

발 간 등 록 번 호

11-1543000-002554-01

# 박과(참외, 수박) 및 딸기 재배용 단동 비닐하우스에 적합한 스마트팜 개발 및 실증 최종보고서

2019.02

주관연구기관 / (주)다이시스

1협동연구기관 / 경북대학교 산학협력단

1위탁연구기관 / 고등기술연구원

2협동연구기관 / 시설원예연구소

참여기업 / (주)지성

농 립 축 산 식 품 부

Development and demonstration of smart-farm system adapted to single-span plastic greenhouse for cucurbitaceae(Korean melon, water melon) & strawberry protected cultivation R&D Report

# 제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “박과(참외, 수박) 및 딸기 재배용 단동 비닐하우스에 적합한 스마트팜 개발 및 실증”(개발기간 : 2015.12.28 ~ 2018.12.27)과제의 최종보고서로 제출합니다.

2019. 02.

주관연구기관명	:(주)다이시스	(대표자) 김기환 (인)
1협동연구기관명	: 경북대학교 산학협력단	(대표자) 오대근 (인)
1위탁연구기관명	: 고등기술연구원	(대표자) 이강진 (인)
2협동연구기관명	: 시설원예연구소	(대표자) 조일환 (인)
참여기업명	:(주)지성	(대표자) 정윤영 (인)

주관연구책임자 : 김 기 환  
1협동연구책임자 : 이 중 원  
1위탁연구책임자 : 송 형 운  
2협동연구책임자 : 유 인 호  
참여기업책임자 : 정 윤 영

국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제18조에 따라 보고서 열람에 동의합니다.

## 보고서 요약서

과제고유번호	315093-03	해당단계 연구기간	2015.12.28 ~ 2018.12.27	단계구분	3 / 3
연구사업명	단위사업	농식품기술개발사업			
	사업명	첨단생산기술개발사업			
연구과제명	대과제명	(해당 없음)			
	세부과제명	박과(참외, 수박) 및 딸기 재배용 단동 비닐하우스에 적합한 스마트팜 개발 및 실증			
연구책임자	김기환	해당단계 참여 연구원 수	총: 18명 내부: 18명 외부: 0명	해당단계 연구 개발비	정부:300,000천원 민간:100,000천원 계:400,000천원
		총연구기간 참여 연구원 수	총: 54명 내부: 54명 외부: 0명	총연구개발비	정부:900,000천원 민간:300,000천원 계:1,200,000천원
연구기관명 및 소속부서명	한국농수산대학교 산학협력단 국립원예특작과학원 시설원예연구소			참여기업명 (주)다이시스 (주)지성	
위탁연구	연구기관명: 고등기술원			연구책임자: 송형운	
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 저비용·고효율 단동비닐하우스용 스마트팜 시스템 개발               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 표준화 기반의 편의성 향상을 위한 저비용 모델 개발</li> </ul> </li> <li>○ ICT 기술 적용 효과 극대화를 위한 단동비닐하우스 모델 개발               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 구조안전성과 환기효율을 고려한 천창환기시스템 개발</li> <li>- 환기성능 향상을 위한 환기장치 설계요소 개발</li> </ul> </li> <li>○ ICT 일체형 단동 비닐하우스 실증시험               <ul style="list-style-type: none"> <li>- ICT 일체형 단동 비닐하우스 환경 개선효과 분석</li> <li>- 유동팬 및 배기팬 이용에 따른 온실 내부 습도조절 효과 분석</li> </ul> </li> </ul>				보고서 면수 133 면	

연구의 목적 및 내용	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 저비용·고효율 단동비닐하우스용 스마트팜 시스템 개발             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 표준화 기반의 편의성 향상을 위한 저비용 모델 개발</li> <li>- 스마트 팜 설치 및 A/S 편의성 도모를 위한 매뉴얼 작성</li> <li>- 작목반 소속의 동일 시스템 데이터 서버 및 모니터링 시스템 구축 기술 개발</li> </ul> </li> <li>○ ICT 기술 적용 효과 극대화를 위한 단동비닐하우스 모델 개발             <ul style="list-style-type: none"> <li>- ICT 일체형 단동비닐하우스 개발을 위한 설계요소 분석</li> <li>- 구조안전성과 환기효율을 고려한 천창환기시스템 개발</li> <li>- 작목별/주산지별 박과 및 딸기재배용 단동비닐하우스 개발</li> <li>- 유동팬 및 배기팬을 이용한 온실 내부 습도조절시스템 개발</li> <li>- 천창시스템을 가진 단동비닐하우스 설계를 위한 풍력계수 선정</li> <li>- 환기성능 향상을 위한 환기창 설계요소 개발</li> </ul> </li> <li>○ ICT 일체형 단동 비닐하우스 실증시험             <ul style="list-style-type: none"> <li>- ICT 일체형 단동 비닐하우스 환경 개선효과 분석</li> <li>- 유동팬 및 배기팬 이용에 따른 온실 내부 습도조절 효과 분석</li> <li>- 시스템 적용에 따른 참외 및 딸기 재배효과 분석</li> </ul> </li> </ul>				
연구개발성과	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 작목별 제어요소, 기본적인 환경인자, 옵션형 환경인자 등 ICT 기술 접목 요소 정립</li> <li>- 모니터링 영상장치를 제어부와 독립적으로 설계하여, 다양한 규격의 영상장치 구성이 가능한 시스템 개발</li> <li>- 영상과 제어를 한 화면에 배치한 스마트폰 어플을 개발하여, 사용 편의성 향상</li> <li>- 저비용 오픈소스 하드웨어를 활용하여 개발비용과 단가가 낮은 시스템의 시작기 제작</li> <li>- 자동 원격 업데이트를 지원하여 문제점개선 및 새로운 기능 지원 가능한 시스템으로 원격 유지 보수가 용이함.</li> </ul>				
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 기술이전을 통한 산업화</li> <li>- 개발 기술의 관련 학회 등의 논문발표를 통하여 공식화</li> <li>- 관련 기술의 농가보급을 위한 영농활용 건의</li> <li>- 관련 기술의 산업화를 통한 온실업체의 육성화를 위한 정책 제언</li> <li>- 실증사이트의 교육장 활용을 통한 개발 기술의 확산 기지로 활용</li> <li>- 개발 제품에 대한 시공 매뉴얼 제작 등을 통한 산업화 활성화</li> <li>- 원예특작시설 내재해형 규격 설계도·시방서에 포함 건의</li> </ul>				
중심어 (5개 이내)	저비용	ICT	스마트팜	단동비닐하우스	딸기

## < SUMMARY >

		코드번호	D-02			
Purpose& Contents	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Developed smart farm system for low-cost and high efficiency single-span greenhouse               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Development of low-cost model for standardization-based convenience</li> <li>- Development of the same system data server and monitoring system construction technology belonging to small group</li> </ul> </li> <li>○ Development of single-span greenhouse model for maximizing ICT technology application effect               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Analysis of Design Elements for the Development of Integrated Single-span Greenhouse for ICT</li> <li>- Development of roof window system considering structural safety and ventilation efficiency</li> <li>- Development of single-span greenhouse for the cultivation of berries and strawberries</li> <li>- Development of humidity control system in the greenhouse using flow fan and exhaust fan</li> </ul> </li> <li>○ ICT monolithic greenhouse test               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Analysis of the improvement effect of ICT integrated monolithic greenhouse environment</li> <li>- Analysis of the effect of controlling the internal humidity of the greenhouse by using the flow fan and the exhaust fan</li> <li>- Analysis of cultivation effect of melon and strawberry according to system application</li> </ul> </li> </ul>					
Results	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Establishment of ICT technology integration factors such as control elements, basic environmental factors, and optional environmental factors</li> <li>- Development of a system capable of configuring a video device with various specifications by independently designing a monitoring video device with a control part</li> <li>- Developed a smartphone application where video and control are arranged on one screen and improved usability</li> <li>- Utilizes low-cost open source hardware to create a starter for low-cost and low-cost systems</li> </ul>					
Expected Contribution	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Formulated through the publication of papers by related institutes of development technology</li> <li>- Suggestion of farming utilization for the supply of related technology</li> <li>- Policy proposal for fostering greenhouse companies through industrialization of related technologies</li> <li>- Utilizing the site of the demonstration site as a spreading base of development technology</li> <li>- Suggestion to include disaster type standard design specification in garden special facility</li> </ul>					
Keywords	low cost	ICT	smart farm	singl-span greenhouse	strawberry	

## < CONTENTS >

1. Summary .....	7
2. Important and state of domestic and foreign technologies .....	17
3. Research contents & results .....	18
4. Objective achievement and contribution of related area .....	126
5. Research results and application of research results .....	128
6. Foreign technologies collected during research project .....	128
7. Security Level of Research results .....	131
8. Research facilities registered in National Science & Technology Comprehensive Information System .....	131
9. Laboratory safety management implementation Performance .....	132
10. Laboratory safety management implementation Performance .....	133
11. Other matters .....	133
12. References .....	133

<enclosure> Self-assessment opinion

## 〈 목 차 〉

1. 연구개발과제의 개요 .....	7
2. 국내외 기술개발 현황 .....	17
3. 연구수행 내용 및 결과 .....	18
4. 목표달성도 및 관련분야 기여도 .....	126
5. 연구결과의 활용계획 .....	128
6. 연구과정에서 수집한 해외과학기술정보 .....	128
7. 연구개발결과의 보안등급 .....	131
8. 국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황 .....	131
9. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전조치 이행실적 .....	132
10. 연구개발과제의 대표적 연구실적 .....	133
11. 기타사항 .....	133
12. 참고문헌 .....	133

〈별첨〉 자체평가의견서

# 1. 연구개발과제의 개요

코드번호	D-03
------	------

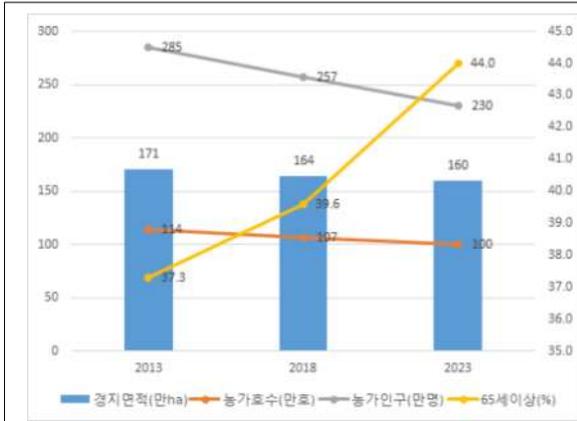
## 1-1. 연구개발 목적

- 기존 스마트팜 시스템의 경우, 우리나라 시설하우스의 대부분(90%)을 차지하는 단동형 하우스 타깃이 아니라, 연동형 하우스를 위한 복합환경제어 시스템으로 초기 도입 비용이 상당히 소요되며, 단동형 하우스 제어에 불필요한 장치들이 내재되어 있어 가격 대비 효율의 측면에서 효과적이지 않아, 단동 하우스의 필수 제어요소를 지원하면서도 저비용의 스마트팜 시스템이 필요하다.
- 내재해형 규격의 단동비닐하우스 환경조절장치는 측창을 기본사양으로 하고 있으며, 농가에 따라 다겹보온커튼, 난방기, 온실내부 공기순환팬이 선택적으로 설치하고 있는 실정이다. 스마트 팜 도입에 따른 편의성 제공뿐만 아니라 생산성 향상을 위해서는 천창환기시스템과 같은 적극적인 환경조절장치 등을 갖춘 단동비닐하우스 모델이 필요하다.
- 이를 위해 한국형 원예시설 중 박과(참외, 수박 등), 딸기 작물을 대상으로 하는 ICT 일체형 단동비닐하우스 모델 개발하기 위해 본 과제를 수행하였다.

## 1-2. 연구개발의 필요성

### □ 과학기술기반 농업 혁신의 필요성

- 향후 2025년까지 우리 농업은 현재의 규모 축소 및 농가인구 고령화 추세가 지속적으로 심화될 것으로 전망
  - 농업 규모 축소('95→'13) : 경지면적 199만→171만ha, 농가호수 150만→114만호, 농가인구 485만→285만명
  - 규모영세화('95→'13) : 경지면적 0.5ha미만(영세농) 비율 28.9%→41.6%, 도시가구소득대비 농가소득 95.1%→62.5%
  - 노동 생산성 저하 : 65세 이상 농가인구 비율 ('00) 14.7%→('13) 37.3%, 외국인노동자 수 ('09) 1,360명→('12) 4,863명
  - 식량자급률 : ('70)80.5%→('80)56.0%→('90)43.1%→('00)29.7%→('13) 23.6%
  - 인구고령화와 자연감소에 따라 농촌의 마을 공동화 : 20호 미만 행정리는 '05년 2,048개(5.7%) → '10년 3,091개(8.5%)
  - 향후 전망('13 → '18 → '23)
    - 경지면적 171만 → 164만 → 160만ha, 농가호수 114만 → 107만 → 100만호
    - 농가인구 285만→257만→230만명, 총 인구 중 농가인구 비율 5.7%→5.0%→4.4%, 65세 이상 농가인구 비율 37.3% → 39.6% → 44.0%



<농업전망>



<농가인구 전망>

- 경지규모 및 판매규모에 있어 대규모 농가와 소규모 농가가 동시에 증가함으로써 규모화와 동시에 양극화 또한 더욱 심화될 전망
  - \* 연간 판매금액 5천만원이상 농가 수(4.9만호, '10)는 158% 증가('00→'10)
- 그러나 최근 귀농·귀촌 증가, 장년층 순유입, 농가경영주 고학력 추세 등 고부가가치 기술농업을 위한 인프라가 구축되고 있음
  - 귀농·귀촌 농가 : ('10) 4,067호 → ('11) 10,503호 → ('12) 27,008호 → ('13) 32,424호, 누적 10.3만호('13)
  - 최근('05~'10) 40~50대 장년층을 중심으로 농가구원의 순유입(귀농>이농)이 이루어지고 있으며, 농가경영주의 고학력 추세 진행
    - 40~59세 농가인구의 순유입 규모('05→'10) : 10.0만명
    - 농가경영주 교육수준 변화

항목	무학	초졸	중졸	고졸	전문대졸	4년제 이상
'10년 비중(%)	15.6	33.1	17.2	23.9	3.6	6.5
증감('00→'10, %)	-34.4	-33.4	-13.4	21.5	145.1	125.5

- 농업은 국가존립의 필수 산업으로, 우리나라에 특화된 과학기술기반 농업 발전 전략 추진 필요
  - 선진국의 농업발전 경로와 철학 및 추진 방식의 다양성을 고려하여, 우리나라도 소농·영세농, 부농·선도농 등 다양한 정책대상을 고려한 발전모델 추진 필요
    - \*네덜란드(시장성 위주, '12) : 세계 2위 농산물 수출국(754억불)이며 경지규모 2ha이상 대농이 86.6%(우리나라는 경지규모 2ha미만이 85.2%), 농가당 경지면적은 27.9ha (우리나라는 1.5ha)
    - \*스위스(공공성 위주, '11) : 경지규모(107만ha)와 농가수(5.8만호)가 우리나라보다 적으며, GDP중 농업생산액 비중은 0.7%, 농가당 평균 5만 스위스프랑의 직접지불액 지급
  - 농가소득 불평등\* 및 산업양극화 심화와 농업생산기반 붕괴 우려 속에 시장성 (상업성) 위주의 농업정책 외에 공공성에 기반한 현안문제 해결 및 경쟁력 제고 또한 시급

- 농가소득 GINI 계수 : '95년 0.327 → '00년 0.338 → '05년 0.396 → '10년 0.418  
→ '11년 0.424

- 농업총수입 상위 20% 농가(5분위)가 전체 농업총수입의 68.4% 차지  
(4분위 포함시 86%, '13)

○ 공공성과 시장성의 차별화된 Two-Track 전략 추진 필요

● (공공성 유지) 소농·영세농 및 저소득 농가를 위한 농업현장의 체질 개선 및 농업기반 유지

- 소농·영세농(경지면적 1ha미만) : 전체 농가 중 65.2%('13)

- 농업총수입 1·2분위 농가가 전체 농업총수입에서 차지하는 비중은 5.5%에 불과(3분위 포함시 14.0%, '13)

● (시장성 강화) 부농·선도농에 대해서는 첨단기술 융복합 및 비즈니스 연계 강화

\* 시설원에 생산액 : ('90) 0.6조원 → ('00) 3.1조원 → ('12) 5.1조원

\* 시설원에 농가의 12%는 1억원 이상의 소득

#### □ 첨단 ICT융복합 농업의 생산현장 적용·보급·확산 저조 및 이에 대한 대책이 시급한 실정임.

○ 농림축산식품부는 농업의 미래성장산업화 가속화를 위한 경쟁력 제고와 성장동력 창출을 위한 스마트 팜 보급 목표 설정하였으나 확산 저조

● '17년까지 시설원예 4,000ha(시설현대화 면적의 40%), 축산농가 700호(전업농의 10%) 및 과수농가 600호(과원규모화농가 25%)에 스마트 팜 보급

- 주산지 중심으로 지원확대('15 : 246억원 → '16 : 454), 시설원예의 경우 관련 사업 예산의 60%를 ICT 시설·장비 중심으로 지원('16)

○ 첨단 ICT융복합 농업의 생산현장 적용·보급·확산 저조 원인

● 첨단농업을 위한 기반은 부족하나 점차 증가 예상

- (대상시설부족) 첨단 ICT융복합이 적용 가능한 생산 현장은 자동화 및 복합제어가 가능한 원예시설이 주대상

; 국내 유리온실(345ha, 0.7%)과 비닐온실(5.1만ha, 99.3%)의 일부(자동화온실 보급률 16%)만 적용 가능한 형태(과채류 및 화훼류 위주)

; 국내 시설원예의 81%는 사용년수 15년 이상으로, 첨단 ICT융합 기술의 적용이 가능한 시설은 급격히 증가할 것으로 예상

- (현장적용 어려움) 국내 ICT융합 제품의 현장 적용 어려움 및 농가 인식 부재, 높은 가격, 접근성으로 인한 A/S 불만, 제품의 신뢰성 부족 등 현장 불만

; ICT 융복합 확산사업의 농가 지원조건은 '시설현대화사업'과 동일하여 유인책 미비 (자부담 20% 및 국고융자 30~50%)

<국내외 원예시설 현황>

구분	한국	일본	네덜란드	캐나다
재배 면적	51,829ha	49,049ha	9,360ha	2,075ha
재배 작물	채소류 : 94% 화훼류 : 6%	채소류 : 94% 화훼류 : 6%	채소류 : 53% 화훼류 : 47%	채소류 : 50% 화훼류 : 43%
온실 유형	단동 : 89% 연동 : 11% 유리 : 0.7%(343ha) 플라스틱 : 99.3%	철 골 : 20% 파이프 : 80% 유리 : 4.2%(2,039ha) 플라스틱 : 95.8%	유리 : 99% (벤로형 : 87%)	유리 : 32% 플라스틱 : 58%
비고	시설현대화 수준격차 심함	현대화시설 약20%	시설현대화 평균화	시설현대화 평균화

\*기준년 : 한국(2010), 일본(2009), 네덜란드(2010), 캐나다(2009)

- 첨단농업을 위한 영세한 기업 및 농업종합회사 부족
  - (투자여력부족) 지자체 보조금을 통한 시설 투자 외 농업 시설 투자 부족
    - ; 수출/고가 작물 증대, 농촌인구의 고령화 극복, 기후변화 등으로 인해 기업형/대규모 시설 농업 등으로 빠르게 변화 예상
    - \* 표준화된 온실규격은 존재하나, 모듈화된 대량 생산 산업은 미흡
  - (기업 영세성) 국외 선진 기업은 시설자재, 센서, ICT 기술 등을 종합적으로 제공하나, 국내는 일부 부분 제품으로 공급하며, 주문자 방식이 대부분임
    - ; 새로운 부속자재 국산화, 내재해형 추가, 국내 전문공인인증기관의 승인 등 제도보완을 통한 농자재 시장을 위한 기업 육성 투자 및 향후 피해 방지 노력 부족
- 따라서, 첨단 ICT융복합 농업의 생산현장 적용·보급·확산을 견인할 수 있는 대책이 시급함.
  - 현재, 단동비닐하우스 스마트 팜의 경우 불필요한 기능 탑재로 인하여 가격이 고가이며, 가격과 기능 대비 농가 만족도가 매우 낮은 실정임.
  - 시설규모, 형태 및 재배작물에 따른 필수 기본사양 정립에 따른 저비용·고효율 스마트 팜 시스템 개발이 필요함
  - 단동온실에서 주로 재배되는 박과류(수박, 참외)와 딸기의 경우, 재배에 필요한 기본적인 모니터링을 요소는 온실 내·외부 온도/습도, 지온 등으로 간단함.
  - 이에 제어를 하여야 되는 환경조절장치도 단순한 경향이 있으므로, 단동온실에 적합한 저비용·고효율 스마트 팜 시스템이 필요한 실정임.

□ ICT 일체형 단동비닐하우스 모델의 개발 필요

: 환경조절이 용이하며, 시설비가 저렴한 단동비닐하우스 개발을 통한 스마트 팜 효과를 극대화할 방안 모색이 필요함

- 단동비닐하우스용 스마트 팜의 경우, 편의성만을 강조한 시스템 구현으로 농가의 도입 필요성을 저감시키는 요인으로 작용함
- 현재, 내재해형 규격의 단동비닐하우스 환경조절장치는 측창을 기본사양으로 하고 있으

며, 농가에 따라 다겹보온커튼, 난방기, 온실내부 공기순환팬이 선택적으로 설치하고 있는 실정임.

- 스마트 팜 도입에 따른 편의성 제공뿐만 아니라 생산성 향상을 위해서는 적극적인 환경 조절장치 등이 갖춘 단동비닐하우스 모델이 필요함.
  - 천창환기시스템을 도입할 경우 생산성이 10~15% 정도 향상됨.
  - 지역별 맞춤형 내재해형 규격 단동비닐하우스 설계를 통하여 시공비 절감이 필요함

<참외재배 온실의 환기방식>

		
측창(권취식)	측창(권취식)+환기통 환기	측창(권취식)+환기팬 환기

<환기방식에 따른 참외 수익성 비교>

(단위 : 원)

구 분	환기팬 개선	환기팬 관행	환기통 개선	환기통 관행
참외 생산금액 (A)	14,555,100	13,407,900	12,633,540	11,787,480
환기장치 감가상각 (B)	437,540	332,680	313,640	256,040
전기요금 (C)	20,880	15,990	6,380	5,460
선별 및 포장비용 (D)	2,182,250	2,010,250	1,894,150	1,767,300
수익 (A-B-C-D)	11,914,430	11,048,980	10,419,370	9,758,680
관행 대비 증가 수익	865,450	-	660,690	-

\* 농촌진흥청 국립원예특작과학원 실험 결과

- 천창환기시스템을 가진 온실의 경우 환경조절성능이 우수한 것으로 알려져 있으나, 이러한 온실을 설계할 수 있는 자료가 부족한 실정임.
  - 천창구조를 가진 단동비닐하우스의 풍압계수 분포도가 없음

<단동온실 환기시스템>



고깔콘형



몽골형



맞배형

1-3. 연구개발 범위

가. 연구개발의 최종목표 및 주요내용

- 한국형 스마트팜 원예시설 중 박과(참외, 수박 등), 딸기 작물을 대상으로 한 ICT 일체형 단동비닐하우스 모델 개발
  - 저비용·고효율 단동비닐하우스 용 스마트 팜 시스템 개발
  - 환경조절이 용이한 작목별/주산지별 단동비닐하우스 모델 개발
  - 시스템에 대한 2개 작물재배 실증시험을 통한 효과 검증 및 산업화 모델 개발
- 성능지표

스마트 팜 비용	단동비닐하우스 재료비	생산성
100만원/동 이하 (5개동 기준)	15% 저감	10~15% 향상

나. 과제별(세부·협동) 연구개발의 목표 및 내용

**(제1세부) 저비용·고효율 단동비닐하우스용 스마트팜 시스템 개발**

- 표준화 기반의 편의성 향상을 위한 저비용 모델 개발
  - AS-IS
    - 현재 국내에 제공되는 단동형 스마트팜은 임베디드 기반의 시스템이 주를 이루고 있음. 임베디드 시스템은 대량 생산의 경우에는 가격적 측면에서 유리하나, 국내 스마트팜 시장의 규모를 고려하면 오히려 개발비 등으로 가격상승 요인 발생
    - 임베디드 시스템은 제어요소 증가에 따른 제어접점 수가 증가할 경우, 시스템 확장성에 어려움이 있어 제어요소가 증가함에 따른 추가 시스템 설치로 비용 상승
  - TO-BE
    - 라즈베리 파이와 같은 오픈소스 하드웨어를 이용하여 저비용 시스템 개발(오픈소스 하드웨어의 경우, 그 디자인이 공개된 하드웨어이므로 향후 타 업체 등이 개발을 하고자 할 경우에 개발에 관한 부담을 경감시키고 지식을 공유할 수 있는 등의 장점을 가지고 있음. 기존의 임베디드 시스템의 경우에는 각 회사별로 상이한 시스템을 구축함으로써

호환성이 불가하며, 초기에 상당한 개발비용이 필요함)

- PLC를 이용하여 제어요소 및 동수 확장에 따른 비용상승 최소화 및 확장의 자유도를 증가시킬 수 있는 기술 개발(PLC를 이용할 경우, 초기에 비용이 상승하는 경우가 있으나, 지금까지의 현장경험과 현장의 니즈를 보면 각 농가의 제어기가 상이하여 설치에 전문인력이 필요한 기존 시스템의 문제점을 해결하고 PLC의 안정성으로 인하여 사후 유지보수의 요건이 최소화됨으로써 유지보수 비용을 경감하는 효과를 발휘하여 전체적으로 안정된 시스템을 최소화된 비용으로 구축이 가능)
- 표준화 관련 : 주관기관이 이미 ETRI로부터 온실관제시스템 표준(TTAK.KO-06.0286)과 관련한 기술이전을 마친 상태이며, 농진청에서 진행하는 온실용 센서 등의 표준 규격을 준수하여 진행할 예정임

○ 자기학습 기능을 통한 환경조절 요소 일반화 기술 적용 알고리즘 개발

\* 일몰, 일출, 내외부 온도 등을 고려한 시설내 보온자재, 커튼, 내부순환팬 가동 등

- AS-IS

- 현재 국내에 보급되는 단동형 스마트팜 시스템은 간편제어 위주의 시스템이 주를 이룸
- 예측된 환경요소에 대한 농가 피드백 시스템 부재

- TO-BE

- 환경데이터에 따른 사용자의 농장관리에 관한 데이터를 축적하면서 자기학습 기능의 알고리즘을 개발, 적용하여 환경조절 요소를 일반화
- 동일한 외부환경에 노출된 작목반 또는 그룹단위의 모니터링 및 우수농가의 환경요소와 비교/분석할 수 있는 시스템 개발
- 시설하우스의 내부 환기 최적화 모델을 통한 생산성 향상 도모
  - : 내부공기순환팬 및 배기팬을 이용한 내부 온습도 조절시스템 개발
  - : 독립적 모델화 상품수 증가를 통한 비즈니스 모델 다양화

○ 스마트 팜 설치 및 A/S 편의성 도모를 위한 매뉴얼 작성

- AS-IS

- 기존 컨트롤 패널이 농가별로 상이하여 전문적 지식을 가진 자만이 설치 가능
- 사용자의 사용미숙과 부주의 등으로 인한 유지보수 발생으로 비용증가 요소

- TO-BE

- 각종 액츄에이터 구동 릴레이를 스마트팜 시스템에 내장, 손쉽게 설치 가능한 모델 개발을 통한 설치비용 절감효과 도모
- 시스템 모듈화를 통한 설치 용이성 확보
- 사용에 관한 매뉴얼과 동영상 제공 및 이미 안정성을 인정받은 PLC 기반 시스템을 통하여 사후 유지보수 요소를 최소화
- 원격 유지보수 관련 기술이 적용된 시스템 개발로 사후 유지보수 비용 절감

○ 작목반 소속의 동일 시스템 데이터 서버 및 모니터링 시스템 구축 기술 개발

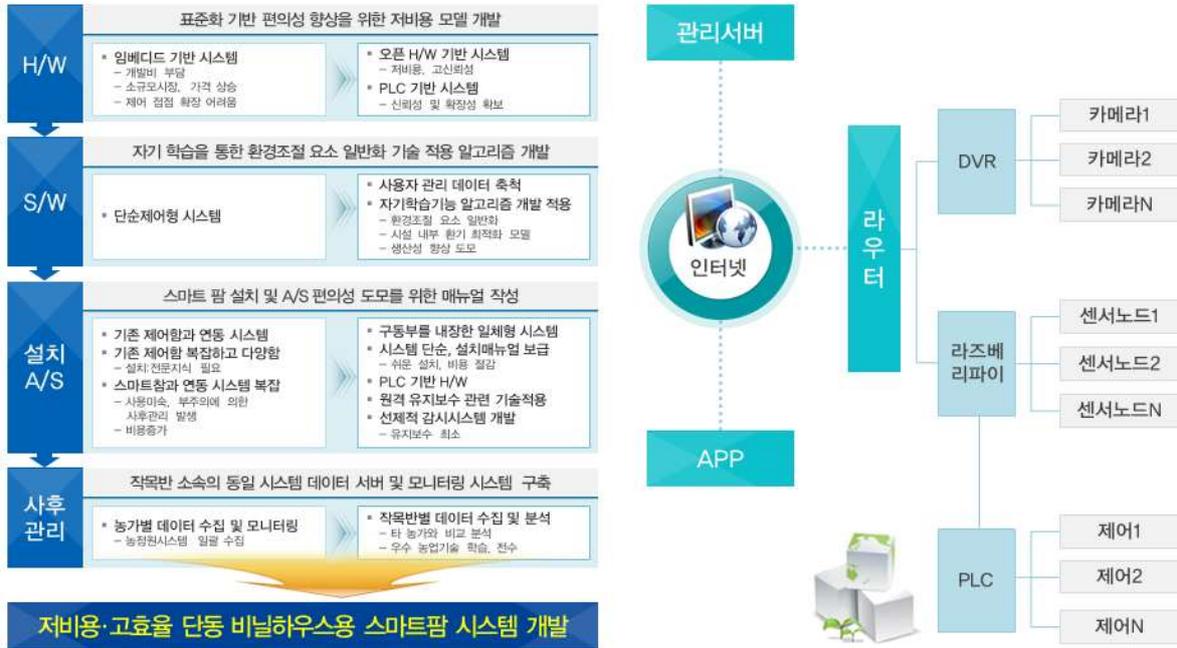
- AS-IS

- 농가 개별 데이터 수집 및 모니터링 시스템으로 개별 데이터를 농정원 시스템에서 일괄적으로 수집하는 방향의 시스템

- TO-BE

- 동일 작목반 소속 구성원의 데이터를 한 눈에 파악할 수 있는 시스템 구축을 통하여 우수 농업기술의 학습 및 전수에 용이한 시스템 구축

## » (제1세부) (주)다이시스



### (제1협동) 스마트팜 시스템의 효과 극대화를 위한 단동비닐하우스 개발

- ICT 일체형 단동비닐하우스 개발을 위한 설계요소 분석
  - 작목별 재배형태 및 농가선호 파이프 길이별 단동비닐하우스 규격 결정
  - 수박, 참외 및 딸기 주산지 분석 및 주산지별 내재해형 설계규격 도출
  - 피복재 두께와 서까래 간격에 따른 온실 구조안전성 실험
  - 서까래 파이프 규격 및 설치 간격에 따른 골조율 분석
- 작목별/주산지별 박과 및 딸기재배용 단동비닐하우스 개발
  - 재배형태 및 농가선호 파이프 길이별 단동비닐하우스 모델 개발
  - 기존 온실 대비 재료비가 10~15% 경감 모델 개발
  - 서까래 규격(φ33.5, φ38.1mm)별 강판조리개 제작
  - 실증시험용 온실 모델 설계 및 시공
  - ICT 일체형 단동비닐하우스 표준설계도면 및 시방서 제작
- 유동팬 및 배기팬을 이용한 온실 내부 습도조절시스템 개발
  - 온실 내부 공기순환팬 및 배기팬이 온실 온습도에 미치는 영향 계측 및 분석
  - 온실내 온도 및 습도조절을 위한 작동 알고리즘 개발
- 천창시스템을 가진 단동비닐하우스 설계를 위한 풍압계수 산정(시험의뢰)
  - 꼬깔콘형 및 몽골형 천창시스템을 가진 단동비닐하우스 풍압계수 산정
- 구조안전성과 환기효율을 고려한 천창환기시스템 개발(위탁)
- 환기성능 향상을 위한 환기창 설계요소 개발(위탁)

### (제1위탁) 온실내 환기효율 최적화 설계기술 개발

온실 내의 자연 및 강제 대류에 따른 환기성능 향상을 위한 환기시스템 설계 영향인자 도출 및 운전조건 최적화를 위한 3차원 열유동 해석 모델 개발을 통한 환기효율 최적화 설계 방안 제시

#### ○ 온실내 열유동 해석을 위한 3차원 CFD 모델 개발

- 기존 온실의 유동 해석을 통한 환기 특성 파악을 통한 환기·통풍 설계영향인자 도출
- 온실 난류 유동 해석을 위한 3차원 CFD 수치모델 개발
- CFD 모델의 적용 난류 모델의 타당성 및 작물 등 저항체를 고려한 수치모델 민감도 분석
- 개발 온실 모델에 대한 수치모델링을 통해 내부 열유동 특성 파악
- 천창 환기시스템 구조 및 개폐에 따른 자연 대류 특성 분석
- 환기팬에 대한 온실 내부 강제 대류 현상에 대한 수치모델링을 통해 온실 성층 현상 저감을 위한 팬의 배치 최적화

#### ○ 온실 열유동 수치모델 검증

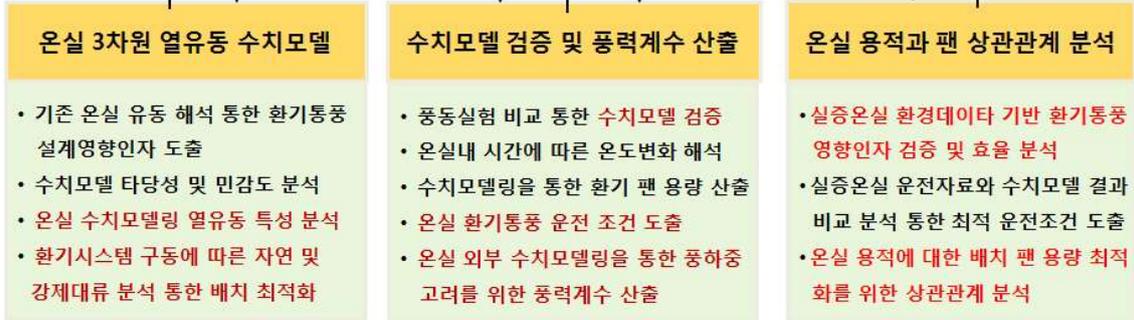
- 온실내 비정상 열유동 수치모델링을 통한 온실 내 시간에 대한 온도변화 특성 파악
- 수치해석 결과와 풍동실험결과 비교 분석을 통한 3차원 CFD 수치모델 검증
- 온실 열유동 해석 결과 분석을 통한 환기 팬 용량 산출
- 3차원 CFD 수치모델의 수정 보완 및 재해석을 통한 운전영향인자 도출
- 풍동실험과 수치해석 결과의 비교 분석을 통한 실증 온실에 환기·통풍 운전 조건 도출

#### ○ 온실 용적에 대한 배치 팬에 용량 최적화를 위한 상관관계 분석

- 실증온실 환경데이터 기반 온실 열유동 해석 통해 도출된 환기·통풍 운전 영향인자 검증 및 효율 분석
- 실증온실 환기시스템 개폐각도 및 외기 환경에 따른 환기 특성에 수치모델 결과와 비교 분석
- 실증온실에 수치해석에서 도출된 운전조건을 적용한 온실 환기 최적화
- 온실 용적에 대한 배치 팬에 용량 최적화를 위한 상관관계 분석

## 온실내 환기효율 최적화를 위한 3차원 열유동 수치모델 개발

### 연구개발 최종 목표



### (제2협동) ICT 일체형 단동 비닐하우스 실증시험

- 작물재배 실증시험을 통한 개발 2개 단동 비닐하우스 모델 효과 검증
  - 실험 규모의 개발 및 관행 하우스에서의 딸기재배 실증시험
  - 개발 및 관행 하우스에서의 딸기 및 참외재배 농가 실증시험
    - ICT 일체형 단동 비닐하우스 환경 개선효과 분석
    - 유동팬 및 배기팬 이용에 따른 온실 내부 습도조절 효과 분석
    - 시스템 적용에 따른 참외 및 딸기 재배효과 분석
- ICT 일체형 단동비닐하우스의 경제성 분석
  - B/C 분석을 통한 개발품의 경제성 분석

## 2. 국내외 기술개발 현황

코드번호	D-04
<p>1) 국내 제품생산 및 시장 현황</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 국내 원예시설 면적은 51,829ha(2010년 기준)로 이 가운데 단동비닐하우스(비가림시설 포함)면적은 전체 면적의 90%를 차지하고 있으며, 시공가 기준으로 단동비닐하우스(17,880원/m<sup>2</sup>;원예특작시설 내재해형 규격 설계도·시방서(2010) 단동비닐하우스 평균 시공비)의 자산규모는 7조 7,395억원에 이르고 있으며, 이 중 단동비닐하우스의 사용년수가 10년 이상된 노후화된 온실의 비율은 90%를 상회하는 면적으로 추정된다. 그리고 첨단온실 신축지원사업 시행지침(2013년)에 따르면 2020년까지 비닐온실을 4,493ha를 지원하는 것으로 되어 있으며, 연동형 온실을 원칙으로 하나 작물 특성상 단동형이 적합하다고 인정되는 경우에는 단동온실도 지원대상이 된다. 따라서, 단동비닐하우스가 적합한 수박, 멜론, 딸기, 참외 재배시설의 전체 시설채소 재배면적에 대한 비율을 산정하면 약 37.6%에 달한다. 따라서, 비닐온실 신축지원사업에서 이 비율을 고려하면 2020년까지 약 1,689ha의 단동비닐하우스가 신축될 것으로 예상할 수 있으며, 매년 211ha(377억원)의 단동비닐하우스가 신축될 것으로 추정할 수 있다.</li> <li>○ 농림축산식품부는 농업의 미래성장산업화 가속화를 위한 경쟁력 제고와 성장동력 창출을 위한 스마트 팜 보급 목표             <ul style="list-style-type: none"> <li>- '17년까지 시설원예 4,000ha(시설현대화 면적의 40%), 축산농가 700호(전업농의 10%) 및 과수농가 600호(과원규모화농가 25%)에 스마트 팜 보급</li> <li>- 주산지 중심으로 지원확대('15 : 246억원 → '16 : 454), 시설원예의 경우 관련 사업 예산의 60%를 ICT 시설·장비 중심으로 지원('16)</li> </ul> </li> </ul> <p>2) 국외 제품생산 및 시장 현황</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 국외의 경우 연동온실 및 첨단온실에 적합한 시스템이 보급되고 있으며, 단동비닐하우스에 최적화된 스마트 팜의 경우에는 거의 없는 실정임.</li> <li>○ 일본 후지쯔 Akisai의 경우 단동비닐하우스에 보급되고 있으며, 임대료 형식으로 농가에 판매되고 있음.</li> </ul>	

### 3. 연구수행 내용 및 결과

코드번호	D-05
------	------

■ 제1세부(다이시스) : 저비용·고효율 단동비닐하우스용 스마트팜 시스템 개발

1. 표준화 기반 편의성 향상을 위한 저비용 모델 개발

가. 저비용, 고효율을 위한 기술적 접근

○ Add-On형태 시스템 → 확산 보급 용이

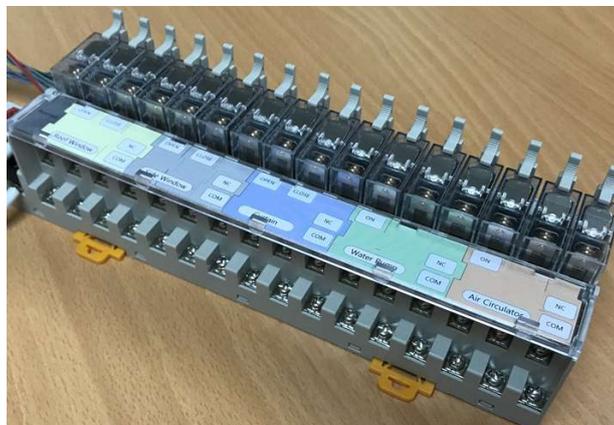
- 비용 측면 : 기존 제어함에 추가되는 형태로 시스템 비용 감소
- 사용성 측면 : 익숙한 기존 제어함을 병행하여 사용하면서, 새로운 사용법을 서서히 익히면서 이동하도록 유도하기 용이함
- 신뢰성 측면 : 기존 제어함을 Backup 시스템으로 활용하여, 긴급상황 발생시 A/S 소요 시간 동안 피해를 줄일 수 있음

○ 자유로운 원격/현장 제어 전환 → 시스템 활용성 제고 기대

- 타 시스템의 경우 현장에 있는 전환스위치를 원격으로 선택한 상태에서만 원격제어가 가능함
- 본 시스템은 원격(자동)/현장제어를 현장과 원격에서 자유롭게 전환할 수 있어, 사용자의 필요에 따라 원격이나 현장에서 각각 제어채널별 제어가 가능하여, 시스템의 효율성이 높음

○ 고신뢰성의 FA용 부품 사용 → 신뢰성 제고 및 유지보수 용이

- 현장의 고부하 모터 제어에서 발생하는 전기적인 노이즈는 임베디드 시스템의 오작동 및 시스템이 멈추는 현상을 야기하는 등 안정성 문제를 발생시킴
- 부품에 전기적인 충격을 주어 부품의 피로도를 높임으로써 부품수명을 단축시킴
- 본 시스템은 공장자동화(FA)에서 주로 사용되는 신뢰성이 높은 PLC 및 제어용 릴레이 모듈을 사용함으로써, 각종 전기적인 노이즈에 대한 내성을 강화되어 고장 발생 가능성이 낮아짐



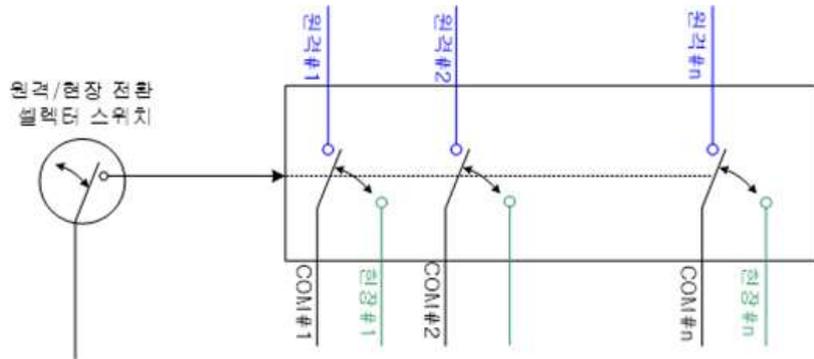
- 시스템 고장으로 인한 사용자의 지출비용을 줄이고, 간단히 릴레이를 교체할 수 있어,

유지보수가 용이해지고, 시스템 운용의 효율성을 증가시킴

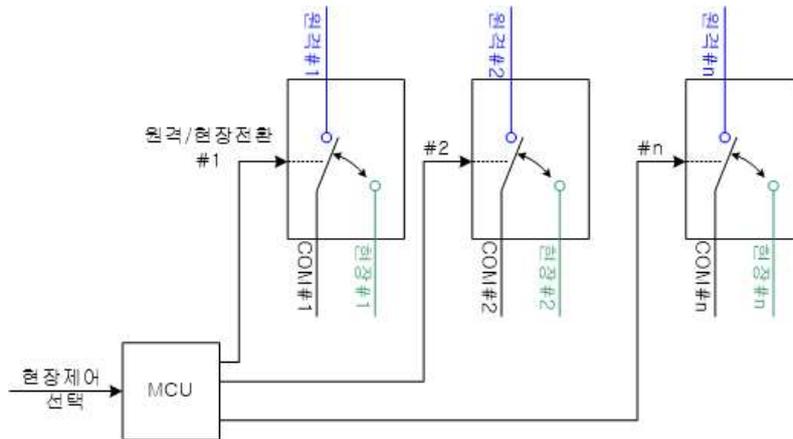
나. 기술적 혁신성 (기존 자동화 기술과 차별성)

○ 원격/현장 제어 전환 방법

- 기존 시스템은 시설하우스 장치 제어를 수행함에 있어서 전체 제어채널을 동시에 스마트팜 원격(또는 자동)제어하거나, 전체 제어채널을 동시에 기존 제어함을 사용하여 현장 제어하여야 함
- 본 시스템 사용자는 제어 채널별로 자유롭게 두 가지 방식(원격 및 현장제어) 중에서 원하는 방식으로 제어 가능
- 셀렉터 스위치와 같은 별도의 물리적인 절환 스위치가 없이 현장과 원격에서 자유로운 전환이 가능



< 기존 시스템 구조 >



< 본 시스템 구조 >

○ 유지보수

- 수집되는 환경 센서 데이터를 분석하여 센서의 정상동작 여부나 문제점을 진단하여, 이에 따른 조치사항을 사용자나 A/S 담당자에게 전달하여 처리가능
- 자유로운 소프트웨어 업데이트를 통하여 문제점을 개선할 수 있음.

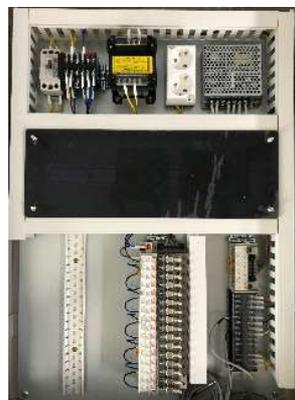
○ 영상 통합 UI/UX

- 영상과 제어를 한 화면으로 구성함으로써, 제어에 대한 리액션을 실시간으로 확인 가능
- 아울러, 이동통신망을 연동하는 경우에도 관제에 충분한 화질의 영상 제공
- 다양한 DVR, NVR, IP Camera 등을 지원하여, 농가의 부담이나 환경에 따라 DVR(또는 NVR) + IP Camera와 같은 자유로운 구성이 가능함

○ 정전감지 방법 개선

- 기존시스템의 경우, 정전감지 및 정전알림을 위해 대용량의 배터리를 사용함으로써 비용이 상승하고, 하절기 시설하우스 내 고온 환경에서 충방전이 계속되는 등 사용상 위험성이 내재되어 있으며, 정전으로 인하여 현장의 통신망이 단절된 경우 사용자에게 알림을 전달할 수 없음(특히 출원 진행중)
- 본 시스템은 배터리 없이 정전 및 네트워크 상태를 분석하여 사용자에게 알림을 전달함으로써, 시스템 비용을 절감
- 고온 환경에서 배터리를 충전하는 위험성을 완전히 제거
- 라우터, 공유기, 광모뎀 등 현장의 네트워크 상황과 상관없이 사용자에게 알림을 보낼 수 있음

다. 개발 시스템 구조



<게이트웨이 일체형>



<단동 제어함>

<스마트팜 구성>

○ 초저비용의 단동 제어함

- 각 동당 1개씩 설치되므로 단가를 낮추는게 중요하다. 단동 제어함은 제어보드, 제어용 릴레이 모듈, 전원부와 아날로그 온.습도센서로 구성되어, 재료비(MC)는 20만원정도이다.
- 오픈 H/W 기반 MCU, 외부 이벤트 입력보드, 전원 등으로 구성되는 순수 게이트웨이의 재료비는 30만원 정도이내이다. 5개동 시스템은 게이트웨이 x 1 + 단동제어함 x 5로 구성된다.
- 게이트웨이는 온실운영서버로부터 설정정보를 다운로드받아, 시간정보와 함께 해당 동의 설정정보를 단동 제어함으로 전달하고, 외부 환경센서 정보를 주기적으로 전달한다.
- 단동제어함은 게이트웨이로부터 수신받은 설정정보에 따라, 동별 자체 센서정보와 외부 센서 정보, 시간정보를 기반으로 액추에이터를 동작한다.
- 사용된 릴레이 모듈은 16개으로써 최대 8개의 개폐제어, 최대 16개의 동작/정지 제어가 가능하여 조합에 따라 딸기하우스에 필요한 5개의 개폐제어와 6개의 동작제어로 구성하여 사용할 수 있다.
- PLC기반 단동 제어함은 비용이 크게 증가하므로, 통합형제어함으로 구성하도록 하였고, 손쉬운 제어확장을 지원한다.

○ 게이트웨이 통합형 단동 제어 시스템

- 게이트웨이 통합형은 게이트웨이 기능과 제어가 하나의 BOX내에 일체형으로 구성되어, 제어확장이 용이하고, 통합 제어요소가 많은 환경에 적합하다.
- 실증하우스의 경우 1개동만 있으므로 게이트웨이 통합형으로 설치하였다.



<고령 참외 실증사이트>

- 1차년도 시스템은 일반적인 단동하우스의 제어요소 개수를 개폐기준 5채널로 선정하고 (a)와 같이 개발하였다. 그러나, 더 많은 수의 제어요소가 필요한 딸기하우스의 경우, 이를 위해 시스템 함의 크기를 변경하고 내부 배치를 재설계하여 개폐10채널까지 확장이 가능한 시스템을 개발하였다. 새로 개발된 시스템은 5채널을 기본 실장하고, 필요에 따라 제어노드와 릴레이 모듈을 설치하므로써 10채널로 확장이 가능한 구조이다. 제어노드의 경우 1:1 또는 1:N 구조 모두 연결이 가능하다. 아울러, PLC 제어프로

그램을 재설계하여 5채널씩 증설 가능토록 구현하였다.



(a) 5채널 제어함

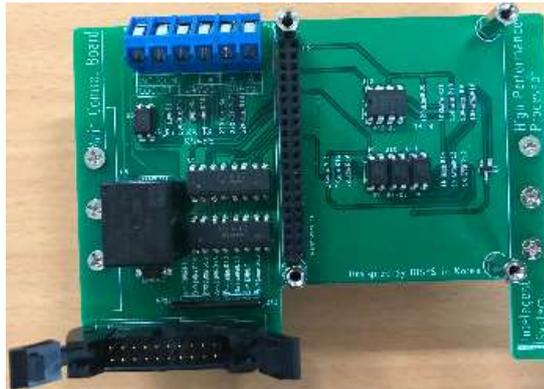


(b) 10채널 확장 가능 제어함

<제어함 확장성 비교>

○ 비용 절감, 안정성, 양산성 개선 작업

- 3회에 걸친 PCB 개선 작업을 통해 외부 이벤트 입력과 센서통신 인터페이스 안정성 개선하고, Din-rail 장착형이므로 탈부착이 쉽고 생산 및 유지 보수가 용이하다.



- 전원 일원화 : DC 5/12/24V에서 DC 5/24V로 변경하여 전원단의 부품비용을 절감하고, 양산성을 개선함
- 센서노드 안정성 향상 : 공급전압을 높혀 장거리 배선에 의한 전압강하를 줄이고, 노이즈에 대한 전원 리플을 줄여 센서노드의 안정성이 개선됨



(a) 단동형 비닐하우스 외부



(b) 단동형 비닐하우스의 배선상태

<단동형 비닐하우스>

- 센서노드 자유도 향상 : 센서노드 S/W를 통합/최적화/지능화하여 1개의 소스코드로 다수의 센서를 지원하도록 함.

다양한 센서를 쉽게 확장하기 위해서 소프트웨어와 하드웨어 측면을 고려하였다. 소프트웨어 측면에서는 센서별로 센서노드의 펌웨어 관리요소가 있고, 하드웨어 측면에서는 전원 관리요소가 중요하다.

센서노드의 펌웨어가 센서별 개별적으로 사용되는 경우, 공통의 개선사항을 적용하기 위해서는 모든 소스코드에 적용하고 제대로 적용되었는지 세밀한 검증이 필요하여 여러 가지 관리상 문제가 발생한다. 이를 개선하기 위해 분리된 소스코드를 최적화하여 단일 소스로 통합하였다.

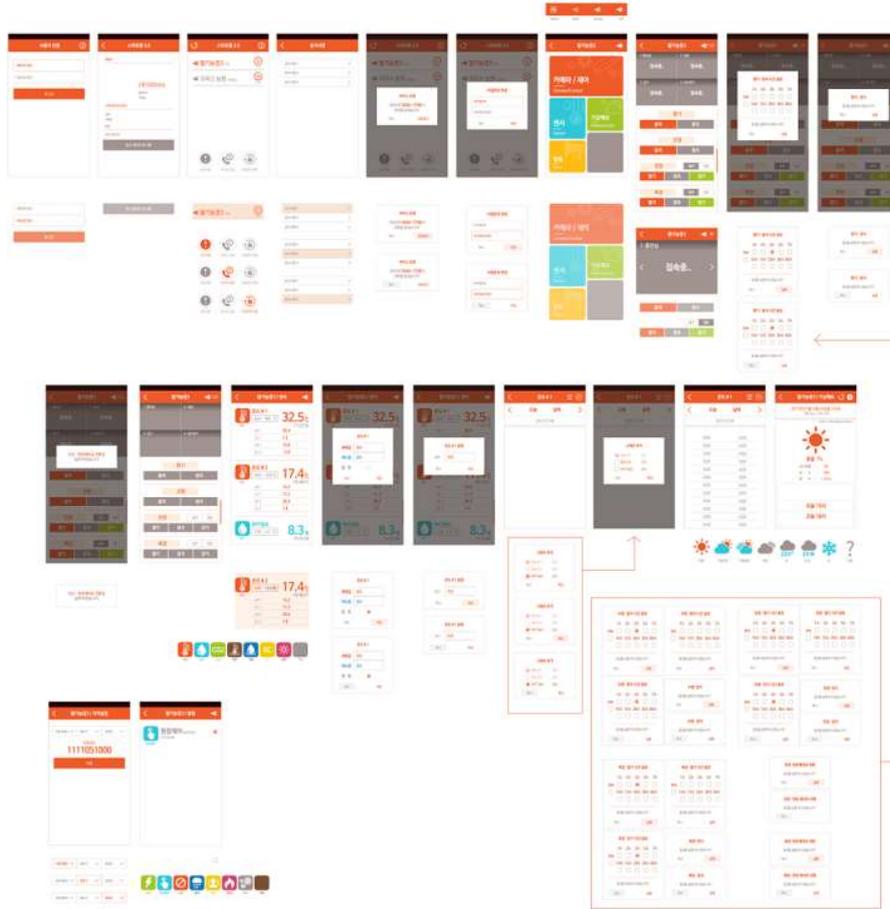
하드웨어 측면에서는 다수의 센서를 연결하기 위해서는 다수의 센서노드를 연결해야 하는데, 기존의 센서노드 전원으로는 먼거리의 센서노드에 안정적인 전원 공급이 이루어지지 않는 경우가 있었다. 이를 개선하기 위해 센서 노드 전원을 24V까지 지원하여, 충분한 전원이 공급될 수 있도록 하였다.

- 외부 유입 전원 노이즈 방지 대책 : 시설하우스 현장에 사용되는 각종 모터나 낙뢰 등으로부터 발생하는 강력한 전원 노이즈로부터 시스템을 보호하기 위해 변압기를 사용 시스템 안정성이 크게 향상됨.



