

11-1543  
000-002  
051-01

발간등록번호

11-1543000-002051-01

중앙아시아 내재해형 자동  
제설기능을 갖춘 IoT 융합 수출  
집중형 무기등 광폭 비닐온실 개발  
최종보고서

2018. 01. 15.

주관연구기관 / 고등기술연구원연구조합

농림축산식품부

Export Promotion Technology  
Development Program R&D Report

중앙아시아 내재해형 자동 제설기능을 갖춘 IoT 융합  
수출 집중형 무기등 광폭 비닐온실 개발 최종보고서

2018

농림축산식품부

## 제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “중양아시아 내재해형 자동 제설기능을 갖춘 IoT 융합 수출 집중형 무기  
등 광폭 비닐온실 개발”(개발기간 : 2014. 09. 25 ~ 2017. 09. 24)과제의 최종보고서  
로 제출합니다.

2018. 01. 15.

주관연구기관명 : 고등기술연구원연구조합 (대표자) 김덕중 (인)

참여기관명 : (주)그린플러스 (대표자) 박영환



주관연구책임자 : 송 형 운

참여기관책임자 : 이 성 화

국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제18조에 따라 보고서 열람에  
동의합니다.

## 보고서 요약서

과제고유번호	114083-3	해당단계 연구기간	2016. 09. 25 ~ 2017. 09. 24	단계구분	(3차년도)/ (3차년도)
연구사업명	단위사업	농림축산식품연구개발사업			
	사업명	수출전략기술개발사업			
연구과제명	대과제명	(해당 없음)			
	세부과제명	중앙아시아 내재해형 자동 제설기능을 갖춘 IoT 융합 수출 집중형 무기등 광폭 비닐온실 개발			
연구책임자	해당단계 참여 연구원 수	총: 20 명 내부: 11 명 외부: 9 명	해당단계 연구개발비	정부:290,000천원 민간:100,000천원 계:390,000천원	
	총연구기간 참여 연구원 수	총: 22 명 내부: 13 명 외부: 9 명	총연구개발비	정부:870,000천원 민간:300,000천원 계:1,170,000천원	
연구기관명 및 소속부서명	고등기술연구원 플랜트엔지니어링센터		참여기업명 (주)그린플러스		
위탁연구	연구기관명: 충북대학교		연구책임자: 류근호		
요약 : 본 과제는 중앙아시아 극한 환경(폭설, 강풍)에 구조적 안정성을 확보한 내재해형 무기등 광폭 비닐온실을 개발하는 것을 목적으로 연구를 추진하였다. 본 과제에서는 CAE 기법을 활용한 내재해형 무기등 광폭 비닐을 개발하여 우즈베키스탄 현지 실증을 통해 구조적 안정성을 파악하였고, 폭설에 대비하기 위한 IoT 기반 자동제설장치를 개발하였다. 또한 온실내외부 환경 데이터 분석을 통한 온실 작물 생산량을 예측할 수 있는 모델을 개발하였고, 이를 통해 기술이전 3건과 현지 데모온실을 기반으로 우즈베키스탄에 10억규모에 온실을 참여기업에서 수출하는 성과를 창출하였다.			보고서 면수  250페이지 (부록 미포함)		

국문 요약문

		코드번호	D-01		
연구의 목적 및 내용	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 중앙아시아 극한 환경(폭설, 강풍)에 구조적 안정성을 확보한 IoT기반 온실 환경모니터링 및 자동제설기능을 갖춘 내재해형 무기동 광폭 비닐온실 개발</li> <li>○ 온실 환경데이터의 데이터 마이닝 및 통계적 기법을 활용한 온실 작물 생산량 예측모델 및 GUI기반 예측프로그램 개발</li> <li>○ 중앙아시아 극한환경(풍속 50 m/sec, 적설 50 cm)에 구조적 안정성을 확보한 1,000 m<sup>2</sup>규모 내재해형 광폭 비닐온실 개발 및 현장 실증</li> <li>○ 폭설 능동대처 가능한 내재해형 광폭 비닐온실 적용 IoT 기반 환경모니터링 및 자동제설장치 개발</li> </ul>				
연구개발성과	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 본 연구과제는 중앙아시아 극한 환경에 구조적 안정성을 확보하는 내재해형 광폭 온실(풍속 50 m/sec, 적설 50 cm, 설계강도 <math>f_e=50</math> kN/m<sup>2</sup>)을 개발 및 현지 실증을 통해 성능이 우수한 수출 온실 모델을 확보하고자 함</li> <li>○ CAE(Computational Aided Engineering) 기법을 활용하여 구조적 안정성을 위한 성능 목표를 달성한 내재해형 광폭 비닐온실의 설계를 최적화함</li> <li>○ 우즈베키스탄 타쉬켄트 현지에 1,000 m<sup>2</sup> 실증 규모 내재해형 광폭 비닐온실을 시공하고 장기 운전을 통해 구조적 안정성과 성능 우수성을 확보함</li> <li>○ 빅데이터 기법을 활용한 온실내외부 계더링 데이터 분석을 통해 온실에 범용 적용이 가능한 온실 작물생산량 예측 모델 및 GUI기반 예측프로그램 개발하여 현장 데이터 적용을 통해 예측 모델을 검증하고 사업화를 추진 중임</li> <li>○ IoT 기반 온실 환경모니터링 센서와 자동제설장치를 개발하여 폭설 등의 외기환경에 능동적 대처가 가능한 온실 환경 모니터링 및 제어시스템을 구축함</li> </ul>				
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	<p><b>1. 활용실적</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 기술이전 3건 : 참여기업 (주)그린플러스에 특허 2건(온실용 에어커튼 장치 및 방법(10-2016-0093114), 온실 환경 제어시스템 및 방법(10-2017-0108626))과 등록 프로그램(비닐온실 방풍파이프 최적화 소프트웨어(110171-0008240)) 1건을 기술이전 수행함</li> <li>○ 본 과제의 참여기업인 (주)그린플러스에서는 현지 데모 온실을 활용하여 우즈베키스탄 사마르칸트에 10,000 m<sup>2</sup> 규모의 온실을 수주하였고, 중앙아시아에 지속적인 사업화 방안을 도출하고 있음</li> </ul> <p><b>2. 활용계획</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 국내 온실시장의 포화로 온실 시장이 큰 중앙아시아의 사업 추진으로 본 연구에서 개발된 온실 모델을 활용하여 현지에 적합한 온실 모델임을 홍보하고 지속적인 온실 수출을 위한 사업기반 구축</li> <li>○ 본 과제의 핵심기술인 작물 생산량 예측 모델은 개발 온실에 운전 전 작물 생산량을 예측하게 함으로 온실 사업을 위한 영업 전략에 활용</li> <li>○ IoT기반 온실 환경모니터링 센서와 자동제설장치는 중앙아시아 북부 및 러시아 등의 극한 환경(폭설)에 구조적 안정성을 검증하고 사업화</li> </ul>				
중심어 (5개 이내)	내재해형온실	예측모델	제설장치	사물인터넷	온실복합환경



## < SUMMARY >

		코드번호	D-02
Purpose& Contents	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Development of structural stability ensured disaster-proof greenhouse with IoT-based greenhouse environment monitoring and automatic snow removal function in extreme environments (heavy snow, strong wind) in Central Asia</li> <li>○ Development of greenhouse crop production prediction model and GUI-based prediction program using data mining and statistical techniques of greenhouse environmental data</li> <li>○ Development and field demonstration of structural stability ensured disaster-proof greenhouse for Central Asian extreme environments as wind speed 50 m / sec, snow depth 50 cm within a 1,000 m<sup>2</sup></li> <li>○ Development of environmental monitoring and automatic snow removal system based on IoT for structural stability ensured disaster-proof greenhouse that can cope with heavy snowfall</li> </ul>		
Results	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ This project is to develop a structural stability ensured disaster-proof greenhouse (wind speed 50 m/sec, snow depth 50 cm, design strength <math>f_e = 50 \text{ kN/m}^2</math>) to secure structural stability in Central Asian extreme environment</li> <li>○ Design optimization of a structural stability ensured disaster-proof greenhouse that achieved the performance goal for structural stability by utilizing CAE (Computational Aided Engineering) technique</li> <li>○ In Uzbekistan Tashkent, construction of structural stability ensured disaster-proof greenhouse within 1,000 m<sup>2</sup> demonstration scale and securing superior structural stability and performance through long-term operation</li> <li>○ By analyzing gathering data in and out of the greenhouse using big data technique, we can develop a prediction model of greenhouse crop production and a GUI-based forecasting program that can be applied to general greenhouse and verify the prediction model and apply commercialization by applying field data</li> <li>○ IoT-based greenhouse environmental monitoring sensor and automatic snow removal system were developed to establish a greenhouse environment monitoring and control system capable of actively coping with outdoor environment such as heavy snowfall</li> </ul>		
Expected Contribution	<p><b>1. Application</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Technology transfer as 3 cases: 2 Patents to Green Plus Co., Ltd. (Green air curtain device and method (10-2016-0093114), Greenhouse environment control system and method (10-2017-0108626)) and 1 Registration program technology transfer (Greenhouse wind pipe</li> </ul>		

	<p>optimization software (110171-0008240))</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Green Plus Co., Ltd. (a participant of this project) has won a greenhouse of 10,000 m<sup>2</sup> in Samarkand, Uzbekistan, and is continuing to commercialize the project in Central Asia</li> </ul> <p><b>2. Utilization plan</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Promoting the local greenhouse model developed in this study to Central Asia with the greenhouse market which is saturated in the domestic greenhouse market and establishing a business base for continuous greenhouse exports</li> <li>○ Crop production prediction model which is the core technology of this project could be used in the sales strategy for the greenhouse business by predicting the crop production before operation in the development greenhouse</li> <li>○ IoT-based greenhouse environmental monitoring sensor and automatic snow removal system will be designed to verify the structural stability in the extreme environments (heavy snow) in Northern Asia and Russia</li> </ul>				
Keywords	Disaster-proof Greenhouse,	Prediction Model	Snow Clearing System,	IOT(Internet of Things),	Multi-variable control of environment

# < CONTENTS >

<b>Chapter 1. Introduction</b> .....	<b>1</b>
Section 1. Objective of research development .....	1
Section 2. Necessary of research development .....	2
Section 3. Limitations of research development .....	7
<b>Chapter 2. Current Status of Technological Development in Domestic and Overseas Countries</b> .....	<b>8</b>
Section 1. Domestic status .....	8
Section 2. Domestic Policies and Institutions .....	9
Section 3. Overseas status .....	9
<b>Chapter 3. Contents of research procedures and results</b> .....	<b>12</b>
Section 1. Development of greenhouse crop production model and program .....	12
Section 2. Development of disaster-resilient-wide vinyl greenhouse design and construction method .....	52
Section 3. Construction and performance evaluation of disaster-resilient-wide vinyl greenhouse within a 1,000 m <sup>2</sup> area .....	111
Section 4. Development of automatic snow removal system based on IoT applied to disaster-resilient-wide vinyl greenhouse .....	189
Section 5. Local greenhouse operations, management and commercialization .....	223
Section 6. R&D achievements .....	228
<b>Chapter 4. Goal achievement and contribution to relevant field</b> .....	<b>237</b>
Section 1. Goal achievement .....	237
Section 2. Contribution to relevant field .....	241
<b>Chapter 5. Application plan to use research results</b> .....	<b>242</b>
Section 1. Commercialization of R&D technology products .....	242
Section 2. Technical Promotion and Policy Proposal .....	243
Section 3. Dissemination of greenhouse design technology .....	243
<b>Chapter 6. Overseas science and technology information collected during             the research process</b> .....	<b>244</b>
<b>Chapter 7. Security rate of R&amp;D results</b> .....	<b>244</b>

<b>Chapter 8. Status of research facilities and equipment registered in NTIS (National Science &amp; Technology Information Service)</b> -----	<b>244</b>
<b>Chapter 9. Safety measures in a laboratory based on R&amp;D tasks</b> -----	<b>244</b>
Section 1. Environmental safety education for researchers -----	244
Section 2. Laboratory safety check -----	244
Section 3. Plan and prevention of safety accidents in a laboratory -----	246
<b>Chapter 10. Representative research achievements of R&amp;D tasks</b> -----	<b>246</b>
<b>Chapter 11. Others</b> -----	<b>247</b>
<b>Chapter 12. Reference</b> -----	<b>247</b>

# < 목 차 >

<b>1장. 연구개발과제의 개요</b> .....	<b>1</b>
1절. 연구개발 목적 .....	1
2절. 연구개발의 필요성 .....	2
3절. 연구개발 범위 .....	7
<b>2장. 국내외 기술개발 현황</b> .....	<b>8</b>
1절. 국내현황 .....	8
2절. 국내 정책 및 제도현황 .....	9
3절. 국외현황 .....	9
<b>3장. 연구수행 내용 및 결과</b> .....	<b>12</b>
1절. 온실 작물생산량 예측모델 및 프로그램 개발 .....	12
2절. 내재해형 광폭 비닐온실 설계 및 시공기법 개발 .....	52
3절. 1,000 m <sup>2</sup> 규모 내재해형 광폭 비닐온실 시공 및 성능 평가 .....	111
4절. 내재해형 광폭 비닐온실 적용 IoT기반 자동제설장치 개발 .....	189
5절. 현지 온실 운영/관리 및 사업화 .....	223
6절. 연구개발성과 .....	228
<b>4장. 목표달성도 및 관련분야 기여도</b> .....	<b>237</b>
1절. 목표달성도 .....	237
2절. 관련분야 기여도 .....	241
<b>5장. 연구결과의 활용계획</b> .....	<b>242</b>
1절. 연구개발 기술제품의 사업화 .....	242
2절. 기술홍보 및 정책제안 .....	243
3절. 온실 설계기술 보급 .....	243
<b>6장. 연구과정에서 수집한 해외과학기술정보</b> .....	<b>244</b>
<b>7장. 연구개발결과의 보안등급</b> .....	<b>244</b>
<b>8장. 국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황</b> .....	<b>244</b>
<b>9장. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전조치 이행실적</b> .....	<b>244</b>

1절. 연구활동종사자 환경안전교육 실시 -----	244
2절. 연구실 안전점검 실시 -----	244
3절. 연구실 안전사고 대응 및 예방 -----	246
<b>10장. 연구개발과제의 대표적 연구실적 -----</b>	<b>246</b>
<b>11장. 기타사항 -----</b>	<b>247</b>
<b>12장. 참고문헌 -----</b>	<b>247</b>

## 〈 표 목 차 〉

[표 1] 연구개발 과제의 목표	1
[표 2] 시설 원예 농가의 강풍 피해 유형	4
[표 3] 시설 원예 농가에 설치된 환경 제어 장비와 생산성 비교	6
[표 4] 샘플 데이터 예제 및 속성 설명	14
[표 5] 가상 데이터 시뮬레이터	15
[표 6] 군집개수 5일 때 재현성 평가를 위한 교차분류표	17
[표 7] 천안 송남리 3연동 플라스틱하우스 세부 정보	23
[표 8] 샘플데이터 예시(2013년 8월1일 ~ 7일)	25
[표 9] 수집된 데이터 속성	26
[표 10] 재현성 평가를 위한 교차분류표	28
[표 11] 시간 속성을 고려한 모델링 평가	41
[표 12] 시간 속성을 고려하지 않은 모델링 평가	41
[표 13] t-검정을 이용한 예측모델정확도 차이 유의성 검증	41
[표 14] 데이터 입력	49
[표 15] 예측모델 평가	50
[표 16] 실측 생산량 예측 데이터 입력	51
[표 17] 예측 결과 확인	52
[표 18] 온실 구조의 재료 물성치	54
[표 19] 온실 구조의 적용 물성치	61
[표 20] 지붕경사에 따른 적설하중의 절감계수	61
[표 21] 지붕경사에 따른 적설하중의 절감계수	61
[표 22] 지붕면에 작용하는 적설하중 및 무게 환산	62
[표 23] 온실 구조의 적용 물성치	69
[표 24] 온실의 Fatigue 해석 결과	79
[표 25] 온실내 순환팬 경계조건	84
[표 26] 설치 각도에 따른 방풍파이프 모델	97
[표 27] 방풍파이프 형태에 따른 분류	98
[표 28] 온실 모델별 규격	103
[표 29] 서까래 간격에 따른 한계하중 회귀식(A형 온실)	104
[표 30] 중요도계수	105
[표 31] 설하중 노출계수	105
[표 32] 설하중 온도계수	106
[표 33] 각국 온실 비교	109
[표 34] 온실 구조의 적용 물성치	113
[표 35] 지붕경사에 따른 적설하중의 단위중량	114
[표 36] 지붕경사에 따른 적설하중의 절감계수	114
[표 37] 중간층 구조도 및 지붕면의 변형결과	121
[표 38] 설계모델과 개선모델의 구조 비교	122
[표 39] 구조설계 최적화 결과와 구조계산서 결과 비교	126
[표 40] 우즈베키스탄 타쉬켄트 기상자료( <a href="http://www.accuweather.com">http://www.accuweather.com</a> )	129
[표 41] 우즈베키스탄(타쉬켄트) 현지 적용 온실	135

[표 42] 우즈베키스탄 비닐온실 주요 재배 품목 및 생산량(단위: Sum/kg).....	136
[표 43] 온풍기 사양.....	171
[표 44] 1차 제설제 적정량 기초실험의 적설 조건 및 제설조건.....	203
[표 45] 1차 제설제 적정량 기초실험의 제설조건.....	204
[표 46] 분사배관 종류 및 크기.....	207
[표 47] 실험실 규모 제설장치 설계사양.....	208
[표 48] 제설장치 부분별 장치사진 및 기능.....	210
[표 49] 제설 초기시점 실험조건.....	212
[표 50] 제설제 적정유량 설정 실험조건.....	214
[표 51] 적설율에 따른 제설 효율평가 실험조건.....	216
[표 52] 제설제 유량 최적화 실험 조건 .....	220
[표 53] 장시간(5 hr) 제설성능평가 실험조건.....	222



## 〈 그림 목 차 〉

[그림 1] 중앙아시아의 기후 현황 및 폭설 피해 현황.....	2
[그림 2] 원예시설의 설해 양상.....	2
[그림 3] 서까래 간격에 따른 한계적설심 분석.....	3
[그림 4] 중앙아시아 비닐온실 채소 생산량.....	4
[그림 5] IoT 기술 적용 통합온실 환경시스템.....	5
[그림 6] 관련 기술 현황 분석을 통한 연구범위 설정 개요.....	7
[그림 7] 세부기술별 출원 점유율.....	11
[그림 8] 1차년도 연구 진행 현황 및 진행 시나리오.....	12
[그림 9] 아리조나 대학 CEAC에서 모니터링한 실시간 데이터 그래프.....	14
[그림 10] 군집화를 이용한 이상치 검출. 빨간 원으로 표시된 군집들은 이상치를 포함.....	17
[그림 11] 탑승객의 생존 여부를 나타내는 결정트리 예제 (출처: 위키피디아).....	18
[그림 12] 입력층, 결합층, 출력층 등 3개의 계층으로 이루어진 인공신경망.....	19
[그림 13] 서포트 벡터 머신의 범주.....	20
[그림 14] 구축한 앙상블 형태의 분류/예측 모델.....	21
[그림 15] 제안한 새로운 분류/예측 알고리즘 설명도.....	22
[그림 16] 온실 내부 모습.....	24
[그림 17] 실측데이터 기반 예측 모델링 및 검증 시나리오.....	26
[그림 18] 데이터 총계 예시.....	27
[그림 19] 속성 중요도 평과 결과.....	27
[그림 20] 이상치 탐지를 위한 군집분석 결과.....	29
[그림 21] 주요 속성 별 히스토그램.....	30
[그림 22] 실측데이터 전처리 과정.....	31
[그림 23] 시계열 데이터 성분 예시.....	31
[그림 24] 온실토마토 재배데이터 Seasonal 성분.....	32
[그림 25] 예측모델링 알고리즘 비교분석 및 선별 프레임워크.....	32
[그림 26] C&R tree 작물생산량 모델링 적용 예시.....	33
[그림 27] CHAID 작물생산량 모델링 적용 예시.....	34
[그림 28] 인공신경망 작물생산량 모델링 적용 예시.....	34
[그림 29] 지지도벡터기계 작물 생산량 모델링 적용 예시.....	35
[그림 30] 주 단위 작물 생산량 예측 모델링 결과.....	36
[그림 31] 수확일 포함 3,4일전 평균값 데이터 기반 예측 모델링 결과.....	37
[그림 32] 구축한 앙상블 형태의 분류/예측 모델.....	38
[그림 33] 실측데이터 처리를 위한 새로운 분류/예측 알고리즘 설명도.....	38
[그림 34] 실측데이터 기반 앙상블 예측모델링 결과.....	39
[그림 35] IF-THEN 규칙 형태의 가시화.....	39
[그림 36] C&R tree 모델 구축과정에서의 속성 별 중요도.....	40
[그림 37] 그래프를 이용한 알고리즘별 예측 평가 (시간속성 고려).....	42
[그림 38] 그래프를 이용한 알고리즘별 예측 평가 (시간속성 미고려).....	43
[그림 39] 온실최적화 예측 시스템 구조도.....	44
[그림 40] 온실최적화 예측 시스템 명령 처리과정.....	44
[그림 41] 메인화면.....	45

[그림 42] 예측모델 평가화면	46
[그림 43] 예측데이터 입력화면	47
[그림 44] 예측결과 확인 화면	48
[그림 45] 2-Span 온실 구조의 Geometry	53
[그림 46] 2-Span 온실구조의 유한요소 모델	54
[그림 47] 범용프로그램의 해석 모델	55
[그림 48] 해석모델의 구속조건	55
[그림 49] 적설하중에 의한 변형형태	56
[그림 50] 구조해석 결과	56
[그림 51] MIDAS프로그램의 해석결과	57
[그림 52] 비교 모델의 각 부재별 발생응력 결과 Data	57
[그림 53] 연동곡부의 과대 설하중	58
[그림 54] 광폭 온실 구조의 Geometry	59
[그림 55] 광폭 온실 구조의 유한요소 모델	60
[그림 56] 연동곡부의 적설하중 할증률	62
[그림 57] 해석 모델에 적용된 자중 방향 및 하중 부하	63
[그림 58] 구속 조건 ( 적설하중 해석 )	63
[그림 59] 하중을 받는 주요 부	64
[그림 60] 설하중에 의한 변형	64
[그림 61] 적설하중에 대한 해석결과	65
[그림 62] 유동-구조 연성해석 프로세스	66
[그림 63] 유동장 모델	67
[그림 64] 유동해석 결과	68
[그림 65] 유한요소 모델 ( 풍하중 해석 )	69
[그림 66] 구속조건 ( 풍하중 해석 )	70
[그림 67] 하중조건 ( 풍하중 해석 )	70
[그림 68] 풍하중을 받는 주요 부재	71
[그림 69] 풍하중 부하에 따른 구조물의 변형	71
[그림 70] 풍하중 해석결과	72
[그림 71] 피로수명 예측을 위한 해석절차	74
[그림 72] 풍속의 확률밀도 분포	75
[그림 73] 풍속의 time serise data (0.5 year)	75
[그림 74] 구조해석을 위한 온실 모델	76
[그림 75] 단동 온실의 실험 및 수치해석 결과 비교	77
[그림 76] 온실의 응력해석 결과	77
[그림 77] 중력과 wind load가 고려된 온실의 응력해석 결과	78
[그림 78] 속도 및 속도제곱에 대한 응력 변화	78
[그림 79] 온실의 Natural frequency 및 model shape	79
[그림 80] 벽근처 레이어층 구성도	81
[그림 81] 온실 형상 모델링 및 계산격자	83
[그림 82] 온실내 압력분포	85
[그림 83] 온실내 속도 분포	85
[그림 84] 온실내 속도프로파일	86

[그림 85] 온실내 유효동점도(ENUT)와 혼합길이(EL1).....	86
[그림 86] 온실내 유선분포.....	87
[그림 87] 온실내 압력분포.....	87
[그림 88] 온실내 속도 분포.....	88
[그림 89] 온실내 속도프로파일.....	89
[그림 90] 온실내 혼합길이(EL1)와 유효동점도(ENUT) .....	89
[그림 91] 온실내 유선분포.....	90
[그림 92] 온실내 속도 분포.....	91
[그림 93] 온실내 속도프로파일.....	91
[그림 94] 온실내 유효동점도(ENUT)와 혼합길이(EL1).....	92
[그림 94] 온실내 유선분포.....	92
[그림 96] 온실내 속도 분포.....	93
[그림 97] 온실내 속도프로파일.....	93
[그림 98] 온실내 유선분포.....	94
[그림 99] 비닐온실 방풍파이프.....	96
[그림 100] 유동장 및 입력조건.....	96
[그림 101] 설치 각도에 따른 방풍파이프 모델.....	97
[그림 102] 설치 각도에 따른 방풍파이프 모델.....	98
[그림 103] 풍하중 산정 구역.....	99
[그림 104] 방풍파이프 설치각도에 따른 풍력계수 결과.....	99
[그림 105] 방풍 파이프 설치각도에 따른 풍력계수 회귀식.....	100
[그림 106] 방풍파이프 형태에 따른 풍력계수 결과.....	101
[그림 107] 방풍파이프 형태에 따른 풍력계수 회귀식.....	101
[그림 108] 서까래 간격 계산 프로그램.....	103
[그림 109] 내재해형 광폭온실 평면도 및 기초.....	106
[그림 111] 내재해형 광폭온실 정면에 단면 상세도.....	108
[그림 112] 온실 주기둥 스파이럴 기초 .....	110
[그림 113] 다용도 알루미늄 거터.....	110
[그림 114] 온실 시공 단축을 위한 알루미늄 이음새.....	111
[그림 115] 무기둥 광폭 설계구조.....	112
[그림 116] 광폭 온실 구조의 유한요소 모델.....	112
[그림 117] 연동곡부의 과대 설하중.....	113
[그림 118] 연동곡부의 적설하중 할증률.....	114
[그림 119] 해석 모델에 적용된 적설하중과 자중.....	115
[그림 120] 구속조건.....	115
[그림 121] 설하중에 의한 변형.....	116
[그림 122] 적설하중에 대한 해석결과.....	116
[그림 123] 풍하중 산정.....	117
[그림 124] 구조물에 인가된 하중 방향.....	117
[그림 125] 풍하중 부하에 따른 구조물의 변형.....	118
[그림 126] 풍하중 해석결과.....	118
[그림 127] 개선모델 변형 형태.....	120
[그림 128] 개선 모델 해석결과.....	121

[그림 129] 개선 모델의 풍하중 해석결과.....	123
[그림 130] 1차 실험결과.....	124
[그림 131] 구조계산서 구조결과 .....	125
[그림 132] 우즈베키스탄(타쉬켄트) 연간 최고 및 최저 평균기온.....	127
[그림 133] 우즈베키스탄(타쉬켄트) 연간 평균 적설량.....	128
[그림 134] 우즈베키스탄(타쉬켄트) 2월 중 강수 및 강설 확률.....	128
[그림 135] 우즈베키스탄 현지 온실부지 전경.....	137
[그림 136] 현지 온실 배치 계획1.....	138
[그림 137] 현지 온실 배치 계획2.....	139
[그림 138] 내재해형 광폭온실 평면도 및 기초.....	140
[그림 139] 내재해형 광폭온실 정면도.....	141
[그림 140] 내재해형 광폭온실 정면에 단면 상세도.....	141
[그림 141] 온실 철골 구조물 자재 제작.....	142
[그림 142] 온실 알루미늄 구조물 자재 제작.....	145
[그림 143] 내재해형 광폭 비닐온실 자재 컨테이너 패킹 사진.....	146
[그림 144] 내재해형 광폭 비닐온실 부지조성 공사.....	147
[그림 145] 내재해형 광폭 비닐온실 기초 시공.....	148
[그림 146] 내재해형 광폭 비닐온실 주기둥 시공.....	149
[그림 147] 내재해형 광폭 비닐온실 트러스 시공.....	150
[그림 148] 내재해형 광폭 비닐온실 지붕서까래 시공.....	151
[그림 149] 내재해형 광폭 비닐온실 방풍벽 시공.....	152
[그림 150] 내재해형 광폭 비닐온실 곡부물받이 및 천창 시공.....	153
[그림 151] 내재해형 광폭 비닐온실 피복재 시공.....	154
[그림 152] 내재해형 광폭 비닐온실 관리실 시공.....	155
[그림 153] 내재해형 광폭 비닐온실 외형 검수.....	156
[그림 154] 내재해형 광폭 비닐온실 내부 검수.....	157
[그림 155] 내재해형 광폭 비닐온실 기초 및 주기둥 검수.....	158
[그림 156] 내재해형 광폭 비닐온실 트러스 및 서까래/천창/측창/관리실 검수.....	159
[그림 157] 내재해형 광폭 비닐온실 시운전 및 현지관리자 교육.....	160
[그림 158] 온실 내외부 환경 모니터링 센서 구성도.....	161
[그림 159] 온실 내외부 환경 모니터링 센서 설치 및 DB 구축 전경.....	161
[그림 160] 온실 내외부 환경 모니터링 데이터(2016년 6월4일).....	162
[그림 161] 온실 내외부 환경 모니터링 데이터(일일).....	163
[그림 162] 온실 내외부 환경 모니터링 데이터(1달).....	164
[그림 163] 내재해형 광폭 비닐온실내 환경설비 컨테이너 패킹 사진.....	165
[그림 164] 온실내부 작물 재배용 베드 자재 가공 및 바닥 평탄화.....	166
[그림 165] 작물 재배용 베드 공사.....	167
[그림 166] 분재 재배용 베드 공사.....	168
[그림 167] 측면스크린 시공.....	169
[그림 168] 온실내 차광 스크린 및 보온 스크린 공사.....	170
[그림 169] 온실내 난방설비 공사.....	171
[그림 170] 양액 공급 및 관수 설비 공사.....	172
[그림 171] 환경설비 전원 및 물받이 공사.....	173

[그림 172] 내재해형 온실내 환경설비 및 재배베드 운영 검수.....	174
[그림 173] 내재해형 온실내 환경설비 운영.....	175
[그림 174] 현지 온실내 작물 재배 용수 특성 파악.....	176
[그림 175] IoT 기반 온습도 센서 및 모니터링 구성도.....	176
[그림 176] 온습도 센서 CPU.....	177
[그림 177] CPU 회로도.....	178
[그림 178] DHT Shield 온습도 센서.....	179
[그림 179] DHT Pro Shield 온습도 센서.....	179
[그림 180] CPU와 PT온도센서.....	180
[그림 181] 배터리.....	182
[그림 182] 케이스 제작.....	182
[그림 183] CPU와 온습도센서.....	182
[그림 184] 온도센서 결합.....	182
[그림 185] 온습도 측정기.....	183
[그림 186] 서버프로그램.....	183
[그림 187] 온도 모니터링 프로그램.....	184
[그림 188] 온도 모니터링 프로그램.....	185
[그림 189] 데이터 관리 프로그램.....	185
[그림 190] 온도 엑셀 데이터.....	186
[그림 191] IOT기반 온습도계 설치 및 테스트.....	187
[그림 192] 충북 영동 비닐하우스 IOT 기반 온습도계 장기 모니터링.....	187
[그림 193] 대구광역시 비닐하우스 IOT 기반 온습도계 장기 모니터링.....	188
[그림 194] 충남예산 비닐하우스 IOT 기반 온습도계 장기 모니터링.....	189
[그림 195] 현장에 설치된 라우터(GMR-L100 Router 4G).....	190
[그림 196] 라우터 접속 화면.....	190
[그림 197] 서버 PC의 모뎀주소.....	191
[그림 198] 포트 Forwarding 화면.....	191
[그림 199] DMZ 활성화 설정.....	192
[그림 200] 사용자 관리 화면.....	192
[그림 201] DDNS 설정 화면.....	193
[그림 202] 원격 데스크톱 연결화면.....	193
[그림 203] 데이터서버 기록.....	194
[그림 204] 프로그램 소스파일.....	194
[그림 205] 현장서버에서 “socket-client-daemon.bat”를 실행한 화면.....	198
[그림 206] 데이터 서버 “http://ktj7147.iptime.org:10001”에서 데이터 확인.....	199
[그림 207] 스마트 농업(원예시설) 구성도.....	199
[그림 208] 태안 간척지에 위치한 ㈜그린플러스 데모온실.....	200
[그림 209] 데모온실 내 구축된 IoT기반 온실모니터링 및 원격환경제어시스템.....	201
[그림 210] 데모온실에 설치된 환경센서.....	201
[그림 211] 온실 내외 환경데이터 수집 및 원격모니터링.....	201
[그림 212] 스마트 자동제설장치 구성도.....	202
[그림 213] 제설제 적정용량 산정 1차 실험결과.....	204
[그림 214] 제설제 적정용량 산정 2차 실험결과.....	205

[그림 215] 배관 내 유체의 이론식.....	206
[그림 216] 실험장치 구성도 .....	208
[그림 217] 제작된 실험사진 .....	209
[그림 218] 자동제설 실험장치.....	211
[그림 219] 제설초기시점에 대한 영향 실험.....	213
[그림 220] 제설제 유량 설정 실험(좌)유량 100 ml/min (우) 180 ml/min.....	214
[그림 221] 곡부 제설 비교 실험 (좌)열선 (우)열풍.....	215
[그림 222] 적설율에 따른 단위면적당 하중 (적설율 100%).....	216
[그림 223] 적설율 100%일 때 제설실험 결과.....	217
[그림 224] 적설율에 따른 단위면적당 하중 (적설율 70%).....	218
[그림 225] 적설율 70%일 때 제설실험결과.....	218
[그림 226] 적설율에 따른 단위면적당 하중 (적설율 50%).....	219
[그림 227] 적설율 50%일 때 제설실험 결과.....	219
[그림 228] 적설율 70%일 때 유량에 따른 단위면적당 하중.....	221
[그림 229] 적설율 5%일 때 유량에 따른 단위면적당 하중.....	221
[그림 230] 장시간 연속운전에 따른 단위면적당 하중 (5hr 운전).....	222
[그림 231] IoT 기반 스마트 자동제설장치 계통도.....	223
[그림 232] 현지 온실 운영 현황.....	225
[그림 233] 온실 부지조성 및 기초 공사.....	226
[그림 234] 온실 주기둥 시공.....	226
[그림 235] 온실 지붕서까래 시공.....	227
[그림 236] 내재해형 온실 현지 제품화 방안.....	243

## 주 의

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

# 1장. 연구개발과제의 개요

코드번호	D-03
------	------

## 1절. 연구개발 목적

본 “중양아시아 내재해형 자동 제설기능을 갖춘 IoT 융합 수출 집중형 무기동 광폭 비닐온실 개발” 연구과제의 목적은 표 1과 같다. 기존 비닐온실의 경우 다양한 표준모델이 개발되어 현장에 적용되고 있으며, 주로 시설하우스 구조적 안정성과 작물 생육 최적화를 위한 제어시스템의 구축이 모든 모델에 기준이 되고 있다.

본 연구에서는 중양아시아 수출을 위한 온실 모델의 개발을 위해 온실내에 작물 생산량을 예측할 수 있는 예측모델을 개발하고 이를 적용하여 사물인터넷(Internet of Things) 기반의 내재해형 비닐온실을 개발하고자 한다. 또한 현재 국내 온실 시장의 포화로 온실 시장이 큰 중양아시아의 사업 추진을 위해 본 연구에서 개발한 온실 모델을 활용하여 현지에 적합한 온실 모델임을 성능으로 증명하고 지속적인 온실 수출을 위한 사업기반을 구축하고자 한다.

[표 1] 연구개발 과제의 목표

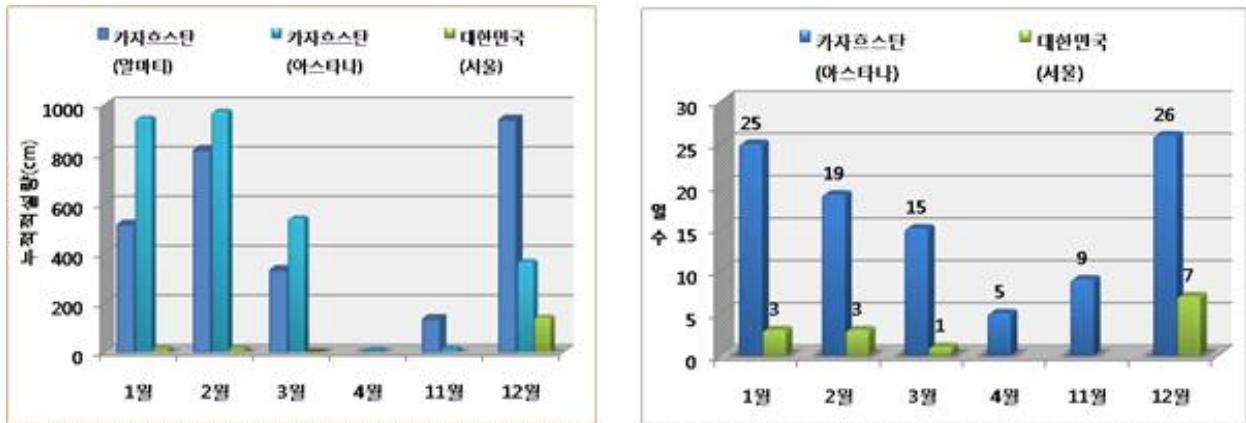
구분	내 용
정성 목표	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 중양아시아 극한 환경(폭설, 강풍)에 구조적 안정성을 확보한 IoT기반 온실 환경모니터링 및 자동제설기능을 갖춘 내재해형 광폭 비닐온실 개발 및 실증</li> <li>○ 온실 환경데이터의 데이터 마이닝 및 통계적 기법을 활용한 온실 작물 생산량 예측모델개발</li> <li>○ 중양아시아 극한 환경에 구조적 안정성을 확보한 내재해형 광폭 비닐온실 개발 및 현지 실증</li> <li>○ 폭설 능동대처 가능한 내재해형 광폭 비닐온실 적용 IoT 기반 환경모니터링 및 자동제설장치 개발</li> </ul>
정량 목표	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 중양아시아 적용 IoT기반 온실 환경모니터링 및 자동제설기능을 갖춘 내재해형 광폭 비닐온실 개발 및 실증</li> <li>○ 1,000 m<sup>2</sup> 규모 내재해형 광폭 비닐온실 개발 및 실증               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 내재해형 온실(풍속 50 m/sec, 적설 50 cm) 구조 안정성</li> <li>- 골조용 파이프 인장강도 400 MPa, 항복강도 295 MPa</li> <li>- 기초지지력 (KS L 5201) 설계강도 <math>f_e=50 \text{ kN/m}^2</math></li> <li>- 현지 동절기 연속운전 60일</li> </ul> </li> <li>○ 내재해형 온실 성능 검증               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 내재해형 온실 시방서 및 설계도서</li> <li>- 내재해형 온실 구조 계산서(공인기관)</li> </ul> </li> </ul>



## 2절. 연구개발의 필요성

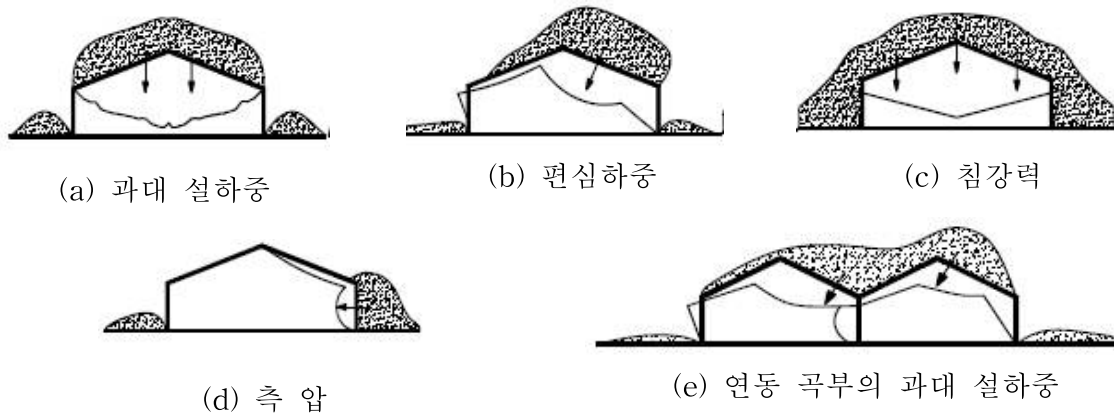
### 1. 원예시설의 폭설 및 강풍으로 인한 피해 대책마련 필요

중앙아시아 북부의 경우 우리나라에 비해 동절기 적설량이 50배 이상이고 겨울철 월평균 20일이상 눈오는 날이 지속되는 특성을 가지고 있다. 폭설이나 강풍으로 인한 온실의 피해양상은 시설의 일부가 파괴된 것으로부터 시설 전체가 파괴된 것까지 피해양상이 다양하다. 하지만 중앙아시아의 경우는 농업비중이 GDP에 20%이상으로 우리나라에 비해 농업 면적이 넓고 정책적으로 지원이 되고 있으므로 국내의 비닐온실의 보완 및 기술 혁신을 통해 중앙아시아 현지 맞춤형으로 구조적 안정성을 확보한 내재해형 광폭 비닐온실의 개발이 필요하다.



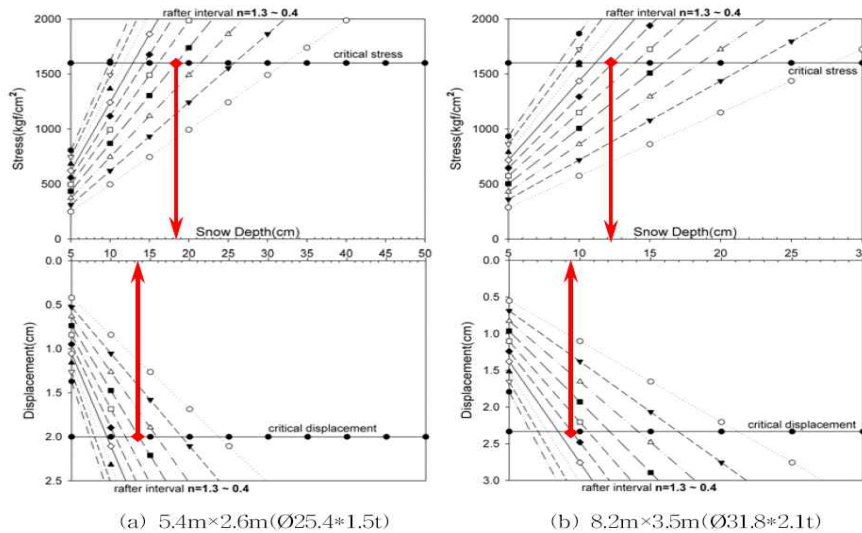
[그림 1] 중앙아시아의 기후 현황 및 폭설 피해 현황

원예시설의 설해 양상은 그림 2(a)에서와 같이 지붕에 쌓인 눈의 하중이 과대하게 되거나 그림 2(b)에서와 같이 바람에 날린 눈이 쌓여 편심하중이 작용하게 되면 원예시설은 변형되거나 파괴되게 된다. 강설 후 체설이 늦어지면 그림 2(c)와 같은 눈의 침강력이나 그림 2(d)와 같은 측압이 발생하여 시설이 파괴되게 된다. 또한 연동의 원예시설에는 그림 2(e)와 같이 곡부에 눈이 쌓이기 쉽기 때문에 이로 인하여 과대설하중이 작용하여 시설이 파괴될 수 있다.



[그림 2] 원예시설의 설해 양상

그림 3의 그래프는 부재의 허용응력에 의해 한계적설심을 결정할 수 있는 그림이며, 하단 그래프는 온실의 변형제한값을 이용하여 한계적설심을 결정할 수 있는 그림이다. 그림 3(a)에서 폭이 5.4 m이고 동고가 2.6 m인 단동온실의 서까래 부재를  $\phi 25.4 \times 1.5t @ 700$ 으로 설치하였을 때 허용응력에 의한 한계적설심은 약 18 cm, 온실 부재의 변형제한값에 의한 한계적설심은 약 14.5 cm임을 알 수 있다. 그리고 그림 3(b)에서 폭이 8.2 m, 동고가 3.5 m인 단동온실의 서까래 부재를  $\phi 31.8 \times 2.1t @ 900$ 으로 설치하였을 경우 허용응력에 의한 한계적설심은 약 12.2 cm, 변형제한값에 의한 한계적설심은 9.3 cm임을 알 수 있다. 따라서, 한계적설심 이상으로 눈이 내릴 경우에는 온실의 파괴 발생이 충분해 예상 가능하므로 온실의 한계 적설심을 향상시킬 수 있는 구조설계 및 모니터링 시스템을 접목한 제설장치를 도입이 필요한 상황이었다.



[그림 3] 서까래 간격에 따른 한계적설심 분석

온실에 작용하는 강풍에 의한 풍하중은 풍향과 풍속이 일정하지 않고 항력과 양력을 동시에 발생시키기 때문에 강풍으로 인한 시설의 파손 양상은 파손 부위나 파손 양상이 다양하고 복잡하다. 원예시설의 강풍 피해 현장을 통하여 피해 유형을 분석한 결과는 표 1과 같이 피복재의 파열, 기초의 인발, 골조의 변형 또는 만곡, 결합부의 이탈 또는 파손으로 구분할 수 있고, 기초, 골조 또는 접합부의 일부 파손은 대부분 전파로 진전될 가능성이 많다.

특히, 강풍에 의한 피복재의 파손 사례를 보면 국부 풍압을 받는 부분에서 많이 발생하는데 초기에 국부 풍압을 받은 쪽의 피복이 훼손되면서 부양력이 커져 기초가 뽑히면서 온실로 파괴가 전파된다. 따라서 피복재의 파손이 구조물 파괴의 직접적인 원인되므로 피복재 관리에 주의해야 한다. 또한 강풍에 의해 풍하중이 온실에 수직으로 작용하면 온실 지붕면의 서까래가 유선형으로 휘어지면서 온실의 측면과 지붕면에 작용하여 온실이 완전히 지면에 압축되어 붕괴되기도 한다.

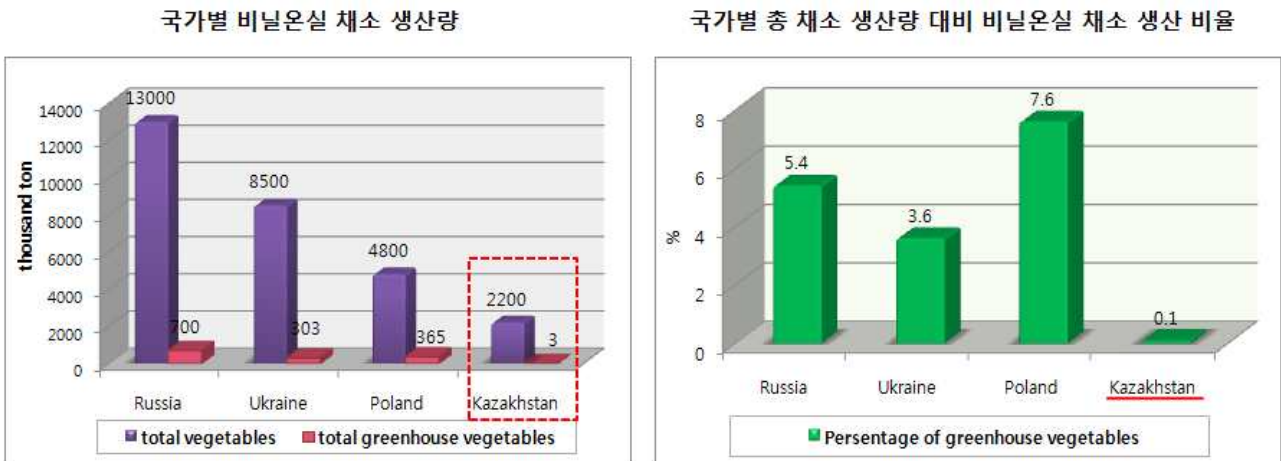
원예시설에 사용되는 기초의 종류는 연속기초, 독립기초, 말뚝기초 등이 있다. 원예시설은 자중이 적으므로 강풍 시 양력으로 기초가 인발되어 큰 피해가 발생하는 경우가 많기 때문에 충분히 검토해야 한다. 윤(1992)의 연구 결과에 의하면 연동하우스의 부재별 고유진동수는 다르지만 진동시키면 인발 저항력은 90%이상 감소하는 경우도 있었다.

[표 2] 시설 원예 농가의 강풍 피해 유형

파괴부위	피해유형	파괴원인	대 책
피복재	과열	피복재의 인장강도 부족	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 골조 간격 조절</li> <li>○ 인장강도가 강한 피복재 사용</li> <li>○ 피복재의 손상부위 보수</li> </ul>
기 초	기초노출 후 쓰러짐 완전인발	기초단면 또는 토양접착력 부족	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 기초단면의 확대</li> <li>○ 배수 철저</li> </ul>
골 조	골조재의 파손 또는 만곡	골조재 강도 부족	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 설계시 골조재의 안정성 확보</li> <li>○ 국부풍력 수압면의 보강</li> </ul>
접합부	이탈 또는 파손	접합부 강도 부족	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 설계시 접합부의 안정성 확보</li> <li>○ 정확한 시공</li> </ul>

## 2. 중앙아시아 채소 수요 및 생산 고려 시 비닐온실 시설 확대 및 에너지 절감 필요

현재 중앙아시아는 그림 4에서 보는 바와 같이 국가별 비닐온실에서 생산되는 채소 생산량이 겨울기준으로 자국의 채소 수요량에 비교하면 매우 부족하여 수입에 의존하고 있어 식량 생산 자립화의 목적에 중앙아시아의 비닐온실은 빠르게 성장하고 있으며, 비닐온실에 핵심인 에너지 절감에 대한 필요성이 높아지고 있다.



[그림 4] 중앙아시아 비닐온실 채소 생산량

우리나라의 평균적인 태양광 복사에너지 분포는 지역에 따라 차이가 있지만 최고 관측치는 평방미터당 하루에 3,400 kcal이다. 하지만 계절별 일조시간의 변화와 대기오염으로 인하여 도시와 농촌, 지역적인 기상특성의 영향을 받지만 농촌지역은 적게 평가하여도 평방미터당 하루에 2,000 kcal 이상이 시간당 지면에 도달한다. 이에 우리나라보다 위도가 높은 중앙아시아 국가의 태양광 복사에너지는 상대적으로 낮은 값을 보일 것으로 판단되지만 이에 대한 에너지 활용 방안을 고려할 수 있다고 판단된다.

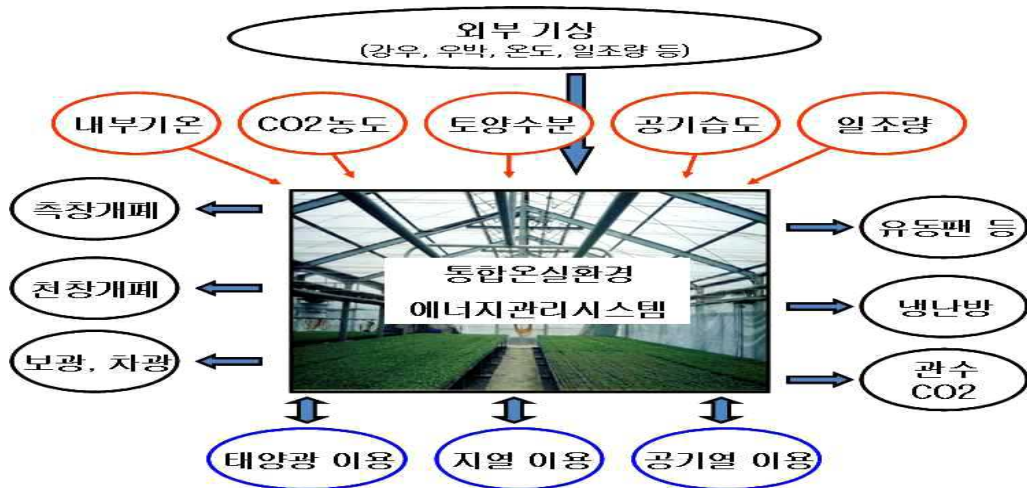
시설온실은 막대한 복사에너지 때문에 유리온실이나 비닐하우스에서는 겨울철에도 해가 뜨면

내부온도가 30℃이상으로 쉽게 올라간다. 겨울철에도 창문을 열지 않을 경우에 온실 내부온도는 고온성 작물에도 적합하지 않는 고온 조건이 도달한다. 온실 내부의 공기는 온도차에 따른 공기밀도의 변화로 인하여 뜨거운 공기는 위로 모이고 차가운 공기는 아래로 모이기 때문에 이러한 열에너지 등을 센서, 프로세서, 통신 모듈 등을 이용한 사물인터넷(IOT, Internet of Things)을 접목하여 회수하고 유용하게 에너지 절감을 유도할 필요가 있다.

### 3. 온실의 환경 제어 및 에너지 관리 통합의 필요

시설원예가 국제경쟁력을 가지려면 생력화와 경제성은 물론이고 에너지절약형 고품질 생산시설을 갖추어야 한다. 온실 환경 제어는 외부기상과 연계하여 냉난방과 측창이나 천창을 개폐를 통한 환기, 보광과 차광, 보온스크린, 이산화탄소 공급기를 작동시키는 것이 가능하다. 하지만 최근에는 환경 제어를 얼마나 정확하게 수행하는가에서 나아가서 저렴한 비용으로, 그리고 지속가능한 에너지를 이용하여 수행할 수 있는가에 대한 관심이 높아지고 있다.

온실의 냉난방, 보광, 이산화탄소 공급 등의 환경 제어는 온실 내 온도, 습도, 일조량 등과 밀접히 관계된 것으로 에너지를 최소한으로 소모하며 환경 제어 목적을 달성하기 위해서는 온도계, 이산화탄소 농도계, 일사량계와 같은 각종 센서와 통합되어야 할 필요가 있다. 이러한 통합적 환경제어는 생력화를 위해서도 중요하다. 또한 각종 환경 제어 장치들의 상호 작용을 이해하여 중복되는 효과와 서로 배치되는 효과들을 분석하여 효과적으로 운영하는 것이 필요하다. 다음 그림 5는 환경 제어 및 에너지 관리 통합의 필요성을 도시한 것이다.



[그림 5] IoT 기술 적용 통합온실 환경시스템

### 4. 복합온실 환경 및 에너지 제어 시스템 국산화 기술 개발 및 생산성 향상 필요

현재 농가들은 여러 가지 환경 제어 설비들을 다양한 조합으로 활용하고 있는데, 히트펌프만 설치한 경우, 보광과 CO<sub>2</sub> 공급기를 갖춘 농가를 연구에서 목표로 하는 시스템을 갖춘 농가와 비교하면 아래 표와 같이 비교된다. 현재 농가에 보급되어 있는 자동화설비를 보면 외국제품, 국산제품으로 나뉘며 신뢰도 측면에서 볼 때 외국제품이 선호되는 실정이다. 선호하는 이유는

안정성 및 기초 자료가 많기 때문이다. 또한 작물재배 기술은 농가의 경험에 의존하는 실정이어서 생산성 또한 저조하다. 자동화설비를 한 경우에도 기술의 종합적 도입이 아닌 한부분(예: 보광)만 적용하다보니 생산성의 향상에 한계가 있다. 따라서 복합 환경 제어와 동시에 에너지 절감을 달성하여 생산성 향상의 증대를 최대화 할 수 있을 것이다.

중양아시아의 온실 현황을 파악해 보면 현재 비닐온실 대부분이 낙후되고 질 낮은 중국산 온실 제품을 사용함으로 작물 생산성이 저하되고 중양아시아의 극한 환경에 대한 구조적 안정성에 문제가 크게 발생하고 있다. 현지인의 비닐온실 작물 생산성 향상을 위한 요구가 높아지고 있음으로 수요자의 요구를 고려한 작물 생산성을 최적화할 수 있는 IoT 기술이 융합 첨단 온실에 대한 기술 개발을 통해 중양아시아 온실 시장에 대한 경쟁력의 확보가 필요하다.

[표 3] 시설 원예 농가에 설치된 환경 제어 장비와 생산성 비교

1 ha 기준	온도 /습도	CO <sub>2</sub> 량	광량	연료비	생산성
기존농가	온도상승시 열림 하강시 닫음 습기 상승시 창 열림	700 ppm CO <sub>2</sub> bombe 공급	태양광 전기사용량:30 kw	경유-200 l	기준
히트펌프만 설치농가	온도상승시 회수 장치 가동 회수 하강시 열원 공급	700 ppm CO <sub>2</sub> bombe 공급	태양광 전기사용량:60 kw	경유- 100 l	상동
보광/CO <sub>2</sub> 만 설치농가	온도상승시 열림 하강시 닫음 습기 상승 시 창 열림 평균 8000 LUX	1000 ppm LPG보일러에서 공급	보광등 야간 4시간기준, 전기사용량 200 kw	LPG대체	약 20% 향상
종합적인 시스템 (연구목표)	온도/습도에 의한 자동화시스템 가동 자동조절	1000 ppm LPG보일러에서 공급	보광등(야간4시간) 평균8000 LUX 전기사용량 260 kw	경유 대신 LPG대체	약 50% 향상
비교	종합시스템 설치로 온실 최적화를 만들	1000 ppm=1g/L LPG에서 3배의 CO <sub>2</sub> 를 공급 가능	야간 광합성시 CO <sub>2</sub> 공급필요	연료비 특히 경유의 소비가 현저히 감소	종합시스템 시설확충 필요

## 5. 중양아시아 현지 비닐온실 사회경제적 필요 및 정책적 지원

중양아시아 중 카자흐스탄 정부는 국가경제 발전을 위해 농산업 부문의 중요성을 인식하고 농산업 발전을 위한 여러 가지 정책을 수립하고, 선진국의 기술과 자본을 유치하여 농산업 분야의 경쟁력을 제고에 힘쓰고 있다. 또한 현재 WTO 가입을 추진하는 등 세계무역체제에 편입되기 위해 많은 노력을 기울이고 있는 실정이다. 이에 따라 카자흐스탄 정부는 2008년 ‘2009~2011년 카자흐스탄 농기업의 지속적인 발전 방안’을 정부령으로 발표하여 농업을 지원하기로 하였다. 이는 2009년부터 2011년까지 농업발전에 약 30억 달러를 지원할 계획으로, 최대 국영 농업기업인 ‘카즈아그로’는 농업발전을 위해 10억 달러를 지원할 것으로 알려졌다. 정부의 지원은 농산물 수출 확대를 목적으로 하며, 구체적인 지원 분야는 곡물부문, 육가공 및 유제품 생산부문, 과일 생산부문 등 생산부문과 온실재배 시설, 야채 보관창고, 도축시설등 설비부문에



대한 지원으로 구분된다.

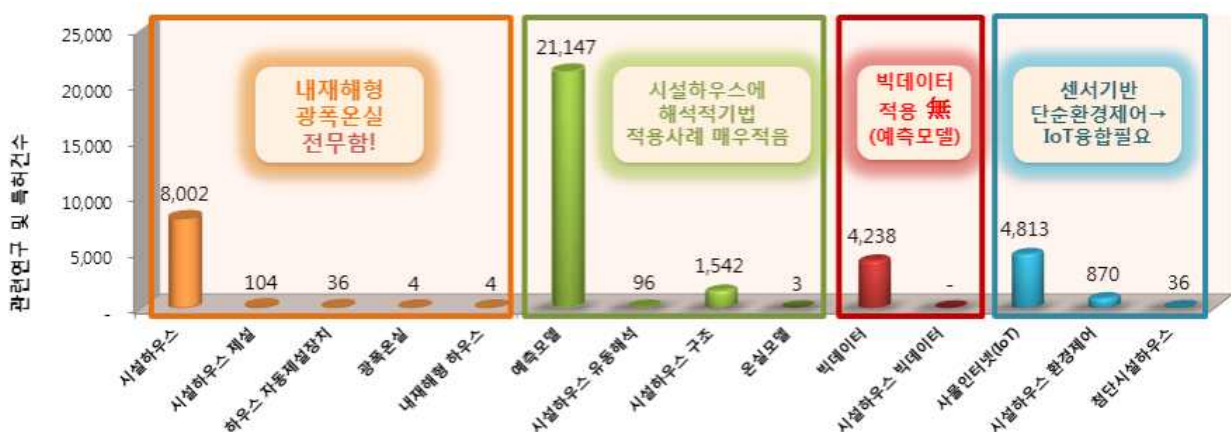
카자흐스탄 정부는 세계 경제 기구들과의 협력을 통해 다양한 농업 프로젝트를 추진하고 있다. 2004년 12월 13일부터 2009년 12월 31일까지 세계은행으로부터 9,610만 달러의 차관을 도입하여 추진되는 「농업민영화 지원프로젝트」가 진행되고 있으며, 여기에는 곡물수확과 관련된 보험 지원, 마이크로 파이낸스 제도(MFI: Micro Finance Institutions) 확대 시행 등의 내용이 포함되어 있다. 또한 2005년 4월 28일부터 2010년 7월 30일까지 세계은행의 8,310만 달러 차관 제공으로 추진되고 있는 「농업 경쟁력 향상 프로젝트」가 있는데, 이는 농업, 어업, 산림분야 연구개발, 농산물 마케팅 증대와 농업 관련제도 개선 등을 목표로 하고 있다.(조영관, 2010)

중아시아 중 가장 국가 면적 및 농업면적이 넓은 카자흐스탄과 우즈베키스탄은 비닐온실에 대한 정부재정 지원이 지속적으로 확대되는 사회 경제적, 정책적으로 지원되고 있는 실정으로 2013년부터 온실에 경우에는 무관세로 가격 및 품질 경쟁력을 통한 중아시아 수출을 위한 기술 개발이 필요하다.

### 3절. 연구개발 범위

본 연구에서는 중아시아 현지의 기후, 국가 정책, 수요자의 니즈 파악을 통한 상기의 연구 필요성을 바탕으로 관련 연구와 특허 등에 기술의 현황 분석을 통해 현재 개발하고자 하는 온실의 문제점과 본 연구개발에서 해야 할 연구개발 방향과 범위를 다음과 같이 도출하였다. 그 결과를 바탕으로 기술개발의 차별성을 확보하고 경쟁국 및 경쟁사에 대비한 기술 우위를 확보하고자 하였다.

- 중아시아에 온실에 범용적으로 적용가능한 작물 생산량 예측모델의 개발
- 중아시아 현지에 적합한 수출집중형 내재해형 광폭 온실의 기술 개발
- 폭설에 대비한 스마트 자동제설장치의 개발
- 작물 생육 최적화를 위한 IoT 기반 복합환경제어시스템 최적화



[그림 6] 관련 기술 현황 분석을 통한 연구범위 설정 개요

## 2장. 국내외 기술개발 현황

코드번호

D-04

### 1절. 국내 현황

2010년말 기준으로 국내 원예시설면적 53,136 ha 중에서 단동비닐온실 88.6%, 연동비닐온실 10.1%, 유리온실 0.7%의 비율을 가지고 있으며, 현실적으로 경쟁력 있는 시설작물 생산을 위해서는 자동화 및 복합환경제어시스템 등을 갖춘 첨단온실의 비율 증가 및 시설구조 변화가 절실하다. 또한 국내 원예시설 전체면적의 25%인 13,394 ha가 가온온실이며, 가온면적 80%가 유류를 에너지원으로 하고 있어 국제 원유가의 상승 등으로 생산비가 높아지고 있는 실정이다. 특히 국내 연동온실의 81%가 15년 이상된 노후화 된 시설이기 때문에 에너지 절감에 적합한 온실 개발이 필요한 상황이다.

1992년부터 시작된 정부의 시설원예 현대화 지원사업의 일환으로 국내 유리온실 표준설계도가 1997년에 작성되어 지금까지 시행되어져 왔으며, 2001년 농가보급형 자동화하우스(1-2W형) 표준설계서가 작성된 후 수정·보완되어 2010년에는 원예·내재해형 규격 설계도에 자동화비닐하우스 3종이 보급되고 있다. 국내에서 개발된 자동화비닐하우스는 경제성이 우수하나 측고가 2.7 m에 불과하며, 이중구조, 권취식 환기창 등 구조가 복잡하여 시공성, 작업성, 유지관리 측면에서 다소 개선의 여지가 있으며, 대규모 단지에 적용하는 데는 한계가 있다.

이러한 문제를 해결하기 위하여, 유리온실과 비닐온실의 중간형태를 취한 신개념 온실을 전국적으로 36.9 ha, 건축비 400억원 규모로 빠르게 보급되고 있으나, 이에 대한 표준설계가 없어 지역별로 온실의 성능 및 건축비에 차이가 많고, 재해 발생 시 피해보상기준 산정도 어려운 실정이다.

따라서 온실 개발에 반드시 필요한 온실 구조 및 환경설계기술과 관련한 명확한 기준의 부재로 설계자별로 설계방법 및 적용 기준 등이 상이한 실정이며, 원예시설의 구조안전기준 작성(농어촌진흥공사, 1995), 온실구조 설계 기준(농촌진흥청 국립농업과학원, 2017)이 있으나 실제 현장에 적용하기 위해서는 검토 및 수정이 필요하다. 현재 유리온실의 초기시공비가 많이 소요될 뿐만 아니라, 국내 간척지(새만금, 영산강 등)에 유리온실을 설치할 경우 지반보강에 온실 건축비에 버금가는 시공비가 추가 소요되며 대체 가능한 대규모 단지에 적합한 경제적인 온실 구조에 대한 연구가 필요하지만 미비한 상황이다.

최근 재배기술의 발달과 시설구조의 개선 및 복합환경조절장치의 적극적인 도입 등으로 생산성이 향상되고 있으나 대규모 신규온실의 경우에는 네덜란드의 유리온실을 그대로 수입하고 있다. 국내의 경우에는 온실의 설계기준이 정립되어 있지 못하여 설계자에 따라 과다·과소설계 등이 이루어져 안전성이나 경제성이 일관되게 확보되지 못하고 있는 실정이다.

그리고 시설원예 국제 경쟁력 강화를 위한 시설원예단지의 규모화, 전문화를 위하여 새만금, 영산강 간척지 등에 대규모 시설원예단지를 조성하기 위한 사업이 진행되고 있으나, 유리온실의 경우 초기시공비가 많이 소요될 뿐만 아니라 간척지에 설치할 경우 지반보강에 온실 건축비를 상회하는 추가 시공비가 소요된다.

## 2절. 국내 정책 및 제도현황

시설원에 분야에서의 녹색성장의 일환으로 온실의 에너지 절감시설 및 신재생에너지 보급사업을 확대 추진하고 있다. 온실구조설계기준(농림부·농어촌진흥공사, 1999)은 적용범위가 유리 온실에 국한되어 비닐온실이 대부분인 국내 여건을 볼 때 활용성이 제한적이며, 작물을 대상으로 하고 있는 온실의 특수성이 반영되지 못한 결과로 관련 전문가 및 실무자들 사이에서 국내 여건에 적합한 온실구조설계기술 개발에 대한 필요성이 제기되고 있는 실정이다.

향후 20년간 농림부가 미래농업경쟁력 확보와 고부가 농산물 수출기지 조성을 위한 약 2,900 ha면적의 간척지 첨단온실단지 조성을 계획하고 있어 2011년을 기점으로 6조 5천억 규모로 급속도로 팽창되었다.

## 3절. 국외 현황

시설원에 선진국인 네덜란드를 비롯하여 일본, 미국, 유럽연합 등은 자국에 적합한 온실 구조설계기준을 오래전부터 제정하여 시행하고 있으며, 수요자의 요구와 사회적 여건에 따른 요구를 반영하고자 개정을 위한 연구들이 지속적으로 수행되고 있다. 특히, 미국온실협회(NGMA)는 온실의 환경조절장치 개발과 설치에 필요한 환경조절장치의 가이드라인을 정립하여 수요자에게 제공하고 있다.

### 1. 일본의 정책 제도

1973년 8월 일본시설원예협회 주관으로 「원예용 하우스 및 유리온실의 적정구조에 관한 조사연구」 사업을 기초로 1974. 4 「원예용 시설안전구조기준(안)」을 결정하고 1976 원예용 시설안전 구조기준(잠정기준)으로 제정하고 1977년 보정, 1981년 개정, 1997년에 재개정하여 시설원예 시설의 구조설계기준으로 활용하고 있다. 그리고, 1998년 6월에 일본시설원예협회 주관으로 「지중매입식 파이프하우스의 안전구조지침」과 「원예용 철골보강 파이프하우스의 안전구조지침」 발간하였으며 2001년 3월에 「저비용 내후성 철골하우스 시공 매뉴얼」, 2002년 3월에 「저비용 내후성 하우스 시공 매뉴얼」을 발간하여 시행하고 있다.

### 2. 네덜란드의 정책 제도

수년간의 태풍재해로 인한 손실과 주거용이나 업무용 건물의 설계기준을 적용함에 따른 과다 구조설계를 방지하고 경제적인 구조설계가 되도록 하고 작물재배농민, 온실시공업체, 자재제조업체, 재정부담자, 보험회사 등이 상호 협조하여 이용하도록 1978년 NEN 3859 『Greenhouse structural Requirement』 기준을 제정하였으며 1990년과 1993년 개정하였고 1985년에는 이 기준의 해설서인 NPR 3860 Greenhouse, Recommendations for and examples of constructional performance base on NEN 3859를 보급중이다.

### 3. 미국의 정책 제도



1968년 11월 미국온실협회(NGMA)는 협회구조기준을 최초로 채택하고 1975년 11월 개정기준을 『건축물과 기타 구조물의 최소설계하중에 대한 건축물 필요조건』인 ANSI A 58.1에 수용되도록 미국 표준화연구소(ANSI)에 제출 후 1979년 11월 ANSI A 58.1의 기준과 부록에 채택되어 온실구조 및 그 구성부재의 설계에 필요한 하중기준을 제공하였다.

유럽공동체 : 유럽연합 표준위원회에서는 유럽연합 국가의 상업용 온실에 적용할 EN XXXXX-1 『Greenhouses : Design and Construction, Part 1 : Commercial Production green houses』을 1996. 7 제정하여 시행중이다.

#### 4. 관련 기술 현황

캐나다, 미국 및 일본은 에너지 절감형 비닐온실 개발 및 구조안전성 향상 기술 개발에 관한 연구가 오래전부터 활발히 진행되어 현재 보급중이다. 특히, 캐나다의 경우에는 영하 40℃까지 내려가는 악조건에서도 저비용의 에너지 절감형 비닐온실과 천연가스를 이용한 CHP로 현재 파프리카 생산량은 25 kg/m<sup>2</sup>(250톤/ha, 네덜란드 300톤/ha)로 네덜란드 제품과 경쟁하고 있다.

일본은 기상재해 경감을 위하여 풍속 50 m/s, 적설 50 kg/m<sup>2</sup>에 견딜 수 있는 저비용·내후성 온실을 개발 보급하고 있으며 일본시설원예협회가 중심이 되어 농림수산성, 시공업체, 농업공학연구소 및 대학과 공동 연구팀을 구성하여 ‘풍대책 및 눈대책에 대한 원예시설 시공 지침’ 작성하였다. 또한 일본은 온실내 기상 및 근권 환경의 정밀관리기술, 온실 환경조절을 통한 품질향상 등에 대한 연구와 자연광 이용형 식물공장과 인공광 이용형 식물공장에 대하여 국가적 지원에 근거한 체계적 연구로 상당 수준에 진입하였다.

유럽/미국은 바이오매스 열병합 발전, 태양열, 목재펠릿, 바이오가스 등 신재생에너지를 이용한 자원순환 및 화석에너지 투입 제로화, 에너지 이용 효율 최적화를 위한 패키지 기술, 자동화/생력화를 통한 생산비 절감 연구가 활발히 진행 중이다.

네덜란드를 비롯한 유럽은 밀폐된 유리온실에서의 에너지순환형 환경시스템과 태양열 에너지 축적시스템 개발 등 폐쇄형온실시스템에 대한 초기 연구를 진행하고 있다. 그리고, 광발전용 온실시스템(Elkas)에 대한 기초연구가 진행 중이다. 현재 네덜란드의 유리온실 구조 개혁의 주요한 과제들은 광투과율 개선, 에너지 절감, 시설내부에서 방출되는 폐기물의 최소화, 이산화탄소 관리, 온실지역의 재정비, 재배온실의 규모화 및 자동화이다.

화란 등 유럽에서는 시설원예작물의 복합 환경제어, 생체정보 계측, 성장모델 개발, 영양진단 키트 개발 등에 의한 정밀 환경관리 기술이 실용화되고 있으며, 장기간 에너지를 축적할 수 있는 냉난방용 지하 열교환 축열조를 이용한 자가 유지형 온실 재배기술, 온실 내 에너지 밸런스 모델 개발 및 온실 용적에 적합한 열용량 해석, 열의 집중 현상 해소를 위한 기초기술 연구 등이 추진되고 있다. 유럽/미국은 온실환경제어 시스템의 표준화, 온실작물의 최적 환경조성 및 제어기술, 저비용 친환경 환경관리방법, 온실작물 성장모델링 등에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

#### 5. 온실 모델 및 특허 동향

네덜란드의 유일한 플라스틱 온실 전문업체인 VDH사 온실의 경우는 가벼운 플라스틱 피복재

를 사용함으로써 구조재의 볼륨을 최소 경량화하고 간격을 최대한 넓혀 일반적으로 20%대의 골조 차광율을 10% 이내로 줄이고 천장을 키우거나 지붕과 측벽 전체를 완전 개방하는 Pull-Open 온실 쪽으로 보급하고 있다.

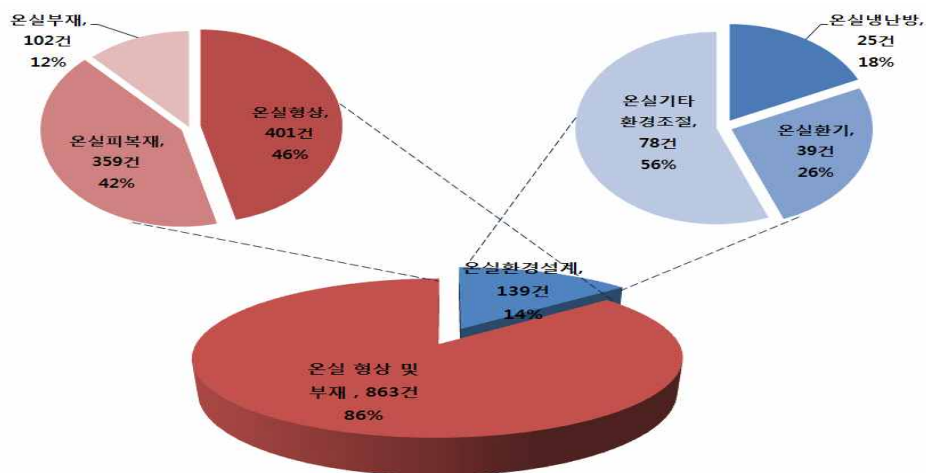
프랑스의 리셀, 필클레어, 독일BM사 등은 고강도의 타원형 또는 원형 파이프를 유선형 아취 구조재를 규격화하여 2 m~2.5 m간격으로 지붕에 배치하여 최상의 투광성을 확보하고 폭 12.8 m 광폭의 쾌적한 공간, 30%에너지 절감의 Double-Film, 천창확대에 의한 탁월한 환기성능을 보유하고 있다. 또한, 적설하중에 대응하기 위해 결로 배출을 겸한 Gutter-빔을 개발하여 기둥간격을 5 m로 확대하고, 확고한 필름 고정재 개발, 100%완전 조립식 금구의 개발, 도금형재의 수명 연장을 위한 바니쉬 코팅 등 자재 및 시공기술의 발전을 거듭하고 있다.

온실 규격면에서도 온실 폭을 6.4 m, 8 m, 9.6 m, 12.8 m로 모듈화 해놓고 현지 상황에 맞추어 적용하는 형태이며, 특히 피복재 고정이 용마루와 Gutter부에서만 이루어져 성력화를 실현하고 있다. 이들 온실의 공통적 특징은 특정기후, 특정작목에 맞는 특정규격의 모델을 개발 보급하는 것이 아니라 온실이 기본적으로 갖추어야 될 주요성능과 에너지효율 제고, 유지관리 편의성 등을 겸비한 최적구조와 이를 만족 시키는데 필요한 자재를 먼저 표준 규격화 해놓고 설치지역의 기후조건이나 작목, 소비자의 요구에 따라 기둥의 높이, 구조재 간격, 보강재 및 각종 부대 장치의 추가 등으로 대처함으로써 기본 모델에 대한 적용성을 확대하고 있다.

이스라엘 온실은 외관상 지붕형태나 구조재 배치 및 조합은 프랑스 리셀과 비슷하지만 폭을 9.6 m와 11.2 m로 규격화 해두고 각 기후대 즉 더운 지역용, 추운 지역용, 열대 기후용, 온화한 기후용, 고온다습 기후형 등으로 구분하여 부대시설만을 다르게 적용하여 보급하고 있다.

이상 네덜란드, 프랑스, 이스라엘 온실들의 주요 공통점은 기초는 콘크리트 독립기초 일명 둘리 방식이 주를 이루고, 유럽 표준 규격에 적합하도록 설계 보급되기 때문에 풍하중 35~42 m/sec, 적재하중 25 kg/m<sup>2</sup>, 피복재는 폴리에틸렌 필름이 대부분이며, 일부 또는 부분적으로 PC판을 사용하거나 불소필름 피복이 늘어나는 경향을 보이고 있다.

온실 적용기술에 대한 특허 현황을 분석한 결과, 온실형상 및 부자재 86%로 거의 대부분을 차지하고 있으며, 세부적으로는 온실형상이 401건으로 46%, 온실피복재가 359건으로 42% 순으로 나타나고 있다. 이에 비해 온실환경 설계에 관한 특허는 139건으로 14%를 차지하고 있으며, 기타 환경조절 시스템이 56%, 온실환기시스템에 관한 것이 37% 순으로 나타났다.



[그림 7] 세부기술별 출원 점유율

### 3장. 연구수행 내용 및 결과

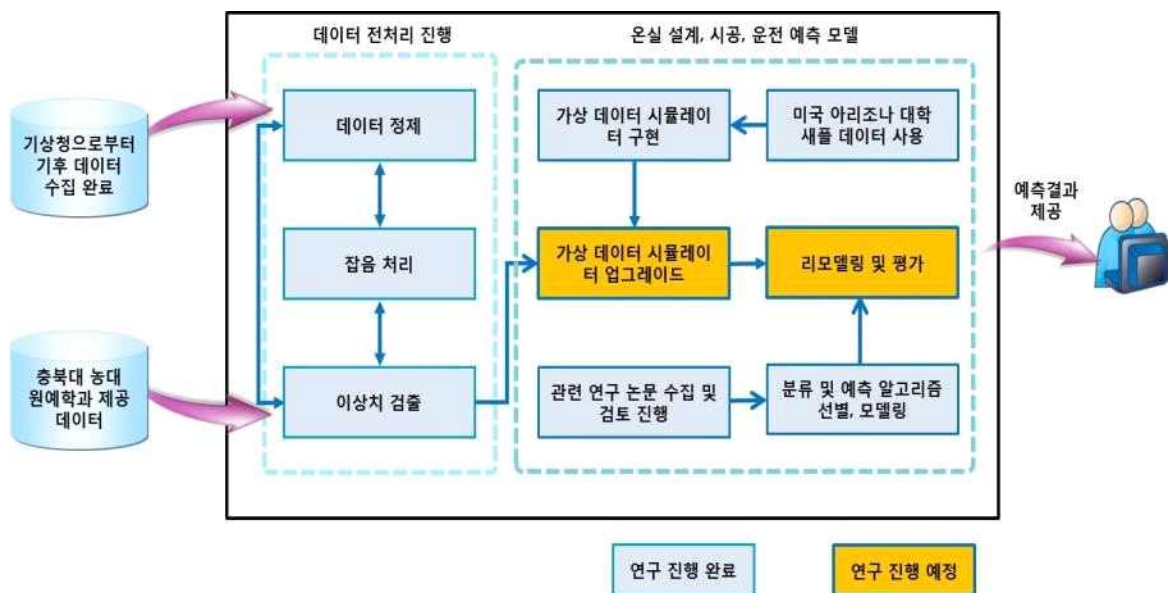
코드번호	D-05
------	------

#### 1절. 온실 작물생산량 예측모델 및 프로그램 개발

##### 1. 데이터 활용 가상 데이터 시뮬레이터 및 전처리

본 연구는 “빅데이터 기법 활용 작물 생산성 향상을 위한 환경 분석(온도, 습도, CO<sub>2</sub>, 광 등)을 온실 설계·시공·운전 최적화 예측모델 개발”을 연구 목표로 다음과 같은 주요 내용에 대하여 연구를 진행하였다.

- 첫째, 온실 작물 데이터 수집 및 전처리 진행
  - 미국 아리조나 대학 CEAC 의 샘플 데이터 및 모니터링된 데이터 기반으로 가상 데이터 시뮬레이터 구현하였다.
- 둘째, 온실 작물 생산량 예측을 위한 알고리즘 선정 및 모델링 진행
  - 관련 연구들을 기반으로 모델링 알고리즘 선정 완료하였다. - 의사결정트리, 인공 신경망, 서포트 벡터 머신
  - 제공 받은 온실 데이터 크기가 작은 관계로 인터넷으로부터 비슷한 특징의 대규모 데이터 수집 및 알고리즘에 대한 평가 및 모델링 진행하여 앙상블 모델을 구축하였고 새로운 분류/예측 알고리즘 개발하였다.



[그림 8] 1차년도 연구 진행 현황 및 진행 시나리오

※ 본 연구의 수행을 위한 실제 온실 토마토 관련 환경 및 생산량 관련 데이터를 충북대학교 농대 원예학과로부터 제공 받기로 하였으나 현재 준비 중인 관계 및 데이터의 크기가 작을 경우를 고려하여 모든 연구는 공개 데이터베이스인 UCI로부터 데이터의 성질이 비슷한 데이터를 다운하여 관련 실험을 진행하였다.

- 참조사이트: <http://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/Water+Treatment+Plant>)

#### 가. 국내외 대학 및 연구소의 관련 연구자료 (레포트, 뉴스 등)수집

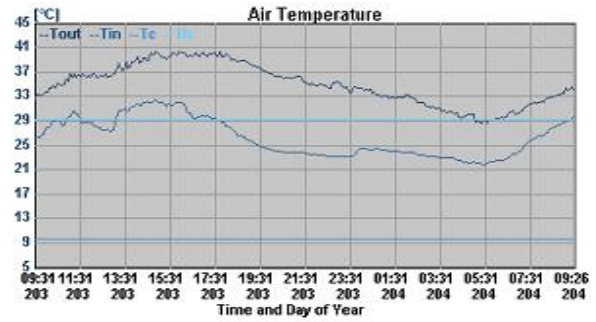
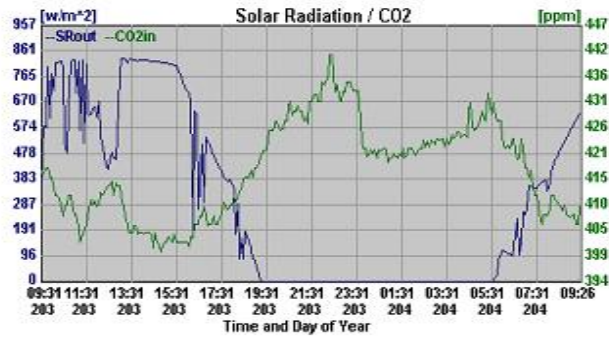
- Google, DBPIA, RISS 등 전문 색인 사이트를 활용하여 관련 자료 수집하였다.
- 수집된 자료 유형은 다음과 같다.
  - 온실 환경 원격 모니터링 시스템 구축 사례
  - 유리온실 내 토마토 재배 사례
  - 토마토 재배 온실의 환경 조절 연구 사례

#### 나. 국내외 관련 논문 자료 수집 및 연구동향 정리

- 국내외 온실 작물 데이터를 이용한 생산량 예측 논문 자료 수집하였다.
- 국내외 데이터마이닝 기법을 이용한 온실 토마토 데이터 기반 생산량 예측 자료 수집 및 분석하였다.
- 수집된 데이터 분석 논문 유형은 다음과 같다.
  - 데이터 마이닝 기반 토마토 생산량 예측 연구
  - 회귀분석을 이용한 토마토 생산량과 수분 관계 연구

#### 다. 샘플 데이터 및 모니터링 데이터 활용 가상데이터 시뮬레이터 구현

- 아리조나 대학 CEAC(Controlled Environment Agriculture Center)에서 구현한 Greenhouse Monitoring System기반 샘플 데이터 획득하였다.  
([http://ag.arizona.edu/tomlive/gh2091-A\\_idx.html](http://ag.arizona.edu/tomlive/gh2091-A_idx.html))
- 실시간 모니터링된 데이터 그래프로부터 관련 데이터 추출하여 샘플 데이터 확보하였다.
- 데이터 구성은 아래 표와 같으며 실시간 모니터링 된 데이터의 그래프 샘플은 그림 9와 같다.



[그림 9] 아리조나 대학 CEAC에서 모니터링한 실시간 데이터 그래프

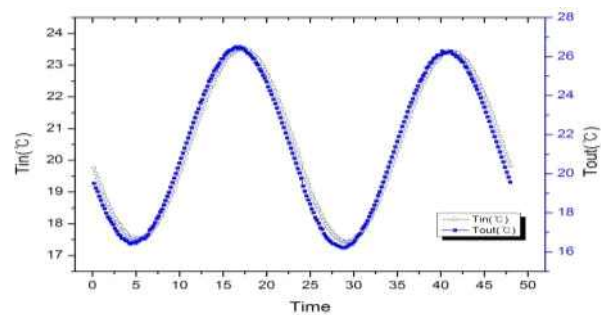
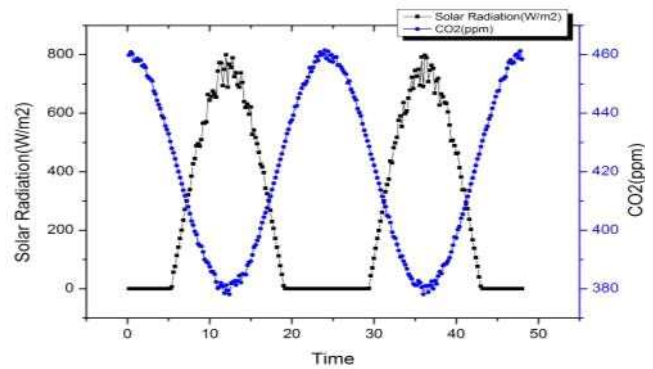
[표 4] 샘플 데이터 예제 및 속성 설명

DATE	TIME	Tin (°C)	RHin (%)	Tout (°C)	Solar Radiation (W/m <sup>2</sup> )	CO <sub>2</sub> (ppm)	VPD (kPa)
01-04-2008	10:20-AM	21.3	58.7	17.1	294.3	475.4	1.045

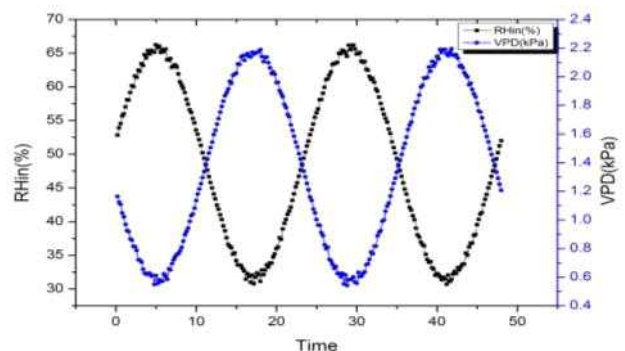
속성	추가 설명
DATE	Month-day-year (Day Of Year: Julian Day)
TIME	Time in 12 hr format (Hour : Minutes : am_pm)
Tin	Air temperature inside the greenhouse (°C). The aspirated sensor is located 6' above ground, at the middle of the centerline of the greenhouse
RHin	Relative humidity inside the greenhouse (%) Same location of Tin sensor
Tout	Air temperature outside the greenhouse (°C) This sensor is shielded from sun, and located 22' above ground in the centerline of the south side of the greenhouse
Solar Radiation	Solar radiation outside the greenhouse (W/m <sup>2</sup> ) [in the range of 380-1100 nm], Same location of Tout sensor
CO <sub>2</sub>	Atmospheric carbon dioxide concentration inside the greenhouse (ppm) is measured with a diffusion sensor located 6' above ground level and 12' from the north wall and at the centerline of greenhouse
VPD	Vapor Pressure Deficit [kPa]. Calculated as a function of Tin and RH
Tc	Air Temperature set point for cooling (°C)
Th	Air Temperature set point for heating (°C)

- 가상 데이터 시뮬레이터 구성하였다. (표 5 참조)
  - CompInaDay.java: calculating varying patterns in 24 hours of climatic conditions.
  - CompInaYear.java: calculating varying patterns in a year of climatic conditions.
  - ExcelExporter.java and ExcelFileFilter.java: outputting generated data to excel file.
  - MainUI.java: setting user interface.
  - TextFileFilter.java: outputting generated data to text file.
  - 유저 인터페이스

[표 5] 가상 데이터 시뮬레이터



- “The Number of Measurements in a Day”: setting how many times the climatic conditions should be measured in one day.
- “Beginning Day Number”: setting beginning date of simulation.
- “The Number of Days for Data”: setting number of days for generating data.



