, J. Suardiaz, P. Sanchez, A. Iborra, and J. A. Vera. 2009. Wireless sensor networks for precision horticulture in southern Spain. *Computers and electronics in agriculture*. 68:25-35.
- Lim, E.C., J.J. Kim, C.B. sim, and C.S. Shin. 2007. A Multimedia pest prediction management system using soil and environment sensor. *Journal of Korea multimedia society*. p. 681-684. (in Korean).
- Ma, J., X. Li, H. Wen, Z. Fu, and L. Zhang. 2015. A key frame extraction method for processing greenhouse vegetables production monitoring video. *Computers and Electronics in Agriculture*. 111:92-102.
- Mancuso, M. and Bustaffa, F. 2006. A wireless sensors network for monitoring environmental variables in a tomato greenhouse. *Proceedings of the IEEE International Workshop on Factory Communication Systems*. p. 107-110.
- Matese, A., S. Gennaro, A. Zaldei, L. Genesio, and F. Vaccari. 2009. A wireless sensor network for precision viticulture: The NAV system. *Computers and electronics in agriculture*. 69:51-58.
- Marhaenanto, B., P. Soni, and V.M. Salokhe. 2013. Development of an internet-based greenhouse control system. *International Agricultural Engineering Journal*. 22(2):72-83.
- Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA). 2013. Supply method for ICT-based convergence technologies in agri-food industry. p. 1-7. Sejong, Korea (in Korean).
- Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA). 2014. Plans for future growth of the agro-industry. p. 2-3. Sejong, Korea (in Korean).
- Miorandi, D., S. Sicari, F. De Pellegrini, and I. Chlamtac. 2012. Internet of Things: vision, applications and research challenges. *Ad Hoc networks*. 10(7):1497-1516.
- Mirabella, O. and M. Brischetto. 2011. A hybrid wired/wireless networking infrastructure for greenhouse management. *IEEE transactions on instrumentation and measurement*. 60(2):398-407.
- Moon, A.K., S. Li, and K.H. Kim. 2011. A study on the greenhouse integrated management platform for plant factory. *The Korean institute of communications and information sciences*. p. 754-755. (in Korean).
- National Information Society Agency (NIA). 2014. Strategies of new ICT convergence of food, agriculture and forestry. p. 1-34. Seoul, Korea (in Korean).
- Nugroho., P. Andri, I. Takashi, I. Eiji, H. Yasumaru, and M. Muneshi. 2013. Development of actuation framework for agricultural informatization supporting system. *Bio-robotics*. 1:181-186.
- Omid, M. 2004. A computer-based monitoring system to maintain optimum air temperature and relative humidity in greenhouse. *International journal of agriculture and biology*. 6:1084-1088.
- Park, D.H., B.J. Kang, K.R. Cho, C.S. Shin, S.E. Cho, J.W. Park, and W.M. Yang. 2011. A study on greenhouse automatic control system based on wireless sensor network. *Journal of wireless personal communication*. 56(1):117-130. (in Korean).
- Park, J.J. and G.S. Shoi. 2009. A embedded system technology for web based monitoring and control system. *Journal of the institute of internet, broadcasting and communication*. 9(1):61-66. (in Korean).
- Rural Development of Administration (RDA). 2015. Progress plan for Korean smart-farm based on ICT convergence. p.1-51. Jeonju, Korea (in Korean).
- Sim, C.B. and E.C. Lim. 2008. A greenhouse, disease and insects monitoring system based on PDA for mobile users. *Journal of information and communication convergence engineering*. 12(12):2315-2322. (in Korean).
- Seo, K.K., Y.S. Kim, and J.S. Park. 2011. Design of adaptive Neuro-Fuzzy inference system based automatic control system for integrated environment management of ubiquitous plant factory. *Journal of bio-environment control*. 20(3):169-175. (in Korean).
- Seo, J.H. and H.B. Park. 2002. Real-time remote greenhouse monitoring and control using Labview. *Journal of the Korea institute of information and communication engineering*. 7(4):779-787. (in Korean).
- Seo, J.H. and H.B. Park. 2009. Implementation of efficient mobile monitoring system of the greenhouse environment data. *Journal of the Korea institute of information and communication engineering*. 13(3):572-579. (in Korean).
- Seo, J.S., M.S. Kang, Y.G. Kim, C.B. Sim, S.C. Joo, and C.S. Shin. 2008. Implementation of ubiquitous greenhouse management system using sensor network. *Journal of the Korean society for internet information*. 9(3):129-139. (in Korean).
- Shin, C.S., Y.W. Lee, M.H. Lee, J.W. Park, and H. Yoe. 2009. Design of ubiquitous glass greenhouses. *Journal of software technologies for future dependable distributed systems*. p. 169-172. (in Korean).
- Son, K.H., D.H. Park, S.H. Kim, J.H. Kim, and E.T. Jeung. 2012. Actuator multiple control method for greenhouse

- environment control system. *Journal of information and telecommunication facility engineering*. 11(2):39-45. (in Korean).
- Srbinovska, M., C. Gavrovski, V. Dimcev, A. Krkoleva, and V. Borozan. 2015. Environmental parameters monitoring in precision agriculture using wireless sensor networks. *Journal of Cleaner Production*. 88:297-307.
- Striemer, G.M., D.L. Story, A. Akoglu, and M. Kacira. 2011. A node and network level self-recovering distributed wireless sensor architecture for real-time crop monitoring in greenhouses. *Transaction of the ASABE*. 54(4):1521-1527.
- Wang, N., N. Zhang, and M. Wang. 2006. Wireless sensors in agriculture and food industry-recent development and future perspective. *Computer and electronics in agriculture*. 50:1-14.
- Wang, J., K. Damevski, and H. Chen. 2015. Sensor data modeling and validating for wireless soil sensor network. *Computers and Electronics in Agriculture*. 112:75-82.
- Yang, I. C., S. Chen, Y. I. Huang, K. W. Hsieh, C. T. Chen, H. C. Lu, C. L. Chang, H. M. Lin, Y. L. Chen, C. C. Chen, and Y. M. Lo. 2008. RFID-integrated multi-functional remote sensing system for seedling production management. *Proceedings of 2008 ASABE annual International meeting*.
- Ye, S.B., S.Y. Yang, and H.T. Ceong. 2012. The development on component-based environment information monitoring system. *Journal of the Korean institute of electronic communication science*. 7(1):195-201. (in Korean).
- Yoo, N.H., G.J. Song, J.H. Yoo, S.Y. Yang, C.S. Son, J.W. Koh, and W.J. Kim. 2009. Design and implementation of the management system of cultivation and tracking for agricultural products using USN. *Journal of communications of the Korea information science society*. 15(9):661-674. (in Korean).
- Zhang, W., G. Kantor, and S. Singh. 2004. Integrated wireless sensor/actuator networks in an agricultural application. *2nd ACM International conference on embedded networked sensor system*. p. 317
- Zheng, L., M. Li, C. Wu, H. Ye, R. Ji, X. Deng, and W. Guo. 2011. Development of a smart mobile farming service system. *Mathematical and computer modelling*. 54(3):1194-1203.
- Zheng, X.Y., Y.K. Huang, C.Y. Lee, C.P. Chen, C.L. Chuang, J.C. Shieh, and J.A. Jiang. 2013. A novel automatic ICT system for orchid Greenhouse monitoring. *Sustainable Agriculture through ICT innovation*.