제 출 문

국토해양부 장관 귀하

이 보고서를 "충청권 자족형 도시농업용 스마트그린하우스 시스템 개발" 과제의 보고서로 제출합니다.

2013. 4. 19.

주관연구기관명 : 충청남도 농업기술원
주관연구책임자 : 이은모
연 구 원 : 장성주
〃 : 서동준
〃 : 박동윤
〃 : 장성택
〃 : 최민서
〃 : 함성일
〃 : 윤정민
〃 : 양원탁
〃 : 박권서
〃 : 인민식
〃 : 최원춘
〃 : 안정호

보고서 요약서

<table>
<tr><td>과제고유번호</td><td>11지역기술혁신D06</td><td>해 당 단 계
연 구 기 간</td><td>2011.09.30.
~2013.2.28</td><td>단 계 구 분</td><td>1단계/1단계</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연 구 사 업 명</td><td>중 사 업 명</td><td colspan="4">국토해양기술연구개발사업</td></tr>
<tr><td>세부사업명</td><td colspan="4">지역기술혁신사업</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연 구 과 제 명</td><td>대 과 제 명</td><td colspan="4">-</td></tr>
<tr><td>세부과제명</td><td colspan="4">충청권 자족형 도시농업용 스마트그린하우스 시스템 개발</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연 구 책 임 자</td><td rowspan="2">이은모</td><td>해당단계
참 여
연구원수</td><td>총 : 15명
내부 : 6명
외부 : 9명</td><td>해당단계
연 구 비</td><td>정부 : 250,000천원
기업 : 84,000천원
계 : 334,000천원</td></tr>
<tr><td>총연구기간
참 여
연구원수</td><td>총 : 15명
내부 : 6명
외부 : 9명</td><td>총연구비</td><td>정부 : 250,000천원
기업 : 84,000천원
계 : 334,000천원</td></tr>
<tr><td>연구기관명 및
소 속 부 서 명</td><td colspan="2">충청남도농업기술원
미래농업연구과</td><td>참여기업명</td><td colspan="2">그린플러스
휠코리아</td></tr>
<tr><td>국제공동연구</td><td colspan="5">상대국명 : 상대국연구기관명 :</td></tr>
<tr><td>위 탁 연 구</td><td colspan="5">연구기관명 : 연구책임자 :</td></tr>
<tr><td colspan="4">요약</td><td>보고서면수</td><td>222</td></tr>
<tr><td colspan="6">- 국내·외 도시농업시설 특허분석, 기술현황조사, 문제점 분석 및 핵심기술 개발방향 정립과 유사 선진시스템 및 적용 사례에 대한 조사
- 효율적인 빛과 양분 공급과 관련한 새로운 획기적인 해결책에 대한 탐색과 이를 기반으로 생산단가를 현격히 낮출 수 있는 방법 도출
- 각 컴포넌트- 시스템별 성능기준에 부합할 수 있는 기술적 해결책 도출과 KAIST 엔지니어링 테스트베드를 통한 반복적 실험 및 ESPR, TRVSYS, WINDOW, RADIANCE, MIDAS 등 에너지, 창호, 조명 및 구조 관련 시뮬레이터들을 이용한 시스템 성능예측 및 기술 대한 평가
- 충남농업기술원의 작물 생장환경 및 프로세스관련 노하우와 실제 작물실험재배 온실 시설의 이용, KAIST의 다양한 과학기술적 분석기기와 설비를 이용한 체계적 시스템 연구, (주)그린플러스의 구조, 외피, 환경 구축 관련 노하우와 (주)휠코리아의 자연광 빛 인공광 배분관련 신기술들과 실험을 위한 다양한 기기 및 장비 이용 등</td></tr>
<tr><td rowspan="2">색 인 어
(각 5개 이상)</td><td>한 글</td><td colspan="4">도시농업, 탄소저감형 작물재배, 지속가능시설,
생산단가저감, 자족형 시설</td></tr>
<tr><td>영 어</td><td colspan="4">City farm, Carbon-free cultivation, Sustainable facility,
Production cost down, Self-contined facility</td></tr>
</table>

요 약 문

Ⅰ. 제 목

충청권 자족형 도시농업용 스마트 그린하우스 시스템 개발

Ⅱ. 연구개발의 목적 및 필요성

○ 이상기후현상, 농지면적 감소, 인구증가, 유통구조 등으로 인하여 농산물의 안정적인 수급이 힘든 실정으로 이에 따라 새로운 생산시스템이 요구됨

○ 기존온실의 낮은 생산성 및 도농분리의 대안으로 식물공장의 개념이 도입되었지만 높은 인공광원 초기투자비와 운영비로 보급 및 상용화가 이루어지지 않음

○ 기존 식물공장(인공광 적층형)의 초기투자비 및 유지비를 획기적으로 줄이고, 높은 생산성을 유지할 수 있는 새로운 유형의 식물공장 개발이 필요

○ 자연광으로 대체할 경우 암영대 발생으로 인하여 적층형 구조가 불가능하여 현재까지 이를 자연광을 통한 적층형 식물공장은 개발된 사례가 없음

○ 따라서 본 연구에서는 기존 식물공장의 적층형 구조를 통해 높은 생산성을 충족함과 동시에 광선반을 이용한 암영대 제거를 통한 자연광원 활용을 통해 초기투자비와 유지비를 획기적으로 줄인 차세대 스마트그린하우스 구현을 목표로 함

Ⅲ. 연구개발의 내용 및 범위

○ 국내 광환경 분석 및 적층형 설비의 암영대 분포 조사를 통해 인공광 없이 적층밀식재배가 가능하도록 광공급 시스템 구현

○ 적층형 구조에 적합한 양액공급설비 설계 및 생육트레이 자동화시스템 설비 구현

○ 태양열 및 지하수를 열원으로 이용한 지반 콘크리트-상토 결합형 액티브 축열 냉난방시스템 설계

○ 단열성과 자연채광조절성능이 우수하고 폭설 등에 내구성을 지니며, 조립 및 해체가 용이한 외피자재 분석

○ 지붕경사각을 중심으로 적설하중 및 서까래 장력분포 분석을 통해 한계파단장력을 추산한 공학적 접근으로 경제적인 Mechanical Fuse 구조시스템 설계

○ 충남 특산물인 딸기의 식물공장 연중생산을 위한 고온기 일계성 딸기 저온단일처리가 생육에 미치는 영향을 분석하여 생산 작물 확대 도모

○ 기존의 재배방식(노지, 기존온실, 기존 식물공장) 및 본 시스템의 초기투자비, 유지비, 생산량 및 매출액 분석을 통해 순이익 도출을 통한 경제성 평가

Ⅳ. 연구개발결과

○ 태양광 활용 적층밀식재배 광공급 시스템 구현

- 광선반의 상단 반사패널이 광원을 추적하여 산란패널로 유도-공급하고, 산란패널이 난반사 산란광을 공급하는 구조를 통하여 적층형 시스템에 광 공급이 가능한 시스템 구현

○ 적층 밀식재배 양액공급 및 생육설비 구현

- 스펀지형 순환 공급방식의 양액트레이부와 기울기조절을 통해 양액공급의 불균형을 해소하고, 거리에 상관없이 표준화된 양액공급이 가능한 적층밀식재배장치 설계

○ 액티브 축열 냉난방설비 시스템 설계

- 수평형 지중 열교환기를 통한 축열체 열공급 시스템과 태양궤도 추적형 자연광 실내공간 인입 및 분배를 위한 태양열 활용 열공급 및 회수시스템의 설계

○ 온실 외피자재 분석

- 현재 농업용으로 시판되는 PE필름 LDPE 필름 2종, EVA필름 등 총 4종류의 인장, 인열, 충격강도 등의 물리적 특성과 광투과성 분석을 통한 요소별 성능분석 및 복합외피 설계대안 도출

○ 폭설대비 첨단온실 구조

- 적설하중 산정을 통한 한계파단장력 추산 및 폭설에 의하여 Mechanical Fuse가 파단되어 상부서까래의 지면 고정 및 하부 서까래의 상단 눈을 털어내는 구조 설계

○ 식물공장용 특화작물 연중생산 연구

- '설향' 딸기묘의 고온기 냉장처리묘 정식 및 정식 후 저온단일처리를 통한 엽장, 엽병장, 엽폭의 생육을 조사, 관행으로 재배관리한 처리에서 생육의 큰 변화와 처리온도가 낮을수록 생육이 감소하는 결과 도출

○ 경제성 평가

- 20년의 LCC 분석 결과 기존 식물공장 대비 약 1.869배의 순이익 증대가 가능

Ⅴ. 연구개발결과의 활용계획

○ 참여기업의 충남권 자족형 도시농업용 스마트 그린하우스 시스템 시장 참여 시 경쟁력 강화를 위한 핵심 엔지니어링 기술 확보

○ 연구성과물의 실용화 및 제품화를 통해 도시농업 환경 기술 분야의 신산업 창출 및 신 수출산업 육성

○ 핵심 엔지니어링 기술 확보를 통한 산업체 및 연구기관에서 개발한 성과물을 향후 스마트 그린하우스 시스템 건설 시 요소기술을 구현하여 실현

○ 다양한 요소기술을 보유한 참여기업의 노하우와 현업 전문가들의 기술동향 및 시장 동향에 대한 의견을 반영하여 에너지 저감기술의 개발방향을 확립하고, 향후 연구 결과를 활용하기 위한 연구 컨소시엄을 구성

○ 주관연구기관의 핵심기술 개발 결과를 바탕으로 참여기업(중소기업)의 제품개발 기술을 활용하여 실험용 모델 및 시작품 제작, 테스트베드 설치용 완성품 제작 수행

○ 첨단그린하우스의 테스트베드 설계 및 시공능력을 보유한 참여기업(중소기업)의 기술력을 활용하여 개발시설의 시공, 테스트베드에 완성품 설치, 종합 성능확인

SUMMARY

Ⅰ. Research Subject

Development of a Self-sufficient Smart Greenhouse System for Urban Agriculture in Chungcheong Province

Ⅱ. Goals and Necessity of Research

○ There are abnormal weather phenomena, farmland acreage decrease, population growth, and problematic structure of food distribution all around the world. For this reason, it is hard to reach a stable supply of agricultural products. Therefore, the new production system is required.

O The concept of plant factory is introduced as an alternative for separating urban and rural areas and low productivity of the existing greenhouse. However it hardly is commercialized because of its high initial investment for artificial lights and operating costs.

○ A new type of plant factory keeping high productivity and reducing initial investment and maintenance cost dramatically is demanded

○ There hasn't been laminating type of plant factory using only natural light, because It is impossible to have multi-layer type structure using natural light only due to the occurrence of shadow by the standing planting frames themselves.

○ Therefore, in this study, our goal is making smart greenhouse which has high productivity and minimized shadow through light shelves and reduce the initial investment and maintenance costs through the use of natural light.

Ⅲ. Scope of Research

○ Analyze domestic natural light environment and investigation of the shadow distribution patterns of multi-layer facility

○ Implementation of an automated system for growth-tray equipment and nutrient supply facilities design that is suitable for the multilayer structure

○ Design of a hybrid concrete floor imbedded type active thermal storage air-conditioning system using solar heat and underground water as the heat source.

○ Analyze greenhouse material which is easy to assemble and dissemble, durable for heavy snow, and excellent for natural-light-control and insulation

○ Design of a cost-effective mechanical fuse structure system through an engineering

approach to estimate the break-limit tension through the analysis of the tension distribution of snow load and rafters with the roof slope angle as the center.

○ Aim at expanding producible fruit plants through the analyzing the effect of low-temperature to the growing process of strawberry and high-temperature needed in the cold season, aiming at having a year-round strawberry harvest.

○ Economic evaluation through the net income derived from an analysis of the sales, initial investment, maintenance costs, and the amount of production compared with the existing cultivation methods (open field, existing greenhouse, and existing plant factory)

Ⅳ. Research Outcome

○ Light supply system implementation of a laminated high density cultivation utilizing solar light only

- Structure of tracing sunlight by reflection panel on the upper light-shelves, inducement-supply to spawning panel

○ Implementation of nutrient supply and growth facility of laminated high density cultivation

- The design of multilayer high-density cultivation facility which is possible to standardize independent to distant nutrient supply, solves imbalance between supply nutrient by tilting slope and adjusting tray unit, sponge-type circulation supply method

○ Design for active thermal storage air-conditioning equipment

- Design of collection and supply system utilizing solar heat for getting and distributing solar radiation into the indoor space. System tracing solar path, and heat supply utilizing geothermal energy through horizontal soil heat exchanger and water as the medium.

○ Analysis of greenhouse material

- Design of mixed building skin and performance analysis through the analysis of light transmittance and physical properties of PE film, LDPE film 2 type, and EVA film

○ Structure of high-tech greenhouse

- Structural design to brush off the top of the rafters. upper rafters fixed on the ground through broken Beam Mechanical Fuse by heavy snow. Estimation limit break tension through calculation snow load and wind load

○ Economic Evaluation

- Potential increase of net income gets approximately 1.869 times compared to the existing plant factory through LCC analysis studied for 20 years

Ⅴ. Utilization of the Research Outcome

○ Ensuring core engineering technology for strengthening the market competitiveness when participating companies join the self-sufficient type smart greenhouse system for urban-agriculture in Chung-nam area

○ Development of new export industries and the creation of new industries in the field of urban agriculture environmental technology through practical application and commercialization of research results

○ Realization with research results in industry and research institutions through the securing of important engineering by implementing the elements of the technology during the construction of the future smart greenhouse system

○ Establishing consortium to utilize research result, and find the direction of development of technology to reduce energy reflecting technical and market trends

○ Fulfillment of verifying prototypes, experimental model, and test bed based on research results with core technology from participating companies.

○ Construction of facility, installation final product at test bed, overall performance validation with participating company's technology which has the ability to design and construct high tech greenhouse test bed

CONTENTS

Chapter 1. Overview of Research

Section 1. Background and Necessity of Research

Section 2. Overview of Research

Section 3. Goal of Research

Chapter 2. Domestic and International Research Trend

Section 1. Domestic technology and Industrial trend

Section 2. International technology and Industrial trend

Section 3. Patents

Section 4. Government support policies

Section 5. General conclusions

Section 6. Technical challenges and redundancy

Chapter 3. Contents and Research Outcomes

Section 1. Highlights of research

Section 2. Light supply system of laminated high density plant utilizing solar

Section 3. Nutrient supply and growth facility of laminated high density plant

Section 4. Active thermal storage air-conditioning equipment

Section 5. Envelope Analysis of high-tech greenhouse

Section 6. Structure of high-tech greenhouse: System of preparation for snowfall

Section 7. Research for year-round production of special plant(strawberry)

Section 8. Economic Assessment

Chapter 4. Achieved Goals and Contribution to the Related Fields

Chapter 5. Utilization of the Research Results

Section 1. the possibility of cooperation with industry and domestic and international research

Section 2. Utilization of the results and the expected outcome

Chapter 6 Foreign Scientific and Technical Information

Chapter 7. References

목 차

제1장 연구개발과제의 개요 ····· 10
1절 연구개발의 배경 및 필요성 ····· 10
2절 연구개발의 개요 ····· 13
3절 연구개발의 목표 및 위상 ····· 22

제2장 국내외 기술개발 현황 ····· 28
1절 국내 기술 및 산업동향 ····· 28
2절 국외 기술 및 산업동향 ····· 31
3절 특허동향 ····· 39
4절 정부지원정책 현황 ····· 42
5절 종합결론 ····· 44
6절 연구개발과제 및 대상기술의 중복성 ····· 46

제3장 연구개발수행 내용 및 결과 ····· 48
1절 연구개발 주요내용 ····· 48
2절 태양광활용 적층밀식재배 광공급 시스템 ····· 53
3절 적층밀식재배 양액공급 및 생육설비 ····· 85
4절 액티브 축열 냉난방 설비 ····· 93
5절 첨단온실 외피 분석 ····· 118
6절 첨단온실 구조_폭설대비 시스템 ····· 124
7절 식물공장 특수작물(딸기) 연중생산 분화연구 ····· 141
8절 경제성평가 ····· 145

제4장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도 ····· 161

제5장 연구개발결과의 활용계획 ····· 167
1절 산업 및 국내외 연계·협력 가능성 ····· 167
2절 연구결과의 활용방안 및 기대성과 ····· 169

제6장 수집한 해외과학기술정보 ····· 180

제7장 참고문헌 ····· 185

별첨 1 광환경 구축 실험설비 공사 표준시방서 ····· 188
별첨 2 운영 제어소프트웨어 ····· 218

제1장 연구개발과제의 개요

1절 연구개발의 배경 및 필요성

1. 안정적인 농산물 수급의 필요성

○ 한국 농업경제연구원의 농업통계에 따르면 최근 10년간 국내 도시면적 증대로 인하여 전국 농지면적의 10%인 20만 ha가 감소

○ 인구는 약 300만 명이 증가되어 농산물 생산량 증대의 필요성이 대두

○ 전 세계적인 지구온난화 및 폭우, 폭설, 태풍 등 이상기후현상은 농산물 가격의 상승을 가져왔고, 안정적인 농산물 생산을 저해하고 있는 실정

2. 식물공장 개발의 필요성 증대

가. 기존 시설재배의 문제점

○ 전통적으로 특별한 시설 없이 노지에서 재배하는 방식은 시설구축에 필요한 비용이 적으나 계절 및 기후의 영향에 영향을 많이 받으며, 생산량의 변동이 크고 유통단계가 복잡함

○ 비닐하우스 및 유리온실의 경우 시설구축이 비교적 저렴하고, 자연광을 이용하여 유지비가 적으나 적층 재배가 불가능하여 넓은 부지면적을 필요로 하여 효율성이 떨어짐

나. 기존 식물공장 개념의 도입 및 문제점

○ 기존 시설재배(비닐하우스 및 유리온실)의 경우 낮은 생산성, 생산지와 소비지의 분리로 인한 유통 효율성 및 탄소배출, 자원순환 등의 문제점이 제기되면서 도농 통합의 개념이 도입된 새로운 유형의 재배시설의 필요성 제기

○ 대안으로 식물에 필요한 환경조건인 빛, 양분, 온도, 습도 등을 인공적으로 제어하고, 적층형 구조를 통해 생산량을 극대화한 식물공장 개념이 제기

○ 식물공장의 생산량 극대화를 위한 적층구조를 구현하기 위하여 인공광 및 이산화탄소 공급 등의 환경제어시설이 필수적이고, 이 중에서도 식물의 생장에

가장 큰 영향을 미치는 광원을 제어하기 위하여 현재 인공광원을 이용한 식물공장을 중심으로 연구가 진행 중임

○ 인공광원 및 환경제어시설의 설치로 인하여 일반 온실 대비 약 12.5배인 1㎡당 150만원의 초기투자비와 약4만원의 추가운영비가 소요되기 때문에 일반 농가의 보급을 위한 시설로서 부적합하고, 높은 생산단가로 인해 상용화가 어려움

○ 또한 인공광을 이용할 경우 식물 생장에 필요한 파장대의 광원제공이 주요 난제이며, 자연광 대비 면역성이 낮고, 광합성 효율이 낮다는 연구결과도 있으며, 인공광원에 대한 소비자의 불신이 존재

○ 따라서 초기투자비를 획기적으로 절감하면서 생산성을 극대화할 수 있는 새로운 유형의 재배설비가 필요

3. 자연광 활용을 통한 식물공장 초기투자비용 절감

○ 인공광 적층형 식물공장의 초기투자비용 및 유지비 증가의 주요 요인은 인공광원과 환경제어설비로 판단됨

○ 현재의 인공광 식물공장에 대한 학계의 연구동향에도 불구하고, 현실적인 초기투자비용 및 유지비를 줄일 수 있는 대안은 초기투자비의 40% 이상을 차지하는 인공광원 설비를 자연광으로 대체하는 것이라 판단됨

○ 인공광원 설치는 LED 기준 ㎡ 당 60-100W가 필요하고 1W당 2,000원의 설치비가 소요되며, 인공광원에 의한 월 전기요금은 24시간 가동 시 한 달간 1,325원/㎡ 소요됨

○ 자연광으로 대체할 경우 적층구조로 인한 각 층 재배단에 암영대 발생으로 인하여 적층형 구조가 불가능하여 현재까지 이를 자연광을 통한 적층형 식물공장은 개발된 사례가 전 세계적으로 없음

○ 본 연구에서는 기존 식물공장의 적층형 구조를 통해 높은 생산성을 충족함과 동시에 광공급설비로 자연광원 활용을 통해 초기투자비와 유지비를 획기적으로 줄인 **차세대 스마트그린하우스 SEED 시스템**을 제안함

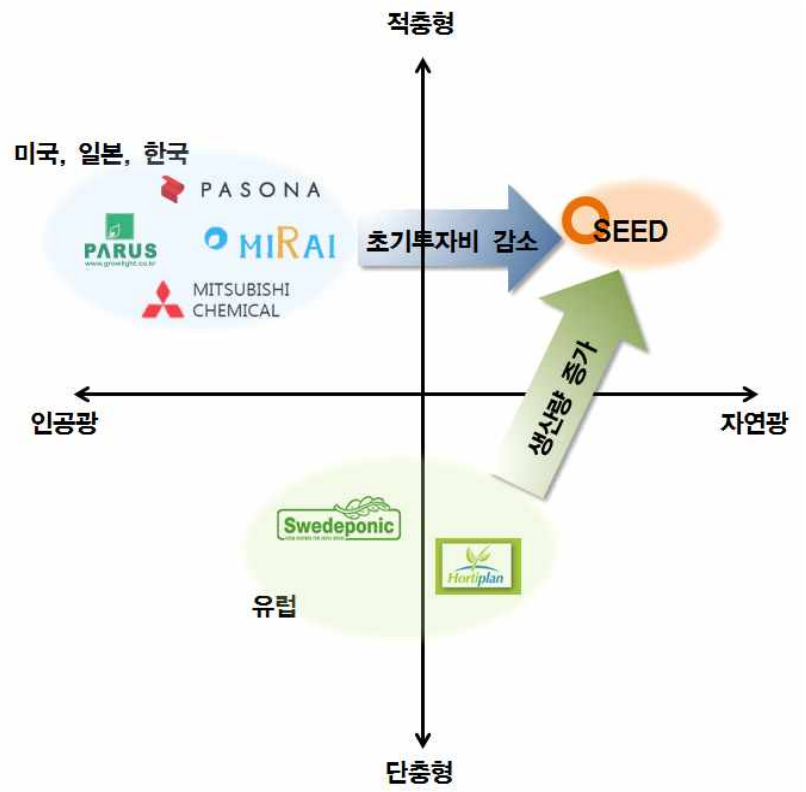


그림 1-1-1. SEED 시스템이 차지하는 기술적 위치

2절 연구개발의 개요

1. 연구개발의 개요

○ 기존 온실이 지닌 낮은 생산력을 보완하고, 설치가 용이하여 다양한 부지조건에 적용가능하며, 식물공장이 지닌 고가의 초기투자비와 운영비의 문제를 해결한 도농복합형 “스마트 그린하우스(Smart Green House)”의 플랫폼 개발

- 고효율/순환형 기제를 통해 저탄소/저에너지를 실현하여 지속가능성 제고
- 첨단제어 설비를 통한 시설운영의 효율 극대화
- 생산프로세스 개혁을 통한 생산단가의 획기적 절감

○ 이를 위해 구조, 외피, 환경, 광분배, 생육자동화 및 원료순환, 첨단제어 시스템을 구축하고 이에 대한 통합설계안을 도출하여 경제성을 확보할 수 있는 최적화된 모델을 도출

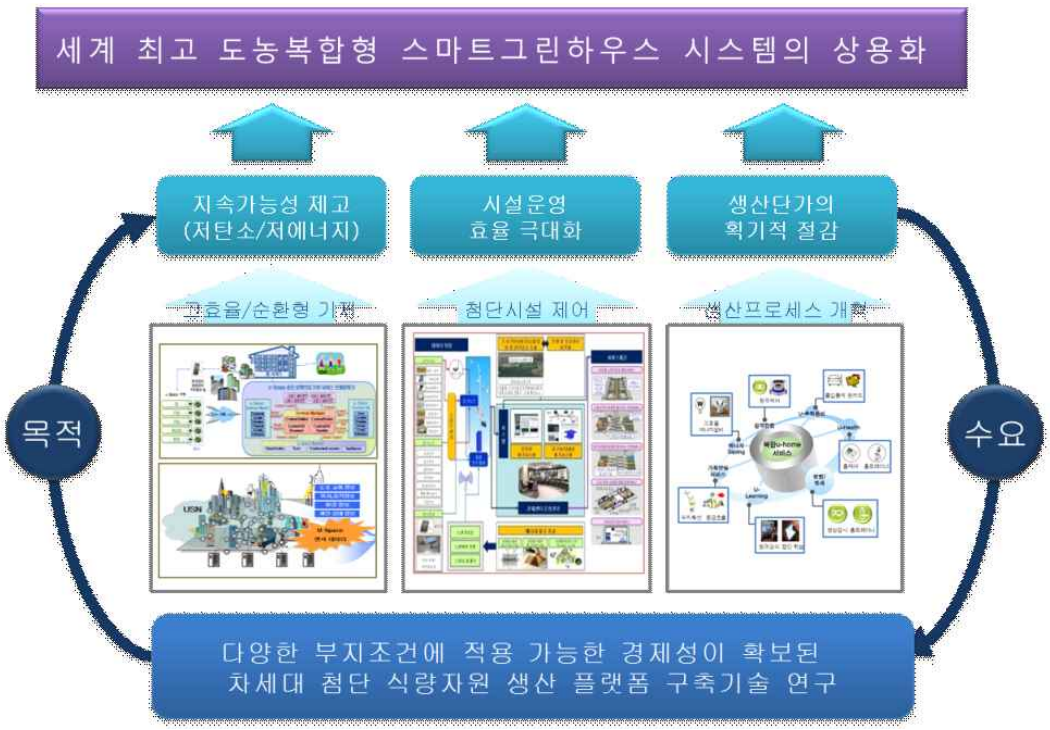
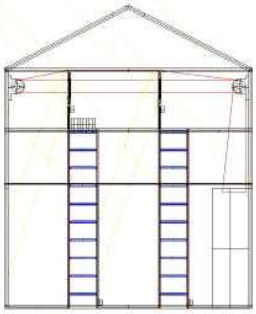
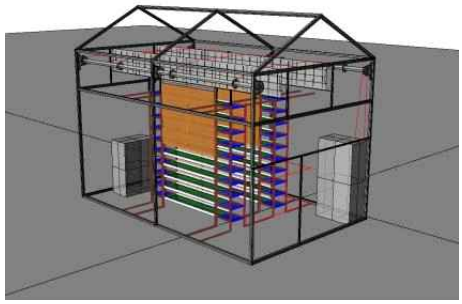
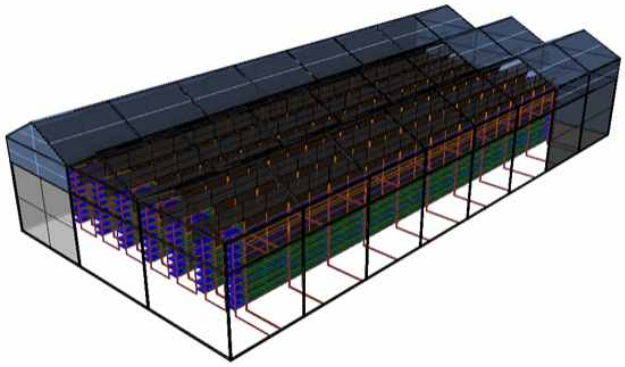


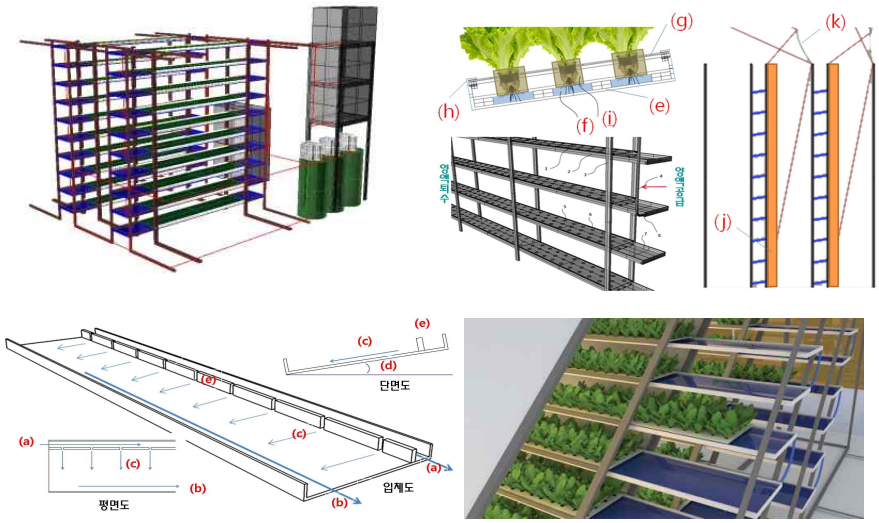
그림 1-2-1. 연구의 지향점과 목표

2. 연구개발의 범위 및 주요 내용

가. 태양광활용 적층밀식재배 광공급 시스템 구현

<table>
<tr><td>연구개발성과물</td><td colspan="4">다단 적층형 재배장치를 위한 태양 추적형 자연광 공급 시스템</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구개발
성과물의 성격</td><td>요소기술</td><td>설계안</td><td>시작품</td><td>제품</td></tr>
<tr><td>O</td><td>O</td><td>O</td><td></td></tr>
<tr><td>연구내용</td><td colspan="4">○ 기존의 적층 밀식재배시설의 인공광원을 자연광으로 대체하여 광원설치의 초기투자비와 전력을 포함한 운영비를 줄이며 자연환경에 가까운 인공 환경 구축으로 생산 작물 생산성과 품질을 동시에 확보
○ 실내조명에너지 절약과 동시에 생육공간의 조도확보를 위해 효과적인 태양광 배분이 가능한 건축 자연채광 요소인 광선반을 도입하여 적층 밀식재배 공간에서의 암영대(그림자) 제거로 일사량 부족 문제 해결
○ 상단 반사패널이 태양 고도 및 방위각의 변화에 따라 광원을 추적하여 하단 산란패널로 유도-공급하고, 산란패널이 생육설비에 표준화된 난반사 산란광을 공급하여 작물이 재배되는 구조
○ 위도별, 절기별 태양 고도의 변화에 따른 광원의 입사도를 분석하여 지역별 태양 고도변화에 대응 가능한 보편적인 광 공급 시스템 디자인
  
 
태양광 활용 적층밀식재배 광공급 시스템</td></tr>
<tr><td>향후연구과제</td><td colspan="4">○ 자연광 공급설비 효율성 증대를 위한 농업용 반사패널 및 산란패널의 재료분석 및 성능 검증
○ 광공급 시스템 반사패널의 형태 및 운용방식에 따른 효율성 검증
○ 타 지역별 태양 고도변화에 따른 광공급 시스템 디자인 방안 구축</td></tr>
</table>

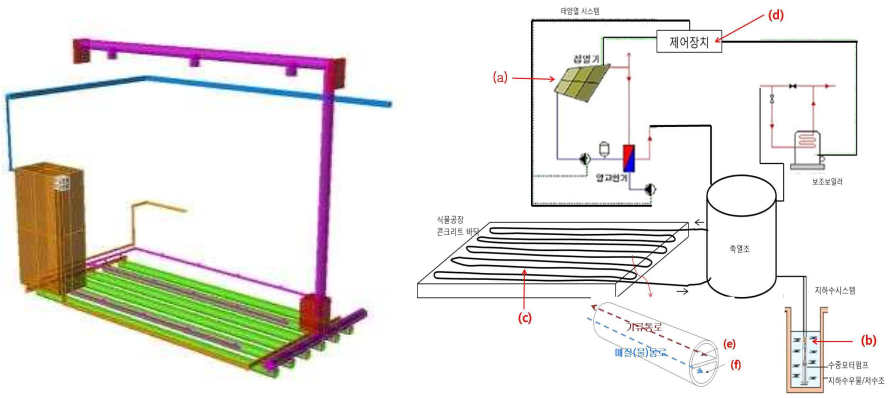
나. 적층밀식재배 양액공급 및 생육설비 구현

<table>
<tr><td>연구개발성과물</td><td colspan="4">자연광이용 식물공장 적층밀식재배 장치</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구개발
성과물의 성격</td><td>요소기술</td><td>설계안</td><td>시작품</td><td>제품</td></tr>
<tr><td>O</td><td>O</td><td>O</td><td></td></tr>
<tr><td>연구내용</td><td colspan="4">○ 자연광이용 식물공장 적층밀식재배시설을 위해 적층구조로 발생되는 암영대를 최소화 하여 자연광 공급을 효과적으로 유도하며 동시에 밀식성, 확장성, 재배자동화를 고려한 새로운 양액공급 설비 설계
○ 베이스부와 양액트레이부, 식생트레이부, 양액공급기, 제어부로 구성된 재배 자동화가 가능한 식생트레이 이송형 적층밀식재배장치 설계
○ 스펀지 재배방식으로 양액공급을 담당하는 양액트레이부를 통해 양액을 주기적으로 흘려 순환 공급하는 방식을 도입
○ 다단적층형 재배장치의 각 층 작물생육 트레이를 기울어진 형태로 배치하여 자연광 공급설비를 통한 태양광의 작물별 수광효율을 극대화
○ 양액공급 트레이에 요철을 도입하여 양액공급시 발생하는 공급 불균형을 해소하고 공급원으로부터 거리에 상관없이 균일한 양액공급이 가능하도록 설계
 

자연광이용 식물공장 적층밀식재배 장치</td></tr>
<tr><td>향후연구과제</td><td colspan="4">○ 다품종 작물재배가 가능하도록 담액재배 방식을 개선하여 작물재배 트레이가 이동 가능한 형태로 자동화 설비를 구축
○ 양액순환설비를 통해 요구 양액농도 변화에 실시간 능동적으로 대처하고 폐양액의 배출을 제로화 하여 최소의 자원으로 작물재배가 가능한 고효율 순환설비 구축
○ 생육설비 완전자동화를 위한 재배로봇시스템 도입</td></tr>
</table>

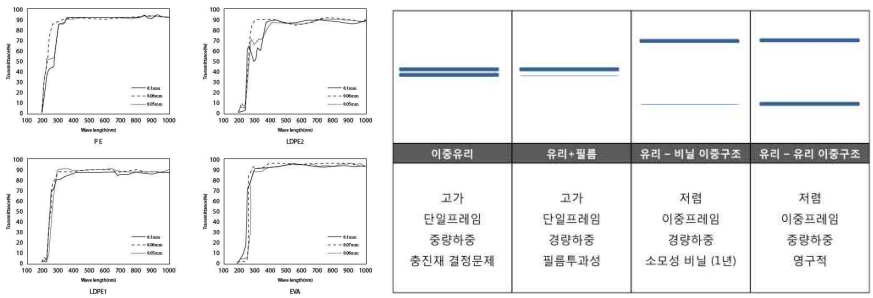
다. 액티브 축열 냉난방설비 시스템 설계

<table>
<tr><td>연구개발성과물</td><td colspan="4">식물공장용 태양열 및 지하수 연계형
하이브리드 매질기반 바닥 축열체 냉난방 시스템</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구개발
성과물의 성격</td><td>요소기술</td><td>설계안</td><td>시작품</td><td>제품</td></tr>
<tr><td>O</td><td>O</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>연구내용</td><td colspan="4">○ 국내 공동주택에서 많이 사용하는 온돌 시스템을 식물공장 지반 콘크리트 구조물에 도입하여, 태양열(온열원)과 지하수 및 상수도(냉열원)를 활용해 지열시스템과 같은 효과를 내는 액티브 축열 냉난방 시스템 설계
○ 바닥 콘크리트 내부 관로에서 물과 공기를 동시에 교차시켜 효과적인 열교환을 유도하고 공조를 통한 냉난방과 급탕까지 일괄적으로 해결하는 시스템 설계
○ 광공급 시스템 반사패널의 폐열회수 냉각장치(온열원)와 지하수 및 상수도설비(냉열원)와 연계된 열원부, 바닥 콘크리트와 지하 단열격벽 및 상토층으로 구성된 축열부와 이에 매립되는 관로부 및 구동제어부로 구성된 냉난방 시스템 설계
○ 매설되는 관로를 통한 축열효과로 절기별 일정한 공조 기류온도를 확보하여 지열시스템과 같은 효과를 유도함과 동시에 설치가 간편하고 비용이 저렴한 장점이 있어 시스템 보급 활성화를 도모

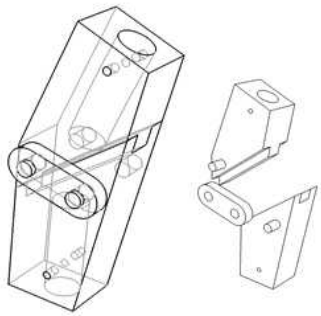
식물공장용 태양열 및 지하수 연계형
하이브리드 매질기반 바닥 축열체 냉난방 시스템</td></tr>
<tr><td>향후연구과제</td><td colspan="4">○ 시스템 구축 구성 결정요소에 대한 열적 성능 시뮬레이션 및 실험 평가
○ 시스템에 대한 정량적 설계 및 시공 시방서 도출
○ 기존 신재생 에너지 활용 연구방안 대비 적용 가능성 검토를 통한 운영 타당성 확보
○ 실증 테스트베드 구축을 통한 설비성능 검증 및 추가설계 대안 도출</td></tr>
</table>

라. 온실외피자재 분석

<table>
<tr><td>연구개발성과물</td><td colspan="4">기존 외피 요소별 성능분석 및 복합외피 설계대안</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구개발
성과물의 성격</td><td>요소기술</td><td>설계안</td><td>시작품</td><td>제품</td></tr>
<tr><td>O</td><td>O</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>연구내용</td><td colspan="4">○ 자연광 이용형 식물공장 외피 설계를 위해 외피, 조명, 설비시스템 간의 시너지를 동시에 고려하여 열적성능과 채광성능, 일사조절성능, 환기성능을 분석하여 통합 시스템을 도출
○ 국내 원예시설의 시설 외피복재에 대한 경향 및 피복재의 축격강도, 인장, 인열, 신장율 등 물리적, 기계적 성질과 광투과성에 대한 조사
○ 시공시 피복재의 인장파열, 신장변형 훼손, 충격에 의한 파손과 광산화에 의한 투광율 저하에 대한 검토
○ 현재 농업용을 생산 시판되고 있는 PE필름, LDPE필름 2종, EVA필름 총 4종류로 물리적 특성(인장, 인열, 충격강도 등)과 광투과성을 구명하기 위하여 PE, LDPE1, LDPE2는 0.05, 0.06, 0.1mm의 두께로는 EVA는 0.06, 0.07, 0.1mm로 나누어 실험
○ 광투과성 측정은 UV-3101PS 분광광도계를 이용하여 적외선과 가시광선 영역의 광원은 50W 텅스텐 할로겐 램프를 사용하였고, 자외선 영역은 Deutrium 램프를 광원으로 사용
○ 시설물의 외피를 구성하는 창호 시스템의 종류와 기밀성의 확보와 관련되는 침기량에 대한 분석
 

Relationship of wavelength and transmittance at PE, LDPE1, LDPE2 and EVA film(좌), 복합외피 요소별 성능 분석(우)</td></tr>
<tr><td>향후연구과제</td><td colspan="4">○ 복합외피 구성 테스트용 샘플 제작 및 물리적, 기계적 성질과 광투과성에 대한 검사를 통해 최적 복합외피 설계안 도출
○ 복합외피를 적용한 실증 테스트 베드 구축을 통해 첨단온실외피 열적성능 실증실험 및 결과분석</td></tr>
</table>

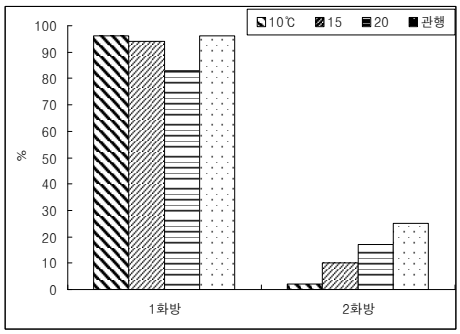
마. 폭설대비 첨단온실 구조

<table>
<tr><td>연구개발성과물</td><td colspan="4">Mechanical Fuse를 도입한 폭설대비 온실 구조변형 시스템</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구개발
성과물의 성격</td><td>요소기술</td><td>설계안</td><td>시작품</td><td>제품</td></tr>
<tr><td>O</td><td>O</td><td>O</td><td></td></tr>
<tr><td>연구내용</td><td colspan="4">○ 온실의 주요 피해원인인 폭설에 대응하여 지붕 경사각을 중심으로 설하중을 분석하고 적설하중의 분포에 따른 효과적인 대응방안을 모색
○ 농림수산식품부 산하 농촌진흥청 원예특작시설 내재해형 규격 설계도를 분석하여 단동, 연동형 비닐하우스의 요건을 분석하고 본 첨단온실 구조시스템에 도입
○ 폭설에 강한 비닐하우스의 구조적 강성이나 재활용, 사용성에 초점을 맞추어 공학적인 접근을 통해 저비용의 경제적인 Mechanical Fuse를 이용한 새로운 비닐하우스의 구조시스템 설계
○ 풍하중, 적설하중을 산정하여 서까래의 장력분포를 도출하여 퓨즈의 한계파단장력을 추산하여 Mechanical Fuse 설계
○ 폭설로 Mechanical Fuse가 파단 되어 비닐하우스가 변형되어 상부 서까래가 하부 서까래를 넘어서 지면에 고정되게 되고 하부 서까래는 안쪽으로 들어가면서 상단 눈을 털어내는 구조
 

Fuse System(상)과 시스템 적용 테스트(하)</td></tr>
<tr><td>향후연구과제</td><td colspan="4">○ 현재 설치한 비닐하우스는 크기를 축소한 prototype으로 실사이즈로 설치 시에는 작용하는 하중, 파이프의 bending stiffness 등 이 달라지므로 그에 맞게 퓨즈의 규격 또한 달라짐
○ ANSYS 등의 프로그램을 이용하여 원래 사이즈에 대한 시뮬레이션을 시행해보거나 실제 사이즈의 비닐하우스를 설치하여 실험 필요</td></tr>
</table>

바. 식물공장용 특화작물 연중생산 연구(딸기)

<table>
<tr><td>연구개발성과물</td><td colspan="4">식물공장 특화작물(딸기) 연중생산 연구</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구개발
성과물의 성격</td><td>요소기술</td><td>설계안</td><td>시작품</td><td>제품</td></tr>
<tr><td>O</td><td>O</td><td>O</td><td></td></tr>
<tr><td>연구내용</td><td colspan="4">○ 엽채류 이외 식물공장용 특수작물생산을 위한 작물 생육환경에 대한 분석을 위해 충청남도 특작물 딸기를 대상으로 태양광이용 식물공장에서 딸기 연중생산을 위한 고온기 일계성 딸기 저온단일처리가 생육에 미치는 영향을 분석
○ 본 연구는 태양광이용 식물공장에서 딸기 연중생산을 위한 기초연구로서, 일계성 딸기의 단경기 생산을 극복하고 고온기 연속출뢰가 가능하도록 고온기 정식묘를 저온단일처리하여 연중생산의 가능성을 검토
○ 일계성 품종인 '설향' 딸기묘를 30일간 야간저온처리 하여 이동식 대차 위에 설치된 고설수경재배시스템에 처리별 정식
○ 정식묘에 대한 야간저온처리는 10℃, 15℃, 20℃와 관행구로 하여 주간에는 이동식 대차를 저온저장고에서 꺼내서 딸기가 자연환경에 노출되어 충분한 광합성을 하도록 하였고 야간에는 대차를 실내로 넣어서 저온처리
○ 고온기에 냉장처리묘를 정식하고 정식 후 계속하여 저온단일처리 55일 후에 엽장, 엽병장, 엽폭의 생육을 조사

Cold Storage Room in order to Low-Temperature and Short-Photoperiod Treatment during a High-Temperature Season(좌), 출뢰율(우)</td></tr>
<tr><td>향후연구과제</td><td colspan="4">○ 저온처리 시설의 식물공장 적용 설계 및 운영시스템에 대한 방안 수립
○ 특수작물 연중생산을 위한 실내환경 조성 및 관리방안도출
○ 연중 작물생산의 경제성 평가 및 설비운영 타당성 확보</td></tr>
</table>

사. 식물공장 경제성평가

○ 본 시스템(자연광 적층형)의 구조적 특성(LED 광원의 자연광 대체, 광산란 패널, 적층형 구조 등)을 반영한 초기투자비와 운영비, 생산량, 매출액을 고려하여 순이익을 도출하고, 기존 식물공장과 비교 분석

○ 20년 기준 본 시스템은 기존식물공장(인공광 적층형)이 지닌 높은 초기투자비와 반복적인 보수비용, 운영비 등에 의해 약 1.869배의 순이익 증대 가능 결과도출

3. 연구개발의 의의

가. 산업 · 경제적 측면

(1) 첨단기술의 융합분야인 식물공장의 전・후방 관련 산업 효과 기대

○ 식물공장은 현재 경제성에 부합되지 않으나, 향후 전후방산업 성장 및 농업고도화 등 비시장적 편익을 고려할 경우 정부의 장기적 지원이 요구되며, 본 연구는 식물공장의 아킬레스건인 높은 초기투자비와 운영비를 획기적으로 줄여서 이러한 신기술의 대중화를 앞당길 새로운 유형의 첨단복합생육시설의 엔지니어링 설계안을 도출

○ 선진국들은 식물공장 분야를 미래의 신 시장 선점을 위한 장기적인 공공 투자의 의미로 접근

○ 충남 도내 LED, 제어 등 전자부품 및 바이오산업의 전후방 산업 동반 발전 가능성이 높음. (주)파루스, (주)그린플러스, 홀인원, 코리아나, 종근당 등 100여개 관련 기업에 기술 도약 효과 기대

○ 전방산업(품종, 신소재, 양액)과 후방산업(전시, 식품, 관광)의 연계효과가 뛰어난 식물공장을 대표적 융・복합 산업으로 육성하여 신규일자리 창출과 지역경제를 활성화시킬 수 있다.

(2) 해외로의 수출 경쟁력 확보

○ 일본, 네덜란드, 한국이 경쟁을 통해 중동과 아프리카 등 식물의 생산이 어려운 사막을 가지고 있는 세계 모든 국가에 식물공장 플랜트 수출을 위해 경쟁하고 힘쓰고 있음

○ 최근 경기도에서 카타르에 식물공장 공동개발과 보급 등을 주요 내용으로 업무

협약을 맺는 등 식물공장 진출에 박차를 가하고 있음

○ 카타르 진출을 발판으로 삼아 초기 비용절감 및 효율성 증대를 통한 경쟁력 확보를 위하는데 의의가 있음

(3) 농업 환경 개선

○ 기후변화, 농촌인구의 고령화 등 악화되는 농업환경을 개선하고 자연재해 상황에서도 식물을 안정적으로 생산할 수 있는 식물공장을 보급·확산 함

○ 조립 및 해체가 용이하며 폭설 등의 자연재해로부터 내구성을 지닌 식물공장을 개발하여 활용도를 높임

○ 이산화탄소, 빛, 온도, 습도 등 식물생장에 필요한 환경제어를 자동화하여 인력을 줄이고, 농업환경을 개선함

나. 환경적 측면

○ 본 시스템 개발은 식물공장에 이용되는 인공광원을 자연광으로 대체하여 초기설치비와 운영비를 획기적으로 줄이고, 동시에 적층형 구조를 가능케 함으로 생산량을 극대화하여 효율성을 높이는 데에 의의가 있음

○ 이에 따라 에너지 이용 절감과 탄소저감을 통해 향후 국내 에너지 위기와 기후변화에 대한 적극적으로 대처하고, 생산성 증대는 미래 식량자원 확보 차원에서 중요

○ 기후변화에 영향을 받지 않는 계획생산, 에너지 고효율형 농업생산으로 향후 잠재적 식량자급 수요에 대처할 수 있는 새로운 농업시설 개발 차원에서 필요

○ 정부의 저탄소 녹색산업 정책과 함께 농작물의 안정적 수급에 대한 적극적 방안으로 도시 내 혹은 근교에 세울 수 있는 식물공장에 대한 투자가 필요

○ 일본, 미국 등 선진국에서 미래농업의 하나로 식물공장에 대한 투자가 증가하므로 국내 관련 산업 및 기술에 대한 발전 방안의 연구가 필요함

3절 연구개발의 목표 및 위상

1. 연구개발의 목표

○ 본 연구를 통해 개발된 자연광 이용형 적층밀식재배 식물공장 SEED시스템은 에너지 소비 및 탄소배출 저감효과가 뛰어나며, 기후변화의 영향을 적게 받아 생산성이 우수한 도시 내 농산물 자급자족형 시스템을 개발하는 것을 목표로 함

○ 이는 지원성(Supportability), 융통성(Elasticity), 경제성(Economy) 및 내구성(Durability)을 고려한 충청권 도농복합지역 적응형 차세대 스마트 온실타입을 개발함으로써 경제성과 효율성을 동시에 갖춘 작물재배의 가능성을 제시

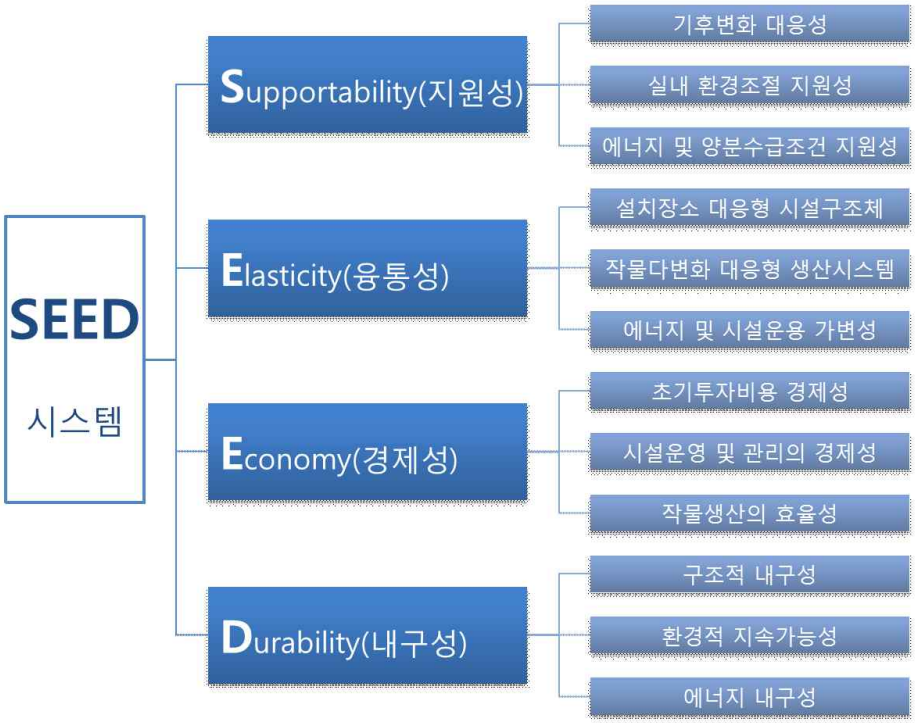


그림 1-3-1. 자연광 이용형 적층형 밀식재배 식물공장 SEED 시스템 특성 개요도

2. SEED의 시스템적 특성

○ SEED 즉, 스마트 그린하우스는 극한기후조건이나 설치 장소에 구애받지 않고 에너지소비와 탄소배출량을 극소화하는 방식으로 다양한 품종의 작물을 낮은 생산단가로 재배할 수 있는 첨단 정보기술로 제어되는 경제성 있는 도농복합지역형 작물인공재배시설을 목표로 함

가. 지원성(Supportability)

○ 기후변화, 실내생육환경변화, 투입자원의 변화에 적응 가능한 시설로 기후변화 대응 지원 가능형 시설 형태, 재료, 구조 및 어셈블리를 가지며 온도, 습도, 조도, CO_2 , 공기의 흐름 등의 미세한 조절가능하고 외부로부터의 에너지 및 공급물자 변동에 적응할 수 있는 시스템 설계 도출

(1) **기후변화 대응성:** 향후 국내 에너지 위기와 기후변화에 대한 적극적 대처 방안의 일환으로 효율성 확보를 통한 자원 소비 최소화, 저에너지 사용을 통한 탄소 저감효과, 생산량 극대화를 통한 미래 식량자원 확보의 실현

(2) **실내 환경 조절 지원성:** 생육환경에 최적화된 온도, 습도, 조도, 공기의 흐름 등의 자동화된 조절이 가능하고, 특히 적층형 구조에 의한 이산화탄소 공급을 및 외부로부터의 에너지 및 공급물자 변동 적응화 시스템은 외부환경의 변동에 의한 생산력 민감도를 감소시킴과 동시에 생산성 극대화를 실현

(3) **에너지 및 양분 수급조건 지원성:** 본 시스템은 에너지 및 양분수급조건 지원형 구조설계를 통해 식물생장에 소모되는 에너지와 양분의 수급을 효율적으로 관리하여, 최적화된 환경을 제공

나. 융통성(Elasticity)

○ 설치 장소, 재배작물 품종, 에너지 및 시설운용상의 가변화 가능 시설로 도시근교, 도시내 건물, 베란다나 옥상 등에 설치하며 다양한 작물별 생육조건을 고려하고 신재생 에너지 활용 및 냉난방 공간 가변시설을 갖추도록 함

(1) **설치장소 대응형 시설 구조체:** 설치 장소의 제약, 재배작물 품종에 따른 생육 환경 조절, 에너지 및 시설운용상의 변화 등의 요소로부터 적응하기 위해 설치에 필요한 자재선정, 설치 방식의 간소화를 통해 도출된 통합설계안으로부터 다양한 부지에 적용 가능한 구조체를 개발

(2) **작물 다변화 대응형 생산 시스템:** 본 연구개발을 통해 도출된 결과를 토대로 다양한 작물별 생육조건을 위한 요소도출로의 확대를 통하여 점차 생산 작물의 다변화에 대응한 시스템으로 확장 보급함

(3) **에너지 및 시설 운용 가변성:** 본 시스템의 구동에 소모되는 에너지와 식물 생장에 최적화된 빛, 온도, 습도, 이산화탄소, 양액 등의 환경제어시설의 운용을 현재 식물에 필요한 조건에 최적화할 수 있도록 가변성을 제공함

다. 경제성(Economy)

○ 초기투자비 및 운영비를 저감과 생산성을 극대화하도록 소요 부지면적, 구조체, 외피, 설비, 기기 및 생산시스템 초기설치비가 획기적으로 절감하고 시설의 유지관리 비용, 에너지 비용, 생산시스템 운영비용을 낮추어 작물 생산 기간의 단축, 단위 면적당 작물 생산량의 증가, 출하작물의 품질 향상 등을 도모

(1) **초기 투자비용 경제성:** 기존 밀식 재배시설의 인공광원을 자연광으로 대체하여 광원 설치로 인한 초기 투자비를 절감함과 동시에 생산성을 확대하여 경제성을 확보

(2) **시설 운영 및 관리의 경제성:** 인공광원을 따로 설치하지 않고 자연광으로 대체하여, 광원 구동에 의한 전기요금을 절약하고, 광원 교체비용에 따른 유지비를 절감하며, 광원에 의한 냉난방 등에 소모되는 에너지를 절감

(3) **작물생산의 효율성:** 기존 태양광 이용형의 난제였던 생산성문제를 최적화된 광원 분배를 통해 적층 재배가 가능하도록 하여, 단위 면적당 작물 생산량의 증가시킴과 동시에 자연광에 의한 면역성 증대 등 작물의 품질을 관리

라. 내구성(Durability)

○ 구조적으로 안정되고 친환경적이며 에너지 및 탄소배출을 최소화할 수 있는 시설물로 지진, 바람, 폭설, 폭우, 혹한, 혹서, 태풍 등에 견딜 수 있으며 토양, 공기, 물의 오염방지와 에너지 및 탄소 배출량을 최소화 한 상태로 운용

(1) **구조적 내구성:** 폭설 등 이상기후에 의한 온실붕괴 등의 피해에 내구성을 지닌 외피자재를 선정하고, 이에 최적화된 구조설계를 통해, 재난과 재해 시에도 구조적으로 안정되고 친환경적이며 에너지 및 탄소배출을 최소화

(2) **환경적 지속 가능성:** 인공광원의 자연광 대체를 통한 자원 절약 및 그에 따른 탄소배출량 저감, 광원 구동 및 냉방에 이용되는 에너지 절감을 통하여 생산량 대비 소모되는 자원을 절약하여 환경적 지속가능성을 확보

3. SEED의 구성과 세부연구내용

○ 본 연구 목적 달성을 위한 SEED 시스템의 세부연구내용은 Structure & Envelope, Light Adjustment, Cultivation, Energy & Resources Supply 로 구성

○ 탄소 및 에너지 저감을 통한 지속가능성의 극대화를 추구하고, 현재 국내외 식물공장사업의 아킬레스건인 높은 생산단가의 획기적인 저감이 가능한 생산성과

효율성을 갖춘 통합적 차세대 도농복합지역형 스마트그린하우스 엔지니어링 프로토타입 개발을 본 개발의 목표로 함

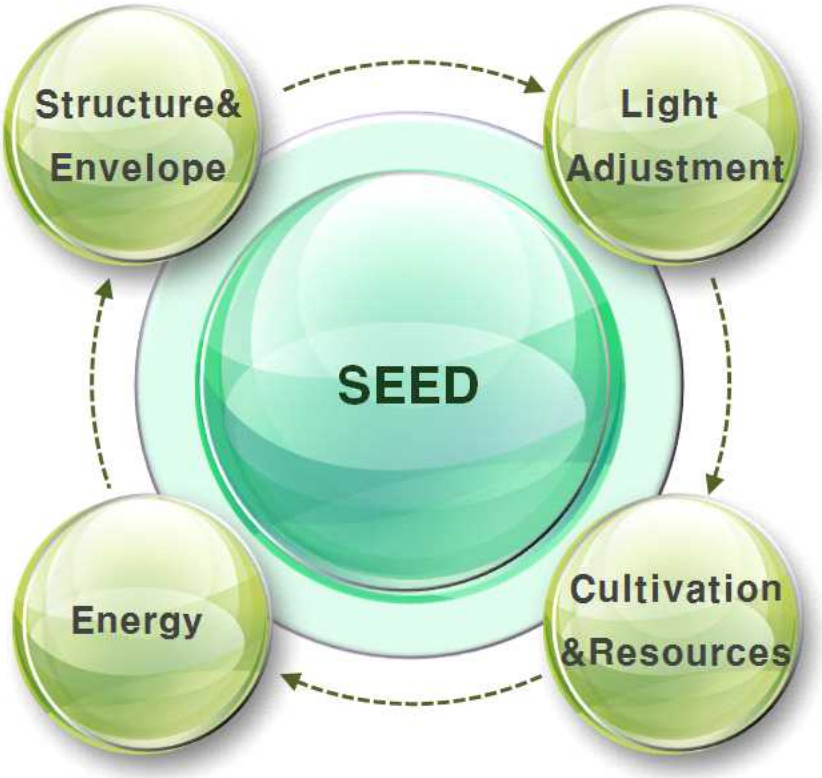


그림 1-3-2. SEED의 서브시스템들과 시스템 통합개념도

가. Light Adjustment System: 적층형 재배트레이에 표준화된 자연광을 분배를 통해 트레이구조에 의해 생성된 암영대를 제거하여 자연광만으로도 적층밀식 재배가 가능하도록 저에너지 지속형 태양광활용 적층밀식재배 광공급 시스템 구현

나. Cultivation & Resources Supply System: 적층형 구조에 따른 효율적인 양액 공급이 가능하며 파종부터 출하까지 자동화된 생육트레이 이동시스템으로 공장형 자동화 적층밀식재배 양액공급 및 생육설비 구현

다. Energy System: 겨울철 태양열 온수 및 여름철 지하수 냉수를 열원으로 하는 지반 콘크리트-상토 결합형 축열체의 활용을 통한 신재생 에너지 엑티브 축열 냉난방설비 시스템 설계

라. Structure & Envelope System: 폭설,태풍에 견딜 수 있으며 조립및 해체가 용이하며 다양한 부지에 설치 가능한 첨단온실 구조 시스템 개발 및 단열 및 자연 채광조절성능이 우수한 온실외피자재 분석

4. 식물공장의 분류 및 SEED 시스템이 차지하는 기술적 위치

가. 자연광 이용형

○ 자연광 이용형 식물공장은 생장에 필요한 광원을 자연광으로만 충당하는 유형으로 기존 온실 및 첨단온실이 이에 해당

○ 초기투자비 및 유지비가 저렴하지만 암영대 발생으로 인한 광량부족 문제로 적층 구조가 불가능하여 생산효율이 낮음

○ 계획생산이 어렵고, 폭우, 폭설 등의 자연재해로부터 취약하며, 환경에 의한 생산 변동성이 높음

나. 자연광-인공광 병용형

○ 식물생장에 필요한 광원으로 기본적으로 자연광을 이용하나, 지리적 여건상 일조량이 부족해 인공조명을 통해 부족한 광량을 충당

○ 자연광 이용형에 비해 보광으로 생산효율은 높지만, 완전 인공광원을 이용한 적층형 식물공장에 비해 생산효율이 떨어짐

○ 주로 넓은 부지가 확보되고, 일조량이 부족한 북유럽에서 활성화됨

다. 기존식물공장(인공광 적층형)

○ 식물 생장에 필요한 광원을 인공광으로만 공급하는 유형으로 건물형 클린룸 형태의 밀폐된 공간에서 농작물 생산

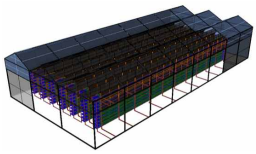
○ 형광등 또는 LED광원 설치 및 이산화탄소 등의 환경제어시설로 인하여 초기 투자비용이 높고, 유지비가 가장 크나 적층형 재배를 통해 생산량이 극대화됨

라. SEED(자연광 적층형)

○ 자연광 이용형 식물공장의 장점인 자연광이용을 통한 초기투자비와 운영비 절감과 동시에 기존식물공장(인공광 적층형)이 지닌 장점인 생산효율을 동시에 갖춘 유형으로 본 연구개발을 통해 새롭게 제시된 유형

○ 인공광원을 사용하지 않음에도 불구하고 광의 분배 시스템을 통하여 적층형 구조를 가능케 함으로 <u>기존 온실의 낮은 생산성 문제와 기존 식물공장의 높은 초기투자비 문제를 해결</u>

표 1-3-1. 식물공장의 광원에 의한 구분

구분	기존 시설 (비닐하우스, 온실)	인공광 병용형	기존 식물공장 (인공광 적층형)	SEED (자연광 적층형)
광원	자연광(태양광)	자연광, 인공광	인공광	자연광
광 제어	불가	가능	가능	가능
재배 구조	단층형	단층형	적층형	적층형
계획생산	부분적 가능	부분적 가능	가능	가능
초기 투자비	저렴	저렴	고가	저렴
유지비	저렴	저렴	고가	저렴
CO_2 제어	부분적 필요	필요	필요	필요
재배 작물	-	광 요구도 높은 과채류, 화훼 중심	엽채류 중심	엽채류 및 인삼, 딸기 등
연중 생산	불가	가능	가능	가능
비고	온실형	온실형	건물형	온실형
비고				

제2장 국내외 기술개발 현황

1절 국내 기술 및 산업동향

1. 국내 산업동향

○ 일반적인 개념의 식물공장은 1957년부터 꾸준히 연구되었고, 1970년대에는 몇몇 기업체에서 완전 제어형 식물공장 생산 시스템을 개발했으나 수익성 악화로 상업화에 실패

○ 인공적으로 환경을 제어하고, 재배시설을 자동화해서 최고품질의 작물을 생산해도 노지에서 재배된 작물보다 경영비가 너무 높음

○ 식물공장에 대한 연구는 꾸준히 진행되어온 편이지만 경제적인 측면 때문에 외면받다가 최근에야 주목받기 시작해 현재 국내에는 1990년 이후 지속적으로 연구개발 중이지만 아직 상업화 단계에 이르지 못한 수준

○ 인천도시농업네트워크의 도시농업사업, 서울그린트러스트의 상자텃밭 사업 등 도심지 농업사업의 경우 현재 활발히 진행되고는 있으나 상업적, 기술적으로 큰 수확을 거둘 수 있는 차별화 있는 기술이 미비한 상황이며, 현재는 농촌진흥청을 중심으로 연구가 진행

○ 이에 따라 수경재배 기술이 도입되었고, 연중생산이 가능한 재배환경 기술이 적용. 농촌진흥청에서는 2004년도에 수평형 식물공장의 요소기술을 개발하여 수평형 식물공장을 운영하고 있으며 2009년도에는 컨테이너 식물공장을 개발하여 남극 세종 기지에 설치

○ 2009년부터 시작한 수직형 식물공장 생산 자동화 시스템 개발은 수평적 개념에서 수직적 개념으로 넘어가는 향후 빌딩형 식물공장 실용화의 기술을 위한 기초 기술로 자리 잡고 있음

○ 인성테크의 경우 국내에서 가장먼저 인공광형 식물공장을 운영. LED를 이용한 인공광형 다단식 식물공장으로서 생산물은 백화점 및 슈퍼마켓으로 유통하고, 일부는 자체 샐러드 바를 운영하면서 소비

○ 국내에서는 지자체를 중심으로 다양한 식물공장 사업추진중이며, 지역의 특성화 기술과 함께 융합하여 고부가가치 창출을 목표로 추진 중

○ 전북은 LED 기술과 농업, 생물, 식품, 부품소재 분야와의 식물공장 사업을 추진하고 있으며 2011년 식물공장 완성 목표로 특화 브랜드 상품 출시 예정

○ 광주는 전략산업인 光산업과 농업에 접목한 그린산업을 미래전략산업으로 집중 육성예정이며 부천시는 부천뉴타운 고강지구에 추진 중인 에코시티에 '하늘농장'을 조성할 계획이며, 수도권의 경우 남양주시와 부천시가 수직농장 건축을 계획

○ 일부 대기업에서도 식물공장 설치에 많은 관심을 가지고 있으나, 초기투자 비용이 너무 많이 소요되어 아직까지는 관망하고 있는 추세

표 2-1-1. 소수의 중소기업을 중심으로 진행 중인 국내 식물공장의 추진 현황

기업	진출내용
(주)인성테크	LED만을 이용한 50평 규모의 다단식 식물공장을 개발 및 운영 중이며, 최대 1만 5천 포기의 채소(상추, 치커리, 케일 등) 생산, 수요처의 다양화를 위해 샵인샵 형태 입점 추진 등의 사업화에 노력을 기울이고 있음
와이즈산전	LCD 백라이트(CCFL), 백색형광등 및 컬러 형광등을 사용하여 $25m^2$의 지하 식물공장과 $15m^2$ 면적의 컨테이너형 식물공장을 구축하였고 롤로, 롤로로사, 상추류와 토마토 등을 시험 재배 중
롯데마트	서울역점 1층에 100% LED 광원을 이용한 다단식 식물공장을 설치하여 롤로와 롤로로사를 재배하고, 이를 소비자에게 직접 현장 판매함으로써 신뢰도를 높이는 시너지 효과 창출
㈜카스트 엔지니어링	국내 최초 적색광과 청색광 비율 및 점등시간 조절 가능한 LED 조명장치를 개발하여 식물의 성장 촉진과 에너지 절감의 이중효과를 통해 식물공장의 수익성 증대를 기대

2. 국내 선진기술

가. 카메라와 센서로 수확시기 파악: CCD 카메라와 광센서로 엽채류의 면적과 높이를 감지하여 그 크기와 무게를 예측한 다음 엽채류의 압지력을 결정하는 퍼지 제어 방식으로 상추의 밑둥을 손상 없이 자름

나. 인공광원에 의한 열(실내온도) 조절: LED조명에서 발생되는 열을 직 병렬로 연결된 공기 순환장치를 통하여 배출시켜 겨울철에는 실내 보온으로 사용하고 여름철에는 외부로 배출 시켜 식물공장내의 적정온도를 유지

다. **양액 기술:** 엽채류 재배기간 동안 근권내 pH와 EC를 안정적으로 유지시키고 생육을 향상시키는 뛰어난 효과가 있으며 배양액내 기능성 성분으로 철을 함유시킬 경우 엽내 철이 다량 축적된 엽채류를 생산하는 뛰어난 효과를 보임

라. **폐양액 재사용 기술:** 통제된 일정한 시설 내에서 환경조건을 인위적으로 제어하여 식물을 재배하면서 배출되는 폐양액을 재사용이 가능하도록 처리하여 양액을 순환시켜 이용

마. **기류조절:** 공기를 식물의 하방에서 상향하여 분사하도록 구성됨으로써 식물 하방 공간층의 공기정체를 방지하여 환기가 원활하게 이루어짐과 아울러 습기를 확산시켜 식물의 습해를 방지토록 하는 식물공장의 환기시스템

바. **LED 기술 및 설계:** LED 조명의 방열을 극대화하고, 적색등, 청색등 및 녹색등을 소정의 방식으로 배치하는 기술

사. **적층구조를 이용한 공간 효율성 증대:** 식물이 재배되는 재배면적이 동일한 구조를 갖는 다수의 트레이를 동축상에 적층하여 한정된 공간에서 수경재배 면적을 최대한 확보하여 생산성을 향상

아. **조명 패널 조절로 공간효율 및 경제성 증대:** 복수의 LED모듈을 투광패널에 삽입 설치하여 슬림 패널형태로 형성함으로써 식물공장 내의 공간점유를 최소화하여 식물재배 공간을 극대화하고 구성이 간단하며 설치 및 취급 관리가 현저히 간편하고 비용을 절감

자. **조명 장치 조절로 생산성 증대:** 식물생장에 필요한 조명의 에너지 절약 및 균일한 광원을 통해 식물의 고른 성장으로 생산성을 높일 수 있도록 하고 조명의 발열온도가 식물의 성장에 영향을 미치지 않도록 하여 최적의 재배환경 유지

2절 국외 기술 및 산업동향

1. 국외 산업동향

가. 국외 산업동향

○ 국외의 경우 우리나라의 경우보다 먼저 도심농업, 도심공원이라는 개념이 먼저 시작되었고 그 중요성을 자각. 유럽의 경우 일조시간이 짧은 외부 환경적 요인으로 인하여 고도의 시설 원예가 일찍부터 발전하였고, 일본의 경우 지형적 문제 및 지역경제 활성화 차원에서 도심농업에 대한 연구가 일찍부터 시작

○ 일본 정부의 유휴 농지를 이용한 시민농원 개설 장려에서부터 시작된 일본의 시민농원, 영국 도시농업의 전신이라 할 수 있는 '얼랏먼트(도시의 소규모 농지)', 독일시민을 위한 도심 정원인 '클라인가르텐' 등이 대표적인 도심농업에 대한 사례이며 이러한 형태의 도시농업시설의 진화에 따라 식물공장에 대한 필요와 함께 관련 기술이 국내에 비해 발전한 상황

○ 최초의 식물공장이라 할 수 있는 1957년 덴마크의 크리스텐센 농장은 파종실, 발아실, 육성실 및 출하실을 갖추고 태양광과 고압 나트륨램프를 광원으로 이용했으며, 컨베이어시스템으로 작물을 운반

나. 일본의 관련 기술동향

○ 1950년대 유럽에서부터 시작된 식물공장 연구는 현재 일본에서 가장 활발하게 진행 중이며 지역경제 활성화 차원에서, 최근 기후변화 대응 차원에서 사업 진행

○ 1970년대부터 식물공장의 상업화를 위하여 기업 중심으로 발전을 도모하였으며 이후 쯔꾸바에서 개최된 1985 년도 과학박람회에 상추 식물공장생산시스템을 전시한 것을 계기로 본격적으로 식물공장생산시스템에 대한 연구개발이 장려

○ 일본 정부에서는 설치 및 운영비가 많이 들어 장려조치를 강구하지 않으면 그 보급이 쉽지 않고, 설치비의 부담 때문에 개입이 설치하기 어려운 문제 등으로 인해 보조금제도 도입을 적용하여 시장 활성화 도모

○ 2009년에 일본 정부는 '식물공장 보급 확대 종합대책'을 마련하고, 2013년까지 식물공장을 현재의 50여개 소에서 150여개로 확대할 계획이며, 이를 위해 150억 엔의 예산을 편성

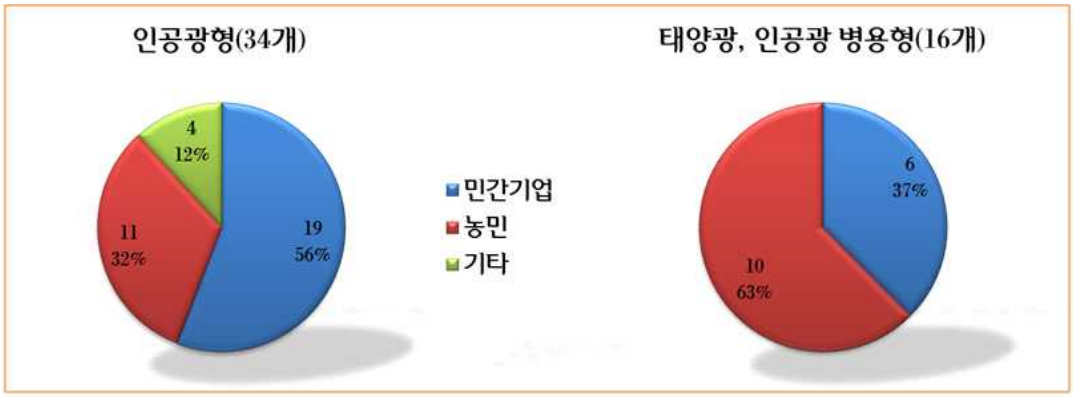


그림 2-2-1. 일본 식물공장의 사업주체별 분류

그림 2-2-2. 일본의 홍보용 식물공장(좌)과 상업용 식물공장(우)

○ 현재 50개의 사업화된 식물공장 중 인공광형 34개, 태양광 병용형16개(경제산업성의 사업화 사례 조사결과) 이며 자금조달 능력이 있는 기업들은 투자 규모가 큰 인공광형 식물공장 설비를 갖춘 반면 농민들은 보다 저렴한 병용형 조명 설비 이용하여 생산

○ 식물공장의 주요 산업인 플랜트 건설시장 및 생산품 시장 규모 성장이 예상되며 건설시장은 2008년 1,680백만엔에서 2009년 5,300백만 엔 성장. 생산품시장 규모는 2008년 총 2,788백만엔으로 2016년 이후 막대한 수요창출 예상. 식물공장 관련 전・후방 산업은 중동지역 및 중국, 그리고 러시아 등에 플랜트 수출이 예상

표 2-2-1. 최근 일본기업의 식물공장 진출 현황

기업	진출내용
큐피(주)	식물공장 'TS-FARM'을 개발하여 비용경쟁력을 확보하였고, 이를 통해 식물공장 시설을 확대보급하고 있음
미쓰비시 케미컬	LED와 태양전지를 이용한 새로운 조명시스템을 개발하면서 2009년에 기능성 채소류를 효율적으로 생산하기 위한 식물공장 사업에 진출

파소나 O2	일본 도쿄시의 신마루노우치 빌딩에 약 1,000m2 의 식물공장을 운영중이며 LED와 고압나트륨 등 다양한 광원을 이용하여 벼, 엽채류, 화훼류 등 280여 종의 식물을 수경재배하여 도시민에게 농업을 알리는 등 다양한 용도로 활용
(주)미라이	'Green Flavor' 식물공장은 파나소닉의 형광등을 도입하여 도심 곳곳에서 점포를 개설하고 점포 내 식물공장 시설에서 직접 재배한 야채류를 판매 중
마루베니 상사	중동지역 수출을 목표로 특수한 흙을 이용하여 유기·무농약 야채를 실내에서 재배하는 돔형 하우스 구조 형태의 식물공장을 개발
CCS	LED 조명기기 업체인 CCS사는 세어리 엔젤사를 설립하여 교토시에 식물공장과 레스토랑 운영을 통해 자체 제작한 기계설비 및 차별화된 재배기술 노하우를 홍보
스프레드	기후변화 등으로 인한 가격 변동 리스크 회피 차원에서 2008년 식물공장 설립하여 프릴양상추, 로메인양상추, 상추 등을 생산 및 대형마트와 호텔에 판매 중
올림푸스	오카다니 사업소 내 체육관에 식물공장을 설치하여 전국 올림푸스 사내 식당에 하루 5,000식 분량의 상추 제공 및 도큐 백화점, 오다큐 백화점 등의 유통업체 와 지역 내 대형 병원 등과 거래 중
OZU	일본의 전통종이 생산업체인 OZU사는 상추, 허브, 엽채류 등의 생육기간이 짧은 품목을 중심으로 150평 규모의 식물공장을 운영하고 있으며, 동경의 백화점 및 70여 개의 외식업체에 공급중
니치아 물산	2009년부터 공장 유휴시설을 이용한 양상추 생산용 식물공장이 가동되기 시작하였고 향후 지속적인 사업 확대가 전망됨
JFE 홀딩스	이바리키현에 대규모 식물공장을 준공
다이세이 건설	농업벤처를 통해 식물공장 사업에 참여 중

