〈 목 차 〉

1. 연구개발과제의 개요

2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행내용

3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도

4. 연구개발성과 및 관련 분야에 대한 기여 정도

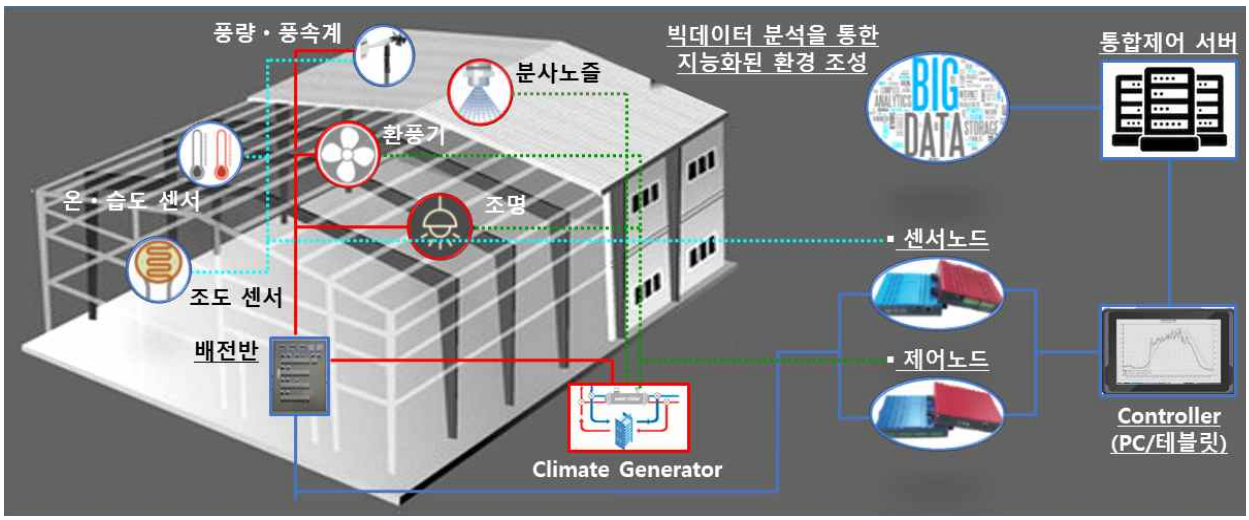
5. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획

1. 연구개발과제의 개요

1) 개요

○ 개발기술은 ICT 기술과 스마트팜 환경조성을 위한 냉난방 Climate Generator 및 조명, 온·습도 제어 공조 시스템을 적용하여 에너지 효율 절감 가능한 스마트팜 구현 시스템 개발에 관한 기술임

- 신청연구에서는 스마트팜 생장환경 유지관리에 대한 온도, 습도, 조도 등 내·외부 환경 정보 수집을 통해 자동원격 환경관리 및 빅데이터에 의한 지능화된 식물 생장 환경 조성이 가능한 시스템 개발 기술임
- 또한 스마트팜 시설물 내 지능화된 환경 조성을 위해 이용되는 Climate Generator 및 컨버전 조명을 적용함으로써 최적화된 생장환경을 조성함과 동시에 에너지 효율 및 사용광원 제조의 원가절감 가능한 시스템을 개발하고자 함
- 식물 생장유지에 필요한 온도 및 습도를 제어하기 위해 기존 가습기와 전열 히터 및 난방기를 사용하지 않고 Climate Generator를 적용함으로써 스마트 팜 구현 시스템의 간소화 및 에너지 절감 실현이 가능한 기술임
- 농가에서 수집한 데이터를 표준화하고 분석하여 대시보드를 통해 제공함으로써 농가는 제공된 대시보드를 이용하여 고수익을 기대할 수 있는 작물의 종류 및 토지나 온도 조건 등 적정한 생산방법에 대한 정보를 제공 받을 수 있는 기술임



○ 개발기술은 온도와 습도, 광원의 제어를 통해 작물 생육에 적합한 환경을 조성하기 위해 시스템 구성을 다음과 같이 3가지로 분류하여 기술개발을 실시함

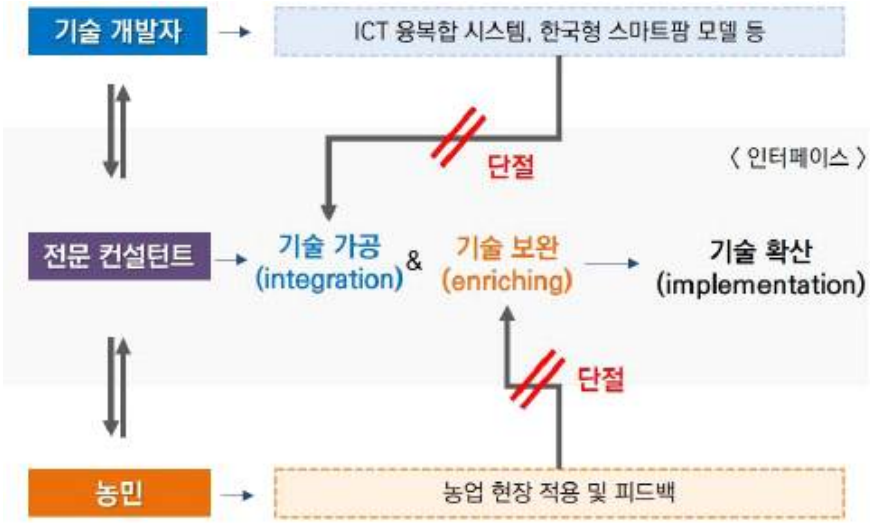
구분	세부항목	기능 및 내역
측정부	내부환경	온도, 습도, 조도
	외부환경	계절별 풍속, 풍량, 온도, 습도, 일사량 등
분석·제어부	빅데이터	환경요인 변화에 따라 식물생장의 최적화된 환경값 도출 및 조성 가능 시스템
	컨트롤러	상시 모니터링 및 Event 발생에 대처 가능 시스템 최적화
	메시지 전달	Event 발생 시 관리자에게 지속적으로 메시지 전달 시스템
구동부	환풍기	온도, 습도에 따라 입기량과 배기량의 최적화

	미세 분무기	습도 부족 및 온도 상승 시 환경 제어
	Climate Generator	온・습도 제어를 위한 온수・온풍 공급
	조명	구조물 내 식물생장에 적합한 조도 제어

2) 개발기술의 필요성

○ 기술적 측면

- 개발기술은 효율화된 에너지 저감 및 운영 경제성을 바탕으로 국내 작물 농가의 경쟁력을 높이고 미래성장산업으로의 견인이 가능한 기술임
- 스마트팜은 저투입 고효율 기술로의 인식으로 국내 ICT 및 기계부품 소재 산업의 발전에 따라 글로벌 경쟁력 확보가 가능한 기술임
- 그러나 현재 국내 스마트팜 기술은 2018년 과학기술정책연구원에서 분석한 "스마트농업 현장 착근을 위한 기술정책 제고방안"에서 결과와 같이 기술가공과 기술 보완적 측면에서의 단절에 의해 기술 확산의 어려움에 따라 기술개발에 대한 관심이 점차 낮아지고 있는 실정임



- 현재 스마트팜에 사용되는 장비/부품 및 시스템의 대부분은 해외 제품 도입에 따른 비용이 높으며, 고장 시 A/S의 문제점, 다른 제품과의 호환성이 낮은 문제점이 있어 기술개발을 통한 해외 제품 대체화 및 국산화가 요구됨
- 해외 스마트팜 산업의 선도국가 중 미국과 일본이 절대적 우위를 확보하고 있고, 한국과 4.6년의 기술격차가 존재하며, 글로벌 리더로는 미국의 DuPont와 일본의 후지쯔, 파나소닉팜, Spead사 등이 있음
- 일본의 Spead사는 세계 최대 규모의 수직형 상추식물공장을 운영하고 있고, 파나소닉팜사는 식물공장을 통해 80ton/년 규모의 채소를 소비자에게 공급하고 있음
- 국내 스마트팜 관련 기술은 원격감지・원격제어・자동화에 초점이 맞추어진 기술개발이 이루어지고 있으며, 센싱 기술을 제외한 조절/관리 부분에서 상대적으로 연구 성과 및 사업화가 부족한 상황임
- 현재 일본 소재·부품·장비의 대 한국 수출규제로 인한 지속적 무역이슈와 미래 스마트팜 기술경쟁력 확보를 위해 코어기술 확보가 절실함

국가	미국	네델란드	일본	독일	영국	프랑스	호주	한국	중국
기술수준 그룹	최고	선도	선도	선도	선도	선도	선도	추격	추격
기술수준(%)	100	99.1	97.7	93.3	89.5	89.1	83.4	74.8	61.1
기술격차(년)	0	0	0.8	1.4	2.1	2.2	3.4	4.6	7.0

* 출처 : 농림수산식품기술기획평가원, 한국의 스마트농업 현황과 주요과제, 2016

- 따라서 개발기술은 국내 스마트팜 산업의 국가경쟁력 확보 및 글로벌 시장 확대 제고를 위해 반드시 필요한 기술임

○ 사회적 측면

- 국내 농업은 현재 농업인구의 감소 및 고령과, 곡물자급률 하락, 농가소득 정체, 한반도 기후변화 심화 등의 어려움을 겪고 있어 해당 기술개발을 통해 사회적 문제를 해결할 수 있음
- 2019년 통계청이 발표한 농림어업조사 결과에 따르면 농업인구의 감소 및 고령화 추세에 따라 2018년 12월 기준으로 농가는 1,021,000가구로 전년도 대비 2.0% 감소하였으며, 농가인구는 2,315,000명으로 4.4% 줄어든 것으로 발표됨

	2017	2018	2019	2020	2021	증감 (C=B-A)	증감율 (C/A×100)
농가	1,121	1,089	1,068	1,042	1,021	-21	-2.0
농가비율(%)*	6.0	5.7	5.5	5.3	5.2	-0.2	-

* 농가비율(%) : 총가구 및 총인구에 대한 농가 비율

- 연령별 농가인구는 70세 이상이 755,000명으로 전체 농가인구의 32.2%로 가장 많았고 그 뒤를 60대, 50대 이상 순으로, 50~70대가 전체 73.8%인 것으로 보고됨

	계	10세 미만	10대	20대	30대	40대	50대	60대	70대 이상
2020	2,422 (100)	70 (2.9)	125 (5.2)	132 (5.5)	116 (4.8)	190 (7.9)	448 (18.5)	610 (25.2)	730 (30.1)
2021	2,315 (100)	60 (2.5)	110 (4.4)	115 (4.4)	106 (3.9)	166 (6.7)	409 (18.3)	605 (26.7)	745 (33.1)
증감	-107.3	-10.1	-15.1	-17.8	-10.5	-24.4	39.4	-4.7	14.7
증감률	-4.4	-14.4	-12.1	-13.4	-9.0	-12.8	-8.8	-0.8	2.0

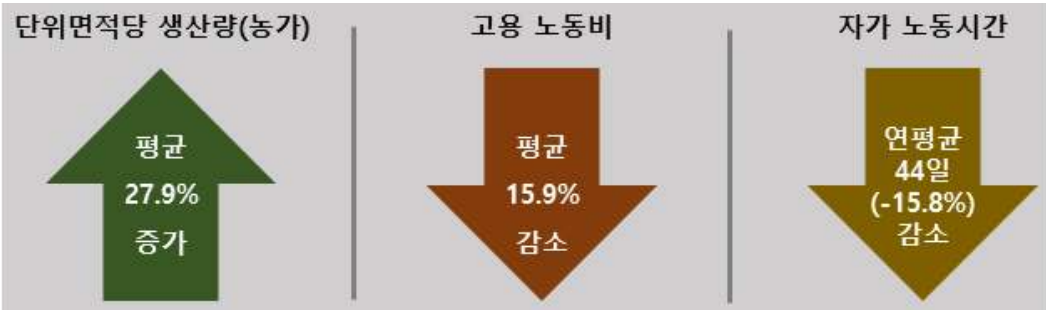
- 2018년 한국농촌경제연구원이 유엔식량온업기구(FAO) 산하 농산물시장정보시스템(AMIS)의 DB를 분석한 결과 국내 곡물자급률은 2015~2017년 기준 평균 23%로 세계에서 가장 낮은 것으로 보고되고 있음

○ 경제적 측면

- 2010년 초에 도입된 스마트팜의 발전방향은 생산성 중심에서 점차 지속가능성 중심 농업으로 전화되고 있는 실정으로, 농촌진흥청 보도자료에 따르면 스마트팜 기술을 도입한 농가의 생산성과 소득이 증가한 것으로 발표됨

분야	경영 성과	비교대상
시성원예 전반	▪단위면적당 생산량 27.9% 증가 ▪1인당 생산량 40.4% 증가 ▪고용노동비 15.9% 감소	스마트팜 설치 전후
토마토	▪수량 44.6% 증가 * 일반농가 65 → 스마트팜 94kg/3.3m2 ▪THEMR 20.3% 증가 * 일반농가 12,790 → 스마트팜 15,383천원/10a	일반농가 대비
딸기	▪소득 21.5% 증가 * 품질제고로 kg 당 판매가격 22.6% 증가	스마트팜 설치 전후
참외	▪수량 9.6% 증가 * 품질제고로 kg 당 판매가격 9.8% 증가 ▪소득 15.3% 증가 * 도입 전 5,962 → 도입 후 6,873천원/10a	스마트팜 설치 전후

- 농림축산식품부에서 실시한 2014~2016년 시설원예 농가 및 법인 59곳 조사 결과 스마트팜 도입에 따른 경제적 효과는 단위면적당 생산량 증가, 고용노동비 감소, 자가노동시간이 감소된 것으로 보고되고 있음



스마트팜 도입에 따른 경제적 효과

○ 정책적 측면

- 국내외적으로 스마트팜은 미래성장산업으로의 인식으로 원천기술확보 및 보급 확산을 위한 다양한 제도적 정책지원을 통해 활성화 유도를 하고 있음
- 개발기술은 핵심기술 개발 및 국산화, 첨단화에 초점이 맞추어진 기술이 아닌 국내 농가에서의 활용성과 실용성에 초점화한 기술로 참여농가의 증대를 통한 스마트팜 보급을 위한 정부정책과의 부합성이 높은 기술임

(단위 : 백만원)

구분	세부사업명	2017	2018	2019	2020	2021	총계
R&D	첨단생산기술개발사업 (농림축산식품부)	3,044	8,560	10,011	12,492	9,271	43,378
	ICT융합한국형 스마트팜 핵심기반기술개발사업 (농촌진흥청)	2,000	3,000	9,186	13,119	14,743	42,048
	첨단기술융복합 차세대 스마트팜 기술개발사업 (농촌진흥청)	-	-	-	-	6,000	6,000
	소계	5,044	11,560	19,197	25,611	30,014	91,426 (30.2%)
시설 보급	원예시설현대화 (농림축산식품부)	10,500	10,500	20,600	27,145	8,216	76,961
	축사시설현대화 (농림축산식품부)	5,975	8,855	20,020	26,890	49,800	111,540
	첨단온실신축지원 (농림축산식품부)	2,535	2,814	3,472	4,048	-	12,869
	농업종합자금 스마트팜지원 (농림축산식품부)	-	-	-	133	3,351	3,484
	소계	24,054	33,729	63,289	83,694	88,030	292,796 (67.7%)
교육	농업정보이용활성화사업 (농림축산식품부)	-	248	397	360	400	1,405
	농업・농촌교육훈련 (농림축산식품부)	-	893	1,216	1,216	1,495	4,820
	소계	-	33,977	63,686	84,054	88,430	294,201 (2.1%)
합계		24,054	34,870	64,902	85,403	93,276	302,505

3) 개발기술의 독창성 및 차별성

○ 농작물 관리의 편의성 및 효율성 향상이 가능한 지능형 무인 시스템 개발

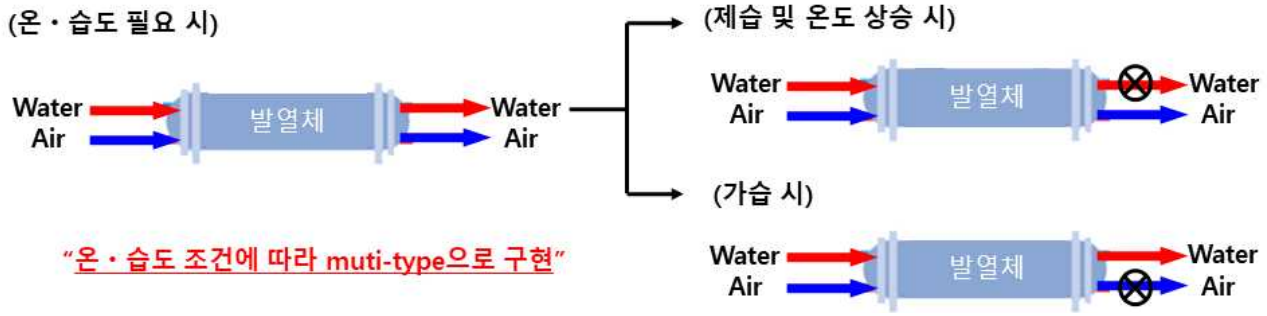
- 스마트팜 구축에 따른 관리 효율 및 편의성이 제공된 시스템의 대부부분 온습도 제어에 초점화 되어 센서부의 임의로 설정된 값에 의해 전열 히터 및 온열기, 가습기 등의 구동부가 작동되는 시스템으로, 주야간 또는 현재 온도를 고려한 온・습도 변화에 따른 설정값을 변경해야 함

- 개발기술은 최근 3년간의 지역/시간대 별 온・습도 정보, 대상 작물의 최적화된 환경 DB, 현재 시설물 내・외부 온・습도 수집 등을 통해 자동원격 환경 관리 및 빅데이터 산출에 의한 지능화된 스마트팜 환경 조성이 가능한 시스템임

○ Climate Generator를 이용한 System 구축 간소화 및 온·습도 제어 효율성 제고

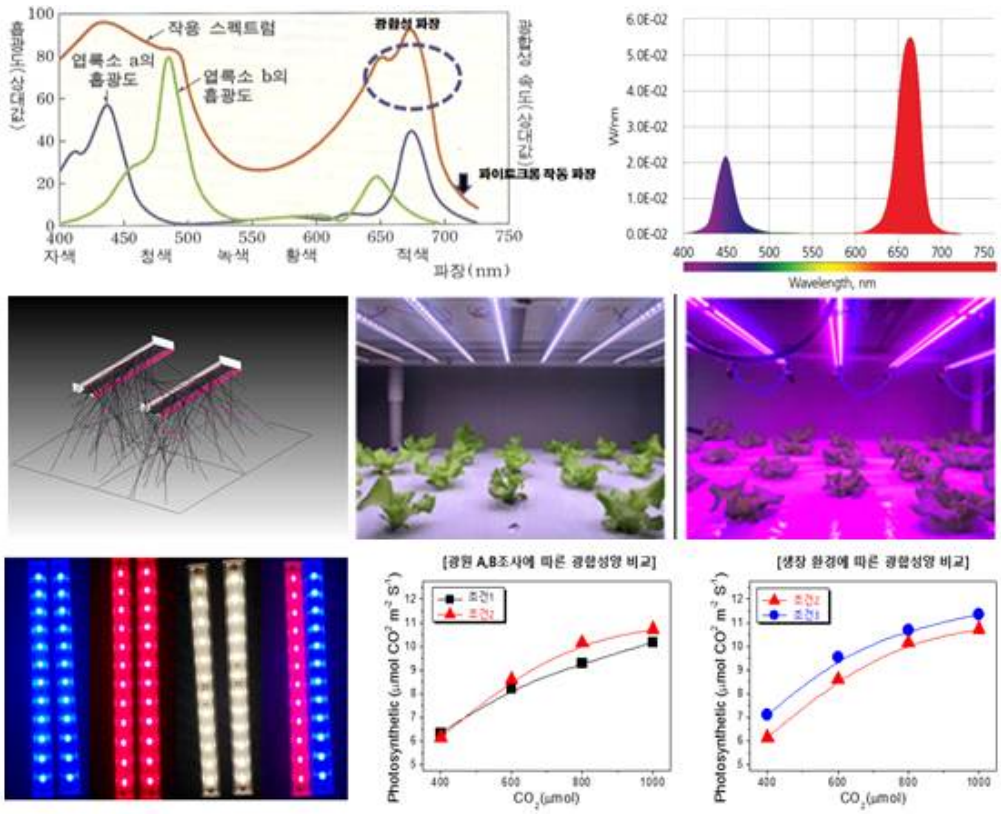
- 현재 스마트팜 시설물 내 온・습도 제어를 위해 대부분의 시스템에서는 전열 히터 및 온열기와 가습기를 별도로 사용하고 있으며, 적정 온도 유지를 위해 공기를 데워서 순환 시키는 방법과 습도 관리를 위해 가습기를 사용함으로써 온・습도 제어의 효율성이 낮으며, 사용전력의 효율성을 부여가 되고 있지 않음

- 개발기술에서는 순간 온도 상승이 가능한 발열체 적용에 따른 시스템 간소화 및 분무 액적(drop)의 미세화에 따른 온・습도 제어 및 식물 생장 효율성을 부여함



○ 식물생장 촉진 효율 향상을 위한 스마트팜 조명 최적조건 설계

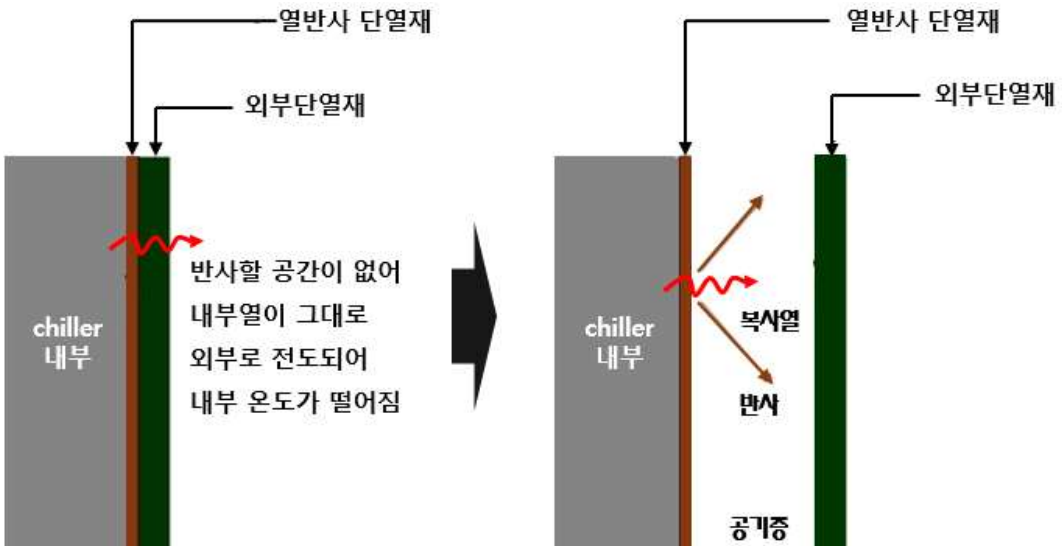
- 작물엽에서 일어나는 광합성작용은 클로로필a와 클로로필b에 의해 광 흡수 및 동화작용이 일으키는데, 이때 반응하는 파장대역은 청색과 적색 파장의 광원을 사용해 식물생장을 촉진시킴
- 청색광은 식물의 색소의 발색촉진 및 광합성 작용을 촉진화 하고, 적색광은 엽록소 작용, 발아작용, 잎 배포화 형성 등을 최대화함
- 이러한 청색광과 적색광으로 이루어진 식물생장 조명의 파장, 조합, 폭, 높이 등의 조건을 최적화하고 균일도를 향상함으로써 유효광양자속 및 광합성량을 증대하여 작물 생육 및 생장을 촉진할 수 있음
- 식물생장 촉진 효율 향상을 위한 최적화 조명 조건 부여에 대한 신뢰성 확보는 다음과 같이 이루어질 것임



