

발간등록번호

11-1543000-001226-01

식물공장 내부 환경 센서 연동
저가형 모니터링 시스템 개발

(The Development of economical monitoring systems
interlocked with interior environment sensors of plant
factory)

농업회사법인(주) 그린팩토리

농 립 축 산 식 품 부

제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

이 보고서를 “식물공장 내부 환경 센서 연동 저가형 모니터링시스템 개발” 과제의 보고서로 제출합니다.

2016 년 01 월 29 일

주관연구기관명 : (주)그린팩토리

주관연구책임자 : 최 석 훈

연 구 원 : 안 창 환

요 약 문

I. 제 목

식물공장 내부 환경 센서 연동 저가형 모니터링시스템 개발

II. 연구개발의 목적 및 필요성

식물은 성장과정에서 공기 중의 이산화탄소를 이용하고, 뿌리에서는 산소를 이용하기 때문에 토양이나 양액 내 산소농도를 높이는 기술도 중요한 기술이며, 식물의 성장과정에서 단계별 양분농도를 제어하거나, 수확물의 품질에 필요한 성분이 포함될 수 있도록 양액조절기술이나 급배수기술은 식물공장이나 양액재배에서 상품성을 높이기 위한 결정적인 기술임

동시에 식물의 근권부의 통기성, 폐기물처리의 관점에서 생분해성 재료를 사용하는 등 배지 관련 기술도 간과할 수 없는 기술이라 할 수 있음

이러한 식물공장의 요소기술들을 구현하고 원격지에서 모니터링 및 간단한 관제가 가능할 수 있도록 장치하는 것이 식물공장을 운영하는 사용자 중심에서 필요함

III. 연구개발 내용 및 범위

본 연구에서는 식물공장의 상용화를 위한 한 가지 방편으로 저가형 모니터링 시스템을 개발하기 위하여 시설 내 모니터링이 필요한 센싱요소들을 CCTV와 연동하여 시스템을 설계 하였고

식물공장 내 환경 모니터링 시스템은 필요 환경 조절을 위한 시설 내의 환경 변화를 감지하여 고부가 작물의 재배에 대응할 수 있도록, 세부적으로는 환경 모니터링을 위하여 네트워크 기능이 적용된 고해상도 카메라와 카메라에 내장된 마이크와 스피커를 연동하여 식물 공장 내 작업자와 외부의 관리자와의 쌍방향 통신이 가능하도록 설계하였음

온도, 습도, EC 및 pH센서 등을 실시간으로 모니터링할 수 있도록 하였으며 전원제어 대응 시스템을 적용하여 설계하였음

IV. 연구개발결과

식물공장 내 환경 모니터링 시스템은 네트워크 기능을 적용한 고해상도 카메라를 이용하여 TCP/IP 를 통한 센서의 신호를 원격지 서버로 전송하여 현장의 음향 및 생태 환경을 모니

터링 할 수 있도록 구축하였음

센서 네트워크 방식은 식물공장의 각종 센서를 RFID신호로 변환하여 신호처리된 센서신호를 서버에서 인식하여 네트워크 카메라를 구동시키고 관리자의 PC에서 실시간 모니터링할 수 있도록 구성하였음

스피커 및 마이크 등의 적용으로 쌍방향 원격 모니터링 시스템 구축을 통한 식물공장 내 환경 관리의 편리성과 신속성을 추구하였음

V. 연구성과 및 성과활용 계획

기존 식물공장의 모니터링 시스템이 하나의 셋트 당 1,200만원 대의 가격으로 형성되어 있었으나 본 연구에서는 200~300만원대의 저가형 시스템을 개발하였음

개발 결과를 상품화하여 저가의 식물공장 모니터링 시스템을 보급할 계획이며 식물공장 시스템을 구축하는 기업과 연계하여 모니터링 시스템의 국내외 박람회 출품 등 적극적인 홍보활동을 수행할 것임

SUMMARY

(영문요약문)

I. Title

The Development of economical monitoring systems interlocked with interior environment sensors of plant factory

II. The Objective and Necessity of R&D

As plants use carbon dioxide in the air while growing and roots use oxygen, technology to enhance oxygen density within soils or nutrient solution must be important. Simultaneously, technology to control nutrient concentration by each stage while plants grow or nutrient solution controlling technology as well as plumbing technology so that necessary element can be included in quality of the harvest must be crucial technologies to enhance the marketability of the products in the plant factory or nutrient solution cultivation.

At the same, in terms of air permeability in plant's rhizosphere and waste treatment, substrate-related technologies - for biodegradable materials, for instance - can be a technology that must not be underestimated.

To equip the plant factory so as for users to materialize these technical elements and enable remote monitoring along with simple control is necessary from the plant factory operator's point of view.

III. Content & Scope of R&D

In an attempt to develop a low-priced monitoring system as a means to commercialize the plant factories, this study designed a system by connecting sensing elements (requiring monitoring within the facility) with CCTV.

Specifically, environment monitoring system within a plant factory was designed so that two-way communication between the worker in the factory and the outside administrator is available, by connecting a high resolution camera equipped with network function to microphone and speaker imbedded within the camera. Underlying concept of the design was to help the system sense environmental changes within the facility and cope with cultivation of high added-value plants.

The system was designed using a mechanism to respond to power control so that it could monitor temperatures, humidity, EC and pH sensor in real time.

IV. Result of R&D

Environment monitoring system within the plant factory, using high resolution cameras equipped with network function, was arranged to transmit sensor signals to a remote server by means of TCP/IP so that it could monitor the sound and ecological environment at the scene.

Sensor network method was arranged so that it could convert various sensors in the plant factory into RFID signals and operate a network camera by recognizing the sensor signals and the administrator could monitor from his PC in real time.

The study, establishing a two-way remote monitoring system by means of speaker and microphone, pursued the convenience and quickness in environmental management within the plant factory.

V. Result of Research & its Application Plan

While price range of the existing plant factory's monitoring system per set was around 1,200,000 won (some US\$10,000), this study developed a low-priced system as competitive as 2-3 million won (US\$1,500-2,500).

The study is going to commercialize the development outcome and distribute low-priced plant factory monitoring systems. And in linkage with firms building plant factory systems, it plans to carry out robust promotion activities like participating in monitoring system-related exhibitions at home and abroad.