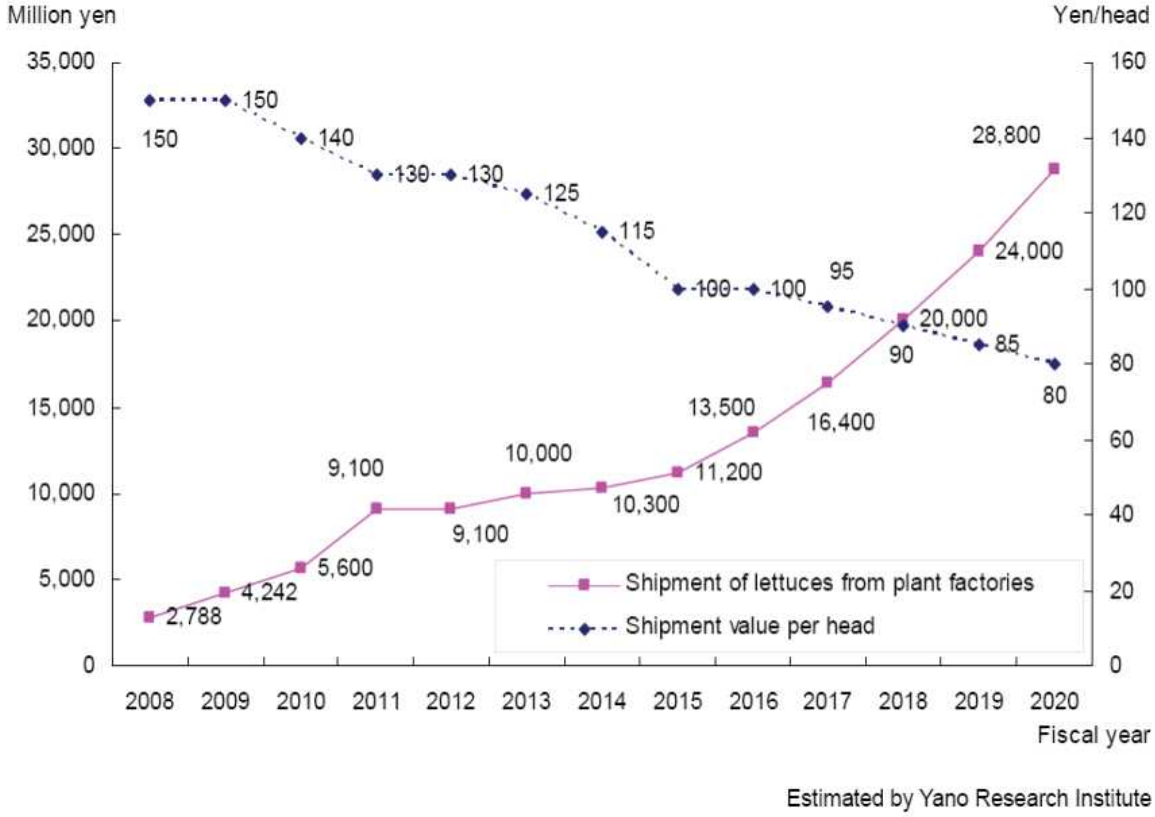


그림 2-2-3. 일본 식물공장 생산품 시장규모 예측

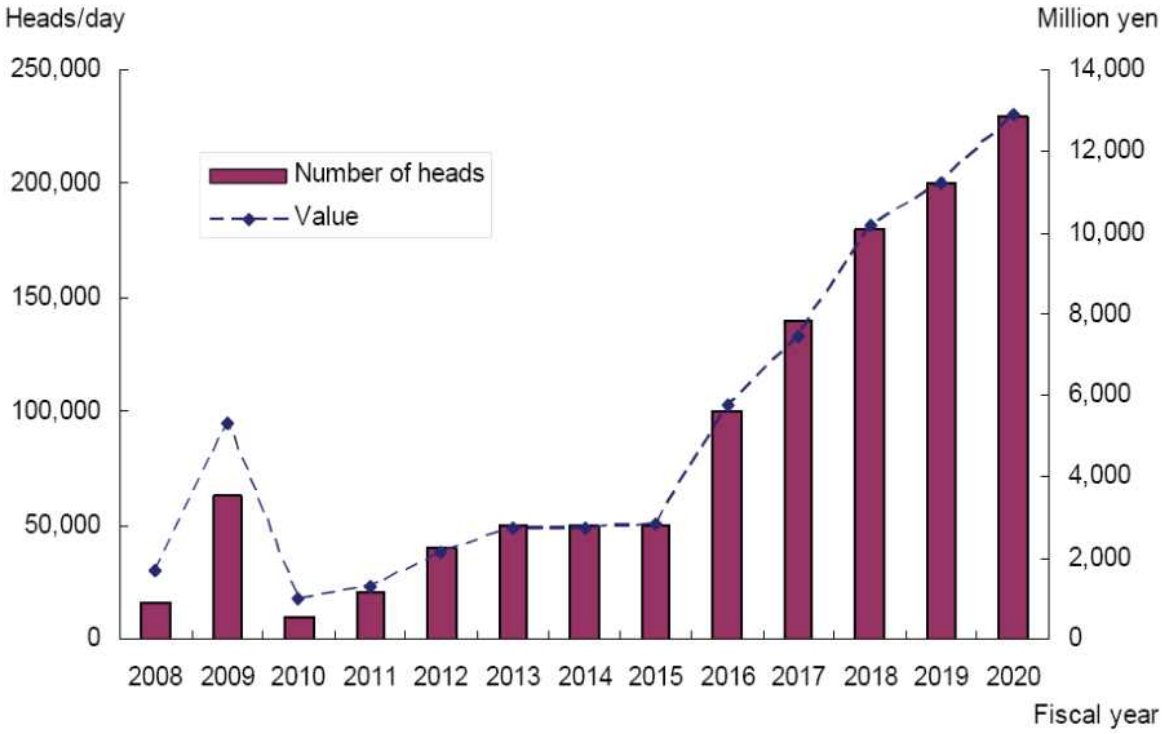


그림 2-2-4. 일본 식물공장 플랜트 건설 시장규모 예측

다. 미국의 관련 기술동향

○ 미국의 경우 초기 우주공간에서의 식량공급을 목적으로 개발되었다. 1990년대부터 NASA에서 CELSS(폐쇄생태계 생명유지시스템)에서의 작물생산 시스템에 관한 연구를 진행해왔으며, 우주탐사선에서 사용할 클로렐라 등 미생물을 생산하기 위한 식물공장 개념을 도입하여 연구한 결과, 바로 생산 적용 가능한 수준의 연구 결과를 도출. 그러나 이러한 완전 제어형 식물공장 연구의 개념은 수익성이 맞지 않아 실용화가 되지 않음

○ 미국의 경우는 넓은 토지의 특성상 작물생산 대규모화로 생산성 향상이 가능하므로 완전 제어형 식물공장과 같은 집약적 농업은 시급히 요구되지 않음

○ 미국 WhitePharm 사의 경우 재배면적이 4,800m2에 달하고 16개의 재배레인을 가지고 있으며 여기서 생산된 농산물은 슈퍼마켓과 유나이티드 항공사의 기내식으로도 일부 사용

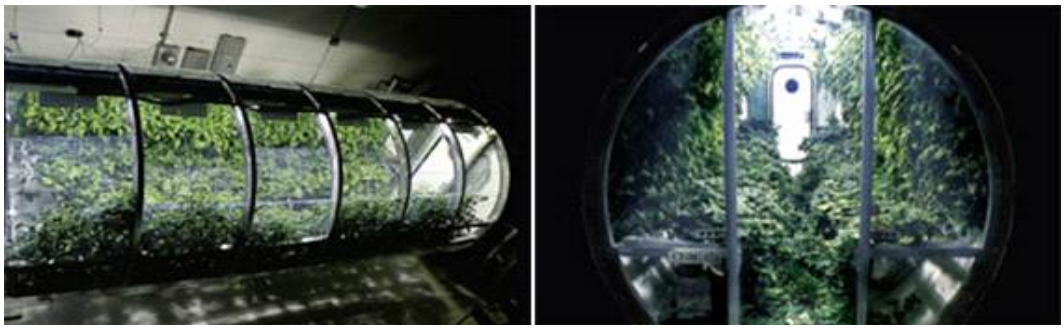


그림 2-2-5. 미국의 우주온실

○ 최근에는 도심의 고층 수직농장 (vertical farming) 개념으로 변화하여 콜롬비아 대학 건축학과, 일리노이대 연구팀, 미턴 건축사무소 등이 고층 건물방식을 채택하여 풍력 및 태양광 등 신재생에너지를 사용하여 식물공장을 운영. 현재 컬럼비아 대학은 30층, 일리노이 대학에서는 50층의 식물공장 개발을 추진

그림 2-2-6. 미국의 수직농장

라. 유럽의 관련 기술동향

○ 1950년대 북유럽 일부 국가에서 일조량 부족 문제 극복을 위해 시작한 채소류의 시설 재배로 시작하여 최초의 자동화 설비를 적용한 식물공장을 개발. 최초의 식물공장이라 할 수 있는 1957년 덴마크의 크리스텐센 농장은 파종실, 발아실, 육성실 및 출하실을 갖추고 태양광과 고압 나트륨램프를 광원으로 이용했으며, 컨베이어시스템으로 작물을 운반

○ 대표적인 식물공장으로는 스웨덴에서 개발한 Swedeponic 식물공장생산시스템과 벨기에의 Hortiplan 재배자동이송시스템이 대표적인 사례. Swedeponic 시스템은 기계화 및 자동화가 잘 이루어져 있으며, 그 대상을 보면 자동 재배베드 이송 시스템, 자동스페이싱, 로봇을 이용한 자동정식체계를 비롯한 파종, 정식, 수확, 포장과정에서 자동화로 인력 절감

그림 2-2-7. 허브류 생산 포장하고 있는 Swedeponic시스템을 채용한 영국의 Bourne지역 Lincolnshire Herbs 식물공장

○ 벨기에의 Hortiplan 시스템의 경우 재배베드자동이송시스템을 중심으로 묘 자동 이식로봇, 재배베드가 수확장소로 이송될 수 있도록 하고 있어 최소의 인력으로 관리가 가능

○ 재배베드에 정식 후 작물이 커감에 따라 작물크기에 따라 최적의 재식간격을 조절할 수 있도록 되어 있는 자동스페이싱 장치를 갖추고 있어 공간활용을 극대화. 이러한 MGS 시스템을 채택하고 하고 있는 Hortiplan의 식물공장은 호주, 벨기에, 이탈리아, 네덜란드, 영국, 미국에서 운영

○ 재배작물은 주로 상추를 비롯한 엽채류 재배가 주가 되고 있으며 일부 허브 생산에도 활용

그림 2-2-8. 벨기에의 Hortiplan 시스템 사용 사례: 허브를 주로 생산하고 있으며 재배베드 자동이송시스템방식으로 운영되는 식물공장 모습

○ 네덜란드를 중심으로 한 유럽에서는 대부분 대형유리온실에 인공광을 병용한 태양광병용형 식물공장 생산시스템으로 체계화되는 경향. 약광기의 유리온실에서 재배하는 과채류(파프리카, 토마토)의 생산성 향상 및 생육 향상을 위해 LED 광원을 사용. 상추의 경우 여름철에는 정식 후 16일, 겨울에는 23일만에 약 200g의 상추를 수확이 가능

그림 2-2-9. 자연광과 인공광원을 이용한 딸기 식물공장(네덜란드)

2. 국외 선진기술

가. **공간 및 광원 효율 증대:** 식물 재배 컨테이너 선반과 광원은 쉽게 움직일 수 있고 이는 작업 시간동안 작업자의 작업공간을 확보하며, 광원의 측면을 사용할 수 있도록 함

나. **광조절로 전력 효율 증대:** 식물의 성장에 도움을 주는 가시광선과 생장을 손상시키는 근적외광(near-infrared light)을 분리하여 가시광선은 식물에 비추고, 근적외광은 태양전지에 비춰 인공광원을 이용하기 위한 전력을 생산하도록 한 것

다. **데이터베이스 활용:** 식물의 정보와 이동 관리는 서버의 데이터베이스에 저장되어 있으며 단말 장치로 이를 확인할 수 있게 함

라. **신재생 에너지이용 및 자동화:** 바이오매스 연료를 이용. 연속 루프 컨베이어에 의한 수직형 구조로 식물들이 모든 성장 과정에 있어서 운반됨. 인공광과 자연광 모두 사용되며, 생산과 수확의 자동화

마. **인공광 이용 회전 구조:** 중앙에 위치한 광원을 향해 안쪽으로 성장할 수 있게 함. 광원을 향한 구멍에 식물 홀더를 끼운 형태 회전 가능한 드럼형태의 장치

바. **자연광 이용 구조:** 자연광이 들어오는 투명한 건물의 외벽 안에 수직방향으로 식물이 담긴 컨테이너를 설치하여 식물이 위아래로 움직일 수 있도록 함으로써 식물의 안전과 품질을 유지

사. **재생에너지 이용, 날씨 독립적 시스템:** 지면 아래에 물을 투과시킬 수 있는 다단식의 식물 재배 층으로 구성되고 각 층에는 인공광원이 설치되어 있으며 재배 후 식물 폐기물로 전력을 생성하는 장치, 각 층과 통신이 가능한 기기, 공수장치, 비료 살포 장치 등의 시스템으로 이루어져 있어 외부 날씨에 독립적으로 식물을 재배할 수 있게 함

아. **스마트 광 변화 장치:** 식물의 성장을 위한 조명 장치가 점등될 때 적색광과 청색광이 외측부로 벗어나는 정도를 최소화하며 벗어난 각각의 적색광, 청색광은 합성되어 식물에 다시 조광됨

자. **에너지 절약형:** 에너지 절약형 식물공장으로 인공광과 자연광을 모두 이용. 실리카 광섬유를 사용하여 배선, 광이 전달되게 함

차. **환기 구조:** 동일한 기류를 모든 재배되고 있는 식물에게 흐르게 하여 균일하게 성장하게 함. 식물 재배 베드와 재배 패널의 간격에 공기를 공급함

3절 특허동향

○ 식물공장과 관련해서 국내외적으로 다양한 요소기술들에 대한 특허가 등록, 혹은 출원 중이나 지속 가능성을 확보하고 생산단가를 획기적으로 낮추기 위한 시스템 통합측면의 구조체에서 첨단제어시스템까지를 망라하는 고효율 지능형 인공생육 시스템에 대한 비전은 아직 관련 특허들을 통해 제시되고 있지 못한 실정

1. 국내 특허 동향

표 2-3-1. 국내 특허 동향

명칭	등록번호	내용
기계시각과 퍼지제어를 이용한 3자유도 상추 수확로봇	1003756810000 (20030227)	CCD 카메라와 광센서로 엽채류의 면적과 높이를 감지하여 그 크기와 무게를 예측한 다음 엽채류의 압지력을 결정하는 퍼지제어 방식으로 상추의 밑둥을 손상 없이 자르는 3자유도 수확로봇
식물공장 LED 조명장치 및 이의 제조방법	1009599940000 (20100518)	LED조명에서 발생되는 열을 직 병렬로 연결된 공기 순환장치를 통하여 배출시켜 겨울철에는 실내 보온으로 사용하고 여름철에는 외부로 배출 시켜 식물공장내의 적정온도를 유지할 수 있도록 하는 장치
엽채류 식물 수경재배용 배양액	1003636840000 (20021122)	엽채류 재배기간 동안 근권내 pH와 EC를 안정적으로 유지시키고 생육을 향상시키는 뛰어난 효과가 있으며 배양액내 기능성 성분으로 철을 함유시킬 경우 엽내 철이 다량 축적된 엽채류를 생산하는 뛰어난 효과를 보임
식물 재배를 위한 양액 순환 방식의 식물 공장	1010516070000 (20110718)	통제된 일정한 시설 내에서 환경조건을 인위적으로 제어하여 식물을 재배하면서 배출되는 폐양액을 재사용이 가능하도록 처리하여 양액을 순환시켜 이용할 수 있는 식물 공장
식물공장의 환기시스템	1010531460000 (20110726)	공기를 식물의 하방에서 상향하여 분사하도록 구성됨으로써 식물 하방 공간층의 공기정체를 방지하여 환기가 원활하게 이루어짐과 아울러 습기를 확산시켜 식물의 습해를 방지토록 하는 식물공장의 환기시스템
식물공장용 엘이디 조명 시스템	1009610660000 (20100525)	LED 조명의 방열을 극대화하고, 적색등, 청색등 및 녹색등을 소정의 방식으로 배치하는 기술에 관한 것

식물 공장 시스템	1005123780000 (20050827)	식물이 재배되는 재배면적이 동일한 구조를 갖는 다수의 트레이를 동축상에 적층하여 한정된 공간에서 수경재배 면적을 최대한 확보하여 생산성을 향상시킬 수 있도록 한 것
식물재배용 조명장치	1010241930000 (20110315)	복수의 엘이디모듈을 투광패널에 삽입 설치하여 슬림 패널형태로 형성함으로써 식물공장 내의 공간점유를 최소화하여 식물재배 공간을 극대화하고 구성이 간단하며 설치 및 취급 관리가 현저히 간편하고 비용을 절감토록 하는 식물재배용 조명장치
식물재배용 유닛	1010006480000 (20101201	식물생장에 필요한 조명의 에너지 절약 및 균일한 광원을 통해 식물의 고른 성장으로 생산성을 높일 수 있도록 하고 조명의 발열온도가 식물의 성장에 영향을 미치지 않도록 하여 최적의 재배가 이루어지도록 한 식물재배용 유닛

2. 미국 특허 동향

표 2-3-2. 미국 특허 동향

명칭	공개번호	내용
CLOSED-TYPE PLANT FACTORY	23050288(2011.03.17)	식물 재배 컨테이너 선반과 광원은 쉽게 움직일 수 있고 이는 작업 시간동안 작업자의 작업공간을 확보하며, 광원의 측면을 사용할 수 있도록 하는 구조
PLANT FACTORY	23000012(2011.01.06)	식물의 성장에 도움을 주는 가시광선과 생장을 손상시키는 근적외광(near-infrared light)을 분리하여 가시광선은 식물에 비추고, 근적외광은 태양전지에 비춰 인공광원을 이용하기 위한 전력을 생산하도록 한 것
PLANT CULTIVATION DEVICE	23045282(2011.03.10)	식물의 정보와 이동 관리는 서버의 데이터베이스에 저장되어 있으며 단말 장치로 이를 확인할 수 있게 함
Combined Vertical Farm, Biofuel, Biomass, and Electric Power Generation Process and Facility	12948779(2010.11.18)	바이오매스 연료를 이용. 연속 루프 컨베이어에 의한 수직형 조로 식물들이 모든 성장 과정에 있어서 수송됨. 인공광과 자연광 모두 사용. 생산과 수확의 자동화.

Apparatus for growing plants	12926059(2010.10.25)	중앙에 위치한 광원을 향해 안쪽으로 성장할 수 있게 함. 광원을 향한 구멍에 식물 홀더를 끼운 형태 회전가능한 드럼형태의 장치.

3. 일본 특허 동향

표 2-3-3. 일본 특허 동향

명칭	공개번호	내용
CULTIVATION SYSTEM	2 3 0 3 0 4 6 7 (2011.02.17)	자연광이 들어오는 투명한 건물의 외벽 안에 수직방향으로 식물이 담긴 컨테이너를 설치하여 식물이 위아래로 움직일 수 있도록 함으로써 식물의 안전과 품질을 유지
UNDERGROUND AGRICULTURAL FACTORY SYSTEM	1 8 2 8 0 2 5 2 (2006.10.19)	지면 아래에 물을 투과시킬 수 있는 다단식의 식물 재배 층으로 구성되고 각 층에는 인공광원이 설치되어 있으며 재배 후 식물 폐기물로 전력을 생성하는 장치, 각 층과 통신이 가능한 기기, 공수장치, 비료 살포 장치 등의 시스템으로 이루어져 있어 외부 날씨에 독립적으로 식물을 재배할 수 있게 함
LIGHTING DEVICE FOR GROWING PLANT	2 2 0 2 9 0 9 8 (2010.02.12)	식물의 성장을 위한 조명 장치가 점등될 때 적색광과 청색광이 외측부로 벗어나는 정도를 최소화하며 벗어난 각각의 적색광, 청색광은 합성되어 식물에 다시 조광되는 장치
VEGETABLE FACTORY LIGHTING SYSTEM	22085680 / 2010.04.02	에너지 절약형 식물공장으로 인공광과 자연광을 모두 이용. 실리카 광섬유를 사용하여 배선, 광이 전달되게 함
PLANT CULTIVATION FACILITY	22136159 / 2010.06.15	동일한 기류를 모든 재배되고 있는 식물에게 흐르게 하여 균일하게 성장하게 함. 식물 재배 베드와 재배 패널의 간격에 공기를 공급하기 위한 구조적 설계

4절 정부지원정책 현황

○ 정부는 식물공장관련 핵심 부분인 LED-IT 개발을 통해 상용화에 주력하고 있으며 2009년 7월 정부는 신성장동력 스마트 프로젝트 사업에 'IT-LED 기반 식물공장을 위한 핵심부품 및 핵심기술 개발 사업"을 발표하였으며, 농업진흥청에서 '미래형 식물생산 공장 시스템'을 2010년에 녹색기술로 선정

1. 관련법령, 정부 정책 및 담당기관

○ 현재'도시농업 육성 및 지원에 관한 법률'안이 수정 가결된 상태

○ 제정안에서 도시농업의 정의를 '도시지역에 있는 토지, 건축물 또는 다양한 생활공간을 활용해 도시지역에 있는 토지, 건축물 또는 다양한 생활공간을 활용하여 농작물을 경작하는 행위, 다년생식물을 재배하는 행위, 어업·축산업·임업과 관련된 행위'로 설명

○ 검토보고서는 도시농업의 범위에 대해'산업적 농업의 포함유무, '다년생 식물 재배 행위 가능여부'등에 대한 검토가 필요하다고 설명

○ 경제적, 산업적 농업을 포함할 경우 도시농업인의 농산물 시장의 참여로 인해 농어촌 지역 농업인의 이익을 침해할 수 있고, 경제적, 산업적 농업은 기존 농업 관련 법률에 따른 지원이 가능하므로 제정안에 따른 지원과 중복이 가능하여 기존 농업인과 형평성 차원에서 문제가 있다는 지적이 있으므로 도시농업의 범위에 경제적, 산업적 농업을 포함할 것인지에 대한 충분한 논의가 필요할 것으로 보인다는 입장과 함께 소관 상임위원회인 농림수산식품위원회는 기존 원안에서 지속적으로 녹화상태를 유지해야 하는 조경의 목적과 가치 훼손 우려와 조경관리를 수행하는 관리인이 도시농업인에 포함되는 부분을 문제 삼아 도시농업에 '다년생 식물'을 재배하는 행위를 제외하는 방안을 검토할 필요가 있다고 밝힘

○ 제정안은 총 23개조와 부칙을 통해 도시농업육성종합계획의 수립, 도시농업위원회 설치, 도시농업의 현황 등에 대한 실태조사 실시, 도시농업지원센터의 설치 및 지정, 전문인력 양성 및 연구·기술개발 추진, 도시농업공동체의 설립 및 지원, 공영도시농업농장 및 민영도시농업농장의 개설, 종합정보시스템 구축, 도시농업 관련 농자재 등의 안전한 관리 및 처리에 관한 기준 고시 등을 규정하고 있음

2. 정부지원 정책사업 종류와 현황

○ 충남은 대표 브랜드인 인삼의 세계화를 위해 『세계적 인삼재배 특화시설 모델』을 개발하여 보급 추진 중

○ 충남은 전국 2위 농업생산액 규모이며, 소비자물가와 긴밀한 가을배추 등 엽근채소류 및 조미 채소류의 상당량을 생산하고 있음

○ 충남은 전국 5위 규모의 화훼산업 지역이며, 이러한 화훼산업은 고부가가치 및 고에너지 소비산업으로 식물공장의 최적의 분야임

○ 지역 내 화훼농가는 농가당 0.7ha로 소규모이면서 고에너지 재배시설과 낙후된 기술 수준을 보유하고 있으므로, 고부가가치 화훼산업의 육성을 위해서는 제로에너지 식물공장 연구개발이 시급이 요구됨

○ 충남도는 3농 정책으로 친환경·고품질농업, 경쟁력 있는 지역특화작목 집중 육성 등 11분야 347과제에 대한 다양한 정책을 추진 중이며 4년간(2011~2014) 총 사업비 4조 3,090억원 투입 예정

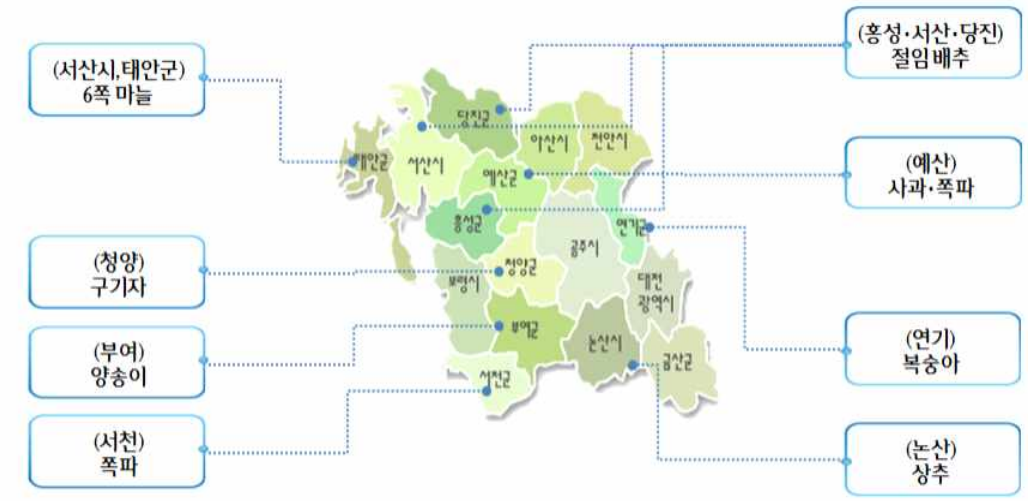


그림 2-4-1. 2010년 충남 도내 지역별 특화작물 선정
"충남 지역특화 작물 육성 742억 투입" 충남도정신문(2010.12.06.)

○ 농림수산식품부는 미래농업의 신성장동력으로 주목받고 있는 식물공장의 상용화 촉진을 위해 올해 시설을 설치하는 농가에 시범적으로 사업비를 지원하기로 하고 30억원의 예산을 배정

5절 종합결론

○ 본 연구에서 지향하는 시스템의 새로운 스마트그린하우스 시스템의 개발을 통해 에너지 및 탄소배출 저감 관련 기술의 융합을 통한 최적화 미래형 농업시설의 제시가 가능하며 탄소제로 건축/건설 관련 기술의 발전에 이바지할 뿐 아니라, 도시형 농업 모델에 대한 지적재산권 확보와 도시의 식량자족기능 향상과 물류·유통 관련 비용의 획기적 저감을 기대할 수 있음

○ 충청권의 첨단 도농복합시설의 발원지화를 위하여 지원성, 융통성, 경제성 및 내구성을 고려한 충청권 도농복합지역 적응형 차세대 스마트온실 작물재배 시스템 프로토타입(SEED)시스템 개발

○ 식물공장에 대한 많은 연구와 기술 개발이 이루어지고 있으나 충청권의 중소도시나 농촌 모두에 적용 가능한, 즉 도시와 농촌의 구별 없이 융통적으로 적용할 수 있는, 모듈화 된 탄소 및 에너지 소비 저감형 고효율 식물재배 시설이 필요

○ 다양한 작물재배나 동식물교차배양과 같은 복합형 배양생태계를 지원할 가변적이고 융통성 있는 인공생육시스템의 개발이 필요

○ 신재생 에너지의 적극적 이용과 자체내 혹은 도시로부터 획득되는 부산물 혹은 폐기물이나 CO2를 이용한 에너지 생산 활용이나 천연비료 이용을 포함하는 자족형 에너지 및 생태순환 시스템을 적용한 저탄소-저에너지형 그린하우스 개발이 필요

○ 자연광과 인공광을 모두 이용하되 다층식 재배 플랫폼에 빛을 골고루 분산할 수 있는 고효율 저비용의 광배분 메커니즘의 개발이 필요

○ 실내외 기후조건과 작물별 생육조건에 따라 실시간으로 온실 내 물리화학적 조건들을 모니터링하고 가장 에너지를 적게 들이면서 생산성을 극대화 하는 방식의 개발이 필요

○ 초기투자비와 운영비용을 최소화하면서 작물출하기간 단축, 면적당 작물 생산량 극대화, 출하작물의 품질 향상을 통한 고도의 경제성을 확보하기 위한 저비용 고소득형 도농복합지역 그린하우스 시스템 모델의 개발이 필요함

○ 생산단가의 각 요소들이 차지하는 비율에서 유추된 광배분과 난방에너지 절감이 단가절감에 큰 비중을 차지. 외피의 조절작용 및 모듈화된 구조로 다양한 조건의 환경에 설치할 수 있어 시설확산에 따른 규모의 경제 달성도 가능. 최적의 생육 시스템 개발로 생산성도 향상. 결과적으로 생산단가를 절감

Strengths

- 물의 과다 사용 및 농약 등 화학물질 남용, 병충해 방지 등의 장점
- 작물의 생산성 증대

Weaknesses

- 초기 시설 투자비용이 큼
- 에너지 비용 및 생산시스템 운용 비용의 절감 필요

Opportunities

- 웰빙 열풍과 맞물려 건강식 및 무공해 식단이 주목받고 있음
- 좁은 국토의 효율적 활용 방안이 요구되고 있는 실정

Threats

- 외국의 도시농업 기술은 이미 안정화 단계를 거치고 있음
- 기존 농업인의 이익을 침해할 가능성

그림 2-5-1. 식물공장 재배설비 SWOT 분석

6절 연구개발과제 및 대상기술의 중복성

1. 연구개발과제의 중복방지를 위한 조사 및 검토결과

표 2-6-1. 기 연구개발과제

부처명	사업명	과제명	예산 (백만원)
농림수산 식품부	농림기술개발	식물생산공장 핵심 요소기술 개발	800
농촌진흥청	농업공학연구	기후변화 대응 내재해 비닐하우스 구조개선 연구	42
농촌진흥청	농업공학연구	다단식 싹채소 생산공장 자동화시스템 개발	154
농촌진흥청	농업현장실용화 기술개발	신재생 에너지를 활용한 극지 폐쇄형 온실내 식물생산 연구	100
중소기업청	산학연협력기술개발	USN과 다중센서를 이용한 녹색 식물공장의 생육감시 장치개발	30
지식경제부	산업융합원천 기술개발사업	도시형 식물공장 구축 지원을 위한 보급형 통합환경 제어 SW 플랫폼 개발	1,200
농촌진흥청	국책기술개발	식물 공장용 순환복합관리 식물 근권환경 시스템 개발	140
교육과학기술부	광역경제권인재양성	에너지자립형 그린빌리지 핵심기술사업단	1,000
지식경제부	정보통신기술인력양성	식물공장의 생산효율향상 및 에너지 절감을 위한 인공조명 제어기술	50
중소기업청	산학연협력기술개발	식물재배를 위한 대전력 LED 조명용 다목적 무선제어기	38
교육과학 기술부	기초연구정책연구 기획심사평가사업	태양광활용 미래형 그린팜 시스템 구축을 위한 기획연구	40

○ 기존 기후변화 대응 작물재배 환경 구조개선 등에 대한 연구는 다수 진행되었음. 그러나 조립과 해체가 용이하며 저비용, 고강도의 확장 가능형 작물 환경 구조설치 시스템에 관한 연구는 미비

○ 컨테이너 내 순환식 수경재배 시스템에 대한 연구는 진행되었으나 폐쇄형 환경에서의 작물 재배에 한정되어 있음

○ 다단식 채소공장에 대한 연구는 진행되고 있으나 이는 태양광을 골고루 분배받지 못하는 단점이 있음

○ 최근 LED 등을 포함한 인공조명 제어기술들에 대해서는 많은 연구가 진행되고 있으나 인공광과 함께 자연광을 경제적으로 함께 고려하는 하이브리드 조명 기술에 대한 연구 미비

○ 조명제어 측면에서도 상황에 따라 적절히 제어가 가능한 인공지능 제어기제에 대한 연구는 미비, 단순한 사용자 조절 가능 인터페이스 기술 제공에 그치고 있음

○ 생산단가의 감소를 위해서 온실이나 식물공장의 냉난방에 들어가는 에너지 비용을 획기적으로 줄일 수 있는 방안의 도출이 필요함

○ 기존의 생태 순환 연구는 주로 복합영농시스템 및 자연 해수 생태에 관해 국한되어 있으나 식물공장에 접목시켜 자원순환 및 운영 자족화를 위한 연구는 미비

2. 연구개발과제의 차별화 방안

○ 식물공장에 대한 많은 연구와 세부 기술 개발이 이루어지고 있으나 충청권의 중소도시나 농촌 모두에 적용 가능한 모듈화 된 지속 가능형 고효율 식물재배 시설 프로토타입 개발

○ 예를 들어 기존의 컨테이너 내 순환식 수경재배 시스템에 대한 연구는 폐쇄적인 환경에 대한 연구는 진행되었으나 주로 인공조명 등에 의해 제어되며 중소도시나 농촌 모두에 적용이 가능한 시스템이 아니다. 여기에 신재생 에너지의 적극적 이용과 생산되는 부산물, CO2를 이용한 에너지 생산 활용이나 천연비료 이용을 포함하는 자족형 에너지 및 생태순환 시스템을 적용

○ 또한 초기투자비와 운영비용을 최소화하면서 작물출하기간 단축, 면적당 작물 생산량 극대화, 출하작물의 품질 향상을 통한 고도의 경제성을 확보하기 위한 저비용 고소득형 도농복합지역 그린하우스 시스템 모델의 개발

○ 본 연구에서는 스마트 기술과 그린 기술을 결합하고 경제성과 가변성을 극대화한 범용의 모듈화 된 첨단 스마트 그린하우스 프로토타입 개발

○ 기존 연구들은 작물 재배방법, 설치 고정적인 재배 환경 구조의 설계, 인공 혹은 자연채광 한쪽에 편향적인 채광연구, 소프트웨어 제어기술 등 주로 세부화되고 단편화된 접근을 통한 연구에서는 도출해 내지 못하는 총체적인 시스템 접근을 통해 발생하는 문제점들에 대한 해결책 강구

제3장 연구개발수행 내용 및 결과

1절 연구개발 주요내용

○ 1년 3개월(15개월)에 걸쳐 1단계로 진행되며 시스템 엔지니어링 기법에 의거하여 다음과 같은 핵심 연구목표 및 수행내용을 기반으로 진행

표 3-1-1. 연구개발 목표 및 주요내용

연 차	연구목표	주요 연구내용
1차년도	Light Adjustment System	▪ 적층형 재배트레이에 표준화된 자연광을 분배를 통해 트레이구조에 의해 생성된 암영대를 제거하여 자연광만으로도 적층밀식재배가 가능하도록 저에너지 지속형 **태양광활용 적층밀식재배 광공급 시스템** 구현
	Cultivation & Resources Supply System	▪ 적층형 구조에 따른 효율적인 양액공급이 가능하며 파종부터 출하까지 자동화된 생육트레이 이동시스템으로 공장형 자동화 **적층밀식재배 양액공급 및 생육설비** 구현
	Energy System	▪ 겨울철 태양열 온수 및 여름철 지하수 냉수를 열원으로 하는 지반 콘크리트-상토 결합형 축열체의 활용을 통한 신재생 에너지 **액티브 축열 냉난방설비** 시스템 설계
	Structure & Envelope System	▪ 폭설,태풍에 견딜 수 있으며 조립및 해체가 용이하며 다양한 부지에 설치 가능한 **첨단온실 구조** 시스템 ▪ 단열 및 자연채광조절성능이 우수한 **온실외피자재 분석**

○ 본 연구에서 개발 중인 식물공장은 태양광 활용 적층형 밀식재배 생육설비, 수원 및 냉난방 시스템 관로설비, 생육설비 연계 구조 및 외피설비로 구성

○ 여기서는, 태양 일주 및 연중운동을 고려한 지속적이고 표준화된 자연광 공급설비와 다양한 작물을 수요에 맞추어 독립적으로 생산할 수 있는 가변형 양액공급설비 및 작물재배작업 공간을 발아, 파종, 생육, 수확으로 분할하고 생육설비 자동화를 통하여 적은 에너지와 노력을 통해 다양한 작물을 효율적으로 생산

○ 우수, 지하수, 상수도 설비를 통한 수원의 연중 일정수온 확보를 위해 수로식 수평형 열교환 설비를 지상 바닥부에 설치하여 안정된 양액온도와 실내 적정온도 유지를 위한 열원으로 활용하며, 미스트, 외부환기 유닛 및 CO2 설비의 동시제어를 통해 단일 지중기류관로를 통한 내부환경의 항상성 유지가 가능

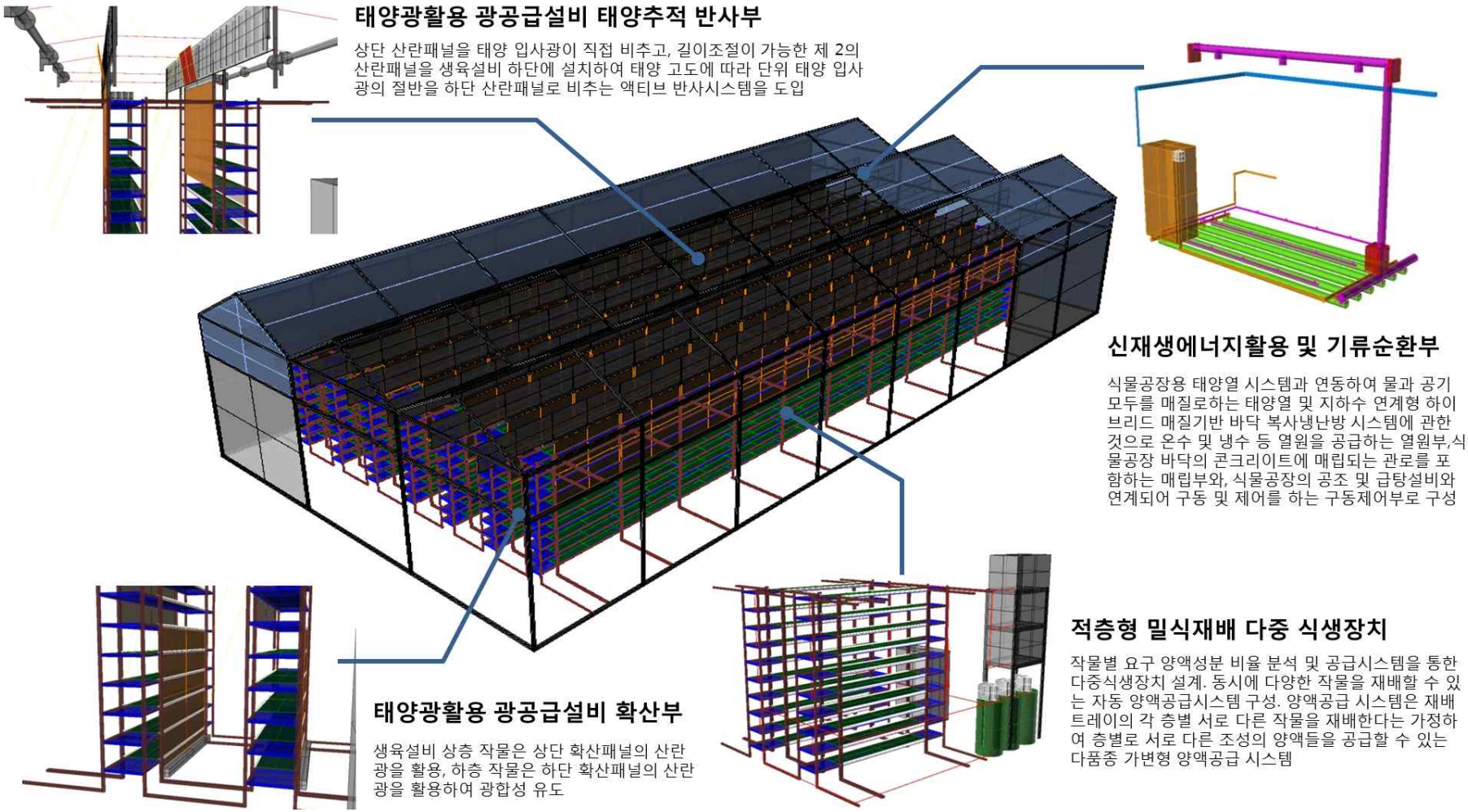


그림 3-1-1. 적층형 밀식재배 식물공장의 주요설비 개요도(1안 수직형)

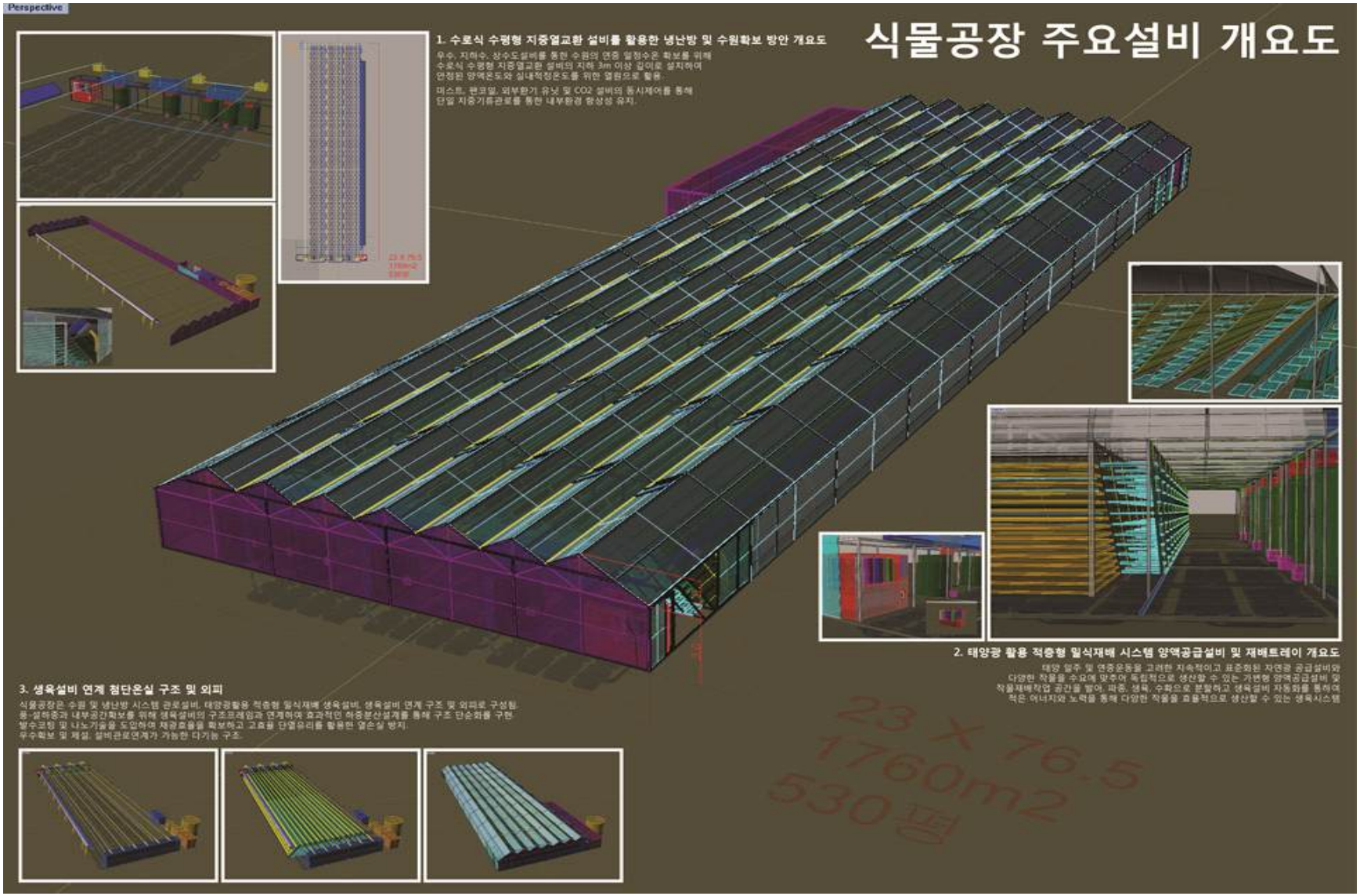


그림 3-1-2. 식물공장 주요설비 전체 개요도(2안 사선형)

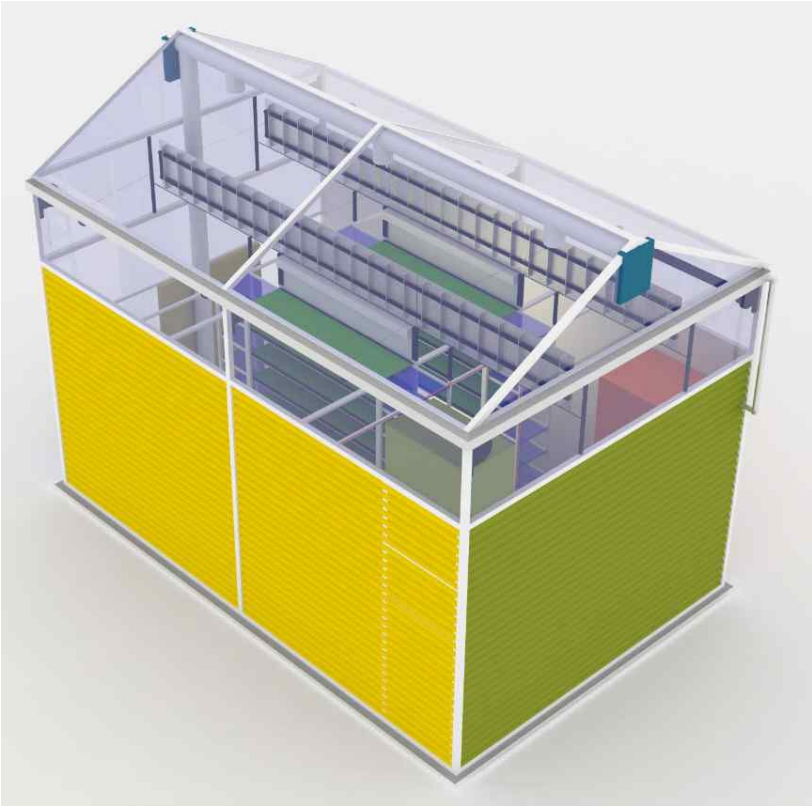


그림 3-1-3. 식물공장 단위 테스트모듈 개요도(북서향)

그림 3-1-4. 식물공장 단위 테스트모듈 개요도(남동향)

○ 본 식물공장은 기후조건이나 설치 장소에 구애받지 않고 에너지 소비와 탄소 배출량을 극소화하는 방식으로 다양한 품종의 작물을 낮은 생산단가로 재배할 수 있는 첨단 정보기술로 제어되는 도농복합지역형 작물인공재배시설

○ 태양광 활용 적층형 밀식재배 생육설비, 수원 및 냉난방 시스템 관로설비, 생육설비 연계 구조 및 외피설비로 구성

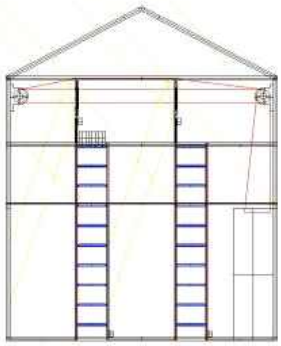
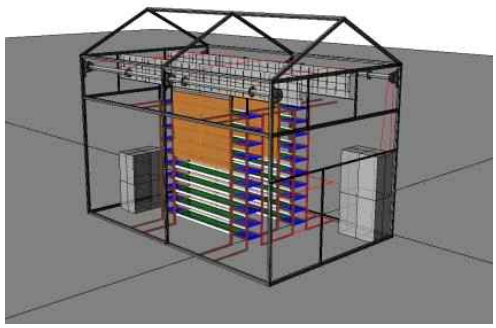
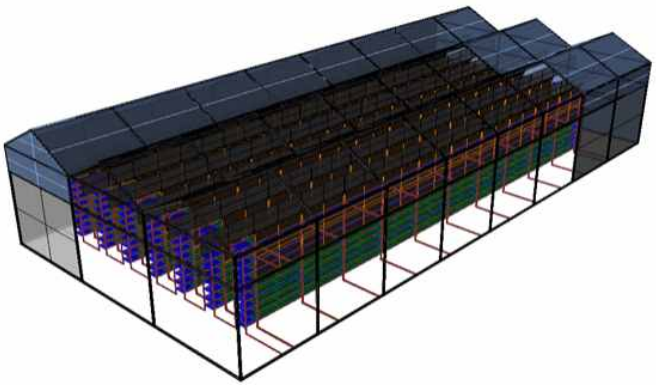
○ 기후변화, 실내 생육환경 변화, 투입자원의 변화에 적응 가능한 시설로 기후변화 대응 지원 가능형 시설 형태, 재료, 구조 및 어셈블리를 가지며 온도, 습도, 조도, CO_2 , 공기 흐름 등의 미세한 조절이 가능하고 외부로부터의 에너지 및 공급물자 변동에 적응 가능

○ 여기서는 태양 일주 및 연중운동을 고려한 지속적이고 표준화된 자연광 공급설비와 다양한 작물을 수요에 맞추어 독립적으로 생산할 수 있는 가변형 양액공급설비 및 작물재배적업 공간을 발아, 파종, 생육, 수확으로 분할하고 생육설비 자동화를 통하여 적은 에너지와 노력을 통해 다양한 작물을 효율적으로 생산

○ 우수, 지하수, 상수도 설비를 통한 수원의 연중 일정수온 확보를 위해 수로식 수평형 열교환 설비를 온실 바닥면 축열조에 설치하여 안정된 양액온도와 실내 적정온도 유지를 위한 열원으로 활용하고 미스트, 외부환기 유닛 및 CO2 설비의 동시제어를 통해 단일 지중기류관로를 통한 내부환경 항상성 유지가 가능

○ 풍, 설하중에 대처하고 내부공간 확보를 위해 생육설비의 구조프레임과 연계하여 효과적인 하중 분산설계를 통해 구조 단순화를 구현하고, 발수코팅 및 나노기술을 도입하여 채광효율을 확보하며 고효율 단열유리를 활용한 열손실 방지와 우수 확보 및 제설, 설비관로 연계가 가능한 다기능 구조

2절 태양광활용 적층밀식재배 광공급 시스템

<table>
<tr><td>연구개발성과물</td><td colspan="4">다단 적층형 재배장치를 위한 태양 추적형 자연광 공급 시스템</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구개발
성과물의 성격</td><td>요소기술</td><td>설계안</td><td>시작품</td><td>제품</td></tr>
<tr><td>O</td><td>O</td><td>O</td><td></td></tr>
<tr><td>연구내용</td><td colspan="4">○ 기존의 적층 밀식재배시설의 인공광원을 자연광으로 대체하여 광원설치의 초기투자비와 전력을 포함한 운영비를 줄이며 자연환경에 가까운 인공 환경 구축으로 생산 작물 생산성과 품질을 동시에 확보
○ 실내조명에너지 절약과 동시에 생육공간의 조도확보를 위해 효과적인 태양광 배분이 가능한 건축 자연채광 요소인 광선반을 도입하여 적층 밀식재배 공간에서의 암영대(그림자) 제거로 일사량 부족 문제 해결
○ 상단 반사패널이 태양 고도 및 방위각의 변화에 따라 광원을 추적하여 하단 산란패널로 유도-공급하고, 산란패널이 생육설비에 표준화된 난반사 산란광을 공급하여 작물이 재배되는 구조
○ 위도별, 절기별 태양 고도의 변화에 따른 광원의 입사도를 분석하여 지역별 태양 고도변화에 대응 가능한 보편적인 광 공급 시스템 디자인
  
 
태양광 활용 적층밀식재배 광공급 시스템</td></tr>
<tr><td>향후연구과제</td><td colspan="4">○ 자연광 공급설비 효율성 증대를 위한 농업용 반사패널 및 산란패널의 재료분석 및 성능 검증
○ 광공급 시스템 반사패널의 형태 및 운용방식에 따른 효율성 검증
○ 충청권 이외 타 지역별 태양 고도변화에 따른 광공급 시스템 디자인 방안 구축</td></tr>
</table>

1. 연구 배경 및 목적

○ 향후 온실이나 비닐하우스와 같은 시설재배는 도시인구의 증가와 유통구조의 개선을 위해 로컬 푸드의 개념을 도입하여 자급자족이 가능한 도농 복합형 적층 밀식 식물공장 재배형태로 진화됨

○ 기존의 식물공장의 에너지 효율과 경제성 문제를 해결하기 위해 지속가능하고 초기투자비가 낮은 작물인공재배시설의 개발이 필요

○ 이를 위해 기존의 밀식재배시설의 인공광원을 자연광으로 대체하여 광원설치의 초기투자비와 전력을 포함한 운영비를 줄이며 자연환경에 가까운 인공 환경 구축으로 생산 작물의 품질 확보

○ 본 연구에서는 실내조명에너지 절약과 동시에 생육공간의 조도확보를 위해 효과적인 태양광 배분이 가능한 건축 자연채광 요소인 광선반을 도입하여 적층 밀식재배 공간에서의 암영대로 인한 자연광공급 문제를 해결

그림 3-2-1. 국내 광환경 적층형 식물재배설비의 태양 고도에 따른 암영대 분포

○ 이때 시설 내 질적으로 우수한 자연채광을 적층형 밀식재배공간에 표준화된 일사량을 제공하기 위해 직사광의 손실 없는 확보와 방향제어 및 적절한 확산 설비가 필요함

○ 이에 적층형 밀식재배공간시설의 광선반은 광전달 효과로 근접한 적층시설부의 주광량을 감소시키는 기능과 더불어 과도한 직사광을 시설 깊숙한 부분까지 확산광을 유도. 또한 태양 일주운동 및 연간 고도변화에 따른 태양의 움직임을 추적하여 천창으로 유입되는 빛을 최대한 확보하여 하단 난반사 확산패널에 일정한 방향의 빛을 공급

○ 국내에서 활발히 연구가 이루어지고 있는 건축 공간 측창용 평판형광선반이나 외부 경사형광선반 시스템의 채광성능 결과를 분석해 보면[1] 평판형광선반이

1) 김봉균 외, 광선반 유형에 따른 실내 채광특성에 관한 축소모형 실험적 연구, 태양에너지학회 2005

광선반 미설치 기준에 비해 1.5~2.2배 정도 높은 균제도를 나타내고, 경사형광선반은 0.1~1.4%의 상승효과를 보였다고 하지만 작업면의 조도분포와 균제도를 평가하는데 국한. 또한 측창용 광선반의 크기와 각도 그리고 설치 높이에 따라 조도수준과 균제도 및 주광율을 분석하여 도출한 결과를 보면, 측창 설치시 1.8m 높이와 15° 각도가 연중 가장 효과적이라고 도출. 이처럼 현재까지 국내에서는 광선반 시스템을 일반 주거 및 사무용 건물에 적용한 것에 대한 연구가 많이 진행되어져 왔다. 하지만 여러 태양고도각도에서 최대 직사일광을 효과적으로 반사, 확산시켜 온실에서의 적층형 밀식재배를 위한 광 전달 및 분산 액티브 시스템을 도출하려는 연구는 아직 미흡

○ 따라서, 본 연구에서는 광선추적기법을 활용하여 확산광의 실내유입을 극대화할 수 있는 가변적인 곡면-평면 조합형 천장설치용 광선반을 설계하였으며, 신뢰성이 입증된 자연채광 해석시뮬레이션을 활용하여 적층형 밀식재배공간의 실내조도수준 및 균제도를 실제 기상데이터를 기반으로 각 사례별로 정량적으로 분석하여 결과를 도출

○ 본 연구는 기후조건이나 설치 장소에 구애받지 않고 에너지소비와 탄소배출량을 극소화하는 방식으로 다양한 품종의 작물을 낮은 생산단가로 재배할 수 있는 첨단 정보기술로 제어되는 도농복합지역형 작물인공재배시설로서의 스마트그린하우스 개발을 목적으로 함. 본 연구목적을 달성하기 위한 세부연구내용은 적층형 밀식재배를 위한 태양광 공급, 지속가능한 신재생에너지 활용 온실 미시기후 조절, 다품종 작물 밀식재배를 위한 생육 재배환경 구축으로 구성. 본 연구는 적층형 밀식재배공간을 구축하여 자연광으로도 다층 작물 생육이 가능한 도농복합지역형 스마트그린하우스 새로운 광환경 시스템을 제시

2. 연구 방법 및 범위

○ 본 연구의 방법으로는 국내 광환경을 중심으로 적층형 밀식재배공간에 적용 가능한 태양광 분배 시스템을 디자인하고 적용된 광선반 설비의 형태, 재질 및 구동요소에 따른 태양광 분배 효과를 작도와 시뮬레이션 연구를 통해 유효광량을 예측하여 식물재배 가능성 여부를 분석

○ 시설 특성상 시뮬레이션 연구는 연간 절기별 상황에 맞추어 국내기준으로 한정하여 절기별 일사량, 분배효율 및 시설내 조도수준과 균제도 값을 분석

○ 1/2 스케일 실제 생육재배대 광환형 테스트모듈을 구축하여 시뮬레이션 결과의 타당성 확보 및 실 구축 환경 조성

3. 국내 충청남도권 광환경 분석

○ 국내 광환경 분석을 위해 절기별 주간 광량, 태양 방위 및 고도 변화를 분석하여 태양광 분산시스템 채광설비 및 시설 설계 요구조건으로 활용. 4계절이 뚜렷한 국내환경 특성상 여름, 겨울, 봄-가을 3가지로 나누어 천공일사량 및 태양 방위 및 고도 변화를 조사

○ 재배설비가 설치될 장소에 얼마나 많은 일사량이 입사되며 입사된 일사량이 채광부에서 얼마까지 확보 가능한지에 대한 정확한 예측을 위해 절기별 천공 일사량을 활용. 지표에 도달하는 일사량은 공기밀도, 위도, 태양의 적위를 통해 직달일사와 천공일사로 구분. 또한 천공일사는 운량 및 대기청정도 등의 요소로 인해 청천공, 부분담천공, 담천공으로 구분. 이렇게 구분된 일사량은 광분산 시스템 채광부의 설치 방법 및 각도 제어에 영향을 미치므로 위의 요소를 고려하면 보다 신뢰성 높은 채광량을 예측 가능

○ 지표면으로 입사되는 일사량의 분석은 대기권 밖 일사량 I_0로부터 산출가능. 다음의 식 (1)에서 I_0는 위도, 일적위, 시간각에 관한 함수이며 대기권 통과 전 일사량을 나타냄. 식(2)에서 계수 K_T는 구름의 양에 관한 계수이며 대기권 통과 전 일사량 I_0과 지표에 도달하는 일사량 I의 비로 다음의 식으로 나타냄

$$I_0 = \frac{12\times 3600}{\pi} G_{sc}\left(1+0.033\cos\frac{360n}{365}\right) \times\left[\cos\phi\cos\sigma(\sin\omega_2-\sin\omega_1)+\frac{\pi(\omega_2-\omega_1)}{180}\times\sin\phi\sin\sigma\right] \quad (1)$$

ϕ : 해당지역의 위도($^\circ$, degree)
σ : 일적위($\sigma = 23.45\sin\left(360\times\frac{284+n}{365}\right)$)
n : Julian date
ω_1, ω_2 : 시간각 ($15^\circ/h$)
G_{sc} : 태양상수($1367\,Wh/m^2$)
I_0 : 대기권통과전일사량(MJ/m^2)

$$K_T = \frac{I}{I_0} \quad (2)$$

$$\frac{I_d}{I} = \begin{cases} 1.0-0.09K_T & 0 < K_T \le 0.22 \\ 0.9511-0.1604K_T+4.388K_T^2 -16.638K_T^3+12.336K_T^4 & 0.22 < K_T \le 0.8 \\ 0.165 & K_T > 0.8 \end{cases} \quad (3)$$

I: 해당지역에서측정한일사량(MJ/m^2)
I_d : 천공일사량(MJ/m^2)
K_T: $Clearness$

○ 지표면 일사량 I는 일반적으로 태양 에너지에 대한 상세한 표준 데이터인 표준 일사량을 이용. 하지만 표준기상데이터는 시간별 자료가 없으므로 지표에서 측정한 데이터를 이용하며 측정 일사량 데이터는 기상청에서 제공하는 대전시(북위 36도 22분)의 시간별 일사량 데이터를 사용. 본 데이터의 측정기간은 2010년 5월 1일부터 2011년 4월 31일까지 1년간 오전 9시부터 오후 6시 매 시간마다 대기권을 통과하여 지표로 입사된 일사량을 측정한 값임

○ 위의 식에서 구한 K_T는 값이 클수록 구름량이 적은 청명한 날씨이며 크게 청천공, 부분담천공, 담천공으로 분류. K_T를 이용하여 지표로 도달하는 천공 일사량과의 관계식은 식 (3)과 같음. 직달일사가 입사하는 청천공의 상태에서는 채광부에 도달하는 일사가 최대가 되고 담천공의 상태에서는 최소가 됨

표 3-2-1. 대전의 계절에 따른 천공 일사량

2011.3.24. (봄)				
구분(시)	I_0 (MJ/m^2)	K_T	I_d/I	I_d (MJ/m^2)
9	3.105	0.330	0.945	0.997
10	3.725	0.440	0.790	1.270
11	3.995	0.373	0.875	1.300
12	3.994	0.323	0.931	1.201
13	3.725	0.410	0.810	1.265
14	3.200	0.285	0.950	0.888
15	2.468	0.266	0.990	0.633
16	1.566	0.220	0.979	0.344
17	0.561	0.445	0.766	0.191
2010.7.1. (여름)				
구분(시)	I_0 (MJ/m^2)	K_T	I_d/I	I_d (MJ/m^2)
9	3.845	0.198	0.983	0.754
10	4.351	0.186	0.98.	0.796
11	4.655	0.421	0.823	1.545
12	4.655	0.495	0.677	1.564

13	4.362	0.495	0.670	1.444
14	3.952	0.567	0.511	1.154
15	3.250	0.653	0.321	1.694
16	2.504	0.641	0.352	0.552
17	1.566	0.958	0.165	0.215
18	0.648	0.942	0.165	0.099
2010.10.7. (가을)				
구분(시)	I_0 (MJ/m^2)	K_T	I_d/I	I_d (MJ/m^2)
9	2.795	0.225	0.945	0.645
10	3.322	0.126	0.989	0.411
11	3.561	0.225	0.978	0.855
12	3.562	0.348	0.906	1.133
13	3.322	0.469	0.621	1.125
14	2.898	0.623	0.435	0.733
15	2.078	0.285	0.959	0.566
16	1.192	0.600	0.433	0.325
17	0.184	0.996	0.166	0.020
2010.12.16. (겨울)				
구분(시)	I_0 (MJ/m^2)	K_T	I_d/I	I_d (MJ/m^2)
9	1.789	0.012	0.989	0.020
10	2.300	0.144	0.987	0.325
11	2.654	0.259	0.940	0.640
12	2.654	0.367	0.886	0.824
13	2.235	0.445	0.756	0.781
14	1.788	0.523	0.612	0.575
15	1.105	0.571	0.500	0.319
16	0.235	0.706	0.235	0.035

○ 본 연구에서는 채광부의 연중 채광량이 식물생육에 충분한지의 여부를 판단하는 것이 목적이므로 연중 일사량의 변화를 고려하여 작물의 생육가능 여부를 판단. 연중 각 계절의 일일평균 운량과 가장 비슷한 날을 선정하여 측정된 일사량 I와 통과 전 일사량 I_0으로 다음 표와 같이 재배시설 천창 채광부로 입사되는 천공일

사량 I_0을 계산. 각각의 총 일사량은 비교적 날씨가 청명한 날을 선정하여 계산

○ 여름 기간의 일사량은 태양고도가 높고 일사기간이 길어 증가하지만 장마로 인해 천공일사에 의한 일사량이 직달일사에 의한 일사량보다 증가함. 봄과 가을은 17시 이후 일몰로 인해 측정되지 않으며 겨울 또한 16시 이후 일사량이 측정되지 않음

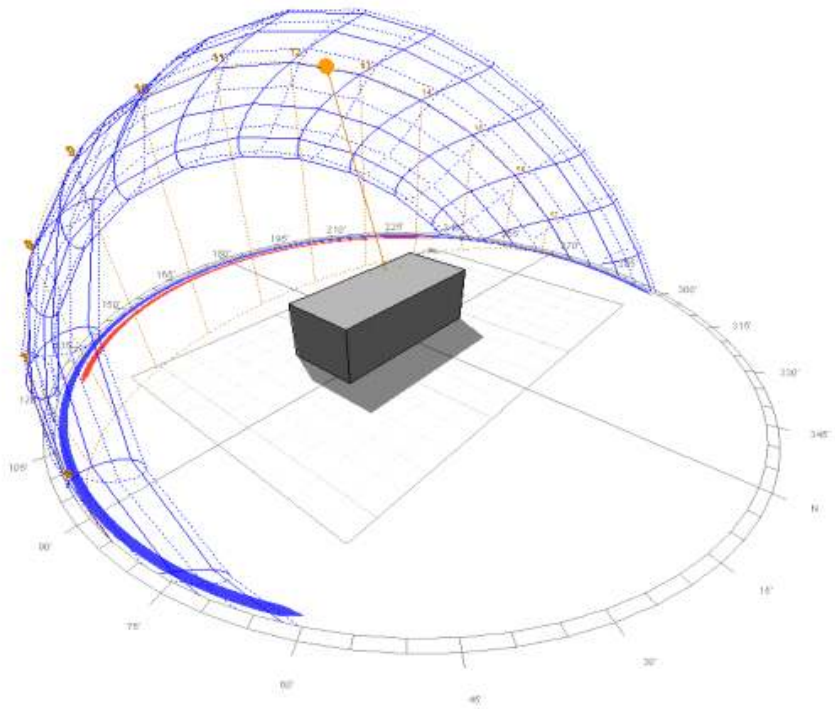


그림 3-2-2. 연중 태양고도변화와 그림자의 방향 (대전시 기준)

○ 태양고도 및 방향의 변화에 따라 요구되는 채광부 액티브 요소의 최소화를 위해 최적화된 재배시설 배치와 채광설비의 디자인이 중요. 국내 충청권 지역(북위 36도 22분)의 태양고도 변화는 4계절의 변화가 뚜렷함. 각 절기별 태양고도 및 방향의 분석을 통해 광원의 방향 변화에도 항상 최적의 채광이 가능한 시설 방향을 결정하고 최선의 배치를 제시 가능

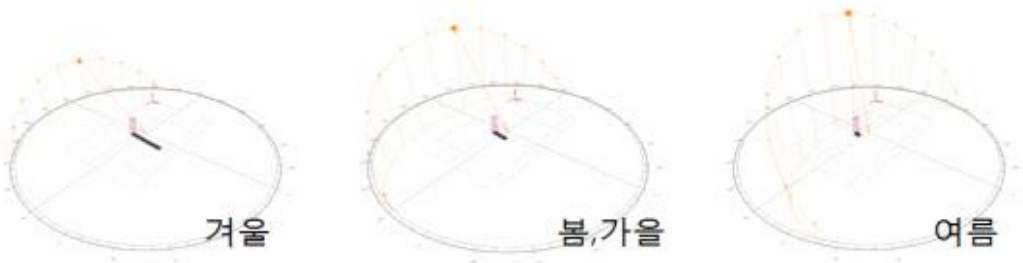


그림 3-2-3. 절기별 정오시 남중고도와 그림자 변화

○ 본 시스템의 설치 대상 시설인 박스형 재배시설을 구축시 500평 규모 25m X 75m, 3m 높이의 시설을 기준으로 천창으로 입사되는 태양광량이 90% 이상이며, 시설 내 광공급 표준화를 위해 본 시설에서는 천창으로 입사되는 광원을 활용

○ 천창으로 입사되는 광원의 절기별 태양 방위각 및 고도의 주간 시간에 따른 변화를 보면 국내 충청권(위도 36도 22분)을 기준으로 봄가을 및 겨울은 남향이 주로 작용하지만 여름철에는 시간에 따라 남향에서 북향으로 변화함. 북반구에 위치한 우리나라는 대체적으로 양지 방향이 남향

○ 하지만, 여름철 하지의 경우 오전 10시 이전과 오후 2시 이후는 북향으로 일반적인 고정형 광 선반으로는 채광이 불가. 따라서 태양의 방향에 따라 움직일 수 있는 엑티브 채광요소가 필요하며 기존의 태양추적시스템의 대형화가 가능한 대안을 모색 요구

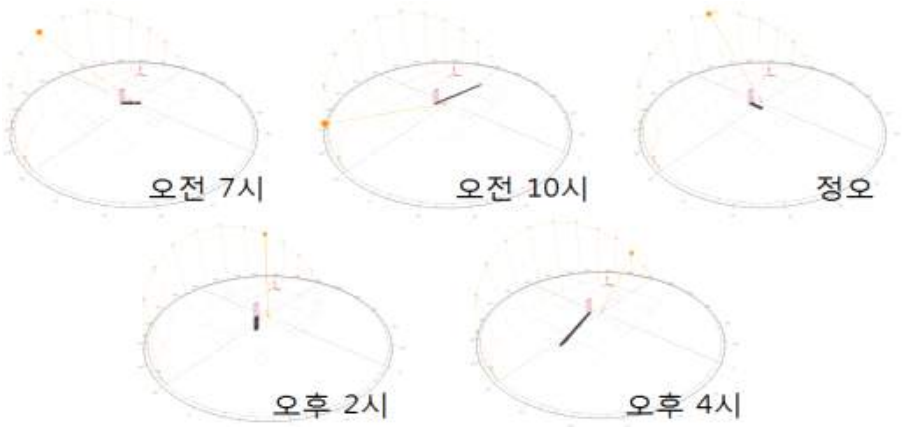


그림 3-2-4. 봄,가을 주간 시간에 따른 남중고도와 그림자 변화

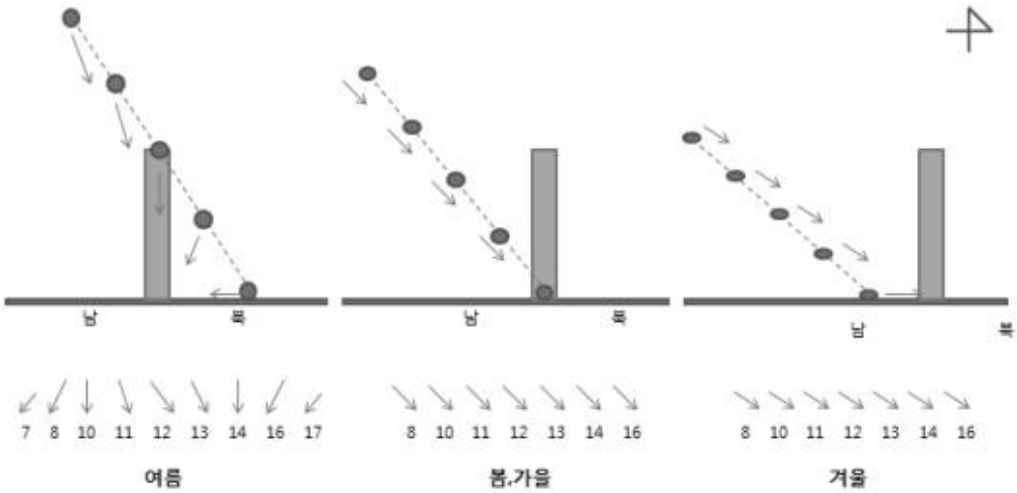
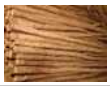


그림 3-2-5. 동쪽에서 바라본 계절에 1따른 태양 방위각 및 고도의 주간 시간에 따른 변화

4. 작물의 광 요구조건 분석

○ 식물공장을 위한 대상작물 선정 및 설계 필요요건 판단을 위한 대상작물의 기초자료 조사를 위해 각 작물의 분류와 광 요구조건, 크기, 양액 및 재배특성을 조사. 이를 근거로 재배 대상 작물 선정

표 3-2-2. 주요 작물의 광 요구조건 및 크기

분류	이름	사진	광포화점(lux)	광보상점(lux)	재배폭(cm)	높이(cm)	특성
근채류	무		13,500	4,000	20	40	
	당근		25,000	5,000	20	20	
	순무		20,000	5,000	30	10	
	생강		20,000	2,000	10	15	
	토란		16,000	4,000	30	50	
	우엉		25,000	3,000	20	40	
	연근		25,000	5,000	50	30	
엽채류	배추		11,000	2,000	40	40	
	양배추		11,300	2,000	30	30	
	양상추		25,000	1,500	30	30	
	시금치		25,000	1,000	20	20	
	미나리		20,000	1,000	20	20	습도 유지, 계속 잘라먹을 수 있음
	파슬리		10,000	1,000	10	10	
	적출면상추		11,000	2,000	20	20	
엽채류(계속)	적치마상추		20,000	2,000	20	20	

	맛치마상추		18,000	2,000	20	20	
	청축면상추		20,000	1,500	20	20	
	청치마상추		20,000	2,000	20	20	
	오크립상추		25,000	1,500	20	20	
	바울레드상추		25,000	2,000	20	20	
	롤로로사상추		21,000	2,000	20	20	
	결구형상추		25,000	2,000	20	20	
	로메인상추		25,000	1,000	20	20	
	청경채		15,000	2,000	15	15	10℃ 이상 25℃ 이하유지
	겨자잎		15,000	2,000	20	20	
	뉴그린		20,000	2,000	20	20	
	치커리		20,000	3,000	20	20	15~20℃ 25일 수확
	비트잎		25,000	2,000	20	20	70~150일 수확
	쑥갓		15,000	1,500	20	20	물을 듬뿍줌 봄가을 파종
	적근대		15,000	1,500	20	20	
	셀러리		13,000	2,000	20	20	
	신선초		13,000	2,000	20	20	발아시 20℃ 유지 재배가 쉬움
엽채류 (계속)	엔다이브		25,000	2,000	15	15	15~20℃로 비교적 서늘한 기후 10~30일 수확

	트레비소		15,000	1,000	25	25	강한햇빛을 가림
	케일		15,000	1,000	20	20	기르기 쉬움 추위에 강함
	파드득나물		25,000	2,000	15	15	파종 후 2개월 후 수확 이후 30일마다 수확
	다채		10,000	1,500	10	10	국내에서는 밀식 생장하여 어린채소로 수확
	경수채		25,000	3,000	20	20	30일 전후 수확 보수성있는 밭에서 잘 자람
	용설채		25,000	2,000	20	20	15~20℃ 곁가지 많음
	참취		25,000	500	15	15	다년초로 1.5m 자람
	잎우엉		15,000	2,000	15	15	약용 식이섬유 풍부
	갓		15,000	3,000	20	20	연중 2~3회 수확
경/인경 채류	마늘		20,000	2,300	20	40	
	양파		25,000	2,500	20	30	
	파		20,000	1,000	10	50	
	락교		12,000	1,500	20	20	
	죽순		15,000	1,000	40	100	
경/인경 채류	아스파라거스		15,000	1,000	20	30	
화채류	꽃양배추		20,000	1,000	30	30	

	브로콜리		15,000	1,000	20	20	
	콜리플라워		15,000	1,000	20	20	
과채류	고추		45,000	2,000	20	100	
	오이		55,000	2,000	20	100	
	가지		40,000	2,000	20	50	
	호박		45,000	1,500	40	50	
	토마토		70,000	3,000	30	100	
	참외		70,000	3,000	50	100	
	딸기		50,000	3,000	30	30	
	수박		80,000	4,000	40	40	
	피망		30,000	1,500	20	00	
	파프리카		30,000	2,000	20	100	
특용 작물	강낭콩		12,000	1,500	20	100	
	완두콩		12,800	2,000	20	100	
	인삼		12,000	500	20	20	

○ 광 조건은 작물에서 생육에 가장 많은 영향을 끼침.[2] 본 연구의 대상작물로 선정된 상추종자의 발아조건에서 광은 필수적 요인으로 적색광(660nm)에서 촉진되고 근적색광(760nm)에서는 오히려 억제. 이때 광에 감응하는 부분은 씨껍질로 발아 후 생육과정의 광 보상점은 1,500Lux이고 광 포화점은 25,000Lux

○ 광의 세기가 약하여 광 보상점 쪽에 치우치면 잎이 웃자라 잎의 길이가 길어지며, 이때 온도가 높으면 더욱 심화. 꽃눈 분화 후 꽃대의 신장은 일장이 길어질

2) 김인식 외, 표준영농교본 상추재배, 농촌진흥청, 2007

수록 빨라지고 일장이 짧으면 신장이 억제. 잎의 광합성량은 주로 오전에 이루어지며 1일 총 광합성량 중 80%가 오전에 이루어짐

표 3-2-3. 여름철 수경재배 상추의 볕가림 조건과 생육

볕 가림 정도 (%)	풀길이 (cm)	줄기길이 (cm)	잎수 (매)	잎길이 (cm)	잎너비 (cm)	클로로필 함량 (SPAD)	생체중 (g/주)
대조구	22.1	13.5	16.6	18.0	18.1	21.1	90.2
35	29.4	20.7	14.6	19.5	17.5	17.8	75.7
55	28.6	19.2	14.4	19.8	17.6	19.2	78.2
75	33.6	20.2	10.0	19.1	18.0	18.0	47.4

○ 광량에 따른 재배영향을 관찰하기 위해 여름철 상추 수경재배에서 흑색 볕 가림망으로 볕 가림 정도를 달리했을 때, 볕 가림율이 높아질수록 초장(풀길이)과 경장(줄기길이)는 길어지는 반면 전체 수확 잎 수는 적어져서 볕 가림을 하지 않은 대구조의 수량이 가장 높았으며 볕 가림률을 높일수록 수량이 적고 생육요소인 클로로필 함량이 낮아짐

5. 충청남도권 광환경을 고려한 광공급부 설계

○ 본 연구를 통해 개발된 광 배분시스템은 자연광 효율 극대화를 위해서 다단 적층형 생육트레이에 골고루 태양광을 분산시키기 위한 천장설치형 반사판으로 이루어진 채광부와 이를 통해 반사된 빛을 분산시켜 트레이의 작물들에 전달하는 광분산판으로 이루어진 산광부로 구성

