

수경인삼 식물공장 사례를 통한 ICT 기반 스마트 팜 팩토리 시스템

황 성 일*, 주 종 문*, 주 성 용*

ICT-Based Smart Farm Factory Systems through the Case of Hydroponic Ginseng Plant Factory

Sung-Il Hwang*, Jong-Moon Joo*, Seong-Yong Joo*

요 약

식물공장의 필요성에 대한 시대적, 산업적 요구가 증가함에 따라 전 세계적으로 식물공장을 이용하여 다양한 작물을 재배하려는 연구가 이루어지고 있다. 그러나 대부분의 연구는 컨테이너 크기의 소형 식물공장 형태의 연구실을 대상으로 한 부분적인 기술에 국한되어 있으며, 경제적 효과를 확보하기 위한 대형 식물공장에 대한 연구는 부족한 상황이다. 본 연구에서는 수경인삼 식물공장의 사례를 통하여 ICT 기반의 스마트 팜 팩토리 시스템에 대한 연구를 진행하고자 한다. 스마트 팜 팩토리는 기존의 식물공장의 개념을 확장한 것으로 일부 환경정보를 수집하여 시설물을 제어 할 수 있는 기존의 식물공장 수준을 뛰어 넘어 식물 생육을 위한 정보의 수집과 시설의 운영 및 관리의 자동화가 가능하며, 수집된 정보를 이용하여 최적의 작물 생육을 위한 정보 분석과 이의 적용이 가능한 전사적인 식물공장 관리 시스템이다.

Key Words : Smart Farm Factory, ICT, Plant Factory, Hydroponic Ginseng, Platform

ABSTRACT

Studies for a plants factory is progressing for cultivating various plants by the needs of the times and industry around world. However most studies is carried out only in lab sized plants factory. It does not consider an economic feasibility. The study for a large scale plants factory is very required to get an economic gain. In this paper we has been studying a smart farm factory based on ICT using the hydroponics ginseng. The smart farm factory is to extend a concept of the general plants factory to full automated factory. The factory can collect the information about growing of plants and automate operating and management of factory like the existing plants factory. Also it is the total plants factory management system, which analyzes the collected information for optimized growth and development of plants and applies the result to the system back.

※ 본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림수산식품기술기획평가원의 첨단생산기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음 (No. 114047-03-1-SB010)

※ This work was supported by Korea Institute of Planning and Evaluation for Technology in Food, Agriculture, Forestry and Fisheries(IPET) through Advanced Production Technology Development Program, funded by Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs(MAFRA) (114047-03-1-SB010)

• First Author : Agronics Co., Ltd, Research Planning Team Manager, hsi2544@agrionics.co.kr, 정희원

* ㈜에그로닉스 jupiter@agrionics.co.kr, syjoo@agrionics.co.kr

논문번호 : KICS2015-01-015, Received January 30, 2015; Revised April 8, 2015; Accepted April 8, 2015

I. 서 론

최근 들어 전 세계적인 환경오염과 이상 기후로 인하여 농작물 생산의 불확실성이 증가하게 되자 많은 국가들이 안정적인 식량 공급을 해결하기 위하여 다양한 연구를 수행하고 있는데 그 중 대표적인 기술이 식물공장이다^[1]. 식물공장은 인공광원을 이용하여 외부 조건의 영향을 받지 않고 식물을 재배 할 수 있는 완전 제어형태의 공장으로, 지리적 입지에 상관없이 식물을 재배할 수 있으며, 내부 환경을 정밀하게 조절할 수 있어 재배 식물의 생산성을 높이며, 품질을 향상시킬 수 있으며, 연중 생산이 가능하다는 장점이 있다^[2]. 그러나 대부분의 식물공장 관련 연구는 식물공장의 시설물의 자동화, 광원의 선정 및 사용 방법, 양액의 성분 그리고 온도, 습도 등의 환경관리를 중심으로, 컨테이너 크기의 소형 시설에서의 연구 중심으로 진행되어 왔었다^[3]. 또한 식물공장을 운영하고자 하는 산업체의 입장에서는 높은 초기 비용의 회수를 위한 재배 식물의 판매를 통한 이익의 극대화에 관심이 많은 상황이다. 이를 위하여서는 대규모 시설을 이용한 대량 재배 방식으로 운영하여야 하지만, 이러한 대규모 식물공장에서의 효율적인 운영을 위한 실질적인 연구 및 사례는 부족한 상황이다^[4]. 특히 식물공장 운영의 전 과정을 자동화로 동작할 수 있는 시설물 운영 프로세스의 자동화 및 표준화를 위한 연구와 과학적인 품질관리 기술의 도입으로 식물 재배 방식의 과학화와 표준화가 확립되어야 한다. 이러한 과학적이며, 표준화된 운영 프로세스의 도입에 의해서만 대규모 식물공장에서의 재배 식물의 생산성 향상을 통한 이익의 극대화를 기대할 수 있을 것이다^[5].

본 연구에서는 수경인삼을 재배하고 있는 식물공장의 사례를 통하여 ICT 기반의 스마트 팜 팩토리 시스템에 대한 연구를 진행하고자 한다. 본 연구의 사례로 제시된 울산시 울주군에 있는 수경인삼 재배 식물공장은 농촌진흥청으로부터 기술이전 받은 수경인삼 재배방식을 이용하여 2013년부터 자동화된 공정으로 연간 40만 주의 수경인삼을 재배하고 있다. 이 사례를 통하여 상업용 식물공장을 운영하기 위한 기본적인 프로세스 및 식물 재배의 표준화를 확인할 수 있으며, 식물공장이 가진 문제점과 한계점을 확인할 수 있을 것이다.

기존의 식물공장이 가지고 있는 문제점과 한계점을 극복하기 위하여 본 연구에서 제시하고자 하는 것이 “스마트 팜 팩토리 시스템”이다. 스마트 팜 팩토리는 기존의 식물공장의 개념을 확장한 것으로 일부 환경

정보만을 수집 하여 시설물을 제어 할 수 있었던 기존 식물공장의 수준을 뛰어 넘어 식물 생육을 위한 정보의 수집과 시설의 운영 및 관리의 자동화 연계가 가능하며, 수집된 정보를 이용하여 최적의 작물 생육을 위한 정보 분석과 이의 적용이 가능한 전자적인 식물공장 관리 시스템이다. 특히 이러한 스마트 팜 팩토리 시스템을 위하여 정보의 수집과, 처리, 제어 등의 시설물 자동화 기술과 운영 시스템의 운영 및 관리 그리고 재배 기술의 고도화를 위한 빅데이터 분석과 같은 지능형 정보를 제공하기 위하여 ICT 기술 융합이 필요하다.