신뢰성 평가

○ Climate Generator에서 생성된 온수의 저장효율성 증대를 위해 적용 온수 Tank 내 3중 벽면구조 설계에 따른 에너지 효율 10% 이상 달성 가능 기술

- 온수 Tank의 벽구조는 “열반사 단열체 + 공기층 + 외부마감재”로 구성함으로써 Chiller 내 열손실을 최소화 함

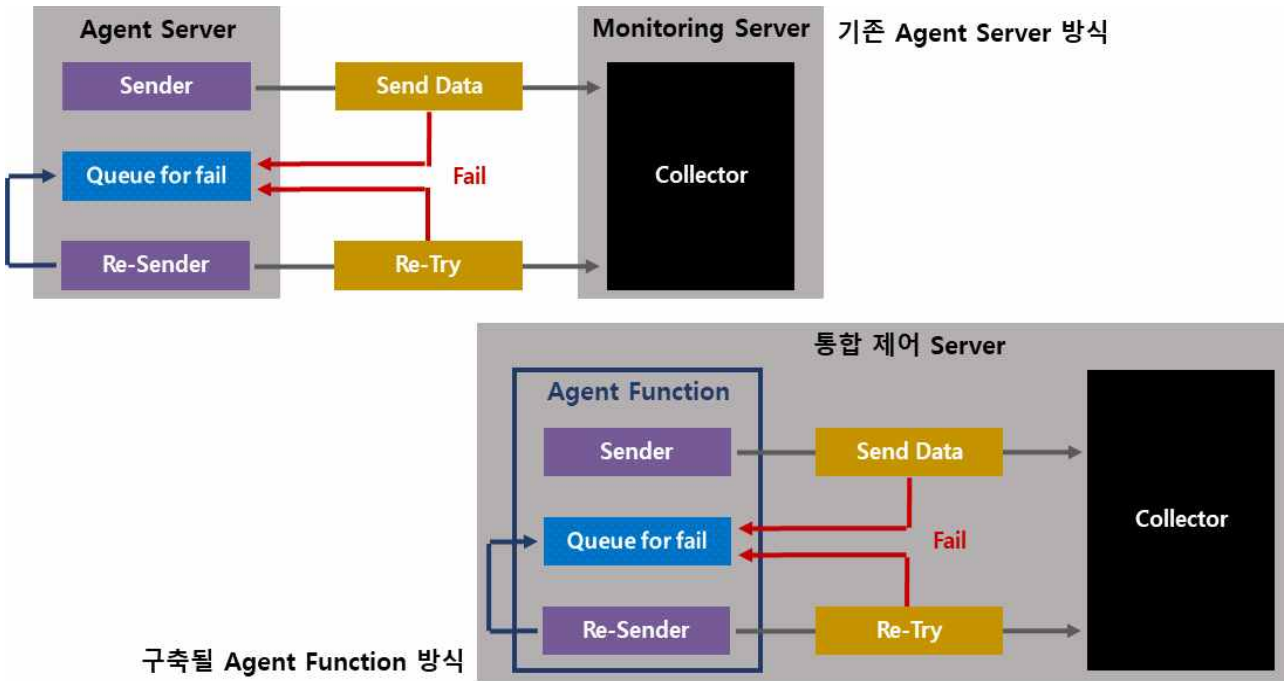


온수 탱크 벽구조

○ 스마트팜 시설물 내 모니터링 현황 및 결과, Event 발생 경보 및 누락 데이터가 발생되지 않도록 정밀도 향상을 위한 Agent Function 가능 기술

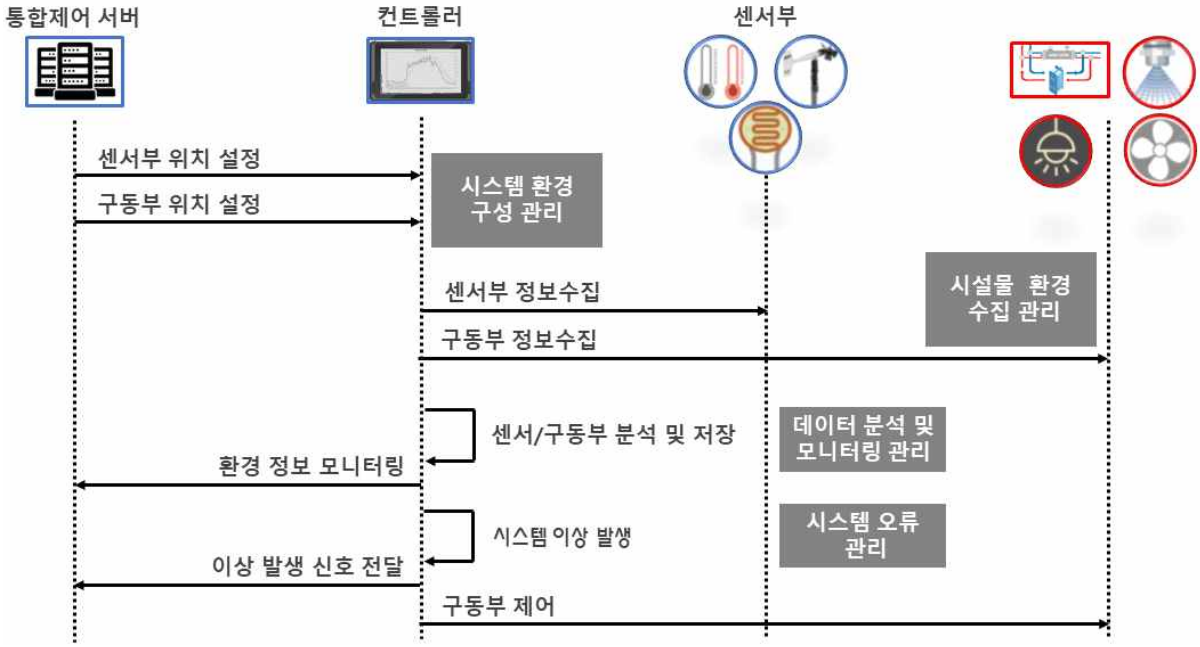
- 기존 Agent Server 방식은 Agent Server와 Monitoring Server를 별도로 구축함으로써 시스템 구축 비용이 증가되는 문제점이 발생

- 시설물 내 센싱부에서 제공되는 DB 및 Event 발생 시 알람 전송이 성공할 때 까지 반복하여 누락되지 않도록 Agent 기능을 통합 제어 서버 내에 구축



Agent 기능 방식

○ 지능형 스마트팜 시스템 구축을 위한 구현 시스템 간소화에 따른 경제성 부여 가능 기술



4) 기술개발 준비현황

(1) 선행연구 결과 및 애로사항

○ 스마트팜 구현을 위해 기술이전 실시

- 스마트팜 시설물 내 온·습도 제어 효율성 확보 방안의 일환으로 충남테크노파크의 스타트업 바우처 지원사업을 통해 2018년도에 국립공주대학교로부터 “희망 온열 쾌적지수 기반의 사용자 맞춤형 온도/습도 제어장치 및 방법”에 관한 특허를 기술이전 받음
- 해당특허는 공기 조화기의 구동 및 설정에 대한 정보를 입력받고 감지부를 통해 실내 환경 및 외부 환경을 측정하여 현재 온열 쾌적지수 최적화를 위해 스스로 학습하여 운전할 수 있도록 한 기술임
- 상기 이전기술의 사업화 실현을 위해서는 온·습도 센싱 정확도 구현 및 계절에 따른 외부 환경 변화 측정 데이터가 요구됨

○ 스마트팜 온·습도 관리 효율을 위한 에너지 공급 방식에 대한 선행기술 조사/분석

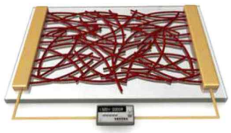
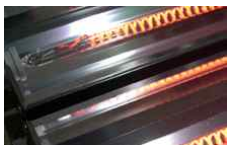
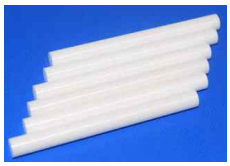
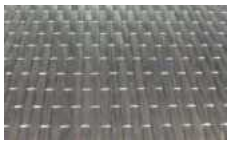
종류	분석 내용
히트펌프	▪냉매의 상변화 순환을 이용하여 지중열, 공기열 등을 흡수하여 시설난방에 활용 가능한 고온수를 생산하는 설비 ▪지열히트펌프, 태양잉여열 축열식 공기열히트펌프, 지하수열원히트펌프, 발전폐열원히트펌프 등의 농업용 모델이 개발되어 있음 ▪지열히트펌프는 경유온풍난방기 대비 70~80%의 난방비 절감효과가 있으며 여름철 냉방기로 활용이 가능한 다목적 공조설비임

열회수용 환기장치	▪원예시설의 환기 시 내부공기와 함께 버려지는 열을 열교환기에서 흡수하여 외부에서 유입되는 찬 공기를 가열하여 내부로 공급하는 장치 ▪온도, 습도(온실, 축사) 및 이산화탄소 농도(버섯사)를 설정하여 자동환기가 가능하며 필터 및 자동댐퍼를 달아 병해충 및 이물질 유입 방지도 가능 ▪버섯사 적용시 열회수율은 63~80%로 나타났으며 난방연료는 약 50%가 절감되는 것으로 분석됨
온풍난방기 배기열 회수장치	▪연소열의 20%에 달하는 연도로 버려지는 배기가스(250~300℃)의 열을 열교환기로 회수하여 온실에 공급하는 장치로 기존에 사용중인 온풍난방기의 연통부에 간단히 부착하여 사용할 수 있음 ▪온풍난방기 배기열의 61~85%를 회수하며 일평균 11.5~25.2%의 난방연료를 절감할 수 있음
순환식 수막시설	▪수막으로 사용한 지하수를 회수하여 일정한 온도로 가열하여 재활용함으로써 지하수 부족지역에서도 수막재배가 가능한 보온기술로 가온한 18~20℃의 지하수로 150~200L/분/10a 살수시 최저 외기온 영하 6℃에서 수막온실 내부기온을 8℃ 유지할 수 있음 ▪딸기 재배 시 경유 온풍난방기 대비 67%의 난방연료 절감이 가능하며 관행의 비순환식 수막시설 대비 81%의 지하수 절감이 가능함

다겹 보온 커튼 시스템	▪여러 단열재를 다겹으로 누빈 다겹 보온자재를 적용하여 보온력을 극대화하며 예인 및 권취 장치를 이용하여 온실전체를 완전히 밀폐하여 에너지절감효과를 극대화 할 수 있음 ▪관행의 3중 피복 비닐하우스 대비 난방연료가 약 40% 절감되며 초기수량 증대효과(풋고추, 27%)가 있으므로 최근 가온재배 온실에 활발히 보급되고 있음 ▪1-2W형, 무기둥 하우스, 광폭형 하우스, 단동하우스 등에 적용 가능한 다양한 모델이 개발되어 있음
목재펠릿 난방기	▪목재펠릿은 다른 목질계 연료보다 안전성, 균질성, 사용편리성, 운송·보관성이 우수하며 펠릿난방기의 연소효율도 기름보일러 수준으로 향상되고 있으나 보급 확대를 위해서는 펠릿의 품질향상과 유류 대비 가격경쟁력, 난방기 유지보수의 용이성이 요구됨 ▪경유온풍난방기(면세경유 1,000원/L) 대비 약 20%의 난방비가 절감되는 것으로 분석됨

○ Climate Generator 내 물 온도를 순간 상승 가능한 발열체 기술에 대한 선행연구

종류	분석 내용	이미지
TCM 발열체	▪투명 전도성 물질을 사용하여 순간 300℃ 이상의 온수 공급 가능 ▪96%/826kcal의 열효율 ▪높은 순간 발생온도로 적정 온도 공급을 위해 on-off 제어방식을 이용하고 있음	

CNT 발열체	▪저항 조절을 통해 200℃ 이하 범위까지 발열온도 조절 가능 면상 발열체 ▪CNT의 면상형성 제어가 어려워 온도 제현성이 낮음 ▪단선 발생시 전체 교체가 이루어져 유지보수 비용이 높음	
금속 발열체	▪Ni-Cr, Fe-Cr, Fe-Cr-Al 등이 있으며 가공성이 우수함 ▪순간 발열 온도가 비금속 발열체에 비해 낮으며, 산화 및 침화, 재결정화, 부식성 문제가 있음	
탄화규소계 발열체	▪700~1,000℃ 고온의 온도범위에서의 적합도가 높음 ▪세라믹 계열의 발열체로 온도에 따른 발열체 저항 특성이 변함 ▪700℃ 이상에서 부특성 범위에서는 전류가 불안정하여 온도 제어가 정확하지 않음	
탄소섬유복합 발열체	▪성형성이 높으며, 금속 발열체 대비 중량 감소화가 가능함 ▪내피로성, 방부식성이 높아 응용 확장성이 높음 ▪원가 경제성이 낮으며, 열전도도가 금속재료 보다 낮은 단점이 있음	

○ 스마트팜 대상 과채류의 생육 가능 온도범위 및 지온과 한계지온에 대한 선행연구

- 작물별 생육 가능 온도를 최저 한계온도, 생육적온, 최고한계온도로 구분하여 시설의 온도관리의 한계온도를 벗어나지 않도록 기술을 구현함

(단위 : ℃)

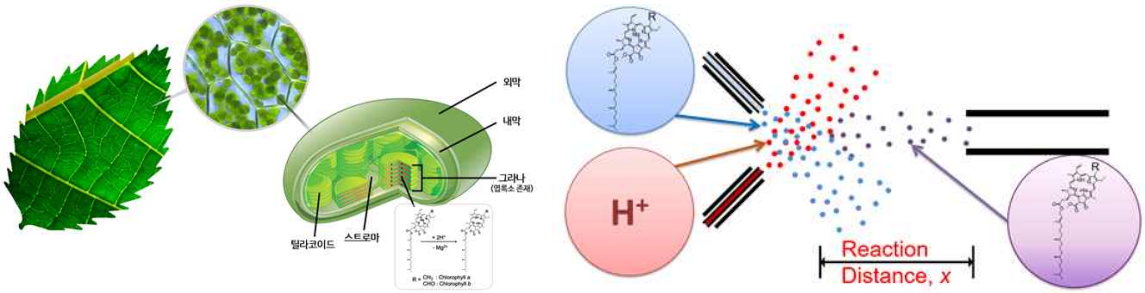
작물		최저한계온도	생육적온	최고한계온도
가지과	토마토	5	20~25	35
	가지	10	23~28	35
	고추	12	25~30	35
박과	오이	8	23~28	35
	수박	10	23~28	35
	멜론	15	25~30	35
	참외	8	20~25	35
	호박	8	20~25	35
엽근채류	시금치	8	15~20	25
	무	8	15~20	25
	배추	5	13~18	23
	셀러리	5	15~20	23
	쑥갓	8	15~20	25
	결구 상추	8	15~20	25
장미과	딸기	5	18~23	30

○ 온・습도 관리를 위해 분무되는 물의 액적(drop) 크기에 따른 식물 생장성 영향에 대한 선행연구

- 식물에 물방울이 충분히 작고 일정 조건이 갖추어지면 물방울 안에서 효소나 에너지 없이도 생화학 반응이 일어나 아르엔에이 기본 염기들이 만들어질 수 있다는 연구 결과가 보고됨

- 상기 연구결과는 미국국립과학원회보(PNAS)에 발표한 기초과학연구원(IBS) 식물노화수명연구단장 남홍길 교수 연구진과 리처드 제어 미국 스탠퍼드대학 교수 연구진은 2009년부터 생체 분자들의 화학 반응을 물방울 모형을 통해 실험하고 관찰하는 연구를 계속 수행하고 있음

- Micro 단위 크기의 물방울은 세포 안에서 효소나 생체 에너지가 있어야만 일어나는 생화학 반응이 미세 물방울에서 일어날 수 있다는 연구결과를 얻음. 세포의 생존에 반드시 필요한 '인산화'라는 반응이 마이크로 물방울에선 효소 없이도 저절로 일어났으며, 아르엔에이(RNA)를 구성하는 염기들도 물방울에서 만들어질 수 있는 것으로 연구결과를 보고함

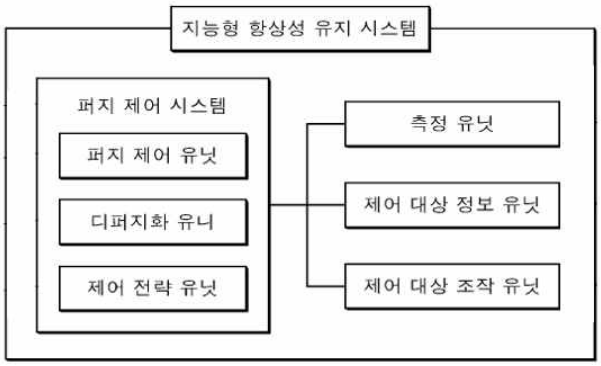


(2) 지식재산권 확보·회피 방안

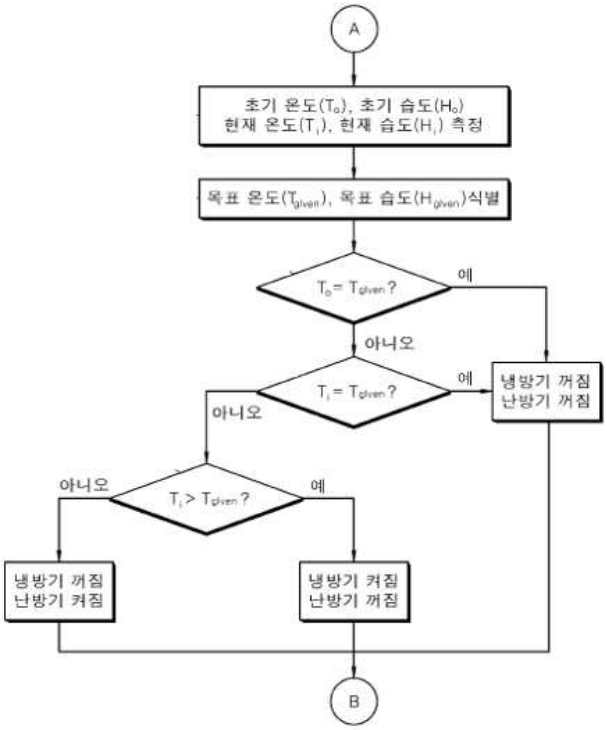
○ (한국) 10-2016-0043075 : 쾌적한 환경 조성을 위한 지능형 항상성 유지 시스템 및 방법

- 해당특허는 쾌적한 환경을 조성하기 위해 환경에 영향을 미치는 변수를 고려하여 더 정확하고 에너지 절약적으로 바람직한 온도 및 습도와 같은 영향 요소들을 설정할 수 있도록 구성된 시스템 및 방법에 관한 특허로, 퍼지 제어 시스템을 통해 구현하되, 쾌적한 환경 파라미터에 대한 언어학적 파라미터를 형성하고 바람직한 멤버십 함수를 결정하여 에너지 절약적인 공조시스템의 기반이 되도록 구성하였음

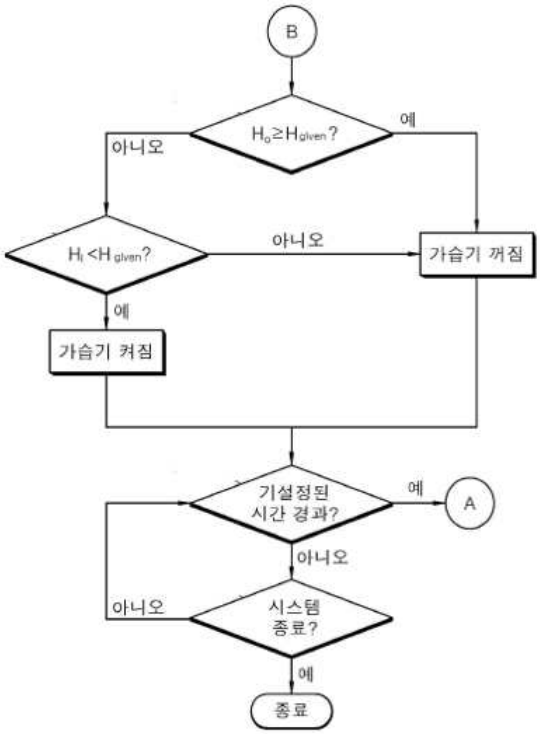
- 퍼지 변수(온도 차이(e) 및 온도변화율(△e))와 대응되는 멤버십 함수들 μ(e) 및 μ(△e)의 항(term)(LPD, APD, SPD, Z, SND, AND, LND)의 조합에 따라 어떤 조치가 취해져야 쾌적한 조건이 만족될 수 있는지에 대한 판단 기준이 제공되고, 각 조합에 맞는 냉방/난방 레벨별로 공조시스템이 제어됨으로써 더 미세하고 효율적으로 온도 조절이 가능한 효과가 있음



- 해당특허는 유입외기, 실내 사람에 의해 발생하는 열, 날씨 등 실내온도에 영향을 미치는 요소를 고려한 실시간 온·습도 제어 시스템이라는 점에서 개발기술과 기술적 유사성이 높음



퍼지 제어 프로세스의 온도 유지 과정



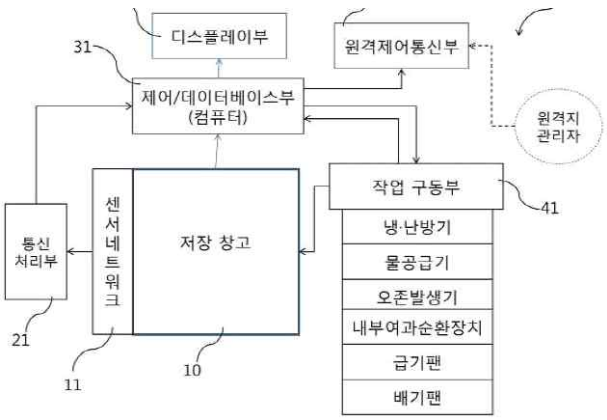
퍼지 제어 프로세스의 습도 유지 과정

- 그러나 해당특허는 일반적인 실내공간의 온・습도 제어 시스템인데 반해 개발기술은 농작물 생육을 위한 특수한 공간적 특성이 있으며, 온・습 관리 구현 방식에도 기술적 차이점이 있어 청구항에 기술구현상의 차이점을 부각시킨다면 지식재산권 확보에는 문제가 없을 것으로 판단됨

○ (한국) 10-2015-0098960 : 무인 자동 운전 및 원격 운전 농산물 저장 창고

- 해당특허는 농산물의 신선도 유지를 위해 저장 농산물에 대한 실시간 점검, 무인 자동 운전 및 원격 운전이 가능한 농산물 저장창고 시스템에 대한 특허임

- 창고 내·외부 온·습도, 압력 등 물리적 변수와 창고 내부 이산화탄소, 산소, 오존, 에틸렌 등 생화학적 변수 모니터링 센서 네트워크, 통신처리, 제어/ 데이터 관리, 물리적·화학적 환경 변수 조절을 위해 보일러, 물공급기, 내부순환장치, 배기팬 등 구동, 작동상태 및 제반 변수값 표시 디스플레이 등으로 이루어진 시스템으로써 특정 공간 내 환경 제어를 위한 자동화 시스템이라는 점에서 유사점이 있음



- 해당특허는 무인 자동 운전 및 원격 운전에 보다 집중되어 있으며, 환경제어 요소 중 저장공간의 수분 보충 및 오존(오존수) 공급 측면에 대한 기술 내용이 지배적으로, 스마트팜 시스템의 내부 환경을 제어하는 당 개발기술과 기술적 차이가 존재함

○ (한국) 10-2018-0157452 : 스마트팜과 건축물 냉난방을 위한 단일 급수방식을 이용한 지

열시스템 및 이의 시공 방법

- 해당특허는 스마트팜과 건축물 냉난방을 위한 단일 급수방식을 이용한 지열시스템 및 이의 시공 방법에 관한 것으로, 다수개의 지열공과 단일의 급수시설(급수정 또는 급수지열공)을 구성하고 지열공과 급수시설을 연결하여 지하수를 급수시설에 집수한 후 히트펌프에 공급함으로써 대규모 지열 용량에서도 한 대의 펌프를 운용할 수 있는 특허임
- 해당특허에서 냉난방을 위해 지열을 이용한 히트펌프 방식은 개발기술과의 차별성은 명백하게 존재하지만 최근 히트펌프 방식을 이용한 하이브리드 기술 적용에 따른 유용성이 높은 기술로 분석됨