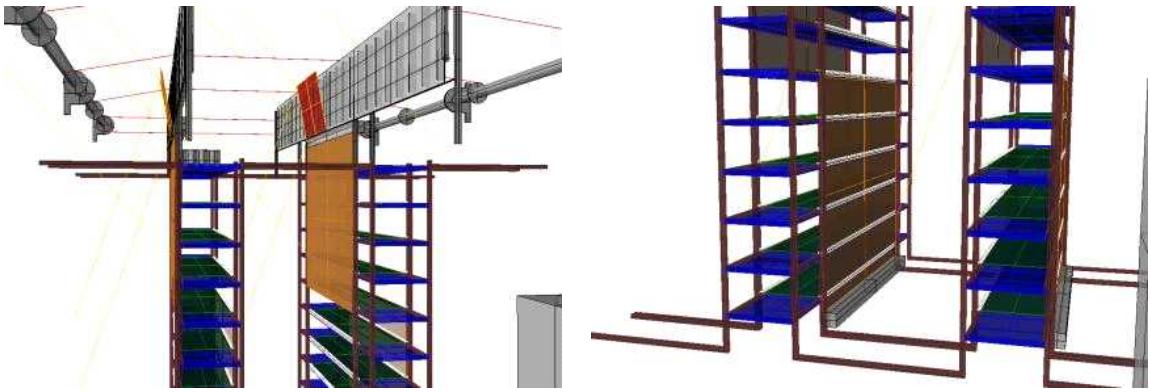


그림 3-2-6. 수직형 단위 테스트모델 광공급부 (좌:생육설비부 광공급 상단, 우:광공급부 하단)

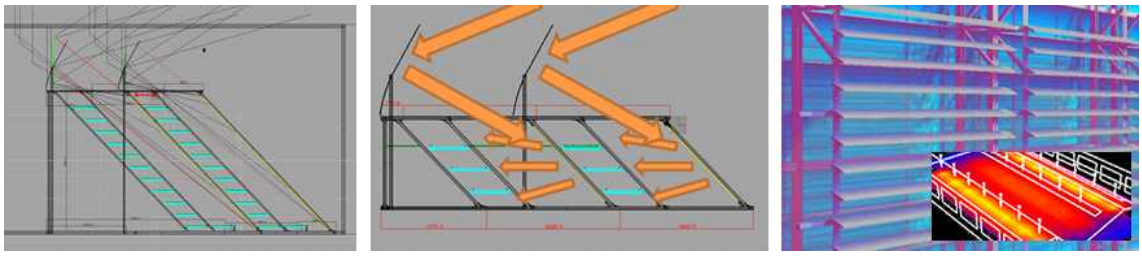


그림 3-2-7. 자연광 이용 사선형 적층시설재배 광공급 매커니즘

○ 표면적 증가뿐만 아니라 실제 식물이 활용하는 광원의 효율적인 분산을 통한 한정된 자연광원활용의 극대화를 도모. 채광부 천장설치형 반사판은 고도의 반사율을 가진 금속판재를 고도와 방향에 따른 태양궤적에 기반 하여 항상 실내에 작물 트레이에 자연광 공급을 극대화 할 수 있도록 그 간격과 각도 및 설치형식을 설정

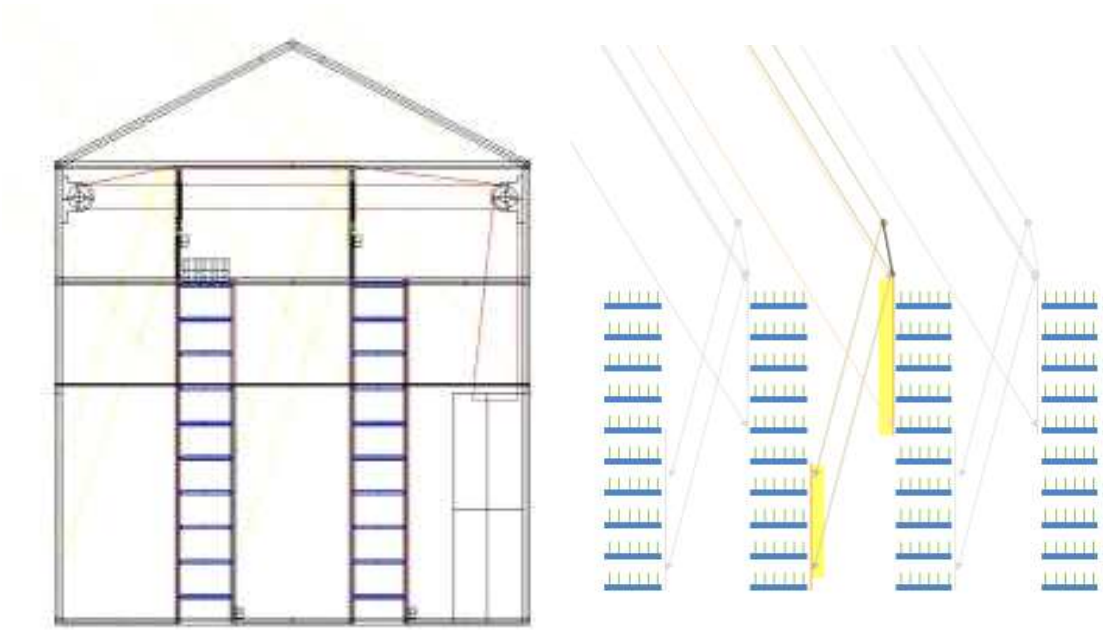


그림 3-2-8. 식물공장 테스트모델 구성도(생육설비부 광공급 매커니즘)

○ 천장설치형 반사판은 동서로 긴 형식으로 방위각의 영향에 따른 엑티브 시스템을 도입하고 구성요소 최소화를 위해 태양 방위각의 변화에 영향을 상대적으로 적게 받는 동서로 긴 형태로 설치하여 오전 동쪽광원의 방향이 오후로 서쪽광원으로 변해도 동서로 설치된 생육설비는 광원의 방위각 방향에 영향을 받지 않도록 함

○ 동서 말단부에 재배설비 규모를 고려하여 채광패널의 추가설치가 필요하며 트레이의 전면부에 설치되는 광분산패널은 최대한 많은 빛을 받아 높은 효율로 난반사 분산시킬 수 있는 재질과 색채를 활용

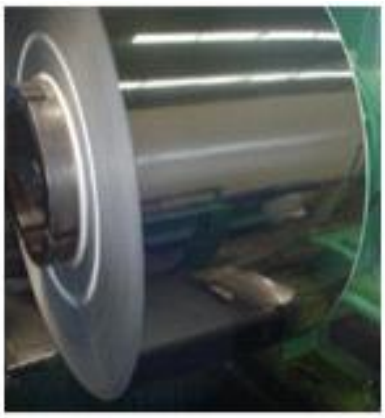


그림 3-2-9. 채광부 반사패널용 스테인레스 판재(좌), 산광부 난반사 확산패널용 스크린(우)

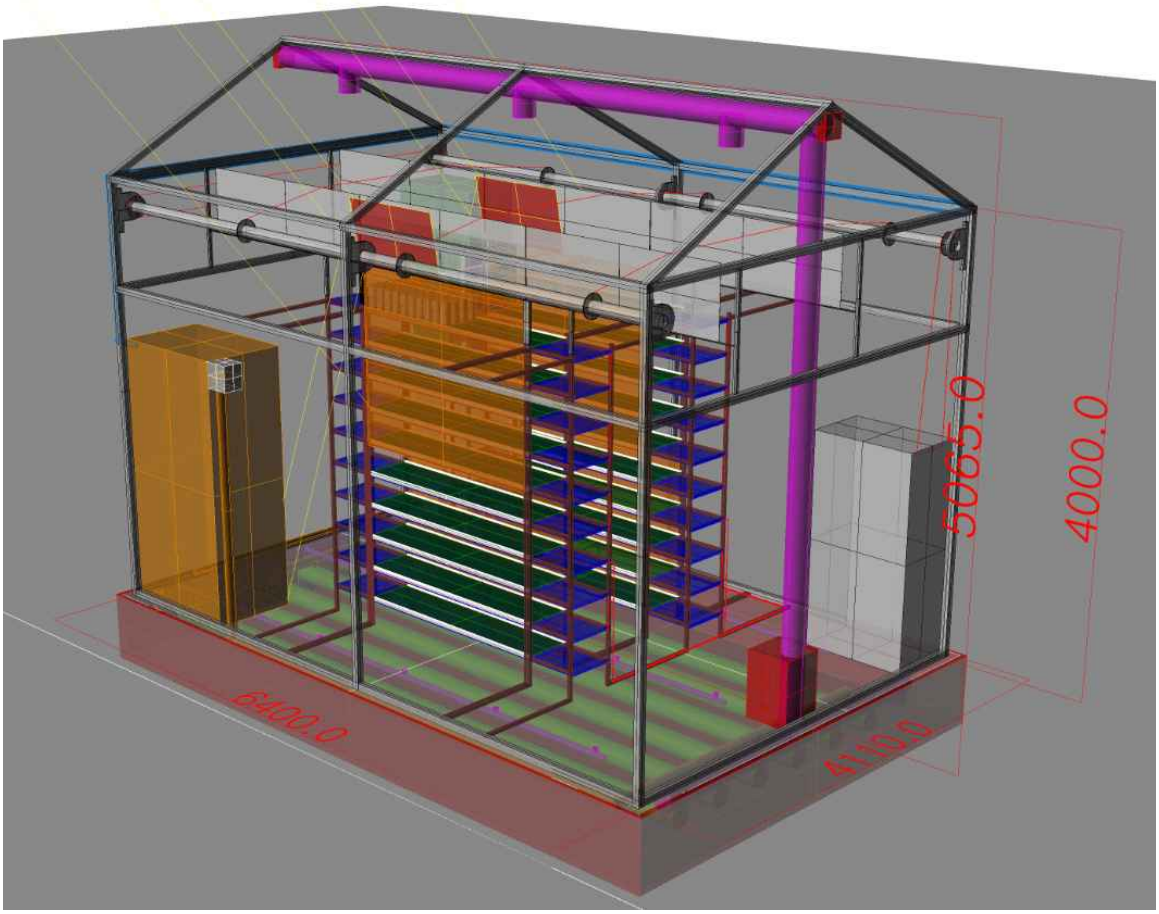


그림 3-2-10. 광공급부 테스트모델 구성도

가. 광공급부 채광부(반사패널) 시스템 설계

○ 본 연구의 개발대상은 태양열 회수가 가능한 태양궤도 추적형 자연광 실내공간 인입 및 분배 극대화 반사패널 시스템으로, 천창을 통하여 실내로 유입되는 자연광을 곡선과 직선의 조합으로 이루어진 반사패널을 활용하여 반사

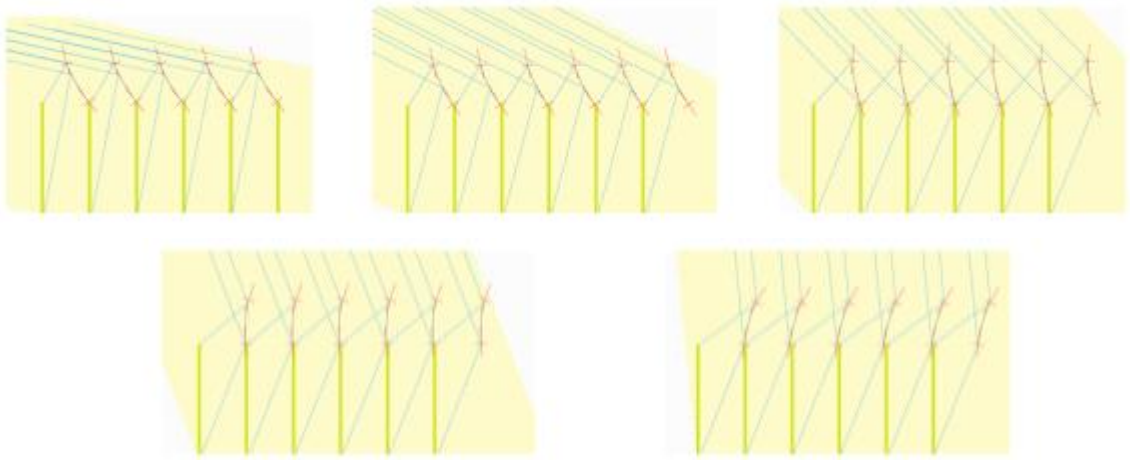


그림 3-2-11. 태양광 채광설비의 반사패널 태양고도에 따른 각도조절과 암영대 제거 효과

○ 효과적으로 재배시설내의 깊숙한 곳까지 태양광이 도달하도록 함으로써 천창과 가까운 곳의 주광조도를 감소시키는 대신에 창호와 멀리 떨어진 곳의 조도를 증가시켜 조도가 균일해지도록 하며 동시에 냉각 시스템을 통한 폐태양열 회수가 가능

○ 이를 통해 재배시설내의 조도가 균일해지도록 하여 표준화된 작물 생산이 가능하고 설비에서 발생하는 태양열을 자체적으로 회수하여 재배시설의 난방부하 및 급탕부하 저감에 활용

○ 반사패널 시스템은 생육설비 상단에 설치되며 소정 각도로 경사진 곡면과 평면의 조합으로 이루어진 형상의 반사패널과 이의 하단을 축으로 각도와 방향을 조절할 수 있는 구동부 일체로 구성

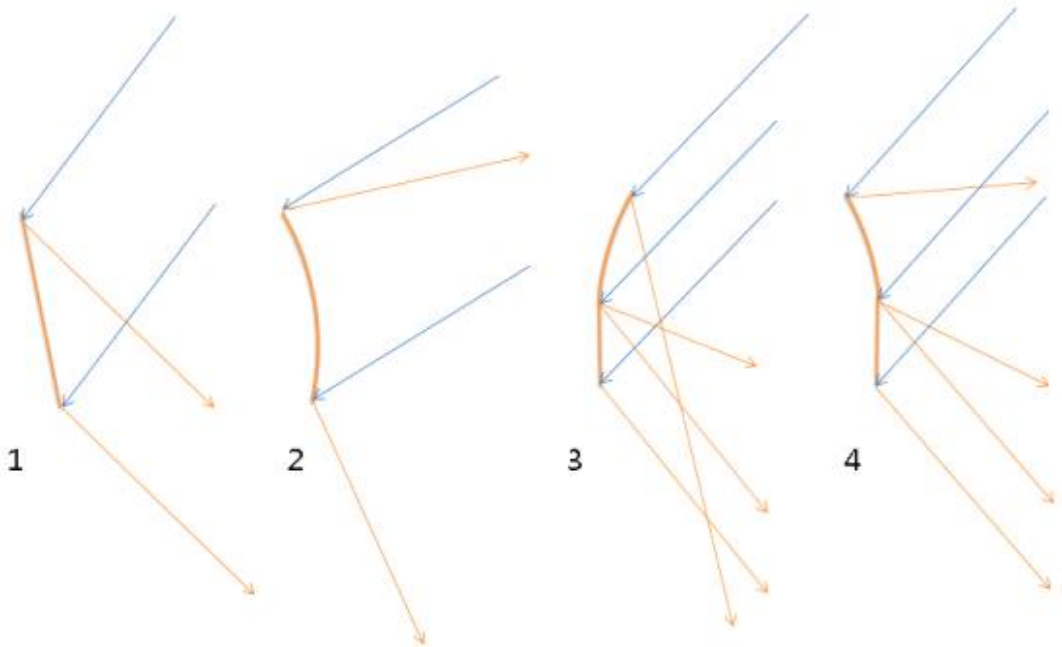
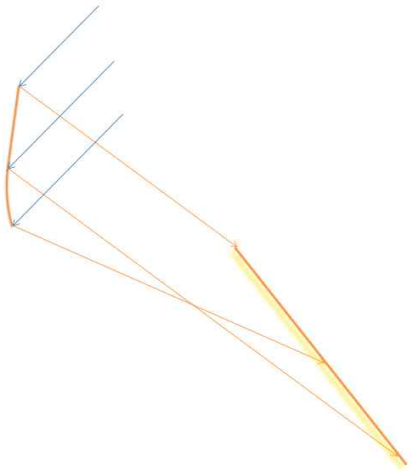
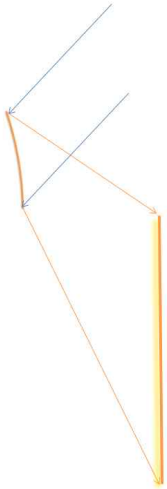
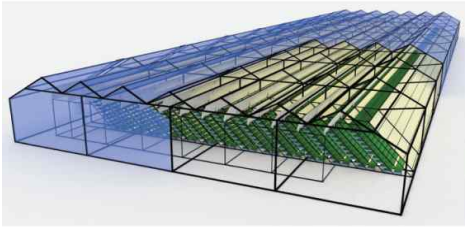
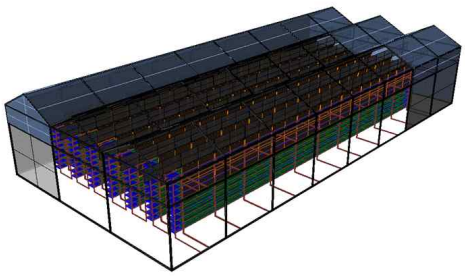
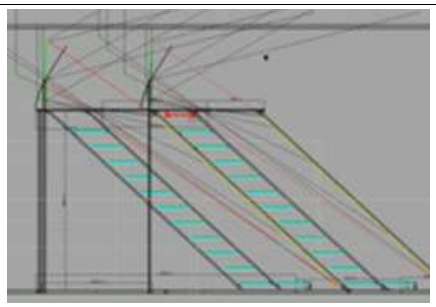
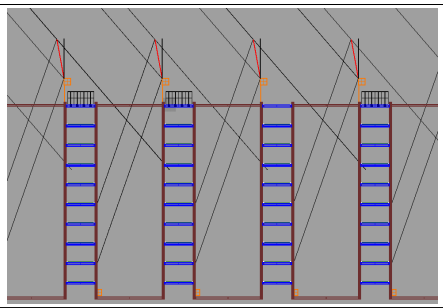


그림 3-2-12. 반사패널의 형태에 따른 반사광의 변화

○ 기존의 광선반 반사패널은 대부분 평면형태로 측창에 설치되어 건축공간 실내 조도의 보조광원으로 활용. 최근 효과적으로 실내 깊숙한 곳까지 균일하게 광원을 보낼 수 있도록 곡면형 광선반의 연구가 진행. 이와 같은 광선반 패널을 본 재배시스템에 적용하기 위해 입사각과 반사각의 법칙을 활용하여 작도를 통해 분석

○ 평면반사패널은 입사광을 그대로 반사하며 곡면패널은 입사광을 확산 가능. 입사광원을 적층형 재배공간에 확산할 수 있도록 하기 위해서는 평면패널보다는 곡면패널이 적합함. 곡면과 평면패널의 조합을 통해 근거리 및 원거리에 표준화된 반사광을 공급 할 수 있도록 반사패널을 다음과 같은 조합을 구성

표 3-2-4. 재배시스템에 적용된 광공급 반사-확산 시스템 개요도(좌: 사선형, 우:수직형)

	사선형 구조 광공급	수직형 구조 광공급
반사패널 type		
식물공장 구축 개요도		
반사패널 태양광전달 개요도		
의견	광공급 효율은 높으나 구조적 불안정하고 재배 및 유지보수를 위한 공간활용이 어려움	광공급 효율은 다소 낮으나 구조적으로 안정적이고 공간활용이 쉬움

○ 그림(좌:사선형)의 좌측 상단은 평면형패널과 오목곡면패널로 구성되어 있으며 평면패널을 통한 반사광의 원거리에 따른 광량 손실을 하단 오목곡면반사패널을 통해 보광

○ 광공급 효율 최대화를 위한 난반사 산광패널은 사선형태로 기울어져 있으며 이를 위해서 생육시설비구조 전체가 사선으로 기울어질 필요가 있으나 구조적 불안정하고 재배 및 유지보수를 위한 공간활용이 어려워 태양광 분산을 극대화 할 수 있는 사선형 생육재배 시스템은 광 공급에는 효율적이나 시공 및 유지 보수에는 많은 문제가 있음

○ 특히 유지관리를 위해 사선형 구조 내부에서 사람이 효과적으로 작업하기 힘들며 구조적으로 불안한 요소를 가지고 있으므로 수직형 생육재배 시스템에서도 같은 광공급 효과를 낼 수 있는 시스템 구조 대안(우:수직형)이 요구됨

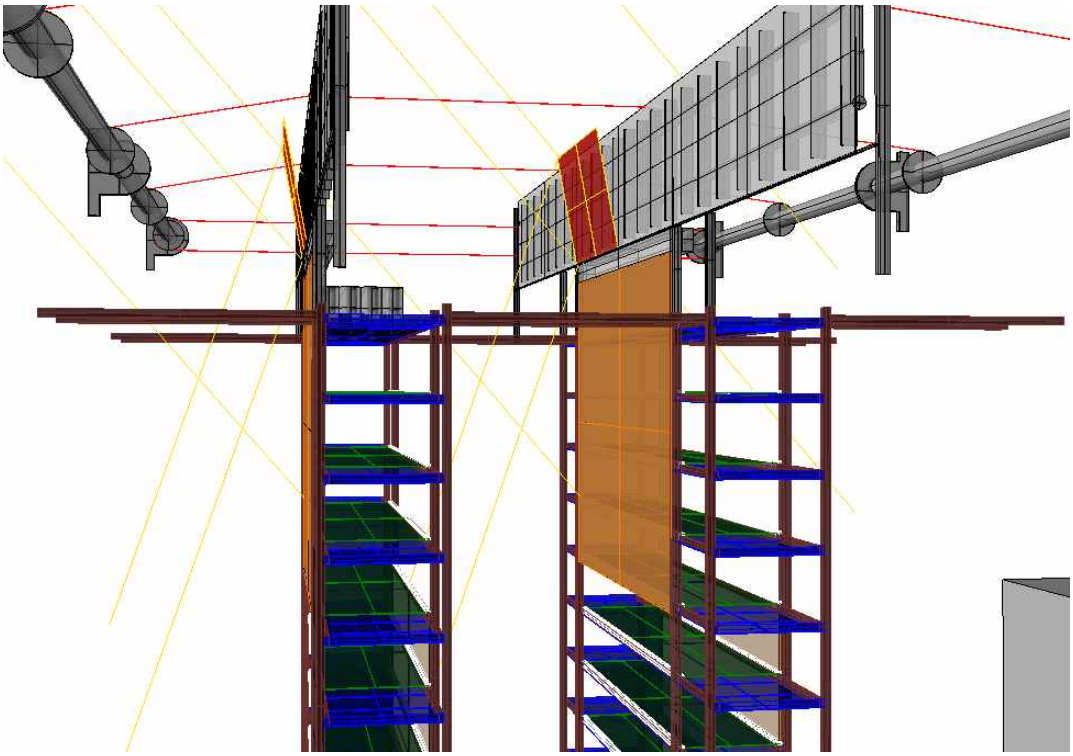


그림 3-2-13. 식물공장 단위 테스트모델 구성도(생육설비부 반사패널상세)

나. 광공급부 산광부 시스템 설계

○ 방향성을 갖는 직사광선으로는 생육설비 내 적층형 트레이에 표준화된 밝기의 광을 공급이 곤란. 따라서 채광부에서 반사된 직사광을 간접조명과 같이 난반사패널을 통해 산란시킴으로써 트레이 어디에서나 같은 밝기의 빛을 공급받을 수 있도록 산광부 시스템을 설계

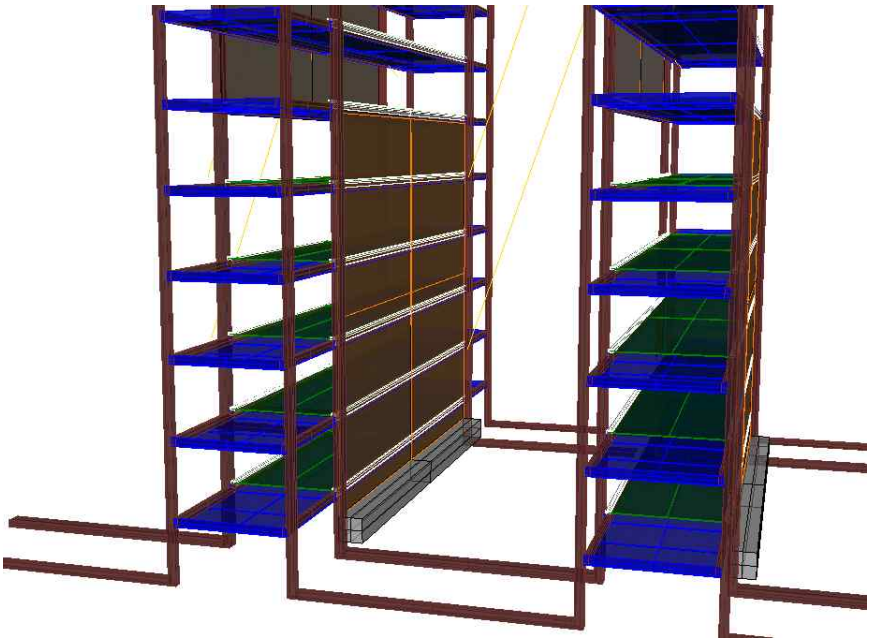


그림 3-2-14. 식물공장 단위 테스트모델 구성도(생육설비부 광공급 하단)

○ 난반사체는 물체의 전면에서 시점광과는 무관하게 주어진 환경에서 광원의 영향으로만 산란성을 결정. 이는 시점과는 독립적으로 수행될 수 있음을 의미하며 산란패널에 의한 면광원 조도효과를 분석하기 위해 람버트 난반사체 반사모델을 이용

$$I_{out} = R\int_{2\pi} I(\theta)\cos\theta dw \qquad (4)$$

○ 다음은 람버트 식을 광원과 물체와의 기하학적 관계로 설명한 것. 이를 통해 산란광의 효과를 시뮬레이션 분석하여 재배 트레이의 작물 재배가능성을 평가하고 이를 바탕으로 채광부의 효과적인 운영 스케줄을 결정

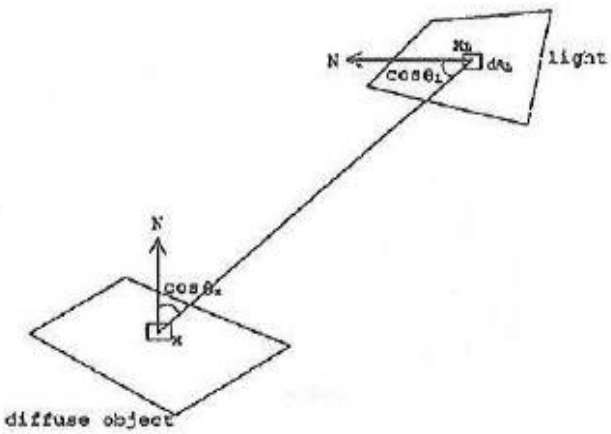


그림 3-2-15. 물체와 광원과의 기하학적 관계도

○ 절기별 태양 고도의 변화에 따른 광원의 입사각도를 분석해 보면 하절기를 제외한 추분-동지-춘분 기간에는 남향 식물공장 천창으로 태양광 입사각의 변화가 급격히 변하지 않기 때문에 일간 일정한 광 공급이 가능. 춘분-하지-추분 기간에는 태양광 입사각이 오전과 오후를 기준으로 북에서 남향으로 입사각이 변하며 이에 대응할 수 있는 광 공급 및 분산 시스템이 요구됨

○ 산란광을 활용하여 작물의 광합성을 극대화 하기 위해서는 지속적인 광량을 산란패널에 공급이 필요. 상단 산란패널을 태양 입사광이 직접 비추고, 길이 조절이 가능한 제 2의 산란패널을 생육설비 하단에 설치하여 태양 고도에 따라 단위 태양 입사광의 절반을 하단 산란패널로 비추는 액티브 반사시스템을 도입

○ 생육설비 상층 작물은 상단 확산패널의 산란광을 활용, 하층 작물은 하단 확산패널의 산란광을 활용하여 광합성 유도. 태양고도에 따른 광공급 설비 개요는 다음 그림과 같음

그림 3-2-16. 태양광원의 입사각도에 따른 산광부 확산패널의 길이조절 매커니즘

6. 태양광 공급설비 적용 광환경 성능평가

가. 작물재배를 위한 요구광량

○ 작물의 종류에 따라 생육에 필요한 적정 광량은 다르며 본 연구에서는 포기상추를 대상작물로 선정하여 목표광량을 유지하는데 필요한 광합성유효광량자속(photosynthetic photon flux, PPF) 를 산정

○ Both and Albright(1997)의 보광을 이용한 상추재배 연구에서 일일적산 PPF 11~17$mol \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$ 인 경우 잎끝마름이 발생하지 않고 요구 생장을 하였다고 보고됨. 따라서 본 연구에서는 이 범위를 목표광량으로 가정하고 광환경 적용가능성을 평가

나. 광환경 공급설비 테스트 모델 구축

○ 국내 광환경 분석 결과 절기별 주간 광량이 가장 부족한 시점은 동절기로 본 태양광 공급시스템의 평가를 위해 동절기 천공 일사량 및 태양 일주운동 분석을 통해 하루 생육공간에서 받는 누적 PPF를 분석

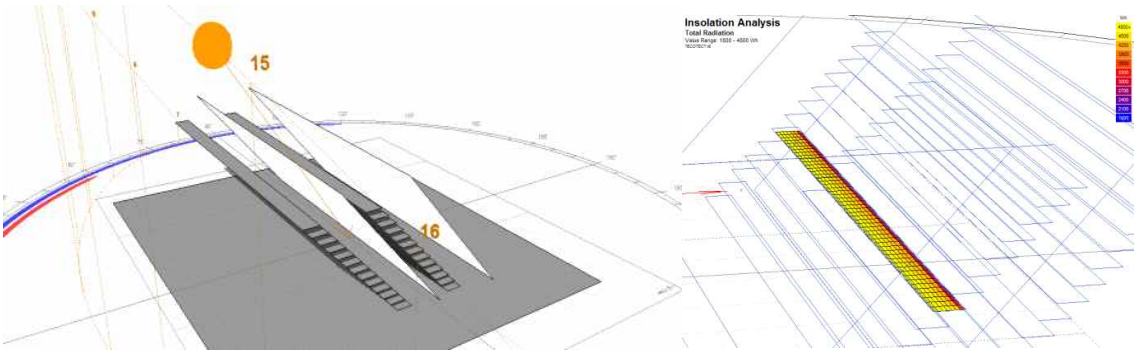


그림 3-2-17. 시뮬레이션 모델링 개요도(좌),
동절기 생육공간 일사량 시뮬레이션 결과 ECOTECT(우)

○ 광환경 공급설비 채광부 반사패널은 스테인레스 플러싱 거울면소재로 95%의 가시광선 반사율을 가지며 태양고도추적에 따른 액티브 운영시스템으로 효과적인 구동이 가능하다고 가정함

○ 광환경 공급설비 산광부 산광패널은 흰색 포맥스 재질로 난반사율이 높으며 70%의 가시광선 난반사율과 산란율을 가지며 면광원으로 작용하여 각 층 재배단 식생트레이에 분산광을 일정하게 공급함

다. 대상 식물공장 내부의 일사량 및 광합성유효광량자속

○ 2010년 충청남도 대전지역 전천일사량(total solar radiation, RAD)을 이용하여 시뮬레이션 및 실증테스트를 통해 기상조건에 따른 온실 내 생육설비 재배대 식생트레이 각 층의 RAD 대비 PPF 관계식을 도출

○ 온실외피의 투과율을 산정하기 위해 기상조건별로 일평균 투과율을 산정하고, 전천일사량과 각 층 재배단의 광량자속과의 상관관계를 구명하기 위하여 기상조건별로 시간당 전천일사량과 시간당 광합성유효광량자속의 상관관계식에 도입함

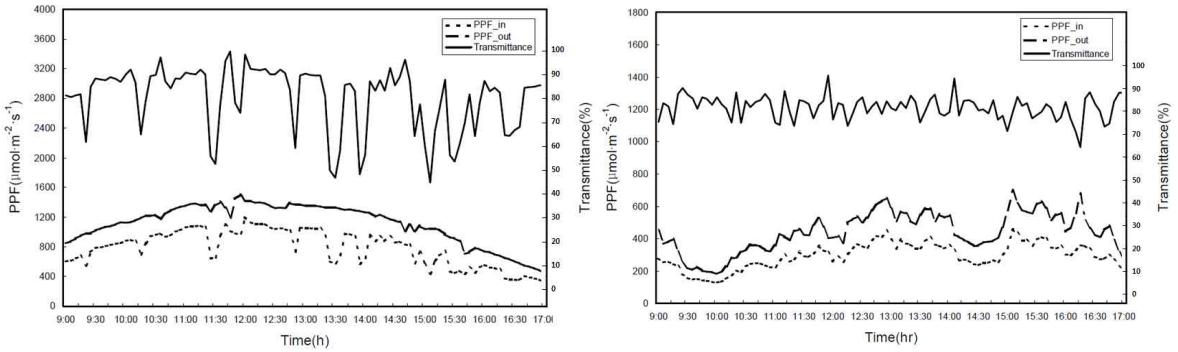


그림 3-2-18. 유리온실의 태양광 RAD 투과율 (좌: clear, 우: cloudy)

○ 상기 투과율 그래프(좌)는 맑은 날의 RAD 변화를 나타낸 것이며, 투과율이 평균 85% 수준으로 골조재 및 태양 입사각의 영향으로 인하여 온실내부에 입사되는 량의 시간에 따른 변동이 큰 것으로 나타남. 반면 그래프(우)는 흐린 날의 RAD 변화를 나타낸 것이며 투과율이 83% 수준으로 맑은 날에 비해 골조재의 영향을 많이 받지 않아 변동이 적은 것으로 나타남

○ 온실 내부의 RAD는 온실 외부의 RAD를 실험온실에서 산출된 투과율의 평균값(85%)을 이용하여 산정함. 기상조건은 기상청에서 사용하고 있는 구분방법을 이용하였으며 동일한 달에서는 동일한 기상조건하에서 일일적산 RAD 차이가 크지 않으므로 각 월마다 일일적산 RAD를 기상조건별로 평균하여 대표값으로 사용

○ 반사패널과 산란패널의 효과를 통해 각 층 재배트레이의 PPF 값은 시뮬레이션 결과값과 실측결과값을 각 절기별 기상상황에 따라 비교 분석하여 요구 PPF 값에 대한 만족도를 조사하여 광공급설비의 성능을 평가

라. 광환경 성능평가를 위한 실험설비 구축 및 실험

○ 실험목적

-상층부와 하층부의 광공급 분포 확인 (층별 배치)

-내측과 외측 조도분포 확인 (내외측 배치)

-층별 트레이 내외부 최저 광합성 광요구조건 25,000lux 이상 분포 확인

-30분 단위 측정 하루 누적 조도량 분포값을 통해 작물재배 가능 여부 분석

-대조군(광공급설비 설치 안함)과의 비교를 통해 광분산 효과 입증

○ 본 연구의 태양광 공급설비의 적용가능성을 검증하기 위하여 광환경 성능평가를 위해 크기 $3m \times 2m \times 2m$이고 정남향의 단동 유리온실을 구축하고 내부 1/2스케일의 10단 적층 생육재배대와 식생트레이를 구축

○ 광공급설비 상단 반사패널과 하단 산란패널을 설치하고 시뮬레이션 결과 유도된 운영스케줄에 따라 오전 9시~오후 5시 절기별 태양고도를 추적하여 운영

○ 온실로 유입되는 전천일사량과 생육설비 재배대 식생트레이 각 층에 공급되는 광합성유효광량자속의 변화를 측정하기 위해 data-logger와 GSI 전천일사센서 및 LI190SB 광량자센서를 사용함

○ 생육설비 재배대 식생트레이 각층의 중앙 내측과 외측에 센서를 설치하고 태양광 공급설비를 설치한 실험군과 설치하지 않은 대조군을 비교함

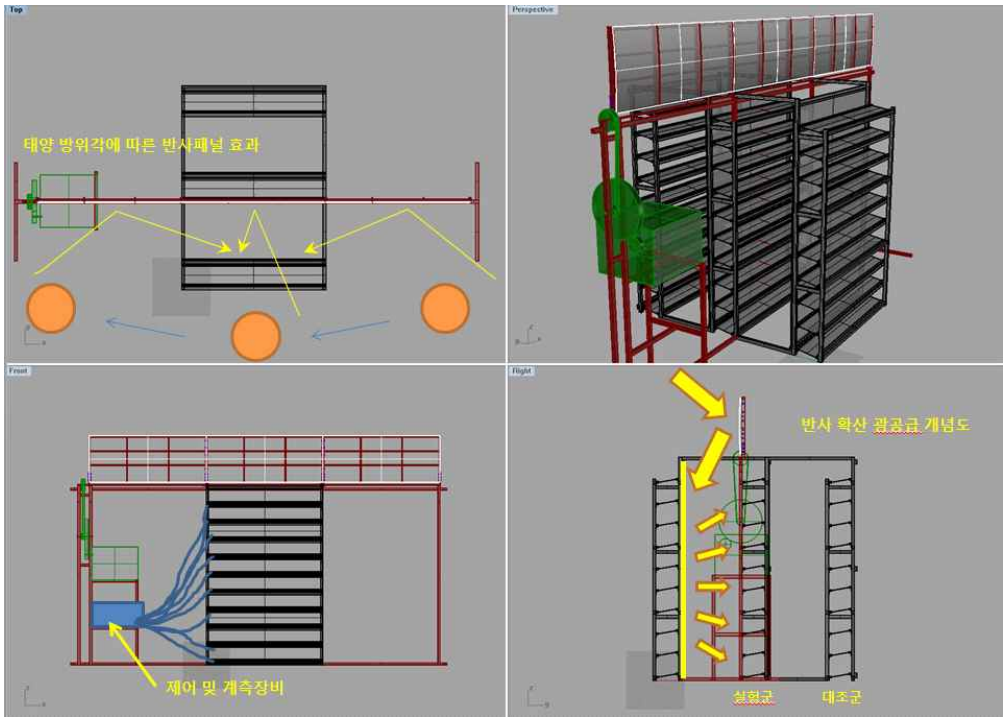


그림 3-2-19. 광환경 성능평가를 위한 실험설비 구축 개요도(수직형)

그림 3-2-20. 광환경 성능평가를 위한 실험설비 구축(외피)

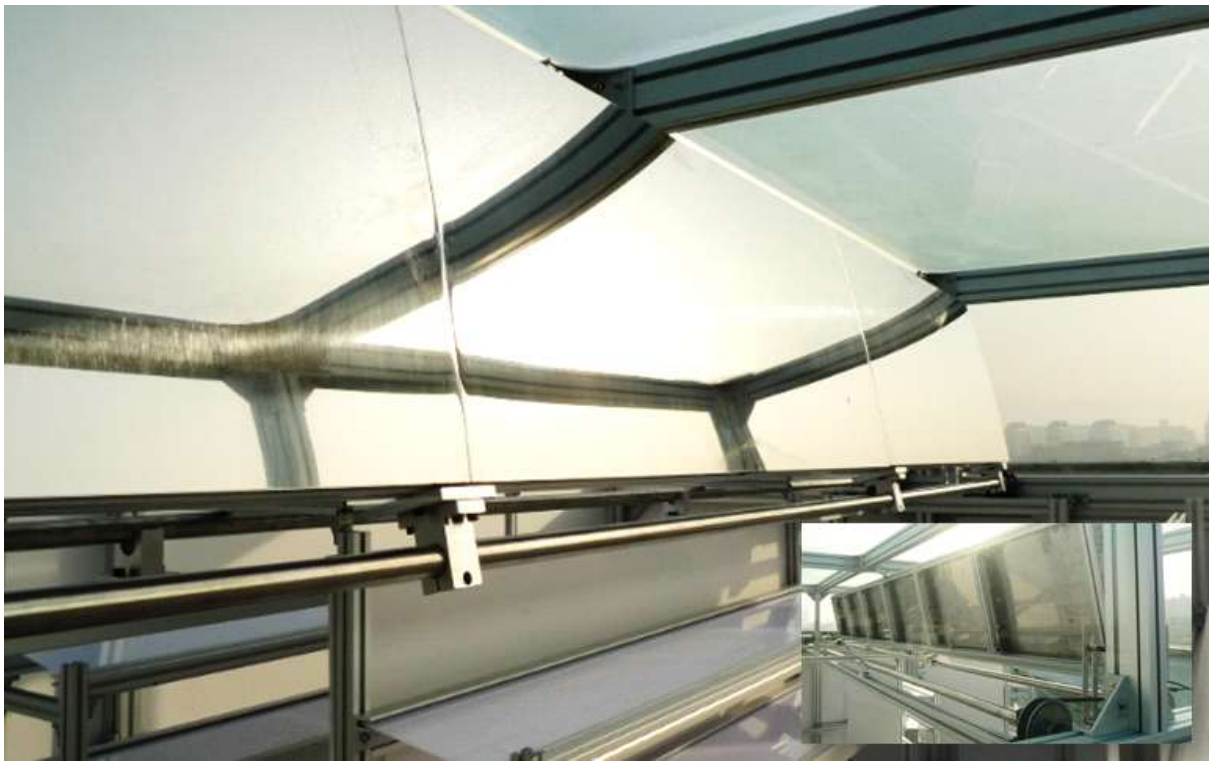


그림 3-2-21. 광환경 성능평가를 위한 실험설비 구축(반사패널)

그림 3-2-22. 광환경 실험설비 구성(반사패널, 난반사산광패널, 구동제어시스템)

型号 model	最大电压 Vmax (VDC)	最大功耗 Pmax (mW)	环境温度 Ambient Temp (℃)	光谱峰值 Spectral Peak (nm)	亮电阻 Photo Resistance (KΩ) R10	R100	暗电阻 Dark Resistance (MΩ)	γ 100/10	响应时间 Response Time (ms) 上升 Rise Time	下降 Decay Time	照度电阻特性 Illuminance Vs Photo Resistance
GL5537	150	100	−30~+70	540	20~50	4~10	2.0	0.7	20	30	4

그림 3-2-23. 작물 더미형 조도측정 CDS 센서 모듈

○ 작물 재배시 생육으로 인한 빛 가림의 효과를 고려한 다열 작물재배 트레이의 전후열 광분포를 측정할 수 있는 실제 작물의 1/2 스케일의 CDS 센서모듈을 제작하고 각 센서모듈을 실험군 외측 A열, 내측 B열, 대조군 외측 C열, 내측 D열

로 구분하여 각 열의 층간 조도분포와 열 간의 층별 조도분포 경향을 통해 광공급설비의 광 분산 효과로 인한 조도의 세기와 편차를 확인하고자 함

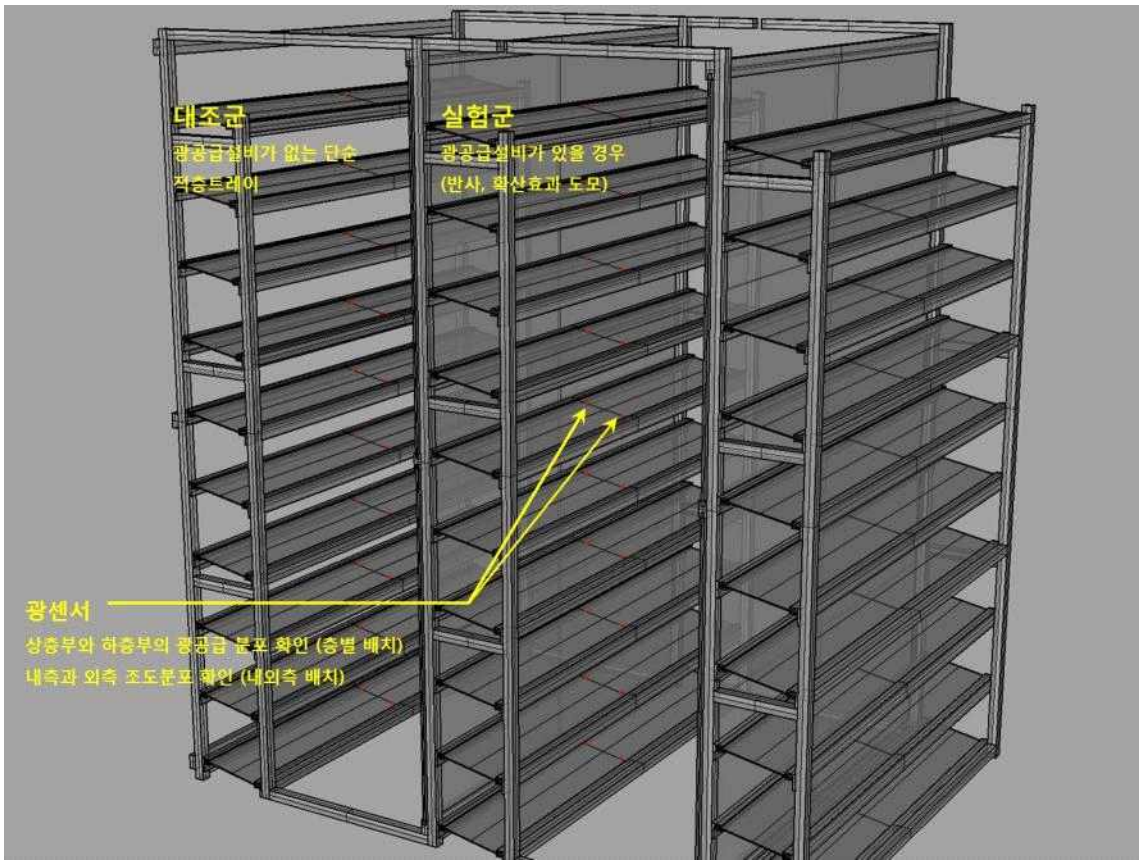


그림 3-2-24. CDS 조도센서 실험군 및 대조군 설치 개념도

그림 3-2-25. 엔지니어링 테스트베드 CDS 조도센서 모듈 설치

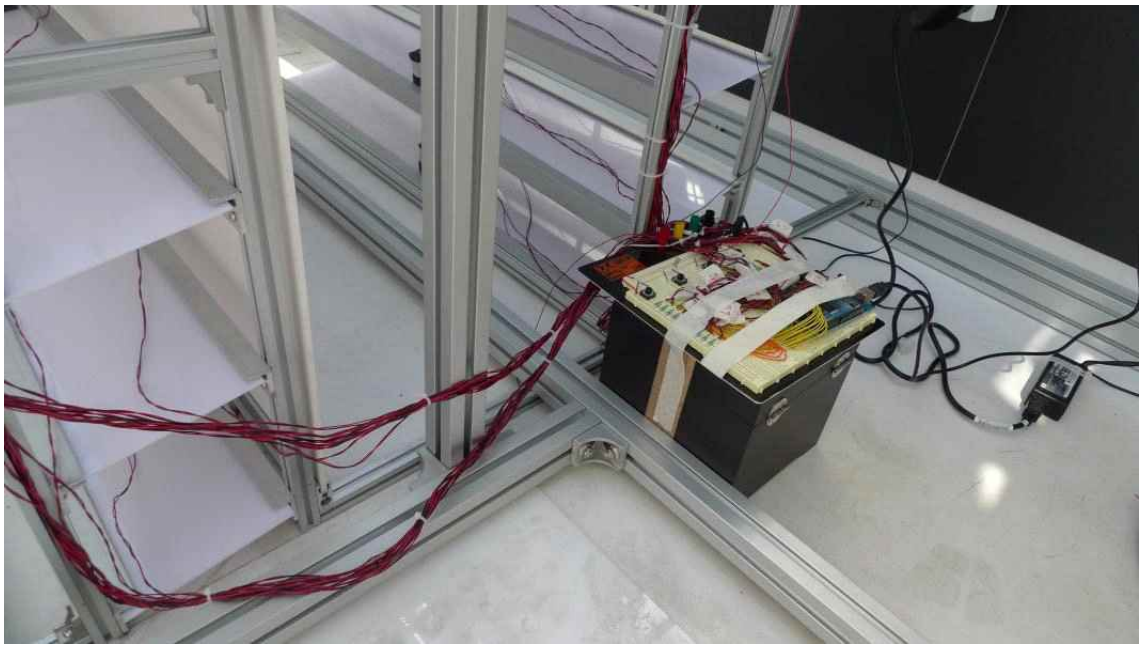


그림 3-2-26. 엔지니어링 테스트베드 조도센서모듈 데이터 로깅 회로구성

마. 엔지니어링 테스트베드 광환경 실험결과

○ 센서모듈의 측정값은 가변저항인 CDS 센서의 회로구성을 통해 조도에 따른 전류값으로 입력받고 실험에 사용된 CDS GL5537모델의 조도 대비 밝기는 럭스미터를 통한 보정그래프를 다음과 같이 도출

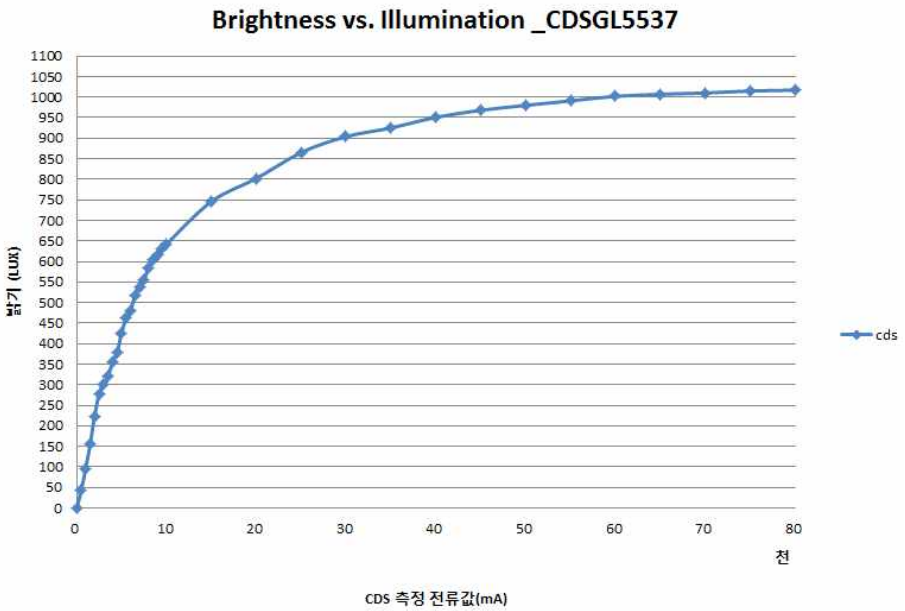


그림 3-2-27. CDS 센서값 대비 밝기의 상관관계

○ 청천공으로 천공일사량이 정오 8만럭스를 기록한 3월 12일자(춘분시)의 오전 9시에서 오후 5시까지의 실험결과 각 센서모듈 실험군 외측 A열, 내측 B열,

대조군 외측 C열, 내측 D열의 조도분포 경향은 다음과 같음

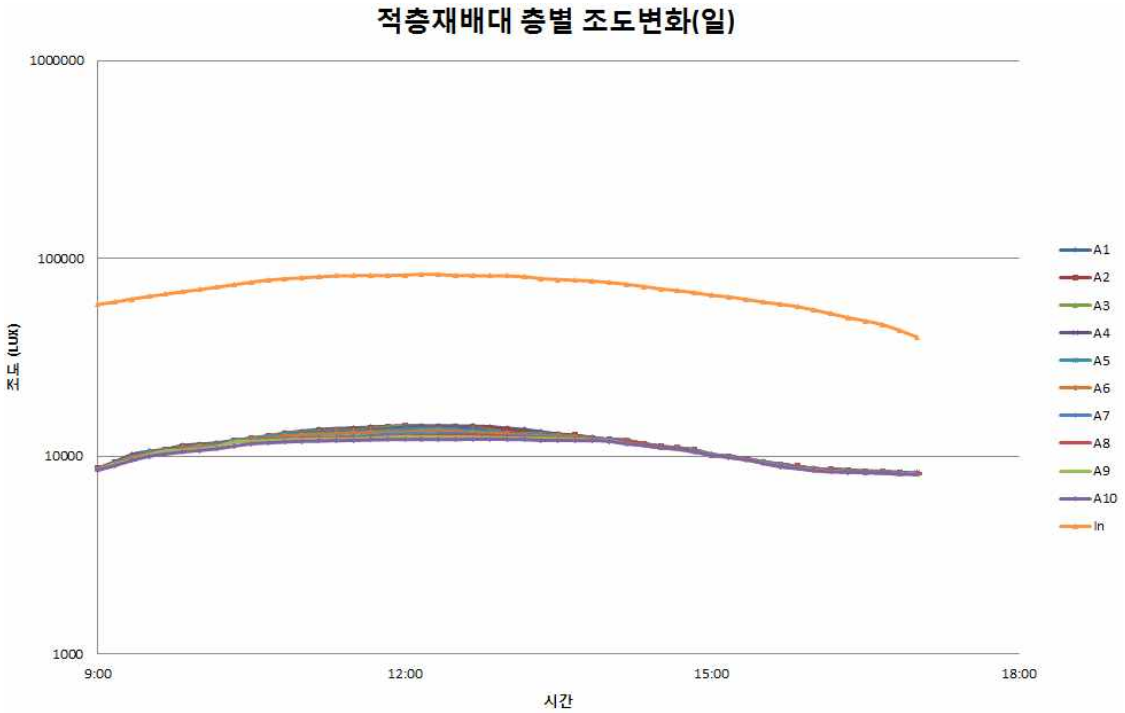


그림 3-2-28. 엔지니어링 테스트베드 온실내 입사 일사조도 대비 A열 층별 조도분포경향
(A1부터 상층에서 하층 차순, in: 온실내 입사 일사조도)

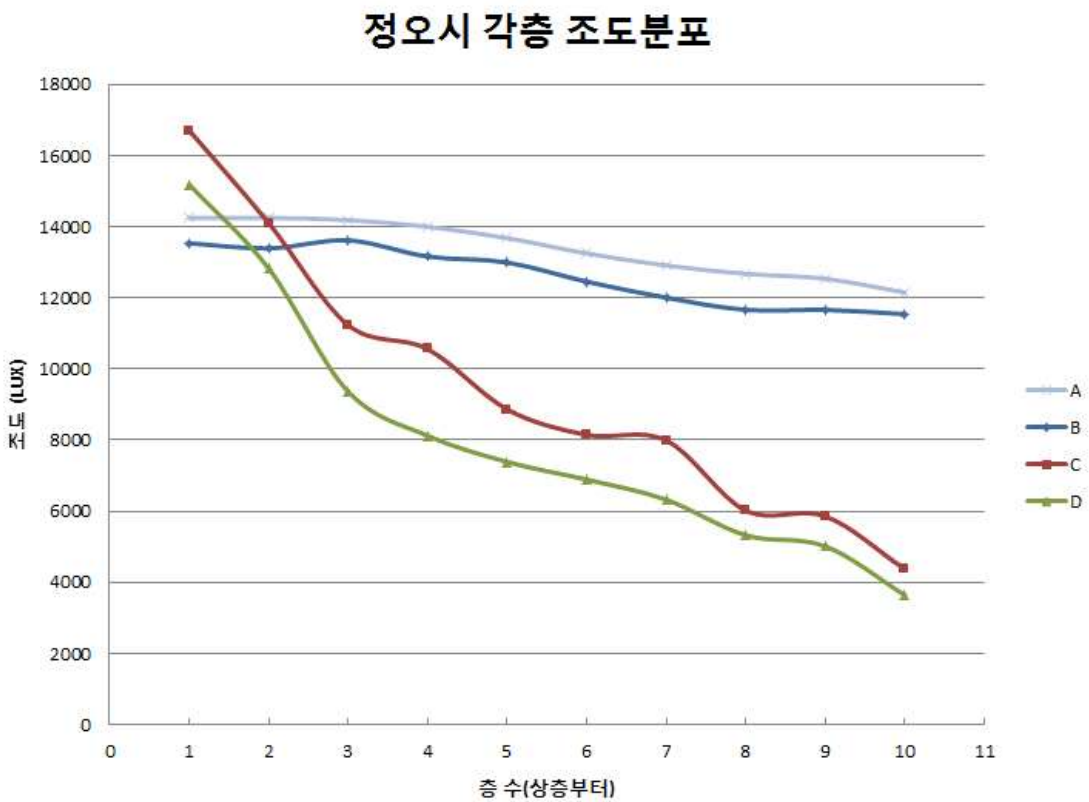


그림 3-2-29. 정오(12시)시 각 열의 각 층별 조도분포경향

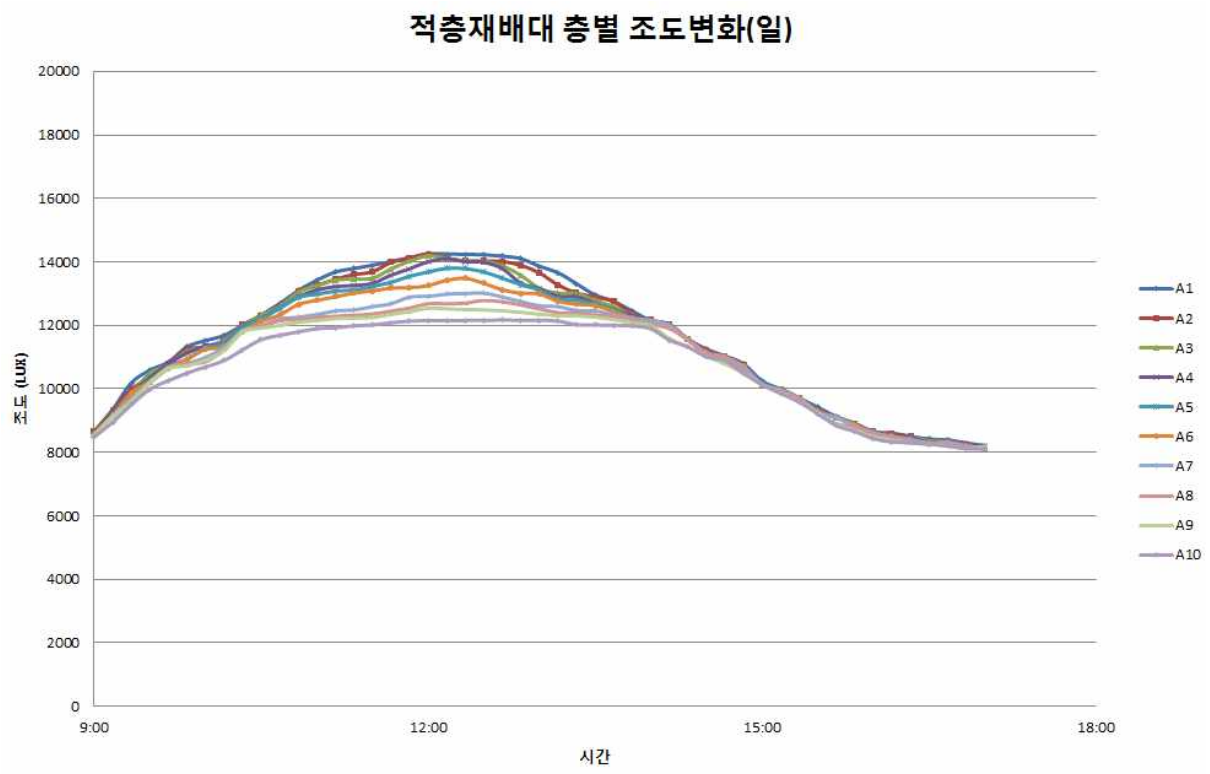


그림 3-2-30. 광선반 설치 실험군 A열 층별 조도분포경향
(A1부터 상층에서 하층 차순)

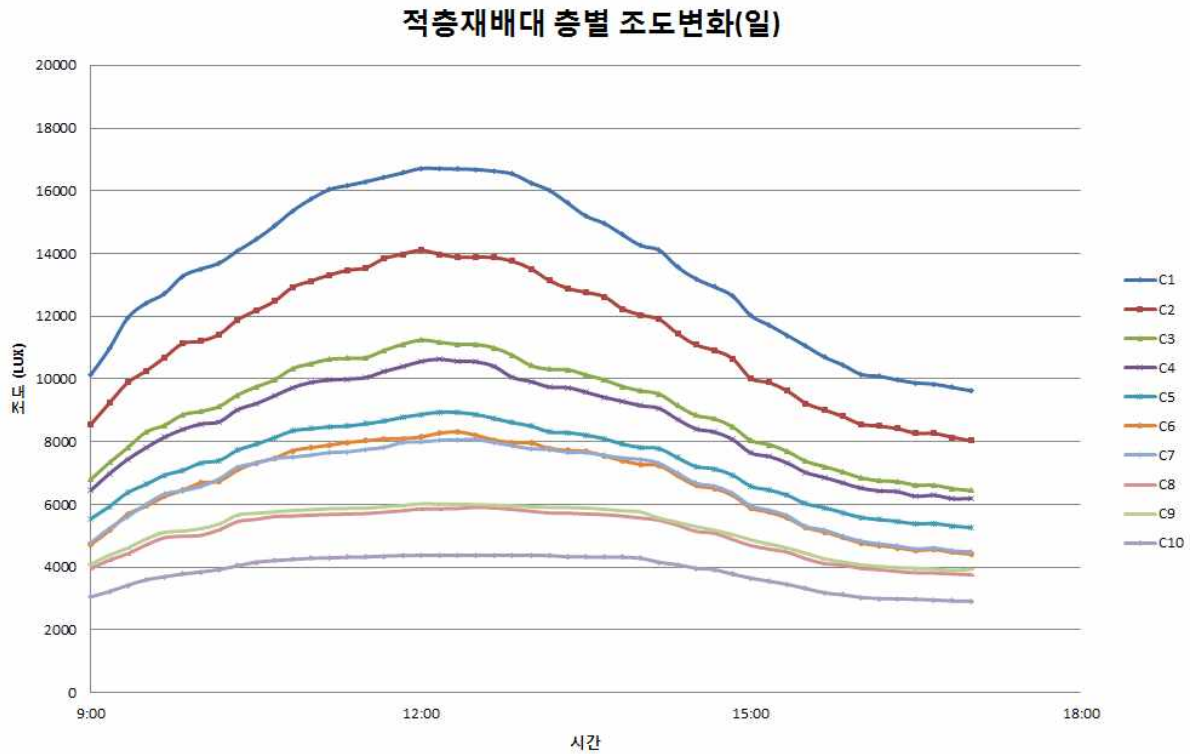


그림 3-2-31. 광선반 미설치 대조군 C열 층별 조도분포경향
(C1부터 상층에서 하층 차순)

○ 그림 3-2-28의 결과 일사량의 변화는 정오를 기준으로 조도가 높아졌다가 낮아지며 광공급설비에 의한 다층 트레이의 조도도 비슷한 경향으로 변함

○ 온실 내 입사 일사조도는 8만럭스 수준에 비해 광공급설비에 의한 각 층의 조도는 1만5천럭스 수준으로 대상작물인 상추재배에 적합한 2만5천럭스에 못 미치는 광량이 확보됨. 분석결과 시뮬레이션 대비 채광 반사패널의 반사효율이 대형화 및 제작의 문제로 예상한 90% 수준보다 낮은 60% 이하 수준으로 표면가공에 의한 효율저하가 낮은 광량확보의 원인으로 도출

그림 3-2-32. 엔지니어링 테스트베드 광공급 설비 산광패널, 실험군, 대조군 밝기 비교

○ 그림 3-2-29는 정오시점의 A, B, C, D각 열의 층별 조도분포 경향을 나타낸 것으로 실험군의 내외측인 A와 B열은 층별 조도편차가 비교적 낮으며 각 열간 조도 차이도 크지 않아 대조군 C와 D열 보다 균일한 광이 공급되는 경향을 보임

○ 그림 3-2-30과 그림 3-2-31은 광공급 설비를 구축한 실험군과 구축하지 않은 대조군의 층별 조도변화로 실험군이 각 층별 조도편차가 더 낮아 다층 재배트레이 상, 하단에 균일한 광이 공급되는 경향을 보임

○ 엔지니어링 테스트베드 구축 및 실증실험 결과 광환경 공급설비로 각 층별 표준화된 광 공급이 가능하나 광 공급효율을 높이기 위한 채광 반사패널의 반사율을 높일 수 있는 방안 모색이 필요함을 알 수 있음

바. 테스트 모델 시뮬레이션 결과 및 실험결과 비교

○ 시뮬레이션 결과 확산패널에 의한 암영대 제거는 효과적으로 나타났으며 재배트레이 내부까지 조도가 확보됨. 또한 재배부의 지엽적 위치에 비해 산란패널의 크기가 비교적 크기 때문에 중앙부 재배 트레이에서 광량 손실이 최소화

되었으며 충분히 작물 생육이 가능한 광환경이 생성됨

○ 시뮬레이션 테스트 결과 상관식은 $PPF = 2.1842 \times RAD$ 로 분석되었으며 상관계수는 0.9432이며 실증 테스트 결과 상관식은 $PPF = 1.6595 \times RAD$ 로 상관계수는 0.9542 으로 측정 포인트 내, 외부 및 상, 하단의 조도 분포도는 일정한 광분포로 도출됨

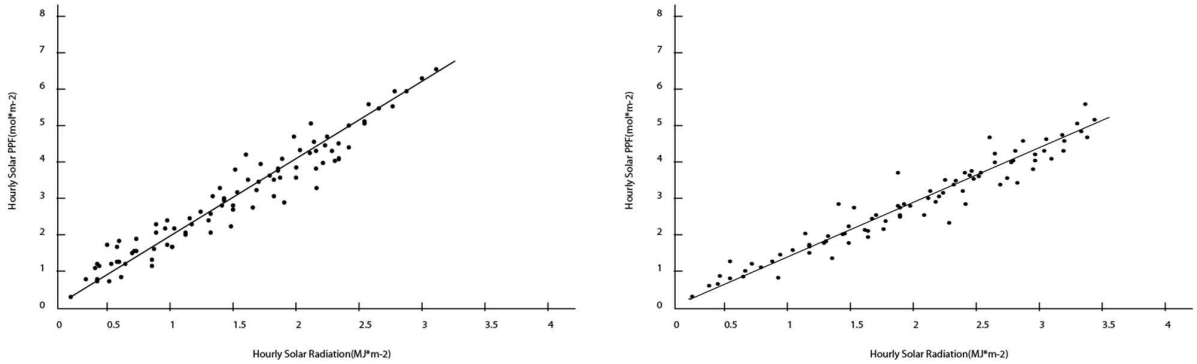


그림 3-2-33. 시간당 총 누적 전천일사량에 대한 광합성유효광량자속(좌: 시뮬레이션, 우:실증실험)

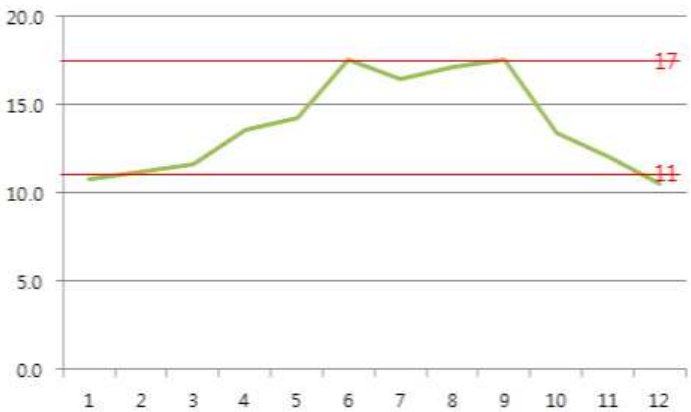
○ Blacjburn과 Proctor(1983)에 따르면 시간당 RAD와 PPF 사이의 상관관계는 하늘의 청명상태에 의존한다고 하였으며 운량의 증가와 더불어 PPF는 증가

○ 각 층 생육재배대의 식생트레이 PPF는 온실외부의 전천일사량으로부터 테스트 모델 시뮬레이션 결과값 및 실증실험을 통해 본 연구에서 유도된 아래 상관식을 이용하여 산정

$$PPF = 2.1842 \times RAD$$

$$PPF: \text{광합성유효광량자속}(mol \cdot m^{-2} \cdot d^{-1})$$

$$RAD: \text{전천일사량}(MJ \cdot m^{-2} \cdot d^{-1})$$



월	RAD	PPF
1	4.9	10.8
2	5.1	11.2
3	5.3	11.6
4	6.2	13.6
5	6.5	14.3
6	8.0	17.6
7	7.5	16.5
8	7.8	17.1
9	8.0	17.6
10	6.1	13.4
11	5.5	12.1
12	4.8	10.5

그림 3-2-34. 절기별 온실내 RAD 및 적층 재배대 식생트레이의 PPF 상관관계

○ 절기별 전천일사량에 온실 외피투율(85%)를 적용하여 유도된 상관식을 이용하여 산정하면 목표 PPF 요구조건인 11~17 $mol \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$ 조건을 만족하므로 포기형 상추를 포함한 다양한 엽채류의 재배가 가능함

7. 결 론

○ 절기별 태양 고도의 변화에 따른 광원의 입사각도를 분석해 보면 하절기를 제외한 추분-동지-춘분 기간에는 남향 식물공장 천창으로 태양광 입사각의 변화가 급격히 변하지 않기 때문에 일간 일정한 광 공급이 가능. 춘분-하지-추분 기간에는 태양광 입사각이 오전과 오후를 기준으로 북에서 남향으로 입사각이 변하며 이에 대응할 수 있는 광 공급 및 분산 시스템이 요구됨

○ 본 연구는 국내 광환경을 중심으로 적층형 밀식재배공간에 적용 가능한 태양광 분배 시스템을 디자인하고 적용된 광선반 설비의 형태, 재질 및 구동요소에 따른 태양광 분배 효과를 예측하기 위한 연구이며 시뮬레이션 결과를 통한 절기별 일사량, 분배효율 및 시설내 조도수준과 균제도에 관한 결론은 다음과 같음

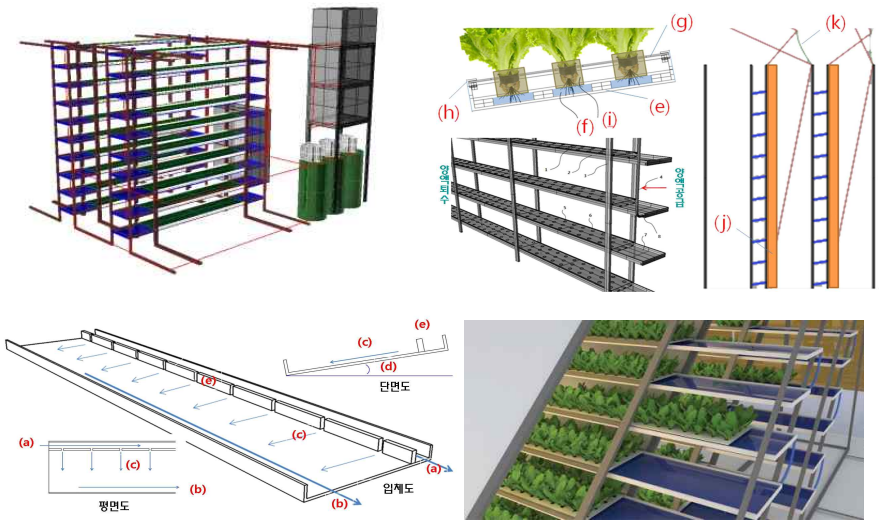
○ 광 배분시스템은 자연광 효율 극대화를 위해서 다단 적층형 트레이 골고루 태양광을 분산시키기 위한 천장설치형 반사판으로 이루어진 채광부와 이를 통해 반사된 빛을 분산시켜 트레이의 작물들에 전달하는 광분산판으로 이루어진 산광부로 구성

○ 계절에 따른 천공 일사량의 분석을 통해 광분산 시스템을 통한 생육설비내 연중 산광량이 식물생육에 충분한지의 여부를 판단하였을 때 대표 작물의 광포화점 20,000Lux에 가까운 조도가 확보되었으며 이는 본 설비를 통한 연중 작물재배가 가능함을 나타냄

○ 태양고도 및 방향의 변화에 따라 요구되는 채광부 액티브 요소의 최소화를 위해 최적화된 재배시설의 배치와 채광 설비 디자인이 중요하며 시간에 따라 남향에서 북향으로 변화하는 태양광의 방향을 효과적으로 채광하기 위해서는 액티브 요소 도입 필요. 기존의 태양추적시스템의 대형화가 가능한 대안을 모색하여 단일 축 남향 광선반 패널을 활용한 채광 시스템을 도입

○ 시뮬레이션 결과를 통해 제어된 이상적인 조건에서의 분석결과를 내는 한계를 나타냈지만 연구의 목적처럼 가변적인 곡면-평면 조합형 광선반을 통해 실제 기상데이터를 기반으로 작물재배 가능여부를 확인하고자 함에 있고 결과 또한 광 분산 효과 및 재배 가능성이 나타나 향후 다양한 타입의 적용을 통해 광분산패널의 형태 개선을 통한 더 높은 광 전달 효율을 기대할 수 있을 것으로 기대

3절 적층밀식재배 양액공급 및 생육설비

<table>
<tr><td>연구개발성과물</td><td colspan="4">자연광이용 식물공장 적층밀식재배 장치</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구개발
성과물의 성격</td><td>요소기술</td><td>설계안</td><td>시작품</td><td>제품</td></tr>
<tr><td>O</td><td>O</td><td>O</td><td></td></tr>
<tr><td>연구내용</td><td colspan="4">○ 자연광이용 식물공장 적층밀식재배시설을 위해 적층구조로 발생되는 암영대를 최소화 하여 자연광 공급을 효과적으로 유도하며 동시에 밀식성, 확장성, 재배자동화를 고려한 새로운 양액공급 설비 설계
○ 베이스부와 양액트레이부, 식생트레이부, 양액공급기, 제어부로 구성된 재배 자동화가 가능한 식생트레이 이송형 적층밀식재배장치 설계
○ 스펀지 재배방식으로 양액공급을 담당하는 양액트레이부를 통해 양액을 주기적으로 흘려 순환 공급하는 방식을 도입
○ 다단적층형 재배장치의 각 층 작물생육 트레이를 기울어진 형태로 배치하여 자연광 공급설비를 통한 태양광의 작물별 수광효율을 극대화
○ 양액공급 트레이에 요철을 도입하여 양액공급시 발생하는 공급 불균형을 해소하고 공급원으로부터 거리에 상관없이 표준화된 양액공급이 가능하도록 설계
 

자연광이용 식물공장 적층밀식재배 장치</td></tr>
<tr><td>향후연구과제</td><td colspan="4">○ 다품종 작물재배가 가능하도록 담액재배 방식을 개선하여 작물재배 트레이가 이동 가능한 형태로 자동화 설비를 구축
○ 양액순환설비를 통해 요구 양액농도 변화에 실시간 능동적으로 대처하고 폐양액의 배출을 제로화 하여 최소의 자원으로 작물재배가 가능한 고효율 순환설비 구축
○ 생육설비 완전자동화를 위한 재배로봇시스템 도입</td></tr>
</table>

1. 연구 배경 및 목적

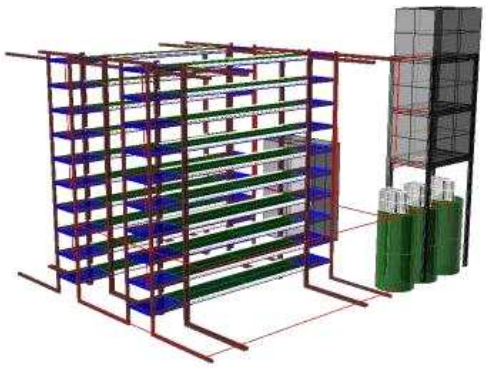
○ 본 연구에서는 적층형 밀식재배시설의 작물 생육공간 구축을 위해 대상작물의 생육특성과 구축된 자연광 공급 설비구조를 바탕으로, 하나의 시설에서 작물마다 별도의 양분조성을 실시간으로 조합 가능한 새로운 양액 공급방식과 생육설비 시스템을 제시

○ 양액을 적층형 구조에 의한 태양광 암영대를 최소화하기 위해 설계된 상기 양액 트레이부에 자동으로 공급하여 식생트레이부의 식생에 자연광의 빛 가림 없이 효과적으로 작물별 표준화된 양액을 동시에 공급하기 위한 다중식생 양액공급설비 구축

○ 생육설비 구조를 시설재배 자동화에 초점을 두어 파종, 생육, 수확으로 재배공간을 분업화 하였으며 생육부를 시설규모별 확장 가능한 부분으로 모듈화. 이를 위해 수로식 양액재배 방식을 개선하여 작물재배 트레이가 이동 가능한 형태로 자동화 설비를 구축하였으며 다품종 작물재배가 가능하도록 가변화된 설비를 구축

○ 또한 지속적인 양액순환 설비를 통해 요구 양액 농도 변화에 능동적으로 대처하고 폐양액의 배출을 제로화 하여 최소의 자원으로 작물재배가 가능

○ 본 연구는 적층형 밀식재배공간을 구축하여 자연광만으로 효과적인 다층 작물생육이 가능한 도농복합지역형 스마트 그린하우스의 새로운 생육환경 시스템 도출을 목적으로 함



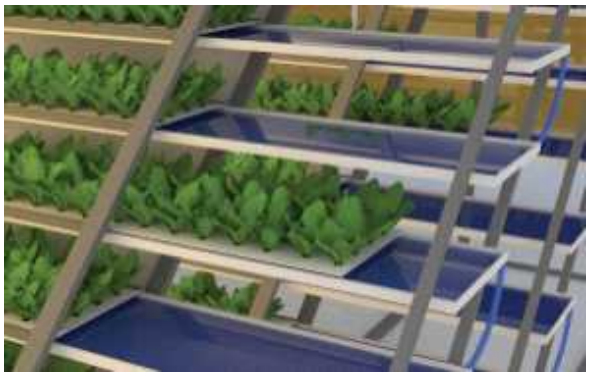


그림 3-3-1. 공장형 표준화된 작물재배를 위한 트레이 재배시설 개요도

2. 연구방법 및 범위

○ 종래기술에 대한 인공광원 대체로 인해 발생되는 문제점을 해결하기 위한 것으로 기존 밀식재배시설의 인공광원을 자연광으로 대체하여 광원설치의 초기투자