파라미터 설정 창

샘플 데이터 기반 생성된 가상 데이터 그래프

## 라. 전처리 기법 선정 및 훈련/테스트 데이터 생성

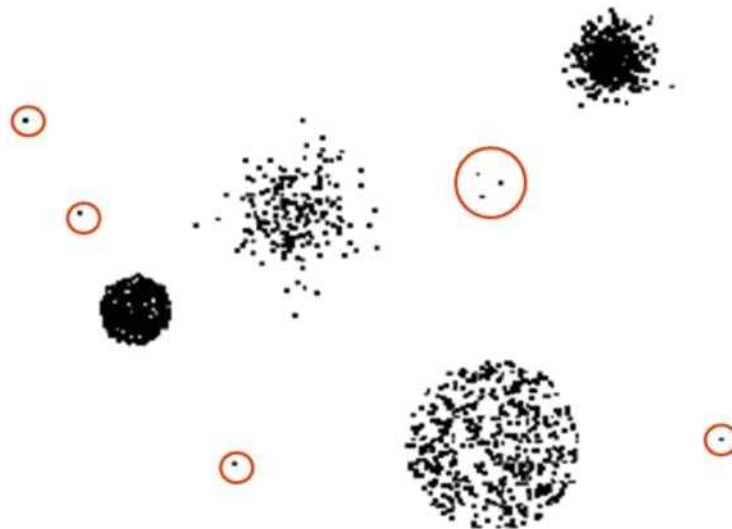
- 데이터 특성별 전처리를 위한 기법 선택하고 전처리를 진행하여 훈련 및 테스트 데이터 생성. 구체적인 기법은 아래와 같다.
- 데이터 정제 - 생성된 가상 데이터들에 대한 분석을 통하여 현실성이 떨어지는 데이터 삭제하였다.
- 잡음 처리 - 군집화 기법을 적용하여 생성된 가상 데이터의 속성들에 대한 분포 범위에 대한 분석을 통하여 오류 수정하였다.
- 이상치 검출 - 온실 토마토 관련 환경 데이터 및 생산량 데이터가 연속형 (실수형) 데이터인 관계로, 유클리디안 거리를 기반으로 하는 재현성 분석을 통하여 이상치 검출 및 삭제 진행하였다.
  - 재현성 분석은 K-평균 군집화 기반의 이상치 검출 알고리즘으로 사용하기가 쉽고 이해하기가 쉬운 장점이 있다. 이 방법은 동일한 메커니즘에서 생성된 독립적인 새 데이터 셋을 동일한 방식으로 군집화한 결과가 기존 군집화 결과와 유사하다면 재현성이 있는 것으로, 그렇지 않다면 재현성이 없는 것으로 판단한다.
  - 재현성 평가를 하기 위하여 우선 주어진 데이터 셋을 임의로 3개로 분할한다. 그 중 하나를 셋 1이라고 하고 다른 하나는 셋 2, 나머지 하나는 셋 3이라고 한다. 셋 1, 셋 2는 군집화를 하기 위한 훈련 데이터로, 셋 3은 군집화 결과를 평가하기 위한 테스트 데이터로 사용한다.
  - 셋 1, 셋 2에 대하여 각각 군집화를 진행하고 생성된 군집화 모델은 모델 1, 모델 2라고 한다. 그리고 셋 3의 데이터를 모델 1, 모델 2를 사용하여 군집화를 진행한다. 이에 따라서 셋 3의 데이터들은 두 모델에 의해서 각각 2개의 군집으로 분류된다.
  - 셋 3의 두 군집화 결과를 교차분류표로 나타낸다. 만약 생성된 두 군집화 모델이 일치하다면 생성된 교차분류표에서 행과 열은 강한 대응성을 보일 것이다. 그렇지 않다면 행과 열의 대응성은 약하게 나타날 것이다. 여기서 “강한 대응성”이란 두 군집화 레이블간 거의 1:1 관계가 존재한다는 것을 뜻한다.
  - 강한 대응관계에서 벗어나는 데이터들은 이상치일 확률이 높은 것이다. 예를 들어서, 표 3와 같이 모델 1과 모델 2에서 생성된 군집 레이블들 간에 1:1에 가까운 강한 대응관계를 나타냄을 볼 수 있다(굵은 글씨체에 밑줄 그은 부분). 이는 재현성이 높다는 것을 뜻하며 강한 대응성을 나타내지 않는 셀에 속하는 데이터들은 잠정 이상치로 분류를 할 수 있다.



[표 6] 군집개수 5일 때 재현성 평가를 위한 교차분류표

군집개수=5	모델 2					
		군집 1	군집 2	군집 3	군집 4	군집 5
모델 1	군집 1	<u>45</u>	0	0	0	0
	군집 2	0	<u>20</u>	0	0	0
	군집 3	0	4	<u>106</u>	0	12
	군집 4	0	0	0	<u>16</u>	0
	군집 5	5	0	0	0	<u>94</u>

- 표 5 에서와 같이 대응성을 나타내지 않는 셀에 속하는 데이터들이 이상치일 확률이 높은 것은 사용된 k-평균 군집화 알고리즘의 특성에 있다. k-평균 군집화 알고리즘은 유클리디안 거리 기반 군집화 알고리즘으로 주어진 k개의 군집화 개수를 파라미터로 사용하며, 군집 개수가 정해지면 주어진 데이터들 간의 거리를 계산하여 군집을 형성한다. 즉 군집의 개수가 클 경우 다른 데이터들로부터 멀리 떨어진 데이터들은 단독 군집 또는 구성원이 적은 군집을 생성할 수 있다는 것이며, 이러한 군집에 속하는 데이터들은 다른 데이터들과 큰 차이를 보이므로 이상치로 분류를 하더라도 적절하다는 것이다. 그림 10 는 이와 같은 경우를 보여주고 있다.



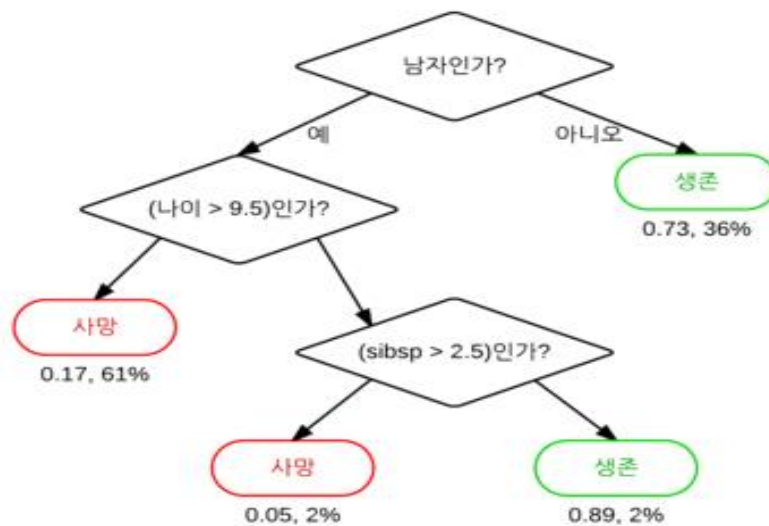
[그림 10] 군집화를 이용한 이상치 검출. 빨간 원으로 표시된 군집들은 이상치를 포함

- 분류 및 예측을 위한 알고리즘 선정 및 평가 진행, 예측을 위한 앙상블 모델 구축 및 새로운 알고리즘 개발



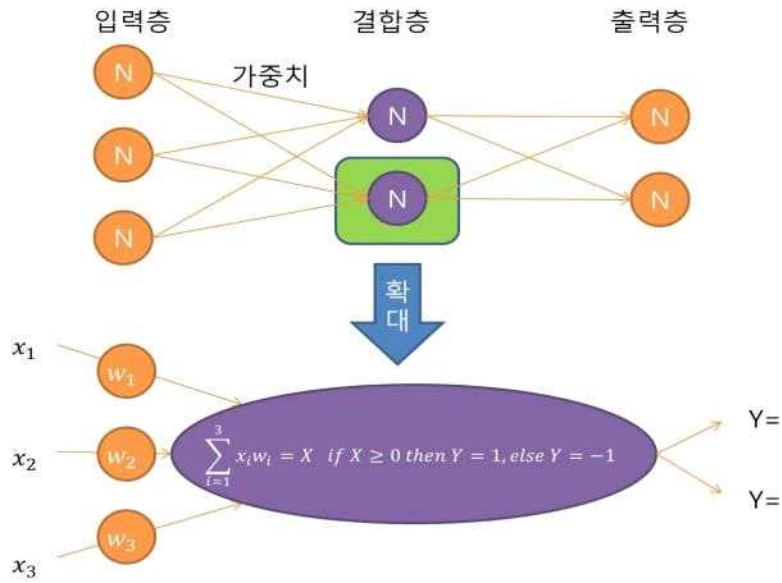
- 가장 적합한 분류 및 예측 알고리즘을 선정하기 위하여 가장 많이 사용되는 데이터 마이닝 분류 알고리즘들을 선정하였으며 이들 알고리즘은 아래와 같다. 선정 기준은 정확성 및 가독성이다. 의사결정 트리는 정확성 및 가독성, 인공 신경망과 서포트 벡터 머신은 정확성 및 데이터 특성에 따른 뛰어난 성능 때문에 선택하였다.

- 의사결정 트리 - 결정 트리 학습법은 데이터 마이닝에서 일반적으로 사용되는 방법론으로, 몇몇 입력 변수를 바탕으로 목표 변수의 값을 예측하는 모델을 생성하는 것을 목표로 한다. 아래 그림은 그러한 예측 모델의 한 예를 나타내고 있다. 그림의 트리 구조에서, 각 내부 노드들은 하나의 입력 변수에, 자녀 노드들로 이어지는 가지들은 입력 변수의 가능한 값에 대응된다. 잎 노드는 각 입력 변수들이 루트 노드로부터 잎 노드로 이어지는 경로에 해당되는 값들을 가질 때의 목표 변수 값에 해당된다.



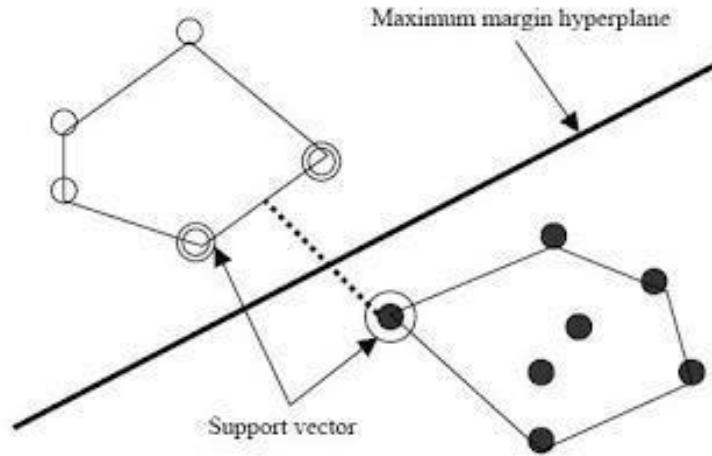
[그림 11] 탑승객의 생존 여부를 나타내는 결정트리 예제  
(출처: 위키피디아)

- 인공신경망 - 인공신경망(artificial neural network 아티피셜 뉴럴 네트워크)은 생물학의 신경망(동물의 중추신경계, 특히 뇌)에서 영감을 얻은 통계학적 학습 알고리즘이다. 그림 12에서와 같이 인공신경망의 각각의 뉴런들(동그라미)은 자신만의 입력 값과 함수를 갖고 있다. 그리고 각각의 출력을 생성해낸다. 입력신호는 각각의 뉴런으로 전파될 때 가중치의 값과 곱해져서 다음 뉴런에 도달한다. 그리고 다음 뉴런들은 각각의 가중치가 곱해진 입력 값들을 합한 값을 자신의 함수에 정의역으로 할당하여 출력 값을 결정한다. 그림 11은 확대된 부분은 결합층 내부의 함수를 나타낸다. 이 예제에서는 간단한 한계치를 넘어서면 1을 그렇지 않다면 -1을 출력하여 다음 노드로 전달한다.



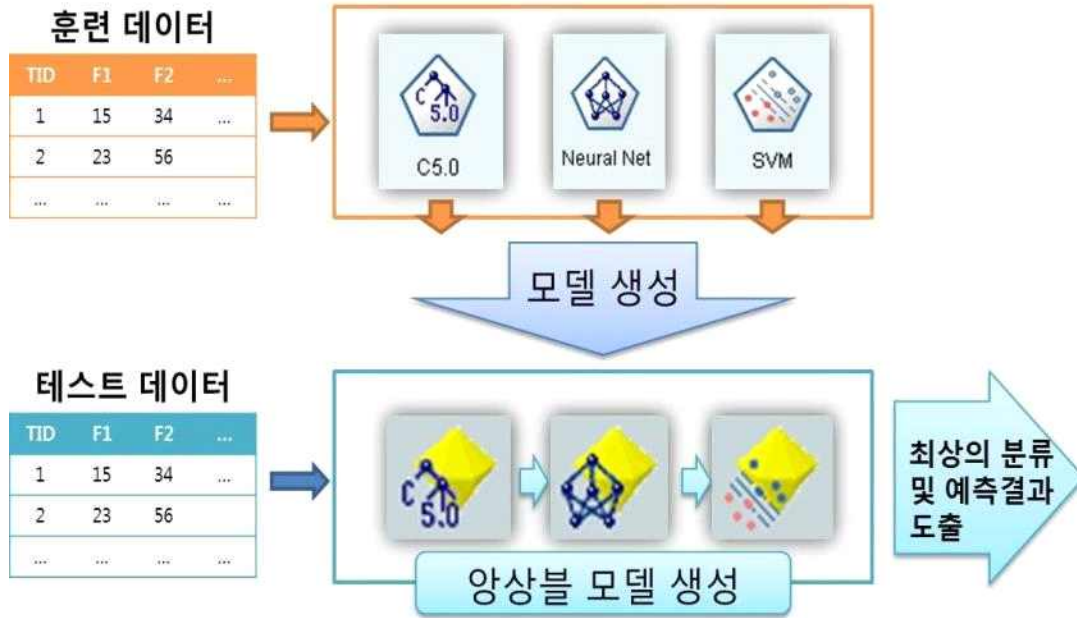
[그림 12] 입력층, 결합층, 출력층 등 3개의 계층으로 이루어진 인공신경망.  
(결합층은 간단한 한계치 함수를 가짐)

- 서포트 벡터 머신 - SVM (Support vector machine)은 2개의 범주를 분류하는 이진 분류기이다. 다음 그림은 SVM의 개념을 설명하는 것이다. feature들은 그림과 같은 vector 공간에 vector로 표시된다. 그림에서 보는 것처럼 하얀 색 vector들을 A그룹에 속하는 white point라고 하고, 그 반대로 검은색 vector들을 B그룹에 속하는 black point라고 하자. 이러한 벡터 가운데 같은 범주를 기준으로 바깥으로 위치한 벡터들의 연결선으로 이루어진 닫혀진 다각형을 convex hull이라고 한다. convex hull안의 벡터들은 그룹을 분류하는 데 그다지 큰 영향을 미치지 않는다. 그룹을 분류하는데 가장 큰 영향을 미치는 것들은 바깥에 위치한 벡터들이다. 그룹을 분류하는 선, 면을 hyperplane이라고 한다. 그림에서 보는 것처럼 그룹을 나눌 수 있는 hyperplane은 무수히 많다. 하지만, 직관적으로 그룹들의 convex hull에 속한 벡터들 중 가장 가까운 벡터와 수직거리로 가장 먼 거리를 가진 hyperplane이 2그룹을 효과적으로 분류할 것이다. 이러한 hyperplane을 maximum hyperplane이라고 부르고 이때 가장 가까운 벡터들을 support vector라고 한다. hyperplane이 재조정 될때는 support vector역시 재계산 되어야 한다. hyperplane은 선형 또는 비선형 모든 형태로 표현이 가능하며 일정 수식의 방정식으로 표현이 가능하기 때문에 간단한 수식으로 두 그룹을 분류할 수 있다.



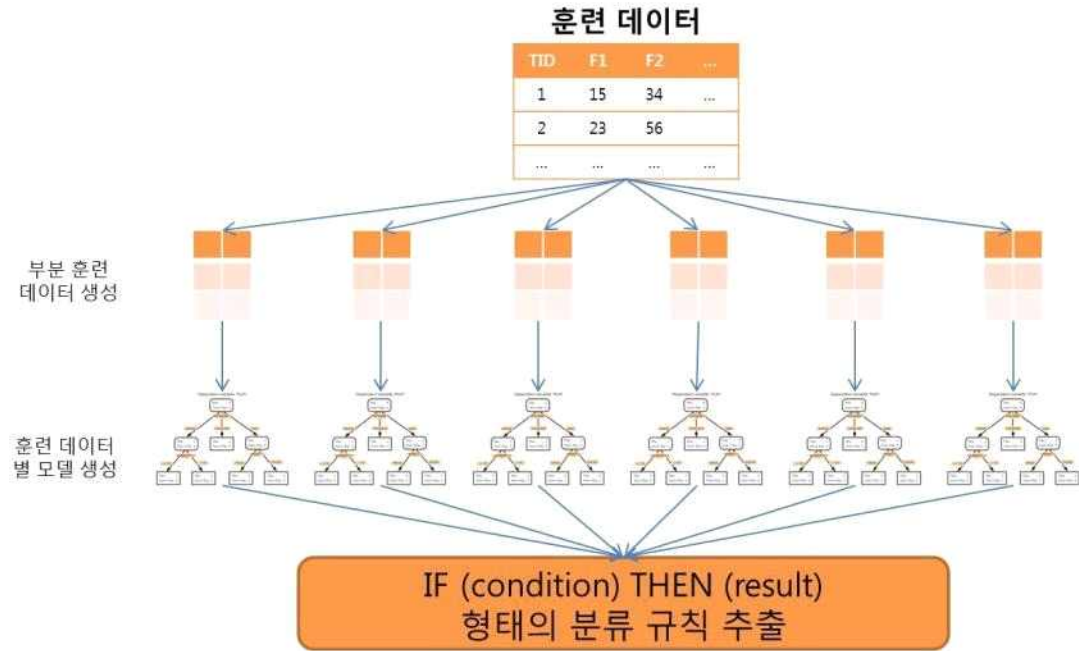
[그림 13] 서포트 벡터 머신의 범주 분류.

- 선별된 알고리즘들의 유용성을 판단하기 위하여 UCI에서 제공하는 데이터를 사용하여 평가를 진행하였다. 사용된 데이터는 센서 기반 측정된 데이터로 데이터의 구성 상 온실 환경 및 작물 관련 데이터와 유사성이 있어서 사용을 하였다.  
(참조사이트: <http://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/Water+Treatment+Plant>)
- 모델링을 통한 알고리즘 평가 결과
  - 의사결정트리 - 모델 생성 속도가 매우 빠르고 트리 구조를 직접 확인할 수 있으며, 생성된 트리로부터 분류규칙을 추출할 수가 있다. 88% 이상의 정확도를 보였으며 일부 특정 클래스에서는 97%의 정확도를 보였다. 이는 사용한 데이터의 내부 구조 및 중요한 속성간 관계 파악을 하는데 유용한 정보를 제공할 수 있다.
  - 서포트 벡터 머신 - 모델 생성 속도가 의사결정트리에 비해서 다소 느리지만 여전히 84%정도의 정확도를 보여주고 있다. 알고리즘 특성상 사용된 데이터의 클래스 정보가 적을 시 더 높은 성능을 기대할 수 있다.
  - 인공 신경망 - 모델 생성 속도는 사용된 내부 함수의 특징으로 인해 가장 많은 시간을 소요하였지만 92% 정도의 가장 높은 정확도를 보여주었다. 이는 기타 연구에서 나타난 결과와 유사하였으나 다만 가독성이 떨어졌다.
- 모델링을 통한 알고리즘 평가 결과, 알고리즘 실행 속도 및 정확도 등을 고려하여 각각의 알고리즘의 장점을 살릴 수 있도록 동시에 세 알고리즘의 모델링 결과를 활용할 수 있는 앙상블 모델을 구축함. 즉 동일 데이터 입력 시 세 가지 모델이 동시에 모델링을 진행하고 세 가지 결과 중 voting 형태로 최상의 결과를 출력하였다.(그림 14).



[그림 14] 구축한 앙상블 형태의 분류/예측 모델

- 또한 알고리즘의 정확도를 유지하면서 모델링 속도를 제고하기 위하여 아래와 같은 새로운 알고리즘을 제안하였다. (그림 15)
- 모델링 준비 단계에서 훈련 데이터를  $n$  개의 동일한 데이터 셋으로 분할하였다.
- 각각의 데이터 셋을 이용하여 의사결정트리를 구축하였다.
  - 의사결정트리를 구축하기 위하여 속성별 엔트로피 지수 계산 및  $k$ 개의 우수 속성들 선택하였다.
  - 각각의 선택된  $k$ 개의 우수 속성들을 강제로 트리의 최상위 노드에 위치시키고 나머지 속성들을 이용하여 전체  $k$ 개의 트리를 구축하였다.
- 생성된  $k*n$ 개의 의사결정트리 집합들로부터 분류 규칙들을 추출하여 정확도에 의한 정렬 진행하였다.
- 주어진 임계치를 만족하는 최상의 분류 규칙들을 이용하여 분류 및 예측 진행하였다.



[그림 15] 제안한 새로운 분류/예측 알고리즘 설명도

**마. 온실 작물 데이터 게더링 및 전처리 진행, 필요한 속송에 대한 선택 진행**

- 충북대 농대 원예학과 연구실로부터 데이터 지원 받음, 데이터는 광질에 따른 생산과 2차 대사산물 (기능성물질) 위주의 결과 값들을 가지고 있다. 데이터에 대한 분석 및 자문 결과 광질이 가져다주는 영향을 온실 방물 토마토 데이터에도 반영을 하여 데이터를 지원 받기로 결정한다.
- 데이터 수집을 위한 실험 장소 및 방법
  - 실험 장소 : 식물공장 (2 × 4 m)
  - 온도 / 습도 / 이산화탄소 : 20°C / 60% / 1,000 ppm
  - 광주기 : 12 h (PM 12:00 ~ AM 12:00)
  - 광량 및 스펙트럼 : 파종 ~ 정식 전 (119  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}$ )/정식 후 초기 광량 평균  $151 \pm 4 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}$  (주 별 식물체가 받는 광량을 측정하여 균일하게 맞춰줌)
- 측정 항목
  - 1) Growth (매주 측정)
    - SPAD value
    - 엽형 지수 (엽장, 엽폭)
    - 지상부 및 지하부 생체중, 건물중 (지상부 건물중은 동결건조 후 분석)
    - 엽수, 엽면적 (LAI 계산)
  - 2) Secondary metabolism (매주 샘플링)

- HPLC (chlorogenic acid) & total phenolic contents : 동결건조 후 분석 (contents)
- mRNA : PAL or CHS

3) Photochemical value

- 2~3일 간격으로 동일 시간에 측정
- 광질이 처리가 변하는 시점에 형광 측정 (처리 후 4시간)
- 잎이 전개 정도에 따라 판단 후 측정

2. 온실 작물 생산량 예측모델 및 프로그램 개발

가. 국내 실 작물 재배 비닐온실 실측 데이터 전처리

- 충남 천안시 서북구 성거읍 송남리 3연동 플라스틱하우스
- 조사총면적 0.5 ha, 총 시설면적 4,624 m<sup>2</sup>, 총 재배면적 4,224 m<sup>2</sup> (세부정보는 표 7과 그림 16 참조)

[표 7] 천안 송남리 3연동 플라스틱하우스 세부 정보

주소	충남 천안시 성거읍 송남리 260
면적	SEC A: 2,494 m <sup>2</sup> (길이 92,98,98 m * 폭 26 m, 관리사 폭 8 m 포함) SEC B: 2,548 m <sup>2</sup> (길이 98 m * 폭 26 m, 관리사 폭 8 m 포함)
구조	SEC A: 측고 4 m, 폭 8 m, 천측창(랙피니온식), 내부측면커튼(상향식), 기둥간격 4.5 m, 방풍벽 1 m SEC B: 측고 6 m, 폭 8 m, 천창(push-bar), 측창(권취식), 내부측면커튼(상향식), 기둥간격 4 m
피복재	SEC A: PO(두께: 0.15 mm, 중량: 74.3 g/m <sup>2</sup> , 모델명: 테키나시5, 일본산) SEC B: PO(0.12 mm, 일산화학)
내부 차광 커튼(1중)	SEC A: XLS15F FIREBREAK(차광 50%, 보온 20%) SEC 4: PH 55FP OPEN(차광 55%, 보온 20%)
내부 보온 커튼(2중)	PH SUPER(차광 15%, 보온 47%)



[그림 16] 온실 내부 모습

- 수집한 온실 토마토 자료의 재배기간은 2013년 8월 1일부터 2014년 7월 31일까지이고, 2013년 9월 23일이 첫 수확일, 2014년 7월 3일이 마지막 수확일이다.
- 일별 온실 외부 누적광량, 주간평균온도, 야간평균온도, 일평균온도, 최고온도, 최저온도, 온실 내부 주간평균온도, 야간평균온도, 일평균온도, 최고온도, 최저온도, 습도, 수확량, 주간신장량, 줄기직경, 개화방과 성장점사이의 길이, 개화화방위치, 생산량 등 정보를 포함한다.
- 성장조사는 매주 월요일에 실시하였고 수확량은 매주 월요일과 목요일에 기록되었다.
- 샘플자료는 표 8에 제시하였고 세부적인 데이터 속성과 그에 대한 설명은 표 9에 제시하였다.



[표 8] 샘플데이터 예시(2013년 8월1일 ~ 7일)

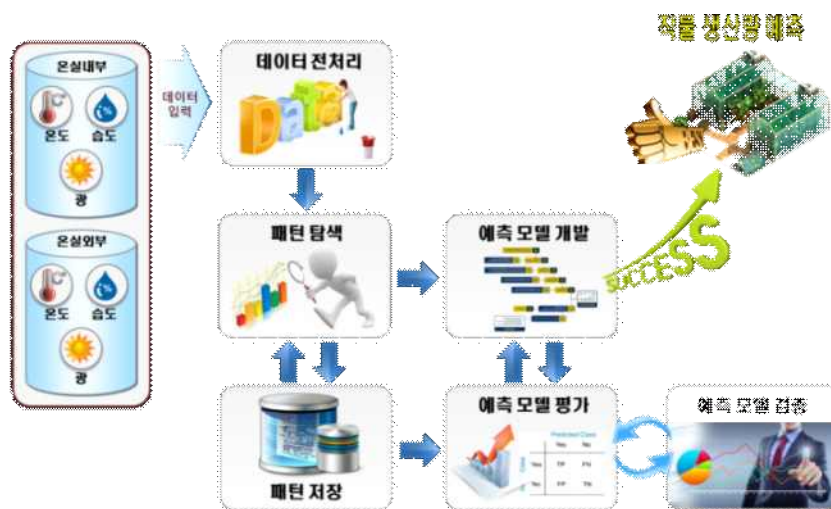
	속성	木	金	土	日	月	火	水	木
공 통	일 자(2013년~)	8-1	8-2	8-3	8-4	8-5	8-6	8-7	8-8
	일일 누적광량	1,712	2,098	1,193	1,315	1,675	1,943	1,907	...
	외부 주간평균 온도	29.5	27.6	30.6	27.4	28.2	30.0	31.4	...
	외부 야간평균 온도	26.0	26.5	24.9	25.5	25.8	24.7	27.3	...
	외부 일평균 온도	28.1	28.9	26.5	26.6	27.2	27.8	29.7	...
	외부 최고 온도	34.1	33.9	31.3	31.8	32.4	34.0	36.2	...
	외부 최저 온도	24.0	25.2	23.8	22.6	24.2	23.8	24.4	...
	SEC1 ,2	내부 주간평균 온도	30.1	31.0	31.6	30.8	31.6	34.5	35.2
내부 야간평균 온도		26.1	26.6	25.7	26.0	26.2	25.4	28.1	...
내부 일평균 온도		28.4	30.8	28.8	28.8	29.6	30.6	32.2	...
내부 최고 온도		34.4	40.0	38.1	38.1	40.7	42.7	43.1	...
내부 최저 온도		24.5	25.4	25.5	24.7	24.6	24.4	25.0	...
RH day		81.0	89.0	80.0	75.0	72.0	59.0	59.0	...
RH night		94.0	98.0	100.0	94.0	100.0	89.0	89.0	...
RH 24hr		87.0	80.0	93.0	83.0	90.0	72.0	72.0	...
RH 최고		97.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	93.0	...
RH 최저		62.0	44.0	60.0	49.0	55.0	39.0	37.0	...
SEC3 ,4	내부 주간평균 온도	32.3	30.4	34.1	30.2	30.9	33.2	34.3	...
	내부 야간평균 온도	26.8	27.2	25.9	26.0	26.3	25.6	27.8	...
	내부 일평균 온도	30.0	31.2	28.5	28.4	29.0	30.0	31.5	...
	내부 최고 온도	39.4	40.5	36.5	36.6	37.6	39.3	41.3	...
	내부 최저 온도	24.7	25.7	25.6	24.8	24.7	24.6	25.1	...
	RH day	79.0	84.0	81.0	83.0	81.0	84.0	88.0	...
	RH night	93.0	81.0	91.0	86.0	83.0	100.0	92.0	...
	RH 24hr	85.0	81.0	87.0	85.0	82.0	91.0	89.0	...
	RH 최고	97.0	95.0	63.0	98.0	96.0	100.0	100.0	...
	RH 최저	68.0	61.0	98.0	63.0	68.0	72.0	77.0	...
수확량		526				654		...	



[표 9] 수집된 데이터 속성

데이터 속성	단위	설명
일일 누적광량	J/cm <sup>2</sup>	스크린사용 누적광량은 본 모델과 관련 없음
외부 주간평균 온도	°C	주간과 야간의 구분은 일출과 일몰 기준
외부 야간평균 온도	°C	주간과 야간의 구분은 일출과 일몰 기준
외부 일평균 온도	°C	일 평균
외부 최고 온도	°C	주간 최고 온도
외부 최저 온도	°C	야간 최저 온도
내부 주간평균 온도	°C	주간과 야간의 구분은 일출과 일몰 기준
내부 야간평균 온도	°C	주간과 야간의 구분은 일출과 일몰 기준
내부 일평균 온도	°C	일 평균
내부 최고 온도	°C	주간 최고 온도
내부 최저 온도	°C	야간 최저 온도
RH day	%	내부 주간평균 습도
RH night	%	내부 야간평균 습도
RH 24hr	%	내부 일평균 습도
RH 최고	%	내부 최고 습도
RH 최저	%	내부 최저 습도
수확량	kg	매주 월요일, 목요일에 기록
주간 신장량	cm	일주일동안 키가 큰 길이
줄기 직경	mm	일주일 전 생장점 위치의 줄기직경, 마디에 걸릴 경우 바로 위를 측정
개화화방과 생장점사이의 길이	cm	생장점과 개화하고 있는 화방사이의 거리
개화화방위치		1화방이 다 만개하면 "1"로 표시, 꽃 한 개는 0.2, 2화방에 꽃이 2개피면 1.4

- 실측 데이터 기반 온실 최적화 예측 모델링 시나리오



[그림 17] 실측데이터 기반 예측 모델링 및 검증 시나리오

나. 온실 최적화 예측모델 개발을 위한 실측데이터 전처리

수집한 실측 작물 재배데이터의 생산량은 매주 월요일과 목요일에 기록되어있기 때문에 화, 수, 금, 토, 일요일 환경데이터에 대한 생산량 즉 목표값이 존재하지 않는 문제점이 있다.

이러한 문제해결을 위해 데이터 마이닝 기법 중의 하나인 데이터 총계(data aggregation) 방법을 이용하여 환경데이터를 각각 일주일 단위의 평균, 최대값, 최소값의 형태로 병합하여 그 실용성을 평가 하였다. 총계는 저수준 관점 대신에 고수준 관점을 제공하여 범위나 규모에 변화를 가져올 수 있고 객체나 속성 그룹의 행위보다 더 안정적이다.

	일일 누적광량_Mean	일일 누적광량_Min	일일 누적광량_Max	외부 주간평균 온도_Mean	외부 주간평균 온도_Min	외부 주간평균 온도_Max	외부 야간평균 온도_Mean	외부 야간평균 온도_Min
1	1655.429	948.000	2261.000	27.714	24.500	30.700	23.886	19.500
2	1508.143	810.000	2227.000	25.671	24.100	27.200	22.800	21.900
3	1617.714	629.000	2314.000	26.271	21.500	29.500	22.886	20.600
4	1620.286	698.000	2480.000	25.186	21.500	27.100	21.329	19.800
5	2136.957	1413.000	2502.000	25.029	23.300	26.800	20.700	19.300
6	1734.143	1017.000	2664.000	23.957	22.800	25.200	20.271	18.900
7	2024.571	1711.000	2463.000	22.743	21.600	23.800	18.843	18.000
8	1426.714	518.000	2559.000	22.771	19.300	24.900	16.986	0.000
9	2281.000	920.000	2660.000	23.714	20.700	26.500	18.100	15.000
10	2070.857	1017.000	2568.000	21.314	18.600	22.800	16.757	14.600
11	2153.571	1006.000	2567.000	20.071	17.400	21.700	15.014	13.400
12	2428.857	1562.000	2760.000	16.043	12.200	21.300	11.171	7.300
13	1538.571	452.000	2727.000	16.057	14.600	18.600	11.714	9.400
14	2071.714	1249.000	2313.000	18.186	16.500	20.700	12.229	10.100
15	1653.714	1093.000	2257.000	16.271	14.400	18.600	10.929	8.800

[그림 18] 데이터 총계 예시

총계된 데이터를 기반으로 각각 속성(요인)별로 작물 생산량에 미치는 영향을 조사하기 위하여 인공신경망을 이용하여 속성의 중요도를 평가함. 중요도가 1이면 강한 상관관계, 0이면 상관성이 없음을 의미 함. 그림 18과 같이 대부분 속성의 중요도는 0.99 이상으로 생산량과 밀접한 관계가 있음을 알 수 있고 따라서 데이터 총계 시 평균, 최대값, 최소값 중 어떠한 방법을 선택하여도 생산량 예측에 큰 변화가 없다는 결론을 도출함. 따라서 본 과제에서는 데이터 총계 시 평균을 취하여 사용한다.

Rank	Field	Type	Importance	Value
1	내부 야간평균 온도_Mean	Range	Important	1.0
2	내부 야간평균 온도_Max	Range	Important	1.0
3	내부 주간평균 온도_Max	Range	Important	1.0
4	내부 최저 온도_Mean	Range	Important	1.0
5	내부 최고 온도_Max	Range	Important	1.0
6	내부 최저 온도_Max	Range	Important	1.0
7	내부 주간평균 온도_Mean	Range	Important	1.0
8	내부 일평균 온도_Max	Range	Important	1.0
9	내부 일평균 온도_Mean	Range	Important	1.0
10	내부 최고 온도_Mean	Range	Important	1.0
11	내부 야간평균 온도_Min	Range	Important	1.0
12	내부 일평균 온도_Min	Range	Important	1.0
13	내부 주간평균 온도_Min	Range	Important	1.0
14	개화화방위치_Mean	Range	Important	1.0
15	개화화방위치_Max	Range	Important	1.0
16	내부 최저 온도_Min	Range	Important	1.0
17	내부 최고 온도_Min	Range	Important	0.999
18	RH night_Min	Range	Important	0.993
19	외부 최저 온도_Min	Range	Important	0.991
20	외부 최저 온도_Mean	Range	Important	0.99

Selected fields:34 Total fields available:60

> 0.95 + <= 0.95 < 0.9

[그림 19] 속성 중요도 평가 결과

실측 온실 내, 외부 작물 재배데이터는 연속적인 특성을 지니고 있어 유클리디안거리 기반 군집화 재현성 분석을 통하여 이상치를 검출하고 처리한다.

재현성 분석은 K-평균 군집화 기반의 이상치 검출 알고리즘으로 사용하기가 쉽고 이해하기가 쉬운 장점이 있고 동일한 메커니즘에서 생성된 독립적인 자료를 동일한 방식으로 군집화한 결과가 기존 군집화 결과와 유사하다면 재현성이 있는 것으로, 그렇지 않다면 재현성이 없는 것으로 판단한다.

실측 온실 작물 재배 데이터를 임의의 3개의 부분으로 분할하고 각각 데이터 1, 데이터 2, 데이터 3으로 표시하였다. 데이터 1과 2는 군집화를 하기 위한 훈련 데이터로, 데이터 3은 군집화 결과를 평가하기 위한 테스트 데이터로 사용한다.

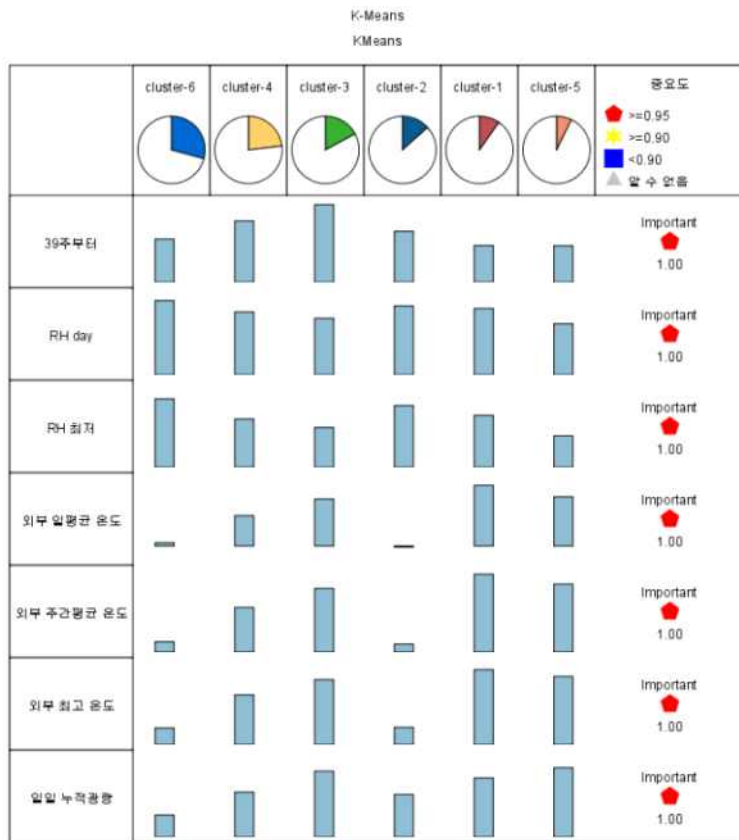
데이터 1과 2에 대하여 각각 군집화를 진행하고 생성된 군집화 모델은 모델 1, 모델 2라 정의하며 데이터 3을 모델 1과 2를 사용하여 군집화를 진행하였다. 결과적으로 데이터 3은 두 모델에 의해 각각 2개의 군집으로 분류된다.

데이터 3의 두 군집화 결과를 교차분류표로 평가하였다. 만약 생성된 두 군집화 모델이 일치하다면 생성된 교차분류표에서 행과 열은 강한 대응성을 보일 것이고 그렇지 않다면 행과 열의 대응성은 약하게 나타날 것이다.

강한 대응관계에서 벗어나는 데이터들을 잠정 이상치로 판단하고 처리 하였다. 표 4에 제시한 바와 같이 대각선에 셀에 위치한 부분은 1:1에 가까운 강한 대응관계를 나타내며 이는 재현성이 높음을 의미하고 그 외의 데이터들은 잠정 이상치로 분류를 할 수 있다 (그림 17 군집화 결과 시각화).

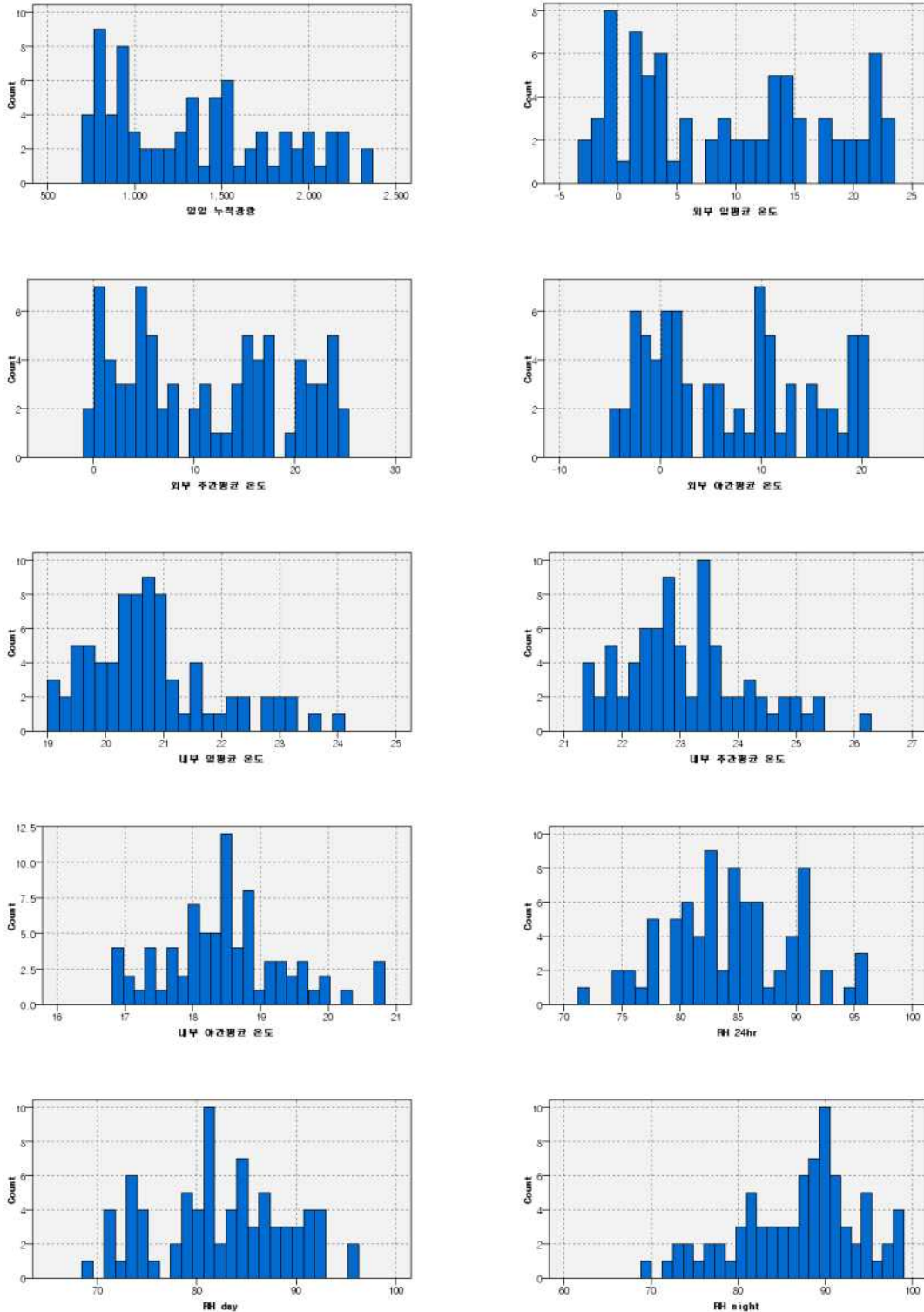
[표 10] 재현성 평가를 위한 교차분류표

군집개수= 6	모델 2						
		군집 1	군집 2	군집 3	군집 4	군집 5	군집 6
모델 1	군집 1	8	0	0	0	0	0
	군집 2	0	11	0	0	0	0
	군집 3	0	4	14	0	1	0
	군집 4	0	0	0	19	0	0
	군집 5	2	0	0	0	3	0
	군집 6	0	0	0	0	0	24



[그림 20] 이상치 탐지를 위한 군집분석 결과

이상치 제거 후 일일누적광량, 외부일평균온도, 외부주간평균온도, 외부야간평균온도, 내부일평균온도, 내부주간평균온도, 내부야간평균온도, 일평균습도, 일주간평균습도, 일야간평균습도에 대한 데이터 분포를 탐색하여 각 속성별 기본특성을 파악하고 정제된 데이터를 검증 한다.



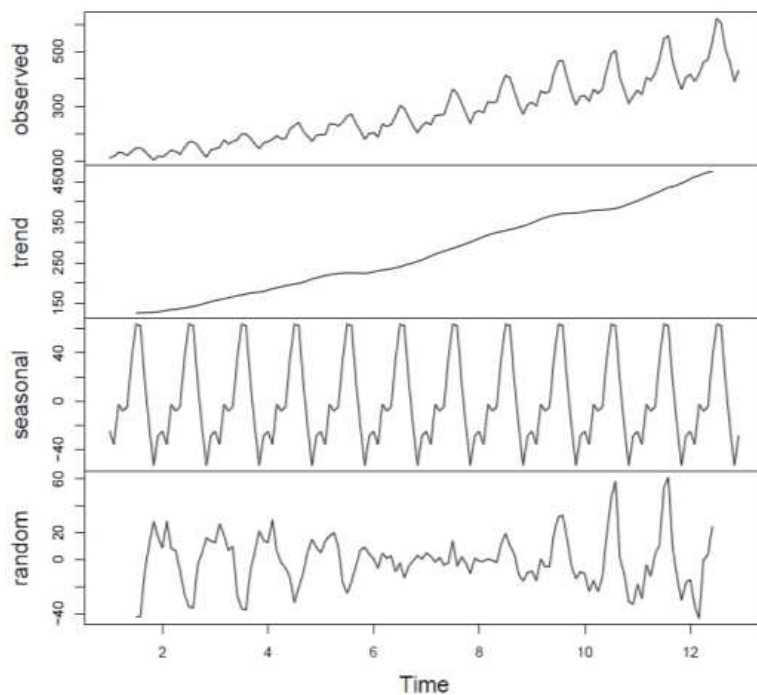
[그림 21] 주요 속성 별 히스토그램

수확일을 포함한 3, 4일전의 데이터 평균을 구하여 새로운 입력 파라미터로 사용한다.

Item	Unit	11-24	11-25	11-26	11-27	11-28	11-29	11-30	12-1	12-2	F1	F2
양 차(2013년~)	mm	727	681	694	253	961	880	964	848	848	698	890
외부 주간평균 온도	°C	10.1	7.4	4.2	0.9	-0.7	1.8	5.2	6.4	4.1	1.466666666	4.375
외부 야간평균 온도	°C	9.1	2.4	1.8	-2.9	-1.8	-1.4	3.4	-0.4	2.3	-0.9	0.975
외부 일평균 온도	°C	9.5	4.5	2.8	-1.3	-1.2	-0.1	4.2	2.4	2.4	0.1	2.225
외부 최고 온도	°C	14.3	8.7	6.7	4.3	1.4	4.8	9.9	10.0	10.0	4.133333333	8.675
외부 최저 온도	°C	2.3	-1.5	-1.5	-5.3	-3.2	-3.8	-2.4	-3.7	-3.7	-3.333333333	-3.39
내부 주간평균 온도	°C	22.9	20.5	21.7	18.5	22.0	22.2	22.7	22.5	22.1	20.93333333	22.375
내부 야간평균 온도	°C	19.0	18.3	18.4	18.2	18.4	18.4	18.9	18.3	18.9	18.33333333	18.625
내부 일평균 온도	°C	20.6	19.2	19.8	18.3	20.2	20.0	20.5	20.0	20.0	19.43333333	20.125
내부 최고 온도	°C	27.2	23.9	28.0	21.4	28.2	25.3	26.1	25.9	25.9	25.86666666	25.8
내부 최저 온도	°C	17.7	17.1	17.2	15.7	17.8	17.6	18.0	17.6	17.6	16.9	17.7
RH day	%	98.0	92.0	100.0	99.0	97.0	86.0	86.0	85.0	84.0	98.66666666	85.25
RH night	%	90.0	96.0	98.0	97.0	96.0	79.0	79.0	78.0	78.0	97	78.5
RH 24hr	%	92.0	95.0	99.0	98.0	97.0	82.0	82.0	81.0	81.0	98	81.5
RH 최고	%	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	90.0	91.0	91.0	100	93
RH 최저	%	77.0	78.0	78.0	78.0	79.0	76.0	77.0	76.0	76.0	78.33333333	76.25
내부 주간평균 온도	°C	19.5	18.8	18.7	16.7	19.8	20.3	20.7	20.4	20.2	18.43333333	20.4
내부 야간평균 온도	°C	14.6	15.2	14.9	15.2	14.9	15.0	15.9	15.3	15.7	15	15.475
내부 일평균 온도	°C	16.7	16.7	16.5	15.8	17.0	17.2	17.9	17.4	17.4	16.43333333	17.475
내부 최고 온도	°C	24.0	22.9	24.1	19.1	24.5	24.9	24.6	25.2	25.2	22.56666666	24.975
내부 최저 온도	°C	12.9	13.9	13.5	12.2	13.9	13.7	14.9	14.6	14.6	13.2	14.45
RH day	%	85.0	85.0	96.0	96.0	95.0	95.0	96.0	95.0	96.0	95.66666666	95.5
RH night	%	89.0	92.0	96.0	96.0	96.0	97.0	96.0	96.0	96.0	96	96.25
RH 24hr	%	87.0	89.0	96.0	96.0	96.0	96.0	96.0	96.0	96.0	96	96
RH 최고	%	92.0	98.0	98.0	99.0	98.0	98.0	98.0	98.0	98.0	98.33333333	98
RH 최저	%	78.0	80.0	88.0	83.0	89.0	87.0	92.0	91.0	91.0	90.33333333	90.25
수확일	kg		2241			1833				2003	1833	2003

[그림 22] 실측데이터 전처리 과정

작물재배 데이터의 경우 시계열 정보를 포함하고 계절적인(seasonal) 특성을 지니고 있어 작물 생산량 예측모델에 직접 적용할 시 모델링 정확도의 감소를 초래한다. 즉, 그림 22와 같이 환경요인으로부터 받는 영향 외에 작물의 생산량은 특정한 추세(trend)를 포함하고 있어 이를 제외하는 데이터 전처리가 필요하다.

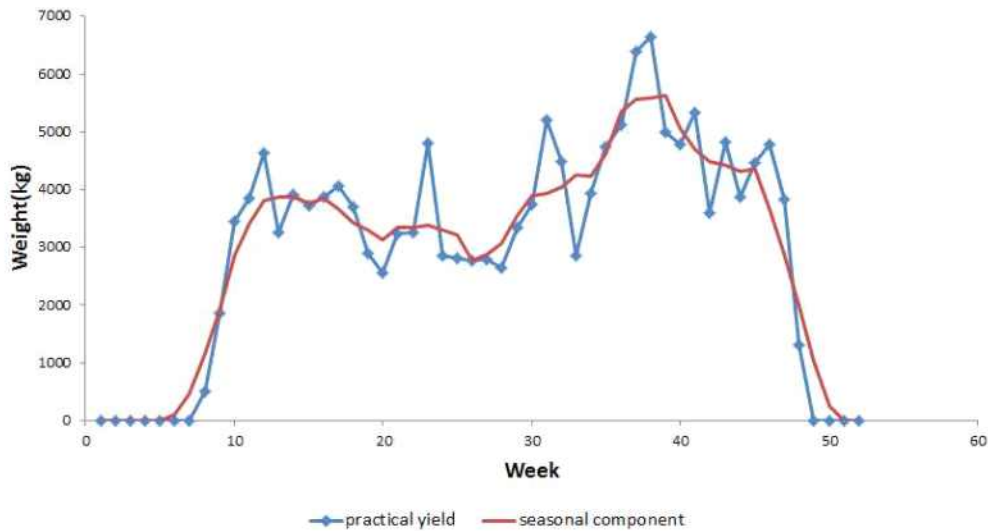


[그림 23] 시계열 데이터 성분 예시

성분분석(Component analysis)을 통하여 온실 토마토 재배 데이터를 사전분석하고 trend에



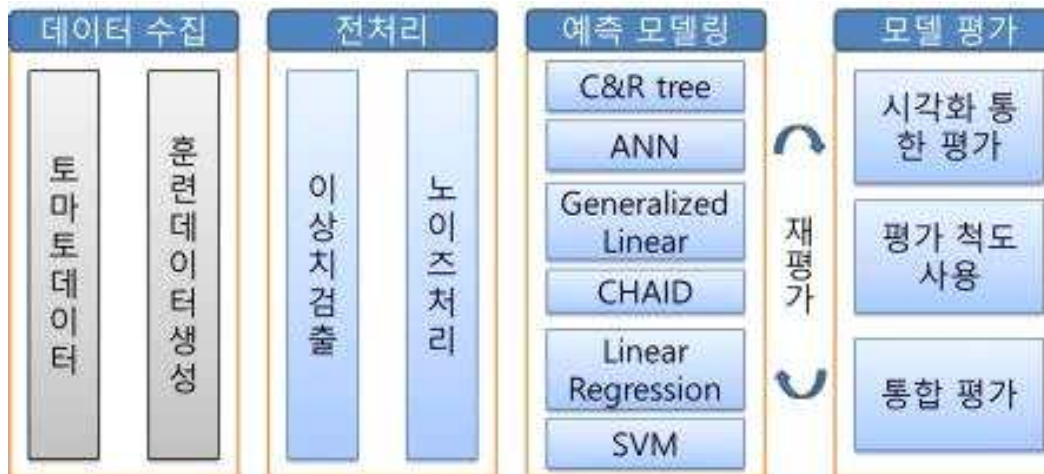
영향을 미치지 않는 성분을 추출한다. (그림 24, 파란색 선은 실제 생산량, 빨간색 선은 seasonal 성분을 나타냄).



[그림 24] 온실토마토 재배데이터 Seasonal 성분

다. 실측 데이터를 이용한 생산량 예측 모델링 알고리즘 비교분석 및 최적화 예측모델링 방법

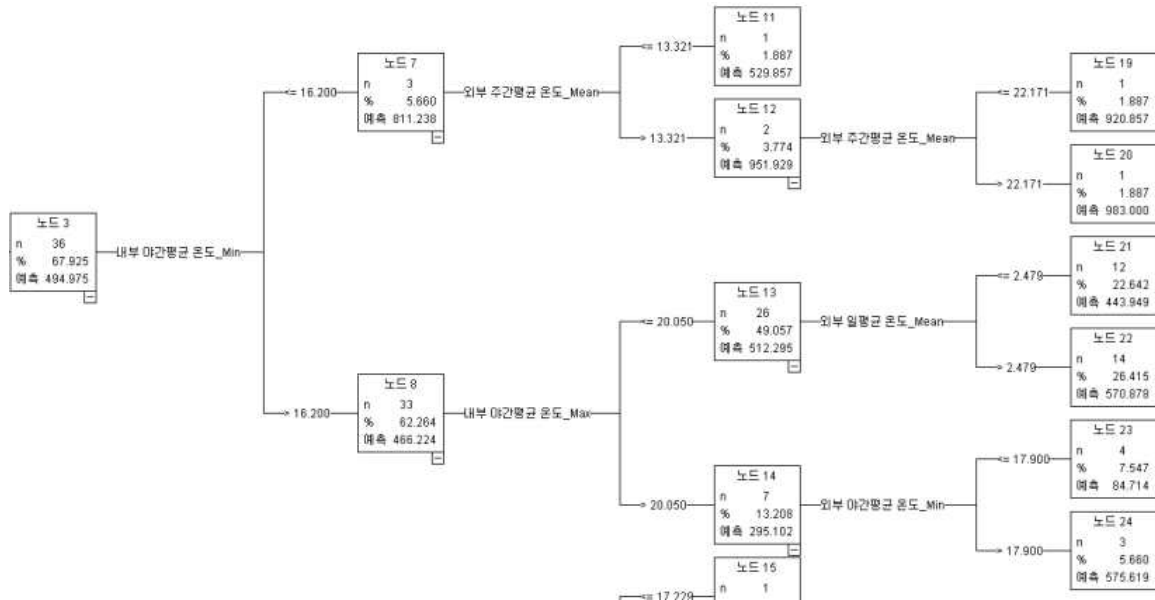
- 작물재배 데이터 예측모델링 알고리즘 선별 프레임 워크



[그림 25] 예측모델링 알고리즘 비교분석 및 선별 프레임워크

본 과제에서는 대용량 데이터베이스에서 의미 있는 패턴이나 예측모델링을 수행 할 수 있는 데이터 마이닝의 대표적인 기법이면서 최근 들어 널리 사용되고 있는 C&R tree, 인공신경망 (ANN), Generalized Linear, CHAID, 선형회귀모형(Linear Regression), 지지도벡터기계 (SVM)를 후보 모델링 알고리즘으로 선별한다.

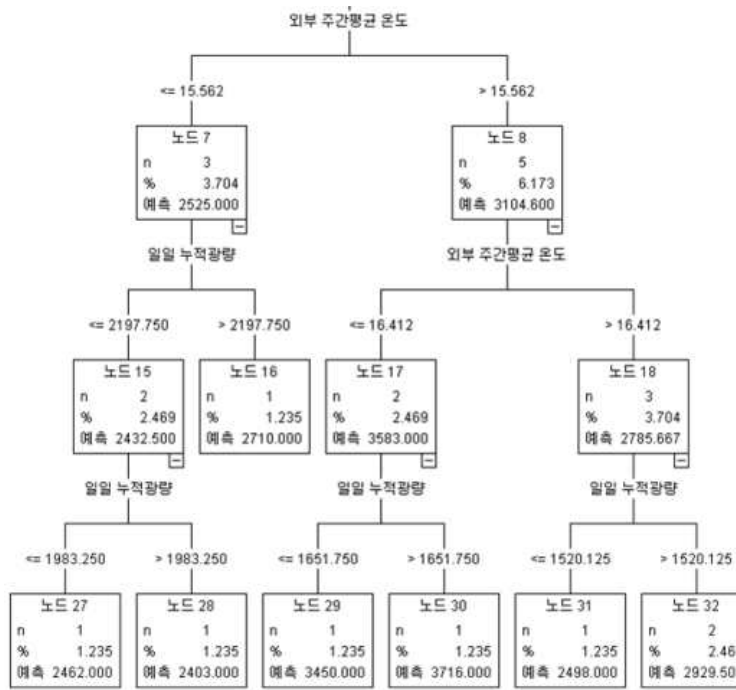
C&R tree는 의사결정 나무를 형성하는데 있어서 가장 보편적으로 쓰이는 알고리즘 중 하나로써 목표변수에 대해 지니지수(gini index)를 분리기준으로 사용하여 이진분리를 수행 하였다. 지니지수는 각 자식노드에서의 불순도를 측정하기 위한 척도로써 값이 작을수록 클래스에 따른 속성의 분포가 비대칭적으로 편향된다. 즉 부모 노드로부터 자식 노드로 분리되었을 때 불순도가 가장 작게 해주는 목표 변수를 분할 기준으로 사용하였다. C&R tree는 예측 모델의 생성 결과를 나무 구조로 표현하기 때문에 결과해석에 용이한 장점을 가지고 있으며 하향식 방법을 적용한 대표적인 예측기법이다.



[그림 26] C&R tree 작물생산량 모델링 적용 예시

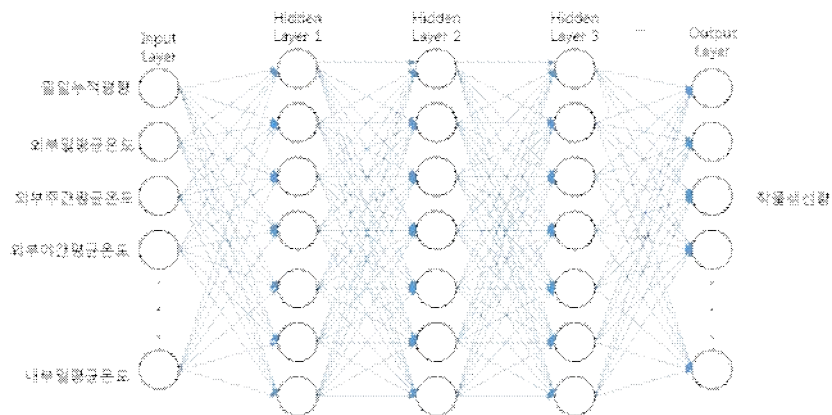
CHAID는 두 개 이상의 변수들 사이의 독립성 여부를 검정하기 위한 Pearson 카이제곱 검정 통계량을 사용하여 전체 데이터 집합을 둘 이상의 자식노드로 반복적으로 분할하면서 예측을 진행하는 기법이다. 카이제곱 통계량은 각 범주의 관찰빈도와 기대빈도의 차이를 제공하여 이 값을 다시 기대빈도로 나눈 후 이를 합한 값이다. CHAID 기법도 의사결정트리의 한 종류임으로 C&R tree 결과와 비슷한 형태를 가진다(그림 27).





[그림 27] CHAID 작물생산량 모델링 적용 예시

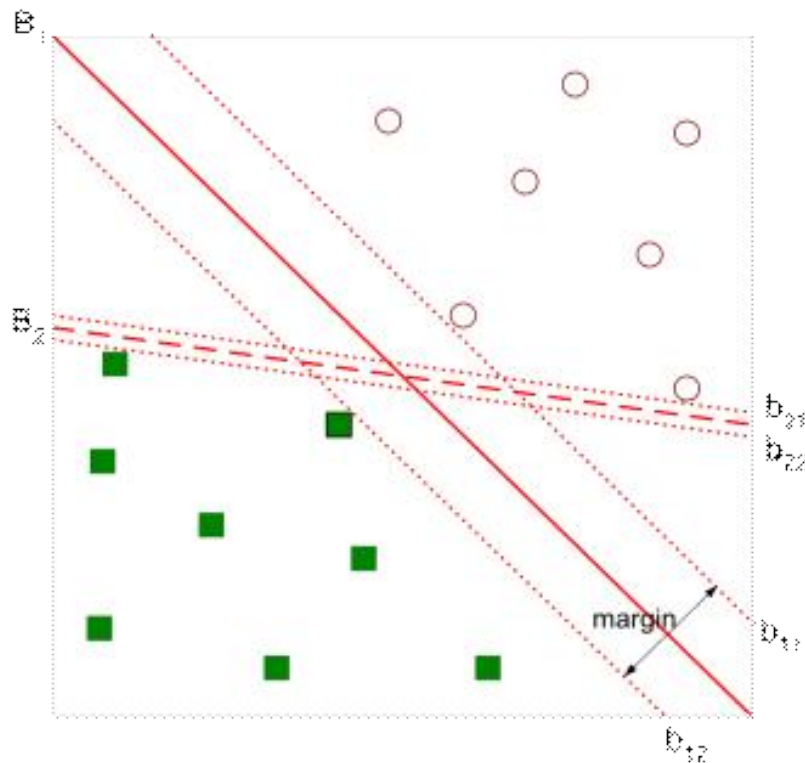
인공신경망은 복잡한 구조를 가진 자료에서 예측문제를 해결하기 위해 사용되는 유용한 비선형 모형으로 다양한 분야에서 신뢰성 높은 결과를 보여줌. 이러한 신경망은 생물의 신경체계를 따라 하려는 시도에 의해서 시작되었고 인간의 두뇌를 모델로 한 분석 방법이다. 신경망 중에서도 가장 단순한 퍼셉트론(perceptron)은 최초로 학습기능을 갖춘 것으로 복잡한 수학 연산을 진행 할 수 있다. 퍼셉트론은 복잡한 수학 연산을 수행하는 단층 순방향 신경망이지만 입력과 출력계층 사이에 여러 중간 단계의 계층을 포함 할 수 있고 이러한 중간 단계를 은닉계층이라 한다. 신경망은 데이터 잡음에 견고(robust)하며 훈련되지 않은 데이터의 패턴을 예측 할 수 있으며 입력속성과 출력속성 사이의 관계에 대한 지식이 거의 없을 때에도 서로의 관계를 찾아줄 수 있다 (그림 27).



[그림 28] 인공신경망 작물생산량 모델링 적용 예시

회귀분석과 Generalized Linear은 입력속성과 출력속성간의 영향력의 크기를 수학적 관계식으로 추정하고 예측하는 기법이다. 선형회귀 분석의 종류는 하나의 독립변수만 가지고 종속변수를 예측하기 위한 단순 선형회귀분석과 여러 개의 독립변수들을 가지고 종속변수를 예측하기 위한 회귀모형을 생성하는 다중 선형회귀 분석이 있다. 본 과제에서는 다중 선형회귀 모형을 이용하여 온실최적화 예측모델링을 수행한다.

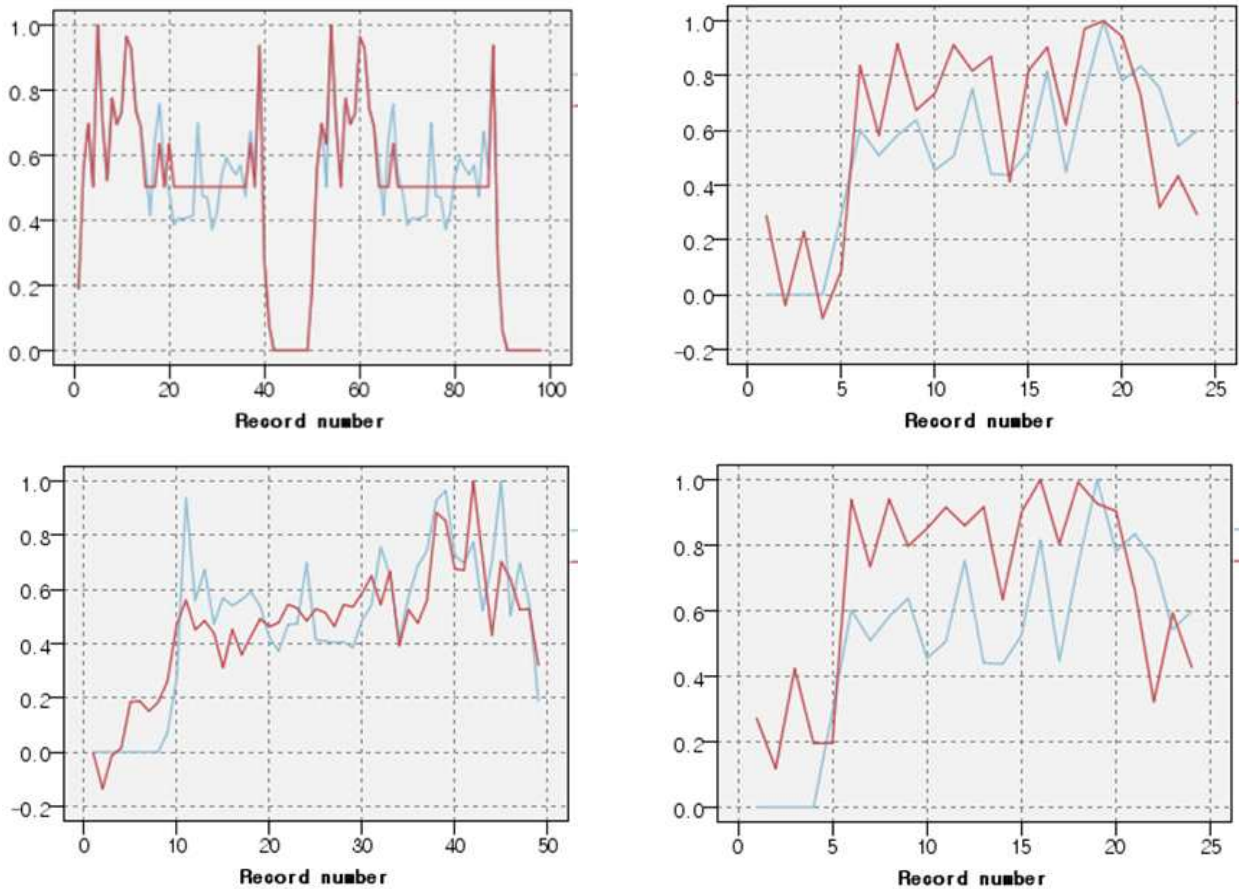
SVM (Support vector machine)은 2개의 범주를 분류하는 이진 분류기로 속성들은 그림 14와 같은 vector공간에 vector로 표시된다. 벡터 범주를 기준으로 바깥으로 위치한 벡터들의 연결선으로 이루어진 닫혀진 다각형을 convex hull이라고 하며 convex hull안의 벡터들은 그룹을 분류하는 데 그다지 큰 영향을 미치지 않는다. 그룹을 분류하는 선, 면을 hyperplane이라고 하며 그림에서 보는 것처럼 그룹을 나눌 수 있는 hyperplane은 무수히 많이 존재 할 수 있다. 그러나 직관적으로 그룹들의 convex hull에 속한 벡터들 중 가장 가까운 벡터와 수직거리로 가장 먼 거리를 가진 hyperplane이 두 그룹을 효과적으로 분류할 것이며 이와 같은 hyperplane을 maximum hyperplane이라고 부르고 이때 가장 가까운 벡터들을 support vector라고 한다. hyperplane이 재조정 될 때는 support vector역시 재계산 되어야 하고 hyperplane은 선형 또는 비선형 모든 형태로 표현이 가능하며 일정 수식의 방정식으로 표현이 가능하기 때문에 간단한 수식으로 두 그룹을 분류할 수 있다(그림 28).



[그림 29] 지지도벡터기계 작물 생산량 모델링 적용 예시

총계기법으로 전처리를 진행한 주 단위 생산량 데이터를 기준으로 C&R tree, 회귀모형, Generalized Linear, 인공신경망 기법을 이용하여 작물 생산량 예측 모델링을 수행하였다. 그림에서 빨간선은 예측된 생산량, 파란선은 실제 생산량, x축은 주(weeks), y축은 normalized 된 생산량 값을 나타낸다. 그림과 같이 C&R tree의 예측정확도가 가장 높았고 회귀모형과 인

공신경망의 예측모델링 결과는 실제 생산량과 다소 차이가 있다 (그림 29).

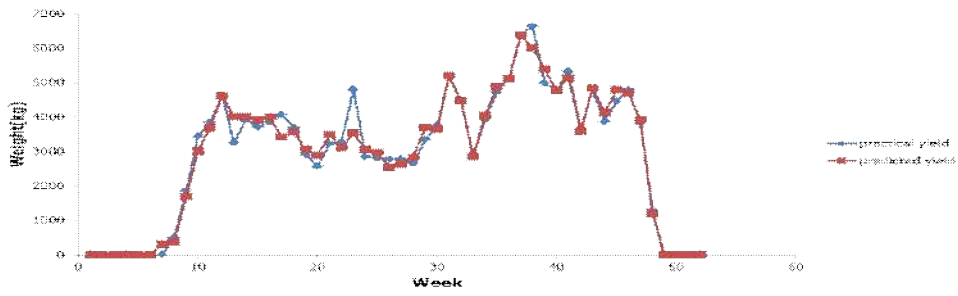


[그림 30] 주 단위 작물 생산량 예측 모델링 결과

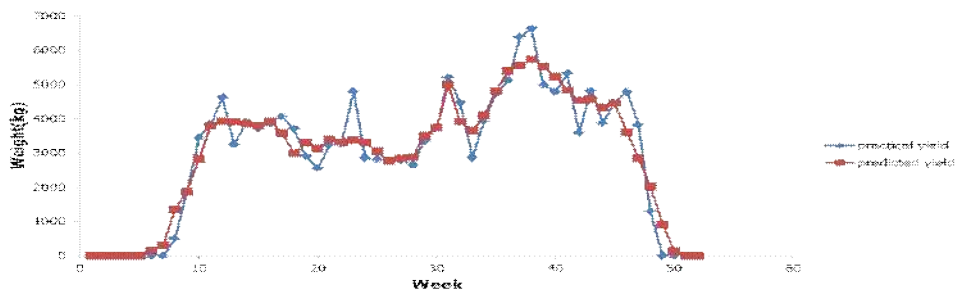
(상단좌측: C&R트리, 상단우측: 회귀모형, 하단좌측: Generalized Linear, 하단우측: 인공신경망)

수확일을 포함한 3, 4일전 데이터 평균값을 기반으로 구축된 정제된 데이터를 이용하여 C&R tree, 회귀모형, 지지도벡터기계, 인공신경망 기법을 이용하여 작물 생산량 예측 모델링을 각각 수행하였다. 그 결과 C&R 트리가 94.9%의 정확도로 가장 좋은 성능을 보였고, 그 다음으로 회귀모형 87.7%, 지지도벡터기계 87.6%, 인공신경망 86.4%의 정확도를 보였다. 그림 30에서 파란선은 실제 생산량, 빨간선은 예측된 생산량, x축과 y축은 각각 주(week)와 생산량을 나타낸다. 그림과 같이 C&R 트리의 모델링 결과는 몇 개의 peak점을 제외하고 거의 실제 생산량과 비슷한 예측을 할 수 있었고, 타 알고리즘도 C&R 트리에 비하여 정확도는 조금 낮기는 하나 비교적 안정적인 예측모델링을 수행 할 수 있었다.

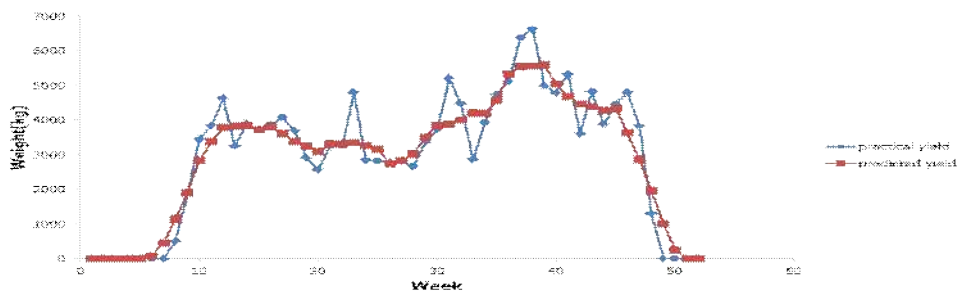
(a) C&R tree



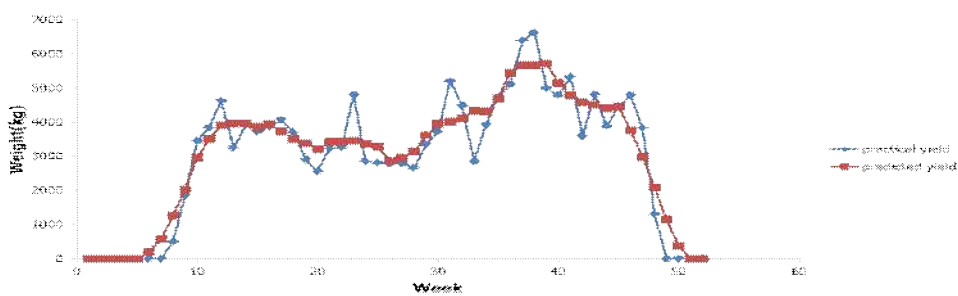
(b) 회귀모형



(c) Generalized Linear

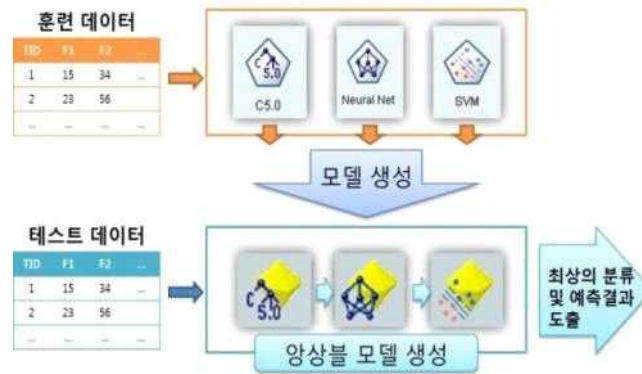


(d) 인공신경망



[그림 31] 수확일 포함 3,4일전 평균값 데이터 기반 예측 모델링 결과

모델링을 통한 알고리즘 평가 결과, 알고리즘 실행 속도 및 정확도 등을 고려하여 1차년도에 개발한 앙상블 모델을 이용하여 실측데이터에 대한 모델링을 수행한다. 즉 동일 데이터 입력 시 세 가지 모델이 동시에 모델링을 진행하고 세 가지 결과 중 voting 형태로 최상의 결과를 출력한다 (그림 31).

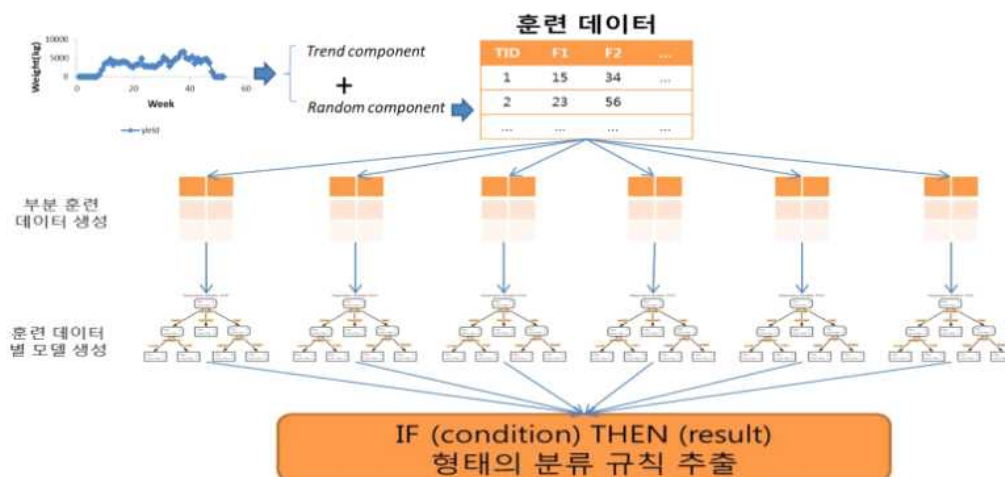


[그림 32] 구축한 앙상블 형태의 분류/예측 모델

또한 알고리즘의 정확도를 유지하면서 모델링 속도를 제고하기 위하여 1차년도에 개발한 알고리즘을 실측데이터에 적용 가능한 형태로 수정하고 그 성능을 평가한다. (그림 32)

모델링 준비 단계에서 훈련 데이터를 n 개의 동일한 데이터 셋으로 분할하고 각각의 데이터 셋을 이용하여 의사결정트리를 구축하고 의사결정트리를 구축하기 위하여 속성별 엔트로피 지수 계산 및 k개의 우수 속성들 선택하며 각각의 선택된 k개의 우수 속성들을 강제로 트리의 최상위 노드에 위치시키고 나머지 속성들을 이용하여 전체 k개의 트리를 구축한다.

생성된 k\*n개의 의사결정트리 집합들로부터 분류 규칙들을 추출하여 정확도에 의한 정렬 진행하고 주어진 임계치를 만족하는 최상의 분류 규칙들을 이용하여 분류 및 예측 진행한다.

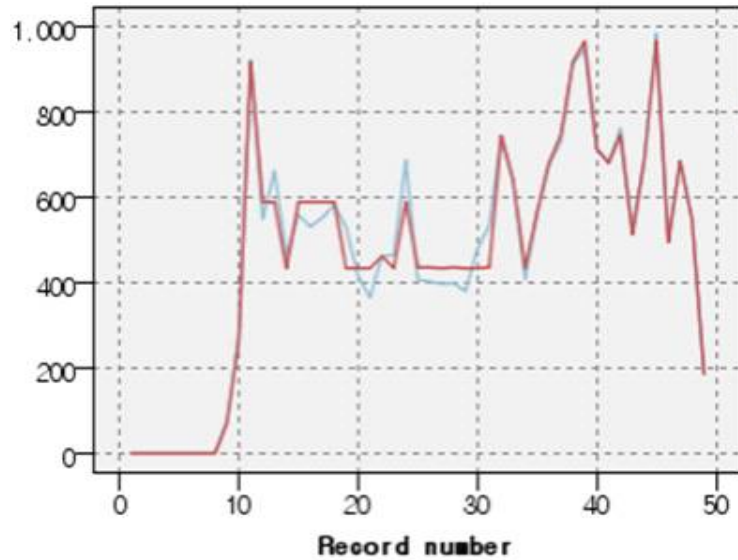


[그림 33] 실측데이터 처리를 위한 새로운 분류/예측 알고리즘 설명도

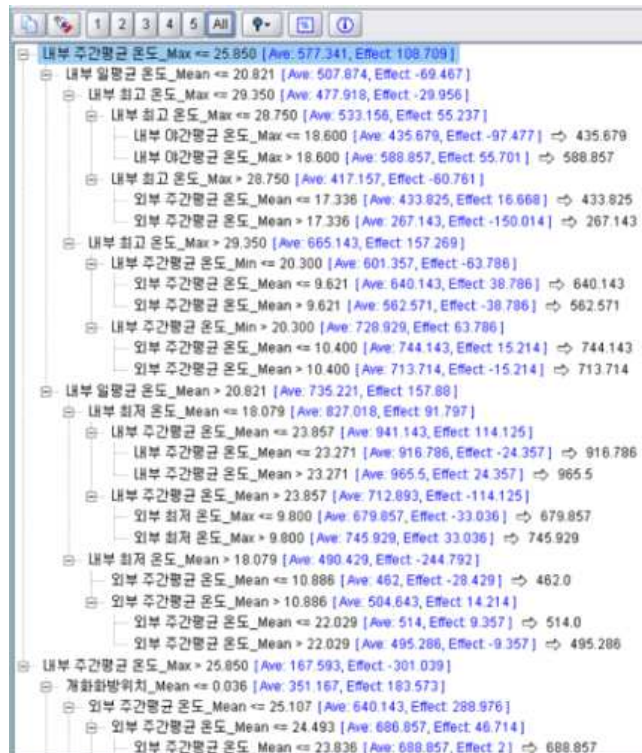
실측 데이터에 적용한 예측결과는 그림 33에 나타내었다. 그림에서 보이듯이 앙상블 예측 모델에서도 C&R트리와 마찬가지로 높은 예측 정확도를 획득할 수 있었다. 새로운 분류/예측 알



고리즘의 결과로 생성된 IF-THEN 형식의 분류규칙을 그림 20과 같이 나무구조로 가시화하였다. 규칙의 해석은 나무구조의 root노드에서 시작하여 하나의 leaf노드까지의 규칙을 종합한 결과로 볼 수 있다. 예를 들면, 내부주간평균온도  $\leq 25.850$ , 내부일평균온도  $\leq 20.821$ , 내부최고온도  $\leq 28.750$ , 내부야간평균온도  $\leq 18.600$  이면 생산량이 약 435.679임. 또 내부주간평균온도  $\leq 25.850$ , 내부일평균온도  $\leq 20.821$ , 내부최고온도  $\leq 28.750$  이면서 내부야간평균온도가 18.600보다 큰 경우, 생산량은 약 588.857로 나타낸다.



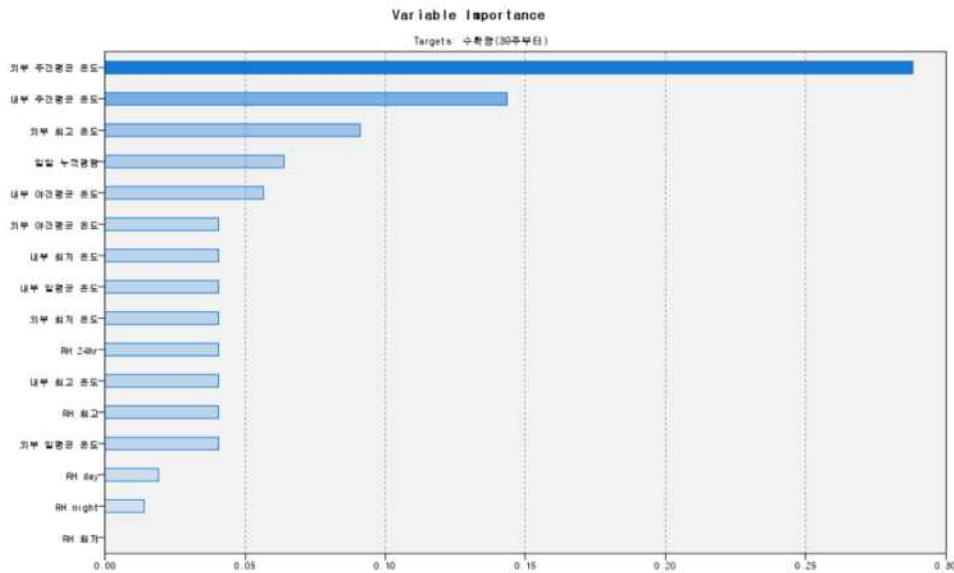
[그림 34] 실측데이터 기반 앙상블 예측모델링 결과



[그림 35] IF-THEN 규칙 형태의 가시화

## 라. 통계적 기법을 이용한 예측 모델 평가 및 최적화

우선, 정확도가 가장 높은 C&R tree 예측모델 구축과정에서 각각의 요인이 예측모델에 미치는 영향을 속성중요도를 이용하여 평가하였다. 그림 35은 속성별 중요도를 퍼센트화하여 보여 줌. 즉, 전체 예측모델구축과정에서 모든 속성들의 중요도 합을 100%라 할 때 외부주간평균온도는 약 28%, 내부주간평균온도는 약 14%의 영향을 주었다고 볼 수 있다.



[그림 36] C&R tree 모델 구축과정에서의 속성 별 중요도

Build time, No. of features used, correlation, relative error 등 통계적 척도기반 예측 모델링 알고리즘 평가를 수행하였다. Build time(BT): 알고리즘별 모델링 시간, No. of features used(Field No.): 모델링에 사용된 환경 변수 개수, Correlation: 사용된 환경 변수와 수확량 사이의 상관관계 강도, Relative error(R. Error):  $(\text{predicted} - \text{actual}) / \text{actual}$ , predicted는 예측값, actual은 실제값을 나타낸다. 다음 표에서 볼 수 있듯이 모든 알고리즘의 모델링 수행시간은 1분미만으로 만족스러운 결과를 얻었고 C&R tree의 상대적 오류율이 타 알고리즘에 비해 현저히 낮았다.

[표 11] 시간 속성을 고려한 모델링 평가

Model	BT(mins)	Correlation	Filed No.	R. Error
C&R tree	< 1	0.95	17	0.097
GenLin	< 1	0.708	17	0.499
CHAID	< 1	0.695	4	0.516
LinReg	< 1	0.647	17	0.581
SVM	< 1	0.566	17	0.958
NN	< 1	0.495	17	0.785

[표 12] 시간 속성을 고려하지 않은 모델링 평가

Model	BT(mins)	Correlation	Filed No.	R. Error
C&R tree	< 1	0.93	16	0.135
CHAID	< 1	0.695	4	0.516
LinReg	< 1	0.646	16	0.583
GenLin	< 1	0.646	16	0.583
NN	< 1	0.55	16	0.715
SVM	< 1	0.516	16	0.963

C&R tree, 회귀모형, SVM, 인공신경망을 각각 50개의 서로 다른 테스트 실측데이터에 적용하여 예측 정확도를 추정하였다. 알고리즘 별 예측정확도 차이의 통계적 유의성을 검증하기 위하여 대응표본 t-검정을 이용하여 정확도 평균의 차이를 95%의 신뢰구간에서 검증하였다. 표 11과 같이 모든 p-value는 0.001 이하로 관측한 예측모델링 알고리즘사이의 차이는 통계적으로 유의미하다.

[표 13] t-검정을 이용한 예측모델정확도 차이 유의성 검증

		대응표본 검정								
		대응자			차이의 95% 신뢰구간		t	자유도	유의확률 (양측)	
		평균	표준편차	평균의 표준오차	하한	상한				
대응 1	CRTREE - 회귀모형	7.20972200	.14047043	.01986552	7.16980075	7.24964325	362.926	49	.000	
대응 2	CRTREE - SVM	7.27866580	.16258712	.02299329	7.23245905	7.32487255	316.556	49	.000	
대응 3	CRTREE - 인공신경망	8.48463880	.15225385	.02153195	8.44136873	8.52790887	394.049	49	.000	
대응 4	회귀모형 - SVM	.06894380	.14377376	.02033268	.02808375	.10980385	3.391	49	.001	
대응 5	회귀모형 - 인공신경망	1.27491680	.13779510	.01948717	1.23575587	1.31407773	65.423	49	.000	
대응 6	SVM - 인공신경망	1.20597300	.14689856	.02077459	1.16422489	1.24772111	58.050	49	.000	

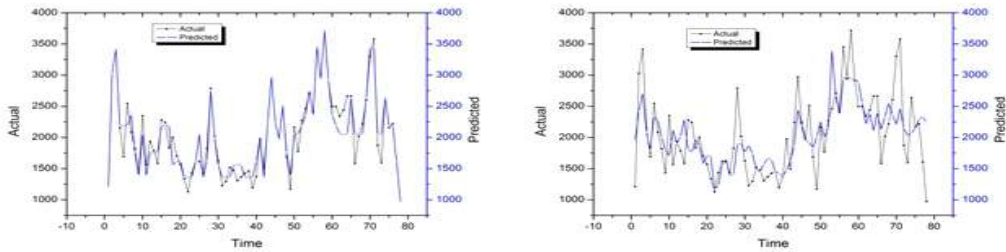
마. 작물 생산량 예측모델링 결과

- C&R tree모델이 주 단위, 수확일 포함 3,4일전 평균 단위 등 다양한 모델링 결과에서 가장 높은 정확도를 보였으며 트리구조를 시각화하면 쉽게 모델을 파악할 수 있다는 장

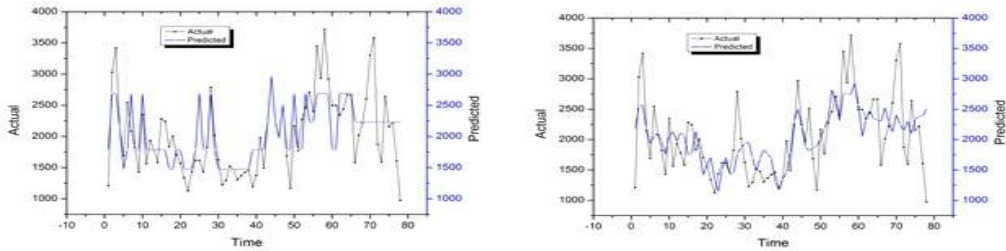


점을 가지고 있다.

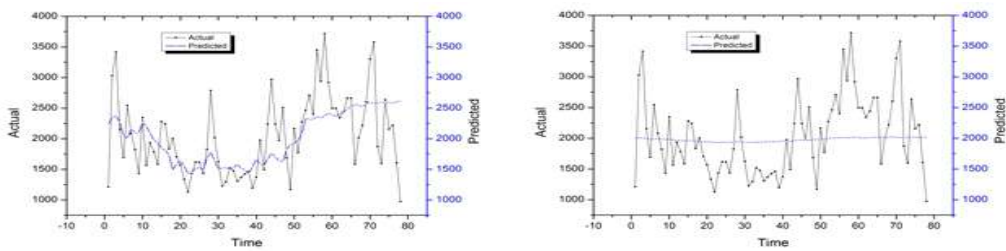
- IF...THEN 형식의 규칙을 추출하여 쉽게 이해하고 활용할 수 있다.
- 실제 데이터를 원형 그대로 이용하여 예측을 위한 KNN 알고리즘도 모델링에 추가 사용 가능하고 입력 데이터와 가장 근접한 데이터를 데이터베이스에서 추출하여 예측을 진행한다.
- 가장 많이 활용되고 있는 의사 결정트리를 이용하여 C&R 트리에서 추출한 예측 규칙과 비교 검증 제공한다.
- 시간속성을 고려한 모델링과 고려하지 않은 최종 예측모델링 결과는 그림 36와 37에 나타난다.