○ 사용자 중심의 인터페이스(UI) 개발

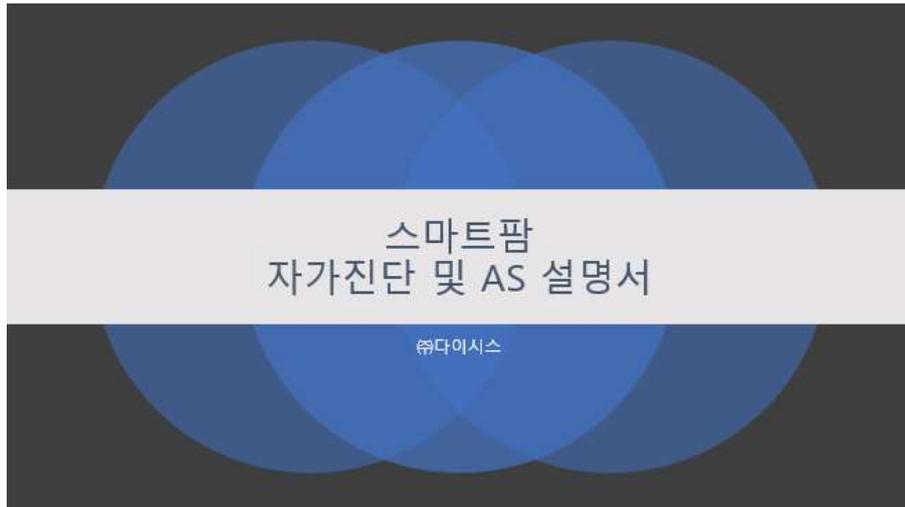
- 스마트폰 앱에 사용되는 GUI를 디자인하여 직관적이고 우수한 시인성을 확보함.



## 2. 설치 및 유지 보수가 용이한 시스템 개발

### 가. 설치 용이성 제고

- 기존 컨트롤 패널이 농가별로 상이하여 관련 지식을 가진 전문가만이 설치 가능하다. 유지 보수 용이성 제고
- 사용자의 사용미숙과 부주의 등으로 인한 유지보수 발생으로 비용증가 요소
- 이미 안정성을 인정받은 PLC 기반 시스템을 통하여 사후 유지보수 요소를 최소화
- 원격 유지보수 관련 기술이 적용된 시스템 개발로 사후 유지보수 비용 절감 • 각종 액츄에이터 구동 릴레이를 스마트팜 시스템에 내장, 손쉽게 설치 가능한 모델 개발을 통한 설치비용 절감효과 도모
- 시스템 모듈화를 통한 설치 용이성 확보
- 사용시 발생하는 문제점에 대한 매뉴얼을 제공하고, 동영상을 통하여 자가 진단 및 간단한 유지 보수 작업 가능
- 자가 진단 및 AS 매뉴얼



## 목차



- 스마트폰 앱 이상 : 스마트폰 앱의 접속이상 부분을 간략히 설명하고, 스마트폰의 교체, 번호변경에 대해 설명하며, 별도의 “스마트 폰 앱 사용설명서”에서 자세하게 설명한다.
- 제어이상 : 원격제어가 되지 않을 때, 배선, 릴레이, 제어함 상태 등의 점검 포인트와 점검 방법, 현장에서 조치 방법, 간단한 릴레이 교체 방법, 비상운전 방법 등.
- 센서이상 : 센서 이상 표시에 대한 각각의 대처법을 상세히 설명
- CCTV 이상 : 현장에서 CCTV에서 나타나는 이상에 대한 각 케이스별 점검 방법 및 조치 방법 설명
- 스마트폰 앱의 영상 이상 : 현장 CCTV와 별도로 스마트폰 앱에서의 영상의 품질이나 문제가 있을 경우에 대한 점검 및 조치 방법 설명
- 스마트폰 앱 사용매뉴얼
  - 스마트팜 접속방법 및 주의사항
  - 농장 선택 : 여러개의 농장 중에서 접속하고자 하는 농장에 접속
  - CCTV 영상 : CCTV 영상중에서 4개중 1개 선택 확대보기/복귀, 페이지 이동, 가로보기 등
  - 제어 : 원격/현장 개념, 원격제어 방법, 현장으로 제어권 반납, 스위치 타입(셀

렉터/푸쉬버튼, 원격/단순제어)별 주의점, 제한시간 등.

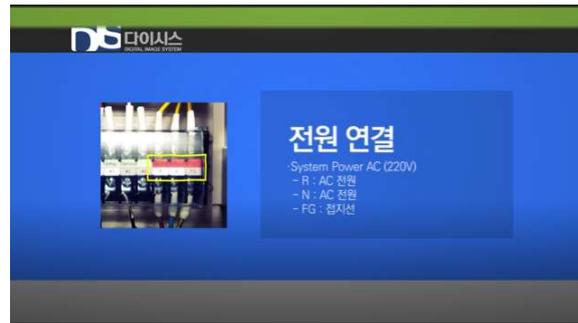
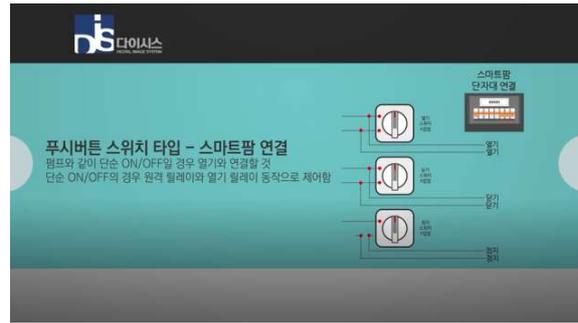
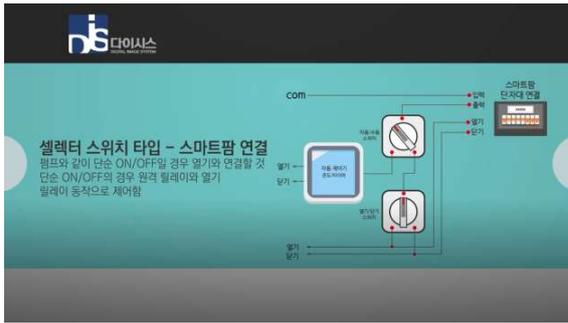
- 센서 정보 : 각 센서정보 보기, 센서 범위 알람 설정, 그래프 확인 및 보기 전환, 날짜이동, 그래프 비교
- 기상 예보 : 기상청의 지역 날씨 예보
- 기타 서비스 요청 방법, 비밀번호 변경 방법 등

**사용설명서**

01 스마트팜 사용 전		02 스마트팜 사용하기	
사용 전 주의 사항	4	스마트팜 접속	12
사용상 주의 사항	5	스마트팜 접속에 대한 주의 사항	13
안전을 위한 주의 사항	6	농장 선택	14
카메라 사용에 대한 주의 사항	7	CCTV 영상	15
요금제 미치 기본 제공 데이터 용량	8	제어	16
서비스 규정	9	센서 : 정보 보기	17
스마트폰(안드로이드 폰) 동기화 설정	10	센서 : 알람 설정	18
스마트팜 전용 애플리케이션 설치	11	센서 : 그래프 확인 및 보기전환	19
		센서 : 날짜 이동	20
		센서 : 그래프 비교	21
		센서 사용에 관한 주의 사항	22
		기상예보	23
		센서 사용에 관한 주의 사항	24
		서비스 요청	25
		비밀번호 변경	26
		스마트팜 이용약관	27

• 자가 설치 매뉴얼(동영상)





### 3. 작목반 소속의 동일 시스템 데이터 서버 및 모니터링 환경 구축

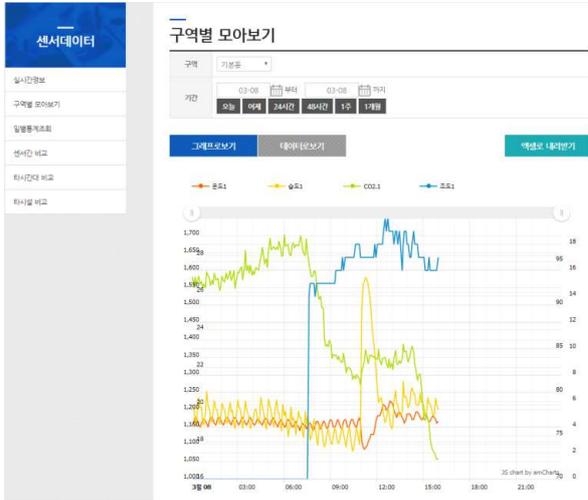
- 웹 인터페이스로 환경요소 정보를 제공하고, MS-Excel 파일로 제공함으로써, 과학영농의 자료로 활용가능하다.
- 작목반내 농장들간 환경요소와 작물 상태 비교를 통하여 피드백을 받고 추후 작기에 사용될 제어 파라미터의 업데이트가 가능하다.



<초기화면>



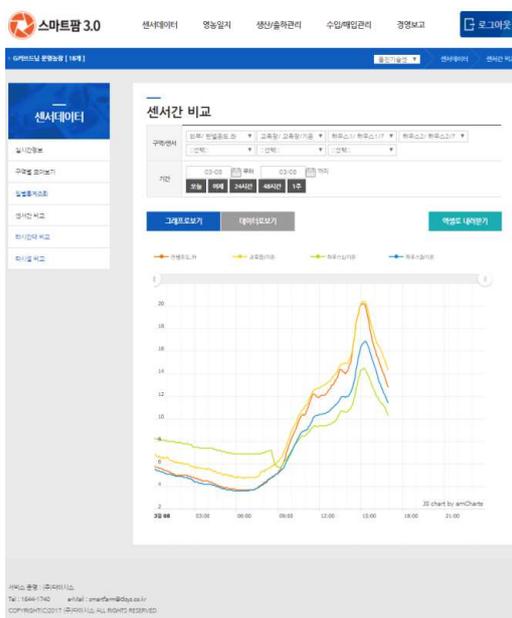
<농장 선택 화면>



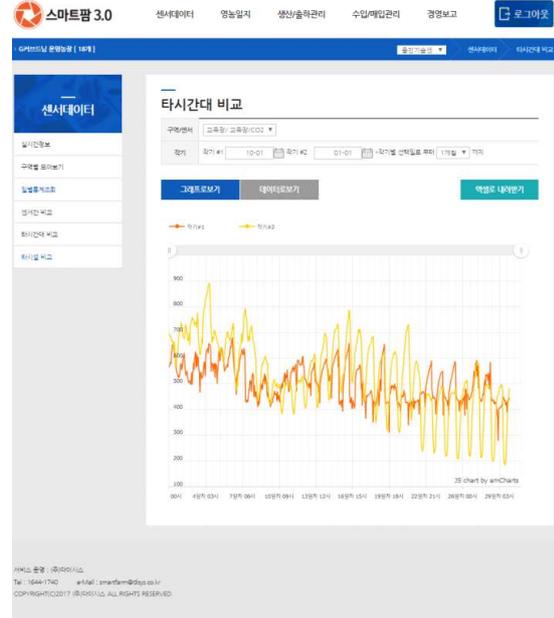
<센서 그래프 분석 화면>

일자	온도(°C)	습도(%)	CO2(PPM)	풍속(m/s)
03:00 03:00	18.9	76.5	1501	0
03:00 03:10	18.1	76.1	1482	0
03:00 03:20	18.3	77.1	1507	0
03:00 03:30	18.3	76.1	1488	0
03:00 03:40	18.1	76.6	1476	0
03:00 03:50	18.9	76.6	1488	0
03:00 00:35	18.0	78.2	1480	0
03:00 00:40	19	78.9	1468	0
03:00 00:45	18.2	76.5	1448	0
03:00 00:50	18.2	76.2	1461	0
03:00 00:55	18.1	77.7	1490	0
03:00 01:00	19	80.1	1498	0
03:00 01:05	18.8	76.6	1488	0
03:00 01:10	18.1	76.2	1477	0
03:00 01:15	18.0	77	1488	0
03:00 01:20	18.2	76.5	1472	0
03:00 01:25	18.2	77.6	1490	0
03:00 01:30	18	78	1482	0
03:00 01:35	18.9	78.1	1472	0
03:00 01:40	18.1	78	1476	0
03:00 01:45	18.3	77.2	1477	0
03:00 01:50	18.2	76.2	1442	0
03:00 01:55	18.2	77.2	1488	0
03:00 02:00	18	78.7	1488	0
03:00 02:05	18.9	78.1	1468	0
03:00 02:10	18.1	78	1467	0
03:00 02:15	18.2	76.6	1482	0
03:00 02:20	18.3	76.5	1474	0
03:00 02:25	18.2	77.6	1482	0
03:00 02:30	18	78.6	1498	0
03:00 02:35	18.9	77.7	1471	0
03:00 02:40	18.1	77.8	1478	0
03:00 02:45	18.9	76.3	1488	0

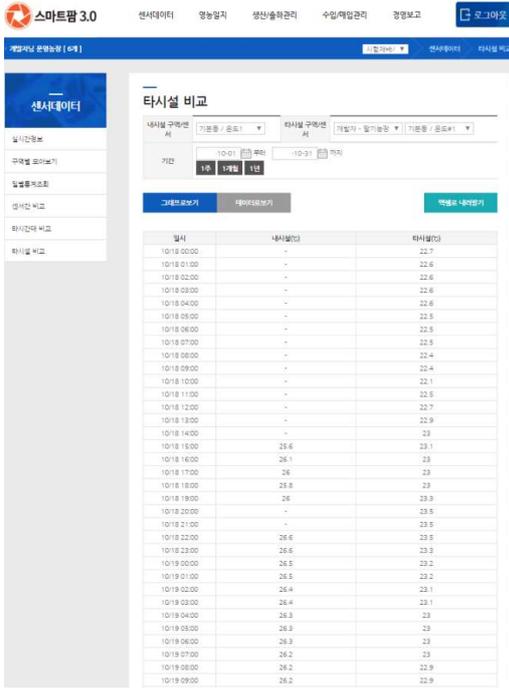
<센서 데이터 값 및 다운로드>



<타센서와 비교>



<타작기(시간)와 비교>



<작목반내 타시설 데이터 비교>



<작목반내 타시설 그래프 비교>

○ 사업화성과 및 매출실적

- 사업화 성과

항목	세부항목		성 과	
사업화 성과	매출액	개발제품	개발후 현재까지	4억원
			향후 3년간 매출	15억원
		관련제품	개발후 현재까지	억원
			향후 3년간 매출	억원
	시장 점유율	개발제품	개발후 현재까지	국내 : % 국외 : %
			향후 3년간 매출	국내 : 10% 국외 : 5%
		관련제품	개발후 현재까지	국내 : % 국외 : %
			향후 3년간 매출	국내 : % 국외 : %
	세계시장 경쟁력 순위	현재 제품 세계시장 경쟁력 순위		위
		3년 후 제품 세계 시장경쟁력 순위		위

## 1절 ICT 기술 적용 효과 극대화를 위한 단동비닐하우스 모델 개발

### 1. 작목별 내재해형 단동비닐하우스 모델 개발

#### 가. 천창을 겸비한 단동비닐하우스 구조설계방법 정립 및 제시

##### ○ 풍하중(W) 산정

$$W = P \cdot A \text{ (N)}$$

여기서, P : 설계풍압(N/m<sup>2</sup>), A : 유효수압면적(m<sup>2</sup>)

$$P = q_h \cdot G \cdot C \text{ (N/m}^2\text{)}$$

여기서,  $q_h$  : 온실과 버섯재배사 평균높이 h에 대한 설계속도압(N/m<sup>2</sup>), G : 가스트 영향계수(1.0 사용), C : 풍압계수

$$q_h = \frac{1}{2} \rho V_h^2 = 0.1937 V_0^2 \cdot \sqrt{h} \cdot K_{zt}^2 \text{ (N/m}^2\text{)}$$

여기서,  $\rho$  : 공기밀도로서 균일하게 1.225(kg/m<sup>3</sup>) 적용

$V_h$  : 설계지역의 지표면으로부터 온실의 평균높이 h(처마높이+½지붕높이)에 대한 설계풍속(m/s)

$$V_h = V_0 \cdot \left( \frac{h}{h_0} \right)^\alpha \cdot K_{zt} \text{ (m/s)}$$

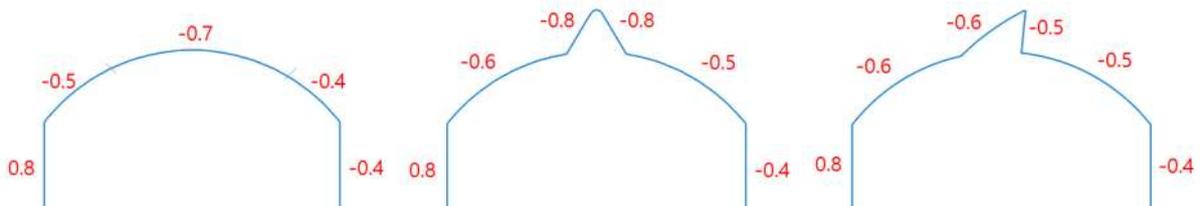
여기서,  $V_0$  : 지표면 높이  $h_0=10\text{m}$ 에서의 기준풍속 (m/s)

h : 온실의 평균높이(처마높이+½지붕높이) (m)

$h_0$  : 풍속측정 기준높이(=10m)

$\alpha$  : 풍속고도분포지수(0.25)

$K_{zt}$  : 지형계수(평탄한 지형인 경우 1.0)



<풍압계수>

##### ○ 적설하중(S) 산정

$$S = \rho \cdot Z_s \cdot C_e \cdot C_s \text{ (N/m}^2\text{)}$$

여기서,  $\rho$  : 눈의 평균단위중량(적설심 1mm당 N/m<sup>2</sup>)

$Z_s$  : 설계적설심(cm)

$C_e$  : 노출계수(1.0 적용)

$C_s$  : 지붕경사도계수

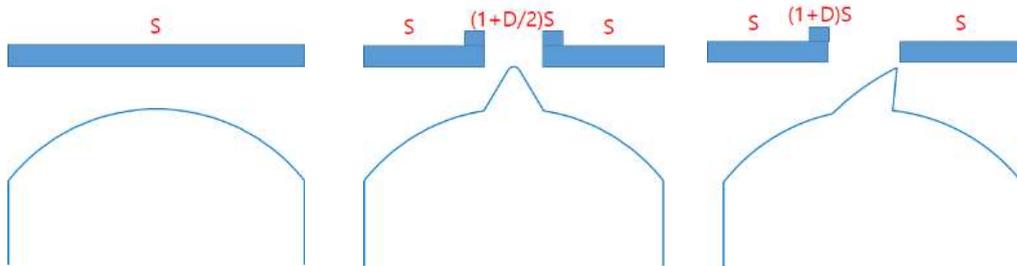
<눈의 평균단위중량>

수직최심적설깊이( $Z_s$ , m)	0.5이하	1.0	1.5	2.0이상
평균단위중량 ( $\rho$ , 적설심 1mm당 (N/m <sup>2</sup> )	1.0	1.5	2.0	3.0

주) 중간 값은 직선보간법으로 계산한다.

<지붕경사도계수>

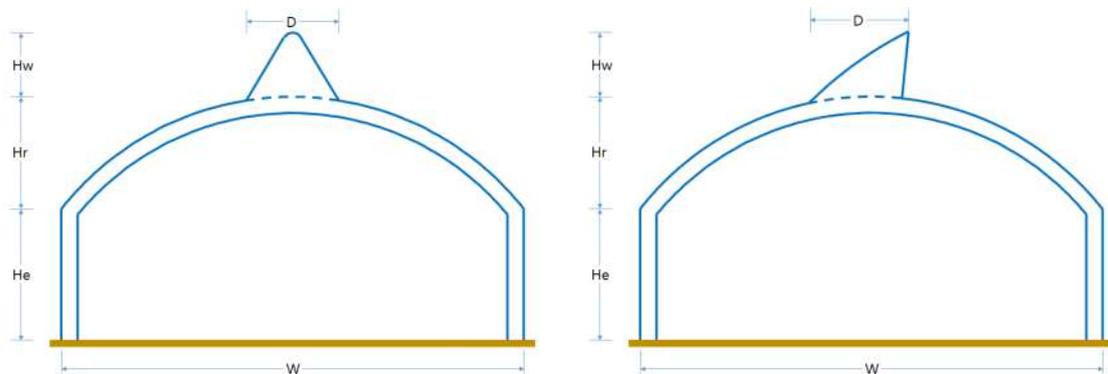
지붕경사	20°이하	20°~60°	60°이상
지붕경사도계수	1.0	1-(지붕경사-20)/40	0



<적설하중 재하도>

나. 천창시스템을 가진 단동비닐하우스 모델 제시

- 천창시스템의 형태에 따라 박과(참외, 수박) 및 딸기(고설재배용)에 적용가능 단동비닐하우스 모델은 아래와 같음



<모델 A>

<모델 B>

<천창시스템 형태별 단동비닐하우스 모델>

<박과재배용 단동비닐하우스 규격>

(단위 : m)

	폭(W)	처마높이(He)	지붕높이(Hr)	Hw	D
모델1	5.4	1.2	1.4	1.0~1.2	1.2
모델2	6.0	1.3	1.4~1.5	1.0~1.2	1.2
모델3	6.8	1.3	1.7	1.0~1.2	1.2

<딸기 고설재배용 단동비닐하우스 규격>

(단위 : m)

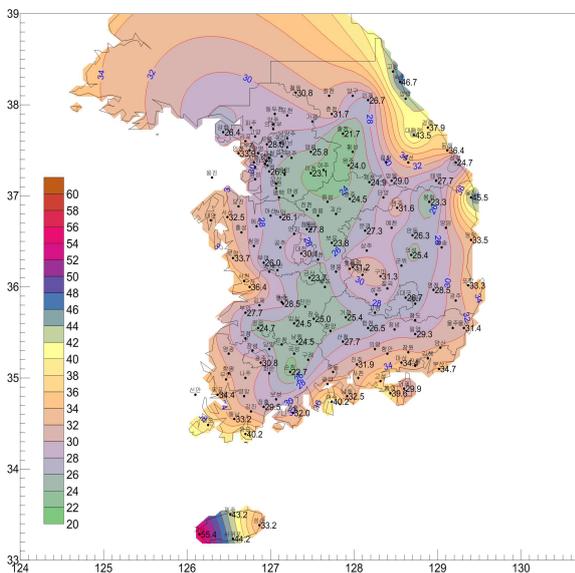
m)

	폭(W)	처마높이(He)	지붕높이(Hr)	Hw	D
모델1	6.0	1.6~1.8	1.5~1.7	1.0~1.2	1.2
모델2	7.2	1.6~1.8	1.5~1.7	1.0~1.2	1.2
모델3	8.4	1.8~2.0	1.8~2.0	1.0~1.2	1.2

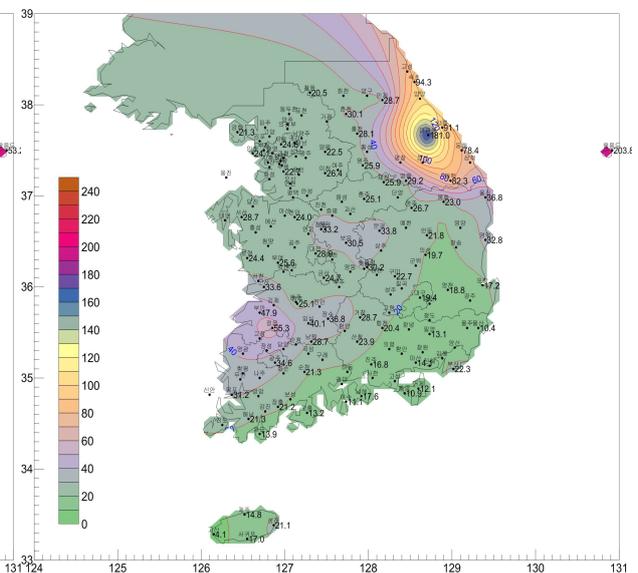
○ 천창시스템의 규격(Hr, D)에 따른 환기개선 효과를 분석하여 가장 안정적인 규격을 분석하고자 3차년도에 다양한 규격에 따른 환기개선 효과를 분석하고자 함.

다. 지역별 내재해형 단동비닐하우스 모델 제시

○ 상기 모델에 대하여 지역별 내재해형 설계기준별로 서까래 간격을 선택할 수 있는 방안을 모색



<등풍속선도>

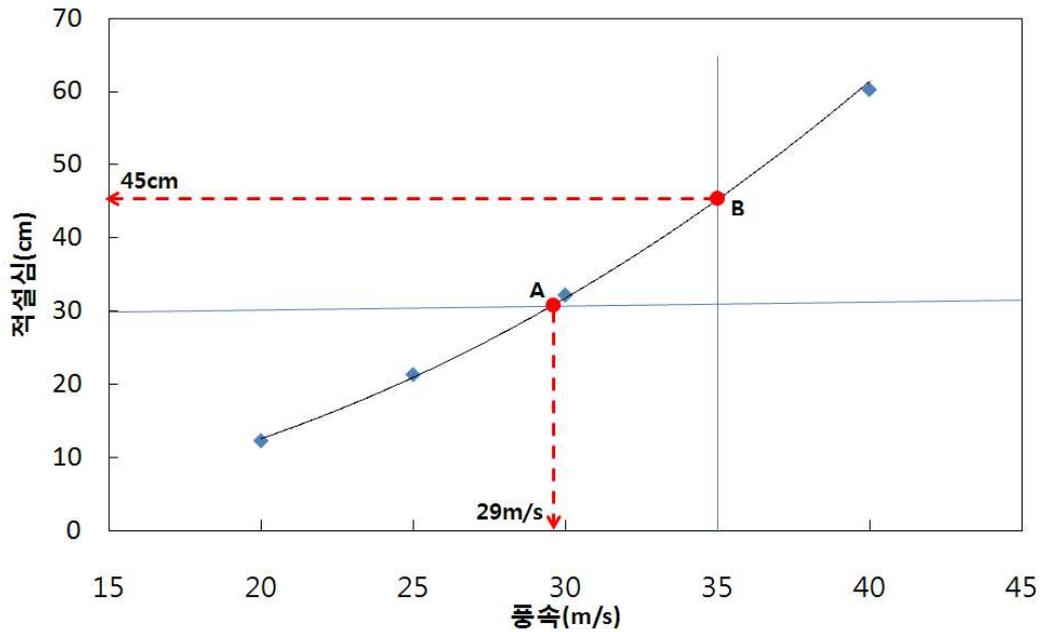


<등적설심선도>

○ 단동비닐하우스의 지역별 구조안전성을 결정하는 지배하중 산정

그림에서 보는 바와 같이 내재해형 적설심기준인 30cm의 가로선과 그래프가 교차되는 점 A의 풍속을 읽으면 29m/s가 된다. 이는 내재해형 풍속기준인 35m/s를 만족하지 못하므로, 내재해형 풍속기준인 35m/s의 세로선과 그래프가 교차되는 점 B의 적설심을 읽으면 45cm가

된다. 따라서, 내재해형 풍속 및 적설심기준을 동시에 만족하는 풍속 35m/s가 서울지역의 단동비닐하우스의 내재해형 설계기준이 된다. 이러한 방법으로 표고재배하우스의 표준모델별로 지역별 내재형 설계기준을 산정하였다.



<단동비닐하우스의 풍속 및 적설심 관계>

<지역별 단동비닐하우스 내재형 설계기준>

지 역		모델A(꼬깔콘형)			모델B(몽골형)		
		모델1	모델2	모델3	모델1	모델2	모델3
서울	서울	35m/s	35m/s	35m/s	30cm	35m/s	35m/s
	용인	30cm	30cm	30cm	30cm	30cm	30cm
경기도	안성	30cm	30cm	30cm	30cm	30cm	30cm
	이천	30cm	30cm	30cm	30cm	30cm	30cm
	여주	30cm	30cm	30cm	30cm	30cm	30cm
	양평	25cm	25cm	25m/s	25cm	25cm	25cm
	수원	30cm	30cm	30cm	30cm	30cm	30cm
	문산	25cm	25cm	25m/s	25cm	25cm	25cm
	파주	30cm	30cm	30cm	30cm	30cm	30cm
	동두천	25cm	25cm	25m/s	25cm	25cm	25cm
	강화	30m/s	25cm	30m/s	25cm	30m/s	25cm
	안양	30m/s	30cm	30m/s	30cm	30cm	30cm
	안산	35cm	35cm	30m/s	35cm	35cm	35cm
	화성	35cm	35cm	30m/s	35cm	35cm	35cm

	인천	40m/s	40m/s	40m/s	35cm	40m/s	40m/s
강원도	홍천	30cm	30cm	30cm	30cm	30cm	30cm
	횡성	30cm	30cm	30cm	30cm	30cm	30cm
	평창	40cm	40cm	40cm	40cm	40cm	40cm
강원도	원주	30cm	30cm	30cm	30cm	30cm	30cm
	영월	30cm	30cm	30cm	30cm	30cm	30cm
	정선	40cm	40cm	40cm	40cm	40cm	40cm
	인제	40cm	40cm	30m/s	40cm	40cm	40cm
	양구	40cm	40cm	30m/s	40cm	40cm	40cm
	화천	40cm	40cm	30m/s	40cm	40cm	40cm
	춘천	35m/s	40cm	35m/s	40cm	40cm	40cm
	동해	40m/s	40m/s	40m/s	40cm	40m/s	40m/s
	삼척	40m/s	40m/s	40m/s	40cm	40m/s	40m/s
	강릉	40m/s	40m/s	40m/s	40cm	40m/s	40m/s
	대관령	40m/s	40m/s	40m/s	40cm	40m/s	40m/s
	양양	40m/s	40m/s	40m/s	40cm	40m/s	40m/s
	속초	40m/s	40m/s	40m/s	40cm	40m/s	40m/s
	충청도	괴산	35cm	35cm	35cm	35cm	35cm
음성		35cm	35cm	35cm	35cm	35cm	35cm
대전		30m/s	30cm	30m/s	30cm	30cm	30cm
부여		30m/s	30cm	30m/s	30cm	30cm	30cm
제천		30m/s	30cm	30m/s	30cm	30cm	30cm
충주		35cm	35cm	30m/s	35cm	35cm	35cm
논산		30m/s	30cm	30m/s	30cm	30cm	30cm
금산		30m/s	30cm	30m/s	30cm	30cm	30cm
보령		35m/s	35cm	35m/s	35cm	35m/s	35cm
서산		35m/s	35cm	35m/s	35cm	35m/s	35cm
청주		35m/s	40cm	35m/s	40cm	40cm	40cm
아산		35m/s	35m/s	35m/s	30cm	35m/s	35m/s
예산		35m/s	35m/s	35m/s	30cm	35m/s	35m/s
천안		35m/s	35m/s	35m/s	30cm	35m/s	35m/s
보은	40m/s	40m/s	40m/s	35cm	40m/s	40m/s	
경상도	성주	25cm	25cm	25m/s	25cm	25cm	25cm
	합천	25cm	25cm	25m/s	25cm	25cm	25cm
	함양	30cm	30cm	30cm	30cm	30cm	30cm
	고령	25cm	25cm	25m/s	25cm	25cm	25cm
	청송	30m/s	30cm	30m/s	30cm	30cm	30cm
	상주	30m/s	30cm	30m/s	30cm	30cm	30cm
	의성	30m/s	25cm	30m/s	25cm	30m/s	25cm
	거창	30m/s	30cm	30m/s	30cm	30cm	30cm
밀양	30m/s	25cm	30m/s	25cm	30m/s	25cm	

경상도	산청	30m/s	25cm	30m/s	25cm	30m/s	25cm
	진주	30m/s	25cm	30m/s	25cm	30m/s	25cm
	영동	35cm	35cm	30m/s	35cm	35cm	35cm
	추풍령	35cm	35cm	30m/s	35cm	35cm	35cm
	의령	30m/s	25cm	30m/s	25cm	30m/s	25cm
	안동	30m/s	25cm	30m/s	25cm	30m/s	25cm
	김천	35cm	35cm	30m/s	35cm	35cm	35cm
	대구	35m/s	35m/s	35m/s	25cm	35m/s	35m/s
	문경	35m/s	35cm	35m/s	35cm	35m/s	35cm
	거제	35m/s	35m/s	35m/s	25cm	35m/s	35m/s
	통영	35m/s	35m/s	35m/s	25cm	35m/s	35m/s
	남해	35m/s	35m/s	35m/s	25cm	35m/s	35m/s
	영덕	35m/s	35m/s	35m/s	30cm	35m/s	35m/s
	영주	35m/s	35cm	35m/s	35cm	35m/s	35cm
	영천	35m/s	35m/s	35m/s	25cm	35m/s	35m/s
	경주	35m/s	35m/s	35m/s	25cm	35m/s	35m/s
	예천	35m/s	35cm	35m/s	35cm	35m/s	35cm
	구미	35m/s	35m/s	35m/s	25cm	35m/s	35m/s
	봉화	35m/s	35cm	35m/s	35cm	35m/s	35cm
	사천	35m/s	35m/s	35m/s	25cm	35m/s	35m/s
	울산	40m/s	40m/s	40m/s	40m/s	40m/s	40m/s
	포항	40m/s	40m/s	40m/s	40m/s	40m/s	40m/s
	김해	40m/s	40m/s	40m/s	40m/s	40m/s	40m/s
	창원	40m/s	40m/s	40m/s	40m/s	40m/s	40m/s
마산	40m/s	40m/s	40m/s	40m/s	40m/s	40m/s	
부산	40m/s	40m/s	40m/s	40m/s	40m/s	40m/s	
울진	40m/s	40m/s	40m/s	40cm	40m/s	40m/s	
울릉도	40m/s	40m/s	40m/s	40cm	40m/s	40m/s	
전라도	남원	40cm	40cm	40cm	40cm	40cm	40cm
	임실	40cm	40cm	40cm	40cm	40cm	40cm
	장수	40cm	40cm	40cm	40cm	40cm	40cm
	정읍	40cm	40cm	40cm	40cm	40cm	40cm
	곡성	40cm	40cm	40cm	40cm	40cm	40cm
	구례	25cm	25cm	25m/s	25cm	25cm	25cm
	광주	30m/s	30cm	30m/s	30cm	30cm	30cm
	함평	30m/s	30cm	30m/s	30cm	30cm	30cm
	부안	40cm	40cm	30m/s	40cm	40cm	40cm
전라도	전주	30m/s	30cm	30m/s	30cm	30cm	30cm
	해남	30m/s	25cm	30m/s	25cm	30m/s	25cm
	나주	30m/s	25cm	30m/s	25cm	30m/s	25cm

익산	35cm	35cm	30m/s	35cm	35cm	35cm
장성	30m/s	30cm	30m/s	30cm	30cm	30cm
무안	30m/s	25cm	30m/s	25cm	30m/s	25cm
무주	35cm	35cm	35m/s	35cm	35cm	35cm
김제	40cm	40cm	30m/s	40cm	40cm	40cm
고흥	35m/s	35m/s	35m/s	25cm	35m/s	35m/s
장흥	35m/s	35m/s	35m/s	25cm	35m/s	35m/s
영광	35m/s	40cm	35m/s	40cm	40cm	40cm
보성	35m/s	35m/s	35m/s	25cm	35m/s	35m/s
영암	35m/s	35m/s	35m/s	25cm	35m/s	35m/s
진도	40m/s	40m/s	40m/s	40m/s	40m/s	40m/s
완도	40m/s	40m/s	40m/s	40m/s	40m/s	40m/s
군산	40m/s	40m/s	40m/s	40cm	40m/s	40m/s
목포	40m/s	40m/s	40m/s	40cm	40m/s	40m/s
여수	40m/s	40m/s	40m/s	40m/s	40m/s	40m/s
광양	40m/s	40m/s	40m/s	40m/s	40m/s	40m/s
순천	40m/s	40m/s	40m/s	40m/s	40m/s	40m/s
제주도 전지역	40m/s	40m/s	40m/s	40m/s	40m/s	40m/s

### 3. 개발 모델의 실증시험을 위한 단동비닐하우스 설치

#### 가. 시설원예연구소 1개소(딸기) 설치

- 7.0m(폭)×2.0m(처마높이)×1.7m(지붕높이)×40m(길이)



#### 나. 실증온실 2개소 설치

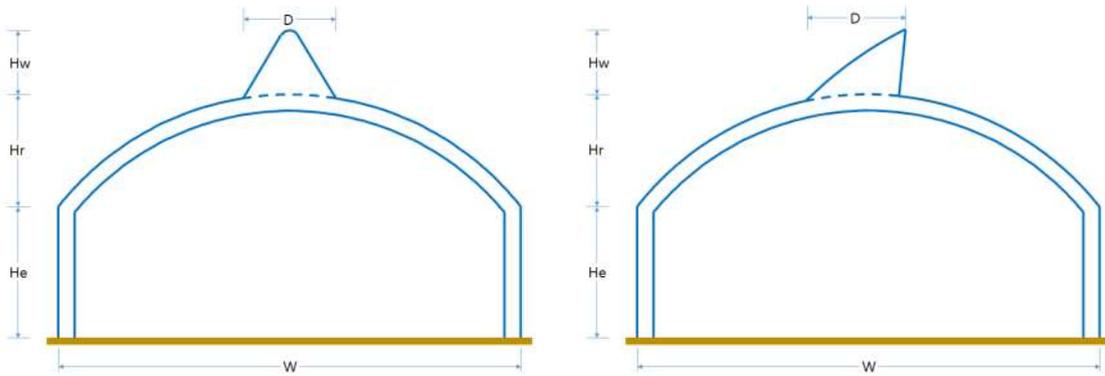
- 참외재배 농가(고령군 소재)
  - 6.8m(폭)×1.3m(처마높이)×1.7m(지붕높이)×100m(길이)
  - 서까래 규격 : φ42.2×2.1t@1,500mm



○ 천창형태별 실증온실 2개소 설치(경북대학교 부속농장내)

- 7.0m(폭)×2.0m(처마높이)×1.7m(지붕높이)×30m(길이)

- 서까래 규격 : φ42.2×2.1t@2,000mm



4. 온실내부 온습도 조절을 위한 유동팬 및 배기팬 작동 최적화 기술 개발

○ 수분부족분(HD)를 이용한 온실내 습도 조절

- 온실 내부에서 수분부족분(HD)이 3~8g/m<sup>3</sup> 범위가 적당한 것으로 알려져 있음.

-  $HD = SMC - AH$

여기서, SMC : 포화수분함량으로 1kg의 공기가 최대 함유할 수 있는 수분의 함량

AH : 공기가 함유하고 있는 수증기의 량(g/m<sup>3</sup>)

- HD가 3미만이면 과습한 상태로 작물의 증산이 억제되며 병 발생에 유리한 조건

- HD가 8이상이면 건조한 상태로 증산이 많아지며, 해충 발생이 많아짐

- 이러한 HD는 건구온도와 상대습도를 알면 습공기선도에서 찾을 수 있으며, 계산이 가능함

- 예) 해뜨기 전 온실내부의 온도가 8°C이고 상대습도가 95%이면 HD는 0.4g/m<sup>3</sup>으로 매우 다습한 상태이므로 이를 개선하기 방법은 다음과 같음.

① 겨울철 외기온과 상대습도를 확인해 절대수분량이 온실내부보다 낮은 경우 환기

를 해주면서 온도가 내려가지 않게 난방기를 돌려주는 조건  
 배기팬이나 환기창을 이용하여 상대습도값을 60%까지 내려줌.

- ② 겨울철 외기온과 상대습도를 확인했을 때 절분수분량이 온실내부보다 높은 경우  
 환기창을 열지 않고 내부온도를 13℃까지 올려주는 조건

○ 3개 농가의 외부온도, 내부온도, 내부습도 및 수분부족분(HD)을 측정한 결과로 잿빛곰팡이를 예측한 결과는 아래의 표와 그림과 같음.

<A농가 외부온도, 내부온도, 내부습도 및 수분부족분>

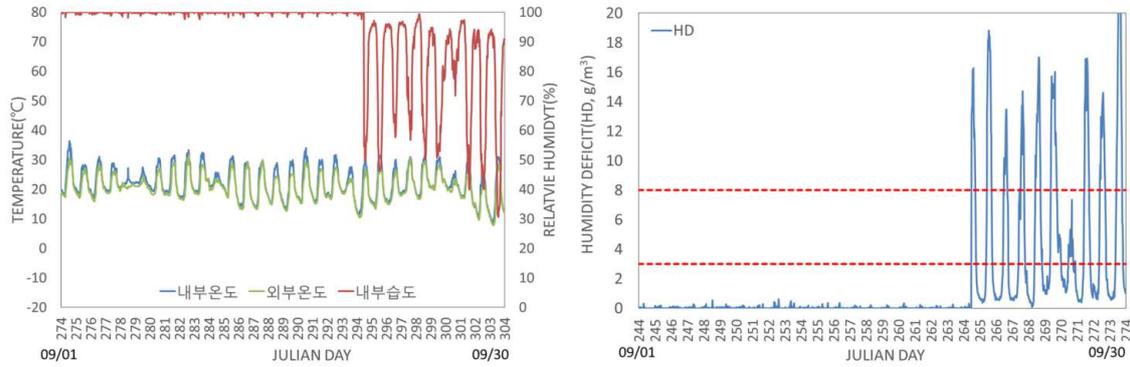
구 분		9월	10월	11월	12월	1월	2월	3월	4월	5월
외부 온도 (℃)	최소	7.8	-1.4	-4.2	-11.4	-14.8	-13.2	-3.3	-0.9	3.4
	최대	31.6	29.4	20.5	13	10.9	15.5	23.4	29.6	29.4
	평균	20.6	15.2	6.7	0.3	-1.4	0.0	8.5	13.3	18.2
내부 온도 (℃)	최소	8.8	6.8	6.2	5.7	5.8	6.3	4.5	6.0	6.1
	최대	36.4	32.2	27.2	26.2	29.5	28.2	27.6	30.7	31.9
	평균	22.1	17.2	13.7	12.0	12.1	13.4	14.4	16.2	19.4
내부 습도 (%)	최소	30.7	35.4	43.4	60.6	59.5	40.4	40.3	35.7	37.7
	최대	100.0	100.0	100.0	97.0	97.6	96.7	100	98.8	99.9
	평균	93.2	86.4	86.8	87.7	88.1	85.7	84.1	82.4	51.2
수분 부족분 (g/m <sup>3</sup> )	최소	0.0	0.0	0.0	0.3	0.2	0.3	0.0	0.1	0.0
	최대	22.9	17.9	13.4	8.7	8.4	14.7	13.6	20.4	17.2
	평균	2.1	2.7	1.9	1.6	1.6	2.2	2.7	3.2	3.7

<B농가 외부온도, 내부온도, 내부습도 및 수분부족분>

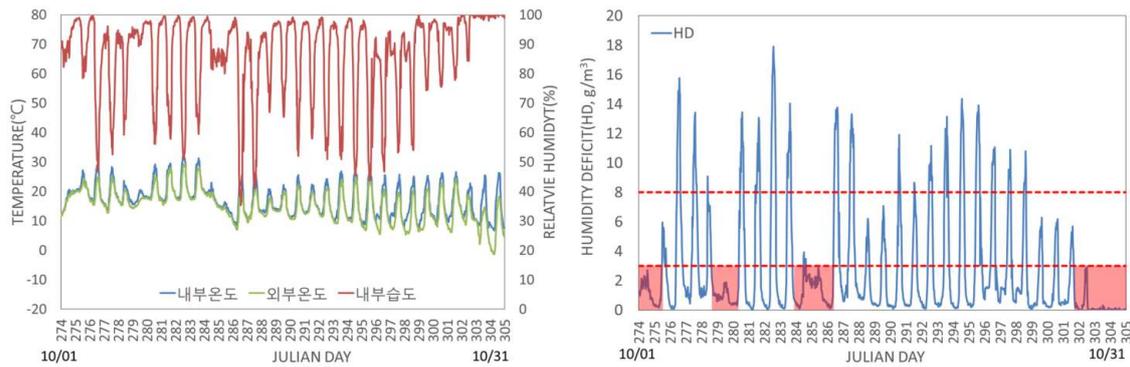
구 분		9월	10월	11월	12월	1월	2월	3월	4월	5월
외부 온도 (℃)	최소	7.7	-0.9	-3.4	-10.9	-14.0	-12.3	-3.5	-0.3	4.1
	최대	30.3	29.8	20.7	13.6	10.9	15.9	23.4	29.4	30.6
	평균	21.1	15.6	7.2	1.0	-0.8	0.6	8.9	13.8	18.6
내부 온도 (℃)	최소	9.4	7.0	5.9	5.6	3.4	5.8	3.8	6.1	6.7
	최대	34.0	34.0	27.3	26.0	30.2	29.1	27.4	30.2	35.1
	평균	22.2	17.7	14.0	11.7	11.8	13.2	14.4	16.6	20.1
내부 습도 (%)	최소	26.5	40.3	40.2	56.2	65.9	43.0	41.4	34.3	38.1
	최대	100.0	98.1	100.0	96.9	94.8	94.4	99.6	98.9	99.4
	평균	91.6	83.4	84.0	86.7	86.0	81.4	82.5	79.5	83.8
수분 부족분 (g/m <sup>3</sup> )	최소	0.0	0.3	0.0	0.3	0.4	0.5	0.1	0.3	0.1
	최대	27.6	20.1	15.8	9.1	8.6	16.4	14.2	17.7	18.4
	평균	2.4	3.2	2.4	1.7	1.8	2.7	2.8	3.8	3.7

<C농가 외부온도, 내부온도, 내부습도 및 수분부족분>

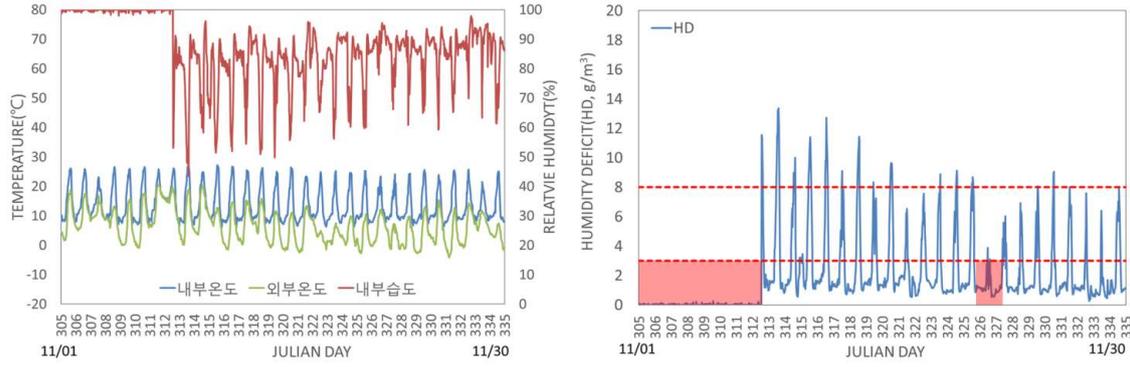
구 분		9월	10월	11월	12월	1월	2월	3월	4월	5월
외부 온도 (°C)	최소	7.7	-0.9	-3.4	-10.9	-14.0	-12.3	-3.5	-0.3	4.1
	최대	30.3	29.8	20.7	13.6	10.9	15.9	23.4	29.4	30.6
	평균	21.1	15.6	7.2	1.0	-0.8	0.6	8.9	13.8	18.6
내부 온도 (°C)	최소	9.4	7.0	5.9	5.6	3.4	5.8	3.8	6.1	6.7
	최대	34.0	34.0	27.3	26.0	30.2	29.1	27.4	30.2	35.1
	평균	22.2	17.7	14.0	11.7	11.8	13.2	14.4	16.6	20.1
내부 습도 (%)	최소	26.5	40.3	40.2	56.2	65.9	43.0	41.4	34.3	38.1
	최대	100.0	98.1	100.0	96.9	94.8	94.4	99.6	98.9	99.4
	평균	91.6	83.4	84.0	86.7	86.0	81.4	82.5	79.5	83.8
수분 부족분 (g/m <sup>3</sup> )	최소	0.0	0.3	0.0	0.3	0.4	0.5	0.1	0.3	0.1
	최대	27.6	20.1	15.8	9.1	8.6	16.4	14.2	17.7	18.4
	평균	2.4	3.2	2.4	1.7	1.8	2.7	2.8	3.8	3.7



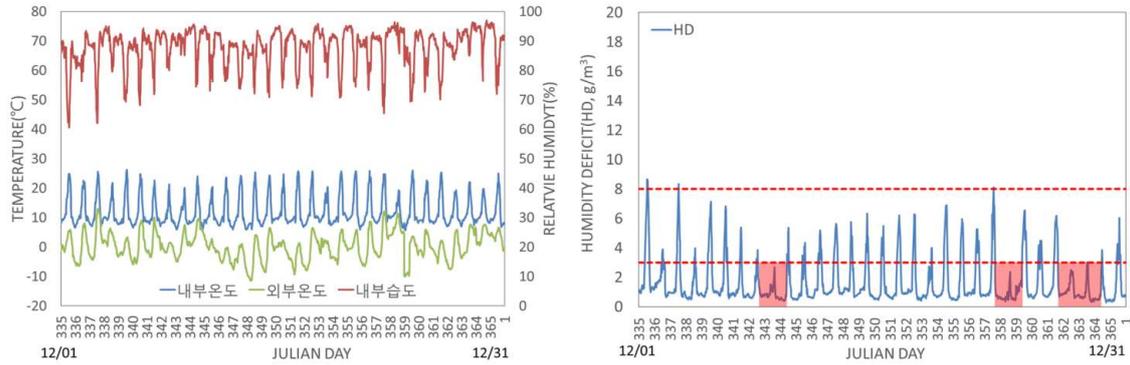
(가) 9월



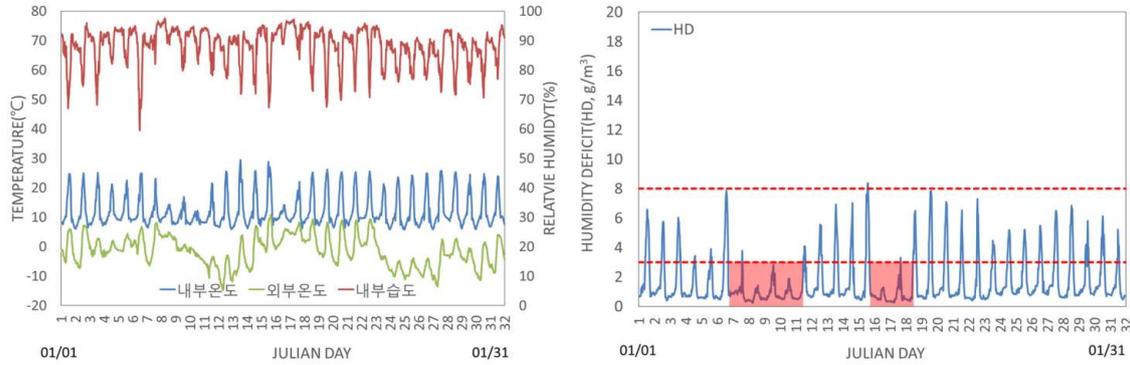
(나) 10월



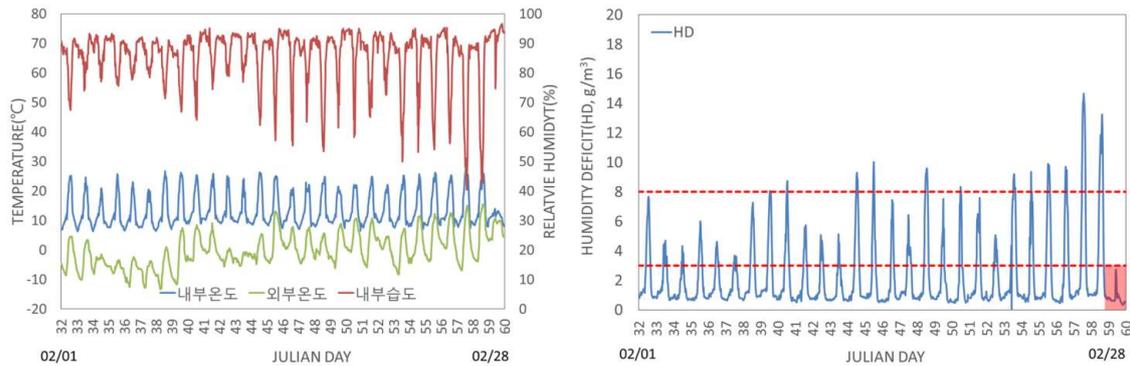
(다) 11월



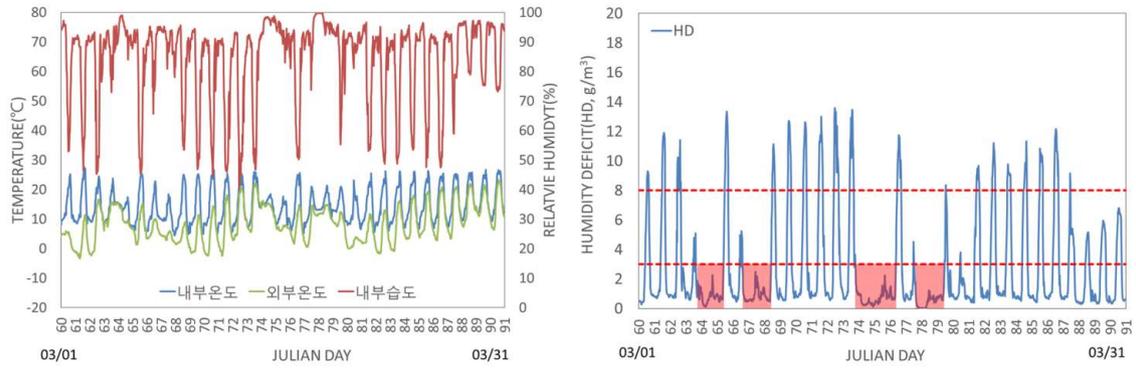
(라) 12월



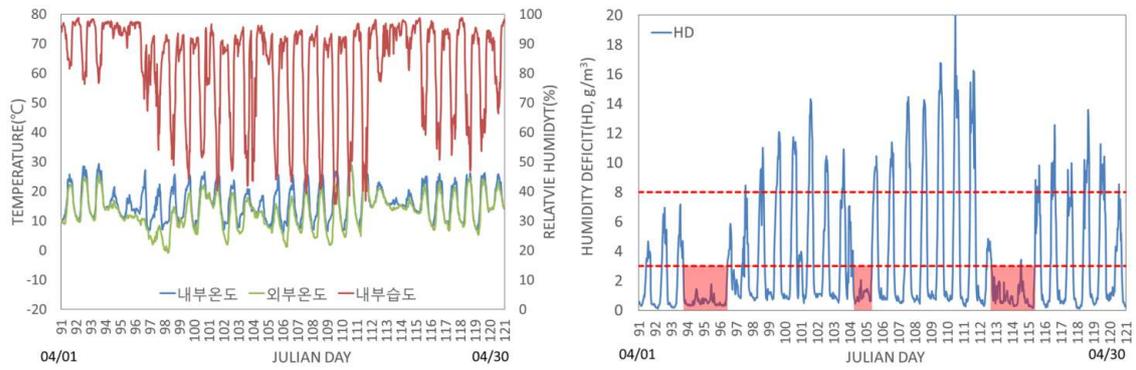
(마) 익년 1월



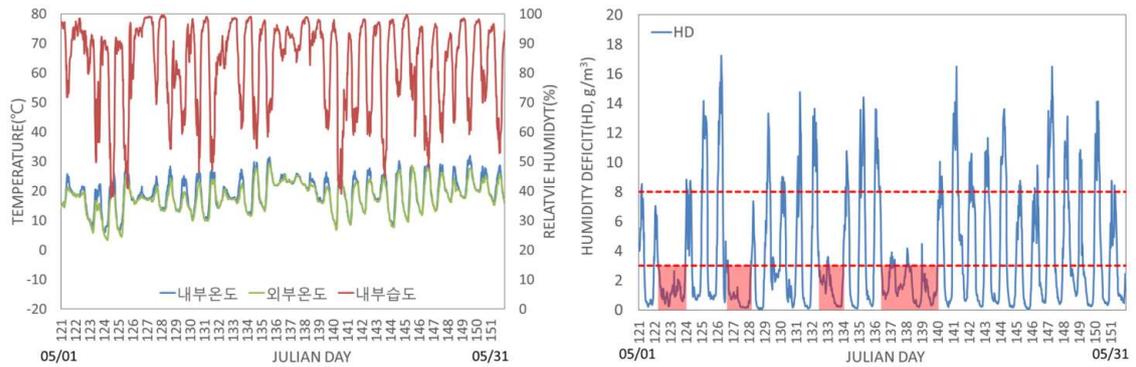
(바) 익년 2월



(사) 익년 3월

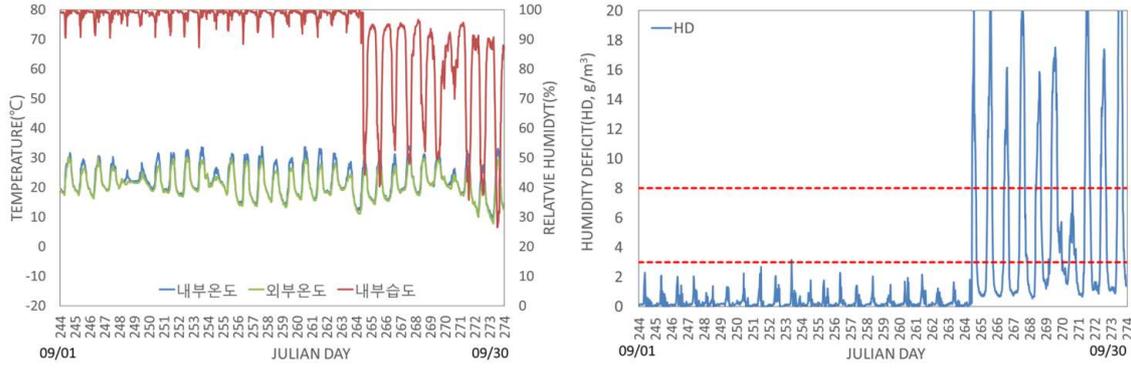


(아) 익년 4월

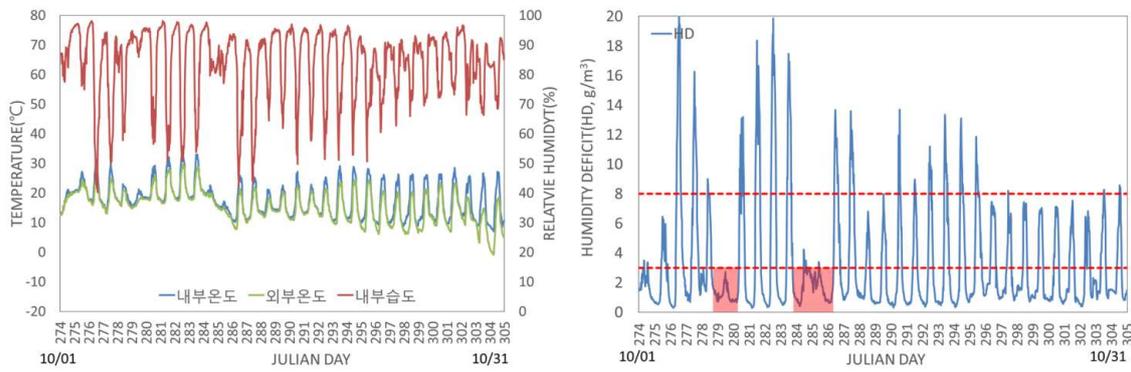


(자) 익년 5월

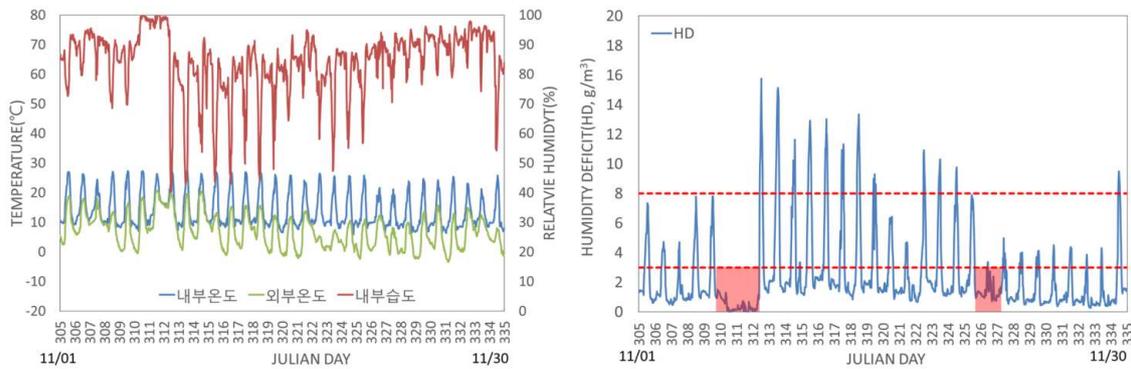
■ : 수분부족분(HD) 3 g/m<sup>3</sup> 미만 24시간 지속된 날  
<온실 내·외부 온·습도(좌) 및 수분부족분(우) 변화(A농가)>