본 연구의 구성으로 본론에서는 기존 식물공장 기술과 본 연구의 사례로 제시한 수경인삼 식물공장에 대하여 알아보며, 본 연구에서 제안하고자 하는 ICT 기반의 스마트 팜 팩토리 시스템의 정의와 요소 기술들에 대하여 제안한다. 결론에서는 이러한 제안 기술의 실증적 적용을 위해 추진 중인 대형 스마트 팜 팩토리 시스템의 향후 과제를 알아보하고자 한다.

II. 본 론

2.1 식물공장 기술현황

최근에 전통산업분야로 여겨지는 농업분야에 있어 IT 기술, 바이오 기술 등의 융합이 가속화되고 있다. 즉 전통산업이었던 농업분야에 첨단기술 활용도가 증가함에 따라서 농업분야에 새로운 패러다임이 도래하고 있다. 이러한 농업분야 융합화의 대표적인 사례가 식물공장으로, 이는 농업에 IT 기술, 바이오 기술 등을 활용하여 지역적인 제약 없이 대량으로 생산할 수 있는 기술을 이용한 새로운 농업방식이다^[6]. 식물공장은 LED 조명, 자동 온도 조절 등 인공 환경 조성을 통한 식물의 연속생산 시설로 농업과 바이오, 나노, IT 분야의 융복합화를 선도하고 있다. 또한 저탄소 녹색성장 시대의 도래와 함께 식물공장을 배출된 탄소의 자연 소비처로 활용하는 방안 또한 새롭게 모색되고 있어, 식물공장 기술 분야에 대한 R&D의 중요성이 더욱 부각되고 있는 실정이다.

국내에서는 u-IT839 정책을 국가 전략사업으로 선정하여, u-Farm이란 첨단 IT 기술을 활용하여 농·수·축산업의 생산, 품질, 물류 및 유통 관리 분야에 유비쿼터스 신기술을 적용하였다. 유비쿼터스 IT 기술 분야 중 농작물 재배 환경 관리의 경우 대기의 온·습도, 지하부 온도 및 수분, 일사량 센서 등의 다양한 센서들을 이용하여 재배 환경 모니터링 시스템, 데이터베이스 및 웹 서버를 이용한 자료 분석 및 실시간 정보

제공 기술, 농작물 재배 환경 자동 제어기술 개발 등의 연구가 이루어졌다⁷⁾.

미국, 일본과 같은 농업 선진국의 대규모 기업 형태의 농업 산업체 들은 이미 자체적으로 유비쿼터스 센서 네트워크 기술을 적용한 생산 및 유통 지원 시스템을 구축하기 위하여 각종 연구를 추진하고 있다. 그러나 군사, 의료, 산업, 물류 분야와 다르게 농업 분야의 경우 실시간으로 변화되는 기상 정보, 작물의 생육 상태, 각종 질병 등과 같이 고려해야 할 다양한 변수들과 센서의 배터리 문제, 가혹한 환경 조건에서도 버틸 수 있는 센서의 개발 등의 문제들로 인하여, 유비쿼터스 센서 네트워크 기술이 적용된 효과적인 시스템을 구축 하는 데에 많은 어려움이 있다. 또한 농업 종사자들과 센서 네트워크 기술을 연구하는 과학자들과의 관점 차이로 인하여 농업 분야에서 유비쿼터스 센서 네트워크 기술을 적용하기 위해서는 해결해야 할 과제들이 많다^{8,9)}.

국내의 식물공장 환경의 자동제어 연구는 현재 초보적인 실정이다. 그 원인은 농업 시설과 작물 생산에 관한 기술들이 IT 기술과의 접목에서 유기적으로 수행되지 못함에 있는 것으로 보고 있다. 이에 따라 계측과 제어 기술, 데이터베이스와 인공지능 기술, 데이터 통신, 통합 소프트웨어 시스템, 센서 기술 등의 적극적인 도입이 농업의 생산성 극대화와 자동화를 위하여 절실히 요구되고 있다. 이러한 요구의 결과로 최근 들어 시설 재배 환경의 자동 제어를 위한 전문가 시스템 개발, 식물공장 모니터링 시스템 테스트 베드 구축¹⁰⁾, 통합 센서 모듈을 이용한 농업 환경 모니터링 시스템 개발 등의 다양한 연구들이 진행되고 있다¹¹⁾. 그러나 이러한 선행연구들은 식물공장의 자동 제어를 위한 전문가의 지식이나 경험을 자동으로 제어하는데 국한되어 있으므로 보다 효율적이고 자동화된 제어 시스템의 개발이 필요하다.

일본은 태양광 병용형에서 완전 제어형에 이르는 다양한 형태의 식물공장에 대한 연구를 진행하고 있고 식물공장의 사업화도 가장 앞선 것으로 평가되고 있다. 2008년에 이미 50개의 사업화된 식물공장이 운영 중에 있으며, 이러한 식물공장들은 주로 인공광원에 의존하며 거의 전 작업 공정을 자동화 또는 로봇화로 연구해 나가는 경향이아, 아직 완전 제어형 식물공장에서는 자동화 비율은 상당히 낮은 상태. 식물공장에 공급하는 새로운 광원으로서 하이브리드 전극형 광등(HEFL) 및 마이크로파 광원을 식물공장 생산 시스템에 적용하기 위한 요소기술 연구가 활발하게 진행되고 있다¹²⁾. 유럽의 식물공장은 현재 네덜란드 등

을 중심으로 대부분 자동화된 냉난방 및 공조 설비를 갖춘 유리온실의 형태로 되어 있고, 주로 화훼류 등 고부가가치 작물 재배 또는 식물의 육묘 등에 적용되고 있다. 최근에는 입체형 식물공장 및 실용화 수준의 공정 자동화를 위해 농작업의 로봇화를 위한 연구와 온실보광 및 식물공장용 고휘도 LED 광원 개발에 필립스(Philips) 같은 대기업에서 집중적으로 연구하고 있다¹³⁾.