(a) C&R tree(left) & Generalized Linear(right)

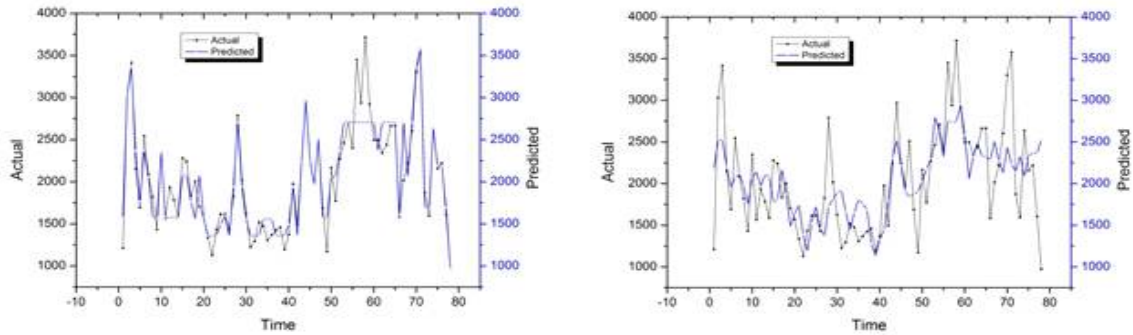


(b) CHAID(left) & Linear Regression(Right)

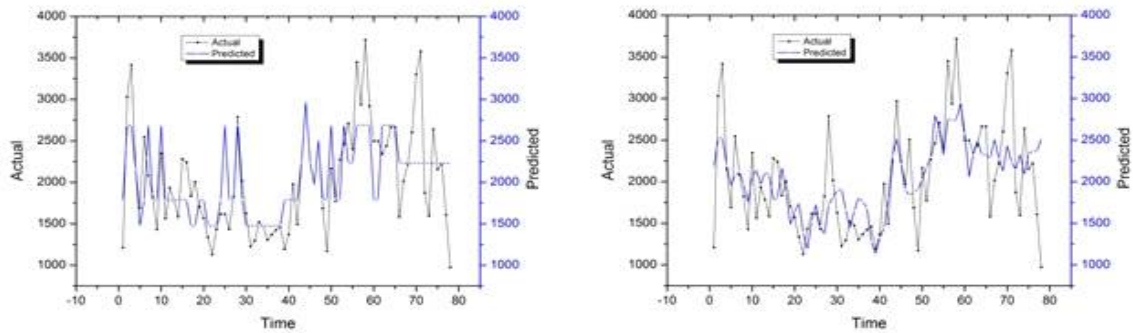


(c) Neural Netwo가(left) & SVM(right)

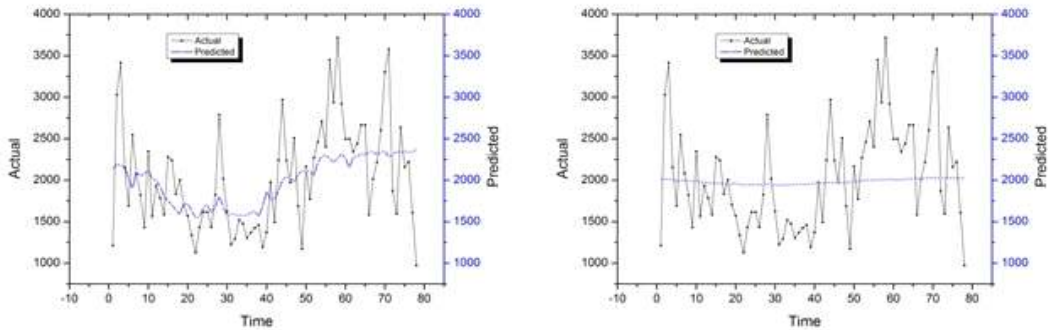
[그림 37] 그래프를 이용한 알고리즘별 예측 평가 (시간속성 고려)



(a) C&R tree(left) & Generalized Linear(right)



(b) CHAID(left) & Linear Regression(Right)



(c) Neural Network(left) & SVM(right)

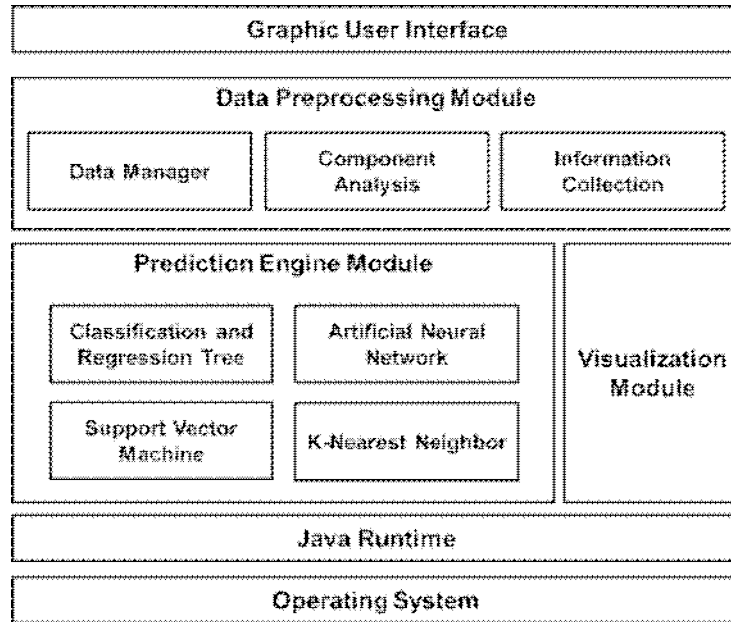
[그림 38] 그래프를 이용한 알고리즘별 예측 평가 (시간속성 미고려)

## 바. GUI기반 온실 작물생산량 예측 프로그램 구축

### (1) 온실 작물생산량 예측모델 설계

- 사용자 편의성 및 확장성을 고려하여 예측모델 구축에 이용되는 데이터를 사용자가 직접 입력할 수 있도록 설계한다. 단, 입력데이터의 포맷은 지정된 표준에 부합하여야 한다.
- 데이터 맞춤형 예측모델링을 위하여 Classification and Regression Tree, 회귀모형, 인접 이웃분류기 (K-nearest neighbor), C4.5 의사결정트리 등 다양한 모델링 알고리즘을 포함하여 사용자가 선택 가능하게 한다.

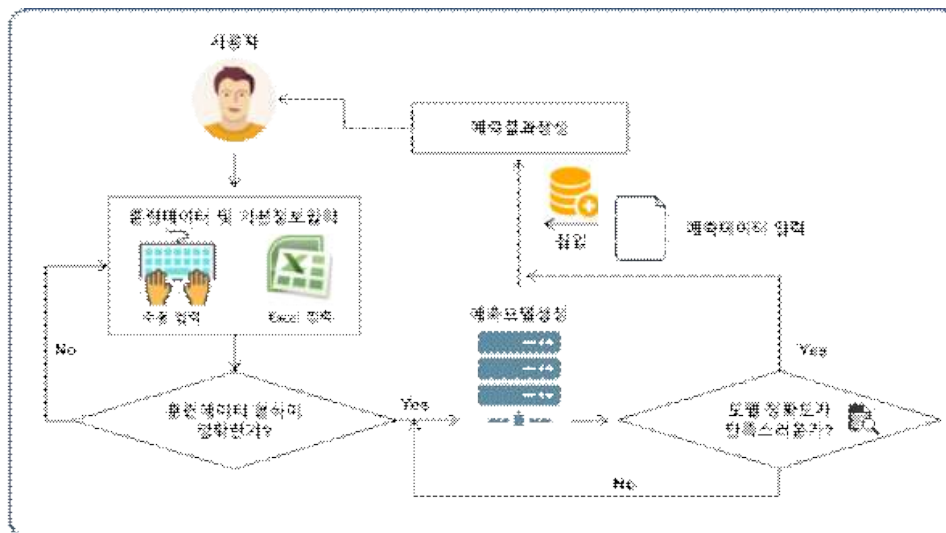
- 신뢰성 평가를 위한 통계적 척도기반의 예측모델링 정확도를 제공한다.
- 생산성 예측 결과의 시각화를 제공한다.



[그림 39] 온실최적화 예측 시스템 구조도

(2) 온실 작물생산량 예측 프로그램 구현

- 예측 시스템 명령 처리 과정



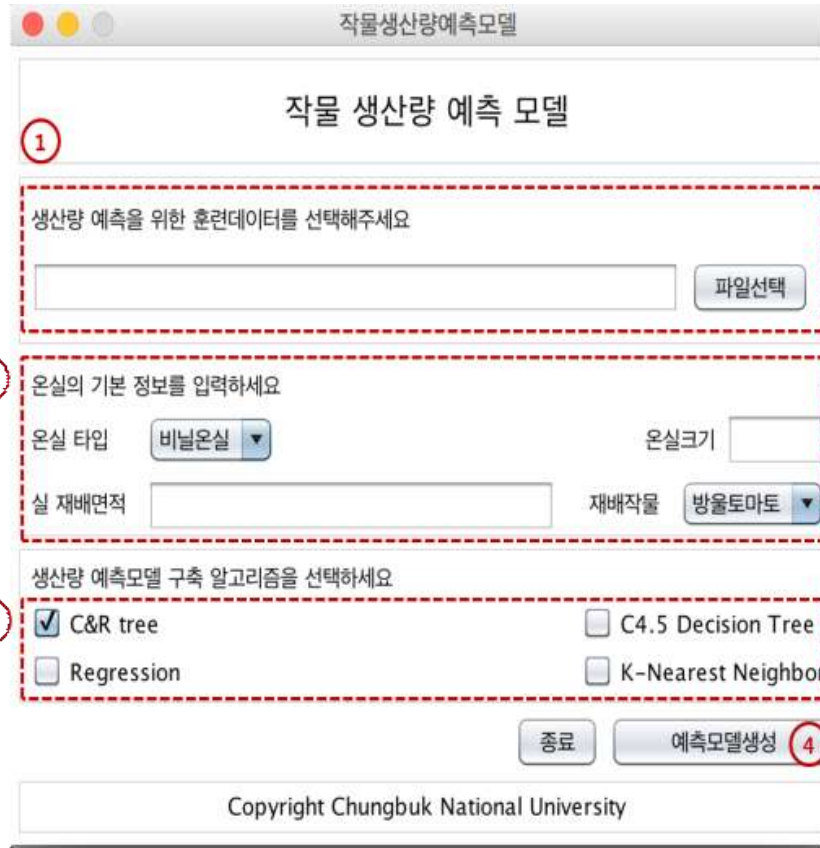
[그림 40] 온실최적화 예측 시스템 명령 처리과정

- 작물 생산량 예측 모델을 Java Swing 컴포넌트 기반 GUI로 구성하고 iMac OS X, Intel core i5 3.2Ghz, 8Gb 메모리, 1TB 스토리지의 환경에서 개발되었으며 윈도우, 리눅

스, 맥 등 다양한 운영체제에서 실행가능 한다.

- 온실최적화 예측모델 인터페이스 및 기능

(가) 메인화면: 사용자가 프로그램 실행 시 가장 먼저 실행되는 인터페이스 (그림 40)



[그림 41] 메인화면

- ① 생산량 예측모델 구축을 위한 데이터 입력 패널  
: 파일선택 버튼을 클릭하여 로컬에 저장되어 있는 엑셀 형태의 데이터 업로드  
: 지정된 표준 데이터 형식에 부적합 시 오류메시지 출력
- ② 온실 기본정보 입력 패널  
: 온실의 타입, 온실의 크기, 실 재배면적 및 재배작물 등을 입력할 수 있음
- ③ 예측모델링 알고리즘 선택 패널  
: C&R 트리, C4.5, 회귀모형, KNN 알고리즘 중 하나를 선택하여 예측모델구축  
: 기본값(Default)으로 토마토 생산량 예측에 가장 적합한 C&R 트리 알고리즘을 지정
- ④ 버튼 패널  
: 예측모델생성 버튼을 클릭하여 입력한 데이터 맞춤형 예측모델 생성  
: 종료 버튼을 클릭하여 프로그램 종료

(나) 예측모델평가화면: 메인화면에서의 예측모델생성 버튼 클릭 시 출력하는 화면으로 예측 모델의 정확도를 확인 할 수 있는 인터페이스 (그림 41)



[그림 42] 예측모델 평가화면

- ① 예측모델링 정확도 시각화 패널
  - : 사용자가 입력한 데이터와 선택한 모델링 알고리즘을 기반으로 예측모델 생성
  - : 실제 생산량(파란색)과 예측한 생산량(빨간색)을 그래프 형태로 시각화
- ② 예측모델의 정확도 표시 패널
  - : 예측모델의 정확도를 퍼센트 화하여 정보제공
- ③ 버튼 패널
  - : 예측모델의 정확도가 높을 시 생산량 예측 버튼을 클릭하여 실제 생산량을 예측하는 화면으로 이동
  - : 정확도가 낮을 시, 예측모델 재생성 버튼을 클릭하여 메인화면으로 이동하여 다른

예측모델링 알고리즘 선택 가능

(다) 예측데이터입력화면: 예측모델 평가화면에서 생산량 예측 버튼 클릭 시 출력하는 화면으로 예측 할 데이터를 입력할 수 있는 인터페이스 (그림 42)

작물생산량예측모델

1

작물 생산량 예측 모델

생산량 예측을 위한 데이터를 선택해주세요

파일선택

2

온실외부 환경 설정		온실내부 환경 설정	
일일누적광량	<input type="text"/>	일일누적광량	<input type="text"/>
주간평균온도	<input type="text"/>	주간평균온도	<input type="text"/>
야간평균온도	<input type="text"/>	야간평균온도	<input type="text"/>
일평균온도	<input type="text"/>	일평균온도	<input type="text"/>
최고온도	<input type="text"/>	최고온도	<input type="text"/>
최저온도	<input type="text"/>	최저온도	<input type="text"/>

종료      생산량 예측 진행

3

Copyright Chungbuk National University

[그림 43] 예측데이터 입력화면

① 예측데이터 파일입력 패널

- : 파일선택 버튼을 클릭하여 예측 할 데이터를 업로드
- : 입력데이터의 형식은 지정된 표준 포맷과 일치하여야 함

② 예측데이터 수동 입력 패널

- : 특정 시간의 생산량 예측을 위하여 사용
- : 온실 내, 외부 환경 데이터 입력

③ 버튼 패널

- : 파일형태의 예측 데이터 입력 또는 수동 입력 후 생산량 예측 진행 버튼을 클릭하여 생산량 예측 진행
- : 종료버튼을 클릭하여 프로그램 종료



(라) 예측결과확인화면: 예측데이터 입력 화면에서 생산량 예측 진행 버튼 클릭 시 출력하는 화면으로 생산량 예측결과를 확인 할 수 있는 인터페이스 (그림 43)



[그림 44] 예측결과 확인 화면

① 예측결과 확인 패널

- : 예측모델의 정확도, 예상 토마토 총생산량 및 단위면적당 생산량을 확인 할 수 있음
- : 파일형태의 예측결과를 입력하였을 시, 입력한 파일의 마지막 행에 생산량 예측결과가 자동으로 추가 됨

• 소프트웨어 표준 운영 절차(Standard Operating Procedure)

- 사용자 환경 구성: 해당 툴의 구동 환경은 운영체제에 제한받지 않으며, 선행적인 어떠한 라이브러리 설치도 필요 하지 않다.
- 프로그램실행: `java -jar /path/yield.jar` 혹은 `yield.jar` 파일 더블클릭
- 기능 별 상세 사용절차를 아래 표에 나타내었다.

[표 14] 데이터 입력

정의	온실 작물생산량 예측모델 구축을 위한 데이터 및 온실 기본정보 입력
선행 작업	없음
표준과정	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 프로그램 실행</li> <li>2. 아래의 모든 과정을 수행하며 예측모델링에 필요한 정보 입력             <ol style="list-style-type: none"> <li>2.1. 온실 작물 생산량 예측 모델 구축을 위한 데이터 입력</li> <li>2.2. 온실 기본 정보 입력                 <ol style="list-style-type: none"> <li>2.2.1. 콤보 박스를 이용한 온실 타입 설정</li> <li>2.2.2. 온실크기 및 실 재배면적 지정</li> <li>2.2.3. 콤보 박스를 이용한 재배작물 선택</li> </ol> </li> <li>2.3. 생산량 예측 알고리즘 선택</li> </ol> </li> <li>3. “예측모델생성” 클릭             <ol style="list-style-type: none"> <li>3.1. 모든 입력 값이 정상적으로 입력된 경우                 <ol style="list-style-type: none"> <li>3.1.1. 정상적으로 예측모델 구축을 위한 데이터를 메모리에 업로드</li> <li>3.1.2. 예측모델평가 화면으로 이동</li> </ol> </li> <li>3.2. 비정상적인 입력 두 가지 경우                 <ol style="list-style-type: none"> <li>3.2.1. 입력한 데이터가 표준데이터 형식에 부합하지 않는 경우에 대한 경고 메시지를 출력</li> <li>3.2.2. 기본정보 누락에 대한 경고 메시지 출력</li> </ol> </li> </ol> </li> </ol>
대안과정	
기본결과	입력 데이터 메모리 업로드 및 생산량 예측모델 생성
추가결과	비정상적인 입력에 대한 경고 메시지



[표 15] 예측모델 평가

정의	생성된 생산량 예측모델에 대한 평가 및 생산량 예측모델
선행 작업	입력된 데이터 기반 예측모델 생성 완료
표준과정	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 온실 작물 생산량 예측 그래프 확인 및 검토</li> <li>2. 온실 작물 생산량 예측 정확도 확인 및 검토</li> <li>3. “예측모델 재생성” 또는 “생산량 예측” 클릭             <ol style="list-style-type: none"> <li>3.1. 생성된 예측모델의 정확도가 만족스러운 경우                 <ol style="list-style-type: none"> <li>3.1.1. “생산량 예측” 버튼을 클릭하여 다음 화면으로 이동</li> </ol> </li> <li>3.2. 생성된 예측모델의 정확도가 불만족스러운 경우                 <ol style="list-style-type: none"> <li>3.2.1. “예측모델 재생성” 버튼을 클릭하여 이전 화면으로 이동</li> <li>3.2.2. 데이터입력 화면에서 다른 예측모델링 알고리즘 선택 후 1번부터 3번까지의 과정 반복</li> </ol> </li> <li>3.3. 모든 모델링 알고리즘 정확도를 검토하였음에도 불구하고 만족스러운 정확도를 획득하지 못하였을 경우                 <ol style="list-style-type: none"> <li>3.3.1. 가장 높은 정확도를 보이는 예측 모델링 알고리즘으로 추후 분석을 수행</li> <li>3.3.2. 새로운 예측알고리즘 추가</li> </ol> </li> </ol> </li> </ol>
대안과정	새로운 예측모델링 알고리즘 선택
기본결과	작물 생산량 예측모델 획득 및 실측 생산량 예측을 위한 준비
추가결과	데이터 입력화면으로 돌아가 새로운 예측 모델 재생성

[표 16] 실측 생산량 예측 데이터 입력

정의	획득된 생산량 예측모델을 기반으로 실제 생산량 예측을 위한 데이터 입력
선행 작업	최종 예측모델 획득 완료
표준과정	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 생산량 예측을 위한 데이터 입력 두 가지 경우             <ol style="list-style-type: none"> <li>1.1. 엑셀파일형태의 데이터 입력                 <ol style="list-style-type: none"> <li>1.1.1. 정상적으로 입력된 경우에는 예측 진행을 위한 데이터를 메모리에 업로드</li> <li>1.1.2. 입력한 데이터가 표준데이터 형식에 부합하지 않는 경우에 대한 경고 메시지를 출력</li> </ol> </li> <li>1.2. 예측하려고 하는 특정 구간의 데이터 수동 입력                 <ol style="list-style-type: none"> <li>1.2.1. 온실 외부 환경데이터 입력</li> <li>1.2.2. 온실 내부 환경데이터 입력</li> </ol> </li> </ol> </li> <li>2. “생산량 예측 진행” 클릭             <ol style="list-style-type: none"> <li>2.1. 수동 데이터 입력이 정상적으로 수행 되었을 경우                 <ol style="list-style-type: none"> <li>2.1.1. 생산량 예측 화면으로 이동</li> </ol> </li> <li>2.2. 비정상입력이 발생 하였을 경우                 <ol style="list-style-type: none"> <li>2.2.1. 누락값 필드에 대한 경고 메시지 출력</li> </ol> </li> </ol> </li> </ol>
대안과정	프로그램 종료
기본결과	생산량 예측 진행
추가결과	비정상적인 입력에 대한 경고 메시지

[표 17] 예측 결과 확인

정의	획득한 최종 예측모델과 입력된 예측데이터에 대한 생산량 예측 결과 확인
선행 작업	최종 예측모델 획득 완료 및 예측할 데이터 입력의 정상적인 종료
표준과정	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 최종 획득한 예측모델의 정확도 재차 확인</li> <li>2. 수동으로 입력한 특정기간내의 예측된 총 생산량 확인</li> <li>3. 수동으로 입력한 특정기간내의 예측된 단위면적당 생산량 확인</li> <li>4. 입력한 파일의 마지막 행에 예측된 생산량 기록</li> <li>5. 프로그램 종료</li> </ol>
대안과정	
기본결과	예측된 생산량 획득
추가결과	없음

## 2절. 내재해형 광폭 비닐온실 설계 및 시공기법 개발

### 1. 내재해형 온실 구조해석

대표적인 온실 구조는 대형화되어 있으며, 구조는 경량화를 되어 가고 있다. 지구 온난화에 따른 기후변화가 매우 급변하여 바람과 폭설 그리고 폭우에 의한 피해가 빈번해 지고 있다. 반면 온실 구조의 경량화 구조를 추구하기 위하여 많은 연구가 이루어지고 있다. Vieira Neto, J. G. (2016)등은 브라질과 유럽연합 기준에 대한 온실의 응력분포를 연구하였으며, Park, C. W.(2005)등은 설계 기법에 대한 연구를 수행하였다. Bronkhorst, A. J(2017)등과 Nayak, A. K(2014)등은 온실의 대한 안정성에 대한 연구를 수행하였다.

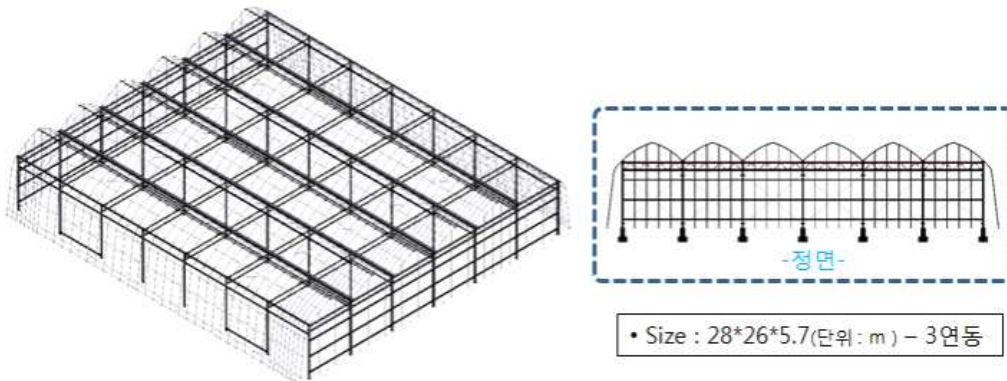
본 연구에서는 해석기법을 활용하여 설계모델의 타당성을 검토하고 자연하중에 대한 구조적 안정성을 검증하였다.

### 가. 2-Span 온실구조 설계 모델의 타당성 검증

일반적으로 온실구조물은 자연재해의 위험성에 노출되어 있어, 설계 하중에 대한 구조적 안전성을 고려해야 한다. 따라서 온실설계에서 외부의 환경 하중조건을 고려한 구조해석을 수행하여 구조적 안정성을 검증하고, 구조물의 취약부를 예측하여 보완 설계가 되어야 한다. 따라서 초기 설계된 온실구조에 대하여 각각의 부재와 Joint부분의 형상을 고려한 유한요소 모델을 구성하고 해석을 수행하여 온실구조물의 구조적 안정성을 검증한다. 구축된 유한요소모델의 해석 결과를 범용해석프로그램인 MIDAS로 수행한 기존의 해석 결과와 비교하여 해석모델의 적합성을 검증 하였다.

#### (1) 2-Span 비닐오실의 구조

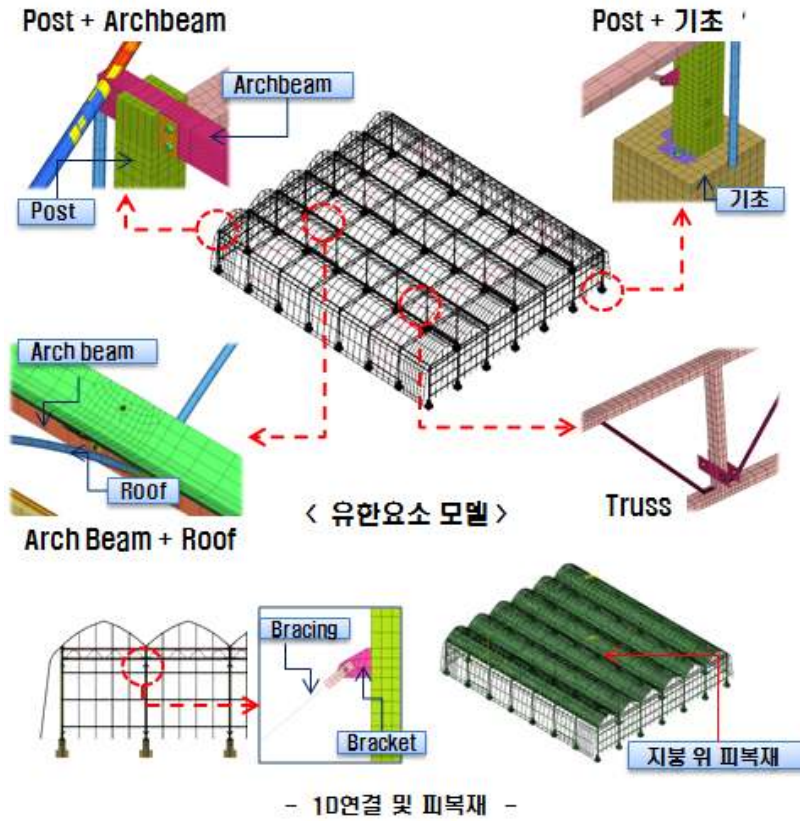
초기 설계된 온실구조는 다음 그림과 같이, 2-Span 8 m 중폭 3연동 구조이며 방풍 Pipe를 제외할 경우 폭은 26 m, 길이는 28 m, 동고는 5.7 m의 구조물이다. 온실 구조의 주 부재는 Post, 서까래, 보, 방풍 Pipe, Truss, Bracing 등으로 이루어 졌으며, Gutter, Bracing 그리고 연결부재인 Bracket을 제외한 대부분의 주요부재는 Pipe구조이다. Pipe형태의 부재는 크게 두 종류로 나눌 수 있다. 첫 번째는 각형 Pipe구조로 Post, 보 그리고 Truss의 하현재와 상현재부분이 해당된다. 두 번째는 원형 Pipe형태이며 서까래, 방풍 Pipe와 가로대가 포함된다. 방풍Pipe의 경우 측벽에 위치하며 정면과 후면에는 위치하지 않는다.



[그림 45] 2-Span 온실 구조의 Geometry

#### (2) 해석모델 및 경계조건

온실구조의 하중에 대한 구조적 특성을 해석적으로 고찰하기 위해 유한요소 모델을 구축하였다. 온실구조의 해석모델은 2D Shell Element, 3D Solid Element, 1D Beam Element로 적절하게 구성하였으며, 총 Node수는 1,291,562개이며 Element수는 1,163,552개로 구성하였다. 각 부재의 요소는 다음 그림과 같이 최대한 설계 모델과 유사하도록 유한요소 모델을 구축하였다. 그리고 해석모델에 적용된 물성정보는 다음 표와 같으며, 적설하중이 인가되는 지붕 윗면의 피복재Element는 적설무게를 계산하여 물성치로 적용하였다. 적설하중은 연동구조물의 적설형태를 고려하여 계산하였다.



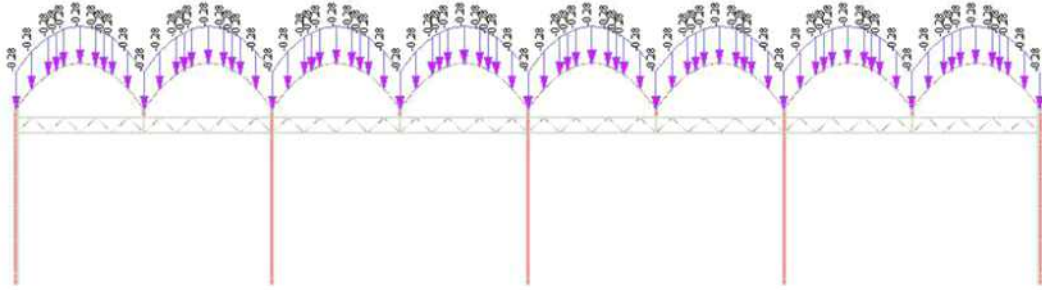
[그림 46] 2-Span 온실구조의 유한요소 모델

[표 18] 온실 구조의 재료 물성치

Part	Material	Density ( Kg/m <sup>3</sup> )	Elastic Modulus ( MPa )	Poisson Ratio	Element Type
부재	SS400	7,850	200,000	0.26	Shell
Bracing	Steel	2,700	200,000	0.3	Beam
기초	Concrete	2,400	28600	0.15	Shell
피복재	-	1,750 / 2,630	100	0.4	Shell
사재 (Truss)	SS400	7,850	200,000	0.26	Solid
Bolt	Steel	7,850	209,000	0.26	Solid

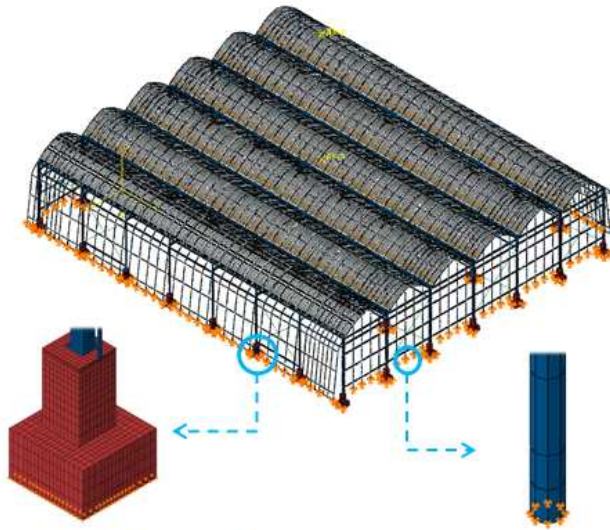
기존의 2-Span 온실구조물에 대한 MIDAS의 해석모델은 다음 그림과 같이 1D-Beam요소로 구축되었다.

적설하중(Snow Load)  
Unit : kN/m



[그림 47] 범용프로그램의 해석 모델

유한요소모델은 다음 그림과 같이 독립기초, 방풍Pipe 그리고 정면Pipe의 하단의 자유도를 구속하여 병진 거동이 발생하지 않도록 하였다. 적설하중은 적설심 35cm의 눈 무게가 고려된 피복재의 질량을 질량요소로 모델링하고 온실구조에 작용하기 위해 해석모델에 중력을 적용하였다. 즉, 적설하중=질량(밀도×부피)× 중력가속도이다.

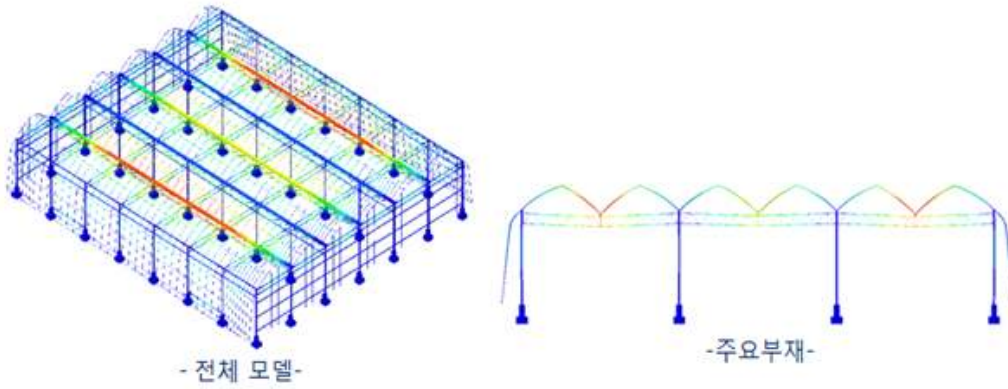


※ 기초 및 방풍 Pipe 바닥 면 구속.

[그림 48] 해석모델의 구속조건

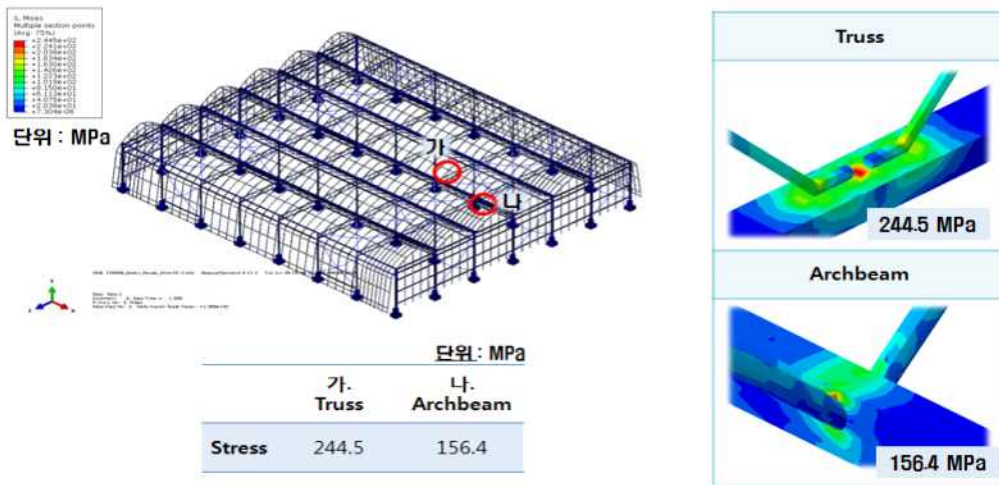
### (3) 구조해석 결과

2-Span 온실구조의 해석은 정적인 선형조건으로 수행하였다. 그리고 적설하중이 부재에 미치는 영향을 해석적으로 고찰하였으며, 주요 부재를 중심으로 발생 응력과 변형을 검토하였다. 온실구조물은 다음 그림과 같이 Post가 없는 Truss의 중앙이 자중방향으로 처지는 변형이 발생하고, 서까래의 힘이 주로 전달되는 Truss와 Archbeam에서 주요 변형이 발생하며 형상은 다음 그림과 같다.



[그림 49] 적설하중에 의한 변형형태

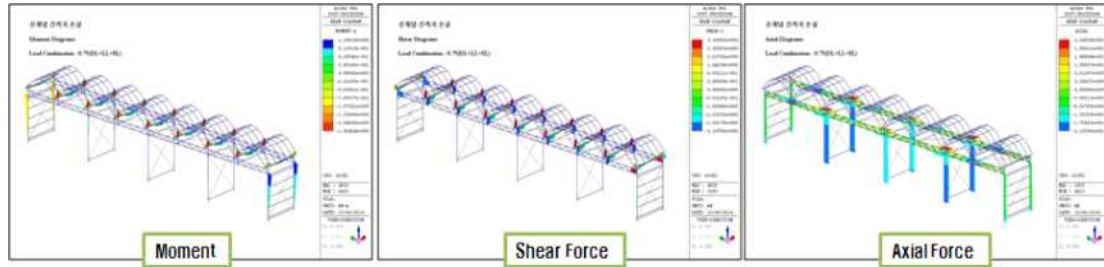
적설하중에 의해 부재에 발생하는 최대응력은 Truss부분에서 244.5 MPa로 항복응력 이하로 나타났다. 두 번째로 응력이 발생하는 부분은 서까래와 연결되는 Archbeam이며 156.4 MPa의 응력이 발생하며, 다음 그림과 같다.



[그림 50] 구조해석 결과

온실구조의 공인해석 모델인 MIDAS의 적설하중의 해석결과는, 각 부재에 작용하는 모멘트와 힘을 해석적으로 도출하고, 부재의 단면적과 단면계수를 이용하여 발생하는 응력을 계산하였다. 해석결과를 바탕으로 계산된 응력은 다음 그림의 표와 같이, 각 부재에서 발생하는 응력 모두 항복응력이하로 발생하였다.





[그림 51] MIDAS프로그램의 해석결과

midas Gen - Steel Code Checking [ KSSC-ASD03 ] Version 835

---

\* PROJECT :  
 \* UNIT SYSTEM : tonf, cm

---

[ KSSC-ASD03 ] CODE CHECKING SUMMARY SHEET --- SELECTED MEMBERS IN ANALYSIS MODEL

MEMB	SECT	Section	Fy	Len	Ly	Lz	Lb	Ky	Cmy	fc	fby	fbz	
CHK	COM	SHR Material		Pa	My	Mz	Cb	Kz	cmz	Fo	FBy	FBz	
4866	1	C1, B 125x125x6	2.39633	440.000	440.000	440.000	440.000	1.00	0.85	0.0511	1.3209	0.0053	
OK	0.96	0.02 SS400		4	1.41262	-135.47	0.54464	1.00	1.00	0.85	1.4378	1.4378	1.5816
5015	3	T, B 75x45x2.3	2.39633	100.000	100.000	100.000	100.000	1.00	1.00	0.5255	0.0069	0.4492	
OK	0.68	0.02 SS400		4	2.71773	0.07173	3.51388	1.00	1.00	1.00	1.4378	1.4378	1.4378
4690	4	MP, B 125x75x2.3	2.39633	28.8000	28.8000	28.8000	28.8000	1.00	0.85	0.0875	0.1135	0.0694	
OK	0.17	0.02 SS400		4	0.77476	-3.4876	-1.3399	1.00	1.00	0.85	1.4378	1.5816	1.4378
5255	5	CB, B 75x45x2.3	2.39633	400.000	400.000	400.000	400.000	1.00	1.00	0.0100	0.0379	0.0007	
OK	0.07	0.00 SS400		4	-0.0519	-0.3934	0.00522	1.00	1.00	1.00	0.2278	1.4378	1.5816
5252	6	TB, B 75x45x2.3	2.39633	400.000	400.000	400.000	400.000	1.00	1.00	0.0483	0.0893	0.0000	
OK	0.10	0.00 SS400		3	0.24985	-0.9264	-0.0003	1.00	1.00	1.00	1.4378	1.4378	1.5816
5536	10	P31.8x1.5@800	3.00816	80.0879	80.0879	80.0879	80.0879	1.00	1.00	0.0521	1.4350	0.0165	
OK	0.75	0.02 SPAR295		3	0.07443	1.48255	0.01703	1.00	1.00	1.00	1.8049	1.9854	1.9854
5571	11	P25.4x1.5	3.00816	80.0000	80.0000	80.0000	80.0000	1.00	1.00	0.0038	0.2860	0.1130	
OK	0.16	0.00 SPAR295		4	0.00432	0.18179	-0.0719	1.00	1.00	1.00	1.8049	1.9854	1.9854
5031	12	Truss 사재	2.39633	67.6036	67.6036	67.6036	67.6036	1.00	1.00	0.8665	0.1519	0.0038	
OK	0.92	0.00 SS400		4	-0.8459	0.08948	-0.0023	1.00	1.00	1.00	0.9414	1.5816	1.5816

[그림 52] 비교 모델의 각 부재별 발생응력 결과 Data

#### (4) 소결론

본 해석에서는 형상을 구체적으로 반영한 2D-Shell, 3D-Solid, 1D-Beam Element가 혼합된 해석모델과, 1D-Beam Element로 구축된 해석모델의 결과를 비교 검토하였다. 두 가지 구조해석에 대한 비교 결과는 다음과 같이 요약 할 수 있다.

- 두 가지 해석결과 모두 부재에 발생하는 응력은 허용응력이하로 구조적으로 문제가 되지 않으며 유사한 결과를 나타내고 있다. 따라서 Shell Element 기반의 해석 모델이 온실구조의 구조해석 모델에 적용이 가능함을 확인 할 수 있다.
- 두 해석 결과 모두 부재에 발생하는 최대 응력을 확인할 수 있다. 그러나 1D Beam



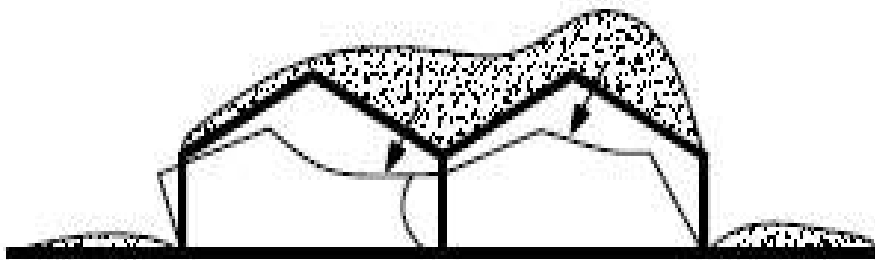
Element의 경우 부재에 발생하는 힘을 단면적으로 나누어 계산하기 때문에 정확한 응력분포와 응력 위치의 확인의 어려움이 있다. 그러나 Shell Element의 경우 부재에 발생하는 최대응력의 위치와 분포를 해석적으로 도출해 낼 수 있기 때문에 형상을 구체적으로 반영한 상세모델이 취약부의 예측과 설계보완에 용이 할 것으로 판단되어진다.

### 나. 무기등 광폭 온실의 구조해석

중양아시아(카자흐스탄)는 겨울철 비닐 온실에서 생산되는 채소 생산량은 자국의 채소 수요량에 비해 매우 부족하여 수입에 의존하고 있다. 식량 생산의 자립화의 목적으로 중양아시아의 비닐 온실시설의 수요가 증가하고 있다. 이러한 비닐온실 시설은 노지에서 생산 될 수 없는 작물을 재배하기 위하여 인위적으로 적합한 환경을 조성하여 준다. 따라서 다른 농업형태보다 기상환경의 영향이 크며 기상이변 등 자연재해의 위험이 항상 존재한다. 그리고 시설재배의 안전성 측면에서 폭설과 강풍에 의한 하우스 외형의 파손은 불안전요소 중 하나이다. 이러한 위험요소를 제거하기위해 구조물의 안정성을 강조할 경우 과잉설계로 자재의 낭비 및 경제적 손실이 발생할 수 있다. 따라서 효율적인 온실 시설을 개발하기 위해서는 설치되는 지역의 기상조건을 고려한 온실구조의 구조적 안정성을 우선적으로 확보해야 한다. 본 연구에서는 카자흐스탄 환경에 적합한 온실설계가 가능하도록, 구조해석을 수행한 후 구조적 안정성을 고찰하였다.

#### (1) 적설하중에 따른 온실구조의 안정성

카자흐스탄의 경우 우리나라에 비해 동절기 적설량은 50배이며, 겨울철 월평균 20일 이상 눈이 오는 날이 지속되는 기후특성을 가지고 있다. 이러한 자연환경에 놓인 온실구조물은 적설에 대한 안전성을 고려해야만 한다. 그리고 다음 그림과 같은 연동형태의 온실구조는 단동형태의 온실과는 달리, 곡부에 눈이 쌓이기 쉬운 구조물로 과대설하중이 작용한다. 이러한 적설형태는 온실구조물에 변형과 파괴를 야기할 수 있기 때문에, 적설형태를 고려한 수직하중의 영향과 구조적 안정성의 검토가 필요하다. 따라서 설하중에 대한 영향과 구조적 안전성의 확보를 위해 구조해석을 수행하였다.

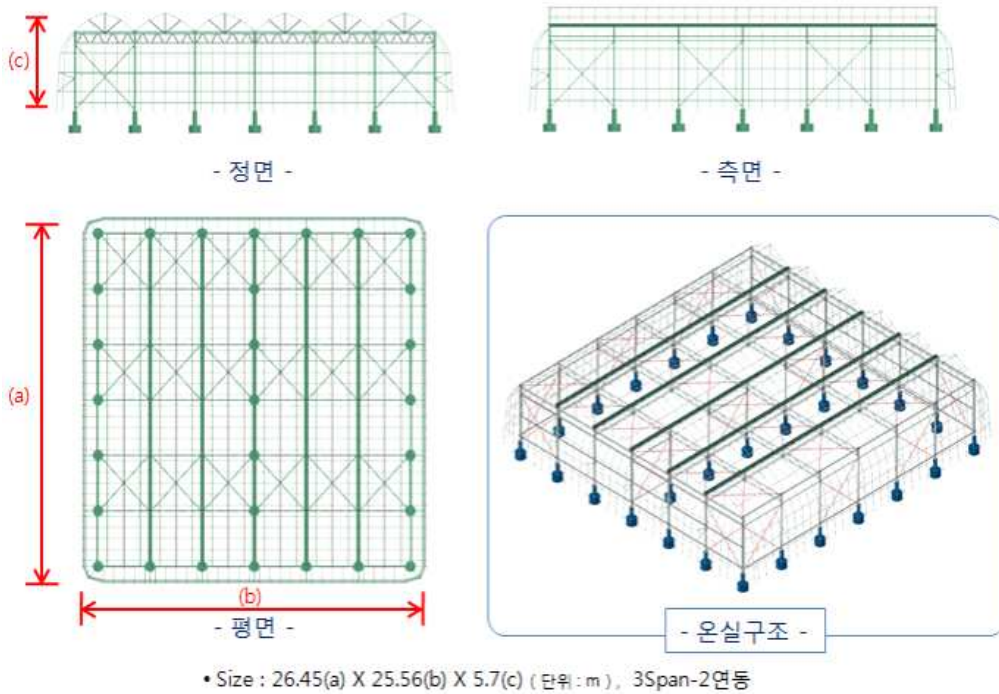


[그림 53] 연동곡부의 과대 설하중

#### (가) 무기등 광폭 온실 구조

무기등 광폭 온실 구조는 다음 그림과 같이 3-Span, 2연동 구조물이다. 연동구조는 방풍 Pipe 폭을 포함할 경우 폭은 25.56 m이며, 길이는 26.45 m 동고는 5.7 m로 설계 되었다. 온실구조는 Post, 서까래, 보, 방풍 Pipe, Truss, Bracing 등으로 이루어 졌으며, Bracing과 Bracket을 제외

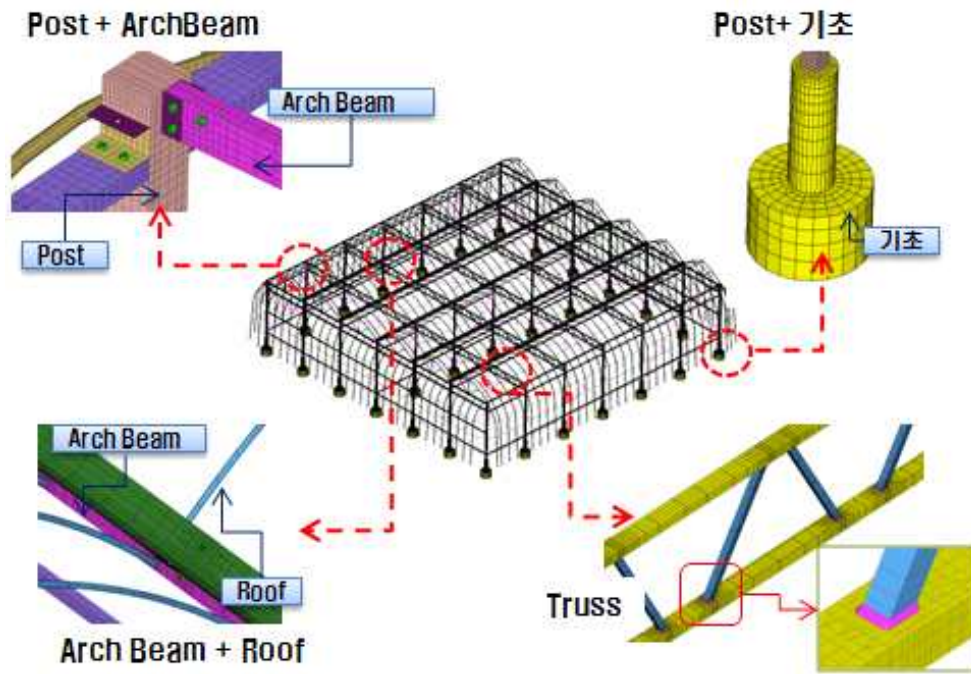
한 대부분의 주요부재는 Pipe 형태이다. 온실 구조를 지지하고 하중을 받는 부재인 Post와 보 그리고 Truss는 사각 Pipe형태이며 서까래와 방풍 Pipe는 원형 Pipe구조물이다. 각각의 부재는 Bracket과 Bolt 체결로 되어 있다. 온실의 기초는 독립기초이며 사면에 존재하는 방풍 Pipe는 보온과 방풍기능을 하는 부재이다.



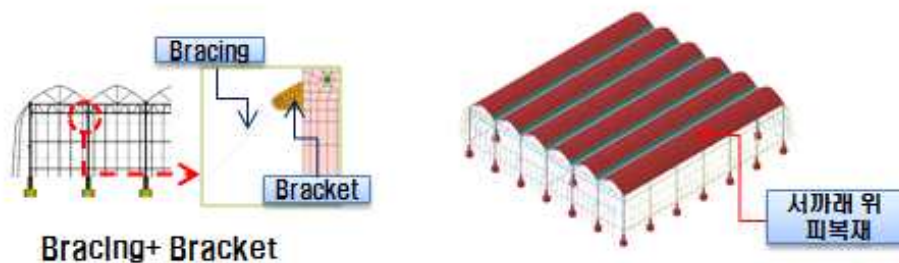
[그림 54] 광폭 온실 구조의 Geometry

(나) 유한요소모델

적설하중에 대한 온실구조의 해석모델은 Geometry Model을 기반으로 구성하였으며, 연결 Joint를 고려하기 위해, 각각의 부재는 2D Shell Element를 적용하였다. 그리고 Bracing과 일부 Pipe의 경우 1D Beam Element를 적용하였으며, Bolt의 경우 3D Solid Element를 적용하였다. 총 Node수는 952,187개이며, Element수는 1,023,448개이다. 또한 적설에 대한 수직 하중을 고려하기 위해 서까래 부분의 피복재를 2D Shell Element를 적용하였으며, 적설하중을 고려한 온실구조의 유한요소 모델은 다음 그림과 같다.



< 유한요소 모델 >



< 1D연결 및 피복재 >

[그림 55] 광폭 온실 구조의 유한요소 모델

(다) 재료의 물성치

온실 구조의 부재는 상용제품인 농업용 아연도 강관과 함께 구조용 각형강관과 C형관을 사용하였다. 그리고 Gutter와 용마루는 내식성이 좋은 알루미늄을 적용하였으며, 그 외의 Bracing과 연결부재의 경우 Steel물성을 적용하였다. 또한 적설에 의한 하중을 적용하기 위해, 적설량에 따른 설하중 값을 계산하여 피복재의 밀도에 적용하였다. 따라서 해석 모델에 적용된 물성 정보는 아래 표와 같다.

[표 19] 온실 구조의 적용 물성치

Part	Material	Density ( Kg/m <sup>3</sup> )	Elastic Modulus ( MPa )	Poisson Ratio	Element Type
각형 강관	KS D3568	7,850	209,000	0.26	Shell
아연도 강관	KS D3760	7,850	209,000	0.26	Shell
C형강	KS D3530	7,850	209,000	0.26	Shell
Gutter&Jig	Aluminum	2,700	69,000	0.33	Shell
Bracing	Steel	7,850	209,000	0.26	Beam
Bracket	Steel	7,850	209,000	0.26	Shell
기초	Concrete	2,400	28,600	0.15	Solid
피복재	Polyolefin	2,500~5,000	100	0.4	Shell
Bolt	Steel	7,850	209,000	0.26	Solid

(라) 경계조건

온실구조의 지붕위에 작용하는 적설하중은 다음 식으로 표현 할 수 있다

$$W_s = \rho \cdot D \cdot \alpha$$

$W_s$ :적설하중 (Kg/m<sup>2</sup>,  $\rho$  :적설의 단위 체적 중량 (Kg/cm<sup>3</sup>·m<sup>3</sup>),  $D$  : 설계 적설심(cm),  $\alpha$  : 지붕 경사 및 피복재의 종류에 따른 절감계수 이다.

적설의 단위체적중량은 수평면에 대한 중량을 의미하며 적설심별 중량은 다음 표를 기준으로 중간 값은 직선보간법으로 계산 할 수 있다. (온실의 자재 절감 및 안전성 향상을 위한 최적 모델 및 설계시스템 개발, 2007)

[표 20] 지붕경사에 따른 적설하중의 절감계수

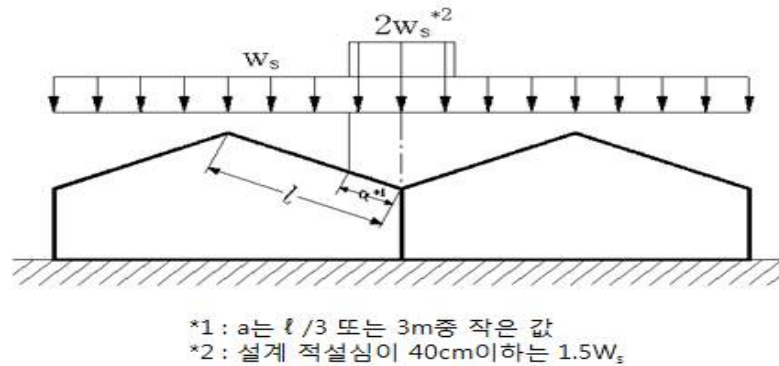
수직 최심적설 깊이(cm)	50이하	100	150	200이상
평균 단위 중량 ( Kg/cm <sup>3</sup> ·m <sup>3</sup> )	1.0	1.5	2.0	3.0

지붕경사에 따른 절감계수는 다음 표를 기준으로 적용하였다.

[표 21] 지붕경사에 따른 적설하중의 절감계수

지붕경사 (°)	10~20	20~30	30~40	40~60	60이상
절감계수	0.90	0.75	0.50	0.25	0.00

그러나 연동 구조물의 경우, 곡부에 눈이 집중되는 구조물로 다음 그림과 같이 할증율을 고려해야한다.



[그림 56] 연동곡부의 적설하중 할증률

따라서 50cm의 평지붕이 경사를 갖는 연동 구조물의 경우, 다음과 같이 계산된다.

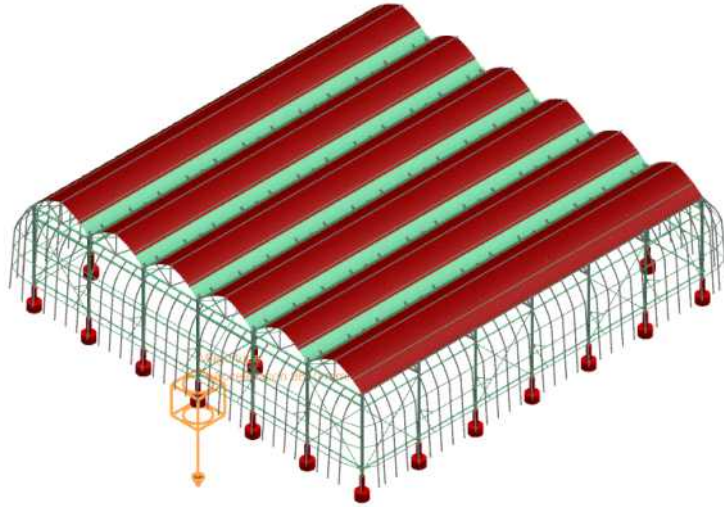
- $W_s = 1.0 * 50 * 0.5 = 25.0 \text{ kg/m}^2$
- $W_s(\text{곡부}) = 2 * 25.0 = 50.0 \text{ kg/m}^2$

위에 계산된 적설하중을 지붕면에 작용하는 눈의 총중량으로 표현할 수 있으면 그 값은 다음 표와 같다. 아래 표와 같이 지붕면에 작용하는 눈의 중량을 피복재의 밀도로 환산하여, 설하중 값은 피복재의 질량으로 나타내었다.

[표 22] 지붕면에 작용하는 적설하중 및 무게 환산

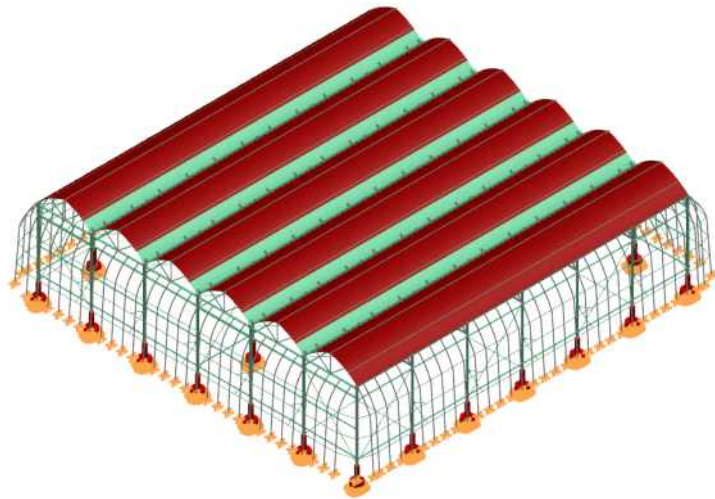
	넓이 ( $\text{m}^2$ )	단위중량 ( $\text{Kg/m}^2$ )	절감계수	할증률	눈의 중량 (Ton)	피복재 밀도 ( $\text{kg/m}^3$ )
지붕면 (곡부 제외)	469.8	50.0	0.5	-	11.745	2,500
지붕의 곡부	167.7	50.0	0.5	2.0	8.385	5,000

피복재의 질량으로 환산된 적설하중이 구조물에 중력방향으로 인가 될 수 있도록 다음 그림과 같이 전체 모델에 중력가속도를 인가하였다.



[그림 57] 해석 모델에 적용된 자중 방향 및 하중 부하

온실 구조물은 주 기둥은 콘크리트 형태의 독립기초와 일체형이며 독립기초부분이 고정되어 온실 구조를 지지한다. 그리고 사면에 존재 하는 방풍 Pipe는 하단이 고정되는 구조물로 구속 조건이 반영되어야한다. 따라서 다음 그림과 같이 방풍 Pipe와 독립기초 하단부분에 병진 거동에 대한 자유도를 구속하였다.



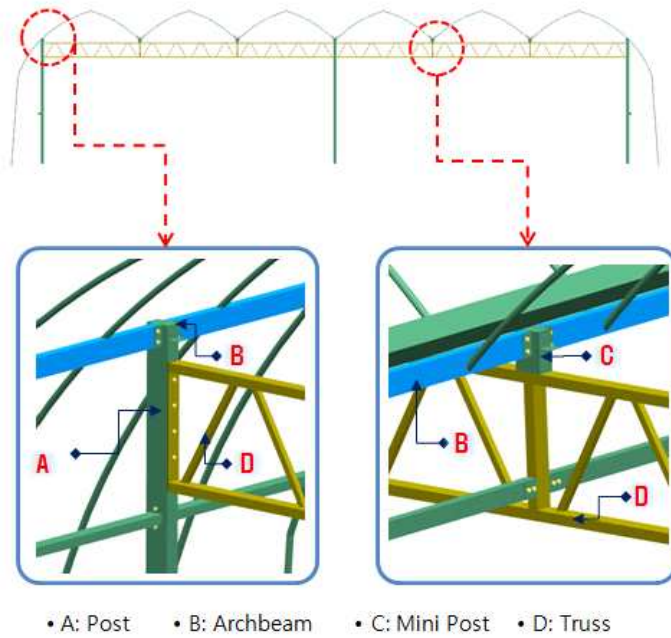
[그림 58] 구속 조건 ( 적설하중 해석 )

(마) 해석결과

3-Span 온실 구조의 적설하중에 대한 구조적 안정성을 검증하기위해, 구조해석을 정적 선형 조건으로 수행하였다. 그리고 각 부재에 미치는 영향을 해석적으로 고찰하였으며, 주요 부재를 중심으로 해석결과를 검토하였다. 설하중의 작용이 큰 부재는 다음 그림과 같이 4가지 Part로 나누어 볼 수 있다. 먼저 구조물의 주기둥인 Post(A), 적설하중을 직접 받는 서까래가 연결되는 Archbeam(B), Archbeam을 잡고 구속하는 Mini Post(C), 그리고 Mini Post를 지지하고 최

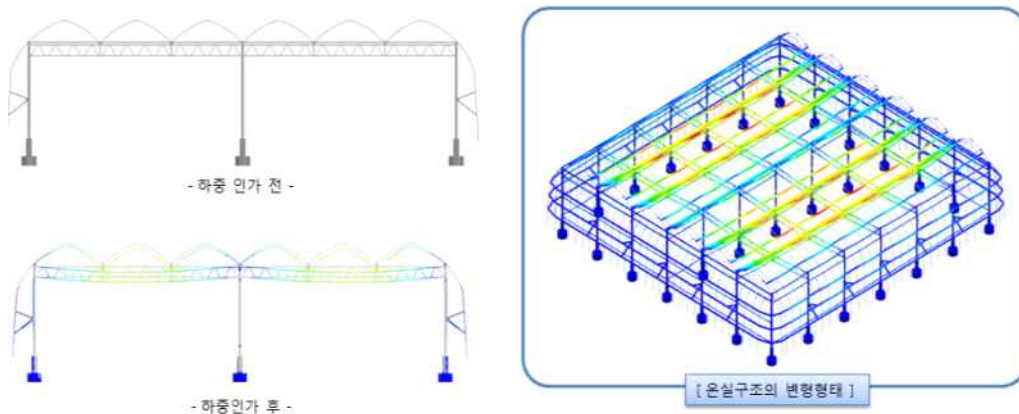


중적으로 서까래를 떠받치는 Truss(D) 로 나누어 볼 수 있다. 이와 같은 주요부재를 중심으로 변형과 응력 집중이 발생하였다.



[그림 59] 하중을 받는 주요 부재

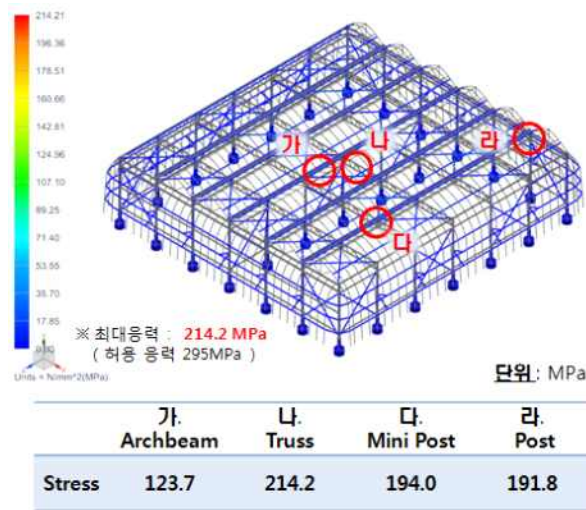
먼저 적설하중에 대한 구조물의 변형을 살펴보면 다음그림과 같다. 적설무게에 의해 서까래를 받치는 Truss와 Archbeam은 자중방향으로 주요 변형이 발생하며, 변형형태는 Post가 없는 Truss의 중앙부분이 처짐 현상이 나타나면서 지붕부의 중앙이 내려앉은 구조가 나타났다.



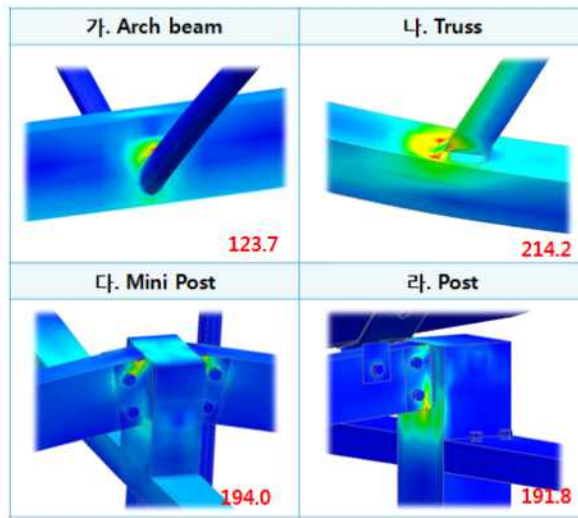
[그림 60] 설하중에 의한 변형

해석결과를 자세히 살펴보면, 각 부재에서 최대응력이 발생하는 위치는 그 부재가 다른 부재와 연결되는 용접부이거나, Bracket부분으로 나타났다. 적설하중에 대한 최대 응력은 214.2 MPa이며 발생하는 부재는 Truss의 하현재와 사재의 연결부분에서 나타났으며 응력분포와 위

치는 다음그림과 같다. 두 번째로 응력이 높게 발생하는 부분은 Truss위에 있는 Mini Post로 Archbeam과 연결되는 Bracket부분에서 194.0 MPa이 나타났다. 그리고 온실구조의 전후벽기둥 중 하나인 Post에서 Archbeam과 연결되는 Bracket에서 191.8 MPa의 응력이 발생하였다. 마지막으로 서까래와 연결되는 Archbeam에서 123.7 MPa의 응력이 발생하였으며, 모두 허용응력 이하의 응력이 다음 그림과 같이 발생하였다.



- 주요 부재의 최대응력 값 -



- 부재의 응력분포 -

[그림 61] 적설하중에 대한 해석결과

(바) 설하중 구조해석 결론

설계된 3-Span 온실구조는 구조해석을 수행하여 적설하중에 대한 구조적 안정성을 검토한 결과 다음과 같은 결론으로 요약할 수 있다.

- 해석결과 온실 부재에서 발생하는 최대 응력은 214.2 MPa로 재료의 허용강도 295 MPa 이하로 나타났다. 따라서 50 cm의 적설하중에 대해 설계 비닐온실 구조는 적합한 것으로



판단된다. 따라서 카자흐스탄의 적설환경에 적합하며, 구조적으로 안전한 원예시설물로 시공이 가능하다.

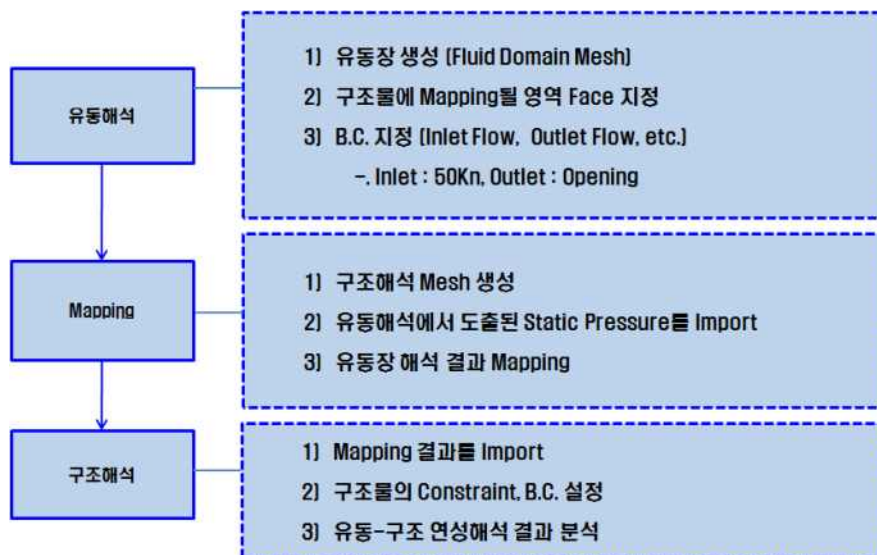
- 설하중이 작용되는 온실 구조물에서 발생하는 최대응력은 부재와 부재가 연결하는 용접 부위나 Bracket부분에서 주로 나타난다. 따라서 온실구조의 연결 Joint의 파손과 변형이 전체 구조물의 안정성을 결정하는 요인으로 판단된다. 그러므로 전체 온실구조의 안정성은 Bracket과 같은 연결Joint의 보완으로도 확보가 가능할 것이다. 따라서 향후 구조적 안정성을 강화하기위한 보완설계 시 연결부의 강성을 고려하여 설계 되어야 할 것이다.

## (2) 풍하중에 대한 온실구조의 안정성

원예시설재배는 현대화 및 대형화가 이루어지면서, 지역의 기후 특성과 자연하중 변화에 대한 구조적 안정성이 중요시 되고 있다. 안정성 확보를 위해 설계된 온실구조는 시공되는 지역의 기후 특성이 고려되어야 한다. 이에 온실 구조와 풍환경에 대한 많은 연구가 진행되어 왔다. Kwon, K. S (2016)등은 시공 환경의 풍동기류를 고려한 단동온실의 풍압계수를 평가하였다. 풍압계수와 관련하여 설계기준에 대한 비교 연구도 수행되었다.( Kateris et al. 2012, Kozmar et al. 2011, Lopes et al. 2010 ) 그리고 풍하중에 대한 구조적 안정성에 대한 평가를 해석방법을 통해 연구되어 왔다.( Bronkhorst et al. 2017, Gu, M et al. 2015, Mathews et al. 1987)

본 연구에서는 적설하중에 대한 구조적 안정성을 1차적으로 검토한 설계 모델에 대해 50 m/s의 강풍에서의 구조적 안전성과 부재에 미치는 영향을 해석적으로 고찰하고자 하였다.

유동에 의한 풍하중 조건을 구조해석에 적용하기 위해서는 다음의 그림과 같은 프로세스를 바탕으로 해석을 수행하였다. 유동해석 결과인, Static Pressure는 Mapping Method방식을 이용하여 하중입력조건으로 인가하고 구조해석을 수행하였다.



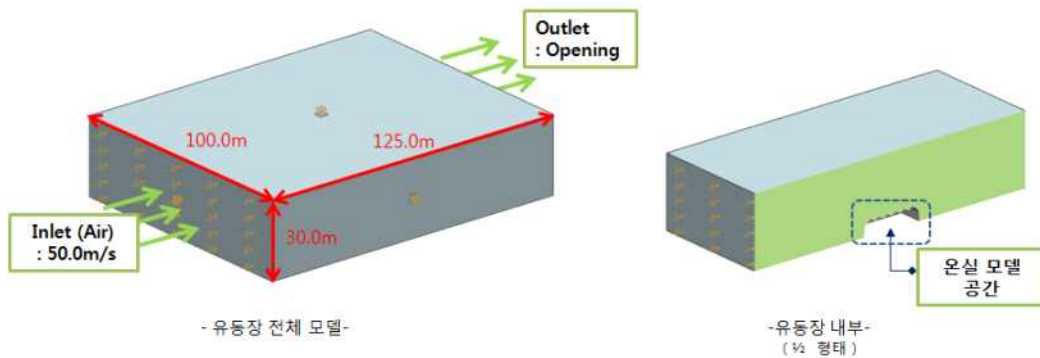
[그림 62] 유동-구조 연성해석 프로세스

(가) 유동해석

구조물에 바람이 불어오는 경우, 바람은 질량을 가지고 있는 유체로서 구조물에 힘이 작용되며, 구조물 주위에 유동의 흐름 변화로 압력분포의 변화가 나타나게 된다. 이때 발생하는 구조물 주변의 압력과 힘은 구조물의 형태와 부재의 위치에 따라 다르게 작용한다. 따라서 본 해석은 유동장내에 온실 구조물이 존재할 때 나타나는 유동흐름 및 압력분포를 해석적으로 도출하여, 실제 온실구조에 작용하는 환경변화와 유사하도록 유동해석을 수행하였다.

• 유동장 모델 및 경계조건

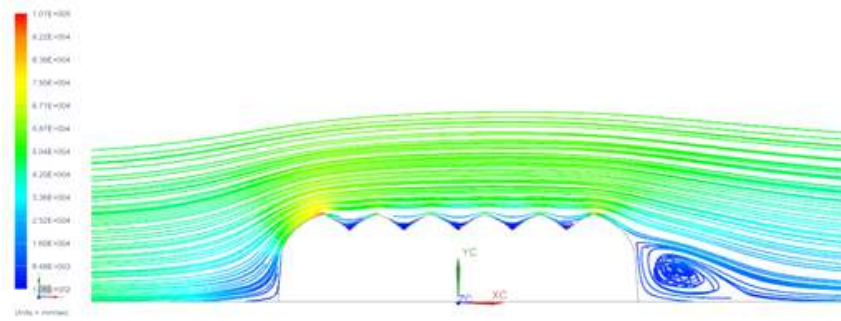
온실구조 외부의 유동장의 크기는 가로: 125.0 m, 세로: 100.0 m, 높이: 30 m로 구축하였으며, 다음 그림과 같다. 그리고 유동장의 물성을 Air로 적용하였다. 유동장의 유체흐름에 대한 경계조건은 그림과 같이, 유동장의 좌측면은 50.0 m/s의 속도로 균일하게 유동이 유입되도록 Inlet Flow를 설정하여 유입 면이 되도록 하였다. 그리고 유입면의 반대 면을 Open 공간으로 설정하여 Outlet으로 설정하여 유체의 흐름 중앙부에 온실 구조물이 위치하도록 모델을 구축하였다.



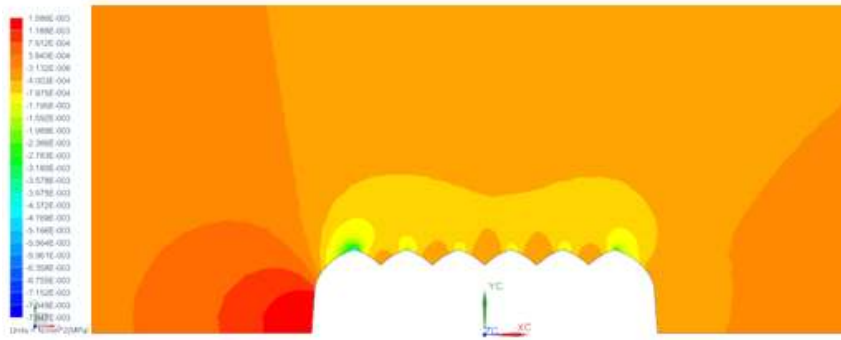
[그림 63] 유동장 모델

• 해석 및 결과

50.0 m/s의 바람이 발생할 경우 온실 구조물 주변에 유동흐름과 Static Pressure의 분포는 다음 그림과 같다. 다음의 유동 흐름과 압력분포를 구조해석의 입력조건으로 사용하였다.



- 유동 흐름 및 속도 -

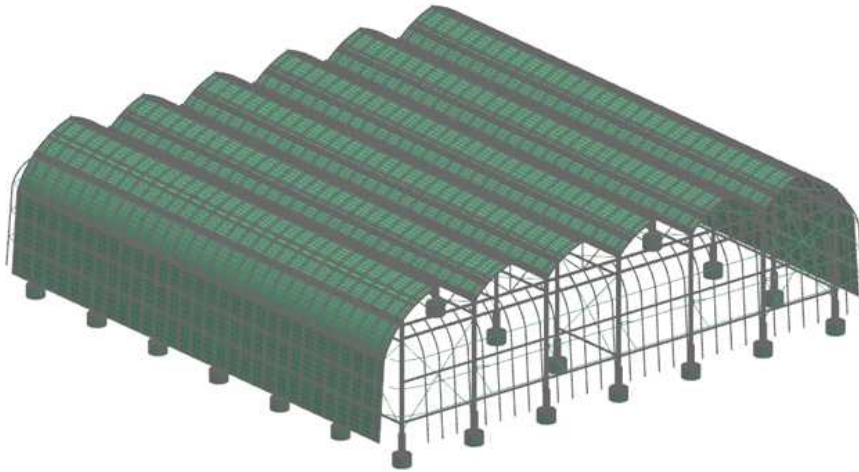


- Static Pressure -

[그림 64] 유동해석 결과

(나) 유한요소 모델 및 적용 물성치

풍하중 구조해석 모델은 2D Shell element, 3D Solid element, 1D beam element 요소 등을 적절하게 구성하였다. 그리고 해석모델은 총 Node수는 970,115개이며 Element 수는 976,700개로 구성되었다. 각 부재의 요소는 적설하중 해석 모델과 동일하나, 측면의 피복재 부분의 형상을 추가하여, 다음 그림과 같이 최대한 실제 모델과 유사하도록 유한요소 모델을 구축하였다. 해석모델에 적용된 물성정보는 다음 표와 같다.



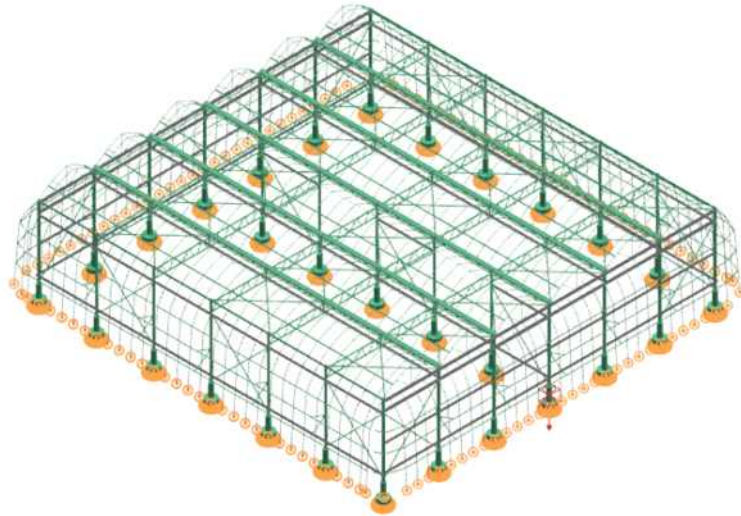
[그림 65] 유한요소 모델 ( 풍하중 해석 )

[표 23] 온실 구조의 적용 물성치

Part	Density ( Kg/m <sup>3</sup> )	Elastic Modulus ( MPa )	Poisson Ratio	Element Type
부재	7,850	209,000	0.26	Shell
Gutter&Jig	2,700	69,000	0.33	Shell
Bracing	7,850	209,000	0.26	Beam
기초	2,400	28,600	0.15	Solid
피복재	2,500~5,000	10,000	0.4	Shell
Bolt	7,850	209,000	0.26	Solid

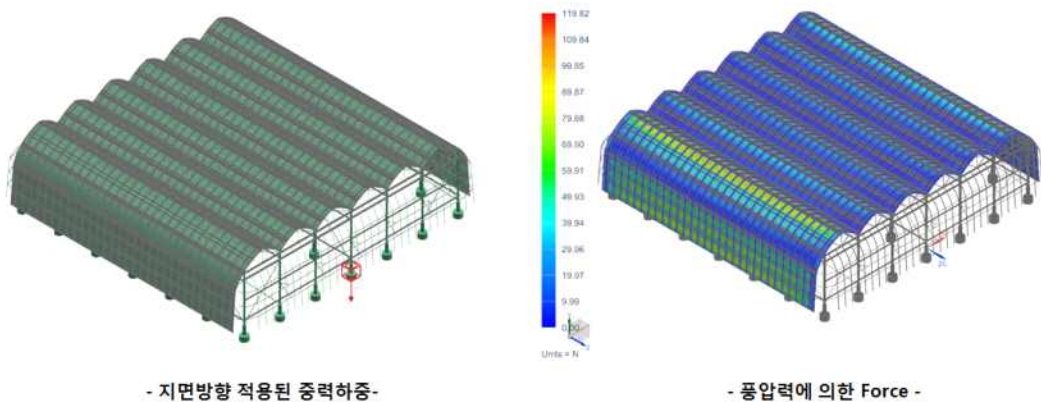
(다) 경계조건

온실 구조물에서 기초는 지면에 고정되는 부분으로, 주 기둥과 일체형인 독립기초의 하단은 자유도를 구속하였으며, 방풍 Pipe의 경우 미세 거동을 고려하여 풍하중 방향으로 1 mm의 병진거동이 가능하도록 하였으며, 그 이외의 축방향에 대한 병진 거동을 구속하였다. 이러한 구속조건은 다음 그림과 같다.



[그림 66] 구속조건 ( 풍하중 해석 )

구조물에 자중을 고려하여 하중조건은 다음 그림과 같이 적용하였으며, 유동해석의 Mapping Method를 통해 도출된 Force를 구조해석의 하중 조건으로 활용하였다.

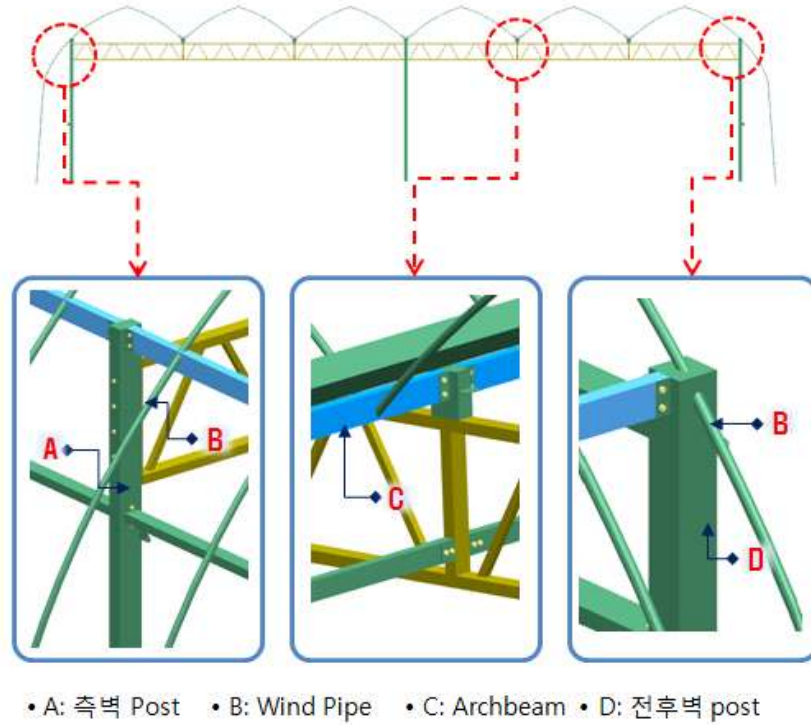


[그림 67] 하중조건( 풍하중 해석 )

(라) 해석결과

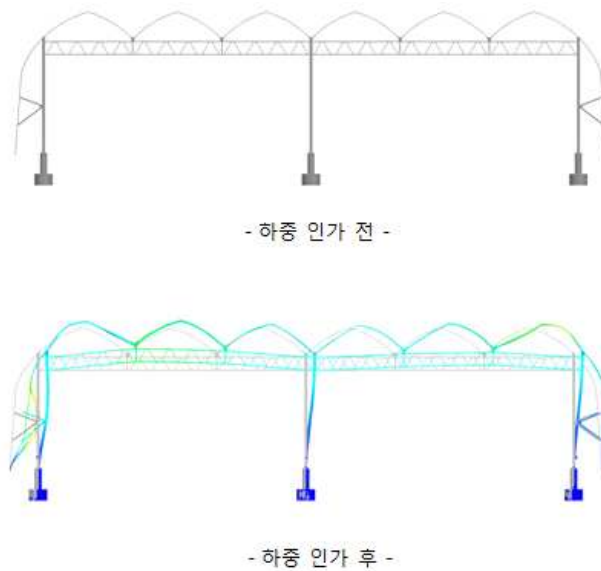
3-Span 온실구조의 적설하중에 대한 안전성을 검증 한 후, 풍력에 대한 구조적 안정성을 해석적으로 고찰하였다. 구조해석은 정적 선형으로 수행하였으며, 구조물의 변형과 각 부재의 취약부를 중심으로 해석결과를 검토하였다. 측면에서 발생하는 풍하중이 작용하는 주요 부재는 다음 그림과 같이 바람을 맞는 방풍Pipe와, 방풍Pipe와 연결되는 Archbeam, 그리고 전체 구조물을 지탱하는 측벽Post와 전후벽 Post로 나눌 수 있다.





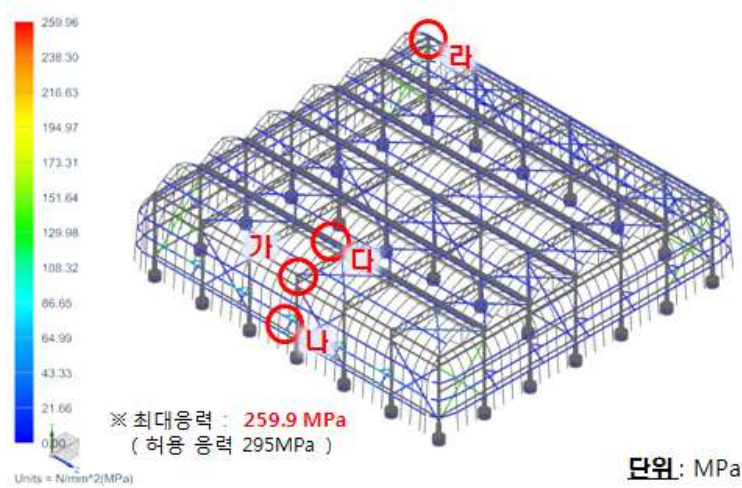
[그림 68] 풍하중을 받는 주요 부재

먼저 풍하중에 의해 발생하는 변형 형태는 다음 그림과 같이, 풍하중이 작용하는 방향으로 온실 구조물이 기울어지면서, 지붕 구조는 상부 쪽으로 들리는 변형이 발생하였다. 또한 지붕의 변형은 상부에서 발생하는 고속기류에 의해 형성된 양력에 의한 변형이며, 이러한 양력의 차이에 의해서 좌측 연동의 지붕이 우측 연동의 지붕보다 변형이 크게 나타났다. 다음 그림에서 변형 형태를 확인할 수 있으며, 바람의 진행 방향은 좌측에서 우측으로 부는 방향이다.



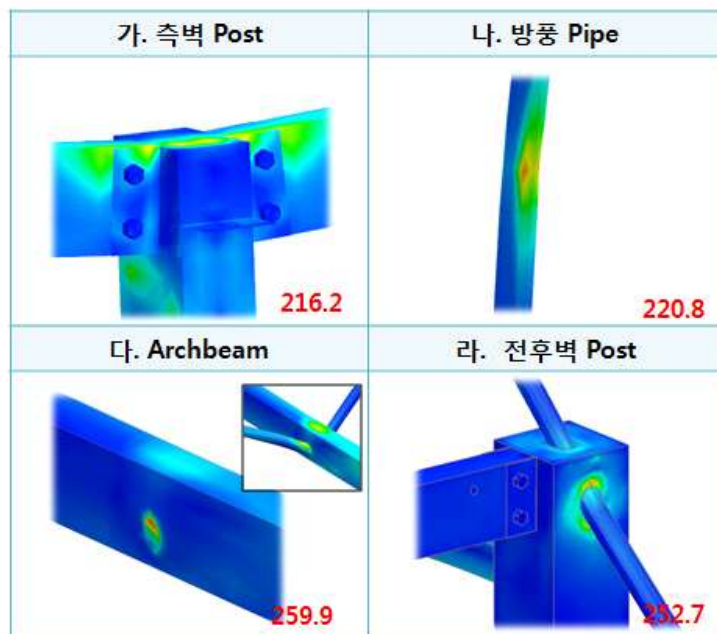
[그림 69] 풍하중 부하에 따른 구조물의 변형

위와 같은 구조의 변형과 함께 온실구조에서 발생하는 최대 응력은 259.9 MPa로 나타났다. 최대응력이 발생하는 부재는 Archbeam이며, 발생 위치 및 응력분포는 다음 그림과 같다. Archbeam의 경우 서까래와 연결되는 부분에서 최대응력이 발생하였다. 그리고 각 주요 부재의 최대응력과 발생위치를 살펴보면, 전후벽Post 중 전체 구조물의 모서리에 위치하는 Post에서 252.7 MPa의 응력이 발생하였다. 그리고 측벽 Post에서는 Archbeam을 연결하는 Bracket에서 216.2 MPa, 방풍 Pipe는 바람이 불어오는 방향에 위치한 Pipe에서 가로대Pipe와 연결되는 부위에서 220.8 MPa의 응력이 발생하였다. 각 부재에 응력 분포 및 위치는 다음 그림과 같다.



	가. 측벽 Post	나. 방풍 Pipe	다. Archbeam	라. 전후벽 Post
Stress	216.2	220.8	259.9	252.7

- 주요 부재의 최대응력 값 -



- 부재의 응력분포 -

[그림 70] 풍하중 해석결과

#### (마) 풍하중 구조해석 결론

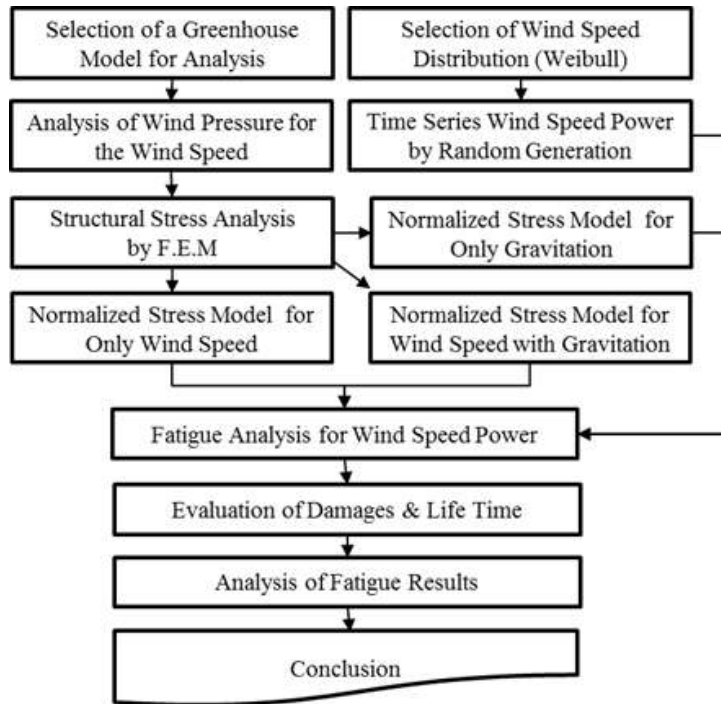
본 연구에서는 기상재해가 시설구조에 미치는 영향을 해석적으로 예측하여, 구조적 안전성을 확보하고자 하였다. 그리고 강풍을 고려하여 설계된 온실구조의 유한요소모델을 구축하여 풍하중을 고려한 구조해석을 수행하였다. 해석결과는 다음과 같이 요약 할 수 있다.

- 구조해석 결과, 50 m/s의 강풍 환경에서 온실구조에 발생하는 최대응력은 259.9 MPa로 부재의 295 MPa의 허용응력보다 낮게 발생하였다. 따라서 50 m/s의 강풍에서도 온실구조의 구조적 안정성이 확보됨을 확인 할 수 있다. 그러므로 카자흐스탄의 환경에서 안전한 원예 시설로의 기능을 충분히 안전할 것으로 기대된다.
- 풍하중에 의해 발생하는 온실구조의 취약부는 설하중에서 나타나는 것 같이 부재와 부재를 잇는 연결부분으로 나타났다. 따라서 부재를 연결하는 Bracket의 강성을 보강하면 온실의 내구성이 향상 되면서도 시공비용의 경제적 절감이 가능한 비닐온실구조의 설계가 가능 할 것으로 기대된다.

#### (3) 풍하중에 대한 온실구조의 피로수명 예측

본 절에서는 자중과 바람에 의한 하중이 복합적으로 작용할 때 구조물의 응력분포 변화를 고찰하고, 풍속에 대한 시계열(time series) Data는 Weibull 분포의 Random generation방법으로 만들어 피로수명 예측을 하였다. 풍하중은 유동해석을 수행하여 온실 외부에 작용하는 풍압을 계산하여 적용한다. 또한 Fatigue해석의 stress 모델은 풍하중에 의한 구조해석 결과인 stress를 풍속의 제곱으로 normalize하고, 중력에 의하여 발생하는 정적인 stress는 fatigue evaluation stress에 보정하는 방법과 중력을 무시한 경우 등의 다양한 해석을 수행 한다. 이러한 stress normalized model모델에 따라 피로해석 결과를 비교하여 적절한 피로해석 방법을 제안하고자 한다. 아래 그림은 해석 절차에 대한 Flowchart를 나타낸 것이다.





[그림 71] 피로수명 예측을 위한 해석절차

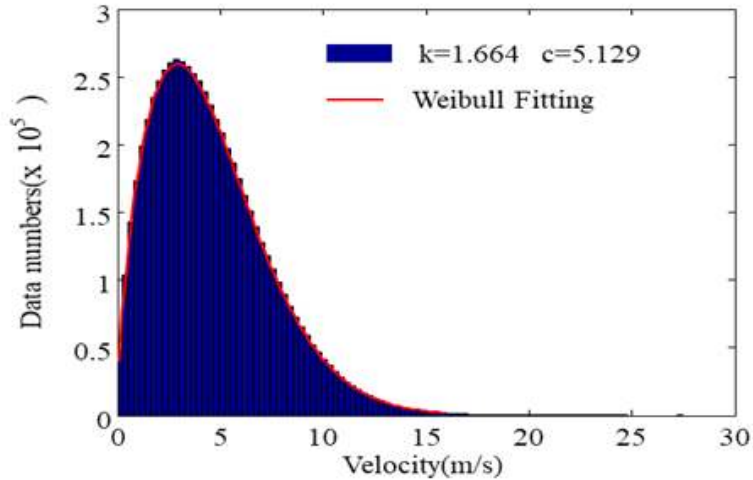
(가) Time Series Data of Wind Speed

일반적으로 풍속에 적용되는 확률밀도함수(probability density function, Pdf)는 Weibull distribution이며 그 식은 다음과 같다.

