

11-1543
000-001
729-01

발간등록번호

11-1543000-001729-01

융합통신기술과 RAD를 이용한 맞춤형 온실환경 제어모듈 실용화 기술 개발 최종보고서

첨단생산기술개발사업 R&D Report

2017

농림축산식품부

융합통신기술과 RAD를 이용한 맞춤형 온실환경 제어모듈 실용화 기술 개발 최종보고서

2017. 04. 06.

주관연구기관 / 충남대학교
협동연구기관 / 충북대학교
고려대학교
제주대학교
(주)신안그린테크

농림축산식품부

제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “융합통신기술과 RAD를 이용한 맞춤형 온실환경 제어모듈 실용화 기술 개발”(개발기간 : 2013. 12. 24 ~ 2016. 12. 23)과제의 최종보고서로 제출합니다.

2017. 04. 06.

주관연구기관명 : 충남대학교 산학협력단 (대표자) 김영국 (인)

협동연구기관명 : 충북대학교 산학협력단 (대표자) 우수동 (인)

고려대학교 산학협력단 (대표자) 고제상 (인)

제주대학교 산학협력단 (대표자) 서일교 (인)

(주)신안그린테크 (대표자) 장승호 (인)

주관연구책임자 : 충남대학교 정선옥

협동연구책임자 : 충북대학교 이동훈

고려대학교 김종윤

제주대학교 조영열

(주)신안그린테크 장승호

국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제18조에 따라 보고서 열람에 동의합니다.

1. 보고서 요약서

보고서 요약서

과제고유번호	313059031S B010	해당 단계 연구 기간	2013. 12. 24. ~ 2016. 12. 23(3년)	단계 구분	3/3
연구 사업명	중 사업명	농림기술개발사업			
	세부 사업명	첨단생산기술개발사업			
연구 과제명	대 과제명	융합통신기술과 RAD를 이용한 맞춤형 온실환경 제어모듈 실용화 기술 개발			
	세부 과제명	-			
연구 책임자	정선옥	해당단계 참여 연구원 수	총: 39 명 내부: 39 명 외부: - 명	해당단계 연구 개발비	정부:500,000천원 민간:170,000천원 계:670,000천원
		총 연구기간 참여 연구원 수	총: 39 명 내부: 39 명 외부: - 명	총 연구개발비	정부:1,500,000천원 민간:510,000천원 계:2,010,000천원
연구기관명 및 소속부서명	충남대학교, 충북대학교, 고려대학교, 제주대학교			참여기업명 : ㈜신안그린테크	
위탁연구	연구기관명 : 충남대학교			연구책임자 : 최종명	
<p>요약 : 온실 환경 모니터링 및 제어 관련 대부분 장비가 수입품으로 가격이 높고, 농가에서 사용하기 어렵기 때문에 ICT 기술을 적극적으로 활용하여 외국제품보다 성능이 우수하고, 가격이 저렴하며, 농민들이 선택적으로 쉽게 활용할 수 있는 보급형 온실 복합환경제어시스템 개발하였음.</p>				<p>보고서 면수 : 343p.</p>	

2. 국문 요약문

		코드번호	D-01																																														
연구의 목적 및 내용	<ul style="list-style-type: none"> · ICT 기술을 적극적으로 활용하여 외국제품보다 성능이 우수하고, 가격이 저렴하며, 농민들이 선택적으로 쉽게 활용할 수 있는 보급형 온실 복합환경제어시스템 개발 -온실 복합환경제어시스템 통합 시작품 설계 -인터넷과 스마트폰을 이용한 온실환경 원격제어기술 개발 -온실 근권·지상부 환경 복합제어기술 개발 -온실 복합환경제어시스템 제작 및 실용화 기술 개발 																																																
연구개발성과	<ul style="list-style-type: none"> · 온실 복합환경제어시스템 개발로 맞춤형 모듈화 제작이 가능해져 호환성과 확장성을 확보 · 전문가 시스템 고도화 및 웹기반 프로그램 개발 · 온실 복합환경 계측 및 제어 요소 간 ICT 기반 연계 시스템 개발 · 온실 복합환경 원격제어를 위한 ICT 융합 미들웨어 서비스개발 · Web 2.0 기반 (TCP/IP, WIFI) 온실 환경 원격 제어 시스템 개발 · 보급형 스마트폰 기반 온실환경 원격제어 App개발 : 스마트폰 운영체제 (Windows8, Android, MacOS) · 시스템 성능 과 서비스 품질 확장성을 고려한 사용자 프로그램 개발 : 64비트 고성능 플랫폼 기반 · 웹기반 온실 작물의 생육 시뮬레이터 개발 · 웹기반 온실 작물의 생리장해와 병해충 진단 전문가 시스템 개발 · 재배 작물 생장 데이터 객체화 및 객체 생성 기술 개발 · 시설 재배 콘텍스트 모델 설계 및 생성 기술 개발 · PLC기반의 원격 환경제어, 유무선 복합 원격 감시 환경제어장치 개발 · 특허등록 된 기술에 대하여 참여 업체 자체 사업화 5건, 특허 출원 5건, 제품화 5건, 논문 발표 11건, 학술발표 8건, 교육지도 10회, 학술발표 8회 등 																																																
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	<ul style="list-style-type: none"> · 산업화, 실용화 과정을 통해 참여업체 인력양성 및 신규인력 채용 · 온실 복합환경제어 관련 생산시스템 및 원예학 분야 인력 양성 · 센서 및 제어 인터페이스 모듈, 원격 관리 모듈 제작 인력 양성 · 개발된 기술을 이용하여 축산, 과수 등 고소득 농가에 응용 · 참여기업에 의한 자체사업화로 온실 복합환경제어시스템 국내 산업 활성화 · 산업화를 통한 기대효과 (단위: 백만원) <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">산업화 기준</th> <th>1차년도</th> <th>2차년도</th> <th>3차년도</th> <th>4차년도</th> <th>5차년도</th> <th>계</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: left;">항 목</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: left;">직접 경제효과</td> <td>6,634</td> <td>7,297</td> <td>8,027</td> <td>8,830</td> <td>9,712</td> <td>40,500</td> </tr> <tr> <td style="text-align: left;">경제적 파급효과</td> <td>13,268</td> <td>14,594</td> <td>16,054</td> <td>17,659</td> <td>19,425</td> <td>81,000</td> </tr> <tr> <td style="text-align: left;">부가가치 창출액</td> <td>26,535</td> <td>29,189</td> <td>32,108</td> <td>35,318</td> <td>38,850</td> <td>162,000</td> </tr> <tr> <td style="text-align: left;">합 계</td> <td>46,437</td> <td>51,080</td> <td>56,188</td> <td>61,807</td> <td>67,988</td> <td>283,500</td> </tr> </tbody> </table>							산업화 기준	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계	항 목							직접 경제효과	6,634	7,297	8,027	8,830	9,712	40,500	경제적 파급효과	13,268	14,594	16,054	17,659	19,425	81,000	부가가치 창출액	26,535	29,189	32,108	35,318	38,850	162,000	합 계	46,437	51,080	56,188	61,807	67,988	283,500
산업화 기준	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계																																											
항 목																																																	
직접 경제효과	6,634	7,297	8,027	8,830	9,712	40,500																																											
경제적 파급효과	13,268	14,594	16,054	17,659	19,425	81,000																																											
부가가치 창출액	26,535	29,189	32,108	35,318	38,850	162,000																																											
합 계	46,437	51,080	56,188	61,807	67,988	283,500																																											
중심어 (5개 이내)	정보기술	통신기술	온실	복합환경	제어시스템																																												

3. 영문 요약문

< SUMMARY >

		코드번호	D-02																																						
Purpose& Contents	<ul style="list-style-type: none"> • Development of ICT-fused integrated greenhouse environment management system with better performance than foreign products, low cost, and easy-to use - Design of a prototype integrated greenhouse environment management system - Remote control technology using internet and smart phone - Development of ambient and root-zone environment control technology - Fabrication and commercialization of the integrated greenhouse management system 																																								
Results	<ul style="list-style-type: none"> • Assurance of compatibility and expansibility through modularization concept • ICT-fused communication technology and middleware among monitoring and control components • Web-based (TCP/IP, WIFI) and smart phone application based greenhouse remote control system • User interface program for high quality service: 64-bit high performance • PLC-based remote control, and wired and wireless integrated system • Web-based crop growth simulator in greenhouses • Web-based growth and disease diagnosis expert system • Object creation technology for crop growth data • Module creation for cultivation context model • Commercialization 5, patent 5, conference paper 8, journal paper 11, education 10 																																								
Expected Contribution	<ul style="list-style-type: none"> • Human resource fostering for the developed system • Commercialization of the ICT-based greenhouse remote monitoring and control system • Improvement of greenhouse management system and farmers' benefit • Expected financial contribution (Million KRW) <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">Item \ Year</th> <th>1st</th> <th>2nd</th> <th>3rd</th> <th>4th</th> <th>5th</th> <th>Total</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: left;">Direct effect</td> <td>6,634</td> <td>7,297</td> <td>8,027</td> <td>8,830</td> <td>9,712</td> <td>40,500</td> </tr> <tr> <td style="text-align: left;">Indirect effect</td> <td>13,268</td> <td>14,594</td> <td>16,054</td> <td>17,659</td> <td>19,425</td> <td>81,000</td> </tr> <tr> <td style="text-align: left;">Value addition</td> <td>26,535</td> <td>29,189</td> <td>32,108</td> <td>35,318</td> <td>38,850</td> <td>162,000</td> </tr> <tr> <td style="text-align: left;">Total</td> <td>46,437</td> <td>51,080</td> <td>56,188</td> <td>61,807</td> <td>67,988</td> <td>283,500</td> </tr> </tbody> </table>						Item \ Year	1 st	2 nd	3 rd	4 th	5 th	Total	Direct effect	6,634	7,297	8,027	8,830	9,712	40,500	Indirect effect	13,268	14,594	16,054	17,659	19,425	81,000	Value addition	26,535	29,189	32,108	35,318	38,850	162,000	Total	46,437	51,080	56,188	61,807	67,988	283,500
Item \ Year	1 st	2 nd	3 rd	4 th	5 th	Total																																			
Direct effect	6,634	7,297	8,027	8,830	9,712	40,500																																			
Indirect effect	13,268	14,594	16,054	17,659	19,425	81,000																																			
Value addition	26,535	29,189	32,108	35,318	38,850	162,000																																			
Total	46,437	51,080	56,188	61,807	67,988	283,500																																			
Keywords	Information technology	Communication technology	Greenhouse	Complex environment	Control system																																				

4. 영문목차

< Contents >

Chapter 1 Introduction	10
1. Objective	10
2. Background	10
3. Scope	11
Chapter 2 Technology trends	12
1. Domestic trends	12
가. Research paper	12
나. Intellectual property	18
2. Foreign trends	22
가. Research paper	22
나. Intellectual property	26
3. Products	29
Chapter 3 Research contents and results	38
Clause 1 Design and performance tests of an integrated greenhouse management system	38
1. Sensor and control interface module using wired and short-range wireless communication	38
a. Design and basic tests	38
b. Field application	50
c. Performance improvement	58
2. Sensor signal processing, control algorithm	62
a. Development and basic tests	62
b. Field application	70
c. Module performance improvement	78
Clause 2 Remote greenhouse environment control using internet and smart phone	83
1. Internet-based remote control technology	83
a. Development and basic tests	83
b. Field application	99
c. Service establishment and performance improvement	112
2. Smartphone-based remote control technology	120
a. Development and basic tests	120
b. Field application	124
c. Program coding and performance improvement	128
Clause 3 Root-zone environment control technology	134
1. Sensor utilization technology by growing medium	134
a. Sensor selection and measurement criteria	134
b. Optimum environmental condition by growing medium	137
c. Performance improvement	139
2. Optimum control technology by crop(strawberry and chrysanthemum)	148
a. Measurement criteria by soil water content and EC sensors	148

b. Field application	167
c. Comparison with conventional technology, and economic feasibility	202
Clause 4 Ambient environment control technology	204
1. Growth modeling by ambient environment and crop(chrysanthemum)	204
a. Survey of growth, yield, and quality by ambient environment and crop	204
b. Crop growth modeling	229
c. Performance improvement	230
2. Optimum ambient environment control, expert system for growth and disease diagnosis	232
a. Strawberry growth modeling by ambient environment	232
b. Optimum environment control technology, field application	235
c. Expert system improvement	236
Clause 5 Fabrication and commercialization	258
1. Fabrication and field application of the components and integrated system	258
a. Fabrication	258
b. Field application	262
c. Commercialization	284
2. Image transmission module for growth and disease diagnosis	297
a. Factorial tests	297
b. Module development	300
c. Commercialization	300
3. Industrialization	302
a. Participation in the domestic and foreign exhibition	302
b. Improvement of user comfort	305
c. Demand survey and industrialization	306
Chapter 4 Goal achievement and contribution	310
Chapter 5 Results utilization plan	315
Chapter 6 Foreign technology information	316
Chapter 7 Security level	320
Chapter 8 Registered facility and equipment	320
Chapter 9 Safety measure fulfillment	321
Chapter 10 Selected achievement	323
Chapter 11 Other issues	324
Chapter 12 Reference	325
<Appendix> Abstract	331
<Appendix> Self evaluation	332
<Appendix> Accomplishment utilization plan	339

5. 본문목차

< 목 차 >

제 1 장 연구개발과제의 개요	10
1. 연구 개발 목적	10
2. 연구개발 필요성	10
3. 연구개발 범위	11
제 2 장 국내외 기술개발 현황	12
1. 국내 기술개발 현황	12
가. 국내 논문 연구현황	12
나. 국내 기술 특허현황	18
2. 국외 기술개발 현황	22
가. 국외 논문 연구현황	22
나. 국외 기술 특허현황	26
3. 온실 환경제어시스템 구성 제품 조사	29
제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과	38
제 1 절 온실복합환경제어시스템 통합 시작품 설계 및 성능 시험	38
1. 유선 및 근거리 무선 통신을 이용한 센서 및 제어 요소 인터페이스 모듈 개발	38
가. 유선 및 근거리 무선 통신을 이용한 센서 및 제어 인터페이스 모듈 설계 및 기본 성능시험	38
나. 유선 및 근거리 무선 통신을 이용한 센서 및 제어 인터페이스 모듈 현장적용	50
다. 유선 및 근거리 무선 통신을 이용한 센서 및 제어 인터페이스 모듈 시스템 고도화	58
2. 센서신호처리, 제어알고리즘 개발	62
가. 센서신호처리, 제어알고리즘 개발 및 기본 성능시험	62
나. 센서신호처리, 제어알고리즘 개발 현장적용	70
다. 센서신호처리, 제어알고리즘을 적용한 모듈의 시작품 고도화	78
제 2 절 인터넷과 스마트폰을 이용한 온실환경 원격제어기술 개발	83
1. 인터넷 기반 온실환경 원격제어기술 개발	83
가. 인터넷 기반 온실환경 원격제어기술 개발 및 성능 시험	83
나. 인터넷 기반 온실환경 원격제어기술 현장적용	99
다. 인터넷 기반 온실환경 원격제어서비스 구축 및 고도화	112
2. 스마트폰 기반(CDMA, Application) 온실환경 원격제어기술 개발	120
가. 스마트폰 기반(CDMA, Application) 온실환경 원격제어기술 개발 및 성능시험	120
나. 스마트폰 기반(CDMA, Application) 온실환경 원격제어기술 현장 적용	124
다. 스마트폰 기반 온실환경 원격제어프로그램 완성 및 고도화	128
제 3 절 온실 근권부 환경 복합제어기술 개발	134
1. 배지 종류별 센서 이용 기술 확립	134
가. 원예작물의 근권부 환경 제어를 위한 센서 선정 및 측정 기준 구명	134
나. 배지 종류별 근권부 최적 환경 구명	137
다. 근권부 환경 제어 기술 고도화	139
2. 작물별(딸기, 국화) 최적 근권 환경제어 기술 확립	148
가. 토양수분-EC 센서를 이용한 실시간 근권 환경 측정 기준 구명	148

나. 근권부 제어 기술 현장 적용	167
다. 기존 제어 기술과의 비교, 경제성 비교	202
제 4 절 온실 지상부 환경 복합제어기술 개발	204
1. 지상부 환경에 따른 작물(딸기, 국화) 생육 모델링	204
가. 지상부 환경에 따른 작물(딸기, 국화)생육, 수량 및 품질조사	204
나. 지상부 환경에 따른 국화 생육 모델링	229
다. 지상부 환경 제어 기술 고도화	230
2. 지상부 최적 환경제어 기술 확립, 생리장해와 병해충 진단 전문가 시스템 구축	232
가. 지상부 환경에 따른 딸기 생육 모델링	232
나. 지상부 최적 환경제어 기술 확립 및 현장 적용	235
다. 전문가 시스템 고도화	236
제 5 절 온실 복합환경제어시스템 제작 및 실용화 기술 개발	258
1. 요소 및 통합시스템 제작 및 현장적용	258
가. 요소 및 통합시스템 1차 시작품	258
나. 요소 및 통합시스템 현장적용	262
다. 요소 및 통합시스템 산업화	284
2. 작물생육 및 병해충 모니터링을 위한 영상 전송 모듈 개발	297
가. 기본 성능 평가	297
나. 작물생육 및 병해충 모니터링을 위한 영상 전송 모듈 개발	300
다. 작물생육 및 병해충 모니터링을 위한 영상 전송 모듈 산업화	300
3. 실용화, 산업화 추진	302
가. 온실복합 환경 제어시스템의 사업화추진을 위한 국내·외 전시회 참가	302
나. 소비자들의 편의성 확대	305
다. 국내외 주요 수요조사 및 사업화 성과	306
제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도	310
제 5 장 연구결과의 활용계획	315
제 6 장 연구과정에서 수집한 해외과학기술정보	316
제 7 장 연구개발성과의 보안등급	320
제 8 장 국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비현황	320
제 9 장 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전조치 이행실적	321
제 10 장 연구개발과제의 대표적 연구실적	323
제 11 장 기타사항	324
제 12 장 참고문헌	325
<별첨> 연구개발보고서 초록	331
<별첨> 자체평가의견서	322
<별첨> 연구성과 활용 계획서	339

6. 뒷면지

주 의

1. 이 보고서는 농림축산식품부에서 시행한 첨단생산기술사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 농림축산식품부에서 시행한 첨단생산기술사업의 연구 결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.

제 1 장 연구개발과제의 개요

코드번호	D-03
<p>1. 연구개발 목적</p> <p>ICT 기술을 적극적으로 활용하여 외국제품보다 성능이 우수하고, 가격이 저렴하며, 농민들이 선택적으로 쉽게 활용할 수 있는 보급형 온실 복합환경제어시스템 개발</p> <p>2. 연구개발의 필요성</p> <p>가. 외국제품보다 성능이 우수하고, 가격이 저렴하며, 농민들이 선택적으로 쉽게 활용 할 수 있는 보급형 온실 복합환경제어 시스템 국산화 필요</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 온실 환경제어관련 센서류는 주로 수입품에 의존하고 있어, 가격이 비싸고, 판매업체마다 인터페이스와 통신방식이 달라 복합환경제어시스템 구축, A/S, 농가 사용이 쉽지 않음 ○ 온실 환경 개별인자 제어, 복합환경 제어 시 다양한 센서 및 제어 장비들에 사용될 수 있는 모듈화 연구가 필요함 ○ 자동 센서 인식기능, 편리한 신호처리 기능, PID 등 자동제어 알고리즘이 탑재된 실용화 장비가 필요함 <p>나. ICT 기술을 적극적으로 활용하여 농민들이 쉽게 사용할 수 있는 원격제어기술 개발이 필요함</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 우리나라가 인터넷, 스마트폰, 무선통신 기술은 국제경쟁력이 있으나, 온실제어에 손쉽게 사용할 수 있는 범용 플랫폼 개발이 미비한 상태임 ○ 인터넷 및 스마트폰을 활용한 원격 온실 제어기술이 연구/개발되어 있으나, 농민들이 쉽게 접근할 수 있는 인터페이스 제공, 실용화 및 산업화가 미비한 상태임 <p>다. 온실 근권부 환경 복합제어기술 개발이 필요함</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 시설작물의 배지 재배가 증가하고 있으나, 배지 종류별 근권부 센서 이용 기술이 미비한 상태임 ○ 작물별 최적 근권 환경제어 기술 확립이 미비함 <p>라. 온실 지상부 환경 복합제어기술 개발이 필요함</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 지상부 환경제어는 개별 요소에 대한 단순 제어의 수준으로 실시되고 있으며, 생육 모델링에 의한 복합환경제어는 미비함 ○ 작물별 최적 지상부 환경제어 기술 확립 및 전문가 시스템 구축이 토마토와 파프리카 등은 확립되어 있으나, 일부 작목에 대하여 미비함 <p>마. 온실 복합환경제어시스템 실용화 기술 개발이 필요함</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 대부분의 관련 업체가 수입품을 판매하고 있는 영세한 업체이므로 국내 실정에 맞는 현장 적응성 시험, 농가에서 활용 가능한 제품 개발이 미비함 ○ 원격에서 작물생육 및 병해충 모니터링을 위한 농가 보급형 영상 전송 모듈 개발이 필요함 <p>3. 연구개발 범위</p> <p>가. 1년차 시작품 제작, 2년차 현장 적용, 3년차 산업화로 단기간 매출가능</p>	

- 나. 외국제품보다 성능이 우수하고(채널 수, 자동 인식 기능 등), 가격이 저렴하고 (외국산의 70%), 농민들이 사용하기 쉽도록(한글 메뉴, 확장성 등) 개발
- 다. 판매되고 있는 센서 및 환경조절 장비에 적용할 수 있는 모듈형으로 개발
- 라. 현장제어, 원격제어, 비상 시 대응 기능 확보
- 마. 지상부 환경: 광, 온도, 습도, CO₂, 작물 생육 상태, 생리장해 및 병해충 모니터링
- 바. 근권부 환경: 배지에서의 수분, EC(양분)
- 사. 작목: 딸기, 국화 (큰 재배면적, 고소득 작목, 높은 수출액, 환경변수에 대한 민감도와 환경제어 난이도가 높은 점을 고려하여 선택)

○ [제1세부] 온실 복합환경제어시스템 통합 시작품 설계 및 성능시험

- 유선 및 근거리 무선 통신을 이용한 센서 및 제어 요소 인터페이스 모듈 설계
- 센서신호처리, 제어알고리즘 개발, H/W 및 S/W 기본 성능시험

○ [제1협동] 인터넷과 스마트폰을 이용한 온실환경 원격제어기술 개발

- 인터넷 기반 온실환경 원격제어기술 개발
- 스마트폰 기반 (CDMA, Application) 온실환경 원격제어기술 개발

○ [제2협동] 온실 근권부 환경 복합제어기술 개발

- 배지 종류별 센서 이용 기술 확립
- 작물별(딸기, 국화) 최적 근권 환경제어 기술 확립

○ [제3협동] 온실 지상부 환경 복합제어기술 개발

- 지상부 환경에 따른 작물(딸기, 국화) 생육 모델링
- 지상부 최적 환경제어 기술 확립, 생리장해와 병해충 진단 전문가 시스템 구축

○ [제4협동] 온실 복합환경제어시스템 제작 및 실용화 기술 개발

- 요소 및 통합시스템 제작 및 현장적용
- 작물생육 및 병해충 모니터링을 위한 영상 전송 모듈 개발
- 실용화, 산업화 추진

제 2 장 국내외 기술개발 현황

코드번호

D-04

1. 국내 기술개발 현황

가. 국내 논문 연구현황

- 논문 검색 시스템을 통하여 문헌을 조사하였으며, 주요 문헌을 표 1에 요약하였음
- 최근 연구개발 동향은 온실 및 식물공장의 환경 모니터링 및 제어가 활발히 진행되고 있으며, 환경 변수는 지상부(온도, 습도, 이산화 탄소, 광 등)와 근권부(수분, 전기전도도, pH 등)로 구분할 수 있었음. 온실 내 근거리 통신으로는 무선 센서네트워크가 사용되고 있으며, 원격리 사용자는 인터넷이나 스마트폰을 이용하여 온실 환경을 모니터링하고 제어할 수 있음
- 단일환경 제어보다는 점차 복합환경제어시스템이 개발되고 있으며, 작물생육모델을 이용한 수확 예측, 인공지능 기법을 이용한 환경 제어기법이 개발되고 있음
- 최적화 된 환경에서 작물을 생산하기 위한 연구가 지속적으로 진행되고 있다. 온실 환경 제어 인자에 대한 연구를 통하여 환경 변화 및 제어를 위한 모니터링 기술의 다양한 방법을 연구하고 있으며, ICT를 이용한 온실 환경측정 데이터 전송 방법 및 제어 시스템 개발 연구가 진행되고 있음
- 온실 환경제어시스템 논문 조사

표 2-1. 국내 문헌 조사

학술지명/저자	개재년도	논문 제목	내용
학위논문(석사) / 강신우	2013	온실 환경 변량 제어 시스템 개발	온실 환경을 변량 제어 시스템을 개발하기 위하여 WSN, WCN, 원격관리 시스템을 구축하고 이를 성능평가
한국전자통신학회 / 김경옥 등	2011	웹기반의 온실환경 원격 모니터링 시스템 구축	온실에 Green U-IT 기술을 적용하여 기온센서, 토양센서, 수분센서 등 환경제어기기를 컴퓨터로 연동시켜 실시간으로 작물 성장환경을 관리하는 원격 모니터링 시스템을 제안

학술지명/저자	개재년도	논문 제목	내용
한국인터넷정보학회 학술발표대회 논문집 / 강민수 등	2007	최적성장 환경 조성을 위한 온실 모니터링 시스템	USN기반의 토양 및 기상센서와 CCTV를 이용하여 온실 내 환경 및 토양 정보를 데이터베이스화하고 실시간으로 모니터링 및 제어가 가능한 시스템을 제안
한국생물환경조절학회 / 서광규 등	2011	유비쿼터스 식물공장의 통합환경관리를 위한 적응형 뉴로-퍼지 추론시스템 기반의 자동제어시스템 설계	식물공장의 재배환경에 영향을 미치는 환경요소 센서 네트워크를 구성하고 측정된 환경요소의 변화에 따라 램프, 환기, 습도 등을 자동으로 제어할 수 있는 자동제어시스템을 설계
한국인터넷정보학회 / 도진아 등	2010	식물공장의 최적 성장환경 제어를 위한 상황예측 구조의 설계	식물의 상태를 주기적으로 분석하고 생육단계를 지능적으로 구분함으로써 단계별로 적합한 성장조건을 제어하도록 설계
한국정보통신설비학회 / 손교훈 등	2012	온실 환경 제어시스템을 위한 액추에이터 복합 제어 방법	We proposed a control algorithm using feedback linearization techniques based on a mathematical model for temperature and humidity environment
한국전자통신학회 / 김경욱 등	2013	스마트기기를 이용한 주기별 식물 성장 인식 자동 제어 모니터링 시스템	주기별 성장 인식 알고리즘을 이용하여 각 식물의 성장 단계를 인식하고 식물의 성장 단계에 따른 최적의 환경을 제공
한국전자통신학회 / 정경진	2011	u-IT기반 스마트 성장환경 관리시스템 개발	u-IT기술을 농업에 적용하여 시설하우스 식물들에게 최적의 성장 환경을 자동으로 조절하는 시스템을 제안
한국전자통신학회 / 정경진 등	2013	작물성장모델에 기반한 온실제어시스템 개발	제안한 시스템은 기존의 IT농업의 성과 위에 농학계의 연구성과인 성장환경과 성장모델링 기법을 도입하여 USN 기반의 시스템
한국정보처리학회 / 김대업	2001	인터넷 기반의 온실 환경 제어 시스템에 관한 연구	온실의 각 장치를 제어하는 클라이언트 컴퓨터를 통하여 인터넷상에서 원격지의 데이터 획득과 온실의 상황을 모니터링 할 수 있는 시스템을 개발

학술지명/저자	개재년도	논문 제목	내용
한국인터넷정보학회 학술발표대회 논문집 / 강민수 등	2007	최적성장 환경 조성을 위한 온실 모니터링 시스템	USN기반의 토양 및 기상센서와 CCTV를 이용하여 온실 내 환경 및 토양 정보를 데이터베이스화하고 실시간으로 모니터링 및 제어가 가능한 시스템을 제안
한국생물환경조절학회 / 서광규 등	2011	유비쿼터스 식물공장의 통합환경관리를 위한 적응형 뉴로-퍼지 추론시스템 기반의 자동제어시스템 설계	식물공장의 재배환경에 영향을 미치는 환경요소 센서 네트워크를 구성하고 측정된 환경요소의 변화에 따라 램프, 환기, 습도 등을 자동으로 제어할 수 있는 자동제어시스템을 설계
한국인터넷정보학회 / 도진아 등	2010	식물공장의 최적 성장환경 제어를 위한 상황예측 구조의 설계	식물의 상태를 주기적으로 분석하고 생육단계를 지능적으로 구분함으로써 단계별에 적합한 성장조건을 제어하도록 설계
한국정보통신설비학회 / 손교훈 등	2012	온실 환경 제어시스템을 위한 액추에이터 복합 제어 방법	We proposed a control algorithm using feedback linearization techniques based on a mathematical model for temperature and humidity environment
한국전자통신학회 / 김경욱 등	2013	스마트기기를 이용한 주기별 식물 성장 인식 자동 제어 모니터링 시스템	주기별 성장 인식 알고리즘을 이용하여 각 식물의 성장 단계를 인식하고 식물의 성장 단계에 따른 최적의 환경을 제공
한국전자통신학회 / 정경진	2011	u-IT기반 스마트 성장환경 관리시스템 개발	u-IT기술을 농업에 적용하여 시설하우스 식물들에게 최적의 성장 환경을 자동으로 조절하는 시스템을 제안
한국전자통신학회 / 정경진 등	2013	작물성장모델에 기반한 온실제어시스템 개발	제안한 시스템은 기존의 IT농업의 성과 위에 농학계의 연구성과인 성장환경과 성장모델링 기법을 도입하여 USN 기반의 시스템
한국정보처리학회 / 김대업	2001	인터넷 기반의 온실 환경 제어 시스템에 관한 연구	온실의 각 장치를 제어하는 클라이언트 컴퓨터를 통하여 인터넷상에서 원격지의 데이터 획득과 온실의 상황을 모니터링 할 수 있는 시스템을 개발

학술지명/저자	개재년도	논문 제목	내용
한국전자통신학회 / 정경진 등	2011	센서 네트워크와 3G 통신 기반 스마트 성장환경 관리시스템 개발	u-IT기술을 농업에 적용하여 시설하우스 식물들에게 최적의 성장 환경을 자동으로 조절하는 시스템을 제안
한국통신학회 / 배장식 등	2013	온실 환경모니터링을 위한 클러스터기반 라우팅 기법	온실 환경 모니터링 시스템에서 센서 노드의 에너지 효율을 높이기 위한 클러스터 기반의 라우팅프로토콜을 제안
정보과학회지 / 이명훈 등	2009	유비쿼터스 농업에서의 온실 환경 통합관리 시스템	유비쿼터스 농업환경을 구현하기 위해서 온실 환경에 특화된 통합관리 시스템을 제안
한국정보기술학회 / 배장식 등	2013	온실 환경 데이터 모니터링을 위한 그레이 시스템 이론 기반 데이터 전송 알고리즘	무선 센서 네트워크 기반의 온실 환경 모니터링 시스템에서 데이터 예측 방법인 grey system theory을 이용한 데이터 전송 알고리즘을 제안
한국인터넷정보학회 / 서종성 등	2008	센서 네트워크를 활용한 유비쿼터스 온실관리시스템 구현	토양 및 기상센서와 CCTV 카메라를 이용하여 온실 내 기상환경 및 토양 정보를 수집하고 온실설비의 실시간 모니터링 및 제어가 가능한 USN 기반의 온실관리시스템을 제안
한국농역기계학회 / 강신우 등	2013	생물생산시설 및 환경공학 분야 온실 환경 무선 모니터링 센서 노드 연구	센서 네트워크의 부하를 줄이기 위하여 노드 수에 따른 적정 데이터 전송 주기를 선정하고, 데이터 전송주기에 따른 센서 노드 수명을 계산하고자 수행
대한건축학회 / 홍정환 등	2011	식물공장의 종합적 환경제어에 관한 연구	식물공장의 최적의 식물광합성의 환경을 유지하기 위한 식물공장의 각 부분의 효율적 운용에 관한 연구
한국정보과학회 / 유태환 등	2012	상황인식기반 식물재배용 LED 제어시스템 설계 및 구현	식물재배기에 유입되는 조도 정보를 자동 센싱하여 대상 식물의 생육에 적합한 목표조도와 비교과정을 거쳐 LED의 밝기를 지능적으로 제어하기 위한 상황인식기반의 식물재배용 LED 제어 시스템을 구현하고자 함

학술지명/저자	개재년도	논문 제목	내용
한국원예학회 / 차미경 등	2014	완전제어형 식물 생산 시스템에서 선형 지수 함수를 이용한 Common Ice Plant의 생육 모델	완전제어형 식물공장에서 선형 지수 함수를 이용하여 common ice plant의 생육과 수량 모델을 개발하고자 수행
한국컴퓨터정보학회 / 이용웅 등	2011	식물공장 시설관리 시스템의 구현	식물공장 내부에 설치된 센서나 설비 장치가 정상적으로 작동하는지 실시간으로 진단하고, 내부 환경 및 설비의 제어상태를 모니터링 하는 식물공장 시설관리 시스템을 제안
한국정보기술학회 / 주동만 등	2014	식물 재배용 대전력 LED 조명을 위한 무선 제어기 설계	대전력 LED 조명용 구동회로와 무선 제어회로의 설계방법을 제안하고, 제작된 무선 제어기 측정 결과를 제시
대한전자공학회 / 임병관 등	2011	식물 공장을 위한 PDA기반의 모니터링 제어 시스템 개발	유비쿼터스 기반의 재배 환경 모니터링 시스템에서 발생하는 상황을 PDA로 원격 모니터링 할 수 있는 ZigBee 기반의 재배 환경 제어 시스템을 설계-구현하였다.
한국산학기술학회 / 이원섭	2012	식물공장을 위한 인공광 회전형 스마트 조명 제어시스템 개발	조명 시뮬레이션 프로그램 Relux와 시제품을 이용한 실험을 통하여 조명 모듈의 각도 변화와 블레이드의 회전속도 변화에 따른 측정 영역에서의 광량의 차이를 비교하고 분석
바이오시스템공학 / 김동식	2013	정보처리 및 복합기술 분야 ; 센서네트워크 기반의 식물공장 제어시스템의 구현	개발한 식물공장 시스템을 응용확장하여 부분제어용 식물공장을 설계하고 시스템배치와 유비쿼터스 센서 네트워크 기반의 LED 형광램프 식물공장시스템의 배치와 통합운영 프로그램과 제어용 센서 모듈을 구현
학위논문(석사) / 박영모	2013	신재생에너지를 이용한 식물공장의 성장환경 모니터링에 관한 연구	환경을 다중 센서로 수집하여 데이터베이스 하고 LED 제어, 태양광 전원 관리에 대한 통합 모니터링용 Web 기반형 소프트웨어를 개발
한국생물환경조절학회 / 김동익 등	2006	PLC와 컴퓨터를 이용한 식물생산공장의 환경제어	develop a system and an control algorithm for control the environment of a plant factory.

학술지명/저자	개재년도	논문 제목	내용
한국생물환경조절학회 / 김동익 등	2006	PLC와 컴퓨터를 이용한 식물생산공장의 환경제어	Develop a system and an control algorithm for control the environment of a plant factory.
한국인터넷정보학회 / 이용웅 등	2010	식물공장 최적 운영을 위한 상황인지 미들웨어 설계	식물공장의 최적 운영을 위한 식물공장 상황인지 미들웨어를 제안
한국산학기술학회 / 이원섭 등	2012	식물측정 알고리즘을 이용한 식물성장 모니터링 시스템의 개발에 관한 연구	카메라를 이용하여 식물의 발육상태를 측정하는 방법에 대해 연구
대한전자공학회 / 윤태민 등	2011	식물 공장을 위한 지그비 기반의 센서 네트워크 컨트롤러 개발	a flexible plant, factory installed in the LED control of ZigBee-based embedded systems is proposed
컴퓨터교육학회 / 김승우	2013	퍼지 전문가 제어 기법을 이용한 시설재배 자동화 소프트웨어의 구현	시설내 작물재배 시스템의 완전자동화를 구현함에 동시에 자동 제어 방식 설계상에 존재하는 많은 문제들 때문에 실현하지 못했던 작물의 직접제어자동화를 구현
한국전자통신학회 / 정경진 등	2013	작물성장모델에 기반한 온실제어시스템 개발	시스템은 기존의 IT농업의 성과 위에 농학계의 연구성과인 성장환경과 성장모델링 기법을 도입하여 USN 기반의 시스템 제안
한국화훼산업육성협회 / 김영식	2004	시설재배환경의 자동제어를 위한 전문가시스템 개발	온실을 동적으로 자동제어하는 전문가 시스템을 설계하여 구현
한국원예학회 / 유인호 등	2006	Development of Remote Monitoring System for Analyzing Greenhouse Environment	온실 환경을 원격으로 계측하는 시스템을 이용하여 온실 환경 데이터베이스를 구축하였으며, 온실내 환경오소가 작물에 미치는 영향 및 농가간 생산성 차이에 대한 원인을 분석함과 동시에 시설재배 원격계측 웹서비스를 통해 농가의 온실 환경 관리 현황 및 재배 기술을 농가에 제공
한국콘텐츠학회 / 이은진 등	2010	통합 센서 모듈을 이용한 농업 환경 모니터링 시스템 개발	본 시스템에서는 농작물 재배지에서 필요로 하는 정보를 얻기 위해 사용되는 여러가지 센서들을 단일 노드에 통합할 수 있는 통합 센서 모듈을 개발

나. 국내 기술 특허현황

○ 온실 환경제어시스템 관련 기술 특허 조사

- 특허정보 검색 시스템을 통하여 특허를 조사하였으며, 주요 특허는 표 2-2에 요약하였음
- 온실의 환경을 감시하고 제어하는 장치에 관한 연구를 통해 각종 센서에서 측정된 온실 내외부의 환경 조건과 사용자가 설정한 온실 내외부의 환경 조건을 고려한 제어 시스템 개발에 대한 특허가 조사 됨
- 인터넷과 무선을 이용한 온실 제어장치 및 그를 이용한 제어방법에 관한 개발이 많으며 무선통신을 이용한 온실 환경의 효율적 관리의 비중이 증가하고 있음을 특허 조사를 통해 확인 함

표 2-2. 국내 특허 조사

등록번호	등록일자	발명의 명칭	출원인
1007942850000	2008.01.07	온실 환경 제어 장치	대한민국(농촌진흥청장)
1008016980000	2008.01.30	온실 제어 시스템	이용진
1007665420000	2007.10.05	유리 온실 자동화 및 제어시스템	주식회사 대영
1008281030000	2008.04.30	토양 및 환경센서를 이용한 온실 자동제어 시스템 및 온실관리 방법	순천대학교 산학협력단
1008948820000	2009.04.17	온실 가스 배출 관리 시스템	가천대학교 산학협력단
1009080270000	2009.07.13	온실용 복합환경 제어기	그린씨에스(주)
1011565940000	2012.06.08	작물의 병해충 진단 시스템 및 그 방법	순천대학교 산학협력단
1011321510000	2012.03.26	유비쿼터스 기반 온실 관리방법	황성일 주식회사 맥스포
1011126130000	2012.01.30	온실환경 자동제어 시스템 및 방법	순천대학교 산학협력단
1014091460000	2014.06.11	온실 복합환경 제어장치	(주)유엠솔루션
1014060920000	2014.06.03	온실의 온습도 제어 시스템 및 그 제어 방법	경상대학교산학협력단

등록번호	등록일자	발명의 명칭	출원인
2004104340000	2006.02.28	온실 제어 시스템	이용진
1009410000000	2010.01.29	유비쿼터스 센서네트워크 기반 온실환경 자동관리 시스템	정인균 정덕균
1014254620000	2014.07.25	자동온실의 제어반	신한에이텍 주식회사
1010318200000	2011.04.21	온실환경 자동제어 방법 및 시스템	그린씨에스(주)
1009307690000	2009.12.01	대기 가스 분석 시스템 및 그 제어방법	(주)웨더텍
1009374410000	2010.01.11	순환식 수막보온시스템 및 그 제어방법	대한민국(농촌진흥청장) 박진섭
1006252560000	2006.09.11	비닐 하우스 원격 관리장치	박은석
2003757040000	2005.02.01	온실용 무인 방제 시스템	이효심
1008506840000	2008.07.31	하우스 재배 시스템 및 이의 제어 방법	(주)인성테크
1012869510000	2013.07.11	농업용 온실가스 자동 포집 장치	경기도
1013325420000	2013.11.19	식물공장 재배작물의 육묘방법 및 그를 위한 육묘재배 장치	(주)유양디앤유
1011303400000	2012.03.19	온실의 커튼제어방법	신한에이텍 주식회사 박철수
2003544490000	2004.06.15	웹 기반 원격 모니터링이 가능한 저가형 온실 제어기	이은철
1007585320000	2007.09.07	환경인자 감지기	(주) 파루
1005869040000	2006.05.29	온실용 열풍기	김종철
1011131070000	2012.01.31	온실의 천창제어방법	신한에이텍 주식회사 박철수
1009626850000	2010.06.03	온실가스 분리 제어 저장시스템 및 방법	김인전
1012744120000	2013.06.05	실내 환경 제어 방법 및 시스템	순천대학교 산학협력단 사단법인 한국온실작물연구소
1010453020000	2011.06.23	온실의 덕트장치	주식회사 제이앤지
1011474400000	2012.05.11	온실용 살수장치의 제어회로	선진모타테크주식회사
1002599390000	2000.03.30	온실용 견인식 두상 살수방법 및 살수장치	사단법인경상원예기술개발협 회 박중춘 정한택 민영봉
1008732540000	2008.12.03	그린하우스 지붕 세척기	순천대학교 산학협력단

등록번호	등록일자	발명의 명칭	출원인
1000447010000	1991.09.30	재배용온실	삼화샤터공업주식회사
1008754530000	2008.12.16	온실용 천창개폐장치	서은정
1009052220000	2009.06.23	온실 천창 안전 개폐 장치	류강선(대한민국(농촌진흥청장))
1013580030000	2014.01.27	자동온실의 천창제어방법	신한에이텍 주식회사
1014078790000	2014.06.09	온실의 복합환경제어방법	구지민 구광모
1013460560000	2013.12.23	온실 환경 제어 시스템 및 온실 환경 제어 방법	양창구
1011788640000	2012.08.27	다단 적층 타입의 수경 재배 시스템 및 이의 제어 방법	(주)인성테크
1010728810000	2011.10.06	농축산 시설의 원격 관리 시스템	오성진
1011341370000	2012.03.30	온실 기동 승강 장치	김태일 한윤자 이희도
1001467260000	1998.05.12	온실용원격온도계측회로	대한민국(농촌진흥청장)
1004488500000	2004.09.06	온실용 중앙권취식 보온터널 및 보온커튼의 개폐장치	장춘환 대한민국(농촌진흥청장)
1005888110000	2006.06.05	다목적 하이브리드 로봇 시스템	재단법인서울대학교산학협력재단
1009052200000	2009.06.23	원예시설 공기막 보온커튼 장치	류강선(대한민국(농촌진흥청장))
1008701930000	2008.11.18	온실용 자동 개폐기	주식회사 청오엔지니어링
1013475230000	2013.12.26	온실용 냉난방 시스템 및 그의 냉난방 방법	서울대학교산학협력단
1014364400000	2014.08.26	온실 및 수경재배용 축열식 히트펌프 냉,난방시스템	지영민 송우열 송영우 지두환 (주)양협
1014189730000	2014.07.07	수경재배 환경 자동 제어 및 모니터링 시스템	정효재 백승인
2004403590000	2008.06.03	조명 및 보온기능을 구비한 온실	심병선
1004217550000	2004.02.25	식물체재배용지지체및식물체육성방법	유겐가이샤 무코야마란엔
1007362500000	2007.06.29	실내환경 제어시스템 및 그 제어방법	(주)모아정보기술
1013453650000	2013.12.19	식물 재배 장치	코난클리케 필립스 엔.브이.
1012609580000	2013.04.29	농업용 개폐기의 개폐 폭 제어장치	주식회사 에스에이엠텍

등록번호	등록일자	발명의 명칭	출원인
1000447010000	1991.09.30	재배용온실	삼화샤터공업주식회사
1011402770000	2012.04.19	다중 통신 방식의 무정전 다측점 멀티계측기와 전력량 수집기를 이용한 전력데이터 모니터링 시스템	(주) 에코센스
1014234430000	2014.07.18	센서 장치, 센서 관리 시스템, 센서 장치의 제어 방법, 프로그램 및 컴퓨터 판독 가능한 기록 매체	오프론 가부시킴가이사
2003842770000	2005.05.04	디지털 온습도계를 이용한 복합환경제어시스템	(주)한국과기산업
1002705000000	2000.08.02	양액공급방법및자동공급시스템	동양산전 주식회사 대한민국(농촌진흥청장)
2002824110000	2002.07.05	온실 커튼개폐장치의 커튼축 회전제어장치	김용철
1008680770000	2008.11.04	동력개폐시스템	이연호
1008212290000	2008.04.03	농업용 난방기의 가동신호 분석에 의한 유류소모량계측장치	대한민국(농촌진흥청장) 안정균
1007780480000	2007.11.14	온수 분사 방식을 이용한 비닐하우스 제설장치	주식회사 로보렉스
1009228210000	2009.10.14	온실용 냉·난방 절환 시스템	(주) 지산에너지텍 김성수
1014330810000	2014.08.18	센서네트워크 기반의 전력제어 시스템	울산대학교 산학협력단
1010695560000	2011.09.27	조명용 고효율 엘이디 구동 회로	주식회사 케이지테크
1010633720000	2011.09.01	온실 이산화탄소 시비용 열병합발전 시스템	한국기계연구원
1020120075559	2012.07.09	작물 생장 관측 방법 및 이를 위한 시스템	한국전자통신연구원
1013138280000	2013.09.25	식물 재배 어셈블리	커츠 말콤 글렌

2. 국외 기술개발 현황

가. 국외 논문 연구현황

- 논문 검색 시스템을 통하여 문헌을 조사하였으며, 주요 문헌을 표 2-3에 요약하였음
- 최근 몇 년간 연구 동향을 보면 온실 기후 조절에 대한 연구가 활발히 진행되고 있음을 알 수 있다. 예를 들어 가변 속도 팬 및 가변 압력 분무 시스템을 이용한 온실의 온도 조절 시스템 개발과 태양광 에너지에 의해 구동되는 온실 측면 환기 컨트롤러 개발 등을 들 수 있음
- 최적의 작물 생육 및 생산을 위한 환경 조건으로 온실의 온도 조절의 중요성을 인식 할 수 있으며 온실 환경변화에 대한 예측 제어 방법과 기후 모델링을 통하여 온실 공기 온도 컨트롤 방법에 대한 연구의 중요성을 확인하였음

표 2-3. 국외 문헌 조사

학술지명/저자	개재년도	논문 제목	내용
Neurocomputing / Fathi Fourati 등	2014	Multiple neural control of a greenhouse	ART2 classifier is used to extract local models of a database taken from a greenhouse.
Biosystems Engineering / Ilya Ioslovich 등	2009	Optimal control strategy for greenhouse lettuce: Incorporating supplemental lighting	This paper supplements previous studies by developing optimal control rules for the application of artificial light (when justified)
Biosystems Engineering / A. Yano, K 등	2007	Development of a Greenhouse Side-ventilation Controller driven by Photovoltaic Energy	This study developed a greenhouse side-ventilation controller driven by photovoltaic energy.
Engineering in Agriculture / Yi-Chich Chiu 등	2014	A wireless communication system for automated greenhouse operations	The objective of this research was to develop a wireless system enabling communication between a Central Control Unit and four robots that worked in a model greenhouse.
Procedia Engineering / Gao Junxiang 등	2011	Design of Greenhouse Surveillance System Based on Embedded Web Server Technology	Constructs embedded web server and use it in acquisition and transmission of greenhouse information.

학술지명 / 저자	개재년도	논문 제목	내용
Biosystems Engineering / R. Guzmán-Cruz 등	2009	Calibration of a greenhouse climate model using evolutionary algorithms	This paper presents a comparison of different evolutionary algorithms (EAs), such as Genetic Algorithms (GAs), Evolutionary Strategies (ES) and Evolutionary Programming (EP) to calibrate parameters of a climate model that describes the behaviour of air temperature and relative humidity (RH) within a greenhouse where a tomato crop is being grown.
Computers and Electronics in Agriculture / Robert W 등	2013	Wireless sensor network with irrigation valve control	Much of the work on wireless sensor networks with integrated control has been conducted in academic research
Biosystems Engineering / Raphael Linker 등	2011	Robust climate control of a greenhouse equipped with variable-speed fans and a variable-pressure fogging system	A climate control system for a small greenhouse equipped with a variable-pressure fogging system and variable-speed extracting fans was developed and validated.
Computers and Electronics in Agriculture / J.P. Coelho 등	2005	Computer control of the environment in greenhouses	The particle swarm optimisation algorithm is proposed as a new method to design a model-based predictive greenhouse air temperature controller subject to restrictions.
Computers and Electronics in Agriculture / K.G. Arvanitis 등	2000	Multirate adaptive temperature control of greenhouses	A new adaptive technique is proposed for the control of the temperature in a greenhouse whose parameters vary with operating conditions.

학술지명 / 저자	개재년도	논문 제목	내용
Computers and Electronics in Agriculture / N. Bennis 등	2008	Greenhouse climate modelling and robust control	This paper deals with the problem of modelling and control of greenhouses inside climate defined by two variables: the temperature and hygrometry.
Computers and Electronics in Agriculture / S. Piñón 등	2005	Constrained predictive control of a greenhouse	The present work proposes an approach based on a combination of two different control schemes.
Computers and Electronics in Agriculture / Christos Goumopoulos 등	2014	Wireless sensor network coverage measurement and planning in mixed crop farming	In this paper we describe the design of an adaptable decision support system and its integration with a wireless sensor/actuator network (WSAN) to implement autonomous closed-loop zone-specific irrigation.
Computers and Electronics in Agriculture / Daudi S. Simbeye 등	2014	Design and deployment of wireless sensor networks for aquaculture monitoring and control based on virtual instruments	This work has developed and deployed low cost short-range modules of wireless sensor network based on ZigBee standard and virtual instruments technology in order to monitor and control an aquaculture system in real time. The system consists of smart sensor nodes, coordinator/gateway node and personal computer (PC)
Biosystems Engineering / A. Perdignes 등	2008	Cooling strategies for greenhouses in summer: Control of fogging by pulse width modulation	The possibilities for improving the control of greenhouse fogging systems, were studied by comparing several combinations of ventilation cooling techniques, shade screening and low-pressure fogging.

학술지명 / 저자	개재년도	논문 제목	내용
Computers and Electronics in Agriculture / David L. Ndzi 등	2014	Wireless sensor network coverage measurement and planning in mixed crop farming	This paper presents wireless sensor network coverage measurements in a mixed crop farmland
NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences / Goran Martinović 등	2014	Greenhouse micro climatic environment controlled by a mobile measuring station	This paper investigates a greenhouse microclimatic environment controlled by a mobile measuring station with the aim of improving performance by using wireless sensor networks (WSN) technology
Fieldbus Systems and Their Applications / Olga Plaksina 등	2000	An intelligent control for greenhouse automation, oriented by the concepts of SPA and SFA — an application to a post-harvest process	The paper investigates a new application area for standardized control networks which have been primary developed for the use in home and building automation.
Energy Conversion and Management / D. Kolokotsa 등	2010	Development of an intelligent indoor environment and energy management system for greenhouses	This work is an effort of integrating these variables in a common control methodology through the development of an intelligent environment and energy management system for greenhouses.
Computers and Electronics in Agriculture / Ning Wang 등	2006	Wireless sensors in agriculture and food industry—Recent development and future perspective	This paper presents an overview on recent development of wireless sensor technologies
Computer Standards & Interfaces / Aqeel-ur-Rehman 등	2014	A review of wireless sensors and networks' applications in agriculture	Review the need of wireless sensors in Agriculture, WSN technology and their applications in different aspects of agriculture and to report existing system frameworks in agriculture domain.

나. 국외 연구 현황

- 특허정보 검색 시스템을 통하여 특허를 조사하였으며, 주요 특허는 표 2-4에 요약하였음
- 국외의 경우 온실 건물 설계에 대한 연구가 많이 진행되고 있는 것으로 보인다. 온실의 열을 유지하기 위한 방법 및 장치 그리고 기후 제어 건물에 대한 연구, 즉 온실에서 환경을 방제하기 위한 에너지 효율 시스템 개발이 활발히 진행되고 있음

표 2-4. 국외 특허 조사(등록번호 없을시 공개번호로 대체)

국가	등록번호	발명의 명칭	출원인
미국	06779300	Plant growing system to maximize transplant yield	Tagawa Greenhouses, Inc.
	08595020	System of systems for monitoring greenhouse gas fluxes	Bruno D. V. Marino
	07502655	Methods for providing optimal light-CO ₂ combinations for plant production	Cornell Research Foundation, Inc.
	07184846	Systems and methods for providing optimal light-CO ₂ combinations for plant production	Cornell Research Foundation, Inc.
	07836632	Plant-cultivating container and plant-cultivating method	Mori Yuichi Kubota Makiko
	05130925	Apparatus and method for economical continuous, and predictable greenhouse crop production	Rutgers, The State University
	20120124902 (공개번호)	Method for controlling greenhouse and system for the same	Electronics & Telecommunications Research Institute
	20140196880 (공개번호)	Apparatus and method for controlling a greenhouse environment	Omer Pinchuk
	20110153053 (공개번호)	Apparatus for controlling growth rate of plant in greenhouse and controlling method thereof	Electronics and Telecommunications Research Institute
	20130113924 (공개번호)	Plant observation device and method	Electronics and Telecommunications Research Institute Ae Kyeong MOON Kyuhyung KIM

국가	등록번호	발명의 명칭	출원인
일본	05515118	식물 육성용 시설	国立大学法人愛媛大学
	05514960	식물재배용의 회전 수직 락킹시스템 및 식물의 재배 방법	スカイ アーバン アイピー ピーティーイー リミテッド
	05400102	난방기의 제어 방법 및 , 난방기	学校法人 芝浦工業大学 , ネポン株式会社
	05407056	식물 재배 설비	国立大学法人愛媛大学 , 井関農機株式会社
	05473430	조명기구 및 조명기구를 이용한 조명 시스템	伊藤 利朗 , 森 一生 , 伊原 総三郎
	05382703	식물 성장 측정 시스템 및 그 제어 방법 및 제어 프로그램	株式会社テクノ菱和 , 国立大学法人豊橋技術 科学大学
유럽	01819214	Greenhouse, greenhouse climate control system and method of controlling greenhouse climate	Novarbo Oy
	02031957	Greenhouse and forced greenhouse climate control system and method	Houweling Nurseries Oxnard, Inc.
	01599087	The present invention relates to an irrigation system, method of irrigating and method of manufacturing an irrigation system	BJÖRKEBO GARD AB
	01374667	Small-sized greenhouse with controlled internal environment	SMEG S.p.A.
	02323472	Illumination arrangement for illuminating horticultural growths	Koninklijke Philips Electronics N.V. Philips Intellectual Property & Standards GmbH
	01599086	System for cultivation of plants	BJÖRKEBO GARD AB

국가	등록번호	발명의 명칭	출원인
중국	2903756	Greenhouse apparatus	Baoyin Co., Ltd.
	2715202	Intelligent environment controller for greenhouse	Jiangsu University
	2914161	Greenhouse environment controlling and recording instrument	Li Qingwu
	200944773 (공개번호)	Miniature automatic temperature-control greenhouse	Liao Xiaohui
	2682809	Regulate and control greenhouse	Hao Linwen
	2901846	Sensing mechanism for controlling opening degree of ventilation window of greenhouse	Tongji Univ.
	2883529	Solar receiver greenhouse	Ma Yunqiang
	2862669	Integration device for controlling ecological environment of mini greenhouse	Lu Yigong
	2852662	Agricultural greenhouse	Shanghai Wenlu Biological Science & Technology Co., Ltd.
	2932980	A temperature control plate for agricultural greenhouse	Zhong JIanyu
	2777951	Device capable of controlling zoology of vertical greenhouse of living room and releasing sound of nature	Lu Yigong
	2760947	Automatic control system for drip irrigation of greenhouse	China Agricultural Mechanical Scientific Research Inst.
	2739948	Automatic microcomputer controlling system of greenhouse	Li Wenbin
2585550	Computer intelligent control system for greenhouse	Beijing Inst of Farm Machinery	

3. 온실 환경제어시스템 구성 제품 조사

가. 온실 환경제어시스템 제품 현황

- 근권부와 지상부의 개별적 환경요소 제어는 가능하지만 환경 요소별 근권부와 지상부 변화에 따른 복합제어는 미비한 실정
- 현재 상용화되어 있는 온실 환경제어시스템의 S/W 및 H/W는 판매업체마다 상이하며 서로 호환이 되지 않아 농민들이 원하는 맞춤형 복합 환경 제어시스템 구축 및 운영에 어려움
- 제품조사 방법
 - 시설원예 전문지(월간 농경과 원예)에 광고를 게재하고 있는 업체를 중심으로 국내 90여개 업체에 대한 홈페이지, 제품 카탈로그 및 전화 상담을 이용하여 조사
 - 센서 및 제어장비의 종류, 주요 제원, 입출력 방식 및 신호범위 등을 조사
 - 온실 자동 제어를 위한 센서 및 제어장비는 온실 외부 환경, 온실 내부 지상부, 온실 내부 근권 부용으로 구분하여 조사
 - 센서는 이산화탄소 농도, 산소농도, pH, 토양 및 배지 수분, 전기전도도, 온도, 일사량, 광, 풍향, 풍속, 강수량, 관개 유량 센서 등을 조사
 - 제어장비로는 온도, 습도, 압박, 일장, 창문, 이산화탄소, 양액량, 그리고 EC/pH 제어장비를 조사
- 연구 방향 제시
 - 업체의 홈페이지나 제품 카탈로그에서 제공하는 정보는 매우 미비하며 일반적인 기능에 대한 것
 - 부분의 업체들이 해당 제품을 일부 타 업체에서 공급받아 납품하고 있었으며 자체 개발된 제품이 매우 제한적
 - 센서 및 장비들을 활용한 온실 환경 복합 자동제어를 위하여 인터페이스 모듈개발이 이루어져야 할 것으로 판단
 - 서로 다른 입출력 신호를 필요로 하는 센서와 제어장비를 동시에 다루기 위해서는 조사된 특성을 고려하여 인터페이스 모듈을 개발

표 2-5. 센서장비 제품 조사(지상부)

항목	그림	제조사	모델명	Specifications
일사량 센서		Campbell	LP02	과장범위:305~2800 mm 측정범위:02~2000 w/m ² 민감도:15 μV/w/m ² 동작온도:-40~80℃ 출력:DC 10 mV
		Kipp&zonen	CMP 3	과장범위:310~2800 mm 측정범위:0~2000 w/m ² 민감도:5~15 μV/w/m ² 반응시간:18초 이하
		Kipp&Zonen	CM11	과장범위:305~2800 nm 민감도:4~6 μV/w/m ² 동작온도:-40~80℃ 정밀도:±3℃
온습도 센서		SENSIRION	SHT75	빠반응 속도<4 sec. 정밀도:±1.8% RH 측정범위:0~100% RH
		(주)미코엠에스 티	HT-01DV	정밀도:±2% RH 측정범위:0~100% RH 응답시간:8 s
		에이스 시스템	ATH100	측정범위:0~100% RH 정밀도:±3% RH 응답성:15 s 반복성:±0.5% RH 측정범위:-20~80℃ 정밀도:±3℃ 출력:DC 1~5 V
		OMRON	ES2-THB	습도범위:20~25% 검출:25,40℃~80% 전압:DC 24 V 소비전류:10 mA 이하 온도검출:0~55℃ 사용범위:0~55℃, 95% 출력:DC 24 V
		(주)한스 시스템	HA-TH100	측정범위:0~100%RH 정밀도:±1.8%RH 응답성:8s 온도정밀도:0.3℃ 전력: 30 μW
		나노센텍	NHT-15B	측정범위:0~100% RH -40~125℃ 출력:디지털(2-wire)

항목	그림	제조사	모델명	Specifications
산소센서		CITY TECH	전기화학식 산소센서 AO ₂	측정범위:0~100% 정밀도:±1% 출력:9~13mV in Air
		GS YUASA	KE-12	측정범위:0~100% 정밀도:±1% 사용온도범위: 5~40℃
		SENKO	산소센서(SS1118)	측정범위:0~100% 제로값 범위 ≤ 0.1% 출력:6 ± 1 mV in Air
		버니어코리아	O ₂ -BTA	측정범위:0~27% (0~270 ppm) 분해능력:0.01%
조도센서		한진데이터	BH1750FVI I2C	측정범위:0~65535 lux 사용전원:DC 3~5 V
		Any Vendor	조도센서 CDS 모듈 3 - 5V	전원:DC 3.3~5 V 출력:디지털
		Rixen	LXT-401	측정범위:0~200,000 LUX 출력:4~20mAdc 2wire 전원: DC 9~32 V 정확도:±3%
		JK전자	PT333-3C	전원:DC 3.3~5 V 출력:디지털
CO ₂ 센서		GE Sensing	T6613	동작전압:DC 5 V 출력전압:DC 0.8~4 V 측정범위:400~2,000 ppm 방식:NDIR

항목	그림	제조사	모델명	Specifications
CO ₂ 센서		(주)소하테크	SH-300-DC	동작전압:DC 12 V 출력전압:0~3,000 ppm 방식:NDIR
		SOHATECH	SH-300-ND	측정범위: 0~3000 ppm 응답시간:0~80% <30sec. 정밀도:±2% 입력전압:DC 5~ 12V
		GE Sensing	T6615	측정범위: 0~2000 ppm 응답시간:<2 ms 정밀도:±3% 입력전압:DC 5 V
		DIWELL	EPXDC8CV	측정범위: 0~2000 ppm 해상도: 10ppm 정확도: ±3% 전원:DC 5V 출력:DC 0.8~4 V
토양수분 센서		(주)미래센서	WT1000N	측정범위:0~99.9%R 정확도:±3% 센서종류:FDR 작동온도:0~60℃ 출력:DC 12 V
		DECAGON	10HS sensor	측정범위:0~57% 정확도:±3% 측정시간:10 ms 작동온도:-40~50℃ 출력:DC 3 V, 15 V
		(주)미래센서	WT1000N/H	수분측정범위:0~99.9% R 토양측정범위:0~6.0 dS/m 정확도:±3% 센서종류:FDR 작동온도:0~60℃ 출력:DC 9~15 V
		GRAYLOGIX	96	전원:DC 3.3~5 V 출력:DC 0~4.2 V 현재:35 mA 크기: 60×20×5cm

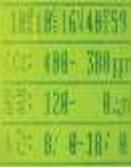
표 2-6. 센서장비 제품 조사(근권부)

항목	그림	제조사	모델명	Specifications
유량 센서		(주)굿모닝	TMX5M	유량범위:0.05~5 L/min 최대압력:300 Pa 온도범위:-10~60℃ 측정주기:1 s 전원정격:DC 10.8~26.4 출력:DC 10~24 V
		원텍	NDV1	유량범위:1~10 L/min 정도:±7%RS 계측액체:수도수 사용압력:0.75 Mpa 압력손실:27 kPa 출력:DC 3~30V
토양수분 장력센서		(주)한스 시스템	DIK-3162	측정범위:0~-100 kpa 매설깊이:10~100 cm 텐션캡:Φ18x90 mm 출력:DC 12~24 V
		(주)한스 시스템	DIK-3182	측정범위:0~-98,07 kpa 정밀도:±0.5% 응답속도:1 ms 출력:DC 12~24 V

표 2-7. 센서장비 제품 조사(외부환경)

항목	그림	제조사	모델명	Specifications
풍속 센서		R,M.young	05103,05106	기화풍속:1.1 m/s 측정범위:01000 m/s 정확도:5% 출력:DC 0~1 V
		Campbell	WindSonic	기화풍속:0.01m/s 측정범위:0~60m/s 정확도:2% 출력:DC 5~16 V
강우량 센서		(주)지비엠아이 엔씨	QMR101	범위:144 mm/h 기자재:cable, connector 출력:DC 10~15 V
		(주)영전	TRWS 500/503	범위:240 mm/h 출력:DC 10~15 V
		Texas Electronics	TE525MM	측정단위:0.1 mm 정확도:±1% 출력:DC 12 V
유량계		(주)세창 인스트루먼트	Vision5-A6	측정유량:0.5~5 L/min 정밀도:±3% 작동온도:-20~100℃

표 2-8. 제어장비 제품 조사(지상부)

항목	그림	제조사	모델명	Specifications
창개폐 장치		청오 엔지니어링	COM51028	사용전압:DC 24 V 회전속도:4.5 rpm 토크:5
		㈜세운	SWM-102	사용전압:DC 24 V 회전속도:3.7 rpm 특징:3기압 방수
		우성하이텍	사이드 스타	사용전압:DC 24 V 회전속도:3.8 rpm
		(주)현대금속 농공	S9D300-24HH	사용전압:DC 24 V 최대개폐거리350mm
난방기		펜텔	FT-2008	형식:간접열식 난방능력:34,400kcal/h 전원:DC 380 V
		Hotbox	Elite Fan Heater	형식:전열방식 난방능력:2700 kW
		신안그린테크	SG-120	용량:120,000 kcal/h 사용연료: 경유 사용면적(평):400~600
이산화탄소발생기		(주)동우	D-150CO ₂	Non-Dispersive Infrared (NDIR) 방식 측정범위:0~3000 ppm 정밀도:±2% 사용온도:0~50℃ 전원:AC 220 V/60 Hz 시간, 광량, 설정CO ₂ 값 제어
		동양로지텍	CO ₂ 발생기	연소능력:35,000 kcal/h 연료소비량:4.2 L/h 제어단수:모드별 5단 사용연료:등유 제어모드:탄산, 난방, 액화(3모드) 송풍량:57.5 m ³ /min 사용평수:300 ~ 500평 입력방식:터치스크린 전원:AC 220 V 60 HZ

항목	그림	제조사	모델명	Specifications
가습기		(주)매경	DRW-2000	정격전압:AC 220 V 소비전력:480 W 최대분무량:5,000 cc/h
		PHAROS	PA-1200	정격전압:AC 110 V 소비전력:350 W 가습량:4.6 gal/h
제습기		(주)티이엔	TN6000	-제습성능:11~13 l/h -적용면적:1660 m ² -제습방식:냉각식 -사용냉매:R22 -압축기용량:2.9 kW -송풍팬:55CCM/750 W -전원사양:AC 220 V
		신안그린테크	SGD-11S	제습성능:1.5 L/h 풍량:30 m ² /min 출력:590 W 무게:24 kg 전원:AC 220 V, 60 Hz
일사량 제어		동양로지텍(주)	DYL - 2000	-재배작물의 광 특성에 따른 맞춤 보광제어 -일출, 일몰시간 계산, 천문시 예약운전 가능 -전조법, 일장보상법, 광중단법, 간헐법 4가지 운전선택 -구역별 다른 모드 운전 가능

표 2-9. 제어장비 제품 조사(근권부)

항목	그림	제조사	모델명	Specifications
양액제어		신한에이텍(주)	SH-1004	관수펌프:2마력 양액제어:벤추리 방식 용량:30~300 L/h 크기:107×92×108 cm 중량:110 kg 사용전원: 삼상 4선식 AC 380 V
		(주)동우	D-1007	관수펌프:2마력 양액제어:벤추리 방식 용량 : 30~300 L/h 제어방식:마이컴 크기:92×94×110 cm 중량:90 kg 사용전원 : 삼상 4선식 AC 380 V/ 삼상 3선식 AC 220 V

항목	그림	제조사	모델명	Specifications
양액제어		신한 에이텍(주)	SH-700	관수펌프:1마력 관수구역:10구역 관수방식:시간관수 사용전압:AC 220 V
관수제어		Rainbird	WTD-2900	사용 전압:2 x 1.5 V "AA" 알카라인 최소 유량:18 L/h 작동 압력:1.0~8.4 bar
복합제어		신한에이텍(주)	SH-3000	-LCD사용 모니터링 -디지털 출력 AC 24 V, -DC 24 V 출력전환 가능 -RS-232, RS-485, 무선 -하드웨어 및 소프트웨어 자사 원천기술 보유
		(주)우성하이 텍	웰-시스	-일사, 강우, 외온, 풍향, 풍속 센서를 통한 외부 환경측정 -온도, 습도, CO ₂ , 토양센서를 통한 내부 환경측정 -전동개폐기, 배기팬, 유동팬, 보일러 등 작동 명령 -인터넷, 스마트폰을 통한 원 격 지령가능
		(주)동우	D-3700	-자사 및 타사제품 양액기계 제어가능 -고장발생때 핸드폰 문자 메세 지 통보기능 -작물 배지온도 측정기능 -디지털 출력 DC, AC 4~220 V -컴퓨터 통신방식 (RS-485, RS-232) -하드웨어 및 소프트웨어 자사 원천기술 보유

표 2-10. 무선통신 및 원격 모니터링

항목	그림	제조사	모델명	Specifications
근거리 무선통신		DIGI	X-bee PRO	통신거리:최대 100m 공급전압:DC 2.8~3.4 V 주파수대역: 2.4000~2.4835 GHz
		Texas Instruments	CC2420	사용전압:DC 2.1~3.6 V 주파수대역:2.4000~2.4835 GHz
		NEOTICS	NR-D24ZAM	사용전압:DC 3.3 V 주파수대역:2.405~2.480 GHz

3. 연구수행 내용 및 결과

코드번호	D-05
------	------

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

제 1 절 온실복합환경제어시스템 통합 시작품 설계 및 성능 시험

1. 유선 및 근거리 무선 통신을 이용한 센서 및 제어 인터페이스 모듈 개발

가. 유선 및 근거리 무선 통신을 이용한 센서 및 제어 요소 인터페이스 모듈 설계 및 기존 성능시험

(1) 유선을 이용한 센서 모듈 설계

센서 모듈 설계는 온실 환경 측정을 위하여 온도, 습도, 조도, CO₂ 센서를 사용하였다. 이때, 선정된 센서들은 모듈 설계 및 측정을 위해 사용된 센서의 특성은 아날로그 방식이며 개발 보드 자체에 AC/DC 컨버터가 내장되어 있어 디지털 출력(전압) 값으로 모니터링이 가능 하며 센서의 입력 신호는 DC 0~15 V이고 출력신호는 0~10 V의 센서를 사용하여 센서 모듈을 설계 하였다. 이때, 기본이 되는 3핀을 사용하여 모듈 제작을 하였다.

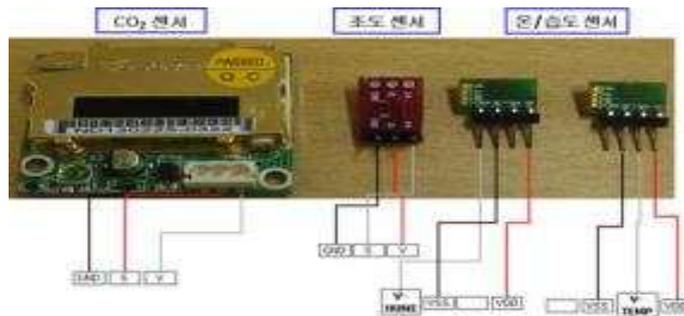


그림 3-1-1. 모듈 설계에 사용된 환경 계측센서 사진

사이즈 100*100의 PCB기판과 3핀의 컨넥터 핀을 이용하여 센서 모듈을 제작 하였으며, 그림 3-1-1의 센서, 즉 온도, 습도, 조도, CO₂ 센서를 사용하였고 컨넥터 핀 방식으로 단수와 복수의 센서를 쉽게 연결 할 수 있다. PCB 기판 컨넥터에 센서에 맞는 번호가 있고 그 번에 맞는 코딩작업을 실시하여 그 번호에 맞는 센서를 연결하면 센서 데이터 값이 측정되는 시스템으로 구성하였다. 그리고 센서 모듈 제작을 위하여 핀헤더 소켓과 일반박스헤더를 사용하여 모듈간 연결을 쉽게 하였으며 전선 처리 및 부피 감소를 최소화 하도록 설계 하였다.

PCB 기판을 사용하여 센서 모듈을 제작하는 과정에서 센서의 수만큼 많은 납땀과

복잡한 전선의 연결로 어려움이 발생하였다. 그래서 최소화 할 수 있는 납땀과 전선의 연결 방법이 필요하였다.

성능 시험을 위하여 ATmega128-16AU AVR 마이크로 컨트롤러가 내장되어 있는 AM 128PL 모듈을 사용하였고 온도, 습도, 조도, CO₂ 센서모듈을 연결하기 위하여 개발 보드 포트(PORTF)의 10 Pin 커넥터를 연결 하여 사용하였다. 그리고 온실 환경의 온도, 습도, 조도, CO₂를 실시간으로 모니터링 할 수 있는 장비는 LCD모듈(ALCD204-BL)을 사용하였으며, 각 센서에서 측정된 데이터 값을 모니터링 하였다.

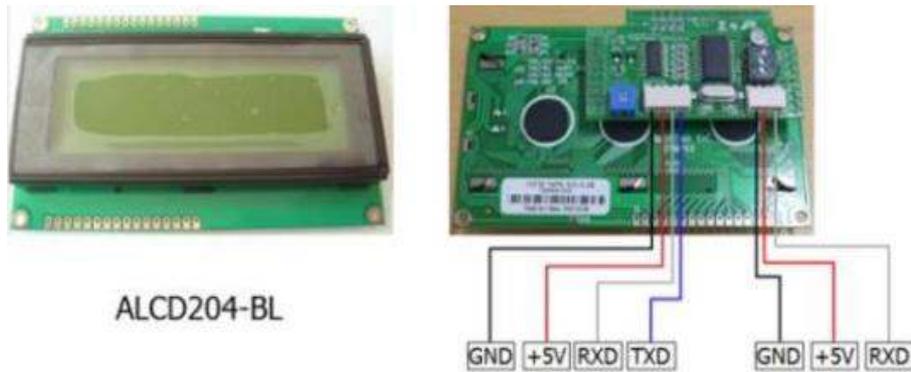


그림 3-1-2. 온실 환경 측정 데이터 모니터링 LCD 사진

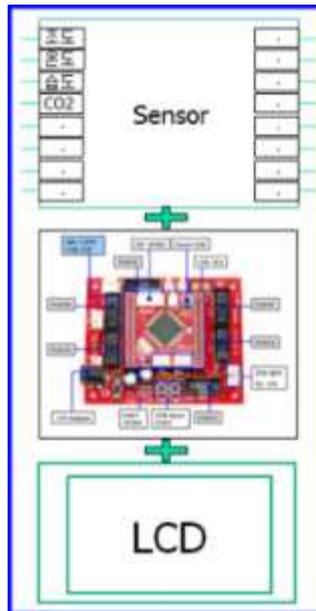


그림 3-1-3. 통제가 필요한 센서 모듈 시험을 위한 기본구성도(온도·습도·조도·CO₂) 사진

센서 모듈 성능 테스트를 위해 ATmega128 개발 보드를 사용 하였으며 실험실 대기중의 온도, 습도, 조도, CO₂를 측정 하였으며 센서의 측정주기는 1 Hz , 통신 전송량은 $16 \text{ Byte} \times 4 / 1 \text{ sec} = 512 \text{ bps}$ 으로 측정하였음. 각 센서 에서 측정된 데이터 값이 LCD 모니터를 통해 실시간으로 측정되는 것을 확인하였다.

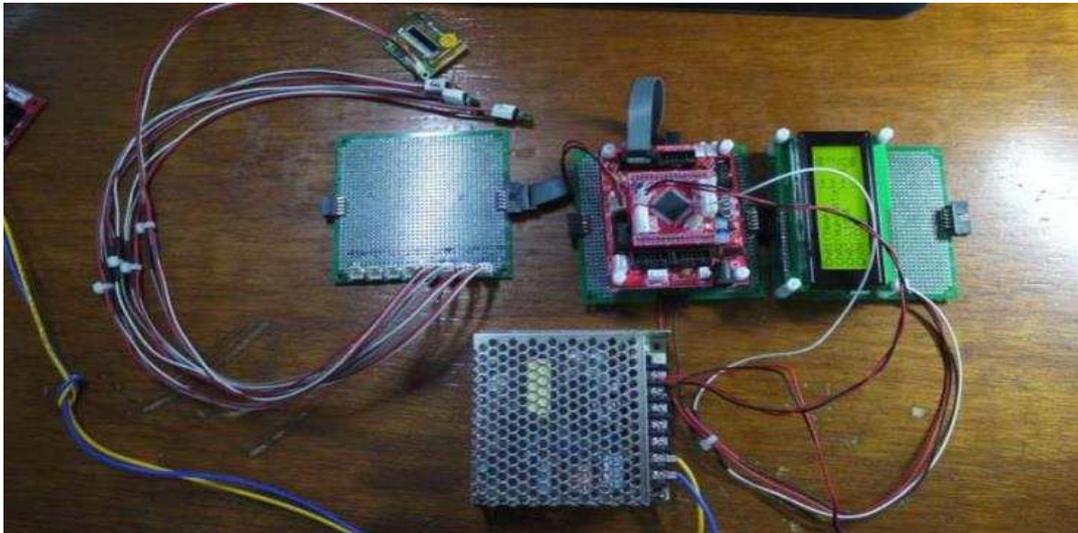


그림 3-1-4. 통제가 필요한 센서 모듈 기본 성능 테스트(온도·습도·조도·CO₂) 사진

복잡한 전선의 배열과 납땀의 어려움을 해결하고자 그림 1-5에 보는 바와 같이 컨넥터 핀 방식을 적용하고자 소켓 점퍼 케이블, 헤더소켓, 일반박스헤더, 핀헤더 소켓을 사용하여 납땀의 어려움 해결과 모듈 간 연결을 편하게 할 수 있도록 해결하였고, 부피 감소를 위하여 ATmega128 모듈 라이트만 사용(AM-128PL)하고 핀간 연결을 위해 컨넥터 핀방식을 적용하여 점퍼 케이블로 용이하게 하였다.

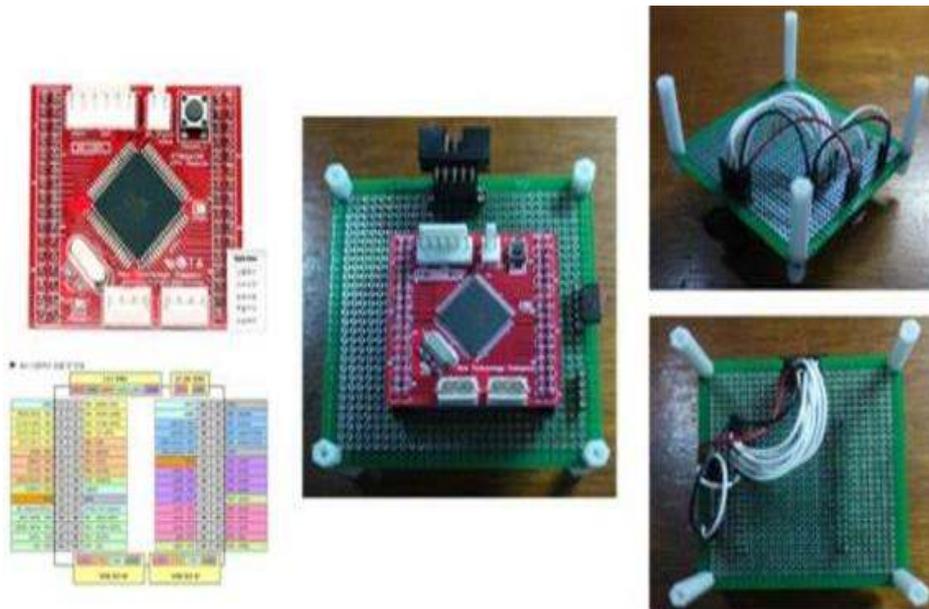


그림 3-1-5. 센서 모듈의 부피를 간소화 한 모듈 제작 사진

각 센서로 부터 온도, 습도, 조도, CO₂ 측정값을 받기 위해 컴파일러 AVR Studio 사용하여 C언어로 코딩 작업을 실시하였으며, 그림 3-1-6에서 보는 바와 같이 데이터 값이 측정되는 것을 확인 하였다.

```

AVR Studio - [C:\Users\성남\Desktop\IPET_Module_Master(2014.04.23)\IPET_Module.c]
File Project Build Edit View Tools Debug Window Help

Trace Disabled

IPET_Master (default)
  Source Files
  Header Files
  External Dependencies
  Other Files

// AVR Environment - AVR Studio - WINAVR Compiler
// Target - W128
// Crystal - 16MHz
// #define F_CPU 16000000UL
#include <avr/io.h>
#include <avr/interrupt.h>
#include <stdio.h>

unsigned char OutString[256];
unsigned char *Property[8] = { "Temp", "Humidity", "Light", "D02" };

void putchar0(unsigned char c);
void putchar1(unsigned char c);
void putchar0(unsigned char c)
{
  while (!(UCSP0A & (1<<UDRE0)));
  UDR0 = c;
}

void putchar1(unsigned char c)
{
  while (!(UCSR1A & (1<<UDRE1))); // data register empty?
  UDR1 = c;
}

void_putstring0(char *str)
{
  //UCSR0B=0x01001000;
  //delay(110);
  while(*str)
  {
    putchar0(*str++);
  }
  //putchar0(0x00);
}

```

그림 3-1-6. 온도·습도·조도·CO₂센서 작동을 위한 코딩 작업 사진

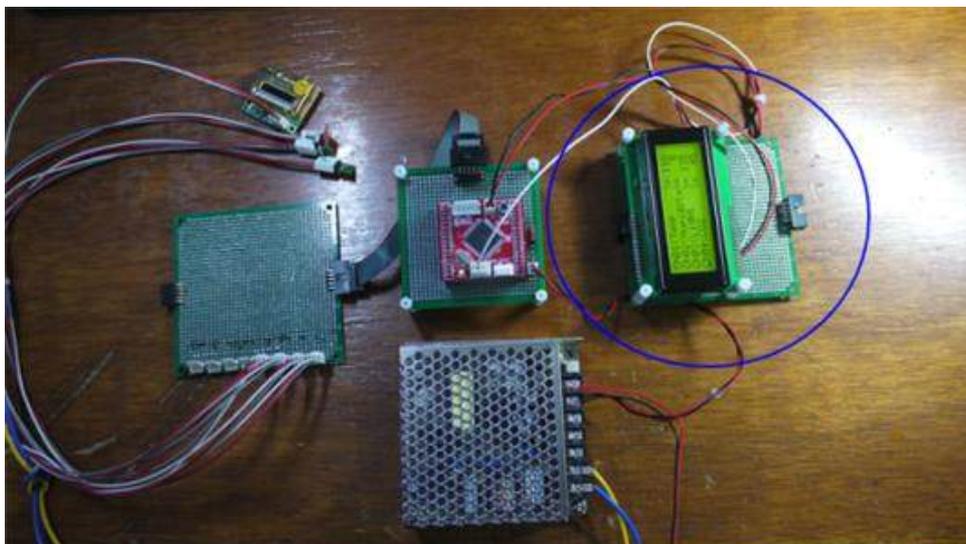


그림 3-1-7. 온도·습도·조도·CO₂센서 모듈 측정 실험 사진

온실 환경 측정 센서의 데이터를 PC로 받아들이기 위하여 MAX232가 내장되어 RS-232 통신이 가능한 AM-128RAM 모듈을 사용 하였다.(PC는 RS-232C level(신호, V) 사용 하며 레벨이 서로 맞아야 통신이 가능)

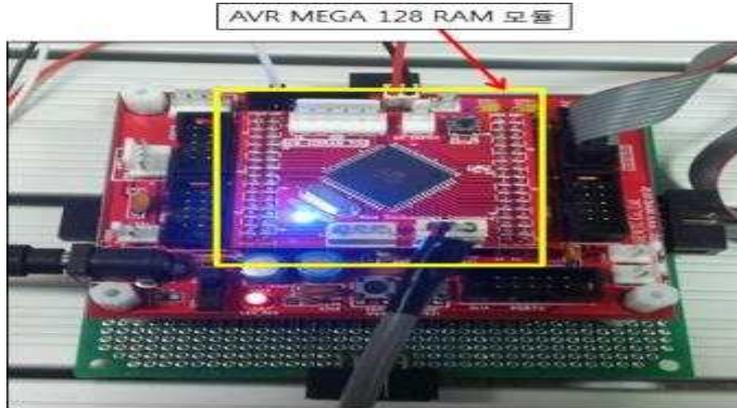


그림 3-1-8. 개발보드에 온도·습도·조도·CO₂센서모듈 부착 사진

센서의 측정데이터는 S/W Termit과 RS-232 통신 케이블을 사용하여 센서 측정 데이터 값을 컴퓨터로 받아들일 수 있으며 다음 그림과 같이 확인이 가능 하였다. 측정값이 LCD를 통해 실시간으로 모니터링이 가능하며 데이터 값이 컴퓨터로 전송 되어 실시간 저장되어 확인이 가능하였다.



그림 3-1-9. Termit(S/W)와 RS-232 통신 케이블 사용하여 데이터를 받는 사진

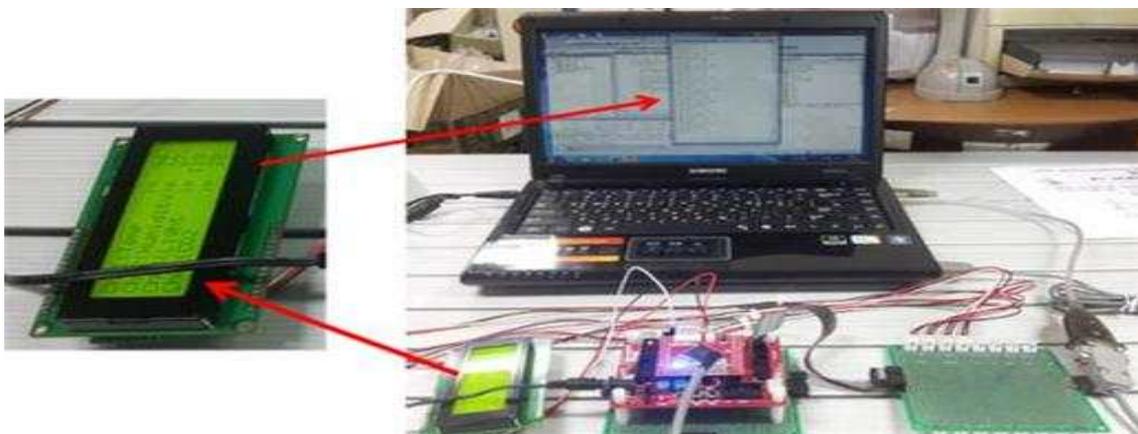


그림 3-1-10 온도·습도·조도·CO₂센서 모듈을 통한 데이터 전송 성능시험 사진

센서로 부터 측정된 측정값들은 LCD를 통해 모니터링이 가능하며 데이터 값이 컴퓨터로 전송되어 실시간으로 데이터 값이 저장이 되었으며 화면을 통해 데이터 값 확인이 가능하였다.

```

while(1)
{
    sprintf(OutString, "%c", Out3, Out1);
    outstr(outOutString);
    for(i=0; i<4; i++)
    {
        startConversion(i);
        temp = readConversionData();
        //printf("%c%c", Out1, Out2);
        //printf("%c", temp);
        sprintf(OutString, "%c%c%c(X-G)=%d", Out2, i+1, Property[i], temp);
        outstr(outOutString);
        delay(5);
        sprintf(OutString, "%c%c%c", Out5, Out29, Out5, Out34);
        outstring5(OutString);
    }

    PORTG |= PORTG & 2;
    delay(1000);
}
return 0;
    
```

그림 3-1-11. 센서 측정값이 PC로 전송되도록 코딩 작업한 사진

이때, 온도, 습도, 조도, CO₂ 센서의 측정 값을 lset로 하여 1초당 센서의 측정값을 PC로 전송 하도록 코딩을 한 후 데이터 값을 받으면 초당 lset의 데이터 크기는 96바이트가 되며, delay(전송속도) 시간을 짧게 하거나 길게 하여 데이터 값을 원하는 시간대로 받을 수 있다.

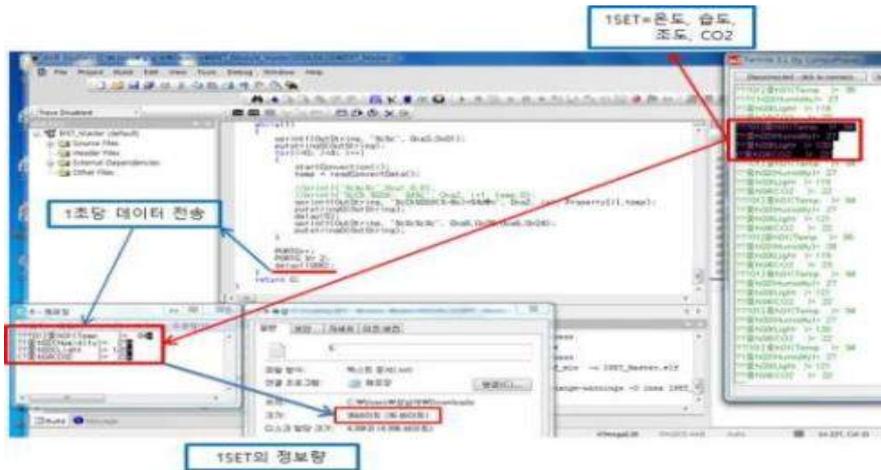


그림 3-1-12. 온도·습도·조도·CO₂데이터 값 전송 하는 성능 시험 사진

센서의 측정값이 LCD를 통해 모니터링이 가능하며 그 값이 PC로 전송되어 실시간 저장되는 것을 확인하여 표 3-1-1과 같이 정리하였다.

표 3-1-1. 온도 측정 데이터 전송 시간 및 측정시간 별 데이터 크기 조사

시간,크기 전송시간	측정시간(s)	데이터 크기(byte)	시간,크기 전송시간	측정시간(s)	데이터 크기(byte)
2000(2s)	10	1249	1500(1.5s)	10	768
	60	3737		60	4991
	180	11325		180	14675
	300	18806		300	24567
1000(1s)	10	1132	500(0.5s)	10	2027
	60	7008		60	12478
	180	21205		180	37613
	300	35311		300	62926
100(0.1s)	10	5400	50(0.05s)	10	6856
	60	33379		60	41890
	180	100113		180	126428
	300	166927		300	210725

데이터 전송시간 및 측정시간에 별 데이터의 크기를 확인하기 위하여 환경이 같은 곳에서 같은 장비로 데이터 전송 속도와 시간을 달리하여 데이터 전송량을 측정하여 보았다. 시간에 따른 데이터량의 크기를 가지고 데이터량이 일정하게 들어오는 지를 확인 하여 보았으며 그림에서 보는 바와 같이 전송 속도에 따른 데이터량이 일정하게 들어오는 것을 확인 하였다.

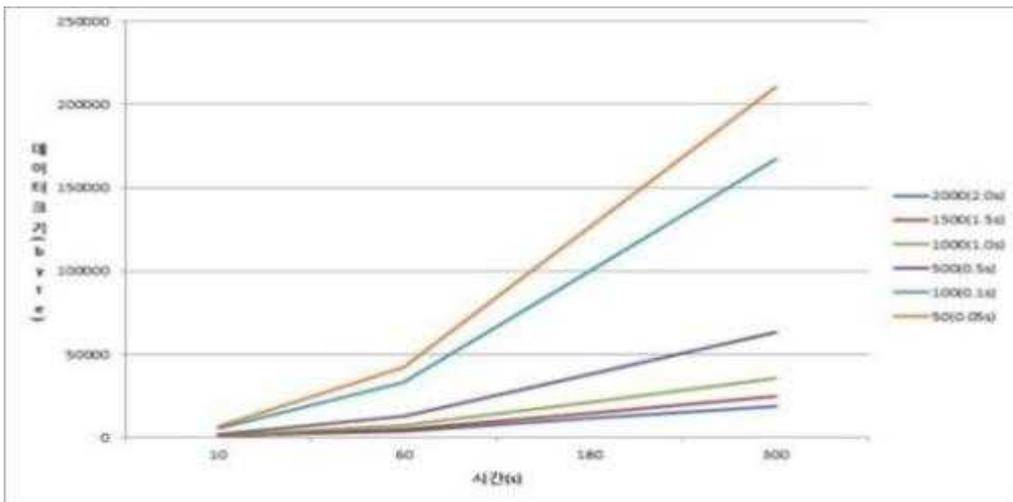


그림 3-1-13. Zigbee를 이용한 전송 속도 및 시간별 데이터량

공급부는 PC용 파워케이블과 스위치(10A)를 사용하여 AC 220 V 전원을 공급 받도록 설계하였으며, PCB에 AC-DC 컨버터와 내부에 LDO를 적용하여 센서구동에 필요한 3.3 V, 5 V, 12 V를 안정적으로 받을 수 있고, 센서 신호 입력부는 32포트로 최대 10개까지 입력 할 수 있으며 컨넥터 핀 방식을 사용하도록 설계하였다. 그리고 데이터 출력부는 LCD사용하여 모니터링을 하며, 보드에 LED를 장착하여 보드의 동작 상태를 확인 가능하고 통신 장비로는 유선(Ethernet Module), 무선

(Xbee Module), Wi-fi(Bluetooth Module) 그리고 PLC 모듈을 선택적으로 사용 할 수 있도록 설계하였고 마지막은 주 처리부로 ATmega128 MCU의 모든 포트 (PORTA~PORTF)를 32핀 커넥터 2EA로 구성하고 JTAG ICE를 이용하여 프로그램 다운로드 및 디버깅 기능이 가능하도록 설계하였다.

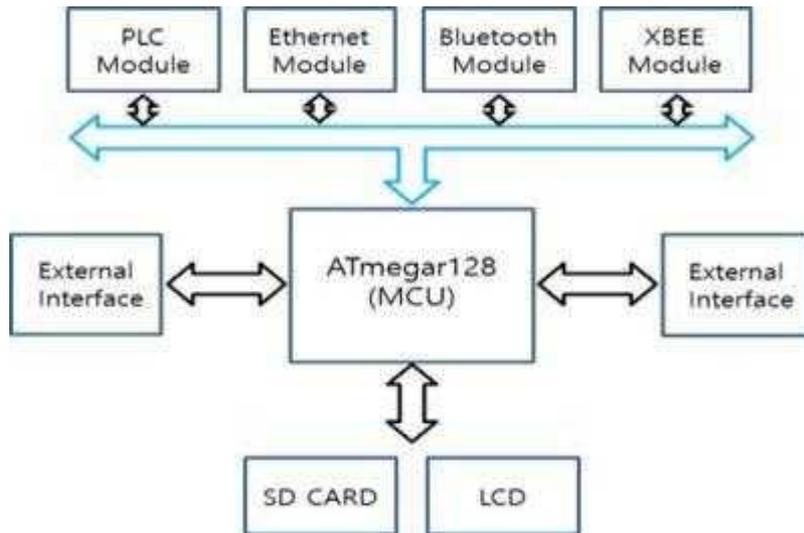


그림 3-1-14. 센서모듈의 데이터 습득 및 정보 제공 구성도

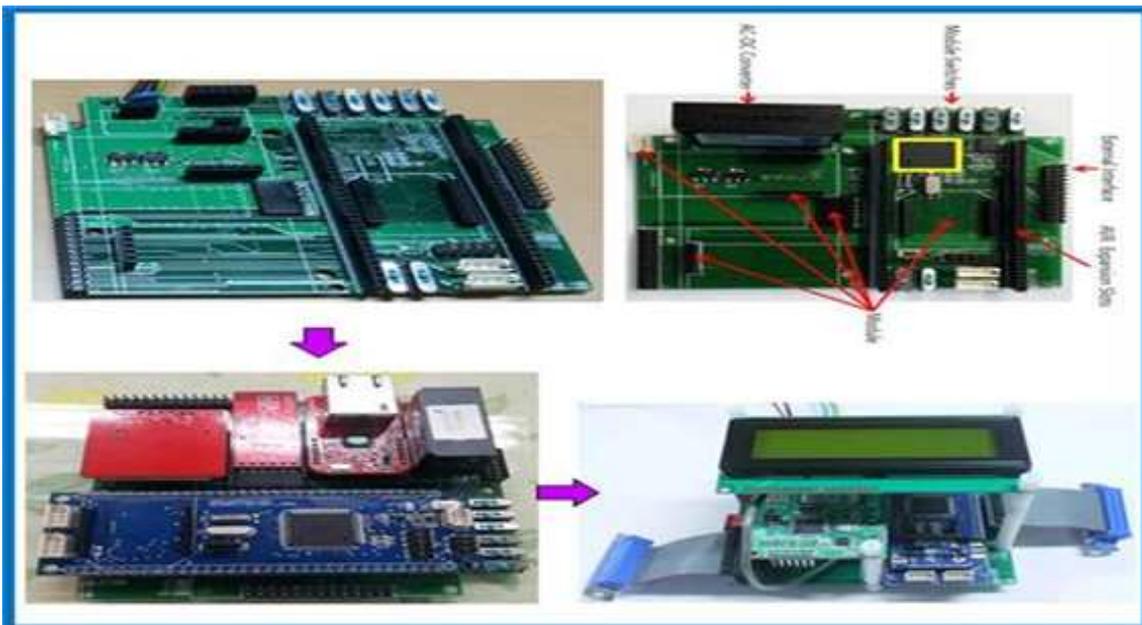


그림 3-1-15. PCB 구성 및 센서 인터페이스 모듈 사진

(2) 무선을 이용한 센서 인터페이스 모듈 성능시험

온실 환경 측정 센서의 데이터를 PC로 받아들이기 위하여 ISM 2.4GHz 작동 주파수, 최대거리 1.6 Km 통신이 가능한 지그비 모듈을 사용하였고, Xbee 보드는 외부 전원 DC 5.0 V를 사용하여 지그비 모듈을 ATmega 128과 연결하여 ZigBee 통신을

지원하고, 지그비 모듈을 장착 할 수 있는 RS-232 인터페이스 보드를 사용하여 PC와의 통신이 가능하도록 설계 하였다.

온도, 습도, 조도, CO₂ 센서의 측정 값을 지그비 통신을 이용하여 무선으로 PC에 전송 하도록 설계하였다. ATmega 128과 Xbee Pro 모듈을 연결하여 센서의 측정 데이터 값을 받고 다른 두 개의 지그비 모듈에 데이터 값을 전송하여 그 값이 PC로 전송하게 설계하였다.

지그비 통신을 이용하여 센서의 측정값을 PC로 전송하였다. 전송 시간과 측정시간을 달리 하여 데이터 값을 PC로 전송하였으며 그 값을 표 3-1-2과 같이 정리 하였다.

- 거리가 70 m 일 때 중계노드의 On/Off와 관계없이 100%의 통신율을 보임.
- 거리가 80 m 일 때 중계노드를 Off하면 통신율이 0%가 되었음. 하지만 중계노드를 On하면 100%의 통신율을 보임.
- 거리 90 m ~ 100 m 역시 80m와 같은 측정 결과를 보임.
- 위 실험들을 통하여 IEEE802.15.4의 통신율은 거리, 높이에 많은 제한이 있다고 판단됨. 특히 높이가 낮을수록 상당히 낮은 수준의 통신율을 보임.
- 노드간의 거리가 멀어지면 중간에 중계노드를 설치하여 데이터를 전달하면 통신을 손실을 막을 수 있음.

표 3-1-2. 온도 측정 데이터 전송 시간 및 측정시간 별 데이터 크기 조사

시간,크기 전송시간	측정시간(s)	데이터 크기(byte)	시간,크기 전송시간	측정시간(s)	데이터 크기(byte)
2000(2s)	10	576	1500(1.5s)	10	862
	60	3743		60	4894
	180	11325		180	14748
	300	18813		300	24574
1000(1s)	10	1083	500(0.5s)	10	1970
	60	7005		60	12481
	180	21117		180	37648
	300	35225		300	24574
100(0.1s)	10	5376	50(0.05s)	10	6702
	60	33215		60	41938
	180	100172		180	126127
	300	167044		300	210738

지그비 무선통신을 이용하여 데이터 전송 속도와 시간을 달리하여 데이터 전송량을 측정하여 보았다. 시간에 따른 데이터량의 크기를 가지고 전송 성능을 확인 하였다. 그 결과 그림에서 보는 바와 같이 데이터 량이 전송 속도에 따라 일정하게 들어오는 것을 확인 하였다.

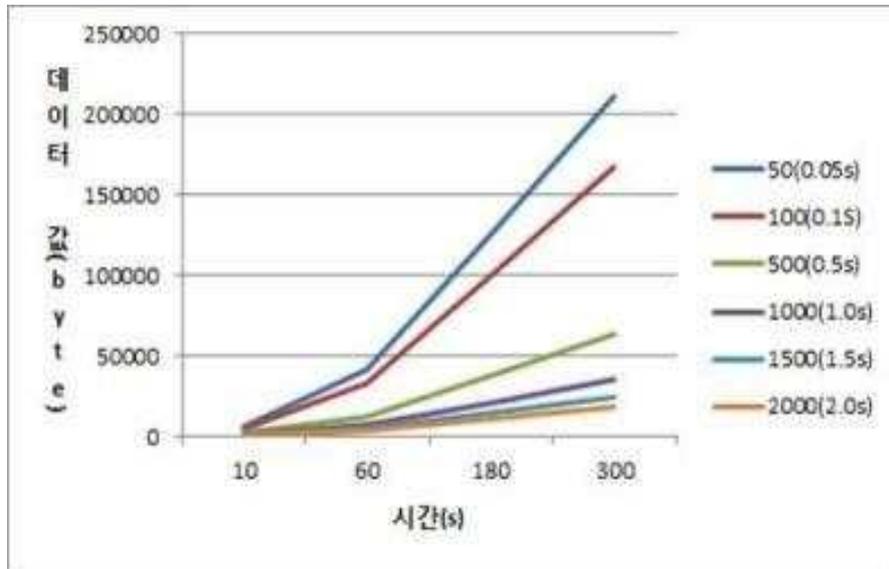


그림 3-1-16. 처리장비에서부터 지그비를 이용한 전송 속도 및 시간별 데이터량

(3) 제어 인터페이스 모듈 설계 및 성능시험

○ 유선통신을 이용한 제어 모듈 설계

기본적인 온실 환경 제어 방법은 그림과 같으며 통신과 센서, 통신과 제어 사이의 규칙과 모듈 설계에 대한 조건이 중요한 사항으로, H/W적인 사양에 따라 S/W도 달라지는 것으로 확인 할 수 있었다.

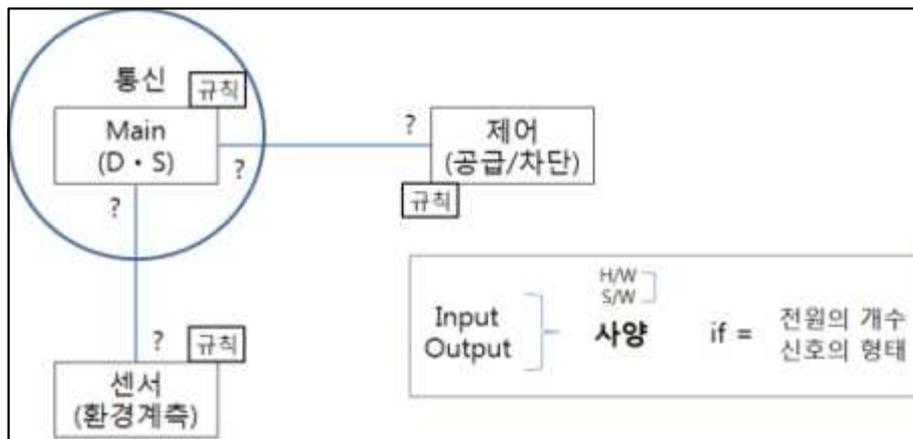


그림 3-1-17. 제어 인터페이스를 이용하여 온실 환경 제어 방법

센서인터페이스 모듈 개발 및 모니터링을 위해서는 유선, 무선 통신에 대한 설정과 장치의 설치가 중요하므로 아래 Xbee Pro-와이어 안테나 타입 모듈과 ECM5200-UART, NERO-BlueSMIRF를 이용하여 유무선통신과 Wi-fi의 통신 모듈을 구성하고 이를 이용하여 데이터 송수신이 가능하도록 하였다.

개발하려 하는 센서 및 제어 요소 인터페이스 모듈은 유선 그리고 무선통신이 가능하도록 복합 환경 인터페이스 모듈을 설계 및 제작하였으며 각 통신 유형별로 선

택적하여 사용할 수 있다.

컨넥터(박스헤더, 핀헤더 소켓)를 통한 PCB 기판으로 설계 하여 유/무선 통신을 이용한 복합 센서 모듈 구성 하였고, 복합 유/무선 통신 가능하다.

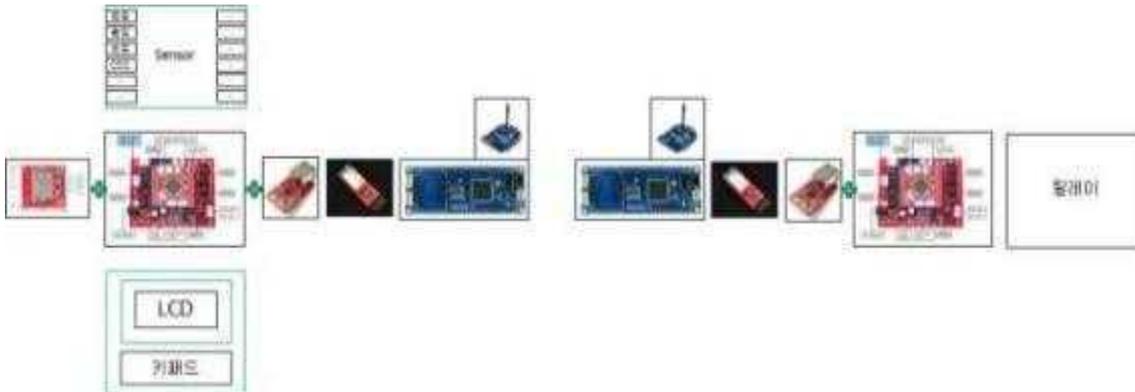


그림 3-1-18. 복합 환경측정 인터페이스 모듈 구성도 사진

○ PLC 통신과 무선통신(모듈 제작)

220V 가정용 전기를 쉽게 이용하도록 컴퓨터용 전원케이블 스위치 사용하였으며 이동 및 운반이 편리하도록 소형으로 제작하였고 외부 인터페이스 모듈 간 연결이 용이하도록 통신 모듈을 통합하였다.

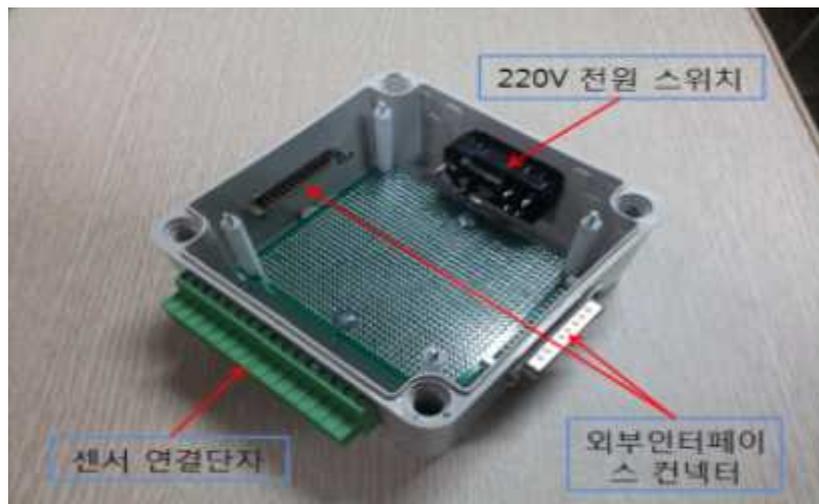


그림 3-1-19. 각 센서 모듈 하우징 작업 사진

컴퓨터용 케이블을 사용하여 외부 인터페이스 모듈간 연결이 쉽도록 제작 하였으나 공간이 협소하여 복합 통신 장비 구성의 어려움이 발생하였다. 하지만 그림과 같은 방법을 사용하면 쉽고 편리하게 모듈간 연결 및 통신이 가능 하고, 공간 문제는 케이스 사이즈의 변화를 주어 하우징 작업을 다시 하면 복합 통신 장비의 구성이 가능하다. 또한, 유선/무선 통신이 가능한 모듈을 제작하기 위하여 보편적으로 사용되는 장비를 선택하였고 제작된 설계에 따라 이상적인 PCB 기판을 제작하였음

고, 센서와의 연결부분을 고려하여 PCB 뒷면에 핀헤더를 이용한 컨넥터 핀방식 적용하여 PCB를 제작하였다.



그림 3-1-20. 각 센서 모듈을 연속 연결한 사진

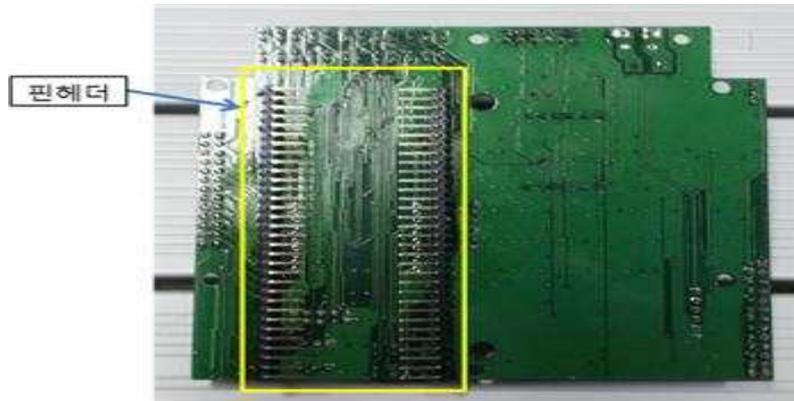


그림 3-1-21. 필요 부품 연결을 위해 핀헤더를 이용하여 작업한 PCB 사진

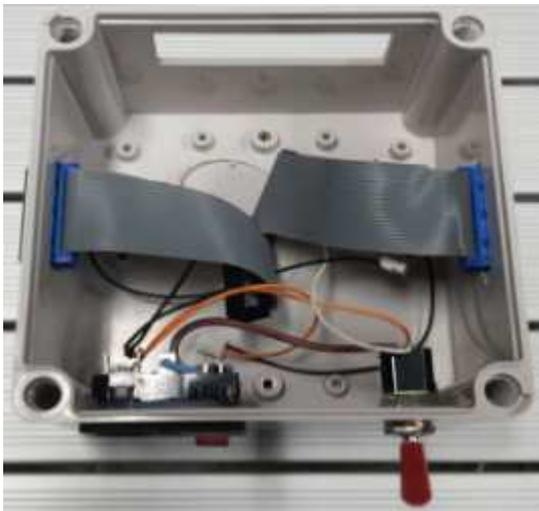


그림 3-1-22.통제 프로그램과 각 센서 모듈 연결(좌: 연결 전, 우: 연결 후)

나. 유선 및 근거리 무선 통신을 이용한 센서 및 제어 인터페이스 모듈 현장적용

○ 청주딸기농장 현장실험

지정된 온도와 습도 값에 따라 전기히터와 가습기가 작동되는 것을 확인을 하기 위하여 제작한 모듈을 가지고 그림 1-23과 같이 딸기 농장을 방문하였다.

청주 딸기 농장은 비닐하우스 하나당 약 400평 정도의 규모이며 설치 되어있는 장비는 0.3 ~ 15 kW로 다양하여 우리나라 시설재배 농가 177,483 중에 자동화비닐하우스 농가 11,283 가운데 400평 규모의 딸기 온실을 자동화로 11개를 운영하는 농가는 국내 500농가 안에 속하므로 우리나라에서 일반적으로 사용하는 장비로 볼 수 있었으며, 현장 실험을 통해 제작된 장비를 통해 장치들이 작동 및 통제가 가능하다면, 전국에 딸기 농가에 적용 가능하다고 볼 수 있기 때문에 실험을 실시하기에 적합하였고, 농장에 설치되어 있는 제어장비와 연결하여 작동 실험 및 성능평가를 실시하였다.

제어 실험을 하기 위해 딸기 농장에 설치 되어 있고 기본적인 장비은 창개폐모터(SWM-104), 환기팬(DWV-45F) 그리고 난방기(TQ-1800)를 사용하여 통제 실험을 하였다. 이 실험을 통해 기본적으로 딸기 농장에 있어야 되는 필수 장비들의 통제가 가능한지 확인 하고 미흡점을 확인하여 보완하려 했다.



그림 1-23. 청주 딸기 농장 사진

표 3-1-3. 농장 제어 장비 성능

환경제어 장비	사진	제조사	모델명	사양
환기팬		(주)동서그린 산업	DWV-45F	사용전원 : AC 220 V 60 Hz 소비전력 : 180 W 용 량 : 100-150평
창개폐기		(주)세운 A-TEC	SWM-104	사용전원 : DC 24 V ,60 Hz 소비전력 : 48 W 용 량 : 5-10M비닐하우스용
난방기		(주)동호기전	TQ-1800	사용전원 : AC 220 V단상 or 380 V 삼상,60 Hz 소비전력 : 4 kW 용 량 : 500평형

실험은 가장 온도와 습도가 높은 정오쯤 실시하였으며 3시간 동안 진행하였고, 제어장비를 작동시킨 후 1시간 동안 온도, 습도의 변화량을 계측하였다. 이때, 1시간 동안 온도, 습도의 변화량을 계측한 이유는 온실 내부의 환경의 평균적인 값을 확인하여 통제장비의 통제 범위를 설정하기 위해서 였다.

온실 안에는 겨울철 딸기 생산을 위해 어린 딸기 묘를 기르고 있었으며 날씨가 더워 창을 개폐하고 환풍기를 작동 시켜 제작한 장비를 통한 통제가 되는 것을 확인하려 했다.

먼저, 창개폐 장치에 DC 24 V의 전원을 공급하기 위하여 SMPS(NES-350W-36)로 36 V를 공급하고 가변 전압 레귤레이터 모듈(LM2596/LED)를 사용하여 24 V로 감압하여 안정적으로 전원을 공급하였고, 릴레이(AM-RB04-B)에 AC 220 V를 공급하고 채널1에 창개폐 장치를 연결하여 ON/OFF 제어 알고리즘 방법으로 온도 값에 따라 창을 열고 닫는 실험을 하였다. 이때, 통제를 하는 온실의 온도 범위를 주었는데 온실의 온도가 $30^{\circ}\text{C} \leq$ 온실 온도 $\leq 35^{\circ}\text{C}$ 유지하기 위하여 임의적으로 온도의 변화를 주어 창의 개폐시키고 온도의 변화량을 측정하였다.

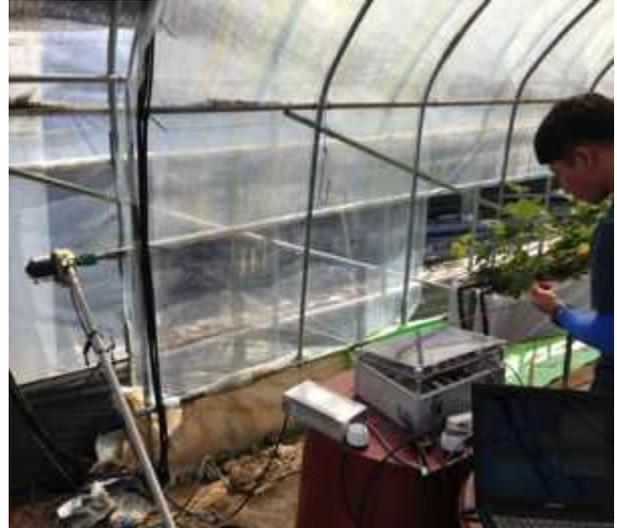


그림 3-1-24. 제작한 통제 장비를 이용하여 창개폐 장치 제어 실험 사진(좌: 통제장비와 창개폐장비 연결 모습 우: 통제장비를 이용하여 창개폐 장치 제어 모습)

환풍기의 입력전원은 AC 220 V를 사용하며 타사의 환풍기 제어 박스에 선을 직접 연결하여 환풍기를 제어하였으며, 이때 센서로부터 들어오는 습도의 정보를 습득하여 통제시스템으로 설정된 값이 되면 통제를 하는 것을 확인하기 위해서 평균 작물의 성장 습도 범위인 습도를 40%이하로 유지하기 위하여 30%와 40% 사이에서 환풍기를 지속적으로 가동시키도록 제어를 하였다.

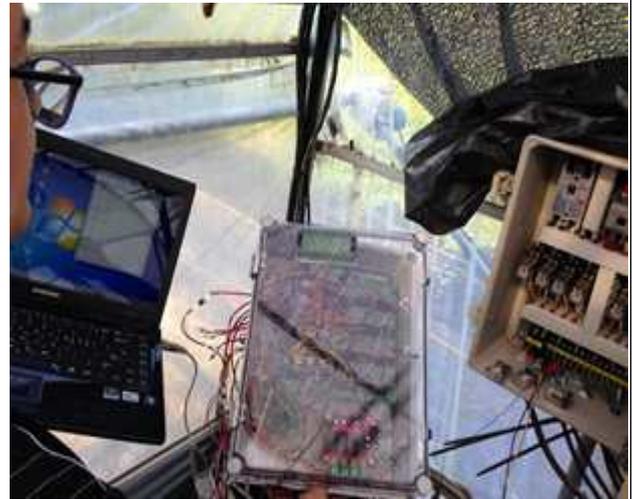


그림 3-1-25. 제작한 통제 장비를 이용하여 환풍기 제어 실험 사진(좌: 통제시스템을 가동, 우: 통제장비와 배전반의 환풍기와 연결)

농장에 설치된 난방기도 제작한 통제 장비를 이용하여 제어하는 실험을 했는데 난방기 같은 경우는 단상 220 V와 삼상 380 V를 모두 사용 할 수 있었고, 소비전력은 4 kW로 대용량 제어장비였다. 또한 농장에서 많이 사용하는 난방기 장비는 삼상 380 V 많이 구성 되어 있어서 농장에서 난방기를 통제실험을 하기 위하여 삼상 380 V로 설계하였다. 그렇기 때문에 제작한 통제 장비를 통해서 시설내부에 설치되어 있는 난방기를 가동할 수는 없지만 난방기의 전원이 ON/OFF 되는지는 여부는 실험 할 수 있었다.



그림 3-1-26. 제작한 통제 장비를 이용하여 난방기 on/off 실험 사진

실험을 위해 설계한 환경제어인터페이스 모듈은 단상 220 V용으로 온/습도 (HT-01DV) 센서를 이용하여 DC 24 V, AC220용 제어 장치를 제어하는데 어려움이 없었다. 그리고 환경제어인터페이스를 이용하여 통제된 것은 실험용으로 미니 온실에 사용되는 전기히터(MKS-F60ZR)와 전기가습기(LH-5512)를 제어 하였으며 딸기 농장에서 사용하는 창개폐장치와 환풍기를 제어하여 표 3-1-4과 같은 데이터 값을 얻었고, 창개폐기와 환풍기를 작동시킨 후 1시간동안 온/습도 값의 변화량을 측정 하였다. 표 3-1-19는 통계적 방법을 사용하여 1시간동안 얻은 온/습도의 평균값과 표준편차를 정리하였다.

제어 알고리즘은 단순한 ON/OFF 방법을 사용 하였으며 총 5가지 제어장비를 사용하여 모두 정상 작동 하고, 1시간동안 온실의 온도는 $30^{\circ}\text{C} \leq \text{온실 온도} \leq 35^{\circ}\text{C}$ 사이를 유지하였으며, 습도는 $30\% \leq \text{온실 습도} \leq 40\%$ 사이를 유지하였다.

단상 220 V용 제어장비와 제어 알고리즘으로 ON/OFF 방법을 사용하였지만 삼상 380 V용에 대한 추가 설계가 필요하고, 더욱 정밀한 온실 환경제어를 위하여 PID, 퍼지 제어 알고리즘을 추가하여 접목시킬 수 있도록 해야 했다.