CONTENTS

(영 문 목 차)

Chapter 1: Overview of R&D Task

Section 1: Overview & Necessity of R&D

1. Overview of R&D
2. Necessity of R&D

Chapter 2: Present State of Technical Development at Home and Abroad

Section 1: Present State of Technical Development at Home

Section 2: Present State of Technical Development Abroad

1. Japan
2. USA
3. Europe

Chapter 3: Content and Result of R&D Conducted

Section 1: Design of Environment Monitoring System within a Plant Factory

1. Design of environment monitoring system within a plant factory

Section 2: Building of Environment Monitoring System within a Plant Factory and Trial Test

1. Building of environment monitoring system within a plant factory
2. Trial Test of environment monitoring system within a plant factory and trial test

Chapter 4: Target Achievement & Contribution Level to the Related Fields

Section 1: Target Achievement Level

Section 2: Contribution Level to the Related Fields

1. Technical contribution
2. Economic/industrial contribution
 - 1) Economic aspects
 - 2) Industrial aspects

Chapter 5: Result of R&D & its Application Plan

Section 1: Result of R&D

1. Development of low-priced monitoring system in linkage with interior environment sensors within a plant factory
2. Patent application

Section 2: Result Application Plan

1. Proposal of low-priced popular plant factory monitoring method
2. Robust promotion & sales of plant factory monitoring systems

Chapter 6: Overseas Science and Technology Information Collected in the course of the R&D

Section 1: Present State of Environmental Adjustment & Monitoring Technology within a Plant Factory

1. US
2. Japan

Chapter 7: Present State of Research Facilities & Apparatus

Chapter 8: References

목 차

제 1 장 연구개발과제의 개요

제 1 절 연구개발의 개요 및 필요성

1. 연구개발의 개요
2. 연구개발의 필요성

제 2 장 국내외 기술개발 현황

제 1 절 국내 기술개발 현황

제 2 절 해외 기술개발 현황

1. 일본
2. 미국
3. 유럽

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

제 1 절 식물공장 환경 모니터링 시스템의 설계

1. 식물공장 환경 모니터링 시스템의 설계

제 2 절 식물공장 모니터링 시스템 구축 및 시운전

1. 식물공장 모니터링 시스템 구축
2. 식물공장 모니터링 시스템 시운전

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

제 1 절 목표달성도

제 2 절 관련분야에의 기여도

1. 기술적 기여도
2. 경제·산업적 기여도
 - 가. 경제적 측면
 - 나. 산업적 측면

제 5 장 연구개발 성과 및 성과활용 계획

제 1 절 연구개발 성과

1. 식물공장내 내부 환경 센서연동 저가형 모니터링 시스템 개발
2. 특허 출원

제 2 절 성과활용 계획

1. 저가형 보급형 식물공장 모니터링 방법의 제시
2. 식물공장 모니터링 시스템의 적극적 홍보 및 판매

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

제 1 절 식물공장 환경조절 및 모니터링 기술 현황

1. 미국
2. 일본

제 7 장 연구시설·장비 현황

제 8 장 참고문헌

제 1 장 연구개발과제의 개요

제 1 절 연구개발의 개요 및 필요성

1. 연구개발의 개요

- 가. 식물공장이란 농작물에 대해 통제된 일정한 시설 내에서 빛, 온도, 습도, 이산화탄소 및 환경 조건들을 제어해서 계절 장소에 구애 받지 않고 생산할 수 있는 시스템을 말하며 제어 수준과 재배 상의 형태, 자동화 수준에 따라 태양광병용형과 완전인공광형으로 구분함
- 나. 식물공장의 특성은 크게 다섯 가지로 나타내는데 첫째는 기후 풍토 등 자연 조건 혹은 지리적 입지 조건에 크게 구애 받지 않는다는 점이며, 두 번째는 계절 변화에 관계없이 안정적인 농업이 가능하다는 점이고, 세 번째는 균일화, 규격화된 농산물을 생산해 가격 결정과 소득 예측이 용이해 지며, 네 번째는 무농약 재배를 통한 생산 요소의 저투입이 되며, 다섯 번째는 광, 배양액 조절로 기능성 농산물 생산이 가능하다는 특징이 있음
- 다. 이러한 이점을 통해서 농업의 특성이나 단점이라 할 수 있는 계절, 기후에 영향을 많이 받는다는 점과 상품의 불균일화 등을 극복할 수 있을 것이라 기대됨
- 라. 식물공장의 시초는 1967년 북유럽이며 발전 과정은 50~70년대 도입기, 70~90년대 초입기, 90~현재까지가 성장 실용화기로 북유럽에서 식물공장이 발전하게 된 이유는 일조량이 적고 조사 시간이 짧은 핸디캡을 극복하고 생산량을 증대하기 위한 일종의 생존형 아이디어 장치라고 볼 수 있으며, 그에 반해 비교적 일조량이 풍부하고 사계절이 뚜렷한 동양에서는 식물공장의 필요성을 덜 느꼈기 때문에 발전이 늦은 것으로 판단됨
- 마. 한국과 비교 대상으로 삼은 일본은 유럽보다 늦은 70년대에 도입기가 시작 되어 현재에 이르렀고 한국은 그보다 늦게 관심이 일기 시작했으며, 초반기의 식물공장은 나트륨램프나 형광등을 사용한 것에 반해 최근에는 LED를 이용한 재배 방식이 도입 되어 그 전보다 높은 생산량을 기록하고 있으며 더불어서 광색, 광량 조절 등으로 일반 상품과 달리 성분 함량이 다른 기능성 상품 생산이 가능하게 되었음
- 바. 이렇게 처음에는 핸디캡을 극복하고 생산을 높이기 위한 목적으로 시작된 식물공장은 최근의 기후 변화와 불안정한 생산 공급, 가격 변동 등의 문제를 해결, 보완하기 위한 대안으로 떠오르기 시작했고 더불어 과학에 기초한 농업으로서 신농업의 일환으로 주목 받고 있음

- 사. 식물공장의 설립 필요성과 기대효과는 여러 가지 이유들이 있지만 그 중에서도 기후 변화에 대한 것이 가장 큰 비중을 차지한다고 할 수 있으며, 여러 나라 곳곳에서 기상 이변이 관측 되고 있고 우리나라 또한 예외일 수 없고 평균 기온의 상승에 따른 재배 한계선의 변화와 강수량의 증가에 따른 재해 빈도의 증가 등의 기상이변이 발생하고 있으며, 이러한 기상 이변이 장기적으로 이어진다면 노지 재배를 통한 생산에 지장을 줄 것이 당연한 일이고 생산이 된다 하더라도 질과 양이 수요에 미치지 못해 여러 가지 문제점들이 생길 수 있을 것으로 판단됨
- 아. 이러한 기상이변은 채소뿐만 아니라 주 곡물 생산에도 영향을 미쳐 식량 안보를 위협 할 수도 있으며, 이러한 점을 주요 원인이자 필요성으로 들어서 향후 식량 안보와 위기를 극복하기 위한 일종의 대안 책으로서 식물공장의 필요성이 대두되고 있음
- 자. 식물공장의 장점으로는 고부가가치 작물의 안정 생산과 공급을 들 수 있는데, 예를 들어 생활습관 질병을 예방하는 고기능성 물질이 함유된 딸기나 백신 성분이 들어가 있는 쌀(식용 백신 쌀)등의 생산 사례가 외국에서 보고되고 있고 유전자 조작 식물의 안전성은 보장하기 어렵기 때문에 폐쇄 환경에서 물질의 출입을 통제, 관리할 수 있는 식물공장이 토지 재배에 비해 월등하게 유리하며 완전히 외부와 격리된 인공 환경에서 여러 가지 유전자 조작 식물을 재배 생산할 수 있음
- 차. 완전 제어 방식은 세균 수가 매우 적고 환경조건을 적절하게 제어할 수 있기 때문에 비타민이나 미네랄의 함유량이 많은 편이며 현재 콩나물, 버섯, 상추, 시금치, 허브 등 야채류를 중심으로 개발되고 있음