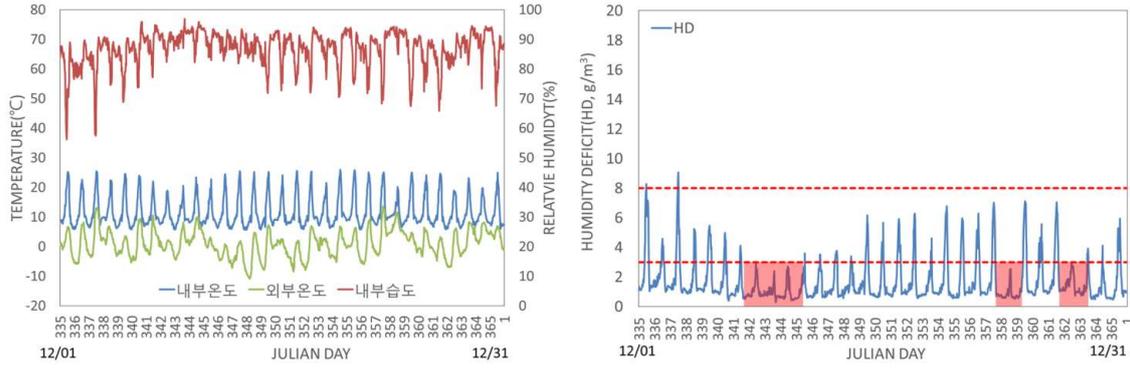
(가) 9월



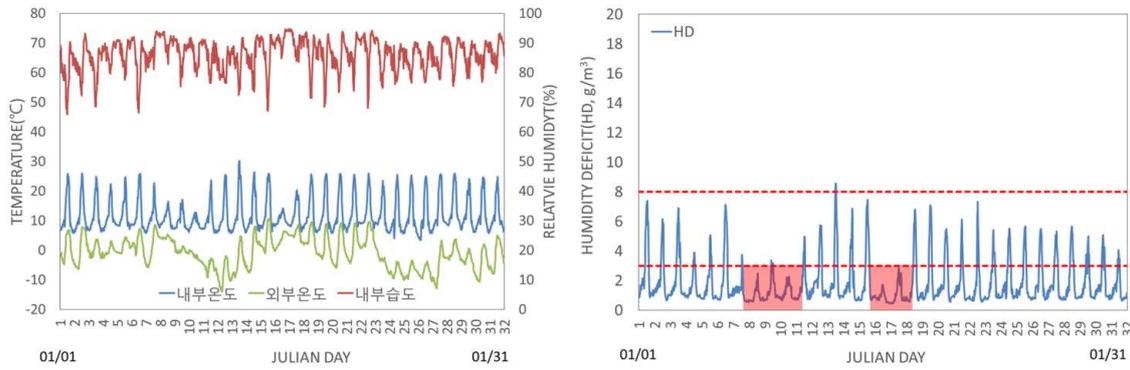
(나) 10월



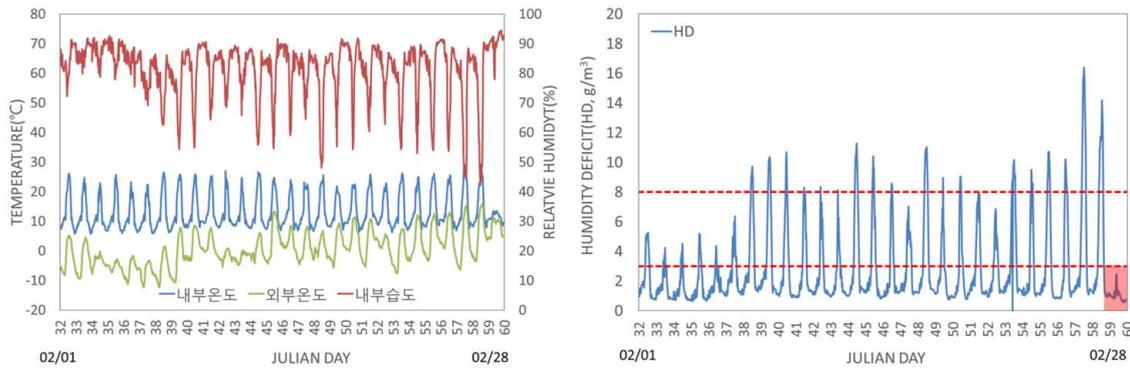
(다) 11월



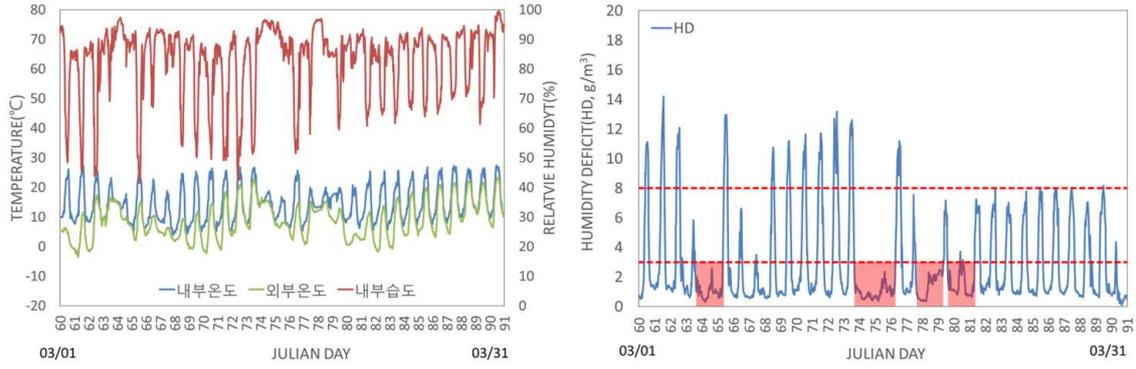
(라) 12월



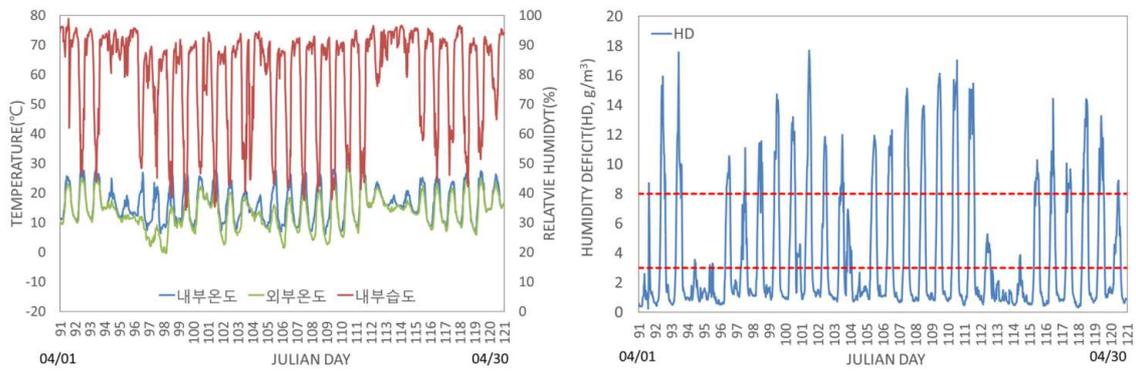
(마) 익년 1월



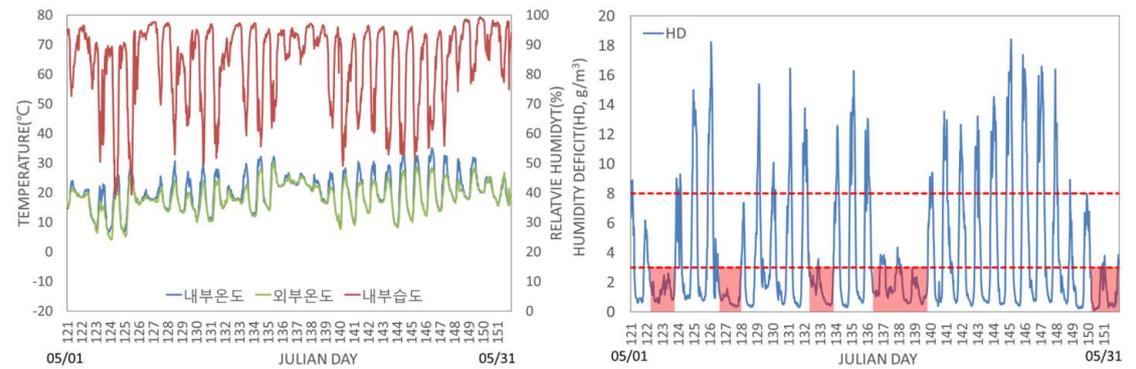
(바) 익년 2월



(사) 익년 3월

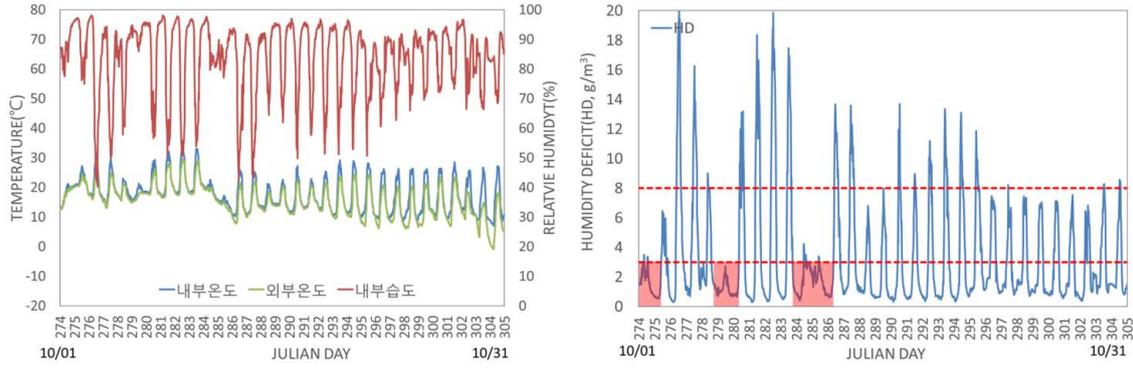


(아) 익년 4월

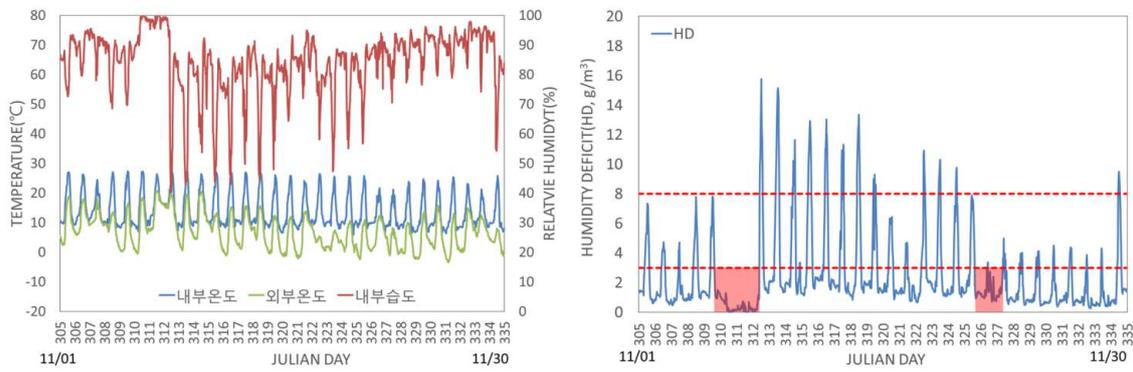


(자) 익년 5월

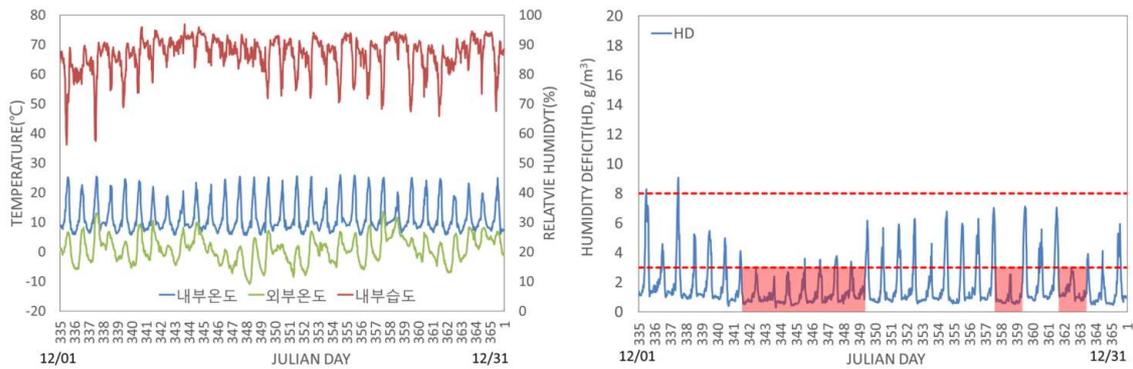
: 수분부족분(HD) 3 g/m<sup>3</sup> 미만 24시간 지속된 날  
 <온실 내·외부 온·습도(좌) 및 수분부족분(우) 변화(B농가)>



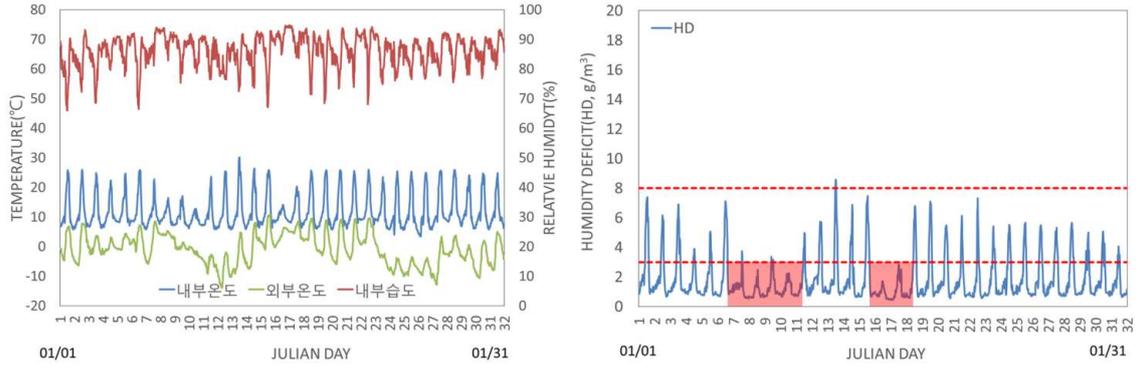
(가) 10월



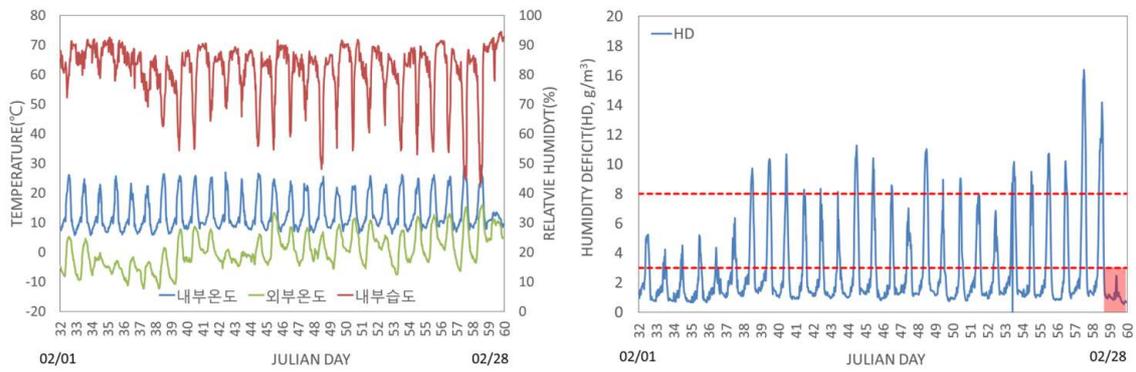
(나) 11월



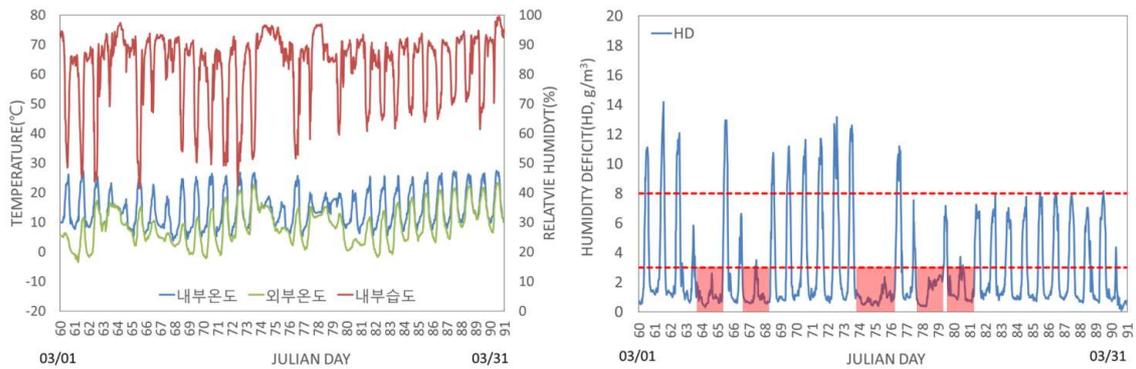
(다) 12월



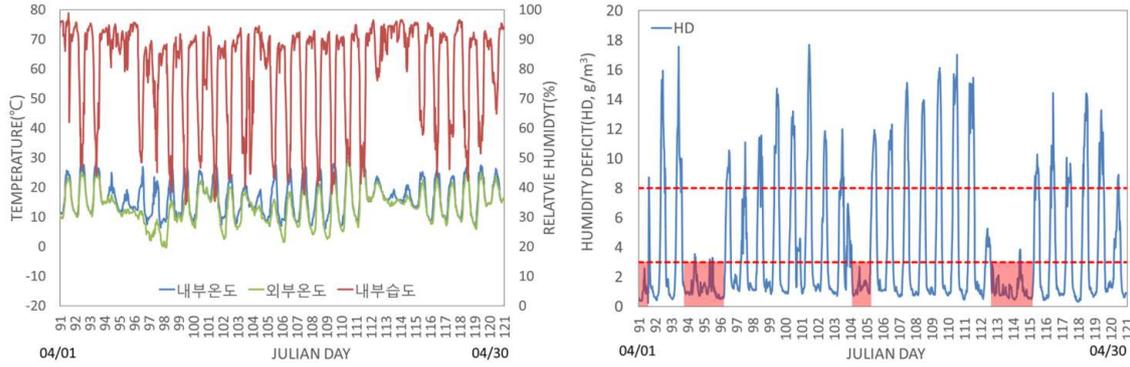
(라) 익년 1월



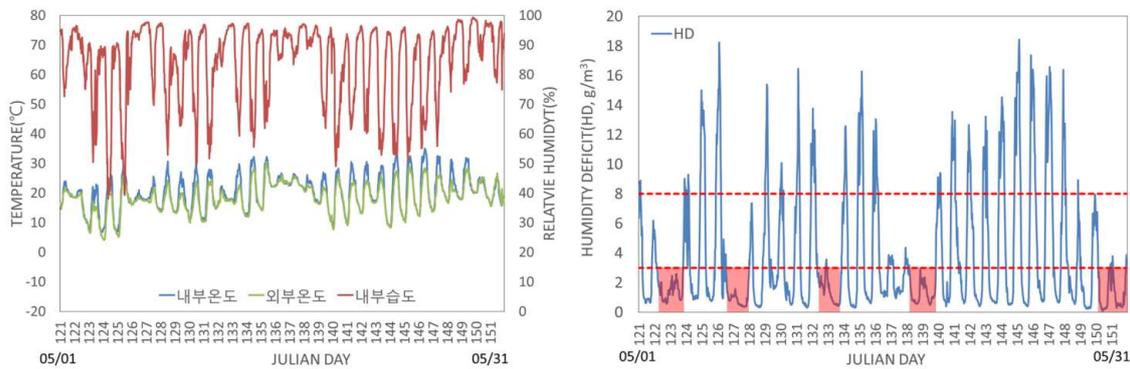
(마) 익년 2월



(바) 익년 3월



(사) 익년 4월



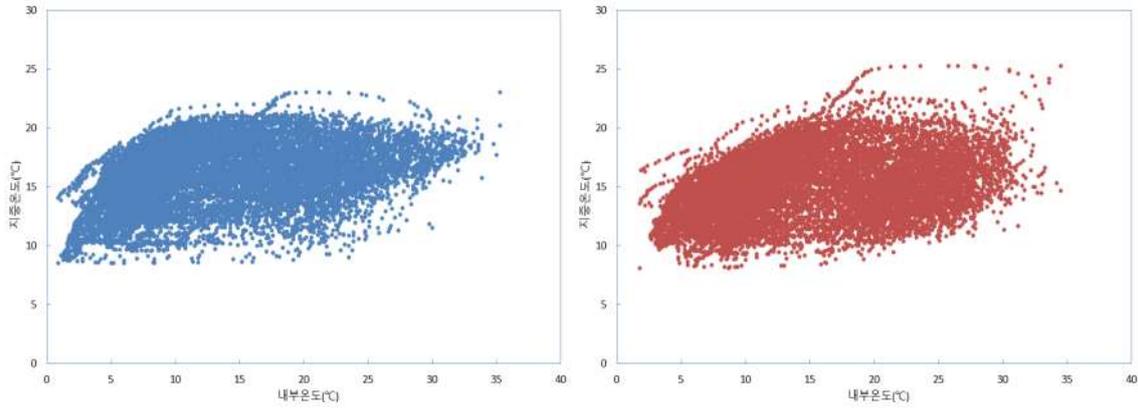
(아) 익년 5월

■ : 수분부족분(HD) 3 g/m<sup>3</sup> 미만 24시간 지속된 날  
 <온실 내·외부 온·습도(좌) 및 수분부족분(우) 변화(C농가)>

## 5. 스마트팜 적용 기술 개발

### 가. 온실 내부온도와 근권부 온도의 상관 관계

스마트팜 시스템에서 근권부 온도를 측정하기 위하여 지온센서를 설치할 경우 추가 비용이 발생할 수 하므로 대부분 농가에서는 지온센서를 설치하지 않는다. 그러나 필수적으로 설치되는 온실 내부온도센서를 이용하여 근권부 온도를 추정할 수 있도록 전국 딸기 주산지의 온실을 대상으로 딸기재배 온실의 내부 온도와 근권부 온도를 분석한 결과는 아래의 그림과 같다. 그림에서 보는 바와 같이 토경재배의 경우에는 온실 내부온도가 35°C까지 증가하더라도 근권부 온도는 최고 23°C까지만 상승하였으며, 고설재배의 경우에는 최고 25°C까지 상승하는 것으로 나타났다.

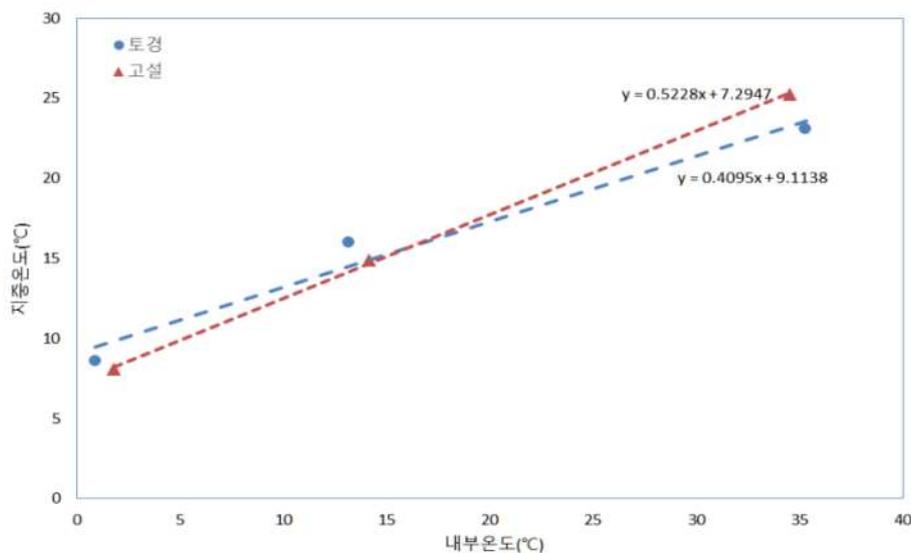


(a) 토경재배

(b) 고설재배

<온실 내부온도에 따른 지중온도 변화>

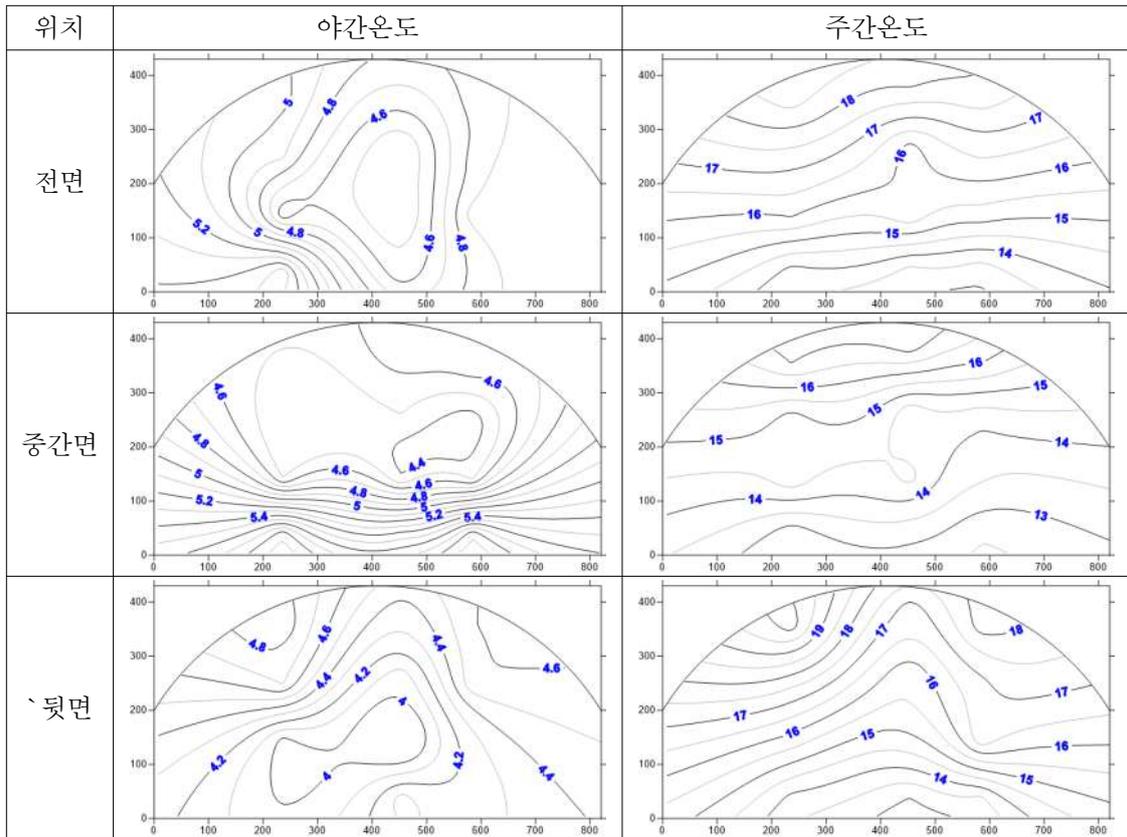
측정된 자료를 이용하여 토경 및 고설재배시 근권부 온도를 추정할 수 있는 상관식을 도출한 결과는 아래의 그림과 같다. 그림에서 보는 바와 같이 온실 내부온도가 18°C이하에서는 토경재배 온실의 근권부 온도가 고설재배 온실의 근권부 온도보다 높게 유지되며 내부온도가 낮을수록 그 차이는 증가하는 것으로 나타났다. 그리고 온실 내부온도가 18°C 이상이면 고설재배 온실의 근권부 온도가 토경재배 온실의 근권부 온도보다 높게 유지되며, 내부온도가 높을수록 그 차이는 증가하는 것으로 나타났다. 본 연구에서 분석된 회귀식을 이용할 경우에 온실 내부온도에 따라 딸기재배 온실의 근권부 온도를 추정할 수 있을 것으로 판단되며, 수막이나 참외 등 토경재배를 하고 있는 온실에서의 근권부 온도도 추정할 수 있을 것으로 생각된다.



<딸기 재배방식별 온실 내부온도와 지중온도 상관관계>

나. 센서설치 위치

단동플라스틱온실에서 센서설치의 위치를 분석하기 위하여 온실의 폭, 높이 및 길이 방향으로 온도 분포를 분석한 결과는 다음과 같다. 그림에서 보는 바와 같이 온실 내부온도는 주야간 모두 폭 및 길이 방향으로는 거의 비슷한 분포를 보였으나 높이별 내부온도 분포는 야간에는 보온시설로 인하여 거의 유사하게 나타나는 반면 주간에는 지면에서 높아질수록 온도가 증가하는 것으로 나타났다. 따라서, 딸기 고설재배시 센서는 생장점을 기준으로 온실 가운데에 설치하면 될 것으로 판단된다.



<온실 내부온도의 분포도>

다. 제조사별 센서값 비교

단동플라스틱온실에 설치되는 환경조절장치(환기창, 난방기, 유동팬, 제습기 등)의 작동 제어를 위하여 설치되는 센서는 제조사에 따라 여러 가지의 센서가 있다. 기존의 온실에서 추가적으로 환경조절장치를 설치할 때 마다 작동 제어용 온습도 센서를 설치하는 것이 일반적이며, 환경조절장치별로 각각의 제어용 센서를 이용하여 환경조절장치를 작동하고 있다. 따라서 동일한 환경에서도 제조사별 온습도 센서는 각각 다른 값을 나타냄을 인하여 온실내 환경을 동일하게 제어하기가 어렵다. 따라서, 본 연구에서는 제조사별 온습도 센서를 동일한 장소에 설치하여 온실 내부의 온습도를 측정하여 비교·분석하였다. 제조사별 온습도 센서값

을 비교·분석한 결과는 아래의 그림과 같다.

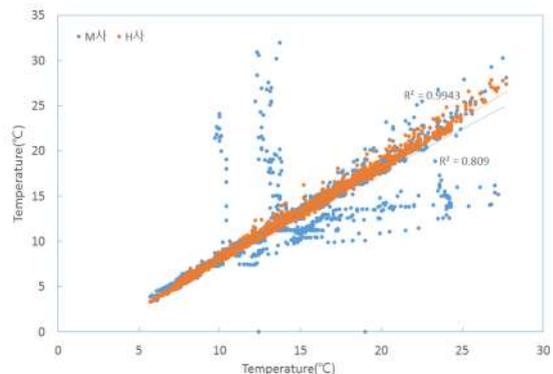
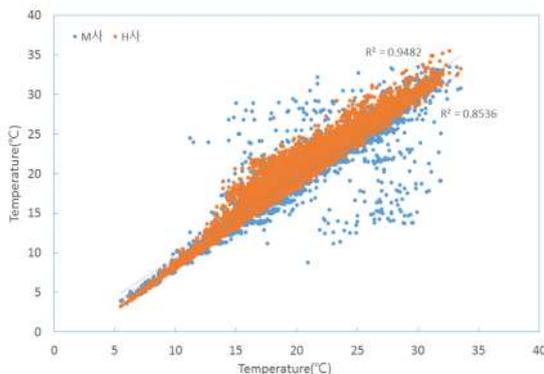
측장 제어용으로 설치된 W사의 온습도 센서값에 대한 M사, H사의 온도값을 비교한 결과, 측정기간중 온실내부 주간온도 범위는 W사 5.5~33.5℃(평균 19.7℃), M사 3.6~33.5℃(평균 19.0℃), H사 3.2~35.5℃(평균 19.8℃)로 나타났으나 센서별 온도값은 W사를 기준으로 했을 때 M사의 온도값은 13.9℃ 낮거나 15.8℃ 높았고 H사의 온도값은 5.9℃ 낮거나 2.4℃ 높게 나타났다. 그리고 온실내부 야간온도 범위는 W사 5.7~27.7℃(평균 13.1℃), M사 3.5~32.0℃(평균 11.3℃), H사 3.4~27.9℃(평균 11.2℃)로 나타나 W사와 H사의 센서값은 거의 유사한 것으로 나타났으나 M사의 센서값은 많은 차이가 있는 것으로 나타났다. 센서별 야간온도값은 W사를 기준으로 했을 때 M사의 온도값은 18.6℃ 낮거나 12.7℃ 높았고 H사의 온도값은 1.2℃ 낮거나 2.7℃ 높게 나타났다.

M사의 센서값은 W사와 H사의 센서값에 비해 많은 차이가 발생함을 알 수 있으며, H사의 센서값은 W사의 센서값과 유사한 경향으로 나타났다. H사의 센서값의 경우 주간에는 W사 센서값과의 상관계수가 0.9482였으나 야간에는 상관계수가 0.9943으로 높게 나타났다. 이는 주간에는 일사의 직접적인 영향으로 인하여 발생하는 차이라고 판단된다. 따라서, 센서값의 정확성을 위한 각 제조사별 센서값의 검증과 일사의 영향을 피할 수 있는 구조의 복합센서 개발이 필요할 것으로 판단되었다.

<제조사별 센서의 온도값>

구분	주간온도(℃)			편차*		야간온도(℃)			편차*	
	W사	M사	H사	M사	H사	W사	M사	H사	M사	H사
최소	5.5	3.6	3.2	13.9	5.9	5.7	3.5	3.4	18.6	1.2
최대	33.5	33.5	35.5	15.8	2.4	27.7	32.0	27.9	12.7	2.7
평균	19.7	19.0	19.8	0.7	0.1	13.1	11.3	11.2	1.8	1.8

\* W사 센서값에 대한 각사 센서값의 차



(a) 주간

(b) 야간

<각 제조사별 센서 온도값의 상관관계>

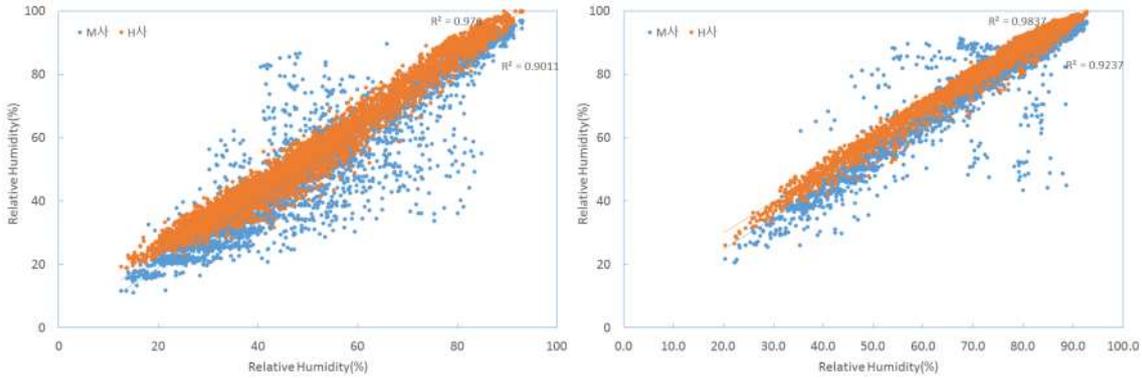
아래의 표와 그림에서 보는 바와 같이 측창 제어용으로 설치된 W사의 습도 센서값에 대한 M사, H사의 습도값을 비교한 결과, 측정기간중 온실내부 주간 상대습도 범위는 W사 12.5~93.1%(평균 53.3%), M사 11.0~97.0%(평균 53.7%), H사 18.9~100%(평균 58.1%)로 나타나 센서별 상대습도값은 W사를 기준으로 했을 때 M사의 상대습도는 41.8% 낮거나 43.9% 높았고 H사의 습도는 15.5% 낮거나 11.8% 높게 나타났다. 그리고 온실내부 야간 상대습도 범위는 W사 20.3~92.8%(평균 74.6%), M사 20.6~96.6%(평균 79.3%), H사 26.0~99.8%(평균 83.5%)로 나타나 W사의 센서에 비해 M사 센서의 상대습도는 34.4% 낮거나 43.8% 높았고 H사의 습도는 14.6% 낮거나 2.1% 높게 나타났다. 그리고 M사와 H사의 습도센서값이 W사에 비해 높게 나타났으며, 센서별 야간온도값은 W사를 기준으로 했을 때 M사의 온도값은 18.6℃ 낮거나 12.7℃ 높았고 H사의 온도값은 1.2℃ 낮거나 2.7℃ 높게 나타났다.

M사의 센서값은 W사와 H사의 센서값에 비해 많은 차이가 발생함을 알 수 있으며, H사의 센서값은 W사의 센서값과 유사한 경향으로 나타났다. M사와 H사의 센서값의 경우 주간에는 W사 센서값과의 상관계수가 각각 0.9760, 0.9011로 나타났으며 야간에는 상관계수가 0.9837, 0.9237로 나타났다. 따라서, 센서값의 정확성을 위한 각 제조사별 센서값의 검증과 일사의 영향을 피할 수 있는 구조의 복합센서 개발이 필요할 것으로 판단되었다.

<습도센서 비교>

구분	주간습도(%)			편차*		야간습도(%)			편차*	
	W사	M사	H사	M사	H사	W사	M사	H사	M사	H사
최소	12.5	11.0	18.9	-41.8	-15.5	20.3	20.6	26.0	-34.4	-14.6
최대	93.1	97.0	100.0	43.9	11.8	92.8	96.6	99.8	43.8	2.1
평균	53.3	53.7	58.1	-0.5	-4.8	74.6	79.3	83.5	-4.7	-8.9

\* W사 센서값에 대한 각사 센서값의 차



(a) 주간

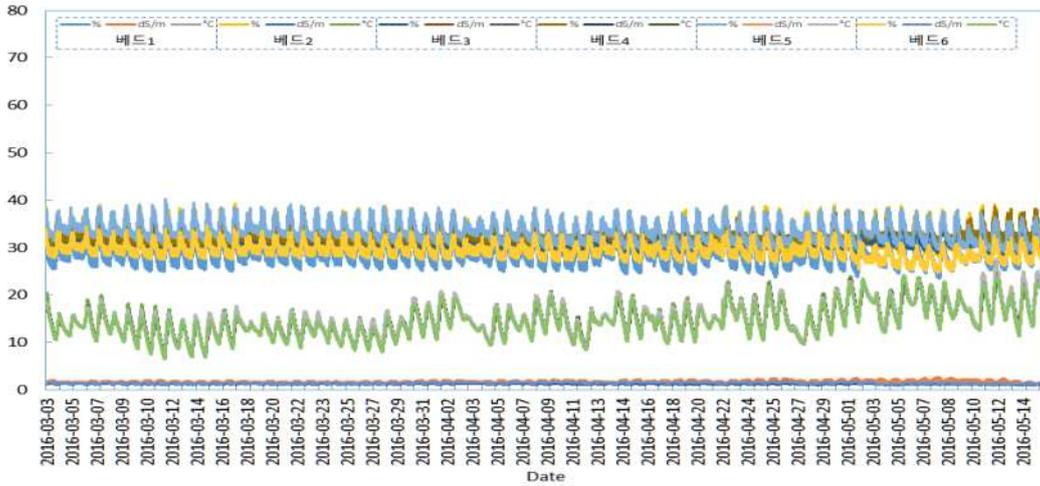
(b) 야간

<각 제조사별 센서 상대습도값의 상관관계>

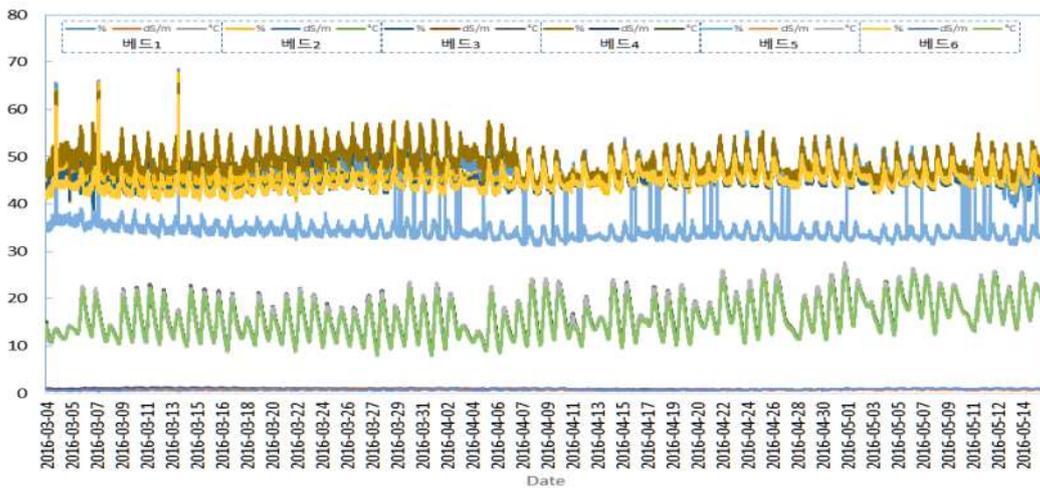
#### 라. 단동플라스틱온실에서의 토양수분센서 적용성 평가

딸기 재배용 단동플라스틱온실에서 근권부 환경의 모니터링 및 양액공급장치의 제어를 위한 토양수분센서 또는 토양복합센서(토양수분-지온-EC) 등을 이용하고 있다. 이러한 토양수분센서또는 토양복합센서의 딸기 재배용 단동플라스틱온실에서의 적용성을 검토하기 위하여 균위온실(경북 균위소재)과 거창온실(경남 거창소재)에서 동일한 온실에서의 베드별 근권부 환경을 계측한 결과는 아래의 그림과 같다. 그림에서 보는 바와 같이 거창온실의 근권부 환경이 균위온실에 비해 토양수분과 지온이 다소 높게 관리됨을 알 수 있으며, EC는 균위온실이 0.2~0.4dS/m 높게 관리되고 있음을 알 수 있다. 그리고 베드별 근권부 환경이 상이하게 측정되고 있음을 알 수 있으며, 거창온실에서 토양수분 경우 베드6이 다른 베드에 비해 10~15% 전후로 낮게 측정되었다. 이는 코코피트를 사용할 경우 상토의 다짐정도에 따라 센서값이 다르게 측정될 수 있으며, 센서의 오차 등에 기인하는 것으로 생각된다. 따라서 토양수분센서를 이용하여 급액관리를 할 경우에는 베드별 토양수분함량이 다르게 유지될 수도 있으므로 베드별 토양수분함량을 검증하여 사용하여야 될 것으로 생각된다. 그리고 균위온실과 거창온실의 베드별 지온은 평균값 기준으로 각각 최고 0.7°C, 0.6°C 차이가 발생하였으며, 균위온실과 거창온실의 상토내 EC는 평균값 기준으로 각각 최고 0.5dS/m 0.2dS/m 차이가 나타나 센서를 이용한 EC 제어는 면밀한 검토가 필요할 것으로 판단된다.

단동플라스틱온실의 경우 성능을 고려할 경우에는 토양복합센서는 단순 모니터링으로 사용하는 것이 좋을 듯 하며, 제어용으로 사용할 경우에는 베드별 대표값을 사용함에 따라 발생하는 베드별 오차를 확인하여야 할 것으로 판단된다. 그리고 투자비를 고려할 경우에는 토양복합센서의 단동플라스틱온실에서의 적용은 설치 센서의 증가로 인한 비용 증가로 다소 불합리한점이 있는 것으로 생각된다.



<온실(군위 소재)의 근권부 환경 일변화>



<거창소재 온실의 근권부 환경 일변화>

마. 단동플라스틱온실의 환경모니터링 요소 및 제어용 환경조절장치

현재 단동플라스틱온실에서의 스마트팜은 1세대로서 단순 환경모니터링 및 스마트폰에 의한 환경조절장치의 원격단순제어를 하는 수준에 있다. 이러한 단동플라스틱온실에서 환경모니터링 요소와 환경조절장치의 제어 요소 증가는 스마트팜 도입의 초기비용이 증가하게 된다. 따라서, 딸기 주산지 온실과 실증온실을 통하여 환경모니터링 요소와 환경조절장치 제어 요소를 정립한 결과는 다음과 같다.

<환경모니터링 요소>

기본 모니터링 요소	선택적 모니터링 요소
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 온실 내부온도</li> <li>• 온실 내부습도</li> <li>• 온실 내부 모니터링 카메라 (천창, 측창 및 다겹보온커튼 개폐 여부 확인용 카메라)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 토양수분함량</li> <li>• 지온</li> <li>• 토양 또는 상토내 EC</li> <li>• CO2(CO2 공급장치가 있을 경우)</li> <li>• 양액공급장치</li> <li>• 강우감지센서(환기창 개폐모터와 연동시)</li> <li>• 외부광량센서(양액공급장치 연동시)</li> </ul>

<환경제어 요소>

재배작물	기본 제어 요소	선택적 제어 요소
딸기	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 일중온실 측창 개폐모터</li> <li>• 이중온실 측창 개폐모터</li> <li>• 이중온실 지붕면 피복재 개폐모터</li> <li>• 측면 다겹보온커튼 개폐모터</li> <li>• 지붕면 다겹보온커튼 개폐모터 또는 수막시스템 모터</li> <li>• 난방기</li> <li>• 실내 공기유동팬</li> <li>• 배기팬</li> <li>• 전조장치</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 일중온실 천창 개폐모터</li> <li>• 작물보호제 살포장치</li> <li>• 양액공급장치</li> </ul>
참외, 수박 등	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 일중온실 측창 개폐모터</li> <li>• 지붕면 환기팬 또는 환기구 개폐모터</li> <li>• 내부터널용 보온재 개폐모터</li> <li>• 난방기</li> <li>• 실내 공기유동팬</li> <li>• 배기팬</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 양액(또는 관비)시스템</li> </ul>

6. 피복재 두께별 최대 서까래 간격 구명

피복자재의 인장강도를 포함한 기계적 성질은 아래의 표와 같으며, 국내 온실에서 가장 많이 사용되고 있는 PE 필름의 인장강도는 일반적으로 20 N/mm<sup>2</sup> 정도이나 PE 필름의 종류별로 구체적인 인장강도는 다음과 같다.

<피복재의 기계적 성질>

구분	두께 (mm)	기계적 성질(N/mm <sup>2</sup> )		
		인장강도	압축강도	굽힘강도
유리	3.0	35~85	60~120	45~85
FRP	0.7	120~140	13~18	150~200
FRA	1.0	90~110	10	140~160
PC	0.7	63	-	90~98
PVC	0.1	20~50	-	-
PE	0.1	20	-	-
EVA	0.1	22	-	-
PO	0.15	24	-	-
불소필름	0.06	55	-	-

<농업용 PE 필름의 인장강도(단위:N/mm<sup>2</sup>)>

종류	호칭두께(mm)			
	0.060	0.070	0.080	0.100
1종 다층필름, 삼중EVA	19.6 이상	19.6 이상	21.6 이상	21.6 이상
2종 장수필름	19.6 이상	19.6 이상	20.6 이상	20.6 이상
3종 보온필름	17.6 이상	18.6 이상	18.6 이상	19.6 이상

피복자재별 견딜 수 있는 풍속과 적설심을 분석하기 위하여 온실 평균높이 3m와 6.5m인 온실에 대하여 풍속별 풍하중과 적설하중을 산정한 결과는 아래의 표와 같다. 풍속 40m/s, 적설하중 50cm에 대한 하중은 각각  $790 \times 10^{-6}$  N/mm<sup>2</sup>,  $500 \times 10^{-6}$  N/mm<sup>2</sup>로 PE 필름의 인장강도에 비해 매우 적은 값을 가지는 것을 알 수 있다. 따라서, 골조인 파이프가 파손 되기전에는 피복재의 파손은 없으나, 피복재의 장기 사용으로 인하여 자외선에 의해 피복재의 손상을 받을 경우에는 초기 피복자재의 강도가 급격하게 감소함으로 주의를 요한다. 특히, 비닐 패드의 부식 등으로 인하여 비닐이 고정된 부분의 피복재가 손상을 받게 되면 강풍이나 폭설에 의한 피복재의 파손이 발생할 수 있다. 이때 피복재의 파손이 발생할 경우에는 골조재인 파이프의 파손은 줄어들게 된다.

<풍속별 풍하중(N/mm<sup>2</sup>)>

평균높이	풍속(m/s)			
	10	20	30	40
3.0m	$34 \times 10^{-6}$	$134 \times 10^{-6}$	$302 \times 10^{-6}$	$537 \times 10^{-6}$
6.5m	$49 \times 10^{-6}$	$198 \times 10^{-6}$	$444 \times 10^{-6}$	$790 \times 10^{-6}$

<적설심별 눈하중(N/mm<sup>2</sup>)>

적설심(cm)				
10	20	30	40	50
$100 \times 10^{-6}$	$200 \times 10^{-6}$	$300 \times 10^{-6}$	$400 \times 10^{-6}$	$500 \times 10^{-6}$

## 2절. 온실내 열유동 해석을 위한 CFD 모델 개발

### 1. 단동온실 모델별 형상 모델링

그림 1은 단동온실 모델별 온실 천창에 따른 2차원 형상 특성 및 계산 격자를 나타낸 것이다. 단동온실 모델에 환기 특성을 파악하기 위하여 온실 계산영역은 길이방향(X축) 30 m, 높이방향(Z축) 10 m로 설정하였고, 온실 디멘전(dimension)은 길이 7 m, 높이 3.9 m에 단동 비닐하우스(12-단동-1형)를 기준으로 하였다. 이때 모든 단동온실 모델은 양측창이 높이 1.5 m로 100% 개방된 것으로 설정하였다. 표 1에서는 단동온실 모델별 천창 형태와 천창 개방길이에 대해 나타낸 것이다. Case 1의 경우는 농진청에 제시된 단동 비닐하우스(12-단동-1형)에 대한 설계기준을 적용한 것으로 양측창만 존재하고 천창은 없는 경우이다. Case 2의 경우는 온실 지붕에 Ø600×300 mm에 원형천창이 설치된 것이고, Case 3의 경우에는 원형천창에 형태는 동일하지만 원형천창 내에 강제 환기팬이 설치된 것으로 강제 환기팬에 용량은 700 m<sup>3</sup>/hr 이다. Case 4의 경우는 온실 지붕에 고깔형 천창을 설치한 것으로 고깔형 천창의 형태는 직각 2등변 삼각형에 형태를 갖고 있으며, 한 변에 길이가 1,000mm로 개방길이는 800 mm이다. 끝으로 Case 5의 경우는 온실 지붕에 맞배형 천창을 설치한 것으로 수직형 천창 개방길이는 600 mm이다. 그리고 각 단동온실 모델별 수치해석을 수행하기 위해 최적화한 계산격자는 표 1에 제시된 바와 같다.