표 3-1-4. 창개폐기와 환풍기 제어시 온/습도 데이터

Data time(s)	온도	습도	C02		온도	습도	C02		온도	습도	C02
1	29.77	39.94	352.12	1000	31.54	37.21	332.03	2197	31.7	37.21	322.27
2	29.93	39.94	351.56	1001	31.54	37.4	346.68	2198	31.7	37.01	322.27
3	29.93	39.94	366.21	1002	31.54	37.5	336.91	2199	31.7	37.11	317.38
4	29.93	40.04	351.56	1003	31.38	37.5	341.8	2200	31.54	37.11	312.5
5	29.93	40.04	346.68	1004	31.38	37.5	341.8	2201	31.54	37.11	312.5
⋮	⋮	⋮		⋮	⋮	⋮		⋮	⋮	⋮	
100	32.03	37.11	317.38	1534	35.09	31.54	351.56	2310	30.9	39.94	312.5
101	32.03	37.11	317.38	1535	35.09	31.45	366.21	2311	30.9	39.94	312.5
102	32.03	37.11	332.03	1536	35.09	31.45	351.56	2312	30.9	39.94	327.15
103	32.03	37.11	317.38	1537	34.93	31.45	351.56	2313	30.9	39.94	312.5
104	32.03	37.11	317.38	1538	35.09	31.35	351.56	2314	30.9	39.94	312.5
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮		⋮	⋮	⋮	
300	34.6	32.13	341.8	1703	34.6	32.81	341.8	2400	33.15	36.23	336.91
301	34.6	32.13	322.27	1704	34.6	32.81	351.56	2401	33.15	36.13	322.27
302	34.6	32.13	322.27	1705	34.6	33.01	341.8	2402	33.15	36.04	322.27
303	34.6	32.03	322.27	1706	34.44	33.01	341.8	2403	33.32	36.04	317.38
304	34.6	32.13	322.27	1707	34.6	33.11	366.21	2404	33.32	35.94	336.91
⋮	⋮	⋮		⋮	⋮	⋮		⋮	⋮	⋮	
446	34.6	31.35	375.98	2048	35.25	31.74	361.33	3596	32.99	32.03	336.91
447	34.6	31.35	375.98	2049	35.25	31.74	341.8	3597	32.99	32.23	327.15
448	34.6	31.35	380.86	2050	35.09	31.64	341.8	3598	32.99	32.23	327.15
449	34.6	31.35	366.21	2051	35.25	31.64	341.8	3599	32.99	32.32	327.15
450	34.6	31.35	371.09	2052	35.25	31.64	356.45	3600	32.99	32.32	327.15
⋮	⋮	⋮		⋮	⋮	⋮					

표 3-1-5. 온실 환경 측정 데이터

	온도(°C)	습도(%)
평균	33.21	34.94
표준편차	1.44	2.75

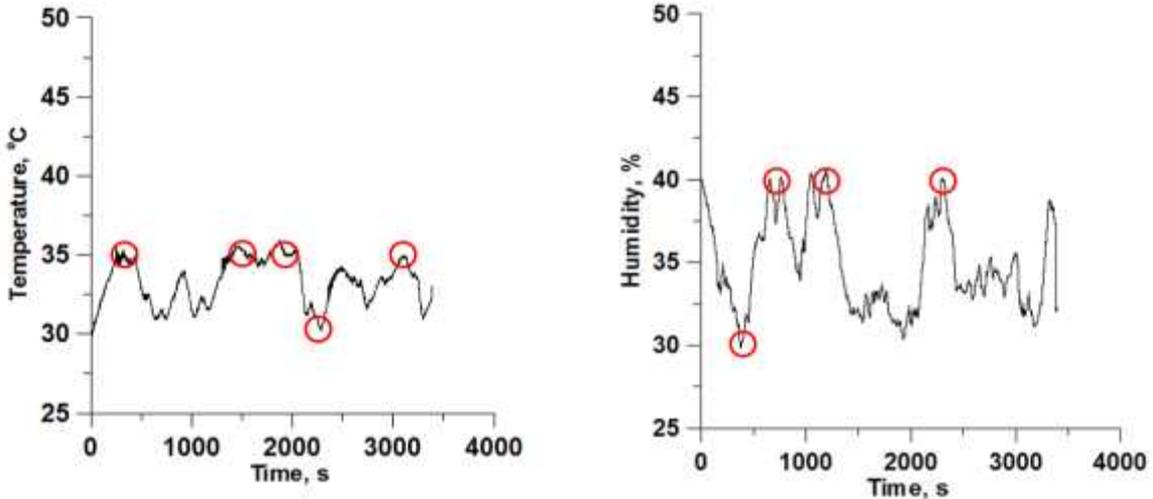


그림 3-1-27. 조건이 유지된 온도와 습도 그래프 변화 사진(좌: 토양습수율, 우: 토양온도)

제어 인터페이스 모듈 설계 및 성능 평가를 위해 사용된 제어 시스템은 8 bit MCU(ATmega128 RAM 모듈, Atmel, USA)가 적용된 전용 개발보드를 사용하고, 데이터 출력부는 LCD(ALCD204-BL)를 사용하여 각 센서에서 측정된 데이터 값을 모니터링이 가능하도록 하였고, S/W Termite와 RS-232 통신 케이블을 사용하여 온실 환경 측정 데이터 값을 PC로 받아들일 수 있도록 하였고, 이때 제어장비를 ON/OFF 명령을 수행하기 위해 릴레이(AM-RB04-B, Realy 전원 공급 보드, 4채널, 220V)를 사용하고, 사용자가 원하는 제어 환경으로 calibration 이 가능하고, 스위치를 이용하여 비상시 수동으로 제어를 할 수 있도록 설계하였으며, 4채널에 사용할 수 있는 제어장비는 220 V용 4개이며 ATmega128의 64 핀 중 B포트의 8개핀(0~7)을 사용하였다. 이중 0~3핀은 자동/수동 제어 스위치이며, 4~7은 오직 수동 스위치 핀이다. 또한 A포트의 0~3핀을 릴레이의 4채널을 제어하는데 사용하고, 1번 스위치를 OFF(0)에 놓으면 수동모드가 작동, 2번 스위치가 ON(1)이 되고 릴레이도 ON(1)되며, 수동 스위치가 (OFF)이면 릴레이도 OFF(0)가 된다. 또한, 릴레이는 수동스위치의 ON/OFF 따라 같이 작동한다.

1번 스위치가 자동(ON)이면 2번 수동 스위치에 상관없이 제어 조건에 맞는 자동제어가 되고, 실험을 위해 설계한 환경제어인터페이스 모듈은 단상 220 V용으로 온/습도(HT-01DV) 센서를 이용하여 DC 24 V, AC 220 V용 제어 장치를 제어하는데 어려움이 없었으며, 실험용 미니 온실에 사용되는 전기히터(MKS-F60ZR)와 전기가습기(LH-5512)를 제어 하였으며 딸기 농장에서 사용하는 창개폐장치와 환풍기를

제어하여 데이터 값을 얻었다. 또한, 창개폐기와 환풍기를 작동시킨 후 1시간동안 온/습도 값의 변화량을 측정하고, 통계적 방법을 사용하여 1시간동안 얻은 온/습도의 평균값은 각각 33.21℃, 34.94%이었고 표준편차는 각각 1.44℃, 2.74% 이다.

통제 실험간 제어 알고리즘은 단순한 ON/OFF 방법을 사용 하였으며 총 5가지 제어장비를 사용하여 모두 정상 작동 하고, 1시간동안 온실의 온도는 30℃ ≤ 온실온도 ≤ 35℃ 사이를 유지하였으며, 습도는 30% ≤ 온실습도 ≤ 40% 사이를 유지하였다.

단상 220 V용 제어장비와 제어 알고리즘으로 ON/OFF 방법을 사용하였지만 삼상 380V용에 대한 추가 설계가 필요하고, 더욱 정밀한 온실 환경제어를 위하여 PID, 퍼지 제어 알고리즘을 추가하여 접목시킬 수 있도록 설계한다면 제어장비에 대한 호환성이 향상될 것이라 생각되었다.

○ 금산국화농장

금산에 있는 국화 농장은 약 2만평 규모로 국내 대규모 국화 농장 중에 하나로서 펌프를 통한 수로 시스템이 갖춰진 농가 중에 하나로 농장에 설치되어 있는 제어장비와 연결하여 작동 실험 및 성능평가를 실시하였고, 제어 실험을 위해 관수 펌프(BERMAD)를 사용하였다.

표 3-1-6. 농장 제어 장비 성능

환경제어 장비	사진	제조사	모델명	사양
솔레노이드 밸브		BERMAD	solenoid valve 50 mm	규격 : 50 mm 전압 : AC 24 V 크기 : 40-50 mm 유량 : 40 l/h



그림 3-1-28. 금산 국화 농장 사진



그림 3-1-29. 실험을 위한 장비 제어 모듈 박스 사진



그림 3-1-30. 실험을 위한 제어 모듈 세팅된 사진

실험은 오전 10시쯤 실시하였으며 약 5시간 동안 진행하였고, 제어장비를 작동시키지 않고 약 1시간 동안 온도, 습도의 변화량을 측정하였다. 이때, 온도와 습도에 따라서 관개 펌프를 통한 수분 공급 제어를 위해서 온도와 토양 속 수분 함유량을 동시에 측정할 수 있는 센서(ddd)를 사용해 실험을 진행하였고, 센서를 샘플로 받은 국화 화분 두 개의 중앙 뿌리 부분에 깊숙이 고정하였다.



그림 3-1-31. 온도, 토양함수율 측정 센서를 두 국화 화분에 설치한 사진

그림 3-1-31는 온도, 토양함수율 측정 센서를 샘플인 국화 화분에 각각 중앙 뿌리 부분에 깊숙이 위치하도록 한 것을 나타낸 것이다.



그림 3-1-32. 관수 시스템을 국화 샘플에 연결한 사진

그림 3-1-32은 관개 펌프로부터 나온 물을 공급하는 호수를 각 국화 화분에 깊숙이 고정하고 채널 1에 센서를 입력하고 케이블을 통해 (시스템이름)으로부터 데이터를 얻었다. 이때, 데이터는 1시간동안 센서로부터 측정 값을 받지 않고 측정 후 1시간 이후부터 제어조건을 적용하여 1시간동안 온,습도 센서로부터 온도, 습도 변화 데이터를 받고, 먼저 1시간 동안 제어조건을 적용하지 않고 현재 상태의 토양 함수율과 온도를 측정한 결과는 그림 3-1-33과 같다.

그래프를 확인하면 일정한 데이터 값이 나오다가 18분 정도에 급격하게 떨어지는 그래프 모습을 볼 수 있는데 이것은 1시간 동안 측정하는 동안 측정 이상으로 잘못된 데이터가 나온 것으로 약 1시간 동안 측정을 실시했을 때 비슷한 함수율을 유지한 것을 알 수 있었다.

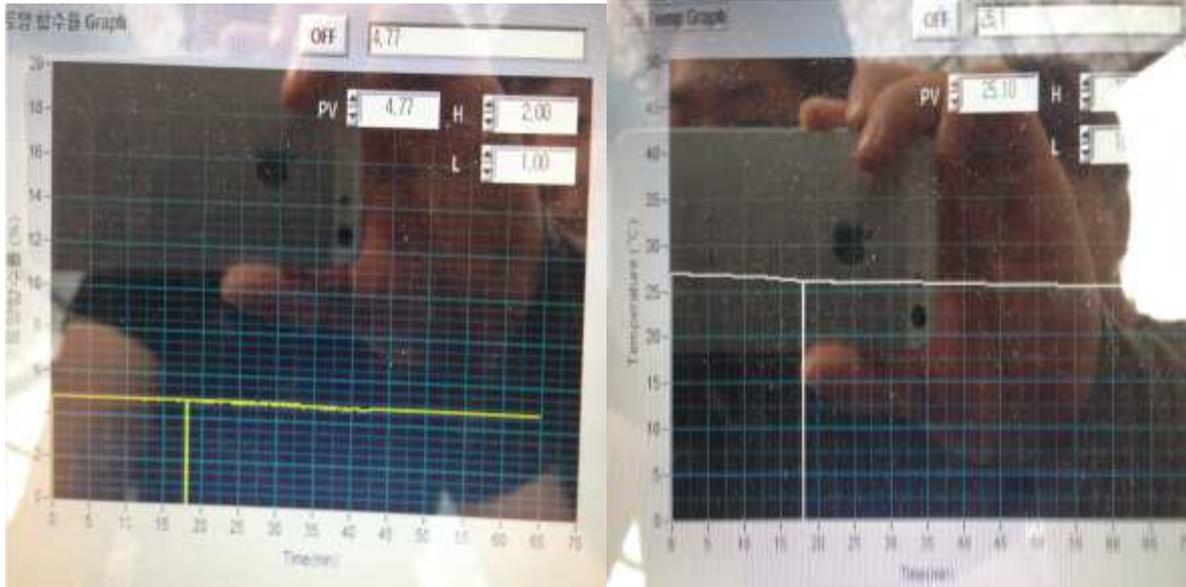


그림 3-1-33. 1시간 동안 측정한 토양 함수율·온도 그래프 사진(좌: 함수율, 우: 온도)

다. 유선 및 근거리 무선 통신을 이용한 센서 및 제어 인터페이스 모듈 시스템 고도화

(1) 현장 적용시 문제점 보완

최초에 설계 하였던 제품은 농가에서 사용하는 장비의 기준을 최소로 설계하여 통제할 수 있는 장비의 수가 제한되었다. 하지만 실제 규모가 큰 농가에서는 기본적으로 한 가지 장비만으로도 8포트 이상 사용하기에 그러한 문제점을 해결하기 위해 통제할 수 있는 포트의 수를 늘렸다.

장비의 실험은 4헥동에 설치되어 있는 장비를 이용하였고 최대 실제 농가에서 사용하는 환경과 비슷하게 실험하기 위하여 30분 이상 온·습도 데이터를 받아 장비가 가동되는 것을 확인 하였다.

1개의 제어시스템에서 10개의 장비를 통제 할 수 있게 만들었으며 최대 10개의 장비에 부착하여 통제를 해본 결과 이상 없이 데이터를 수신하였고 장비를 통제 할 수 있었다. 그리고 추가적으로 2차년도 시작품의 경우 필요 장비에 비해 부피가 크고 무선으로 데이터를 받기위해 무선장비를 추가 설치하여 부피가 커졌는데 이러한 문제점을 해결하기 위해 기본 통제 하드에 무선 데이터 장비를 부착하여 부피를 최소화 시켰다.



그림 3-1-34. 추가 단자를 설치하여 제어장비의 통제 범위를 높인 사진



그림 3-1-35. 무선장비를 통제 시스템 보드에 부착하여 컨트롤 박스 축소화한 사진

최초 제어장비와 제어 알고리즘으로 ON/OFF 방법으로 통제를 실시하였지만 현장 적용시 문제점으로 통제할 수 있는 범위 설정 및 자동 제어의 시스템의 문제점을 식별하였고, 이러한 문제점을 해결하기 위하여 온·습도 센서를 이용하여 데이터를 1초당 3번의 데이터를 습득하도록 설정을 하였다.

또한, 자동모드로 시스템을 설정 하였을 때 사용자가 설정한 온도 및 습도가 되면 자동으로 설정된 값에 따라 장비들의 가동 및 정지가 되도록 만들었다.

사용자의 통제가 편하게 할 수 있도록 통제 시스템과 배전반을 자동·수동 모드로

설정을 할 수 있도록 하고 옆 부분에 그 시스템의 수동모드에서 ON/OFF를 통제할 수 있도록 설계하였다.

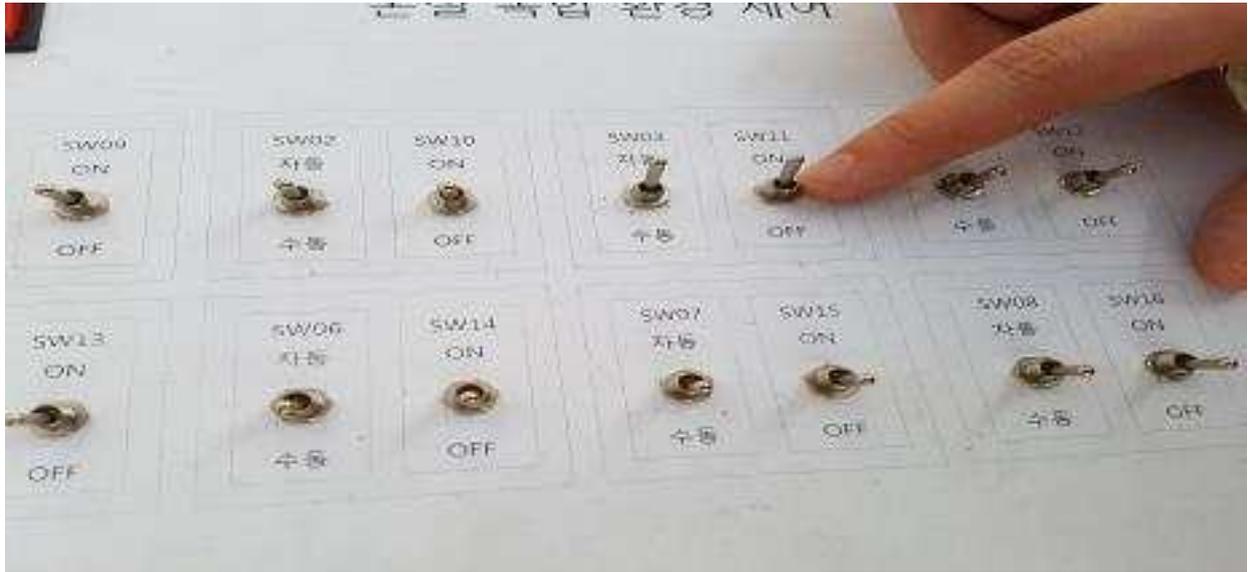


그림 3-1-36. 온실 복합 환경 제어 시스템 컨트롤 박스 사진



그림 3-1-37. 장비 테스트를 위하여 공기교반기 ON/OFF 실험 사진(좌: 가동 전, 우: 가동 후)

(2) 산업화 표준 사양 검토, 제작 사양 결정

산업화에 앞서 비닐하우스 농가에서 기본적으로 사용하는 제품에 대하여 조사를 실시하였다.

기본적인 장비로는 공기유동팬, 난방기, 공기교반기, 환풍기, 제습기, 펌프, LED조명, 개폐기, 스크린, 부직포로 확인이 되었다.

농가에서는 사용하는 장비들은 교류를 이용하지만 비닐하우스에서 사용한 장비인 개폐기, 스크린, 부직포들은 직류를 사용하기 때문에 통제시스템 설계시 직류, 교류 둘 다 통제 가능하도록 설계가 필요하였고, 제작에 따른 산업화 표준 사양 및 제작 사양은 밑에 보는 표를 기준으로 하였다.

표 3-1-7. 산업화 표준 사양 및 제작사양

장치명(설명)	볼트(Volts)	상(Phase)	동력(HP or W)
난방기	220V	AC	2000
공기유동팬	220V	AC	130
공기교반기	220V	AC	100
환풍기	220V	AC	130
제습기	220V	AC	590
펌프	220V	AC	200
LED 조명	220V	AC	20
개폐기	24V	DC	50
스크린	24V	DC	100
부직포	24V	DC	110

2. 센서신호처리, 제어알고리즘 개발

가. 센서신호처리, 제어알고리즘 개발 및 기본 성능시험

(1) 복합환경제어 시스템 알고리즘 개발

센서의 신호처리를 위해 복합환경제어 시스템의 알고리즘을 개발하였으며, 개발된 알고리즘은 아래 그림과 같이 나타냈으며 센서(환경계측), 제어장치, 통신 크게 3가지 부분으로 구성하였음. 메인 MCU를 기준으로 3가지 주요 모듈에 대한 성능을 확인하였다.

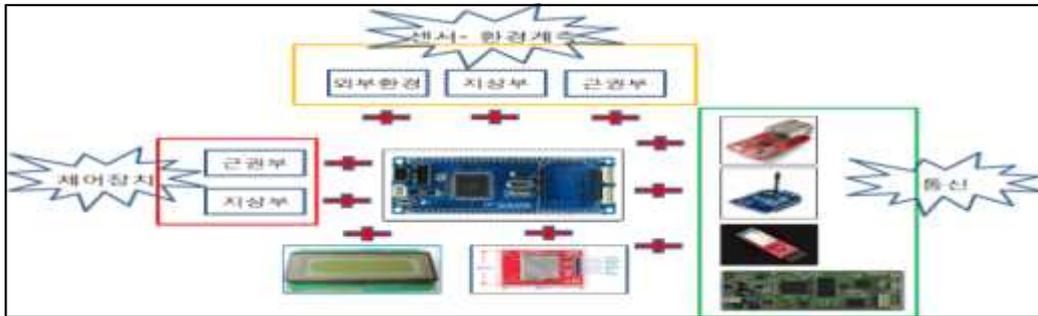


그림 3-1-38. 온실 복합환경제어를 위한 시스템 구성도

온실복합환경 제어시스템 보드로는 ATMEL사 8Bit AVR를 이용하여 유무선 및 Wi-fi 통신 모듈을 구성하고 온도, 습도, CO₂, 조도 등 외부 환경데이터를 수집할 수 있도록 외부 측정센서와 연결 할 수 있는 AVR 확장형 제어보드 설계하였고, 전원 공급 장치에서 PLC를 통해 AC를 DC로 변환하고 컨버터를 이용하여 볼트의 전압을 조정하도록 설계하였고, 보드 설계를 위하여 ATmega128 MCU, RS232, PLC, Ethernet, Bluetooth, XBEE, LCD Modul, SD CARD 장비를 적용한 회로도 설계하였다. 또한, 설계된 ATmega 128 MCU의 모든 포트(PORT "A" ~ PORT "F")를 32핀 커넥터 2 EA를 구성하여 외부 확장 보드 및 모듈 연결을 간편하게 이용할 수 있도록 구성하였다.

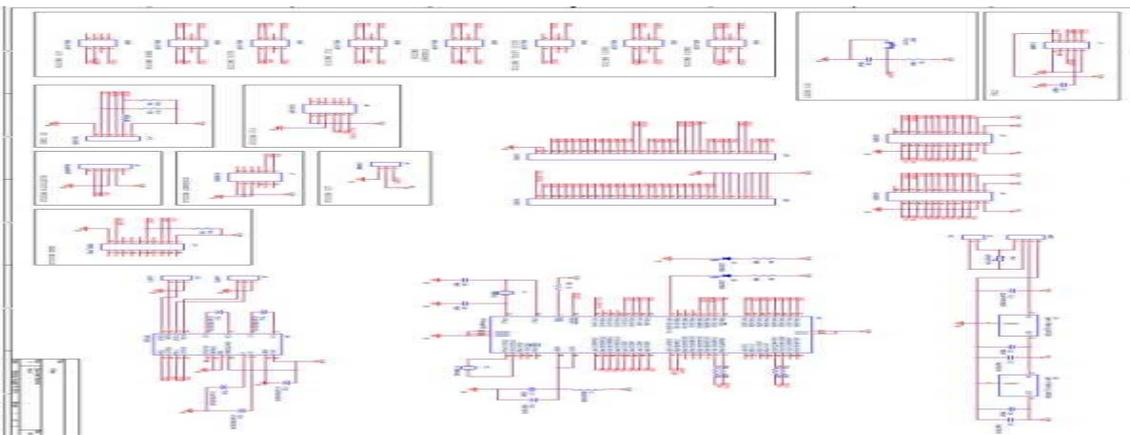


그림 3-1-39. 온실 복합환경제어 시스템 회로도

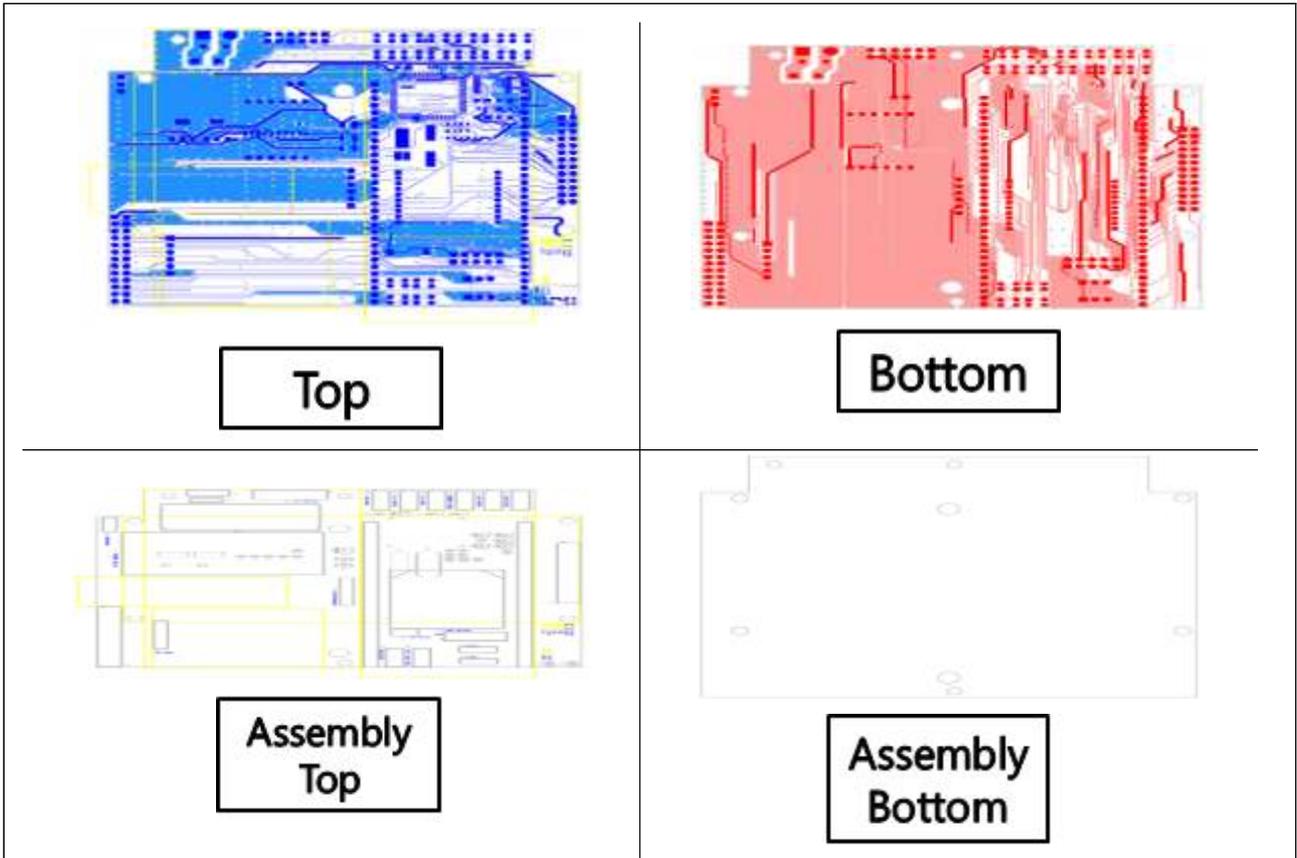


그림 3-1-40. 온실 복합환경제어를 위한 PCB 설계도

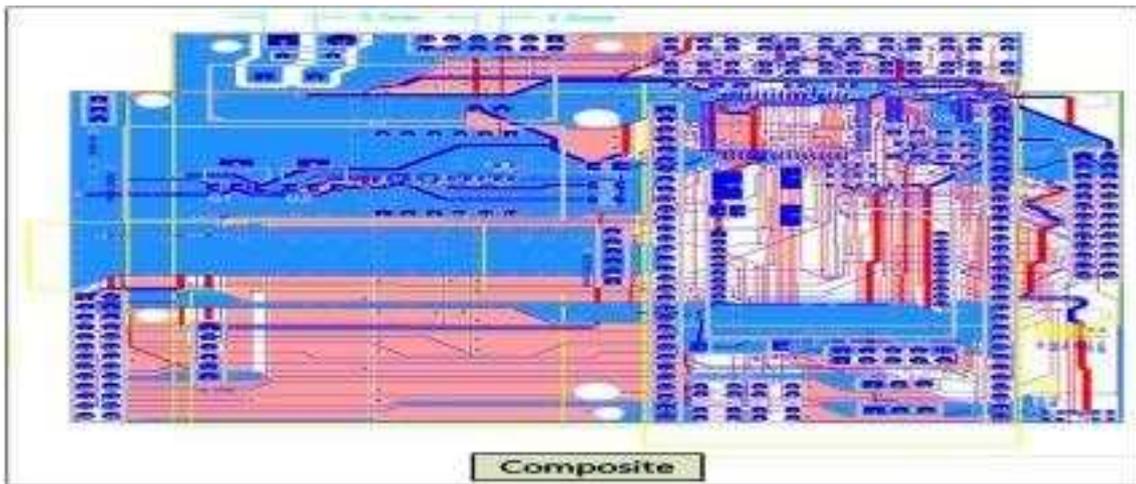


그림 3-1-41. 온실 복합환경제어를 위한 PCB 합성체

- 보드 설명
 - 보드에 사용되는 모든 UART 관련 모듈은 UART0/OFF/UART1을 선택할 수 있도록 3단 스위치를 사용하였고, 용 ATmega128 모듈을 삽입하는 형태와 PCB 상에 ATmega128 IC 가 내장된 형태의 2가지 버전으로 제작 되었고, 두 모델의 결선은 모두 동일하다.
 - 외부 인터페이스에 결선되는 UART도 UART0과 UART1을 Master/OFF/Slave 로

선택할 수 있도록 3단 스위치 사용하고, 모듈을 사용할 경우 PLC 모듈 전원을 사용하고, PLC 모듈이 없을 경우 AC·DC 컨버터를 소켓에 삽입하여 바로 사용가능하다.

- 실장 모듈은 모든 모듈(CPU,LCD,ETHERNET,XBEE,PLC,SDCARD,BLUETOOTH)을 한꺼번에 실장 할 수 있도록 보드를 설계함. 모듈 스위치만 조정하여 구동시킨다.

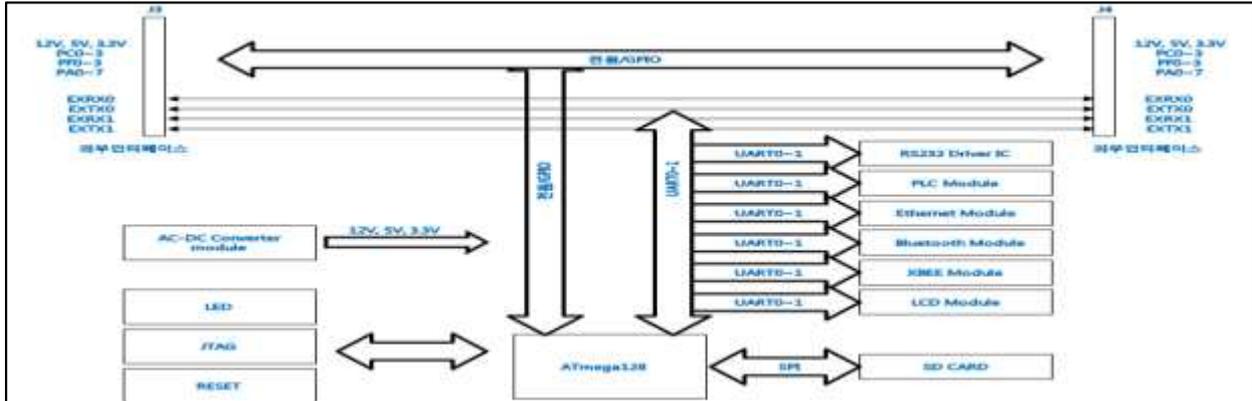


그림 3-1-42. 온실 복합환경제어를 위한 PCB 결선도

- 별도의 외부 연결 전용 26핀 박스 커넥터 2EA를 구성하여 손쉽게 외부 인터페이스와 연결할 수 있도록 구성하였으며, 다양한 RS-232 모듈을 설정하기 위하여 UART0~1을 모두 사용 할 수 있도록 선택 스위치(8EA)를 적용하였다.



그림 3-1-43. 보드와 통제 모듈 결합 사진

ATmega 128 IC 내장형



ATmega 128 모듈 삽입형

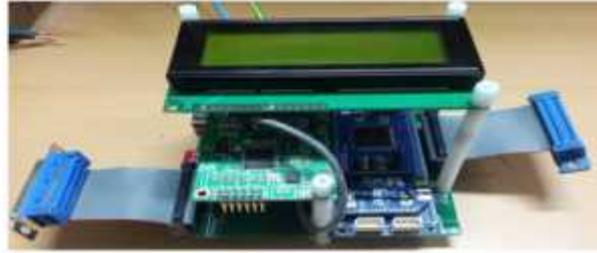


그림 3-1-44. 두 가지 타입으로 제작된 모듈 사진

(1) 신호처리 및 제어알고리즘 개발(PID, 인공지능(퍼지 등))

온실 복합환경제어 시스템의 주요 구성 요소는 센서 등을 이용한 입력부, 마이크로 컴퓨터 등의 정보처리부, 릴레이 및 솔레노이드 등의 제어부로 구별할 수 있고, 이러한 요소들을 효과적으로 통합 관리 하고 각종 제조사 간의 호환성 차이 극복을 위한 호환성이 높은 관리 프로그램을 개발하였다.

온실 복합환경제어시스템 관리자 프로그램은 대표적인 사용자 어플리케이션 도구인 Visual Studio™(Microsoft, Washington, USA)을 이용하여 개발하였으며, 다음 그림은 온실 복합환경제어시스템 관리자 프로그램 초기화면이며 주요 메뉴를 다음과 같이 설명할 수 있다.



그림 3-1-45. 온실 복합환경제어시스템 관리자 프로그램 초기화면

- 온실 복합환경제어시스템 프로그램 설정방법
 - 온실환경변수설정 : 복합환경으로 구성되어 있는 온실의 모든 요소를 일괄적으로 설계하고 상호간의 상관관계를 명시하기 위한 종합 저작 도구 제공
 - 입력포트설정 : 센서에서 입력되는 각종 신호를 알맞은 물리량으로 변환하고 보

정하기 위한 도구 제공

- 출력포트설정 : 다양한 온실 제어장비에 제어 신호를 전달하기 위하여 적합한 전기 신호로 변환하기 위한 도구 제공
- 제어로직설정 : 다양한 신호처리 및 제어알고리즘 (ON/OFF, PID, 인공지능) 구현에 필요한 각종 매개변수를 관리할 수 있는 도구 제공
- 실시간 모니터링 : 제1협동과제(충북대 수행) 연구 수행 결과물인 인터넷 모니터링 시스템과 연동을 통해서 실시간으로 온실 환경 모니터링 도구 제공

○ 온실환경변수설정

다음 그림은 온실환경변수설정 메뉴를 이용하여 예시로 구성된 온실환경변수 구성도이다. 화면의 구성 시 입력/신호처리/출력 요소를 선택한 후 상호간의 연관 관계를 화살표를 이용하여 연결하고, 개별 구성요소는 1:1로 상응하는 하드웨어(센서, 프로세서, 릴레이, 솔레노이드, 모터)등과 대응이 되어 온실환경 모니터링 및 제어와 관련한 주요한 인자를 설정 해주고, 연동 관리 메뉴인 “입력포트설정” 및 “출력포트설정”의 내용을 반영하여 온실의 관리상황을 종합적으로 나타내주는 기능을 수행한다.

“온실환경변수설정” 화면에서는 사용자가 마우스를 이용하여 구성요소를 움직이고, 클릭을 통해서 주요한 변수를 입력하는 방식으로 운영이 되며, 이를 소프트웨어공학적인 관점에서 RAD(Rapid Application Development) 기법이라고 하며 앞서 기술한 과정을 통해서 완성된 온실환경변수설정 결과를 제어컨트롤러의 핵심 구성요소인 마이컴에 전달(통신)하여 사용자가 설정한 매개변수에 따라서 환경 모니터링 및 제어시스템이 작동할 수 있도록 실시간 장비관리 지원가능하다.

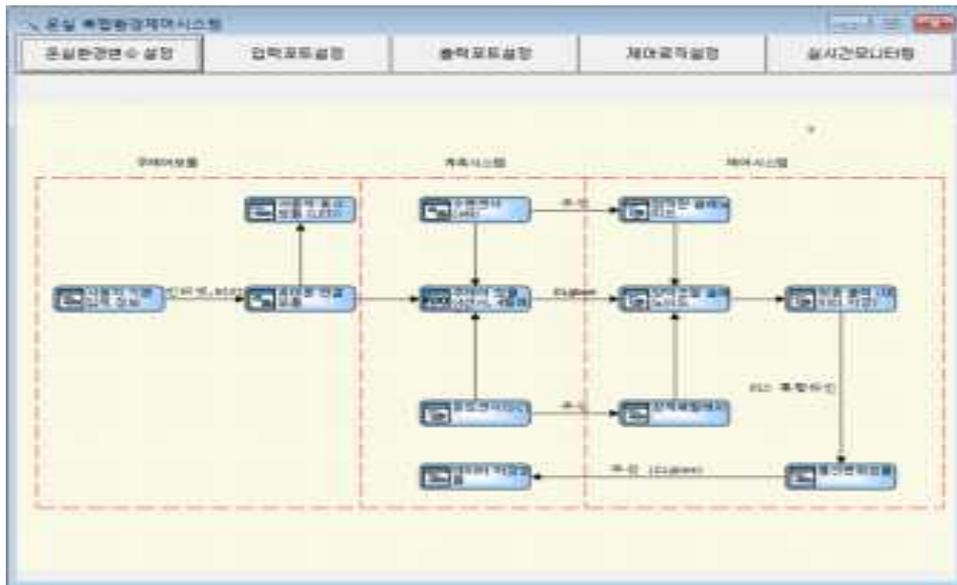


그림 3-1-46. 온실환경변수 설정 도구

○ 입력포트 설정

- 온실환경의 모니터링에 사용되는 센서는 제조사, 종류에 따라 다양한 전기적인 신호를 출력하므로, 입력포트 설정 메뉴를 통해서 센서의 형태, 센서의 입력 범위, 입력되는 전기적인신호에 상응하는 물리량으로 보정 수행하고, 선행 시장 조사를 통해서 조사한 다양한 온실환경계측 센서를 이미 등록하여 사용자가 원하는 센서를 선택할 수 있는 기능 제공으로 입력포트 설정을 간편화 하였다.

제1협동 과제(충북대 수행)의 핸드폰 및 인터넷 원격 모니터링 및 제어시스템과 연동에 필요한 부가적인 설정 (환경변수의 도시 색, 형태) 등을 지정할 수 있는 도구 제공하고, 입력포트 설정 시 간단한 제어로직 (기준점 방식의 On/Off)제어 설정을 동시에 수행 할 수 있는 기능 제공한다.

센서의 교체 또는 오작동으로 인한 환경제어시스템의 오작동을 막기 위한 포트별 활성화메뉴를 제공하여, 하드웨어 교체에 따른 시간 및 비용 경감을 위한 편의성을 제공한다.



그림 3-1-47. 입력포트 메뉴를 통한 화면 구성

○ 출력포트 설정

온실환경의 제어에 사용되는 릴레이, 솔레노이드, 스위치 등은 제조사 및 종류에 따라 다양한 형태의 전기적/기계적 입력 신호를 필요로 하므로, 출력포트설정 메뉴를 통해서 제어장비의 특성에 맞는 신호의 형태를 설정하고, 제어로직설정” 메뉴와는 별도로 출력포트와 입력포트가 1:1로 연결된 상황에 대응하기 위한 메뉴로서 On/Off 제어를 위한 설정값을 지정할 수 있으며, 제어장비의 특성에 따라서 제어 유지 시간과 제어 대기 시간을 설정할 수 있는 기능을 제공한다.

입력포트의 하한값과 상한값 사이에서 센서 신호가 발생하면 제어여부 결정에 따라 해당 출력포트에 On 신호가 전달이 되며 “동작시간”과 “대기시간” 설정을 통해서 최종적으로 출력포트의 On/Off 신호가 결정이 된다.



그림 3-1-48 . 출력포트 메뉴를 통한 화면 구성

○ 신호처리 방식

온실환경계측 센서를 통해 실시간으로 계측이 되는 신호는 화이트 노이즈 및 다양한 외란으로 인하여 노이즈가 발생하므로 바로 사용하기 전에 적당한 전처리를 수행하여야 하고, 대표적인 전처리 방법은 이동 평균(Moving average), Smoothing, FFT등이 있을 수 있으며, 이러한 다양한 신호처리를 지원하기 위하여 다음 그림과 같이 신호처리수식편집기를 이용하였다.

입력포트 및 출력포트 개별적으로 설정할 수 있는 신호처리수식편집기는 간단한 마우스 클릭으로 4칙연산 및 주요 수학적함수를 사용할 수 있고, 입력 신호를 수식에 연결 시키기 위하여 변수를 지정한 후 4칙 연산자를 비롯한 수학적함수를 이용해서 수식을 구성한 후 이를 좌변의 $f(x)$ 에 입력하면 함수의 형태로 구성한다.

이러한 기능은 RAD 기법의 대표적인 예로서, 마우스 클릭 만으로 복잡한 함수를 구성할 수 있는 편의성과 아울러 온실환경제어 하드웨어를 교체 또는 갱신하지 않고 다양한 신호처리 알고리즘을 적용해 볼 수 있는 장점이 있다.



그림 3-1-49 . 기본적인 신호처리 및 제어로직 구성 메뉴

○ 제어로직설정

제어로직설정 메뉴를 통해서 On/Off제어 (P제어)와 PID (PI, PD, PID)제어를 위한 전달 함수의 주요 매개변수 입력 가능하고 인공지능제어 중 하나인 Fuzzy control 구현을 위하여 멤버쉽 함수를 설정할 수 있는 기능 제공하고, 화면의 오른쪽에 새로운 메뉴 5가지가 나타나며 P제어의 경우 비례식, PID 제어의 경우 상응하는 전달 함수의 매개변수를 설정할 수 있으며, Fuzzy control의 경우 멤버쉽 함수 구성에 필요한 범위, 최대값 (삼각 분포)을 입력하여 화면상에 도시할 수 있는 기능을 제공한다.

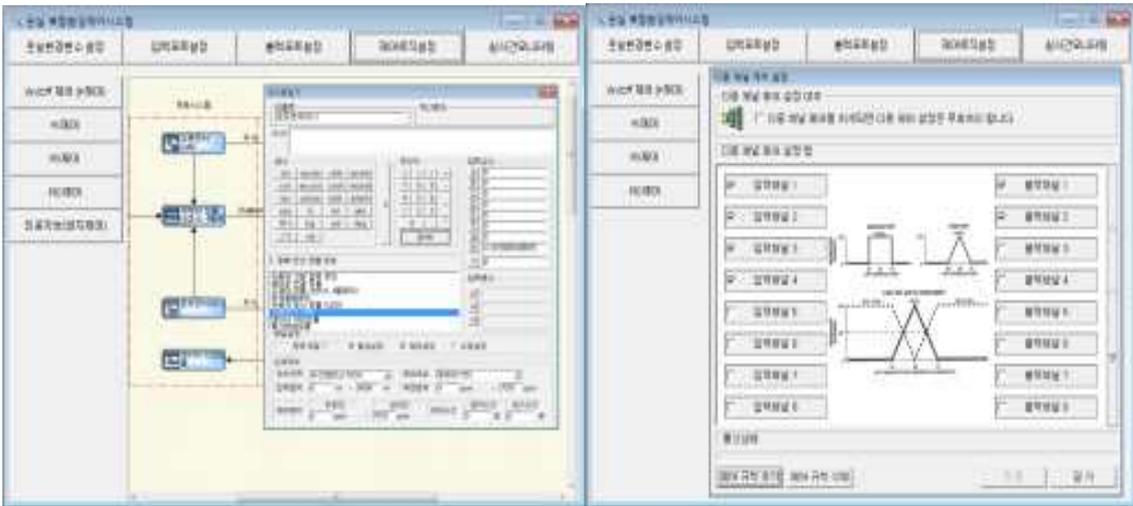


그림 3-1-50. 복합 제어 알고리즘 구현을 위한 화면 구성

그림 3-1-51. 인공지능(Fuzzy control) 제어로직 구현을 위한 화면 구성

○ 실시간모니터링

제1협동과제(충북대수행) 연구 수행 결과물인 인터넷 원격 모니터링 시스템과 연동할 수 있는 브라우저를 내장하여, 실시간으로 온실 환경모니터링 상황을 확인할 수 있는 기능을 제공한다.



그림 3-1-52 온실 환경 제어 계측 데이터 모니터링 시스템

나. 센서신호처리, 제어알고리즘 개발 및 현장적용

(1) 신호 protocol, 전송 주기 설정 기능

채널과 센서, 데이터 값을 세로로 출력하고(좌) 데이터 값만 가로로 출력(우)한 사진이며 국내에서 사용되는 온실 환경 측정 장비(센서, 데이터 취득장치)는 특정 제품에 특화되어 있어 범용성 및 호환성이 매우 미비한 실정이다.

입력전원의 크기, 출력방식 등 다양한 센서를 선택적으로 사용 할 수 있으며, 모니터링이 가능한 온실 환경 센서 인터페이스 모듈 개발을 위해 다양한 센서를 이용한 데이터 취득 성능평가 실험을 실시하여 현장적용 실험에 적용시키는 것이 필요하고 데이터 모니터링에 불필요한 작업 수행 및 데이터량을 줄여 최적의 데이터 전송 주기 설정을 위한 범용 온실 환경 측정 시스템을 설계하여 성능을 평가하여야 한다.

시장 조사를 통해 온실에 사용되는 다양한 센서들을 조사하여 범용 센서 인터페이스모듈을 설계해야하고, 온실 환경 측정 시스템은 8 bit MCU(ATmega128 RAM 모듈, Atmel, USA)가 적용된 전용 개발보드를 사용하며, RS-232통신을 통해 termite3.1(s/w)로 PC에 데이터를 전송하고, 전송주기 변환을 위해 스위치 2개 (ITS-1103D)를 사용하여 전송 주기를 증가(+), 감소(-)하도록 하였다.

데이터 취득을 위해 사용된 센서는 아날로그 타입(온/습도 센서, HT-01DV)을 사용하였고, 코딩을 통해 기본 데이터 전송 속도를 1data/0.5s로 하고, 1번 스위치를 누르면 전송속도 +0.05s 증가, 2번 스위치를 누르면 전송속도 -0.05s 감소하도록 하고, 데이터 전송 시험은 총 1s, 0.5s, 0.25s, 0.1s, 0.05s로 총 5회 실시하였으며, 통계적 방법인 t-검정을 사용하여 평균값과 분산값을 이용하여 1data/s와 각 전송주기를 비교 분석하였다. 데이터는 1분동안 각 60개, 120개, 240개, 600개 그리고 1200개를 취득하고 이때 데이터 취득을 위해 사용된 온실 환경 센서 인터페이스 모듈은 그림 1과 같이 설계하고, 전송주기 1data/s 와 1data/0.5s, 1data/0.25s, 1data/0.1s, 1data/0.05s의 t-검정 결과 유의확률은 각각 0.000428, 0.00064, 0.000428 그리고 0.002678로 유의 수준 모두 0.05보다 작아 5집단은 통계적으로 유의하다 판단되어 전송 주기는 1data/s로 선정하였다.

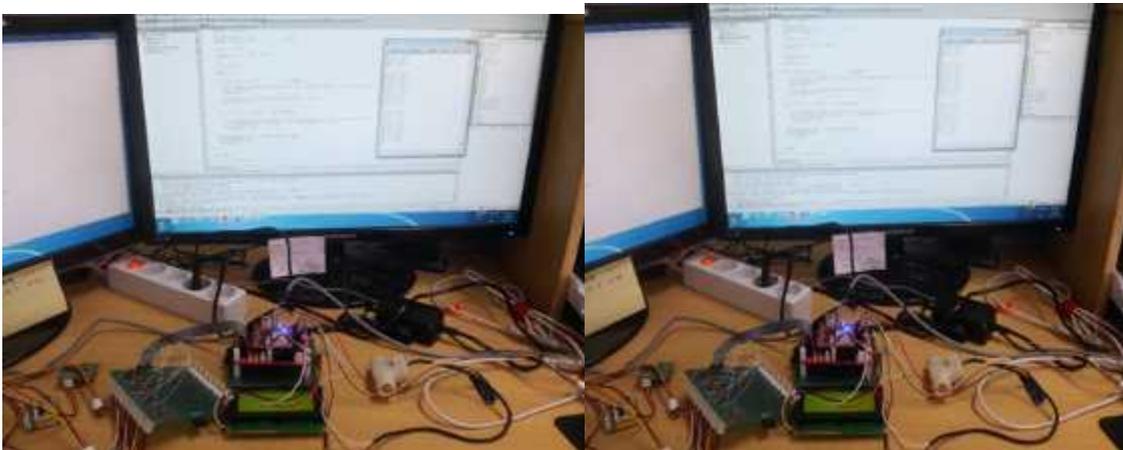


그림 3-1-53. 신호데이터를 받기 위한 protocol 실험

표 3-1-8. 전송 주기별 온도

전 송 주 기 Temp.°C/시간(s)	1s	0.5s	0.25s	0.1s	0.05s
0.05					28
0.1				28.16	28.16
0.15					28.16
0.2				28.16	28.16
0.25			28.16		28.16
∴	∴	∴	∴	∴	∴
10	28.16	28.16	27.68	28	28.16
10.05					28.16
10.1				28	28.16
10.15					28.16
∴	∴	∴	∴	∴	∴
20	28	28.16	28.16	28.16	28
20.05					27.84
20.1				28.16	28.16
20.15					28.16
20.2				28.32	28.16
∴	∴	∴	∴	∴	∴
30	28.16	28.16	28.16	28.16	28.16
30.05					28.16
30.1				28.16	28.16
30.15					28.16
30.2				28.16	28.16
∴	∴	∴	∴	∴	∴
40	28.32	28	28	28.16	28
40.05					27.84
40.1				28.16	28.16
40.15					28.16
40.2				28.16	28.16
∴	∴	∴	∴	∴	∴
59.8				28.16	28.16
59.85					28.16
59.9				28.16	28.16
59.95					28
60	28.16	28.16	28.16	28.16	28

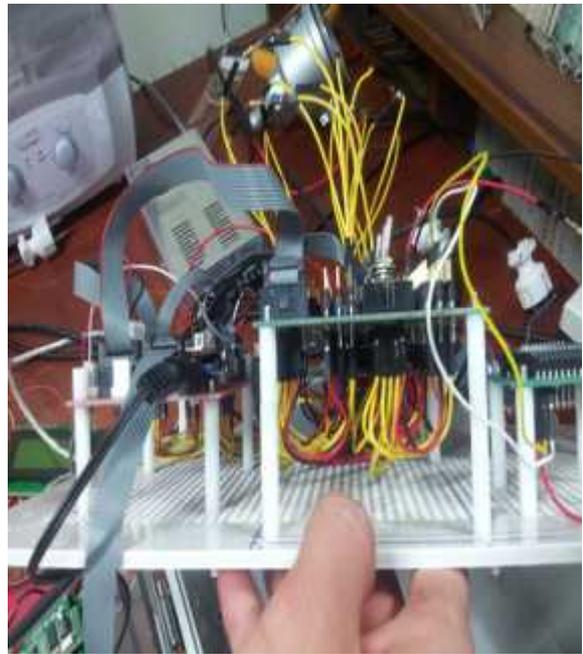


그림 3-1-54. 비닐하우스 내부에 통제하기 위한 통제 시스템 인터페이스 모듈 사진

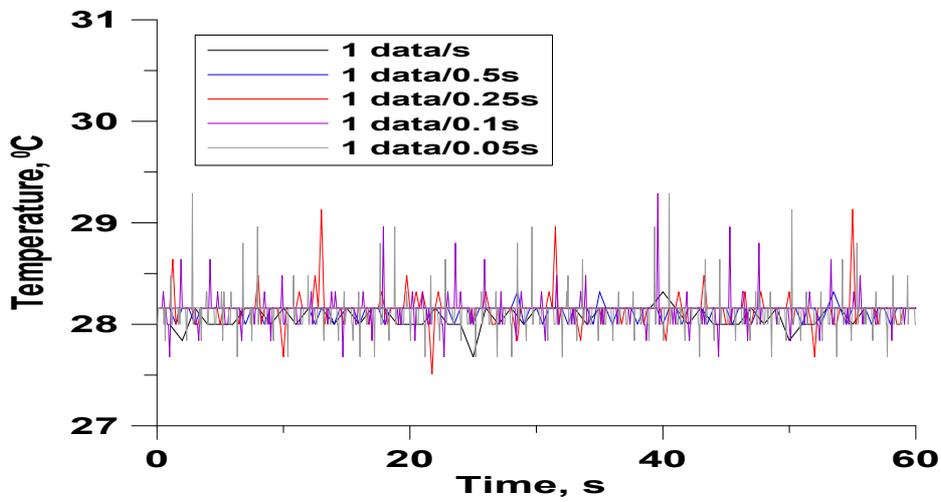


그림 3-1-55. 비닐하우스 내부에서 Zigbee를 이용하여 온도 및 수분 데이터 수집결과

표 3-1-9. 시간별 데이터 통계 값

	1data/s	1data/0.5s	1data/0.25s	1data/0.1s	1data/0.05s
Temp. mean(°C)	28.08	28.13	28.15	28.15	28.13
Deviation	0.03	-0.02	-0.04	-0.04	-0.02
Variance	0.01172	0.00533	0.02317	0.01533	0.01726
P-value		0.00043	0.00064	0.00004	0.00268

(2) 자동/수동. 현장/원격, 비상시 대처 기능

○ 비상시 대처방안 조건 설계

표 3-1-10. 센서와 제어장비 조건

조건	센서	제어장비
	정상(1)/오작동(0)	정상(1)/오작동(0)
1	1	0
2	0	1
3	0	0
오작동	<ul style="list-style-type: none"> - 계기판에 센서값이 측정되지 않는다 - 정해진 적정범위를 넘어섬에도 불구하고 비상경보가 울리지 않는다 	<ul style="list-style-type: none"> - 장비가 작동되지 않는다 - 정해진 적정범위를 넘어서 이상 or 이하까지 작동된다
대처방안		
- 주의, 점검, 교체 세 단계로 문자알림 서비스가 작동된다.		
- 조건 1 : 센서는 정상 작동하지만 제어장비가 정상 작동하지 않을 시에 5분마다 사용자에게 문자메세지를 보내서 알리고 주의 알람으로 노란색조명과 부저가 동시에 울린다. 10분 후에도 변화가 없을 시에 3번 핀의 스위치가 수동모드로 자동 전환한다.		
- 조건 2 : 센서가 오작동 함에도 불구하고 제어장비가 정상 작동할 시에 1시간 마다 사용자에게 문자메세지 전송과 점검 알람으로 파란색 조명과 부저가 동시에 작동한다. 하루 이상 같은 증상이 반복될 시에 교체 알람으로 붉을 색 조명과 부저가 동시에 작동하고 1시간 마다 사용자에게 문자메세지를 보낸다.		
- 조건 3 : 센서가 오작동하고 제어장비 또한 오작동 할 시에 5분마다 사용자에게 문자메세지를 보내고 주의 알람과 부저가 동시에 작동한다.		

작물과 상관없이 공통적으로 데이터 값이 정확하게 측정되지 않을 시 부저가 작동 되고 시간마다 주의, 점검, 교체 세 단계로 문자 알림 서비스가 작동되고, 센서의 오작동은 계기판에 센서 값이 측정 되지 않거나 정해진 적정 범위를 넘어섬에도 불구하고 비상경보가 울리지 않을 때를 기준으로 한다.

제어장비의 오작동은 장비가 작동되지 않거나 정해진 적정범위를 넘어서 이상, 이하까지 작동될 때를 기준으로 하며, LCD 판에 정확한 데이터가 입력되지 않고 숫자가 아닌 문자가 나올 경우, 부저가 작동된다.

주의, 점검, 교체 세 단계의 문자알림 서비스 중 첫 번째 조건은 센서는 정상 작동하지만 제어장비가 정상 작동하지 않을 시에 5분마다 사용자에게 문자메세지를 보내서 알리고 주의 알람으로 노란색 조명과 부저가 동시에 울린다.

10분 후에도 변화가 없을 시 3번 핀의 스위치가 수동모드로 자동 전환하고, 두 번째 조건은 센서가 오작동 함에도 불구하고 제어장비가 정상 작동할 시에 1시간 마다 사용자에게 문자메세지 전송과 점검 알람으로 파란색 조명과 부저가 동시에 작동한다.

하루 이상 같은 증상이 반복될 시에 교체 알람으로 붉은색 조명과 부저가 동시에 작동하고 1시간 마다 사용자에게 문자메세지를 보내며, 세 번째 조건은 센서가 오작동하고 제어장비 또한 오작동 할 시에 5분마다 사용자에게 문자메세지를 보내고 주의 알람과 부저가 동시에 작동한다.

○ 센서 및 제어장비 고장 시 센서와 관련된 장비 제어 및 전원 제어

센서	기준	관련제어장비	비상시	공통알림
온도	20 ~ 25℃	냉난방기	<ul style="list-style-type: none"> - 온도가 적정온도 초과, 미만으로 5분 이상 경과했을 경우 1단계 실행, 10분 이상 경과 시 2단계 실행 후 수동모드 돌입. - 예비 센서를 통해 수동 제어 시 1시간 넘게 주 센서가 회복되지 않으면 3단계 실행. 	<p>램프(시간에 따른 점등)</p> <p>1단계 (주의-노란색조명) - 문제 발생 의심 - 5분당 문자 발송 - 부저 울림</p> <p>2단계 (점검-파란색조명) - 점검 요망 - 시간당 문자발송 - 부저 울림</p> <p>3단계 (교환-붉은색조명) - 수리 및 교환 - 5분당 문자발송 - 부저 울림</p>
습도	40 ~ 60%	가습기, 제습기	<ul style="list-style-type: none"> - 습도가 적정습도 초과, 미만으로 5분 이상 경과했을 경우 1단계 실행, 10분 이상 경과 시 2단계실행 후 수동모드 돌입. - 예비 센서를 통해 수동 제어 시 1시간 넘게 주 센서가 회복되지 않으면 3단계 실행. 	
조도	80/40 μ mol·m ⁻² ·s ⁻¹ LED펄스 : 400 μ s	조명	<ul style="list-style-type: none"> - 조도가 적정 조도 초과, 미만으로 5분 이상 경과했을 경우 1단계 실행, 10분 이상 경과 시 2단계 실행 후 수동모드 돌입. - 예비 센서를 통해 수동 제어 시 1시간 넘게 주 센서가 회복되지 않으면 3단계 실행. 	

- 공통 알람으로 시간에 따른 램프 점등을 함.
- 1단계 ‘주의’ 는 노란색 조명이 켜지며 문제 발생이 의심 되었을 때 작동함.
- 5분마다 문자메세지를 발송하고 부저가 작동함.
- 2단계 ‘점검’ 은 파란색 조명이 켜지며 점검이 요구 되었을 때 작동함.
- 매 시간마다 문자메세지를 발송하고 부저가 작동함.
- 3단계 ‘교환’ 은 붉은색 조명이 켜지며 수리 및 교환이 요구 되었을 때 작동함.
- 5분마다 문자메세지를 발송하고 부저가 작동함.
- 온도가 기준을 20 ~ 25℃로 잡고 냉난방기를 제어 한다고 했을 때, 온도가 적정

온도를 초과, 미만으로 5분 이상 경과할을 경우 1단계 ‘주의’ 를 실행하고 10분 이상 경과 시 2단계 ‘점검’ 을 실행 후 수동모드로 전환함.

- 예비 센서를 통해 수동 제어 시 1시간 넘게 주 센서가 점검 되지 않으면 3단계 ‘교환’ 을 실행함.
 - 습도가 기준을 40 ~ 60%로 잡고 가습기, 제습기를 제어 한다고 했을 때, 습도가 적정습도를 초과, 미만으로 5분 이상 경과했을 경우 1단계 ‘주의’ 를 실행하고 10분 이상 경과 시 2단계 ‘점검’ 을 실행 후 수동모드로 전환함.
 - 예비 센서를 통해 수동 제어시 1시간 넘게 주 센서가 점검 되지 않으면 3단계 ‘교환’ 을 실행함.
 - 조도가 기준을 400 μ s로 잡고 조명을 제어 한다고 했을 때, 조도가 적정 조도를 초과, 미만으로 5분 이상 경과했을 경우 1단계를 실행하고 10분이상 경과 시 2 단계를 실행 후 수동모드로 전환함.
 - 예비 센서를 통해 수동 제어시 1시간 넘게 주 센서가 점검되지 않으면 3단계 ‘교환’ 을 실행함.
- 국화재배시 비상시 대처 기능 설계
- 국화의 적정 생장 온도는 15 ~ 20℃ 이고 야간 최저 온도는 7 ~ 15℃이므로 15℃ 를 적정온도로 함.
 - 15℃ 보다 온도가 떨어지면 난방기가 작동되고 부저와 경보가 울리고 시간마다 단계별로 알림이 작동됨.
 - 20℃ 보다 온도가 올라가면 냉방기가 작동되고 비가 오지 않을 경우에 창을 개 폐하며 부저와 경보가 울리고 시간마다 단계별로 알림이 작동함.
 - 국화의 적정 생장 습도는 40 ~ 60% 이므로 5%의 여유를 두어 45 ~ 55%를 적정 습도로 함.
 - 45% 보다 습도가 떨어질 때 외부 습도가 45%보다 높을 시에 창을 열고 수분을 공급하며 부저와 경보가 시간마다 단계별로 작동함.
 - 55% 보다 습도가 올라갈 때 외부 습도가 55%보다 낮을 시에 창을 열고 제습기를 작동하며 부저와 경보가 시간마다 단계별로 작동함.
 - 국화의 적정 조도는 30 ~ 40 lux 이며 10 m² 당 100 W의 백열전구를 1개씩 설치하는 것이 일반적임.
 - 조도가 40 lux 이상이면 부저가 울리고 조명의 밝기를 줄임.
 - 조도가 30 lux 이하이면 부저가 울리고 조명의 밝기를 높임.
 - 국화의 적정 CO₂ 농도는 1000 ~ 1200 ppm 임.
 - 이산화탄소 농도가 1200 ppm 이상이면 부저가 울린 후 창이 열림.
 - 이산화탄소 농도가 1000 ppm 이하이면 부저가 울린 후 이산화탄소 공급기를 가동함.

○ 유선통신, 무선통신, 센서 네트워크 시나리오별 설계

- 유선통신 설계

- 일정한 장소에서 2.3 V, 3.3 V, 5 V 그리고 5.5 V의 전원을 공급했을 때 온도의 평균값은 각각 22.04°C, 23.17°C, 23.23°C 그리고 23.79°C 임.
- 표1-11은 각 센서의 원신호(전압), 온도 그리고 보정값을 정리한 것임.
- 온도계(BJ5478, Bodycom)를 사용하여 측정된 값은 23.06°C 이므로 각 입력 전원에 대한 편차는 1.02 V, -0.11 V, -0.17 V 그리고 -0.73 V임.
- 표준편차를 이용하여 교정식을 보정함.
- 22~24°C 범위에서 유사한 값을 보였으며 각각의 평균값을 비교한 결과는 표 1-11와 같음.
- SAS 통계프로그램을 이용하여 최소유의차검정(Least Significant Difference(LSD))을 실시하였으며 측정된 온도값은 모두 유의하다고 판단됨.

표 3-1-11. 온도 측정 결과

Data time(s)	Raw, V	temp. °C	correction	Raw, V	temp. °C	correction	Raw, V	temp. °C	correction	Raw, V	temp. °C	correction
	(2.2 V)			(3.5 V)			(5 V)			(5.5 V)		
1	0.869	22.35	23.365	1.352	23.76	23.647	1.914	23.16	22.988	2.139	24.16	23.43
2	0.884	23.4	24.415	1.333	22.84	22.727	1.914	23.16	22.988	2.134	24.01	23.28
3	0.884	23.4	24.415	1.328	22.61	22.497	1.914	23.16	22.988	2.129	23.87	23.14
4	0.854	21.3	22.315	1.333	22.84	22.727	1.914	23.16	22.988	2.129	23.87	23.14
5	0.859	21.65	22.665	1.343	23.3	23.187	1.914	23.16	22.988	2.124	23.72	22.99
⋮	⋮	⋮		⋮	⋮		⋮	⋮		⋮	⋮	
100	0.884	23.4	24.415	1.318	22.15	22.037	1.914	23.16	22.988	2.119	23.57	22.84
101	0.840	20.25	21.265	1.323	22.38	22.267	1.914	23.16	22.988	2.139	24.16	23.43
102	0.864	22	23.015	1.343	23.3	23.187	1.914	23.16	22.988	2.119	23.57	22.84
103	0.879	23.05	24.065	1.333	22.84	22.727	1.914	23.16	22.988	2.124	23.72	22.99
104	0.864	22	23.015	1.313	21.92	21.807	1.914	23.16	22.988	2.124	23.72	22.99
⋮	⋮	⋮		⋮	⋮		⋮	⋮		⋮	⋮	
300	0.859	21.65	22.665	1.323	22.38	22.267	1.924	23.49	23.318	2.109	23.28	22.55
301	0.879	23.05	24.065	1.362	24.22	24.107	1.914	23.16	22.988	2.119	23.57	22.84
302	0.840	20.25	21.265	1.343	23.3	23.187	1.914	23.16	22.988	2.144	24.31	23.58
303	0.845	20.6	21.615	1.338	23.07	22.957	1.919	23.33	23.158	2.129	23.87	23.14
304	0.850	20.95	21.965	1.333	22.84	22.727	1.914	23.16	22.988	2.139	24.16	23.43
⋮	⋮	⋮		⋮	⋮		⋮	⋮		⋮	⋮	
446	0.864	22.7	23.715	1.343	23.76	23.647	1.919	23.33	23.158	2.119	23.87	23.14
447	0.874	21.65	22.665	1.352	22.84	22.727	1.919	23.33	23.158	2.129	24.01	23.28
448	0.859	23.4	24.415	1.333	22.84	22.727	1.919	23.33	23.158	2.134	24.01	23.28
449	0.884	22.7	23.715	1.333	23.76	23.647	1.919	23.33	23.158	2.134	23.28	22.55
450	0.874	20.6	21.615	1.352	22.15	22.037	1.919	23.33	23.158	2.109	23.28	22.55
⋮	⋮	⋮		⋮	⋮		⋮	⋮		⋮	⋮	

○ 무선통신 설계

- 센서 네트워크 설계

- 국내 온실 환경 측정 및 모니터링에는 다양한 센서가 사용되고 있으며, 동일한 측정 목적에서도 입력전원의 크기, 출력방식 및 크기, 통신방식 등 차이를 보임.
- 센서로부터 측정된 신호 수집을 위한 장치도 각각의 센서에 따라 특화되어 있음.
- 농가에서는 온실 환경 모니터링을 위하여 이러한 다양한 센서를 사용하고 있으며, 각 센서에 맞는 데이터 취득장비를 각각 별도로 사용하고 있음.
- 상용화 된 데이터 취득장치는 대부분 해당 센서들에 최적화되어 있으므로 호환성이 매우 미비함.
- 온실 환경 센서 인터페이스 모듈 개발을 위해 수행되었으며, 다양한 온도 센서의 신호 수집이 가능한 범용 온도 측정 시스템을 설계하고 성능을 평가하였음.
- 온실 환경 측정에 사용되는 대표적인 센서들의 사양 조사 결과, 아날로그 출력센서는 DC 1~38V이었으며, 센서 출력값의 범위는 0~5V이었음.
- 센서 인터페이스 모듈이 호환성을 확보하기 위해서는 입력전원 조절이 가능하고, 캘리브레이션 기능이 있어야 함.
- 온도 측정 시스템은 8 bit MCU(ATmega128 RAM 모듈, Atmel, USA)가 적용된 전용 개발보드를 사용하였다. 전원 공급을 위해 SMPS(NES-350W-36)를 사용하여 전압조정을 32~40V 범위로 조절 할 수 있게 함.
- 동시에 안정적인 전원 공급을 위해 가변 전압 레귤레이터 모듈(LM2596/LED)를 사용하여 1.25~37V까지 출력전압 범위를 조절 할 수 있게 함.
- 사용되어진 센서는 아날로그 타입(온/습도 센서, HT-01DV)을 사용함.
- 온/습도 센서는 2.3 V, 3.3 V, 5 V, 5.5 V의 4수준 전원입력/4수준 출력 가짐, 각각의 수준에서 온도 측정 후 각각의 평균값을 이용하여 비교 분석함.
- 이때 데이터는 8분동안 480개 샘플을 측정하였으며 평균값과 편차를 이용하여 보정을 함.
- 온도센서의 전원별 특성은 그림 1과 같고 원신호(전압)을 온도값으로 변환하기 위한 교정식은 식(1)과 같음.
- 2.3 V, 3.3 V, 5 V 그리고 5.5 V일 때 온도의 평균값은 각각 22.04℃, 23.17℃, 23.23℃ 그리고 23.79℃ 임.
- 온도계(BJ5478, Bodycom)를 사용하여 측정한 값은 23.06℃ 이므로 각 입력 전원에 대한 편차는 1.02 V, -0.11 V, -0.17 V 그리고 -0.73 V임.

다. 센서 신호처리, 제어알고리즘을 적용한 모듈의 시작품 고도화

(1) 개선된 센서 모듈 고도화 설계를 통한 신호 처리 및 제어 알고리즘 탑재

근권부, 지상부 센서 데이터를 1초에 3~4회 정보를 받아 데이터의 정확도를 높여 좀 더 정확한 데이터 수집 및 장비의 통제가 가능해 졌다.

1	Time	2. HT-01DV 온도	3. HT-01DV 습도	4. SH-300 CO2	5. SEN017	6. SS2118	7. SS2118	8. DTS T온도	9. DTS A온도	10. DTS T온도	11. DTS A온도
2	2016-09-07 오후 12:37:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	2016-09-07 오후 12:37:30	24.6	62	3000	0	0	0	24	24.28	24	24.16
4	2016-09-07 오후 12:37:30	24.6	62	3000	0	0	0	24	24.28	24	24.16
5	2016-09-07 오후 12:37:31	24.6	62	3000	0	0	0	24	24.28	24	24.16
6	2016-09-07 오후 12:37:31	24.5	61.900002	3000	0	0	0	23.87	24.27	23.54	24.17
7	2016-09-07 오후 12:37:31	24.5	61.900002	3000	0	0	0	23.87	24.27	23.54	24.17
8	2016-09-07 오후 12:37:32	24.5	61.900002	3000	0	0	0	23.87	24.27	23.54	24.17
9	2016-09-07 오후 12:37:32	24.799999	61.799999	3000	0	0	0	23.88	24.28	23.77	24.17
10	2016-09-07 오후 12:37:32	24.799999	61.799999	3000	0	0	0	23.88	24.28	23.77	24.17
11	2016-09-07 오후 12:37:33	24.799999	61.799999	3000	0	0	0	23.88	24.28	23.77	24.17
12	2016-09-07 오후 12:37:33	24.5	61.799999	3000	0	0	0	24.23	24.28	23.75	24.15
13	2016-09-07 오후 12:37:33	24.5	61.799999	3000	0	0	0	24.23	24.28	23.75	24.15
14	2016-09-07 오후 12:37:33	24.5	61.799999	3000	0	0	0	24.23	24.28	23.75	24.15
15	2016-09-07 오후 12:37:34	24.6	61.599998	3000	0	0	0	23.97	24.26	23.72	24.17
16	2016-09-07 오후 12:37:34	24.6	61.599998	3000	0	0	0	23.97	24.26	23.72	24.17
17	2016-09-07 오후 12:37:34	24.6	61.599998	3000	0	0	0	23.97	24.26	23.72	24.17
18	2016-09-07 오후 12:37:35	24.6	61.599998	3000	0	0	0	24.02	24.31	23.44	24.18
19	2016-09-07 오후 12:37:35	24.6	61.599998	3000	0	0	0	24.02	24.31	23.44	24.18
20	2016-09-07 오후 12:37:35	24.6	61.599998	3000	0	0	0	24.02	24.31	23.44	24.18
21	2016-09-07 오후 12:37:36	24.299999	61.5	3000	0	0	0	24.02	24.31	23.66	24.17
22	2016-09-07 오후 12:37:36	24.299999	61.5	3000	0	0	0	24.02	24.31	23.66	24.17
23	2016-09-07 오후 12:37:36	24.299999	61.5	3000	0	0	0	24.02	24.31	23.66	24.17
24	2016-09-07 오후 12:37:36	24.299999	61.5	3000	0	0	0	24.02	24.31	23.66	24.17
25	2016-09-07 오후 12:37:37	24.6	61.299999	3000	0	0	0	24.02	24.28	23.55	24.18
26	2016-09-07 오후 12:37:37	24.6	61.299999	3000	0	0	0	24.02	24.28	23.55	24.18
27	2016-09-07 오후 12:37:37	24.6	61.299999	3000	0	0	0	24.02	24.28	23.55	24.18

그림 3-1-56. 센서 모듈로부터 시간당 온·습도 데이터 취득 사진

(2) 개선된 센서 모듈 고도화 설계:근권부, 지상부 환경 제어

센서를 통해 받은 데이터가 통제시스템으로 접수 되고 설정된 온도·습도로 도달이 되면 장비의 가동을 제어하였다.

통제한 장비는 스크린, 공기교반기, 공기 유동팬이며 설정된 값 이상이 되면 장비가 작동이 되고 다시 설정된 값 이하로 내려가면 장비가 정지가 되도록 시스템을 통제하였다.

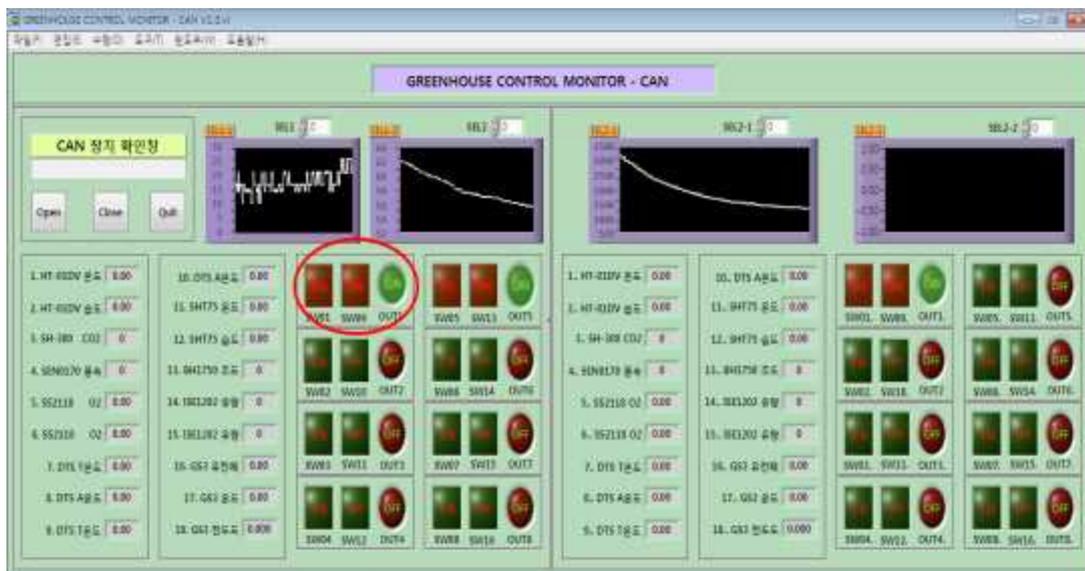


그림 3-1-57. 개선된 센서 모듈 설계 및 환경제어 시스템 사진



그림 3-1-58. 온도센서로부터 받는 데이터에 따른 차광막 작동

(3) 사용자 매뉴얼 제작

매뉴얼을 제작하여 통제시스템에서 관리 할 수 있는 장비들의 대한 설명을 나열 하였다. 내용으로 제어범위, 센서종류, 일중천창 및 이중천창, 측창, 커튼, 난방, CO₂, 훈증기, 저장 데이터 출력 순으로 구성되어 있으며 세부 내용은 아래와 같다.

- 제어범위

- 최소 1구역에서 최대 8구역 제어가 가능해야 한다.
- 각 구역은 일중천창 2개소, 이중천창 2개소, 수평커튼 3개소, 측커튼 1개소, 측창 1개소, CO₂ 1개소, 스프링클러 1개소, 보광등 1개소, 훈증기 1개소, 분무 1개소, 냉난방 1개소, 난방(3-way valve) 1개소, 순환펌프 1개소, 유동팬 1개소, 배기 팬 1개소를 제어할 수 있어야 한다.

- 센서종류

- 실내 온습도 센서를 2개소까지 설치할 수 있어야 한다.
- 외부 기상센서(온도센서, 일사센서 1개, 풍향센서 1개, 감우센서 1개, 풍속 센서 1개)를 설치해야 한다.
- CO₂ 센서를 부착할 수 있어야 한다.

- 일중천창 및 이중천창

- 작동 시간에 의해 천창 제어가 가능해야 하며, 6단계 제어가 가능하고, 주기 별 최대 개폐범위가 0~100%까지 선택 가능해야 한다.
- 설정 방법 중 풍상창 열림 지연을 온도로 표시하여 풍속의 최소, 최대 범위에 따라 자동으로 열림 지연이 이루어져야 하고 임의 변경이 가능해야 한다.
- 일중천창의 경우 좌측천창모터와 우측천창모터가 각각 8개까지 개별모터

제어가 가능해야 한다.

- 좌우 천창이 별도로 개폐범위 조절이 가능해야 한다.
- 감우시 천창 개폐 유.무 선택 및 개폐 범위 선택이 가능해야 한다.
- 구역 별 온도센서 선택, 또는 온도 센서들의 평균 온도로 온실 온도 제어가 가능해야 한다.
- 설정 온도와 온실 온도의 편차, 외부 기상의 풍속 및 온도에 따라 천창의 열림 속도와 닫힘 속도를 자동으로 제어하여 온실 온도 편차를 최소화 할 수 있어야 한다.
- 풍향에 의한 좌우 천창 개폐범위를 자동으로 조절할 수 있어야 한다.
- 외부 온도에 따라 풍상창, 풍하창, P밴드 값이 P밴드 최소, 최대 설정 값 사이에서 자동으로 변경되어 실행되어야 하며 변경된 P밴드 값과 창 의 개도값을 화면으로 볼 수 있어야 한다.
- 온실내부 온도가 환기설정 온도보다 일정하게 높으면 적분 적용 값이 있어 창 의 열림 폭을 조정 할 수 있어야 한다.
- 환기 온도와 실내 온도의 편차에 따라 창문 개폐의 대기 시간이 자동으로 조절 되어야 한다.
- 온도 사역폭이 있어 환기 설정온도를 기준으로 실내온도가 온도 사역폭 만큼 의 범위 내에 있으면 천창개폐가 작동을 멈추고 범위를 벗어나면 작동 하여야 한다.

- 측창

- 측창은 6주기 제어 기능이 있어야 하며, 온도센서에 의해 제어가 되어야 한다.
- 감우시 개폐 유무 및 개폐 범위 선택이 가능해야 한다.

- 커튼

- 커튼은 3개의 스크린을 개별제어 해야 하며 6주기 제어가 가능해야 하고, 보온과 차광의 전환기능이 있어야 한다.
- 온습도에 의한 제어가 가능하고 개폐 범위 조절 기능이 있어야 한다.
- 개폐기의 열림, 닫힘의 속도 조절기능이 있어야 한다.
- 일사와 외부온도에 따라 커튼이 열고 닫힘을 결정할 수 있어야 하고 온실 내부 의 온도, 습도에 따라 개폐 범위가 조절 되어야 한다.
- 차광 커튼은 일사의 단계를 5단계로 나눌 수 있어야 하고 각 단계별로 커튼 열 림, 또는 닫힘 위치를 임의 조절 할 수 있어야 한다.

- 측커튼

- 6주기 제어가 가능해야 하고 온도에 의한 제어 기능이 있어야 한다.
- 개폐 범위 및 닫힘과 열림의 속도 조절이 가능해야 한다.

- 난방

- 난방은 6주기 제어기능이 있어야 한다.
- 3-way 밸브를 온실온도, 외부온도에 따라 비례제어 할 수 있어야 하며, 순환 펌프를 제어할 수 있어야 한다.

- CO₂

- 6주기 제어 기능이 있어야 한다.
 - CO₂ 투입 시간과 비율은 임의 조절할 수 있어야 한다.
 - CO₂ 가 설정값보다 낮을 때 CO₂ 를 투입하는 작동시간과 정지시간을 입력할 수 있어야 하며 절대 최저 투입량을 설정할 수 있어야 한다.
 - CO₂ 농도를 일사량, 풍속, 천창 개폐범위, 습도에 따라 CO₂ 투입농도가 자동으로 변환될 수 있도록 한다.
- 혼증기
- 6주기 제어 기능이 있어야 한다.
 - 혼증기 작동시간, 종료 시간을 각 주기별로 입력할 수 있어야 한다.
- 저장 데이터 출력
- 출력에는 모든 센서 값이 분단위로 기록 되어야 하며 엑셀파일로 전환이 가능하여야 한다.
 - 각 센서 값에 따라 일중천창 좌,우 이중천창 좌,우 측창 좌,우 커튼 상하, 측 커튼의 실제 열리는 값이 숫자로 표시 되어야 한다.
 - 추이도 출력에서는 설정값(내부 온도, 습도, 절대습도, 수분 부족분, 외부온도 CO₂ 일사량, 환기설정온도, 난방설정온도)이 최소, 최대 평균값이 임의기간 설정에 따라 표로 나타내야 하고 그래프로도 나타내야 한다
 - 그래프의 범위 조절을 임의로 할 수 있어야 한다.



그림 3-1-59. 사용자 매뉴얼(제어 및 기상설정) 사진

(4) 진행 및 보완계획

- 온실 내 환경 측정 센서들을 이용하여 센서 모듈 설계하였으며, 실시간으로 모니터링 할 수 있도록 LCD 모듈을 사용하여 각 센서에서 측정된 데이터 값을 모니터링 중이며, 또한 센서의 측정데이터는 RS-232 통신 케이블을 사용하여 보급화를 위한 장치를 개발중임
- 신호 protocol과 전송 주기 설정 기능을 활용하여 입력전원의 크기, 출력방식 등 다양한 센서를 선택적으로 사용 할 수 있으며, 모니터링이 가능한 온실 환경 센서 인터페이스 모듈을 개발하였으며, 데이터 모니터링에 불필요한 작업 수행 및 데이터량을 줄여 최적의 데이터 전송 주기 설정을 위한 범용 온실 환경 측정 시스템을 설계할 수 있도록 충분히 성능평가와 현장적용 실험을 계획중에 있음
- 최초 설계 하였던 제품은 농가에서 사용하는 장비의 기준을 최소로 설계하여 통제 할 수 있는 장비 수가 제한되었지만 최대 10개의 장비를 사용할 수 있도록 포트 수를 증가 시켰으며 2차년도 시작품의 경우 필요 장비 대비 부피가 커졌는데 이러한 문제점을 해결하기 위해 기본 통제 하드에 무선 데이터 장비를 부착하여 부피를 최소화 시킴. 또한, 최초 제어 알고리즘의 문제점을 도출한 후 Low-Pass-Filter 방식을 적용하여 수신한 센서 데이터 값을 처리할 수 있도록 설계 하였음

제 2 절 인터넷과 스마트폰을 이용한 온실환경 원격제어기술 개발

1. 인터넷 기반 온실환경 원격제어기술 개발

가. 인터넷 기반 온실환경 원격제어기술 개발 및 성능 시험

(1) 국내 원격제어 기술 조사

ZigBee의 특징으로는 전송거리는 10 ~ 70 m이며 송신전력은 주로 사용되는 2.4GHz인 경우, 10m~75m,75m/1mw(dBm)이하, 0mA의 전력 소모가 있고, 표준기술 IEEE 802.15.4에 기반한 무선통신 기술로 주파수대역 은 밑에 보는 바와 같다.

- 미국 → 915 MHz ISM Band(40 kbps), CFR47 part 15
- 유럽 → 868 MHz (20 kbps), EN 300 440
- 일본 → 2.4 GHz (250 kbps), ARIB STD-T-66
- 한국 → 현재 ZigBee용 주파수 확보를 위한 연구 중

Bluetooth의 특징으로 주파수 대역은 ISM 대역인 2.45GHz 사용하고 전송속도는 723.1kbps(ver 1.1~1.2), 2.0버전인 경우 2.1Mbps의 전송속도를 가지고 전송거리는 약 10 m 정도이다. 또한 IEEE 802.15.1에 기반한 무선통신 기술이다.

WiFi의 특징은 AP(Access Point)가 설치된 곳에서 전파나 적외선 전송 방식의 근거리 통신망을 칭하는 기술이고 전송거리는 실내 : 35 ~ 70m, 실외 : 120 ~ 250m이고 전송속도는 밑에 보는 바와 같다.

- 802.11b - 2.4Ghz, 11Mbps
- 802.11a - 5Ghz, 54Mbps
- 802.11g - 2.4Ghz, 54Mbps
- 802.11n - 2.4,5Ghz, 300Mbps

PLC(Power line communication) 의 특징은 전력선 통신(PLC) 방식의 특징은 일반 가정용 전원공급 장치인 AC220V 콘센트를 통하여 상호 통신이 가능하다. TCP/IP 통신을 기반으로 하기 때문에 각 요소의 고유한 식별자로 IP 어드레스를 사용. 그러나 공중 인터넷 망과 연결하기 위해선 상호 다른 네트워크 공간을 연결해주는 라우터가 추가로 필요하다. 본 연구과제에서는 단독 온실 내부의 통신을 위하여 단일 요소로 무선 통신이 가능한 Zigbee 또는 Bluetooth 방식을 이용하여 설계 하였으나 연동 또는 복동 온실 대상으로는 온실 구조물의 간섭에 의한 통신을 저하를 방지하기 위하여 전력선 통신을 융합하여 설계하였다. 다음 그림은 PLC 통신 모듈의 내부에서 발생하는 신호 변환 흐름도와 실제 응용 사례이다.

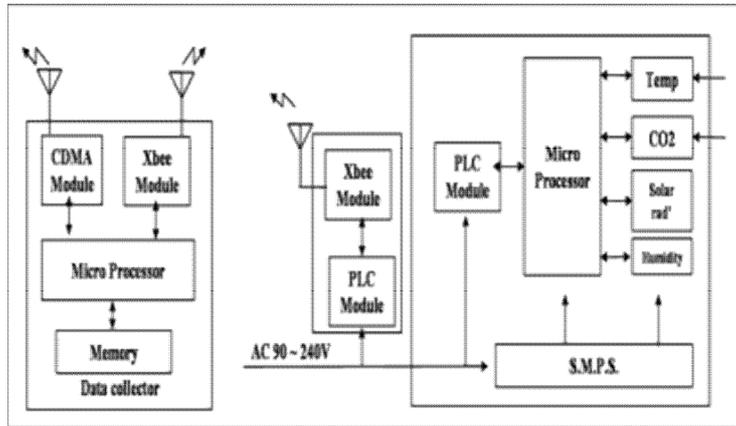


그림 3-2-1. PLC 통신 방식의 신호 변환 체계 (2010, Lee)

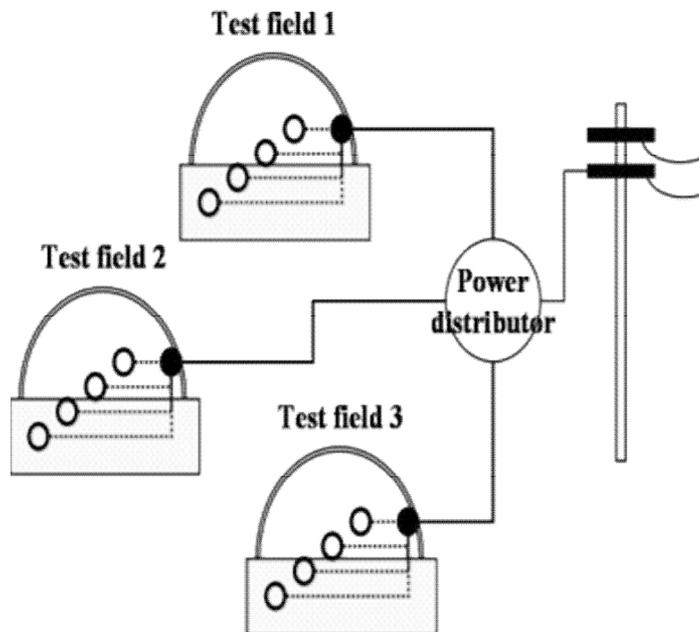


그림 3-2-2. PLC 통신 환경 구성의 일례 (2010, Lee)

(2) IEEE802.15.4(ZigBee)통신을 분석

거리, 높이 변화에 따른 무선통신 효율 분석 실험을 진행하였는데, 2개의 IEEE802.15.4(ZigBee)와 PC, RS232를 연결하여 다음 그림과 같이 구성하여 실험을 수행하였다. 사용된 IEEE802.15.4는 Xbee Pro를 사용하였음. 사용된 Xbee Pro의 특징은 아래의 표와 같다. 실험방법은 높이, 지면부터 0.5 m까지 0.1 m 간격으로 IEEE802.15.4의 높이를 다르게 하여 거리, 10 m부터 60 m 까지 통신율을 측정하였다.



그림 3-2-3. IEEE.802.15.4 규격의 통신을 분석 요약

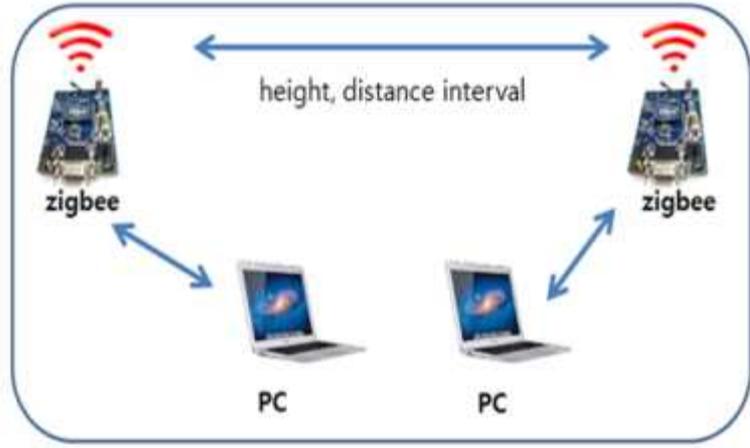


그림 3-2-4. 거리, 높이 변화에 따른 통신 분석 방법 설명

표 3-2-1. Specification of IEEE802.15.4

Item	Specification
Power output	63 mW (+ 18 dBm) North American version 10 mW (+ 10 dBm) International version
Indoor/Urban range	Up to 300 ft (90 m)
Outdoor/RF line-of-sight range	Up to 1 mile (1.6 km) RF LOS
Receiver sensitivity	-100 dBm (all variants)
RF data rate	250 Kbps
Operating frequency	2.4 GHz
Interface data rate	Up to 115.2 Kbps

통신을 측정은 터미널 프로그램인 Termit을 사용하여 측정함. 전송되는 데이터는 아래 그림과 같이 각 거리별(10m 마다 측정), 높이별(10 ~ 50 cm)로 측정되었으며, 데이터는 (0001)abcdefghij부터 (0062)abcdefghij까지 992byte를 10번씩 전송하여 노드별 송신율과 수신율을 비교함으로써 통신을 측정하였다.

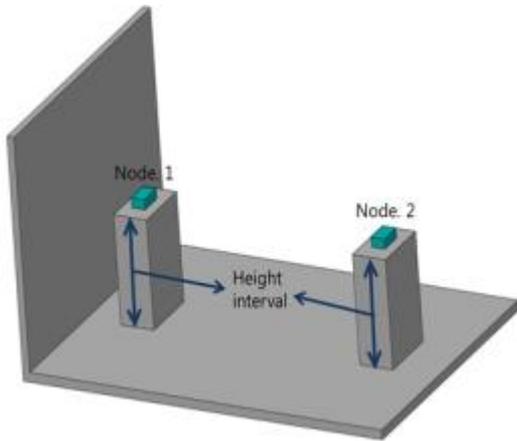


그림 3-2-5 거리, 높이에 따른 IEEE802.15.4 통신을 측정을 위한 실험 전개도(거리 10m ~ 60m) 그림 3-2-6. 실험장비 구성, 높이 조절장치 (왼쪽), 컴퓨터(오른쪽)

거리, 높이에 따른 통신율 측정 결과(거리 10 m ~ 60 m)는 거리, 높이별 IEEE802.15.4의 통신율 결과를 아래 그림과 같이 나타내 보았는데, 주요한 특징을 살펴보면, 거리가 10m 일 때 실험높이와 상관없이 높은 통신율을 보였음. 특히 0.3 m ~ 0.5 m까지의 높이에서 100%의 통신율을 보였다. 거리가 20m 일 때 20cm이하의 낮은 통신율을 보인 반면 0.4 m ~ 0.5 m높이에서 100%의 통신율을 보였다. 거리가 30 m 일 때 역시 20cm 이하의 낮은 통신율을 보였으며, 0.5 m 높이에서 100%의 통신율을 보였다. 거리가 40 m 일 때 0.5 m 높이에서 100%의 통신율, 거리가 50 m 일 때 0.5 m 높이에서 100%의 통신율, 거리가 60 m 일 때 높이와 상관없이 낮은 수준의 통신율을 각각 보였다.

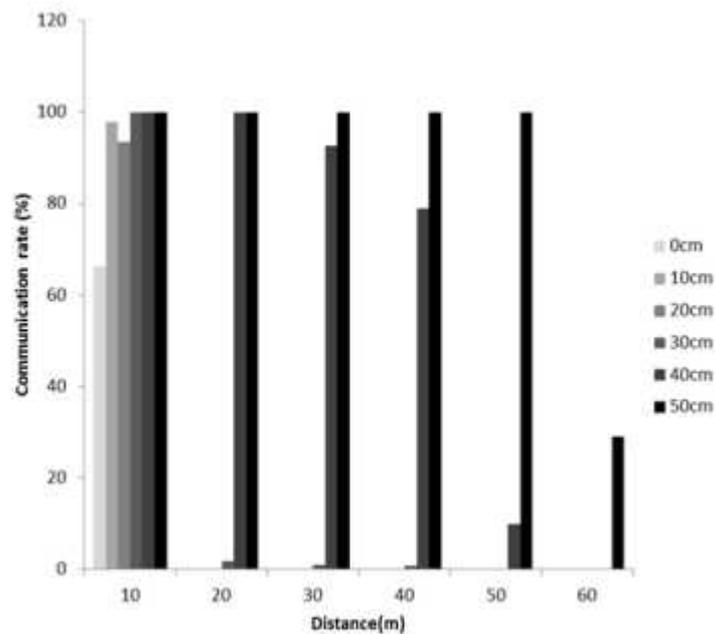


그림 3-2-7. 거리, 높이의 변화에 따른 통신율 측정 결과

거리에 따른 통신율 측정 실험은 3개의 IEEE802.15.4(ZigBee)와 PC, RS232를 연결하여 통신 시스템을 구성하였다. 이용된 IEEE802.15.4와 통신율 측정 프로그램 방식 등은 앞서 기술한 {거리, 높이에 따른 무선통신 효율거리 10 m ~ 60 m} 실험과 동일하게 설정하였으며, 실험방법은 IEEE802.15.4의 높이를 1 m로 고정하여 거리 60m부터 100 m 까지 통신율을 측정하되, 아래 그림과 같이 중간에 ZigBee를 하나 더 설치하여 중계 역할을 할 수 있도록 하였다. 또한 각 측정거리마다 중계노드를 On/Off하여 중계노드가 있을 때와 없을 때의 통신율을 분석하였다.

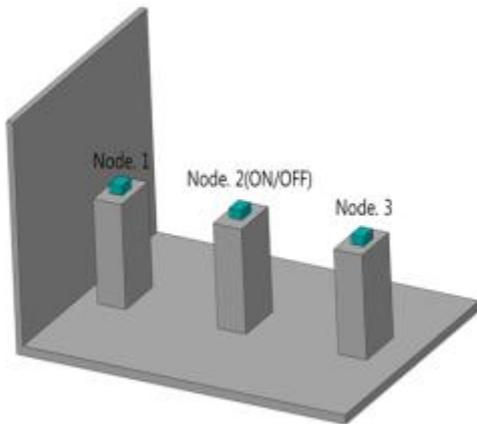


그림 3-2-8. 거리에 따른 IEEE802.15.4 통신율 측정을 위한 실험 전개도 (거리 70 m ~ 100 m, 높이 고정)

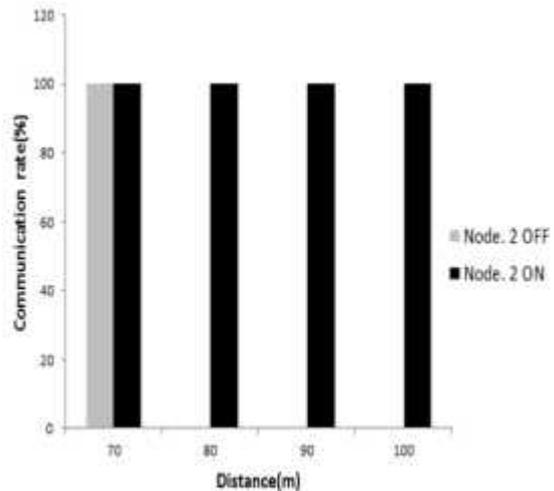


그림 3-2-9. 거리와 중계노드 On/Off에 따른 통신율 측정 결과

거리에 따른 통신율 측정 결과(거리 70 m ~ 100 m, 높이 고정)는 거리, 높이별 IEEE802.15.4의 통신율 결과가 위의 그래프와 같이 나타났으며, 거리가 70 m 일 때 중계노드의 On/Off와 관계없이 100%의 통신율을 보였으며, 거리가 80 m 일 때 중계노드를 Off하면 통신율이 0%가 되었으나 중계노드를 On하면 100%의 통신율을 보임을 알 수 있다. 거리 90 m ~ 100 m 역시 80 m와 같은 측정 결과를 보였다. 이때, 위 실험결과를 통하여 IEEE802.15.4의 통신율은 거리, 높이에 많은 제한이 있다고 판단되었다. 특히 높이가 낮을수록 상당히 낮은 수준의 통신율을 보이고 있다. 노드간의 거리가 멀어지면 중간에 중계노드를 설치하여 데이터를 전달하면 통신율 손실을 막을 수 있으며 최소거리는 40m 내외임이 확인 되었다.

습도 변화에 따른 통신율 측정 실험 방법은 아래 그림과 같이 밀폐형 챔버 내부에 가습기를 설치하여 습도를 올린 후 약 한 시간 동안 습도를 유지하였다. 밀폐형 챔버 외부의 노트북과 IEEE 802.15.4를 설치하여 와이어 샹크를 이용, 통신요소간의 패킷을 분석하였다. 통신율은 100개의 데이터를 보내 정상적으로 수신된 데이터 수의 비율로 구하였다. 실험 습도는 90% ~ 60%까지 10% 단계로 실시하며 습도를 90%까지 올린 후 환기 또는 제습기를 사용하여 습도를 낮추며 습도에 따른 IEEE802.15.4의 통신율을 조사하였다.



그림 3-2-10. 밀폐형 챔버의 실험 구성(제습기, 가습기, IEEE 802.15.4)

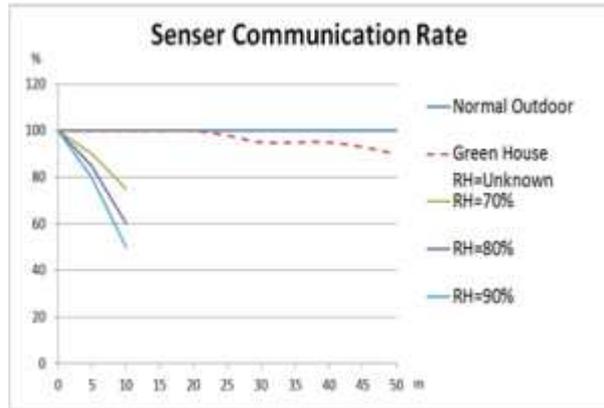


그림 3-2-11. 밀폐형 챔버 안에서 습도와 거리 변화에 따른 통신율 분석

습도 변화에 따른 통신율 측정 결과, 위의 그림은 습도 변화에 따른 통신율 측정 결과를 나타내고 있다. 일반 노지에서서는 50m 이내에 통신율 손실이 일어나지 않지만 온실 환경에서는 습도에 의해 통신율이 손실됨을 규명 할 수 있다. 무선통신 특성상 전파가 습기에 의하여 전파의 산란이 일어나 통신율의 손실이 발생한다고 판단할 수 있다.

(4) ZigBee, Bluetooth, WiFi, PLC 연동 기능 구현

○ 다음 그림은 ZigBee, Bluetooth, WiFi, PLC 연동 과정을 요약 정리한 내용이다.



그림 3-2-12. 각 통신요소 연동 과정 요약

기존의 모듈은 아래 그림과 같이 LCD 모듈, 센서신호 변환 모듈, 센서모듈, 인터넷(TCP)모듈, 무선통신(WiFi) 모듈로 각각 독립적으로 구성되어 있으며, 이에 실용성과 편리성을 위하여 통합된 모듈화가 필요하다고 할 수 있다. 하지만 각 독립적

모듈은 구동전압이 다르기 때문에 모듈 마다 다른 정격 전압을 넣어주는 시스템이 필요하다. 이를 해결하기 위해 전압변환장치를 추가하여 각 모듈들이 정상 작동하도록 설계하였다.



그림 3-2-13. 독립적인 통신요소별 모듈

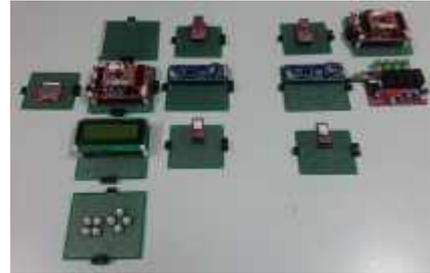


그림 3.2-14. 통합모듈을 만들기 위한 각 요소들

PCB에 AD-DC 컨버터와 내부에 LCD를 적용하여 센서구동에 필요한 3.3V, 5V, 12 V를 안정적으로 받을 수 있게 모듈 구하였다. 그림은 통합모듈을 만들기 위한 각 요소들을 나타내고 있다. (본 요소기술은 1세부과제와 공동으로 수행되었음)

통합모듈의 구성은 아래그림과 같이 통합모듈의 기초 구성을 브레드보드를 이용하여 구현한 것을 보고 있다. 브레드 보드는 220V(AC) 전압을 인가하면 1.5 V ~ 18 V(DC) 로 출력이 가능하다. 이는 정격전압이 각각 다른 통신모듈들을 작동시키기 적합하기에 채용하였다. 아래그림과 같이 브레드보드를 이용하여 PC와의 무선 통신을 통해 각 모듈들의 작동테스트를 하였음. 브레드보드를 이용하여 모듈 작동 테스트를 한 결과 220V(AC)전압을 이용하여 통합모듈을 구성이 가능하였다.

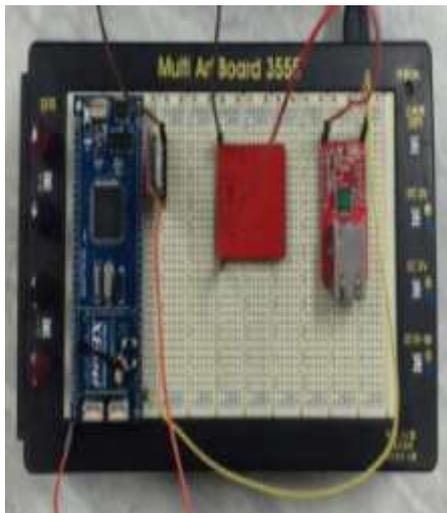


그림 3-2-15. 브레드보드를 이용한 통합 모듈 기본 성능 테스트 방법

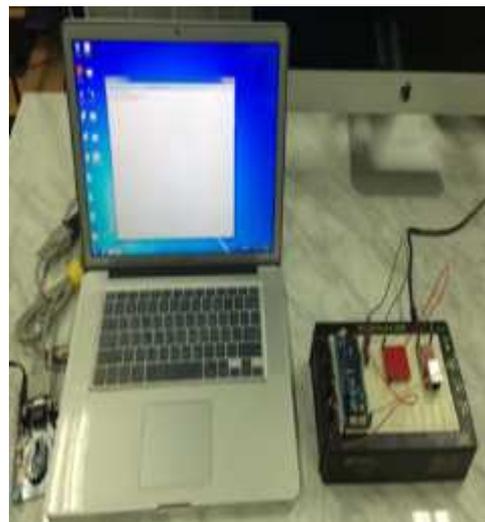


그림 3-2-16. 브레드보드와 노트북을 이용한 통합모듈 테스트

통합모듈의 연동은 아래 왼쪽그림과 같이 각 요소들이 PCB에 부착된 모습을 나타내고 있다. 아래 왼쪽그림에서 왼쪽 상단의 모듈은 SD카드 장착모듈인데 이는 갑자기 통신이 끊기거나 전송이 되지 않을 때 임시적으로 데이터를 저장할 수 있는 기능 등을 가지고 있다. 아래 왼쪽그림의 오른쪽 하단 하늘색 스위치로 구동할 모듈을 선택할 수 있다. (UART, ETHERNET, PLC, Bluetooth, LCD 출력 모드) 아래 오른쪽 그림은 위에 설명한 하늘색 스위치를 설명하며 통신 모듈 간 인터페이스 충돌 방지를 위한 요소별 선택 스위치를 나타내고 있다. 스위치로 구동할 모듈을 선택하는 이유는 각 모듈이 작동하는 전압이 다르기 때문이다.

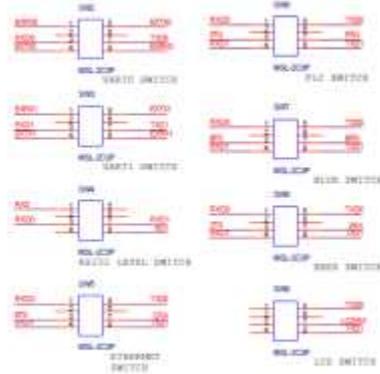


그림 3-2-17. 그림 통신 모듈 간 통신 인터페이스 충돌 방지 및 작동전압 선택을 위한 요소별 선택 스위치 회로



그림 3-2-18. WiFi, ZigBee, 블루투스 통합모듈

다음 그림은 ZigBee, Bluetooth, WiFi, PLC를 연동하기 위해 PCB에 부착된 모습을 나타내고 있다. 모듈에 LCD 출력 기능을 넣어 위에 오른쪽 그림과 같이 하우징을 완성하였으며, 220V(AC)외부 전원을 인가해주면 하우징 내에서 각 모듈에 필요한 전력을 선택적으로 공급할 수 있도록 구성하였다.



그림 3-2-19. Zigbee, Bluetooth, WiFi, PLC 통합모듈



그림 3-2-20. 완성된 하우징 모습

ZigBee, Bluetooth, WiFi, PLC 연동 기능 시험을 위한 시스템 구성도는 아래 그림 같으며, 통합된 모듈에서 신호를 보내면 PC와 연결된 ZigBee를 통해 PC에 출력이 가능하도록 구성하였다. PC에서 사용된 프로그램은 Termite이며, ZigBee의 상호 통신을 위해선 데이터 전송 속도와 브로드캐스트(주소 값)을 일치 시켰다. 하우스 안에 ZigBee와 PC와 연결된 ZigBee의 전송 속도 및 주소가 일치한다면 서로 상호 통신이 가능하게 되며, 서로 다른 PC에 ZigBee모듈을 연결 한 후 ZigBee의 전송속도와 주소값을 일치 시키면 상호 통신을 수행 할 수 있다. 아래그림은 각 통신요소별 연동 기능 시험을 간단히 도식화한 그림이다.



그림 3-2-21. 각 통신요소별 도식화



그림 3-2-22. 통합모듈의 성능시험을 위한 장비 구성

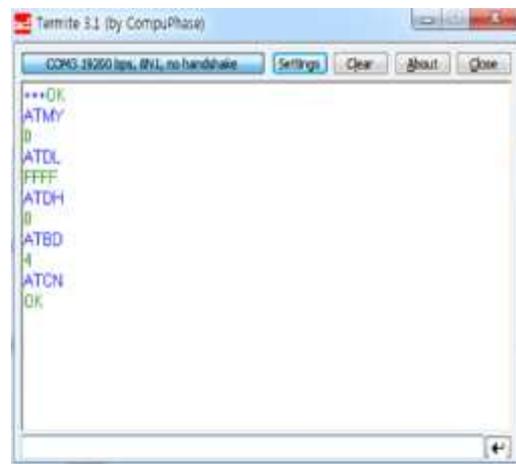


그림 3-2-23. Termite 작업환경

위의 언급된 원리를 이용하여 아래 그림과 같이 왼쪽 PC에서 전송할 문구를 적어 송신하면 오른쪽 PC에서 문구가 수신되어 출력이 가능함. 이는 PC뿐만 아니라 ZigBee의 전송속도, 주소값 등이 일치한다면 전송 거리 내에서는 ZigBee에서 송/수신 되는 노드를 모두 확인할 수 있다. 이런 과정을 통해 원격통신을 이용하여 온실 내 온도, 습도를 조절해주는 가습기, 환풍기뿐만 아니라 전기적 신호로 구동되는 솔레노이드 밸브를 구동 할 수 있는 것이다.

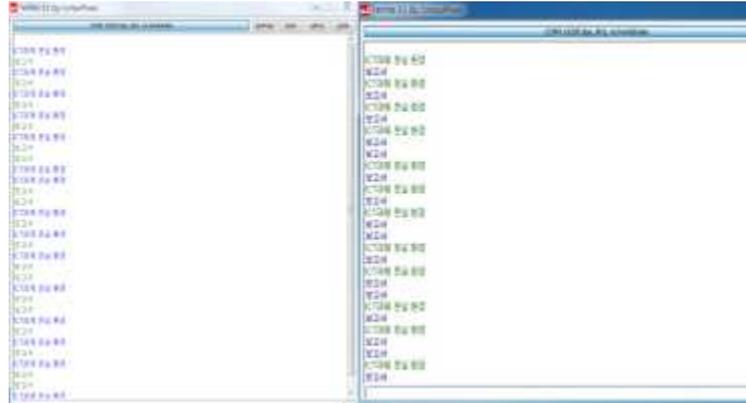


그림 3-2-25. PC간 ZigBee 무선 통신 실험

Bluetooth의 기능 시험은 PCB에서 Bluetooth 모듈 스위치를 키면 Bluetooth를 통해서 LCD에 데이터가 출력이 발생한다. 사용한 Bluetooth는 아래 오른쪽그림과 같으며, Bluetooth를 통해 들어오는 LCD 데이터는 아래 왼쪽그림과 같다.



그림 3-2-26. Bluetooth 모듈



그림 3-2-27. Bluetooth를 이용한 데이터 출력

Wifi의 기능 시험은 Wifi는 모듈에 PCB에 부착되는 장치가 아니라 PC와 연결되어 데이터를 수신함으로써 PC의 전해주는 수행을 한다. Ethernet 모듈에서 LAN을 연결하면 WiFi를 통하여 데이터를 송/수신 할 수 있음. 수신할 경우 PC를 통하여 시각화로 출력이 가능하다. 아래그림은 WiFi 통신을 이용하여 실험한 결과창을 나타내고 있으며, WiFi 무선 통신을 통하여 수신된 데이터가 LCD창에 데이터가 나타나는 것을 확인 할 수 있다.



그림 3-2-28. WiFi 모듈



그림 3-2-29. WiFi를 이용한 데이터 출력

여러 통신 요소와 PC 및 스마트폰 통신 무결성 검사를 진행하였는데 그전에 앞서 구성된 기본 통신 요소(ZigBee, Bluetooth, WiFi, PLC)들은 독자적으로 운영이 가능하기도 하나 사용자의 요구사항 또는 현장의 상황에 대처 가능하기 위하여 2가지 이상의 요소가 복합적으로 사용가능하다. 실외 통합 성능 평가에 앞서 실내에서 각종 통신 요소들을 복합적으로 구성하여 PC 및 스마트폰과 통신을 수행한 후 오류가 없음을 확인하였다.

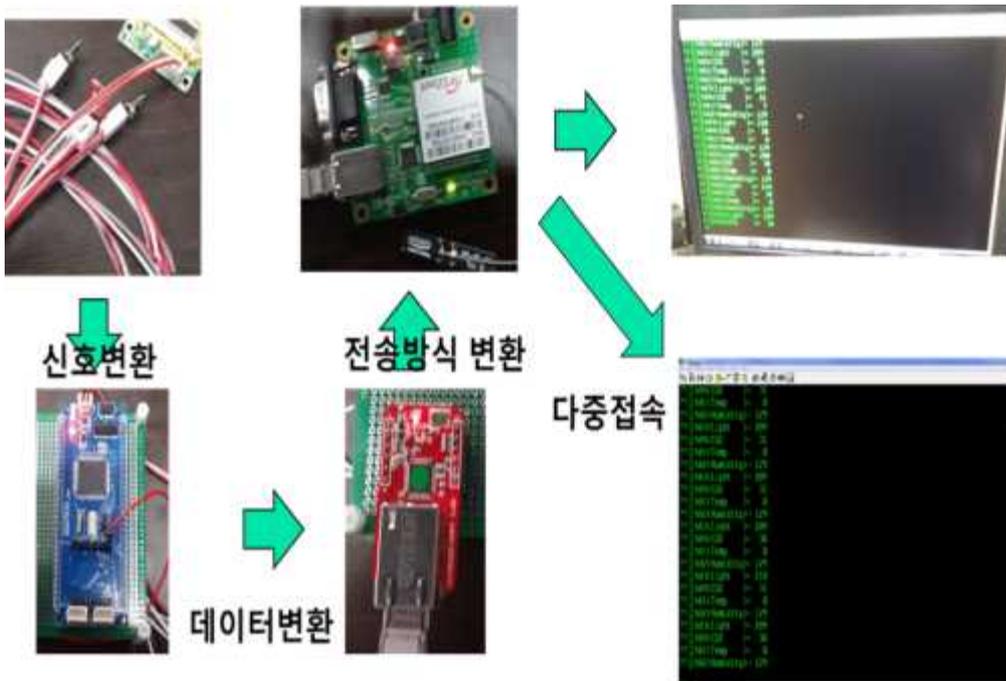


그림 3-2-30. 각종 통신 요소와 PC 간의 통신 무결성 테스트 예시 화면

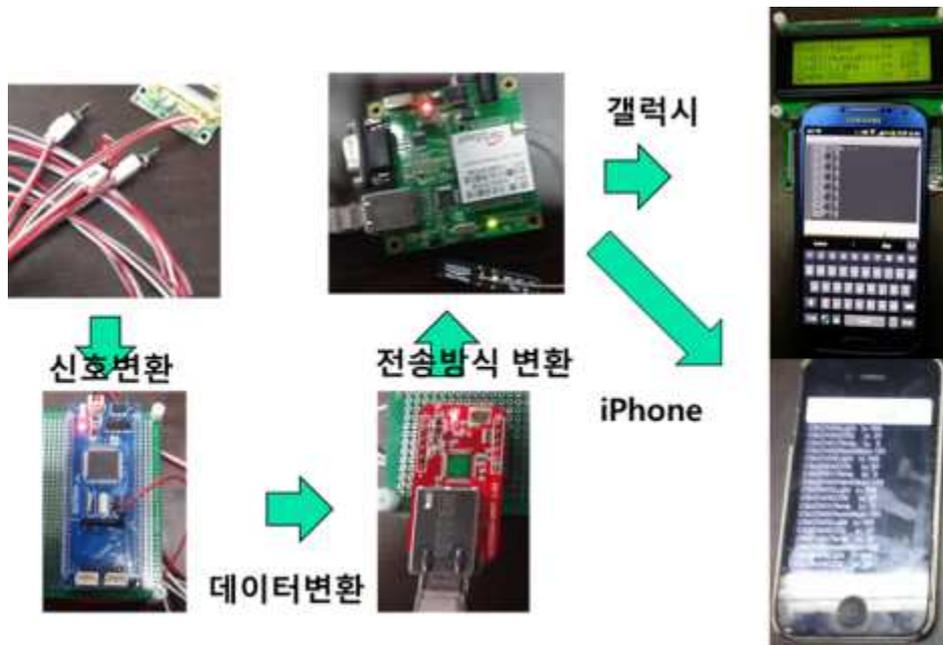


그림 3-2-31. 각종 통신 요소와 스마트폰 간의 통신 무결성 테스트 예시 화면

재배 작물 계측 및 제어 통신 시스템 연동 시제품 제작 중 다음 그림은 본 과제에서 구성한 계측 및 제어 통신 시스템을 연동한 시제품 제작 과정을 요약하여 도시한 것이다.

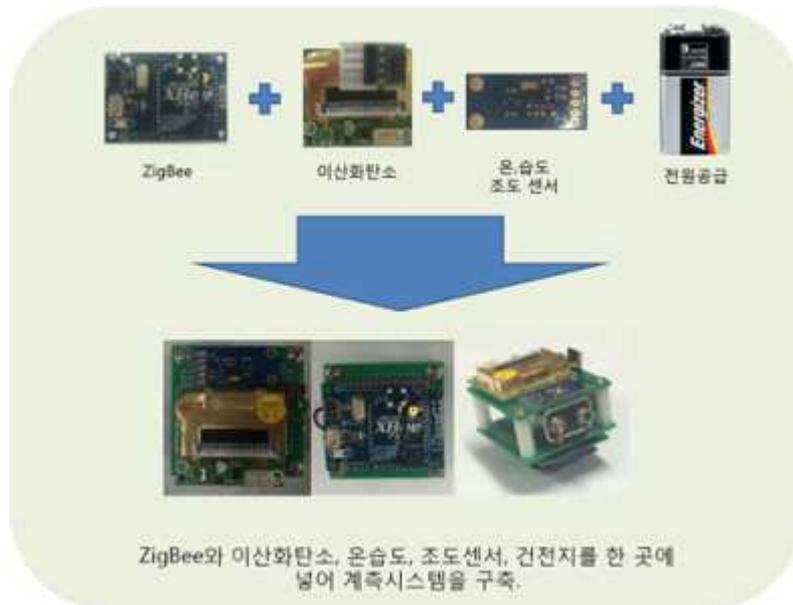


그림 3-2-32. 실외 현장 계측 시스템 구성 요소

통합 계측 시스템의 구성은 온실에서 계측이 필요한 요소들로 주로 하여 구성하였고 특히 온도, 습도, 이산화탄소, 조도를 계측 하는 시스템으로 구성하였다. 사용한 센서는 아래 그림과 같으며, 왼쪽에서부터 조도센서, 이산화탄소 센서, 온 / 습도 센서이다.



그림 3-2-33. 실험에 사용된 센서(좌)

그림 3-2-34. 실험에 사용된 ZigBee 모듈(우)

위의 그림은 현장 실험에 사용된 ZigBee모듈이며, 각 센서와 연동하여 값을 읽은 후 근거리에서 떨어진 다른 ZigBee모듈에 데이터 값을 전송하는 역할을 수행한다. 계측의 편리함과 실용성을 위하여 센서와 ZigBee를 통합하여 모듈화 하였으며, 다음 그림은 센서와 Zigbee를 연동하여 만든 계측시스템의 초기 모형을 보이고 있다. 온/습도센서, 이산화탄소센서, 조도센서, ZigBee, 9V 건전지로 구성되어 있으며 표면에 구멍을 뚫어 외부 공기가 유입되게 구성하였다.

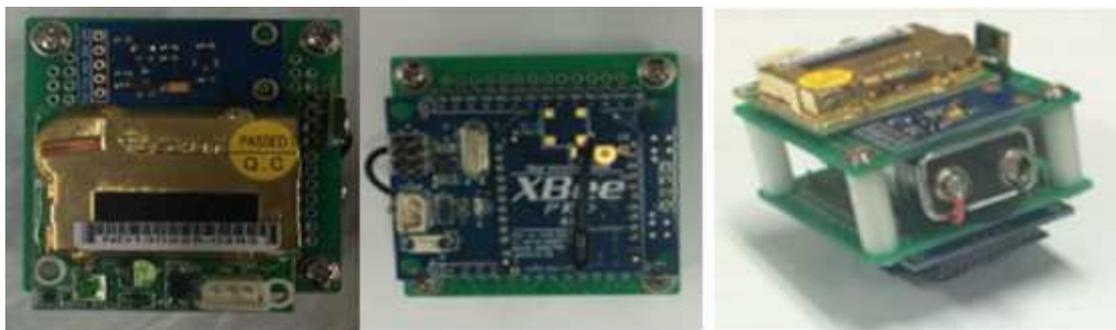


그림 3-2-35. 온실환경 원격제어 현장 성능을 위한 제어 시스템

다음 도식은 원격제어 현장 성능 시험 과정을 요약하여 도식화 한 것이다.