2. 연구개발의 필요성

- 가. 최근 일본원전사태, 환경오염, 기상이변 등으로 농업재배환경이 불안정해 지고 있는 가운데 년중 사계절동안 안정된 먹거리를 생산할 수 있는 대안으로 부각되고 있는 ‘식물공장’의 현황과 당뇨병 치료용 채소 생산기술 개발 가능성에 대하여, 경북대병원 생명의학연구소장으로 있는 의학전문대학원 이인규 교수가 “당뇨병과 비만-새로운 치료”라는 주제를 발표하였음
- 나. 주목받는 점은 컴퓨터를 통한 제어 시설과 광량, 광색 조절 등으로 기능성 작물을 생산 하여 소비자 트렌드에 맞춘 생산이 가능하고 부가가치를 창출 할 수 있다는 점이며, 더불어 양액 재배를 하여, 유기농 농산물을 생산하기 때문에 안전하고 생산 요소의 저투입을 통해서 토양의 건전성 유지, 저에너지 생산 또한 이를 수 있고 입지 조건을 따지지 않아 남극과 같은 곳에서도 채소 생산이 가능하므로 수익성 목적뿐만 아니라 자급자족 용도로써도 쓰일 수 있다는 점이 식물공장의 대표적인 기대효과임
- 다. 식물공장은 일반 공산품과는 달리 작물을 대상으로 하므로 몇 가지 핵심적인 요소기술이 전제되어야 하며, 작물을 공장식으로 재배하기 위해서는 유효한 파장광의 적절한

이용이 필요하고, 발아, 육묘, 성장과 관련된 적절한 환경을 제공하기 위해서는 상(床) 상부의 공기뿐만 아니라, 하부의 배지 내 온습도를 포함한 환경제어기술이 필요함



그림 1. 식물공장의 요소기술

- 라. 식물은 성장과정에서 공기 중의 이산화탄소를 이용하고, 뿌리에서는 산소를 이용하기 때문에 토양이나 양액 내 산소농도를 높이는 기술도 중요한 기술이며, 식물의 성장과정에서 단계별 양분농도를 제어하거나, 수확물의 품질에 필요한 성분이 포함될 수 있도록 양액조절기술이나 급배수기술은 식물공장이나 양액재배에서 상품성을 높이기 위한 결정적인 기술인 동시에 식물의 근권부의 통기성, 폐기물처리의 관점에서 생분해성 재료를 사용하는 등 배지관련 기술도 간과할 수 없는 기술임
- 마. 이러한 식물공장의 요소기술들을 구현하고 원격지에서 모니터링 및 간단한 관제가 가능할 수 있도록 장치하는 것이 식물공장을 운영하는 사용자중심에서 필요하다고 판단됨

제 2 장 국내외 기술개발 현황

제 1 절 국내 기술개발 현황

- 국내에서 1990년대 후반부터 LED를 식물의 생리 반응 연구에 활용하기 시작하였으며 최근에 LED의 발광 효율이 점차 증진되어 이를 작물 생산에 적용한 사례가 보고됨
- 식물공장을 크게 나누면 개방형(태양광과 인공광원 병용)과 밀폐형(인공광원)으로 분류할 수 있으며 최근에는 적극적으로 식물의 재배 환경을 완전히 제어할 수 있는 밀폐형으로 시도되고 있음
- 식물공장의 활용 확대 측면에서 도시 내 수직형 농장(vertical farm)은 국내에서는 개념 정립 단계로 아직까지 설치된 사례가 없음
- 한국의 식물공장은 아직 상업화 단계에 도달하지 못했으나, 1990년 이후로 지속적인 연구 개발을 진행하고 있는 상황
- 정부는 2009년 7월 신성장동력 스마트 프로젝트 사업에 'IT-LED 기반 식물공장을 위한 핵심부품 개발 과제'를 선정하여 중점 추진 중
- 국내에서는 경기도, 전북도, 남양주시가 식물공장 사업에 관심을 갖고 선도적으로 추진하고 있는 상황이며, 예를 들면 전북도의 경우 LED 융합기술 지원센터를 2009년 2월에 개소하고 2011년까지 식물공장 모델을 완성, 공장의 운영·제어 체계와 작목 재배 체계를 정립 하고 특화 브랜드 상품을 출시 예정이며, 현재 전주생물소재연구소에서는 국내 최초로 수경재배에 LED 조명기술을 이용하여 인삼과 고추냉이(와사비)를 재배하는 식물공장을 연구소 내에 운영 중이며, 실제 전주생물소재연구소에서 기른 인삼에서는 발 인삼보다 생육기간이 단축되었으며, 효능 면에서는 사포닌이 뿌리에서는 2~3배, 잎에서는 5~10배나 추출되는 등 더 강화되는 효과를 거두었음
- 정부주도의 연구 이외에도 (주)인성테크는 현재 용인에 50평 규모의 태양광없이 LED 광원만을 이용한 식물공장을 운영 중이며, 최대 월 1만 5천 포기의 채소생산이 가능하다고 보고하고 있으며, 이러한 식물공장에 적용되는 LED 시스템은 비용 면에서는 형광등에 비해 초기 설치비용이 약 20배 정도 비싼 것으로 추정되지만, 실제 시스템의 구현 후 사용시간이 약 5만 시간으로, 2500시간마다 교체하는 형광등에 비해 월등히 우수한 경제성을 보여주고 있음
- 선행연구는 대부분 식물공장 상업화를 위한 초기개념의 자동생산시스템개발과 청색과 적색 LED를 이용한 최적 조명장치 개발이 대부분으로 경관조명으로 시민들의 감성에 적합하고 식물재배 효과가 우수한 특색을 낼수있는 자연광(태양광)과 인공광을 동시에 병행하

여 사용되는 연구 사례는 없었음

표 1. 국내의 관련사업 현황과약

과제명	사업분류	주관기관	사업 책임자	총개발기간 (백만원)
IT-LED 기반 식물공장을 위한 핵심기술 및 부품개발	스마트프로젝트	주관:(주)오디텍 참여:(주)갤럭시아 포토닉스 럭스피아(주) (주)엔비엠	박병근	2009.07-2010.8
생리감응형 LED 조명시스템개발	호남광역경제권 선도산업	주관:한아에세스(주) 참여:신안그린테크 태종씨앤아이	김형진	2009.10-2011.1
기능성향상 및 친환경 식물생산용 LED 조명시스템개발	호남광역경제권 선도산업	주관:한국고텐시(주) 참여:라이텍코리아(주) (주)아름	양태현	2009.12-2012.4
미생물배양용LED 조명시스템개발	호남광역경제권 선도산업	주관:(주)오디텍 참여:(주)삼호화공기계 제작소 (주)엔비엠	김혁	2009.10-2011.11
축사와실내식물재배 를 위한친환경에너지 절감형고효율 조명기기개발	농림개발사업	주관:전자부품연구원 참여:(주)에스엘테크놀 로지	윤형도	2009.4-2010.3
LED를 이용한 참외 재배 기술 및 광환경 제어 시스템 연구개발	농림개발사업	주관:도흥리정보화영농 조합법인 참여:(주)유비엔	김종삼	2008.12.-2011
LED를 이용한 해충방제시스템	농림개발사업	주관:한국광기술원 참여:(주)링크옵틱스 전자부품연구원	김정현	2009.4-2010.3
로보틱스기술을 활용한 식물공장 자동화시스템 테스트베드 개발	민관 합동 프로젝트	공동주관:(주)LG CNS 경기도 농업기술원	김장우	2010.1~2010.9