식물공장 관련 기술개발 및 연구동향은 크게 3가지로 구분할 수 있는데, 식물공장 생산시스템 분야와 식물공장 재배기술 분야 그리고 식물공장 환경조절 및 수경재배 기술로 구분된다⁴⁾. 먼저 식물공장 생산시스템 분야는 일반적인 산업 분야에 이용하고 있는 자동화 장치를 응용하여 식물공장에 도입하고 있으며, 환경요인 센싱에 의한 환경제어 시스템이 일반적이다. 또한 식물공장의 모니터링을 위해 인터넷, 스마트폰을 이용한 원격제어 연구가 진행 중이다. 일본은 식물 재배용 우레탄 배지 자동 절단, 파종 시스템, 엽채류 수확 로봇 등을 개발하였고, 유럽은 기존의 유리온실에 공장적 생산 개념으로 자동화, 로봇화 기술이 도입되면서 엽채류, 과채류 등을 대량 생산할 수 있는 자연광 식물공장 형태로 발전하였다. 각종 센서 및 제어장치 등의 다양한 모듈이 유기적으로 연동되어 재배환경을 최적제어하고 있으며, 생체정보에 의한 환경제어를 진행하고 있다. 네덜란드는 유리온실에서 엽채류 재배 베드를 자동으로 이송해주는 MGS시스템, 이식 시스템 등의 자동화 장치를 도입하는 등 자연광 식물공장이 발전하였다. 산업용 센서는 일정 부분 국제경쟁력 갖추었다고 할 수 있으나, 농업용 센서 개발은 수입에 의존하는 실정이다.

두 번째는 식물공장 재배기술 분야로 대표적으로는 식물공장의 광 조절 기술이 있다. 인공광 식물공장에서는 주로 형광등, 자연광 식물공장에서는 고압 나트륨등이 주를 이루고 있다. 식물공장 생산 농산물의 품질관리 기술은 생리장해 경감, 생육 조절 및 기능성 물질 함량 증대를 통한 고품질화 연구가 진행되고 있으며, 종자발아, 육묘, 재배 효율 향상 기술, 기능성 물질 극대화를 위한 다양한 작물 적용기술 연구가 진행 중이다. 식물공장 내에서 화훼류의 개화조절, 광주기 조절, 광도, 광질에 따른 개화반응 구명, 품질 향상, 출하시기 조절, 적정 광도 조건 구명, 원적외선 파장대와 적색 파장대의 광에 의한 개화조절 기작 구명 연구 등 다양한 연구가 추진되고 있다. 일본에서는 상추, 가지, 토마토, 딸기, 배추, 시금치, 오이 등 채소류와 국화, 장미 등 화훼류, 밀, 콩, 대두 등 식량작물, 초지

등을 시험재료로 하여 자외선, 적색, 청색, 녹색, 백색, 황색, 원적외선 등 단일광이나 혼합 광질, 광도, 광주기 등 다양한 연구가 진행되고 있다. 또한 재배작물과 품종별 광질에 따른 식물생육 및 생리활성 물질인 안토시아닌, 클로로필, PAL 활성, 아스코비산, 페놀 물질 등의 함량 증대를 위한 최적 광질, 광도 조건 및 조합 등에 대한 구명 연구 등이 진행되고 있다.

마지막으로 식물공장의 환경조절 및 수경재배 기술은 기후 특성에 적합한 파프리카, 토마토 등 핵심 작물에 대한 전용 양액 개발과 생산성 및 품질향상 기술로서 작물별 적정 양액 농도 구명, 배양액 온도 및 산소 농도에 따른 생육 및 품질, 미네랄 첨가에 따른 생육과 품질 영향 등의 연구가 수행되고 있다. 식물공장 내 재배환경의 제어와 수경재배 시스템을 통한 작물 생산으로 고품질의 청정 농산물의 생산량 증가, 작물 생육에 관련된 환경요소인 이산화탄소의 농도, 기온, 광도, 양액 농도 등의 조절, 작물의 성장 모델을 개발하여 생산량을 예측 및 제어하는 기술, 광합성 효율 향상 등과 같은 생체반응 계측 기술로 최적 환경을 조절하는 연구, 기능성 물질의 축적을 위해 여러 가지 환경적 스트레스를 일시적으로 처리하는 수분 제한, 양분 조절기술 개발, 높은 광도나 UV 파장 조사, 고온 및 저온, 고염 처리 등의 기술이 응용되고 있다. 일본에서는 식물공장에 필요한 이산화탄소를 대기 중에서 포집하여 식물공장에 공급하는 기술이 시도되고 있다.

식물공장 기술 경쟁력은 표 1에서와 같이 자동화 및 센싱 기술은 국내 기술이 전반적으로 발전 중기 단계에 있으며, 선진국의 최고기술 수준 대비 50-60%로 낮은 수준이다. 광원 및 조명 기술은 선진국 최고 광원 및 조명 기술 수준 대비 85-90% 수준이다. 유럽은 오스람, 필립스 등이 농업용 LED 개발에 착수하여 대학, 업체 및 농업현장에서 기술개발 중이며, 조명장치의 가격 경쟁력은 중국과 한국이 우수한 편이다. 수경재배 기술은 전반적으로 발전 중기 단계에 있으며, 선진국 최고기술 수준 대비 70-90% 수준이다. 환경조절 기술은 발전 초기단계의 기술 수준이며, 선진국 최고 수준 대비 60-80% 정도로 낮은 편이다. 에너지 및 공조 기술은 일본의 경우 식물공장 설계 단계부터 열유동 해석을 통한 예상 온도 분포 시뮬레이션을 통한 최적화 기술을 확보하고 있으며, 선진국 최고기술 수준 대비 80-90% 수준이다. 유럽 자연광 식물공장의 경우 적극적인 환경조절 기술을 통해 에너지 절약 및 생산성을 증대하고 있다

표 1. 식물공장 기술 수준 및 경쟁력
Table 1. Plant factory technology level and competitive evaluation

분야	기술수준 및 경쟁력
자동화	- 유럽 100%, 일본/미국 90%, 한국50-60% - 국내 자동화 기술은 산업 중심으로 중요 기술에 대한 개발 부족 함
센싱	- 유럽 100%, 일본/미국 90%, 한국 60% - 해외 제품에 의존 및 기술 개발 부족
광원/조명	- LED 광조사 장치 : 일본/한국 90%, 중국 85%, 유럽 100% - 방열 기술 : 일본 100%, 한국 90%, 중국 90%, 유럽 95% - 광 제어 기술 : 한국 95%, 일본 95%, 유럽 90%, 중국 90% - 조명 기술 : 한국 85%, 중국 80%, 일본 90%, 유럽 90%
수경재배	- 일본/유럽 100%, 미국 90%, 한국 80% - 양액 재순환 기술 부족, 단순 생산 위주
환경조절	- 일본/유럽 100%, 미국 80%, 한국 70% - 상용화 복합 환경제어 장치 경쟁력이 낮음 - 전체 환경 요소에 대한 제어 연구 부족
작물	- 작물 선발 및 품종 육성 기술 : 한국 70%, 중국 30%, 일본/유럽 100% - 육종과 번식 기술은 선진국 수준 - 환경 최적화 기술, 작물 성장 제어와 모델링 기술은 초보 단계 - 생육, 개화 및 품질 향상 기술 : 한국 50%, 중국 30%, 일본/유럽 100%
품질관리	- 국내는 식물의 기능성 물질, 생리활성 물질 증대 기술 개발 및 주요 생리장해의 원인 구명 및 억제기술 개발 중 - 해외는 물질의 추적과 함량 증대 기술 개발
에너지/공조	- 히트펌프 : 일본 100%, 한국 80%, 유럽 95% - 일본은 히트펌프 성능(COP) 7 수준이며, 국내는 최대 COP 5 수준 - 공기조화 기술 : 일본 100% (인공광 식물공장), 한국 80%, 90%(인공광, 자연광 식물공장), 유럽 100% (자연광 식물공장)