개발대상 기술(제품, 서비스 등) 관련 지식재산권

지식재산권명	지식재산권출원인	출원국/출원번호
① 쾌적한 환경 조성을 위한 지능형 향상성 유지 시스템 및 방법	가천대학교 산학협력단	한국/1020160043075
② 무인 자동 운전 및 원격 운전 농산물 저장 창고	남궁규철	한국/1020150098960
③ 스마트팜과 건축물 냉난방을 위한 단일 급수방식을 이용한 지열시스템 및 이의 시공 방법	주식회사 지앤지테크놀러지	한국/1020180157452

2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용

1) 연구개발과제의 목표

(1) 최종 목표

기술개발 최종 목표

최종목표	지능형 생장환경 조성 및 에너지 절감형 스마트팜 시스템 구축을 위한 컨버전 조명 적용 및 Climate Generator 개발	
개발목표	개발 항목	개발 내용
3개월	Climate Generator 개발	① Climate Generator 설계/제작 ② Climate Generator 컨트롤 판넬 설계/제작
	모니터링 및 제어 시스템 구축	① 환경변수 제어 가능 관리 시스템 설계 ② 모니터링 및 환경관리 솔루션 개발
	식물생장용 스마트팜 조명의 최적 조건 설계	① 스마트팜 식물생장용 광원 및 조명 조건 설계 ② 식물생장용 조명 조도 균일도 향상 광학 시뮬레이션

○ 기술개발에서 목표로 하는 대상 작물

- 해당 기술개발에서 목표로 하는 작물은 새싹인삼, 비타민채, 로메인, 롤라리스 등 고부가

가치 작물을 비롯하여 동남아 시장에서 국내 작황물로 선호도가 높은 딸기, 오이 등과 동남아 지역에서 수요가 높은 대마, 아로니아를 중심으로 한 시스템 개발을 실시할 것임

- 특히 온도, 습도, 조도 등 재배 조건이 비슷한 새싹 인삼, 비타민채, 로메인, 딸기를 대상으로 함

대상 작물	온도(℃)		습도(%)	조도(Lux)	채광(%)
	주간 (08:00~18:00)	야간 (19:00~07:00)			
새싹 인삼	20~22	10~12	70~80	8,000~10,000	8~9
비타민채	20~25	15~20	70~90	9,000~12,000	8~10
로메인	15~20	10~15	80~90	1,000~25,000	15~25
딸기	10~15	15~25	60~80	40,000~50,000	20~30

○ 기술개발에서 목표로 하는 스마트팜 구조물

- 본 기술개발의 스마트팜 시스템 적용을 위한 구조물은 식물공장 개념의 컨테이너하우스를 대상으로 시스템을 개발하고, 개발된 기술을 적용하여 향후 보다 큰 하우스 개념(일천평, 3,305m2)으로의 식물 생장 환경 조성이 가능한 시스템으로의 확장을 모색함

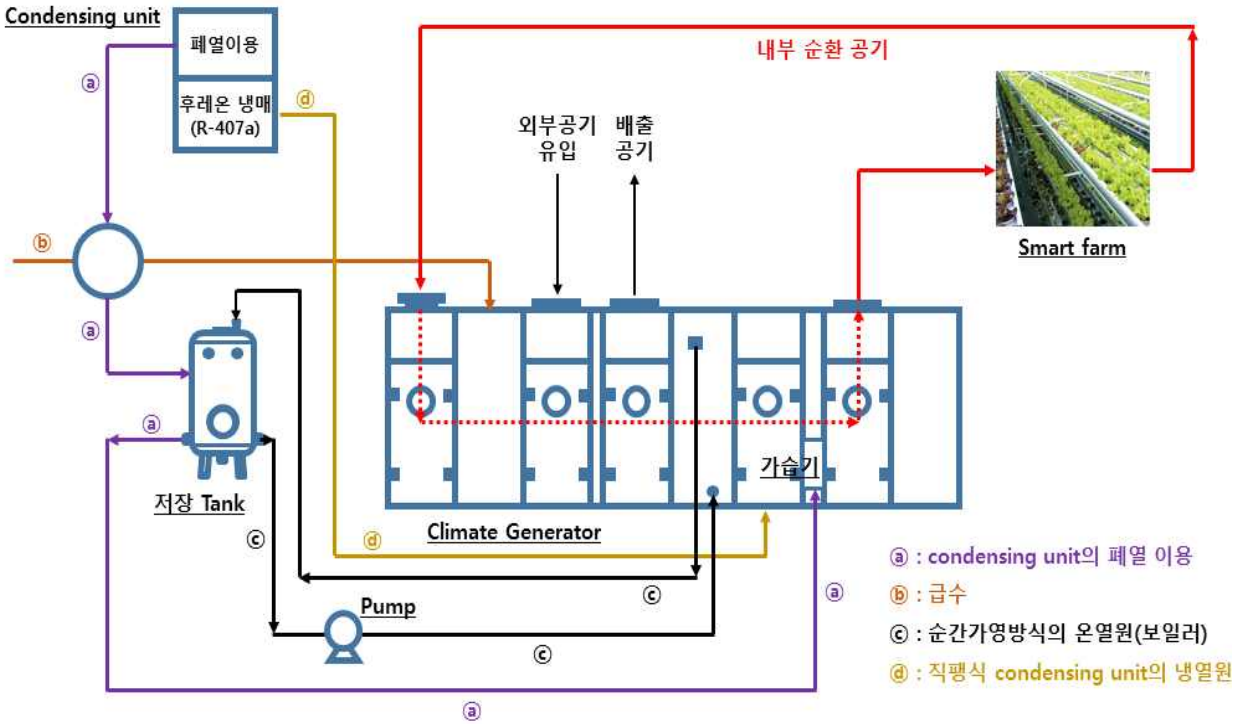
내부치수(mm)	길이(Length)	5,899
	폭(Width)	2,348
	높이(Hight)	2,390
개구부치수(mm)	폭(Width)	2,336
	높이(Hight)	2,278
내장 규격(CBM, m3)	L×W×H	2,336
중량(kg)	자체중량	2,290
	최대적재량	21,710
	총 중량	24,000

- 대상으로 하고 있는 작물들은 4계절 생산을 위해 대부분 1(200평)~2(400평)동 규모에서 재배 중에 있으며, 이러한 특수 작물은 묘종 가격이 높아 대단위의 재배가 이루어지고 있지 않은 점을 고려하여 해당 기술개발에서는 소단위의 생장 가능한 시스템 구축을 통해 사업화 과정에서 대면적 재배 가능한 시스템으로의 확장을 진행할 것임

(2) Climate Generator 설계 및 제작

○ Climate Genrator 구조

- 내부공기순환구조에 신선외기의 도입과 내부공기의 일부배출로 스마트팜 시설 내 환경의 구조를 동・식물 생장에 적합한 환경구조로 설계
- 환경구조에 맞는 모듈형태의 구조로 개발함으로써 대단위 시설물 면적에 대응 가능함

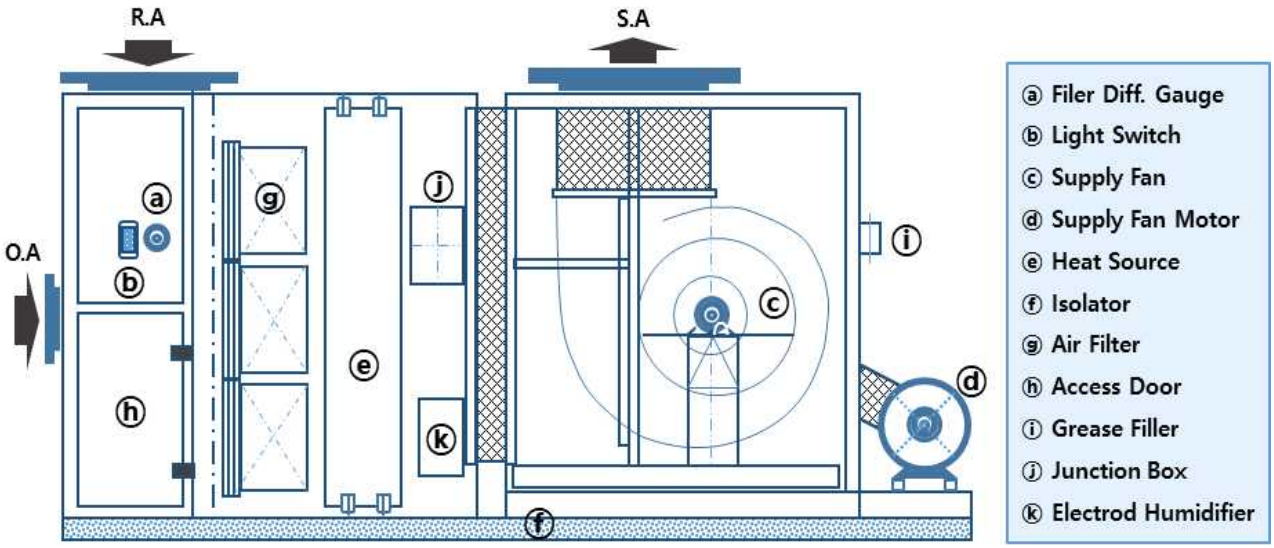


○ Climate Genrator의 구성

- 내부공기의 순환용 송풍기
- 내부순환공기의 필터
- 냉열원과 온열원의 열교환기
- 가열식 가습기(폐열을 이용한 pre-heating기능포함)
- 내부공기 감온 및 제습을 위한 직팽식 콘덴싱유니트(냉열원)
- 내부공기 가온 및 제습을 위한 순간가열방식의 온열원
- 온수를 순환 및 일정량을 보관할 수 있는 크린물탱크와 크린순환펌프(직팽식 콘덴싱유니트에서 발생된 폐열까지 회수하는 구조로 설계)
- 순간 발열체
- 외부공기 도입관
- 내부공기 방출관
- 외부공기 및 내부공기의 믹싱박스 또는 케이싱
- 소모된 물을 보충할 수 있는 보충시스템(폐열을 이용한 pre-heating 기능 포함)

○ Climate Generator의 개발 시 고려사항

- 자연환경에 노출되어 Climate Generator의 부식 및 노화현상을 고려함(태양광 노출 시 부식이 적은 색상선택 및 재질선정, 개선)
- 장비부식 및 노화현상 시 해당되는 부품의 교체가 용이한 구조를 구성함(pvc 또는 pvc 코팅제품의 선정)
- 일반 농가에서 손쉽게 구매 가능한 제품으로 구성하여, 제작단가를 낮춤(pvc파이프 및 pvc물통 등)
- 농약 및 농축비료등과 쉽게 접할 수 있는 환경임을 감안함



(3) Climate Generator 컨트롤 판넬 설계 및 제작

○ Control box의 설계

- 외부환경(부식, 고온다습, 저온저습)을 고려하며, 조작자의 선택조작이 용이하며, Climate Generator의 동작상태를 한눈에 파악할 수 있는 단순하며, 명료한 정보의 전달과 조작의 편리성, 센서류 등의 동작의 정밀과 신속성에 초점화된 설계
- 내부 전장부품 파손 시 손쉽게 교체할 수 있는 구조와 배치를 염두하여 설계하며, 관리자 중심의 조작버튼으로 조작 시 오류가 나지 않도록 설계
- 이상발생 시 모든 시스템을 cut-off 할 수 있는 기능이 포함되며, cut-off 시 민감한 컨트롤 부품의 내부파손에 대응하는 구조로 설계/제작

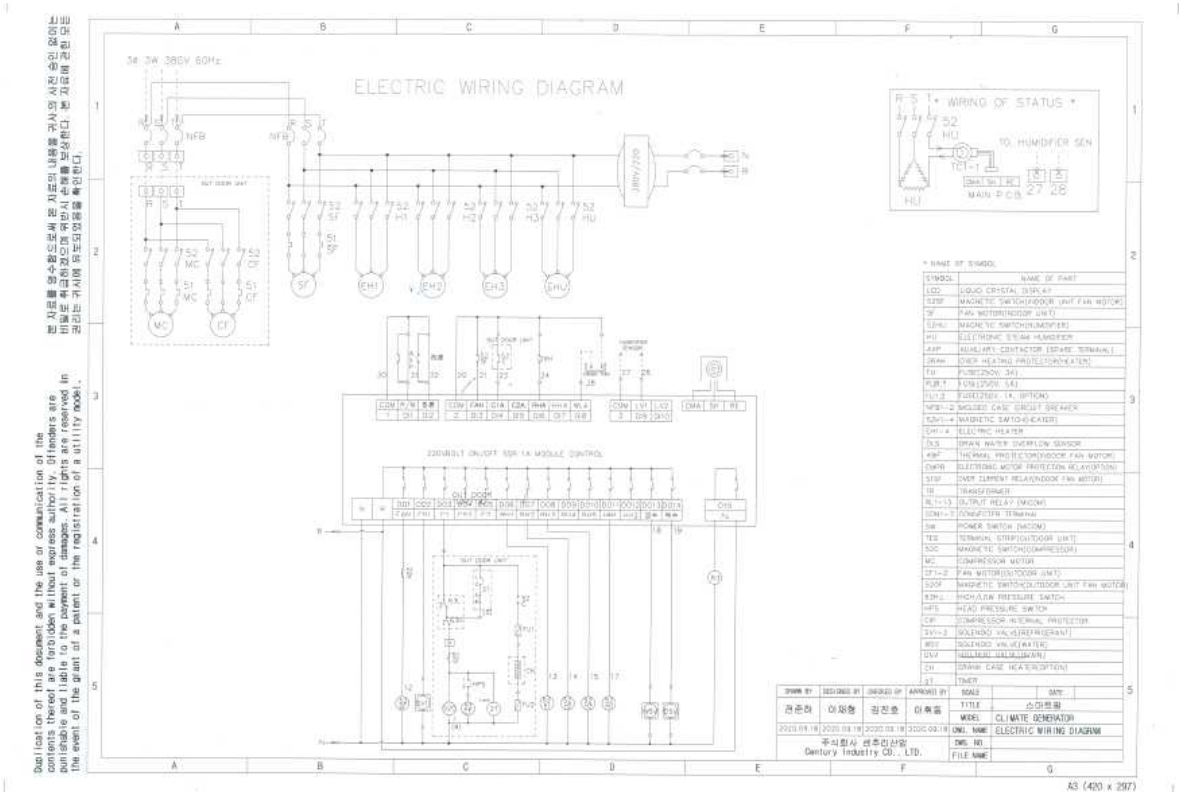
○ Control Box의 구성

- 온도, 습도, 발광조도를 감지하는 아날로그 및 디지털센서
- 아날로그, 디지털 in-out 제어 컨트롤러
- 터치식 모니터와 수동제어용 버튼스위치(야광기능)
- 차단기 및 MC의 구성
- 배선 덕트 및 배선
- 내부식성과 방수성이 높은 컨트롤 박스 케이싱

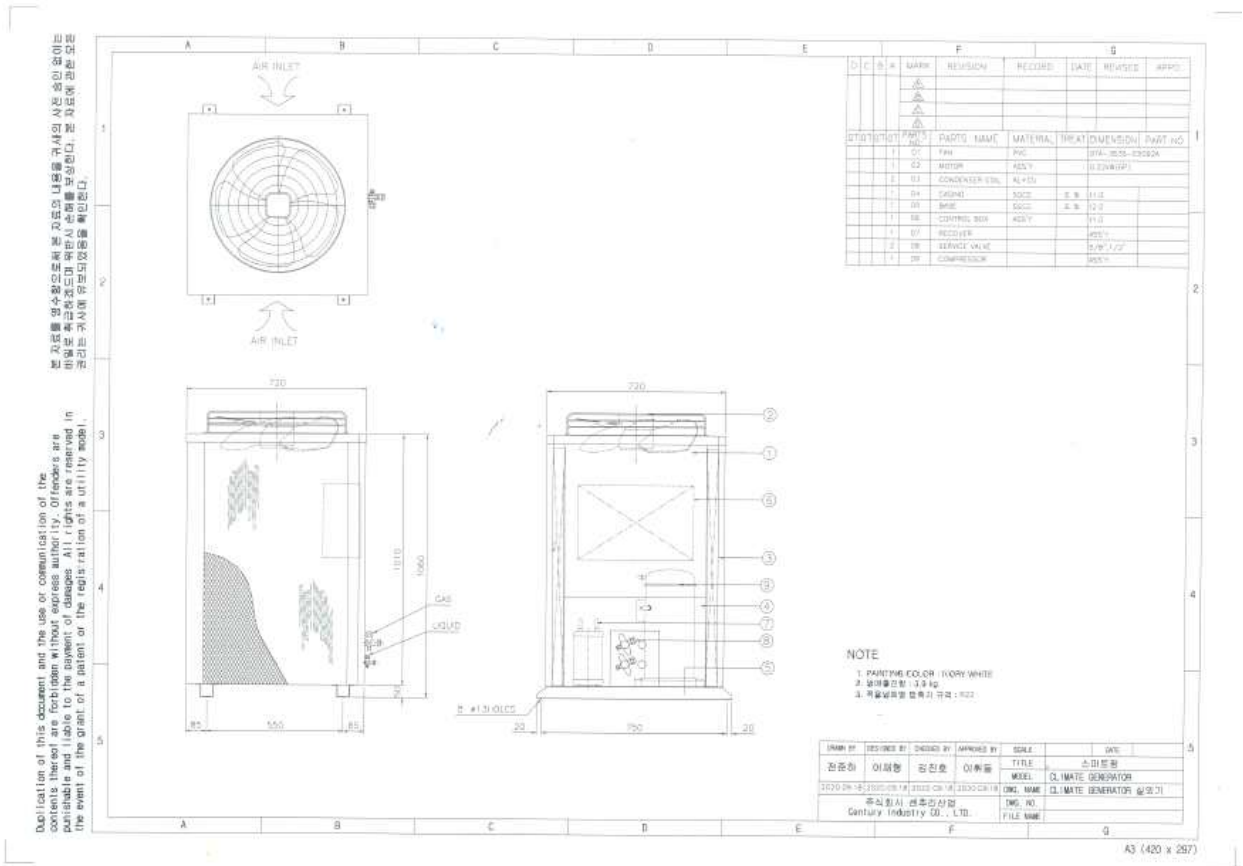
○ Climate Generator 컨트롤의 제작

- 자연환경에 노출되어 Climate Generator 컨트롤 박스의 부식 및 노화현상을 고려하며, 이중박스 등을 고려(습기 및 농약, 농약/비료에 의한 영향이 적은 재질고려)
- 장비부식 및 노화현상 시 해당되는 부품의 교체가 용이한 구조를 구성함(pvc 또는 pvc 코팅제품의 선정)
- Climate Generator의 작동상태를 애니메이션 기능을 넣어 보기 쉽게 하여 누구라도 쉽게 작동할 수 있는 플랫폼
- 컨트롤박스의 방수기능 강화 및 시인성 강화, 주간 및 야간에 동식품 생장에 방해받지 않는 불빛제어 기능

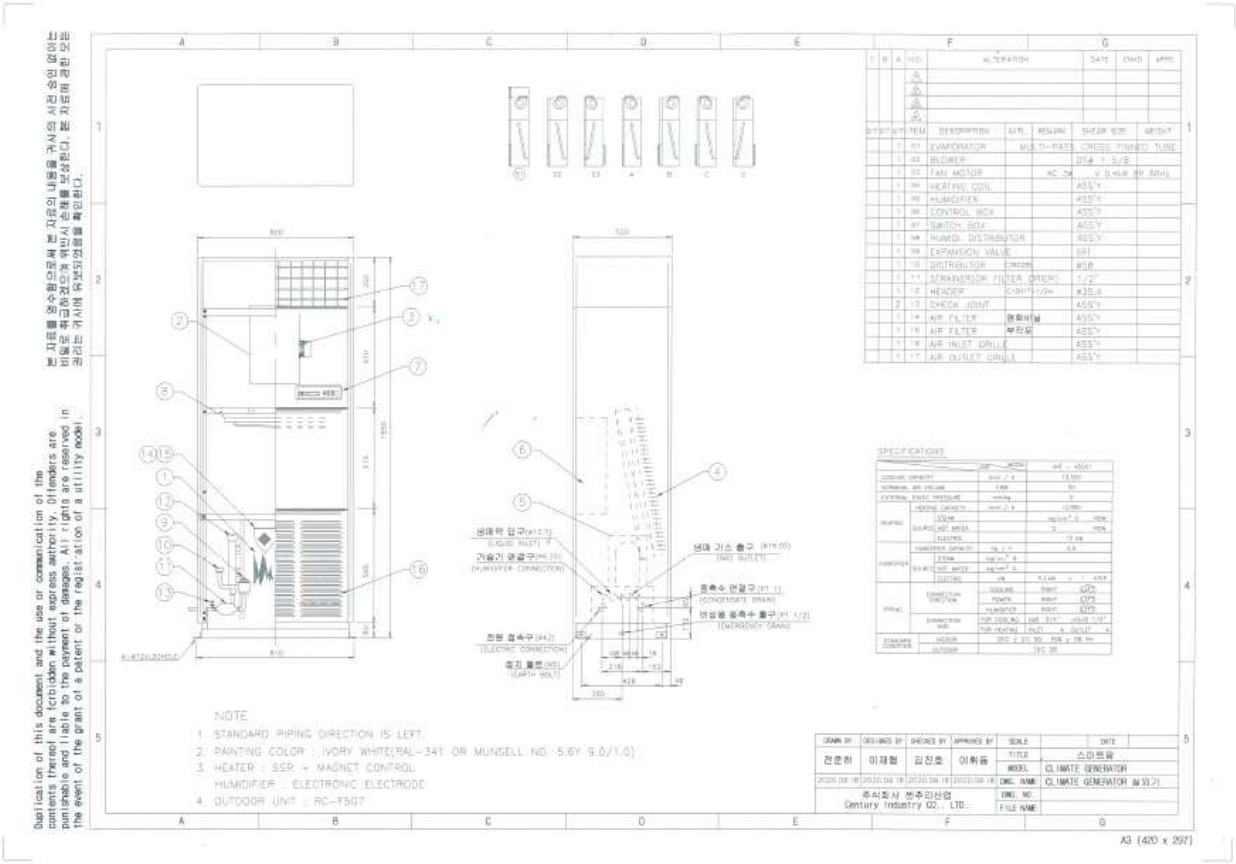
○ 설계도면



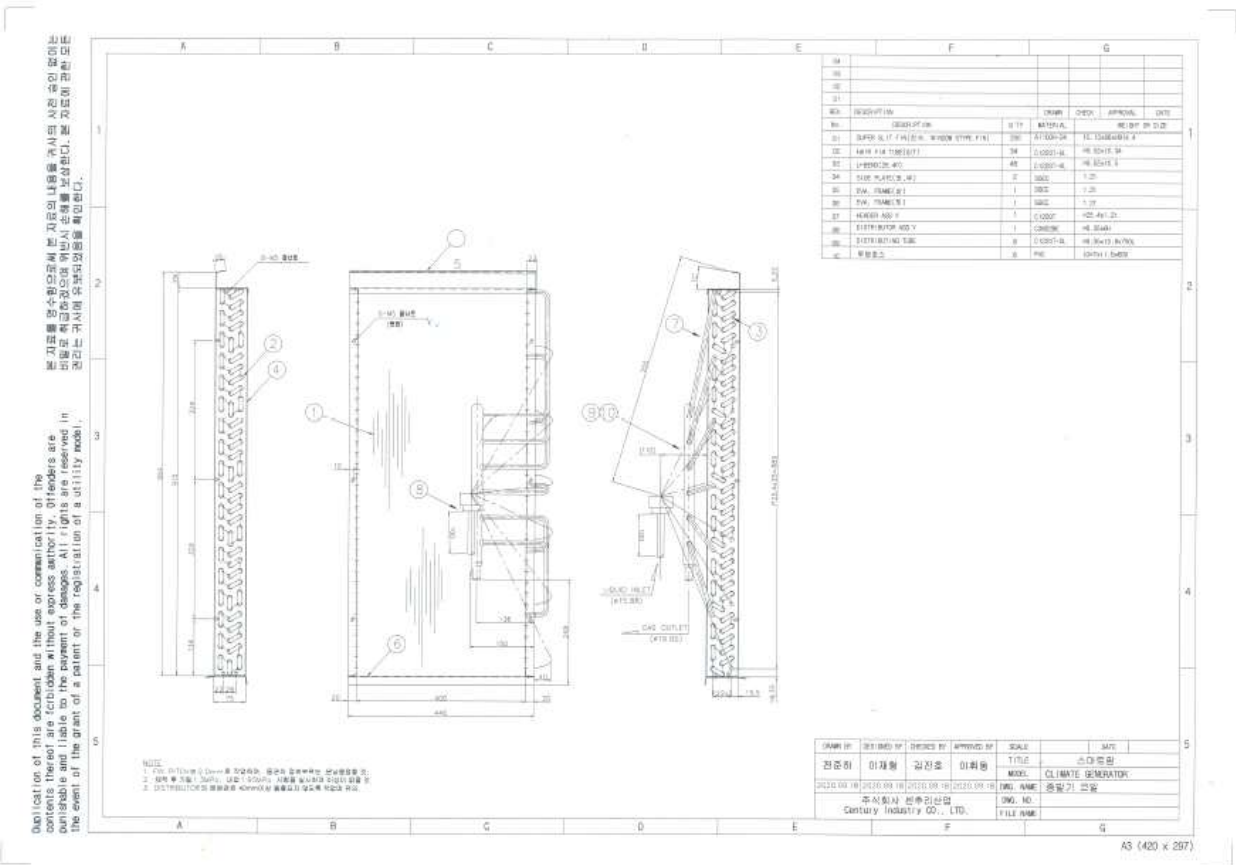
Smart Farm Climate Generator Elecreic Wiring Diagram