제 2 절 국외 기술개발 현황

- ITU-T SG13에서는 차세대 네트워크의 그린화를 위하여 요구사항, 기능 및 구조, 서비스 및 응용 측면에서 표준화 항목들을 선별하여 저탄소 기술 표준화 대상으로 추진하고 있다. 저탄소 기술 표준화 대상으로는 NGN(Next Generation Network) 프레임워크 자체, 이동성 관리, IPTV 등을 요구사항, 기능 및 구조, 서비스 및 응용 측면의 기술들을 고려하고 있으며, “저탄소 차세대 네트워크 기술 표준화 대상”에 따르면 NGN 적용 후 온실가스 감축량이 30-40%에 이를 것으로 전망됨
- 저전력 그린 액세스 네트워크 표준화를 위하여 먼저 IEEE802.3에서는 에너지 효율적인 이더넷 테스크 포스 그룹(IEEE802.3az)에서 2010년 환성 목표로 에너지 절감 이더넷 관련 표준(EEE: Energy Dfficient Ethernet)을 개발하고 있으며 또한, 주요 이더넷 칩 개발회사(VITESSE, Broadcom, LSI Corporation, 3Com, Solafare) 등에서 에너지 절감 이더넷 표준 제정에 참여하고 있고, 미국에서는 남플로리다 대학과 플로리다 대학 및 로렌스 버클리 국가연구소가 공동으로 에너지 절감형 인터넷 프로젝트를 추진하고 있는데, 주요내용으로는 이더넷 링크 속도 적응 기술(EALR: Ethernet Adaptive Link Rate), 신속한 물리계층 전송 선택 기술(RPS: Rapid PHY Selection), 효과적인 스위칭 시간 등에 대한 연구를 수행하고 있음

1. 일본

- 가. NICT(National Institute of Communications Technology)를 중심으로 NTT, NEC, 규슈대학, 오사카대학등에서 광 RAM 기반의 패킷 스위칭 기술 프로젝트를 진행중에 있고, 요코가와에서는 플래너 웨이브 가이드를 이용하여 나노 기반 초고속의 광 패킷 스위칭 기술을 개발하고 있으며 EC(European Commission)는 DAVID(Data And Voice Integration over DWDM) 프로젝트에서 WAN 및 MAN에 적용 가능한 광 패킷 네트워크 기술에 대한 연구가 진행 중임
- 나. 실내재배에 필요한 LED 조명기는 아직까지 전세계의 시장 장벽이 높지 않으며, 식물 재배 LED기술이 가장 앞서가는 일본에서도 일부 제품이 개발되어 시판되고 있으나 아직까지는 초기 단계임
- 다. 일본은 나고야 다업연구소, 지바대학 식물공장, 홍업식물공장, 동해대학, 동경드림 등에서 식물공장에 대한 시설을 갖추고 연구를 수행중임
- 라. 새싹 채소의 브로콜리의 항암물질로 Glucoraphanin 등이 있으며 이 물질은 성채식물에 비하여 10-100배 정도 높음
- 마. 식물공장형 LED 개발도 아직 실용화가 되지 않은 단계로 국내기술과 큰 격차가 없어 앞으로 시장 경쟁이 가능하여 기술 확보 및 제품 생산에 의한 선점효과가 클 것으로

판단됨

바. 일본은 지역경제 활성화 차원에서 식물공장 사업을 추진하고 있으며, 최근에는 기후변화 대응의 주요 대안으로 사업을 진행 중임

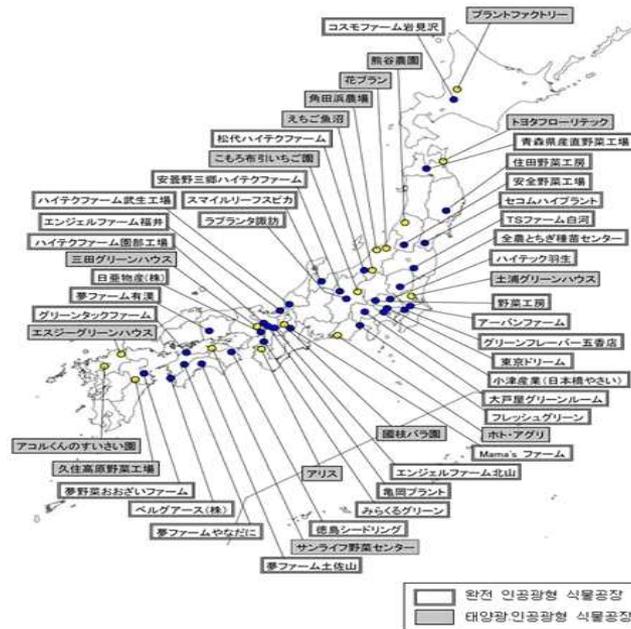


그림 2. 일본의 식물공장 분포현황

사. 일본은 기업들이 식물공장 사업 진출이 이어지면서 기업형 대형 재배시설이 도입되고 있으며 향후 시장 확대 및 글로벌 시장 진출에 전망이 밝은 상황이며, 해당지역별 기반경제를 활성화하고, 기후변화에 대응 차원에서 식물공장 사업을 추진 중에 있음. 해당자치도별로 식물공장은 대부분 한 개의 층에 다단식으로 인공조명 시설을 만들어 운영하고 있으며, 형광등을 주로 사용 중이라고 보고함



그림 3. 일본의 식물공장 내부모습

아. 일본의 식물 공장 역사는 매우 오래되었는데 태양광을 이용하는 식물 공장은 1960년대에 실용화 되었으며, 완전제어형 식물공장의 연구는 1974년 히타치 제작소 중앙연구소

에서 타카즈지 마사모토등의 연구 그룹이 최초로 시작하였음

표 2. 일본의 식물 공장 재배 현황

사용광원	규모[m ²]	공장수 (개수)	년 생산량 [만주]	재배 종
고압나트륨램프	300~2,000	15	25~200	양상추 (Leaf·lettuce), 샐러드채, 허브, 시금 치(spinach)
형광등	500~1,600	2	60~125	양상추 (Leaf·lettuce), 상추, 허브, Vesicaria
LED	600~800	6	100~240	양상추 (Leaf·lettuce)
태양광 이용형	1,200~11,500	10	80~500	허브, 샐러드채, 시금 치, 양상추, 토마토, 딸 기, Cryptotaenia japonica, Rosa(장미)

2. 미국

가. 미국의 식물공장은 초기 우주식량공급 목적으로 개발되었으나, 최근 도심의 대규모 고층수직 식물공장으로 진화 중에 있으며, 컬럼비아대 건축학과, 일리노이대 연구팀, 미턴 건축사무소에서 고층 건물 방식을 채택한 수직형 식물공장(vertical farming) 개발에 착수하였으며, - 컬럼비아대와 일리노이대 연구진은 30층·50층 규모 식물공장 개발에 착수하여, 풍력 및 태양력 등의 신재생에너지 사용, 고층의 설계로 인해 재배면적 증가 재배 작물의 수확량은 동일 면적의 야외 농경지보다 10배 정도의 수확량을 가지며, 30층짜리의 경우는 약 5만명에게 평생 공급할 음식을 만들 수 있을 것으로 추정됨