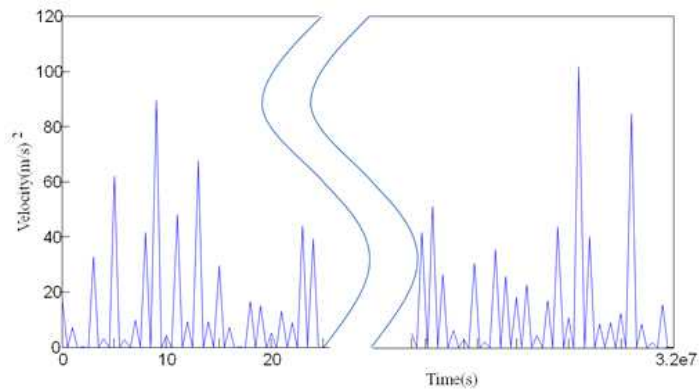
$$f(v) = \frac{k}{c} \cdot \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} \cdot e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k}$$

여기서 k는 shape parameter이며, c는 scale parameter, v는 wind speed이다.

따라서 풍속에 대한 속도 분포는 Weibull distribution으로 것으로 가정하였다. Weibull Parameter는 한국의 도서 지방에 적절한 Shape parameter(k) 1.664, scale parameter(c) 5.129을 기준으로 선택하였다. 그림과 같이 Fatigue 해석에 필요한 time series data는 Weibull distribution의 확률 밀도를 사용하여 wind speed를 약 3.2e+7개의 data를 random하게 발생시켜 2 Hz 미만으로 구성하였다. 이는 0.5ch 간격의 반년의 data에 해당한다. 또한 구조물은 풍속 30 m/sec이하에서 구조물 안전성을 확보 수 있게 설계한 것으로 최대 풍속은 30 m/sec 이하로 구성 하였다.



[그림 72] 풍속의 확률밀도 분포

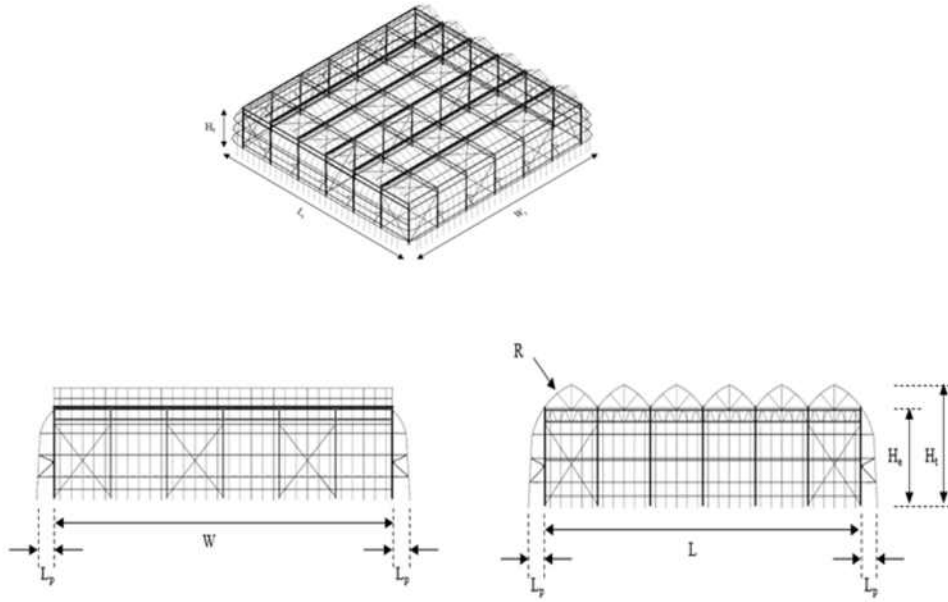


[그림 73] 풍속의 time serise data (0.5 year)

(나) Model 및 fatigue 해석 방법

본 연구에 이용된 온실은 3-span arch type이며 그림에 구조가 나타나 있다. 본 모델은 풍속 30 m/sec에 견딜 수 있게 설계된 것이다. 유동해석 공간은 경계면의 영향을 최소화하기 위하여 유동의 greenhouse의 길이와 높에 대하여 8배 이상과 폭 방향에 4배 이상으로 구성하였다. 구조에 대한 wind loading 조건은 유동해석을 통하여 얻은 압력을 바람과 접하는 온실 면의 finite elements 에 mapping하는 방법을 사용한다.

Structural analysis는 정적인 하중 중력과 동적인 하중 wind load에 대하여 각각 독립적으로 적용하는 해석과 중력과 풍하중이 동시에 작용하는 해석을 수행한다.

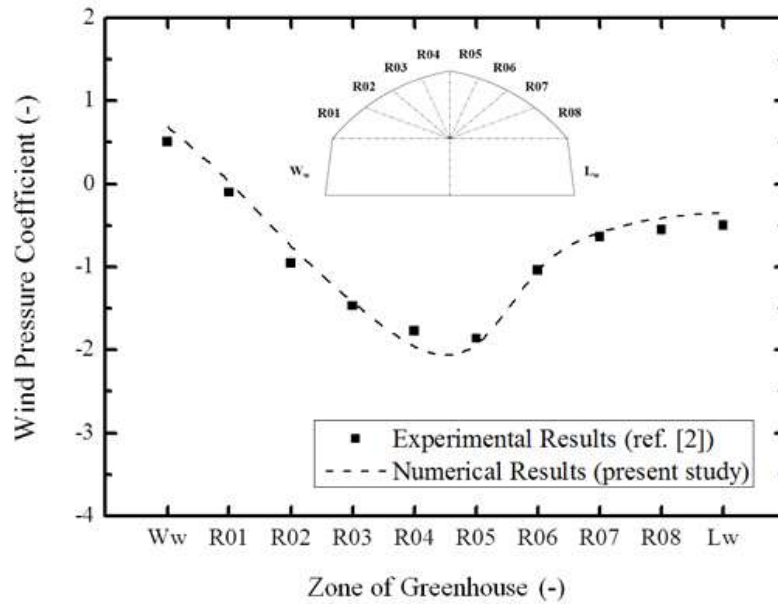


[그림 74] 구조해석을 위한 온실 모델

Fatigue analysis을 위한 structural stress model은 structural analysis 결과를 풍속 제곱으로 stress normalized하여 구성한다. Fatigue 해석은 S-N curve을 사용하여 해석한다. 또한 mean stress correction 방법은 Goodman(Gerber) 방법을 사용하여 적용한다. 그리고 잔류응력 및 국부적인 pre-stress는 Material properties을 수정하여 평가하는 방법을 사용하고 있으나, 중력과 같이 stress가 넓은 범위에 분포하고 있는 경우 이러한 방법은 적절하지 않다. 그래서 본 연구에서는 fatigue estimated stress에 직접 보정하는 방법을 사용한다.

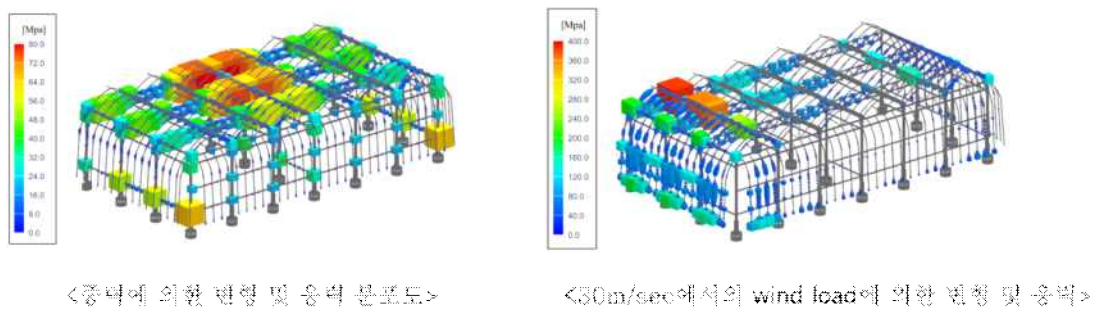
#### (다) Model 및 fatigue 해석 결과

유동해석의 정확도를 확인하기 위하여 단동 온실에 대하여 압력계수의 실험치와 해석치를 비교하였으며 아래 그림에 나타냈다. 그림에서 나타낸바와 같이 실험과 해석은 correlation coefficient 0.99로 잘 일치하는 것으로 나타났다.



[그림 75] 단동 온실의 실험 및 수치해석 결과 비교

아래 그림은 중력과 wind load에 대한 각각의 하중 조건에서 구조해석을 수행한 변형 및 응력의 결과를 나타낸 것이다. 중력에 의한 영향은 온실 구조의 중앙 부위에서 변위와 응력 값이 크게 나타나고 있으며 좌우 대칭 형상을 보이고 있으며, 최대 응력치는 85.9 MPa을 나타내고 있다. 또한 바람에 의한 영향으로 30 m/sec에서의 응력분포는 맞바람의 전면부와 속도의 최대치를 나타내고 있는 첫번째 및 두번째 roof에서 높은 응력값을 나타내고 있다.



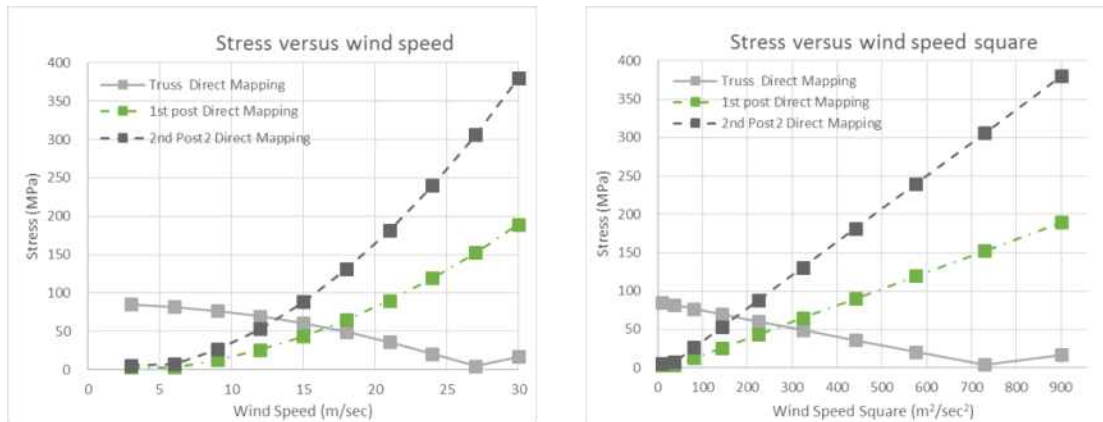
[그림 76] 온실의 응력해석 결과

또한 중력과 풍속이 동시에 작용할 때 stress와 어떠한 관계가 있는지를 고찰하기 위하여 응력 변화를 풍속에 따라 고찰 하였다. 다음 그림은 풍속에 따른 stress 분포를 나타내고 있다. stress 분포는 풍속이 증가하면서 응력 집중부위가 greenhouse의 바람을 맞받는 전면부에 이동하고 있음을 알 수 있으며 알 수 있다. 즉 풍속이 증가하면서 중력에 대한 비중이 작아지고 있다.



[그림 77] 중력과 wind load가 고려된 온실의 응력해석 결과

또한 다음 그림은 속도와 속도제곱에 대한 응력 변화를 나타낸 것이다. Wind load만 고려하였을 경우 응력은 속도 제곱에 비례하는 것으로 나타나고 있다. 그러나 중력과 풍하중이 동시에 작용할 경우는 풍속이 작은 경우에 비선형적인 특성을 보이고 있으나 높은 풍속에서는 선형적 특성을 보이고 있다. 이는 높은 풍속에서는 중력에 의한 영향이 풍하중에 비하여 무시할 만큼 작기 때문인 것으로 판단된다.

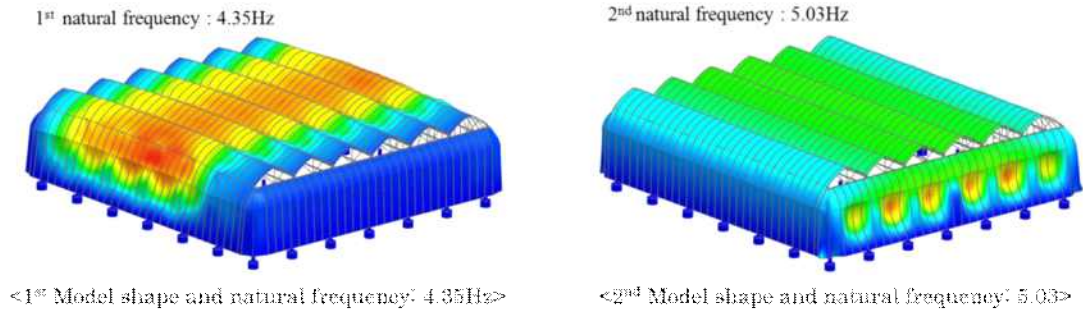


< Wind speed에 대한 응력 >

< Wind speed 제곱에 대한 응력 >

[그림 78] 속도 및 속도제곱에 대한 응력 변화

우선 fatigue 해석에 구조물의 동적인 특성을 고려하는지에 대한 검토로 구조물이 동적인 하중에 대하여 공진이 일어나는지 normal mode analysis 을 수행하였고 그 결과는 다음 그림에 나타났다. 그림에서 나타난 바와 같이 첫번째base mode가 4 Hz 이상에서 나타나고 있어 바람의 속도에 대한 주 주파수 대역인 2Hz 이하보다 높게 나타나 공진에 의한 피로수명의 영향은 무시할 만 한 것으로 판단할 수 있다. S-N curve를 이용한 fatigue 해석 결과는 중력과 풍하중에 대한 특성을 고려한 3가지 모델과 동적인 하중 분포 3가지의 조합에 의한 것으로 표에 나타났다.



[그림 79] 온실의 Natural frequency 및 model shape

[표 24] 온실의 Fatigue 해석 결과

Case	Loading condition of structure analysis	Stress compensate	Damage	Life cycle	Life years
1	OW	X	3.88E-03	2.58E+01	12.9
2	OW	O	3.05E-03	3.28E+01	16.4
3	W+GW at 12 m/sec	X	9.36E-03	1.07E+02	53.4
4	W+GW at 21 m/sec	X	2.46E-03	4.06E+01	20.3
5	W+GW at 30 m/sec	X	3.13E-03	3.20E+01	16.0
Remak	OW: Only wind loading, W: wind loading, GW: weight of gravity loading, X: No apply, O: apply				

위 표에서 나타난 바와 같이, 중력에 의한 피로수명의 영향은 한국의 도서지방을 기준으로 21% 길어지는 것으로 나타나고 있다. 이는 중력에 의한 영향을 고려하지 않을 경우 damage가 over estimate됨을 알 수 있다. 수명이 길어지는 것은 중력과 풍하중의 방향이 서로 반대되어 응력의 일부가 상쇄되기 때문이다. 또한 중력과 풍하중이 동시에 작용하는 fatigue base model 을 사용 할 때 높은 풍속에서의 결과를 사용하면 중력의 영향이 작아져 수명이 줄어들고, 낮은 풍속의 스트레스 해석 결과를 사용하면 중력에 대한 영향이 큰 것으로 수명이 길어지는 경향을 보인다. 이는 중력에 의하여 발생하는 stress을 속도 제곱으로 normalize함으로 중력에 의한 영향이 속도가 클수록 작아지면서 중력 보정을 하지 않은 수명에 수렴하며 짧아지는 것이다. 따라서 fatigue 해석은 풍속의 크기 빈도 분포뿐만 아니라 모델의 구성 방법에 따라 결과가 다르게 나타나고 있음을 알 수 있다. 그러므로 온실 구조의 수명 예측은 중력에 의한 영향을 고려하여야 하며 동적하중에 의하여 발생하는 fatigue estimate stress에 정적인 하중을 보정하여 해석하는 것이 타당한 것으로 판단할 수 있다.

## 2. 내재해형 온실 내부 유동 및 풍하중 해석

### 가. 내재해형 온실 내부 유동 해석

#### (1) 온실 내 유동 수치 모델링

본 연구에서는 온실내 작물 생육을 안정적으로 유지하기 위해서는 여러 영향인자 중 온실 내 미기상 환경을 얼마나 균일하게 유지하느냐 하는 것이다. 이는 작물 생육이 주변 환경적 영향

보다는 온실내 미기상 환경에 큰 영향을 받기 때문이다. 작물 생육은 특히 기온에 민감하게 반응하고 개화, 결실 등 특정 생육 단계에서는 특히 기온의 영향을 많이 받는다. Bakker은 토마토 생육 시험에서 온실내 습도가 높을수록 칼슘 결핍이 빨리 나타남과 동시에 엽면적이 감소하게 되고 수량, 평균 과중, 품질 등이 감소하는 것으로 보고하였다.

온실내 환경 요인들의 균일성을 개선하는 가장 유망한 기술 중의 하나로 온실내 공기 유동률을 높이는 방법이 보고 되고 있다. 공기 순환은 온실내 CO<sub>2</sub> 농도와 기온을 좀더 균일하게 만들어 줌으로써 증산과 광합성 과정에서 균일한 생육을 촉진시킨다. 더욱이 잎 부근의 공기 흐름을 증가시키는 것은 엽면경계층 저항을 감소시켜 잎과 주변 공기 간 에너지, 수증기, CO<sub>2</sub> 등의 흐름을 개선하는 효과가 있다. 공기 순환을 촉진시키기 위하여 일반적으로 수평 환기팬 공기 순환방법과 상부 플라스틱 천공튜브 방법이 사용되고 있다. 수평 순환팬 공기 순환방법은 일정한 간격으로 순환팬을 설치하여 온실 전체의 공기를 순환시키는 방식이고, 상부 플라스틱 천공튜브 방법은 온실 끝벽에 설치된 팬에 일정한 간격으로 천공된 튜브를 연결하여 구멍을 통해 공기를 분사하여 일정 구역의 공기를 순환시키는 방식이다.

수평팬 공기 순환방법은 상부 플라스틱 천공튜브 방법에 비해 유지비, 초기 투자비가 적게 들고 공기 순환 또는 열분해에 좀더 효율적인 것으로 보고되고 있다. 수평적인 공기 흐름을 만들기 위해서는 작물 군락 위에 순환팬을 설치하는 것이 가장 유용하다<sup>7)</sup>. 작물 생육을 위한 최소 기류속도는 0.2 m/sec이고, 적정 기류속도는 0.3~0.5 m/sec이며, 1.0 m/sec를 초과해서는 안된다. 따라서 순환팬의 선택과 배치는 매우 중요한 고려인자이다. 순환팬 용량이 크면 과도한 공기 유동을 만들어 작물 생육이 억제되고 유지 관리비가 증가하는 문제가 있으며, 순환팬 용량이 너무 작으면 원하는 공기 유동을 만들 수 없다.

순환팬의 적정 배치 및 용량과 관련하여 여러 문헌에서 그 기준을 제시하고 있다. 하지만 이러한 기준들은 온실 내부에 균일한 기류속도를 만들어 주는데 초점을 두고 있으며, 이를 검증할 수 있는 순환팬 관련 실험데이터도 없고 주변에 환경에 영향을 받는 관계로 데이터의 신뢰도가 높지 못하여 이를 보완할 수 있는 수치해석적 방법이 제안되어 현장에 다양하게 적용되고 있다. 이에 본 연구에서는 온실 내부 미기상 변화의 주 메카니즘인 공기 유동을 가시적으로 분석할 수 있어 기류의 복잡한 움직임을 해석하고 적절한 설계안을 도출해 내기 위하여 수치해석 방법을 적용하여 순환팬에 의한 온실내 유동 특성을 파악하여 온실내 순환팬의 배치 및 수량을 최적화하고자 한다.

## (2) 수치해석 및 방법

### (가) 난류모델

온실내 순환팬에 의한 내부 난류유동을 수치모델링 하기 위하여  $k-\epsilon$ 모델<sup>12)</sup>을 사용하였고, 난류운동에너지  $k$ 와 난류운동에너지 소산율  $\epsilon$ 의 각각의 지배방정식(7), (8)에 의해 계산된다.

난류 전단력은 Boussinesq 가정에 의하여 에디 또는 난류점성계수  $\mu_t$ 와 평균속도 구배의 곱으로 표시되며, 난류점성계수  $\mu_t$ 는 Prandtl-Kolmogorov 관계식으로부터 산출된다.

$$\mu_t = C_\mu \frac{\rho k^2}{\epsilon} \quad (1)$$

난류점성계수  $\mu_t$ 는 난류운동에너지  $k$ 와 난류운동에너지 소산율  $\epsilon$ 의 지배방정식으로부터 구

한  $k$ 와  $\varepsilon$ 의 해로 구해질 수 있다.

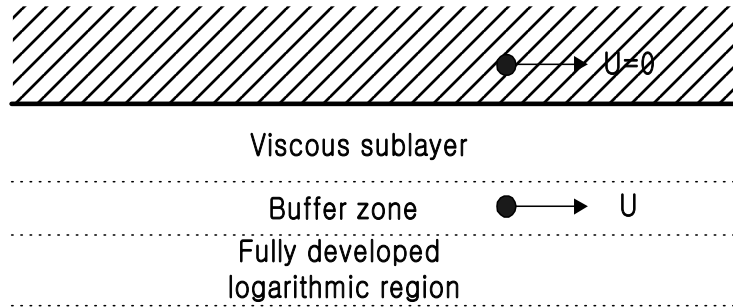
따라서 유효점성계수(effective turbulent viscosity)는 식(2)과 같이 층류점성계수( $\mu$ )와 난류점성계수( $\mu_t$ )의 합으로 주어진다.

$$\mu_{eff} = \mu + \mu_t \quad (2)$$

여기서 유효 점성계수  $\mu_{eff}$ 가 구해지면 물질 또는 에너지 전달식의 확산계수는 난류에서 Schmidt수 또는 Prandtl수인  $\sigma$ 를 이용하여 물질 및 에너지의 전달계수를 각각 구할 수 있다.

(나) 벽함수

벽 근처에서의 수치 해석은 특별한 처리가 요구되는데 그 이유는 벽 근처에서의 유체 흐름의 형태가 층류저층(viscous sublayer), 버퍼층(buffer layer), 그리고 완전 난류영역으로(logarithmic region)으로 급격하게 변하기 때문이다. 아래 그림에 벽면 근처에서의 각 층을 나타내었다. 여기서  $u$ 는 유체의 유속을 말한다.



[그림 80] 벽근처 레이어층 구성도

식(1)의 난류점성계수는 완전히 발달한 완전 난류층에 적용되므로 벽근처의 층류저층을 해석하기 위하여 난류점성계수를 새롭게 정의해야 한다.

$$\begin{aligned} \mu_{eff} &= \mu & y^+ < 11.5 \\ &= \frac{\mu y^+}{2.5 \ln(9y^+)} & y^+ \geq 11.5 \end{aligned} \quad (3)$$

여기서,  $y^+ = \rho k^{\frac{1}{2}} C_{\mu}^{\frac{1}{4}} \frac{y_l}{\mu}$ ,  $y_l$ 은 최초의 내부 grid point에서 벽까지의 거리이다.

(다) 국부 체류시간

온실내의 유동 특성을 파악하는데 국부체류시간(local residence time)은 중요하다. 이것은 계산영역 내의 임의의 점에서 계산이 필요한데 주입된 유체가 그 점에 도달하여 얻어진 시간이다. 국부체류시간은 일반 지배방정식(10)의 종속변수  $\phi$ 를 체류시간  $t$ 로 하고, 생성항  $S_{\phi}$ 는 식(4)와 같이하여 계산한다.



$$S_\phi = \Delta t \sum_j \dot{m}_{inj} = \frac{\rho Vol}{\sum_j \dot{m}_{inj}} \sum_j \dot{m}_{inj} = \rho Vol \quad (4)$$

여기서,  $Vol$ 은 셀의 체적,  $\dot{m}_{inj}$ 는  $j$ 면을 통하여 셀에 유입되는 질량 유량,  $\sum$ 는 모든 면에서 합을 의미한다.

(라) 지배방정식

온실내 3차원 난류유동의 해석을 위해 정상류 유체라 가정하였으며, 종속변수들을 계산하기 위해 지배방정식을 벡터 텐서(vector tensor)형태로 나타내면 다음 식들과 같다.

(a) 연속방정식

$$\frac{\partial(\rho u_i)}{\partial x_i} = 0 \quad (5)$$

(b) Navier-Stokes 운동 방정식

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_i u_j) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \mu^{eff} \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right] \quad (6)$$

(c)  $k-\epsilon$  난류모델 지배방정식

▶ 난류 운동에너지 방정식

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j k) = \frac{\partial}{\partial x_j} \frac{\mu^{eff}}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_j} + G_k - \rho \epsilon \quad (7)$$

▶ 난류에너지 소산율 방정식

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j \epsilon) = \frac{\partial}{\partial x_j} \frac{\mu^{eff}}{\sigma_\epsilon} \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} + C_1 \frac{\epsilon}{k} G_k - C_2 \rho \frac{\epsilon^2}{k} \quad (8)$$

$$G_k = \mu_t \left[ \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right] \frac{\partial u_j}{\partial x_i}$$

$$C_1 = 1.44, \quad C_2 = 1.92, \quad C_\mu = 0.09, \quad \sigma_k = 1.0, \quad \sigma_\epsilon = 1.3$$

(d) 에너지 방정식

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j h) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \frac{\mu^{eff}}{\sigma_h} \right) \frac{\partial h}{\partial x_j} + S_h \quad (9)$$

(마) 이산화방법 및 알고리즘

난류 유동에 대한 유동장을 해석하기 위한 일반 종속변수에 대한 지배 방정식은 대류 및 확산 속(flux)의 텐서(tensor)와 단위체적당 생성항의 합으로 식(10)와 같다.

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho V_i \phi) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[ \rho \Gamma_\phi \frac{\partial \phi}{\partial x_i} \right] + S_\phi \quad (10)$$

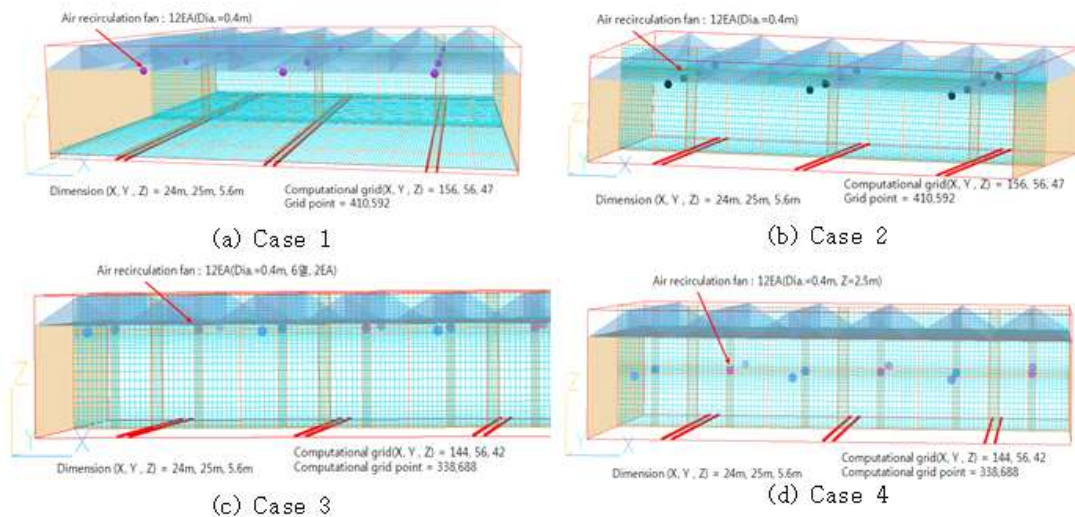
위 식에서  $\phi$ 는 일반적인 종속변수로서 속도성분( $u, v, w$ ), 압력( $p$ ) 및 난류 에너지( $k, \epsilon$ ), 국부 체류시간( $t$ ), 동점성( $\mu$ ), 온도( $T$ )이다. 일반적인 2차 편미분 지배방정식의 해를 얻기 위해서는 검사 체적에 기초한 유한차분방법(control volume based finite difference method)을 사용하였고, 대류항의 선형화를 위해 상류도식(upwind scheme)을 이용하여 차분 방정식

(discretization equation)을 유도하였다.

본 연구에서 사용한 수치해석은 Patanker방법을 사용하였으며 차분화된 운동방정식으로 셀 압력(cell pressure) decoupling을 없애기 위하여 엇갈린 격자망(staggered grid arrangement)을 사용하였다. 각 검사체적에 대한 차분 방정식은 Line-by-line TDMA (Tridiagonal Matrix Algorithm)에 의해 해를 구하였으며, Navier-Stokes 운동방정식에서 나타나는 압력과 속도의 연계는 빠른 수렴을 위하여 SIMPLEST알고리즘(Semi Implicit Method for Pressure-Linked Equations Shortened)을 사용하였다. 또한 격자점 사이에서 임의의 함수값 보정은 Power-law scheme에 의해 실행되었다. 그리고 본 3차원 온실 내에 열유동 해석은 상용수치해석 프로그램인 PHOENICS 2014를 사용하였으며, 수치해석에 적용한 좌표계는 직교좌표계(cartesian coordinate)를 적용하였다.

### (3) 온실 형상 및 경계조건

아래 그림은 온실내 순환팬의 배치에 따른 온실내 유동 특성을 파악하기 위하여 온실 형상 모델링과 계산 격자를 나타낸 것이다. 본 온실은 카자흐스탄 현지 여건을 고려하여 내재해형 광폭 온실로 설계된 것을 3차원 형상 모델링한 것이다. 본 모델은 온실 지붕을 3span, 2연동으로 설계하였고, 온실 디멘전(dimension)은 길이(X), 폭(Y), 높이(Z)로 각각 24 m, 25 m, 5.6 m (측고 4m)이다. Case 1, Case 2의 경우에 계산격자(Computational grids)는 길이(X), 폭(Y), 높이(Z)로 각각 156, 56, 47로 계산 격자점은 410,592 개이며, Case 3, Case 4의 경우에 계산격자(Computational grids)는 길이(X), 폭(Y), 높이(Z)로 각각 144, 56, 42로 계산 격자점은 338,688 개다.



[그림 81] 온실 형상 모델링 및 계산격자

아래 표는 온실내 순환팬의 배치에 따른 온실내 유동 특성을 파악하고자 순환팬의 배치를 변수로 설정하여 변수별 연구를 통해 순환팬의 배치에 따른 유동 특성을 파악하였다. 온실내 순환팬은 총 12개를 배치하였으며, 직경( $\phi$ ) 0.4 m로 풍량은  $50 \text{ m}^3/\text{min}$ 로 동일하다. 이때 온실에 분산되는 순환팬의 풍량은 NRAES10에서 제시한 온실에 필요한 전체 팬용량( $\text{m}^3/\text{min}$ )을 기준

으로 설정하였다.

Case 1의 경우에는 순환팬을 배치열 간격 8 m로 하여 3열 배열하고 열당 총 4개의 순환팬을 설치하여, 모든 순환팬이 동일방향으로 분사되도록 배치하였다.

Case 2의 경우는 Case 1과 거의 모든 조건을 동일하게 한 상태에서 열별로 배치된 순환팬의 방향이 교차되도록 하였다.

Case 3의 경우에는 순환팬에 대한 개수, 직경, 풍량은 Case 1, 2와 동일하게 유지하고 배열을 3열에서 6열로 순환팬의 배열 간격을 4 m로 줄이고 열당 배치된 순환팬의 개수도 4개에서 2개로 축소하였다. 그리고 배열별로 순환팬을 Case 2와 같이 교차방향으로 분사되도록 하였다.

Case 4는 Case 3과 동일한 조건에서 오직 순환팬의 배치 높이를 기존 4 m에서 작물과 가까워진 2.5 m로 변경한 경우이다.

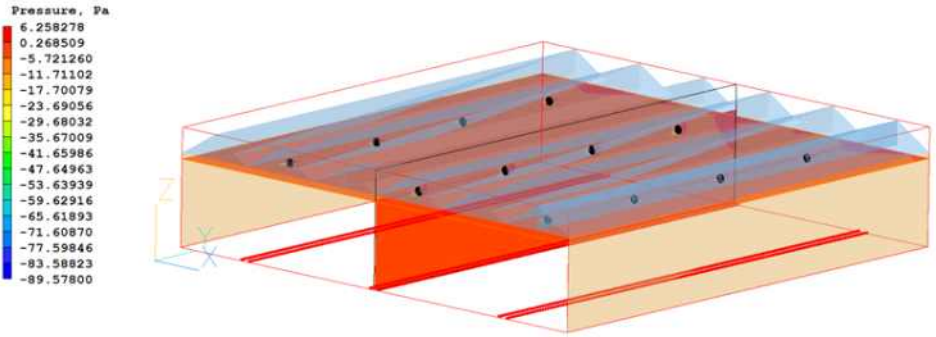
[표 25] 온실내 순환팬 경계조건

항목	순환팬 개수(EA)	순환팬 직경(m)	풍량 (m <sup>3</sup> /min)	배열 (팬개수/열)	배치	순환팬 높이(m)
Case 1	12	0.4	50	3열 (4EA/열)	한방향	4.0 m
Case 2				3열 (4EA/열)	교차	4.0 m
Case 3				6열 (2EA/열)	교차	4.0 m
Case 4				6열 (2EA/열)	교차	2.5 m

#### (4) 온실 내 유동 해석 결과

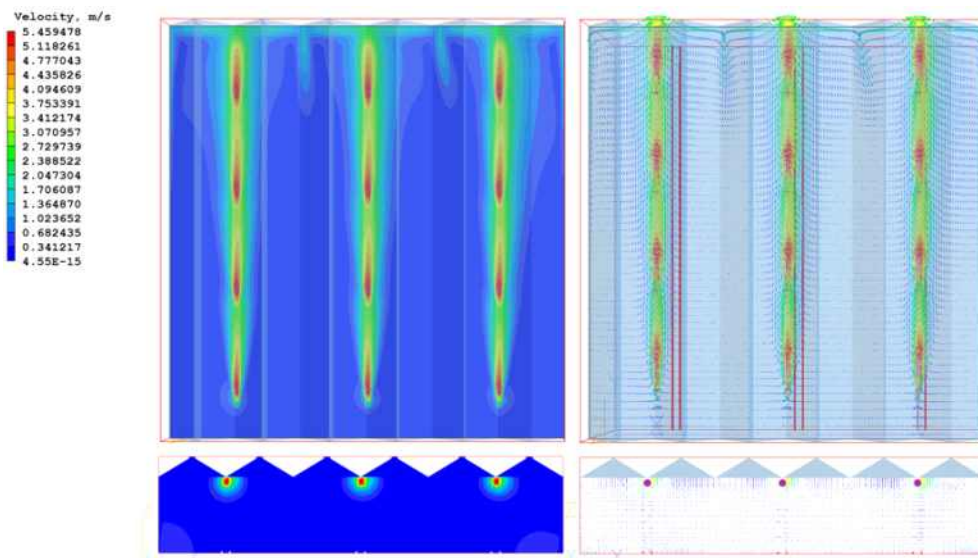
##### (가) Case 1 유동 특성

아래 그림은 온실내 유동 특성을 파악하기 위하여 압력분포를 나타낸 것이다. 온실내의 압력 분포를 보면 전체적으로 0.26 Pa 이상에 값을 보이고 있으며, 다음 두 번째 그림에서 보는 바와 같이 온실에서 유체의 흐름이 부딪치는 온실 흐름방향 끝단부에서는 6.25 Pa정도로 압력이 높아지고 있다. 그리고 순환팬의 공기가 분사되는 후단부에서는 순환팬에서 공기를 흡인하는 관계로 압력분포가 29 Pa에 부압이 형성되고 있음을 알 수 있다. 따라서 순환팬에 의한 공기 유동으로 온실내의 압력 변화는 크지 않음을 확인하였다.



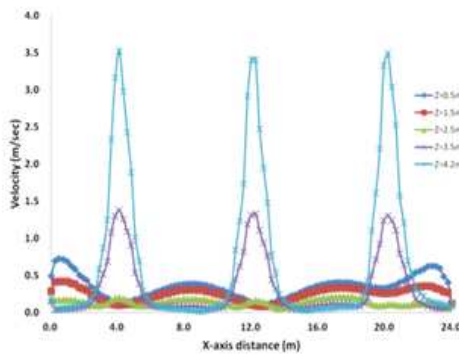
[그림 82] 온실내 압력분포

다음 그림 온실내 유동 특성을 파악하기 위하여 속도분포와 속도벡터를 나타낸 것이다. 유동 특성은 순환팬이 위치한 중심부로 높이 4.2 m에 xy 평면에 유동 분포와 폭 9.0m에 zx 평면에 유동 분포를 나타낸 것이다. 높이 4.2 m에 xy 평면에서 속도분포를 보면 순환팬에서 전방으로 5.45 m/sec로 분사된 공기는 동일방향으로 배치된 순환팬의 영향으로 흐름방향으로 선형적인 빠른 공기 흐름을 형성하며 온실 끝단부 벽면으로 진행되고 있다. 그리고 이 흐름은 속도벡터에서 보는 바와 같이 온실 끝벽에 부딪치면서 좌우로 흐름이 분산되고 분산된 흐름은 순환팬이 배치되지 않은 부분에서 양쪽 순환팬에서 분산된 흐름이 서로 합쳐지면서 순환팬 분사방향과 반대방향으로 공기 흐름이 형성되고 있다. 또한 분산된 흐름에 일부가 유동분포에서 보는 바와 같이 온실 하부로 유도되어 하향류 흐름을 형성하면서 순환팬 분사방향과 반대방향으로 흐름이 변화되어 흐르는 것을 알 수 있다. 이때 폭 9.0 m에서 zx 평면에 속도분포를 보면 실제 순환팬이 분사되는 영역 주변 외에는 온실 전체적으로 0.3 m/sec정도에 속도분포를 보이고 있다. 이는 아래 두 번째 그림 (a)의 X-축방향 속도프로파일에서도 확인할 수 있으며, Kim<sup>8)</sup>이 언급한 온실내 적정 기류속도 0.3~0.5 m/sec를 만족하고 있지만 유선분포에서 보는 바와 같이 온실 전면부까지 적정 기류속도 보다는 낮은 값을 나타낼 것으로 판단된다.

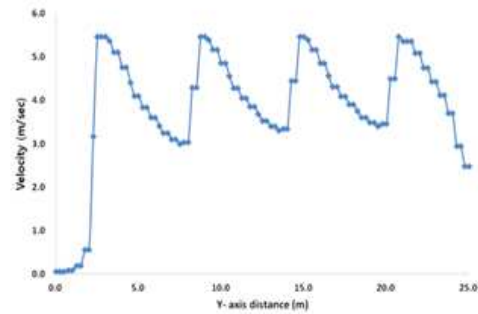


[그림 83] 온실내 속도 분포

아래 그림은 온실내 폭방향 중심에서 높이방향 특정점에 X-축 방향으로 속도프로파일과 X축 12 m 지점에서 높이방향 4.2 m에 Y-축방향으로 속도프로파일을 나타낸 것이다. 아래그림의 (a)를 보면 순환팬에 의한 공기 유동이 크게 영향을 주는 것은 온실 높이 3.5 m이상으로 높이 3.5m 이하에서는 주변 공기 흐름보다 약한 흐름을 형성하고 있다. 하지만 아래 그림 (b)에서 보는 바와 같이 온실 높이 3 m이내에서는 대체적으로 유속이 0.3 m/sec 내외로 유사한 분포 특성을 보이고 있다. 하지만 이 유속은 그림의 유선분포를 고려할 경우에 온실 전면부까지는 0.3 m/sec에 유속보다 낮은 값을 나타낼 것으로 판단된다.



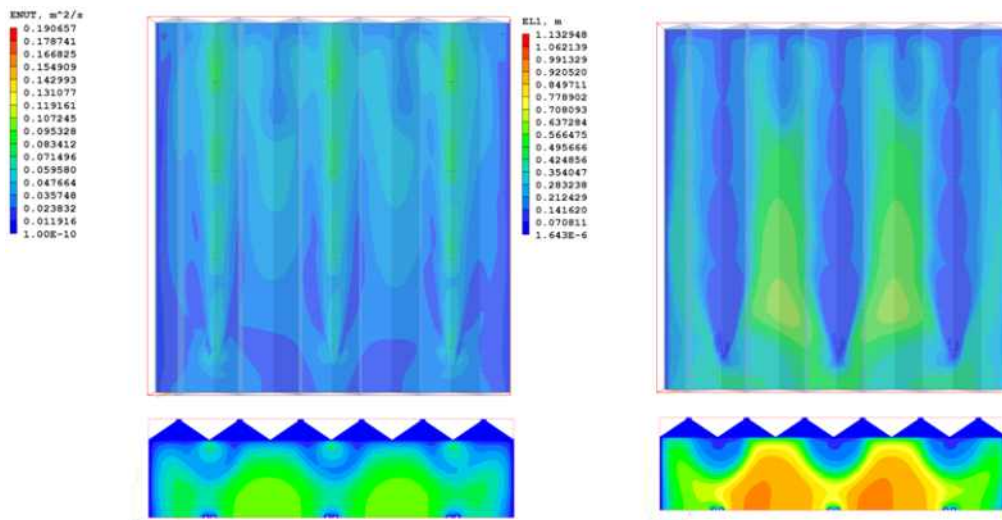
(a) X-축방향 속도프로파일



(b) Y-축방향 속도프로파일

[그림 84] 온실내 속도프로파일

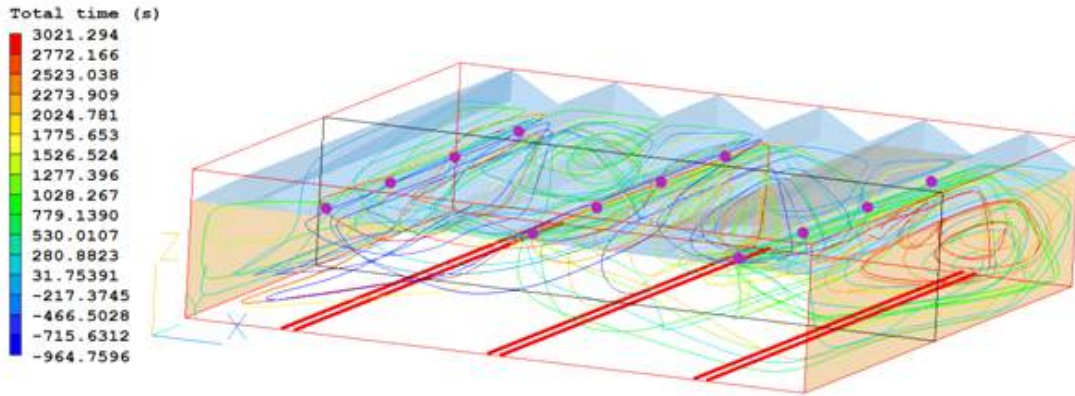
아래 그림은 온실내 공기 유동에 의한 국지 난류(local turbulence)에 의한 유효동점도 (effective kinematic viscosity)와 혼합길이(mixing length-scale)를 나타낸 것이다. 난류흐름이 큰 부분에서는 유효동점도가 크게 되고 난류흐름이 약해 층류적 흐름을 형성하거나 재순환영역이 형성되어 흐름이 저하되는 부분에서 혼합길이가 높은 값을 나타낸다.



[그림 85] 온실내 유효동점도(ENUT)와 혼합길이(EL1)



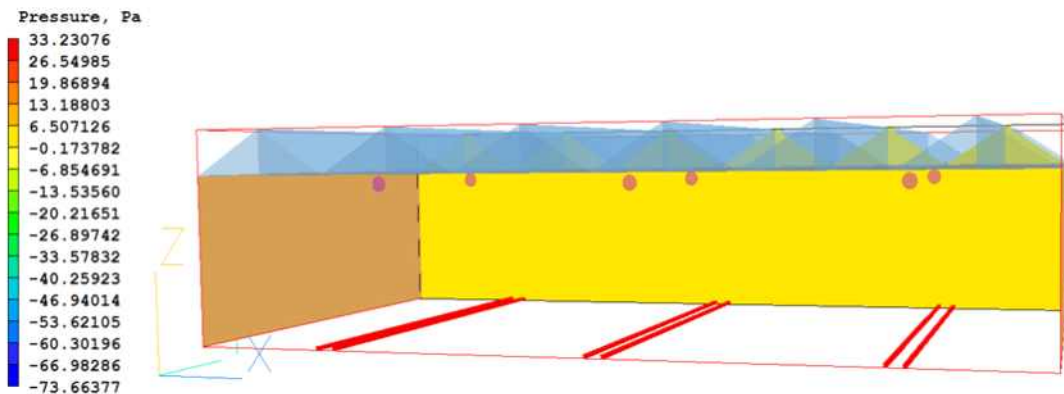
다음 그림은 온실내 공기의 유속이 동일한 점을 연결한 유선분포를 나타낸 것이다. 앞의 속도 분포에서 보는 바와 같이 순환팬에서 분사된 흐름은 흐름방향으로 빠르게 유도되고 온실 후면 벽부에 부딪치면서 흐름이 분산되어 온실 하부로 유도되면서 온실 전면부로 흐르고 있지만 온실 전면부까지는 충분한 흐름을 형성하지 못하고 있고, 온실 후면부에 하단에 강한 재순환영역이 형성되고 있음 알 수 있다.



[그림 86] 온실내 유선분포

(나) Case 2 유동 특성

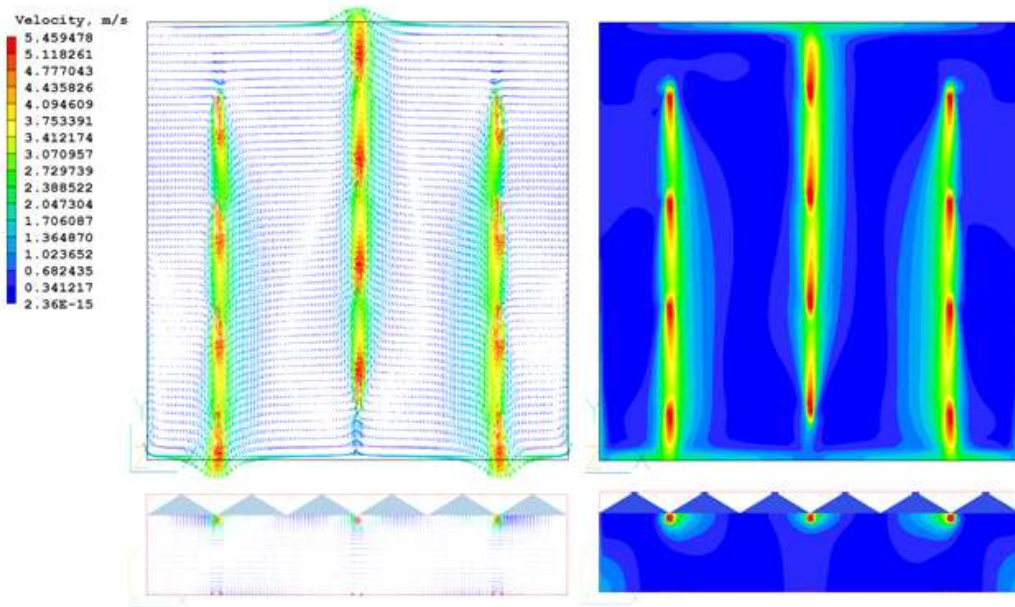
온실 내 유동 특성을 파악하기 위하여 압력분포를 나타낸 온실의 압력분포(아래그림)를 보면 전체적으로 6.5 Pa 정도에 값을 보이고 있으며, 순환팬에서 공기가 분사되는 근처 영역을 제외한 온실 전체적으로는 순환팬에 의한 공기 유동으로 압력 변화는 크지 않음을 알 수 있다.



[그림 87] 온실내 압력분포

Case 1과 거의 모든 조건을 동일하게 한 상태에서 열별로 배치된 순환팬의 방향이 교차되도록 한 상태에 유동 특성에 대해 파악하기 위하여 속도분포와 속도벡터([아래그림])를 나타 내었다. 유동특성은 순환팬이 위치한 중심부로 높이 4.2 m에 xy 평면에 유동 분포와 폭 9.0 m에

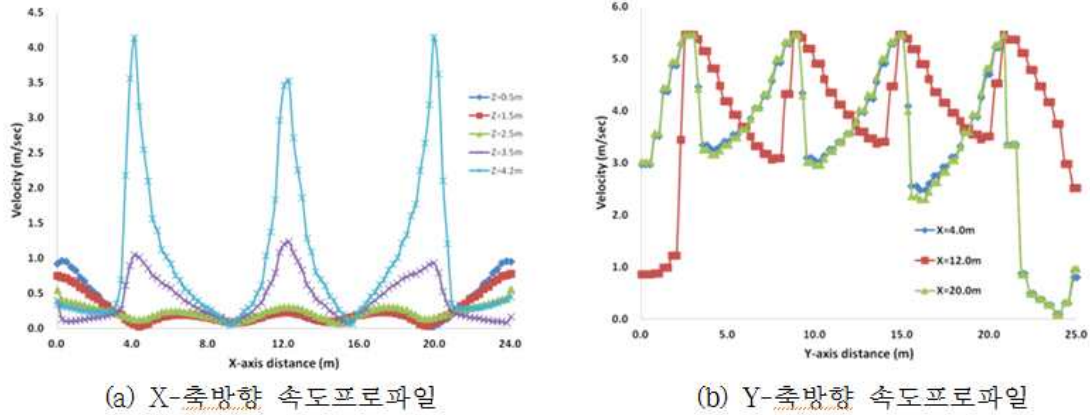
zx 평면에 유동 분포를 나타낸 것이다. 높이 4.2 m에 xy 평면에서 속도분포를 보면 순환팬에서 전방으로 5.45 m/sec로 분사된 공기는 동일방향으로 배치된 순환팬의 영향으로 흐름방향으로 선형적인 빠른 공기 흐름을 형성하며 온실 끝단부 벽면으로 진행되고 있다. 그리고 이 흐름은 속도벡터에서 보는 바와 같이 온실 끝벽에 부딪치면서 좌우로 흐름이 분산되고 있다. 순환팬을 배열을 교차 배열하여 분사함으로써 단일방향 순환팬의 배치에 비해 낮은 속도 흐름을 형성하는 부분이 줄어드는 것을 알 수 있고, 또한 높이방향에서 온실 하단부까지 흐름이 Case 1에 비해 크게 형성되고 있어 전체적인 공기 흐름은 Case 1에 비해 고른 흐름을 형성하는 것을 알 수 있다.



[그림 88] 온실내 속도 분포

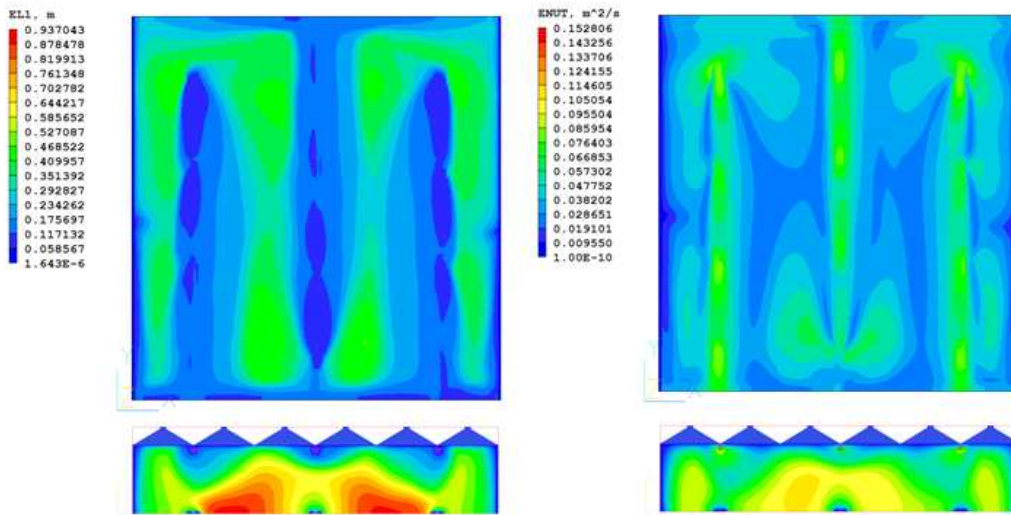
아래 그림은 온실내 폭방향 중심에서 높이방향 특정점에 X-축 방향으로 속도프로파일과 X축 12 m 지점에서 높이방향 4.2 m에 Y-축방향으로 속도프로파일을 나타낸 것이다. [그림 81] (a)를 보면 순환팬에 의한 공기 유동이 크게 영향을 주는 것은 온실 높이 3.5 m 이상으로 높이 3.5 m 이하에서는 주변 공기 흐름보다 약한 흐름을 형성하고 있다. 하지만 온실 길이방향 좌우 측면에서는 온실 흐름방향 끝단면에서 부딪치면서 변한 공기 분사흐름이 측벽부에 Case 1에 비해 높게 형성되고 있다. 그리고 온실 높이방향 하단부에서는 0.3 m/sec 이상에 공기 흐름을 형성하고 있다. 그리고 [그림 81] (b)에서 보면 순환팬에서 분사된 유속은 순환팬의 위치에서 높이방향 3 m 이상 정도에서만 유동에 영향을 미치고 있음을 알 수 있다.





[그림 89] 온실내 속도프로파일

아래 그림은 온실내 유동 특성을 파악하기 위한 혼합길이(mixing length-scale)와 국지 난류(local turbulence)에 의한 유효동점도(effective kinematic viscosity)를 나타낸 것이다. [그림 81] (a)는 혼합길이를 나타낸 것으로 순환팬의 주 분사흐름부가 아닌 분산되어 2차적인 흐름이 유도된 온실 내 부분에서 높은 혼합길이 값을 나타내고 있다. 온실 하부에서 중심부에서 가장 높은 공기의 혼합길이를 나타내고 있다. [그림 81] (b)는 유효 동점도를 나타낸 것으로 순환팬에서 분사되는 공기 유속이 강하게 형성되고 있는 순환팬 흐름부에서 높은 값을 보이고 있다.

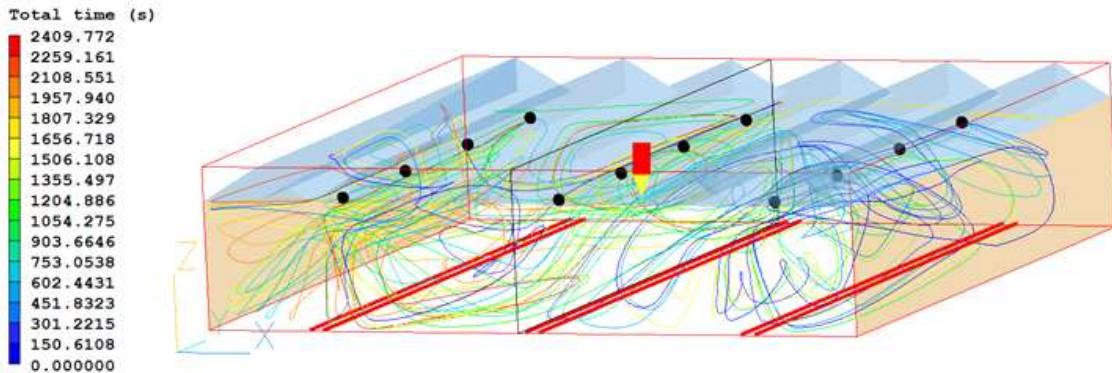


(a)온실내 혼합길이(EL1) (b)유효동점도(ENUT)

[그림 90] 온실내 혼합길이(EL1)와 유효동점도(ENUT)

아래 그림은 온실내 공기의 유속이 동일한 점을 연결한 유선분포를 나타낸 것이다. 앞의 속도 분포에서 보는 바와 같이 교차배열한 순환팬에서 분사된 흐름은 흐름방향으로 빠르게 유도되고 흐름방향 후면벽부에 부딪치면서 흐름이 분산되어 온실 하부로 유도되면서 분사방향 반대 방향으로 흐르면서 Case 1에서 온실 전면부에 흐름 형성이 약한 문제점을 보이고 있지만 Case 2의 경우에는 온실 전체적으로 충분한 온실 유동 특성을 보이고 있다. 따라서 온실내에

순환팬의 배치는 단방향으로 배치하는 것보다는 교차적으로 순환팬을 배치하는 것이 온실내 유동 최적화면에서는 효율적일 것으로 판단된다.

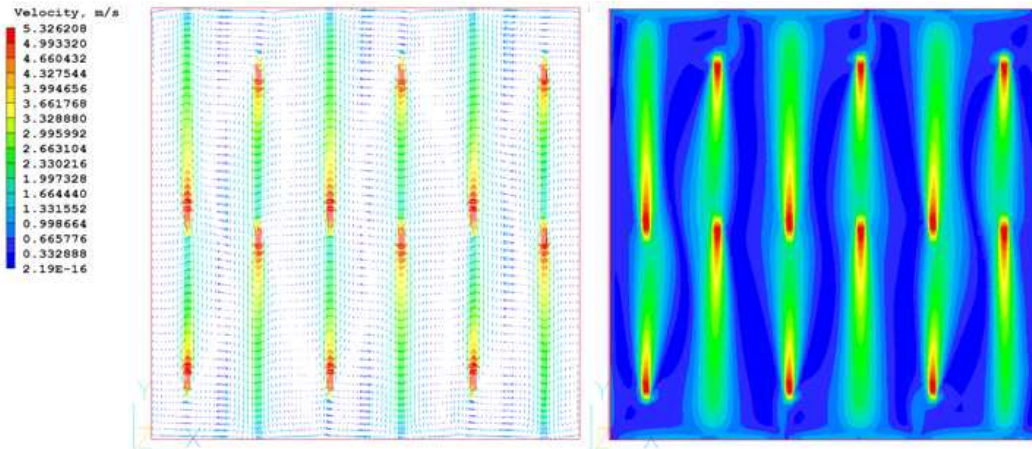


[그림 91] 온실내 유선분포

(다) Case 3 유동 특성

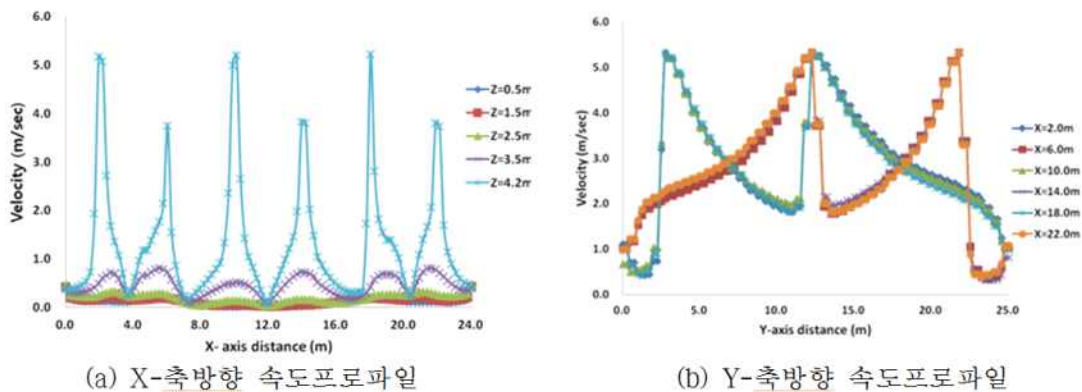
Case 3은 NRAES(Northeast Regional Agricultural Engineering Service)10에서 제시한 순환팬 설치 기준을 바탕으로 설계하였다. 이때, 순환팬에 대한 개수, 직경, 풍량은 Case 1, 2와 동일하게 유지하고 배열수는 3열에서 6열로 늘리고 순환팬의 배열 간격을 4 m로 줄였다. 이때 열당 배치된 순환팬의 개수는 4개(순환팬 간격 6m)에서 2개(순환팬 간격 9.5 m)로 감소하였고, 배열별로 순환팬은 Case 2와 같이 교차방향으로 분사되도록 하였다.

아래 그림은 온실내 유동 특성을 파악하기 위하여 속도분포와 속도벡터를 나타낸 것이다. 유동특성은 순환팬이 위치한 중심부로 높이 4.2 m에 xy 평면에 유동 분포와 폭 9.0m에 zx 평면에 유동 분포를 나타낸 것이다. 높이 4.2 m에 xy 평면에서 속도분포를 보면 순환팬 배열간 간격이 Case 1, 2의 8 m에 비해 4 m로 줄어들었으므로 인해 Case 1, 2에 비해 대체적으로 속도분포가 분사방향을 제외하고 고른 유동 특성을 보이고 있다. 이는 속도프로파일에서도 확인할 수 있다. 또한 폭 방향으로 순환팬을 Case 1,2의 4개에서 2개로 축소하였어도 5 m/sec 정도로 분사된 공기 유속이 다음 순환팬 전단에서 2m/sec로 Case 1,2의 3 m/sec보다 1 m/sec 정도 온실 전체적으로 적정 기류속도 0.3~0.5 m/sec보다 매우 높은 값으로 충분한 유속을 보인다고 판단할 수 있다. 따라서 순환팬의 배치된 배열 간격을 4 m로 하고 동일 폭방향에 순환팬을 2기 배치(순환팬 간격 9.5 m)하는 것이 온실내의 유동 특성을 최적화하는데 적정한 것으로 판단된다.



[그림 92] 온실내 속도 분포

아래 그림은 온실내 폭방향 중심에서 높이방향 특정점에 X-축 방향으로 속도프로파일과 X축 12 m 지점에서 높이방향 4.2 m에 Y-축방향으로 속도프로파일을 나타낸 것이다. 아래 그림(a)를 보면 순환팬에 의한 공기 유동이 크게 영향을 주는 것은 온실 높이 3.5 m 이상이지만 Case 1, 2의 경우에는 순환팬 높이방향 하부에서 유속이 낮게 나타났지만 본 Case 3의 경우에는 순환팬 높이방향 하부에서 약하게 큰 유속특성을 보이고 있다. 또한 대체적으로 온실 높이방향 3 m 이하에서는 0.4 m/sec 정도에 안정적인 흐름을 형성하고 있어 온실내 적정 기류속도를 만족함을 확인하였다. 또한 Y-축 방향 속도프로파일을 보면 순환팬이 위치한 흐름방향으로 유속은 온실 흐름방향 전후면 끝단부에서는 0.5~1.0 m/sec에 속도프로파일을 보이지만 전체적으로 온실 순환팬이 위치한 상부에서는 2m/sec 이상에 흐름을 형성하고 있다.

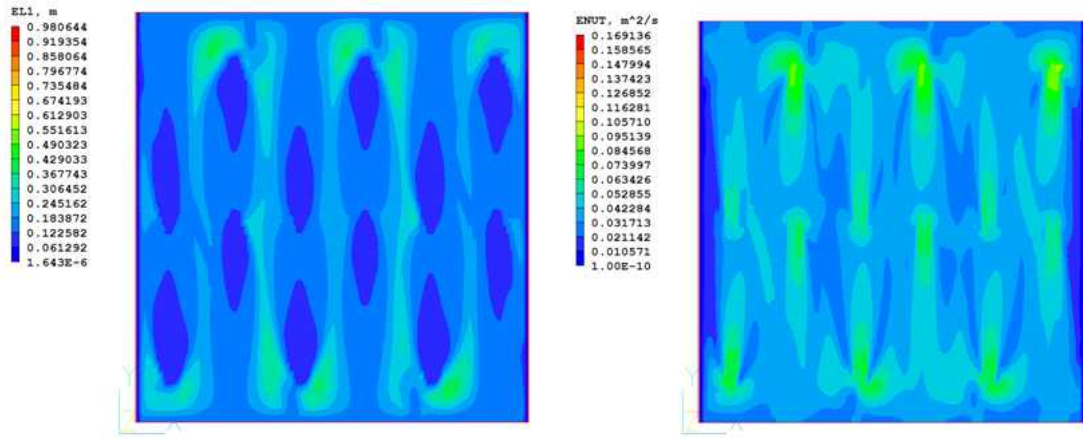


[그림 93] 온실내 속도프로파일

아래 그림은 온실내 유동 특성을 파악하기 위한 혼합길이(mixing length-scale)와 국지 난류(local turbulence)에 의한 유효동점도(effective kinematic viscosity)를 나타낸 것이다. 아래 그림 (a)는 혼합길이를 나타낸 것으로 순환팬이 분사되는 전면부를 제외하고 2차적인 흐름이 유도된 온실 내 부분에서 높은 혼합길이 값을 나타내고 있다. 아래 그림 (b)는 유효 동점도를 나타낸 것으로 순환팬에서 분사되는 공기 유속이 강하게 형성되고 있는 순환팬 흐름부에서 높은 값을 보이고 있으며, 순환팬의 배열 간격이 좁은 관계로 Case 1, 2에 비해 온실 전체적으로 고



른 분포 특성을 보이고 있다.

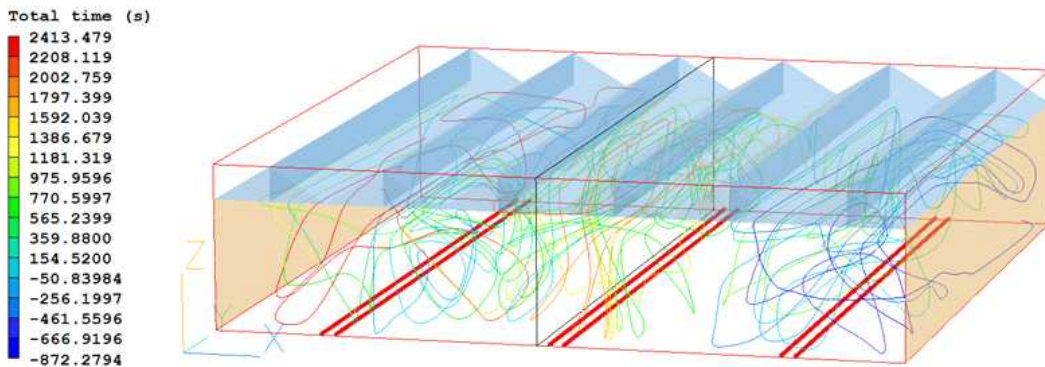


(a)혼합길이(EL1)

(b)온실내 유효동점도(ENUT)

[그림 94] 온실내 유효동점도(ENUT)와 혼합길이(EL1)

아래 그림은 온실내 유동 특성을 파악하고자 공기의 유속이 동일한 점을 연결한 유선분포를 나타낸 것이다. 순환팬에 교차배열한 간격을 줄이고 순환팬의 개수도 줄였지만 온실 전체적으로 흐름은 Case 1, 2에 비해 균일한 특성을 보임을 알 수 있다. 따라서 온실내에 순환팬의 배치는 앞의 Case 2에서 언급한 바와 같이 단방향으로 배치하는 것보다는 교차적으로 순환팬을 배치하고 온실내의 순환팬의 배열간격을 4 m, 순환팬에 간격 6 m에서 9.5 m로 늘리는 것이 온실내 유동 최적화면에서는 효율적일 것으로 판단된다.

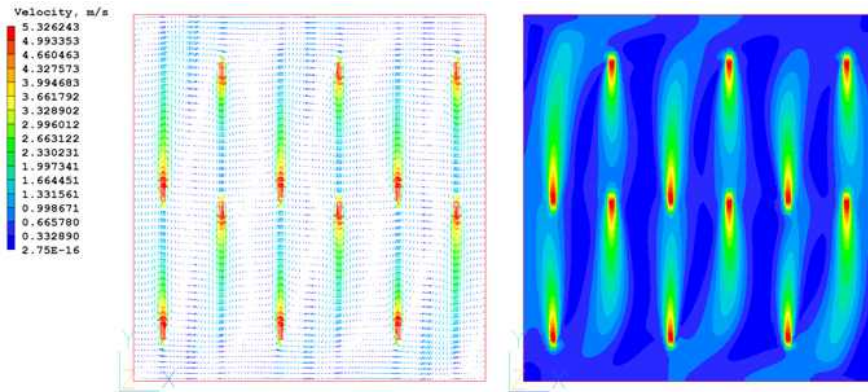


[그림 95] 온실내 유선분포

(라) Case 4 유동 특성

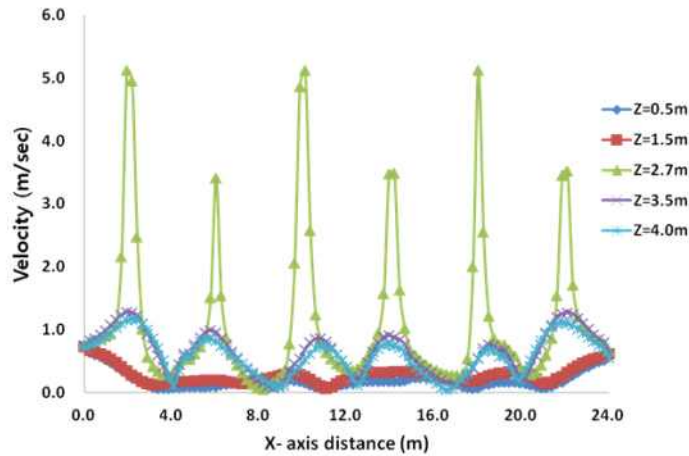
Case 4는 모든 조건을 Case 3과 동일하게 유지한 상태에서 오직 순환팬의 높이를 기존 4.0 m에서 2.5 m로 낮추어서 배치한 경우이다. 아래 그림은 온실내 유동 특성을 파악하기 위하여 속도분포와 속도벡터를 나타낸 것이다. 순환팬의 배치 높이를 2.5 m로 낮춘 경우에 유동 특성 보면 분사된 공기가 온실 측벽부를 흘러서 온실 중심부 방향으로 흐름이 형성되는 것을 알 수

있다. 따라서 X-축방향 속도프로파일에 보는 바와 같이 온실내 좌우 측벽부에 속도가 1 m/sec 내외로 높게 형성되고 있다. 하지만 온실 중심부근에서 흐름은 대체적으로 높이방향에 순환팬이 설치되어 분사흐름이 형성되는 곳을 제외하고 고른 유동 특성을 보이고 있다.



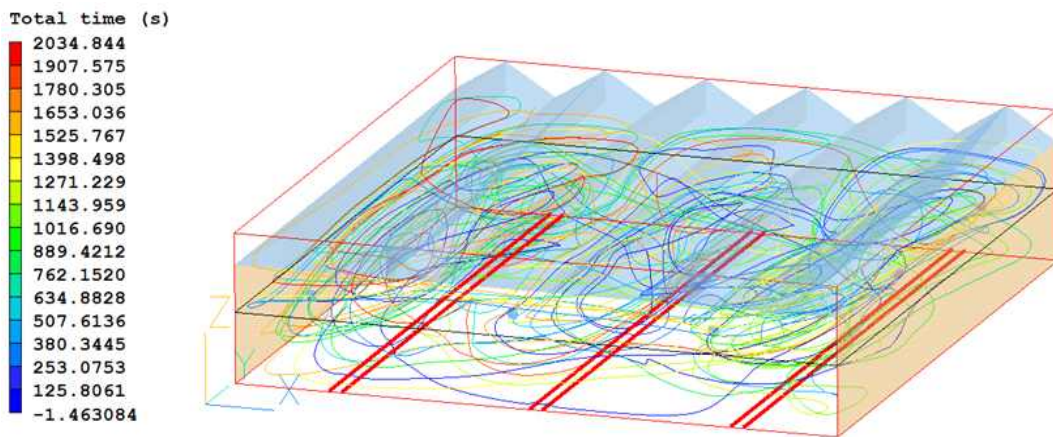
[그림 96] 온실내 속도 분포

다음 그림은 온실내 X축 방향과 Y축방향에 속도프로파일을 나타낸 것이다. 앞서 온실내 폭방향 중심에서 높이방향 특정점에 X-축 방향으로 속도프로파일과 X축 12 m 지점에서 높이방향 4.2 m에 Y-축방향으로 속도프로파일을 나타내었다. 순환팬에 의한 공기 유동이 크게 영향을 주는 것은 온실 높이 3.5 m 이상이지만 Case 1, 2의 경우에는 순환팬 높이방향 하부에서 유속이 낮게 나타났지만 본 Case 3의 경우에는 순환팬 높이방향 하부에서 약하게 큰 유속특성을 보이고 있다. 또한 대체적으로 온실 높이방향 3 m 이하에서는 0.4 m/sec 정도에 안정적인 흐름을 형성하고 있어 온실 내 적정 기류속도를 만족함을 확인하였다. 또한 Y-축 방향 속도프로파일을 보면 순환팬이 위치한 흐름방향으로 유속은 온실 흐름방향 전후면 끝단부에서는 0.5~1.0 m/sec에 속도프로파일을 보이지만 온실 높이방향 1.5 m 이하에서는 온실 측벽부를 제외하고 X-축 방향으로 대체적으로 0.4 m/sec 정도에 균일한 속도프로파일을 보이고 있다. 하지만 작물 생육에 영향을 미치는 부분인 2.5 m 정도에서 적정 기류속도 1 m/sec를 넘게 되므로 순환팬의 배치 높이는 온실 작업까지 고려할 경우 4 m 정도에 배치하는 것이 적정할 것으로 판단된다.



[그림 97] 온실내 속도프로파일

다음 그림은 온실내 유동 특성을 파악하고자 공기의 유속이 동일한 점을 연결한 유선분포를 나타낸 것이다. 온실내 유선분포를 보면 순환팬에서 분사된 공기 유동이 측벽부를 타고 수평적인 흐름을 형성하고 있음을 알 수 있다. 이는 열별 순환팬에 해당 영역에 유동 흐름이 수평적인 흐름을 형성함으로 인해 다른 배열에 순환팬의 유동에 영향을 미치게 됨으로 인해 순환팬의 효율 저하를 초래할 수 있다.



[그림 98] 온실내 유선분포

### (5) 소결론

본 연구에서는 온실 내부 미기상 변화의 주 메카니즘인 공기 유동의 복잡한 움직임을 수치해석하고 적절한 설계안을 도출해 내기 위하여 수치해석 방법을 적용하여 순환팬의 배치를 최적화하기 위해 온실내 유동 특성을 파악한 결과는 다음과 같다.

- Case 1 수치해석 결과

본 경우에는 동일방향으로 배치된 순환팬의 영향으로 흐름방향으로 선형적인 빠른 공기 흐

름을 형성하며 온실 끝벽에 부딪치면서 좌우로 흐름이 분산되고 양쪽 순환팬에서 분산된 흐름이 서로 합쳐지면서 순환팬 분사방향과 반대방향으로 공기 흐름이 형성되고 있다. 실제 순환팬이 분사되는 영역 주변 외에는 온실 전체적으로 0.3 m/sec정도에 속도분포를 보이고 있지만 온실 전면부까지는 유도되지 못하고 낮은 공기 흐름을 보이고 있다.

- Case 2 수치해석 결과

본 경우에는 순환팬을 교차배열하여 공기를 분사함으로 분사 공기흐름은 후면벽부에 부딪치면서 온실 하부로 유도되면서 분사방향 반대방향으로 흐르면서 온실 전면부까지 온실 전체적으로 충분한 온실 유동 특성을 보이고 있다. 따라서 온실내에 순환팬의 배치는 단방향으로 배치하는 것보다는 교차적으로 순환팬을 배치하는 것이 온실내 유동 최적화면에서는 효율적일 것으로 판단된다.

- Case 3 수치해석 결과

본 경우에는 순환팬에 교차배열 간격과 순환팬 간격을 줄임으로 온실 전체적으로 흐름은 Case 1, 2에 비해 균일한 특성을 보이고 있으며, 온실내에 순환팬의 배치는 앞의 Case 2에서 언급한 바와 같이 단방향으로 배치하는 것보다는 교차적으로 순환팬을 배치하고 온실내의 순환팬의 배열간격을 4 m, 순환팬에 간격 6 m에서 9.5 m로 늘리는 것이 온실내 유동 최적화면에서는 효율적일 것으로 판단된다.

- Case 4 수치해석 결과

본 온실내 순환팬의 높이를 2.5 m로 배치한 경우에는 순환팬에서 분사된 공기 유동이 측벽부를 타고 수직적인 흐름보다는 수평적인 흐름을 형성하고 있다. 이는 열별 순환팬에 해당 영역에 유동 흐름이 수평적인 흐름을 형성함으로 인해 다른 배열에 순환팬의 유동에 영향을 미치게 됨으로 인해 순환팬의 효율 저하를 초래할 수 있다.

따라서, 상기 변수별 연구에 따른 순환팬의 유동 특성을 파악한 결과 순환팬의 배치 시에 배열 간격은 4 m로 분사 방향을 반대로한 교차 배열이 온실내 유동이 향상되며, 순환팬의 배치 간격은 흐름방향으로 9.5 m를 설정하는 것이 효과적임을 알 수 있다.

## 나. 내재해형 온실 풍하중 해석

### (1) 방풍파이프 형태에 따른 유동해석

온실구조의 설계기준은 대부분 건축구조 설계기준을 바탕으로 작성되었으나 다양한 환경에 따른 시설구조설계기준이 명확하지 않다. 풍하중에 대한 설계 기준의 차이가 있어 풍환경과 구조에 따른 비교 연구가 수행되고 있다.( Kateris et al. 2012, Kozmar et al. 2011, Lopes et al. 2010 ) 환경 조건에 대한 구조의 안정성이 확보되지 않을 경우 파손이 발생하거나 과도설계로 경제적 손실이 발생하게 된다. 특히, 강풍지역에 속하는 일부 남부지역의 경우 강풍피해 방지를 위해 방풍파이프를 설치하고 있으나 이에 따른 표준규격이 없는 실정이다.

따라서 온실구조의 안전성을 위해 설계기준 정립이 필요하며, 강풍 피해를 대비하여 온실의



구조적 안정성에 대한 평가 및 대책 마련은 필수적이다. 이에 따라 풍하중 계산을 위하여 온실 피복에서의 풍력계수 산정이 선행되어야 한다.

풍력 계수는 온실의 구조, 방풍망의 유무 등 많은 요인에 의해 달라지며 풍압의 분포는 임의로 나누어진 구간에 대해 일정한 것이 아니라 전 구간에 대하여 연속적으로 변화한다. 따라서 풍하중을 고려한 구조해석 시 실제의 풍력분포에 근접하는 풍력계수를 적용하는 것이 보다 정확한 분석이 될 것이라 예상된다.

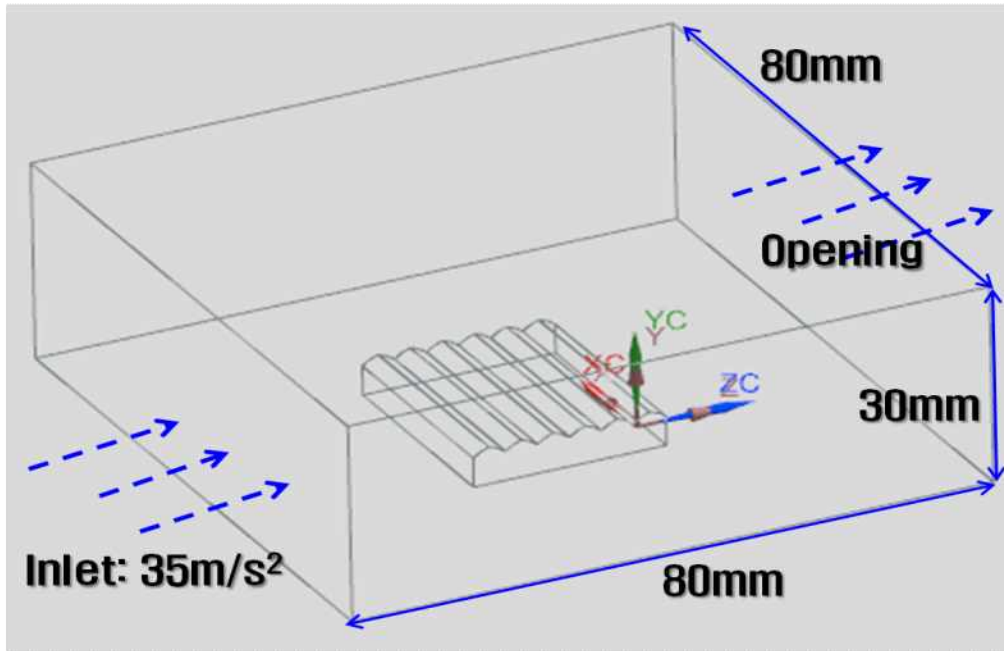
본 연구에서는 풍력에 영향을 받는 온실의 구조적 안정성에 대한 평가를 위해 전산유체역학 기법을 이용하여 방풍파이프의 유무와 형태에 따른 풍력 계수를 고찰하였다.



[그림 99] 비닐온실 방풍파이프

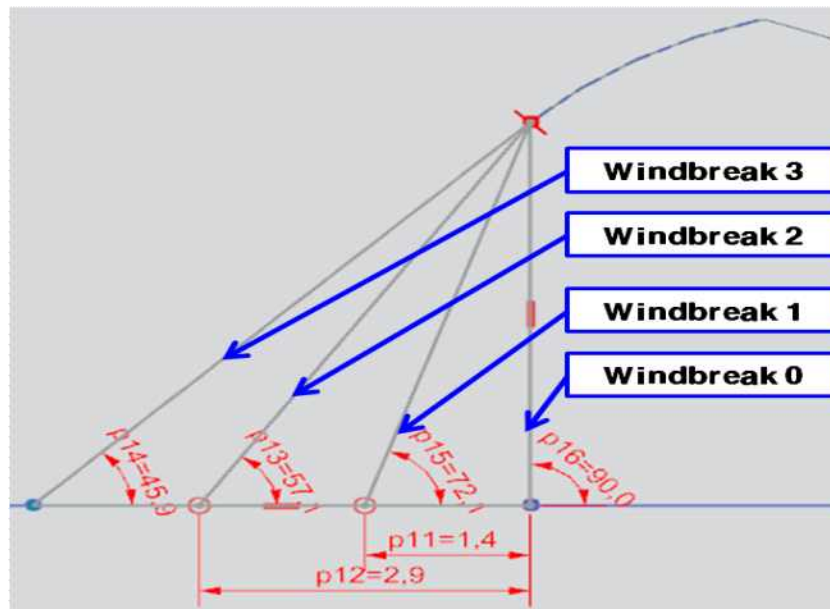
## (2) 수치해석 모델 및 경계조건

본 연구에 적용된 온실의 실물 크기는 폭 24,000 mm, 지붕높이는 5,600 m, 길이는 28,000 mm이며, 해석시간을 고려하여 축척 1/1000의 모델을 적용하였다. 설계된 형상을 바탕으로 풍력계수를 계산하기 위해 Siemens社의 NX를 활용하여 유동해석을 수행하였다. 유동장은 가로 80 mm, 세로 80 mm, 높이 30 mm로 생성하였고, 물성은 Air로 설정하였다. 경계조건으로 Inlet Flow를 유동 유입면의 Normal 방향으로 설정하였다. 또한 Outlet Flow는 Inlet Flow의 대칭면을 선택하였으며 Opening으로 설정하였다. 풍속은 35 m/s으로 적용하고, k-ε 난류 모델을 활용하였다. 아래 그림에 유동장의 크기와 입력조건을 나타내었다.



[그림 100] 유동장 및 입력조건

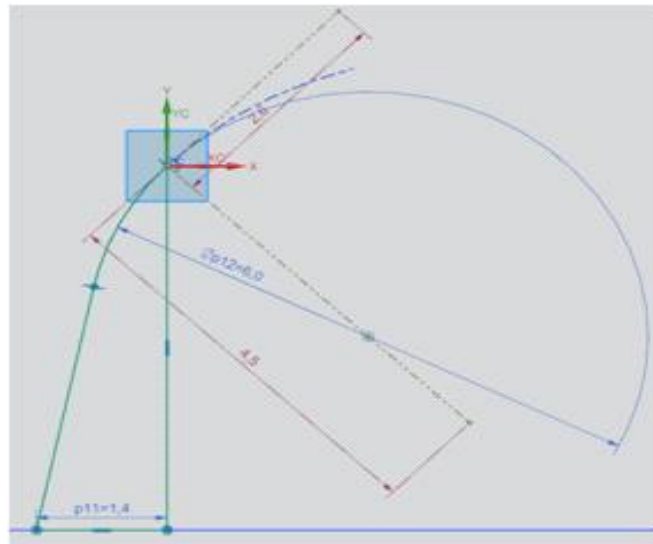
방풍파이프의 형태에 따른 영향을 알아보기 위해 온실의 바닥과 방풍파이프 사이의 각도에 따라 Windbreak 1 - 72°, Windbreak 2 - 57°, Windbreak 3 - 45°으로 나누고 방풍파이프가 없는 모델(Windbreak 0 - 90°)의 결과를 살펴보았다. 아래 그림과 표에 본 연구에 적용된 방풍파이프 모델을 나타내었다.



[그림 101] 설치 각도에 따른 방풍파이프 모델

[표 26] 설치 각도에 따른 방풍파이프 모델

	Post 사이 거리(mm)	지면 사이 각도(Deg.)
Windbreak0	0	90
Windbreak1	1.4	72
Windbreak2	2.9	57
Windbreak3	4.5	45



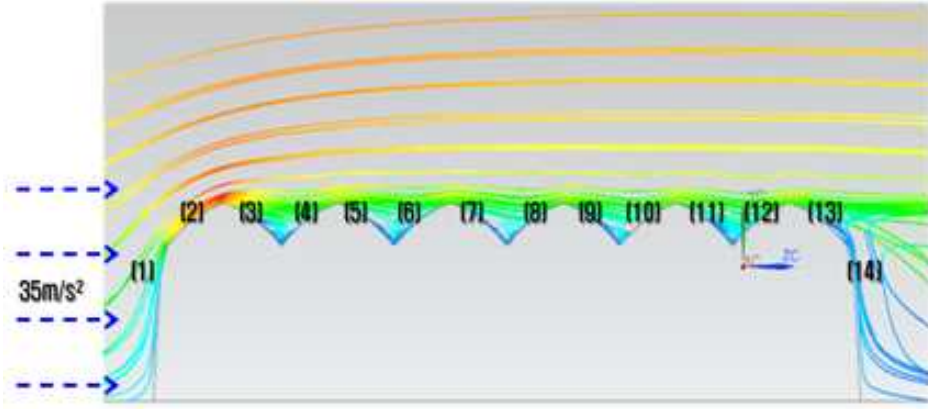
[그림 102] 설치 각도에 따른 방풍파이프 모델

또한, 방풍파이프와 지붕서까래가 연결되는 부위의 Round 형태에 따른 영향을 알아보기 위해 Windbreak1 모델을 기준으로 모델을 생성하고 결과를 비교하였다. 위 그림에 본 연구에 적용된 방풍파이프 모델을 나타내었다.

[표 27] 방풍파이프 형태에 따른 분류

	Round Diameter (mm)
Windbreak1_R0	0
Windbreak1_R2	2
Windbreak1_R4	4
Windbreak1_R6	6
Windbreak1_R8	8

보다 정확한 풍력계수를 산정하기 위하여 풍하중 산정 구역을 아래 그림과 같이 나누어 결과를 비교하였다.



[그림 103] 풍하중 산정 구역

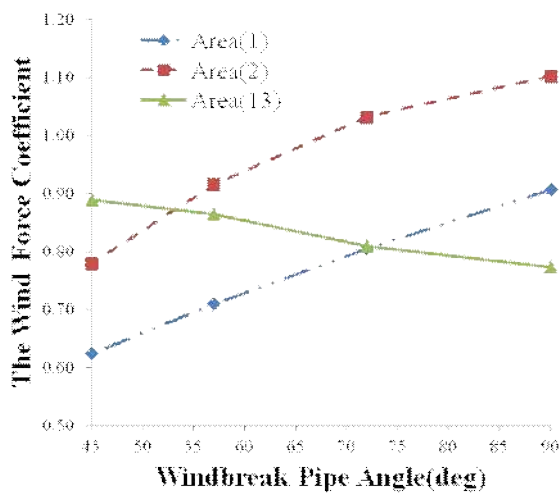
아래 식은 Drag Force(FD)의 계산 방법과 항력계수(Coefficient of Drag Force,CD)와 Drag Force(FD)의 관계식을 나타내고 있으며, A는 단면적, ρ는 공기 밀도, V는 유동속도이다. 유동 해석을 통해 각 풍하중 산정구역에서 발생하는 Drag Force를 구하고 아래 식을 통해 항력계수를 도출하였다.

$$DragForce, F_D = \frac{C_D \cdot A \cdot \rho \cdot V_0^2}{2}$$

$$Coefficient\_of\_DragForce, C_D = \frac{2 \cdot F_D}{A \cdot \rho \cdot V_0^2}$$

### (3) 방풍파이프 설치각도에 따른 풍력계수

해석을 통해 도출된 방풍 파이프의 유무 및 설치 각도에 따른 풍력 계수 결과를 아래 그림에 나타내었다.



[그림 104] 방풍파이프 설치각도에 따른 풍력계수 결과

$$f(x) = a \cdot \sin(x + w) + b \cdot \cos(x + w) + c$$

Area(1)

$$f(x) = 0.8169 \cdot \sin(x + 0.6229) + 0.01221 \cdot \cos(x + 0.6229) + 0.2254$$

$$R\text{-Square} = 0.99$$

Area(2)

$$f(x) = 37.25 \cdot \sin(x + 0.03694) + 603.9 \cdot \cos(x + 0.03694) - 603.9$$

$$R\text{-Square} = 0.99$$

Area(13)

$$f(x) = 0.06343 \cdot \sin(x + 2.991) - 0.01658 \cdot \cos(x + 2.991) + 0.8332$$

$$R\text{-Square} = 0.99$$

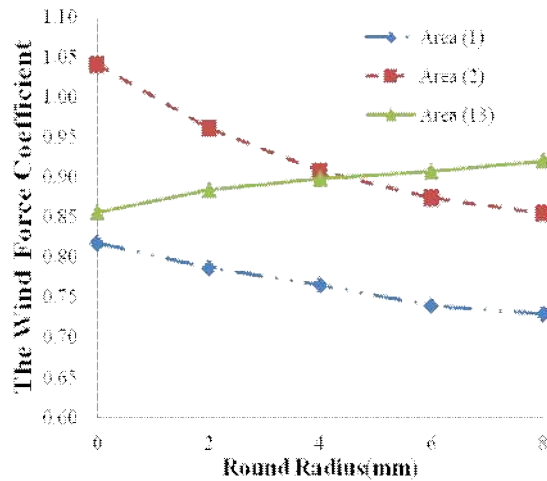
[그림 105] 방풍 파이프 설치각도에 따른  
풍력계수 회귀식

방풍파이프의 설치각도에 따라 풍력계수의 변화가 발생하는 구역은 (1), (2), (13) 이었다. 공통적으로 풍력을 직접적으로 받는 부위였으며, 풍력계수는 바닥과 방풍파이프 사이의 각도 변화에 따라 선형적인 결과를 보였다 해석 결과를 활용하여 (1), (2), (13)에서 바닥과 방풍파이프 사이의 각도 변화에 따른 풍력계수의 회귀식을 아래그림과 같이 만들었다(상관도 0.9).