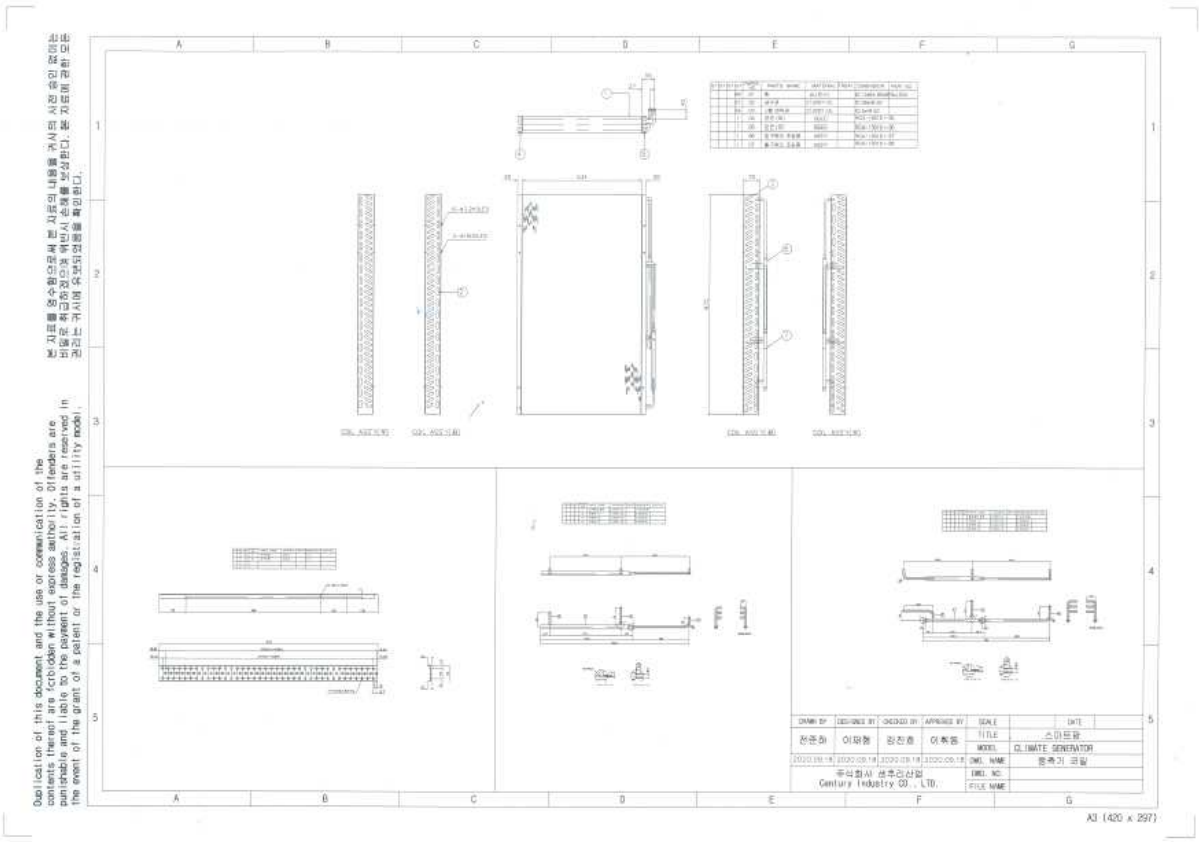
Smart Farm Climate Generator 실외기



Smart Farm Climate Generator 실외기



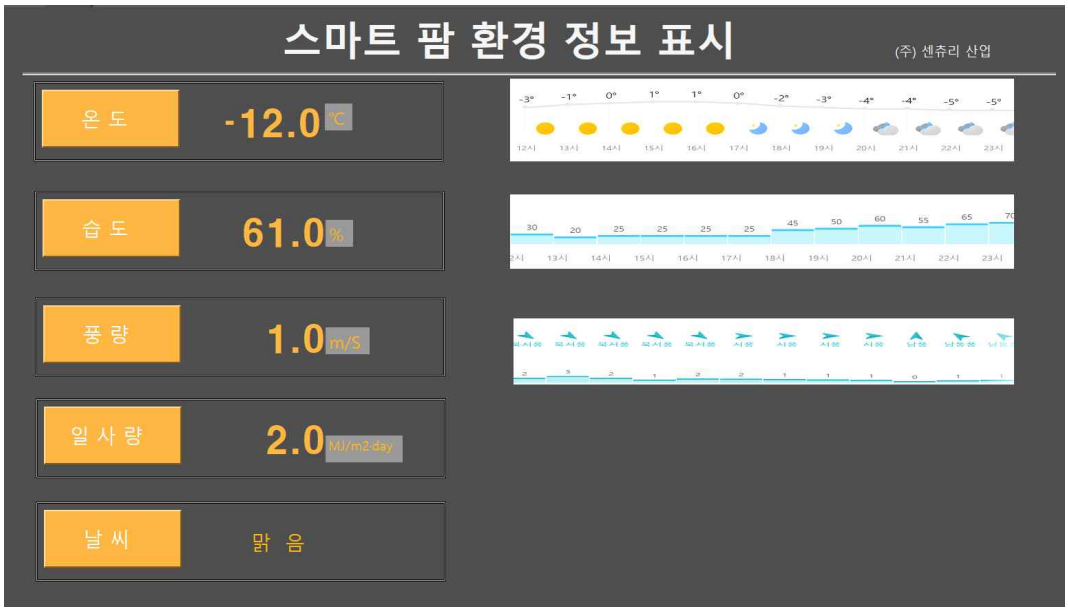
Smart Farm Climate Generator 증발기 코일



Smart Farm Climate Generator 응축기 코일

(4) 수집 및 제어 시스템 개발

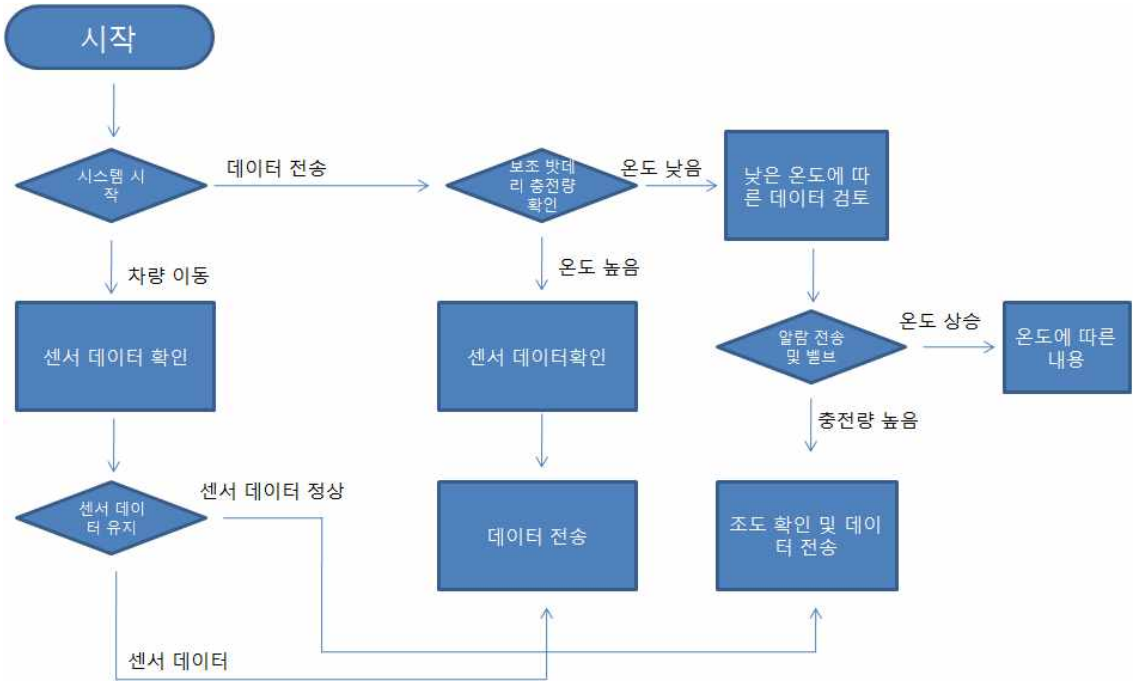
○ 데이터 수집 및 분석 시스템 구축



- 외부 환경의 정보를 확인하기 위한 데이터 수집용 모니터링 프로그램의 설계를 진행 하였으며 이를 활용하여 지능형 생장 환경의 조성이 가능하도록 하는 온도 제어 시스템을 설계 및 진행하였음

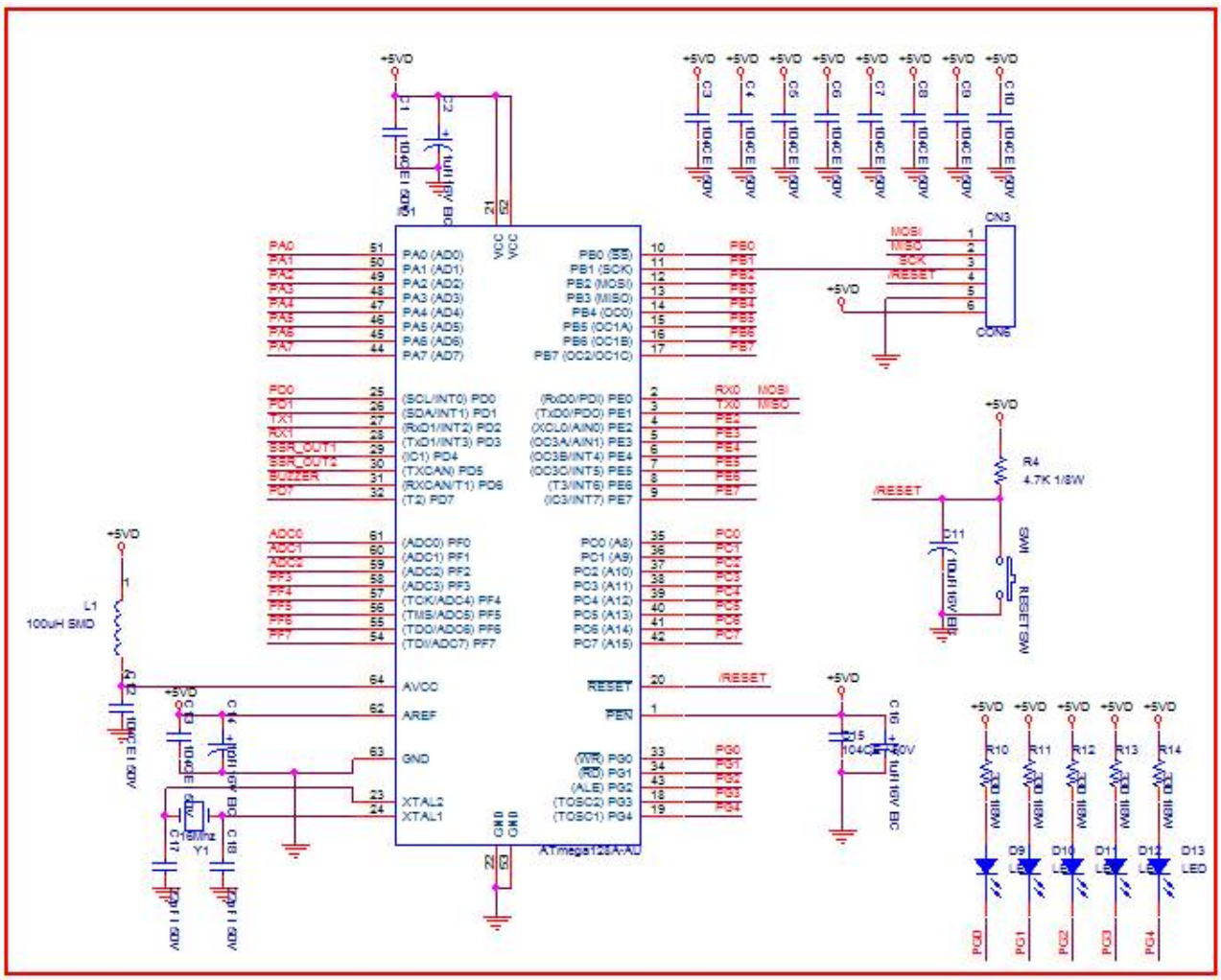
- 분석된 데이터는 다시 생장 환경을 조성하고 있는 시스템으로 구축하였음