3. 유럽

가. 식물공장 분야의 선진국이라고 할 수 있는 유럽에서는 현재보다 더욱 발전된 식물공장을 실현하기 위하여 농작업 공정자동화 (벨기에 MSG식물공장과 스웨덴포닉 식물공장, 네덜란드 KP-HOLLAND 분화식물공장 등), 주간조절 장치의 자동화(네덜란드 스웨덴포닉-네덜란드 식물공장) 등의 분야에서 활발한 연구를 수행하고 있음

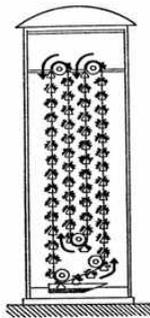
나. 세부적으로 보면 네덜란드에서는 최근 2020년까지 자급 에너지 뉴트럴 온실 시스템을 구축하기로 발표하였으며, 네덜란드 정부와 유리 온실 산업계는 환경에 미치는 영향을 최소화하는 동시에 유리 온실에서의 에너지 비용을 줄이는 것을 목표로 에너지 절감, 작물 보호, 생산 증대 등 다목적 프로그램들을 수립해 운영하고 있고, 그중 대표적인 프로그램은 2006년에 시작된 ‘에너지를 생산하는 온실로의 변혁프로그램 (Energy-Producing Greenhouse Transition Programme)’ 임. 이 프로그램을 통해 2020년까지 온실 자체가 에너지를 생산, 온실 내의 에너지 투입과 에너지 산출이 제로섬이 되는 획기적인 ‘에너지 뉴트럴(energy- neutral) 온실 시스템’ 을 구축하는 것을 목표

로 하고 있음. 그중 태양열로만 에너지를 생산하는 ‘자체 발전 미래 온실 프로젝트 (Elkas Project : electricity-producing greenhouse)’ 가 가능성이 가장 높은 것으로 전망 되고 있음



그림 4. 크리스텐 농장의 모식도

다. 덴마크의 크리스텐센 농장은 1957년 최초의 식물공장으로서 현재의 태양광이용형과 거의 유사하며, 평면시설로 컨베이어시스템을 통해 작물을 운반하였고, 태양광의 보광원으로 고압나트륨 램프를 사용함. 크레스(Cress, 새싹채소) 생산을 목적으로 하였으며, 파종 1주일 후 수확하고, 오스트리아의 루스나(Ruthner): 1960년대 오스트리아의 루스나(Ruthner)사에서 빌딩 형태의 입체식 자동 식물공장을 개발, 태양광과 고압나트륨 램프를 병행한 광원 사용을 도입함. 이는 통제된 시설 안에서 빛과 공기, 열 등 생물이 자랄 수 있는 환경을 인공적으로 조절하는 것으로 공산품처럼 농산물을 계획 생산하는 시스템적인 농업 형태임



타워형 바이오플랜트 모형



그림 5. 타워형태의 루스나사(오스트리아)의 식물공장

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

제 1 절 식물공장 환경 모니터링 시스템의 설계

1. 식물공장 환경 모니터링 시스템의 설계

- 가. 본 연구에서는 식물공장의 상용화를 위한 한 가지 방편으로 저가형 모니터링 시스템을 개발하기 위하여 시설 내 모니터링이 필요한 센싱요소들을 CCTV와 연동하여 시스템을 설계하였음
- 나. 식물공장 내 환경 모니터링 시스템은 필요 환경 조절을 위한 시설 내의 환경 변화를 감지하여 고부가 작물의 재배에 대응할 수 있도록, 세부적으로는 환경 모니터링을 위하여 네트워크 기능이 적용된 고해상도 카메라와 카메라에 내장된 마이크와 스피커를 연동하여 식물공장 내 작업자와 외부의 관리자와의 쌍방향 통신이 가능하도록 설계하였음
- 다. 온도, 습도, EC 및 pH센서 등을 실시간으로 모니터링할 수 있도록 하였으며 전원제어 대응 시스템을 적용하여 설계하였음