비와 전력을 포함한 운영비를 줄이며 자연환경에 가까운 인공환경 구축으로 생산 작물의 품질을 높이기 위한 본 시스템이 지향하는 완전 자연광 밀식재배시설의 적층으로 인한 암영대를 최소화 하여 자연광 공급을 효과적으로 유도하며 동시에 적층재배, 재배자동화, 확장성을 고려한 새로운 양액공급설비 구조 설계

○ 재배가능 작물 목록을 기반으로 작물별 환경요구조건 및 양액공급 요구 요소 분석을 통한 순환형 양액공급라인 설계

○ 밀식재배가 가능한 효율적인 재배작물별 맞춤 시설트레이 규격 설계를 통한 작물별 가용공간확보를 위한 가변적 시설구조 설계 및 공장형 표준화된 작물재배를 위한 재배트레이 구조 디자인 및 작물에 최적화된 형태 결정

○ 이러한 연속 식물 재배 장치를 구성하는데 필요하도록 연속 링크 수단에 의해 연결된 식물 재배 베드를 제한동 공간을 가징 재배 하우징 내에서 다단으로 적층된 상태를 유지하면서, 각각의 재배 베드를 지지하고 있는 지지 장치를 연속적으로 구성이 가능하고, 식생을 이송시켜서 재배 하우징 내에서 순환시킬 수 있는 순환 이송 장치를 제공

○ 시설확장가능성을 고려한 전후좌우 확장 설계시 모두 사용가능한 가변적 디자인을 통한 작업공간의 효율적인 공간 구성을 통해 사용자의 효과적인 공간 확보

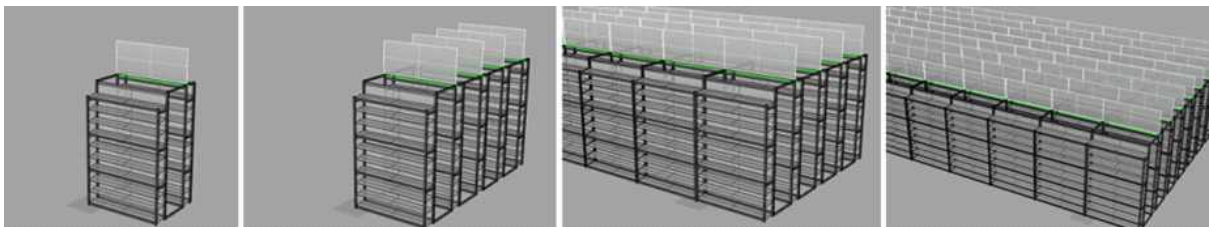


그림 3-3-2. 농업시설의 확장가능성을 고려한 모듈화 확장가변설계

3. 공장형 표준 작물재배를 위한 트레이 재배시설구조

○ 본 적층형 완전태양광 밀식재배시설의 양액공급설비는 베이스부와 식생트레이부 및 양액공급기, 제어부, 양액트레이부로 이루어져 양액공급기에 의해 액비와 원수를 혼합한 양액을 적층형 구조에 의한 태양광 암영대를 최소화하기 위해 설계된 상기 양액트레이부에 자동으로 공급하여 식생트레이부의 식생에 자연광의 빛 가림 없이 효과적으로 작물별 표준화된 양액을 동시에 공급

○ 작물재배대는 알루미늄 파이프로 제작하고, 다층구조로 만들어 각 층마다 수평으로 달리는 두 구조부재 사이에 작물을 실제 식재한 모듈화된 트레이들을 사선으로 기울어진 구조로 연결하여 올려놓음. 작물재배대는 전체적으로 사선으로 기울

여 자연광을 다층의 작물 트레이에 골고루 분산시킬 수 있는 태양의 입사각을 고려하여 설계

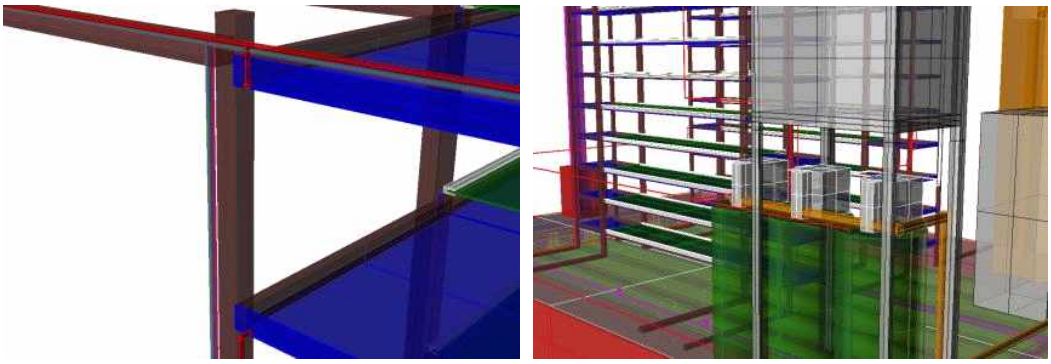


그림 3-3-3. 식물공장 단위 테스트모델 상세 구성도(양액공급라인)

○ 다단적층형 재배장치의 각 층 양액공급 트레이 및 작물생육 트레이를 기울어진 형태로 배치하여 수광효율을 극대화

○ 수직형 작물재배대의 양액트레이는 층별로 각각 사선으로 10도 기운 형태를 띄며 이는 적층형 완전태양광 밀식재배시설의 광공급설비를 통한 자연광을 다층의 작물 식생부에 효과적으로 분산시키켜 작물재배의 광 요구조건을 충족시키며 이는 작물이 성장함에 따른 빛가림 효과를 최소화 할 수 있는 기울기로 작물을 각 층별 다열 재배가 가능

○ 작물재배대 상부에 얹히게 되는 식생트레이부 모듈들은 작물의 종류에 따라 다른 크기와 깊이 및 작물 간 간격설정을 갖게 되며 스펀지 재배방식으로 양액공급을 담당하는 양액트레이부를 통해 양액을 주기적으로 흘려 트레이에 담는 형식으로 양분 공급

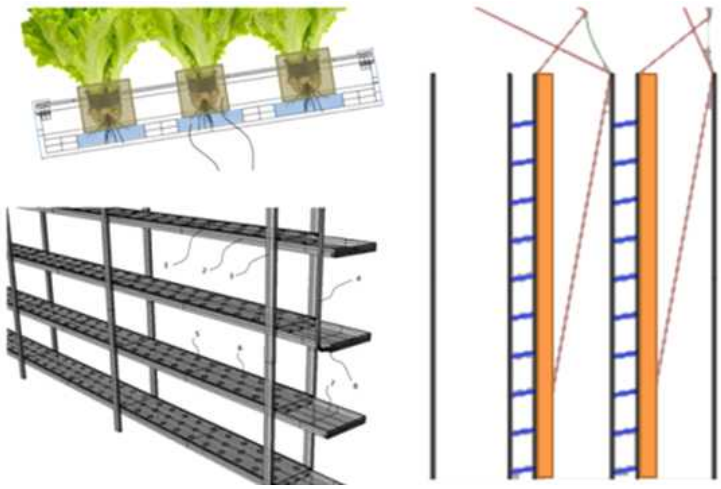


그림 3-3-4. 적층형 재배대 양액 및 식생트레이 구성 및 설치 개요도

○ 작물재배대의 각 층을 가로지르는 수평방향 프레임들은 모두 속이 빈 금속관의 형태로 그 중 하나에는 각 층별로 서로 다른 성분의 양액공급이 가능하도록 한쪽 끝은 막히고 다른 한쪽은 양액공급장치의 말단에 튜브로 연결된 구조

○ 작물재배프레임 상부에 얹히게 되는 작물 트레이들은 경량 재료(플라스틱)로 만들어지고 작물의 종류에 따라 다른 크기와 깊이 및 작물 간 간격설정을 갖게 되며 각 트레이는 양액공급을 담당하는 트레이 프레임의 가로부재를 통해 양액을 주기적으로 흘려 트레이에 담는 형식으로 양분 공급

○ 작물재배대의 각 층을 가로지르는 수평방향 프레임들은 모두 속이 빈 금속관의 형태로 그 중 하나에는 각 층별로 서로 다른 성분의 양액공급이 가능하도록 한쪽 끝은 막히고 다른 한쪽은 양액공급장치의 말단에 튜브로 연결된 구조

○ 작물재배대의 각 층을 가로지르는 수평방향 프레임들 중 다른 하나와 수직방향 프레임들은 속이 빈 금속관을 통해 상호 연결되어 있고 각 층별로 중앙에서 공급되는 이산화탄소와 미스트 분사가 가능한 구조로 설치

○ 양액트레이 상부에 요철을 제작하여 양액공급시 기울어져 발생 하는 상하부 양액공급의 불균형 해소 및 양액공급트레이가 사선으로 기울면서 효과적인 광공급과 동시에 양액공급기로부터의 거리에 상관없이 표준화된 양액공급이 가능

○ 양액트레이부는 내부 일정한 간격의 틈을 갖는 요철로 상단 양액의 주 흐름에 따라 요철의 틈으로 파생되는 양액흐름을 통해 식생트레이부에 스펀지 파종된 작물은 양액공급기로부터의 거리에 상관없이 표준화된 양액을 공급

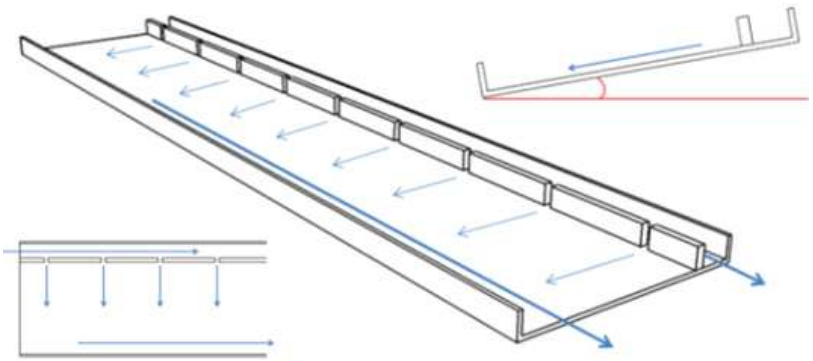


그림 3-3-5. 양액트레이부 표준양액공급 요철 설계안

○ 각 트레이 프레임의 양 끝단에 놓이는 트레이들은 파종 혹은 수확을 위한 트레이들로 각 트레이의 레일을 통해 파종단에서부터 연속적으로 연결된 트레이들을 밀었을 때 수확단의 트레이가 하나씩 회수 될 수 있는 구조

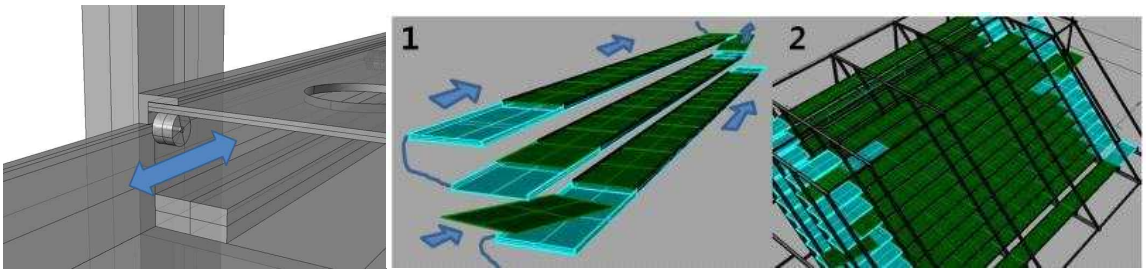


그림 3-3-6. 공장형 표준화된 작물재배를 위한 트레이 재배시설 구조

4. 작물별 요구환경을 만족하는 다중식생장치 및 양액공급장치

○ 작물별 요구 양액성분 비율 분석 및 공급시스템을 통한 다중식생장치 설계. 동시에 다양한 작물을 재배할 수 있는 자동 양액공급시스템 구성. 양액공급 시스템은 재배트레이의 각 층별 서로 다른 작물을 재배한다는 가정하여 층별로 서로 다른 조성의 양액들을 공급할 수 있는 다품종 가변형 양액공급 시스템으로 설계

○ 양액원료분류저장모듈은 각 양액원료 용기에 질소, 인, 칼륨 등 영양소 액체는 물론, 우수탱크로부터 공급되는 물까지 필요한 모든 원재료를 각기 분류해 담아 놓은 용기들과 이들을 양액 가변화 조제모듈에 연결하는 관로 혹은 튜브들을 포함

○ 양액 가변화 조제모듈은 양액원료분류저장모듈의 각 원료저장 용기들로부터 다양한 양액원료들을 수급 받아 이를 혼합 조제하여 특정한 작물에 맞는 양액을 만드는 역할을 수행하며 이 때 필요한 양액원료들의 양은 컴퓨터에 의해 계산되고 양액원료분류저장모듈의 각 원료저장 용기들에 부착된 밸브들에 의해 양액조제를 위한 각 원료들의 함량제어가 이루어짐

○ 양액공급모듈은 양액 가변화 조제모듈로 부터 만들어진 양액을 각 각 별도의 임시저장 용기에 보낸 후 거기에서 필요한 트레이들에 주기적으로 혹은 정해진 시간대에 펌프에 의해 수급하는 역할을 담당

○ 자연광이용 적층형 재배장치는 양액을 이용한 수로식 양액재배방식을 기반으로 함. 양액재배는 양액과 뿌리부분의 배지조건을 인위적으로 정밀하게 조절할 수 있으므로 환경을 균일하게 유지하여 작물의 생육조건을 최적으로 할 수 있음. 또한 수로식 재배방식은 고형배지 및 양액포트 없이 설치가 가능하여 경량설계가 가능하고 식물공장과 같은 대량생산시설에 적합

○ 작물별 요구 양액성분 비율 분석 및 공급시스템을 통한 다중식생장치 설계. 동시에 다양한 작물을 재배할 수 있는 자동 양액공급시스템 구성

○ 양액공급장비의 냉·난방화를 통한 작물의 직접 냉·난방시설 도입, 효과적인 냉, 난방으로 비상대처능력 확보 및 수질환경 개선

○ 양액공급 시스템은 재배트레이의 각 층별 서로 다른 작물을 재배한다는 가정하여 층별로 서로 다른 조성의 양액들을 공급할 수 있는 다품종 가변형 양액공급 시스템으로 설계. 양액공급 시스템은 크게 양액원료분류저장모듈, 양액가변화조제모듈 그리고 양액공급모듈의 세 가지 모듈로 구성

다량요소(g/ton)			미량요소(g/ton)	
	비 료 종 류	소요량	비 료 종 류	소요량
A액	질산칼슘 [$5Ca(NO_3)_2 \cdot 2H_2O)NH_4NO_3$]	540	붕산 [H_3BO_3]	3
	질산가리 [KNO_3]	200	황산망간 [$MnSO_4 \cdot 4H_2O$]	2
	킬레이트철 [Fe-EDTA]	20	황산아연 [$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$]	0.22
	질산암모늄[NH_4NO_3]	16	황산구리 [$CuSO_4 \cdot 5H_2O$]	0.05
B액	질산가리 [KNO_3]	436	몰리브덴산나트륨 [$Na_2MoO_4 \cdot 2H_2O$]	0.02
	황산마그네슘 [$MgSO_4 \cdot 7H_2O$]	246		
	제1인산칼륨 KH_2PO_4]	91		

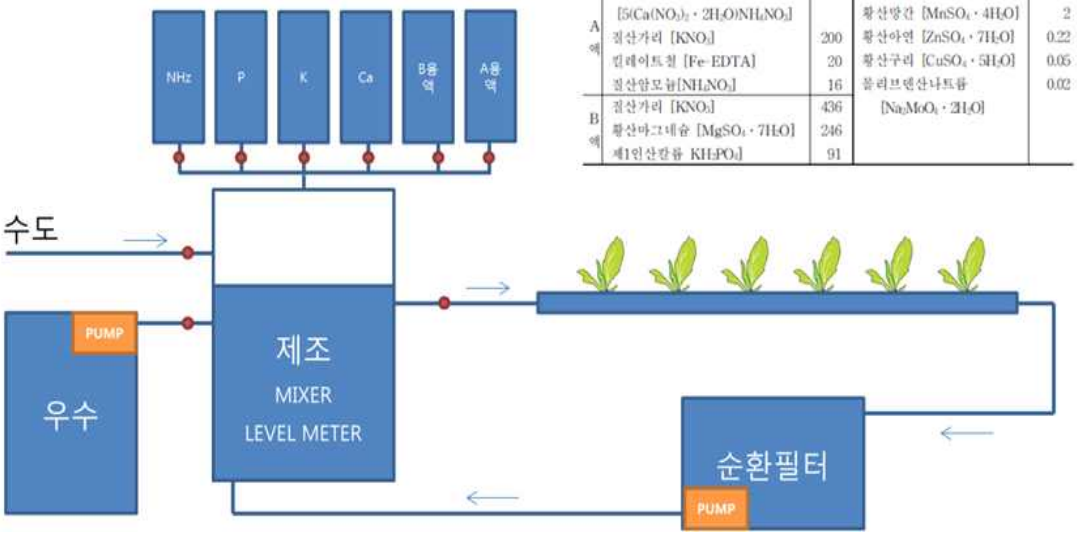


그림 3-3-7. 작물별 맞춤 양액공급설비 개요도

○ 양액원료분류저장모듈은 각 양액원료 용기에 질소, 인, 칼륨 등 영양소 액체는 물론, 우수탱크로부터 공급되는 물까지 필요한 모든 원재료를 각기 분류해 담아 놓은 용기들과 이들을 양액 가변화 조제모듈에 연결하는 관로 혹은 튜브들을 포함

○ 양액 가변화 조제모듈은 양액원료분류저장모듈의 각 원료저장 용기들로부터 다양한 양액원료들을 수급 받아 이를 혼합 조제하여 특정한 작물에 맞는 양액을 만드는 역할을 수행하며 이 때 필요한 양액원료들의 양은 컴퓨터에 의해 계산되고 양액원료분류저장모듈의 각 원료저장 용기들에 부착된 밸브들에 의해 양액조제를 위한 각 원료들의 함량제어가 이루어짐

○ 양액공급모듈은 양액 가변화 조제모듈로 부터 만들어진 양액을 각 각 별도의 임시저장 용기에 보낸 후 필요한 트레이들에 주기적으로 혹은 정해진 시간대에 펌프에 의해 수급하는 역할을 담당

5. 결론

○ 적층형 밀식재배시설의 실내조명에너지 절약과 동시에 생육공간의 조도확보를 위해 효과적인 태양광 배분이 가능

○ 밀식재배 공간에서의 암영대 제거를 통해 시설 내 질적으로 우수한 자연채광을 적층형 밀식재배공간에 표준화된 일사량을 제공

○ 자연채광을 효과적으로 도입하기 위해 완전 자연광 적층형 밀식재배시설에 특화된 양액공급설비 시스템을 도입하여 기존의 적층형 재배시설과는 달리 자연채광 입사를 극대화 하여 적은에너지로도 식물을 효과적으로 재배 가능

○ 본 연구는 자연광 기반의 다층형 작물 생육설비를 대상으로 함. 식물공장에 있어서 작물생산 효율성 증가와, 에너지 및 탄소저감을 위한 한정된 자연광원활용의 극대화를 도모하고 이러한 수직적 자연광 분배 구조에 기반하여 새로운 다층구조의 사선형 작물생육 시설 프레임과 트레이 이송 시스템을 함께 해결

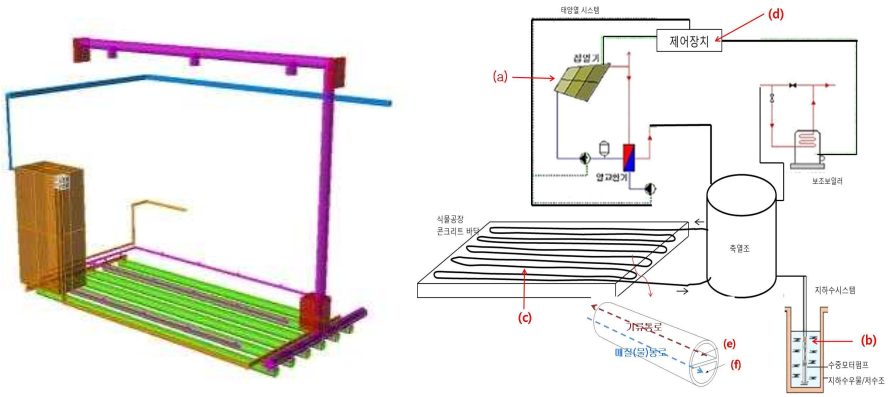
○ 생육설비부는 다시 다층형 생육 트레이들을 지지하는 수직형 생육 구조 프레임부와 이러한 구조체의 각 단에서 실제 작물의 생육단위를 구성하는 생육 트레이부로 구성

○ 자연광 채광의 엑티브 요소를 최소화하기 위해 최적화된 재배시설 배치와 채광설비의 디자인이 중요하며 위도에 따라 태양고도 및 방향의 절기별 분석을 통해 광원의 방향 변화에도 항상 최적의 채광이 가능한 시설로 제어. 본 광배분시스템의 생육설비구조는 채광부와 산광부의 효율적인 광 분산을 위해 독특한 사선구조로 설계

○ 파종에서 수확까지 각 단의 트레이들을 수평으로 이동시킬 수 있도록 트레이가 구조체의 레일을 따라, 최소한의 마찰력으로 밀려서 파종부로부터 수확부까지 순차적으로 트레이들이 이동할 수 있게 하고 각 단별로 순환형 양액공급 관로를 만들어서 각 단별 상이한 작물의 재배가 가능하며 파종에서 수확까지 최소한의 인력을 통하여 식물공장의 생산라인을 가동함으로써 다품종 작물 재배, 작물 생상성 및 경제성 향상과 작물생산 인력 최소화 및 자동화에 기여

4절 액티브 축열 냉난방 설비

<table>
<tr><td>연구개발성과물</td><td colspan="4">식물공장용 태양열 및 지하수 연계형
하이브리드 매질기반 바닥 축열체 냉난방 시스템</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구개발
성과물의 성격</td><td>요소기술</td><td>설계안</td><td>시작품</td><td>제품</td></tr>
<tr><td>O</td><td>O</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>연구내용</td><td colspan="4">○ 국내 공동주택에서 많이 사용하는 온돌 시스템을 식물공장 지반 콘크리트 구조물에 도입하여, 태양열(온열원)과 지하수 및 상수도(냉열원)를 활용해 지열시스템과 같은 효과를 내는 액티브 축열 냉난방 시스템 설계
○ 바닥 콘크리트 내부 관로에서 물과 공기를 동시에 교차시켜 효과적인 열교환을 유도하고 공조를 통한 냉난방과 급탕까지 일괄적으로 해결하는 시스템 설계
○ 광공급 시스템 반사패널의 폐열회수 냉각장치(온열원)와 지하수 및 상수도설비(냉열원)와 연계된 열원부, 바닥 콘크리트와 지하 단열격벽 및 상토층으로 구성된 축열부와 이에 매립되는 관로부 및 구동제어부로 구성된 냉난방 시스템 설계
○ 매설되는 관로를 통한 축열효과로 절기별 일정한 공조 기류온도를 확보하여 지열시스템과 같은 효과를 유도함과 동시에 설치가 간편하고 비용이 저렴한 장점이 있어 시스템 보급 활성화를 도모

식물공장용 태양열 및 지하수 연계형
하이브리드 매질기반 바닥 축열체 냉난방 시스템</td></tr>
<tr><td>향후연구과제</td><td colspan="4">○ 시스템 구축 구성 결정요소에 대한 열적 성능 시뮬레이션 및 실험 평가
○ 시스템에 대한 정량적 설계 및 시공 시방서 도출
○ 기존 신재생 에너지 활용 연구방안 대비 적용 가능성 검토를 통한 운영 타당성 확보
○ 실증 테스트베드 구축을 통한 설비성능 검증 및 추가설계 대안 도출</td></tr>
</table>

1. 연구 배경 및 목적

○ 기존의 온실이나 비닐하우스는 에너지 효율이 낮고 기후변화에 따라 생산성 영향이 크며 초기투자비와 운영비가 높고 생산단가가 높아 지속가능성과 경제성을 극대화한 농업용 시설의 상용화가 요구됨

○ 본 연구는 기후조건이나 설치 장소에 구애받지 않고 에너지소비와 탄소배출량을 극소화하는 방식으로 다양한 품종의 작물을 낮은 생산단가로 재배할 수 있는 첨단 정보기술로 제어되는 도농복합지역형 작물인공재배시설로서의 스마트그린하우스 개발을 목적함

○ 연구목적을 달성하기 위한 세부연구내용은 적층형 밀식재배를 위한 태양광 공급, 지속가능한 신재생에너지 활용 온실 미시기후 조절, 다품종 작물 밀식재배를 위한 생육 재배환경 구축으로 구성. 본 연구는 적층형 밀식재배공간을 구축하여 자연광으로도 다층 작물 생육이 가능한 도농복합지역형 스마트그린하우스의 새로운 열환경 시스템을 제시

2. 연구 방법 및 범위

○ 본 연구의 방법으로는 국내 기후를 중심으로 적층형 밀식재배공간의 생육환경 분석을 통해 적용 가능한 시설 내 신재생 에너지 활용 미시기후 조절 시스템을 디자인

○ 적용된 신재생 설비의 구성 및 요소에 따른 에너지 대체 효과를 다른 선행연구들을 통해 예측하고 식물재배 가능성 여부를 분석

○ 시설특성상 적용 연구는 연간 절기별 상황에 맞추어 국내 기준으로 한정하여 절기별 온도, 일사량에 근거하여 시설 내 온도분포와 기류형성을 예측

3. 작물생육을 위한 식물공장 열환경 분석

가. 기존 온실 열환경 구축 개요

○ 기존 양액재배시설에서 절기별 봄, 가을은 상추의 적정재배시기로 기존 시설 재배시 추가적인 냉, 난방 없이 재배가 가능. 하지만 여름철 고온기와 겨울철 저온기 재배 시 시설의 열환경 유지는 작물재배에 필수적 요소로 전기 냉방설비와 등유 난방설비에 주로 의존.[3)4)]

○ 여름철 전기 냉방시설은 재배시설 구조상 효율이 낮아 거의 사용되고 있지 않으며 온실 개방을 통한 자연환기로 고온에 강한 작물을 재배함으로써 극복. 작물은 봄, 가을에 비해 품질이 떨어지고, 장다리가 일찍 되어 수량성이 떨어지고, 잎의 색이 옅어지거나 흩어지는 적색발현이 불안정하여 고온에 강한 제한적인 품종을 재배

○ 겨울철 가온재배는 난방연료의 95%가 유류를 사용하고 있어 생산비 중에서 연료비가 차지하는 비중이 높음. 난방 방식은 주로 온풍 난방기에 일반적으로 사용되고 있는 덕트를 개선하여 시설 내 온도 편차를 줄이고 난방에너지를 절감

○ 무가온 시설에서는 낮 동안에 태양열을 시설에 축적했다가 밤에 그 축적된 열을 방열하여 보온. 그러나 날씨가 흐리거나 눈, 또는 비가 오는 날에는 방열만 계속되어 시설의 기온이 떨어져 외피복면에서 방열이 지나치게 많은 경우에는 시설 온도가 바깥기온보다 낮은 기온의 피복연전 현상이 일어남. 피복 역전현상은 소형 비닐터널에서 주로 발생

나. 작물의 온도 요구조건 분석

○ 온도 조건은 작물수확량과 품질에 큰 영향을 끼침. 대상작물인 상추는 호냉성으로 냉랭한 기후를 좋아하며 싹이 나고 잘 자라는 적정온도는 15~20℃. 알들이에 알맞은 온도는 그보다 낮은 10~16℃. 30℃ 이상 고온과 5℃이하의 저온에서는 발아가 거의 되지 않음[5)]

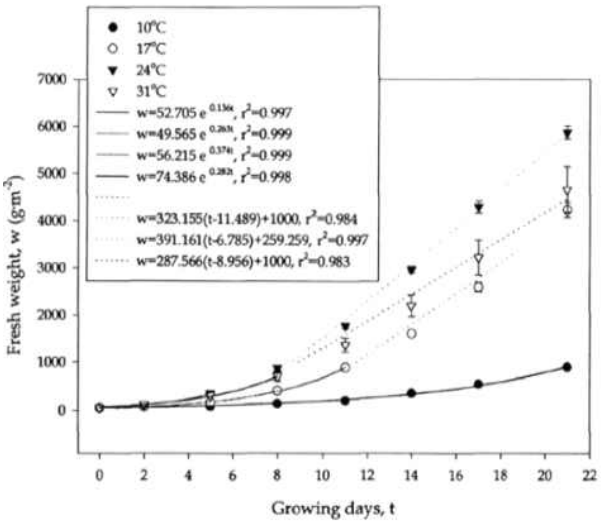


그림 3-4-1. 일간 평균온도에 따른 상추의 생육중량 변화

3) 김순주 외, 다목적 그린하우스의 실내온열환경에 관한 실측 연구, 한국태양에너지학회, 2006
4) 김인식 외, 표준영농교본 상추재배, 농촌진흥청 2007
5) 문보흠 외, 일평균 온도에 따른 상추 생체중 증가 해석, 원예연구소, 2002

○ 상추 생육에서 잎의 분화는 낮 온도보다 밤 온도의 영향을 많이 받는데 10~15℃에서 잎의 분화가 가장 활발하며 10℃ 이하에서는 잎의 분화가 거의 이루어지지 않으며 15℃ 이상에서도 증가하지 않음. 지상부 온도는 생육 적온과 같은 15℃에서 20℃범위에서 양호한 생육을 보임

○ 꽃눈분화는 고온에서 촉진되며 5℃ 이상의 적산온도로 늦장다리인 그레이트레이크(Great lakes)가 17℃에서, 장다리성이 중간정도인 뉴욕(New york) 12호는 15℃에서 꽃눈이 분화한다. 꽃눈이 분화한 후 25℃에서 10일. 20℃에서 20일, 15℃에서 30일 가량에 장다리 되나 15℃이하에서는 장다리가 많이 늦어짐

다. 국내 대상지역 기후 열환경 분석

○ 본 연구에서 도출중인 새로운 유형의 식물공장의 가상설치 대상지역인 대전은 일조조건이 좋고 바람이 적으며 강우량도 작물재배에 충분함. 대전시의 기상데이터를 바탕으로 전반적인 기후 특성을 검토

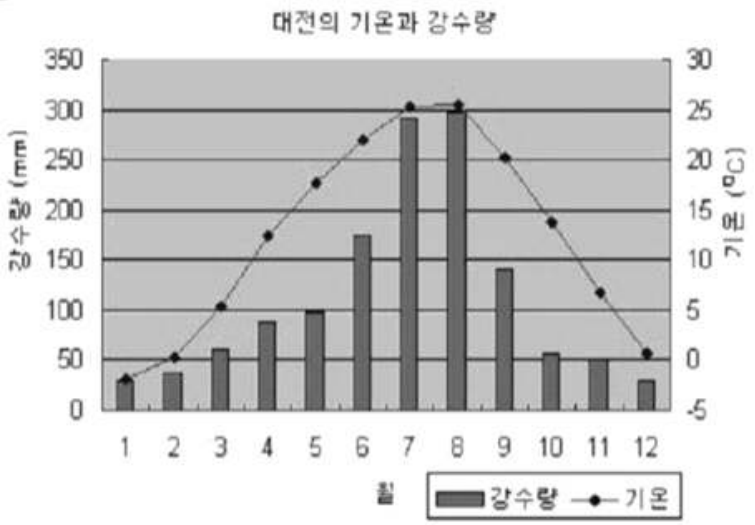


그림 3-4-2. 월별 평균 기온 및 강수량(대전지방 기상청)

○ 대전지방기상청은 대전광역시 유성구 대학로 387에 위치. 평년값은 1971년부터 2010년까지의 평년값을 말하며 대전의 월별 평년값 평균기온은 12.3℃, 연평균 강수량은 1,353.8mm. 가장 무더운 달인 8월 월평균 기온은 25.5℃, 가장 추운 달인 1월의 월평균 기온은 -1.9℃, 연교차는 27.4℃로 여름은 덥고 겨울에는 추운 대륙성 기후특성을 나타냄

○ 극값으로는 최고기온이 37.7℃(1994. 7. 24), 최저기온은 -19.0℃(1969. 2. 6). 계절적으로 연강수량의 50-60%가 여름에 내리고,5-10%는 겨울에 내리며, 일강수량의 최대값은 303.3mm (1987. 7. 22)

○ 바람은 일반적으로 북서계절풍이 남서계절풍보다 강하고, 특히 겨울철에는 북서풍이 불며, 운량은 7월에 많고 10월에는 적음. 계절관측으로는 첫서리는 10월 5일, 첫얼음은 10월 12일, 첫눈은 10월 23일에 관측

표 3-4-1. 월별 평균 기온, 습도 및 강수량 (1971 - 2010)

월	기온(℃)	습도(%)	강수량(mm)
1	-1.9	68.9	29.5
2	0.2	66.0	36.4
3	5.4	63.8	60.5
4	12.4	61.6	87.2
5	17.6	65.8	97.0
6	22.0	73.2	174.3
7	25.3	80.1	292.2
8	25.5	79.8	296.5
9	20.9	77.6	141.5
10	13.8	73.7	56.9
11	6.8	73.4	51.7
12	0.7	71.8	30.1
평균/총합	12.3	71.3	1353.8

4. 열환경을 고려한 에너지 회수 및 공급체계 설계

가. 지열활용 열공급(회수) 시스템 설계

○ 식물공장용 지열 시스템은 다음 그림과 같이 지중으로부터 냉열과 온열을 취득하는 지열교환기와 취득된 지열에너지를 냉풍과 온풍으로 변환시켜주는 지열원 히트펌프 그리고 순환 팬코일로 구성

○ 순환매질은 우수 및 지하수를 활용하여 지열을 취득하고 재배시설에 필요한 직접적인 수원 및 열환경 제어를 위한 열원으로 활용. 다음 그림과 같이 지중에 High Density Polyethylene 재질로 관경 200R, 길이 70m인 총 9개의 파이프를 25mX75m 500평 규모의 시설 지하 3m의 깊이로 매설하고 동측의 지상물탱크에서 수압을 활용 서측 지상물탱크로 순환시켜 열원을 활용

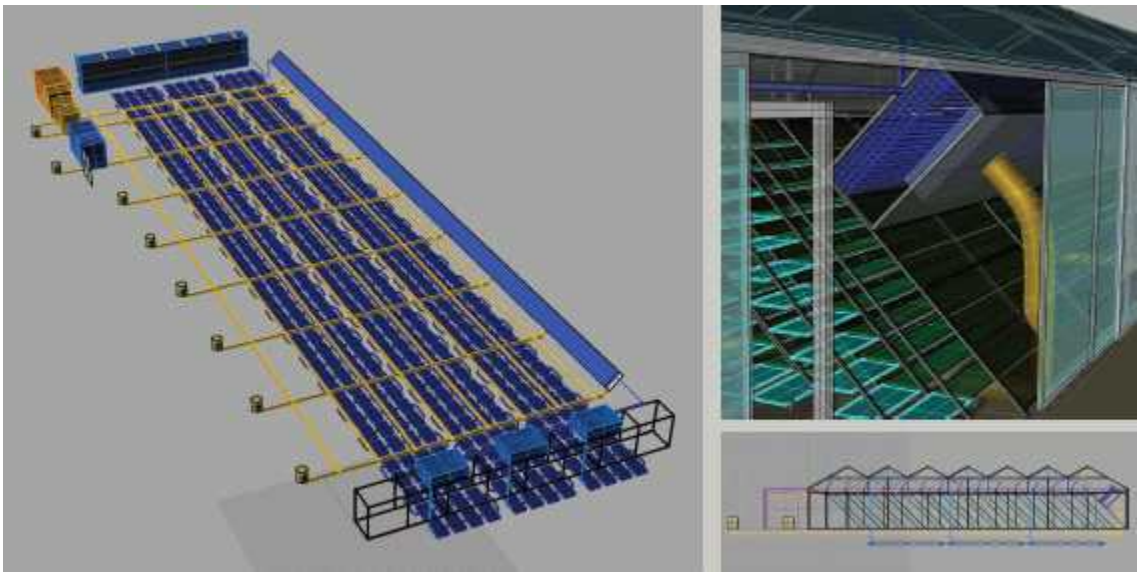


그림 3-4-3. 수평 지중관류형 지열시스템 개요

○ 온도가 기 확보된 수원은 양액공급설비 및 습도제어 설비로 직접적인 활용을 통해 사용되거나 남측 팬코일 설비를 통해 내부 기류순환 시 냉난방 열원으로 활용. 충남당진 그린플러스 식물공장 지열교환시스템을 기준으로 입출구 온도차를 냉방운전 시에는 약 8도, 난방 운전시에는 약 10도로 설정하고 있는데 이를 순환펌프와 함께 고려한다면 최소 412,000kcal/h이상을 기대

○ 기류순환을 위한 열원으로 지열을 활용할 경우 절기별 기류순환시스템 운영스케줄에 따라 운영방식이 달라짐. 다음 그림과 같이 동절기에는 외피 열관류율이 높은 온실특성상 실내 상단부가 열손실이 크기 때문에 상단 저온공기를 빨아들여 지중 열교환기를 통해 보온된 고온공기를 재배 생육공간 하단에 공급. 이때 외부와의 기류순환은 최소화 하기 위해 외부 게이트는 차단하여 내부순환 위주로 운영

○ 춘, 추절기에는 외부온도가 실내 환경유지를 위해 적절한 기온을 가지고 있으므로 실내 온실효과를 통해 높아진 온도 냉방은 천청 개폐를 통해 자연환기로 실내온도를 유지. 이때 외부로 부터의 충이나 이물질은 충분히 필터링 할 수 있도록 흡기구와 배기구에 필터를 설치

○ 하절기에는 동절기와 마찬가지로 실내 상단부가 빨리 뜨거워지기 때문에 강제기류순환이 필요하다. 팬코일을 통해 상단 뜨거운 공기를 빨아들이고 중 열교환기를 통해 냉각된 저온 공기를 재배 생육공간 하단에 공급하여 생육설비의 실내냉방. 액티브 설비로 운영이 가능한 실내 광공급부 채광 패널은 동절기시 생육설비 상단을 닫음으로써 생육부의 열손실을 최소화 하고 하절기에는 일사량의 적절한 조절로 지나치게 실온이 높아짐을 방지할 수 있도록 운영

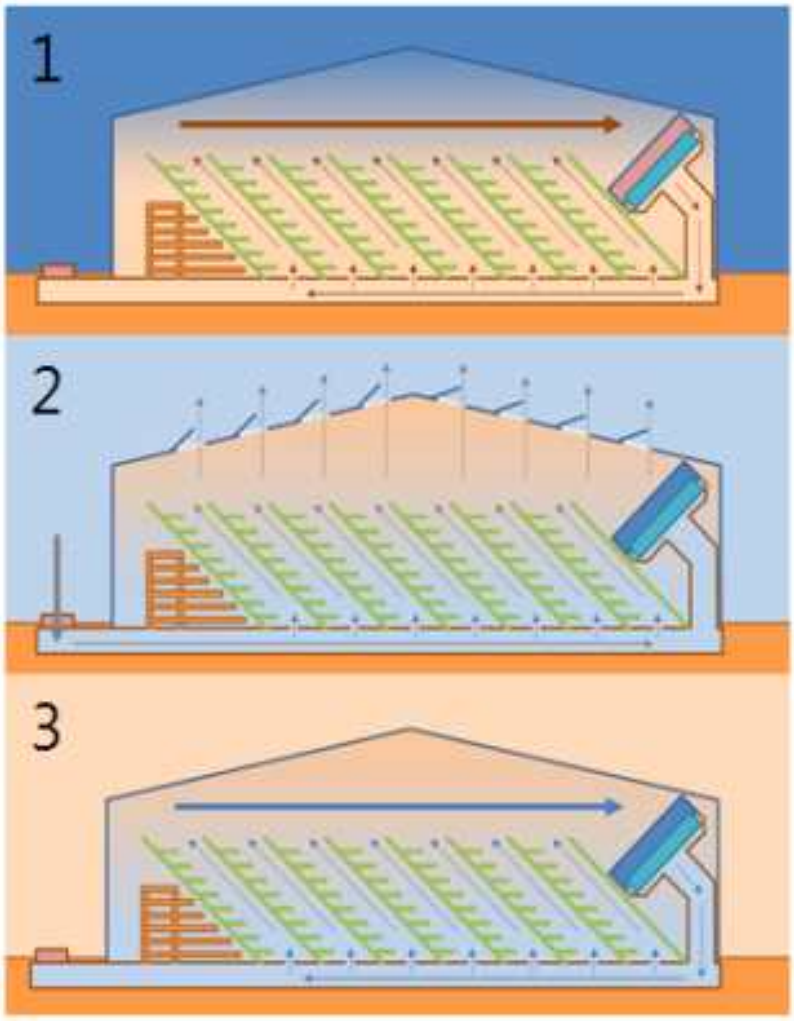


그림 3-4-4. 절기별 기류운영 스케줄(1:동절기, 2:춘,추, 3:하절기)

나. 태양열활용 열공급(회수) 시스템 설계

○ 태양열 회수가 가능한 태양궤도 추적형 자연광 실내공간 인입 및 분배 극대화 반사패널 시스템은 천창을 통하여 실내로 유입되는 자연광을 반사하는 곡선과 직선의 조합으로 이루어진 반사패널을 활용. 이는 효과적으로 재배시설내의 깊숙한 곳까지 태양광이 도달하도록 함으로써 천창과 가까운 곳의 주광조도를 감소시키는 대신에 창호와 멀리 떨어진 곳의 조도를 증가시켜 조도가 균일해지도록 하며 동시에 냉각 시스템을 통해 폐태양열 회수가 가능

○ 이를 통해 재배시설내의 조도가 균일해지도록 하여 표준화된 작물 생산이 가능하고 설비에서 발생하는 태양열을 자체적으로 회수하여 재배시설의 난방부하 및 급탕부하 저감에 활용. 반사패널 시스템은 생육설비 상단에 설치되며 소정 각도로 경사진 곡면과 평면의 조합으로 이루어진 형상의 반사패널과 이의 각도와 방향을 조절할 수 있는 구동부 일체로 구성

○ 설비의 냉각을 통해 회수된 폐열은 다음 그림의 우측 하단부에 위치한 축열조에 온수의 형태로 저장되며, 한여름 채광패널의 온도가 800도 이상 상승함을 감안할 때 여름철 발전설비 및 겨울철 난방에 활용이 가능

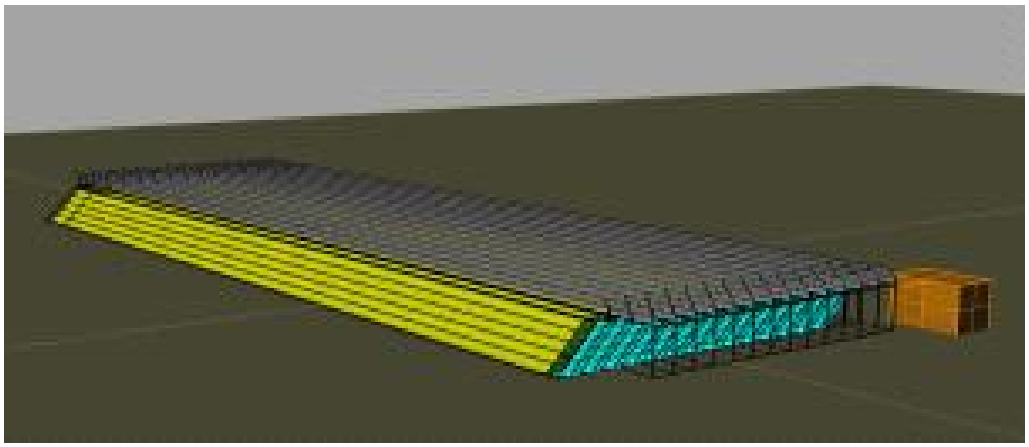


그림 3-4-5. 태양궤도 추적형 자연광 실내공간 인입 및 분배 설비

○ 내구성과 안정성을 고려하여 태양광 반사패널은 스테인레스와 알루미늄 금속으로 제작하고 후면부에 태양열을 흡수할 수 있는 금속 파이들을 부착시켜 과도한 열을 식히는 동시에 온수나 난방을 위한 태양열 획득을 동시에 달성하는 태양광, 태양열 결합 획득형 시스템

○ 반사패널은 다음 그림과 간이 반사부(1), 구동축(2), 냉각파이프(3), 단열부(4)로 구성되어 있으며 효과적인 채광과 축열이 가능. 이를 통해 장치의 냉각효과 및 폐열을 활용하여 재배시설의 난방부하 및 온수부하를 저감

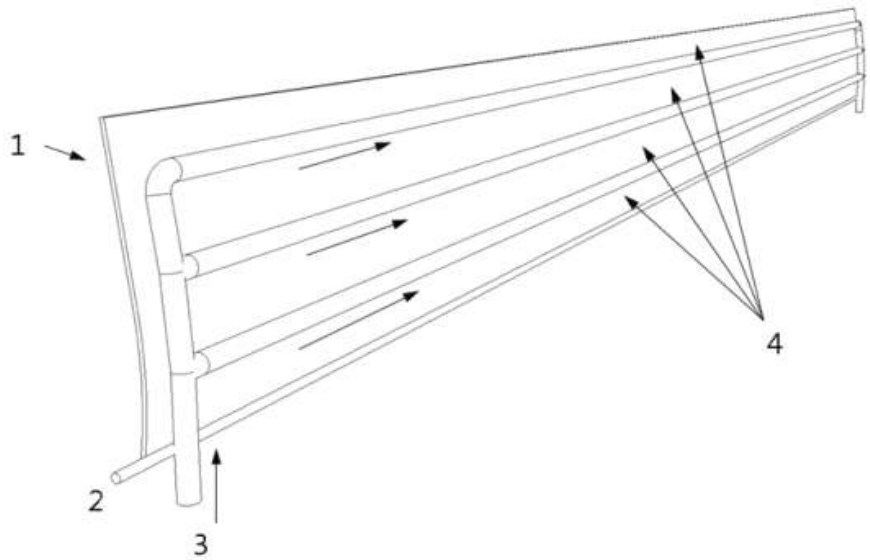


그림 3-4-6. 태양광 반사판 후면 태양열 회수 시스템 구성도

다. 태양열 및 지하수 연계형 하이브리드 매질기반 액티브 바닥축열체 냉난방 시스템

(1) 연구목적

○ 본 연구는 주로 아파트와 같은 공동주택에서 많이 사용하는 온돌 시스템과 같은 바닥 복사 난방 시스템을 식물공장의 바닥에 도입하되, 태양열과 같은 열원 지하수와 같은 냉원을 이용하여 식물공장의 냉난방을 친환경적이고 경제적으로 해결하고 물과 공기와 같은 서로 다른 매질을 콘크리이트 바닥에 매설하는 관로에 동시에 흘러 보냄으로써 바닥을 통한 축열효과와 에너지 회수효과를 높이고 이를 이용하여 복사 냉난방 뿐 아니라 공조를 통한 냉난방과 온수, 냉수, 급탕까지를 일괄적으로 해결

(2) 시스템 구성

○ 본 연구는 식물공장용 태양열 시스템과 연동하여 물과 공기 모두를 매질로하는 태양열 및 지하수 연계형 하이브리드 매질기반 바닥 복사냉난방 시스템에 관한 것으로 온수 및 냉수 등 열원을 공급하는 열원부, 식물공장 바닥의 콘크리이트에 매립되는 관로를 포함하는 매립부와, 식물공장의 공조 및 급탕설비와 연계되어 구동 및 제어를 하는 구동제어부로 구성

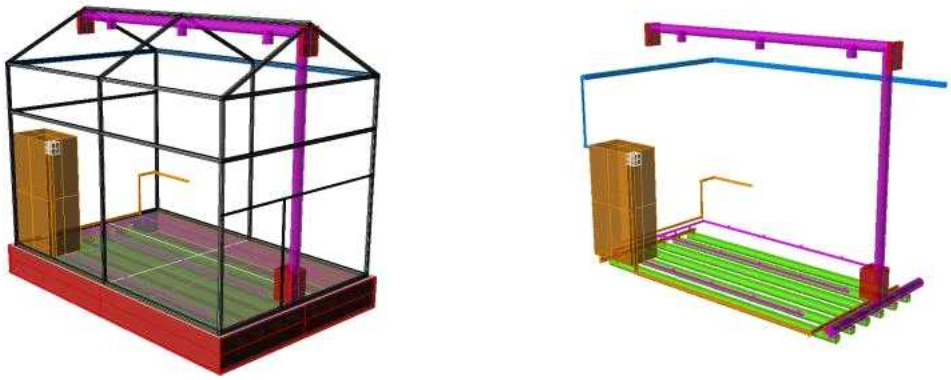


그림 3-4-7. 단위 테스트모델 세부 구성도(신재생에너지부:관수, 기류덕트)

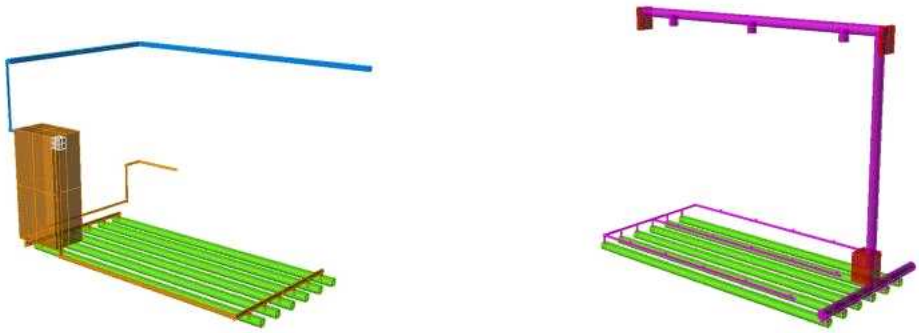


그림 3-4-8. 단위 테스트모델 세부 구성도(좌:관수, 우:기류순환)

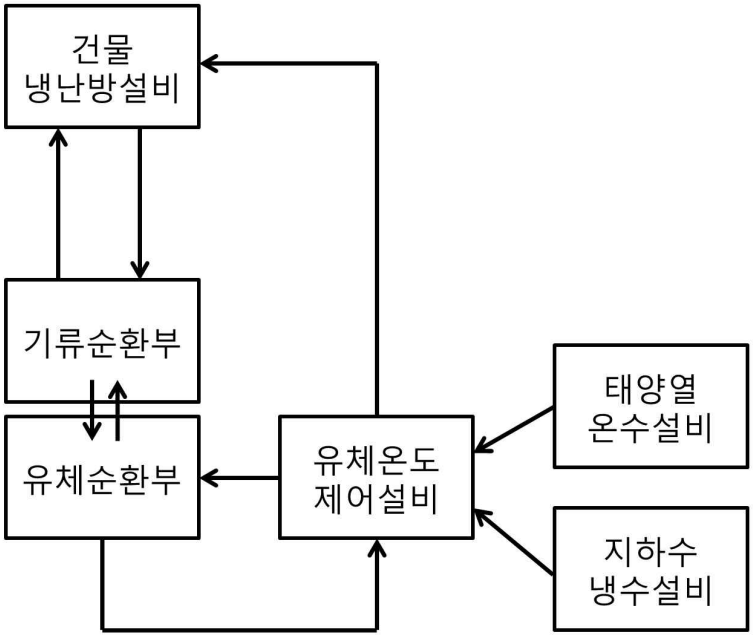


그림 3-4-9. 태양열 및 지하수 연계형 하이브리드 매질기반
바닥 복사냉난방 시스템의 운영 블록 구성도

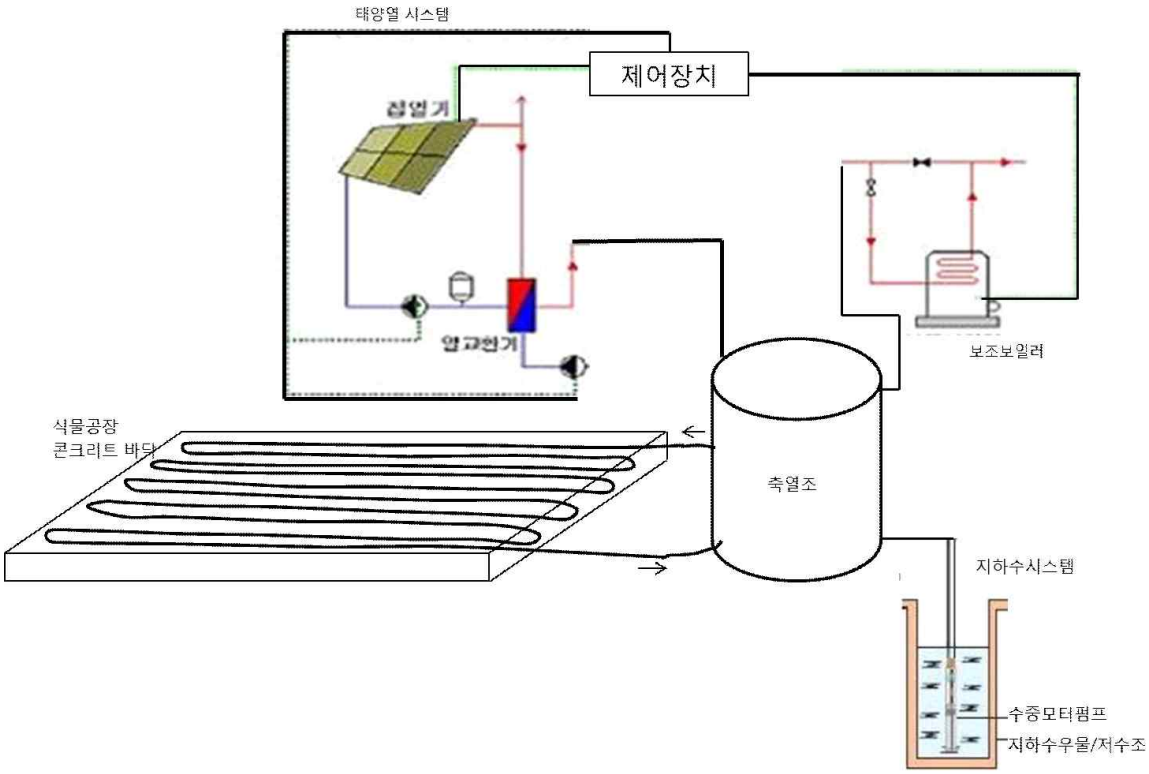


그림 3-4-10. 태양열 및 지하수 연계형 하이브리드 매질기반
바닥 복사냉난방 시스템이 설치된 상태 및 유채 매질의 운영 방식

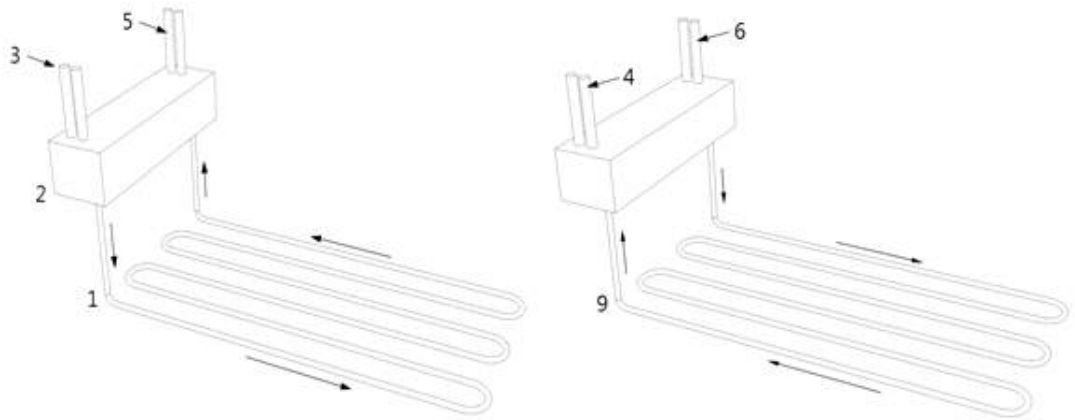


그림 3-4-11. 장치 기체 매질의 운영 방식(액체, 기체)

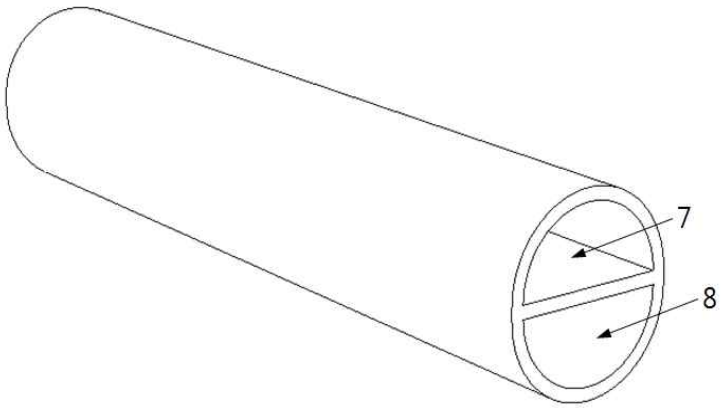


그림 3-4-12. 매립부 관로가 격벽을 사이에 두고 기류 순환부와 유체순환부로 양분되어있는 구조

○ 열원부는 크게 태양열 열원과 지하수 및 상하수 냉원으로 구분. 태양열원은 특히 동절기 태양열 집열판으로부터 관을 통해 순환되는 온수를 열원으로 사용. 지하수는 특히 하절기에 지하에서 뽑아 올린 지하수와 상하수도의 낮은 온도를 냉원으로 사용하여 본 발면 시스템에 각각 열원과 냉원을 공급

○ 매립부는 시설부지 지하 1m 깊이의 단열격벽을 설치 후 상토로 채우고 상단 콘크리트 지반공사를 한 축열체에 기초식물공장에 설치되는 태양열 온수 및 지하수 설비와 연결되는 유체순환부와 식물공장의 공조설비와 연계되는 기류 순환부를 매립하여 구성. 유체순환부와 기류순환부는 금속 혹은 합성수지계열 재질의 동일관로내부에 격벽을 통해 구획되며, 상호 인접해 있어서 열교환이 발생하며, 콘크리이트 및 상토, 단열격벽으로 이루어진 축열체에 매설되기에 축열효과를 발생

○ 구동제어부는 물과 공기 등 유체의 온도와 양, 압력 등을 측정하는 센서류, 태양열온수와 지하수를 통한 냉수를 효과적으로 입출시키는 제어펌프와 기류순환

을 통해 온도가 기 확보된 기류를 식물공장의 공조설비에 공급하는 기류 팬으로 구성되며 이를 제어하는 컴퓨터가 내장

(3) 시스템 설비 효과

○ 식물공장용 태양열 및 지하수 연계형 하이브리드 매질기반 바닥 복사냉난방 시스템은 콘크리트와 상토, 단열격벽으로 이루어진 축열체에 매설되는 관로를 통해 축열에 의한 요구 기류온도를 확보하고 물과 공기의 열교환 효과로 인한 태양열 온수 및 지하수의 열저장 능력을 최대화 하여 지표 얕은 깊이에서 저비용 초기투자비로 지하 10m 이상 시공된 고비용 지열시스템과 같은 효과를 도모함

○ 지중에 온, 냉수를 순환하고 저장하는 관로를 콘크리이트 바닥에 매설하는 방식이어서 설치가 간편하고 비용이 저렴. 또한, 태양열 시스템 및 지하수 시스템과 연계하여 설치할 수 있어, 특히 식물공장에서 태양열과 지하수 냉원을 동시에 이용한 냉난방 시스템의 보급을 활성화 할 것으로 기대

○ 2000㎡ 규모의 기존 온실의 경우 겨울철 난방비용이 월 600만원 가량이고, 냉방의 경우에는 이의 약 1/2 정도의 비용인 300만원 정도가 소요. 즉, 기존 온실은 월간 난방비가 약 3,000원, 냉방비는 약 1,500원 정도로 추산. 한편, 태양열 시스템을 이용한 난방은 시설물의 구조 및 단열조건, 지역별 일사조건, 사용부하량, 환기 횟수 등의 조건에 따라 차이가 발생할 수 있으나 기존 난방비의 70% 가까이 절약 가능

○ 지하수를 이용한 냉방의 경우 냉방비 20% 정도의 비용을 절감할 수 있는 것으로 보고되어 있어 이 둘을 모두 활용하고 동시에 공기와 물을 모두 이용한 바닥복사냉난방과 공조에 의한 냉난방 효과를 결합한다면 그 효과는 더욱 상승

5. 열환경 시뮬레이션 분석

○ 식물공장용 에너지 회수 및 공급체계 구축을 위해 가장 진보적으로 도출된 태양열 및 지하수 연계형 하이브리드 매질기반 액티브 바닥축열체 냉난방 시스템 열환경 설비를 대상 식물공장에 적용하여 열환경 성능평가를 위한 시뮬레이션 분석을 진행

가. 해석 대상

○ 아래의 그림은 식물공장을 측면에서 바라본 단면의 모습으로 총 높이는 약 4.9m, 너비는 약 9.2m. 식물공장의 옆면과 지붕은 모두 유리로 되어 있으며, 식물을 키우는 트레이가 총 7줄로 배열되어 있고 각 트레이의 윗부분에는 반사패

널이 설치됨

○ 각 트레이 사이의 바닥에서 급기가 이루어지며 지붕에서 배기. 해석 대상인 식물공장은 단면의 형태가 일정하며 길이가 긴 구조로 이루어져 있기 때문에 본 연구에서는 식물공장의 단면에 대한 2D 시뮬레이션 해석을 진행

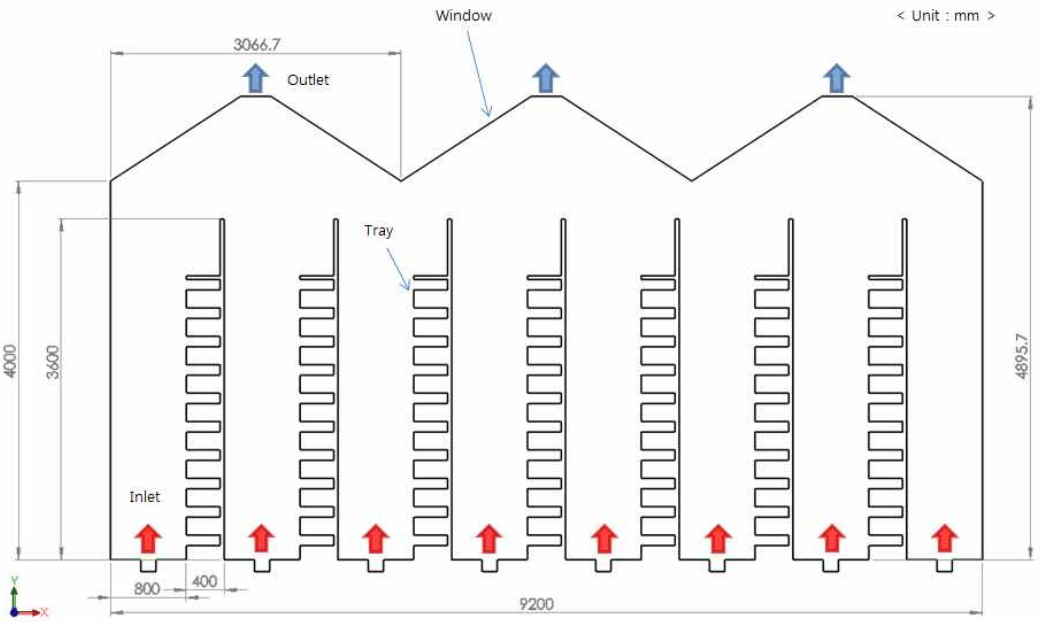


그림 3-4-13. 식물공장의 단면도

나. 해석 방법 및 지배방정식

○ 식물공장의 수치해석 모델의 공기 유동 특성을 기술하는 정상상태의 지배방정식은 연속 방정식, 운동량 방정식, 에너지 방정식, 확산 방정식, 난류 운동 에너지 방정식, 난류 운동량 소산율 방정식을 사용

○ 난류모델은 Standard High Reynolds number $k-\varepsilon$ model을 사용하였고, 온도차에 의한 부력효과를 운동량 방정식의 생성항으로 포함

■ 연속 방정식 :

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i) = 0$$

■ 운동량 방정식 :

$$\frac{\partial}{\partial x_j}\rho u_j u_i = -\frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j}\left[(\mu+\mu_t)\left(\frac{\partial u_j}{\partial x_i}+\frac{\partial u_i}{\partial x_j}\right)\right] + S_{u_i}$$

■ 에너지 방정식 :

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j T) = \frac{\partial}{\partial x_j}\left[\left(\frac{\mu}{\sigma_l} + \frac{\mu_t}{\sigma_t}\right)\frac{\partial T}{\partial x_j}\right] + S_T$$

■ 확산 방정식 :

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i C) = \frac{\partial}{\partial x_i}\left[\left(\frac{\mu}{\sigma_l} + \frac{\mu_t}{\sigma_t}\right)\frac{\partial C}{\partial x_i}\right] + S_C$$

■ 표준 $k-\epsilon$ 난류 모델 :

<난류 운동 에너지 방정식>

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j k) = \frac{\partial}{\partial x_j}\left(\frac{\mu + \mu_t}{\sigma_k}\frac{\partial k}{\partial x_j}\right) + G_k - \rho\varepsilon$$

<난류 운동량 소산율 방정식>

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j \varepsilon) = \frac{\partial}{\partial x_j}\left(\frac{\mu + \mu_t}{\sigma_k}\frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j}\right) + C_{1\varepsilon}\frac{\varepsilon}{k}G_k - C_{2\varepsilon}\rho\frac{\varepsilon^2}{k} - \rho R$$

$$\mu_t = \frac{C_\mu \rho k^2}{\varepsilon},\ \ G_k = \mu_t\left(\frac{\partial u_j}{\partial x_i} + \frac{\partial u_i}{\partial x_j}\right)\frac{\partial u_j}{\partial x_i},\ \ R = \frac{C_\mu \eta^3 (1 - \eta/\eta_0)}{1 + \beta\eta^3}$$

$$\eta = \frac{Sk}{\varepsilon},\ \ S = (2S_{ij}S_{ij})^{1/2},\ \ S_{ij} = \frac{1}{2}\left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i}\right)$$

$$C_\mu = 0.085,\ \ C_{1\varepsilon} = 1.42,\ \ C_{2\varepsilon} = 1.68$$

$$\sigma_k = 0.719,\ \sigma_\varepsilon = 0.719,\ \sigma_l = 1.0,\ \sigma_t = 1.0,\ \beta = 0.012,\ \eta_0 = 4.38$$

○ 상기 지배방정식들을 풀기 위해 상용 CFD 코드인 STAR-CCM+ v4.04를 사용하였으며 SIMPLE 알고리즘을 적용. 계산시 수렴판정 조건으로는 운동량으로 정규화한 각 격자에서의 지배방정식들의 유수의 합이 모두 10-3 이하일 때로 규정

○ 해석 대상인 식물공장 내부는 2D 평면에서 약 20만개의 격자로 구성. 이는 격자수 조사를 통해 격자를 늘려가면서 결과값에 일어나는 변화가 거의 일어나지 않는 최소한의 격자를 파악하여 적용한 것임

다. 수치해석 모델의 경계조건

○ 본 연구에서는 외기의 온도와 급기 온도 및 풍량에 따라 식물공장 내부의 온도 분포를 살펴보고자 함. 식물공장의 수치해석을 위해서는 식물공장 표면의 온도와 급기의 온도 및 풍량이 필요. 이에 따라 다음의 표에 기술된 조건들을 시뮬레이션에 적용하였으며 총 6가지의 경우에 대한 해석을 진행

표 3-4-2. 수치해석에 적용된 경계조건

	외기 온도(℃)	급기 온도(℃)	급기 풍량(m^2/s)
Case 1	-5.9	18	0.8
Case 2	-5.9	23	0.8
Case 3	-5.9	28	0.8
Case 4	-5.9	23	1.2
Case 5	-5.9	23	0.4
Case 6	33.3	18	0.8

○ Case 1~5까지의 외기 온도는 2011년 중 가장 온도가 낮은 날의 정오 온도를 적용하였으며, Case 6의 외기 온도는 2011년 중 가장 온도가 높은 날의 정오 온도를 적용. 급기 온도는 상추의 적정 재배온도를 고려해 적용하였으며, 급기 풍량은 본 해석이 2D로 진행되었기 때문에 단위 길이 당 풍량이므로 m^2/s의 단위로 기술

라. 수치해석 결과

○ 본 연구에서는 주로 확인하고자 하는 열환경 영역은 식물 트레이 주변으로, 아래의 그림에 표시된 부분임

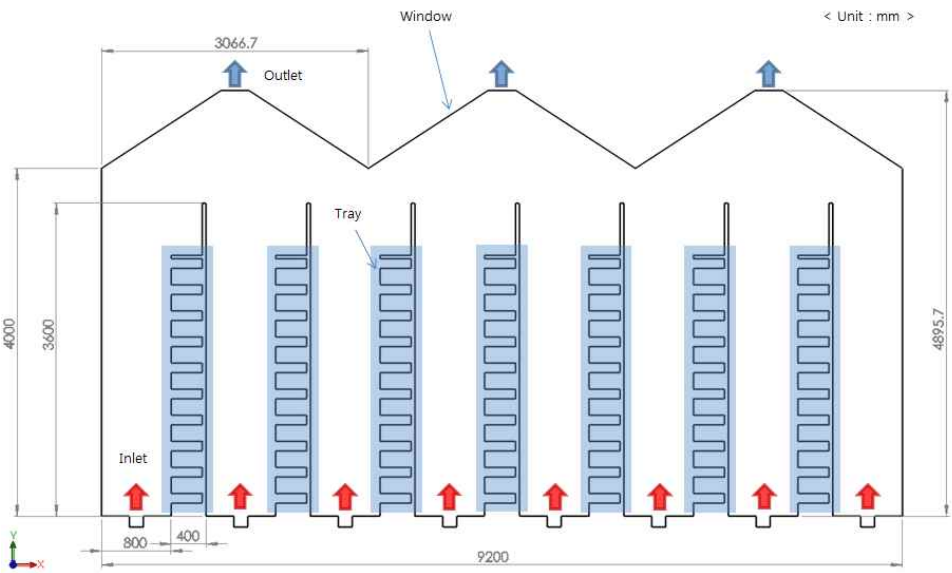


그림 3-4-14. 식물공장 열환경 연구 영역

○ 이는 식물과 가까이에서 접촉하는 공기가 식물의 생장에 영향을 미치기 때문으로 식물 트레이 근처의 평균온도는 다음과 같음

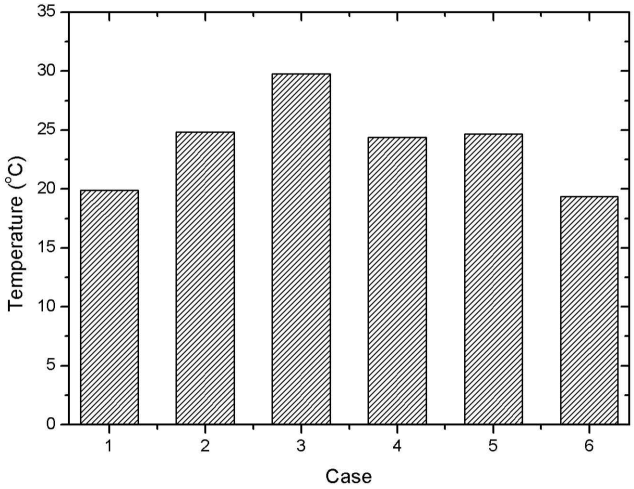


그림 3-4-15. 각 Case별 식물 트레이 주변 평균 온도

○ 각 Case별 식물 트레이 주변의 평균 온도는 급기 온도보다 약 1.4~1.9℃ 정도 높으며 이는 태양복사에 의한 열전달 때문이며 온도 증가량은 작은 편. 식물공장 내로 공급된 급기가 트레이 주변에서 머물지 못하고 곧바로 상승하여 출구로 빠져나가는 경향이 있기 때문으로 식물공장 내에서 태양복사에 의한 열을 충분히 확보하고 출구로 빠져나가는 열량을 줄이는 것이 필요함

○ Case 1~3에서는 급기의 온도는 각각 18, 23, 28℃로 설정. 세 가지 경우 모두 식물공장 내 공기의 평균속도는 1.243m/s로 급기 온도 및 태양복사에 의한 부력의 발생이 식물공장 내 공기의 속도에 큰 영향을 미치지 않는 것을 의미함

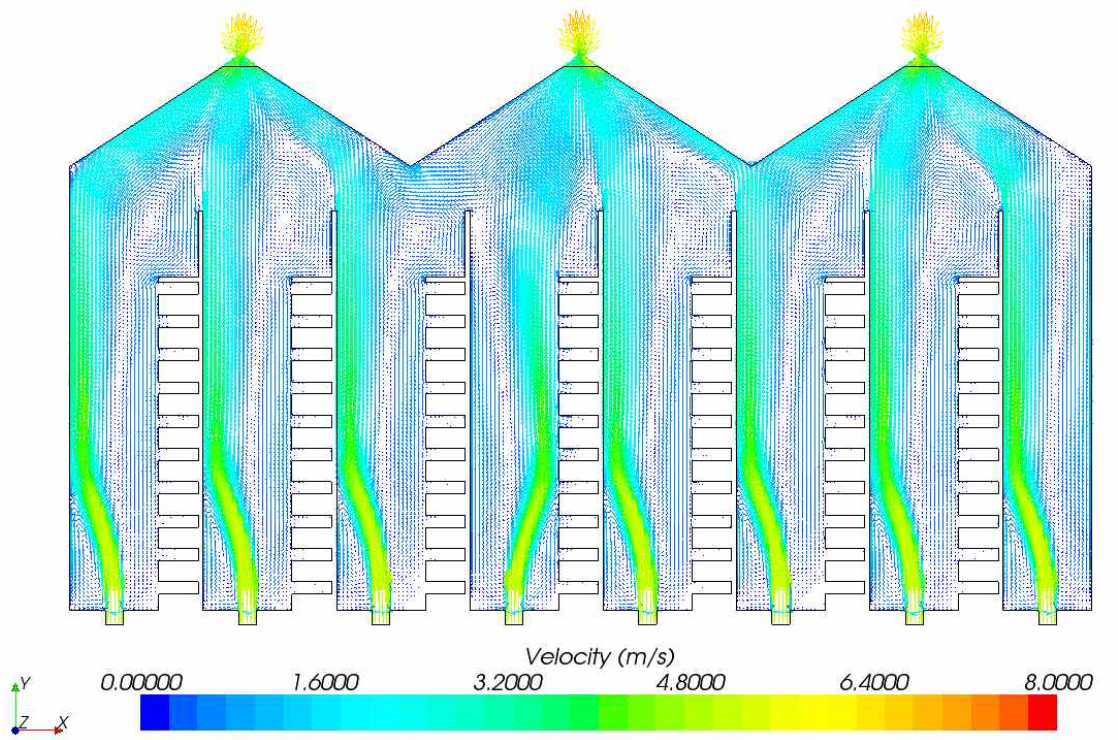


그림 3-4-16. Case 1에서의 속도 분포

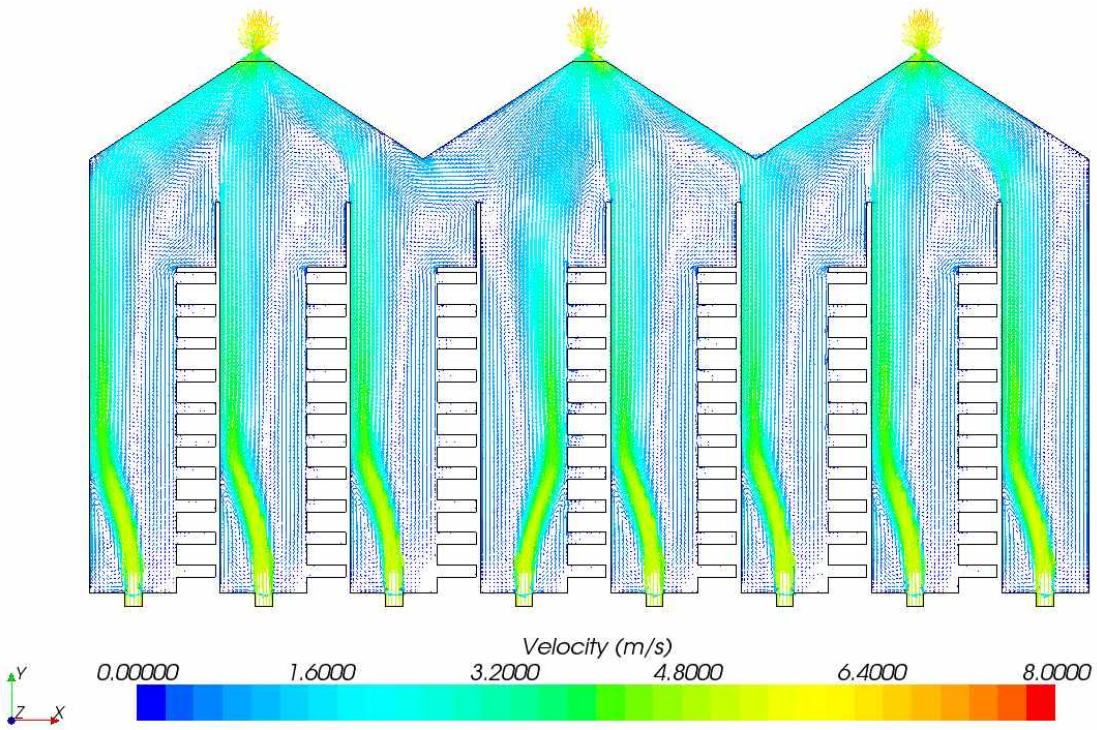


그림 3-4-17. Case 2에서의 속도 분포

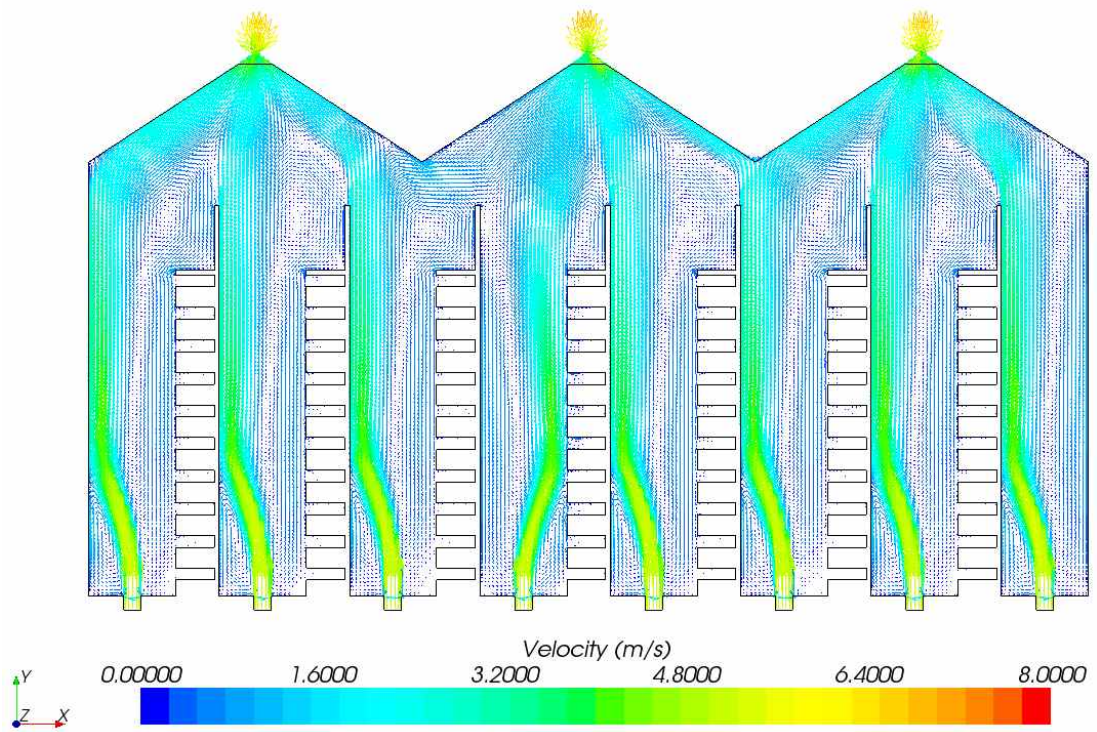


그림 3-4-18. Case 3에서의 속도 분포

○ 또한 공기의 온도에 따른 부력의 차이가 공기의 이동경로에도 영향을 미치지 않는 것으로 Case 1~3의 공기 이동경로를 보면 변화가 거의 일어나지 않음