그림 3-2-36. 온실내 계측/제어 시스템 시험

현장 성능 시험은 충북 청주시에 위치한 베리원 딸기농장에서 수행하였다.

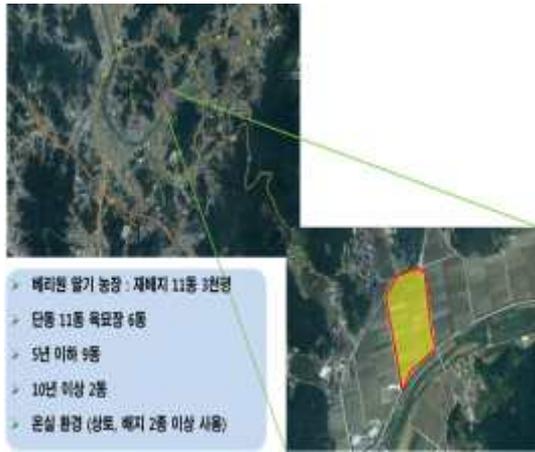


그림 3-2-37. 현장 성능 시험 위치 및 주요 제원



그림 3-2-38. 현장 성능 평가 시험 장소 수행 내부 전경

딸기 온실 내부에 완성된 계측 시스템을 설치 한 후 현장 성능 시험을 실시하기 위하여 ZigBee를 이용하 센서노드를 설치하였다. 노드의 손실을 방지하기 위해 각 ZigBee사이에 중계용 ZigBee를 설치하여 통신을 무결성을 높이도록 하였다.



그림 3-2-39. 딸기재배지에 설치한 무선 통신 계측시스템



그림 3-2-40. 설치된 중계용 ZigBee

온실 내 입구에 ZigBee, Bluetooth, WiFi, PLC 기능이 연동된 통합 모듈을 설치하여 실시간 온도, 습도, 조도, 이산화탄소의 값을 수신함. ZigBee와 연결하여 실시간 계측된 값을 수신하여 모니터링 함과 동시에 데이터 베이스에 저장을 수행하였다.



그림 3-2-41. 온실 입구에 설치된 통합모듈 시스템



그림 3-2-42. 온실 입구에 설치된 통합모듈

현장 성능 시험 결과로 아래 그림과 같이 온실 입구쪽에 설치한 통합모듈에 데이터가 정상적으로 들어오는 것을 확인 할 수 있다. PC를 통한 현장 성능 시험 결과도 아래 그림과 같이 통합모듈과 같은 데이터가 정상적으로 들어오고 있었음. 3개의 ZigBee를 통하여 받은 측정값을 실시간 모니터링 한 결과를 보이고 있다.

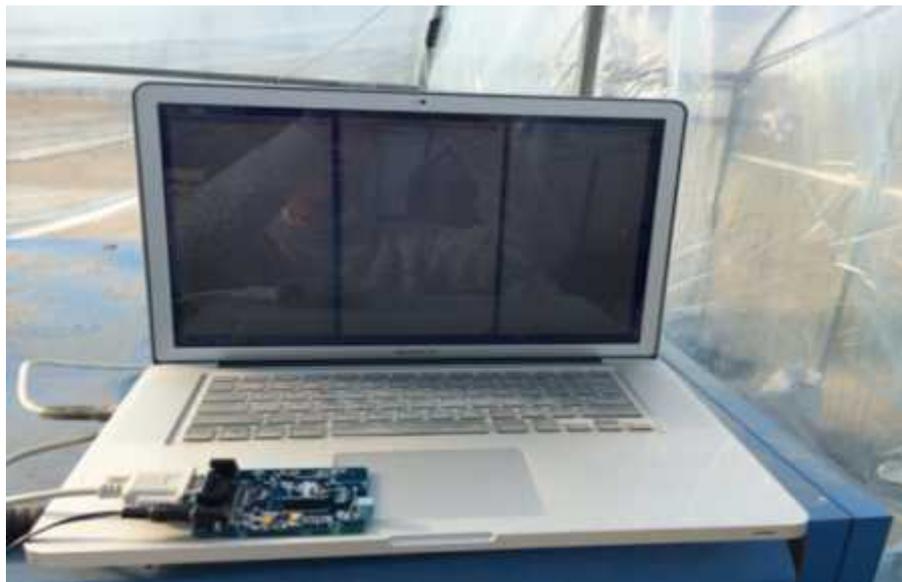


그림 3-2-43. PC를 통한 계측 시스템연동 성능 확인.

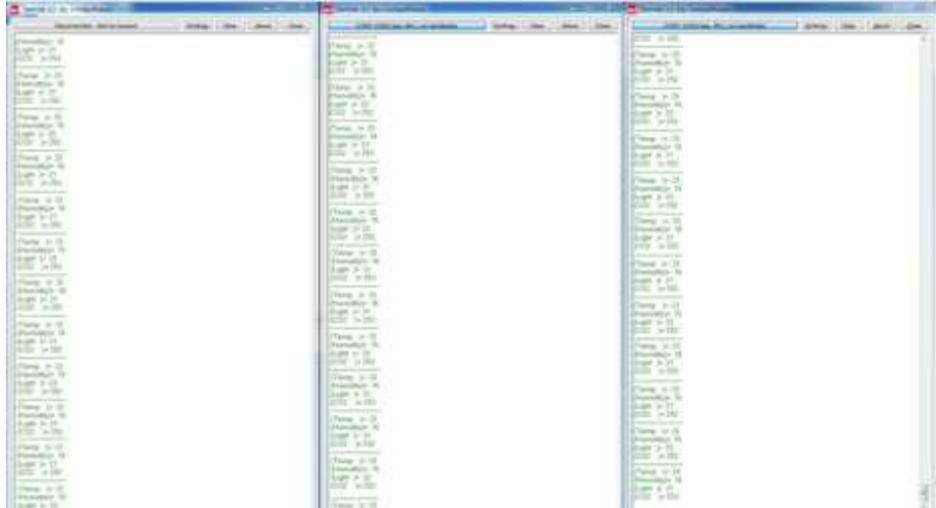


그림 3-2-44. 온실 내부에 설치된 3개의 센서 노드에서 PC로 전송된 데이터

제어 시스템의 제어 성능을 시험하기 위해 ZigBee를 통하여 솔레노이드 밸브 제어를 수행하였다. PC의 연결된 ZigBee를 통하여 일정 신호를 송신하면 수신하는 ZigBee에서 값을 읽어 솔레노이드 on/off를 결정하는 방식으로 수행하였다.



그림 3-2-45. 양액 공급조절용 솔레노이드 밸브

솔레노이드 밸브 구동엔 성공하였으나 ZigBee방식은 주소값과 전송속도만 동일하다면 측정 범위 안의 모든 신호에 대해 반응하므로 오작동 생길 가능성이 있음을 고려해야 한다. 이는 추후 보완 실험을 통하여 무선 통신 방식을 바꾸거나 특정 패킷만 인식하는 기능을 추가함으로써 보완해야 할 것이라 판단되었다.



그림 3-2-46. 릴레이를 이용한 솔레노이드 밸브의 제어시스템

나. 인터넷 기반 온실환경 원격제어기술 현장적용

(1) Web 2.0 기반 (TCP/IP, WIFI) 온실 환경 원격 제어 시스템 현장 성능 검증

Web 2.0 기반 현장 실험 설계는 단순한 웹사이트의 집합을 Web 1.0 이라하며, Web App을 제공하는 하나의 완전한 플랫폼을 Web 2.0 이라 하며, Web 1.0은 정보를 일방적 제공하지만 Web 2.0은 집단 지성의 기능을 제공한다. 여기서 집단 지성이라 함은 인터넷을 통한 정보 게시 과정에서 사용자의 적극적인 참여를 통하여 정보를 교환하는 것을 일컫는다.



그림 3-2-58. Web 2.0의 주요 개념

유선 및 근거리 무선 통신 센서, 제어 인터페이스모듈(1세부)와 인터넷 및 스마트폰 기반 온실환경 원격제어 기술(1협동)간의 호환성 실험을 위한 시작기를 설계 하였다.



그림 3-2-59. 인터넷 기반 온실 환경 원격 제어 실험 설계



그림 3-2-60. 스마트폰 기반 온실 환경 원격 제어 실험 설계

통신모듈 별 원격 제어 시스템 구성도를 살펴보면 다음과 같으며, 다양한 온실의 환경에 적응할 수 있는 구조로 설계하였다.



그림 3-2-61. 통신 모듈의 인터페이스 종류에 따른 원격 제어 개념도

작업자와 온실 환경간의 거리에 따라 50m 이하인 경우 무선통신(Wifi) 통신 기술을 이용하고, 10m 이하인 경우 Zigbee, Bluetooth 통신 기술을 이용할 수 있도록 설계하였다. 또한 50m-100m의 거리에 떨어져 있는 농가 인근 통제실에서

PLC 통신을 이용할 수 있다.

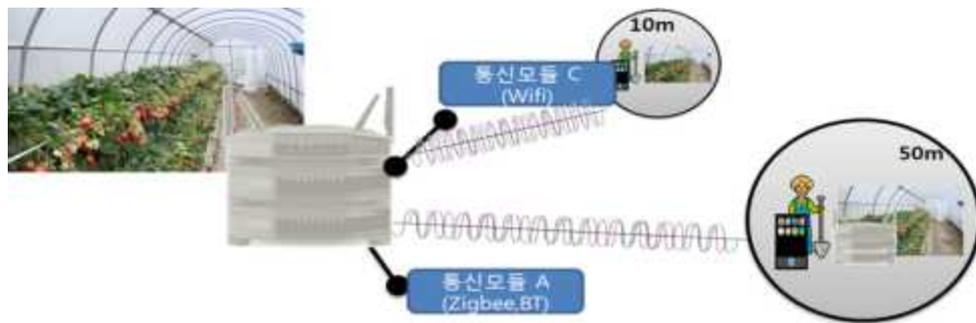


그림 3-2-62. 사용자와 온실간의 거리(10-50m)인 상황에서 원격 제어 개념도

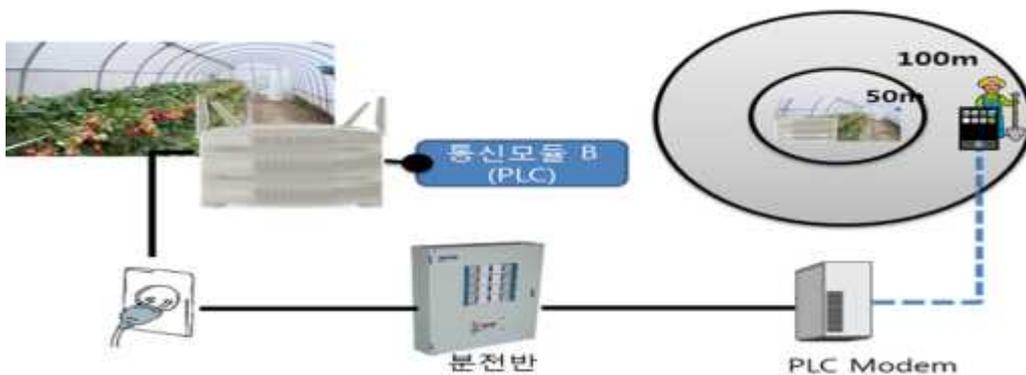


그림 3-2-63. 사용자와 온실간의 거리(50-100m)인 상황에서 원격 제어 개념도

장거리 원격지의 경우 대표적인 스마트폰 수단인 CDMA 및 WiFi통신을 이용할 수 있다.

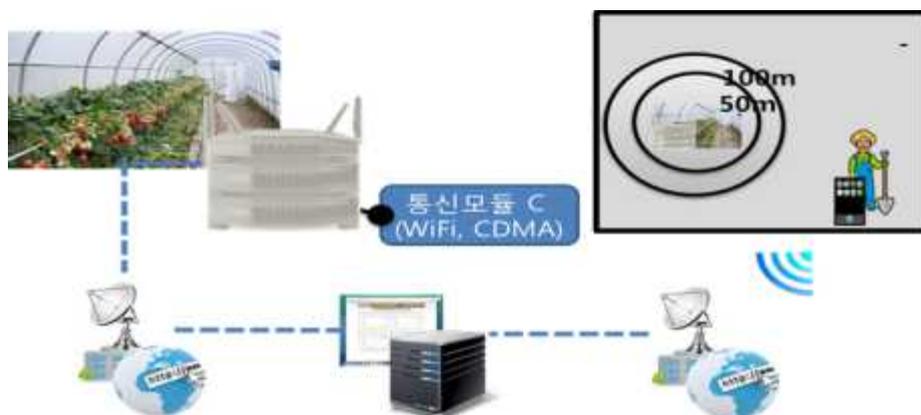


그림 3-2-64. 장거리 원격지에서의 원격 제어 개념도

TCP/IP, WIFI 기반 온실 환경 원격 제어 시스템 H/W 시작기 제작은 온실 환경에서 별도의 시스템 구성 없이 인터넷 (TCP/IP, WIFI)등을 통한 접속을 위해선 온실 환경 원격 제어시스템에서 웹 서버의 기능을 구현하는 하드웨어 장치가 필요하

다. 다음 그림과 같이 ATMEGA128 MCU와 W520 칩(대표적인 TCP/IP 통신 호환 모듈)을 이용하여 최소형 TCP/IP 시작기 H/W를 설계하였다.

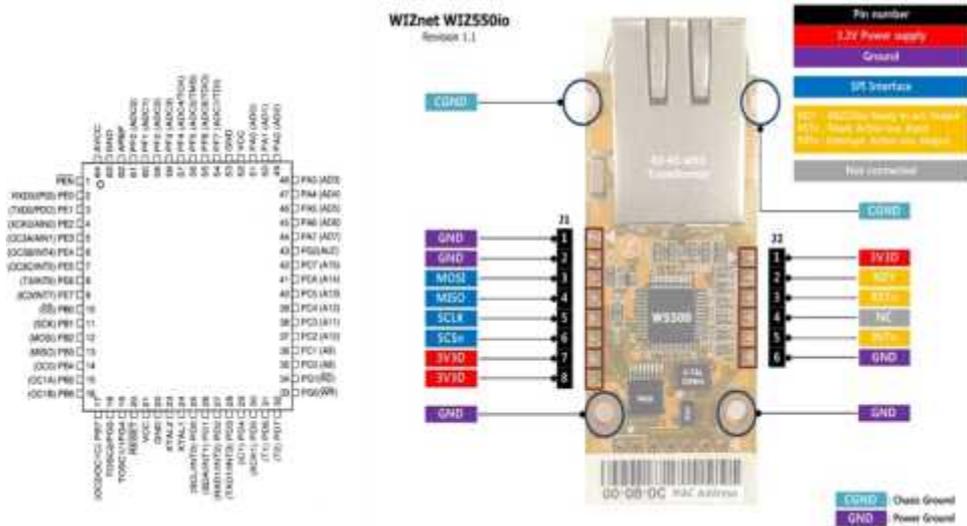


그림 3-2-65. ATMEGA128 칩과 W520 모듈의 주요 결선도

W520 모듈은 SPI 통신을 수행하는 모듈로서 두가지 방식(GPIO, SPI 전용 포트)을 이용하여 통신이 가능하며 본 연구에서는 SPI 전용 포트를 이용한 방식을 채택하여 다음과 같은 시작기 결선도를 작성하였다.

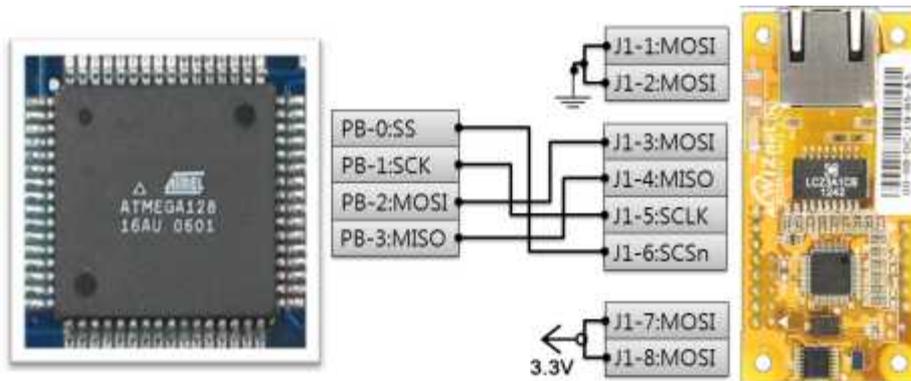


그림 3-2-66. SPI 통신 수행을 위한 결선도 (ATMEGA128과 W520)

원격 제어시스템의 MCU와 SPI 통신을 수행하면서 외부의 통신 모듈인 TCP/IP, WIFI 통신을 수행하기 위한 최소형 TCP/IP 서버 H/W 제작을 위하여 다음 그림과 같이 브레드 보드를 이용하여 제작하였다.

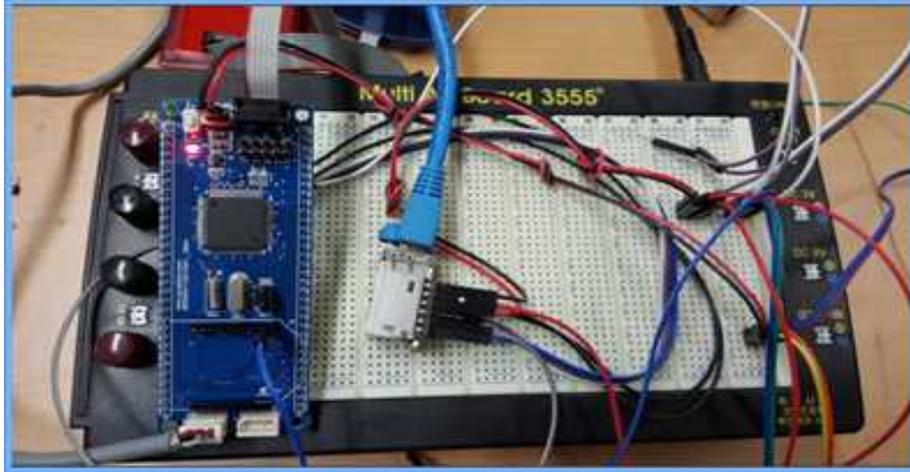


그림 3-2-67. 브레드 보드를 이용한 마이크로 TCP/IP 서버 제작 과정

마이크로 웹서버의 펌웨어는 크게 두가지로 구성되어 있으며 첫 번째는 TCP/IP 통신의 헤더를 분석하여 접속(Connect)와 접속 종료(Close)를 정의하는 부분이며, 두 번째는 인터넷을 통한 통신 내용을 분석하여 알맞은 응답(Response)를 수행하는 부분이다. 본 연구에서 제작한 마이크로 TCP/IP 서버는 자체 내장된 ADC 변환기를 통하여 계측한 총 8포트의 센서 계측 값을 사용자에게 전달 할 수 있으며 사용자에게 의하여 총 8개의 TTL 포트를 제어할 수 있도록 구성되었다.

다음 그림과 같이 시작기 형태로 제작한 마이크로 TCP/IP 서버를 실내에서 실험하여 인터넷이 연결되어 있는 형태의 모든 클라이언트에서 정상 작동 여부를 다음과 그림과 같이 테스트하였다.



그림 3-2-68. 마이크로 웹서버 시작기

BSIT Tiny IoT	
Param 1	
Param 2	
Param 3	
Param 4	
Param 5	
Sensor 1	104
Sensor 2	99
Sensor 3	99
Sensor 4	101
Sensor 5	234
Sensor 6	254
Sensor 7	246
Sensor 8	234
Control 1	0
Control 2	0
Control 3	1
Control 4	1
Control 5	0
Control 6	0
Control 7	1
Control 8	0

그림 3-2-69. 인터넷 통신 실험 결과

TCP/IP, WIFI 기반 온실 환경 원격 제어 시스템 S/W 개발은 RAD 기법을 이용하여 온실 환경 계측 및 제어를 위한 S/W를 다음과 같이 개발하였다. 개발언어는 Visual Studio 2010 (C++)을 사용했고 주요기능은 온실환경 구성, 계측, 제어 요소를 시각화하기 위하여 RAD 기법 적용하였다. 이때, 장비 및 서버와 연동을 통한 온실 환경 계측 및 제어 설정의 무결성을 확보하였다.

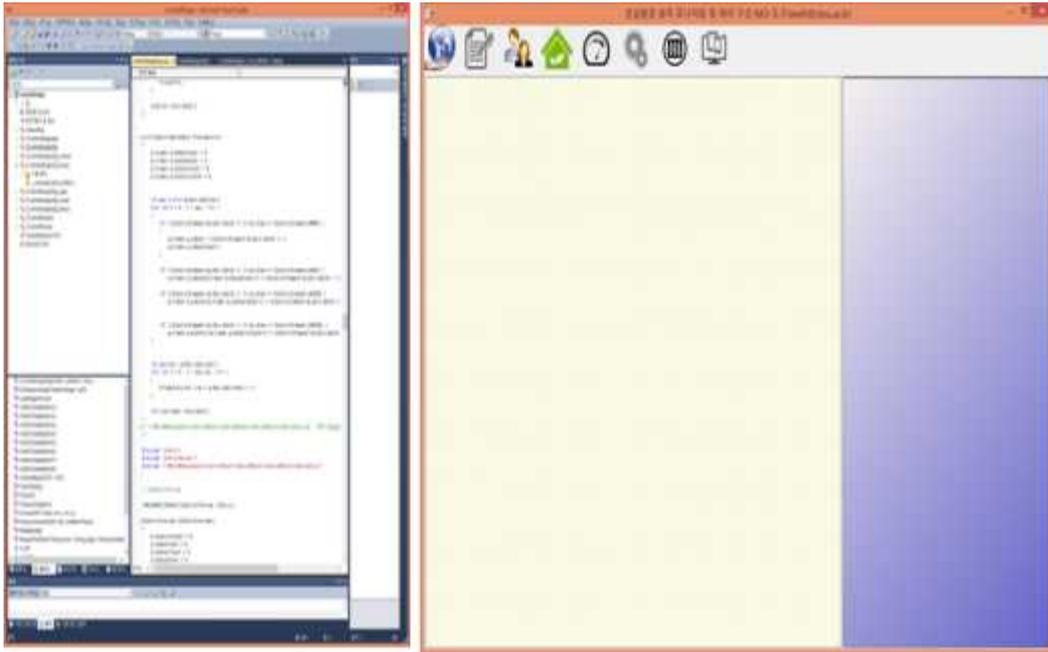


그림 3-2-70. RAD 기법을 이용한 온실 환경 계측 및 제어 S/W

- 주요 메뉴의 기능은 다음 순서와 같다.
 - 업데이트 (온실 내 제어기, 온실 외 서버)
 - 설정 저장 (업체의 모델 관리)
 - 온실 소유주 추가 및 설정 (온실 정보학적 위치)
 - 개별 온실 추가 및 설정 (여러 온실 연동)
 - 온실 계측 센서 추가 및 설정
 - 자동 제어 방식 추가 및 설정
 - 온실 제어 요소 추가 및 설정
 - 인터넷 및 스마트폰 사용자 인터페이스 미리보기 기능



그림 3-2-71.온실 환경 계측 및 제어 S/W 의 주요 메뉴

- 주요 기능을 다음과 같이 살펴볼 수 있다.
 - 다이어그램 형태로 각 요소 연결
 - 소유주 - 온실 - 온실계측 - 제어 로직 - 제어 요소 시각적 연결
 - 사용자 화면 미리 보기 및 서버 실시간 연동

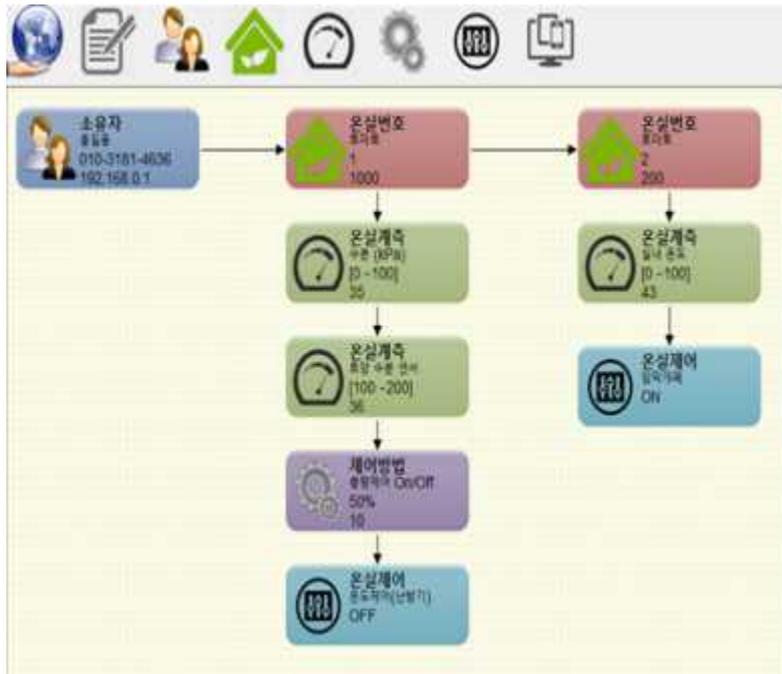


그림 3-2-72. 온실 환경 계측 및 제어 S/W 의 주요 화면

온실 환경의 주요 요소를 사용자, 온실, 계측 장비, 제어 방법, 제어 장비로 구분하여 다음 그림과 같이 각 요소 마다 상응하는 설정을 수행할 수 있도록 개발하였다.



그림 3-2-73. 온실 환경 계측 및 제어 S/W 주요 요소의 사용자 설정 화면

다음 그림과 같이 RAD 기법을 이용하여 온실 환경의 구성 요소를 시각적으로 구성하고 그에 상응하는 사용자 화면 (인터넷 기반, 스마트폰 기반)을 자동으로 구성하는 기능을 추가하였다.

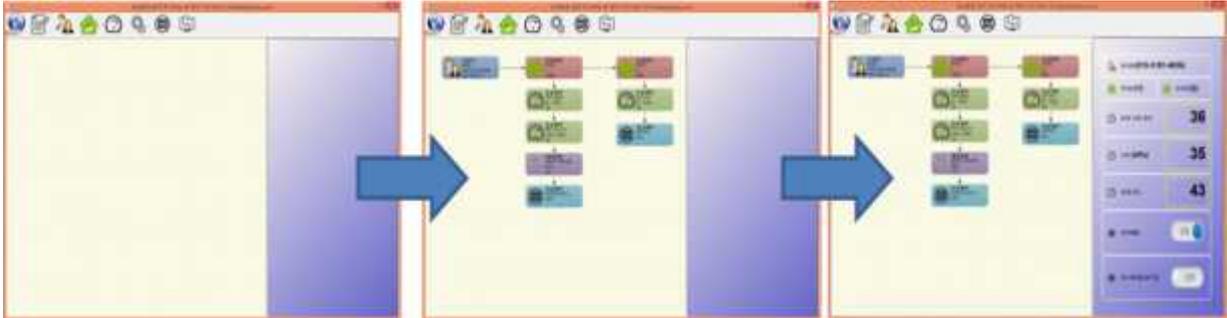


그림 3-2-74. RAD 기법을 활용한 최종 사용자 화면 자동 구성 기능

다음 그림은 개발된 소프트웨어를 이용하여 자동으로 구성된 인터넷 원격 계측 및 제어 화면의 예시이다.



그림 3-2-75. 인터넷 서비스를 이용한 원격 계측 및 제어 화면 테스트

다음 그림은 개발된 소프트웨어를 이용하여 자동으로 구성된 스마트폰 원격 계측 및 제어 화면의 예시이다.



그림 3-2-76. 스마트폰을 이용한 원격 계측 및 제어 화면 테스트

(2) 인터넷기반 온실 환경 원격 제어 시스템 무결성 검증

현장 실험 수행을 위한 장소로 베리팜 딸기 농장(충북 청원군 가덕면 상대리 552)을 선정하였으며 주요 제원은 다음과 같다.

- 재배지 11동 3천평, 단동 11동 육묘장 6동
- 5년 이하 9동, 10년 이상 2동, 온실 환경(상토, 배지 2종 이상 사용)



그림 3-2-77. 현장 실험 장소의 주요 모습 및 주요 환경 계측 및 제어시스템

1차 실험 현장은 현장의 육묘동과 재배동중에서 육묘동을 선택하였으며 육묘동에 대한 원격 계측 및 제어를 위하여 다음 그림의 내용을 분석하였다.

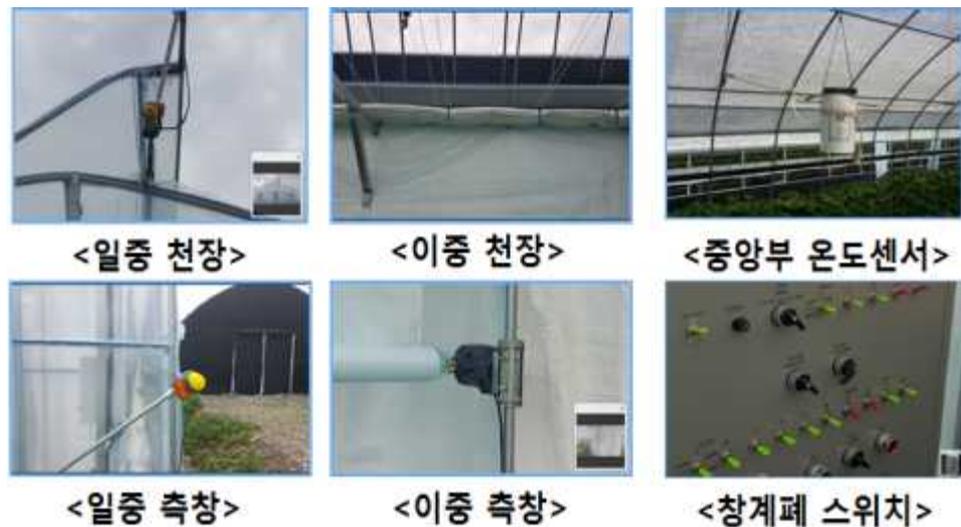


그림 3-2-78. 현장 실험 장소에 설치되어 있는 주요 요소 현황

총 13식의 창 개폐 모터는 인가하는 전압에 따라 정회전/역회전 수행한다. 정상 시 현장 관리자에 의한 3상 스위치 (정지/열림/단힘)의 수동 조작으로 온실 제어 요소를 제어한다. 온도, 강우 센서 값을 설정하여 기준 수치를 벗어날 경우 자동 조작(선택)이 가능하다. (현장 인터뷰) 자동 제어보다는 관리 노하우를 바탕으로 수동 제어를 선호하나 현장에 상근해야 하는 현실적인 어려움이 따른다. 본 과제에서 제작한 온실 환경 원격 계측 및 제어 시스템 시작기와 통합하기 위하여 기존에 설치되어 있는 창개폐 통합 제어기의 내부를 분석하였다.



<통합제어기 내부> <제어스위치 내부결선> <제어스위치 외부형태>

그림 3-2-79. 원격 제어를 위한 통합 제어기 내부의 스위치 파악

창 개폐의 경우 다음 그림과 같이 3상 3선 방식의 스위치를 사용하고 있으므로 릴레이 1식을 이용한 단순한 On/Off 방식의 적용이 불가하여, 릴레이를 2식 이용한 형태로 구성하였다.

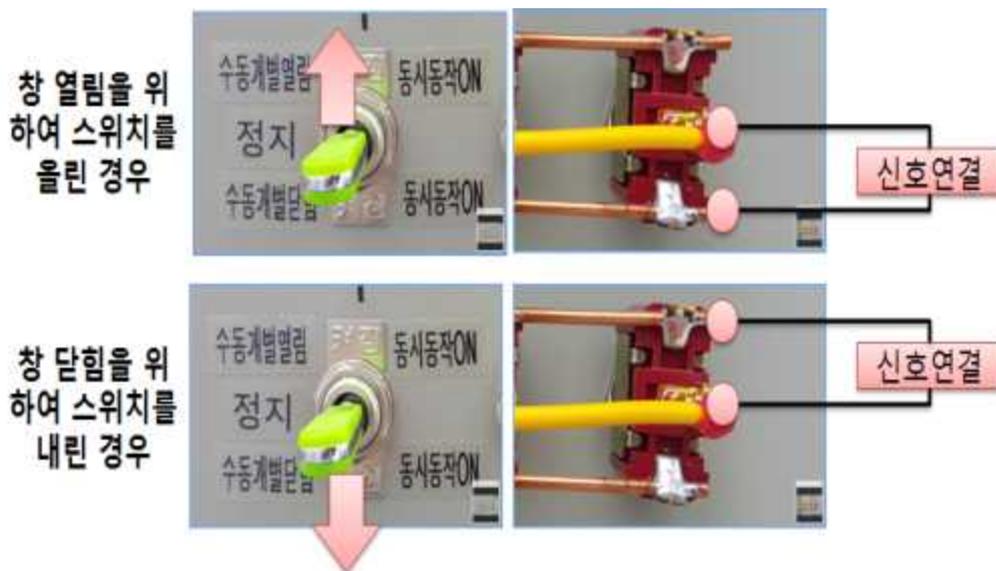


그림 3-2-80. 창 열림/단힘 기능을 구현하는 3상 3선 스위치의 결선 형태

기존에 설치되어 있는 3상 수동 제어 스위치를 원격으로 제어하기 위하여 다음 그림과 같이 2식의 릴레이를 이용한 방법을 설계하였다. 개별 스위치의 단락 (Close/Open, 열림/닫힘)을 제어하기 위하여 2식의 릴레이를 사용한다. 마이컴과 연결하기 위하여 릴레이는 전자회로에서 구동 가능한 5 V 전압으로 동작 가능하도록 적절한 릴레이를 선정하였다.

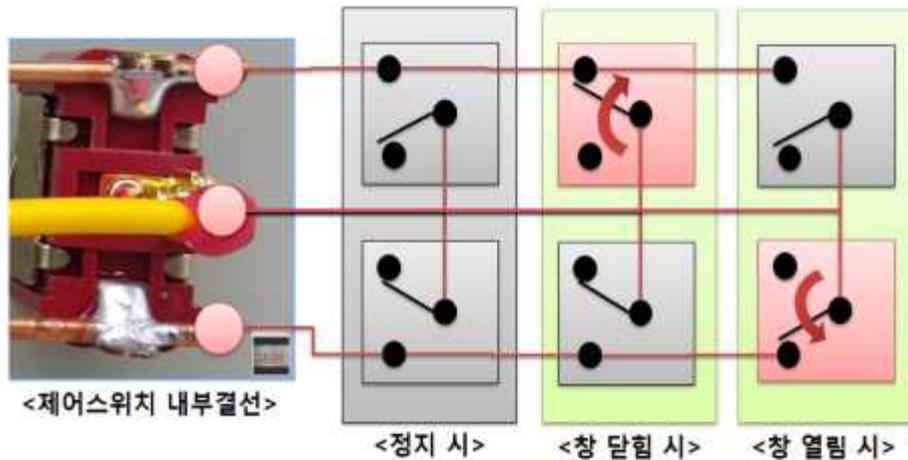


그림 3-2-81. 3상 스위치의 전자제어를 위한 2식의 릴레이 활용 방법

다음 그림과 같이 기구축된 수동제어 스위치를 제어하기 위하여 마이크로컨트롤러 및 통신 시스템을 이용한 원격 제어시스템을 설계하였다. 본 연구과제를 통해 설계한 통합 시스템의 장점을 살펴보면 다음과 같다.

- CDMA 통신 장비와 마이크로컨트롤러의 유선통신 연결
- 인터넷 정보 통신 서비스를 이용한 CDMA 통신 장비에 제어 명령 전달
- 스마트폰 메시지 서비스를 이용 CDMA 통신 장비에 제어 명령 전달
- 기존 구축된 시스템을 유지하면서 원격지에서 온실 창 제어를 위한 ICT 융합 가능

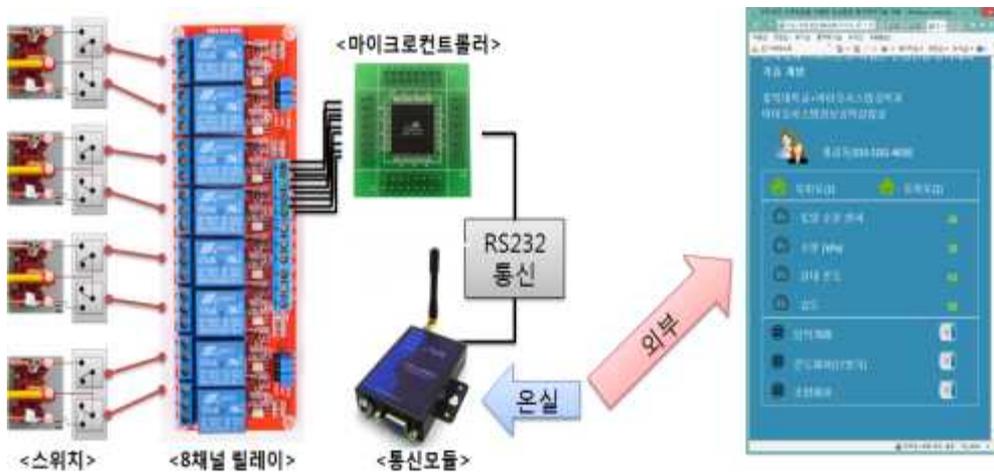


그림 3-2-82. 기구축 수동제어스위치의 원격 제어를 위한 개념도

인터넷기반 온실 환경 원격 계측 및 제어 시스템 현장 설치 및 실험은 다음 그림과 시작기 형태로 제작된 마이크로 웹서버를 1차 실험 현장에 설치하여 실험을 수행하였다. 실험 기간은 2015년 5월 ~ 6월이며 계측 주기는 가장 1분으로 설정하였다.



그림 3-2-83. 현장에 설치된 인터넷기반 온실 환경 원격 제어 시스템

주요 실험 결과로 다음 그림과 같이 온실온도를 살펴볼 수 있다. 약 45일 간 수행된 실험 전기간에 걸쳐서 정상적으로 온도가 계측이 되었음을 확인할 수 있다. 내부 습도의 경우 실험 전기간에 걸쳐 데이터의 취득 및 전송이 정상적으로 이루어졌다. 이산화탄소 농도의 경우 실험 전기간에 걸쳐 데이터의 취득 및 전송이 정상적으로 이루어 졌으며, 이상의 결과를 통해 센서의 오작동으로 인한 문제를 제외하고 현장에 설치된 인터넷 기반 원격 계측 시스템이 정상 작동하였음을 알 수 있다. 적산 일사량의 경우 정상적으로 데이터의 계측이 이루어졌으며 추후 기상 데이터와 비교할 경우 당일 일조량과의 관계 분석을 통해 계측 시스템의 신뢰성 검증이 가능할 것이다.

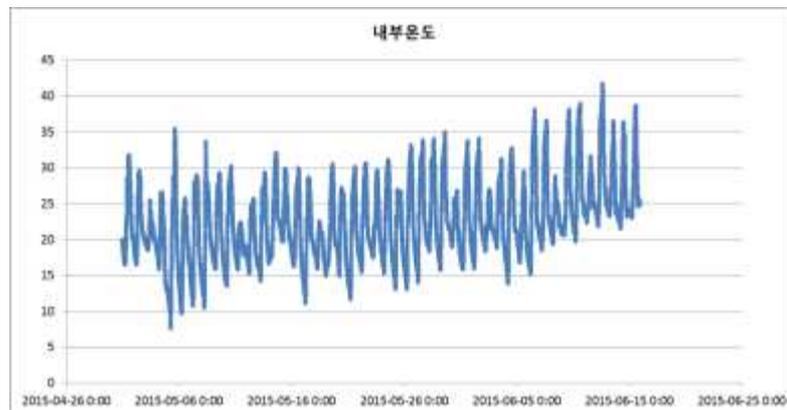


그림 3-2-84. 실증 테스트 배드 내부 온도 변화

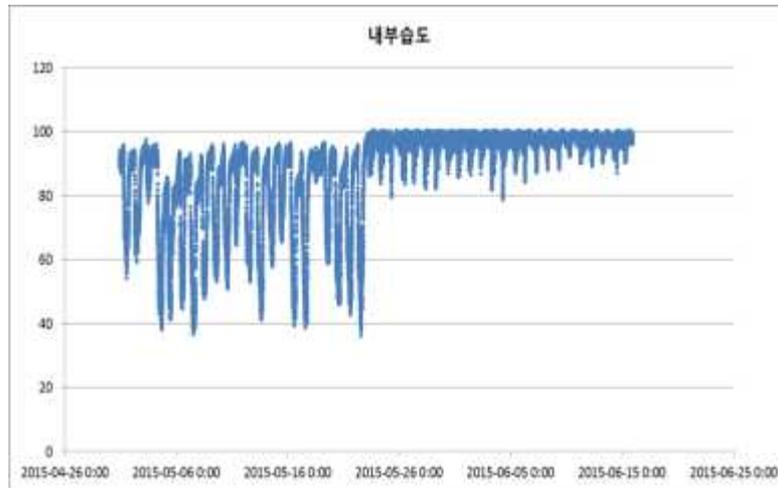


그림 3-2-85. 실증 테스트 배드 내부 습도 변화

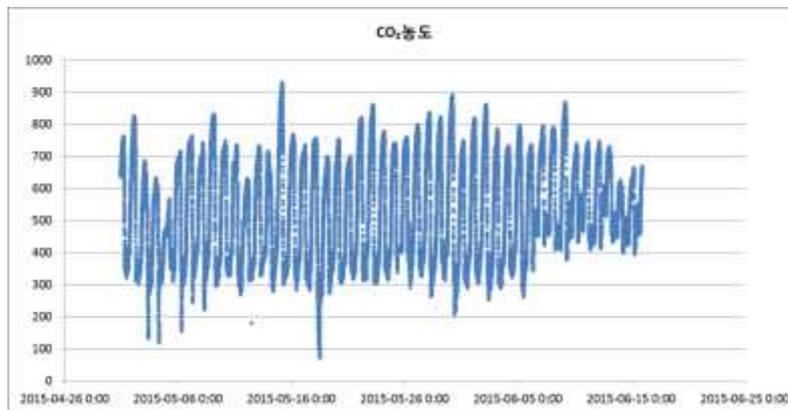


그림 3-2-86. 실증 테스트 배드 내부 이산화탄소 변화



그림 3-2-87. 실증 테스트 배드 내부 적산 일사량 변화

다. 인터넷 기반 온실환경 원격제어서비스 구축 및 고도화

(1) 사용자 매뉴얼 제작 및 온/오프라인 매뉴얼 문서 작성 및 배포

3차년도 연구 수행 결과를 통해 획득한 연구 성과물 3종에 대하여 사용자 매뉴얼 작성하였으며, 시스템 구축을 위하여 필요한 요소를 반영하였다. 다음 그림과 같이 PDF 형태로 사용자 매뉴얼을 작성하였으며 주요 내용은 다음과 같다. 다음 그림은 3종 중 “서버 구축”을 위한 사용자 매뉴얼이며, PDF 형태로 제작이 되어 온/오프라인 제공이 가능한 형태로 편집되었다.

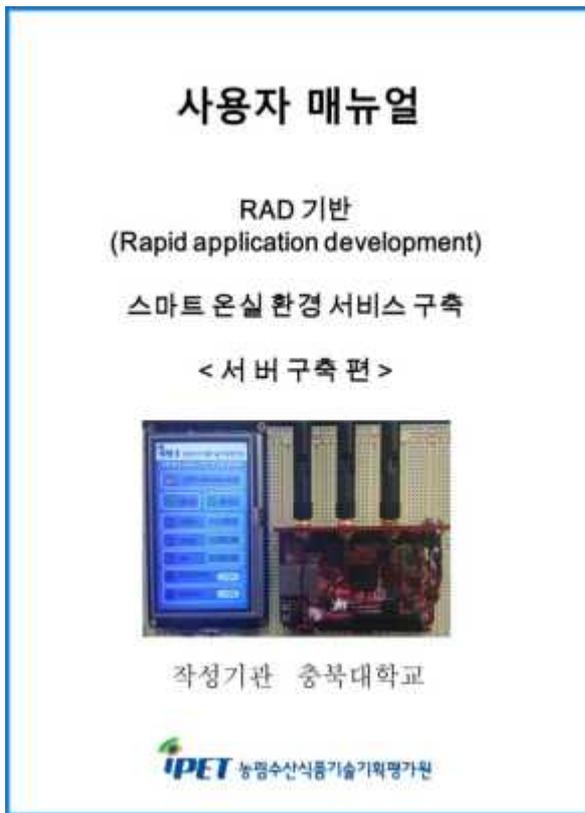


그림 3-2-88. 서버 구축 사용자 매뉴얼



그림 3-2-89. 서버구축 사용자 매뉴얼 목차

- 소개 : 스마트 온실환경 서비스 구축을 위한 정보 서비스 서버 환경 및 본 과제에 대한 소개
- RAD (Rapid application development) 소개 : 공급자와 사용자 편의성 증대 위한 RAD 기술 소개
- 시스템 구성도 : 본 서비스 이용을 위하여 필요한 기본 시스템 구성도를 소개하고 구축 방법 설명
- 설정 방법 : 주요 하드웨어별 네트워크 설정 방법 설명 및 센서 노드 구축 방법 설명
- 하드웨어 준비 : 센서 노드와 제어노드 개념 및 주요 하드웨어 서비스 프로그램 개발을 위한 정보 통신 공향적인 논리 설명
- 하드웨어 결선 및 연결 : 센서 노드의 제어노드와 무선 노드간의 결선 방법 및

신호 정합성 유지를 위한 설정 방법 설명

- 하드웨어 설정 : 서비스 구축을 위하여 필요한 임베디드 시스템(Linux 및 RTOS) 설명 방법 설명
- 하드웨어 : 본 시스템 구축에 도입이 될만한 하드웨어 소개 및 설정 방법 소개
- 개발자 레퍼런스 : 개발 과정에서 시제품 형태로 제작이 된 소스코드 설명 및 온라인 레퍼런스 제공
- 연락처 : 본 연구과제를 수행한 연구 책임자의 연락처



<목차>

1. 소개	1
2. RAD (Rapid application development) 소개	2
3. 소프트웨어 설치 방법	3
4. 온실환경 네트워크 작성 방법	4
1. 사용자 추가 및 설정	4
2. 온실 추가 및 설정	6
3. 센서노드 추가 및 설정	8
4. 제어 방식 추가 및 설정	10
5. 제어노드 추가 및 설정	12
6. 링크 추가, 변경 및 설정	14
5. 네트워크 업데이트 방법	16
6. 개발자 연락처	20

RAD 기반 스마트 온실 환경 서비스 구축. RAD 편집도구

그림 3-2-90. RAD편집도구 사용자 매뉴얼

그림 3-2-91. RAD편집도구 사용자 매뉴얼 목차

또한 본 과제의 핵심 기술인 RAD 편집 도구에 대하여 다음 그림과 같이 “RAD 편집도구” 사용자 매뉴얼을 작성하였다. 매뉴얼의 주요한 내용은 다음과 같다.

- 소프트웨어 설치 방법 : 본 프로그램이 Win32 기반 윈도우 운영체제에서 사용가능함을 알리고 최초 실행을 위한 방법 설명
- 온실환경 네트워크 작성 방법 : 프로그램의 설정 파일이 저장되는 위치와 온실환경 모니터링 및 제어 시스템이 구축되어 있는 서버를 지정하여 동기화가 가능하도록 설정할 수 있는 방법을 설명
- 사용자 추가 및 설정 : 온실의 사용자의 주요 정보를 입력하고 추가/변경/삭제할 수 있는 기능에 대하여 설명
- 온실 추가 및 설정 : 단/다연동 대상 온실을 종합적으로 관리할 수 있도록 단수/다수의 온실을 추가하고 재배 작목 및 재배 규모를 설정할 수 있는 방법을 설명
- 센서노드 추가 및 설정 : 온실에 설치된 센서의 종류와 신호의 형태를 설정할 수

있는 방법을 설명

- 제어 방식 추가 및 설정 : 센서에서 입력된 정보를 바탕으로 제어 노드에 명령을 전달하기 위한 제어 로직 설정 방법에 대한 설명
- 제어노드 추가 및 설정 : 온실 환경 제어를 위한 각종 제어노드를 관리하기 위한 방법을 설명
- 링크 추가, 변경 및 설정 : 센서/제어규칙/제어기 간의 상호 운영성을 보장하기 위하여 노드/요소가 느이 연결성을 신규 생성/변경/삭제 할 수 있는 방법을 설명
- 네트워크 업데이트 방법 : RAD를 이용한 편집 도구의 결과물을 온실에 있는 서버에 반영하기 위한 방법을 설명
- 개발자 연락처 : 연구과제를 수행한 연구 책임자의 연락
 한편 RAD 편집도구의 신뢰성 확보를 위하여 다음 신청서와 같이 한국정보통신 기술협회에 소프트웨어 시험인증을 신청하였다.

YTA 한국정보통신기술협회

소프트웨어시험인증신청서
*합인 소프트웨어시험인증연구소 기업사원용

*시험/인증 신청번호			*SW분류		
심청분야					
분야	GS시험인증	V&V 시험 (Validation & Verification)	베치마드테스트 (BMT)	국제화/한지화	
	()	()	()	시험	검열심
신청회사 정보					
회사(기관)명	(한글명) 충북대학교 (영문명) Chungbuk University		사업자등록번호	301-82-16304	
설립일	2004. 4. 6.		대표자	우 수 영	
홈페이지	www.cbnu.ac.kr		대표자 E-Mail	leedn@cbnu.ac.kr	
대표 전화번호	043-261-3902		Fax번호	043-261-3334	
주 소	(26644) 충북 청주시 서원구 중대로 1, 111우 902				
자 본 금	1,765.0		증본도대출	15,149,022원	
종업원수	61명		주요사업분야	화상연구개발	
업무 담당자	성명	박지훈	전화번호	043-261-3902	
	Mobile	043-261-3902	E-mail	jypark@cbnu.ac.kr	
	FAX	043-261-3334	부서/직급	연구지원팀	
소프트웨어 정보					
제품명	(한글명) RAD 기반 온실환경 내트웍구 구분 관리 도구		제품버전(vx.y)	0.0	
	(영문명) SmartFarm Network Configuration Tool based on RAD		제조업/제조자	대학민국	
개발 및 목적 (300자 이내)	- 센서/제어 노드가 다수 연결되어 있는 온실의 유/무선 네트워크를 사용자가 손쉽게 설정할 수 있는 도구 - RAD 기술과 통신 용기의 기술을 이용하여 복잡한 온실 네트워크 구성을 간편하게 유지할 수 있도록 도움을 주는 도구				
신청제품 주요 납품처	국가 R&D 성과물출 향후 추진		판매시기	판매예정() (출시예정일 : 2017.09) 판매완료 () (최종출시일 :)	
운영체제	서버	Linux (Apsched 기반), Htagi, Mysqi			
백이사항 (복합응용도구시험)	클라이언트	인터넷 브라우저가 있는 일종의 PC (Windows, Linux, Mac OSX)			
하드웨어 정보					
하드웨어 사양	서버	ARM-Cortex M0 이상의 임베디드 시스템			
	클라이언트	인터넷 브라우저가 있는 일종의 PC (Windows, Linux, Mac OSX)			
네트워크 환경					
기타 사항					
본 서는 유선 없이 소프트웨어 시험(인증)을 신청합니다.					
2016년 12월 15일					
신청회사 대표이사			충북대학교 상학원학장 우 수 영 (인)		

소프트웨어시험인증연구소 TPG-0036-1(01)
소프트웨어시험인증신청서 A4(210X297)

그림 3-2-92 소프트웨어 시험 인증 신청서(GS 인증) 사본

(2) 현장 적용 검증 후 보완, 산업화 추진

산업화를 위한 현장 적용성 평가는 사업화를 목표로 한 현장 적용을 위해 시제품의 완성도를 높이기 위한 시제품의 성능 평가를 우선적으로 수행하였다. 본 시스템의 하드웨어 구성은 총 4가지로 1) 센싱 엘리먼트, 2) 센서/제어 노드, 3) 신호 전송 노드, 4) 서버 노드로 구성될 수 있다.

- 센싱 엘리먼트는 온도, 습도, 이산화탄소, 광량 등의 물리량을 디지털로 변환하여 전송을 수행하기 직전단계 까지 역할을 수행하는 노드로 정의할 수 있다.
- 센서/제어 노드 는 센싱 엘리먼트에서 발생한 신호(전압, 전류)등을 알맞은 형태로 ADC를 수행하여 디지털 통신 시스템에서 사용할 수 있는 형태로 변환하는 노드로 정의할 수 있다. 또한 온실 내에 있는 각종 제어기를 제어할 수 있는 제어신호를 전달하기 위한 최종 노드로 정의할 수 있다.
- 신호 전송 노드는 온실의 규모에 따라서 센서 계측 노드에서 생성된 디지털 신호를 자체적으로 처리하거나 정보의 종합 분석을 위한 서버에 전송할 수 있는 노드이며, 아울러서 제어 노드에 제어 신호를 전달하여 적절한 형태의 제어를 수행할 수 있는 노드로 정의할 수 있다.
- 서버 노드는 신호 전송 노드에서 발생한 디지털 신호를 저장하고 인터넷, 스마트폰 등의 사용자 단말기에 정보를 도시할 수 있는 서비스를 수행함과 아울러, 자동/수동 방식에 따라 발생한 제어 신호를 제어 노드에 전달할 수 있는 중앙 처리 장치로 정의할 수 있다.

본 과제에서는 상기 4가지의 노드 중에서 연구 과제의 수행 범위에 해당하는 센서/제어 노드, 신호 전송 노드, 서버 노드에 대하여 산업적으로 검증이 되었으며 인증을 마친 제품을 대상으로 현장적용 적정성을 평가하였다.

다음 그림과 같이 센서 노드의 성능 평가를 위하여 시스템의 CPU 점유율을 조사할 수 있는 공개 어플리케이션(htops v1.0.2)를 이용하여 조사하였다. 일정한 계측 주기에 따른 적절한 신호 전송을 수행하기 위해선, 신호 전송을 위한 CPU의 여유 능력이 최소한 50%이상인 보장되어야 하므로, 이를 평가하기 위하여 산업적으로 보급률이 높은 하드웨어를 대상으로 적정성 여부를 평가하였다. 대상 마이크로 컨트롤러는 Atmega 8, Atmega 128, ESP8266, Arduino, STM32F로 하였다.

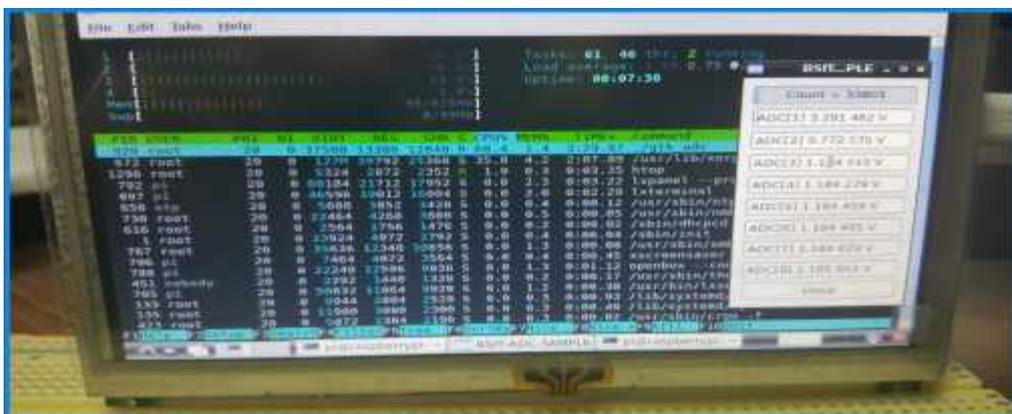


그림 3-2-93. 센서노드, 전송노드, 서버노드의 CPU, 메모리 점유율 분석 화면

현장 적용성 평가를 위하여 선정된 5가지 MCU의 주요 사양은 다음과 같으며, 평가에 사용된 MCU에 해당하는 산업용 보급 모델은 다음 그림과 같다.

표 3-2-2. 센서노드 구현 MCU의 주요 사양 비교

	CPU 클럭 (Mhz)	RAM 크기 (Kbyte)	Etherne t	Wifi	Zigbee	Bluetooth
Atmega 8	16	8	×	×	○	×
Atmega 128	16	128	×	×	○	×
ESP8266	80	64	×	○	○	×
Arduino	16	32	×	×	○	×
STM32F4	168	512	○	×	○	×

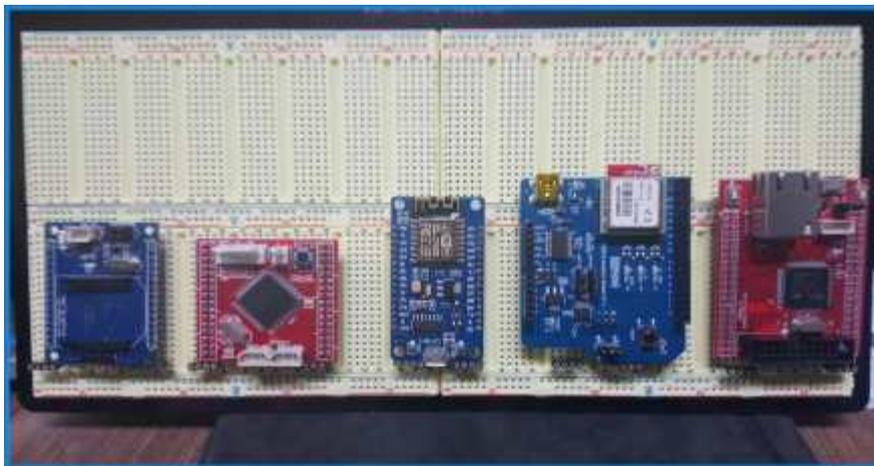


그림 3-2-94. 센서노드 구성을 위한 MCU 선정 (좌측부터, Atmega 8, Atmega 128, ESP8266, Arduino, STM32F)

다음 그림과 같이 센서 노드 운영을 위한 보급형 MCU의 CPU 점유율 결과를 살펴보면, Atmget 8 모델을 제외하고 나머지 노드에서 30% 내외의 의 CPU 점유율 이하에서 1 kHz의 계측 주시를 처리할 수 있음을 알 수 있다. 센싱 엘리먼트가 증가할수록 계측 주기가 반비례 하므로 Atmega 8을 제외한 MCU의 경우 초당1회로 계측시 최고 10 채널 내외의 센싱 엘리먼트의 신호를 처리할 수 있다. 한편 통신 모듈의 결합성을 살펴볼 때 ESP8266 모델의 경우 내장 Wifi를 지원하므로 무선에 유리하며, STM32F4 모델의 경우 내장 Ethernet을 지원하므로 유선 네트워크 구성에 유리하다 할 수 있다. 현장 적용성 실험을 무선통신 모듈을 추가하여 네가지 센서 노드 운영 MCU를 대상으로 네트워크를 구성하였다.

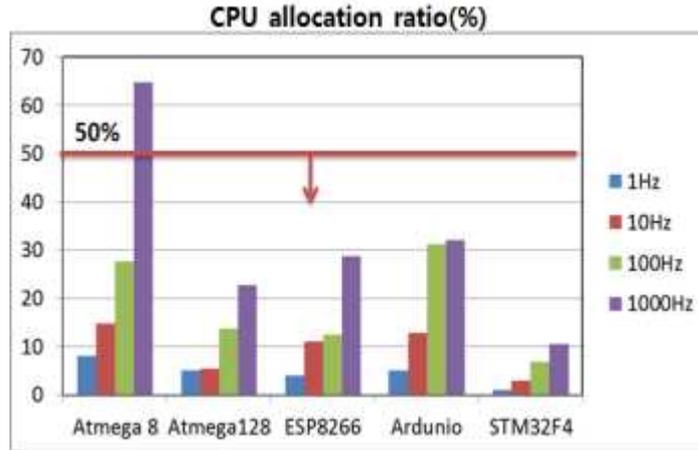


그림 3-2-95. CPU allocation ratio corresponding to sampling rate

또한, 신호 전송 노드의 성능 평가를 위한 시장 보급률이 높은 하드웨어를 대상으로 적정성 여부를 평가하였다. 대상 마이크로 컨트롤러는 STM32F411, Arch Link, STM32F466, KRDM32로 하였다. 센서 노드를 관리하는 MCU와 가장 큰 차이점은 확정성이 용이하고, 네트워크 연결성이 우수하다는 점이다. 다음 표는 성능 평가 대상으로 선정된 보급형 MCU에 대한 주요 사양이며, 그림은 보급형 모델을 나타내고 있다.

표 3-2-3. 전송노드 구현 MCU의 주요 사양 비교

	CPU 클럭 (Mhz)	RAM 크기 (Kbyte)	Ethernet	Wifi	Zigbee	Bluetooth
STM32F411	80	8	○	×	○	○
Arch Link	80	128	○	○	○	○
STM32F466	160	64	○	○	○	○
KRDM32	120	32	○	×	○	○

신호 전송 노드의 주요한 역할은 소규모 온실의 경우 내장 웹서버를 탑재하여 외부 인터넷이 연결되지 않은 경우에 센서/제어 노드와 사용자 단말기 또는 스마트폰과 연동을 수행해야 한다. 따라서 센싱 노드의 신호처리와 아울러 내장 웹서버 및 스마트폰과 연동 가능한 통신 모듈이 탑재된 것이 바람직하다 할 수 있다. 일부 모델의 경우 부분적으로 확장 모듈을 통하여 지원이 가능하므로, 확장 모듈을 연결하여 동일한 조건에서 CPU 점유율을 조사하였다.

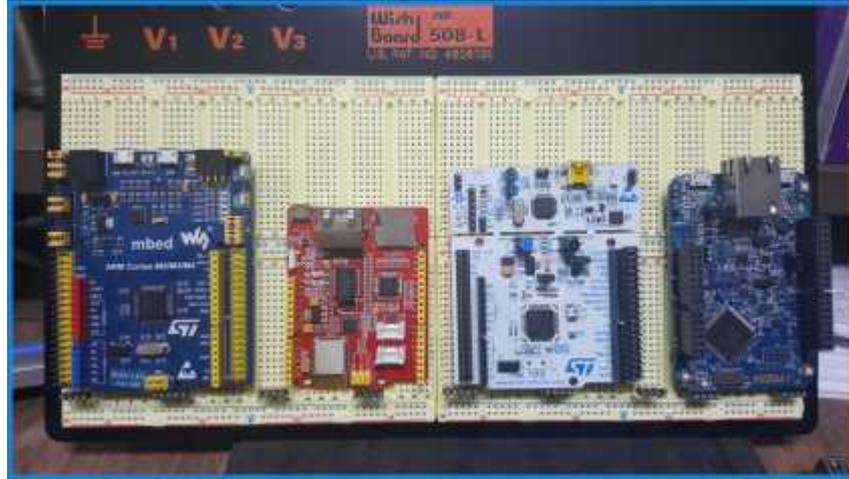


그림 3-2-96. 신호 전송 및 단독 로컬 서버 역할을 위한 MCU 선정 (좌측부부터, STM32F411, Arch Link, STM32F466, KRDM32)

다음 도표는 신호 전송 및 중계 역할을 위한 4종의 MCU에 대하여 신호 계측 주기에 따른 CPU 점유율을 조사한 도표이다. 시장에 보급된 대부분의 기종들이 1 kHz 이하의 계측 주기에 대하여 50% 미만의 CPU 점유율을 보이고 있음을 알 수 있다. 한편, 외부 서버 노드에 의존하지 않는 경우를 고려할 경우 Wifi 또는 Bluetooth 접속을 자원이 확보되어야 하므로 현장 적용 실험을 위한 전송 노드 처리용 MCU로 STM32F466을 선정하였다.

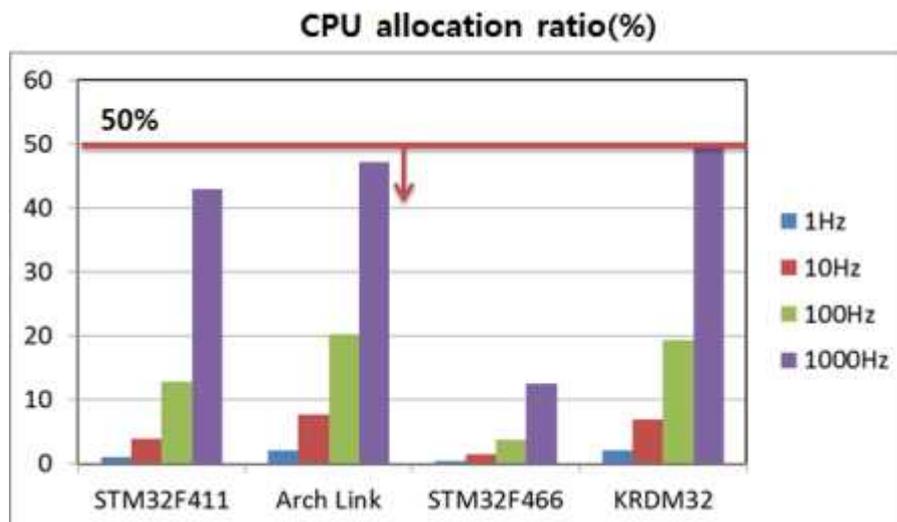


그림 3-2-97. CPU allocation ratio corresponding to sampling rate

현장 실험을 위한 시스템 구성 및 준비는 현장 적용성 평가를 위하여 선정된 센서 노드 구성 방법과 전송 노드 및 온실내 단독 서버 운영 MCU를 이용하여 실험 장치를 구성하였다. 전송 노드의 경우 1식을 준비하였으며, 인터넷 접속이 불가능한 온실 환경에 대응하기 위하여 다음 그림과 같이 단독으로 운영이 가능한 모듈을 추가로 준비하여 전송 노드를 확장하였다.

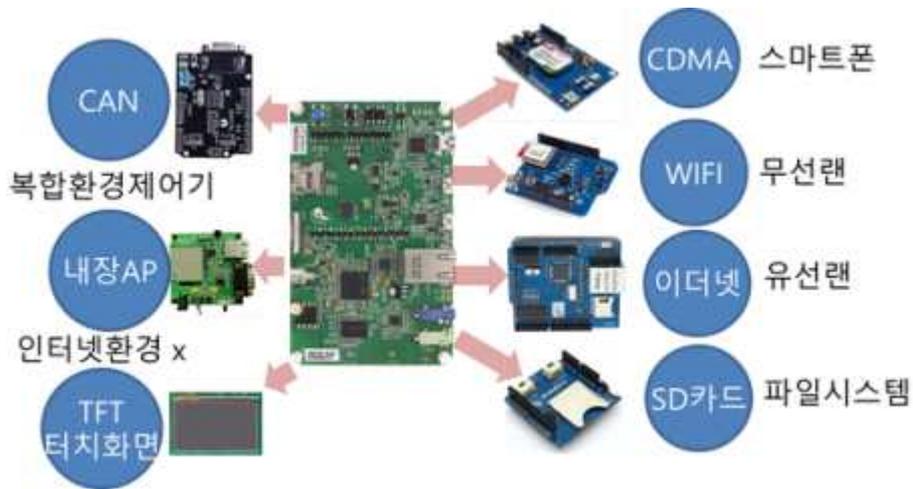


그림 3-2-98. 전송 노드와 서버 노드 통합 설계도

유선 장거리 통신을 위한 CAN 통신 모듈, 온실 내부 전용 무선 Wifi Ip 부여를 위한 내장 AP(Access point) 소프트웨어, 사용자 관리를 위한 터치 LCD화면, 장거리 무선 통신을 위한 CDMA 모듈, Wifi 연동을 위한 Wifi 모듈. 유선 Ethernet 연결을 위한 이더넷 모듈, 전송된 계측 신호의 저장을 위한 SD카드 모듈을 확장하였다. 다음 그림은 외부 인터넷 없이 연결된 전송 노드/서버 통합 노드의 예비 실험 결과를 보이고 있다. 8종의 계측 신호를 처리하고, 8종의 제어신호를 간략한 형태로 보이고 있음을 확인할 수 있다. 이 정보는 데이터 베이스에 저장되기 전의 정보로서, RAD 도구와 연동되기 이전의 데이터 형태를 취하고 있다.



그림 3-2-99. 전송/서버 통합 노드 검증 실험 시작기 운영화면

현장 실험 수행 기간은 2016년 2월 17일 - 2016년 5월 22일 이며, 무정지 실험을 수행하여 3개월 1주일 간의 온실 환경 데이터를 DB화 하였다. 결과적으로 1,222,004 건의 데이터 획득 (정보량 210 Mbyte)을 하였으며 3회 (낙뢰 1회, 강풍 2회)의 비정상 상황 대처 시나리오 검증 테스트를 수행하였다. 다음 그림은 현장 실험 준비 과정과 주요 요소의 설치 모습, 신호 전송 무결성 검사 화면 등을 나타내

고 있다. 실험 결과에 대한 설명은 다음 절의 스마트폰 기반 온실환경 현장 실험 결과와 같이 기술하였다.



그림 3-2-100. 3차년도 현장 실험을 위한 장비 설치 및 주요 현장 실험 장면

2. 스마트폰 기반(CDMA, Application) 온실환경 원격제어기술 개발

가. 스마트폰 기반(CDMA, Application) 온실 환경 원격제어기술 개발 및 성능시험

스마트폰 개발환경 분석 요약하면 스마트폰 운영체제는 총 3가지 이며(Windows 8, Android, iPhone), 2014년 기준 가장 대중적인 운영체제는 Android 기반의 운영체제이다. 이는 스마트폰 개발환경이 무료로 공개되어 있고, 개발자에게 추가로 비용 요구를 하지 않는 유연성에 있다고 판단되었다. Android 운영체제의 스마트폰을 대상으로 하여 주요한 온실 환경 계측 및 제어용 App을 개발할 수 있으나, 추후 스마트폰 시장의 변화에 대응 가능하도록 iOS 기반의 핸드폰도 동시에 고려하였다. 다음 도식과 같이 대중적인 스마트폰 App 개발환경을 요약할 수 있다.

대중적인 스마트폰 대상 개발 환경			
	WinCE & 8	Android	iPhone
점유율	대	중	소
장재성	소	대	중
개발비용	중	소	대
개발인력	대	중	소
난이도	소	중	대
확장성	대	중	소
대표 지원기기	Nokia, Sony	Galaxy S (Samsung)	iPhone
플랫폼	Windows	Any	MacOS
개발언어	C++, C#	Java	C++ (Objective)
개발도구	상용	프리	상용+프리
확장성	중	대	소
지원회사	Microsoft	Google	Apple
테스트방법	기기 보유	가상, 기기 보유	가상, 기기보유
라이선스	무료공개	무료공개	정식통화
선행경력	다수	다수	다수

그림 3-2-47. 개발자에게 공개된 대중적인 스마트폰 개발환경

스마트폰 OS 선정은 국내 스마트폰 OS(Operating System) 점유율은 Android가 93.4%로 압도적인 비중을 차지하고 있으며, 아이폰(IOS) 점유율은 국내에서는 5.1%로 낮은 수치이나, 세계에서는 23.9%로 높은 수치를 보였음. 스마트폰 OS는 점유율이 높은 Android와 IOS를 선정하였다.

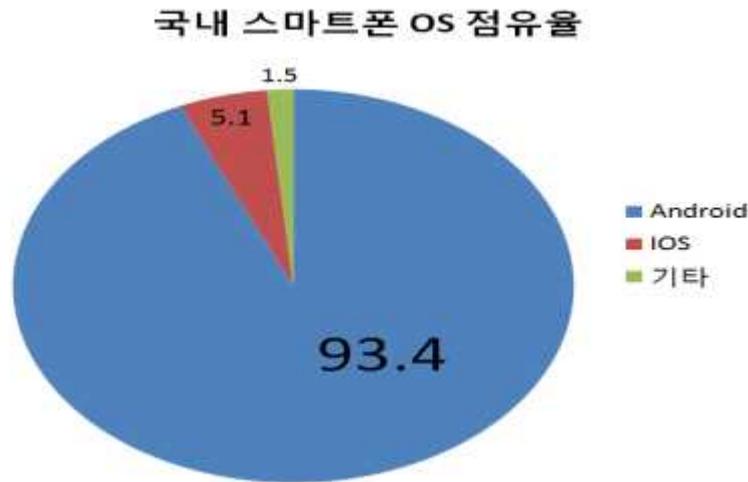


그림 3-2-48. 국내 스마트폰 OS 점유율 (2014년 1월)

Android 개발환경은 JSP 기반의 웹 프로그래밍을 개발하려면 우선 JDK(Java Development Kit)를 이용하여야 하며, Java IDE, Eclipse는 IDE는 Integrated Development Environment로 통합 개발 환경로 구성해야 한다. Eclipse가 발전함에 따라서 C, C++언어를 지원하는 환경도 제공하고 있으며, Java 언어 기반으로 구현되는 애플리케이션 통합 환경으로 오픈소스 프로그램을 이용하여 개발을 수행하였다. Android SDK Manager 에서는 안드로이드 개발 환경을 구축 할 수 있음. 이클립스를 이용한 주요 개발 과정을 다음과 같이 기술 할 수 있다.



그림 3-2-49. Android 개발환경

- *res 에서는 리소스를 저장 하는 곳이며, res에서 layout은 개체의 그림 등의 화면구성 및 배치 작업을 함, value는 문자열을 미리 정의해 놓을 수 있는 곳임.

- gen : 이클립스가 자동으로 생성하는 파일들이 들어있는 폴더.
- R.Java : 리소스를 관리하는 폴더.
- Android Manifest.XML : XML파일로서 애플리케이션의 전반적인 정보 관리.
- 사용자 인터페이스 작성 방법에는 코드를 작성하는 방법, XML을 사용하는 방법이 있음.

코드와 리소스를 분리하는 이유는 안드로이드 탑재된 장치들이 다양해지면서 언어나 화면 크기에 따라서, 리소스를 다르게 하는 것이 필요하기 때문이다.

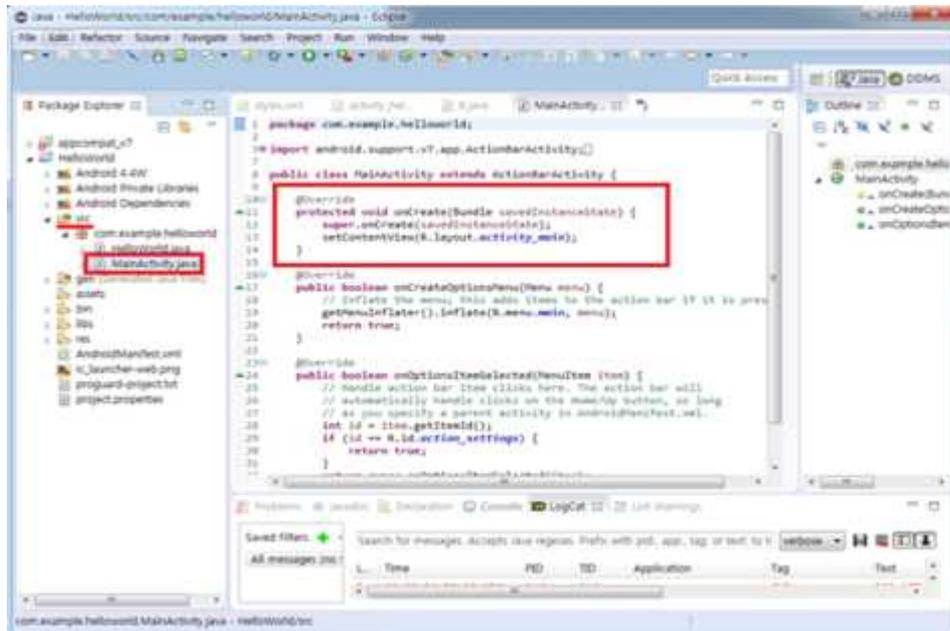


그림 3-2-50. 온실 계측 데이터를 문자열 출력 하는 예시 코딩

윈도우 운영체제 기반 인터넷 온실 환경 측정은 Window 7 운영체제에서 운영 가능한 AJAX(Asynchronous Javascript And XML), JQuery open source, PHP(Personal Hypertext Preprocessor), HTML5(HyperText Markup Language 5)을 이용하여 실시간 모니터링 시스템을 개발 하였다. 이를 통해 인터넷을 이용하여 온실 환경을 계측 및 제어를 할 수 있으며, 센서에서 계측된 데이터를 데이터베이스에 저장을 하여 인터넷으로 실시간으로 온실 환경 모니터링 가능하다. 통합모니터링에서는 온실 환경(온도, 습도, 조도, CO₂)를 계측이 가능하며 각 요소 별로 따로 볼 수 있음, 각 요소는 아래의 사진과 같음. 온실 환경 각 요소별로 자세히 보고 싶을 경우 UI 클리울 통하여 각 온실 환경 요소의 실시간 변화 모습이 확인 가능하다. 또한 Apple사에서 제공하는 Mac 운영체제서도 운영이 가능하다.



그림 3-2-51. 온도 계측 시스템



그림 3.2-52. 습도 계측 시스템



그림 3.2-53. 조도 계측 시스템



그림 3.2-54. CO₂ 계측 시스템



그림 3-2-55. Mac OS 기반 인터넷 온실 환경 계측 및 제어 모니터링 시스템

IOS(Iphone Operating System) 개발 환경 (64비트 고성능 플랫폼 기반 시제품 제작)은 X-CODE는 주로 프로젝트를 생성하고 소스코드를 편집하며, 이것을 컴파일하고 디버깅하는 등 iPhone 개발의 전반적인 운영 환경을 제공하는 통합 개발 툴이다. C 프로그래밍

언어에 스프로크 스타일의 메시지 구문을 추가한 객체 지향 언어를 Objective-C언어라고 하며, 애플의 Mackintosh의 운영체제인 맥 OS X와 아이폰의 운영체제인 ios에서 사용되고 있다. 시뮬레이터에서는 실제 기기가 없어도 개발한 애플리케이션을 실행하고 테스트해 볼수 있는 iphone과 거의 유사한 디자인과 API를 제공하며, 이를 이용하여 개발한 응용 프로그램으로 아이폰 5S 에서도 온실 환경을 계측 및 제어를 수행하였다.



그림 3-2-56 시뮬레이터



그림 3-2-57. 아이폰 5S을 이용한 온실 환경 계측 및 제어 시스템

나. 스마트폰 기반(CDMA, Application) 온실환경 원격제어기술 현장 적용

(1) 스마트폰 원격 제어 프로그램 현장 성능 검증

온실 환경 원격 제어 시스템 H/W의 스마트폰 연동 기능 보완이 필요한데 온실 환경에서 별도의 시스템 구성없이 스마트폰을 이용한 접속을 위해선 핸드폰과 접속을 위한 장치가 필요하다. 특히 CDMA, LTE 통신으로 대중화 되어 있는 스마트폰 사용환경에 알맞은 장치가 필요하며 본 연구에서는 CDMA 모뎀을 선정하여 앞서 기술한 “인터넷 기반 온실 환경 원격 제어시스템”에 스마트폰 연동기능을 보완하였다. 다음 구성도는 인터넷 기반 온실 환경 원격 제어시스템과 CDMA 모뎀을 연동하기 위한 회로 결선도 이다. 앞서 선정한 MCU인 ATMEGA128에는 RS232 통신을 지원하는 포트가 2개가 있으며 이중 한 개를 이용하여 CDMA 모듈과 통신을 수행하도록 시스템을 보완하였다.

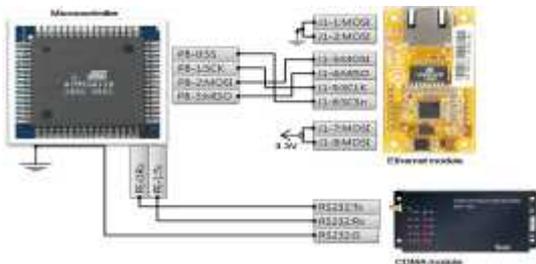


그림 3-2-58. 스마트폰 연동을 위한 CDMA 모듈 접속 결선도



그림 3-2-59. 인터넷 접속과 CDMA 접속을 동시에 지원하는 시작기 현장 기본 성능 테스트

CDMA 기능을 연동한 원격 제어 시스템의 하드웨어 개발 중 핵심적인 부분은 CDMA 모듈에서 MCU에 전달하는 메시지로서 표준 규격인 M2M 규격을 준수한다. M2M 규격을 준수하는 CDMA 송신 내용을 파악하여 MCU의 제어 기능과 연동하기 위하여 프로그래밍을 수행하였다. CDMA 기능을 연동한 원격 제어 시스템의 기본 성능 테스트를 위하여 앞서 기술한 현장에 설치하여 현장 적용 테스트를 수행하였다.

스마트폰 온실 환경 원격 제어 시스템 H/W 시작기 제작은 그림의 순서와 같이 현장 설치 및 실험을 위하여 스마트폰 온실 환경 원격 제어 시스템 H/W 시작기를 제작 하였다. 2차 실험 현장인 재배동에 시작기 H/W를 설치하고 다음 그림과 같은 시스템 구성을 통하여 현장 실험 및 시스템 무결성 검증을 수행 하였다.

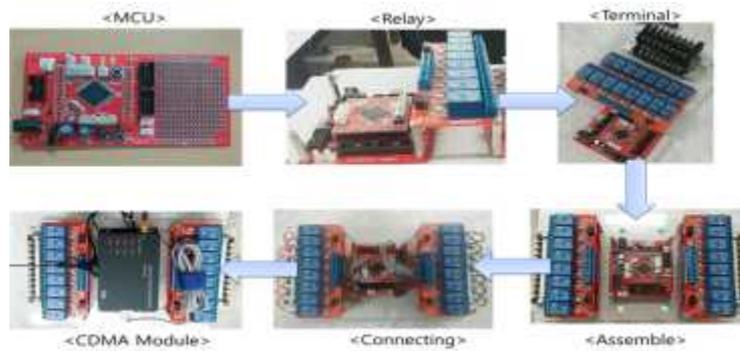


그림 3-2-60. CDMA 연동모듈 시작기 H/W 제작 과정



그림 3-2-61. 현장 실험 전체 구성도

(2) 스마트폰 기반 온실 환경 원격제어 시스템 무결성 검증

2차 실험 (1차 실험 현장과 동일한 농장이나, 재배동으로 실험 장소 변경) 현의 계측 요소 및 제어요소를 다음 그림과 같이 조사하였으며, 그 내용은 다음과 같다



그림 3-2-62. 2차 실험 현장의 주요 온실 환경 계측 및 제어 구성 요소

2차 실험 장소의 구성 (온습도 센서와 환기창 제어 및 양액 제어기)에 상응하는 온실 환경 구성을 다음과 같이 구성하였으며, 온실 환경 구성에 사용된 주요한 요소들의 환경 구성 정보는 다음 그림에 기술한 바와 같이 현장에 기 설치된 장비에 대응 가능하도록 RAD 기법을 적용하였다. 스마트폰 기반 온실 환경 원격제어 시스템의 무경성을 검증하기 위하여 2015년 6월 19일부터 2015년 6월 30일 까지 환경 계측 및 제어 상황을 모니터링 하였으며, 본 세부과제에서 개발한 H/W, S/W 시작기를 모두 통합하여 현장 적용실험을 수행하였다

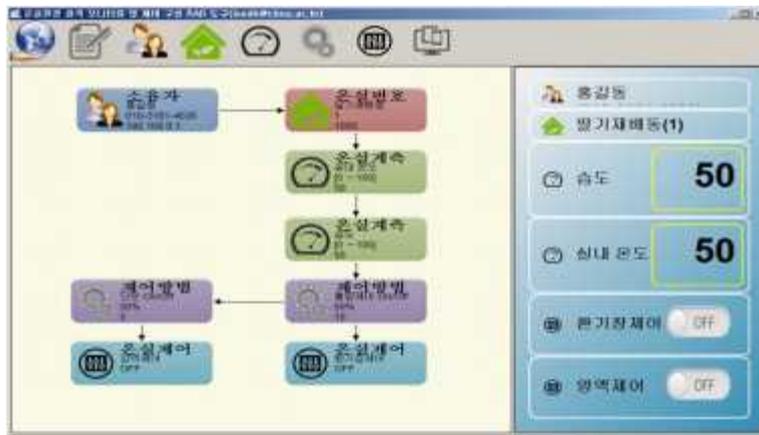


그림 3-2-63. 2차 실험 현장에 상응하는 온실환경 구성도



그림 3-2-64. 2차 실험 현장의 온실 환경 계측 및 제어 요소 환경 설정 예시

다음 그림 순차적으로 2차 실험 기간 중 내부 온도 변화, 습도변화, 유동팬의 작동(1), 정지(0)상태 를 보이고 있으며 정상적인 데이터의 취득 및 제어 시스템의 작동이 정확히 모니터링 되고, 오작동이 없음을 확인할 수 있다.



그림 3-2-65. 2차 실험 현장의 내부온도 변화

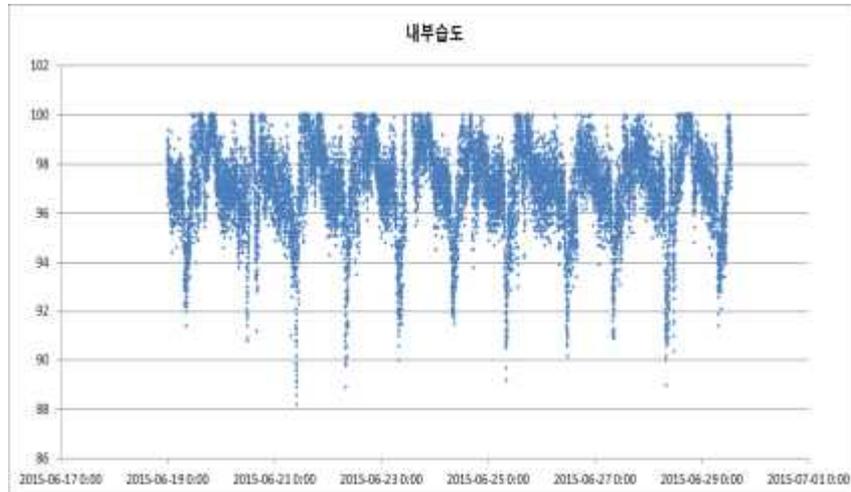


그림 3-2-66. 2차 실험 현장의 내부습도 변화

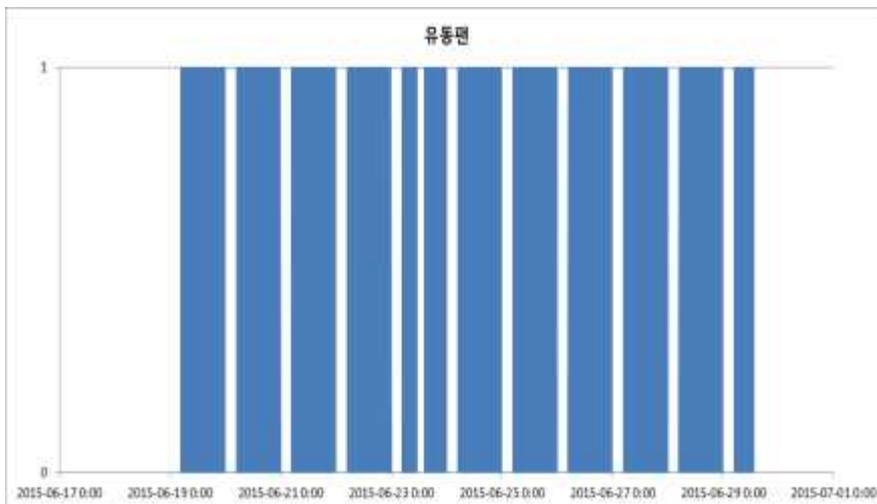


그림 3-2-67. 2차 실험 현장 유동팬의 작동 유무 기록 결과

이트를 수행하여 완성도를 높일 수 있을 것이다.



그림 3-2-70. Onestore에 등록 접수 화면(좌) (우)



그림 3-2-71. OneStore에 등록된 App소개 화면

(2) 현장 적용 검증 후 보완, 산업화 추진

온실 환경 내부나 인근의 위치에서 벗어날 경우에는 자체적으로 구축한 로컬 서버와 접속이 안 되며, 원격지의 경우 CDMA 모듈이 구성되어 있지 않으면 스마트폰을 이용한 연동이 불가능하다. 따라서, 이전 장에서 기술한 센싱 노드와 전송 노드와 함께, 온실 환경 외부에서도 접속이 가능한 서버 노드를 고려해야 하므로 다음표에 기술한 바와 같이 보급률이 높은 서버용 MCU를 검증하였다. 검증한 방식은 이전 장에 기술한 바와 같이 전송 주기에 따른 CPU의 점유율을 조사하였다. Zigbee와 Bluetooth 통신 모듈은 전송노드가 담당하므로 서버의 통신 모듈로 고려하지 않았다.

표 3-2-3. 서버 노드 구현 MCU의 주요 사양 비교

	CPU 클럭 (Mhz)	RAM 크기 (Gbyte)	Ethernet	Wifi	Zigbee	Bluetooth
Intel Edison	400	8	○	○	×	×
Beaglebone	1,000	1	○	×	×	×
Raspberry 3	1,200	1	○	○	×	×
Cubieboard 2	1.900	1	○	×	×	×

서버 노드 구성을 위하여 선정된 평가 대상 제품은 시중에서 판매량이 상대적으로 높은 Intel Edison, Beaglebone, Raspberry 3, Cubieboard 2, 4종을 선정하였다. 다음 그림은 시중에 출시된 대상 기종의 모습을 보이고 있다.

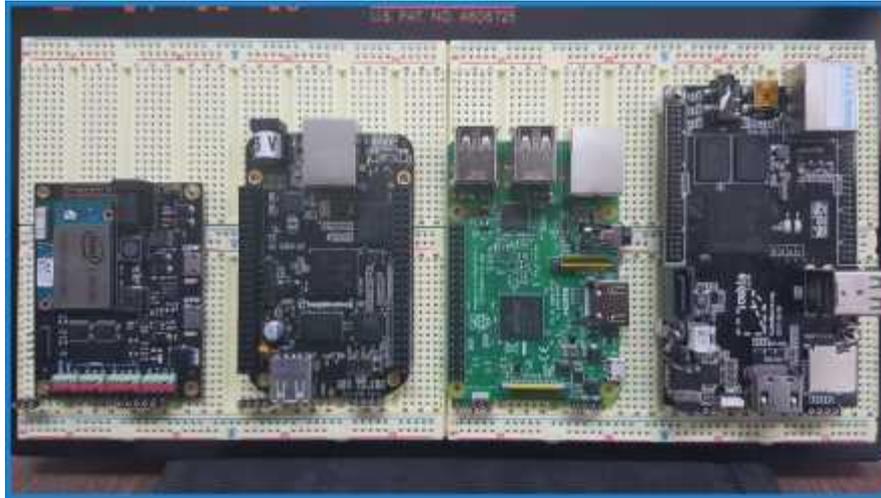


그림 3-2-72. 서버노드 적정성 평가에 사용된 서버 제품(좌측부터, Intel Edison, Beaglebone, Raspberry 3, Cubieboard 2)

선행 연구를 통해 개발한 RAD 편집 도구를 이용하여 서버에 온실환경 프로파일을 다음 그림과 같이 대상 기종별로 탑재하여 스마트폰 연동 기능을 테스트 하였고, 이와 아울러 대상 기종 내부의 CPU 점유율 조사를 수행하였다.



그림 3-2-73. Intel Edison



그림 3-2-74. Raspberry 3



그림 3-2-75. Beaglebone



그림 3-2-76. Cubieboard 2

Intel Edison기종을 제외하고 1 kHz의 전송 주기에 따른 정보 처리를 수행하는데 CPU 점유율이 70% 내외로 유지 되었다. 10 Hz와 100 Hz의 전송 주기인 조건에서 상대적으로 Beaglebone 제품의 CPU 점유율이 낮은 점을 고려하여 통합 실험을 위한 서버 노드 구성 시 선정하였다.

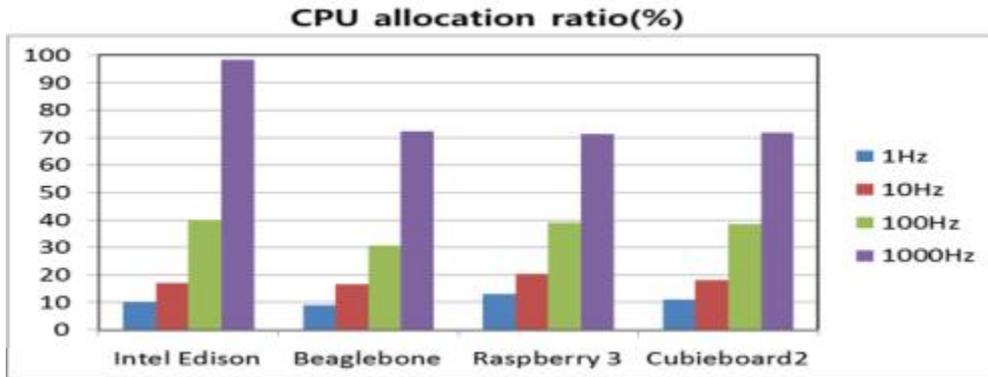


그림 3-2-77. CPU allocation ratio corresponding to sampling rate

온실 환경의 계측 주기가 1 Hz 내외로도 충분한 점을 고려할 때 앞선 센서 노드, 전송 노드, 서버 노드 모든 대상 기종들이 적합하다고 할 수 있다. 그러나 추후 온실 환경의 복잡성 증가 및 제어 기술의 발전, 통신 서비스 지연 등을 고려 할 때 산업적으로 통용이 되는 제품 중 상대적으로 정보의 처리 능력이 우수한 제품을 쓰는 것이 본 연구과제 성과의 산업적 고도화에 적합하다고 할 수 있다.

현장 적용성 검증을 위한 통합 실험은 앞 절에서 기술한 현장 적용성 검증을 위한 통합 실험 장소를 대상으로 선행 연구 성과물인 RAD 도구를 이용하여 다음과 같이 온실 환경 계측 및 제어 요소를 구성하였다. 계측 요소로 온실 내부 온도, 온실 내부 습도, 온실 내부 조도를 추가하였으며, 제어 대상으로 온도 제어를 위한 난방기와 환기를 위한 측정 제어기를 추가하였다. 서버 노드 구성을 위하여 선정 한 보드에 대하여 유선 Ethernet, 무선 Wifi, Zigbee, Bluetooth 모듈을 추가하여 다음 그림과 같이 온실 내외부에서 모드 접속이 가능한 서버 노드를 구축하였다. 산업용 출시에 적합하도록 내환경성(-40° C ~ +85° C)을 증가시킨 모델을 선정하였다.

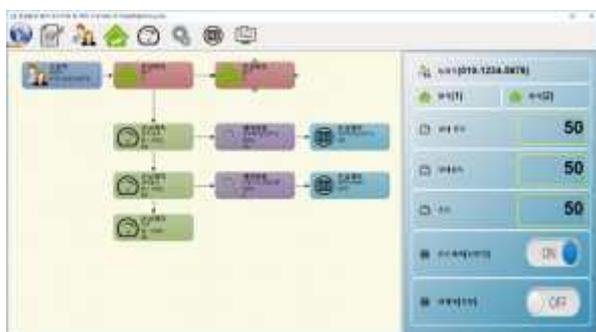


그림 3-2-78. RAD 도구를 이용한 통합 실험 대상 온실 구성(좌)

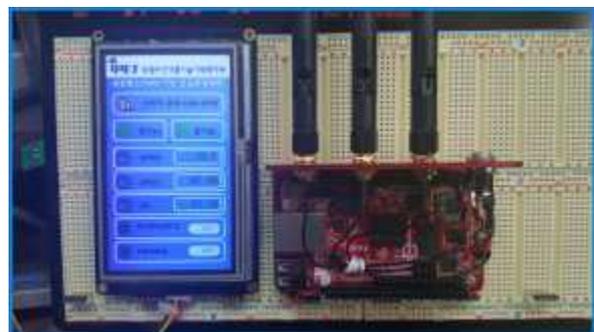


그림 3-2-79. 내/외부 통신 기능을 탑재한 산업용 서버 (우)

인터넷과 스마트폰을 이용한 온실 환경 계측 및 제어시스템의 통합 현장 적용성 시험을 위하여 구성된 여러 요소들의 상관관계를 다음 그림과 같이 요약해서 나타낼 수 있다. 다연동 온실 및 복합 환경 제어를 위한 복합온실 환경 제어기(1세대 부과제)와 연동을 수행할 수 있도록 구성하였다.



그림 3-2-80. 현장 적용성 검증을 위한 통합 시스템 구성도

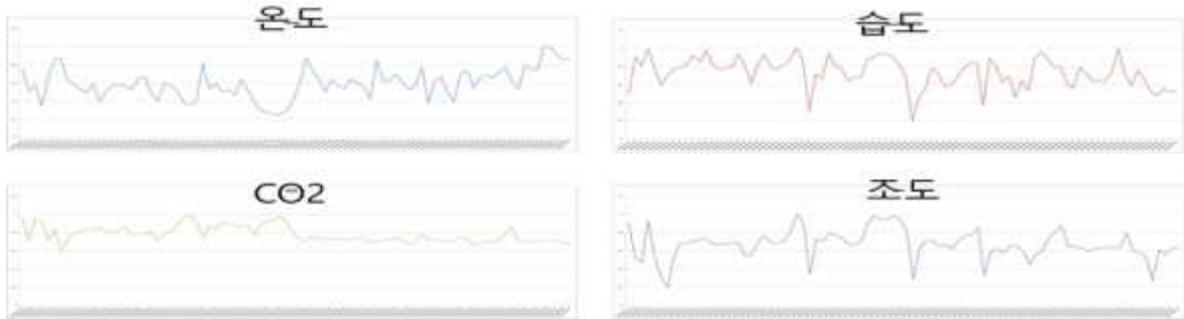


그림 3-2-81. 2016.02.17.~2016.05.22 기간 중 취득한 온실 환경 데이터 일 평균 분포

위의 도표는 현장 적용 실험 기간(2016.02.17.~2016.05.22.) 중 취득한 4가지 온실 환경 정보를 도시한 것이다. 주로 무선 계측 노드의 경우 전송 지연이 발생한 사례가 발견이 되었다. 온실의 습도가 높은 경우 무선 통신에 끼치는 영향에 대한 선행 연구를 고려하여 불 때 전송 노드의 계측 매트릭스를 조절하거나 유선으로 대체하는 방안을 고려해야 할 것이다. 3개월이 넘는 기간 중 모든 요소들의 작동이 지속적으로 수행되었다. 다음 도표의 붉은 원으로 표시된 구간과 같이 정전으로 인한 전송량 급감이 발생한 시점에서 스마트폰 App의 알림 기능을 이용한 사용자 후속 처리도 정상적으로 수행되었다.



그림 3-2-82. 2016.02.17~2016.05.22 기간 중 정보 교환량

3. 2절의 종합 정리 (평가 의견 조치)

- 연구 개발 성과 중 RAD 소프트웨어의 완성도 및 다양한 통신환경 및 제어 목표의 확장 시스템 추가 개발을 위한 후속, 연계 과제의 필요성이 있다고 판단된다.
- 환경복합제어를 위한 데이터베이스 구축 및 빅데이터 분석을 위한 후속, 연계 과제의 필요성이 있다고 판단된다.
- 수많은 기업에서 출시하는 다양한 센서에 대해 개별적으로 환경 적응성 검토를 하기에 한계가 있으므로, 사용 환경에 대한 적응성을 높이기 위한 현장 테스트의 기간을 높이는 방향으로 추후 보완, 개선, 사업화 연구의 필요성이 있다고 판단된다.
- 환경복합제어를 위한 데이터 베이스 구축을 위하여 데이터 베이스 로깅 시스템과 클라우드를 연동할 수 있는 미들웨어가 추가 되어야 하며, 온실 환경 내외부에 존재하는 시계열 데이터를 실시간으로 처리하기 위한 빅데이터 활용 방법이 고려되어야 한다.
- 본 과제를 통하여 개발한 RAD 도구는 복잡하고 다양하며, 구성의 변화가 빈번한 복합 온실 환경에 능동적으로 대처하기 위하여 개발된 소프트웨어로서, 센서 및 제어기 공급자, 컨트롤러 공급자의 신규 제품 개발 및 유지 보수 비용을 경감시킬 수 있는 도구로 발전할 수 있다. 또한 근권부, 지상부의 환경 계측 시 실시간으로 발생하는 시계열 데이터의 분석을 위한 빅데이터 수집 도구로도 활용이 될 수 있다.
- 특히 복합 온실환경 제어 하드웨어와 RAD 도구와의 연동을 통해서 현장에서 발생하는 정보를 클라우드 시스템에 축적함으로써 복합온실환경 내의 작물 생육 환경 모델링 수행에 요구되는 빅데이터 생성이 가능하다고 할 수 있다.

제 3 절. 온실 근권부 환경 복합제어기술 개발

1. 배지 종류별 센서 이용 기술 확립

가. 원예작물의 근권부 환경 제어를 위한 센서 선정 및 측정 기준 구명

(1) 데이터로거를 이용한 토양수분센서 VWC calibration 조사 방법

토양수분센서로는 미국 Decagon 사의 EC-5 토양수분센서와 토양수분함량, 토양 온도 및 EC를 동시에 측정할 수 있는 GS3 센서를 이용하였다. 계측기로는 미국 Campbell Scientific 사의 CR1000 데이터로거를 이용하여 측정하였다. EC-5 sensor의 경우 데이터로거에서 2.5V 전압을 주어 전원을 공급하였으며, 공급 전압에 따라 sensor output 값이 변하나, calibration 계수는 역계산이 가능하다. GS3 sensor의 경우 SDI-12 방식으로 digital output(토양수분, 토양온도, 토양EC)을 출력하였다. GS3 sensor는 12V의 전압을 필요로 하기 때문에, 일정한 12V를 공급하기 위하여 별도의 12V power supplier로 전원을 공급해주었다. 센서 측정치와 실제 상토내 용적수분함량(VWC, volumetric water content, v/v)간의 회귀곡선을 이용하여 회귀식을 추정하였다.(SigmaPlot 통계 프로그램 이용)

Calibration을 위하여, 상토를 담은 화분의 부피(Vpot) 및 무게(Wpot)를 측정후 건조한 상토를 수분함량이 최대한 균일한 상태로 섞어 화분에 담았다. 동일한 충전율을 맞추어주기 위해 세 번 정도 두들기고, 모자라는 부피를 채워준 후 화분의 무게(Wwet)를 측정하였다. 측정할 토양수분센서를 꽂고 나오는 RAW value를 기록하였으며, 측정된 화분은 65°C dry oven에 넣어 모든 수분이 빠질 때 까지 (3-4일) 건조시켰다. 다른 토양수분함량 조건을 만들어주기 위하여 수분을 첨가하여 균일하게 잘 섞어준뒤, 위의 작업을 반복하여 다양한 토양수분함량 조건의 센서 값과 무게를 측정하였다. Dry oven 사용 후에, 마른 토양의 무게 (Wdry)를 측정후 아래 공식을 이용하여 토양용적수분함량(VWC, volumetric water content, v/v)를 계산한 후, 센서 측정값과의 회귀분석을 통해 보정계수를 구하였다.

$$VWC (v/v, m^3 \cdot m^{-3}) = (\text{수분의 부피})/(\text{전체 토양의 부피}) = (W_{wet}-W_{dry})/V_{pot}$$

(2) 데이터로거를 이용한 토양수분센서 EC-5 VWC calibration 조사 결과

EC-5 sensor의 경우 토양수분함량이 높을수록 sensor output 수치가 선형으로 증가하였다(그림 1) Calibration에 사용된 6개 상토 모두 통계적으로 유의한 ($P < 0.001$) 선형회귀식(linear regression)을 따랐다. Perlite 100%의 경우 상토내 가능한 용적수분함량 범위가 매우 작으며, 센서와의 접촉 문제 및 균일하지 못한 공급에 의하여 결정계수값(R²)이 다른 혼합상토에 비하여 낮게 나왔으나 (R² = 0.81),

perlite 100% 이용하는 배지경 양액재배의 상토 용적수분함량 측정에는 문제가 없는 것으로 판단된다. 원예상토 혼합비율에 따라 조금씩 다른 계수값이 도출되긴 하였으나, 같은 종류의 peat를 사용할 시에 모든 회귀식을 하나의 동일한 회귀식으로 사용 가능할 것으로 판단된다(표 1, global fit curve) 시판되는 범용 원예상토(바로커, 서울바이오)의 경우에도 비슷한 회귀식을 보여 base가 비슷한 상토에서는 하나의 회귀식으로 EC-5 토양수분센서 이용이 가능할 것으로 추정된다.

표 3-3-1. 혼합상토별 토양수분센서 EC-5 calibration 계수 값 ($VWC = a \times \text{sensor output} + y_0$)

Substrate mix	a	y_0	R^2
Baroker	0.0015	-0.3574	0.9698
Peat 100%	0.0015	-0.4107	0.9691
Peat 80 : Perlite 20%	0.0018	-0.4925	0.9602
Peat 60% : Perlite 40%	0.0015	-0.4005	0.9499
Peat 40% : Perlite 60%	0.0014	-0.3455	0.9885
Peat 20% : Perlite 80%	0.0013	-0.3092	0.9724
Perlite 100%	0.0015	-0.3580	0.8106
Global	0.0015	-0.3649	0.9513

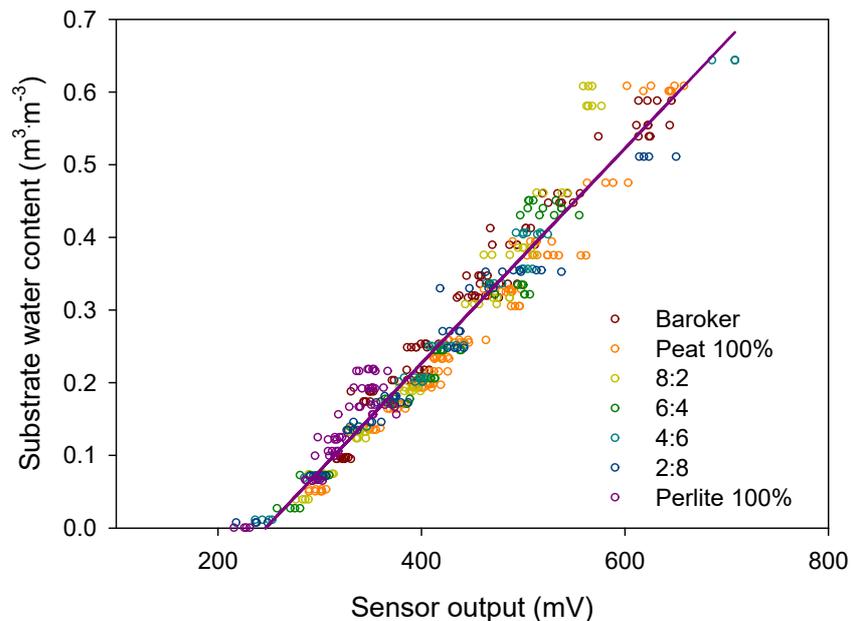


그림 3-3-1. 혼합상토 함량별(peat:perlite) 토양수분센서(EC-5) calibration

(3) 데이터로거를 이용한 토양수분센서 GS3 VWC calibration 조사 결과

GS3 sensor의 경우 토양수분함량이 높을수록 sensor output 수치가 증가하나 어느정도 이상에서는 기울기가 줄어드는 exponential rise to maximum 형태로 증가했다(그림 2) Calibration에 사용된 6개 상토 모두 통계적으로 유의한 ($P < 0.001$) 선형회귀식(exponential rise to maximum)을 따랐다(표 2) 원예상토 혼합비율에 따라 조금씩 다른 계수 값이 도출되긴 하였으나, 같은 종류의 peat를 사용할 시에

모든 회귀식을 하나의 동일한 회귀식으로 사용 가능할 것으로 판단된다(표 2, global fit curve) Perlite 100%로 조성된 상토에서는 상토 내 가능한 용적수분함량 범위가 매우 작으며, 센서와의 접촉 문제 및 균일하지 못한 공극에 의하여 GS3 센서의 경우도 EC-5 센서와 마찬가지로 결정계수값(R2)이 다른 혼합상토에 비하여 낮게 나왔으나 (R2 = 0.92), EC-5 센서에 비하여 높은 수치를 보여줬다. Perlite 100% 이용하는 펄라이트경 양액재배의 상토 용적수분함량 측정에 GS3 센서 이용이 매우 효과적일 것이라 판단되며, GS3의 EC 측정을 통하여 좀 더 효율적인 수경재배가 가능할 것으로 사료된다. 시판되는 범용 원예상토(바로커, 서울바이오)의 경우에도 비슷한 회귀식을 보여 base가 비슷한 상토에서는 하나의 회귀식으로 GS3 토양수분센서 이용이 가능할 것으로 추정된다.

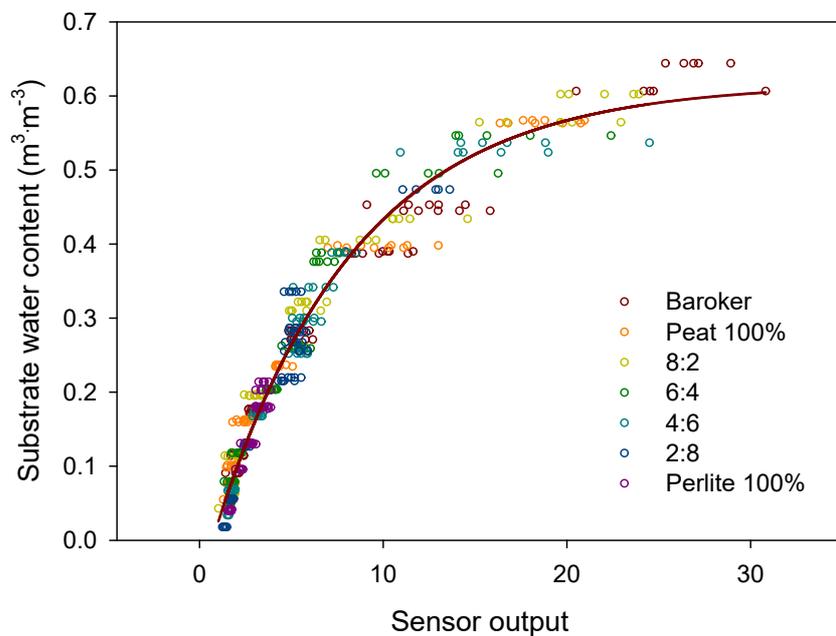


그림 3-3-2. 혼합상토 함량별(peat:perlite) 토양수분센서(GS3) calibration

표 3-3-2. 혼합상토별 토양수분센서 GS3 calibration 계수 값 [VWC = $y_0 + a \times (1 - \exp(-b \times \text{sensor output}))$]

Substrate mix	y_0	a	b	R^2
Baroker	0.0124	0.6758	0.0864	0.9780
Peat 100%	-0.0257	0.6553	0.1150	0.9737
Peat 80 : Perlite 20%	-0.0652	0.6705	0.1460	0.9727
Peat 60% : Perlite 40%	-0.0771	0.6869	0.1442	0.9711
Peat 40% : Perlite 60%	-0.0960	0.6846	0.1497	0.9763
Peat 20% : Perlite 80%	-0.1050	0.6609	0.1625	0.9437
Perlite 100%	-0.2580	0.5604	0.4581	0.9155
Global	-0.0593	0.6760	0.1304	0.9672

나. 배지 종류별 근권부 최적 환경 구명

(1) 시판 화훼상토별 토양수분센서 Calibration 비교

공시재료 (화훼용 원예상토)는 국내에서 시판되고 있는 화훼원예용 상토를 조사하여 구입 및 입수가 가능한 품목들을 대상으로 상토 조성 및 올바른 토양수분센서 이용을 위한 calibration을 시행하였다. (사)한국상토협회에 등록되어 있는 업체들을 대상으로 화훼용으로 판매되고 있는 8개 제품들 가운데 6종을 구하여 조사하였다. 또한 peatmoss 두 종류 (Klassman, Jiffy Tref)을 조사항목에 첨가하여 총 8개 상토의 FDR sensor (EC-5 and GS3, Decagon Devices) 보정수치 측정하였다.

국내 시판 원예상토의 구성 성분 비교하였는데 Peatmoss 위주로 되어있는 Jiffy Tref 와 Klassman 상토를 제외한 나머지 6가지 국내 시판 원예상토의 구성 성분을 비교하였다. 꽃사랑토(참그로)를 제외한 모든 상토에서는 (사)한국상토협회에서 제시한 상품 구성을 명시하였으며, 각 상토별로 구성 성분이 조금씩 차이가 있었다. 대부분의 상토는 피트(피트모스+코코피트)의 비율이 60~80%로 대부분을 차지하고 있었으며 그 다음으로는 펄라이트의 비율이 7~15%로 높았다. 해외 혼합 원예상토에 비하여 비교적 가격이 저렴한 코코피트(coir)의 이용이 높은 것을 볼 수 있었으며, 각 상품별 혼합상토의 혼합비율에 조금씩 차이가 있는 것으로 나타났다.

국내 시판 원예상토의 토양수분센서 EC-5 VWC calibration 결과는 EC-5 sensor의 경우 토양수분함량이 높을수록 sensor output 수치가 선형으로 증가하였으며, calibration에 사용된 8개 상토 모두 통계적으로 유의한 ($P < 0.001$) 선형회귀식 (linear regression)을 따랐다(표 3) 6개의 국내 제조 시판용 상토와 Jiffy Tref Peatmoss의 경우 VWC 회귀식이 거의 비슷하여 하나의 회귀식으로 VWC 이용이 가능할 것으로 보이나, Klassman Peatmoss의 경우 다른 7개 상토들의 회귀식과 차이가 나타나는 것으로 나타나, 정확한 VWC를 측정하기 위해서는 상토에 따른 VWC 회귀식을 구하는 것이 필요할 것으로 판단된다. 국내에서 시판되는 화훼용 원예상토 6개 제품 중 한 제품을 제외하고는 통계적으로 회귀식간의 유의한 차이가 없는 것으로 나타났으며, 유의한 차이가 있었던 상토의 경우 VWC 측정범위 차

이가 5%VWC 이하로 재배생산하는 데에 있어서 큰 문제를 일으킬 범위로 보여지지 않으며, 이를 통해 국내 제조 상토의 경우는 하나의 회귀식으로 사용하여도 산업체에서 이용하는데 큰 무리가 없을 것으로 보였다. 센서 제작사(미국 Decagon Device 사)에서 제공하는 원예상토용 회귀식으로는 30% VWC 이하의 낮은 VWC 범위에서는 본 실험에서 구해진 회귀식과 큰 차이가 없는 비슷한 값을 보여주나, 국내 시판 상토의 회귀식으로 이용할 경우 높은 VWC 범위에서 오류가 발생할 가능성이 있었다.

표 3-3-3. 국내 시판 원예상토별 토양수분센서 EC-5 calibration 계수 값
($VWC = a \times \text{sensor output} + y_0$)

Commercial Substrate	a	y_0	R^2
Purumi	0.1921	-61.15	0.9555
Super	0.1979	-64.25	0.9601
Chunhatongil	0.1731	-51.55	0.9754
Hanareum	0.1846	-57.75	0.9545
High	0.1963	-64.72	0.9287
Kotsarang	0.1853	-57.55	0.9592
Klassman	0.1944	-55.92	0.9700
Jiffy Tref	0.1786	-53.90	0.9603
Global (5 Korean substrates)	0.1895	-59.95	0.95

국내 시판 원예상토의 토양수분센서 GS3 VWC calibration 조사 결과는 GS3 sensor의 경우 토양수분함량이 높을수록 sensor output 수치가 증가하나 어느정도 이상에서는 기울기가 줄어드는 exponential rise to maximum 형태로 증가하는 것으로 보였으나, 센서값을 log 변형시킨 후 선형분석을 하였을 시에 VWC 측정에 더 알맞은 수치가 나타나는 것으로 나왔다(표 4) Calibration에 사용된 8개 상토 모두 GS3 센서에서 나온 ADC 값을 log변형 시켜 VWC 값에 대입한 직선회귀식(linear regression)의 경우 모두 통계적으로 유의한 ($P < 0.001$) 값이 나왔다. EC-5의 경우 6개의 국내 제조 원예상토 중 5개의 제품에서 회귀식이 유의한 차이가 없었으나, GS3 센서의 경우 6개 제품 모두 하나의 식으로 이용해도 될 정도의 유의한 차이가 없는 회귀식을 지니게 되었다. 센서 제조사에서 제공하고 있는 원예상토용 회귀식의 경우 ADC 값의 제곱근 값을 이용한 회귀곡선식을 제공하고 있으며, 이 식을 이용하였을 경우에는 그림에서 나오는 바와 마찬가지로 실제값과 큰 차이가 나는 것으로 나타나, 국내 상토에 본 센서를 이용시에 알맞은 회귀식을 이용하여 정확한 VWC 값을 측정해야 할 것으로 나타났다.

표 3-3-4. 혼합상토별 토양수분센서 GS3 calibration 계수 값 [($VWC = y_0 + a \times \ln(\text{sensor output})$)]

Commercial Substrate	a	y ₀	R ²
Purumi	18.88	1.132	0.9699
Super	20.72	-2.509	0.9801
Chunhatongil	21.18	-1.073	0.9736
Hanareum	22.90	-5.862	0.9781
High	20.83	-3.886	0.9787
Kotsarang	21.22	-2.588	0.9683
Klassman	20.53	-3.997	0.9818
Jiffy Tref	21.83	-6.814	0.9719
Global (6 Korean substrates)	21.02	-2.556	0.97

국내 시판 원예상토의 토양수분센서 VWC calibration 조사 결론으로 토양수분 센서에 따라 raw 값의 증가에 따라 VWC가 증가하는 정도가 달라, 올바른 VWC 측정을 위하여서는 토양수분센서에 따른 보정회귀식이 필요하며, 모듈과 같은 하드웨어 제조사나 제어기에 이러한 custom calibration을 직접 입력할 수 있는 기능이 필요할 것으로 판단된다. 국내에서 시판되고 있는 원예상토의 경우 대부분 coir의 함량이 높으며, 이로 인해 대부분의 원예상토의 토양수분센서에 따른 VWC보정식에서 원예상토별로 크게 다르지 않은 보정식을 보였으나, 정확한 VWC를 측정하기 위한 연구용 이용시에는 substrate specific calibration이 선행되어야 한다. 센서 제조사에서 나와있는 보정식은 국내 원예상토 VWC 측정에 오류를 나타낼 수 있으므로 사용시 보정식에 주의가 필요할 것이다.

다. 근권부 환경 제어 기술 고도화

(1) 배지 온도별 센서 측정 변화

온도변화에 따른 토양수분센서의 VWC 측정 변화 조사 방법으로 기존의 연구에서 토양의 온도에 따라 dielectric 토양수분센서 측정값이 변하여 이에 따른 또다른 보정이 필요할 수 있다고 보고하였다(Nemali 등, 2007) 토양 온도에 따른 용적수분함량 측정값의 변화가 일어나는지 알아보하고자 growth chamber에서 온도를 실제 온실 생산 중 가능한 5-35℃ 범위로 조절하여 EC-5 센서와 GS3 센서의 토양수분함량 측정 변화를 기록하였다. Growth chamber의 온도는 3시간 간격으로 35 → 25 → 20 → 15 → 10 → 5 → 10 → 20 → 30℃로 세팅하여 온도변화에 따른 공기온도, 토양온도, 용적수분함량 측정 수치(범용원예상토를 이용한 calibration 수치 이용)의 변화를 알아보았다. 상토의 용적수분함량이 변하지 않게 하기 위하여 토양수분센서 설치 후 container의 수분이 빠져나갈 수 있는 모든 구멍을 parafilm과 랩으로 밀봉하였다.