Reference : Road Map for Development of Plant Factory Technology, RURAL DEVELOPMENT ADMINISTRATION (RDA), 2013

2.2 수경인삼 식물공장 사례 분석

본 절에서는 실제 운영하고 있는 식물공장을 대상으로 하여 식물공장 요소 기술들의 적용 현황과 문제점들을 분석하고자 한다. 본 연구에서 사례로 선정한 식물공장은 지난 2013년부터 운영하고 있는 ㈜애그로닉스의 인공광, 완전 자동형 수경인삼 재배 식물공

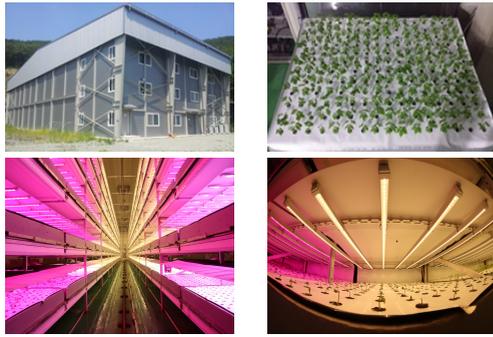


그림 1. 수경인삼 식물공장
Fig. 1. Hydroponic Ginseng Plant Factory

장을 대상으로 하였으며, 수경인삼 재배 식물공장의 각 분야별 기술 수준 및 재원은 표 2와 같다.

(주)에그로닉스의 수경인삼 재배 식물공장은 2012년 준공하여 2013년부터 본격적인 수경인삼을 식물공장에서 재배하기 시작하였다. 수경인삼 재배 방식은 유기농 무농약으로 노지에서 재배된 건강한 1년생 묘삼을 구입하여 이를 저온저장고에서 보관하였다가 정식 일정에 맞추어서 온도를 서서히 올리는 순화의 과정을 거친 뒤에 식물공장에 정식 하여 재배하는 방식으로 진행되고 있다.

일반적으로 인삼은 11월에 씨를 뿌린 후 차년도 봄부터 가을까지 성장하며 온도가 낮은 겨울 기간에는 성장이 멈추는 휴면 기간을 가지는 특성이 있다. 이러한 특성 때문에 봄부터 가을까지 (여름에는 성장이 멈춤)의 3개월 기간만 성장하는 기간을 식물공장에서 양액과 일정량의 광량을 제공하여 성장하도록 하고 있다. 그러므로 식물공장에서는 1년생 묘삼이 2년생 수경인삼으로 성장하는 기간은 90일 내외면 성장할 수 있다.

식물공장에서 재배하는 수경인삼은 적절한 온도 내에서 양액과 광량만으로 성장하기 때문에 성장을 위한 환경 제어가 가능하며, 수집된 데이터를 바탕으로

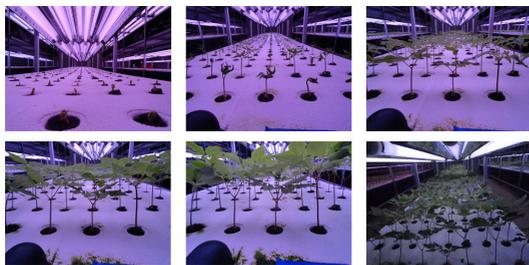


그림 2. 수경인삼 성장
Fig. 2. Hydroponic Ginseng Growing

표 2. 수경인삼 식물공장 기술 수준 및 재원
Table 2. Hydroponic Ginseng Plant Factory Technology Level and Specification

분야	기술수준 및 재원
규모 및 시설	<ul style="list-style-type: none"> - 면적 : 식물공장 재배동 1,198㎡ (360평) - 구성 : 총 3개 Chamber 864개 베드 - 1개 Chamber 2면 6단 24열 288개 베드 - 1개 베드 192주 인삼 정식 * 1년 3작기 * 수확률 80% = 약 400,000주 - 모종 연구동(하이브리드) 400㎡ (120평) - 인삼 생육시험 연구동 318㎡ (96평) - 저온저장고 (7.96*2.5*2.5m, 6평형 3개동)
자동화	<ul style="list-style-type: none"> - 수경인삼 재배 베드 입출고 자동화 (서플 시스템 운영) - 양액 및 관수 시스템 자동화 (양액 제조 및 관수 주기 스케줄링) - 온도 및 습도 변화에 따른 공조시스템 자동화 - 시설물 오동작 및 주요 점검사항 발생에 따른 알람 및 SMS 시스템 자동화
센싱	<ul style="list-style-type: none"> - 재배동 내부의 온도, 습도, Co2 센싱 - 양액 시스템의 EC, pH 센싱 - 센서 통신은 모두 유선 네트워크로 구성 (내부 구조물 영향 고려)
광원/조명	<ul style="list-style-type: none"> - LED 재원에 따른 발육상태 연구를 위해 4개 회사의 LED 설치 운영 중 - 1개 베드 당 6개 LED 총 5,184개 설비 - A사 (17w, SMPS 내장, IP65, Worm-White, Max 101 mol, Min 46 mol) - B사 (34w, SMPS 외장, 방수, RGB(7:1:2), Max 123 mol, Min 72 mol) - C사 (20w, SMPS 외장, 방수, White Color, Max 144 mol, Min 56 mol) - D사 (18w, SMPS 외장, White Color, Max 90 mol, Min 40 mol)
수경재배	<ul style="list-style-type: none"> - 농촌진흥청의 특허 “청정수삼 및 인삼 엽 생산방법(10-00959254)” 준용 - 수경재배에 따른 양액 순환시설 운영
환경조절	<ul style="list-style-type: none"> - 온도 변화에 따른 자동화 공조시설 운영 (23℃ ± 1℃ 이내) - 냉해 피해방지를 위한 난방 시설 운영
작물	<ul style="list-style-type: none"> - 무농약 인증 유기농 1년생 묘삼 사용 - 작물의 최적성장 환경 유지 기술보유 (제어 및 분석 기술 미확보)
품질관리	<ul style="list-style-type: none"> - 육안 선별방식에 의한 품질관리 수행 (정식, 생육 기간, 수확)

최적의 성장을 위한 환경조건을 분석할 수 있는 장점이 있다. 또한 식물공장에서의 수경인삼을 재배하는 모든 시설물의 운영은 자동화 기계를 이용하기에 적



그림 3. 식물공장 자동화 시스템
Fig. 3. Plant Factory Automation System

은 인력으로도 운영이 가능하다. (주)에그로닉스의 식물 공장도 관리와 시설물 점검 그리고 연구 인력을 제외 하면 생산에 직접 투입되는 인력은 4~5명 수준에 불과하다. 또한 정식과 수확 시기에만 인력이 집중적으로 요구될 뿐 90일간의 생장기간 동안 양액공급과 환경제어는 모두 자동적으로 운영되어 최소한의 인력으로 운영이 가능하다.