표 1. 단동온실 모델별 특성

온실 모델	천창 형태	천창 개방길이	계산격자 (X × Z)
Case 1	천창 없음	-	99 × 90
Case 2	원통형	Ø 600×300mm	127 × 97
Case 3	원통형 강제 환기팬	Ø 600×300mm, (환기팬 용량 700m <sup>3</sup> /hr)	129 × 97
Case 4	고깔형	L 800mm × 2EA	163 × 117
Case 5	맞배형	L 600mm	120 × 103

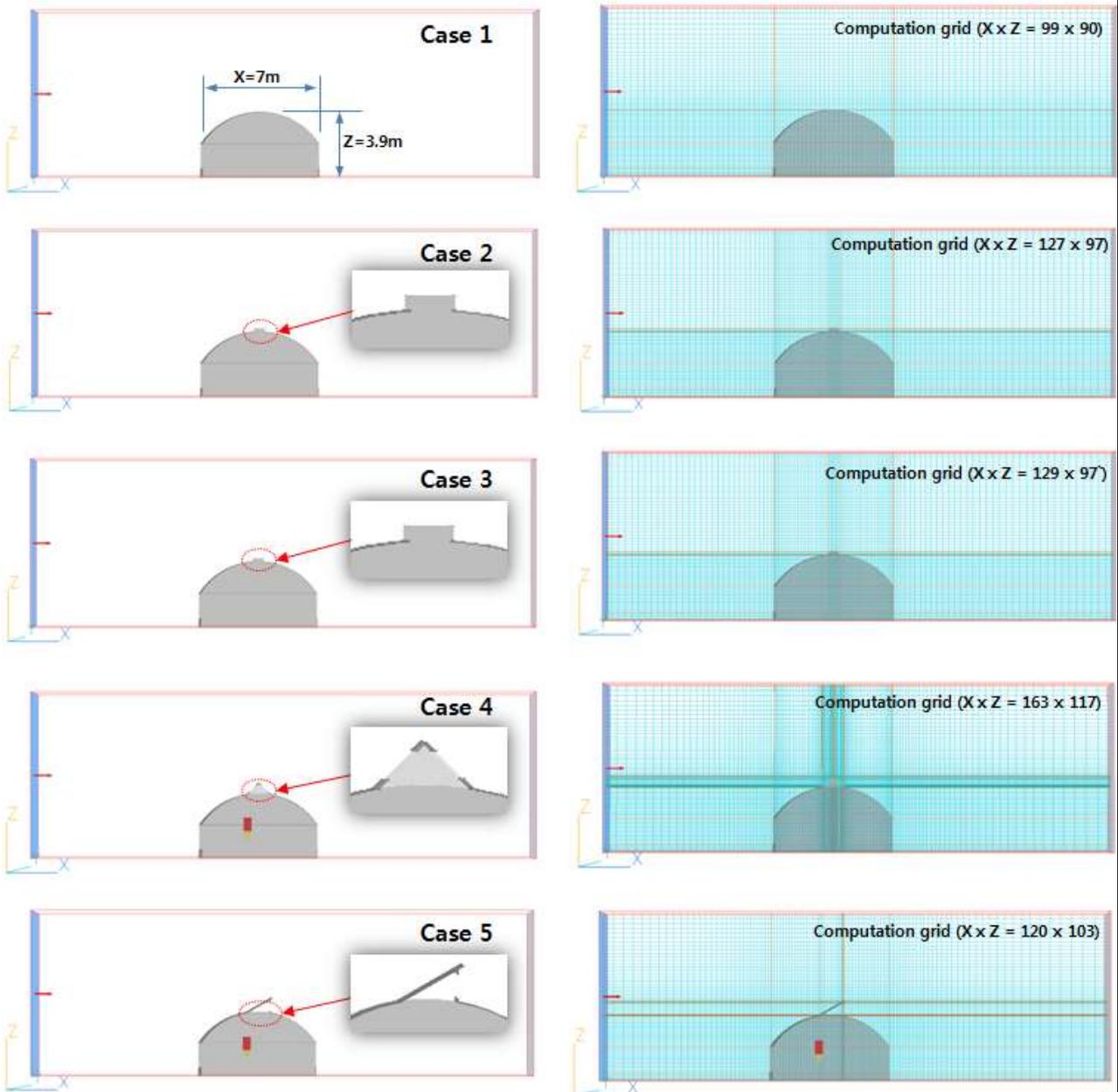


그림 131. 단동 온실 모델 및 계산 격자

## 2. 수치해석 모델과 방법

### 1) 수치해석 모델

#### ① 난류모델

· 난류유동은 단동 온실내의 수치모사를 위하여  $k-\epsilon$ 모델1)을 사용하였고, 난류 운동에너지  $k$ 와 난류운동에너지 소산율  $\epsilon$ 의 각각의 지배방정식(1),(2)에 의해 계산된다.

· 난류 전단력은 Boussinesq 가정에 의하여 에디 또는 난류점성계수  $\mu_t$ 와 평균속도 구배의 곱으로 표시되며, 난류점성계수  $\mu_t$ 는 Prandtl-Kolmogorov2) 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 구한  $k$ 와  $\epsilon$ 의 해로 구해질 수 있다.

· 따라서 유효점성계수(effective turbulent viscosity)는 식(2)와 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.

#### ② 벽함수

· 벽 근처에서의 수치 해석은 특별한 처리가 요구되는데 그 이유는 벽 근처에서의 유체 흐름의 형태가 층류저층3)(viscous sublayer), 버퍼층(buffer layer), 그리고 완전 난류영역(logarithmic region)으로 급격하게 변하기 때문이다. 그림 2는 벽면 근처에서의 유체의 유동에 따른 각 유체층을 나타내었다. 여기서  $u$ 는 유체의 유속을 말한다.

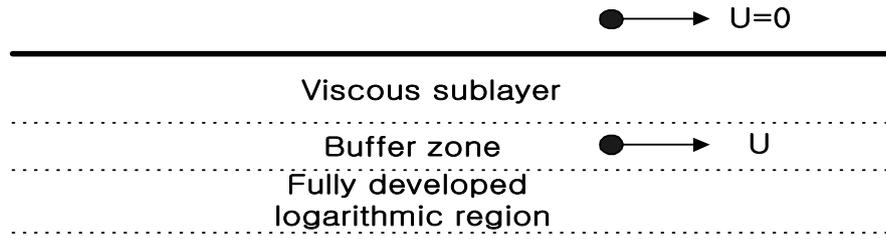


그림 132. 온실벽면 근처 유체 유동에 따른 경계층

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

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

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.

## 2) 수치해석 방법

### ① 지배방정식

· 단동 온실내 3차원 난류유동의 해석을 위해 정상류 유체와 비정상류 유체를 가정하여 시간에 따른 유동 변화특성을 해석하였으며, 종속변수들을 계산하기 위해 지배방정식을 벡터 텐서(vector tensor)형태로 나타내면 다음 식들과 같다.

정상, 비정상 연속방정식

$$\frac{\partial(\rho u_i)}{\partial x_i} = 0, \quad \frac{\partial(\rho u_i)}{\partial x_i} \neq 0 \quad [4]$$

Navier-Stokes 운동 방정식

$$\frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_i u_j) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \mu_{eff} \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right] \quad [5]$$

$k-\epsilon$  난류모델 지배방정식

□□ 난류 운동에너지 방정식

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i k) = \frac{\partial}{\partial x_i} \frac{\mu_{eff}}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_i} + G_k - \rho \epsilon \quad [6]$$

□□ 난류에너지 소산율 방정식

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i \epsilon) = \frac{\partial}{\partial x_i} \frac{\mu_{eff}}{\sigma_\epsilon} \frac{\partial \epsilon}{\partial x_i} + C_1 \frac{\epsilon}{k} G_k - C_2 \rho \frac{\epsilon^2}{k} \quad [7]$$

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

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

## ② 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 함으로 식(9)와 같다.

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho V_i \phi) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[ \rho \Gamma_\phi \frac{\partial \phi}{\partial x_i} \right] + S_\phi \quad [8]$$

위 식에서  $\phi$ 는 일반적인 종속변수로서 속도성분( $u, w$ ), 압력( $p$ ) 및 난류 에너지( $k, \epsilon$ )이다. 일반적인 2차 편미분 지배방정식의 해를 얻기 위해서는 검사 체적에 기초한 유한차분방법4,5)(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 Patanker5)방법을 사용하였으며 차분화된 운동방정식으로 셀 압력(cell pressure) decoupling을 없애기 위하여 엇갈린 격자망(staggered grid arrangement)을 사용하였다. 또한 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 SIMPLEST 알고리즘(Semi Implicit Method for Pressure-Linked Equations Shortened)6)을 사용하였다. 또한 격자점 사이에서 임의의 함수값 보정은 Power-low scheme에 의해 실행되었다. 그리고 본 2차원 단동 온실내 유동해석은 상용수치해석 프로그램인 PHOENICS 2015를 사용하였으며, 수치해석에 적용한 좌표계는 직교좌표계(cartesian coordinate)를 적용하였다.

### 3. 단동온실 환기특성 최적화 위한 수치해석 결과

#### (1) 풍속변화에 따른 단동온실 모델별 환기 및 유동 특성

· 본 연구에서는 단동온실 모델별 각각에 대해 풍속변화에 따른 환기 및 유동 특성을 파악하고자 풍속을 0.5m/sec, 1.0m/sec, 2.0m/sec, 4.0m/sec로 변화시켜 수치해석을 수행하였고, 그 결과는 하기와 같다.

##### 1) Case 1에 유동 특성

· 본 연구에서 적용한 온실 모델 Case 1은 농진청 단동 비닐하우스(12-단동-1형)을 설계 기준에 준하여 형상 모델링하여 수치해석을 수행한 것이다.

##### ① 압력분포

· Case 1의 경우 풍속변화에 따른 압력 분포를 나타낸 것으로 바람방향의 온실 전면부의 온실 측창 하부와 온실 측벽에서 지붕과 연결되는 부분에 압력이 높게 생성되고 있다. 이는 온실 측창 하부는 피복재가 지면에서 500mm정도 설치되어 있어 바람에 진행을 막고 있기 때문이며, 측벽과 지붕이 연결되는 부분에 압력이 높은 것은 이 부분에 바람에 흐름이 급격히 변화하기 때문이다. 또한 온실 지붕 중심부에서 바람방향으로 온실 후면부에는 그림 4에서 보는 바와 같이 강한 와류(vortex)의 발생으로 인해 압력이 급격히 대기압 이하로 떨어져 유도 압력저항(induced pressure drag)이 발생한다. 그리고 풍속이 0.5m/sec에서 4.0m/sec로 증가할수록 압력 분포 특성을 유사한 트렌드를 보이고 있으며, 풍속이 2배 증가하면 압력은 4배정도 증가하는 압력 분포 특성을 나타내고 있다.

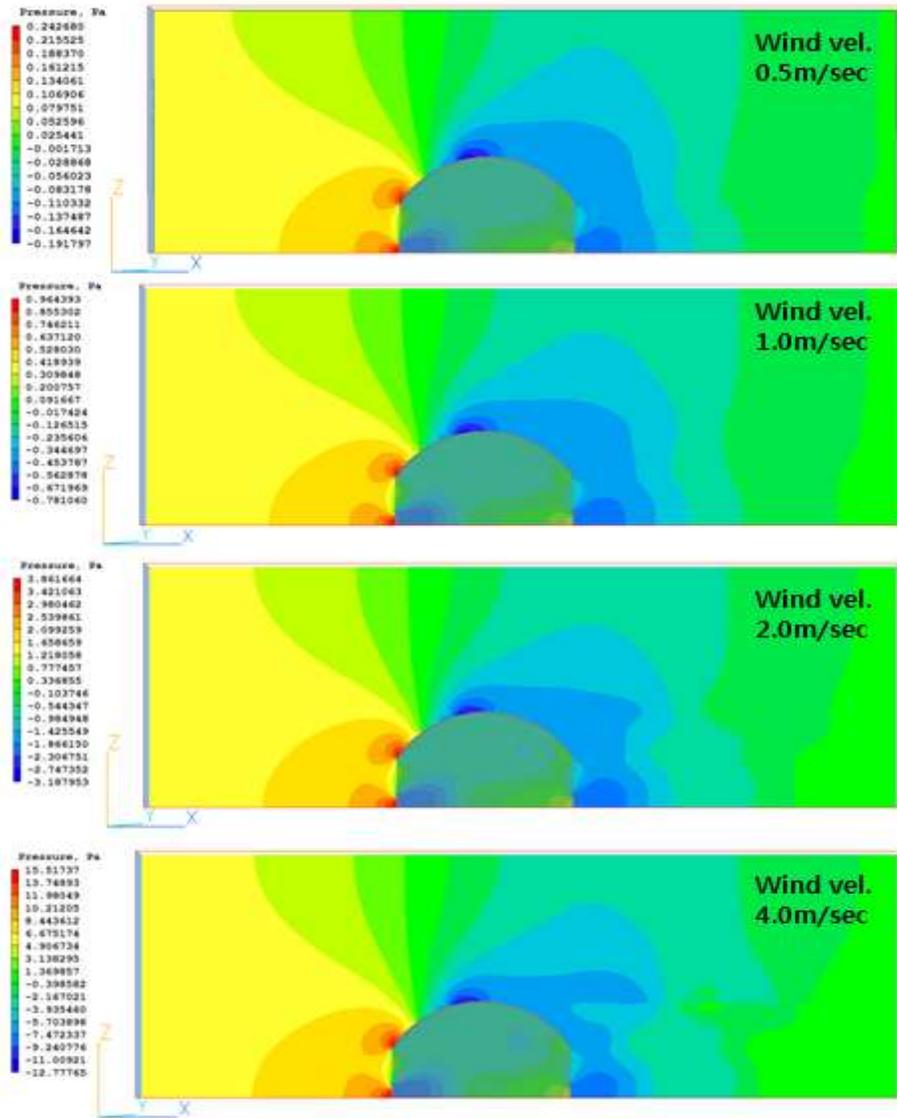


그림 133. 풍속변화별 압력분포 특성

② 속도분포

· 그림 4는 풍속변화별 온실 유동특성을 파악하기 위한 2차원 평면 속도벡터를 나타낸 것이다. 속도벡터를 보면 풍속이 증가할수록 비례적으로 유속이 증가하는 특성을 보이고 있다. 온실 전면부에서 불어오는 바람은 온실 측벽과 지붕이 연결되는 부분에서부터 유동이 온실 상부로 밀어 올려지는 상향류 흐름이 형성되면서 온실 지붕부 중심에서 바람 흐름방향 상층으로 유속 특성을 보이고 있다. 그리고 온실내부 측창을 통해 유입된 바람은 외부 풍속에 비해 20%정도 빨라진 유속 특성을 보이고 있으며, 온실 지붕부에는 재순환영역이 형성되어 낮은 유속 특성을 보이고 있다. 또한 풍속이 빨라질수록 온실 후면부 바람방향에 유동 특성을 보면 대체적으로 고른 유동

분포에서 매우 강한 난류 흐름으로 변화되는 것을 알 수 있는데 이는 유속이 빨라지면서 난류강도가 강해졌기 때문이다.

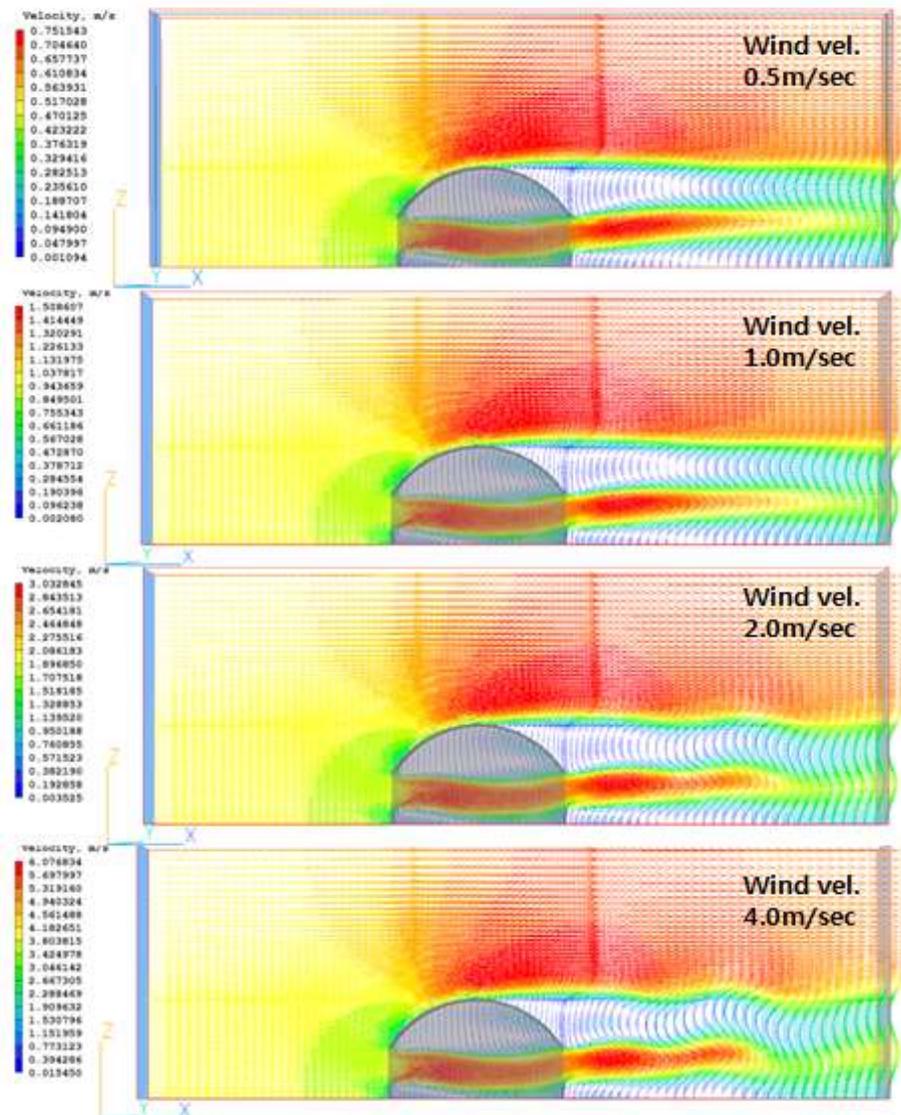


그림 134. 풍속변화별 속도벡터 특성

· 그림 5는 풍속변화별 온실 유동특성을 파악하기 위한 속도 contour를 나타낸 것이다. 상기 속도벡터에서 설명한 바와 같이 온실내 지붕부와 온실 지붕부 바람방향 후면부에 강한 재순환영역에 형성되어 풍속에 1/10정도로 낮은 유속특성을 보이고 있다.

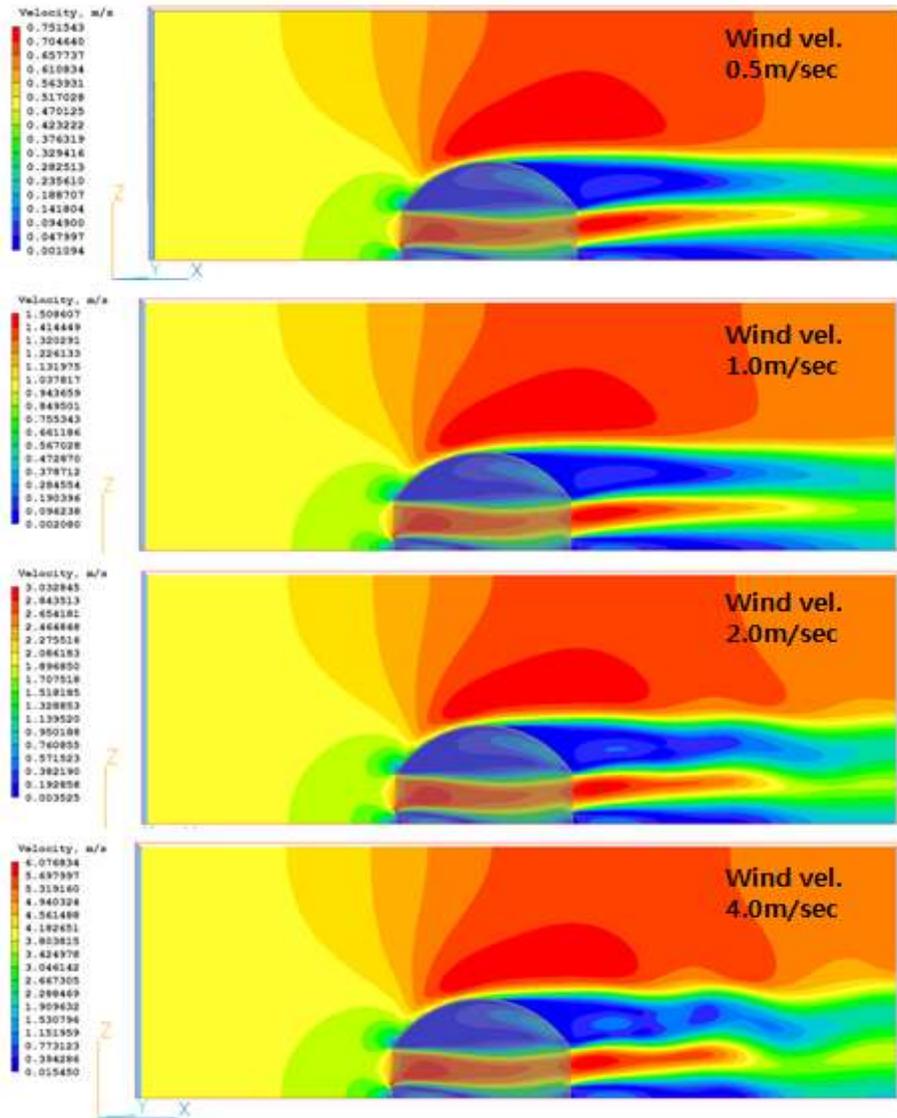


그림 135. 풍속변화별 속도contour 특성

· 그림 6은 풍속변화별 온실 중심부 높이방향에 속도프로파일을 나타낸 것이다. 온실 높이방향 0.5m에서 2m까지는 측창이 100% 개방되어 바람이 유입되는데 풍속에 비해 1.2배정도 높은 속도 프로파일을 보이고 있으며, 온실 지붕부에서는 풍속이 4m/sec인 경우도 1m/sec 이내에 약한 유속분포를 보이고 있다. 이는 상기 그림 4의 속도벡터에서 보는 바와 같이 온실내 지붕부에 강한 재순환영역이 형성되어 흐름이 약화되었기 때문이다. 또한 풍속이 강해질수록 온실 지붕부 상부에 유동이 균일해지는 영역이 점차 높아지고 있는 것을 확인 할 수 있는데 이는 풍속이 강해져 온실 지붕부에서 생성되는 마찰력에 의한 경계층이 커졌기 때문이다.

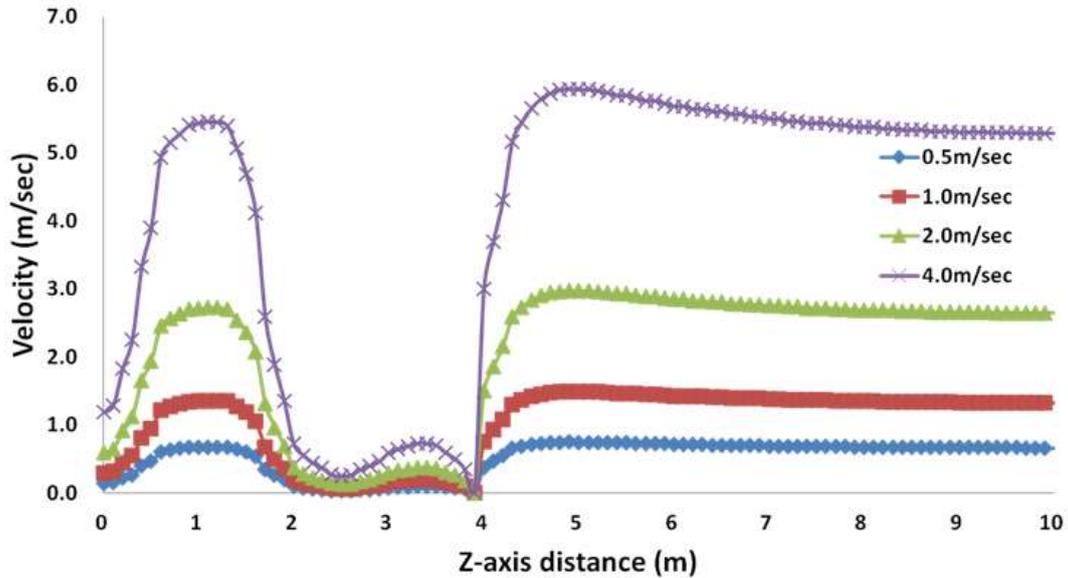


그림 136. 풍속변화별 온실 중심부 높이방향에 속도프로파일

## 2) Case 2에 유동 특성

· 본 연구에서 적용한 온실 모델 Case 2는 농진청 단동 비닐하우스(12-단동-1형)을 기반으로 온실 지붕 중심부에 원형관 천창(Ø 600mm)을 설치한 형상 모델링을 통해 수치해석을 수행한 것이다.

### ① 압력분포

· 그림 7은 풍속변화에 따른 압력 분포를 나타낸 것으로 Case 1과 같이 온실 전면부의 온실 측창 하부와 온실 측벽에서 지붕과 연결되는 부분에 압력이 높게 생성되고 있다. 또한 전체적인 압력분포는 풍속 증가에 따른 압력분포도 거의 유사한 경향을 보이고 있으며, 이때 온실전면부에 압력분포를 보면 Case 1에 비해 대체적으로 20%정도 높은 압력분포를 보이고 있다.

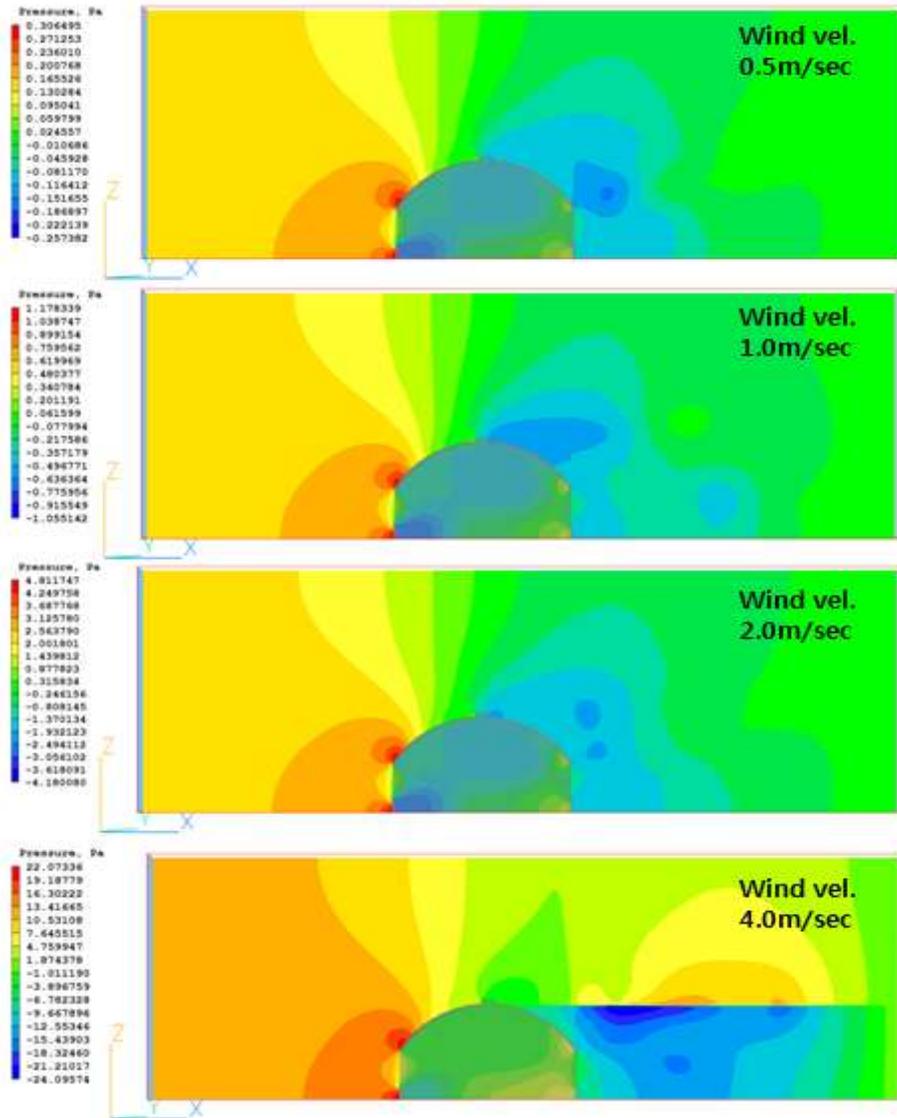
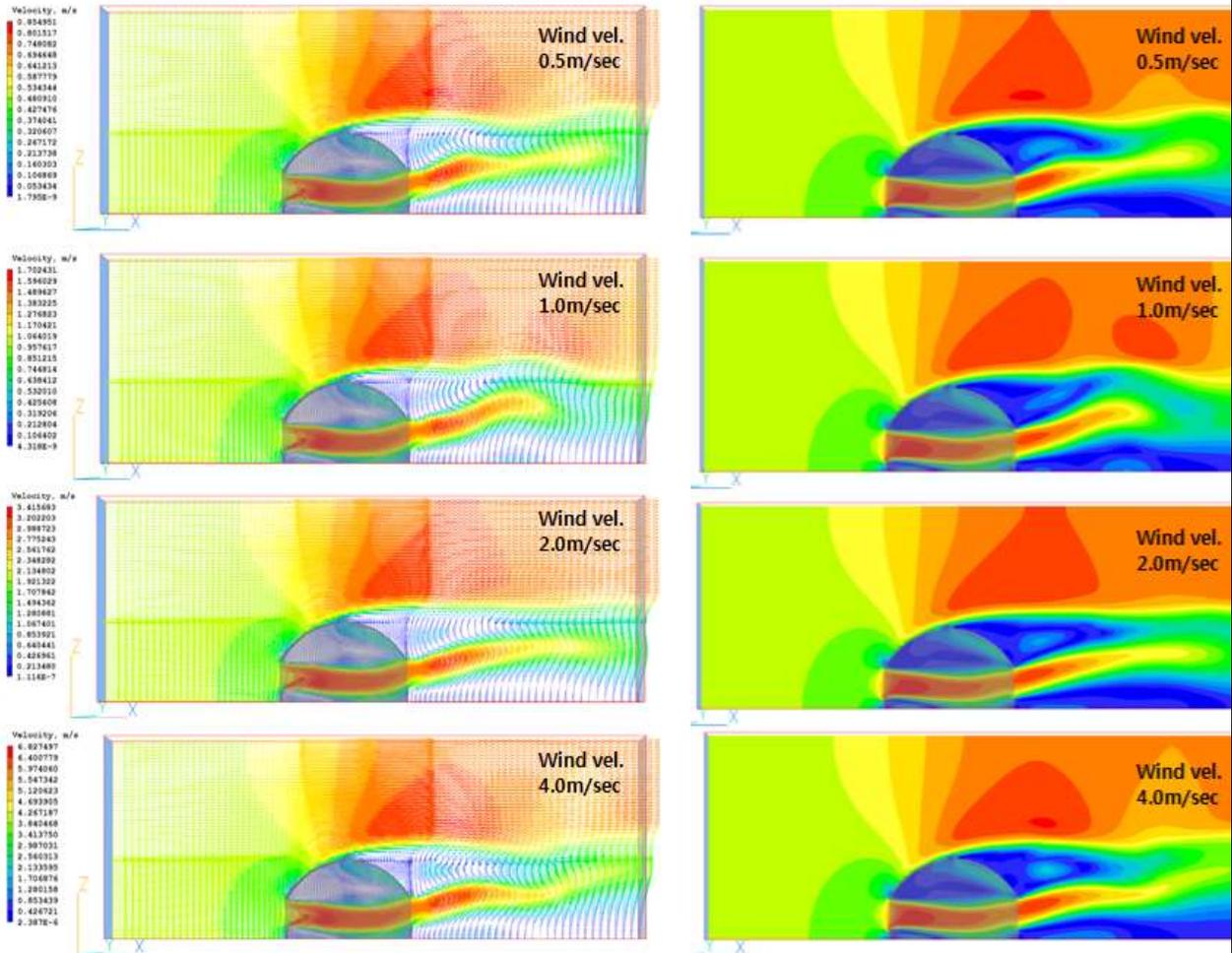


그림 137. 풍속변화별 압력분포 특성

② 속도분포

· 그림 8은 풍속변화별 온실 유동특성을 파악하기 위한 속도벡터와 속도 contour를 나타낸 것이다. 그림 8(a)의 속도벡터를 보면 풍속이 증가할수록 비례적으로 유속이 증가하는 특성을 보이고 있으며, 온실내 측창에서 유입되어 배출되는 바람은 온실 후면부에서 흐름이 약하게 상승하는 흐름을 형성하고 있는데 이는 후면부 하단에 형성된 재순환영역에 크기가 Case 1에 비해 크게 형성되고 있기 때문이다. 이는 8(b)의 속도 contour에서 확연하게 드러나고 있다. 또한 온실내 지붕부에 보면 온실 중심부에 설치된 천창부로 유입된 바람이 우측면 지붕부 내측을 통해 천창으로 빠져나가고 있다. 이로 인해 온실내 지붕부에 재순환영역이 Case 1에 비해 줄어드는 것을 확인할

수 있다. 또한 온실내부 측창을 통해 유입된 바람은 외부 풍속에 비해 50%정도 빨라진 유속 특성을 보이고 있으며, 이는 Case 1에 비해 풍속대비 온실내 유속이 50%이상 증가한 것으로 온실내부에 환기가 향상될 것으로 판단된다.



(a) 속도벡터

(b) 속도contour

그림 8. 풍속변화별 속도분포 특성

· 그림 9는 풍속변화별 온실 중심부 높이방향에 속도프로파일을 나타낸 것이다. 온실 측창으로 유입된 바람은 Case 1에 비해 풍속의 증가에 상관없이 오직 천창 유무에 따라 25%이상 빨라진 유속분포를 보이고 있다. 또한 그림 7의 속도벡터에서 보는 바와 같이 온실내 지붕부에서는 천창부로 갈수록 유속이 빨라지는 특성을 보이고 있다. 또한 풍속이 강해질수록 온실 지붕부 상부에 유동이 균일해지는 지점이 점차 높아지고 있으며, 온실 외부에 유속특성을 보면 지면에서 10m정도까지는 풍속에 비해 50%이상 높은 유속분포를 보이고 있어 온실에 의한 경계층 유동이 영향을 미치고 있음 알 수 있다.

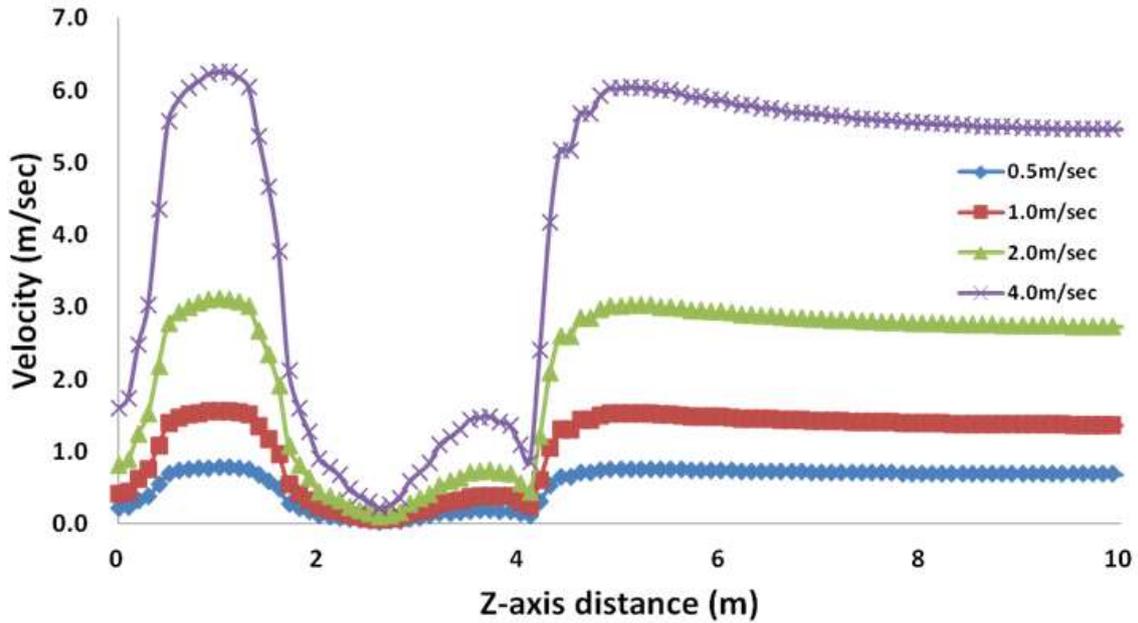


그림 9. 풍속변화별 온실 중심부 높이방향에 속도프로파일

### 3) Case 3에 환기 특성

· 본 연구에서 적용한 온실 모델 Case 3은 Case 2와 형상 모델링은 동일하지만 천창 원형관에 강제 환기팬을 설치하여 내부 강제흡인을 통한 환기효율을 높인 경우에 대해 수치해석을 수행한 것이다. 이때 강제 환기팬에 흡인용량은 700m<sup>3</sup>/hr로 현장에 적용되어 운전 중인 환기팬과 같은 용량으로 설정하였다.

#### ① 압력분포

· 그림 10은 풍속변화에 따른 압력 분포를 나타낸 것으로 Case 1과 같이 온실 전면부의 온실 측창 하부와 온실 측벽에서 지붕과 연결되는 부분에 압력이 높게 생성되고 있고 전체적으로 압풍속 증가에 따른 압력분포도가 Case 1과 거의 유사한 경향을 보이고 있다. 또한 온실전면부에 압력분포를 보면 Case 1에 비해 대체적으로 30% 정도 높은 압력분포를 보이고 있다. 온실의 지붕부 상부 천창이 설치된 곳에 압력분포를 보면 Case 1의 경우에는 그림 4의 속도벡터에서 설명한 바와 같이 외기 바람에 의해 온실의 지붕부 중심 지점부터 후면부까지 부압이 형성되고 있는데 강제 환기팬에 의해 온실 지붕부로 강제 배기를 함으로 인해 대기압보다 약하게 높은 압력이 형성되고 있다. 또한 온실 후면부에 재순환영역(그림 11에 속도벡터 참조)에 의해 생성된 부압 영역은 Case 1에 비해 약해진 것을 확인할 수 있다.

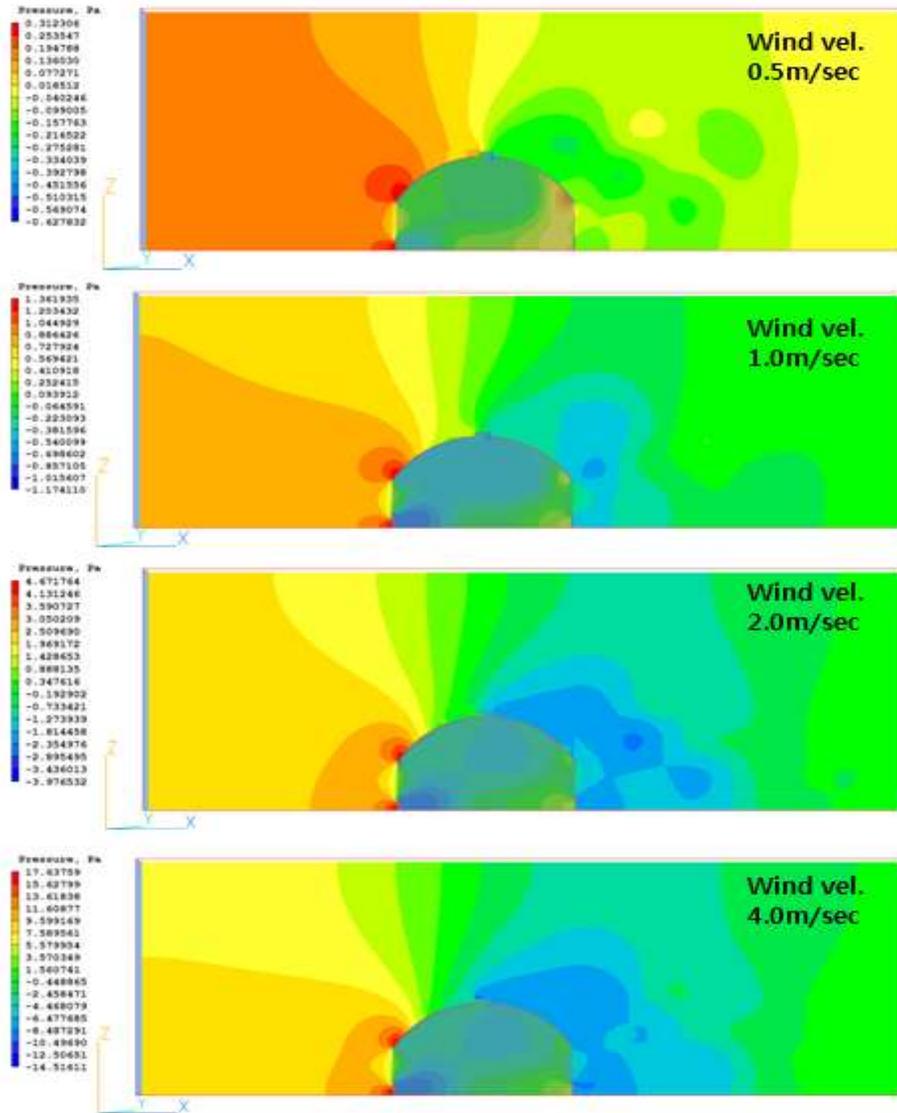
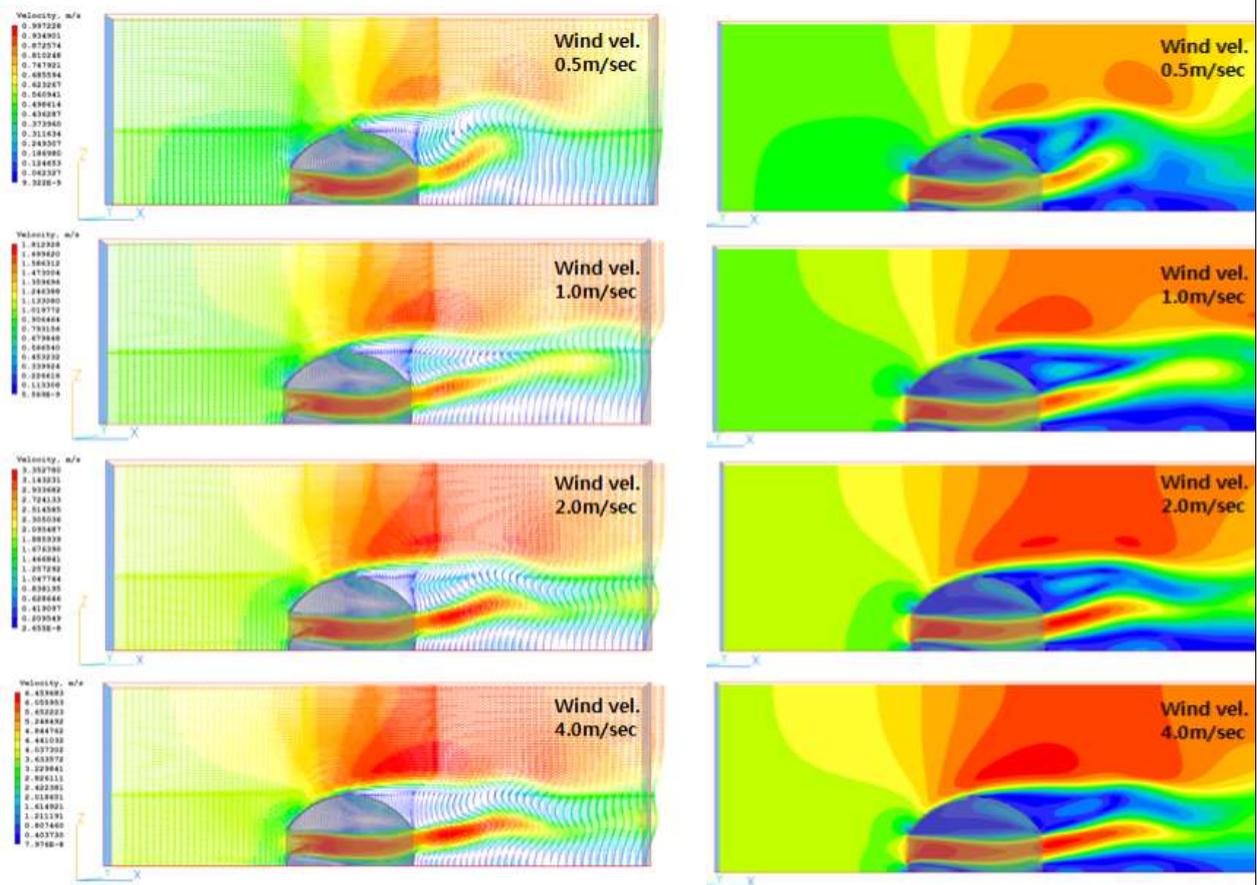


그림 10. 풍속변화별 압력분포 특성

② 속도분포

· 그림 11은 풍속변화별 온실 유동특성을 파악하기 위한 속도벡터와 속도 contour를 나타낸 것이다. 그림 11(a)의 속도벡터를 보면 풍속이 증가할수록 비례적으로 유속이 증가하는 특성을 보이고 있으며, 온실내 측창에서 유입되어 배출되는 바람은 온실 후면부에서 흐름이 약하게 상승하는 흐름을 형성하고 있는데 이는 Case 2의 경우와 거의 유사한 특성을 보이고 있다. 하지만 속도벡터에서 보면 온실 지붕 후면부로 재순환영역이 Case 2에 비해 강하게 형성되고 있고, 이는 온실 지붕에 설치된 강제 환기팬에 의한 배기 흐름이 바람의 진행을 일부 방해함으로 인해 온실 지붕 후면부로 유도 압력저항이 발생하여 후면부에서 상승한 외기가 유입되기 때문으로 판단되며,

이는 속도 contour의 흐름에서도 확인할 수 있다. 또한 온실 측창으로 유입된 바람에 온실내 속도값을 비교하면 Case 2와 유사한 속도값을 보이고 있다. 이는 현재와 같이 양측창을 100% 개방한 상태에서 외기 바람이 1m/sec로 불어옴으로 강제 환기를 하지 않아도 충분히 자연대류에 의한 환기만으로도 환기효과를 발생할 수 있는 것으로 판단된다. 하지만 외기 바람이 없다고 가정한다면 본 강제 환기팬에 대한 환기 효과는 높을 것으로 예상되며, 외기 바람 등의 요인에 의한 영향을 최소화하면서 온실 내에 환경을 최적화하기 위해서는 강제 환기팬의 운전이 동력비 등의 운영비와 연계되어 검토되어야 하겠지만 단순 환기만을 고려 시에는 효율적이라고 판단된다.



(a) 속도벡터

(b) 속도 contour

그림 11. 풍속변화별 속도분포 특성

· 그림 9는 풍속변화별 온실 중심부 높이방향에 속도프로파일을 나타낸 것이다. Case 2에 경우와 비교하여 온실 중심부의 높이방향에 속도를 비교하면 거의 유사한 속도분포를 보이고 있다. 이는 상기 속도분포에서 설명한 바와 같이 현재의 온실 환

기 조건에서 강제 환기팬의 영향이 크지 않음을 알 수 있다.

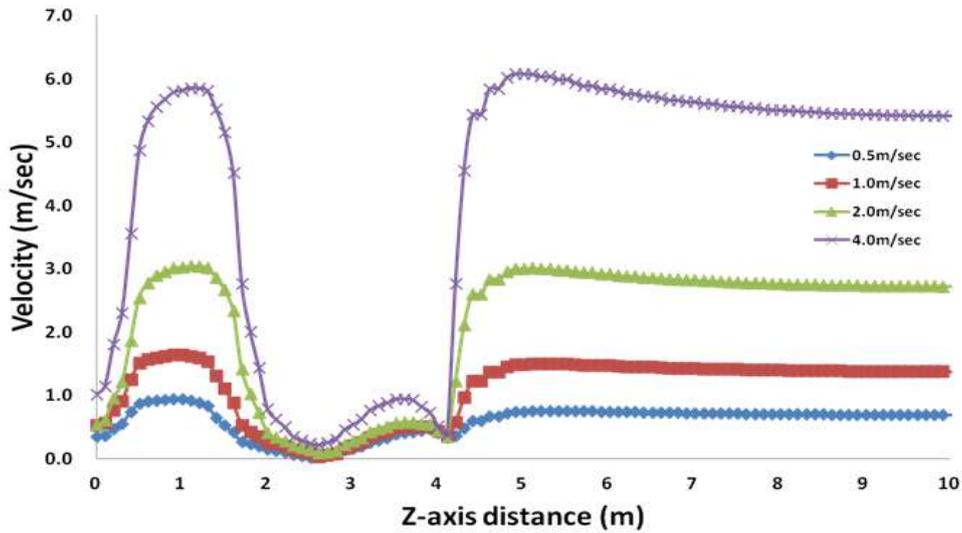


그림 12. 풍속변화별 온실 중심부 높이방향에 속도프로파일

#### 4) Case 4에 환기 특성

- 본 연구에서 적용한 온실 모델 Case 4는 고깔형 천창을 설치한 경우에 대한 수치해석을 수행한 것이다. 이때 고깔형 천창은 이등변삼각형 형태로 경사면에 개방면적은 800mm로 경사면 양측이 모두 개방된 구조이다.

##### ① 압력분포

- 그림 13은 풍속변화에 따른 압력 분포를 나타낸 것으로 고깔형 천창의 영향으로 온실 전면부에 압력이 전체적으로 높게 나타나고 있다. 이는 Case 1과 같이 온실 전면부의 측창 하부와 온실 측벽에서 지붕과 연결되는 부분에 압력이 높게 생성되는 것과는 차이가 있다. 그리고 온실 전면부에 압력이 Case 1에 비해 3배정도 높게 형성되고 있으며, 고깔형 천창부에 압력이 온실 후면부에 비해 상대적으로 높게 형성되고 있다.

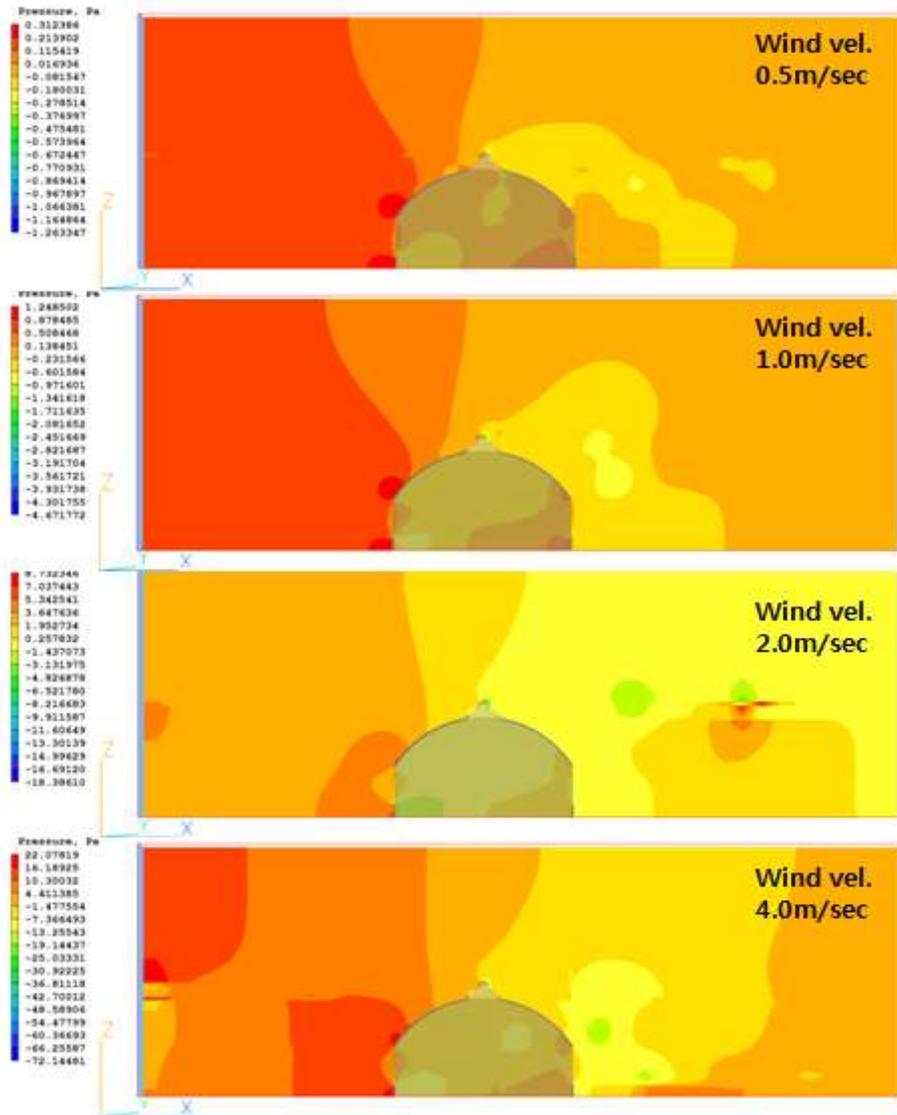


그림 13. 풍속변화별 압력분포 특성

② 속도분포

· 그림 14는 풍속변화별 온실 유동특성을 파악하기 위한 속도벡터를 나타낸 것이다. 속도벡터를 보면 풍속이 증가할수록 비례적으로 유속이 증가하는 특성을 보이고 있으며, 온실내 측창에서 유입되어 배출되는 바람은 온실 후면부에서 흐름이 약하게 상승하는 흐름을 형성하고 있다. 또한 고깔형 천창의 경우 외기가 고깔형 천창부에 부딪쳐 급격하게 상승하는 흐름이 형성되고 일부는 고깔형 천창을 통과하는 흐름이 형성되고 있다. 따라서 온실 후면부에 재순환영역이 상대적으로 Case 1에 비해 작게 형성되고 있다. 그리고 측창으로 유입된 바람은 대부분이 흐름방향에 위치한 반대편 측창으로 통과되고 흐름에 일부만이 온실내 지붕내벽을 따라 상승하면서 고깔형 측

창으로 배출되는 흐름을 보이고 있다. 또한 고깔형 천창의 경우에는 천창부에서 풍속에 비해 2배 이상되는 강한 이상 난류 흐름이 형성되고 있어 고깔형 천창의 경우에는 구조적 안정성에 대한 고려가 필요할 것으로 판단된다.

