

320094-1

표준기반 스마트 온실 자재

성능시험 및 검정 기준 개발 연구

2021

농림축산식품부

농림식품기술기획평가원

보안 과제(), 일반 과제(O) / 공개(O), 비공개() 발간등록번호(O)

1세대 스마트 플랜트팜 산업화기술개발사업
2021년도 최종보고서

발간등록번호

11-1543000-003694-01

표준기반 스마트 온실 자재 성능시험 및 검정기준 개발연구

2021. 10. 22.

주관연구기관 / 한국농수산대학
공동연구기관 / 농업기술실용화재단

농림축산식품부
농림식품기술기획평가원

제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

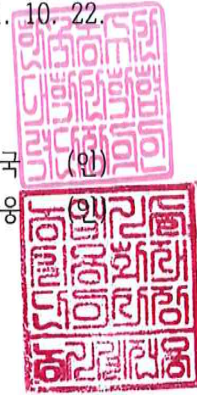
본 보고서를 “표준기반 스마트 온실 자재 성능시험 및 검증기준 개발 연구”(개발기간 : 2020. 07.03~ 2021. 07.02)과제의 최종보고서로 제출합니다.

2021. 10. 22.

주관연구기관명 : 한국농수산대학 산학협력단 (대표자) 노 환 국 (인)
공동연구기관명 : 농업기술실용화재단 (대표자) 박 철 응

주관연구책임자 : 강동현

공동연구책임자 : 김은국



국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제18조에 따라 보고서 열람에 동의 합니다.

최종보고서										보안등급 일반[<input checked="" type="checkbox"/>], 보안[<input type="checkbox"/>]	
중앙행정기관명	농림축산식품부			사업명	사업명		1세대 스마트 플랜트팜 산업화기술개발사업				
전문기관명 (해당 시 작성)	농림식품기술기획평가원			내역사업명 (해당 시 작성)							
공고번호	농축2020-214호			총괄연구개발 식별번호 (해당 시 작성)							
				연구개발과제번호		320094-1					
기술분류	국가과학기술 표준분류	LB0805	50%	LB0802	30%	LB0204	20%				
	농림식품과학기술분류	RC0102	60%	RC0103	40%						
총괄연구개발명 (해당 시 작성)		국문									
		영문									
연구개발과제명		국문		표준기반 스마트 온실 자재 성능시험 및 검증기준 개발 연구							
		영문		Study on performance test and verification standard development for standard material using in smart greenhouse							
주관연구개발기관		기관명	한국농수산대학 산학협력단		사업자등록번호		124-82-14392				
		주소	(54874)전북 전주시 덕진 구 콩쥐팔쥐로 1515		법인등록번호						
연구책임자		성명	강동현		직위		조교수				
		연락처	직장전화	063-238-9332		휴대전화		010-4131-6906			
			전자우편	kang6906@korea.kr		국가연구자번호		1013-7186			
연구개발기간		전체	2020. 07. 03 - 2021. 07. 02(12개월)								
		단기 (해당 시 작성)	1단계	2020. 07. 03 - 2021. 07. 02(12개월)							
연구개발비 (단위: 천원)		정부지원	기관부담	그 외 기관 등의 지원금		합계			연구개발비 외 지원금		
		연구개발비	연구개발비	지방자치단체	기타()						
		현금	현금	현물	현금	현물	현금	현물	합계		
총계		450,000								450,000	
1단계	1년차	450,000								450,000	
	n년차										
공동연구개발기관 등 (해당 시 작성)		기관명	책임자	직위	휴대전화	전자우편	비고				
			역할	기관유형							
공동연구개발기관		농업기술실 용화재단	김은국	연구원		kimeunkuk @efact.or.kr					
위탁연구개발기관		경북대학교 산학협력단	이현우	교수		whlee@knu. ac.kr					
연구개발기관 외 기관											
연구개발담당자 실무담당자		성명	강정균		직위		연구원				
		연락처	직장전화			휴대전화		010-3123-2951			
		전자우편	rich3214@naver.com		국가연구자번호		1107-8703				

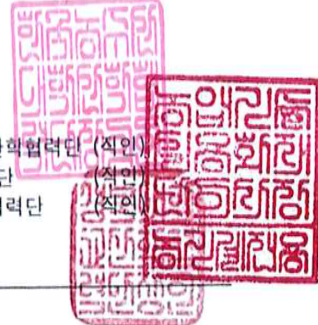
이 최종보고서에 기재된 내용이 사실임을 확인하며, 만약 사실이 아닌 경우 관련 법령 및 규정에 따라 제재처분 등의 불이익도 감수하겠습니다.

2021년 07월 02일

연구책임자: 강 동 현

주관연구개발기관의 장: 한국농수산대학 산학협력단 (직인)
 공동연구개발기관의 장: 농업기술실용화재단 (직인)
 위탁연구개발기관의 장: 경북대학교 산학협력단 (직인)

농림축산식품부장관·농림식품기술기획평가원장 귀하



< 요약 문 >

사업명	1세대 스마트 플랜트팜 산업화기술개발사업			총괄연구개발 식별번호 (해당 시 작성)			
내역사업명 (해당 시 작성)				연구개발과제번호		320094-1	
기술 분류	국가과학기술 표준분류	LB0805	50%	LB0802	30%	LB0204	20%
	농림식품 과학기술분류	RC0102	60%	RC0103	40%		
총괄연구개발명 (해당 시 작성)							
연구개발과제명	표준기반 스마트 온실 자재 성능시험 및 검정기준 개발 연구						
전체 연구개발기간	2020. 07. 03 - 2021. 07. 02(12개월)						
총 연구개발비	총 450,000천원 (정부지원연구개발비: 450,000천원, 기관부담연구개발비 : 0천원, 지방자치단체: 0천원, 그 외 지원금: 0천원)						
연구개발단계	기초[] 응용[0] 개발[] 기타(위 3가지에 해당되지 않는 경우)[]			기술성숙도 (해당 시 기재)		착수시점 기준(0) 종료시점 목표()	
연구개발과제 유형 (해당 시 작성)							
연구개발과제 특성 (해당 시 작성)							
연구개발 목표 및 내용	최종 목표		<ul style="list-style-type: none"> ○ 스마트온실 피복재 등 자재의 성능평가 항목 및 성능 시험방법 개발 ○ 스마트온실 피복자재 검정방법 개발 및 기준 제시 				
	전체 내용		<ul style="list-style-type: none"> ○ 스마트온실 피복자재 성능평가 항목 및 시험방법 개발 ○ 스마트온실 자재 성능 평가 항목 및 시험방법 개발 ○ 스마트온실 피복자재 검정방법 개발 및 기준 제시 				
	목표		<ul style="list-style-type: none"> ○ 스마트온실 피복자재 성능평가 항목 및 시험방법 개발 ○ 스마트온실 자재 성능 평가 항목 및 시험방법 개발 ○ 스마트온실 피복자재 검정방법 개발 및 기준 제시 				
	1단계 (해당 시 작성)		내용	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> 스마트온실 플랜트 자재 성능 평가 항목 및 시험방법 개발 ○ 스마트온실 2차 피복자재의 성능 평가항목 개발 및 시험방법 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 내구성시험, 내후성시험, 촉진복합시험 방법 개발 · 보온성능 영향 : 내구성시험은 유의성 없음, 내후성시험은 유의성 없음, 촉진복합시험은 유의성 있음 - 촉진복합시험활용 보온성능 시험 · 인장시험, 보온율, 열관류율시험 실시결과 보온율 시험만으로 보온자재 성능평가 불가, 열관류율시험 병행 혹은 변경 <input type="checkbox"/> 스마트온실 성능 분석 시험방법 개발 <ul style="list-style-type: none"> ○ 스마트온실의 광환경 및 열적환경 평가방법 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 스마트온실의 광환경 평가방법의 표준화 방안 개발 · 온실의 형태, 자재 등의 위치 차로 광환경의 균일화 곤란 · 환경제어 시 광환경을 고려하여 센서 설치 필요 - 스마트온실의 환기에 따른 열적환경 평가방법의 표준화 방안 개발 · 외부풍속 및 외부온도에 따른 내부 순환팬, 천측창의 개폐 등을 제어할 필요가 있는 것으로 평가됨 ○ 스마트온실의 환경조절장치 성능 평가방법 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 스마트온실의 내부유동팬 성능 평가 방법의 표준화 방안 개발 			

			<ul style="list-style-type: none"> · 내부유동팬 종류에 따른 풍속도달거리는 온실 환경설계기준 (2015)에서 제시한 거리보다 먼거리까지 영향을 미침 확인 · 온실환경설계기준 제정시 활용 요청 예정(농진청) <p>□ 스마트온실 1차 피복자재의 성능 평가에 필요한 추가 항목 개발 및 시험방법 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> - 피복자재(플라스틱필름, 유리온실 등)별 추가 성능평가항목 설정 · 스크린의 열복사 특성은 하루 중 온도 변화에는 큰 영향을 받지 않았고, 투과율은 에너지절감율과 반비례하는 것으로 조사됨 - 피복자재별 보온성, 광학특성 분석 · 일중PE필름과의 조합한 조건에 대한 관류열전달계수도 산정 - 피복 및 차광재 조합에 따른 측정 방법 개발 및 고도화 · 관류열전달계수는 스크린의 두께, 전도도, 방사율에 따라 달라지는 것으로 조사됨 <p>□ 비교용 피복자재 보온율 시험 시스템 구축 및 데이터 수집</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ KS K 0560(천의 보온성 측정 방법) 만족 시험 시스템 구축 · 보온율 측정장치는 열판플레이트, 커버, 제어기, 전원공급장치, 계측장치 등으로 구성하여 구축 ○ KS K 0560(천의 보온성 측정 방법)에 따른 시험수행 및 데이터 수집 · 전문 시험기관 측정 결과비교 : 72%와 약 0.6% 차이 <p>□ 스마트온실 피복자재 검정방법 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> · 보온율 및 열관류율을 활용한 규격 및 성능 설명서, 검정 방법 작성 · 전문가 자문완료 및 검정기준 제정 진행 중 <p>□ 스마트온실 자재 열관류 기준 제시</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 시험결과 간 비교 분석을 통해 스마트온실 자재용 열관류율에 대한 기준 제시 ○ 농식품부, 농진청 등 스마트온실 자재 보급 사업 최소 기준 (보온율→열관류율) 제안
--	--	--	--

연구개발성과	<ul style="list-style-type: none"> - 정책제안 : 보온율 및 열관류율 활용 보온자재 검정기준 - 학술발표 : 온실 보온자재의 보온성능 평가방법 조사 등 4건 - 산업재산권출원 : 챔버형 화학적 및 물리적 변성시험장치
--------	---

연구개발성과 활용계획 및 기대 효과	<ul style="list-style-type: none"> - 스마트온실 자재 검정기준 제정 - 스마트온실 자재 열관류율 및 보온율 활용 제안 - 스마트온실 자재에 대한 시험방법 표준화 추진
---------------------	---

연구개발성과의 비공개여부 및 사유	해당사항 없음
--------------------	---------

연구개발성과의 등록·기탁 건수	논문	특허	보고서 원문	연구 시설·장비	기술 요약 정보	소프트 웨어	표준	생명자원		화합물	신품종	
								생명 정보	생물 자원		정보	실물
		1										
연구시설·장비 종합정보시스템 등록 현황	구입 기관	연구시설·장비명	규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	ZEUS 등록번호			
국문핵심어 (5개 이내)	스마트		온실		열관류율		표준		자재			
영문핵심어 (5개 이내)	Smart		Greenhouse		Heat transfer coefficient		Standard		Material			

〈 목 차 〉

1. 연구개발과제의 개요	1
1절. 연구개발의 필요성	1
2절. 연구개발 대상의 국내·외 현황	2
2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행내용	9
1절. 스마트온실 플랜트 자재 성능 평가 항목 및 시험방법 개발	9
2절. 스마트온실 성능 분석 시험방법 개발	28
3절. 스마트온실 1차 피복자재의 성능 평가에 필요한 추가 항목 개발 및 시험방법 개발	69
4절. 비교용 피복자재 보온율 시험 시스템 구축 및 데이터 수집	88
5절. 스마트온실 피복자재 검정기준 개발	101
6절. 스마트온실 자재 열관류 기준 제시	120
3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도	123
4. 목표 미달 시 원인분석	135
5. 연구개발성과 및 관련 분야에 대한 기여 정도	135
6. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획	135
별첨 자료 (참고 문헌 등)	136

1. 연구개발과제의 개요

1절. 연구개발의 필요성

시설원에 온실면적은 2000년 48,853 ha에서 2016년 53,274 ha로 증가하였으며 이로 인한 시설온실의 대규모화 및 대형화에 따른 온실 내부 환경 균일성 향상이 필요한 실정이다. 국내 시설원에 산업은 생산액 5.7조원으로 전체 농업 생산액 대비 13%를 차지하고 있으며, 국내 전체 농업에서 차지하는 비중이 날로 증가하고 있는 추세이다. 그러나, 생산성은 190 ton/ha로 네덜란드의 63%를 차지하고 있고, 종자비는 경영비의 10~20%를 차지하고 있으며, 규모화, 조직화, 시설 표준화 등의 미비로 인해 안정적인 농가 수익 증대에 애로가 있는 실정이며, 이 중에서도 경영비의 30~40%를 차지하는 과도한 냉난방비 부담을 해소하기 위한 정책적, 기술적 관심이 증가하고 있다.

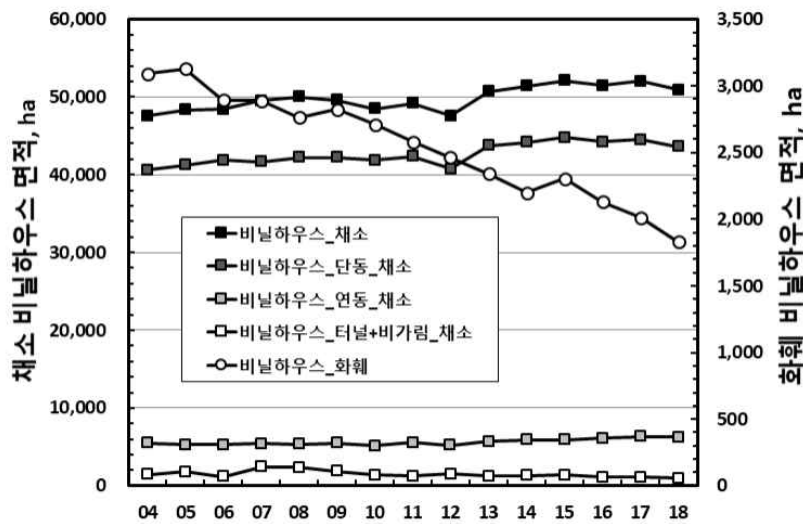


그림 1-1-1. 연도별, 온실 형태별 면적

이러한 시설온실의 냉난방비의 절감을 위한 대표적인 시도의 하나는 대체 열저장소 (태양열, 지중열, 온배수 등)를 효과적으로 활용한 열교환 장치에 의존하는 방법 (강 등, 2007; 유 등 2008; 강 등, 2013)이 제시되었으며, 다겹보온재, 환기, 국부 냉/난방 등을 병용하여 2022년 40~60%의 난방비 절감을 목표로 (2015~2017, 농촌진흥청 국립원예특작과학원) 농업에너지 절감 패키지 기술이 보급 중이다. 이러한 가운데 ICT 융복합 기술 도입으로 산출된 다양한 기존의 시설온실 냉난방 제어시스템의 한계 (단동별 1~2 식 내외의 계측 센서)로 인해 냉난방비와 직결되는 “최대/기간 난방부하”, “난방 디그리아워”, “냉방부하”, “가습환기 그래프” 산출에 필수적인 시설온실 내부 환경의 온도, 습도, 광 투과량 등에 대한 공간적인 정밀성 확보가 불가능하여 우수한 선행 기술의 효과적인 현장 보급에 애로가 있다. 난방부하의 요인이 되는 온실의 열손실량은 피복재를 통한 관류열손실량, 온실 표면의 틈새를 통한 환기전열손실량 및 실내공기와 토양과의 열교환에 의한 지중전열손실량의 합으로 계산되지만, 이 중 관류열손실량은 전체 열손실량의 60~100%정도로 대부분을 차지하고 있어 난방부하량을 산정하는데 가장 중요한 요소이다. 관류열손실량은 일반적으로 관류열전달계수와 온실 내외부 온도차의 곱으로 구해지고, 관류열전달계수는 외부기온, 풍속 및 천공상태 등의 기상조건, 피복재의 표면상태, 피복재 내외부 표면의 대류열전달 방식, 장파복사열교환량, 틈새환기량, 피복면적, 온실형태, 온실바닥면적, 보온커튼의 유무 등에 따라 달라지며, 이 값은 열전도계수, 피복재 내외부의 대류열전달계수 및 장파복사열전달계수의 향으로 구성되어 있다(Papadakis 등, 2000).

현재, 국내에서 사용되고 있는 피복재 종류, 피복방법 및 보온방법에 따른 관류열전달계수

(난방부하계수) 및 에너지 절감율은 일본에서 연구된 결과 값(일본시설원에협회, 1979)을 그대로 적용하고 있다. 그러나 관류열전달계수는 실험할 때의 환경조건과 피복재의 열복사 특성에 따라 달라지기 때문에 동일한 종류의 피복재에 대해서도 연구자에 따라 다른 값을 제시하거나 사용하고 있다(Abdel-Ghany와 Kozai, 2006). 특히 기본소재가 동일하더라도 첨가물에 따라 열전달 특성이 달라지는 피복재 및 보온재의 특성에 맞는 관류열전달계수가 제시될 필요가 있다(Seginer 등, 1988). 국내에서는 표준화된 관류열전달계수 측정시스템 및 측정기준의 부재로 최근 개발되어 상용화된 피복재와 보온재에 대한 관류열전달 특성을 객관적으로 비교할 수 있는 통일된 정량적 기준이 마련되어 있지 않다. 따라서 국내 환경에 적합한 표준화된 피복재 및 보온재의 관류열전달계수 측정시스템과 측정방법 및 기준의 개발이 필요하다. 스마트온실에 사용되고 있는 자재는 크게 플랜트 자재 및 환경조절장치, 복합환경제어시스템, 재배시스템 등으로 구분할 수 있으며, 복합환경제어시스템에 사용되는 계측센서와 통신모듈에 대한 표준화가 진행되고 있으나, 플랜트 자재 및 환경조절장치에 사용되는 자재의 성능을 평가하거나 표준화에 대한 연구가 미비한 수준이다.

또한, 자동화를 위한 센서 기술은 대기 온도, 습도, 지하부 온도 및 수분, 일사량 센서 등 다양한 센서가 산업화되었으며, 시설재배 환경 모니터링 시스템, 환경 데이터 베이스 및 웹 서버를 이용한 자료 분석, 실시간 정보 제공 기술, 농작물 재배환경 자동 제어 기술 등 유비쿼터스 센서 네트워크(Ubiquitous Sensor Network; USN) 기술은 실용화가 진행되고 있으나, 농업용으로 활용되는 센서에 대한 검정기준이 미비한 것 또한 현실이다.

따라서, 스마트온실 구축 시 농가에서 자재를 객관적으로 선택할 수 있는 기준이 부족하며, 자재에 대한 성능을 객관적으로 평가할 수 있는 방법이 없는 관계로 업체별로 농가 경험에 의존하여 불확실한 자재 성능 등을 사용하고 있다. 또한 스마트온실 보급과 K팜 수출에 있어 한계가 존재하고 있다. 이를 위해 국내 K팜 자재의 국내보급과 수출을 위하여 피복자재, 유동팬 등 내부 자재 성능을 시험, 평가, 검정할 객관적인 지표가 필요하여 본 연구를 실시하였다.

2절. 연구개발 대상의 국내·외 현황

가. 국내 기술 수준 및 시장 현황

1) 기술현황

이 등(2014)은 온실 피복재와 보온재에 대한 관류열전달 특성을 객관적으로 비교할 수 있는 통일된 정량적 기준을 마련하고자 온실 피복재 및 보온재의 관류열전달계수 측정시스템을 개발하였다. 전 등은 2007년 “기능성 연질필름 온실의 미기상”에서 필름의 종류에 따른 보온성능을 온도로 측정하여 비교분석하였으며, 2008년 “단동온실의 내 외층 피복자재 조합별 미기상 분석”에서 일중 및 이중피복의 종류별 보온특성을 온도변화로 측정하여 비교분석을 하였다. 신 등(2007)은 “필름 두께 및 적외선 흡수율 차이가 참외의 품질 및 수량에 미치는 영향”에서 피복재의 보온성능을 온도 및 생육특성을 조사하여 비교 분석하였고, 이 등은 2007년 “다겹보온자재의 보온성 비교 및 커튼개폐장치 개발”에서 폴리폼, 화학솜, 부직포의 단일소재 보온재와 다겹보온자재의 보온효과를 관류열량을 측정하여 비교·분석하였으며, 2011년 “플라스틱 피복재의 관류열전달계수 변화”에서 실제 일중피복 및 이중피복 플라스틱온실에 대한 관류열전달계수를 측정하였다. 장 등(1996)은 “시설하우스용 보온커튼재의 물리적 특성에 관한 연구”에서 보온재의 물리적 성질과 함께 폴리프로필렌과 폴리에스터의 보온성능을 열량으로 측정하여 비교·분석하였으며, 김 등(2007)은 “알루미늄 반사재의 배치 형태에 따른 보온 효과”에서 알루미늄 반사단열재의 배치방법에 따라 보온성이 어떻게 달라지는가를 온도변화로 측정하여 분석하였다. 김 등(2009)은 “보온단열재의 설치방법에 따른 보온성 효과 분석”에서 보온 단열재의 색깔, 방향, 구성재료 등의 영향을 분석하기 위하여 온도변화를 측정하여 분석하였

고, 정 등(2009)은 “시설원예용 조합형 다겹보온자재의 보온 특성”에서 단일 보온재와 조합형 다겹보온자재의 보온특성을 온도로 측정하여 비교·분석하였다.

관류열전달계수 측정과 관련된 연구는 이 등(2011)이 시도하였으나 외부 환경변화가 큰 실제 온실에서 측정된 값이기 때문에 피복재 및 보온재별 정확한 관류열전달계수를 구명한 연구 사례는 거의 없다. 온실 피복재와 관련된 관류열전달계수와 관련하여 이 등(2012)은 모든 피복방식에 대해 야간복사 차단장치 유무에 관계없이 높은 풍속에서의 관류열전달계수가 낮은 풍속에서보다 더 큰 것으로 분석하였으며 온실환경관리를 위한 설계와 관련하여 강 등(2015)은 광, 냉난방, 환기, 재배시스템 등에 대한 설계기준에 대한 연구를 수행한 바 있다.

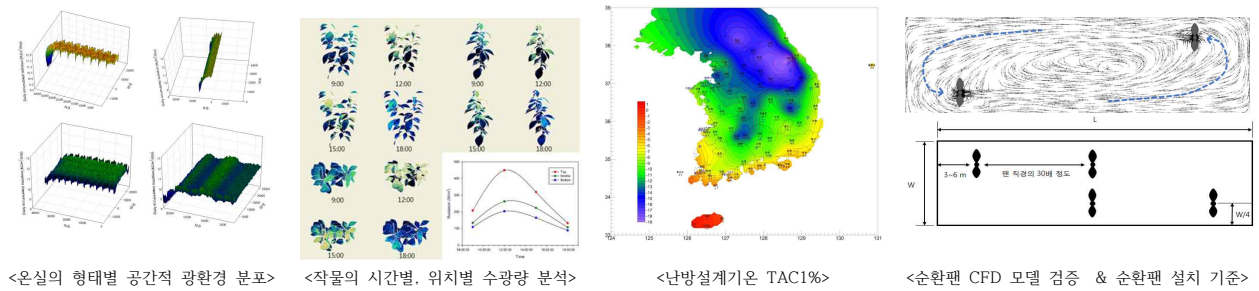


그림 1-2-1. 온실 환경설계기준

온실내부 환경개선을 위하여 이 등(2018)은 풍향가변이 가능한 순환팬을 이용할 경우 단동 온실은 14.2%, 연동온실은 5~8.8%의 에너지 절감효과가 있는 것으로 분석하였다. 고온기 온실 온도 강하가 44℃에서 37.6℃로 최대 6.4℃ 차이가 나타났고 동절기 난방 시 온습도 균일화는 온도차 1.0℃, 습도 3.0% 이내로 균일화되었으며, 방울토마토 초기 수확량 증수가 3,720kg 에서 4,036kg로 8.5% 증가하였다고 한다.

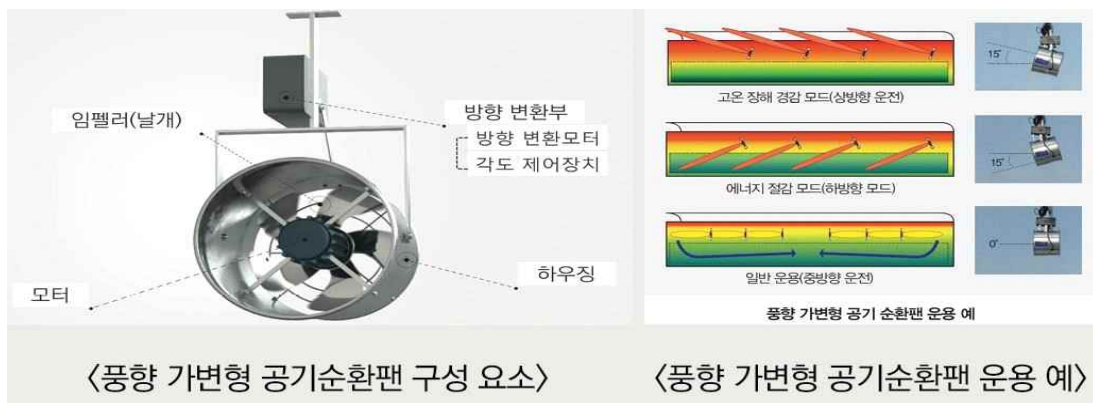


그림 1-2-2. 풍향가변형 공기순환팬

2) 시장현황

국내 농업시설은 보온방법별 시설채소 재배용 연동온실의 면적이 2010년 5,938ha에서 2014년 6,916ha로 증가하였고, 보온시설관련 시장규모는 연간 1.3조원으로 추정되고 있다. 농업시설 증가와 함께 보온에 대한 필요성 증가에 따라 부직포 및 다겹보온 커튼에 대한 이용 면적 중에 따른 커튼 제작 및 설치 업체 증가 추세로 시장은 꾸준히 증가하고 있다.

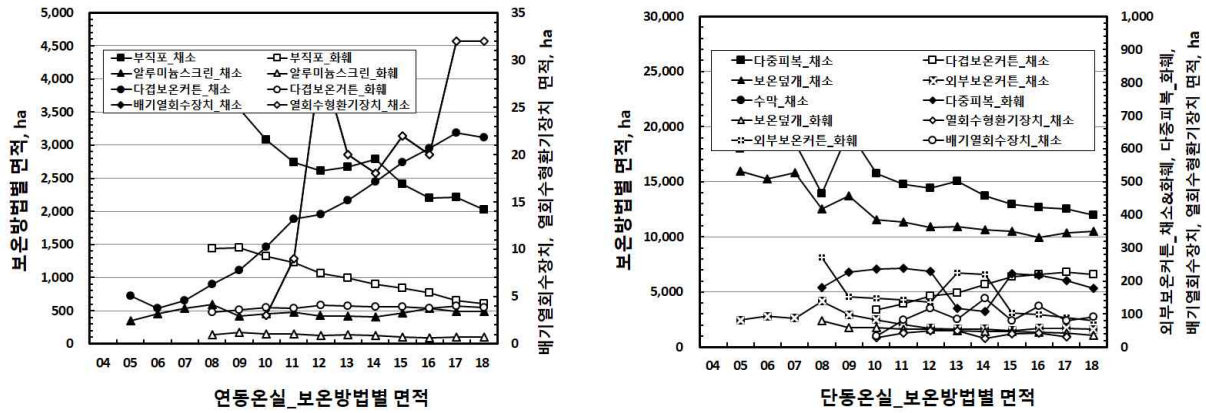


그림 1-2-3. 온실 유형별, 보온방법별 면적

농업인구의 고령화 등 구조적인 문제로 인해 농업에 대한 투자위축 우려로 농업시장의 성장 및 발전이 정체되는 현상이 발생하고 있으나 4차 산업혁명의 주요기술과 최신 공학기술을 농업에 접목한 스마트팜은 농업의 지능화, 정보화 등을 통해 농업생산설비의 효율성 향상을 도모할 수 있으며, 농업시장의 성장 및 발전을 이루어낼 수 있는 혁신적인 대안이 될 수 있다. 농림축산식품부는 '22년까지 시설원예, 축산, 노지 등으로 분류하여 보급목표를 산정하였으며, 시설원예분야는 첨단수출형, 연동복합형, 단동간편형으로 구분하여 목표를 산정하였다.

3) 경쟁기관현황

국내 온실용 보온커튼을 제작하는 약 80여개 업체에서 생산하고 있으며, 한국농기계공업협동조합에서 다겹보온커튼, 알루미늄스크린 등 보온을 측정하여 보온을 측정 시험성적서 발급 및 품질보증서 발급하고 국내에 보급되고 있다

4) 지식재산권현황

알루미늄 다겹 보온 커튼(1016836070000, 2016.12.01.)은 알루미늄 다겹 보온 커튼에 관한 것으로, 알루미늄 표면에 부직포를 붙여 광반사를 차단하므로 열에 의해 비닐이 녹는 현상을 방지할 수 있음과 함께 외부로부터 내려오는 찬 공기도 막을 수 있어 완벽한 난방과 냉방 효과를 얻을 수 있도록 한 것이다. 다층 박막을 이용한 단열재(1014437780000, 2014.09.17.)는 다층 박막을 이용한 단열재에 관한 것으로, 열전도도가 낮은 플라스틱 필름과 내부의 공기층 형성을 위한 플라스틱 재질의 망사를 교호하여 다층으로 적층하고, 태양광이 직면하는 최상부에는 부직포를 적층하여 단열재를 형성함으로써, 가벼우면서도 단열 효과를 높이고 작업시 편리성을 도모해주며, 태양의 복사열을 차단하고 내부의 열이 외부로 방출되는 것을 방지함으로써, 비닐하우스의 보온 효과를 높일 수 있으며, 비닐하우스의 보온 효과를 상승시킨다. 다겹 보온커튼 및 그 제조방법(1019003310000, 2018.09.13.)은 발수성과 발열성을 동시에 갖는 융합형 다겹 보온커튼을 제공하기 위한 것으로, 표면에 실리콘 코팅층과 탄소나노복합체 코팅층이 형성된 폴리에스테르 단섬유와 폴리카보실란을 용융 방사해서 얻은 섬유를 불용화한 후 1300~1400℃에서 열처리한 실리콘 카바이드 단섬유를 80:20 혹은 50:50의 중량비로 혼섬한 후 절단하여 웹을 형성하고, 이를 니들펀칭하여 형성된 패딩(padding)용 보온재를 폴리에틸렌 테레프타레이트(Polyethylene terephthalate)나 폴리프로필렌(Polypropylen) 중 어느 하나로 각각 이루어진 겉감과 안감 사이에 넣고 상기 겉감과 상기 보온재 및 상기 안감을 일정한 간격을 두고 열융착하여 형성된 다겹 보온커튼이다.

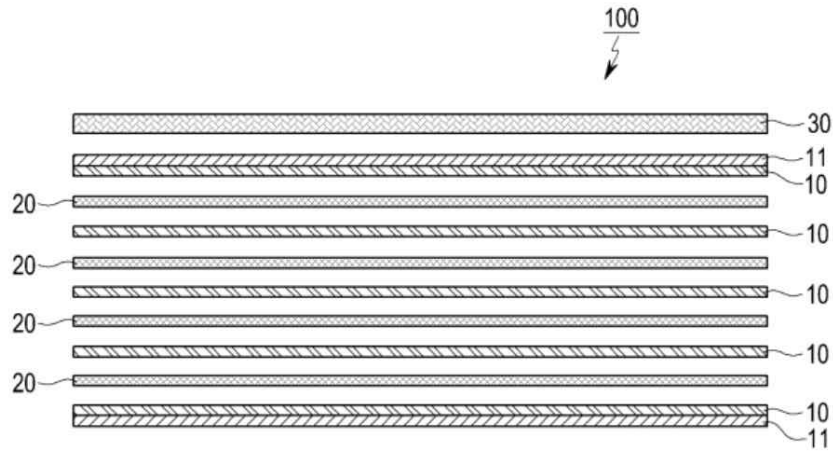


그림 1-2-4. 다층 박막을 이용한 단열재

풍향 가변형 공기순환팬 및 이를 포함하는 시스템(1018457060000, 2018.2.28.)은 순환팬의 풍향을 내부 기온에 따라 상하 15° 제어되도록 제어기를 구비하고, 내부온도가 높을 경우 공기를 배출하기 위하여 상부로, 내부온도가 낮을 경우 상부의 공기를 하부로 내려주기 위하여 하부로, 적정온도일 경우는 수평으로 제어하여 내부공기를 유동시켜 에너지를 절감하는 시스템이다.