이러한 자동 제어가 가능한 식물공장은 시설물을 구축하기 위한 초기비용이 많이 발생하는 단점이 있다. 기본적으로 공장 부지와 시설물 건축이 필요하며, 식물재배를 위한 베드, 양액, 관수, 공조, 조명 등의 시설이 필요하다. 특히 최근에는 LED를 이용한 식물의 재배가 효과적이라는 연구결과를 바탕으로 형광등 대신 LED를 사용하고 있는데, 아직까지는 가격이 높아 대규모 식물공장을 운영하고자 하는 업체에서는 상당한 부담이 되고 있다¹⁴⁾.

(주)에그로닉스의 사례에서는 가로 120cm 세로 180cm 길이의 수경인삼 재배 베드에 192주의 인삼을 정식하여 재배하는데, 적절한 광량 제공을 위하여 30cm 높이에서 최소 70mol의 광량을 유지하기 위해 1개 베드에 6개의 LED를 설치하여 운영하고 있다. 그러므로 3개동 864개의 베드에 필요한 LED는 무려 5,184개가 필요하게 되어 LED 구입비용이 상당한 수준에 이르고 있다.

식물공장 내부에서 발생하는 정보로는 온도, 습도, Co2와 같은 환경정보가 있으며, 자동화 기기의 운영에 따른 시설물 운영정보가 수집된다. 수경인삼은 광량과 양액만으로 성장하므로 양액 혼합기와 분무를 위한 관수장치 그리고 정수장치의 정보는 실시간으로 수집되어야 하며, 이상이 발생하면 즉각적인 통보와 처리를 위한 장치가 반드시 필요하다. 또한 온도변화에 따른 공조기기의 운영이 자동화 되어야 하며, LED



그림 4. 실시간 환경정보 모니터링 시스템
Fig. 4. Environmental information real-time monitoring system

의 이상 유무를 파악하여 교체 할 수 있도록 정보를 제공할 수 있어야 한다.

사례의 식물공장에서 발생하는 모든 정보들을 수집하여 이를 통합적으로 모니터링하고 관리할 수 있으며, 또한 수집된 정보를 분석하여 최적의 생장을 위한 환경을 제공할 수 있는 관리 시스템을 2014년부터 ICT 기반 식물공장 통합 운영 플랫폼으로 개발하고 있다. 이 기술은 대형 식물 공장의 식물 생육 자동화를 위한 환경 데이터 수집, 분석, 환경 요소 자동 설정 및 제어 등을 지원하도록 한다. 또한 환경에 민감한 작물들은 환경 요인의 변화에 매우 민감하기 때문에 항상 일정한 환경을 유지하기 위하여 CO2, 정수 공급, 주기적 양액, 광도, pH, 온도, 습도, 기류, 공조 등의 환경 정보를 지속적으로 수집하고 제어 할 수 있도록 하고 있다.

앞 절의 표 1에서 식물공장의 각 분야별 기술에 대하여 국내의 수준을 제시하였다. 각 분야별 국내 수준은 세계 최고 수준 대비 70~80%의 수준에 있기 때문에 2~3년 안에 이러한 기술적 격차를 줄일 수 있을 것으로 보인다. 하지만 이러한 기술적 수준의 상승을 통한 세계 최고 수준과의 기술적 격차 해소도 중요하지만, ICT 기술을 융합한 식물공장 기술을 개발하여 글로벌 경쟁력을 갖춘 스마트 식물공장의 기술개발도 중요하다. 이에 본 연구에서는 자동 제어가 가능한 식물공장에 ICT 기술을 융합한 지능적인 새로운 식물공장의 모델을 제시하고자 하며, 이를 스마트 팜 팩토리 시스템으로 제안한다.

2.3 스마트 팜 팩토리

앞 절의 사례에서 본 바와 같이 식물공장은 광량,

온도, 양분 등을 조절하여 작물을 재배할 수 있기 때문에 최대의 생산성을 얻을 수 있는 **신농업**이며, 정보 기술과 바이오 기술, 그리고 자동화 기술의 집합체이다. 또한 농업과 타 산업과의 융복합으로 전후방 산업과의 동반성장이 가능하므로 새로운 시장 창출이 가능하다는 장점을 가지고 있다. 그 결과 지난 2009년부터 식물공장 육성은 국가 안건으로 채택되어 지원되고 있다.

그러나 식물공장을 운영함에 있어 다음과 같은 애로사항이 발생하고 있다. 먼저 식물공장에서 재배 가능한 식물에 제한이 있다는 점이다. 제한된 공간 내에서 재배하기 때문에 개체의 크기와 생육기간에 제한이 따른다. 또한 식물공장 구축과 운영에 고비용이 필요하기 때문에 이의 경제적 해소를 위한 고부가가치 식물만이 가능하다는 제한성이 존재한다. 두 번째로 최대한의 청정시설을 갖추고 지속적인 관리를 하지만 식물 자체에 내재되어 있거나 외부로부터 유해물질 유입으로 인하여 재배 식물에 질병이 발생 한다는 점이다. 일반적인 노지에서 재배하는 식물 보다는 그 발생 비율이 낮으며 개별적인 조치가 가능하지만, 이러한 질병이 발생 할 수 있다는 사실에 대한 대응과 예방 절차가 필요하다. 세 번째로 아직까지 식물공장 관련 전후방 산업이 미성숙 되어 있으며, 규모면에서도 영세성을 면하지 못하고 있다. 일부 기업에서 식물공장에 관심을 가지고 투자를 진행하고 있으나, 경제적 성과에 대한 신뢰성 높은 사례가 미비하여, 소규모 실험실 규모로만 운영하고 있어 그 실효성에 대한 검증이 요구되고 있다. 네 번째로는 식물공장을 이용한 식물의 대량재배를 위한 기술적 장벽이 존재한다는 것이다. 식물공장 산업은 아직까지 제조업 이라기 보다는 농업에 가깝다는 인식이 있어 일부 관심이 있는 기업 이외에는 대부분 농민들이 참여를 하고 있어 대형 식물공장 보다는 일반 온실산업의 발전된 형태인 농업의 한 분야로 인식하고 있다. 또한 세계 최고 수준에 비하여 기술적 장벽과 경험의 부족으로 집중적인 투자에 적극적이지 못하고 있다. 마지막으로 대형 식물공장을 운영하기 위해서는 시설물 관리, 재배 관리, 운영관리 등의 통합관리 시스템이 필요하다. 기본적으로 식물공장은 모든 정보와 시설을 손쉽게 제어 및 관리 할 수 있어야 하며, 축적된 정보를 바탕으로 보다 효과적인 운영과 관리를 위하여 적용 할 수 있어야 한다. 그러나 아직까지 식물공장 시스템에 최적화된 통합 관리 시스템의 개발은 전무한 상황이다. 일부 기업에서 여러 가지 이름으로 운영시스템을 개발하고 있으나, 단순한 시설물 관리 수준에 머물러 있