온도변화에 따른 토양수분센서의 VWC 측정 변화 조사 결과로 Growth chamber 안의 공기온도는 세팅에 알맞게 변화하였으며, 공기온도에 따라 토양온도도 함께 변화하였으나 일반적으로 상토의 비열에 의하여 온도보다 대체로 높은 온도를 보였다(그림 3) EC-5 센서의 경우 토양온도의 변화에 따라 용적수분함량 수치에 큰 변화가 없는 것으로 나타났으나 GS3 센서의 경우 온도가 감소함에 따라 용적수분함

량 측정치가 올라가고 온도가 증가함에 따라 용적수분함량 측정치가 내려갔다(그림 3-4)

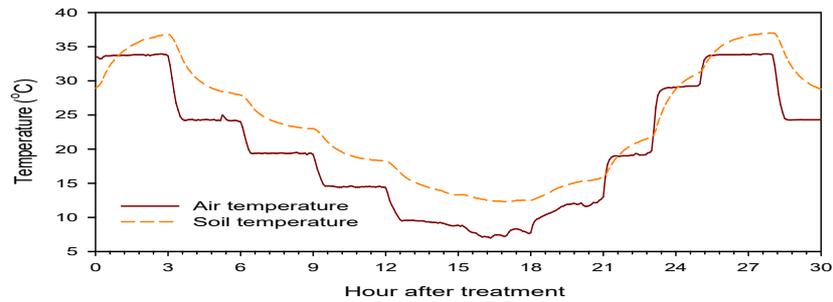


그림 3-3-3. Growth chamber 안의 공기온도 및 토양온도 변화

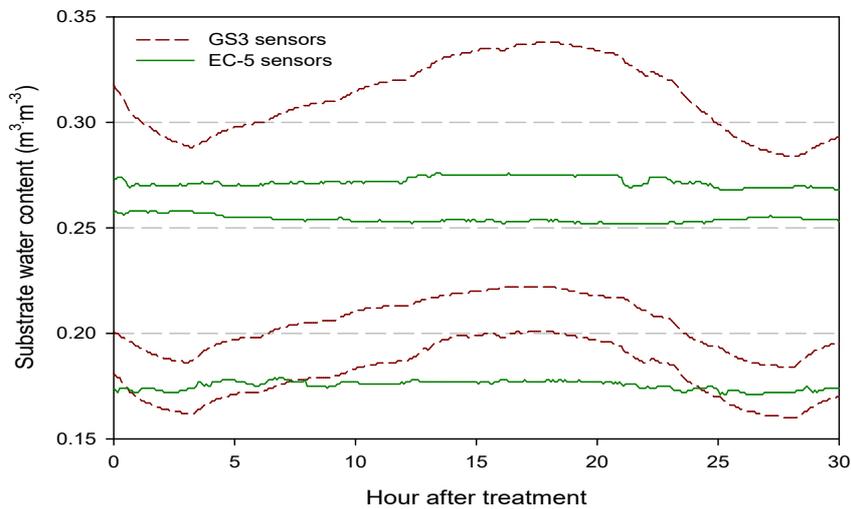


그림 3-3-4. 온도 변화 growth chamber 안에서의 토양수분센서의 용적수분함량 측정치 변화

그림 3-3-4에서 보여지는 대로 GS3 센서의 경우 온도의 변화에 따른 용적수분함량 수치는 최대 $0.04 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ 정도의 차이를 보였다. 그림 5의 그래프에서는 온도의 변화에 따라 EC-5 센서의 용적수분함량 수치는 큰 차이를 보이고 있지 않으나, GS3 센서의 용적수분함량 수치는 낮은 온도에서 높고 높은 온도에서 떨어지는 확연한 기울기를 보이고 있었다. EC-5 센서의 경우 토양수분함량을 측정하는 면이 플라스틱으로 되어있으나, GS3 센서의 경우 철로 이루어져 있으며 토양온도와 EC를 동시에 측정함에 따라 용적수분함량 측정에 있어 토양온도에 반응하는 결과를 나타내는 것으로 판단된다. GS3 센서의 경우 온도에 민감하므로 근권부 환경을 위하여 사용할 때 주의가 필요하다.

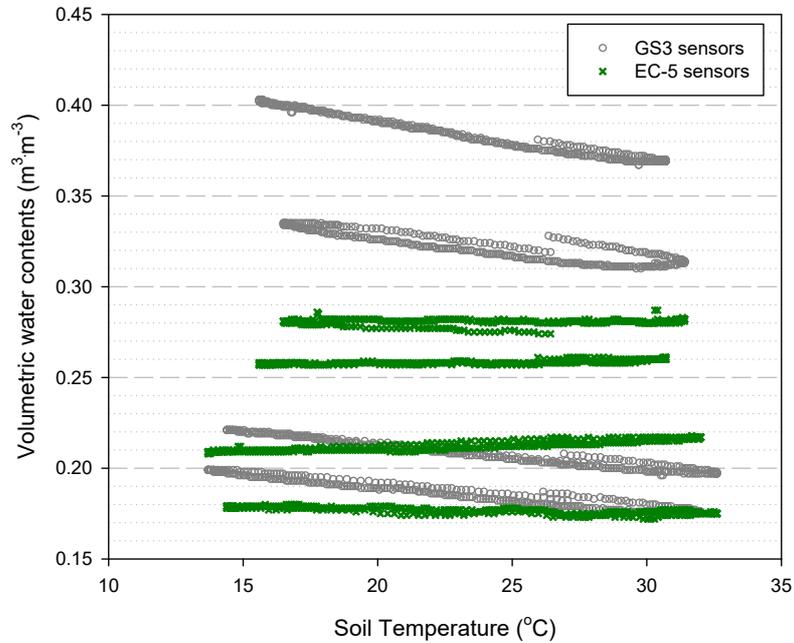


그림 3-3-5. 토양온도의 변화에 따라 토양수분센서의 용적수분함량 측정치 변화

(1) 토양수분센서 설치 위치 구명

토양수분센서 설치 위치에 따른 VWC 측정 변화 조사 방법은 원예작물의 효과적인 근권부 환경 측정을 위하여서는 측정 위치의 선정 및 센서 설치 방법 역시 중요하다. 원예상토 내에 토양수분센서의 설치시 중력에 의하여 센서에 수분이 몰려 있거나 너무 빨리 흘러나가지 않게 하기 위하여 45° 각도로 센서를 설치하도록 하였다. 하나의 큰 화분에 4개의 10cm 포트의 국화화분을 심고 센서 설치 위치에 따른 위치별 토양수분함량 변화를 측정하였다. EC-5 센서와 데이터로거를 이용하여 calibration 된 원예범용상토(바로커, 서울바이오)에 국화를 심고 충분히 관수한 뒤 3주 가량 토양수분함량 변화 측정하였다. 토양수분센서의 설치 위치는 식물의 뿌리가 있는 부분, 뿌리의 밑부분, 2개의 식물 사이, 4개의 식물 사이에 두어 식물의 수분이용을 가장 잘 측정할 수 있는 부위를 찾으려 하였다.

토양수분센서 설치 위치에 따른 VWC 측정 변화 조사 결과로 화분 내 용적수분함량(VWC, volumetric water content, v/v)도 위치에 따라서 차이가 있으며 올바른 작물생육을 위한 근권부 환경조절을 위해서는 센서설치 위치의 설정이 중요했다. 작물의 뿌리가 있는 부위와 그 밑의 부위는 식물의 수분 흡수에 따라 용적수분함량의 변화가 뚜렷이 보이거나 뿌리가 발달하지 않은 식물 사이의 빈공간은 주로 상토 표면의 증발에 의한 수분 감소를 측정하는 것으로 보여졌다(그림 6) 뿌리 아래에 센서를 설치하게 되면 관수 후 중력에 의하여 계속 빠지는 물로 인하여 용탈(leaching)이 어느 정도 일어나고 있는지 알 수 있는 효과가 있었다(그림 6) 이식 후 뿌리의 활착이 잘 이루어져 아래쪽까지 뿌리가 발달하게 되면 뿌리 아래쪽의 센서도 작물의 수분흡수 정도를 표현해 줄 수 있으나 이식 후 뿌리가 발달하기까지는 심을 때 뿌리 주변의 위치에 토양수분센서를 설치하는 것이 바람직하다.

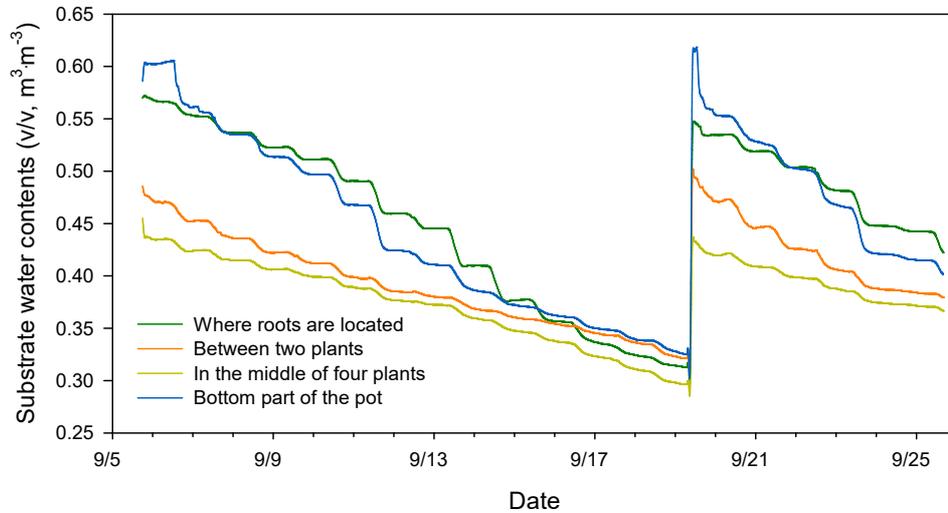


그림 3-3-6. 토양수분센서 설치 위치에 따른 용적수분함량 변화

그림 3-3-7의 일간 용적수분함량 변화 그래프에서는 식물 사이의 빈 공간에 설치한 센서와 뿌리 아래쪽에 설치한 센서에서는 식물의 수분 흡수 부분(용적수분함량 감소)이 제대로 보여지지 않지만, 뿌리 주변에 설치한 토양수분센서에서는 용적수분함량이 낮 시간 동안 떨어지는 모습이 보여 작물이 수분을 잘 흡수하고 있는 것을 보여줬다. 이를 통해 실제로 뿌리가 있는 부위 주변에 토양수분센서를 설치하는 것이 작물의 수분이용을 실시간으로 확인할 수 있으며, 관수 관리에도 큰 도움이 될 것으로 판단된다.

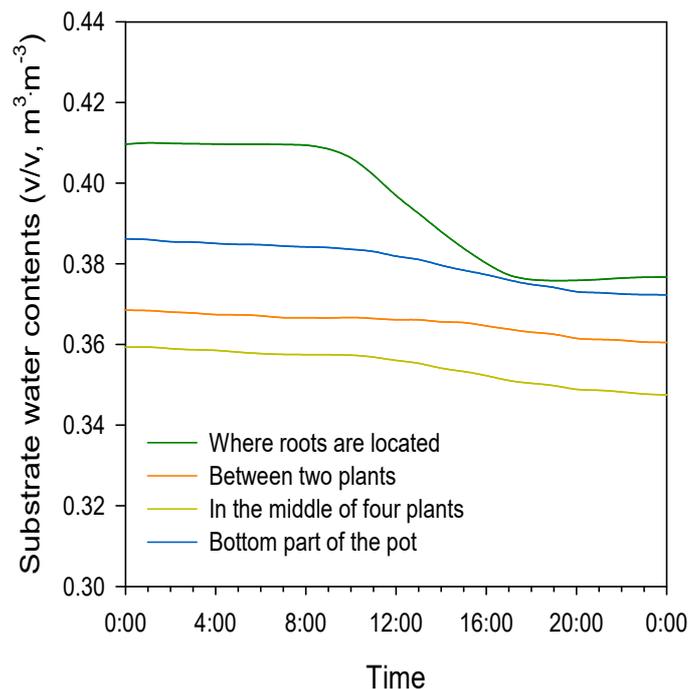


그림 3-3-7. 토양수분센서 설치 위치에 따른 일간 용적수분함량 변화

(3) 자동관수시스템을 이용한 관수시간에 따른 VWC 편차 실험

관수시간에 따른 VWC 편차 실험의 환경 조건을 알아보기 위한 본 실험은 경기도 고양시에 소재하고 있는 국화 생산 농가에서 생산되고 있는 Garden mum인 *Chrysanthemum morifolium* ‘Nestoro Pink’ 품종을 이용해 관수시간에 따라 관수를 결정해주는 센서(controlling sensor)와 측정센서(observing sensor)간의 측정되는 VWC값들의 차이를 알아보고자 수행하였다. 현재 자동관수시스템은 대표적인 생육을 띄는 식물체의 화분 내에 센서(controlling sensor)를 삽입하고, 센서가 삽입된 화분의 수분함량을 기준으로 다른 화분까지 관수가 되게 하였으며, 이에 따른 controlling sensor가 삽입된 화분의 VWC와 측정센서가 삽입된 화분의 VWC의 편차가 어느 정도인지 조사하였다. 경기도 고양시에서 10년 이상 국화를 재배한 농가(대표 양진모)의 노지에 5TE 센서(Decagon Devices, USA)를 이용한 자동관수시스템을 설치하여 한 달 동안의 화분 내의 VWC의 변화 정도를 측정하였다. 재배자의 의견에 따라 대립 Peatmoss(Solvika, Lithuania)를 배지로 사용하였으며, 이에 맞추어 5TE 센서를 보정하여 사용하였다.

2016년 7월 29일 노지에서 분화상태로 재배되고 있는 ‘Nestoro Pink’ 품종 중 생육이 비슷한 32개체를 선발하여 32개의 5TE 센서를 각각의 화분에 삽입하였다. 농가의 관행적인 방법에 따라 관수를 해주는 방법과 자동관수시스템을 이용한 관수방법(1분, 2분, 3분 관수) 처리구를 두어 약 1달 동안의 32개 화분의 VWC 변화를 측정하였다(그림 3-3-8)



그림 3-3-8. 현장 실험을 위한 경기도 고양시 국화농장의 모습과 VWC 편차 실험 모습

자동관수시스템을 이용한 관수시간에 따른 VWC 센서값을 확인하기 위해서는 - 실제 자동관수시스템을 이용하여 관수를 해주었을 때 각각의 화분들 간에 VWC 편차가 있는지 알아보기 위하여 32개의 5TE 센서를 설치하여 각각의 화분의 VWC를 조사하였다. Solenoid valve 6개를 설치하였으며, 처리구는 1분, 2분, 3분의 관수시간 그리고 재배자 방식의 두상관수로 2반복으로 진행하였다. 관수시점은 20분간 VWC 측정수치가 설정값인 50%VWC 이하로 떨어진 경우 1분, 2분, 3분 동안 점적 관수를 통해 관수되도록 하였고, 재배자 방식의 처리구는 재배자의 경험에 따라 두상관수가 실시되었다.

Group A의 1분 처리구에서 controlling sensor는 설정값인 50%VWC로 잘 유지되었고, observing sensor는 50%VWC 이상으로 controlling sensor 보다 표준편차 약

$\pm 3\%$ VWC 로 유지되고 있었다(그림 3-3-9) Group B의 1분 처리구에서는 8월 4일 이후 모든 센서의 VWC가 설정값인 50%VWC 이하로 감소하는 것을, Group B의 2분 처리구에선 설정값 이상으로 VWC가 유지되는 것을 확인되었는데, 이는 1분 처리구에 2분 동안 관수되는 solenoid valve가 연결되었고, 2분 처리구엔 1분 동안 관수가 되는 solenoid valve가 연결돼 1분 처리구의 VWC가 설정값 미만으로 떨어져도 관수가 되지 않고 2분 처리구에 관수가 지속적으로 이루어진 결과로 8월 18일 보완해주었다.

Group A의 2분 처리구에선 controlling sensor와 observing sensor 모두 VWC 설정값과 비슷하게 유지되었고, 센서간 표준편차 평균을 계산한 결과 약 $\pm 3.8\%$ VWC 차이가 있었다(그림 3-3-10) 자동급액시스템을 이용한 VWC의 경우 현장 적용의 한계점인 관리 부족함으로 인하여 센서의 설치 오류 문제 혹은 급액량의 부족 등으로 인해 모든 처리구에서 설정값대로 유지되는 것이 어려웠으나 70%정도의 자동급액시스템은 설정대로 작동하여 현장 적용 가능성을 보여주며, 추후에는 농가 현장 관리자의 교육과 주기적인 관찰이 필요할 부분으로 판단된다.

Group B의 1분 처리구를 제외한 나머지 처리구에서는 controlling sensor와 observing sensor 간의 VWC 측정값 차이가 5%VWC 이하로 controlling sensor와 비슷한 수준의 VWC를 측정하였다(그림 3-3-11) Group B의 1분 처리구는 2분 처리구와 solenoid valve 연결이 잘못되어 관수가 안됐음에도 불구하고 observing sensor 2의 경우 VWC 설정값에 가깝게 유지되었고, observing sensor 1의 경우 controlling sensor보다 20%VWC 정도 떨어졌는데 이는 식물체의 생육차이로 인해 각각의 화분의 증발산량이 달라짐에 따른 결과로 판단된다.

Group A의 3분 처리구에서는 controlling sensor는 설정값에 가깝게 유지 되었으나, 나머지 observing sensor는 설정값 미만으로 유지되고 있어 식물체를 확인해본 결과 controlling sensor의 식물이 observing sensor의 식물체보다 생육이 더 저조한 것을 확인할 수 있었다(그림 3-3-12) Group B의 3분 처리구의 센서들은 설정해준 VWC 50%에 알맞게 유지되고 있었고, 센서값들 간의 표준편차의 평균은 $\pm 1.7\%$ VWC로 측정되었다(그림 3-3-13) Group A와 B의 conventional 처리구에선 재배자가 직접 경험에 의한 방법으로 두상관수를 실시해준 처리구이고, 두상관수를 실시해줌에 따라 모든 센서의 VWC 곡선의 변동이 생겼지만, 오류가 없었던 자동관수시스템에 비해 화분 내 VWC간의 편차가 Group A와 B 각각 ± 10 , $\pm 3.4\%$ VWC로 크게 발생하였다(그림 3-3-14)

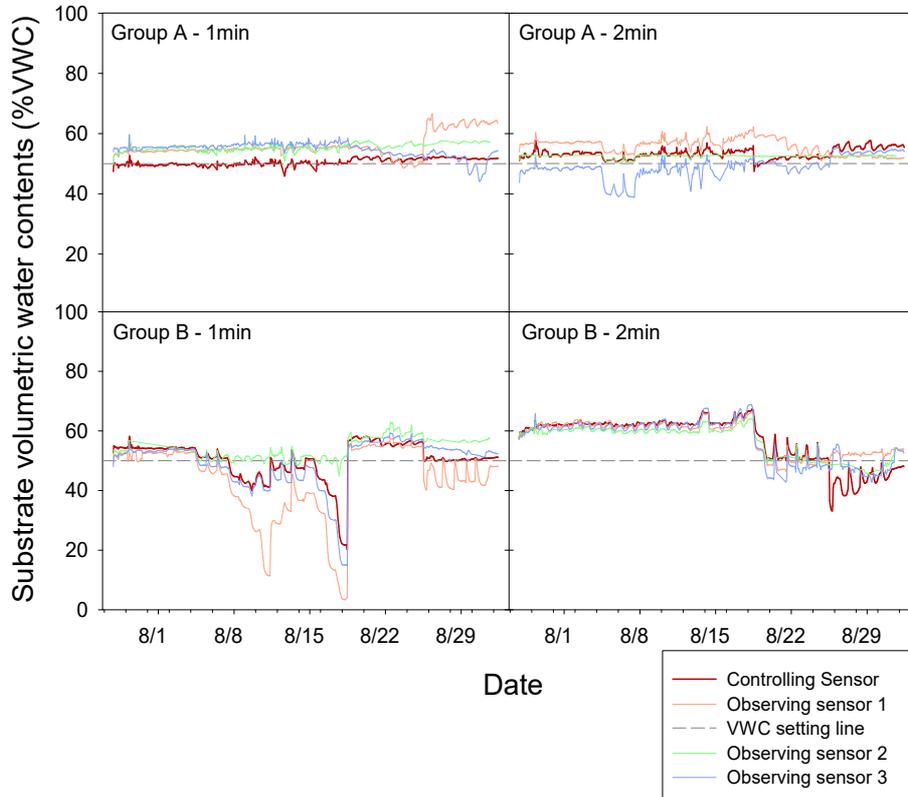


그림 3-3-9. 1분과 2분 처리구에서 측정된 VWC 센서값

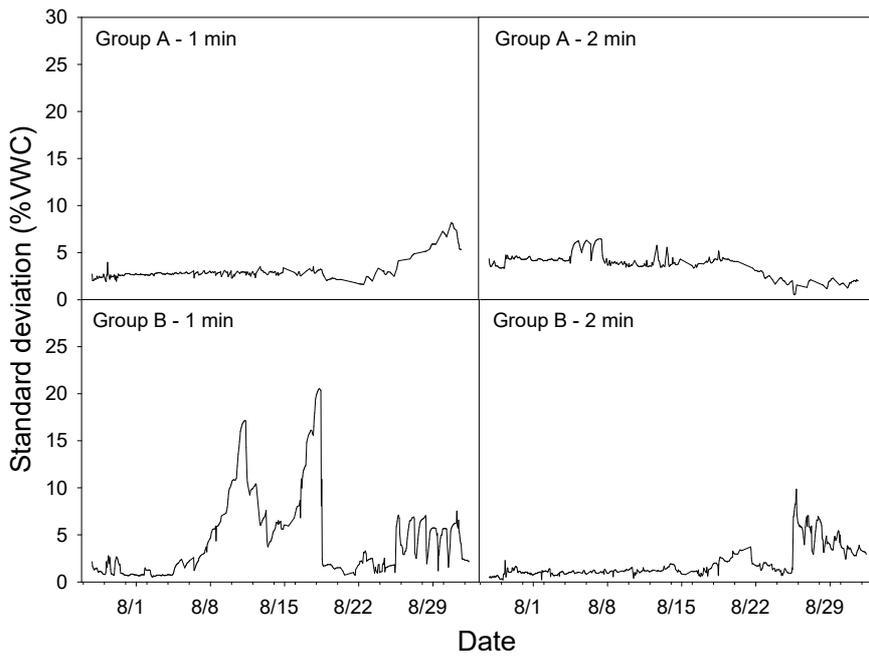


그림 3-3-10. 1분과 2분 처리구의 VWC 센서값 표준편차

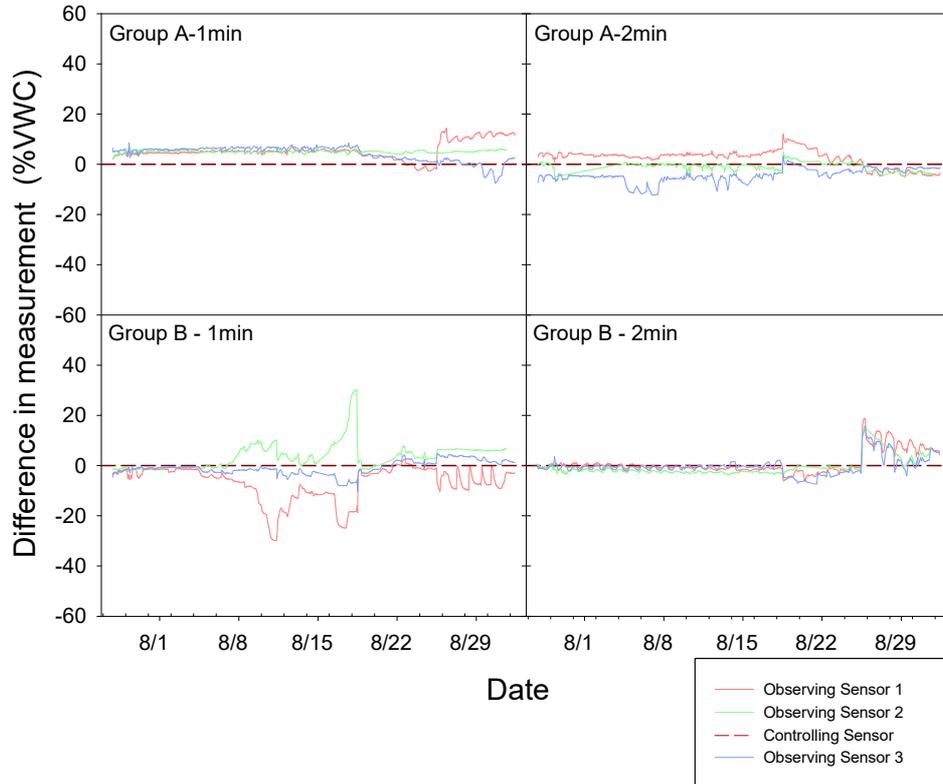


그림 3-3-11. 1분과 2분 처리구의 Controlling sensor 측정값과 Observing sensor 측정값의 차이

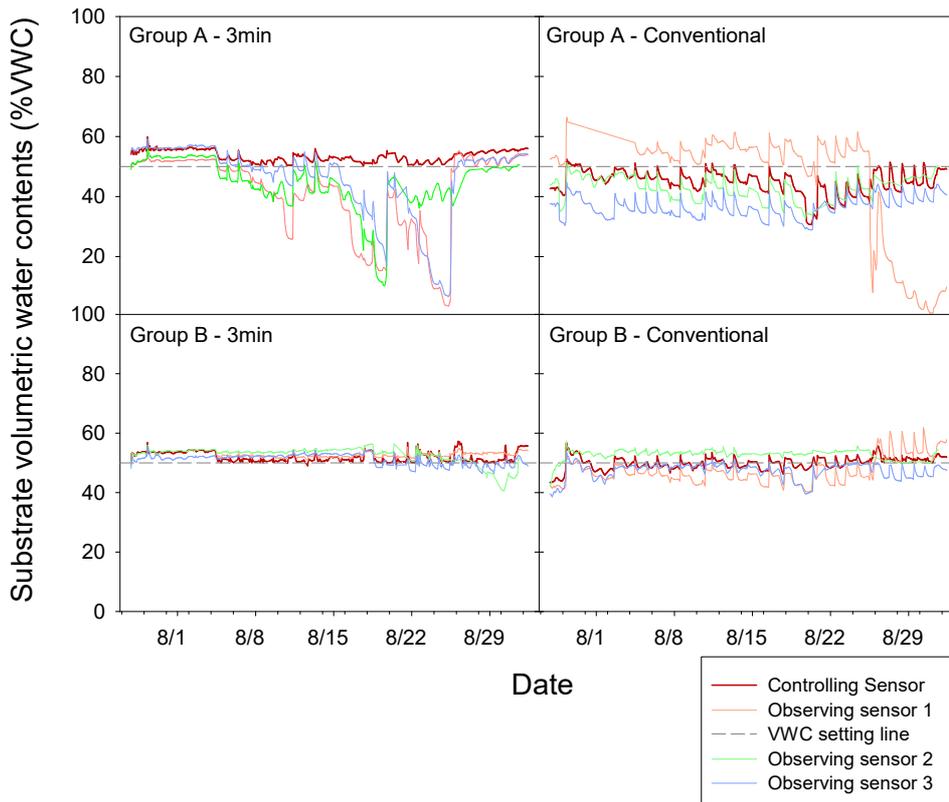


그림 3-3-12. 3분과 관행재배 처리구에서 측정된 VWC 센서값

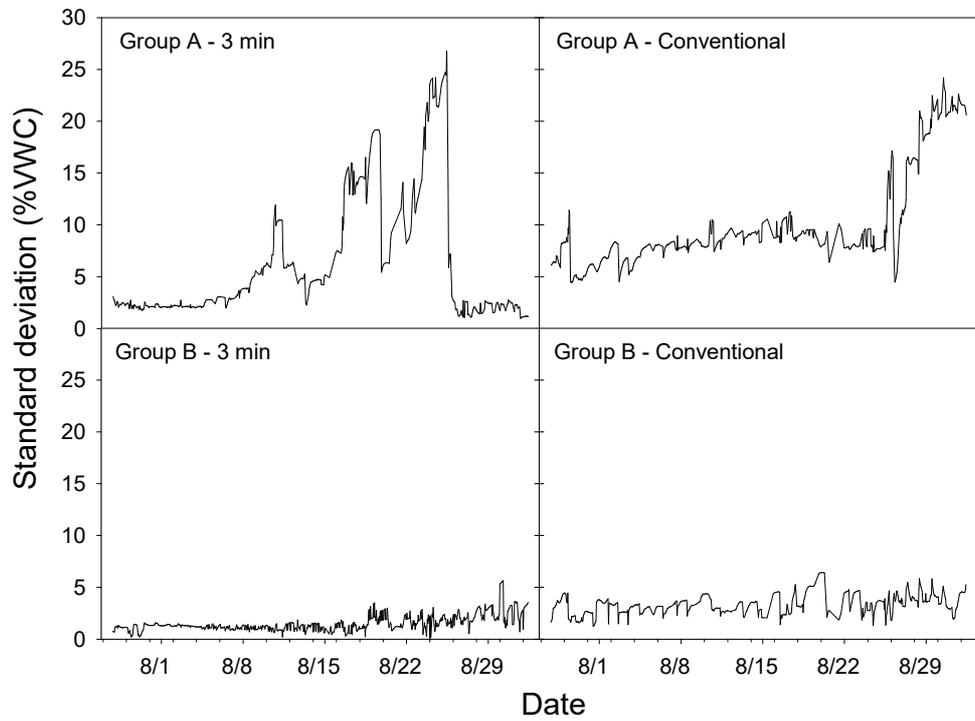


그림 3-3-13. 3분과 관행재배 처리구의 VWC 센서값 표준편차

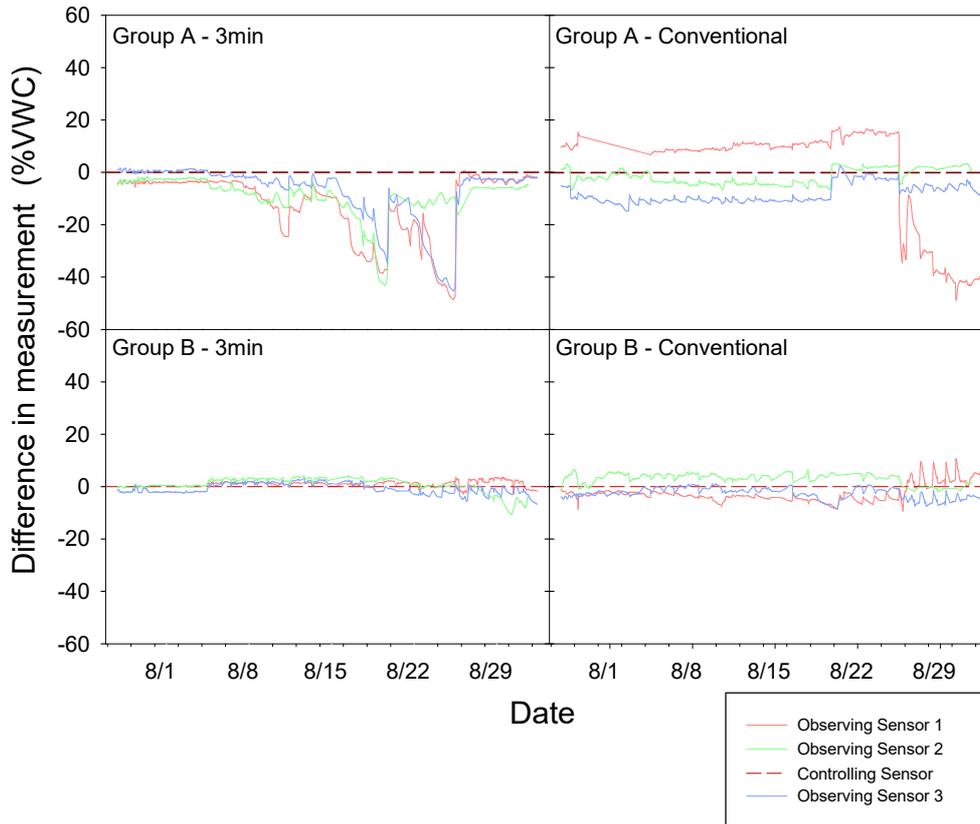


그림 3-3-14. 3분과 관행재배 처리구의 Controlling sensor 측정값과 Observing sensor 측정값의 차이

자동관수시스템을 이용한 관수시간에 따른 VWC 편차 실험 결론으로 토양수분센서를 기반으로 한 자동관수시스템 사용 시 센서와 solenoid valve간 정확한 연결이 필요하며, 센서나 데이터로거 등 기계적 오류가 발생할 수 있으므로 주기적인 관찰이 필요하다. 본 실험을 통해 식물체의 생육에 따라 요구하는 수분이 다르다는 것을 확인할 수 있었음. 이에 따라 생육이 비슷한 식물체들을 선발하여 그 중에서 대표적인 생육을 나타내는 식물체에 관수를 결정하는 controlling sensor를 삽입해야 화분들 간 VWC 편차를 줄일 수 있음을 확인하였다. 본 실험은 기계적 오류가 빈번히 발생하였지만, 오류가 발생하지 않은 처리구들을 보았을 때 1분, 2분, 3분 각각의 처리구에서 화분들 간의 VWC 편차가 재배자의 관수방법 보다 더 작은 것을 확인할 수 있었고, 3분 처리구가 가장 편차가 작은 것을 확인할 수 있었으나 기계적 오류가 발생해 추후 재실험이 필요할 것으로 보인다. 따라서, 자동관수시스템 사용 시 균일하고 정량화된 관수가 진행될 수 있음을 확인할 수 있었고, 생육이 대표적인 식물체 선발 시 controlling sensor를 통해 여러 식물체의 관수 결정이 가능할 것으로 판단된다.

2. 작물별(딸기, 국화) 최적 근권 환경제어 기술 확립

가. 토양수분-EC 센서를 이용한 실시간 근권 환경 측정 기준 구명

(1) 국화 재배용 상토의 물리적, 화학적 특성 구명

현행 국화 재배시 이용되는 상토 조사는 충남 농업기술원 예산 국화연구소의 협조를 통하여 국화를 주 작물로 재배하는 농가에서 이용되는 상토를 조사하였다. 농가에서는 주로 토경 재배를 하고 있으나 원예 상토를 이용하는 경우 피트(피트모스, 코코피트)와 펄라이트의 배합에 의한 상토를 이용하였다. 농가에 따라서 배양토 혼합 비율 및 구입경로가 다양한 것으로 나타나 있으며, 예를 들면 경기도 고양시의 한 국화농가에서는 유럽산 피트모스(80%) + 펄라이트 (20%)를 배양토로, 예산국화시험장 삼목용 권장 상토-버미큘라이트:펄라이트:피트모스(1:1:1)로 사용하고 있었다.

(2) 센서 활용 및 보정(calibration)을 위한 배지(substrate)의 물리적 특성 구명

배지 물리적 특성(입도분포, 고상/액상/기상 등) 측정은 상토 조성별 입도분포 조사 방법이 필요한데 이 방법은 피트(코코피트)와 펄라이트 조성비율별, 시판되고 있는 일반 원예상토(바로커, 서울바이오)의 입도분포를 조사하였다. coir(코코피트, EF Top)와 펄라이트(G.F.C.) 조성비율은 coir 100%, coir : perlite = 8:2, 6:4, 4:6, 2:8, Perlite 100%로 구성하였다. 입도 분포는 ROTAP-II Sieve shaker(Model A.S.T.M.E-11, Fisher Scientific Co., USA)로 조사하였으며, 여기에 사용된 체(sieve)는 미국 표준규격 번호 3 1/2(직경 5.6mm), 7(2.8mm), 14(1.4mm), 25(710 μm), 45(355 μm), 100(150 μm), 140(106 μm)을 이용하였다. 입도 분포 조사는 Choi 등 (1999) 방법을 따랐으며 4반복으로 수행하였다.



그림 3-3-15. 실험에 사용된 체(sieve)와 Ro-tap Sieve Shaker

상토 조성별 입도분포 조사 결과로 그림 3-3-10에서 보여지는 바와 마찬가지로 perlite의 비율이 증가함에 따라 큰 (2.8~5.6mm) 입자의 비율이 증가하였으며 710 μ m 이하의 입자의 비율은 coir의 함량이 증가함에 따라 증가하였다. 현재 시판되고 있는 바로커 상토의 경우 coir:perlite 8:2 비율과 비슷한 입도분포를 보이거나 1.4~2.8 mm 정도의 입자를 더 가지고 있어 통기성에 도움을 줄 것으로 판단된다. 원예작물의 원활한 생육을 위하여 원예상토의 보수력과 보비력 및 통기성이 우수한 상토 혼합 비율(coir:perlite 6:4~8:2)이 적당하다고 사료된다.

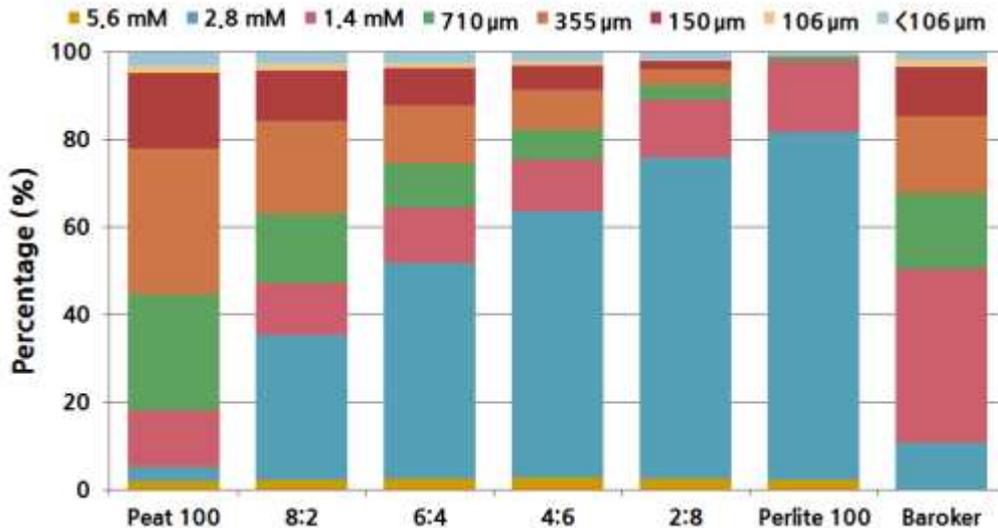


그림 3-3-16. coir(peat):perlite 비율에 따른 혼합상토 및 시판원예상토 (바로커, 서울바이오)의 원예상토 입도 분포표

상토 조성별 공극률(토양의 삼상분포) 조사 방법은 Porometer를 이용하여 Bilderback 등(1982)의 방법에 의해 목표 가비중이 되도록 상토를 동 실린더 (347.5mL)에 충전한 다음 저면관수 방법에 의하여 상토의 모든 공극을 증류수로 포화시키고 수면이 상토의 표면과 일치한 후 15분 기다렸다가 배수하여 배수된 분량을 측정하였으며, 기존 방법을 통하여 기상률, 액상률, 공극률을 계산하였다.

상토 조성별 공극률(토양의 삼상분포) 조사 결과로 일반적으로 perlite의 비율이 높아질수록 공극률은 감소하며, dry matter의 비율이 증가하는 것으로 나타났다(그림 3-3-17) 시판되고 있는 바로커 원예상토의 경우 coir:perlite 6:4의 dry matter contents와 비슷한 고상률을 보였다. Coir 100%와 coir:perlite 8:2의 경우 dry matter content가 10% 정도로 큰 차이가 없었다.

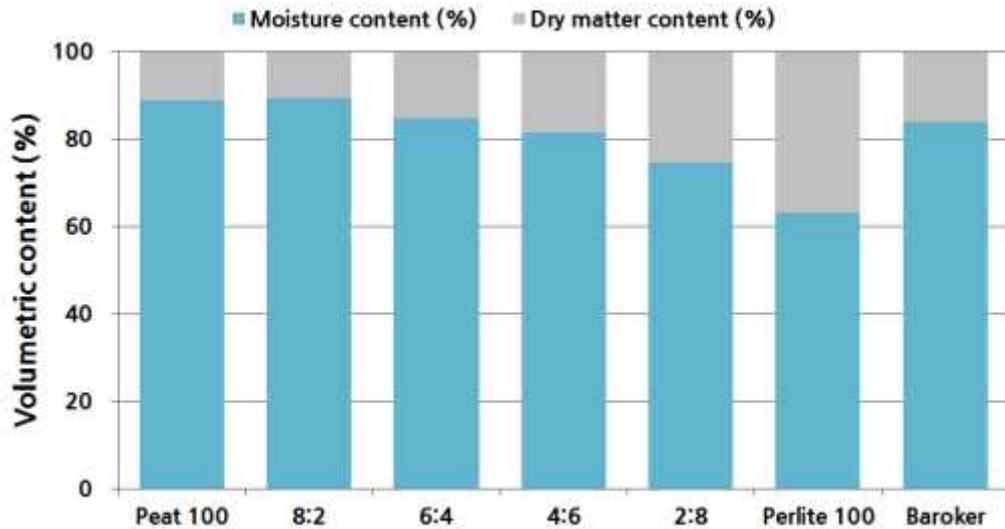


그림 3-3-17. Coir(peat):perlite 비율에 따른 최대용수량 시 고상 및 총공극 비율

일반적으로 peat의 비율이 많을수록 용기용수량이 증가하며, perlite의 비율이 많아질수록 기상률이 증가했다(그림3-3-18) 시판되는 바로커 상토의 경우 peat:perlite 8:2의 비율의 공극량과 비슷한 양상을 보였다. 이를 통해 peat의 함량이 많을수록 총 공극량은 증가하며, perlite의 함량이 많아질 경우 총 공극량은 감소하나, 대공극을 많이 지니고 있어 통기성을 좋게 할 수 있다.

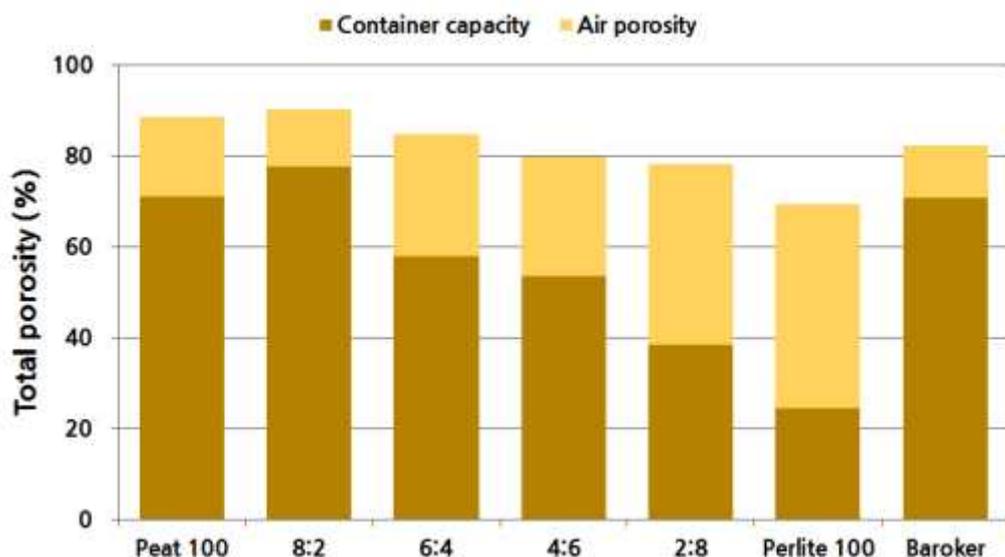


그림 3-3-18. Coir(peat):perlite 비율에 따른 용기용수량 및 기상률 분포

Sand box를 이용한 수분보유곡선 조사 방법은 Coir(peat)와 perlite 조성 비율별 및 시판되고 있는 일반 원예상토(바로커, 서울바이오)의 수분보유곡선(retention curve)을 조사하였다. 상토가 보유할 수 있는 수분 중 식물이 쉽게 흡수할 수 있는 수분(4.903KPa 보다 낮은 장력 하에 존재하는 수분, easily available water, EAW)과 완충수분(4.903KPa~9.806KPa 장력하에 존재하는 수분, buffering water, BW)의 비율은 sand box(Model pF 0~2.0, Eijkelkamp Agrisearch Equipment, Netherland)를 사용하여 측정하였다. 실험을 위해 코어 안에 상토를 충전하고 물로 포화시켜 시료를 준비하였으며, 수주 높이를 10cm, 50cm, 100cm의 압력으로 조절한 뒤 sand box를 물로 채웠다. 다시 포화된 상토가 들어있는 코어를 넣고 24시간 뒤 무게를 측정하여 EAW와 BW의 비율을 Milks 등(1989)의 방법에 따라 계산하였다.

Sand box를 이용한 수분보유곡선 조사 결과는 그림 3-3-19에서 보이는 바와 마찬가지로 coir(peat)의 함량이 증가함에 따라 최대용적수분함량이 높아졌으며, 수분보유 감소의 정도가 완만해 지는 것으로 나타났다. Perlite 100%의 경우는 식물이 쉽게 이용할 수 있는 EAW(pF>1)에 다다르기 전에 많은 수분들이 빠져나가는 것을 확인할 수 있다. Coir(peat) 함유량이 많을수록 EAW의 수분함량범위가 더 커짐을 알 수 있으며, 이를 통해 식물생육을 위한 수분확보를 위한 보수력 증진이 가능하다.

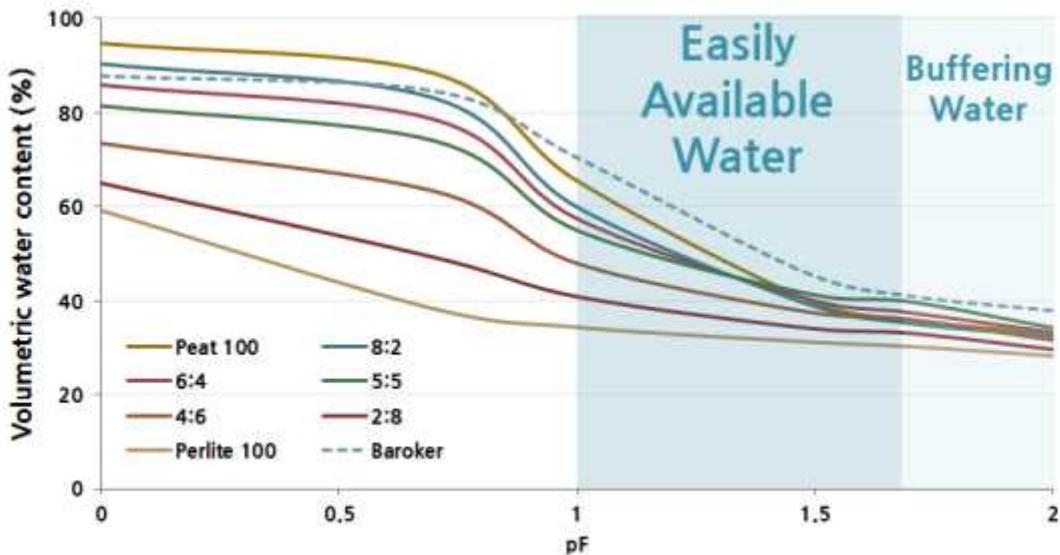


그림 3-3-19. Coir(peat):perlite 비율에 따른 moisture retention curve

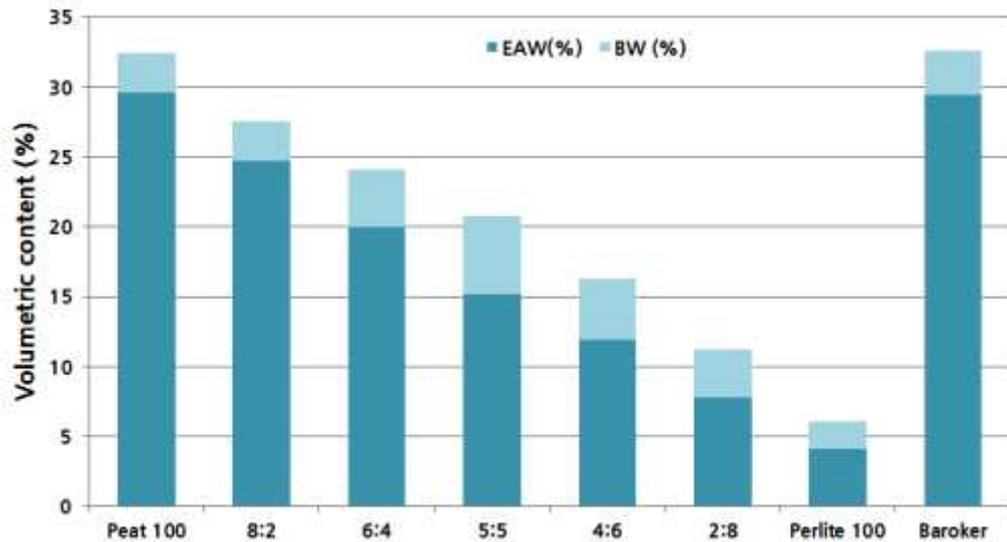


그림 3-3-20. Coir(peat):perlite 비율에 따른 EAW(easily available water)와 BW(buffering water)의 비율 변화

Coir(peat)의 함량 비율이 높아질수록 EAW의 용적비율이 증가함을 보이며, perlite의 함량 비율이 높아질수록 EAW의 용적비율이 줄어드는 확연한 결과가 나타났다 (그림 3-3-20)시판되고 있는 원예상토의 경우 EAW의 용적비율이 peat 100%와 비슷함을 보이면서도, 위에서 기술한 통기성도 함유하고 있어, 실제 혼합상토에서도 원예상토에 사용하는 계면활성제 등을 이용하면 작물 생육에 이로울 것이라 판단된다. 원예작물의 원활한 수분공급을 위하여 peat 60% 이상의 혼합비율이 유리할 것으로 판단되며, 뿌리 호흡이 필요한 작물의 경우 통기성을 위하여 coir(peat):perlite = 6:4가 적당할 것으로 판단된다.

(3) 센서 활용 및 보정(calibration)을 위한 배지(substrate)의 화학적 특성 구명

상토 조성별 pH & EC 조사 방법은 상토 재료의 pH 및 EC는 포화추출법 (saturated paste method, Warncke, 1986)으로 측정하였다. 시료를 일정한 용기에 담은 뒤 증류수로 포화상태를 만들고 2시간을 기다려 화학평형상태에 도달한 후 추출하여 측정하였으며, 3반복으로 측정하였다.

상토 조성별 pH & EC 조사 결과는 Peat 100%의 경우 pH는 5 정도로 산성을 띠었으며, perlite 100%의 경우 pH 8.7 정도로 강한 알칼리성을 지녔다(그림 21) Peat 함량 비율이 높을수록 상토의 electrical conductivity(EC, 전기전도도)가 높았으며, perlite의 함량 비율이 높을수록 EC가 낮아지는 양상을 보였다(그림 22) Perlite 100%의 경우 매우 낮은 EC를 보여주며, 물리성의 결과를 비추어보아 perlite 단독 사용시에는 시비가 큰 문제가 될 것으로 사료된다. 시판되고 있는 원예상토의 경우 peat:perlite 8:2의 EC값과 유사한 수치가 나왔다.

Peat의 함량 비율이 높을수록 더욱 산성을 띠며, perlite의 함량 비율이 높을수록 산도가 약해지는 결과를 보였다. 상토의 화학성은 시비작업(기비 또는 추비) 등에 의한 방법으로 부족한 영양소를 보충하기가 비교적 용이하나, pH의 경우 작물재배 전에 적정수준으로 조정되어야 한다. 일반적으로 peat base의 상토에서는 limestone

등을 이용하여 pH를 높이고 있으나, peat:perlite 비율에 따라 limestone 혼합량을 조절하여 작물에 적당한 pH를 맞추어 주는 것이 적절할 것이다.

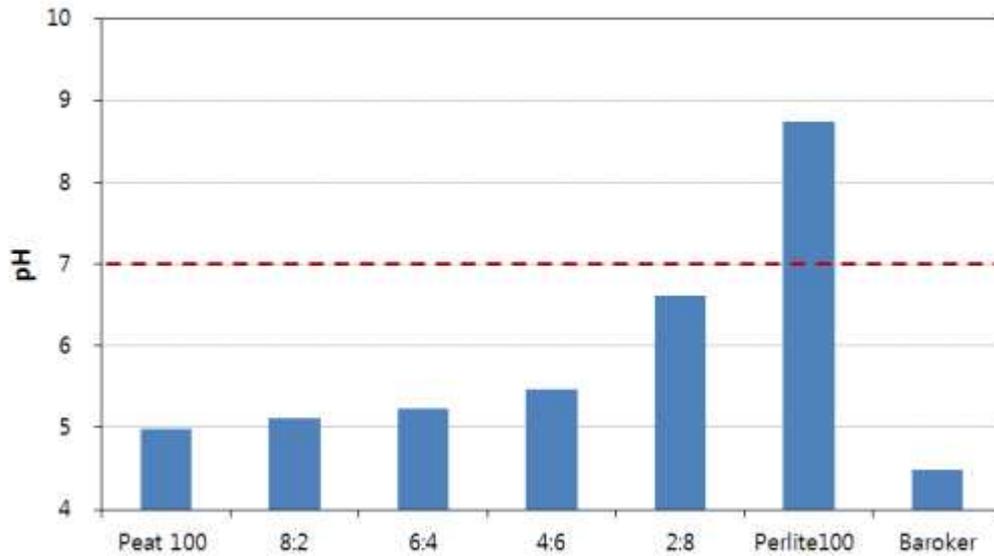


그림 3-3-21. Coir(peat):perlite 비율에 따른 pH 변화

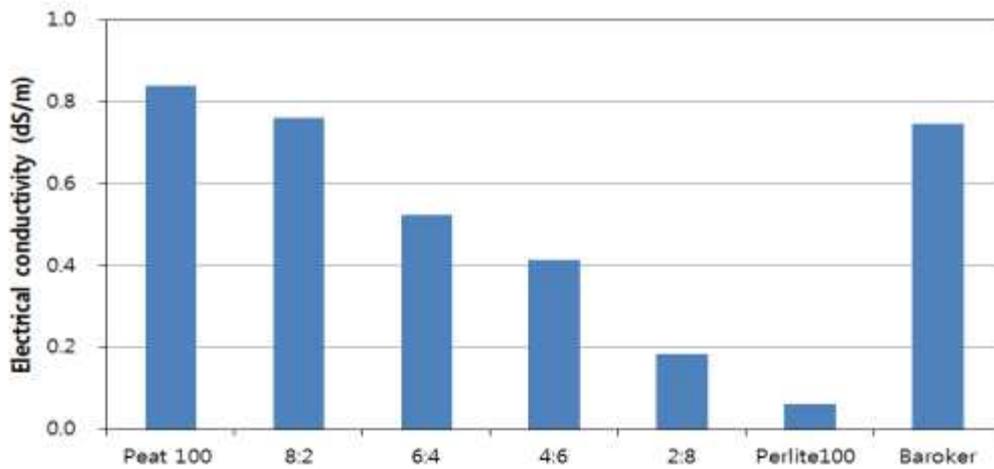


그림 3-3-22. Peat:perlite 비율에 따른 EC 변화

원예상토의 토양수분 함량별 pH 변화 조사 방법은 원예상토의 용적수분함량 (VWC, volumetric water content)에 따른 pH 변화를 측정하여 pH 완충 곡선 제시 하였다. 상토의 pH를 측정하기 위하여 ISFET(ion-sensitive field-effect transistor) 방식의 pH meter를 이용하여 측정 후, 일반적인 상토 pH 측정방법인 포화추출법을 이용하여 pH 재측정 하였다. 시판중인 범용 원예상토(바로커, 서울바이오)에 증류수를 이용하여 용적수분함량 수준을 다양하게(0.1~0.7 m³ · m⁻³) 제조하여 pH를 측정 후 실제 용적수분함량 측정하였다.

원예상토의 토양수분 함량별 pH 변화 조사 결과는 원예상토의 용적수분함량 (VWC, volumetric water content)에 따라 특정한 pH 변화 추세가 나타나지 않으며 (그림 3-3-23), ISFET pH 센서를 이용한 상토의 pH 측정 수치는 포화추출법 pH 측

정수치와 차이가 없었다.

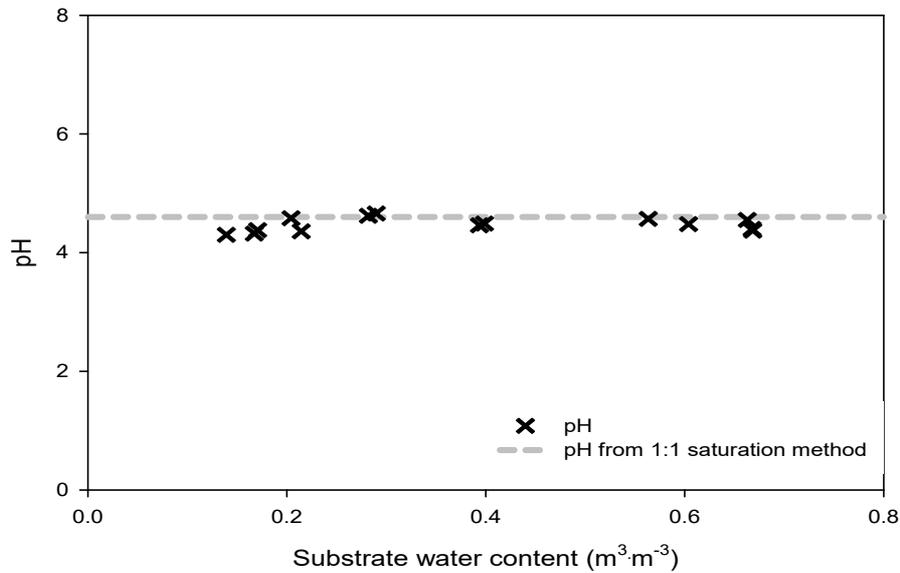


그림 3-3-23. 원예상토(바로커, 서울바이오)의 용적수분함량(VWC, volumetric water content)에 따른 상토내 pH 변화

데이터로거를 이용한 토양수분-EC 센서 EC calibration 조사 방법은 토양수분함량, 토양온도 및 EC를 동시에 측정할 수 있는 미국 Decagon 사의 GS3 센서 이용하였다. 계측기로는 미국 Campbell Scientific 사의 CR1000 데이터로거를 이용하여 측정하였다. GS3 센서는 SDI-12 통신 방식을 사용하며 토양수분, 토양온도, 토양EC 3개의 digital output을 출력했다. 센서에서 출력되는 EC 측정치는 일반적으로 통용되고 있는 pore EC가 아닌 상토내의 bulk EC로써 토양수분함량(VWC)의 변화에 따라 수치가 변화된다. 이로 인해 bulk EC를 측정하는 센서의 이용에 있어서 측정값을 이해하는 데 어려움이 있는 것으로 나타났다.

데이터로거를 이용한 토양수분-EC 센서 EC calibration 조사 결과 토양수분함량 calibration에 있어서는 상토 혼합 함량에 큰 영향없이 global fit curve로 회귀식이 만들어졌으나, EC 측정치에 있어서는 상토 혼합 비율 및 종류에 따라서, 그리고 용적수분함량에 따라서 회귀식이 달라졌다. GS3의 EC 측정값은 상토내의 용적수분함량이 증가함에 따라 선형으로 1차회귀식을 따르며 증가했다(표 5. $P < 0.001$) Peat의 함량 비율이 줄어들고 perlite의 함량 비율이 증가함에 따라 같은 용적수분함량에서의 GS3 센서 EC output이 낮게 나타남. 이는 상토 조성별 EC 조사의 결과와 마찬가지로 실제 pore EC 값이 낮은 영향도 있다. 그러나 선형회귀식에서 보여지는대로 perlite 비율이 증가함에 따라 회귀식의 기울기가 급격히 감소하며, pore EC 측정에서 비슷한 수치를 보여주었던 바로커 상토와 peat:perlite 8:2 혼합상토의 기울기에 있어서도 뚜렷한 차이를 보여줬다. 용적수분함량 calibration의 경우 같은 peat base 상토간의 비슷한 회귀식 계수를 보여주었으나, VWC-bulk EC의 경우는 상토에 따른 각각의 calibration이 필요할 가능성이 있다.

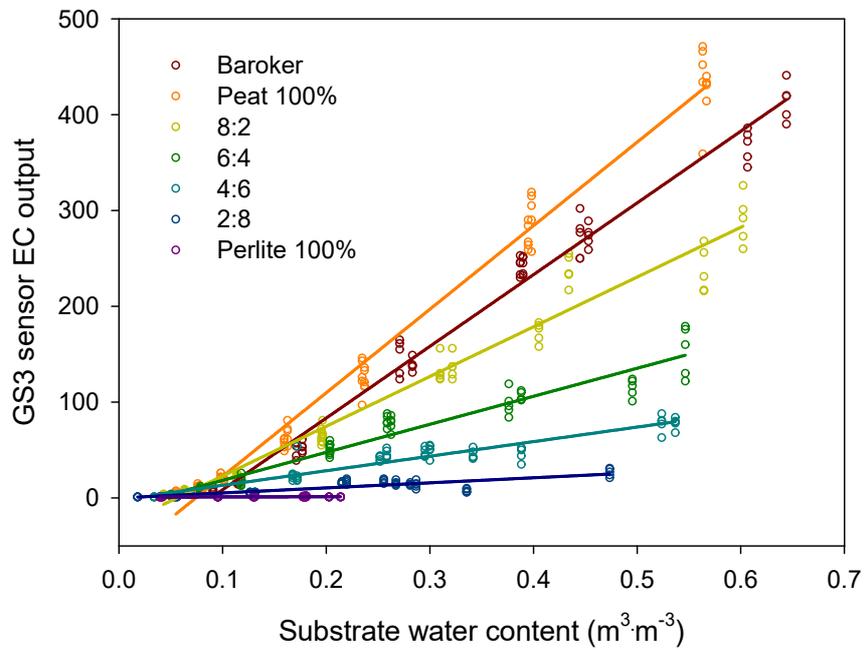


그림 3-3-24. 혼합상토 함량별(peat:perlite), 토양수분함량에 따른 GS3 센서의 bulk EC 출력치 변화

표 3-3-5. 혼합상토, 용적수분함량별 토양수분센서 GS3 EC calibration 계수 값
($EC = a \times VWC + y_0$)

Substrate mix	a	y_0	R^2
Baroker	748.43	-66.35	0.9863
Peat 100%	871.97	-64.70	0.9840
Peat 80 : Perlite 20%	519.10	-29.02	0.9632
Peat 60% : Petlite 40%	292.48	-10.89	0.9365
Peat 40% : Perlite 60%	151.92	-1.98	0.9038
Peat 20% : Perlite 80%	52.76	-0.03	0.7058
Perlite 100% ($P=0.0417$)	1.78	0.94	0.0536
Global	0.0015	-0.3649	0.9513

기존의 연구에서 dielectric을 이용한 bulk EC 측정 수치와 pore EC의 상관관계에 있어 이론적 접근(Hilhorst, 2000)이 있었으나 원예상토의 측정에 있어서는 아직 더 많은 검증이 필요하다.

(2) 딸기 수경재배용 상토의 물리적, 화학적 특성 구명

딸기 수경재배용 상토 선정기준은 설문조사 및 현장지도 시 딸기 농가에서 주로

사용하는 상토 5종류 선정하였고, 설문조사는 전국 딸기 농가를 대상으로 경남, 전북, 강원, 제주, 충남, 경북 마이스터 대학 6개소의 72명으로 하였으며, 현장지도 및 교육시 딸기 농가에서 주로 사용하는 상토 5종류를 선정하였다.

표 3-3-6. 실험대상 5종류 상토

구 분	주요 사양	비 고
1 한아름	•딸기전용 상토(A type), (주)신성미네랄 * 구성비율 ; 펠2:코5:피2:기타1	제품
2 BC2	•딸기전용 상토, BVB 상토 한국지사, * 구성성분의 대부분은 피트모스	제품
3 펠 ^a 5 : 코 ^b 5 (v/v)	※ 상토 원재료의 입도	
4 펠 ^a 4 : 코 ^b 3 : 피 ^c 3 (v/v)	- 펠라이트 : 입도 2~5 mm, 호만산업 - 코코피트 : 입도 4 mm, 인도산, 블록형태	혼합조제
5 펠 ^a 3 : 피 ^c 7 (v/v)	- 피트모스 : 입도 7~20 mm, 리투아니아산	

*a : 펠라이트, b : 코코피트, c : 피트모스

상토별 물리적 특성 구멍으로 상토조제를 위한 재료의 혼합에 있어서 가장 중요하게 고려되어야 할 부분은 통기성과 보수성의 적절한 균형을 유지하여 작물재배에 적합하도록 물리성을 조절하는 것이다. 기술적 조합결정 이외에 각 원료의 가격 동향 등 사업성까지 포함시켜 최종적으로 상토원료의 배합을 결정하게 되며 우리나라 원예용 상토의 경우, 전체 사용량을 볼 때 코코피트 > 피트모스 > 제올라이트 > 펠라이트 순으로 사용되고 있다. 혼합상토의 물리성은 혼합하는 재료의 특성과 비율에 따라 다양하기 때문에 대상작물의 특성과 상토 사용목적 및 재배방식 등을 고려하여 선정해야 한다. 이러한 상토의 물리성은 작물재배 시 통기성 측면에서 뿌리의 호흡 및 생장에 지대한 영향을 미치며 보수성 측면에서 수분 및 영양분 흡수 등 식물 생장에 중요한 요소로써 물리적 특성에 따라 관비시기 및 횟수를 조절해야 한다.

입도분포 : Sieve Shaker를 이용한 입도 분석 측정방법은 RO-TAP® Sieve Shaker(Model A.S.T.M-11, FISHER SCIENTIFIC COMPANY)를 이용하여 Choi 등 (1999)의 방법에 따라 각 상토별 입도분포를 측정하였다. 시료를 105℃의 건조기에서 24시간 건조 후 건조된 시료를 정확히 100g 정량하여 Sieve Shaker를 이용하여 체로 선별한 후 각 Sieve에 남은 양을 %로 환산하였다. 사용한 체번호는 미국 표준 규격(USA Standard) Testing Sieve No. 3.5(5.6 mm), 7(2.8 mm), 14(1.0 mm), 25(710 μm), 45(355 μm), 100(150 μm), 140 (106 μm) 및 pan(<106 μm) 8등급 구분하였다.

측정결과 상토의 물리성에 가장 큰 영향을 미치는 것은 구성재료의 입자크기 및 배열이며 이것에 따라 통기성과 보수성이 결정됨. 입자의 크기는 배수 속도와 양을 결정하며 이에 따라 보수, 보비력의 차이가 발생하였다. 즉, 입자의 크기 및 배열에

따라 공기 또는 물이 점유하는 공극의 양이 달라짐. 일반적으로 공극은 대공극(macropore)과 소공극(micropore)으로 구분되며 대공극은 지름이 0.08~5mm 이상인 공극으로 통기성을 좋게 하고 소공극(<5mm)은 식물 흡수해야 할 수분을 모세관현상으로 유지하는 공극으로 곱팡이 등이 자라며 뿌리털이 자라는 공간이기도 하다. 혼합상토의 물리성은 그 상토의 구성재료와 혼합비율에 의해 좌우된다.

표 3-3-7. 상토원료의 물리적 특성

구분	용적밀도(g/cm ³)		보수력(% V/V)			고상율 (%)	공극률 (%)
	평균	범위	5kPa	유효수분	완충수분		
코코피트	0.16	0.09~0.20	42.7	41.4	6.5	12.3	87.7
피트모스	0.10	0.09~0.13	45.9	55.0	9.0	-	-
펄라이트	0.16	0.11~0.19	-	-	-	21.8	78.2

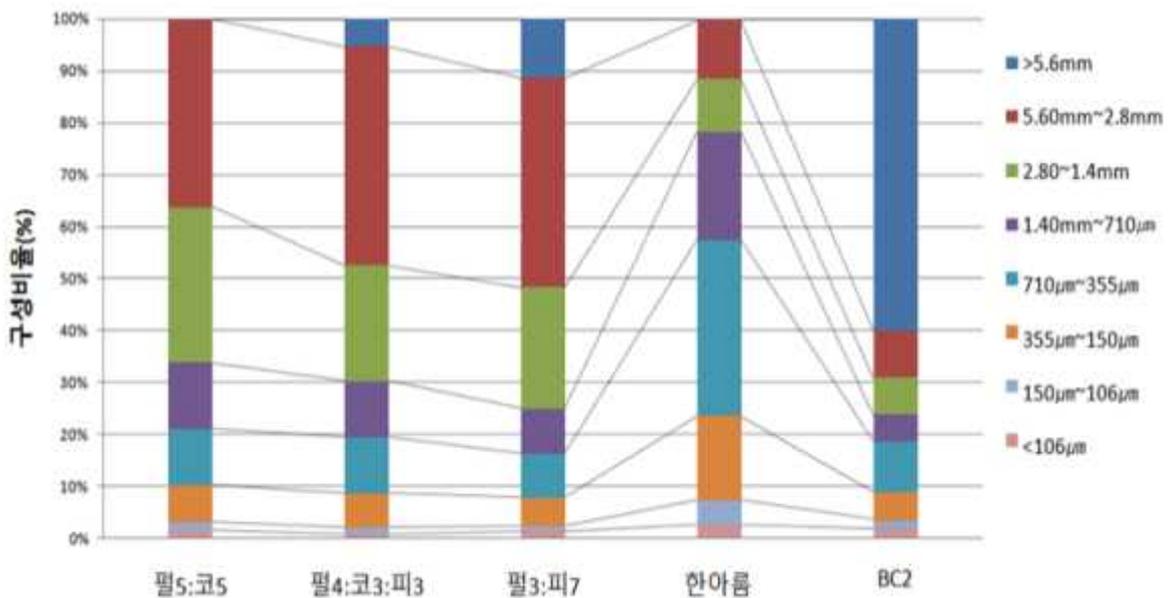


그림 3-3-25. 상토별 입도분포 비율

표 3-3-5에서 보는 바와 같이 상토원재료의 입도가 각각 펄라이트 2~5mm, 코코 피트 4mm, 피트모스 7~20mm 로 세 종류의 상토원료의 입도가 1.4mm(sieve No. 14) 이상이었음. 그림 1의 입도분석결과와 비교해볼 때 펄5:코5, 펄4:코3:피3, 펄3:피7의 세 가지 상토에서 비슷한 입도분포를 보였음. 그러나 유기질 원료인 피트모스의 혼합비율에 따라 5.6mm 이상의 구성비율이 펄3:피7에서 펄4:코3:피3 순으로 증가하는 양상을 보였다. 딸기전용 상토로 시판되는 “한아름”의 경우, 혼합비율이 펄2:코5:피2:기타1 그림 2이며, 입도분포결과를 비취볼 때 직접 혼합조제를 한 상기 3 종류 상토보다 1.4mm 이하의 비율, 특히 710~335µm의 비율이 높았으며, 상토 구성재료의 입도가 작은 것을 사용했음을 알 수 있었다. 피트모스를 주원재료로 하는

BC2의 경우 그림 25에서 보는 바와 같이 5.6 mm 이상의 구성비율이 약 60%였다. 상토의 입도분석의 경우 토양과 같이 유기물질을 분해, 제거한 다음에 측정하는 것이 아니기 때문에 토양의 입도분포특성과 직접적인 비교는 불가하며 구성 원재료의 입도분포 및 특성을 파악하는 참고자료로 활용하는 것이 바람직하다.

삼상 : Porometer를 이용한 고상, 액상, 기상의 비율 조사를 위한 측정방법은 Porometer를 이용하여 Bilderback 등(1982)의 방법에 의해 목표 가비중이 되도록 상토를 동 실린더(347.5 mL)에 충전한 다음 저면관수 방법에 의하여 상토의 모든 공극을 증류수로 포화시키고 수면이 상토의 표면과 일치한 후 15분 기다렸다가 배수하여 배수된 분량 측정하였다.

측정결과 뿌리의 생육 측면에서 삼상분포는 매우 중요한 요인이며, 상토의 공극 사이에 있는 물은 식물에게 필요한 각종 영양성분의 용매 및 운반체로서 뿐만 아니라 토양의 물리성을 좌우하므로 매우 중요하다. 용적밀도의 경우 암석을 모재로 한 일반 토양의 용적밀도가 2.6~2.7 g/cm³인 반면, 상토의 용적밀도는 유기물이 많이 함유되어 있고 유기물의 낮은 밀도 때문에 용적밀도가 낮다. 용적밀도는 상품화된 상토의 최종무게를 좌우하며 상토의 구비조건 및 작업의 용이성에 중요한 요인이다.

표 3-3-8. 상토별 삼상 비율

구분	액상률(%)	기상률(%)	공극률(%)	고상률(%)	용적밀도(g/cm ³)
펠5:코5	62.6	22.3	84.8	15.2	0.12
펠4:코3:피3	60.0	23.1	83.1	16.9	0.12
펠3:피7	58.8	22.9	81.7	18.3	0.13
한아름	74.2	9.70	83.9	16.1	0.14
BC2	78.1	18.1	96.2	3.8	0.07

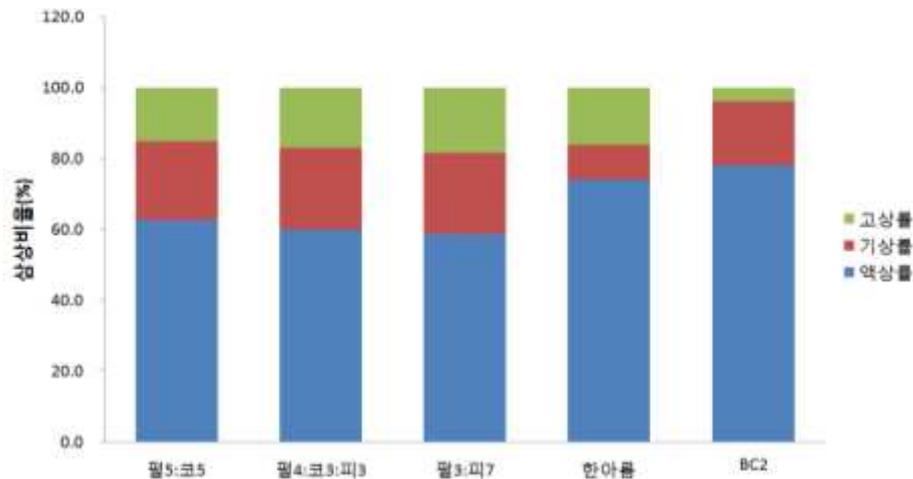


그림 3-3-26. 상토별 삼상비율

삼상은 상토 구성 재료의 입자의 크기, 배열 및 혼합비율에 큰 영향을 받으며 입도분포에서 살펴본 바와 같이 혼합조제한 세 종류 상토(즉, 펄5:코5, 펄4:코3:피3)에서 비슷한 양상을 보이며 보수력이 좋은 피트모스를 주 구성성분으로 하는 BC2의 공극률, 특히 액상률 78.1%로 가장 높아 작물재배시 과습이 되지 않도록 관비주기 및 횟수에 주의가 필요하다. 한아름 상토의 경우 공극률은 혼합조제 한 3 종류 상토와 비슷한 공극률을 보이나 액상률이 74.2 %, 기상률 9.7%로 상대적으로 액상률이 높고 기상률이 낮아 혼합조제 한 상토에 비해 통기성에 불리할 것으로 판단된다. 용적밀도의 경우 표 7에서와 같이 용적밀도가 $10.0\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 으로 낮은 피트모스를 주원료로 하는 BC2의 경우가 $0.07\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 로 가장 낮았으며 나머지 4가지 상토는 $0.12\sim 0.14\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 범위를 보였다.

Sand box를 이용한 수분보유곡선 구명을 위한 측정방법은 pF determination Sand box(Model pF 0~2.0, Eijkelkamp Agrisearch Equipment, the Netherlands)를 이용한 pF (kPa)별 수분보유함량 측정하였다.

측정결과 뿌리의 생육 측면에서 삼상 분포는 매우 중요하며 토양수분장력 10cm와 100cm에서의 수분함량은 상토의 물리적인 특성을 구분 짓는 중요한 기준이 된다. 관개시설이 충분하고 생산효율을 극대화시키기 위해서는 최저에너지 상태의 수분에서 작물재배가 요구되고, 뿌리의 왕성한 호흡을 위해서는 약 15%의 기상률(공기충전공극)이 필요하다. 실제 작물재배에 있어 유효수분범위(EAW) 내의 수분을 유지하고 5kPa~10kPa 사이에서 일반적으로 관비함. 완충수분(WBC)은 토양 중 양분의 용해, pH, 온도 등 각종 물리화학성의 급격한 변화를 막아주므로 작물생육을 우수하게 유지한다. 유효수분함량이 많으면 관비간격을 길게 조절할 수 있으므로 관비시 토양이나 작물에 스트레스를 적게 주고 상토관리도 비교적 용이하다. 상토의 수분보유력은 식물이 상토로부터 수분을 흡수하기 위한 식물뿌리 흡인력보다 더 적을 때 작물 생육이 우수함. 이러한 이유는 수분흡수를 위해 식물 에너지의 일부가 사용되어지며 작은 장력하에 토양수분이 토양입자에 흡착되어 있을 경우 식물이 쉽게 수분을 흡수하고 에너지 소비량이 적어 이들 에너지가 생체중 증가에 사용될 수 있음. 결과적으로 상토 내에 존재하는 물은 낮은 장력하에서 쉽게 흡수될 수 있어야 하며, 아울러 근권부의 공극은 토양 통기성이 원활한 구조와 크기를 가져야 한다.

표 3-3-9. 상토별 쉽게 흡수할 수 있는 수분 및 완충수분

단위 : %

구분	쉽게 흡수할 수 있는 수분 (EAW)	완충수분 (WBC)
펄5:코5	13.1	2.9
펄4:코3:피3	15.8	4.1
펄3:피7	16.8	4.4
한아름	30.9	4.6
BC2	34.3	5.4

표 3-3-9에서와 같이 투수성이 좋은 펄라이트와 보수성이 좋은 피트모스의 상대적인 구성비율에 따라 펄5:코5 < 펄4:코3:피3 < 펄3:피7 < 한아름 < BC2의 순으로 쉽게 흡수할 수 있는 수분이 증가함을 볼 수 있으며 완충수분능 2.9~5.4%로 비교적 차이가 크지 않았다. 그림 3에서 보는 바와 같이 수분장력이 증가할수록 혼합조제한 3 종류 상토 (즉, 펄5:코5, 펄4:코3:피3, 펄3:피7)는 한아름이나 BC2와 비교할 때 상대적으로 수분함량의 감소정도 즉, 기울기가 급격하게 변화함을 알 수 있었다. BC2와 한아름의 경우 쉽게 흡수할 수 있는 수분이 각각 30.9%, 34.3%로 상토에 존재하는 대부분의 수분이 낮은 장력하에서 흡수할 수 있어 보수력 측면에서 우수하다고 판단하였다.

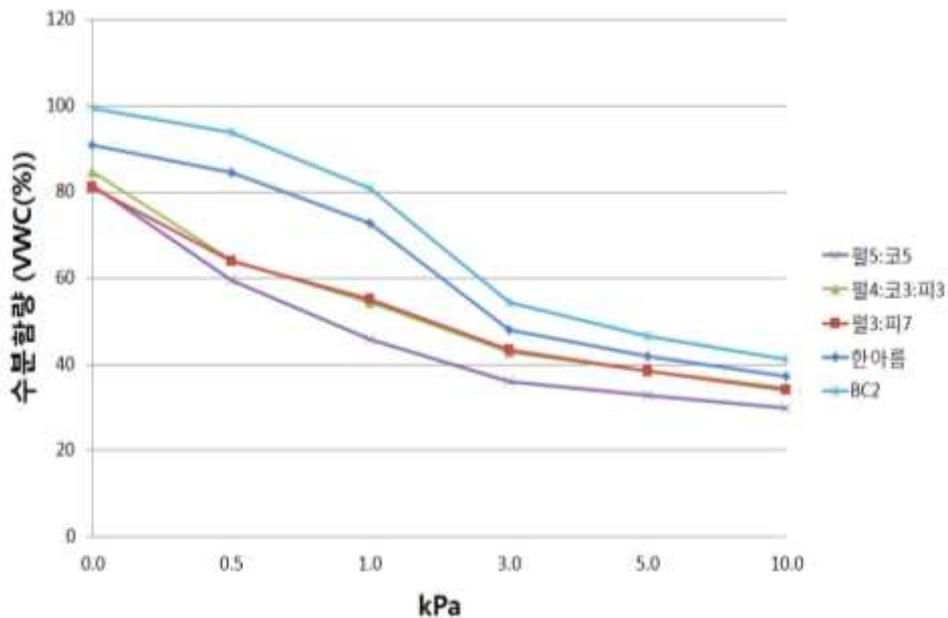


그림 3-3-27. 수분보유곡선

(3) 상토별 화학적 특성 구명

상토의 화학성은 상토 자체의 고유한 특성, 첨가된 비료 및 pH에 따라 영향을 받게 되며 식물 영양에 중요한 역할을 하고 상토의 화학성은 물리성에 비해 중요도가 상대적으로 덜하는데 이는 필수 영양소를 시비를 통해 보충할 수 있기 때문이다. 그러나 상토에서 중요하게 취급하는 pH, EC, 그리고 상토 원료에 포함되어 있는 과다하거나 치명적인 원소들이 포함되어 있을 때 문제가 심각하다. 작물 재배에 적합한 pH는 일반적으로 5.5~6.2의 범위로 추천되고 있는데, 딸기의 경우 5.5~6.8의 pH 범위가 적정하다(김이열, 2003) 점토, 미사, 유기물 등 상토의 교질 성분은 보통 전기적으로 음전하를 띠며 이 전하는 양이온을 흡착시켜 강우 또는 관수시 영양소가 쉽게 유실되지 않도록 하여 식물이 이용가능하도록 하는 영양소 저장소로서의 기능을 한다. 이러한 상토의 고정 음전하의 양을 양이온치환용량(CEC: cation exchange capacity)이라고 하고, 일반적으로 상토에서 바람직한 CEC의 범위는 0.6~1.5cmol+kg-1 정도이며, CEC가 높을수록 바람직하다. CEC가 낮은 상토는 양분 저장소로서의 역할을 잘하지 못하기 때문에 비료를 자주 주어야 하고, 점토, 피트모스, 버미큘라이트 그리고 대부분의 부식화된 유기물은 높은 양이온치환용량을 가지는데 비해 모래, 펄라이트, 폴리스텐 그리고 잘 부속되지 않은 왕겨나 땅콩껍질 같은 미분해 유기 물질은 양이온치환용량이 낮다. 질소 영양소 함량과 관련된 작물의 반응은 첨가된 질소량과 그 형태(질산태 질소 또는 암모늄태 질소)에 따라 달리 반응함. NH₄-N 비료를 토양에 시비하면 토양 미생물의 작용으로 비교적 빨리 NO₃-N으로 변화되지만 이 질산화 작용에는 토양 중의 질산화균의 존재, 온도, 수분의 확보가 필수 조건이다(상토 소독시 질산화균이 사멸하고 재생에는 시간을 요하므로 시용질소의 질산화가 늦고 이것이 원인이 되어 발아초기의 생육 장애를 받기도 함) 인산은 화아분화, 발근 촉진 등 작물의 생리적 대사에 중요하다. 칼륨은 생육 중~후기에 많이 흡수되므로 초기의 필요성은 비교적 적다고 알려져 있으며 육묘기에 특히 칼륨을 많이 시용할 필요성은 보이지 않음. 그러나 칼륨이 부족하게 되면 화훼류의 비대가 충분하지 못하고 불량하게 된다. 혼합상토의 화학적인 특성은 그 구성 재료의 화학적인 특성과 혼합비율에 의해 좌우된다.

- 측정방법

- pH 및 EC(EIEctric Conductivity) 측정
- 포화추출법(Saturated paste method, Warncke, 1986)을 이용하여 시료를 증류수로 포화시킨 후 pH/EC(multimeter CP-500L, iSTEK) 미터로 측정
- CEC(cation exchange capacity) 측정
- Ammonium Acetate(Hendershot 등, 1993)방법으로 양이온을 NH₄OAC로 치환시켜 원자흡광분석기(AA-7000, Shimadzu)로 분석
- NH₄-N, NO₃-N, PO₄-P 측정
- 암모늄태 질소 분석법(Indopenol-Blue 법), 질산태 질소 분석법, 인산분석법(Blue method)을 이용하여 분광광도계(UVmini-1240, Shimadzu)로 분석

○ 측정결과

표 3-3-10. 상토재료의 화학적 특성

구분	pH	EC (dS·m ⁻¹)	OM (%)	PO ₄ -P	NO ₃ -N (mg·L ⁻¹)	NH ₄ -N	CEC cmol+kg ⁻¹	Ca	K	Mg	Na
코코피트	6.0	0.5	82.9	33.1	0.4	2.8	6.0~12	7.3	10.7	8.4	8.9
피트모스	4.8	0.1	95.2	8.4	2.0	6.2	6.5~15	4.6	0.2	3.2	0.2
펄라이트	6.2	0.0	0.6	5.7	0.2	1.0	0.015	0.8	0.0	0.2	2.1

표 3-3-11. 상토별 화학적 특성

구분	pH	EC (dS·m ⁻¹)	CEC	Ca	K	Mg	Na	NH ₄ -N	NO ₃ -N (mg·L ⁻¹)	PO ₄ -P
펄5:코5	6.39a	0.33b	6.19b	0.73c	1.65b	0.05c	1.13ab	0.56c	9.02a	15.77b
펄4:코3:피3	4.62d	0.16c	7.50b	0.59c	1.09c	0.09c	1.03b	1.27b	0.41b	7.47cd
펄3:피7	3.58e	0.13c	10.09a	0.75c	0.45d	0.32c	1.02b	5.80 a	7.09a	5.23d
한아름	5.42c	0.42a	11.45a	2.93b	2.09a	0.71a	1.25a	0.46c	12.53a	11.06c
BC2	6.14b	0.36b	10.68a	4.93a	0.85c	0.50b	1.03b	0.47c	7.56a	94.07a

pH의 경우, 표 5에서와 같이 낮은 pH값(4.8)을 가지는 피트모스를 구성 재료로 하고 있는 펄4:코3:피3, 펄3:피7의 산도가 각각 4.62, 3.58로 강산성을 보이는데 향후 재배 실험시 고토석회 등을 첨가하여 적당한 수준으로 조정하여 사용하는 것이 필요함. 이러한 pH는 많은 식물양분 특히 미량원소의 유효도에 직접적으로 영향을 미치기 때문에 적정범위 유지가 중요하다. 피트모스가 주원료인 BC2의 경우 산도 조절이 되어 출시된 제품인 것으로 판단되고, EC의 경우, 표 9에서와 같이 시중 제품으로 판매되고 있는 한아름과 BC2를 제외한 3 종류 혼합조제 상토에서 낮게 측정되었으며 향후 재배실험 시 기비 또는 추비 처리가 필요한 것으로 판단된다. CEC의 경우, 높은 양이온치환용량을 가진 유기질 재료인 피트모스와 코코피트의 혼합비율에 따라 한아름 > BC2 > 펄3:피7 > 펄4:코3:피3 > 펄5:코5 순으로 높은 값을 보였다. 상토의 고유의 특성이면서 작물재배 간에 속성을 조정하기 힘든 물리적인 특성에 비해 화학성은 시비작업(기비 또는 추비) 등에 의한 방법으로 부족한 영양소를 보충하기가 비교적 용이함. 다만, pH의 경우 작물재배 전에 적정수준으로 조정되어야 한다.

(4) 토양수분센서를 이용한 각 상토별 보정작업

근권부 환경 실시간 측정 시스템 구축을 위해서 수분-가스 센스를 이용한 근권부 환경 측정 시스템 구축을위해 수분 및 가스센서에서 측정된 아날로그 신호를 Datalogger에서 디지털 신호로 변환하여 노트북 PC에 기록 저장하도록 시스템 구성하였다.

토양수분센서(EC-5, GS3)를 이용한 각 상토별 보정작업을 통한 측정방법은 상토별 용적수분함량(VWC)-센서 측정값을 이용한 선형 회귀방정식을 도출하였고, 수분함량이 균일한 상토를 일정한 용적의 화분(Vpot)에 충전하여 무게를 측정하고 (Wwet) 수분센서를 꽂아 측정값(mV)을 기록하고 화분을 dry oven에 넣어 건조시킨 후 무게(Wdry)를 측정하여(수분함량이 다른 상토 3 ~ 5 종류에 대해 반복) 아래의 식을 이용하여 용적수분함량(VWC: Volumetric Water Content, V/V)을 계산한 값과 센서 측정값과의 회기분석을 통해 보정계수를 구하였다.

측정결과 전국 6개 마이스터 대학에 재학중인 딸기농가를 대상으로 설문조사를 하여 가장 많이 사용하는 4 종류 혼합상토를 선정하였고, 이들을 대상으로 보정 작업을 하였다. EC-5 센서는 4종류 상토 모두 직선적인 회귀곡선으로 나타났으며, 상토의 함수량이 높아질수록 센서의 측정값이 증가하였다. 상토가 물로 포화된 상태를 최대값으로 설정하고, 점차 건조시키면서 건조과정에서 변화된 volumetric water content와 센서의 측정 값을 이용하여 회귀곡선을 작성한 결과 펠라이트:코코피트:피트모스(4:3:3, v/v/v)의 상관계수(R2값)이 가장 낮았다.

표 3-3-12. 상토별 수분함량에 대한 회귀방정식

구분	결정계수(R ²)	회귀방정식	비고
펠5:코5	0.948	y = 0.001x - 0.365	
펠4:코3:피3	0.885	y = 0.002x - 0.588	
한아름	0.981	y = 0.002x - 0.533	
BC2	0.954	y = 0.001x - 0.476	

GS3 센서 calibration 결과 용적수분함량(VWC)과 EC가 동시에 측정가능한 GS3 센서에 대한 재보정 작업을 실시하였다. 재배실험을 시작하기에 앞서, 좀 더 다양한 범위의 VWC값과 좀 더 높은 R2값을 나타내는 회귀곡선을 구하기 위하여 수행하였다. GS3 센서도 EC-5 센서의 결과와 유사하게 펠4:코3:피3에서 가장 낮은 R2값을 나타냈다. GS3 센서의 경우 4종류 상토 모두 VWC가 높아짐에 따라 센서의 측정값도 증가하였으나 일정 값 이상의 범위에서는 기울기가 줄어드는 로그방정식을 나타냈다.

표 3-3-13. 상토별 수분함량에 대한 회귀방정식.

상토	결정계수(R^2)	회귀방정식
필5:코5	0.9961	$y = 0.2214 \ln(x) - 0.0523$
필4:코3:피3	0.9833	$y = 0.1985 \ln(x) - 0.0275$
한아름	0.9903	$y = 0.2158 \ln(x) - 0.0621$
피트모스	0.9879	$y = 0.2024 \ln(x) - 0.0435$

(약자: 필, 펄라이트; 코, 코코피트; 피, 피트모스, 한아름, 시판상토)

상토별 시간에 따른 근권부 가스농도 변화 모니터링을 통한 측정방법은 근권부 환경 측정 시스템을 이용하여 상토별 1회 관수시 근권부 산소 및 이산화탄소의 농도변화를 모니터링 하여 근권부 수분함량에 따른 이산화탄소 및 산소 농도에 미치는 영향 구명하였다.

측정결과 통기성이 우수한 상토는 식물의 뿌리와 미생물이 필요한 산소를 쉽게 공급할 수 있으므로 양분흡수와 유기물의 분해가 원활하게 일어나지만 통기성이 불량한 상토는 뿌리호흡이 나빠지고 유기물의 분해속도가 느려졌다. 공기의 교환은 상토의 물리적 성질에 의하여 영향을 받으며 이러한 공기의 교환에 영향을 끼치는 상토의 물리적인 성질은 공극의 양과 크기, 온도, 깊이, 수분함량, 상토표면의 조건 등임. 즉, 고상의 비율이 낮을수록 통기성이 좋아지고 공기의 통로가 되는 대공극이 얼마나 많은가에 따라 공기의 교환속도가 달라졌다. 상토와 대기 사이의 공기의 교환은 두 가지 기작, 즉 대류(convEction)와 확산(diffusion)에 의하여 일어남. 대류의 경우, 기체의 압력(total gas pressure) 기울기에 의해 고압에서 저압으로 전체 질량의 공기흐름(mass flow)을 일으키며 이러한 압력차를 유발하는 것은 대기의 기압변화, 온도 기울기, 표면 위의 강한 바람, 상토의 공기의 대체를 유발하는 수분의 침투, 식물 뿌리에 의한 수분의 추출, 토양의 경우, 공기를 밀어 올리거나 아래로 빨아들이게 하는 높은 지하수위의 변동 도 영향을 미침. 확산의 경우, 기체혼합물의 어느 구성 성분의 분압(또는 농도)의 기울기에 의해 등압 및 정지상태에 있는 근권부 상대일지라도 불균일하게 분포된 분자 구성에서 의해 고농도에서 저농도로 이동을 유발했다. 상토와 대기 사이에서 일어나는 가스교환은 주로 농도차이에 의한 확산(diffusion)에 의하여 일어나며 대기와 상토공기 사이에 특정 성분의 농도차이가 생기면 언제든지 확산에 의하여 교환이 일어남. 즉, 상토 속에서는 산소가 계속 소모되기 때문에 대기의 산소가 계속 공급되고 상토 속에 식물의 뿌리와 미생물의 호흡으로 농도가 높아진 이산화탄소는 지속적으로 대기로 배출되었다. 이때 교환의 통로가 되는 공극의 특성과 기체의 이동에 영향을 끼치는 온도, 습도, 기압, 표면의 바람속도 등이 교환속도에 관여하는 요인이다. 상토의 통기성은 결정하는 가장 중요한 인자는 상토의 공극률, 공극의 분포비율 및 수분함량이라 할 수 있으며 공극률이 높고 대공극량이 많을수록 통기성이 좋아지고 수분함량이 증가하면 대기의 기체교환이 쉽게 차단되어 산소의 함량이 적어지는 반면, 이산화탄소의 함량은 오히려 증가하였다. 일반적으로 상토의 공기 중의 산소와 이산화탄소의 함량

을 합하면 약 21%로 일정하게 유지되는데 이것은 호흡과정에서 한 분자의 산소가 소모되면 한 분자의 이산화탄소가 생성되기 때문이다(표 9) 식물뿌리의 호흡과 함께 뿌리 근처 토양 생물의 호흡은 토양 온도가 높아질수록 상당히 많이 증가하였다.

표 3-3-14. 대기와 비교한 토양공기조성의 특성

구분	단위 : %		
	대기	표층토	심층토
질소(N ₂)	79	75 ~ 80	75 ~ 80
산소(O ₂)	20.9	14 ~ 20.6	3 ~ 10
이산화탄소(CO ₂)	0.035	0.5 ~ 6	7 ~ 18
수증기	20 ~ 90	95 ~ 100	98 ~ 100

(김계훈, 2006)

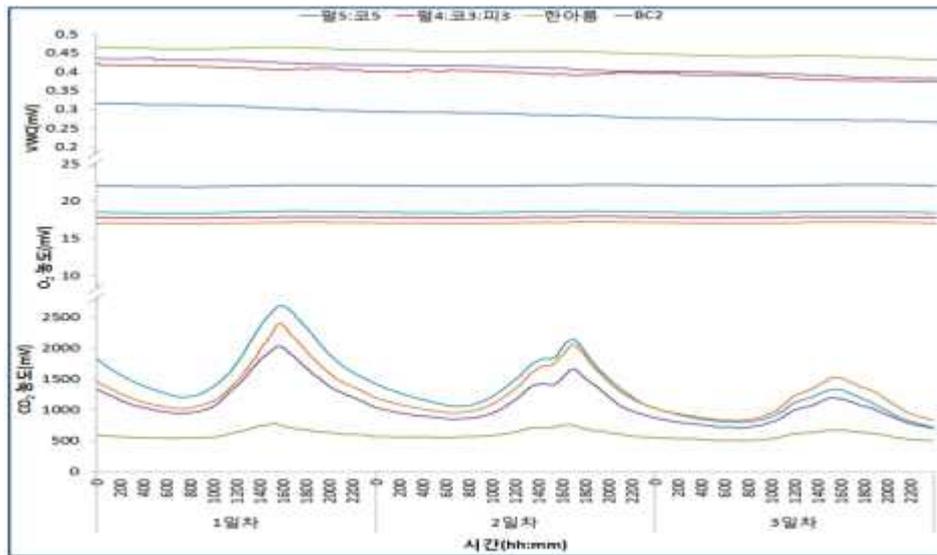


그림 3-3-28. 관수 후 시간 경과에 따른 근권부 수분함량 및 가스농도 변화

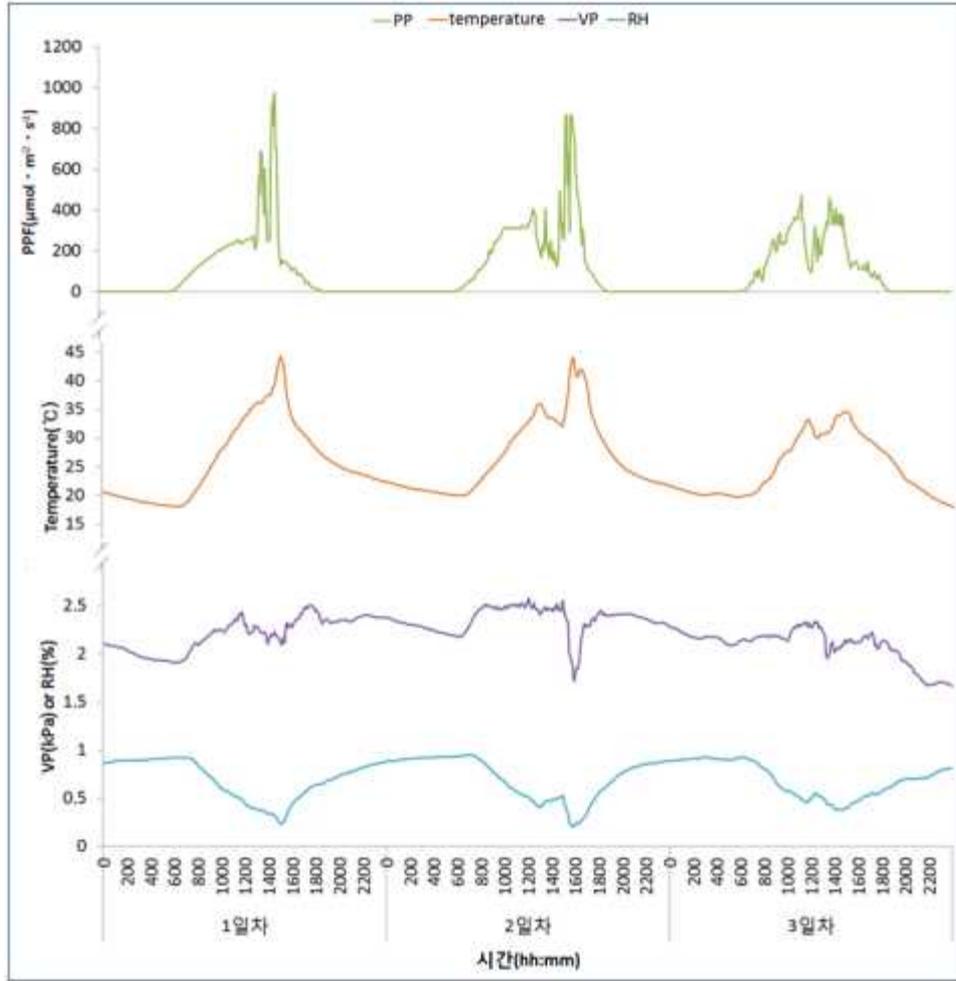


그림 3-3-29. 관수 후 시간 경과에 따른 온실내 환경요인 변화

본 가스농도 변화 측정실험부터는 실험규모 및 실험기자재 구입 예산 등을 고려하여 실험대상 상토 5가지 중 농가에서 사용빈도가 가장 높은 4 종류 상토(필5:코5, 필4:코3:피3, 한아름, BC2)를 선정하여 실험을 진행하였다. 1회 두상살수 후 용적수 분함량(VWC)은 주로 상토 표면 증발에 의해 모든 상토에서 완만한 감소를 보였다. 근권부 산소농도의 변화양상은 시간에 따라 큰 변화 없이 일정한 값을 가졌다. 이산화탄소 농도는 오전 10:00를 기준으로 증가하기 시작하여 16:00 경에 정점을 찍고 다음날 오전 06:00까지 감소하는 패턴으로 일일을 주기로 반복하는 형태를 보였다. 이러한 이산화탄소 농도 변화 양상은 온실의 환경인자, 특히 온도와 긴밀한 상관관계가 있을 것으로 보임. 즉, 상토 내의 미생물의 호흡은 토양 온도가 높아질수록 상당히 많이 증가하여 이산화탄소를 토양 중으로 방출하게 되었다. 실험간 온실내 환경인자 즉, 광합성유효방사 photosynthetic photon flux(PPF), 온도 (temperature), 증기압(vapor pressure) 및 상대습도(relative humidity)의 변화 양상은 그림 30과 같이 낮에는 태양의 복사에너지가 증가하여 PPF가 증가하고 이것은 온실내의 온도를 증가시키며 따라서, 기온이 높아지는 낮에는 상대습도를 낮추게 되고 밤이나 새벽에는 기온이 낮아져 상대습도가 높아지는 양상을 보였다.

나. 근권부 제어 기술 현장 적용

(1) 토양수분센서를 이용한 국화 재배

(가) 가을 분화국화 (pot mum) 최적 생육을 위한 VWC 처리 실험

가을 분화국화 실험의 환경 조건을 알아보기 위한 본 실험은 충청남도농업기술원 화훼연구소에서 새롭게 육성한 두 포트덤 품종 ‘Peace Pink’와 ‘Peace Angel’의 재배시 생육 최적 VWC 조건을 찾기 위하여 시행하였다. 충청남도 화훼연구소에서 삼목묘를 분양받아 7월 4일에 화분에 정식하였다. 상토는 (주)서울바이오의 바로커 상토를 이용하였으며, 10cm 플라스틱 화분에 바로커 상토(서울바이오)에 완효성비료 (Greencoat 12-12-12, DHC, 울산) 8g · L-1을 첨가하여 정식하였다. 2주 정도 삼목묘의 뿌리 활착을 위하여 두상관수로 관리 후, 자동관수시스템(점적관수)을 이용하여 3주간 50% VWC로 재배하였다. 8월 21일 VWC 4개(20, 30, 40, 50%) 처리구를 두어 2달 동안의 생육을 측정하였다. 11월 19일 수확 후, 초장, 초폭, 지상부/지하부 생체중 및 건물중을 측정하였다.

가을 분화국화 재배시 VWC별 자동 관수 시스템은 근권부 환경요소 중 근권부 토양수분 함량에 따른 가을 분화국화의 생육정도를 알아보기 위하여 토양수분센서 EC-5(Decagon Device)와 센서정보수집 장치(datalogger)를 연결하고 센서정보수집 장치의 값에 따라 전자밸브를 열어줄 수 있는 자동 관수 시스템을 제작하였다. 실험에 사용된 원예상토에 알맞은 VWC 보정식을 구한 후 20, 30, 40, 50%VWC의 4수준으로 관수 실시 시점을 설정하여 총 4반복으로 실험을 진행하였다. 관수는 매 20분마다 각각의 화분의 VWC 값에 따라 관수 설정값보다 VWC가 낮을 경우 그에 해당하는 처리구에 relay driver를 통하여 전자밸브를 1분동안 열어주게 되어 VWC를 일정수준으로 유지시켜줄 수 있는 점적관수를 진행하였으며, 점적관수는 압력보상단추(2L/H, Netafim)를 통한 stake형태의 관수방법을 이용하였다.



그림 3-3-30. VWC 4개 처리구와 4블록 실험을 위한 16 solenoid valve 및 데이터로거의 설치 모습

가을 분화국화 재배시 VWC 처리구별 VWC 변화는 토양수분센서와 센서정보수집장치 및 관수제어장치를 이용한 자동관수시스템으로 가을분화국화의 근권부 수분환경을 20, 30, 40, 50% VWC로 유지하는데에 있어서, 예상대로 깔끔하게 설정치를 유지한 처리구도 있었으나, VWC의 제어가 설정되도록 되지 않은 처리구들이

발견되었다(그림 31) 몇 처리구의 경우 관수가 이루어지지 않았음에도 불구하고 WVC가 지속적으로 상승하는 처리구가 있었으며, 이는 센서나 제어장치의 문제가 아닌 분화국화 재배 및 관수방법에 있어서의 문제로 보였다.

생육이 지속되면서 식물의 뿌리가 발달하며 화분의 바닥까지 뿌리가 형성되었으며, 작물의 재배가 이루어졌던 벤치의 특성상 저면관수에 적합한 벤치(ebb&flow bench)에서 점적관수를 사용하여, 관수가 되지 않았음에도 불구하고 기존 저면에 있는 수분을 지속적으로 흡수하여 설정값보다 처리구의 WVC가 상승하는 경우가 생겨났다. 이러한 문제를 해결하기 위하여, 다음 실험부터는 ebb&flow bench가 아닌 일반 mesh style의 bench를 이용하여 점적관수를 이용하기로 하였다.

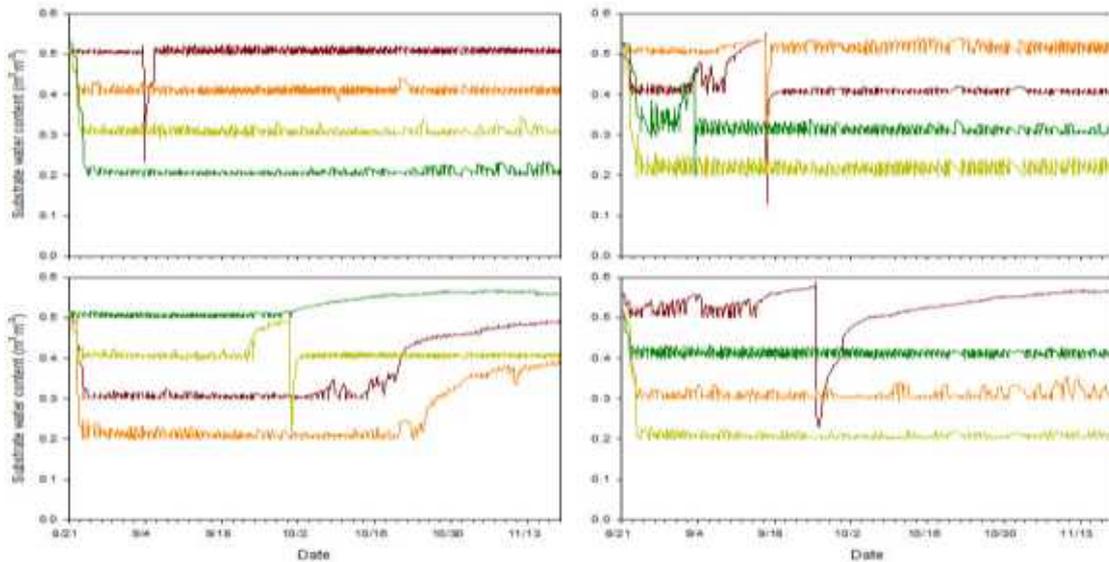


그림 3-3-31. 가을분화국화 재배시 각 블록별, VWC처리구별 VWC 변화 양상

가을 분화국화 재배시 VWC 처리구별 생육 차이는 실험 계획대로의 관수가 정확하게 이루어지지 않는 않았으나, 식물 생육에 있어서는 처리구별로 지상부 생체중에 있어서 차이가 나타났다(그림 32 및 표 15) 처리구별로 초장 및 근장, 건물중에 있어서는 20, 30, 40, 50% VWC로 처리한 처리구간의 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았으나, 지상부 생체중의 경우 50% 처리구에서 가장 높은 생체중을 보여주었으며, 30%VWC 처리구에서 가장 낮은 지상부 생체중을 보여주었다. 본 실험에서 다른 생육 결과에 있어서 처리구별로 유의한 차의가 없었던 이유는 실제 생육기간 동안의 VWC 처리가 제대로 이루어지지 못했으며, 추후 점적 관수 실험을 위해서는 다른 처리구에서 관수가 이루어진 후 용탈된 잉여 수분이 다른 처리구에 영향을 미치지 못하도록 벤치의 변경이 필요할 것으로 판단된다. 본 문제를 해결하기 위하여 실험 온실의 벤치를 mesh style로 변경하여 이 후 실험을 진행하도록 하였다.

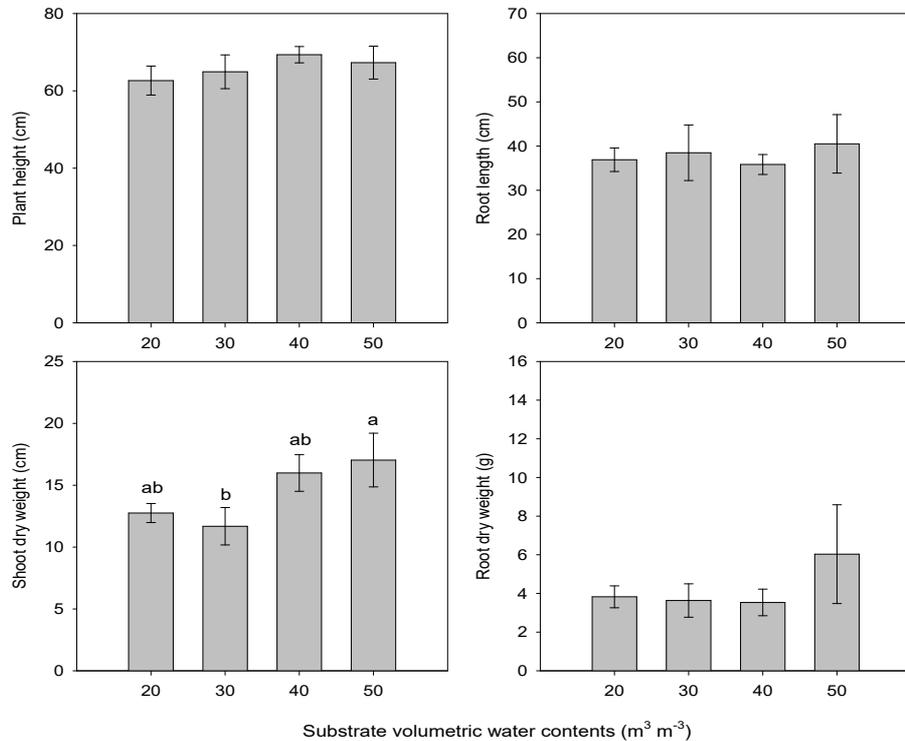


그림 3-3-32. 가을분화국화 ‘Peace Pink’의 VWC 처리구(20, 30, 40, 50%)에 따른 생육

표 3-3-15. 가을분화국화 ‘Peace Pink’의 VWC 처리구(20, 30, 40, 50%)에 따른 생육

Treatment (VWC%)	Plant height (cm)	Root length (cm)	Shoot dry weight (g)	Root dry weight (g)
20	62.7 a	36.9 a	12.8 ab	3.8 a
30	64.9 a	38.5 a	11.7 b	3.6 a
40	69.4 a	35.8 a	16.0 ab	3.5 a
50	67.3 a	40.5 a	17.0 a	6.0 a

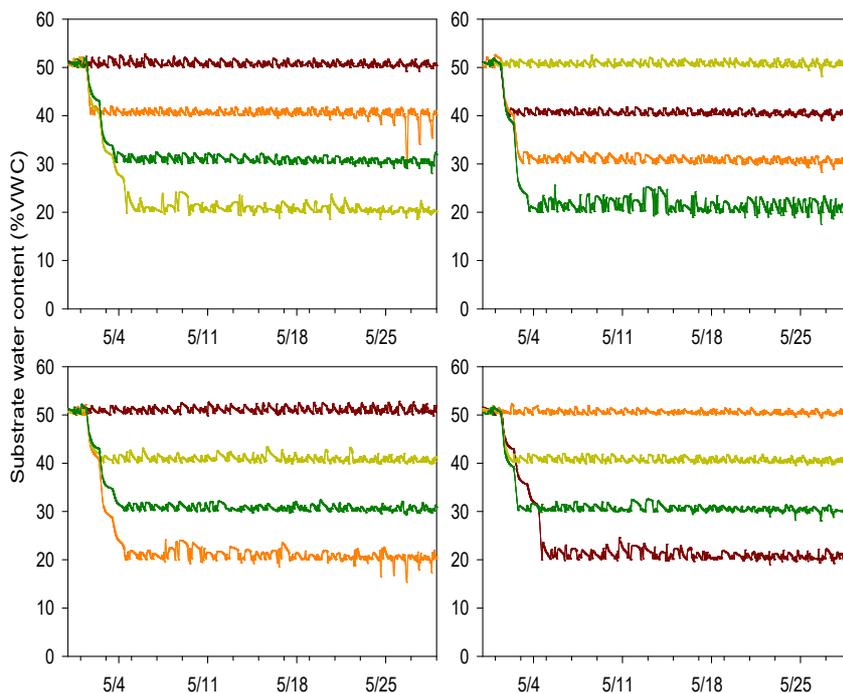
(나) Spring pot mum ‘Snow white’ VWC 생육 실험

봄 화단국화 실험의 환경 조건을 알아보기 위한 실험은 (주)신농화훼종묘에서 구입한 봄-여름 국화 Chrysanthemum ‘Snow White’ 품종을 이용하여 최적생육을 위한 토양수분함량 조건을 알아보려고 수행하였다. 기존의 온실 실습동의 벤치(ebb & flow bench)에서의 올바른 자동관수조절의 문제점으로 인하여 벤치의 바닥면을 mesh로 바꾸어 점적관수에 알맞은 형태로 수정하였다. 2015년 3월 27일에 12cm 플라스틱 화분에 슈퍼바로커 상토(서울바이오)에 화훼재배용 완효성비료 (Greencoat 10-11-18-2 Mg, DHC, 울산) 8g · L-1을 첨가하여 정식하였다. 1주 정도 뿌리 활착을 위하여 두상관수로 관리 후, 자동관수시스템(점적관수)을 이용하여 3주간 50% VWC로 재배하였다. 5월 1일 VWC 4개(20, 30, 40, 50%) 처리구를 두어 1달 동안의 생육을 측정하였다. 매 주 식물의 생육 변화를 알아보기 위하여 초장, 초폭, 개화수, 엽록소 함량 및 증산률을 측정하였음. 엽록소함량은 SPAD meter (Minolta,

Japan)을 이용하였으며, 증산률은 leaf porometer (SC-1, Decagon Devices)를 이용하여 측정하였다. 5월 29일 수확 후, 초장, 초폭, 화경장, 개화수, 화폭, 지상부 생체중, 지상부 건물중, 엽록소 함량, 증산률을 측정하였으며, 근권부 환경으로는 VWC, pH, EC를 측정하였다.

봄 화단국화 재배시 VWC별 자동 관수 시스템 기존 가을 분화국화 VWC 자동관수시스템 및 재배의 부족한 부분을 보완(벤치 변경 및 관수시간 변경, 1분 → 30초)하여 자동 관수 시스템을 제작하였다. 실험에 사용된 원예상토에 알맞은 VWC 보정식을 구한 후 20, 30, 40, 50% VWC의 4수준으로 관수 실시 시점을 설정하여 총 4반복으로 실험을 진행하였다. 관수는 매 20분마다 각각의 화분의 VWC 값에 따라 관수 설정값보다 VWC가 낮을 경우 그에 해당하는 처리구에 relay driver를 통하여 전자밸브를 30초 동안 열어주게 되어 VWC를 일정수준으로 유지시켜줄 수 있는 점적관수를 진행하였으며, 점적관수는 압력보상단추(2L/H, Netafim)를 통한 stake형태의 관수방법을 이용하였다. 추후 지상부환경 및 근권부환경 복합제어의 기본자료로 이용하기 위하여 실험기간 중의 지상부 환경(온·습도 및 광도)도 측정하였다.

봄철 화단국화 재배시 VWC 처리구별 VWC 변화는 새롭게 보완된 자동관수시스템을 통하여 봄철 화단국화의 근권부 수분환경을 20, 30, 40, 50% VWC로 유지하는데 있어서, 모든 처리구에서 깔끔한 VWC 제어가 가능하였다(그림 33) 10~12cm 화분의 경우 점적관수를 통한 섬세한 VWC 조절을 위하여서는 저면관수시스템을 이용하는 bench를 피하고, 관수시간을 30초로 하는 것이 적합할 것으로 판단된다.



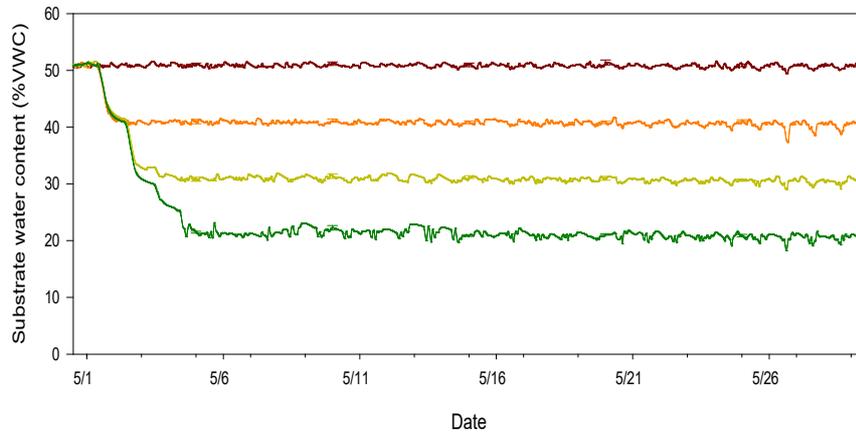


그림 3-3-33. 봄철 화단국화 ‘Snow White’ 재배시 VWC 처리구에 따른 VWC 변화

봄철 화단국화 재배시 VWC 처리구별 생육 차이는 VWC 4개 수준으로 설정하여 재배한 봄철 화단국화의 생육 변화에 있어서는 모든 처리구의 식물이 시간이 지남에 따라 초장 및 초폭이 증가하는 모습을 보였으나, 그 속도에 있어서 처리구별로 차이가 나타났다(그림 34) 토양수분함량 VWC가 높은 처리구에서 초장 및 초폭이 더 빠르게 증가하였으나 40%와 50%의 경우 큰 차이가 나타나지 않았다. 증산률의 경우 측정시기의 광도에 영향을 많이 받게 되어 시간대별 변화가 있는 것으로 나타났으나, 처리구별로 차이가 나타났으며, 높은 수준의 VWC 처리구에서 낮은 수준의 VWC 처리구보다 증산률이 높게 나타났다. 엽록소함량의 경우 큰 변화가 일어나지 않고, 처리구별 큰 차이가 없었다.

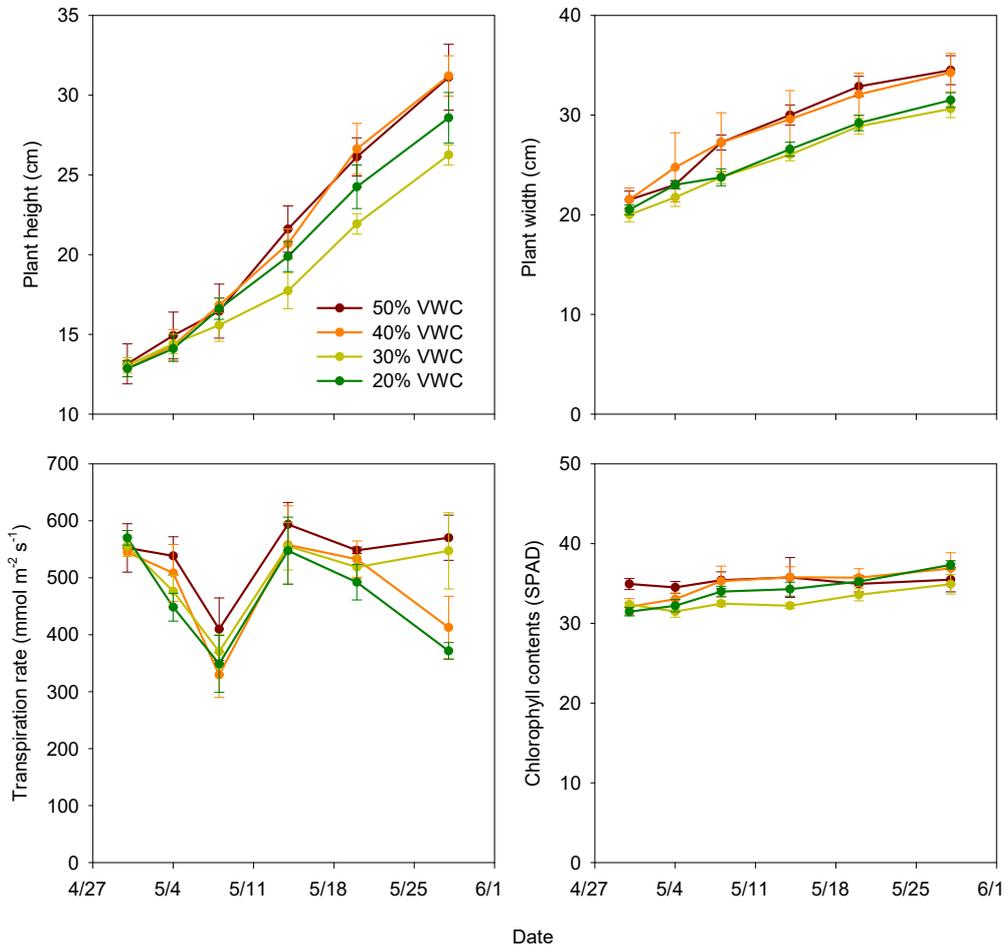


그림 3-3-34. 봄철 화단국화 ‘Snow White’재배시 VWC 처리구에 따른 생육 변화

수확시 처리구에 따른 초폭에서는 유의한 차이가 없었으나, 30% VWC 처리구에서 40, 50% VWC 처리구에 비해 초장이 유의하게 낮은 것으로 나타났다(그림 35) 지상부 생체중 및 건물중에 있어서도 40, 50% VWC 처리구의 지상부 생육이 20, 30% VWC 처리구보다 높은 것으로 나타났다. 개화에 있어서는 개화수나 꽃의 크기에 있어서 VWC 처리구에 따른 유의한 차이가 없는 것으로 나타났으나, 화경장의 길이에 있어서 50% VWC 처리구 식물의 화경장이 20, 30% VWC 처리구의 화경장보다 긴 것으로 나타났다. 수확시기의 엽록소함량의 경우 40% VWC 처리구 식물이 50% VWC 처리구 식물보다 높은 것으로 나타났으나 큰 차이는 보이지 않았으며 (<5 SPAD), 증산률의 경우 처리 1달후에는 처리구간 유의한 차이가 없었다.