○ 센서부 프로그램 개발을 위한 플로우 chart는 다음과 같음

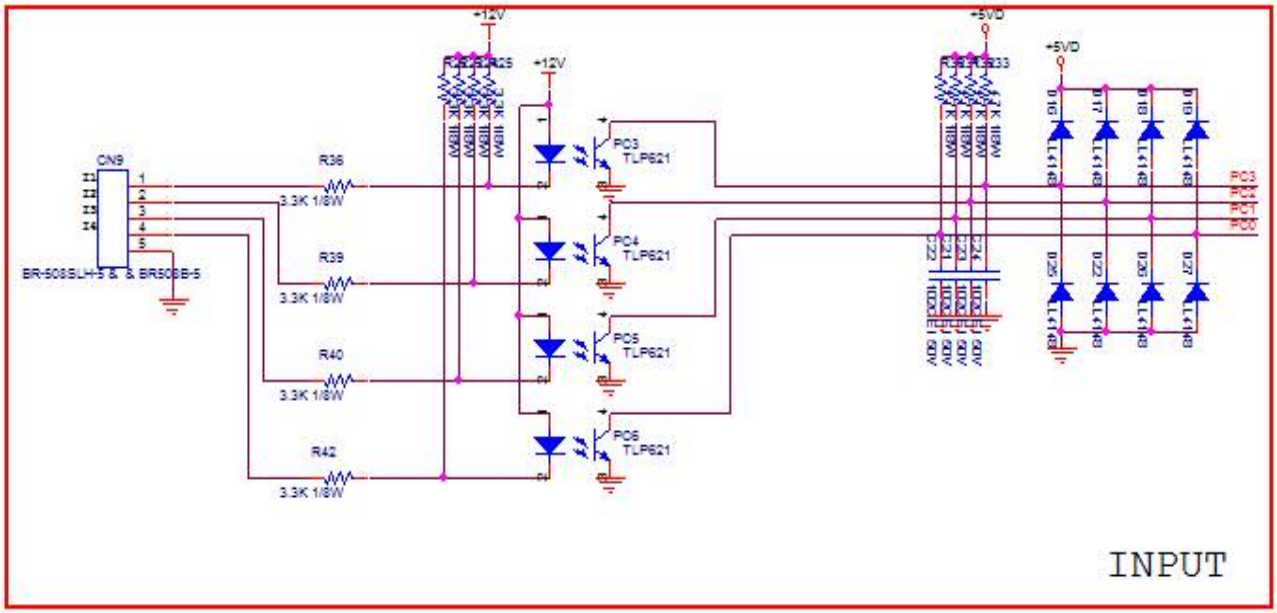


○ 회로설계

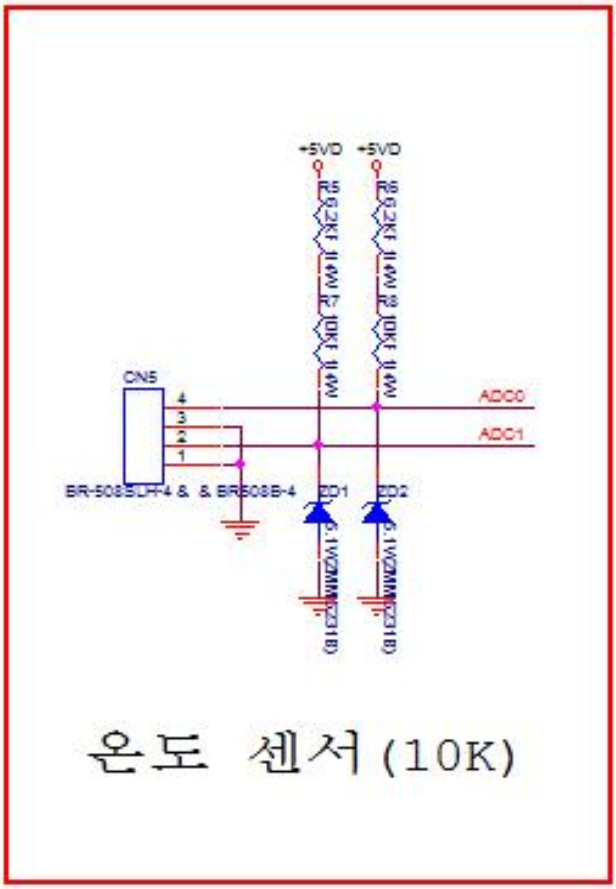
- 시스템 CPU회로 설계

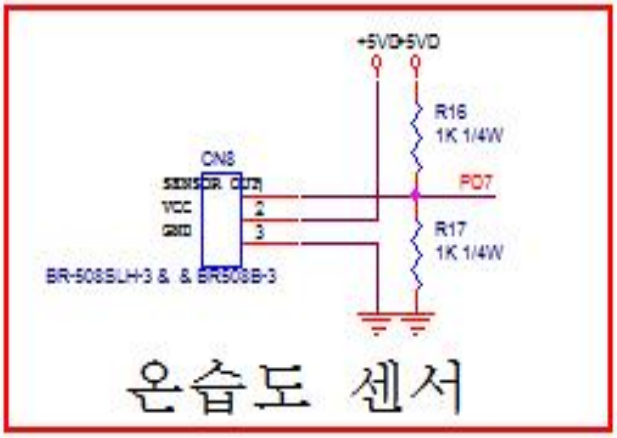


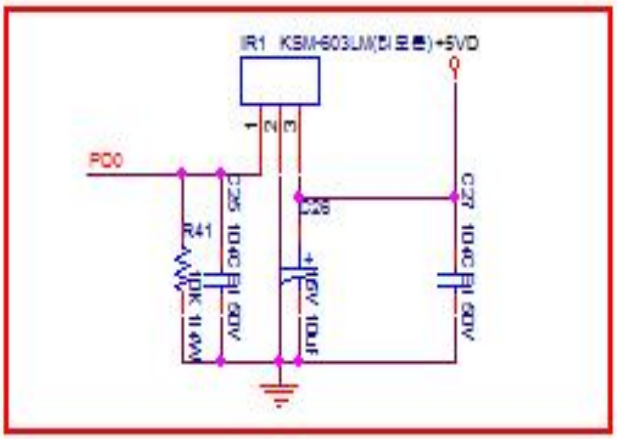
- 입력부 회로 설계



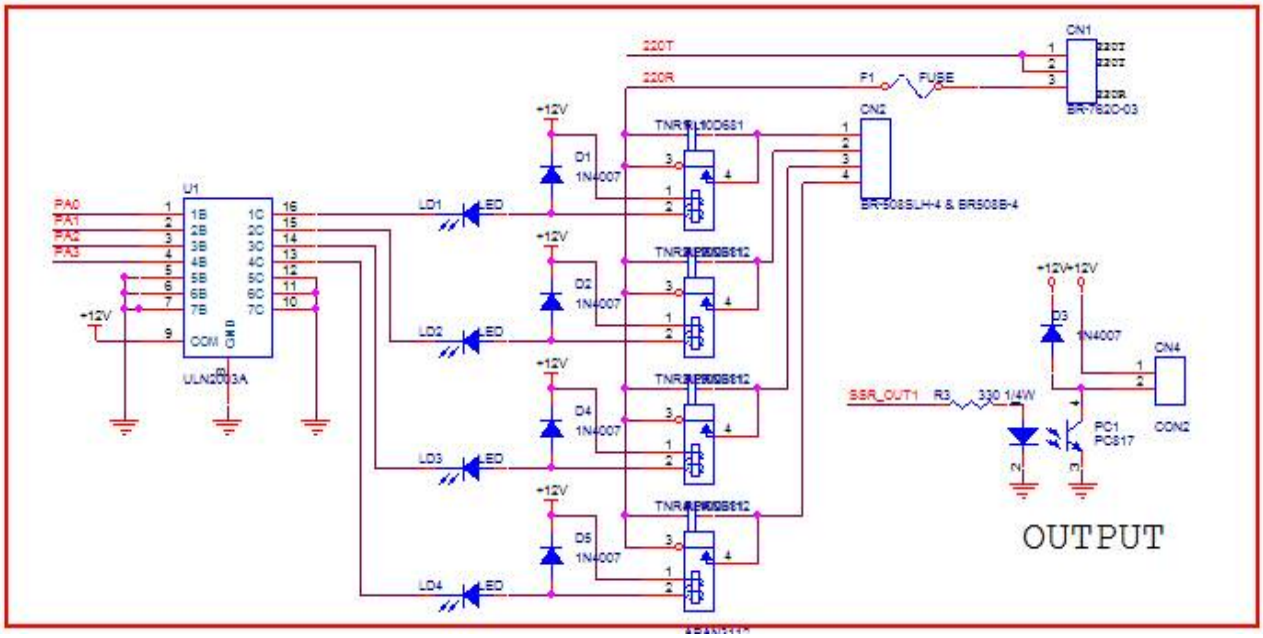
- 센서 회로 설계



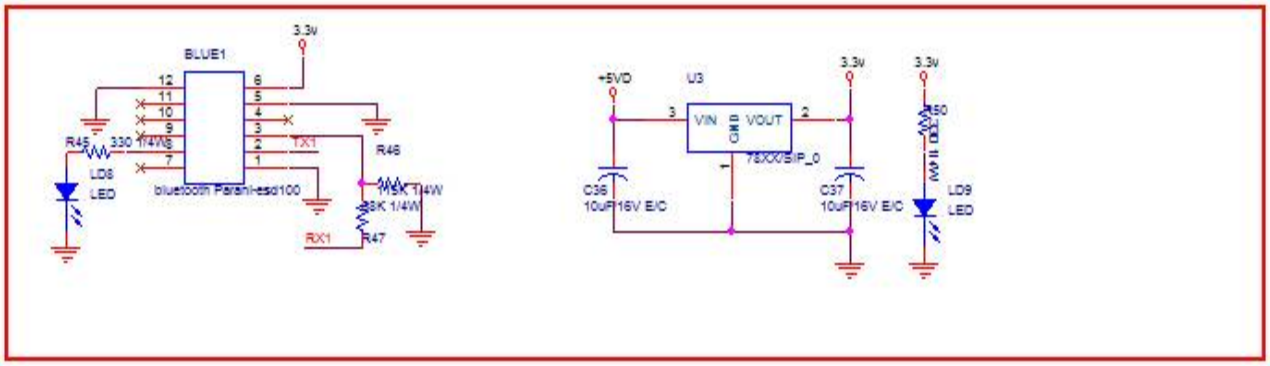




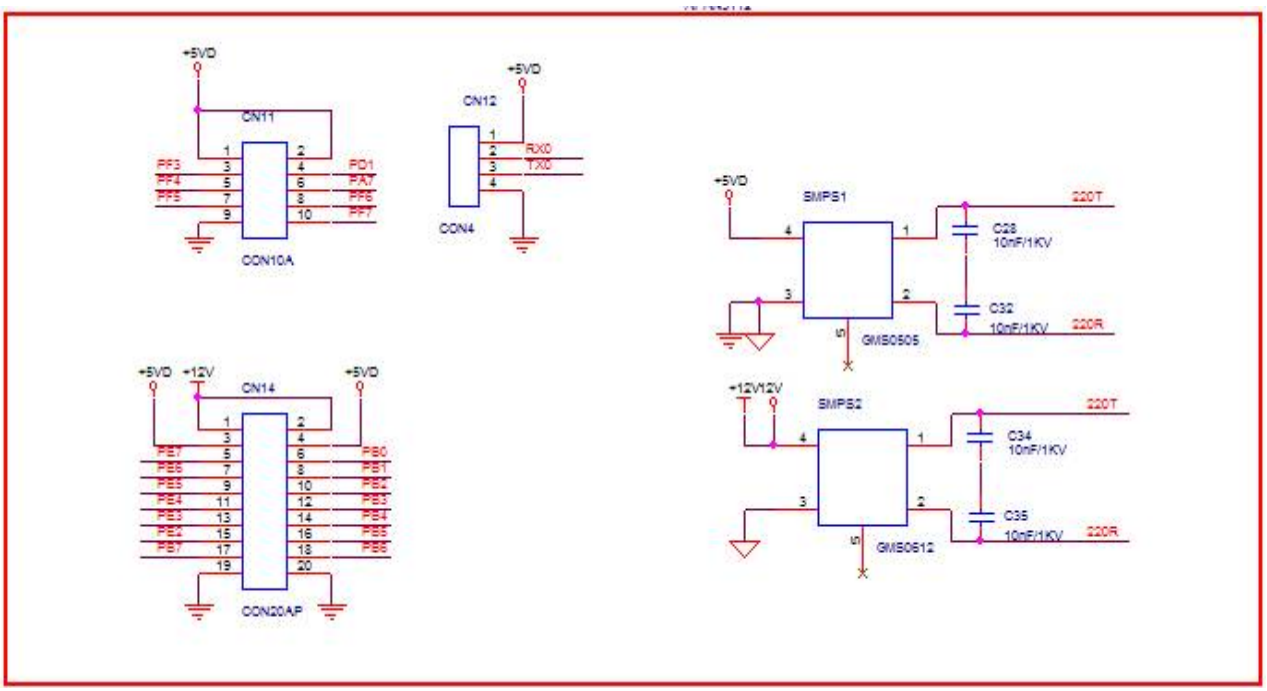
- 출력 회로 설계



- 무선 통신 회로 부 설계



- 외부 IO및 전원



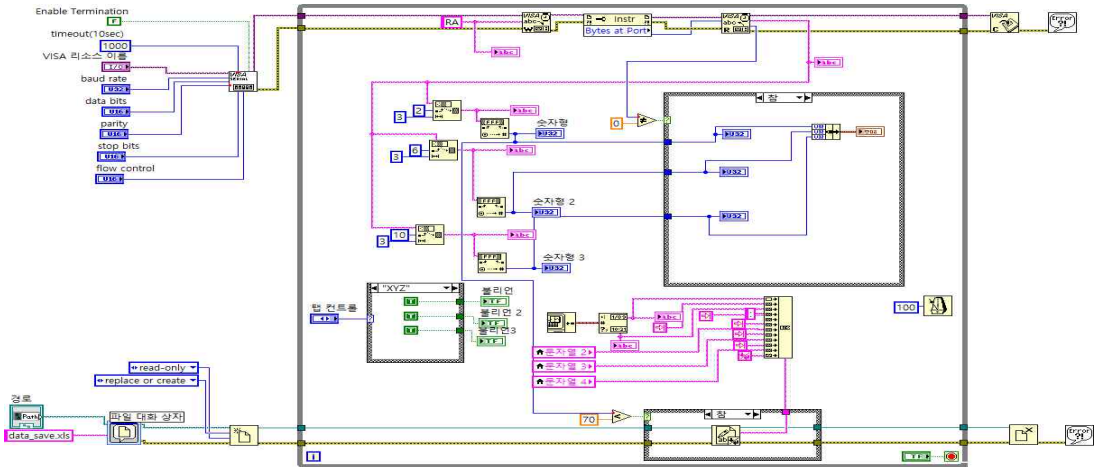
○ 보드 제작 결과물

○ 환경 제어 시스템의 구축

- 모니터링 시스템 및 분석 시스템에서 분석 된 데이터를 활용하여 생장 환경에 적합한 온도에 대한 데이터를 전송하고 이를 통하여 조명, 온도, 습도 등을 조절 할 수 있는 시스템을 구축하였음

(5) 모니터링 시스템 구축 및 모듈 관리 시스템 구축

- 작물의 환경 정보 등 생장에 영향을 미치는 환경의 데이터를 한눈에 파악할 수 있도록 그래픽 형태로 제공하는 프로그램의 설계를 진행하며 동작상태를 보여 주도록 설계하였음

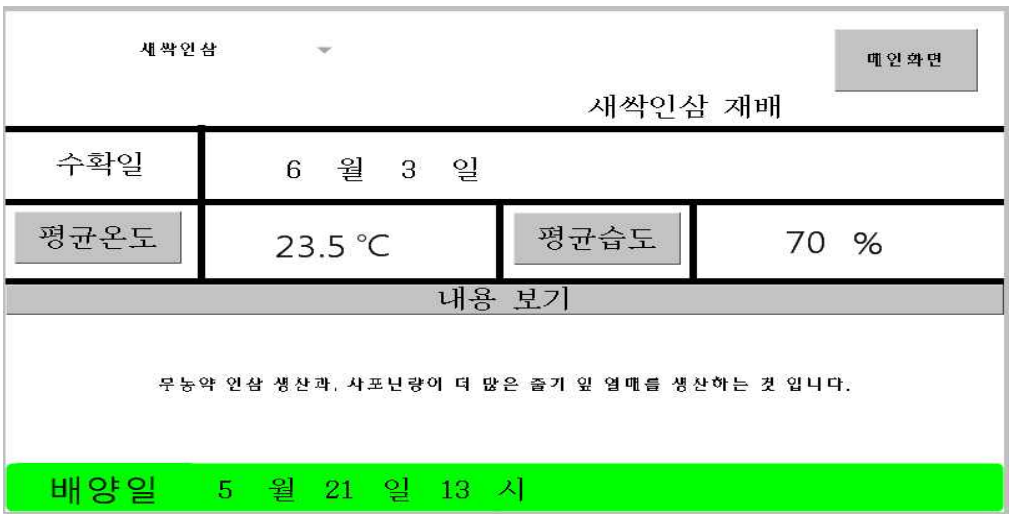


모니터링 설계 화면

○ 모니터링 LCD DISPLAY 화면 구성

- 화면 구성 1

- 화면 구성 2

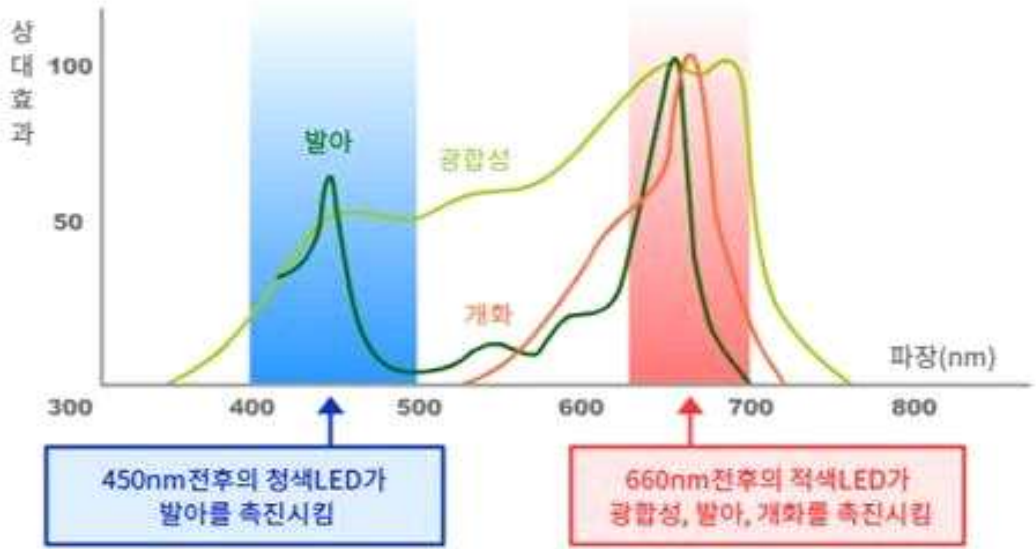


○ 환경관리 솔루션 구성 항목에 대한 주요 개발 내용은 다음과 같음

(6) 스마트팜 식물생장용 광원 및 조명 조건 설계

○ 식물생장에 필요한 광원 조건

- 효과적인 식물생장을 위해서는 식물의 광수용체 및 광합성 색소에 유효한 파장대역의 빛이 필요하며, 각 파장대역마다 식물 생육에 필요한 요소들이 상이함
- 식물의 엽록소에는 두 종류 (Chlorophyll a, Chlorophyll b)가 존재하며, 각각 광합성 반응이 이루어지는 파장대역이 상이함
- Chlorophyll a의 경우 420 nm(청색)과 660 nm(적색) 파장대역에서, 발한 광합성이 이루어짐

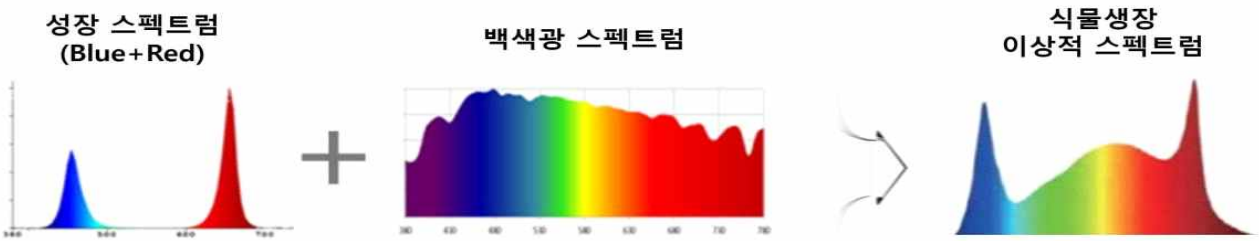


식물생장에 Blue 및 Red 광원이 미치는 영향

- 기존 식물생장용 조명의 경우 발광 스펙트럼이 특정 영역에 한정되어 있거나 작물의 광합성에 유효하다고 알려져 있는 Blue/Red 기반의 협대역 스펙트럼 광원을 사용하였음

태양광하 작물 생육 연구 및 생육 증대를 위한 스펙트럼 검증 결과

- 최근 연구 결과 기존 Blue/Red 기반의 광원은 다양한 작물재배 및 생산에 적합하지 않다는 것이 확인되었고, 시설 원예 분야에 적용되기 위해서는 자연광과 같은 스펙트럼 구현이 필요함이 밝혀짐

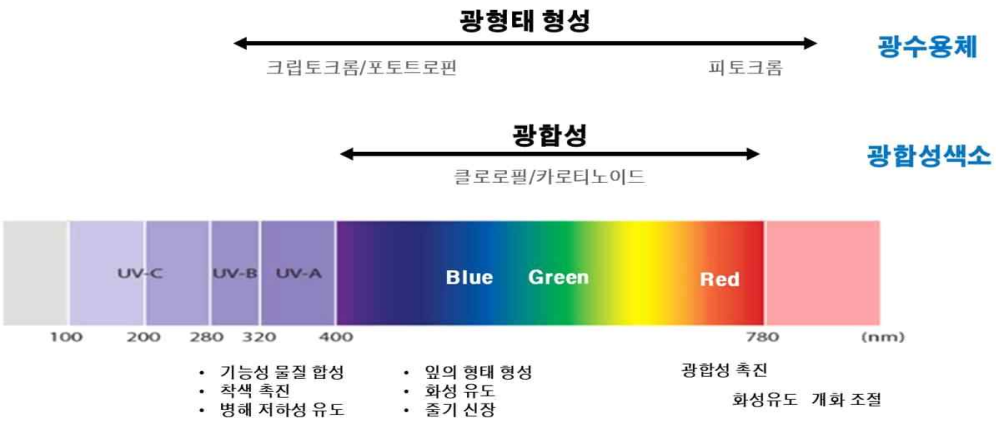


식물생장을 위한 이상적 스펙트럼

- 본 연구에서는 기존 Blue/Red 광원과 함께 및 자연광 구현을 위한 광원을 조합하여 광대역 스마트팜 조명을 개발함

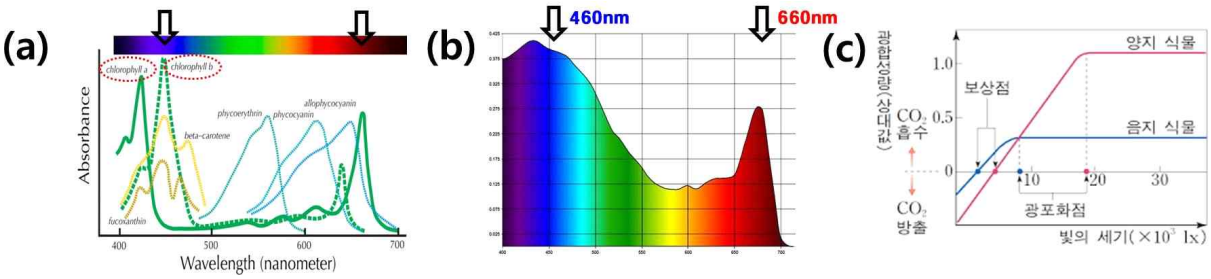
○ 식물생장에 필요한 광원 조건 분석

- 스마트팜 식물생장 광원 및 조명 조건 설계를 위하여, 식물생육에 유효한 빛의 파장대역을 분석함
- 효과적인 식물생장을 위해서는 식물의 광수용체 및 광합성 색소에 유효한 파장대역의 빛이 필요하며, 각 파장대역마다 식물 생육에 필요한 요소들이 상이함이 분석됨



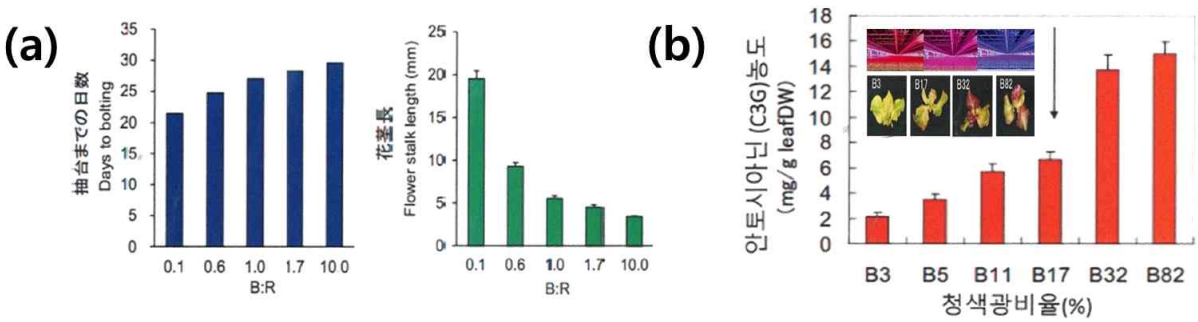
식물생육에 필요한 빛의 파장

- 식물의 엽록소에는 두 종류 (Chlorophyll a, Chlorophyll b)가 존재하며, 각각 광합성 반응이 이루어지는 파장대역이 상이함
- 상기 그림에서와 같이 Chlorophyll a의 경우 420 nm(청색)과 660 nm(적색) 파장대역에서, Chlorophyll b의 경우 460 nm(청색)과 620 nm(적색) 파장대역에서 가장 활발한 광합성이 이루어짐
- 다음 그림과 같이 두 엽록소의 특성을 모두 고려하여, Chlorophyll b의 광합성 반응이 활성화 될 수 있는 460 nm(청색)의 빛과 Chlorophyll a의 광합성 반응이 활성화 될 수 있는 660 nm(적색)의 빛을 조영해주는 것이 식물 생장에 필요한 광원 조건으로 판단됨



(a) 흡수스펙트럼, (b) 작용 스펙트럼, (c) 식물 종류에 따른빛의 세기와 광합성량

- 상기 그림 (b)는 작용스펙트럼으로서, 빛의 파장에 따른 광합성 효율을 나타낸 것으로 청색광과 적색광에서 광합성이 가장 활발히 일어남을 보여줌
- 상기 그림 (c)는 빛의 세기와 광합성량을 보여주는 것으로 양지식물과 음지식물에 따라 광포화점 (빛의 세기가 증가하더라도 광합성 속도가 더 이상 증가하지 않을 때의 빛의 세기) 및 보상점 (식물의 호흡속도와 광합성 속도가 일치할 때의 빛의 세기로 외관상 CO2 출입이 없는 지점)이 다름을 보여줌
- 식물에 따른 보상점 및 광포화점을 고려하여, 광원 및 조명 최적 설계를 통한 빛의 세기를 도출 하여야 함



(a) 청색광, 적생광 비율에 따른 추대 형성 및 (b) 안토시아닌 농도 변화

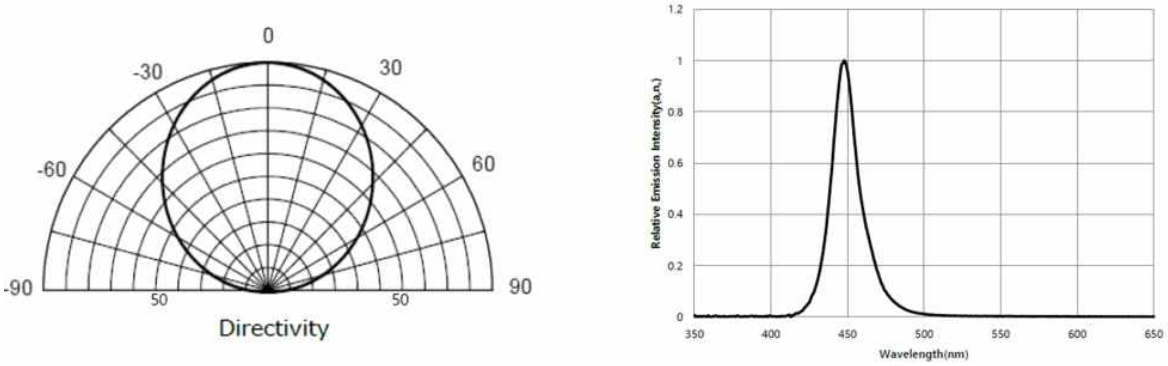
* 출처 : Goto(2013), symposium on the agricultural academy of japan Goto, E. 2012. Acta Hort., 956:37-49

- 상기 그림 (a)는 청색광과 적색광의 비율에 따른 식물의 추대 형성을 보여주며, 청색광 비율이 높을수록 화아분화가 억제되어 추대가 늦어짐을 알 수 있음

- 상기 그림 (b)는 청색광과 적생광의 비율에 따른 식물의 안토시아닌 농도를 보여주며, 청색광 비율이 높을수록 항산화 작용이 있는 적색 안토시아닌 색소가 증대 되어, 잎의 색이 적색으로 변함을 알 수 있음
- 상기 식물생장에 필요한 광원 및 조명의 선행 조사 결과를 바탕으로, 본 연구개발에서 목표로 하는 선택 작물 과 청색광과 적색광의 최적 비율을 도출 하고 설계해야 함을 확인함

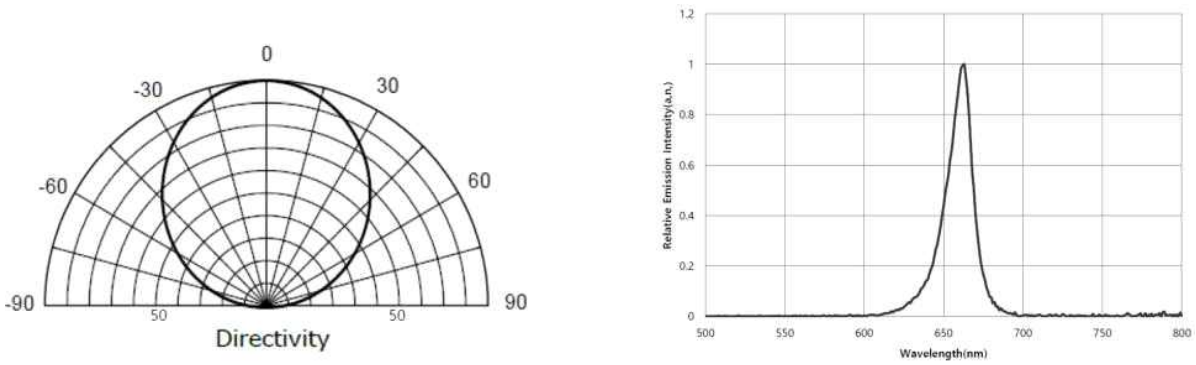
○ 식물생장 조명 광원 선정 및 분석

- Blue 광원의 경우, ALLIX社 AT56SNB 모델을 선정하였으며, 크기는 5.6(L)×3.0(W)×0.95(T) mm임
- 다음 그림은 Blue 광원의 배향 및 광 특성 측정결과를 보여주며, peak wavelength 는 445nm 로 측정됨



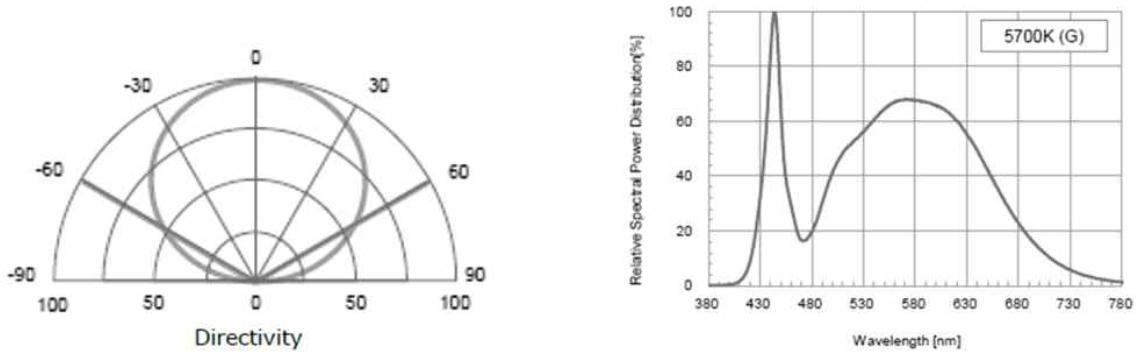
Blue 광원의 배향 및 광 특성 측정 결과

- Red 광원의 경우, ALLIX社 AT56SNR 모델을 선정하였으며, 크기는 5.6(L)×3.0(W)×0.95(T) mm임
- 하기 그림은 Red 광원의 배향 및 광 특성 측정결과를 보여주며, peak wavelength는 660nm로 측정됨