그림 5. 식물공장의 한계와 스마트 팜 팩토리
Fig. 5. Limits of plants factory and smart farm factory

어, 이 기술의 개발도 시급한 분야라고 볼 수 있다. 이러한 식물공장의 한계를 극복하고 차세대 신산업으로 성장하기 위하여 본 연구에서는 ICT 기반의 정보통신기술과 바이오 기반 농생명 공학기술, 대량생산을 위한 농업자동화 기술 그리고 부가가치 증대를 위한 정보화 기술들을 융합한 새로운 식물공장의 모델을 제안하고자 하며, 이를 **스마트 팜 팩토리** 라고 정의 하였다.

본 연구에서 제안하는 ICT 기반의 스마트 팜 팩토리 시스템은 “ICT 기반 수집 및 분석된 정보에 의해 자동화로 운영되는 지능형 식물공장 시스템”으로 정의한다. 먼저 스마트 팜 팩토리는 환경정보, 생육정보, 시설정보 및 운영 정보의 자동 수집이 가능해야 한다. 앞선 사례에서도 확인 되었지만, 완전 제어형 식물공장인 스마트 팜 팩토리를 운영하기 위해서는 다양한 분야의 정보를 실시간으로 수집할 수 있어야 한다. 즉 USN 기술의 개선 및 적용이 필요하다는 것이다. 예를 들어 스마트 팜 팩토리 내부는 고부가가치 작물의 효율적 성장을 위해 최적화 되어 있다. 제한된 공간 내에서 대량 생산을 위해 재배 시설간의 간격에 여유가 없으며, 최적의 환경유지를 위한 온도와 습도를 유지하는 과정에서 높은 습도로 기기 및 장비의 부식이 발생하곤 한다. 그러므로 기존 USN 기술을 스마트 팜 팩토리에 적용하기 위해서는 무선 통신 보다는 유선 통신방식이 유리하며, 장비의 방수 등급이 높아야 하는 등의 요구사항을 처리할 수 있어야 한다¹⁵⁾.

두 번째로 표준절차에 의한 자동화 공정으로 운영되어야 한다. 사례의 식물공장도 800여개의 재배 베드에서 연간 400,000주의 수경인삼을 연중 생산하고 있기 때문에 모든 작업공정과 관리 및 운영 시스템은 자동화로 이루어져야 한다. 예를 들어 수경방식으로 재배하는 식물의 영양분과 수분을 공급하는 양액 시스템과 관수 시스템의 경우 오류발생시 식물의 성장에 치명적인 위험이 될 수 도 있기 때문에 24시간 항시 자동적으로 가동되어야 하며, 오류 통보 및 자동

조치를 위한 경보 시스템을 갖추고 있어야 한다. 일반적인 제조업이 원재료를 투입하고, 가공하여 완제품을 출고하는 과정을 거치듯이 스마트 팜 팩토리 시스템에서의 식물은 심고, 키우고, 수확하는 과정으로 순환한다. 그렇기 때문에 스마트 팜 팩토리의 모든 공정은 자동화를 통한 통합적인 운영으로 이루어져야 한다.

세 번째로 수집된 데이터 분석을 통한 지능적 운영이 가능해야 한다. 대량으로 재배되는 식물의 경실율을 낮추고 생산량을 최대화하기 위해서는 축적된 데이터를 분석하여 최적의 양육환경 패턴을 추출하기 위한 분석 시스템을 가져야 한다. 특히 최적의 식물 재배를 위한 시뮬레이션 및 표준 생육 환경 추출 패턴 분석 기술은 다양한 식물 생산을 위한 가치정보를 제공할 수 있을 것이다. 이러한 분석은 아래 단계와 같이 구성되며 표준 생육 환경 추출을 위한 빅 데이터 분석의 절차를 그림 6에 나타 내었다.

- ① 각종 센서로부터 데이터 수집 및 축적 단계
 - 설치된 온·습도 센서, 양액, 정수, 공조, 광량, 일조시간, 이산화탄소 센서 등으로부터 주기별 데이터 수집
- ② 축적된 데이터를 분석하여 유사한 경실률을 보이는 그룹끼리 분류
 - 유사 경실률을 보이는 배드 별 그룹화 (경실률은 3% 단위로 구분)
 - 유사 경실률 그룹화는 동일 수확 작물과 이전 수확 작물과의 비교
- ③ 경실률이 유사한 그룹 간 요소 값들의 비교를 통한 공통 요소 추출
 - 그룹 내 각 요소들의 표준편차 계산
 - 표준편차가 일정 값 이하인 요소들 (생육환경에 대한 직접 영향군)과 나머지 요소들로 구분 (간접 영향군)
 - 직접 영향군 요소들의 데이터 융합(data fusion)
 - 융합 데이터들을 활용하여 양육 모델 생성
- ④ 양육 모델 간 비교를 통하여 직접 영향군의 값 변화가 생육에 미치는 영향 계산
 - 최소 경실률 양육 모델과 나머지 모델 간의 비교를 통해서 직접 영향군 요소의 최적 값 추출
 - 추출된 최적 값들을 적용한 최적 양육 모델 생성 (허용범위 포함된 다수의 양육 모델 생성)
- ⑤ 최적 양육 모델을 수경인삼 재배에 적용
 - 적용된 최적 양육 모델들과 최소 경실률 양육 모델의 경실률이 일치하는지 비교
 - 두 모델의 경실률이 유사한 경우 최적 양육 모델