5) 표준화현황

농림축산식품부에서 시행하는 ‘농업에너지이용효율화사업’에서의 항온법 기준으로 부직포는 5겹 이상의 보온자재로 70% 이상의 보온율, 알루미늄 스크린은 5겹이상의 보온자재 및 55% 이상의 보온율, 알루미늄 스크린은 42% 이상의 보온율 지정 이외의 표준화는 진행되고 있지 않다.

ICT 기기 표준화는 2016년 단체표준, 2018년 국가표준, 2020년 국제표준으로 진행되었으며 스마트 온실용·축사용 기기 49종(센서 13, 구동기 9, 복합장비 3 등)은 2018년에 단체표준으로 제정되었고 스마트 온실용 ICT 기기 22종 국가표준(KS)(센서 13, 제어기 9)으로 2018년에 제정되었다.

제어기	센서	복합기	
천창, 측창, 보온재, 커튼, 환풍기, 유동팬, 관수모터, 관수밸브, 냉난방기	온도, 습도, CO ₂ , 일사량, 풍향, 풍속, 감우, 광량, 토양수분, 토양장력, 토양EC, 토양pH, 지온	양액기, CO ₂ 발생기	스마트 영상장치
(TTAK,KO-10,0845) (9종, 2015.12.)	(TTAK,KO-10,0903) (13종, 2016.6.)	(TTAK,KO-10,0944) (2종, 2016.12.)	(TTAK,KO-10,0945) (1종, 2016.12.)

그림 1-2-5. 표준화 현황

나. 국외 기술 수준 및 시장현황

1) 기술현황

Albright(1985)는 “In situ thermal calibration of unventilated greenhouse”에서 환기를 실시하지 않은 일중피복온실의 피복재 관류열전달계수를 시뮬레이션으로 실시하여 분석하였다. Garzoli(1987)는 “An analysis of the nocturnal heat loss from a double skin plastic greenhouse”에서 시뮬레이션을 실시하여 이중피복 플라스틱 온실의 피복재 관류열전달계수를 산정하였다. Seginer(1988)는 “Transfer coefficients of several polyethylene greenhouse

covers”에서 일중피복과 공기주입이중피복에 대해 첨가물 유무에 따른 관류열전달계수 변화를 시뮬레이션을 실시하여 분석하였다. Kittas(1994)는 “Overall heat transfer coefficient of a greenhouse cover”에서 시뮬레이션을 실시하여 여러 가지 환경조건에 따른 피복재의 관류열전달계수의 변화를 분석하였다. Feuilloley(1996)는 “Greenhouse covering materials measurement and modeling of thermal properties using the hot box method, and condensation effects”에서 표준화되지 않은 핫박스를 이용하여 외부환경에서 PE필름과 유리의 관류열전달계수를 측정하고 분석하였다. Papadakis(2000)는 “Radiometric and thermal properties of, and testing methods for, greenhouse covering materials”에서 관류열전달계수 측정방법에 대하여 기술하고 실험실에서 핫박스 방법으로 구한 피복재의 관류열전달계수는 동일한 재료로 피복된 온실에서의 관류열전달계수와 다르며, 이것은 온실의 열관류 전달특성이 피복재 종류, 온실형태, 온실종류, 크기 그리고 기온, 풍속, 천공온도와 같은 기상조건에 따라 달라진다고 하였다. Abdel-Ghany(2006)는 “On the determination of the overall heat transmission coefficient and soil heat flux for a cooled, naturally ventilated greenhouse”에서 온실피복재의 복사 및 대류열전달 관계를 시뮬레이션을 실시하여 분석하였다. Huseyin(2005)는 “Experimental determination of the overall heat loss coefficient for energy requirement of greenhouse heating”에서 모형온실 실험을 실시하여 스크린 유무에 따른 관류열손실계수 변화를 분석하였다. Geoola(2009) 등은 “A study of the overall heat transfer coefficient of greenhouse cladding materials with thermal screens using the hot box”에서 보온커튼의 유무에 따른 온실피복재의 관류열전달계수를 분석하였다. 피복재의 보온특성과 관련하여 많은 연구들이 수행되었으며, 특히 국내 연구에서는 거의 수행되지 않았던 피복재의 관류열전달계수 결정과 관련된 많은 연구들이 실험 및 시뮬레이션을 통해 수행되었다. 보온재의 보온특성을 분석하기 위하여 보온재의 종류 및 설치유무에 따른 관류열전달계수를 산정하여 비교 분석한 연구가 수행된 바 있으나, 실험조건에 차이가 있어 상대적으로 비교하기에 어려움이 있다. 연구 결과들을 분석한 결과는 표와 같이 많은 차이를 보여 주었으며, 이는 실험 및 분석 조건의 차이에 의한 것으로 판단된다. Xi et. al.(2015)는 온실내부 공간을 12구역으로 나눈 후 시계열 온도 정보만을 바탕으로 국부 환기 모델을 개발하였으며, 작물(딸기)의 생산량으로 검증한 연구를 수행하였고 일본의 경우 난방, 냉방, 제습 등의 복합적 환경 모니터링 기술을 기반으로 에너지 절감을 위한 환경 조절 연구가 꾸준히 수행되었다(Oguni, 1982; Hayashi 등, 1983; Sase 등, 2009).

표 1-2-1. PE필름 온실의 피복재 관류열전달계수

		(W·m-2·K-1)							
피복방법	Papadakis etc.(2000)	Seginer etc. (1988)		Nijjskens etc. (1984)		Minagawa and Tachibana(1982)		Japan protected horticulture association (1994)	ASABE (2008)
		일반 필름	첨가제	맑은날	흐린날	맑은날	흐린날		
일중피복	6~8	10	9.5	9.0	7.2	8.4	7.2	6.8	6.2
이중피복	4.2~6.0	7.3	6.9	6.4	4.8	-	-	4.1	4.0

2) 시장현황

국외 세계시장 규모는 연간 13조원(100,000(ha)×10,000(m²)×13,000원/m²)으로 추정되고 이 중 농업시설면적은 중국 3,900천ha, 스페인 55천ha, 한국 5.2천ha 등으로 투입 에너지 절

감을 위하여 보온커튼에 대한 수요는 크게 증가할 것으로 사료된다.

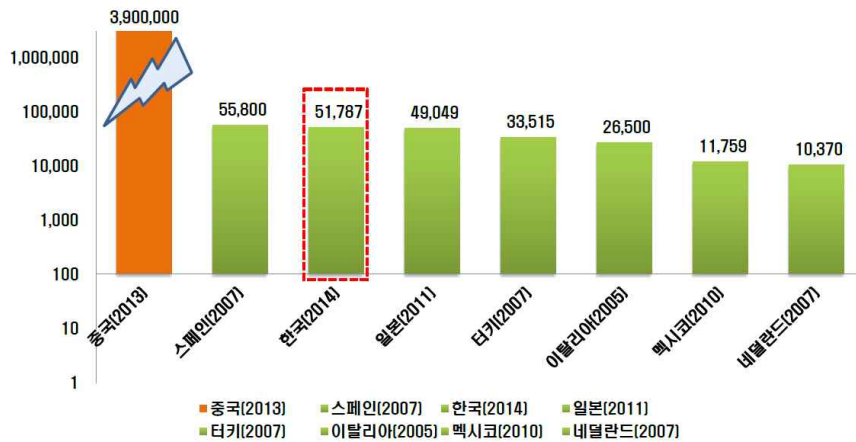


그림 1-2-6. 국가별 온실 면적

세계 스마트팜 시장 전망 결과, 2022년 시장규모는 약 4,080억 달러로 2016년부터 2022년 까지 연평균 약 16.4%정도 성장률로 지속적인 증가가 예상된다.

(단위 : 십억 달러, %)

연도	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	CAGR
세계시장	196	221	250	283	320	362	408	16.4

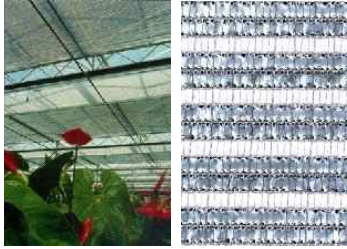



* 출처 : 중소기업전략로드맵



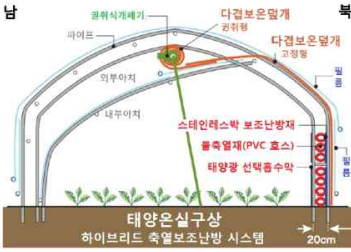
그림 1-2-7. 스마트팜 시장 전망

3) 경쟁기관 현황

보온 및 차광커튼은 다양한 형태와 조합으로 제작되고 있으며, 대표적인 제품과 형태는 표와 같이 정리된다.

표 1-2-2. 보온 및 차광커튼 현황

시설명 (국가)	보온커튼 시스템	자재(방식)	회사
Gintec's retractable thermal screen systems (미국)		알루미늄 스크린 (예인식 Shading)	Gintec Shade Technologies 
Roll-up system (네덜란드)		알루미늄 스크린 (말아올림식, 예인식)	Ridder 

<p>Green Warm and Heating system (중국)</p>		<p>보온용 필름 (단동용 말아올림식)</p>	<p>Beijing Sanlicom Technology Co., Ltd.</p> 
<p>일광온실 (일본형)</p>		<p>다겹보온덮개, 보온용 필름 (말아올림식)</p>	<p>사토산업</p>

4) 지식재산권현황

특허출원 건수는 미세한 증감을 반복하고, 2013년 피크 이후, 2014년도 가장 많은 출원이 되고 있으며, 식물공장에 의한 증가일 가능성은 있지만, 농업 현장에의 IoT 활용 촉진으로 스마트팜 기기 관련 출원이 급증할 전망이다.

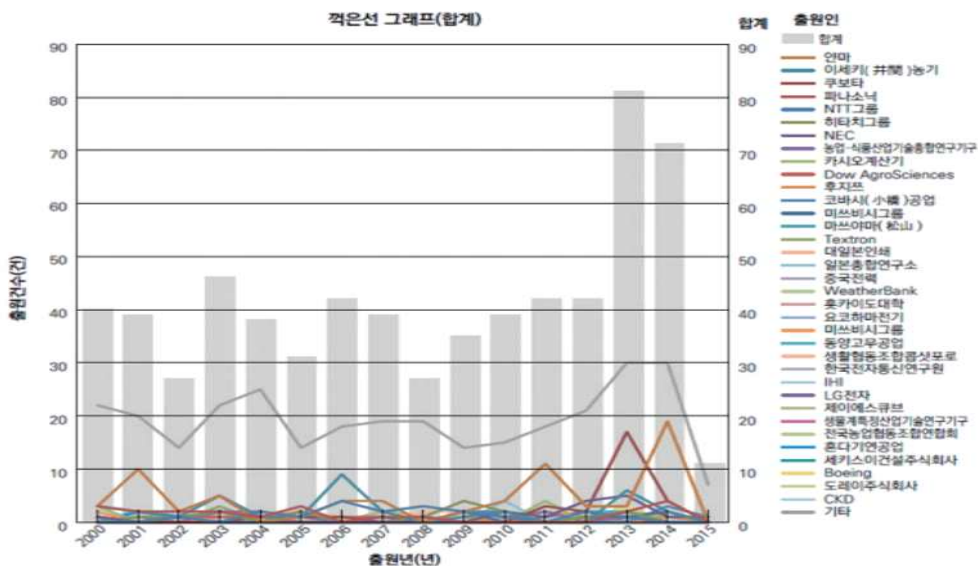


그림 1-2-8. 스마트팜 관련 특허출원 현황

5) 표준화현황

농업기계, 자재 등에 대한 전반에 걸쳐 표준화는 ISO를 중심으로 추진되고 있다. ISO (International Organization for Standardization)에서는 ISO65-시리즈 표준을 통하여 농장 구조물, 농업 기기, 양봉 등 농업의 전반적인 분야에 대한 표준 기술을 확보하고 있다. ICT와 관련된 스마트농업 분야 국제표준화는 ITU-T를 통해 추진되고 있다. 농업과 ICT 기술이 융합된 스마트농업과 관련된 분야의 국제표준화는 ITU-T SG13(Future Network & Cloud)과 SG20(loT and applications, smart cites)에서 담당하고 있고 스마트농업 프로세스에 따라, 스마트농업을 3단계로 구분된 참조 모델표준이 ITU-T SG13에서 2015년도에 제정되었으며 스마트농업의 생산 단계, 생산 후 단계에 대한 요구사항 정의와 시설원에 프레임워크에 대한 국제 표준을 ITU-T SG20에서 국내 주도로 개발 중이다.

2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용

본연구는 온실피복자재의 성능시험 및 검정기준을 개발하기 위하여 수행하였다. 본연구는 세 개의 연구기관에서 수행하였다. 주관연구기관인 한국농수산대학에서는 스마트 온실 플랜트 자재인 다겹보온커튼과 차광자재의 성능시험을 위한 평가항목 및 시험방법 개발, 성능시험 마련을 통한 검정 조건에 대한 연구를 수행하였고, 위탁연구기관인 경북대학교에서는 1차피복자재의 성능 평가에 필요한 추가항목에 대한 연구를 수행하였으며, 공동연구기관인 농업기술실용화재단에서는 피복자재에 대한 검정기준을 제정하기 위한 연구를 수행하였다.

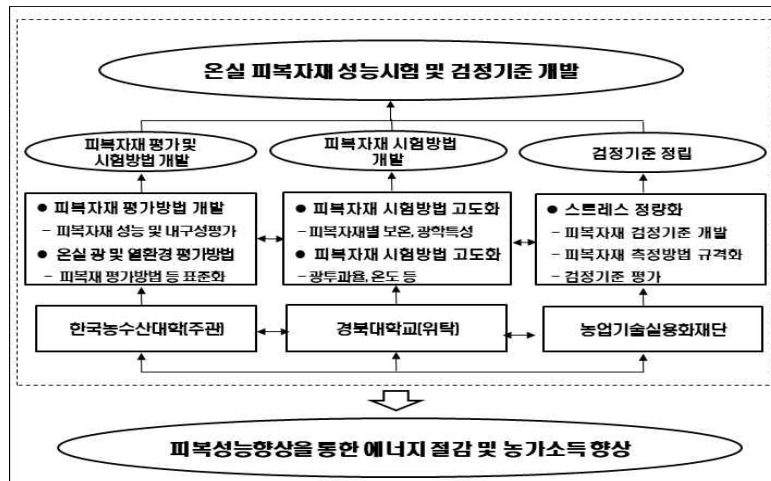


그림 2. 각 기관별 연구내용

1절 스마트온실 플랜트 자재 성능 평가 항목 및 시험방법 개발

1. 보온자재 및 차광자재의 내구성 평가방법 개발

가. 예인식 및 권취식 보온자재에 대한 자동 열림, 닫힘 설정 장치 개발

현재 보온자재의 성능 평가는 앞서 언급한 KS K 0560 천의 보온율을 이용한 보온성능 평가로만 진행되고 있어 보온자재별 사용 기간에 내구성 및 보온성능을 분석하는 방법은 없는 자재의 교체 시기 결정에 어려움이 있다. 따라서 농가에서 사용하는 개폐 방식인 예인식과 권취식의 축진 내구성 시험장치를 제작하여 물리적으로 보온자재 및 차광자재를 노후화하고 이를 인장시험을 통해 내구성 평가방법 및 보온성능 평가방법을 개발하여 사용 기간에 따른 내구성 및 보온성능을 평가하고자 하였다.

1) 축진 내구성 시험장치

예인식의 내구성 시험장치는 수평으로 110 cm 이동하면서 자동으로 열림과 닫힘이 가능하도록 시험장치를 제작하였다. 예인식의 내구성 장치와 그 제원은 그림 2-1-1, 표 2-1-1과 같다. 시험장치는 최대허용 전류 3.5 A, 토크 6 kg·m, 회전수 3.3 rpm의 사양을 가진 직류 24V 온실 자동개폐기(WSM-4035, Woosung Hitec Co.,Ltd, Korea), 지름 3.5 cm 파이프 1개를 리미트 스위치 2개, 40X40 프로파일, 제어반(전원공급장치, 마이크로 컨트롤러, 릴레이 등으로 구성)을 이용하여 구성하였다.



그림 2-1-1. 예인식 축진 내구성 시험장치

표 2-1-1. 예인식 내구성 시험장치 제원

항목		제원
Electric supply		DC 24 V
Limit Range(No.of Turns)		35
Normal Operation Condition	Input Current	2.6 A
	Torque	4 kg·m
	RPM	3.5 rpm
Maximum Operation Condition	Input Current	3.5 A
	Torque	6 kg·m
	RPM	3.3 rpm

권취식의 내구성 시험장치는 상단의 파이프에 보온자재가 파이프에 감기는 방식으로 상하 이동으로 열림과 닫힘을 반복하는 방식으로 그림 2-1-2와 같이 330cm X 60 cm X 160 cm 로 제작하였다. 구성은 예인식과 유사하지만, 온실 자동개폐기와 지름 3.5 cm 파이프 2개를 사용한 것이 차이가 있으며 상하로 110 cm 구간에서 열림과 닫힘을 반복한다.



그림 2-1-2. 권취식 축진 내구성 시험장치

2) 내구성 시험

보온자재의 경우 축진 내구성 시험에서는 권취식과 예인식 내구성 평가 시험을 수행하였고 축진 내구성 시험과 복합 축진시험에는 권취식으로만 시험하였다. 보온자재의 내구성 평가방법은 11경부터 3월까지 겨울 작기인 5개월 동안 보온한다는 가정하에 총 150일 왕복을 1년으로 산정하여 시험을 실시하였다. 이러한 가정하에 3년(450회 왕복), 5년 (750회 왕복), 7년 (1050회 왕복) 개폐를 수행하여 시험을 실시하였다.

차광자재는 온실 상부에 설치되어 예인식으로 작동하는 방식에 따라 예인식 만 내구성 수행 평가를 하였으며, 4월부터 11월까지 약 8개월 차광한다는 가정하에 240회 왕복 개폐를 1년으

로 하였으며, 3년(720회 왕복), 5년(1200회 왕복), 7년(1680회 왕복) 개폐를 수행하였다.

나. 보온 성능시험 및 내구 성능시험: 보온 및 차광자재의 인장강도 및 보온력 비교시험

1) 온실 보온자재의 보온성능 시험장치 및 시험방법

윤 등(2019)에 의하면 보온자재의 개폐 방식과 온습도, 광 환경에 의해 사용 기간에 따른 내구성 및 보온성이 달라지지만 오랜 기간 보온자재를 사용했음에도 불구하고 보온성 및 교체 기간 등의 설정을 이해 접근하는 연구는 미미하다고 보고하였다. 현재 국내의 보온자재의 보온성능 평가방법은 한국농기계협동조합에서 보온자재의 성능검증에 사용하는 항온법 즉 KS K 0560 천의 보온율 측정 방법과 최근 20년간의 온실 보온자재 보온성능 분석에 사용된 Hotbox 를 이용한 열전달계수(열관류율)를 측정하여 보온성능을 분석하는 방식이 있다.

가) 항온법 : KS K 0560 천의 보온율을 이용한 보온성능 평가

보온성능시험은 보온성능시험기를 이용하는 것으로 시험체를 통과하는 열량을 측정하고, 시험 양면의 온도 차를 측정하여 열전도율을 하는 것으로 36.5℃를 기준으로 한 평평한 가열 시험판에 올려놓은 시료를 통과해서 방출되는 발열량을 소비전력으로 측정하여 보온성능을 평가하는 방식이다. 시험방법은 다음과 같다.

(1) 시험장치

시험장치는 그림 2-1-3과 같이 소비전력, 시험체 상부의 평균온도, 시험판의 평균을 측정하고 이를 이용하여 PC를 통해 열관류저항($^{\circ}\text{C}\cdot\text{hr}\cdot\text{m}^2/\text{kcal}$), 열전달 계수 ($\text{W}/\text{m}^2\cdot^{\circ}\text{C}$), 보온율 (%) 등을 계산할 수 있는 장치로 공동연구기관인 농업기술실용화재단에서 제작한 장비를 활용하였다. 시험장치의 구성은 가열판, 시험판, 보호판, 밀판으로 구성되어 있다. 가열판은 시험판, 보호판을 총칭하는 것으로 시험판에서 열이 평면과 직각 방향으로만 이동하도록 시험판을 보호판이 둘러싸고 밀판이 보호판 밑에서 받치고 있으며, 33 ~ 36 °C의 온도를 유지한다.

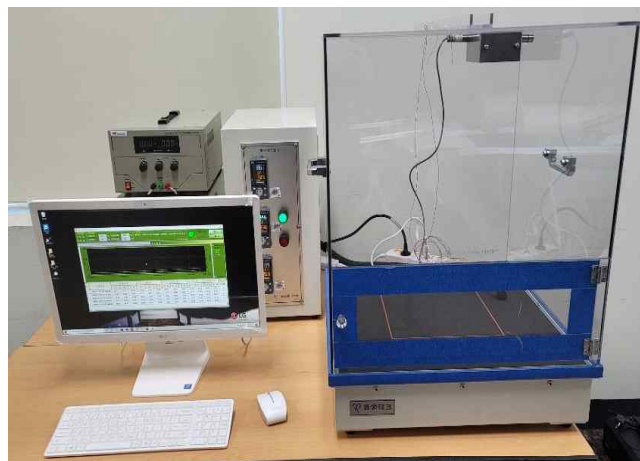


그림 2-1-3. 보온성능 시험기

시험판은 가열판의 중심에 있으며, 재질은 구리판 또는 알루미늄판으로 구성되어 있으며, 보호판은 시험판을 감싸는 역할을 하며 시험판과 보호판 사이에는 코르크 또는 단열물질을 3mm 두께만큼 끼워 시험판에서 열이 수평 방향으로 이동하지 않도록 한다. 마지막으로 밀판은 시험판과 보호판과 평행해야 하며 최소 25 mm, 최대 76 mm 거리를 두어야 한다.

(2) 시편준비

시편은 두께 총 50 mm를 넘지 않아야 하며, 고유 열전달계수가 (0.7~14) W/m²·K의 범위 내에 있어야 한다. 시편의 크기는 510 mm × 510 mm 로 한다. 시편의 컨디셔닝은 가열판 공간 안의 공기 상태와 시험편의 수분 상태가 균형이 된 후에 측정한다.

(3) 시험방법

- ① 시편의 두께는 KS K 0506, ASTM D 1777에 의거하여 측정한다.
- ② 시편을 시험판과 보호판을 충분히 덮을 수 있도록 재단하여 가열판 위에 펼쳐 놓고 주름이 없이 밀착되도록 시편을 설치한다.
- ③ 가열판은 35℃가 되도록 예열하고, 공기와 수분의 상태는 평형상태가 되도록 하고, 온도는 ± 0.5 ℃ 이상 변화가 생기면 않아야 한다. 평균온도 또한 30분 동안 ± 0.05 ℃ 이상 변화가 없어야 한다.
- ④ 시험판온도, 시험판 소비전력, 공기온도, 보호판 온도 및 밀판 온도를 3분마다 기록한다.
- ⑤ 3개의 시편을 이용하여 위의 ①에서 ④과정을 반복적으로 수행하고 아래 (4)의 계산식을 이용하여 열관류저항(℃·hr·m²/kcal), 열전달 계수 (W/m²·℃) 등을 구하고 보온율 (%)을 계산하여 평균값으로 보온성능을 평가한다.

(4) 계산식

- ① 혼합 열전달 계수(V₁)

$$V_1 = \frac{P}{A \times (T_p - T_a)} \quad (1)$$

여기에서

P : 시험판이 소비한 전력 (W)

A : 시험판의 면적 (m²)

T_p : 시험판의 온도 (℃)

T_a : 공기의 온도 (℃)

- ② 시험판의 열전달 계수(V_{bp})

$$V_{bp} = \frac{P}{A \times (T_p - T_a)} \quad (2)$$

- ③ 보온율(T_{ir})

$$T_{ir} = \left(1 - \frac{a_2}{a_1}\right) \times 100 \quad (3)$$

여기에서

T_{ir} : 보온율 (%)

a₁ : 발열체에 시편이 없을 때의 방열량(cal/m²/s 또는 W/m²)

a₂ : 발열체에 시편을 부착하였을 때의 방열량(cal/m²/s 또는 W/m²)

④ 방열량(a)

$$a = \frac{I \times V \times \frac{T_1}{T_2}}{A} \quad (4)$$

여기에서

- a : 방열량 (W/m^2)
- A : 시험판의 면적 (m^2)
- I : 발열체에 공급된 전류 (A)
- V : 발열체에 공급된 전압 (V)
- T_1 : 발열체에 전력이 공급된 시간(s)
- T_2 : 전체 측정시간 (s)

나) Hot Box를 이용한 보온성능 평가

최근 20년의 온실 보온자재의 보온성능평가 연구는 이 등(2007), 진 등(2018, 2019), 윤 (2019) 등은 Feuilley and Issanchou(1996)가 사용한 Hotbox(그림 2-1-4)를 응용하여 보온 자재의 열 전달계수를 측정 후 보온성능을 분석하는 방식이며, Diop, Souleymane 등(2012), 이 등(2014) 등은 ASTM C 236-89의 Hotbox(그림 2-1-5)와 Feuilley and Issanchou(1996)가 사용한 hotbox를 같이 응용하여 피복재와 보온재의 각각 또는 조합에 따른 열 전달계수를 동시에 측정하는 연구였다.

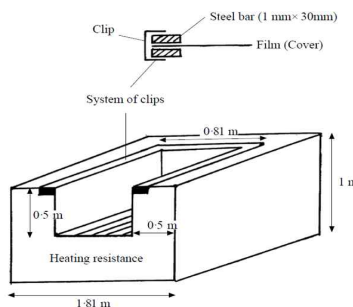


그림 2-1-4. Feuilley and Issanchou의 Hotbox

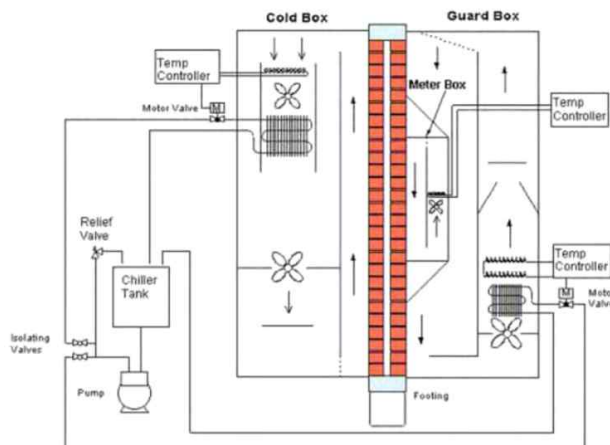


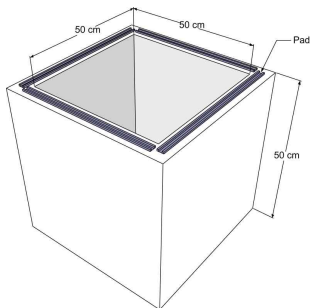
그림 2-1-5. ASTM C 236-89 시험방법의 Hotbox

Feuilloley and Issanchou(1996)가 사용한 Hotbox는 외부환경에서 PE필름과 유리의 관류열 전달계수 측정을 위해 만들어진 것으로 그림 2-1-4와 같이 500 mm 두께의 단열재와 필름을 잡기 위한 클립 그리고 열선을 이용하여 제작되었다. 시험방법은 열선을 이용하여 일정 온도 유지 또는 일정 온도까지 가열하고 이때의 PE필름 또는 유리의 양쪽 평면의 온도를 측정 후 가열에 사용된 에너지양을 시편의 양쪽 표면 온도 차와 표면적으로 곱한 값으로 나누어 보온 성능을 분석한다.

ASTM C 236-89는 그림 2-1-5와 같이 보호된 Hot Box(건축물의 실내외 환경조건 재현공간)에서 건물 조립체의 보온성 시험 시험방법의 표준이다. 이 방법은 실내환경 조성공간(Guard Box)과 실외환경 조성공간(Cold Box) 사이에 시험체를 넣고 시험체의 각 표면의 온도를 비교하여 보온성을 측정하는 표준 시험법이다.

(1) 연구에 사용한 Hotbox

KS 규격의 폴리스티렌(아이소핑크, 벽산총판TS) 단열재를 이용하여 500 × 500 × 500 mm 크기의 상부가 개방된 형태이며, 상부에 패드가 부착되어 스프링(사철)을 이용하여 보온 자재의 피복 및 관류열량의 측정이 쉽도록 그림 2-1-6과 같이 제작하였다.



(a) 제작도면



(b) 제작된 Hot box

그림 2-1-6, Hot box의 제작도면 및 전경

(2) Hot box 제어 및 측정장치 구성

Hot box 제어 및 측정장치 구성은 그림 2-1-7(a)와 같이 Hot box 내부에 열량 공급을 위해 하단에 발열체를 설치하였고, 이 발열체는 200 °C까지 열을 발생시킬 수 있으며, AC220 V의 전원을 사용하였을 때 80 W 출력을 가진 전열히터(RHCT-80W, RUN Electronics, Korea)를 이용하였다. 발열체의 제원은 표 2-1-2와 같다. 전열히터의 온도제어는 AC 220V 전압일 때 3200W의 출력을 내며 Pt100 온도 센서를 이용하여 PID 제어할 때 600 °C까지 제어할 수 있는 온도조절장치(TC300P, Misung Scientific Co, Korea)를 이용하였다. 온도제어장치의 제원은 표 2-1-3과 같다.

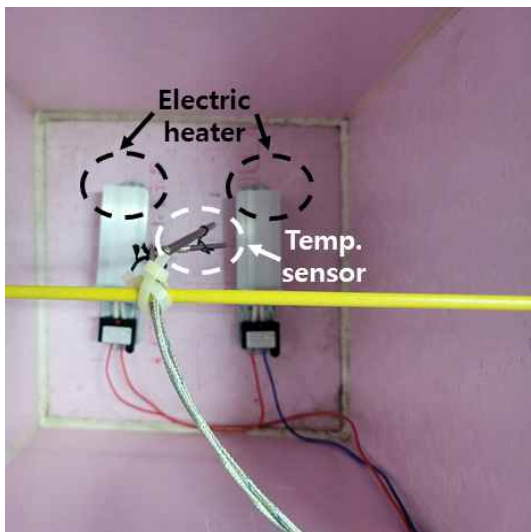
표 2-1-2. 발열체 제원

항목	제원
Watt	80 W
Voltage	AC 220 V
Hz	50/60 Hz
Resistance	60 Ω
Surface Temp.	200 °C

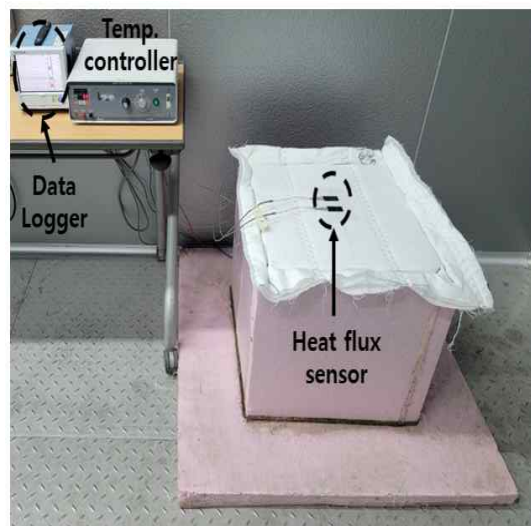
표 2-1-3. 온도조절장치 제원

항목		제원	
Temp.	Range	0~1200 °C (K type)	0~600 °C (pt100Ω)
	Accuracy	±0.3% full scale	
Control Method		PID auto-tuning	
Program control		Max. 99hr 59min	
Capacity (max.)		3200 W(220VAC)	
Electrical supply		AC 220 V 50/60 Hz	

Hot box 내외부의 온도 모니터링을 위해 Hot box 내부와 시험공간 내부에 온도 센서 (pt100)를 각각 설치하였다. 보온자재의 관류열량은 그림 2-1-7(b)과 같이 Hot box 상부에 피복된 보온자재의 표면에 -25 °C ~ 60 °C의 환경에서 사용 가능하며 반복 오차가 ±2 % 이내로 열유속을 측정할 수 있는 관류열센서(MF 180M, EKO, Japan)를 설치하였고 그 제원은 표 2-1-4와 같다. 온도 센서 데이터, 전압, 전류 등의 데이터를 최대 30개 측정할 수 있는 데이터로거(GP10, YOKOGAWA, Japan)를 통해 온도 데이터와 관류열 데이터를 5초 간격으로 측정 및 저장이 되도록 하였으며, 데이터로거의 제원은 표 2-1-5와 같다.