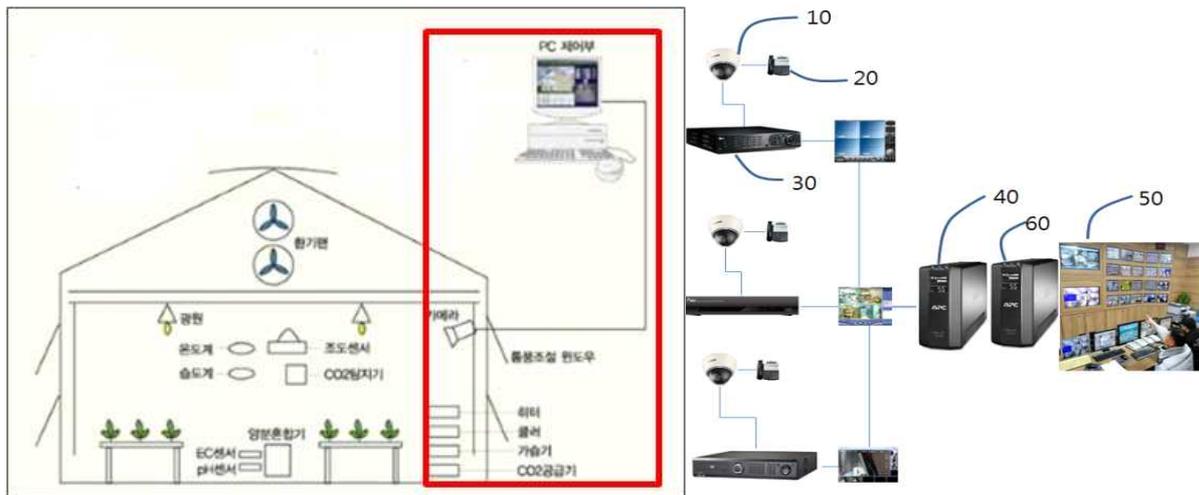


그림 6. 식물공장 내 모니터링 시스템의 설계

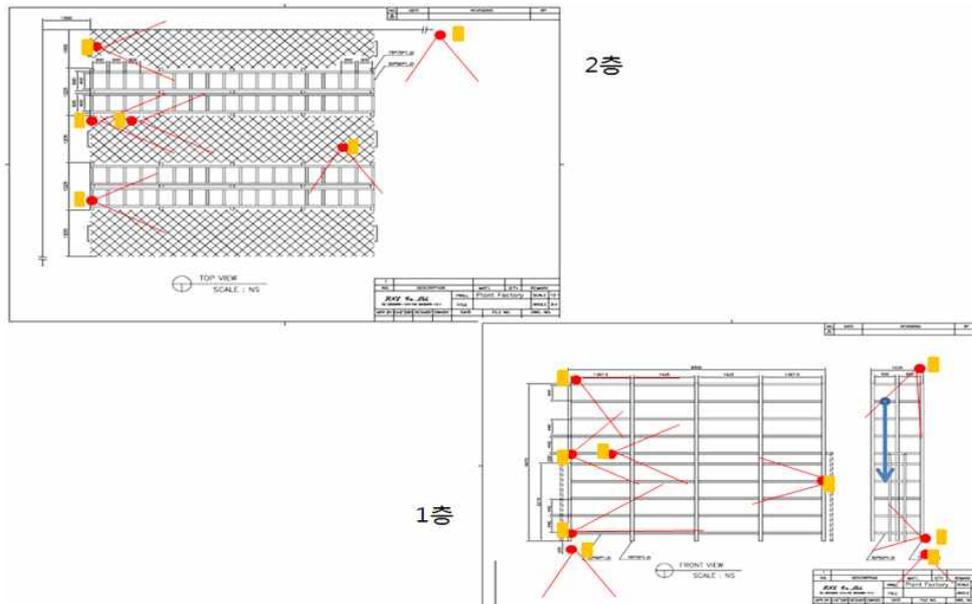


그림 7. 식물공장 내 모니터링 시스템의 설계 및 CCTV 배치도

제 2 절 식물공장 모니터링 시스템 구축 및 시운전

1. 식물공장 모니터링 시스템 구축

- 가. 식물공장 내 환경 모니터링 시스템은 네트워크 기능을 적용한 고해상도 카메라를 이용하여 TCP/IP 를 통한 센서의 신호를 원격지 서버로 전송하여 현장의 음향 및 생태 환경을 모니터링 할 수 있도록 구축하였음
- 나. 센서 네트워크 방식은 식물공장의 각종 센서를 RFID신호로 변환하여 신호처리된 센서 신호를 서버에서 인식하여 네트워크 카메라를 구동시키고 관리자의 PC에서 실시간 모니터링할 수 있도록 구성하였음
- 다. 스피커 및 마이크 등의 적용으로 쌍방향 원격 모니터링 시스템 구축을 통한 식물공장 내 환경 관리의 편리성과 신속성을 추구하였음
- 라. 아래의 그림 8~12에는 각각 식물공장 모니터링용 고해상도 카메라의 설치, 식물공장 모니터링 결과의 네트워크망 설치, 스피커와 고해상도 카메라의 적용 등을 나타내었음
- 마. 식물공장 내 적용된 IP 카메라, 스피커 및 네트워크 장비의 제원을 각각의 표에 나타냄

표 3. IP 카메라의 제원

구 분	내 용	구 분	내 용
영상센서	1/4" CMOS, Color	보안	Password protection, IP address filtering, HTTPS** encryption, digest authentication, user access log
렌즈	4,4mm, F2.0		
조도	1-10000lux		
수평 시야각	47°		
셔터 스피드	1/500sec~1/4sec		
압축형식	H.264	무선보안	WEP 64/128 bit, WPA/WPA2-PSK
해상도	640*480 ~ 160*120	전원	DC5V, 3.5W
프레임율	1~30fps	연결단자	DC 전원잭, RJ-45 (10BASE-T/100BASE-TX)
오디오지원	-		
유선연결	10~100Mbps	작동환경	0 ~ 50 ° C, 상대습도 20 ~ 80% (Non-condensing), 실내환경
무선연결	IEEE 802.11.b/g/n 내장안테나		
무게	94g(Stand제외)	크기	95x59x34mm(Stand제외)

표 4. 스피커의 제원

구 분	내 용	구 분	내 용
Output power	3W*2	Speaker	20mm*2
Signal to noise ratio	>=60 db	Degrees of separation	>=70 db
Frequency response	90 hz-20 KHZ	standard impedance	4 Ω
The power supply voltage	DC5V	Product size	490*380*600

표 5. 네트워크 장비의 제원

구 분	내 용	구 분	내 용
Model	ipTIME A2008	Wireless RF	5GHz / 2.4GHz
CPU	660MHz	Security	128/64bit WEP, WPA-PSK, WPA2PSK, WPS, 802.1x
Wireless Standard	IEEE 802.11ac, 802.11a, 802.11b, 802.11g, 802.11n	Data Rate	802.11b - Max. 11Mbps 802.11a/g - Max. 54Mbps 802.11n - Max.300Mbps 802.11ac - Max. 867Mbps

바. 다음 그림에 식물공장 내 IP 카메라, 네트워크 장비 및 스피커 시스템 설치 모습을 나타내었음



그림 8. 식물공장 모니터링용 고해상도 카메라의 설치 모습 및 식물공장 전면부 설치



그림 9. 식물공장 모니터링용 고해상도 카메라의 설치(외부)



그림 10. 식물공장 모니터링용 고해상도 카메라의 설치(내부)



그림 11. 식물공장 모니터링 결과의 네트워크망 설치

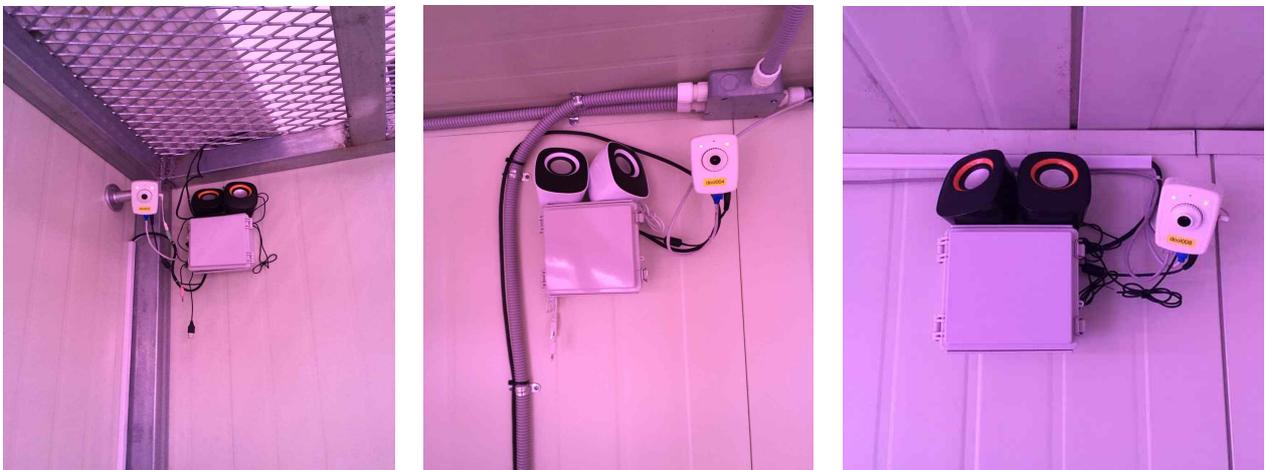


그림 12. 스피커와 고해상도 카메라의 적용

2. 식물공장 모니터링 시스템 시운전

가. 식물공장 내 환경을 모니터링 할 수 있도록 각종 센서, IP 카메라 및 네트워크 시스템을 설치하였으며 관리자는 스마트 폰 앱을 통하여 성장환경을 실시간으로 모니터링 할 수 있도록 구성하였음