해석 결과 방풍파이프의 각도가 증가함에 따라 맞바람 전면의 풍력계수는 높아지고, 후면의 풍력계수는 낮아지는 양상을 보이고 있어 적절한 각을 선정하여 전면과 후면의 풍하중을 균형 있게 설정하는 것이 중요할 것으로 예상된다. 방풍파이프 최적 설치 각도는 Area (1)과 Area (13)의 회귀식이 교차하는 지점(50° ~ 55°) 혹은 Area (2)와 Area (13)의 회귀식이 교차하는 지점(70° ~ 75°)으로 판단된다.

#### (4) 방풍파이프 형태에 따른 풍력계수

방풍파이프와 지붕서까래 사이의 형상변화에 따른 풍력계수에 대해 분석하였다. Windbreak1을 기준으로 하여 Round의 Diameter를 2 ~ 8 mm로 변경하여 결과를 비교하였다. 방풍파이프 Round부의 Diameter 변화에 따른 풍력계수를 아래그림에 그래프로 나타내었다.



[그림 106] 방풍파이프 형태에 따른 풍력계수 결과

$$f(x) = a \cdot x^2 + b \cdot x + c$$

Area(1)

$$f(x) = 0.0005357 \cdot x^2 - 0.01579 \cdot x + 0.8203$$

$$R\text{-Square} = 0.99$$

Area(2)

$$f(x) = 0.002321 \cdot x^2 - 0.04207 \cdot x + 1.039$$

$$R\text{-Square} = 0.99$$

Area(13)

$$f(x) = -0.0005357 \cdot x^2 + 0.01179 \cdot x + 0.8597$$

$$R\text{-Square} = 0.99$$

[그림 107] 방풍파이프 형태에 따른 풍력계수 회귀식

방풍파이프의 설치각도에 따라 풍력계수의 변화가 발생하는 구역은 설치간격과 마찬가지로 (1), (2), (13) 이었다. 해석 결과를 활용하여 (1), (2), (13)에서 바닥과 방풍파이프 사이의 각도 변화에 따른 풍력계수의 회귀식을 아래그림과 같이 만들었다(상관도 0.9).

해석 결과 방풍파이프 Round부의 Diameter가 증가함에 따라 맞바람 전면의 풍력계수는 낮아지고, 후면의 풍력계수는 높아지는 양상을 보이고 있어 적절한 형태를 선정하여 전면과 후면의 풍하중을 균형 있게 설정하는 것이 중요할 것으로 예상된다. 최적 Round Diameter는 Area (1)과 Area (13)의 회귀식이 교차하는 지점인 4 mm로 판단된다.

### (5) 소결론

온실의 방풍파이프의 설치각도 및 형태에 따른 풍력계수를 산정하고 방풍파이프의 영향에 대해 알아보았다. 본 연구를 통해 나온 결론은 다음과 같다.

- 방풍 파이프 설치 각도에 따른 해석 결과

해석 결과 방풍파이프의 설치 각도가 증가함에 따라 맞바람 전면의 풍력계수는 높아지고, 후면의 풍력계수는 낮아지는 양상을 보이고 있다. 이에 따라 적절한 설치각도를 선정하는 것이 중요할 것으로 예상되며 적정 설치각도는 70~75°로 판단된다.

- 방풍 파이프 형상에 따른 해석 결과

방풍파이프 설치각도가 72°인 모델을 기준으로 방풍파이프와 지붕서까래 사이의 형상에 따른 풍력계수를 고찰하였다. 방풍파이프 Round부의 Diameter 가 증가함에 따라 맞바람 전면의 풍력계수는 낮아지고, 후면의 풍력계수는 높아지는 양상을 보이고 있다. 이에 따라 적절한 형상을 선정하는 것이 중요할 것으로 예상되며 적정 Diameter는 4 mm로 판단된다.

또한, 풍하중을 고려한 온실의 구조해석 시 본 연구에서 산정된 풍력계수를 활용하면 보다 실용적인 결과 도출에 도움이 될 것으로 예상된다.

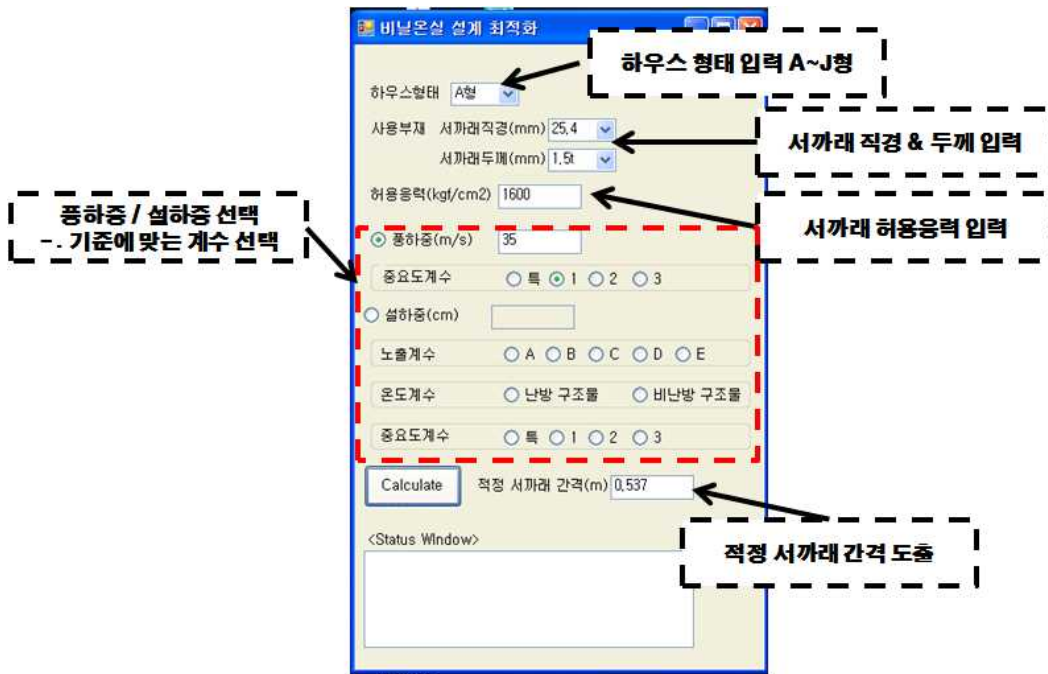
### 3. 내재해형 온실 서까래 설계프로그램

#### 가. 온실 서까래 설계 프로그램 개요

본 연구에서는 단동 온실의 구조적 안정성을 결정하는데 있어서 중요한 부재인 서까래의 설치간격을 계산하는 프로그램을 개발하였다. 기존의 단동온실의 설계방법 연구의 결과(온실의 자재절감 및 안전성 향상을 위한 최적모델 및 설계시스템 개발, 2007)를 활용하여 풍하중 혹은 설하중에 따른 적정 서까래 간격을 도출하는 알고리즘을 구현하였다. 또한 Graphic User Interface를 구성하여 사용자가 직관적으로 접근 할 수 있도록 개발하였다.

아래 그림과 같이 계산하고자 하는 단동온실 A~J 형태 중 하나를 선택하고 서까래의 직경, 둘레, 허용응력을 입력하여 설계 조건을 설정한다. 설계 목표인 풍하중 혹은 설하중을 입력하고 하단의 Calculate를 클릭하면 우측 하단에 적정 서까래 간격이 계산된다.





[그림 108] 서까래 간격 계산 프로그램

[표 28] 온실 모델별 규격

	모델별 규격									
	A형	B형	C형	D형	E형	F형	G형	H형	I형	J형
폭(m)	48	51~54	57~60	61~65	66~70	74~78	78~82	51~54	57~60	71~75
측고(m)	11	12	13	16	14	14	16	16	17	16
동고(m)	20~23	21~26	24~29	25~30	23~28	26~31	30~35	25~30	28~33	34~39
길이(m)	97	97	97	97	97	97	97	97	97	97
면적	467m <sup>2</sup>	524m <sup>2</sup>	582m <sup>2</sup>	631m <sup>2</sup>	679m <sup>2</sup>	757m <sup>2</sup>	795m <sup>2</sup>	524m <sup>2</sup>	582m <sup>2</sup>	728m <sup>2</sup>

#### 나. 계산 알고리즘

아래 표는 기존 연구에서 발췌한 A형 온실 모델의 사용부재 및 서까래 간격에 따른 한계 하중을 산정할 수 있는 식을 나타낸 표이다.

[표 29] 서까래 간격에 따른 한계하중 회귀식(A형 온실)

모델	하중	사용부재	설계하중 회귀식
A형	풍하중 (m/s)	Ø25.4×1.5t	$X_w = (\sigma/2.43n)^{0.5}$
		Ø25.4×1.7t	$X_w = (\sigma/2.20n)^{0.5}$
		Ø31.8×1.5t	$X_w = (\sigma/1.50n)^{0.5}$
		Ø31.8×1.7t	$X_w = (\sigma/1.35n)^{0.5}$
	설하중 (cm)	Ø25.4×1.5t	$X_s = (\sigma/97.91n)$
		Ø25.4×1.7t	$X_s = (\sigma/88.46n)$
		Ø31.8×1.5t	$X_s = (\sigma/60.54n)$
		Ø31.8×1.7t	$X_s = (\sigma/54.44n)$

풍하중의 회귀식을 살펴보면  $X_w$ 는 설계풍속(m/s),  $\sigma$ 는 사용부재의 허용응력(kgf/cm<sup>2</sup>),  $n$ 은 서까래 간격(m) 이다. 아래 식은 A형 온실의 사용부재 Ø25.4×1.5t를 고려하였을 때 풍하중 산정식을 나타낸 것이다.

$$X_w = (\sigma/2.43n)^{0.5}$$

위의 식을 활용하여 풍속에 따른 서까래 간격을 결정할 수 있는 식을 아래와 같이 유도할 수 있다.

$$n = \sqrt{\frac{\sigma}{2.43X_w^2}}$$

이와 같이 회귀식을 활용하여 A~J형의 온실형태와 사용부재 및 허용응력에 따른 적정 서까래 간격을 도출 할 수 있다.

#### 다. 풍하중/설하중 적용계수

풍하중, 설하중을 구하는데 적용된 계수는 국토해양부 고시 제 2009-1245호의 건축구조 설계 기준을 따랐으며 각 계수의 정보는 아래 표에 나타내었다.

[표 30] 중요도계수

중요도	건축물의 용도 및 규모	풍하중	설하중
특	연면적이 1000㎡ 이상인 위험물 저장 및 처리시설 연면적이 1000㎡ 이상인 국가 또는 지방자치단체의 청사, 외국공관, 소방서, 발전소, 방송국, 전신전화국 종합병원, 수술시설이나 응급시설이 있는 병원	1.0	1.2
1	연면적이 10,000㎡미만인 위험물 저장 및 처리시설 연면적이 10,000㎡미만인 국가 또는 지방자치단체의 청사, 외국공관, 소방서, 발전소, 방송국, 전신전화국 연면적이 5,000㎡ 이상인 공연장, 집회장, 관람장, 전시장, 운동시설, 판매시설, 운수시설 아동관련시설, 노인복지시설, 사회복지시설, 근로복지시설 5층이상인 숙박시설, 오피스텔, 기숙사, 아파트·학교 수술시설과 응급시설 모두 없는 병원, 기타연면적 1,000㎡ 이상인 의료시설로서 중요도(특)에 해당하지않은 건축물	1.0	1.1
2	중요도 (특), (1), (3)에 해당하지 않는 건축물	0.95	1.0
3	가설 구조물, 농업시설물 및 소규모 창고	0.90	0.8

[표 31] 설하중 노출계수

주변환경	노출계수
A. 지형, 높은 구조물, 나무 등 주변환경에 의해 모든 면이 바람막이가 없이 노출된 지붕이 있는 거센바람 부는 지역	0.8
B. 약간의 바람막이가 있는 거센바람 부는 지역	0.9
C. 바람에 의한 눈의 제거가 지형, 높은 구조물 또는 근처의 몇몇 나무들 때문에 지붕 하중의 감소를 기대할 수 없는 위치	1.0
D. 바람의 영향이 많지 않은 지역 및 지형과 높은 구조물 또는 몇몇 나무들에 의하여 지붕에 바람막이가 있는 지역	1.1
E. 바람의 영향이 거의 없는 조밀한 숲 지역으로서, 촘촘한 침엽수 사이에 위치한 지붕	1.2

[표 32] 설하중 온도계수

난방상태	온도계수
난방 구조물(적설하중 제어구조)	1.0
비난방 구조물(적설하중 비제어 구조)	1.2

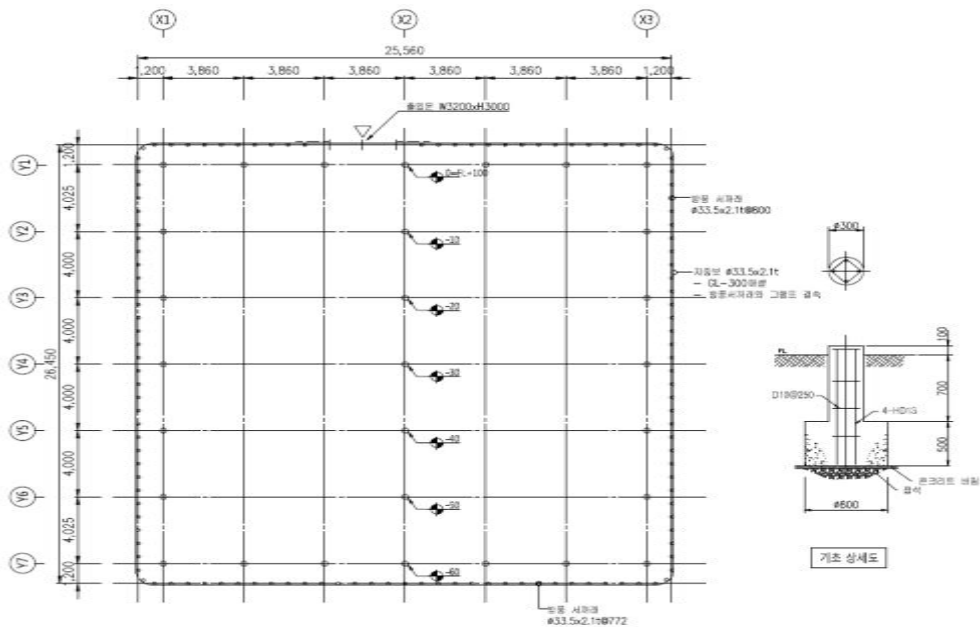
### 라. 소결론

본 연구에서는 기존의 연구결과를 활용하여 풍하중 혹은 설하중에 따른 적정 서까래 설치 간격을 도출하는 알고리즘을 구현하고, GUI를 통해 직관적으로 설계자가 활용 할 수 있도록 프로그램을 개발하였다. 개발된 프로그램을 통해 설계 초기에 간편하게 적정 서까래 간격을 예측할 수 있는 가이드라인으로 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

## 4. 내재해형 온실 기본 및 실시설계

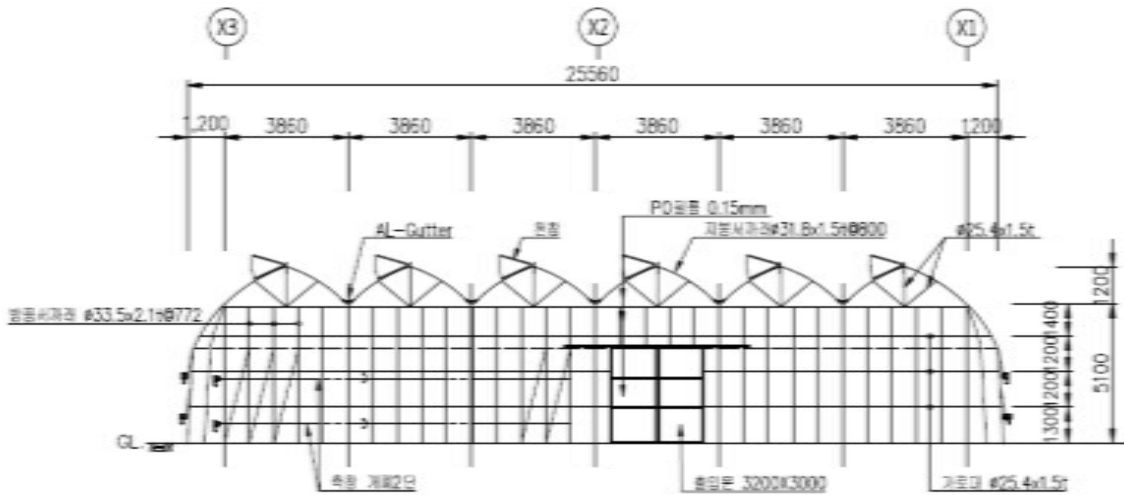
### 가. 내재해형 광폭온실 설계

아래 그림은 본 연구에서 제안한 카자흐스탄에 적합한 내재해형 광폭온실의 평면도와 기초를 나타낸 것이다. 온실 디멘전(Dimension)은 길이 25,560 mm, 폭 26,450 mm로 전체 면적은 676 m<sup>2</sup>이고, 주기동에 기초는 기초 상세도에 나타난 바와 같이 콘크리트 버림을 통해 주기동이 지면에서 1,200 mm가 매설되어 온실의 구조적 안정성을 확보하고자 하였다. 그리고 카자흐스탄은 온실 설치 예정부지는 평지로 강한 바람에 영향이 큰 것으로 판단되어 온실 풍압에 대한 안정성을 높이기 위해 방풍벽을 설치하였다. 이때 방풍벽 서까래는 크기는  $\phi 33.5 \times 2.1t$  상용 파이프로 설계하였으며, 이 방풍벽에 서까래는 지면에서 300 mm 깊이로 매설되어 고정되어 있는 지중보에 그래프로 결속되어 설치되도록 설계하였다.



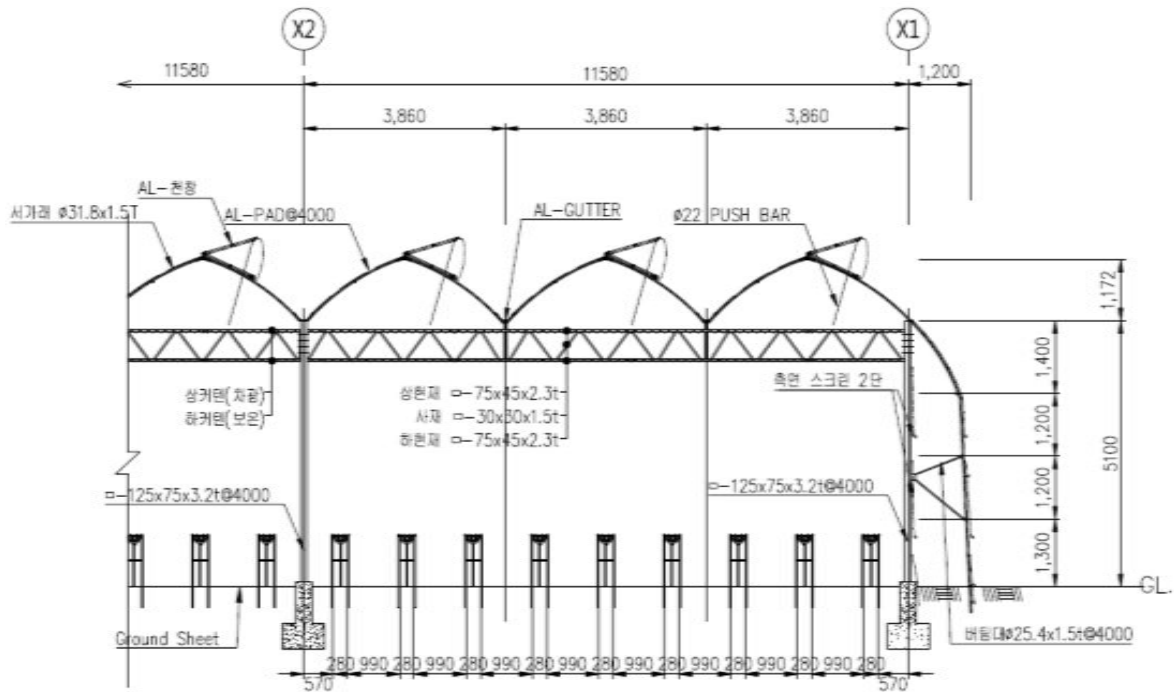
[그림 109] 내재해형 광폭온실 평면도 및 기초

아래는 내재해형 광폭온실의 정면도를 나타낸 것으로 길이방향으로 설치된 온실 정면의 주기 등의 천장은 3span에 2연동으로 구성하였다. 기존 2span 트러스형 온실을 기반으로 3span 트러스형 2연동 온실로 축고는 5,100 mm로 설계하였다. 그리고 온실내 고온 현상을 억제 및 자연 대류에 의한 환기 효율을 극대화하기 위하여 측창과 천장을 각각 배치하였고, 지붕 서까래는  $\phi 31.8 \times 1.5t$  상용 파이프로 설계하였다. 그리고 온실은 연동 온실로 물받이부는 자체 설계한 알루미늄 거터를 설치하였다.



[그림 110] 내재해형 광폭온실 정면도

아래 그림은 내재해형 광폭온실 정면에 단면 상세도를 나타낸 것이다. 온실 지붕에 span에 너비는 3,860 mm로 주기둥 사이에 3span이 위치하고 있으며, 주기둥 간격은 11,580 mm이고, 트러스에 의해 구조적 안정성을 유지하도록 설계하였다. 그리고 카자흐스탄 겨울철에 추운 바람에 의한 온실 열손실을 최소화하기 위하여 온실 측면 스크린을 2단으로 설치하고 트러스부에는 차광과 보온커튼을 설치하여 단열 효과를 극대화하고자 하였다.



[그림 111] 내재해형 광폭온실 정면에 단면 상세도

또한 카자흐스탄 적용 내재해형 광폭 비닐온실에 대한 상세한 설계관련 도면 및 시방서는 부록의 온실 공사시방서 및 실시설계 보고서에 자세히 나타내었고, 본 온실 설계를 바탕으로 중앙아시아 폭설/강풍의 극한 환경에 최적화된 무기동 광폭 비닐온실 설계 최적화를 위해 CAE(Computational Aided Engineering)를 활용한 구조해석과 유동해석을 수행하였다.

## 5. 내재해형 온실 시공기법

### 가. 온실 구성 비교

국내외 주요 단독 및 연동온실의 구조를 살펴보면, 다음 표와 같으며, 기둥은 각형강과 원형 파이프 및 H형강 등 다양한 형태를 활용중이이며, 지붕, 서까래 등의 철골 구조재들도 각형강, 격자트러스, 타원형강, C형강 등 각 제작사의 특성에 맞게 사용되고 있다. 지붕 개폐시스템도 ROLL-UP방식이나 천창식 등이 있으며, 지붕서까래(트러스) 간격은 0.5~0.6 m인 특징이 있다. 지붕피복재 고정에 있어서 우리나라는 일정간격으로 비닐벨트 또는 하우스 밴드 고정을 사용하고 있다.

[표 33] 각국 온실 비교

구분		한국	프랑스	네덜란드	일본	캐나다
기초	내부	타설 독립기초	PRE-독립기초(둘리)	PRE-독립기초(둘리)	타설 독립기초	타설 독립기초
	외곽	타설 연속기초	타설 연속기초	타설 연속기초 PRE독립+연열관 넬	타설 연속기초 철 항 기 초 , 사항기초	타설 연속기초
	연약지반	PHC 파일보강		목재 파일보강	스 파 이 털 항 , PHC	
철골	기둥	각형강, 원형파이프, H형강	각형강	각형강	각형강, H형강	원형파이프, 각형강
	지붕 합장재	각형강, H형강, 격자 트러스, 타원형강	타 원 형 강 , 원형강, 격자 트러스	- 각형강	각형강, H형강	원형 파이프 각형강(5PC연결)
	PURLIN	C형강, 하우스 강관	원파이프, 각형강	-, C-형재	C형강, 원파이프	원파이프
	서까래	하우스 강관	-	-	원 파 이 프 , 비닐벳트	-
지붕 형태		아치, 양지붕형 벤로아치, 벤로형	아치형, 벤로, 양지붕	벤로형, 양지붕형	아치, 양지붕형 벤로아치, 벤로형	양지붕형 아치형
피복재		PO필름 PC판, 불소필름	POLY-비닐 (DOUBLE)	POLY-비닐 ( D O U B L E ) 불소필름	PO필름 경질비닐(HV,FC )	POLY비닐 (DOUBLE)
환기 장치	지붕	ROLL-UP 천창식	반지붕 개폐 천창식 (용마루,Gutter)	천창식 ROLL-OPEN	천창식 ROLL-OPEN	POLY-VENT (AirBlower)
	측창 (단동 or 소형온실)	ROLL-UP SLIDING PROJECT	ROLL-UP	UP-DOWN	ROLL-UP	POLY-VENT
지붕서까래 (트러스)간격		0.5~0.6 m	2, 2.5 m(1, 1.5)	2 m(1)	0.5~0.6 m	1.2~1.5 m
기타		-지붕피복재 고정: (유럽)-둘레부(용마루, 천창, 거터, 박공)만 고정, 하우스밴드 고정 없음 (한국·일본)-일정간격으로 비닐벳트 또는 하우스 밴드 고정 -보온: (유럽·캐나다)-외피 Double AirBag 단열 (한국)-다층피복, 다층커튼(다겹보온 커튼등)에 주력-광투과저하, 설비하중과대, 유지관리힘듦.				

나. 온실 기초 시공

기존에는 온실 시공 시에 주기둥에 고정을 위한 기초로 콘크리트 기초를 사용하였으나 콘크리트 양생 시에 5일정도에 양생시간이 필요하고 장마철 등에 기후적인 요인이 발생할 경우 공사기간이 지연되고 있다. 그리고 연약지반일 경우 온실 구조물에 하중에 의해 온실이 시간이 지날수록 자중에 의해 침하되어 온실 측고가 낮아지는 문제점을 보여주고 있다. 이에 본 연구에서는 아래 그림에서 보는 바와 같이 온실 구조물에 구조적 안정성은 유지한 상태에서 이런 콘크리트 기초에 문제점을 보완함으로 기존 기초공사기간에 비해 50%이상 축소할 수 있는 스파이럴 기초를 적용하는 시공 기법을 카자흐스탄 현지 여건을 고려하여 온실 기초에 도입을 검토 중에 있다.





[그림 112] 온실 주기둥 스파이럴 기초

#### 다. 다용도 알루미늄 거터

아래 그림은 연동 온실에 곡부에 물받이용으로 설치된 거터를 나타낸 것이다. 현재 연동 온실에서는 아래 그림 (a)와 같은 스틸 거터를 사용하고 있으며, 온실 곡부의 피복재 상부에 설치되어 오직 물받이에 역할만을 수행하는 제품이다. 이에 본 연구에서는 아래 그림 (b)와 같은 알루미늄 거터를 금형을 통해 자체 제작하여 다용도 거터에 역할을 수행하고자 하였다. 알루미늄 거터는 온실 곡부에 설치되어 가장 주요한 목적인 물받이에 역할과 온실 천장 써가래가 알루미늄 거터에 설치되어 시공되며, 온실 천장에 응축수가 천장 써가래부를 타고 다용도 거터로 포집되어 온실 밖으로 배출되도록 하였다. 또한 본 연구에서 제안한 폭설대비 연동온실 곡부에 쌓인 눈의 제설을 위하여 알루미늄 거터 중앙부의 물받이 원형 홈 상부의 사각 홈부로 폭설 시에 자동으로 열풍이 공급되어 곡부에 적설된 눈을 연속적으로 녹여서 제거하는 기능을 갖추고 있다.



(a) 스틸 거터



(b) 알루미늄 거터

[그림 113] 다용도 알루미늄 거터

#### 라. 알루미늄 이음새(시공시간단축)

온실 시공성을 용이하게 하여 시공시간을 단축하고 폭설 시에 구조 버클링에 의한 피해를 최소화하기 위해 온실 메인프레임의 연결부위 등에 받침바, 천창 상하바, 용마루바 등 자체 제작한 알루미늄 이음새를 적용하였다.



[그림 114] 온실 시공 단축을 위한 알루미늄 이음새

위와 같이 본 연구에서는 내재해형 온실의 시공 기간 단축과 구조적 안정성을 고려하여 온실에 주요 부품을 알루미늄 사출금형을 통해 맞춤형으로 제작하여 온실 서까래 및 트러스 등에 주요 구조물을 용접하지 않고 볼트 체결 등을 통해 시공 기간과 시공 인력을 단축함으로써 온실 시공비용을 절감하는 효과를 도모하고자 하였다.

### 3절. 1,000 m<sup>2</sup> 규모 내재해형 광폭 비닐온실 시공 및 성능 평가

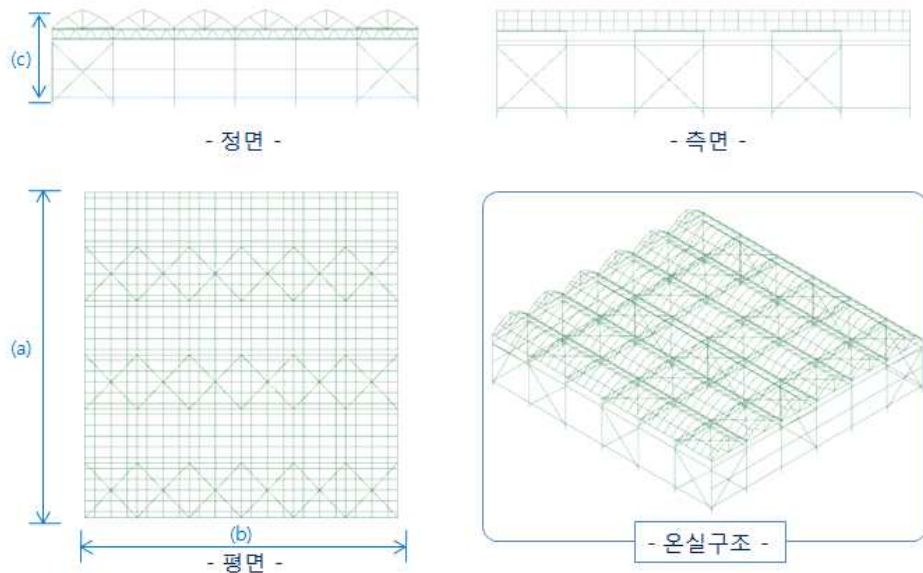
#### 1. 온실 구조안정성 확보를 위한 구조해석 보안 및 설계 최적화

##### 가. 내재해형 광폭온실 구조설계 최적화

온실구조물은 자연재해에 노출되어 있으므로 자연하중에 대한 안정성이 고려되어야 한다. 일반적으로 온실구조물은 시공되는 지역의 기상환경을 고려하여 폭설과 강풍에 대한 하중을 반영하여 설계된다. 중앙아시아 지역은 폭설과 강풍이 발생하는 지역으로 극한환경에 대한 구조적 안정성의 확보가 중요하다. 그러나 지나치게 온실구조의 안정성을 강조할 경우 추가비용 등의 경제적 비용이 과도하게 투입될 수 있다. 그러므로 온실구조는 구조안정성의 확보와 함께 경제성과 시공성이 균형적으로 고려되어야 한다. 초기 설계된 온실의 비용적인 측면을 고려하여 구조적 보안 및 최적화를 수행하고자 하였다. 따라서 온실 구조의 경제성과 안정성을 고려하여 온실구조를 보완하고 적합한 모델을 제시하였다.

##### (1) 무기둥 광폭 온실 설계구조

다음 그림과 같이 온실구조는 연동형태의 온실구조물로 3-Span, 2연동 구조물이다. 온실구조물의 폭은 25.56 m이며, 길이는 26.45 m 동고는 5.7 m로 설계 되었다. 온실구조는 Post, 서까래, 보, 방풍 Pipe, Truss, Bracing 등으로 이루어 졌으며 Pipe 형태의 구조물이다.

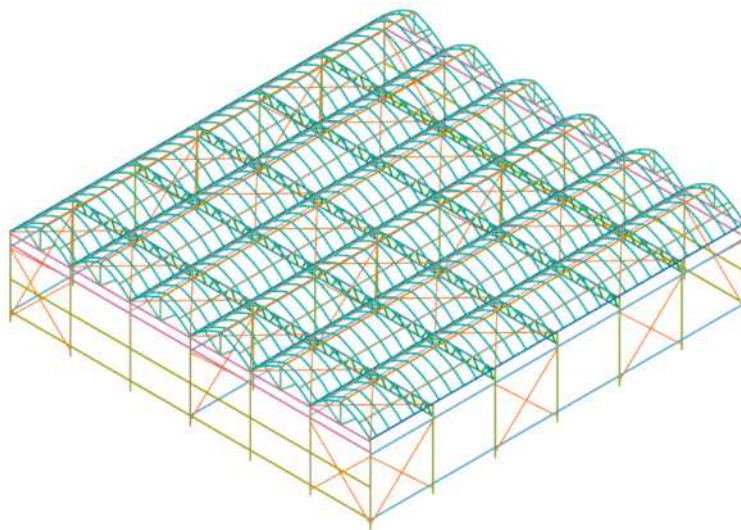


• Size : 26.45(a) X 25.56(b) X 5.7(c) ( 단위 : m ), 3Span-2연등

[그림 115] 무기등 광폭 설계구조

## (2) 유한요소모델 및 물성치

적설하중에 대한 온실구조의 해석모델은 Geometry Model을 기반으로 구성하였으며, 1-D(1-Dimension) Beam Element를 사용하여 단순화된 유한요소 모델을 구축하였다. 피복재와 설비 등의 하중은 Mass Element를 사용하였으며, 모델은 다음 그림과 같다.



[그림 116] 광폭 온실 구조의 유한요소 모델

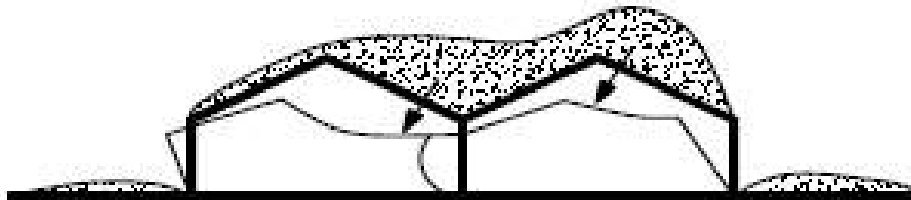
온실 구조의 부재는 상용제품인 농업용 아연도 강관과 함께 구조용 각형강관과 C형관을 사용하였다. 그리고 Gutter와 용마루는 내식성이 좋은 알루미늄을 적용하였으며, Bracing외의 다른 부재의 경우 Steel물성을 적용하였다. 따라서 해석 모델에 적용된 물성정보는 아래 표와 같다.

[표 34] 온실 구조의 적용 물성치

Part	Material	Density ( Kg/m <sup>3</sup> )	Elastic Modulus ( MPa )	Poisson Ratio
각형 강관	KS D3568	7,850	209,000	0.26
아연도 강관	KS D3760	7,850	209,000	0.26
C형강	KS D3530	7,850	209,000	0.26
Gutter&Jig	Aluminum	2,700	69,000	0.33
Bracing	Steel	7,850	209,000	0.26
Bracket	Steel	7,850	209,000	0.26

### (3) 적설하중에 대한 구조해석

다음 그림과 같은 연동형태의 온실구조는 단동형태의 온실과 달리, 곡부에 눈이 쌓이기 쉬운 구조물로 과대설하중이 작용한다. 이러한 적설형태는 온실구조물에 변형과 파괴를 야기할 수 있기 때문에, 적설형태를 고려한 수직하중의 영향과 구조적 안정성의 검토가 필요하다.



[그림 117] 연동곡부의 과대 설하중

#### (가) 하중 및 구속조건

온실구조의 지붕위에 작용하는 적설하중은 다음 식으로 표현 할 수 있다

$$-. W_s = \rho \cdot D \cdot \alpha$$

$W_s$ : 적설하중 ( Kg/m<sup>2</sup> ),  $\rho$ : 적설의 단위 체적 중량 ( Kg/cm<sup>3</sup>·m<sup>2</sup> ),  $D$ : 설계 적설심 ( cm ),  $\alpha$ : 지붕 경사 및 피복재의 종류에 따른 절감계수 이다. 적설의 단위체적중량은 수평면에 대한 중량을 의미하며 적설심별 중량은 다음 표를 기준으로 중간 값은 직선보간법으로 계산 할 수 있다. (온실의 자재 절감 및 안전성 향상을 위한 최적 모델 및 설계시스템 개발, 2007 )

[표 35] 지붕경사에 따른 적설하중의 단위중량

수직 최심적설 깊이(cm)	50이하	100	150	200이상
평균 단위 중량 ( Kg/cm·m <sup>2</sup> )	1.0	1.5	2.0	3.0

지붕경사에 따른 절감계수는 다음 표를 기준으로 적용하였다.

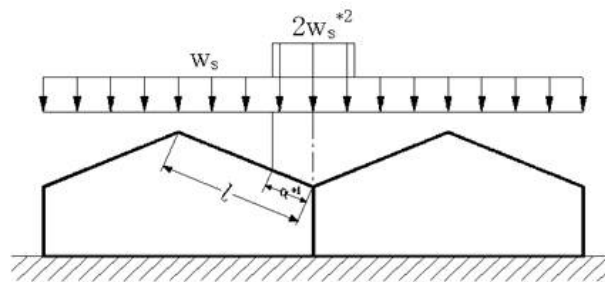
[표 36] 지붕경사에 따른 적설하중의 절감계수

지붕경사 (°)	10~20	20~30	30~40	40~60	60이상
절감계수	0.90	0.75	0.50	0.25	0.00

그러나 연동 구조물의 경우, 곡부에 눈이 집중되는 구조물로 다음 그림과 같이 할증율을 고려해야한다. 따라서 50 cm의 평지붕이 경사를 갖는 연동 구조물의 경우, 다음과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned} \text{-. } W_s &= 1.0 * 50 * 0.5 \\ &= 25.0 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

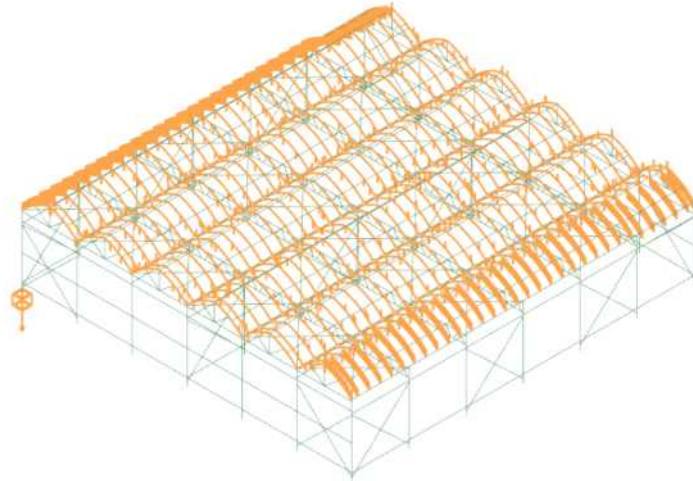
$$\begin{aligned} \text{-. } W_s(\text{곡부}) &= 2 * 25.0 \\ &= 50.0 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$



- \*1: a는  $l/3$  또는 3m중 작은 값
- \*2: 설계 적설심이 40cm이하는  $1.5W_s$

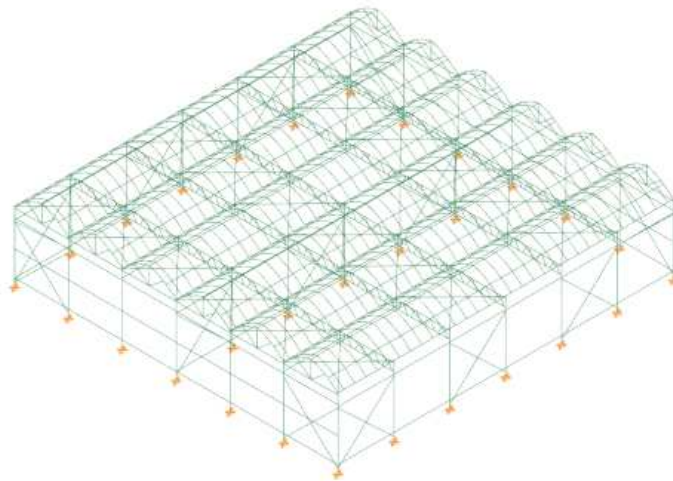
[그림 118] 연동곡부의 적설하중 할증률

다음 그림과 같이 계산된 적설하중은 자중과 함께 인가되었다.



[그림 119] 해석 모델에 적용된 적설하중과 자중

온실 구조물은 주 기둥의 하단이 고정되어 전체 구조물을 지지한다. 따라서 다음 그림과 같이 Post 하단부분에 병진 거동에 대한 자유도를 구속하였다.

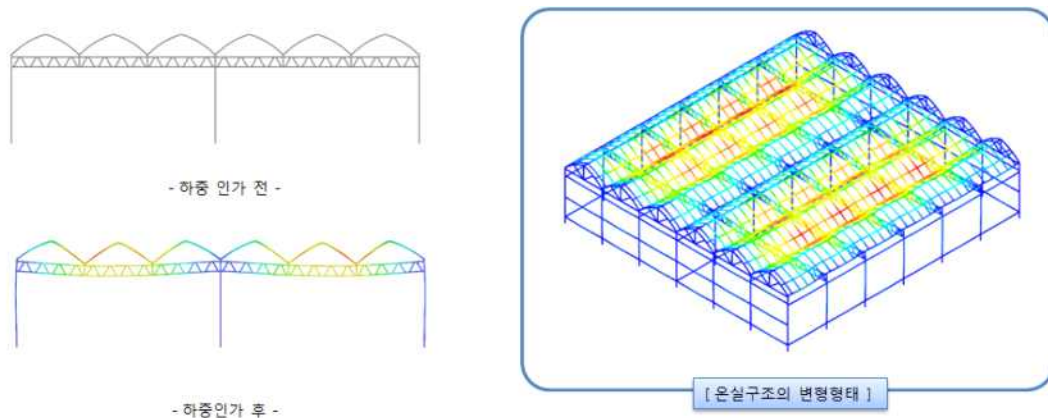


[그림 120] 구속조건

(나) 적설하중 해석결과

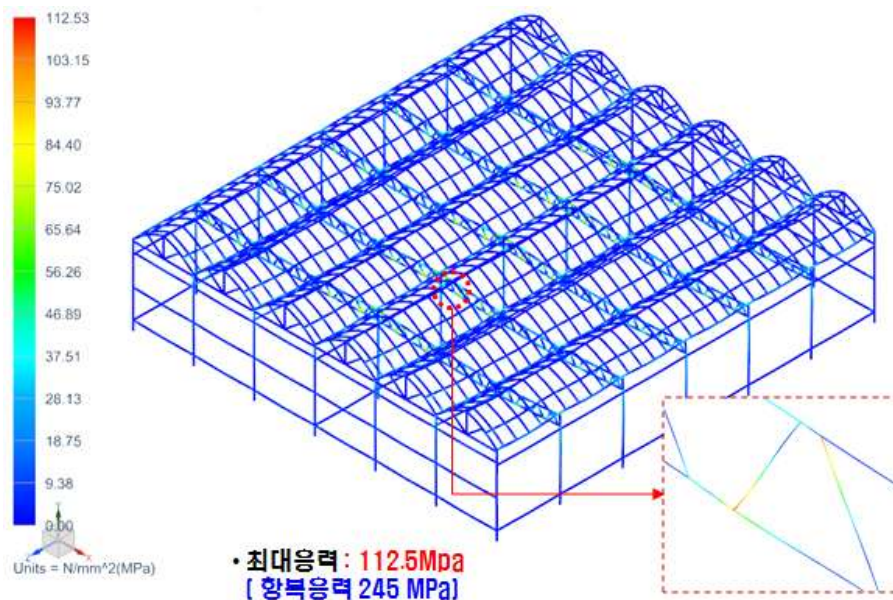
3-Span 온실 구조의 적설하중에 대한 구조적 안정성을 검증하기 위해, 구조해석을 정적 선형 조건으로 수행하였다. 먼저 적설하중에 대한 구조물의 변형을 살펴보면 다음 그림과 같다. 적설무게에 의해 서까래를 받치는 Truss와 Archbeam은 자중방향으로 주요 변형이 발생하며, 변형형태는 Post가 없는 Truss의 중앙부분에서 처짐 현상이 나타나면서 지붕부의 중앙이 내려앉는 변형구조가 나타났다.





[그림 121] 설하중에 의한 변형

해석결과를 자세히 살펴보면, 다음 그림과 같이 적설하중에 대한 최대 응력은 112.5 MPa이며 위치는 Truss의 하현재와 사재의 연결부분에서 나타났다. 두 번째로 응력이 높게 발생하는 부분은 Post와 연결되는 Archbeam에서 58.3 MPa이 발생하였으며, 그 외의 다른 부재에서도 허용응력 이하의 응력이 발생하였다.



[그림 122] 적설하중에 대한 해석결과

#### (4) 풍하중에 대한 구조해석

앞서 적설하중에 대한 구조적 안정성이 검토된 온실구조의 풍하중에 대한 안정성을 고려하기 위해, 50 m/s의 강풍에 대한 구조적 안전성과 부재에 미치는 영향을 해석적으로 고찰하였다.

##### (가) 풍하중 조건

바람은 질량을 가지고 있는 유체로써 구조물에 하중으로 작용하게 된다. 이때 발생하는 하중은 구조물의 형태와 위치에 따라 다르게 작용한다. 50 m/s의 풍하중은 건축구조기준 및 온실 설계기준을 기준으로 다음 그림과 같이 산정하였다.



❖ 구조 환경

- 설계 기본 풍속  $V_0 = 50.0\text{m/sec}$
- 지표면 조도구분 : C

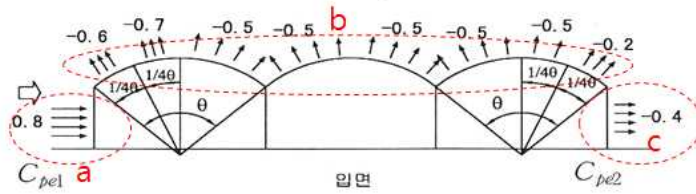
❖ 풍하중

- 설계 풍속 =  $V_0 \cdot K_{zr} \cdot K_{zt} \cdot I_w$   
 $= 50.0 \cdot 1.0 \cdot 1.0 \cdot 0.95$   
 $= 47.5 \text{ m/sec}$
- 설계 속도압 ( $q$ )  
 $= \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_z^2$   
 $= 0.5 \cdot 1.22 \cdot 47.5^2$   
 $= 1.235 \text{ kN/m}^2$   
 $(= 1235 \text{ Pa})$

• 풍압력 =  $G_f \cdot c \cdot q$

- 1) 풍상면 (a) =  $675 \times 1.9 \times 0.8$   
 $= 1877.6 \text{ N/m}^2$
- 2) 지붕면 (b) =  $675 \times 1.9 \times 0.2 \sim 0.7$   
 $= 469 \sim 1643 \text{ N/m}^2$
- 3) 풍하면 (c) =  $675 \times 1.9 \times 0.4$   
 $= 939 \text{ N/m}^2$

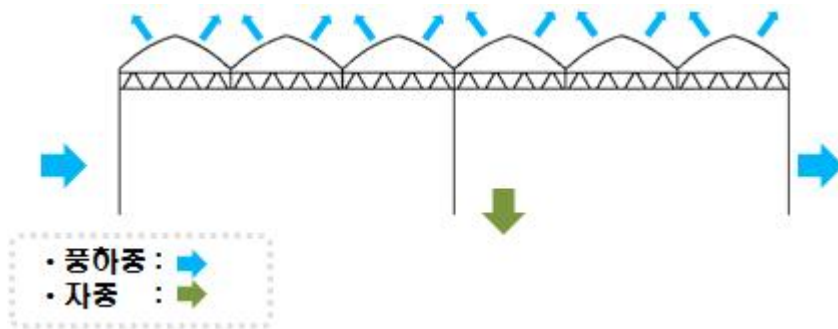
- $V_0$  : 건축구조기준에 의한 설계풍속.
- $K_{zr}$  : 지형계수 (평지:1.0)
- $K_{zt}$  : 고도 분포계수 (10m 이하 =1.0)
- $I_w$  : 중요도 계수 (0.95)
- $G_f$  : 노풍도 (1.9)



[옥실 벽면 및 지붕면의 외압계수]

[그림 123] 풍하중 산정

구조물에 인가되는 하중은 풍하중과 자중이며 다음 그림과 같은 방향으로 인가되었다.



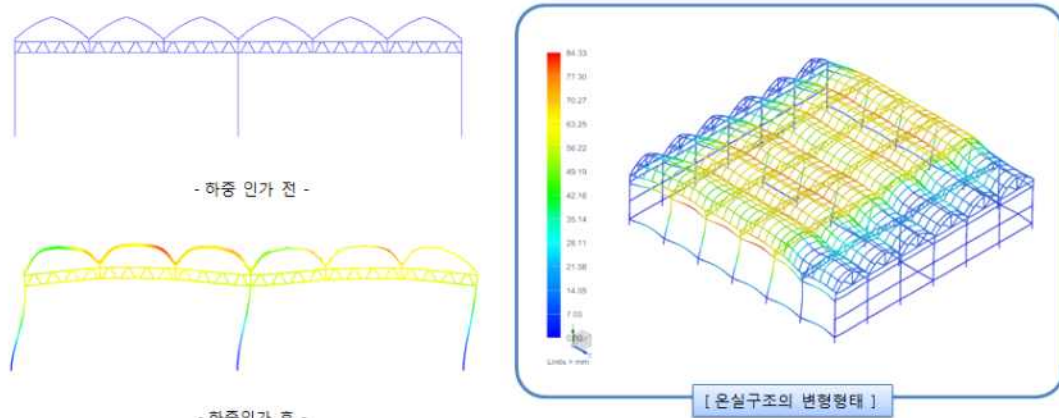
[그림 124] 구조물에 인가된 하중 방향

(나) 풍하중 해석결과

3-Span 온실구조의 적설하중에 대한 안전성을 검증 한 후, 풍력에 대한 구조적 안정성을 해석적으로 고찰하였다. 구조해석은 정적 선형으로 수행하였으며, 구조물의 변형과 각 부재의 취약부를 중심으로 해석결과를 검토하였다.

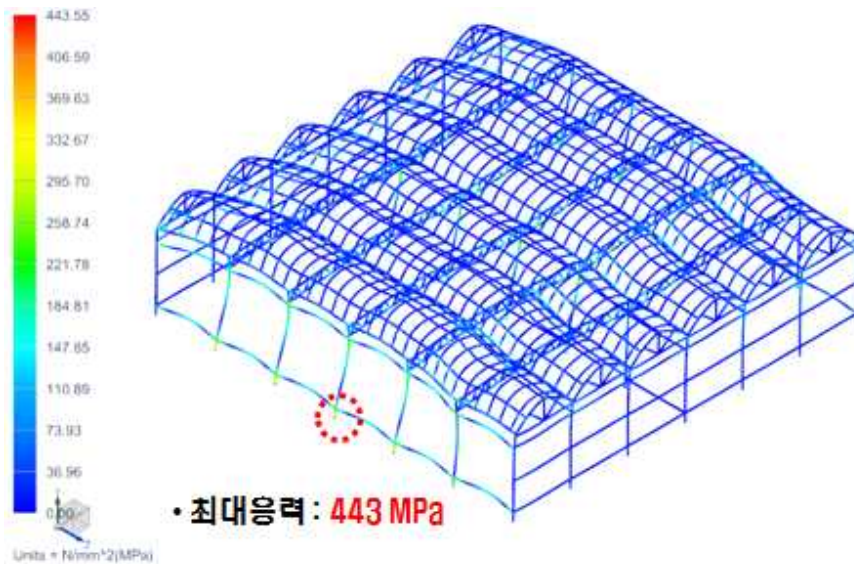
다음 그림과 같이 풍하중에 의해 발생하는 변형은 하중방향으로 온실 구조물이 기울어지는 형태로 발생하였다. 또한 풍하중이 작용하는 방향으로 온실 구조물이 기울어지면서, 지붕 구조

는 상부 쪽으로 들리는 변형이 발생하였다. 이러한 지붕의 변형은 상부에서 발생하는 고속기류에 의해 형성된 양력에 의한 것이다. 그리고 좌우 지붕의 윗면은 양력의 차이가 있어 좌측 연동의 지붕이 우측 연동의 지붕보다 변형이 크게 나타났다. 결과를 통해 변형 형태를 확인할 수 있으며, 바람의 진행 방향은 좌측에서 우측으로 부는 방향이다.



[그림 125] 풍하중 부하에 따른 구조물의 변형

위와 같은 구조의 변형과 함께 온실구조에서 발생하는 최대 응력은 측벽 Post하단에서 443 MPa로 나타났다. 또한 측벽의 Pipe, Archbeam, Roof, Truss 등의 주요부재에서 300 MPa 이상의 과도응역이 집중됨을 확인하였다. 각부재의 본 구조물은 50 m/s의 강풍에 취약하므로, 구조물의 손상과 파손이 우려된다.



[그림 126] 풍하중 해석결과

### (5) 개선 모델

설계된 모델은 50 cm의 적설하중에 대해 구조적 안정성은 확보되었으나 50 m/s의 풍하중에

구조적으로 취약한 구조임을 확인하였다. 풍하중에 대한 온실구조의 구조 보강을 다음과 같이 수행하였다.

(가) 개선 방안

측면에서 불어오는 바람의 하중은 측벽 Post에 1차적으로 작용하게 되며, 측벽을 타고 상승하는 바람의 흐름에 의해 2차적으로 지붕의 서까래 부분에 영향이 미치게 된다. 이러한 하중의 영향에 의해 변형과 응력집중이 발생하게 되며, 이때 취약한 부재는 Post, Archbeam, Truss, Roof, 측벽의 Pipe 으로 나타났다. 하중에 대한 온실 구조의 보강 방식은 다음과 같이 접근 할 수 있다.

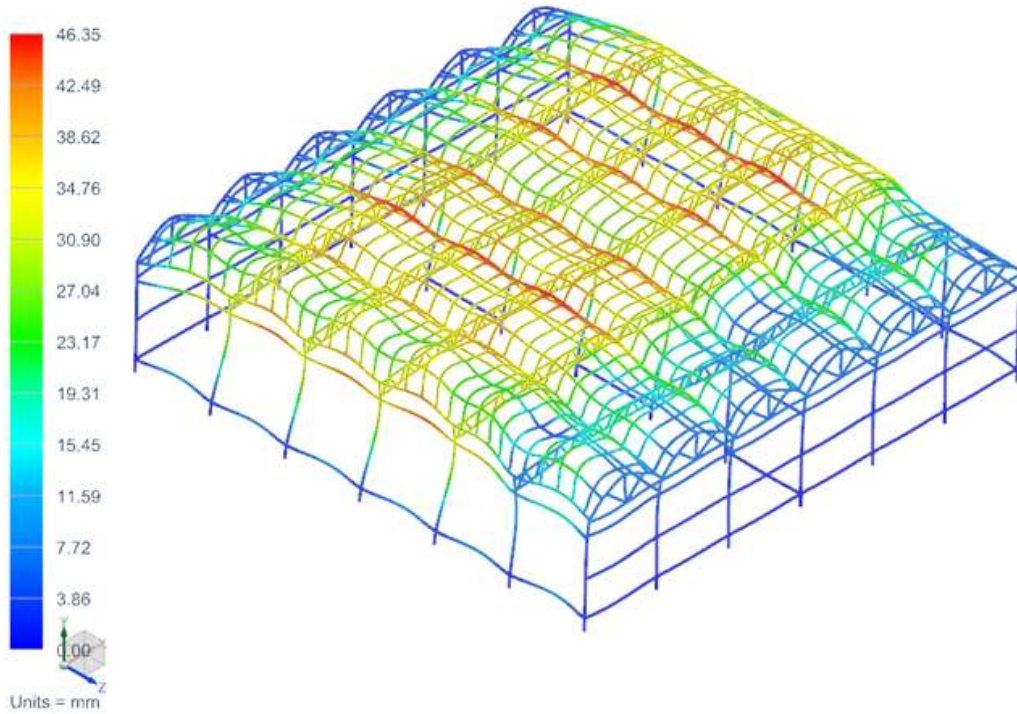
- A. 구조 설계 변경
- B. 부재 재질 변경
- C. 부재의 평상 및 두께

위의 방법 중 A는 설계 구조를 변경하여 전체 구조물의 강성을 보강하는 방식이다. 이 경우 구조물에 안정성을 고려하여 설계될 경우, 온실의 생산성과 효율성을 떨어질 수 있어 온실구조에 대한 경험과 구조물의 기능 및 시공에 대한 이해가 요구되는 방법이다. 그러나 B와 C의 방식은 부재의 강성을 변화시키는 방법으로, 상대적으로 쉽게 구조물을 보강할 수 있는 방법이다.

온실 부재들은 국내 온실 규정에 의해 기성품으로 나온 부재를 온실시공에 사용된다. 부재의 재질 변경은 현실적으로 제한되는 변수이기 때문에 취약부재의 형상 및 두께 조정을 통한 부재의 강성을 보강하여 전체 구조물의 안정성을 확보하고자 한다.

(나) 개선 구조의 풍하중 결과

Post, Archbeam, Truss, Roof, 측벽의 Pipe의 강성을 보강하였으며, 50 m/s의 풍하중에 대한 해석을 수행하였다. 구속 및 하중은 초기 해석과 동일하게 적용하였으며, 변형 결과는 다음 그림과 같다.

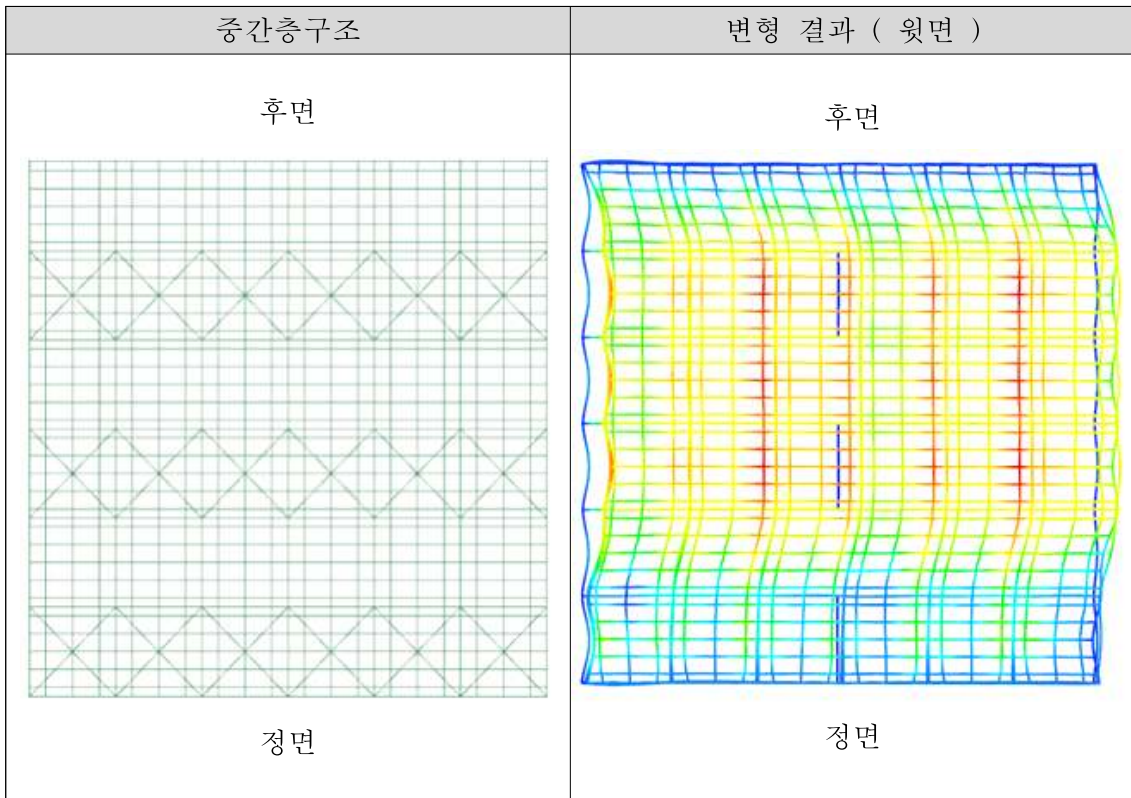


[그림 127] 개선모델 변형 형태

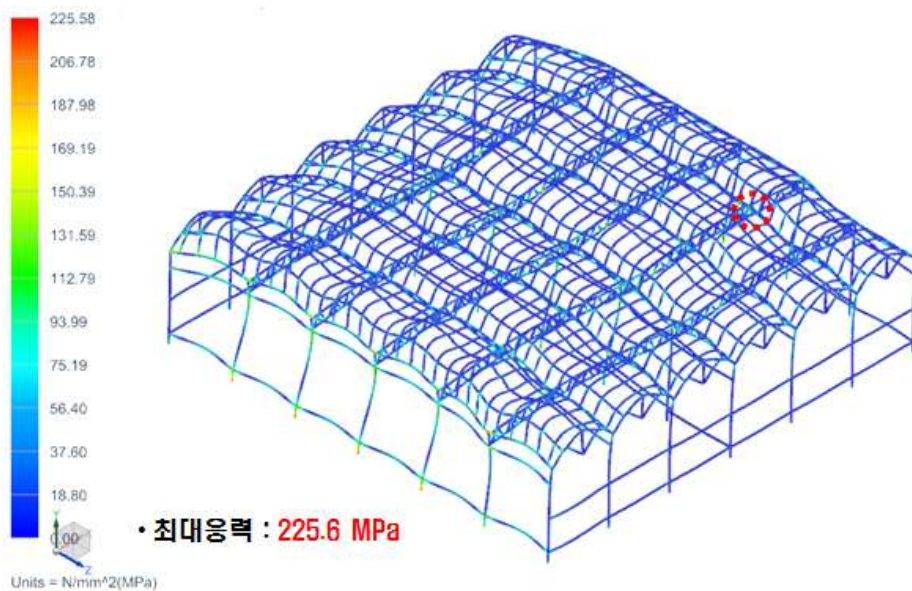
Post는 좌측에서 우측으로 작용하는 하중 방향으로 기울어지는 변형이 발생하였다. 위의 변형을 온실의 윗면에 바라본 결과는 다음 표의 우측 결과와 같다. 중간층 구조를 보면 x자 형태의 수평 Bracing은 교차로 배열되어 정면으로 편향되어 있음을 알 수 있다. 이러한 Bracing의 배열은 온실구조의 변형형태에 영향을 주며, 이에 따라 중심축을 중심으로 대칭되는 변형형상이 아닌 후면으로 변형이 편향되는 결과가 나타났다. 이 결과를 통해 수평 Bracing은 온실 구조물의 좌우방향으로 발생하는 변형을 방지하고 있음을 확인 하였다.



[표 37] 중간층 구조도 및 지붕면의 변형결과



이 때 개선 모델에 발생하는 최대 응력은 Roof에서 215.4 MPa, 측벽 Post에서 217.4 MPa, Archbeam에서 225.6 MPa로 나타났다. 항복응력 235,285 MPa 이하로 구조적으로 안정한 것으로 나타났다. 그러나 안전계수를 1.5를 고려할 경우 온실 구조의 허용응력은 156.7, 190 MPa이므로, 안전계수를 목표할 경우 구조적 보완이 필요하다.



[그림 128] 개선 모델 해석결과

**(6) 최종 모델**

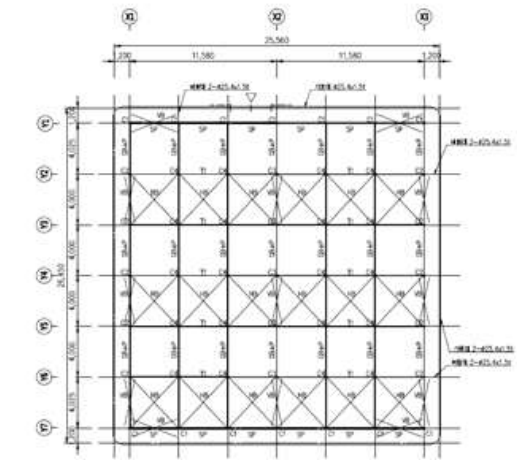
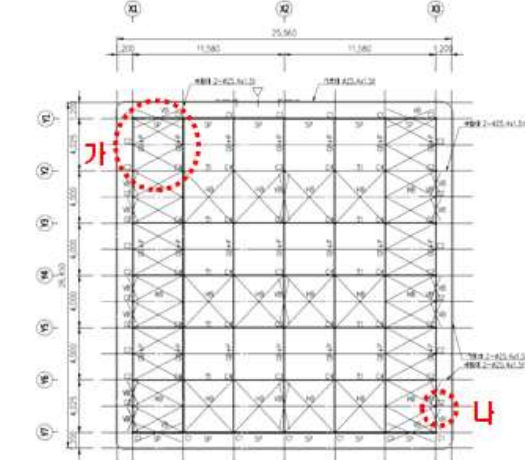
설계된 모델은 적설하중에는 구조적 안정성이 확보되었으나, 50 m/s의 풍하중에 안전계수를 고려할 경우 구조적 보완이 필요하다. 온실 구조의 강성을 보강하기 위해 1차 개선모델에서 각 부재의 강성을 보완한 구조에서, 추가적으로 설계 구조를 변경함으로써 최종 개선모델을 도출하였으며 풍하중에 대한 추가 해석을 수행하였다.

**(가) 최종 개선 모델의 구조**

풍하중을 맞는 측벽의 강성을 보강하기 위해, 측벽부의 Post를 추가하였으며, Post배열은 기존의 상용화 된 국내 온실의 Post 배열을 참고하였다. 이러한 설계 변경은 작물 생산량과 연결되는 채광량과 관련이 높으나, 작물재배 시 채광은 Roof, Archbeam, Truss 등과 같은 온실의 상부 구조물에 영향이 크며 측벽의 구조물은 영향이 크지 않다 그리고 측벽의 Post가 하중 방향으로 넘어가지 않도록 상단의 수평 Bracing을 추가하였으며, 서까래와 가로대 등의 강성을 보강하여 온실 구조의 강성을 보강하였다.

다음 표는 설계모델과 개선모델의 구조를 비교한 것이다.

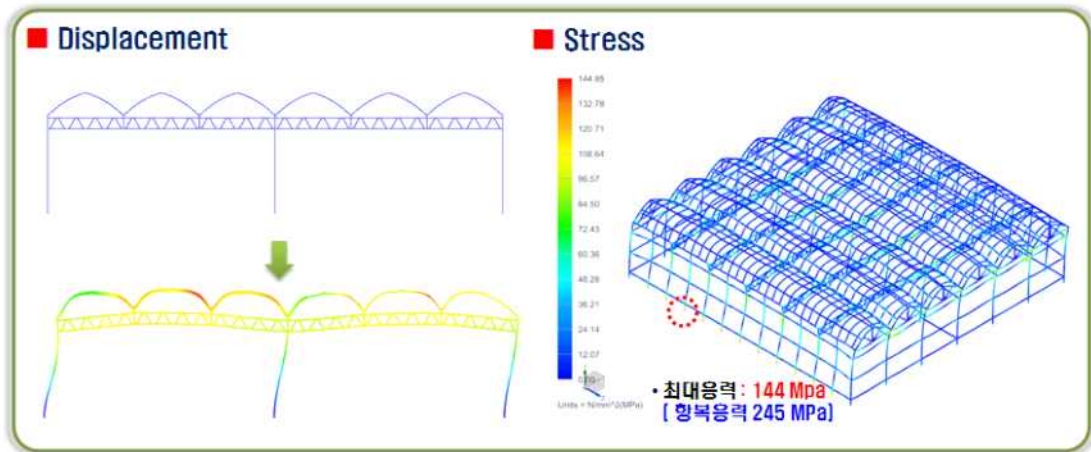
[표 38] 설계모델과 개선모델의 구조 비교

설계모델 구조도	최종모델 구조도
 <p style="text-align: center;">- 중간층 (천정) 구조도 -</p> <p style="text-align: center;">- 측벽 구조도 -</p>	 <p style="text-align: center;">- 중간층 (천정) 구조도 -</p> <p style="text-align: center;">- 측벽 구조도 -</p>
<p>개선 사항 : 가) Bracing 배열 변경 나) Post 추가배열</p>	

**(나) 해석 결과**

앞서 수행된 구조해석과 동일하게 하중조건과 경계조건을 수행하였으며, 정적선형 해석을 적

용하였다. 다음 그림과 같이 측면에서 발생하는 풍하중에 의해 변형이 발생하였고, 이에 따라 측벽의 Post 하단에서 최대응력이 발생하였다. 구조물이 풍하중에 의해 발생하는 최대응력은 144 MPa로 부재의 항복응력 235 MPa 보다 낮게 발생하였다. 그리고 온실구조의 안전계수 1.5를 고려할 때 허용응력 156.7 보다 낮은 응력이 발생하였다. 따라서 최종 개선모델은 풍하중에 대한 구조적 안정성이 확보되었음을 확인 할 수 있었다.



[그림 129] 개선 모델의 풍하중 해석결과

### (7) 해석 결론

본 연구에서는 설계된 무기둥 광폭 온실구조의 구조해석을 수행하여 적설하중 및 풍하중에 대한 구조적 안정성을 검토한 결과 다음과 같은 결론으로 요약할 수 있다.

- 적설하중 해석 결과, 온실 부재에서 발생하는 최대 응력은 112.5 MPa이하로 재료의 허용강도 235 MPa이하로 나타났다. 따라서 50 cm의 적설하중에 대해 온실 구조가 적합한 것으로 판단된다.
- 풍하중 해석 결과, 초기설계 구조는 50 m/s의 풍하중에서 최대응력이 부재의 허용응력보다 높게 발생하여, 온실구조의 파손과 손상이 우려되었다. 그러나 구조적 강성을 보완하여 개선모델을 도출함으로써 50 m/s의 강풍에서도 온실구조의 구조적 안정성이 확보됨을 확인 할 수 있다. 따라서 중앙아시아의 극한환경에서 안전한 원예시설로의 기능을 충분히 안전할 것으로 판단된다.

#### 나. MIDAS 프로그램과 구조해석 결과 비교

최적화된 온실구조는 중앙아시아의 환경하중을 고려하여 해석을 수행하고, 충분히 검토하여 구조적 안정성이 확보된 구조이다. 그러나 온실시공 시 공인구조계산이 요구 되고 있다. 일반적으로 온실구조는 기술사법에 등록된 전문업체의 구조해석을 받아 시공되며, 원예특작시설 내 재해형 기준을 활용하여 수행된다. 범용적으로 온실 구조계산에 사용되는 소프트웨어는 단면력을 계산하고 단면의 안정성을 검토하여 구조물의 응력과 변형을 고려하여 계산한다.

최적화 된 온실구조는 구조적 안정성의 재검토하기 위해 원예시설의 구조해석에 사용되고 있

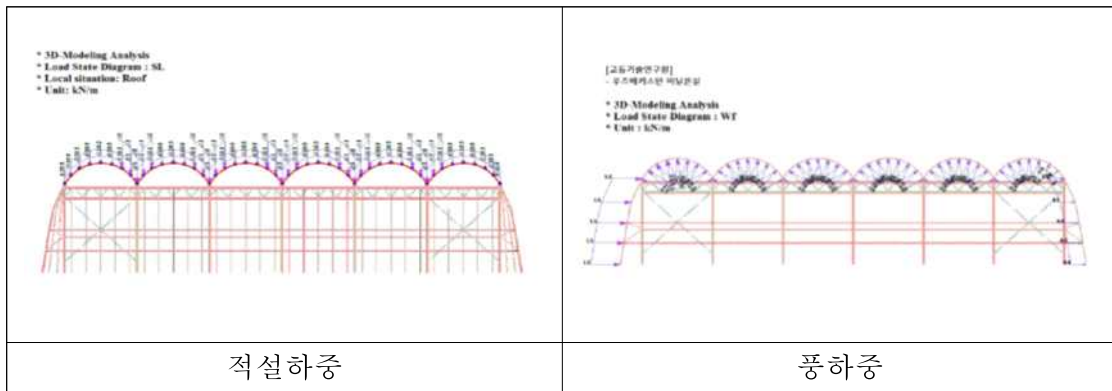


는 MIDAS프로그램을 사용하여 추가 검토를 수행하고 비교 검토 하였다. 이를 통해 온실 구조물이 중앙아시아의 극한환경에 적합한 구조임을 확인하였다.

**(1) MADAS 구조계산**

구조계산은 부재의 접합연결과 기초를 반영하여 설계하중을 기준으로 한 응력을 계산한 후 각 골조의 허용응력과 비교하여 계산된다. 온실 구조의 계산모델은 구조의 배치나 접합조건 등을 고려하여 모델을 구성하였으며, 주 골조와 트러스 등은 평면골조로 취급하고 부재의 단면적, 단위중량, 단면 모멘트를 고려하였다.

구조계산에 적용된 설계하중은 시공환경의 환경조건인 적설하중 50 cm, 풍하중 50 m/s를 계산하여 입력하였으며, 풍하중과 적설하중의 계산식은 구조설계 최적화 해석과 동일하다. 하중 방향은 다음 그림과 같으며, 온실설계기준 및 해설(한국농어촌공사, 1999), 강구조계산기준 및 해설(한국강구조학회, 2009), 그리고 건축구조기준(KBC 2009, 대한건축학회)의 적용규준을 준수하여 수행하였다.



[그림 130] 1차 실험결과

구조계산 결과로써 각 부재에 작용하는 모멘트와 힘을 해석적으로 도출하여 부재의 단면적과 단면계수를 활용하여 발생하는 응력을 계산한 것이다. 다음 그림은 계산된 응력결과와 부재의 허용응력을 비교한 결과로 모든 부재가 허용응력 이하로 나타났다.

*PROJCT														
*UNIT SYSTEM : KN, #														
[ KSSC-L5008 ] CODE CHECKING SUMMARY SHEET --- SELECTED MEMBERS IN ANALYSIS MODEL														
MEMB	SECT	Section	Fy	LoE	Len	Lx	Ly	Lz	Cx	Ky	Kz	Stz	Mu	Mz
OK:	COM	SHR	Material		Lb	Lb	Lb	Lb	Kc	Stz	Stz	pPh	Mu	Mz
1965	1	C1, S 125x125-8	1.50000	1.50000	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	480.513	-27.559	0.06930		
OK:	0.62	0.06	S5490	274568	4	0.15000	0.15000		1.00	1.00	1.00	646.427	31.5229	31.5229
1395	2	C2, S 125x125-12	1.50000	1.50000	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	23.2362	-16.570	0.70548		
OK:	0.31	0.02	S5490	274568	4	0.15000	0.15000		1.00	1.00	1.00	1248.74	87.0158	87.0158
1796	3	C3, S 125x125-8	0.13000	0.13000	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	81.4506	-4.9665	-1.5282		
OK:	0.27	0.03	S5490	274568	4	0.13000	0.13000		1.00	1.00	1.00	962.614	31.6229	31.6229
1965	4	C4, S 125x75-3.2	0.17000	0.17000	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	22.8630	-1.8783	-0.2268		
OK:	0.46	0.07	S5490	274568	4	0.17000	0.17000		1.00	1.00	1.00	299.766	12.7895	9.9613
3641	10	06, S 150x150-5	0.80000	0.80000	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	8.36534	2.05306	-21.563		
OK:	0.61	0.11	S5490	274568	4	0.80000	0.80000		1.00	1.00	1.00	700.854	35.9544	35.9544
1729	11	7B, S 75x75-2.3	2.01250	2.01250	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	11.7667	-0.1600	3.25373		
OK:	0.60	0.06	S5490	274568	4	2.01250	2.01250		1.00	1.00	1.00	161.815	4.50789	4.50789
1185	12	7E, S 75x45-2.3	4.02500	4.02500	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	17.3398	-7.1369	0.00000		
OK:	0.41	0.00	S5490	274568	4	4.02500	4.02500		1.00	1.45	1.00	17.3398	2.56354	1.93309
4456	20	T1(상판재), S 150x150-	0.30000	0.30000	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	20.1326	-7.5243	17.1096		
OK:	0.35	0.06	S5490	274568	4	0.30000	0.30000		1.00	1.00	1.00	1202.77	66.4175	66.4175
525	21	T2(중판재), S 150x150-	0.66500	0.66500	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	53.5912	8.40169	0.62120		
OK:	0.17	0.02	S5490	274568	4	0.66500	0.66500		1.00	1.00	1.00	1202.77	66.4175	66.4175
568	22	7A, S 75x75	0.76994	0.76994	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	-36.762	0.00000	0.00000		
OK:	0.74	0.00	S5490	235300	4	0.76994	0.76994		1.00	2.25	1.00	49.6476	0.32444	0.32444
1672	30	7B, S 75x75	5.36773	5.36773	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	55.0365	0.00000	0.00000		
OK:	0.56	0.00	S5490	235300	4	5.36773	5.36773		1.00	1.00	1.00	103.825	0.32444	0.32444
1796	30	7E, S 75x75	4.35313	4.35313	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	39.4634	0.00000	0.00000		
OK:	0.63	0.00	S5490	235300	4	4.35313	4.35313		1.00	1.00	1.00	42.5326	0.06526	0.06526
1206	70	7B(Flat Beam), S 75x4-	4.00000	4.00000	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	11.1	-5.0660	0.00000		
OK:	0.29	0.00	S5490	274568	4	4.00000	4.00000		1.00	1.29	1.00	17.5572	2.56354	1.93309
4190	71	7B(기둥 보강재), S 45-	1.52315	1.52315	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00000	-1.2528	0.06170		
OK:	0.96	0.10	S5490	235300	4	1.52315	1.52315		1.00	1.00	1.00	88.8098	1.31012	1.31012

*PROJCT														
*UNIT SYSTEM : KN, #														
[ KSSC-L5008 ] CODE CHECKING SUMMARY SHEET --- SELECTED MEMBERS IN ANALYSIS MODEL														
MEMB	SECT	Section	Fy	LoE	Len	Lx	Ly	Lz	Cx	Ky	Kz	Stz	Mu	Mz
OK:	COM	SHR	Material		Lb	Lb	Lb	Lb	Kc	Stz	Stz	pPh	Mu	Mz
4268	73	7B(기둥 보강재), P 60-	1.36854	1.36854	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	17.0184	1.52944	-0.0004		
OK:	0.62	0.06	S5490	235300	4	1.36854	1.36854		1.00	1.00	1.00	111.643	2.06948	2.06948
5317	85	7B(기둥 보강재), S 150x150-	2.01250	2.01250	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	-0.1087	-0.0257	-2.6058		
OK:	0.42	0.04	S5490	274568	4	2.01250	2.01250		1.00	1.00	1.00	154.484	6.32653	6.32653
5408	90	7B(기둥 보강재), S 150x150-	0.30000	0.30000	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.04424	-0.0508	-0.0729		
OK:	0.36	0.02	S5490	235300	4	0.30000	0.30000		1.00	1.00	1.00	29.9022	0.23778	0.23778
5411	91	7B(기둥 보강재), P 60 5x4	0.40000	0.40000	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.84041	-0.8595	1.93309		
OK:	0.63	0.10	S5490	235300	4	0.40000	0.40000		1.00	1.00	1.00	185.528	3.06583	3.06583
5434	96	7B(기둥 보강재), P 34 0x-	0.90591	0.90591	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	-10.815	-0.3200	0.06038		
OK:	0.46	0.04	S5490	235300	4	0.90591	0.90591		1.00	1.15	1.00	40.6952	0.61421	0.61421

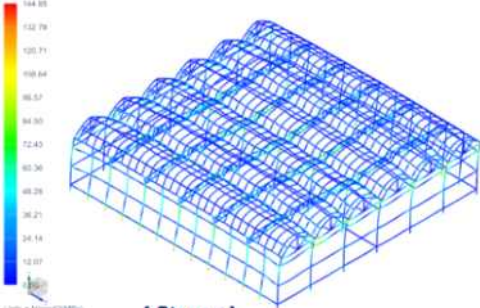
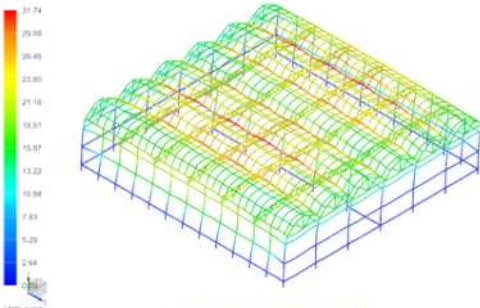
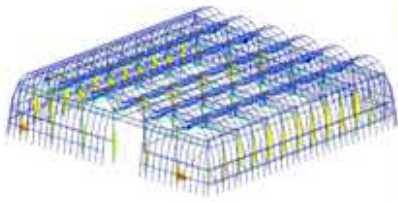
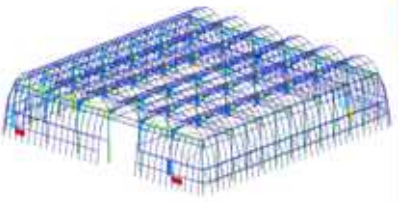
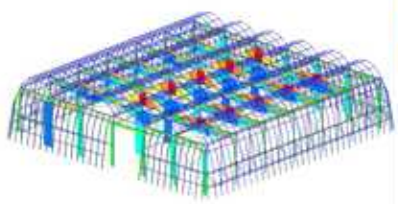
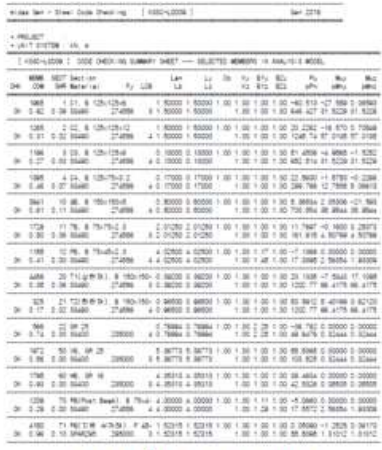
[그림 131] 구조계산서 구조결과

(2) 설계 해석 결과와 구조 계산 결과 비교

구조설계 최적화를 위한 해석은 주요 골재를 중심으로 결과를 나타냈으며, 주요 골재에서 발생하는 최대응력은 144 MPa로 허용 응력 235 MPa 이하로 나타났으며, 과도한 변형이 발생하지 않아 구조적으로 안정함을 확인할 수 있었다. 구조계산 결과도 각 부재의 최대응력이 허용 응력 이하로 나타났으며 각 구조의 변형량도 변형제한보다 낮게 발생하였다. 그러므로 두 결과 모두 구조적으로 안정한 것으로 나타났다.

이를 통해 본 설계구조물이 설계조건에 대한 구조적 안정성을 확보하였으며 국내 내재해형 온실규격에도 적합함을 확인하였다.

[표 39] 구조설계 최적화 결과와 구조계산서 결과 비교

해석 결과	
최적화 구조해석	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>[ Stress ]</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>[ Displacement ]</p> </div> </div>
구조계산서	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>[ Moment ]</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>[ Shear ]</p> </div> </div> <div style="text-align: center; margin-top: 20px;">  <p>[ Axial ]</p> </div> <div style="text-align: center; margin-top: 20px;">  <p>[ 부재별 응력 결과 ]</p> </div>

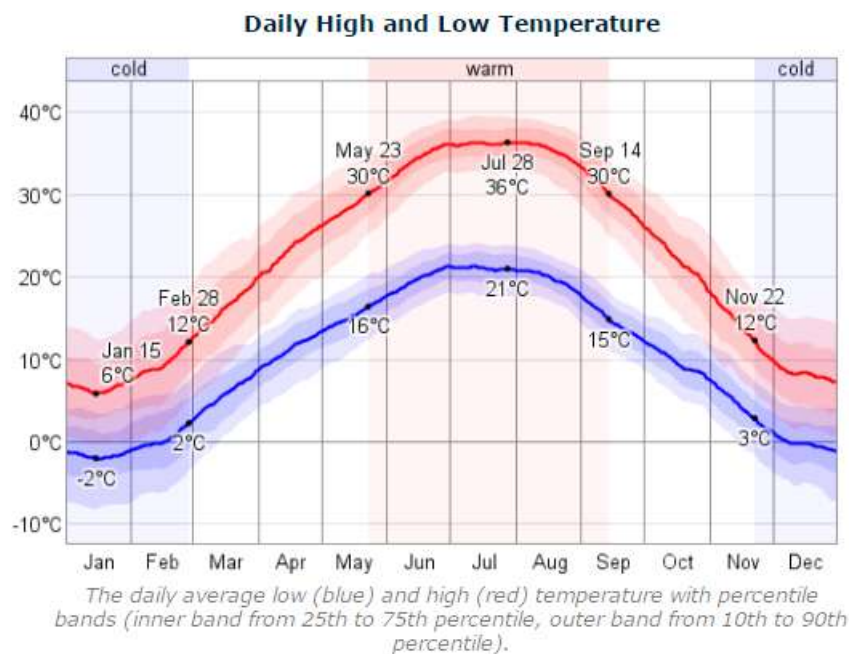
[부록. 내재해형 광폭온실 구조계산서 (구조기술사 공인구조계산서)]

## 2. 1,000m<sup>2</sup> 규모 내재해형 광폭 비닐온실 설계 제작 및 시공/시운전

### 가. 우즈베키스탄 현지 기후 환경 및 온실 현황

우즈베키스탄은 대표적인 농업국가로 전체 산업 중 농업이 21.1%을 차지하고 있다. 경작 면적의 확대를 위한 농지개량사업, 관개시설 확충사업을 국가에서 시행하며, 농업 생산은 거의 매년 성장을 거듭하고 있다. 우즈베키스탄의 총 농지 면적은 358만3900 ha이며 지속적인 인구 증가와 더불어 농작물에 대한 수요도 꾸준히 늘어나고 있는 추세이다. 사시사철 농작물을 재배·공급할 수 있는 비닐하우스에 대한 수요도 빠른 속도로 늘어나고 있기 때문에, 국내 비닐온실의 성능 보완 및 기술 혁신을 통해 중앙아시아 현지 맞춤형으로 구조적 안정성을 확보한 내재해형 광폭 비닐 온실을 개발하여 현지화를 추진하였다.

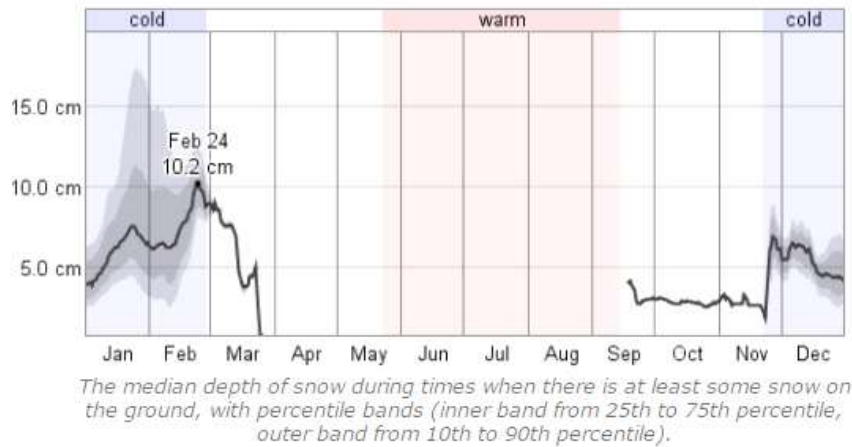
우즈베키스탄의 중심도시인 타쉬켄트의 최고기온과 최저기온의 평균을 아래 그림에 나타내었다. 동절기 중 1월 기준 평균 최고온도는 6°C이고 평균 최저온도는 -2°C 이다.



[그림 132] 우즈베키스탄(타쉬켄트) 연간 최고 및 최저 평균기온

다음은 타쉬켄트의 연간 평균 적설량을 나타낸 그림이다. 일반적으로 2월에 많은 적설량이 발생하며 평균 10.2 cm 이다.

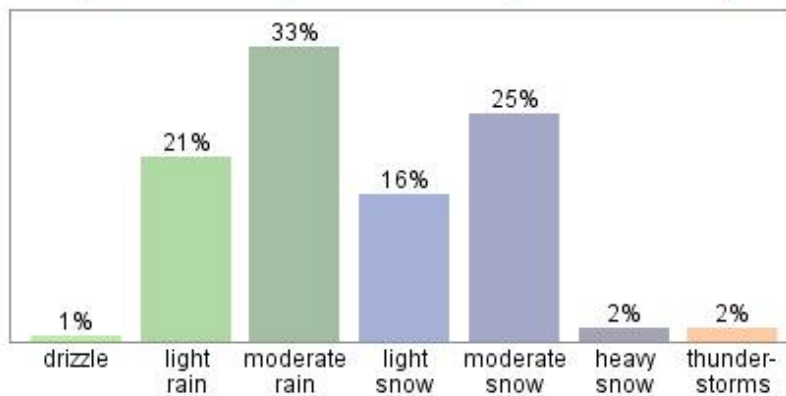
**Snow Depth When there is Snow on the Ground**



[그림 133] 우즈베키스탄(타슈켄트) 연간 평균 적설량

타슈켄트의 2월 중 강수 및 강설 확률을 아래 그림에 나타내었다. 우즈베키스탄은 사막형 대륙성 기후에 속하기 때문에 여름은 건기로서 매우 뜨겁고 건조하며 비가 거의 내리지 않는다. 반면 겨울은 우기로 습도가 높고 기온은 낮으며, 비와 눈이 자주 내린다. 평균 적설량은 적지만 습설이 올 가능성이 높기 때문에 이를 견딜 수 있는 내재해형 비닐 온실이 필요하다. 본 연구에서는 내재해 안정성을 확보하기 위해 풍속 50 m/sec, 적설량 50 cm에서 구조적으로 안정한 내재해형 온실을 제안하였다.

**Types of Precipitation Throughout February**



Relative frequency of various types of precipitation over the course of a typical February.