(a) Hot Box 내부



(b) Hot Box 외부

그림 2-1-7. Hot box를 보온성능시험

표 2-1-4. 관류열센서 제원

항목		제원
Operation temperature (°C)	Sensor	-20 ~ +120 (°C)
	Cable	-25 ~ +60 (°C)
General Sensitivity (mV/W·m ²) (Room temperature)		0.025
Repeatability(%)		± 2
Internal Resistance(Ω) (Room temperature)		300~450
Thermal Resistance(m ² ·°C/W)		1.5×10 ⁻²

표 2-1-5. GP10 데이터 로거 제원

항목		제원
Analog input channels		30
Internal memory		500 MB
External storage media		SD memory card (up to 32 GB) USB interface (/UH option):
Rated supply voltage		100 to 240 VAC
Rated supply frequency		50/60 Hz
Insulation resistance		Between the Ethernet, RS-422/485, and each insulation terminal and earth: 20 MΩ or greater (at 500 VDC)
External dimensions (W × H × D)	Main Unit	144 × 168 × 197 (mm)
	Including modules	144 × 168 × 248 (mm)

Hot box 시험은 전열 히터 이용하여 55°C까지 열을 공급하고 내부온도가 55°C 이상일 때 전원을 차단하여 Hot box 내부온도가 30°C ~ 50°C 사이의 관류열량을 측정하였다.

(3) 계산식

열관류율 계산식은 식 (5)와 같다.

$$U = \frac{Q}{A(T_i - T_o)} \quad (5)$$

여기에서

U : 열관류율 (W/m²·K)

Q : Hot box 내부에 공급된 열량 (W)

A : 피복재의 면적 (m²)

T_i : Hot box 내부온도

T_o : 외부온도

본 과제에서는 관류열센서를 이용하여 열유속을 측정함에 따라 식 (6)를 이용하여 계산하였다.

$$U = \frac{q}{T_i - T_o} \quad (6)$$

여기에서

U : 열관류율 ($W/m^2 \cdot K$)

q : 열유속 (W/m^2)

T_i : HotBox 내부온도($^{\circ}C$)

T_o : HotBox 외부온도($^{\circ}C$)

2) 차광성능 시험장치 및 시험방법

차광성능 평가방법은 KS K 0819 커튼의 차광성 시험방법이 있으나, 차광자재의 성능시험에는 사용하지 않고 있으며 본 연구에서는 차광자재의 차광성능평가 평가하기 위해 그림 2-1-8 과 같이 길이 370 cm X 폭 135 cm X 높이 190 cm 의 미니 온실을 설치하고 내부에 일사량 측정 센서(CMP 3, Kipp & Zonen, The Netherlands)와 데이터로거(LR5041, HIOKI, Japan)를 이용하여 성능을 평가하였다. 일사량 측정 센서와 데이터 로거의 제원은 표 2-1-6, 2-1-7와 같다. 일사량 측정은 미니 온실 근처 그림자가 발생하지 않는 곳과 미니 온실 차광막 하부에 설치하여 외부 일사량과 차광막을 투과한 일사량을 측정하여 비교하였다. 데이터 로거를 이용하여 10시~15시 사이의 일사량을 10초 간격으로 저장하였다. 측정된 일사량을 이용하여 각각의 시간당 적산 일사량과 투과율을 계산한 후 차광성능을 비교하였다.



그림 2-1-8. 차광성능 평가

표 2-1-6. 일사량 센서 제원

항목	제원
Spectral range(50% points)	285 to 2800nm
Sensitivity	10 to 32 $\mu\text{V}/\text{W}/\text{m}^2$
Response time	20 s
Zero offset A	< 15 W/m^2
Zero offset B	< 5 W/m^2
Directional response (up to 80° with 1000 W/m^2 beam)	< 20 W/m^2
Temperature dependence of sensitivity (-10 °C to +40 °C)	< 4 %
Operational temperature range	-40 °C to +80 °C
Maximum solar irradiance	2000 W/m^2
Field of view	180 °

표 2-1-7. 데이터 로거 제원

항목	제원
Measurement items	DC voltage 1ch
Measurement range	-50.00 to 50.00 mV
Accuracy	± 0.5 %rdg. ± 5 dgt.
Storage capacity	Instantaneous value mode: 60,000 data, Statistical value mode: 15,000 data
Recording interval	1 to 30 sec., 1 to 60 min., 15 selections
Waterproof and dust-proof	IP54 (EN60529)
Power supply	LR6 (AA) Alkaline battery $\times 1$
Dimensions and mass	79 mm W \times 57 mm H \times 28 mm D, 105 g

2. 스마트온실 2차 피복자재의 성능 평가항목 개발 및 시험방법 개발

가 보온자재의 보온성능 및 차광자재의 차광성능 평가방법 개발

1) 시험에 사용된 보온자재 및 차광자재

가) 보온자재

표 2-1-8은 시중에 가장 많이 유통되는 보온자재 중 시험에 이용한 5개의 제품에 대한 제원을 나타낸 것이다. 시험에 사용한 제품은 A의 “마트 * 방발수코팅 부직포 40g * 중공사 80g * 방발수코팅 부직포 40g * 매트”로 구성된 제품과 B의 “마트 * 부직포 50g * 솜 6온스 (약 170g) * 부직포 50g * 매트” 구성된 제품 그리고 C와 D의 “마트 * 부직포 50g * 솜 4oz(약 113g) * 부직포 50g * 매트” 제품은 업체만 다를 뿐 구성품은 유사한 제품이었고, E는 “마트 * 멜브론 40g * 에어로겔 * 멜브론 40g * 매트” 구성된 제품으로 5종에 대해 기초 시험을 실시하고 비교 분석하였다.

표 2-1-8. 시중에 유통되는 보온자재

보온자재	재료
A	마트*방발수코팅부직포40g*중공사80g*방발수코팅부직포40g*마트
B	마트*부직포50g*솜6온스*부직포50g*마트
C	마트*부직포50g*솜4온스*부직포50g*마트
D	
E	마트*멜브론40g*에어로겔*멜브론40g*마트

나) 차광자재

차광자재는 두 개의 회사제품으로 이용하여 시험하고자 하였으나, 차광율이 규격으로 정해져 있어 구분 없이 차광률 55%, 75%, 85%에 대해 차광성능을 시험하였다.

2) 내구성 시험결과

가) 차광자재

촉진 내구성 시험장치를 이용하여 시험용 차광자재에 대해 3년, 5년, 7년 개폐 후 인장시험을 통해 내구성을 평가하였다. 차광자재는 실과 필름이 편직 되어있고, 차광을 위한 알루미늄 필름이 균일하게 부착되어 있지 않아 인장시험 시 그림 2-1-9 (c)와 같이 실과 필름이 분리되면서 정확한 인장력 측정이 불가능하였다. 따라서 KS K 0521 규정에서 천의 인장 성질 - 인장강도 및 신도 측정:스트립법과 같이 차광자재 전용 지그제작과 이를 이용한 실험법의 개선이 필요할 것으로 판단되었다.



(a) 시편 고정



(b) 인장



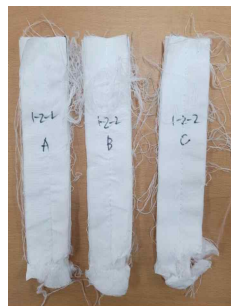
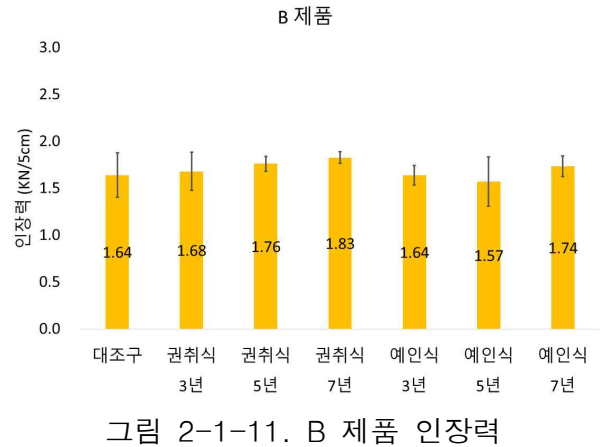
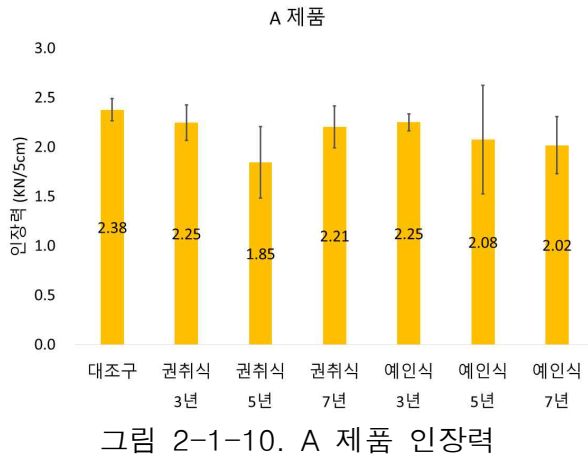
(c) 인장 후 시편

그림 2-1-9. 차광자재 인장시험

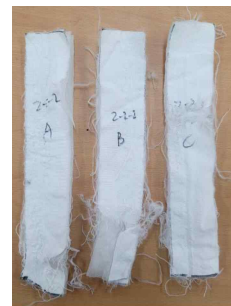
나) 보온자재

보온자재의 인장시험은 KS K 0521의 천의 인장 성질 - 인장강도 및 신도 측정:스트립법 시험법에 의거하여 한국섬유소재연구원에 의뢰하여 그 결과를 분석하였다. 시험결과는 그림 2-1-10, 2-1-11과 같다. A 제품은 권취식 5년의 시험결과가 대조구 2.38 kN/5cm보다 0.53 kN/5cm 낮은 1.85 kN/5cm를 보인 것을 제외하고, 대조구와의 유의차가 없는 것으로 조사되었다. 또한, B 제품의 경우 대조구가 1.64 kN/5cm에 비해 권취식 7년이 1.83 kN/5cm으로 0.19 kN/5cm 높았으며, 예인식 5년이 1.57 kN/5cm으로 0.07 kN/5cm 낮은 것으로 조사되었으나 A 제품과 같이 통계적 유의차가 발생하지 않아 내구성 시험만을 통한 보온자재 성능 평가는 불가능하여 시험방법의 개선이 필요할 것으로 판단되었다. 인장시험에서 인장력의 차가 발생하는 원인은 그림 2-1-12에서 (a)A 제품 예인식 5년과 (b)B 제품 예인식 5년과 같이 보온자재가 여러 가지 자재를 적층하여 제작된 것으로 구성재료의 결속 문제로 인하여 인장시

험 시 지그에 의해 고정되는 부분이 절단되어 시험방법 개선 시 고려해야 할 점으로 사료된다.



(a) A 제품 (예인식 5년)



(b) B 제품 (예인식 5년)

그림 2-1-12. 인장시험 후 시편

다) 보온성능 시험결과

축진 내구성 시험 후 A제품에 대한 보온율을 측정된 결과는 그림 2-1-13과 같다. 권취식의 경우 축진 내구성 시험 연수가 증가할수록 보온율이 대조구의 68.05%보다 3년에는 1.88%p 증가한 69.93%, 5년에는 3.83%p 증가한 71.88%, 7년에는 3.31%p로 증가하였다. 예인식 3년은 대조구와 비슷한 68.84%, 5년에는 3.04%p 증가한 71.09%, 7년에는 1.14%p 감소한 66.91%로 측정되었다. B 제품의 경우 그림 2-1-14와 같이 대조구 79.83%, 권취식 3년 79.83%, 권취식 5년 80.13%, 권취식 7년 80.96%, 예인식 3년 80.34%, 예인식 5년 79.83%, 예인식 7년 80.75%로 축진 내구성 시험한 시편 모두와 비교하였을 때 같거나 최대 0.92%p 증가하였다. A 제품과 B 제품은 약 10~13%p의 보온율 차이는 서로 같은 역할은 하는 중공사(80g)와 솜(170g)의 무게 차이로 인한 것으로 사료된다. 축진 내구성 시험결과에 따른 보온성능은 예상과 달리 개폐 횟수 증가에 따른 보온성능 감소의 개연성은 없는 것으로 판단되며 축진 내구성 시험만으로는 보온성능에 영향을 미치지 못하여 다른 방식의 내구성에 영향을 미칠 수 있는 시험이 필요한 것으로 판단된다.

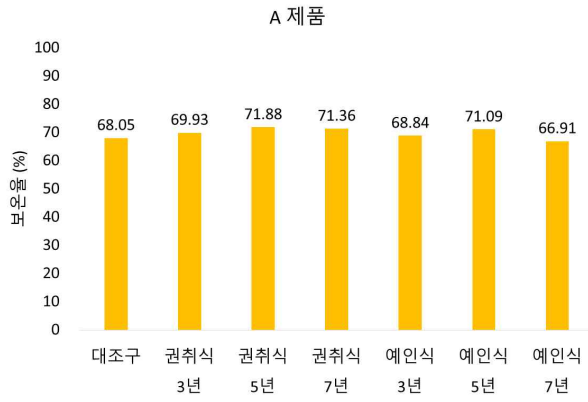


그림 2-1-13. A 제품 보온율

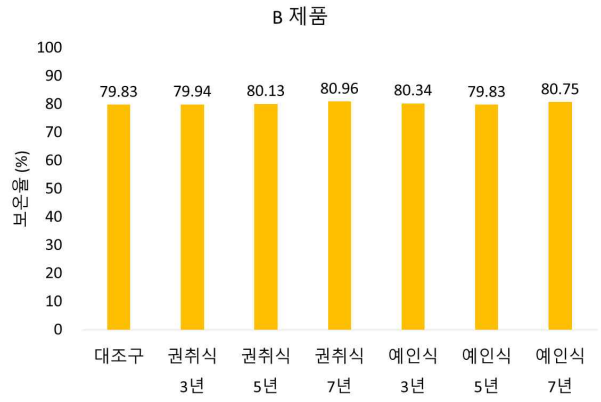


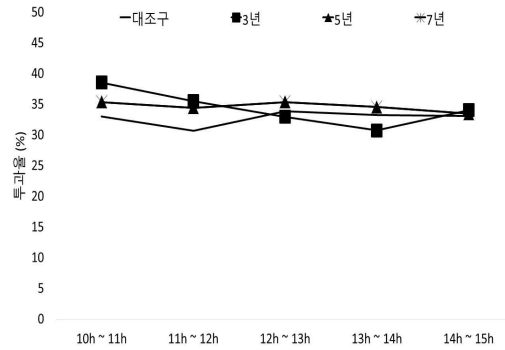
그림 2-1-14. B 제품 보온율

라) 차광성능 시험결과

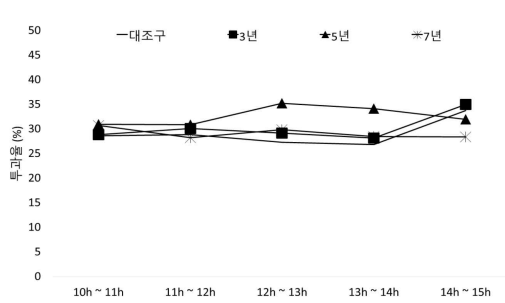
표 2-1-9의 축진 내구성 시험에 따른 투과율 평균과 같이 대조구 시편들의 평균 투과율은 55% 차광자재의 경우 32.8%, 75% 차광자재의 경우 29.1%, 85% 차광자재의 경우 15.7%로 나타났다. 축진 내구성 시험을 통해 경과 년 수에 따른 투과율 조사 결과 55% 차광자재에서 1.6%p 상승하고 유지되었으며, 75% 경우 내구성 시험 5년에 34.3%로 1.2%p 증가하였고, 5년에서 32.6%로 대조구에 비해 3.5%p 상승하였으나, 7년의 경우 대조구와 같은 결과가 분석되었다. 85% 차광자재의 경우 대조구 15.7% 3년차는 20.1%로 대조구 보다 4.4%p 증가하였고, 5년차의 경우 24.5%로 대조구보다 8.8%p 증가, 7년차의 경우 대조구보다 12.4%p 증가한 28.1%로 2년마다 약 4%p씩 투과율이 상승하였다. 이는 차광율을 결정하는 필름 고정용 실이 축진 내구성 시험에 의해 영성해지면서 투과율이 점점 높아지는 것으로 사료된다. 시험 당시의 시간대별 투과율은 그림 2-1-15와 같으며 실내가 아닌 외부에서 시험함에 따라 시험 당시 구름 등에 의한 측정 일사량의 차이, 차광자재를 고정하였으나 각기 다른 일사량, 바람에 의한 차광자재의 흔들림 등으로 인한 표준편차의 차이가 있는 것으로 사료된다.

표 2-1-9. 축진 내구성 시험에 따른 투과율 평균(%)

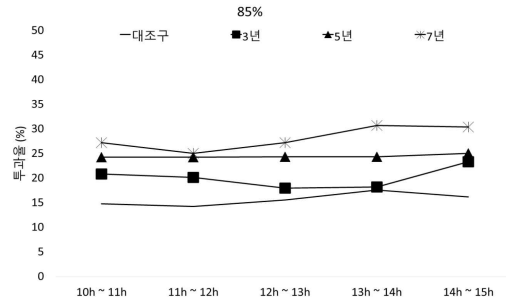
축진 내구성 시험 경과 년 수	차광자재 차광율					
	55%		75%		85%	
	평균	표준편차	평균	표준편차	평균	표준편차
대조구	32.8	1.22	29.1	2.73	15.7	1.31
3년	34.4	2.92	30.3	2.74	20.1	2.28
5년	34.7	0.78	32.6	1.98	24.5	0.32
7년	34.7	1.31	29.1	2.18	28.1	2.39



(a) 55%



(b) 75%



(c) 85%

그림 2-1-15. 내구성 시험에 따른 투과율 변화

마) 가습 조건 촉진 내구성 시험에 따른 성능시험 결과

촉진 내구성 시험에서 내구성(인장력)과 보온성능(보온율)에 영향이 미치지 못하는 것으로 분석되어 실제 온실 내에서의 조건과 유사할 수 있도록 촉진 내구성 시험 중 가습을 하는 방식을 통해 보온 및 차광자재에 대한 촉진 내구성 시험을 실시하고 내구성 및 보온성능에 미치는 영향을 분석하였다. 시험은 촉진 내구성 시험 전 시편 표면을 충분히 적시고 시험 중에는 시편 표면에 3년(450회 왕복) 단위로 물을 250 mL씩 단면과 양면에 분무하는 방식으로 7년(1050회) 개폐 시험을 수행하였다. 사용된 시편은 최 등(2019)의 연구에서 이용한 사용기한에 따른 보온성능시험에 사용한 농가에서 6년 사용한 시편과 비교하기 위해 구성성분이 같은 제품 중 하나인 C와 D의 “마트 + 부직포 50g + 슝 4온스 + 부직포 50g + 마트”로 구성된 보온 자재를 이용하였다.

(1) 인장시험

인장시험은 내구성 시험과 같이 한국섬유소재연구원에 KS K 0521을 의뢰하였고, 시험결과는 그림 2-1-16과 같이 대조구가 1.71 kN/5cm이었고, 단면 가습 1.79 kN/5cm로 대조구보다 0.08 kN/5cm 높았으며, 양면가습의 경우 1.75 kN/5cm로 대조구보다 0.04 kN/5 cm 높은 것으로 조사되었다. 그리고 양면가습이 단면 가습보다 0.04 kN/5cm 낮은 것으로 조사되었다. 본 시험에서의 결과는 모든 시편에 대해 오차범위 내에서 포함되어 가습에 따른 내구성 측정 방법 또한 활용할 수 없을 것으로 조사되었다.

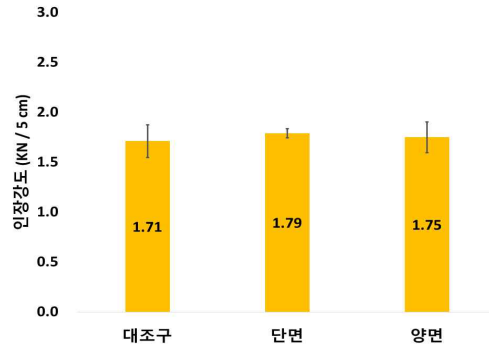


그림 2-1-16. 가습에 후 내구성 시험 따른 인장력

(2) 보온 성능시험

보온성능 시험기를 이용하여 축진 내구성 시험 중 가습에 따른 보온성능을 분석하였다. 분석결과는 그림 2-1-17과 같이 대조구의 79.66%보다 단면 가습이 1.11%p 낮은 78.55%이었고, 양면 가습은 2.04%p 낮아진 77.62%이었다. 그리고 단면 가습과 양면 가습의 차이는 0.93%p로 큰 차이가 없는 것으로 조사되었다. 보온율 차이가 5%p 미만으로 축진 내구성 시험 중 가습에 따른 보온율 감소는 없는 것으로 사료된다.

가습 및 축진 내구성 시험만으로는 보온자재를 노후화시키는 내구성 시험방법으로 적합하지 않은 것으로 사료된다.

최 등(2019)이 수행한 연구의 구성재료가 같은 시편과 비교한 결과 G와 H 시편이 본연구에서 사용한 시편과 구성재료가 같으며 최 등이 연구한 결과에서는 대조구(사용기간 0년)의 경우 각각 1.82 W/m²·K와 1.62 W/m²·K이었고 시험구(농가에서 6년 사용한 시편)는 각각 1.92 W/m²·K, 1.84 W/m²·K로 각각 0.1 W/m²·K 와 0.22 W/m²·K 차이가 있었다. 이를 보온율 저하로 환산하면 G 시편의 경우 5.5%p, H 시편의 경우 13.6%p이었다. 따라서 1.11 ~ 2.04%p의 보온율 성능저하는 있으나 최 등이 사용한 6년 시편과의 차이인 5.5~13.6%p 차이에 미치지 못하여 축진 내구성 시험방법으로 적합하지 않은 것으로 판단하였다.

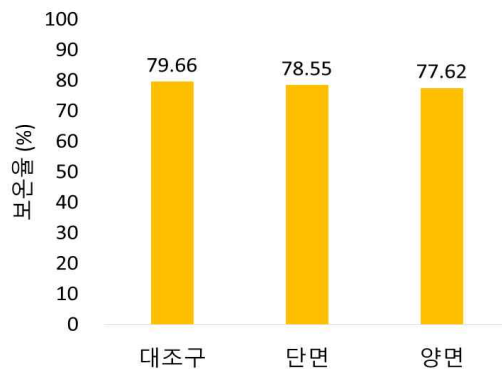


그림 2-1-17. 가습에 후 내구성 시험 따른 보온율

바) 축진 내후성 시험

보온자재의 경우 내구성 시험과 가습조건에서의 보온 성능시험 결과에서 큰 차이가 없는 것으로 분석되어 최 등이 2019년 연구한 온실용 다겹 보온자재의 사용 기간에 따른 보온성 변화 연구를 참고하여 축진 내후성 시험을 실시하였다. 축진 내후성 시험은 기상청 기상자료개방포털에서 제공되는 2개 지역의 자외선 자료를 이용하여 자외선량을 산정하였고, 그 내용은 표 2-1-9와 같다. 제공되는 데이터는 10년 이상 데이터가 아닌 약 2년간의 자료로써 평년치와는

차이가 있을 것으로 판단되지만 공식적인 자료로 제공되고 있어 사용하였다. 표 2-1-10과 같이 2019년 6월에서 2019년 9월까지 4개월의 안면도, 제주도 연간 누적 자외선(UVA) 자료를 분석한 결과 4개월간의 누적 자외선은 각각 137.23, 140.06 MJ/m²이었다.

표 2-1-10. 지역별 누적 자외선량(MJ/m²)

	6월	7월	8월	9월	합계
안면도	32.88	41.50	35.70	27.15	137.23
제주도	33.75	41.03	40.54	24.74	140.06

Papaioannou 등(2012)에 의하면 온실의 자외선 통과율은 PE 필름 기준 약 20%라 하였고, 이를 기준으로 두 지역의 누적 자외선량 평균을 이용하여 온실 내부 4개월 자외선 누적량은 27.72 MJ/m² 로 계산되었다.

(1) 축진 내후성 시험장치

시험장치는 그림 2-1-18의 축진 내후성 시험장치 구성도와 같이 가습을 위한 물통, 보온자재가 물에 잠기지 않도록 메쉬웬스를 이용하였고, 보온자재, 자외선램프가 보온자재에 직접 접촉하지 않도록 플라스틱 파이프, 40 W 자외선램프 세트(노출램프기구+자외선 램프)를 설치하였다. 제작된 축진 내후성 시험장치는 그림 2-1-19과 같다.

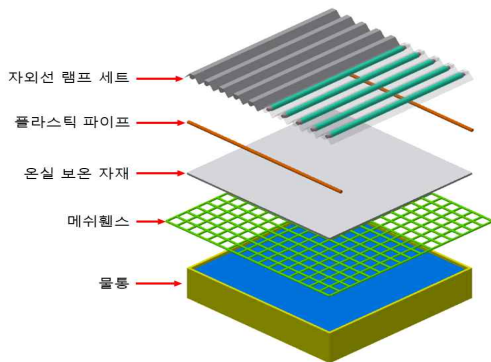


그림 2-1-18. 축진 내후성 시험장치 구성도



그림 2-1-19. 축진 내후성 시험

자외선량은 표 2-1-11에서 제시한 자외선 조도 측정기(UV-MO3, ORC, Japan)를 이용하여 측정하였다. 자외선 조도 측정기를 이용하여 40 W 자외선 형광등의 자외선 조도를 측정한 결과 26 J/m²이었으며, 이를 1주일 기준으로 계산하여 15.72 MJ/m²이었다. 이를 보온자재에 168시간(1주), 336시간(2주), 504시간(3주), 672시간(4주) 노출 시켰다. 누적 자외선량을 실제 온실투과 자외선량으로 4개월을 1년으로 가정하여 계산하면 168시간(1주) = 약 6개월, 336시간(2주) = 약 1년, 504시간(3주) = 약 1년 6개월, 672시간(4주) = 약 2년 동안 노출된 것으로 산정이 가능하다.

표 2-1-11. 자외선 조도 측정기 제원

		Intensity (mW / cm ²)	UV Energy (mJ / cm ²)
Range	Range 0.1	0.0001 ~ 1.0000	0.001 ~ 19999
	Range 1.0	0.001 ~ 1.000	0.001 ~ 19999
	Range 10	0.01 ~ 10.00	0.01 ~ 19999
	Range 50	0.1 ~ 50.0	0.1 ~ 19999
	Auto	0.001 ~ 50.00	
Recorder Output		Output voltage : DC 1000 mV(at each range full-scale)	
Operating Temperature range		0 ~ 40 °C (no condensation)	
Repeatability		Within ± 1.5 % (Temperature is within above operating range.)	
Power supply		battery (size AA) X 2, 1.5V X 2 or AC adapter 100 to 240 V	

(2) 인장시험 결과

인장시험은 촉진 내구성 시험 때와 같이 한국섬유소재연구원에 KS K 0521의 천의 인장 성질 - 인장강도 및 신도 측정:스트립법으로 시험 의뢰하였다. 촉진 내후성 시험에 따른 인장력 변화는 4주 시편에서 0.95 kN/5cm로 대조구의 1.71 kN/5cm에 비해 0.76 kN/5cm 낮아 가장 낮게 나타났고, 1주, 0.99 kN/5cm, 2주 1.04 kN/5cm, 3주 0.97 kN/5cm으로 각각 0.72, 0.68, 0.74 kN/5cm 낮아져 자외선 등에 의하여 부직포 등 재질의 부식으로 인한 내구성 저하로 판단된다. 하지만 1주~4주의 인장시험 결과가 오차범위 내에 있으며, 자외선 노출 시간 증가에 따라 연속적으로 인장력이 감소되지 않아 자외선 노출 시간 증가에 따른 개연성에 대한 추가 과제를 통한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

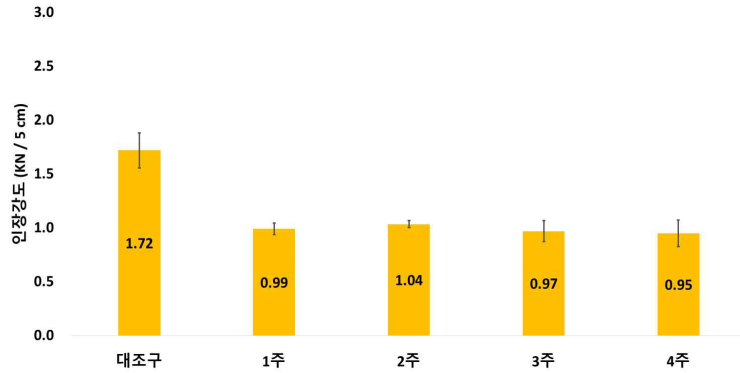


그림 2-1-20. 촉진 내후성 시험 후 인장력

(3) 보온 성능시험

보온율 측정결과는 그림 2-1-21과 같이 자외선 노출 시간 증가 따른 보온율의 변화는 1주 78.41%, 2주 79.45% 3주 후 80.32% 4주 80.59%로 대조구의 81.23%보다 0.64%~2.82%p 낮았으나 예상과 달리 자외선 노출 시간 증가에 따라 보온율이 미세하게 증가하여 자외선은 인장시험에 영향을 미치나 보온율에는 영향을 미치지 못하는 것으로 분석되었다. 또한, 앞서 가슴에 따른 보온성능 시험결과에서 언급한 최 등의 농가에서 6년 사용한 시편의 보온율 저하율인 5.5~13.6%에 미치지 못하였다.

높은 값일수록 보온성능이 우수하다고 판단하는 보온율과 달리 공급된 에너지의 흐름 분석을 통한 보온소재의 보온성능을 평가하는 열관류율은 계산된 결과가 높을수록 보온성능이 떨어지는 것으로 판단한다. 열관류율을 이용한 보온성능분석 결과는 그림 2-1-22과 같이 대조구인 1.89 W/m²·K 보다 0.04 W/m²·K 높은 1.93 W/m²·K으로 나타나 보온성능은 감소하였으나, 2주에서 1주보다 0.01 W/m²·K 낮아서 보온율이 상승하였고 3주에서 다시 0.01 W/m²·K 낮아서 또 보온율이 미세하게 상승하는 결과를 보였다. 마지막으로 4주 차는 3주보다 0.03

W/m²·K 높은 1.94 W/m²·K로 높아져 보온성능이 낮아지는 결과가 나타났다. 자외선 노출 지속시험만을 활용한 보온 성능시험은 보온자재의 보온성능을 평가하는 기준과 개연성이 낮은 것으로 판단되며, 0.01 W/m²·K씩 변하여 열관류율을 이용한 보온성능 평가에서도 자외선 지속에 따른 보온성능 평가방법으로 선정하기에 어려울 것으로 판단되었다. 보온성능시험은 인장시험과는 상반되는 결과로 인장시험에서는 촉진 내후성 시험의 가능성은 있었으나, 보온성능시험에서 촉진 내후성 시험만으로는 보온자재의 성능을 저하시키는 내구성 시험방법으로 적합하지 않은 것으로 판단된다. 최 등이 수행한 연구의 구성재료가 같은 시편과 비교한 결과 최 등이 연구한 결과에서는 대조구(사용기간 0년)의 경우 각각 1.82 W/m²·K와 1.62 W/m²·K 이었고 시험구(농가에서 6년 사용한 시편)는 각각 1.92 W/m²·K, 1.84 W/m²·K로 각각 0.1 W/m²·K 와 0.22 W/m²·K 차이가 있었다. 이를 바탕으로 대조구와 시험구의 차이가 0.1 W/m²·K와 0.22 W/m²·K 차이만 있으면 비슷하다고 가정하여 비교하였다. 비교 결과 촉진 내후성 시험에서는 최대 0.05 W/m²·K 차이밖에 나지 않는 것으로 조사되었다. 자외선 노출시간이 다른 본 시험과 최 등의 시험과 단순비교는 불가능하지만 시험방법에서 차이는 발생하는 것으로 판단된다.

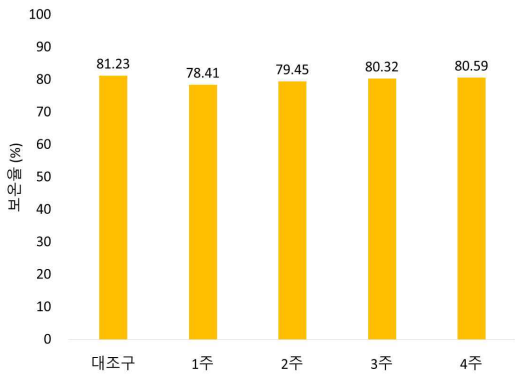


그림 2-1-21. 촉진 내후성에 따른 보온율

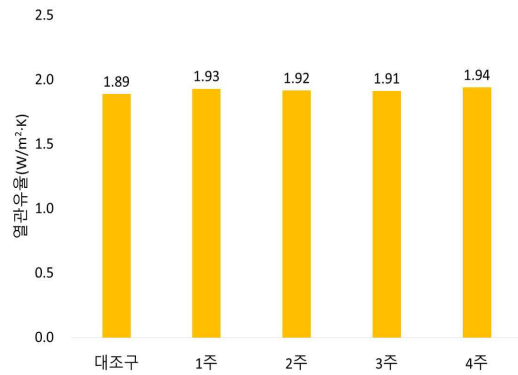


그림 2-1-22. 촉진 내후성에 따른 열관류율

사) 촉진 복합시험

촉진 복합시험은 촉진 내후성 시험 후 촉진 내구성 시험을 수행하는 것으로 자외선을 이용하는 촉진 내후성 시험으로 보온자재의 표면을 화학적으로 변성시킨 후 촉진 내구성 시험을 통해 물리적 변성을 시켜 보온자재를 노후화시킴으로써 보온율의 변화를 확인하고자 하였다.