Red 광원의 배향 및 광 특성 측정 결과

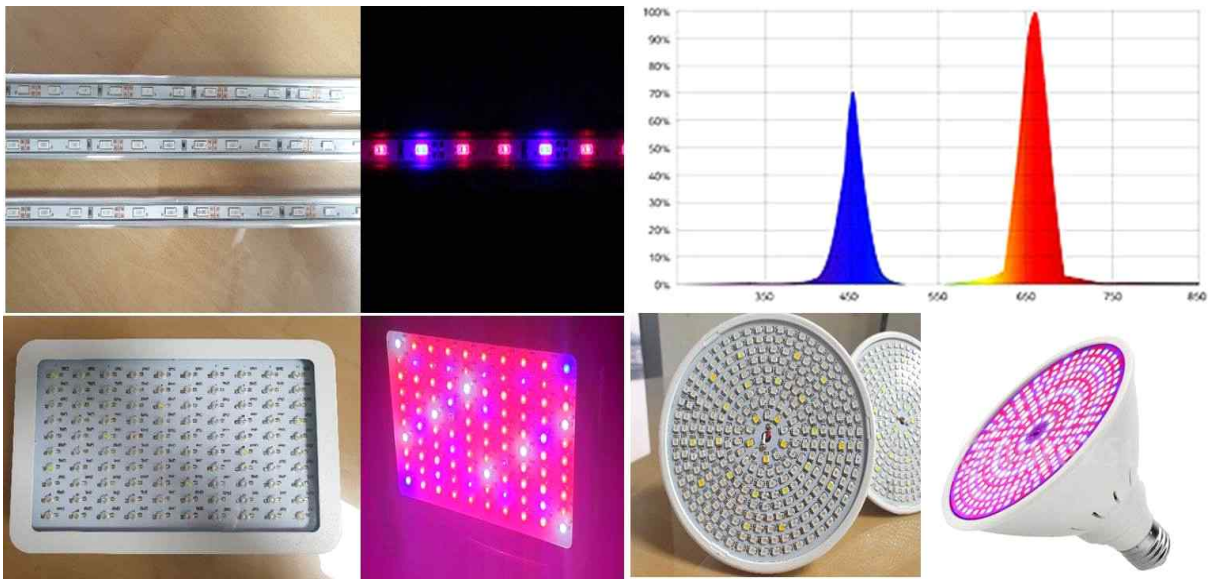
- White 광원의 경우, LG社 LEHWS59Q80 모델을 선정하였으며, 크기는 5.6(L)×3.0(W)×0.95(T) mm임
- 다음 그림은 White 광원의 배향 특성 및 광 특성 측정결과를 보여줌



White 광원의 배향 및 광 특성 측정 결과

- Blue, Red, White 광원의 최적 조합을 통해 스마트팜 조명을 개발하였으며, Blue 광원 색온도(2700K, 3000K) 및 White 광원 색온도(5700K, 6500K), 광원의 비율 등을 조절하며 최적 스펙트럼을 도출하였음

○ 상용 스마트팜 식물 생장 광원 및 조명 분석

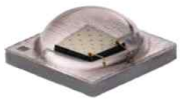
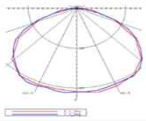
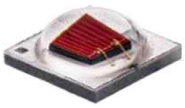
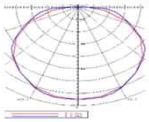


상용 스마트팜 식물 생장 광원 및 조명

- 본 연구개발의 광원 선정 및 조명 설계에 앞서, 상용 스마트팜 식물 생장용 광원 및 조명을 분석하였으며, 그림 4는 상용 스마트팜 식물 생장 조명 제품군을 보여줌
- 가장 많이 사용되어지는 식물 생장 조명 형태는 Bar type 이며, 설치 장소 형태에 따른 다양한 Type의 조명이 이용되어지고 있음
- 상용 제품군 분석 결과, 모두 청색광(400~500 nm)과 적색광(600~700 nm) 대역의 광원을 조합한 형태를 보이나, 다양한 식물 생육 정보 (*엽록소 종류에 따른 파장 선택, 식물에 따른 보상점 및 광포화점 등)를 고려한 제품은 확인이 어려움
- 생장을 목표로 하는 식물군과 광원의 조합 그리고 조명과 식물의 높이 등 다양한 요소들을 고려한 조명 설계 및 개발이 요구됨

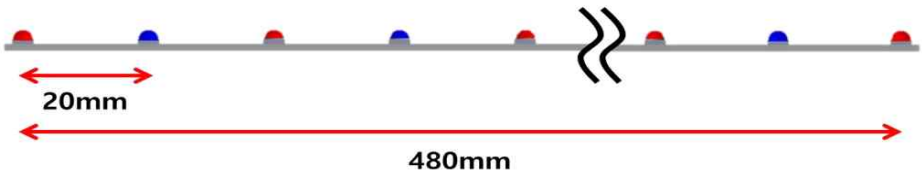
○ 새싹인삼 재배에 필요한 광원 선정 및 조명 모듈 설계

- 본 연구팀은 수경재배 방식을 이용한 새싹삼 생장을 목표로 하였으며, 청색광과 적색광은 아래 그림과 같이 Cree 社의 광원을 선정하였음
- 다음 그림과 같이, 청색광은 지향각 130°, 광속 35lm, 파장 460 nm 특성을 가지며, 적색광은 지향각 132°, 광속 65lm, 파장 660 nm 특성을 가짐

모델명	이미지	배광분포	특성
XP-E2_BLUE			• 지향각 : 130° • 광속 : 35 lm • 사이즈 : 3.45 x 3.45 mm
XP-E2_RED			• 지향각 : 132° • 광속 : 65 lm • 사이즈 : 3.45 x 3.45 mm

새싹인삼 재배를 위한 Blue 및 Red 광원 선정

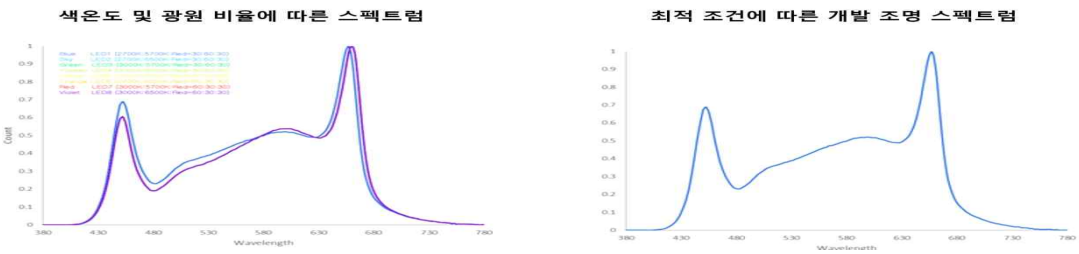
- 새싹인삼의 추대 형성 및 항산화 작용 억제 등을 고려하였을 때, 조명의 적색광의 비율이 높아야 하며, 사전 새싹인삼 재배 관련 연구 문헌 및 내용을 기반으로 청색광과 적색광의 비율을 2:3으로 설정함
- 새싹인삼 재배 기구 전체 크기를 고려하였을 때, 그림 6과 같이 각 광원 사이의 간격은 20 mm 로 설정하였으며, 전체 조명 모듈의 길이는 480 mm 로 설정함



Blue 및 Red 광원 조합 새싹인삼 재배용 조명 모듈

○ 식물생장 조명의 최적 조건 도출 결과

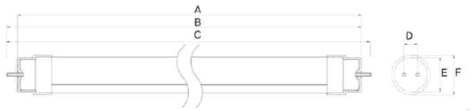
- 다음 그림은 색온도 및 광원 비율에 따른 스펙트럼 비교 그래프를 보여주면, 분석 결과 Blue 광원 색온도 2700K, White 광원 색온도 5700K 와 Blue: White: Red 비율이 1:2:1에서 식물생장을 위한 최적의 스펙트럼 결과를 얻음



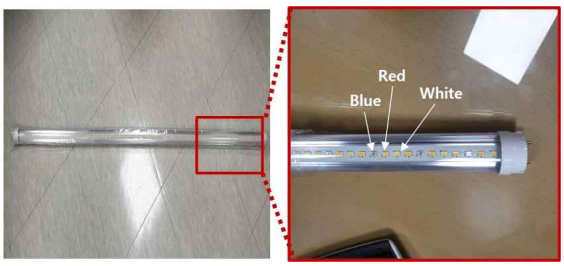
색온도 및 광원 비율에 따른 스펙트럼 비교 및
최적 조건 도출 결과

(2) 식물생장 조명 제작

- 본 광원을 이용하여 스마트팜 조명을 개발 하였으며, 다음 그림은 본 개발 조명 설계 규격과 제작한 조명을 보여줌



A	B	C
1198mm±1.4	1205.3mm±1.2	Max 1213.6mm
D	E	F
12.7mm±0.05	25.5mm±1.2	27.7mm±0.4

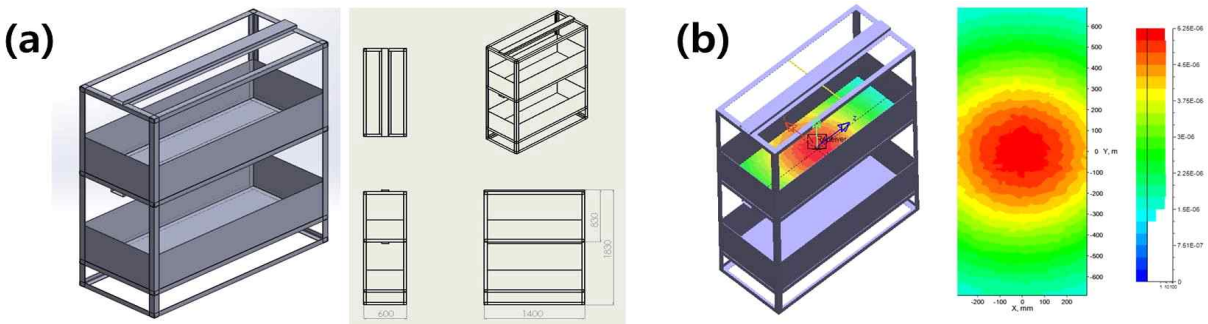


스마트팜 조명 설계 규격 및 제작 결과

(3) 식물생장용 조명의 조도 균일도 향상 광학 시뮬레이션

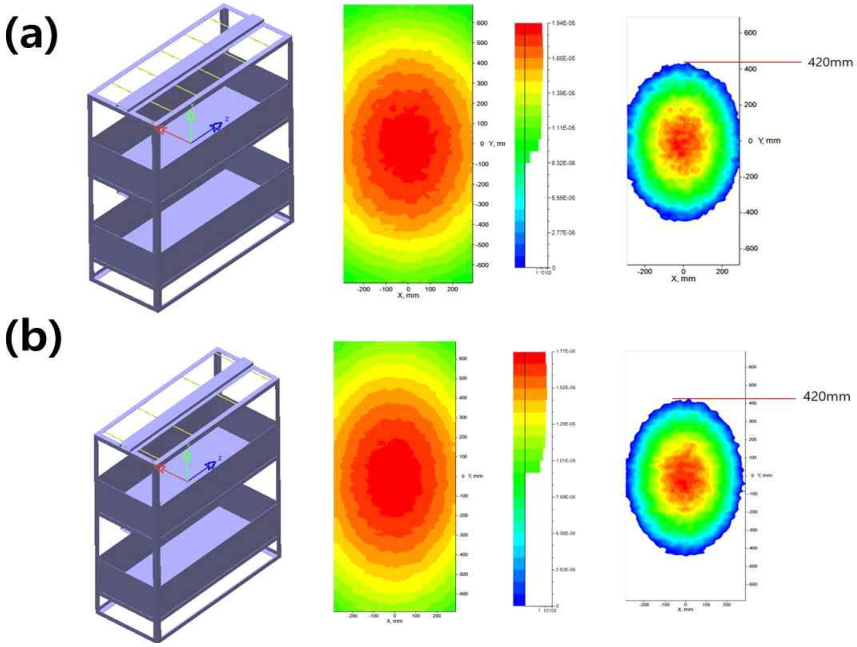
○ 식물생장 조명 조건에 따른 조도 균일도 설계

- 새싹인삼 재배용 기구설계는 전체 컨테이너 구조를 고려하여 주관기관(센추리산업)에서 설계 되었으며, 해당 기구설계를 기반으로 조도 균일도가 확보된 최적 조명 설계를 진행함
- 다음 그림 (a)와 같이 새싹인삼 재배용 기구의 전체 크기는 가로 1400 mm, 높이 1830 mm이며, 2층 구조로 이루어져 있음
- 각 층의 새싹인삼 재배를 위한 면적은 가로 1400 mm, 세로 600 mm 이며 조명 설치 부위와의 높이는 830 mm 로 이루어져 있음



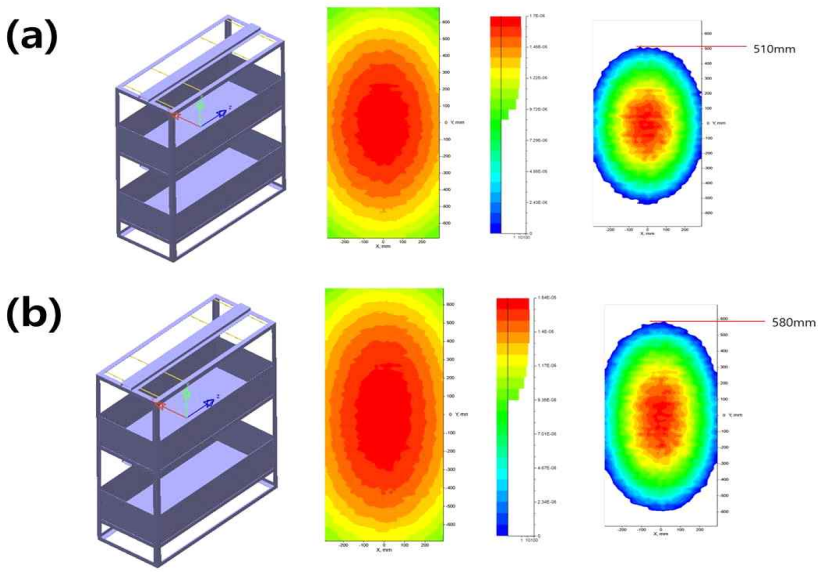
(a) 새싹인삼 재배용 기구 설계, (b) 조명모듈 Z축(0 mm)에 따른 시뮬레이션 결과

- 조명 설계는 기구의 2층 부위에 대해서만 실시하였으며, 기 설정된 조명(광원 간격 20 mm, 전체 길이 480m m)의 개수, 위치, 간격에 따른 설계를 통해 전체 재배 면적의 조도 균일도 80%을 목표로 설계를 진행함
- 상기 그림 (b)는 조명모듈 1개를 가운데 위치(Z축 0 mm)한 설계 시뮬레이션 결과를 보여주며, 재배 면적의 중심부에만 광이 집중됨을 알 수 있음
- 다음 그림 (a)는 조명모듈 5개를 (500, -250, 0[중심], 250, 500 mm)위치한 설계 시뮬레이션 결과를 보여주며, 조도 균일도 80%이상 범위는 420 mm에 해당하며, 최대출력밀도는 0.0194mW/mm2을 보임



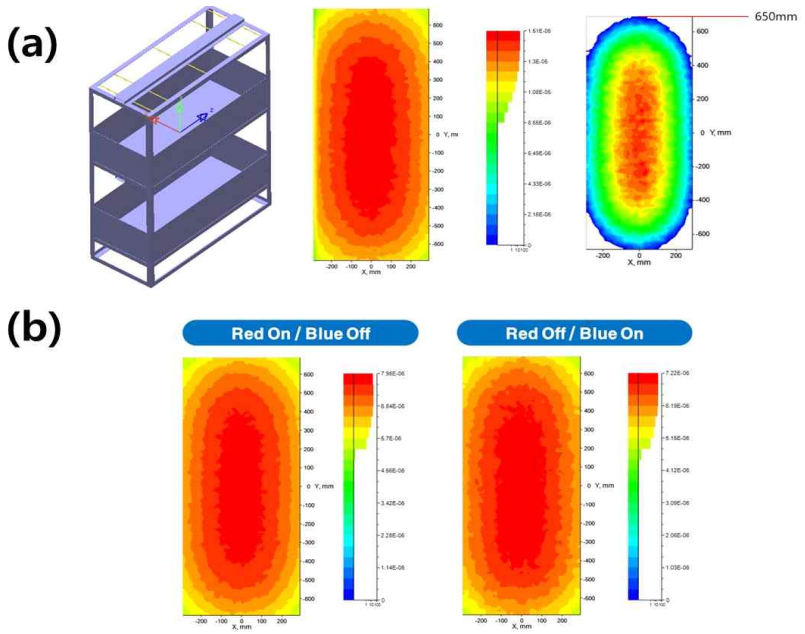
(a) 조명모듈 Z축(-500, -250, 0, 250, 500 mm), (B) Z축(-650, -250, 250, 650 mm)에 따른 시뮬레이션 결과

- 상기 그림 (b)는 조명모듈 4개를 (-650, -250, 250, 650 mm)위치한 설계 시뮬레이션 결과를 보여주며, 조도 균일도 80%이상 범위는 420 mm에 해당하며, 최대출력밀도는 0.0177mW/mm2을 보임



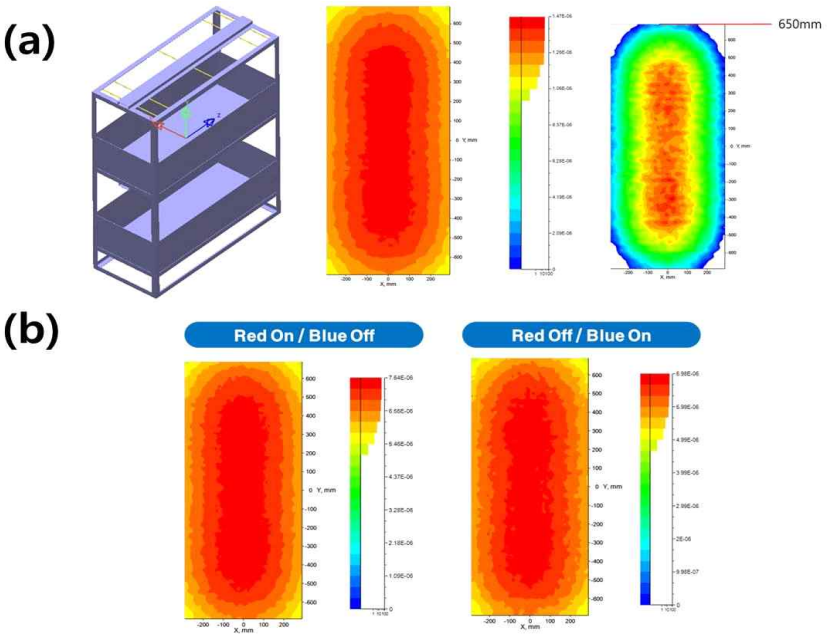
(a) 조명모듈 Z축(-650, -300, 300, 650 mm), (B) Z축(-650, -350, 350, 650 mm)에 따른 시뮬레이션 결과

- 다음 그림 (a)는 조명모듈 4개를 (-650, -300, 300, 650 mm)위치한 설계 시뮬레이션 결과를 보여주며, 조도 균일도 80%이상 범위는 510 mm에 해당하며, 최대출력밀도는 0.0170mW/mm2을 보임



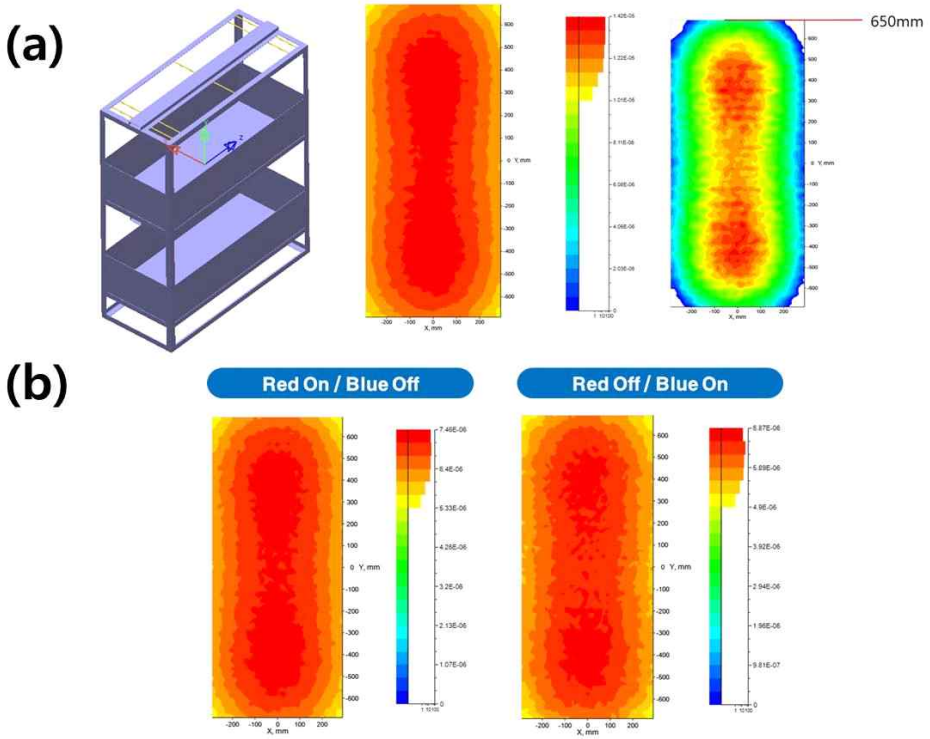
(a) 조명모듈 Z축(-650, -450, 0, 450, 650 mm), (B) Red/Blue 광원 on/off에 따른 시뮬레이션 결과

- 상기 그림 (b)는 조명모듈 4개를 (650, -350, 350, 650 mm)위치한 설계 시뮬레이션 결과를 보여주며, 조도 균일도 80%이상 범위는 580 mm에 해당하며, 최대출력밀도는 0.0163mW/mm2을 보임
- 다음 그림 (a)는 조명모듈 5개를 (-650, -450, 0, 450, 650 mm)위치한 설계 시뮬레이션 결과를 보여주며, 조도 균일도 80%이상 범위는 650 mm에 해당하며, 최대출력밀도는 0.0151mW/mm2을 보임
- 다음 그림 (b)는 상기 설계된 구조에서 Red/Blue 광원을 On/Off 하였을 때 시뮬레이션 결과를 보여주며, 각 광원의 On/Off 상황에서도 재배면적 전체적으로 광이 조사됨을 확인 할 수 있음



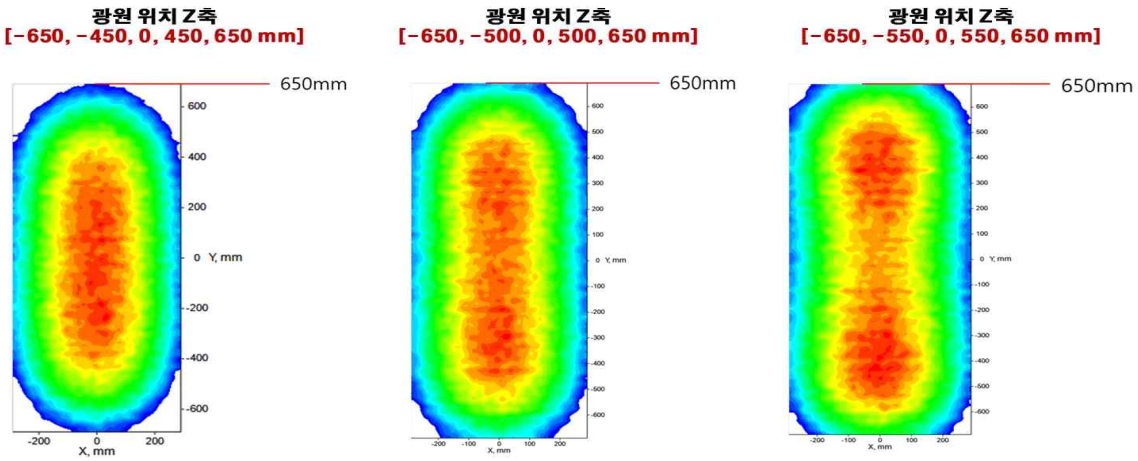
(a) 조명모듈 Z축(-650, -500, 0, 500, 650 mm), (B) Red/Blue 광원 on/off에 따른 시뮬레이션 결과