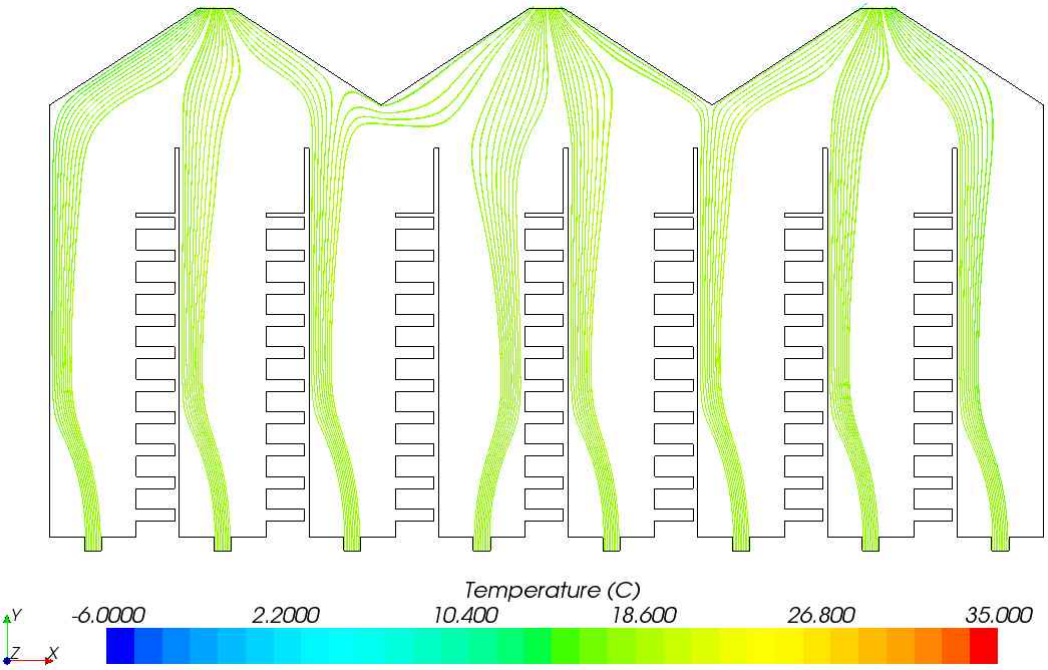


그림 3-4-19. Case 1에서 공기의 이동경로

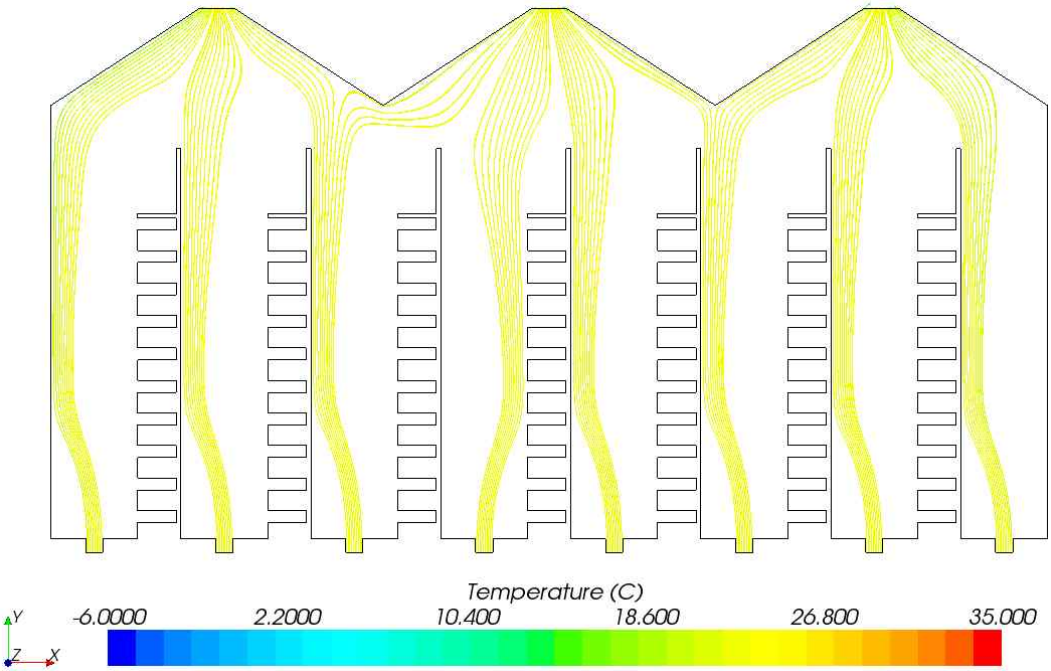


그림 3-4-20. Case 2에서 공기의 이동경로

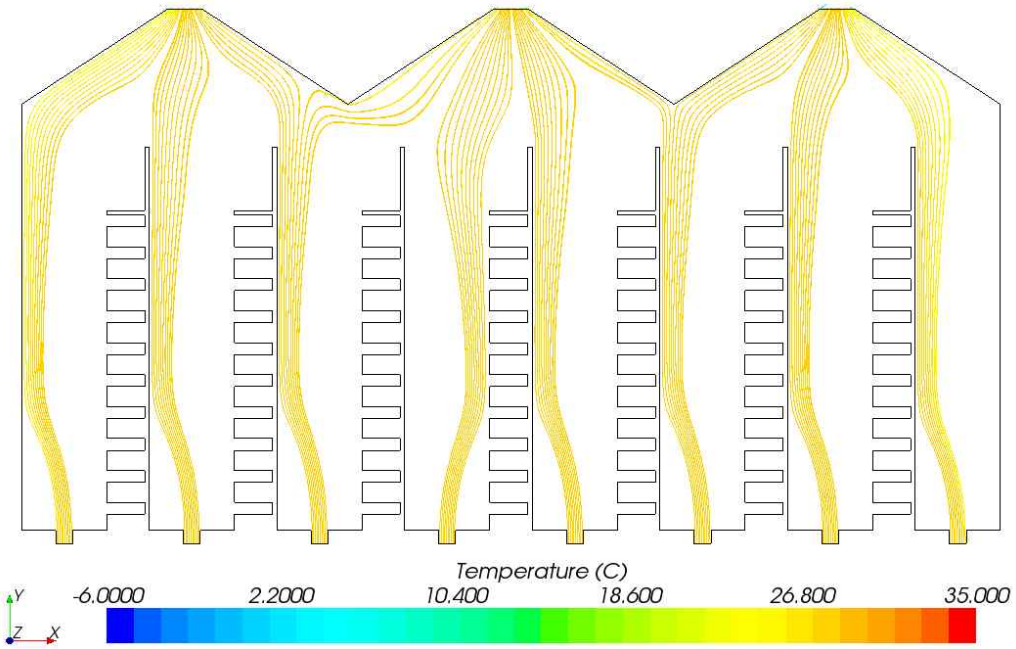


그림 3-4-21. Case 3에서 공기의 이동경로

○ 마찬가지로 Case 2, 4, 5를 비교해보면 급기의 풍량이 달라지더라도 급기 온도가 일정하면 식물공장 내 트레이 주변의 온도가 일정한 것으로 나타남. 이는 공급된 급기가 식물공장 내에서 충분히 머물지 못하고 빠르게 빠져나가 태양복사에 의한 열전달이 제대로 이루어지지 않기 때문. 아래의 그림은 Case 2, 4, 5에서의 온도 분포를 나타낸 그림으로 각 Case의 온도 분포가 비슷한 것을 알 수 있음

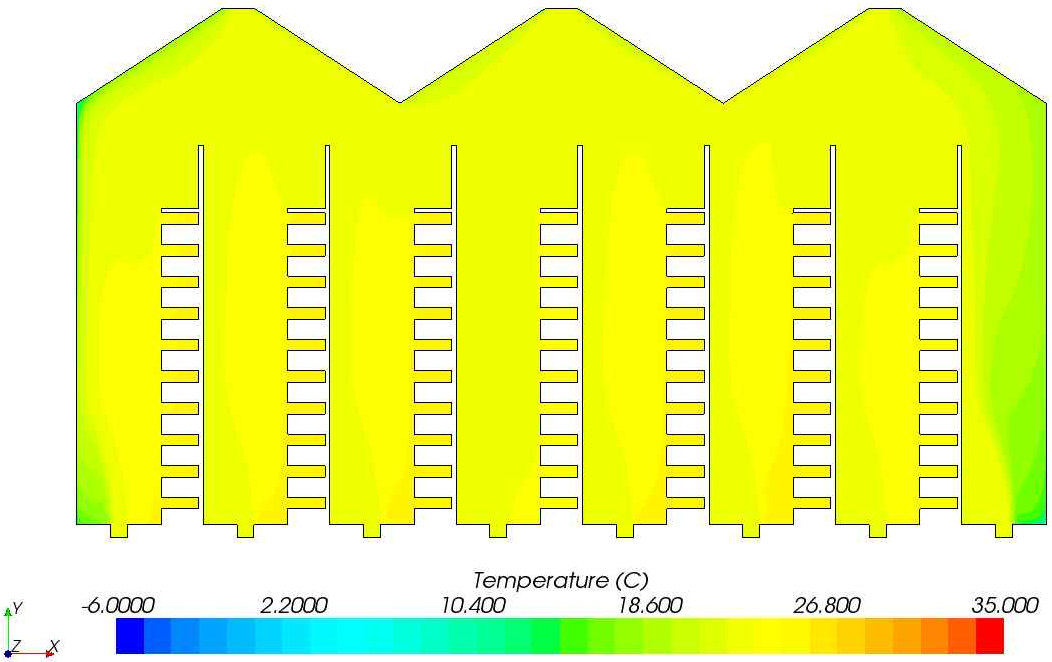


그림 3-4-22. Case 2에서의 온도 분포

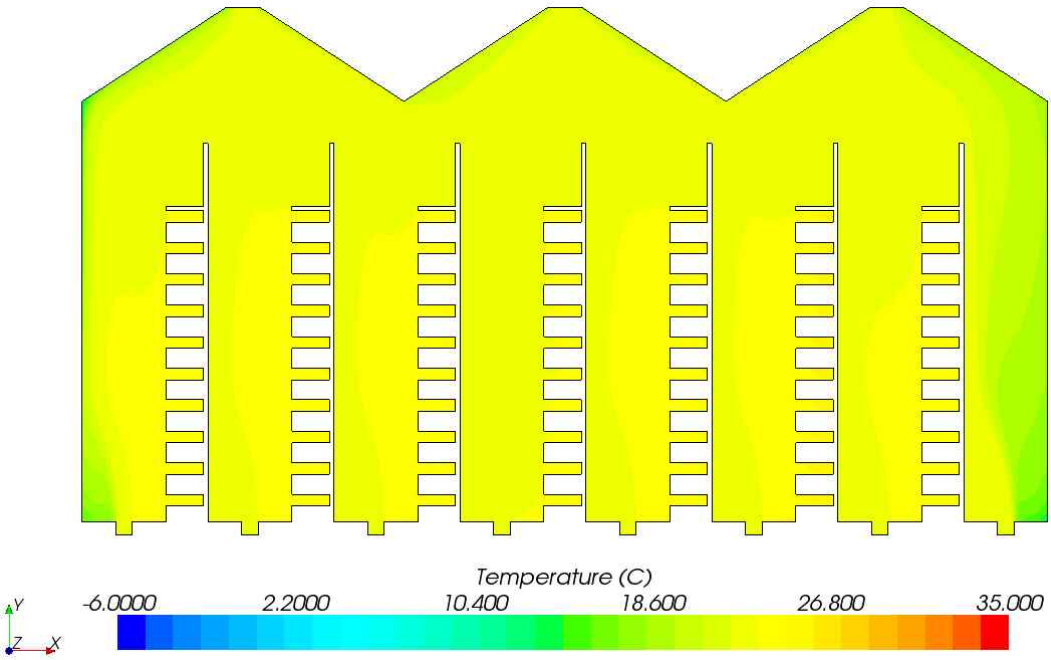


그림 3-4-23. Case 4에서의 온도 분포

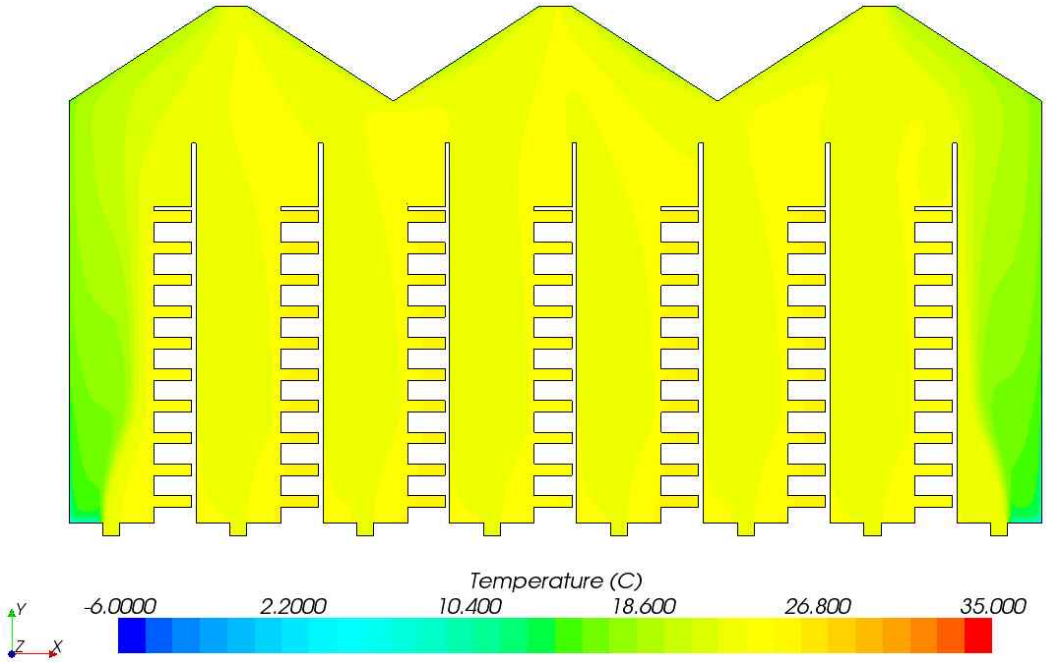


그림 3-4-24. Case 5에서의 온도 분포

○ Case 2와 6을 통해 겨울과 여름인 경우를 살펴보면 Case 6에서의 속도 분포와 공기의 이동경로를 보면 겨울인 Case 2와 비슷함. 외피의 온도와 급기의 온도가 크게 다른 경우인대도 공기의 속도 및 이동경로가 비슷한 것은 급기가 식물공장 내에서 받을 수 있는 영향을 거의 받지 않는다는 것을 의미하며 급기의 온도에 따른 부력의 영향도 거의 없다고 파악할 수 있음. 이는 급기 풍량이 너무 커서 식물공장 내에 충분히 머물지 못하기 때문인 것으로 판단됨. 더욱이 각 트레이

적층 간격이 좁아 급기가 작물에 접근하는데 방해가 되어 급기의 이동경로가 단순화되는 것이 급기가 빠르게 빠져나가는데 영향을 미치는 것으로 판단됨

○ 위의 결과를 종합했을 때 적층되는 트레이의 수를 줄이고 급기 풍량을 줄이면 식물공장의 열환경 개선이 이루어질 것으로 판단

6. 실내환경 모니터링 및 제어 소프트웨어

○ 도출된 열환경 분석 모델을 바탕으로 에너지 설비 적용을 위한 온실 내 미시기후 조정 소프트웨어를 구축. 이를 통해 온도, 조도, 습도를 포함 전반적인 실내환경을 모니터링하고 제어함

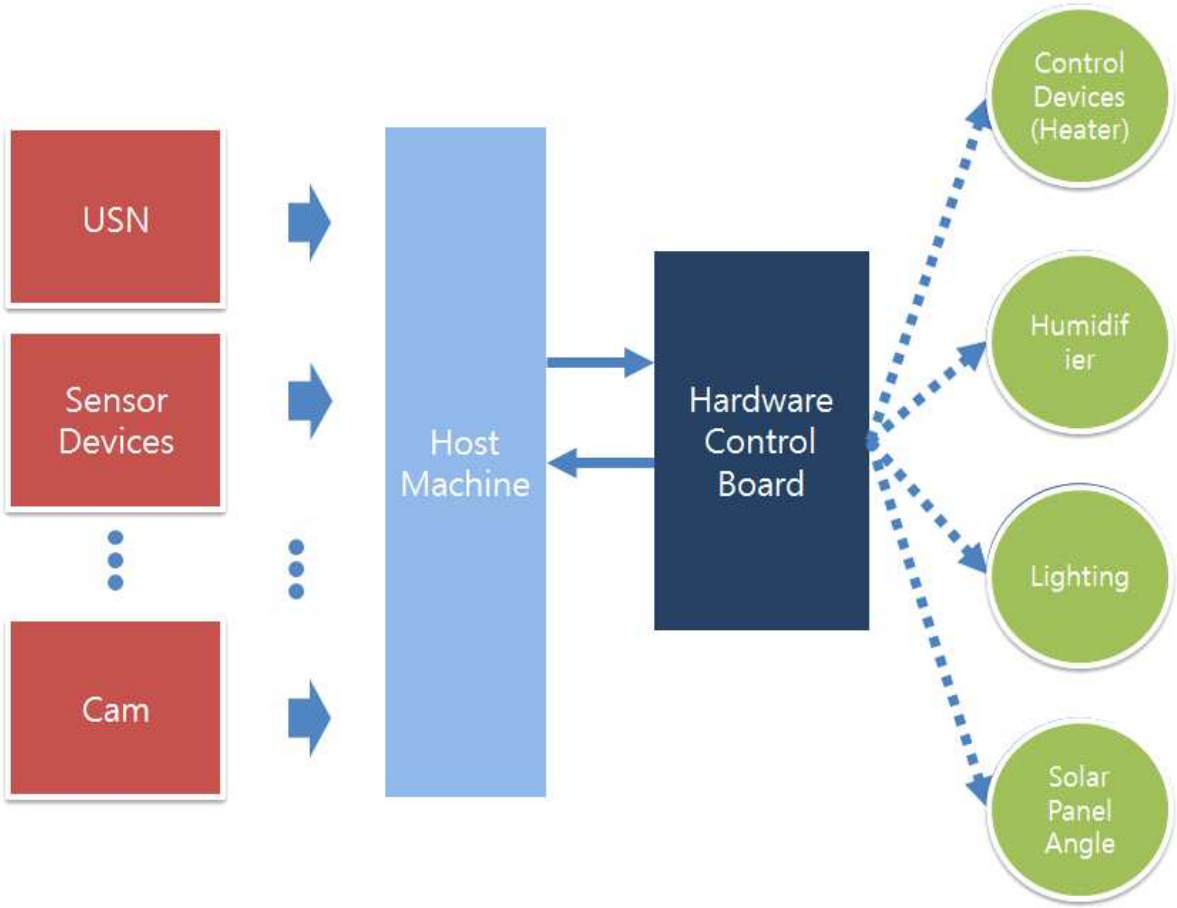


그림 3-4-25. 식물공장 소프트웨어 블록 다이어그램

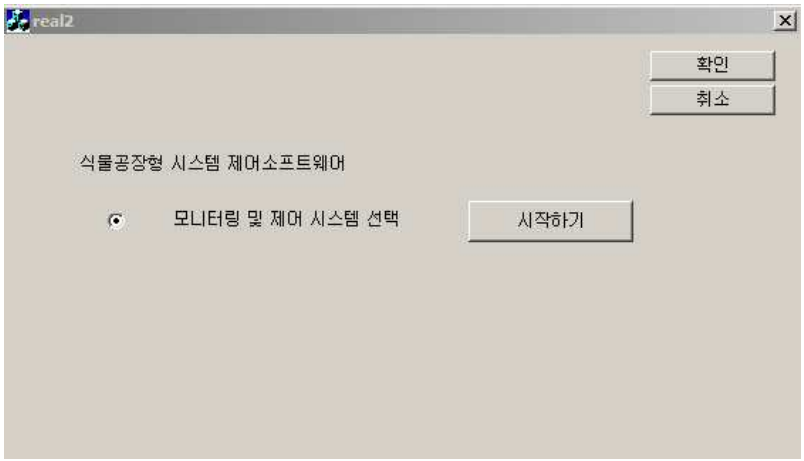


그림 3-4-26. 식물공장형 시스템 제어 소프트웨어 실행 화면

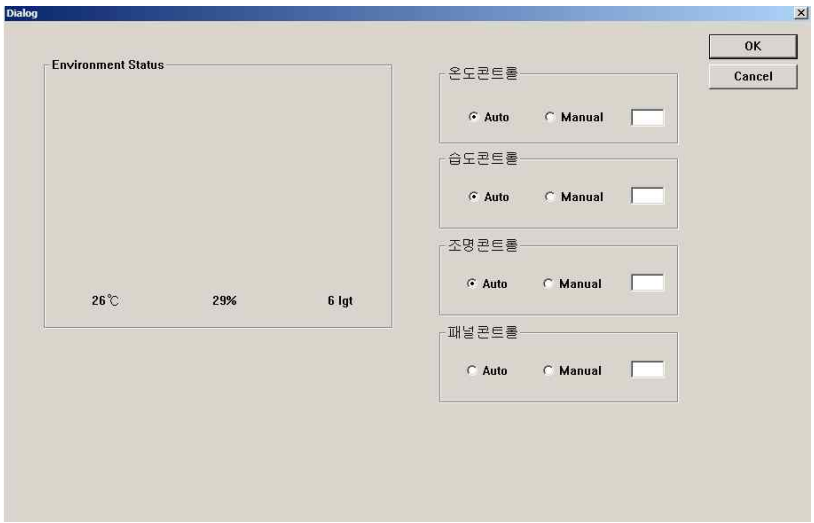


그림 3-4-27. 사용 선택 후 초기 화면

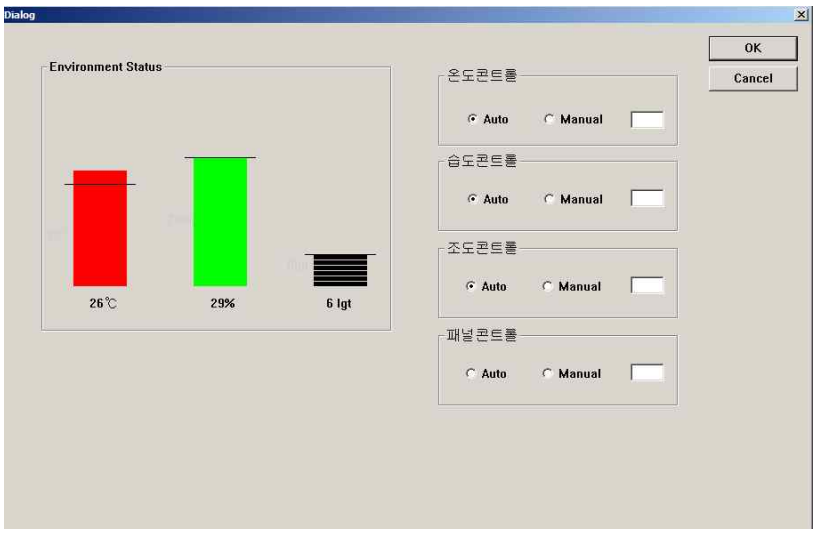


그림 3-4-28. 외부환경 모니터링 실행 화면

○ 시스템 좌측의 USN 및 센서 장비들(온도, 조도, 습도 센서) 및 카메라 파트는 환경을 모니터링 하는 부분이며, 이들의 정보는 Host Machine위에 탑재되어 있는 본 소프트웨어에 전달되어 출력함

○ 사용자는 외부 환경을 모니터링 하며 식물의 재배 환경에 적합한 환경인지를 항상 모니터링이 가능하며 이러한 환경이 재배 환경에 적합하지 않을 경우, 사용자는 매뉴얼 모드로 전환하여, 온 습도 및 패널 각도를 조절 가능

○ 매뉴얼 모드에 원하는 값을 입력하면, 이 정보는 하드웨어 콘트롤 보드에 전송된 후 각종 제어 디바이스들 난방기, 습도 제어기(가습기) 및 조명, 그리고 광각 패널을 조절이 가능하도록 설계 됨

그림 3-4-29. 센서 및 구동 제어설비
(좌측부터: 광각패널, 패널제어기, 온습도센서, 냉난방제어기)

○ Host Machine
- USN 및 센서 장비들(온도, 조도, 습도 센서) 및 카메라로부터 입력을 받아 특정파일에 그 상태를 저장하게 되면, 호스트 머신에서는 이 결과파일을 주기적으로 읽어주어 공간안의 상태와 환경을 파악하게 된다. 결과를 통해 데이터베이스를 검색하고, 이 검색 결과로 사용자가 원하는 환경에 대한 정보를 얻는다. 현재 환경 정보와 사용자가 원하는(초기값으로 입력된) 환경정보와의 간단한 비교를 통해, 현재 제어 가능 디바이스(난방기, 습도제어기 및 조명 등)가 어떻게 동작하여야 할지를 판단한다. 그 결과는 전자회로로 구현되어 있는 하드웨어 파트로 디지털 신호 형식으로 전달됨

○ Hardware (Electrical Circuit)
- Host Machine으로부터 아웃풋을 받으면, 이 하드웨어에서 버퍼기능을 거쳐 환경 제어기장비들의 동작까지 연결이 된다. Host Machine에서 실제로 제어기를 동작시키기 위해서는 하드웨어적 변환과 구현이 일부 필요하다. 주요기능으로는 디지털 신호의 버퍼 및 전압 유지, 그리고 5V의 디지털 신호를 이용해 220V와 수 A의 전류를 ON/OFF해내는 기능을 들 수 있음

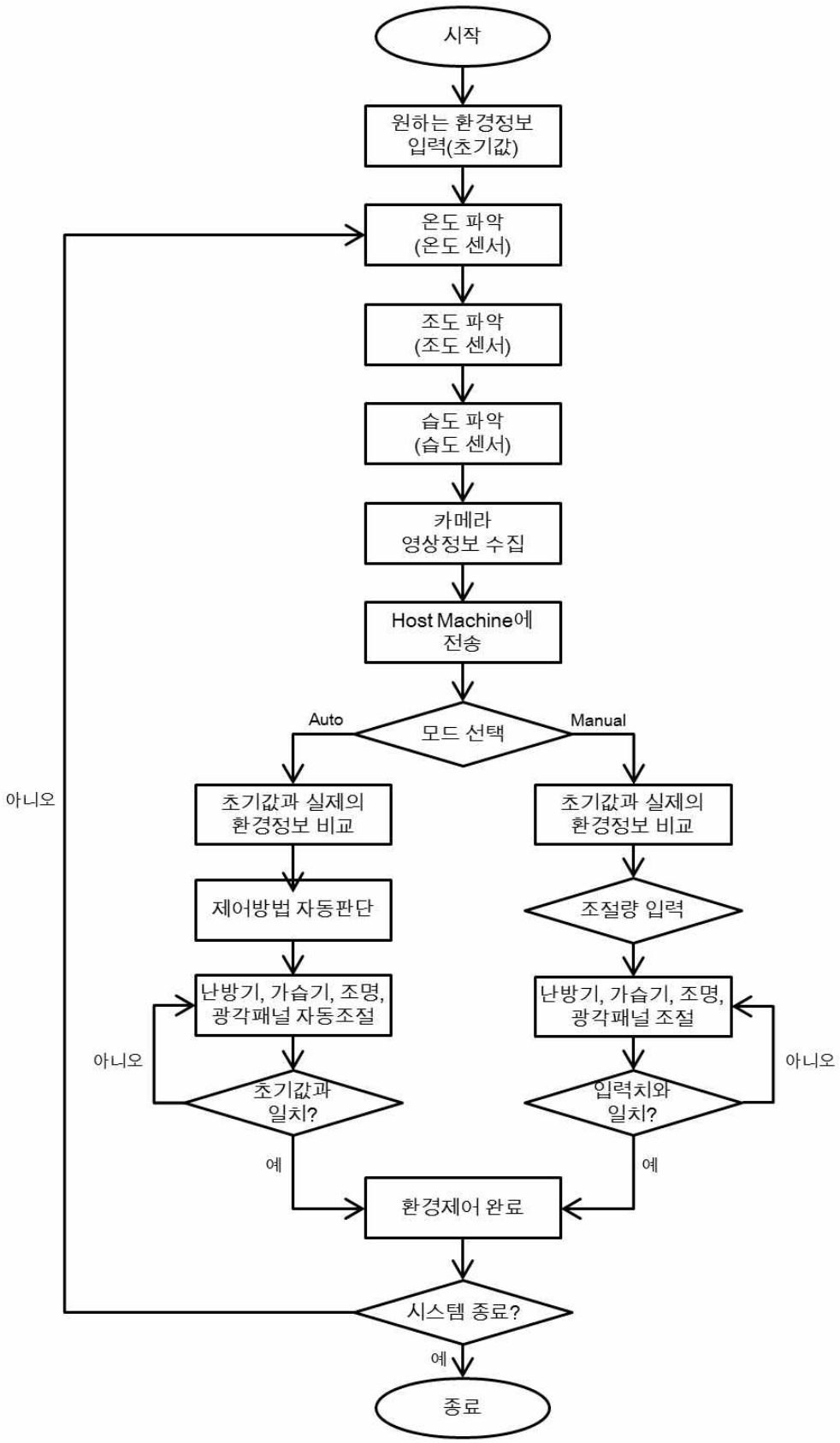


그림 3-4-30. 제어설비 소프트웨어 순서도

7. 결 론

○ 본 연구는 국내 열환경을 중심으로 적층형 밀식재배공간에 적용 가능한 신재생에너지 열환경 시스템을 디자인하고 적용된 지열시스템과 태양열 설비의 형태, 재질 및 운영요소에 따른 미시기후 제어 효과를 예측하기 위한 선험적 연구이며 기존 연구결과를 통한 활용가능성 여부에 관한 결론은 아래와 같음

○ 본 식물공장은 태양광 활용 적층형 밀식재배 생육설비, 수원 및 냉난방 시스템 관로설비, 생육설비 연계구조 및 외피설비로 구성

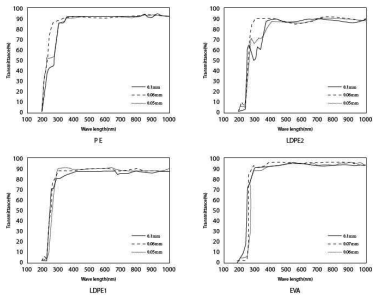
○ 대상작물인 상추를 기준으로 분석한 결과 일반적인 작물의 수확량과 품질에 큰 영향을 끼치는 온도 요구조건은 15~20℃로 실내 열 환경은 이를 기준으로 미시기후를 조절

○ 국내 기후는 여름은 덥고 겨울은 추운 대륙성 기후로 4계절이 뚜렷하며 연교차는 27℃. 이를 만족시키기 위한 절기별 적용 가능한 열환경 시설이 구축되어야 하며 본 연구에서는 지열, 태양열 설비를 활용한 미시기후 조절시스템을 제안

○ 지열활용 열 공급 및 회수 시스템은 물을 매질로 한 수평형 지중 열 교환기를 통해 지중으로부터 냉기와 온열을 취득. 온도가 기 확보된 수원은 양액공급설비 및 습도제어 설비로 직접적인 활용을 통해 사용되거나 팬코일 설비를 통해 내부 기류 순환시 냉·난방 열원으로 활용

○ 태양열 활용 열공급 및 회수 시스템은 태양열 회수가 가능한 태양궤도 추적형 자연광 실내공간 인입 및 분배를 극대화하는 반사패널을 활용하며 설비의 냉각과 동시에 폐열 회수를 통해 재배시설의 난방부하 및 급탕부하를 저감

5절 첨단온실 외피 분석

<table>
<tr><td>연구개발성과물</td><td colspan="4">기존 외피 요소별 성능분석 및 복합외피 설계대안</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구개발
성과물의 성격</td><td>요소기술</td><td>설계안</td><td>시작품</td><td>제품</td></tr>
<tr><td>O</td><td>O</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>연구내용</td><td colspan="4">○ 자연광 이용형 식물공장 외피 설계를 위해 외피, 조명, 설비시스템 간의 시너지를 동시에 고려하여 열적성능과 채광성능, 일사조절성능, 환기성능을 분석하여 통합 시스템을 도출
○ 국내 원예시설의 시설 외피복재에 대한 경향 및 피복재의 축격강도, 인장, 인열, 신장율 등 물리적, 기계적 성질과 광투과성에 대한 조사
○ 시공시 피복재의 인장파열, 신장변형 훼손, 충격에 의한 파손과 광산화에 의한 투광율 저하에 대한 검토
○ 현재 농업용을 생산 시판되고 있는 PE필름, LDPE필름 2종, EVA필름 총 4종류로 물리적 특성(인장, 인열, 충격강도 등)과 광투과성을 구명하기 위하여 PE, LDPE1, LDPE2는 0.05, 0.06, 0.1mm의 두께로는 EVA는 0.06, 0.07, 0.1mm로 나누어 실험
○ 광투과성 측정은 UV-3101PS 분광광도계를 이용하여 적외선과 가시광선 영역의 광원은 50W 텅스텐 할로겐 램프를 사용하였고, 자외선 영역은 Deutrium 램프를 광원으로 사용
○ 시설물의 외피를 구성하는 창호 시스템의 종류와 기밀성의 확보와 관련되는 침기량에 대한 분석
 

Relationship of wavelength and transmittance at
PE, LDPE1, LDPE2 and EVA film(좌), 복합외피 요소별 성능 분석(우)</td></tr>
<tr><td>향후연구과제</td><td colspan="4">○ 복합외피 구성 테스트용 샘플 제작 및 물리적, 기계적 성질과 광투과성에 대한 검사를 통해 최적 복합외피 설계안 도출
○ 복합외피를 적용한 실증 테스트 베드 구축을 통해 첨단온실외피 열적성능 실증실험 및 결과분석</td></tr>
</table>

1. 연구 배경 및 목적

○ 유리와 외피는 시설의 성능에 막대한 영향을 미침. 외피는 인간의 피부와 같은 역할을 하며 1차적으로 최대 냉난방 부하에 영향을 미치며 2차적으로는 자연채광을 도이하여 조명부하에 영향을 미침

○ 외피 설계는 건물의 전체 생애(Life-cycle)에 걸쳐 고성능 건물로 만들기 위해 근본적인 영향을 미치는 외피, 조명, 설비 시스템 간의 시너지를 동시에 고려. 예를 들어 유리면적의 증가는 일조와 조망 확보라는 장점도 있으나, 하절기에는 과도한 일사가 투입되어 냉방부하가 커지고 동절기에는 열관류율이 커져 난방부하가 커지므로 에너지 손실이 커지므로 열적성능과 채광성능, 일사조절 성능, 환기 성능을 분석하여 통합 시스템을 도출

그림 3-5-1. 기존 온실하우스 / 그린플러스(참여기업) 환경조절용 차양시스템 외피

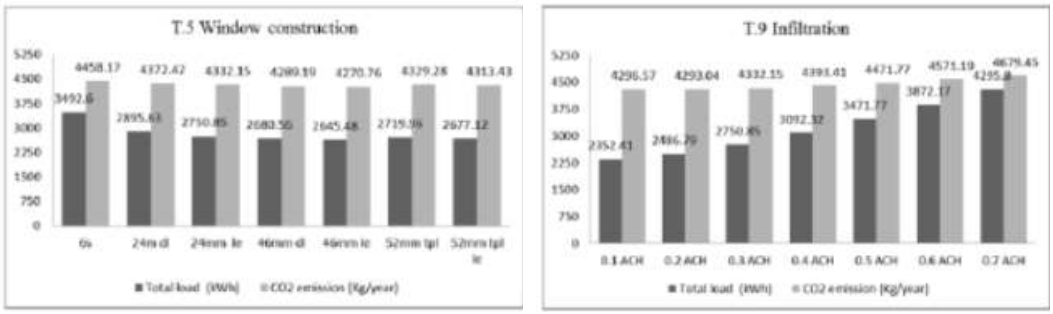


그림 3-5-2. 건물 외피 유리부분 구성 대안(좌) 및 침기량(우)에
따른 연간 에너지 소비와 탄소배출량 변화 사례

○ 국내 원예시설 면적은 현대화, 대형화 사업에 의해 매년 증가되고 있는 추세로 시설의 외피복재도 연질필름에서 유리, PC등 경질판 피복재로 변화되어 가고 있음. 하지만 유리의 중량과 PC의 광산화 내구성과 가격과 같은 문제로 아직 외피복재는 연질필름이 대부분 원예시설에서 사용

○ 연질필름의 피복재에 관한 충격강도, 인장, 인열, 신장율 등 물리적, 기계적 성질이나 광투과성에 관한 연구가 미진한 실정. 특히 시공시 피복재 인장파열, 신장변

형 훼손, 충격에 의한 파손 등 뿐만 아니라 투광율 등에 관한 많은 문제점이 노출되고 있어 이러한 문제점에 대한 검토가 필요

○ 이를 통해 단열 및 자연 채광조절 성능이 우수하고 환기와 폐열회수와 태양광 및 태양열을 활용한 에너지 하베스팅이 가능한 생체 모방형 외피 시스템을 개발을 목표로 함

○ 주지하는 바와 같이 시설물의 외피를 구성하는 창호 시스템의 종류나, 기밀성의 확보와 관련되는 침기량 그리고 사용하는 조명기기의 종류와 효율 등은 다년간 에너지 소비와 탄소 배출량에 밀접하게 관련됨. 따라서 본 연구결과를 토대로 식물공장 외피 설계에 있어 디자인 요건들에 대한 면밀한 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 최적의 설계안을 도출하기 위한 근거자료로 활용

2. 연구 방법 및 범위

○ 본 연구에서 사용한 공시재료는 현재 농업용을 생산 시판되고 있는 PE필름, LDPE필름 2종, EVA필름 총 4종류로 물리적 특성(인장, 인열, 충격강도 등)과 광투과성을 구명하기 위하여 PE, LDPE1, LDPE2는 0.05, 0.06, 0.1mm의 두께로는 EVA는 0.06, 0.07, 0.1mm로 나누어 실험

○ 충격강도 시험장치는 한국공업규격 KSA 1027과 KSM 3074방법을 이용하여 시설하우스용 피복자재의 충격강도시험에 알맞도록 제작하여 시험

○ 인장 및 인열 강도측정은 크로스 헤어 스트록이 1100mm 이며, 크로스 헤드가 사각 스크류에 상하 작동하도록 되어 있고, 하중은 로드셀에 의해 검출되고 검출결과가 리니어 레코더에 의해 기록되는 범용형 인장시험기를 사용

○ 광투과성 측정은 UV-3101PS 분광광도계를 이용하여 적외선과 가시광선 영역의 광원은 50W 텅스텐 할로겐 램프를 사용하였고, 자외선 영역은 Deutrium 램프를 광원으로 사용

3. 결과 및 고찰

○ 시설하우스 외피복재에 사용되는 연질필름의 규격화와 품질개선을 유도하기 위하여 피복재 종류별, 두께별로 충격강도, 인장, 인열강도 등 물리적 기계적 특성과 광학적 특성을 비교 시험한 결과는 다음과 같음

○ 충격강도, 인장 및 인열시험에 사용된 피복재는 4종의 연질필름이며, 광투과성 측

정에는 4종의 연질필름을 시험재료로 공시

○ 다트식 낙추시험에서 연질필름의 충격강도는 피복재가 두꺼울수록 파괴하중이 증가하여 50% 파괴수준 하중이 158~213g 범위에 있었으며, 저밀도 PE필름이 대체로 높게 나타남

○ 충격파괴정도를 보면 전혀 파괴되지 않는 최대 충격하중이 62~192g 범위였으며, 0.05mm에 비해 0.1mm 두께의 필름이 충격에 견디는 힘이 1.8~3.2배 더 강함

○ 인장하중은 0.95~2.22kg 범위로 피복재 길이방향이 더 높고, 저밀도 PE필름이 높게 나타나며, 신장률은 345~1020% 범위로 길이보다 폭 방향 1.4~2.7배 더 신장됨

○ 인열강도는 80.5~121.7kg/cm의 범위로 저밀도 PE필름이 높고 EVA가 낮은 것으로 나타나며, 길이방향보다 폭 방향이 더 큼

○ 연질필름은 자외선 영역에서 78~92로 큰 차이가 나타나지 않았으나 가시광선영역에서는 높은 투광율을 나타냄

표 3-5-1. Experimental Materials for Tensile Properties, Tear Propagation Strength and Free Falling Dart

Materials	Thickness (mm)
PE	0.05, 0.06, 0.1
LDPE 1	0.05, 0.06, 0.1
LDPE 2	0.05, 0.06, 0.1
EVA	0.06, 0.07, 0.1

표 3-5-2. Elongation by Films

Item		Derection of Length (%)		Derection fo width (%)	
		Yield	Maximum	Yield	Maximum
PE	0.05	45	345	18	956
	0.06	46	474.5	20	1056.2
	0.1	32.5	730	22	987
LDPE 1	0.05	28	366	20	1055.6
	0.06	25	535.6	21.2	984.4
	0.1	28.5	628	23	1020.5
LDPE 2	0.05	28.1	496.9	24	1002.5
	0.06	28.7	395.8	17.5	1023.7
	0.1	28.5	731	21	1171
EVA	0.06	28.5	783.5	27.5	987.5
	0.07	44	786	30.6	971.2
	0.1	45.5	632	29.5	1015.5

표 3-5-3. Tensile Strength

Item		Derection of Length (kgf/mm^2)		Derection fo width (kgf/mm^2)	
		Yield	Maximum	Yield	Maximum
PE	0.05	1.077	2.340	1.173	2.161
	0.06	1.059	2.149	1.078	2.022
	0.1	0.970	1.947	0.997	1.837
LDPE 1	0.05	1.074	2.401	0.957	1.979
	0.06	1.129	2.167	1.118	1.984
	0.1	1.097	2.143	1.059	1.983
LDPE 2	0.05	1.027	2.072	0.987	2.177
	0.06	1.098	.2.388	1.098	1.908
	0.1	1.146	2.258	1.184	2.201
EVA	0.06	0.803	2.344	0.731	1.911
	0.07	0.719	2.032	0.655	1.761
	0.1	0.756	1.977	0.661	1.644

표 3-5-4. Tear Propagation Strength

Item		Derection of Length (kgf/cm)	Derection fo width (kgf/cm)
		Yield	Yield
PE	0.05	101.001	98.587
	0.06	100.382	98.639
	0.1	95.319	73.702
LDPE 1	0.05	121.738	98.025
	0.06	101.353	84.818
	0.1	101.192	82.490
LDPE 2	0.05	99.867	79.495
	0.06	107.422	79.960
	0.1	100.443	82.077
EVA	0.06	89.386	75.671
	0.07	80.407	74.768
	0.1	84.702	61.260

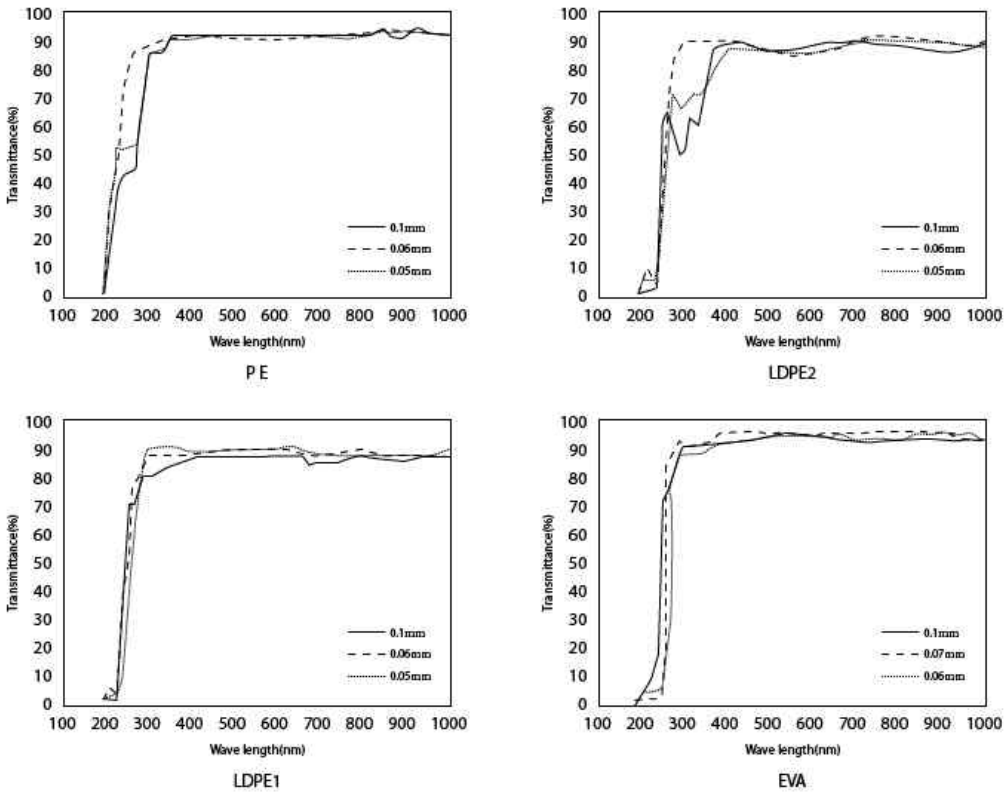


그림 3-5-3. Relationship of wavelength and transmittance
at PE, LDPE1, LDPE2 and EVA film

○ 외피는 단열성능, 일사차폐계수(SHGC) 등의 성능이 뛰어난 High Performance Glazing을 쓰되 외부의 두꺼운 유리와 내부의 얇은 또 하나의 유리층을 두거나 내부에는 필름이나 Membrane 형식의 이중 외피를 구성하여 단열효과 증대

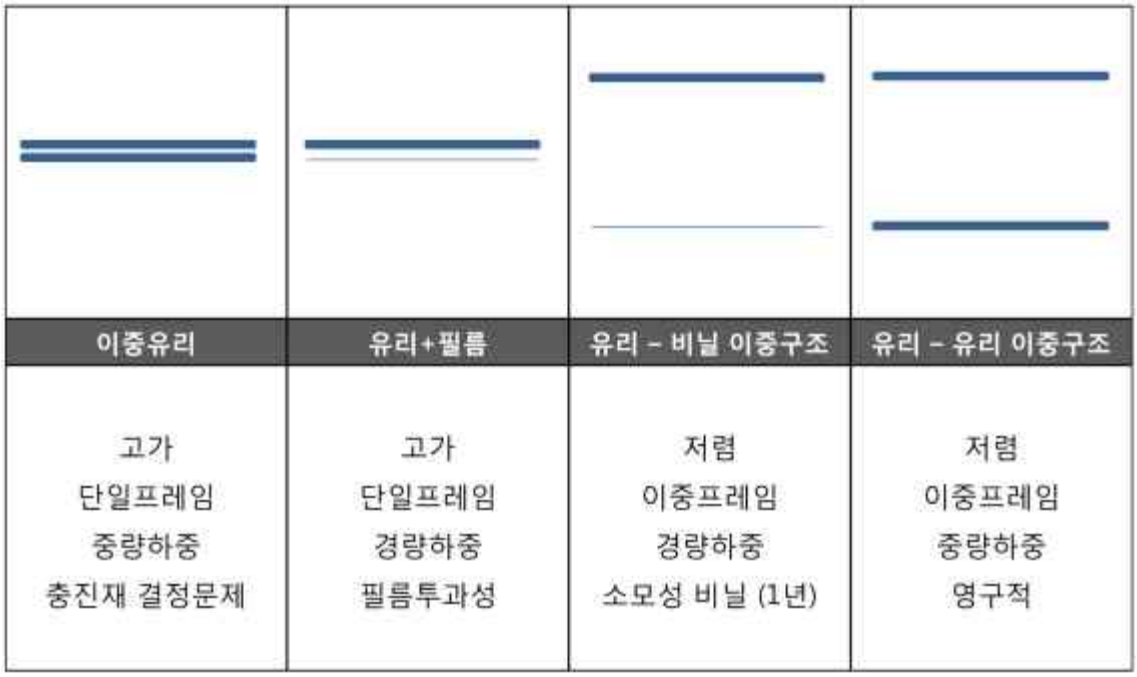
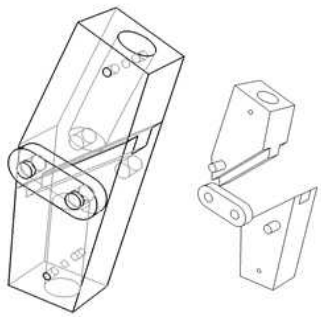


그림 3-5-4. 외피 요소별 성능 분석

6절 첨단온실 구조_폭설대비 제설 시스템

<table>
<tr><td>연구개발성과물</td><td colspan="4">Mechanical Fuse를 도입한 폭설대비 온실 구조변형 시스템</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구개발
성과물의 성격</td><td>요소기술</td><td>설계안</td><td>시작품</td><td>제품</td></tr>
<tr><td>O</td><td>O</td><td>O</td><td></td></tr>
<tr><td>연구내용</td><td colspan="4">○ 온실의 주요 피해원인인 폭설에 대응하여 지붕 경사각을 중심으로 설하중을 분석하고 적설하중의 분포에 따른 효과적인 대응방안을 모색
○ 농림수산식품부 산하 농촌진흥청 원예특작시설 내재해형 규격 설계도를 분석하여 단동, 연동형 비닐하우스의 요건을 분석하고 본 첨단온실 구조시스템에 도입
○ 폭설에 강한 비닐하우스의 구조적 강성이나 재활용, 사용성에 초점을 맞추어 공학적인 접근을 통해 저비용의 경제적인 Mechanical Fuse를 이용한 새로운 비닐하우스의 구조시스템 설계
○ 풍하중, 적설하중을 산정하여 서까래의 장력분포를 도출하여 퓨즈의 한계파단장력을 추산하여 Mechanical Fuse 설계
○ 폭설로 Mechanical Fuse가 파단 되어 비닐하우스가 변형되어 상부 서까래가 하부 서까래를 넘어서 지면에 고정되게 되고 하부 서까래는 안쪽으로 들어가면서 상단 눈을 털어내는 구조
 

Fuse System(상)과 시스템 적용 테스트(하)</td></tr>
<tr><td>향후연구과제</td><td colspan="4">○ 현재 설치한 비닐하우스는 크기를 축소한 prototype으로 실사이즈로 설치 시에는 작용하는 하중, 파이프의 bending stiffness 등 이 달라지므로 그에 맞게 퓨즈의 규격 또한 달라짐
○ ANSYS 등의 프로그램을 이용하여 원래 사이즈에 대한 시뮬레이션을 시행해보거나 실제 사이즈의 비닐하우스를 설치하여 실험 필요</td></tr>
</table>

1. 연구 배경 및 목적

○ 시설원예는 노지에서 작물이 자랄 수 없는 계절에 작물이 자랄 수 있는 환경을 인위적으로 조성하여 재배하는 것이며 하우스 외부 기상환경의 영향이 크고, 재해에 대한 위험이 항상 뒤따르기 때문에 다른 농업형태보다 위험부담이 크고 수확량이 불안정함

○ 작물 수확량의 안정성 측면에서 볼 때 시설재배에서 가장 큰 불안전 요소는 외부요인에 따른 시설 파손인 바, 우리나라는 태풍, 폭설과 같은 자연재해가 해마다 일어나며 이로 인해 비닐하우스가 파손되면 내부의 작물 역시 피해를 입고 농가경제에 심각한 영향을 미침

무수리 적설피해

금암1리 적설피해

편심에 의한 붕괴

부분적설에 의한 붕괴

적설에 의한 컨테이너 지붕 파손

적설에 의한 돈사 붕괴

그림 3-6-1. 2009년도 재난 및 사고사례
('09. 1. 23~25 충남 당진지역 대설피해원인 조사분석)

○ 첨단 차세대 도농복합지역형 식물공장의 구조체가 갖추어야할 요건들 중 하나로 도시와 농촌 혹은 이들의 경계지역에 존재하는 다양한 형식과 특성의 부지나 설치여건에 융통적으로 적응할 수 있는 확장 가능한 모듈형 구조가 요구됨

○ 즉, 충청권과 추후 전국 및 세계로 확대될 식물공장 시장에 범용적으로 적용하기

위해서는 아파트의 베란다, 옥상이나, 도시내에 수직형 건물 혹은 도시 인근에 대규모 온실형 농장형식으로 가변화가 가능한 프랙탈 형식의 단위 구조체가 필요

○ 이를 위해 지진, 폭우, 폭설, 태풍 등에 견딜 수 있고 경제적이며 조립 및 해체가 용이하여 다양한 부지에 설치 가능한 모듈형 구조시스템 연구가 이루어지면 농민에게 도움이 될 뿐만 아니라 재해로 인한 국가적 손실을 줄일 수 있음

2. 연구 방법 및 범위

○ 온실의 주요 피해원인인 폭설에 대응하여 지붕 경사각을 중심으로 설하중을 분석하고 적설하중의 분포에 따른 효과적인 대응방안을 모색. 농림수산식품부 산하 농촌진흥청 원예특작시설 내재해형 규격 설계도를 분석하여 단동, 연동형 비닐하우스의 요건을 분석하고 본 첨단온실 구조시스템에 도입

○ 내재해 비닐하우스의 필요성에 대해 인지하였고 마인드맵과 만달아트, QFD 등의 과정을 통해 본 프로젝트의 주제를 Mechanical Fuse를 이용한 새로운 비닐하우스의 설계로 확정

가. 폭설대비

○ 본 연구의 최종 결과물이 되는 구조 시스템의 첫 번째 특성은 '폭설에 강한 온실'로 이를 바탕으로 폭설에 강한 비닐하우스의 구조적 강성이나 재활용, 사용성에 초점을 맞추어 공학적인 접근을 통해 저비용의 경제적인 구조시스템을 설계

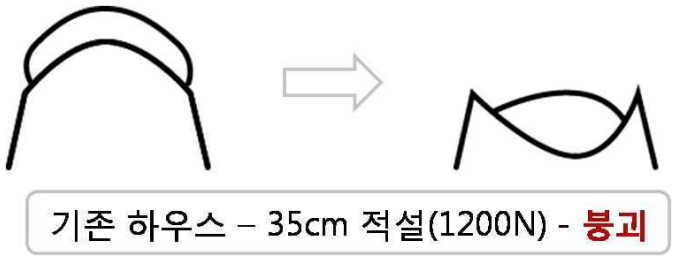


그림 3-6-2. 기존 비닐하우스의 적설 능력

○ 농촌진흥청의 연구결과에 의하면 기존의 비닐하우스는 폭설이 서까래 개당 35cm가 쌓일 경우 1200N의 하중이 가해지면서 붕괴가 일어나는 현상이 발생. 본 프로젝트에서는 '35cm 이상 즉 40~50cm의 폭설이 내리는 경우 (적설량 50) 라도 효과적으로 비닐하우스의 기능을 할 수 있는 구조물을 구현

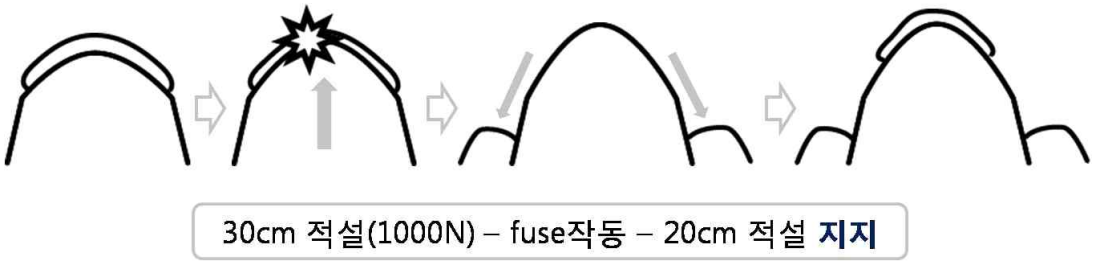


그림 3-6-3. 목표 비닐하우스의 적설 능력

○ 기본적인 작동 메커니즘은 '눈이 30cm(기존의 비닐하우는 35에 붕괴)에 mechanical fuse가 작동하여 쌓인 눈을 제거하고, 차후 눈이 20cm가 더 오더라도 (적설량 50) 그 기능을 수향할 수 있는 변형된 구조물로 그 역할을 다 한다'는 것

○ 이와 같은 비닐하우스는 주거용 집이나 자재창고와 같은 건축구조물과는 거리가 멀기에 무조건적인 폭설에 강한 구조물 보다는 경제성과 그 목적성, 그리고 한국 겨울의 기후를 고려하여 '어느 정도 눈이 쌓였을 경우 mechanical fuse가 작동할 것인가', '작동 후에는 어느 정도의 눈을 더 버틸 수 있는 구조물로 변형될 것인가' 를 결정

나. 작물보호

○ 두 번째 특성은 '작물 보호'이다. 현재 사용되고 있는 비닐하우스는 아래 그림과 같이 붕괴가 일어날 경우 철골 구조물이 손상될 뿐만 아니라 재배되고 있던 내부 작물 또한 그 피해를 입게 됨. 소방 방제청의 통계 자료에 따르면 비닐하우스 구조물 손상에 의한 피해액은 내부 재배작물의 피해액에 2배 이상 높음.

○ 따라서 폭설이 내릴 경우 하우스의 비닐을 파괴함으로써 비닐하우스 철골 구조물의 손상을 방지하는 것 또한 구조물 보호, 재활용, 자재절감 과 같은 의의가 있을 수 있으나 비닐하우스의 목적인 내부 작물 보호 또한 함께 고려하여 궁극적으로 기존 제품보다 더 나은 시스템을 갖춘 비닐하우스 구조물을 제작

다. 복원

○ Mechanical fuse의 기능은 전체적인 형태를 변형시킴으로써 힘의 분산을 도모하고 이를 통해 붕괴를 방지. 그러므로 본 프로젝트의 최종 결과물은 '변형 전' 과 폭설 후 '변형 후'에 대한 두 가지의 구조적 형태. 그러므로 재해 후 변형된 비닐하우스 구조물을 다시 '변형 전'의 형태로 복구하여 재사용이 가능

○ 가장 단순하고 직관적인 형태를 가지는 mechanical fuse system을 design을 필요로 하며, 이를 통해 사용자가 쉽고 간편하게 복구를 할 수 있도록 함. 또한

mechanical fuse는 재해를 대비한 소모품이므로 생산 공정이 단순하고 단가가 저렴한 재질과 형태의 design을 필요

라. 자재 절감

○ 경제성의 가장 중요한 척도는 '생산 단가'로 비닐하우스와 같은 구조물의 생산 단가에서 가장 큰 부분을 차지하는 자재비용의 절감은 정부고시안과 같은 구조 강화를 통한 재해대비용 비닐하우스와 견주었을 경우 경제적인 부분에서 장점

○ 물론 구조적으로 강한 비닐하우스 구조물을 지을 경우, 내재해성이 증가함으로 인해 폭설에 대한 충분한 해결책이 될 수 있으나 건축 구조물이 아닌 비닐하우스와 같은 간이 시설물의 목적은 최소한의 경비로 적절한 효과를 볼 수 있도록 하는데 그 의의가 있으며, 또한 4계절이 뚜렷한 국내 기후의 특성상 폭설이 내리는 연중 4주간의 겨울시즌을 위하여 이와 같이 많은 비용을 투자한다는 데에는 모순

○ 이런 폭설 대비, 작물 보호, 복원, 자재 절감의 기능을 할 수 있는 Mechenical Fuse 개념을 도입한 비닐하우스를 설계, 구현

3. 결과 및 고찰

○ Fuse System은 상부 퓨즈와 하부 퓨즈, 그리고 Mechanical Fuse로 구성. 상부 퓨즈에는 서까래 상부 부분이, 하부 퓨즈에는 서까래 하부 부분이 각각 체결. 레일에서 맞물려 Mechanical Fuse로 고정. 상부 퓨즈에 하중이 가해져 Mechanical Fuse가 파단 되면 상부 퓨즈와 하부 퓨즈 사이의 凸,凹 모양의 레일을 따라 서로 슬라이딩하게 되어 분리

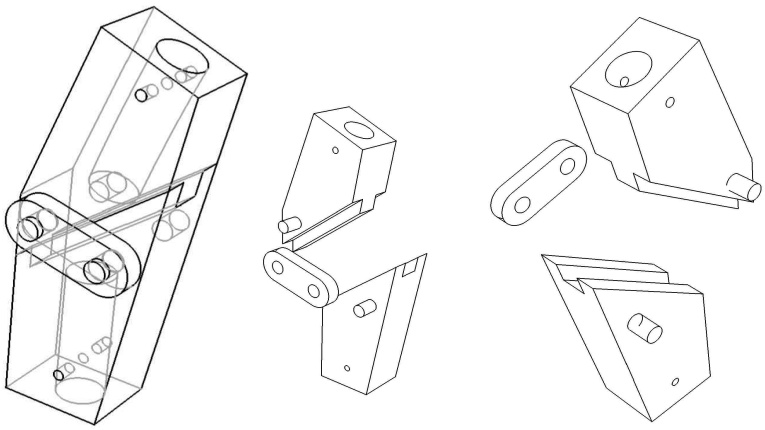


그림 3-6-4. Fuse system의 입체 도면

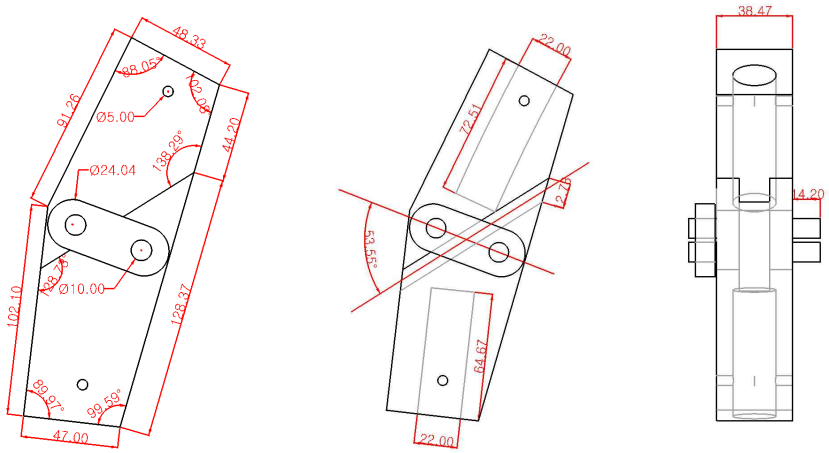


그림 3-6-5. Fuse system의 CAD 도면

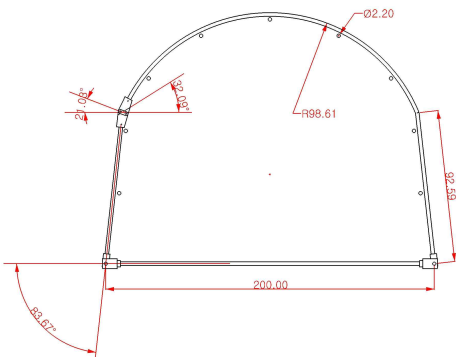


그림 3-6-6. 서까래 도면 (작동 전)

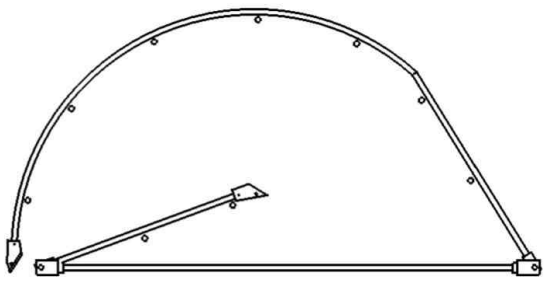


그림 3-6-7. 서까래 도면 (작동 후)

○ 뼈대를 구성하는 서까래 부분의 상세도. 폭 2m, 전체 높이 1.5m로 실제 비닐하우스 크기보다 작은 1/3 축소형. 이는 비닐하우스 크기가 중요한 것이 아니라 퓨즈의 작동 성능을 평가하기 위한 구조물로 실제 폭설로 Mechanical Fuse가 파단 되어 비닐하우스가 변형된 후의 모습. 상부 서까래가 하부 서까래를 넘어서 지면에 고정되게 되고 하부 서까래는 안쪽으로 들어가게 됨

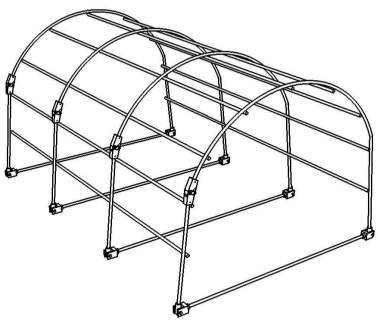


그림 3-6-8. 구조 전체 도면 (작동 전)

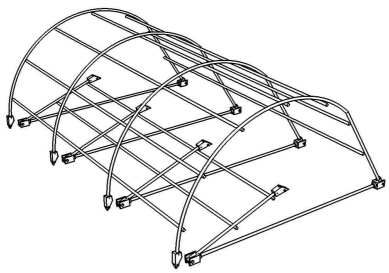
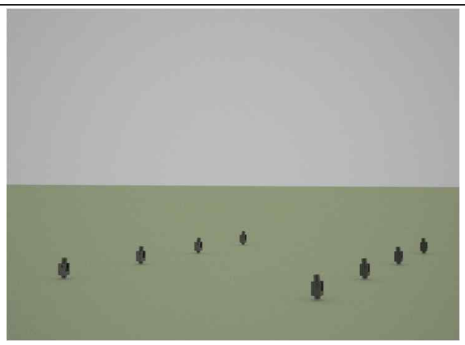
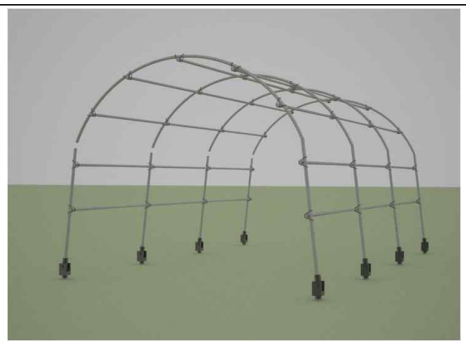
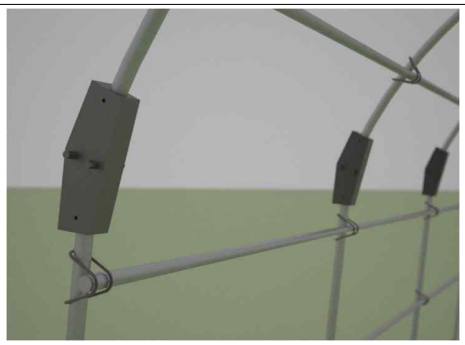
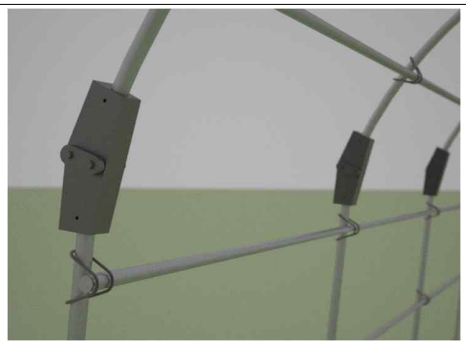
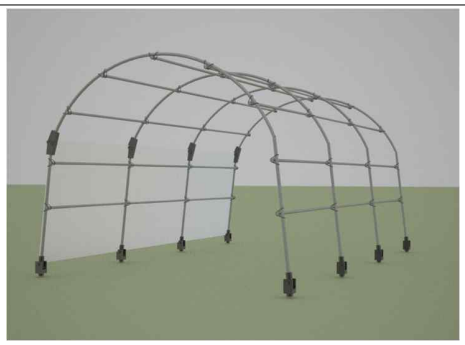
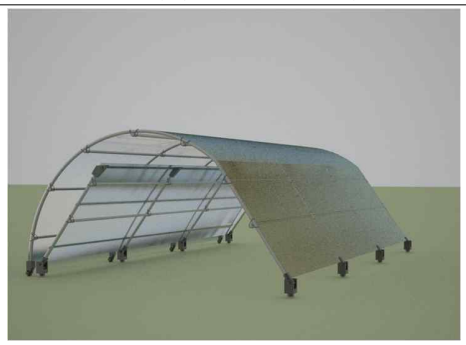


그림 3-6-9 구조 전체 도면 (작동 후)

4. Simulation

○ 설치부터 작동까지 모든 과정에 대하여 좀 더 알기 쉽게 표현하기 위하여 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 동영상으로 구현

 1. 지면에 지지대를 30cm 깊이로 심고, 조인트를 연결한다.	 2. 조인트에 서까래를 연결하고, 조리개를 사용해 가로대를 연결한다.
 3. 상부 퓨즈와 하부 퓨즈를 서까래에 연결한다.	 4. 상부 퓨즈와 하부 퓨즈 사이에 Mechanical Fuse를 연결하여 고정시킨다.
 5. 하부 서까래에 비닐을 씌운다.	 6. 상부 서까래에 비닐을 씌운다.
 7. 일정 이상의 하중이 작용하면 퓨즈가 작동한다.	 8. 높이가 낮아지며, 새로운 형태로 변형된다.

5. 이론적 분석

가. 적설하중 산정

○ 눈은 경사각이 커질수록 쌓이는 양이 감소. 일반적으로 경사각이 지면에서 약 60°이하인 경우에 쌓이며, 경사각이 30° 이상인 경우에는 거의 쌓이지 않음. 다음은 이를 고려하여 서까래의 하중분포를 계산하는 식

$$W_s = \rho \times D \times \alpha$$

W_s : 적설하중(kgf/m^2)

ρ : 적설의 단위체적중량$(kgf/cm \cdot m^2)$

α : 지붕경사에 따른 절감계수

표 3-6-1. 지붕경사에 따른 절감계수

경사각(°)	0 ~ 10	10 ~ 20	20 ~ 30	30 ~ 40	40 ~ 50	60 이상
눈의 무게	1.00	0.90	0.75	0.50	0.25	0.00

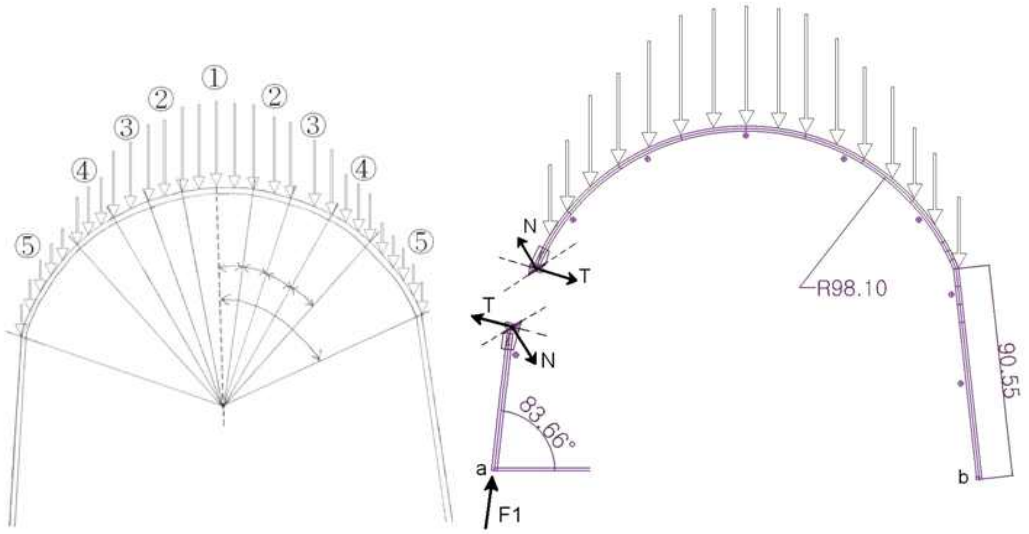


그림 3-6-10. 이론적 적설하중 자유물체도

$$W = 1.0kgf/cm \cdot m^2 \times 25cm \times \{\sin 10 + 0.9 \times (\sin 20 - \sin 10) + 0.75 \times (\sin 30 - \sin 20) + 0.5 \times (\sin 40 - \sin 30) + 0.25 \times (\sin 60 - \sin 40)\} \times 0.981m \times 1m \times 2$$
$$= 28.0kgf = 274.7N$$

○ 따라서 서까래 하나에 작용하는 하중은 약 274.7N. 이를 사용하여 앞서 설계한 퓨즈에 작용하는 장력을 계산. 이 과정에서 퓨즈의 설치 각도는 아래 그림에 나타난 것과 같으며, 이를 사용하여 퓨즈의 장력 계산.