촉진 복합시험에서 촉진 내후성 시험은 이전의 시험과 같이 4개월을 1년으로 가정하였을 때 1주(누적 자외선량 약 6개월), 2주(약 1년), 3주(약 1년 6개월), 4주(약 2년) 자외선 노출 시키고 이후 촉진 내구성 시험을 6년(900회 왕복) 하는 방식으로 시험을 수행하였다.

(1) 촉진 복합시험 후 인장시험

그림 2-1-23와 같이 내후성 시험을 하지 않은 촉진 내구성 시험만 수행한 시편은 1.70 kN/5cm로 대조구인 1.72 kN/5cm보다 0.02 kN/5cm 차를 나타내었다. 각각 내후성 시험 1주, 2주, 3주, 4주 후 내구성 시험 6년을 실시한 경우 각각의 인장력은 0.93, 1.01, 0.68, 0.90 kN/5cm로 내후성 시험 3주 후 내구성 6년 수행한 시편이 대조구보다 1.04 kN/5cm 감소하는 것으로 조사되었다. 하지만 자외선 노출 기간에 따른 차는 크지 않아 이에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다. 인장력의 감소는 내후성 시험과 같이 자외선에 의하여 부식포 등 보온자재의 구성 물질의 부식으로 인해 감소된 것으로 판단된다.

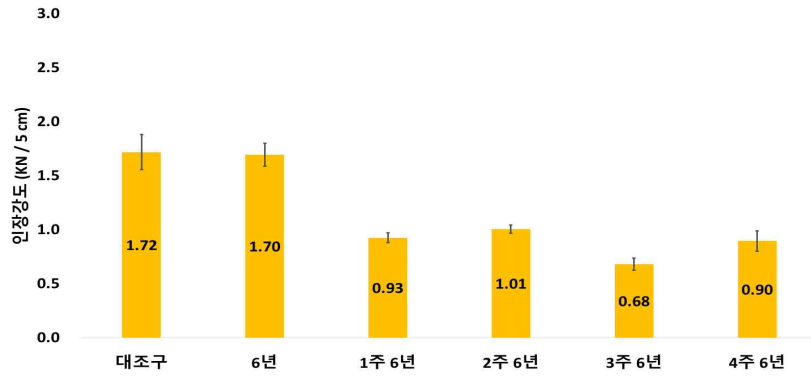


그림 2-1-23. 복합 내구성 시험 후 인장력

(2) 보온 성능시험

보온율은 그림 2-1-24과 같이 자외선을 투과하지 않은 0주 6년 시편은 이전의 시험과 같이 대조구와 보다 0.22%p 떨어진 81.01%로 차이가 발생하지 않는 것으로 조사되었다. 1주 6년 시편은 대조구 81.23%보다 3.91%p 낮아졌으나, 2주 6년부터 보온율이 79.29%로 상승하였고 3주 6년은 대조구보다 1.16%p 높은 82.39%로 나타나 이전의 시험들과 같이 자외선 지속 노출에 따른 보온율에 따른 보온성능 분석은 어려울 것으로 판단되었다. 또한, 최 등의 농가에서 6년 사용한 시편의 보온율 저하율인 5.5~13.6%에 미치지 못하였다.

하지만 그림 2-1-25와 같이 열관류율을 측정된 결과 1주 6년 시편부터 4주 6년 시편까지 대조구의 1.89 W/m²·K 보다 각각 0.21, 0.28, 0.31, 0.34 W/m²·K 증가한 2.10, 2.17, 2.20, 2.23 W/m²·K로 자외선 노출 시간 증가에 따른 개연성 있게 증가하였다. 앞서 내후성 시험 열관류율 측정결과에서 최 등이 실제 농가에서 6년 사용한 시편의 열관류율 차이의 가정과 같이 복합 촉진 시험결과를 비교하였을 때 G 시편보다 0.1 W/m²·K 이상인 0.21 W/m²·K 차이가 1주 6년에서 났으며 2주 6년, 3주 6년, 4주 6년의 경우 H 시편에 해당하는 0.22 W/m²·K 이상으로 나타나 복합 촉진시험이 실제 사용 보온자재와 유사한 경향을 보이는 것으로 조사되었다. 따라서 복합 내구성 시험에서 자외선 노출 시간 증가에 따라 보온자재의 보온성능이 저하됨에 따라 복합 촉진시험 후 열관류율을 측정하는 방식으로 사용 기간에 따른 보온성능 검정을 통해 평가하고, 이를 활용하여 농가에서 이용한다면 평가한다면 성능 미만의 보온자재 이용에 따른 농가의 피해를 최소화할 수 있을 것으로 판단된다. 하지만 제작용체의 피해 또한 최소화를 위해서는 정확한 판단 기준에 대한 추가연구를 통해 명확한 검정기준 제시가 필요할 것으로 판단된다.

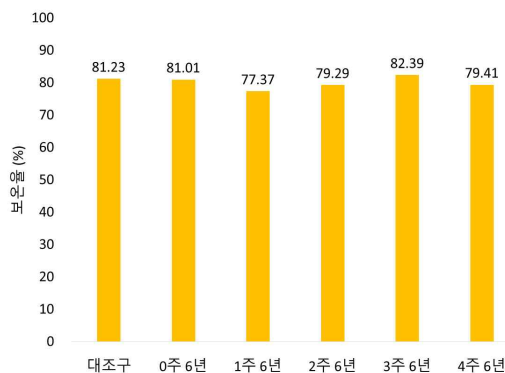


그림 2-1-24. 복합 내구성 시험에 따른 보온율

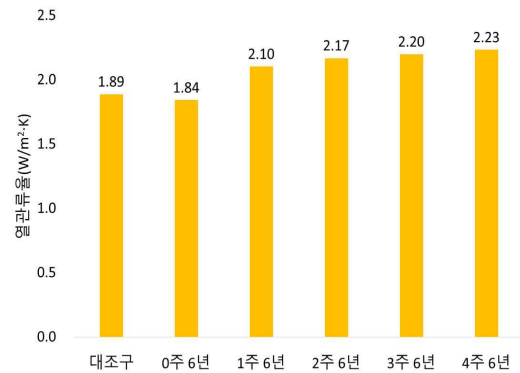


그림 2-1-25. 복합 내구성에 따른 열관류율

2절 스마트온실 성능 분석 시험방법 개발

1. 스마트온실의 광환경 및 열적환경 평가방법 개발

가. 일사량 센서 활용 온실별 광 환경 측정

일사량 센서를 이용한 온실별 광 환경 측정에는 앞서 차광자재 분석에 사용한 것과 같은 일사량 센서(CMP 3, Kipp & Zonen, The Netherlands)와 데이터로거(LR5041, HIOKI, Japan)를 이용하여 온실 형태별로 측정하였다. 일사량은 10초 단위로 기록하였으며, 온실 외부와 내부에 설치된 일사량 센서들의 데이터를 이용해 일사량을 측정 후 시간대별 적산 일사량과 투과율을 활용하여 광 환경을 분석하였다.

1) 플라스틱 단동 온실 평면 광 환경 측정

전북 익산시에 있는 농업기술실용화재단 남북동 단동 온실에서 일사량을 측정하였다. 온실의 크기는 길이 100 m, 폭 10 m, 동고 6 m이다. 일사량 센서의 배치는 그림 2-2-1과 같이 외부 일사량을 측정하기 위해 남쪽 방향 외부(O)에 설치하였고 온실 내부는 동(E), 서(W), 남(S), 북(N)을 기준으로 북동(NE), 북서(NW), 남동(SE), 남서(SW)로 배치하였고 동서 가장자리의 센서 위치는 가장자리에서 1.7 m 위치이고 북쪽(N), 남쪽(S), 중앙(C)의 동서 방향의 중앙 센서 위치는 양쪽 가장자리 중심인 5 m 위치에 설치하였다. 남북 방향의 센서 배치는 가장자리에서 10 m 떨어진 곳이며 남북 방향 중앙센서의 위치는 북쪽에서 50m 위치에 설치하였다. 센서의 배치 높이는 지면으로부터 1.5 m 위치에 설치하였다. 일사량 센서 배치 모습은 그림 2-2-2와 같다.

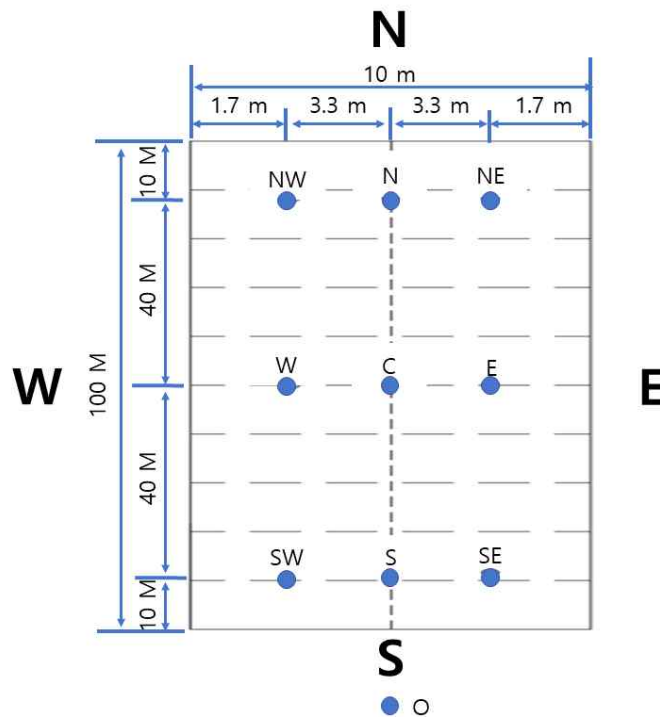


그림 2-2-1. 플라스틱 단동 온실의 일사량 센서 배치도



그림 2-2-2. 플라스틱 단동 온실의 일사량 센서 배치 모습

가) 플라스틱 단동 온실 평면 일사량 측정결과

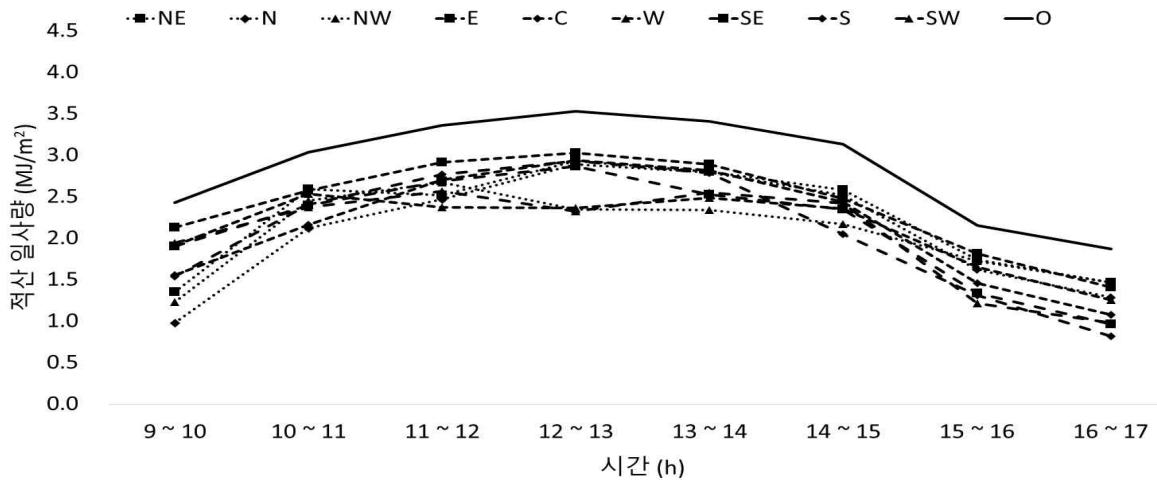
플라스틱 단동 온실 평면 일사량은 표 2-2-1, 그림 2-2-3과 같으며 시간대별 적산 일사량 결과에서 시간대별 평균값에 표준편차를 뺀 값보다 작으면 주변보다 광 환경이 좋지 않은 것으로 가정하였다. 이와 같은 기준으로 표에서 노란색과 같이 1차와 2차에서 중복으로 나타난 위치는 온실의 구조물의 그림자로 인해 광 환경이 좋지 않은 것으로 판단하였다. 이러한 조건에 부합하는 위치는 9~10시 N 위치에서 1차에서 0.98 MJ/m²으로 기준인 1.23 MJ/m²보다 낮았으며, 2차에서 1.07 MJ/m²으로 기준인 1.16 MJ/m²보다 낮았다. 10시~11시 N 위치와 C 위치로 1차에 각각 2.12, 2.16 MJ/m²으로 기준인 2.23 MJ/m²보다 낮았고, 2차에 각각 2.02, 2.07 MJ/m²으로 기준인 2.11 MJ/m²보다 낮았다. 12~13시 W 위치에서 1차에 2.36 MJ/m²으로 기준인 2.44 MJ/m²보다 낮았으며 2차에 2.28 MJ/m²으로 기준인 2.29 MJ/m²보다 낮았다. 13~14시 NW 위치에서 1차에 2.32 MJ/m²으로 기준인 2.48 MJ/m²보다 낮았으며 2차에 2.16 MJ/m²으로 기준인 2.29 MJ/m²보다 낮았다. 14~15시 S 위치에서 1차에 2.05 MJ/m²으로 기준인 2.20 MJ/m²보다 낮았으며 2차에 1.98 MJ/m²으로 기준인 2.03 MJ/m²보다 낮았다. 15~16시, S, SW 위치에서 1차에 각각 1.31, 1.22 MJ/m²으로 기준인 1.33 MJ/m²보다 낮았으며 2차에는 각각 1.29, 1.12 MJ/m²으로 기준인 1.35 MJ/m²보다 낮았다. 마지막으로 16~17시 S 위치에서 1차에 0.82 MJ/m²으로 기준인 0.95 MJ/m²보다 낮았으며 2차에 0.72 MJ/m²으로 기준인 0.75 MJ/m²보다 낮았다.

표에 녹색과 같이 11~12시 W 위치의 경우 1차에 2.37 MJ/m²으로 기준인 2.46 MJ/m²보다 낮았으며 2차에 2.35 MJ/m²으로 기준인 2.32 MJ/m²보다 0.03 높았다. 14~15시 NW 위치의 경우 1차에 2.17 MJ/m²으로 기준인 2.20 MJ/m²보다 낮았으며 2차에 2.04 MJ/m²으로 기준인 2.03 MJ/m²보다 0.01 MJ/m² 높았다. 그리고 15~16시 SE 위치의 경우 1차에 1.33 MJ/m²으로 기준인 1.33 MJ/m²과 같았고 2차에 1.39 MJ/m²으로 기준인 1.35 MJ/m²보다 0.04 MJ/m² 높았다. 16~17시 SE 위치는 1차에 0.96 MJ/m²으로 기준인 0.95 MJ/m²보다 0.01 MJ/m² 높았고 2차에 0.48 MJ/m²으로 기준인 0.75 MJ/m²보다 낮았다. 이들 위치는 1차 또는 2차에 기준에 포함된 위치가 있고 중복으로 포함되지 않았으나 기준과 큰 차이가 없어 1차 2차의 중복과 같이 온실 구조물 그림자에 의한 것으로 판단하였다.

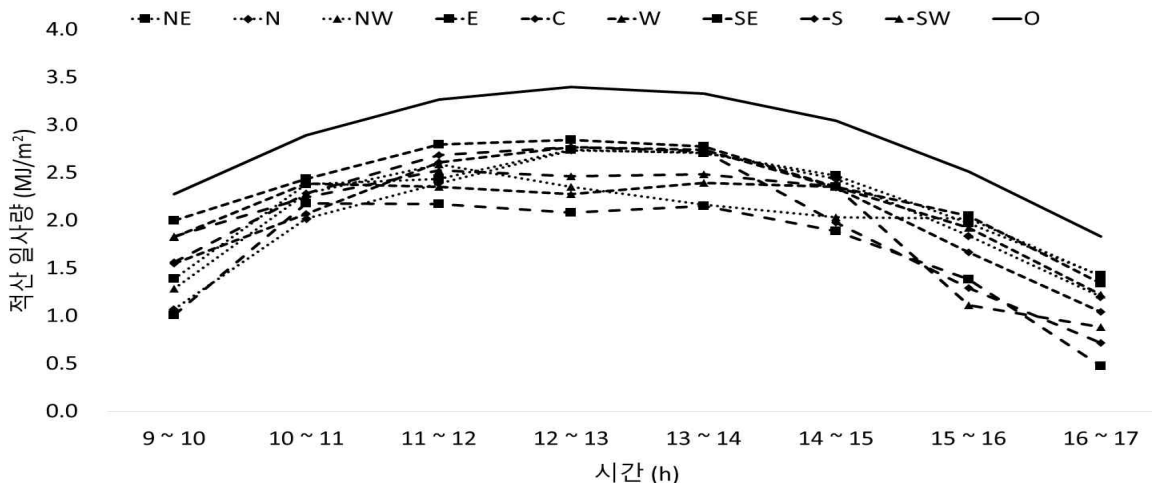
표에서 청색은 1차와 2차 중복되지 않는 기준보다 낮은 위치를 표시한 것으로 1차 9~10시 NW 위치, 12~13시 NW 위치와 SW 위치, 13~14시 W 위치와 2차 SE 위치에서 11~15시까지의 광 환경이 좋지 않은 원인은 9~10시의 경우 해의 고도상승 때의 반사 또는 산란으로 인한 것으로 사료되며 1차에서 12~14시의 경우 온실 내부 또는 외부의 환경에 의한 일시적인 것으로 사료된다. 그리고 2차 SE 위치는 온실 내부의 구조물 정비로 인해 그림자가 진 것으로 일시적인 광 환경 저하로 판단된다.

표 2-2-1. 플라스틱 단동 온실의 평면 적산 일사량 (MJ/m²)

시간 (h)	위치										내부 S. D	기준	
	NE	N	NW	E	C	W	SE	S	SW	O			
1차	9~10	1.36	0.98	1.23	2.13	1.55	1.91	1.90	1.54	1.94	2.43	0.38	1.23
	10~11	2.60	2.12	2.46	2.58	2.16	2.53	2.40	2.40	2.37	3.03	0.17	2.23
	11~12	2.52	2.47	2.68	2.92	2.71	2.37	2.69	2.77	2.57	3.36	0.17	2.46
	12~13	2.93	2.89	2.35	3.03	2.94	2.36	2.87	2.94	2.33	3.53	0.30	2.44
	13~14	2.80	2.80	2.34	2.89	2.82	2.48	2.53	2.79	2.55	3.41	0.19	2.48
	14~15	2.59	2.52	2.17	2.48	2.44	2.36	2.35	2.05	2.42	3.14	0.17	2.20
	15~16	1.74	1.62	1.73	1.82	1.46	1.65	1.33	1.31	1.22	2.16	0.22	1.33
	16~17	1.46	1.29	1.47	1.41	1.07	1.26	0.96	0.82	0.98	1.87	0.24	0.95
2차	9~10	1.39	1.07	1.29	2.00	1.55	1.83	1.01	1.56	1.83	2.28	0.35	1.16
	10~11	2.38	2.02	2.29	2.44	2.07	2.39	2.18	2.29	2.25	2.89	0.14	2.11
	11~12	2.44	2.39	2.59	2.80	2.61	2.35	2.17	2.68	2.53	3.27	0.19	2.32
	12~13	2.75	2.74	2.36	2.84	2.77	2.28	2.08	2.77	2.46	3.40	0.27	2.29
	13~14	2.71	2.72	2.16	2.78	2.75	2.40	2.15	2.73	2.49	3.33	0.25	2.29
	14~15	2.48	2.44	2.04	2.36	2.35	2.36	1.89	1.98	2.35	3.05	0.22	2.03
	15~16	1.97	1.84	2.02	2.05	1.67	1.93	1.39	1.29	1.12	2.51	0.35	1.35
	16~17	1.43	1.20	1.42	1.34	1.04	1.22	0.48	0.72	0.89	1.84	0.33	0.75



(a) 1차



(b) 2차

그림 2-2-3. 플라스틱 단동 온실의 평면 일사량

나) 플라스틱 단동 온실 평면 투과율 분석결과

2015년 농촌진흥청 국립농업과학원에서 작성한 온실 환경설계기준안에 의하면 남부지방 플라스틱 단동 온실의 3~5월 투과율 기준은 55.42%이었다. 표 2-2-2에서 주황색과 같이 1차와 2차 같은 위치 그리고 적산 일사량 결과와 중복되는 위치로 9~10시 N 위치 1차 40%, 2차 47%로 기준 이하이었고 16~17시의 경우 SE, S 위치에서 각각 1차에 52%, 44%, 2차에 26%, 39%로 기준 이하이고 1차와 2차 모두 적산 일사량 결과와 중복되어 그림자로 인한 것으로 사료된다. 노란색으로 표시된 16~17시 SW 위치의 경우 1차에 52%, 2차에 48%로 1차와 2차 중복으로 나타나 구조물 그림자의 간접적인 영향 또는 온실 피복재의 투과율 문제로 사료된다. 9~10시 NW 위치에서 1차에 51% 기준 이하이었으나 2차에 기준이 55%보다 2% 높은 57%로 기준과 큰 차이가 없어 중복되는 것으로 판단하였다. 1차와 2차에서 중복된다고 판단되었기 때문에 앞서 언급한 9~10시 NW 위치와 같이 구조물 그림자의 간접적인 영향 또는 온실 피복재의 투과율 문제로 사료된다. 2차 10시 SE 위치는 온실 내부의 일시적인 문제 또는 외부의 구름 또는 자연현상 문제로 인한 것으로 일시적인 것으로 사료되며 2차 16시의 SE, S, SW의 위치는 구조물 그림자에 의해 낮은 것으로 판단되며 그 이유로는 1차 때 기준 55%보다 최대 7%p 차이로 큰 차이이고 외부 일사량이 0.4 MJ/m² 로 나타나 기준이상의 차이로 중복되지 않은 것으로 사료된다.

표 2-2-2. 플라스틱 단동 온실의 평면 투과율 (%)

시간 (h)	위치									
	NE	N	NW	E	C	W	SE	S	SW	
1차	9~10	56	40	51	88	64	79	78	64	80
	10~11	86	70	81	85	71	83	79	79	78
	11~12	75	73	80	87	81	71	80	82	76
	12~13	83	82	67	86	83	67	81	83	66
	13~14	82	82	69	85	83	73	74	82	75
	14~15	82	80	69	79	78	75	75	65	77
	15~16	81	75	80	84	68	77	62	61	56
	16~17	78	69	79	76	57	67	52	44	52
2차	9~10	61	47	57	88	68	80	44	69	80
	10~11	82	70	79	84	72	83	75	79	78
	11~12	75	73	79	85	80	72	66	82	77
	12~13	81	80	69	84	81	67	61	81	72
	13~14	81	82	65	83	82	72	65	82	75
	14~15	81	80	67	77	77	77	62	65	77
	15~16	78	73	81	82	66	77	55	52	44
	16~17	78	65	77	73	57	67	26	39	48

2) 플라스틱 연동 온실 광 환경 측정

4월에 농업기술실용화재단 남북동 방향의 플라스틱 연동 온실에서 일사량 측정을 수행하였다. 크기는 가로 30 m, 세로 20 m 높이 6 m이다. 일사량 센서의 배치는 그림 2-2-4와 같이 동, 서 방향은 가장자리에서 2.5 m, 동, 서 방향 기준 중앙은 동쪽에서 10 m 위치에 배치하였다. 그리고 남북 방향의 경우 가장자리에서 6.5 m, 남북 방향 기준 중앙위치는 북쪽에서 15 m 위치에 배치하였다. 센서의 높이는 지면에서 1.5 m 위치에 배치하였다. 실제 배치 모습은 그림 2-2-5와 같다.

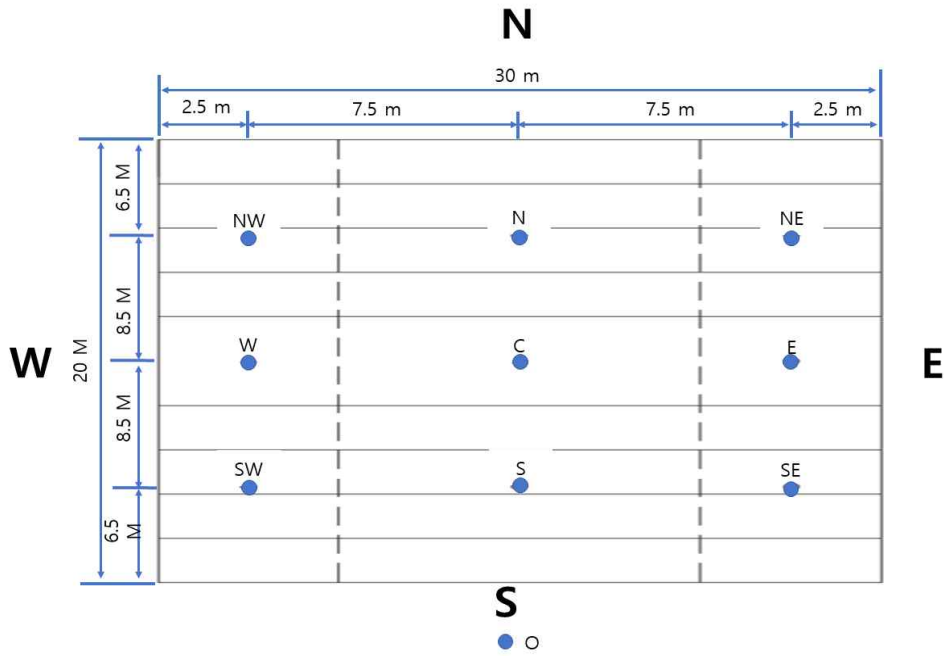


그림 2-2-4. 플라스틱 연동 온실의 일사량 센서 배치도



그림 2-2-5. 플라스틱 연동 온실의 일사량 센서 배치 모습

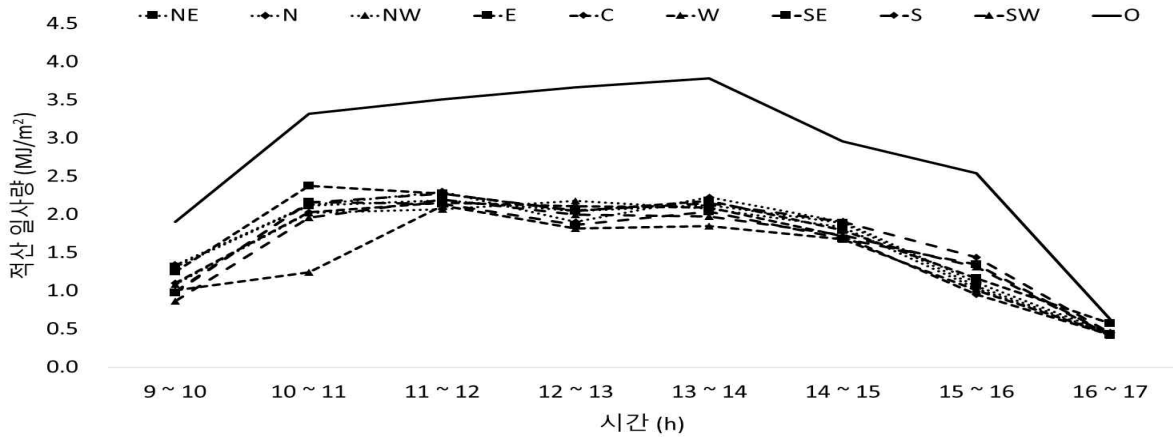
가) 플라스틱 연동 온실 평면 일사량 측정결과

플라스틱 연동 온실의 평면 시간별 적산 일사량을 측정 환경을 평가한 결과 좋지 않은 위치 기준은 플라스틱 단동 온실 기준과 같이 시간대별 적산 일사량의 평균에 표준편차를 뺀 값을 기준으로 같거나 이하로 가정하였다. 표 2-2-3, 그림 2-2-6과 같이 플라스틱 연동 온실에서 광 환경이 1차와 2차 중복으로 같은 위치는 9~10시 SW 위치에서 1차에 0.87 MJ/m²으로 기준인 0.94 MJ/m²보다 낮았으며 2차에 0.72 MJ/m²으로 기준인 0.89 MJ/m²보다 낮았다. 10~11시 W 위치에서 1차에 1.24 MJ/m²으로 기준인 1.71 MJ/m²보다 낮았으며 2차에 1.14 MJ/m²으로 기준인 1.66 MJ/m²보다 낮았다, 11~12시 NW 위치에서 1차에 2.07 MJ/m²으로 기준인 2.11 MJ/m²보다 낮았으며 2차에 1.92 MJ/m²으로 기준인 2.02 MJ/m²보다 낮았다.

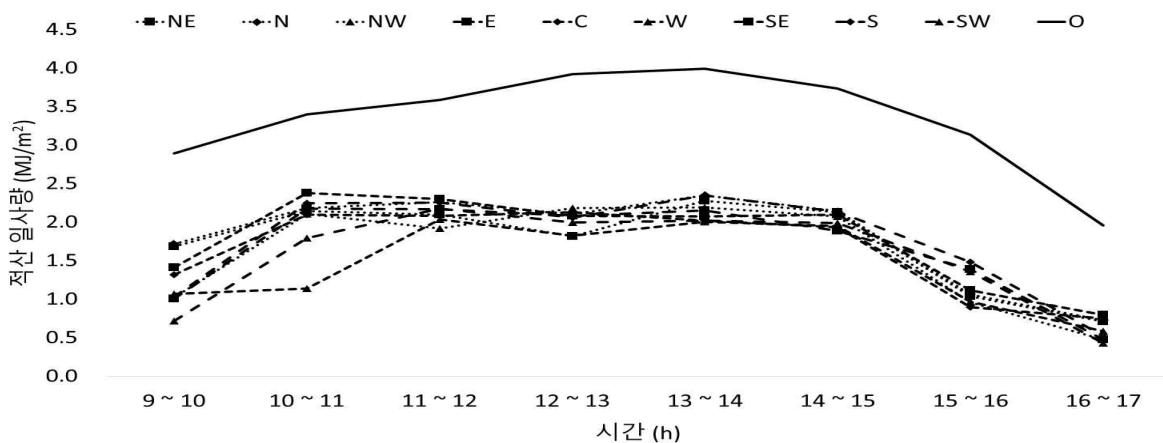
12~13시 W 위치에서 1차에 1.82 MJ/m²으로 기준인 1.88 MJ/m²보다 낮았으며 2차에 1.83 MJ/m²으로 기준인 1.90 MJ/m²보다 낮았다. 13~14시 W 위치에서 1차에 1.85 MJ/m²으로 기준인 1.97 MJ/m²보다 낮았으며 2차에 2.01 MJ/m²으로 기준인 2.02 MJ/m²보다 낮았다. 14~15시 SE 위치에서 1차에 1.69 MJ/m²으로 기준인 1.70 MJ/m²보다 낮았으며 2차에 1.89 MJ/m²으로 기준인 1.94 MJ/m²보다 낮았다. 15~16시 C 위치에서 1차에 0.96 MJ/m²으로 기준인 0.99 MJ/m²보다 낮았으며 2차에 0.90 MJ/m²으로 기준인 0.93 MJ/m²보다 낮았다. 그리고 1차와 2차에서 중복되지 않으나 기준과 비슷한 곳은 14~15시 C 위치는 1차에서 측정값 1.71 MJ/m²으로 기준보다 0.01 MJ/m² 높고 2차에서 1.93 MJ/m²으로 기준 1.94 MJ/m²보다 낮았고 같은 시간 W에서 1차 1.68로 기준 1.70 MJ/m²보다 낮았고 2차에서 1.95 MJ/m²으로 기준인 0.01 MJ/m² 높았다. 그리고 마지막으로 16~17시 SW 위치는 1차에서 기준인 0.40 MJ/m²보다 0.02 MJ/m² 높은 0.42 MJ/m²으로 측정되었으며 2차에서 0.44로 측정되어 기준인 0.47 MJ/m²보다 낮았다. 1차와 2차에서 중복되거나 기준과 비슷한 값을 나타내면서 중복되는 위치는 온실 구조물 그림자에 의한 것으로 사료된다. 1차에서 12~13시 SE 위치의 경우 온실 내부 또는 외부의 일시적인 가림 현상으로 인한 것으로 사료된다.