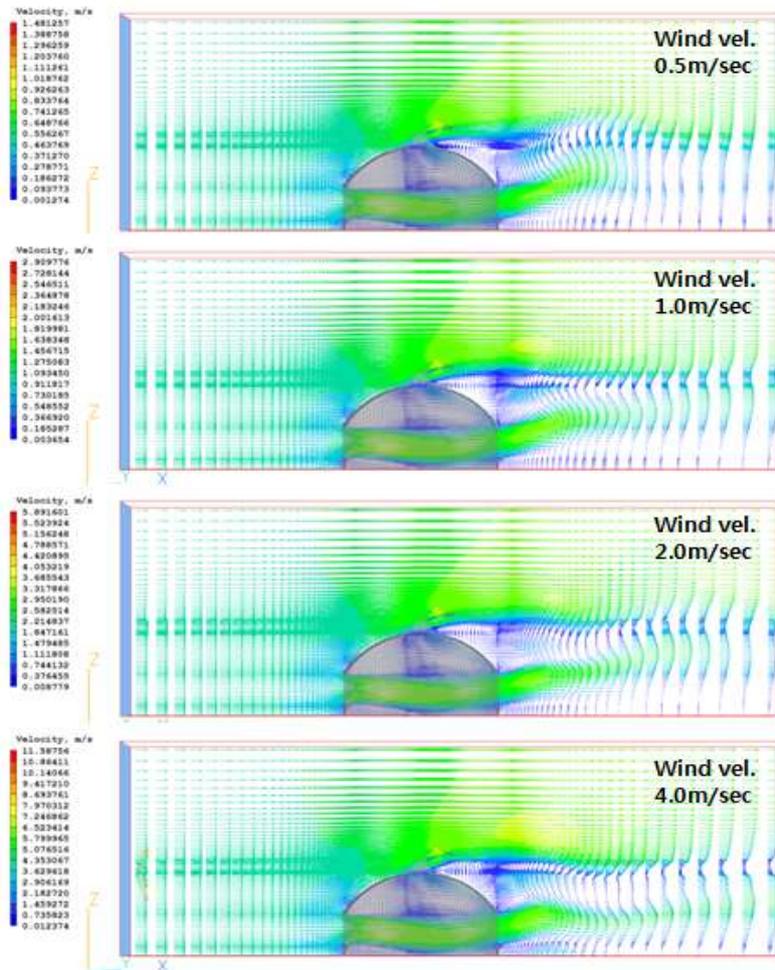


그림 14. 풍속변화별 속도벡터 특성

· 그림 15는 풍속변화별 온실 중심부 높이방향에 속도프로파일을 나타낸 것이다. 온실 측창으로 유입된 바람은 Case 1에 비해 온실내 유속이 20%정도 빨라진 유속분포를 보이고 있으며, 온실내 고깔형 천창이 설치된 곳에서는 온실의 측창으로 유입되는 바람의 세기와 거의 유사한 속도분포로 고깔형 천창에서 유동이 형성되고 있어, 상기의 속도벡터에서 언급한 바와 같이 유동에 따른 압력영향이 있기때문에 구조적 안정성에 대한 고려가 필수적일 것으로 판단된다.

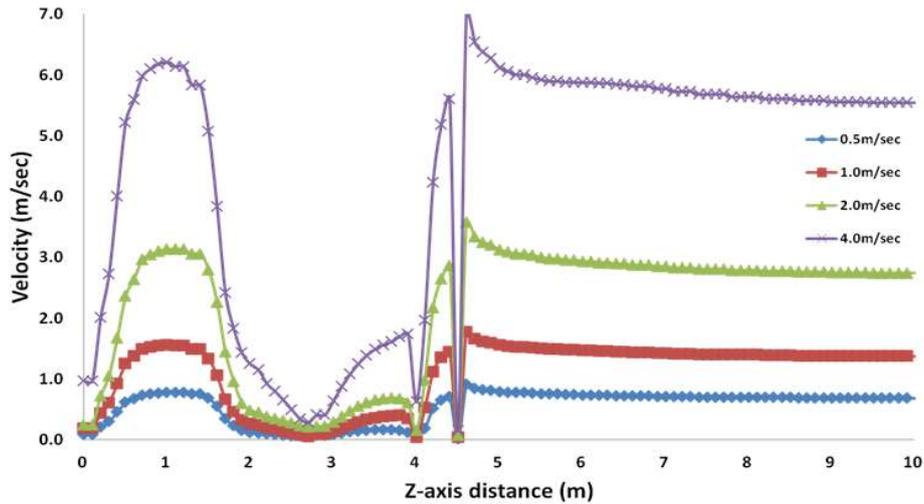


그림 15. 풍속변화별 온실 중심부 높이방향에 속도프로파일

#### 5) Case 5에 환기 특성

· 본 연구에서 적용한 온실 모델 Case 5는 맞배형 천장을 설치한 경우에 대한 수치해석을 수행한 것이다. 이때 맞배형 천장의 수직면에 개방면적은 600mm로 완전 개방된 구조이다.

##### ① 압력분포

· 그림 16은 풍속변화에 따른 압력 분포를 나타낸 것으로 Case 1과 같이 온실 전면부의 온실 측창 하부와 온실 측벽에서 지붕과 연결되는 부분에 압력이 높게 생성되고 있고 전체적으로 풍속 증가에 따른 압력분포도는 Case 1과 거의 유사한 경향을 보이고 있다. 맞배형 천장의 형상 특성으로 유동이 상향류를 형성함으로 인해 Case 1에 비해 온실 후면부의 부압 특성에 의해 압력분포가 넓게 형성되고 있다. 또한 풍속 0.5m/sec에서 맞배형 천장 후면에는 강한 부압이 형성되고 있으며, 이는 바람방향에 따라 온실 후면부로 확장되고 있다. 또한 온실 전면부에 압력이 동일 풍속 조건인 Case 1에 비해 30%이상 높게 나타나고 있어, 맞배형 천장에 형상이 온실 전면부의 압력에 영향을 주고 있음을 알 수 있다.

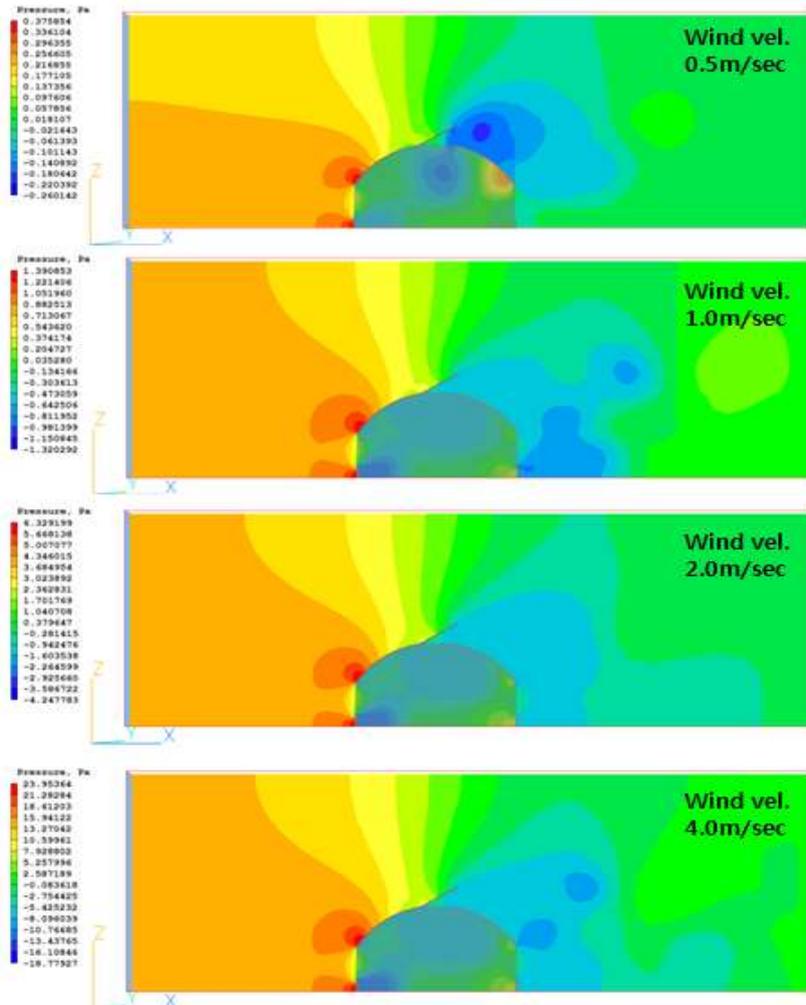


그림 16. 풍속변화별 압력분포 특성

② 속도분포

· 그림 17은 풍속변화별 온실 유동특성을 파악하기 위한 속도벡터와 속도 contour를 나타낸 것이다. 그림 17(a)의 속도벡터를 보면 풍속이 증가할수록 온실 측벽을 통과하면서 배출되는 흐름이 온실 후면부에서 상승하는 흐름이 형성되고 있는데 이는 맞배형 천창 후면에 형성되는 재순환영역에 의한 영향과 온실 후면부 지면근처에 강하게 형성되는 재순환영역 의한 영향으로 흐름이 유도되었기 때문이다. 이는 그림 17(b)의 속도 contour에서도 확인할 수 있다. 또한 맞배형 천창을 설치한 경우에 온실내부 유속을 비교하면 Case 1에 비해 20%정도 유속이 높게 나타나고 있으며 이는 천창이 있는 다른 온실의 경우와 거의 유사하게 유입된 바람의 일부가 천창으로 유도되어 배출됨으로서 온실내에서 유속이 더 높게 형성되기 때문이다.

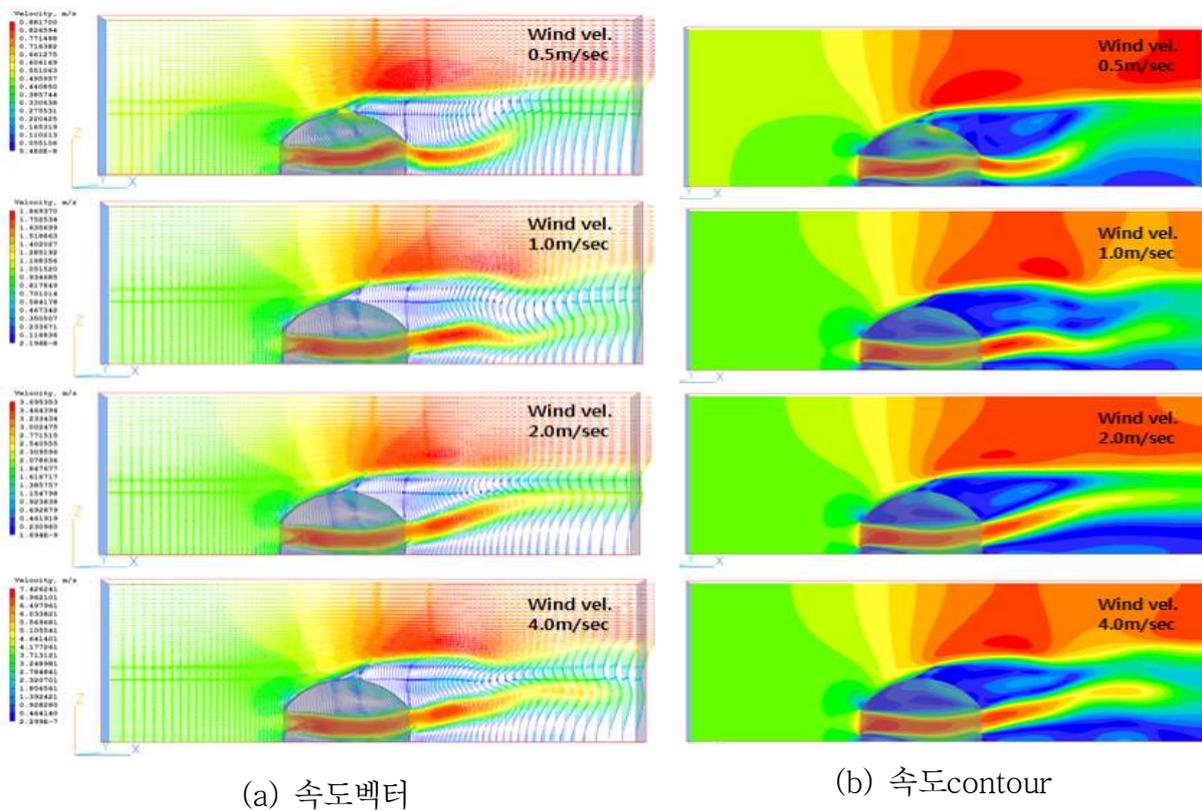


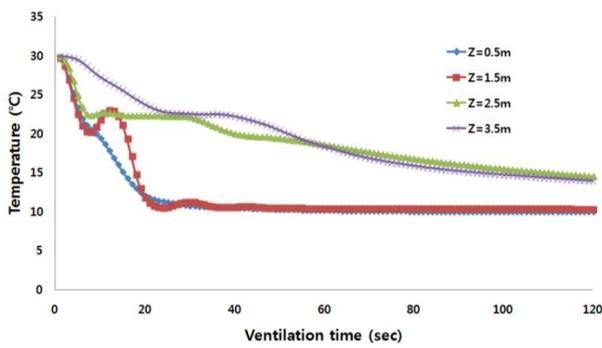
그림 17. 풍속변화별 속도분포 특성

## (2) 단동온실 모델별 시간에 따른 환기 특성

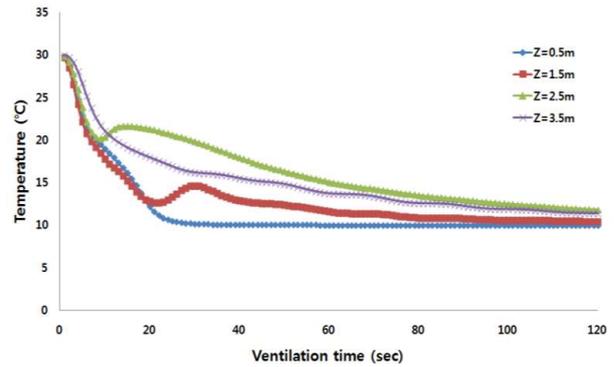
· 본 연구에서는 단동온실 모델별 시간에 따른 환기 특성을 파악하기 위하여 비정상상태에 수치해석을 수행하였다. 전체 온실 모델내에 초기 온도는 30°C이고 외기 온도는 10°C이며, 이때 풍속은 1m/sec로 설정하였다. 그리고 온실은 환기를 위해 측창과 천창을 100% 개방하였다.

· 그림 18은 단동온실 모델별 온실내 시간에 따른 온도변화 특성을 파악하기 위하여 온실내 중심부에 높이방향으로 네 지점에서 온도를 일정시간(120초) 모니터링한 결과를 나타낸 것이다. 온실내 중심부 높이방향  $z=0.5\text{m}$  지점에서 온도 변화 특성을 보면 20초 정도에 모든 온실 모델이 외기 온도까지 환기가 진행되는 것을 확인할 수 있다. 그리고  $z=1.5\text{m}$ 의 경우에는 Case 1의 경우에는  $z=0.5\text{m}$ 와 거의 동일한 20초정도에 외기온도가 유사해지는 특성을 보이고 있지만 천창이 설치된 나머지 경우에는 120초 정도에 거의 동일한 온도 값을 보이고 있다. 또한 온실내 중심 지붕부에 온도를 모니터링한  $z=2.5\text{m}$ ,  $3.5\text{m}$  지점에서 120초의 시간이 흐른 후에 온실내 온도를 보면 Case 1은 14.6°C, Case 2는 11.8°C, Case 3은 11.6°C, Case 4는 11.8°C, Case 5는

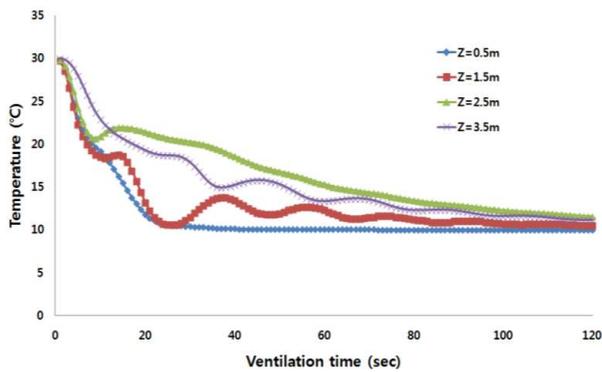
12.3°C에 온도 특성을 보이고 있다. 이를 통해 온실 환기에 천창의 역할이 3°C정도에 온도를 낮춰주는 효과가 있음을 확인하였고, 강제 환기팬을 설치한 경우가 미비하지만 조금 높은 효과를 보이고 있다. 하지만 온실내 온도 변동폭이 다른 경우에 비해 크게 발생하고 있다. 그리고 모든 온실 모델의 경우가 환기를 시작하고 10초정도에 온실내 온도가 20°C로 빠르게 낮아지는 것을 확인하였다.



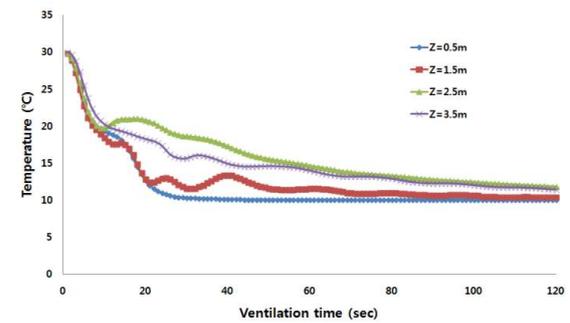
(a) Case 1



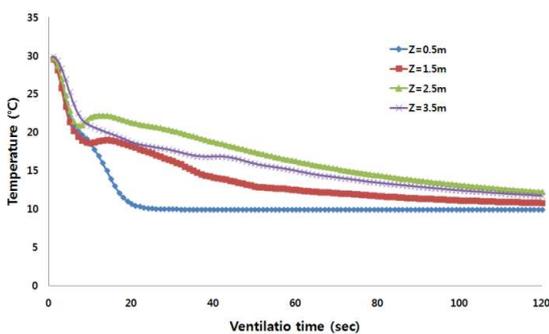
(a) Case 2



(c) Case 3



(d) Case 4



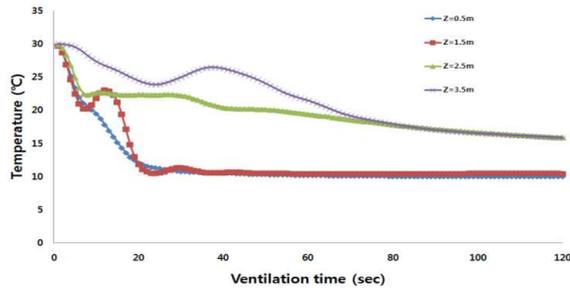
(e) Case 5

그림 18. 단동온실 모델별 온실내 시간에 따른 온도변화 특성

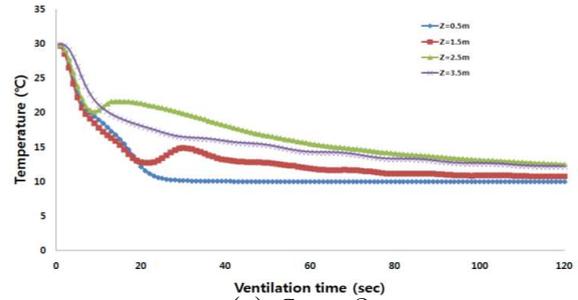
(3) 단동온실 모델별 태양복사 적용 시 환기 특성

· 본 연구에서는 단동온실 모델별 태양복사 적용 시 시간에 따른 환기 특성을 파

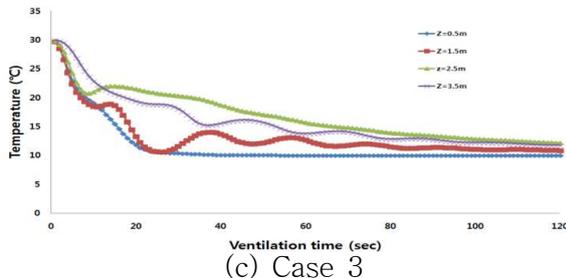
악하기 위하여 비정상상태에 수치해석을 수행하였다. 전체 온실 모델내에 초기 온도는 30°C이고 외기 온도는 10°C이며, 이때 풍속은 1m/sec로 설정하였다. 그리고 온실에 태양복사는 정오를 기준한 상수값으로 직접 태양복사 1000W/m<sup>2</sup>, 확산 태양복사 100W/m<sup>2</sup>으로 설정하였고, 온실은 환기를 위해 측창과 천창을 100% 개방하였다.



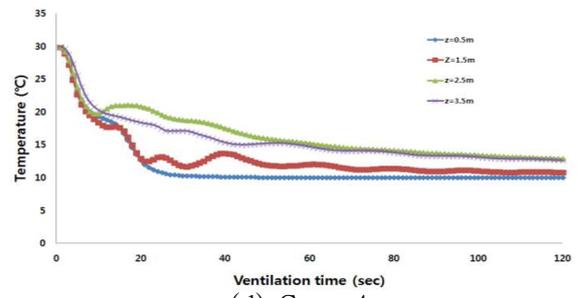
(a) Case 1



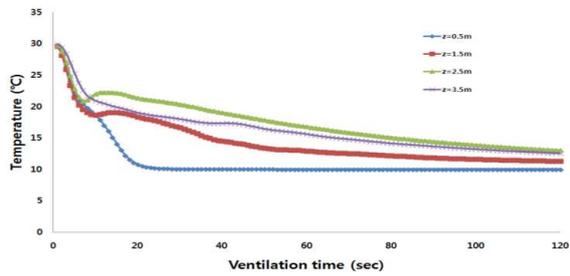
(a) Case 2



(c) Case 3



(d) Case 4



(e) Case 5

그림 19. 단동온실 모델별 태양복사 적용 시 온도변화 특성

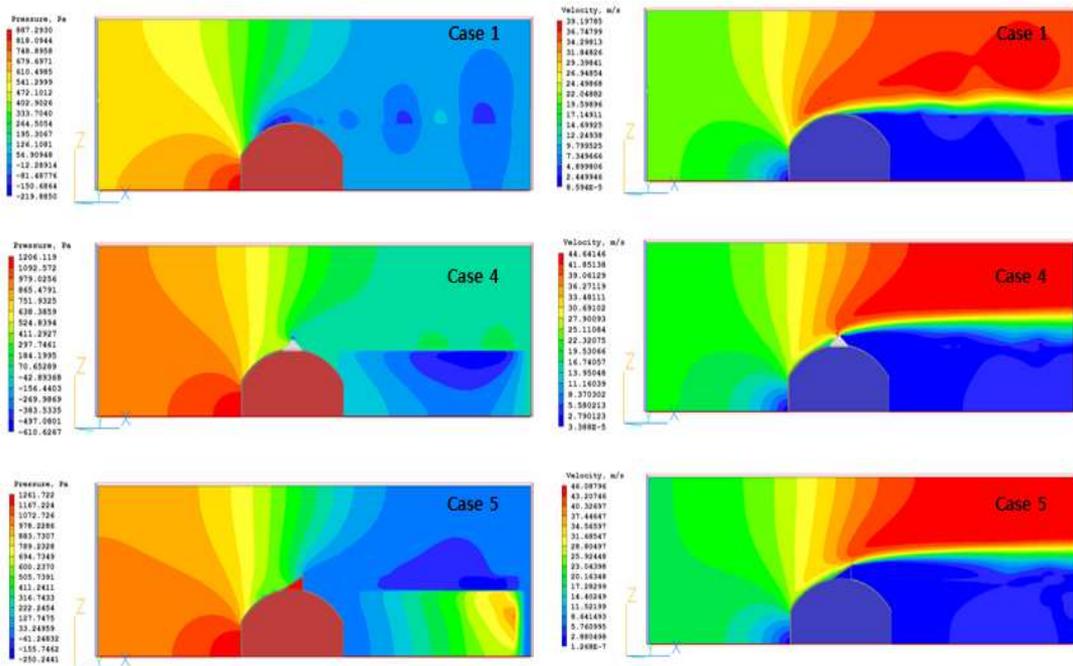
· 그림 19는 단동온실 모델별 태양복사 적용 시 시간에 따른 온도변화 특성을 파악하기 위하여 온실내 중심부에 높이방향으로 네 지점에서 온도를 일정시간(120초) 모니터링한 결과를 나타낸 것이다. 온실내 중심부에 시간에 따른 온도변화 특성은 대부분의 경우가 태양복사를 고려하지 않은 경우와 거의 유사한 온도 변화에 경향을 보이고 있고, 온도 변화폭 또한 크지 않다. 온실 환기 후 120초의 시간이 지나고 온실내 온도를 보면 Case 1은 15.9°C, Case 2는 12.5°C, Case 3은 12.2°C, Case 4는 12.9°C, Case 5는 13.0°C에 온도 특성을 보이고 있다. 이처럼 태양복사를 적용하면

태양복사를 적용하지 않은 경우에 비해서 5%~10%정도 온실내 온도가 높아지는 것을 알 수 있다. 따라서, 온실내 온도는 측창과 천창을 100%로 개방하면 정오의 경우에도 태양복사에 크게 영향을 받지 않으면서 충분히 온실내 환기가 되는 것을 확인할 수 있다.

(4) 단동온실 모델별 풍력계수 산출

- 본 연구에서는 단동온실 모델 중 Case 1을 기준으로 Case 4와 Case 5에 대해 유동해석 프로그램에서 산출된 항력(Drag force)를 기반으로 풍력계수(Drag coefficient)를 산출하였다. 이때 온실에 경계조건은 풍속 20m/sec이고 공기밀도 1.204kg/m<sup>3</sup>(20°C, 1atm 기준)이다.

- 그림 20은 단동온실 모델별 풍력계수를 산출하기 위하여 상기 경계조건에서 운전 시에 온실별 압력분포와 유동 특성을 나타낸 것이다. 그림 20(a)에 압력분포를 보면 단동온실 천창에 유무에 따라 천창이 있는 경우가 약 300 Pa 이상에 온실 전면부에 높은 압력값을 보이고 있는데, 이는 바람이 온실 천창에 의해 온실 상부로 Case 1에 비해 큰 상향류에 흐름이 형성됨으로 인해 온실 전면부에 압력이 높게 형성되고 있다. 이는 그림 20(b)의 속도분포에서도 확인할 수 있다. 그림 20(b)에 속도분포를 보면 온실 상부에서 상향류 흐름이 형성된 바람은 온실에 영향으로 온실 후면부의 흐름방향으로 강한 재순환영역이 형성되고 있다.



(a) 압력분포

(b) 속도분포

그림 20. 단동온실 모델별 압력 및 유동 분포 특성

· 표 2는 단동온실 모델별 풍력계수를 산출한 것이다. 본 모델은 2차원 해석으로 인해 풍력계수는 x, z축에 대한 풍력계수(Cd)를 산출하였고, 그 결과는 표 2와 같다. 바람의 주 흐름이 형성된 x축에 대한 풍력계수(Cdx)를 보면 본 단동온실에 기준 모델인 천창이 없는 Case 1에 비해 천창을 설치함으로써 인해 Case 4의 고깔형의 경우에는 63.4%, Case 5의 맞배형의 경우에는 92.3% 높은 풍력계수 값을 나타내고 있다.

표 2. 단동온실 모델별 풍력계수

Case	Case 1	Case 4	Case 5
Cdx	0.967	1.58	1.86
Cdz	1.81	2.64	1.33

#### 4. 결론

- 본 연구에서는 단동온실 모델별 각각에 대해 풍속변화에 따른 환기 및 유동 특성을 파악하고자 수치해석을 수행하였고, 그 결과는 하기와 같다.
- 온실 전체적으로 온실 전면부의 온실 측창 하부와 온실 측벽에서 지붕과 연결되는 부분에 압력이 높게 생성되고 있고 온실 지붕 후면부에 부압이 형성되어 있다.
- 온실내 천창이 있는 경우는 온실내에서 유동이 풍속에 비해 50%이상 향상된 유속분포를 보이고 있으며, 유입된 공기의 일부가 흐름방향 측창 상부의 지붕내벽을 타고 상승하여 천창으로 배출된다.
- 온실 모델 전체적으로 온실 중심부 상부에 유동이 높이방향 10m 이상까지 풍속에 비해 50%이상 높은 유속분포를 보이고, 이는 온실에 의한 경계층 유동이 바람의 흐름에 영향을 미치고 있기 때문이다.
- 온실 환기 시에 측창을 100%로 개방하고 외기에 풍속이 1m/sec 정도이면 온실내에 대류에 의한 환기 효과가 크게 발생하여 강제 환기팬에 의한 인위적인 환기 효과는 크지 않다.
- 단동온실 모델별 태양복사를 고려하지 않고 시간에 따른 환기 특성을 파악한 결과 거의 모든 경우에 온실 지붕부 하부에서는 20초정도면 외기온도에 준하여 환기가 되지만 지붕부는 120초정도에 시간이 지나야 충분한 환기가 되고 있다. 또한 온실 천창이 있으면 온실 환기 시에 내부 온도를 3°C정도 낮춰주는 효과를 보이고 있다.

· 단동온실 모델별 태양복사를 고려한 경우에 시간에 따른 환기 특성을 파악한 결과 태양복사를 적용하지 않은 경우에 비해 5~10%정도 높은 온도 특성을 보이고 있지만, 온실에 측창과 천창을 100%로 개방하면서, 외기 풍속이 1m/sec에서는 환기 시에 태양복사에 의한 온실내 온도 상승 효과는 크지 않다고 판단된다.

· 단동온실에 대한 바람의 주 흐름이 형성된 x축에 대한 풍력계수(Cdx)를 보면 천창이 없는 Case 1에 비해 천창을 설치함으로 인해 Case 4의 고갈형의 경우에는 63.4%, Case 5의 맞배형의 경우에는 92.3% 높은 풍력계수 값을 나타내고 있다.

### 3절. 고효율 단동온실 설계를 위한 열유동특성 수치모델

#### ① 연구목적 및 방법

· 일반적인 온실하우스 내 열유동특성은 비닐의 비회체 물질에서 발생하는 복사열 전달 특성에 기인하기 때문에 온실에 대한 수치해석을 함에 있어서 이러한 특성을 고려하는 것은 상당히 중요하다. 따라서 본 연구에서는 수치해석적인 방법을 통해 다양한 단동온실에 대한 열유동특성을 예측하였으며 온실설계에 기초자료로서 제시하고자 하였다.

· 본 연구에서는 기존 단동온실 모델에 대한 열유동특성을 해석적으로 분석하였고 이를 실험과 비교하여 수치해석의 타당성을 검증하려고 하였다. 검증된 해석모델을 기반으로 개발하고자 하는 대상 온실모델에 대한 추가적인 수치해석을 수행하였다.

#### ② 해석대상

- 유동해석 영역 및 해석격자

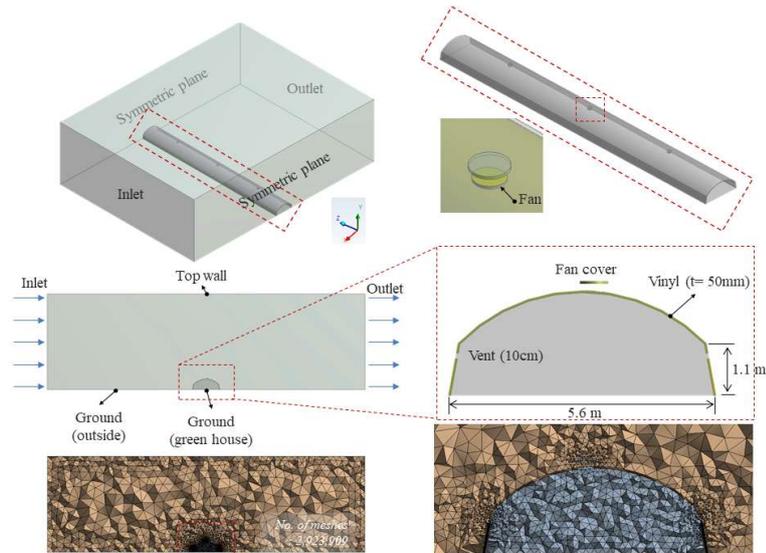


그림 1. 검증용 단동온실 형상

· 그림 1은 수치해석기법 검증을 위한 온실 모델로서 대기영역과 온실영역으로 구성된다. 온실은 폭 5.6 m, 높이 1.1 m 크기로 좌우에 각각 약 10 cm 정도의 환기창이 각각 1개씩 있으며 상단에는 환기팬과 팬 덮개가 3개씩 존재한다. 실제 비닐 두께( $t=0.1\text{mm}$ )로 모델링 하게 되면 해석격자의 증가로 인해 계산비용이 급격히 증가하기 때문에 비닐영역의 두께를 50 mm로 모델링 한 이후에 비닐에 물성을 실제 비닐의 특성에 맞는 등가모델을 적용하였다. 해석격자는 약 290만개 수준으로 환기창과 환기팬 영역에 격자를 조밀하게 형성하였으며 사면체격자와 육면체격자를 혼용하여 사용하였다.

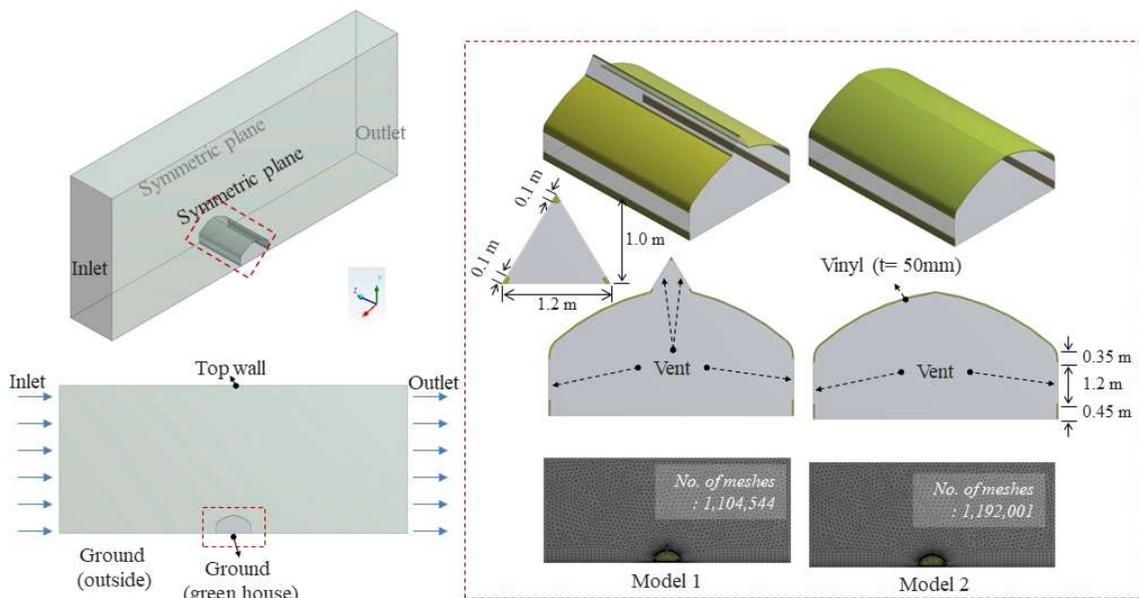


그림 2. 개발온실 및 대조온실 형상

· 그림 2는 개발하고자 하는 온실 모델로서 온실은 폭 7.0 m, 높이 2 m 크기로 좌우에 각각 약 1.2 m 정도의 환기창이 있으며 Model 1에만 추가적으로 상단에 환기창이 존재한다. 그림 1의 검증 모델과 비교할 때 좌우환기창의 폭이 크기 때문에 상단의 환기팬은 사용하지 않았다. 두 모델의 해석격자는 약 110만개 수준으로 환기창과 비닐 영역에 해석격자를 조밀하게 형성하였으며 사면체 격자와 육면체 격자를 혼용하여 사용하였다.

### ③ 지배방정식

· 본 연구에서는 태양복사 및 외부 공기유동에 따른 온실 내 열유동특성을 수치해석적으로 분석하기 위해 상용 CFD 프로그램인 ANSYS CFX 18.0 사용하였다.

· 온실 내외부에서 작동유체인 공기에 대해서는 정상상태, 비압축성, 3차원, 난류로 가정하였으며, RANS(Reynolds Averaged Navier-Stokes equations) 기반의  $k-\epsilon$  난류 모델을 이용하여 Reynolds stress 항을 모델링 하였다.

· 공기유동 및 비닐층에 대한 질량보존방정식, 운동량보존방정식, 에너지보존방정식, 복사열전달 방정식은 아래와 같다.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{v}) = 0 \quad [1]$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \vec{v}) + \nabla \cdot (\rho \vec{v} \vec{v}) = -\nabla p + \nabla \cdot \overline{\tau} + \rho \vec{g} \quad [2]$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho e) + \nabla \cdot (\vec{v} (\rho e + p)) = \nabla \cdot (\lambda \nabla T) + S_h \quad [3]$$

$$e = h - \frac{p}{\rho} + \frac{v^2}{2} \quad [4]$$

$$\frac{dI(\vec{r}, \vec{s})}{ds} + (a, \sigma_s) I(\vec{r}, \vec{s}) = an^2 \frac{\sigma T^4}{\pi} + \frac{\sigma_s}{4\pi} \int I(\vec{r}, \vec{s}') d\Omega' \quad [5]$$

이때  $\rho$ 는 밀도,  $t$ 는 시간,  $\vec{v}$ 는 속도벡터,  $p$ 는 압력,  $\overline{\tau}$ 는 응력텐서,  $\vec{g}$ 는 중력가속도를,  $e$ 는 에너지,  $h$ 는 엔탈피,  $\lambda$ 는 열전도도,  $S_h$ 는 열생성항,  $I$ 는 복사강도,  $\vec{r}$ 는 위치벡터,  $\vec{s}$ 는 방향벡터,  $\vec{s}'$  산란방향벡터,  $a$ 는 흡수율,  $\sigma_s$ 는 산

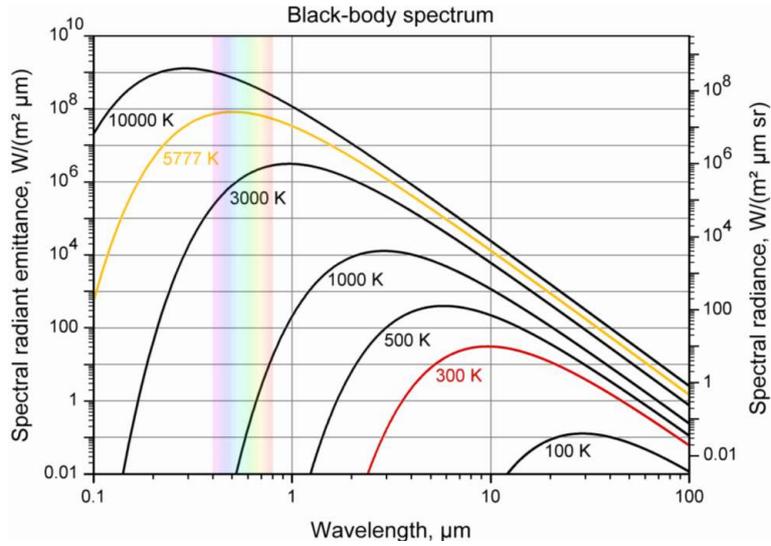
란을,  $n$ 는 굴절률  $\sigma$ 는 스테판-볼츠만 상수를 의미한다.

· 복사열전달 방정식을 수치해석적으로 계산하기 위한 다양한 모델이 존재하는데 본 연구에서는 면 또는 지점에서 특정입체각으로 방사를 하나의 선 형태의 방사로 가정하는 DTRM(Discrete Transfer Radiation Model) 모델을 사용하였다.

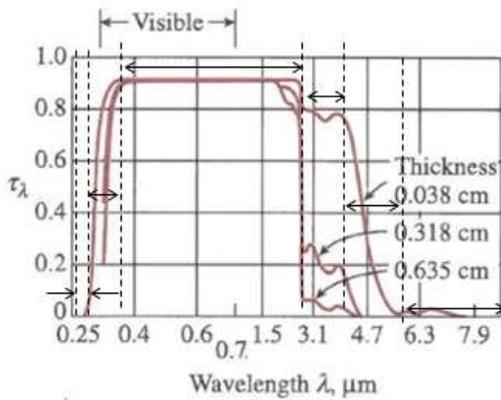
· 또한 복사에너지원은 파장의 구간에 따른 방사의 분율이 다르기 때문에 주어진 온도와 파장에 따른 스펙트럼 분포를 설정할 필요가 있다. 이러한 스펙트럼 분포, 복사에너지원은 Wien의 변위법칙, Stefan-Boltzmann 법칙 등에 의해 솔버로부터 파장별 복사강도가 계산되도록 하였다.

#### ④ 물성 및 해석조건

- 물성

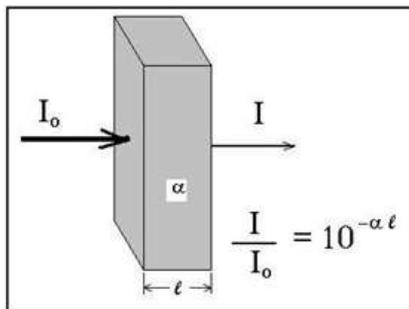


(a) 스펙트럼의 흑체 방사도<sup>1)</sup>



	Wien's law			
	온도 (K)	파장 ( $\mu m$ )	진동수(Hz)	투과율
Band 6	2.90E+01	9.99E+01	3.00E+12	0.001
	5.17E+02	5.60E+00	5.35E+13	0.001
Band 5	5.17E+02	5.60E+00	5.35E+13	0.4
	7.63E+02	3.80E+00	7.89E+13	0.4
Band 4	7.63E+02	3.80E+00	7.89E+13	0.85
	1.45E+03	2.00E+00	1.50E+14	0.85
Band 3	1.45E+03	2.00E+00	1.50E+14	0.9
	7.94E+03	3.65E-01	8.21E+14	0.9
Band 2	7.94E+03	3.65E-01	8.21E+14	0.45
	1.16E+04	2.50E-01	1.20E+15	0.45
Band 1	1.16E+04	2.50E-01	1.20E+15	0.0001
	2.90E+09	1.00E-06	3.00E+20	0.0001

(b) 방출되는 복사에너지의 파장에 따른 비회체 물질의 흡수율 변화



Beer-Lambert law

$$\tau_\lambda = f(\lambda)$$

$$\tau_\lambda = \frac{I}{I_0} = e^{-\alpha l}$$

$\lambda$ : wavelength ( $m^{-1}$ )

$\tau_\lambda$ : transmittance (-)

$I_0$ : radiation intensity entering a channel

$I$ : radiation intensity exiting a channel

$\alpha$ : absorption coefficient ( $m^{-1}$ )

$l$ : channel thickness (m)

(c) Beer-Lambert law

그림 3. 비회체 물질의 특성

1) [wikimedia.org](http://wikimedia.org)

· 일반적으로 그림 3(a)와 같이 태양( $T \approx 5800K$ )과 같은 물체의 경우 흑체와 같이 방사하며 모든 열복사구간( $0.1 \sim 100 \mu m$ )에서 방사를 하지만 주복사영역대는 가시광

선 영역(약 0.4~0.7 $\mu\text{m}$ )에서 일어나며 이러한 구간은 짧은 파장의 자외선<sup>2)</sup> 영역과 파장이 긴 적외선<sup>3)</sup> 영역을 사이 영역이다.

- 온실효과의 발생원인은 비닐, 유리와 같은 비회체 특성에 기인하는데 그림 3(b) 좌측 그래프와 같이 태양방사의 주복사영역대를 포함하는 영역에서는(약 0.3~4.0 $\mu\text{m}$ )의 투과를 잘하는 반면 긴 파장영역대(6.3 $\mu\text{m}$  이상)에서 방출되는 복사에너지는 잘 투과하지 못하는 특성을 지닌다. 이러한 특징들로 인해 때문에 태양에서 방출되는 복사에너지는 비닐을 투과하여 온실 내 작물, 토양 등이 흡수하지만 온실 내부(약 300~320K)에 작물, 토양 등에서 방출하는 긴 파장영역대의 복사에너지는 투과하지 못하게 되어 온실내부의 에너지가 축적되어 온도가 상승하게 된다.

- 이러한 현상을 수치해석적인 방법 접근하기 위해서는 두가지 문제점이 존재하는데 비닐의두께와 비회체물질 특성의 적용방법이다. 이러한 문제점을 극복하기 위해 앞서 설명한 바와 같이 실제 비닐의 두께는 약 0.1 mm 수준이지만 계산비용 문제로 인해 50 mm로 두께를 갖는 비닐로 모델링하였다. 그리고 실제 비닐에서 발생하는 다양한 물리적인 특성을 표현하기 위해 그림 3(c)와 같이 Beer-Lambert law를 이용해 비닐의 물성을 파장영역대와 비닐두께(=channel thickness)에 따라 투과율, 흡수율을 변화시키는 방법으로 비회체물질에서 복사열전달특성을 수치해석적으로 예측하였다.

- 이때의 대기와 비닐의 물성은 표 1과 같다.

표 1. 공기 및 비닐물성

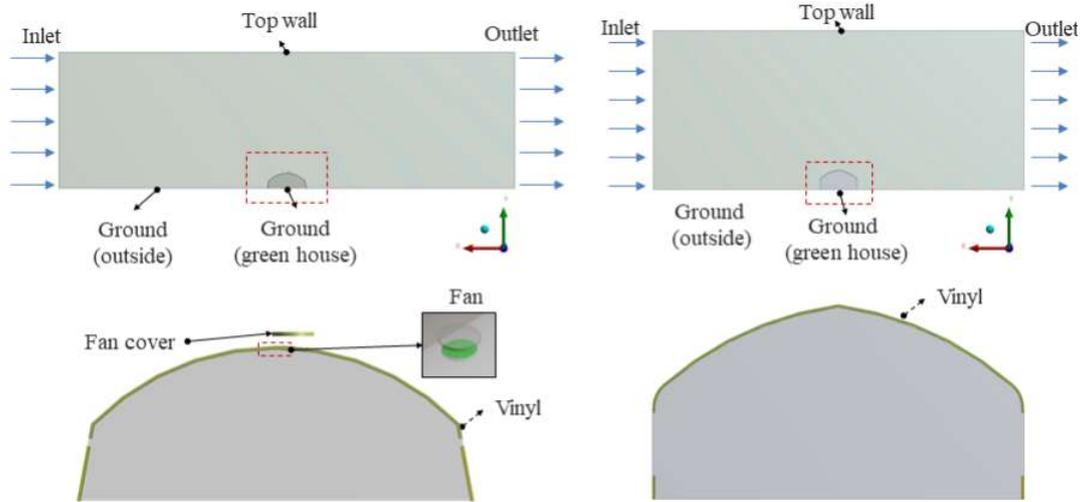
	Air	Vinyl
Density (kg/m <sup>3</sup> )	1.185	960
Viscosity (Pa-s)	1.831×10 <sup>-5</sup>	-
Heat conductivity (W/m-K)	2.61×10 <sup>-4</sup>	2.61×10 <sup>-2</sup>
Specific heat capacity (J/kg-K)	1,004.4	1,004.4
Refractive Index (-)	1.0	1.45
Absorption coefficient (m <sup>-1</sup> )	0.01	$f(\lambda)$ $\lambda$ : wavelength
Scattering coefficient (m <sup>-1</sup> )	0	0

2) 자외선 영역대 파장 : 약 0.01~0.4  $\mu\text{m}$

3) 적외선 영역대 파장 : 약 0.7~10  $\mu\text{m}$

- 해석조건

표 2. 단동온실 해석경계조건



		$u, p, Q$	Temp. (°C)	Emissivity (-)	Diffuse Fraction (-)	Radiation source (W/m <sup>2</sup> )
Inlet	CASE 1	$u = 0.32 \text{ m/s}$	28.2	-	-	-
	CASE 2	$u = 0.20 \text{ m/s}$	15	-	-	-
Outlet	CASE 1	$p = 1 \text{ atm}$	28.2	-	-	-
	CASE 2		15	-	-	-
Fan		$Q = 38 \text{ m}^3/\text{min}$	-	-	-	-
Wall	Top	No-slip cond. & Opaque	Adiabatic	1.0	1.0	951.6
						1,300
	Ground (outside)		16.3	0.89	0.11	-
			7			-
	Ground (House)		18.9	0.89	0.14	-
			17			-
	Fan cover		Adiabatic	0.05	0.14	-
Vinyl		-	-	-	-	

· 경계조건은 표 2와 같이 대기영역의 입구에서 -x 방향으로 공기가 일정하게 유입되고 천장에서는 복사에너지가 등방으로 방사되며 온실내부 천장에는 송풍기가 존재하여 강제대류를 발생하는 구조를 지닌다. 이때 검증모델에 대해서는 복사에너지 지원, 공기유입속도 및 유입온도에 따라 2개의 해석케이스로 분류하여 수치해석을 진행하였으며 개발 및 대조온실에 대해서는 실험경계조건인 CASE 1의 경계조건을 적용하였다.

· 또한 DTRM 모델은 반투명 물질에 대한 특성을 제공하지 않는 한계가 존재하기 때문에 이러한 특징을 극복하기 위해 비닐-대기 경계면에 점착조건을 부여하였다.

⑤ 해석결과

(a) 해석기법 검증용 온실모델에 대한 열유동특성

- 속도분포

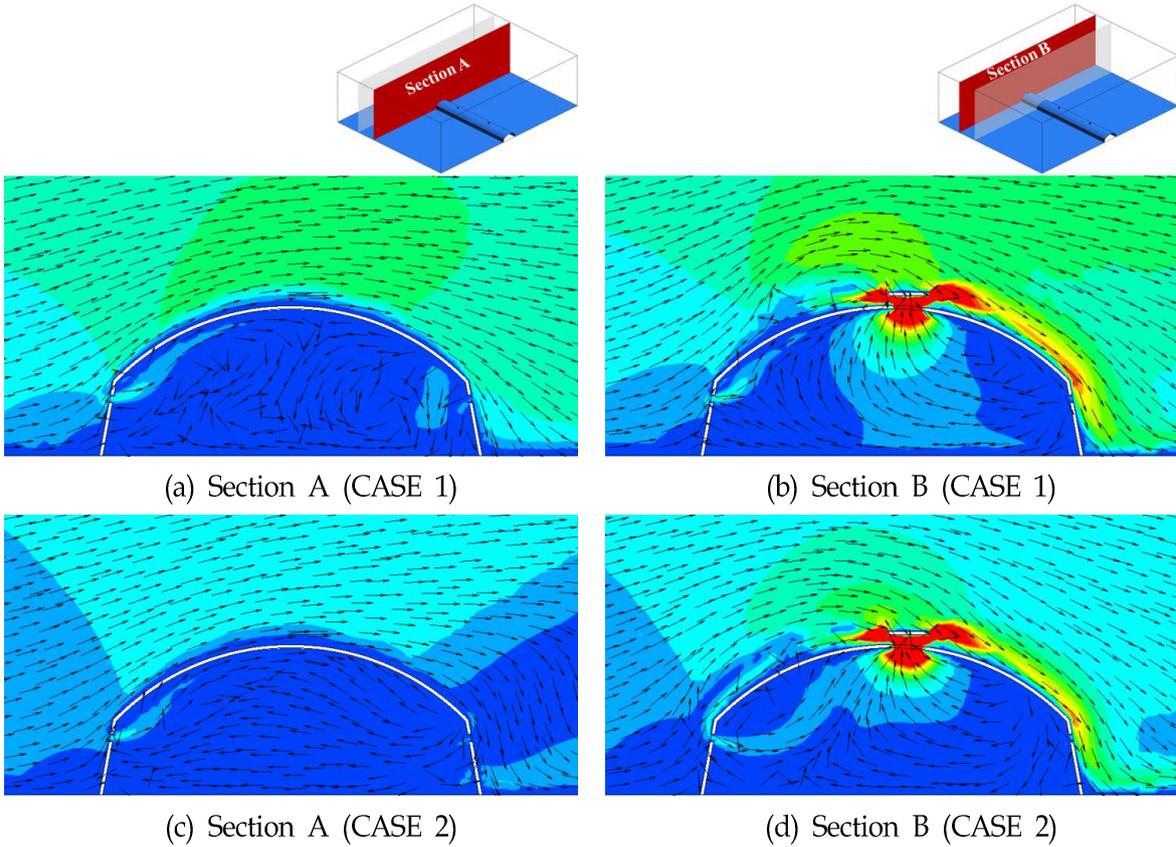


그림 4. 온실 영역에서의 속도분포

· 환기 팬이 없는 단면(Section A)과 환기 팬이 있는 단면(Section B)에서 속도장은 그림 4와 같다. CASE 1과 2의 속도분포에서는 큰 차이점은 발견할 수 없으며 환기 팬이 있는 영역에서는 환기 팬에 의한 강제대류에 의해 온실 내부의 공기가 외부로 토출되며 이때 토출속도는 약 3.4 m/s 수준이다. 또한 환기 팬이 없는 곳에서는 온실 내부에 거의 유동이 발생하지 않는데 이는 현재 설치된 환기 팬이 온실 전체 영역에 대류효과를 주는 데는 부족한 것으로 판단되며 환기 팬 설치 개수 및 환기 팬 용량의 수정/보완 할 시 전체 영역에 영향을 미치리라 예상된다.

- 압력분포

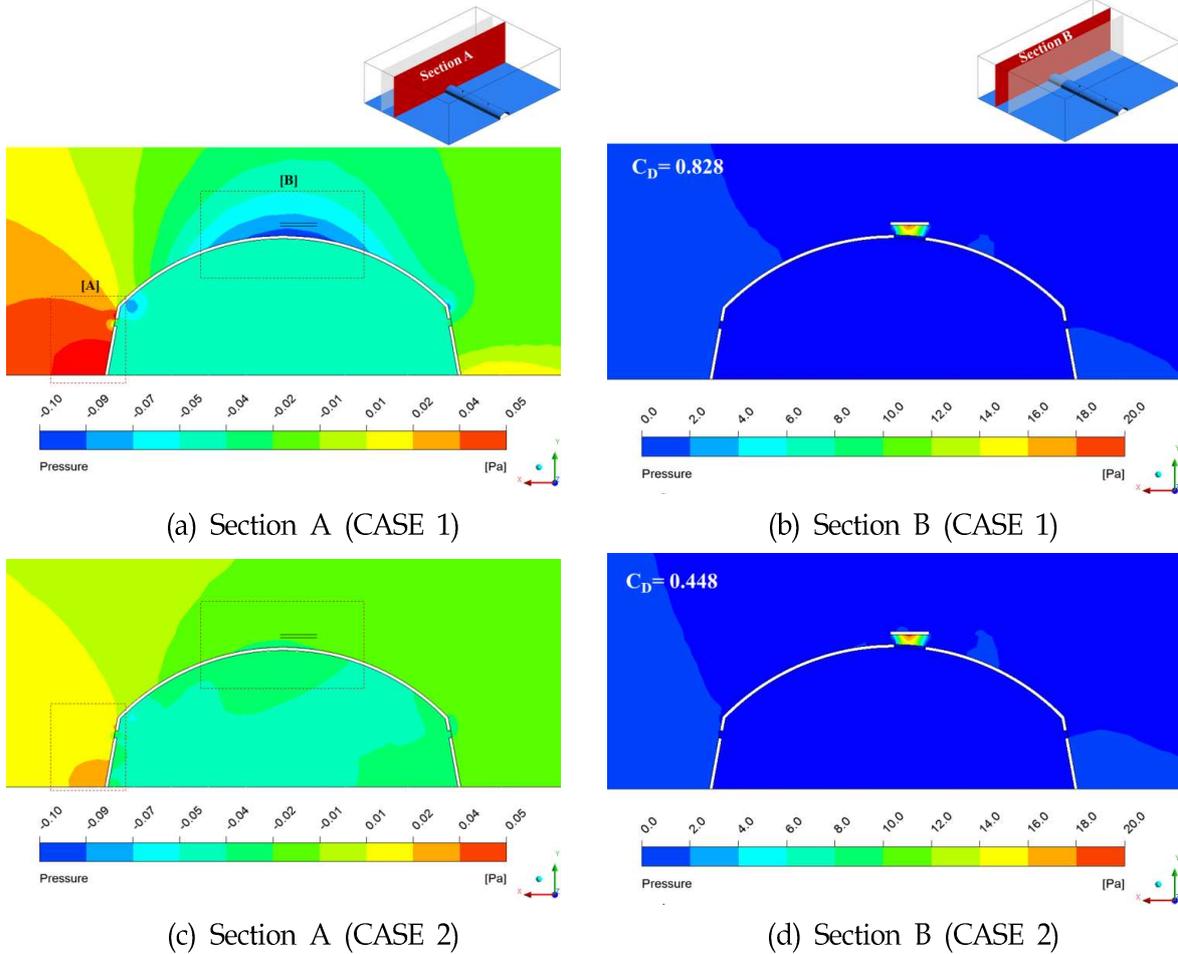


그림 5. 온실 영역에서의 압력분포

· 압력분포는 그림 5와 같으며 CASE 1과 2 모두 좌측에서 불어오는 공기가 비닐에 부딪힘에 따라 정체점이 발생하여 상대적으로 높은 압력분포를 보이게 된다. 공기는 온실외부를 따라 유동이 흘러가며 비행기날개 주위 유동과 유사한 압력분포 형태를 보이고 있다. 또한 환기 팬의 높은 토출속도에 의해 환기 팬 커버에서 정체점이 발생하여 가장 높은 압력이 발생한다.