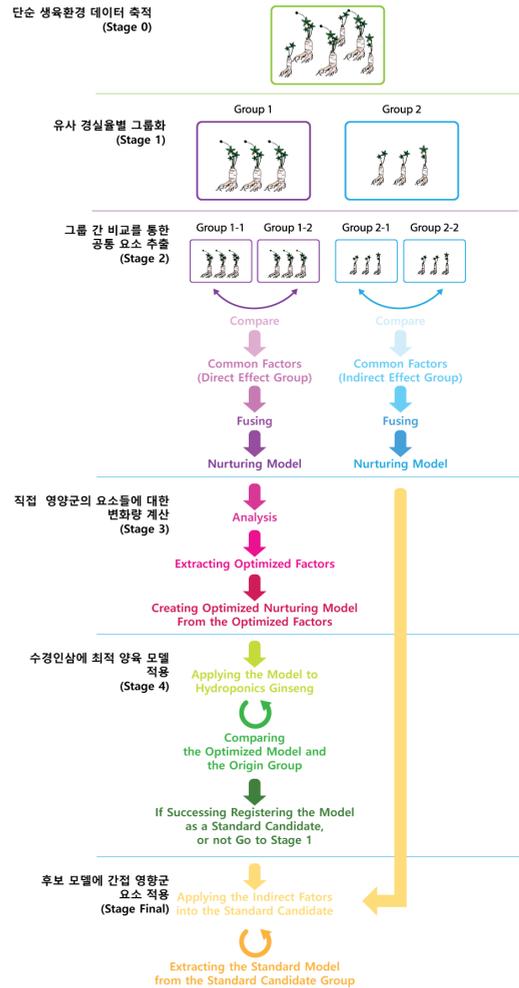


그림 6. 표준 생육 환경 추출을 위한 빅 데이터 분석
Fig. 6. Big Data Analysis for standard growth environment extraction

- 들을 “표준 양육 환경 모델 후보군”등록
- 두 모델의 경실률이 상이한 경우 최적 양육 모델들을 적용하여 구한 데이터를 포함하여 ① 에서 ④ 단계 반복
- ⑥ 표준 양육 환경 모델에 간접 영향군의 요소 적용
 - 간접 영향군의 요소들의 최적 값 계산
 - 계산된 최적 값들을 표준 양육 환경 모델 후보군에 적용
 - 표준 양육 환경 모델 후보군 중 최소 경실율을 보이는 모델을 표준 양육 환경 모델로 선정

특히 본 연구가 기존의 식물공장 관련 연구와 차별성을 가지고 있는 점은 스마트 팜 팩토리를 운영하기 위한 통합 운영 플랫폼 기술을 제안한다는 것이다. 스

마트 팜 팩토리 시스템의 통합 운영 플랫폼은 일반적인 ICT 시스템에서 언급하고 있는 플랫폼과 동일한 개념으로 최근에 이슈가 되고 있는 M2M/ IoT 플랫폼과 그 기본적인 구조와 개념은 유사하다. 그러나 다음과 같은 점에서 차별성을 가지고 있으며, 또한 대형 식물공장에 실질적 적용으로 그 효과에 대한 검증이 가능하다.

스마트 팜 팩토리 통합 운영 플랫폼은 시설물의 구조 및 재배 식물의 종류에 따라서 수집 정보와 제어 기기들이 다양해질 수 있기 때문에 유연한 구조를 가져야하며, 데이터베이스 스키마 변경이나 일부 시스템 이상 및 특정 모듈의 업그레이드 시에도 전체 시스템이 영향을 받지 않는 강건한 구조를 가져야 한다.

통신 계층은 데이터 수집기와 게이트웨이 그리고 PLC 등과 TCP/IP 또는 시리얼 통신을 기본으로 소켓 통신방식을 이용한다. 미들웨어는 수집기에서 전송된 데이터의 프로토콜 확인을 통한 불량 데이터 검증과, 데이터 변환 및 특정 데이터의 가중치를 이용한 수집 값을 보정하는 역할을 담당한다. 데이터베이스 계층은 DML을 활용하여 수집한 데이터를 저장하고 관리하며, 또한 인증된 사용자만 수집된 데이터베이스와 시스템에 접근할 수 있도록 사용자 인증 기능을 수행한다. 데이터 분석 계층은 수집한 데이터들을 분석하고 처리하는 역할을 담당하는 계층으로 특정 환경 및 운영조건, 생육 환경, 기간별 정보 통계 등을 처리하며, 향후 빅데이터 분석을 위한 메타데이터 생성을 담당한다. 프레젠테이션 계층은 데이터 분석 계층에서 분석한 결과 값을 화면상에 표출하기 위한 기능과 사용자로부터 입력을 받기 위한 UI를 제공하는 역할을 수행하며, PC와 스마트 폰 둘 다에서 시스템을 관제할 수 있도록 별도의 UI를 제공한다. 서비스 계층에서는 사용자가 시스템을 모니터링 하고, 제어, 품질검사, 자

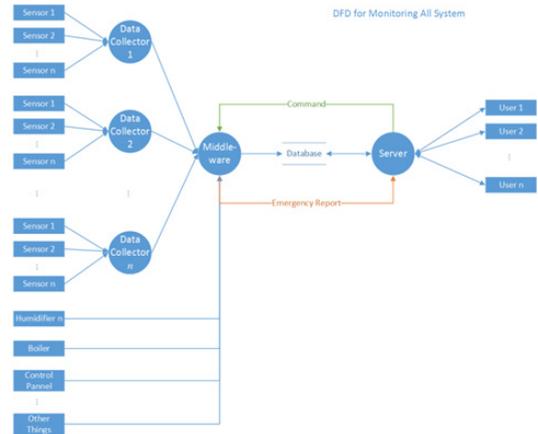


그림 8. 스마트 팜 팩토리 데이터 흐름도
Fig. 8. Smart Farm Factory Data Flow Diagram

원관리, 통계처리, 표준 작업지시 등의 스마트 팜 팩토리 운영전반에 걸친 서비스들을 제공한다. 예를 들어 생산정보 서비스에서는 작물의 입고에서 출하까지의 모든 생육과정을 모니터링 하며, 일정관리와 생육베드 별 상태 관리 등을 제공한다. 환경정보 서비스는 각종 센서로부터 수집된 정보를 화면에 표출하고, 통계, 분석, 제안, 통보 등의 서비스를 제공한다. 운영 및 관리 서비스는 사용자 관리, 자원 관리, 생육 환경 설정 및 제어, 기기 및 시스템 관리를 위한 사용자 시스템을 서비스 한다.

이상으로 스마트 팜 팩토리 시스템에 대하여 그 정의와 요소기술들에 대하여 알아보았다. 본 연구 수행을 위하여 ㈜에그로닉스는 2013년 준공된 식물공장에서 수경인삼을 시험적으로 생산하여 2013년에는 1,112kg을 수확하였으며, 2014년에는 911kg을 수확하였다. 또한 2020년 완공을 목표로 300,000㎡ 규모의 초대형 스마트 팜 팩토리를 계획 중에 있다. 이러한 초대형 식물공장의 운영과 관리를 위해서는 본 연구에서 제안하는 스마트 팜 팩토리 시스템의 도입이 필요하며, 각각의 요소기술에 대한 실험과 연구를 병행하고 있는 상황이다. 그러므로 본 연구에서 제안하는 스마트 팜 팩토리 시스템은 식물공장 관련 이론적인 기술이 아니라 실제 운영을 위한 시스템 기술로서 연구의 중요성은 높다고 할 것이다.