- 다음 그림 (a)는 조명모듈 5개를 (-650, -500, 0, 500, 650 mm)위치한 설계 시뮬레이션 결과를 보여주며, 조도 균일도 80%이상 범위는 650 mm에 해당하며, 최대출력밀도는 0.0147mW/mm2을 보임
- 다음 그림 (b)는 상기 설계된 구조에서 Red/Blue 광원을 On/Off 하였을 때 시뮬레이션 결과를 보여주며, 각 광원의 On/Off 상황에서도 재배면적 전체적으로 광이 조사됨을 확인 할 수 있음



(a) 조명모듈 Z축(-650, -550, 0, 550, 650 mm), (B) Red/Blue 광원 on/off에 따른 시뮬레이션 결과

- 다음 그림 (a)는 조명모듈 5개를 (-650, -550, 0, 550, 650 mm)위치한 설계 시뮬레이션 결과를 보여주며, 조도 균일도 80%이상 범위는 650 mm에 해당하며, 최대출력밀도는 0.0142mW/mm2을 보임
- 다음 그림 (b)는 상기 설계된 구조에서 Red/Blue 광원을 On/Off 하였을 때 시뮬레이션 결과를 보여주며, 각 광원의 On/Off 상황에서도 재배면적 전체적으로 광이 조사됨을 확인 할 수 있음



광원 위치에 따른 조도 균일도 시뮬레이션 결과

- 상기 그림은 조도 균일도 80% 이상 범위가 전체 재배면적에서 확보된 조명 조건 설계 및 시뮬레이션 결과 값을 보여줌
- 새싹인삼 생육정보에 따르면 새싹인삼은 반 음지 식물로서 최대출력밀도가 0.017mW/mm2 이하로 설정됨을 권고 하며 해당 시뮬레이션 결과는 요구되는 최대 출력밀도를 모두 만족하였음
- 결과 비교를 통해 기 설계된 각 층의 천정부에 조명모듈 5개를 (-650, -550, 0, 550, 650 mm) 위치하는 것이 최적의 설계결과로 판단됨

3. 연구개발과제 수행 결과 및 목표 달성 정도

1) 연구수행 결과

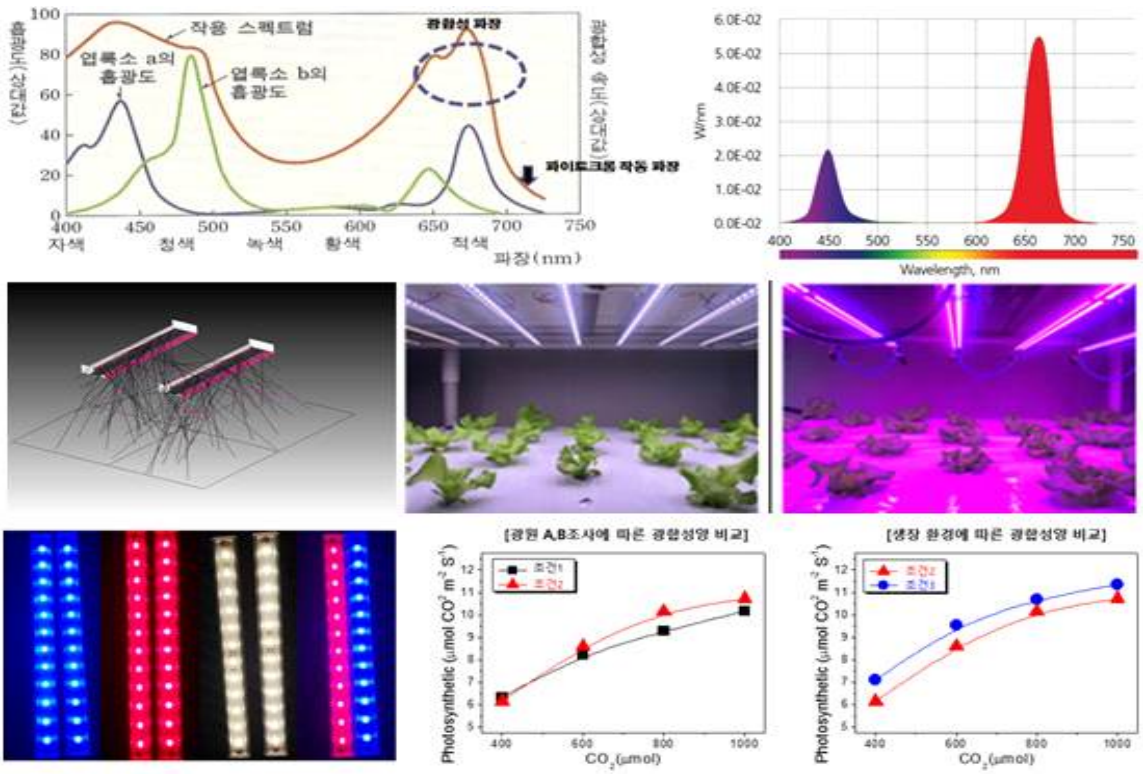
(1) 정성적 연구개발성과

○ 농작물 관리의 편의성 및 효율성 향상 가능한 지능형 무인 시스템 개발

- 스마트팜 구축에 따른 관리 효율 및 편의성이 제공된 시스템의 대부부분 온습도 제어에 초점화 되어 센서부의 임의로 설정된 값에 의해 전열 히터 및 온열기, 가습기 등의 구동부가 작동되는 시스템으로, 주야간 또는 현재 온도를 고려한 온・습도 변화에 따른 설정값을 변경함
- 개발기술은 최근 3년간의 지역/시간대 별 온・습도 정보, 대상 작물의 최적화된 환경 DB, 현재 시설물 내・외부 온・습도 수집 등을 통해 자동원격 환경 관리 및 빅데이터 산출에 의한 지능화된 스마트팜 환경 조성이 가능한 시스템임

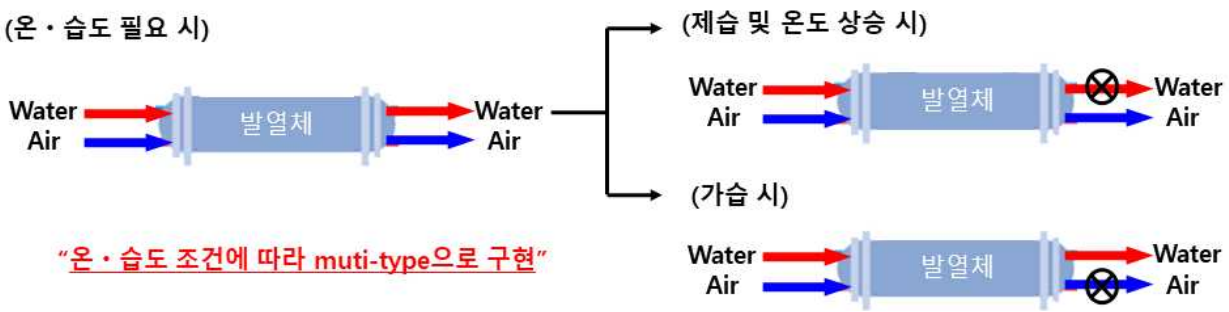
○ 식물생장 촉진 효율 향상 위한 스마트팜 조명 최적조건 설계

- 식물생장을 촉진시키는 청색광과 적색광으로 이루어진 식물생장 조명의 파장, 조합, 폭, 높이 등의 조건을 최적화하고 균일도를 향상시킴으로써 유효광양자속 및 광합성량을 증대하여 작물 생육 및 생장을 촉진할 수 있음
- 식물생장 촉진 효율 향상을 위한 최적화 조명 조건 부여에 대한 신뢰성 확보는 다음과 같이 이루어졌음



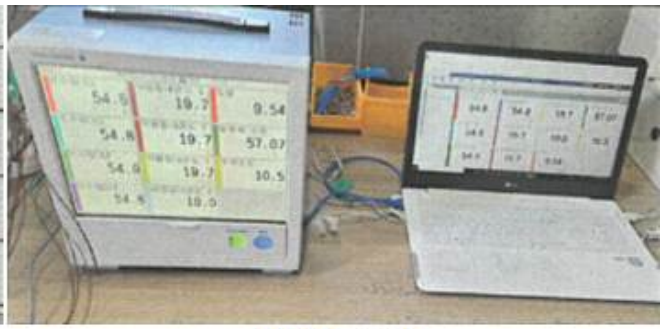
○ Climate Generator를 이용한 System 구축 간소화 및 온・습도 제어 효율성 제고

- 순간 온도 상승이 가능한 발열체를 적용하여 시스템 간소화 및 분무 액적(drop)의 미세화에 따른 온・습도 제어 및 식물 생장 효율성을 부여함



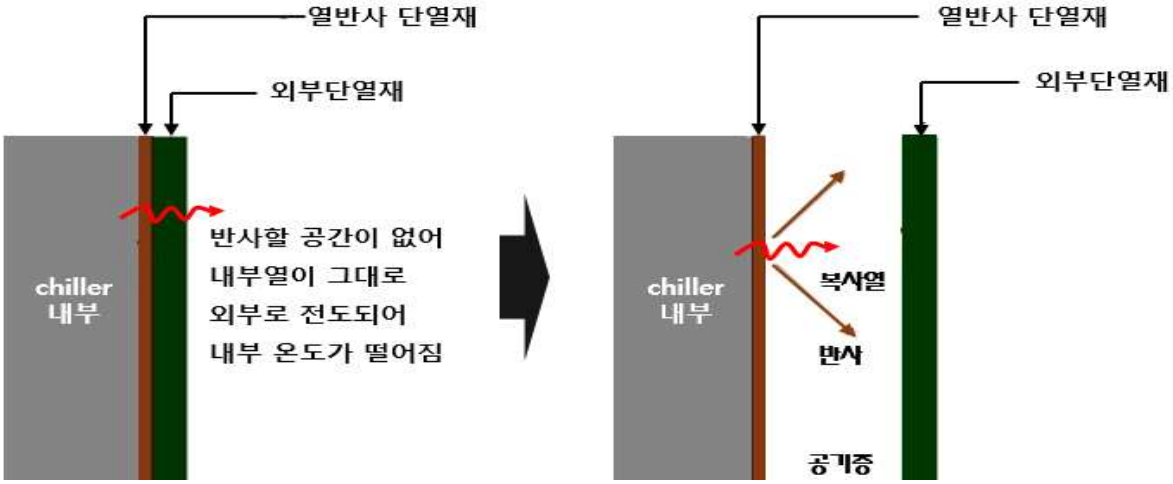
○ Climate Generator에서 생성된 온수의 저장효율성 증대를 위해 적용 온수 Tank 내 3중 벽면구조 설계에 따른 에너지 효율 15% 이상 달성

<열효율 측정>



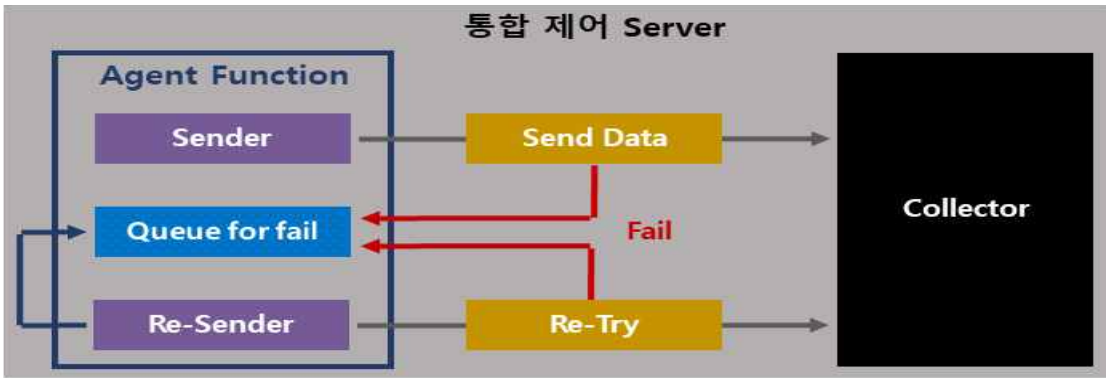
<데이터 수집>

- 온수 Tank의 벽구조는 “열반사 단열체 + 공기층 + 외부마감재”로 구성함으로써 Chiller 내 열손실을 최소화 함



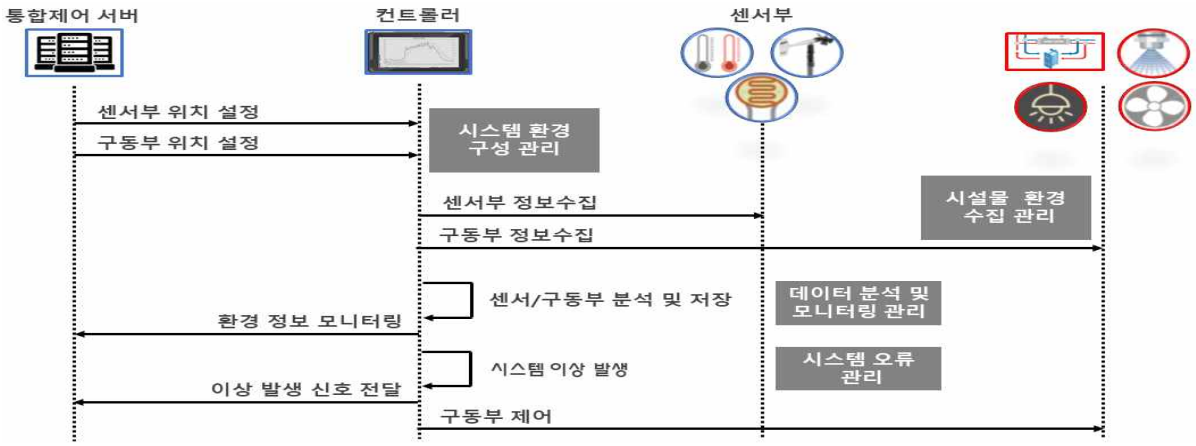
○ 스마트팜 시설물 내 모니터링 현황 및 결과, Event 발생 경보 및 누락 데이터가 발생되지 않도록 정밀도 향상을 위한 Agent Function 기능 기술

- 시설물 내 센싱부에서 제공되는 DB 및 Event 발생 시 알람 전송이 성공할 때 까지 반복하여 누락되지 않도록 Agent 기능을 통합 제어 서버 내에 구축

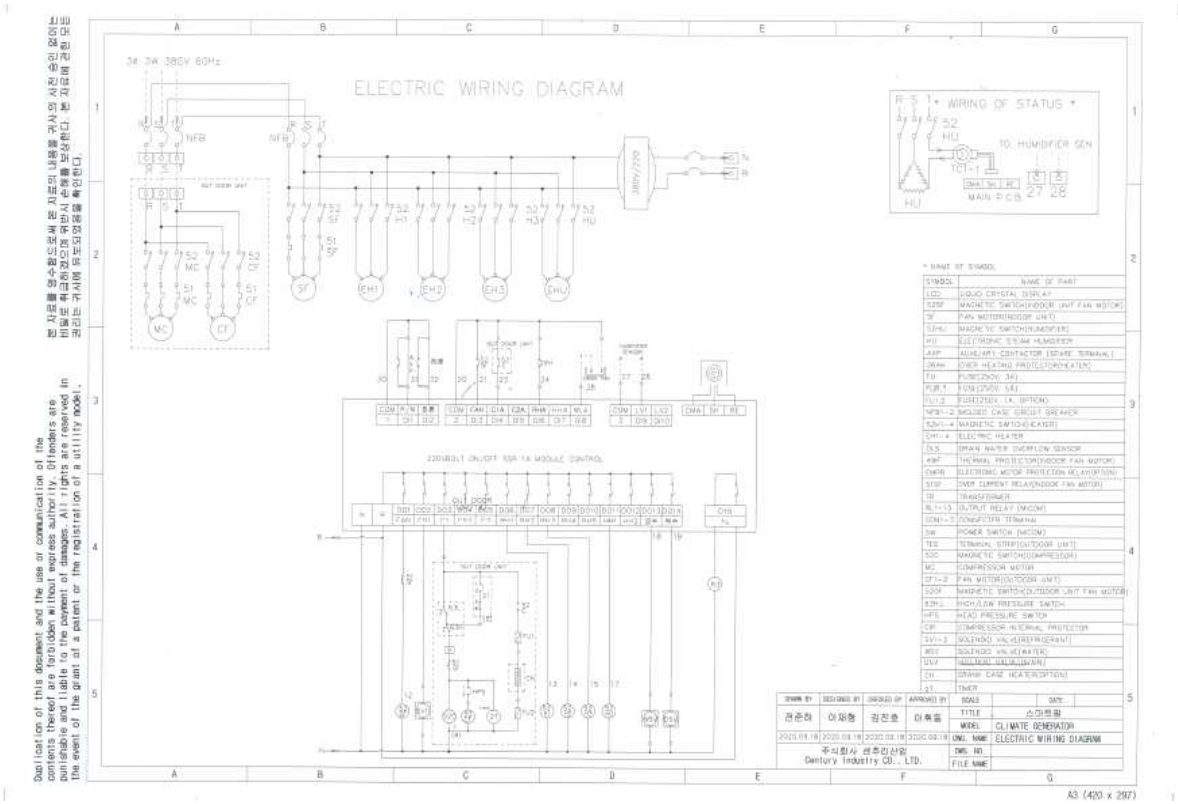


Agent Function 방식

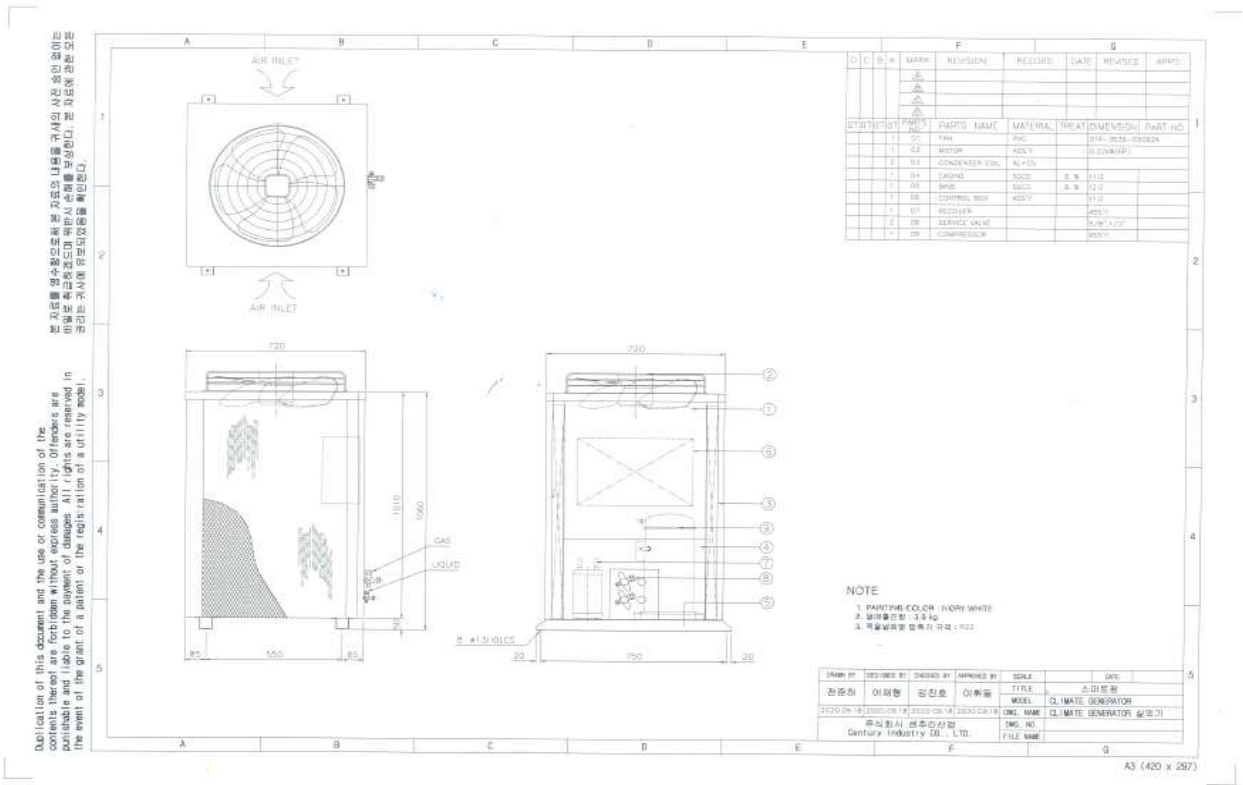
○ 지능형 스마트팜 시스템 구축을 위한 구현 시스템 간소화에 따른 경제성 부여