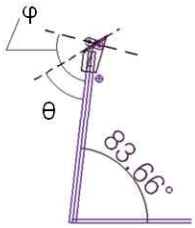


그림 3-6-11. Fuse 각도

$$\Sigma M_a = T \times 90.55mm \times \sin\phi - N \times 90.55mm \times \cos\theta = 0$$

$$\begin{aligned}\Sigma M_b = {} & N \times \sin(83.66-\theta) \times 90.55 \times \sin(83.66) \\ & - N \times \cos(83.66-\theta) \times (200 - 90.55 \times \cos(83.66)) \\ & + T \times \cos(173.66-\phi) \times (200 - 90.55 \times \cos(83.66)) \\ & - T \times \sin(173.66-\phi) \times 90.55 \times \sin(83.66) + W \times 100 = 0\end{aligned}$$

위 두 식을 연립하여 풀면, $T = 222.7N$

○ 따라서 퓨즈에 $T = 222.7N$의 힘이 가해질 때 파단 되도록 설계. 퓨즈의 파단강도를 σ_F, 퓨즈의 단면적을 A라고 두면, $T = \sigma_F A$. 퓨즈의 재질을 결정하면 σ_F가 결정되고, T를 이미 알고 있으므로, 퓨즈의 단면 A를 설계

나. 풍하중 산정

○ 앞서 적설하중 산정 과정에서 설계한 퓨즈가 풍하중에는 어느 정도까지 버틸 수 있는지 그 규격을 설정하기 위해서 농촌진흥청에서 가져온 자료를 사용하여 풍하중을 계산. 농촌 진흥원 자료에 의하면 비닐하우스 한 방향에서 바람이 불어올 때 풍하중은 다음과 같이 계산 가능

$$W_w = c \times q \times \alpha \times \beta$$

$$q = 0.0197\, V^2 \sqrt{h}$$

W_w : 풍압력(kgf/m^2)

c : 풍력계수(그림참조)

α : 지형이나 시설의 배치에 따른 할증계수(기본값 1.0)

β : 차폐물이 있는 경우 절감계수(차폐물 없을 시 1.0)

q : 속도압(kgf/m^2)

V : 설계풍속(m/s)

h : 하우스의 평균높이(m)

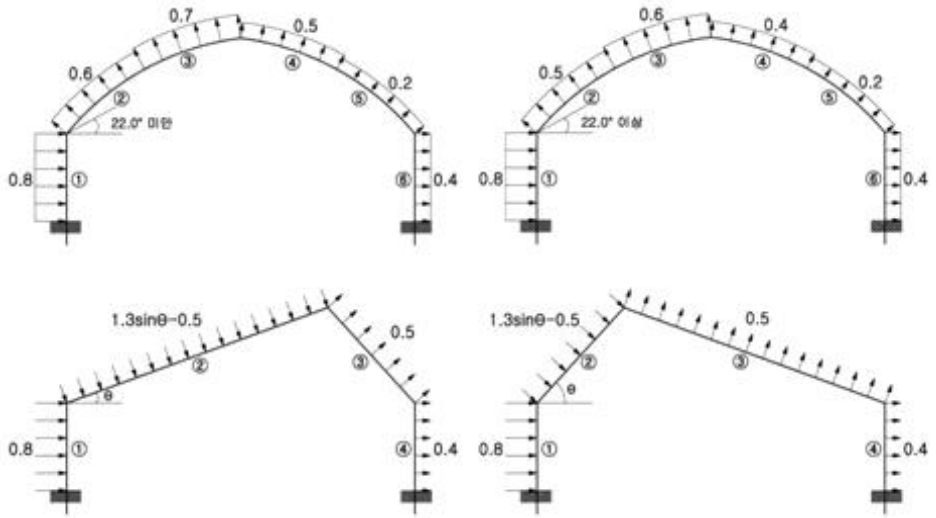


그림 3-6-12. 풍력 계수

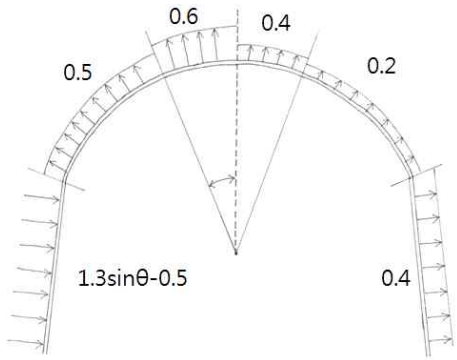


그림 3-6-13. 비닐하우스 풍력계수

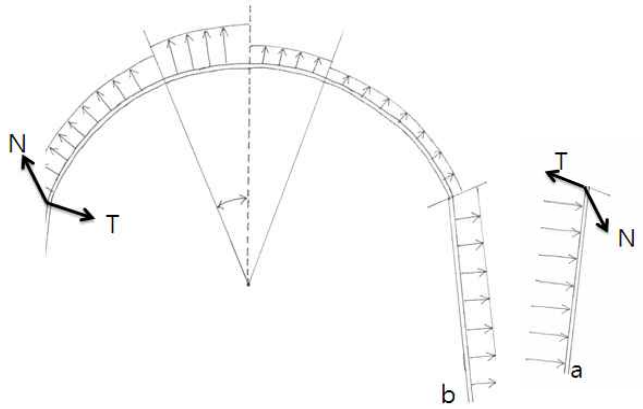


그림 3-6-14. 자유물체도

$\Sigma M_a = 0.792q \times 0.9055 \times 0.9055/2 + N \times \cos 51.57 \times 0.9055 - T \times \cos 14.69 \times 0.9055 = 0$

$\Sigma M_b = \vec{N} \cdot \vec{L} + \vec{T} \cdot \vec{L} + \int \overrightarrow{W_w(x)} \cdot \vec{L} dx = 0$

$\vec{L}$: b점에서 각 힘의 작용점까지의 직선거리

위 식을 사용하여 계산하면

$q = 63.30 kgf/m^2 = 0.0197\, V^2 \sqrt{1.2}$

$\therefore V = 54.16 m/s$

○ 이 계산을 바탕으로 본 설계는 풍하중에 매우 강함. 그러나 풍하중 외의 다른 모든 하중은 작용하지 않는다고 가정했으며 수식 상의 오차 또한 존재 확인 필요. 또한 하부에 회전 조인트가 설치되어 있기 때문에 그 영향도 고려 요구

6. 자재 구매 및 제작

표 3-6-2. Mechanical Fuse 구조물 구성요소

 22mm 비닐하우스용 파이프(SPVH)	 22mm 파이프용 조리개
 조인트	 상부 퓨즈, 하부 퓨즈
 비닐하우스용 비닐	 비닐 고정용 클립
 파단 퓨즈	

가. Mechanical Fuse 제작

그림 3-6-15. Fuse system proto-type 제작 과정

○ Mechanical Fuse를 제작하기 위하여 5×5×10 알루미늄을 구입 후, 밀링 공정과 드릴 공정을 통해 설계했던 수치대로 Fuse system을 제작

나. 기반 설치

○ 서까래가 회전할 수 있도록 서까래의 하부 부분에 조인트를 연결하였다. 서까래가 연결될 하부 조인트를 일정 간격(70cm)으로 놓고 지면에 꽂아 고정

그림 3-6-16. 기반 설치

다. 서까래 연결 & 고정

그림 3-6-17. 조인트에 서까래 연결

그림 3-6-18.조리개로 가로대 연결

○ 지면에 고정시킨 하부 조인트에 서까래를 연결하여 나사로 조여 지면과 수직이 되도록 고정시켰다.(그림 82) 서까래를 연결 후, 그림 83와 같이 조리개를 이용하여 서까래와 가로대를 연결

라. Fuse System 장착

○ 연결한 서까래의 끝 부분에 각 Fuse system을 꽂아 나사를 조여 고정시켰다. Fuse system의 slide 부분이 잘 미끄러지도록 방향을 맞추어 고정

그림 3-6-19. 서까래에 Fuse system 연결

마. 비닐

그림 3-6-20. 서까래에 비닐을 씌우고, 클립으로 고정한다.

○ 상부 서까래에 비닐을 씌우기 위해 먼저 비닐을 전체 구조물 위로 덮은 후, 양 끝에 있는 가로대에 비닐을 팽팽하게 당긴 후 클립으로 고정

그림 3-6-21. 완성된 비닐하우스 실험 구조

7. 실험적 분석

가. 비닐 파손 여부 및 보온성 유지 확인 실험

○ 본 실험에 앞서 비닐하우스가 보온성을 유지하는가, 그리고 비닐하우스 작동 시에 비닐이 파손되지 않는가를 확인하는 비닐 실험이 선행. 실험은 본래 계획대로 두 개의 서까래 양쪽에 비닐을 설치하여 진행. 양쪽 비닐의 사이는 작동 시 파이프에 무리를 주지 않고 비닐이 분리될 수 있도록 간단히 연결. 퓨즈를 두께 1mm(1t)로 설치하고 임의로 하중을 가하여 작동 모습을 확인

○ 아래 사진에서 확인할 수 있듯이 비닐하우스가 작동 후에도 비닐이 파손되지 않고 작동 후에도 서까래와 비닐이 바닥에 고정되어 보온성이 유지될 가능성이 있음을 확인

그림 3-6-22. 구조 프레임 파손 및 퓨즈연동 실험

나. 퓨즈 연동 확인

○ 비닐하우스에 퓨즈를 각각 분리하여 설치하였기 때문에 퓨즈의 문제점으로 연동이 안 될 가능성이 제기. 하지만 직접 실험을 해 본 결과, 서까래에 하중이 걸릴 때 퓨즈가 한 개라도 깨지면 옆의 퓨즈에 영향을 미쳐 연속적으로 깨짐을 확인

다. 하중 입력 및 눈 털어짐 확인 실험

○ 본 비닐하우스는 일정 하중 이상의 눈이 쌓이게 될 경우, 퓨즈가 파괴되는 것을 목적으로 함. 따라서 적정 퓨즈를 찾기 위해 퓨즈의 개수를 달리하면서 하중을 단계적으로 증가하는 방식으로 실험을 진행

○ 실제 서까래에는 경사각이 커질수록 쌓이는 눈이 줄어들기 때문에 경사각에 따라 하중이 다르게 분포. 이와 같은 유사한 환경을 제공하기 위해 유압장치를 이용하여 각 서까래를 경사도에 따라 하중을 달리하는 방식 도입. 하지만 실제 실험에 적용해본 결과, 유압장치는 비닐하우스에 비해 부피가 많이 나가고 작동원리가 실험 목적에 부적합하였기 때문에 차선책으로 모래주머니를 사용하는 방식

선택. 따라서 본 실험에서는 모래주머니를 쌓아올려 각 서까래에 걸리는 하중을 5kg씩 증가

○ 실제 눈이 25cm 쌓였을 때 서까래 하나당 걸리는 하중은 이론적인 분석을 통해 28kgf로 계산. 따라서 이 값을 기준으로 하여 하중을 버틸 수 있도록 퓨즈를 각각 1t, 2t, 3t로 1t씩 증가시키면서 실험.

(1) 1t

○ 비닐하우스를 세우고 퓨즈 상단, 하단 부에 1t 퓨즈를 설치하고 5kg 모래주머니를 서까래 위에 올려 하중을 가하였다. 실험의 정확성을 위해 5번 반복

○ 실험 결과 40kgf(서까래 하나당 10kgf)에서 정상적으로 작동하였고 작동 후 대부분의 모래주머니가 서까래로부터 떨어짐

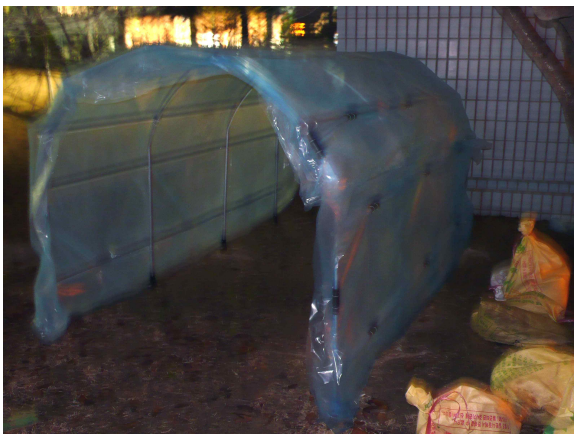


그림 3-6-23. 하중 가하기 전 모습

그림 3-6-24. 하중 가한 뒤의 모습

표 3-6-3. 퓨즈 1개 연결 시 작동 실험

	파단 시 하중	작동 여부	떨어진 모래주머니
1차 시기	40kgf	o	4
2차 시기	40kgf	o	4
3차 시기	40kgf	o	3
4차 시기	40kgf	o	4
5차 시기	40kgf	o	3

(2) 2t

표 3-6-4. 퓨즈 2개 연결 시 작동 실험

	파단 시 하중	작동 여부	떨어진 모래주머니
1차 시기	70kgf	o	7
2차 시기	80kgf	o	6
3차 시기	70kgf	o	7
4차 시기	80kgf	o	6
5차 시기	80kgf	o	8

(3) 3t

표 3-6-5. 퓨즈 3개 연결 시 작동 실험

	파단 시 하중	작동 여부	떨어진 모래주머니
1차 시기	110kgf	o	9
2차 시기	100kgf	o	10
3차 시기	100kgf	o	10
4차 시기	110kgf	o	11
5차 시기	100kgf	o	10

○ 퓨즈를 3t로 설치하였을 경우, 평균적으로 1개의 서까래에 약 25kgf-27.5kgf의 하중까지 버틸 수 있음. 이는 이론적인 값인 28kgf에 근사한 값으로써, 퓨즈가 3t일 때 25cm의 적설량에 충분히 버틸 수 있다는 사실을 확인. 또한 대부분의 모래주머니가 비닐하우스 작동 시에 떨어지기 때문에 어느 정도의 제설 효과가 있을 것이라고 기대

○ 실험적 분석을 통해 우리 아이디어가 실제적으로 구현 가능함을 확인. 처음 설계한 바와 같이 눈이 쌓인 후 퓨즈가 원활하게 작동하는 것을 확인할 수 있었으며, 정량적인 분석을 한다면 원하는 하중이 가해질 때 퓨즈가 작동하도록 할 수 있을 것으로 보임

8. 결론

○ 매년 태풍 · 폭설과 같은 재해로 인해 비닐하우스에 큰 피해가 발생. 이에 정부는 비닐하우스 구조를 강화하는 방법으로 이를 해결하고자 함. 하지만 이는 구조적으로 강해진 장점을 갖는데 반해 더 강한 재료를 많이 사용함으로써 농민들이

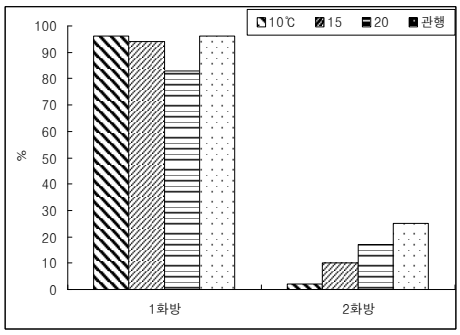
지불하기에는 부담스러운 가격이 됨. 이러한 농민들의 경제적 문제점과 구조적 허술함을 해결하기 위해 mechanical fuse 라는 신개념을 도입하여 이를 새롭게 접근

○ 대부분의 비닐하우스 관련 특허는 새로운 구조 또는 추가 제설장치로 구분. 본 연구에서는 mechanical fuse라는 개념을 도입.

○ 현재 설치한 비닐하우스는 크기를 축소한 prototype. 축소된 prototype에서는 설계한 대로 작동함을 확인. 실제 사이즈로 설치 시에는 작용하는 하중, 파이프의 bending stiffness 등 이 달라지기 때문에 그에 맞게 분석을 해야 하며, 퓨즈의 규격 또한 달라짐. 따라서 ANSYS 등의 프로그램을 이용하여 원래 사이즈에 대한 시뮬레이션을 시행해보거나 실제 사이즈의 비닐하우스를 설치하여 실험 필요

7절 식물공장 특화작물(딸기) 연중생산 연구

<table>
<tr><td>연구개발성과물</td><td colspan="4">식물공장 특화작물(딸기) 연중생산 연구</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구개발
성과물의 성격</td><td>요소기술</td><td>설계안</td><td>시작품</td><td>제품</td></tr>
<tr><td>O</td><td>O</td><td>O</td><td></td></tr>
<tr><td>연구내용</td><td colspan="4">○ 엽채류 이외 식물공장용 특수작물생산을 위한 작물 생육환경에 대한 분석을 위해 충청남도 특작물 딸기를 대상으로 태양광이용 식물공장에서 딸기 연중생산을 위한 고온기 일계성 딸기 저온단일처리가 생육에 미치는 영향을 분석
○ 본 연구는 태양광이용 식물공장에서 딸기 연중생산을 위한 기초연구로서, 일계성 딸기의 단경기 생산을 극복하고 고온기 연속출뢰가 가능하도록 고온기 정식묘를 저온단일처리하여 연중생산의 가능성을 검토
○ 일계성 품종인 '설향' 딸기묘를 30일간 야간저온처리 하여 이동식 대차 위에 설치된 고설수경재배시스템에 처리별 정식
○ 정식묘에 대한 야간저온처리는 10℃, 15℃, 20℃와 관행구로 하여 주간에는 이동식 대차를 저온저장고에서 꺼내서 딸기가 자연환경에 노출되어 충분한 광합성을 하도록 하였고 야간에는 대차를 실내로 넣어서 저온처리
○ 고온기에 냉장처리묘를 정식하고 정식 후 계속하여 저온단일처리 55일 후에 엽장, 엽병장, 엽폭의 생육을 조사

Cold Storage Room in order to Low-Temperature and Short-Photoperiod Treatment during a High-Temperature Season(좌), 출뢰율(우)</td></tr>
<tr><td>향후연구과제</td><td colspan="4">○ 저온처리 시설의 식물공장 적용 설계 및 운영시스템에 대한 방안 수립
○ 특수작물 연중생산을 위한 실내환경 조성 및 관리방안도출
○ 연중 작물생산의 경제성 평가 및 설비운영 타당성 확보</td></tr>
</table>

1. 연구배경 및 목적

○ 엽채류 이외 식물공장용 특수작물생산을 위한 작물 생육환경에 대한 분석을 위해 충청남도 특작물 딸기를 대상으로 태양광이용 식물공장에서 딸기 연중생산을 위한 고온기 일계성 딸기 저온단일처리가 생육에 미치는 영향을 분석

○ 태양광이용형 식물공장에서 딸기를 연중생산 하기 위한 주년생산 체계는 1980년대 후반에 개발된 단일야냉육묘 기술에 의해 촉성재배 작형이 완성되었고 현재는 육묘방법에 의한 화아분화 촉진기술을 응용하여 일계성 품종의 주년생산을 위한 화아분화 유도가 언제든지 가능하게 되어 단경기 생산이 시도되고 있으나 연중생산에 대한 연구는 미흡한 실정

○ 본 연구는 태양광이용 식물공장에서 딸기 연중생산을 위한 기초연구로서, 일계성 딸기의 단경기 생산을 극복하고 고온기 연속출뢰가 가능하도록 고온기 정식묘를 저온 단일처리하여 연중생산의 가능성을 검토

2. 연구 방법 및 범위

○ 본 실험은 충남농업기술원 미래농업연구과 단동비닐하우스 포장에서 수행. 딸기묘 화아분화 및 정식묘의 일정기간 야간저온단일 처리를 위하여 야간저온처리시스템을 폭 7m, 길이 25m의 비닐온실 내에 1.5m×7m×2.4m 크기의 저장고를 3개 설치하고 내부에 각각 2hp 용량의 냉동기를 설치하여 저온처리실을 제작.

○ 저온처리실 내부에서 밖으로 연결되는 레일을 설치한 다음 이동식 대차(폭 1m, 높이 1m, 길이 6m)를 각각 설치. 이동식 대차는 딸기묘와 정식묘의 주간 상온처리와 야간 저온처리시 저장고 내부와 외부를 자유롭게 이동할 수 있도록 설치

○ 일계성 품종인 '설향' 딸기묘를 2012년 7월 20일에 농가에서 구입하여 8월 21일까지 30일간 야간저온처리 하여 8월 22일에 이동식 대차 위에 설치된 고설수경재배시스템에 처리별로 20cm 간격, 2조식으로 정식

○ 정식묘에 대한 야간저온처리는 10℃, 15℃, 20℃와 관행구로 하여 주간(09:00~17:00)에는 이동식 대차를 저온저장고에서 꺼내서 딸기가 자연환경에 노출되어 충분한 광합성을 하도록 하였고 야간(17:00~09:00)에는 대차를 실내로 넣어서 저온처리(15℃)

그림 3-7-1. Cold Storage Room in order to Low-Temperature and Short-Photoperiod Treatment during a High-Temperature Season

3. 결과 및 고찰

○ 고온기에 냉장처리묘를 정식하고 정식 후 계속하여 저온단일처리 55일 후에 엽장, 엽병장, 엽폭의 생육을 조사

○ 전체적으로 관행으로 재배관리한 처리에서 생육이 큰 변화를 나타내면서 증가하였고 처리온도가 낮을수록 생육이 감소하는 경향

○ 10℃처리에서는 저온에 의한 석회결핍으로 팁번 증상이 나타났으며 15℃, 20℃ 처리간에는 생육 차이가 나타나지 않음

○ 정식 2개월 후 개화율은 15℃ 처리에서 개화가 촉진되어 개화율이 92%로 높았으며, 10℃ 처리에서 생육도 늦고 개화율도 52%로 낮음

○ 1화방 출뢰율은 84~96%로 관행 및 10℃에서 높게 나타났고 20℃에서 낮게 나타났다. 2화방 출뢰율은 관행에서 25% 높게 나타났고 처리온도가 낮아질수록 낮은 경향을 나타냄

표 3-7-1. Effect of Low-Temperature and Short-Photoperiod Treatment on Growth of 'Sulhyang' Strawberry(55days after Planting)

Treatment	Petiole length (cm)	Leaf length (cm)	Width length (cm)
10℃	5.7b	6.9b	6.2b
15℃	7.8ab	8.4ab	7.6ab
20℃	7.4ab	8.6ab	7.8ab
Control	8.7a	9.3a	8.4a

표 3-7-2. Effect of Low-Temperature and Short-Photoperiod Treatment on Flowering rate of 'Sulhyang' Strawberry

Treatment	Flowering rate after planting(%)		
	55days	58days	62days
10℃	2	9	52
15℃	50	59	92
20℃	47	59	75
Control	49	68	86

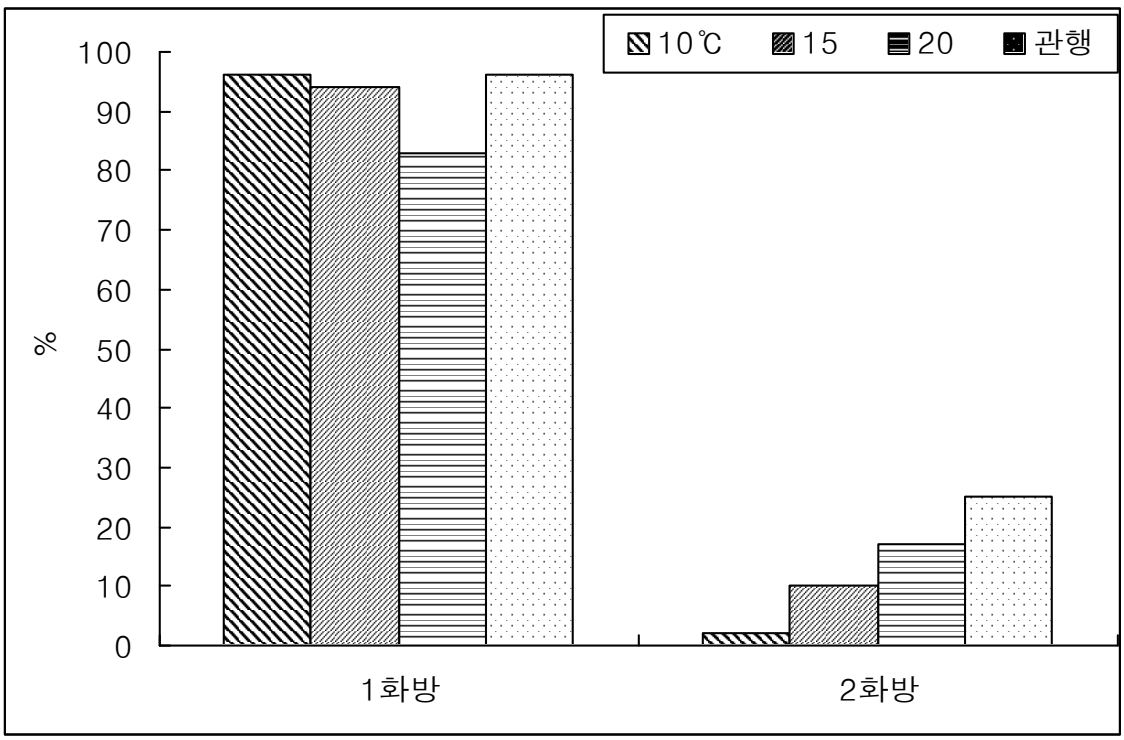


그림 3-7-2. 출뢰율(정식후 55일)

8절 경제성 평가

1. 연구 배경 및 목적

가. 기존 식물공장의 경제성 분석

○ 현재 식물공장이 가지고 있는 빛, 온도·습도, 이산화탄소 농도 및 배양액 등의 환경제어의 결과에 따른 경제적 이익 분석

○ 식물공장이 가지고 있는 매출액 분석과 인공적인 환경 조성에 따른 운영비 및 시설비를 고려한 실제 순이익을 고려하여 장기적인 이익 도출

나. 기존 식물공장과의 비교를 통한 자연광 적층형 식물공장의 이익 분석

○ 기존 인공광원(LED)사용에 따른 전기세 등의 운영비와 인공광원 설치에 따른 실제적 이익 미비

○ 노지, 시설, 인공광 적층형 식물공장, 자연광 적층형 식물공장의 경제성 분석을 통한 자연광형 식물공장의 경제적 타당성을 검토하고 기존 인공광형 식물공장과의 비교우위 분석

○ 기존 식물 공장의 생산량 증대의 원인 수렴 및 분석, 자연광 적층 식물공장과의 비교를 통한 자연광 적층 식물공장의 경제적 실효성의 고찰 및 상용화에 대한 경제적 근거 마련

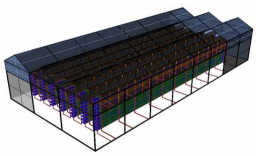
표 3-8-1. 기존 온실 및 식물공장 대비 SEED 시스템 LCC평가 결과

	기존 온실	기존 식물공장 (인공광 적층형 식물공장)	SEED (자연광 적층형 식물공장)
생산량 (Kg/m²)	2.93	80.14	36.33
매출액 (원/m²)	19,078	961,680	435,960
생산비 (원/m²) (운영비 + 감가상각비)	3,975	901,491	304,942
당해연도 순이익 (원/m²)	15,103	60,189	131,018
초기투자비	100,000	2,065,640	976,440
20년 순이익의 현가	157,308	1,560,674	2,917,889

2. 연구 방법 및 범위

가. 식물공장 유형에 따른 특징 분석

표 3-8-2. 식물공장의 광원에 의한 구분

구분	기존 시설 (비닐하우스, 온실)	부분제어형- 태양광 병용형	완전제어형- 기존 식물공장 (인공광 적층형)	SEED (자연광 적층형)
광원	자연광(태양광)	자연광, 인공광 360W 이상의 고압 나트륨 등이 주류, 고광량 형태도 존재	인공광 660W 이상의 고압 나트륨 램프가 주류, 형광등 시설도 존재	자연광
광 제어	불가	가능	가능	가능
재배 구조	단층형	단층형	적층형	적층형
계획생산	부분적 가능	부분적 가능	가능	가능
초기 투자비	저렴	저렴	고가	저렴
유지비	저렴	저렴	고가	저렴
환경제어	-	외부 영향을 받기에 다소 어려움	비교적 간단한 제어 가능	비교적 간단한 제어 가능
CO_2 제어	부분적 필요	필요	필요	필요
재배 작물	다양한 작물	광 요구도 높은 과채류, 화훼 중심	엽채류 중심	엽채류 및 딸기 인삼 등
연중 생산	불가	가 능 (연중생산이 가능하나 계절에 영향을 받음)	가능	가능
선진기술	-	네덜란드, 일본	일본, 유럽	-
비 고	온실형	온실형	건물형	온실형
				

나. SEED의 우위성 분석

(1) 경제적 측면

(가) 초기 투자 비용

① 조명

○ 인공광 완전제어형 식물공장에 사용되는 인공광은 1㎡당 60-100W의 조명이 필요함(LED 기준)

○ 인공광은 1W당 약 2,000원의 설치비가 소요됨[6)]

○ 이러한 광원 설치비는 식물공장 설치비의 약 45%를 차지하므로, 설치비 상승의 주요인으로 작용함.

○ 본 시스템의 경우 인공광원을 사용하지 않아 750,000원/㎡의 설치비를 절약할 수 있음

② 환경제어시스템

○ 인공광을 이용하는 폐쇄형 식물공장의 경우 건물형 구조로 인하여 이산화탄소 및 증산제어시스템, 인공광에 의한 열방출에 의한 온도제어시스템의 설치가 필수적인 반면 SEED 시스템의 경우 반드시 건물형 구조가 아니기 때문에 이를 선택적으로 적용이 가능

○ 특히 이산화탄소 센서와 이산화탄소 공급설비에 의한 비용 약 530,000원을 절감(150㎡ 기준, 센서 2×150,000원 및 공급설비 1×230,000원)[7)]

(나) 유지비 측면

○ 인공광 완전제어형 식물공장은 인공광에 의한 발열, 이산화탄소 농도 및 증산 농도의 제어가 필요하고, 이를 위해 소요되는 에너지투입량은 1kg당 약 8.7리터에 해당한다. 이는 기존비닐하우스에 투입되는 에너지양의 약 60배에 해당함[8)](GSnJ리포트, 양승룡 고려대교수)

○ 본 시스템의 경우 인공광 및 환경제어를 위한 설비가 필요하지 않으므로 1kg당 약 15,660원의 에너지를 절감

○ 인공광을 이용한 완전제어형 밀폐식 식물공장의 경우 단위기준 345㎡에 사용되는 총 LED 의 숫자가 14,688개로(1m²당 42개),여기 사용되는 전력량은 17.355kW가 되고(LED 1개당 평균 사용전력 1.02W, 적색은 1개당0.77W, 청색, 백색은 1개당 약 1.12W 소모),이 설비 전체를 매일 24시간 가동한다면 월

6) ((주)PARUS사의 시공기준)
7) (주) 카스트사 식물공장 시공 견적서 기준
8) GSnJ 리포트, 양승룡 고려대 교수

전체 전기 사용량은 17,355*24h* 30 에서, 월 12,495kWh 가 되고, 월 전기요금[9]은 454,818원, 즉 평 당 4,373(원/월)이 절약 가능

(다) 생산량 측면

○ 기존의 자연광을 이용한 식물공장의 경우 적층형 재배가 원천적으로 불가능함. 최상단의 작물로 인한 음영으로 인해 하단의 식물의 광원을 제공하지 못하기 때문임

○ 이에 반해 인공광을 이용한 식물공장의 경우 빛을 인공적으로 제어하여 재배공간을 적층형으로 조성할 수 있음. 하지만 이 경우 생산량을 증대시킬 수 있지만, 재배 각 층에 개별적인 광원의 설치와 유지비로 인하여 경제성을 보장하기 힘듦

○ 본 시스템의 경우 태양광을 이용할 수 있고, 이러한 태양광의 입사를 조절함으로 인하여 최대 10층의 적층형 구조화가 가능하여 재배면적을 극대화 할 수 있어, 인공광형 적층식 구조의 식물공장의 광원설치 및 유지비 없이 태양광형 식물공장 대비 10배의 작물을 생산 가능

(2) 비경제적 측면

(가) 소비자선호측면

○ 현재 인공광원을 이용한 식물공장에서 재배되는 농산물에 대하여 영양학적인 체계적인 연구가 미비함. 이 시점에서 인공광에 의해 생산되는 농산물에 대한 불안감이 존재[10]

○ 연구에서는 인공광을 배재하고, 자연광의 이용을 극대화하여 재배하기 때문에 소비자의 거부감과 상품의 안정성을 확보하고, 친환경 프리미엄 이미지를 구현

(나) 질적 측면

○ 식물공장에 사용되는 인공광원에는 메탈할라이드램프, 고압나트륨램프, 제논램프, 백색형광등에 청색(450nm) 및 적색(660nm)의 LED 램프가 사용됨. 하지만 이러한 광원은 각기 가지고 있는 빛의 파장대가 상이하여 단독으로 이용하였을 시에는 생체중, 건물중, 엽록소 함량 등 최대 10%의 차이가 발생. (식물생산공장의 광원 및 환경제어시스템 개발, 전북대학교)

9) 농업용 <병> 적용, kWh 당 36.4 원
10) 제 38차 제주미래전략사업연구회 정책토론회 결과보고서

○ 본 연구에 사용되는 광원은 자연광으로써 빛의 광질 개선의 필요가 없고, 다양한 파장대의 고른 빛 공급을 통하여 생체중, 건물중, 엽록소 함량 감소의 우려 불식

표 3-8-3 사용되는 인공광원에 의한 생장량

처리	Dry weight (g/plant)		Dry matter (%)		T/R ratio		Leaf color	
	Top	Root	Top	Root	FW	DW	Hue	Saturation
메탈할라이드	2.07a	0.374a	4.03a	5.15a	7.05ab	5.57a	112.25ab	42.14b
제논	2.04a	0.326a	4.08a	5.13a	7.90a	6.36a	111.39b	40.93b
고압나트륨	1.87ab	0.368a	3.97a	5.34a	6.83b	5.17a	114.23a	46.04a
백색형광등	1.73b	0.320a	3.61a	5.13a	7.84a	5.74a	111.86b	42.61b
$LSD_{0.05}$	0.26	0.079	0.52	1.06	0.95	1.64	2.04	2.45

다. 경제성 평가

(1) 생산량

표 3-8-4. 시설 및 노지 평균생산량의 비교(농림수산식품부 채소 특작과)

	기존온실(생산량 t)	기존온실(면적 ha)	노지(생산량 t)	노지(면적)
2001	124,854	5,598	27,655	1,316
2002	145,136	5,234	33,862	1,544
2003	153,372	5,383	36,932	1,611
2004	167,987	5,166	36,799	1,625
2005	136,882	4,281	30,130	1,329
2006	127,950	4,185	32,334	1,443
2007	130,793	4,005	24,006	1,079
2008	114,341	3,512	23,757	1,062
2009	124,277	4,213	21,784	1,074
2010	126,801	4,539	14,458	709
평균	135,239.3	4,611.6	28,171.7	1,279.2

○ 노지와 유리온실의 생산량 평균 생산량 산정: 유리온실과 노지의 최근 10년부터 2010년간이 평균생산량 산출. 유리온실의 경우 헥타르 당 22025Kg이 생산되었고, 이를 단위 면적(m^2)으로 환산할 경우 기존온실은 2.93Kg/m^2이 생산, 노지의 경우 2.22Kg/m^2이 생산됨.

○ 결과를 바탕으로 식물공장과 그 외 시설의 효율성을 분석하기 위해 단위면적(m2)당 생산량(Kg)을 비교함. 기존 인공광형 식물공장은 외부의 날씨와 관계없

이 밀폐된 장소에서 식물재배가 이루어진다는 특징인 반면 자연광형 식물공장의 경우, 기존 유리온실과 같이 주야의 영향, 날씨의 영향을 받는다는 측면에서 기존 온실과의 면적 비교를 통해 자연광형 식물공장에서의 상추생산량을 산출

○ 일본에서 상추 등 엽채류를 생산하는 인공 광형 채소재배 시설들 중 운영 자료가 충실한 8개 시설을 대상으로 재배면적과 생산량 관계 도출. 8개 식물공장에서 보여주는 전체 합계인 205ton에서 전체 재배면적 2558m²으로 나눔으로 해서 평균 단위 면적당 생산량 평균 단위면적당 생산량을 알 수 있음. 자료를 바탕으로 도출한 전체 단위 면적(m²)당 생산량은 80.14Kg/m²임

표 3-8-5. 일본 식물공장 상추 생산량, 자료 : 일본 농림수산성 ·경제산업성(2009)

시설명	하이테크 펌다케후	드림펌토 사야마	하이테크 펌소노베	하이테크 하뉴	도쿄드림	드림펌 우칸	그린플 래이버	그린 룸	합계
재배면적 (m²)	300	298	360	350	343	580	99	228	2558
생산량(t)	23	30	29	24	28	45	8	18	205

○ SEED 식물공장(자연광적층) 인 경우 기존 온실과 같이 같은 주야와 빛의 영향을 받는 다는 측면에서 유리 온실과 같은 환경을 적용. 따라서, 기존 유리온실에서 생산되는 상추의 생산량에 기존 유리온실 면적이 10배임과 양액 재배시 관행농 작물의 생산량보다 1.24배가 됨을 고려하여 전체 12.4배의 생산량 증대를 가정함. 양액재배의 경우 식물생장속도가 빠를 뿐만 아니라 병충해의 영향을 덜 받기 때문에 생산량이 증대됨. 양액 재배 성장효율의 경우 노지(토양)재배시 63%의 효율을 보이는 반면 수경재배시 78%의 효율을 보이고 있음. 따라서 노지와의 비교시 1.24배의 효율을 보이고 있음[11].

표 3-8-6. 생산유형별 생산량

	생산량 도출	생산량(Kg/m²)
노지	2.22	2.22
기존 온실	2.93	2.93
기존식물공장 (인공광 적층형)	205000 / 2558	80.14
SEED(자연광 적층형)	2.93 × 12.4	36.33

○ 인공광 적층형 식물공장은 자연광 적층형 식물공장 보다 2.2배의 생산량 증대를 볼 수 있음. 이는 낮과 밤의 차이와 날씨, 기후조건에 따른 차이로 추정됨

11) Aeroponic System

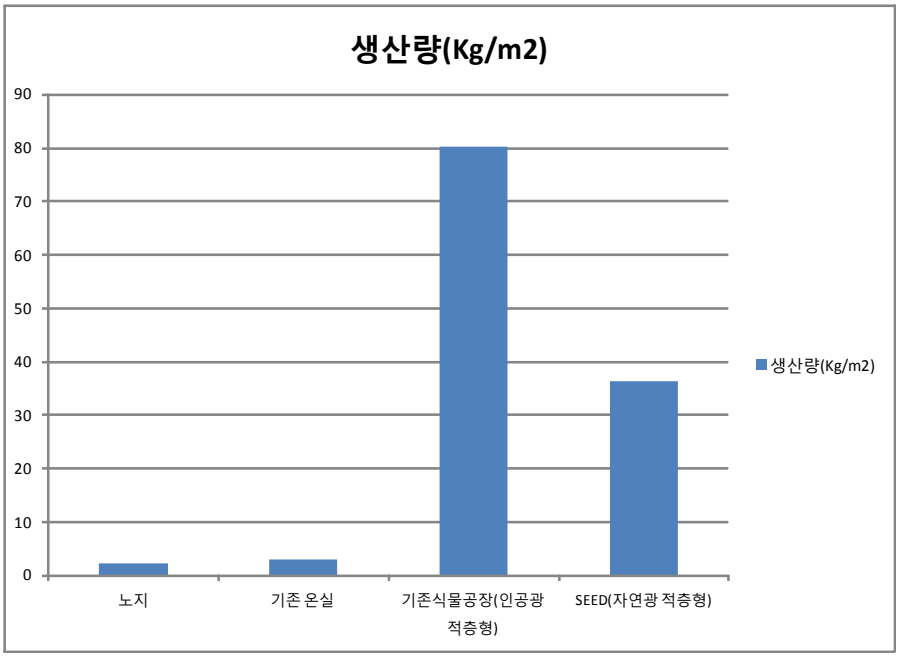


그림 3-8-1. 작물재배시설 유형별 상추 단위 면적당 생산비(Kg/m²)

(2) 매출액

○ 판매가의 경우 생산방법에 따라 그 상추의 가격이 다름. 시설 상추는 일반 관행 농산물인데 반해 식물공장 상추는 무농약 농산물이므로 친환경생산에 따른 생산비 증가요소를 고려. 이를 바탕으로 식물공장 상추와 시설상추의 소비자 가격 비교. 조사 기간은 식물공장상추가 일반 소매점에서 본격적으로 판매되기 시작한 2010년 7월부터 2011월 6월까지 산정

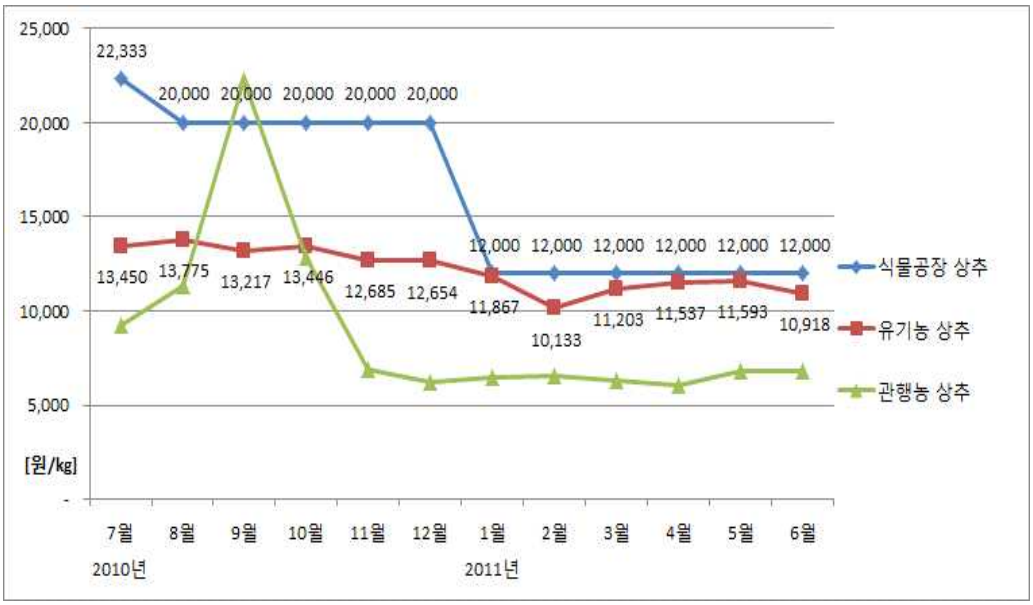


그림 3-8-2. 식물공장 및 시설상추 소비자 가격

자료 : 농수산물유통공사(2011) - 유기농 및 관행농 상추 소비자 가격

B 마트 인터넷쇼핑몰(2011) - 식물공장상추 판매가격

○ 그림 3-8-2 는 판매 단위를 1Kg으로 환산한 식물공장 및 시설상추의 소비자 가격을 나타냄. 가격이 안정화된 2011년 상반기 평균 소비자 가격을 보면, 관행농 상추 6,505원/Kg, 유기농 상추 11,205원/Kg, 식물공장상추 12,000원/Kg으로 관행농 대비 유기농 상추가 1.7배, 식물공장상추가 1.9배가량 높은 가격에 판매되고 있음을 알 수 있음. 식물 공장의 경우, 농약과 화학비료, 제초제를 쓰는 관행농과 달리 양액을 이용, 소비자의 선호도에 Kg당 판매 가격이 더 높게 책정

표 3-8-7 각 생산방법에 따른 매출액(Kg/m^2)

	매출액 도출	매출액(원/m2)
노지	2.22 × 6,505	14,442
기존 온실	2.93 × 6,505	19,078
기존 식물공장(인공광 적층형)	80.14 × 12,000	961,680
SEED(자연광 적층형)	36.33 × 12,000	435,960

○ 위 표는 각각의 생산방법에 따른 매출액을 보여줌. 노지의 경우 14,442.40(원/m^2), 유리온실은 19,078.51(원/m^2), 인공광 적층형 식물공장의 경우 961,680(원/m^2), 자연광 적층형 식물공장의 경우 351,948(원/m^2)을 보임. 인공광 적층형 식물공장과 자연광 적층형 식물공장의 비교시 매출액의 경우 2.73배의 생산량을 보이고 있음. 이는 자연광 적층형 식물공장의 경우 인공광 적층형보다 주간 야간의 영향을 받고 또한 계절의 영향을 받기 때문이라고 볼 수 있음

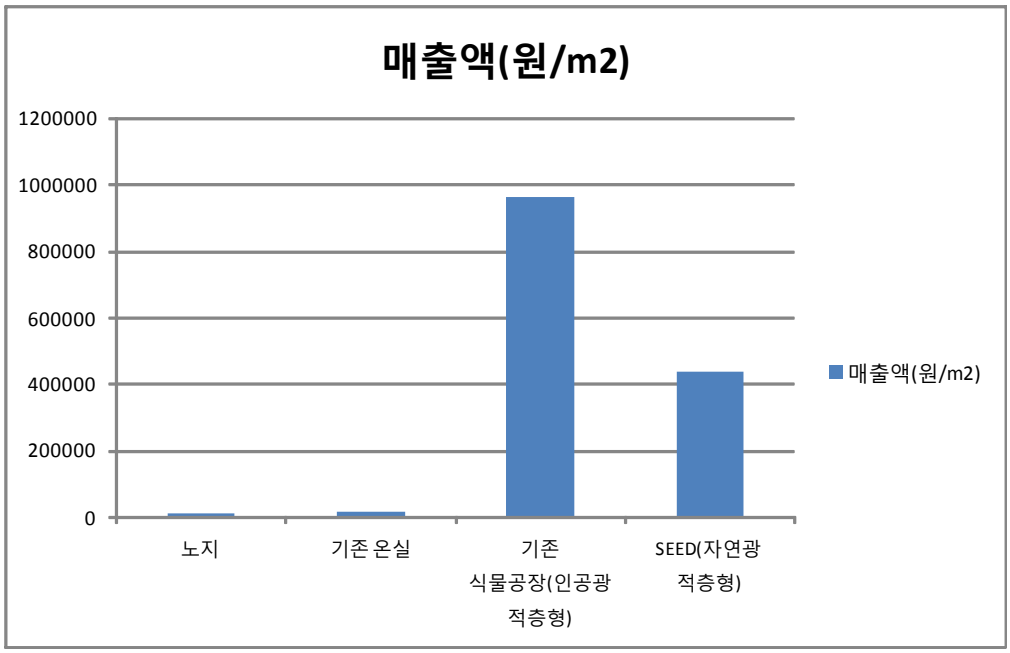


그림 3-8-3. 작물재배시설 유형별 상추 단위 면적당 매출액(Kg/m2)

(3) 운영비

○ 각각 시설별 운영비를 비교하고, 각각 운영비의 차이점과 그 원인에 대해 고찰. 시설상추의 경우 생산비는 1m²의 경우 3,836원을 보이고 있음

○ 식물공장의 생산비는 기존 식물공장의 생산비를 바탕으로 운영비를 도출함

○ 자연광 식물공장 상추의 생산비의 경우 감가상각비를 포함 1Kg당 9,726원 생산비로 쓰이고 1m²당 353,499원이 쓰임

○ LED의 감가상각비의 경우 기존 LED일 경우 L70(초기 광속의 70% 수준으로 광속이 감소할 때까지 경과된 시간)까지 50000시간이 필요함. L70의 이상 지나가면 LED로서의 기능이 떨어지므로 50000시간 이후 교체를 요구

○ LED 교체를 하는 50000/(24시간 × 365) = 5.7 년. 인공광 식물공장인 경우 감가상각비는 내용연수에 따라 내용연수가 10%인 외형건물, 보조건물, 내부철구조물, 재배상 설비, Controller power supply, 양액공급시설과 내용연수가 8년인 환경제어시설, LED의 경우 5년으로 산정하여 산정. 감가상각비는 정액법으로 계산하였고, 추정잔존가치는 0으로 가정함. 그 결과치는 인공광 식물공장의 경우 901,491원으로 산정됨

○ 자연광 식물공장의 감가상각비로는 내용연수가 10년인 외형건물, 보조건물, 내부철구조물, 재배상설비, 광선반, Controller power supply, 양액공급시설과 내용연수가 8년인 환경제어시설로 나누어 감가상각비를 산정함. 산정결과는 102,096원으로 산정됨

○ 인공광 적층형의 식물공장의 경우 운영비 599,685원과 감가상각비 301,806원을 더하여 901,491원을 얻음. 자연광 식물공장의 경우 운영비 251,403원 감가상각비 102,096원을 합하여 353,499원을 얻을 수 있음

표 3-8-8. 시설상추 생산비(2010년) (단위 : 원)

비목별	1Kg기준	1m²기준
종묘비	32	94
무기질비료비	30	89
유기질비료비	83	246
농약비	7	20
광열동력비	74	216
수리비	2	5
제재료비	330	968
소농구비	1	2
대농구상각비	57	166
영농시설상각비	161	472
수선비	20	59
기타요금	0	0
농기계.시설임차료	4	12
토지임차료	96	280
위탁영농비	0	0
고용노력비	412	1207
합계	1,309	3,836

자료 : 농촌진흥청 2010 농축산물 소득자료집

표 3-8-9. 국내 식물공장 상추 생산비 사례

구분	1Kg기준	1m² 기준(원)
종자비	333	26,686
자재비	83	6,651
양액비	333	26,686
전기비	1,250	100,175
수도비	67	5,369
물류비	417	33,418
일반관리비	5,000	400,700
감가상각비	3,765	301,806
합계	11,248	901,491

- 한덕래, “식물공장 현황 및 발전전망 심포지엄 결과”, 김포시농업기술센터, 2010. 05. 27

표 3-8-10. 자연광 식물공장 상추 생산비

구분	1Kg 기준	1m² 기준(원)
종자비	333	9,766
자재비	83	2,434
양액비	333	9,766
전기비	455	20,035
수도비	67	1,965
물류비	417	12,230
일반관리비	5,000	146,650
감가상각비	2,810	102,096
합계	9,498	304,942

- 한덕래, “식물공장 현황 및 발전전망 심포지엄 결과”, 김포시농업기술센터, 2010. 05. 27

(4) 당해연도 순이익

○ 당해연도 순이익은 매출액에서 운영비와 감가상각비를 차감함으로써 도출

표 3-8-11. 생산유형에 따른 순이익

	매출액(원/m2)	운영비+감가상각비 (원/m2)	순이익(원/m2)
기존 온실	19,078	3,975	15,103
기존식물공장 (인공광 적층형)	961,680	901,491	60,189
SEED (자연광 적층형)	435,960	304,942	131,018

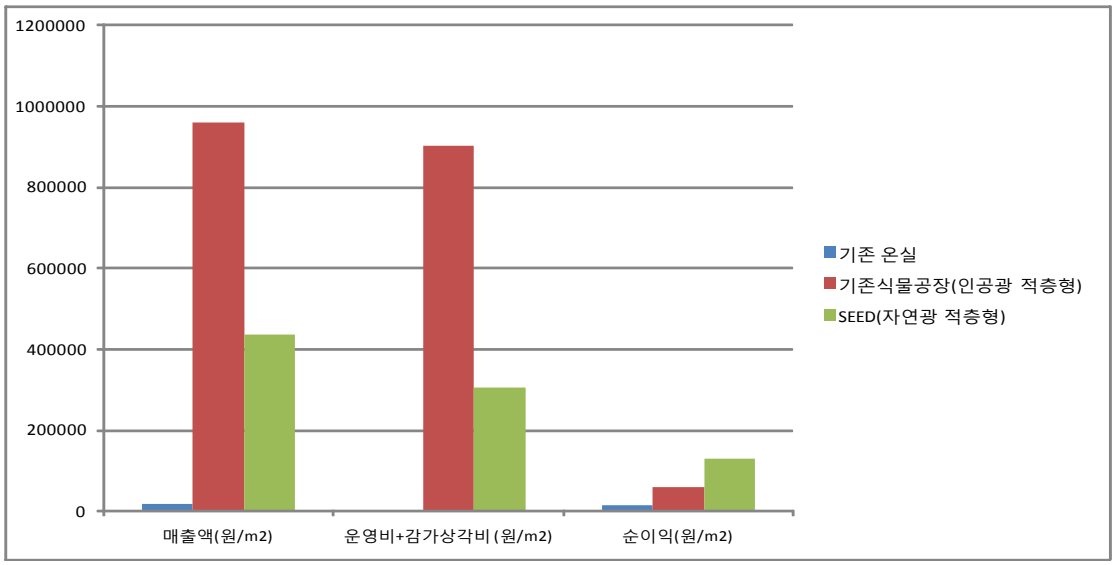


그림 3-8-4. 작물재배시설 유형별 생산방법에 따른 당해년도 순이익 비교

(5) 초기투자비

○ 기존 온실은 초기 시설 투자비 100000원/m², 기존 식물공장의 초기 투자비는 2,065,640원, SEED(자연광 적층형)의 초기투자비는 976,440원. 기존 식물공장(인공광 적층형)의 경우와 SEED(자연광 적층형)의 경우 LED 설비로 인해, 단위면적당 (m²)당 초기투자비가 1,089,200원 차이가 남을 알 수 있음

○ 내부철골구조물은 기존 식물공장의 경우 건물의 층고(2.5~2.7m)를 고려하여 최대 8층으로 재배가 이루어지고 있음. 이에 따라 초기투자비 산정시 기존식물공장은 8층으로 하여 산정하였고, SEED의 경우 광원 분포 대비 최대 생산량이 10층이기에 초기투자비 산정시 이를 고려함.

○ 기존 인공광형 식물공장의 생산량은 일본의 8개의 인공광형 식물공장의 생산량의 평균치로 계산하였기에 기존 식물공장의 내부구조물의 8층은 초기투자비 산정시에만 고려된 사항임.

표 3-8-12. 기존 식물공장(인공광 적층형) 초기투자비

구분	내역	단가(원/㎡, 개)	금액(원/m2)
1	외형건물(1000㎡)	490,000	490,000
2	보조건물(66㎡, 컴퓨터설비 포함)	300,000	64,830
3	내부철구조물 (10라인, 8층, 재배상 10개)	1,900,000	15,200
4	재배상 설비	650,000	52,000
5	LED 설비	146,000	960,000
6	Controller+Power Supply	1,920,000	145,920
7	양액공급설비	20,000,000	160,000
8	환경제어시설	-	177,690
Total Amount			2,065,640

자료출저 : 카스트 엔지니어링(2010)

표 3-8-13. SEED(자연광 적층형) 초기투자비

구분	내역	단가(원/㎡, 개)	금액(원/m2)
1	외형건물(1000㎡)	340,000	340,000
2	보조건물(66㎡, 컴퓨터설비 포함)	300,000	64,830
3	내부철구조물 (10라인, 10층, 재배상 10개)	2,100,000	21,000
4	재배상 설비	650,000	52,000
5	광선반	15,000	15,000
6	Controller+Power Supply	1,920,000	145,920
7	양액공급설비	20,000,000	160,000
8	환경제어시설		177,690
Total Amount			976,440

(6) 생애주기비용 분석

(가) 할인율

○ 화폐의 시간적 가치 환산을 위해 적용할 할인율에 이자율과 물가상승률을 복합하여 고려한 실질 이자율 고려. 이를 위해 2000년부터 2009년까지의 이자율을 고려한 사항적용. 2000년부터 2009년까지의 평균 실질이자율은 1.78%이다.

$$i = \frac{1 + i'}{1 + j}$$

i : 실질이자율

i′ : 시장금리

j : 물가상승율

표 3-8-14. 2000년부터 2009년까지의 이자율

	정기예금금리(%)	물가상승률(%)	실질이자율(%)
2000	7.9	2.3	5.47
2001	5.8	4.1	1.63
2002	5	2.8	2.14
2003	4.3	3.5	0.77
2004	3.9	3.6	0.29
2005	3.7	2.8	0.88
2006	4.5	2.2	2.25
2007	5.2	2.5	2.63
2008	5.9	4.7	1.15
2009	3.5	2.8	0.68
평균	4.97	3.13	1.78

(나) 내용연수의 산정

○ 내용연수란 대상 부동산의 경제적 가치를 평가하기 위한 것이고, 물리적, 경제적 내용연수의 추정의 객관적인 방법이 어려우므로 자산의 가치를 존재하는 기간을 법률로서 규정해 놓고 있으며 법인세법상의 내용연수를 따르는 것이 타당함

○ 식물공장인 경우 조립식 구조물의 특징을 가지고 있으므로 조달청 세법에 따라 조립식 구조물의 내용연수 10년으로 간주함. 각각의 시설 및 설비의 경우도 법적 공시에 따라 내용연수를 산정함

○ LED의 경우 70%의 효용가능 시간인 50000시간을 기준으로 사용 가능 연수를 산정. 50000/(24시간×365) = 5.6년 이므로 내용 연수를 5년으로 간주

(다) 생애주기비용 산정

$$P = \frac{(1+i)^{\mathbf{n}}-1}{i(1+i)^{\mathbf{n}}} \times A$$

P : 비용의 현재가치

I : 할인율

n : 분석기간

A : 매년 발생한 비용

○ 생애주기 비용 산정 시 그 기준을 20년으로 삼고 20년간 발생된 매출액에서 감가상각비를 제외한 운영비를 각해년도 매출액애서 차감한 금액을 현가로 계산하여 초기투자비를 차감하여 20년간 순이익을 현재가치로 도출

○ 기존 식물공장(인공광 적층형)의 경우 LED를 5년 마다 교체한다고 가정하여 20동안 초기 설치를 제외한 3번의 교체를 예상함. LED의 경우 5년마다 현가를 적용하여 3번의 교체비용을 산정

○ 1m2당 쓰이는 LED의 경우 LED의 초기 투자비 960000와 5년 후 교체비 $960000 \times 1/1.0178^{5} + 960000 \times 1/1.0178^{10} + 960000 \times 1/1.0178^{15}$를 도합 결과 총합 3,380,437원 도출

○ 각각 생산 유형별 같은 할인율, 분석기간을 적용하며, 감가상각비를 제외한 당해년도 발생 비용을 고려하여 현가를 계산함

○ 결과 시설별 20년 운영시 기존온실 165,259 원/m^2, 기존 식물공장(인공광 적층형) 1,560,674 원/m^2, SEED(자연광 적층형)의 경우 2,103,510 원/m^2 단위면적(m^2) 당 이익을 보이고 있음

표 3-8-15. 20년간 운영시 이익 비교

	20년간 운영비를 제외한 현가(원/m²)	초기투자비 (원/m²)	순이익(원/m²)
기존 온실	257,308	100,000	157,308
기존식물공장 (인공광 적층형)	6,046,751	4,486,077	1,560,674
SEED (자연광 적층형)	3,894,329	979,440	2,917,889

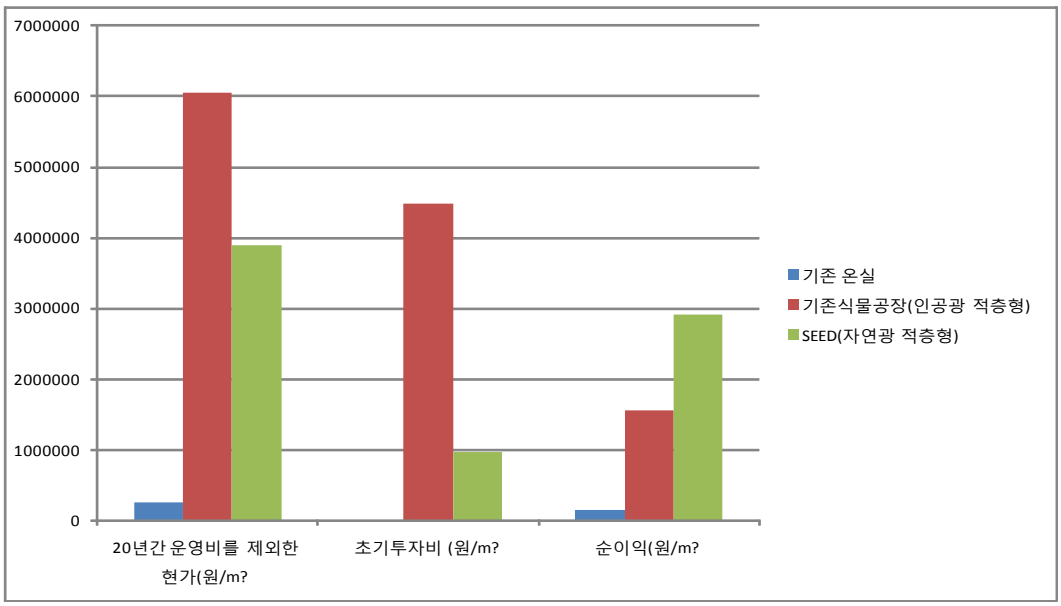


그림 3-8-5. 작물재배시설 유형별 20년간 운영시 순이익 비교

3. 경제성평가 분석결과

○ 기존 온실과 식물공장뿐만 아니라 20년간 비교를 했을 시 SEED 식물공장은 기존식물 공장에 비해 1.869배의 순이익 증대를 볼 수 있음

○ 기존식물공장(인공광 적층형)의 경우 20년간 운영비를 제외한 현가(원/m²)가 SEED의 식물공장보다 높음을 알 수 있으나 순이익 측면에서 이는 기존의 식물공장과 비교하여 적다는 것을 알 수 있음

○ 이는 기존 식물공장과 SEED의 식물공자의 초기투자비의 차이로 보여짐. 또한, 기존 식물공장(인공광 적층형) 투자비의 경우 LED교체에 따른 시설비의 증가에 따라 반복적인 LED에 의한 투자비 증가의 원인의 결과로 보여짐

제4장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

○ 본 과제의 제안 당시 1차년간의 연구로 제안되었던 전체 연구내용 수행의 결과 연구내용 관련 국내특허가 3건 출원되었으며 국내 학술논문 게제 3건, 국내학술대회 논문 게제 4건, 성능테스트용 엔지니어링 테스트 베드 2건, 기존대비 개발기술의 에너지 소비량 50% 감축, 기존대비 개발기술의 탄소배출량 50% 감축, 기존대비 개발기술의 적용시 생산단가 40% 감축, 국제 워크샵 개최 2건, 방송 등 매체를 통한 성과물 홍보 3건 달성 및 향후 SCI논문과 국제특허 출원을 준비 중

표 4-1. SEED 시스템 연구내용 및 세부추진계획

연차	연구내용	세부추진 계획 및 방법	수행 기간 (주)	해당 기관
1차 년도 (1단계)	기초문헌조사 -국내외기술분석 -국내외특허분석	-국내외 문헌, 논문, 특허, 기술동향, 사례 등에 관한 면밀한 분석을 통한 기술 데이터베이스 구축	2011.10 -2011.12	충남농업 기술원+KAIST
	타당성 조사 -충청권현황 및 기술수요조사 -참여기업/해외자문	-국내외 기술현황 및 문제점 파악 -SEED 시스템 개발요건추출 및 성능평가 기준 수립 -한계기술(광배분, 양액공급)에 대한 전문가 자문	2011.12 -1012.3	충남농업 기술원
	SEED 시스템 핵심기술개발 -각 서브 시스템별 요소기술 연구 및 설계대안 도출	**SEED 구조 시스템 연구** 구조부재 재료 및 단면 선정 SEED 구조 시스템 설계 컴퓨터에 의한 강도 및 비용 분석 확대 가능형 모듈러 시스템 도출 **SEED 외피 시스템 연구** 외피 재료 및 레이어 구성안 도출 외피를 통한 채광 및 환기 조절 기제 고안 시뮬레이션을 통한 외피 성능 평가 **SEED 광배분 시스템 연구** 효율적 자연광 및 인공광 배분 방식 도출 작물별 광반응 생장율 및 광원효율 측정실험 고효율 저비용 인공광원 선별 **SEED 에너지 시스템 연구** 패시브 기술적용에 의한 에너지 저감방안 도출 신재생 에너지 적용성 분석 **SEED 작물생육 시스템 연구** 작물별 최적 생육조건 및 프로세스 규명 파종에서 출하까지 효율적생육 라인 도출 시뮬레이션 기반 생산효율 분석	2011.10 -2012.12	충남농업 기술원+ KAIST
	SEED 컴포넌트 시스템별 성능예측평가	-컴포넌트별 실험세트를 통한 엔지니어링 테스트 -컴포넌트별 관련 전산시뮬레이터를 통한 성능 예측 -컴포넌트별 전문가 및 참여기업 의견 청취	2011.04 -2012.7	충남농업 기술원+KAIST
	SEED 시스템 통합설계 및 성능평가	-다양한 컴포넌트들의 그룹핑과 조합방식에 의거한 System Integration과 컴퓨터 예측모델 및 참여기관 TB를 통한 총체적 성능 평가	2012.7- 2012.9	충남농업 기술원+KAIST
	SEED 시스템 시작품제작 및 성과도출	-데모 및 홍보를 위한 SEED 축척모형 제작과 3차원 모델, 설계도, 시방서 작성 및 특허출원 논문 작성	2012.10 -2012.12	충남농업 기술원+KAIST
	종합보고서 작성	-시스템 설계원리 및 성능예측과 충청권 적용 매뉴얼 작성	2012.10 -2012.12	충남농업 기술원

표 4-2. SEED 시스템 정량적 성과지표

연차 (단계)	연차별 성과목표	성과지표	목표치	달성치	가중치
1차년도 (1단계)	SEED 시스템 개발 및 성능테스트	국내외 학술지 논문게재 건수	3건	3건	20%
		국내외 지적재산권 확보 건수	3건	3건	20%
		국내외 학술대회논몬게재 건수	3건	4건	5%
		소프트웨어 등록 건수	1건	0건	5%
		개발기술의 기술이전건수	1건	0건	10%
		성능테스트용 엔지니어링 TB 구축 건수	2건	2건	5%
		기존대비 개발기술의 에너지 소비량	70%	50%	5%
		기존대비 개발기술의 탄소배출량	60%	50%	5%
		기존대비 개발기술 적용시 생산단가	70%	40%	15%
		워크샵 개최건수	1건	2건	5%
		방송 등 매체를 통한 성과물 홍보 건수	3건	3건	5%
	소 계				100%

◎ 국내외 학술지 게재

순번	구분	학술지명	논문제목	게제일
1	일반	농업경제연구	혁신적 자연광 적층형 식물공장의 경제성 평가에 관한 연구	심사중
2	일반	한국생태환경건축학회지	자연광 다층 작물재배를 위한 지붕 설치형 광선반 시스템	심사중
3	일반	한국생태환경건축학회지	자연광 기반 적층형 식물공장의 열환경에 대한 수치해석	심사중

◎ 특허

순번	구분	특허 명칭	출원일	출원번호	등록일	등록번호
1	출원	다단 적층형 재배장치를 위한 태양궤도 추적형 자연광 공급 시스템	2013.3.28	10-2013 -0033981	-	-
2	출원	식물공장용 태양열 및 지하수 연계형 하이브리드 매질기반 바닥 복사냉난방 시스템	2013.3.28	10-2013 -0033982	-	-
3	출원	자연광이용형 식물공장 다단적층형 재배장치	2013.3.28	10-2013 -0033983	-	-

◎ 국내외 학술회의 발표

순번	구분	학술회의 명칭	학술회의 개최국명	발표일
1	국내	2012 한국생물환경조절학회 추계학술대회	한국	2012. 11. 15
2	국내	한국생태환경건축학회 2012 추계학술대회	한국	2012. 10. 26
3	국내	한국생태환경건축학회 2012 추계학술대회	한국	2012. 10 26.
4	국내	2012 한국식물학회 정기 학술대회 KSPB Annual meeting	한국	2012. 10. 27.

◎ 방송 등 매체를 통한 홍보

순번	매체정보	내용
1	대전일보 2012. 10. 29.	大田日報 2012년 10월 29일 16면 (지역) **日식물공장 연구동향·주요성과 세미나** 지난 26일 예산군 신암면 소재 충남도농업기술원에서 충남도 및 산하 시·군 공무원 50여명이 참석한 가운데 열린 '일본의 식물공장 연구동향 및 주요성과' 라는 주제의 세미나에서 일본의 식물공장 전문가인 에이지 고토(52·사진 오른쪽) 치바대학 식물공장연구센터 교수가 발표를 하고 있다. 사진=충남도농업기술원 제공
2	충남일보 2012. 10. 29.	충남일보 2012년 10월 29일 05면 (대전/충남) **일본 식물공장 연구동향·주요성과 살펴** **도 농기원, 日 치바대 에이지 고토 교수 초청 세미나** 충남도 농업기술원은 26일 일본 식물공장 전문가인 에이지 고토(後藤英司·52 치바대학 식물공장연구센터 교수를 초청, 일본의 식물공장 연구동향 및 주요성과를 주제로 세미나를 개최했다. 도와 시·군 공무원 50여명이 참석한 가운데 열린 이날 세미나는 에이지 교수의 특강과 참석자 토론 등의 순으로 진행됐다. 에이지 교수는 특강을 통해 일본에서는 식물공장 기술이 안정적 식량 공급과 온실가스 저감, 수자원 확보 등에 기여하고 있으며, 탄소 배출량을 감축할 수 있는 방법으로서 매후기술 발달을 촉진하는 등 상당한 경제적 효과가 있다고 밝혔다. 에이지 교수는 또 일본은 정부 차원에서 수직농장 운영 관련 기술뿐만 아니라 빌딩농장 관련 연구도 진행하고 있다고 소개했다. 식물공장은 최근 빈발하고 있는 국지성호우와 가뭄, 폭설 등 이상이변으로 인한 농작물 피해와 식량안보 위협 등으로 주목받고 있으나, 초기 많은 투자비용과 지속적인 에너지 소비 등의 문제로 시장경쟁력은 확보되지 않은 실정이다. 도 농업기술원 관계자는 "식물공장은 잦은 기상이변으로 인한 노지재배 농산물의 피해에 따른 대안으로 추진되고 있는 사업"이라며 "앞으로 자연광 병용 식물공장을 신축, 효율성 있는 식물공장 운영 모델 개발에 주력하겠다."고 말했다. /한내국 기자
3	중앙매일 2012. 10. 24.	중앙매일 2012년 10월 24일 15면 (오피니언) **충남농기원, 해외 도시농업 전문가 초청 세미나** 충남도 농업기술원은 23일 농업기술원에서 윤한드의 저명한 관상원예 전문가인 무쿠윈대학의 코작교수(사진)를 초청해 세미나를 가졌다. 이날 강사로 특별 초청된 코작 교수는 유럽의 도시농업 현황을 주제로 유럽에서 행하고 있는 도시민을 위한 각국의 다양한 시민농장을 소개했다. 코작 교수는 "도시농업은 환경과 음식안정성에 대한 관심이 높아지면서 지속적으로 확대되고 있으며, 도심속의 소규모 농장으로 건강한 먹을거리 제공, 일자리 창출, 어린이 환경교육과 증진에 활용하는 등 도시민의 농민화, 도시의 농업화는 세계적인 추세가 되고 있다"고 소개했다. 세미나와 함께 성냄관학을 이용한 원예작물의 대량증식 기술 토론회도 열려 우리도 특화작목인 딸기, 국화, 백합 등 영양번식 작물의 조직배양묘 육성 보급에 관한 기술에 대해 상호 연구협력 방안 발굴을 모색하는 자리를 가졌으며 국화, 백합 재배현장견학과 아울러 지역특화사업장 연구원들과 토론회도 가졌다. 한편 농업기술원 관계자는 "도시농업이 원예산업의 새로운 분야로 부상하고 있는 인류 유업의 운영체계나 재배기술 등 상호 연구협력을 통해 우리 실정에 맞는 도시농업 연구를 수행할 계획"이라고 말했다. 박제화 기자 (14.5×7.4cm)

◎ 성능 테스트용 엔지니어링 테스트베드

순번	사진	내용
1		**KAIST 광환경공급설비 구축시설** 태양광 공급설비의 적용가능성을 검증하기 위하여 광환경 성능평가를 위해 정남향의 단동 유리온실을 구축하고 내부 1/2스케일의 10단 적층 생육재배대와 식생트레이 및 광공급시스템을 구축
2		**충청남도농업기술원 딸기 화분화 설비시설** 딸기묘 화아분화 및 정식묘의 일정기간 야간저온단일 처리를 위하여 야간저온처리시스템을 폭 7m, 길이 25m의 비닐온실 내에 1.5m×7m×2.4m 크기의 저장고를 3개 설치하고 내부에 각각 2hp 용량의 냉동기를 설치하여 저온처리실을 제작

◎ 세미나, 심포지엄 개최

순번	사진	내용
1		일본의 식물공장 동향 및 발전방향에 대한 국제 세미나 개최: Dr. Eiji Goto is a professor of Graduate School of Horticulture in Chiba University, Japan.
2		유럽의 도시농업 관련 국제 세미나 개최: Danuta Kozak 교수, 루블린대학교, 폴란드

◎ 연구과제결과 질적 성과

<table>
<tr><th>순번</th><th>성과지표</th><th>내용</th></tr>
<tr><td>1</td><td>기존대비
에너지
저감율
(50%)</td><td>
<table>
<tr><th></th><th colspan="2">기존 식물공장
(인공광 적층형 식물공장)</th><th colspan="2">SEED 시스템
(자연광 적층형 식물공장)</th></tr>
<tr><td rowspan="9">Kg당 생산단가 (원)</td><td>종자비</td><td>333</td><td>종자비</td><td>333</td></tr>
<tr><td>부자재비단가</td><td>83</td><td>부자재비단가</td><td>83</td></tr>
<tr><td>양액비</td><td>333</td><td>양액비</td><td>333</td></tr>
<tr><td>전기비</td><td>1,250</td><td>전기비</td><td>455</td></tr>
<tr><td>수도비</td><td>67</td><td>수도비</td><td>67</td></tr>
<tr><td>유류비</td><td>413</td><td>유류비</td><td>413</td></tr>
<tr><td>감가상각비</td><td>4,988</td><td>감가상각비</td><td>2,810</td></tr>
<tr><td>계</td><td>7,467</td><td>계</td><td>4,494</td></tr>
<tr><td colspan="4">생산량 대비 단가적용 단위면적당 생산비 산출
김포시 농업기술센터 식물공장 2010 자료집 기준</td></tr>
</table>
○ LED의 사용량은 기존 식물공장의 통계자료에 따르면 1㎡ 당 42개로 단위면적상 생산량을 도입하여 Kg당 사용 전력량으로 환산하여 전기비 중 조명비를 도출 (LED 1개당 평균 사용전력 1.02W, 적색은 1개당0.77W, 청색, 백색은 1개당 약 1.12W 소모, 농업용 <병> 적용, kWh 당 36.4 원 적용)
○ 기존 식물공장(LED인공광형) 대비 운영비 중 큰 비중을 차지하는 조명 전기비 절감하여 전기비의 65%를 절감
○ 기존 냉난방 설비와 동일한 설비를 활용한다고 가정할 경우 유류비 포함 전체 에너지 저감률은 50% 수준으로 판단됨
</td></tr>
<tr><td>2</td><td>기존대비
탄소배출량
저감율
(50%)</td><td>
<table>
<tr><th></th><th colspan="2">기존 식물공장
(인공광 적층형 식물공장)</th><th colspan="2">SEED 시스템
(자연광 적층형 식물공장)</th></tr>
<tr><td rowspan="9">Kg당 생산단가 (원)</td><td>종자비</td><td>333</td><td>종자비</td><td>333</td></tr>
<tr><td>부자재비단가</td><td>83</td><td>부자재비단가</td><td>83</td></tr>
<tr><td>양액비</td><td>333</td><td>양액비</td><td>333</td></tr>
<tr><td>전기비</td><td>1,250</td><td>전기비</td><td>455</td></tr>
<tr><td>수도비</td><td>67</td><td>수도비</td><td>67</td></tr>
<tr><td>유류비</td><td>413</td><td>유류비</td><td>413</td></tr>
<tr><td>감가상각비</td><td>4,988</td><td>감가상각비</td><td>2,810</td></tr>
<tr><td>계</td><td>7,467</td><td>계</td><td>4,494</td></tr>
<tr><td colspan="4">생산량 대비 단가적용 단위면적당 생산비 산출
김포시 농업기술센터 식물공장 2010 자료집 기준</td></tr>
</table>
○ 탄소 배출량은 운영시 사용되는 주요 에너지원인 전기와 난방용 등유의 탄소배출량을 기준으로 한국 전력공사 탄소배출량 환산 계수를 통해 산정
○ 같은 냉난방 설비를 사용한다고 가정할 경우 전기사용량에서 큰 차이가 나며 탄소배출량이 저감됨
○ 계산결과 기존 식물공장대비 SEED 시스템의 운영상 전체 탄소배출량은 50% 수준으로 판단됨
</td></tr>
</table>

3	기존대비 생산단가 저감율 (40%)	

	기존 식물공장 (인공광 적층형 식물공장)		SEED 시스템 (자연광 적층형 식물공장)	
Kg당 생산단가 (원)	종자비	333	종자비	333
	부자재비단가	83	부자재비단가	83
	양액비	333	양액비	333
	전기비	1,250	전기비	455
	수도비	67	수도비	67
	유류비	413	유류비	413
	감가상각비	4,988	감가상각비	2,810
	계	7,467	계	4,494
	생산량 대비 단가적용 단위면적당 생산비 산출 김포시 농업기술센터 식물공장 2010 자료집 기준			

○ 기존 식물공장(LED인공광형) 대비 운영비 중 큰 비중을 차지하는 조명 전기비 절감하여 전기비의 65%를 절감

○ LED와 같은 인공광원 설비를 사용하지 않는 본 SEED시스템은 초기투자비의 절감을 통해 감가상각비의 40%를 절감

○ 상품 생산단가를 결정하는 결정요인인 주요 운영비와 감가상각비의 합을 환산한 결과 본 개발기술 적용 시 인공광원에 대한 비용절감으로 생산단가의 40%(기존 생산단가 60%수준) 저감 가능

제5장 연구개발결과의 활용계획

1절 산업 및 국내외 연계·협력 가능성

1. 기술의 융복합화

○ 식물공장 육성은 농업 시장의 발달과 함께 관련 산업 발달에 긍정적인 효과를 발생시킴

○ 첨단기술의 융합 분야인 식물공장 분야 시장이 확대됨에 따라 신규 공장설비 건설시장이 확대되고, 식물공장에서 생산된 농산물 제품시장이 확대됨

○ 식물공장 육성은 관련 산업인 고효율에너지 산업, 환경/공정 제어산업, 식품바이오 산업 등의 성장에 큰 영향을 미침

표 5-1-1. 식물공장 관련 산업

관련 산업	내 용
고효율에너지 산업	자연채광, 태양열, 태양전지, 지열, 지하수
환경/공정 제어산업	실내환경감지, 전력에너지 관리 시스템, 센서 네트워크(RFID/USN) 활용
식품바이오산업	영양성분, 기능성 성분이 강화된 고기능 특용작물, 안전성 및 특수목적의 농산물

2. 수출이 가능한 신성장 동력

○ 식물공장은 향후 기후변화에 대한 적극적 방안의 하나이며, 나아가 첨단기술의 융합된 공장 설비 수출이 가능한 신성장 동력임

○ 에너지 고효율형 농업생산 그리고 생산량 극대화로 미래의 식량난에 대처할 수 있는 산업임

○ 한국은 식물공장을 통해 농업 기술 역량을 한 단계 업그레이드 할 수 있고, 기존의 인공광에 치우친 식물공장의 흐름에서 시설농업 분야에서 선진국 선두적인 역할을 담당할 수 있음

○ 기존의 인공광형 식물공장 설비는 고가의 초기투자비로 인한 개발도상국과 같은 식량난을 겪는 곳에서의 활용이 미비함

○ 연구개발결과인 자연광형 식물공장 설비는 기존의 유리온실의 초기투자비와 큰 차이를 보이지 않고 생산량이 약 10배이기에 개발도상국뿐 아니라 선진국에 수출이 가능한 신성장 동력임