III. 결 론

식물공장은 미래 농업의 어젠다이며, 新성장 동력 산업이다. 국내 관련 기관에서는 2004년부터 요소기술 확보 및 도입을 추진하였으며, 2010년에 이르러 농

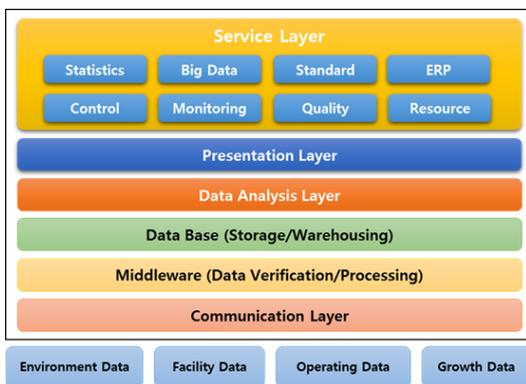


그림 7. 스마트 팜 팩토리 통합 플랫폼
Fig. 7. Smart Farm Factory Integration Platform

춘진홍청에서 수직형 식물생산 공장을 파일럿 규모로 구축하였으나 각 기술별로 식물공장 선진국에 비하여 50 - 80% 수준에 머무르고 있으며, 초기 비용의 부담 및 관련 법규로 인하여 소비자 인식도가 40% 이하에 그치고 있는 실정이다. 또한 관련 산업계의 영세성으로 인하여 실질적인 경제적 파급효과는 아직 미비한 상황이다. 그러므로 본 연구에서 제안하는 ICT 기반 스마트 팜 팩토리 통합 플랫폼은 해외 선진 식물공장 운영에 비하여 재배 및 시설 기술에서 뒤처진 국내 식물공장의 경쟁력을 강화 할 수 있는 기술적 기반이 될 것이며, 국내 식물공장 활성화를 위한 밑거름이 될 수 있을 것이다. 또한 농어민의 자립화와 행복한 농촌 만들기와 같은 농민 자립을 위하여 제안하는 스마트 팜 팩토리 시스템이 하나의 대안이 될 것이다.

References

- [1] Y. Kim, *International technology trends and automation of plant factory*, BION Special ZINE 2010, no. 18, 2010.
- [2] J. W. Kim "Trend and direction for plant factory system," *J. Plant Biotechnol.*, vol. 37, pp. 442-455, 2010.
- [3] Y. C. Um, S. S. Oh, J. G. Lee, S. Y. Kim, and Y. A. Jang, "The development of container-type plant factory and growth of leafy vegetables as affected by different light sources," *J. Bio-Environ. Control*, vol. 19, no. 4, pp. 333-342, 2010.
- [4] RURAL DEVELOPMENT ADMINISTRATION (RDA), *Road Map for Development of Plant Factory Technology*, 2013.
- [5] S. I. Hwang, S. Y. Ju, and J. M. Ju, "A study on ICT-based smart farm factory integration platform," in *Proc. Korea Inst. Commun. and Inf. Sci. Winter 2015 General Conf.*, pp. 225-226, High1 Resort, Korea, Jan. 2015.
- [6] Dikson Despommier, *The Vertical Farm : Feeding the world in the 21st century*, Tomas Dunne Books, Press 2010.
- [7] H. I. Kang, M. H. Lee, and H. Yoe. "Design of efficient routing method for USN based large-scale glass greenhouses," *5th ACIS Int. Software Eng. Res., Management & Appl.*, pp. 523-528, 2008.
- [8] Dongbu IT Company, *Dongbu-Hannong Chemicals, UCT, USN based cultivation environment monitoring system for improving groceries quality*, pp. 1-15, 2005.
- [9] K. Honda, "Field servers and sensor service grid as real-time monitoring infrastructure for ubiquitous sensor networks," *Sensors*, vol. 9, no. 4, pp. 2363-2370, 2009.
- [10] E. J. Lee, K. I. Lee, H. S. Kim, and B. S. Kang, "Development of agriculture environment monitoring system using integrated sensor module," *J. Korea Continue Soc.*, vol. 10, no. 2, pp. 63-71, 2009.
- [11] N. H. Yoo, "Design and implementation of the management system of cultivation and tracking for agricultural products using USN," *KIISE: Computing Practices and Lett.*, vol. 15, No. 9, pp. 661-6741, 2009.
- [12] K. Choi and Y Lee, *Plant factory in advanced countries*, BION Special ZINE, no. 18, 2010.
- [13] H. Doo, *Research on plant production factory, commercialization status and prospect*, BION Special ZINE, no. 18, 2010.
- [14] T. H. Yeom, S. M. Park, H. I. Kwon, D. K. Hwang, and J. C. Kim, "A smart farming system based on visible light communications," *J. The Korean Inst. Commun. Sci.*, vol. 38C, no. 5, pp. 479-485, May 2013.
- [15] A. M. Moon, L. Song, and K. Y. Kim, "A study on the greenhouse integrated management platform for plant factory," in *Proc. Symp. Korean Inst. Commun. and Inf. Sci.*, pp. 754-755, Jun. 2011.

황 성 일 (Sung-Il Hwang)



2010년 : 동아대학교 산업경영
공학 박사
2008년 : (주)코리아컴퓨터 연구
소장
2011년 : 동아대학교 미디어디
바이스연구센터 선임연구원
2013년 : 사물인터넷 표준화협
의회 전문위원

현재 : (주)에그로닉스 연구기획 팀장

<관심분야> Smart Farm, M2M/IoT, RFID/USN

주 성 용 (Seong-Yong Joo)



2009년 : 동아대학교 컴퓨터공
학 박사
2010년 : 동아대학교 정보기술
연구소 특별 연구원
2013년 : 동아대학교 미디어디
바이스연구센터 선임연구원
현재 : (주)에그로닉스 ICT융합팀장

<관심분야> M2M/IoT, Big Data Analysis

주 종 문 (Jong-Moon Joo)



2003년 : 경남대학교 산업공학
박사
2002년 : (주)시리일렉콤 팀장
2005년 : 경남대학교 METEC
선임연구원
2011년 : 경남정보대학 산학협
력 전담교수

현재 : (주)에그로닉스 대표이사

<관심분야> Smart Farm Factory, BIO