[그림 134] 우즈베키스탄(타슈켄트) 2월 중 강수 및 강설 확률

[표 40] 우즈베키스탄 타쉬켄트 기상자료(<http://www.accuweather.com>)

날짜	일간최고기온	일간최저기온	강수량	눈
2015-01-01	17°	4°	0 mm	0 cm
2015-01-02	6°	0°	0 mm	0 cm
2015-01-03	7°	-1°	6 mm	23.9 cm
2015-01-04	6°	-1°	0 mm	0 cm
2015-01-05	15°	4°	9 mm	0 cm
2015-01-06	15°	5°	0 mm	0 cm
2015-01-07	17°	6°	0 mm	0 cm
2015-01-08	20°	6°	0 mm	0 cm
2015-01-09	13°	1°	10 mm	0 cm
2015-01-10	8°	-1°	0 mm	0 cm
2015-01-11	4°	0°	23 mm	0 cm
2015-01-12	7°	-1°	0 mm	0 cm
2015-01-13	4°	1°	0 mm	0 cm
2015-01-14	8°	0°	0 mm	0 cm
2015-01-15	7°	-1°	0 mm	0 cm
2015-01-16	14°	-1°	0 mm	0 cm
2015-01-17	19°	3°	0 mm	0 cm
2015-01-18	10°	2°	0 mm	0 cm
2015-01-19	6°	4°	2 mm	0 cm
2015-01-20	4°	-3°	8 mm	30.0 cm
2015-01-21	3°	-5°	0 mm	0 cm
2015-01-22	1°	-2°	0 mm	0 cm
2015-01-23	4°	-1°	3 mm	0 cm
2015-01-24	1°	-7°	10 mm	50.0 cm
2015-01-25	-2°	-8°	0 mm	0 cm
2015-01-26	-2°	-7°	0 mm	0 cm
2015-01-27	1°	-6°	0 mm	0 cm
2015-01-28	1°	-8°	0 mm	0 cm
2015-01-29	5°	-6°	0 mm	0 cm
2015-01-30	10°	-1°	1 mm	0 cm
2015-01-31	14°	3°	1 mm	0 cm

날짜	일간최고기온	일간최저기온	강수량	눈
2015-02-01	7°	-1°	12 mm	0 cm
2015-02-02	5°	-2°	0 mm	0 cm
2015-02-03	6°	-3°	0 mm	0 cm
2015-02-04	11°	-2°	0 mm	0 cm
2015-02-05	16°	2°	0 mm	0 cm
2015-02-06	20°	5°	0 mm	0 cm
2015-02-07	7°	-2°	6 mm	0 cm
2015-02-08	17°	1°	0 mm	0 cm
2015-02-09	18°	9°	0 mm	0 cm
2015-02-10	18°	11°	0 mm	0 cm
2015-02-11	24°	12°	1 mm	0 cm
2015-02-12	12°	6°	33 mm	0 cm
2015-02-13	12°	4°	0 mm	0 cm
2015-02-14	15°	4°	2 mm	0 cm
2015-02-15	12°	8°	6 mm	0 cm
2015-02-16	9°	3°	20 mm	0 cm
2015-02-17	10°	3°	0 mm	0 cm
2015-02-18	12°	2°	0 mm	0 cm
2015-02-19	13°	2°	0 mm	0 cm
2015-02-20	15°	5°	0 mm	0 cm
2015-02-21	14°	6°	3 mm	0 cm
2015-02-22	11°	7°	8 mm	0 cm
2015-02-23	15°	9°	0 mm	0 cm
2015-02-24	9°	0°	4 mm	0 cm
2015-02-25	1°	0°	3 mm	13.0 cm
2015-02-26	4°	0°	0 mm	0 cm
2015-02-27	8°	2°	0 mm	0 cm
2015-02-28	11°	1°	0 mm	0 cm



날짜	일간최고기온	일간최저기온	강수량	눈
2015-11-01	10°	3°	19 mm	0 cm
2015-11-02	8°	1°	2 mm	0 cm
2015-11-03	3°	1°	7 mm	0 cm
2015-11-04	11°	1°	0 mm	0 cm
2015-11-05	10°	5°	7 mm	0 cm
2015-11-06	17°	5°	1 mm	0 cm
2015-11-07	12°	8°	0 mm	0 cm
2015-11-08	9°	3°	0 mm	0 cm
2015-11-09	13°	2°	0 mm	0 cm
2015-11-10	15°	4°	0 mm	0 cm
2015-11-11	16°	11°	1 mm	0 cm
2015-11-12	16°	9°	6 mm	0 cm
2015-11-13	15°	5°	8 mm	0 cm
2015-11-14	15°	2°	0 mm	0 cm
2015-11-15	10°	2°	11 mm	0 cm
2015-11-16	11°	0°	0 mm	0 cm
2015-11-17	16°	5°	0 mm	0 cm
2015-11-18	20°	10°	0 mm	0 cm
2015-11-19	13°	6°	5 mm	0 cm
2015-11-20	9°	5°	0 mm	0 cm
2015-11-21	8°	5°	0 mm	0 cm
2015-11-22	7°	4°	1 mm	0 cm
2015-11-23	7°	5°	0 mm	0 cm
2015-11-24	7°	5°	0 mm	0 cm
2015-11-25	11°	5°	0 mm	0 cm
2015-11-26	12°	2°	0 mm	0 cm
2015-11-27	20°	4°	0 mm	0 cm
2015-11-28	18°	6°	0 mm	0 cm
2015-11-29	17°	7°	0 mm	0 cm
2015-11-30	17°	3°	0 mm	0 cm

날짜	일간최고기온	일간최저기온	강수량	눈
2015-12-01	20°	4°	0 mm	0 cm
2015-12-02	22°	7°	0 mm	0 cm
2015-12-03	19°	14°	0 mm	0 cm
2015-12-04	22°	14°	0 mm	0 cm
2015-12-05	16°	3°	7 mm	0 cm
2015-12-06	9°	3°	0 mm	0 cm
2015-12-07	10°	1°	0 mm	0 cm
2015-12-08	7°	1°	1 mm	0 cm
2015-12-09	5°	1°	8 mm	0 cm
2015-12-10	2°	-2°	6 mm	3.8 cm
2015-12-11	1°	-4°	0 mm	0 cm
2015-12-12	3°	-6°	0 mm	0 cm
2015-12-13	6°	-6°	0 mm	0 cm
2015-12-14	11°	-4°	0 mm	0 cm
2015-12-15	12°	-1°	0 mm	0 cm
2015-12-16	10°	-1°	0 mm	0 cm
2015-12-17	4°	0°	0 mm	1.3 cm
2015-12-18	6°	1°	0 mm	0 cm
2015-12-19	4°	1°	0 mm	0 cm
2015-12-20	3°	-1°	7 mm	2.5 cm
2015-12-21	7°	-2°	0 mm	0 cm
2015-12-22	4°	0°	2 mm	0 cm
2015-12-23	11°	1°	2 mm	0 cm
2015-12-24	13°	0°	0 mm	0 cm
2015-12-25	11°	4°	0 mm	0 cm
2015-12-26	7°	4°	1 mm	0 cm
2015-12-27	10°	1°	0 mm	0 cm
2015-12-28	13°	2°	0 mm	0 cm
2015-12-29	8°	4°	0 mm	0 cm
2015-12-30	16°	4°	0 mm	0 cm
2015-12-31	15°	8°	0 mm	0 cm

날짜	일간최고기온	일간최저기온	강수량	눈
2016-01-01	18°	8°	6 mm	0 cm
2016-01-02	19°	8°	0 mm	0 cm
2016-01-03	13°	7°	23 mm	0 cm
2016-01-04	7°	0°	11 mm	0 cm
2016-01-05	9°	1°	0 mm	0 cm
2016-01-06	12°	1°	0 mm	0 cm
2016-01-07	12°	7°	0 mm	0 cm
2016-01-08	10°	6°	2 mm	0 cm
2016-01-09	14°	4°	0 mm	0 cm
2016-01-10	17°	6°	0 mm	0 cm
2016-01-11	11°	2°	3 mm	0 cm
2016-01-12	10°	1°	1 mm	0 cm
2016-01-13	14°	3°	0 mm	0 cm
2016-01-14	12°	5°	0 mm	0 cm
2016-01-15	17°	3°	0 mm	0 cm
2016-01-16	18°	4°	1 mm	0 cm
2016-01-17	4°	-1°	1 mm	0 cm
2016-01-18	6°	-3°	0 mm	0 cm
2016-01-19	14°	-2°	0 mm	0 cm
2016-01-20	19°	1°	0 mm	0 cm
2016-01-21	17°	3°	0 mm	0 cm
2016-01-22	11°	2°	0 mm	0 cm
2016-01-23	15°	2°	0 mm	0 cm
2016-01-24	18°	3°	0 mm	0 cm
2016-01-25	19°	6°	0 mm	0 cm
2016-01-26	13°	6°	1 mm	0 cm
2016-01-27	6°	0°	17 mm	0 cm
2016-01-28	3°	0°	10 mm	7.6 cm
2016-01-29	0°	-2°	4 mm	5.1 cm
2016-01-30	5°	-3°	2 mm	2.0 cm
2016-01-31	3°	-2°	0 mm	0 cm

날짜	일간최고기온	일간최저기온	강수량	눈
2016-02-01	9°	-1°	0 mm	0 cm
2016-02-02	10°	-1°	0 mm	0 cm
2016-02-03	15°	1°	0 mm	0 cm
2016-02-04	11°	2°	0 mm	0 cm
2016-02-05	11°	1°	0 mm	0 cm
2016-02-06	16°	1°	0 mm	0 cm
2016-02-07	23°	3°	0 mm	0 cm
2016-02-08	17°	6°	0 mm	0 cm
2016-02-09	9°	1°	0 mm	0 cm
2016-02-10	1°	-4°	1 mm	0.3 cm
2016-02-11	3°	-4°	0 mm	0.5 cm
2016-02-12	5°	-5°	0 mm	0 cm
2016-02-13	6°	-5°	0 mm	0 cm
2016-02-14	6°	-3°	0 mm	0 cm
2016-02-15	9°	-3°	0 mm	0 cm
2016-02-16	7°	0°	0 mm	0 cm
2016-02-17	12°	-2°	0 mm	0 cm
2016-02-18	18°	1°	0 mm	0 cm
2016-02-19	14°	5°	0 mm	0 cm
2016-02-20	21°	6°	0 mm	0 cm
2016-02-21	21°	8°	0 mm	0 cm
2016-02-22	23°	11°	0 mm	0 cm
2016-02-23	24°	11°	0 mm	0 cm
2016-02-24	26°	11°	0 mm	0 cm
2016-02-25	27°	13°	0 mm	0 cm
2016-02-26	23°	9°	0 mm	0 cm
2016-02-27	22°	10°	0 mm	0 cm
2016-02-28	20°	9°	0 mm	0 cm
2016-02-29	26°	8°	0 mm	0 cm

우즈베키스탄 내 비닐하우스는 공식적인 자료는 발표되지 않고 있으나 추정된 바로는 약 6500 ha의 땅에 4만개 정도가 분포하고 있다. 전체 농지의 약 0.18%로 작물 수요에 비해 그 규모가 매우 작으며, 현재의 비닐하우스는 30년 전부터 쓰인 유리온실이 교체된 것이다. 전체 농지의 약 0.18%로 작물 수요에 비해 그 규모가 매우 작으며, 현재의 비닐하우스는 30년 전부터 쓰인 유리온실이 교체된 것이다. 비닐하우스의 특성상 피복재가 가볍기 때문에 골격재료도 유리온실에 비하여 크게 축소되어 구축 비용이 크게 절감되므로 시설면적 증가 될 것으로 판단된다. 비닐하우스의 근간을 이루는 피복재(비닐)은 100% 수입에 의존하고 있어 주로 중국 제품이 수입되나 품질이 좋지 않아 한해가 지난 뒤 새롭게 교체해야 한다. 한국 업체의 제품은 5년 이상 사용 가능하나 높은 가격대로 인해 한국산 피복재를 사용하는 곳은 거의 없다. 피복재의 종류는 모든 지역에서 공히 폴리에틸렌필름(PE)이 쓰이며 염화비닐필름, 아세트산비닐필름은 아직 도입되지 않고 있다. 골재로는 주로 목재, 강목, 철강이 쓰이나 대부분이 노후되었으며, 중국산 프로펠러가 수입되나 값이 비싸 선호도 낮다. 한국의 스틸파이프, 경합금 제품은 연성이 좋아 효용이 있으나 역시 높은 가격으로 극소수량만이 도입된 상태이다.

온실의 축조 형태는 각각 독립된 구조로 된 단동식 구조와 넓은 공간을 효율적으로 쓸 수 있는 연동식 구조가 혼재한다. 500~1000평의 부지에는 연동식 하우스가 지어지며 그 이하 규모에서는 단동식 하우스가 지어진다. 단동온실은 생육 가능 작물에 한계가 있고, 아치형 온실은 적설하중에 취약한 단점이 있기 때문에 이러한 단점을 보완 할 수 있는 광폭 비닐온실을 적용하는 것이 적합할 것으로 판단된다.

[표 41] 우즈베키스탄(타슈켄트) 현지 적용 온실

온실명	우즈베키스탄(타슈켄트) 현지 적용 온실	특징
단동 온실		<ul style="list-style-type: none"> <li>- 500~1000평 이하의 부지에 적용함.</li> <li>- 생육 작물에 한계가 있음</li> </ul>
연동 온실		<ul style="list-style-type: none"> <li>- 500~1000평 이상의 부지에 적용함.</li> <li>- 적설하중에 취약한 구조</li> </ul>

비닐온실의 주요 재배 품목은 우즈베키스탄 요리의 샐러드 및 각종 반찬에서 사용되는 주된

채소인 토마토와 오이이며, 겨울에 공급이 부족하여 여름과 겨울의 가격차이가 10~20배 가량 된다. 아래 표에 주요 재배 품목과 생산량을 나타내었다.

[표 42] 우즈베키스탄 비닐온실 주요 재배 품목 및 생산량(단위: Sum/kg)

	여름	겨울
토마토	5,000	50,000
오이(3kg)	1,000	20,000
딸기	1,500~2,000	20,000
가지	1,500	15,000~20,000
피망	1,000~1,500	25,000
백합(1송이)	3,000	25,000

본 연구에서는 상기의 현지 상황을 고려하여 우즈베키스탄(타쉬켄트) 현지조사를 통해 기후, 현지인의 생활습관 현지 과채류 소비패턴을 분석하여 현지 수요가 큰 토마토, 오이를 현지의 니즈에 따라 작물을 범용적으로 재배할 수 있는 광폭형 타입의 온실을 제안하였다.

#### 나. 우즈베키스탄 현지 온실 부지 조사 및 배치 계획

##### (1) 현지 온실 부지 조사

본 부지는 우즈베키스탄 타쉬켄트에 소재한 아둘카ahami 아그로(Adulkhami Agro)사의 농장내 유희부지로서 1차년도에서 설계된 온실 설계도를 기반으로 현지 온실 설치관련하여 협의를 진행하고 최종 온실부지를 결정하기 위해 현지 실사를 진행한 것이다. 아둘카ahami 아그로 사에서 제시한 온실 부지는 길이 38 m, 폭 50 m이지만 실제 효용부지는 기존시설물을 제외한 면적이 1,400 m<sup>2</sup>로 설계 온실 1,000 m<sup>2</sup>을 시공하는데 충분하고, 전기, 수도 등 기반설비도 완비되어 있어 온실부지로 적합함을 확인하였다.

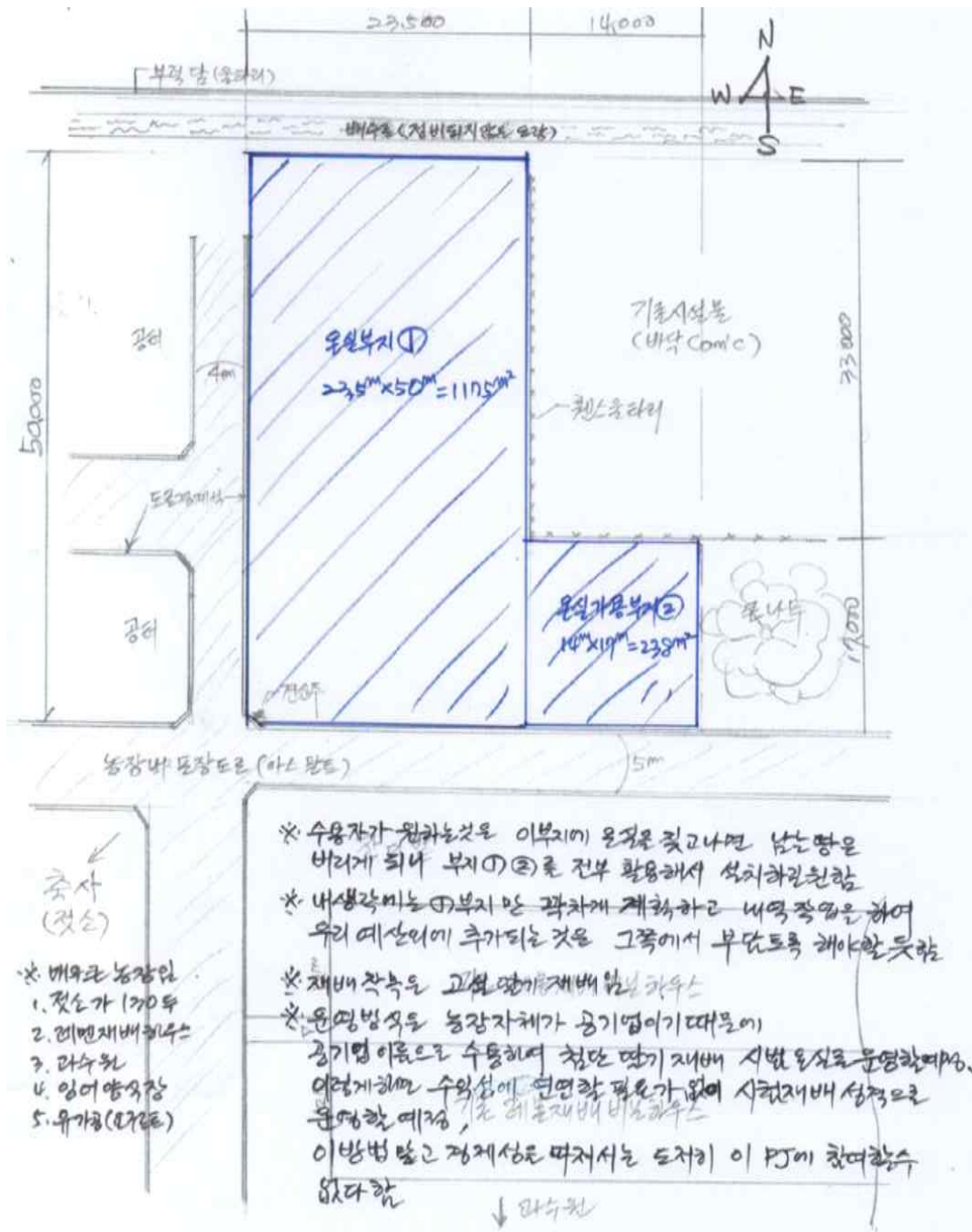


[그림 135] 우즈베키스탄 현지 온실부지 전경



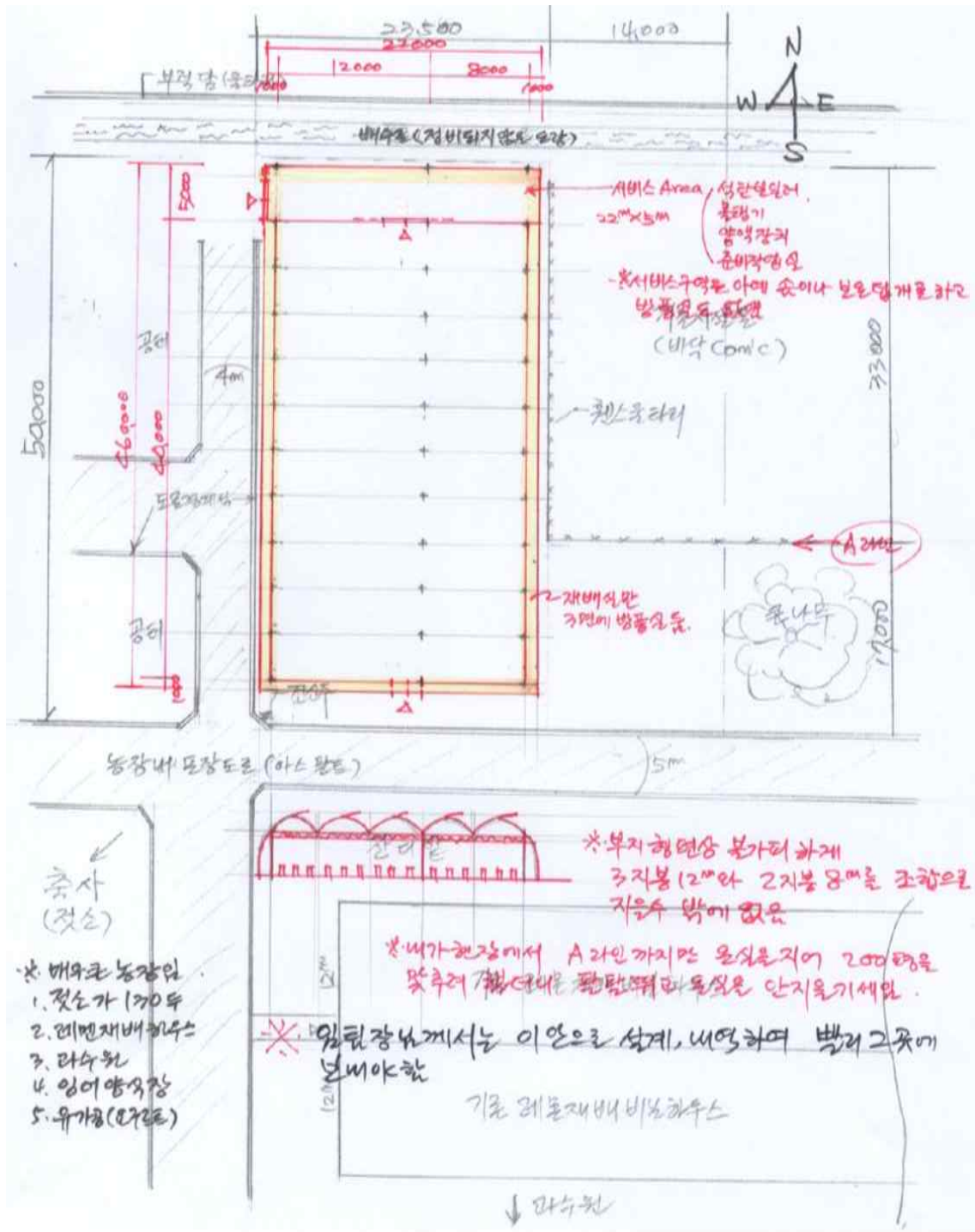
## (2) 현지 온실 배치 계획 수립

아들카하미 아그로 사에서 제시한 온실 예정부지를 실사하고 현지 온실 배치에 대해 현지 업체와 협의한 결과, 하기에 명기한 바와 같이 온실부지 1, 2에 대한 전체부지에 온실을 시공하는 것으로 현지업체는 제안하였으나 예산의 한계성으로 인해 온실부지 1에만 온실을 설치하기로 협의하였다. 그리고 본 온실에서는 딸기를 고설재배로 재배하고 첨단 딸기 재배 시범온실로 운영할 예정이다.



[그림 136] 현지 온실 배치 계획1

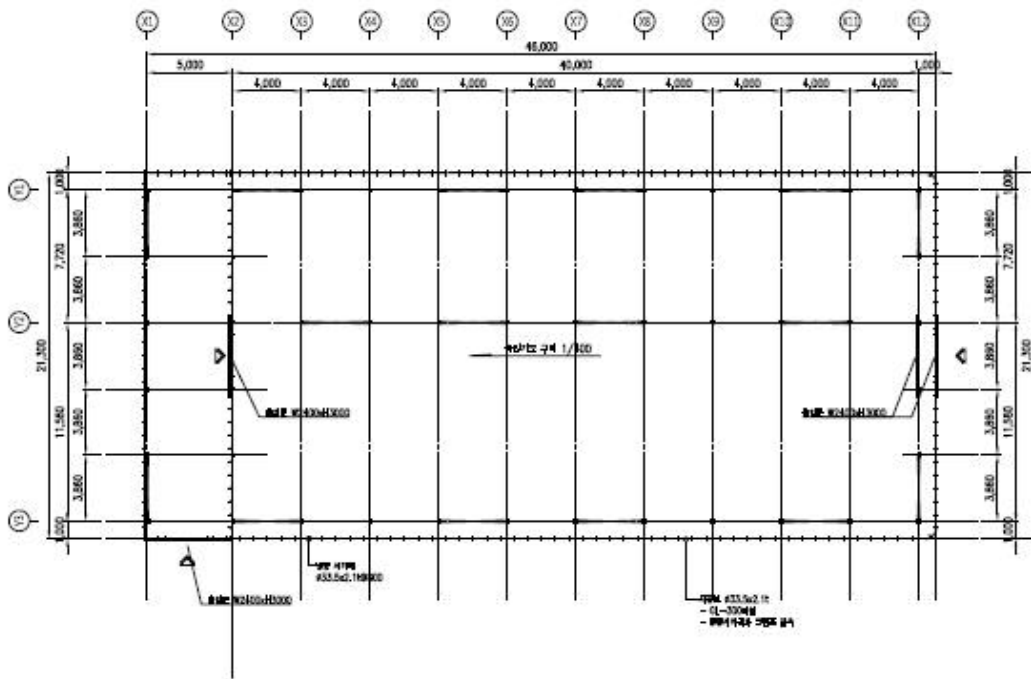
본 부지에 설치되는 온실의 경우에는 재배실 3면에 방풍실을 설치하고 작업실에는 보일러, 물탱크, 양액장치, 준비작업실 등을 설치한다. 온실 재배면적은 길이 23.5 m에 폭이 46 m로 본 연구의 1차년도에 설계한 2-span, 3-span 온실을 조합한 형태로 온실 설계를 변경하고자 한다. 이에 본 온실 설계에 반영하여 온실 구조 해석을 통해 구조 안정성에 대한 검토를 수행하고자 한다.



[그림 137] 현지 온실 배치 계획2

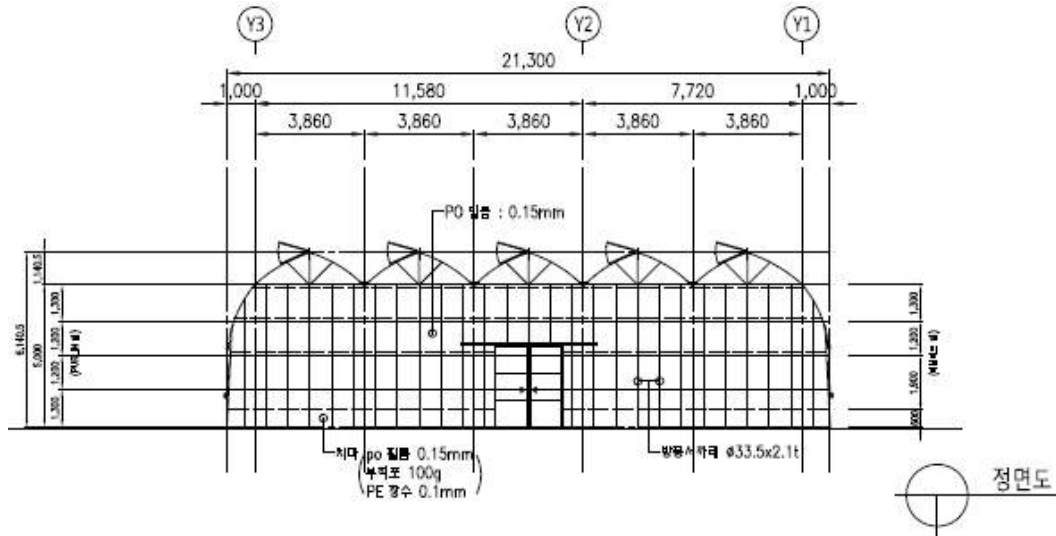
#### 다. 우즈베키스탄 현지 온실 설계

본 연구에서는 1차년도에 카자흐스탄에 적합한 내재해형 광폭온실로 2span 3연동, 3span 2연동 온실을 제안하고 구조해석을 수행하여 최종적으로 3span, 2연동에 온실로 설계를 최적화하였다. 하지만 현지 사정으로 온실 시공부지가 우즈베키스탄으로 변경됨에 따라 현장 실사를 추진한 결과 기존 설계 온실의 경우에는 길이 25,560 mm, 폭 26,450 mm로 면적은 676 m<sup>2</sup>이었는데 현지 부지에 적용이 되지 않았다. 이에 현지 부지 여건에 따라 길이 46,000 mm, 폭 21,300 mm로 온실 설계를 변경하고 1차년도에 연구한 2span과 3span을 2연동에 함께 구현하여 온실 모델에 다양성을 확보하면서 면적이 1,000 m<sup>2</sup>로 설계 변경되었다. 우즈베키스탄 현지 적용 내재해형 광폭 비닐온실에 대한 상세한 설계관련 시공 도면은 부록에 자세히 나타내었다.



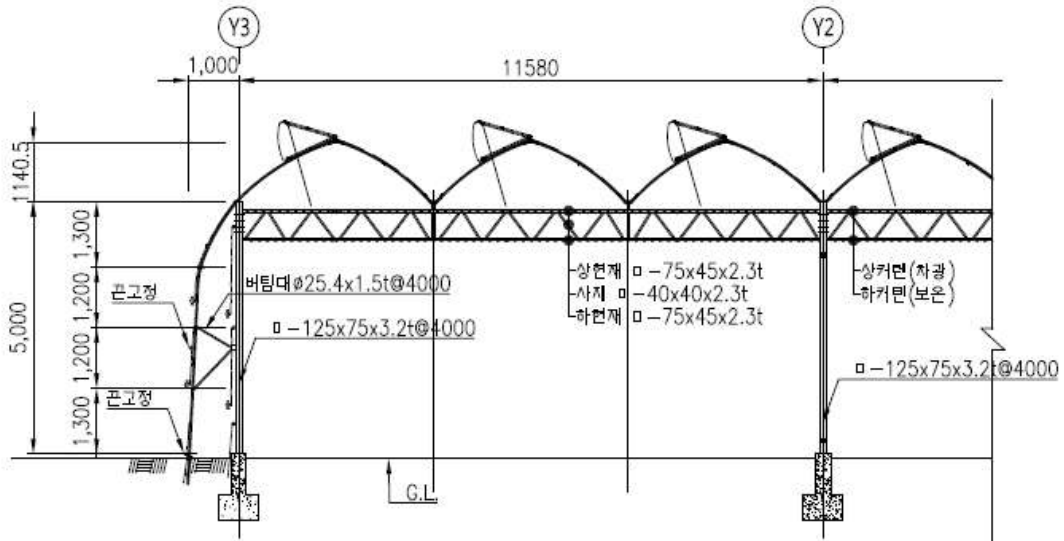
[그림 138] 내재해형 광폭온실 평면도 및 기초

아래는 내재해형 광폭온실의 정면도를 나타낸 것으로 온실 폭이 21,300 mm이고 온실 측고가 5,000 mm이고 지붕이 1,140 mm로 설계하였다. 그리고 온실내 고온 현상을 억제 및 자연 대류에 의한 환기 효율을 극대화하기 위하여 측창과 천장을 각각 배치하였고, 방풍 서가래는 φ33.5 × 2.1t 상용 파이프로 설계하였다. 그리고 온실 단열효과를 극대화하기 위해 온실 측벽의 치마는 PO필름 0.15 mm, 부직포 100 g, PE 장수 0.1 mm를 적용하였고, 온실 물받이부는 자체 설계한 알루미늄 거터를 설치하였다.



[그림 139] 내재해형 광폭온실 정면도

아래 그림은 내재해형 광폭온실 정면에 단면 상세도를 나타낸 것이다. 온실 지붕의 주기둥 사이에 3span이 위치하고 있으며, 주기둥 간격은 11,580 mm으로 광폭이고, 트러스에 의해 구조적 안정성을 유지하도록 설계하였다. 그리고 우즈베키스탄 기후에 적합하도록 온실 트러스부에는 차광과 보온커튼을 설치하여 차광 및 단열 효과를 극대화하고자 하였다.



[그림 140] 내재해형 광폭온실 정면에 단면 상세도

## 라. 내재해형 광폭 비닐온실 자재 제작 및 현지 운송

### (1) 내재해형 광폭 비닐온실 자재 제작

#### (가) 온실 철골 구조물(주 기둥, 트러스) 자재 제작

본 그림은 온실의 철골 구조물을 제작하기 위한 자재 입고, 검수를 진행하고 설계도에 따라 주기둥, 트러스 등을 제작하고 설계도에 준하여 제작되었는지 검수하는 과정을 나타낸 것이다.

철골 구조물에 대한 제작 검수는 1차적으로 수치 확인과 연결부 및 플랜지 용접, 아연도금 상태, 플랜지, 각파이프 등 규격제품의 사용 여부를 중점적으로 검수하였다. 그 결과 온실에 주 기둥과 트러스의 경우 길이, 설계 규격제품, 플랜지 등에 접합 및 연결부 용접 등이 정상적으로 제작된 것을 확인하였다.



자재입고



자재검수



자재제작(기둥)



제작검수(기둥)



제작검수(기둥)

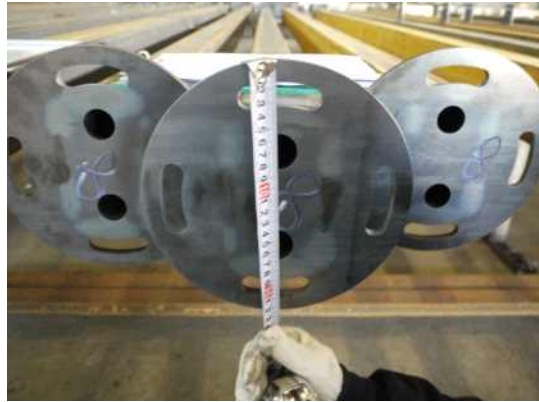


제작검수(기둥)





제작검수(기둥)



제작검수(기둥)



제작검수(기둥)



자재제작(트러스)



제작검수(트러스)



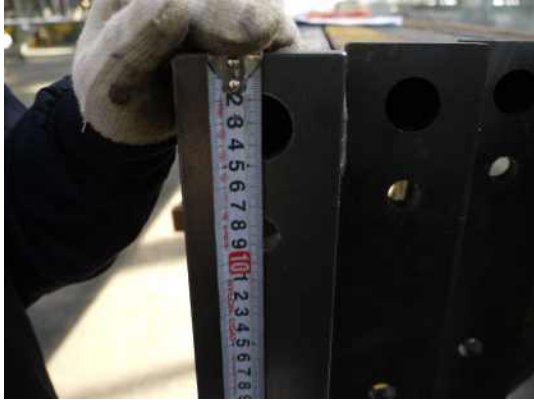
제작검수(트러스)



제작검수(트러스)



제작검수(트러스)



제작검수(트러스)



제작검수(트러스)



제작검수(트러스)



제작검수(트러스)

[그림 141] 온실 철골 구조물 자재 제작



(나) 온실 알루미늄(Al) 구조물(천장, 거터, 물받이, Al rack, pad bar 등) 자재 제작  
 본 그림은 온실 경량화와 부식방지를 위해 적용한 알루미늄 구조물 자재 제작 현황을 나타낸 것이다. 알루미늄 자재를 적용한 천장, 거터, 물받이, Al rack, pad bar 등은 사출을 통해 직접 제작하거나 사출된 알루미늄을 설계도에 준하여 가공공정을 거쳐 최종 적용 자재를 제작하고 있다. 그리고 공장에서 제작된 자재의 온실 현장 시공 시에 작업 시간을 단축하기 위해 천장, 물받이 등 핵심 자재의 경우에는 완제품 형태로 완전 가공하여 현장에 출고하도록 하였다.



압출



자재

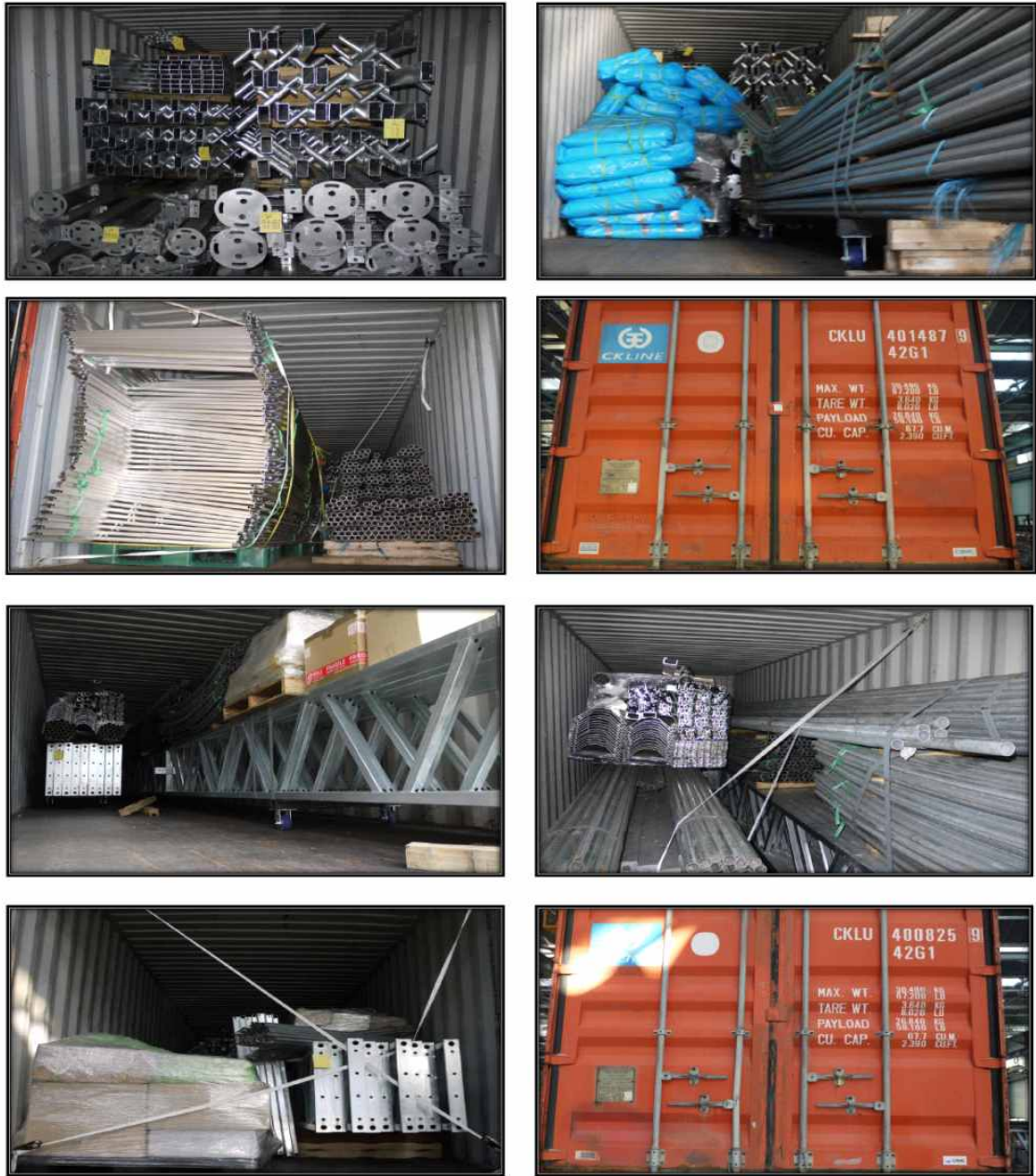


가공

[그림 142] 온실 알루미늄 구조물 자재 제작

(2) 내재해형 광폭 비닐온실 자재 배송

본 그림은 상기 국내에서 제작된 내재해형 광폭 비닐온실의 자재를 우즈베키스탄 타슈켄트 현지까지 배송하기 위하여 컨테이너 2개에 구분하여 선적한 것이다. 본 온실자재가 선적된 컨테이너는 평택항에서 배로 수송되어 중국 다롄항에 도착하여 기차로 옮겨져 카자흐스탄을 거쳐 우즈베키스탄 타슈켄트로 운송되었다.



[그림 143] 내재해형 광폭 비닐온실 자재 컨테이너 패킹 사진

#### 마. 내재해형 광폭 비닐온실 시공

##### (1) 부지조성 공사

하기 그림은 설계 완료된 온실을 현장에 적용하기 위하여 부지 조성공사를 수행한 것이다. 부지 측량을 통해 온실 시공 부지를 정확하게 표시하고 온실 부지에 대한 평탄화 작업을 수행하



였다. 온실은 북쪽이 약 1 m정도 구배가 높아 이에 대한 최대한 평탄화 작업을 수행하였다. 현지 부지 조성은 현지업체에서 국내 온실 슈퍼바이저가 현지에 도착하기 전에 자체적으로 완료한 것이다.



[그림 144] 내재해형 광폭 비닐온실 부지조성 공사

## (2) 온실기초시공

하기 그림은 본 연구에서 설계한 내재해형 광폭 비닐온실에 구조적 안정성과 시공성을 향상시키기 위해 제안한 스파이럴 기초를 적용한 것이다. 콘크리트 기초는 콘크리트 타설을 위한 거푸집이 필요하고 외부 기상에 따라 작업시간이 영향을 받게 되는데 본 연구에서 제안한 스파이럴 기초는 공장에서 완제품 상태로 제품을 가공하여 현장에 시공함으로 시공성이 용이하고 외부 기상 등에 영향을 거의 받지 않아 기존 콘크리트 타설에 비해 기초시공기간을 40%이상 절감할 수 있다. 또한 온실 부지에 평탄화가 미흡하더라도 온실 메인 설비에 대한 수평을 스파이럴 기초의 매설정도에 따라 조정할 수 있어 부지의 토질에 상관없이 온실 자체의 수평을 유지하는데 용이하다. 또한 그림에서 보는 바와 같이 중앙아시아의 저렴한 인건비의 특성으로 국내처럼 중장비를 통한 작업보다는 직접 사람이 작업을 수행함으로 인해 현지 현황을 고려할 경우 콘크리트 기초보다는 스파이럴 기초가 적합하다고 판단되어 현장에 적용하였다.



[그림 145] 내재해형 광폭 비닐온실 기초 시공

### (3) 온실 주기둥 시공

본 그림은 온실 주기둥을 시공하고 있는 것으로 온실 주기둥은 설계된 2연동 온실의 구조적 안정성을 확보하기 위하여 스파이럴 기초상부에 빠른 시공을 위해 볼트 체결을 통해 주기둥이 시공되고 있다. 또한 주기둥과 주기둥간에 간격은 2span 온실동은 폭이 7.7 m이고 3span 온실동은 폭이 11.5 m로 광폭 온실이 구현되도록 설계에 따라 시공되었다. 시공에 적용된 주기둥 규격은 □ 125×75×t3.2 mm의 사각 파이프로 축고 5 m, 동고 6.14 m로 시공하였다.



[그림 146] 내재해형 광폭 비닐온실 주기둥 시공

○ 온실 트러스 시공

본 그림은 온실 상부에 설치되는 트러스의 시공 사진을 나타낸 것이다. 트러스는 구조적으로 매우 안정성을 확보하여야 하는데 이는 트러스 위에 차광커튼, 보온 커튼, 구동모터, 작물하중 등이 작용하기 때문이다. 1차년도에 구조 안정성을 고려하여 트러스 구조물을 2span 온실과 3span 온실의 폭에 적합하도록 설계 제작하여 주기둥 상부에 적용하였다. 시공된 트러스의 규격은 상현재 □ 75×45×t3.2 mm이고, 하현재 □ 75×45×t3.2 mm, 사재 □ 40×40×t2.3 mm이다. 또한 트러스빔에 규격은 □ 75×45×t2.3 mm이다.





[그림 147] 내재해형 광폭 비닐온실 트러스 시공

#### (4) 온실 지붕서까래 시공

온실 서까래는 아연도금된 강관을 적용하였으며 국내에서 설계에 맞춰 제작 가공되어 현지에서 시공되는 것을 나타내고 있다. 서까래 간격은 온실 피복재의 두께 및 내구성에 따라 결정되는데 이 또한 1차년도 구조해석 결과를 바탕으로 서까래 규격과 간격을 결정하여 온실에 적용하였다. 시공된 서까래 규격은  $\text{Ø}31.8 \times 1.5 \text{ mm}$  아연도금된 강관을 적용하였고 지붕가로대 규격은  $\text{Ø}25.4 \times 1.5 \text{ mm}$ 이며, 용마루 브레싱은  $\text{Ø}5$ 에 와이어를 적용하였다.



[그림 148] 내재해형 광폭 비닐온실 지붕서까래 시공

### (5) 온실 방풍벽 시공

그림은 강풍에 대비하기 위하여 설치되는 방풍벽 시공에 관한 것으로 1차년도 연구에서 바람의 세기와 방풍벽에 각도에 따른 온실에 풍하중에 관계를 산출하여 최적에 방풍벽 적용 방풍 파이프 규격과 각도를 설정하였고, 이 설계를 바탕으로 제작된 방풍벽을 현장에 시공한 것이다. 지중보 파이는 강판조리개로 고정하였으며, 방풍벽에 버팀대는 피복 작업 후에 시공하였다. 또한 본 방풍벽은 온실 재배지역을 기준으로 삼면에 시공하여 강풍에 대비하였으며 북쪽은 관리실이 방풍벽의 역할을 대체할 수 있어 적용하지 않았다.





[그림 149] 내재해형 광폭 비닐온실 방풍벽 시공

#### (6) 온실 곡부물받이(거터) 및 천창 시공

그림은 2연동 온실에 곡부물받이와 천창 시공 사진을 나타낸 것으로 온실 서까래 연결부 곡부 상부에 물받이를 설치하여 지붕에 흘러내린 빗물이 빠르게 배수되도록 1/400구배를 적용하여 설계되었으며, 온실의 하중 부하를 최소화하기 위하여 알루미늄 소재를 적용하였으며, 시공이 용이하도록 볼트 체결을 통해 시공하였다. 그리고 온실의 자연 대류에 의한 환기 통풍을 위한 천창 또한 온실 하중부하를 최소화하기 위하여 사각형에 알루미늄 재질을 적용하였으며, 푸싱바에 연결되어 천창 개폐모터의 가동에 따라 천창이 개폐되도록 시공하였다.



[그림 150] 내재해형 광폭 비닐온실 곡부물받이 및 천창 시공

#### (7) 온실 피복재 시공

온실 피복재는 다양한 종류가 있지만 본 온실에 경우에는 투명 PO 필름( $t=0.15\text{ mm}$ )을 적용하였으며, 온실 서까래의 간격에 따라 피복재의 두께 및 소재가 달라진다. PO 필름은 높은 내구성, 뛰어난 안개 방지 효과, 투명성 증가, 우수한 보온성의 특징을 갖고 있다. 또한 온실 측벽 하부에 피복재는 온실 내로 바람이 유입되지 않도록 지하로 30 cm 이상이 매설되도록 시공하였다. 외부 치마비닐은 PO 필름 0.15 mm와 부직포 100 g, PE장수 0.1 mm로 3중으로 적용하였으며, 방풍실내부 치마 피복은 PO 필름 0.15 mm를 적용하였다.





[그림 151] 내재해형 광폭 비닐온실 피복재 시공

#### (8) 온실 관리실 시공

그림은 온실 관리실 시공 사진을 나타낸 것으로 온실 관리실은 재배사의 피복재인 PO 필름에 부직포, PE필름을 적용하여 시공하였다. 그리고 관리실 및 관리시 측창과 모든 출입문에도 동일 피복재를 적용하였다. 본 관리실에는 보일러, 양액시스템, 복합환경제어시스템 등이 설치

됨으로 태양광에 대한 산화 등에 문제를 방지하고 단열 효율을 높여 외기 기후에 영향을 최소화하기 위함이다.



[그림 152] 내재해형 광폭 비닐온실 관리실 시공

#### 바. 내재해형 광폭 비닐온실 검수 및 시운전

본 내재해형 광폭 비닐온실이 설계도에 준하여 시공되었는지를 검수하기 위하여 설계도를 기반으로 시공된 온실에 대한 현지 검수 및 온실 측창과 천장 개폐 여부 등 시운전을 수행하였다.

##### (1) 내재해형 광폭 비닐온실 검수

###### (가) 온실 외형 검수

현지에 시공된 온실에 대한 설계도에 준한 시공 여부에 대해 외형 검수를 수행한 결과, 온실 외형은 설계에 준하여 정상적으로 시공되었으며, 온실 피복재의 마감처리와 하부피복재의 지하매설도 안정적으로 시공되어 있었으며, 온실 곡부물받이는 실리콘으로 마감처리가 안정적으로 시공되어 강우에 대한 누수 문제는 없음 확인하였다.





[그림 153] 내재해형 광폭 비닐온실 외형 검수

(나) 온실 내부 검수

온실 내부 검수를 수행한 사진을 나타낸 것으로 온실 내부 지면에 대한 수평도가 50 cm 정도 차이가 나지만 본 온실 시공 시에 스파이럴 기초에 대한 장점에 언급한 바와 같이 온실 구조물에 대한 수평은 스파이럴 기초에 높이를 조정하여 설계도에 준하도록 시공하였음 확인하였다. 또한 온실 구조 안정성을 강화하기 위하여 주기동에 연결 부렛싱은 기둥에 안정적인 힘에 분산이 되도록 시공되었다. 관리실에서 재배온실과 연계되는 출입문에 대한 구동 여부를 확인한 결과 안정적으로 작동됨을 확인하였고, 방풍벽에 시공된 버팀대는 안정적으로 시공되어 있어 향후 강풍에 대한 구조 안정성을 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다.



[그림 154] 내재해형 광폭 비닐온실 내부 검수



(다) 온실 기초(스파이럴기초) 및 주기둥 검수

본 그림은 온실 기초 및 주기둥에 시공 상태를 검수한 것으로 앞의 온실 내부 검수에서 언급한 바와 같이 온실내부의 지면에 구배가 있어, 이를 스파이럴기초로 온실의 수평을 유지하였음을 확인하였고 이로 인한 구조적 안정성에 대한 문제는 장기 운전을 통한 확인으로 충분히 문제를 해소할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 온실 기초와 주기둥에 연결은 상하플랜지를 볼트 체결로 안정적으로 시공되었으며, 주기둥에 응력 분산을 위해 부렛싱이 설치되어 설계도에 준하여 정상적으로 시공되어 있었다.



[그림 155] 내재해형 광폭 비닐온실 기초 및 주기둥 검수

(라) 온실 트러스 및 서까래/천창/측창/관리실 검수

온실 내에 트러스, 서까래, 천창, 측창, 관리실에 대해 확인한 결과 주기둥과 트러스 연결부가 안정적으로 볼트체결을 통해 연결되어 있었고, 트러스 상부에 서까래 연결부가 설치되어 서까래가 안정적으로 시공되어 있음을 확인하였다. 또한 천창과 측창 개폐는 구동 모터에 의해 정상 가동 되고 있었으며, 관리실은 복합피복재가 정상 시공되었고 육안 검수에서 하자는 확인되지 않았다.



[그림 156] 내재해형 광폭 비닐온실 트러스 및 서까래/천창/측창/관리실 검수



## (2) 내재해형 광폭 비닐온실 시운전

(가) 온실 천장 및 측창 구동 검수 및 시운전(현지관리자 교육)

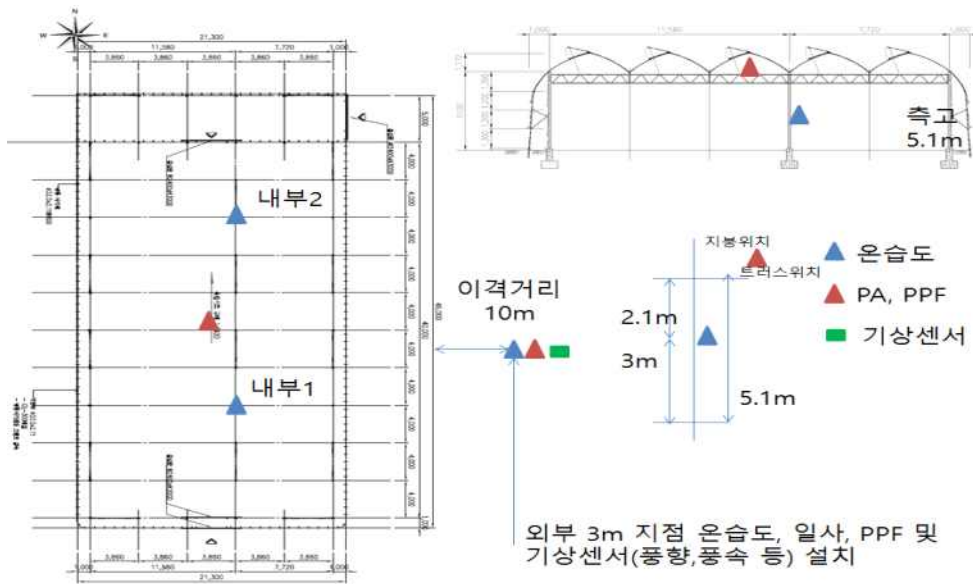
본 그림은 현지 시공된 온실에 측창과 천장 개폐에 대한 작동 방법에 대해 현지 관리인에 교육을 수행한 것이다. 본 온실 측창의 경우에는 강관에 PO필름 피복재가 달려있으므로 2주일에 1회정도 구동 모터를 가동하여 측창을 개폐해 주어야 한다. 만약 이 작업을 하지 않으면 측창 피복이 경화되는 문제가 발생할 수 있기 때문이다. 또한 온실 측창과 천창의 개폐는 온실내부의 환경인 온습도 조절을 위해서도 매우 중요한 과정이다.



[그림 157] 내재해형 광폭 비닐온실 시운전 및 현지관리자 교육

## 3. 현지 온실 내외부 환경 모니터링과 DB화

온실 내외부 온도, 습도와 광 환경 변화를 측정하기 위하여 다음과 같이 온실 내부 2개소에 온습도와 광 센서를 설치하고, 온실 외부 1개소에 온습도, 풍향, 풍속 및 강수량을 측정할 수 있는 기상 환경센서를 설치하여, 연속적으로 센싱된 데이터가 저장되도록 DB(Database)를 구축하였다.



[그림 158] 온실 내외부 환경 모니터링 센서 구성도



내부 온습도 센서 설치



광 센서 설치



외부 센서 설치



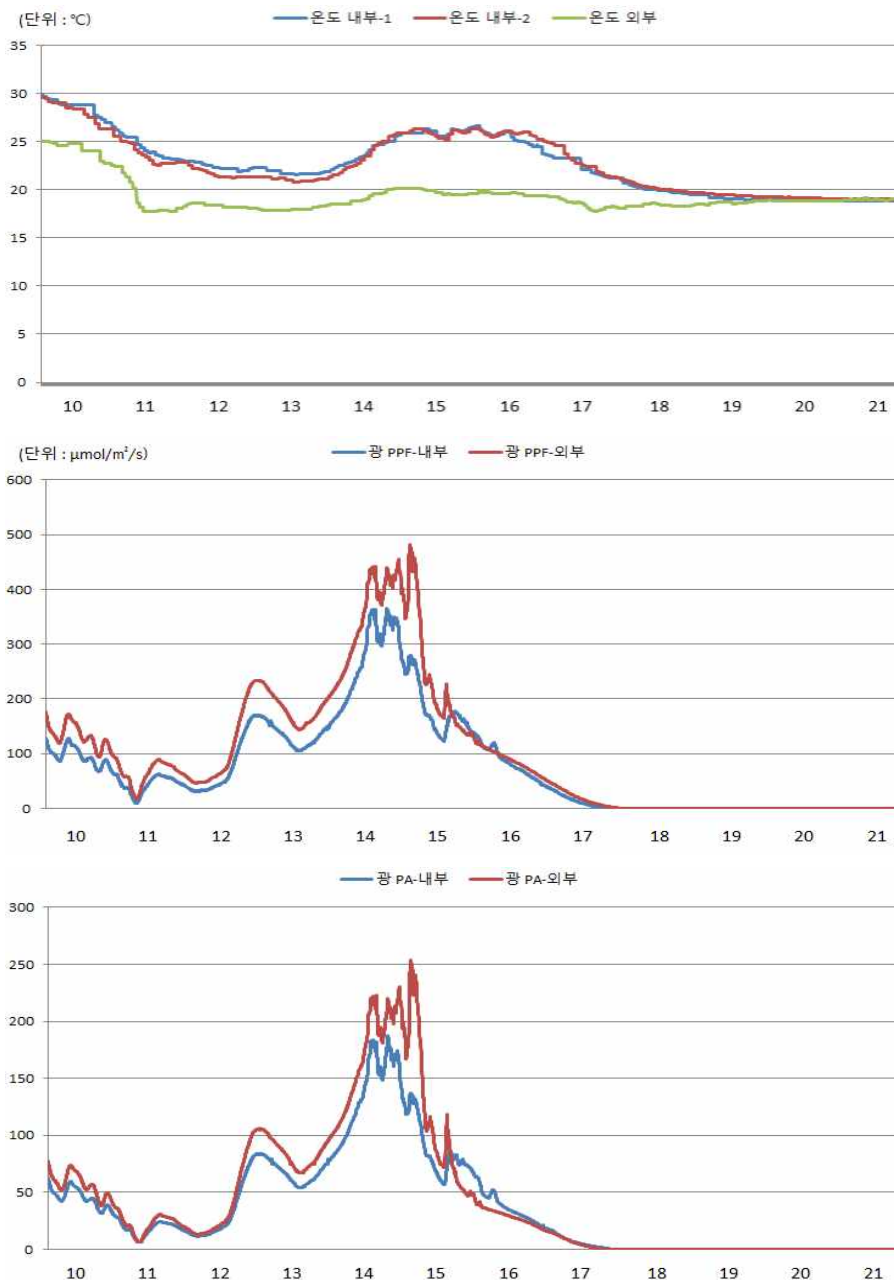
DB 구축

[그림 159] 온실 내외부 환경 모니터링 센서 설치 및 DB 구축 전경

다음은 센서를 설치한 다음날인 6월 4일 측정값으로써 온도의 경우 외부에 비해 내부온도가 최소 5°C 이상 높게 유지되고 있으며, 내외부 온도차가 높게 나타나야 함에도 불구하고 온도차

가 높지 않은 것은 측창을 개방한 상태에서 지속적으로 온도를 측정하였기 때문이다. 또한, 19시 이후 온실 내외부 온도가 같아지는 현상이 나타났는데, 향후 작물의 난방온도를 설정 시에 온실 내외부 온도가 동일해 지는 시간을 기준으로 난방시간을 조정해야 할 것으로 판단된다.

태양광의 경우 시공 후 시간이 경과하지 않고 측정한 결과로 평균적으로 외부 광의 약 82% 수준에서 투과되는 것으로 나타났으며, 측정 당일 구름이 많아 전체 일사량 자체는 높지 않은 것으로 파악된다.

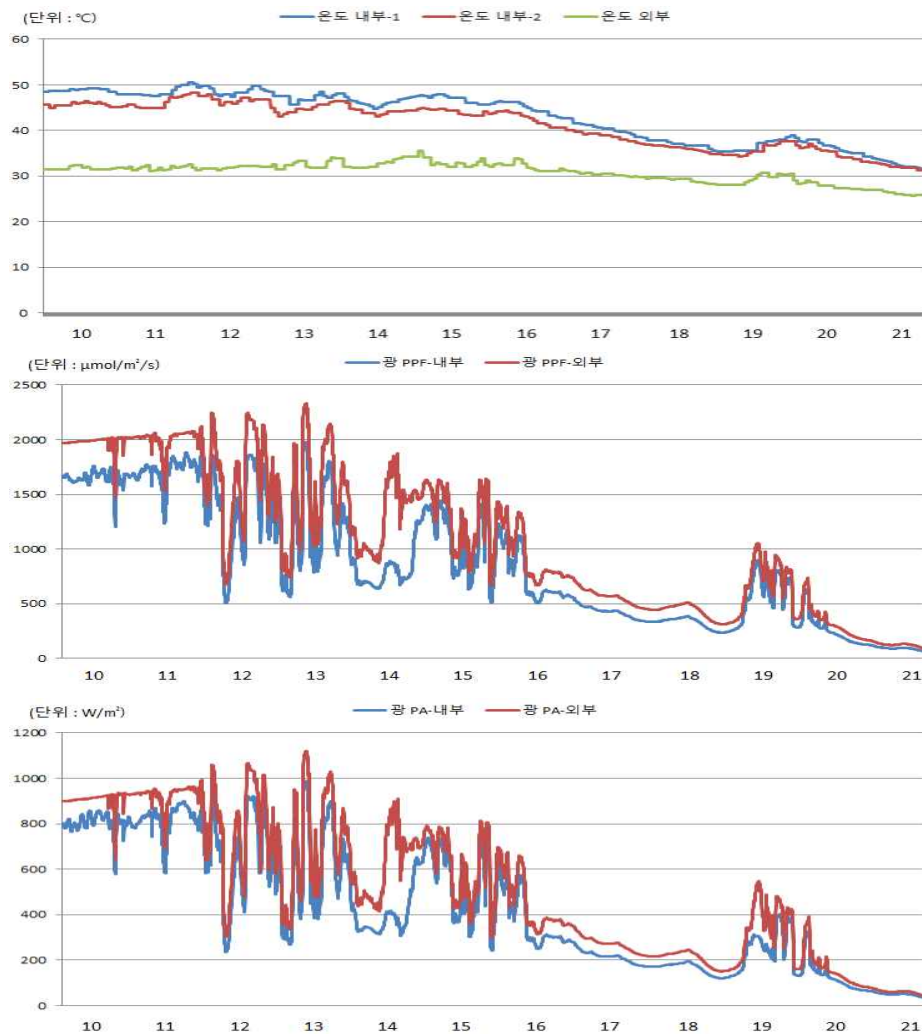


[그림 160] 온실 내외부 환경 모니터링 데이터(2016년 6월4일)

다음은 7월 14일 측정값으로써 아침부터 온실 외부온도가 30°C 이상을 기록하고 있으며, 온실 내부의 경우 외부에 비하여 약 18°C 이상 높은 온도 차이를 나타내고 있다. 또한 내부의 1번(남측) 2번(북측)의 온도차도 약 3~5°C 나타나는데, 이는 북측 관리동의 영향에 기인한 것으로

판단된다. 그러나, 19시 이후부터는 내부의 온도가 비슷해지고 있으며, 내외부의 온도차 또한 줄어들고 있는 것으로 나타났다. 측정당시 온실의 측창이 닫혀있는 상태로써 내외부 온도차가 높게 나타났으며, 향후 식물 재배시 내부온도환경을 유지하기 위해 단열스크린 설치와 천측창 개폐와 환기 통풍팬 및 안개살포 시스템 등의 냉방 설비등이 필요할 것으로 판단된다.

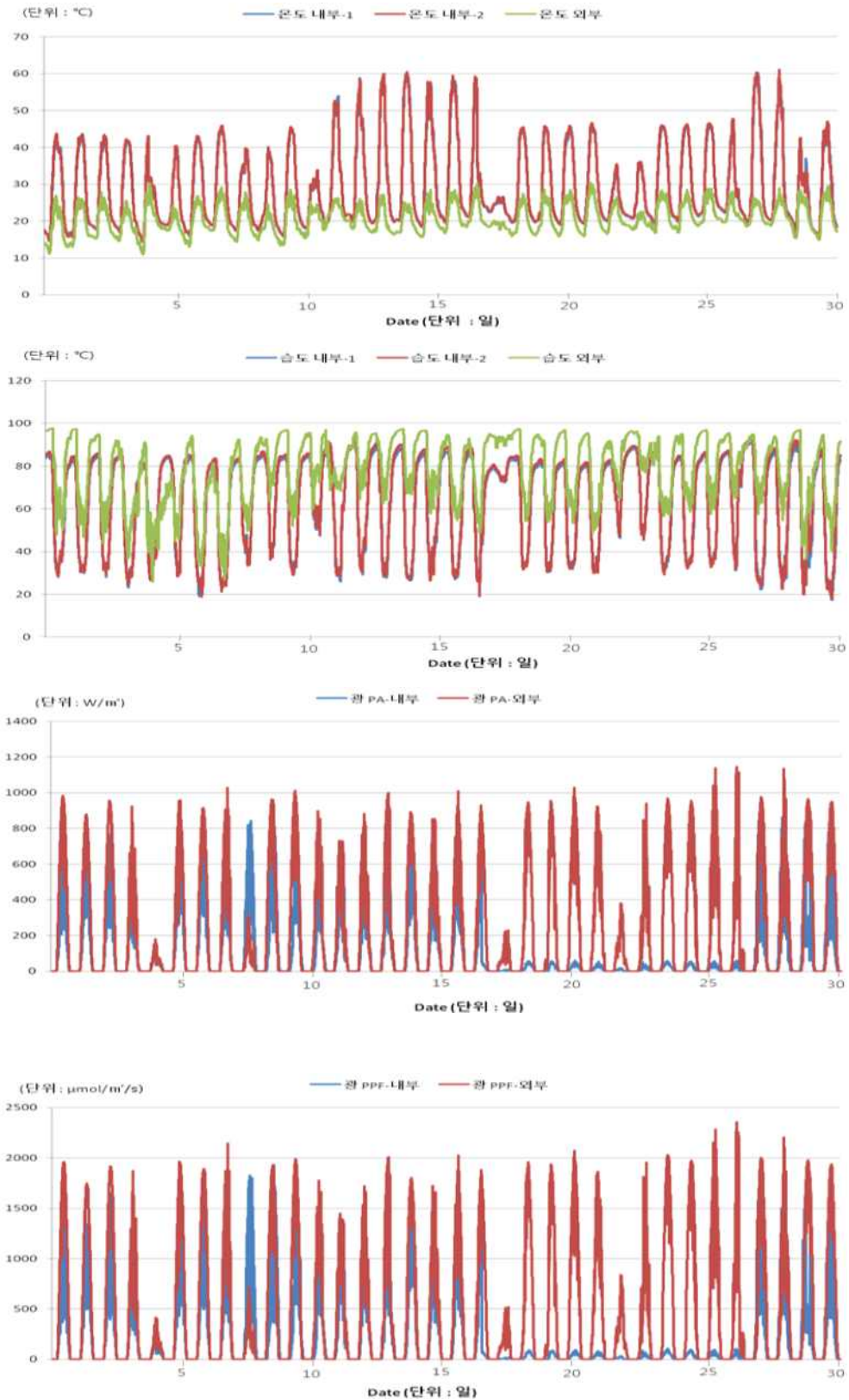
태양광의 경우 온실 내외부의 편차가 20~40%까지 나타나고 있으며, 이는 설치 후 한달 정도의 기간이 지나면서 먼지 등이 지붕 부분에 쌓인 원인에 기인한 것으로 추후 우천 후 광투과율 변화를 측정하여 비교해야 할 것이다. 또한 19시 이후 광량이 일부 증가하는 것으로 나타났는데, 여름철 우즈베키스탄 현지의 일몰시간이 19시 45분이므로 일부 광량이 증가할 수 있을 것으로 판단되며, 일몰 전 구름량이 많아져 광량이 줄어든 것으로 보인다.



[그림 161] 온실 내외부 환경 모니터링 데이터(일일)

지속적으로 온실 내외부 환경을 측정하고 있으며, 측정된 한달간의 온도, 습도 및 광센서 값은 다음 그래프와 같다. 전체적인 온도, 습도, 광에 값이 흐린 날을 제외하고는 대체적으로 유사한 값을 보이고 있어, 현지 날씨 변화는 크지 않는 것으로 판단된다.





[그림 162] 온실 내외부 환경 모니터링 데이터(1달)

#### 4. 1,000 m<sup>2</sup> 규모 내재해형 온실내 환경설비 시공 및 운영

### 가. 내재해형 온실 환경설비 배송

본 그림은 2차년도에 우즈베키스탄 현지에서 설치된 온실의 내부의 작물 재배에 관한 환경설비에 관한 것으로 보일러, 양액 공급설비, 재배용 베드, 온도조절 설비, 스크린 전기설비의 선적 현황을 나타낸 것이다.



[그림 163] 내재해형 광풍 비닐온실내 환경설비 컨테이너 패키징 사진

### 나. 내재해형 온실내 환경설비 시공

#### (1) 작물 재배용 베드 자재 가공 및 바닥 평탄화 작업

본 그림은 온실내부의 작물 재배용 베드의 설계 규격에 따른 자재 가공을 진행하는 것으로  $\varnothing 25.4 \times 1.5T$  규격의 원형관을 가공해서 작물 재배용 베드의 프레임과 하부 지지대 등을 제작하였다. 그리고 연결 부위는  $\varnothing 25$ 용 T고정구를 이용하여 고정시켰다. 작물 재배용 베드에 급배수용 배관을 매설하고 베드의 안정적인 시공을 위하여 평탄화 작업을 수행하였다. 작물 재배용 베드의 급배수관을 지하로 매설하는 것은 온실 내부에 재배시설과의 간섭을 방지하고 동절기 결빙으로 인한 급배수관의 파손을 방지하기 위해서이다. 그리고 온실내의 관리동도 양액 설비인 양액기, 원수조, 양액조, pH 조절조를 설치하기 위하여 콘크리트 타설을 통해 평탄화 작업을 수행하였다.



자재 절단



자재 절단



급배수관 매설



바닥 평탄화



자재 준비



관리동 바닥 평탄화

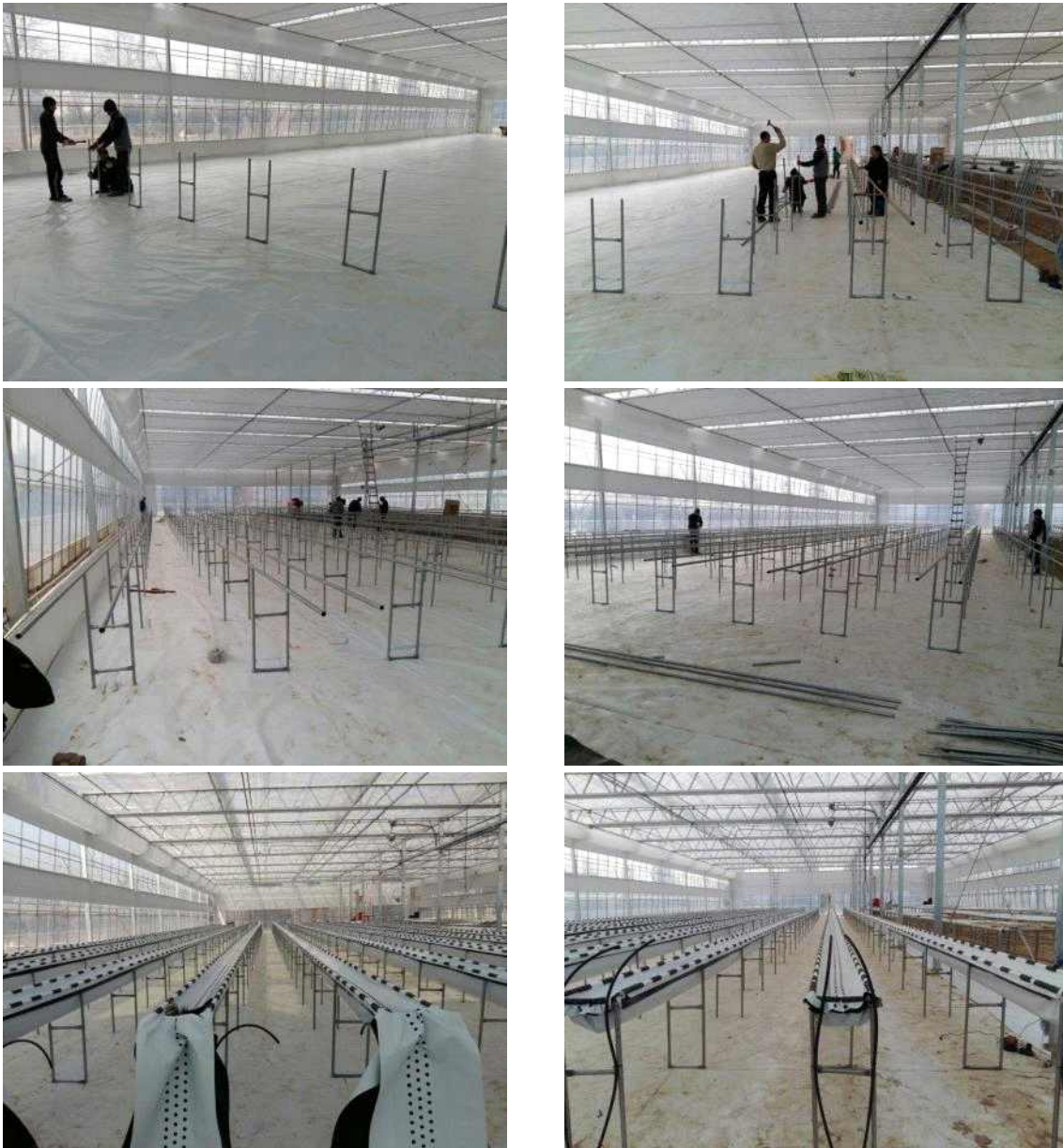
[그림 164] 온실내부 작물 재배용 베드 자재 가공 및 바닥 평탄화

## (2) 작물 재배용 베드 공사

하기 그림은 온실내 딸기를 재배하기 위한 작물 재배용 베드를 설치하는 것이다. 온실 내부 위생 및 병해충을 방지하기 위한 평탄화된 온실 바닥에 부식포 소재의 바닥판을 시공한 후 베드 지지용 관을 온실 내부 바닥에 고정구로 이용하였다. 또한 베드 지지용 관과 수평으로 배관을 연결해 베드의 프레임을 설치하고, Vinyl fabrics을 프레임에 고정하였으며, 작물의 양액 관수를 위해 양액 공급관을 연결하였다. 이와 같은 방식은 국내에서 딸기 재배를 위해 주로 이용하는 고설재배 방식이며, 이는 작업자의 신체적 부담을 덜어주고 딸기 개체의 근권부 관리에 용이하며 일조량과 재배관리 측면에서 우수한 방식의 재배 베드이다. 재배용 베드에 상토원단



과 퇴수원단은 Vinyl fabrics를 이용하여 설치하였다.



[그림 165] 작물 재배용 베드 공사

### (3) 분재 재배용 베드 공사

본 그림은 현지에서 화분재배 식물을 위한 분재 재배용 베드를 설치하는 것이다. 이는 상기의 딸기 재배 베드 형식과는 차이가 있다. 현지에서 재배할 작물은 주로 난과 식물이며 추후 현지의 시장 동향에 따라 다육 식물 등 다양한 분재식물을 재배할 수 있도록 재배용 베드를 제작하였다. 특히 난과 식물의 경우 저온의 환경에서 강한 딸기와는 달리 구근 관리에 온도가 큰 영향을 미치므로 비교적 환경의 변화가 적은 온실에서 재배하기 용이하다. 이에 우즈베키스탄 현지에서 재배하기 적합한 작물이라 고려되어 현지 온실 운영 측과 협의 후에 작물 선택을 하였다. 제작 과정은 원형관으로 베드 지지대와 화분을 올려놓는 재배대 프레임의 제작 후에 철제 망을 용접하여 화분의 배수에도 용이하게 하였다.



[그림 166] 분재 재배용 베드 공사

#### (4) 차광 스크린 및 보온 스크린 공사

온실내에서 스크린은 차광을 통한 재배 작물의 일조량 조절과 보온 성능을 향상시키기 위한 온실환경 조절에 중요한 설비이다. 온실내 차광 스크린과 보온 스크린에 구동은 개폐용 모터를 비롯하여 구동축 및 각종 와이어 등 수많은 자재가 복합적으로 연계된 시스템이며 수시로 계폐를 하므로 내구성도 뒷받침이 되어야 한다. 우즈베키스탄 현지 온실에 시공된 방식은 렉과 피니언을 이용한 방식이며, 이는 국내에서도 스크린 및 환기용 창에 주로 쓰이는 방식이다. 수평 스크린은 알루미늄 2중 스크린을 적용하였고 각각 차광 55%, 보온 20%, 차광 95%, 보온 75%의 성능을 보유한다. 스크린 설비는 여름철 강력한 광을 차단하며 겨울철 보온효과로 온실 운영 시 에너지 절감에도 주요하게 작용하고, 재배작물에 따라 요구되는 광량조절이 가능하다. 측면 스크린은 차광 95%, 보온75%의 성능이며 이는 보온에 더 중점을 둔 제품으로 시공하였다.





[그림 167] 측면스크린 시공





수평스크린 시공



수평스크린 시공



수평스크린 시공



수평스크린 시공



구동 모터 설치



수평스크린 시공



수평스크린 시공



수평스크린 시공

[그림 168] 온실내 차광 스크린 및 보온 스크린 공사

### (5) 난방설비 공사

본 그림은 동절기 작물 재배를 위해 온실 난방을 위한 온풍기 공사에 관한 것이다. 본 온풍

기의 사용연료는 도시가스이며, 난방능력은 160,000 kcal/hr로 1,500 m<sup>2</sup> 규모의 온실 난방이 가능한 기종으로 온풍기 사양은 하기의 표에 상세히 나타내었다. 온풍기는 기본적으로 온실 내부의 온도를 적정하게 유지해 주며, 습도 조절도 가능하게 해준다. 온풍기는 재배 시설에 간섭이 없고, 온실 전체에 온도유지가 용이한 장소에 설치하였으며, 온풍을 온실 전체에 난방에 적합하도록 비닐 덕트를 통해 온실 전체에 공급되도록 하였다.



[그림 169] 온실내 난방설비 공사

[표 43] 온풍기 사양

구분	형식	단위	내용
일반능력	난방능력	kcal/hr	160,000
	난방면적	평	450 ~ 500
	효율	%	87.4
외형	크기W*D*H	m/m	2125*1170*1410
	공급덕트	m/m	273*815
	연도		200
송풍기	형식		축류식
	토출구크기	Φ	650
	출력	K/W	1.1*2
	회전수	RPM	1700
버너	사용연료		가스
	연료소모량	L/hr	20.3
	점화방식		자동점화
	소화방식		자동소화

#### (6) 양액 공급 및 관수설비 공사

본 그림은 온실내 작물 재배를 위한 양액 공급 및 관수설비 공사를 나타낸 것이다. 양액 재배는 작물 생육에 필요한 필수원소를 그 흡수비율에 따라 적절한 농도로 용해시킨 배양액으로 작물을 재배하는 방법이다. 시설원예에서 연작장해를 줄여주며 염류과잉이 되지 않게 도와주고 토양 소독을 용이하게 해 준다. 양액 공급시설에 양액기와 물탱크 등은 재배공간과 분리된 관리실에 설치를 하였다. 이때, 작물 재배공간의 바닥에는 재순환된 퇴수 배관 및 양액라인 배관 작업을 하고 바닥재를 시공하여 배관을 보호하고 결빙에 대비하였다. 양액조절 탱크에서 메인

관으로 나가는 곳에 여과기, 급액펌프, 밸브를 설치하고 재배 베드에 설치된 점적관수 설비의 처음과 끝의 관수량이 일정한지 체크하였다. 재배 배지는 완전소독을 통해 멸균하였으며, 시험 작동을 통해 원수조, 양액조, pH조절조에서 출수되는 과정과 관수가 제대로 이루어지는지 확인하였다.



[그림 170] 양액 공급 및 관수 설비 공사

#### (7) 환경설비 전원 및 물받이 공사

본 그림은 온실내 환경설비의 안정적인 운전 및 제어를 위한 전원공급설비와 온실 상부에 우수를 빠르게 배수하기 위한 물받이 공사를 나타낸 것이다. 전원공급설비는 환경설비에 전원을 공급하는 분전반과 구동을 제어하는 PLC로 구성되어 있다. 그리고 연동 온실에 특성에 따른 곡부 물받이는 원활한 배수를 위해 1/400 구배를 적용하였으며 선홈통은 배수되는 온실면에 연결되어 온실 외부 바닥으로 배수되도록 시공하였다.





[그림 171] 환경설비 전원 및 물받이 공사

#### 다. 내재해형 온실내 환경설비 현지 검수 및 운영

본 내재해형 온실내 환경설비가 설계도에 준하여 시공되었지를 검수하기 위하여 설계도를 기반으로 시공된 환경설비에 대한 현지 검수 및 시운전을 수행하였다.

##### (1) 현지 내재해형 온실내 환경설비 검수

현지 내재해형 광폭비닐 온실 내부 환경설비 시공 및 재배 시스템 설비에 대한 공사가 완료됨으로 인해 시공이 설계도에 준하여 시공되었는지 시공 계획, 현장 시공일지, 시공 상태, 잔여자재 등에 대하여 검수를 수행하였다. 그 결과, 온실 내부의 환경설비인 차광 스크린, 보온 스크린, 측면 스크린, 양액 공급설비, 온풍기, 재배 배지 등 시공된 모든 설비가 정상적으로 가동되고 시공 상태가 양호함을 확인하였다. 그리고 딸기 재배 요청에 따라서 딸기용 재배 배드 설치 및 양액 투입 시스템에 대한 양액의 정량 투입과 전체 양액 점적공급 장치에서 정상적으로 양액이 공급되는지 여부에 대해 운전 중 육안검사를 시행하였다.



[그림 172] 내재해형 온실내 환경설비 및 재배베드 운영 검수



## (2) 현지 내재해형 온실내 환경설비 운영

본 그림은 현지 내재해형 광폭비닐 온실 내부 환경설비 운영에 대해 현지 관리인에게 운영 교육 및 운영 상태를 확인한 것이다. 양액 공급 시스템에서 양액의 정량 주입과 점적 관수에 대한 운영 현황 및 온풍기 작동과 운영 특성을 파악하였다. 또한 온실내 환경설비 전체에 대한 전원 공급과 스크린 개폐와 온도 모니터링에 대한 PLC 제어설비에 대한 운전을 교육하고 운전 상태를 확인하고 작물 재배 배지에 적용되는 재배토에 조건과 현지에서 생산되는 재배토에 대한 적용 가능성을 파악하였다.



양액 공급시스템



온풍기 설비



환경설비 전원 및 제어



작물 재배 배지

[그림 173] 내재해형 온실내 환경설비 운영

## (3) 현지 온실내 작물 재배 용수 특성 파악

본 그림은 현지 온실내 작물 재배를 위하여 사용되는 용수에 대한 특성을 파악하고자 수온, pH, 전기전도도(EC)에 대한 조사를 실시하였다. 3월중순에 측정된 지하수의 수질을 파악한 결과 수온 9.7℃, pH 8.44, EC 140 $\mu$ s이며, 하천수에 수질을 파악한 결과 수온 5.7℃, pH 8.38, EC 270  $\mu$ s이었다. 지하수와 하천수 모두 약알칼리성에 전기전도도도 작물 재배 용수로서 사용에는 큰 문제가 없는 것으로 확인되었다.



지하수 수질



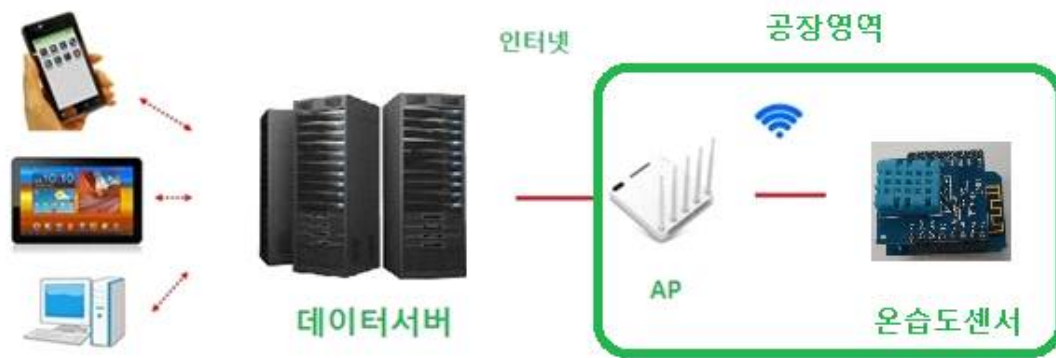
하천수 수질

[그림 174] 현지 온실내 작물 재배 용수 특성 파악

## 5. 장기연속운전을 통한 실측 데이터 수집/분석 및 비닐온실 성능평가

### 가. IoT 기반 온습도 모니터링 구축

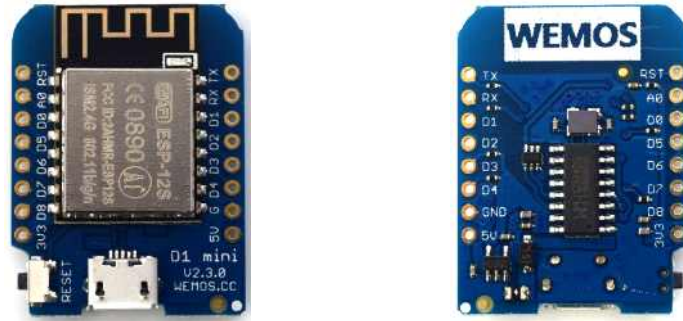
클라우드 기반의 온습도 온도센서는 아래와 같이 현장의 온도 및 습도를 모니터링하고 노트북 또는 핸드폰으로 실시간으로 확인할 수 있도록 구축한다. 현장에서 아래 그림에서 CPU는 D1 mini를 사용한다. 여기에는 Wifi가 부착되어 있으며 온도센서와 연결하여 사용할 수 있다. 또한 휴대용 보조 배터리와 연결하여 사용하여 정전 시, 그 용량에 따라 하루이상 동작 할 수 있다. 온도와 습도는 실시간으로 데이터서버로 값을 전송하고 통신이 끊겼을 때는 자체적으로 데이터를 저장하고 있다가 전송함으로 정전으로 인한 데이터 단절은 없을 것이다.



[그림 175] IoT 기반 온습도 센서 및 모니터링 구성도

(1) 온습도 센터 CPU 구성

CPU는 그림과 같은 상용화 된 D1 mini CPU (WEMOS Electronics, <https://wiki.wemos.cc>)



[그림 176] 온습도 센서 CPU

CPU사양 및 기타 성능은 다음과 같다.

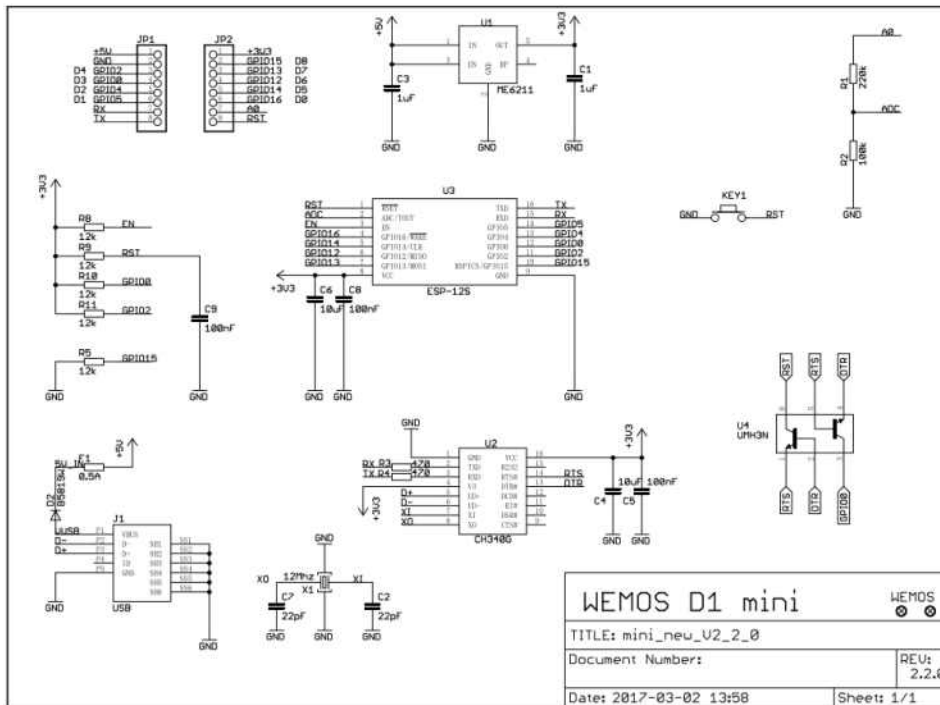
- 11 digital input/output pins, all pins have interrupt/pwm/I2C/one-wire supported(except D0)
- 1 analog input(3.2 V max input)
- a Micro USB connection
- Compatible with Arduino
- Compatible with nodemcu
- Technical specs

Microcontroller	ESP-8266EX
Operating Voltage	3.3 V
Digital I/O Pins	11
Analog Input Pins	1(Max input: 3.2 V)
Clock Speed	80 MHz/160 MHz
Flash	4 M bytes
Length	34.2 mm
Width	25.6 mm
Weight	10 g

- Pin

Pin	Function
TX	TXD
RX	RXD
A0	Analog input, max 3.3 V input
D0	IO
D1	IO, SCL
D2	IO, SDA
D3	IO, 10k Pull-up
D4	IO, 10k Pull-up, BUILTIN_LED
D5	IO, SCK
D6	IO, MISO
D7	IO, MOSI
D8	IO, 10k Pull-down, SS
G	Ground
3V3	3.3 V
RST	Reset

CPU를 구성하는 회로의 내부 회로도도 아래와 같다.



[그림 177] CPU 회로도

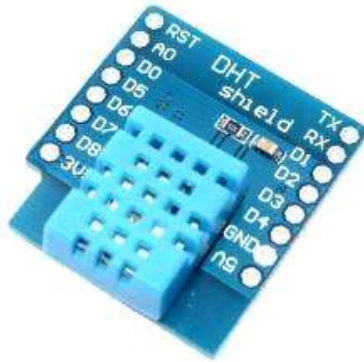
## (2) 온습도 센서

IoT 기반의 온도를 측정 센서는 다음의 3가지 센서를 활용할 수 있도록 구성하였으며, 측정 온도의 조건 및 주변 영향에 따라 센서의 선택이 가능하도록 구성하였다.

### (가) DHT Shield

- Temperature: 0~60°C ( $\pm 2^{\circ}\text{C}$ )
- Humidity: 20~90%RH ( $\pm 5\%RH$ )

- Supporting the D1 MINI
- The Ar-duino compatible, using A-rduino IDE for programming
- 11 the XI/O pins
- 1 XADC pin (0-3.3 V)
- Support the OTA online



[그림 178] DHT Shield 온습도  
센서

(나) DHT Pro Shield

- Description: DHT Pro Shield for WeMos D1 mini DHT22 Single-bus digital temperature and humidity sensor module sensor.
- Sensor Model: Aosong DHT22 temperature and humidity sensor.
- Signal output form: digital signal.
- Temperature measurement range:  $-40^{\circ}\text{C}$  -  $80^{\circ}\text{C}$ .
- Measurement accuracy:  $0.5^{\circ}\text{C}$ .
- Humidity measurement range: 0--100% RH.
- Measurement accuracy: 2% RH.
- Resolution: 16 bits.



[그림 179] DHT Pro Shield  
온습도 센서



(다) PT 온도센서

- 상온 등 앞서 소개한 센서에 비해 고온 측정이 가능한 센서이며, 아래 그림과 같이 케이블을 연결함으로써 측정위치에 정확하게 센서를 활용할 수 있는 장점이 있다.
- Probe Working temperature: -20-600℃
- Sheathing Tolerance: up to 200
- Length: 2 m
- Precision: 0.5C



[그림 180] CPU와 PT온도센서

-다음은 PT센서 인덱스 테이블이다.