· 이때 비닐의 항력계수를 아래 식을 이용하여 그림 5(b), (d)에 나타내었다.

$$C_D = \frac{D}{0.5\rho AU^2} \quad [6]$$

이때  $C_D$ 는 항력계수,  $D$ 는 항력,  $\rho$ 는 공기 밀도,  $A$ 는 전투영면적,  $U$ 는 평균유속를 의미하며 CASE 1은 0.828, CASE 2는 0.448의 항력계수를 갖는다.

- 복사강도

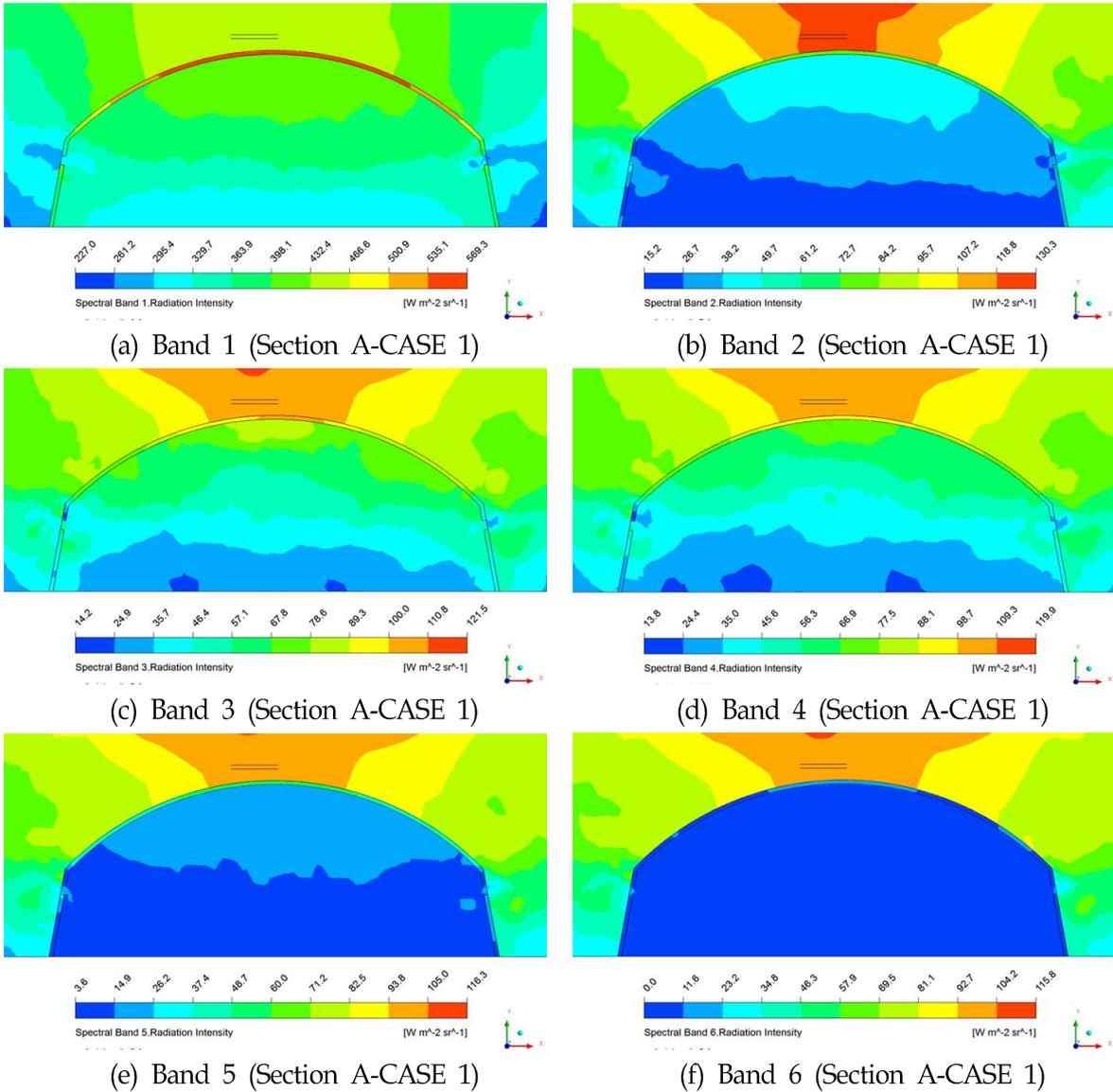


그림 6. 파장 별 복사강도

· 본 연구에서는 복사강도를 6개의 파장영역대로 구분하였으며 이때 투과율(또는 흡수율) 변화에 따른 복사강도는 그림 6과 같다. 비닐의 경우 그림 3(a)로부터 1번, 6번 파장영역대에서 방출되는 복사에너지는 대부분 흡수되도록 설정하였기 때문에 그림 6(a)와 같이 비닐이 1번 영역대의 파장을 대부분 흡수하는 것을 확인할 수 있다. 또한 2번과 5번 파장영역대의 복사량은 절반정도 비닐층에서 흡수되도록 설정하였기 때문에 비닐외부의 복사강도가 현저히 줄어든 것을 확인할 수 있다.

- 온도분포

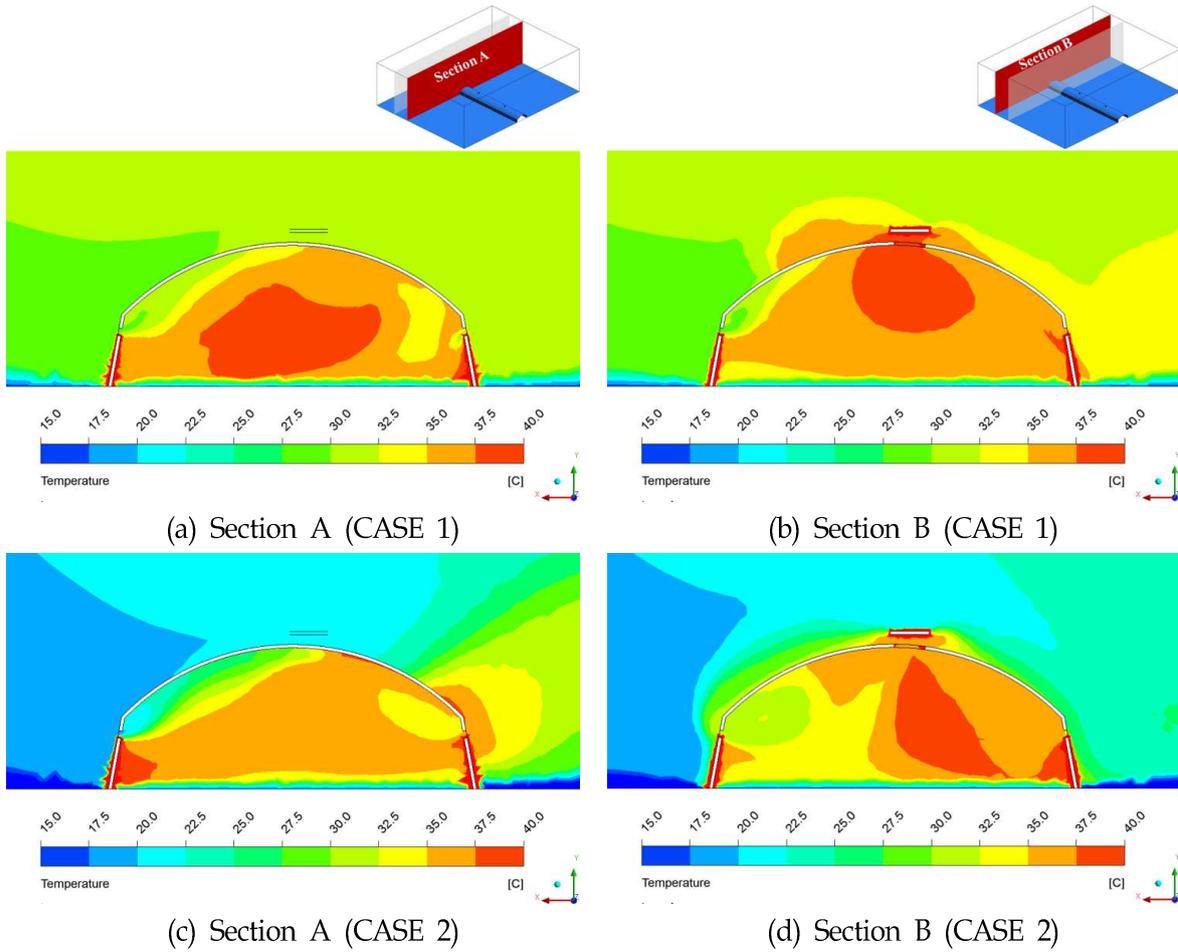
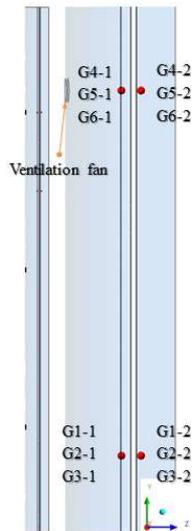
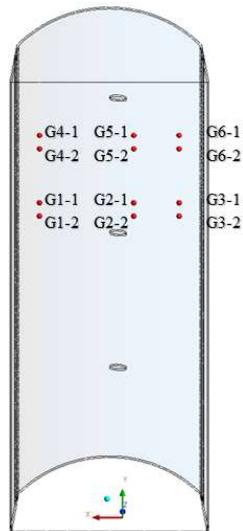


그림 7. 온실 영역에서의 온도분포

· 온도장은 그림 7와 같으며 CASE 1과 2 모두 온실 외부보다 내부의 온도가 상승해있는 결과를 확인할 수 있다. 또한 그림 7(b), (d)와 같이 환기팬이 온실 내부 공기를 빨아들여 외부로 내보내기 때문에 환기팬 중심으로 온도분포가 높게 발생하였다. 또한 복사에너지원이 낮고, 유입공기온도가 높은 CASE 1의 경우가 CASE 2보다 온도분포가 전반적으로 높게 발생하였다.



	x, y, z coordinate (m)	Exp. result Temp. (°C)	Present result			
			CASE 1		CASE 2	
		Temp. (°C)	Temp. (°C)	Error (%)	Temp. (°C)	Error (%)
G1-1	2.0, 1.1, 32.5	30.1	31.9	6.0	28.3	6.0
G1-2	2.0, 0.7, 32.5	31.8	36.1	13.5	36.3	14.2
G2-1	-0.7, 1.1, 32.5	31.0	38.0	22.6	35.9	15.8
G2-2	-0.7, 0.7, 32.5	30.3	38.7	27.7	36.1	19.1
G3-1	-2.0, 1.1, 32.5	31.8	34.4	8.2	33.7	6.0
G3-2	-2.0, 0.7, 32.5	30.9	34.5	11.7	36.1	16.8
G4-1	2.0, 1.1, 40.0	31.4	34.1	8.6	32.6	3.8
G4-2	2.0, 0.7, 40.0	32.4	36.1	11.4	32.2	0.6
G5-1	-0.7, 1.1, 40.0	32.2	37.7	17.1	38.1	18.3
G5-2	-0.7, 0.7, 40.0	33.4	37.3	11.7	38.4	15.0
G6-1	-2.0, 1.1, 40.0	32.4	36.9	13.9	36.9	13.9
G6-2	-2.0, 0.7, 40.0	31.2	37.0	18.6	36.4	16.7

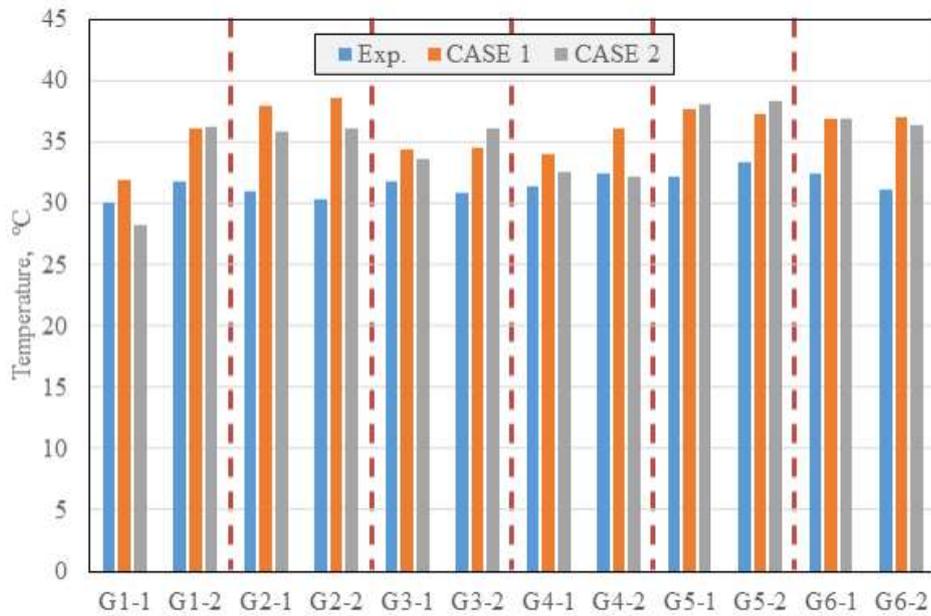


그림 8. 해석과 실험과의 온도 비교/분석

· 이러한 수치해석결과를 검증하기 위해 그림 8과 같이 환기 팬이 있는 단면과 없는 단면에 각각 6개의 관측점을 설정하여 실험과의 결과를 비교분석하였다. 실험으로부터 측정된 온도는 최소 30.1°C에서 최대 33.4°C이며 수치해석으로 측정된 온도는 CASE 1의 경우 최소 31.9°C에서 최대 38.7°C, CASE 2의 경우 최소 28.3°C에서 최대 38.4°C 이다. 전반적으로 실험보다는 상향 예측되었는데 이는 실제온실내부에 존재하는 작물 등의 다수분식물체, 광합성효과 등과 같은 요인에 의한 것이라 사료된다. 또한 CASE 1번의 경우 CASE 2번에 비해 상대적으로 실험값과 낮은 오차를 보이는 것을 확인하였다.

(b) 개발 온실모델에 대한 열유동특성

- 속도분포 및 압력분포

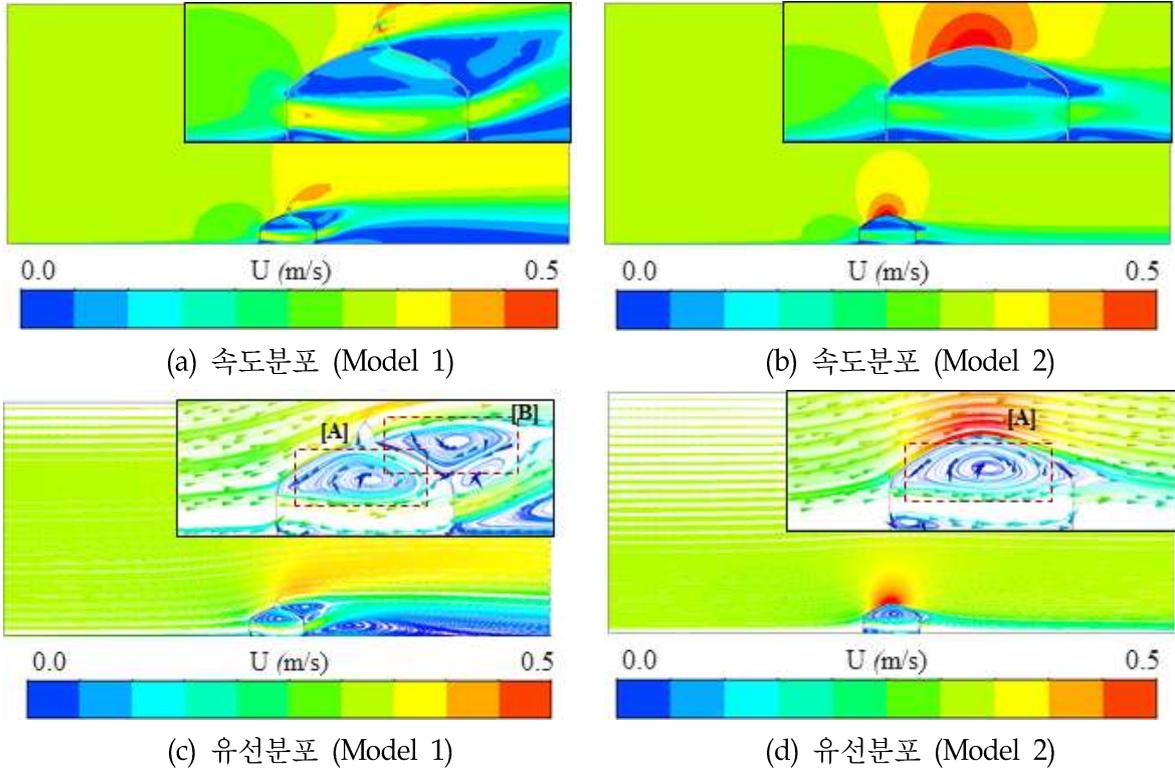


그림 9. 개발온실(Model 1) 및 대조온실(Model 2)에서 속도 및 유선분포

· 개발온실 및 대조온실에서 속도 및 유선분포는 그림 9와 같다. 온실외부를 지나는 공기는 유체의 연속성의 특징에 의해 상부에서 속도가 빠르게 형성되고 있다. 또한 그림 9(b), (d)와 같은 대조온실(Model 2)의 경우 상단에 환기창이 존재하지 않기 때문에 좌측 환기창으로부터 온실내부로 유입된 공기의 일부가 온실 외부로 빠져나가지 못하고 온실천장 사이[A]영역에서 재순환되고 있다. 이러한 재순환 영역의 발생은 압력 및 온도의 상승을 일으키기 때문에 이러한 영역을 해소시키는 것이 중요하며 이를 위해 대조온실 상단에 환기창을 설치하였다. 하지만 개발온실(Model 1)의 경우에도 측창을 통과하는 유동과 온실외부를 지나가는 방향으로(-x 방향) 유동이 지배적이기 때문에 재순환영역[A]이 계속적으로 발생하고 있으며 이를 통해 온실 상단의 환기창에 의한 자연대류만으로는 이러한 재순환 영역이 사라지지 않는 것으로 확인되었다. 게다가 이러한 환기창은 온실외부형상을 따라서 부드럽게 흘러가는 유동을 손실시키며 또다른 재순환 영역[B]을 발생시키고 있기 때문에 이로 인한 온실내외부의 추가적인 압력차가 발생할 것으로 예상된다.

- 압력분포 및 온도분포

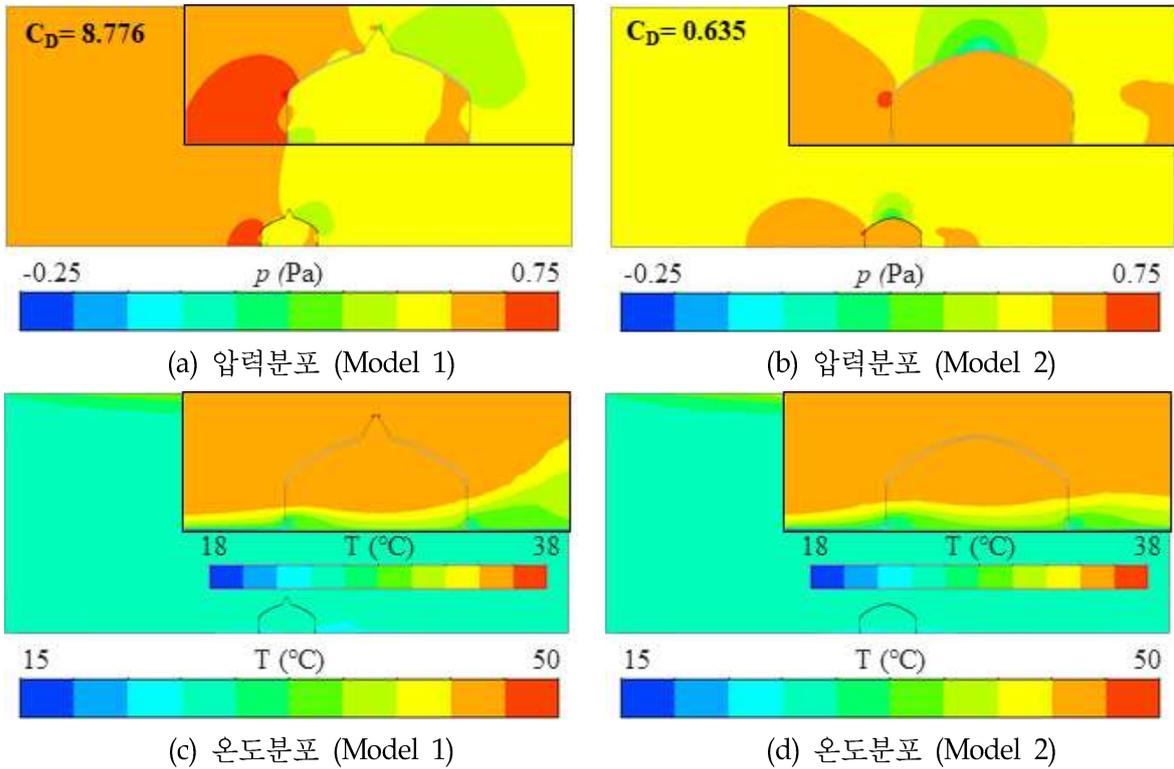


그림 10. 개발온실 및 대조온실에서 압력 및 온도분포

· 그림 9의 속도 및 유선분포 결과로부터 삼각형 모양의 상단환기창은 온실내부 천장 영역에 발생하는 재순환 영역의 해소하기에는 힘들다는 것을 확인하였다. 또한 그림 10(a), (b)의 개발온실 및 대조온실에서 압력분포 결과로부터 이러한 상단환기창은 유동에 저항체로 작용하여 온실 내외부에 상당한 압력차를 발생하는 것을 확인할 수 있다. 이때 비닐의 항력계수를 구하였을 때 개발온실은 8.776, 대조온실은 0.635 수준으로 개발온실의 항력계수가 크게 발생하였다. 이는 개발온실에서 환기창에 의해 온실외부를 따라서 흘러가는 유동형태가 손실됨에 따라 추가적인 재순환영역 등에 의한 압력 상승이 그 원인으로 예측된다.

· 또한 그림 10(c), (d)의 온도분포 결과로부터 개발온실과 대조온실의 온도분포 차이는 정성적으로 크게 다르지 않음을 확인할 수 있다. 온실내부를 통과하는 공기에 의해 온실내부 바닥면 부근에서 대류 열전달에 의해 온도가 낮아지긴 했지만 온실내부 천장부근에는 재순환영역발생에 의해 온도가 주변보다 높게 발생하고 있다.

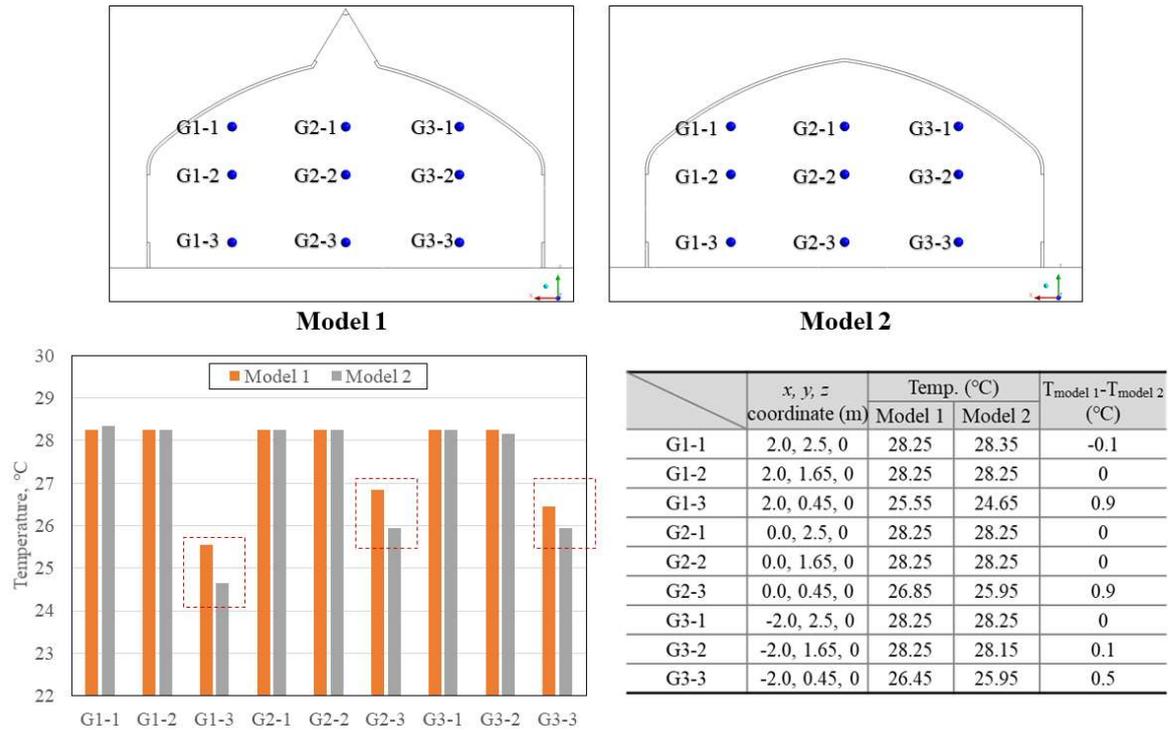


그림 11. 해석과 실험의 온도 비교/분석

· 그림 11과 같이 온실 중심, 좌측, 우측의 상, 중, 하부에 각각 1개씩 총 9개의 관측점을 설정하여 개발온실과 대조온실의 온도분포에 대한 해석결과를 비교분석하였다. 정성적인 온도분포 결과와 유사하게 두 온실의 온도차는 1°C미만으로 거의 차이가 없는 것으로 나타났다.

#### ⑥ 결과 및 토의

· 본 연구에서는 다양한 단동온실에 대한 열유동 특성 파악을 위해 수치해석기법을 이용하여 3차원 정상상태 복사열전달 유동해석을 수행하였다.

· 검증용 단동온실에 대해 2가지 해석조건에 따른 열유동 해석을 수행하였고 온도분포에 대한 수치해석 결과를 실험과 비교 분석하여 해석기법의 타당성을 확보하였다.

· 검증된 수치해석기법을 이용하여 개발온실 및 단동온실에 대한 열유동 해석을 추가적으로 수행한 결과 상단의 환기창은 환기효율, 온도저감에는 큰 효과가 없으며 오히려 저항을 발생하여 증가시켜 항력을 증가시키는 결과를 도출하였다. 이러한 추가적인 설계 및 보완이 요구되는 것으로 파악하였다.

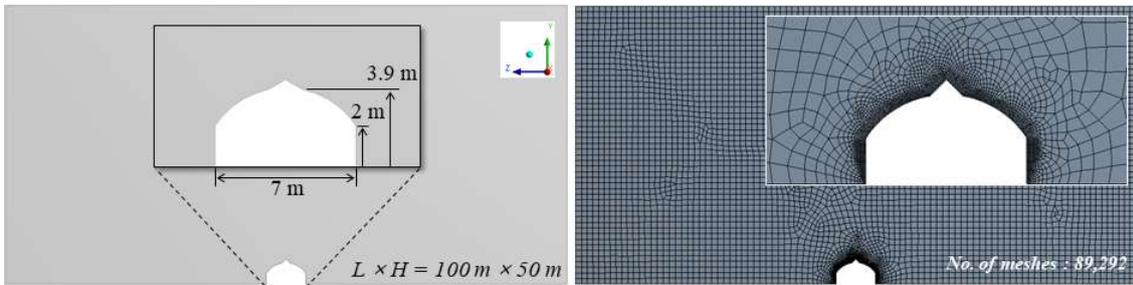
## 4절. 단동온실 형상 변화에 따른 열유동특성 분석 및 설계가이드 라인 구축

### ① 연구목적 및 방법

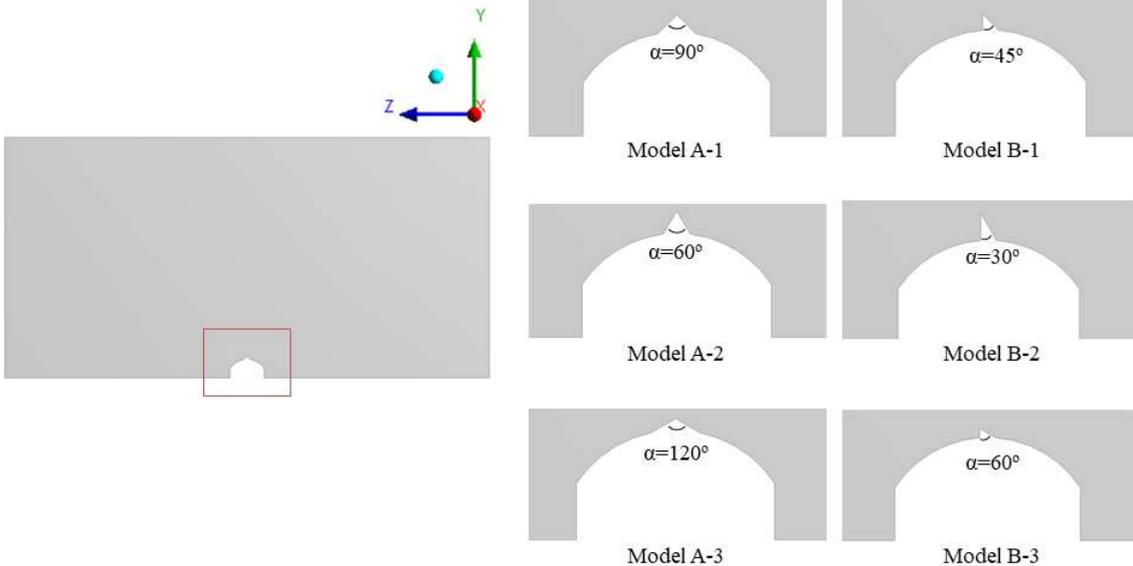
· 본 연구에서는 단동온실 상부의 환기창 형상 및 개폐길이 변화에 따른 열유동특성을 분석하여 온실 제어인자 설계를 위한 가이드라인을 제공하기 위해 1차년도 단동온실 기초모델을 기준으로 환기창 형상변화 및 개폐길이 변화에 따른 열유동특성을 수치해석적으로 분석하였다.

### ② 해석대상

- 유동해석 영역 및 해석격자



(a) 해석영역 및 해석격자



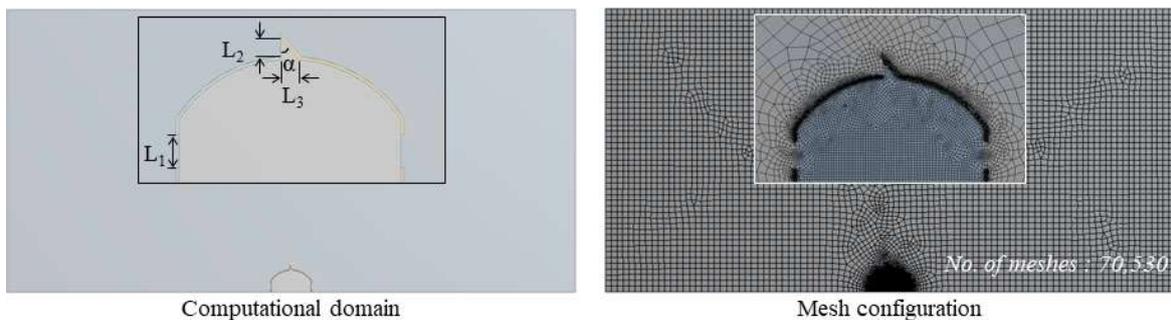
(b) 환기창 형태에 따른 단동온실 형상

그림 1. 풍력계수 분석용 단동온실 형상

· 그림 1은 풍력계수 및 항력계수 예측을 위한 2차원 단동온실 기초모델로서 대기

영역과 온실영역으로 구성된다. 그림 1(a)와 같이 대기영역은 길이 100 m, 높이 50 m, 온실은 폭 7 m, 높이 3.9 m 수준의 크기를 가지며 해석격자는 약 9만개 수준이다. 온실 상부에는 환기용 천창이 존재하며 풍력계수를 계산을 위해 닫혀있는 상태의 형상으로 모델을 형성하였다. 그림 1(b)는 다양한 상부 천창 형상에 따른 온실모델로서 고깔형(Model A)과 맞배형(Model B)으로 구성되며 환기창 상부 꼭지점 각도( $\alpha$ )에 따라서 각각 3가지 종류의 형상으로 해석영역을 구성하였다.

· 그림 2는 열유동특성 분석을 위한 해석영역으로서 그림 1에서 사용한 모델과 온실형태가 동일하다. 또한 맞배형에 비해 고깔형은 천창으로 유입되는 공기유동이 온실 내 열유동특성에 미치는 영향이 미비할 것으로 예측되기에 맞배형에 대해서 측창개방길이(L1), 천창개방길이(L2)에 변화에 따른 9개의 온실 모델을 형성하였다. 형상설계변수의 경우 천창폭(L3)을 고정한 상태에서 천창 상부 꼭지점의 각도( $\alpha$ ) 변화에 따라 L1와 L2를 변화하였다.



Shape design variables									
	Model B-1	Model B-2	Model B-3	Model B-4	Model B-5	Model B-6	Model B-7	Model B-8	Model B-9
L1 (m)	1.04	1.04	1.04	0.6	0.6	0.6	0.35	0.35	0.35
L2 (m)	0.6	1.04	0.35	0.6	1.04	0.35	0.6	1.04	0.35
L3 (m)	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
L2/L1	0.58	1.00	0.33	1.00	1.73	0.58	1.73	3.00	1.00
$\alpha$ (°)	45	30	60	45	30	60	45	30	60

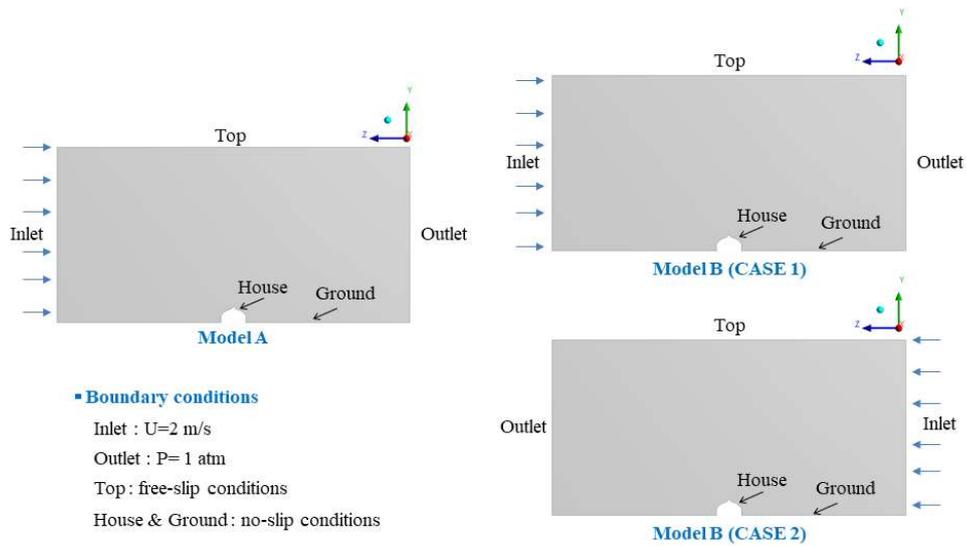
그림 2. 맞배형 환기창의 형상설계변수 변화

### ③ 해석조건

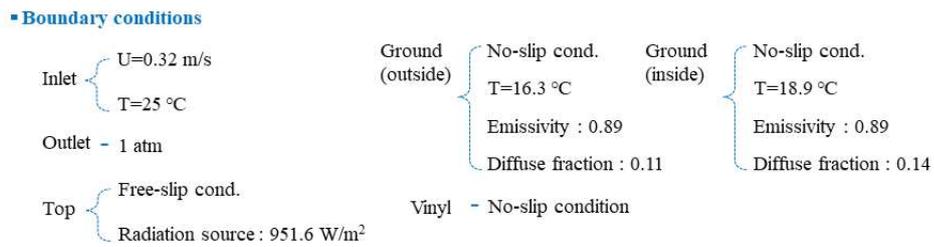
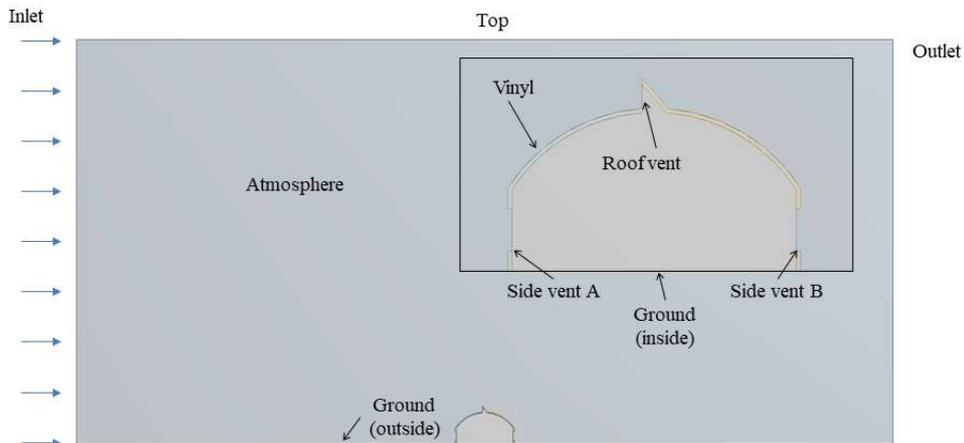
#### - 해석조건

· 풍력계수 산정을 위한 해석경계조건은 그림 4(a)와 같으며 고깔형(Model A)의 경우 대기영역의 좌측(-z 방향) 입구에서 공기가 2 m/s 일정한 유속으로 유입되는 조건을, 우측(+z방향)에 대기압 조건을 부여하였고 맞배형(Model B)의 경우에는 우측에서 공기가 유입되고 좌측으로 공기가 빠져나가는 해석을 추가적으로 수행하였다. 또한 바닥면 및 온실외부에는 점착조건을, 천장은 미끄럼 경계조건을 설정하였

다.



(a) 풍력계수 분석용 해석조건



(b) 열유동특성 분석용 해석조건

그림 4. 단동온실 해석경계조건

#### ④ 해석결과 및 고찰

##### - 해석결과 (풍력계수)

· 풍력계수 계산용 기본형상 단동온실에 대한 해석결과는 그림 5와 같다. 입구에서 유입된 공기는 온실 측벽면에 부딪히면서 유동이 약화됨에 따라 온실 상부를 지나가면서 유동이 발달하게 된다. 이후 온실 상부에 설치되어 있는 천창을 지나면서

입구반대편 온실의 후류영역에서 재순환영역이 발생하게 된다. 압력분포의 경우 유입된 공기가 부딪히는 온실 측벽면에서 정체점이 발생하고 고깔형(Model A)보다 맞배형(Model B)의 압력차가 크게 발생하였다.

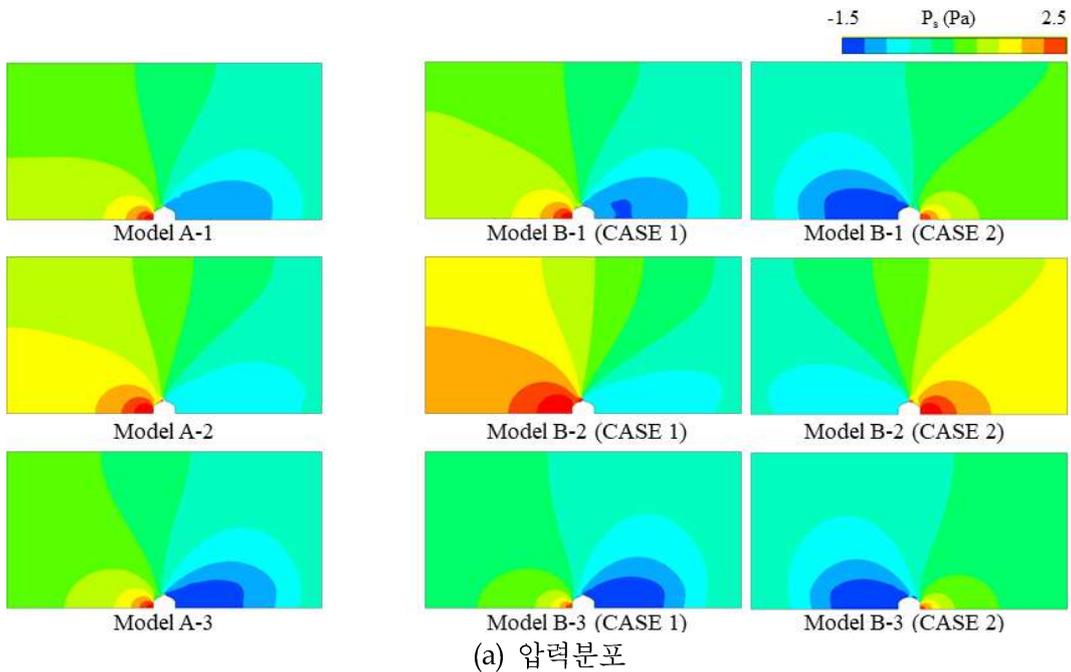
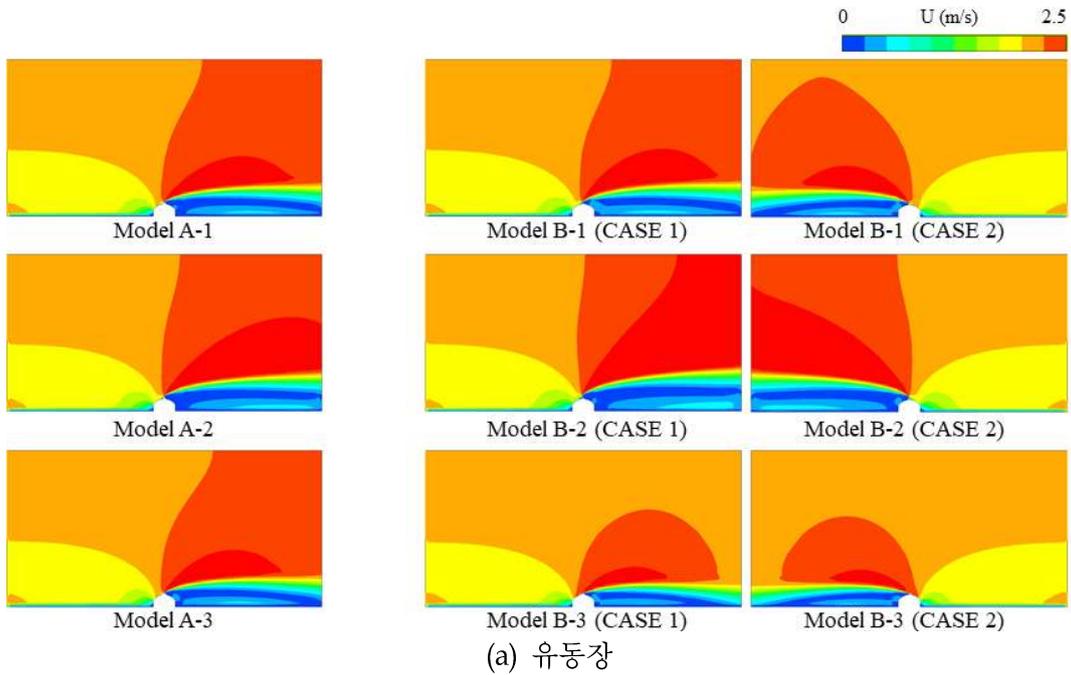


그림 5. 풍력계산용 단동온실 유동특성 해석결과

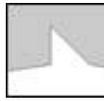
· 이때 각각의 온실의 항력계수 및 풍력계수를 아래 식을 이용하여 표 2에 나타내었다.

$$C_d = \frac{F_d}{(1/2)\rho_{air}AU_\infty^2} \quad [6]$$

$$C_p = \frac{P_s - P_\infty}{(1/2)\rho_{air}U_\infty^2} \quad [7]$$

이때  $C_d$ 는 항력계수로서 유체 유동에 의해 받는 온실표면의 저항력을 의미하며  $F_d$ 는 항력,  $\rho_{air}$ 는 공기 밀도,  $A$ 는 전투영면적,  $U$ 는 평균유속이며 하첨자  $z$ 는 방향을 의미한다. 일반적으로 온실설계에 주로 사용되는  $C_p$ 는 풍력계수로서 정압과 동압의 비율을 의미하며  $P_s$ 는 온실표면의 정압을,  $P_\infty$ 는 유동에 영향이 미치지 않는 지점에서의 압력이다. 일반적으로 항력계수 및 풍력계수 모두 맞배형에서 크게 나타남에 따라 맞배형에서 더 큰 유동저항이 발생하고 있는 것을 확인할 수 있다. Model A-3, Model B-3의 경우 음수의 풍력계수가 나타나는데 이는 0.32 m/s 유속조건에서 온실표면의 정압이 대기압보다 낮다는 뜻을 의미한다.

표 2. 항력계수 및 풍력계수

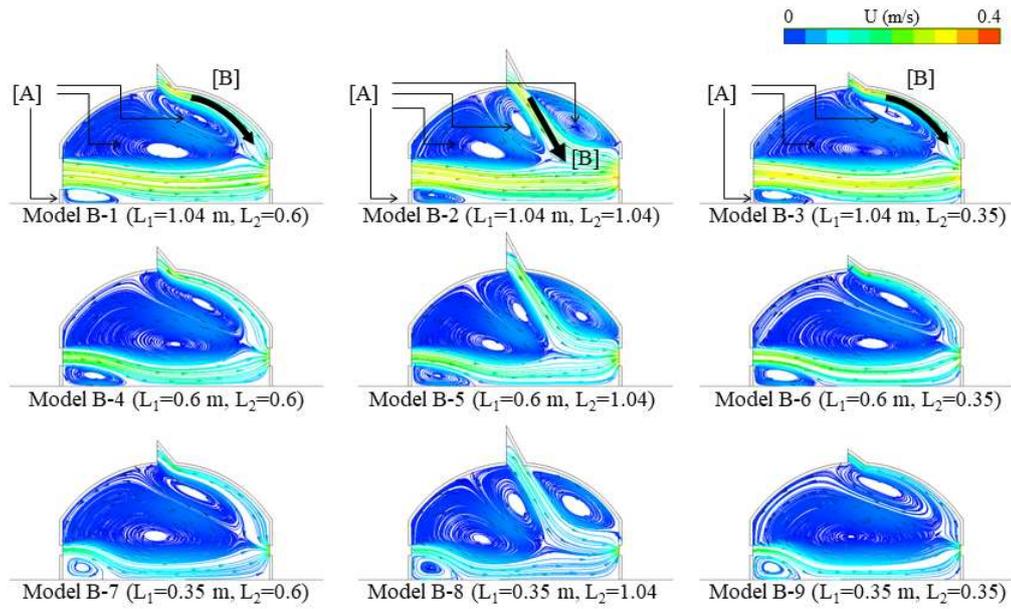
	CASE 1			CASE 1		CASE 2	
	$C_{d,z}$	$C_p$		$C_{d,z}$	$C_p$	$C_{d,z}$	$C_p$
 Model A-1	-1.054	0.069	 Model B-1	-1.225	0.123	1.025	-0.093
 Model A-2	-1.179	0.302	 Model B-2	-1.392	0.505	1.212	0.333
 Model A-3	-0.900	-0.231	 Model B-3	-1.077	-0.095	0.850	-0.257

- 해석결과 (맞배형 단동온실 열유동특성)

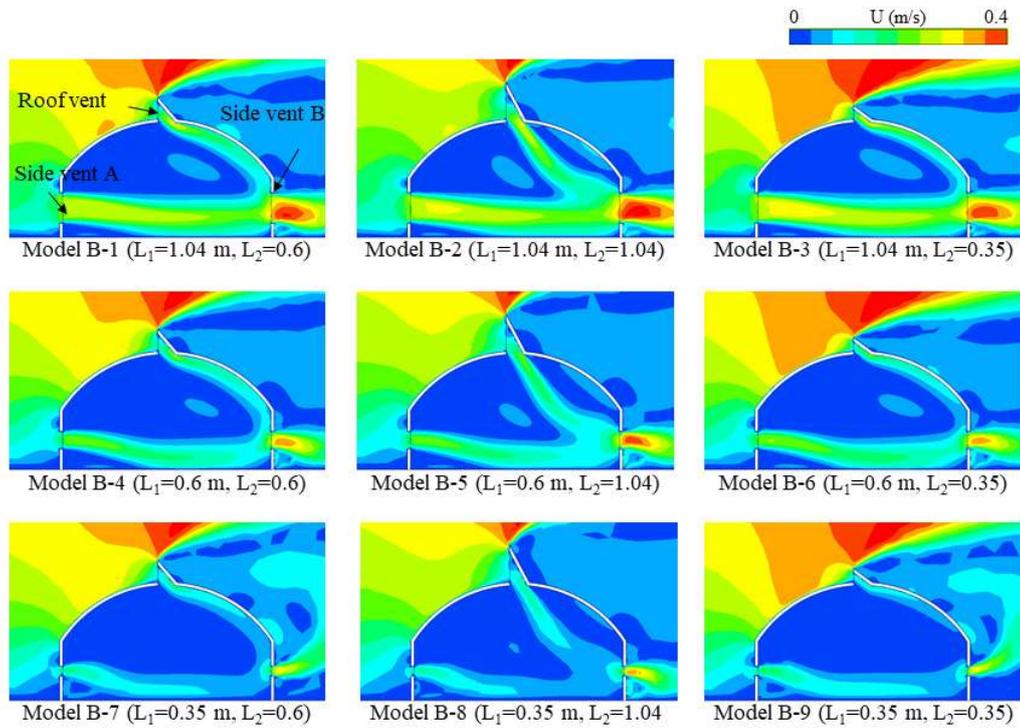
· 맞배형 단동온실에서 천창 및 측창 형상 변화에 따른 유동해석결과는 그림 6과 같다. 온실 내부 유선분포는 그림 6(a)과 같으며 천창의 개폐길이(L2)가 0.35 m 와 0.6 m 일 경우에는 천창을 통해 들어오는 공기가 온실 내벽면 따라가며 유동이 진행되는데 반해 비해 1.04 m 일 때는 공기가 다소 수직방향으로 유입되는 유동형태를 보인다[B]. 이에 따라 측창 및 천창으로부터 유입된 공기 유동은 재순환영역[A]

발생시키는데 천창 개폐길이가 0.35 m 와 0.6 m 일때는 3군데, 1.04 m일 때는 4군데에서 재순환영역이 관측되었다. 온실 내부의 유동장은 그림 6(b)와 같으며 천창(Roof vent)에 비해 측창(Side vent A)을 통해 들어오는 공기의 유동이 지배적인 것을 정성적으로 확인 할 수 있다. 또한 천창 및 측창의 개폐길이 늘어날수록 온실 내부로 유입되는 유량이 증가하고 있다.

· 이때 천창 및 측창의 개폐율에 따른 유입유량의 비율을 그림 7과 같이 나타내었다. 그림 7(a)는 측창 개폐길이(L1) 변화에 따른 측창유입유량비( $m_{L1}/m_{L1^*}$ )를 도시한 것으로서, 개폐길이가 0.6 m 일 때를 기준길이(L1\*), 기준길이에서 유량을 기준유량( $m_{L1^*}$ )으로 설정하였다. 기준길이 대비 측창 개폐율(L1/L1\*)이 약 60% 일 때 온실로 유입되는 유입유량의 비율은 기준유량의 절반 수준으로 낮아지며, 약 170% 일 때 측창을 통해 온실로 유입되는 유량은 약 2배이상이다. 그림 7(b)는 천창 개폐길이(L2) 변화에 따른 천창유입유량비( $m_{L2}/m_{L2^*}$ )를 도시한 것으로서, 개폐길이가 0.6 m 일 때를 기준길이(L2\*), 기준길이에서 유량을 기준유량( $m_{L2^*}$ )으로 설정하였다. 기준길이 대비 천창개폐율(L2/L2\*)이 약 60% 일 때 온실로 유입되는 유입유량의 비율은 기준유량의 약 76% 수준으로 낮아지며, 약 170% 일 때 천창을 통해 온실로 유입되는 유량은 약 1.3배이다.