표 2-2-3. 플라스틱 연동 온실의 평면 적산 일사량(MJ/m²)

시간 (h)	위치										실내 S.D	기준	
	NE	N	NW	E	C	W	SE	S	SW	O			
1차	9~10	1.31	1.34	1.09	1.25	1.11	1.01	0.98	0.99	0.87	1.91	0.16	0.94
	10~11	2.12	2.12	2.02	2.38	2.03	1.24	2.17	2.16	1.96	3.32	0.32	1.71
	11~12	2.19	2.30	2.07	2.28	2.16	2.12	2.14	2.27	2.20	3.51	0.08	2.11
	12~13	2.05	1.90	2.18	2.05	2.11	1.82	1.86	2.06	2.00	3.67	0.12	1.88
	13~14	2.12	2.22	2.08	2.18	2.09	1.85	2.04	2.15	1.98	3.78	0.11	1.97
	14~15	1.89	1.91	1.83	1.80	1.71	1.68	1.69	1.91	1.73	2.96	0.09	1.70
	15~16	1.06	1.11	1.03	1.17	0.96	1.01	1.35	1.44	1.31	2.54	0.17	0.99
	16~17	0.43	0.45	0.42	0.57	0.43	0.43	0.42	0.45	0.42	0.63	0.05	0.40
2차	9~10	1.69	1.72	1.02	1.41	1.32	1.07	1.01	1.03	0.72	2.90	0.34	0.89
	10~11	2.14	2.18	2.11	2.38	2.10	1.14	2.18	2.25	1.79	3.40	0.37	1.66
	11~12	2.10	2.27	1.92	2.30	2.08	2.04	2.17	2.25	2.18	3.59	0.12	2.02
	12~13	1.82	2.11	2.19	2.08	2.13	1.83	2.08	2.06	2.00	3.92	0.13	1.90
	13~14	2.28	2.35	2.19	2.07	2.03	2.01	2.15	2.35	2.03	3.99	0.14	2.02
	14~15	2.13	2.14	2.08	2.10	1.93	1.95	1.89	2.14	1.99	3.74	0.10	1.94
	15~16	1.04	1.07	0.96	1.12	0.90	0.97	1.39	1.49	1.36	3.14	0.21	0.93
	16~17	0.71	0.73	0.48	0.80	0.75	0.59	0.48	0.53	0.44	1.96	0.14	0.47



(a) 1차



(b) 2차

그림 2-2-6. 플라스틱 연동 온실의 평면 일사량

나) 플라스틱 연동 온실 평면 투과율 분석결과

온실 환경설계기준에 의한 남부지방 3월~5월 플라스틱 연동 온실의 투과율은 50.42%로 측정한 일사량을 기준으로 계산된 플라스틱 연동 온실의 평면 투과율은 표 2-2-4와 같으며 기준 이하이면서 1차와 2차 중복되는 위치는 표에서 주황색으로 표시하였다. 적산 일사량과 중복되는 위치로 9~10시 SW 위치에서 1차에 46%, 2차에 25%, 10~11시 W 위치에서 1차에 37%, 2차에 34%, 15~16시 C 위치에서 1차에 38%, 2차에 29%로 이는 구조물의 그림자로 인한 것으로 사료되며 노란색으로 15~16시 NE, N, NW, E, W 위치에서 각각 1차에 42%, 44%, 41%, 46%, 36%, 40%, 2차에 33%, 34%, 31%, 36%, 31%이었다. 이곳들은 온실 구조물 그림자의 간접적인 영향 또는 피복재의 투과율의 영향이 있는 것으로 사료된다. 표에서 녹색인 9~10시 C, W, SE, S 위치의 경우 2차에서 기준에 포함되는 각각 46%, 37%, 35%, 36%로 나타났으며 1차에서 기준보다 최대 7%p 정도 높은 58%, 53%, 51%, 52%로 기준과 큰 차이가 없었고 15~16시 SE, S, SW 위치에서 2차에 각각 44%, 47%, 43%로 1차에 각각 53%, 57%, 52%로 기준보다 약 6%p 높아 중복되는 위치로 판단되었으며 이들 위치 또한 온실 구조물 그림자의 간접적인 영향 또는 피복재의 투과율 문제로 사료된다. 2차 9~10시 NW, E 위치의 경우 해 위치에 따른 빛의 굴절 빛 산란에 의한 것으로 사료된다. 그리고 2차 16~17시의 경우 1차와 2차가 중복되어야 하나 1차의 외부 일사량이 낮아 투과율이 높은 것으로 판단되어 온실의 구조물 그림자에 의한 것으로 사료된다.

표 2-2-4. 플라스틱 연동 온실의 평면 투과율(%)

시간 (h)	위치									
	NE	N	NW	E	C	W	SE	S	SW	
1차	9~10	69	70	57	66	58	53	51	52	46
	10~11	64	64	61	71	61	37	65	65	59
	11~12	62	66	59	65	61	60	61	65	63
	12~13	56	52	59	56	58	50	51	56	55
	13~14	56	59	55	58	55	49	54	57	52
	14~15	64	64	62	61	58	57	57	64	59
	15~16	42	44	41	46	38	40	53	57	52
	16~17	69	72	67	91	68	69	68	71	67
2차	9~10	58	59	35	49	46	37	35	36	25
	10~11	63	64	62	70	62	34	64	66	53
	11~12	58	63	54	64	58	57	60	63	61
	12~13	46	54	56	53	54	47	53	52	51
	13~14	57	59	55	52	51	50	54	59	51
	14~15	57	57	56	56	52	52	50	57	53
	15~16	33	34	31	36	29	31	44	47	43
	16~17	36	37	24	41	38	30	24	27	22

3) 유리 연동 온실 광 환경 측정

4월에 전북 전주시에 있는 농촌진흥청 농업공학부의 남북동 방향의 가로 16 m X 세로 24 m 높이 X 6 m 크기 유리온실에서 일사량을 측정하였다. 일사량 센서의 배치는 그림 2-2-7과 같이 온실 북쪽을 기준으로 동, 서 방향 가장자리에서 4 m, 동, 서 방향 중앙은 동쪽에서 8 m 위치에 배치하였고 북, 남 방향은 가장자리에서 4 m, 북, 남 방향 중앙은 정중앙인 북쪽에서 12 m에 배치하였다. 측면의 경우 단동, 연동 온실과 다르게 하단(C1-C2), 중앙(C3), 상단(C1-T)으로 배치하였으며 배치 높이는 바닥에서 하단 1.5 m, 중앙 2.5 m, 상단 3.5 m 높이에 배치하였다. 실제 배치 모습은 그림 2-2-8과 같다.

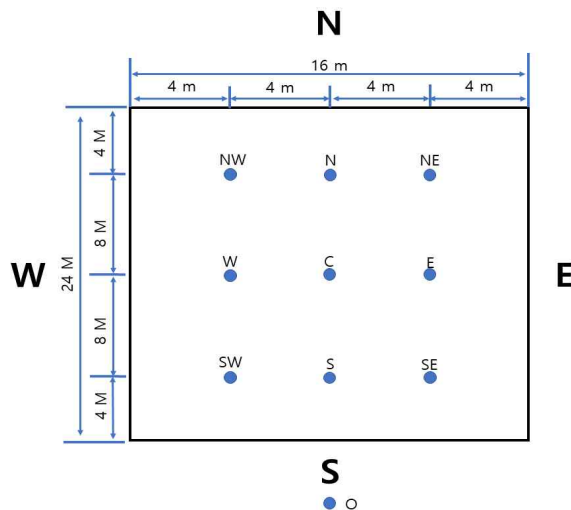


그림 2-2-7. 유리 연동 온실의 일사량 센서 배치도



그림 2-2-8. 유리 연동 온실의 일사량 센서 배치 모습

가) 유리 연동 온실 평면 일사량 측정결과

유리 연동 온실의 평면 일사량은 표 2-2-5, 그림 2-2-9와 같으며 1차와 2차 광 환경이 좋지 않은 위치가 중복되는 곳은 9~10시의 경우 S 위치의 경우 1차에 기준 0.58 MJ/m^2 보다 0.07 MJ/m^2 낮은 0.51 MJ/m^2 , 2차에 기준보다 0.2 MJ/m^2 낮은 0.57 MJ/m^2 이었다. 10~11시 NE, N, NS 위치에서 1차에 각각 $1.18, 1.10, 1.11 \text{ MJ/m}^2$ 으로 측정되어 기준인 1.22 MJ/m^2 보다 낮았고 2차에 $1.08, 1.05, 1.04 \text{ MJ/m}^2$ 로 기준인 1.19 MJ/m^2 보다 낮았다. 11~12시의 경우 SE 위치에서 1차 1.97 MJ/m^2 으로 기준인 2.07 MJ/m^2 보다 낮았으며 2차에 2.11 MJ/m^2 로 기준인 2.15 MJ/m^2 보다 낮았다. 12~13시의 경우 C 위치에서 1차에 1.20 MJ/m^2 로 기준인 1.22 MJ/m^2 보다 낮았고 2차에 1.58 MJ/m^2 으로 기준인 1.62 MJ/m^2 보다 낮았다. 13~14시의 경우 NE 위치에서 1차 1.39 MJ/m^2 으로 기준인 1.59 MJ/m^2 보다 낮았고 2차에 1.50 MJ/m^2 으로 기준인 1.66 MJ/m^2 보다 낮았다. 14~15시에는 1차 1.37 MJ/m^2 으로 기준인 1.77 MJ/m^2 보다 낮았고 2차에 1.68 MJ/m^2 으로 기준인 1.87 MJ/m^2 보다 낮았다. 15~16시에는 SE, S, SW 위치에서 1차에 각각 $0.68, 0.67, 0.79 \text{ MJ/m}^2$ 으로 기준인 0.83 MJ/m^2 보다 낮았고 2차에 각각 $0.68, 0.66, 0.79 \text{ MJ/m}^2$ 으로 기준인 0.81 MJ/m^2 보다 낮았다. 16~17시의 경우 1차에 0.59 MJ/m^2 으로 기준인 0.67 MJ/m^2 보다 낮았고 2차에 0.64 MJ/m^2 로 기준인 0.70 MJ/m^2 보다 낮았다. 또한, 12~13시 S 위치의 경우 1차에 2.08 MJ/m^2 으로 기준인 2.07 MJ/m^2 보다 0.01 MJ/m^2 높으나 2차에 2.07 MJ/m^2 으로 기준인 2.15 MJ/m^2 보다 낮았으며 1차에서 기준보다 큰 차이가 없어 온실 구조물의 그림자에 의한 것으로 사료되며 1차에서 NE 위치의 9~10시는 일출 때의 빛의 산란으로 인한 것으로 판단되며 12~13시의 경우 자연환경 또는 온실 내부의 일시적인 변화로 인하여 낮게 측정된 것으로 사료된다.

표 2-2-5. 유리 연동 온실의 평면 적산 일사량(MJ/m²)

시간(h)	위치										S.D	기준	
	NE	N	NW	E	C	W	SE	S	SW	O			
1차	9~10	0.58	0.64	0.65	1.11	0.97	1.01	0.79	0.51	0.84	1.86	0.21	0.58
	10~11	1.18	1.10	1.11	1.83	1.62	1.73	1.78	1.68	1.81	2.79	0.31	1.22
	11~12	2.17	2.27	2.28	2.52	2.16	2.34	2.28	2.08	1.97	3.33	0.16	2.07
	12~13	1.04	1.77	1.55	1.58	1.20	1.55	1.64	2.00	1.31	3.30	0.30	1.22
	13~14	1.39	1.96	1.63	1.83	1.79	1.80	2.23	2.41	2.38	3.38	0.35	1.59
	14~15	2.06	2.14	2.08	2.24	2.07	2.19	2.03	1.37	2.10	3.05	0.25	1.77
	15~16	1.37	1.43	1.39	1.43	1.37	1.36	0.68	0.67	0.79	2.49	0.34	0.83
	16~17	0.69	0.74	0.59	0.92	0.88	0.88	0.79	1.12	0.80	1.74	0.15	0.67
2차	9~10	0.90	0.91	0.99	1.43	1.35	1.36	0.91	0.57	1.06	2.51	0.28	0.77
	10~11	1.08	1.05	1.04	1.95	1.72	1.88	2.08	1.78	2.02	3.03	0.44	1.19
	11~12	2.25	2.34	2.36	2.57	2.28	2.43	2.30	2.07	2.11	3.36	0.15	2.15
	12~13	1.69	2.03	1.95	1.69	1.58	1.84	1.76	2.17	1.65	3.45	0.20	1.62
	13~14	1.50	1.94	1.94	1.90	1.72	1.75	2.26	2.50	2.37	3.37	0.33	1.66
	14~15	1.97	2.05	2.00	2.11	2.03	2.16	1.98	1.68	2.05	2.97	0.13	1.87
	15~16	1.39	1.45	1.42	1.37	1.28	1.28	0.68	0.66	0.79	2.43	0.33	0.81
	16~17	0.72	0.77	0.64	1.06	0.88	0.93	0.81	1.08	0.76	1.68	0.15	0.70

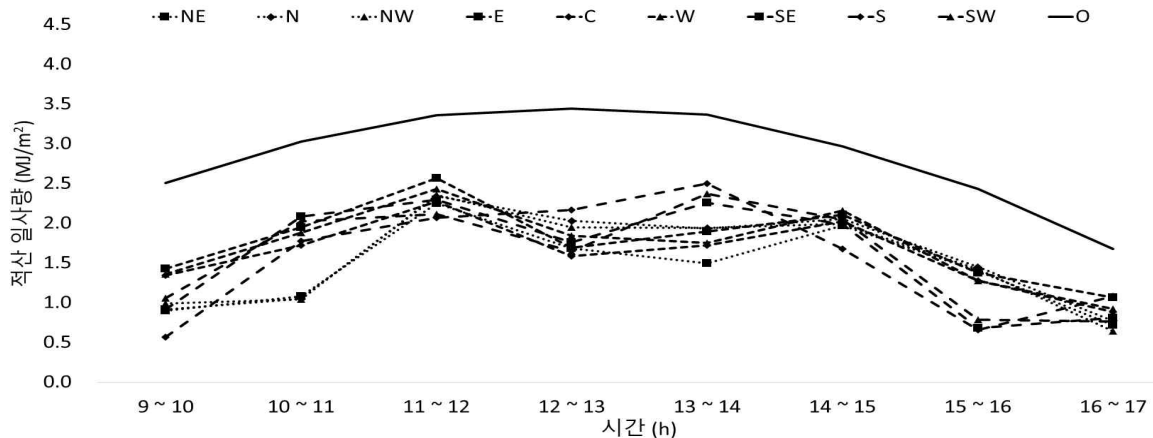
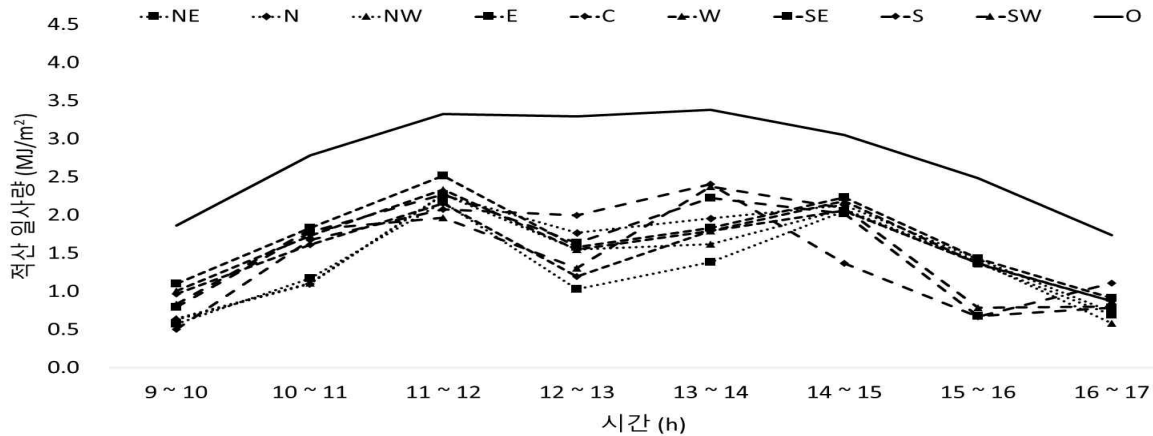


그림 2-2-9. 유리 연동 온실의 평면 일사량

나) 유리 연동 온실 평면 투과율 분석결과

일사량 측정결과를 바탕으로 투과율을 계산한 결과는 표 2-2-6과 같으며 온실 환경설계기준에 의한 남부지방 연동 유리온실의 3~5월 투과율 기준은 62.72%이다. 유리 연동 온실의 경우 투과율이 기준 이하보다 기준이상인 위치가 적었다. 기준 이상인 위치는 1차 2차에서 공동으로 나타났으며 10~11시 E, SE, SW로 1차에 각각 66%, 64%, 65%로 나타났으며 2차에 각각 64%, 69%, 67%로 나타났으며 11~12시 NE, N, NW, E, C, W, SE 위치에서 1차에 각각 65% 68%, 68%, 76%, 65%, 70%, 68%, 2차에 67%, 70%, 70%, 76%, 68%, 72%, 68%로 나타났다. 13~14시 SE, S, SW 위치에서 1차에 각각 66%, 71%, 72%이고 2차에 67%, 74%, 70%로 나타났다. 14~15시 NE, N, NW, E, C, W, SE, SW 위치에서 1차에 각각 67%, 70%, 68%, 73%, 68%, 72%, 66%, 69%이고 2차에 67%, 69%, 67%, 71%, 68%, 73%, 67%, 69%로 나타났다. 마지막으로 16~17시 S 위치에서 1차 64%, 2차 64% 이외에 지역에서 투과율이 기준 이하이었다. 그리고 표에서 녹색과 같이 12~13시 S 위치에서 1차에 61%, 2차에 63%로 2차에 기준보다 약 0.3%p 높아 큰 차이가 없어 이곳 또한 투과율이 기준 이하인 곳으로 판단하였다. 이곳 중에서 적산 일사량 시험결과에서 1차와 2차 중복되어 그림자로 인한 곳을 찾으면 표의 주황색과 같이 9~10시 S, 10~11시 NE, N, NW 위치 11~12시 S, SW 위치, 12~13시 C 위치, 13~14시 NE 위치, 14~15시 S 위치, 15~16시 SE, S, SW 위치 16~17시 NW 위치로 이곳들은 구조물의 그림자에 의한 것으로 판단되며 1차 NE 위치 9~10시, 12~13시 위치는 적산 일사량 결과와 같이 온실 외부의 자연현상, 또는 내부의 일시적인 상황으로 사료된다. 나머지 투과율이 기준 이하인 곳들은 온실 외부 유리의 황사 및 미세먼지의 얼룩 등으로 인하여 투과율이 낮게 측정되는 것으로 사료된다.

표 2-2-6. 유리 연동 온실의 평면 투과율(%)

시간(h)		위치								
		NE	N	NW	E	C	W	SE	S	SW
1차	9~10	31	34	35	59	52	54	43	27	45
	10~11	42	39	40	66	58	62	64	60	65
	11~12	65	68	68	76	65	70	68	62	59
	12~13	31	54	47	48	36	47	50	61	40
	13~14	41	58	48	54	53	53	66	71	70
	14~15	67	70	68	73	68	72	66	45	69
	15~16	55	57	56	58	55	55	27	27	32
	16~17	40	42	34	53	50	50	45	64	46
2차	9~10	36	36	39	57	54	54	36	23	42
	10~11	36	35	35	64	57	62	69	59	67
	11~12	67	70	70	76	68	72	68	62	63
	12~13	49	59	57	49	46	53	51	63	48
	13~14	45	58	58	56	51	52	67	74	70
	14~15	67	69	67	71	68	73	67	57	69
	15~16	57	60	58	57	52	53	28	27	32
	16~17	43	46	38	63	53	55	48	64	45

4) 온실별 높이에 따른 광 환경 분석

높이에 따른 광 환경 분석은 비교는 아래 그림 일사량 센서 배치도(그림 2-2-10)에서 a, b, c와 같이 플라스틱 단동 온실, 연동 온실, 유리 연동 온실의 일사량을 측정 후 시간대별 적산 일사량을 이용하여 광 환경을 분석하였다. 플라스틱 단동과 연동 온실의 광 환경 분석은 1.5 m, 2.5 m 높이를 하였다. 유리 연동 온실의 경우 1.5 m, 2.5 m, 3.5 m로 하였다. 광 환경의 좋고 나쁨의 판단 기준은 플라스틱 단동 온실과 연동 온실의 경우 시간대별 1.5 m 와 2.5 m의 적산 일사량의 차이 값을 구하고 차이 값 전체 평균을 구하고 전체 평균 이상 차이 나고 낮은 위치가 광 환경이 좋지 않은 것으로 가정하고 분석하였으며 유리 연동 온실의 경우 플라스틱 단동, 연동 온실과 다르게 평면 적산 일사량에서 광 환경의 좋고 나쁨의 판단 기준과 같이 시간대별 평균값에 표준편차를 뺀 값을 이용하여 판단하였다. 투과율은 온실 환경설계기준(안)의 기준을 이용하여 광 환경을 분석하였다.

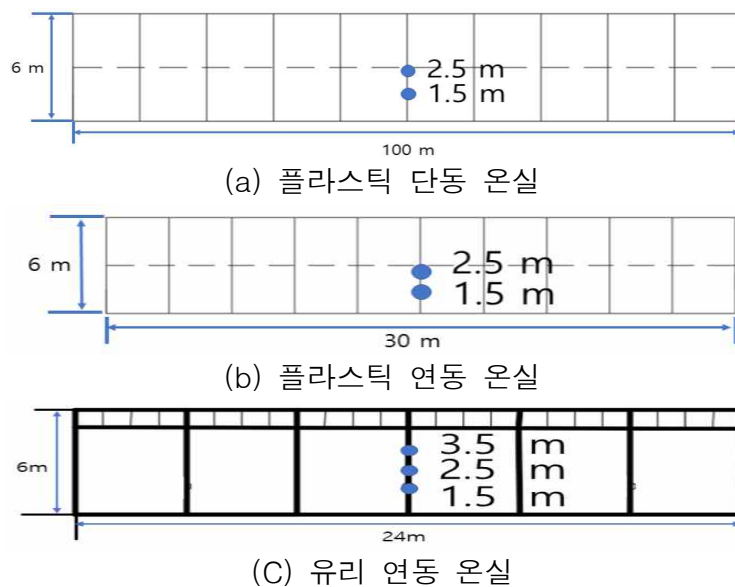


그림 2-2-10. 온실별 높이에 따른 일사량 센서 배치도

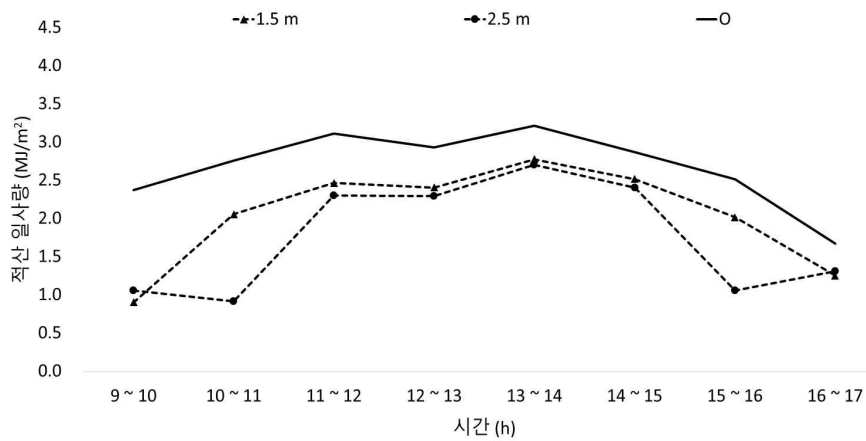
가) 플라스틱 단동 온실의 높이에 따른 일사량 측정결과

플라스틱 단동 온실의 경우 평면 일사량 1.5m 높이와 외부 일사량 측정결과와 다른데 평면 일사량 측정 당시 2.5 m 높이 설치한 일사량 센서의 에러로 인하여 높이에 따른 일사량 측정만 따로 하였다.

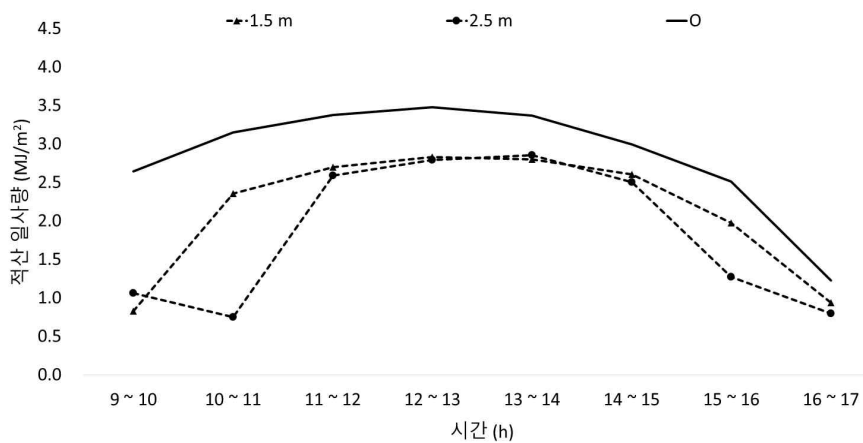
플라스틱 단동 온실의 시간대별 차이 값의 평균은 1차에 0.35 MJ/m^2 , 2차에 0.37 MJ/m^2 이었다. 이를 기준으로 광 환경을 분석한 결과는 표 2-2-7, 그림 2-2-11과 같이 10~11시 1차에 1.5 m는 2.06 MJ/m^2 , 2.5 m에서 0.92 MJ/m^2 으로 1.14 MJ/m^2 차이가 났으며 15~16시 1.5 m 높이에서 1.98 MJ/m^2 , 2.5 m 높이에서 1.27 MJ/m^2 으로 0.71 MJ/m^2 차이가 났다. 이는 예상과 달리 2.5 m 높이에서 측정값이 낮았다. 원인은 1차와 2차에서 연속적으로 나타나 온실 구조물에 의한 것으로 판단되며 온실의 폭이 10 m로 온실 구조물의 폭이 좁은 폭으로 인해 양쪽 가장자리 구조물의 그림자가 1.5 m 높이에 영향을 주는 것이 아니라 2.5m 높이에 영향을 주는 것으로 사료된다.

표 2-2-7. 플라스틱 단동 온실의 높이에 따른 적산 일사량(MJ/m²)

시간(h)		위치			차이 값
		1.5 m	2.5 m	0	
1차	9~10	0.90	1.06	2.37	0.16
	10~11	2.06	0.92	2.76	1.14
	11~12	2.46	2.31	3.11	0.16
	12~13	2.41	2.30	2.93	0.11
	13~14	2.78	2.70	3.22	0.08
	14~15	2.52	2.41	2.87	0.11
	15~16	2.02	1.06	2.51	0.96
	16~17	1.25	1.31	1.67	0.05
2차	9~10	0.83	1.07	2.65	0.24
	10~11	2.36	0.75	3.16	1.61
	11~12	2.70	2.59	3.38	0.11
	12~13	2.83	2.80	3.48	0.04
	13~14	2.80	2.85	3.37	0.05
	14~15	2.61	2.51	3.00	0.11
	15~16	1.98	1.27	2.52	0.71
	16~17	0.94	0.80	1.23	0.14



(a) 1차



(b) 2차

그림 2-2-11. 플라스틱 단동 온실의 높이에 따른 적산 일사량

나) 플라스틱 단동 온실의 높이에 따른 투과율 분석

플라스틱 단동온실 남부지방 남북동 방향의 온실 환경설계기준의 투과율은 55.42%이었다. 표 2-2-8과 같이 높이에 따른 투과율 결과에서 1차와 2차 연속으로 9~10시 1.5m, 2.5m 높이 두 곳 모두 1차에 각각 38%, 45%, 2차에 31%, 40%로 기준 이하이었고 10~11시 2.5 m 높이에서 1차에 33%, 2차에 24%로 나타났다. 그리고 15~16시 2.5m 높이에서 1차 42%, 2차 51%로 기준 이하이었다. 9시~10시의 경우 외부 적산 일사량 측정값과 내부 일사량의 차이가 1차 때 1.5 m에서 1.47 MJ/m², 2.5 m에서 1.31 MJ/m² 차이가 났고 2차 때 1.5 m에서 1.82 MJ/m², 2.5m에서 1.58 MJ/m² 차이가 났으며 이는 온실 구조물 그림자에 의한 것으로 사료되며 표에서 적색으로 표시된 위치인 10~11시와 15~16시의 경우 적산 일사량 결과와 중복으로 나타나 온실 구조물의 그림자에 의한 것으로 사료된다.

표 2-2-8. 플라스틱 단동 온실의 높이에 따른 투과율(%)

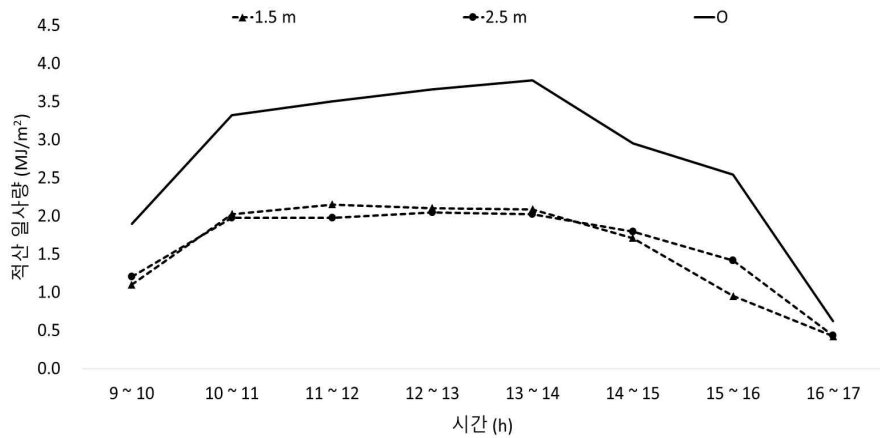
시간(h)		위치	
		1.5 m	2.5 m
1차	9~10	38	45
	10~11	74	33
	11~12	79	74
	12~13	82	78
	13~14	86	84
	14~15	88	84
	15~16	80	42
	16~17	75	78
2차	9~10	31	40
	10~11	75	24
	11~12	80	77
	12~13	81	80
	13~14	83	85
	14~15	87	84
	15~16	79	51
	16~17	77	66

다) 플라스틱 연동 온실의 높이에 따른 일사량 측정결과

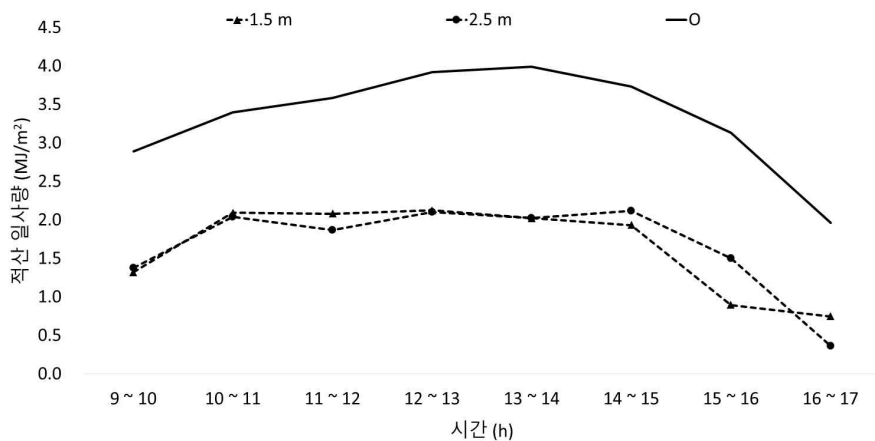
플라스틱 연동 온실의 광 환경이 좋지 않은 기준은 0.16 MJ/m²으로 이상 차이가 있으며 낮은 위치는 표 2-2-9와 같이 1차 11~12시 2.5 m 높이에서 1.98 MJ/m²으로 1.5 m 높이 2.16 MJ/m²보다 0.17 MJ/m² 낮았고 2차 또한 2.5 m 높이에서 1.87 MJ/m²로 1.5 m 2.08 MJ/m²보다 0.21 MJ/m² 낮았다. 16시의 경우 1.5 m에서 0.96 MJ/m²으로 2.5 m의 1.42 MJ/m²보다 0.46 MJ/m² 낮았으며 2차에서 1.5 m에서 0.90 MJ/m²으로 2.5 m의 1.51 MJ/m²보다 0.61 MJ/m² 낮았다. 이들 위치는 1차와 2차 중복으로 나타나 온실의 구조물 그림자에 의한 것으로 사료된다. 16~17시 2.5m의 높이는 1차 때 낮은 외부 일사량으로 인하여 원인을 정확하게 분석하기 어려우나 0.38 MJ/m²의 큰 차이는 온실의 구조물의 그림자로 인한 것으로 추측된다. 플라스틱 단동 온실 적산 일사량 그래프는 그림 2-2-12와 같다.