3. 정부와 지자체 지원 및 협력

가. 정부와 지자체 지원

○ 식물공장 관련 기술이 상용화에 근접할 정도로 확대되는 것에 맞추어 보조금 지원을 통해 국내 시장 확대를 추진

○ 정부보조금 지원을 통해 충남 지자체 중심의 식물공장 사업을 적극 추진하여 새로운 성장 동력원으로 발전시킬 필요가 있음

○ 지자체는 도심지역을 중심으로 안정적이며, 친환경적인 식자재 공급을 목적으로 식물공장 사업을 추진

나. 국내외 연계·협력

○ 특용작물, 약재 등 고부가가치화 분야에 진출하여 식물공장의 채산성을 향상시키고 충남 도내 글로벌 경쟁력이 있는 기업들의 육성을 통한 식물공장 수출 산업화를 달성함

○ 충남 농업기술원의 재배기술 보급 및 관련 기업과의 협력구도 구축을 통한 사업화 지원

○ 전북 및 경기도 등 선도적으로 식물공장을 추진한 지역 내 컨소시엄과의 업무교류를 통한 Plant 및 설비기술의 공유로 연구 및 기술 지원을 강화

○ 지역 내 관련 산업체의 적극적 참여 유도를 통해 새로운 형태의 생산 설비 구축 및 유통 시스템 확립, 판로 개척 등의 안정적 매출 방안 고안

2절 연구결과의 활용방안 및 기대성과

1. 연구결과의 활용방안

○ 참여기업의 충남권 자족형 도시농업용 스마트 그린하우스 시스템 시장 참여 시 경쟁력 강화를 위한 핵심 엔지니어링 기술 확보

○ 연구성과물의 실용화 및 제품화를 통해 도시농업 환경 기술 분야의 신산업 창출 및 신수출산업 육성

○ 핵심 엔지니어링 기술 확보를 통한 산업체 및 연구기관에서 개발한 성과물을 향후 스마트 그린하우스 시스템 건설 시 요소기술을 구현하여 실현

○ 농작물의 생육 상태를 과학적으로 관리하는 정밀농업(precision agriculture)의 실현과 농산물의 안정성 확보

표 5-2-1. SEED 시스템 연구결과의 활용방안

활용방안	주요내용
핵심 엔지니어링 기술 확보	● 효과적인 작물재배와 자원순환형 배양생태계를 지원할 가변적이고 융통성 있는 인공생육시스템 설계능력 ● 신재생에너지의 적극적 이용과 자체내 혹은 도시로부터 획득되는 부산물 혹은 폐기물을 활용한 자족형 에너지 및 생태순환 시스템 설계능력 ● 온실내 물리화학적 조건들을 모니터링하고 생산성을 극대화 할 수 있는 환경관제 모델 표준화
신산업 창출	● 충청권의 중소도시나 농촌 모두에 적용가능한 모듈화된 지속가능형 고효율 식물재배시설 제품화 ● 세계적 수준의 자연광과 인공광을 활용한 하이브리드 광 배분 제품 생산업체의 육성 ● 안전한 공장형 식물산업을 통해 미래 식량자원 확보 및 신산업 창출 ● 인공보다 저렴한 초기 투자비 설비의 신수출 산업의 육성
시스템 건설 실현	● 초기투자비를 최소화하여 고도의 경제성을 확보하기 위한 핵심 엔지니어링 기술을 바탕으로 국제 식물공장 시공분야의 선도적 업체로 발돋움할 수 있음 ● 향후 요소기술 시공사, 국내 메이저 시공사, 시공관리업체 등의 도시농업용 스마트 그린하우스 시스템의 시공능력 향상을 통한 실제 개발기술을 구현하여 상품 생산 시스템 건설 실현
농산물의 안정성 확보	● 인공광을 이용한 기존의 식물공장 농산물에 비해 병충해에 강하고 생육상태를 과학적 관리를 통한 안전한 농산물 실현 ● 수입 농산물의 안정성의 불신이 확대됨에 따라 고품질·안전 농산물을 선호하는 소비자들의 소비패턴 변화에 대한 농산품 제공 ● 소비자들의 웰빙트렌드에 맞는 작물재배 ● 고갈되는 식량자원의 위협에 적극적으로 대처할 대안

○ “Agrigento 충남”형 식물공장 모델 구축

- 기존 식물공장은 사업주체가 대부분 기업중심인 도심형 식물공장 모델인 반면 충남형 식물공장은 농민이 주체가 되는 농촌형 식물공장을 주 모델로 육성할 계획
- 충남 농업 생산성 및 농민 지원을 위한 농촌형 식물공장을 설립하여 16개 시도 특화 작물 재배를 통한 충남 지역의 농민소득 증대
- 정부보조에 의한 시설비 충당 및 낮은 유지 관리비 방안을 적용한 에너지자립형 식물공장 구축으로 고 기능성 바이오 식품 등의 고부가가치 특용 작물 재배를 통한 경제성 향상

그림 5-2-1. “Agrigento 충남”형 식물공장 모델

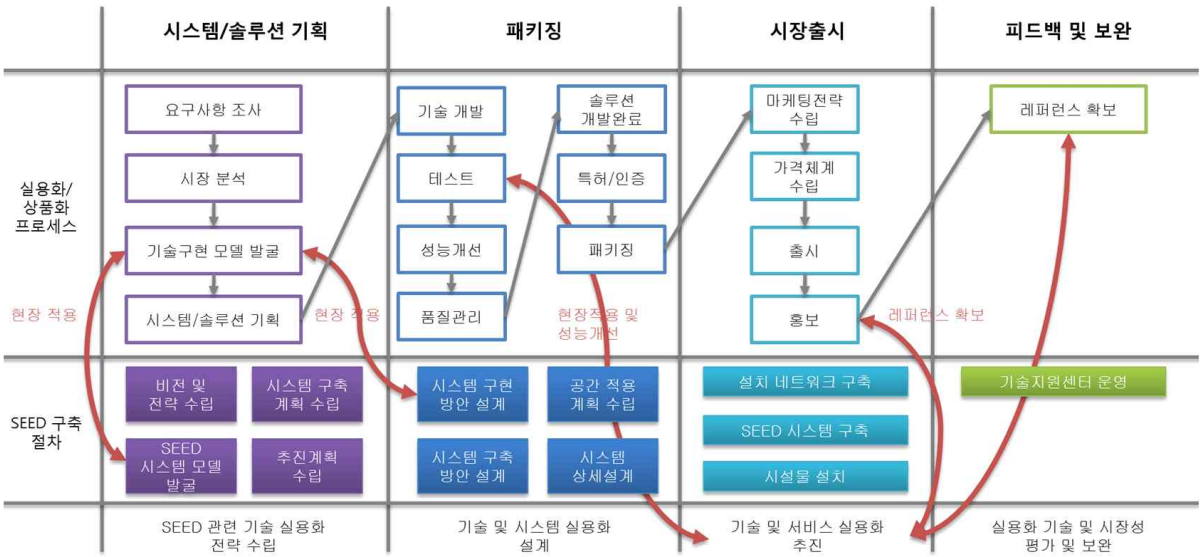
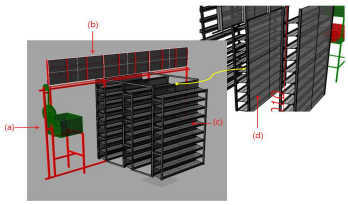
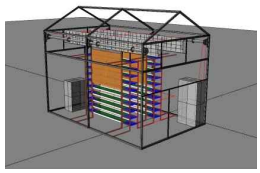
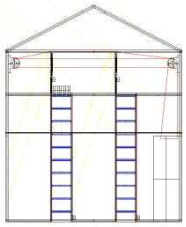
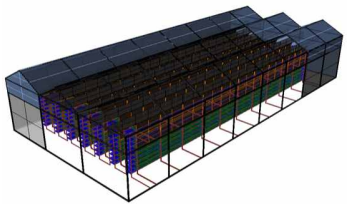
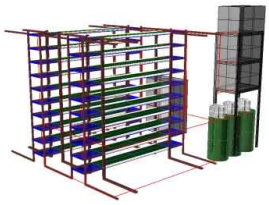
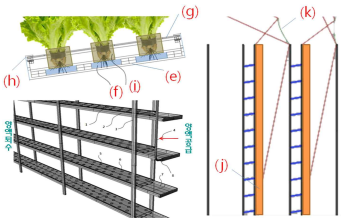
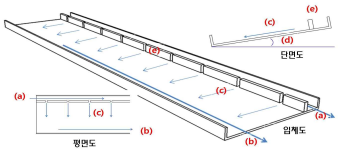
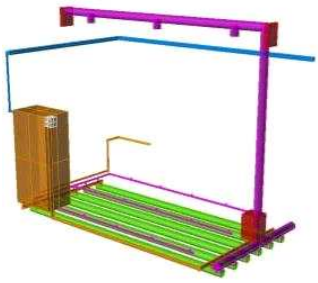
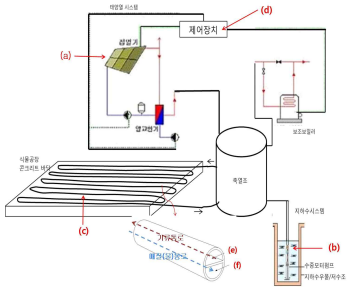
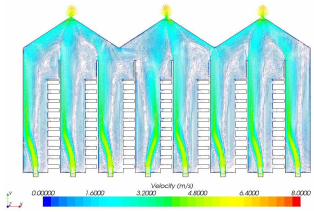
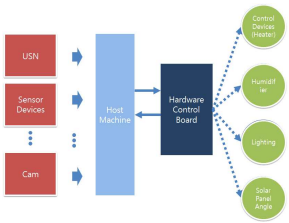


그림 5-2-2. SEED 시스템의 상용화 전략

1	**연구성과명**	**태양광활용 적층밀식재배 광공급 시스템**	
	연구성과 설명	- 건축 자연채광 요소인 광선반을 도입하여 실내조명에너지 절약과 적층밀식재배의 암영대 제거를 통한 생육공간의 조도확보 - 상단 반사패널이 태양고도 및 방위각 변화에 따라 광원을 추적하여 하단 산란패널로 유도-공급하고, 산란패널이 생육설비에 표준화된 난반사 산란광을 공급	 자연광 공급설비
	관련 성과	(특허) - 다단 적층형 재배장치를 위한 태양궤도 추적형 자연광 공급 시스템 (학술지 논문게재) - 자연광 다층 작물재배를 위한 지붕 설치형 광선반 시스템, 한국생태환경 건축학회지, 2013 - 혁신적 자연광 적층형 식물공장의 경제성 평가에 관한 연구, 한국농업경제학회, 2013 (학술대회 논문게재) - 스마트 온실 적층형 재배를 위한 태양광 분배 시스템, 한국생태환경건축학회 2012 추계학술대회, 2012 (엔지니어링 테스트베드 구축) - 태양광 공급시스템 실증 실험설비 구축	 엔지니어링 테스트베드 개념도  광공급 매커니즘 개념도  설비확장 개요도
	적용 사례	- 엔지니어링 테스트베드 구축 및 실증실험 진행	
	활용 계획	- 참여기업의 충남권 자족형 도시농업용 스마트 그린하우스 시스템 시장 참여 시 경쟁력 강화를 위한 핵심 엔지니어링 기술 확보 - 실용화 및 제품화를 통해 도시농업 환경 기술 분야의 신산업 창출 및 신수출산업 육성	 엔지니어링 테스트베드 구축
	기대 효과	- 적층 밀식재배시설의 광원을 자연광으로 대체하여 약 20,000Lux의 조도가 확보되었으며, 본 설비를 이용한 연중 작물재배 가능 - 적층 밀식재배의 난제인 광원에 의한 초기투자비(750,000/㎡)와 운영비(1,325원/㎡) 절감이 가능	

2	연구성과명	자연광이용 식물공장 적층밀식재배 양액공급 및 생육설비 구현	
	연구성과 설명	- 자연광이용에 따른 밀식재배시설의 적층형 구조에 의해 발생되는 암영대를 최소화하여 자연광 공급을 효과적으로 유도하고, 밀식성, 확장성, 재배자동화를 고려한 양액공급 설비 설계 - 베이스부와 양액트레이부, 식생트레이부, 양액공급기, 제어부로 구성된 재배자동화가 가능한 식생트레이 이송형 적층밀식재배장치 설계 - 다단적층형 재배장치의 각 층 작물생육 트레이를 기울어진 형태로 배치하여 자연광 공급설비를 통한 태양광의 작물별 수광효율을 극대화 - 양액공급 트레이에 요철을 도입하여 양액공급시 발생하는 공급 불균형을 해소하고 공급원으로부터 거리에 상관없이 표준화된 양액공급이 가능하도록 설계	 양액공급설비 관수라인 개요도  자연광 공급 매커니즘 개요도
	관련 성과	(특허) -자연광이용형 식물공장 다단적층형 재배장치 (학술대회 논문게재) -식물학회초록_다품종 작물재배를 위한 조합 가능형 양액 순환공급 시스템, 2012 한국식물학회 정기 학술대회 KSPB Annual meeting, 2012 -Effect of Low-Temperature and Short-Photoperiod Treatment during a High-Temperature Season on Growth of Short-Day Strawberry for Year-round Production in Daylight Plant Factory, 2012 한국생물환경조절학회 추계학술대회, 2012 (엔지니어링 테스트베드 구축) -딸기 작물 화분화 실험설비 구축	 양액트레이 요철 사선형 적층밀식재배 장치
	적용 사례	- 엔지니어링 테스트베드 구축 및 실증실험 진행	
	활용 계획	- 핵심 엔지니어링 기술 확보를 통한 산업체 및 연구기관에서 개발한 성과물을 향후 스마트 그린하우스 시스템 건설 시 요소기술을 구현하여 실현 - 다양한 요소기술을 보유한 참여기업의 노하우와 현업 전문가들의 기술동향 및 시장동향에 대한 의견을 반영하여 에너지 저감기술의 개발방향을 확립하고, 향후 연구결과를 활용하기 위한 연구 컨소시엄을 구성	 딸기 작물 화분화 실험설비
	기대 효과	- 각 단별 상이한 작물의 재배가 가능하며 파종에서 수확까지 최소한의 인력을 통하여 식물공장의 생산라인을 가동함으로써 다품종 작물 재배, 작물 생상성 및 경제성 향상과 작물생산 인력 최소화 및 자동화에 기여	

3	**연구성과명**	**식물공장용 태양열 및 지하수 연계형 하이브리드 매질기반 바닥 축열체 냉난방 시스템 설계**	 하이브리드 냉난방설비 관로설비 개요도
	연구성과 설명	- 국내 공동주택에서 많이 사용하는 온돌 시스템을 식물공장 지반 콘크리트 구조물에 도입하여, 태양열(온열원)과 지하수 및 상수도(냉열원)를 활용해 지열시스템과 같은 효과를 내는 액티브 축열 냉난방 시스템 설계 - 바닥 콘크리트 내부 관로에서 물과 공기를 동시에 교차시켜 효과적인 열교환을 유도하고 공조를 통한 냉난방과 급탕까지 일괄적으로 해결하는 시스템 설계	 냉난방 시스템 운영체계
	관련 성과	(특허) -식물공장용 태양열 및 지하수 연계형 하이브리드 매질기반 바닥 복사냉난방 시스템 (소프트웨어) 태양광 식물공장 미시기후 제어시스템 (학술지 논문게재) -생태건축_자연광 기반 적층형 식물공장의 열환경에 대한 수치해석, 한국생태환경건축학회지, 2013 (학술대회 논문게재) -태양열과 지열 혼용형 지속가능한 온실 미시기후 조절시스템, 한국생태환경건축학회 2012 추계학술대회, 2012	 실내환경 예측 시뮬레이션
	적용 사례	-	 실내 미시기후 제어설비
	활용 계획	- 농작물의 생육 상태를 과학적으로 관리하는 정밀농업(precision agriculture)의 실현과 농산물의 안정성 확보	 온실제어 소프트웨어 블록 다이어그램
	기대 효과	- 매설된 관로를 통한 축열효과로 절기별 일정한 기류온도를 확보하여 지열시스템과 같은 효과를 유도함과 동시에 설치가 간편하고 비용이 저렴한 장점이 있어 시스템 보급 활성화를 도모	

2. 기대성과 및 파급효과

가. 기술적 파급효과

○ 에너지 및 탄소배출 저감 관련 기술의 융합을 통한 최적화 시스템 제시 및 탄소제로 건축/건설 관련 기술의 발전에 이바지

○ 도시형 농업모델에 대한 지적재산권 확보로 관련 기술의 선도적 지위 확보

○ 기존 식물공장 관련 사업단과의 업무교류를 통해 보급형 식물공장을 설립하며, 특히 충남의 고부가가치 특용작물과 약용작물 재배를 위한 생산자동화·환경/에너지 제어기술 및 고품질/고기능성 식물생산기술, 생리/약리 활성소재 기술개발

○ 충남의 New IT 분야의 태양전지 및 LED 조명 분야 경쟁력 확보, New IT 분야 중 태양전지용 반도체의 고효율 실리콘 태양전지 기술은 에너지자립형 식물공장에 필수적인 기술

○ 식물생장의 핵심 기술인 식물공장 용 LED조명 분야에 전문 기업 다수 분포. 통신부품 및 센서 분야에서는 기존의 산업적 기반을 충분히 활용하여 에너지를 관리, 제어함으로써 New IT분야의 지역산업 발전에 기여 할 것으로 예상

그림 5-2-3. 충남 지역 New IT 현황

나. 사회·경제적 파급효과

○ 도시농업의 활성화로 도시의 식량자족기능 향상과 물류·유통 관련 비용의 획기적 저감

○ 충청권이 명실상부한 첨단 도농복합시설의 발원지가 되어 첨단녹색도시 목표인 탄소 및 에너지 저감과 친환경적 도시농업 확산에 기여

○ 좁은 국토의 효율적 활용을 제고하고 무공해, 저탄소, 저에너지, 무병충해, 고부가가치형 첨단 도시농업시설의 실용화와 사업화를 통한 글로벌 시장개척

○ 식물공장 자연광 설비의 수출 확대로 고용효과 및 중소기업의 성장 원동력

다. 전략적 파급효과

○ 충남지역에서만 생산 가능한 식물을 이용하여 고부가가치 작물로 상품화하기 위한 재배 방식 개발 등 연구
- 물가변동이 큰 소비 작물 및 충남 지역의 수출 상위 작물 재배
  ※ 도심형(무・배추 등의 엽근채소류, 파프리카, 멜론의 LED재배)
  ※ 농촌형(수입 98% 약용작물 '삽수'재배로 500만 달러 수입대체)

○ 폐교, 빈 공장 및 기존 유리온실 등을 활용한 친환경적인 충남형 모델 도입으로 건축 비용절감 및 일자리 창출 효과에 기여

○ 농촌인구 감소 및 고령화, 귀농에 대한 관심 증대 등으로 농촌 복지와 소득증대를 통한 도시-농촌간 소득 격차 해소 효과 기대

○ 식물공장에서 생산한 농산물을 이용한 체험(Seeding & Harvesting) 및 견학 등의 관광 인프라 구축
- 다양한 규모의 식물공장은 도시 소비자에게 식물재배와 관련된 견학, 체험, 학습의 기회를 제공
- 식물의 생장 과정에 대한 관찰 및 체험으로 농업 전 과정의 이해를 도모하고 실시간 웹 전송 기능을 활용하여 환경과 식물 생장간의 연관성 교육에 활용 가능
- 식물공장 내 서비스산업, 관광, 영화관이 함께하는 복합 문화공간으로의 활용을 통해 도시민의 정서안정 등 삶의 질 향상 및 지역 소득 증대에 기여

그림 5-2-4. 식물공장 인프라 활용방안 개요도

3. 연구결과의 기업 활용방안

가. 참여기업의 현황분석

○ 본 연구는 충청권 자족형 도시농업용 스마트 그린하우스 시스템 개발을 위해 각 요소기술의 분야에서 국내 최고의 기술을 보유하고 다양한 역할을 수행하는 참여기업을 확보

○ 테스트베드 설계, 각종 요소기술 설계 등 관련된 기술 분야의 요소기술을 확보한 기관 및 연구 성과물을 활용할 수 있는 2개 참여업체 확보

표 5-2-2. 본 시스템 활용을 위한 참여업체

No.	참여기관명	업종	매출액(억)	고용현황(명)
1	(주)그린플러스	전문 온실시공업체	500	150명
2	(주)휠코리아	전문 신재생에너지 시설시공업체	100	50명

○ 그린플러스: 연구개발 결과에 대한 시범운영 및 수정 보완을 통한 기술응용 및 최적화 모델 설립. 실용화를 통한 글로벌 시장 개척 및 정부 정책수립에 활용

- SEED 구조 및 외피 시스템과 생육시스템 관련 정보 제공
- SEED 생육 시스템 구축 관련 실험 지원
- SEED 상용화 과정에 참여

○ 휠코리아: 자연채광 및 고효율 식물재배시설 등 요소기술 개발을 위한 테스트베드 설계를 지원하며, 이를 통해 습득한 요소기술의 설계능력을 활용하여 스마트 그린하우스 시장에 진출이 가능
- 실내태양광활용시스템 및 생태시스템 관련 정보제공
- SEED광원 시스템 구축관련 실험 지원
- SEED상용화 과정에 참여

나. 참여기업별 연계방안 및 추진전략

○ 다양한 요소기술을 보유한 참여기업의 노하우와 현업 전문가들의 기술동향 및 시장동향에 대한 의견을 반영하여 에너지 저감기술의 개발방향을 확립하고, 향후 연구결과를 활용하기 위한 연구 컨소시엄을 구성

○ 주관연구기관의 핵심기술 개발 결과를 바탕으로 참여기업(중소기업)의 제품개발 기술을 활용하여 실험용 모델 및 시작품 제작, 테스트베드 설치용 완성품 제작, 제품 제작성 확인 수행

○ 첨단그린하우스의 테스트베드 설계 및 시공능력을 보유한 참여기업(중소기업)의 기술력을 활용하여 개발시설의 시공성 확인, 테스트베드에 완성품 설치, 종합 성능 확인

○ 이와 같이 참여기업들은 주관기관에게 제품제조 시 또는 현장적용 시의 문제점, 개선사항을 제공하고 연구기관은 다시 참여기업에게 개선된 기술개발 결과를 제공함으로써 연구기관과 참여기과 간의 선순환형 기술개발 구조를 구축

표 5-2-3. 각 참여업체 과제 연계방안

번호	기업명	과제에 대한 기업 관심영역	연계방안								
			기업 활용	장비 활용	교육 연계	기술 상담	정보 제공	기술 지도	기술 이전	공동 연구	창업 지원
1	그린플러스	에너지 저감 환경기술		v		v	v	v	v		
2	휠코리아	하이브리드형 광원시스템	v	v	v	v	v	v	v		
합계											

4. 기타

가. 타 산업에 미치는 효과

○ 충청권 자족형 도시농업용 스마트그린하우스 시스템 개발에 도시농업 첨단화 확대와 따른 관련 환경 컨설팅 및 엔지니어링 산업 발전

○ SEED의 컴포넌트 기술들인 그린하우스 구조시스템, 생체모방형 외피시스템, 온실 실내 환경조절 시스템, 광배분시스템, 작물생육시스템, 그린하우스 에너지 시스템 등 환경설비 관련 제조업 발전

○ 친환경 저에너지 관련기술의 전 세계적인 관심이 고조되어 차세대 도농복합지역 첨단 작물재배시설로 해외로의 기술 수출 등 무역관련 산업 진출

표 5-2-4. 본 시스템 상용화에 따른 산업에 미치는 영향

구분	주요내용
환경 컨설팅 및 엔지니어링 산업	● 국내 시장규모는 2000년 860억 원으로 세계 시장규모의 약 0.3%에 해당하는 미미한 수준이나 2005년까지 약 15.5%, 2006~2010년 약 24.5%의 비교적 높은 시장 성장률이 예상됨. ● 다양한 그린기술과 첨단 IT 기술이 융복합된 시스템의 설계로 인하여 건설기술(CT), 환경기술(ET), 나노 기술(NT) 및 정보기술(IT)의 융합 효과를 유발할 수 있음 ● 향후 환경영향평가사업의 활성화 및 측정분석 장치나 시스템, 컴퓨터 소프트웨어, 정보기술, 바이오기술 등과의 결합을 통한 기술 확장이 이루어질 수 있음 ● 환경 컨설팅 및 엔지니어링을 통하여 실제 시스템 개발 · 재생에너지 활용기술 개발 · 내부환경 조절설비기술을 적용함으로써 공간 효율화에 따른 시공기간 단축 및 구조비용 절감 달성시키고, 향후 도심 환경산업에도 활용이 가능할 것으로 판단됨
환경설비 관련 제조업	● 환경설비 제조업, 센서 제조업, 건물 에너지 네트워크와 관련된 전기전자 산업에 영향을 미침 ● 개발되어질 스마트 최적 제어 기술은 첨단기술 산업, 고부가가치 산업이 되도록 기여
관련기술 및 플랜트 수출관련 산업	● 지구환경문제가 심화되면서 환경보전 문제를 무역과 연계시키려는 움직임이 활발하게 진행되고 있음에 따라, 선진국뿐만 아니라 개발도상국의 환경시장에 적극 진출하는 등의 세계무역산업과 연계될 수 있음

나. 정부 정책과의 연계 방안

○ 연구개발 결과물의 효과적인 파급을 위하여 관련 법, 제도, 시방서 등의 제정, 개정이 연구개발과 연계하여 추진될 필요가 있으며 구체적인 제정 및 개정안을 제시. 원활한 법, 제도, 시방서 제정, 개정을 위한 정부 및 관련 공공기관과 협조방안 마련

○ 일본정부는 국제사회에서 식물공장 시장의 선점을 위해 건립비의 70%를 지원하고 식물공장에서 재배한 채소를 유기농재배와 달리 별도로 인증을 만들어 마케팅을 활성화하고 있음.

○ 식물공장 사업이 미래지향적 농업으로서 연구결과의 적극적인 활용과 일본 수준의 적극적인 지원이 있다면 세계 정상급으로 성장할 충분한 가능성을 가지고 있고 나아가 농업경기를 부양시키며, 미래도시농업의 표본을 제시할 것임.

다. 식물공장의 전망

○ 식물공장 분야의 선진국이라고 할 수 있는 유럽에서는 현재보다 더욱 발전된 식물공장을 실현하기 위하여 농작업 공정자동화, 주간조절 장치의 자동화 등의 분야에서 연구를 수행중임

○ 미국에서는 식물공장의 발전된 초고층빌딩의 수직농장(vertical farm)을 실용화하기 위한 연구를 진행중이며, 일본에서는 새로운 인공광원에 대한 연구를 강화하고 식물공장의 상업화 및 무인식물공장의 실현을 위한 연구가 진행중임

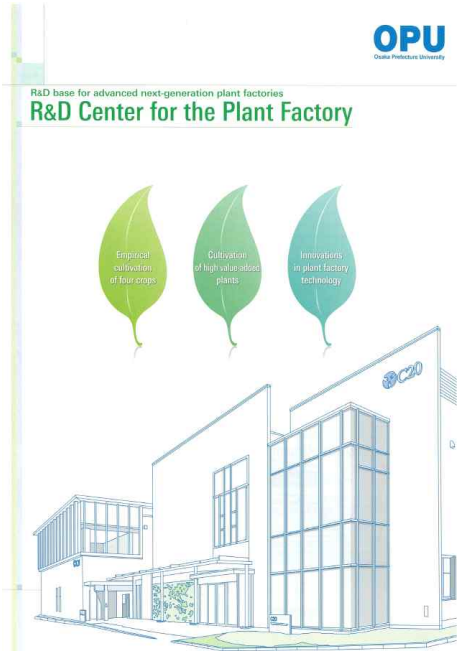
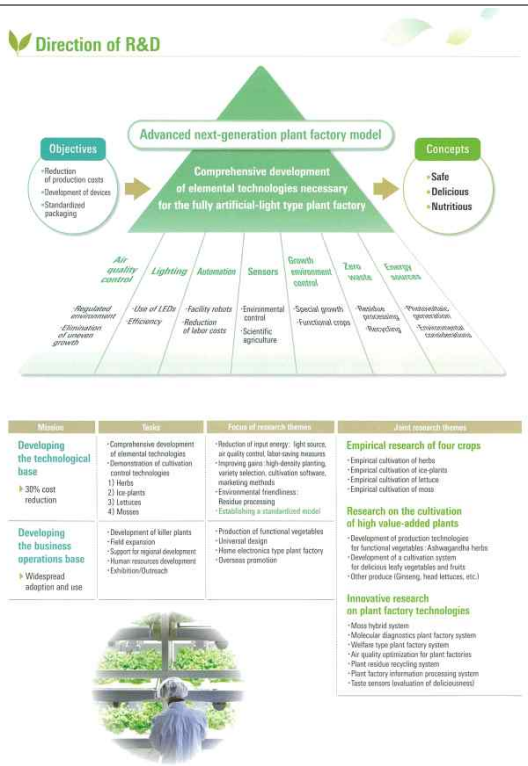
○ 선진국들의 이와 같은 연구는 기존 농업의 한계를 극복하기 위한 것이지만, 장기적으로는 고갈되는 식량자원에 적극적인 대처가 목적으로 인류의 안정적 식량공급을 위한 것임

○ 인공광의 인위적인 식물재배가 아닌 자연광을 이용한 식물공장은 특히 우리나라와 같이 좁은 국토를 가진 국가에서 안정적 식량공급과 더불어 폐기물 저감과 에너지 절감, 도심 공간의 효율적 이용, 도시민들에 대한 쾌적한 환경 제공, 웰빙 트렌드에 맞는 작물재배, 농촌경제를 살릴 수 있는 융합기반 사업 등의 다목적 친환경 농업 환경의 실현을 가능하게 할 전망임.

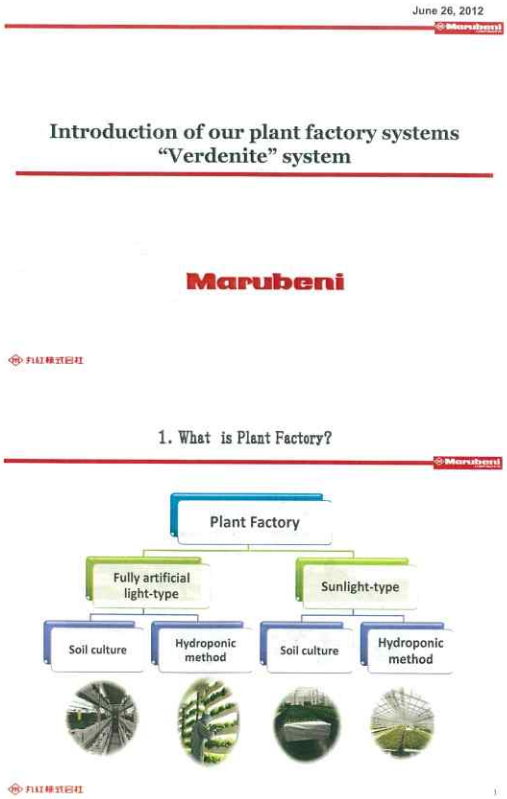
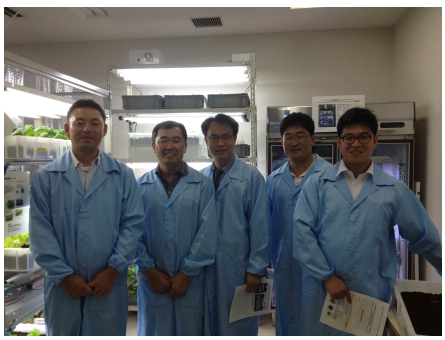
제6장 수집한 해외과학기술정보

1절 일본 업체 및 연구소 방문

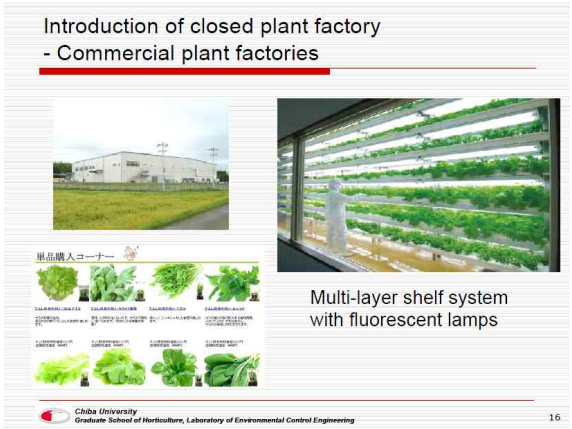
1. Osaka Prefecture University

관련자료	소개
	Plant Factories are cultivation that, through advanced and precise control of the environment by monitoring the cultivation conditions and growth of plants, enable year-round production of vegetables and other produce. The R&D center for the plant Factory at OPU has been established as a demonstration, exhibition and education/training base specifically for fully artificial light-type plant factories. Keeping in mind their widespread implementation, we plan to put our efforts into developing a standard plant factory model integration all of the required elemental technologies.
	**관련 사진**

2. Marubeni

관련자료	소개
	Marubeni is involved in the handling of products and provision of services in a broad range of sectors. These areas encompass importing and exporting, as well as transactions in the Japanese market, related to food materials, food products, textiles, materials, pulp and paper, chemicals, energy, metals and mineral resources, transportation machinery, and includes offshore trading. The Company's activities also extend to power projects and infrastructure, plants and industrial machinery, finance, logistics and information industry, and real estate development and construction. Additionally, Marubeni conducts business investment, development and management on a global level.
	관련 사진 

3.. 해외 자문(CHIVA UNIV. EIJI GOTO)

관련자료	소개
	Dr. Eiji Goto is a professor of Graduate School of Horticulture in Chiba University, Japan. He is now working on environmental control engineering for greenhouses and plant factories and control of plant growth under artificial light. He was the project sub-leader of 'Development of fundamental technologies for production of high-value materials using transgenic plants (2006 - 2010)' by Ministry of Economy, Technology and Industry of Japan. He is the team leader of ' Elucidation of biological mechanisms of photoresponse and development of advanced technologies utilizing light for horticultural crops (2009~) entrusted by Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries of Japan. He is the representative of Plant Factory Research and Development Center, Chiba University (2009 ~).
  	관련 사진

2절 수집한 해외 식물공장 관련 과학기술정보

1. 일본

○ “식물공장실태조사”, 미쯔비시 연구소
○ “식물의 최적 재배환경을 조성한 생육기술”, 히타치제작소 중앙연구소
○ “바이오 팜”, 다이에사
○ “일본 정부의 식물공장 생산시스템 보조 지원”, 경제산업성
○ “TS-FARM”, 큐피(주)
○ “LED와 태양전지 조명시스템을 이용한 식물공장”, 미쓰비씨 케미컬
○ “LED 및 고압나트륨 등의 광원을 이용한 수경재배형 식물공장”, 파소나 O2
○ “파나소닉 형광등을 이용한 식물공장 ‘Green Flavor’”, ㈜ 미라이
○ “돔형 하우스 구조의 식물공장”, 마루베니 상사
○ “LED를 이용한 자체 기계설비 시스템의 식물공장”, CCS
○ “스프레드사의 식물공장”
○ “올림푸스의 오카다니 사업소 식물공장”
○ “OZU, 니치아 물산, JFE 홀딩스, 다이세이 건설사의 식물공장”
○ 특허
- CULTIVATION SYSTEM
- UNDERGROUND AGRICULTURAL FACTORY SYSTEM
- LIGHTING DEVICE FOR GROWING PLANT
- VEGETABLE FACTORY
- LIGHTING SYSTEM
- PLANT CULTIVATION FACILITY

2. 미국

○ “WhitePharm 사”의 식물공장시스템
○ “SolaOasis”, NASA
○ 특허
- CLOSED-TYPE PLANT FACTORY
- PLANT FACTORY
- PLANT CULTIVATION DEVICE
- Combined Vertical Farm, Biofuel, Biomass, and Electric Power Generation Process and Facility
- Apparatus for growing plants

3. 유럽

○ 크리스텐센의 태양광 이용형 온실, 덴마크
○ Swedeponic 시스템, 스웨덴
○ Hortiplan 시스템, 벨기에
○ Lincolnshire Herb 식물공장

제7장 참고문헌

국내참고문헌

1. 김봉균 외, “광선반 유형에 따른 실내 채광특성에 관한 축소모형 실험적 연구”, 태양에너지학회 추계학술발표대회 논문집, 제9호 2005
2. 김동수 외, “광선추적기법을 활용한 곡면형 광선반 시스템 설계 및 채광성능 평가”, 한국태양에너지학회 논문집, 제31호, 2011
3. 김순주 외, “다목적 그린하우스의 실내온열환경에 관한 실측 연구”, 한국태양에너지학회 춘계학술발표회 논문집, 2006
4. 우상우 외, “수평형지열교환기의 계절별 성능평가”, 대한설비공학회 하계학술발표대회 논문집, 2006
5. 우상우 외, “수직형지열교환기의 입출구 온도에 대한 실측과 CFD 결과 비교”, 한국지열에너지학회논문집, 2007
6. 이정호, 외, “제로에너지빌딩 구현을 위한 고성능 건물 외피의 기술 동향”, 전기설비학회지, 제 .24호, 2010
7. 김창수, “지능형 온실시스템에 의한 작물의 생육환경제어에 관한 연구”, 울산대학교 산업대학원 석사학위논문, 2005.
8. 홍정환 외, “농촌지역의 식물공장 대체효과에 관한 연구, 대한건축학회 추계학술발표대회 논문집 제 31권, 2011
9. 이정호 외“제로에너지빌딩 구현을 위한 고성능 건물 외피의 기술 동향”, 전기설비학회지 제 24권, 2010
10. 김창수, “지능형 온실시스템에 의한 작물의 생육환경제어에 관한 연구”, 울산대학교 산업대학원 석사학위논문, 2005
11. 김정호, “식물공장의 동향과 전망”, 한국농촌경제연구원 농정연구속보 제 61권 , 2009
12. 이용범 외, “식물공장의 최적배양액관리 자동화시스템 개발”, 농림부, 2000
13. 김정호, “식물공장의 동향과 전망”, 한국농촌경제연구원, 제61권 2009
14. 연경환 외, “09. 1. 23~25 충남 당진지역 대설피해원인 조사분석”, 국립방재연구소 도시방재연구팀, 2009.
15. 김정호, “공장형 첨단농업 모델 구축과 실용화 방안”, 한국공학한림원, 농산업경쟁력위원회 연구보고서, 2009.
16. 강희찬, “기후변화에 대응한 농업의 진화-식물공장”, 삼성경제연구소, 2009.
17. 김정호, “일본의 식물공장 동향과 시사점”, 한국농촌경제연구원, 세계농업 제118호, 2010.
18. 김정호 외, “식물공장 사업화의 조건과 가능성”, 한국농업정책학회·한국축산경영학회, 농업경영·정책연구 제36권, 2009
19. 문보흠 외, “일평균 온도에 따른 상추 생체중 증가 해석”, 원예연구소, 2002
20. 윤진하 외, “식물공장생산시스템 연구동향분석과 금후연구방향”. 농촌진흥청, 연구동향 분석 보고서, 1999
21. 강승원 외. “식물공장“. 월드 사이언스, 2008

22. 이용범, 외, “신고 시설원예학”, 향문사, 2010
23. 이용범 외, “식물공장의 최적배양액관리 자동화시스템 개발”, 농림부, 2000
24. 이용범 외, “공장형 장미생산기술 및 시스템 개발”, 농림부, 2003
25. 김인식 외, “표준영농교본 상추재배”, 농촌진흥청, 2007
26. 강승원 역, “식물공장”, 월드사이언스, 2008.
27. 김현환 외, “비닐하우스 폭설 강풍 피해양상과 안전구조대책”, 2000
28. 이태훈 외, “폭설에 대비한 비닐하우스의 보수 및 보강”, 2001
29. 김진영, “비닐하우스 폭설피해 실태와 대응방안”, 2001
30. 한덕래, “식물공장 현황 및 발전전망 심포지엄 결과”, 김포시농업기술센터, 2010
32. 이승호 외, “우리나라 상세기후지역의 구분”, 한국기상학회지, 2005
33. 원예특작시설 내재해 규격 설계도 및 시방서, 농림부고시 2008-76호, 2008
34. 에드워드 드 보노, “생각이 솔솔 여섯 색깔 모자”, 2001
35. 소방방재청, 재해연보 2004
36. 소방방재청, 재해연보 2005
37. 소방방재청, 재해연보 2006
38. 소방방재청, 재해연보 2007
39. Application of TRIZ & CAI Tool for Value Innovations, TRIZ Korea, 2006
40. Kim, H.J and Y.S. Kim. “Effects of irrigation control by time and integral solar radiation on muslanelon quality in pertite cu lture”. J. Bio·-Env. Con. 9(1):66-72(in Korean). 2000.
41. Lee, H.W., K C. Ting, and S.G. Lee. “Productivity analysis of single truss tomato production system for Korean locations”. J Bio-Env. Con. 8(3):164-17l(in Korean). 1999.
42. Lee, H.W., S.G. Lee, J.W. Lee, and K.S. Son. “Control of photosynthetic photon flux by the artificial lighting in greenhouse”. Proceedings of Bio-Env. Con. 11(1):20-24(in Korean). 2002
43. Lee, H.W., S.G. Lee, and S.H Lee. “Relationship between total solar radiation and PPF, and transmittance in greenhouse at different weather conditions”. J Bio-Env. Con. 11(2):56-60(in Korean). 2002b
44. Lee, J.S. “Studies on the dropping method of air temperature in the protected house for summer culture of flower crops”. Ministry of Agriculture and Forestry. 1997
45. Lee, S.G., H.W. Lee, G.D. Kim, and JW. Lee. “Effects of shading ratio and method on inside air temperature change in greenhouses”. J Bio-Environment Control 10(2) :80-87 (in Korean). 2001
46. Park, K W., Y.J Shin, and Y.B. Lee. “Studies on the modeling of controlled environment on leaf vegetable crops”. J. Bio-Env. Con. 1(2):135-·14l(in Korean). 1992.
47. Park, M.H. and Y.B. Lee. “Effects of !light intensity and nutrient level on growth and quality of leaf lettuce in a plant factory”. J Bio-Env. Con. 8(2):108- 114(in Korean). 1999.

국외참고문헌 및 기타

1. 高辻正基, “植物工場”, 日刊工業新聞社, 2010..
2. 日本植物工場學會, “ハイテク農業ハンドブック”, 東海大學出版會 高速正基1997, 日本植物ハンドブック(Handbook of plant factory), 東海大學出版會, 1997
3. (주)미쯔비시三菱綜合硏究所. 2009.‘植物工場實態調査’
4. Seropoe Kalpakjian, “Manufacturing Processes for Engineering materials” , Pearson, 2007
5. Bedford & Liechti, “Mechanics of Materials”, Prentice Hall, 2000
6. Beer&Johnston & Clausen, “Vector Mechanics for Engineers, Dynamics”, McGraw Hill, 2004
7. Alados l , F.J Olmo, I. Foyo-Moreno, and L. Alados-Arboledas. “Estimation of photosynthetically active radiation under cloudy conditions”, Agricultural and Forest Meteorology, 2000
8. Albright, L.D., “Environment control for plant production. ACESYS ill Conference - From protected cultivation to phytomation” - p. 47-60, 1999
9. Blackburn W.J and J T .A. Proctor. “Estimating photo-synthetically active rad iation from measured solar irradiance”. Solar Energy Vol. 3:1(2):2.33-234. 1983.
10. Both, A.J and L.D. Albright, “Hydroponic lettuce production influenced by integrated supplemental light levels in a controlled environment agriculture facility”. Acta Horticulturae 418:45-51.1997.
11. Both, A.]. and L.D. Albright, “Coordinated management of daily PAR integral and carbon dioxide for hydroponic lettuce production”. Acta Horticu lturae 456:45-51. 1998
12. Giacomelli G.A., K C. Ting, and S. Panigrahi. “Solar PAR vs. solar total radiation transmission in a greenhouse”. T rans. of the ASAE Vol 31(5):1540-1543. 1988.
13. Kittas C. and A. Bailie. “Determination of the spectral properties of several greenhouse cover materials and evaluation of specific parameters related to plant response”. Journal of Agricultural Engineering Research Vol.(71):193－202. 1998.
14. Rol:erts, W.J “Movable thermal insulation for greenhouse”, Research paper NO. Pa31~01-81. Rutgers University. New Brunswick, New Jersey. 1933
15. Royal D. Heins, and Richard W. Thimijan. “Photometric, radiometric, and quantum tight units of measure”. HortScience Vol. 18(6):818-822. 1983.
16. Ting K C., and G. A. Giacomelli. “Availability of solar photosynthetically active radiation”. trans of the ASAE Vol 30(5):1453-1457. 1987.
17. www.lincolnshire-herbs.co.uk(formerly Swedeponic UK)
18. www.hortiplan.com
19. http://www.verticalfarm.com

[별첨 1]

충청권 자족형 도시농업용
스마트 그린하우스 광환경 시스템
엔지니어링 테스트베드 실험설비

KAIST_SSEL – 충남농업기술원

제 1 장　총 칙

1. 적용범위

1) 본 시방서는 충청권 자족형 스마트그린하우스 광환경 설비 엔지니어링 테스트베드 공사에 적용한다.

2) 각 공사에 있어서 다른 공사와 관련이 있는 사항에 대해서는 각기 그 해당사항을 준용한다.

2. 정 의

본 시방서에 사용하는 용어는 다음과 같다.

1) 설 계 자 : 본 건물 실내장식 마감공사 범위 내를 설계한 자를 칭한다.

2) 수 급 자 : 본 공사의 전부 또는 일부를 맡아 시공하는 자를 칭한다.

3) 감 독 원 : 감리자 및 건축주가 임명한 현장감독자를 말한다.

4) 현장대리인 :본 공사 계약조건 및 기타 관계법규에 의거 공사업자가 지정하는 책임시공 기술자로서 수급자를 대리하여 현장에 주재하면서 공사관리 및 기술관리, 기타 공사 관련 업무를 시행하는 현장원을 말한다. "시공기사"라 함은 현장대리인 또는 그가 고용하여 시공을 담당하는 자를 말한다. 공사계약 및 설계도서에 의거공사를 책임 시공하되 감독원의 지시에 순응하여 시공하고 공사 진행 중 책임 시공할 수 없다고 감독원이 인정하는 자는 즉시 교체하여야 한다.

5) 공 정 표 : 본 공사 추진을 위해 시공순서 등을 명기한 시행 세부공정표를 말한다.

6) 시 공 도 : 시공 상 필요한 공작도로서 수급자 또는 제품의 제작자가 작성 제출하는 도면을 칭한다. 시공도를 작성하여 감독원의 승인을 받지 않고서는 어떠한 경우에도 공사를 할 수 없다.

3. 의 의

도면과 시방서의 내용은 상호 보완적이며 상치되거나 명기가 없을 때는 감독원의 지시에 의한다.

4. 경미한 변경

현장 마무리 맞춤 등의 관계로 재료의 설치 위치, 공법의 사소한 변경 또는 이에 수반하는 약간의 수량 증감 등 경미한 변경은 감독원의 지시에 의한다.

5. 설 계 변 경

공사 도중 계약도면의 변경이 불가피하거나 설계자의 요청에 따라 설계변경사항이 발생할 때에는 감독원과 협의 시행하며, 이로 인하여 외관이나 건물의 기능이 변경될 경우에는 설계자와 협의하여 정한다.

6. 공정 및 시공계획서

착공 전에 공정표 및 시공 계획서를 작성하여 감독원의 승인을 받는다.

7. 시 공 도

시공 상 필요한 세부 시공도 등은 지체 없이 제작하여 감독원의 승인을 받는다.

8. 자재

1) 공사에 사용되는 자재(재료, 제품, 기기의 기타) 중에서 시방서를 포함한 설계서에 품질기준이 명기되어 있는 품목은 품질기준에 적합한 신품(가설용 자재는 제외)을 사용하여야 하며, 명시된 제품 및 자재는 이와 동일한 제품 이상의 성능과 품질을 사용하여야 한다.

2) 다만, 해당 설계 및 시방에 품질기준이 명기되어 있지 않은 품목은 아래 순서에 따라 “적합한 자재”를 우선으로 한다(적합한 자재는 ‘한국산업 규격에 적합한 제품’을 우선으로 한다).

가. 「산업표준화법」에 의한 한국산업규격 표시품(KS표시품)

나. 「건설기술관리법」제25조에 의한 품질검사 전문기관(건축, 토목, 설비, 조경일 경우) 또는 공인시험기관(전기설비, 통신설비일 경우)에서 「산업표준화법」에 의한 한국산업규격에 따라 품질시험을 실시하여 KS 표준품과 동등 이상의 성능이 있다고 확인된 것

다. 적합한 자재가 없을 경우에는 다른 것과 균형이 유지되는 것으로서 품질 및 성능이 우수한 제품으로 사용한다.

라. 지정된 한국산업규격의 적용은 해당 단위 공종에 기준한다.

9. 시공검사

1) 각 공사 단계마다 감독원이 미리 지정한 공정에 이르렀을 때 검사를 받고, 합격 승인을 얻은 후 다음 공정으로 옮겨 진행한다.

2) 시공 후에는 검사가 불가능 하거나 곤란한 공사부분은 반드시 감독원의 입회하에 시공한다.

10. 공사장 관리

공사장의 관리는 근로 기준법, 근로 안전 관리 규칙, 근로 관리 위생 규칙, 기타 근로 관계법규에 의거하여 행하고 특히 다음 사항을 하여야 한다.

1) 화재, 도난, 소음방지 위험물 및 그 위치 표시, 기타 사고방재에 대한 단속

2) 시공자재 및 시공설비의 정리 및 관리 현장 내외의 청소

제 2 장 가 설 공 사

1. 일반사항

실내건축공사를 원활하고 효율적으로 시행할 수 있도록 공사 전반에 걸쳐 공통으로 필요한 가설 시설물, 임시 보조시설 설치, 현장 정리 및 기타 작업 수행 시 적용한다.

2. 먹줄 놓기

본 작업을 시행하기 전 단계로서, 실제 현장 작업장 내에서 기준선을 설정 (바닥은 X,Y,Z 좌표를, 벽면은 파악하기 쉬운 1m 높이를 기준선으로 설정) 하고 도면에 명기된 치수에 준하여 본 작업장에 1:1비율로 도면을 그리는 과정으로, 도면과의 오차 치수는 조정, 협의하여 각 공정별 설치작업은 각 기준선을 바탕으로 이행한다.

3. 보양

공사 진행 중 설치물 또는 작업의 완료된 내용에 따라 파손, 훼손, 오손의 우려가 있는 부분과 마감 재료의 오염 방지가 필요한 곳에 보호 작업을 한다. 특히 바닥 마감 공정 완료시에 재료의 특징에 따라 합판, 보양시트, 보양지 등으로 파손, 손상되지 않게 보양한다.

4. 가설 전기 신설

1) 공사를 수행함에 있어 작업에 필요한 전력을 예상치보다 여유 있게 산정하여 과부하로 인한 전력의 과부족 현상이 없도록 임시동력 분전반 패널을 설치하여 운영한다(신축현장일 경우).
2) 가설 조명은 작업에 지장이 없도록 일정높이를 유지하여 균일하게 설치한다.
3) 현장 내 작업의 효율성과 안전사고 및 보안을 유지하기 위해 가설조명 밝기는 목적에 맞게 설치, 운영하고, 정밀작업 및 기타 작업이 요구될 때에는 필요에 따라 별도의 밝기로 조명을 설치, 작업한다.
4) 현장 바닥에 부득이하게 놓이게 되는 인입선 또는 작업연결선의 경우 피복이 손상되거나 합선되지 않도록 관리하며 배선의 보호를 위해 전선관, 튜브, 목재 박스 등으로 보양하여 별도 관리한다.

5. 가설 환기시설

1) 공사수행 중 작업의 효율성과 위생관리를 위해 설치하는 임시 환기시설을 말한다(예: 팬 설치, 특정 작업지점의 집중 팬, 진공청소 시 흡입).
2) 자재의 양생, 습기의 분산, 작업으로 인한 먼지, 유해가스, 분진 등의 누적을 방지하기 위하여 폐쇄된 공간에 환풍이 되도록 한다.

6. 현장 정리정돈

1) 현장은 쓰레기 없이 정돈이 잘 된 상태로 유지한다.
2) 손이 닿기 힘든 곳이나 후미진 틈새 또는 작업으로 막히는 곳은 사전에 쓰레기 및 먼지, 분진을 말끔히 제거하고 진공청소기로 흡입하여 위생관리에 최선을 다한다.
3) 최종 표면 마감공사를 하기 전 내부 공간 먼지를 최대한 제거한다.
4) 현장 내의 쓰레기를 정기적으로 모아서 현장 외부로 배출한다.
5) 공사장 내의 적절한 위치에 지정 폐자재 및 쓰레기를 집결시키고 정기적으로 현장 외부로 반출하여야 한다.

7. 자재 양중

1) 현장에 필요한 자재 및 기타 내용을 반입할 때는 작업 공정에 따라 각 공정에 필요한 자재를 단계적으로 종류, 중량, 규격에 따라 계획을 수립하여 이행한다.

2) 양중된 각종 자재들은 쉽게 사용할 수 있는 각 공정의 위치에 정리하여 작업의 효율성을 높이며 추후 타 작업에 방해가 되지 않는 곳을 파악하여 적재한다.

8. 준공 청소

모든 작업이 완료되면 각종 보양지를 제거하고 작업으로 인한 먼지, 분진, 이물질, 기타 쓰레기를 반복하여 점검, 청결하게 청소한다.

제 3 장 금 속 공 사

1. 일반사항

금속공사 또는 철물공사는 1차 가공 제작된 자재 또는 금속자재를 이용하여 현장에서 설치, 완료하는 작업으로, 그 공정은 크게 두 가지로 구분할 수 있다. 즉 형틀 및 문틀 제작 등 특정한 형태로 설계된 것을 금속을 이용하여 재단, 커팅, 절곡 및 용접 등 여러 공정을 통하여 진행하는 경우와, 완제품이나 반제품 형태로 공장에서 제작된 것을 현장에서 조립, 설치만 하는 공정이다.

2. 자재

1) 공사에 사용하는 알루미늄 프로파일의 공통 적용규준 및 기준은 (주)미래인더스 생산제품을 사용하는 것을 기준으로 하며, 2차 제품은 모두 한국공업규격(KS)에 규정되어 있는 것을 따르되, 다른 규격품일 경우 동등 이상품이어야 한다.

2) 본 공사에 사용하는 자재의 종류와 규격, 색상과 형태 등은 도면 및 공사시방서에 준하며, 정해지지 않은 것은 감독원과 협의하여 결정한다.

3. 제작 설치

1) 일반사항

가. 재질, 형태 및 치수 등은 설계도면에 준한다.

나. 제작 전에 필요한 경우 현장 실측 후 실시하고 강재의 접합은 금속공사에 의하여 모든 제품의 설치에 필요한 재료와 부속품에 관하여 도면 및 시방서에 언급이 없어도 해당 품목이 완전히 설치되도록 제작되어야 한다.

다. 항목들의 연결부를 맞추어 견고하게 조립하며, 용접으로 결합된 부재는 연속으로 실(seal)처리한다.

라. 상이한 재료가 접촉되거나 알루미늄이 콘크리트, 모르타르, 조적, 또는 습한 나무나 수분을 흡수하는 재료와 접촉하는 곳에는 표면을 역청질 도료나 아스팔트 바니시로 보호해야 한다.

마. 잡철물 공사는 선, 각도 및 곡률과 함께 형태와 규격이 맞도록 형성되어야 한다. 드릴링이나 펀칭은 선과 면이 깨끗이 되도록 하고 용접은 부분용접이 허용된 곳을 제외하고는 전체 접촉 부분을 따라서 연속 용접해야 한다. 제 위치에서의 노출 부분은 부분용접을 하여서는 안 되며 노출 용접부위는 용재(slag)를 제거 후 매끈하게 연마해야 한다.

2) 용접 시 주의사항

가. 주위의 기온이 0℃ 이하일 경우에는 용접을 하면 안 되며, 부득이한 경우 모재부분의 접합으로부터 100㎜ 범위 내에서 36℃ 이상으로 예열시킨 후 용접을 실시한다.

나. 눈 또는 비가 오거나 습도가 높은 경우에는 용접할 수 없다. 부득이한 경우 눈이나 비로부터 완전 차단하고 용접부를 충분히 건조시킨 후 용접한다.

다. 절단 및 용접 시 불티가 날아가 인화물질에 접촉할 경우 화재의 위험성이 있으므로 반드시 불티 비산 방지막을 설치하여야 한다.

3) 녹막이처리

가. 강철제 금속제품의 녹막이처리는 도금처리 및 공사시방에 정한 것을 제외하고 모두 녹막이도장에 따라 녹막이 도료를 2회 칠한다.

나. 비철금속제품으로 이에 접하는 타 재료에 의해서 부식을 받을 염려가 있는 경우에는 도면 또는 공사시방서에 의해서 방식 처리를 한다.

다. 현장 반입 후 녹막이도장의 손상 또는 박리 부분은 보수한다.

4) 보양 및 청소

가. 제품의 설치 완료 후 파손이나 오염의 우려가 있는 것은 담당원의 지시에 따라 종이, 헝겊 또는 목재 등으로 보양한다.

나. 공사 완료 후에는 보양재를 제거하고 청소한다. 필요에 따라 왁스 등을 써서 닦는다.

4. 벽체 구조틀 공사

1) 건식벽체를 조성할 때 구조재로 경량철골과 목재를 이용하는 방법 등이 있으나 큰 하중을 견뎌야 하는 경우와 내구성을 위해서 각 파이프로 벽체를 조성하기도 한다.

2) 건식벽체를 조성할 때에는 일반적으로 메탈 스터드를 이용하지만 특정한 곡선처리가 요구될 경우, 벽체에 특정한 형태를 만들어야 할 경우에 적용한다.

5. 천장 구조틀 공사

1) 천장의 하중을 보강하거나, 구조적 하중을 지지하기 위해서 금속 구조재(각파이프)를 이용한 보강구조가 요구될 시 건축구조물에 긴결하여야 한다.

2) 제작물 설치 시 최종 천장 마감높이와 위치를 확인하여 설계에 준한 정확한 위치가 되도록 한다.

3) 갈바 스틸을 절곡이나 벤딩하고 스틸 각파이프를 이용해 철판이 울지 않도록 보강하여 고정한다.

4) 천창 강화유리는 8T이상, 투과율 80% 이상 재질을 사용하며 시공후 마감을 통해 방수에 유의한다.

6. 재료분리대 금속재 공사

1) 이질재료로 마감이 구획되는 부분에는 도면에 별도 표기가 없어도 KS D 3698에 적합한 스테인리스 스틸 타입으로 마감의 재료분리대를 설치해야 한다.

2) 마감 하지부분에 고정 보강하는 철물은 설치재료에 적합하고 바닥마감 두께에 알맞은 것으로 견고히 고정하여야 한다.

3) 맞대거나 맞추는 부분에서의 마무리는 직선, 수직으로 하며, 한 구획 내에서는 이음을 두지 않는 것을 원칙으로 한다.

7. 알루미늄제 창호

1) 일반사항

가. 알루미늄 창호는 가볍고 가공이 쉬우며 녹이 슬지 않아 사용연한이 길 뿐만 아니라, 외관이 아름답다. 또한 기밀성 및 수밀성이 좋고 개폐조작이 경쾌하다는 장점 때문에 현재 가장 일반적으로 사용되는 창호재이다. 그러나 강제창호에 비해 내화도가 낮고 알칼리에 침식되는 단점이 있다.

나. 알루미늄 창호는 강도가 약하므로 큰 창문에는 통유리를 끼우는 것을 가급적 피해야 하며, 부득이한 경우에는 중간 살로 울거미를 보강해야 한다.

다. 알루미늄 창호는 성능에 따라 보통창호, 방음창호, 단열창호로 분류하며 주로 미서기용으로 사용한다.

2) 재료

가. 알루미늄 새시 바의 재질은 KS에 규정된 것으로 하고 형상 및 치수는 KS규격에 적합한 것으로서 도면이나 시방서에 따른다.

나. 또한 창 및 틀에 사용하는 재료 및 부속 부품은 KS에서 표시하는 규격과 또는 이것과 동등 이상의 품질을 가진 것으로 하며 부재의 두께는 1.35㎜로 한다.

3) 창호 제작 및 설치

가. 일반적으로 공장에서 주문제작하며, 틀 세우기 및 창호 설치는 제작회사의 책임으로 하고 틀 세우기의 공법은 강제 창문틀 세우기에 따른다.

제 4 장 유 리 공 사

1. 일반사항

1) 항상 4°C (40°F) 이상의 기온에서 시공하여야 하며, 더 낮은 온도에서 시공해야 할 경우 실런트 시공시 피접착 표면을 반드시 용제로 닦은 후 마른 걸레로 닦아내고 승인을 받은 후 시공해야 한다.

2) 시공도중 김이 서리지 않도록 환기를 잘 해야 하며, 습도가 높은 날이나 우천시는 담당원의 승인을 받은 후 시공해야 한다.

2. 실링재

유리 끼우기용 실링재는 KS F 4910에 규정된 적합한 내곰팡이성이 있는 실리콘(silicone)계의 비초산형을 사용한다.

1) 실리콘계 실런트로 KS F 4910(건축용 실런트) 규정에 합격한 것이나 동등 이상의 품질이어야 한다.

2) 프라이머를 사용할 경우 프라이머는 작업하기 적합한 점도를 가지며, 접착성이 우수해야 하며 사용가능 시간이 충분해야 한다.

3) 주제와 경화제의 분리 여부에 따라 1액형과 2액형이 있으며, 초산 타입과 비초산 타입이 있으므로 시공 조건에 따라 선택한다.

4) 화장실과 같이 습한 곳에서는 항균 코킹제를 사용하며 뒷면에 열선 처리한다.

3. 시공 전 준비

1) 유리면에 습기, 먼지, 기름 등의 해로운 물질이 묻지 않도록 한다.

2) 시공 전 유리와 부자재 제조업체의 제품 사양에 대해 검토한다.

3) 계획, 시방 및 도면의 요구에 대해 프레임 시공자의 작업을 검토하고 프레임의 수직, 수평, 직각, 규격, 코너 접합 등의 허용오차를 검사하여, 리벳, 용접시의 요철 등으로 유리의 면 클리어런스 및 단부 클리어런스가 최솟값 이하가 되지 않도록 한다.

4) 모든 접합, 연결 철물, 나사와 볼트, 리벳 등이 효과적으로 밀폐되도록 한다.

5) 유리의 규격이 허용오차 내에 있는지 정확히 검사한다.

6) 유리를 끼우는 새시(sash) 내에 부스러기나 기타 장애물을 제거한다.

7) 배수 구멍이 막히지 않도록 하며, 배수 구멍은 일반적으로 5㎜ 이상의 직경으로 3개 있어야 한다. 색유리, 반사유리, 접합유리, 망유리 등의 경우 단부가 물에 닿지 않도록 한다.

8) 세팅 블록을 유리 폭의 1/4 지점에 각각 1개씩 설치하여 유리의 하단부가 하부 프레임에 닿지 않도록 한다.

9) 청소를 위해 실런트 시공 부위에 톨루엔, 아세톤 등의 용제를 사용할 수 있다.

10) 접착제 충전시 줄눈의 치수와 공작도면이 일치하는지, 적당한 규격인지 검토한 후 작업에 들어간다.

4. 시공법

1) 유리 끼우기는 도면과 시방서에 명시된 사항 외에는 제조업체의 제품 자료에 따라 시공하며, 유리를 끼운 후 창을 여닫는 충격에 유리가 흔들리지 않도록 고정시켜야 한다.

2) 바깥 온도가 5℃ 이하이거나 비, 눈 또는 강풍 시에는 유리 끼우기를 중단한다. 불가피한 경우에는 유리 제작업체와 협의하여 확실하게 시공되도록 고정시켜야 한다.

3) 유리 끼우기 시공업체는 유리를 끼우기 전 각종 창의 제작 및 시공오차를 충분히 검토하여 이상 유무를 확인한 후 작업에 착수해야 한다.

4) 유리 끼우기는 물림 깊이, 유리면의 수평·수직면의 정확도를 유지하여 끼워야 하며, 실런트 시공까지 움직임 등에 의한 변형이 없도록 견고히 고정시켜야 한다.

5) 알루미늄 창에 사용되는 개스킷의 경우, 유리의 한 면은 부드러운 개스킷을, 다른 한 면은 견고하고 밀도 높은 개스킷을 사용하되, 개스킷을 유리를 끼우는 각 변의 길이보다 약간 길게 하여 중앙에서 단부 쪽으로 홈에 정확히 물리도록 일정한 힘으로 끼워 외관상 균일성이 유지되도록 한다.

6) 복층유리 끼우기 : 알루미늄 창에 복층유리를 끼울 때는 실링재를 사용하여 고정하며, 시공방법은 제조업체의 제품 자료에 따른다.

7) 강우나 강설 직후 작업할 때에는 작업 발판이 안전한지 확인한 다음, 새시 홈에 습기가 남아 있으므로 충분히 사전 건조시킨 후 시공한다.

8) 대형 유리 등을 지지하기 위해 별도의 구조체가 필요한 경우에는 담당자와 충분한 협의를 거친 후 시공해야 한다.

5. 주의사항

1) 판유리를 취급할 때에는 모서리에 흠이 생기거나 프레임이 부딪히지 않도록 해야 한다.

2) 판유리를 이동할 때에는 모서리에 흠이 생기거나 프레임이 부딪히지 않도록 압착기를 사용하며, 모서리의 손상 방지를 위해 지렛대는 사용하지 않는다.

3) 시공 중 취급 기구나 재료를 쌓아두어 하중에 의해 프레임이 변형되지 않도록 주의한다.

4) 주위에서 용접, 샌드블라스팅 같은 작업을 할 때는 판유리의 손상 방지를 위해 두터운 방수포나 합판으로 보호하며, 산성 약품을 이용하여 세척할 때에는 세척 후 깨끗한 물로 유리를 닦아내도록 한다.

5) 시공 중 세팅 블록이나 위치 결정재의 위치가 변동되지 않도록 주의한다.

6) 외관상 균일하게 유리를 끼운다. 또한 판유리 끼우기용 부속 재료에 얼룩이 묻어 있거나 재료의 질이 저하되지 않도록 청결 상태를 유지한다.

7) 백업재는 줄눈 폭에 비해 약간 큰 것을 뒤틀리지 않게 삽입한다.

8) 현장작업 중에 생기는 부스러기, 먼지, 쓰레기, 코팅재 같은 것에 의해 배수, 환기 구멍이 막히지 않도록 주의한다.

제 5 장 설 비 공 사

1. 일반사항

1) 적용범위

이 장은 광환경 구축을 위한 반사패널 구동설비 및 다층 재배트레이 설비 제작, 설치에 관하여 적용한다.

2) 운반, 보관 및 취급

가. 현장에서 조립하여 설치하는 제품은 부품 및 부재 단위로, 공장 완제품인 경우에는 제품단위로 골판지 등으로 보호 포장되어 포장외부에 제조업자의 상표, 상품명 및 부재명, 수량 등이 표시된 상태로 현장에 반입되어야 한다. 특히, HPM으로 마감된 부재는 보호용 비닐테이프 등으로 표면이 보양된 상태로 현장에 반입되어야 한다.

나. 각 제품은 눈, 비, 습기 등으로부터 안전한 실내에 보관되어야 한다.

다. 제품을 취급할 때 파손 및 마감면 긁힘 등의 손상이 발생되지 않도록 하고, 손상되어 원상태로 보수가 불가능한 제품은 신품으로 교체하여야 한다.

2. 재료

1) 반사패널

가. 재료는 도면 또는 공사시방에 따르며 정한 바가 없을 때에 스테인레스 플러싱 소재로 한다.

나. 스테인레스 판넬은 휨강도 148㎏f/㎠이상, 두께 4㎜이상의 것을 도면에 의해 가공하여 사용한다.

다. 크랭크 축은 KS D 3536에 적합한 스틸 봉으로 한다.

라. 볼트 및 너트의 재질은 철재로 하되 표면에 녹막이 처리가 되어 있는 것으로 한다.

마. 구동부와 패널부는 해체 및 재조립이 가능한 구조로 조립하여야 한다.

2) 다층 재배트레이 양액공급설비

가. 아크릴 판은 KS F 3101에 의한 준내수 2급 이상으로 한다..

나. 파티클 보드는 KS F 3104에 적합한 것으로서 두께는 15㎜이상인 것으로 한다. 단, 휨강도는 148㎏/㎠이상으로 한다.

다. 식생트레이 상판은 스테인리스제로서 KS D 3698의 STS 304에 적합한 재질로 하며, 그 두께는 0.6㎜이상으로 한다.

라. 양액공급트레이이 등의 재질은 KS D 3698의 STS 304에 적합한 아크릴판으로 하며, 사용 중 찌꺼기를 제거할 때 쉽게 손상되거나 파손되지 않는 구조이어야 한다.

마. 관수의 연결부는 (주)상아 원터치 휘팅으로써 KS D 3698의 STS 304에 적합한 재질로 하며, 배수전의 부속품은 녹이 슬지 않는 재질로 한다. 배수구 마개는 사용 중 누수가 되지 않도록 고무패킹이 부착되어야 하고 개폐가 용이하도록 손잡이가 있어야 한다.

바. 관수에 사용되는 각종 패킹은 누수가 되지 않는 재질의 고무제품 또는 동등이상의 성능을 가진 제품으로 한다..

사. 연결호스는 PVC 후렉시블 호스를 사용하여야 한다.

아. High Pressure Melamine(이하 HPM이라 한다.)은 두께 0.8㎜ 이상으로서 도면에서 정한 내열, 내수, 내오염성 및 내마모성을 확보하여야 한다.

자. PVC 비닐시트는 두께 0.15㎜이상의 것을 사용한다.

3) 다층 재배트레이 조립철물

가. 각 층 조립철물은 아노다이징 처리된 알루미늄 프로파일의 금속제품 또는 이와 동등 이상의 제품으로서 녹이 슬지 않고 미려한 것으로 한다.

나. 제작, 조립에 사용되는 모든 접합 및 연결용 조립철물은 녹이 슬지 않는 재질이나 녹막이 처리가 된 것을 사용하여야 한다.

다. 조립 및 설치에 사용되는 모든 고정철물은 도면에 명시되지 않은 경우 제조업자의 제품자료에 따른다. 단, 녹이 슬지 않는 재질이나 녹막이 처리가 된 것을 사용하여야 한다..

3. 조립

1) 광환경 반사패널 구동부

가. 세부적인 형상 및 규격은 제작업체의 제품 자료에 따른다.

나. 외부프레임과 연계되는 구동부가 설치되는 경우, 빈 공간이 거의 보이지 않는 쪽에서 제품을 제작해야 한다.

다. 하부지지대, 경첩 등은 견고하게 부착하여 흔들림이 없어야 한다.

라. 구동설비의 힌지, 형상, 재질 등은 기능 및 내구성에 지장이 없는 범위 내에서 제품 자료에 따른다.

2) 다층트레이 양액공급설비

가. 상·하부 관수설계

① 상·하부를 구성하는 각 양액트레이는 분리된 상태에서 조립, 설치할 수 있는 구조로 제작하여야 한다.

② 층별 양액트레이와 조립철물 사이의 연결은 연결용 조립철물 등을 사용하여 추후 분리가 용이하도록 하여야 하며, 못 또는 나사못으로 고정하여서는 안된다.

③ 양액트레이의 내용물 무게를 감안하여 천판과 측판, 천판과 보조각목은 스크류로 연결하며, 스크류는 드라이버를 사용하여 박아야 한다.

④ 양액트레이의 뒤판은 나사못을 사용하여 몸체에 견고히 부착하여야 한다.

나. 양액공급트레이

① 모서리부분 이외에는 이음이 없어야 하며, 전면 길이가 2400㎜를 초과하는 경우에 한하여 2400㎜마다 1회 이음을 할 수 있다.

② 설치된 상태에서 15㎜이상 높낮이를 조절할 수 있는 조절나사가 부착된 구조이어야 한다.

③ 바닥청소시 설치 및 해체가 용이한 구조로서 양액트레이 하부에는 경질 PVC재로 된 방충발을 부착하여야 한다.

마) 조립철물 조립

① 전면과 노출되는 측면의 상·하부에 부착하며, 모서리부분 이외에는 이음이 없어야 한다. 다만, 전면길이가 2400㎜를 초과하는 경우에 한하여 2400㎜마다 1회이음을 할 수 있다.

② 양액공급설비를 나사못으로 고정하고 모서리 연결부위는 PVC 캡등을 사용하여 미려하게 처리하여야 한다.

③ 형상 및 색상은 양액트레이와 조화되게 하여야 한다.

4. 설치

1) 시공 조건의 확인

가. 각 제품이 설치될 부위는 선행공정이 완전히 종료된 상태로 깨끗이 청소되어야 한다.

나. 각종 설비의 설치부위의 벽면은 평활하게 마감되어 설비의 설치에 지장이 없어야 한다.

다. 광환경 설비의 설치전에 설치부위를 깨끗이 청소하고, 특히 재배트레이와의 구조가 겹치지 않았는지 확인하여야 한다.

2) 광환경 반사패널 설치

가. 외피 프레임과의 연계를 통해 축이 뒤틀리지 않도록 알루미늄 프로파일 부속으로 견고하게 고정한다.

나. 반사패널의 뒤판을 크랭크 축 고정모듈에 고정위치를 명확히 하여 나사못을 드라이버를 사용하여 견고히 고정한다.

3) 다층 재배대 양액공급설비 설치

가. 양액공급기가 하부에 설치되는 경우, 하부 밑판의 양액공급기 위치에 양액공급기가 설치될 수 있도록 개구부를 둔다. 개구부의 크기는 설치될 수 있는 최소한의 크기여야 한다. 이때 하부의 선반도 양액공급기에 걸리지 않도록 설치한다.

나. 하부장 상판과 가스대의 연결부를 제외한 각 단위상판 연결부의 조인트와, 상판 전체와 벽사이의 조인트는 실링재로 마감하여 물이 새지 않도록 한다.

5. 조정

1) 설치된 각 제품은 구동부, 문짝, 서랍 등은 여닫이가 원활하도록 조정되어야 한다.

2) 각 제품은 설치 후 외부선 및 각 조인트 부위 등이 수직, 수평상태이어야 한다. 수직, 수평이 맞지 않을 경우 조립철물 등을 조정하여 똑바른 상태로 맞춘다.

6. 보양 및 청소

후속공사로 인하여 설치된 각 제품이 오염 또는 훼손되지 않도록 한다. HPM으로 마감된 부위는 최초 보호용 비닐테이프 보양상태를 유지한다.

제 6 장 기 타 설 비 및 관 련 도 면

서보모터

서보모터 저관성,소용량 정격회전속도 3000r/min 정격출력용량 750W 표준모터

고정밀도를 실현

262,144 pulse/rev (18bit)의 고분해능 엔코더에 의한 고정밀 운전

최대회전속도 6000r/min으로, 고속위치결정이 가능

형명 사양	서보모터형명 서보앰프형명(주9) MR-J3-		MR-J3-70A
서보 모터	전원설비용량(주2) (kVA)		1.3
	연속 특성	정격출력용량 (W)	750
		정격토크 (N·m)	2.4
	최대토크 (N·m)		7.2
	정격회전속도 (r/min)		3,000
	최대회전속도 (r/min)		6,000
	순시허용회전속도 (r/min)		6,900
	연속정격토크시의파워레이트(kW/s)		39.9
	정격전류 (A)		5.2
	최대전류 (A)		15.6
	회생브레이크빈도(회/분)(주3, 4)		140
	관성모멘트 ( )는B 부착		1.43 (1.63)
	권장부하관성모멘트비(주6)		서보모터 관성 모멘트의 15배 이하
	속도·위치검출기J (×10-4kg·m2)		앱솔루트·인크리멘털 공용 18비트 엔코더 (서보모터 1회전당 분해능 : 262144p/rev)
	장 비 품		오일실 부착 모터도 대응 가능합니다. (HF-KP□J)
	절 연 등 급		B 종
	구 조		전폐·자연냉각(보호방식 IP65)(주4)
	환경	주 위 온 도	0～40℃(동결하지 않을 것), 보존 : -15～70℃(동결하지 않을 것)
		주 위 습 도	80%RH이하(결로가 없을 것), 보존: 90%RH이하(결로가 없을 것)
		분 위 기	

주)

1. 전원설비용량은 전원 임피던스에 따라 바뀝니다.
2. 회생 브레이크 빈도는 모터가 1대일때, 회생옵션없이 정격 회전속도로부터 감속 정지하는 경우의 허용 빈도를 나타냅니다. 단, 부하를 주는 경우, 표의 값 1/(m+1)이 됩니다. (m=부하 관성모멘트/모터 관성 모멘트) 또한 정격회전속도를 초과할 경우, 회생 브레이크 빈도는 (운전속도/ 정격속도)의 2승에 반비례합니다.운전 회전속도가 빈번히 바뀔 경우, 상하로 구동되어 상시 회생상태가 되는 경우는, 운전시의 회생발열량(W)을 구하여 허용 회생전력(W)을 넘지 않도록 하십시오. 각 시스템에 의해 최적의 회생 저항기가 다르므로 용량 선정 소프트웨어를 사용하여 최적의 회생 저항기를 선정 하십시오.회생 저항

허용 회생 전력에 대해서는 본 카다로그의「옵션●회생 옵션」을 참조 하십시오.