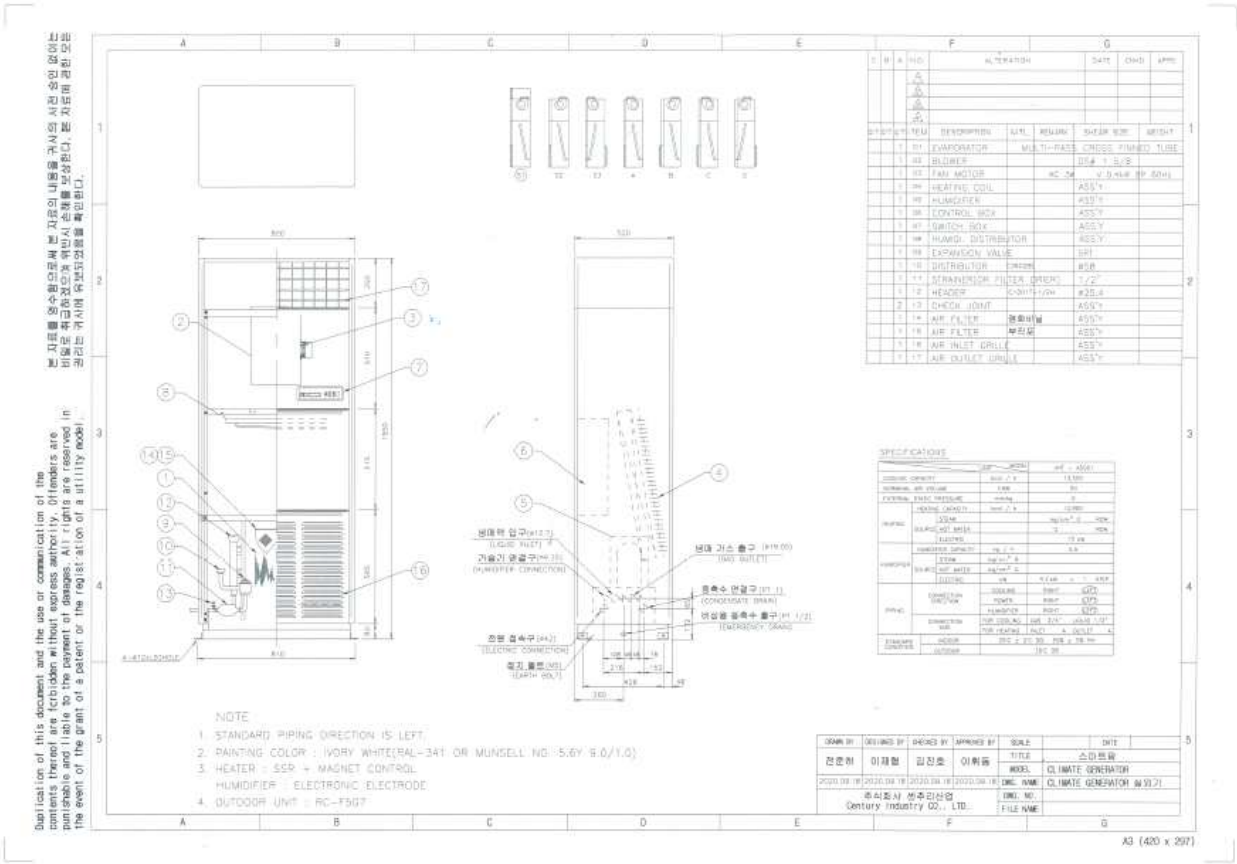
○ 연구개발 제품 설계도면



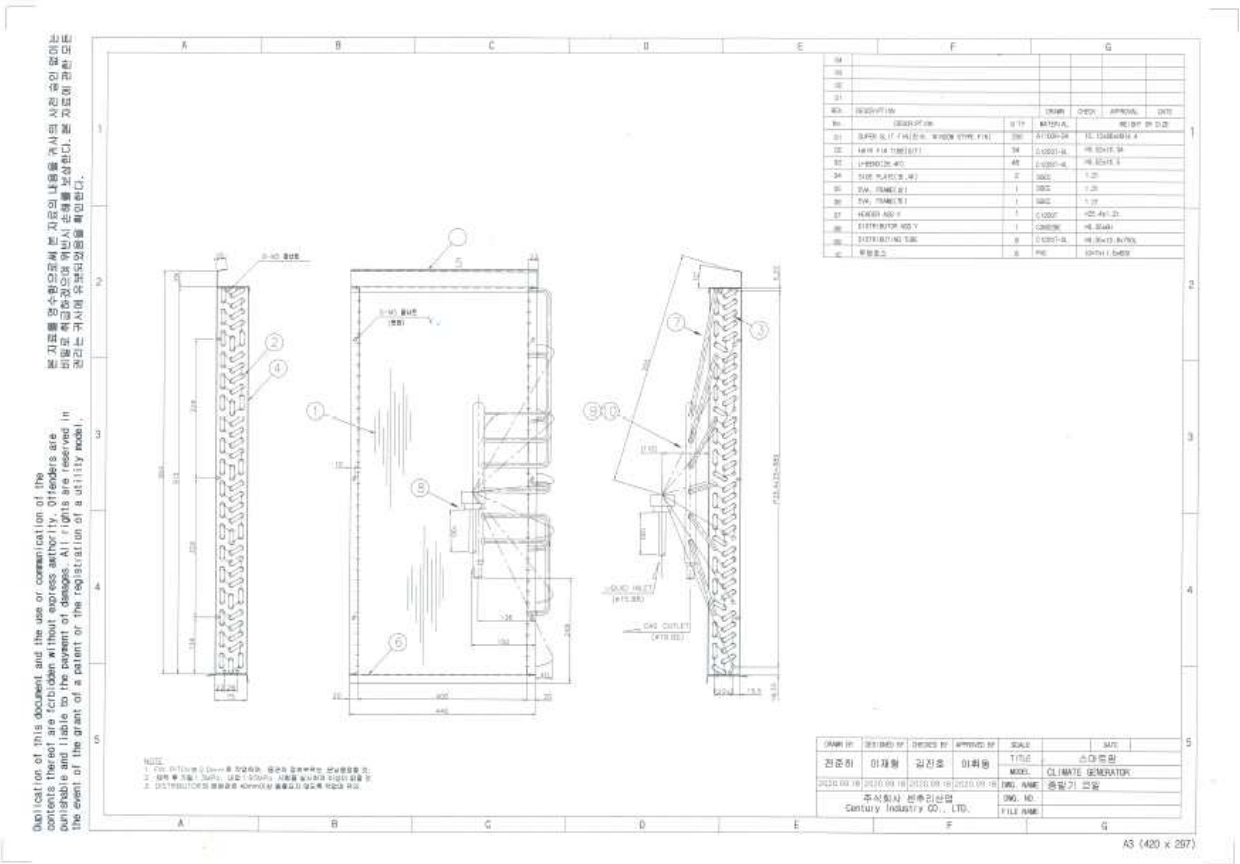
Smart Farm Climate Generator Elecreic Wiring Diagram



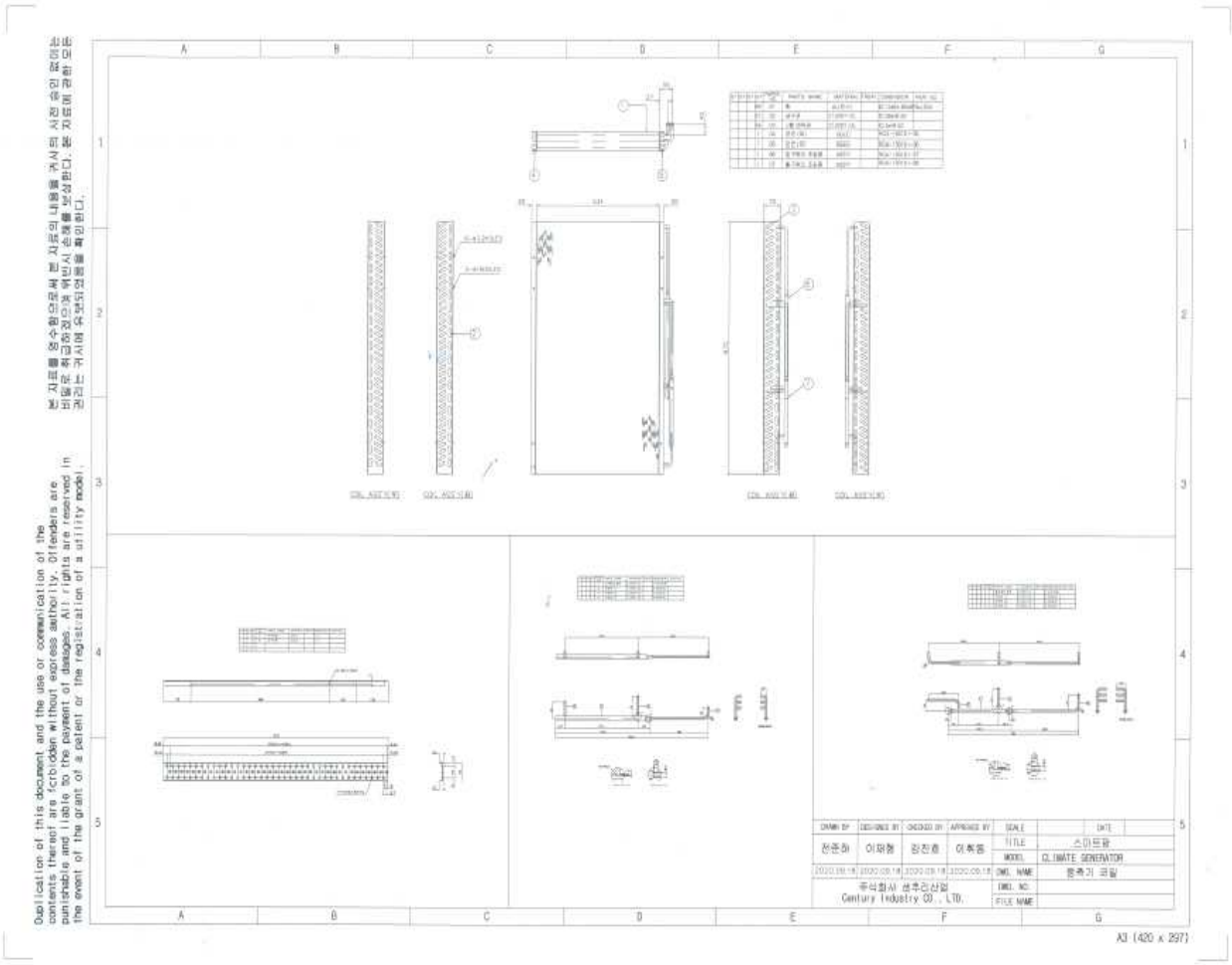
Smart Farm Climate Generator 실외기



Smart Farm Climate Generator 실외기



Smart Farm Climate Generator 증발기 코일



Smart Farm Climate Generator 응축기 코일

○ 연구개발 제품 실험 결과 값

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
1	Vendor	GRAPHTEC Corporation																		
2	Model	GL840																		
3	Version	Ver1.50																		
4	MaxChann	20																		
5	GSStartCH	20																		
6	WLStartCH	20																		
7	MaxLogicC	0																		
8	Logic/Puls	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off												
9	TempUnit	C																		
10	Sampling	200ms																		
11	Total Data	17917																		
12	Trigger	0																		
13	Start time	#######	13:36:13																	
14	End time	#######	14:35:58																	
15	Trigger tim	#######	13:36:15																	
16	AMP settings																			
17	CH	SignalNam	Amp	Input	Range	Temperatu	Filter	SpanUppe	SpanLowe	Unit	Color			Line	Scaling set	Input Upp	Input Low	Output Up	Output Lo	Unit
18	CH1	CH 1	M	TEMP	TC_K	100degC	Off	100	-10	degC	28	5	6	1						
19	CH2	CH 2	M	DC	5V		Off	70	0	degC	0	13	23	1						
20	CH3	CH 3	M	DC	5V		Off	100	0	HU	9	22	8	1						
21	CH4	CH 4	M	DC	5V		Off	70	0	degC	21	0	21	1						
22	CH5	CH 5	M	DC	5V		Off	100	0	HU	28	16	2	1						
23	CH6	CH 6	M	TEMP	TC_K	100degC	Off	100	-10	degC	5	23	30	1						
24	CH7	CH 7	M	TEMP	TC_K	100degC	Off	100	-10	degC	30	23	1	1						
25	CH8	CH 8	M	TEMP	TC_K	100degC	Off	100	-10	degC	28	0	17	1						
26	CH9	CH 9	M	TEMP	TC_K	100degC	Off	100	-10	degC	17	11	7	1						
27	CH10	CH10	M	TEMP	TC_K	100degC	Off	100	-10	degC	19	27	0	1						
28	CH11	CH11	M	DC	100V		Off	50	-50	V	28	5	6	1						
29	CH12	CH12	M	DC	100V		Off	50	-50	V	0	13	23	1						
30	CH13	CH13	M	DC	100V		Off	50	-50	V	9	22	8	1						
31	CH14	CH14	M	DC	100V		Off	50	-50	V	21	0	21	1						
32	CH15	CH15	M	DC	100V		Off	50	-50	V	28	16	2	1						
33	CH16	CH16	M	DC	100V		Off	50	-50	V	5	23	30	1						
34	CH17	CH17	M	DC	100V		Off	50	-50	V	30	23	1	1						
35	CH18	CH18	M	DC	100V		Off	50	-50	V	28	0	17	1						
36	CH19	CH19	M	DC	100V		Off	50	-50	V	17	11	7	1						
37	CH20	CH20	M	DC	100V		Off	50	-50	V	19	27	0	1						

○ 연구개발 완제품(실내기, 실외기)

<실내기 완제품>

<실외기 완제품>

(2) 정량적 연구개발성과

연구개발성과 성능지표

< 주요 성능지표 개요 >						
주요 성능지표1)	단위	최종 개발목표2)	기술개발전 수준	세계최고수준 또는 수요처 요구수준3) (해당기업)	기술개발후 수준	전체항목에서 차지하는 비중4)(%)
온수탱크 열효율	%	10% 이상	-	-	15.2	15
최대온수 생성 용량	L/min	5 이상	3	4 (TRS)	9.5	10
온수 저장 Tank 내 온도 유지 시간	시간	5 이상	4	-	5 이상	10
시설물 내 온도 유지	℃	10~25±3 이하	-	-	20.4	10
온습도 센서 측정 정확도	%	95 이상	90	95 (weidmuller)	95 이상	10
컨트롤러 정확도	%	97 이상	90	90 (디커뮤니케이션즈)	100	10
시스템 데이터 생성/전송 정확도	%	97 이상	90	90 (디커뮤니케이션즈)	100	15
시스템 알람 경보 정확도	%	97 이상	90	90 (디커뮤니케이션즈)	100	10
광 균일도	%	70 이상	-	70	96	5
광합성 광양자속밀도	umol/m2·s	100이상	-	100	5회 시험 평균 126.4	5

4. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도

○ 세계 인구 증가, 기후변화, 농업인구 감소 및 고령화로 인한 노동력 부족, 산업화 및 환경문제에 따른 경작지 감소로 인한 식량부족 현실화 등으로 미래의 농업에 대한 우려가 커지고 있는 추세에서 개발제품인 '지능형 스마트팜 제어 시스템'을 활용하여 미래 농업 산업의 돌파구로 활용할 수 있음

○ 효율화된 에너지 절감 및 운영 경제성을 바탕으로 국내 농가에서의 활용성과 실용성에 초점을 맞춘 기술로 국내 농가에 스마트팜 보급 및 경쟁력 향상을 위한 정부정책과의 부합성이 높음

○ 스마트팜은 저투입 고효율 기술로의 인식으로 국내 ICT 및 기계부품 소재 산업의 발전에 따라 글로벌 경쟁력을 확보할 수 있음

5. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획

구분(정량 및 정성적 성과 항목)		연구개발 종료 후 5년 이내
특허출원	국내	2건
	국외	1건
	계	3건
특허등록	국내	1건
	국외	-
	계	1건
인력양성	학사	8명
	석사	4명
	박사	2명
	계	14명
사업화	상품 출시	2건
	상품 매출	10,000,000 천원
제품개발	시제품개발	2건

○ (제품화) Climate Generator, 모니터링 및 제어 시스템, 식물생장용 스마트팜 조명 설계 등 기술개발을 통해 최종적으로 판매될 제품은 최적의 생장환경 조성이 가능한 지능형 스마트팜 제어 시스템임

- 국내·외 시장 진출을 위해 국내, 베트남, 중국 기후 및 주요 재배작물, 사용환경 등에 대한 분석을 제품기획단계에서부터 진행하여 목표시장 맞춤형 제품개발을 진행할 계획임

○ (양산) 기술개발 종료 직후 시점부터 기술개발 및 시제품 양산 공정 최적화, 품질인증 등록을 완료하여 본격적인 양산 후 시장진입 계획

- 본격적인 양산 이전에 시제품을 제작하여 시설원예 작물 재배 농가 등 고객을 대상으로 한 제품 평가 및 디자인 성능 개선을 통해 최종 제품 양산

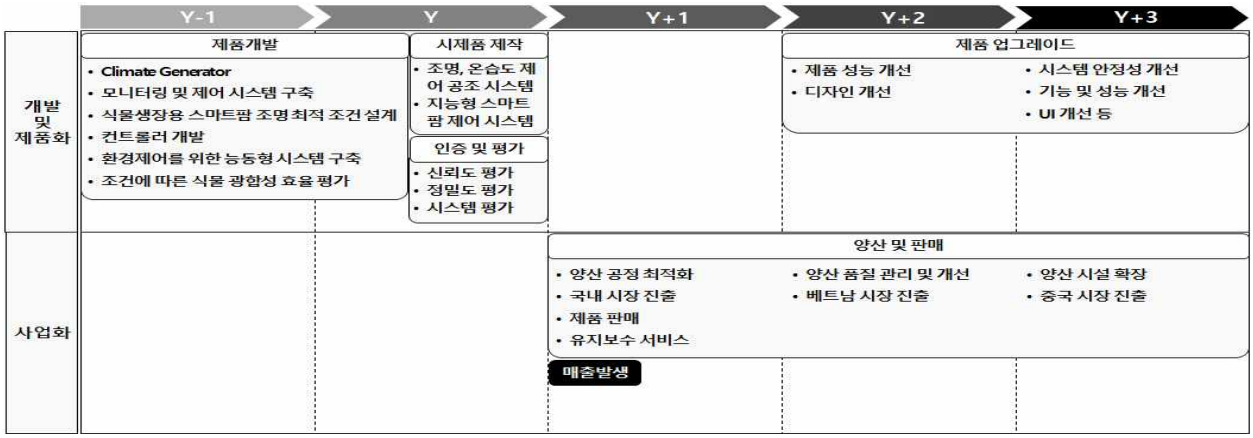
○ (판로개척) 당 개발기술의 제품 기획 단계에서부터 수요처 확보 및 판로개척 계획을 기획하고, 제품화 및 양산 진행 단계를 고려하여 본격적인 마케팅 및 판로개척 활동을 진행할 계획임

- 제안사 및 개발기술 관련 SWOT 분석 내용을 토대로 개발제품의 국내·외 시장 판로개척 계획을 다음과 같이 기획하였음

S (Strength, 강점)	W (Weakness, 약점)
▪공조시스템 분야 기술경쟁력 확보 ▪기술적 우수성이 입증된 핵심 기술 보유 ▪IoT 기술을 도입한 고도화된 제어 기술 보유 ▪다양한 분야로의 적용 확대 가능	▪낮은 브랜드 인지도 ▪마케팅 인프라 미흡 ▪유통망 부족 ▪신사업 분야
O (Opportunity, 기회)	**T (Threat, 위협)**
▪웰빙과 환경보호에 대한 관심 고조 ▪스마트팜의 필요성 대두 ▪자동화기기 및 전자기기의 제어기술 중요성 증가 ▪정부의 스마트팜 보급 지원 정책 확대 ▪노령화 농촌에 보급하기 쉬운 농업 환경 조성	▪선도업체의 시장 선점 ▪농촌인구 축소 및 고령화 ▪선진국 산업체들의 시장선점에 의한 높은 진입 장벽 ▪토양, 작물, 기상정보의 통합적 이용체계, 온실 원격제어 시스템, 스마트 센서 등 스마트 농축산업 관련 원천기술 부족

○ 국내시장 판로개척

- 당 개발기술의 우수성에도 불구하고 제안사 및 개발기술의 약점인 신사업분야, 낮은 브랜드 인지도, 마케팅 인프라 미흡, 유통망 부족 등의 문제를 보완하기 위하여 고객과 직접 접촉하여 제품 및 기업을 홍보하는 방식으로 판로개척 계획
- 농가, 시설원예 자동화시스템 취급업체를 대상으로 판매 및 설치에 중점을 두어 판로를 개척할 계획
- 제품사양, 시뮬레이션 자료 등을 제작하여 농가, 시설원예농가, 지원기관 등 고객을 직접 방문하여 제품 설명 및 홍보
- 정부, 지자체, 스마트팜 현장지원센터 등의 지원 활용



○ 해외시장 판로개척

- 당사의 현지법인이 위치한 베트남 시장을 우선적으로 공략할 계획이며, 베트남 시장의 성공적인 진출을 계기로 중국 시장으로의 확대 진출 모색
- 베트남 현지 시설원예농가, 농업시설 구축업체, 시설원예 자동화시스템 취급업체, 등을 중요 고객으로 선정하여 판로를 개척할 계획이며, 베트남으로 농업기술 이전을 모색 중인 국내 유관기관 및 기업들과의 협업, 베트남 현지 업체들과의 협력 프로젝트를 추진하는 등 안정적인 거래처 확보 및 당사의 교섭력을 강화해 나갈 계획
- 제품 홍보를 위하여 국내·외 농업, 농기자재, 자동화시스템 관련 전시회, 바이어 초청전, 해외판촉전 등에 참가하여 제품 시연을 통한 홍보 및 수주 확보 계획

지역	고객	전략
- (1차) 베트남 - (2차) 중국	- 시설원예농가 - 농업시설 구축업체 - 시설원예 자동화시스템 취급업체 등	- 양산품, 주문생산품 판매 - 국내·외 박람회 참가 - 수출상품화 사업 참여 - 바이어 초청전 참가 - 해외 판촉전 참가

○ 해외시장 진출 전략

- (전략1) 스마트팜에 대한 정확한 기술정보 전달
  · 스마트팜 시스템의 주요 서비스 대상은 일반 농민들이나, 아직 신기술이나 인터넷에 대한 일반 농민들의 인지도가 낮은 편으로 이들에게 스마트팜 기술에 대한 정확한 정보 전달이 이루어지지 않는다면 스마트팜 기술의 도입 및 사용은 어려울 것으로 판단
  · 현지 농촌지역을 직접 찾아가 농업인과 농업시설 구축 업체를 개별적으로 방문하여 스마트팜에 대한 정확한 기술정보를 제공하고 당사의 개발제품을 홍보

- (전략2) 현지 시설원예 구축기업과의 파트너십 구축
  · 글로벌 마켓 리더십이 부족한 상황에서 독자적인 영업과 개발보다는 글로벌 기업 및 현지 기업과의 전략적 협업을 통해 시장 리스크 감소, 경쟁력 강화, 신속한 시장 진출 추진
  · 현지기업과의 협업을 통해 베트남 시장 진출 시 불필요한 서류업무를 줄이고, 현지 시장에 대한 이해를 공유함으로써 전문성을 더욱 높일 수 있도록 함
  · 국내 연구기관, 지자체, 기업 등이 보유한 우수한 농업기술의 해외이전, 기술전수 등이 확대되고 있어 이들 기관과의 전략적인 협업을 통해 이전할 농업기술에 최적화된 지능형 스마트팜 제어 시스템을 구축하여 사업화함으로써 해외 시장 진출에 따른 리스크를 줄이고, 경쟁력을 확보해나갈 수 있도록 함

- (전략3) 현지시장 상황에 맞는 유연하고 신속한 대응 전략 구축
  · 당사는 현재 베트남 현지에 법인을 설립·운영하고 있어, 현지 고객의 니즈 및 현지 시장 상황에 맞는 신속하고 유연한 대응이 가능하여 신속성과 효율성이 높음
  · 시장상황에 따른 빠른 대응을 위하여 베트남/중국의 농업·스마트팜 시장 동향 및 제도·정책 등을 지속적으로 모니터링하여 현지 시장에 대한 정보를 수집·분석하여 이에 적합한 진출전략을 도출하고 적용해나갈 계획
  · 베트남/중국의 기후와 특산물의 생육환경을 고려한 시스템 최적화 설계로 고객맞춤형 제품 비즈니스 모델 구축

- (전략4) 패키지, 시스템 판매, 유지보수 서비스 등의 비즈니스 모델 구축
  · 베트남/중국 시장 진출을 위하여 스마트팜 시설 자재와 현지 주력 재배품종을 묶은 패키지 판매, 농가·농업시설 구축업체 등으로의 제품 판매, 유지·보수 서비스 등의 비즈니스 모델을 구축하여 사업화할 계획임
  · 시스템 판매와 더불어 장기적인 수익창출을 위한 유지·보수 시장을 적극 공략할 계획임
  · 유지·보수 비용은 초기 구매 비용의 3%를 상회하는 수준으로 구성할 계획이며, 국가적·지역적·제품별 특성을 고려하여 사업화 단계에서 보다 구체화할 계획임
  · 거래처 다변화 및 안정적인 수익구조 확보를 위한 비즈니스 모델 구축

- (전략5) 전시회 및 사절단 참가, 홈페이지 활용, 제품 홍보영상 제작 등 제품의 직접적인 홍보
  · 국내·외 전시회에 참가하여 제품 시연을 통해 국내·외 바이어들에게 제품에 대한 홍보마케팅을 수행하고, 바이어 및 수주 확보
  · 정부부처, 지자체, 유관기관 등에서 지원하는 해외 바이어 초청 및 수출상담회 등에 참여하여 바이어 확보 기회 확대
  · 농업 및 스마트팜 관련 협회, 저널 등에 개발 기술의 우수성을 지속적으로 홍보
  · 지능화된 작물 생장 환경 조성이 가능한 스마트팜 시스템에 대한 중점 홍보마케팅 자료를 작성하고 타사 대비 기술적 독창성과 우수성을 강조하여 고객의 니즈를 충족하는 제품임을 위주로 한 홍보자료 제작
  · 국내·외 농가 및 농가시설 구축업체, 시설원예 자동화시스템 취급업체를 대상으로 시제품 및 기술데이터, 도입효과자료 등을 전략적으로 제공함으로써 잠재 수요자 확보
  · 베트남어와 중국어로 번역된 제품설명서 및 홍보물 제작·배포, 수출용 맞춤 홍보동영상 제작

본 보고서는 2023년도 산업통상자원부 [융합기술사업화 확산형 전문인력 양상사업]의 연구비를 지원받아 작성되었습니다. .