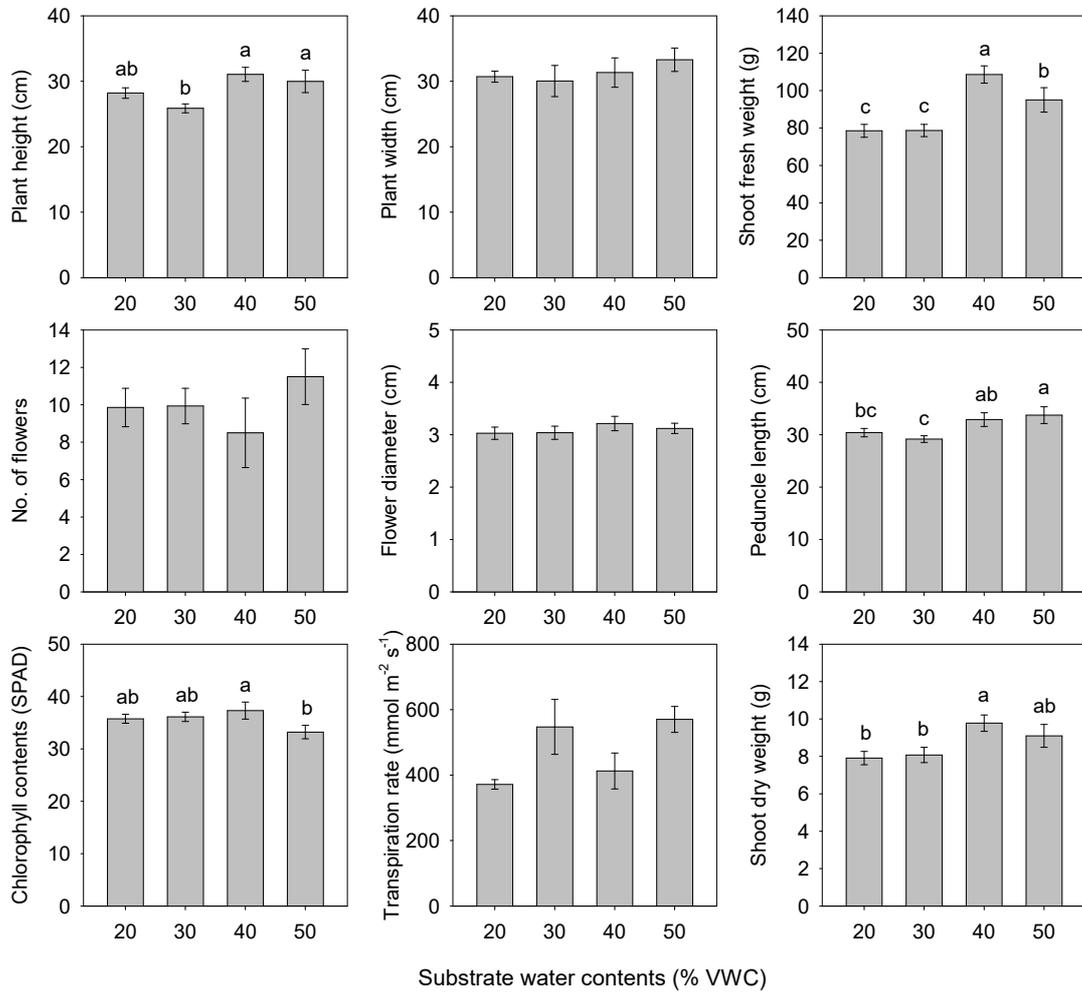


그림 3-3-35. 봄철 화단국화 ‘Snow White’재배시 VWC 처리구에 따른 생육 변화

수확시기의 뿌리가 크게 발달되어 근권부 생육 측정은 어려웠으나, 근권부 환경의 pH 및 EC 측정 결과 pH에 있어서는 VWC 처리구별 유의한 차이가 나타나지 않았으나, 50% VWC 처리구의 EC 값이 40% VWC 처리구의 EC 보다 유의하게 낮은 것으로 나타났으며, 이는 과다관수로 인한 비료 용탈이 일어남으로 인하여 EC값이 저하된 것으로 판단된다(그림 3-3-36)

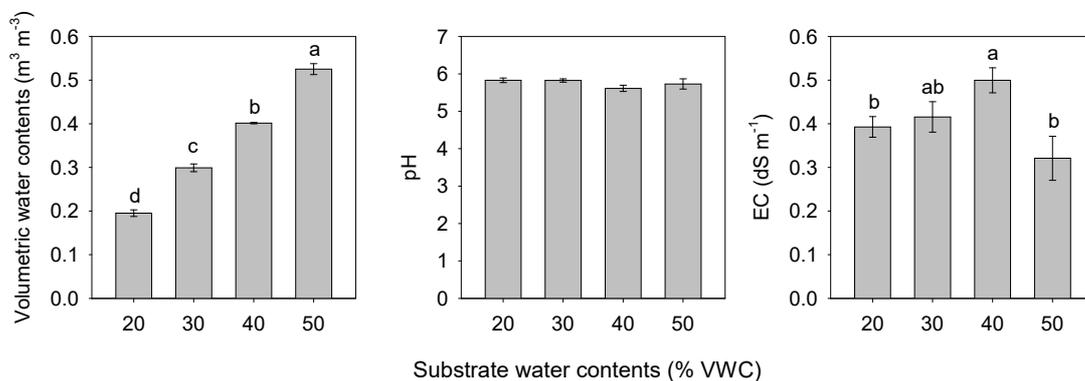


그림 3-3-36. 봄철 화단국화 ‘Snow White’재배시 VWC 처리구에 따른 근권부 환경 변화

봄철 화단국화 VWC 생육 실험 결론으로 정밀한 VWC 처리를 위해서는 저면관수 벤치보다 mesh style의 벤치가 적합하며, 10-12cm 화분의 경우 20분마다 관수시 관수시간은 30초로 하면 올바른 자동관수시스템 활용이 가능하며 고품질 작물을 충분히 생산할 수 있을 것으로 판단된다. 봄철 화단국화 ‘Snow White’ 를 원예상토에서 재배시 설정 VWC는 40%가 적당한 것으로 판단되며, 이를 통해 효율적인 관수 및 비료관리가 가능할 것으로 판단된다.

(다) Garden mum ‘New Gigi’ VWC/EC 생육 실험

Garden mum ‘New Gigi’ 실험의 환경조건을 알아보기 위한 본 실험은 충청남도 금산에 소재하고 있는 가든뎀 생산 농가 현장적용을 위하여 가을 화단국화 (Garden mum) Chrysanthemum ‘New Gigi’ 품종 생산에서 자동관수시스템의 활용 가능성 및 최적생육을 위한 토양수분함량 및 EC 조건을 알아보고자 수행하였다. 충청남도 금산에서 10년 이상 가든뎀을 재배한 농가 “국향” (대표 이명구)의 일부 시설하우스에 5TE 센서(Decagon Devices, 미국)를 이용한 자동관수시스템을 설치하여 수확 전 한 달 동안의 VWC/EC 조절을 하였다. 2015년 6월 정식한 국화 품종에 Multifeed 양액을 통하여 관비재배하였으며, 기존 관행방법과 비교하기 위하여 총 20개의 센서를 사용하였다. 농가의 관행적인 방법을 따르기 위하여 농가에서 비용을 절약하기 위하여 사용하는 육묘장에서 짧은 기간 육묘하고 폐기한 상토와 마사토를 혼합하여 이용한 상토에 맞추어 5TE 센서를 보정하여 사용하였다. 8월 14일 VWC 4개(25, 35, 45, 55%) 처리구와 EC (1, 2, 3, 4 dS · m⁻¹)를 두어 1달 동안의 생육을 측정하였으며, 매 주 식물의 생육 변화를 알아보기 위하여 초장, 초폭을 측정하였다. 9월 15일 수확 후, 초장, 초폭, 화경장, 개화수, 화폭, 지상부 생체중, 지상부 건물중, 엽록소 함량, 증산률을 측정하였으며, 근권부 환경으로는 VWC, pH, EC를 측정하였다.



그림 3-3-37. 현장재배실험을 위한 충남 금산 국화농장의 대표와 농장 모습

Garden mum ‘New Gigi’ 현장 재배시 VWC/EC 처리구별 VWC/EC 변화를 확인하기 위해 현장 실험 특성상 기존 관행재배 방법에서 크게 변경하기 어렵기에 농가에서 사용하는 관비재배를 그대로 따르며 급액 조절을 통한 VWC와 EC처리구를 두어 VWC는 25, 35, 45, 55%의 처리구로, EC는 1, 2, 3, 4 dS·m⁻¹의 처리구로 하였으며, 관수 시점은 매 20분간 측정수치가 VWC가 설정값 이하로 떨어진 경우 양액을 1분간 급하고, EC가 설정값 이상 올라갔을 시 급액량을 늘려 2분간 급액하도록 하였다. 관행재배 방식은 하루에 2~3번 3분씩 급액을 하는 형태로, 재배자의 개인적인 의견을 바탕으로 급액량 및 급액시간을 조절하는 형태임. 이와 자동 급액시스템을 비교하기 위하여 관행재배방식의 4반복을 남겨두어 총 20개의 센서를 이용하도록 하였다.

관행재배의 경우 센서값에 의존하지 않고 50%VWC를 유지하는 것으로 보아, 재배자의 수분관리가 50%VWC 정도 수준임을 알 수 있으며, 수분관리를 잘 하고 있는 농가로 나타났다(그림 39) 자동급액시스템을 이용한 VWC의 경우 현장 적용의 한계점인 관리 부족함으로 인하여 센서의 설치 오류 문제 혹은 급액량의 부족 등으로 인해 모든 처리구에서 설정값대로 유지되는 것이 어려웠으나 70%정도의 자동 급액시스템은 설정대로 작동하여 현장 적용 가능성을 보여주며, 추후에는 농가 현장 관리자의 교육과 주기적인 관리 도움이 필요할 부분으로 판단된다. EC의 경우 농가에서 사용하는 양액의 농도로 인하여 높은 수준의 EC 설정값인 3, 4 dS/m 로 올라가지 않아 앞으로 현장 적용실험에서의 설정 EC 수준의 변경(2 dS/m 이하)이 필요할 것으로 보이며, bulk EC의 한계로 인하여 pore EC와의 상관관계의 명확한 관계에 대한 기본 연구가 필요할 것으로 나타났다(그림 40) 추후 EC 처리구 실험에 있어서는 양액 급액과 양액이 없는 관수를 병행하여 조금 더 명확한 처리구 설정을 통해 최적생육을 위한 EC 설정값 제시가 필요할 것으로 보였다.

또한, 긴 급액시간에 의해 VWC buffering capacity가 커진 것으로 보여 본 실험에서 사용한 1분의 급액시간을 2분 정도로 늘려 1회 급액시 화분전체에 충분한 급액이 가능하도록 변경해야 할 것으로 판단된다.



그림 3-3-38. 현장재배실험을 위한 충남 금산 국화농장의 자동관수시스템 설치 모습 (개화시작)

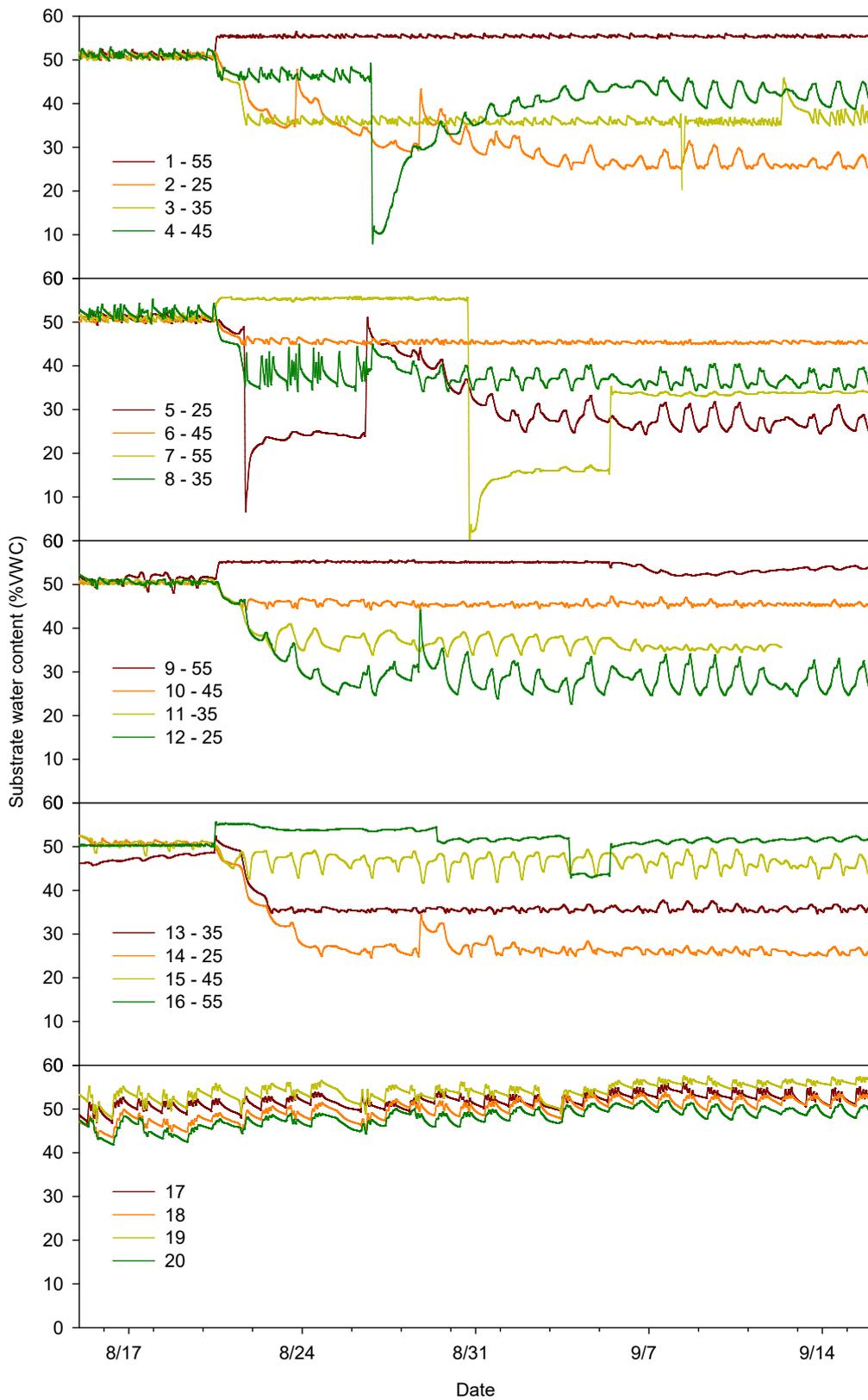


그림 3-3-39. Garden mum 'New gigi'농가 재배시 VWC/EC 처리구에 따른 VWC 변화

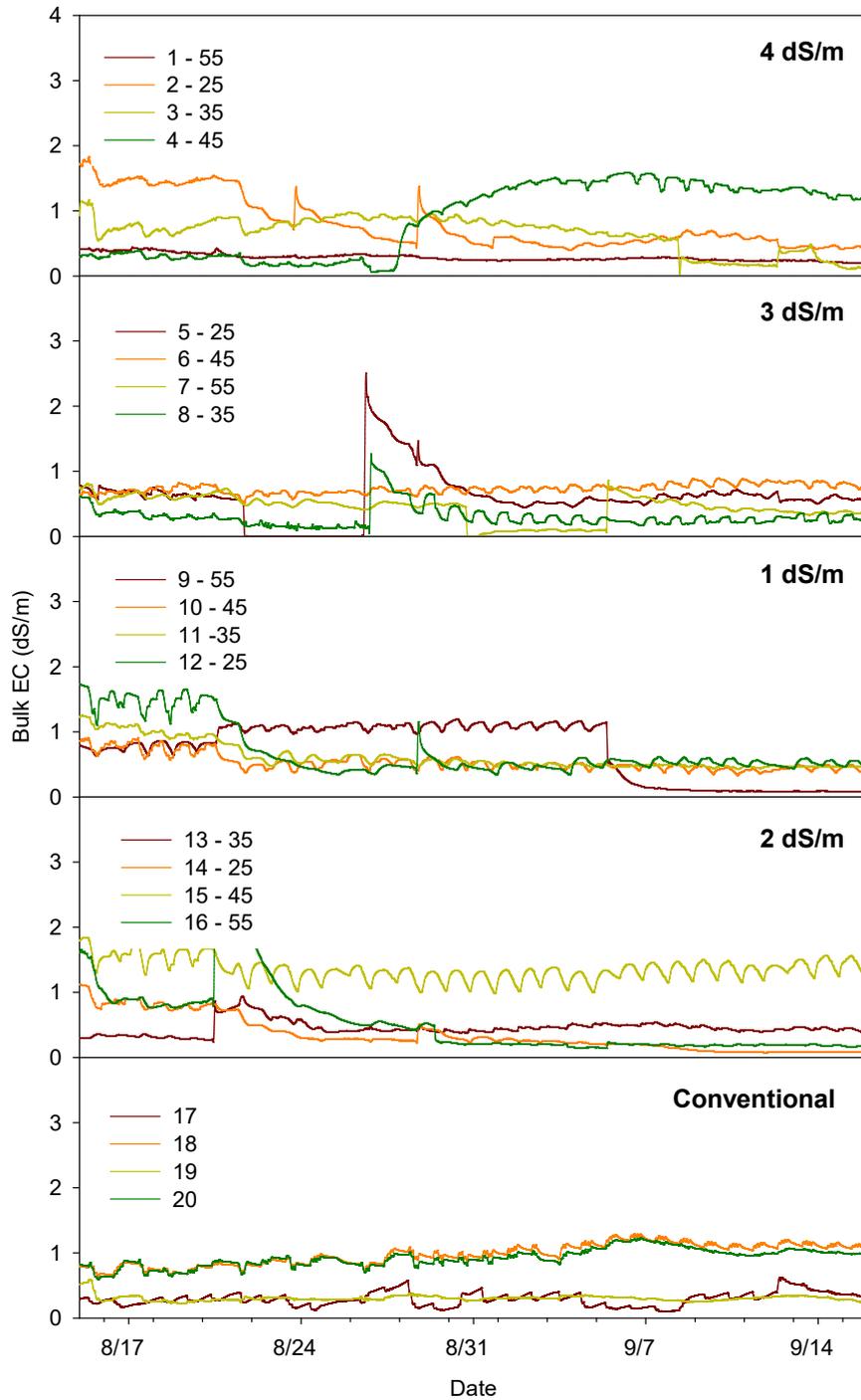


그림 3-3-40. Garden mum 'New Gigi' 농가 재배시 VWC/EC 처리구에 따른 EC (bulk EC) 변화

Garden mum 'New Gigi' 현장 재배 수확시 VWC/EC 처리구별 생육 변화를 알아보면 VWC 4개 수준 / EC 4개 수준으로 설정하여 농가 재배 현장에서 재배한 가든뽕 'New Gigi' 품종의 생육 변화에 있어서 모든 처리구의 식물이 시간이 지남에 따라 초장 및 초폭이 증가하는 모습을 보였으나, 본 실험은 수확 1달 전의 개화 단계의 실험이었으므로 처리구간의 큰 차이는 없었다. EC 처리는 설정값대로의 EC 조절이 어려웠으므로 차년도 실험실에서의 정밀제어를 통한 추가실험으로 최적 EC

범위를 제공하고자 하였다. VWC 처리구/EC 처리구에 따른 초장 및 엽록소 함량의 경우 처리구별로 유의한 차이가 없는 것으로 나타났으나, 가든뎀의 상품 가치를 보여주는 초폭의 경우 35% VWC 처리구에서 초폭이 50% 이상 VWC 처리구에 비해 초폭이 낮았다.(그림 3-41, 표 3-16)

35%VWC 처리구보다 55% VWC 처리구에서 지상부 생체중이 유의하게 높게 나왔으나 지상부 건물중의 경우 처리구별로의 유의한 차이가 없었다. Leaf relative water content의 경우 25%VWC 처리구에서 다른 처리구들(관행재배 포함)에 비해 유의하게 낮게 나타나 팽압이 부족한 것으로 나타났다. 개화에 있어서는 꽃의 크기 및 화경장에 있어서는 처리구별로 유의한 차이가 없는 것으로 나타났으나, 25, 35% VWC 처리구에서 개화수가 작게 나타나, 낮은 VWC 처리시 개화수가 중요한 상품 품질에 영향을 미칠 것으로 나타났다(그림 3-41)

수확 1달전에 처리가 시작되었기에 초장, 초폭 등 영양생장에 관련된 부분에 있어서는 처리구별로 큰 차이가 없었으나, 개화에는 큰 영향을 미친 것으로 나타났다. 개화에 있어서 55%VWC 처리구에서는 기존 충분한 급액을 이용하는 관행재배에 비해 개화수, 꽃의 크기가 비슷하고 25, 35% VWC에 비해 우수한 상품을 생산하는 것으로 나타나 55% VWC 가 현장 가든뎀 생산에 효율적일 것으로 판단된다. 수확시기의 뿌리가 크게 발달되어 근권부 생육 측정은 어려웠으나, 근권부 환경의 pH 및 EC 측정 결과 pH에 있어서는 VWC 처리구별 유의한 차이가 나타나지 않았으나, 차년도 급액/관수 혼용의 정밀 EC 조절 실험을 통하여 EC의 효용성 분석이 필요할 것으로 보였다(그림 3-3-42)

표 3-3-16. Garden mum 'New Gigi'의 VWC 처리구(25, 35, 45, 55%)에 따른 생육

Treatment (VWC%)	Plant height (cm)	Plant width (cm)	Chlorophyll contents (SPAD)	No. of flower	Shoot fresh weight (g)	Shoot dry weight (g)
20	18.3 a	38.8 ab	44.9 a	198.0 b	230.1 ab	32.8 a
30	17.8 a	35.6 b	44.0 a	203.4 b	200.5 b	29.3 a
40	18.1 a	38.1 ab	48.4 a	271.0 ab	257.4 ab	35.3 a
50	18.2 a	40.5 a	48.2 a	316.2 a	292.3 a	37.3 a
Conventional	18.1 a	39.3 a	47.5 a	267.6 ab	280.4 a	37.3 a

Treatment (VWC%)	Flower diameter (cm)	Peduncle length (cm)	VWC (%)	pH	EC (dS/m)	Leaf relative water contents (%)
20	2.5 a	17.4 a	24.1 c	4.0 a	7.4 a	72.0 b
30	2.3 a	17.1 a	30.4 c	4.0 a	6.4 a	94.0 a
40	2.6 a	17.0 a	42.9 b	4.0 a	5.9 a	91.6 a
50	2.5 a	17.0 a	52.7 a	4.1 a	7.9 a	88.2 a
Conventional	2.6 a	17.0 a	44.4 ab	4.1 a	7.3 a	90.1 a

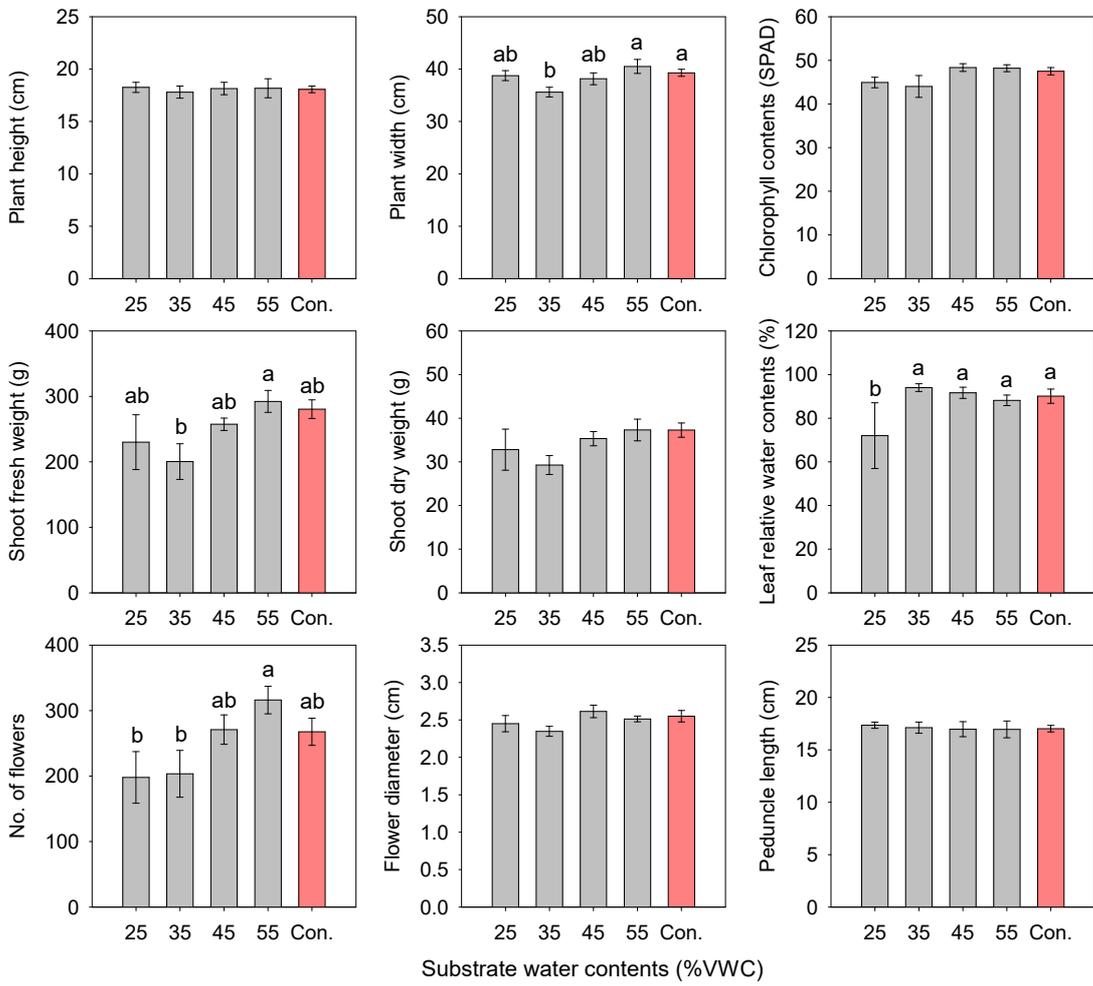


그림 3-3-41. Garden mum 'New Gigi'농가 재배시 VWC 처리구에 따른 생육 변화

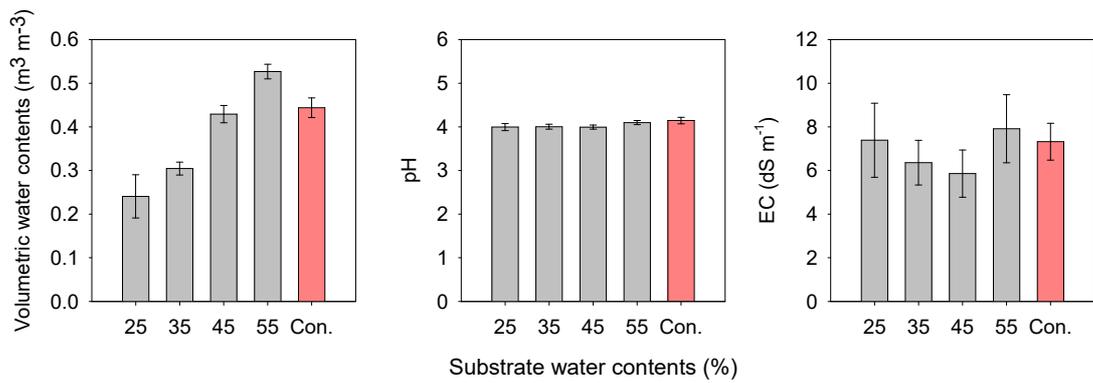


그림 3-3-42. Garden mum 'New Gigi'농가 재배시 VWC 처리구에 따른 근권부 환경 변화

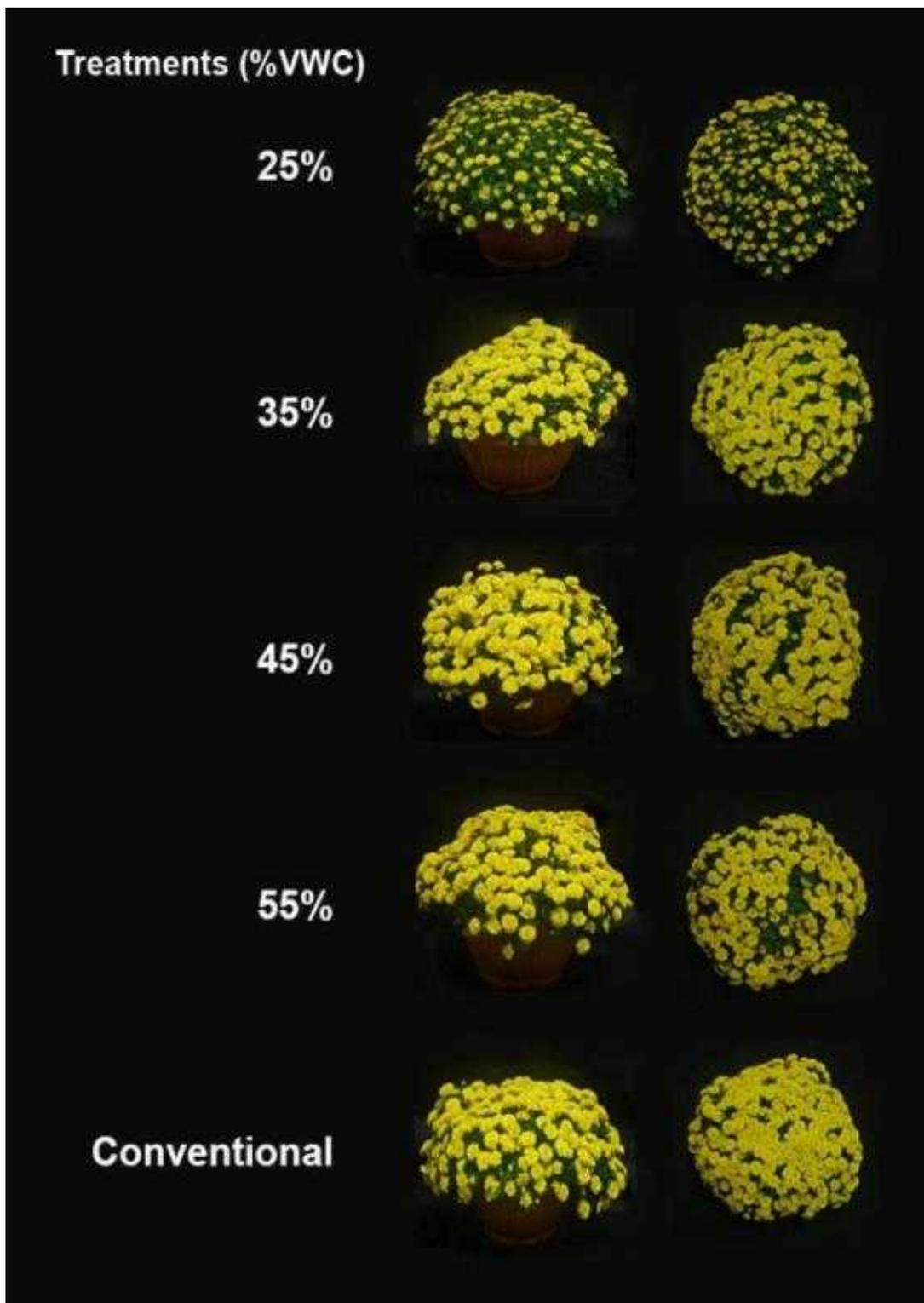


그림 3-3-43. 농가 현장에서 자동급액시스템을 이용한 가든멈 'New Gigi'의 수확시 작물 모습

(라) 봄철 화단 국화 *Chrysanthemum paludosum* ‘Snow land’ EC 처리에 따른 생육 실험

봄철 화단국화 EC처리 실험의 환경 조건을 알아보기 위한 본 실험은 화단 식물을 재배 할 때 배지의 다양한 bulk EC를 유지할 수 있는 자동관수 및 급액 시스템 적용이 가능한지 알아보고, *Chrysanthemum paludosum* ‘Snow land’ 를 이용하여 최적생육을 위한 bulk EC 조건을 알아보고자 수행하였다. 고려대학교 내 유리온실에 5TE 센서(Decagon Devices, USA)를 이용한 자동관수 및 급액시스템을 설치하여 한 달 동안의 다양한 bulk EC 조건에서 *Chrysanthemum paludosum* ‘Snow land’ 를 재배하였다.(그림 44)

정식을 하고 1주일 동안은 뿌리 활착을 위해 두상관수를 하였고, 자동관수 및 관비시스템을 이용하여 bulk EC를 4수준(0.2, 0.4, 0.6, 0.8 ds/m)으로 하여 1달 동안 생육을 시켰으며, 이때 VWC는 모두 50%으로 유지하였다. 관수 및 관비 방법은 자체 제작한 O-ring을 활용하였으며, 각 처리구에 setting한 bulk EC값을 유지하도록 관수, 관비가 자동으로 공급되도록 프로그램을 만들었다. *Chrysanthemum paludosum* ‘Snow land’ 은 (주)신농화훼종묘에서 288구 트레이에 종자파종 후 육묘 중이던 유묘를 2016년 3월 18일 분양 받았으며, 그 다음날 바로커(서울바이오) 상토를 충전한 지름 12cm 플라스틱 화분에 생육이 균일한 식물 100개를 선발해 정식하였다.

2016년 5월 9일 파괴조사를 실시하였으며, 조사항목은 영양생장, 생식생장, 광합성 그리고 배지의 근권부 환경으로 총 4가지 부분을 나눠 조사하였다. 영양생장 조사항목으로는 초장, 초폭, 지상부 생체중, 지상부 건물중, 엽면적을 측정하였고, 생식생장으로서는 개화수, 꽃 지름을 조사하였다. 광합성 조사항목으로 잎의 증산율, 광합성률, 기공전도도를 측정하였고, 근권부 환경으로 pH와 pore EC를 측정하였다.



그림 3-3-44. 고려대학교 온실에서 재배되고 있는 *Chrysanthemum paludosum* ‘Snow land’ 모습

봄철 화단국화 EC처리 실험의 자동 관수 및 급액 시스템을 확인하기 위해 실험에 사용된 원예상토에 알맞은 VWC 보정식을 구한 후 50% VWC로 유지시켜주었고, 4수준의 bulk EC를 설정하여 관비 실시 시점을 설정하여 총 4반복으로 실험을

진행하였다. 실험에 사용된 양액은 Multifeed (Haifa, Israel)로 N-P-K 함량 20-20-20을 사용하였다. 관수 및 관비는 매 20분마다 각각의 화분의 VWC 및 bulk EC 값에 따라 관수 및 관비가 실시되게끔 설정해주었고, 관수엔 500 mg·L⁻¹의 저농도의 양액, 관비엔 2000 mg·L⁻¹의 고농도의 양액이 공급 되게끔 설치해 주었다. 관수 설정값보다 VWC가 낮고, bulk EC 설정값이 높을 경우 관수가 진행되고, 관수 설정값보다 VWC가 낮고, 관비 설정값보다 bulk EC가 낮을 경우 관비가 진행되게끔 설정해주었다. 관수 및 관비는 각각의 처리구에 해당하는 relay driver(Campbell scientific, USA)를 통하여 전자밸브를 10초 동안 열어주게 되어 VWC 및 bulk EC를 일정수준으로 유지시켜줄 수 있게끔 관수 및 관비를 진행하였으며, 압력보상단추(2L/H, Netafim)를 통한 O-ring 형태의 관수 및 관비 방법을 이용하였다. 추후 지상부 환경 및 근권부 환경 복합제어의 기본자료로 이용하기 위하여 실험기간 중의 지상부 환경(온습도 및 광도)을 측정하였다.(그림 3-3-45)

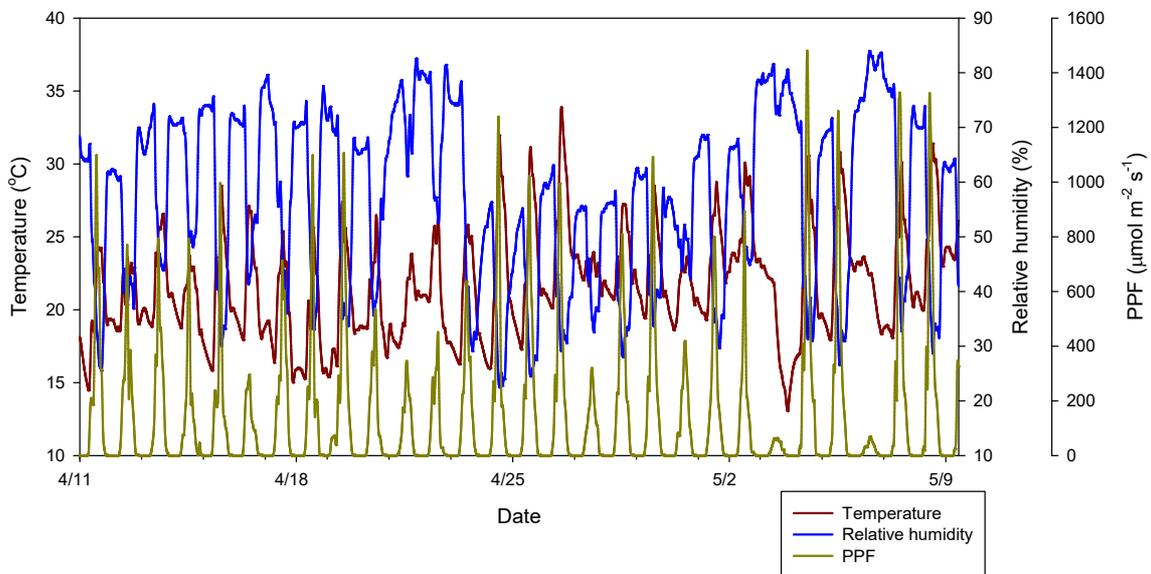


그림 3-3-45. 봄철 화단국화 재배 시 고려대학교 온실내의 온·습도 및 광도 변화

Setting된 bulk EC 처리구별 실제 bulk EC변화로 기존의 자동관수시스템에 관비 시스템을 보완하여 봄철 화단국화의 근권부 수분환경을 50% VWC로 유지해줌과 동시에 bulk EC 처리구를 총 4가지로 bulk EC 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 ds·m⁻¹로 유지하는데, 모든 처리구에서 깔끔한 VWC와 bulk EC 제어가 가능하였다(그림 46) 선행연구에 따르면 bulk EC는 VWC값이 증가함에 따라 bulk EC값도 증가하고, VWC값이 감소하면 bulk EC값도 감소하는 민감한 영향을 받는다고 보고된바 있다. 2016년 4월 23일 시스템 정비 중 relay driver 조작실수로 인해 전 처리구에 관수가 되어 VWC값이 증가되었고, 이에 따라 VWC에 민감한 bulk EC 값도 동시에 증가했다. 4월 23일 센서 일부 처리구에서 관수 호스와 연결된 O-ring이 빠져 재연결 도중 다른 처리구의 호스와 연결하여 bulk EC 0.8 ds·m⁻¹ 처리구의 VWC값이 설정해준 50%VWC보다 감소하였음에도 불구하고 관수가 이루어지지 않았다.

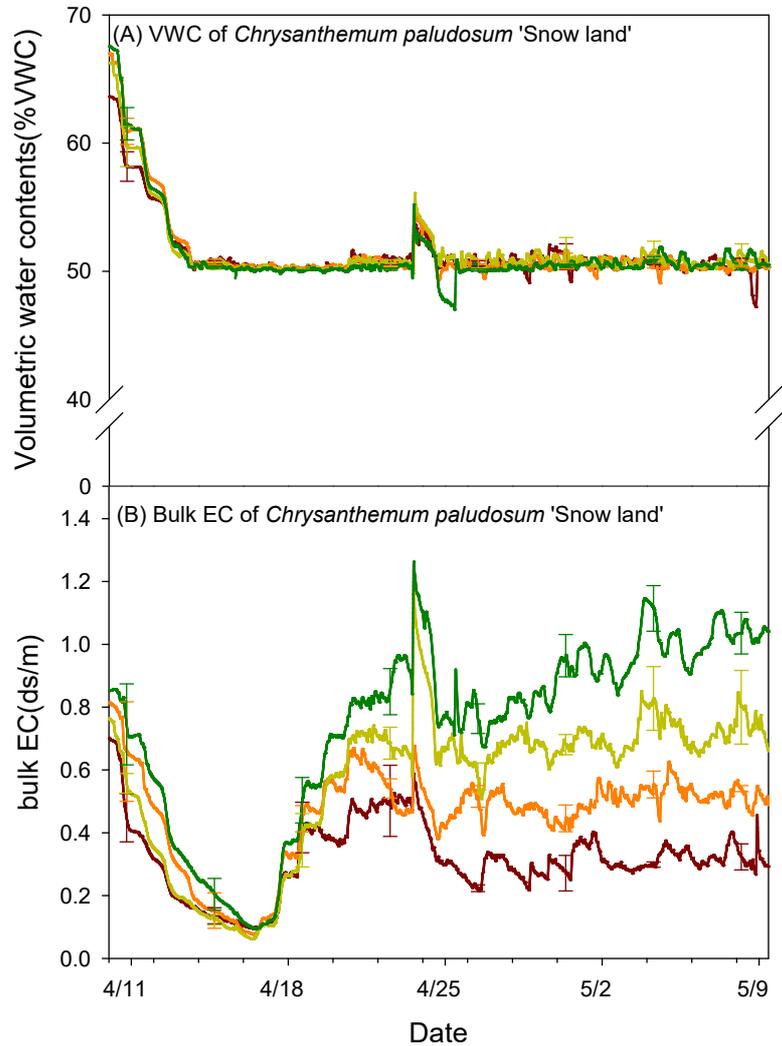


그림 3-3-46. 봄철 화단국화 ‘Snow land’재배시 50% VWC에 따른 bulk EC 처리구 변화

봄철 화단국화 재배시 VWC에 따른 bulk EC 처리구별 생육 차이를 확인한 결과 Bulk EC 처리구를 4개 수준으로 설정하여 재배한 봄철 화단국화의 수확시 초장에 있어서는 bulk EC 0.2, 0.4 ds-m-1가 0.8 ds-m-1보다 유의하게 높게 나타났고, 초폭에 있어서는 bulk EC 0.2, 0.4 ds-m-1 처리구가 bulk EC 0.6, 0.8 ds-m-1 처리구보다 유의하게 넓게 나타났다(그림 47) 지상부 생체중과 건물중에서는 bulk EC 0.2, 0.4 ds-m-1 처리구가 0.6, 0.8 ds-m-1 처리구보다 생육이 더 높은 것으로 나타났고, 엽면적은 bulk EC 0.2, 0.4 ds-m-1가 0.8 ds-m-1보다 생육이 더 좋게 나타났다.

개화에 있어서는 개화수는 bulk EC 0.4 ds-m-1 처리구가 bulk EC 0.6, 0.8 ds-m-1 처리구보다 더 많이 개화를 하였으며, 꽃지름의 경우 bulk EC 0.2, 0.4 ds-m-1 처리구가 bulk EC 0.6, 0.8 ds-m-1 보다 더 큰 것으로 나타났다. 광합성 측정 부분의 기공전도도에서는 유의한 차이가 없지만, 광합성률에서는 bulk EC 0.2, 0.4 ds-m-1 처리구가 bulk EC 0.6, 0.8 ds-m-1 처리구보다 더 많은 광합성을 하였고, 증산량에서는 bulk EC 0.2, 0.4 ds-m-1 처리구가 bulk EC 0.8 ds-m-1 보다 활발한 증산이 일어났음을 확인할 수 있었다. 근권부 환경에서는 각 화분의 pore EC와 pH를 측정하였

고, pore EC에서는 센서로 측정된 bulk EC 값과 포화추출법을 통하여 얻은 용액을 EC meter로 측정된 pore EC 값을 비교한 결과 bulk EC 0.6, 0.8 ds·m⁻¹ 처리구가 bulk EC 0.2 ds·m⁻¹ 처리구 보다 높은 pore EC 값을 나타냈고, pH에서는 유의 차이가 없었다.

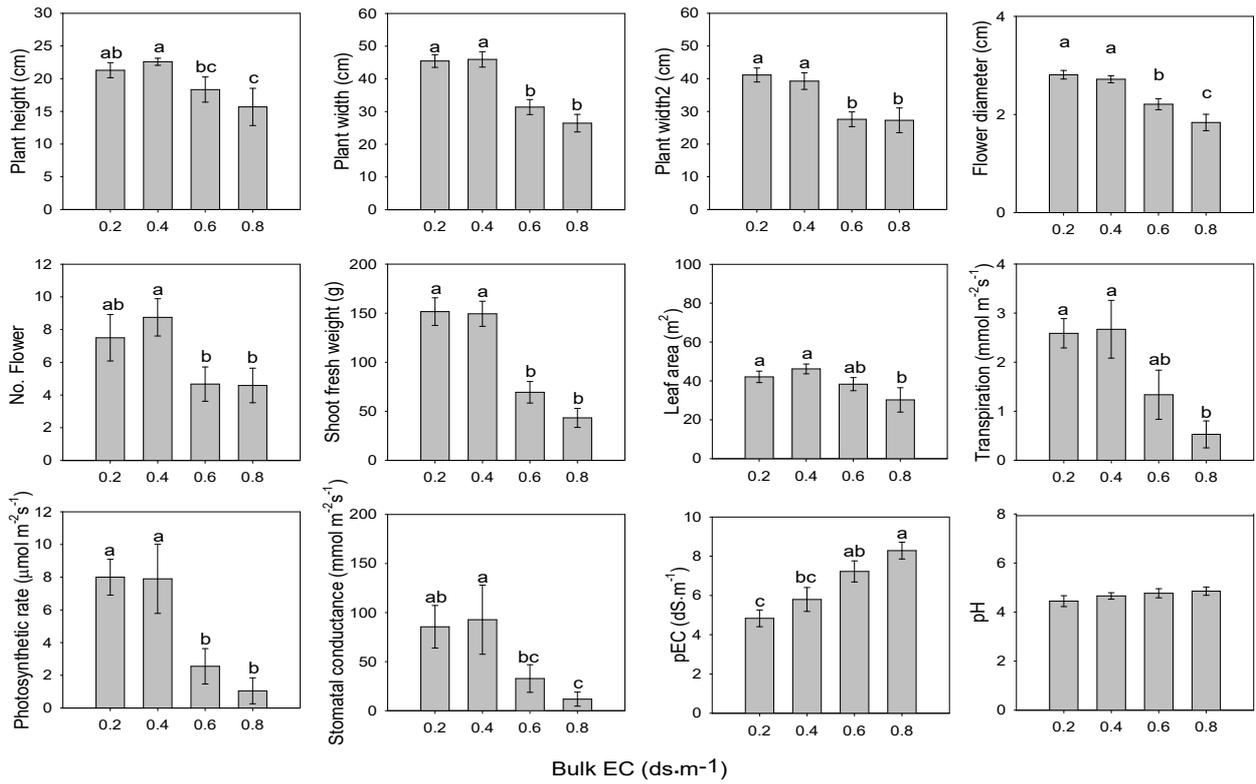


그림 3-3-47. 봄철 화단국화 'Snow land' 재배시 bulk EC 처리구에 따른 생육 변화 및 근권부 환경

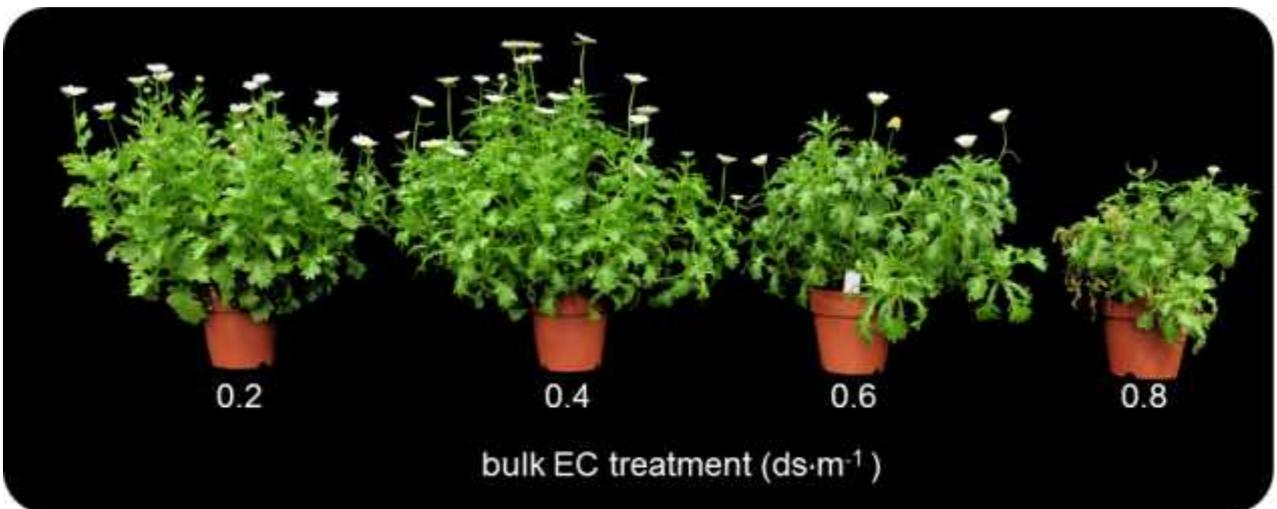


그림 3-3-48. bulk EC 처리구에 따른 'Snow land' 봄철 화단 국화 수확 모습

봄철 화단국화 bulk EC 처리구에 따른 생육 실험 결론으로 자동관수 및 급액시스템과 bulk EC값이 증가함에 따라 pore EC값도 증가하므로 토양수분/EC 센서인 5TE의 활용 가능성을 확인하였지만, 각 처리구의 화분의 pore EC를 측정된 결과 bulk EC 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 ds·m⁻¹ 일 때 각각 pore EC 4.8, 5.8, 7.2, 8.3 ds·m⁻¹로 국화 생육 적정 pore EC인 1.9~2.4 ds·m⁻¹(농촌진흥청 국화 양액재배)보다 약 2~3.4 배 가량 더 높은 EC가 집적되고 있었다. Bulk EC는 VWC에 매우 민감함에 따라 원예용 상토에 알맞으면서 VWC에 구애받지 않고 bulk EC를 pore EC로 변환할 수 있는 수학적 공식 개발이 필요할 것으로 보인다. 봄철 화단국화 ‘Snow land’를 원예상토에서 재배시 설정 bulk EC는 0.4 ds·m⁻¹가 적당한 것으로 판단되나, pore EC 값이 높게 측정되므로 더 낮은 농도의 bulk EC를 사용한 최적 bulk EC 구명이 필요하다. 본 실험을 통해 토양수분/EC 센서를 통한 자동 관수 및 급액시스템의 활용 가능성을 확인하였으므로, 이를 통하여 효율적인 관수 및 관비가 가능할 것으로 판단된다.

(2) 토양수분 센서를 이용한 육묘기의 매향, 설향 딸기 재배

(가) 딸기재배를 위한 관수 시점 설정

GS3 토양수분센서를 이용한 각 상토별 수분-EC calibration 수분함량과 EC값이 동시에 측정이 가능하다. Calibration 방법은 앞에서 설명한 바와 동일하게 진행하였고, 각 상토별 EC의 최고 한계점 설정을 위하여 상토의 VWC 변화에 따른 EC의 변화를 측정하여 회귀곡선을 작성하였다. 본 실험을 위해서는 딸기 재배에 가장 바람직하다고 판단한 중성비료를 질소 기준 농도를 100ppm으로 조절한 양액을 제조하여 각각의 상토를 포화를 시킴. 이후 GS3 센서를 꽂은 상태에서 70°C로 조절한 dry oven에 치상하고 실시간 변화된 VWC와 EC를 수집 및 저장하였다.

* 한아름, 펄4:코3:피3, 펄5:코5 상토 4:3:3, 5:5, 피트모스 상토

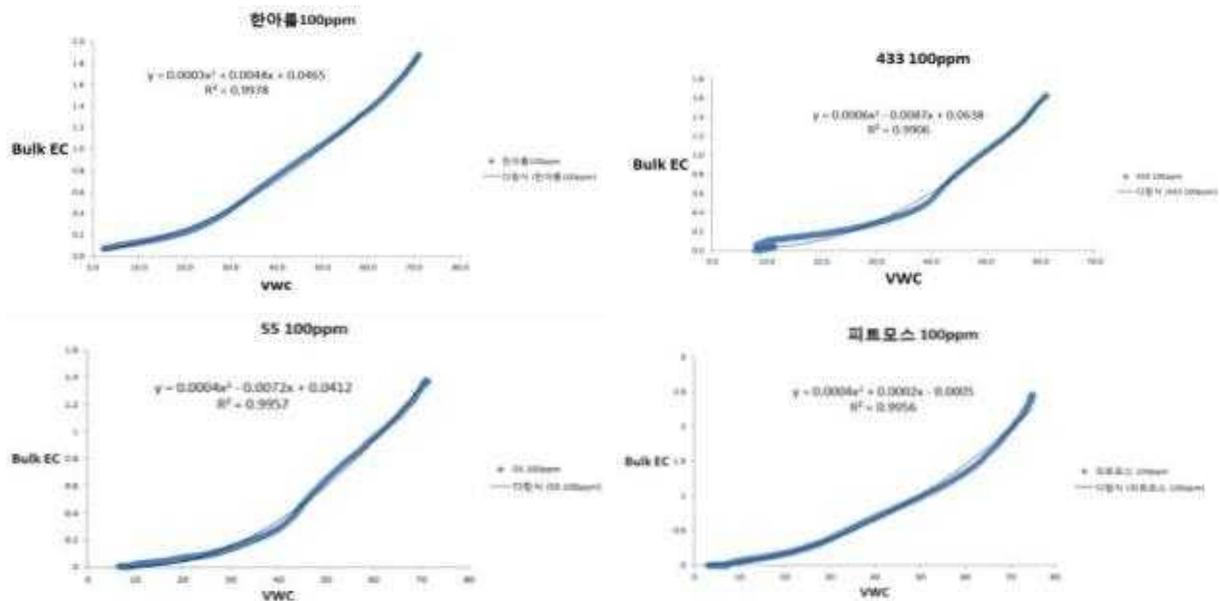


그림 3-3-49. VWC 변화에 따른 다양한 딸기 상토의 EC(ds·m⁻¹) 변화.

(나) 관수 시점 재설정

수확기 재배시 딸기 가장자리가 타는 증상이 빈번히 발생하였으며, 이는 근권부의 EC가 높아진 것이 주요 원인이라고 판단하였음. 따라서 재배 중 EC의 최고 한계점을 설정하고 한계점 보다 EC가 높아질 때 관수량이 증가하여 근권부에 존재하는 무기염을 용탈시킬 수 있도록 관수량이 증가시킬 필요가 있다고 판단하였다. 기존에 사용한 각 상토별 수분 calibration 결과를 유지하되 EC값이 높아질 경우의 관수프로그램을 재설정하였다. GS3 센서를 사용하여 실시간으로 저장된 수분함량-EC의 변화에 관한 데이터에서 각 수분함량에서 나타나는 EC값을 찾아냈다. GS3 프로그램에 해당 EC값을 SET EC값으로 설정하고, 해당 EC 값보다 높아지는 경우, 추가관수가 되도록 관수 프로그램을 재설정하였다.

표 3-3-9. 각 상토의 수분처리별로 설정한 EC의 최대한계점(dS·m-1)

	수분함량(VWC)	EC		수분함량	EC
한아름	50	1.04	펠5:코5	37	0.23
	41	0.77		32	0.16
	37	0.65		29	0.13
	34	0.56		27	0.11
펠4:코3:피3	43	0.71	피트모스	56	1.18
	38	0.45		46	0.86
	35	0.38		41	0.72
	33	0.34		38	0.63

(약자: 펄, 펄라이트; 코, 코코피트; 피, 피트모스, 한아름, 시판상토)

(다) ‘매향’ 및 ‘설향’ 정식 및 재배

수확기 실험과 동일하게 ‘매향’ 및 ‘설향’ 딸기를 대상으로 실험하였고, 2015년 5월부터 2015년 8월까지 실험을 진행하였다. 기존에 설치된 자동관수장치를 동일하게 사용하였고, 양액 pH도 동일하였으나, EC는 육묘기에 적합한 0.6 dS·m-3으로 조절하였다.

생육조사 결과 모주의 생육조사는 수확기 재배실험과 동일한 조사항목 및 방법을 적용하였으며, 런너 및 자묘 발생과 관련한 조사항목을 추가하였다.

- 매향’ 딸기

‘한아름’ 상토에 정식한 경우, 가장 높은 수분처리군인 S6(VWC 50%)에서 생체중과 건물중이 각각 25.79g과 8.12g으로 조사되어 다른 처리 보다 무거웠다. 산술적인 엽록소 함량은 S5(VWC 50%)에서 40.65로 가장 높았지만 통계적인 차이가 인정되지 않았다. 또한, 가장 높은 수분처리군인 S6(VWC 50%)에서 자묘의 발생과 관련한 런너수, 1차자묘 생체중 및 1차자묘 건물중이 각각 2.5개, 3.34g 그리고 0.73g으로 조사되어 모든 처리중 가장 많거나 무거웠으며, 1차자묘 생체중과 건물중의 경우에는 통계적인 차이가 인정되었다. ‘펠4:코3:피3’ 상토에 정식한 경우, ‘한아름’ 상토와 달리 가장 낮은 수분처리군인 S1(VWC 33%)에서 생체중과 건물중이 15.85g과 5.85g으로 조사되어 다른 처리에 비해 무거웠으나 통계적인 차이가 인정되지 않았으며, 엽록소 함량 역시 S1(VWC 38%)에서 41.63으로 가장 높았다. 또한

가장 낮은 수분처리군인 S1(VWC 33%)에서 1차자묘 생체중과 건물중이 각각 2.27g 과 0.46g으로 조사되어 가장 무거웠으며, 가장 높은 수분처리구인 S8(VWC 43%)에 서 런너수와 자묘수가 각각 1.75개 및 2.63개로 가장 많았다. ‘펼5:코5’ 상토에서 는 앞선 2종류 상토들과 달리 S13(VWC 32%)에서 모주와 자묘의 생육이 우수하였 음. 이 처리의 생체중과 건물중이 29.83g과 8.79g 으로 통계적으로 유의한 차이를 보이며 무거웠고, S12(VWC 29%) 처리에서 산술적인 엽록소 함량이 40.85로 가장 높았지만 통계적인 차이가 뚜렷하지 않았다. ‘펼5:코5’ 상토에서는 S13(VWC 32%)에서 모주와 자묘의 생육이 우수하였고 통계적으로도 유의한 차이를 보였다.

표 3-3-10. ‘한아름’ 상토에서 재배한 ‘매향’ 딸기 모주의 생육조사 결과.

처리	초장 (cm)	초폭 (cm)	관부직경 (cm)	생체중 (g/plat)	건물중 (g/plat)	엽수	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	엽병장 (cm)	엽록소 함량
S3	30.83 a	29.38 a	0.93 a	21.80 ab	7.00 a	21.00 a	9.50 a	6.55 a	20.93 a	38.58 a
S4	29.95 a	29.68 a	0.93 a	20.31 b	6.69 a	24.75 a	9.05 a	6.10 a	20.75 a	39.83 a
S5	32.13 a	29.00 a	0.96 a	24.52 ab	7.23 a	20.25 a	9.45 a	6.73 a	21.50 a	40.65 a
S6	32.30 a	29.43 a	0.88 a	25.79 a	8.12 a	23.25 a	9.18 a	6.2 a	22.38 a	39.3 a

표 3-3-11. ‘한아름’ 상토에서 재배한 ‘매향’ 딸기 모주로부터 발생한 런너 및 자묘의 생육 조사 결과.

처리	런너 길이 (cm/plant)	런너 수 (each/plant)	자묘 수 (each/plant)	1차자묘 생체중 (g/plant)	1차자묘 건물중 (g/plant)
S3	191.26 a	2.00 a	2.75 a	2.25 b	0.45 b
S4	199.64 a	2.00 a	2.63 a	2.13 b	0.39 b
S5	156.13 a	2.00 a	2.29 a	2.75 ab	0.54 ab
S6	165.05 a	2.5 a	2.42 a	3.34 a	0.73 a

표 3-3-12. ‘펼4:코3:피3’ 상토에서 재배한 ‘매향’ 딸기 모주의 생육조사 결과.

처리	초장 (cm)	초폭 (cm)	관부직경 (cm)	생체중 (g/plat)	건물중 (g/plat)	엽수	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	엽병장 (cm)	엽록소 함량
S1	30.30 ab	25.75 a	0.80 a	15.85 a	5.85 a	19.50 a	8.13 a	5.70 ab	22.13 ab	41.63 a
S2	31.23 ab	25.30 a	0.83 a	13.60 a	5.20 a	15.00 b	7.80 a	6.38 a	21.63 ab	39.40 a
S7	33.03 a	27.25 a	0.91 a	15.67 a	5.45 a	17.25 ab	8.68 a	5.9 ab	23.38 a	39.93 a
S8	28.43 b	25.75 a	0.85 a	13.51 a	5.42 a	16.5 ab	7.75 a	5.38 b	19.63 b	39.15 a

표 3-3-13. ‘펼4:코3:피3’ 상토에서 재배한 ‘매향’ 딸기 모주로부터 발생한 런너 및 자묘의 생육 조사 결과.

처리	런너길이 (cm/plant)	런너수 (each/plant)	자묘수 (each/plant)	1차자묘 생체중 (g/plant)	1차자묘 건물중 (g/plant)
S11	180.44 a	1.25 ab	2.50 a	2.27 a	0.46 a
S12	146.68 a	1.00 b	2.25 a	1.23 b	0.19 b
S13	134.29 a	1.75 a	1.88 a	1.60 ab	0.29 ab
S8	168.59 a	1.75 a	2.63 a	1.83 ab	0.39 a

표 3-3-14. ‘펼5:코5’ 상토에서 재배한 ‘매향’ 딸기 모주의 생육조사 결과.

처리	초장 (cm)	초폭 (cm)	관부직경 (cm)	생체중 (g/plant)	건물중 (g/plant)	엽수	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	엽병장 (cm)	엽록소 함량
S11	27.10 b	25.25 b	0.84 a	14.46 b	5.60 b	17.25 b	8.43 b	5.88 b	18.23 b	38.43 a
S12	28.75 b	21.50 b	0.86 a	11.76 b	4.48 c	15.75 b	9.23 b	5.93 b	19.40 b	40.85 a
S13	37.58 a	34.63 a	0.88 a	29.83 a	8.79 a	24.00 a	12.45 a	7.85 a	24.88 a	40.23 a
S14	28.33 b	25.00 b	0.88 a	15.31 b	5.89 b	18.00 b	8.33 b	6.03 b	19.13 b	37.65 a

표 3-3-15. ‘펼5:코5’ 상토에서 재배한 ‘매향’ 딸기 모주로부터 발생한 런너 및 자묘의 생육 조사 결과.

처리	런너길이 (cm/plant)	런너수 (each/plant)	자묘수 (each/plant)	1차자묘 생체중 (g/plant)	1차자묘 건물중 (g/plant)
S11	148.33 a	1.00 b	2.00 ab	1.43 b	0.33 b
S12	81.68 a	2.00 ab	1.25 b	2.47 ab	0.49 ab
S13	158.56 a	3.00 a	2.65 a	3.93 a	0.79 a
S14	149.71 a	1.50 b	2.13 ab	2.64 ab	0.61 ab

- ‘설향’ 딸기

‘한아름’ 상토에 정식한 ‘설향’ 딸기는 가장 높은 수분처리군인 S6(VWC 50%)에서 모주의 모든 생육 조사항목이 우수하였음. 생체중과 건물중이 각각 53.24g과 19.5g으로 통계적으로 유의한 차이를 보이며 무거웠으며, 엽록소 함량도 S6(VWC 50%)에서 40.53으로 가장 높았다. 모주 생육이 가장 우수하였던 S6(VWC 50%) 처리는 모주당 발생한 런너수, 1차자묘 생체중 그리고 1차자묘 건물중이 각각 6.5개, 5.66g 및 0.95g으로 통계적으로 유의한 차이를 보이며 우수하였지만 모주당 발생한 자묘수는 S4(VWC 37%) 처리에서 가장 많았다. ‘펼4:코3:피3’ 상토의 경우도 한아름 상토에서와 유사하게 VWC가 가장 높게 유지되었던 S8(VWC 43%) 처리에서 생체중과 건물중이 각각 19.23g과 9.07g으로 다른 처리에 비해 통계적으로 유의한 차이를 보이며 무거웠고, 엽록소 함량은 S1(VWC 33%)에서 40.38로 가장 높았다. ‘펼4:코3:피3’ 상토에서 재배될 때 가장 건조하게 관리되었던 S1(VWC 33%) 처리에서 모주로부터 발생한 1차자묘 생체중과 건물중이 2.12g과 0.41g으로 가장 무거웠으며, 런너수는 S1(VWC 33%) 처리에서 2.75개로, 자묘수는 S8(VWC 43%) 처리에

서 3.33개로 가장 많았다. ‘필5:코5’ 상토의 경우, 한아름 상토와 유사하게 관수를 자주한 S14(VWC 37%) 처리에서 전반적으로 생육이 우수하였다. 이 처리의 생체중과 건물중은 각각 27.51g과 10.77g 으로 통계적으로 유의한 차이를 보이며 무거웠으며, 엽록소 함량도 38.63으로 가장 높았다. ‘필5:코5’ 상토에서 재배될 때 S14(VWC 32%) 처리에서 모주로부터 발생한 자묘 생육이 가장 우수하였음. 1차자묘 생체중과 건물중이 각각 2.66g과 0.57g으로 가장 무거웠고, 모주당 발생한 런너수는 3개로 통계적으로 유의한 차이를 보이며 가장 많았다. ‘피트모스’의 경우, 앞선 상토와 달리 2번째로 높은 수분처리군인 S115(VWC 46%) 처리에서 모주 생육이 우수하였다. 모주 생체중과 건물중은 각각 49.13g과 13.29g 으로 통계적으로 유의한 차이를 보이며 월등히 무거웠고, 엽록소 함량은 S10(VWC 41%)에서 40.15로 가장 높았다. 피트모스 상토에서 재배된 모주로부터 발생한 1차자묘 생체중과 건물중은 S15(VWC 46%) 처리에서 4.12g과 0.72g으로 통계적으로 유의한 차이를 보이며 가장 무거웠고, 런너수도 모주 당 4.75개로 가장 많았다.

표 3-3-16. ‘한아름’ 상토에서 재배한 ‘설향’ 딸기 모주의 생육조사 결과.

처리	초장 (cm)	초폭 (cm)	관부직경 (cm)	생체중 (g/plant)	건물중 (g/plant)	엽수	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	엽병장 (cm)	엽록소 함량
S3	27.63 b	28.25 b	0.81 b	26.62 b	11.19 b	34.50 a	9.23 c	7.35 b	16.88 b	37.15 ab
S4	27.13 b	26.75 b	0.84 ab	23.19 b	9.77 b	30.00 a	9.58 BC	7.85 ab	16.58 b	38.98 ab
S5	30.70 b	30.88 b	0.90 ab	28.49 b	12.11 b	33.00 a	10.48 ab	7.88 ab	19.13 b	36.18 b
S6	37.75 a	39.13 a	0.93 a	53.24 a	19.50 a	42.75 a	11.30 a	8.93 a	26.80 a	40.53 a

표 3-3-17. ‘한아름’ 상토에서 재배한 ‘설향’ 딸기 모주로부터 발생한 런너 및 자묘의 생육 조사 결과.

처리	런너길이 (cm/plant)	런너수 (each/plant)	자묘수 (each/plant)	1차자묘 생체중 (g/plant)	1차자묘 건물중 (g/plant)
S3	182.00 a	4.00 b	2.78 ab	2.95 b	0.65 ab
S4	220.25 a	2.50 b	3.75 a	1.93 b	0.32 b
S5	205.12 a	2.75 b	3.29 ab	2.19 b	0.36 b
S6	124.34 b	6.50 a	2.55 b	5.66 a	0.95 a

표 3-3-18. ‘필4:코3:피3’ 상토에서 재배한 ‘설향’ 딸기 모주의 생육조사 결과.

처리	초장 (cm)	초폭 (cm)	관부직경 (cm)	생체중 (g/plant)	건물중 (g/plant)	엽수	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	엽병장 (cm)	엽록소 함량
S1	24.48 a	26.70 a	0.83 ab	19.31 a	7.87 ab	33.75 a	8.25 ab	6.68 a	14.63 a	40.38 a
S2	22.83 a	24.50 ab	0.74 b	13.93 b	7.41 b	23.25 b	8.43 a	6.60 a	14.08 a	38.50 a
S7	21.83 a	22.88 b	0.86 ab	12.78 b	6.90 b	25.50 ab	7.43 b	5.90 a	13.85 a	38.00 a
S8	23.63 a	24.98 ab	0.94 a	19.23 a	9.07 a	34.50 a	8.45 a	6.53 a	15.03 a	37.23 a

표 3-3-19. '필4:코3:피3' 상토에서 재배한 '설향' 딸기 모주로부터 발생한 런너 및 자묘의 생육 조사 결과.

처리	런너길이 (cm/plant)	런너수 (each/plant)	자묘수 (each/plant)	1차자묘 생체중 (g/plant)	1차자묘 건물중 (g/plant)
S1	190.21 a	2.75 a	3.31 a	2.12 a	0.41 a
S2	188.43 a	1.75 a	3.00 a	1.56 ab	0.31 ab
S7	156.94 a	2.00 a	2.13 a	1.08 b	0.19 b
S8	196.14 a	2.5 a	3.33 a	1.98 a	0.38 a

표 3-3-20. '필5:코5' 상토에서 재배한 '설향' 딸기 모주의 생육조사 결과.

처리	초장 (cm)	초폭 (cm)	관부직경 (cm)	생체중 (g/plat)	건물중 (g/plat)	엽수	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	엽병장 (cm)	엽록소 함량
S11	20.35 b	23.15 b	0.84 a	15.13 b	7.79 b	33.75 a	7.40 a	6.05 a	11.70 b	34.08 b
S12	22.20 b	24.88 ab	0.86 a	16.15 b	8.29 b	27.00 a	8.20 a	6.70 a	13.5 ab	35.15 ab
S13	22.38 b	23.00 b	0.80 a	16.82 b	8.16 b	27.75 a	8.05 a	6.45 a	13.95 ab	38.40 a
S14	26.15 a	27.75 a	0.81 a	27.51 a	10.77 a	37.50 a	8.58 a	7.13 a	16.98 a	38.63 a

표 3-3-21. '필5:코5' 상토에서 재배한 '설향' 딸기 모주로부터 발생한 런너 및 자묘의 생육 조사 결과.

처리	런너길이 (cm/plant)	런너수 (each/plant)	자묘수 (each/plant)	1차자묘 생체중 (g/plant)	1차자묘 건물중 (g/plant)
S11	182.45 a	1.25 c	3.13 a	1.84 a	0.45 a
S12	181.44 a	2.50 ab	3.00 a	1.57 a	0.41 a
S13	169.69 a	1.50 BC	3.00 a	1.90 a	0.43 a
S14	163.35 a	3.00 a	3.21 a	2.66 a	0.57 a

표 3-3-22. '피트모스' 상토에서 재배한 '설향' 딸기 모주의 생육조사 결과.

처리	초장 (cm)	초폭 (cm)	관부직경 (cm)	생체중 (g/plat)	건물중 (g/plat)	엽수	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	엽병장 (cm)	엽록소 함량
S9	26.78 c	27.63 b	0.83 a	22.87 b	9.53 b	36.00 ab	9.30 c	7.45 BC	17.55 b	38.50 a
S10	25.25 c	27.93 b	0.78 a	16.84 b	7.90 b	25.50 c	8.50 c	7.10 c	16.70 b	40.15 a
S15	37.33 a	40.03 a	0.83 a	49.13 a	13.29 a	42.00 a	12.33 a	9.68 a	23.88 a	40.10 a
S16	29.93 b	29.75 b	0.83 a	25.65 b	8.78 b	31.50 bc	10.68 b	8.35 b	18.20 b	39.70 a

표 3-3-23. ‘피트모스’ 상토에서 재배한 ‘설향’ 딸기 모주로부터 발생한 런너 및 자묘의 생육 조사 결과.

처리	런너길이 (cm/plant)	런너수 (each/plant)	자묘수 (each/plant)	1차자묘 생체중 (g/plant)	1차자묘 건물중 (g/plant)
S9	188.50 ab	2.00 b	3.75 a	2.55 b	0.53 ab
S10	232.75 a	1.25 b	4.00 a	2.05 b	0.40 b
S15	157.94 b	4.75 a	3.15 a	4.12 a	0.72 a
S16	222.59 a	2.00 b	3.63 a	2.09 b	0.53 ab

(라) 무기원소 함량 분석

① 무기원소 분석방법

생육조사를 실시한 식물체 전체를 가지고 분석시료로 삼았으며, 0.1N HCl 용액으로 세척 후, 증류수로 수세하여 75℃ 건조기에 48시간동안 건조 후 측정하였다. 건조 후, 건물중 측정이 완료된 식물체를 가지고 0.9mm체(20mesh screen)를 통과하도록 분쇄하여 전질소(T-N) 및 무기성분 함량 분석에 이용하였다. 분쇄된 시료의 전질소(T-N)함량은 Kjeldahl 방법으로 분석하였고, 식물체 내 K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn 및 Cu 등의 함량은 원자 흡광분석계(AA-7000, Shimadzu, Japan)로 분석하였고, P는 분광광도계(UV MINI-1240, Shimadzu, Japan)를 사용하여 분석하였다.

② 생육조사 결과

- 매향 딸기

‘한아름’ 상토에서 재배한 ‘매향’ 딸기의 식물체내 P 및 K 함량은 가장 건조하게 관리된 S3(VWC 34%) 처리에서 각각 0.39% 및 1.55%로 분석되어 가장 높았다. Ca 및 Mg 함량은 VWC가 가장 높게 관리된 S6(VWC 50%) 처리에서 각각 2.5% 및 0.59%로 가장 높았고, 전질소 함량은 S5(VWC 41%) 처리에서 2.89%로 가장 높았다. ‘매향’ 딸기(한아름 상토)의 Fe 및 Cu 함량은 가장 건조하게 관리된 S3(VWC 50%) 처리에서 각각 126.71mg·kg⁻¹ 및 11.08mg·kg⁻¹로 가장 높았고, Mn은 S4(VWC 37%) 처리에서 385.91mg·kg⁻¹로, Zn은 S6(VWC 50%) 처리에서 76.40mg·kg⁻¹로 통계적으로 유의한 차이를 보이며 다른 처리 보다 높았다. ‘필4:코3:피3’ 상토에서 재배된 ‘매향’ 딸기도 ‘한아름’ 상토에서와 유사하게 가장 건조하게 관리된 S1(VWC 33%) 처리에서 P 및 K 함량이 각각 0.43% 및 1.67%로 가장 높았다. Mg 함량은 S1(VWC 33%) 처리에서 0.56%로 높았고, Ca 함량은 가장 과습하게 관리된 S8(VWC 43%) 처리에서 2.95%로 가장 높았으며, 전질소 함량은 S7(VWC 38%) 처리에서 2.58%로 통계적으로 유의한 차이를 보이며 가장 높았다. 이 상토에서 재배된 ‘매향’ 딸기는 S7(VWC 38%) 처리에서 Fe, Zn 및 Cu 함량이 114.75mg·kg⁻¹, 89.13mg·kg⁻¹ 및 15.68mg·kg⁻¹로 가장 높았고, Mn 함량은 S2(VWC 35%) 처리에서 351.57mg·kg⁻¹로 가장 높은 함량을 나타냈다. ‘필5:코5’ 상토에서 재배된 ‘매향’ 딸기의 무기원소 함량은 S12(VWC 29%) 처리에서 P 및 K 함량이 각각 0.33% 및 1.37%로 실험한 모든 처리 중 가장 높았으며, Ca 및 Mg

함량은 S13(VWC 32%) 처리에서 2.95% 및 0.59%로 가장 높았고, 전질소 함량은 S12(VWC 29%) 처리에서 2.05%로 가장 높았다. ‘필5:코5’ 상토에서 재배된 ‘매향’ 딸기는 S13(VWC 32%) 처리에서 Fe는 113.82mg·kg⁻¹, Zn은 81.59mg·kg⁻¹, 그리고 Cu가 11.81mg·kg⁻¹로 분석되어 실험한 처리 중 가장 높았고, Mn은 가장 과습하게 관리된 S14(VWC 37%) 처리에서 287.85mg·kg⁻¹로 가장 높았다.

표 3-3-24. ‘한아름’ 상토에서 재배한 ‘매향’ 딸기의 식물체 무기원소 함량 분석결과.

처리	T-N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
	----- (%) -----					----- (mg·kg ⁻¹) -----			
S3	1.95 a	0.39 a	1.55 a	1.66 b	0.55 a	12671 a	357.84 ab	69.94 ab	11.08 a
S4	2.61 a	0.31 ab	1.37 a	1.70 b	0.51 a	9834 ab	385.91 a	70.21 ab	10.52 a
S5	2.89 a	0.18 b	0.98 a	1.50 b	0.36 a	8076 b	274.59 ab	54.11 b	9.27 a
S6	2.59 a	0.34 a	1.51 a	2.50 a	0.59 a	11266 ab	235.68 b	76.40 a	10.41 a

표 3-3-25. ‘필4:코3:피3’ 상토에서 재배한 ‘매향’ 딸기의 식물체 무기원소 함량 분석결과.

처리	T-N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
	----- (%) -----					----- (mg·kg ⁻¹) -----			
S1	1.88 b	0.43 a	1.67 a	1.89 b	0.56 a	73.55 b	257.44 a	73.55 a	12.29 a
S2	2.02 b	0.41 a	1.42 a	2.20 b	0.46 a	91.18 ab	351.57 a	73.59 a	12.99 a
S7	2.58 a	0.36 a	1.47 a	2.88 a	0.53 a	114.75 a	283.90 a	89.13 a	15.68 a
S8	1.79 b	0.36 a	1.25 a	2.95 a	0.54 a	95.22 ab	268.84 a	77.80 a	12.53 a

표 3-3-26. ‘필5:코5’ 상토에서 재배한 ‘매향’ 딸기의 식물체 무기원소 함량 분석결과.

처리	T-N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
	----- (%) -----					----- (mg·kg ⁻¹) -----			
S11	1.91 a	0.23 a	1.07 a	1.67 b	0.42 ab	83.94 a	282.79 a	44.18 b	7.81 a
S12	2.05 a	0.33 a	1.37 a	1.09 c	0.39 b	94.52 a	217.52 a	61.32 b	10.77 a
S13	1.98 a	0.19 a	1.30 a	2.95 a	0.59 a	113.82 a	227.25 a	81.59 a	11.81 a
S14	1.52 b	0.27 a	1.34 a	1.79 b	0.50 ab	98.38 a	287.85 a	57.06 b	11.02 a

- ‘설향’ 딸기

‘한아름’ 상토에서 재배된 ‘설향’ 딸기는 S5(VWC 41%)에서 K 및 Ca 함량이 각각 2.89%와 2.67%로 가장 높았으며, 가장 과습하게 관리된 S6(VWC 50%) 처리에서 P 함량이 3.14%로 가장 높았음. 전질소 함량은 S6(VWC 50%) 처리에서 3.14%로 가장 높았다. ‘한아름’ 상토에서 재배된 ‘설향’ 딸기의 Fe 및 Zn 함량이 가장 과습하게 관리된 S6(VWC 50%) 처리에서 125.12mg·kg⁻¹ 및 125.90mg·kg⁻¹로 가장 높았고, S5(VWC 41%) 처리에서 Mn 및 Cu 함량이 261.79mg·kg⁻¹과 13.84mg·kg⁻¹로 모든 처리 중 가장 높았다. ‘필4:코3:피3’ 은 한아름 상토에서와 달리 모든 다량원소의 함량이 가장 높은 수분처리군인 S8(VWC43%)에서 높았고, P는 0.43%, K는 2.20%, Ca는 3.32%, Mg는 0.68%을 나타내었으며, 전질소 함량 또

한 S8(VWC 43%)에서 2.31%로 통계적으로 유의한 차이를 보이며 가장 높았다. 미량원소 중 Mn, Zn, Cu는 S7(VWC 38%)에서 284.83mg·kg⁻¹, 74.67mg·kg⁻¹, 14.46mg·kg⁻¹ 로 가장 높았고, Fe는 S8(VWC 43%)에서 약 117.64mg·kg⁻¹로 가장 높았다. ‘필5:코5’ 상토에서 재배된 ‘설향’ 딸기는 S14(VWC 37%) 처리에서 P, Ca 및 Mg 함량이 각각 0.49%, 2.21%, 및 0.59%로 가장 높았으며, 가장 건조하게 관리된 S11(VWC 27%) 처리에서 K 함량이 1.45%로 가장 높았고, 전질소 함량은 S14(VWC 37%) 처리에서 2.91%로 통계적으로 유의한 차이를 보이며 가장 높았다. S11(VWC 27%) 처리에서 Fe는 110.60mg·kg⁻¹, Mn은 284.53mg·kg⁻¹, 그리고 Cu는 9.37mg·kg⁻¹으로 분석되어 ‘필5:코5’ 상토의 모든 처리 중 가장 높았음. Zn은 가장 과습하게 관리된 S14(VWC 37%) 처리에서 79.75mg·kg⁻¹로 가장 높았다. ‘피트모스’ 상토에서 재배된 ‘설향’ 딸기는 S15(VWC 46%) 처리에서 P 및 Mg 함량이 0.90% 및 0.64%로 가장 높았음. K 함량은 가장 건조하게 관리된 S9(VWC 38%) 처리에서 1.89%로 가장 높았고, Ca은 S10(VWC 41%) 처리에서 3.48%로 가장 높았음. 전질소 함량은 S15(VWC 46%)에서 3.60%로 통계적으로 유의한 차이를 보이며 가장 높았다. 미량원소 중 Fe 및 Zn 함량은 128.94mg·kg⁻¹과 107.65mg·kg⁻¹로 S15(VWC 46%)에서 통계적으로 유의한 차이를 보이며 가장 높았음. Mn과 Cu 함량은 305.25mg·kg⁻¹과 13.36mg·kg⁻¹으로 S10(VWC 41%)에서 통계적으로 유의한 차이를 보이며 가장 높았다.

표 3-3-27. ‘한아름’ 상토에서 재배한 ‘설향’ 딸기의 식물체 무기원소 함량 분석결과.

처리	T-N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
	----- (%) -----					----- (mg·kg ⁻¹) -----			
S3	2.15 b	0.22 b	2.35 a	2.36 ab	0.56 a	102.27 a	217.75 a	78.73 b	11.71 a
S4	1.99 b	0.19 b	2.24 a	1.95 b	0.47 a	102.67 a	258.79 a	69.79 b	13.04 a
S5	2.08 b	0.34 b	2.89 a	2.67 a	0.51 a	112.34 a	261.79 a	80.57 b	13.84 a
S6	3.14 a	0.60 a	2.75 a	2.55 ab	0.55 a	125.12 a	220.71 a	125.90 a	13.23 a

표 3-3-28. ‘필4:코3:피3’ 상토에서 재배한 ‘설향’ 딸기의 식물체 무기원소 함량 분석결과.

처리	T-N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
	----- (%) -----					----- (mg·kg ⁻¹) -----			
S1	1.98 b	0.26 a	1.67 a	1.95 c	0.56 a	91.49 b	265.79 a	60.20 b	10.48 b
S2	1.85 b	0.26 a	1.81 a	2.34 BC	0.55 a	92.69 b	255.70 a	57.24 b	11.53 b
S7	1.91 b	0.34 a	2.06 a	2.88 ab	0.50 a	114.73 a	284.83 a	74.67 a	14.46 a
S8	2.31 a	0.43 a	2.20 a	3.32 a	0.68 a	117.64 a	276.91 a	71.44 a	12.93 ab

표 3-3-29. ‘필5:코5’ 상토에서 재배한 ‘설향’ 딸기의 식물체 무기원소 함량 분석결과.

처리	T-N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
	----- (%) -----					----- (mg·kg ⁻¹) -----			
S11	1.82 c	0.31 a	1.45 a	1.75 a	0.48 ab	110.60 a	284.53 a	60.52 b	9.37 a
S12	2.07 b	0.31 a	1.31 a	2.03 a	0.44 ab	100.05 a	229.46 a	49.41 b	6.57 b
S13	2.26 b	0.30 a	1.10 a	1.80 a	0.40 b	103.32 a	220.88 a	48.29 b	6.23 b
S14	2.91 a	0.49 a	1.25 a	2.21 a	0.59 a	110.21 a	212.88 a	79.75 a	5.81 b

표 3-3-30. ‘피트모스’ 상토에서 재배한 ‘설향’ 딸기의 식물체 무기원소 함량 분석결과.

처리	T-N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
	----- (%) -----					----- (mg·kg ⁻¹) -----			
S9	2.56 b	0.52 c	1.89 a	2.69 b	0.55 a	106.25 c	212.36 BC	82.91 ab	11.69 a
S10	2.19 c	0.42 c	1.68 a	3.48 a	0.54 a	110.55 BC	305.25 a	76.64 b	13.36 a
S15	3.60 a	0.90 a	1.38 b	2.85 b	0.64 a	128.94 a	195.40 c	107.65 a	8.81 b
S16	2.43 b	0.69 b	1.23 b	3.16 ab	0.62 a	124.27 ab	280.71 ab	69.15 b	12.58 a

(3) 토양수분센서를 이용한 수확기의 매향, 설향 재배

EC-5 센서 calibration 결과 전국 6개 마이스터 대학에 재학중인 딸기농가를 대상으로 설문조사를 하여 가장 많이 사용하는 4 종류 혼합상토를 선정하였고, 이들을 대상으로 보정 작업을 하였다. EC-5 센서는 4종류 상토 모두 직선적인 회귀곡선으로 나타났으며, 상토의 함수량이 높아질수록 센서의 측정값이 증가하였다. 상토가 물로 포화된 상태를 최대값으로 설정하고, 점차 건조시키면서 건조과정에서 변화된 volumetric water content와 센서의 측정 값을 이용하여 회귀곡선을 작성한 결과 펄라이트:코코피트:피트모스(4:3:3, v/v/v)의 상관계수(R²값)이 가장 낮았다.

딸기 정식 및 양액공급으로 국내에서 육성되어 재배면적이 가장 많은 ‘매향’ 과 ‘설향’ 의 2 품종을 대상으로 2014년 9월부터 2015년 3월까지 실험하였다. 4종류 혼합상토를 초화박스 2호(가로 64.3cm × 세로 23.5cm × 높이 17cm)에 충전하고 1개의 초화박스당 4주의 딸기를 정식하였다. 정식 후 1달 동안 지하수만 관수하여 토양 중에 잔존할 가능성이 있는 무기염을 용탈시켰다. 증성비료를 EC 0.7~0.9dS · m⁻¹수준으로 관비하였고(지하수 100 L 기준, MgSO₄ 10.448g, NH₄NO₃ 9.352g, Ca(NO₃)₂ 11.808g, KNO₃ 20.704g, NH₄H₂PO₄ 2.992g을 희석), pH는 6.0으로 조절하여 공급하였다.

자동관수시스템 설치를 하여 지속적으로 토양수분함량을 측정하는 EC-5센서와 GS3센서를 딸기가 정식된 flower box내 상토에 꽂아 설치하였다. 센서로부터 측정된 값을 실시간으로 기록 및 저장하는 데이터로거 및 컴퓨터에 연결시켰고, %VWC를 기준으로 관비를 위한 관수시점을 컴퓨터에 입력시켜 설정 값보다 VWC가 낮아질 때 릴레이가 작동하였다. 이 후 연결된 솔레노이드 밸브가 열리고 설정한 관수 시간 동안 적정량의 관수가 가능하게 조절되었다. 매향은 EC-5 센서로, 설향은 GS3 센서로 관수를 제어하였다.



그림 3-3-50. ‘매향’ 과 ‘설향’ 딸기 정식 후 모습

생육조사 및 엽록소 측정방법은 딸기 묘 정식 120일 후 생육조사를 하였음. 초화박스 1개당 1주씩을 수확하여 조사하였다(4반복) 조사항목은 초장, 초폭, 엽장, 엽폭, 엽수, 엽록소함량, 관부직경, 지상부 생체중 및 건물중, 1화방 총 과실무게를 측정하였으며, 엽록소 함량은 가장 최근에 완전히 전개된 잎(위에서 2~3번째 잎)을 엽록소 측정계(Minola, Model SPAD-502)를 사용하여 측정하였다.

생육조사 및 엽록소 측정결과 ‘매향’ 딸기를 ‘한아름’ 상토에 정식한 경우 가장 높은 수분처리군인 S6(VWC 50%)에서 생체중과 건물중이 각각 31.79g, 7.94g으로 다른 처리에 비해 무거웠으며, 처리간 통계적으로 유의한 차이를 나타냈다. 1식물체당 1화방의 총 과실무게는 S6(VWC 50%)에서 약 261.30g으로 가장 무거웠고, 엽록소 함량도 S6(VWC 50%)에서 가장 높았지만 통계적 차이가 인정되지 않았다. ‘필4:코3:피3’의 경우에는 ‘한아름’ 상토와 달리 가장 낮은 수분처리군인 S1(VWC 33%)에서 생체중과 건물중이 각각 22.51g, 5.85g으로 다른 처리에 비해 무거웠으나, 통계적인 차이가 인정되지 않았음. 1식물체당 1화방의 총 과실무게는 가장 높은 수분처리군인 S8(VWC 43%)에서 약 248.71g으로 가장 무거웠다. 엽록소 함량은 S7(VWC 38%)에서 높았다. ‘필5:코5’의 경우에는 ‘한아름’ 상토와 같이 가장 높은 수분처리군인 S14(VWC 37%)에서 생체중과 건물중이 각각 25.11g, 6.46g으로 다른 처리에 비해 무거웠지만, 그 차이가 통계적으로 유의하지 않았다. 1식물체당 1화방의 총 과실무게도 S14(VWC 29%)에서 약 311.75g으로 가장 무거웠고, 엽록소 함량도 S14(VWC 37%)에서 가장 높았지만 통계적으로 유의하지 않았다.

표 3-3-31. ‘한아름’ 상토에서 재배한 ‘매향’ 딸기의 생육조사 결과.

처 리	초장 (cm)	초폭 (cm)	관부직 경 (cm)	생체 중 (g/plat)	건물 중 (g/plat)	엽수	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	엽병 장 (cm)	엽록 소 함량	과실 무게 (g/plat)
S3	25.13 a	29.13 ab	1.45 a	23.4 ab	6.15 ab	29.25 a	7.00 a	5.63 a	14.13 a	56.75 a	209.19 b
S4	23.63 a	27.88 b	1.33 a	20.44 b	5.19 b	26.25 a	7.03 a	5.45 a	14.23 a	55.20 a	200.64 b
S5	26.33 a	31.25 ab	1.40 a	23.6 ab	5.98 ab	29.25 a	7.05 a	5.33 a	13.55 a	54.43 a	209.12 b
S6	26.5 a	33.75 a	1.48 a	31.79 a	7.94 a	35.25 a	7.05 a	5.65 a	15.20 a	57.03 a	261.30 a

표 3-3-32. ‘펼4:코3:피3’ 상토에서 재배한 ‘매향’ 딸기의 생육조사 결과.

처 리	초장 (cm)	초폭 (cm)	관부직 경 (cm)	생체 중 (g/plat)	건물 중 (g/plat)	엽수	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	엽병 장 (cm)	엽록 소 함량	과실 무게 (g/plat)
S1	23.28 a	35.20 a	1.45 a	22.51 a	5.85 a	25.50 a	6.50 a	5.10 a	12.88 a	53.43 a	204.7 ab
S2	25.30 a	32.98 ab	1.35 a	19.22 a	5.04 a	25.50 a	6.23 a	4.85 a	12.08 a	52.68 a	162.14 b
S7	22.50 a	28.13 b	1.38 a	17.75 a	4.80 a	24.00 a	5.90 a	4.60 a	12.75 a	55.13 a	166.33 b
S8	23.13 a	29.13 ab	1.43 a	19.42 a	5.00 a	24.00 a	6.45 a	5.10 a	13.53 a	54.83 a	248.71 a

표 3-3-33. ‘펼5:코5’ 상토에서 재배한 ‘매향’ 딸기의 생육조사 결과.

처 리	초장 (cm)	초폭 (cm)	관부직 경 (cm)	생체 중 (g/plat)	건물 중 (g/plat)	엽수	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	엽병 장 (cm)	엽록 소 함량	과실 무게 (g/plat)
S11	23.75 a	30.50 a	1.38 a	21.75 a	5.45 a	27.00 a	6.68 a	5.25 a	13.10 b	55.80 a	208.13 b
S12	23.50 a	30.25 a	1.43 a	21.69 a	5.30 a	30.00 a	6.58 a	4.98 a	12.65 b	55.88 a	206.17 a
S13	25.00 a	29.63 a	1.48 a	23.64 a	6.16 a	27.00 a	6.90 a	5.50 a	14.85 a	55.45 a	205.85 b
S14	26.20 a	28.88 a	1.48 a	25.11 a	6.46 a	34.50 a	6.75 a	5.23 a	12.85 b	56.90 a	311.75 a

‘설향’ 딸기를 ‘한아름’ 상토에 정식한 경우도 ‘매향’ 딸기와 유사하게 가장 높은 수분처리군인 S6(VWC 50%)에서 생체중과 건물중이 각각 32.17g, 7.14g으로 다른 처리에 비해 무거웠으며, 처리간 통계적으로 유의한 차이를 보였다. 1식물체당 1화방의 총 과실무게는 S4(VWC 37%)에서 약 330.01g으로 가장 무거웠고, 엽록소 함량도 통계적인 차이가 인정되지 않았지만 S4(VWC 41%)에서 가장 높았다. ‘펼4:코3:피3’의 경우에는 가장 높은 수분처리군인 S8(VWC 43%)에서 생체중과 건물중이 각각 30.33g, 7.61g으로 다른 처리에 비해 통계적으로 유의한 차이를 보이며 무거웠고, 1식물체당 1화방의 총 과실무게는 S7(VWC 38%)에서 약 281.59g으로 가장 무거웠다. 엽록소 함량은 통계적으로 유의한 차이를 보이며 S8(VWC 43%)에서 가장 높았다. ‘펼5:코5’의 경우에는 ‘한아름’ 상토와 같이 가장 높은 수분처리군인 S14(VWC 37%)에서 생체중과 건물중이 23.62g, 5.69g으로 다른 처리에 비해 무거웠고, 생체중만 통계적으로 유의한 차이를 나타냈다. 1식물체당 1화방의 총 과실무게는 S13(VWC 32%)에서 약 216.83g으로 가장 무거웠고, 엽록소 함량도 통계적인 차이가 인정되지 않았지만 S13(VWC 32%)에서 가장 높았다. ‘피트모스’의

경우에는 다른 상토와 달리 대부분의 생육조사 항목에서 유의한 차이를 나타내었고, 가장 높은 수분처리군인 S16(VWC 56%)에서 생체중과 건물중이 약 30.851g, 7.03g 으로 다른 처리에 비해 무거웠다. 1식물체당 1화방의 총 과실무게도 S16(VWC 56%)에서 약 282.24g으로 가장 무거웠고, 엽록소 함량은 S10(VWC 41%)에서 가장 높았다.

표 3-3-34. ‘한아름’ 상토에서 재배한 ‘설향’ 딸기의 생육조사 결과.

처 리	초장 (cm)	초폭 (cm)	관부직경 (cm)	생체중 (g/plant)	건물중 (g/plant)	엽수	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	엽병장 (cm)	엽록소 함량	과실 무게 (g/plant)
S3	22.75 a	25.68 a	1.18 a	30.17 a	6.68 a	39.00 a	6.48 b	5.63 a	11.25 b	51.19 a	248.01 a
S4	24.75 a	28.88 a	1.25 a	26.95 a	5.65 a	33.00 a	7.01 a	5.88 a	13.01 a	51.23 a	300.01 a
S5	23.63 a	24.88 a	1.33 a	26.9 a	5.63 a	31.50 a	6.49 b	5.58 a	12.66 ab	48.17 a	243.43 a
S6	25.38 a	25.25 a	1.28 a	32.17 a	7.14 a	38.25 a	7.26 a	5.98 a	13.9 a	49.05 a	307.69 a

표 3-3-35. ‘필4:코3:피3’ 상토에서 재배한 ‘설향’ 딸기의 생육조사 결과.

처 리	초장 (cm)	초폭 (cm)	관부직경 (cm)	생체중 (g/plant)	건물중 (g/plant)	엽수	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	엽병장 (cm)	엽록소 함량	과실 무게 (g/plant)
S1	22.48 ab	25.85 a	1.30 a	21.40 b	5.38 b	27.75 b	6.59 ab	5.68 a	9.64 b	50.56 b	285.4 a
S2	19.58 b	28.75 a	1.33 a	20.39 b	5.16 b	27.00 b	6.14 b	5.26 b	9.56 b	49.25 b	235.07 a
S7	25.25 a	30.75 a	1.38 a	22.70 b	5.36 b	27.00 b	6.64 a	5.64 ab	11.23 a	50.99 ab	281.9 a
S8	21.5 ab	32.38 a	1.25 a	30.33 a	7.61 a	37.50 a	6.65 a	5.90 a	10.38 ab	52.71 a	231.18 a

표 3-3-36. ‘필5:코5’ 상토에서 재배한 ‘설향’ 딸기의 생육조사 결과.

처 리	초장 (cm)	초폭 (cm)	관부직경 (cm)	생체중 (g/plant)	건물중 (g/plant)	엽수	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	엽병장 (cm)	엽록소 함량	과실 무게 (g/plant)
S11	18.13 a	27.88 a	1.23 a	18.72 b	5.10 a	30.00 a	5.46 b	4.58 b	6.88 b	49.70 a	165.59 a
S12	20.50 a	24.65 a	1.28 a	16.80 b	4.49 a	24.75 b	6.30 a	5.44 a	9.91 a	53.30 a	178.90 a
S13	22.00 a	24.63 a	1.18 a	20.60 ab	5.40 a	27.00 ab	6.19 a	5.38 a	10.51 a	53.44 a	216.83 a
S14	23.13 a	27.25 a	1.10 a	23.62 a	5.69 a	30.75 a	6.28 a	5.46 a	10.23 a	52.76 a	175.55 a

표 3-3-37. ‘피트모스’ 상토에서 재배한 ‘설향’ 딸기의 생육조사 결과.

처 리	초장 (cm)	초폭 (cm)	관부직경 (cm)	생체중 (g/plant)	건물중 (g/plant)	엽수	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	엽병장 (cm)	엽록소 함량	과실 무게 (g/plant)
S9	20.00 b	26.00 ab	1.25 a	15.91 b	4.23 b	24.00 a	6.32 b	5.40 b	11.98 BC	51.45 ab	266.84 a
S10	22.63 ab	25.25 ab	1.18 a	18.89 b	4.78 b	24.75 a	6.58 b	5.54 b	10.98 c	52.16 a	203.9 ab
S15	25.13 a	21.25 b	1.00 a	21.26 ab	4.92 ab	30.75 a	6.50 b	5.60 b	13.24 ab	48.51 b	194.85 b
S16	25.53 a	29.63 a	1.28 a	30.85 a	7.03 a	38.25 a	7.46 a	6.34 a	13.76 a	51.10 ab	282.24 a

(다) 무기원소 함량 분석

무기원소 함량 분석결과 ‘한아름’ 상토에서 재배된 ‘매향’ 딸기는 가장 높은 수분처리군인 S6(VWC 50%)에서 P, K, 및 Mg 함량이 각각 약 0.19%, 2.43%, 0.57%로 가장 높았음. Ca는 S5(VWC 41%)에서 통계적으로 유의한 차이를 보이며 0.83%로 가장 높았고, 전질소 함량은 S4(VWC 37%)에서 1.92%로 가장 높은 함량으로 분석되었다. 모든 미량원소 함량은 통계적으로 유의한 차이가 인정되지 않았으며 Fe, Mn, Zn, 및 Cu는 각각 301.02mg·kg⁻¹, 46.94mg·kg⁻¹, 18.05mg·kg⁻¹, 26.66mg·kg⁻¹로 V6(VWC 50%)에서 가장 높았다. ‘펼4:코3:피3’에서 재배된 ‘매향’ 딸기는 가장 낮은 수분처리군인 S1(VWC 33%)에서 P 함량이 0.16%로 가장 높았으며, K와 Mg는 S7(VWC 38%)에서 각각 2% 및 0.96%로 다른 처리군에 비해 높았다. 전질소 함량은 S8(VWC 43%)에서 2.06%로 통계적으로 유의한 차이를 보이며 가장 높았다. 미량원소 중 Fe는 V8(VWC 43%)에서 1555.37mg·kg⁻¹로 통계적으로 유의한 차이를 보이며 높았고, Mn과 Zn 역시 S8(VWC 43%)에서 각각 120.51mg·kg⁻¹과 44.24mg·kg⁻¹로 가장 높은 함량을 나타내었다. Cu는 다른 원소와 달리 S2(VWC 35%)에서 21.85mg·kg⁻¹로 가장 높았다. ‘펼5:코5’에서 재배된 ‘매향’ 딸기는 다량원소 함량이 앞의 두 상토와 다른 양상을 보였고, 가장 낮은 수분처리군인 S11(VWC 27%)에서 다량원소 중 P, K와 Mg 함량이 각각 약 0.17%, 2.13% 그리고 0.57%로 가장 높게 분석되었으며, Ca는 S13(VWC 32%)에서 0.99%로 가장 높았다. 전질소 함량은 S14(VWC 37%)에서 2.31%로 가장 높았다. 미량원소 중 Fe는 S14(VWC 37%)에서 1720.22mg·kg⁻¹로 가장 높았고, Mn, Zn과 Cu 함량 역시 각각 238.82mg·kg⁻¹, 45.62mg·kg⁻¹, 21.52mg·kg⁻¹로 가장 높았다. 다른 상토의 경우와는 상이하게 가장 높은 수분처리군에서 가장 높은 함량을 나타내지 않았다. 3가지 상토 중 ‘펼4:코3:피3’ 상토에서만 전질소 함량이 통계적으로 유의한 차이를 나타냈다.

표 3-3-38. ‘한아름’ 상토에서 재배한 ‘매향’ 딸기의 식물체 분석결과.

처리	T-N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
	----- (%) -----					---- (mg·kg ⁻¹) ----			
S3	1.88 a	0.15 ab	2.30 a	0.64 b	0.53 a	808.33 a	297.15 a	41.44 a	15.26 a
S4	1.92 a	0.14 b	2.21 a	0.60 b	0.50 a	631.39 a	239.41 a	39.67 a	16.18 a
S5	1.80 a	0.12 b	2.36 a	0.83 a	0.55 a	866.55 a	298.62 a	45.18 a	17.30 a
S6	1.86 a	0.19 a	2.43 a	0.76 ab	0.57 a	770.46 a	301.02 a	46.94 a	18.05 a

표 3-3-39. ‘펼4:코3:피3’ 상토에서 재배한 ‘매향’ 딸기의 식물체 분석결과.

처리	T-N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
	----- (%) -----					---- (mg·kg ⁻¹) ----			
S1	1.78 ab	0.16 a	1.70 a	0.83 a	0.63 a	586.10 b	75.76 a	43.01 a	15.27 a
S2	1.53 b	0.13 BC	1.77 a	0.85 a	0.67 a	480.92 b	81.13 a	42.39 a	21.85 a
S7	1.71 b	0.15 ab	2.00 a	0.96 a	0.66 a	923.88 ab	82.06 a	42.28 a	14.33 a
S8	2.06 a	0.12 c	1.65 a	0.84 a	0.60 a	1555.37 a	120.51 a	44.24 a	14.82 a

표 3-3-40. ‘필5:코5’ 상토에서 재배한 ‘매향’ 딸기의 식물체 분석결과.

처리	T-N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
	----- (%) -----					----- (mg·kg ⁻¹) -----			
S11	2.14 a	0.17 a	2.13 a	0.96 a	0.57 a	14847 a	238.82 a	45.62 a	21.52 a
S12	2.13 a	0.07 b	1.41 a	0.61 a	0.34 a	15322 a	157.33 a	28.26 a	9.85 a
S13	1.96 a	0.10 ab	1.71 a	0.99 a	0.51 a	12167 a	234.29 a	39.04 a	19.97 a
S14	2.31 a	0.13 ab	1.65 a	0.92 a	0.52 a	17222 a	204.13 a	36.07 a	13.66 a

‘한아름’ 상토에서 재배한 ‘설향’ 딸기는 S5(VWC 41%) 처리에서 P, K, Mg 및 Ca 함량이 각각 0.26%, 3.01%, 0.82% 및 0.53%로 가장 높았으며, 전질소 함량은 S4(VWC 37%)에서 2.89%로 가장 높았다. Fe를 제외한 모든 미량원소가 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았고, S5(VWC 41%)에서 Fe, Mn, Zn, 및 Cu 함량이 각각 약 234.37mg·kg⁻¹, 35.99mg·kg⁻¹, 7.58mg·kg⁻¹, 20.91mg·kg⁻¹ 로 가장 높았다. ‘필 4:코3:피3’ 에서 재배한 ‘설향’ 딸기의 무기원소 함량에서 P와 K는 S7(VWC 38%)에서 0.2% 및 2.34% 로 가장 높았으며, Ca와 Mg는 S8(VWC 43%)에서 각각 1.1%, 0.64%로 다른 처리에 비해 높았다. 전질소 함량은 S8(VWC 43%)에서 2.16%로 가장 높았다. 미량원소 중 Fe는 S2(VWC 35%)에서 2493.02mg·kg⁻¹ 로 통계적으로 유의한 차이를 보이며 높았고, Mn과 Cu은 S7(VWC 38%)에서 각각 127.50mg·kg⁻¹, 8.52mg·kg⁻¹로 가장 높은 함량으로 분석되었다. Zn 함량은 다른 미량원소와 달리 S8(VWC 43%)에서 38.96mg·kg⁻¹로 가장 높았다. ‘필5:코5’ 상토에서 재배한 ‘설향’ 딸기는 S13(VWC 32%) 처리에서 다량원소 중 K를 제외한 P, Ca, Mg 함량이 각각 약 0.23%, 1.03%, 0.56%로 모든 처리 중 가장 높았다. K 함량은 S12(VWC 29%) 처리에서 2.43%로 가장 높았으며, 전질소 함량은 S14(VWC 37%) 처리에서 2.69%로 가장 높았다. S12(VWC 29%) 처리에서 Fe, Zn 및 Cu 함량이 각각 591.56 mg·kg⁻¹, 59.12mg·kg⁻¹, 11.60 mg·kg⁻¹으로 가장 높았고, Mn은 288.98 mg·kg⁻¹ 으로 S11(VWC 27%)에서 상대적으로 높았다. ‘피트모스’ 상토에서 재배한 ‘설향’ 딸기는 다량원소 중 P와 K 함량이 각각 0.33%과 2.23%로 S15(VWC 46%) 처리에서 가장 높았고, Ca는 S10(VWC 32%) 처리에서 0.99%로, Mg는 가장 낮은 수분처리군인 S9(VWC 38%)에서 약 0.75%로 상대적으로 높았다. 전질소 함량은 S16(VWC 56%)에서 2.95%로 가장 높았다. 미량원소 중 Fe는 S16(VWC 56%) 처리에서 926.68mg·kg⁻¹ 로 가장 높았으며, Mn과 Cu는 각각 364.50mg·kg⁻¹과 9.05mg·kg⁻¹로 S15(VWC 46%)에서 가장 높았다. Zn 함량은 가장 낮은 수분처리군인 S9(VWC 38%)에서 42.04mg·kg⁻¹ 로 가장 높은 함량으로 분석되었음. 4종류 미량원소 모두 처리간 차이가 통계적으로 유의하지 않았다.

표 3-3-41. '한아름' 상토에서 재배한 '설향' 딸기의 식물체 분석결과.

처리	T-N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
	----- (%) -----					----- (mg·kg ⁻¹) -----			
S3	2.28 b	0.10 b	2.22 a	0.66 a	0.47 a	264.31 a	233.76 a	33.36 a	7.31 a
S4	2.89 a	0.11 b	1.95 a	0.61 a	0.41 a	164.83 b	201.32 a	26.73 a	5.58 a
S5	2.60 ab	0.26 a	3.01 a	0.82 a	0.53 a	530.82 c	234.37 a	35.99 a	7.58 a
S6	2.73 a	0.22 ab	2.21 a	0.65 a	0.41 a	675.13 c	225.88 a	27.01 a	6.61 a

표 3-3-42. '필4:코3:피3' 상토에서 재배한 '설향' 딸기의 식물체 분석결과.

처리	T-N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
	----- (%) -----					----- (mg·kg ⁻¹) -----			
S1	2.00 a	0.08 b	1.94 b	0.84 b	0.57 ab	212.06 a	115.63 a	31.37 ab	7.65 a
S2	1.88 a	0.08 b	1.89 b	0.83 b	0.54 b	249.02 a	103.25 a	28.89 b	6.81 a
S7	2.06 a	0.20 a	2.34 a	1.02 a	0.61 ab	433.00 b	127.50 a	31.67 ab	8.52 a
S8	2.16 a	0.16 a	2.18 ab	1.10 a	0.64 a	361.88 b	112.97 a	38.96 a	7.53 a

표 3-3-43. '필5:코5' 상토에서 재배한 '설향' 딸기의 식물체 분석결과.

처리	T-N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
	----- (%) -----					----- (mg·kg ⁻¹) -----			
S11	2.38 b	0.20 a	2.22 a	0.95 ab	0.51 a	499.43 a	288.98 a	54.51 a	10.50 a
S12	2.35 b	0.18 a	2.43 a	0.92 ab	0.53 a	591.56 a	264.87 a	59.12 a	11.60 a
S13	2.33 b	0.23 a	2.41 a	1.03 a	0.56 a	176.67 a	207.51 a	41.82 a	8.59 a
S14	2.69 a	0.18 a	2.15 a	0.74 b	0.45 a	421.79 a	149.14 a	34.14 a	8.32 a

표 3-3-44. '피트모스' 상토에서 재배한 '설향' 딸기의 식물체 분석결과.

처리	T-N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
	----- (%) -----					----- (mg·kg ⁻¹) -----			
S9	2.47 ab	0.15 a	2.28 a	1.11 a	0.75 a	326.35 a	280.18 a	42.04 a	7.15 a
S10	2.22 b	0.12 a	2.08 a	0.95 ab	0.62 a	308.93 a	249.34 a	31.34 a	5.80 a
S15	2.86 a	0.33 a	2.23 a	0.80 ab	0.60 a	783.84 a	364.50 a	39.50 a	9.05 a
S16	2.95 a	0.26 a	1.52 a	0.57 b	0.40 a	926.68 a	279.69 a	31.29 a	7.85 a

(라) 온실환경 및 상토수분함량의 실시간 변화

① 온도 및 습도

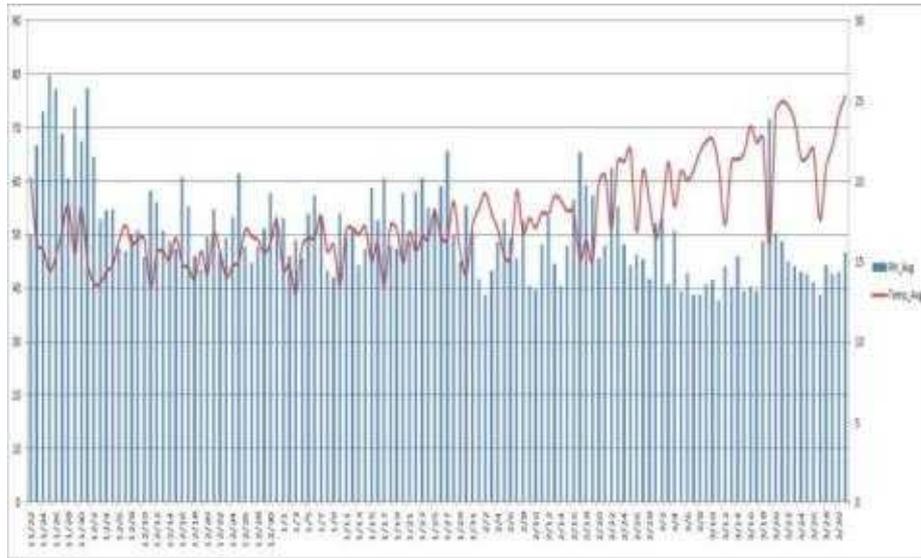


그림 3-3-51. 유리온실의 온·습도 변화.

② 각 상토별 상토수분함량

㉟ 매향 - EC-5 센서

i) 한아름 상토, 펼5:코5 상토, 펼4:코3:피3 상토

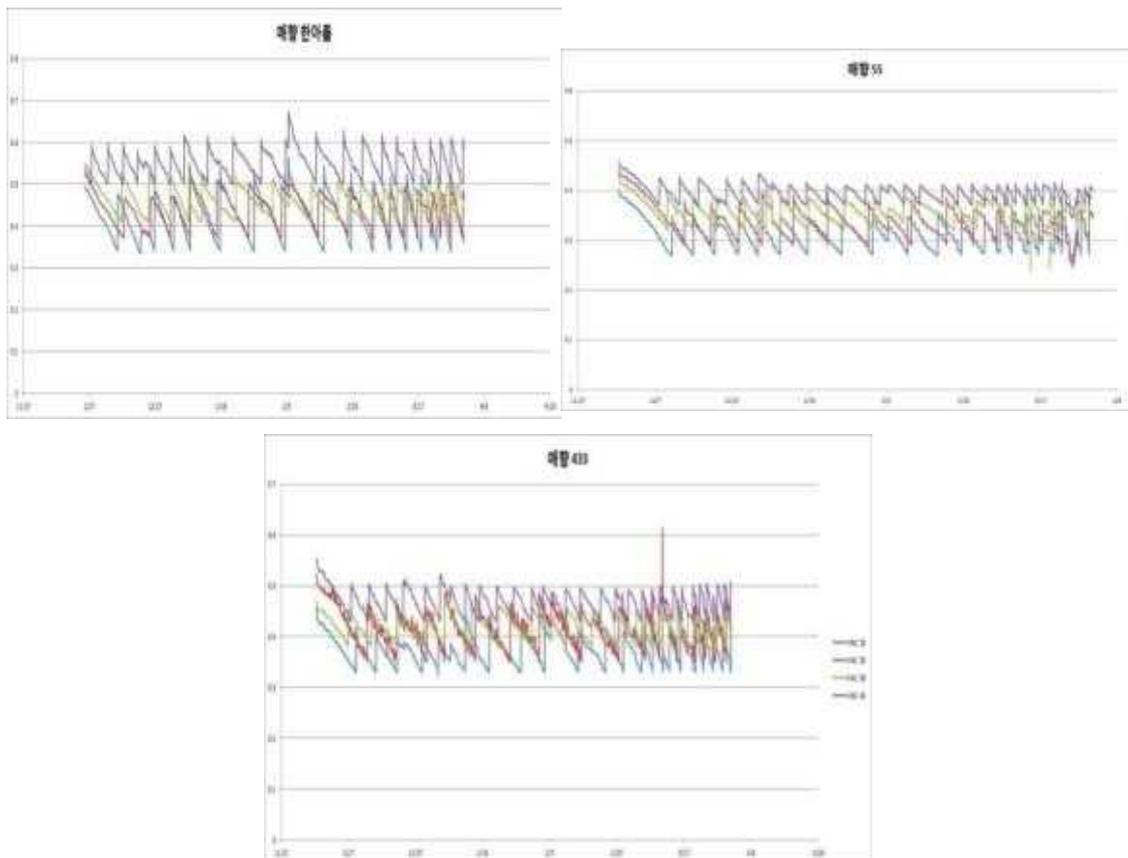


그림 3-3-52. '매향' 딸기 재배과정에서 수분처리별 상토의 VWC 변화.

㉔ 설향 - GS3 센서

i) 한아름 상토, 펠5:코5 상토, 펠4:코3:피3 상토, 피트모스 상토

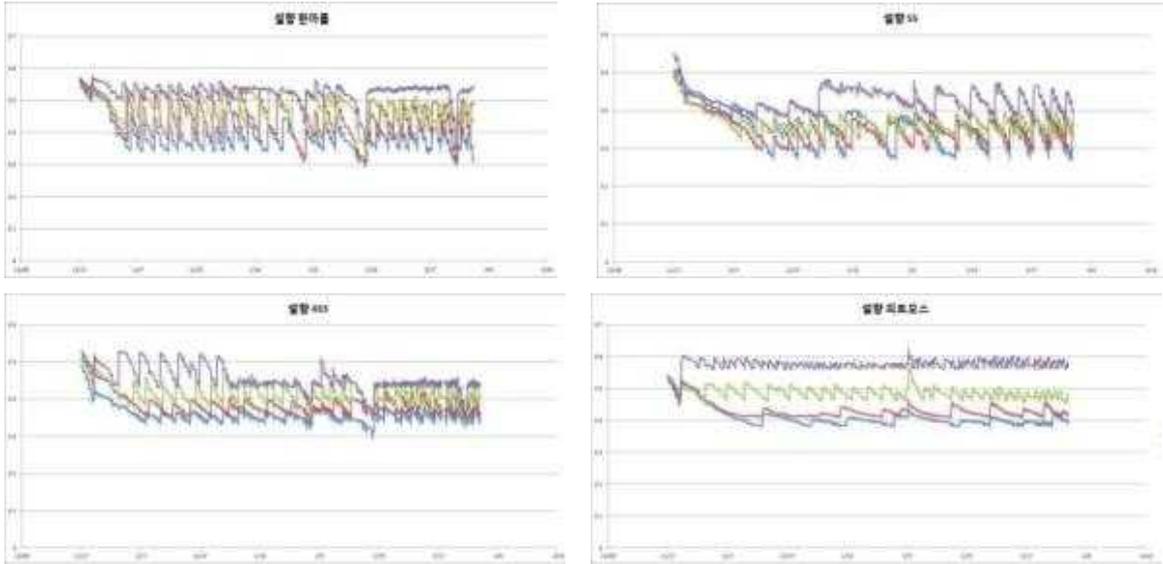


그림 3-3-53. '설향' 딸기 재배과정에서 수분처리별 상토의 VWC 변화.

※ 자동관수시스템을 이용한 육묘기 딸기 재배실험 결론

자동관수시스템을 도입하여 매향 딸기를 육묘기 재배시 추천 자동관수시점은 ‘한아름’ 상토는 VWC S6(VWC 50%), ‘펠4:코3:피3’ 상토는 S8(VWC 43%), ‘펠5:코5’ 상토는 S13(VWC 32%)가 적당할 것으로 판단된다. 설향 딸기의 추천 자동관수시점은 ‘한아름’ 상토는 VWC S6(VWC 50%), ‘펠4:코3:피3’ 상토는 S8(VWC 43%), ‘펠5:코5’ 상토는 S14(VWC 37%), ‘피트모스’ 상토는 S15(VWC 46%)가 적당할 것으로 판단된다. 그러나 육묘기의 경우, 고온다습한 장마철에 재배되다 보니, 병충해 발생에 대한 방제가 많아지게 되어 농약살포 및 농약관주로 인한 일시적으로 근권부 수분함량이 높아지는 것에 대한 주의가 필요할 것으로 생각된다. 육묘기 실험에서도 농가에 현장 적용하기 위해 시스템에 설정된 값에 따라 대체적으로 관수가 이루어지는 것이 확인되었고, 이를 가지고 현장 적용이 가능할 것으로 판단된다.