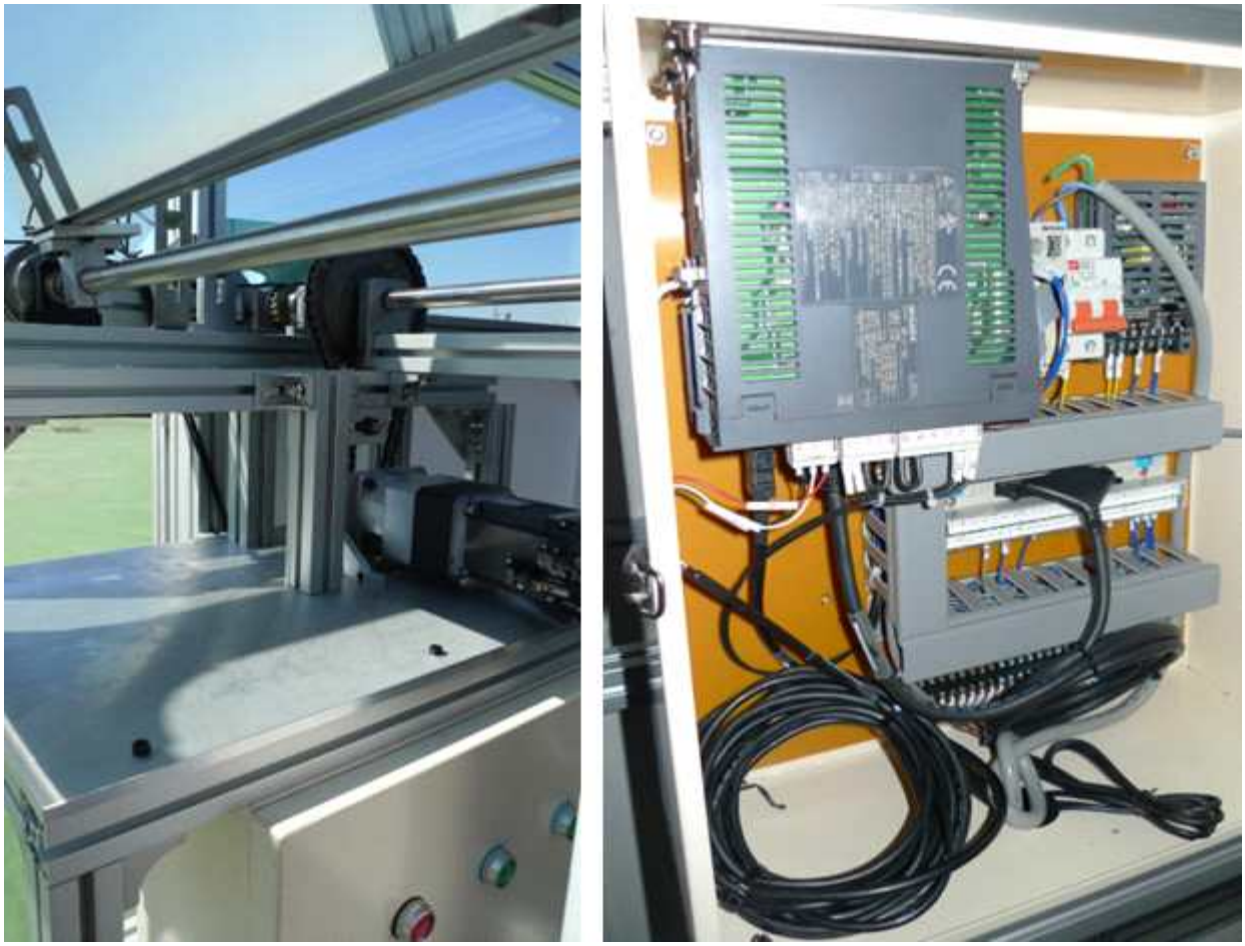
2-1. 정격 회전속도로부터 감속정지하는 경우는 실효토크가 정격토크 범위내라면 회생빈도에 제약은 없습니다. 최대 회전속도로부터 감속정지하는 경우는 8배 이하의 부하관성 모멘트인 동시에 실효토크가 정격토크 범위내라면 회생빈도에 제약은 없습니다.

2-2. 정격 회전속도로부터 감속정지하는 경우는 실효토크가 정격토크 범위내라면 회생빈도에 제약은 없습니다. 최대 회전속도로부터 감속정지하는 경우는 4배 이하의 부하관성 모멘트인 동시에 실효토크가 정격토크 범위내라면 회생빈도에 제약은 없습니다.

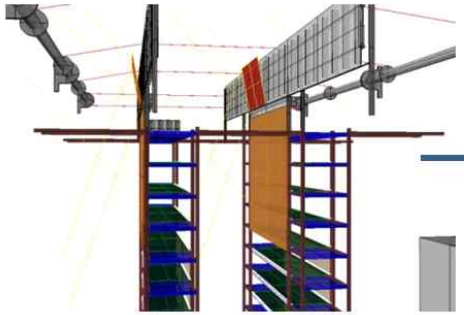
3. 서보모터의 부하 관성모멘트비가 기재값을 넘는 경우는 상담해 주십시오.

4. 축 관통부는 제외합니다. 단, 감속기 부착의 경우 감속기부분은 IP44에 해당됩니다.

5. 진동 방향은 다음과 같습니다. 수치는 최대값을 나타내는 부분(통상 반부하측 Bracket)의 값입니다.모터 정지시는 베어링에 플래팅이 발생하기 쉬워지기 때문에 진동을 허용값의 절반 정도로 억제해 주십시오.

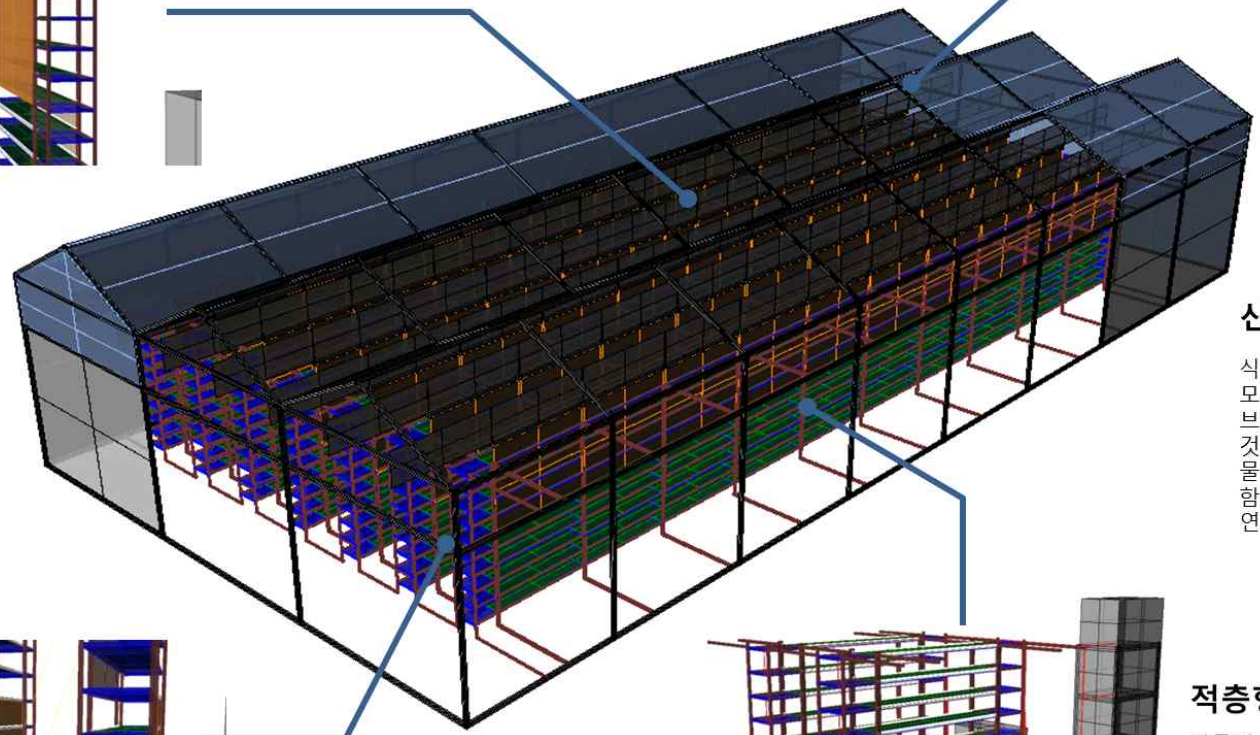


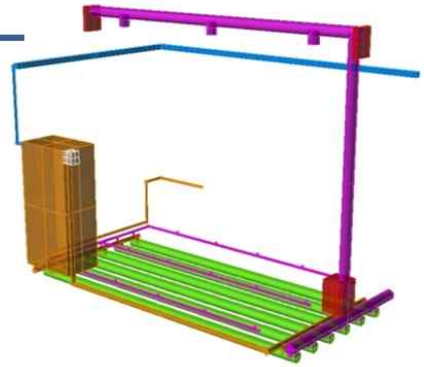
광환경 설비 제어 서모모터 구축 현장



태양광활용 광공급설비 태양추적 반사부

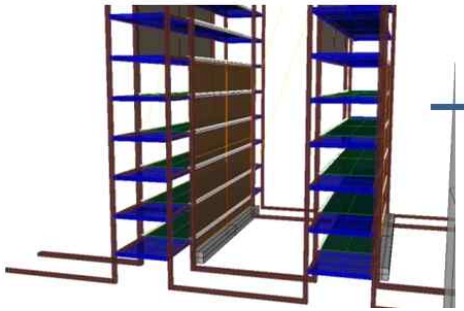
상단 산란패널을 태양 입사광이 직접 비추고, 길이조절이 가능한 제 2의 산란패널을 생육설비 하단에 설치하여 태양 고도에 따라 단위 태양 입사광의 절반을 하단 산란패널로 비추는 액티브 반사시스템을 도입





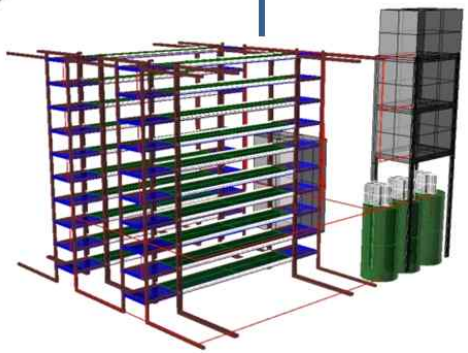
신재생에너지활용 및 기류순환부

식물공장용 태양열 시스템과 연동하여 물과 공기 모두를 매질로하는 태양열 및 지하수 연계형 하이브리드 매질기반 바닥 복사냉난방 시스템에 관한 것으로 온수 및 냉수 등 열원을 공급하는 열원부,식물공장 바닥의 콘크리이트에 매립되는 관로를 포함하는 매립부와, 식물공장의 공조 및 급탕설비와 연계되어 구동 및 제어를 하는 구동제어부로 구성



태양광활용 광공급설비 확산부

생육설비 상층 작물은 상단 확산패널의 산란광을 활용, 하층 작물은 하단 확산패널의 산란광을 활용하여 광합성 유도



적층형 밀식재배 다중 식생장치

작물별 요구 양액성분 비율 분석 및 공급시스템을 통한 다중식생장치 설계. 동시에 다양한 작물을 재배할 수 있는 자동 양액공급시스템 구성. 양액공급 시스템은 재배트레이의 각 층별 서로 다른 작물을 재배한다는 가정하여 층별로 서로 다른 조성의 양액들을 공급할 수 있는 다품종 가변형 양액공급 시스템

적층형 밀식재배 식물공장의 주요설비 개요도

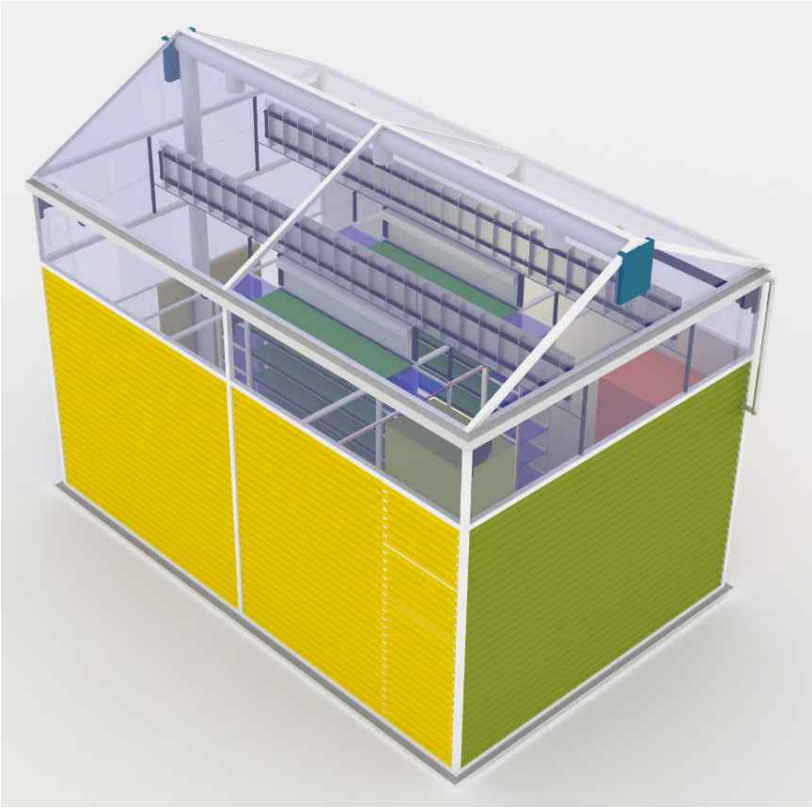
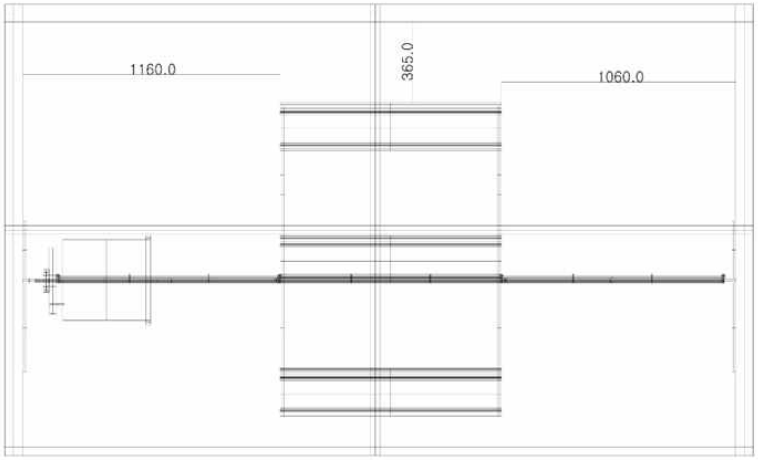
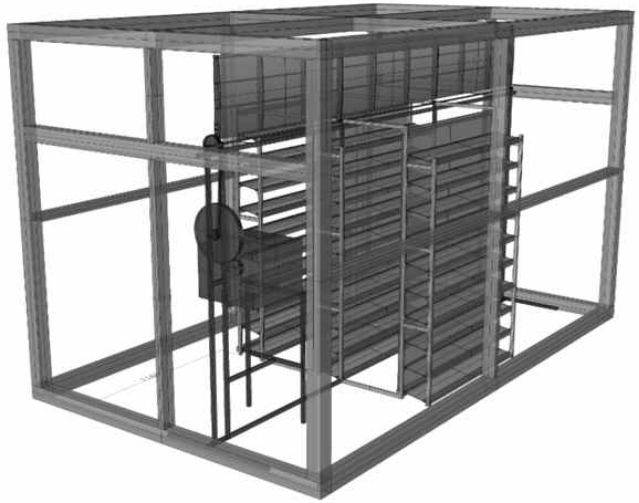
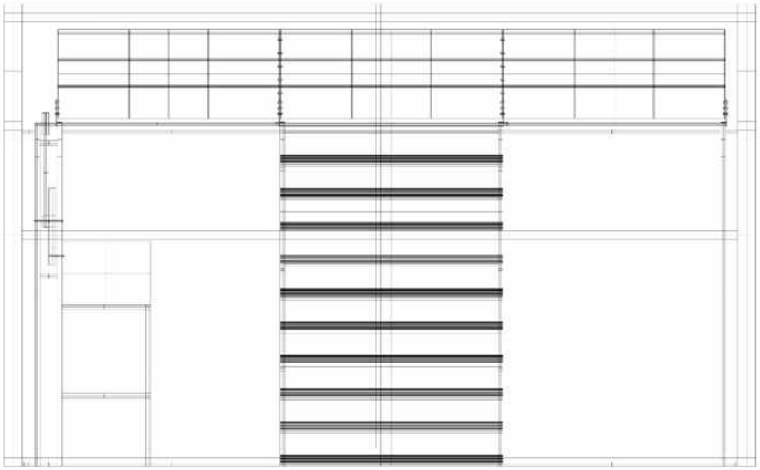


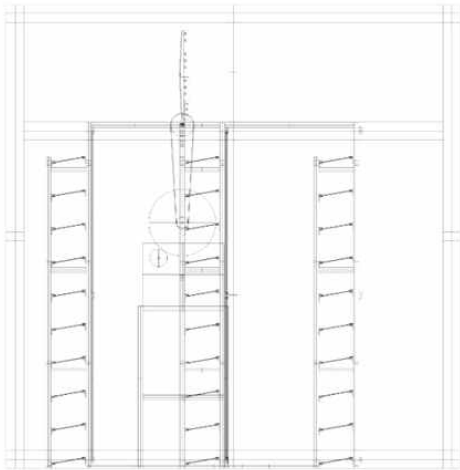
그림 3-1-3. 식물공장 단위 테스트모듈 개요도(북서향)

그림 3-1-4. 식물공장 단위 테스트모듈 개요도(남동향)

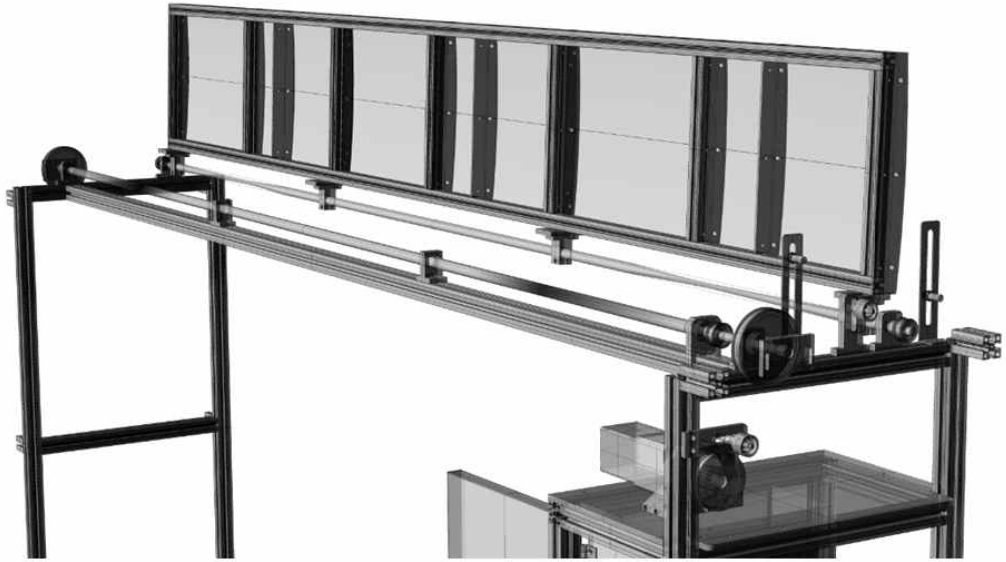


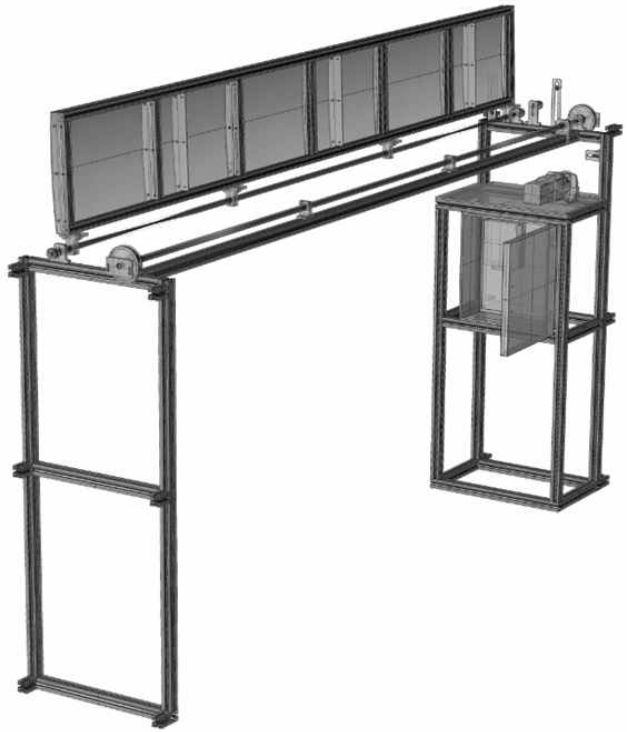




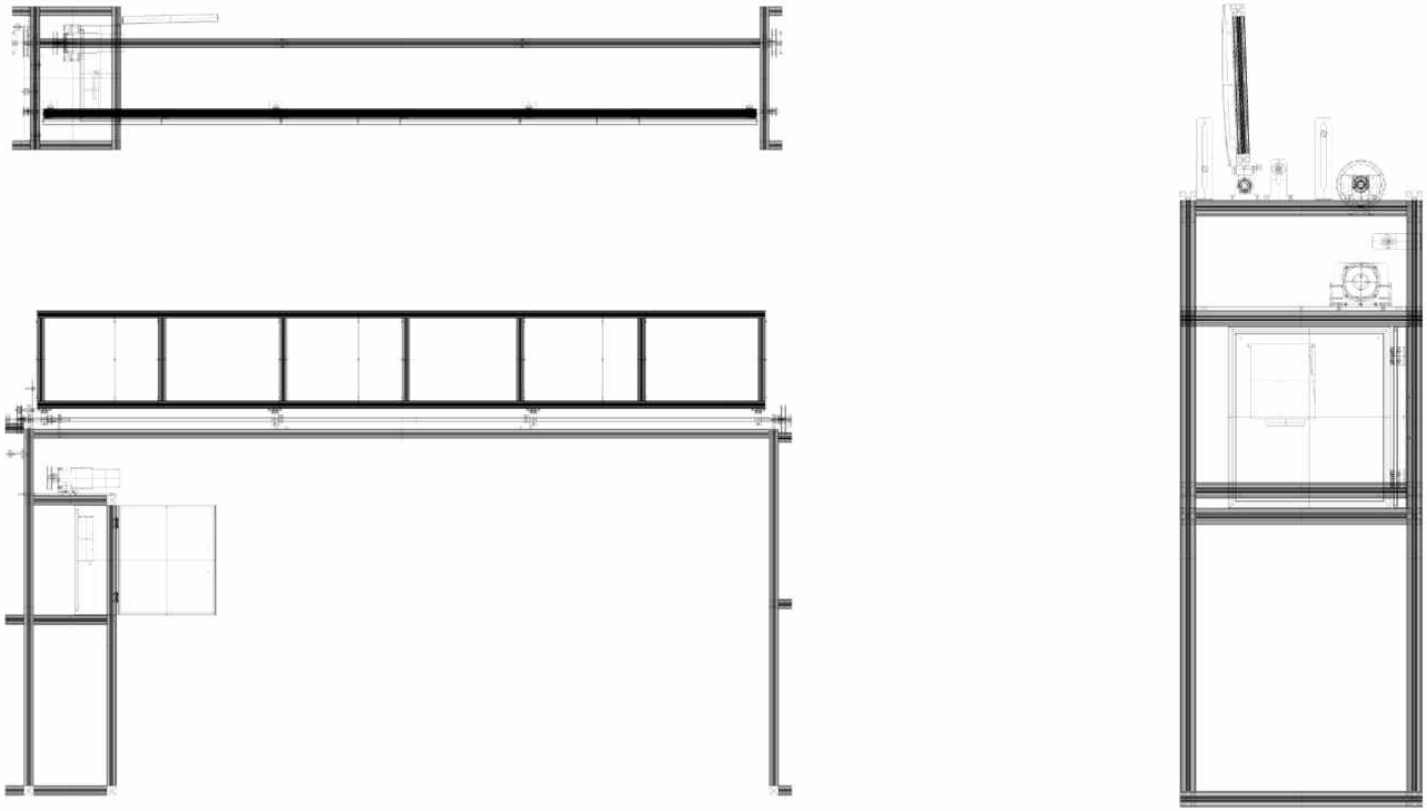


1-1 광환경 설비 엔지니어링 테스트베드	식물공장프로젝트	No. 1-1	1 : 2
	설계: SSEL 장성택	시공: 신한TC	KAIST W16동 옥상부지
	jangst@kaist.ac.kr	su-24@hanmail.net	2012. 12. 10

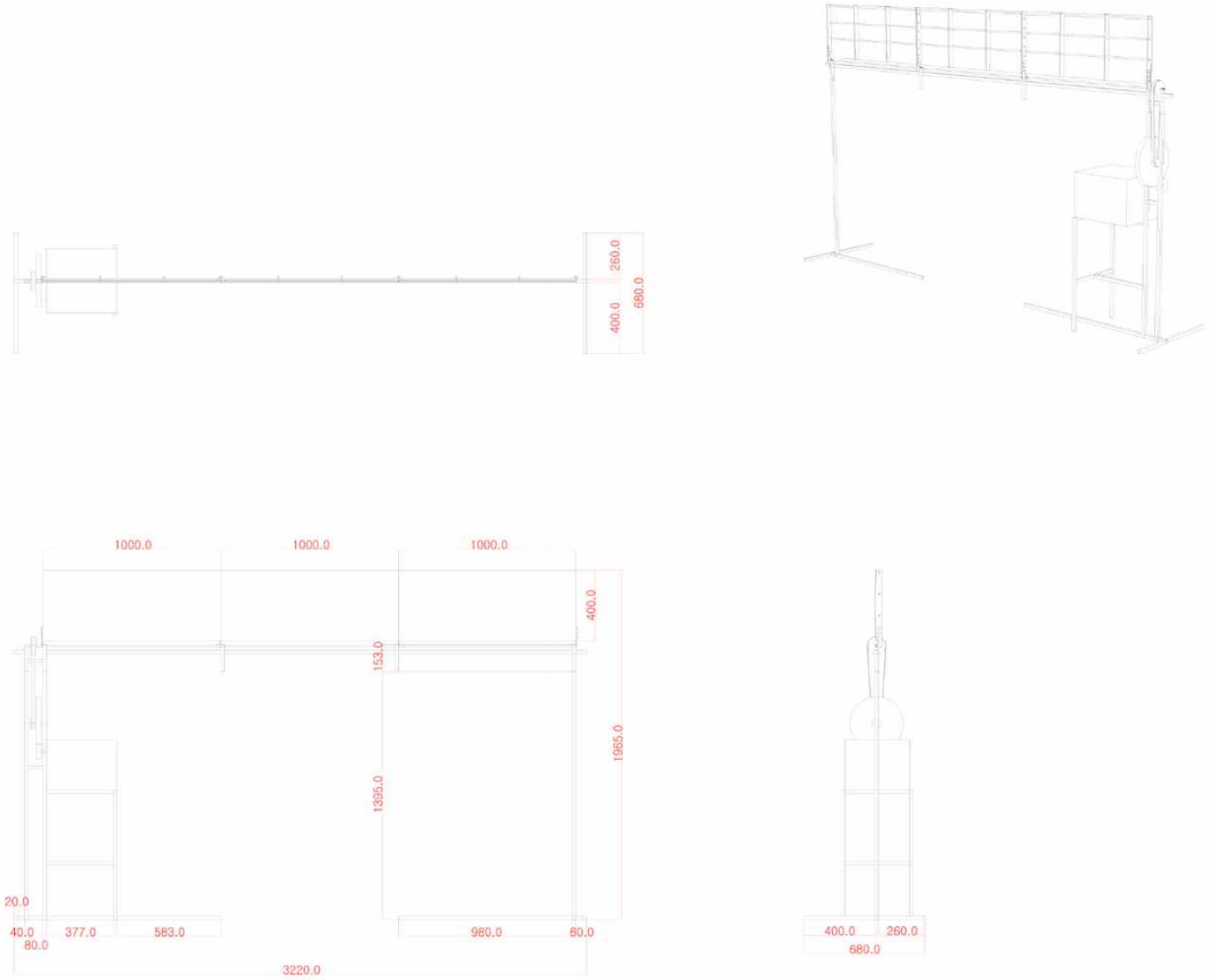




1-2 엔지니어링 테스트베드 반사패널 및 구동부	식물공장프로젝트	No. 1-2	1 : 2
	설계: SSEL 장성택	시공: 신한TC	KAIST W16동 옥상부지
	jangst@kaist.ac.kr	su-24@hanmail.net	2012. 12. 10

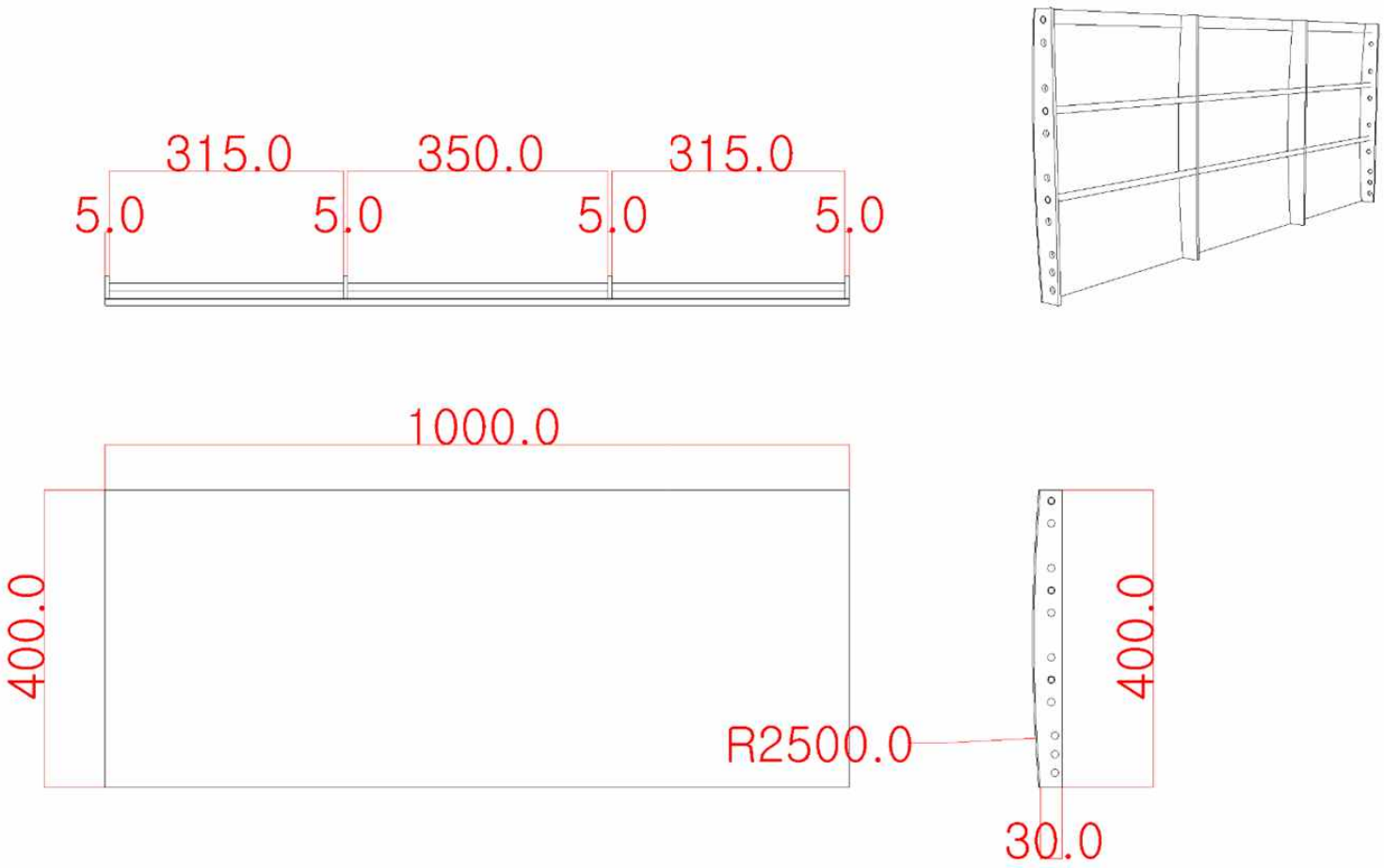


1-3 반사패널 구동부 지지프레임	식물공장프로젝트	No. 1-3	1 : 2
	설계: SSEL 장성택	시공: 신한TC	KAIST W16동 옥상부지
	jangst@kaist.ac.kr	su-24@hanmail.net	2012. 12. 10

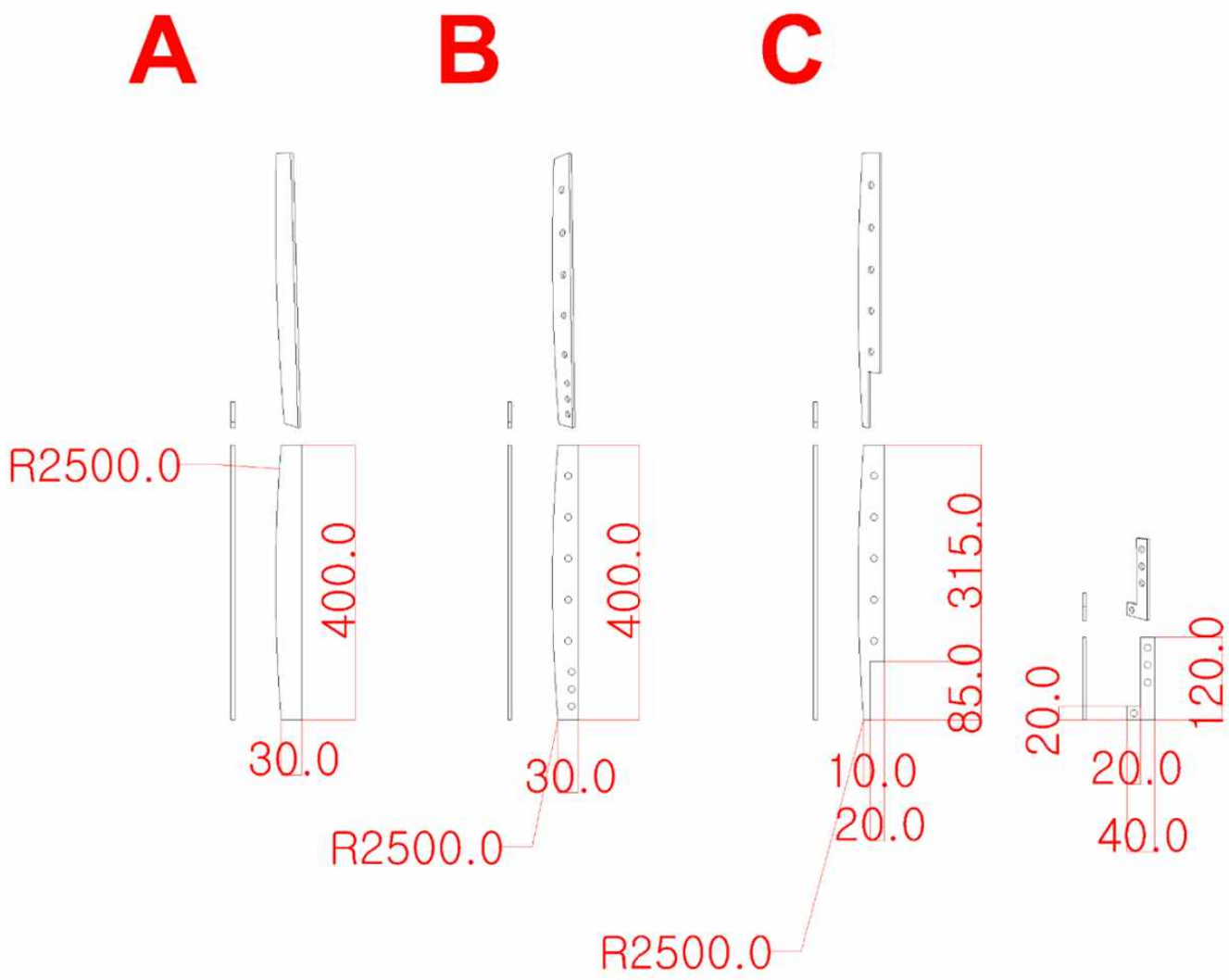


1-4 반사패널 구동부 지지프레임

식물공장프로젝트	No. 1-4	1 : 2
설계: SSEL 장성택	시공: 신한TC	KAIST W16동 옥상부지
jangst@kaist.ac.kr	su-24@hanmail.net	2012. 12. 10

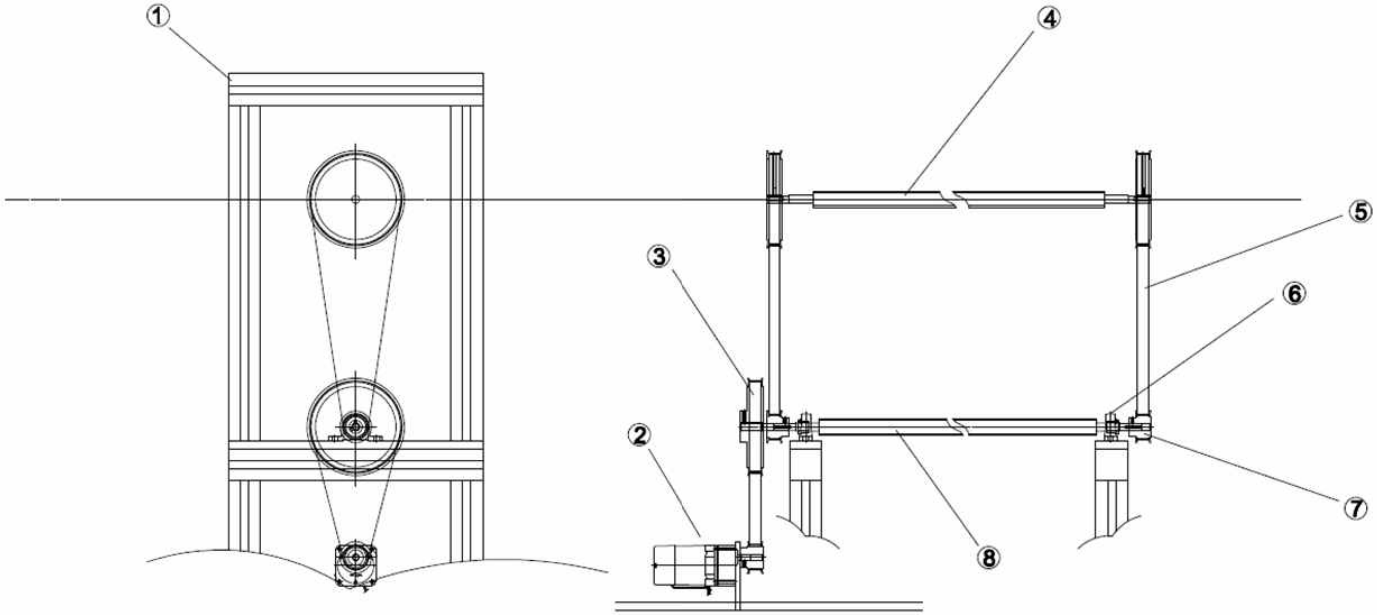


1-5 광환경 설비 채광용 반사패널	식물공장프로젝트	No. 1-5	1 : 2
	설계: SSEL 장성택	시공: 신한TC	KAIST W16동 옥상부지
	jangst@kaist.ac.kr	su-24@hanmail.net	2012. 12. 10



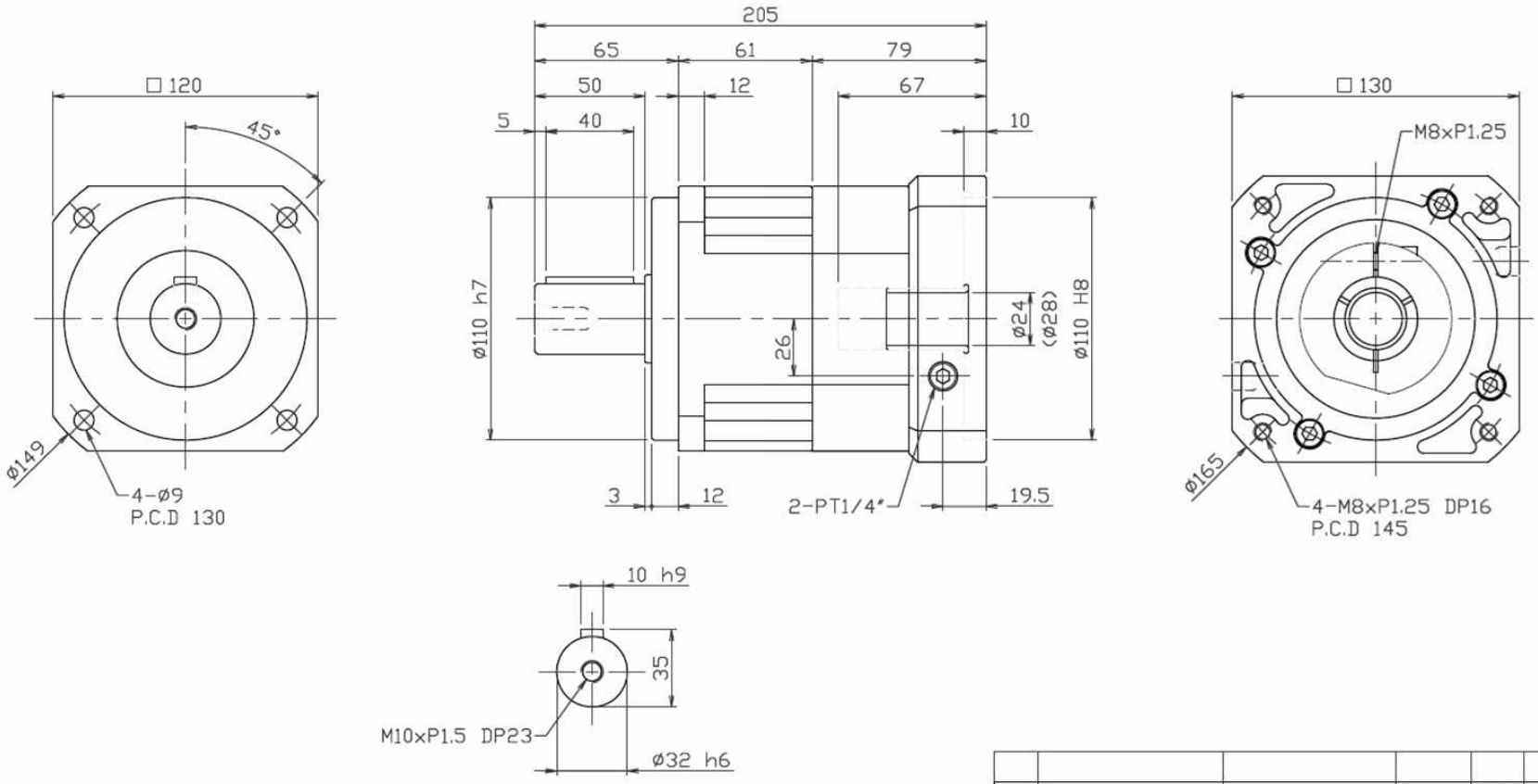
1-6 광환경 설비 채광용 반사패널 골조	식물공장프로젝트	No. 1-6	1 : 2
	설계: SSEL 장성택	시공: 신한TC	KAIST W16동 옥상부지
	jangst@kaist.ac.kr	su-24@hanmail.net	2012. 12. 10

품 번	품 명	규 격	비 고
①	Profile Frame		
②	서보 감속 모터	세부사항 차후 소개	
③	감속용 타이밍 풀리	4:1	
④	태양광 곡률 반경 프레임		
⑤	타이밍 벨트	XL	
⑥	케미컬 지그 베아링	BF SUS	
⑦	감속용 타이밍 풀리	4:1	
⑧	구동용 샤프트 장축		



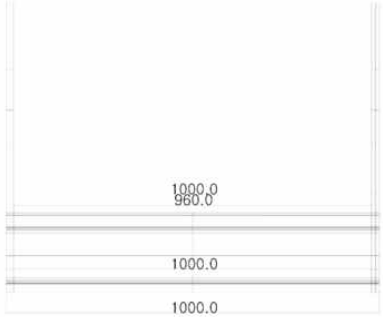
1-7 구동부 개요

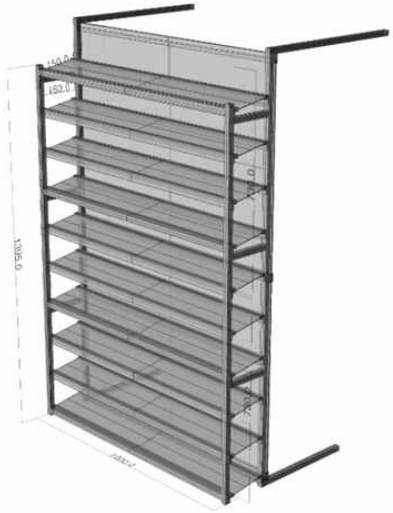
				?	000
No	Part Name	Material	Quantity	Weight	Remarks
	Scale : 1 / 1	Project :			Issue :
	Date : 2012.11.02	Sub Assembly :			Drawing No : D010001
Approved	Drawn	Designed			
M.S.CHOI	M.S.CHOI	Y.H.JEONG			

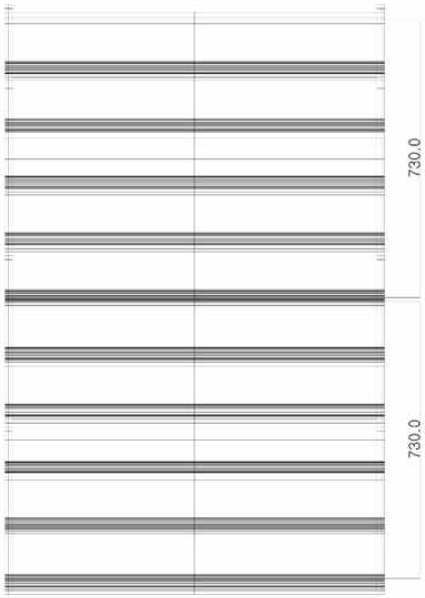


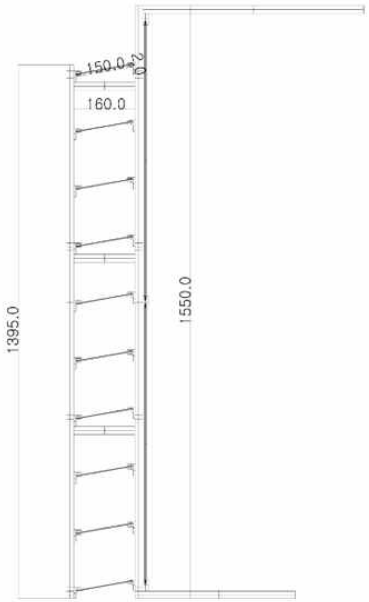
No	DRAWING NUMBER			DESCRIPTION		MATERIAL	Q'TY	REMARK
3RD ANGLE		UNIT	mm	DATE		TITLE	PLANETARY GEARBOX	
		SCALE	1 / 2	DESIGN		DWG. No		
				CHECK		MODEL		
				APPROVE		PROJECT		

1-8 구동부 서보모터 유성치차 감속기

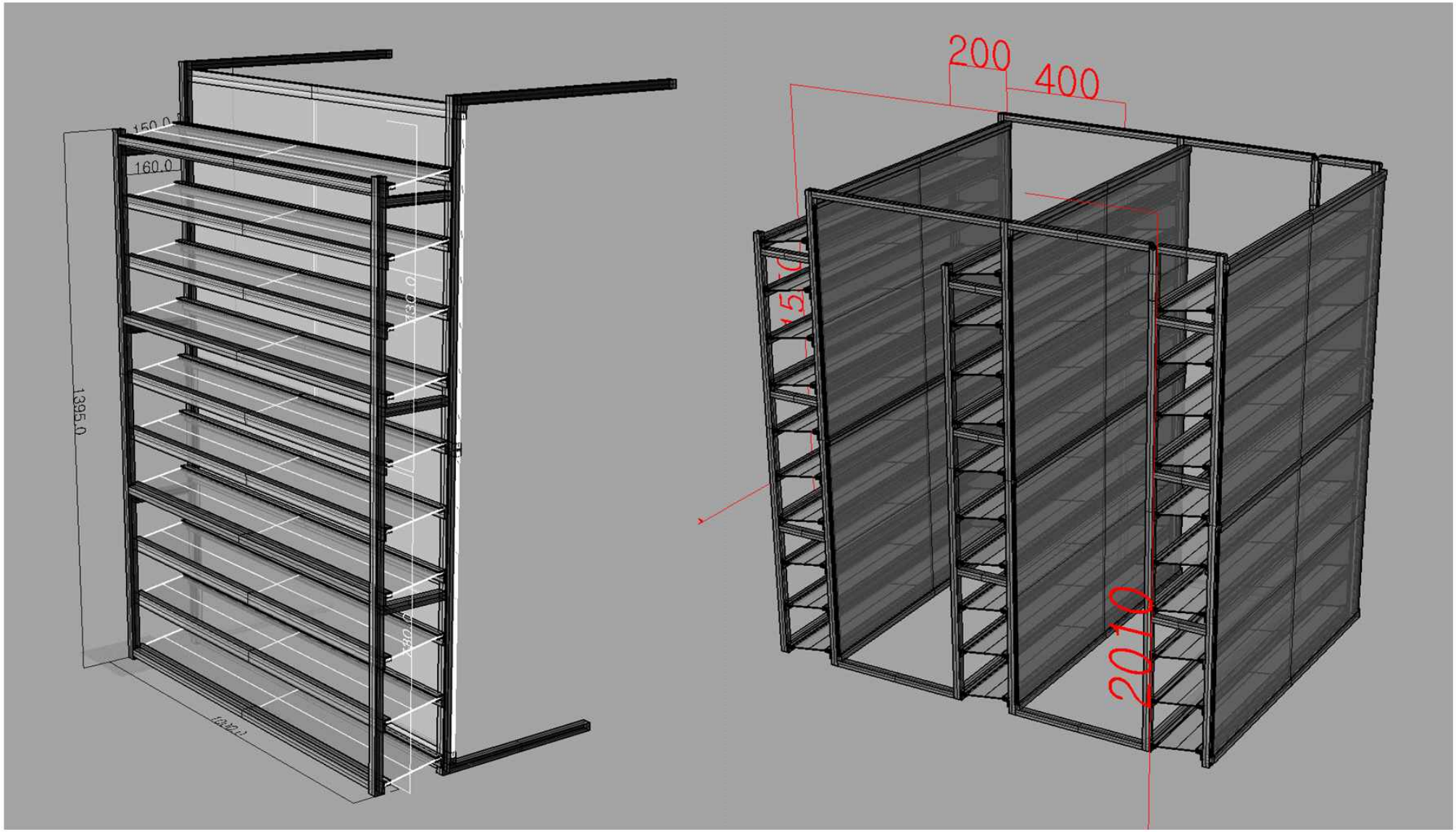




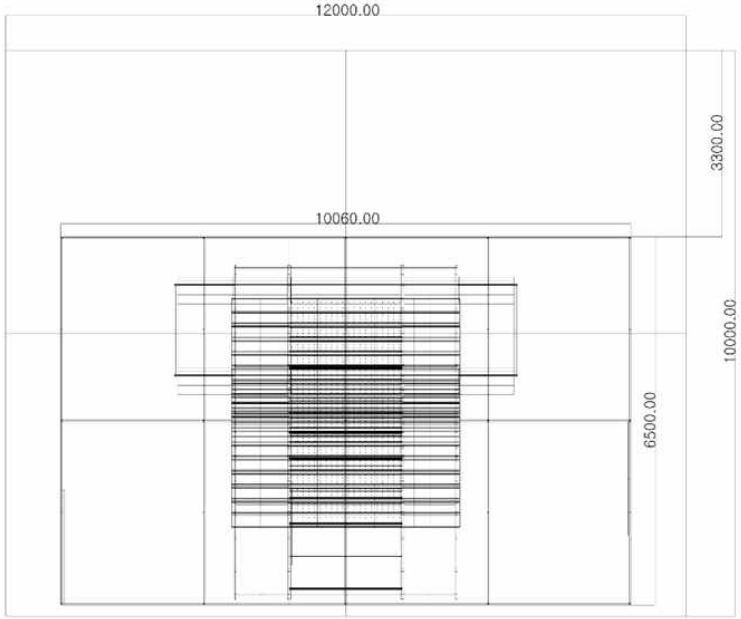


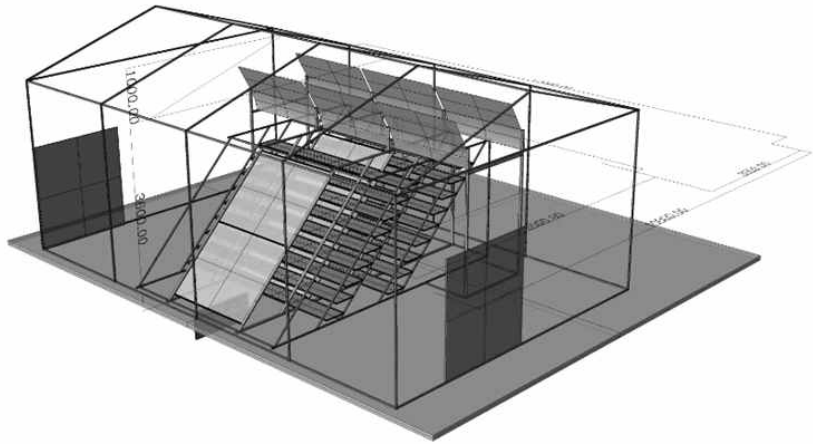


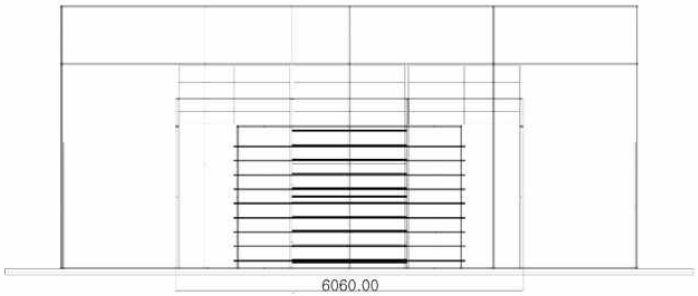
2-1 다층 재배단 광환경 테스트 트레이	식물공장프로젝트	No. 2-1	1 : 2
	설계: SSEL 장성택	시공: 신한TC	KAIST W16동 옥상부지
	jangst@kaist.ac.kr	su-24@hanmail.net	2012. 12. 10

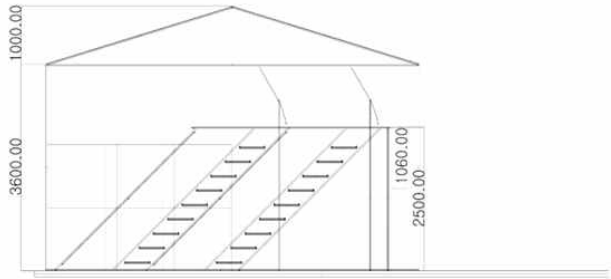


200 X 1000 X 1395 알루미늄 프레임 아크릴재배단 포맥스난반사패널 10층형 생육 재배단



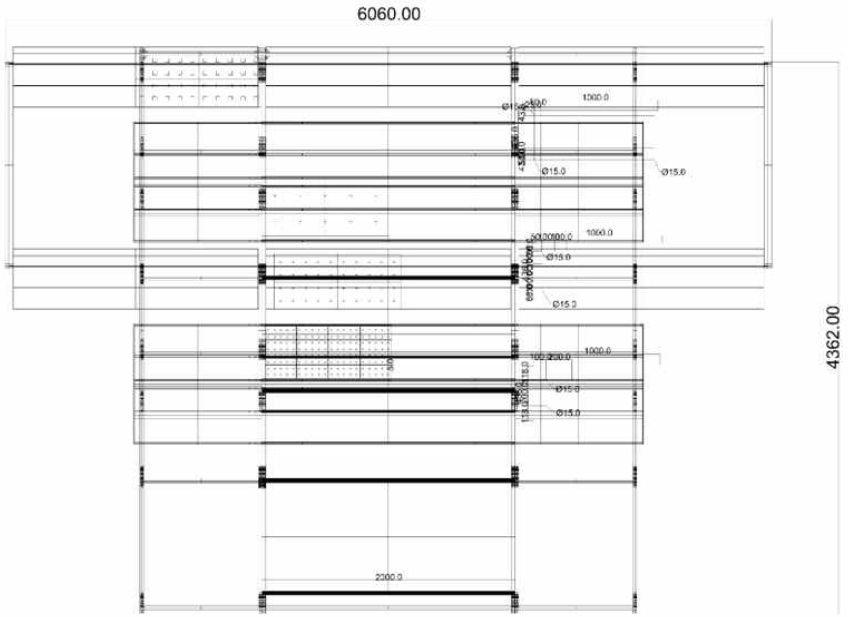


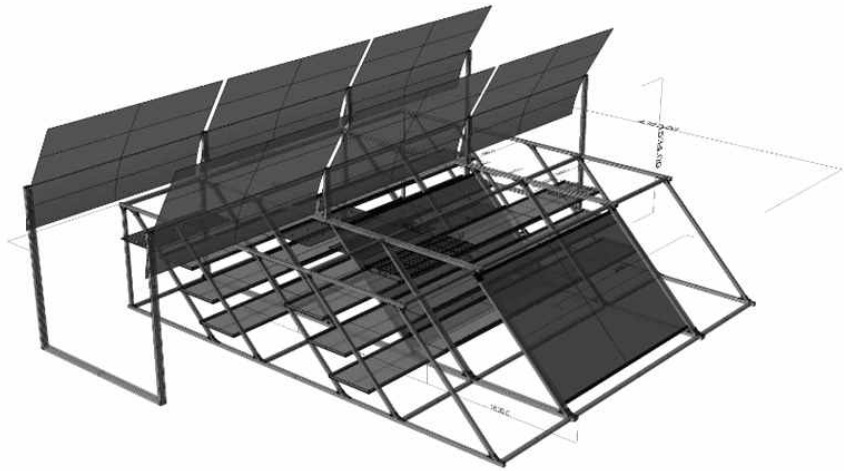


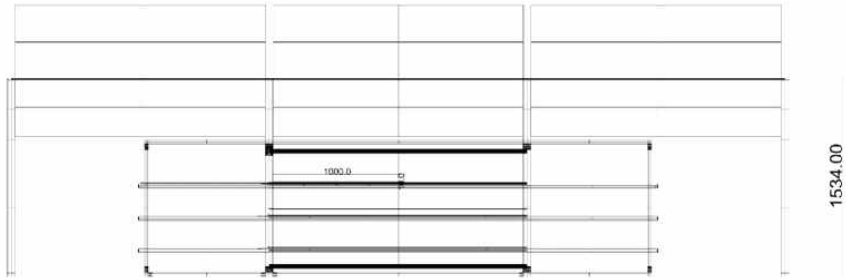


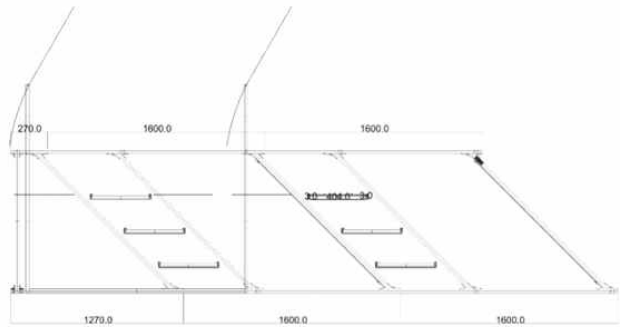
3-1 사선형 광공급 설비

식물공장프로젝트	No. 3-1	1 : 1
설계: SSEL 장성택	시공: 신한TC	KAIST W16동 부지
jangst@kaist.ac.kr	su-24@hanmail.net	2012. 12. 10

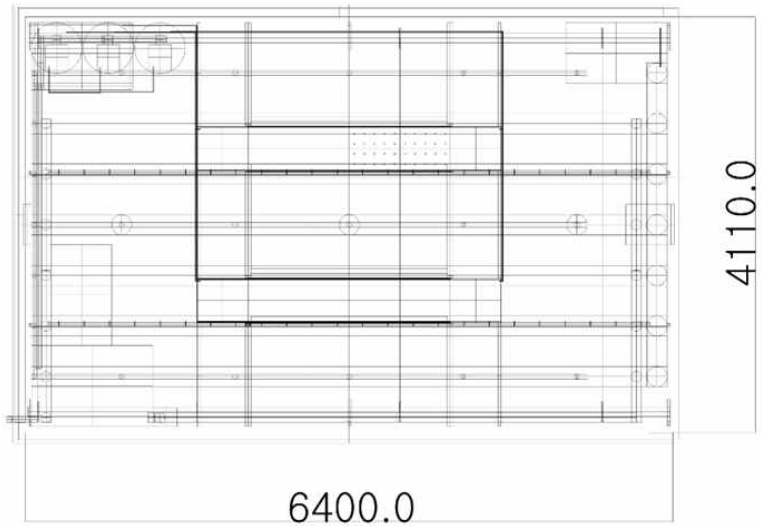


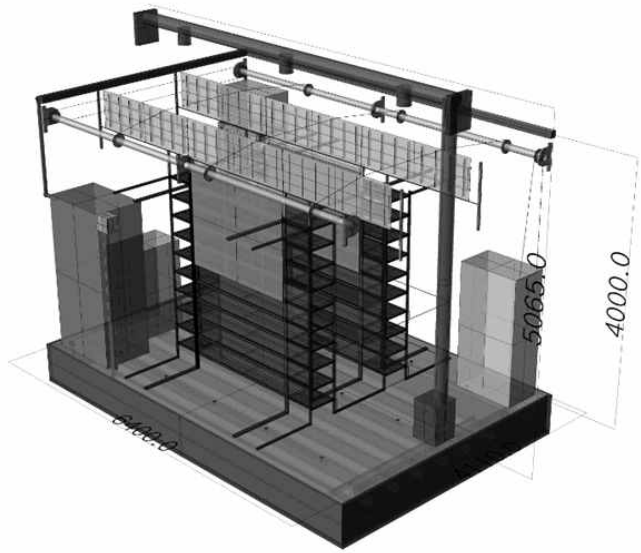


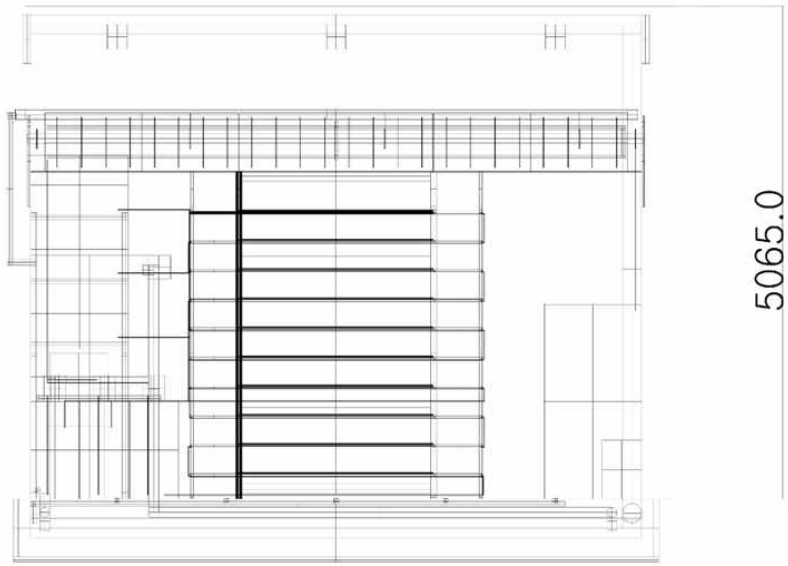


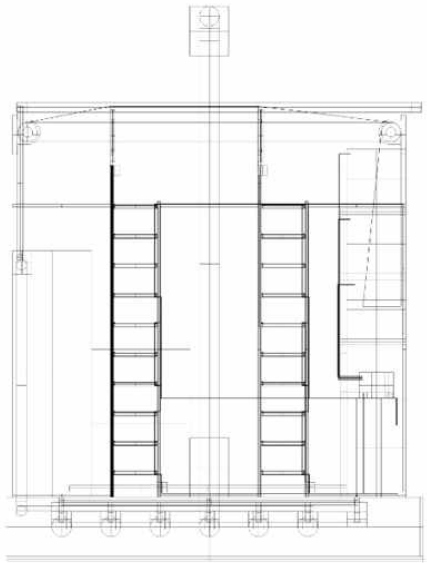


3-2 사선형 광환경 설비 엔지니어링 테스트베드	식물공장프로젝트	No. 3-2	1 : 1
	설계: SSEL 장성택	시공: 신한TC	KAIST W16동 옥상부지
	jangst@kaist.ac.kr	su-24@hanmail.net	2012. 12. 10









3-3 식물공장 통합설비

식물공장프로젝트	No. 3-3	1 : 1
설계: SSEL 장성택	시공: 신한TC	KAIST W16동 부지
jangst@kaist.ac.kr	su-24@hanmail.net	2012. 12. 10

[별첨 2]

충청권 자족형 도시농업용
스마트 그린하우스 광환경 시스템
엔지니어링 테스트베드 제어소프트웨어

KAIST_SSEL - 충남농업기술원

도출된 열환경 분석 모델을 바탕으로 에너지 설비 적용을 위한 온실내 미시기후 조정 소프트웨어를 구축. 이를 통해 온도, 조도, 습도를 포함 전반적인 실내환경을 모니터링하고 제어함

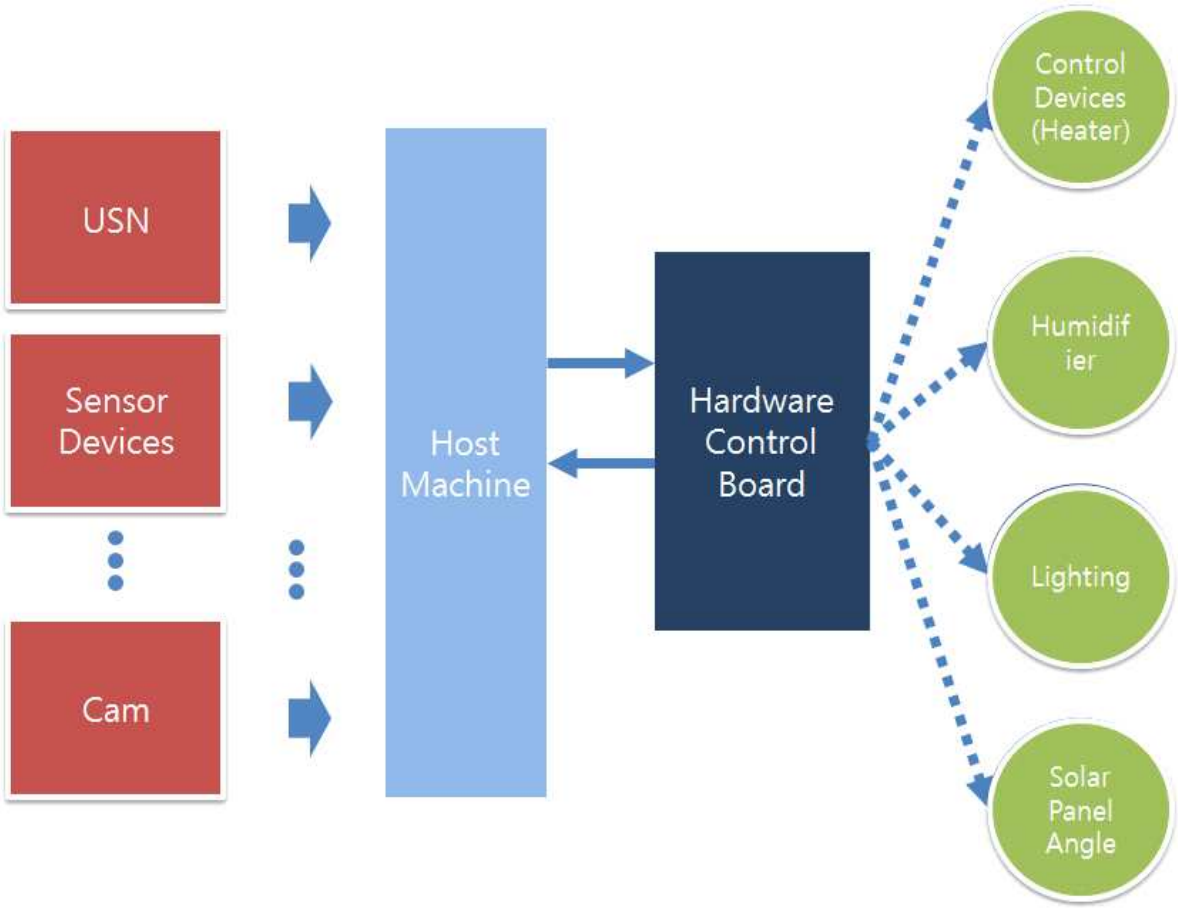


그림 A-2-1. 식물공장 소프트웨어 블록 다이어그램

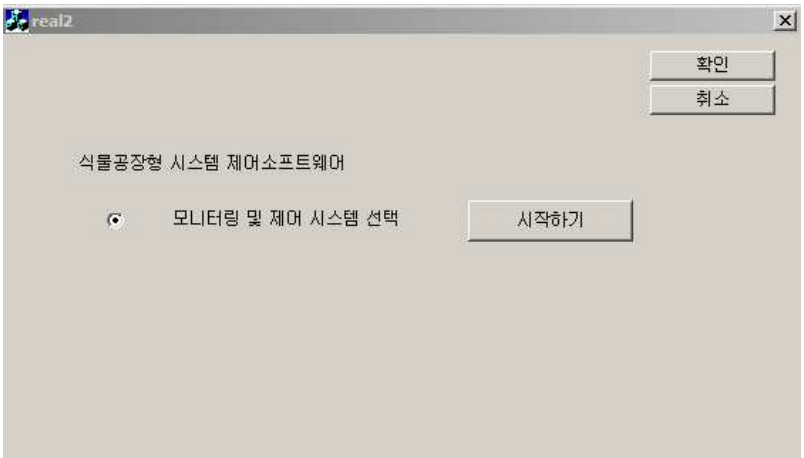


그림 A-2-2. 식물공장형 시스템 제어 소프트웨어 실행 화면

그림 A-2-3. 사용 선택 후 초기 화면

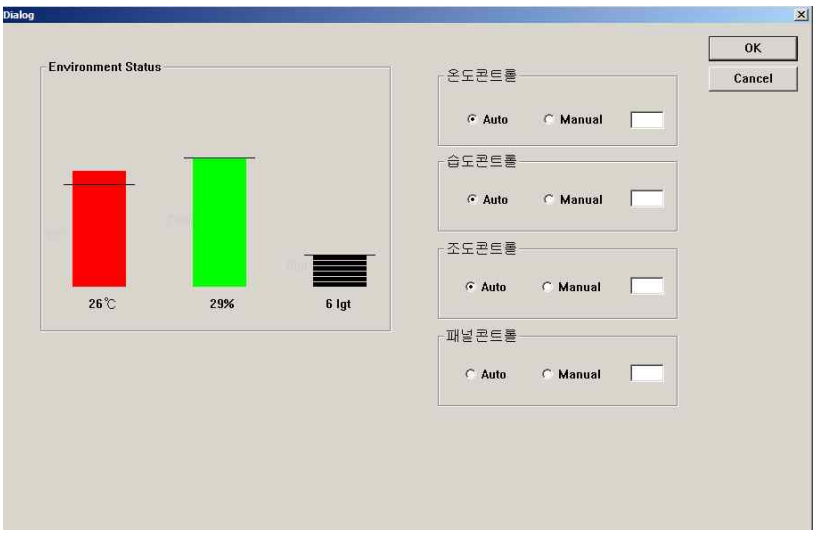


그림 A-2-4. 외부환경 모니터링 실행 화면

○ 시스템 좌측의 USN 및 센서 장비들(온도, 조도, 습도 센서) 및 카메라 파트는 환경을 모니터링 하는 부분이며, 이들의 정보는 Host Machine위에 탑재되어 있는 본 소프트웨어에 전달되어 출력함

○ 사용자는 외부 환경을 모니터링 하며 식물의 재배 환경에 적합한 환경인지를 항상 모니터링이 가능하며 이러한 환경이 재배 환경에 적합하지 않을 경우, 사용자는 매뉴얼 모드로 전환하여, 온 습도 및 패널 각도를 조절 가능

○ 매뉴얼 모드에 원하는 값을 입력하면, 이 정보는 하드웨어 콘트롤 보드에 전송된 후 각종 제어 디바이스들 난방기, 습도 제어기(가습기) 및 조명, 그리고 광각 패널을 조절이 가능하도록 설계 됨

그림 A-2-5. 센서 및 구동 제어설비
(좌측부터: 광각패널, 패널제어기, 온습도센서, 냉난방제어기)

○ Host Machine

- USN 및 센서 장비들(온도, 조도, 습도 센서) 및 카메라로부터 입력을 받아 특정파일에 그 상태를 저장하게 되면, 호스트 머신에서는 이 결과파일을 주기적으로 읽어주어 공간안의 상태와 환경을 파악하게 된다. 결과를 통해 데이터베이스를 검색하고, 이 검색 결과로 사용자가 원하는 환경에 대한 정보를 얻는다. 현재 환경 정보와 사용자가 원하는(초기값으로 입력된) 환경정보와의 간단한 비교를 통해, 현재 제어 가능 디바이스(난방기, 습도제어기 및 조명 등)가 어떻게 동작하여야 할지를 판단한다. 그 결과는 전자회로로 구현되어 있는 하드웨어 파트로 디지털 신호 형식으로 전달됨

○ Hardware (Electrical Circuit)

- Host Machine으로부터 아웃풋을 받으면, 이 하드웨어에서 버퍼기능을 거쳐 환경 제어기장비들의 동작까지 연결이 된다. Host Machine에서 실제로 제어기를 동작시키기 위해서는 하드웨어적 변환과 구현이 일부 필요하다. 주요기능으로는 디지털 신호의 버퍼 및 전압 유지, 그리고 5V의 디지털 신호를 이용해 220V와 수 A의 전류를 ON/OFF해내는 기능을 들 수 있음

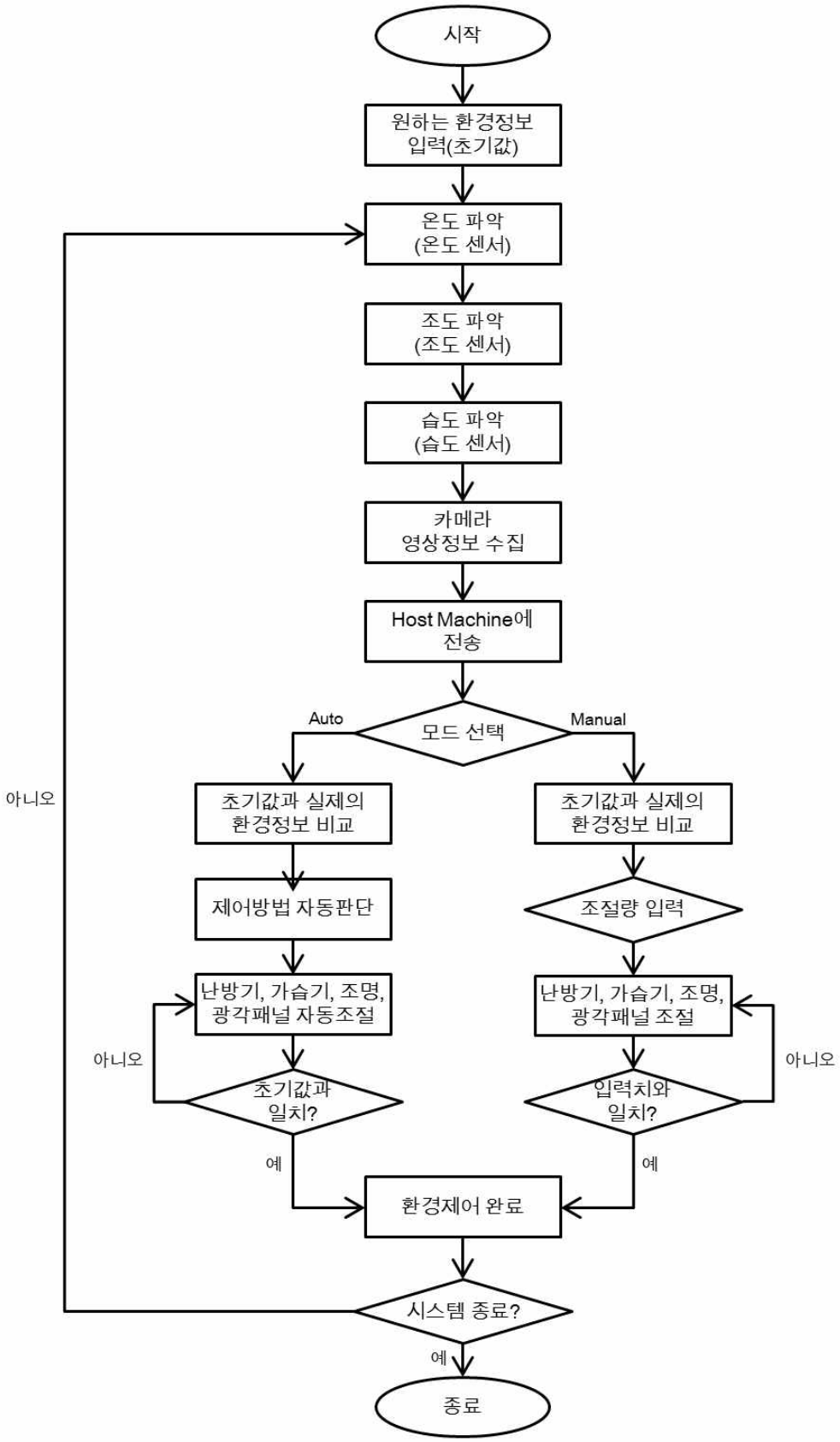


그림 A-2-6. 제어설비 소프트웨어 순서도