(a) 유선분포

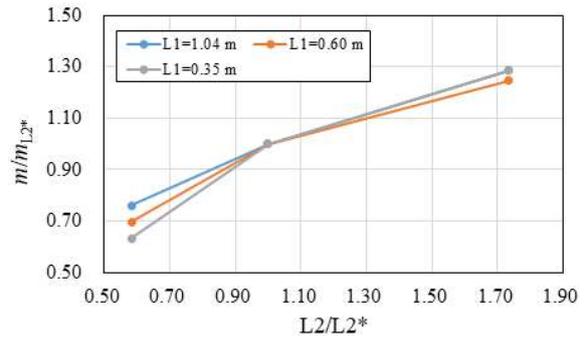
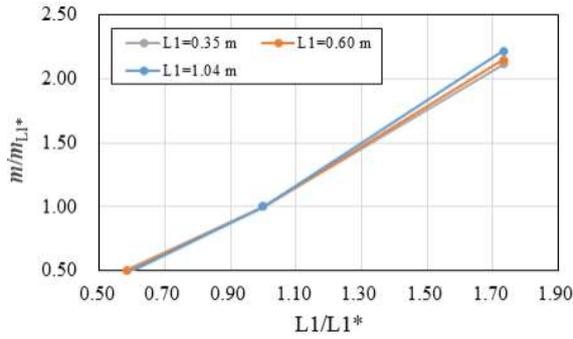


(Unit : kg/s)

	Model B_1	Model B_2	Model B_3	Model B_4	Model B_5	Model B_6	Model B_7	Model B_8	Model B_9
Roof vent	0.088	0.113	0.067	0.069	0.086	0.048	0.049	0.063	0.031
Side vent A	0.258	0.264	0.277	0.120	0.119	0.131	0.060	0.057	0.066
Side vent B	-0.346	-0.376	-0.344	-0.189	-0.205	-0.179	-0.109	-0.120	-0.097

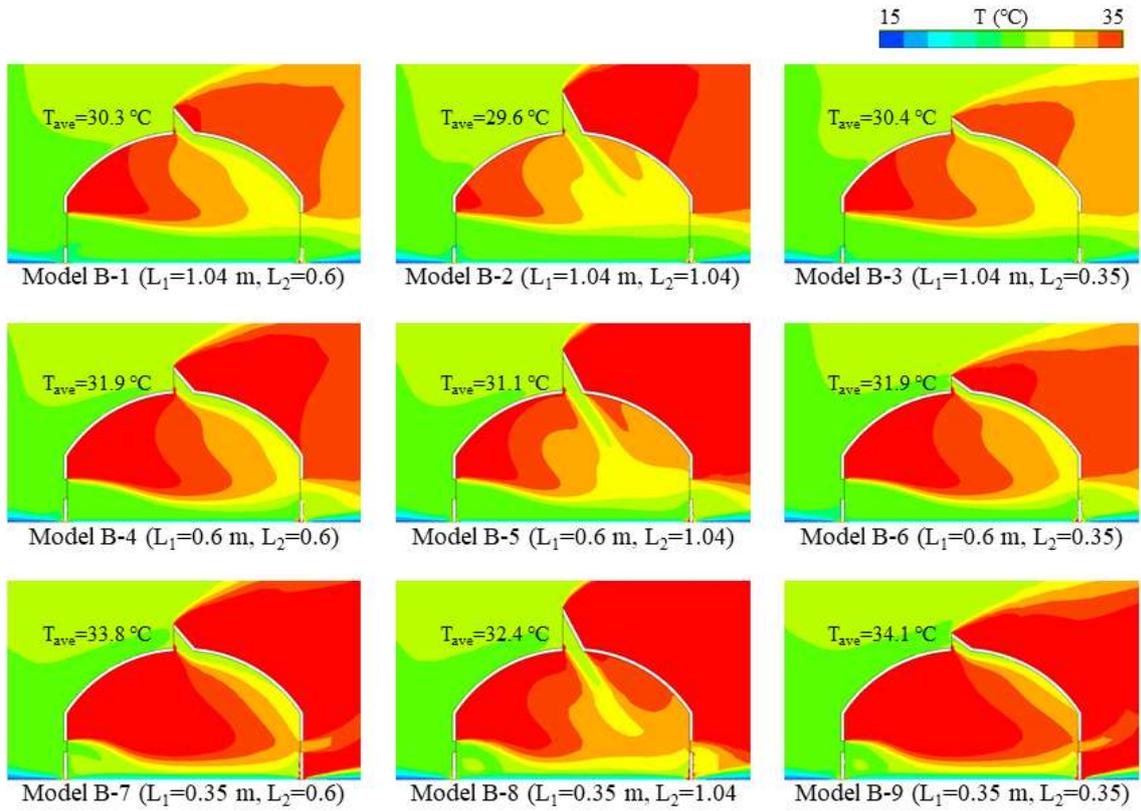
(b) 유동장

그림 6. 측창 및 천창 개폐길이 변화에 따른 온실 내 유선분포 및 유동장

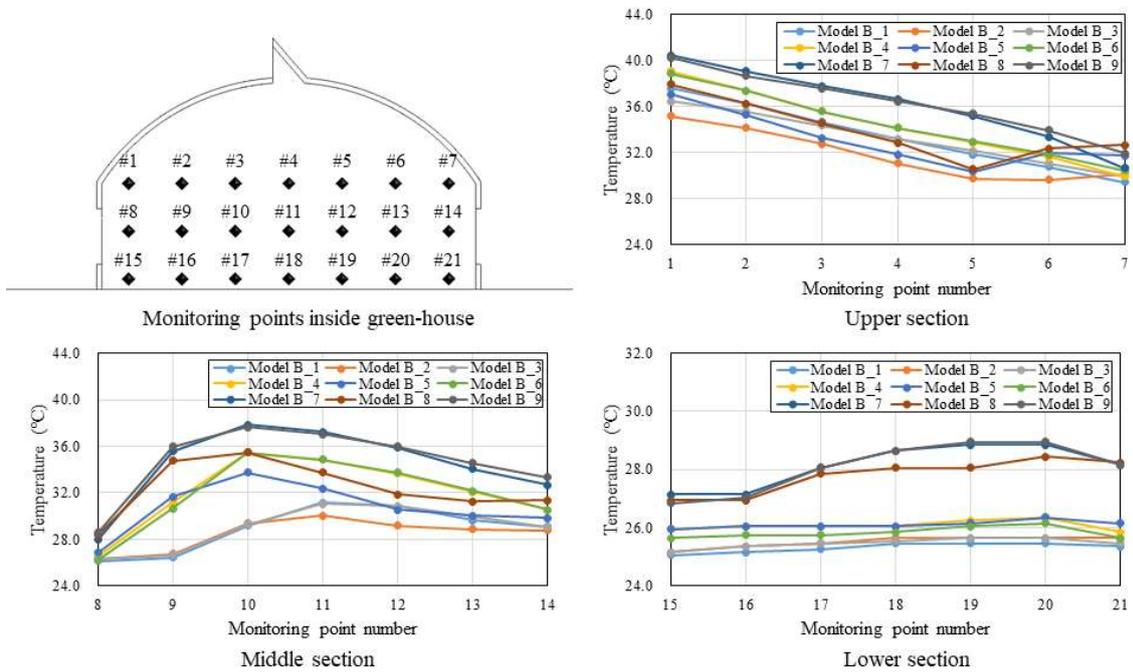


(a) 측창 개폐길이 변화에 따른 유입유량비 (b) 천창 개폐길이 변화에 따른 유입유량비  
그림 7. 측창 및 천창 개폐길이 변화에 따른 유입유량 비율

· 맞배형 단동온실에서 천창 및 측창 형상 변화에 따른 온도분포해석결과는 그림 8과 같다. 그림 8(a)의 온도장 결과로부터 온실 내부 온도분포는 천창 및 측창을 들어오는 공기 유량이 클수록(그림 6 참고) 온도분포가 낮게 나타나는 것을 확인할 수 있으며, 천창에 비해 측창의 유입유동이 온실 내부 온도 분포에 대한 지배적인 영향을 미치는 것도 확인 할 수 있다. 또한 온실 내 좌측 상부에서는 천창 및 측창을 통해 유입된 유동의 영향이 미치지 못해 열이 축적되는 것을 확인할 수 있다. 그림 8(b)는 온실 내부에 높이 및 길이별로 21개의 관측점을 배치하여 관측점별 온도를 측정하였다. 전반적으로 상부층에서는 열이 집중되어 있는 현상으로 인해 좌측에서 온도가 가장 높고 우측으로 갈수록 온도가 내려가고, 중부에서는 측창으로 부터 외부 공기 유입유동에 의해 좌측에 열이 집중됐던 부분들의 온도가 내려가고, 하부의 경우 전반적으로 일정한 온도분포를 보이고 있다. 이 중에서 측창과 천창의 개폐 길이가 가장 긴 Model B-2에서 온실내부로 유입유량이 가장크기 때문에 상부, 중부, 하부 모두 낮은 온도 분포를 보이고 있으며 측창의 개폐길이가 작은 Model B-7, 8, 9에서 환기효과가 상대적으로 약해 온실 내부온도가 높게 나타난다.



(a) 온도분포



(b) 온실 내 관측점에서 온도

그림 8 측창 및 천창 개폐길이 변화에 따른 온도분포

## ⑥ 결과 및 토의

· 본 연구에서는 단동온실 기본모델 내 풍력계수 산정 및 열유동 특성 파악을

위해 수치해석기법을 이용하여 3차원 정상상태 복사열전달 유동해석을 수행하였다.

· 고갈형, 맞배형 천창이 설치되어 있는 온실에 대해서 천창의 형상변수변화에 따른 풍력계수 및 항력계수를 산정하여 기초설계가이드라인을 제시하였다.

· 또한 맞배형 단동온실에 대해 측창 및 천창의 형상설계변수 변화에 열유동특성해석을 수행하여 측창 및 천창의 개폐길이&유입유량&내부온도 간에 상관관계를 수치해석적으로 분석하였다.

## ■ 제2협동(시설원예연구소) : 박과(참외, 수박) 및 딸기 재배용 단동 비닐하우스에 적합한 스마트팜 실증

### 1. 참외재배

#### 가. 연구방법

개발 하우스 재배실증을 위하여 과제 2차년도(2017년)와 3차년도(2018년) 2년 동안 경북 고령군 운수면에 위치한 참외재배 농가에서 실험을 수행하였다. 2차년도 실험은 2016년 12월 26일부터 2017년 6월 30일까지, 3차년도 실험은 2017년 12월 2일부터 2018년 6월 30일까지 수행하였다.

일반적인 참외 하우스(길이 100m, 동고 2.5m, 폭 6m 내외)보다 폭이 넓고 높이가 높은 몽골형 천창을 가진 단동하우스를 개발하였다. 개발 하우스의 제원은 폭 6.8m, 측고 1.3m, 동고 3.0m이며, 관행 단동하우스의 제원은 폭 5.6m, 측고 1.1m, 동고 2.2m로 일반적인 참외 하우스의 규격과 유사하다. 하우스는 1중 구조로 되어 있으며 PO필름으로 피복되었다. 방위는 동서방향(E-W)이며, 길이는 108m이다. 개발 하우스의 환경 개선 및 참외 수량증대 효과를 분석하기 위하여 개발 하우스와 환기통을 설치(6m 간격)한 관행 단동하우스의 2가지 시험구를 두고 실험을 수행하였다(Fig. 1).



(a) Treatment plot



(b) Control plot

Fig. 1. Experimental plots.

측창 개폐온도는 32℃, 천창 개폐온도는 이보다 0.5℃ 낮게 설정하여 천창에 의해 환기가 먼저 이루어지도록 자동제어(ON/OFF 제어)하였다. 1회당 작동시간을 10초, 작동과 작동사이의 기다림 시간을 저온기(2~4월)에는 300초, 고온기(5~6월)에는 60초로 설정하였다.

하우스 내·외부 기상환경을 분석하기 위해 2차년도에는 2017년 1월 26일부터 2017년 6월 30일까지, 3차년도에는 2017년 12월 15일부터 2018년 6월 30일까지 하우스 내·외부 기온 및

상대습도, 지온, 일사량(광합성광량자속밀도, PPF)을 측정하였다. 작물 부근의 기상환경을 측정하기 위하여 보온터널 내부인 지상 30cm 높이에 기온 및 상대습도 계측 센서를 설치하였다. 지온을 측정하기 위해 지하 10cm 깊이에 지온센서를, 일사량 계측을 위해 지상 20cm 높이에 센서를 설치하였다(Fig. 2). 일사량은 퀀텀센서(#3668I, Spectrum Technologies Inc., USA)를, 지온은 온도센서(#3667-20, Spectrum Technologies Inc., USA)를 이용하여 측정하였다. 기온 및 상대습도는 데이터로거(#3688 WD1, Spectrum Technologies Inc., USA)에 내장된 센서를 이용하였으며, 30분 간격으로 데이터를 저장하였다.



Fig. 2. Sensor installation.

2차년도에는 공시품종으로 ‘해맑은’을 ‘천하장사’ 대목에 접목하여 사용하였으며, 3차년도에는 시품종으로 ‘참미소꿀’을 ‘수퍼매직’ 대목에 접목하여 사용하였다. 45cm 간격으로 정식을 하였으며, 250cm 이랑에 고랑 40cm 넓이로 두 이랑을 만든 후 분수호스를 한 이랑에 2줄로 설치하고 녹색비닐(0.025mm)로 멀칭하였다. 밤에 보온을 위하여 하우스 내에 소형터널을 설치하고 두께 0.03mm의 터널용 플라스틱 필름과 15온스의 다겹보온덮개를 3월 31일까지 덮어서 무가운 재배하였다. 저온기에는 낙과방지 및 착과촉진을 위해 토마토톤(4-CPA)을 100배로 희석하고, 지베렐린(GA3, Gibberellic acid 3.1%, 동부팜한농) 50ppm(1.6g/1L)을 혼용하여 개화당일 자방에 1회 분무 처리하였고, 3월 중순부터는 벌을 방사하여 과실의 착과에 이용하였다. 참외는 세력이 비슷한 2개의 아들덩굴을 유인하여 대칭적으로 배치하고 16~17마디에서 적심한 후 아들덩굴 5마디 이상에서 나온 손자덩굴에 착과시켰다.

하우스 형태별 참외 수량 및 상품과율을 분석하기 위해 매주 1회 과실 중량과 과실 수를 조사하였다. 상품과는 한 개당 과중이 140~550g으로서 생리장해가 없고 병충해 피해가 없는 과실로 분류하고 전체 조사과실 수에 대한 상품과실 수의 비율로 상품과율(%)을 계산하였다.

#### 나. 연구결과

##### 【2차년도(2017년)】

하우스 형태에 따른 하우스 내 기상환경을 분석하기 위해 기온 및 상대습도, 지온, 일사량 등을 측정하였다. 측정 데이터를 순별(10일 간격)로 시간대별 평균값을 구하여 두 시험구의 기상환경을 비교·분석하였다. Fig. 3은 2017년 2월 상순의 평균일사량 변화를 나타내고 있다.

외부 일사량은 하루 중 13시경 평균  $1,291 \mu\text{mol m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 로 가장 높았으며, 대조구에서의 일사량이 약간 높았으나 실험을 시작하기 전에 두 하우스의 피복재를 PO필름으로 피복했기 때문에 두 시험구 간 차이는 크지 않았다. 일출 후에도 오전 9시까지의 하우스 내 일사량이 0을 나타냈는데, 이는 보온을 위하여 다겹보온덮개를 오전 9시까지 덮어두었기 때문이다. 또한 하루 중 두 시험구 모두 특정 시간대(12:30~13:30)에 일사량이 급격히 낮아지는 현상이 나타났는데, 이는 지붕 환기장치와 천창 등의 골조에 의해 빛이 차단되었기 때문이다.

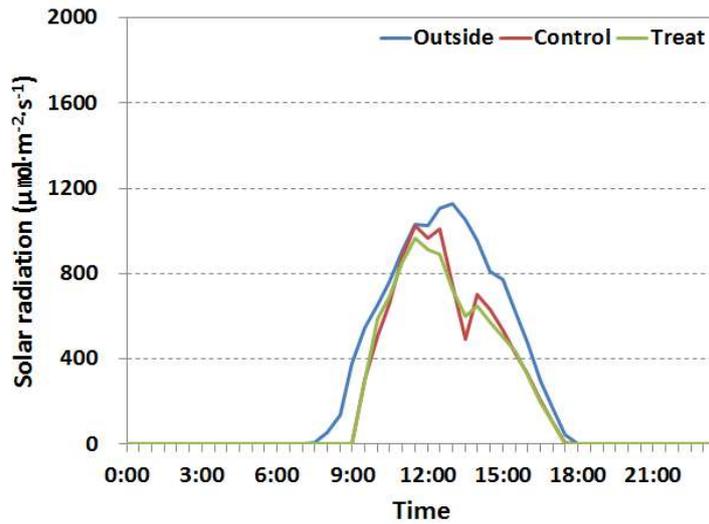
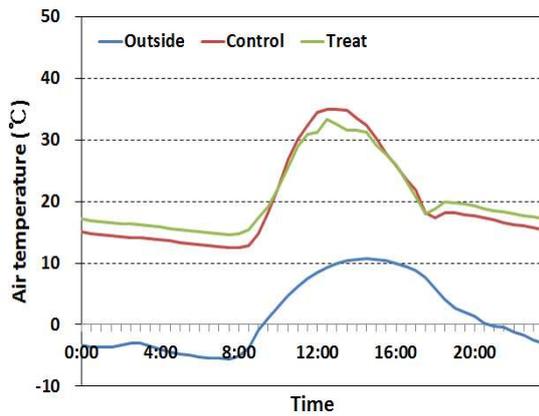
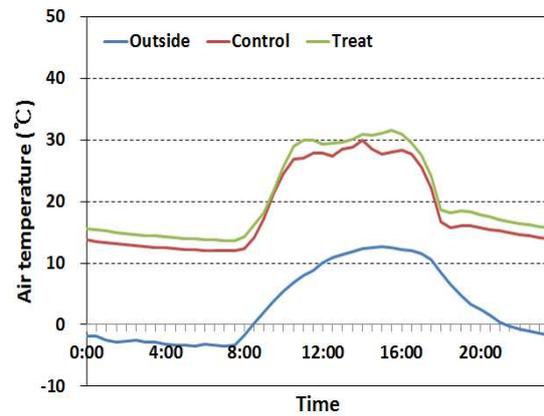


Fig. 3. Diurnal changes of average solar radiation in experimental plots in early February.

2016년 12월 26일 참외를 정식한 후 활착과 초기 생육을 촉진하기 위하여 2017년 2월 25일까지는 두 시험구 모두 환기를 하지 않았다. Fig. 4는 환기를 시작하기 전과 후인 2017년 2월 중순과 3월 상순의 평균기온 변화를 나타내고 있다. 환기를 시작하기 전인 2월 중순에는 낮 기온은 대조구에서, 밤 기온은 처리구에서 약간 높게 나타났다. 환기가 되지 않았을 때 대조구의 낮 기온이 높은 이유는 처리구에 비해 대조구의 체적이 작기 때문으로 판단된다. 밤에는 보온덮개를 덮어 토양에 축열된 열을 이용하게 되는데 처리구의 밤 기온이 높은 이유는 처리구의 하우스 폭이 넓어 토양에 축열된 열량이 대조구에 비해 더 많기 때문으로 판단된다. 참외는 고온성 작물로서 낮 기온  $30^{\circ}\text{C}$  전후에서 생육이 왕성한데, 2월 중순 하우스 내 낮 기온이  $30^{\circ}\text{C}$ 를 넘기 때문에 외기온이 최고  $10^{\circ}\text{C}$  밖에 안 될 정도로 매우 낮더라도 2월 중순부터는 하우스 환기를 시작해야 할 것으로 판단된다. 환기를 시작한 후인 3월 상순에는 낮 기온이 처리구에서 더 높게 나타났다. 대조구는 설치된 지붕 환기통으로는 환기량이 부족하여 측창을 통해서도 환기가 이루어짐으로써 찬 바깥공기가 참외 부근으로 들어오기 때문에 환기로 인한 기온 하강이 크게 나타났으며, 처리구는 천창을 통한 환기만으로도 하우스 내 기온이 설정온도로 유지가 되었기 때문에 기온 하강이 크지 않았던 것으로 사료된다. 3월 상순의 하우스 내 기온변화를 살펴보면, 처리구에서는 낮 동안에 참외 생육에 적당한  $30^{\circ}\text{C}$  내외의 기온으로 유지되었다. 그러나 대조구에서는 찬 바깥 공기가 낮은 높이에서 하우스 내부로 유입되기 때문에 참외 생육 적온보다 낮게 유지되었다.



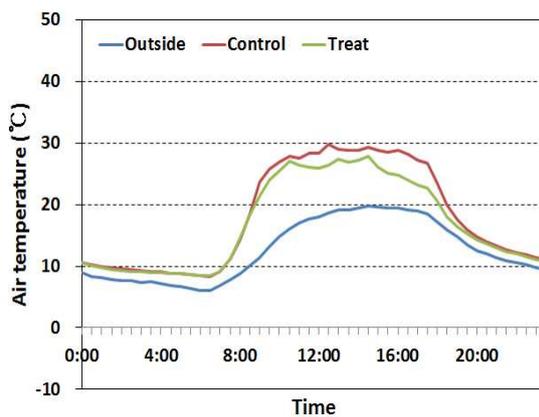
(a) Before (in mid February)



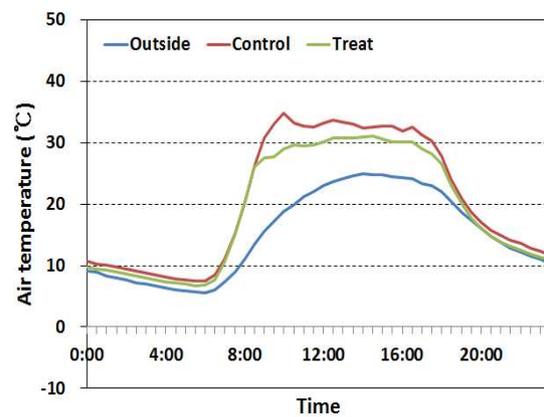
(b) After (in early March)

Fig. 4. Diurnal changes of average air temperature in experimental plots before and after starting ventilation.

Fig. 5는 4월 상순과 4월 하순의 평균기온 변화를 나타내고 있다. 일사량이 높고 외기온이 올라가는 4월 상순부터는 대조구에서의 낮 기온이 더 높게 나타났다. 처리구에서도 천창만으로는 환기량이 부족하여 측창을 통해서도 환기가 이루어짐으로써 찬 바깥공기가 참외 부근으로 들어오기 때문에 환기로 인한 기온 하강이 크게 나타났으며, 처리구의 체적이 대조구보다 크기 때문에 낮 기온이 더 낮게 유지된 것으로 사료된다. 밤 기온은 4월부터는 밤에 보온을 하지 않았기 때문에 두 시험구에서 비슷했다. 두 시험구 모두 하우스 내 낮 기온이 4월 중순까지는 참외 생육 적온인 30°C에 이르지 못했지만 4월 하순부터는 30°C를 넘어서는 것으로 나타났다. 처리구의 기온은 참외 생육 적온인 30°C 근처에서 유지가 되었지만, 대조구의 기온은 이보다도 높았다.



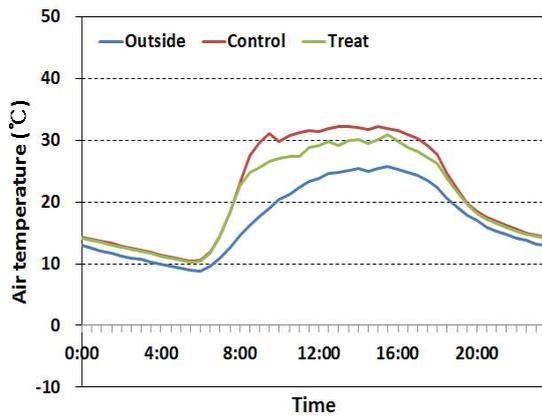
(a) in early April



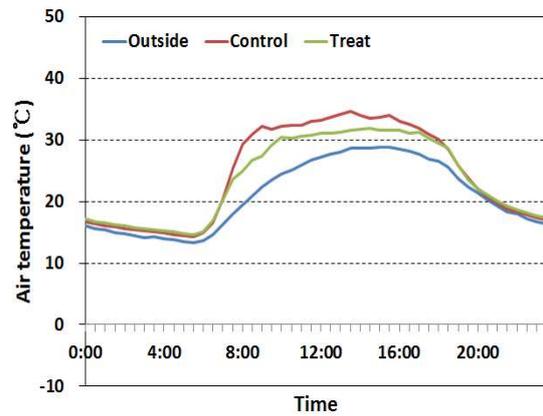
(b) in late April

Fig. 5. Diurnal changes of average air temperature in experimental plots.

Fig. 6은 5월 상순과 6월 상순의 평균기온 변화를 나타내고 있다. 4월 하순부터는 두 시험구 모두에서 낮 기온이 30°C를 넘어서었다. 처리구에서의 기온이 대조구에 비해서는 비교적 참외 생육 적온 가까이 유지되는 것으로 나타났다.



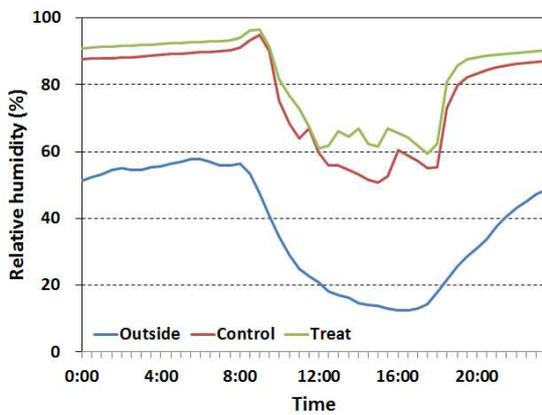
(a) in mid May



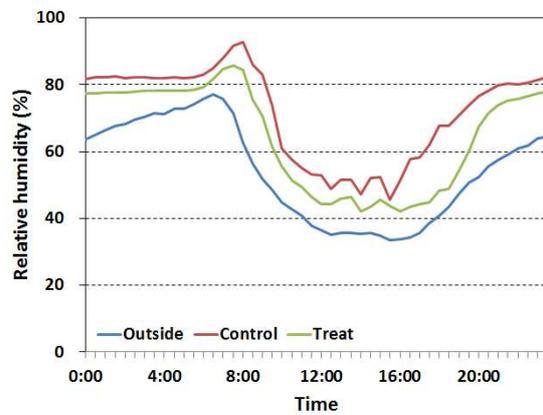
(b) in early June

Fig. 6. Diurnal changes of average air temperature in experimental plots.

Fig. 7은 3월 상순과 5월 상순의 평균상대습도 변화를 나타내고 있다. 일반적으로 참외의 생육에 적당한 상대습도는 60~80% 정도로 알려져 있는데, 3월 상순에는 대조구에서의 낮 동안 상대습도가 60%보다 낮은 것을 알 수 있다. 대조구에서는 측창을 통해서도 환기가 이루어졌기 때문에 습도가 낮은 외기의 유입으로 습도가 낮았다. 처리구에서는 천창을 통한 환기가 주로 이루어졌기 때문에 대조구에 비해 습도가 높게 유지된 것으로 판단된다. 5월 상순에는 두 시험구 모두 낮 동안 60%보다 낮게 나타났다.



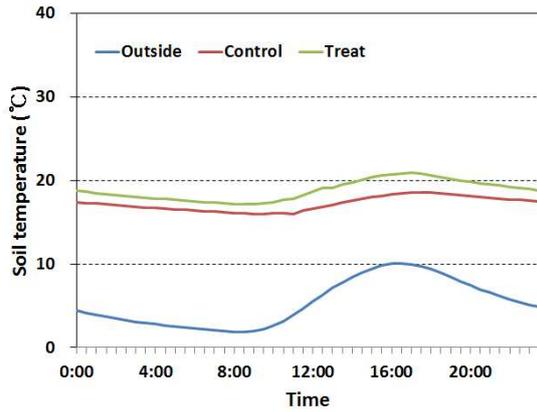
(a) in early March



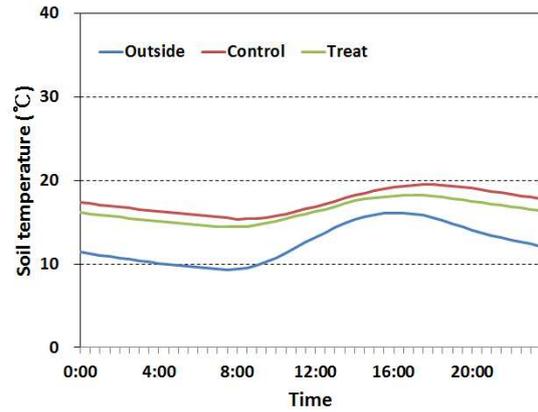
(b) in early May

Fig. 7. Diurnal changes of average relative humidity in experimental plots.

참외의 뿌리가 신장할 수 있는 온도 범위는 최저 8°C에서 최고 40°C까지 알려져 있고 뿌리의 생육 적온은 20~25°C 범위이다. Fig. 8은 3월 상순과 4월 상순의 평균지온 변화를 나타내고 있다. 3월 상순과 4월 상순의 평균기온의 변화와 마찬가지로 3월 상순에는 처리구에서의 지온이, 4월 상순에는 대조구에서의 지온이 높았다. 두 시험구 모두 지온이 20°C보다 낮게 나타났다.



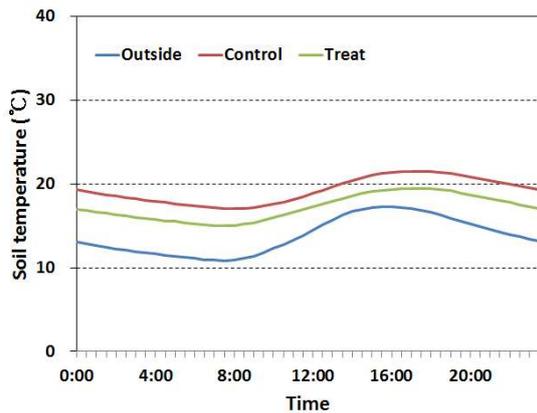
(a) in early March



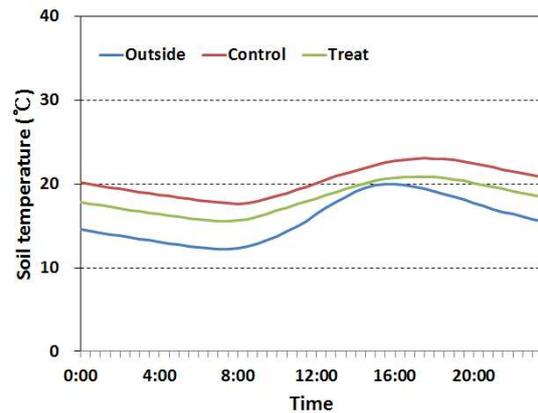
(b) in early April

Fig. 8. Diurnal changes of average soil temperature in experimental plots.

Fig. 9는 4월 중순과 4월 하순의 평균지온 변화를 나타내고 있다. 4월 중순에는 대조구에 서의 지온은 생육 적온 범위인 20°C를 넘어선데 비해 처리구에서는 여전히 20°C보다 낮게 나타났다. 4월 하순이 되어서야 두 시험구 모두에서 20°C를 넘어서는 것으로 나타났다.



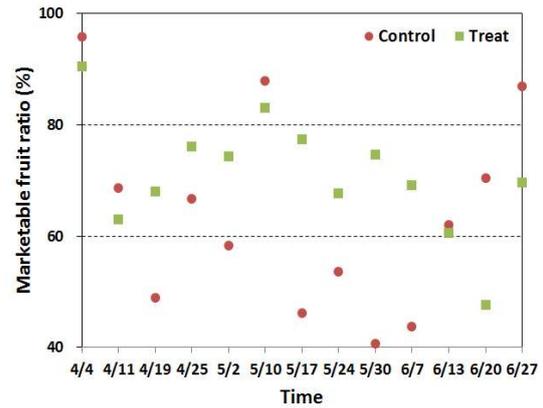
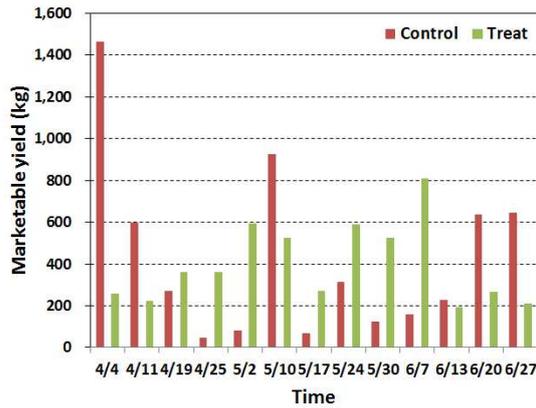
(a) in mid April



(b) in late April

Fig. 9. Diurnal changes of average soil temperature in experimental plots.

하우스 형태에 따른 참외 상품수량(kg/10a)과 상품과율(%)을 조사한 결과, 처리구 5,189kg 으로 대조구 5,564kg에 비해 6.7% 적었으며, 전체 상품과율은 처리구 70.5%, 대조구 70.4% 로 큰 차이가 없었다. 수확시기별 상품수량(kg/10a)과 상품과율(%)을 살펴보면, 처리구에서 의 상품수량과 상품과율이 안정적인 것을 알 수 있다. 처리구에서의 상품수량은 200~600kg 범위에서 안정적으로 유지되는 데 반해 대조구에서는 특정일에는 수량이 많고 다른 날에는 아주 적은 마치 파프리카의 그룹 같이 수확되는 현상을 나타냈다(Fig 10(a)). 상품과율 역시 처리구에서는 60~80% 사이에서 안정적인 반면 대조구에 수확시기별로 차이가 크게 나타났 다(Fig 10(b)). 이러한 현상을 보이는 이유는 대조구에서 보다는 처리구에서의 기온이 생육 전기간 동안 참외 생육 적온 더 가까이 유지되었기 때문인 것으로 사료된다.



(a) Marketable yield

(b) Marketable fruit ratio

Fig. 10. Changes of marketable yield and fruit ratio.

### 【3차년도(2018년)】

Fig. 11은 2017년 12월 하순의 평균일사량 변화를 나타내고 있다. 외부 일사량은 하루 중 12시30분경 평균  $997 \mu\text{mol m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 로 가장 높았으며, 두 시험구 간 차이는 크지 않았다. 일출 후에도 오전 9시까지의 하우스 내 일사량이 0을 나타냈는데, 이는 보온을 위하여 다겹보온덮개를 오전 9시까지 덮어두었기 때문이다. 또한 하루 중 두 시험구 모두 특정 시간대(11:30~12:30)에 일사량이 급격히 낮아지는 현상이 나타났는데, 이는 지붕 환기장치와 천창 등의 골조에 의해 빛이 차단되었기 때문이다.

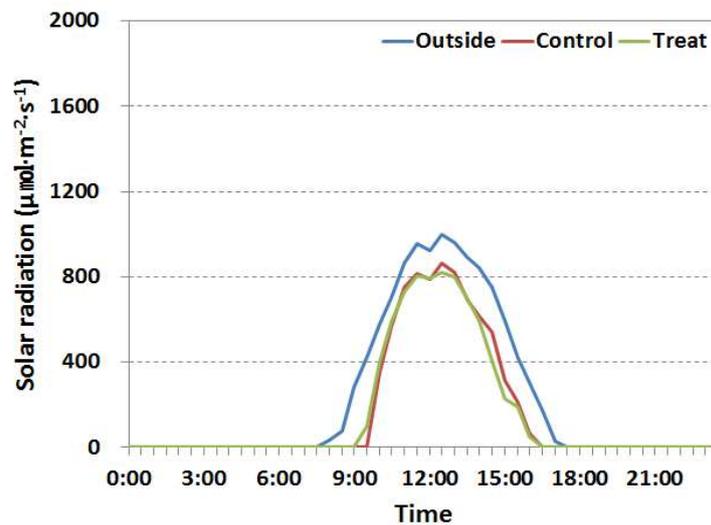
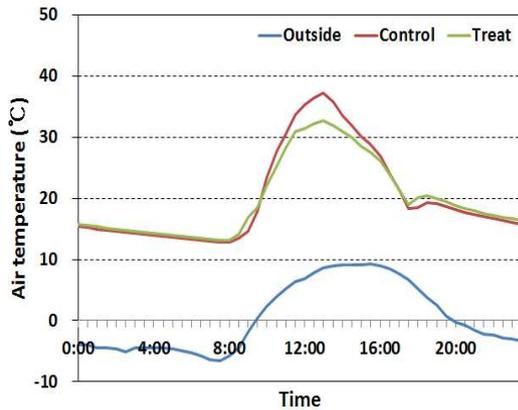


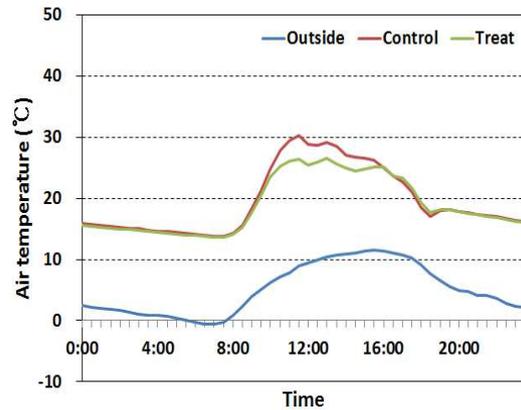
Fig. 11. Diurnal changes of average solar radiation in experimental plots in late December.

2017년 12월 2일 참외를 정식한 후 활착과 초기 생육을 촉진하기 위하여 2018년 2월 28일까지는 두 시험구 모두 환기를 하지 않았다. Fig. 12는 환기를 시작하기 전과 후인 2018년 2월 중순과 3월 상순의 평균기온 변화를 나타내고 있다. 환기를 시작하기 전인 2월 중순에는

낮 최고기온은 대조구에서  $4.4^{\circ}\text{C}$  높았으며, 밤 기온은 거의 차이가 나지 않았다. 환기가 되지 않았을 때 대조구의 낮 기온이 높은 이유는 처리구에 비해 대조구의 체적이 작기 때문으로 판단된다. 환기를 시작한 후인 3월 상순에도 대조구에서의 낮 기온이 더 높게 나타났다. 대조구의 체적이 작으니까 환기량도 처리구에 비해 작기 때문에 대조구의 기온이 높은 것으로 사료된다. 2차년도와는 달리 대조구의 측창에는 80cm 높이의 비닐을 덧대어 찬 바깥공기가 참외 부근으로 들어오지 못하게 하였다.



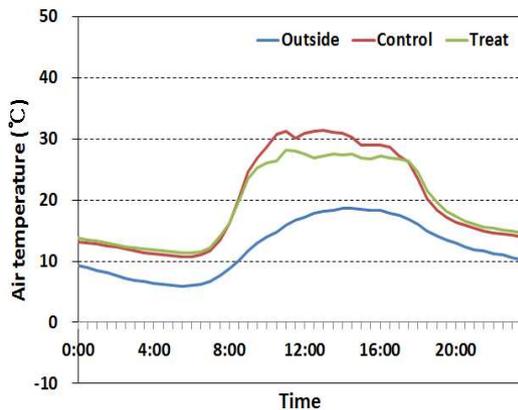
(a) Before (in mid February)



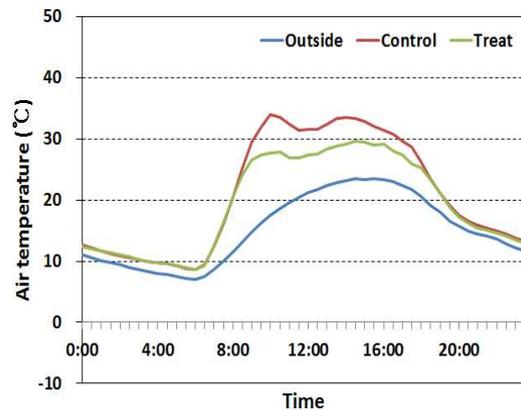
(b) After (in early March)

Fig. 12. Diurnal changes of average air temperature in experimental plots before and after starting ventilation.

Fig. 13은 4월 상순과 4월 하순의 평균기온 변화를 나타내고 있다. 일사량이 높고 외기온이 올라가는 4월 상순에도 대조구에서의 낮 기온이 더 높게 나타났다. 대조구의 체적이 작으니까 환기량도 처리구에 비해 작기 때문에 사료된다. 4월 중순부터는 대조구에서의 낮 기온이 참외 생육 적온보다  $4\sim 5^{\circ}\text{C}$  높았다.



(a) in early April

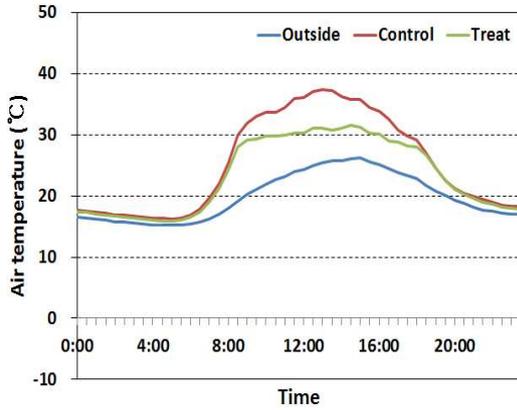


(b) in late April

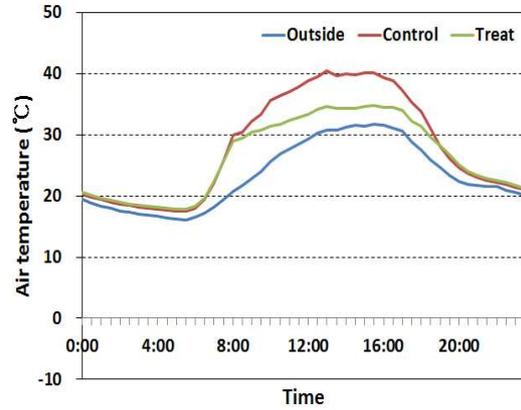
Fig. 13. Diurnal changes of average air temperature in experimental plots.

Fig. 14는 5월 상순과 6월 상순의 평균기온 변화를 나타내고 있다. 고온기로 갈수록 대조구와 처리구의 기온차가 더 컸으며, 처리구에서의 기온이 대조구에 비해서는 비교적 참외 생

육 적은 가까이 유지되는 것으로 나타났다.



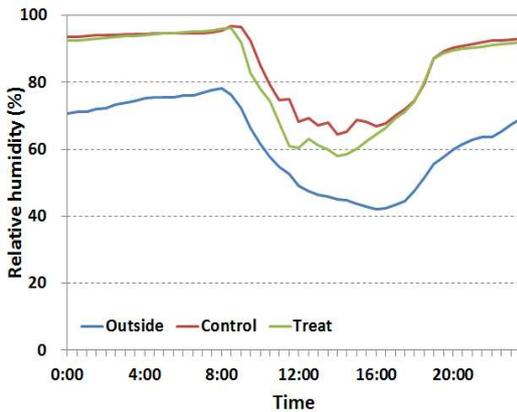
(a) in mid May



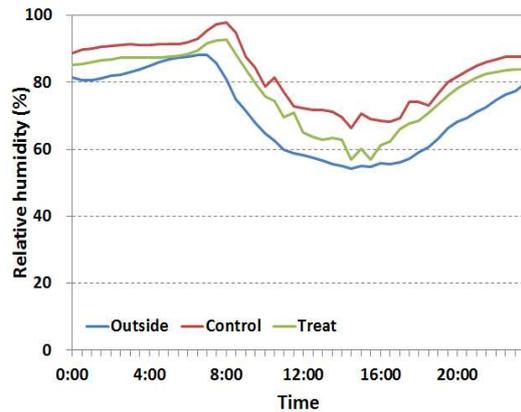
(b) in early June

Fig. 14. Diurnal changes of average air temperature in experimental plots.

Fig. 15는 3월 상순과 5월 상순의 평균상대습도 변화를 나타내고 있다. 두 시험구 모두 낮 동안 상대습도가 참외 생육에 적당한 6080%를 유지하는 것으로 나타났다.



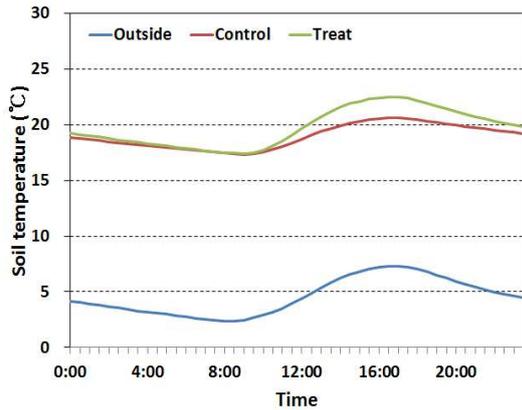
(a) in early March



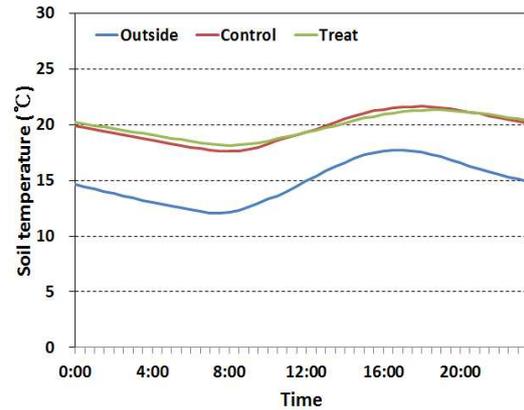
(b) in early May

Fig. 15. Diurnal changes of average relative humidity in experimental plots.

Fig. 16은 3월 상순과 4월 하순의 평균지온 변화를 나타내고 있다. 낮 동안의 지온은 3월 상순에는 처리구에서의 지온이, 4월 하순부터 대조구에서의 지온이 높아지기 시작했다.



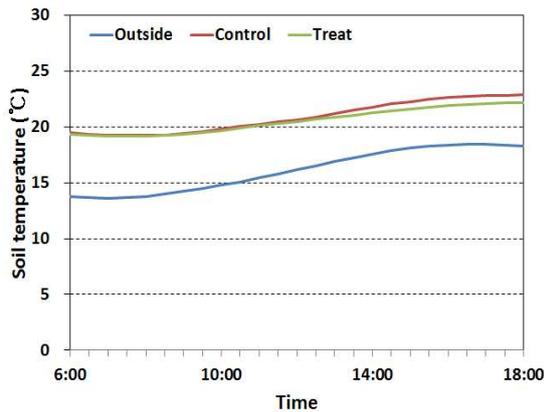
(a) in early March



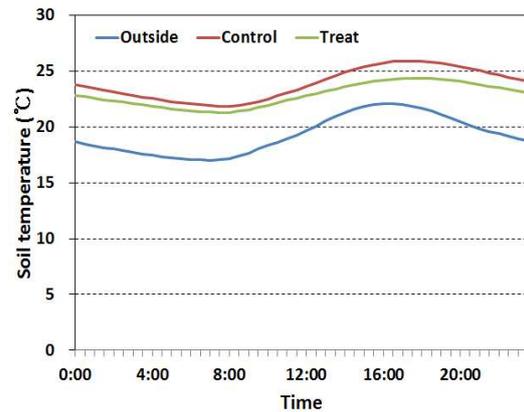
(b) in late April

Fig. 16. Diurnal changes of average soil temperature in experimental plots.

Fig. 17은 5월 상순과 5월 중순의 평균지온 변화를 나타내고 있다. 5월 상순에는 두 시험구 모두 낮 동안의 지온은 생육 적온 범위인 25°C를 넘어서지 않았다. 5월 중순에는 대조구에서는 25°C를 넘었지만, 처리구에서는 25°C보다 낮았다. 그러나 5월 하순부터는 두 시험구 모두에서 25°C를 넘어서는 것으로 나타났다.



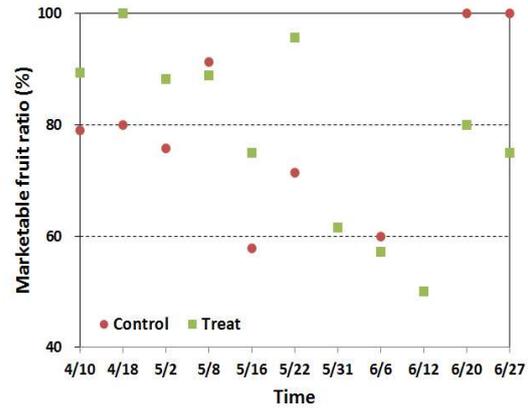
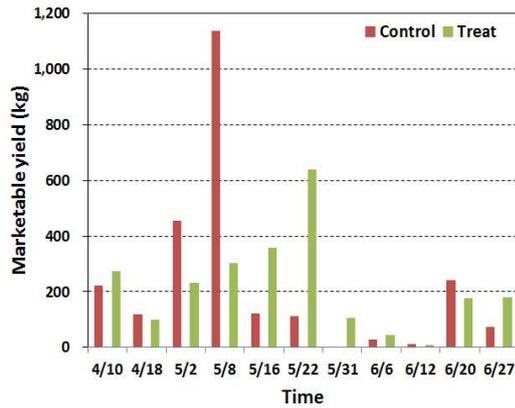
(a) in early May



(b) in mid May

Fig. 17. Diurnal changes of average soil temperature in experimental plots.

하우스 형태에 따른 참외 상품수량(kg/10a)과 상품과율(%)을 조사한 결과, 처리구 2,425kg으로 대조구 2,524kg에 비해 3.9% 적었으며, 전체 상품과율은 처리구 83.6%, 대조구 81.6%로 차이가 크지는 않았다. 처리구에서의 상품수량은 안정적으로 유지되는 데 반해 대조구에서는 특정일에는 수량이 많고 다른 날에는 아주 적은 마치 파프리카의 그룹 같이 수확되는 현상을 나타냈다(Fig 18(a)). 상품과율은 재배후기인 6월을 제외하고는 처리구에서 높았다(Fig 18(b)).



(a) Marketable yield

(b) Marketable fruit ratio

Fig. 18. Changes of marketable yield and fruit ratio.

기존의 참외 하우스에 비해 폭이 넓고 높은 개발 하우스가 어느 정도 경제성이 있는지를 분석하였다. 하우스 설치비(원/10a)를 산정한 결과, 개발 하우스는 16,911,765원, 대조 하우스는 18,088,235원이 소요되는 것으로 나타났다. 단동 비닐하우스 내구연한은 10년으로, 자본이자율은 5%로 설정하였다. 참외 생산량은 2년차 성적(처리구 5,189kg, 대조구 5,564kg)을 참조하였으며, 참외 단가는 2,373원/kg인 것으로 가정하였다(농촌진흥청 2017 농축산물소득자료집). 출하비용은 350원/kg(포장용기: 골판지상자 1,500원/10kg=150원/kg, 운송비: 200원/kg)으로 가정하였다. 수확, 선별, 포장 및 운반 인건비는 1,215원/kg(자가노력비: 4,792,524원/4,236kg=1,131원/kg, 고용노력비: 356,208원/4,236kg=84원/kg)으로 가정하였다(농촌진흥청 2017 농축산물소득자료집). 부분예산법으로 경제성을 분석한 결과, 하우스 설치비, 출하비용 및 인건비 등이 감소하였지만 참외 생산량이 감소하였기 때문에 10a 기준으로 약 179,500원의 소득 감소가 있는 것으로 나타났다(Table 1).

Table 1. An analysis of economic feasibility for the developed oriental melon greenhouse.

Loss factor(A)	Profit factor(B)
<ul style="list-style-type: none"> <li>o Decreasing profit</li> <li>- Production decrease (5,564kg-5,189kg)×W2,373/kg = W889,875</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>o Decreasing expense</li> <li>- Depreciation (W18,088,235-W16,911,765)÷10year = W117,647/year</li> <li>- Fund interest W117,647/year×0.05 = W5,882/year</li> <li>- Shipping cost 375kg×W350/kg = W131,250</li> <li>- Labor cost 375kg×W1,215/kg = W455,625</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sum(A): W889,875/year</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sum(B): W710,404/year</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>o Presumed profit (B-A) = W710,404 - W889,875 = -179,471/year</li> </ul>	

## 2. 딸기재배

### 가. 연구방법

개발 하우스 재배실증을 위하여 과제 2차년도(2017년)와 3차년도(2018년) 2년 동안 시설원예연구소에서 실험을 수행하였다. 2차년도 실험은 2016년 11월 15일부터 2017년 5월 31일까지, 3차년도 실험은 2017년 8월 29일부터 2018년 4월 30일까지 수행하였다.

하우스는 2중 구조로 되어 있으며 1중은 PO필름으로, 2중은 PE필름으로 피복되었다. 보온을 위해 2중 PE필름 위에 다겹보온커튼을 설치하였다. 개발 하우스의 1중 규격은 폭 7m, 측고 2m, 동고 3.7m이며, 대조 하우스의 규격 역시 개발 하우스와 같다. 두 하우스의 2중 규격은 폭 6.5m, 측고 1.8m, 동고 3.45m이다. 방위는 정남북방향(S-N)이며, 길이는 40m이다. 개발 하우스의 환경 개선 및 딸기 수량증대 효과를 분석하기 위하여 개발 하우스와 대조 하우스의 2가지 시험구를 두고 실험을 수행하였다(Fig. 19).

측창 개폐온도는 25℃, 천창 개폐온도는 이보다 0.5℃ 낮게 설정하여 천창에 의해 환기가 먼저 이루어지도록 자동제어(ON/OFF 제어)하였으며, 난방온도는 2차년도에는 12℃, 3차년도에는 10℃로 설정하였다. 환기창 1회당 작동시간을 10초, 작동과 작동사이의 기다림 시간을 저온기(11~3월)에는 300초, 고온기(4~5월)에는 60초로 설정하였다.

하우스 내·외부 기상환경을 분석하기 위해 2차년도에는 기온 및 상대습도는 2016년 11월 30일부터, 지온과 일사량(광합성광량자속밀도, PPF)은 2017년 1월 28일부터 2017년 5월 31일까지 하우스 내·외부 기온 및 상대습도, 지온, 일사량(광합성광량자속밀도, PPF)을 측정하였다. 3차년도에는 2017년 9월 1일부터 2018년 6월 30일까지 하우스 내·외부 기온 및 상대습도, 지온, 일사량(광합성광량자속밀도, PPF)을 측정하였다. 기상환경을 측정하기 위하여 2중 하우스 처마높이인 지상 180cm 높이에 기온 및 상대습도 계측 센서를 설치하였다. 지온을 측정하기 위해 배지 5cm 깊이에 지온센서를, 일사량 계측을 위해 지상 170cm 높이에 센서를 설치하였다(Fig. 12). 일사량은 퀀텀센서(#3668I, Spectrum Technologies Inc., USA)를, 지온은 온도센서(#3667-20, Spectrum Technologies Inc., USA)를 이용하여 측정하였다. 기온 및 상대습도는 데이터로거(#3688 WD1, Spectrum Technologies Inc., USA)에 내장된 센서를 이용하였으며, 30분 간격으로 데이터를 저장하였다.



(a) Treatment plot



(b) Control plot

Fig. 19. Experimental plots.



(a) Inside



(b) Outside

Fig. 20. Sensor installation.

공시품종은 ‘설향’을 사용하였으며, 베드 폭은 25cm, 높이는 1m, 통로 폭은 95cm로 하고, 1동에 5줄의 베드를 설치하였다. 점적테이프를 한 베드에 2줄로 설치하고 흑백비닐로 멀칭하였다. 딸기 착과를 위해 벌을 이용하였으며, 하우스 형태별 딸기 수량 및 상품과율을 분석하기 위해 과실 중량과 과실 수를 조사하였다. 상품과는 한 개당 과중이 10g이상으로서 생리장해가 없고 병충해 피해가 없는 과실로 분류고 전체 조사과실 수에 대한 상품과실 수의 비율로 상품과율(%)을 계산하였다.

#### 나. 연구결과

##### 【2차년도(2017년)】

하우스 형태에 따른 하우스 내 기상환경을 분석하기 위해 기온 및 상대습도, 지온, 일사량 등을 측정하였다. 측정 데이터를 순별(10일 간격)로 시간대별 평균값을 구하여 두 시험구의 기상환경을 비교·분석하였다. Fig. 21은 2017년 2월 상순의 평균일사량 변화를 나타내고 있다. 외부 일사량은 하루 중 12시경 평균  $1,248 \mu\text{mol m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 로 가장 높았으며, 대조구에서의 일사량이 약간 높았으나 실험을 시작하기 전에 두 하우스의 피복재를 PO필름으로 피복했기 때문에 두 시험구 간 차이는 크지 않았다. 일출 후에도 오전 7시30분까지는 하우스 내 일사량이 0을 나타냈는데, 이는 보온을 위하여 다겹보온덮개를 그 시간까지 덮어두었기 때문이다. 또한 하루 중 두 시험구 모두 특정 시간대(13:00)에 일사량이 급격히 낮아지는 현상이 나타났는데, 이는 동고부분에 말아 올려져 있는 다겹보온커튼에 의해 빛이 차단되었기 때문이다.

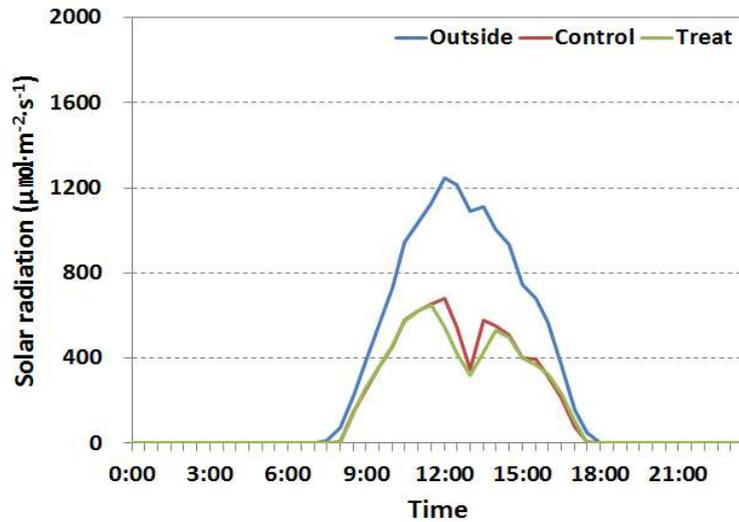
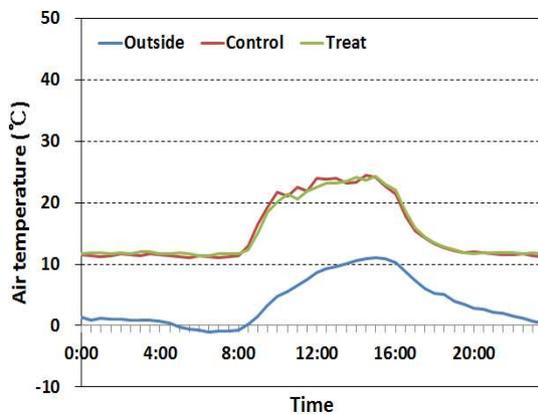
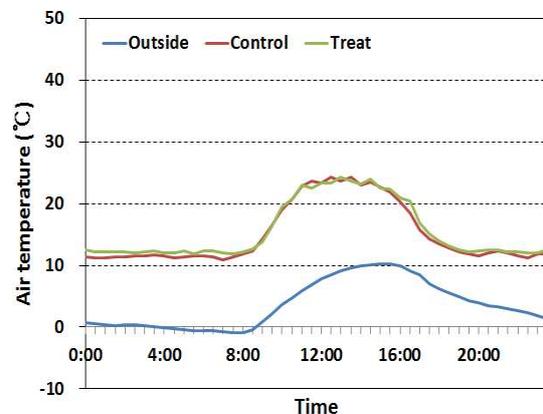


Fig. 21. Diurnal changes of average solar radiation in experimental plots in early February.