	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40	-45	-50	-55	-60	-65	-70	-75	-80	-85	-90	-95	-100
-2	0	-5.8	-5.9	-6.0	-6.0	-6.1	-6.2	-6.2	-6.3	-6.3	-6.4	-6.4	-6.4	-6.4	-6.4	-6.4	-6.4	-6.4	-6.4	-6.4	-6.4
00	914	654	346	99	584	127	618	056	438	765	036	251	411	518	577						
-1	0	-3.5	-3.7	-3.8	-3.9	-4.1	-4.2	-4.4	-4.5	-4.6	-4.7	-4.9	-5.0	-5.1	-5.2	-5.3	-5.4	-5.5	-5.6	-5.7	-5.8
00	536	046	523	969	382	761	106	416	69	927	127	289	412	496	54	542	503	422	297	128	914
0	0	-0.1	-0.3	-0.5	-0.7	-0.9	-1.1	-1.3	-1.5	-1.7	-1.8	-2.0	-2.2	-2.4	-2.5	-2.7	-2.9	-3.0	-3.2	-3.3	-3.5
	0	966	919	855	775	678	561	425	269	093	894	673	428	16	866	547	201	828	427	996	536
0	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
0	0	0.19	0.39	0.59	0.79	1.00	1.20	1.40	1.61	1.81	2.02	2.22	2.43	2.64	2.85	3.05	3.26	3.47	3.68	3.88	4.09
	0	79	69	7	81	02	33	71	18	71	31	96	65	37	12	89	66	43	19	92	62
10	4.09	4.30	4.50	4.71	4.91	5.12	5.32	5.53	5.73	5.93	6.13	6.33	6.54	6.74	6.94	7.14	7.34	7.53	7.73	7.93	8.13
0	62	29	91	47	99	44	84	17	45	67	83	95	02	06	06	04	96	91	87	85	
20	8.13	8.33	8.53	8.73	8.93	9.14	9.34	9.54	9.74	9.95	10.1	10.3	10.5	10.7	10.9	11.1	11.3	11.5	11.7	12.0	12.2
0	85	84	86	91	99	11	27	47	72	534	571	613	659	709	763	821	882	947	015	086	
30	12.2	12.4	12.6	12.8	13.0	13.2	13.4	13.6	13.8	14.0	14.2	14.5	14.7	14.9	15.1	15.3	15.5	15.7	15.9	16.1	16.3
0	086	159	236	315	396	48	566	654	745	837	931	028	126	226	327	431	536	642	75	86	971
40	16.3	16.6	16.8	17.0	17.2	17.4	17.6	17.8	18.0	18.3	18.5	18.7	18.9	19.1	19.3	19.5	19.7	20.0	20.2	20.4	20.6
0	971	084	198	314	431	549	669	789	911	034	158	283	409	536	663	792	921	051	181	312	443
50	20.6	20.8	21.0	21.2	21.4	21.7	21.9	22.1	22.3	22.5	22.7	22.9	23.2	23.4	23.6	23.8	24.0	24.2	24.4	24.6	24.9
0	443	574	706	838	971	103	236	368	5	632	764	896	027	158	288	418	547	675	802	929	055
60	24.9	25.1	25.3	25.5	25.7	25.9	26.1	26.3	26.6	26.8	27.0	27.2	27.4	27.6	27.8	28.0	28.2	28.4	28.7	28.9	29.1
0	055	179	303	426	547	668	786	904	02	135	249	36	471	579	686	791	895	996	096	194	29
70	29.1	29.3	29.5	29.7	29.9	30.1	30.3	30.5	30.7	31.0	31.2	31.4	31.6	31.8	32.0	32.2	32.4	32.6	32.8	33.0	33.2
0	29	384	476	565	653	739	822	904	983	06	135	207	277	345	41	474	534	593	649	703	754
80	33.2	33.4	33.6	33.8	34.0	34.2	34.5	34.7	34.9	35.1	35.3	35.5	35.7	35.9	36.1	36.3	36.5	36.7	36.9	37.1	37.3
0	754	803	849	893	934	973	01	044	075	104	131	155	177	196	212	226	238	247	254	258	259
90	37.3	37.5	37.7	37.9	38.1	38.3	38.5	38.7	38.9	39.1	39.3	39.5	39.7	39.9	40.1	40.2	40.4	40.6	40.8	41.0	41.2
0	259	258	255	249	24	229	215	199	18	159	135	109	08	049	015	978	939	897	853	806	756
10	41.2	41.4	41.6	41.8	42.0	42.2	42.4	42.6	42.8	43.0	43.2	43.4	43.5	43.7	43.9	44.1	44.3	44.5	44.7	44.9	45.1
00	756	704	649	591	531	468	403	334	263	189	112	033	951	866	777	687	593	496	396	293	187
11	45.1	45.3	45.4	45.6	45.8	46.0	46.2	46.4	46.6	46.8	46.9	47.1	47.3	47.5	47.7	47.9	48.1	48.2	48.4	48.6	48.8
00	187	078	966	851	733	611	487	359	227	093	955	813	668	52	368	213	054	892	726	556	382
12	48.8	49.0	49.2	49.3	49.5	49.7	49.9	50.1	50.2	50.4	50.6	50.8	51.0	51.1	51.3	51.5	51.7	51.8	52.0	52.2	52.4
00	382	205	024	84	651	459	263	062	858	651	439	223	003	78	552	32	085	845	602	354	103
13	52.4	52.5	52.7	52.9	53.1	53.2	53.4	53.6	53.7	53.9	54.1	54.3	54.4	54.6	54.8						
00	103	847	588	325	058	787	512	234	952	666	377	084	788	489	186						

### (3) 배터리 (Battery)

배터리(battery)는 아래 그림과 같이 CPU는 D1 mini를 기본으로 구동되고, Wifi가 부착을 부착하여 IOT 기반 모니터링 가능한 온도센서를 결합하여 사용한다. 휴대용 보조배터리를 연결하여 정전 시 등 전력이 차단되었을 때를 대비하였으며, CPU 등 구동 용량에 따라서 24시간 이상 활용가능한 배터리 용량을 선정하였다. 배터리 환경에서도 온도와 습도는 데이터를 실시간 전송 할 수 있도록 설정하였다.

다음은 부착된 배터리 용량을 제시하였다.

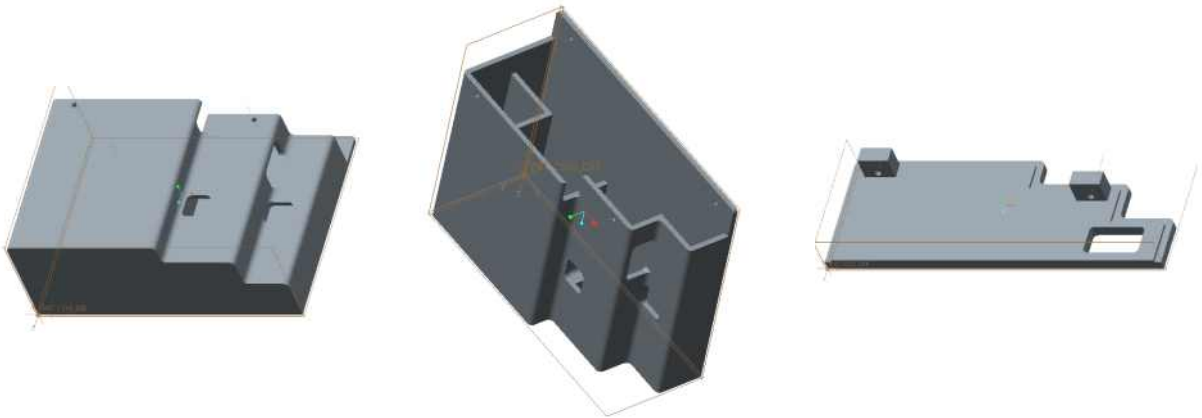
- 코기리 보조배터리 5000 mAh
- 모델명 : KPC-5000C
- 배터리타입 Li-Polimer
- 배터리용량 5000 mAh/3.7 V



[그림 181] 배터리

#### (4) IOT기반 온습도 센서 장착 케이스 제작

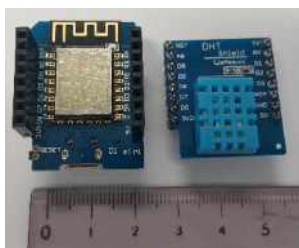
IOT 기반 온습도 센서를 장착할 수 있도록 아래 그림과 같이 3D 프린트를 이용하여 제작하였다.



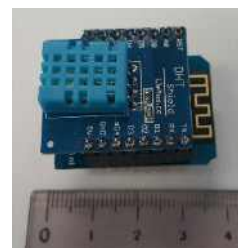
[그림 182] 케이스 제작

#### (5) 무선 Wifi 온도측정보드 및 프로그램 제작

CPU는 아래 그림과 같이 D1 mini를 기본으로 구성하였으며, 온실의 조건에 만족하고 구동에 용이하며 에너지 소비가 작은 DHT Shield 센서를 선택하여 아래 그림과 같이 연결하였다.



[그림 183] CPU와  
온습도센서



[그림 184]  
온도센서 결합

케이스에 온습도계 및 배터리 등 전체 구성품을 아래과 같이 3D 프린트로 제작한 케이스에

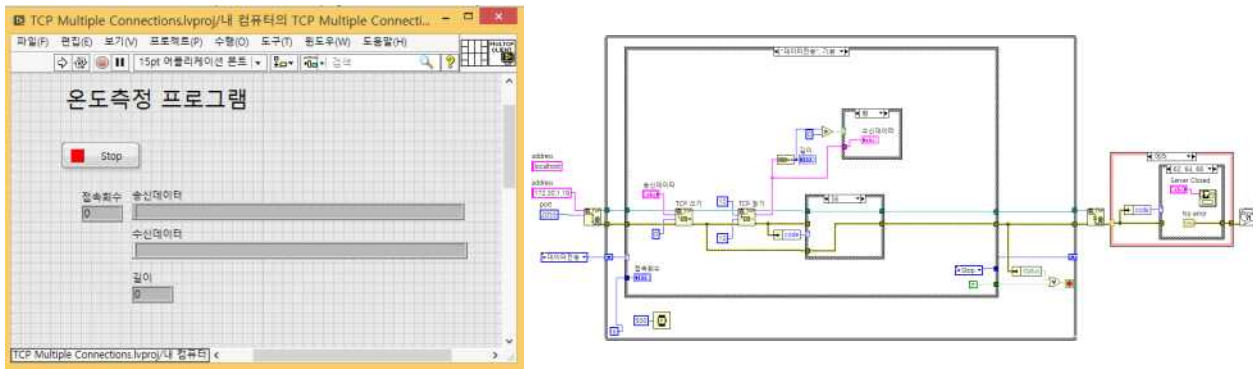
최종적으로 결합하였으며, 아래 그림과 같다.



[그림 185] 온습도 측정기

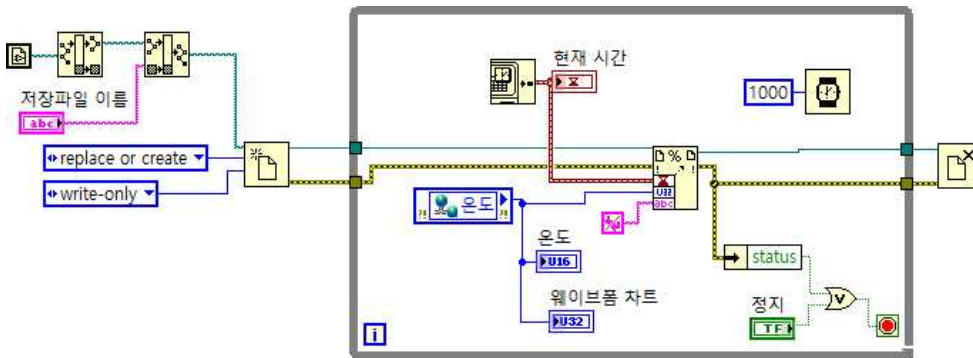
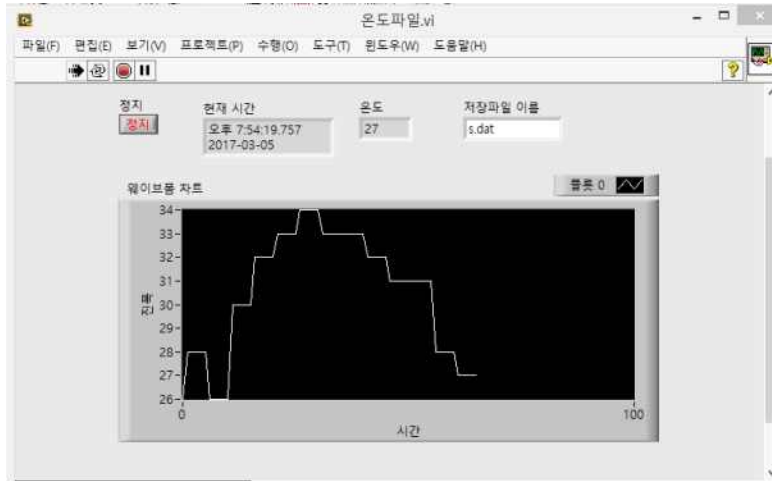
**(6) LabVIEW를 이용한 온습도 센서 운전**

그림은 IOT 기반 온도 및 습도를 Wifi 통신을 이용하여 실시간으로 모니터링 할 수 있도록 구축한 프로그램이다. LabVIEW를 활용하여 온실 내 온·습도 데이터를 실시간으로 모니터링 할 수 있도록 프로그래밍하였다.



[그림 186] 서버프로그램

데이터 수집 디바이스 및 센서를 이용하여 측정한 데이터를 수치와 변화량(그래프)의 형태로 실시간으로 온실 로컬서버에 저장하여 보관한다. 무선 공유기의 Wifi 통신을 통하여 외부에서도 모니터링 결과를 실시간으로 확인할 수 있다.



[그림 187] 온도 모니터링 프로그램

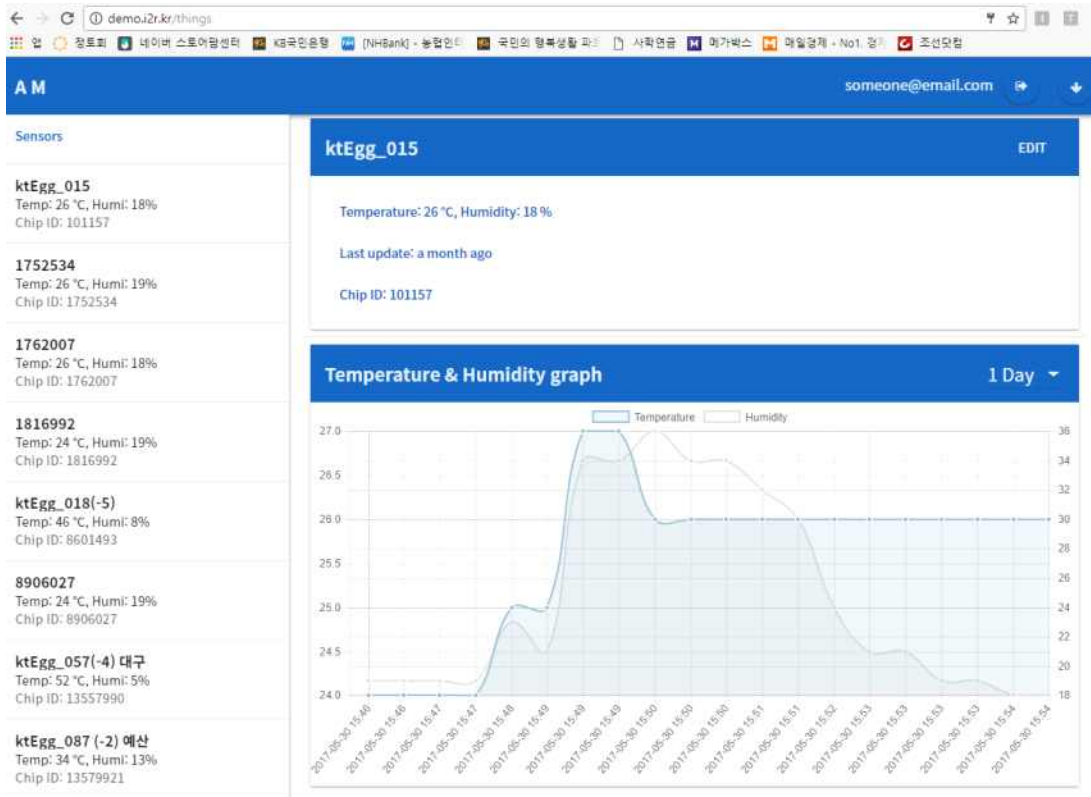
### (7) 인터넷을 이용한 모니터링

데이터서버는 안정적인 관리를 위해 아마존의 클라우드 컴퓨터를 이용한다.

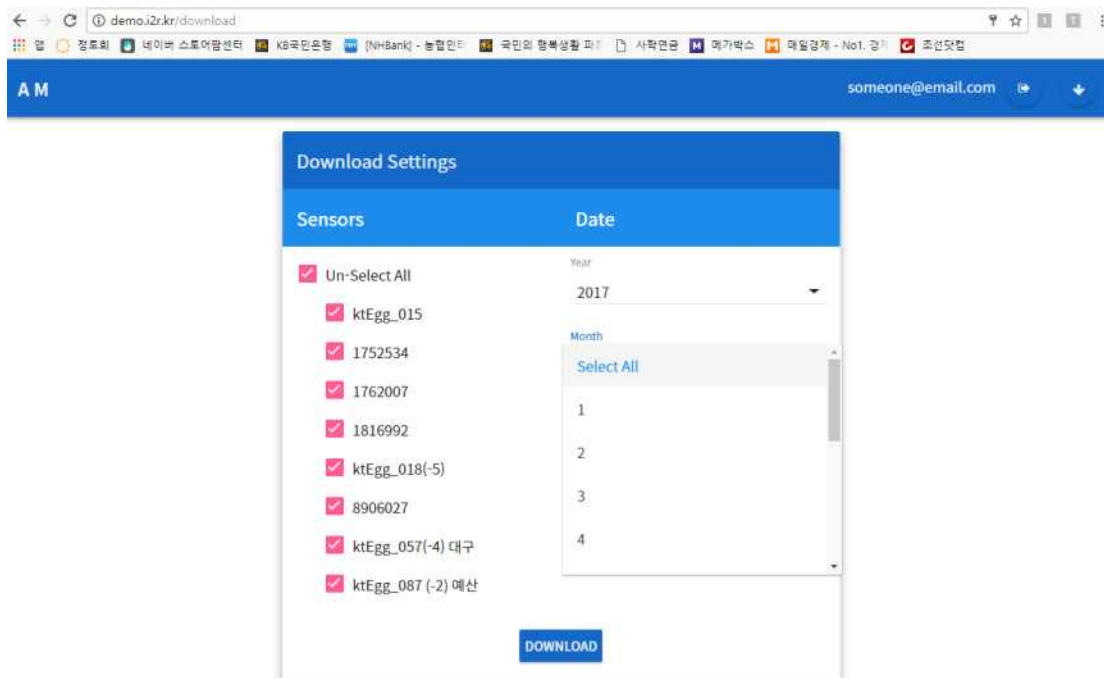
- URL : <http://demo.i2r.kr/things>
- ID : someone@email.com

온도 및 습도 데이터는 서버에 모두 저장되며, 현장에서 모니터링 결과는 자동으로 사이트에 등록되어 프로그램이 동작하여 사용자는 실시간으로 온도와 습도의 변화를 모니터링 가능하다. 필요한 데이터는 아래 그림과 같이 엑셀 파일로 내려 받을 수 있다.





[그림 188] 온도 모니터링 프로그램



[그림 189] 데이터 관리 프로그램

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	id	temp	humi	year	month	day	hour	min	sec	
2	101157	24	19	2017	2	11	7	57	3	
3	101157	24	19	2017	2	11	7	57	21	
4	101157	24	19	2017	2	11	7	57	22	
5	101157	24	19	2017	2	11	7	57	57	
6	101157	24	19	2017	2	11	7	58	13	
7	101157	26	18	2017	2	11	8	1	8	
8	101157	26	18	2017	2	11	8	1	46	
9	101157	26	18	2017	2	11	8	1	46	
10	101157	26	18	2017	2	11	8	2	28	
11	101157	27	17	2017	2	11	8	3	3	
12	101157	27	17	2017	2	11	8	3	3	
13	101157	27	17	2017	2	11	8	3	38	
14	101157	27	17	2017	2	11	8	3	38	
15	101157	27	17	2017	2	11	8	4	16	
16	101157	27	17	2017	2	11	8	4	16	
17	101157	27	17	2017	2	11	8	4	51	
18	101157	28	17	2017	2	11	8	5	39	
19	101157	28	17	2017	2	11	8	5	39	
20	101157	28	17	2017	2	11	8	5	39	
21	101157	28	17	2017	2	11	8	5	39	
22	101157	28	17	2017	2	11	8	5	39	
23	101157	28	17	2017	2	11	8	5	39	
24	101157	28	17	2017	2	11	8	5	39	
25	101157	28	17	2017	2	11	8	5	39	
26	101157	28	17	2017	2	11	8	5	39	
27	101157	28	17	2017	2	11	8	5	39	
28	101157	28	17	2017	2	11	8	5	39	
29	101157	28	17	2017	2	11	8	5	39	

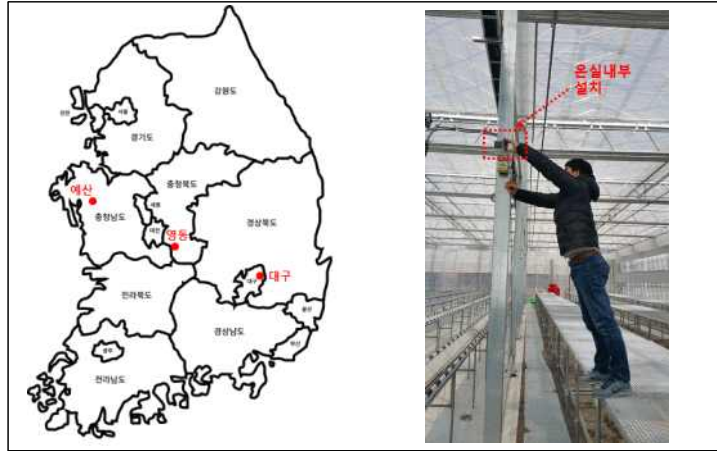
[그림 190] 온도 엑셀 데이터

### (8) IOT기반 온습도 센서 현장 설치

아래 그림과 같이 국내 지역 3곳의 온실을 선택하여, 원거리 모니터링 및 장기운전테스트를 실시하였다.

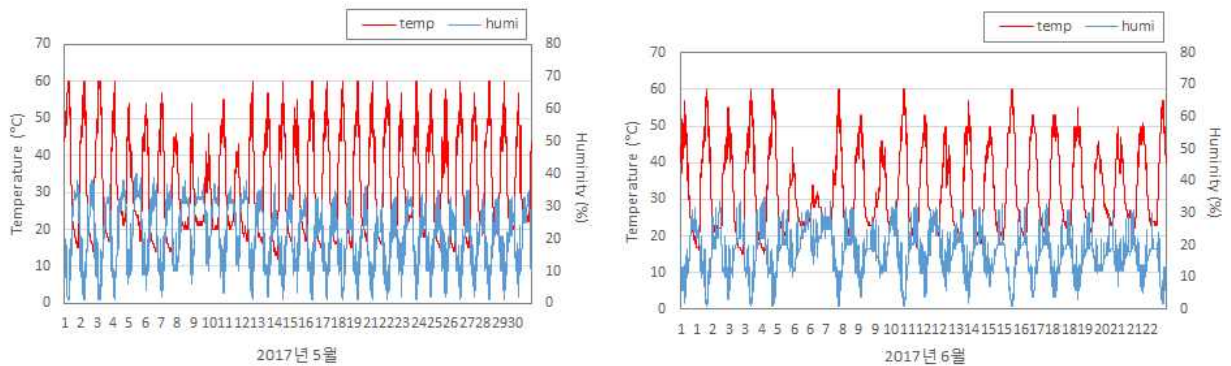
- 선정지역 : 충남 예산, 충북 영동, 대구

그림과 같이 온실 내부에 2/3지점을 위치하게 온습도계를 설치하였으며, 작물의 특성에 따라서 온도 변화 및 습도변화 등 하우스 환경을 장기적으로 모니터링하였다.



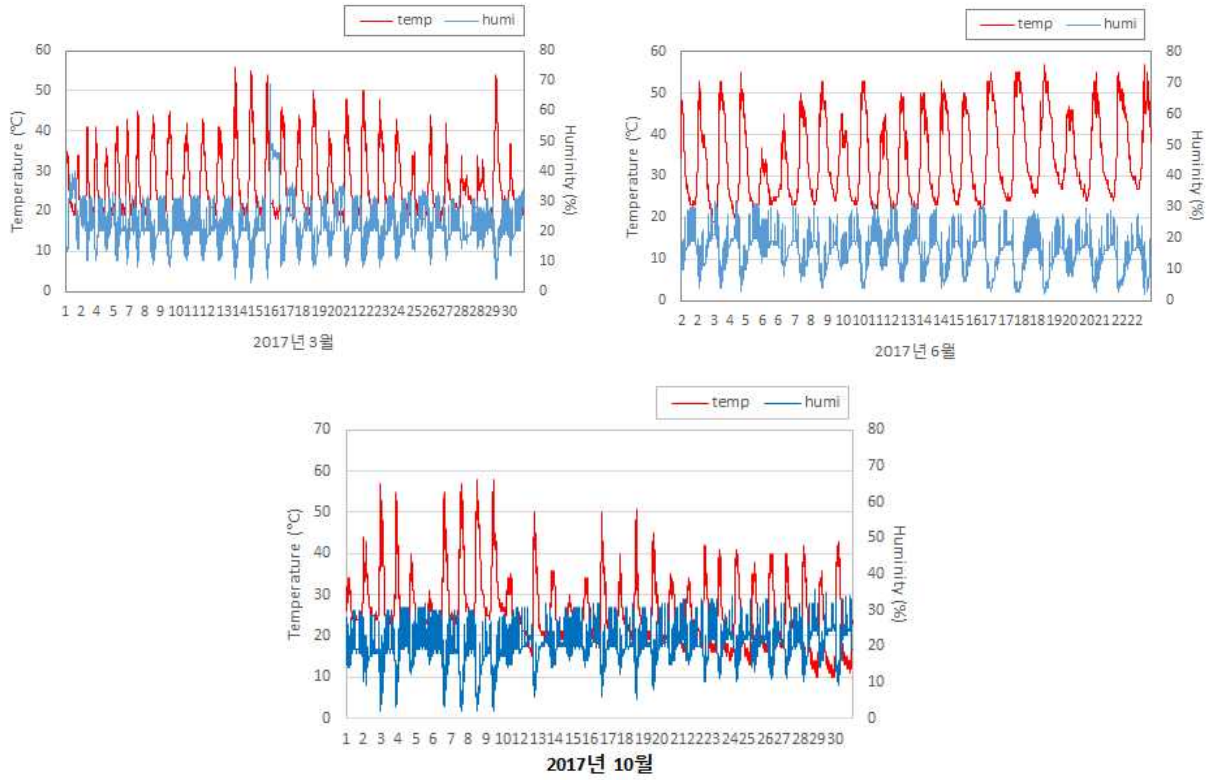
[그림 191] IOT기반 온습도계 설치 및 테스트

아래 그림과 같이 영동지역 온실내부 온도 및 습도 모니터링 결과이다. 온도의 경우는 최저 15도에서 최고 60도 정도를 나타내며, 지역별 온실의 활용에 따라서 다르다고 보여진다. 충북 영동의 비닐하우스는 수박농장으로 온도의 범위는 15도에서 60도로 높은 차이를 나타내었다.



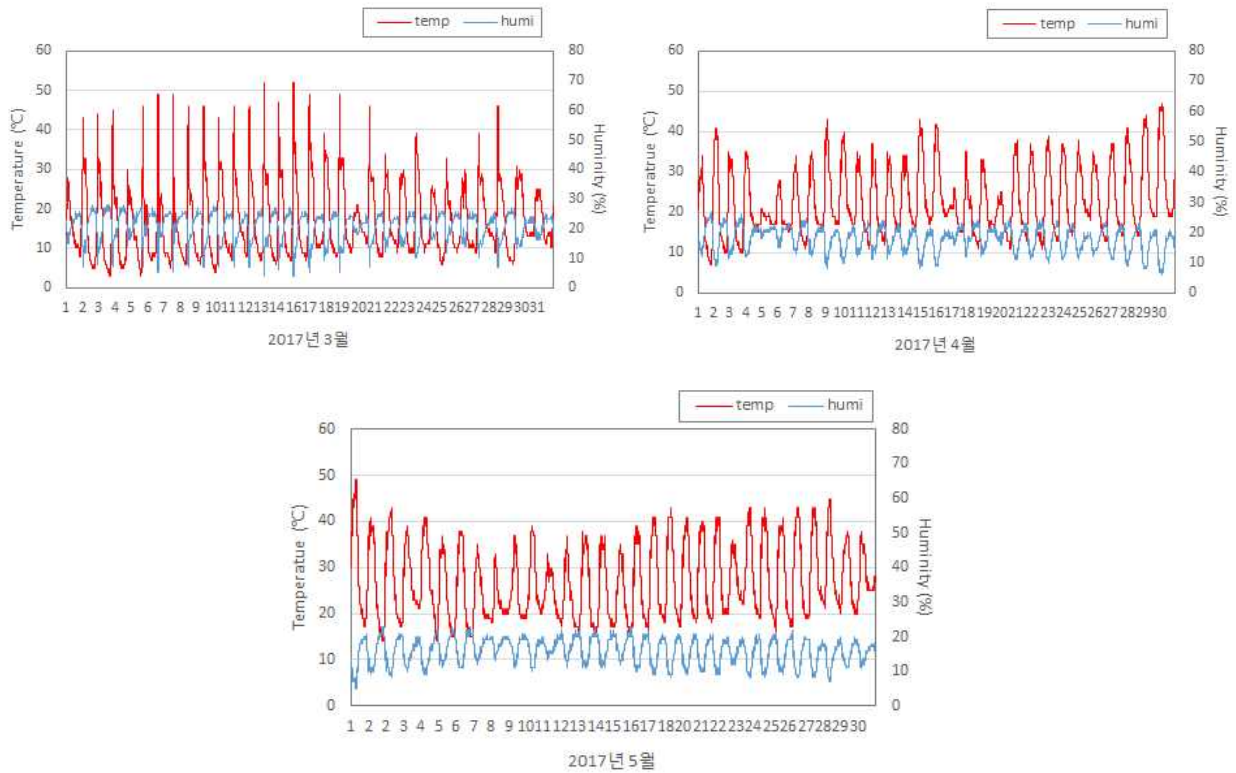
[그림 192] 충북 영동 비닐하우스 IOT 기반 온습도계 장기 모니터링

대구광역시 지역의 비닐하우스를 대상으로 모니터링 한 결과 봄, 여름, 가을로 내부온도 변화 및 습도 변화를 파악할 수 있었다. 평균적으로 30도 40도에서 운영되는 비닐하우스임을 확인할 수 있다.



[그림 193] 대구광역시 비닐하우스 IOT 기반 온습도계 장기 모니터링

충남 예산 지역의 비닐하우스를 대상으로 모니터링 한 결과 3월 경우 10도 이하까지 떨어지며, 낮 시간에는 40도를 봄, 여름, 가을로 내부온도 변화 및 습도 변화를 파악할 수 있었다. 평균적으로 30도 40도에서 운영되는 비닐하우스임을 확인 할 수 있다.



[그림 194] 충남예산 비닐하우스 IOT 기반 온습도계 장기 모니터링

## 4절. 내재해형 광폭 비닐온실 적용 IoT기반 자동제설장치 개발

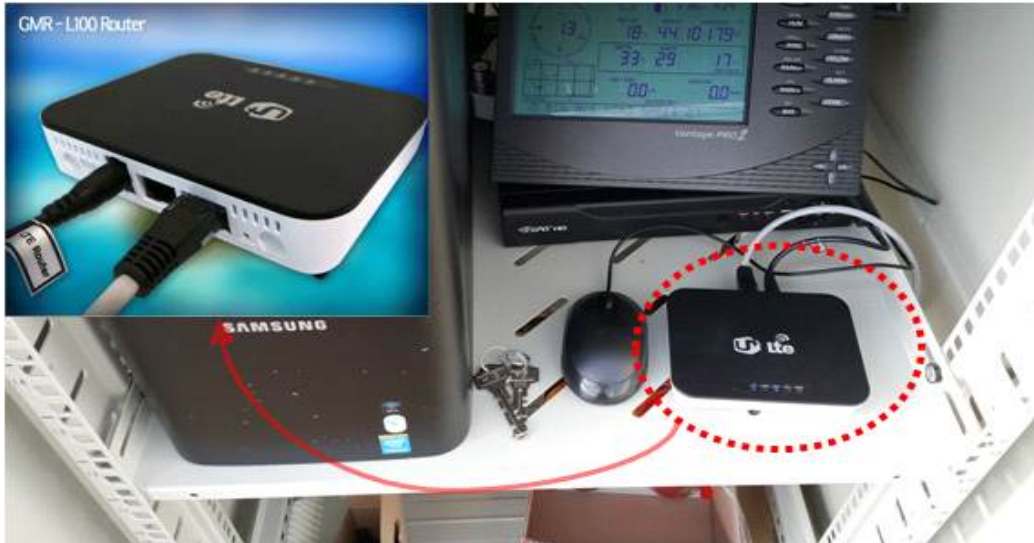
### 1. IoT기반 온실 모니터링 및 제어시스템 구축

#### 가. 라우터 설치/접속 및 환경설정

##### (1) 라우터 설치 및 접속

IoT기반 온실 모니터링 및 제어를 위해 데모온실 내 구축된 시스템에 라우터를 설치하였다. 설치된 라우터는 아래 그림과 같다.





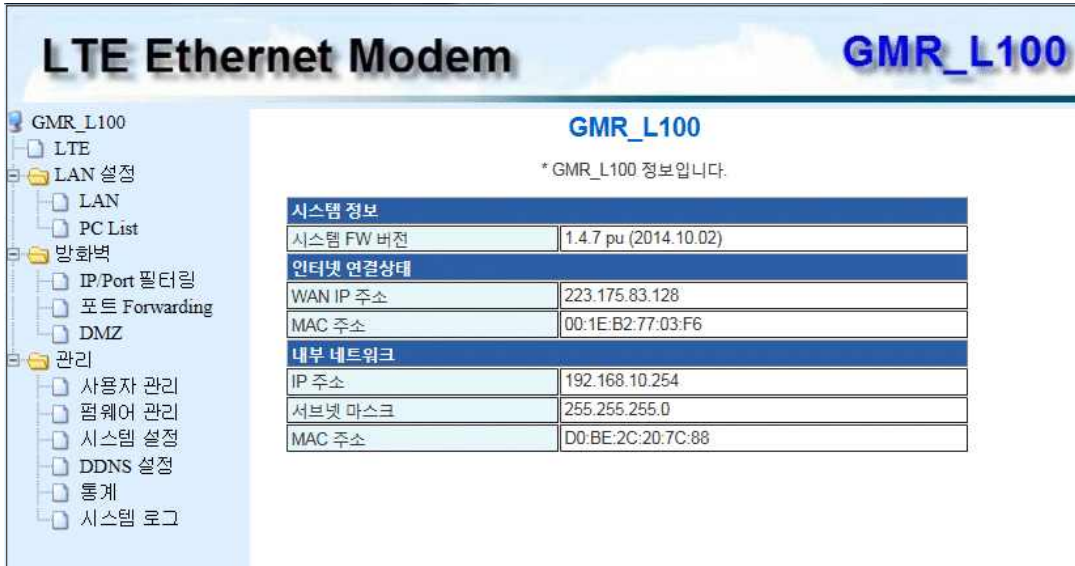
[그림 195] 현장에 설치된 라우터(GMR-L100 Router 4G)

라우터에는 DDNS가 설정되어 있으며 <http://i2r.cns-link.net/> 로 접속하여 아래 그림과 같이 입력한다. user name : admin /pw : admin 으로 설정되어 있다.



[그림 196] 라우터 접속 화면

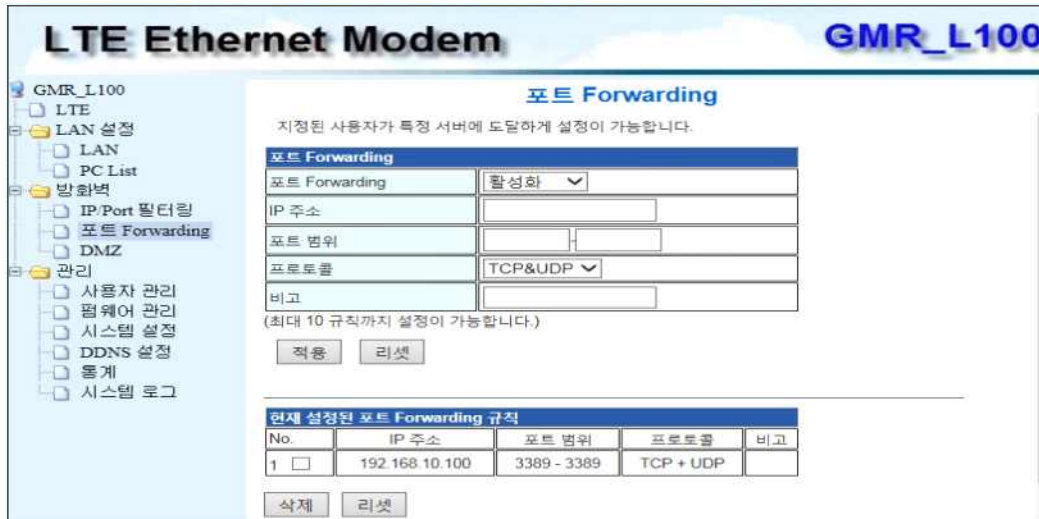
“WAN IP 주소”는 라우터가 외부망에서 할당된 IP로서 이는 LG U+에서 자동으로 할당하는 주소이므로 사용 중 바뀔 수 있으므로 DDNS 서비스를 이용해야 한다. 바로 아래의 MAC 주소는 라우터의 통신모뎀 번호이다. 내부 네트워크 IP는 라우터 연결되어 있는 서버로 라우터에서 할당한 내부 IP 주소이며 바로 아래의 MAC주소는 서버 PC의 모뎀 MAC주소이다. 라우터에 접속되어 IP가 할당되어 PC List가 떠서 이를 참조해 접속한다.



[그림 197] 서버 PC의 모뎀주소

### (2) 포트 Forwarding

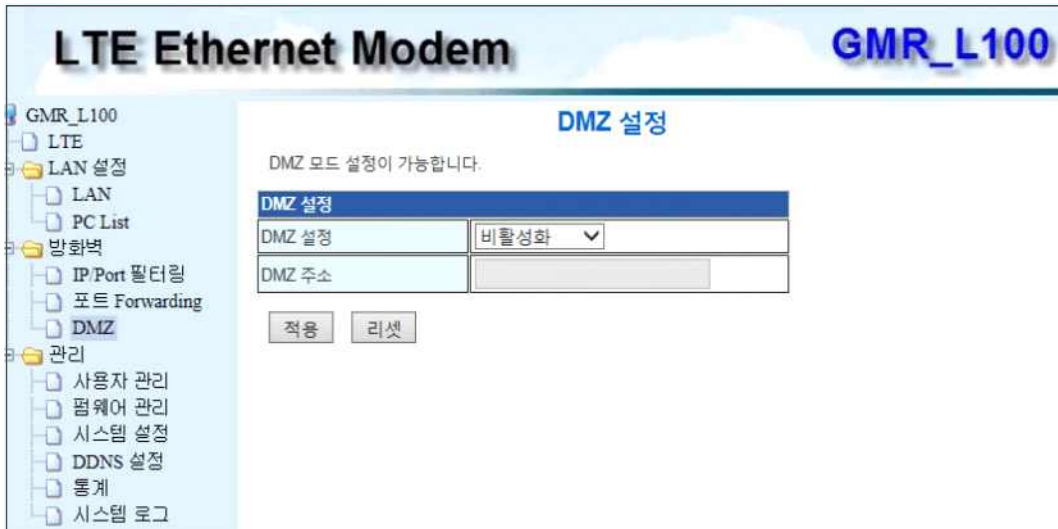
현재 서버의 IP 주소는 192.168.10.100 으로 3389 번호가 설정되어 있으며 이는 “원격접속”을 하려면 이 번호를 세팅해야 한다. 만약 홈페이지를 서비스하려면 추가로 80번을 세팅한다.



[그림 198] 포트 Forwarding 화면

### (3) DMZ

DMZ를 활성화 하고 IP 주소를 할당하면 해당 IP의 모든 포트를 오픈하게 된다.



[그림 199] DMZ 활성화 설정

#### (4) 사용자 관리

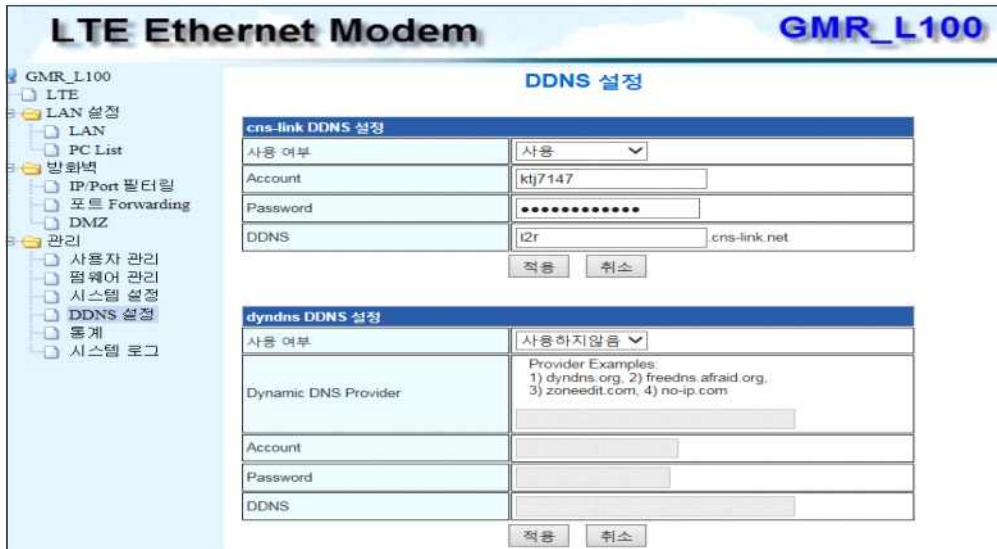
여기서 ID와 암호를 설정한다.



[그림 200] 사용자 관리 화면

#### (5) DDNS 설정

현재는 cns-link DDNS 설정을 사용한다. DDNS에 “i2r”로 설정하여 <http://i2r.cns-link.net/>로 접속하면 라우터로 접속할 수 있다. 만약 80번 포트를 Forwarding 하면 서버의 홈페이지가 올라오게 되어 이때는 원격접속으로 서버로 들어가서 홈페이지에서 “192.168.0.1”로 접속하여 라우터로 들어 갈 수 있다.



[그림 201] DDNS 설정 화면

### 나. 원격접속

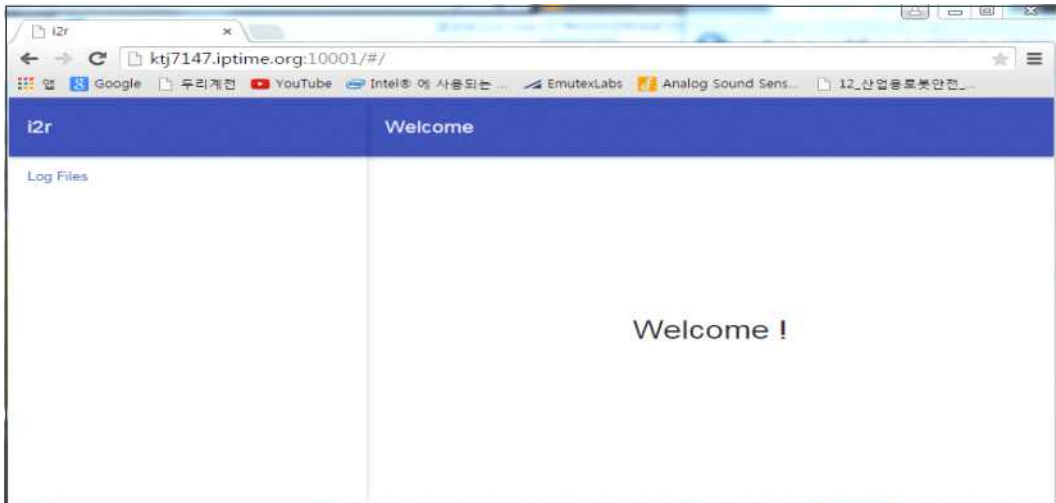
윈도우에서 아래 그림과 같이 원격접속을 실행할 수 있으며 주소는 i2r.cns-link.net이다. 아이디와 비밀번호를 입력하여 접속하면 현장의 컴퓨터를 사용할 수 있습니다.



[그림 202] 원격 데스크톱 연결 화면

### 다. 인터넷 데이터서버 기록

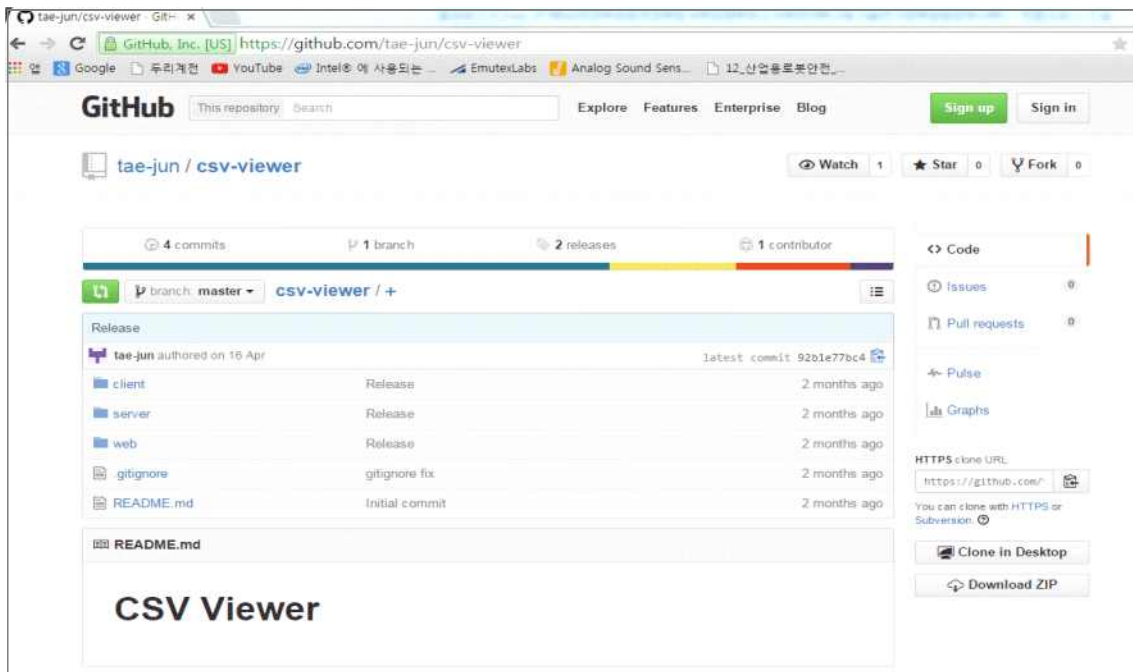
인터넷으로 현장의 데이터를 확인할 수 있도록 프로그램을 설계하였다. 현장의 데이터는 데이터서버에 모두 저장되어 있으며 이를 분석하면 현장의 데이터를 분석하여 고장 유무를 알 수 있으며 현장의 위급한 상황을 스마트폰으로 보낼 수도 있다. 데이터 서버의 주소는 다음과 같다. <http://ktj7147.iptime.org:10001>



[그림 203] 데이터서버 기록

데이터서버의 소스파일은 다음 주소에 모두 저장되어 있다.

<https://github.com/tae-jun/csv-viewer>



[그림 204] 프로그램 소스파일



## (1) 서버프로그램

```
var gulp = require('gulp'),
    tsc = require('gulp-tsc'),
    plumber = require('gulp-plumber'),
    runSequence = require('run-sequence'),
    gls = require('gulp-live-server'),
    del = require('del');

var config = require('./gulp-config'),
    src = config.src,
    tscOptions = config.tscOptions;

gulp.task('default', function (cb) {
  runSequence('clean', 'build', cb);
});

gulp.task('build', ['build:ts']);

gulp.task('build:ts', function () {
  return gulp.src(src.ts, {base: '.'})
    .pipe(plumber())
    .pipe(tsc(tscOptions))
    .pipe(gulp.dest('.'));
});

gulp.task('clean', function (cb) {
  del(['src/**/*.js'], cb);
});

gulp.task('watch', function () {
  gulp.watch(src.ts, function () {
    runSequence('build:ts');
  });
});

gulp.task('server', function () {
  //customize livereload server, e.g. port number
  var server = gls('src/app.js', undefined, false);
  server.start();

  //use gulp.watch to trigger server actions(notify, start or stop)
  gulp.watch(src.js, server.start); //restart my server
  gulp.watch(src.ts, ['build:ts']);});
```

## (2) 클라이언트 프로그램

```
var gulp = require('gulp'),
    tsc = require('gulp-tsc'),
    plumber = require('gulp-plumber'),
    runSequence = require('run-sequence'),
    gls = require('gulp-live-server'),
    del = require('del');

var config = require('./gulp-config'),
    src = config.src,
    tscOptions = config.tscOptions;

gulp.task('default', function (cb) {
  runSequence('clean', 'build', cb);
});

gulp.task('build', ['build:ts']);

gulp.task('build:ts', function () {
  return gulp.src(src.ts, {base: '.'})
    .pipe(plumber())
    .pipe(tsc(tscOptions))
    .pipe(gulp.dest('.'));
});

gulp.task('clean', function (cb) {
  del(['src/**/*.js'], cb);
});

gulp.task('watch', function () {
  gulp.watch(src.ts, function () {
    runSequence('build:ts');
  });
});

gulp.task('dev', function () {
  //customize livereload server, e.g. port number
  var server = gls('src/app.js', undefined, false);
  server.start();

  //use gulp.watch to trigger server actions(notify, start or stop)
  gulp.watch(src.js, server.start); //restart my server
  gulp.watch(src.ts, ['build:ts']);
});
```

### (3) 웹프로그래밍

```
var gulp = require('gulp'),
    livereload = require('gulp-livereload'),
    runSequence = require('run-sequence');

require('require-dir')('./gulp');

var config = require('./gulp/config'),
    src = config.src;

gulp.task('default', function(cb) {
  runSequence('clean', ['build', 'copy'], cb);
});

gulp.task('livereload', function() {
  return gulp.src("")
    .pipe(livereload());
});

gulp.task('watch', function() {
  livereload.listen();

  gulp.watch(src.ts, function() {
    runSequence('build:ts', 'livereload');
  });

  gulp.watch(src.index, function() {
    runSequence('copy:index', 'livereload');
  });

  gulp.watch(src.tpl, function() {
    runSequence('copy:tpl', 'livereload');
  });

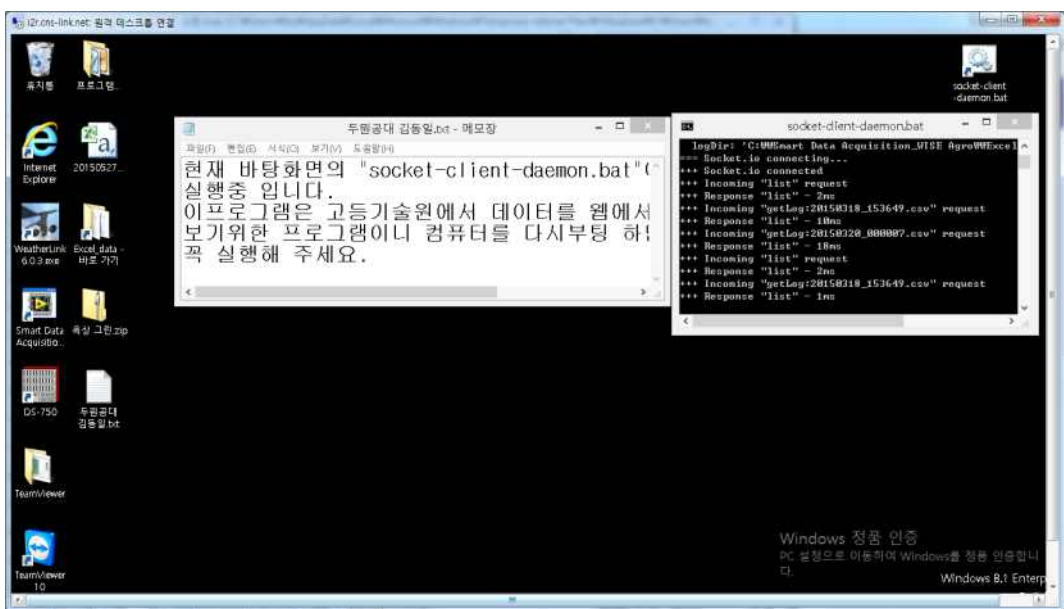
  gulp.watch(src.scss, function() {
    runSequence('build:scss', 'livereload', 'clean:css');
  });
});
```

## 라. 인터넷 상에서 데이터 확인

인터넷에서 데이터를 보는 과정은 현장의 서버에서 데이터를 보내는 프로그램 “socket-client-daemon.bat”를 실행하면 데이터 서버 “http://ktj7147.iptime.org:10001”에 저장되어 위 주소에서 데이터를 볼 수 있다.

### (1) 클라이언트 소켓 데몬 실행

“socket-client-daemon.bat” 또는 “C:\i2r\csv-viewer\client\socket-client-daemon.bat”를 실행한다. 바탕화면의 socket-client-daemon.bat은 위 파일의 바로가기의 기능을 가진다. C:\i2r\csv-viewer\client\폴더에서 다음 명령어를 실행한다. `forever src/app.js` 이는 노드 제이에스 프로그램이 영원히 실행될 수 있게 실행하는 명령어이다. 아래 그림은 위 배치파일을 실행한 화면으로 실행하면 도스창이 뜨는데 이를 닫으면 프로그램이 정지하게 된다.



[그림 205] 현장서버에서 “socket-client-daemon.bat”를 실행한 화면

### (2) 데이터 서버에서 데이터 보기

크롬에서 “http://ktj7147.iptime.org:10001”로 접속합니다. 링크에서 기록을 조회 및 열람, 다운로드 가능하다. 위 홈페이지에서 보여 지는 기록은 핵심적인 기록들만 걸러내어 보여준다. 여기서 핵심적인 기록이라는 것은 값이 변한 기록들만 걸러낸 것을 뜻하며 중복된 데이터를 삭제하여 데이터 저장량을 최소로 하였다.

The screenshot shows a web browser window with the URL [http://ktj7147.iptime.org:10001/#/log/20150318\\_153649.csv](http://ktj7147.iptime.org:10001/#/log/20150318_153649.csv). The page displays a table of sensor data for six nodes (NODE1 to NODE6). The data is organized into two columns: Sensor1 and Sensor2. Each sensor column has a 'Time' and a 'Value' column. The data points are as follows:

Node	Sensor1 Time	Sensor1 Value	Sensor2 Time	Sensor2 Value
NODE1	15:36:49	11	15:36:49	89.2
NODE2	15:44:46	11.1	15:38:31	89.5
NODE3	15:46:28	11.3	15:40:47	89.2
NODE4	15:50:25	11.5	15:44:46	89.3
NODE5			15:46:28	89.1
NODE6			15:50:25	88
			15:52:41	87.8

[그림 206] 데이터 서버 “<http://ktj7147.iptime.org:10001>”에서 데이터 확인

## 2. IoT 기반 스마트 제설장치 설계 및 제작

### 가. IoT 기반 스마트 제설장치 개요

사물인터넷(Internet Of Things, 이하 IoT)은 최근에 뜨거운 주제로 여러 계층과 분야에서 많은 관심을 받고 있는 분야이다. IoT기술은 인터넷을 통하여 공간적으로 떨어져 있는 사물을 실시간적으로 서로 연동하여 멀리서도 상태를 공유할 수 있고, 정보를 교환하거나 명령을 내릴 수 있는 환경을 이용하는 것이다.



[그림 207] 스마트 농업(원예시설) 구성도



원예산업에서 스마트 농업이란 원예 농산물의 생산 과정에 정보통신기술을 접목하여 원예농산물의 생산성과 부가가치를 향상시키기 위한 일련의 생산혁신을 의미한다. IoT기술에 의한 자동화와 원격감지, 원격제어, 센서를 활용한 온실 내 자동제어나 농작업의 기계화 등이 원예산업에서 전형적인 스마트 농업의 유형이다. 최근 이러한 스마트 농업이 각광받는 것은 최적의 원예 농산물의 생육 환경을 유지하여 농산물의 생산성을 제고하고 센서를 활용하여 환경변화를 감지하여 이상기후 및 자연재해로부터 농작물 재해피해를 줄일 수 있기 때문이다. 또한 재배 시설환경을 원격으로 제어함으로써 농장주의 작업량을 줄여 주고 효율적으로 관리가 가능하게 된다.

1차년도 연구수행을 통해 비닐온실에 이러한 IoT기술을 적용하여 환경센서를 활용한 환경변화 감지 및 비닐온실의 자동제어 및 원격제어가 가능하도록 하였으며 중앙아시아 폭설에 대비하여 스마트 자동제설을 위한 IoT기반 제어시스템을 구축하였다.

폭설, 강풍 등 중앙아시아의 극한 환경에 대비한 온실 자동제어를 위해서 태안 간척지 내에 있는 (주)그린플러스(참여기업)의 데모온실에 각종 환경 센서, 컨트롤러, 자동 개폐기 등을 조합하여 설치하였다.



[그림 208] 태안 간척지에 위치한 (주)그린플러스 데모온실

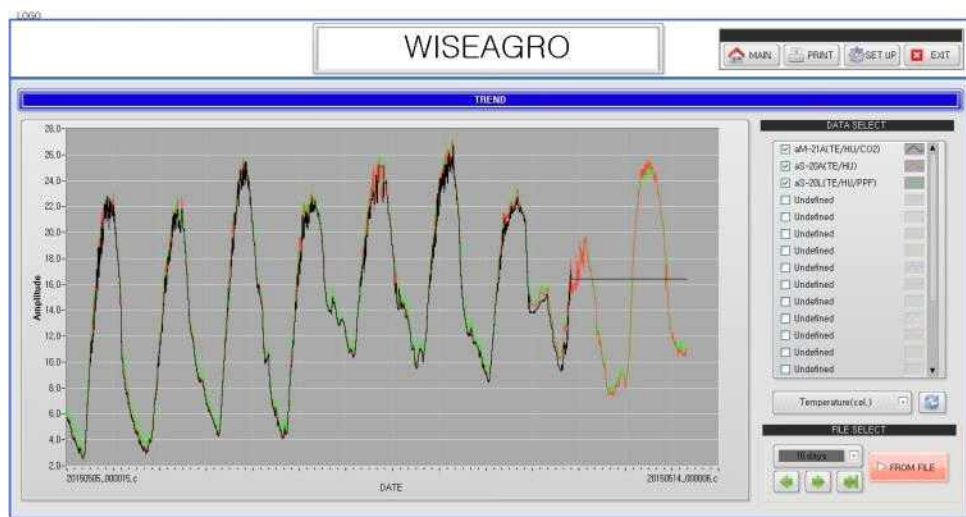
온도, 습도, 광량 등의 온실 내외 환경을 감지하는 센서를 설치하여 온실 내외 환경을 자동 모니터링 하고 있으며, 온실현장에서 환경모니터링과 제어가 가능한 동시에 원격 모니터링 및 환경 제어도 가능하도록 시스템을 구축하였다. 그리고 개별 환경센서에서 게더링된 환경데이터는 DB에서 저장되면서 종합 분석하여 온실환경제어시스템에서 자동제어되도록 IoT기반 온실 모니터링 및 환경제어 플랫폼을 구축하였다.



[그림 209] 데모온실 내 구축된 IoT기반 온실모니터링 및 원격환경제어시스템

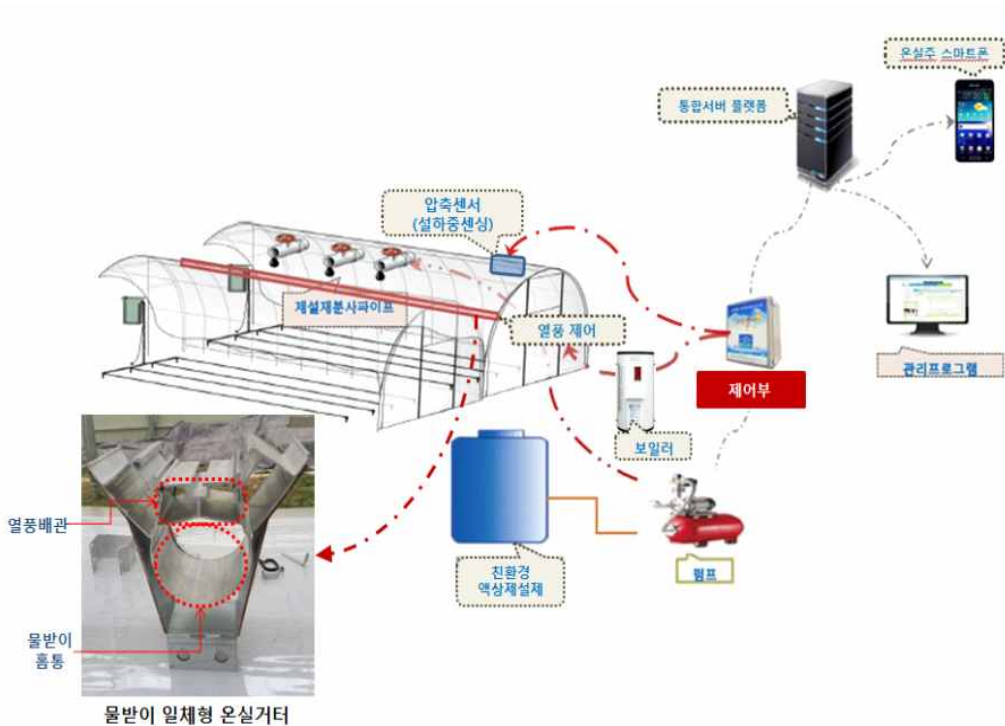
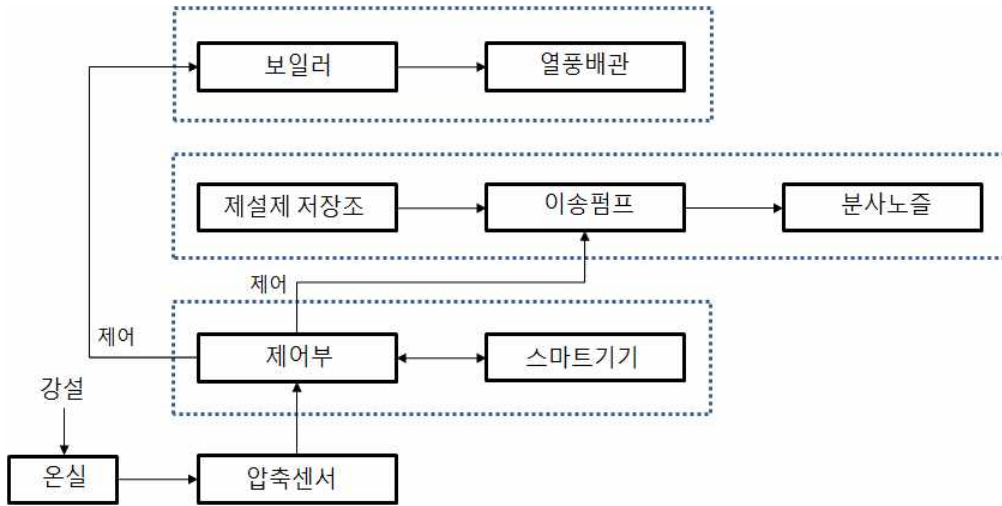


[그림 210] 데모온실에 설치된 환경센서



[그림 211] 온실 내외 환경데이터 수집 및 원격모니터링

본 연구에서는 1차년도 선행연구에서 구축한 IoT기반 제어시스템과 연계 가능한 실험실 규모의 자동제설장치를 설계/제작하였으며 내재해형 온실에 적용 가능한 스마트 자동제설장치의 설계 및 운전인자를 도출하였다.



[그림 212] 스마트 자동제설장치 구성도

## 나. 자동제설장치 설계 및 제작

### (1) 자동제설장치 설계

온실은 지붕에 쌓인 눈의 하중이 과대하게 되거나 바람에 날린 눈에 의해 편하중이 작용하게 되면 변형되거나 붕괴하게 된다. 강설 후 제설이 지연되면 눈의 침강력이나 측압이 발생하여

시설이 파괴되며 특히, 연동 온실은 곡부에 눈이 쌓이기 쉽기 때문에 이로 인한 과대 설하중이 작용하여 온실 붕괴 위험이 매우 크다.

이를 해결하기 위해 기존 기계 장치식 제설장치는 장치구성이 복잡하고, 설치가 번거로우며, 제설장치 가동 시에 자주 온실 피복재인 비닐에 스크래치가 생기는 문제가 발생하여 광투과도나 피복재 내구성이 저하되는 문제점이 있다. 또한 전열망, 발열시트 등 전기를 이용한 방법은 설치 및 유지보수가 어려우며 전기를 이용하기 때문에 눈, 비 등의 외부 수분에 의해 전기사고의 위험이 있으며 유지보수 비용이 높은 단점을 가진다. 또한 연동온실의 경우 곡부에 설하중이 집중되기 때문에 곡부의 적설을 효과적으로 제설할 수 있는 방법이 절실히 요구된다.

따라서 본 연구에서는 온실의 설하중을 감지하여 친환경 액상 제설제를 살포하고 온실 연동 곡부에 설치된 물받이 일체형 온실거터를 물받이와 열풍 배관으로 동시에 적용함으로 기습적인 폭설로 인한 연동온실의 붕괴를 방지하고자 하였다. 이때 적용되는 친환경 액상 제설제는 -45°C에서도 동결되지 않아 현지 기후를 고려하였을 때 동결에 대한 문제는 없을 것으로 판단된다. 또한 액상 제설제는 점도가 약하여 정량펌프로 펌핑을 통한 노즐 분사가 가능함으로 폭설 등에 기상 이변 시에 빠르게 현장 대응이 가능할 것으로 판단된다.

(가) 액상제설제

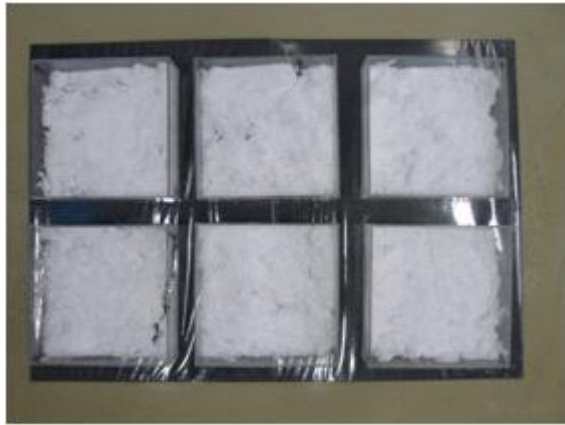
자동제설장치에 사용되는 친환경 액상 제설제는 저온(-45°C)에서 동결되지 않고 저점도로 유동성이 좋으며 고체 제설제인 염화칼슘과 비교 할 때 제설효과가 높다. 고체 제설제(염화칼슘)보다 액상 제설제는 액상특성으로 인해 눈 속으로 스며들어 효과가 높으며, 면적당 사용 단가도 더 저렴하다. 다음 표와 같이 동일 면적의 12 cm/h의 적설량에 대해 고체 제설제와 액상 제설제를 동시에 살포하고 효과를 비교평가 하였다. 그리고 동일 적설심에 대한 제설제의 효율과 적정량을 판단하기 위해 액상 제설제 용량에 대한 효과를 비교하였다.

[표 44] 1차 제설제 적정량 기초실험의 적설 조건 및 제설조건

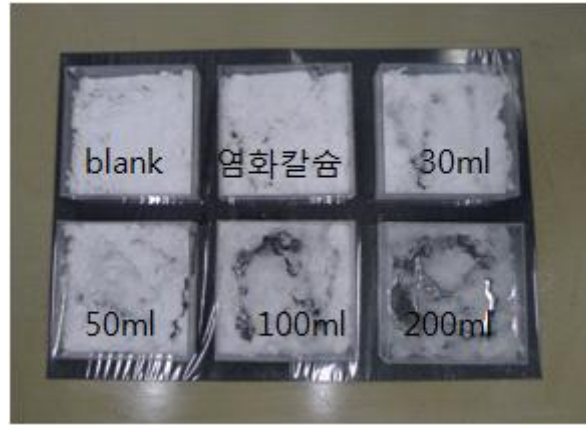
적설조건					
적설무게	적설면적	적설높이	적설부피	단위체적중량	
kg	m <sup>2</sup>	cm	m <sup>3</sup>	kg/m <sup>2</sup> · cm	
0.17	0.04	2	0.008	2.125	
제설조건					
대조군	염화칼슘( g )	액상 제설제( ml )			
0	7.2	30	50	100	200
실험 환경 온도 : -5°C					

Batch type 제설 실험은 도로의 제설등에 널리 이용하고 있는 고체 염화칼슘 제설제와 액상 제설제의 용량을 각각 다르게 하여 실시하였다. 1차 실험으로 위의 실험조건으로 제설제 살포 후 최종 30분 후 제설된 정도를 확인하였다. 제설제를 50 ml 투입하였을 때 제설의 효과를 확인하였다. 이 용량은 단위면적으로 환산할 경우 약 0.63 L/m<sup>2</sup> · cm 이다.





적설



제설제 투입 (1 min)



제설제 투입 (10 min)



제설제 투입 (30 min)

[그림 213] 제설제 적정용량 산정 1차 실험결과

제설제 적정 용량을 정확히 산정하기 위해 2차로 실험을 수행하였으며 용량범위를 10 ml 단위로 30~70 ml 사이로 결정하였다. 2차 실험에서 30 ml, 40 ml가 비슷한 경향을 보였으며, 50 ml부터는 정성적으로 확인한 제설효과를 나타내었다. Lab-scale 온실 제설실험 시, 지붕의 경사와 열풍에 의한 2차 제설을 고려한다면 산정된 적정량보다 적은 양으로 제설이 가능할 것으로 판단되므로 적정량으로 판단된 50 ml~30 ml를 Lab-scale 실험에 적용하기로 결정하였다. 또한 제설제 적정량 산정실험을 바탕으로 액상제설제 적정 사용량 및 이에 따른 펌프용량을 결정하였다.

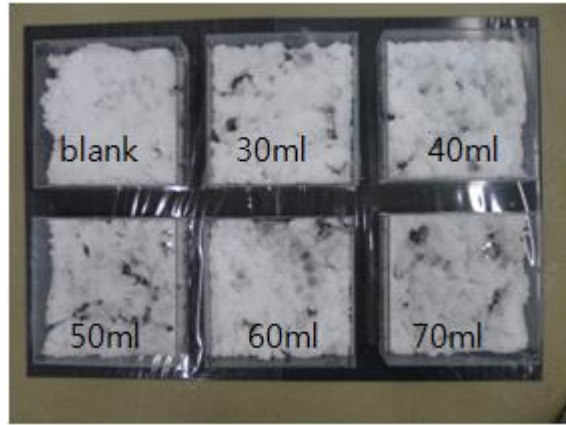
[표 45] 1차 제설제 적정량 기초실험의 제설조건

	액상 제설제( ml )				
투입량	30	40	50	60	70
환경온도	-5℃				

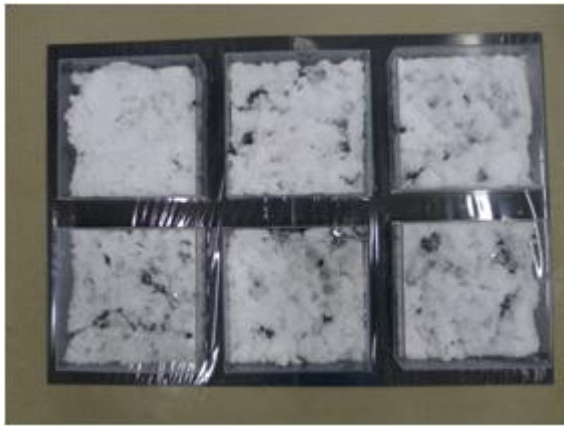




적설



제설제 투입 (1 min)



제설제 투입 (10 min)



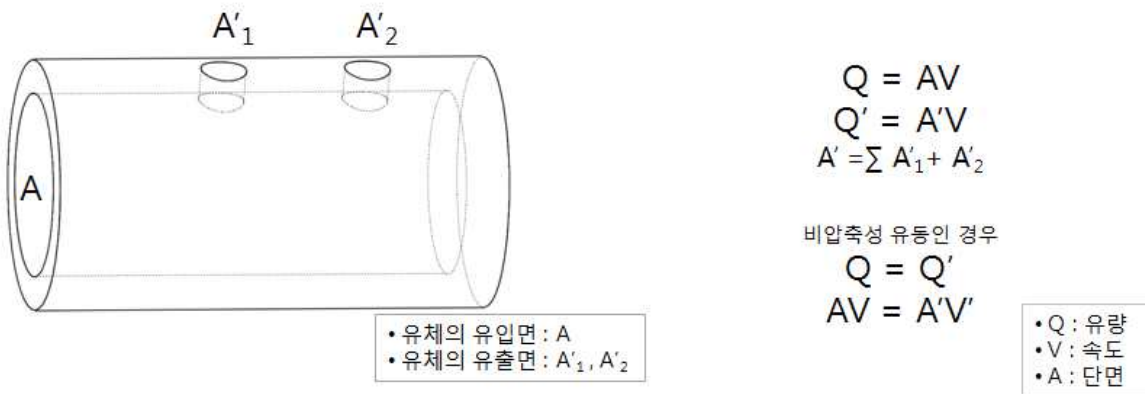
제설제 투입 (30 min)

[그림 214] 제설제 적정용량 산정 2차 실험결과

(나) 액상제설제 분사배관

분사배관은 온실구조의 상단에 장착되는 구조물로 지붕 부재의 크기, 채광을 고려할 경우 직경이 큰 배관을 제설시스템에 적용하는 것은 무리가 있다. 하중과 공급되는 유량을 고려하여 20A 로 선정하였으며,

실험실 규모 자동제설장치에 사용된 온실은 실제 온실을 축소한 구조임을 감안할 경우 1 mm 노즐을 결정하였으며 이때 분사속도는 0.15 m/s가 요구 될 것으로 가정하였다. 앞서 기초 실험을 통해 결정된 유량 150 ml/min가 공급 될 때 1 mm노즐의 순간 분사속도를 0.15 m/s로 가정할 경우 노즐 구멍의 수는 다음 그림의 식을 통해 약 20개의 노즐로 계산되며 노즐간격은 50 mm이다.



[그림 215] 배관 내 유체의 이론식

위의 식은 이상적인 환경에서 유체의 체적유량에 관한식이다 그러나 일반적으로 파이프내의 유동은 직관손실과 부차적 손실이 발생한다. 직관손실은 유체와 고체의 경계면에 의한 점성소산에 의한 손실이며, 부차적 손실은 유동의 기하학적 형상과 관련된 손실을 말한다. 따라서 이러한 에너지 손실을 고려하여 다음 표와 같은 분사배관을 제작하여 분사실험을 수행하였다.

제설제 분사배관의 재질은 중량이 가볍고 설치 및 가공성이 좋은 PVC관으로 선정하였다.

[표 46] 분사배관 종류 및 크기

		단면 사이즈	
		15 mm	20 mm
오 리 피 스 간 격	50 mm		
	16 mm		

제작한 4개의 각기 다른 배관을 정량펌프를 이용하여 액상 제설제를 분사하는 실험을 수행한 결과, 단면 15 mm, 노즐구경 0.5 mm, 노즐 간격 16 mm의 배관이 분사패턴이 가장 고르게 분포하였고 분사압력이 이론치와 거의 일치하게 구현되는 되었다. 따라서 실험실 규모 제설 실험에 단면 15 mm, 노즐구경 0.5 mm, 노즐 간격 16 mm의 PVC 배관을 선정하기로 결정하였다. 실험실 규모 제설장치 제작을 위하여 위와 같이 제설 기초실험을 통하여 아래 표와 같이 설계사양을 결정하였다.

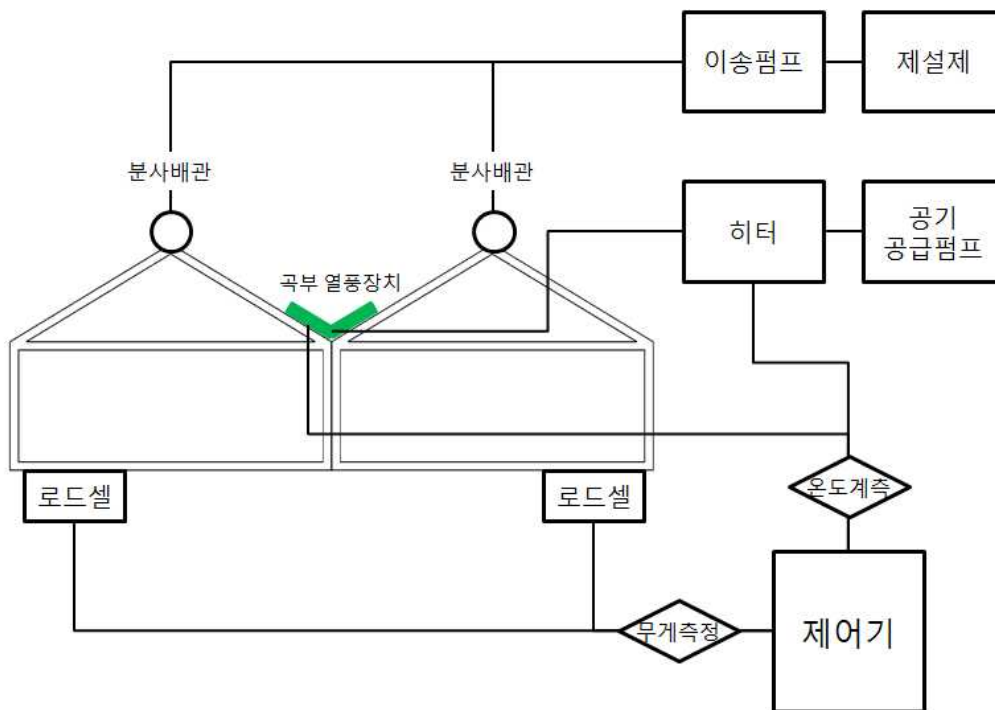
[표 47] 실험실 규모 제설장치 설계사양

구 분		장치사양
제설제 분사배관	단면사이즈	20 mm
	노즐 간격	16 mm
	노즐 구경	0.5 mm
제설제 이송펌프	유량	0~380 ml/min
히터(열풍)	온도	0~399℃
공기공급펌프(열풍)	유량	0~30 L
로드셀	무게	0~2,000 kg

(2) 자동제설장치 제작

(가) 제설장치 구성 및 사양

실험실 규모 자동제설장치에 사용된 온실은 강설장치의 규모를 고려하여 600 m<sup>3</sup> 규모의 연동 온실을 1/5 축소하여 제작하였으며, 연동곡부 1개를 포함하도록 하였다.



[그림 216] 실험장치 구성도

온실 외측 하부에 설하중을 감지하는 압축센서를 설치하였으며, 압축센서는 설하중을 자동감지하고 설하중 값을 제어부에 보낼 수 있게 하였다. 제어부는 설정된 하중 값 이상일 경우 자동으로 제설장치가 작동하도록 제작하였다. 설정된 하중 값 이상일 경우 제어부가 제설제 이송

펌프와 연동곡부의 열풍히터를 작동하도록 하였으며 이송펌프가 작동하면 제설제 저장조에서 액상제설제가 이송배관을 통해 온실상부에 설치되어 있는 제설제 분사 배관으로 이송되고 제설제를 분사하여 온실상부의 눈을 제설하도록 하였다.

연동 곡부는 쌓인 눈이 흘러내리지 못하여 온실 붕괴의 원인이 되므로, 온실의 연동 곡부에 쌓이는 눈을 제설하기 위해 연동 곡부에 눈이 쌓여 얼어붙지 않도록 신속한 제설 작업을 하여야 한다. 이를 위해 곡부에 열풍 전용 배관을 설치하고 이 배관을 통해 센싱된 하중이 설정된 값 이상이면 히터가 작동되어 열풍을 자동 공급하도록 하였다. 히터에서 발생한 열풍을 배관에 공급하게 되며, 쌓인 눈이 열풍에 의해 연속적으로 녹아 흘러내리도록 하였다.



[그림 217] 제작된 실험사진



[표 48] 제설장치 부분별 장치사진 및 기능

		
a) 제어기	b) 로드셀	c) 제설제 이송펌프
		
d) 제설제 분사배관	e) 제설제 이송배관	f) 곡부 열풍공급장치
		
g) 히터	h) 히터 공기공급펌프	i) 열풍공급배관

a) 제어기 : 시스템을 제어하기 위한 장치로서 장치의 입력신호를 받아서 설정된 조건에 맞추어 장치를 제어한다. 제어기는 로드셀 감지 무게 및 열풍공급장치의 온도 신호를 받으며, 제설제 이송펌프, 히터, 공기공급펌프를 제어한다.

b) 로드셀 : 눈의 무게를 측정하기 위한 장치로 제어기와 통신가능하도록 연결되어 있으며 로드셀에 인가되는 하중은 제어기로 전달되어 디지털 신호로 확인할 수 있다.

c) 제설제 이송펌프 : 설정된 눈의 무게가 초과되면 제설제 이송펌프가 작동되어 제설제를 분사배관으로 이송한다.

d) 제설제 분사배관 : 제설제 이송펌프에서 이송된 제설제를 분사배관의 노즐을 통해 분사한다.

e) 제설제 이송배관 : 제설제를 저장탱크에서 분사배관으로 이송한다.

f) 곡부 열풍공급장치 : 곡부의 제설을 위해 히터에 의해 생성된 열풍을 공급한다

g) 히터 : 열풍을 생성하기 위해 0~399℃까지 제어가 가능한 히터를 사용하였고 히터는 SUS 배관을 통하여 곡부 열풍공급장치로 열풍을 공급한다.

h) 공기공급펌프 : 히터에 공기를 공급하는 역할을 하며 공기공급펌프를 통해 공급된 공기는 히터를 거쳐 열풍으로 변환되며 곡부 열풍공급장치로 공급된다.

i) 열풍공급배관 : 히터에 의해 생성된 열풍을 곡부 열풍공급장치로 이송한다. 열풍공급배관은 열손실을 최소화하기 위해 단열재로 외부를 마감하였다.

### 3. 중앙아시아 적용을 위한 자동제설장치 성능실험

#### 가. 자동제설장치 운전조건 도출

##### (1) 제설시점

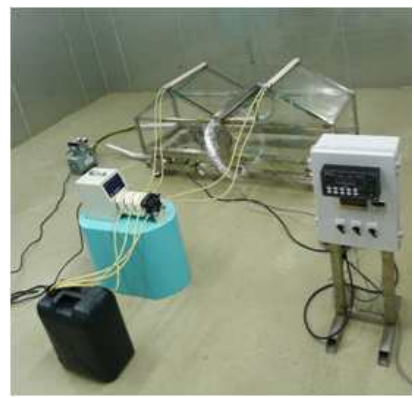
자동제설장치의 최적 운전조건을 도출하기 위하여 실제 적설환경을 모사하기 위한 인공적으로 눈을 만들 수 있는 강설장치가 되어 있는 항온항습실에서 제설실험을 진행하였다. 실험실 내부 온도는 -5℃를 유지하여 강설장치에 의해 인공 눈이 생성되어 녹지 않고 쌓이도록 유지하였다.



전체 실험장치



강설 장치



제설장치 및 온실모형

[그림 218] 자동제설 실험장치

제설제 분사배관은 기초실험을 통해 분사노즐 간격 16 mm, 노즐구경 0.5 mm인 PVC 관으로 선택하였으며, 분사속도 조절이 가능한 정량펌프를 이용하여 제설제를 분사하였다. 온실상부에 쌓이는 눈의 무게변화량을 측정하기 위해 로드셀을 적용하여 실시간으로 무게를 측정하였으며, 실시간 모니터링 및 PC로 출력 가능하도록 하였다.

[표 49] 제설 초기시점 실험조건

Lab-scale 온실 적설 조건					
적설무게	적설시간	적설높이	적설부피	적설하중	총무게
kg	min	cm	m <sup>3</sup>	kg/m <sup>2</sup> · cm	kg
0.75	10	2	0.15	2.13	3.1875
제설제 분사 배관 사양					
재질	수량	분사노즐간격		노즐구경	
	ea	mm		mm	
PVC	4	16		0.5	
제설제 분사 조건					
유량 (ml/min)	분사방식		초기분사시점		
180 (0.5L/m <sup>2</sup> · cm)	연속분사		최대적설 시 제설제 분사		
180 (0.5L/m <sup>2</sup> · cm)	연속분사		적설시점과 동시에 제설제 분사		

폭설 시 비닐온실 상부에 눈이 쌓였을 경우, 초기제설시점이 매우 중요한 요인이기 때문에 초기제설시점을 결정하기 위해 실험을 수행하였다. 제설제 유량은 180 ml/min으로 연속분사하였으며 초기분사시점은 비닐온실이 견딜 수 있는 최대하중인 최대적설 시와 적설과 동시에 분사하는 두 경우로 진행하였다.

단위면적당 최대적설 무게가 되었을 시점인 10분과 이후 제설제 분사 2분 경과 시점인 12분에 결과를 확인하였으며, 최대적설 이후 제설제를 분사할 경우 제설이 거의 되지 않았음을 확인하였다. 그에 비해, 적설 초기에 제설제 분사를 시작한 경우 천장 상부 1/4정도 제설이 되었고 실험 30분 경과 후에는 최대 적설시 분사한 한 경우는 천장의 상부(1/2)만 제설되었으며 적설과 동시에 제설제를 분사한 경우에는 천정의 대부분이 제설됨을 확인하였다.

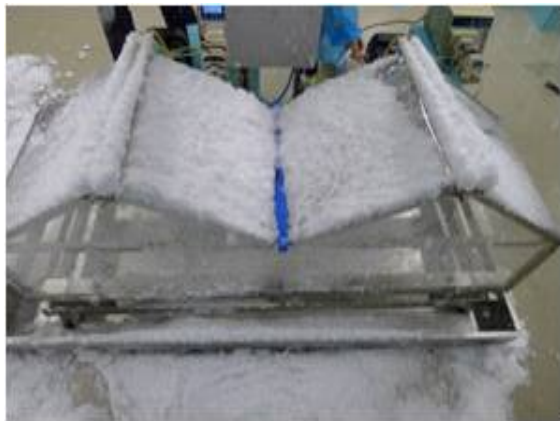
최대적설 시 제설제를 분사한 경우에는 일정시간 이후에는 천정상부 일부의 눈이 제설 가능하였지만, 폭설시 문제가 되는 연동온실 곡부에 눈이 쌓이는 부분은 제설이 어려웠다. 이러한 점을 고려할 때 열풍 또는 열선과 같이 곡부에 추가적인 제설방법이 필요할 것으로 판단되었으며, 안전율을 고려하여 최대적설 시점이 아닌 적설초기시점에 제설을 시작하는 방식이 더 효과적일 것으로 판단된다.



적설 및 제설 (0 min)



적설 및 제설 (10 min)



적설 및 제설 (12 min)



적설 및 제설 (30 min)

[그림 219] 제설초기시점에 대한 영향 실험

## (2) 제설제 유량

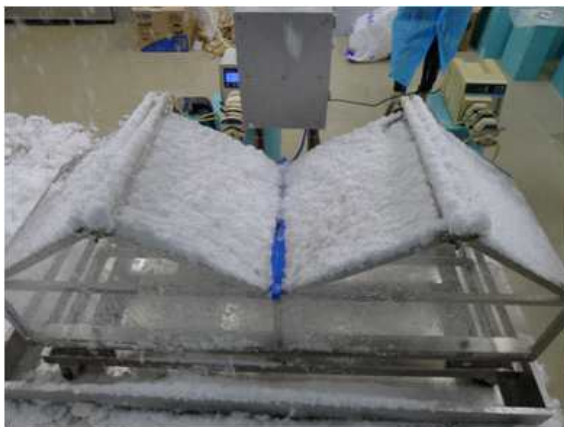
앞서 Batch test를 통한 제설실험을 통해 제설제의 적정 유량을 선정하였으나, 지속적으로 눈이 내리는 환경이나 온실지붕의 경사, 곡부의 추가적 제설수단(열풍 또는 열선)을 고려하여 추가적인 제설제 유량 최적화 실험을 수행하였다. Batch test에서는 제설제 적정 사용량으로  $0.63 \text{ L/m}^2 \cdot \text{cm}$ 으로 결정되었으나, 지붕경사 및 보조 제설수단을 고려하여 이보다 적은  $0.31 \text{ L/m}^2 \cdot \text{cm}$ 과  $0.5 \text{ L/m}^2 \cdot \text{cm}$ 의 조건으로 실험을 수행하였다.

제설제를 유량  $100 \text{ ml/min}$  ( $0.31 \text{ L/m}^2 \cdot \text{cm}$ )로 분사하였을 경우 온실 천정 상부만 제설이 가능하였으며  $180 \text{ ml/min}$  ( $0.5 \text{ L/m}^2 \cdot \text{cm}$ )로 분사하였을 경우 온실 천정 전체 제설이 가능하였다. 따라서 실험에서 곡부의 추가적 제설수단(열풍)의 영향을 고려하여 연속분사 시 분사유량을  $150 \text{ ml/min} \sim 180 \text{ ml/min}$ 으로 결정하였다.