다. 기존 제어 기술과의 비교, 경제성 분석

토양수분센서를 이용한 자동관수시스템에 따른 국화 재배의 경제성 분석해보면 관행방법으로 재배했을 때에는 재배 기간 동안 한 개의 화분 당 총 27.2L가 급액이 된 반면, VWC를 55%, 45%, 35%, 25%로 유지했을 때에는 급액양이 각각 9.5L, 8.2L, 5.5L, 1.0L밖에 되지 않았다. 이는 관행방법의 급액 된 양액의 3.7~35%의 수준 밖에 되지 않는 수치였다(그림 54) VWC를 낮출수록 양액의 사용을 줄일 수 있으나 앞선 실험의 결과를 살펴보았을 때, 가든덤 ‘New Gigi’ 는 VWC 55% 정도가 적당한 것으로 판단됨. VWC를 55%로 유지해도 관행 급액양의 35%밖에 되지 않아 생산 농가에서 가든덤의 생산비용을 줄일 수 있는데 크게 기여할 수 있을 것이라

판단된다.

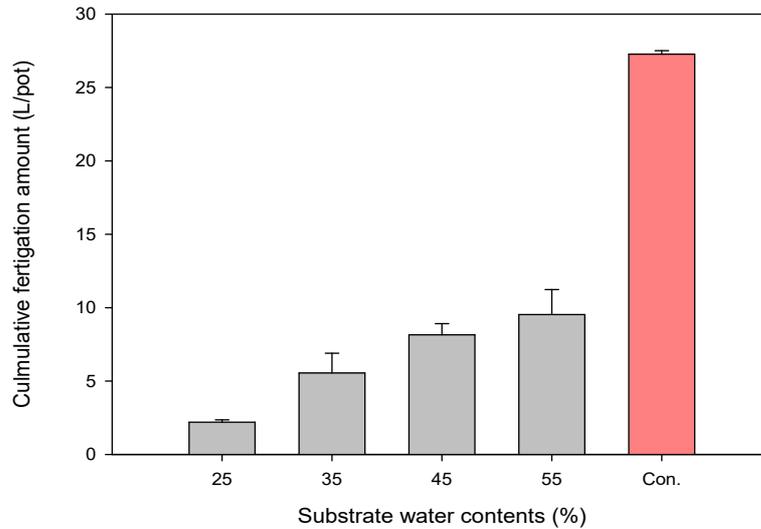


그림 3-3-54. Garden mum ‘New Gigi’농가 재배시 VWC 처리구에 따른 급액량

토양수분센서를 이용한 자동관수시스템에 따른 딸기 재배의 경제성 분석하면 본 실험은 압력보상단추(2L/H)를 이용하여 관수가 되었기 때문에 관수시간에 따른 대략적인 경제성 분석을 실시할 수 있었다. 각각의 상토에 3, 6, 9, 12 kPa에 따라 설정해준 4개 수준의 VWC처리구의 평균을 통해 경제성 분석을 한 결과 육묘기 동안 처리구의 VWC 함량이 증가할수록 약 44.5, 53.1, 51.8, 92.5 L의 물을 사용하였다. 모든 처리구에서 센서를 사용하였기에 각 처리구간에 통계적으로 유의한 차이는 없었지만, 딸기의 생육에 대한 물 사용량을 비교해 보았을 시 6, 3 kPa 처리구에서 딸기의 최적 생육을 보이므로, 6kPa 본 실험에선 양액을 사용하였으므로 물 뿐만 아니라 비료 비용도 절감할 수 있을 것이라 판단되며, 이를 통해 경제적으로도 효율적인 관수, 관비가 가능하리라 사료된다.

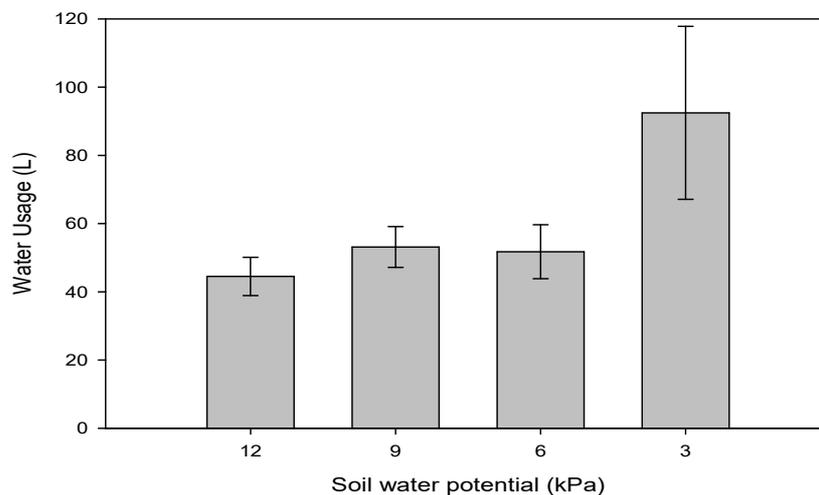


그림 3-3-55. Garden mum ‘New Gigi’농가 재배시 VWC 처리구에 따른 급액량

제 4 절 온실 지상부 환경 복합제어기술 개발

1. 지상부 환경에 따른 작물(딸기, 국화) 생육 모델링

가. 지상부 환경에 따른 작물(딸기, 국화)생육, 수량 및 품질조사

(1) 현장 센서 설치 및 환경 관리(측정) 시스템 구축

현장 센서 설치 온실 지상부 환경 측정을 위하여 온도, 상대습도, CO₂ 센서를 사용하였으며, 지하부 환경 측정을 위해 지온, 토양수분과 토양농도(EC)를 사용하였다.



그림 3-4-1. 농가에 설치된 센서류 (좌:광 센서, 가운데:지온, 토양수분과 토양농도 센서, 우:온도, 상대습도와 이산화탄소 센서)



그림 3-4-2. 농가에 설치된 광 센서 사진



그림 3-4-3. 농가에 설치된 지온, 토양수분과 토양농도 센서 사진



그림 3-4-4. 농가에 설치된 온도, 상대습도와 이산화탄소 센서 사진

○ 환경 관리(측정) 시스템 구축

- Campbell사의 CR-1000으로 환경 측정 시스템을 구축하였다.



그림 3-4-5. Campbell사의 CR-1000 datalogger



그림 3-4-6. 농가에 설치된 환경 측정 시스템

농가 보급형 환경 측정 장치 설치를 위해 딸기 농가와 국화 농가에서 손쉽게 환경을 모니터링할 수 있는 계측 모듈과 프로그램 모듈을 개발하였다. 이 모듈은 연구기간동안 교육자료로 활용되었으며, 현재 온실의 온도, 상대습도, 노점온도 및 이산화탄소 농도를 볼 수 있게 LCD 창과 컴퓨터를 현 상황을 알 수 있는 프로그램을 개발하였다. 또한, Zigbee 통신으로 원거리에서 볼 수 있는 모듈 또한 개발하여 컴퓨터로 계측된 값이 출력될 수 있도록 하고 블루투스를 활용한 앱 프로그램 개발하여 실시간으로 환경 계측값을 볼 수 있도록 하였다.



그림 3-4-7. 온실에 설치하기 위한 환경계측 모듈(온도, 노점온도, 상대습도와 이산화탄소농도 측정 가능)

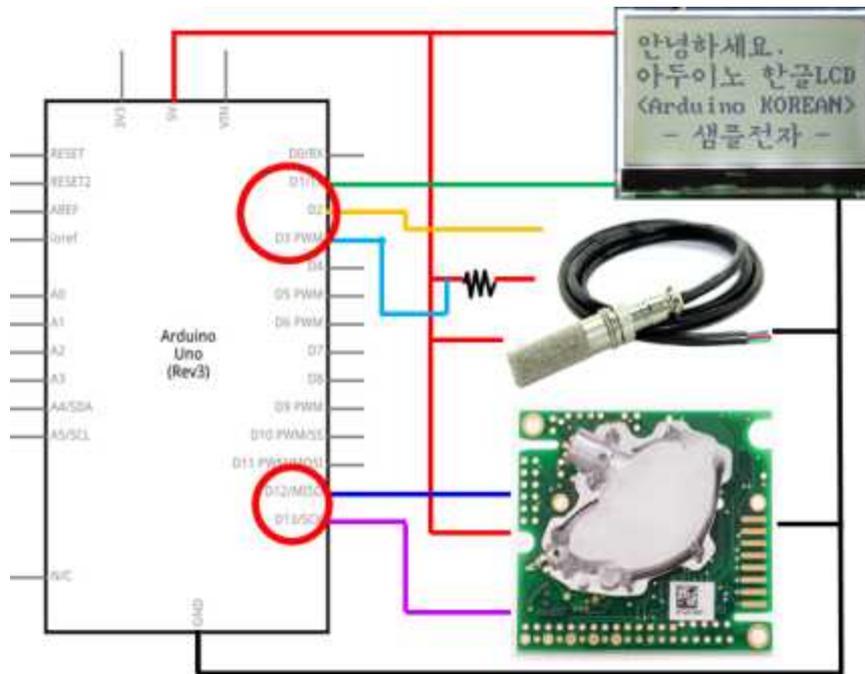


그림 3-4-8. 농가보급형 환경측정장치의 연결 도식도



그림 3-4-9. 딸기 농가 환경계측 장치 설치 사진



그림 3-4-10. 컴퓨터 프로그램을 이용하여 무선 통신 연결



그림 3-4-11. 프로그램을 이용하여 실내 환경계측 화면

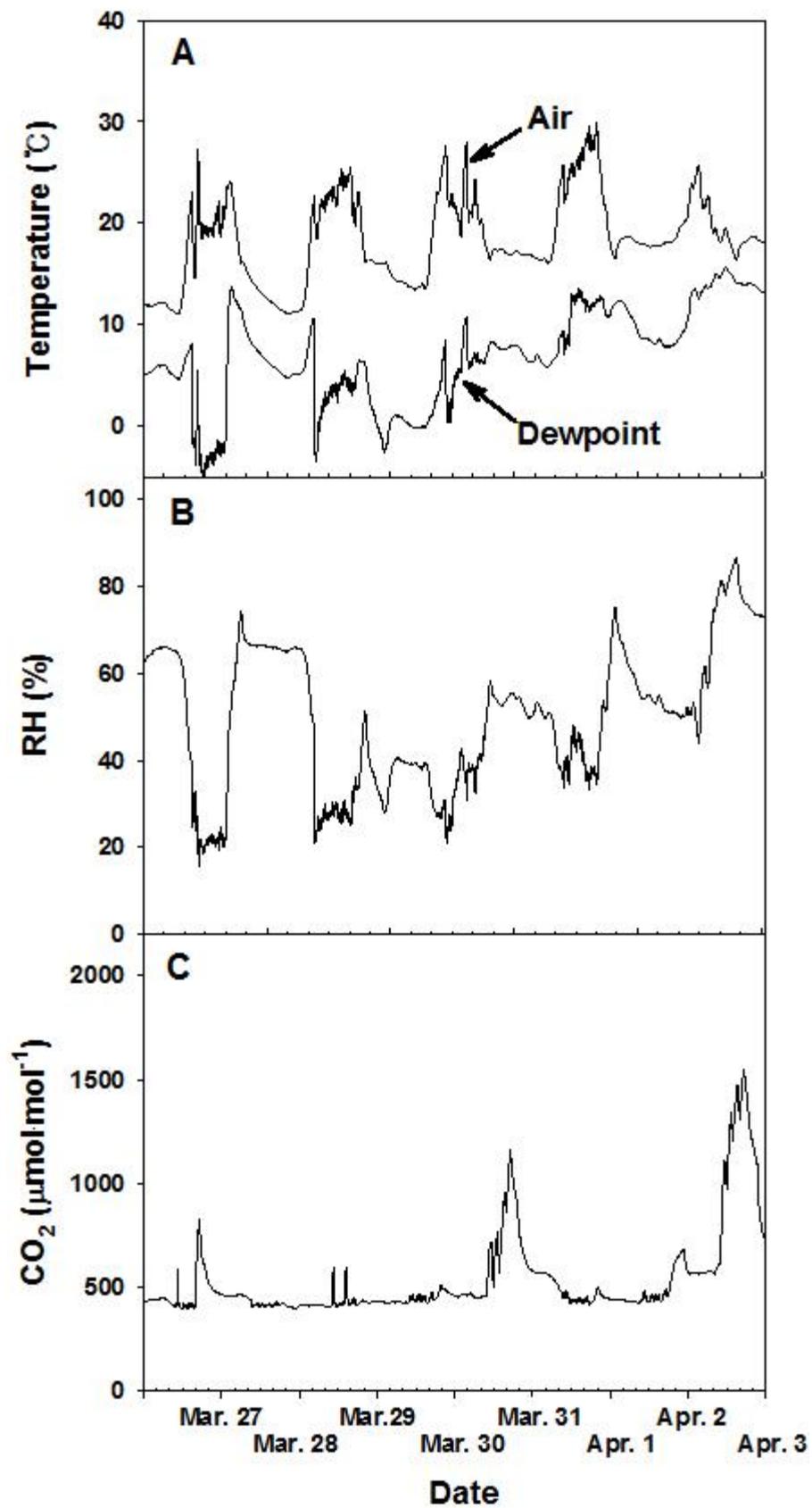


그림 3-4-12. 농가보급형으로 계측한 환경 측정값 변화 (A:건구온도와 노점온도, B:상대습도, C:이산화탄소농도)

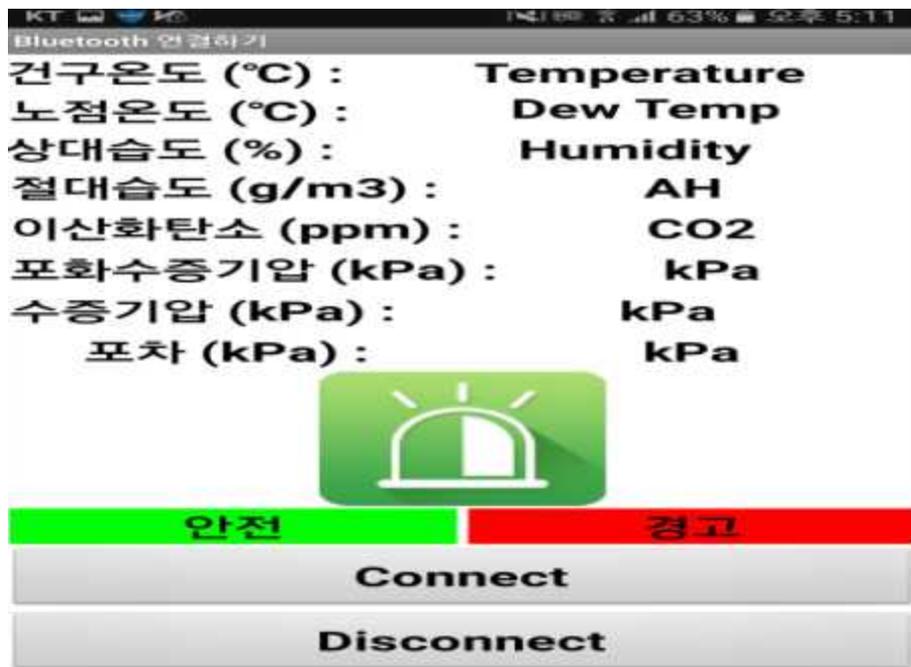


그림 3-4-13. 안드로이드기반의 프로그램을 이용하여 환경계측 앱

(2) 국화 농가의 환경 측정 및 생육 조사

환경 측정 및 생육조사를 위해 플라스틱하우스 내부의 이산화탄소 농도 변화 계측 : 농가에서 이산화탄소를 시비하지 않기 때문에 온실 내 유기물과 작물에 대한 호흡량으로 높은 이산화탄소 농도를 나타내었다.

최소값 : 375 $\mu\text{mol/mol}$

최대값 : 640 $\mu\text{mol/mol}$

평균값 : 469 $\mu\text{mol/mol}$

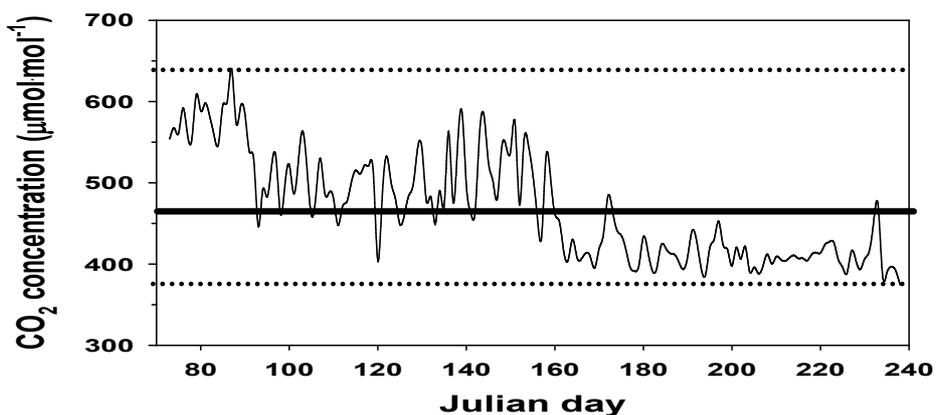


그림 3-4-14. 국화 온실 내부의 이산화탄소 농도 변화. Julian day는 1월 1일은 1일임. 2015년 3월 14일부터 2015년 8월 26일까지

플라스틱하우스 내부의 온도 변화 계측 : 봄철 온실에서 환기를 하지 않았기 때문에 높은 온도를 보였으며, 여름철 외기의 높은 온도로 인해 온실 내부의 온도가

높은 것을 확인 할 수 있었다.

최소값 : 22.8 °C

최대값 : 35.3 °C

평균값 : 29.7 °C

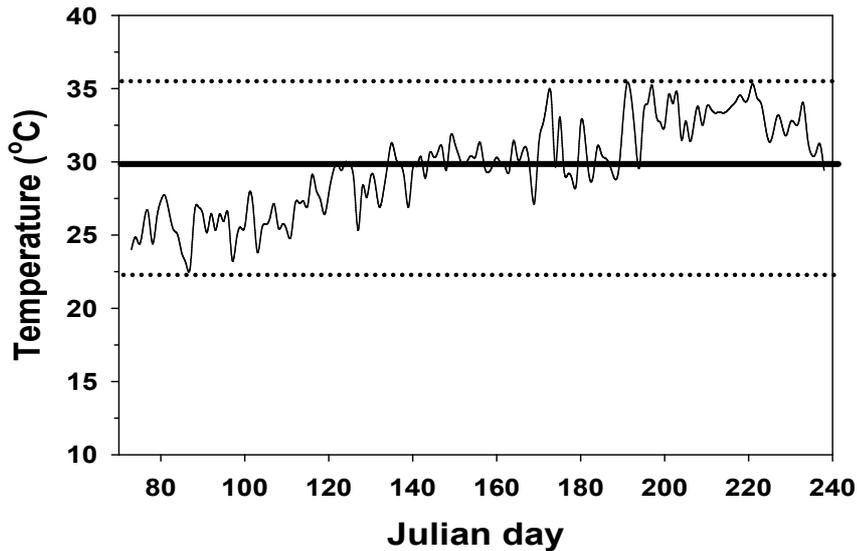


그림 3-4-15. 국화 온실 내부의 지상부 온도 변화. Julian day는 1월 1일은 1일임. 2015년 3월 14일부터 2015년 8월 26일까지

플라스틱하우스 내부의 온도 변화 계측 : 봄철 온실에서 환기를 하지 않았기 때문에 높은 온도를 보였으며, 여름철 외기의 높은 온도로 인해 온실 내부의 온도가 높은 것을 확인 할 수 있었다.

최소값 : 22.8 °C

최대값 : 35.3 °C

평균값 : 29.7 °C

- 정식 후 온실의 주간 온도 변화 (2015년 9월 4일부터 10월 6일까지)

최소값 : 27.7 °C

최대값 : 34.5 °C

평균값 : 31.1 °C

- 정식 후 온실의 야간 온도 변화 (2015년 9월 4일부터 10월 6일까지)

최소값 : 22.5 °C

최대값 : 29.7 °C

평균값 : 26.7 °C

- 정식 후 온실의 주야간 온도차 (2015년 9월 4일부터 10월 6일까지)

최소값 : -1.5 °C

최대값 : 8.4 °C

평균값 : 4.4 °C

주야간 온도차는 국화의 초장과 개화에 영향을 주기 때문에 매우 중요한 요인임.

날씨가 흐린날에 온도가 밤의 온도가 낮아 주야간온도차(DIF)가 음의 값은 나타내고 있음. 주야간온도차가 낮을수록 국화의 초장을 짧아지는 경향을 보이고 있었다.

주야간온도가 30℃ 이상이 되면 개화에 영향을 주지 않기 때문에, 영양생장에 초점을 맞춰 재배해야 하며, 추후 날씨가 추워짐에 따라 생식생장에 맞춰 재배하는 것이 좋을 것으로 판단되었다.

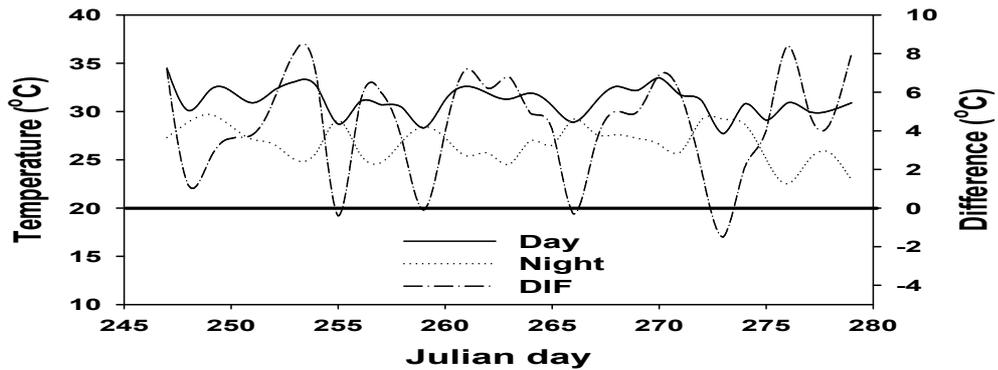


그림 3-4-16. 국화 온실 내부의 지상부 온도변화와 온도차. Julian day는 1월 1일은 1일임(2015년 9월 4일부터 10월 6일까지)

상대습도 변화 (2015년 3월 14일부터 2015년 8월 26일까지) : 온실 환기와 유동 팬이 없는 온실로 봄철 환기량 부족으로 인해 높은 상대습도를 높였다. 높은 상대습도는 병충해 유발할 가능성이 높은 것으로 나타났다.

- 최저값 : 58 %
- 최대값 : 99 %
- 평균값 : 80 %

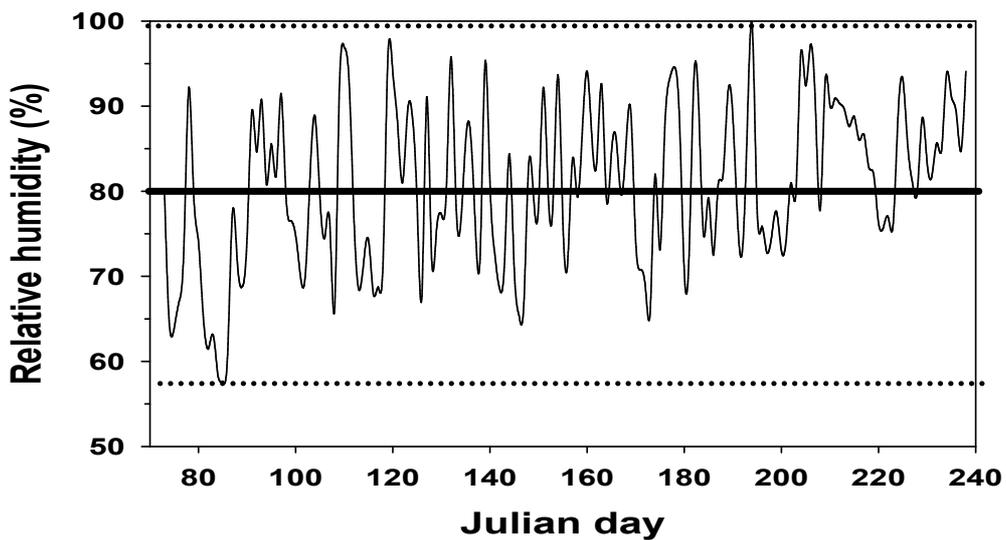


그림 3-4-17. 국화 온실 내부의 상대습도 변화. Julian day는 1월 1일은 1일임. 2015년 9월 4일부터 10월 6일까지

수증기압 변화 (2015년 3월 14일부터 2015년 8월 26일까지) : 온실의 높은 온도로 인해 수증기압이 높은 경향을 보였으며, 수증기압은 온도와 밀접한 관련이 있기 때문에, 온도 변화와 비슷한 경향을 보였다.

최저값 : 1.5 kPa

최대값 : 4.7 kPa

평균값 : 3.4 kPa

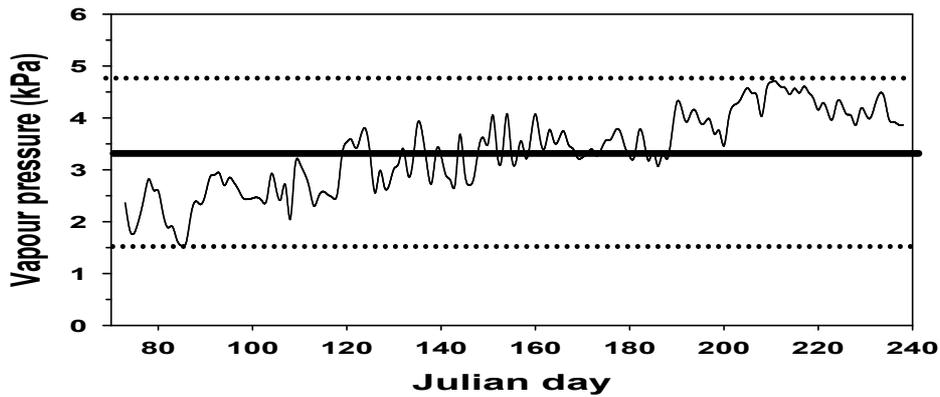


그림 3-4-18. 국화 온실 내부의 수증기압 변화. Julian day는 1월 1일은 1일임. 2015년 3월 14일부터 2015년 8월 26일까지

수증기압차 변화 (2015년 3월 14일부터 2015년 8월 26일까지) : 높은 온도와 상대습도로 인해 수증기압차가 낮은 경향을 보였다. 수증기압차가 낮은 경우는 온실 내부의 수증기가 많은 것을 의미한다. 수증기압차가 낮음으로 인해 증발산량이 낮아지고 따라서 생육이 좋지 않은 결과를 보이기 때문에 환경관리에 주의해야 한다.

최저값 : 0.02 kPa

최대값 : 2.7 kPa

평균값 : 1.0 kPa

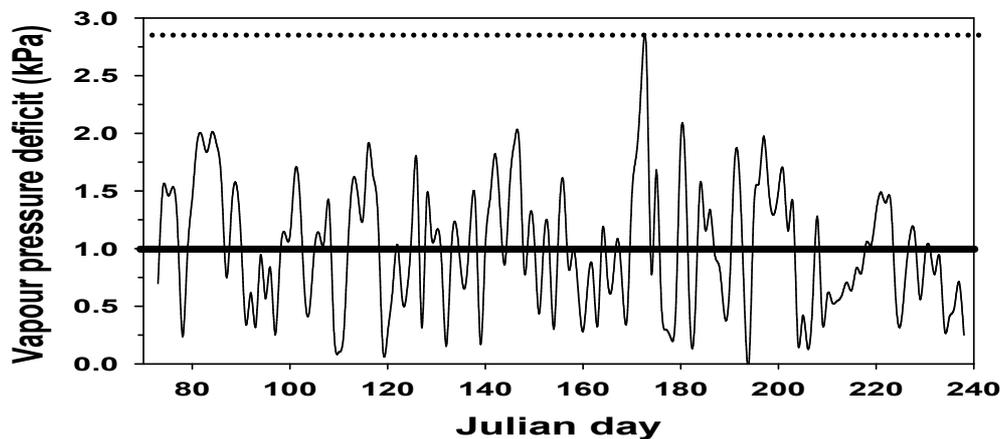


그림 3-4-19. 국화 온실 내부의 수증기압차 변화. Julian day는 1월 1일은 1일임. 2015년 3월 14일부터 2015년 8월 26일까지

지온 변화 (2015년 3월 14일부터 2015년 8월 26일까지) : 온실 내부의 온도와 지온과는 밀접한 관련이 있기 때문에, 지상부 온도 변화가 비슷한 경향을 보였다. 지상부 온도가 지온보다 높은 경향을 보였다.

최소값 : 16.6 °C

최대값 : 32.9 °C

평균값 : 24.8 °C

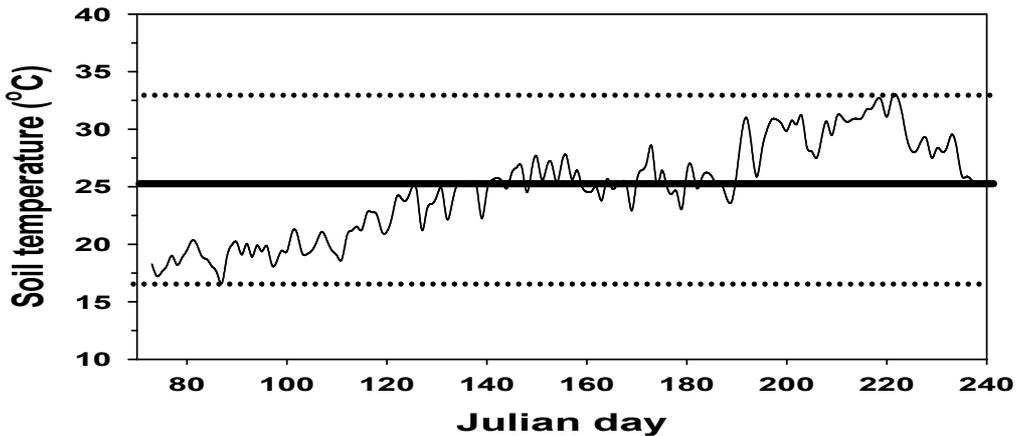


그림 3-4-20. 국화 온실 내부의 토양의 온도(지온) 변화. Julian day는 1월 1일은 1일임. 2015년 3월 14일부터 2015년 8월 26일까지

토양농도 변화 (2015년 9월 4일부터 2015년 10월 6일까지) : 비료를 기비로 줌으로써, 지하부의 비료 농도가 높은 경향을 보였다. 비료과잉 증상이 식물체에 나타나기 시작하였으며, 이에 대한 대책(염류과잉)이 필요할 것으로 보여 졌다.

최소값 : 1.0 dS/m

최대값 : 3.1 dS/m

평균값 : 2.5 dS/m

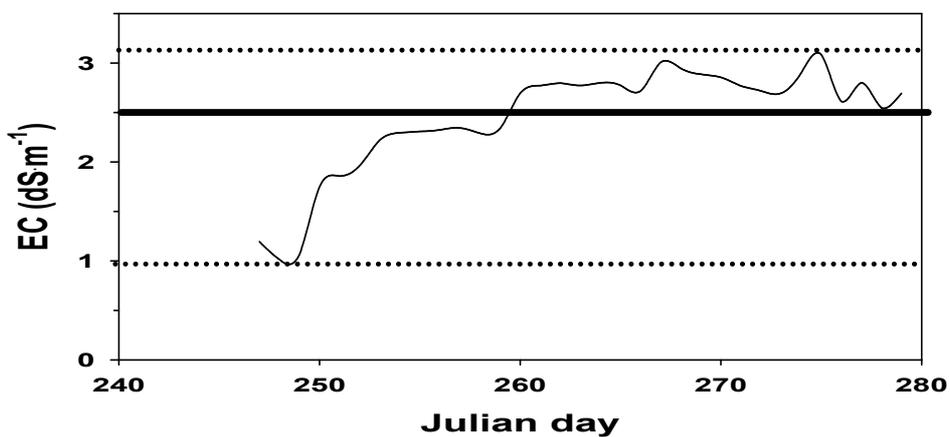


그림 3-4-21. 국화 온실 내부의 토양의 농도 변화. Julian day는 1월 1일은 1일임. 2015년 9월 4일부터 2015년 10월 6일까지

토양수분 변화 (2015년 9월 4일부터 2015년 10월 6일까지) : 수분 공급은 지상부 두상관수로 하고 있기 때문에, 토양 중의 수분함량을 높이기 위해서는 많은 물 소비량이 필요할 것으로 보여졌으며, 토양 중 수분함량과 병해충 발생을 억제하기 위해서는 점적관수나 점적호수를 이용하는 방법을 생각해 볼 필요가 있다고 본다. 토양수분함량이 낮아짐으로써, 토양 중의 비료 농도가 높아진 결과를 초래하였다. 따라서 수분공급량을 늘릴 필요가 있다.

최소값 : 12.6 %

최대값 : 23.8 %

평균값 : 22.1 %

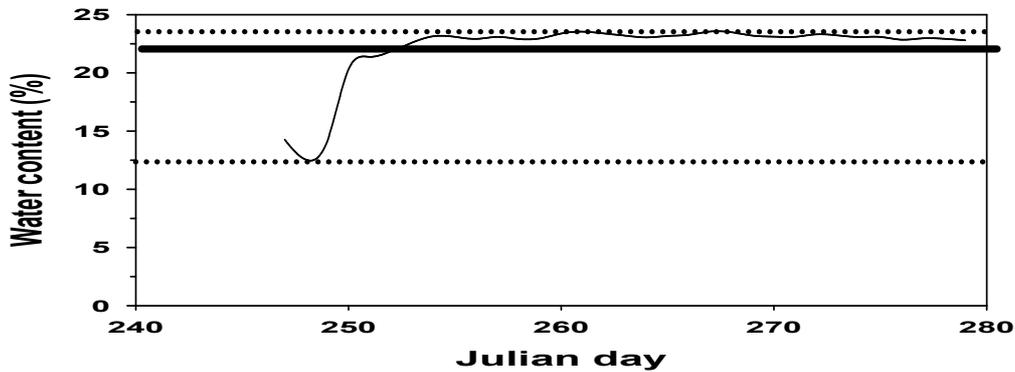


그림 3-4-22. 국화 온실 내부의 토양의 수분함량 변화. Julian day는 1월 1일은 1 일임. 2015년 9월 4일부터 2015년 10월 6일까지

(3) 딸기 농가의 환경 측정 및 생육 조사

○ 환경 측정 (5월 28일부터 9월 16일까지)

- 이산화탄소 농도 변화

최저값 : 450 $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$

최대값 : 590 $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$

평균값 : 500 $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$

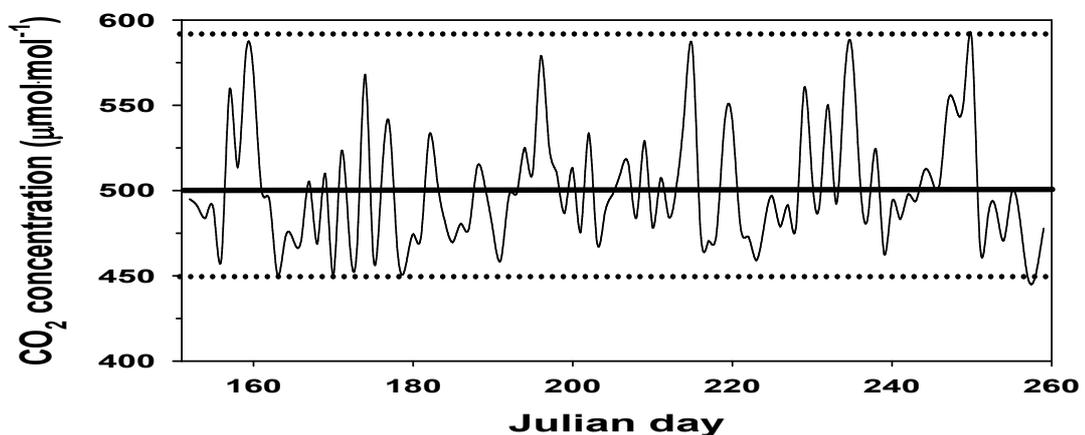


그림 3-4-23. 딸기 온실 내부의 이산화탄소 농도 일변화. Julian day는 1월 1일은 1로 설정. 2014년 6월 1일부터 9월 16일까지의 자료임.

- 온도 변화

최소온도 : 21.3 °C

최대온도 : 35.2 °C

평균온도 : 28.9 °C

7월 10일 이후부터 급격한 온도 변화

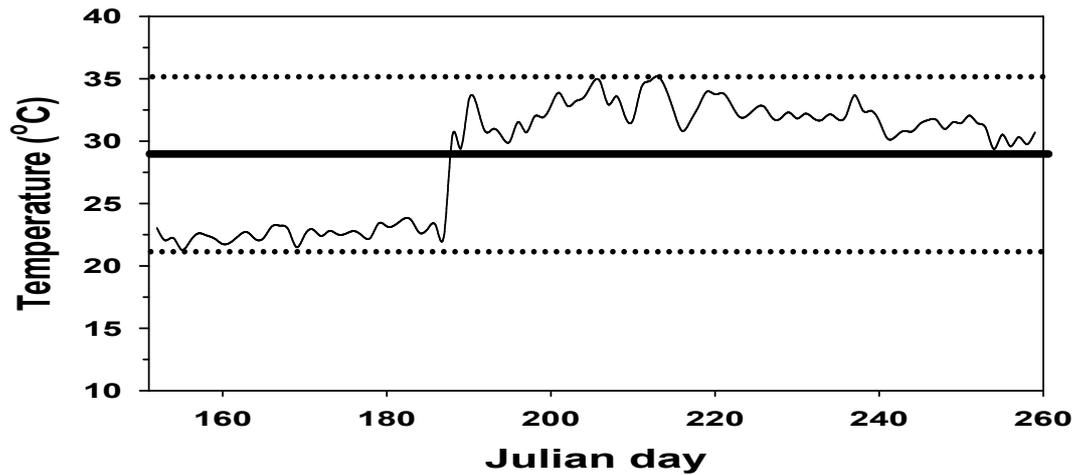


그림 3-4-24. 딸기 온실 내부의 온도의 일변화. Julian day는 1월 1일은 1로 설정. 2014년 6월 1일부터 9월 16일까지의 자료임.

- 상대습도 변화

최저습도 : 51 %

최대습도 : 98 %

평균습도 : 76 %

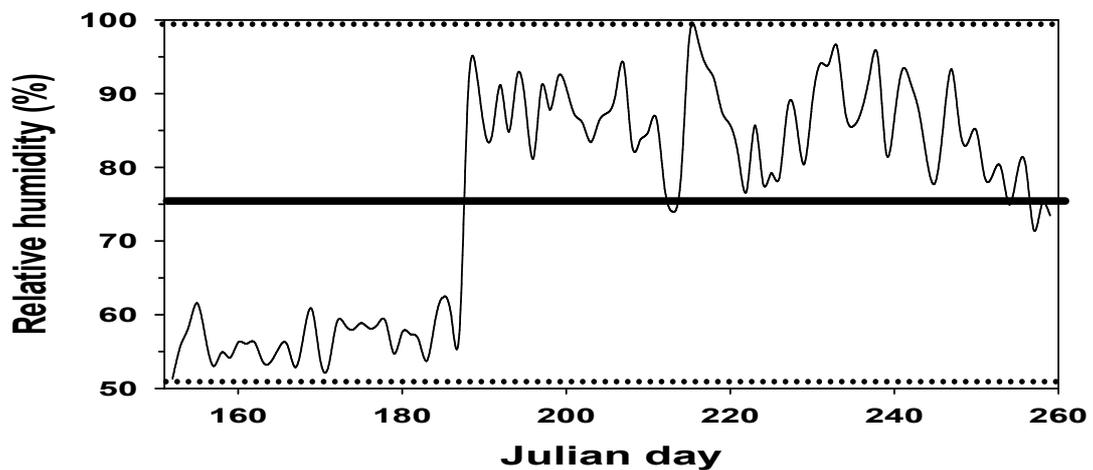


그림 3-4-25. 딸기 온실 내부의 상대습도의 일변화. Julian day는 1월 1일은 1로 설정. 2014년 6월 1일부터 9월 16일까지의 자료임.

- 수증기압 변화

최저수증기압 : 2.03 kPa

최고수증기압 : 5.00 kPa

평균수증기압 : 3.45 kPa

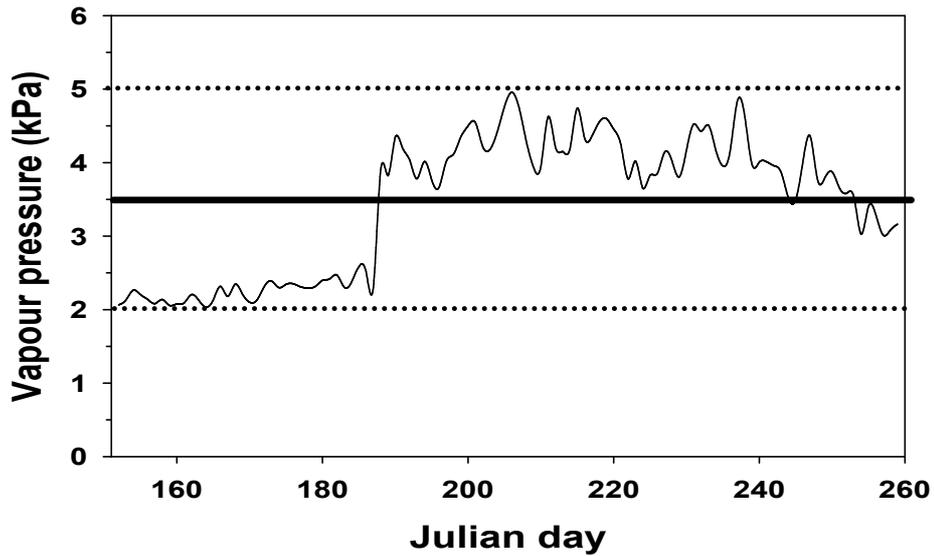


그림 3-4-26. 딸기 온실 내부의 수증기압의 일변화. Julian day는 1월 1일은 1로 설정. 2014년 6월 1일부터 9월 16일까지의 자료임.

- 수증기압차(VPD) 변화

최저수증기압차 : 0.11 kPa

최고수증기압차 : 1.59 kPa

평균수증기압차 : 0.81 kPa

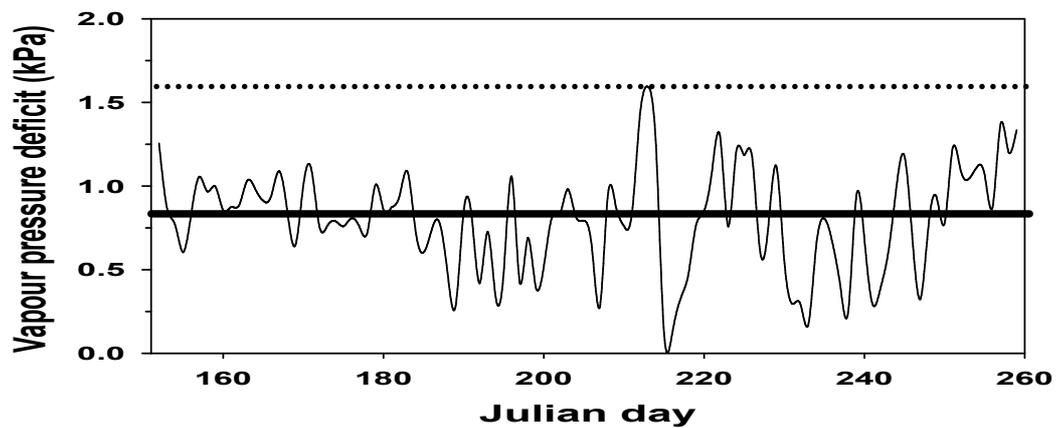


그림 3-4-27. 딸기 온실 내부의 수증기압의 일변화. Julian day는 1월 1일은 1로 설정. 2014년 6월 1일부터 9월 16일까지의 자료임.

- 지온 변화

최소온도 : 20.8 °C

최대온도 : 29.6 °C

평균온도 : 25.5 °C

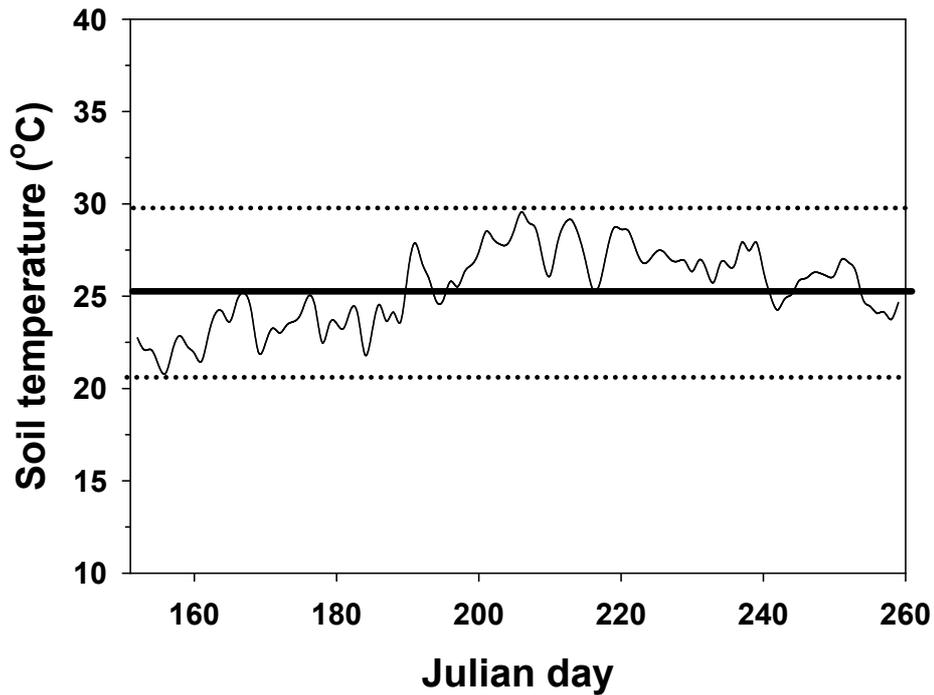


그림 3-4-28. 딸기 온실 내부의 수증기압의 일변화. Julian day는 1월 1일은 1로 설정. 2014년 6월 1일부터 9월 16일까지의 자료임.

(4) 딸기와 국화 생육 자료

○ 딸기 생육 자료

표 3-4-1. 엽장, 엽폭, 엽생체중과 엽건물중과의 상관계수

	엽폭	엽면적	엽생체중	엽건물중
엽장	0.797***	0.927***	0.901***	0.831***
엽폭		0.932***	0.930***	0.930***
엽면적			0.978***	0.932***
엽생체중				0.954***

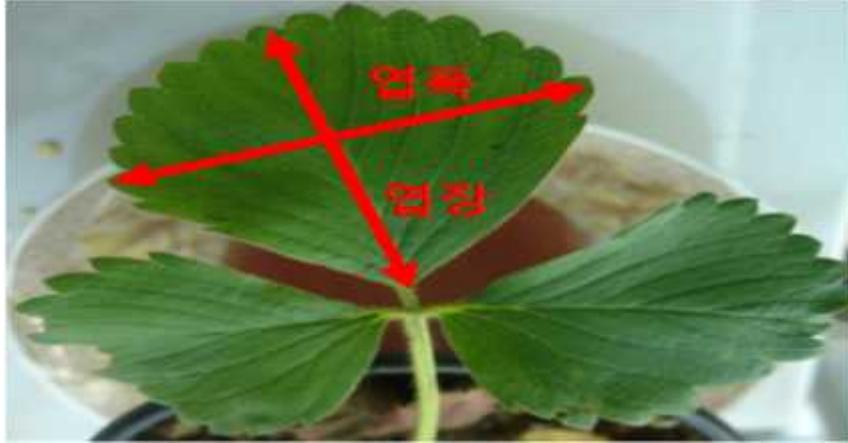


그림 3-4-29. '설향' 딸기의 엽면적 예측을 위한 엽장과 엽폭

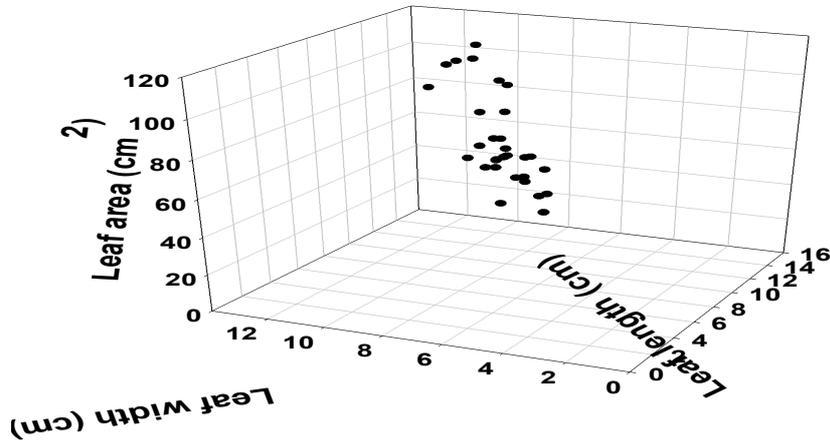


그림 3-4-30. 엽장, 엽폭과 엽면적과의 관계

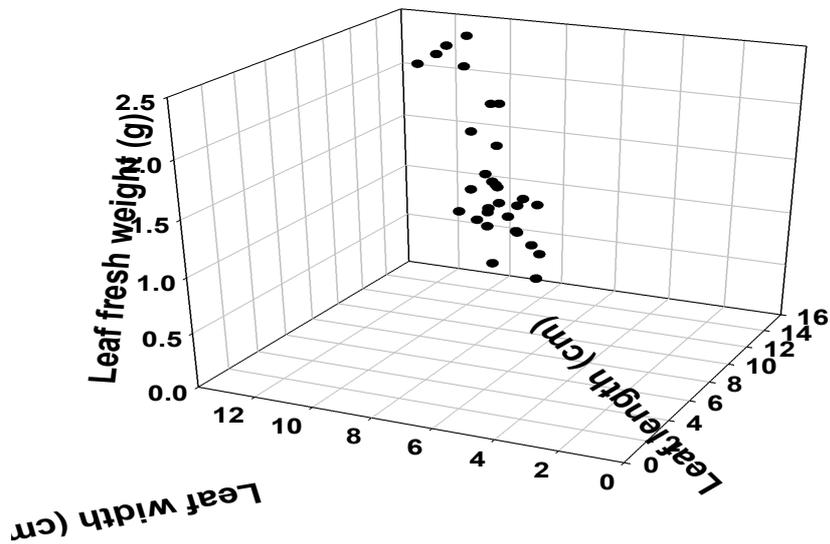


그림 3-4-31. 엽장, 엽폭과 엽 생체중과의 관계

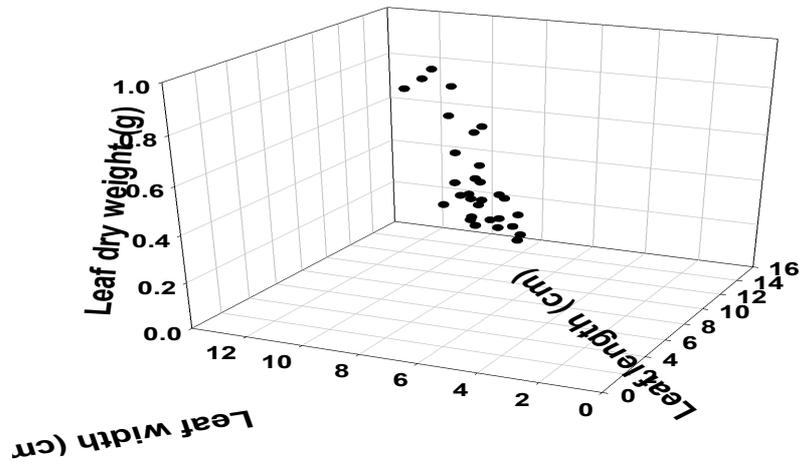


그림 4-32. 엽장, 엽폭과 엽 건물증과의 관계

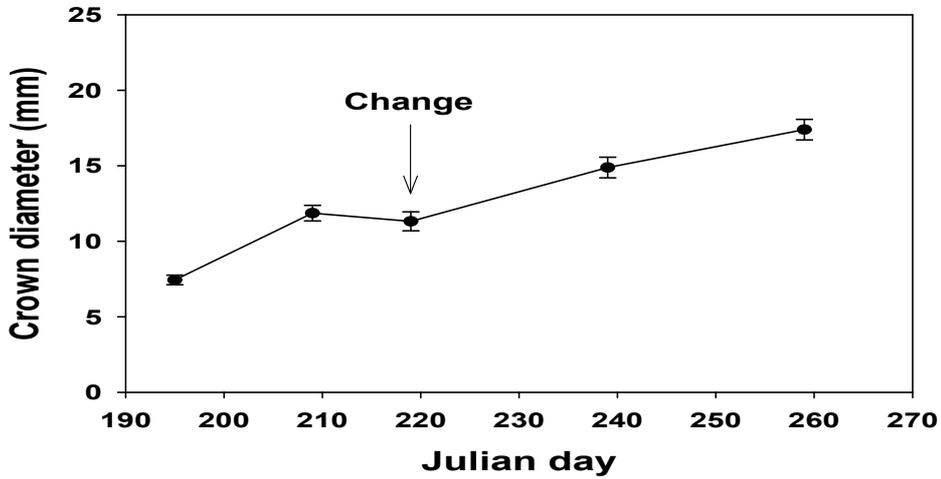


그림 3-4-33. 정식 후 딸기의 크라운 지름 변화. Julian day는 1월 1일은 1로 설정. 2014년 7월 14일부터 9월 16일까지의 자료임.

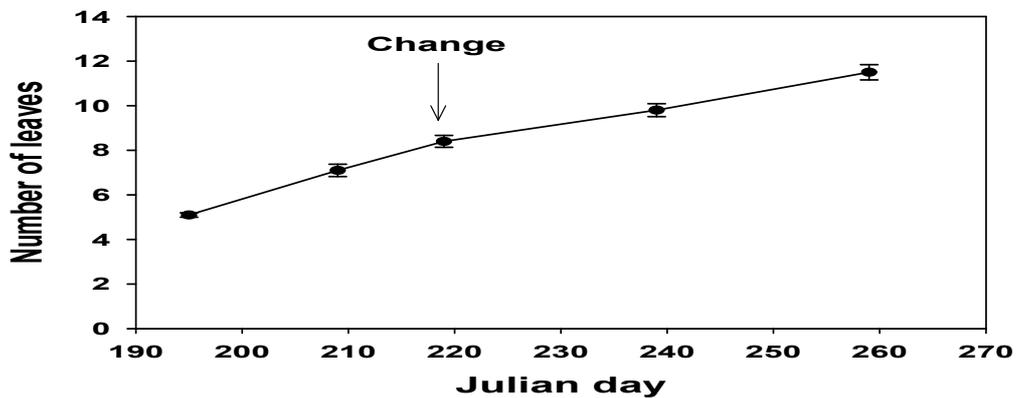


그림 3-4-34. 정식 후 딸기의 엽수 변화. Julian day는 1월 1일은 1로 설정. 2014년 7월 14일부터 9월 16일까지의 자료임.

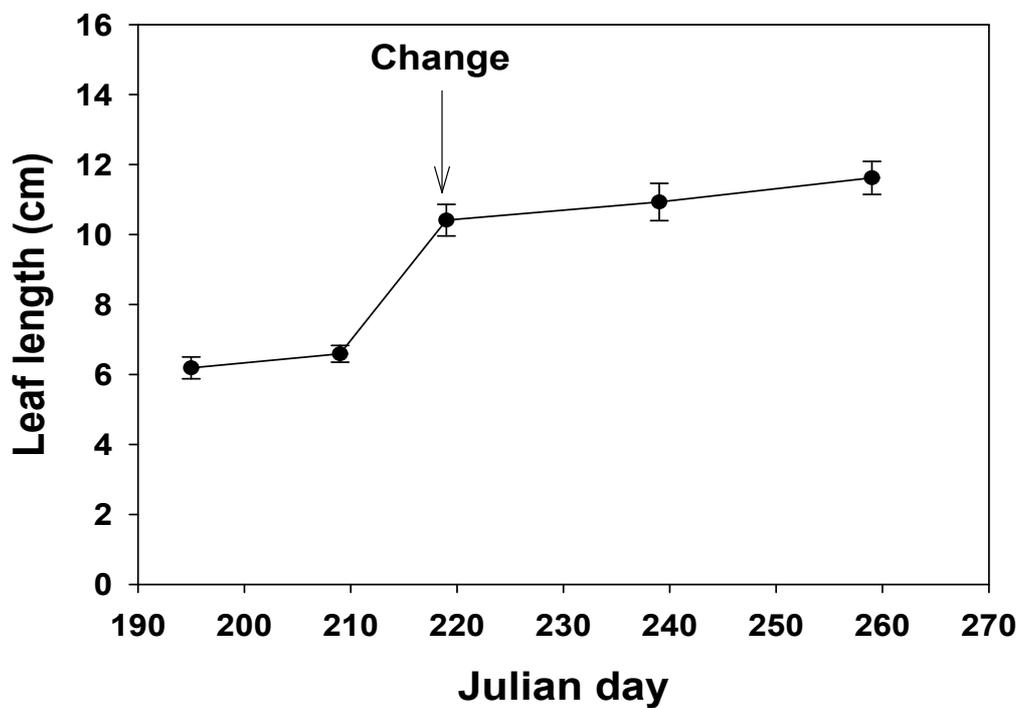


그림 3-4-35. 정식 후 딸기의 엽장 변화. Julian day는 1월 1일은 1로 설정.
2014년 7월 14일부터 9월 16일까지의 자료임.

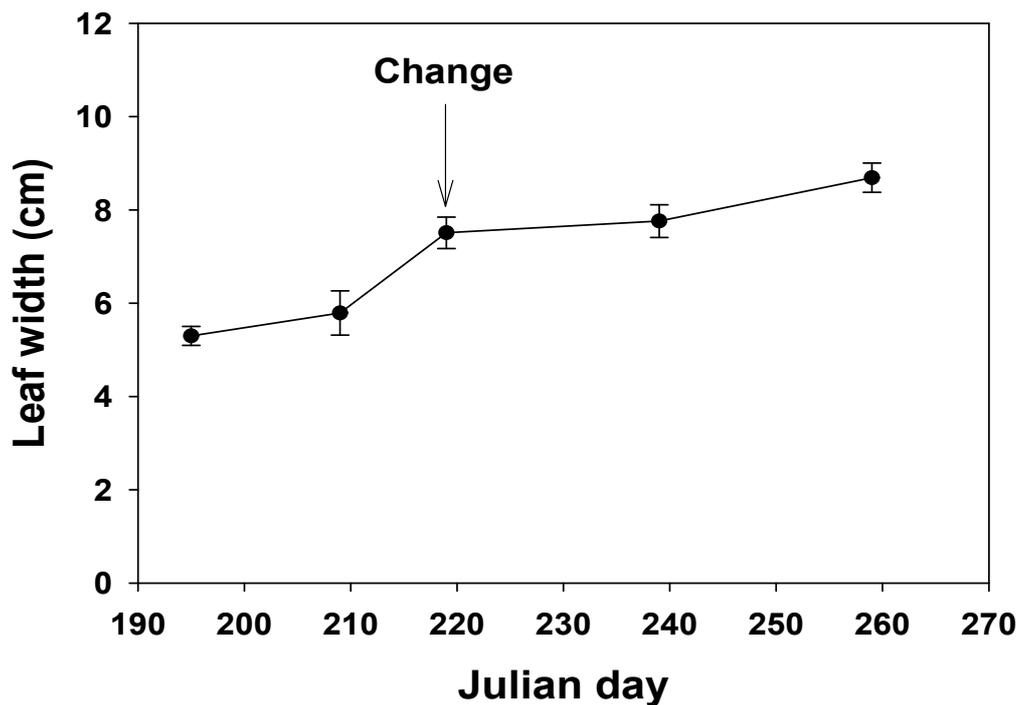


그림 3-4-36. 정식 후 딸기의 엽폭 변화. Julian day는 1월 1일은 1로 설정.
2014년 7월 14일부터 9월 16일까지의 자료임.

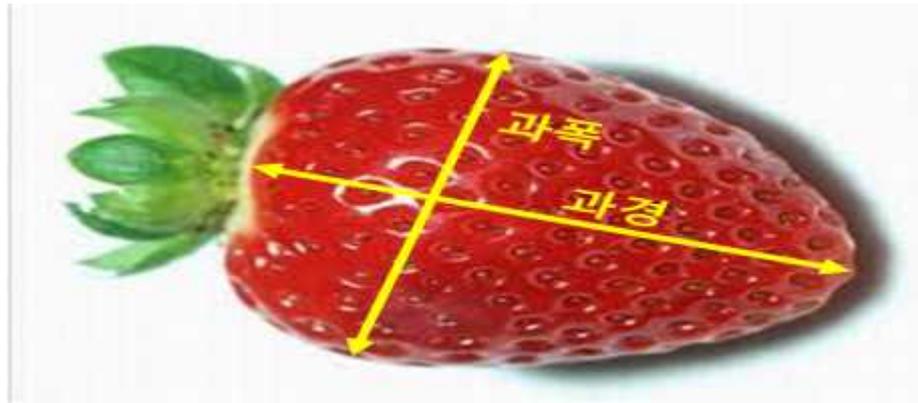


표 3-4-2. 과폭, 과경, 생체중과 건물중 간의 상관분석

	과폭	생체중	건물중
과경	0.957***	0.960***	0.939***
과폭		0.948***	0.899***
생체중			0.967***

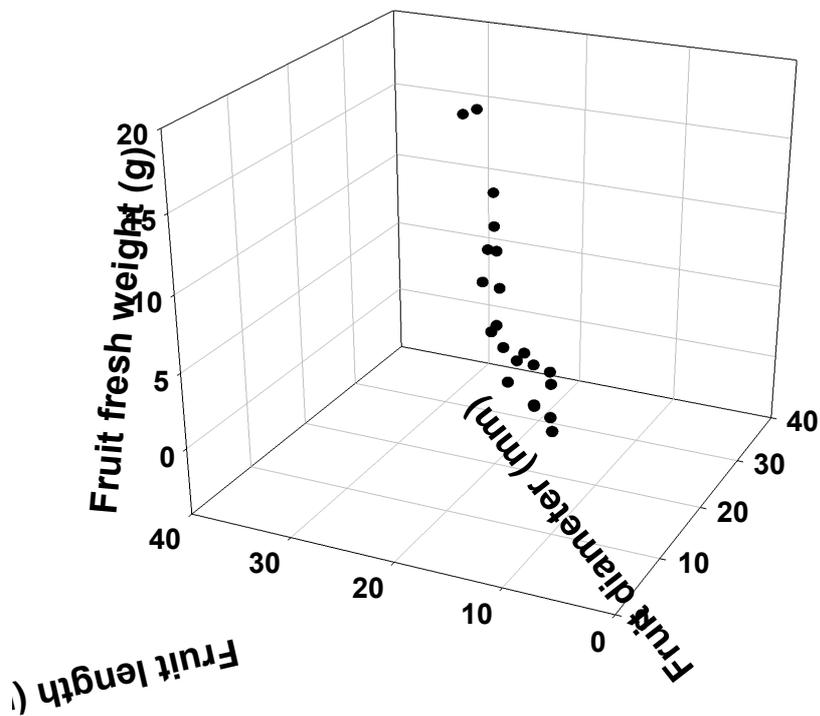


그림 3-4-37. 과경, 과폭 및 과실 생체중과의 관계

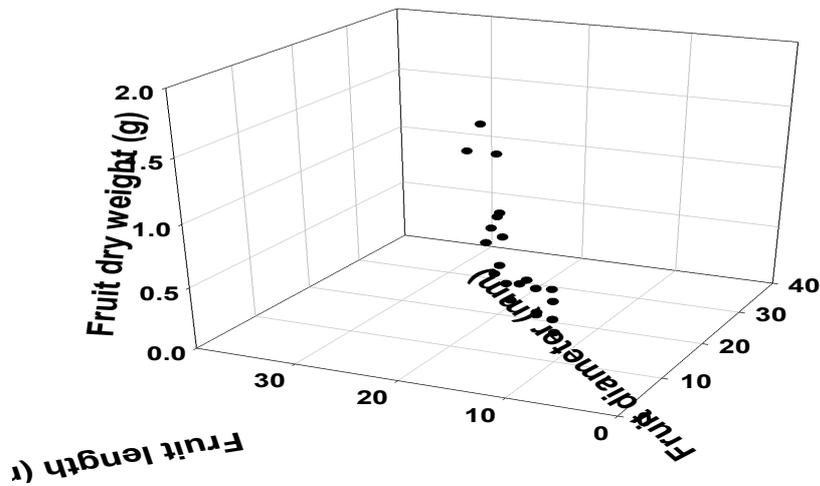


그림 3-4-38. 과경, 과폭 및 과실 건물중과의 관계

2014년 딸기 엽면적과 엽생체중 및 엽건물중과의 모델식을 이용하여, 2015년 엽면적과 엽생체중 및 엽건물중을 검증해 보았으며, 엽면적과 엽건물중은 과대평가되는 경향을 보였으며, 엽생체중은 과소평가되었음. 엽면적과 엽생체중은 직선적인 관계를 보였기 때문에, 정밀한 모델식이 구축된다면 좋은 결과를 기대됨. 엽건물중은 엽내 수분함량에 영향을 받기 때문에 추후 엽내 수분함량을 추가하여 정밀한 모델식을 구축할 필요가 있다.

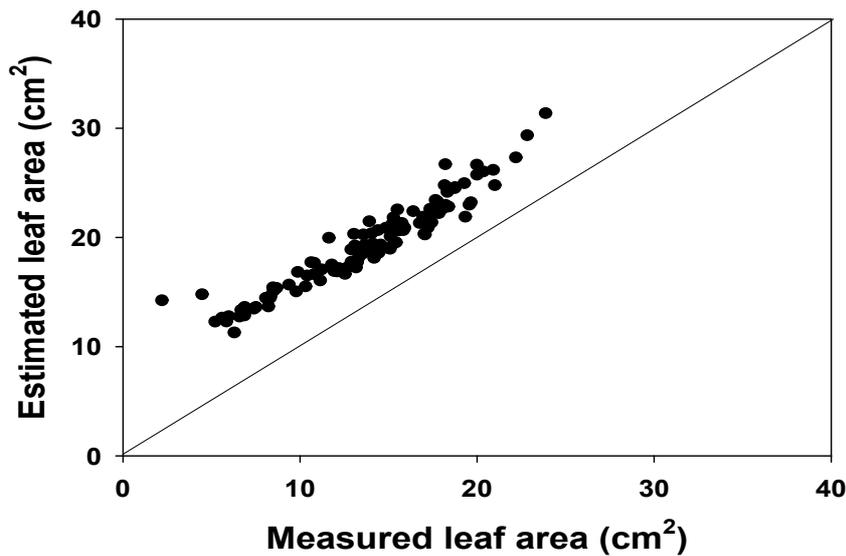


그림 3-4-39. 측정된 딸기 엽면적과 예측한 엽면적과의 관계

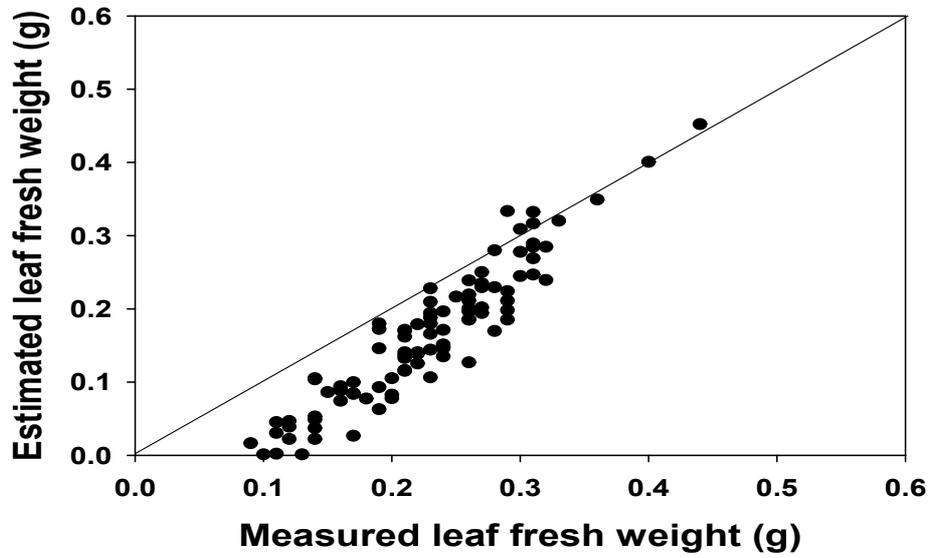


그림 3-4-40. 측정한 딸기 엽생체중과 예측한 엽생체중과의 관계

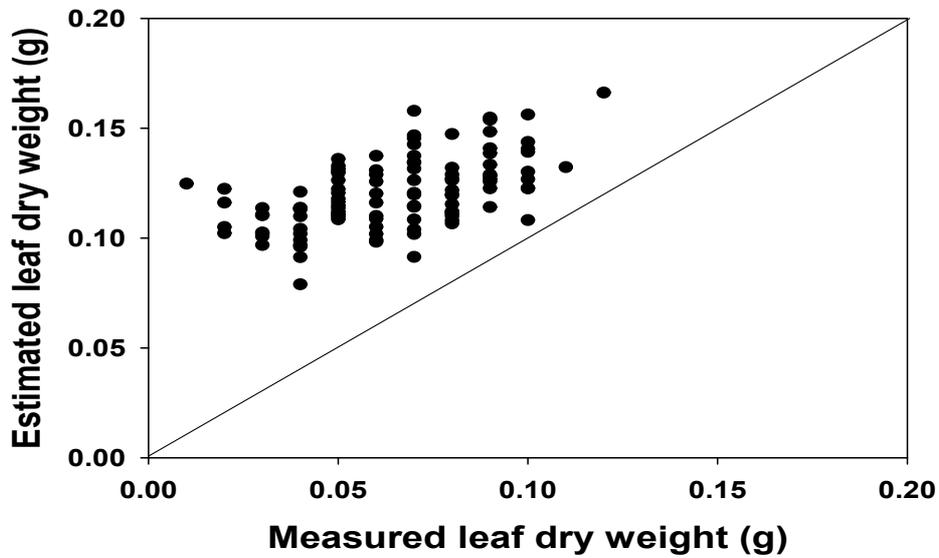


그림 3-4-41. 측정한 딸기 엽건물중과 예측한 엽건물중과의 관계

딸기 과실의 생체중과 건물중 예측 모델을 이용한 결과, 직선적인 관계를 보였지만(2014년 자료), 추후 2015년 생산된 딸기 과실의 생체중과 건물중을 검증할 필요가 있음. 현재 정식이 이루어졌으며, 11월 경에 수확될 것으로 예상된다. 2014년 딸기 과실의 당도는 1차 때(2014년 12월 31일)는 평균 12.0 Brix, 2차 때(2015년 1월 22일)는 평균 10.0 Brix로 나타났다.

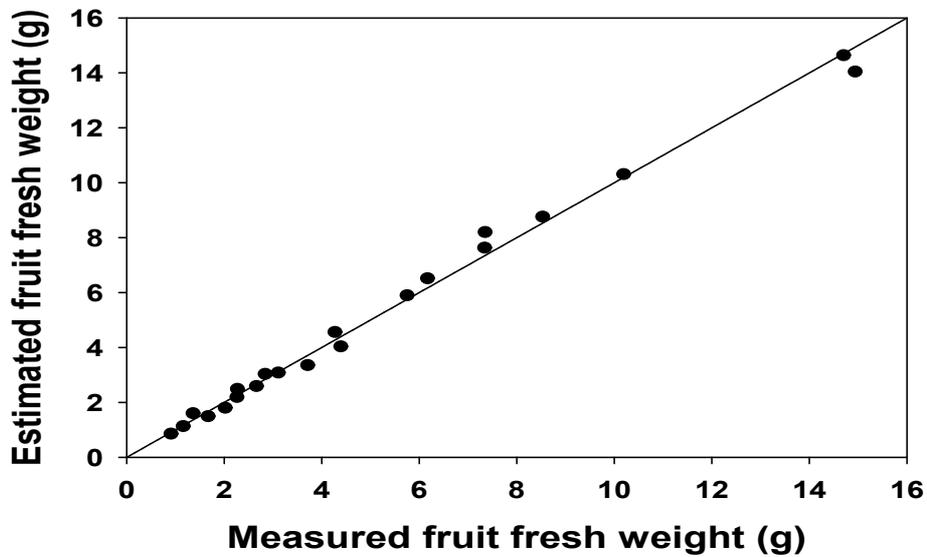


그림 3-4-42. 측정한 딸기 생체중과 예측한 생체중과의 관계

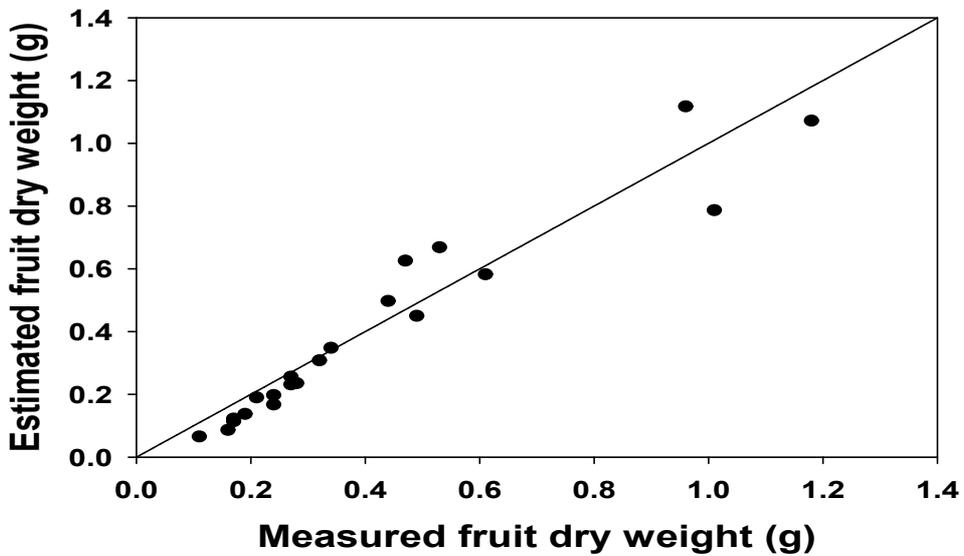


그림 3-4-43. 측정한 딸기 건물중과 예측한 건물중과의 관계

국화 생육 자료를 조사한 결과 국화 생육 모델에 대한 부분은 2015년 자료를 바탕으로 구축하고 검증하는 것은 2016년 예정이며, 마카루 품종은 2015년 7월 21일 구입하여 8월 23일 정식하였으며, 그린소국은 8월 9일 구입하여 8월 23일 정식하였다.

정식 일수에 따른 국화의 초장 생육을 조사한 결과, 두 품종 (마카루와 그린소국)간의 유의적인 차이는 보이지 않았다. 다만, 다른 품종간에는 유의적인 차이를 보였다(자료미제시)정식 일수에 따른 국화의 엽수를 조사한 결과, 마카루 품종의 엽수가 그린소국보다 높게 나타나났으며, 식 일수에 따른 국화의 경경을 조사한 결

과, 그린소국이 초기에는 두꺼웠지만, 정식 후 33일에 두 품종간 경계의 차이는 없었다. 또한, 정식 후 29일 국화 두 품종간 SPAD (엽록소) 차이는 보이지 않았다.

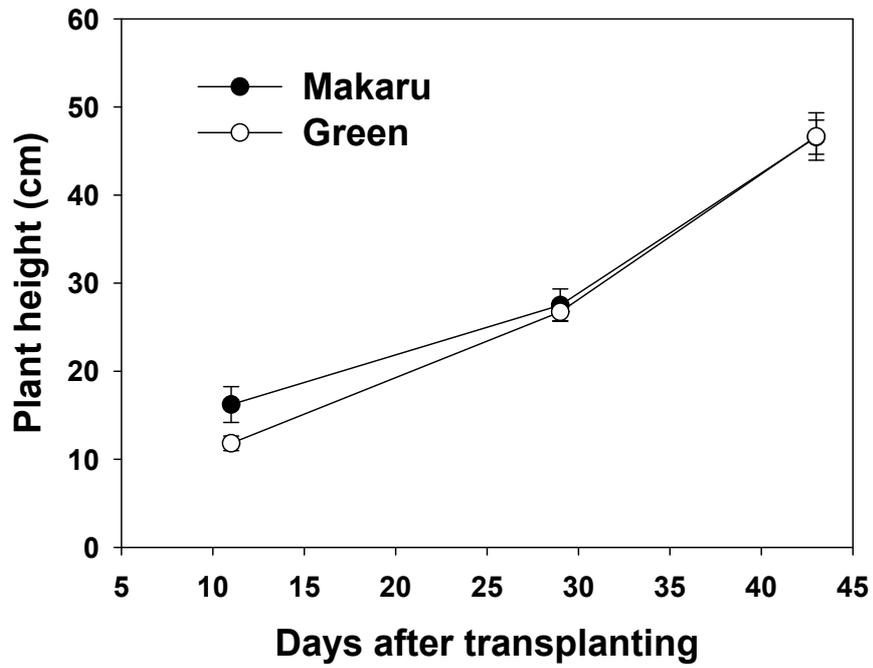


그림 3-4-44. 정식 후 일수에 따른 국화 두 품종간의 초장 변화

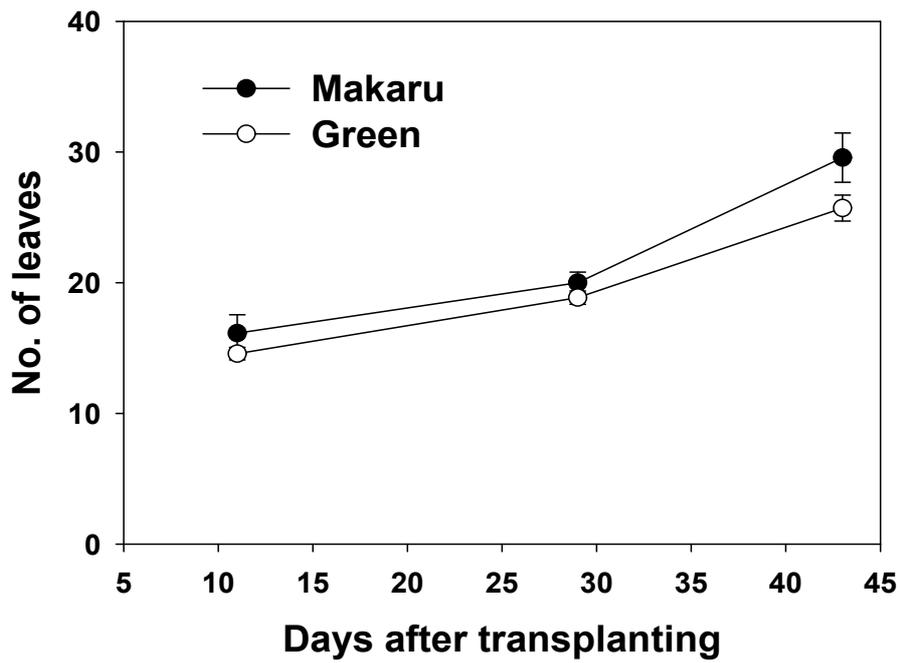


그림 3-4-45. 정식 후 일수에 따른 국화 두 품종간의 초장 변화

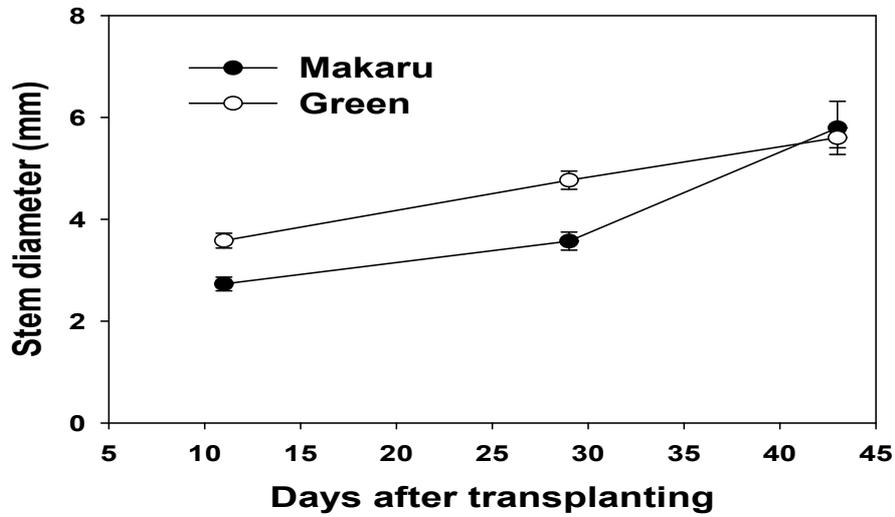


그림 3-4-46. 정식 후 일수에 따른 국화 두 품종간의 경경 변화

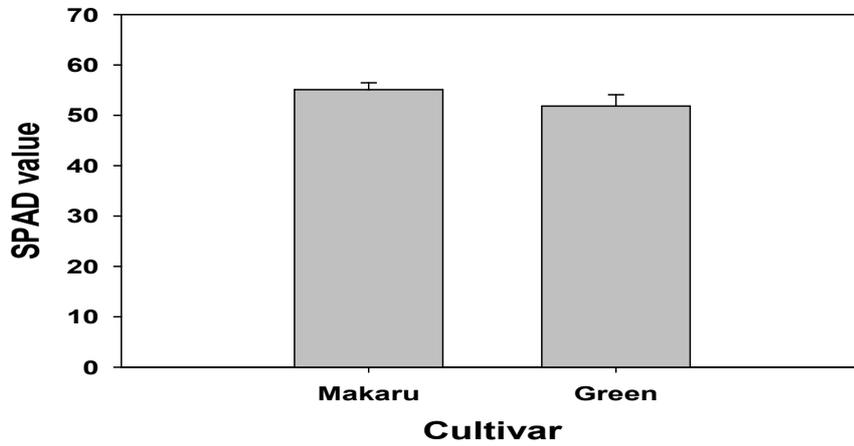


그림 3-4-47. 정식 후 29일 국화 두 품종간의 SPAD 차이

표 4-3. 각 요인별(품종, 엽장, 엽폭, 엽면적, 생체중과 건물중) 상관관계

	품종 (CV)	엽장 (LL)	엽폭 (LW)	엽면적 (LA)	생체중 (LFW)	건물중 (LDW)	LL*LW
품종 (CV)	1						
엽장 (LL)	-0.05	1					
엽폭 (LW)	0.23**	0.81***	1				
엽면적 (LA)	0.12	0.90***	0.92***	1			
생체중 (LFW)	0.13	0.82***	0.82***	0.93***	1		
건물중 (LDW)	0.11	0.73***	0.75***	0.85***	0.93***	1	
LL*LW	0.13	0.93***	0.94***	0.98***	0.90***	0.81***	1

상관관계를 통해 엽장, 엽폭과 엽면적, 엽생체중과 엽건물중간의 직선적인 관계를 살펴 본 결과 모두 직선적인 관계를 보이는 것을 관찰할 수 있었다.

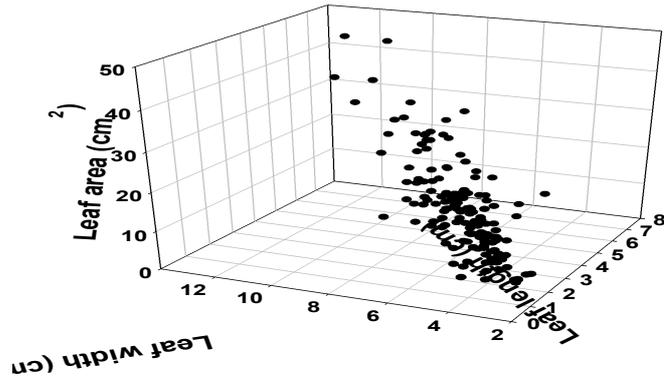


그림 3-4-48. 국화 엽장, 엽폭과 엽면적간의 상호관계

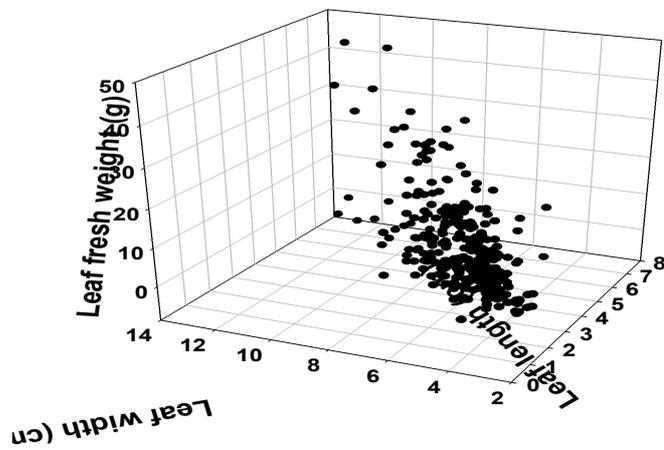


그림 3-4-49. 국화 엽장, 엽폭과 엽생체중간의 상호관계

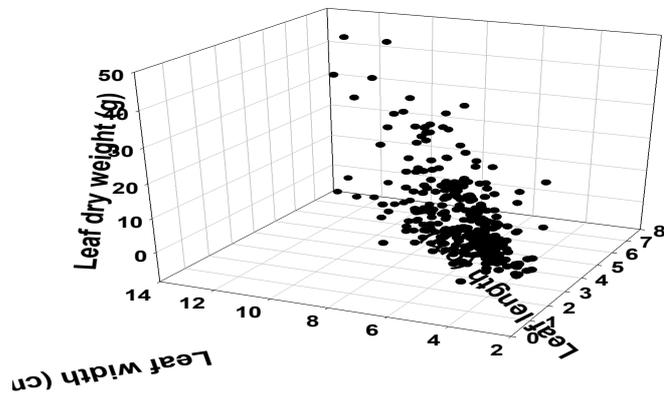


그림 3-4-50. 국화 엽장, 엽폭과 엽건물중간의 상호관계

나. 지상부 환경에 따른 국화 생육 모델링

(1) 국화 생육 모델 구축

○ 국화 생육 모델 구축

- 생육 모델 : Exponential growth model (Goudriaan and Monteith, 1990)

$$W = C_m/R_m \cdot \ln [1 + \exp \{R_m \cdot (t - t_b)\}]$$

W : 지상부 건물중 ($g \cdot m^{-2}$)

C_m : 작물생장율 ($g \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$)

R_m : 상대생장율 ($g \cdot g^{-1} \cdot d^{-1}$)

t : 정식후 날짜 (day)

t_b : 잎이 포개지는 시점 (day)

- 발육 모델 : beta function (Wang & Engel, 1998, N.A. Streck, 2004)

$$f(T) = [2(T-T_{min})^\alpha(T_{opt}-T_{min})^\alpha - (T-T_{min})^{2\alpha}] / (T_{opt}-T_{min})^{2\alpha}$$

for $T_{min} \leq T \leq T_{max}$

$f(T) = 0$ for $T < T_{min}$ or $T > T_{max}$

$$\alpha = \ln 2 / \ln [(T_{max}-T_{min}) / (T_{opt}-T_{min})]$$

T_{min} : 최저온도

T_{opt} : 적정온도

T_{max} : 최대온도

T : 온도

$$f(T) = 0.019814(T)^\alpha - 9.8147 \times 10^{-5}(T)^{2\alpha}$$

for $T_{min} \leq T \leq T_{max}$

$f(T) = 0$ for $T < T_{min}$ or $T > T_{max}$

$$\alpha = 1.492868$$

- 광합성 모델 : Non-rectangular hyperbola (Pasian, 1989)

$$P = P_{max}(1 - \exp(-\partial PAR/P_{max})) - R$$

P : 광합성량 ($\mu mol CO_2 \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$)

P_{max} : 잠재적인 광합성량 ($\mu mol CO_2 \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$)

∂ : 직선이 시작되는 기울기

PAR : photosynthetic activate radiation ($\mu mol \cdot mol^{-1}$)

R : 광도 0에서의 광합성량(호흡량)

- 엽면적, 생체중과 건물중 모델

$$LA, LFW, LDW = LL + LW + LL \times LW$$

LA : 엽면적(cm^2)

LFW : 엽 생체중 (g)
 LDW : 엽 건물중 (g)
 LL : 엽장 (cm)
 LW : 엽폭 (cm)

국화 품종간 엽장, 엽폭에 따른 엽면적, 생체중 및 건물중간의 상관관계를 분석한 결과, 엽장과 엽폭이 엽면적, 생체중과 건물중과 상관관계가 높았다. 즉 엽장과 엽폭이 엽면적, 생체중과 건물중간에는 직선적인 관계를 보인다고 할 수 있다. 국화 엽면적은 생체중과 건물중간에도 직선적인 관계를 보였고, 생체중과 건물중간에도 직선적인 관계를 보였다.

엽장과 엽폭으로 국화의 엽면적, 생체중과 건물중 예측 모델식을 구축할 수 있었다.

$$\begin{aligned}
 LA &= 0.01 + 0.52 * LL * LW \quad (R^2=0.966) \\
 LFW &= 0.22 - 0.04 * LL - 0.06 * LW + 0.03 * LL * LW \quad (R^2=0.813) \\
 LDW &= 0.002 * LL * LW \quad (R^2=0.661)
 \end{aligned}$$

다. 지상부 환경 제어 기술 고도화

(1) 딸기 시뮬레이터 개발

딸기 생육 시뮬레이터 개발은 딸기가 수확되는 시점을 기준으로 모델을 검증할 필요가 있다고 보여지며, 대략적인 시뮬레이터는 다음과 같은 형태로, 각 지역별 온실 환경에 따른 재배정보로 예측할 예정이다. 또한, 지역선택과 재배시점 선택, 초기 재배설정치와 온실 환경 설정치를 설정하면 온실환경에 따른 생육 정보가 나타나게 된다.



그림 3-4-51. 딸기 생육을 예측하기 위한 환경 설정

(2) 국화 시뮬레이터 개발

국화 개화소요일수와 꽃 면적 예측 시뮬레이터를 개발 하였다. 이때, 주야간 온도를 이용하여 개화 소요일수와 주간과 야간의 온도를 이용하여 꽃의 면적이 얼마나 커지는지 예측하는 시스템을 개발하여 소비자들이 원하는 날짜에 원하는 크기로 개화시켜 판매를 할 수 있도록 국화 시뮬레이터를 개발하였다.

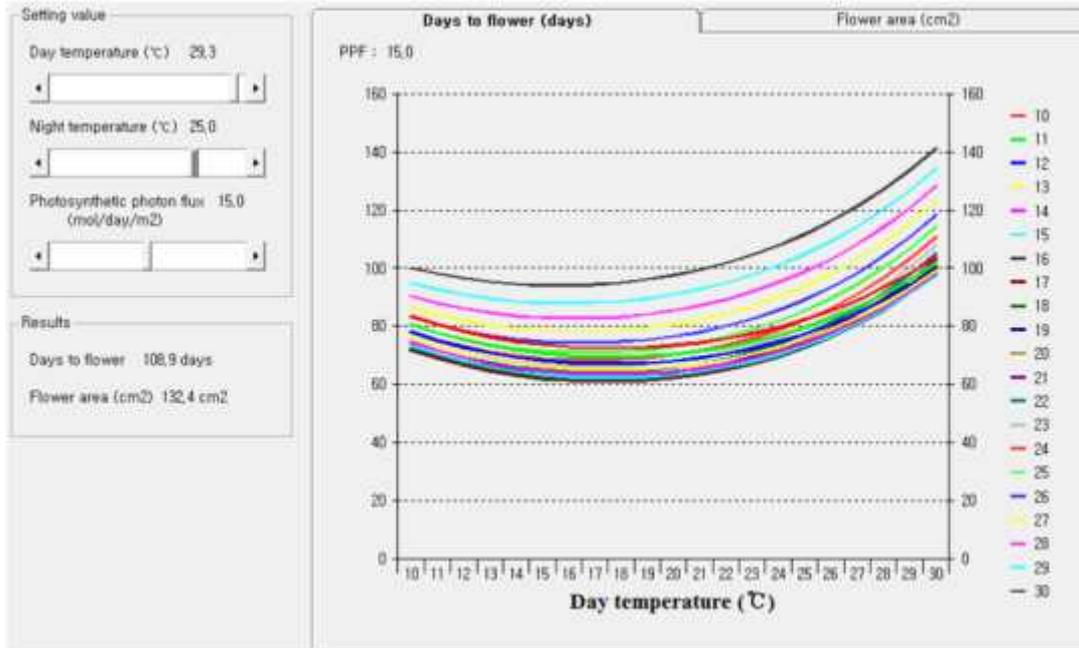


그림 3-4-52. 주야간 온도에 따른 개화소요일수

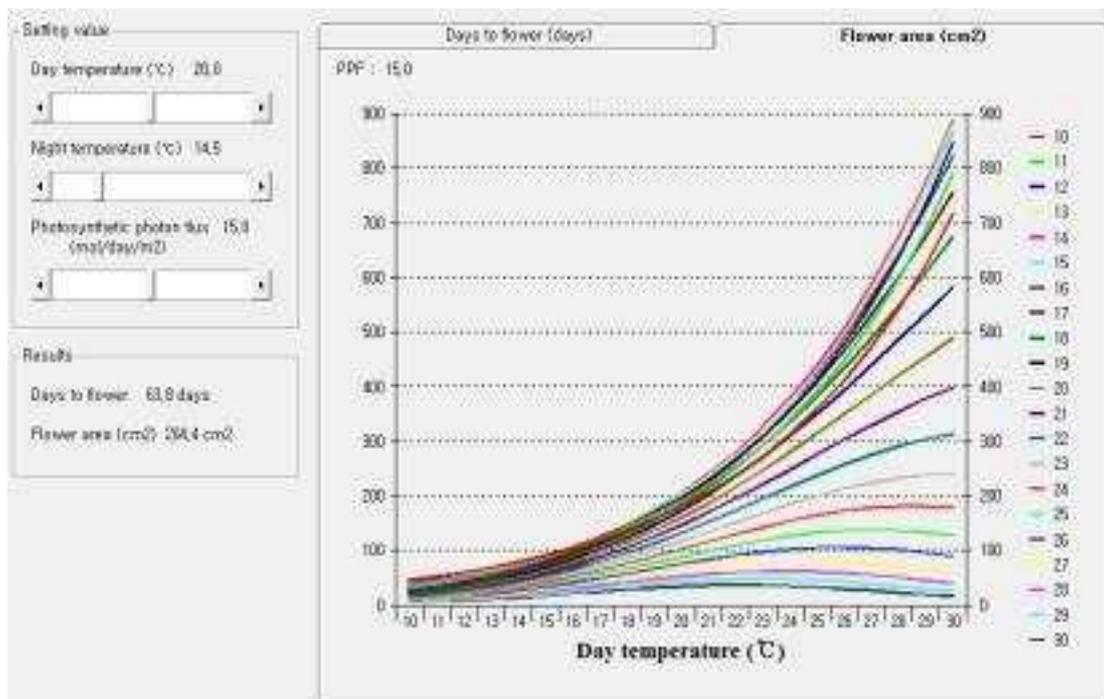


그림 3-4-53. 주간과 야간온도를 이용한 꽃면적 예측 모델링

2. 지상부 최적 환경제어 기술 확립, 생리장해와 병해충 진단 전문가 시스템 구축

가. 지상부 환경에 따른 딸기 생육 모델링

- 엽면적 화상 계측 프로그램

RGB함수 이용, Visual Basic 이용, 녹색 부분 추출하여 엽면적 예측

$$LA = 7.67 + 0.59 * LL * LW \quad (R^2=0.965)$$

$$LFW = -0.15 + 0.015 * LL * LW \quad (R^2=0.946)$$

$$LDW = 0.21 + -0.05 * LL + 0.008 * LL * LW \quad (R^2=0.912)$$

- 과실 생체중과 건물중 예측 모델

측정항목 : 과폭과 과경

$$\text{예측 모델식} : a * 4 / 3 * \pi * (FD / 2 / \pi) * (FL / 2 / \pi)^2$$

FD : 과경

FL : 과폭

$$\text{생체중} = 0.0266 * 4 / 3 * \pi * (FD / 2 / \pi) * (FL / 2 / \pi)^2$$

$$\text{건물중} = 0.00203 * 4 / 3 * \pi * (FD / 2 / \pi) * (FL / 2 / \pi)^2$$

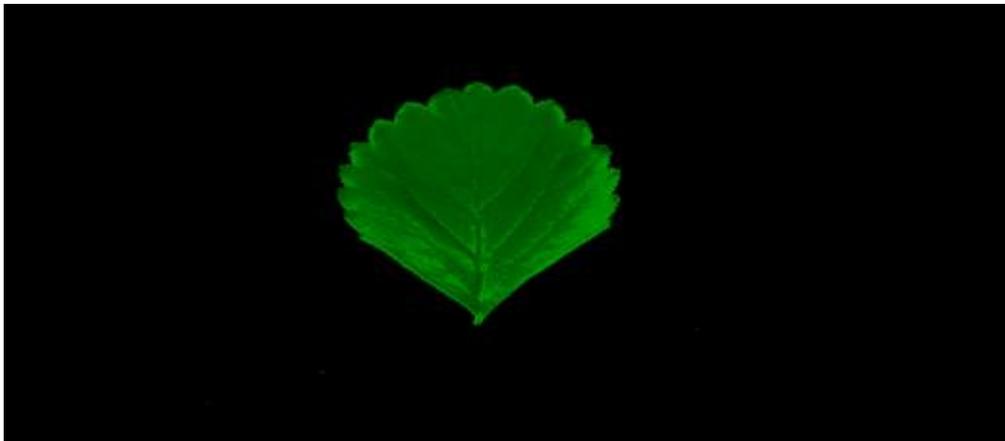


그림 3-4-54. 화상계측으로 녹색부분만 추출한 화면



그림 3-4-55. 화상계측 프로그램 파일 선택 화면

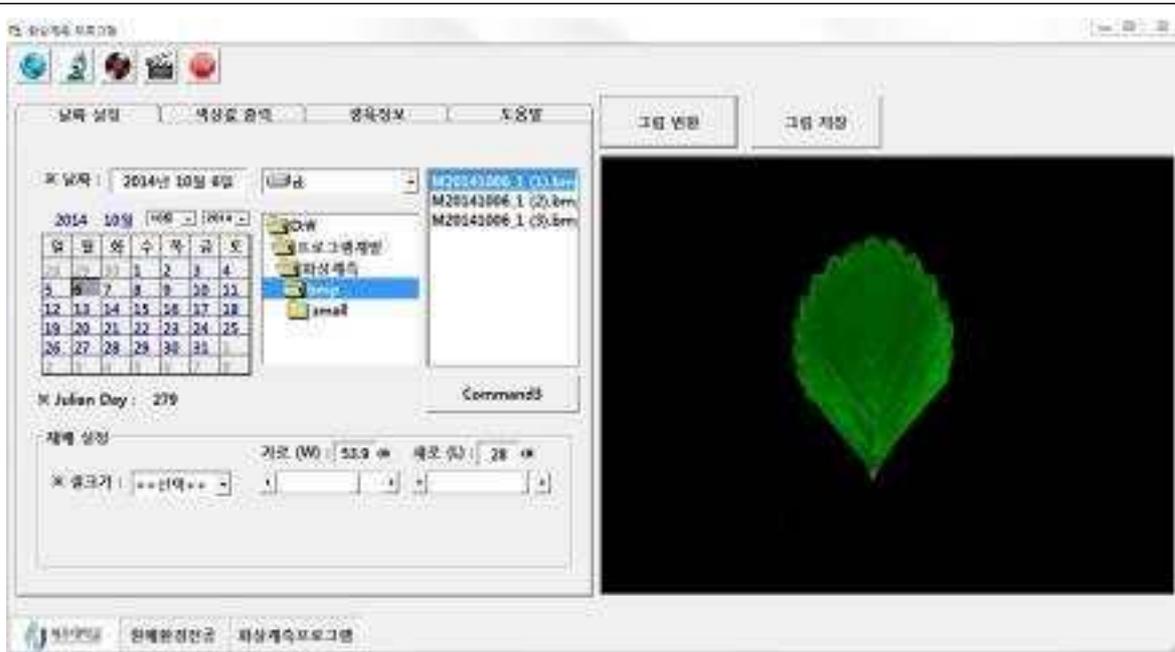


그림 3-4-56. 녹색부분의 엽면적만 추출하여 데이터 값으로 변화한 화면

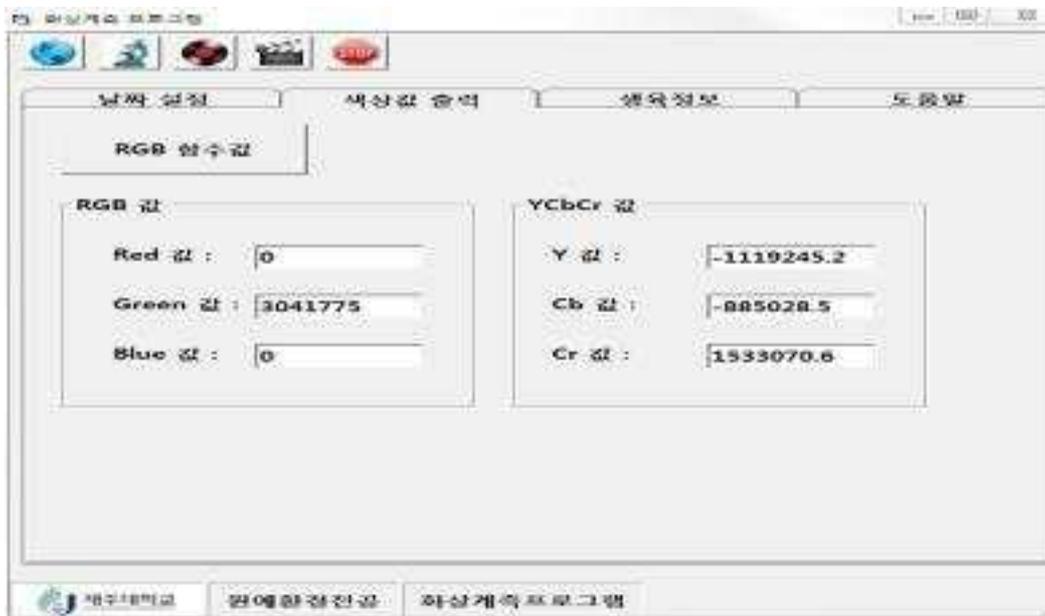


그림 3-4-57. RGR값과 YCbCr값 추출한 화면

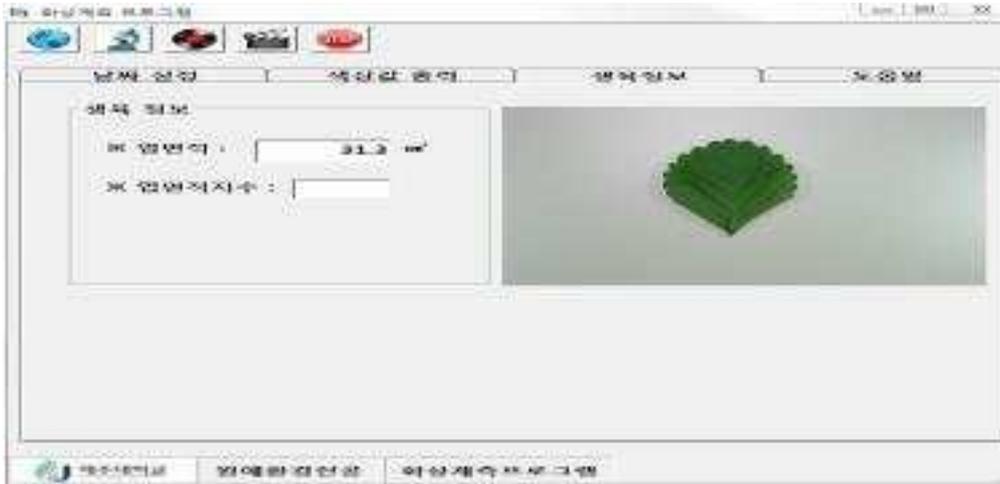


그림 3-4-58. 엽면적을 프로그램을 이용하여 계산한 화면

- 마디 길이 모델 (S.M.P. Carvalho et al., 2002)

$$\text{Length (mm)} = 32.23 + 3.26 \text{ DT} + 1.08 \text{ NT} - 0.068 \text{ DT}^2 - 0.037 \text{ NT}^2$$

DT : 낮의 온도

NT : 밤의 온도

- 딸기의 광합성 곡선

LI-6400 휴대용 광합성 측정기 이용

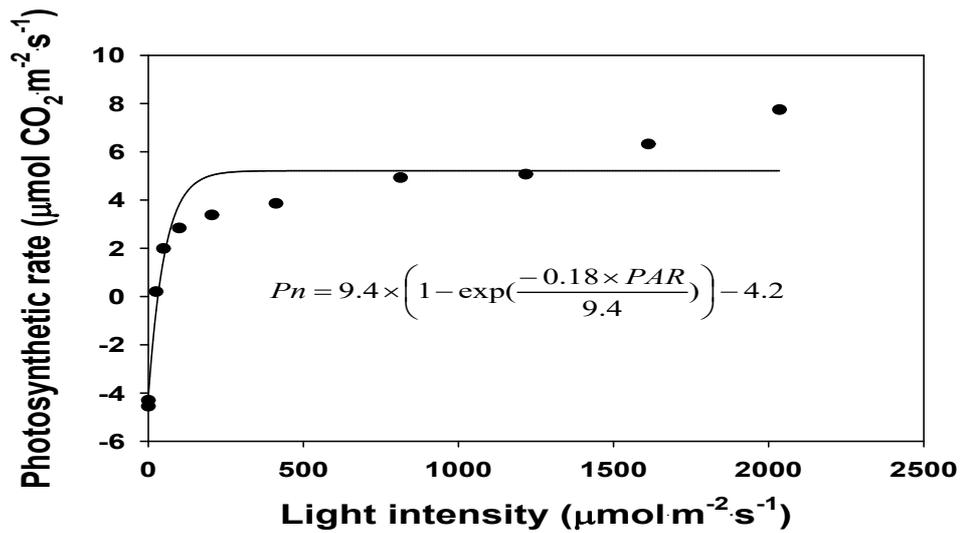


그림 3-4-59. '설향' 딸기의 광량에 따른 광합성 곡선

광포화점 : 143 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$

광보상점 : 24.4 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$

호흡량 : 4.2 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$

나. 지상부 최적 환경제어 기술 확립 및 현장 적용

(1) 생육 균형 판단 지표

딸기의 생육 균형 판단 지표

표 3-4-4. 딸기의 생육 균형 판단 지표

생장	강함	약함
잎의 크기	큼	작다
잎의 형태	가득차고, 넓은	듬성하고, 좁은
꽃의 크기	크고	작음
뿌리형태/냄새	신근 다수 출현/상큼	신근 출현 없음/악취
균형	영양생장	생식생장
잎의 색깔	열다	어둡다
착과부하(수)/m ²	적음	많음
개화 꽃잎수	많음	적음
꽃자루 형태	직립	곡선

표 3-4-5. 국화의 생육 균형 판단 지표

생장	강함	약함
잎의 크기	큼	작다
잎의 형태	가득차고, 넓은	듬성하고, 좁은
절간길이생장	길다	짧다
개화부위 아래의 경경	두꺼움	얇음
꽃의 크기	크고	작음
뿌리형태/냄새	신근 다수 출현/상큼	신근 출현 없음/악취
균형	영양생장	생식생장
잎의 색깔	열다	어둡다
꽃의 모양	길고, 크다	짧고, 작음
개화 꽃잎수	많음	적음
생장점 주변 엽색	열음	질음

- 생육 균형 판단 지표에 따른 딸기와 국화 환경 요인 관리
 - 광관리
 - 차광

- 온도관리
- 평균 온도관리
- 주야간온도차
- 급배액관리
- 주간시작시간
- 야간시작시간
- 수분함량차이
- 급액시간과 종료시간
- 급액량과 배액율
- 환기 관리
- P-band
- 이산화탄소 관리
- 시비
- 생육 관리
- 적엽
- 적과
- 엽면적지수 (3-4 수준)

다. 전문가 시스템 고도화

(1) 전문가 시스템 구축

- 생리장애, 병해 및 충해 진단 전문가 시스템(확신도 계산)
 - $CF = CF(OLD) + (CF(NEW) * (100 - CF(OLD))) / 100$
 - CF : 새로 계산되는 확신도
 - CF(OLD) : 이전의 확신도
 - CF(NEW) : 현재의 확신도
- 진단 수준 (실시간으로 변경 가능함)

명칭	시작범위	종료범위
진단결과가 맞습니다.	80.0	100.0
경고단계입니다. 빠른 조치가 필요합니다.	60.0	8.0
주의단계입니다. 조심하십시오.	40.0	60.0
전문가의 조언을 받으세요.	0.0	40.0

확신도 계산에 있어서 각 항목에 대한 확신도 값은 추후 전문가 그룹을 만들어 수정 보완해야 정확한 진단 결과를 도출할 수 있고, 진단표는 문헌을 조사하여 각 요인에 대한 증상항목들을 찾아 표로 만들었으며, 확신도 값은 100%에 수렴하는 수치로 표기하였다.