딸기는 저온성 작물로서 지상부는 13~18°C의 서늘한 조건을 좋아한다. Fig. 22는 2016년 12월 상순과 2017년 1월 상순의 평균기온 변화를 나타내고 있다. 12월과 1월에는 일사량이 적고 외기온이 낮기 때문에 두 시험구에서의 기온이 거의 비슷하였으며, 환기 설정온도 이내로 유지되었다.



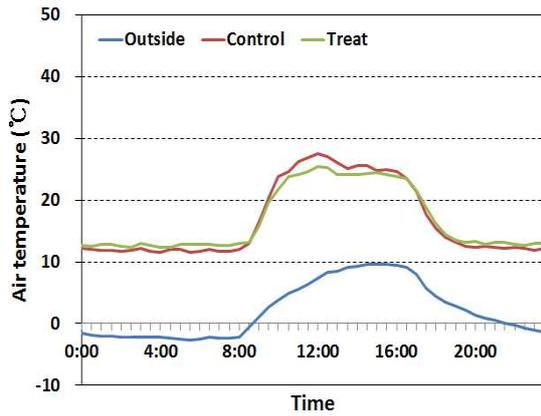
(a) in early December



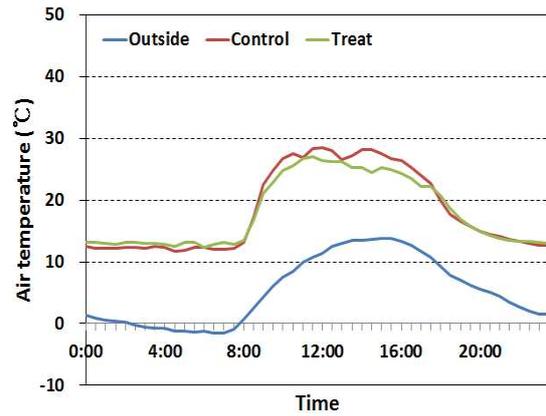
(b) in early January

Fig. 22. Diurnal changes of average air temperature in experimental plots.

Fig. 23은 2017년 2월 상순과 3월 상순의 평균기온 변화를 나타내고 있다. 2월 상순부터는 대조구에서의 낮 기온이 더 높게 나타났다. 측창만 갖고 있는 대조구에서는 환기량이 부족하여 하우스 내 기온이 환기 설정온도보다 높았다. 반면에 처리구에서는 천창을 통해서도 환기가 이루어짐으로써 하우스 내 기온이 환기 설정온도 이하로 유지되는 것으로 나타났다. 2월에는 낮에 두 시험구 간 기온 차가 최대 2°C 정도였으며, 3월에는 이보다 더 큰 차이를 보여 최대 4°C 정도의 차이를 나타냈다.



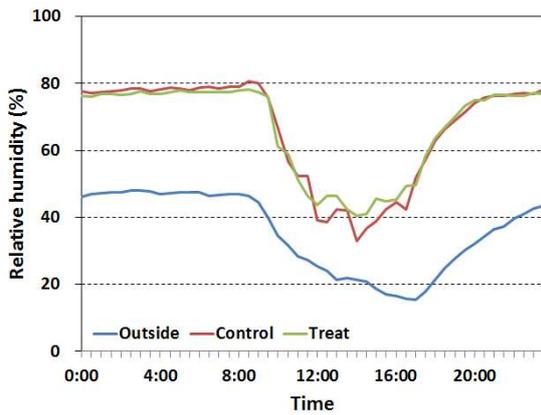
(a) in early February



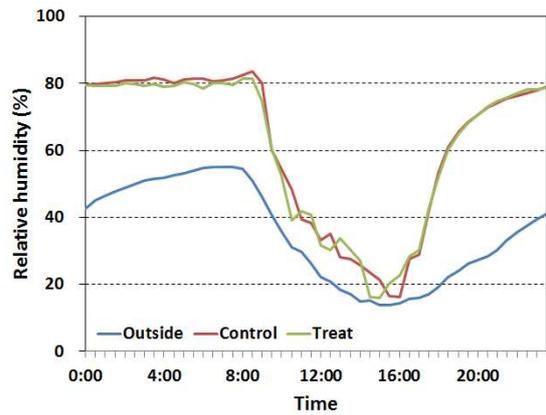
(b) in early March

Fig. 23. Diurnal changes of average air temperature in experimental plots.

Fig. 24는 2월 상순과 3월 상순의 평균상대습도 변화를 나타내고 있다. 2월 상순부터는 환기가 활발하게 일어나므로 두 시험구 모두 낮 동안 상대습도가 60%보다 낮았으며, 3월 상순에는 거의 외부 습도 수준으로 낮게 나타났다.



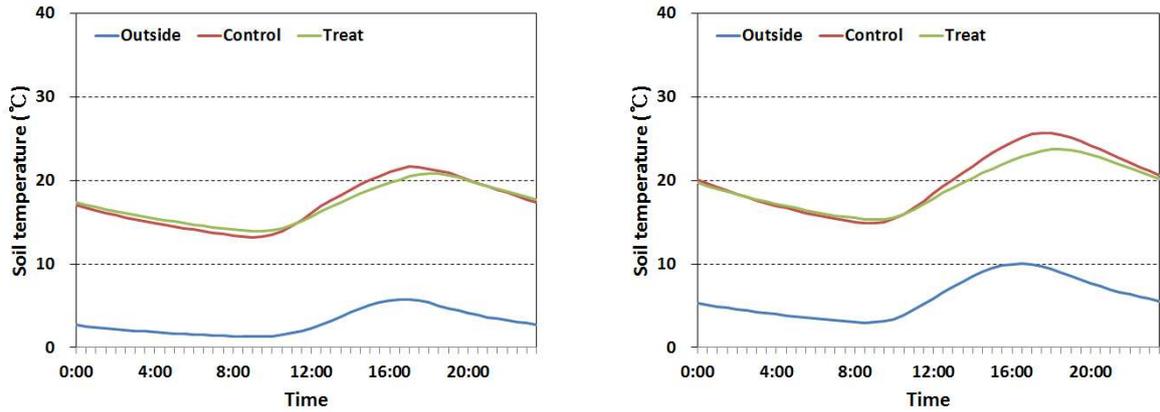
(a) in early February



(b) in early March

Fig. 24. Diurnal changes of average relative humidity in experimental plots.

딸기 뿌리의 생육 적온은 18~23°C 범위이다. Fig. 25는 2월 상순과 3월 상순의 평균지온 변화를 나타내고 있다. 2월 상순과 3월 상순의 평균기온의 변화와 마찬가지로 대조구에서의 지온이 처리구에 비해 높았다. 시간이 흐를수록 두 시험구 간의 지온 차는 더 커졌으며, 3월 상순 대조구에서의 지온은 생육 적온인 23°C보다 높게 나타났다.



(a) in early February

(b) in early March

Fig. 25. Diurnal changes of average soil temperature in experimental plots.

Fig. 26은 4월 상순의 평균지온 변화를 나타내고 있다. 4월 상순부터는 처리구에서의 지온도 생육 적온 범위인 23°C를 넘어서는 것으로 나타났다.

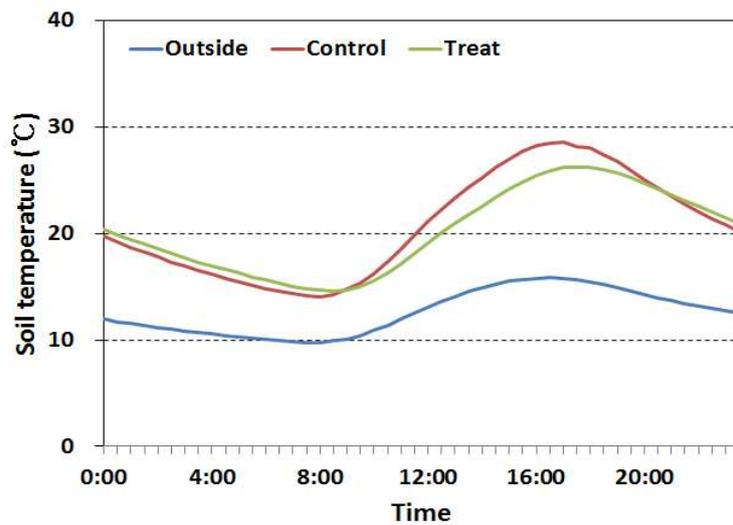
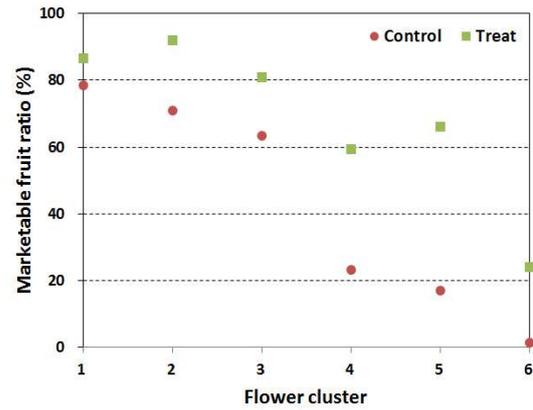
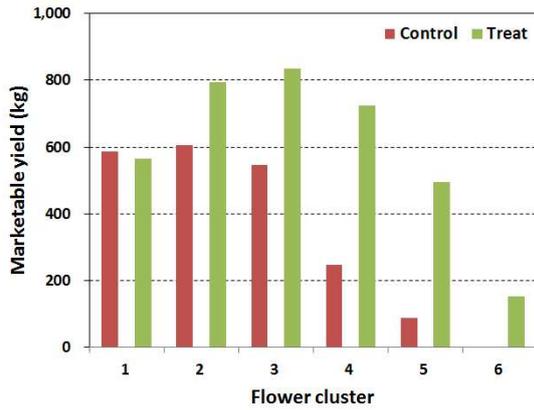


Fig. 26. Diurnal changes of average soil temperature in experimental plots in early April.

하우스 형태에 따른 딸기 상품수량(kg/10a)과 상품과율(%)을 조사한 결과, 처리구 3,567kg으로 대조구 2,074kg에 비해 71.9%나 많았으며, 상품과율 역시 처리구 66.8%, 대조구 44.9%로 큰 차이를 보였다. 화방별 상품수량(kg/10a)과 상품과율(%)을 살펴보면, 1화방에서는 두 시험구의 상품수량이 비슷하였으나, 이후의 화방에서는 처리구의 상품수량이 월등하게 많았다(Fig 27(a)). 특히 날씨가 더워질수록 그 차이는 훨씬 크게 나타났다. 상품과율도 처리구에서 월등하게 높게 나타났다(Fig 27(b)). 이러한 현상을 보이는 이유는 12월과 1월에는 두 시험구의 기온이 비슷하였지만 이후 일사량과 외기온이 높아지는 2월부터는 처리구에서의 기온이 대조구에 비해 낮게 유지되었기 때문인 것으로 사료된다.



(a) Marketable yield

(b) Marketable fruit ratio

Fig. 27. Changes of marketable yield and fruit ratio.

### 【3차년도(2018년)】

Fig. 28은 2017년 9월 상순의 평균일사량 변화를 나타내고 있다. 외부 일사량은 하루 중 12시경 평균  $1,466 \mu\text{mol m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 로 가장 높았으며, 두 시험구 간 차이는 크지 않았다. 하루 중 두 시험구 모두 특정 시간대(12:30)에 일사량이 급격히 낮아지는 현상이 나타났는데, 이는 동고부분에 말아 올려져 있는 다겹보온커튼에 의해 빛이 차단되었기 때문이다.

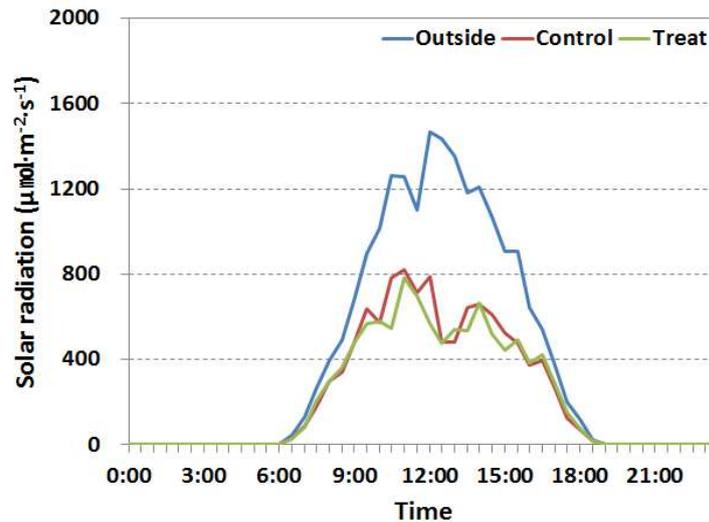
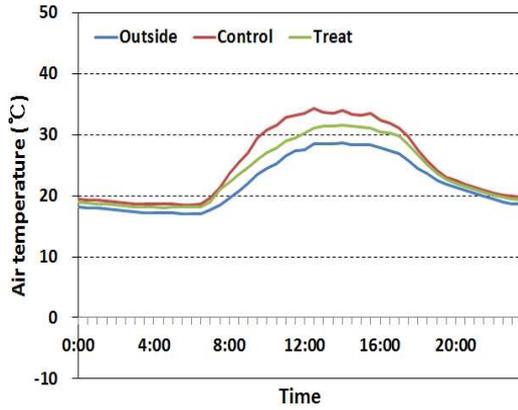
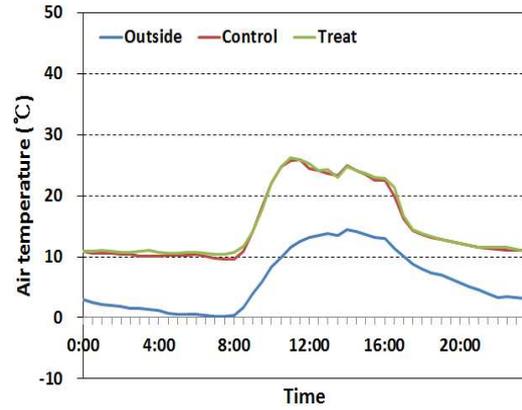


Fig. 28. Diurnal changes of average solar radiation in experimental plots in early september.

Fig. 29는 2017년 9월 상순과 11월 하순의 평균기온 변화를 나타내고 있다. 9월 상순에는 대조구에서의 기온이 처리구에 비해 최대  $4^{\circ}\text{C}$  정도 높았다. 11월 하순부터는 두 시험구에서의 기온이 거의 비슷하였으며, 환기 설정온도 이내로 유지되었다.



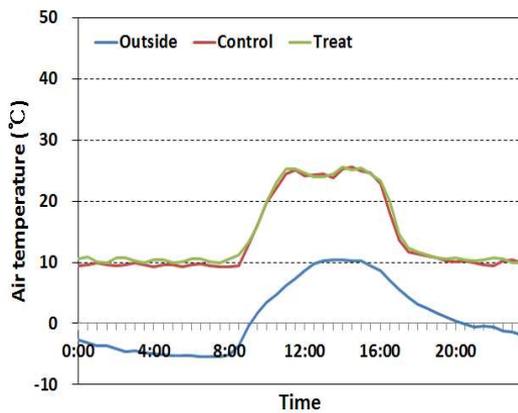
(a) in early September



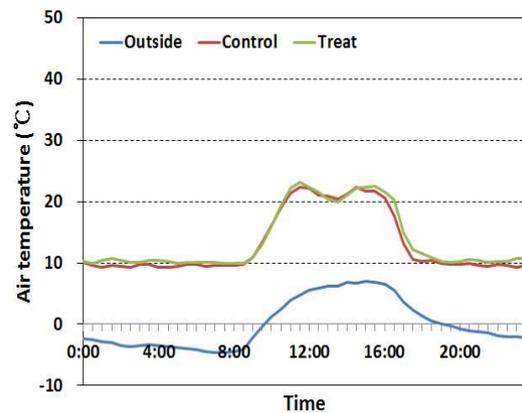
(b) in late November

Fig. 29. Diurnal changes of average air temperature in experimental plots.

Fig. 30은 2017년 12월 상순과 2018년 1월 상순의 평균기온 변화를 나타내고 있다. 12월과 1월에는 일사량이 적고 외기온이 낮기 때문에 두 시험구에서의 기온이 거의 비슷하였으며, 환기 설정온도 이내로 유지되었다.



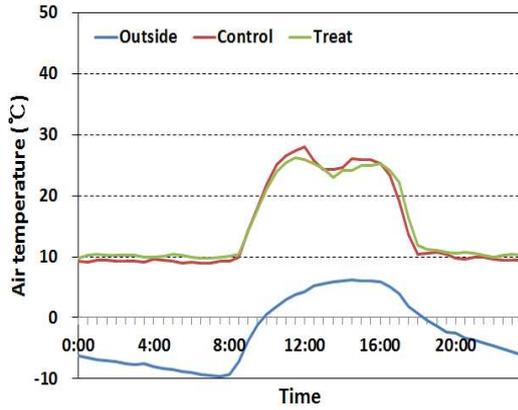
(a) in early December



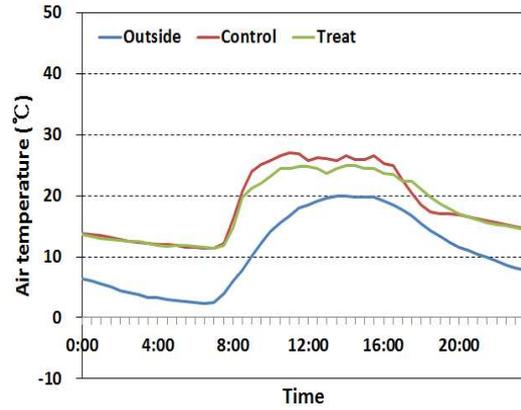
(b) in early January

Fig. 30. Diurnal changes of average air temperature in experimental plots.

Fig. 31은 2월 상순과 3월, 하순의 평균기온 변화를 나타내고 있다. 2월 상순부터는 대조구에서의 낮 기온이 더 높게 나타났다. 측창만 갖고 있는 대조구에서는 환기량이 부족하여 하우스 내 기온이 환기 설정온도보다 높았다. 반면에 처리구에서는 천창을 통해서도 환기가 이루어짐으로써 하우스 내 기온이 낮게 유지되는 것으로 나타났다. 2월에는 낮에 두 시험구 간 기온 차가 최대 2°C 정도였으며, 3월에는 이보다 더 큰 차이를 보여 최대 4°C 정도의 차이를 나타냈다.



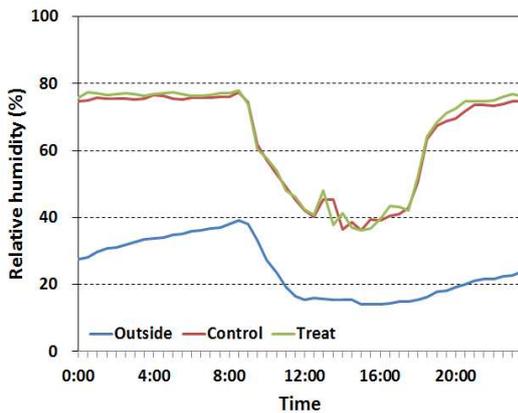
(a) in early February



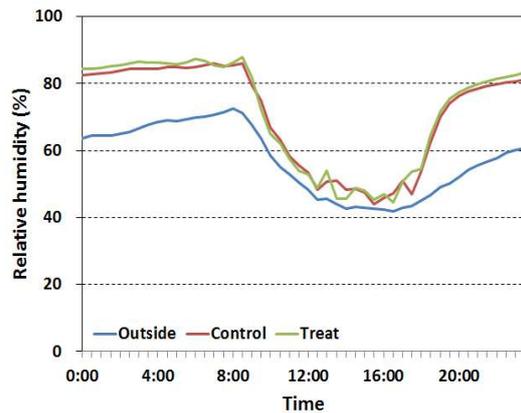
(b) in late March

Fig. 31. Diurnal changes of average air temperature in experimental plots.

Fig. 32는 2월 상순과 3월 상순의 평균상대습도 변화를 나타내고 있다. 2월 상순부터는 환기가 활발하게 일어나므로 두 시험구 모두 낮 동안 상대습도가 60%보다 낮았으며, 3월 상순에는 거의 외부 습도 수준으로 낮게 나타났다.



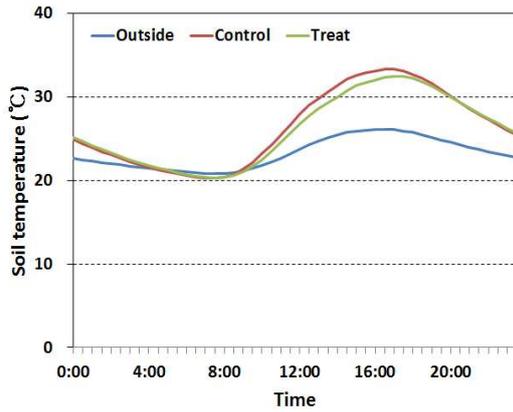
(a) in early February



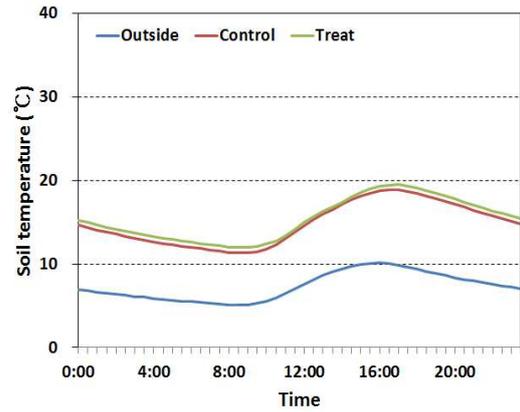
(b) in early March

Fig. 32. Diurnal changes of average relative humidity in experimental plots.

Fig. 33은 9월 상순과 11월 하순의 평균지온 변화를 나타내고 있다. 9월 상순에는 대조구에서의 지온이 처리구에 비해 높았으며, 두 시험구 모두에서의 지온이 30°C를 넘어서는 시간도 있었다. 시간이 흐를수록 두 시험구 간의 지온 차는 줄었으며, 11월 하순에는 두 시험구 모두에서의 지온이 20°C 이하로 나타났다.



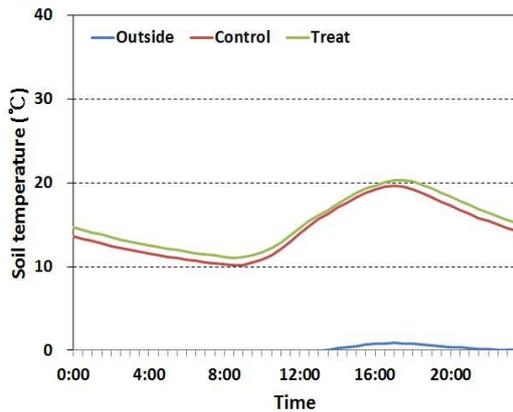
(a) in early September



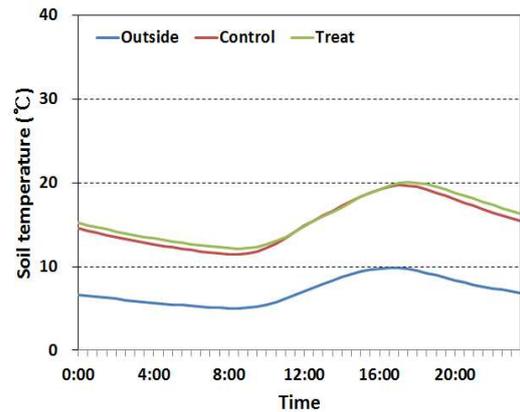
(b) in late November

Fig. 33. Diurnal changes of average soil temperature in experimental plots.

Fig. 34는 2월 상순과 3월 상순의 평균지온 변화를 나타내고 있다. 2월 상순에는 두 시험구 간 차이가 크진 않았지만 처리구에서 약간 높게 나타났다. 3월 하순에는 낮에 대조구에서의 지온이 높았으며, 두 시험구 모두에서 지온이 생육 적온 범위인 23°C를 넘어서는 것으로 나타났다.



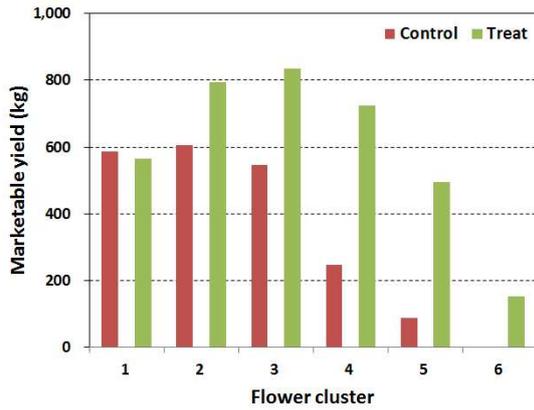
(a) in early February



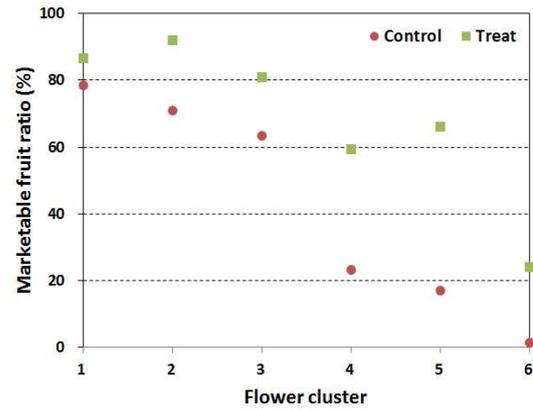
(b) in early March

Fig. 34. Diurnal changes of average soil temperature in experimental plots.

하우스 형태에 따른 딸기 상품수량(kg/10a)과 상품과율(%)을 조사한 결과, 처리구 4,876kg으로 대조구 4,101kg에 비해 18.9% 많았으며, 상품과율 역시 처리구 73.8%, 대조구 59.8%로 큰 차이를 보였다. 화방별 상품수량(kg/10a)과 상품과율(%)을 살펴보면, 1화방에서는 대조구의 상품수량이 대조구에 비해 약 28% 많았다. 이후 화방에서는 처리구의 상품수량이 월등하게 많았으며(Fig 35(a)), 날씨가 더워질수록 그 차이는 훨씬 크게 나타났다. 상품과율도 처리구에서 높게 나타났다(Fig 35(b)). 이러한 현상을 보이는 이유는 12월과 1월에는 두 시험구의 기온이 비슷하였지만 이후 일사량과 외기온이 높아지는 2월부터는 처리구에서의 기온이 대조구에 비해 낮게 유지되었기 때문인 것으로 사료된다.



(a) Marketable yield



(b) Marketable fruit ratio

Fig. 35. Changes of marketable yield and fruit ratio.

기존의 딸기 하우스에 비해 천창을 가진 개발 하우스가 어느 정도 경제성이 있는지를 분석하였다. 하우스 설치비(원/10a)를 산정한 결과, 개발 하우스는 24,829,412원, 대조 하우스는 26,358,824원이 소요되는 것으로 나타났다. 단동 비닐하우스 내구연한은 10년으로, 자본이자율은 5%로 설정하였다. 딸기 생산량은 3년차 성적(처리구 4,876kg, 대조구 4,101kg)을 참조하였으며, 딸기 단가는 6,118원/kg인 것으로 가정하였다(농촌진흥청 2017 농축산물소득자료집). 출하비용은 500원/kg(포장용기: 플라스틱 150원/500g×2팩=300원/kg, 운송비: 200원/kg)으로 가정하였다. 수확, 선별, 포장 및 운반 인건비는 2,457원/kg(자가노력비: 7,133,338원/3,534kg=2,018원/kg, 고용노력비: 1,550,865/3,534kg=439원/kg)으로 가정하였다(농촌진흥청 2017 농축산물소득자료집). 부분예산법으로 경제성을 분석한 결과, 출하비용 및 인건비 등은 증가하였지만 딸기 생산량이 증가하고, 하우스 설치비가 감소하였기 때문에 10a 기준으로 약 2,610,400원의 소득 증가가 있는 것으로 나타났다(Table 2).

Table 2. An analysis of economic feasibility for the developed strawberry greenhouse.

Loss factor(A)	Profit factor(B)
o Increasing expense	o Increasing profit and decreasing expense
- Shipping cost 775kg×₩500/kg = ₩387,500	- Production increase (4,876kg-4,101kg)×₩6,118/kg = ₩4,741,450
- Labor cost 775kg×₩2,457/kg = ₩1,904,175	- Depreciation (₩26,358,824-₩24,829,412)÷10year = ₩152,941/year
	- Fund interest ₩152,941/year×0.05 = ₩7,647/year
- Sum(A): ₩2,291,675/year	- Sum(B): ₩4,902,038/year
o Presumed profit (B-A) = ₩4,902,038 - ₩2,291,675 = <b>₩2,610,363/year</b>	

#### 4. 목표달성도 및 관련분야 기여도

코드번호 D-06

##### 4-1. 목표달성도

###### ○ 연구개발 성과 및 활용목표

성과 목표	사업화지표										연구기반지표									
	지식 재산권			기술 실시 (이전)		사업화					기술 인증	학술성과				교육 지도	인력 양성	정책 활용-홍보		기타 (타 연구 활용 등)
	특 허 출 원	특 허 등 록	품 종 등 록	건 수	기술 료	제품 화	매출 액	수출 액	고 용 창 출	투자 유치		논문		논 문 평 균 IF	학 술 발 표			정 책 활 용	홍 보 전 시	
												SCI	비 SCI							
단위	건	건	건	건	백만원	건	백만원	백만원	명	백만원	건	건	건	명	건	건				
가중치	5	10		5		50	10							5	5		5	5		
최종목표	1	1		1		1	3,000				2	5		5	2		2	2		
연간내 달성실적	1	1		1		1	400					2		5	2			2		
달성율(%)	100	100		100		100	13				0	40		100	100			100		

(참고) 매출창출의 경우, 종료 3차년도에 30억원의 매출목표(500만원 시스템 기준, 600개소 확산 목표)

###### ○ 성능지표

항목	목표	실적	달성율 (%)	비고
스마트 팜 비용	100만원/동 이하 (5개동 기준) = 500만원	300만	100	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 단동형 제어함 : 20만원 x 5</li> <li>· 게이트웨이 : 30만원 x 1</li> <li>· 기타 : 20만원</li> </ul> → (100 + 30 + 20) x 2 = 300 50% 마진기준 설치 및 영업비를 고려 → 500만
단동비닐하우스 재료비	15% 저감	15%	100%	목표달성
생산성	10~15% 향상	18.9%	100%	상품수량(300평당) <ul style="list-style-type: none"> <li>· 딸기 : 18.9% 증가</li> <li>· 참외 : 생산성 감소</li> </ul>

○ 딸기 하우스 경제성 분석

손실적 요소(A)	이익적 요소(B)
<p>○ 증가되는 비용</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 감가상각비 (15,573,000원-14,127,000원)÷5년 = 289,200원</li> <li>- 자본이자 289,200원×0.05 = 14,460원</li> <li>- 포장재비(60kg PE마대) 3장×1,300원 = 3,900원</li> <li>- 노력비 4.5명×60,000원 = 270,000원</li> <li>- 계(A) : 577,560원</li> </ul>	<p>○ 증가되는 이익</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 수량 증가 (764kg-612kg)×11,367원 = 1,773,005원</li> <li>- 계(B) : 1,773,005원</li> </ul>
<p>○ 추정수익액(B-A) = 1,195,445원</p>	

\* 설치비(300평 기준)

\* 단동하우스 내구연한: 5년

\* 딸기 단가: 평년평균 11,367원/kg(한국농수산식품유통공사)

4-2. 관련분야 기여도

1) 산업화 방향

- 안정성이 뛰어나면서 저비용·고효율 단동비닐하우스용 스마트 팜 개발과 함께 환경조절 성능이 우수한 단동비닐하우스 모델 개발을 통하여 ICT 일체형 단동비닐하우스를 개발
- 신규 온실의 경우 스마트 팜이 장착된 모델 보급을 위한 내재해형 규격 설계도 및 시방서에 정책건의를 통하여 패키지로 보급
- 기존 온실의 경우 누구나 쉽게 설치 가능한 스마트 팜 개발로 시장 확대
- 내부공기순환팬 및 배기팬 작동 알고리즘을 장착한 제어기 개발로 독립적 모듈을 통한 상품 다양화

## 5. 연구결과의 활용계획

	코드번호	D-07
<p>1. 추가연구 : 단동형 제어함의 디스플레이 검토</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 단가를 낮추기 위해 디스플레이를 제외하였으나, 사용자 편의성을 고려하여 FND 등 도입 검토 필요</li> <li>- 참외하우스는 하우스 내부 전체를 가온/보온하는 구조가 아니므로, 제어함이 설치된 위치의 기온은 영하에서부터 60~70℃까지 분포될 수 있다. 일반 LCD류 디스플레이는 사용온도 범위를 확인해야하며, 다소 비용 상승의 요인이 되어 배제되었다.</li> </ul> <p>2. 활용계획</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 기술이전을 통한 산업화</li> <li>- 개발 기술의 관련 학회 등의 논문발표를 통하여 공식화</li> <li>- 관련 기술의 농가보급을 위한 영농활용 건의</li> <li>- 관련 기술의 산업화를 통한 시스템 보급을 위한 정책 제안</li> <li>- 실증사이트의 교육장 활용을 통한 개발 기술의 확산 기지로 활용</li> <li>- 개발 제품에 대한 시공 매뉴얼 제작 등을 통한 산업화 활성화</li> <li>- 원예특작시설 내재해형 규격 설계도·시방서에 포함 건의</li> </ul>		

## 6. 연구과정에서 수집한 해외과학기술정보

	코드번호	D-08
<p>본 과제를 수행함에 있어, 해외에서 사용되는 관련 기술들을 사전조사 및 분석을 진행하였으며, 아래와 같이 간략히 정리 함</p> <p>○ METHOD AND SYSTEM FOR USER EQUIPMENT LOCATION DETERMINATION ONAWIRELESS TRANSMISSION SYSTEM</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- PCT공개특허</li> <li>- 등록일자 : 2016.10.23</li> <li>- 요약</li> </ul> <p>[발명의 목적]</p> <p>This application relates to wireless communication techniques in general, and to determining position of user equipment using positioning reference signals in particular.</p> <p>[해결수단]</p> <p>A system comprising:</p> <p>a base station configured to communicate with a user equipment device (UE) via a radio access network, the base station comprising:</p> <p>a radio; and one or more processing elements operatively coupled to the radio;</p> <p>wherein the base station is configured to:</p> <p>transmit a time difference of arrival reference signal (TDOA-RS) that is usable to determine proximity of the UE to the base station, wherein the base station is configured to transmit the TDOA-RS using one or more first transmission resources that are reserved for the base station and not using one or more second transmission resources</p>		

that are reserved for one or more neighbor base stations;  
transmit the TDOA-RS using a first subcarrier within one or more resource blocks for a first transmission instance; and transmit the TDOA-RS using a second subcarrier and not the first subcarrier within the one or more resource blocks for a second transmission instance.

○ PEER-TO-PEER LOCATION SERVICE

- PCT공개특허
- 등록일자 : 2013.01.29
- 요약

[발명의 목적]

The disclosure relates to computer networks and, more specifically, to determining a physical location of a computing device.

[해결수단]

A method comprising:

broadcasting a peer discovery request from a wireless communication device to a wireless communication network, wherein the peer discovery request comprises a request for one or more peer identities;

receiving, with the wireless communication device in response to the peer discovery request, one or more peer responses from corresponding one or more peer devices communicatively coupled to the wireless communication network, wherein the one or more peer responses each include a respective peer identity of the one or more peer identities and do not include a respective physical location for a responding one of the corresponding one or more peer devices;

sending a location query that includes the one or more peer identities from the wireless communication device to a server of a location service, wherein the location query comprises a request for a physical location of the wireless communication device that is estimated by the location service based at least on the physical locations of the one or more peer devices;

and receiving, with the wireless communication device in a location response from the location service, the estimated physical location of the wireless communication device.

○ ARRANGEMENT FOR COMMUNICATION AND TRAVEL FOLLOW-UP

- PCT공개특허
- 등록일자 : 2009.06.18
- 요약

[발명의 목적]

The object of the invention is an arrangement for communication and location tracking.

[해결수단]

Arrangement for communication and location tracking, which arrangement comprises at least one or more server apparatuses (1) and a plurality of remote terminals (2), the position of which is arranged to be located by satellites and which remote terminals (2) comprise at least means (28) for sending information to the server apparatus (1),

characterized in that the means (28) in the remote terminals (2) are equipped to send information concerning the position of the remote terminal (2) and other information collected by the remote terminal (2) wirelessly to the server apparatus (1), and in that the server apparatus (1) is provided with at least connection means (6) for receiving information coming from the remote terminal (2) , with a database (8) for recording information coming from the remote terminal (2) , with processing means (11-16) for processing information sent by the remote terminal (2) , and also with a control system (Ia) for coordinating and controlling the different functions of the arrangement for communication and location tracking.

○ AGRICULTURAL MANAGEMENT SYSTEM AND CROP HARVESTER

- PCT공개특허 WO2014/050524
- 등록일자 : 2014.04.03
- 요약

[발명의 목적]

본 발명은, 농작물 수확기에 의해 수확 작업이 행해지는 농지에 관한 농지 정보와, 상기 수확 작업으로 얻어진 농작물에 관한 농작물 정보를 관리하는 농작 관리 시스템에 관한 것이다. 또한, 본 발명은 그러한 농작 관리 시스템에 포함되는 농작물 수확기, 특히 포장(圃場)으로부터 예취한 곡간에 탈곡처리를 실시하는 탈곡 장치와, 이 탈곡 장치로부터 보내져 온 곡립을 수납하는 곡립 탱크를 구비한 곡립 수확기에 관한 것이다.

[해결수단]

농작물 수확기에 의해 수확 작업이 행해지는 농지에 관한 농지 정보와, 상기 수확 작업으로 얻어진 농작물에 관한 농작물 정보를 관리하는 농작 관리 시스템이며, 상기 농지 정보로서 상기 농지에 있어서의 수확 작업 위치를 나타내는 수확 위치 데이터와, 상기 농작물 정보로서 상기 농지에서 수확된 농작물의 수확량을 나타내는 수확량 데이터 및 그 품질을 나타내는 품질 데이터를, 상기 농작물 수확기로부터 수취하는 데이터 입력부와, 상기 농지 정보와 상기 농작물 정보를 서로 관련짓기 가능하게 기록하는 데이터베이스 서버와, 상기 농지 정보와 상기 농작물 정보에 기초하여 상기 농지의 농작 평가를 행하는 농작 평가부와, 상기 농작 평가부에 의해 생성된 농작 평가 데이터를 송출하는 데이터 출력부를 구비한, 농작 관리 시스템.

○ 農業環境情報収集発信システム

- 일본공개특허 2002-183242
- 등록일자 : 2002.06.28
- 요약

[과제]

본 발명은 관리자가 관측한 데이터의 수집을 실시간으로 간편하게할 수 있고 데이터의 신뢰성이 향상되어, 포장의 관리가 편해져, 추가로보다 많은 사람에게 농작물 재배의 지원 정보를 정확하게 간단하게보다 빨리 전달하는 것을 과제로 하고 있다.

[해결 수단]

농작물을 재배하는 포장에 설치된 관측 수단과 관측한 데이터를 송신하는 관측 데이터 송신 수단과 송신된 데이터를 수신하는 관측 데이터 수신 수단과 요구에 대해서 출력 가능한 데이터를 보존하는 데이터 보존 수단과 관측 데이터 수신 수단에서 데이터 보존 수단으로 데이터 변환하는 데이터 변환 수단을 구비하고, 데이터 보존 수단에 축적된 데이터를 인터넷 또는 일반 공중회선을

이용하여 열람한다

○ 農作物生産管理システム及び農作物生産管理プログラム

- 일본공개특허 2006-212002
- 등록일자 : 2006.08.17
- 요약

[과제]

농작물의 생산성, 안전성 및 품질 안정성을 큰폭으로 향상시킨다.

[해결 수단]

농가의 작업자측에 마련된 농가 측 컴퓨터 2와 농작물을 육성하는 농지에 설치되고, 농지 및 농지의 농작물의 정보를 검출하고, 검출한 정보를 전기통신 회선 6을 통해 송신하는 검출 장치 3과 전기통신 회선 6을 통해 검출 장치 3이 검출한 정보를 수신하고 수신한 정보를 분석함으로써 농작물을 육성하는데 필요한 농작업의 실시 타이밍을 판정하고 판정된 실시 타이밍의 정보를 농가 측 컴퓨터 2로 하는 해석 서버 5를 구비한다. 이것에 의해 농가의 작업자는 농작물을 육성하는데 필요한 농작업을 하는 적절한 타이밍을 알 수 있으므로, 적절한 타이밍에 농작업을 하고, 농작물의 생산성, 안전성 및 품질 안정성을 큰폭으로 향상시킬 수 있다.

## 7. 연구개발결과의 보안등급

		코드번호	D-09
일반과제			

## 8. 국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

					코드번호	D-10		
구입 기관	연구시설/ 연구장비명	규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입 가격 (천원)	구입처 (전화번호)	비고 (설치 장소)	NTIS장비 등록번호
해당없음								

## 9. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전조치 이행실적

코드번호

D-11

### ○ 쉼다이스스

- 연구참여인원의 보험가입을 회사차원에서 의무적으로 적용함
- “안전관리책임자”를 지정하여 안전 관리 및 지도 수행
- 통제상황과 사고발생시 대처요령 등 교육 훈련 실시
- 일정 기간 이상 종사자 건강검진 실시

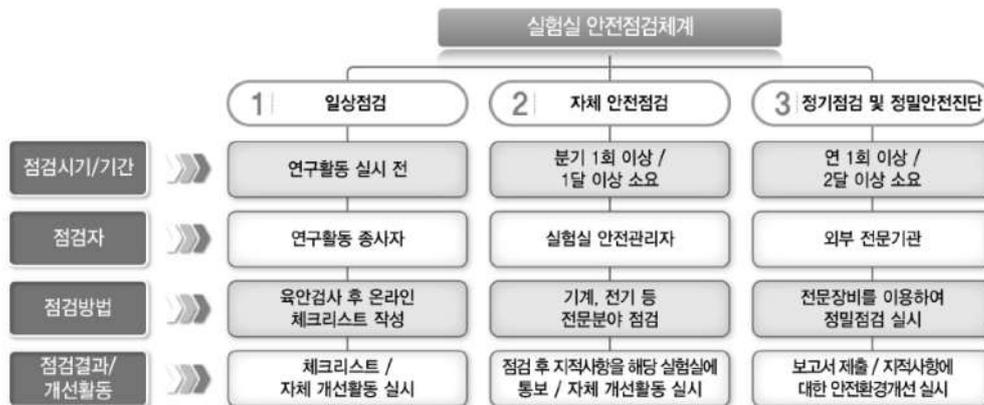
### ○ 「경북대학교 연구실 안전관리 규정지침」에 의거하여 이행

### ○ 고등기술연구원

연구실안전법 [시행 2015.7.1.][법률 제12873호, 2014.12.30., 일부개정]

### 가. 연구실 안전 점검 체계 및 실시

#### 1) 실험실 안전 점검 체계



### 나. 실험실 안전점검

- 1) 실험실 일상 점검 : 연구 활동 시작 전 실험실 책임자가 육안으로 장비 및 시설을 매일 점검.
- 2) 실험실 정기 점검
  - 내용 : 과학기술분야 실험실의 일반안전, 산업위생, 전기안전, 소방안전, 화공안전, 가스안전, 기계안전 등의 전문분야 점검
  - 실시 : 매월 각 실험실을 주기적으로 점검

### 다. 교육 훈련

- 1) 개요 : 실험실의 안전을 확보하고 종사자의 건강을 보호하여 실험 및 연구 활동에 기여하고, 또한 연구실 안전 환경조성에 관한 법률에 의거하여 실험실의 환경안전교육이 의무화됨에 따라 이공계열 대학원생 및 관련자 전원은 환경안전교육을 의무적으로 수강
- 2) 교육대상 : 소속연구원, 전문직원, 실험참여 외부인 등
- 3) 교육실시 : 법정 교육시간인을 온라인 및 집합교육으로 실시.

## 10. 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	단동온실의 태양복사에 의한 열유동 특성 해석	고등기술 연구원, 경북대	제1저 자, 교신저 자	한국환경기 술학회		2017.06.30		비SCI
2	논문	단동 온실 천창 형태 변화에 따른 환기성능 분석	고등기술 연구원	제1저 자, 교신저 자	한국환경기 술학회		2017.08.30		비SCI
3	학술 발표	A Study on Thermal and flow Characteristics by Solar Radiation for Single-span Greenhouse by Computational Fluid Dynamics Simulation	고등기술 연구원		ICFMFA 2018		2018.02.08		
4	학술 발표	꼬갈형 천창을 설치한 딸기재배 단동온실의 온도 및 수량 분석	시설원예 연구소		한국생물환 경조절학회 춘계학술발 표회		2018.4.19		
5	특허	관리서버기반의 원격제어시스템 이상여부 감지 시스템	(주)다이 시스		대한민국		2019.01.07		특허결정서 수신

## 11. 기타사항

	코드번호	D-13
없음		

## 12. 참고문헌

	코드번호	D-14
A Dag & D Eisikowitch . 1999. Ventilation of greenhouses increases honey bee foraging activity on melon, Cucumis melo, Journal of agricultural Research, 38(3-4):169-175. Blomgren T, Frisch T. 2007. High Tunnels: Using low-cost technology to increase yields, improve quality and extend the season. pp. 1-22. The University of Vermont Center for Sustainable Agriculture, Burlington.		

- Bot, GPA. 1983. Greenhouse climate: from physical processes to a dynamic model. PhD. Diss. Agricultural University Wageningen.
- Boulard, T., Meneses JF, Mermier M, Papadakis G, 1996. The mechanisms involved in the natural ventilation of greenhouses. *Agricultural and Forest Meteorology* 79:61-77.
- Boulard, T., Feuilloley, P. Kittas, C. 1997a. Natural ventilation performance of six greenhouse and tunnel types. *Journal of Agricultural Engineering Research* 67:249-266.
- Breuer JJG, Knies P. 1995. Ventilation and cooling. In *Greenhouse climate control: an integrated approach* edited by Bakker JC, Bot GPA, Challa H, Van der Braak NJ. pp. 179-185. Wageningen Publishers, Wageningen, The Netherlands.
- Brugger, M., Montero, J., Baeza, E., and Perez-Parra, J. 2003. Computational Fluid Dynamic. Modeling to Improve the Design of the Spanish Parral Style Greenhouse. ASAE Paper No. 034046.
- Fatnassi, H., T. Boulard, H. Demrati, L. Bouirden, G. Sappe. 2002. Ventilation performance of a large canarian-type greenhouse equipped with insect-proof nets. *Biosystem Engineering* 82(1):97 -105.
- Fernandez JE, Bailey BJ. 1992. Measurement and prediction of greenhouse ventilation rates. *Agricultural and Forest Meteorology* 58:229-245.
- Fernandez JE, Bailey BJ. 1994. The influence of fans on environmental conditions in greenhouses. *Journal of agricultural engineering research* 58:201-210.
- Jun, H.J., J.G. Hwang, I.G. Kim, M.J. Son, K.M. Lee, and Y. Udagawa. 2006. Effect of Double Layered Substrate on the Growth, Yield and Fruit Quality of Strawberry in Elevated Hydroponic System. *Kor. J. Hort. Sci. Thchnol.* 24(2):157-161 (in Korean).
- Kacira, M., T. H. Short, R. R. Stowell. 1997. A fluid dynamic evaluation of naturally ventilated gutter-connected greenhouses. ASAE Paper No.974059.
- Kacira, M., T. H. Short, R. R. Stowell. 1998. A cfd evaluation of naturally ventilated, multi-span, sawtooth greenhouses. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* 41(3):833-836.
- Kang, K.Y., H.C. Rhee, and Y.H. Choi. 2006. *Physiology and culture of tomato*. Donga Press, Busan, Korea.
- Kim, MK, et al. 1997. Design standards for greenhouse environment. Agriculture and Fisheries Development Corporation. pp. 155-163 [in Korean].
- Kwon JK, Choi YH, Park DK, Lee JH. 2001. A study on the automation of roof-ventilation windows for single-span plastic greenhouse. '2000 Annual Research report. pp. 592-599. RDA [in Korean].
- Lee, I. and T. H. Short. 2001. Verification of computational fluid dynamic temperature simulations in a full-scale naturally ventilated greenhouse. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* 44(1):119-127.
- Lee, J.E., Y.S. Shin, H.W. Do, H.R. Sohn, J.D. Cheung, and M.K. Kim. 2015. Changing environment of plastic film house by light interruption materials in korean melon

- during summertime. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 33(Suppl. II):102 (in Korean).
- Ministry for Agriculture, Food and Rural Affairs(MAFRA). 2016. The status of the greenhouse and production records for vegetable crops in 2015. ed. MAFRA, Sejong, Korea (in Korean).
- Nam MH, Choi JP, Kim HJ, Lee JJ, Lim KH, Kim YG, Kim HT, and Jeun YC. 2010. Controlling activity of *Bacillus subtilis* KB-401 against cucumber powdery mildew caused by *Sphaerotheca fusca*. The Korean Journal of Pesticide Science 14(1):49-53 [in Korean].
- Nam SW. 2001. Roof ventilation structures and ridge vent effect for single span greenhouses of arch shape. CNU Journal of Agricultural Science 28(2): 99-107 [in Korean].
- Nam SW, Seo WN, Yoon YC, Lee SK, Lee IB, Lee HW, Cho BK. 2008. Bio-environment control engineering. pp. 183-233. Cheongsol Pub. Daegu [in Korean].
- Nam SW and Shin HH. 2015. Experimental study on the infiltration loss in plastic greenhouses equipped with thermal curtains. Journal of Bio-Environment Control 24(2): 100-105 [in Korean].
- Nam SW and Kim YS. 2011. Analysis on the ventilation performance of single-span tomato greenhouse with roof windows. Journal of Bio-Environment Control 20(2): 78-82 [in Korean].
- Nam SW, Kim YS, Ko GH, Sung IM. 2012. Analysis on the installation criteria and ventilation effect for round roof windows in single-span plastic greenhouses. CNU Journal of Agricultural Science 39(2): 271-277 [in Korean].
- Nederhoff EM, van de Vooren JV, Udink Ten Cate AJ. 1985. A practical tracer gas method to determine ventilation in greenhouses. Journal of Agricultural Engineering Research 31:309-319.
- Saito, T. 1983. Basic physiology and practical technique of tomato. 4th ed. Rural Culture Association, Tokyo, Japan.
- Salisbury JB and Ross CW, 1991, Growth Responses to Temperature. pp. Plant physiology. 4th edition. Wadsworth Publishing Company, Belmont, CA, USA.
- Sase S, Takakura T, Nara M. 1984. Wind tunnel testing on airflow and temperature distribution of a naturally ventilated greenhouse. Acta Horticulturae 148:329-336.
- Shilo E., M. Teitel, Y. Mahrer, T. Boulard, 2004. Air-flow patterns and heat fluxes in roof-ventilated multi-span greenhouse with insect-proof screens. Agricultural and Forest Meteorology 122:3-20.
- Shin Y.S., Yeon I.K., Do H.W., Suh D.H., Bae S.G., Choi S.K., Choi B.S.. 1996. Effect of the ventilation method on the growth and quality of Melon(*Cucumis melo* L.) in greenhouse of tunnel type. Journal of Bio-Environment control 5:187-193.
- Son JE. 2000. Thermal and ventilative characteristics of single-span oak mushroom production facility as affected by area of roof openings and shading rates. Journal of

Bio-Environment control 9:120-126.

Wang W, Boulard T, Haxaire R. 2000. Measurement and analysis of air speed distribution in a naturally ventilated greenhouse. *Acta Horticulture* 534: 277-283.

Yeo KH, Jang YA, Kim S, Um YC, Lee SG, Rhee HC. 2013. Evaluation of environment-friendly control agents for the management of powdery mildew infection during seedling stage. *Protected Horticulture and Plant Factory* 22:413-420.

Yeo, K.H., I.H. Yu, G.L. Choi, S.C. Lee, J.H. Lee, K.S. Park, J.S. Lee, and Khoshimkhujayev Bekhzod. 2016. Effects of modified installation methods of roof ventilation devices in the single-span plastic greenhouses on yield and fruit quality of oriental melon. *Protected Horticulture and Plant Factory*. 25(4):334-342 (in Korean).

Yeo K. H. Yu I. H., Rhee H. C., Cheong J. W., Choi G. L., 2013, A field survey on roof ventilation system of single-span plastic greenhouse in cucurbitaceae vegetable cultivation. *CNU journal of Agricultural Science* 40(4):317-323.

Yoon, H.S., Y.H. Hwang, C.K. An, H.J. Hwang, and C.W. Rho. 2003. Effect of Plant Density on Growth and Fruit Yield of Strawberry Grown in Raised Bed Culture. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 21(Suppl. II):41 (in Korean).

Yu, I.H., M.W. Cho, H.R. Ryu, and Y.A. Shin. 2017. Development of technology for improving the utilization efficiency of roof ventilation fan in single-span plastic greenhouse during low temperature season. *RDA Annual report*. ed. RDA, Jeonju, Korea (in Korean).

Yun, N.K., Kim MK. 1999. Experiment on airflow in ventilated greenhouse. *Proceedings of the 1999 Annual Conference, The Korean Society of Agricultural Engineers*. pp. 429-433 [in Korean].

i. Launder, B. W. and Spalding, D. B.. "The Numerical Computation of Turbulent Flows", *Comp. Meth. in Appl. Mech. and Eng.*, 3: 269, 1974.

ii. Bird, R. B., Stewart, W. E. and Lightfoot, E. N.. "Transport Phenomena, John Wiley and Sons, 1960.

iii. Launder, B. W. and Spalding, D. B.. "Mathematical Models of Turbulence", Academic Press, New York, 1972.

iv. Pollard, A. and Spalding, D. B.. "The Prediction of the Three Dimensional Turbulent Flow Field in a Flow-splitting Tee-function", *Computer Methods in Applied Mechanism and Engineering*, 13:231~244, 1978.

v. Patanker, S. V.. *Numerical Heat Transfer and Fluid Flow*, Hemisphere Publishing Corporation, New York, 1980.

vi PHOENICS Technical Report(TR/326), Concentration Heat and Momentum Limited, 2015.

## 주 의

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