나. 또한, 온도, 습도 및 이산화탄소 측정용 센서를 다음의 그림 13에 나타냄



그림 13. 식물공장 내 설치한 온도, 습도 및 이산화탄소 측정 센서

다. 다음의 그림 14에는 스마트 폰 앱에서 실시간 모니터링하고 있는 동영상을 캡처하여 사진으로 나타내었음



그림 14. 식물공장 모니터링 시스템의 CCTV 캡처 이미지

라. 다음의 그림 15에는 개발된 스마트 폰 앱에서 설정하여 온도, 습도, EC 및 pH센서 등의 센서값을 모니터링 하는 모습을 나타내었음

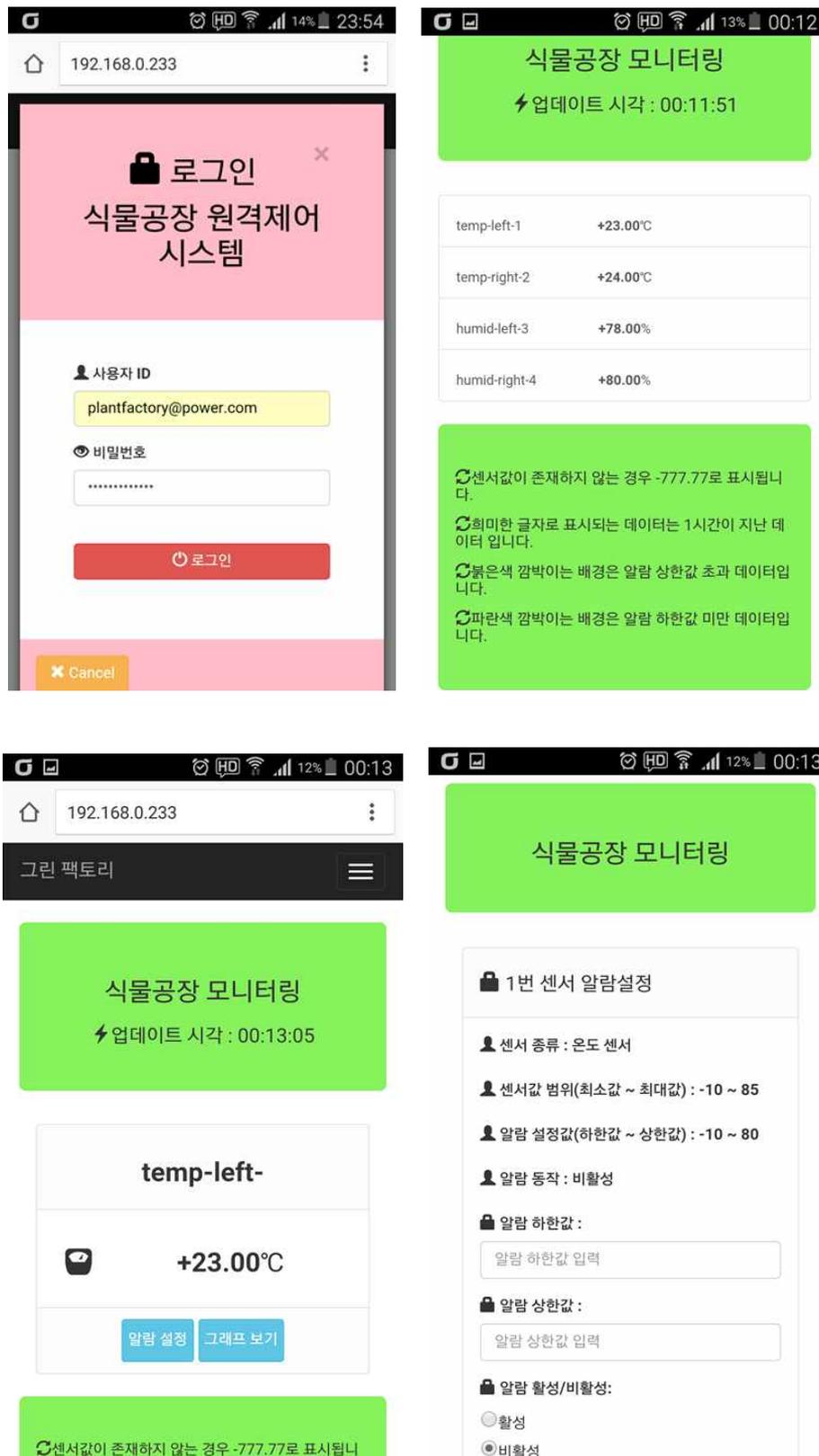


그림 15. 식물공장 모니터링용 스마트 앱의 개발

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

제 1 절 목표달성도

- 평가 및 착안의 기준으로 식물공장 내 모니터링 시스템의 적용을 확인할 수 있는 다음과 같은 항목과 개발목표치를 계획하였으며 개발 결과는 각각 연구의 목표와 같이 모두 달성하였음

평가항목	단위	비중 (%)	개발목표치	개발결과	평가방법
1.	%	30	가능한 형태로	가능한 형태임	가부판정
2. 식물공장내 센서연동	%	30	3종이상 센서연동	온도/습도/ 이산화탄소 등 3종 이상의 센서가 연동됨	연동정보 확인
3. 전원제어기능	%	40	전원제어가능여부	전원제어가능함	전원ON/OFF확인

제 2 절 관련분야에의 기여도

1. 기술적 기여도

- 가. 식물공장은 일반 공산품과는 달리 작물을 대상으로 하므로 몇 가지 핵심적인 요소기술이 전제되어야 하며, 작물을 공장식으로 재배하기 위해서는 유효한 파장광의 적절한 이용이 필요하고, 발아, 육묘, 생장과 관련된 적절한 환경을 제공하기 위해서는 상(床) 상부의 공기뿐만 아니라, 하부의 배지 내 온습도를 포함한 환경제어기술이 필요함
- 나. 식물공장의 요소기술들을 구현하고 원격지에서 모니터링 및 간단한 관제가 가능할 수 있도록 장치하여 사용자 중심에서 식물공장을 운영할 수 있을 것으로 기대됨

2. 경제·산업적 기여도

가. 경제적 측면

- (1) 식물공장의 저가형 IT제품이 적용되어 전반적인 식물공장 운영비용이 저하
- (2) 합리적 식물공장 설비로 비용 부담이 줄어 경제적 파급효과가 기대됨

나. 산업적 측면

- (1) 고가의 IT 기기가 적용되는 현재의 시장이 저가형 고기능 제품으로 전환
- (2) 고기능 저가 제품으로 적극적인 시장 진입을 통해 IT업체의 채산성이 높아질 것임
- (3) 전반적인 설비비용의 절감으로 식물공장 설비 투자가 높아질 것으로 기대됨

제 5 장 연구개발 성과 및 성과활용 계획

제 1 절 연구개발 성과

1. 식물공장내 내부 환경 센서연동 저가형 모니터링 시스템 개발

- 가. 네트워크 카메라를 이용하여 TCP/IP 를 통한 센서의 신호를 원격지 서버로 전송하여 현장의 음향 및 생태 환경을 모니터링 시스템 구축
- 나. 센서 네트워크 방식은 식물공장의 각종센서를 RFID신호로 변환하여 신호처리된 센서 신호를 서버에서 인식하여 네트워크 카메라를 구동시키고 관리자의 PC에서 실시간 모니터링 시스템 구축
- 다. 쌍방향 원격 모니터링시스템 구축을 통한 작업의 편리성과 신속성 추구