○ 일반적인 작물의 생리장애 진단 프로그램 (Visual Basic 언어)

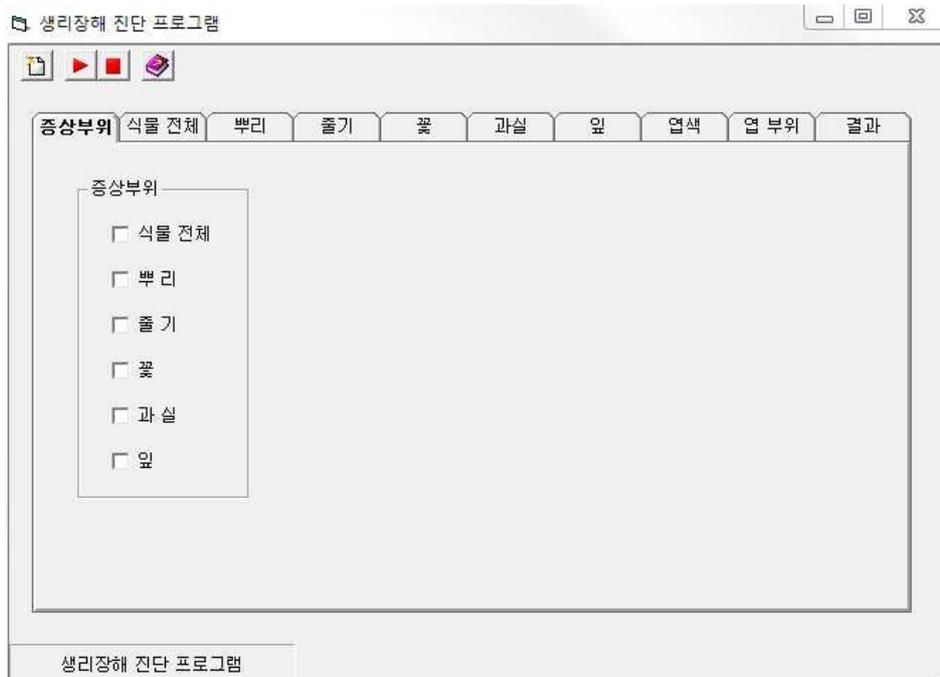


그림 3-4-60. 생리장애 진단 프로그램 첫 화면

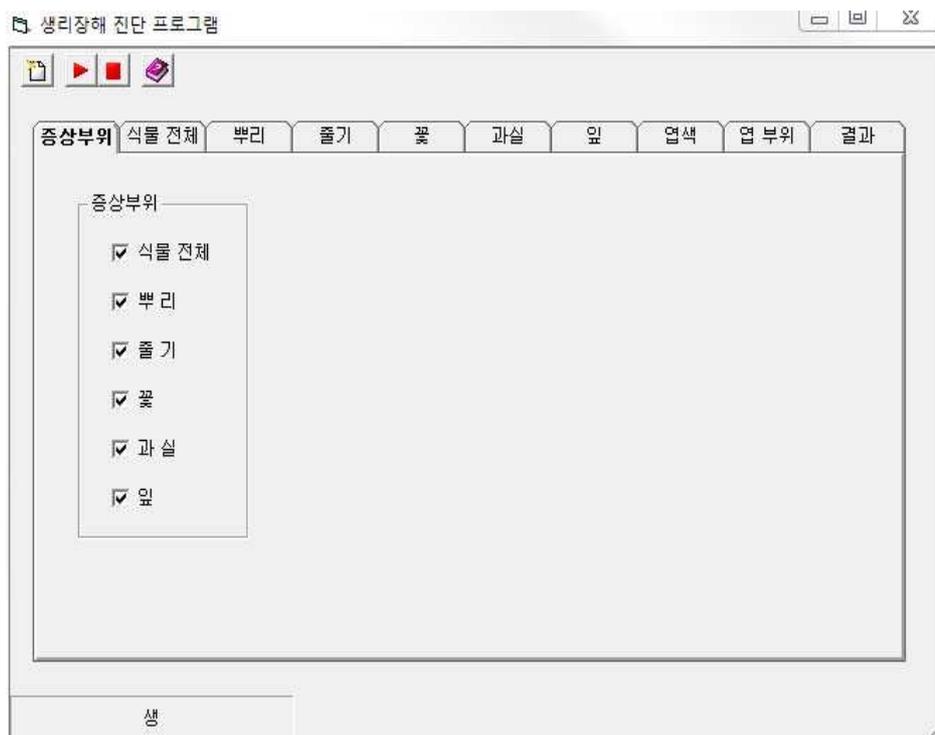


그림 3-4-61. 생리장애 진단 프로그램 각 식물 증장부위 선택 화면

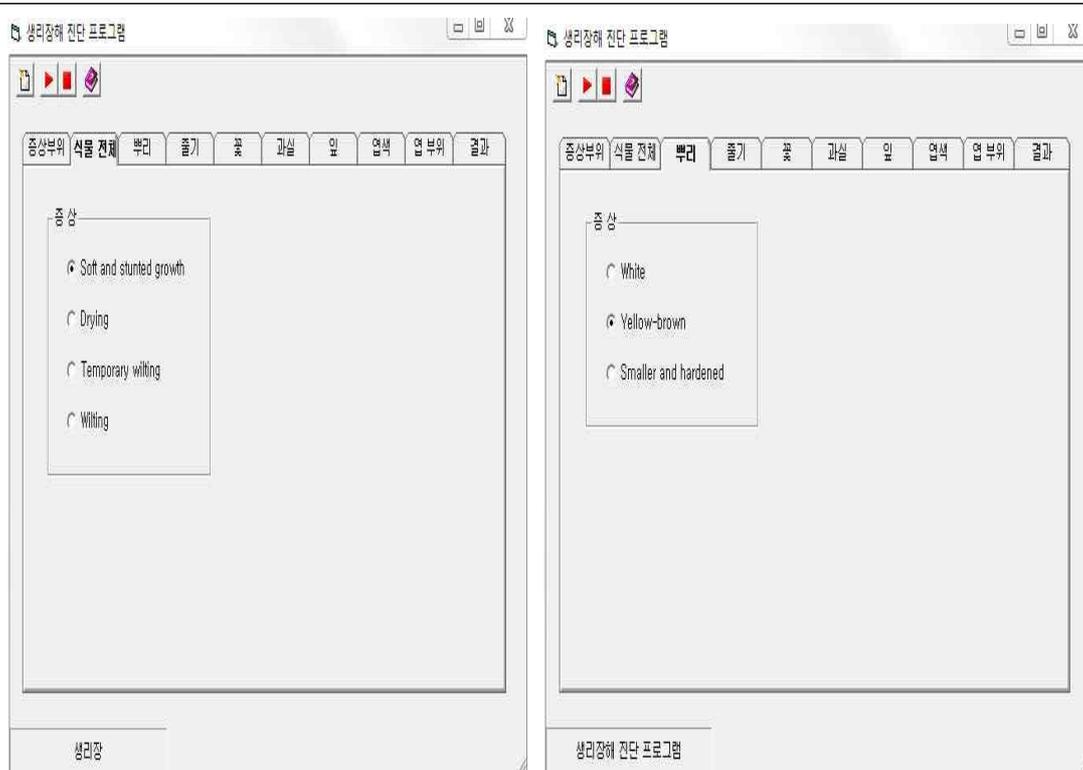


그림 3-4-62. 생리장애 식물체 전체 증상 선택 화면

그림 3-4-63. 생리장애 뿌리 증상 선택 화면

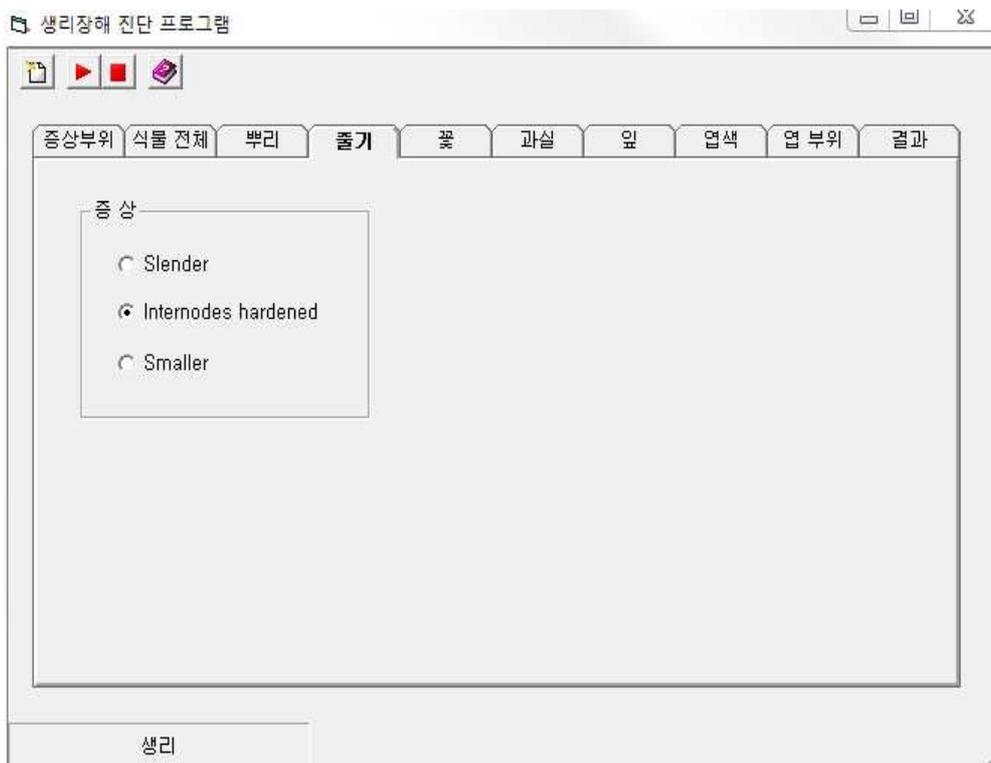


그림 3-4-64. 생리장애 줄기 증상 선택 화면



그림 3-4-65. 생리장애 꽃 증상 선택 화면 그림 3-4-66. 생리장애 과실 증상 선택 화면

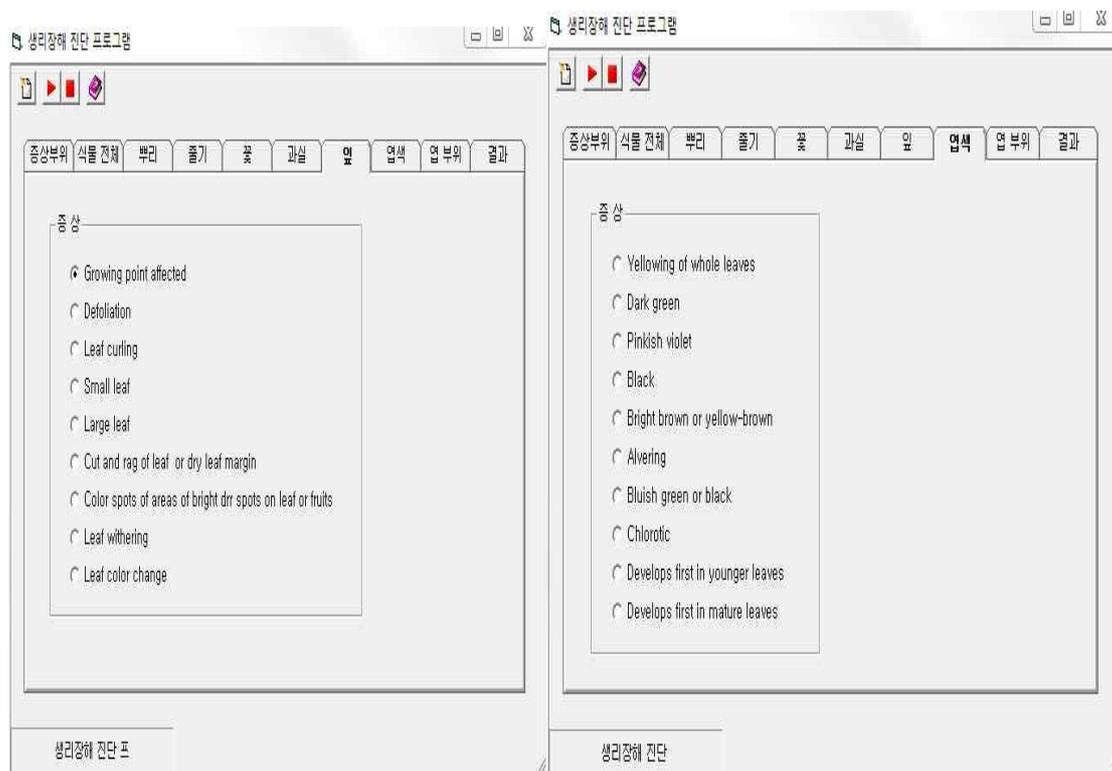


그림 3-4-67. 생리장애 잎 증상 선택 화면 그림 3-4-68. 생리장애 엽색 증상 선택 화면

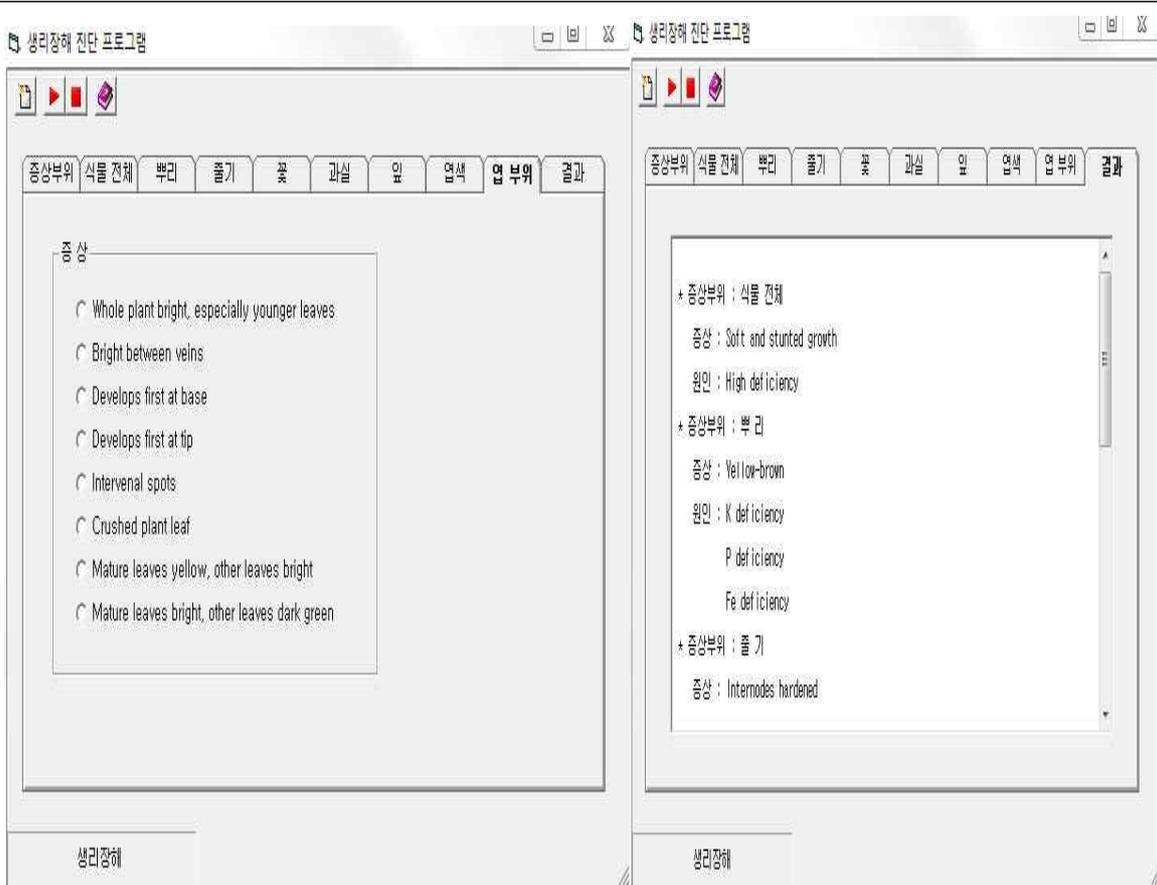


그림 3-4-69. 생리장애 엽 부위 증상 선택 화면

그림 3-4-70. 생리장애 결과 화면

(2) 전문가 시스템 구축

○ 딸기 생리장애 진단 전문가 시스템

- 진단표 (발생시기별 각 원소에 따른 과잉과 결핍)

+ : 과잉, - : 결핍		N -	P -	K -	Ca -	Mg -	S -	Fe -	B -	Mn -
발생시기	10일 이내	53								
	20일 이내								34	
	30일 이내		9					34		
	40일 이내			55				2		
	50일 이내			14		43				
	2개월 이내	6		13		38				
	3개월 이내			4		11	44			
	4개월 이내	37	1							13
	5개월 이내							7		39

- 진단표 (식물체 부위, 엽색, 엽위치, 증상별 각 원소에 따른 과잉과 결핍)

+ : 과잉, - : 결핍			N	N	P	P	K	K	Ca	Ca	Mg	Mg	S	S
			-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+
식물체 부위	전체		2										56	
	잎	상위		35										
		하위		3							1			
	줄기													
	뿌리													
	꽃													
	과실				4									
런너														
엽색	연한 녹색 (황화)													
	짙은 녹색			33										
	자주색				41									
	붉은색				6									
	진한 갈색								31					
	갈색													
엽위치	검은색 (괴사)													
	생장점								31					
	엽병													
	엽신													
	엽가장자리						2			5				
증상	엽맥 (엽맥사이)													
	생육 억제		2	28			3							
	신장 저하													
	절간 신장 저하													
	뿌리 신장 억제													
	런너 괴사													
	잎 기형						2							
	과실 기형				39				1					
	꽃 기형								31					
반점						8								

+ : 과잉, - : 결핍			Fe	Fe	Cu	Cu	Mn	Mn	B	B	Zn	Zn	Mo	Mo	
			-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	
식물체 부위	전체														
	잎	상위			25		1								
		하위													65
	줄기		40						2						
	뿌리										42				
	꽃								29						
	과실		16								22				
런너															
엽색	연한 녹색 (황화)			2	1								50	17	
	짙은 녹색					27									
	자주색														
	붉은색										35				
	진한 갈색														
	갈색								48			13			
검은색 (괴사)						47									
엽위치	생장점														
	엽병										61				
	엽신			62											
	엽가장자리		46						9						
	엽맥 (엽맥사이)		2	1									50	17	
증상	생육 억제				23						5				
	신장 저하								34						
	절간 신장 저하														
	뿌리 신장 억제				50						10				
	런너 괴사														
	잎 기형		49	12											
	과실 기형														
	꽃 기형														
	반점								42		11				

○ 딸기 충해 진단 전문가 시스템

- 진단표 (환경조건별, 발생부위별, 증상에 따른 충해)

		충해											
		응애류	진딧물	가루이	작은뿌리파리	총채벌레	나방	딸기잎벌레	딸기꽃바구미	딸기잎선충	뿌리혹선충	들민달팽이	쥐며느리
환경 조건	저온	5	15	10	15	5			10	10	10	10	10
	고온	19	12	16	7	12	19	5		5	5		
	저습(건조)	45	15	15	5	20							
	다습		10	10	45	10						25	
발생 부위	줄기(엽병)						30	30	40				
	잎	18	17	17			20	18		10			
	관부				80					20			
	뿌리				50					5	45		
	런너		30	30			20		20				
	꽃	10	10	10		25	10		15	20			
	과실	10	20	20		30						10	10
증상	반점	100											
	퇴록	100											
	백색	100											
	황화	45			55								
	갈변	30			40	15		15					
	위축	40								60			
	그을음		50	50									
	생육부진	30	20	20						30			
	짜얇				100								
	적색				50					50			
	흑갈색(다갈색)					100							
	잎 갠아먹음						60	40					
	꽃, 엽병잘림								100				
	꽃 흑변									100			
	혹 형성										100		
과일 갠아먹음											50	50	

○ 딸기 병해 진단 전문가 시스템

- 진단표 (환경조건별, 발생부위별, 증상에 따른 병해)

		병해												
		탄저병	시들음병	눈마름병	역병	줄기마름병	흰가루병	갯빛곰팡이병	균핵병	꽃곰팡이병	뱀눈무늬병	윤반병	점균병	세균모무늬병
환경 조건	저온			20				22	18	20				20
	고온	17	21		10	22	1				10	10	9	
	저습(건조)						10							
	다습	11		11	9	7	5	14	9	11	7		8	8
발생 부위	잎		15	4	13	5	14	2	2		10	10	10	15
	줄기(엽병)	15			11	20	5	8	5		8	8	12	8
	뿌리	5	25	20	25	20			5					
	런너	24			18	30	15						8	5
	꽃	7					13	25		30				25
	과실	15			15		31	31	5	3				
	관부	22	18	10	15	15		3	12					5
증상	반점	50					20				15	15		
	갈변	20	15	10	15		10				10	10		10
	흰가루						10							
	황화		10											
	흑 형성													
	분홍색(자색)	15					25				25	25		10
	회백색						20	50		30				
	갈색 반점										32	32		36
	황록색		10											
	흑갈색			50				50						
	흑변	40							20	40				
그을음														

○ 국화 생리장애 진단 전문가 시스템

- 진단표

		N		P		K		Ca		Mg		S	
		-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+
+ : 과잉, - : 결핍													
발 생 환 경	저온												
	고온							2					
	건조							11					
	다습							15					
식 물 체 부위	생장점												
	잎	상위							3				
		하위			1	1			1		4		13
	줄기	2	2	2		3	34			5	1	20	
	뿌리	4	4	3	3			2	73	10			
	꽃		32		25							16	
꽃목	1	1					22	1					
엽 위 치	생장점					48							
	엽병												
	엽신												
	엽가장자리												
	엽맥(엽맥사이)		15		12	18							
엽 색 변 화	황화									16		56	
	갈변	1		1	1	2	21			3		12	
	연녹색		2			3		1		5			
	진녹색	54											
	적자색		39	31								20	
	적갈색			21									
증 상	생육억제												
	신장억제	1	2	1	1			1					
	뿌리신장억제		2			2	23	1	27				
	반점발생				39						25		
	위조				10	14							
	괴사(고사)										38		
	기형			7	7	10		5		20			
	갈라짐							9		37			
	웃자람							26					
	말리다												
	작아짐												

+ : 과잉, - : 결핍		Fe	Fe	Cu	Cu	Mn	Mn	B	B	Zn	Zn	Mo	Mo
		-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+
발 생 환 경	저온	54											
	고온												
	건조												
	다습						29						
식 물 체 부 위	생장점												
	잎	상위	22	3		15				3	41	4	
		하위	7		1	22	5	2	1	5	1	13	1
	줄기		3	1		7	3		7	1		2	
	뿌리							2					
	꽃							17					
	꽃목					5							
엽 위 치	생장점												
	엽병												
	엽신												
	엽가장자리												
	엽맥(엽맥사이)								49				
엽 색 변 화	황화					21	7						
	갈변	7		1	21	4	2	1	5	1	12		
	연녹색	10			33	7	2		7	1	20	2	
	진녹색									37			
	적자색												
	적갈색		32					14				25	
증 상	생육억제		50				43						
	신장억제				24			1			14		
	뿌리신장억제									1			
	반점발생							26					
	위조		15			37	13			7			
	괴사(고사)			48									
	기형							5	27	5		8	
	갈라짐							8	0			15	
	웃자람							25	0			43	
	말리다								0				
	작아짐			45					0	43			

+ : 과잉, - : 결핍		버들 눈	노심현상	관생화	순댓이 증상	수곡현상	중위엽 고사	위축 증상	
발생환 경	저온		32			14			
	고온		7		47			5	
	건조		52				37		
	다습						52		
식물체 부위	전체					39		58	
	생장점							8	
	엽	상위엽				26			
		하위엽						4	
	줄기								
	뿌리								
엽위치	꽃		4	49	25				
	꽃목					47			
	생장점								
	엽병								
	엽신								
엽색변 화	엽가장자리								
	엽맥(엽맥사이)								
	황화						3	2	
	갈변						4		
	연녹색								
	진녹색								
증상	적자색								
	적갈색								
	생육불량		4		28	28			
	줄기신장억제			51					
	뿌리신장억제								
	반점발생								
	위조								
	괴사(고사)								
	기형							27	
	갈라짐								
	웃자람								
말린다									
작아짐									

○ 국화 증해 진단 전문가 시스템

- 진단표

		병해										
		역병	시들음병	갯빛광병	균핵병	뿌리썩음병	잘록병	검늪병	흰녹병	반점병	바이러스	비로이드
환경 조건	저온			22		18			22	7		
	고온	15	19			8	16	11				
	저습(건조)											
	다습	14		9		7	16	11	9	3		
발생 부위	잎	16		10	17	8	18					
	줄기		17	9		7		11	9	3	7	7
	뿌리	18	22			9	20					
	꽃		31	15							12	12
	꽃대											
증상	흰색				44				25			
	갈색	10	12	6	10	5	11	7	6	2		
	기형										34	34
	반점			19				24	19	7		
	위축					14		22		6	13	13
	그을음											
	시들음	27			29	14						
	괴사(고사)			11		9	20	14	11	4		
	흑색									68		
	연녹색											
모자이크										34	34	

○ 국화 병해 진단 전문가 시스템

- 진단표

		충해						
		응애류	진딧물	총채벌레	나방	잎굴파리	노린재	국화하늘소
환경 조건	저온							
	고온	10		20				17
	저습(건조)	16		31				0
	다습							47
발생 부위	잎		6			31	10	
	줄기	3	2	6	4	10	17	5
	뿌리							
	꽃		15		32			
	꽃대		15		32			
증상	흰색	5			0	15	27	
	갈색	6			7	18	6	10
	기형			11	6		30	
	반점	12		22	13			
	위축			9	5		25	7
	그을음		46					
	시들음						46	
	괴사(고사)					25	8	14
	흑색		17				30	
	연녹색	47						
	모자이크							

(2) 딸기 생리장해 진단 전문가 시스템 프로그램 개발
 - 생리장해 진단 전문가 시스템 프로그램 화면



그림 3-4-71. 딸기 생리장해 진단 전문가시스템 - 첫화면



그림 3-4-72. 딸기 생리장해 진단 전문가시스템 - 발현 시기 선택 항목

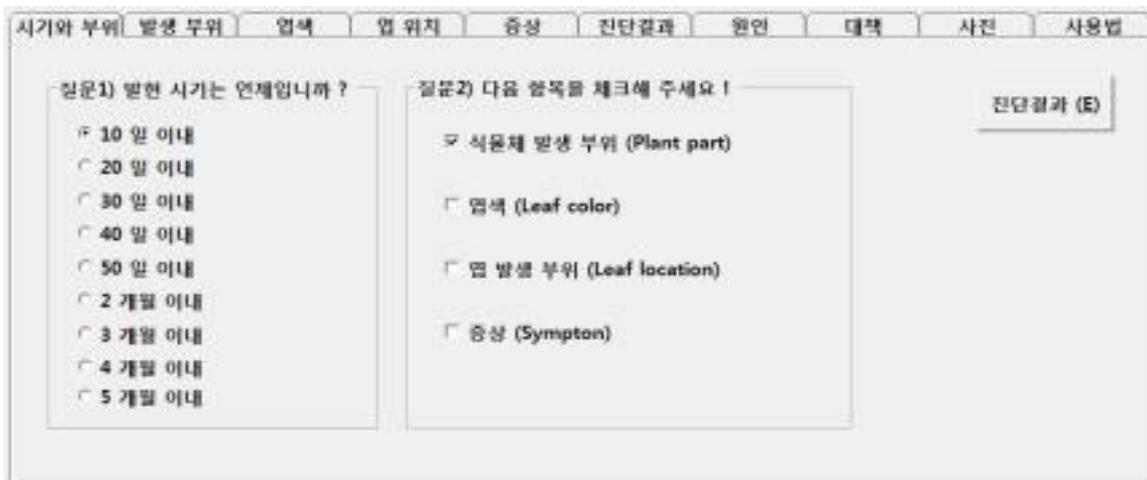


그림 4-73. 딸기 생리장해 진단 전문가시스템 - 식물체 발생 부위 선택

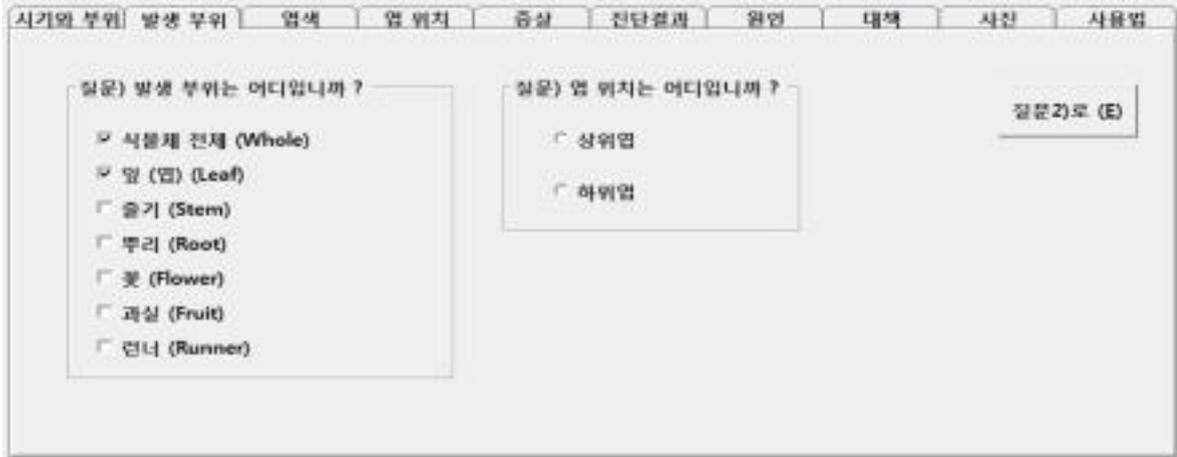


그림 3-4-74. 딸기 생리장해 진단 전문가시스템 - 발생 부위 선택



그림 3-4-75. 딸기 생리장해 진단 전문가시스템 - 진단 결과 화면

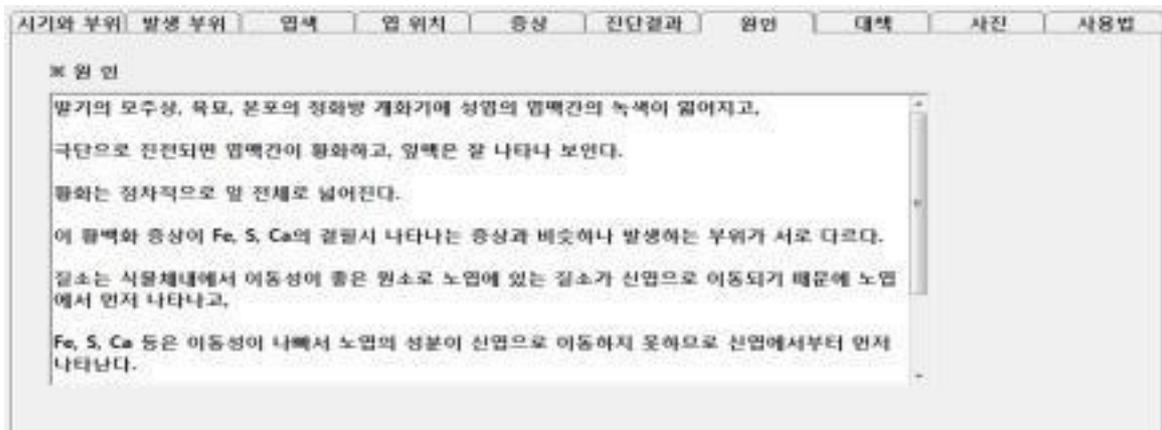


그림 3-4-76. 딸기 생리장해 진단 전문가시스템 - 원인 화면

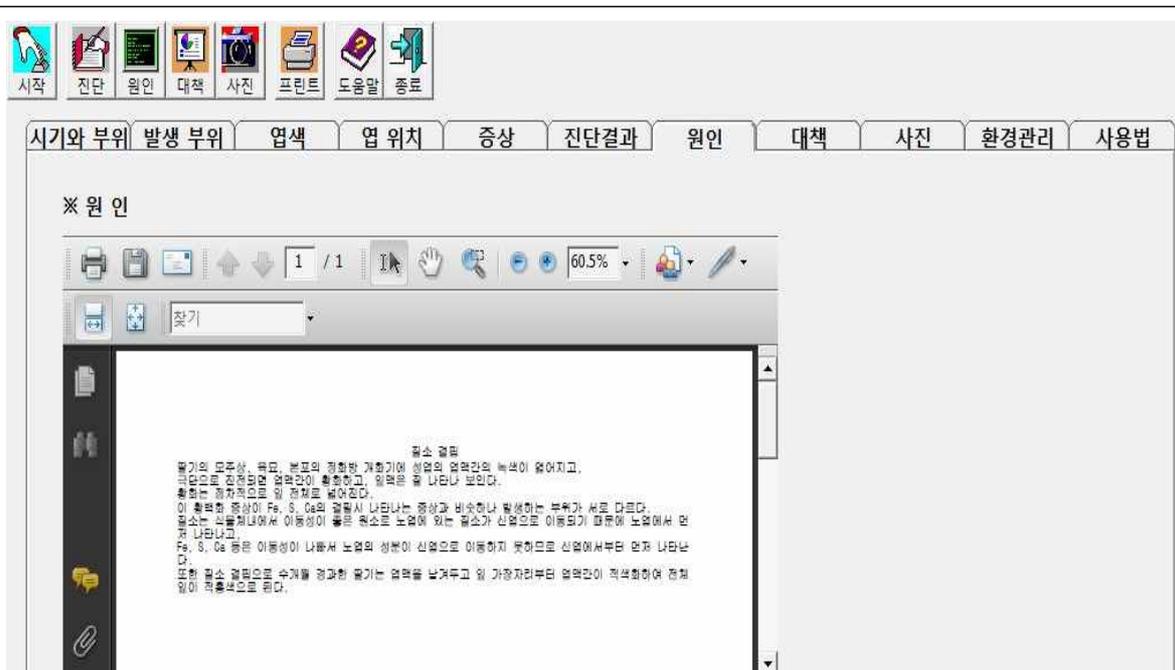


그림 3-4-77. 딸기 생리장해 진단 전문가시스템 - 질소 결핍 원인 화면

(3) 딸기와 국화 생리장해와 병해 및 충해 진단 전문가 시스템 앱 개발 및 보급

○ 딸기 생리장해와 병해 및 충해 진단 전문가 시스템

- 딸기 생리장해와 병해 및 충해 진단 전문가 시스템 초기 화면



그림 3-4-78. 딸기 생리장해 진단 전문가 시스템

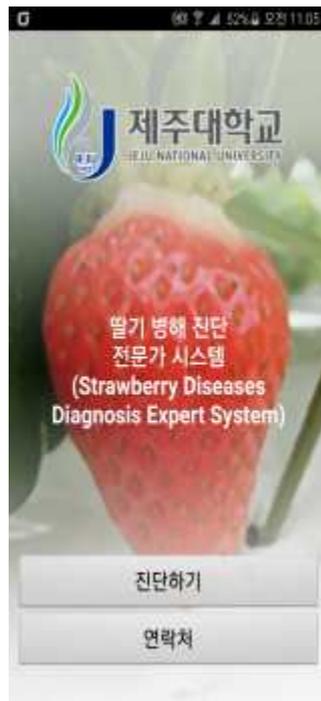


그림 3-4-79. 딸기 병해 진단 전문가 시스템



그림 3-4-80. 딸기 충해 진단 전문가 시스템

- 딸기 생리장해 질문



그림 3-4-81. 딸기 생리장해 진단을 위한 질문 항목 화면

- 딸기 생리장해 결과

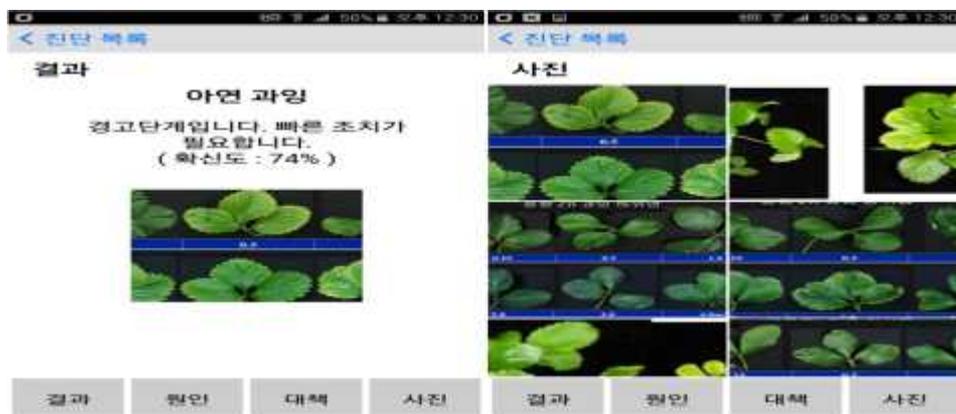


그림 4-82. 딸기 생리장해 진단을 위한 결과 화면

- 딸기 병해와 충해 질문



그림 4-83. 딸기 병해와 충해 진단을 위한 질문 화면

- 딸기 병해와 충해 결과



그림 3-4-84. 딸기 병해 진단을 위한 결과 화면

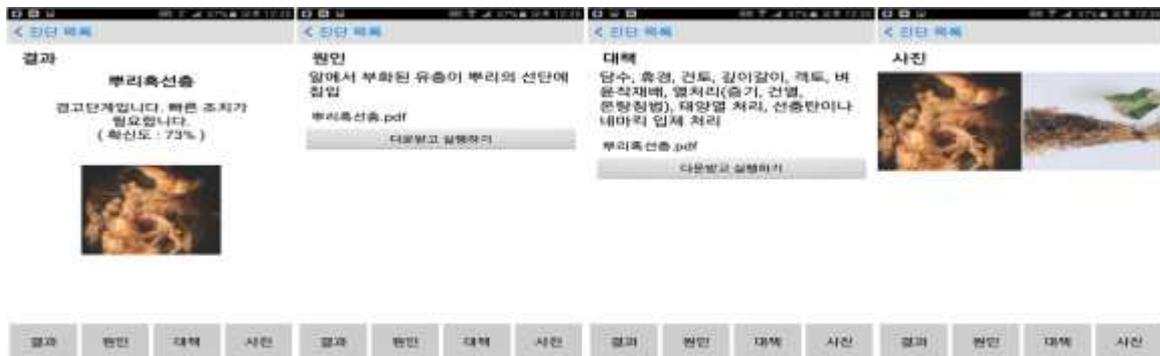


그림 3-4-85. 딸기 충해 진단을 위한 결과 화면

- 국화 생리장애와 병해 및 충해 진단 전문가 시스템 초기 화면



그림 3-4-86. 국화 생리장애 진단 전문가 시스템 - 국화 생리장애 질문

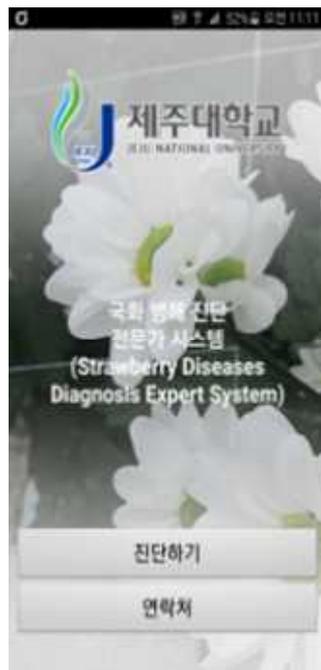


그림 3-4-87. 국화 병해 진단 전문가 시스템



그림 3-4-88. 딸기 충해 진단 전문가 시스템



그림 3-4-89. 국화 생리장해 진단을 위한 질문 화면

- 국화 생리장해 질문



그림 4-90. 국화 생리장해 진단을 위한 결과 화면

- 국화 병해와 충해 질문

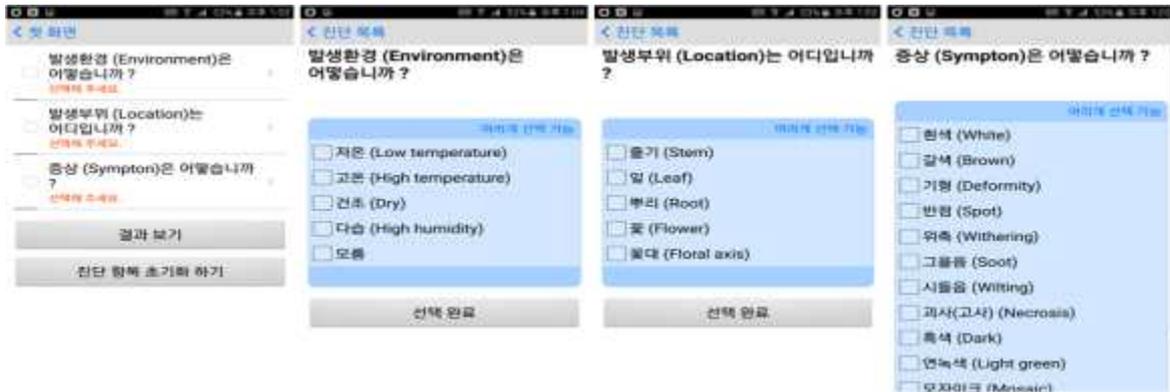


그림 3-4-91. 국화 병해와 충해 진단을 위한 질문 화면

- 국화 병해 질문



그림 3-4-92. 국화 병해 진단 결과 화면

- 국화 충해 질문



그림 3-4-93. 국화 충해 진단 결과 화면



그림 3-4-94. Play 스토어 앱에 올려져 있는 전문가 시스템과 현재 다운로드된(설치된) 현황 (2017년 1월 25일, 국화 병해 14, 국화 생리장해 18, 국화 충해 14, 딸기 병해 354, 딸기 생리장해 625, 딸기 충해 316 다운로드 현황)

- 핸드폰으로 볼 수 있는 전문가 시스템은 현재 서버가 구축된 상태에서 작동한다. 만약 전문가들의 조언에 따라 질문 내용, 사진, 원인 및 대책 등에 관한 내용들은 서버에서 쉽게 접근하여 수정할 수 있으며, 실시간으로 사용자들에게 업그레이드된 정보로 진단할 수 있게 만들어져 있다. 그리고 서버에 입력된 자료들은 모두 DB로 구축되어진다.
- 영상으로 엽면적과 과실 생체중을 예측하는 영상 모니터링 시스템은 현재 많은 연구들이 진행되고 있다. 추후 활용도를 높이기 위해 본 연구결과를 활용할 수 있는 방안을 강구하여야 할 것으로 생각된다. 엽면적 예측 영상 모니터링 시스템은 증발산 예측 모델로 활용될 수 있으며, 관수 시점을 유추하는데 중요한 정보로 활용될 것으로 생각한다. 과실 생체중 예측 모니터링 시스템은 상품성과 품질을 구분할 수 있는 시스템에 활용도가 높을 것으로 생각한다.
- 국화 및 딸기 농가의 환경 측정 및 생육 특성 조사를 통해 온/습도, 이산화탄소 등의 데이터를 분석하였으며 딸기 및 국화 농가에서 손쉽게 환경을 모니터링 할 수 있는 계측 모듈과 프로그램 모듈을 개발함.

제 5 절 온실 복합환경제어시스템 제작 및 실용화 기술 개발

1. 요소 및 통합시스템 제작 및 현장적용

가. 요소 및 통합시스템 1차 시작품

국내 ICT 통합환경제어 전망은 융복합 통합제어 제품 관련 시장이 차세대 디바이스, 빅데이터 및 인공지능, 하이브리드 스토리지, 유무선 통합 네트워크, 바이오 센서, 라이프케어로봇 등 미래 선도형 10대 ICT 핵심기술과제를 중심으로 8,821억원 규모의 투자 계획을 추진하고 있다.

표 3-5-1. ICT융합 시장현황 및 전망

(단위: 백만 달러, 억 원)

구분	2013	2014	2015	2016	2017	성장률(%) (2013-2017)
세계시장	1,668,363	1,862,060	2,078,245	2,319,529	2,588,826	12%
국내시장	552,843	624,657	715,800	797,483	901,077	13%

자료: ICT융합 전반 시장을 기준으로 작성됨. 미래창조과학부(2013), 현대경제연구원(2013), 자료 재구성

2015년 SK텔레콤이 자체 개발한 개방형 스마트홈 플랫폼 통합제어 시스템을 시장에 본격적으로 진입함 시스템은 스마트폰을 이용하여 원격으로 제습기, 창개폐기, 스크린 등 제어장비들의 ON/OFF작동여부를 체크하는 것과 작동까지 제어 가능한 점이 포함되어 있어 점차적으로 기술적, 시장적으로 넓어지고 있는 상황이다.

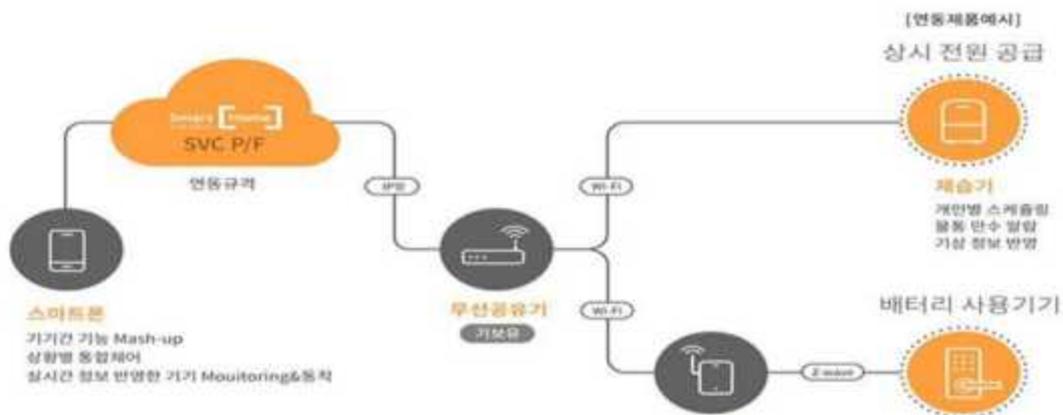


그림 3-5-1. 개방형 스마트홈 플랫폼 통합제어 시스템

그러므로, 성장가도를 그리는 제습기의 국내 시장규모에 발맞추어 ICT를 적용한 유무선 환기통합제어와 히터를 부착하여 제습과 히팅이 동시에 가능한 수출용 제습기 개발이 필수적이다.

표 3-5-2. 온실 복합환경 제어 시스템 성능 조사

항목	그림	제조사	모델명	Specifications
복합제어		신한에이텍 (주)	SH-3000	-LCD사용 모니터링 -디지털 출력 AC 24 V, -DC24V 출력전환 가능 -RS-232, RS-485, 무선 -하드웨어 및 소프트웨어 자사 원천기술 보유
		(주)우성하이텍	웰-시스	-일사, 강우, 외온, 풍향, 풍속센서를 통한 외부 환경측정 -온도, 습도, CO ₂ , 토양센서를 통한 내부 환경측정 -전동개폐기, 배기팬, 유동팬, 보일러 등 작동 명령 -인터넷, 스마트폰을 통한 원격 지령가능
		(주)동우	D-3700	-자사 및 타사제품 양액기계 제어가능 -고장발생때 핸드폰 문자 메시지 통보기능 -작물 배지온도 측정기능 -디지털 출력 DC, AC 4~220 V -컴퓨터 통신방식 (RS-485, RS-232) -하드웨어 및 소프트웨어 자사 원천기술 보유
		(주)아이온이엔지	AION-GM S-T	-온실내외의 각 계측기에 의한 환경제어신호를 온실제어반, 온실환경제어오프로그램을 통해 자동연산관리 -제어환경요소 : 온도, 습도, 강우, 일사, 풍향, 풍속, PH, 수분 등
		MOGREEN	GREEN TOP 2s	-간단한 설정으로 사용이 편리하다. -타이머가 내장되어 있다. -DC MOTOR (하우스 길이 90m 권취형 모타) 4개까지 연결 가능하고 자동시동시 작동이 가능하다. -전원은 AC 100 V와 단상 AC 200 V 가능

국외 ICT 통합환경제어 업체는 40년 전통의 영국 제습기 제조 업체 Ebac의 2014년 조사에 의하면 인기있는 제습기 4종류를 비교해봤을 때 스마트비례제어, 자동제어컨트롤 등 통합제어시스템이 추가된 제품들이 시장 경쟁력이 있는 것을 확인할 수 있는 것을 확인 할 수가 있었는데 이에 따라서 앞으로 연구를 해야 하는 방향을 스마트, 자동제어 컨트롤 등 통합제어시스템의 발전으로 연구를 해야 하는 것을 알 수 있다.

	3050e	3050e	3050	3200	30	21	12	15	30
Extraction Rate	18	21	21	25	18	21	12	15	18
Water Container	2.5	2.8	4	4	2.8	2.8	3.5	3.5	3.5
Suitable for	Up to 4 rooms 240cm ² /4.24m ²	Up to 5 rooms 240cm ² /4.24m ²	Up to 6 rooms 225cm ² /4.05m ²	5+ rooms 250cm ² /4.00m ²	Up to 4 rooms 180cm ² /3.60m ²	Up to 5 rooms 240cm ² /4.24m ²	Up to 2 rooms 180cm ² /3.60m ²	Up to 3 rooms 180cm ² /3.60m ²	Up to 4 rooms 180cm ² /3.60m ²
FEATURES									
Smart Dehumidifier	✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓
Proportional Control Sensor	✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓
Air Purification Mode	✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓
Intelligent Defrost	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Adjustable Humidistat	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓
Laundry Drying Mode	✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓
Standby Mode	✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓
Container Full Indication	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
With Auto Shut-Off	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Container Full Alarm	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Removable Filter	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Front Loading Water Container	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Top Loading Water Container	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Integrated Handle	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Cable Tidy	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Warranty	2 years	2 years	2 years	2 years	2 years	2 years	1 years	1 years	2 years

그림 3-5-2. 시중에 나와 있는 제습기의 선호성비교

일본의 FUJITSU사의 시스템인 Food and Agriculture Cloud Platform을 보면 높은 품질, 안정성, 그리고 낮은 비용으로 원예 온실내의 작물들을 ICT기술을 적용한 환기 통합제어 시스템을 개발 그리고 cloud 서비스를 제공하여 온실에 모든 제어 장비에 연결된 센서들의 환경 데이터가 저장되어 사용자가 필요한 정보들을 클라우드로부터 얻을 수 있다.

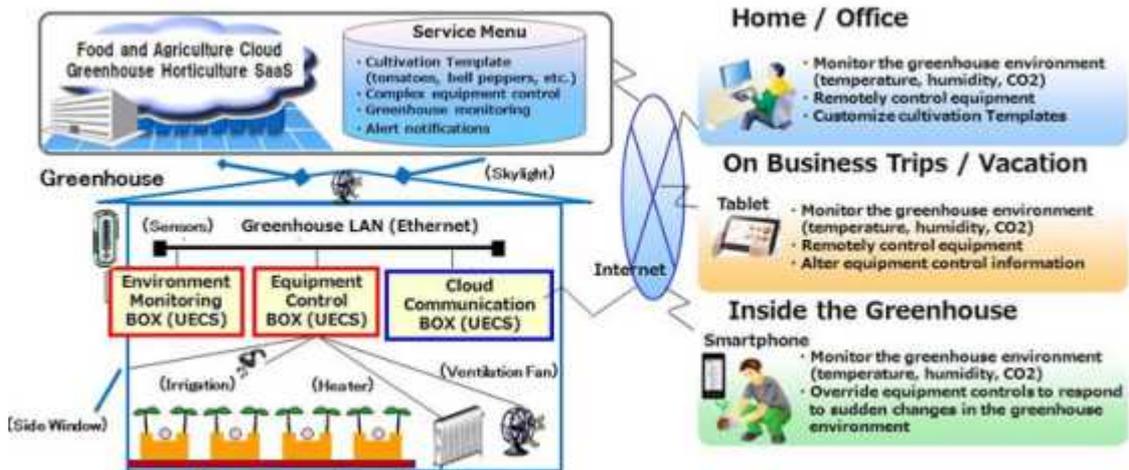


그림 3-5-3. 선진사의 ICT기술을 이용한 환경 통합제어 시스템 개념도



그림 3-5-4. Food and Agriculture Cloud Platform의 제어 시스템 화면

일본의 JFE Engineering Corporation사의 Smart-agriculture 시스템을 보면 Climate control system을 개발하여 온실의 환경을 제어할 뿐만 아니라 에너지 이용 또한 제어하여 천연가스, 바이오메탄올을 활용하여 온실에 공급해 에너지 효율을 높이는 시스템을 개발. 시장에 공급하고 있는 모습을 보고 있다. 그러므로 ICT를 적용하여 센서 네트워크를 통한 스마트폰으로 제어가 가능한 통합 제어 시스템이 구축된 제습기 개발이 시급하다.

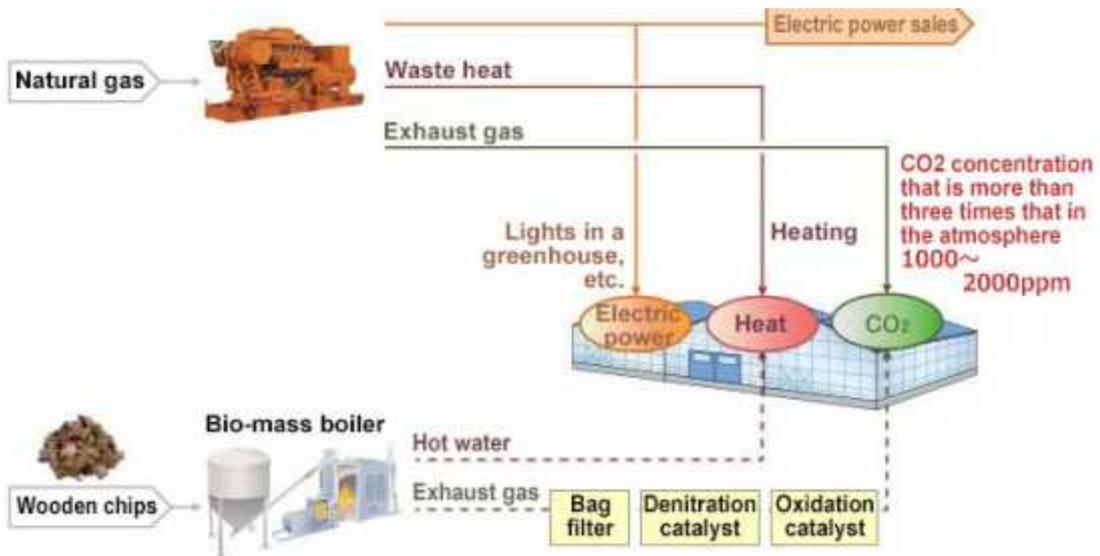


그림 3-5-5. 온실 환경 제어 뿐만 아니라 천연가스, 바이오메탄올을 활용하여 온실 에너지 효율을 높인 시스템 개념도

표 3-5-3. 국외ICT 환기통합제어

제품		회사명	제원		분석	
국 외 I C T 환 기 통 합 제 어		FITO-A GRO(러 시아)	모델명	FC Series	- 온실과 야외 환경에서 실내 매개 변수의 모니터링 가능 - 기후 제어 설정에 대한 주간 일정을 프로그래밍 - 보관 및 측정 데이터의 그래 픽 분석 - 두 온실 또는 네 개의 온실 영역의 환경 제어	
			네트워크	RS-485, 무선		
		JFE Enginee ring Corporat ion(일본)	모델명	Smart-agriculture		- 발전된 경작 제어 시스템과 에너지 이용 기술, 연간 다양한 작물 경작이 합쳐진 복합 제어 시스템
			네트워크	무선 시리얼 통신		
		WITURA (말레이 시아)	모델명	WT-9001 IP65		- 설치가 용이하며 소형컨트롤 러가 기본적으로 설치되어 온 습도, 토양수분, 태양광의 데이 터들을 모니터링 하는데 최적 화되어있는 시스템
			네트워크	PC, SMS-based		

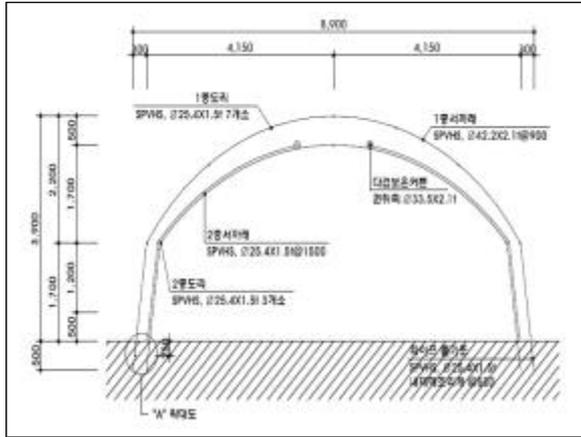
에너지 효율과 작물의 성장, 운영비의 효율을 위해서 환기통합시스템 개발이 필요하며 이에 따라 제습기, 환기팬, 창개폐기, 스크린 등이 동시에 환경 센서의 조건 알고리즘 값에 따라 제어되며 상시, 비상시 대처 알고리즘으로 위험 조건시 스마트폰으로 사용자에게 알리는 서비스, 경보 혹은 부저가 울리는 기능 등 안전 대책 알고리즘 기능을 추가해 데이터 기반 스마트팜을 실현이 필요하다. 그러기 위해서는 구조의 복잡함을 줄이고 재료를 가벼운 소재로 바꾸고 경량화 시켜 어느 농가에도 설치가 가능한 크기로 디자인할 필요가 있다.

또한, 해외 선진사 제품(FUJITSU, JFE Engineering Corporation 등)을 벤치마킹하여 온실의 환경을 체크하고 사용자의 요청에 따라 온실에 모든 제어장비가 자동/수동 제어 되며 에너지 효율을 위해 태양열, 천연가스, 바이오 에탄올로부터 나오는 에너지로 온실에 공급하여 냉난방, 모터 등 제어 장비들에게 에너지를 나눠주어 에너지 효율을 높이는 시스템까지 고안할 필요가 있다.

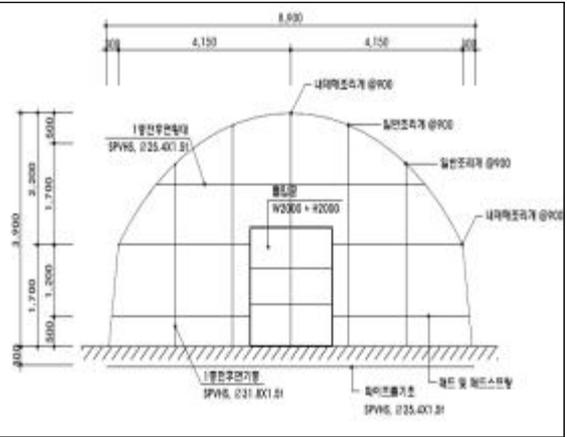
나. 요소 및 통합시스템 현장적용

(1) 실험용 온실 설계

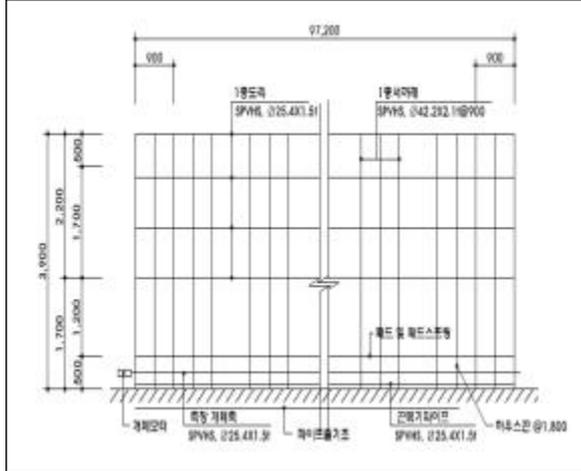
- 규격 : 20M*4M*5M
- 구조 : 철재 파이프 골조
- 형식 : 단동형 비닐하우스
- 사용구조 재료 : 내재해형 단동 비닐하우스 설치에 사용되는 한국산업규격 KS D 3760의 비닐하우스 구조용 강관(SPVHS, SPVHS-AZ) 사용



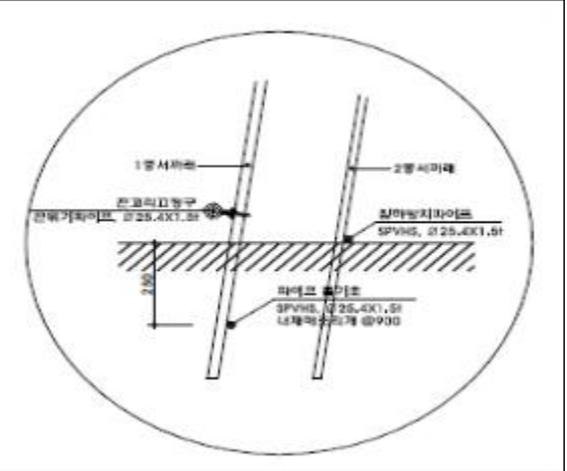
실험용온실 단면설계도



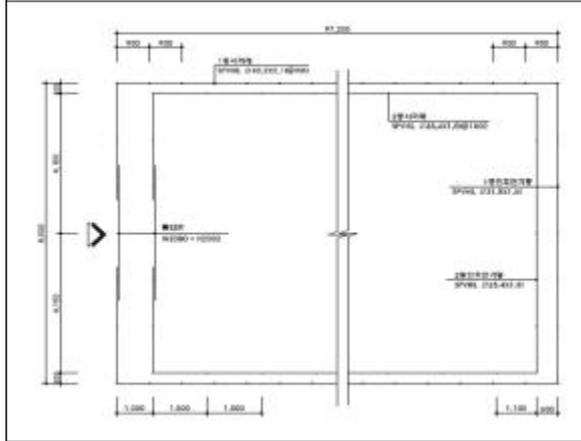
실험용온실 정면설계도



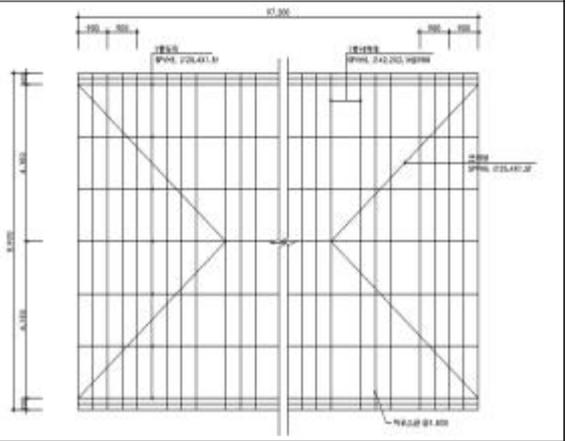
실험용온실 측면설계도



“A” 확대설계도



실험용온실 평면설계도



지붕평면설계도

그림 3-5-6. 통제 시스템을 활용실험용 온실 설계도



그림 3-5-7. 신안그린테크 내 실험온실 챔버 구축

(2) 환경제어장비 구축

환경제어장비로는 공기유동팬, 에어믹서, 천정환풍기, 농용공기교반제습기, 에어매직, 그린지중난방기(SG-180), Taser(테이저), 생리감응형 LED조명(SG-L10), 알루미늄공기유동팬 / 소형공기유동팬, 좌우측창개폐기, 좌우개폐기, 스크린으로 각 장비의 규격은 밑에 보시는 표와 같다.

표 3-5-4. 공기유동팬 성능

항 목	내 용		
기 종 명	공기유동팬 / 공기유동팬W		
모 델 명	SGA-04CP		
규 격	∅440 * ∅400 * 240 mm		
모 터	220 V * 60 Hz * 130 W * 5 P * 1,700 RPM		
FAN	350 mm(4 Fan)	풍 량	67 m ³ /min
용량(평)	99 m ² ~165 m ²	무 게	5 kg



그림 3-5-8. 공기유동팬 / 공기유동팬W

표 3-5-5. 에어믹서 성능

항 목	내 용		
기 종 명	공기교반기		
모 델 명	SGA-120P		
규 격	∅440 * ∅400 * ∅460* ∅360		
용 도	하우스, 축사, 버섯사, 공업용		
모 터	220 V * 60 Hz * 100 W * 4 P * 1,500 RPM		
FAN	350 mm(4 Fan)	풍 량	42 m ³ /min
용량(평)	99 m ² ~165 m ²	무 게	5.2 Kg



그림 3-5-9. 통제시스템을 확인하기 위해 시설 내부에 설치된 공기교반기

표 3-5-6. 천정환풍기 성능

항 목	내 용		
기 종 명	천정환풍기		
모 델 명	SGF-700P		
규 격	Ø440×Ø400×Ø460×400		
용 도	하우스, 축사, 버섯사, 공업용		
모 터	220 V×60 Hz×130 W×4 P×1,700 RPM		
FAN	350 mm(5Fan)	풍 량	67 m ³ /min
용량(평)	99 m ² ~165 m ²	무 게	6 Kg



그림 3-5-10. 통제시스템을 확인하기 위해 시설 내부에 설치된 천정환풍기

표 3-5-7. 농용공기교반제습기 성능

항 목	내 용		
기 종 명	농용공기교반제습기		
규 격	Ø385 * 550 mm		
제 습 량	1.5L/Hr(온도17℃, 습도 75%시)		
모 터	AC 220 V, 60 Hz, 130 W, 4 P, 1,700 RPM		
출 력	590 W	풍 량	30 m ³ /min
용량(평)	165 m ² ~330 m ²	무 게	24 kg



그림 3-5-11. 통제시스템을 확인하기 위해 시설 내부에 설치된농용공기교반제습기

표 3-5-8. 에어매직 성능

항 목	내 용		
기 종 명	에어매직		
모 델 명	SGM-08P		
규 격	Ø 440 * Ø 400 * Ø 520		
용 도	농업용,일반 산업용 등		
모 터	220 V×60 Hz×45 W		
SIZE	Fan 220 mm	히 터	400 w~3 kw
용량(평)	99 m ² ~165 m ²	무 게	7 Kg



그림 3-5-12. 통제시스템을 확인하기 위해 시설 내부에 설치된 에어매직

표 3-5-9. 그린지중난방기(SG-180) 성능

모 델	규 격	재 질	유 류	용 량	사용면적
SG-120	2,000 * 1,560 *783	SUS 304	경 유	120,000 kcal/h	400~600
SG-180	2,480 * 1,780 *1,000	SUS 304	경 유	180,000 kcal/h	700~1,200



그림 3-5-13. 통제시스템을 확인하기 위해 시설 내부에 설치된 그린지중난방기

표 3-5-10. Taser(테이저) 성능

항목	내용	항목	내용
소비전력	6 KW / 220 V	열량	5,160 kcal/h
풍속	최대 12 m/s	크기/무게	220x270x730 (mm) /14.5 kg
설치평형	20~40평형	동시제어	최대 30대
안전기능	과열방지, 잔열제거	리모콘지원	전원, 불륨, 채널



그림 3-5-14. 통제시스템을 확인하기 위해 시설 내부에 설치된 테이저(전기히터)

표 3-5-11. 생리감응형 LED조명(SG-L10) 성능

항목	내용	항목	내용	항목	내용
제품명	RED	제품명	BLUE	제품명	RED2:BLUE1
LED	11*6=66PCS	LED	7*10=70PCS	LED	9*8=72PCS
입력전압	AC 100-240 V	입력전압	AC 100-240 V	입력전압	AC 100-240 V
소비전력	10 W	소비전력	15 W	소비전력	13 W
파장	660 nm	파장	450 nm	파장	450 nm, 660 nm
COLOR	적색	COLOR	청색	COLOR	적색, 청색
조명각도	120°	조명각도	120°	조명각도	120°

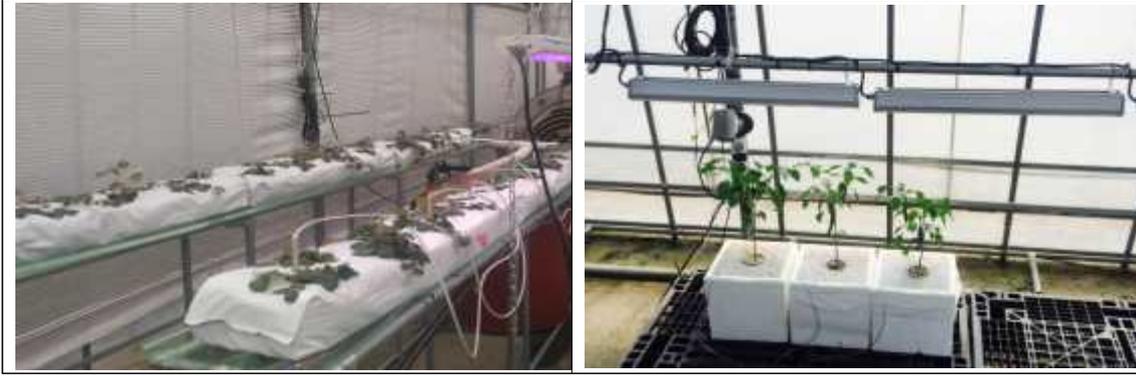


그림 3-5-15. 통제시스템을 확인하기 위해 시설 내부에 설치된 생리감응형 LED 조명

표 3-5-12. 알루미늄공기유동팬 성능

항 목	내 용		
기 종 명	알루미늄 공기유동팬		
규 격	∅390 * ∅310 * 225mm		
모 터	220 V * 60 Hz * 35 W * 4 P * 1,500 RPM		
FAN	250 mm(5 Fan)	풍 량	40 m ³ /min
용량(평)	20평	무 게	1.8 kg

표 3-5-13. 소형공기유동팬 성능

항 목	내 용		
기 종 명	소형공기유동팬		
규 격	∅300 * ∅250 * 200mm		
모 터	220 V * 60 Hz * 55 W * 4 P * 1,500 RPM		
FAN	300 mm(5 Fan)	풍 량	20 m ³ /min
용량(평)	20평	무 게	1.9 kg



그림 3-5-16. 통제시스템을 확인하기 위해 시설 내부에 설치된 알루미늄공기유동팬/소형공기유동팬

표 3-5-14. 좌우측창개폐기 성능

항목	내용	항목	내용
품명	사이버캡2	정격전압	DC 24 V
모델명	CODM-81024	정격전류	2.0 A
용도	비닐개폐 4M용	회전수	4.5 RPM



그림3- 5-17. 통제시스템을 확인하기 위해 시설 내부에 설치된 좌우 측창 좌우 개폐기

표 3-5-15. 좌우개폐기 성능

항목	내용	항목	내용
품명	톱스타플러스	정격전압	DC 24 V
모델명	WSM-2475H	정격전류	4.5 A
용도	전동개폐	회전수	3.7 RPM
소비전력	110 W	중량	3.0 Kg



그림 3-5-18. 통제시스템을 확인하기 위해 시설 내부에 설치된 부직포

표 3-5-16. 스크린 성능

항목	내용	항목	내용
품명	사이버캡2	정격전압	DC 24 V
모델명	CODM-81024	정격전류	2.0 A
용도	비닐개폐 4M용	회전수	4.5 RPM



그림 3-5-19. 통제시스템을 확인하기 위해 시설 내부에 설치된 스크린(수평,수직)

각 설치장비 전력사양으로 시험 온실 내부에 설치되어 있는 제품들의 전소모량 및 설치대수를 아래의 표로 정리하였다.

표 3-5-17. 시범온실내 설치제품 전력소모량

제어할 기기 리스트				
수량 (Q'ty)	장치명(설명)	볼트(Volts)	상(Phase)	동력(HP or W)
2	테이저	220V	AC	6000
1	그린지중난방기	220V	AC	2000
2	공기유동팬(04CP)	220V	AC	130
1	공기유동팬(13CPW)	220V	AC	130
1	에어믹서(공기교반기)	220V	AC	100
3	천장환풍기	220V	AC	130
2	에어매직	220V	AC	3000
1	농용공기교반제습기	220V	AC	590
1	양액재배수중펌프	220V	AC	200
3	LED	220V	AC	20
1	개폐기	24V	DC	50
1	스크린	24V	DC	100
1	부직포	24V	DC	110

환경제어를 위한 각종 센서류를 설치한 외부기상대를 설치하여 외부 환경상태를 파악하기 위한 외부기상장치 설치하여, 외부기상대를 통해서 풍향, 풍속, 감우, 일사, 외부온도를 확인하여 데이터를 습득 할 수 있다.

표 3-5-18 외부 기상대 사양

센서종류	사양
외부온도센서	- 측정방법 : NTC-10 k.Ω/25℃ - 측정범위 : -20℃ ~80℃ - 측정오차 : ±0.1℃
풍속계	- 측정방법 : WAND CUPS AND MAGNETIC SWITCH - 측정범위 : 0~75 M/SEC - 측정방식 : SQUARE WAVE - 출력 : PULSE - 공급전원 : DC 3.3 V - 소모전류 : 최대 17 mA - 작동온도 : -20℃ ~80℃
풍향계	- 측정방법 : WIND VANE AND POTENTIOMETER - 측정범위 : 0~359℃ - 출력방식 : REGISTER - 공급전원 : DC 3.3 V - 소모전류 : 최대 15 mA - 작동온도 : -20℃ ~80℃
일사량검출기	- 측정범위 : 0~1800 w/m ² - 측정방법 : PHOTO SILICON DIODE - 출력신호 : 0~3000 MV - 공급전원 : DC 3.3 V - 작동온도 : -20℃ ~80℃
감우센서	- 측정방법 : VERIFY CONDUCTIVITY OVER GOLD GRID - 측정간격 : 1.0 mm - 측정면적 : 60 mm - 작동온도 : -20℃ ~80℃



그림 3-5-20. 외부 환경상태를 확인 하기 위한 외부기상대 설치

실험실 온실 내부에 온/습 및 CO₂ 농도를 측정하기 위하여 센서를 설치한 사진이다. 미니백엽상을 각각 끝에 2대와 가운데 1대를 설치하여 온/습도를 측정하게 하고

가운데는 CO₂ sensor를 설치하여 실험실 내부에 환경을 실시간으로 측정이 가능하게 설치 한 후에, 미니백엽상은 내부에 환기팬을 설치하여 환기를 시킬 수 있도록 설치를 하였다.

표 3-5-19. 실내 데이터 정보를 습득하는 센서 성능

센서종류	사양
CO ₂ 검출기	<ul style="list-style-type: none"> - 측정범위 : 0~2000 ppm - 측정방법 : NON-DISPERSIVE INFRARED(NDIR) - 출력신호 : 0~3 V TO RS485 - 공급전원 : DC 12 V
내부 온습도센서	<ul style="list-style-type: none"> - 측정방법 : NTC-10kΩ/25$^{\circ}$C - 측정범위 : -20$^{\circ}$C ~80$^{\circ}$C - 측정오차 : \pm0.1$^{\circ}$C - 습도 측정범위 : 0~100 RH - 공급전원 : DC 12 V



그림 3-5-21. 외부 하우징을 통해 간섭을 최소화 하여 제작한 내부온습도 센서



그림 3-5-22. 외부 하우징을 통해 간섭을 최소화 하여 제작한 CO₂센서

아래 그림의 2개사의 온습도 센서 제조회사의 제품을 구매하여 센서 수치의 오차를 최소화시킬 수 있는 제품이다.

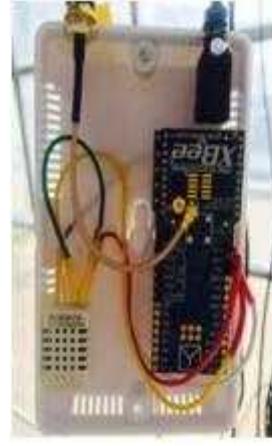


그림 3-5-23. 무선 온습도센서

그림 3-5-24. 무선온습도센서

표 3-5-19. 센서를 활용한 자동제어

센서 종류	환경제어기능
온도센서(내부)	<ul style="list-style-type: none"> - 천창, 이중천창, 측창의 열림, 닫힘 작동 및 개폐속도 및 수준제어 - 난방 순환팬프 및 3WAY밸브 개폐 범위 결정 - 유동팬, 배기팬 작동 여부 결정
습도센서(내부)	<ul style="list-style-type: none"> - 환기 및 난방 설정값 가감에 영향 - 차광, 보온 커튼 개폐범위 결정 - 온풍 난방기 및 온수 난방시스템 작동여부 결정 - 제습기 작동여부 결정
CO ₂ 센서(내부)	<ul style="list-style-type: none"> - CO₂ 밸브 개폐 여부 결정 - CO₂ 설정값과 공급값의 비교분석
EC센서	<ul style="list-style-type: none"> - 급배액량 및 배액율 증감을 설정값 의사결정 활용
PH센서	<ul style="list-style-type: none"> - 일중 급배액 양액 농도 모니터링 및 알람기능
온도센서(외부)	<ul style="list-style-type: none"> - 환기 및 난방 설정값 조절 - 차광, 보온 커튼 열림 대기시간 - 3Way 밸브 열림, 닫힘 대기시간 결정 - 환기창(천창, 측창) 개폐여부 결정 및 온실 보호기능
일사센서	<ul style="list-style-type: none"> - 환기 및 난방 설정값 조절 - 차광, 보온 커튼 열림, 닫힘 시점 결정 - CO₂ 설정값 비례제어 기능에 영향 - 광량 계산 및 증산량 계산
감우센서	<ul style="list-style-type: none"> - 천창, 이중천창, 측창 개폐여부 및 개폐수준 설정
풍향, 풍속 센서	<ul style="list-style-type: none"> - 천창, 이중천창, 측창 열림방향 및 개폐속도 제어 결정 - 풍하중에 의한 온실 보호 기능

(3) 통합환경제어 배전반 제작

○ 1차 통합환경제어 배전반 설계 및 제작

아래 그림은 통합제어기 판넬 및 스위치 판넬설계도이다. 기존 제어반의 경우 온실내에 맞는 용량에 맞춰 제작을 하였지만, 전기소모량이 많은 실제농가에서는 1000평내지 2000평이넘는 하우스에서도 통합제작을 위해 용량을 쉽게 늘릴수 있고, 협동기관 개발 품목들을 손쉽게 변경 및 응용할 수 있도록 회로도를 설계하였다.

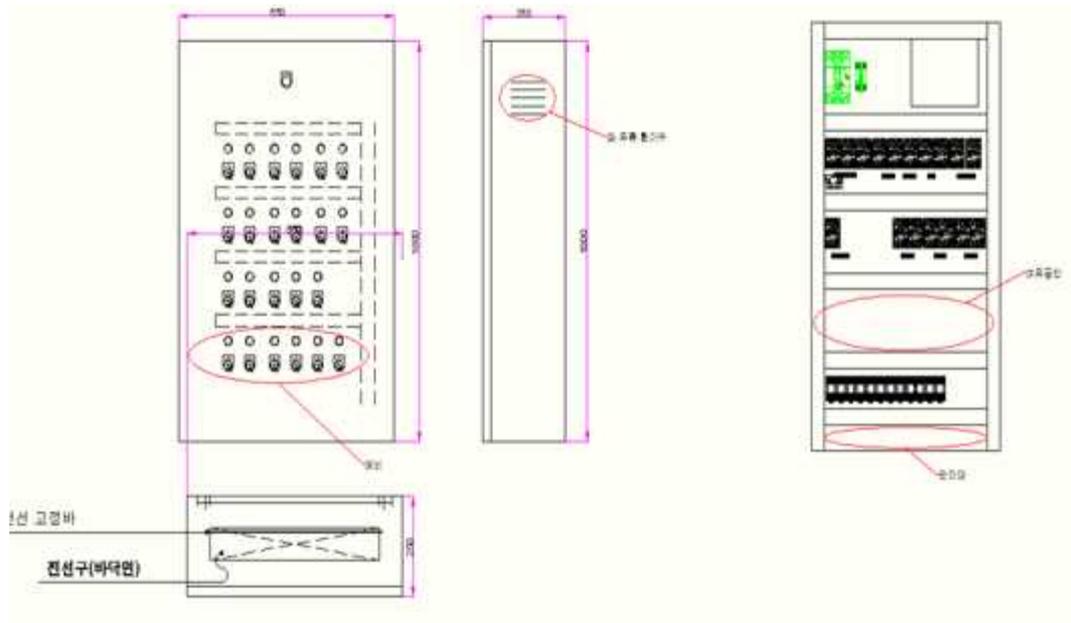


그림 3-5-25. 통합제어노즐과 연결하는 기본 판넬 설계도

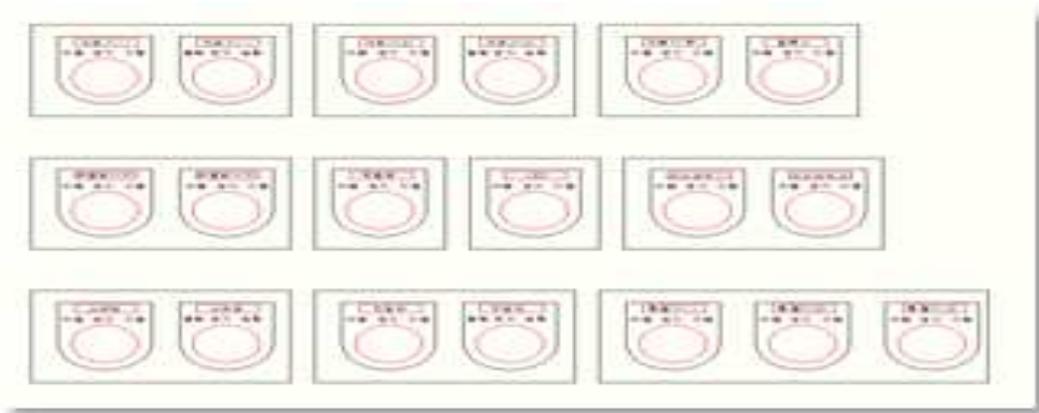


그림 3-5-26. 배전반 외부에 설치되어 시스템을 통제하는 스위치 판넬 설계도

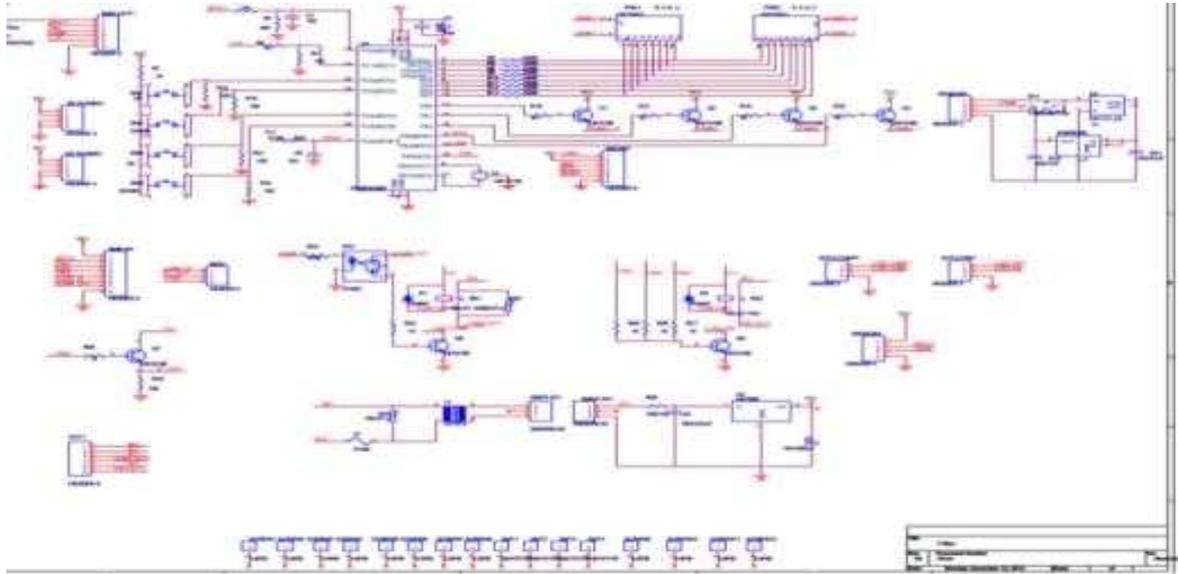


그림 3-5-27. 통합제어배전반 제어회로도

기존 마그네틱 방식의 통합제어반을 현재 (주)신안그린테크에서 판매중인 제어기의 전자식마그네틱 방식을 채택하여 일반 공기유동팬이나 개폐기 같이 전기를 적게 소모하는 제품은 전자식마그네틱을 적용하고, 전기히터외 난방기같은 경우에는 전력소모가 6KW이상이기 때문에 일반마그네틱을 사용하여 보다 안정하고 제어반을 소형화시킬수 있게 제작하였다.



그림 3-5-28. 통합제어 판넬 내부에 각 시스템과 연결된 모습(좌: 외부, 우: 내부)



그림 3-5-29. 각 마그네틱으로 연결되어 있는 통합제어판넬 내부



그림 3-5-30. 무선으로 데이터를 습득하는 통신제어함 내부

2차 통합환경제어 배전반 설계 및 제작하였는데 이때 기존 1차 시제품의 문제점으로 실제 농가의 현장조사를 통해 1000평 기준 연동하우스의 경우, 농민들이 측창, 천창, 커튼, 스크린, 부직포 등의 개폐모터들을 좌, 우, 수직, 수평을 별도 자동제어가 가능한 것을 선호하기 때문에 채널수가 부족한 1차시제품은 부적합함을 알 수 있었다. 아래 표는 순천시 낙안면의 오이영농조합의 1000평 연동하우스의 장비 조사결과이다. 개폐모터의 경우, 올림/정지/내림으로 1개의 모터에 2개 채널을 차지하고, AC 모터기기는 ON/OFF이기 때문에 1개의 채널수를 차지하며 부직포는 수직, 수평 동시에 제어하고, 유동팬, 제습팬, 제습기(응축기) 등은 모든 라인을 1개로 동시 자동제어

를 한다. 그래서 기본적인 기기만을 포함하였음에 불구하고 33개의 채널이 필요하다. 또한, CO₂발생기, 양액기, 스프링클러, LED, 공기교반기 등이 추가가 된다면 채널수가 부족하기 때문에 배전반의 확장이 필요 하다. 하지만, 1차 시작품의 경우, 인터넷을 이용하여 환경제어를 하는 것이 아니라, 유선으로 제어기에서 PC까지 연결되어 있기 때문에, 온실에서 PC까지의 전선 끊김의 위험성도 있고, 설치의 번잡함이 있기 때문에 인터넷 공유기를 통해 web브라우저로 통신을 하는 방식으로 제작을 하였다. 그래서 온실내부에서 온도 및 습도 등 센서를 통해 받는 데이터수치를 확인 또는 제어가 되지 않았지만, 제어노드 외부에 태블릿PC를 설치하여 서버와 연동시켜 실시간 센서를 통해 받는 데이터수치 확인, 수동제어 및 자동제어설정이 가능하도록 제작을 해야만 했다. 하지만 실험을 통해 확인한 문제점은 시설 내부에서 각 센서들 끼리 데이터 전송거리가 길어질수록 오차의 범위가 커지므로 중간에 데이터를 중계 해 줄 수 있는 무선 센서노드를 제작함으로써, 무선으로 받는 센서 데이터수치를 센서노드에서 제어노드로 가는 통신을 통해 전달해주는 역할을 하며 좀 더 정확한 센서수치의 값으로 기기를 제어할 수 있을 것으로 보여진다.

표 3-5-20. 낙안면의 오이영농조합의 1000평 연동하우스의 장비 조사

장비명	채널수	모터종류	모터갯수	전력
측창 1중 개폐(좌)	2Ch	DC	1	24 V
측창 1중 개폐(우)	2Ch	DC	1	24 V
측창 2중 개폐(좌)	2Ch	DC	1	24 V
측창 2중 개폐(우)	2Ch	DC	1	24 V
측창 3중 개폐(좌)	2Ch	DC	1	24 V
측창 3중 개폐(우)	2Ch	DC	1	24 V
천창 1중 개폐(좌)	2Ch	DC	3	24 V
천창 1중 개폐(우)	2Ch	DC	3	24 V
천창 2중 개폐(좌)	2Ch	DC	3	24 V
천창 2중 개폐(우)	2Ch	DC	3	24 V
스크린개폐(수직)	2Ch	DC	2	24 V
스크린개폐(수평)	2Ch	DC	2	24 V
부직포(수직수평동시)	2Ch	DC	1	24 V
다겹보온커튼(수직)	2Ch	AC	2	735 W(1마력)
다겹보온커튼(수평)	2Ch	AC	2	735 W(1마력)
유동팬/제습팬	1Ch	AC	40	130 W
제습기(응축기)	1Ch	AC	15	460 W
환풍기	1Ch	AC	20	130 W
	33Ch		102	

이후 2차 통합배전반 제작을 하였는데 외형 사이즈는 800*1200*300mm의 스틸 재질의 사이즈로 제작하여 시설 내부에 설치하고 작업자의 이동에 불편을 주지 않는 사이즈면서 충격에 잘 버틸수 있게 제작하였다. 아래 그림의 동그라미모양이 배전반

에 연결된 기기가 작동시 표시되는 램프이고, Ø10사이즈의 램프와 램프의 간격은 100mm로 어떤기기가 작동되는지 확인이 가능하게 제작하였다. 또한, 램프아래에는 DC모터의 경우 각각의 자동/수동설정이 가능하고 올림/정지/내림으로 구성하였고, AC모터의 경우, 전체의 자동/수동으로 제어하고, 수동동작시 켜짐/꺼짐으로 동작이 가능하다.

하단부에는 800*200mm사이즈로 전선연결부에는 여유공간을 두었으며, 하단부 전선 연결부 안쪽에는 모터선이 연결되는 연결부이며, 바깥쪽에는 제어노드로 가는 신호선을 연결하여 제작하였다.

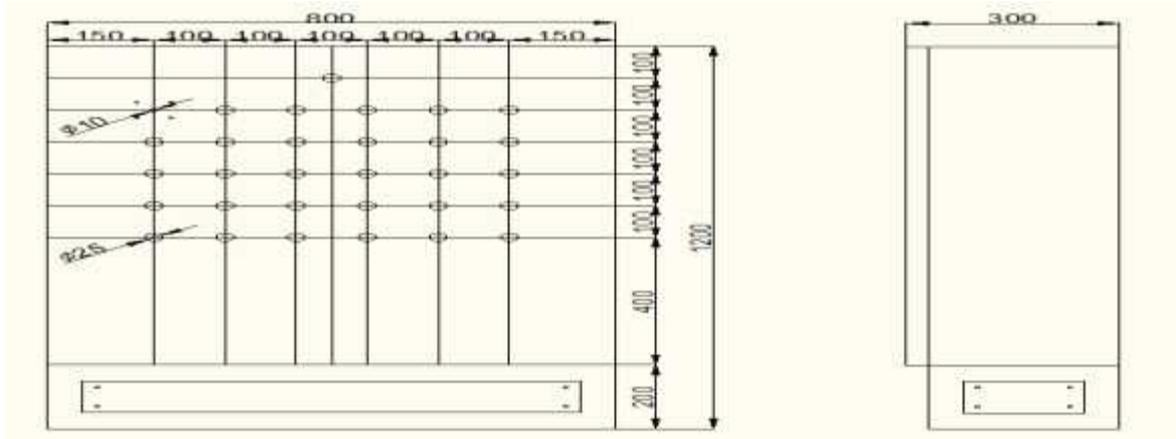


그림 3-5-31. 무선통신을 위해 제작된 배전반 외형 설계도

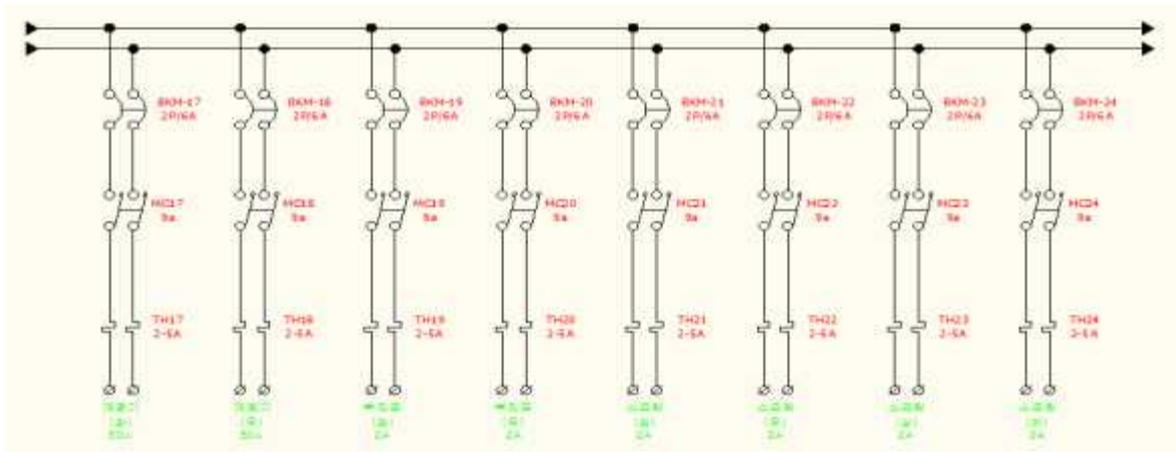


그림 3-5-32. 배전반 내부 각 통제를 할 수 있는 장비 동력결선도

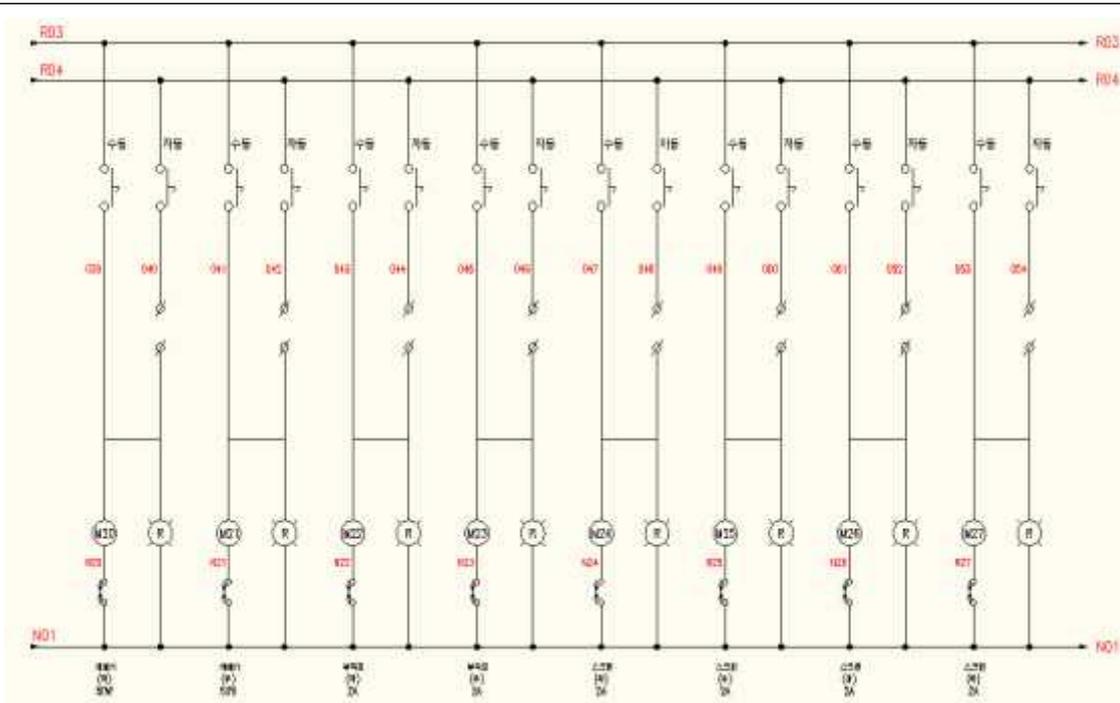


그림 3-5-33. 배전반 내부 각 장비 회로결선도

- 배전반 제작 및 설치



그림 3-5-34. 통합배전반 외형



그림 3-5-35. 통합배전반 내부



그림 3-5-36. 스위치 및 램프제어를 위한 제어판넬



그림 3-5-37. 제어반 내부의 기기별 차단기



그림 3-5-38. AC모터 마그네틱 구성



그림 3-5-39. DC모터 마그네틱 구성



그림 3-5-40. 50A 통합 메인차단기



그림 3-5-41. DC모터 변환인버터

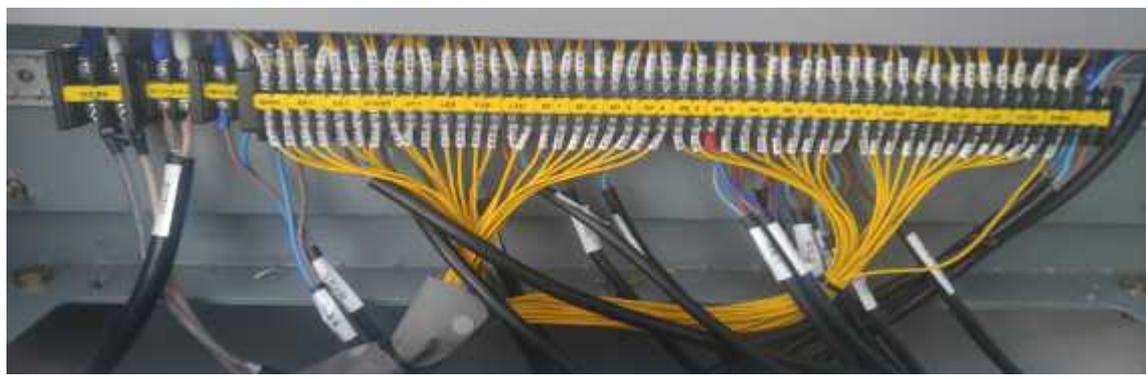


그림 3-5-42. 전선 접합부

- 기기별 안정성 확보를 위한 개별 차단기 설치(30 A/6 A)
- AC모터의 경우, 수동제어의 켜짐/꺼짐 역할을 하기 때문에 일반 마그네틱 구성
- DC모터의 경우, 수동제어의 올림/정지/내림 3가지 명령을 줘야하기 때문에 1개의 기기당 2개의 마그네틱구성
- DC모터는 변환 컨버터 설치
- 통합 메인 배선용 차단기는 50 A의 용량의 차단기로 구성
- 전선접합부에는 안쪽에는 메인전선접합부, 바깥쪽에는 제어노드로 연결되는 신호선 연결
- 용량이 큰 제품의 경우 전원부 옆쪽에 연결

외부에 화면을 설치하여 데이터를 받으면 화면을 보며 즉각적인 데이터 확인 및 통제가 가능하도록 ICT제어노드 제작하였다.



그림 3-5-43. 제어노드 외부

그림 3-5-44. 제어노드 내부 구성도



그림 3-5-45. 제어노드 내부기판

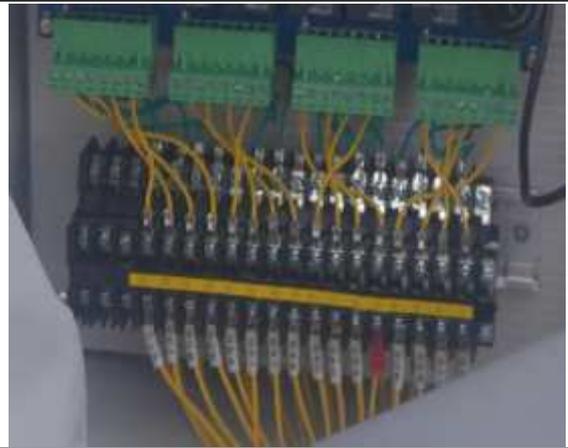


그림 3-5-46. 제어노드와 배전반기기연결배전도

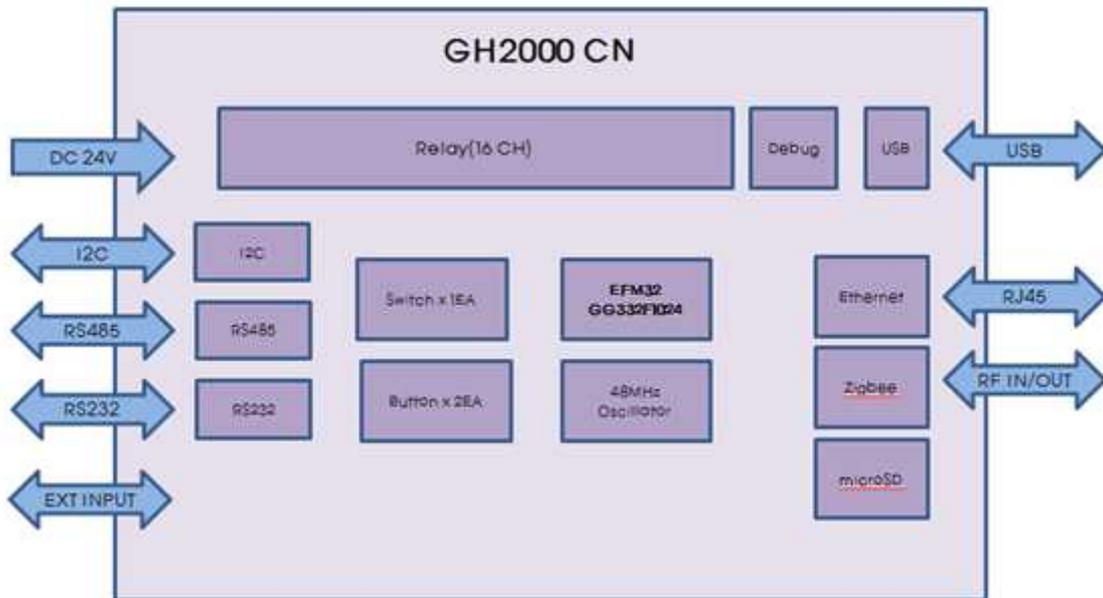


그림 3-5-47. 제어노드 하드웨어 블록 구성도

표 3-5-21. 제어노드 규격

항목	내용
입력전원	DC 24V
소비전력	0.7A 이하@ 3.3V (Max)
WLAN	802.11b
ZIGBEE	802.15.4
사이즈	(W) x (V) x (H) mm
무게	

다. 요소 및 통합시스템 산업화

(1) 기기별 자동제어 기능

○ 일중천창 및 이중천창

- 작동시간에 의해 천창제어가 가능하며, 6단계 부분제어가능, 주기별 최대 개폐범위를 0~100%까지 선택가능
- 설정방법 중 풍상창 열림 지연을 온도로 표시
- 풍속의 최소, 최대 범위에 따라 자동으로 열림 지연이 이루어져야하고 임의 변경이 가능
- 일중천창의 경우 좌측 천창모터와 우측천창모터가 각각 8개까지 개별모터 제어가 가능함.
- 좌우 천창이 별도로 개폐범위 조절이 가능
- 감우시 천창 개폐 유,무 선택 및 개폐 범위 선택이 가능
- 구역별 온도센서 선택, 온도센서들의 평균온도로 온실 온도제어가 가능
- 설정 온도와 온실 온도의 편차, 외부 기상의 풍속 및 온도에 따라 천창의 열림 속도와 닫힘 속도를 자동으로 제어하여 온실 온도 편차를 최소화함.
- 풍향에 의한 좌우 천창 개폐범위를 자동으로 조절 가능
- 외부 온도에 따라 풍상창, 풍하창, 최대, 최소 설정값 사이에서 자동으로 변경되어 실행
- 온실 내부 온도가 환기 설정 온도보다 일정하게 높으면 적분 적용 값이 있어 창 열림 폭을 조정 가능
- 환기 온도와 실내온도의 편차에 따라 창문 개폐의 대기 시간이 자동으로 조절
- 온도 사역폭이 있어 환기 설정온도를 기준으로 실내온도가 온도 사역폭 만큼의 범위 내에 있으면 천창 개폐가 작동을 멈추고 범위를 벗어나면 작동

○ 측창

- 측창은 6주기 제어가 가능하며, 온도센서에 의해 제어
- 감우시 개폐 유무 및 개폐 범위 선택이 가능

○ 보온커튼

- 커튼은 3개의 스크린을 개별제어, 6주기 제어가 가능하며, 보온과 차광의 전환기능이 가능
- 온습도에 의한 제어가 가능하고 개폐 범위 조절 기능
- 개폐기의 열림, 닫힘의 속도조절이 가능
- 일사와 외부온도에 따라 커튼이 열고 닫힘을 결정할수 있어야하고 온실내부의 온도, 습도에 따라 개폐 범위가 조절
- 차광커튼은 일사의 단계를 5단계로 나눌수 있음, 각 단계별로 커튼열림, 닫힘 위치를 임의 조절 가능

○ 측커튼

- 6주기 제어가 가능, 온도에 의한 제어
- 개폐 범위 및 닫힘, 열림의 속도조절 기능이 가능

- 난방
 - 난방은 6주기 제어기능이 가능
 - 3-Way 밸브를 온실온도, 외부온도에 따라 비례제어 할수 있고, 순환 펌프 제어할 수 있음.
- CO₂
 - 6주기 제어기능이 가능
 - CO₂ 투입시간과 비율은 임의 조절이 가능
 - CO₂가 설정값보다 낮을 때 CO₂를 투입하는 작동시간과 정지시간을 입력할수 있고, 절대 최저 투입량을 설정할수 있음.
 - CO₂ 농도를 일사량, 풍속, 천창 개폐범위, 습도에 따라 CO₂ 투입농도가 자동으로 변환
- 센서데이터 저장 및 출력
 - 센서데이터 출력에는 모든 센서값이 분단위로 기록, 엑셀파일로 전환이 가능
 - 각 센서 값에 따라 일중천창 좌, 우, 이중천창 좌, 우, 측창 좌, 우, 커튼 상하, 측커튼의 실제 열리는 값이 표시
 - 센서데이터는 내부 온도, 습도, 절대습도, 수분 부족분, 외부온도, CO₂, 일사량, 환기설정온도, 난방설정온도와 같다.
 - 추이도 출력에서는 설정값이 최소, 최대, 평균값이 임의기간 설정에 따라 표와 그래프로 환산이 가능
 - 그래프의 범위 조절을 임의로 할수 있음.

표 3-5-22. 환경제어장비의 센서별 제어내용

환경제어장비	센서종류	제어내용
천창(좌우) 개폐모터	내부온도/내부습도/실외온도 /일사/감우/풍향/풍속 센서	환기제어
이중창(좌우) 개폐 모터		
측창(좌우) 개폐 모터		
차광커튼(수평,수직) 개폐모터	내부온도/내부습도/실외온도 /일사 센서	차광커튼제어
보온커튼(수평,수직) 개폐모터		보온커튼 제어
CO ₂ 공급밸브	CO ₂ 센서/내부습도/내부센서	CO ₂ 공급량 제어
유동팬	내부온도 센서	공기유동제어
제습팬		
제습응축기	내부습도센서	실내습도제어
수중모터	타이머	양액제어
환풍기	내부센서	공기배출제어
난방순환펌프	내부온도/내부습도 센서	난방제어
난방 3-Way 밸브		

(2) PC 온실통합관제프로그램

○ PC기반 온실복합환경제어시스템 개발

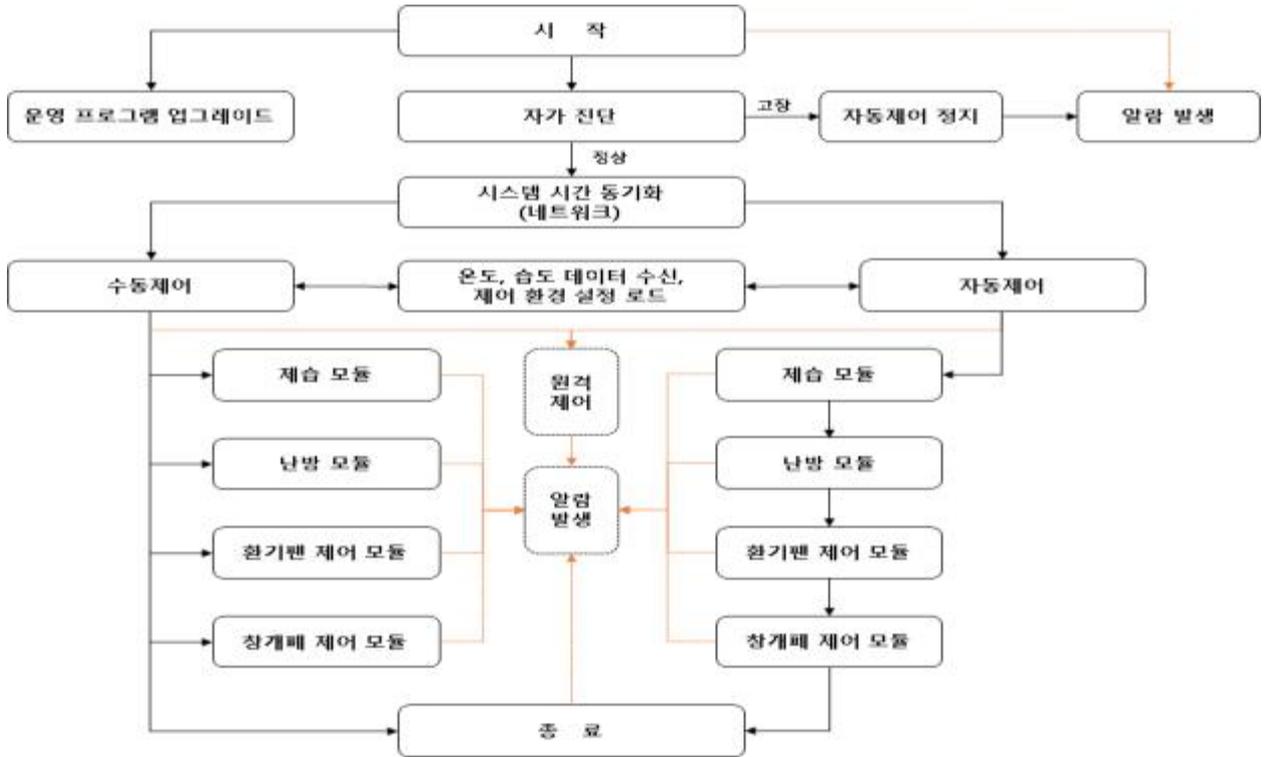


그림 3-5-48. 통합시스템 운영 프로세스

· 아래그림은 온실복합환경제어시스템의 메인화면임.



그림 3-5-49. 온실복합환경제어시스템 메인화면

○ 메인화면 내용

- 시스템 : 프로그램설정, 제어 및 기상설정, 여닫는시간 설정, 기기 교정, 구역 복사, I/O List
- 창설정 : 천창, 이중창, 측창좌, 환기
- 커튼 설정 : 차광막, 수평커튼, 수직커튼, 외커튼
- 보조기기 설정 : 제습기, CO₂, 유동W, 냉난방기, LED, 훈증기
- 보일러류 설정 : 순환(1), 순환(2), 3Way(1), 3Way(2)
- 팬 설정 : 유동팬, 환풍기
- 출력 : 추이도 출력, 센서 및 계도값
- 사용자 로그인 정보 설정 : 비밀번호 변경, PORT설정
- 온실구역별 정보 설정
- 알림설정 : ①발신번호 최대 3명까지 등록 가능
 ②최저온도 설정값 이하가 되면 저온 경보 문자 발송
 ③최고온도 설정값 이상이 되면 고온 경보 문자 발송
 ④1분간격으로 문자 발송
 ⑤경보문자확인후 SMS설정 해제
 ⑥시스템 확인후 SMS 설정 복귀

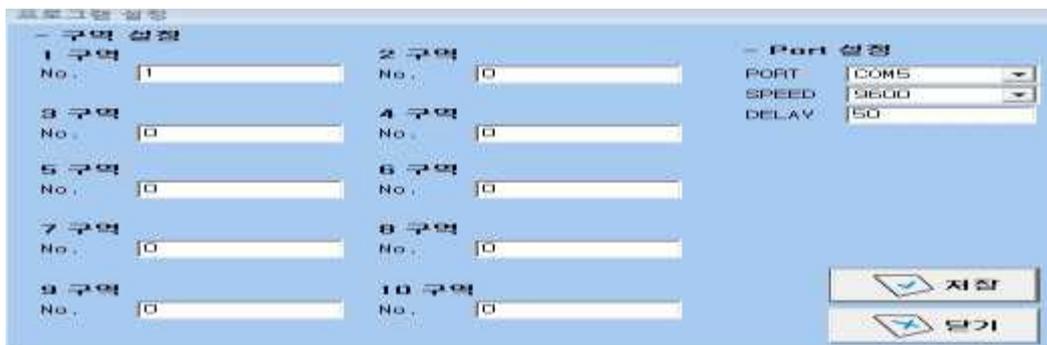


그림 3-5-50. 프로그램을 통한 각 구역 설정

○ 제어 및 기상설정



그림 3-5-51. 제어 및 기상설정

- PLC 설정 : ① 창 주간온도 설정(설정값+15℃ 시 고온경보)
- ② 창 야간온도 설정
- ③ 창 최대개폐범위 설정
- ④ 커튼 외기온도 설정
- ⑤ 커튼 열림 일사 설정
- ⑥ 커튼 닫힘 일사 설정
- ⑦ CO₂ 가동설정
- ⑧ 온풍기/순환펌프 설정(설정값 -5℃ 시 저온경보)
- ⑨ 유동팬/배기팬 온도설정
- 각종 경보 및 기상 감지, 해제, 지연 값을 설정 가능
- 컴퓨터와 통신이 되지 않을 때 구역별 PLC프로그램에 의해서 자동 동작
- 기상정보적용 : 풍향, 풍속, 온도, 습도, 일사, CO₂ 센서 계산값 적용을 임의 가능
- 천창 적분설정 : 실내온도가 적분 설정값 이상으로 환기 설정값보다 높으면 천창이 추가로 열림
- 천창제상 : 외기온도가 설정값 미만이면 천창이 열리지 않지만, 일사값이 설정값 이상이되면 외기온도와 상관없이 천창이 열림
- 풍향 사역폭 : 온실을 중심으로 좌우방향이 불분명한 지대로 숫자로 표시

○ 여닫는 시간 설정

그림 3-5-52. 여닫는 시간 설정

- 천창 열림 : 천창이 완전히 닫혀있는 시점에서 완전히 열리는 시점까지의 시간을 초단위로 입력
- 천창 닫힘 : 천창이 완전히 열려있는 시점에서 완전히 닫히는 시점까지의 시간을 초단위로 입력
- 천창 겹침 : 천창이 완전히 닫혀있는 시점에서 비닐 겹침이 끝나는 시점까지의 시간을 전체 열림 시간으로 %로 입력함.(열림시간이 100초이고 겹침이 10초이면 10%를 입력)

○ 내부 장비 및 데이터 값의 오류가 발생 시 기기교정



그림 3-5-52. 내부 장비 및 센서로 받는 데이터 값의 오류 발생 시 기기교정 화면

- 제어기 설치 시 각종 센서를 해당 사양 범위에 따라 입력하였으므로 임의 변경 불가
- 임의 변경시 센서 값 오작동 위험 있음.
- 센서 선택에서 제어에 사용할 센서를 선택할 수 있음.
- 온도/습도센서는 1구역에 2개까지 사용할 수 있으며, 1번센서, 2번센서 또는 1번 센서와 2번센서의 평균값 중 한 센서를 선택하여 사용할 수 있음.

○ 각 시간 또는 내부 온도에 따른 천창설정



그림 3-5-53. 주기, 사용하는 창 또는 작동조건에 따른 창설정 화면

- 환기설정에서 결정된 온도에 따라 열림과 닫힘이 결정됨
- 천창 설정은 총 6주기로 설정할수 있음.
- 작동조건 선택 중 고정은 고정된 시각에 해당 주기가 시작됨
- 작동조건 선택 중 일출은 일출전 시각과 일출 후의 시각을 동일 일출 시각을 기준으로 설정하여 일출의 변동에 따라 유동적으로 천창 개폐시간을 조정할수 있음.
- 풍상 창 최소(%) : 바람부는 방향의 창이 해당 주기 내에서 의무적으로 열리는 최소위치임.
- 풍상 창 최대(%) : 바람부는 방향의 창이 설정 환경 조건에 따라 최대로 열리는 위치
- 온도사역폭 : 환기설정 온도를 기준으로 실내온도가 설정된 온도사역폭 범위 이내 일 경우, 천창 작동은 멈춰있고, 온도사역폭 범위를 벗어나면 천창이 작동하게됨.
- 최소대기시간 : 온도차 설정값 이상의 온도가 되면 적용
- 최대대기시간 : 온도차 설정 값 이하의 온도가 되면 적용
- 대기시간은 온도차 설정 값에 반비례해서 대기시간이 자동 조절됨.
- 환기온도차 : 천창개폐의 기준이 되는 환기온도와 실내온도와의 온도차이를 의미함.
- 차이가 크면 대기시간이 최소가 되고, 작으면 대기시간이 최대쪽으로 적용됨.

○ 각 고건에 따른 이중천창 작동 설정

P	사용	작동조건	작동시각	상대시각	풍상최대	풍상최소	풍하최대	풍하최소	검침최대
1	사용	고정	05:00	+00:00	100	0	100	0	100
2	사용	일몰	17:30	+00:00	100	0	100	0	100
3	사용안함	일몰	17:20	-00:10	100	0	100	0	100
4	사용안함	일몰	17:30	+00:00	100	0	100	0	100
5	사용안함	고정	22:00	+00:00	100	0	100	0	0
6	사용안함	일몰	20:14	+02:44	100	0	100	0	70

그림 3-5-54. 이중천창 설정

- 천창 설정과 입력방식은 동일함
- 입력후에는 반드시 저장을 누르고 다음 주기로 이동해야함

- 제어는 환기 설정란에 있는 이중 천창 환기보정값에 의해 작동됨

○ 천창(좌,우) 설정

현제 1 주기

사용여부	사용	최대위치	100 %
작동조건	일출	환기온도	15.0 ℃
시간 설정	00 시 00 분	풍상참P(최소)	10.0 ℃
최소대기시간	01 분 20 초	풍상참P(최대)	20.0 ℃
최대대기시간	01 분 25 초	풍하참P(최소)	5.0 ℃
개폐 단계	10 %	풍하참P(최대)	10.0 ℃
사역폭	1 ℃	외부온도(최저)	1.00 ℃
적분적용	10 %	외부온도(최고)	20.00 ℃
온도차	1 ℃	감우시위치(풍상)	0 %
		감우시위치(풍하)	0 %
		폭풍시위치(풍상)	0 %
		폭풍시위치(풍하)	0 %

P	사용	작동	작동시각	상대시각	환기온도(℃)	최대위치
1	사용	일출	07:46	+00:00	15.0	100
2	사용	일몰	19:30	+02:00	23.0	100
3	사용안함	고정	06:02	+00:00	39.0	100
4	사용안함	고정	16:02	+00:00	39.0	100
5	사용안함	고정	17:02	+00:00	39.0	100
6	사용안함	고정	23:02	+00:00	39.0	100

그림 3-5-55. 천창(좌,우) 설정

○ 내부의 일사, 습도에 따른 환기 시스템

현제 1 주기

사용여부	사용	환기온도	20.0 ℃
작동조건	일출		
시간 설정	00 시 00 분		

P	사용	작동	작동시각	상대시각	환기온도
1	사용	일출	07:46	+00:00	20.0
2	사용	일출	11:46	+04:00	19.0
3	사용	일몰	16:30	-01:00	20.0
4	사용	일몰	19:30	+02:00	15.0
5	사용안함	고정	10:30	+00:00	22.0
6	사용안함	고정	10:32	+00:00	23.0

일사조절	0.0 ℃	누적일사조절	0.0 ℃
일사범위(최소)	300 W/m ²	누적일사(최소)	500 J/cm ²
일사범위(최대)	500 W/m ²	누적일사(최대)	1000 J/cm ²
습도범위1	10 %	습도조절 1 (이하)	0.0 ℃
습도범위2	15 %	습도조절 2	0.0 ℃
습도범위3	20 %	습도조절 3	0.0 ℃
습도범위4	90 %	습도조절 4 (이상)	0.0 ℃
상승시간	60 분/℃	하강시간	30 분/℃
이중천창환기보정	0.0 ℃		

그림 3-5-56. 내부의 일사, 습도에 따른 환기설정

- 환기 온도는 해당 주기의 환기 온도 목표값을 나타냄
- 환기온도 변화는 주기별 설정값에 따라 지속적으로 변경됨.
- 조절값은 일사조절, 누적 일사 조절, 습도조절이 있으며, 실시간으로 환기설정 온도 값을 변경시킴
- 습도조절은 온실 내부 습도량에 따라 환기 설정온도를 변화시킴
- 누적일사조절은 일사조절과 같은 의미임.
- 이중천창 환기보정은 이중천창 환기온도 설정 값을 나타냄
- 상승시간, 하강시간은 다음 주기로 환기 시간이 변경될 때 1℃를 상승, 하강시키는 데 걸리는 시간(분)을 나타냄.



그림 3-5-57. 내부 온도에 따른 환기장비 가동 후 시설 내부 온도

- 예측온도를 환기설정에 의해 확인할 수 있음.
- 미리보기를 누르면 환기 설정값과 난방 설정값이 동시에 나타남
- 위 그림의 그래프는 환기설정값이고, 아래(적색) 그래프는 난방설정 값임.
- 환기설정 그래프는 온도의 기본값만 나타나며 조절값은 나오지 않음.
- 난방설정 그래프를 변경하고 싶으면 난방설정 란에 입력해야함.

○ 일출, 일몰 시간 설정에 따른 커튼 가동

그림 3-5-58. 일출, 일몰 시간에 따른 커튼가동 상태 설정

- 외부온도, 일사, 실내온도, 실내습도에 따라 커튼의 열림이 변경 조절됨
- 커튼이 열리기 시작할 때는 열림단계 5%씩 열리기 시작하여 20%까지 열리다가 나머지 80%는 한번에 열림
- 처음 5%열리고 다음 5%가 열릴 때는 대기시간 범위 내에서 외부온도에 따라 대기시간이 자동 조절 됨.
- 커튼열림조건 : ① 외부온도가 외부온도 설정 값보다 높을 때(일사 값 상관없음)
② 현재 일사가 열림 일사 설정 값보다 높을 때(외부 온도 상관없음)
③ 외부온도와 현재 일사 모두 설정 값보다 높을 때
- 커튼 닫힘 조건 : ① 외부온도가 온도 사역폭 값보다 낮고, 현재 일사가 일사 사역폭 값보다 낮을 때
② 외부온도와 상관없이 현재 일사가 닫힘 일사 설정 값보다 높을 때
③ 커튼 최대 위차가 "0" 일 때
- 각 조절 값(온도,습도)들 중 우선 순위는 개폐 폭이 가장 큰 값이 우선이고, 최종적으로 최대 커튼 위치 범위 내에서 자동 조절 됨.
- 차광막, 수평커튼, 외커튼 등도 설정법은 같음.

○ 시설 내부 센서를 통하여 CO₂를 측정 후 부족분 살포 설정

- 각 주기마다 시작시간과 종료시간 설정이 있음.
- 사역폭 30 ppm 기본설정 값보다 30 ppm이 낮은 450 ppm이 되면 CO₂밸브가 열림
- 작동시간 : CO₂농도가 설정값보다 낮을 작동됨.
- 정지시간 : CO₂농가 설정값보다 낮을 때 작동시간만큼 동작후 정지하는 시간
- 일사량, 풍속, 천창, 습도에 따라 CO₂ 값을 조절 할 수 있음.

The screenshot shows a software interface for CO₂ control. At the top, it displays '현재 1 주기' (Current Cycle 1) settings. Below this is a table with 11 columns: P, 사용여부 (Usage), 작동조건 (Operating Condition), 시작시간 (Start Time), 종료시간 (End Time), 시작상대 (Start Offset), 종료상대 (End Offset), 농도 (Concentration), 작동시간 (Operating Time), 정지시간 (Stop Time), 최대최저CO₂ (Max/Min CO₂), and 사역폭 (Range). The table contains 6 rows of data. At the bottom, there are several control parameters for '일사량' (Solar Radiation), '풍속' (Wind Speed), '천창' (Skylight), and '습도' (Humidity), each with a '최소' (Minimum) and '최대' (Maximum) setting.

P	사용여부	작동조건	시작시간	종료시간	시작상대	종료상대	농도	작동시간	정지시간	최대최저CO ₂	사역폭
1	사용	고정	01:02	23:50	+00:00	+00:00	500	1	1	300	100
2	사용안함	고정	06:00	10:03	+00:00	+00:00	350	1	2	300	20
3	사용안함	고정	11:04	17:06	+00:00	+00:00	300	3	3	200	10
4	사용안함	고정	17:07	17:09	+00:00	+00:00	400	20	20	20	10
5	사용안함	고정	17:10	17:12	+00:00	+00:00	500	50	10	50	50
6	사용안함	고정	17:14	17:16	+00:00	+00:00	600	150	150	0	15

그림 3-5-59. CO₂ 설정

○ 시간설정에 따른 유동팬, 제습기 가동 설정

제습기 설정

현재 1 주기

사용여부: 사용
작동조건: 고온
시간설정: 02 시 00 분
종료시각: 02 시 00 분
작동온도: 30.0 ℃ 온도제어방식: 가온
작동습도: 60% 습도제어방식: 사용시간
온도 사역폭: 10 습도제어방식: 사용시간
습도 사역폭: 0.0 습도제어방식: 사용시간

주기	사용	작동	시작시간	종료시간	시작상대시간	종료상대시간	작동온도	작동습도
1	사용	고정	12:02	12:01	+00:00	+00:00	10.0	60.0
2	사용안함	고정	00:00	00:00	+00:00	+00:00	0.0	0.0
3	사용안함	고정	00:00	00:00	+00:00	+00:00	0.0	0.0
4	사용안함	고정	00:00	00:00	+00:00	+00:00	0.0	0.0
5	사용안함	고정	00:00	00:00	+00:00	+00:00	0.0	0.0
6	사용안함	고정	00:00	00:00	+00:00	+00:00	0.0	0.0

그림 3-5-60. 제습기 설정

유동팬 설정

현재 1 주기

사용여부: 사용
작동조건: 고온
시간설정: 02 시 00 분
종료시각: 02 시 00 분
작동온도: 30.0 ℃ 온도제어방식: 가온
작동습도: 60% 습도제어방식: 사용시간
온도 사역폭: 10 습도제어방식: 사용시간
습도 사역폭: 0.0 습도제어방식: 사용시간

주기	사용	작동	시작시간	종료시간	시작상대시간	종료상대시간	작동온도	작동습도
1	사용	고정	00:00	23:59	+00:00	+00:00	30.0	0.0
2	사용안함	고정	00:00	00:00	+00:00	+00:00	0.0	0.0
3	사용안함	고정	00:00	00:00	+00:00	+00:00	0.0	0.0
4	사용안함	고정	00:00	00:00	+00:00	+00:00	0.0	0.0
5	사용안함	고정	00:00	00:00	+00:00	+00:00	0.0	0.0
6	사용안함	고정	00:00	00:00	+00:00	+00:00	0.0	0.0

그림 3-5-61. 유동팬 설정

- 온도제어방식 : 가온, 감온, 사용안함 중 선택 적용함.
 - ① 가온설정 : 작동온도 설정값보다 실내온도가 낮을 경우 기기 작동
 - ② 감온 : 작동온도 설정값보다 실내온도가 높을 경우 기기 작동
- 습도제어방식 : 제습, 가습, 사용안함 중 선택함.
 - ① 제습 : 작동 습도 설정값보다 실내습도가 높을 경우 기기 작동
 - ② 가습 : 작동습도 설정값보다 실내습도가 낮을 경우 기기 작동
- 온도 사역폭 : 작동온도 설정값에서 온도 사역폭 설정값 만큼 온도가 상승/하강할 경우 기기 작동 정지함.
- 습도 사역폭 : 작동습도 설정값에서 습도 사역폭 설정값 만큼 습도가 상승/하강할 경우 기기 작동 정지함.

○ 난방기 설정

난방기 설정

현재 1 주기

사용여부: 사용
작동조건: 일출
시각: 02 시 00 분
난방 최저: 1.0 ℃
난방 최고: 40.0 ℃
난방온도: 20.0 ℃

주기	사용	작동조건	작동시각	상대시각	난방 최저	난방 최고	난방온도
1	사용	일출	05:46	-02:00	1.0	40.0	20.0
2	사용	일출	09:46	+02:00	1.0	40.0	10.0
3	사용안함	일몰	16:30	-01:00	10.0	40.0	30.0
4	사용안함	일몰	21:30	+04:00	10.0	40.0	18.0
5	사용안함	일몰	17:30	+00:00	10.0	40.0	31.0
6	사용안함	고정	23:30	+00:00	10.0	40.0	26.0

일사량 조절: 0.0 ℃
일사량최소: 10 W/m²
일사량최대: 20 W/m²
누적일사조절: 0.0 ℃
누적일사최소: 80 J/m²
누적일사최대: 90 J/m²

습도 조절: 0.0 ℃
습도최소: 91.0 %
습도최대: 93.0 %
상승시간: 60 분/℃
하강시간: 30 분/℃

그림 3-5-62. 난방기 설정

- 난방온도 : 현재주기의 목표 난방온도를 설정
- 일사량, 누적일사량, 습도 값에 따라 난방온도가 조절될 수 있음.
- 난방 온도의 최저값과 최고값을 입력하여 실내 온도가 최저, 최고값 범위 내를 벗어나지 않도록 함.



그림 3-5-63. 난방기 가동 시 시간에 따른 예측온도

- 일출과 일몰 시간을 표시함.
- 난방 설정 그래프는 온도의 기본 값만 나타내며 조절값은 나타내지 않음
- 환기설정은 환기설정그래프에서 변경하여야함.

○ 3Way 밸브 설정

공동 설정			
최소열림대기시간	00	분	05 초
최대열림대기시간	00	분	06 초
최소닫힘대기시간	00	분	05 초
최대닫힘대기시간	00	분	06 초
외부온도(최저)	1.0	℃	
외부온도(최고)	20.0	℃	
온도사역폭	0.1	℃	
최소개폐폭	1	%	

그림 3-5-64. 외부온도 차이에 따른 3Way 밸브 가동 설정

- 일사영향 값과 습도영향 값에 의해 3WAY설정 최저온도를 변경 가능
- 3WAY(1)의 난방수 최저온도와 최고온도를 설정
- 3WAY(2)의 난방수 최저온도와 최고온도를 설정
- 개폐단계 : 3WAY밸브의 1회 열림, 닫힘 비율을 표시
- 최소 열림 대기시간 : 외부온도 최적 설정값이하가 되었을 때 적용
- 최소 닫힘 대기시간 : 외부온도 최고 설정값 이상이 되었을 때 적용

○ 센서 및 개도값 보기



그림 3-5-65. 센서 및 개도값 보기

- 최대 12개 항목까지 선택가능
- 하단 우측의 보기를 클릭하면 선택한 센서 및 개도 값을 볼수 있음
- 하단 좌측의 TO EXCEL을 클릭하면 엑셀프로그램으로 연계하여 볼수 있음.
- 1분 단위로 각종 개폐 값의 기록을 볼수 있어 보다 정밀한 제어를 할수 있음.