표 2-2-9. 플라스틱 연동 온실의 높이에 따른 적산 일사량(MJ/m²)

시간(h)	위치			차이 값	
	1.5 m	2.5 m	0		
1차	9~10	1.11	1.20	1.91	0.10
	10~11	2.03	1.98	3.32	0.05
	11~12	2.16	1.98	3.51	0.17
	12~13	2.11	2.05	3.67	0.06
	13~14	2.09	2.03	3.78	0.06
	14~15	1.71	1.80	2.96	0.09
	15~16	0.96	1.42	2.54	0.46
	16~17	0.43	0.44	0.63	0.01
2차	9~10	1.32	1.38	2.90	0.05
	10~11	2.10	2.04	3.40	0.05
	11~12	2.08	1.87	3.59	0.21
	12~13	2.13	2.11	3.92	0.02
	13~14	2.03	2.03	3.99	0.01
	14~15	1.93	2.12	3.74	0.19
	15~16	0.90	1.51	3.14	0.61
	16~17	0.75	0.37	1.96	0.38



(a) 1차



(b) 2차

그림 2-2-12. 플라스틱 단동 온실의 높이에 따른 적산 일사량

라) 플라스틱 연동 온실의 높이에 따른 투과율 분석결과
 플라스틱 연동 온실의 환경설계기준(안)의 남부지방 남북동 방향의 플라스틱 연동 온실 투과

율 기준은 50.42%이다. 이를 기준으로 높이에 따른 투과율을 분석한 결과 표 2-2-10과 같이 1차와 2차 중복으로 광 환경이 좋지 않은 구간은 15시 1.5 m 높이이고 1차에 38%, 2차에 29%로 나타났다. 2차에 10시, 1.5 m 2.5 m 모두에서 각각 46%, 48%로 나타났으며 16시 2.5 m에서 48% 16~17시 1.5 m, 2.5 m 모두에서 각각 38%, 19%로 기준 이하로 나타났다. 이들 위치의 투과율이 좋지 않은 원인으로는 외부 일사량으로 인한 것으로 사료되며 9~10시 외부 일사량 차이는 1차 1.91 MJ/m², 2차 2.90 MJ/m²으로 0.99 MJ/m² 차이가 났으며 16~17시 1차 0.63 MJ/m², 2차 1.96 MJ/m²으로 1.33 MJ/m² 차이가 났다. 1차 때 외부 광 환경이 좋지 않아 투과율이 높게 나온 것으로 사료되며 2차 때 낮게 나온 원인으로는 같은 시간 때의 외부 적산 일사량과 각각 높이의 적산 일사량의 차이가 9~10시의 외부 일사량은 2.90 m² 이고 1.5 m의 경우 1.32 MJ/m²으로 1.58 MJ/m² 차이가 났고 2.5m의 경우 1.38 MJ/m²으로 1.52 MJ/m² 차이가 났다. 16~17시의 경우 외부 일사량이 1.96 MJ/m²으로 1.5 m의 0.75 MJ/m²와 1.21 MJ/m² 차이 났으며 2.5 m에서 0.37 MJ/m²으로 1.59 MJ/m² 차이가 났다. 이들은 외부의 적산 일사량과 내부의 적산 일사량이 1.0 m² 이상의 적산 일사량 차이로 온실 구조물의 영향으로 인한 것으로 사료된다. 그리고 15~16시의 경우 표에서 주황색과 같이 적산 일사량 결과와 중복되며 이는 온실의 구조물 그림자에 의해 투과율 또한 영향을 미친 것으로 사료된다.

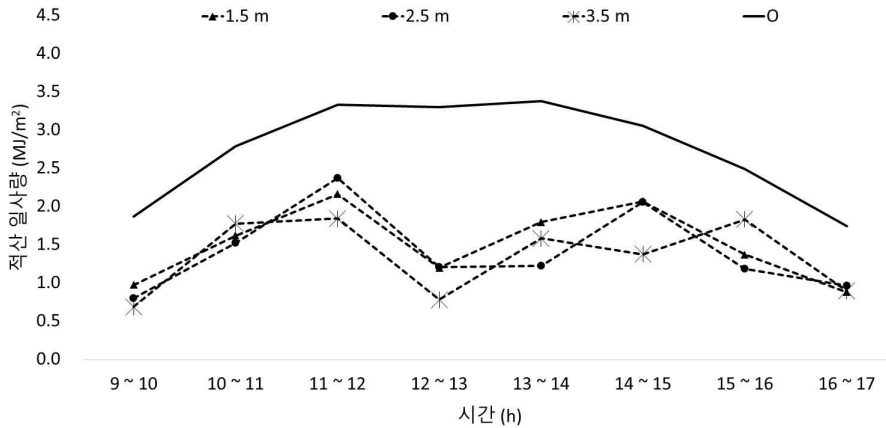
표 2-2-10. 플라스틱 연동 온실의 높이에 따른 투과율(%)

시간(h)		위치	
		1.5 m	2.5 m
1차	9~10	58	63
	10~11	61	60
	11~12	61	56
	12~13	58	56
	13~14	55	54
	14~15	58	61
	15~16	38	56
	16~17	68	70
2차	9~10	46	48
	10~11	62	60
	11~12	58	52
	12~13	54	54
	13~14	51	51
	14~15	52	57
	15~16	29	48
	16~17	38	19

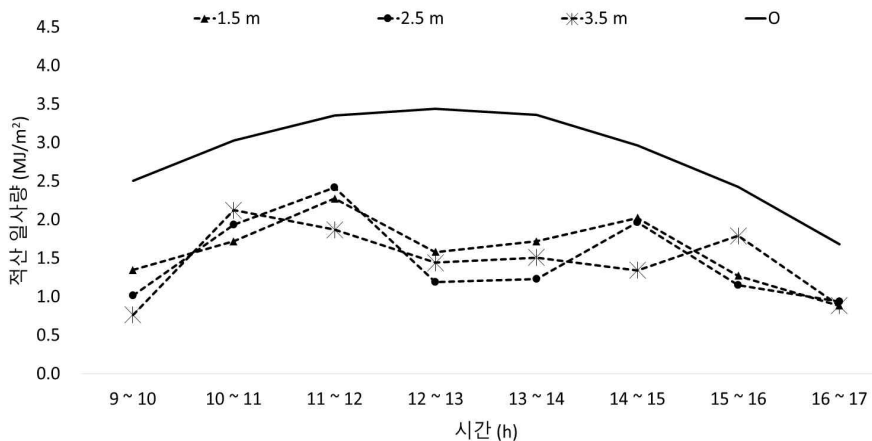
마) 유리 연동 온실의 높이에 따른 일사량 측정결과

플라스틱 연동온실의 광 환경이 높이에 따른 광 환경 분석 기준은 평면의 광 환경 판단 기준을 이용하여 분석하였다. 분석결과는 표 2-2-11과 같이 1차와 2차 공통으로 나타난 곳은

표에서 노란색과 같이 11~12시 3.5 m 높이에서 1차에 1.84 MJ/m^2 으로 기준인 1.86 MJ/m^2 보다 0.02 MJ/m^2 낮았으며 2차에 1.87 MJ/m^2 으로 기준인 1.90 MJ/m^2 보다 0.03 MJ/m^2 낮았다. 13~14시 2.5m 높이에서 1차에 1.22 MJ/m^2 으로 기준인 1.24 MJ/m^2 보다 0.02 MJ/m^2 낮았으며 2차에 1.23 MJ/m^2 으로 기준인 1.24 MJ/m^2 보다 0.01 MJ/m^2 낮았다. 마지막으로 14~15시 3.5 m 높이에서 1차에 1.37 MJ/m^2 으로 기준인 1.44 MJ/m^2 보다 0.07 MJ/m^2 낮았으며 2차에 1.34 MJ/m^2 로 기준인 1.40 MJ/m^2 보다 0.06 MJ/m^2 낮았다. 이들은 온실 구조물의 영향을 받은 것으로 사료된다. 1차와 2차 차이가 있는 곳은 1차 12~13시 3.5 m 높이로 기준인 0.82 MJ/m^2 보다 0.04 MJ/m^2 낮은 0.78 MJ/m^2 으로 온실 외부의 일시적인 환경 또는 온실 내부의 일시적인 문제로 인한 것으로 사료되며 2차 12~13시 2.5m 높이에서 1.20 MJ/m^2 으로 나타나 기준인 0.01 MJ/m^2 낮게 나타났다. 이곳은 1차에서도 비슷한 1.21 MJ/m^2 의 결과가 나와 그림자로 인한 것으로 사료되며 1차와 2차에서 차이 나는 원인으로는 1차 3.30 MJ/m^2 , 2차 3.45 MJ/m^2 로 측정된 외부 적산 일사량 0.15 MJ/m^2 차이와 온실 내 외부 원인으로 인한 3.5m 높이의 낮은 결과로 평균과 표준편차에서 영향을 받아 차이가 발생한 것으로 사료된다.



(a) 1차



(b) 2차

그림 2-2-13. 유리 연동 온실의 높이에 따른 적산 일사량

표 2-2-11. 유리 연동 온실의 높이에 따른 적산 일사량(MJ/m²)

시간(h)		위치					
		1.5 m	2.5 m	3.5 m	O	S.D	기준
1차	9~10	0.97	0.79	0.68	1.86	0.15	0.67
	10~11	1.62	1.52	1.77	2.79	0.13	1.51
	11~12	2.16	2.37	1.84	3.33	0.27	1.86
	12~13	1.20	1.21	0.78	3.30	0.24	0.82
	13~14	1.79	1.22	1.58	3.38	0.29	1.24
	14~15	2.07	2.06	1.37	3.05	0.40	1.44
	15~16	1.37	1.18	1.83	2.49	0.33	1.13
	16~17	0.88	0.96	0.89	1.74	0.04	0.87
2차	9~10	1.35	1.02	0.77	2.51	0.29	0.76
	10~11	1.72	1.94	2.13	3.03	0.20	1.73
	11~12	2.28	2.42	1.87	3.36	0.29	1.90
	12~13	1.58	1.20	1.44	3.45	0.20	1.21
	13~14	1.72	1.23	1.51	3.37	0.25	1.24
	14~15	2.03	1.97	1.34	2.97	0.38	1.40
	15~16	1.28	1.15	1.79	2.43	0.34	1.07
	16~17	0.88	0.94	0.89	1.68	0.03	0.87

바) 유리 연동 온실의 높이에 따른 투과율 분석결과

남부지방 남북동 방향 유리 연동 온실의 3~5월 투과율 기준은 62.72% 평면 유리 연동 온실 투과율 결과는 표 2-2-12와 같이 기준 이하인 위치가 대부분이었으며 또한 1차와 2차 중복으로 나타났다. 기준 이상인 위치는 10~11시 3.5 m 높이 1차 64%, 2차 68%이었고 11~12시 1.5 m와 2.5 m으로 각각 1차 65%, 71%, 2차 68%, 72%로 나타났다. 그리고 15시 1.5 m와 2.5 m로 각각 1차 68%, 67%, 2차 68%, 66%로 나타났으며 15~16시 1차 74%, 2차 74%로 나타나 광 환경이 좋았다. 다른 위치들과 다르게 1차 10~11시 2.5 m 높이에서 54%로 기준과는 약 9%p 2차와 10%p 차이가 났으며 이는 1차와 2차 큰 차이로 인하여 1차 때 온실 외부환경 또는 온실 내부의 일시적인 문제로 사료된다. 나머지 위치 중 표에서 주황색으로 표시된 곳인 11~12시 3.5 m, 13~14시 2.5m, 14~15시 3.5 m의 경우 적산 일사량 결과와 중복되는 위치로 온실 구조물에 의한 것으로 사료된다. 온실 구조물 그림자에 의해 중복으로 기준 이하인 곳을 제외하고 나머지 1차와 1차 중복으로 나타난 곳들은 미세먼지 및 황사 그리고 비로 인하여 발생한 온실 외부 유리의 얼룩으로 인하여 투과율 분석결과가 좋지 않은 것으로 사료된다.

표 2-2-12. 유리 연동 온실 높이에 따른 투과율(%)

시간(h)		위치		
		1.5 m	2.5 m	3.5 m
1차	9~10	52	43	37
	10~11	58	54	64
	11~12	65	71	55
	12~13	36	37	24
	13~14	53	36	47
	14~15	68	67	45
	15~16	55	48	74
	16~17	50	55	51
2차	9~10	54	41	31
	10~11	57	64	70
	11~12	68	72	56
	12~13	46	35	42
	13~14	51	37	45
	14~15	68	66	45
	15~16	52	47	74
	16~17	53	56	53

사) 온실별 광 환경 분석 최종 결론

적산 일사량 측정결과에서 시간대별 평균에 시간대별 표준편차 뺀 값과 온실 환경설계기준(안)의 투과율을 이용하여 적산 일사량 결과와 투과율 결과를 교차하여 분석하면 온실의 구조물로 인한 광 환경 저하와 피복재의 문제로 인한 저하, 일시적인 현상으로 인한 저하 등의 원인을 분석할 수 있을 것으로 사료된다. 그리고 높이에 따른 광 환경 분석방법 또한 작물의 높이에 따라 측정 높이가 2곳일 경우 시간대별 적산 일사량 차의 평균을 이용하여 분석하는 방법과 3곳 이상일 경우 평면에서 사용한 시간대별 평균에 시간대별 표준편차 뺀 값을 이용하여 적산 일사량의 광 환경 분석방법과 광 환경 분석이 가능할 것으로 사료된다.

나. 스마트온실의 환기에 따른 열적환경 평가방법의 표준화 방안 개발

1) 시험방법

본 연구는 스마트 온실에 대하여 외부로부터 불어오는 풍향과 풍속 조건 및 환기팬의 가동 여부에 따른 온실 내부 유동과 온도 분포의 특성을 분석하였다. 외부의 풍향 및 풍속이 온실 내부공기 유동과 생육작물에 미치는 영향을 평가하기 위해 표 2-2-13과 같이 풍향은 온실의 입구를 기준으로 90°, 45°, 0°의 3가지 풍향에 대해 분석하였고, 풍속은 일반적으로 시뮬레이션을 통해 분석하는 0.5, 1.0, 3.0 m/s 세가지 조건 등 총 9개의 경우에 대한 시뮬레이션 수치해석을 통해 온실 방향에 따른 최적의 풍향을 도출하였다. 이후, 외부 풍속이 내부 환경에 미치는 영향 분석을 위해 전 단계에서 도출된 최적 풍향에 대하여 0.2, 0.5, 1.0, 1.5, 3.0, 5.0 m/s의 6가지 바람이 온실 내부로 들어올 때의 환기를 분석하였고, 내부의 환기팬을 가동 여부에 따른 영향을 포함하여 12가지 경우에 대한 분석을 수행하였다.

표 2-2-13. 환경 조건에 따른 계산 Case

계산 유형	외기 풍속 (m/s)	풍향	내부 순환팬
풍향별	0.5	남향 (90°)	가동
		동향 (0°)	
		남동향 (45°)	
	1.0	남향 (90°)	
		동향 (0°)	
		남동향 (45°)	
	3.0	남향 (90°)	
		동향 (0°)	
		남동향 (45°)	
풍속별	0.2	최적풍향	가동
	0.5		
	1.0		
	1.5		
	3.0		
	5.0		

그림 2-2-14는 해석을 위해 사용된 격자 형태를 나타낸 것이다. 격자 품질 향상과 계산 부하에 영향을 주는 cell 개수를 줄이기 위해 다면체(polyhedral) 격자를 사용하였으며, 벽면에 가까운 면에 격자를 밀집시켜 벽 근처에서 발생하는 복잡한 유동을 계산할 수 있도록 생성하였다. 스마트온실의 외부 경계조건이 스마트온실 내부 및 외부 유동에 영향을 주지 않기 위해 외부 영역을 길이 약 3.5 km, 폭 3.5 km, 높이 1.6 km로 설정하였으며, 해석에는 약 4,456 만개의 격자를 사용하였다.

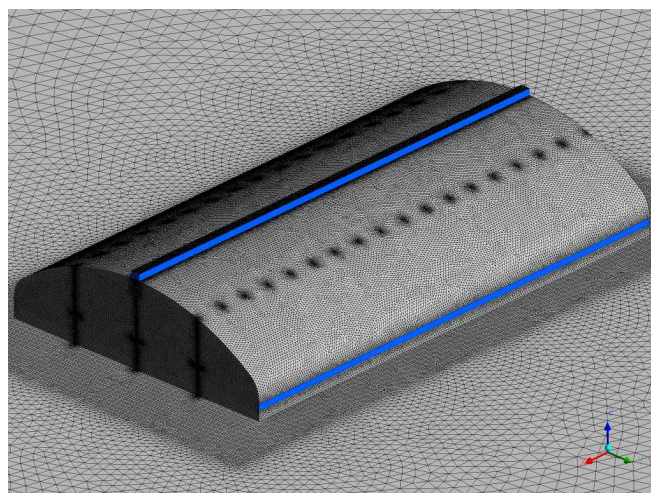


그림 2-2-14. 계산에 사용된 격자

2) 풍향조건 시험결과

가) 남풍(90°) 조건

외부 풍속이 0.5, 1.0, 3.0 m/s로 증가함에 따라 스마트온실의 내부 속도 및 온도 분포를 분석하였다. 외부 풍속이 0.5 m/s인 경우 측창이 열려있어 외부로부터 공기가 유입되어 온도

는 비교적 높은 것으로 나타나지만, 남쪽과 북쪽의 대칭성을 고려하였을 때 외부 유동의 속도가 느리기 때문에 스마트온실 내부 유동에 영향을 미치지 못한 것으로 사료된다. 남쪽 창을 통해 들어온 외기가 천장면을 따라 이동하는 양상이 관찰되었으며, 천장 환기팬이 가동되지 않으므로 높이가 증가함에 따라 온도 또한 증가하는 것으로 분석되었다. 풍속이 1.0 m/s인 경우에 천장 창문으로 인해 천장 측의 온도가 더 낮아진 것으로 분석되었다. 스마트온실 외부 유동 패턴은 풍속 1.0 m/s와 0.5 m/s이 서로 유사한 경향을 나타내었다. 풍속 3.0 m/s의 계산 결과 남쪽의 측면 창으로 들어오는 공기의 속도가 증가한 것을 확인할 수 있으며, 이전의 0.5, 1.0 m/s 풍속의 계산 결과와 다르게 측면 창을 통해 유입된 공기가 남쪽 기둥 하단까지 유입된 이후 상승하는 기류가 관찰되는 것으로 분석되었다.

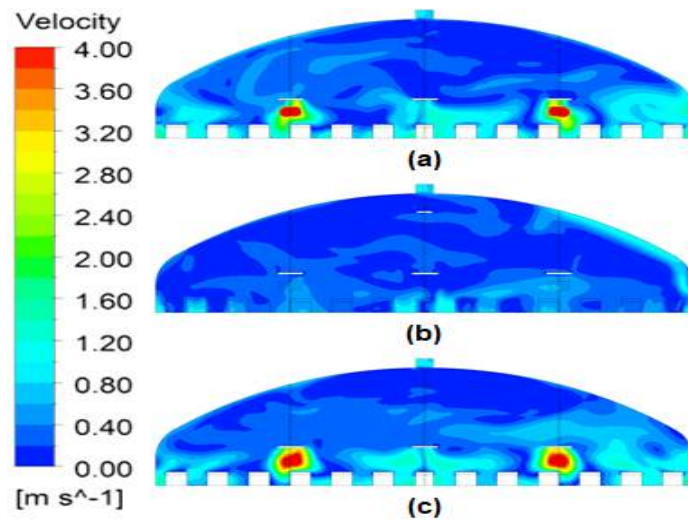


그림 2-2-15. 남향 0.5 m/s 조건의 온실 내부 폭 방향 단면의 속도 분포 (a) 17 m 단면, (b) 43 m 단면, (c) 69 m 단면

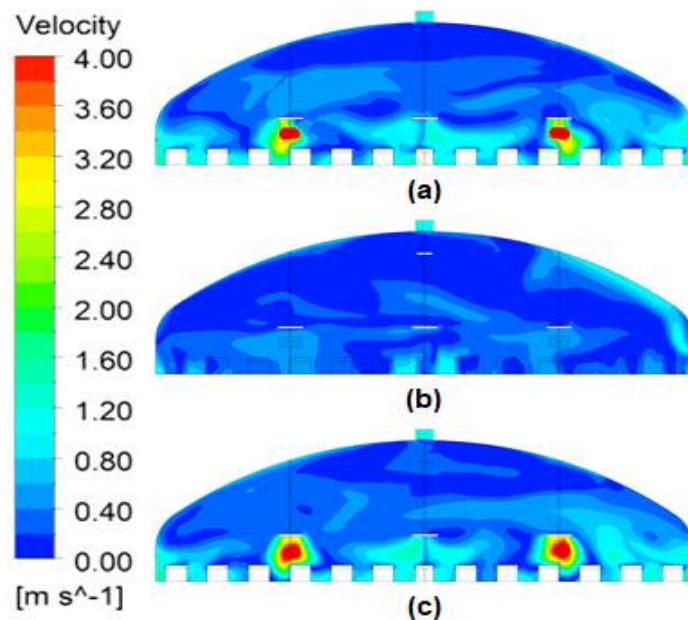


그림 2-2-16. 남향 1.0 m/s 조건의 온실 내부 폭 방향 단면의 속도 분포 (a) 17 m 단면, (b) 43 m 단면, (c) 69 m 단면

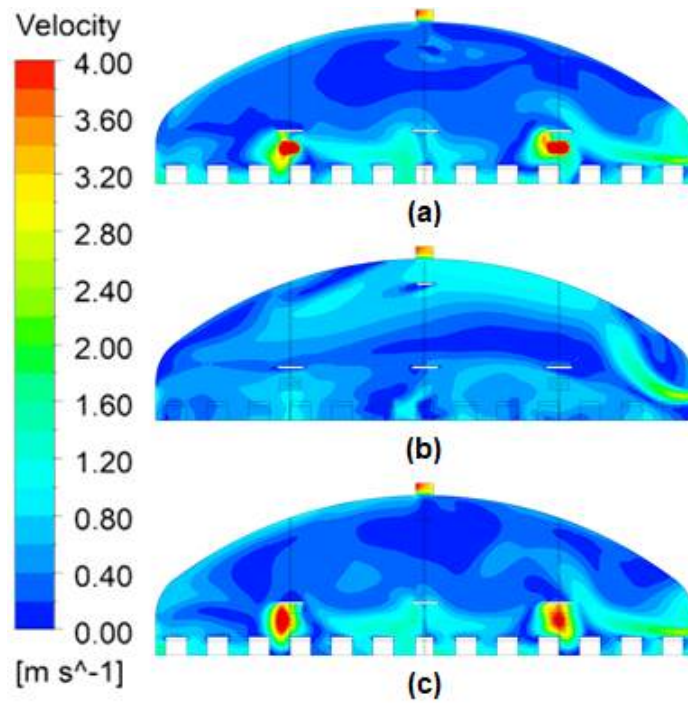


그림 2-2-17. 남향 3.0 m/s 조건의 온실 내부 폭 방향 단면의 속도 분포 (a) 17 m 단면, (b) 43 m 단면, (c) 69 m 단면

나) 남동풍(45°) 조건

풍향이 남동향일 때, 외부 풍속이 0.5, 1.0, 3.0 m/s로 증가함에 따라 스마트온실의 내부 환경을 분석하였다. 외부 대기의 풍속이 증가함에 따라 남측 창을 통해 들어오는 공기의 속도가 증가하는 것으로 나타났다. 폭 방향 단면의 속도장에서는 외부 대기 풍속이 증가할수록 유입된 공기가 하단 중앙으로 유입되는 양상을 보였으며 이로 인해 외부 대기의 풍속에 따라 하단부의 온도가 상승하는 것으로 분석되었다. 외부 대기의 풍속이 증가하는 경우에는 상대적으로 강한 대기 유입으로 인해 스마트 온실 측면의 온도가 높아지는 것으로 나타났다.

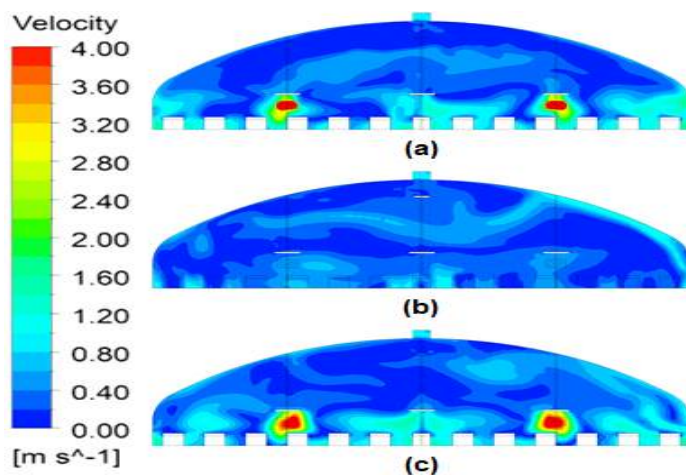


그림 2-2-18. 남동향 0.5 m/s 조건의 온실 내부 폭 방향 단면의 속도 분포 (a) 17 m 단면, (b) 43 m 단면, (c) 69 m 단면

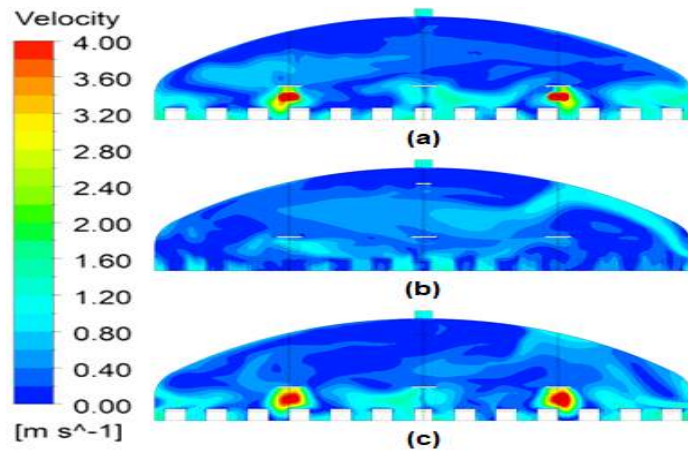


그림 2-2-19. 남동향 1.0 m/s 조건의 온실 내부 폭 방향 단면의 속도 분포 (a) 17 m 단면, (b) 43 m 단면, (c) 69 m 단면

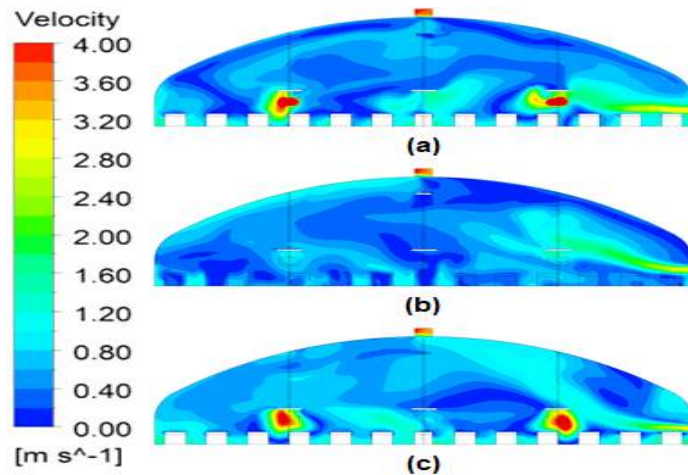


그림 2-2-20. 남동향 3.0 m/s 조건의 온실 내부 폭 방향 단면의 속도 분포 (a) 17 m 단면, (b) 43 m 단면, (c) 69 m 단면

다) 동풍(0°) 조건

풍향이 동향일 때, 외부 풍속이 0.5, 1.0, 3.0 m/s로 증가함에 따라 스마트온실의 환경을 조사한 결과를 나타내었다. 폭 방향 단면의 속도장은 다른 풍향 조건인 남향과 동남향에 비해 남쪽과 북쪽의 속도장과 온도 분포가 상대적으로 대칭을 이루는 것으로 나타났다. 외부 대기의 속도가 3.0 m/s에서는 후류로 인해 동쪽에 비해 서쪽의 온도가 상대적으로 높은 것으로 분석되었다.

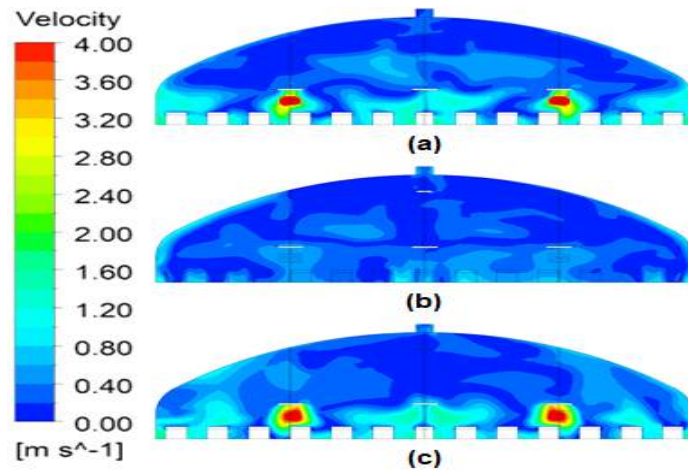


그림 2-2-21. 동향 0.5 m/s 조건의 온실 내부 폭 방향 단면의 속도 분포
(a) 17 m 단면, (b) 43 m 단면, (c) 69 m 단면

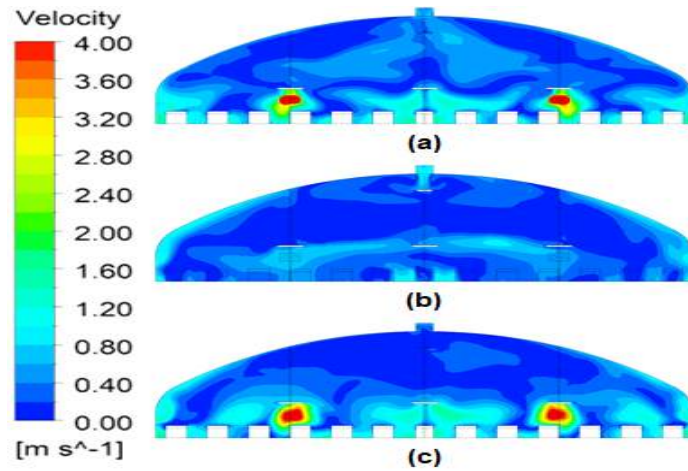


그림 2-2-22. 동향 1.0 m/s 조건의 온실 내부 폭 방향 단면의 속도 분포
(a) 17 m 단면, (b) 43 m 단면, (c) 69 m 단면

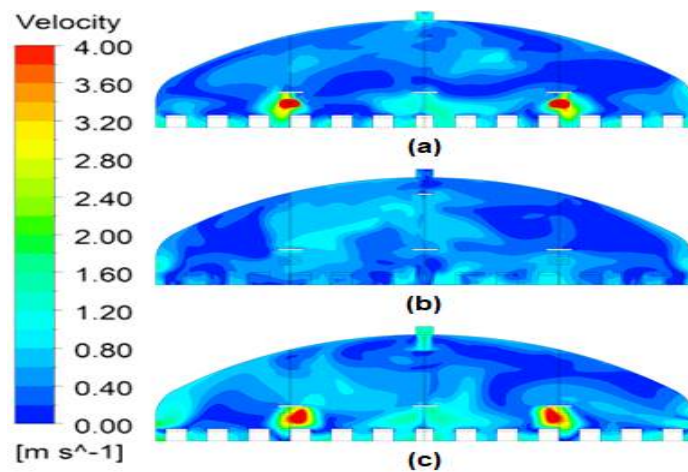


그림 2-2-23. 동향 3.0 m/s 조건의 온실 내부 폭 방향 단면의 속도 분포
(a) 17 m 단면, (b) 43 m 단면, (c) 69 m 단면

라) 최적풍향 선정

최적 풍향에 대하여 외부 풍속 변화에 따른 수치해석을 통해 스마트온실의 내부환경 변화를 분석하였다. 최적 풍향은 환기율 및 온도 계산 결과를 바탕으로 남풍으로 선정하였다.

3) 풍속조건 시험결과

가) 외부 풍속 0.2, 0.5 m/s

외부 풍속 0.2m/s의 경우 높이 방향 평면의 하단의 속도장은 유사한 경향을 보였으나, 외부로부터의 미세 바람의 유입되지만 외부풍속이 높지 않아 온실 벽면을 타고 상부로 올라가는 경향을 보였다. 외부 풍속 0.2m/s는 0.2 m/s의 계산 결과와 유사한 것으로 나타났다.