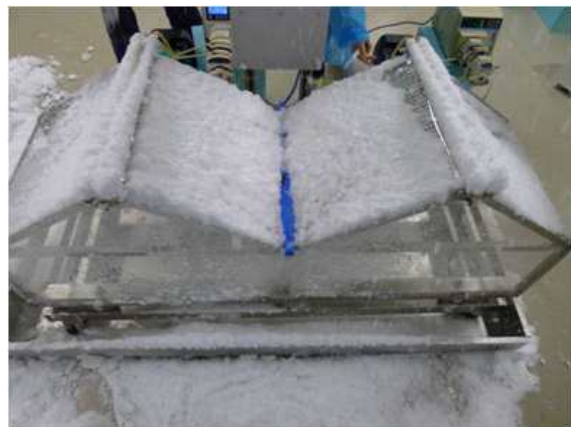


[표 50] 제설제 적정유량 설정 실험조건

Lab-scale 온실 적설 조건					
적설무게	적설시간	적설높이	적설부피	적설하중	총무게
kg	min	cm	m <sup>3</sup>	kg/m <sup>2</sup> · cm	kg
0.75	10	2	0.15	2.13	3.1875
제설제 분사 배관 사양					
재질	수량	분사노즐간격	노즐구경		
	ea	mm	mm		
PVC	4	16	0.5		
제설제 분사 조건					
유량 (ml/min)	분사방식		초기분사시점		
100 (0.31 L/m <sup>2</sup> · cm)	연속분사		최대적설 시		
180 (0.5 L/m <sup>2</sup> · cm)	연속분사		최대적설 시		



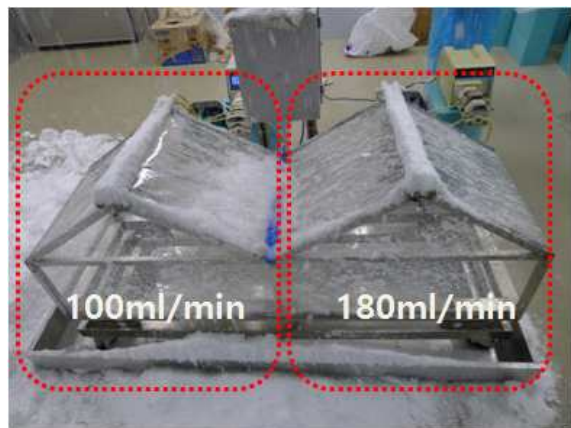
적설 (10 min)



적설 및 제설 (15 min)



적설 및 제설 (20 min)



적설 및 제설 (30 min)

[그림 220] 제설제 유량 설정 실험(좌)유량 100 ml/min (우) 180 ml/min



### (3) 곡부 제설

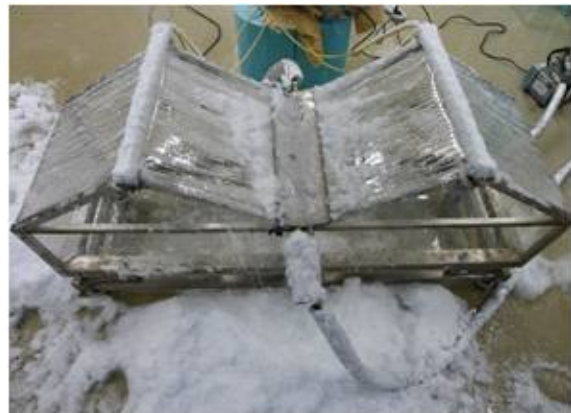
연동온실의 경우 폭설에 의해 온실붕괴, 파손 등의 피해를 줄이기 위해서는 곡부의 제설이 특히 중요하다. 연동온실은 상부의 눈을 제설하더라도 곡부로 흘러내려 쌓이게 되면 곡부의 단위 면적당 적설하중은 지붕의 단위 면적당 적설하중의 2배에 해당하는 눈이 쌓이게 된다. 따라서 연동온실의 경우에는 곡부의 제설이 매우 중요한 요인이다. 이에 본 연구에서는 곡부에 눈을 녹일 수 있는 열풍과 열선 두 가지 방법으로 제설실험을 비교평가 하였다.

실험실 규모의 실험에서는 배관의 형상을 구현하기에 어려움이 있어 배관과 유사한 면적으로 열풍공급배관을 제작하여 곡부에 열풍이 고르게 전달되도록 하였다. 열풍은 히터를 이용하여 0~399℃까지 입력온도를 조절 가능하고 설정한 열풍온도에 맞추어 출력열풍이 자동 조절되도록 하였으며, 히터 출력열풍과 배관을 통해 온실곡부에 전달된 열풍온도를 실시간 모니터링 할 수 있도록 하였다.

열선은 전기에 의해 열을 발생시키므로 설비가 간편하고, 설비하중이 작으므로 온실의 설비하중에 무리를 주지 않기 때문에 열풍효율과 비교평가 하고자 하였다. 열선 또한 온실 곡부의 열선 온도를 실시간 모니터링 가능하도록 하였다. 온실 곡부에서 열선과 열풍의 온도는 25~30℃로 동일한 조건을 유지하였다.



열선 제설효과



열풍 제설효과

[그림 221] 곡부 제설 비교 실험 (좌)열선 (우)열풍

제설제를 사용하여 상부의 눈을 제설하고 각각 열선과 열풍을 이용하여 곡부의 제설효과를 비교평가 하였다. 열선을 사용한 경우에는 제설제를 뿌린 온실 천장상부만 눈이 제설되었으며, 눈과 직접적으로 접촉되는 열선부분만 눈이 녹는 것을 확인하였다. 따라서 곡부의 극히 적은 열선면적만 제설이 되므로 열선에 의한 제설효과는 미미한 것으로 판단되었다. 그에 비해 열풍은 가열된 공기에 의해 곡부의 넓은 면적이 제설이 되었으며 곡부쪽 눈이 녹아서 상부의 눈이 자연스럽게 눈이 녹은쪽으로 흘러내려 열풍에 의해 추가 제설이 됨을 확인하였다.

#### 나. 자동제설장치 성능평가

##### (1) 적설율에 따른 제설 성능평가

비닐온실은 폭설시 최대적설심 이상이 되면 온실붕괴와 같은 피해가 발생되기 때문에 최대적

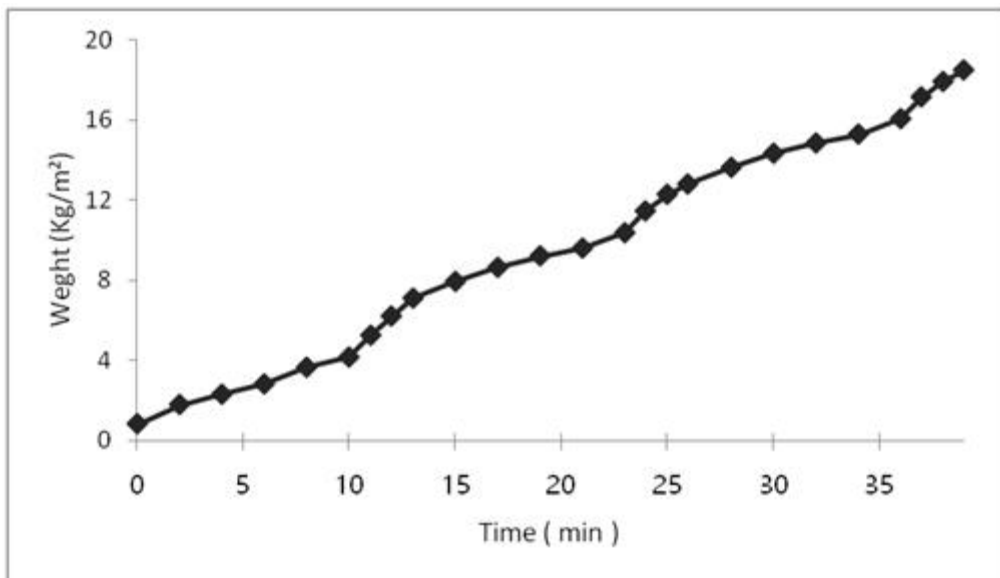
설심이 되기 전에 제설작업이 매우 중요하다. 따라서 최대적설심이 되기 전에 적설율에 따른 제설 성능을 평가하였다. 안전율을 고려하여 적설율은 최대적설심 대비 각각 70%와 50%로 비교평가 하였으며 제설제의 유량은 150 ml/min 조건으로 1 cycle에 3분씩 동일하며 실험조건은 아래와 같다.

[표 51] 적설율에 따른 제설 효율평가 실험조건

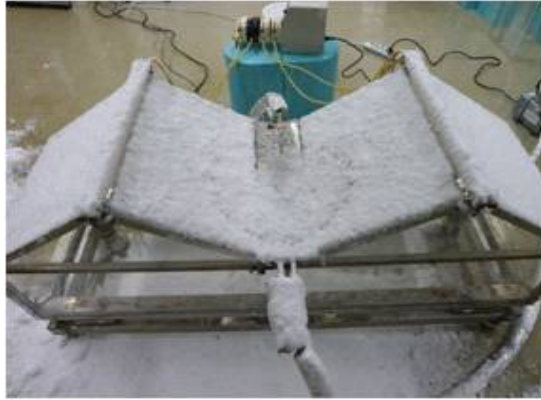
항 목	단 위	실험 1	실험 2	실험 3
적설율1)	%	100	70	50
제설제 유량	ml/min	150	150	150
적설시간	min/cycle	10	7	5
제설시간	min/cycle	3	3	3
제설 Cycle	회	3	3	4
열풍 온도	℃	25±2	25±2	25±2

1) 적설율 : 최대적설심 대비 눈의 무게 비율

적설율 100 % 즉, 최대적설심에 도달하였을 때 제설을 시작한 경우 단위면적당 무게가 3 cycle 실험결과 1 cycle이 지났을 때 최대하중인 4.26 kg/m<sup>2</sup> 이상에 도달하였으며 단위면적당 무게는 계속 증가함을 확인하였다.



[그림 222] 적설율에 따른 단위면적당 하중 (적설율 100%)



1 Cycle (좌)적설 (우)제설

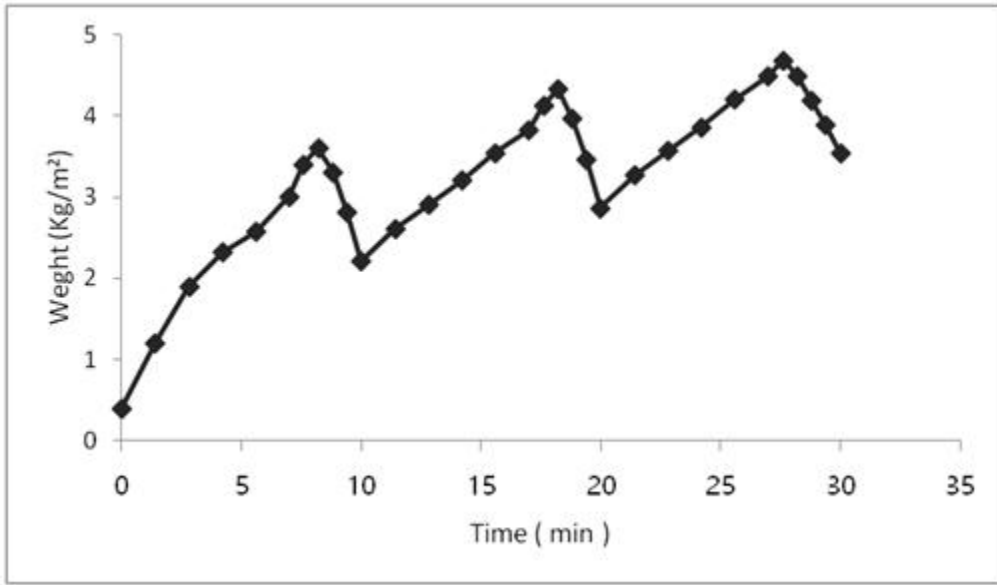


3 Cycle (좌)적설 (우)제설

[그림 223] 적설율 100%일 때 제설실험 결과

적설율 70 %와 50 % 일 때 최대적설심 일 때와 동일조건으로 실험을 수행한 결과 적설율 70%일 때 온실지붕 1/2정도 제설이 됨을 정성적으로 확인하였으며 단위면적당 무게변화를 확인하였을 때 2 cycle 적설-제설을 반복하였을 때 최대적설심 이하의 무게로 온실의 구조안정성기준에 만족하였다. 그러나 3 cycle 실험하였을 경우 단위면적당 무게가 최대적설심 이상이 되어 구조안정성 기준을 초과하였다.

적설율 50 %일 경우에는 적설율 70 %일 경우와 동일한 시간으로 제설제 유량 150 ml/min일 때 4 cycle 실험을 수행하였다. 4 cycle 적설과 제설을 반복하였을 때 최대적설무게는 3.12 kg/m<sup>2</sup> 으로 최대적설심인 4.26 kg/m<sup>2</sup> 을 안정적으로 만족하였다. 또한 정성평가로서 온실 지붕의 제설상태를 확인해보았을 때 지붕 하부 쪽 일부만 눈이 남아있고 대부분 제설이 되었음을 확인하였다.



[그림 224] 적설율에 따른 단위면적당 하중 (적설율 70%)



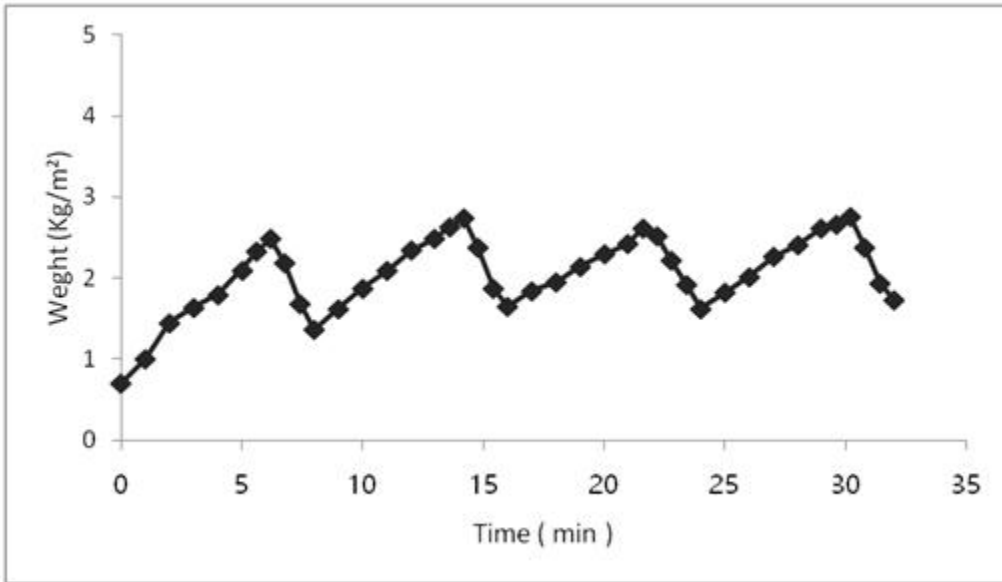
1 Cycle (좌)적설 (우)제설



3 Cycle (좌)적설 (우)제설

[그림 225] 적설율 70%일 때 제설실험결과





[그림 226] 적설율에 따른 단위면적당 하중 (적설율 50%)



1 Cycle (좌)적설 (우)제설



4 Cycle (좌)적설 (우)제설

[그림 227] 적설율 50%일 때 제설실험 결과



## (2) 유량 최적화 및 성능평가

앞서 운전인자 도출을 위한 실험을 통해 제설제를 연속 분사할 경우 적정 운전유량을 180 ml/min으로 설정하였다. 그러나 눈이 오는 동안 연속적으로 제설을 실시하였기 때문에 제설제에 대한 제설 효과를 확인하였으며 제설제 용량 산정에 대한 유량 최적화 실험이 필요하다. 따라서 적설을 70%와 50%일 때 각각 유량 150, 170 ml/min으로 제설시간은 cycle 당 제설 성능을 비교평가 하였다.

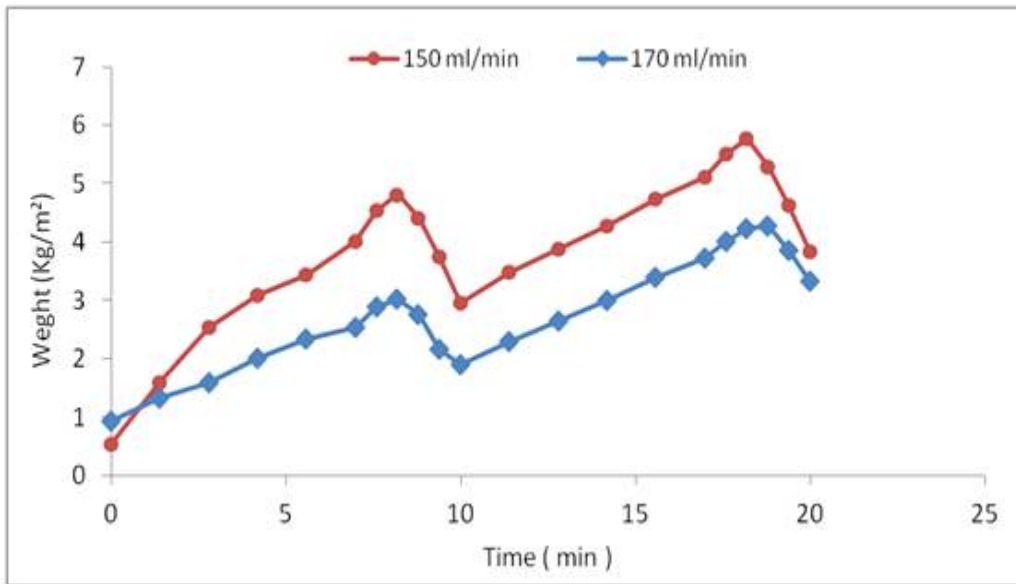
[표 52] 제설제 유량 최적화 실험 조건

	적설율 <sup>1)</sup>	제설제 유량	적설시간	제설시간	제설 Cycle	열풍 온도
	%	ml/min	min/cycle	min/cycle	회	℃
실험 1	70	170	7	3	2	25±2
실험 2		150	7			
실험 3	50	170	5			
실험 4		150	5			

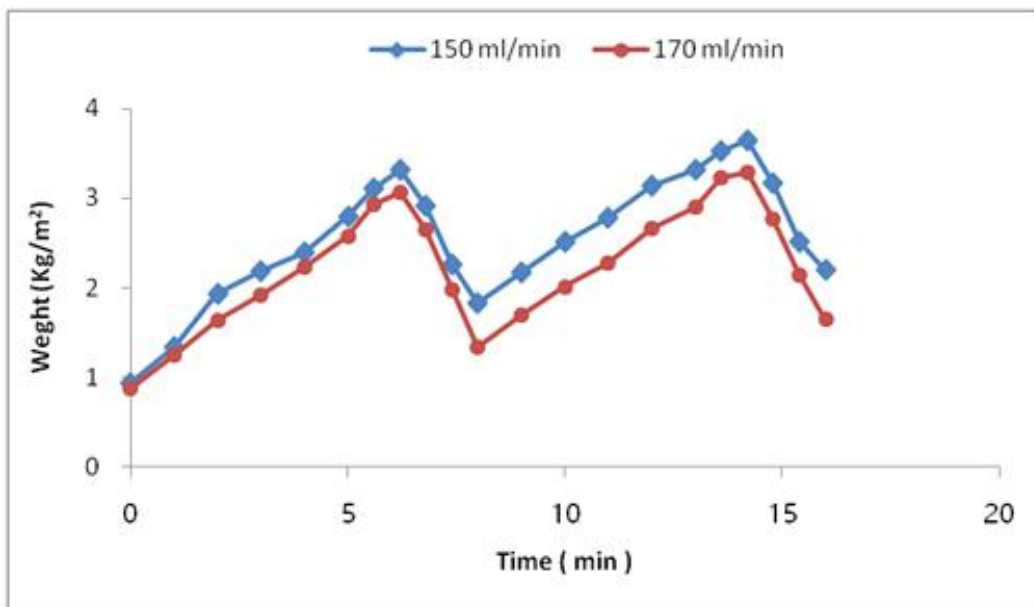
적설을 70% 일 때 유량 150 ml/min, 170 ml/min 두 경우 모두 제설효과가 우수한 것으로 정성적 평가(사진)되었다. 그러나 단위면적당 무게를 확인해 보면 1 cycle에서는 유량 150 ml/min일 때 최대 적설하중을 초과하였으며 2 cycle 에서는 유량 150, 170 ml/min 모두 최대 적설하중을 초과하였으며 이는 적설을 70%일 때 적설 속도가 제설 속도보다 크기 때문으로 판단된다.

적설을 50% 일 때 유량 150 ml/min, 170 ml/min 두 경우 모두 제설효과가 우수한 것으로 정성적 평가(사진)되었으며 2 cycle 실험 시 두 경우 모두 최대 적설하중을 넘지 않고 최대 적설하중의 75~80% 수준을 유지하였다.

적설율과 유량에 대한 성능평가를 실시한 결과, 안전율과 제설액 사용량을 고려하여 적설을 50%일 때 제설작업을 수행하는 것이 효과적인 것으로 판단되며 제설제 유량은 150 ml/min 일 때가 적합하였다.



[그림 228] 적설을 70%일 때 유량에 따른 단위면적당 하중



[그림 229] 적설을 5%일 때 유량에 따른 단위면적당 하중

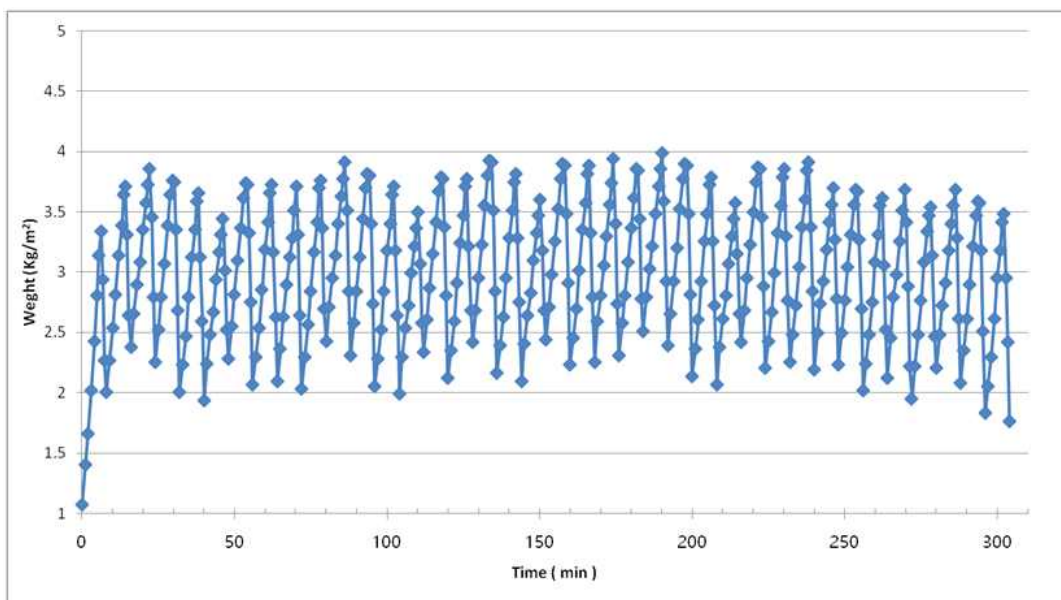
### (3) 장시간 성능평가

지속적인 폭설 시 비닐온실의 구조안정성을 확인하기 위하여 자동제설장치의 장시간 성능평가를 실시하였다. 최대적설하중을 기준으로 적설율 50%일 때 제설을 반복적으로 실시하였으며 5시간동안 지속적인 폭설이 내릴 경우를 모사하여 인공강설을 유지하였고 제설 cycle은 총 38 회로 반복운전 하였다.

[표 53] 장시간(5hr) 제설성능평가 실험조건

적설율 <sup>1)</sup>	제설제 유량	적설시간	제설시간	제설 Cycle	열풍 온도
%	ml/min	min/cycle	min/cycle	회	℃
50	150	5	3	38	25±2

38 cycle(5 hr)동안 비닐온실 지붕이 단위면적당 받는 하중은 최대 3.8 kg/m<sup>2</sup>으로 최대적설하중의 80% 수준을 유지하였다. 또한 30 cycle 이후에는 단위면적당 하중이 최대적설하중의 약 58~65 % 수준으로 감소하는 경향을 나타내어 안정적인 제설 성능을 확인하였다.



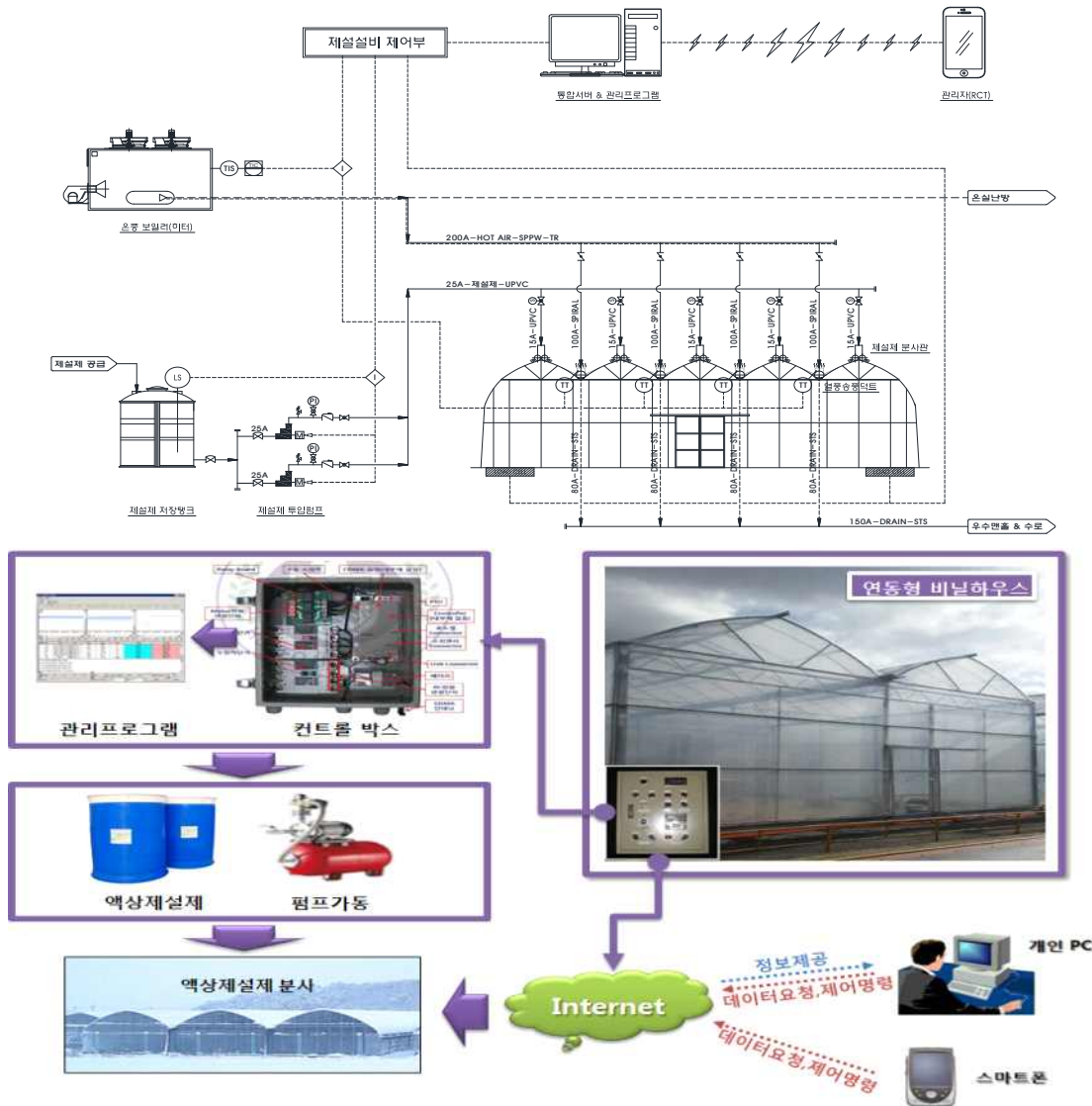
[그림 230] 장시간 연속운전에 따른 단위면적당 하중 (5hr 운전)

## 4. IoT 기반 스마트 자동제설장치 실시설계

### 가. IoT 기반 스마트 자동제설장치 구성

본 그림은 현지 내재해형 광폭 온실에 적용하기 위한 IoT 기반 스마트 자동제설장치에 대한 구성도를 나타낸 것이다. 본 제설장치는 강설 시에 적설에 의한 온실에 하중센서에 대한 정보와 현지 기상 정보를 기반으로 사용자가 설정 하중에 의해 제설장치가 자동으로 가동되도록 시스템을 구성하였다. 본 장치는 1, 2차년도 연구와 실험실 규모의 제설장치에서 얻어진 설계

자료를 기반으로 IoT 기술을 접목한 환경센서를 활용하여 환경변화를 감지하고 자동제어 및 원격제어가 가능한 스마트 자동제설을 위한 IoT기반 제어시스템을 탑재한 본 데모온실의 규모를 고려하여 실 규모로 설계되었다. 자동제설장치에 실시설계관련하여 부록에 실시설계도서(보고서, 도면, 용량계산서, 시방서, 내역서)에서 상세히 기술하였다.



[그림 231] IoT 기반 스마트 자동제설장치 계통도

## 5절. 현지 온실 운영/관리 및 사업화

### 1. 현지영농법인(Adulkhami Agro) 온실 시공/운영 협약

본 연구는 우즈베키스탄 현지 영농법인과 협력하여 수출용 온실을 현지에 직접 시공하여 운영관리를 통해 성능을 검증하는 것으로 이에 대해 협력기관간의 유기적인 역할 및 업무 협조가 중요함으로 이를 삼자계약을 통해 협력 방안을 문서화하였다.

- 계약서에는 기관별 역할과 온실 자재 제작 및 시공에 관련된 비용관련하여 현지영농법인에서 총 공사비에 25%를 매칭하는 것으로 협의하였고, 이를 계약서에 명기하였다. 이에 대한 구체적인 내용은 계약서에 상세 기술하였다.[참고 : 부록 1-온실 시공 및 업무 제휴 계약서]

아둘카하미 아그로(Adulkhami Agro)사와 온실에 대한 시공 재배 작물과 운영에 관한 제반 협의를 수행한 결과는 하기와 같다.

- 현지 온실 1차분 시공관련한 문제점으로 현지 업체의 준비 부족과 증장비 지원 미흡에 따른 예상 공기에 비해 지연되는 문제가 발생하였고, 3차년도 온실 시공 시에는 시공 경험있는 현장 직원들에 시공 참여로 향후 2차 온실 시공 시에 공기 단축 가능하다.
- 온실 자재의 현지에서 관세 부가 등에 현지사의 대응 미흡에 따른 현지 사에서 불필요한 비용의 지출이 발생하였다고 하여 향후 온실자재에 대한 무관세를 위한 관련 서류의 국내 준비 요청으로 이에 대한 대책 마련(HS 코드변경, IOVICE 금액 조정)이 필요하다.
- 3차년도 온실 시공(내부스크린, 전기설비, 난방배관, 재배설비 등)관련 일정 및 재배작물에 대해 협의하고 본 과제의 연구 일정과 연구비 지급 일정에 맞춰 업무 진행을 위한 협의로 2차 온실 시공관련 일정은 10월 시공을 기준으로 준비하는 것으로 잠정 협의하였다.
- 온실 재배 작물은 딸기로 결정하였으며 국내 고유 품종 또는 우즈베키스탄에서 재배되는 다른 딸기 품종을 현지 업체에서 검토하여 선정하고 이에 대한 정보는 참여기업인 그린플러스에서 제공하며, 딸기 재배 시에 작물 생산량, 재배설비의 운영관리 및 소요비용, 딸기 재배 시에 현지 재배 담당자의 국내 재배 교육과 연계하는 방안 검토 중에 있다.

## 2. 10,000 m<sup>2</sup> 규모 신규 온실 사업화

본 그림은 우즈베키스탄 현지 데모 온실에 운영 중인 온실에서 딸기를 재배하고 있는 운영 현황을 나타낸 것이다. 앞에서 언급한 바와 같이 현지 온실의 딸기 재배를 위하여 계약서에 준하여 참여기업인 그린플러스에서 딸기 재배에 대한 자료를 제공하였다. 이를 통해 온실 재배에 적용된 딸기는 우즈베키스탄 현지 업체에서 조달한 것으로 딸기 재배에 따른 작물 생산량, 온실에 운영관리 및 소요비용에 대해서는 향후 현지 업체에서 기록한 데이터를 기반으로 온실에 대한 운영 경제성을 검토하고자 한다. 현재 딸기는 코코피트 기반에 배지에 사진에 보는 바와 같이 고설재배사에서 양액 공급을 통해 재배되고 있다.





[그림 232] 현지 온실 운영 현황

### 3. 현지 온실 신규 사업화

본 연구에서는 우즈벡 타슈켄트에 있는 1,000 m<sup>2</sup> 규모의 데모온실의 성능이 보증되어 현지의 사브카보틀라리사에는 우즈벡 사마르칸트에 10,000 m<sup>2</sup> 규모에 신규 온실을 본 과제의 참여기업인 (주)그린플러스에 수주함으로써 우즈벡 온실 신규 시장에 대한 교두보를 확보하고 사업화를 추진하고 있다. 하기에 시공 중인 신규 온실은 12월 중순에 완공을 목표로 현재 온실 공사 진척이 30%정도 진행되었다.

#### 가. 10,000 m<sup>2</sup> 규모 신규 온실 시공

##### (1) 부지조성 및 기초 공사

하기 그림은 설계 완료된 온실을 현지에 적용하기 위하여 부지 조성 및 콘크리트 기초 공사를 수행한 것이다. 부지 측량을 통해 온실 시공 부지를 정확하게 표시하고 온실 부지에 대한 평탄화 작업을 수행하였다. 현지 부지 조성은 현지업체에서 국내 온실 슈퍼바이저가 현지에 도착하기 전에 자체적으로 완료하였으며, 온실에 구조적 안정성과 시공성을 향상시키기 위해 기초 공사는 콘크리트 기초를 적용 하였다.



[그림 233] 온실 부지조성 및 기초 공사

## (2) 온실 주기둥 시공

본 그림은 온실 주기둥을 시공하고 있는 것으로 온실 주기둥은 설계된 연동 온실의 구조적 안정성을 확보하기 위하여 콘크리트 기초상부에 빠른 시공을 위해 볼트 체결을 통해 주기둥이 시공되고 있다. 또한 주기둥과 주기둥간에 간격은 2span 온실로 폭이 7.7 m이고 시공에 적용된 주기둥 규격은 □ 125×75×t3.2 mm의 사각 파이프로 측고 5 m, 동고 6.14 m로 시공하였다. 또한 온실 규모가 10,000 m<sup>2</sup>로 크므로 인해 온실을 구획화하여 구획별로 공사로 진행되도록 하였다.



[그림 234] 온실 주기둥 시공



### (3) 온실 지붕서까래 시공

온실 서까래는 아연도금된 강관을 적용하였으며 국내에서 설계에 맞춰 제작 가공되어 현지에서 시공되는 것을 나타내고 있다. 서까래 간격은 온실 피복재의 두께 및 내구성에 따라 결정되는데 이를 위해 2차년도에 개발되어 기술 이전한 서까래 설계 프로그램을 통해 계산된 값을 설계에 반영하여 서까래 규격과 간격을 온실에 적용하였다.



[그림 235] 온실 지붕서까래 시공

## 6절. 연구개발성과

### 1. 과학적 성과

#### 가. 논문개재

No	논문명	학술지명	주저자명	호	국명	발행 기관	SCI여부 (SCI/비SCI)	게재일
1	Supporting Keyword Search for Image Retrieval with Integration of Probabilistic Annotation	Sustainability	Tie Hua Zhou	7	스위스	MDPI	SCI	2015
2	Application of Gap-Constraints Given Sequential Frequent Pattern Mining for Protein Function Prediction	Osong Public Health Research Perspectives	박현아	2	한국	Elsevier	비SCI	2015
3	A SOM clustering pattern sequence-based next symbol prediction method for day-ahead direct electricity load and price forecasting	Energy Conversion and Management	김성호	90	영국	Elsevier	SCI	2015
4	A New Ensemble Method with Feature Space Partitioning for High-Dimensional Data Classification	Mathematical Problems in Engineering	박영준	2015	이집트	Hindawi	SCI	2015
5	Proposal reviewer recommendation system based on big data for a national research management institute	Journal of Information Science	손호선	2016	미국	SAGE	SCI	2016
6	Investigation into the Internal Flow and Temperature Characteristics for Greenhouse Ventilation Patterns using Computational Analysis	International Journal of Engineering Research and Applications	허덕재	7	인도	DOAJ	비SCI	2017
7	단동 온실 천창 형태 변화에 따른 환기성능 분석	Journal of Korean Society Environmental Technology	송형운	18	한국	한국환경기술학회	비SCI	2017

8	도계 폐기물의 열가수분해 반응에 따른 열전달 특성 연구	Journal of the Korea Organic Resources Recycling Association	송형운	23(4)	한국	한국유기성자원학회	비SCI	2015
9	Fatigue Analysis of Greenhouse Structure under Wind Load and Self-weight	Applied sciences	허덕재		루마니아	MDPI	SCI	2017 (심사중)
10	Evaluation of Stress Distribution with Wind Speed in a Greenhouse Structure	Scientia Agricola	허덕재		브라질	Esalq	SCI	2017 (심사중)

#### 나. 국내·외 학술발표

No	회의명칭	발표자	발표일시	장소	국명
1	방풍파이프 각도 변화에 따른 온실의 풍력계수 연구 (한국농업기계학회)	김승현	2015.04.30	전주 (농촌진흥청)	대한민국
2	공기순환팬 최적화를 위한 온실내 유동 수치모델링 (한국농업기계학회)	송형운	2015.04.30	전주 (농촌진흥청)	대한민국
3	풍·설해 최소화를 위한 원예시설의 구조 해석 (한국원예학회)	정희숙	2015.05.22	전주 (농촌진흥청)	대한민국
4	부속도 실험을 통한 가축분뇨 호기성 액비의 시설원에 적용성평가(한국원예학회)	정희숙	2015.05.22	전주 (농촌진흥청)	대한민국
5	Biomedical Text Mining: An Overview and An Exemplary Application (ICICTS 2015)	류근호	2015.01.21	방콕	태국 (ICICTS 2015)
6	Efficient RA-Hashed Structure for Approximate Similarity Search (World IT Congress 2015)	주철화	2015.02.24	제주	한국 (World IT Congress 2015)
7	Ensemble Feature Selection of microRNAs and Human Cancer Classification (SERA 2015)	박명호	2015.06.30.	Las Vegas	미국 (ICIS 2015)
8	A study on feature vectors of heart rate variability and image of carotid for cardiovascular disease diagnosis (ICISCA2015)	김형수	2015.06.21	Putrajaya	말레이시아 (ICISCA2015)
9	Mining Causal Relations from Time-Point-Based Event Data	박명호	2015.07.21	Jilin	중국 (FITAT 2015)
10	Study on Correlation of Fruit Yields and Climate Factors	우종선	2015.07.21	Jilin	중국 (FITAT 2015)
11	The Characteristic of Liquid Fertilizer of Anaerobic Digestion Wastewater by Aeration and Solid-liquid Separation (ICCBE2015)	정희숙	2015.07.22	파리 (파리8대학)	프랑스



12	Optimal Design and Synthesis Gas Production of Plasma reformer by Numerical Modeling and Experimental Study (ICCBE2015)	송형운	2015.07.22	파리 (파리8대학)	프랑스
13	Numerical modeling of wastewater flow characteristics in Membrane bioreactor and electrochemical reactor (ICCBE2015)	송형운	2015.07.22	파리 (파리8대학)	프랑스
14	Numerical Modeling and Experimental Study for Optimal Design of Thermal Hydrolysis Reactor (ICCBE2015)	송형운	2015.07.22	파리 (파리8대학)	프랑스
15	Prediction of Temperature, Relative Humidity and Carbon Dioxide Concentration in Greenhouse Using Multiple Regression Models (TSDAA2015)	부옥	2015.11.17	요코하마 (Keio University)	일본
16	과실 생산량과 기상 요소간의 연관분석 마이닝 (한국컴퓨터정보학회)	우종선	2016.01.14	광주여자대학교	한국
17	Comparison of classification algorithms for the fruit yields (The 9th FITAT)	우종선	2016.03.30	United International College, Zhuhai	중국
18	Multiple Regression Analysis of Climatic Factors in Greenhouse Using Data Partitioning( The 10th International Conference on Multimedia and Ubiquitous Engineering)	부옥	2016.04.21	베이징	중국
19	비닐온실의 풍하중에 대한 구조설계 안정성 분석에 대한 해석	이현주	2016.04.29	전주 (농촌진흥청)	한국
20	비닐온실의 적설하중에 대한 안정성 분석에 대한 해석적 연구	이현주	2016.04.29	전주 (농촌진흥청)	한국
21	액상제설제를 이용한 온실 제설장치 운전 최적화	정희숙	2016.11.03	천안 (상록리조트)	한국
22	연동온실 자동제설장치 성능평가	정희숙	2016.11.03	천안 (상록리조트)	한국
23	온실내부온도 및 환기특성에 대한 열-유동 해석	정석환	2016.11.03	천안 (상록리조트)	한국
24	비닐온실의 구조적 안정성 향상을 위한 해석적 연구	이현주	2016.11.03	천안 (상록리조트)	한국
25	온실 천창 구조에 의한 환기 특성 모델링	오두영	2017.04.20	제주 국제대학교	한국
26	입형 농축기내 폐수 내부유동 모델링	송형운	2017.04.20	제주 국제대학교	한국
27	사이클론집진기 설계 최적화를 위한 수치모델링	송형운	2017.04.20	제주 국제대학교	한국

## 2. 기술적 성과

### 가. 지적재산권

No	지식재산권 등 명칭 (건별 각각 기재)	국 명	출원			등록			기여율
			출원인	출원일	출원번호	등록인	등록일	등록번호	
1	온실 자동 제설 장치 및 제설 방법	대한민국	고등기술연구원 연구조합	2015.07.10	10-2015-0098083				100%
2	비닐온실 방풍파이프 최적화 소프트웨어 (프로그램)	대한민국				고등기술연구원 연구조합	2016.01.13	110171-0008240	100%
3	온실용 에어 커튼 장치 및 방법	대한민국	고등기술연구원	2016.07.22	10-2016-0093114				100%
4	온실 환경 제어 시스템 및 방법	대한민국	고등기술연구원	2017.08.28	10-2017-0108626				100%

공개특허 10-2017-009824

<p>(19) 대한민국특허청(KR) (12) 공개특허공보(A)</p> <p>(51) 국제특허분류(Int. Cl.) A01G 2/36 (2006.01) A01G 8/24 (2006.01) E21C 1/00 (2006.01) A01G 2/05 (2013.01) A01G 8/24 (2013.01)</p> <p>(21) 출원번호 10-2017-009824 (22) 출원일자 2017년07월18일 특허청 접수일자 2017년07월11일</p>	<p>(11) 공개번호 10-2017-009824 (43) 공개일자 2017년01월18일</p> <p>(71) 출원인 고등기술연구원 연구조합 경기도 용인시 처인구 백안면 교안로51번길 175-28</p> <p>(72) 발명자 송형준 경기도 용인시 처인구 중부대로 1144, 105동 404호 (신기동, 신우아파트)</p> <p>(73) 특허소속 경기도 용인시 처인구 동부25번길 90-1, 301호 (아래동)</p> <p>(74) 대리인 박태영앤에이치씨</p>
--	---

전체 청구항 수 : 총 6항

(54) 발명의 명칭 **온실 자동 제설 장치 및 제설 방법**

(57) 요약

본 발명은 온실 자동 제설 장치 및 제설 방법에 관한 것으로, 온실의 천라상을 감지하여 천관형 백상 제설채를 작동하고 온실 천통 작부에 음반이 일체형 열풍 배관을 설치함으로써, 기상적인 폭설로 인한 연동온실의 무리를 방지하기 위한 온실 자동 제설 장치 및 방법에 관한 것이다.

본 발명에 따르면, 온실을 제설하기 위한 장치가 있어서, 상기 온실에 설치되어 천라상을 감지하는 센서, 상기 온실 상부에 풍인 등을 제공하는 제 1 제설부, 상기 온실의 연동 작부에 풍인 등을 제공하는 제 2 제설부, 및 상기 센서에 의해 감지된 정보에 따라 상기 제 1 제설부 또는 상기 제 2 제설부 중 적어도 하나를 작동시키는 제어부를 포함하는 온실 자동 제설 장치를 제공한다.

**도 1** - 5

제 C-2016-001047 호

사본

프로그램 등록증

1. 프로그램 제호 비닐온실 방풍파이프 최적화 소프트웨어 (명칭)
2. 저자와 성명 (법인명) 고등기술연구원 연구조합, 경기도 용인시 처인구 교안로51번길 (법인등록번호) 110171-0008240
3. 생성일 2016년 01월 14일
4. 창작연월일 2015년 12월 14일
5. 발표연월일 2015년 12월 18일
6. 등록사항 저자 : 고등기술연구원 연구조합, 일자 : 2015.12.14, 용료 : 2015.12.18
7. 등록연월일 2016년 01월 13일

『저작권법』 제53조에 따라 위와 같이 등록되었음을 증명합니다.

2016년 01월 14일

한국저작권위원회

<p>관인생략</p> <p><b>출원번호통지서</b></p> <p>출원일자 2016.07.22          특기사항 심사청구(무) 공개신청(무) 참조번호(P160819)          출원번호 10-2016-0093114 (접수번호 1-1-2016-0712762-73)          출원인명칭 고등기술연구원조합(3-1999-902343-9)          대리인성명 특허법인에이아이피(9-2009-100021-4)          발명자성명 송형운 정희숙 이현주          발명의명칭 온실용 에어 커튼 장치 및 방법</p> <p><b>특 허 청 장</b></p> <p>&lt;&lt; 안내 &gt;&gt;</p> <p>1. 귀하의 출원은 위와 같이 정상적으로 접수되었으며, 이후의 심사 진행상황은 출원번호를 통해 확인하실 수 있습니다.          2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 동봉된 납입영수증에 성명, 납부자번호 등을 기재하여 가까운 우체국 또는 은행에 납부하여야 합니다.          ※ 납부자번호 : 0131(기라코드) + 접수번호          3. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 [출원인코드 정보변경(경정), 정정신고서]를 제출하여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다.          ※ 특허포(patent.go.kr) 접속 &gt; 민원서비스다운로드 &gt; 특허법 시행규칙 별지 제5호 서식          4. 특허(실용신안등록)출원은 명세서 또는 도면의 보장이 필요한 경우, 등록결정 이전 또는 의견서 제출기간 이내에 출원서에 최초로 첨부된 명세서 또는 도면에 기재된 사항의 범위 안에서 보정할 수 있습니다.          5. 외국으로 출원하고자 하는 경우 PCT 제도(특허·실용신안)나 마드리드 제도(상표)를 이용할 수 있습니다. 국내출원일을 외국에서 인정받고자 하는 경우에는 국내출원일로부터 일정한 기간 내에 외국에 출원하여야 우선권을 인정받을 수 있습니다.          ※ 제도 안내 : <a href="http://www.kipo.go.kr">http://www.kipo.go.kr</a>-특허마당-PCT/마드리드          ※ 우선권 인정기간 : 특허·실용신안은 12개월, 상표·디자인은 6개월 이내          ※ 미국특허상표청의 선출원일 기준으로 우리나라에 우선권주장출원 시, 선출원이 미국개상태이면, 우선일로부터 16개월 이내에 미국특허상표청에 [전자적교환허가서(PTOSB/39)]를 제출하거나 우리나라에 우선권 증명서류를 제출하여야 합니다.</p>	<p>관인생략</p> <p><b>출원번호통지서</b></p> <p>출원일자 2017.08.28          특기사항 심사청구(유) 공개신청(무) 참조번호(P170381)          출원번호 10-2017-0108626 (접수번호 1-1-2017-0830347-18)          출원인명칭 고등기술연구원조합(3-1999-902343-9)          대리인성명 특허법인에이아이피(9-2009-100021-4)          발명자성명 허억재 이현주 김승현 권성열 송형운          발명의명칭 온실 환경 제어 시스템 및 방법</p> <p><b>특 허 청 장</b></p> <p>&lt;&lt; 안내 &gt;&gt;</p> <p>1. 귀하의 출원은 위와 같이 정상적으로 접수되었으며, 이후의 심사 진행상황은 출원번호를 통해 확인하실 수 있습니다.          2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 동봉된 납입영수증에 성명, 납부자번호 등을 기재하여 가까운 우체국 또는 은행에 납부하여야 합니다.          ※ 납부자번호 : 0131(기라코드) + 접수번호          3. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 [특허고격번호 정보변경(경정), 정정신고서]를 제출하여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다.          ※ 특허포(patent.go.kr) 접속 &gt; 민원서비스다운로드 &gt; 특허법 시행규칙 별지 제5호 서식          4. 특허(실용신안등록)출원은 명세서 또는 도면의 보장이 필요한 경우, 등록결정 이전 또는 의견서 제출기간 이내에 출원서에 최초로 첨부된 명세서 또는 도면에 기재된 사항의 범위 안에서 보정할 수 있습니다.          5. 외국으로 출원하고자 하는 경우 PCT 제도(특허·실용신안)나 마드리드 제도(상표)를 이용할 수 있습니다. 국내출원일을 외국에서 인정받고자 하는 경우에는 국내출원일로부터 일정한 기간 내에 외국에 출원하여야 우선권을 인정받을 수 있습니다.          ※ 제도 안내 : <a href="http://www.kipo.go.kr">http://www.kipo.go.kr</a>-특허마당-PCT/마드리드          ※ 우선권 인정기간 : 특허·실용신안은 12개월, 상표·디자인은 6개월 이내          ※ 미국특허상표청의 선출원일 기준으로 우리나라에 우선권주장출원 시, 선출원이 미국개상태이면, 우선일로부터 16개월 이내에 미국특허상표청에 [전자적교환허가서(PTOSB/39)]를 제출하거나 우리나라에 우선권 증명서류를 제출하여야 합니다.          6. 본 출원사실을 외부에 표시하고자 하는 경우에는 아래와 같이 하여야 하며, 이를 위반할 경우 관련법령에 따라 처벌을 받을 수 있습니다.          ※ 특허출원 10-2010-0000000, 상표등록출원 40-2010-0000000</p>
--	--

### 3. 경제적 성과

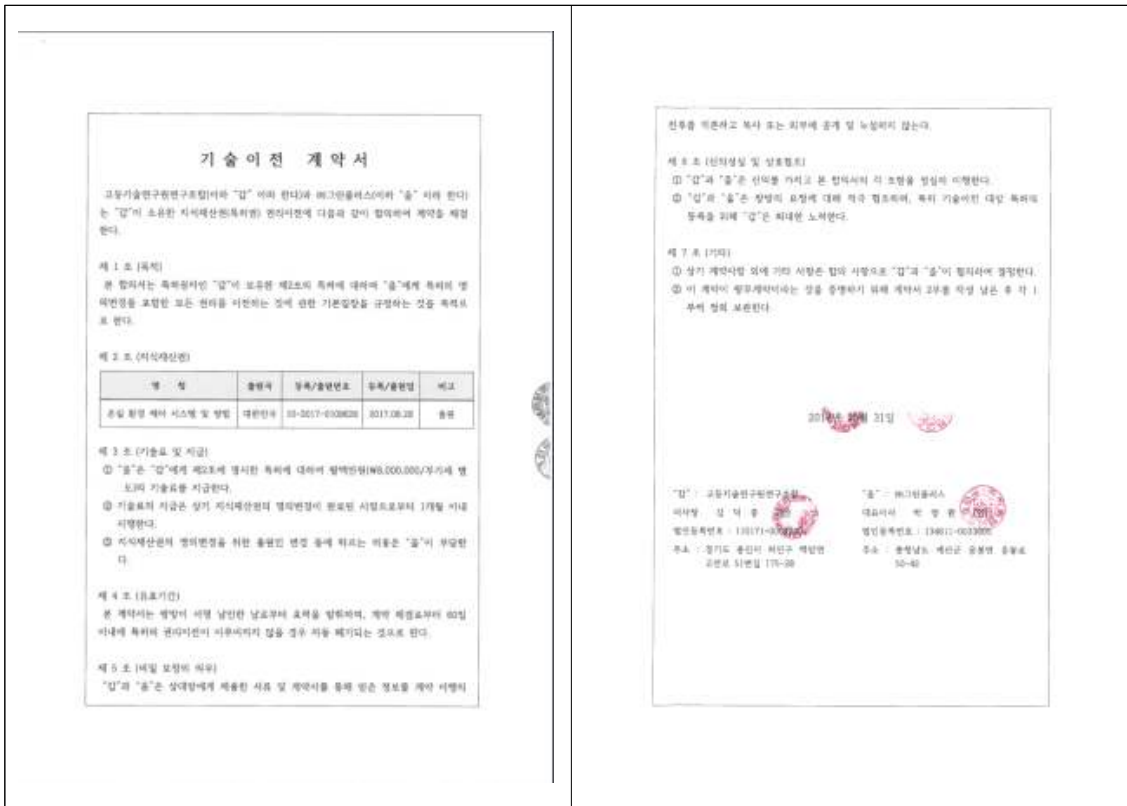
#### 가. 시작품 제작

No	시제품명	출시/제작일	제작업체명	설치장소	이용분야	사업화 소요기간
1	우즈백 현지 1,000m <sup>2</sup> 규모 내재해형 온실	2017	해광온실	우즈백 타쉬켄트	농작물재배	1년

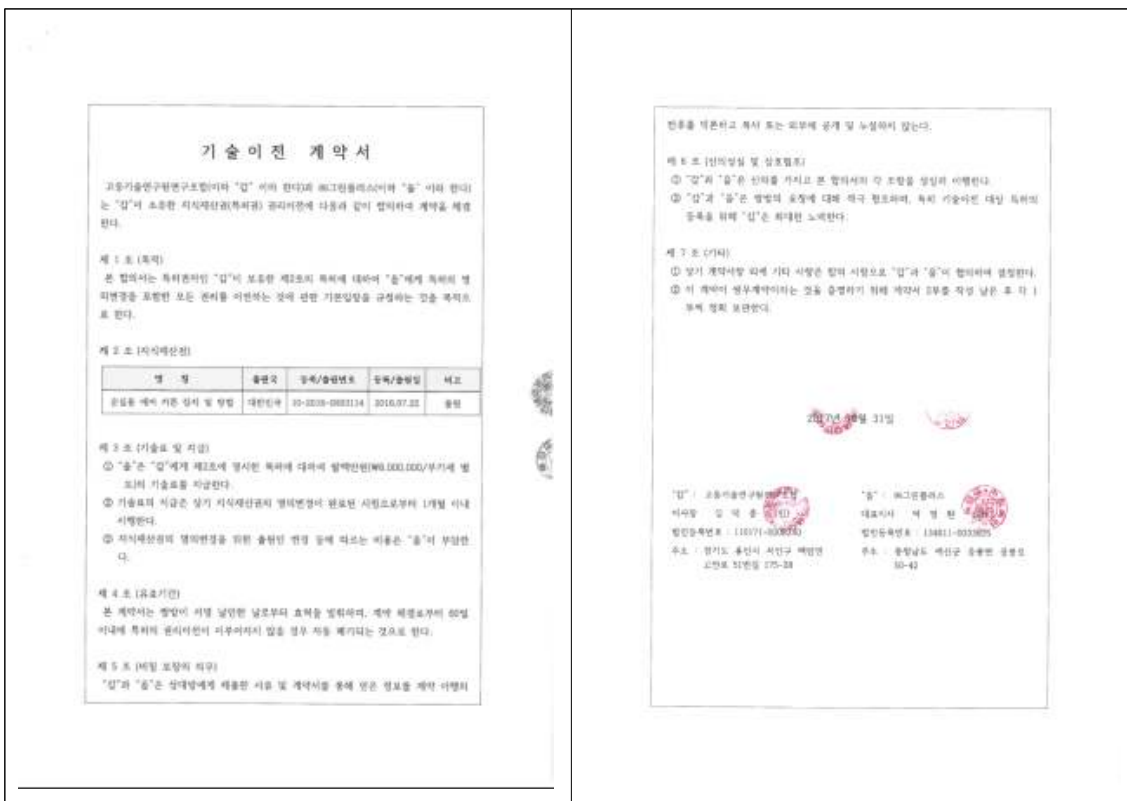
#### 나. 기술이전

No	기술이전 유형	기술실시계약명	기술실시 대상기관	기술실시 발생일자	기술료 (당해연도 발생액)	누적 징수현황
1	통상실시권	온실 환경 제어 시스템 및 방법	(주)그린플러스	2017.10.31	800만원	-
2	통상실시권	온실용 에어 커튼 장치 및 방법	(주)그린플러스	2017.10.31	800만원	-
3	통상실시권	비닐온실 방풍파이프 최적화 소프트웨어	(주)그린플러스	2017.10.31	400만원	-


• 온실 환경 제어 시스템 및 방법 기술이전 계약서



• 온실용 에어 커튼 장치 및 방법 기술이전 계약서



• 비닐온실 방풍파이프 최적화 소프트웨어 기술이전 계약서

<p style="text-align: center;"><b>기술이전 계약서</b></p> <p>고용기술연구개발연구진흥(이하 "갑"이라 한다)과 ㈜그린올리브(이하 "을"이라 한다)는 "갑"이 소유한 지식재산권(소프트웨어) 권리이전에 다음과 같이 합의하여 계약을 체결한다.</p> <p><b>제 1 조 (목적)</b> 본 합의서는 소프트웨어 등록권자인 "갑"이 보유한 제2조의 프로그램에 대하여 "을"에게 프로그램의 영리변환을 포함한 모든 권리를 이전하는 것에 관한 지식재산권을 규정하는 것을 목적으로 한다.</p> <p><b>제 2 조 (지식재산권)</b></p> <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>명칭</th> <th>출원국</th> <th>등록번호</th> <th>등록일</th> <th>비고</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>비닐온실 방풍파이프 최적화 소프트웨어</td> <td>대한민국</td> <td>110771-0000000</td> <td>2018.01.18</td> <td>등록</td> </tr> </tbody> </table> <p><b>제 3 조 (기술료 및 지급)</b> ① "을"은 "갑"에게 제2조에 명시한 특허에 대하여 시액당량(₩4,000,000/당사자 별도)의 기술료를 지급한다. ② 기술료의 지급은 상기 지식재산권의 영리변환이 완료된 시점으로부터 1개월 이내 시행한다. ③ 지식재산권의 영리변환을 위한 등록인 변경 등에 따르는 비용은 "을"이 부담한다.</p> <p><b>제 4 조 (유료기간)</b> 본 계약서는 계약이 시행 날인한 날로부터 효력을 발휘하며, 계약 체결로부터 60일 이내에 특허의 권리이전서 이루어지지 않을 경우 자동 해지되는 것으로 한다.</p> <p><b>제 5 조 (비밀 보장의 의무)</b> "갑"과 "을"은 상대방에게 제출한 서류 및 계약서를 통해 얻은 정보를 계약 이행시</p>	명칭	출원국	등록번호	등록일	비고	비닐온실 방풍파이프 최적화 소프트웨어	대한민국	110771-0000000	2018.01.18	등록	<p>관후를 직권하고 복사 또는 외부에 공개 및 누설하지 않는다.</p> <p><b>제 6 조 (권리양상 및 상호협력)</b> ① "갑"과 "을"은 신의를 가지고 본 합의서의 각 조항을 성실히 이행한다. ② "갑"과 "을"은 상방이 요청에 대해 적극 협조하며, 특히 기술이전 대상 특허의 등록을 위해 "갑"은 최대한 노력한다.</p> <p><b>제 7 조 (기타)</b> ① 상기 계약서상 외에 기타 사항은 합의 서면으로 "갑"과 "을"이 합의하여 결정한다. ② 이 계약이 영구제약하지는 것을 증명하기 위해 계약서 2부를 작성 날은 동 조 1 부씩 같이 보관한다.</p> <div style="text-align: center; margin: 20px 0;">  </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p>"갑" : 고용기술연구개발진흥 이사장 김 덕 중 법인등록번호 : 110771-0000000 주소 : 경기도 용인시 처인구 백암면 고인로 55번길 275-28</p> </div> <div style="width: 45%;"> <p>"을" : ㈜그린올리브 대표이사 박 명 민 법인등록번호 : 114011-0000025 주소 : 충청남도 계산군 용유면 공룡로 30-40</p> </div> </div>
명칭	출원국	등록번호	등록일	비고							
비닐온실 방풍파이프 최적화 소프트웨어	대한민국	110771-0000000	2018.01.18	등록							





#### 4. 사회적 성과

##### 가. 정책활용

No	구분	정책명	관련기관 (담당부서)	활용 년도	채택내용
1	제언	수출온실 산업화방안	농림축산식품부	2015	수출온실(우즈베키스탄)에 대한 진행 현황과 실제 과제 수행에 대한 애로사항을 제언하고 수출산업화를 추진하기 위한 정책적 지원내용에 대해 제언함
2	제언	온실경량화 기술	농림축산식품부	2015	연동온실 모델에 대한 대형화와 측고 증가에 따른 온실 자중이 커짐으로 이에 대한 구조 안정성에 대한 문제점이 제기되어 온실 경량화와 구조 안정성을 최적화하기 위한 기술적 방안에 대해 정책 제언함
3	제언	스마트 팜 수출기업 간담회	농림축산식품부	2017	수출온실에 대한 수출산업화 방안 제언

##### 나. 홍보실적

No	홍보유형	매체명	제목	일자
1	전시회	서울 랫츠런파크	2015 창조농생명과학대전	2015.07.14~17
2	박람회	킨텍스(KINTEX)	2015 첨단농업기술박람회(AATE 2015)	2015.11.18~21
3	박람회	경상북도 상주	2017 상주국제농기계박람회	2017.04.04~07
4	박람회	킨텍스(KINTEX)	2017 첨단농축산기자재전시회	2017.11.15~17

##### 다. 고용창출

No	소속	성명	직위	학위	연구담당분야
1	고등기술연구원	노정훈	선임연구원	박사	구조해석 및 시스템 제어
2	고등기술연구원	김은주	연구원	석사	실험 및 분석

##### 라. 교육 및 컨설팅

No	참석자	교육 및 컨설팅 명	내용	일자
1	정희숙	수요자원 및 시장 선점을 위한 ESS기반 신사업과 융합모델 세미나 참석	ESS 정부정책, EMS 산업동향 및 비즈니스 모델에 대한 논의	2015.10.28
2	오두영	농식품 R&D 과제관리 컨설팅 안내 교육	과제 관리 시스템 사용방법 및 연구비 정산 안내	2016.11.30
3	김은주	2017 찾아가는 농식품 R&D 과제관리컨설팅	과제관리, 연구비사용, 성과관리, 시스템 활용 교육 및 정산 컨설팅	2017.09.27

## 4장. 목표달성도 및 관련분야 기여도

코드번호

D-06

### 1절. 목표달성도

본 연구 과제는 게더링된 온실 환경데이터를 빅데이터 분석 기법을 활용하여 온실의 작물 생산량을 예측하는 프로그램을 개발하고, 중앙아시아 극한 환경(폭설, 강풍)에 구조적 안정성을 확보한 자동 제설기능을 갖춘 IoT 기술을 접목한 내재해형 광폭 비닐 온실을 개발하고자 하는 것으로 세부적인 연구개발 목표에 대한 목표 달성도는 아래와 같다.

구분	세부연구목표	가중치 (%)	연구개발 수행내용	달성도 (%)	비고
1 차 년 도	빅데이터 기법 활용 작물생산량 향상을 위한 예측 모델링	20	작물생육관련 정형 및 비정형 데이 터 게더링 및 분류 등 데이터전처리	5	3장 1절 1.
			데이터 마이닝을 통한 패턴분석/추 출	10	3장 1절 1.
			예측모델링 알고리즘 및 분석 프로 세서 수립	5	3장 1절 1.
	CAE(Computational Aided Engineering) 활용 내재해형 광폭 비닐온실 설계 및 시 공기법 개발	50	내재해형 광폭 온실 기본설계	10	3장 2절 1.
			CAE활용 내재해형 온실 구조해석/ 유동해석을 통한 온실 설계 최적화	10	3장 2절 1. , 2.
			내재해형 온실설계프로그램(서까래) 개발을 통한 형상 최적화	10	3장 2절 3.
			내재해형 온실 시공성 향상을 위한 핵심부품 접목 시공기법	5	3장 2절 5.
			내재해형 광폭 온실 실시설계 (실시설계보고서 및 시방서)	15	3장 2절 4.
	IoT(Internet of Things)기반 스마트 자동제설장치 개발	20	IoT기반 온실 모니터링 및 제어시 스템 구축	10	3장 4절 1.
			IoT 스마트 제설장치 설계	10	3장 4절 4.
	카자흐스탄(알마티) 현지 온실 설치 계획 수립	10	카자흐스탄 알마티 현지업체와 업 무협약(MOU) 및 예정부지 선정	10	-

구분	세부연구목표	가중치 (%)	연구개발 수행내용	달성도 (%)	비고
2 차 년 도	온실 작물생산량 예측 모델 검증 및 GUI 기 반 예측프로그램 개발	25	국내 실 작물재배 비닐온실 내, 외부의 온도, 습도, 광량 등 실측 데이터 게더링 및 데이터 전처리	5	3장 1절 2.
			실측 데이터를 이용한 작물생산 량 예측 모델링 알고리즘 비교분석 및 최적화 예측모델링 방법 선별	10	3장 1절 2.
			통계적 기법을 이용한 예측 모델 검증 및 GUI기반 예측 프로그램 구축	10	3장 1절 2.
	1,000 m <sup>2</sup> 규모 내재 해형 광폭 비닐온실 제작 및 성능 테스트	50	현지 적용온실에 구조안정성을 위한 구조해석 보안을 통한 실시 설계	15	3장 3절 1.
			중양아시아 현지 적용 내재해형 광폭 비닐온실 자재 제작 및 운 송	10	3장 3절 2.
			내재해형 광폭 비닐온실 현지 시 공 및 시운전	20	3장 3절 2.
			온실 현장테스트 결과를 바탕으 로 성능 보완 및 최적화	5	3장 3절 3,4.
	폭설 대비 비닐온실 적용 IoT기반 자동 제설장치 제작 및 성 능 평가	20	IoT기반 스마트 제설장치 설계 및 제작	10	3장 4절1,2.
			자동 제설장치 성능 테스트 및 최적화	10	3장 4절 3.
	우즈벡 현지 온실 시 공 및 운영관리 협약	5	우즈벡 현지업체와 온실 시공 및 운영관련 계약 체결	5	3장 5절 1.

구분	세부연구목표	가중치 (%)	연구개발 수행내용	달성도 (%)	비고
3 차 년 도	현지 온실 피로수명 예측	10	풍하중에 대한 온실구조의 피로수명 예측	10	3장 2절 1.
	1,000 m <sup>2</sup> 규모 내재해형 온실내 환경설비 시공 및 운영	60	내재해형 온실내 환경설비 배송 및 시공	20	3장 3절 4.
			내재해형 온실내 환경설비 현지 검수 및 운영	10	3장 3절 4.
			IoT기반 온실 온습도 모니터링 장치 개발	15	3장 3절 5.
			장기연속 운전을 통한 실측 데이터 게더링 및 온실 성능 평가	15	3장 3절 5.
	IoT기반 스마트 자동 제설장치 실시설계	20	IoT기반 스마트 제설장치 실시설계(보고서, 도면, 용량계산서, 시방서, 내역서)	20	3장 4절 4.
	데모온실 기반 현지 사업화	10	우즈벡 데모온실 기반으로 10,000 m <sup>2</sup> 규모에 현지 신규 온실 사업화	10	3장 5절 3.



구분	세부연구목표	가 중 치 (%)	연구개발 수행내용	달 성 도 (%)	비고
최종	<p>&lt;정성목표&gt;  중양아시아 극한 환경(폭설, 강풍)에 구조적 안정성을 확보한 IoT 기반 온실 환경모니터링 및 자동제설기능을 갖춘 내재해형 광폭 비닐온실 개발 및 실증</p>	30	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 온실 환경데이터의 데이터 마이닝 및 통계적 기법을 활용한 온실 작물 생산량 예측모델개발</li> <li>- 중양아시아 극한 환경에 구조적 안정성을 확보한 내재해형 광폭 비닐온실 개발 및 현지 실증</li> <li>- 폭설 능동대처 가능한 내재해형 광폭 비닐온실 적용 IoT 기반 환경모니터링 및 자동제설장치 개발</li> </ul>	50	3장
	<p>&lt;정량목표&gt;  ○ 1,000 m<sup>2</sup> 규모 내재해형 광폭 비닐온실 개발 및 실증  - 내재해형 온실(풍속 50 m/sec, 적설 50 cm) 구조 안정성  - 골조용 파이프 인장강도 400 MPa, 항복강도 295 MPa  - 기초지지력 (KS L 5201) 설계강도 <math>f_e=50\text{kN/m}^2</math>  - 현지 동절기 연속운전 60일  ○ 내재해형 온실 성능 검증  - 내재해형 온실 시방서 및 설계도서  - 내재해형 온실 구조계산서(공인기관)</p>	70	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 중양아시아 폭설(50 cm이상), 강풍(50 m/sec 이상)에 구조적 안정성을 확보한 내재해형 온실을 최적 설계 및 온실 구조계산은 공인기관 인증</li> <li>- 내재해형 온실 성능 검증관련 설계보고서/구조계산서 구축</li> </ul>	50	<p>[부록]</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>2. 1차 온실 시방서 및 설계도서</li> <li>3. 2차 온실 시방서 및 설계도서</li> <li>4. 온실 구조계산서</li> </ol>

## 2절. 관련분야 기여도

### 1. 전반적인 효과

- 중앙아시아에 적합한 신개념 온실구조 개발 및 설계기준이 정립되어 자재의 규격화, 표준화가 가능하며 시설 원예산업이 발전하는 계기가 됨
- 국내외 대규모 단지에 설치가 가능하고 온실의 설계기준이 정립되어 설계자에 따른 과다·과소설계로 인한 부작용이 발생하지 않으며 안전성, 경제성이 일관성 있게 확보됨

### 2. 기술적 효과

- 중앙아시아 현지 과채류의 재배에 적합하고 보온성, 투광성, 구조안전성이 높은 온실 개발로 시설재배 생산기반의 안정화 구축
- 유리온실 시공비에 비해 저렴한 고성능의 온실시스템과 자재 생산에 필요한 기술 개발로 향후 노후화된 온실의 교체와 간척지의 대규모 시설원예단지 조성 등으로 발생하는 신규 온실 시장에 적극적으로 대응할 수 있음
- 시설의 측고가 높아지고 안전도가 높아짐에 따라 복합 환경제어시스템 도입을 위한 투자와 재배관리가 용이해져 온실의 효율성 증대
- 기존 유리온실에 비해 시공비가 저렴하면서 생산성이 우수한 온실이 개발 보급됨으로써 향후 시설활용을 통해 시설규모화 유도
- 신개념 온실에 적용되는 에너지절감 방법이나 환경조절장치 등의 첨단 시스템을 기존 온실에 활용 가능

### 3. 경제적 효과

- 중앙아시아에 적합한 내재해형 온실 이용으로 시설환경 개선이 이루어지면서 에너지 절감, 노동력 절감, 생산성 증대로 과채류 생산 경쟁력 확대가 기대
- 에너지 비용 절감에 의한 과채류 생산 농가의 실질적 소득 향상
- 내재해형 온실을 외국(멕시코, 중국 및 일본 등)에 수출을 통하여 시설원예 산업의 활성화
- 기상재해보다 안전한 온실의 설계를 통한 생산기반의 안전성 확보를 통하여 온실 피해 경감을 통한 경제성 손실 감소

### 4. 기타 기대효과

- 과채류 생산시설에 적용 가능한 온실설계기술과 에너지절감 핵심 패키지기술 확보로 수출 경쟁국에 대한 기술적 우위 선점
- 온실가스 발생 경감 등 환경부하 최소화로 친환경적인 과채류 생산 이미지 구축, 안정적인 과채류 생산 공급 기반 구축 및 경쟁력 확충

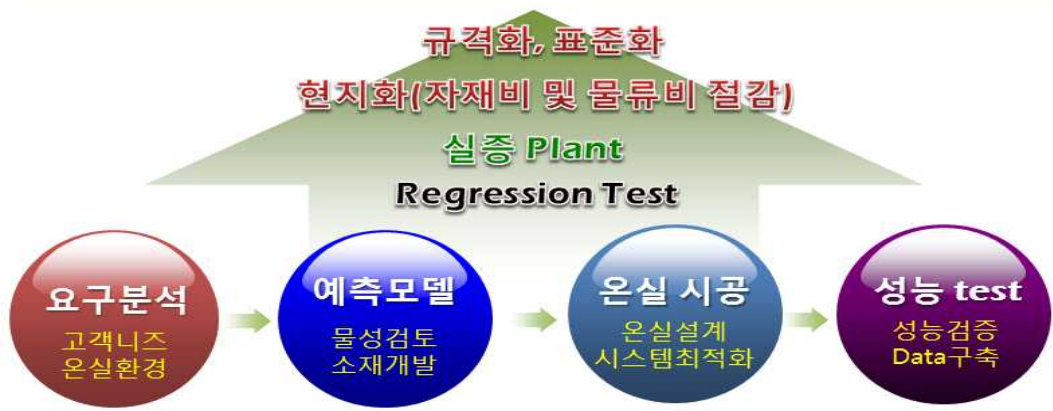
## 5장. 연구결과의 활용계획

코드번호

D-07

### 1절. 연구개발 기술제품의 사업화

- 참여 기업 및 기술이전 희망 업체를 통한 기술개발제품의 사업화를 진행할 계획으로 본 연구에서 개발한 시스템을 국내 대규모 원예단지 구축에 대한 판로를 구축하여 사업화를 진행하고, 기존 해외 수출과 연계하여 개발 시스템을 적용 및 확장해 나아갈 계획
- 중앙아시아 극한 환경에 적합한 맞춤형 온실설계 및 시공기술 노하우 축적과 IoT 기술 접목으로 제어와 통신이 연결되어 수요자 니즈에 빠르게 대처하고 ICT가 융합된 첨단 농업에 대한 신시장이 구축되어 내수 및 수출 전략품목으로 사업영역의 확장
- 자동제설 기능을 갖춘 내재해형 무기동 광폭 온실과 IoT 융합으로 복합환경제어시스템의 구축으로 기존 온실에 활용이 가능하고 시설환경이 개선되어 에너지 절감, 노동력 절감, 생산성 증대로 수출 경쟁력 확대되고 소득 창출 효과와 생산비 절감 효과가 동시에 기대
- 중앙아시아 등 국제 지원사업은 대부분 농업 및 농촌개발을 주요 지원대상으로 하고 있음. 따라서 시설원예 농업 등을 근간으로 하는 농촌개발 모델과 작물 재배 최적화를 위한 요소기술(작물재배, 공정, 장치 기술 등)을 연계하여 지원대상국 농업, 농촌 개발의 모형으로서 해외원조사업 참여기대
- 온실에서 얻어지는 정형/비정형 데이터를 DB화하여 빅데이터 기법을 활용한 온실 최적화 예측모델을 개발하여 온실 설계, 시공, 운전 최적화를 위해 활용함으로써 온실 시스템에 대한 설계 노하우를 축적하고 이를 구체화하여 기술적 차별화를 바탕으로 사업화를 추진
- 온실에 예측모델과 IoT 기술을 연계하는 맞춤형 설계기술, 디바이스 기술 등 국내 독자적인 기술력을 확보하고, 해외에서 기술력을 검증 받아 내수 시장의 영역을 벗어나 수출 위주의 사업화 영역 확장에 사업목표를 설정
- 정부 정책에 적합한 시장특성으로 시설원예농가 등 민간의 요구와 필요성을 수렴·견인하여 새로운 민간주도의 시장창출을 유도하여 IoT에 핵심기술인 통신과 디바이스 기술을 보유한 IT업체와 협력 기술 개발하는 등 실질적인 부분으로 확대 Blue ocean을 창출, 신성장 동력을 발굴하여 창조경제에 새로운 일자리를 창출



[그림 236] 내재해형 온실 현지 제품화 방안

## 2절. 기술홍보 및 정책제안

- 본 개발시스템을 국내 농가대상시연 및 생육 개선 등을 통하여 기술의 우수성을 알리며, 농가 시범사업 등을 시작으로 전국적인 보급 사업으로 진행 할 계획임. 또한, 신개념 온실설계 기술에 대한 설계기준 등의 정립을 위한 정책제안 등 국내 원예농업의 발전에 기여하고자 함
- 시설원예에 종사하는 농민, 관련 업체 및 기관 등을 대상으로 교육을 실시하여 기상재해 경감을 위한 본 연구결과를 활용할 수 있는 방안 등을 홍보함
- 온실의 구조설계기준 및 농업시설물의 구조설계기준에 대한 체계적이고 종합적인 보완 및 개정작업이 우선되어야 하며 이에 부합하도록 연구결과를 보완하면 기상재해에 따른 온실 및 농업시설물의 피해경감을 위한 영농자료 및 설계지침으로 활용할 수 있음
- 온실 시공과 직접적인 관련된 정부산하기관, 시공업체 및 자재생산 업체의 관련자를 대상으로 연구 결과를 홍보하고, 관련 정책 및 의사결정시 자료로 활용할 수 있도록 함

## 3절. 온실 설계기술 보급

- 본 연구 결과의 효율적인 활용으로 온실구조설계에 대한 필요성과 중요성을 부각시킬 수 있으며 온실 구조물의 안전도 및 내구성 향상, 구조역학적인 연구 및 농업시설물의 최적 설계에 대한 관심 유도 및 관련 기술개발 촉진 등이 기대됨. 그리고 관련 종사자(농민, 업체, 관련기관 등)들이 보다 쉽게 온실의 구조설계를 수행할 수 있어 기상재해에 따른 온실피해의 경감을 통한 자원절약 및 안정적인 시설원예 생산기반 조성에 기여함
- 온실 및 농업시설물의 구조설계기준의 보완 및 개정이 절실히 요구되고 있으며 온실의

구조설계기준의 경우에는 파이프온실과 철골온실로 구분하여 구조설계기준 및 시공지침이 별도로 작성되어야 함. 이러한 구조설계기준 및 시공지침 수정 및 작성 시에 본 연구 결과를 적극적으로 활용할 수 있음

## 6장. 연구과정에서 수집한 해외과학기술정보

	코드번호	D-08
--	------	------

해당사항 없음

## 7장. 연구개발결과의 보안등급

	코드번호	D-09
--	------	------

해당사항 없음

## 8장. 국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

	코드번호	D-10
--	------	------

해당사항 없음

## 9장. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전조치 이행실적

	코드번호	D-11
--	------	------

### 1절. 연구활동종사자 환경안전교육 실시

- ‘연구실 안전 환경조성에 관한 법률’ 및 ‘환경안전관리규정’에 의거 연구활동 종사자를 대상으로 실험실 안전환경 조성 및 사고예방을 위한 환경안전교육 실시
- 교육 대상자: 연구원 및 직원 등

### 2절. 연구실 안전점검 실시

- ‘연구실 안전 환경조성에 관한 법률’에 의거하여 일상점검, 정기점검, 특별안전점검 및 정밀안전진단을 실시





### 1. 일상점검

: 연구개발활동 전 연구개발활동에 사용되는 실험 약품 및 장비의 이상 유무 점검

- 1) 기간: 년 중 , - 실시자: 연구활동 종사자
- 2) 내용: 연구실 특성에 맞는 점검표 작성 후 점검 실시

### 2. 정기점검

: 연구실 안전점검 체계에 따라 매년 정기점검실시하고, 그 결과에 따라 부적합 사항에 대하여 개선요구

- 1) 기간: 년 2회(분기별)
- 2) 실시자: 환경안전원
- 3) 내용: 연구실 안전점검 프로그램을 사용하여 분야별 항목 점검

### 3. 특별안전점검

: 폭발사고, 화재사고 등 연구활동종사자의 안전에 치명적인 위험을 야기할 가능성이 있을 것으로 예상되는 경우에 실시

- 1) 기간: 년중 필요시
- 2) 실시자: 환경안전원 실시 또는 외부기관에 의뢰
- 3) 내용: 위험요인별 점검

### 4. 정밀안전진단

: 정기점검 실시 후 도출된 위해요인에 대하여 외부 전문기관에 진단을 의뢰하여 위해요인의 개선방향 및 안전관리방안 수립

- 1) 기간: 년말
- 2) 실시자: 외부전문 진단기관
- 3) 내용: 정기점검 후 선정된 중점 점검항목 진단

### 3절. 연구실 안전사고 대응 및 예방

- 연구실에서 발생하는 안전사고에 적절히 대응하여 그 피해를 최소화 하고 유사 사고 방지를 위해 대책을 수립

#### 1. 연구실 안전사고 대응 및 처리 매뉴얼 보완, 사고 대응 훈련 실시

: 연구실 안전사고 대응 및 처리 매뉴얼에 따라 사고전파, 조치하며 연구실 안전사고 대응훈련을 실시하여 유사사고 발생 시 대응능력 향상

#### 2. 연구실 사고사례 전파

: 연구실 안전사고에 대한 경각심을 높이고 유사사고 예방하기위해 국·내외 연구기관에서 발생하는 사고를 수집하여 연구활동종사자에게 이메일을 통해 전파

#### 3. 연구실 사고처리 흐름도 및 비상연락망 제작 비치

: 연구실사고 발생 시 신속하고 정확하게 처리할 수 있도록 일련의 사고처리 흐름도 및 비상연락망 제작 비치

## 10장. 연구개발과제의 대표적 연구실적

번호	구분 (논문/특허/기타)	논문명/특허명/기타	소속 기관명	역할	논문게재지/ 특허등록국 가	코드번호		D-12	
						Impact Factor	논문게재일 /특허등록일	사사여부 (단독사사 또는 중복사사)	특기사항 (SCI여부/인 용횟수 등)
1	논문	Investigation into the Internal Flow and Temperature Characteristics for Greenhouse Ventilation Patterns using Computational Analysis	고기원	주관	International Journal of Engineering Research and Applications	5.169	2017.08.31	단독사사	비SCI
2	논문	Fatigue Analysis of Greenhouse Structure under Wind Load and Self-weight	Applied sciences	주관	Applied sciences	1.697	2017	단독사사	SCI

3	논문	Proposal reviewer recommendation system based on big data for a national research management institute	충북대	위탁	Journal of Information Science	1.372	2016.04.25	중복사사	SCI
4	프로그램	비닐온실 방풍파이프 최적화 소프트웨어	고기원	주관	대한민국	-	2016.04.13	-	프로그램 등록
5	특허	온실 환경 제어 시스템 및 방법	고기원	주관	대한민국	-	2017.08.28 (출원일)	-	등록심사중

## 11장. 기타사항

코드번호	D-13
------	------

### < 부 록 >

1. 온실시공 및 업무제휴 계약서
2. 1차 온실 시방서 및 설계도서
3. 2차 온실 시방서 및 설계도서
4. 온실 구조계산서
5. 자동제설장치 설계도서

## 12장. 참고문헌

코드번호	D-14
------	------

- Albright, L. D. (1995). Controlling greenhouse ventilation inlets by pressure difference. HortTechnology, 5(3), 260-264.
- Bailey, B. J., & Critten, D. L. (1984). The vertical south roof multispan greenhouse. Greenhouse Construction and Covering Materials 170, 193-200.
- Bartzanas, T., Boulard, T., & Kittas, C. (2004). Effect of vent arrangement on windward ventilation of a tunnel greenhouse. Biosystems Engineering, 88(4), 479-490.
- Boulard, T., & Wang, S. (2000). Greenhouse crop transpiration simulation from external climate conditions. Agricultural and Forest Meteorology, 100(1), 25-34.
- Boulard, T., Feuilloley, P., & Kittas, C. (1997). Natural ventilation performance of six greenhouse and tunnel types. Journal of Agricultural Engineering Research, 67(4),

249-266.

- Boulard, T., Kittas, C., Papadakis, G., & Mermier, M. (1998). Pressure field and airflow at the opening of a naturally ventilated greenhouse. *Journal of agricultural engineering research*, 71(1), 93-102.
- Bronkhorst, A. J., Geurts, C. P. W., van Bentum, C. A., van der Knaap, L. P. M., & Pertermann, I. (2017). Wind Loads for Stability Design of Large Multi-Span Duo-Pitch Greenhouses. *Front. Built Environ*, 3(18), 13031-1.
- Chang, C. H., & Meroney, R. N. (2003). The effect of surroundings with different separation distances on surface pressures on low-rise buildings. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 91(8), 1039-1050.
- Ding, Z., & Tamura, Y. (2013). Contributions of wind-induced overall and local behaviors for internal forces in cladding support components of large-span roof structure. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 115, 162-172.
- Gu, M., & Huang, Y. (2015). Equivalent static wind loads for stability design of large span roof structures. *Wind and Structures*, 20(1), 95-115.
- Kateris, D. L., Fragos, V. P., Kotsopoulos, T. A., Martzopoulou, A. G., & Moshou, D. (2012). Calculated external pressure coefficients on livestock buildings and comparison with Eurocode 1. *Wind & Structures*, 15(6), 481-494.
- Khaoua, S. O., Bournet, P. E., Migeon, C., Boulard, T., & Chassériaux, G. (2006). Analysis of greenhouse ventilation efficiency based on computational fluid dynamics. *Biosystems Engineering*, 95(1), 83-98.
- Kim, K., Yoon, J. Y., Kwon, H. J., Han, J. H., Son, J. E., Nam, S. W., ... & Lee, I. B. (2008). 3-D CFD analysis of relative humidity distribution in greenhouse with a fog cooling system and refrigerative dehumidifiers. *Biosystems Engineering*, 100(2), 245-255.
- Kittas, C., Boulard, T., Mermier, M., & Papadakis, G. (1996). Wind induced air exchange rates in a greenhouse tunnel with continuous side openings. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 65(1), 37-49.
- Kozmar, H. (2011). Wind-tunnel simulations of the suburban ABL and comparison with international standards. *Wind & Structures*, 14(1), 15-34.
- Kwon, K. S., Kim, D. W., Kim, R. W., Ha, T., & Lee, I. B. (2016). Evaluation of wind pressure coefficients of single-span greenhouses built on reclaimed coastal land using a large-sized wind tunnel. *Biosystems Engineering*, 141, 58-81.
- Lakehal, D. (1998). Application of the  $k-\epsilon$  model to flow over a building placed in different roughness sublayers. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 73(1), 59-77.
- Lopes, M. F. P., Paixão Conde, J. M., Glória Gomes, M., & Ferreira, J. G. (2010). Numerical calculation of the wind action on buildings using Eurocode 1 atmospheric boundary layer velocity profiles. *Wind and Structures*, 13(6), 487.
- Majdoubi, H., Boulard, T., Fatnassi, H., & Bouirden, L. (2009). Airflow and

- microclimate patterns in a one-hectare Canary type greenhouse: an experimental and CFD assisted study. *Agricultural and Forest Meteorology*, 149(6), 1050-1062.
- Mathews, E. H., & Meyer, J. P. (1987). Numerical modelling of wind loading on a film clad greenhouse. *Building and Environment*, 22(2), 129-134.
  - Mistriotis, A., & Briassoulis, D. (2002). Numerical estimation of the internal and external aerodynamic coefficients of a tunnel greenhouse structure with openings. *Computers and electronics in Agriculture*, 34(1), 191-205.
  - Moriyama, H., Sase, S., Okushima, L., & Ishii, M. (2015). Which Design Constraints Apply to a Pipe-Framed Greenhouse?. *Japan Agricultural Research Quarterly: JARQ*, 49(1), 1-9.
  - Nayak, A. K., & Rao, K. R. (2014). Estimation of wind load on a greenhouse and evaluation of its structural stability. *International Journal of Agricultural Engineering*, 7(2), 461-466.
  - Oliveira, P. J., & Younis, B. A. (2000). On the prediction of turbulent flows around full-scale buildings. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 86(2), 203-220.
  - Park, C. W., Lee, J. W., Lee, H. W., & Lee, S. G. (2005). Optimum design of greenhouse structures using continuous and discrete optimum algorithms. *Journal of the Korean Association for Spatial Structures*, 5(4), 61-70.
  - Park, C. W., Yuh, B. Y., Lee, H. W., & Lee, S. G. (2007). Optimum Design of Greenhouse Structures Using Genetic Algorithms. *Journal of Korean Society of Steel Construction*, 19(2), 171-179.
  - Parra, J. P., Baeza, E., Montero, J. I., & Bailey, B. J. (2004). Natural ventilation of parral greenhouses. *Biosystems engineering*, 87(3), 355-366.
  - Perén, J. I., Van Hooff, T., Leite, B. C. C., & Blocken, B. (2015). CFD analysis of cross-ventilation of a generic isolated building with asymmetric opening positions: impact of roof angle and opening location. *Building and Environment*, 85, 263-276.
  - PHOENICS Technical Report(TR/326). (2016) Concentration Heat and Momentum Limited.
  - Qiu, Y., Sun, Y., Wu, Y., & Tamura, Y. (2014). Modeling the mean wind loads on cylindrical roofs with consideration of the Reynolds number effect in uniform flow with low turbulence. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 129, 11-21.
  - Richardson, G. M. (1993). Full-scale wind load measurements on a single-span film plastic-clad livestock building. *Journal of agricultural engineering research*, 55(3), 251-264.
  - Robinson, D. W., & Brae, B. (1991). *Developments in plastic structures and materials for horticultural crops*. ASPAC, Food & Fertilizer Technology Center.
  - Shklyar, A., & Arbel, A. (2004). Numerical model of the three-dimensional isothermal flow patterns and mass fluxes in a pitched-roof greenhouse. *Journal of Wind*



- Engineering and Industrial Aerodynamics, 92(12), 1039-1059.
- Teitel, M., Liran, O., Tanny, J., & Barak, M. (2008). Wind driven ventilation of a mono-span greenhouse with a rose crop and continuous screened side vents and its effect on flow patterns and microclimate. *Biosystems engineering*, 101(1), 111-122.
  - Vieira Neto, J. G., & Soriano, J. (2016). Distribution of stress in greenhouses frames estimated by aerodynamic coefficients of Brazilian and European standards. *Scientia Agricola*, 73(2), 97-102.
  - Wang, S., Boulard, T., & Haxaire, R. (1999). Air speed profiles in a naturally ventilated greenhouse with a tomato crop. *Agricultural and forest Meteorology*, 96(4), 181-188.
  - Wang, S., Boulard, T., and Haxaire, R. (2000) Measurement and analysis of air speed distribution in a naturally ventilated greenhouse, *International Conference and British-Israeli Workshop on Greenhouse Techniques towards the 3rd Millennium* 534, 277~284.
  - Yang, Z. Q., Li, Y. X., Xue, X. P., Huang, C. R., & Zhang, B. (2013). Wind loads on single-span plastic greenhouses and solar greenhouses. *HortTechnology*, 23(5), 622-628.
  - Yano, A., Tsuchiya, K., Nishi, K., Moriyama, T., & Ide, O. (2007). Development of a greenhouse side-ventilation controller driven by photovoltaic energy. *Biosystems engineering*, 96(4), 633-641.
  - Yuan, C., Puyong, W., & Xianlong, J. (2010). Dynamic analysis of flexible container under wind actions by ALE finite-element method. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 98(12), 881-887.
  - Yun, S. W., Choi, M. K., Yu, C., Lee, S. Y., & Yoon, Y. C. (2014). Analysis of Working Load based on Wind and Snow Load for Greenhouse Foundation. *농업생명과학연구*, 48(1), 183-188.
  - Yang, D. K. Nakano, D. Derano, H. Yan, S. Ohashi, and Chen, Q., Numerical analysis on microclimate inside single-span naturally ventilated greenhouse under various wind speeds and directions using CFD, *J. SASJ*, 40(2), 133~142, 2009.
  - 광재균 외. (2004). 우즈베키스탄 공화국의 농업 현황, *한국농업지*, 16(2).
  - 농어촌진흥공사 농어촌연구원. (1995) 원예시설의 구조안전기준 작성.
  - 농촌진흥청 국립농업과학원. (2017) 온실 구조설계 기준(안).
  - 이상덕, 유덕기. (2000). 카자흐스탄 농업 경영구조의 변화, *한국농업지*, 12(4).
  - 이종원. (2013). Analysis of Safety Wind Speed and Snow Depth for Single-Span Plastic Greenhouse according to Growing Crops. *경북대농학지*, 31(4), 280-285.
  - 조영관, 이시영. (2010) 중앙아시아 국가들의 농업 정책과 한·중앙 아시아 농업 협력 확대 방안, *KIEP*, 29-30.