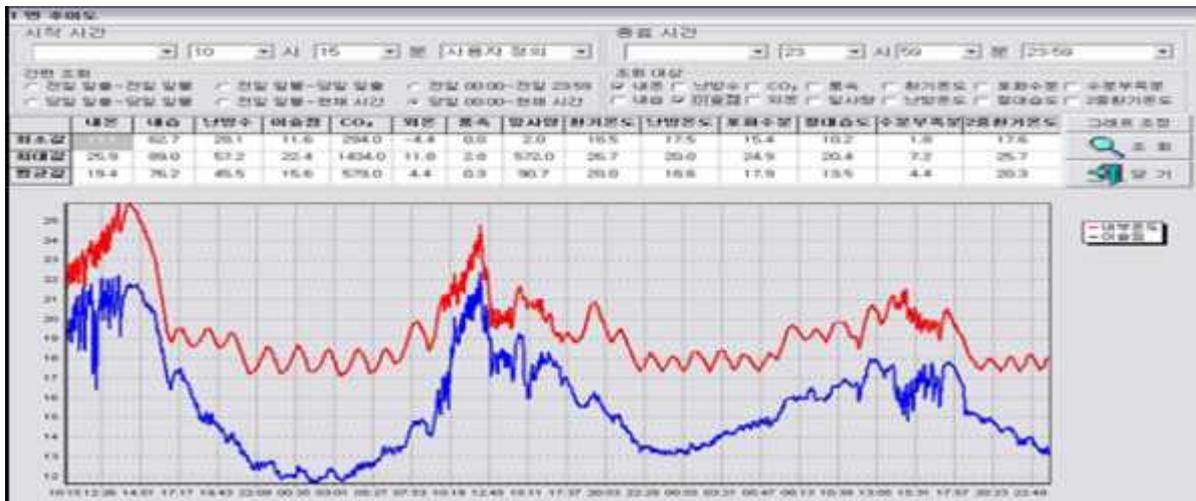


그림 3-5-66. 센서를 통해 시간별 받은 데이터

- 시작지관과 종료시간을 설정하여 값을 볼수 있음
- 간편 조회를 통해서 간단하게 기간을 선택할 수 있음
- 설정기간 내의 각종 센서값들을 수치를 최소값, 최대값, 평균값으로 자동 계산되어 표로 나타냄
- 원하는 제어대상을 선택하여 조회를 누르면 값을 볼 수 있음.
- 단기를 누르면 메인화면으로 바뀜

센서	현재값	최대값	최소값	평균값	설정값	비고	제어대	제어타	비고
12-90	20.0	24.2	17.2	20.4	100	0	0	0	거동
12-91	20.0	22.2	17.2	19.2	100	0	0	0	거동
12-92	20.0	24.2	17.2	20.4	100	0	0	0	거동
12-93	20.0	24.2	17.2	20.4	100	0	0	0	거동
12-94	20.0	25.2	17.4	21.2	100	0	0	0	거동
12-95	20.0	24.1	17.1	20.3	100	0	0	0	거동
12-96	20.0	23.9	16.9	19.8	100	0	0	0	거동
12-97	20.0	24.7	16.7	20.2	100	0	0	0	거동
12-98	20.0	25.4	17.3	21.3	100	0	0	0	거동
12-99	20.0	23.5	17.1	19.8	100	0	0	0	거동
12-100	20.0	24.4	16.9	20.3	100	0	0	0	거동
12-101	20.0	25.0	16.8	20.5	100	0	0	0	거동
12-102	20.0	24.5	17.2	20.7	100	0	0	0	거동
12-103	20.0	24.8	16.9	20.3	100	0	0	0	거동
12-104	20.0	25.0	17.1	20.5	100	0	0	0	거동
12-105	20.0	25.2	17.3	20.7	100	0	0	0	거동
12-106	20.0	24.3	16.8	19.9	100	0	0	0	거동
12-107	20.0	24.1	17.5	20.2	100	0	0	0	거동
12-108	20.0	24.4	16.8	20.0	100	0	0	0	거동
12-109	20.0	24.1	17.2	20.1	100	0	0	0	거동
12-110	20.0	25.1	16.7	20.2	100	0	0	0	거동
12-111	20.0	24.2	17.2	20.5	100	0	0	0	거동
12-112	20.0	25.3	16.9	20.4	100	0	0	0	거동
12-113	20.0	24.0	17.2	20.3	100	0	0	0	거동
12-114	20.0	24.0	17.2	20.3	100	0	0	0	거동
12-115	20.0	24.0	17.2	20.3	100	0	0	0	거동
12-116	20.0	24.0	17.2	20.3	100	0	0	0	거동
12-117	20.0	24.0	17.2	20.3	100	0	0	0	거동
12-118	20.0	24.0	17.2	20.3	100	0	0	0	거동
12-119	20.0	24.0	17.2	20.3	100	0	0	0	거동
12-120	20.0	24.0	17.2	20.3	100	0	0	0	거동
12-121	20.0	24.0	17.2	20.3	100	0	0	0	거동
12-122	20.0	24.0	17.2	20.3	100	0	0	0	거동
12-123	20.0	24.0	17.2	20.3	100	0	0	0	거동
12-124	20.0	24.0	17.2	20.3	100	0	0	0	거동
12-125	20.0	24.0	17.2	20.3	100	0	0	0	거동

그림 3-5-67. 시간에 따른 센서로부터 받은 개도값 보기

2. 작물생육 및 병해충 모니터링을 위한 영상 전송 모듈 개발

가. 기본 성능 평가

관리용 모니터와 원격카메라 어플리케이션을 통해 시설내부의 환경을 확인할 수 있도록 CCTV카메라 설치까지 완료하였다. 아래 그림은 CCTV와 원격 어플리케이션을 이용하여 시설 내부에 생육하는 식물을 찍은 사진을 나타낸 것이다.



그림 3-5-68. CCTV1



그림 3-5-69. CCTV2



그림 3-5-70. 작물위주 카메라설치



그림 3-5-71. 스마트폰어플확인

왼쪽그림은 DVR 장비를 통한 작물에 대하여 픽셀별로 부분적으로 분석이 가능한 사진을 나타낸 것이고 오른쪽사진은 웹을 통한 카메라를 통하여 실시간 찍은 데이터를 확인하고 저장이 가능한 모습이다.

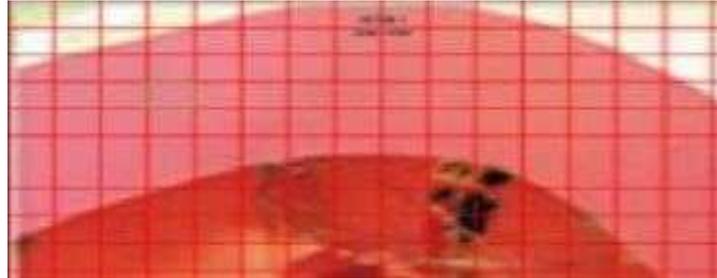


그림 3-5-72. DVR 장비를 통한 작물에 대한 픽셀별 부분분석



그림 3-5-73. 웹을 통한 카메라실시간 확인

실제 작물을 키우는 것을 확인하기 위해서 수많은 작물 중에 딸기를 선정하여 딸기베드를 설치함으로써 관리용 모니터 및 스마트폰을 통해 작물생육 관리를 시작하였다. 딸기작물 외에도 각 작물별 특성이 다르기 때문에 토마토와 고추의 생육 성장을 추가하여 생육 관리하며 시스템 조작을 확인 하였다.

		
9/24	10/2	10/10
그림 3-5-74. 딸기작물 생육초기 CCTV 촬영본(CH1)		



9/24



10/2



10/10

그림 3-5-75. 딸기작물 생육초기 CCTV 촬영본(CH2)



그림 3-5-76. 2015. 10.20 딸기작물 생육



그림 3-5-77. 디지털 영상분석 화면

나. 작물생육 및 병해충 모니터링을 위한영상 전송 모듈 개발

디지털영상분석은 컴퓨터를 이용해 디지털 영상을 분류하거나 판독할 수 있으며, 고성능 카메라를 통해서 추출된 디지털영상의 크기나 특정영역의 크기를 알아내는 과정과 디지털영상의 형태를 파악이 가능하다. 또한, 이 영상의 윤곽선을 찾고 색상 및 무늬를 구별하며, 질감까지 알아낼 수 있다.

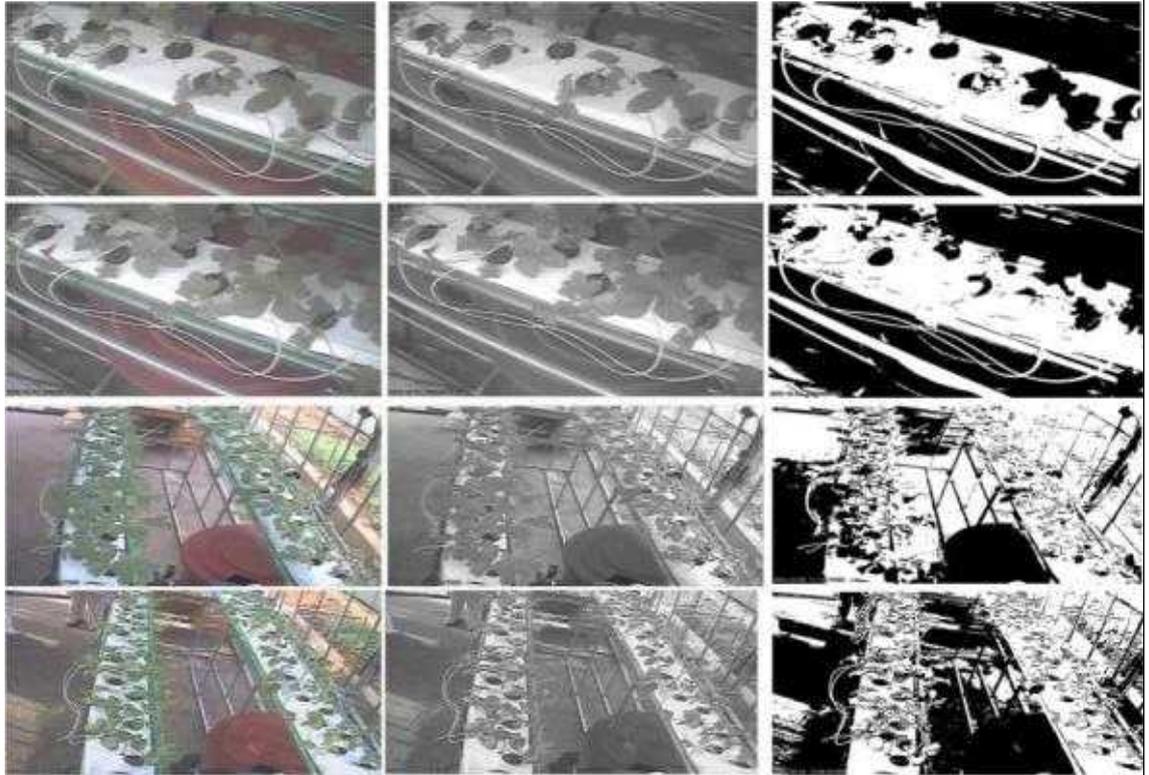


그림 3-5-78. 디지털영상

위 사진과 같이 시범온실에서 생육관리 중인 딸기작물의 작물관찰카메라를 통해서 DVR 형식으로 저장된 영상을 캡처한 자료이다. 가운데 있는 사진은 색을 단일화함에 따라 특정영역의 크기를 알아내기 위한 작업을 위해 회색조색으로 통일한 사진이고, 세 번째 사진은 크기 및 윤곽선을 보다 정확히 알아내기 위한 색상 반전을 통한 정확한 선을 찾을 수 있다.

이외에 적외선카메라를 통해 수분과 열의 분포율을 파악하여 보다 정확하게 작물을 관찰할 예정이며 이때 생육관리를 위해서는 온실내외부의 적정 환경조절이 필요하다.

다. 작물생육 및 병해충 모니터링을 위한 영상 전송 모듈 산업화

시험 온실 내부의 작물생육과 병해충의 현 상황을 확인하기 위해서 각 센서를 이용하여 데이터들을 수집하였고 측정값은 내외부의 온습도와 CO₂ 데이터를 수집하였다.

시	분	내온	내습	내풍속	내습률	CO ₂	외온	외습	외풍속	외습률	외온	외습	외풍속	외습률	내부일사
20	00	20.15	69.0	0.0	69.0	270.0	20.0	68.0	0.0	68.0	27.0	68.0	0.0	0.0	
20	01	20.15	69.0	0.0	69.0	270.0	20.0	68.0	0.0	68.0	27.0	68.0	0.0	0.0	
20	02	20.15	69.0	0.0	69.0	270.0	20.0	68.0	0.0	68.0	27.0	68.0	0.0	0.0	
20	03	20.15	69.0	0.0	69.0	270.0	20.0	68.0	0.0	68.0	27.0	68.0	0.0	0.0	
20	04	20.15	69.0	0.0	69.0	270.0	20.0	68.0	0.0	68.0	27.0	68.0	0.0	0.0	
20	05	20.15	69.0	0.0	69.0	270.0	20.0	68.0	0.0	68.0	27.0	68.0	0.0	0.0	
20	06	20.15	69.0	0.0	69.0	270.0	20.0	68.0	0.0	68.0	27.0	68.0	0.0	0.0	
20	07	20.15	69.0	0.0	69.0	270.0	20.0	68.0	0.0	68.0	27.0	68.0	0.0	0.0	
20	08	20.15	69.0	0.0	69.0	270.0	20.0	68.0	0.0	68.0	27.0	68.0	0.0	0.0	
20	09	20.15	69.0	0.0	69.0	270.0	20.0	68.0	0.0	68.0	27.0	68.0	0.0	0.0	
20	10	20.15	69.0	0.0	69.0	270.0	20.0	68.0	0.0	68.0	27.0	68.0	0.0	0.0	
20	11	20.15	69.0	0.0	69.0	270.0	20.0	68.0	0.0	68.0	27.0	68.0	0.0	0.0	
20	12	20.15	69.0	0.0	69.0	270.0	20.0	68.0	0.0	68.0	27.0	68.0	0.0	0.0	
20	13	20.15	69.0	0.0	69.0	270.0	20.0	68.0	0.0	68.0	27.0	68.0	0.0	0.0	
20	14	20.15	69.0	0.0	69.0	270.0	20.0	68.0	0.0	68.0	27.0	68.0	0.0	0.0	
20	15	20.15	69.0	0.0	69.0	270.0	20.0	68.0	0.0	68.0	27.0	68.0	0.0	0.0	
20	16	20.15	69.0	0.0	69.0	270.0	20.0	68.0	0.0	68.0	27.0	68.0	0.0	0.0	
20	17	20.15	69.0	0.0	69.0	270.0	20.0	68.0	0.0	68.0	27.0	68.0	0.0	0.0	
20	18	20.15	69.0	0.0	69.0	270.0	20.0	68.0	0.0	68.0	27.0	68.0	0.0	0.0	
20	19	20.15	69.0	0.0	69.0	270.0	20.0	68.0	0.0	68.0	27.0	68.0	0.0	0.0	
20	20	20.15	69.0	0.0	69.0	270.0	20.0	68.0	0.0	68.0	27.0	68.0	0.0	0.0	
20	21	20.15	69.0	0.0	69.0	270.0	20.0	68.0	0.0	68.0	27.0	68.0	0.0	0.0	
20	22	20.15	69.0	0.0	69.0	270.0	20.0	68.0	0.0	68.0	27.0	68.0	0.0	0.0	
20	23	20.15	69.0	0.0	69.0	270.0	20.0	68.0	0.0	68.0	27.0	68.0	0.0	0.0	
20	24	20.15	69.0	0.0	69.0	270.0	20.0	68.0	0.0	68.0	27.0	68.0	0.0	0.0	
20	25	20.15	69.0	0.0	69.0	270.0	20.0	68.0	0.0	68.0	27.0	68.0	0.0	0.0	
20	26	20.15	69.0	0.0	69.0	270.0	20.0	68.0	0.0	68.0	27.0	68.0	0.0	0.0	
20	27	20.15	69.0	0.0	69.0	270.0	20.0	68.0	0.0	68.0	27.0	68.0	0.0	0.0	
20	28	20.15	69.0	0.0	69.0	270.0	20.0	68.0	0.0	68.0	27.0	68.0	0.0	0.0	
20	29	20.15	69.0	0.0	69.0	270.0	20.0	68.0	0.0	68.0	27.0	68.0	0.0	0.0	
20	30	20.15	69.0	0.0	69.0	270.0	20.0	68.0	0.0	68.0	27.0	68.0	0.0	0.0	

그림 3-5-79. 시범 온실내 내외부의 온습도 및 CO₂ 데이터 수집자료

위와 같은 데이터 수집을 통해 습도에 민감한 토마토, 토마토 등은 야간시간대에 내부습도가 급격히 올라가면서, 시간이 지속될수록 병충해가 나타나는 것으로 나타났다. 아래 그림은 수집된 데이터 수치를 그래프 도식화하여 나타낸 것이다.



그림 3-5-80. 딸기 - 파종기 온실 데이터 수집 그래프

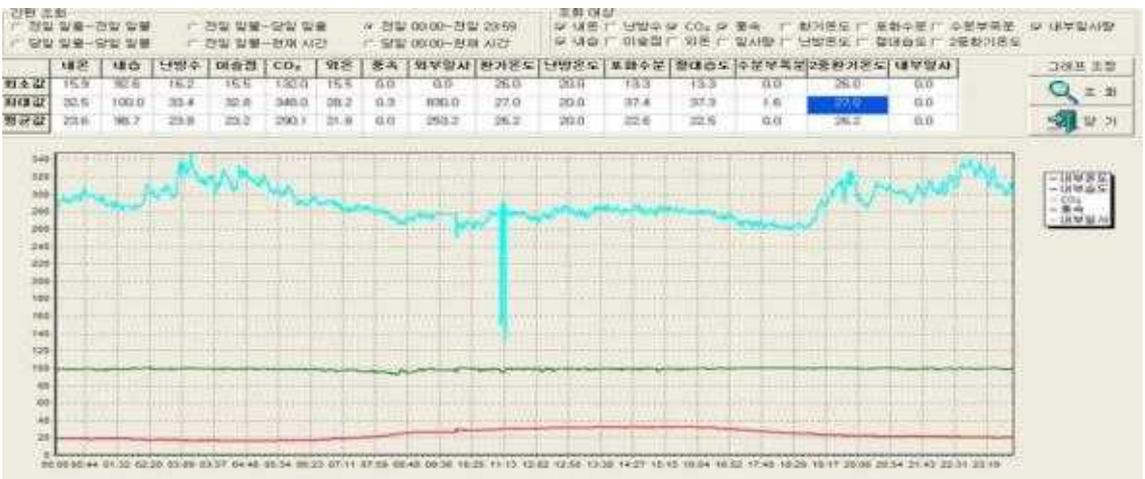


그림 3-5-81. 현재 온실 데이터 수집 그래프

3. 실용화, 산업화 추진

가. 온실복합 환경 제어시스템의 사업화추진

국내외 전시회 10회 참가를 하였고 매년 전시회를 참가하여 제작한 온실 복합환경 시스템을 전시하여 소비자들의 소비 성향과 선진 업체들의 연구 동향 데이터를 습득하였다.

번호	유형	행사명	전시품목	장소	활용년도
1	전시회 (국외)	도쿄 Big Sight East Hall 4 전시회	온실복합시스템 구성 설비 및 기기	도쿄	2014
					
2	전시회 (국외)	GPEC 2014 시설원예·식물공장	시설원예와 식물공장 관련 설비 및 기기	동경	2014
					
3	전시회 (국외)	HORTIFLOREXPO IPM SHANGHAI	온실복합시스템 구성 설비 및 기기	중국 상하이	2015
					

4	전시회 (국외)	IPM ESSEN - THE WORLD' S LEADING TRADE FAIR FOR HORTICULTURE	시설원예기자재 및 복합환경제어기	독일 에센	2015
					
5	전시회 (국외)	FARWESTSHOW2015	시설원예와 식물공장 관련 설비 및 기기	미국 포틀랜드	2015
					
6	전시회 (국내)	2015 상주농업기계박람회	원예시설기자재	경북상주	2015
					

7	전시회 (국내)	2015 김제농업기계박람회	원예시설기자재	전북김제	2015
					
8	전시회 (국외)	IPM ESSEN2016	원예시설기자재	독일 에센	2016
					
9	전시회 (국내)	일본 시설원예 및 식물공장전(GPEC)	원예시설기자재	일본 동경	2016
					
10	전시회 (국내)	2016 대한민국 국제농기계기자재 박람회	시설원예기자재 및 복합환경제어기	천안	2016
					

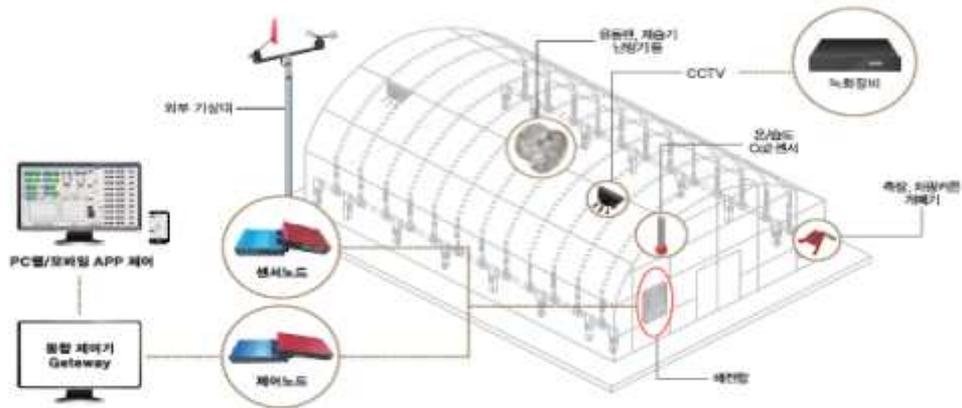
나. 소비자 편의성 확대

(1) 제품제어 매뉴얼 및 제품 카다로그 제작

제품 카다로그 제작을 통하여 소비자들이 기본 지식 없이도 장비를 조작할 수 있도록 하였다. 또한 매뉴얼을 제작하여 순차적으로 장비를 조작 할 수 있을 뿐만 아니라 필요한 장비만 조작을 할 수 있도록 하였다.



통합환경제어시스템은 클라우드 기반으로 개발되어 PC 및 스마트폰 등의 장비를 이용하여 웹서버에 접속 시설물을 원격제어, 상태조회, 경보알림, 데이터 조회 및 영상확인 등 편리한 서비스를 제공, 또한 시설물 내부의 제어시스템을 활용하여 현장제어 및 네트워크 오류시 비상 운영 시스템이 구축되어 시설물 운영 안정성을 제공합니다.



클라우드 기반 웹서비스 제공

클라우드 기반으로 서비스를 제공하므로 인터넷이 가능한 지역에서 프로그램 설치 없이 원격으로 온실내부의 환경, 또는 시설물에 대한 모니터링 및 제어가 가능하도록 24시간 연중무휴로 편리한 서비스를 제공

통합제어기 (게이트웨이)

현장에서 환경 모니터링 및 제어를 위한 시스템으로 윈도우기반으로 구동하는 운영프로그램이 설치되어 있어 현장에서 모니터링 및 제어가 가능하며, 네트워크 오류시 비상운영 프로그램이 설정되어 있어 안정적인 운영이 가능하도록 하는 시스템

제어노드

백린과 유선방식으로 연결되어 시설물을 제어하는 장치로 통합제어기와 유무선 통신으로 연결되어 있고, 기본 16개의 장치가 확장모듈을 사용하여 최대 24개까지 시설물을 제어 할 수 있음

센서노드

센서노드와 유선통신, 통합제어기와 유무선 통신을 통하여 시설물 내 계측값을 전송하는 장치이며, 채널 6채널, 디지털 20채널 이상 연결 할 수 있음

Item	Specification	Remarks
MCU	ARM Cortex M3 16bit Timer 3EA 2Channel UART, 2Channel USART 12bit ADC 3Channel Internal DMA	TBD
전원	24V DC	
Storage	1 Channel Micro SD	

Item	Specification	Remarks
MCU	ARM Cortex M3 16bit Timer 3EA 2Channel UART, 2Channel USART 12 bit ADC 3Channel Internal DMA	TBD
전원	12V DC	
센서	6 Channel 직류타입 : 전압 0 ~ 5V, 전류 4~20mA	TBD
Storage	1 Channel Micro SD	

제품특징

통합환경제어시스템은 농가내 현장에 직접 설치되어 운영되는 타사의 제품과 달리 클라우드 기반으로 운영함으로써 농가의 시스템 구축비용 절감과 다양한 서비스 제공이 가능하다. 또한 제어노드와 센서노드의 분리 설계로 온실 환경에 따른 센서노드 추가 구매만 이루어짐으로 비용을 절감 할 수 있다. (타사의 제품의 경우 센서노드와 제어노드 통합으로 제어노드까지 구매 하여야함)

그림 3-5-82. 제품제어 매뉴얼 및 제품 카다로그

(2) (주)신안그린테크 홈페이지 ICT복합환경제어시스템 제품 업로드

- KOTRA연계된 BuyKOREA 제품등록을 통한 수출을 위한 글로벌 B2B e-마켓플레이스 등록
 - 국내외 대리점 및 농기계관련 업체에 신제품 출시 공문 발송
 - 경북 경주, 경남 진주, 전남 나주, 전남 순천, 강원 춘천 총 5곳 제품설명회 실시
 - 국외 수출을 위한 중국 심양대학교의 교수 및 관련담당자 바이어 초청
 - 온실·공정육묘장 시설 현대화(스마트팜 기반시설 구축)
 - 관수관비: 양액재배시설, 양액재활용시설, 점적관수, 자동관수, 탄산가스발생기 등
 - 환경관리: 자동개폐기, 환풍기, 순환팬, 제습기, 차광·보광시설, 온습도조절기 등
 - 기 타: 무인방제기, 전동운반기, 레일카
 - ICT 융복합 확산 - 스마트팜 시설보급
 - 목적 : ICT 시설기반 구축 자동화온실 등에 시설물 자동·원격제어를 통한 온·습도 관리 등 최적 생육환경 조성에 필요한 복합환경제어시스템 구축 등 스마트팜 시설 지원
 - (환경관리) 온도·습도·CO₂·광량·풍속 등에 대한 정보수집 및 원격 모니터링
 - (생장관리) 측장·난방 등 환경제어와 양액 등 생육에 필요한 복합환경 생장관리
 - (정보분석) 축적된 생육정보 DB를 활용한 분석 및 컨설팅 지원
- 시설원에 분야 ICT 융복합 시설장비 및 정보시스템
 - 센서장비: 외부 온도·풍속·감우·조도 등과 시설 내부 온습도, CO₂ 등센서장비
 - 영상장비: 영상모니터링 장비 등
 - 제어장비: 환풍기, 천창, 측창, 차광커튼, 보온커튼, 광량, CO₂, 감우 등 제어장비
 - 정보시스템: 온실 내 센싱, 제어정보의 모니터링, 제어 및 분석 시스템

다. 국내외 주요 수요조사 및 사업화 성과

(1) 국내외 주요 수요조사

수요처	국명	예상 판매량	예상 판매금 (백만원)	관련제품
(주)동우	대한민국	20	40	온실복합환경제어
(주)창신농공	대한민국	15	30	온실복합환경제어
신안에이텍(주)	대한민국	24	48	온실복합환경제어
INTERMUDIEN-LEMON	독일	40	80	온실복합환경제어

(2) 사업화성과 및 매출실적

- 사업화 계획 및 매출 실적

항 목	세부 항목	성 과			
사업화 계획	사업화 소요기간(년)	2017년 사업화 시작			
	소요예산(백만원)	100			
	예상 매출규모 (억원)	현재까지	3년후	5년후	
		-	10	30	
	시장 점유율	단위(%)	현재까지	3년후	5년후
		국내	-	30	50
국외		-	5	20	
	향후 관련기술, 제품을 응용한 타 모델, 제품 개발계획				
무역 수지 개선 효과	(단위: 억원)	현재	3년후	5년후	
	수입대체(내수)				
	수 출				

(3) 개발제품 사업화 형태

- 개발제품 판매계획

- 개발제품에 대한 사업화 시작일은 2017. 07월 사업화 시행 예정
- 기존의 온실통합환경제어시스템은 전체의 통합제품으로 판매되어지고 있으나, 개발제품에 대한 판매는 각각의 소비자의 환경에 맞는 통합제품 또는 개별제품으로 각각 판매를 시행하여 소비자의 부담을 줄일수 있을 것으로 기대
- 판매단가의 경우, 국내외 타업체의 제품들에 비해 약 50%정도의 가격이 낮게 책정이 되어 실제농가입장에서는 보급형으로 구매가 가능할 것으로 기대

< 개발제품 판매단가 및 판매예상대수 >

판매형태	제품명	단품 가격	당해연도 판매 예상대수	향후5년 이내 판매예상대수
통합제품	온실통합환경제어시스템 통합 제품	6,000,000원	30대	400대
단 일 제 품	온실환경기기 통합배전반	2,500,000원		
	ICT제어노드	1,000,000원		
	PLC통신기기	500,000원		
	ICT센서노드	700,000원		
	전문가 생리장해진단 시스템	300,000원		
	온도,습도 센서	100,000원		
	CO2 센서	100,000원		
	외부기상대 (감우,풍향,풍속,온도)	800,000원		

- 통합제품으로 구매할 경우, 6,000,000으로 구매하여 5개의 제품 및 센서류를 동시에 설치 가능
- 개별제품의 경우에는 각각의 단가가 책정이 되어 기존의 보유하고 있는 장비에 연동시켜서 활용이 가능
- 별도 구매제품의 경우에는 센서류 종류인 EC센서, PH센서, 배지내 온도센서 등은 온실내 필요에 따라 별도구매를 통하여 적용
- 기본적인 설치비용의 경우에는 1일 2인 설치비용으로 1인당가 150,000씩 2명으로 300,000과 전선 및 기타자재비용으로 200,000으로 소요되어 약 500,000원 정도가 소요될 것이라 예상됨.
- 제품 설치후 유지관리비용 같은 경우에는 온실환경에 인터넷 LAN망만 구성되어 있으면 작동이 되며, 통신사 기준, 매달 평균 20,000원이 소요될 예정
- 설치후 사후 AFTER 서비스의 경우, 구매일로부터 1년간은 무상서비스가 진행되어지고, 공급업체인 (주)신안그린테크의 전국적으로 30여개의 대리점이 있기 때문에 현장방문을 통한 수리가 이루어질 전망이다.

(4) 사업화 전략

- 신뢰성 및 성능확인

- 제4협동기관(주)신안그린테크)에서 시설베드를 구축하여 시스템 안정화중에 있으며 지속적인 현장적용 및 성능평가를 실시중
- 다양한 맞춤형 보급을 위해 농가요구에 맞는 간편형, 보급형으로 사업화 실시중
- 국내·외 경쟁사 제품에 대하여 품질 및 가격 우위를 유지하도록 사업화 실시중

- 광고 및 홍보

- 2016년 개발완료와 개발제품 관련 특허 신청 완료
- 각 축산 및 농기계 관련 신문, 잡지로 광고 게재, 방송 매체 홍보
- 제품 홍보 광고, 마케팅 시장성 분석
- 온실환경제어시스템 시장 진입 활성화
- 기존 대리점 판매 및 신규 대리점 모집과 양산·증산 및 출시
가) 개발제품은 2016년부터 순차적으로 상품화를 위한 준비를 거쳐 시험 후 개발 제품을 양산하여 판매할 계획이며 유리온실, 비닐하우스 등 현재 농가에 필요한 제품으로 국내보급 및 수출을 위한 자동화 생산설비를 구축하여 대량으로 생산 저렴한 가격으로 경쟁력을 키워 대량 보급할 계획임.

- 판매계획

- 용자판매
가) 한국농기계공업협동조합 제품등록 용자대상품목 설정 및 시범사업실시

- 농기계 선두 기업 전략적 판매제휴 통한 판매 구축
 - 가) 축산 및 농기계 관련업체 통한 위탁판매
 - 나) 농진청, 원예연구소 및 도, 시, 군 보조사업 선정
- 국내·외 농기계 박람회 전시 참가 수출 모색 영업망 구축 전시회 참가
- 직판영업
 - 가) 법인 영농 조합 및 개인농가 방문 영업
 - 나) 관공서 영업 : 농림부, 농촌진흥청, 농업기술원, 농업기술센터, 각 도, 시, 군
담당계 영업망 구축(각 지역 정부 정책 보조사업 참여 및 영업)
 - 다) 전국 지역 별 시범 설치 홍보 및 보조사업 판매
 - 라) 일본 정부 보조사업 추진 및 전국 대리점 망 개설하여 영업망 구축

- 국내외 시장

- 시설원예 현지방문을 통한 소비자 상담 판매와 대리점 망 구축
- 농림부 정책의 친환경 설정제품으로 선정 판매
- 인터넷 망을 이용한 개발제품 홍보 및 판매
- 전문 국내 전시회 및 박람회 참가로 홍보 및 고객 확보
- 기존 에이전트 및 대리점 홍보 판매
- 기존 일본, 네덜란드 대리점 및 각국 에이전트를 통한 수출
- 국제 원예 및 농기자재 전시회 년3회 이상 참가로 전시출품 판매

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

				코드번호	D-06
제 1 절 목표달성도					
구분 (연도)	세부과제명	세부연구목표	달성도 (%)	연구개발 수행내용	
1차 년도 (2014)	[제1세부] 온실 복합환경제어 시스템 통합 시작품 설계 및 성능시험	- 유선 및 근거리 무선 통신을 이 용한 센서 및 제어 요소 인터페 이스 모듈 설계	100	- 입력/출력 신호 형태: 아날로그, 디지 털, RS-232, MODBUS 인터페이스 모듈설계 - 입력/출력 신호 크기별(예, mV, 5V, 12V), 인자 수별(단일, 복합) 모듈설 계	
		- 센서신호처리, 제어알고리즘 개 발 기본 성능시험	100	- 센서 신호처리: 증폭, 노이즈 필터링, A/D변환, 연산 기능 등 - 제어알고리즘: ON/OFF, PID, 인공지 능(퍼지 등) 알고리즘 구현	
	[제1협동] 인터넷과 스마트폰 을 이용한 온실환경 원격제어기술 개발	- 인터넷 기반 온실환경 원격제어 기술 개발	100	- IEEE 802.15.4 (Zigbee), IEEE 802.15.1 (Bluetooth), IEEE 802.11(Wifi), PLC(전력선통신) 연 동 기능 - 재배 작물별(딸기, 토마토)/배지별 계 측 및 제어 통신 시스템 연동 시작품 제작	
		- 스마트폰 기반 (CDMA, Application) 온실환경 원격제어기술 개발	100	- 스마트폰 운영체제 (Windows8, Android, MacOS) - 64비트 고성능 플랫폼 기반 시작품 제작	
	[제2협동] 온실 근권부 환경 복합제어기술 개발	- 원예작물의 근권부 환경 제어를 위 한 센서 선정 및 측정 기준 구명	100	- 원예상태별 물리/화학적 구멍과 원예 상태에서 이용할 수 있는 근권부 환 경 측정 기준 제시	
		- 토양수분-EC 센서를 이용한 실 시간 근권 환경 측정 기준 구명	100	- 원예상태에 이용할 수 있는 토양수분 -EC센서 calibration 방법 제시 및 활용 방안 제시	
	[제3협동] 온실 지상부 환경 복합제어기술 개발	- 지상부 환경에 따른 작물(딸기, 국화) 생육, 수량 및 품질 조사	100	- 생육 조사	
		- 지상부 환경에 따른 딸기, 국화 생육 모델링	100	- 모델 생육 항목 설정 - 생육 모델식 구축	
		- 생리장해와 병해충 진단 전문가 시스템 개발	100	- 전문가시스템(프로그램) 개발	
	[제4협동] 온실 복합환경제어 시스템 제작 및 실 용화 기술 개발	- 요소 및 통합시스템 1차 시작품 개발	100	- PLC기반의 원격 환경제어, 유무선 복합 원격 감시 환경제어장치 1차 시작품 개발: 제어부 설계 및 제작, 각 부 센서 제작, 난방시스템 구축, 공기순환 시스템 구축, 제습/가습 시 스템 구축, 감시시스템 구축 등	
		- 기본 성능 평가	100	- 원격지에서 스마트폰과 웹 브라우저를 통한 관제, 비상시 대처 기능 제공 - 성능평가: 센서/제어 정밀도, 원격 전 송률, 비상 시 대처 성공률 등	

구분 (연도)	세부과제명	세부연구목표	달성도 (%)	연구개발 수행내용	
2차 년도 (2015)	[제1세부] 온실 복합환경제어 시스템 통합 시작품 설계 및 성능시험	- 유선 및 근거리 무선 통신을 이 용한 센서 및 제어 요소인터페이 스 모듈 현장적용	100	- 신호 protocol, 전송 주기 등 설정 기능 - 자동/수동, 현장/원격, 비상시 대처 기능	
		- 센서신호처리, 제어알고리즘 개발 현장적용	100	- 유선 통신, 무선 통신, 센서 네트워 크 시나리오별 설계 - 성능시험: 센서 및 제어 요소별 정밀 도, 정확도, 응답특성 등 - 시범온실 및 2개 이상 농가 적용	
	[제1협동] 인터넷과 스마트폰 을 이용한 온실환경 원격제어기술 개발	- 인터넷 기반 온실환경 원격제어 기술 현장 적용	100	- Web 2.0 기반 (TCP/IP, Wi-Fi) 온실 환경 원격 제어 시스템 현장 성능 검증	
			100	- 인터넷기반 온실환경 원격제어 시스 템 무결성 검증 및 보안	
		- 스마트폰 기반 (CDMA, Application) 온실환경 원격제어기술 현장 적용	100	- 스마트폰 원격제어 프로그램 현장 성 능 검증	
			100	- 스마트폰 기반 온실환경 원격제어 시 스템 무결성 검증 및 보안	
	[제2협동] 온실 근권부 환경 복합제어기술 개발	- 배지 종류별 근권부 최적 환경 구명	100	- 국내 시판용 원예상토의 알맞은 토양 수분센서 이용을 위한 측정 기준 제 시 및 최적 VWC/EC Setpoint 제시	
		- 근권부 제어 기술 현장 적용	100	- 토양수분-EC센서를 이용하여 국화/ 딸기 작물 재배시 근권부 환경 측정 및 제어 및 현장 적용	
	[제3협동] 온실 지상부 환경 복합제어기술 개발	- 지상부 환경에 따른 작물(딸기와 국화) 생육 모델링	100	- 생육 모델식 검증 - 시뮬레이터 프로그램	
		- 지상부 최적 환경제어 기술확립 및 현장 적용	100	- 현장 적용 및 활용	
		- 생리장해와 병해충 진단 전문가 시스템 프로그램 개발 및 앱 개 발	100	- App 개발을 통한 현장 적용 및 활용	
	[제4협동] 온실 복합환경제어 시스템 제작 및 실 용화 기술 개발			100	- 시범 온실 운영: 기술검증 및 홍보/ 보완
		- 요소 및 통합시스템 현장적용		100	- 현장 실험을 통하여 각종 센서에 의 해 수집된 온실 재배환경을 컴퓨터 로 분석/연산 후 제어 성능 검증
				100	- 시설 재배 콘텍스트 모델 설계, 생성 기술 개발
		- 작물생육 및 병해충 모니터링을 위한 영상 전송 모듈 개발		100	- 작물의 생장주기, 병해충 모니터링 용 영상 취득, 원격 전송 기능 구현
				100	- 현장 실험 시 설문조사: 개선 보완점 도출
- 실용화, 산업화 추진			100	- 경제성, 편의성, 기능을 기존 제품과 비교	

구분 (연도)	세부과제명	세부연구목표	달성도 (%)	연구개발 수행내용
3차 년도 (2016)	[제1세부] 온실 복합환경제어 시스템 통합 시작품 설계 및 성능시험	- 유선 및 근거리 무선 통신을 이 용한 센서 및 제어 요소인터페이 스 모듈 시스템 고도화	100	- 현장 적용 시 문제점 보완 - 산업화 표준 사양 검토, 제작 사양 결정
		- 센서 신호처리, 제어알고리즘을 적용한 모듈의 시작품 고도화	100	- 개선된 센서 모듈 고도화 설계: 근권 부, 지상부 센서 - 개선된 제어 모듈 고도화 설계: 근권 부, 지상부 센서 - 개선된 센서 신호 처리 및 제어 알고 리즘 탑재 - 사용자 매뉴얼 제작
	[제1협동] 인터넷과 스마트폰 을 이용한 온실환경 원격제어기술 개발	- 인터넷 기반 온실환경 원격제어 서비스 구축 및 고도화	100	- 사용자 매뉴얼 제작
			100	- 현장 적용 검증 후 보완, 산업화 추진
		- 스마트폰 기반 (CDMA, Application) 온실환경 원격제어기술 완성 및 고도화	100	- 사용자 매뉴얼 제작 및 APP 포털 사 이트 등록
			100	- 현장 적용 검증 후 보완, 산업화 추진
	[제2협동] 온실 근권부 환경 복합제어기술 개발	- 근권부 환경 제어 기술 고도화	100	- 현장 적용 시 문제점을 보완한 근권 부 환경 제어 기술 고도화(자동제어 시스템을 이용한 재배 및 식물 생육 및 상토 물리/화학성 조사) - 국화, 딸기에 대한 근권부 수분, EC 제어 기술 매뉴얼 작성
		- 기존 제어 기술과의 비교, 경제성 분석	100	- 기존 수분/양분 제어 기술과 비교: 근권부 화학성 변화, 식무르이 무기 물 함량, 작물 생육 등 - 경제성 분석: 물, 양분 이용량 등
	[제3협동] 온실 지상부 환경 복합제어기술 개발	- 지상부 환경 제어 기술 고도화	100	- 작물 생육 모델 tuning 및 고도화 - 지상부 환경 제어 기술 고도화
			100	- 국화, 딸기에 대한 지상부 환경 제어 기술 매뉴얼 작성
		- 전문가 시스템 고도화	100	- 전문가 시스템 고도화 및 웹기반 프 로그램 개발
	[제4협동] 온실 복합환경제어 시스템 제작 및 실 용화 기술 개발		100	- 타 협동과제 고도화 기술이 탑재된 요소 및 통합 시스템 제작
			100	- 국화/딸기 외 범용성 추구
		- 요소 및 통합시스템 산업화	100	- 전시회참가 개발제품 홍보
			100	- 농가 설명회 개최
			100	- 정부 지원사업 추진
- 작물생육 및 병해충 모니터링을 위한 영상 전송 모듈 산업화		100	- 잡지 신문 등 매스컴을 통한 제품 홍보	
	100	- 사용자 매뉴얼 100%한글화 실시 - 복합환경제어 사용법에 대한 동영상 제작		

제 2 절 관련분야에의 기여도

- 유선 및 근거리 무선 통신을 이용한 센서인터페이스 모듈 설계 및 성능시험
 - 입력 신호 형태: 아날로그, 디지털, RS-232, MODBUS 인터페이스 모듈설계
 - 입력 신호 크기별(예, mV, 5V, 12V), 인자 수별(단일, 복합) 모듈설계
 - 신호 protocol, 전송 주기 등 설정 기능
 - 자동/수동, 현장/원격, 비상시 대처 기능
 - 유선 통신, 무선 통신, 센서 네트워크 시나리오별 설계
- 유선 및 근거리 무선 통신을 이용한 제어 인터페이스 모듈 설계 및 성능시험
 - 출력 신호 형태: 아날로그, 디지털, RS-232, MODBUS 인터페이스 모듈설계
 - 출력 신호 크기별(예, mV, 5V, 12V), 인자 수별(단일, 복합) 모듈설계
 - 신호 protocol, 전송 주기 등 설정 기능
 - 자동/수동, 현장/원격, 비상시 대처 기능
 - 유선 통신, 무선 통신, 제어 네트워크 시나리오별 설계
- 센서신호처리, 제어알고리즘 개발 및 기본 성능시험
 - 센서신호처리: 증폭, 노이즈 필터링, A/D변환, 연산 기능 등
 - 제어알고리즘: ON/OFF, PID, 인공지능(퍼지 등) 알고리즘 구현
 - 성능시험: 센서 및 제어 요소별 정밀도, 정확도, 응답특성 등
- 인터넷 기반 온실환경 원격제어기술 개발 및 성능 시험
 - 온실 복합환경 계측 및 제어 요소 간 ICT 기반 연계 시스템 개발 ;
[대상 통신 기술 : IEEE 802.15.4 (Zigbee), IEEE 802.15.1 (Bluetooth), IEEE 802.11(Wifi), PLC(전력선 통신)]
 - 재배 작물별(딸기, 토마토) 계측 및 제어 통신 시스템 연동
 - 재배 배지종류별 계측 및 제어 통신 시스템 연동
 - 온실 복합환경 원격제어를 위한 ICT 융합 미들웨어 서비스개발
 - Web 2.0 기반 (TCP/IP, WIFI) 온실 환경 원격 제어 시스템 개발
 - 인터넷기반 온실환경 원격제어 시스템 무결성 검증 및 보안
- 스마트폰 기반 (CDMA, Application) 온실환경 원격제어기술 개발 및 성능시험
 - 보급형 스마트폰 기반 온실환경 원격제어 App개발 : 스마트폰 운영체제 (Windows8, Android, MacOS)
 - 시스템 성능 과 서비스 품질 확장성을 고려한 사용자 프로그램 개발 : 64비트 고성능 플랫폼 기반
 - 온실 경영자의 만족도 향상을 위한 다양한 시나리오 지원 : 자동/수동, 현장/원격, 비상시 대처 기능
 - 온실 경영자 친화형 맞춤형 복합환경 제어 기능 추가 : 정보 제공 우선 순위 정책 조절이 가능하여 온실 경영자의 스마트폰 사용 효과를 극대화할 수 있는 사양 조절 기능
 - 스마트폰 기반 온실환경 원격제어 시스템 무결성 검증 및 보안
- 배지 종류별 센서 이용 기술 확립
 - 배지, 수분, EC에 따른 근권부 센서 측정 조건 구명

- 센서 활용 및 보정(calibration)을 위한 배지(substrate)의 물리적 특성 구명
- 토양수분-EC 센서를 이용한 실시간 근권부 환경 측정 기준 구명
- 작물별(딸기, 국화) 최적 근권 환경제어 기술 확립
 - 효율적 재배생산을 위한 국화의 근권부 최적환경 조건 구명
 - 효율적 재배생산을 위한 딸기의 근권부 최적환경 조건 구명
 - 자동온실제어시스템을 이용한 원예작물 근권 환경 제어기술 확립 및 실증시험
- 지상부 환경에 따른 작물(딸기, 국화) 생육 모델링
 - 지역별 온실 작물(딸기, 국화)의 생육, 수량, 품질 조사
 - 온실 작물(딸기, 국화)의 생육 모델식 개발 및 구축
 - 웹기반 온실 작물의 생육 시뮬레이터 개발
- 지상부 최적 환경제어 기술 확립, 생리장해와 병해충 진단 전문가 시스템 구축
 - 작물(딸기, 국화) 생육 균형 판단 지표 활용
 - 복합환경제어시스템에 컨설팅 시스템인 전문가 시스템 장착
 - 웹기반 온실 작물의 생리장해와 병해충 진단 전문가 시스템 개발
- 요소 및 통합시스템 제작 및 현장적용
 - PLC기반의 원격 환경제어, 유무선 복합 원격 감시 환경제어장치 개발
 - 원격지에서 스마트폰과 웹 브라우저를 통한 관제 기능 제공
 - 각종 센서에 의해 수집된 온실 재배환경을 컴퓨터로 분석/연산 하여 구동기기 복합, 유기적으로 제어
- 작물생육 및 병해충 모니터링을 위한 영상 전송 모듈 개발
 - 작물의 최적생장을 위한 온도 및 습도 환경분석
 - 재배 작물 성장 데이터 객체화 및 객체 생성 기술 개발
 - 시설 재배 콘텍스트 모델 설계 및 생성 기술 개발
 - 작물의 성장주기에 따른 최적 성장 환경 데이터 베이스 구축
 - 영상 분석과 센싱 데이터를 이용한 작물의 성장주기, 병해충 상태 파악
 - GUI 기반의 상황인지 워크플로우 시나리오 편집기 개발
- 실용화, 산업화 추진
 - 사용 매뉴얼 100%한글화 실시
 - 복합환경제어 사용법에 관한 동영상 제작

제 5 장 연구결과의 활용계획

코드번호	D-07
------	------

가. 실용화·산업화 계획

- 참여기업에 의한 자체사업화로 온실 복합환경제어시스템 국내 산업 활성화
- 대부분 수입되고 있는 외국제품에 대한 수입대체
- 모듈화 된 환경제어 요소 상품화로 농민들이 필요에 맞게 응용, 생산효율성 향상
- 원예 및 관련 기자재 산업 국제경쟁력 향상
 - ㈜신안그린테크와 협력관계를 유지하고 있는 전국 31개사의 영업부를 통하여 APC, 농협, 농업법인, 작목반 등에 포함된 시설원예 농가를 대상으로 해외 영업 시행
 - 국제수출을 통한 기대효과

(단위: 천원)

판매처	국가명	판매 단가	예상 연간 판매량	예상 판매기간(년)	예상 총판매금	관련제품
국내 대리점	한국	9,000	500	5	22,500,000	개발 제품
Fukusui	일본	9,000	200	5	9,000,000	
Pharos	미국	9,000	100	5	4,500,000	
발코유로	네덜란드	9,000	100	5	4,500,000	
계		9,000	900	5	40,500,000	

- 개발된 기술을 딸기, 국화 이외의 작목에도 적용
- 사업화 전략은 국내·외 특허, 인증 획득, 논문 게재, 신문·TV광고·잡지광고, 국가 정책사업 국내전시회 및 해외전시회에 출품 등 마케팅 전략 수립 및 시장·수요를 분석하고, 시작은 농업부터 적용 범위를 넓혀, 공업용, 식품 가공 보조용 등 여러 분야에 적용할 것이며, 관련기술의 기술력을 국내·외로 인정받아 내수 및 수출을 활성화하는 등 국내·외 진출의 교두보를 확보
- 산업화를 통한 기대효과
 - 근권부/지상부 센싱 및 제어 모듈, 원격 관리 모듈 기본 구성 기준

(단위: 백만원)

항 목	산업화 기준	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계
직접 경제효과		6,634	7,297	8,027	8,830	9,712	40,500
경제적 파급효과		13,268	14,594	16,054	17,659	19,425	81,000
부가가치 창출액		26,535	29,189	32,108	35,318	38,850	162,000
합 계		46,437	51,080	56,188	61,807	67,988	283,500

- ※ 산출 근거 : 우리나라 약 90,000 ha에 5년간 500대, 해외에 400대 판매 가정
 경제적 파급효과는 직접 경제효과의 2배, 부가가치 창출액은 경제적 파급효과의 2배로 계산함. 각각의 연차별 산출액은 전년대비 10%의 성장을 가정하여 계산함

나. 연구개발을 통한 인력양성

- 산업화, 실용화 과정을 통해 참여업체 인력양성 및 신규인력 채용
- 온실 복합환경제어 관련 생산시스템 및 원예학 분야 인력 양성
- 센서 및 제어 인터페이스 모듈, 원격 관리 모듈 제작 인력 양성
- 작물생산 근권부 및 지상부 제어 기술 관련 인력 양성

제 6 장 연구과정에서 수집한 해외과학기술정보

코드번호

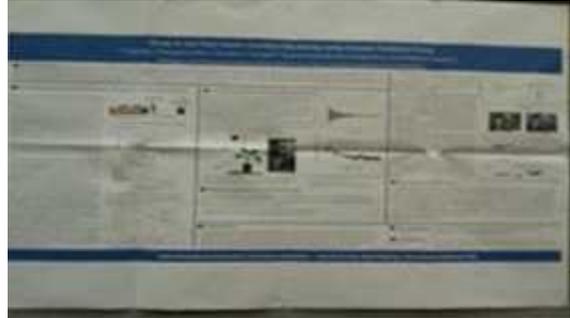
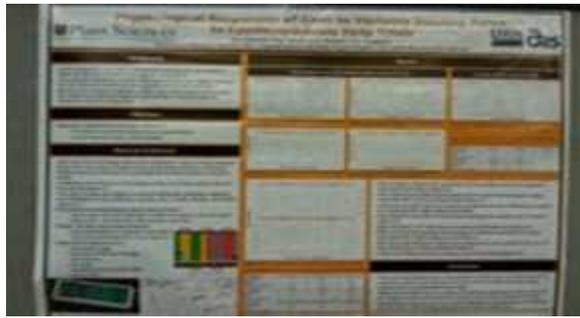
D-08

가. 1차년도 해외과학기술정보 수집

○ 미국 ASABE 및 ICPA 참가 (제 1세부)

- 학술대회 발표
- 학회 참석을 통해 전공 분야인 바이오시스템 정밀농업의 최신동향 조사
- 저명 교수/연구원간의 네트워크 구축을 통한 선진화된 정밀 농업을 국내 작업 기계에 적용 가능성을 고려

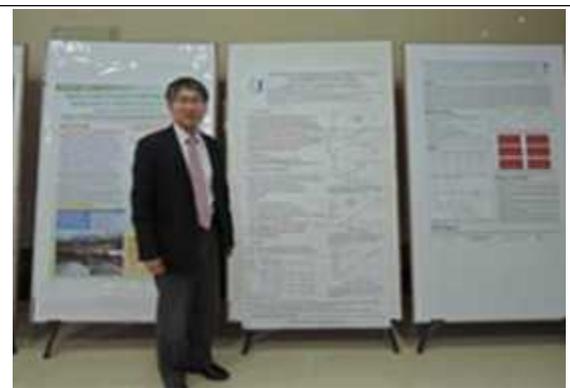
국외 출장 참고 사진자료



○ 중국 산둥원예학회 국제 심포지엄 참가 (제 3협동)

- 산둥원예학회와 농기계학회 공동 국제심포지움 발표 및 아시아(한·중·일) 시설원예와 식물공장 분과 발표

국외 출장 참고 사진자료



○ 일본 GPEC2014 참석 및 관련 연구기관 방문 (제 3협동)

- 시설원예 및 식물공장 전시회 참가
- 일본의 시설원예·식물공장에 사용되는 산업 현황 파악
- 시설원예와 식물공장에 적용되고 있는 새로운 신기술 조사
- 각종 시설원예와 식물공장 관련 설비 및 전시 기기 조사
- 친환경 녹색산업(태양광발전, 저에너지 저비용 히트펌프 등) 전시 제품 조사
- ICT 관련 전시 제품 조사

국외 출장 참고 사진자료

<p>시설원예·식물공장 전시회</p>	<p>딸기 묘주 생산 시스템</p>
<p>간단한 배양액 관리 시스템</p>	<p>접목재배를 위한 접목클립</p>

○ 일본 도쿄 방문 (제 4협동)

- 도쿄 Big Sight East Hall 4 전시회 참가
- 농업에 적용되고 있는 ICT 기술 현황 조사

국외 출장 참고 사진자료

--	--

나. 2차년도 해외과학기술정보 수집

- 복합온실환경 동향을 위한 네덜란드 농업대학 및 업체 방문 (제 1세부, 제 4협동)
 - 온실 환경 모니터링 및 제어 장비 현장 적용 기술 조사

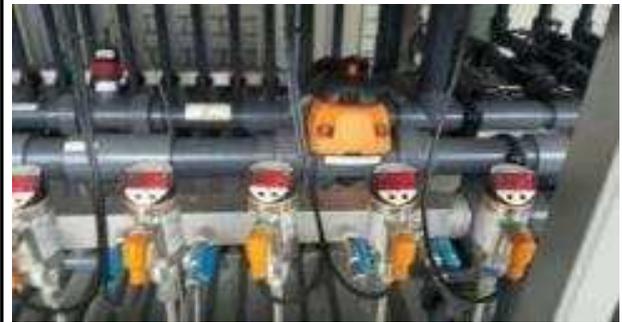
국외 출장 참고 사진자료



UNIFARM회사 방문



환경제어기 내부 구성도



환경제어기 내부 구성도



시범유리온실 내 내부센서

- 포르투갈 GreenSys 1015 학회 참석 및 포스터 발표 (제 3협동)
 - 온실 관리에 대해 새로운 기술에 대해 국제심포지움에 참석 및 포스터 발표

국외 출장 참고 사진자료



Prof. Hemming(Wageningen Univ.) 발표자료



개회식



Prof. & Dr.Qichang Yang 발표자료



대강당 포스터발표

○ Technical Tour(Herdade de Vale de Rosa) (제 3협동)

- 포도농가 방문을 통한 시설원예 및 식품공장과 관련된 연구 분야에 대해 파악할 수 있었으며, 최근 연구되고 있는 실험 분야에 대해 조사

국외 출장 참고 사진자료

	
<p>포도 농가</p>	<p>수확 전 포도</p>
	
<p>포도 농가 포장 현장</p>	<p>포장 완료된 포도</p>

다. 3차년도 해외과학기술정보 수집

○ 일본 큐슈대학 및 업체 방문 (제 1세부, 제 4협동)

- 온실 환경 모니터링 및 제어 장비 현장 적용 기술 조사

국외 출장 참고 사진자료

	
<p>큐슈대학 방문</p>	<p>개폐장치 및 센서</p>
	
<p>센서시스템 구축 현장</p>	<p>환경제어기 내부 구성도</p>

- 미국원예학회 2016 Annual Conference 참석 및 학술발표 (제 2협동)
 - 미국원예학회(ASHS 2016) 학술대회/워크샵 참석 및 구두발표
 - 온실 환경 제어 연구실 방문

국외 출장 참고 사진자료



미국원예학회 참석



LED 보광 제어시스템



식물공장형 환경제어 실험



저비용 자동 제어 시스템

제 7 장 연구개발결과의 보안등급

		코드번호	D-09
보안등급분류	일반과제		
결정사유	「국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정」 제24조의4에 해당하지 않음		

제 8 장 국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

					코드번호	D-10		
구입 기관	연구시설/ 연구장비명	규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입 가격 (천원)	구입처 (전화번호)	비고 (설치 장소)	NTIS장비 등록번호

제 9 장 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전조치 이행실적

	코드번호	D-11
<p>○ 「충남대학교 연구실 안전관리 규정지침」에 의거하여 이행함</p> <ul style="list-style-type: none"> - 일상점검 및 주기적인 안전점검을 실시하여 안전성 확보(일상점검 : 매일 실시, 정기점검 : 반기 1회) - 정기적인 안전교육을 실시하여 참여연구원 안전의식 확보(안전보호구착용, 안전수칙 준수, 폐기물관리 철저 등) (자체교육 : 월 1회, 정기교육 참여 : 년 2 회) - 안전사고 발생에 대비 안전보험가입 후 연구 참여(연구활동종사자 안전보험 가입 요청: 안전관리실) - 연구과제 수행 중 안전사고가 예상되는 부분은 즉시 개선 보완 후 연구과제 수행 - 연구 참여인원의 보험가입을 대학차원에서 의무적으로 적용함 - “연구실안전관리책임자”를 지정하여 안전 관리 및 지도 수행 - 연구실안전관리책임자는 연구실 안전 책임 관리 - 통제상황과 사고발생시 대처요령 등 교육 훈련 실시 - 연구실 자체 안전점검 실시 및 결과 비치 - 일정 기간 이상 종사자 건강검진 실시 <p>○ 「제주대학교 연구실 안전관리 규정지침」에 의거하여 이행함</p> <ul style="list-style-type: none"> - 일상점검 및 주기적인 안전점검을 실시하여 안전성 확보(일상점검 : 매일 실시, 정기점검 : 반기 1회) - 정기적인 안전교육을 실시하여 참여연구원 안전의식 확보(안전보호구착용, 안전수칙 준수, 폐기물관리 철저 등) (자체교육 : 월 1회, 정기교육 참여 : 년 2 회) - 안전사고 발생에 대비 안전보험가입 후 연구 참여(연구활동종사자 안전보험 가입 요청: 안전관리실) - 연구과제 수행 중 안전사고가 예상되는 부분은 즉시 개선 보완 후 연구과제 수행 - 연구 참여인원의 보험가입을 대학차원에서 의무적으로 적용함 - “연구실안전관리책임자”를 지정하여 안전 관리 및 지도 수행 - 연구실안전관리책임자는 연구실 안전 책임 관리 - 통제상황과 사고발생시 대처요령 등 교육 훈련 실시 - 연구실 자체 안전점검 실시 및 결과 비치 - 일정 기간 이상 종사자 건강검진 실시 <p>○ 「충북대학교 연구실 안전관리 규정지침」에 의거하여 이행함</p> <ul style="list-style-type: none"> - 일상점검 및 주기적인 안전점검을 실시하여 안전성 확보(일상점검 : 매일 실시, 정기점검 : 반기 1회) - 정기적인 안전교육을 실시하여 참여연구원 안전의식 확보(안전보호구착용, 안전수칙 준수, 폐기물관리 철저 등) (자체교육 : 월 1회, 정기교육 참여 : 년 2 회) - 안전사고 발생에 대비 안전보험가입 후 연구 참여(연구활동종사자 안전보험 가입 요청: 안전관리실) - 연구과제 수행 중 안전사고가 예상되는 부분은 즉시 개선 보완 후 연구과제 수행 - 연구 참여인원의 보험가입을 대학차원에서 의무적으로 적용함 		

- “연구실안전관리책임자” 를 지정하여 안전 관리 및 지도 수행
 - 연구실안전관리책임자는 연구실 안전 책임 관리
 - 통제상황과 사고발생시 대처요령 등 교육 훈련 실시
 - 연구실 자체 안전점검 실시 및 결과 비치
 - 일정 기간 이상 종사자 건강검진 실시
- 「고려대학교 연구실 안전관리 규정지침」에 의거하여 이행함
- 일상점검 및 주기적인 안전점검을 실시하여 안전성 확보(일상점검 : 매일 실시, 정기점검 : 반기 1회)
 - 정기적인 안전교육을 실시하여 참여연구원 안전의식 확보(안전보호구착용, 안전수칙 준수, 폐기물관리 철저 등) (자체교육 : 월 1회, 정기교육 참여 : 년 2 회)
 - 안전사고 발생에 대비 안전보험가입 후 연구 참여(연구활동종사자 안전보험 가입 요청: 안전관리실)
 - 연구과제 수행 중 안전사고가 예상되는 부분은 즉시 개선 보완 후 연구과제 수행
 - 연구 참여인원의 보험가입을 대학차원에서 의무적으로 적용함
 - “연구실안전관리책임자” 를 지정하여 안전 관리 및 지도 수행
 - 연구실안전관리책임자는 연구실 안전 책임 관리
 - 통제상황과 사고발생시 대처요령 등 교육 훈련 실시
 - 연구실 자체 안전점검 실시 및 결과 비치
 - 일정 기간 이상 종사자 건강검진 실시
- 「신안그린테크 안전관리 규정지침」에 의거하여 이행함
- 일상점검 및 주기적인 안전점검을 실시하여 안전성 확보(일상점검 : 매일 실시, 정기점검 : 반기 1회)
 - 정기적인 안전교육을 실시하여 참여연구원 안전의식 확보(안전보호구착용, 안전수칙 준수, 폐기물관리 철저 등) (자체교육 : 월 1회, 정기교육 참여 : 년 2 회)
 - 안전사고 발생에 대비 안전보험가입 후 연구 참여(연구활동종사자 안전보험 가입 요청: 안전관리실)
 - 연구과제 수행 중 안전사고가 예상되는 부분은 즉시 개선 보완 후 연구과제 수행
 - 연구 참여인원의 보험가입을 대학차원에서 의무적으로 적용함
 - “연구실안전관리책임자” 를 지정하여 안전 관리 및 지도 수행
 - 연구실안전관리책임자는 연구실 안전 책임 관리
 - 통제상황과 사고발생시 대처요령 등 교육 훈련 실시
 - 연구실 자체 안전점검 실시 및 결과 비치
 - 일정 기간 이상 종사자 건강검진 실시

제 10 장 연구개발과제의 대표적 연구실적

번호	구분 (논문/ 특허/ 기타)	논문명/특허명/기타	소속 기관명	역할	논문게재지/ 특허등록국 가	코드번호		D-12	
						Impact Factor	논문게재일 /특허등록일	사사여부 (단독사사 또는 중복사사)	특기사항 (SCI여부/인 용횟수 등)
1	논문	Changes in Physical Properties of Various Coir Dust and Perlite Mixes and Their Capacitance Sensor Volumetric Water Content Calibrations	고려대학교	교신저자	Hort Science/ 미국	0.943	2016.12.31	단독사사	SCI
2	논문	Substrate water content influences the growth and flowering of Phalaenopsis 'Mantefon'	고려대학교	교신저자	Scientia horticulturae/국외	1.538	2016.12.31	단독사사	SCI
3	논문	육묘 과정 중 포트에 충전된 팽연왕겨 혼합상토의 함수량 변화와 '설향'딸기의 생장 반응	충남대학교	교신저자	원예과학 기술지/ 대한민국	0.261	2015.02.28	단독사사	SCIE
4	논문	Variability of soil water content, temperature, and electrical conductivity in strawberry and tomato greenhouses in winter	충남대학교	주저자	바이오 시스템공학/ 대한민국	-	2014.02.19	단독사사	비SCI
5	논문	딸기 영양 진단을 위한 전문가시스템	제주대학교	공동저자	원예과학 기술지/ 대한민국	-	2014.05.01	단독사사	비SCI
6	논문	선형, 쌍곡선과 Beta 함수를 이용한 상추의 주요 온도 비교	제주대학교	주저자	시설원예 식물공장/ 대한민국	-	2014.06.08	단독사사	비SCI
7	논문	Automated Irrigation System Using Soil Moisture Sensor in Horticulture	배재대학교	주저자	20th WORLD CONGRESS OF SOIL SCIENCE/ 대한민국	-	2014.06.08	단독사사	비SCI
8	논문	화훼작물의 효율적 생산을 위한 토양수분센서 자동관수시스템	배재대학교	주저자	Flower Research Journal/ 대한민국	-	2014.06.24	단독사사	비SCI

9	논문	FDR 토양수분 센서의 올바른 이용을 위한 Calibration 방법	배재대학교	주저자	원예과학 기술지/ 대한민국	-	2014.10.01	단독사사	비SCI
10	논문	적심 및 Daminozide 처리가 가든뎀 신품종 'Candy Ball'과 'Fancy Ball'의 생장 및 개화에 미치는 영향	고려대학교	교신저자	Flower Research Journal/ 대한민국	-	2015.09.15	단독사사	비SCI
11	논문	저비용 개방형 Microcontorller를 사용한 온실 환경 측정 시스템 개발	제주대학교	교신저자	원예과학 기술지/ 대한민국	-	2016.12.31	단독사사	비SCI
12	특허	온실환경 계측장치	충남대학교	출원인	대한민국	-	2015.01.23	-	-
13	특허	전력선 통신 기반 부하 조절 장치	충남대학교	출원인	대한민국	-	2015.03.09	-	-
14	특허	초음파센서를 측부에 구비한 자율주행형 온실환경 계측장치(Greenhouse environment measurement device of Self-moving type having an ultrasonic sensor on the side)	충남대학교	출원인	대한민국	-	2015.11.06	-	-
15	특허	원격 온습도 조절이 가능한 시설하우스용 경량 다목적 제습기	(주)신안 그린테크	출원인	대한민국	-	2016.11.02	-	-
16	특허	적층 구조를 이용한 전원 및 통신회선 공유장치	충남대학교	출원인	대한민국	-	2016.11.23.	-	-

제 11 장 기타사항

	코드번호	D-13
○ 해당사항 없음		

제 12 장 참고문헌

코드번호	D-14
○ Anderson NO (1987) Reclassifications of the genus <i>Chrysanthemum</i> L , <i>HortScience</i> , Vol.22 ; pp.313	
○ Arduino (2016) Downloads the Arduino software. https://www.arduino.cc/en/Main/Software Accessed 14 March 2016	
○ Allaire, S.E., J. Caron, I. Duchesne, L.E. Parent, and J.A. Rioux. 1996. Air-filled porosity, gas relative diffusivity, and tortuosity: Indices of <i>Prunus × cistena</i> sp. growth in peat substrates. <i>J. Amer. Soc. Hort. Sci.</i> 121:236-242.,	
○ Allen RG , Pereira LS , Raes D , Smith M (1998) Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56 , FAO, Rome Italy,	
○ Bacci L , Battista P , Rapi B (2008) An integrated method for irrigation scheduling of potted plants , <i>Scientia Hort</i> , Vol.116; pp.89-97	
○ Bayer A , Mahbub I , Chappell M , Ruter J , van Iersel MW (2013) Water use and growth of <i>Hibiscus acetosella</i> ‘Panama Red’ grown with a soil moisture sensorcontrolled irrigation system , <i>Hort Science</i> , Vol.48; pp.980-987	
○ Bilderback, T.E., W.C. Fonteno, and D.R. Johnson. 1982. pPhysical properties of media composed of peanut hulls, pine bark, and peat moss and their effECt on azalea growth. <i>J. Amer. Soc. Hort. Sci.</i> 107:522-525.	
○ Belayneh BE , Lea-Cox JD , Lichtenberg E (2013) Costs and benefits of implementing sensor-controlled irrigation in a commercial pot-in-pot container nursery , <i>Hort Technology</i> , Vol.23; pp.760-769	
○ Bitella G, Rossi R, Bochicchio R, Perniola M, Amato M (2014) A novel low-cost open-hardware platform for monitoring soil water	
○ Blonquist JJM , Jones SB , Robinson DA (2006) Precise irrigation scheduling for turfgrass using a subsurface electromagnetic soil moisture sensor , <i>Agr Water Mgt</i> , Vol.84; pp.153-165	
○ Boyer JS (1982) Plant productivity and environment , <i>Science</i> , Vol.218; pp.443-448	
○ Chang, Y. C., S. O. Chung, I. S. Han and K. M. Noh. 2011. Measurement of agricultural atmospheric factors using ubiquitous sensor network - temperature, humidity and light intensity -. <i>Journal of Biosystems Engineering</i> 36(2):122-129 (in Korean) crossref(new window)	
○ Cathey HM (1975) Comparative plant growth-retarding activities of ancymidol with ACPC, phosfon, chlormequat, and SADH on ornamental plant species , <i>HortScience</i> , Vol.10 ; pp.204-216	
○ Chung, S. O., H. S. Hwang, J. H. Sung, C. K. Lee and I. G. Jung. 2005. Sensor-based measurement of soil properties in a paddy field. <i>Proceedings of the KSAM 2005 Winter Conference</i> , pp. 127-130, Suwon, Republic of Korea: KSAM (in Korean)	
○ Chappell M , Dove SK , van Iersel MW , Thomas PA , Ruter J (2013) Implementation of wireless sensor networks for irrigation control in three container nurseries , <i>Hort Technology</i> , Vol.23; pp.747-753	
○ Choi, J.M., H.J. Chung, and J.S. Choi. 1999. pPhysical properties of pine bark affECted by peeling method and improving moisture retention as container media. <i>Hort. Environ. BiotEchnol.</i> 40:363-367	
○ Craufurd, P.Q., A. Qi, R.H. Ellis, R.J. Summerfield, E.H. Roberts, and V. Mahalakshmi. 1998. Effect of temperature on time to panicle initiation and leaf appearance in <i>Sorghum</i> . <i>Crop Science</i> 38:942-947.	
○ Cho, Y.Y., M.M. Oh, and J.E. Son. 2009. Modeling approaches for estimating cardinal temperatures by bilinear, parabolic, and beta distribution functions. <i>Korean Journal of Horticultural Science & Technology</i> 27:239-243.	
○ content and multiple soil-air-vegetation parameters. <i>Sensors</i> 14:19639-19659. doi:10.3390/s141019639	
○ CO ₂ meter.com (2016a) News. Arduino code for K-30 CO ₂ sensor works for S8 sensor too. http://www.co2meter.com/blogs/	

- Choi, J.M., H.J. Chung, and J.S. Choi. 2000. Physico-chemical properties of organic and inorganic materials used as container media. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 18:529-535.,
- Choi SY , Kil MJ , Kwon YS , Jung JA , Park SK (2012) Effect of different light emitting diode (LED) on growth and flowering in chrysanthemum , *Flower Res J*, Vol.20; pp.128-133
- CO2meter.com (2016b) Sensors. K-30 10,000ppm CO₂ Sensor.
<http://www.co2meter.com/collections/co2-sensors/products/k-30co2-sensor-module>
- Conway GR , Barbier EB (2013) *After the green revolution sustainable agriculture for development*, Routledge,
- Dole JM , Wilkins HF (2005) *Floriculture principles and species* , Prentice Hall ,
- Dirmeyer, P. A. 1995. Problems in initializing soil wetness. *Bulletin of the American Meteorological Society* 76(11): 234-2240.
- Daytime on the growth and wilting occurrence in watermelon. *Korean J Hort Sci Technol* 24:138-142
- Del Monte, J.P. and A.M. Tarquis. 1997. The role of temperature in the seed germination of two species of the *Solanum nigrum* complex. *Journal of Experimental Botany* 48:2087- 2093.
- Evans, M.R., S. Konduru, and R.H. Stamps. 1996. Source variation in physical and chemical properties of coconut coir dust. *HortScience* 31:965-967.,
- Fakpui, G.K.S., P.J. Gregory, and R.J. Froud-Williams. 1998. Effect of temperature on seed germination rate of *Striga hermonthica* (Del.) Benth. *Crop Protection* 17:129-133.
- Freescale Semiconductor (2010) Technical data sheet for MPX5100.
http://www.freescale.com/files/sensors/doc/data_sheet/MPX5100.pdf?pspl=1. Accessed 9 May 2016
- Ferrarezi RS, Dove SK, MW van Lersel (2015) An automated system for monitoring soil moisture and controlling irrigation using lowcost
- Github (2016) STH1x. <https://github.com/practicalarduino/SHT1x>. Accessed 14 March 2016
- Gulshan, M and K. G. Singh. 2006. Response of greenhouse tomato to irrigation and fertigation. *Agricultural Water Management* 84:202-206. [crossref\(new window\)](#)
- Hansen RC , Pasian CC (1999) Using tensiometers for precision microirrigation of container grown roses , *Appl Eng Agr*, Vol.15; pp.483-490
- Hazell PBR (2009) *The Asian green revolution*. DiscussionPaper 911 , Intl Food Policy Res Inst Washington DC,
- Hilhorst, M. A. 2000. A pore water conductivity sensor. *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 64:1922-1925.
- Hardegree, S.P. 2006. Predicting germination response to temperature. I. Cardinal-temperature models and subpopulationspecific regression. *Annals of Botany* 97:1115-1125.
- Iannucci, A., N. di Fonzo, and P. Martiniello. 2000. Temperature requirements for seed germination in four annual clovers grown under two irrigation treatments. *Seed Science and Technology* 28:59-66.
- Jones HG (2004) Irrigation scheduling advantages and pitfalls of plant-based methods , *J Expt Bot*, Vol.5; pp.2427-2436
- Jami Al-Ahmadi, M. and M. Kafi. 2007. Cardinal temperatures for germination of *Kochia scoparia* (L.) *Journal of Arid Environments* 68:308-314.
- Jang YA, Mon BH, Do KR, Chun CH (2014) Effects of photosynthetic photon flux and carbon dioxide concentration on the
- Jun, H.J., J.G. Hwang, S. Liu, M.S. Jang, and H.S. Yoon. 2009. Effect of substrates on growth and yield of 'Sulhyang' strawberry bred in Korea. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 27(Suppl. ID): 58. (Abstr.),
- Jones HG (2007) Monitoring plant and soil water status established and novel methods revisited and their relevance to studies of drought tolerance , *J Expt Bot*, Vol.58; pp.119-130
- Jung SS (1998) Effect of uniconazole, mechanical stress, pinching and short-day treatment on the growth and flowering of potted *Chrysanthemum indicum* L , MS thesis Seoul Natl Univ Seoul Korea,
- Jury WA , Vaux H (2005) *The role of science in solving the world's emerging water problems* , Proc

Natl Acad Sci USA, Vol.102; pp.15715-15720

- Jerzy, J. 1998. Reliability of drip irrigation systems under different operation conditions in Poland. *Agricultural Water Management* 35:261-267. [crossref\(new window\)](#)
- Kahlon, M. S., A. S. Josan and K. L. Khera. 2008. A comparative study on soil and plant parameters under furrow and drip irrigated tomatoes with poor quality water. *Research on Crops* 9:61-72.
- Kim, I. Y. 2005. *Practical Soil Science*. Seoul, Republic of Korea: Sambu.
- Kim, J. H., T. W. Kim, J. K. Song, K. D. Nah, Y. S. Ha, T. S. Kim and E. T. Kim. 2011. Study on temperature variation by greenhouse soil warming system using solar thermal energy (3) - verification experiment on commercialization of cultivation -. *Journal of Biosystems Engineering* 36(3):211-216 (in Korean) [crossref\(new window\)](#)
- Kim J , Malladi A , van Iersel MW (2012) Physiological and molecular responses to drought in Petunia the importance of stress severity , *J Expt Bot*, Vol.63; pp.6335-6345
- Kim J , van Iersel MW , Burnett SE (2011) Estimating daily water use of two petunia cultivars based on plant and environmental factors , *Hort Science*, Vol.46; pp.1287-1293
- Krügera E , Schmidta G , Brücknerb U (1999) Scheduling strawberry irrigation based upon tensiometer measurement and a climatic water balance model , *Scientia Hort*, Vol.81; pp.409-424
- Korean Journal of Horticultural Science & Technology
- Korea Agricultural Machinery Industry Cooperative and Korean Society for Agricultural Machinery. 2011. *Agricultural Machinery Yearbook*. Seoul, Republic of Korea.
- Kor Soc Hort Sci (KSHS) (2003) *Glossary and dictionary of plant names for horticultural crops* , Hanrimwon , ○ Kim, J. H., T. W. Kim, K. D. Nah, T. S. Kim, E. T. Kim and S. H. Chung. 2010. Study on temperature variation by greenhouse soil warming system using solar thermal energy (2) - required energy per unit area for soil warming -. *Journal of Biosystems Engineering* 35(1):46-52 (in Korean) [crossref\(new window\)](#)
- Kwon JK, Kang KH, Kweon GB, Choi YH, Kang NJ, Lee JH, Rhee HC (2006) Effect of automatic ventilation of greenhouse during
- Kim YD (2014) Sensor data standardization technology for smart agriculture. The Korea Institute of Electronic Communication
- Kim, K. D., T. Y. Kim, I. H. Cho, E. Y. Nam and B. H. Mun. 2003. Development of tensiometer for automatic water filling in tube and monitoring of soil moisture. In: *Proceedings of the Korean Society for Bio-Environment Control Conference*, pp. 177-182, Republic of Korea: KSBEC (in Korean)
- Kim JH , Paek KY , Kim HH , Lee HD , Lee JW , Kim SD , Yun T (2004) Effect of plant growth retardants on spike length in planting time of *Dendranthema grandiflorum* 'Baegkwang' , *Korean J Hort Sci Technol*, Vol.22 ; pp.333-338
- Kim, K.H., S.H. Lim, Y.I. Nangung, and K.C. Yoo. 2000. Evaluation on the physical and chemical properties of expanded rice hulls as hydroponic culture medium. *J. Bio-Env. Con.* 9:73-78.,
- Kim, K.H., S.H. Lim, S.I. Kim, and K.C. Yoo. 2001. Improvement of method for supplying the nutrient solution at expanded rice hull substrates during hydroponic culture of tomato plants. *J. Bio-Env. Con.* 10:101-105. ,
- Kim, T.I., W.S. Jang, M.H. Nam, W.K. Lee, and S.S. Lee. 2006. Breeding of strawberry 'Sulhyang' for forcing culture. *27th Intl. Hort. Congr. Exhit.* p. 231. (Abstr.),
- Lemaire, F. 1995. Physical, chemical and biological properties of growing medium. *Acta Hort.* 396:273-284.,
- Lea-Cox JD , Bauerle WL , van Iersel MW , Kantor GF , Bauerle TL , Lichtenberg E , King DM , Crawford L (2013) Advancing wireless sensor networks for irrigation management of ornamental crops an overview , *Hort Technology*, Vol.23; pp.717-724
- Lee, H. J., E. Y. Yang, K. S. Park, S. K. Park, Y. B. Lee and J. H. Bae. 2002. Determination of

optimum root temperature of aeroponics for single-stemmed rose in rose factory. Korean Journal of Horticultural Science & Technology 20:114 (in Korean)

- Lee HS , Kwack BH (1994) Efficacy of pinching and planting density in pot culture of *Hibiscus syriacus* L , J Korean Soc Hort Sci, Vol.35 ; pp.644-650
- Lee WS (2010) Seed germination as influenced by cultural medium and sowing time and plant height control using daminozide in *Cosmos bipinnatus* , MS thesis Hankyong Univ Anseong Korea,
- Lee, J.W. 1999. Improvement of physicochemical properties of rice hull-based substrate for raising seedlings. PhD Diss., Seoul Natl. Univ., Seoul, Korea.,
- Lee, J.W., B.Y. Lee, K.Y. Kim, and J.E. Son. 2000. Growth of vegetable seedlings in decomposed expanded rice hull-based substrates. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 41:249-253. ,
- Lichtenberg E , Majsztzik J , Saavoss M (2013) Profitability of sensor-based irrigation in greenhouse and nursery crops , Hort Technology, Vol.23; pp.770-774
- Lieth JH , Burger DW (1989) Growth of chrysanthemum using an irrigation system controlled by soil moisture tension , J Amer Soc Hort Sci, Vol.114; pp.387-392
- Majsztzik J , Lichtenberg E , Saavoss M (2013a) Ornamental grower perceptions of wireless irrigation sensor networks results from a national survey , Hort Technology , Vol.23; pp.775-782
- Majsztzik JC , Price EW , King DM (2013b) Environmental benefits of wireless sensor-based irrigation networks casestudy projections and potential adoption rates , Hort Technology , Vol.23; pp.783-793
- Muñoz-Carpena R , Li YC , Klassen W , Dukes MD (2005) Field comparison of tensiometer and granular matrix sensor automatic drip irrigation on tomato , Hort Technology, Vol.15; pp.584-590
- Monteith, J.L. 1981. Climatic variation and the growth of crops. Quarterly Journal of Royal Meteorology Society 107: 749-774.
- Maisiri, N., A. Senzanje, J. Rockstrom and S. J. Twomlow. 2005. On farm evaluation of the effect of low cost drip irrigation on water and drop productivity compared to conventional surface irrigation system. Physics and Chemistry of the Earth 30:783-791. [crossref\(new window\)](#)
- Malash, N. M., F. A. Ali, M. A. Fatahalla, Entsar A. Kjatab, M. K. Hatem and S. Tawfic. 2008a. Response of tomato to irrigation with saline water applied by different irrigation methods and water management strategies. International Journal of Plant Production 2:1735-6814.
- McMaster, G.S. and W.W. Wilhelm. 1997. Growing degreedays: One equation, two interpretations. Agricultural and Forest Meteorology 87:291-300.
- Malash, N. M., T. J. Flowers and R. Ragab. 2008b. Effect of irrigation methods, management and salinity of irrigation water on tomato yield, soil moisture and salinity distribution. Irrigation Science 26:313-323. [crossref\(new window\)](#)
- Moon W, Lee YB, Son JE (2012) Protected horticulture. KNOU Press, Seoul, Korea, pp253-259
- Ministry of Food, Agriculture, Forestry and Fisheries (MFAFF) (2015) Statistics of vegetable production in the year 2014.
<http://ebook.mafra.go.kr/preview/viewer/main.php?site=2&menuno=2&previewno=7548&iframe=0&dlbt=>
Accessed 9 May 2016
- Milks, R.R., W.C. Fonteno, and R.A. Larson. 1989. Hydrology of horticultural substrates. III. Predicting air and water content of limited-volume plug cells. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 114:57-61.
- Nemali, K.S., F. Montesano, S.K. Dove, and M.W. van Iersel. 2007. Calibration and performance of moisture sensors in soilless substrates: ECH2O and Theta probes. Sci. Hort. 112:227-234.
- Nelson PV (2011) Greenhouse operation and management, Prentice Hall,
- Nemali KS (2005) Water requirements of bedding plants Managing substrate water content and studying physiological and growth responses of plants to varying levels of water content , The Univ of Georgia, Athens, PhD,
- Nau J , Whipker BE , McCall I , Latimer J (2011) Growth regulators Ball redbook , Ball Publishing , ;

pp.95-105

- News/35432257-arduino-code-for-k-30-co2-sensor-works-for-s8-sensor-too Accessed 14 March 2016
- Nemali KS , Montesano F , Dove SK , van Iersel MW (2007) Calibration and performance of moisture sensors in soilless substrates ECH2O and Theta probes , *Scientia Hort*, Vol.112; pp.227-234
- Nemali KS , van Iersel MW (2006) An automated system for controlling drought stress and irrigation in potted plants , *Scientia Hort*, Vol.110; pp.292-297
- Nemali KS , van Iersel MW (2008) Physiological responses to different substrate water contents Screening for high water-use efficiency in bedding plants , *J Amer Soc Hort Sci*, Vol.133; pp.333-340
- Nam SY , Kwon YW , Soh CH (1995) Effect of daminozide, uniconazole, flurprimidol, and maleic hydrazide on growth of pot chrysanthemum , *J Korean Soc Hort Sci*, Vol.36 ; pp.90-97
- Nelson PV (2011) *Greenhouse operation and management* , Prentice Hall ,
- Nam, S. W and Y. S. Kim. 2007. Discharge variation of perforated hoses and drip irrigation systems for protected cultivation. *Journal of Bio-Environment Control* 16(4): 297-302.
- Open-source microcontrollers. *HortTechnology* 25:110-118
- Oh, D. S. 2006. Water management and soil fertility for improved yields. In: *International Workshop on Sustained Management of the Soil-Rhizosphere System for Efficient Crop Production and Fertilizer*, Bangkok, Thailand: FFTC.
- Paz, J. O., W. D. Batchelor, T. S. Colvin, S. D. Logsdon, T. C. Kaspar and D. L. Karlen. 1998. Analysis of water stress effects causing spatial yield variability in soybeans. *Transactions of the ASAE* 41(5):1527-1534. [crossref\(new window\)](#)
- Photosynthesis and growth of grafted pepper transplants during healing and acclimatization. *Hortic Environ Biotechnol* 55:387396.
- Park IS , Lim TJ , Oh W (2012) Growth responses of interior *Plectranthus amboinicus* and *Fittonia albivernis* influenced by different artificial light sources , *Flower Res J*, Vol.20; pp.179- 186
- Rural Development Administration (RDA) 2001. Labor saving strawberry propagation using rice-hull based root media. RDA, Suwon, Korea.,
- Rural Development Administration (RDA) 2008. Cultivation manual of new cultivar 'Seolhyang' strawberry. RDA, Suwon, Korea.,
- Roche, C.T., D.C. Thill, and B. Shafil. 1997. Estimation of base and optimum temperatures for seed germination in common crupina (*Crupina vulgaris*) *Weed Science* 45:529-533
- Ryu, K. S and K. C. Eom. 1986. The effect of irrigation on the growth of horticultural crops in a sandy loam. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer* 19(1): 14-20 (in Korean)
- RDA (2012) *Standard methods for agricultural experiment* , Suwon Korea,
- Roepke J , Jean T , Perkel KJ , Blom T , Bozzo GG (2013) Daminozide alters anthocyanin metabolism in ray florets of bronze chrysanthemum (*Chrysanthemum morifolium* Ramat) , *J Plant Growth Regul*, Vol.32 ; pp.453-460
- Sanderson K , Smith D , McGuire J (1994) Vacuum infusion with daminozide for retarding potted chrysanthemum height , *HortScience*, Vol.29 ; pp.330
- Starman TW (1991) Response of Kientzler new guinea impatiens to manual and chemical pinching , *HortScience*, Vol.26 ; pp.856-857
- Starman TW , Faust JE (1999) Field-grown garden chrysanthemum responses to pinching and plant date , *HortScience*, Vol.34 ; pp.539
- Styer, R.C. and D.S. Koranski. 1997. *Plug & transplant production*. Ball Publishing, Batavia, IL.,
- Seefeldt, S.S., K.K. Kidwell, and J.E. Waller. 2002. Base growth temperatures, germination rates and growth response of contemporary spring wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars from the US Pacific Northwest. *Field Crops Research* 75:47-52.

- Sample Electronic (2016) Arduino shield SE-KLCD-A.
http://www.robot.co.kr/front/php/product.php?product_no=2581&main_cate_no=1&display_group=2
Accessed 14 March 2016
- Thalheimer M (2013) A low-cost electronic tensiometer system for continuous monitoring of soil water potential. *J Agric Eng* 44:114119.
- Thompson RB , Gallardo M , Valdez LC , Fernández MD (2007) Using plant water status to define threshold values for irrigation management of vegetable crops using soil moisture sensors , *Agr Water Mgt*, Vol.88; pp.147-158
- Tei, F., D.P. Aikman, and A. Scaife. 1996. Growth of lettuce, onion and red beet. 2. Growth modeling. *Annals of Botany* 78:645-652.
- Van Iersel M , Seymour RM , Chappell M , Watson F , Dov S (2009) Soil moisture sensor-based irrigation reduces water use and nutrient leaching in a commercial nursery , *Proc Southern Nursery Assoc Res Conf*, Vol.54; pp.17-21
- Yoo YK , Roh YS (2012) Growth and cut flower quality as affected by irrigation and nutrient level during short day treatment in *Dendranthema grandiflorum* 'Baekma' , *Flower Res j*, Vol.20; pp.211-217
- Yan, W. and L.A. Hunt. 1999. An equation for modeling the temperature response of plants using only the cardinal temperature. *Annals of Botany* 84:607-614.
- Yin, X., M.J. Kropff, G. McLaren, and R.M. Visperas. 1995. A nonlinear model for crop development as a function of temperature. *Agricultural and Forest Meteorology* 77:1-16.
- Yu, C. S. 2012. *Vegetable Greenhouse Cultivation*. Seoul, Republic of Korea: Osungbook.
- Gaskin GJ , Miller JD (1996) Measurement of soil water content using a simplified impedance measuring technique , *J Agr Eng Res*, Vol.63; pp.153-159
- Yao JC (2012) Effect of planting date and pinching time on the growth and flowering of landscape garden mum , MS thesis Pai Chai Univ Daejeon Korea,
- Yoo HM (2010) Effect of kind of medium and plant growth regulators on growth and quality of chrysanthemum in fertigation culture , MS thesis Kongju Univ Kongju Korea,
- Yoo YK , Kang SW , Kim HK (1999) Effects of pinching and daminozide treatment on the growth and flowering of *Chrysanthemum zawadskii* ssp *naktongense* , *J Korean Soc Hort Sci*, Vol.40 ; pp.598-602
- Yun, S.Y. 1996. Study on composting of the popped rice hull. *J. Kor. Soc. Soil Sci. Fert.* 29:124-129.,
- Uematsu, Y. 1998. Principles and practices in strawberry cultivation. *Seibundo-shinkosha*, Tokyo, Japan p. 2-44 (in Japanese),
- Verdonck, O. and R. Penninck. 1986. Air content in horticultural substrates. *Acta Hortic.* 178:101-106.,
- Yeon IW, Choi JP, Lee WC (2015) Plant factory nutrient automation system using Arduino hardware platform.
- Warncke, D.D. 1986. Analyzing greenhouse growth media by the saturation extraction method. *HortScience* 21:223-225.

[별첨 1]

연구개발보고서 초록

과 제 명	(국문) 융합통신기술과 RAD를 이용한 맞춤형 온실환경 제어모듈 실용화 기술 개발				
	(영문) Practical Technology of Customized Greenhouse Environment Control Module Using Combined Communication and RAD Tools				
주관연구기관	충남대학교		주 관 연 구	(소속) 충남대학교	
참 여 기 업	(주)신안그린테크(4협동)		책 임 자	(성명) 정 선 옥	
총연구개발비 (2,010,000 천원)	계	2,010,000 천원	총 연 구 기 간	2013. 12. 24 ~ 2016. 12. 23(3년)	
	정부출연 연구개발비	1,500,000 천원	총 참 여	총 인 원	39명
	기업부담금	510,000 천원	연 구 원 수	내부인원	39명
	연구기관부담금	-		외부인원	-
<p>○ 연구개발 목표 및 성과</p> <ul style="list-style-type: none"> - 연구개발 목표 : ICT 기술을 적극적으로 활용하여 외국제품보다 성능이 우수하고, 가격이 저렴하며, 농민들이 선택적으로 쉽게 활용할 수 있는 보급형 온실 복합환경제어시스템 개발 - 연구개발에 따른 기대성과 <ul style="list-style-type: none"> · 참여기업에 의한 자체사업화로 온실 복합환경제어시스템 국내 산업 활성화 · 대부분 수입되고 있는 외국제품에 대한 수입대체 효과 · 모듈화 된 환경제어 요소 상품화로 농민들이 필요에 맞게 응용, 생산효율성 향상 · 원예 및 관련 기자재 산업 국제경쟁력 향상 · 개발된 기술을 딸기, 국화 이외의 작목에도 적용 가능 <p>○ 연구내용 및 결과</p> <ul style="list-style-type: none"> - 온실 복합환경제어시스템 통합 시작품 설계 및 성능시험 (제1세부, 충남대학교) - 인터넷과 스마트폰을 이용한 온실환경 원격제어기술 개발 (제1협동, 충북대학교) - 온실 근권부 환경 복합제어기술 개발 (제2협동, 고려대학교) - 온실 지상부 환경 복합제어기술 개발 (제3협동, 제주대학교) - 온실 복합환경제어시스템 제작 및 실용화 기술 개발 (제4협동, (주)신안그린테크) <p>○ 연구성과 활용실적 및 계획</p> <ul style="list-style-type: none"> - 연구개발에 따른 활용계획(산업적 측면) <ul style="list-style-type: none"> · 온실 환경 모니터링 및 제어 관련 대부분 장비가 수입품이어 가격이 높고, 농가에서 사용하기 어려우며, 제품간 호환성이 문제가 되고 복합환경제어시스템 구성이 어려움이 있기 때문에 한글메뉴 등 국내 농가가 사용하기 쉬우며, 맞춤형 모듈화 제작으로 호환성과 확장성을 확보 - 연구개발과 인력양성 <ul style="list-style-type: none"> · 산업화, 실용화 과정을 통해 참여업체 인력양성 및 신규인력 채용 · 온실 복합환경제어 관련 생산시스템 및 원예학 분야 인력 양성 · 센서 및 제어 인터페이스 모듈, 원격 관리 모듈 제작 인력 양성 · 작물생산 근권부 및 지상부 제어 기술 관련 인력 양성 					

자체평가의견서

1. 과제현황

			코드번호	D-15	
			과제번호	313059031SB010	
사업구분	농림기술개발사업				
연구분야	LB0805(농업기계학/농업생산시설/환경)		과제구분	단위	
사업명	첨단생산기술개발사업			주관	
총괄과제	기재하지 않음		총괄책임자	기재하지 않음	
과제명	온실 복합환경제어시스템 통합 시작품 설계 및 성능시험		과제유형	개발	
연구기관	충남대학교		연구책임자	정선옥	
연구기간 연구비 (천원)	연차	기간	정부	민간	계
	1차년도	2013. 12. 24. ~ 2014. 12. 23	100,000	-	100,000
	2차년도	2014. 12. 24. ~ 2015. 12. 23	140,000	-	140,000
	3차년도	2015. 12. 24. ~ 2016. 12. 23	120,000	-	120,000
	계	2013. 12. 24 ~ 2016. 12. 23	360,000	-	360,000
참여기업	-				
상대국	-	상대국연구기관	-		

※ 총 연구기간이 5차년도 이상인 경우 셀을 추가하여 작성 요망

2. 평가일 : 2017. 01. 24

3. 평가자(연구책임자) :

소속	직위	성명
충남대학교	교수	정선옥

4. 평가자(연구책임자) 확인 :

본인은 평가대상 과제에 대한 연구결과에 대하여 객관적으로 기술하였으며, 공정하게 평가하였음을 확약하며, 본 자료가 전문가 및 전문기관 평가 시에 기초자료로 활용되기를 바랍니다.

확약	
----	--

I. 연구개발실적

※ 다음 각 평가항목에 따라 자체평가한 등급 및 실적을 간략하게 기술(200자 이내)

1. 연구개발결과의 우수성/창의성

■ 등급 : (**아주우수**, 우수, 보통, 미흡, 불량)

연구목표	연구내용
유선 및 근거리 무선 통신을 이용한 센서 인터페이스 모듈 설계 및 기본 성능시험	<ul style="list-style-type: none"> - 입력/출력 신호 형태: 아날로그, 디지털, RS-232, MODBUS 인터페이스 모듈설계 - 입력/출력 신호 크기별(예, mV, 5V, 12V), 인자수별(단일, 복합) 모듈설계
센서신호처리, 제어알고리즘 개발 및 기본 성능시험	<ul style="list-style-type: none"> - 센서 신호처리: 증폭, 노이즈 필터링, A/D변환, 연산 기능 등 - 제어알고리즘: ON/OFF, PID, 인공지능(퍼지 등) 알고리즘 구현
유선 및 근거리 무선 통신을 이용한 센서인터페이스 모듈 현장적용	<ul style="list-style-type: none"> - 신호 protocol, 전송 주기 등 설정 기능 - 자동/수동, 현장/원격, 비상시 대처 기능
센서신호처리, 제어알고리즘 개발 및 현장적용	<ul style="list-style-type: none"> - 유선 통신, 무선 통신, 센서 네트워크 시나리오별 설계 - 성능시험: 센서 및 제어 요소별 정밀도, 정확도, 응답특성 등
유선 및 근거리 무선 통신을 이용한 센서 및 제어 인터페이스 모듈 시스템 고도화	<ul style="list-style-type: none"> - 현장 적용 시 문제점 보완 - 산업화 표준 사양 검토, 제작 사양 결정
센서 신호처리, 제어알고리즘을 적용한 모듈의 시제품 고도화	<ul style="list-style-type: none"> - 개선된 센서 모듈 고도화 설계: 근권부, 지상부 센서 - 개선된 제어 모듈 고도화 설계: 근권부, 지상부 환경 제어 - 개선된 센서 신호 처리 및 제어 알고리즘 탑재 - 사용자 매뉴얼 제작

2. 연구개발결과의 파급효과

■ 등급 : (아주우수, **우수**, 보통, 미흡, 불량)

○ 연구개발을 통한 파급효과

- 온실 환경 모니터링 및 제어 관련 대부분 장비가 수입품이어 가격이 높고, 농가에서 사용하기 어려우며, 제품간 호환성이 문제가 되고 복합환경제어시스템 구성이 어려움
- 따라서, 한글 메뉴 등 국내 농가가 사용하기 쉬우며, 맞춤형 모듈화 제작으로 호환성과 확장성을 확보하고자 함
- 또한, 배지재배가 증가하고 있으므로 근권부 환경제어 기술을 적용하고, 작물생육 모델링과 전문가 시스템을 통한 지상부 환경제어 기술을 적용한 알고리즘이 탑재된 S/W를 제공하고자 함
- 본 연구에서 개발하고자 하는 제품의 성능과 가격 목표를 아래와 같이 제시함

종류		성능		가격	
		외국제품	연구목표	외국제품	연구목표
센서 모듈	지상부 (온도, 습도, 이산화탄소 등)	8	7	2	9
	근권부 (토양수분, pH, EC 등)	10	8	3	10
	평균	9	7.5	2.5	9.5
제어 모듈	지상부 (난방기, 환기팬 등)	7	4	3	6
	근권부 (펌프, 밸브 등)	8	6	6	8
	컨트롤러 (관수, 양액, 난방 등)	10	7	2	10
	평균	8.3	5.6	3.6	8
원격 관리 모듈	인터넷 (홈페이지)	10	7	2	8
	스마트폰 (어플리케이션, SMS 등)	10	5	1	9
	평균	10	6	1.5	8.5

- 사업화 전략은 국내·외 특허, 인증 획득, 논문 게재, 신문·TV광고·잡지광고, 국가 정책사업 국내 전시회 및 해외전시회에 출품 등 마케팅 전략 수립 및 시장·수요를 분석하고, 시작은 농업부터 적용 범위를 넓혀, 공업용, 식품 가공 보조용 등 여러 분야에 적용할 것이며, 관련기술의 기술력을 국내·외로 인정받아 내수 및 수출을 활성화하는 등 국내·외 진출의 교두보를 확보
- 각종 시설원에 사업단과 연계하여 홍보, 생물환경조절학회 등에 연구내용 발표 및 전시, 농업 마이스터대학 등 농업인 단체를 통한 홍보를 실시하고, 특히 (주)신안그린테크에 시범온실을 운영하여 상시 홍보
- 지식재산권 출원 시 기존 특허와 차별화하여 본 연구개발 기술이 보호받도록 전략 수립. 또한 본 연구의 파생결과물도 보호받을 수 있도록 지식재산권 출원 시 청구범위 작성

3. 연구개발결과에 대한 활용가능성

■ 등급 : (아주우수, **우수**, 보통, 미흡, 불량)

○ 기술적 측면

- 온실 환경 모니터링 및 제어 관련 대부분 장비가 수입품이어 가격이 높고, 농가에서 사용하기 어려우며, 제품간 호환성이 문제가 되고 복합환경제어시스템 구성이 어려움이 있기 때문에 한글메뉴 등 국내 농가가 사용하기 쉬우며, 맞춤형 모듈화 제작으로 호환성과 확장성을 확보
- 사업화 전략은 국내·외 특허, 인증 획득, 논문 게재, 신문·TV광고·잡지광고, 국가 정책사업 국내전시회 및 해외전시회에 출품 등 마케팅 전략 수립 및 시장·수요를 분석하고, 시작은 농업부터 적용 범위를 넓혀, 공업용, 식품 가공 보조용 등 여러 분야에 적용할 것이며, 관련기술의 기술력을 국내·외로 인정받아 내수 및 수출을 활성화하는 등 국내·외 진출의 교두보를 확보
- 주관기업에 의한 자체 사업화로 인한 국내 ICT 산업 후발주자들의 ICT융복합 산업활성화
- 농기자재 및 농업용 정보통신기기 산업의 국제적 경쟁력 향상

○ 연구개발과 인력양성

- 산업화, 실용화 과정을 통해 참여업체 인력양성 및 신규인력 채용
- 온실 복합환경제어 관련 생산시스템 및 원예학 분야 인력 양성
- 센서 및 제어 인터페이스 모듈, 원격 관리 모듈 제작 인력 양성
- 작물생산 근권부 및 지상부 제어 기술 관련 인력 양성

4. 연구개발 수행노력의 성실도

■ 등급 : (**아주우수**, 우수, 보통, 미흡, 불량)

본 연구를 진행하면서 온실 복합환경제어시스템을 설계 제작하고 성능시험을 진행하여 논문발표, 특허출원 및 등록, 국·내외 학술발표 등의 다양한 실적을 갖추었고, ICT 기술을 적극적으로 활용하여 외국 제품보다 성능이 우수하고, 가격이 저렴하며, 농민들이 선택적으로 쉽게 활용할 수 있는 융합통신기술과 RAD를 이용한 맞춤형 온실환경 제어모듈 실용화 기술을 개발하였음

5. 공개발표된 연구개발성과(논문, 지적소유권, 발표회 개최 등)

■ 등급 : (이주우수, 우수, 보통, 미흡, 불량)

번호	구분 (논문/ 특허/ 기타)	논문명/특허명/기타	소속 기관명	역할	논문게재지/ 특허등록국 가	Impact Factor	논문게재일 /특허등록일	사사여부 (단독사사 또는 중복사사)	특기사항 (SCI여부/인 용횟수 등)
1	논문	Variability of soil water content, temperature, and electrical conductivity in strawberry and tomato greenhouses in winter	충남대학교	주저자	바이오 시스템공학/ 대한민국	-	2014.02.19	단독사사	비SCI
2	논문	육묘 과정 중 포트에 충전된 팽연왕겨 혼합상토의 함수량 변화와 '설향'딸기의 생장 반응	충남대학교	교신저자	원예과학 기술지/ 대한민국	0.261	2015.02.28	단독사사	SCIE
3	특허	온실환경 계측장치	충남대학교	출원인	대한민국	-	2015.01.23	-	-
4	특허	전력선 통신 기반 부하 조절 장치	충남대학교	출원인	대한민국	-	2015.03.09	-	-
5	특허	초음파센서를 측부에 구비한 자율주행형 온실환경 계측장치(Greenhouse environment measurement device of Self-moving type having an ultrasonic sensor on the side)	충남대학교	출원인	대한민국	-	2015.11.06	-	-
6	특허	직층 구조를 이용한 전원 및 통신회선 공유장치	충남대학교	출원인	대한민국	-	2016.11.23.	-	-

II. 연구목표 달성도

세부연구목표 (연구계획서상의 목표)	비중 (%)	달성도 (%)	자체평가
유선 및 근거리 무선 통신을 이용한 센서 및 제어 요소 인터페이스 모듈 설계	20	100	- 입력/출력 신호 모듈설계(100%) - 입력/출력 신호 크기별 모듈설계(100%)
센서신호처리, 제어알고리즘 개발 기본 성능시험	20	100	- 센서 신호처리 완료(90%) - 제어알고리즘: ON/OFF, PID, 인공지능(퍼지 등) 알고리즘 구현(90%)
유선 및 근거리 무선 통신을 이용한 센서 및 제어 요소 인터페이스 모듈 현장적용	20	100	- 신호 protocol, 전송 주기 등 기능 설정(90%) - 자동/수동, 현장/원격, 비상시 대처 기능(90%)
센서신호처리, 제어알고리즘 개발 현장적용	10	100	- 유선 통신, 무선 통신, 센서 네트워크 시나리오별 설계(100%) - 성능시험: 센서 및 제어 요소별 정밀도, 정확도, 응답특성 등(100%) - 시범온실 및 2개 이상 농가 적용(80%)
유선 및 근거리 무선 통신을 이용한 센서 및 제어 요소 인터페이스 모듈 시스템 고도화	20	100	- 현장 적용 시 문제점 보완(90%) - 산업화 표준 사양 검토, 제작 사양 결정(90%)
센서 신호처리, 제어알고리즘을 적용한 모듈의 시작품 고도화	10	100	- 개선된 센서 모듈 고도화 설계: 근권부, 지상부 센서(90%) - 개선된 제어 모듈 고도화 설계: 근권부, 지상부 센서(90%) - 개선된 센서 신호 처리 및 제어 알고리즘 탑재(90%) - 사용자 매뉴얼 제작(90%)
합계	100	100	

III. 종합의견

1. 연구개발결과에 대한 종합의견

본 연구는 ICT기술을 접목한 온실환경제어시스템을 개발하는 것을 목표로 원예온실 내 환경제어장비를 온도, 습도, CO₂, EC, PH등의 센서를 통해 설정값에 따른 자동제어 뿐만 아니라 수동제어까지 실시간 모니터링이 가능하여 작물의 각종 병해충 예방 및 비상시 대처를 대응할수 있는 실용연구임
현재 온실기기 통합제어기 및 PC기반 환경제어프로그램에 대한 사업화를 진행 중에 있음

2. 평가시 고려할 사항 또는 요구사항

- 특이사항 없음

3. 연구결과의 활용방안 및 향후조치에 대한 의견

- 특이사항 없음

IV. 보안성 검토

- 특이사항 없음

※ 보안성이 필요하다고 판단되는 경우 작성함.

1. 연구책임자의 의견

- 특이사항 없음

2. 연구기관 자체의 검토결과

- 특이사항 없음

[별첨 3]

연구성과 활용계획서

1. 연구과제 개요

사업추진형태	<input type="checkbox"/> 자유응모과제 <input checked="" type="checkbox"/> 지정공모과제	분 야	LB0805(농업기계학/농업생산시설/환경)
연구과제명	융합통신기술과 RAD를 이용한 맞춤형 온실환경 제어모듈 실용화 기술 개발		
주관연구기관	충남대학교	주관연구책임자	정 선 옥
연구개발비	정부출연 연구개발비	기업부담금	연구기관부담금
	1,500,000 천원	510,000 천원	-
연구개발기간	2013. 12. 24. ~ 2016. 12. 23(3년)		
주요활용유형	<input checked="" type="checkbox"/> 산업체이전 <input checked="" type="checkbox"/> 교육 및 지도 <input type="checkbox"/> 정책자료 <input checked="" type="checkbox"/> 기타(사업화) <input type="checkbox"/> 미활용 (사유:)		

2. 연구목표 대비 결과

당초목표	당초연구목표 대비 연구결과
① 온실 복합환경제어시스템 통합 시작품 설계 및 성능시험	<ul style="list-style-type: none"> - 유선 및 근거리 무선 통신을 이용한 센서 및 제어 요소 인터페이스 모듈 설계/개발 - 센서신호처리, 제어알고리즘 개발, H/W 및 S/W 개발/고도화
② 인터넷과 스마트폰을 이용한 온실환경 원격제어기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> - 인터넷 기발 온실환경 원격제어기술 개발 - 스마트폰 기발 (CDMA, Application) 온실환경 원격제어기술 개발
③ 온실 근권부 환경 복합제어기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> - 배지 종류별 센서 이용 기술 확립 - 작물별(딸기, 국화) 최적 근권 환경제어 기술 확립
④ 온실 지상부 환경 복합제어기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> - 지상부 환경에 따른 작물(딸기, 국화) 생육 모델링 - 지상부 최적 환경제어 기술 확립, 생리장해와 병해충 진단 전문가 시스템 구축
⑤ 온실 복합환경제어시스템 제작 및 실용화 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> - 요소 및 통합시스템 제작 및 현장적용, 실용화/산업화 추진 - 작물생육 및 병해충 모니터링을 위한 영상 전송 모듈 개발

3. 연구목표 대비 성과

성과목표	사업화지표										연구기반지표								
	지식 재산권			기술 실시 (이전)		사업화					기술 인증	학술성과			교육 지도	인력 양성	정책 활용·홍보		기타 (타 연구 활용 등)
	특허 출원	특허 등록	품종 등록	건수	기술료	제품화	매출액	수출액	고용 창출	투자 유치		논문		학술 발표			정책 활용	홍보 전시	
												SC I	비 SC I						
최종목표	5	5		5		5					8	19		10			10		
연구기간내 달성실적	5	5		5		5			3		3	8	8	10			10	3	
달성율(%)	100	100		100		100					38	40		100			100		

4. 핵심기술

구분	핵심기술명
①	온실 복합환경제어시스템 통합 시작품 설계 및 성능시험
②	인터넷과 스마트폰을 이용한 온실환경 원격제어기술 개발
③	온실 근권부 환경 복합제어기술 개발
④	온실 지상부 환경 복합제어기술 개발
⑤	온실 복합환경제어시스템 제작 및 실용화 기술 개발

5. 연구결과별 기술적 수준

구분	핵심기술 수준					기술의 활용유형(복수표기 가능)				
	세계 최초	국내 최초	외국기술 복제	외국기술 소화흡수	외국기술 개선개량	특허 출원	산업체이전 (상품화)	현장애로 해결	정책 자료	기타
온실 복합환경제어시스템 통합 시작품 설계 및 성능시험		v		v		v	v	v		
인터넷과 스마트폰을 이용한 온실환경 원격제어기술 개발		v			v	v		v		
온실 근권부 환경 복합제어기술 개발		v			v	v		v		
온실 지상부 환경 복합제어기술 개발		v			v	v		v		
온실 복합환경제어 시스템 제작 및 실용화 기술 개발		v			v	v	v	v		

* 각 해당란에 v 표시

6. 각 연구결과별 구체적 활용계획

핵심기술명	핵심기술별 연구결과활용계획 및 기대효과																																			
<p>온실 복합환경제어시스 템 통합 시작품 설계 및 성능시험</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 온실 환경 모니터링 및 제어 관련 대부분 장비가 수입품이어서 가격이 높고, 농가에서 사용하기 어려우며, 제품간 호환성이 문제가 되고 복합환경제어시스템 구성이 어려움. 따라서, 한글 메뉴 등 국내 농가가 사용하기 쉬우며, 맞춤형 모듈화 제작으로 호환성과 확장성을 확보하고자 함 - 또한, 배지재배가 증가하고 있으므로 근권부 환경제어 기술을 적용하고, 작물생육 모델링과 전문가 시스템을 통한 지상부 환경제어 기술을 적용한 알고리즘이 탑재된 S/W를 제공하고자 함 																																			
<p>인터넷과 스마트폰을 이용한 온실환경 원격제어기술 개발</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 재배 배지종류별 계측 및 제어 통신 시스템 연동 - 온실 복합환경 원격제어를 위한 ICT 융합 미들웨어 서비스개발 - Web 2.0 기반 (TCP/IP, WIFI) 온실 환경 원격 제어 시스템 개발 - 인터넷기반 온실환경 원격제어 시스템 무결성 검증 및 보안 																																			
<p>온실 근권부 환경 복합제어기술 개발</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 농민들이 ICT기술을 활용하여 딸기, 국화 재배에 활용하여 물/양액 이용 효율성과 생산성을 높임 - 원격제어기술을 이용한 환경 측정 및 제어 기술은 다른 원예작물에도 적용 가능하며 각 원예 작물에 맞는 최적 생육 조건을 구명하며, 또한 양액의 이용을 최소화 하여 생산비를 줄일 수 있음 																																			
<p>온실 지상부 환경 복합제어기술 개발</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 작물(딸기, 국화) 생육 균형 판단 지표 활용 - 복합환경제어시스템에 컨설팅 시스템인 전문가 시스템 장착 - 웹기반 온실 작물의 생리장해와 병해충 진단 전문가 시스템 고도화 																																			
<p>온실 복합환경제어 시스템 제작 및 실용화 기술 개발</p>	<p>- 산업화를 통한 기대효과</p> <p style="text-align: right;">(단위 : 백만원)</p> <table border="1" data-bbox="399 1485 1428 1794"> <thead> <tr> <th data-bbox="405 1494 630 1608">산업화 기준 항 목</th> <th data-bbox="636 1494 751 1608">1차년도</th> <th data-bbox="758 1494 873 1608">2차년도</th> <th data-bbox="879 1494 994 1608">3차년도</th> <th data-bbox="1000 1494 1115 1608">4차년도</th> <th data-bbox="1121 1494 1236 1608">5차년도</th> <th data-bbox="1243 1494 1422 1608">계</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="405 1617 630 1653">직접 경제효과</td> <td data-bbox="636 1617 751 1653">6,634</td> <td data-bbox="758 1617 873 1653">7,297</td> <td data-bbox="879 1617 994 1653">8,027</td> <td data-bbox="1000 1617 1115 1653">8,830</td> <td data-bbox="1121 1617 1236 1653">9,712</td> <td data-bbox="1243 1617 1422 1653">40,500</td> </tr> <tr> <td data-bbox="405 1662 630 1697">경제적 파급효과</td> <td data-bbox="636 1662 751 1697">13,268</td> <td data-bbox="758 1662 873 1697">14,594</td> <td data-bbox="879 1662 994 1697">16,054</td> <td data-bbox="1000 1662 1115 1697">17,659</td> <td data-bbox="1121 1662 1236 1697">19,425</td> <td data-bbox="1243 1662 1422 1697">81,000</td> </tr> <tr> <td data-bbox="405 1706 630 1742">부가가치 창출액</td> <td data-bbox="636 1706 751 1742">26,535</td> <td data-bbox="758 1706 873 1742">29,189</td> <td data-bbox="879 1706 994 1742">32,108</td> <td data-bbox="1000 1706 1115 1742">35,318</td> <td data-bbox="1121 1706 1236 1742">38,850</td> <td data-bbox="1243 1706 1422 1742">162,000</td> </tr> <tr> <td data-bbox="405 1751 630 1787">합 계</td> <td data-bbox="636 1751 751 1787">46,437</td> <td data-bbox="758 1751 873 1787">51,080</td> <td data-bbox="879 1751 994 1787">56,188</td> <td data-bbox="1000 1751 1115 1787">61,807</td> <td data-bbox="1121 1751 1236 1787">67,988</td> <td data-bbox="1243 1751 1422 1787">283,500</td> </tr> </tbody> </table> <p data-bbox="399 1816 1434 1973">* 산출 근거 : 우리나라 약 90,000 ha에 5년간 500대, 해외에 400대 판매 가정 경제적 파급효과는 직접 경제효과의 2배, 부가가치 창출액은 경제적 파급효과의 2배로 계산함. 각각의 년차별 산출액은 전년대비 10%의 성장을 가정하여 계산함.</p>	산업화 기준 항 목	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계	직접 경제효과	6,634	7,297	8,027	8,830	9,712	40,500	경제적 파급효과	13,268	14,594	16,054	17,659	19,425	81,000	부가가치 창출액	26,535	29,189	32,108	35,318	38,850	162,000	합 계	46,437	51,080	56,188	61,807	67,988	283,500
산업화 기준 항 목	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계																														
직접 경제효과	6,634	7,297	8,027	8,830	9,712	40,500																														
경제적 파급효과	13,268	14,594	16,054	17,659	19,425	81,000																														
부가가치 창출액	26,535	29,189	32,108	35,318	38,850	162,000																														
합 계	46,437	51,080	56,188	61,807	67,988	283,500																														

7. 연구종료 후 성과창출 계획

성과목표	사업화지표										연구기반지표							
	지식 재산권			기술실시 (이전)		사업화					기술인증	학술성과		교육지도	인력양성	정책 활용·홍보		기타 (타 연구활용등)
	특허출원	특허등록	품종등록	건수	기술료	제품화	매출액	수출액	고용 창출	투자유치		논문				학술발표	정책 활용	
											SC I	비 SC I						
최종목표	5	5		5		5						8	19		10		10	
연구기간내 달성실적	5	5		5		5			3			3	8	8	10		10	3
연구종료후 성과창출 계획												5	11					

8. 연구결과의 기술이전조건(산업체이전 및 상품화연구결과에 한함)

핵심기술명 ¹⁾	'온실 지상부 환경 복합제어기술 개발'(제주대)		
이전형태	<input checked="" type="checkbox"/> 무상 <input type="checkbox"/> 유상	기술료 예정액	천원
이전방식 ²⁾	<input type="checkbox"/> 소유권이전 <input type="checkbox"/> 전용실시권 <input checked="" type="checkbox"/> 통상실시권 <input type="checkbox"/> 협의결정		
이전소요기간	이전완료(16.11.21)	실용화예상시기 ³⁾	2017
기술이전시 선행조건 ⁴⁾	기술지도		

핵심기술명 ¹⁾	'전력선 통신 기반 부하 조절 기술'(충남대)		
이전형태	<input checked="" type="checkbox"/> 무상 <input type="checkbox"/> 유상	기술료 예정액	천원
이전방식 ²⁾	<input type="checkbox"/> 소유권이전 <input type="checkbox"/> 전용실시권 <input checked="" type="checkbox"/> 통상실시권 <input type="checkbox"/> 협의결정		
이전소요기간	이전완료(16.11.24)	실용화예상시기 ³⁾	2017
기술이전시 선행조건 ⁴⁾	기술지도		

핵심기술명 ¹⁾	'온실환경 계측 기술'(충남대)		
이전형태	<input checked="" type="checkbox"/> 무상 <input type="checkbox"/> 유상	기술료 예정액	천원
이전방식 ²⁾	<input type="checkbox"/> 소유권이전 <input type="checkbox"/> 전용실시권 <input checked="" type="checkbox"/> 통상실시권 <input type="checkbox"/> 협의결정		
이전소요기간	이전완료(16.11.24)	실용화예상시기 ³⁾	2017
기술이전시 선행조건 ⁴⁾	기술지도		

핵심기술명 ¹⁾	'온실재배에 필요한 환경 요소 무선 계측기술'(충남대)		
이전형태	<input checked="" type="checkbox"/> 무상 <input type="checkbox"/> 유상	기술료 예정액	천원
이전방식 ²⁾	<input type="checkbox"/> 소유권이전 <input type="checkbox"/> 전용실시권 <input checked="" type="checkbox"/> 통상실시권 <input type="checkbox"/> 협의결정		
이전소요기간	이전완료(16.12.15)	실용화예상시기 ³⁾	2017
기술이전시 선행조건 ⁴⁾	기술지도		

핵심기술명 ¹⁾	'초음파센서를 측부에 구비한 자율주행형 온실환경 계측 기술' (충남대)		
이전형태	<input checked="" type="checkbox"/> 무상 <input type="checkbox"/> 유상	기술료 예정액	천원
이전방식 ²⁾	<input type="checkbox"/> 소유권이전 <input type="checkbox"/> 전용실시권 <input checked="" type="checkbox"/> 통상실시권 <input type="checkbox"/> 협의결정		
이전소요기간	이전완료(16.11.24)	실용화예상시기 ³⁾	2017
기술이전시 선행조건 ⁴⁾	기술지도		