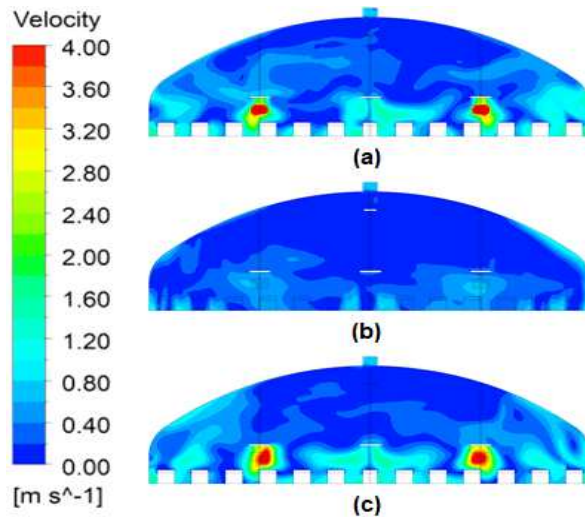


그림 2-2-24. 풍속 0.2 m/s 온실 내부 폭 방향 단면의 속도 분포:(a) 17 m, (b) 43 m, (c) 69 m

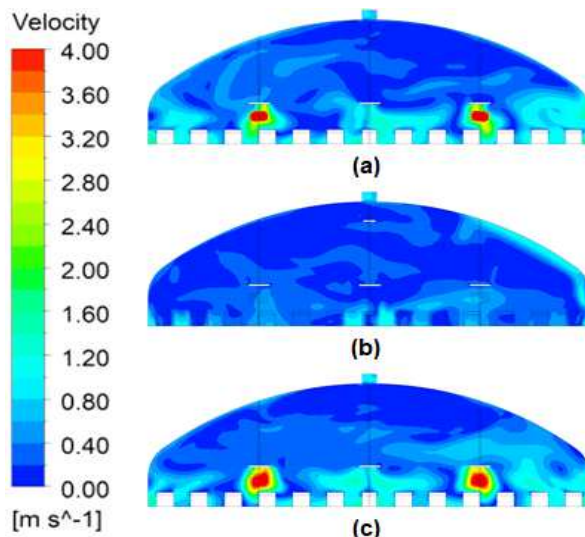


그림 2-2-25. 풍속 0.5 m/s 온실 내부 폭 방향 단면의 속도 분포:(a) 17 m, (b) 43 m, (c) 69 m

나) 외부 풍속 1.0, 1.5 m/s

외부 풍속 1.0 m/s에서의 높이 방향의 속도 경향은 0.5 m/s의 계산 결과와 유사하지만 남쪽 측면창을 통한 유입속도가 증가하는 것으로 나타났다. 또한, 측면을 통해 유입된 공기가 천

장으로 배출되지 못하는 것으로 분석되었다. 외부 풍속 1.5 m/s에서의 높이 방향 속도 분포는 외부 풍향이 남향이기 때문에 동쪽면과 서쪽면의 속도장이 서로 대칭인 경향을 보였다. 또한, 측면을 통해 유입된 공기가 천장으로 배출되지 못해 환기가 원활히 이루어지지 않는 것으로 분석되었다.

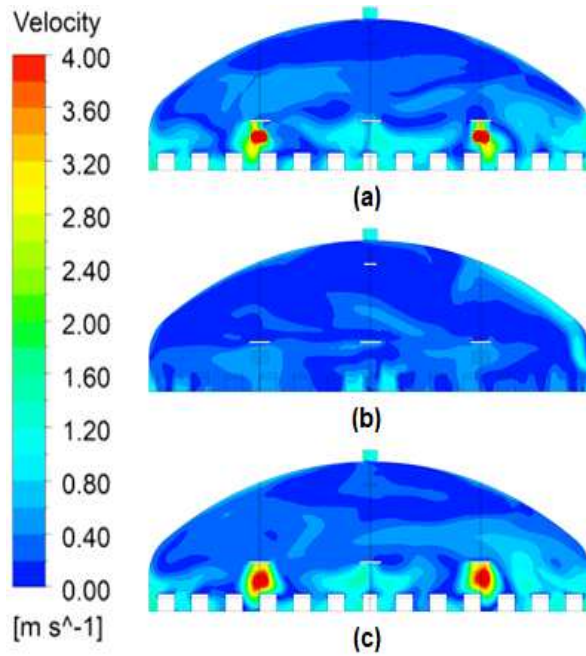


그림 2-2-26. 풍속 1.0 m/s 온실 내부 폭 방향 단면의 속도 분포: (a) 17 m, (b) 43 m, (c) 69 m

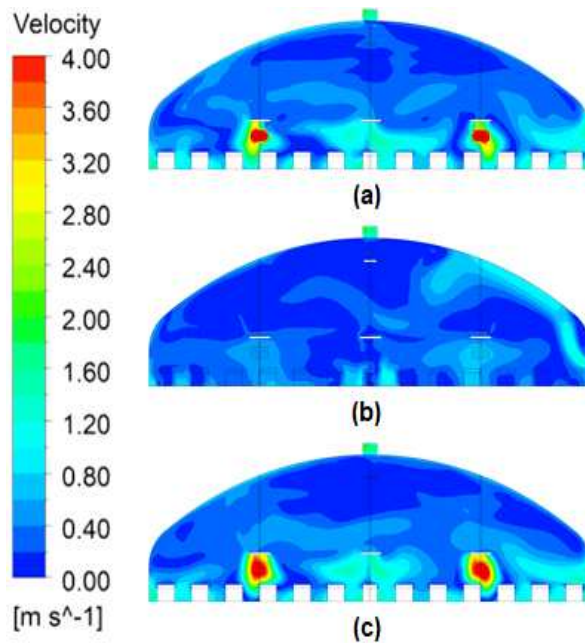


그림 2-2-27. 풍속 1.5 m/s 온실 내부 폭 방향 단면의 속도 분포:(a) 17 m, (b) 43 m, (c) 69 m

다) 외부 풍속 3.0, 5.0 m/s

외부 풍속 3.0 m/s에서의 내부 풍속 분포는 하단 측면창을 통해 유입되는 외부 공기의 속

도가 증가하는 양상을 보였고, 남측 창을 통해 들어온 공기가 북쪽으로 빠져나가는 양상을 보였으며, 상단에서 정체되는 공기가 발생하기 때문에 온도가 높아지는 경향이 나타났다. 외부 풍속 5.0 m/s에서의 높이 방향 속도 분포는 이전 풍속 조건인 3.0 m/s와 유사한 경향을 보였으며, 이는 외부 대기의 풍속이 5.0 m/s로 증가하여 외부 대기의 유입의 영향을 커져 발생하는 것으로 사료된다.

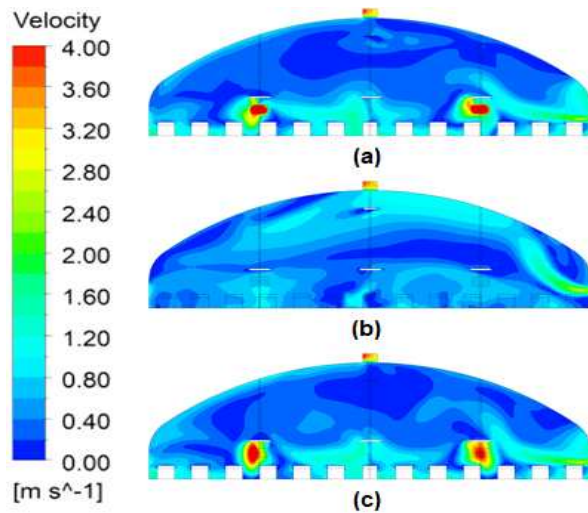


그림 2-2-28. 풍속 3.0 m/s 온실 내부 폭 방향 단면의 속도 분포: (a) 17 m, (b) 43 m, (c) 69 m

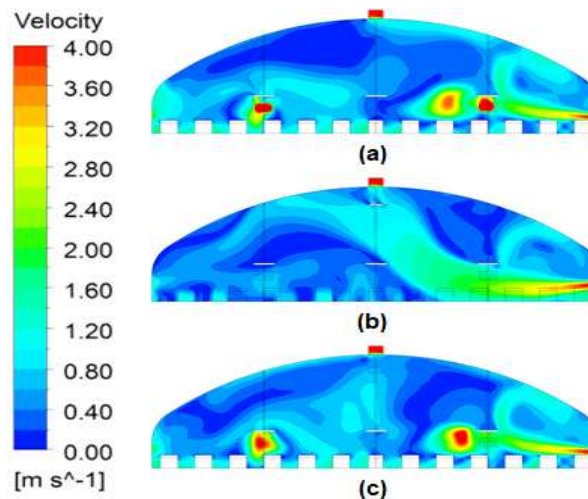


그림 2-2-29. 풍속 5.0 m/s 온실 내부 폭 방향 단면의 속도 분포:(a) 17 m, (b) 43 m, (c) 69 m

라) 제언

본 연구에서는 시설재배에서의 최적 환경관리를 위한 외부환경 변화에 따른 내부환경 변화를 분석하고, 최적 제어방법을 구명하기 위하여 수행하였다. 우기와 고온 다습한 하절기 동안에는 온실 내 고온에 대한 우려가 커지기 때문에 이를 최소화할 수 있는 적절한 시설 내 장치들이 운영되어야 하며, 이러한 장치들은 자연 환기와 더불어 최적의 위치를 선정하여야 한다. 먼저 최적의 풍향을 찾기 위하여 외부 풍속을 0.5, 1.0, 3.0 m/s으로 증가시키면서 환기팬은 가동하지 않는 조건으로 남, 남동 및 동풍 세 방향의 외부 풍향 조건에서 해석을 수행하였으며, 시설 내 온도 조건과 환기의 측면에서 남풍이 가장 최적의 설치 방향으로 나타났다. 외부

풍속이 최적 풍향인 남풍에 대하여 외부 풍속을 0.2, 0.5, 1.0, 1.5, 3.0, 5.0 m/s 로 증가시키면서 환기팬 가동 여부에 따른 해석을 수행하였다. 풍속 1.5 m/s 이하의 조건에서는 상부의 정체된 공기를 강제로 밖으로 배출시키기 위한 배기팬의 설치는 반듯이 필요할 것으로 판단되었다. 하지만 외부풍속이 높은 경우(3m/s, 5m/s)에는 외기가 측창에 통해 내부까지 들어옴으로써 오부 온도가 높은 경우에는 이를 고려하여 환기할 필요가 있을 것으로 판단되었다. 온실 내의 최적의 재배 조건을 제공하기 위해서는 외부온도, 측창의 크기, 천창의 유무, 환기팬의 유무 등을 고려하여 적절한 제어가 필요할 것으로 판단된다. 또한, 국내에 존재하는 다양한 형태의 온실에 대한 추가 연구를 수행하여 온실 제어에 활용할 필요가 있다.

2. 스마트온실의 환경조절장치 성능 평가방법 개발

가. 스마트온실의 내부유동팬 성능 평가방법의 표준화 방안 개발

1) 3종 팬에 따른 수직·수평 풍속 도달거리 측정

스마트온실의 내부순환팬 성능 평가방법을 개발하기 위하여 순환팬 작동에 따른 풍속 도달거리를 측정 및 분석하는 연구를 수행하였다. 풍속 도달거리를 측정하기 위해 전북 익산시 소재 농업기술실용화재단의 온실을 이용하여 시험하였다.



그림 2-2-30. 내부 순환팬 시험 장

시험에 사용한 공기순환팬은 표 2-2-14와 같이 250 mm(SYSCO, SF-2504P1, Korea), 300 mm(SYSCO, SF-3004P2, Korea), 400 mm(SYSCO, SYS M-400, Korea)을 사용하였다. 팬 SF-2504P1은 토출구 지름이 250 mm, 정격전압 220 V, 소비전력 35 W, 분당 회전수 1,500 rpm, 팬 날개 수는 5개이고 팬 SF-3004P2은 토출구 지름이 300 mm, 정격전압 220V, 소비전력 60 W, 분당 회전수 1,300 rpm, 팬 날개 수는 4개이며 팬 SYS M-400은 토출구 지름이 400 mm, 정격전압 220 V, 소비전력 160 W, 분당 회전수 1,550 rpm, 팬 날개 수는 5개이다.

표 2-2-14. 각 순환팬의 제원

Model name	SF-2504P1	SF-3004P2	SYS M-400
Rated Voltage	220 V / 60 Hz	220 V / 60 Hz	220 V / 60 Hz
Outlet size	250 mm	300 mm	400 mm
RPM	1,500 rpm	1,300 rpm	1,550 rpm
Power consumption	35 W	60 W	160 W
Number of fan blades	5	4	5

풍속센서(HD103T.0, Delta ohm co. Ltd., Italy)는 무지향성 열선을 사용하여 풍속을 측정하며, 전류출력은 0 Vdc에서 10 Vdc까지 출력이 가능하다. 프로브 상단에 설치된 센서는 매우 예민하기 때문에 구(球)형의 보호장비를 장착하여 시험에 사용하였다. 풍속은 0.1 m/s부터 5 m/s까지 측정이 가능하며 전압으로 출력되기에 다음과 같은 비율을 이용하여 풍속을 계측하였다.

$$10Vdc : 5m/s = xVdc : y m/s$$

표 2-2-15. 풍속센서 제원

Model name	HD103T.0
Air speed Measuring range	0.1 ~ 5 m/s
Output(for both temperature and air speed)	0 ~ 10 Vdc
Power supply	24 Vac±10%, 50 ~ 60 Hz
Case dimensions	120*80*55 mm
Probe cable length	L=5 m

시험 전 모든 센서는 동일한 장소에 위치시켜 팬의 풍속을 0.5 m 간격으로 풍속 도달거리를 측정하여 캘리브레이션을 진행하였다. 측정방법은 데이터로거(GP10, Yokogawa CO. LTD., Japan)를 통해 각 위치마다 5분 동안 10초 간격으로 측정하여 평균값을 계측하였다. 계측된 데이터는 프로그램을 통해 풍속 등고선을 작도하여 분석하였다. 거리마다 풍속을 측정한 값은 표준편차가 ±0.18 m/s에서 ±0.4 m/s까지 차이가 났으며 이를 평균과 비교하여 각 센서마다의 출력값에 보정식을 대입하여 풍속을 계측하였다.

표 2-2-16. 데이터 로거 제원

Model	GP10
Construction	Portable
Display	5.7" TFT color LCD (640 × 480 dots)
Touch screen	4 wire resistive touch screen, 2-point touch detection
Analog input channels	Standard: 30, 100 (with expansion unit)
Internal memory	500 MB
Rated supply voltage	100 to 240 VAC
Rated supply frequency	50/60 Hz
Power consumption	Max. 45 VA (100 VAC), max. 60 VA (240 VAC)
Withstand voltage	Between the power terminal and earth: 3000 V AC (50/60 Hz) for one minute
Weight (main unit only)	Approx. 1.9 kg

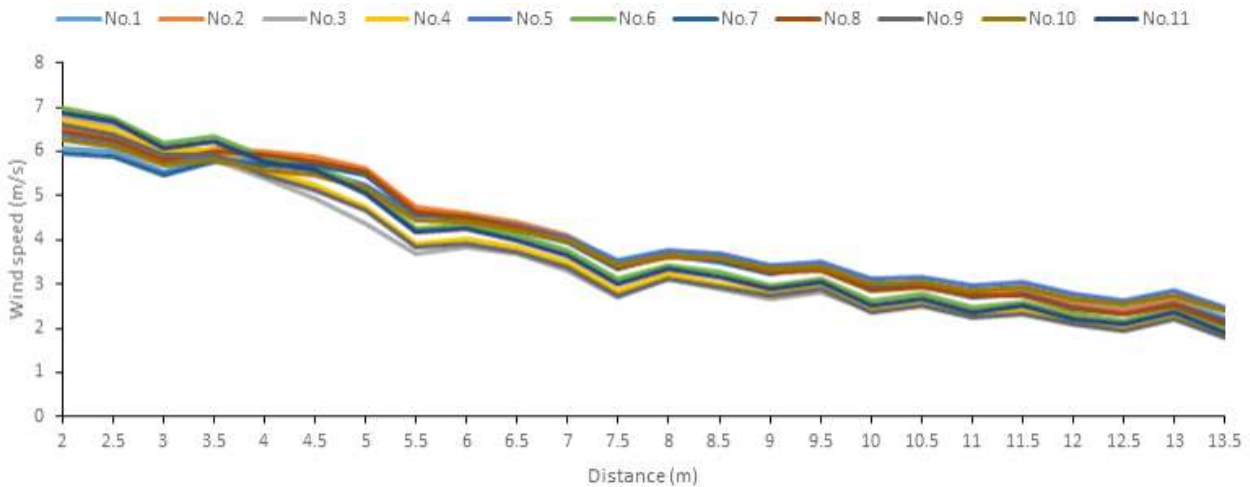


그림 2-2-31. 풍속센서 캘리브레이션

시험방법은 팬의 중심으로 수직, 수평 풍속을 측정하기 위해 센서를 십자(十)로 배치하였다. 중앙 풍속센서는 팬의 중심을 기준으로 수직 간격을 Yu 등(2007)의 시험을 참고하여 0.6 m 간격으로 프로파일에 설치하여 측정하였고 수평 간격은 4개의 삼각대에 하나씩 센서를 설치하여 온실 내 베드 간격에 맞추어 풍속센서 4개를 1.4 m 간격으로 배치하였다. 온실 레일과 카트의 길이로 인하여 팬 정면 2 m부터 측정하여 1.5 m 간격으로 측정하였다. 최대 측정 거리는 Lee 등(2018)의 시험에서 400 mm 팬이 0.5 m/s까지의 풍속 도달거리가 10 m 이내로 측정된 것을 기반으로 더 먼 거리를 측정하기 위해 18.5 m까지 측정하였다.

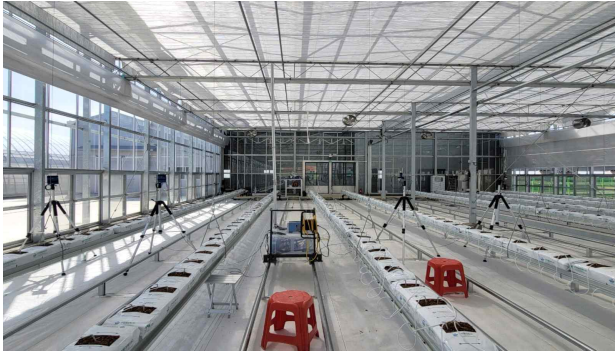


그림 2-2-32. 풍속 센서 배치



그림 2-2-33. 풍속 측정시험 광경

측정방법은 데이터 로거를 통해 각 위치마다 5분 동안 10초 간격으로 측정하여 평균값을 계측하였다. 데이터 로거 GP10은 최대 30개의 센서를 설치하여 측정할 수 있으며 측정시간, 측정간격, 데이터 기록시간, 데이터 기록간격 등의 다양한 설정을 통해 자동으로 취득할 수 있어 본 시험에 적합하다고 판단하여 사용하게 되었다. 계측된 데이터는 프로그램(Surfer 10, Golden software Inc., USA)을 통해 풍속 등고선을 작도하여 분석하였다.

시험결과, Kim(1997)의 연구에 따르면 작물의 생육을 위한 최소 기류속도는 0.2 m/s이고, 적정 기류속도는 0.3 ~ 0.5 m/s이라 하였으며 1.0 m/s을 초과해서는 안된다고 하였다. 이를 기반으로 중앙센서의 풍속을 측정한 결과 400 mm 팬은 8 m 이후부터 0.5 m/s 이하로 낮아졌고, 300 mm 팬은 5 m 이후부터 0.5 m/s 이하로 낮아졌고, 250 mm 팬은 2 m 이후부터 0.5 m/s 이하로 낮아졌다. 풍속 그래프 결과를 Lee 등이 시험한 결과와 비교한 결과 비슷한 것으로 나타났다.

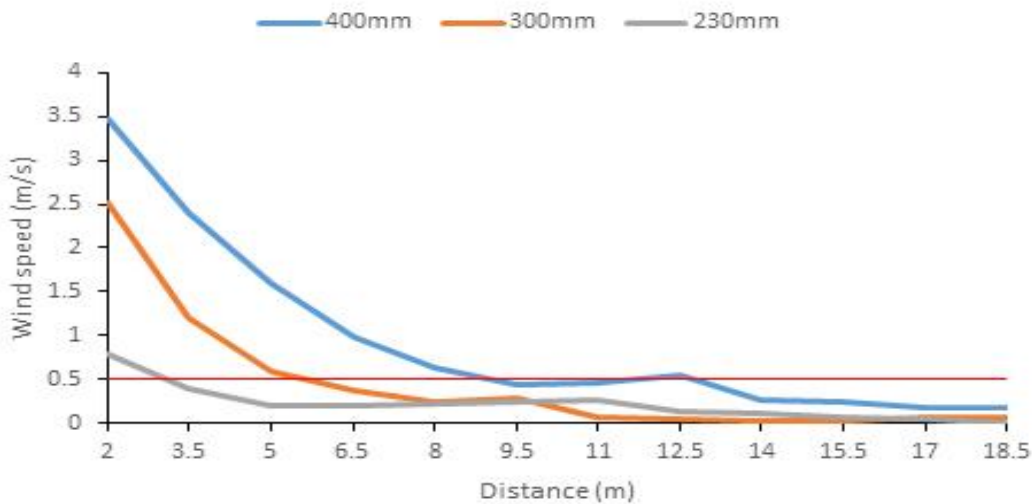


그림 2-2-34. 중앙 풍속 센서로 측정한 각 팬의 풍속 그래프

측정 데이터를 수직, 수평 풍속 도달거리 등고선으로 작도한 결과, 수직 풍속 도달거리 등고선에서는 400 mm에서는 풍속 0.6 m/s가 약 9 m까지 불어오는 것으로 나타났고, 온실 내부의 기류로 인하여 하향하는 형상으로 나타났다. 또한, 10 m부터 15 m까지 기이한 형태의 풍속이 측정되었는데, 이는 온실 내부에서 온도변화에 따라 상승 기류가 발생하고 있어 상승 또는 순환팬에서 불어오는 바람이 바닥을 치고 상승하는 형상이 나타난 것으로 사료된다. 300 mm에서는 풍속 0.6 m/s가 약 5~6 m까지 불어오고 있었으며 약 5 m부터 풍속이 상승하는 형상으로 나타났다. 250 mm는 풍속 0.6 m/s가 약 3 m까지 불어오는 것으로 나타났다.

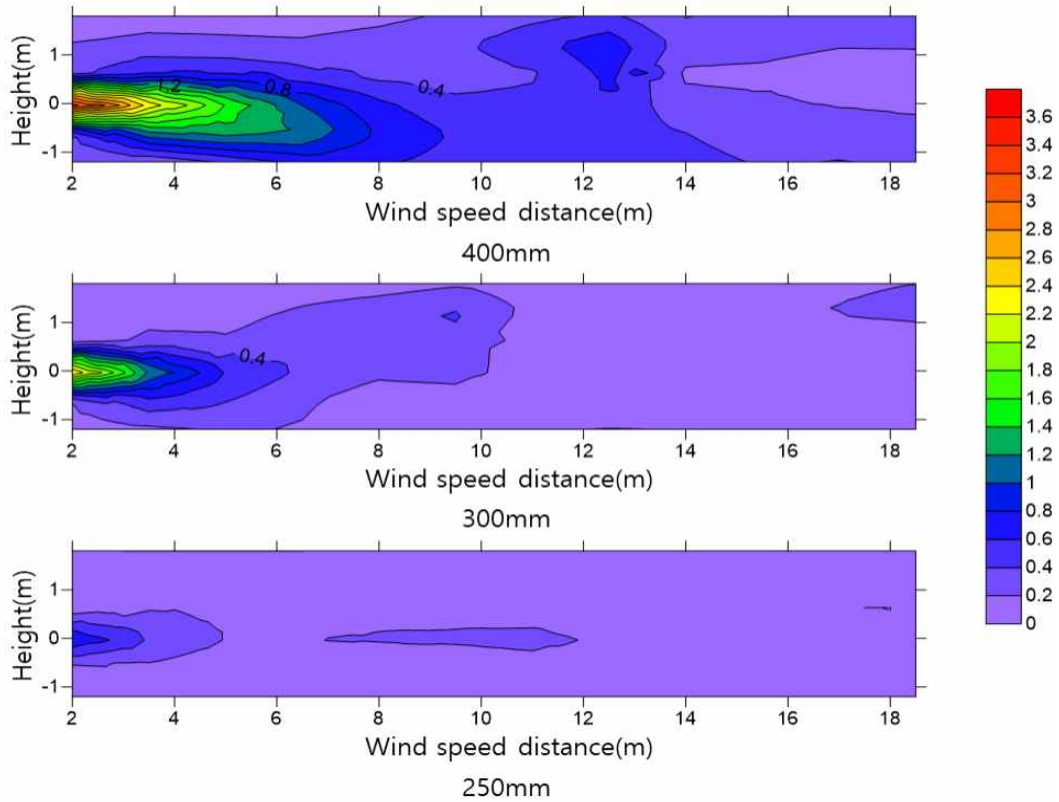


그림 2-2-35. 수직 풍속 도달거리 등고선

수평 풍속 도달거리 등고선에서는 400 mm에서는 수직 등고선과 다른 결과가 나타났다. 400 mm의 수평 풍속 도달거리 등고선에서는 동일한 거리에서도 다양한 풍속이 존재하여 풍속 0.6m/s의 도달거리를 판단 하는데는 무리가 있었다. 수직에서는 풍속 0.6 m/s가 9 m까지 도달하였으나, 수평에서는 풍향이 우측으로 치우쳐서 수직 데이터의 분석은 불가능하였다. 300 mm의 풍속 0.6 m/s의 도달거리는 팬의 정면에서 약 5 m까지 도달하였으나 이후 우측에서 풍속이 상승하는 경향이 나타나 정확한 분석이 불가능하였다. 250 mm는 풍속 0.6 m/s의 도달거리가 약 3 m까지 도달하였으며, 약 11 m 부근에서 좌측에서 우측으로 불어오는 형상의 풍속을 발견하여 앞선 수평 풍속 등고선에 영향을 준 것으로 판단되었다. 이는 온실 내부에 환기구 및 팬이 설치되어 있으나 온실 측창 및 천창의 틈을 통해 미세한 외부 바람이 들어와 팬에 의해 발생하는 미세한 바람과 섞여 한 방향으로 치우침이 발생한 것으로 사료된다.

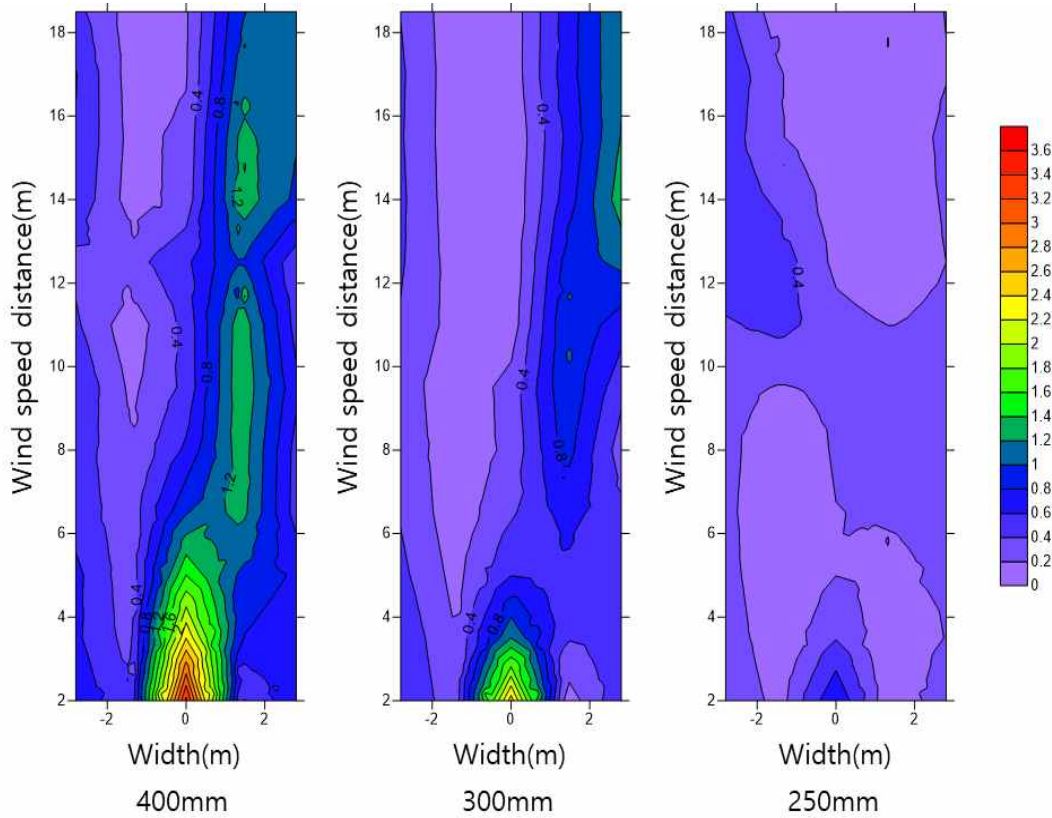


그림 2-2-36. 수평 풍속 도달거리 등고선

본 시험결과를 통해 참고문헌 시험결과와 중앙 풍속센서의 측정결과는 큰 차이가 없는 것으로 나타났으나, 400 mm 팬의 수평 등고선과 같이 풍향에 의해 수직에서 측정할 수 없는 데이터가 나타나 시험환경에 대한 점검이 더 필요할 것으로 판단되었다. 따라서 순환팬의 성능 시험을 위해서는 최대한 외부 바람의 영향을 최소화 할 수 있는 공간에서 시험해야 할 것으로 사료된다. 또한, 팬의 종류를 늘려 풍속, 풍속 도달거리, 토출구 지름, 출력(소비전력)에 따른 상관관계 분석이 필요할 것으로 판단된다.

2) 외부 단절 공간에서의 수직·수평 풍속 도달거리 측정

천창, 측창, 온실 틈새 등으로 인한 외부 바람의 유입에 따른 정밀 측정이 불가능하여 온실에 비해 외부의 바람 차단이 용이한 한국농수산대학 농기계 보관실 내에서 다양한 순환팬을 이용하여 풍속 도달 거리 측정 시험을 실시하였다. 이전 시험과 같이 각 공기순환팬의 풍속 도달거리를 측정하기 위해 풍속센서를 수직, 수평으로 설치하여 사용하였다. 풍속측정을 위해 프로파일(40*40 mm)로 센서 설치 및 고정할 수 있도록 제작하였고, 각 풍속센서의 수직방향 측정간격은 Yu 등(2007)의 온풍 시험과 같이 지면에서부터 0.6 m 간격으로 설치하여 총 5개를 설치하였다. 수평방향 측정은 수직으로 설치한 중앙센서를 기준으로 좌우 3개씩 1 m 간격으로 설치하였다.

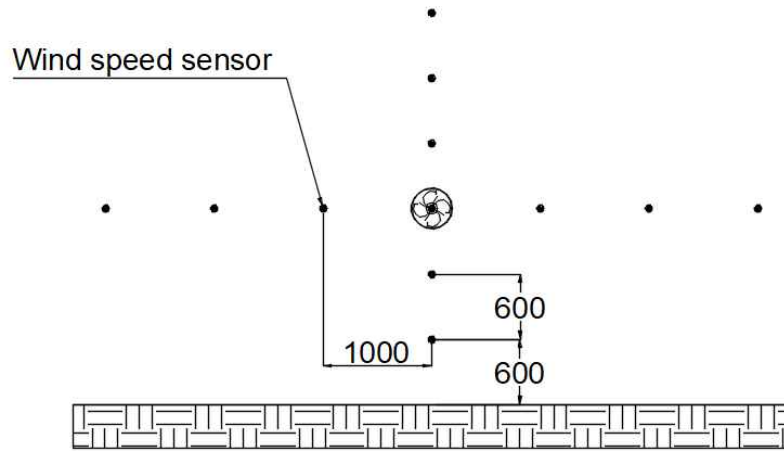


그림 2-2-37 풍속센서 배치 (정면)

시험에 사용한 순환팬은 토출구 직경 225 mm(LD-SF250, LD CO., LTD, korea), 270 mm(SN-14-2, Sunnong CO., LTD, korea), 298 mm(SW-SF300, CNtech CO., LTD, korea), 340 mm(SN-14-1, Sunnong CO., LTD, korea), 370 mm(LD-SF350, LD CO., LTD, korea) 팬을 사용하였다. 순환팬 LD-SF250은 전력 220 V, 60 Hz, 출력은 70 W, 토출구 지름 225 mm, 팬 날개 지름 250 mm, 팬 날개 수 4개이며 원통부의 모양은 사다리꼴 모양이다. 시험에 사용되는 팬들 중에 토출구 지름이 가장 작으나 두 번째로 높은 출력을 가진 팬이다. 순환팬 SW-SF300의 전력은 220 V, 60 Hz, 출력은 50 W, 토출구 지름은 298 mm, 팬 날개 지름은 300 mm, 팬 날개 개수는 4개이며 원통부의 모양은 사다리꼴 모양이다. 시험에 사용된 팬들 중에서 토출구 지름과 팬 날개 크기의 차이가 가장 작은 것으로 나타났다. 순환팬 SN-14-2의 전력은 220 V, 60 Hz, 출력은 39 W, 토출구 지름은 270 mm, 팬 날개 지름은 230 mm, 팬 날개 개수는 5개이며 원통부의 모양은 일자 모양이다. SN-14-2은 출력이 시험에 사용되는 순환팬들 중 가장 낮으며 팬 날개 수가 가장 많다. 순환팬 SN-14-1의 전력은 220 V, 60 Hz, 출력은 60 W, 토출구 지름은 340 mm, 팬 날개 지름은 320 mm, 팬 날개 개수는 4개이며 원통부의 모양은 일자 모양이다. 시험에 사용한 팬들 중 유일하게 정방향, 역방향으로 조절이 가능한 팬이며 시험에서는 정방향으로만 시험을 진행하였다. 순환팬 LD-SF350의 전력은 220 V, 60 Hz, 출력은 80 W, 토출구 지름은 370 mm, 팬 날개 지름은 350 mm, 팬 날개 개수는 4개이며 원통부의 모양은 사다리꼴 모양이다. 시험에서 사용한 팬 중 가장 큰 출력, 팬 날개, 토출구 지름을 가졌다.