2. 특허출원

- 가. 현재 특허출원 중

제 2 절 성과활용계획

1. 저가형 보급형 식물공장 모니터링 방법의 제시

- 가. 기존의 식물공장 모니터링 시스템은 한 세트에 1,200만원에 가격 형성되어 있으나 본 개발품은 200~300만원대에 보급이 가능
- 나. 저가형 농가를 공략하고 식물공장 사업자에 직접 홍보

2. 식물공장 모니터링 시스템의 적극적 홍보 및 판매

- 가. 식물공장 시스템 구축 업체와 연계한 모니터링 시스템의 설명 및 판매
- 나. 정부 연구기관 및 연구소에 식물공장 시스템을 대단위로 판매 및 국내외 박람회 출품

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

제 1 절 식물공장 환경조절 및 모니터링 기술 현황

1. 미국

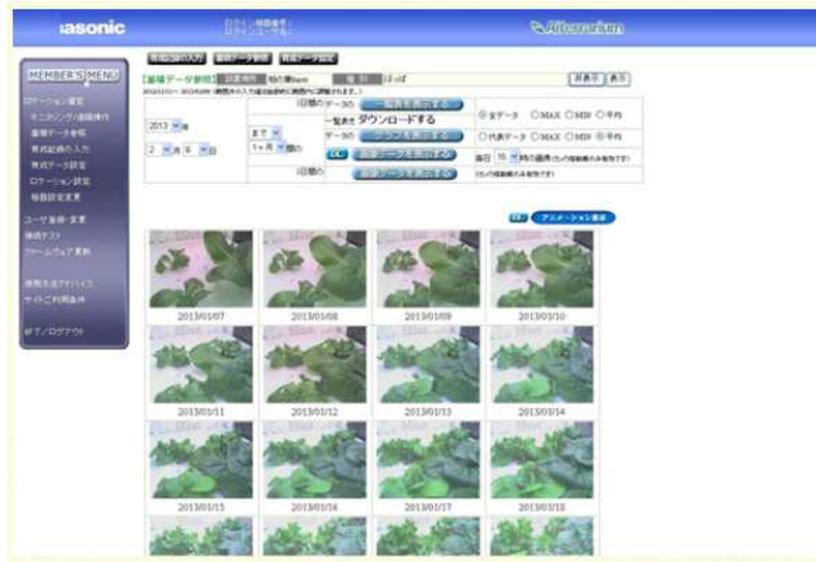
- 가. 스마트 식물공장인 Bitponics 에서는 일부 기능에서 스마트 기능이 부여된 제어 시스템을 사용하고 있는데, 이는 조작성이 원격으로 되는 것은 아니며 급수 시점을 알려 주는 시스템임



16. 미국 Bitponics의 제품

2. 일본

- 가. 일본의 파나소닉 주식회사에서는 가정용 소형 식물성장 챔버를 개발 및 판매하고 있으며 냉장고와 유사한 가전제품의 구조를 활용하고 있음
- 나. 일본의 경우 여러 가지 형태로써 가정용 식물 재배 챔버들이 가전제품형태로 개발되어 판매되고 있으나 국내에서는 이와 유사한 제품이 제품화 되어 판매가 활발히 이루어지고 있지는 않음



17. 일본 파나소닉 가정용 가전제품형의 UI

제 7 장 연구시설·장비 현황

- 해당 없음

제 8 장 참고문헌

- 1) 박대현, 2015, IoT 기반 식물공장 통합운영 시스템에 관한 연구, 순천대학교 박사학위 논문
- 2) 곽수지, 2015, 식물공장의 LED 광원 및 광량에 따른 상추의 생육특성, 공주대학교 석사학위 논문
- 3) 임계재, 2015, 신재생에너지를 활용한 IT-융합 식물공장 시스템 설계, 한국통신학회논문지 40, pp.769-779
- 4) 김형선, 권숙연, 류재복, 유태환, 임재현, 2011, 센서 네트워크 기반 완전제어형 식물공장의 통합 제어 모니터링 시스템 설계 및 구현, 한국산학기술학회 추계 학술발표논문집, pp.679-682
- 5) 이재수, 임태규, 최유화, 김용현, 2014, 식물 성장용 LED 램프의 안정성 향상을 위한 USN 모니터링 시스템 개발, 한국농업기계학회 2014 춘계학술대회 논문집, pp.272-273
- 6) 박영모, 2013, 신재생에너지를 이용한 식물공장의 성장환경 모니터링에 관한 연구, 가톨릭관동대학교 석사학위 논문
- 7) 이용웅, 서범석, 김찬우, 김경희, 박양호, 신창선, 2011, 식물공장 시설관리 시스템의 구현, 한국컴퓨터정보학회논문지 제16권 제 2호 통권 제 83호, pp.141-151
- 8) 류동기, 2014, 원격 무선 제어가 가능한 실험용 식물공장 개발, 충남대학교 석사학위 논문
- 9) 곽경훈, 2015, 식물공장 환경을 위한 온톨로지 기반 제어 서비스 편집기 설계 및 구현, 순천대학교 석사학위 논문
- 10) 경상북도, 대구광역시, 군위군, 2012, 식물공장 산업생태계 조성 지원 기획보고서
- 11) 김연중, 한혜성, 2013, 식물공장의 전망과 정책 과제, 한국농촌경제연구원
- 12) 김경욱, 김응곤, 2013, 스마트기기를 이용한 주기별 식물 성장 인식 자동 제어 모니터링 시스템, 한국전자통신학회 논문지 제8권 제5호, pp.745-750
- 13) 김영춘, 조문택, 주해종, 2012, 식물측정 알고리즘을 이용한 식물성장 모니터링 시스템의 개발에 관한 연구, 한국산학기술학회논문지 제13권 제6호, pp.2702-2706
- 14) 차운철, 2015, 사업타당성을 기반으로 한 식물공장의 고부가가치 전략 연구, 한양사이버대

학교 석사학위 논문

- 15) 엄영철, 오상석, 이준구, 김승유, 장윤아, 2010, 컨테이너 식물공장의 개발과 이를 활용한 광원별 엽채류의 생장특성, 한국생물환경조절학회 Vol.10 No.4, pp.333-342
- 16) 강민정, 2011, 일본 식물공장 활성화 전망, 대한무역투자진흥공사
- 17) 이경용, 이동운, 2013, 식물공장 요소 기술 표준화에 관한 연구, 대한건축학회지회연합회 학술발표대회논문집, pp.439-440
- 18) 손정익, 2013, 식물공장 설계 및 운영, 농림축산식품부, pp.92-118
- 19) 한국전자통신연구원, 2014, 식물공장 에너지 절감을 위한 운영기술 보고서

주 의

1. 이 보고서는 농림축산식품부에서 시행한 농림축산식품기술료사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 농림축산식품부에서 시행한 농림축산식품기술료사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니 됩니다.