표 2-2-17. 각 순환팬의 제원

Model name	LD-SF250	SN-14-2	SW-SF300	SN-14-1	LD-SF350
Rated Voltage(V/Hz)	220/60	220/60	220/60	220/60	220/60
Outlet size(mm)	225	270	298	340	370
Fan size(mm)	250	230	300	320	350
Power consumption(W)	70	39	50	60	80
Number of fan blades	4	5	4	4	4

시험방법은 순환팬이 안정화되도록 30분 동안 작동시킨 후 시험을 시작하였다. 높이조절과 전후방 이동이 가능한 전동리프트에 각 팬들을 고정하였으며, 리프트는 순환팬이 수직, 수평방향의 중앙센서의 정면에 위치하도록 상하좌우를 맞추었다. 풍속센서의 데이터는 데이터로거를 사용하였다. 리프트가 이동하면서 최대한 직선으로 1 m 간격으로 직진할 수 있도록 바닥에 가이드라인을 그렸으며 풍속 측정 중 외란에 의한 노이즈를 최소화할 수 있도록 입구를 비닐로 밀봉하여 시험을 진행하였다. 최초 측정은 중앙센서에서 1 m 거리부터 측정하였으며 이후 1 m 간격으로 리프트를 이동시키며 최대 30 m까지 측정하였다.

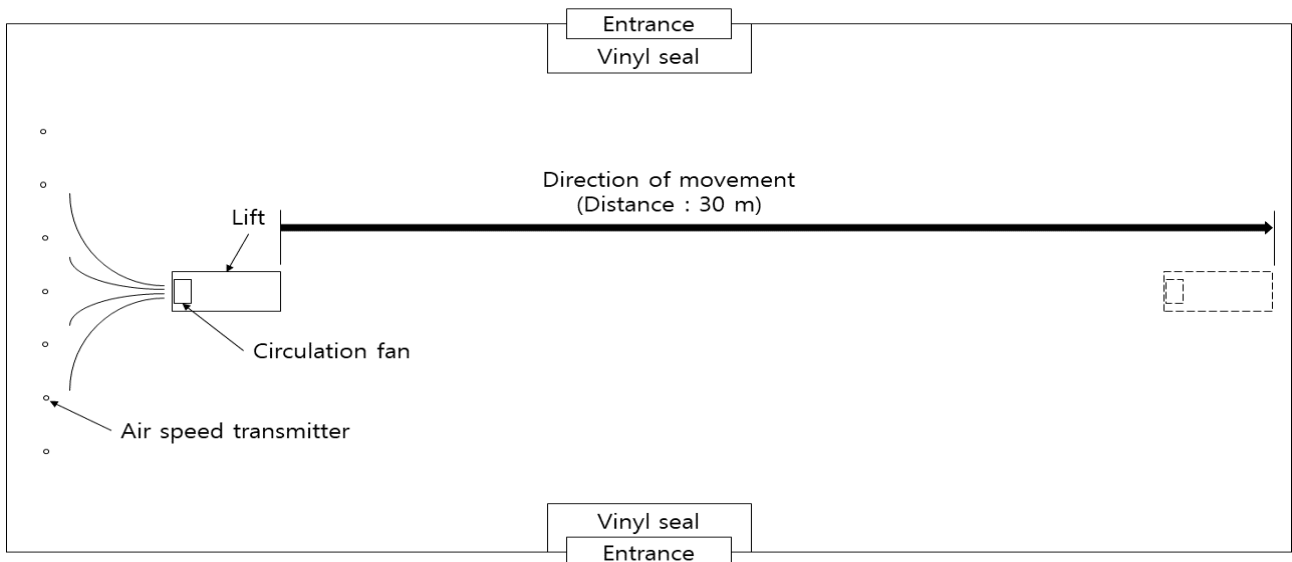


그림 2-2-38. 풍속 도달거리 시험 계략도

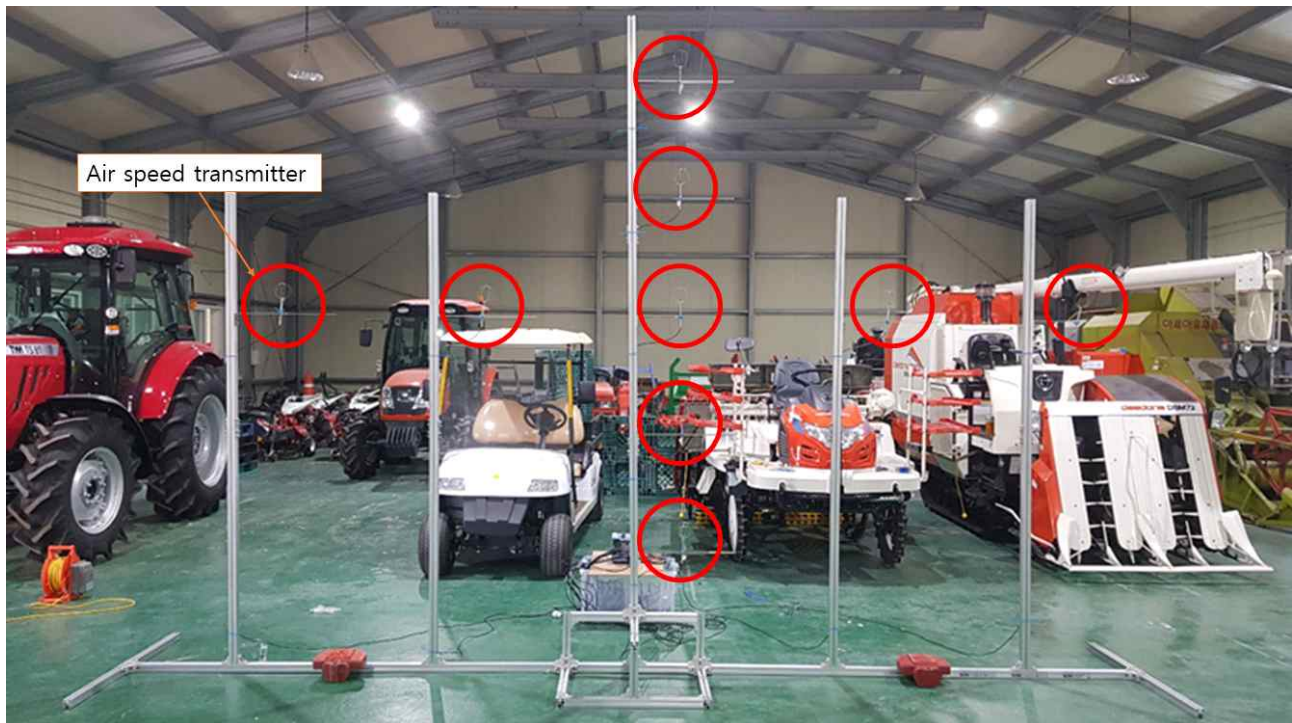


그림 2-2-39. 풍속센서 배치



그림 2-2-40. 리프트에 고정된 순환팬

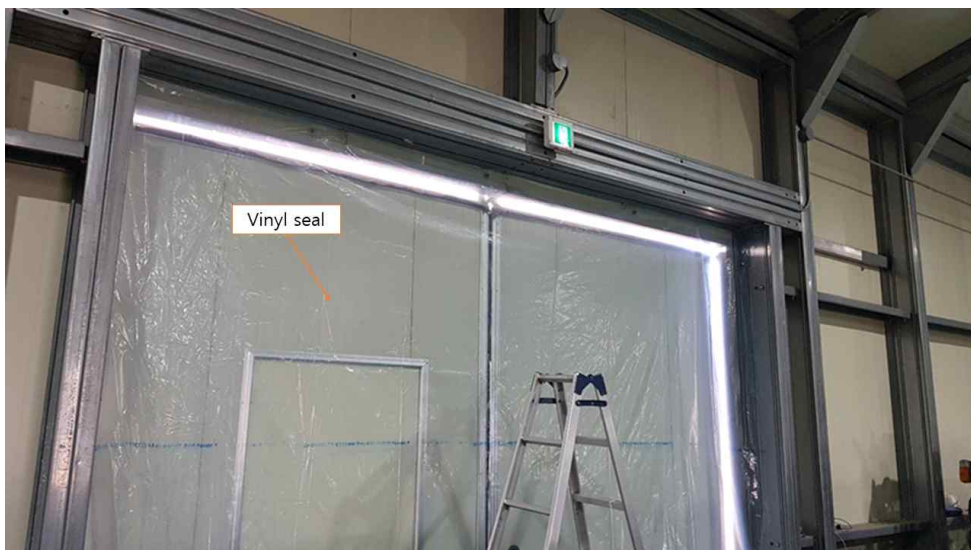


그림 2-2-41. 비닐을 이용한 입구 밀봉

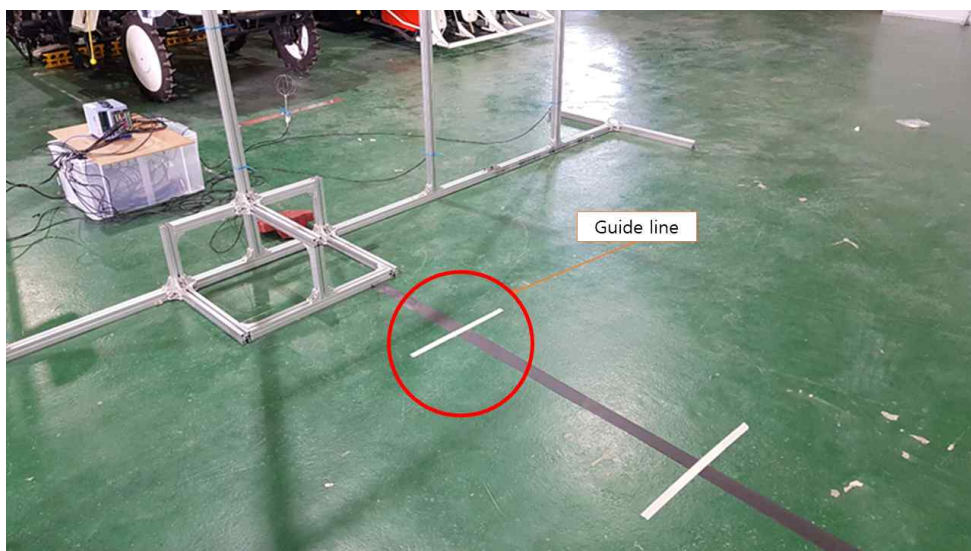


그림 2-2-42. 시험 가이드라인(검정색 : 이동방향, 흰색 : 1m 간격 표시)

시험결과, 순환팬 225, 270, 300, 340, 370 mm, 팬의 최초풍속은 3.09, 2.73, 3.48, 4.02, 4.25 m/s로 조사되었다. 순환팬 225 mm는 270 mm보다 높은 풍속이 측정되었다. 이는 225 mm 팬의 출력이 70 W로 270 mm 팬의 출력보다 31 W 더 높고 225 mm 팬은 원통부가 흡입구가 크고 토출구가 작아지는 사다리꼴 모양으로 공기가 토출구에서 압축되어 나오기에 풍속이 높은 것으로 판단된다.

표 2-2-18. 각 순환팬의 최대풍속

Circulation fan diameter	Wind speed
225 mm	3.09 m/s
270 mm	2.73 m/s
300 mm	3.48 m/s
340 mm	4.02 m/s
370 mm	4.25 m/s

Kim(1997)의 연구에 따르면 작물의 생육을 위한 최소 기류속도는 0.2 m/s이고, 적정 기류속도는 0.3 ~ 0.5 m/s이라 하였으며 1.0 m/s를 초과해서는 안된다고 하였다. 이를 기반으로 각 팬의 풍속 0.2 ~ 0.5 m/s의 도달거리 범위는 225 mm가 11 ~ 18 m, 270 mm가 9 ~ 15 m 구간, 300 mm가 13 ~ 24 m, 340 mm가 17 ~ 25 m, 370mm가 18 ~ 25 m로 나타났다. 토출구 225 mm와 270 mm의 초기 풍속은 같은 것으로 나타났다. 이는 토출구 직경은 45 mm 차이가 나지만 전력량이 225 mm가 31 W 높아 풍속에 차이가 적은 것으로 판단된다.

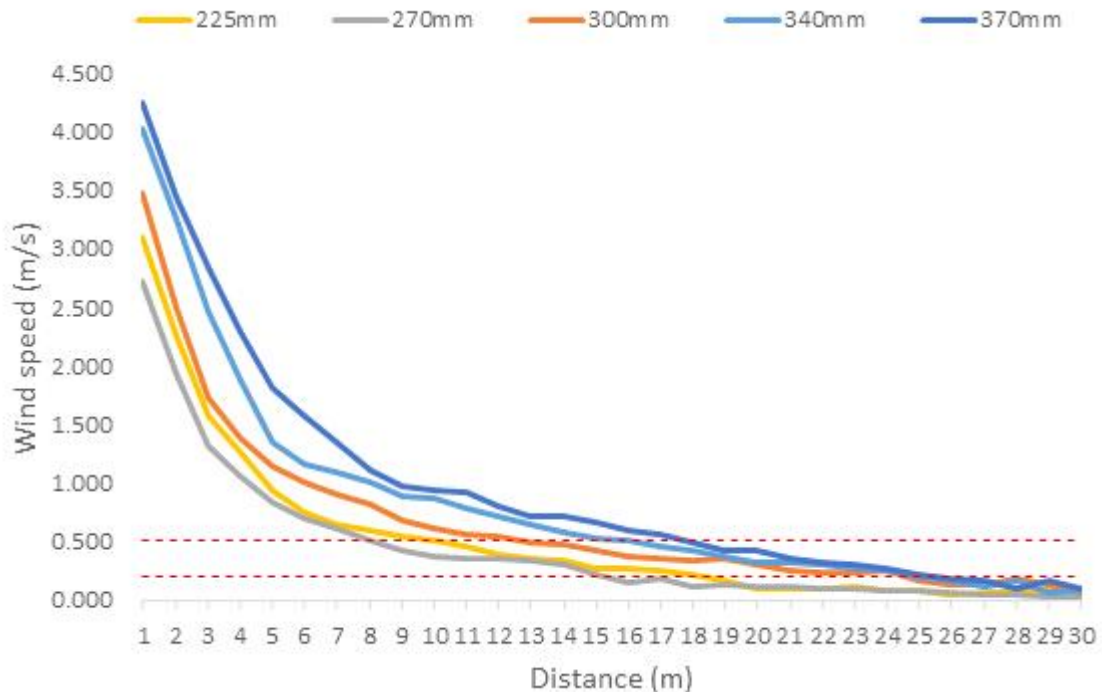


그림 2-2-43. 각 순환팬의 거리에 따른 풍속

수직으로 측정된 풍속을 등고선으로 작도한 결과, 풍속 0.2 ~ 0.6 m/s 구간을 기준으로 직경 270 mm가 도달거리 15 m로 가장 짧은 것으로 나타났으며 직경 225 mm의 도달거리가

약 18 m, 직경 300 mm, 340 mm, 370 mm의 도달거리가 약 25 m 나타났다. 각 팬의 하단을 분석한 결과 225 mm, 270 mm는 0.6 m 이하에서 풍속의 영향이 없는 것으로 나타났으며 300 mm가 7 m, 340 mm가 8 m, 370 mm가 10 m부터 영향을 주는 것으로 나타났다. 이는 225 mm, 270 mm 팬은 하단에 미치는 영향이 적어 다른 팬에 비해 낮게 설치하는 것이 작물 생육에 영향을 줄 수 있을 것이며, 300 mm, 340 mm, 370 mm는 일정 거리를 두어 하단에 있는 작물에 영향을 줄 수 있을 것으로 사료된다. 또한, 작물이 생육하는 높이에 따라 본 자료를 통해 팬의 높이를 선정할 수 있는 기초자료가 될 것으로 판단된다.

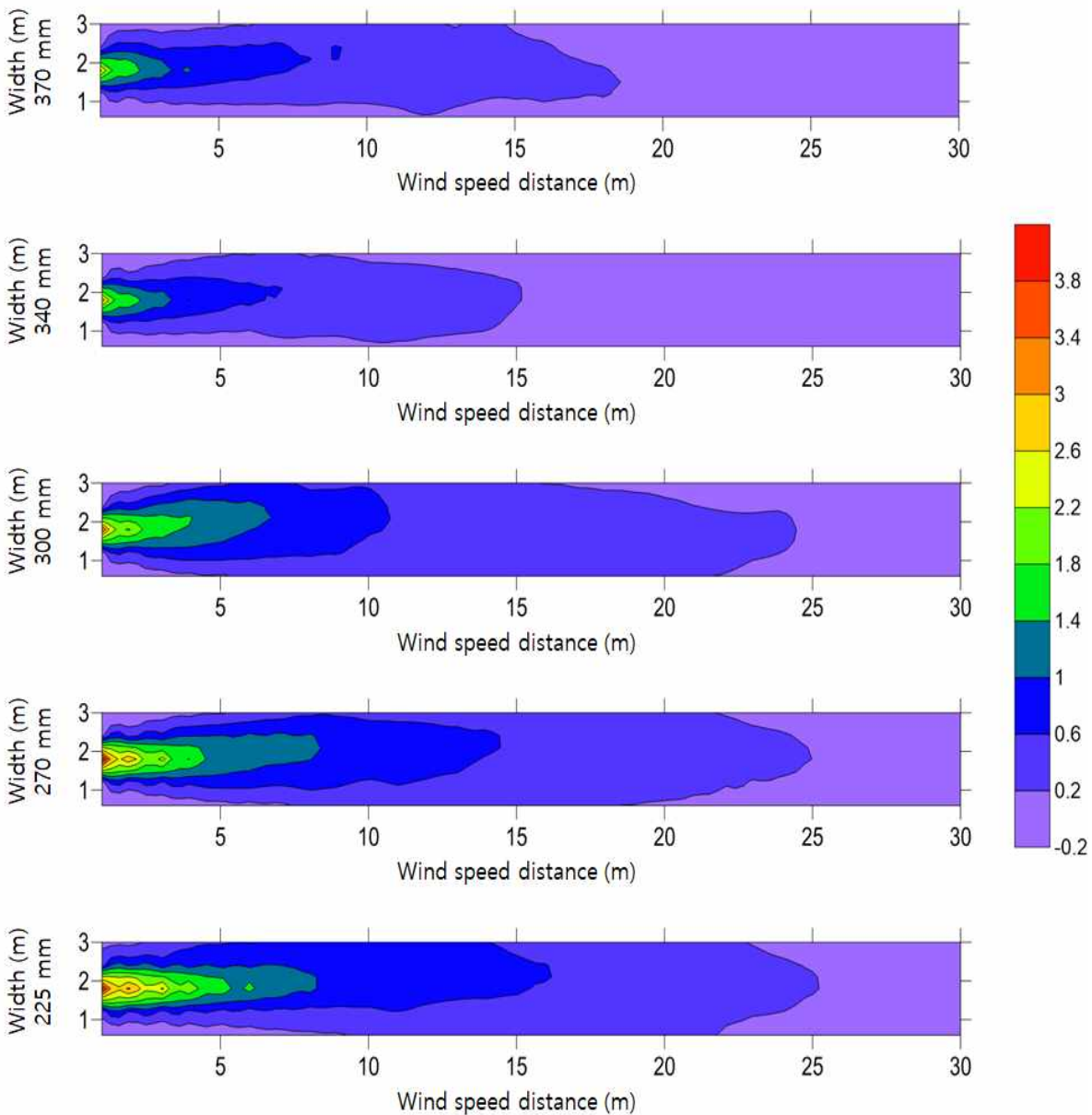


그림 2-2-44. 각 순환팬의 수직방향 풍속 도달거리

수평으로 측정된 풍속을 등고선으로 나타낸 결과, 풍속 0.2 m/s까지 가는 도달거리는 225 mm가 18 m, 270 mm가 15 m, 300 mm가 24 m, 340 mm가 28 m, 370 mm가 29 m로 나타났다. 수직으로 측정된 풍속 도달거리에 비해 더 먼 거리로 나타났다. 이는 기류가 이동거리 10 m, 20 m부터 외부의 영향에 의하여 방향이 변화한다는 것을 등고선으로 확인할 수 있었고 이로 인하여 수직에서는 확인할 수 없었던 풍속 도달거리를 찾을 수 있었다. 시험 장소에서의 문을 비닐로 밀봉하였으나 사이사이의 틈을 통해 바람이 들어와 풍속 도달거리 결과에

영향을 준 것으로 사료된다.

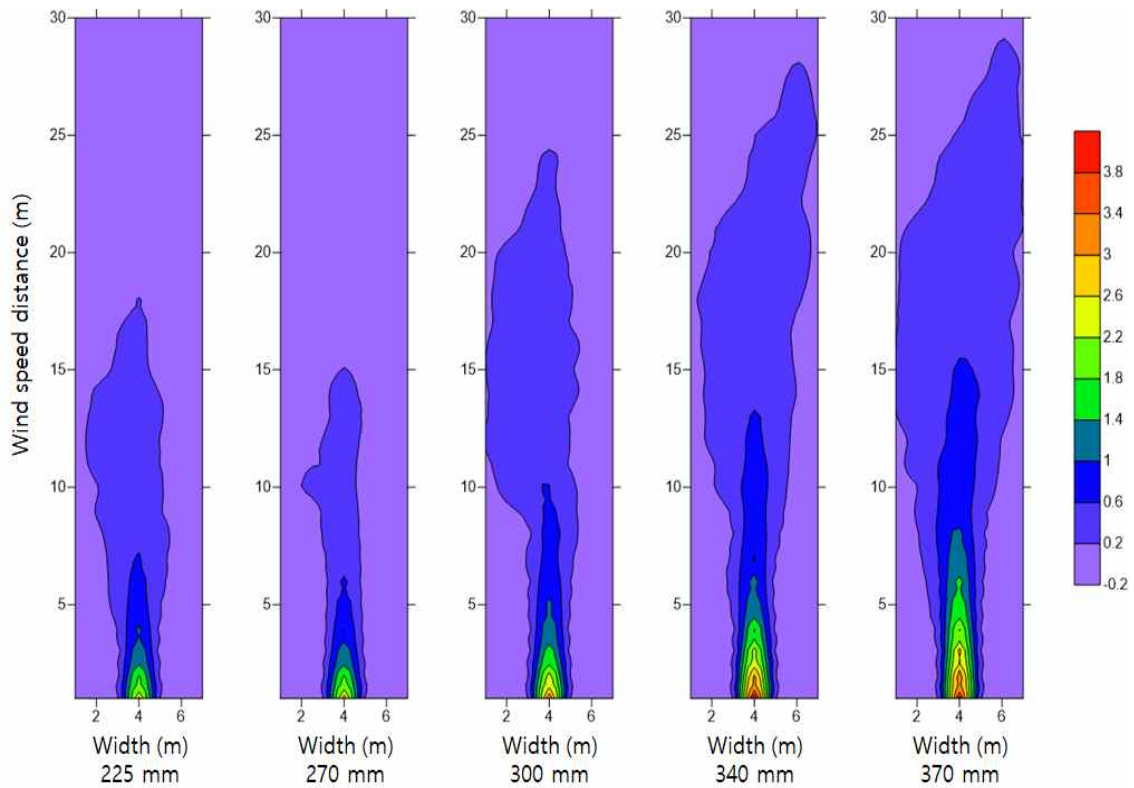


그림 2-2-45. 각 순환팬의 수평방향 풍속 도달거리

각 순환팬의 풍속 도달거리 등고선을 이용하여 순환팬 2개를 연결하여 설치한다는 가정하에 등고선을 작도하였다. 수직 풍속 도달거리 등고선으로 분석한 결과, 팬 225 mm는 15 m, 팬 270 mm는 8 m, 팬 300 mm는 18 m, 팬 340 mm는 21 m, 팬 370 mm는 24m부터 풍속 도달범위가 떨어지는 것으로 나타났다. 255 mm, 270 mm은 수직 범위가 좁아 시작 범위가 낮은 것으로 나타났고 풍속에 비례하여 거리가 멀어질수록 풍속 도달범위가 낮아지는 것으로 판단된다. 수평 풍속 도달거리 등고선에서는 수직 풍속 도달거리의 측정범위보다 폭이 넓어 수직 풍속 도달범위에 비해 낮게 나타난 것으로 판단된다.

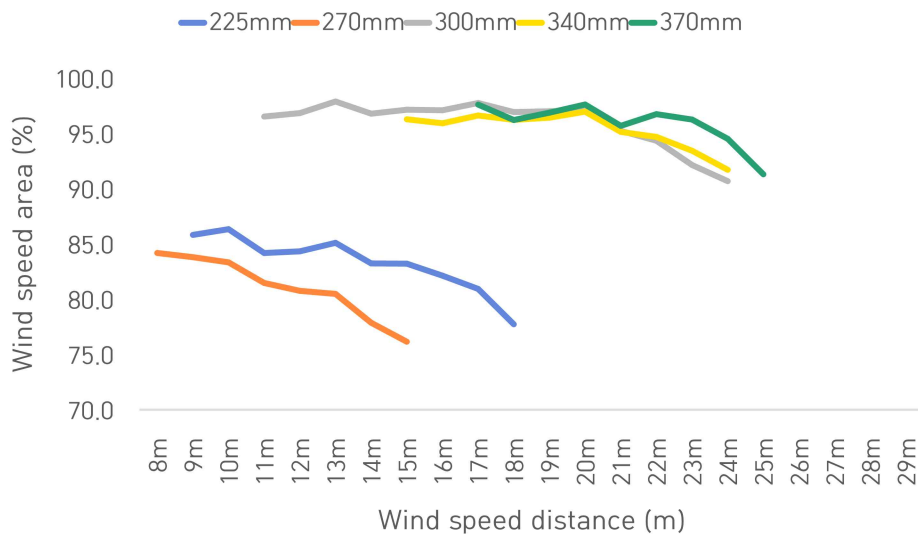


그림 2-2-46. 각 순환팬의 수직방향 풍속 도달거리에 따른 풍속 도달범위

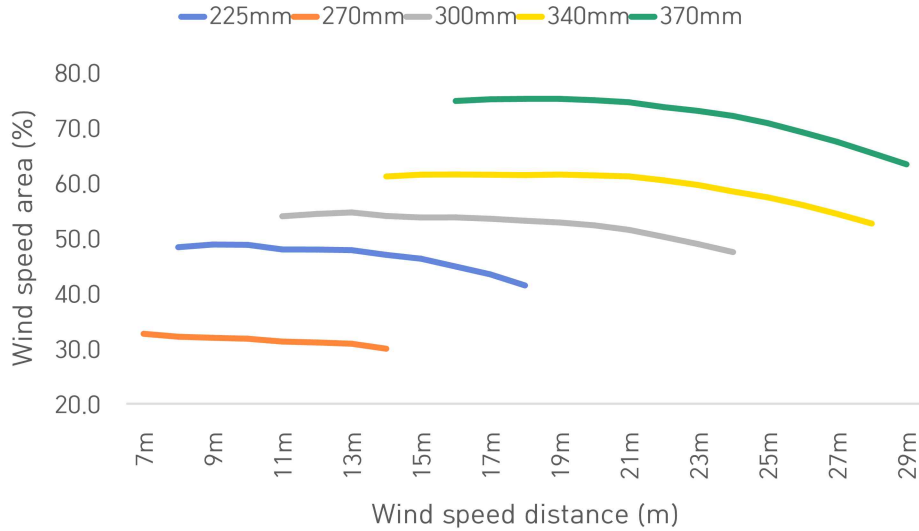


그림 2-2-47. 각 순환팬의 수평방향 풍속 도달거리에 따른 풍속 도달범위

각 팬의 가격은 225 mm 팬이 ₩ 61,170, 270mm 팬이 ₩ 51,000, 300 mm 팬이 ₩ 66,000, 340 mm 팬이 ₩ 68,000, 370 mm 팬이 ₩ 90,300으로 구매하였다. 각 회사마다 제품의 출력, 팬의 토출구 및 날개 지름, 개수 등에 따라 가격 차이가 있는 것으로 조사되었다.

표 2-2-19. 각 순환팬의 가격 비교

Model name	LD-SF250	SN-14-2	SW-SF300	SN-14-1	LD-SF250
Fan diameter	225 mm	270 mm	300 mm	340 mm	370 mm
Power	70 W	39 W	50 W	60 W	80 W
One price	₩ 61,170	₩ 51,000	₩ 66,000	₩ 68,000	₩ 90,300

온실 설계기준 연구(2015)내용에 따르면 순환팬의 설치 높이는 일반적으로 작물 균락의 적정 생육 유속을 조성하기 위하여 재배 작물의 초장이 낮은 경우 바닥으로부터 약 1.5 m 높이에 설치하고, 초장이 높은 작물의 경우 작물군 상단으로부터 약 0.5~1.0 m 위에 설치할 것을 권장하고 있으나 시험결과 225 mm, 270 mm 팬은 약 하단 1 m 범위까지 영향이 있었으며 300 mm, 340 mm, 370 mm 팬은 1.5 m 그 이상 영향이 있는 것으로 나타났다. 따라서 초장과 팬 성능을 고려하여 선택해야 할 것으로 판단된다.

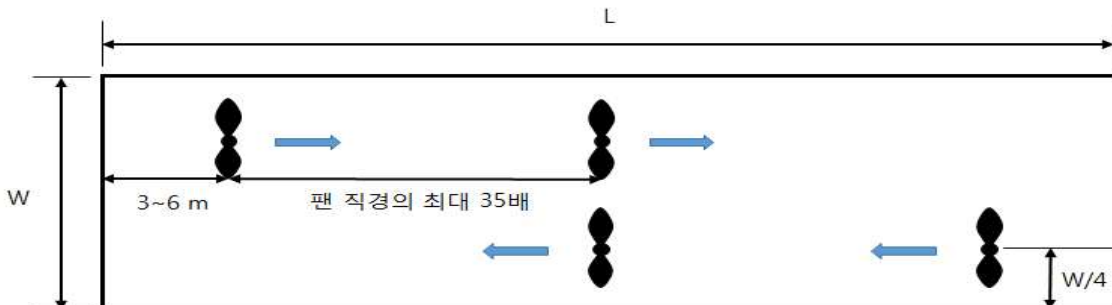


그림 2-2-48. 기존 온실 내 권장 순환팬 배치도(온실환경설계기준(2015))

직경의 35배에 비례하여 팬을 설치하는 것을 권장하고 있으며 이를 기반으로 한다면 다음과 같은 거리가 산출된다. 전체적으로 기존 설치 기준에 비해 풍속 0.2 m/s 도달거리가 더 먼 것으로 나타났고 270 mm의 경우 기존 설치 간격은 9.45 m로 225 m의 설치기준보다 긴 것으로 나타났으나 270 mm 팬의 출력이 225 m 팬보다 0.55배 낮아 풍속 0.2 m/s 도달거리는 짧은 것으로 나타났다.

표 2-2-20. 각 순환팬의 직경에 따른 기존 설치 간격 및 풍속 0.2 m/s 도달거리 (m)

팬 직경	온실설계기준 적용	풍속 0.2m/s 도달거리
225 mm	7.88	18
270 mm	9.45	15
300 mm	10.5	24
340 mm	11.9	28
370 mm	12.9	29

이는 기존 설치 간격으로 설치한다면 30m 하우스에 370mm 팬을 2개 설치해야 하지만 풍속 0.2m/s 도달거리를 기준으로 한다면 370mm 팬 1개 또는 270mm 팬 2개만 설치하여도 된다. 따라서 370mm 팬 2개 설치 금액(180,600원)을 370mm 팬 1개(90,300원)나 270mm 팬 2개(102,000원)로 줄일 수 있으며 하루 소비전력은 3840w에서 1920w(370mm)나 1872w(270mm)로 줄일 수 있는 것으로 나타났다.

표 2-2-21. 각 순환팬의 시간, 개수에 따른 소비전력(W)

specifications of fan	Number of fans	1 hour	6 hour	12 hour	24 hour
225mm / 70 W	1개	70	420	840	1680
	2개	140	840	1680	3360
	3개	210	1260	2520	5040
270mm / 39 W	1개	39	234	468	936
	2개	78	468	936	1872
	3개	117	702	1404	2808
300mm / 50 W	1개	50	300	600	1200
	2개	100	600	1200	2400
	3개	150	900	1800	3600
340mm / 60 W	1개	60	360	720	1440
	2개	120	720	1440	2880
	3개	180	1080	2160	4320
370mm / 80 W	1개	80	480	960	1920
	2개	160	960	1920	3840
	3개	240	1440	2880	5760

수평 풍속 도달거리를 통해 거리가 짧은 온실에서 적합한 팬을 선정할 수 있고 0.2 m/s가 끝나는 지점에 다음 팬을 설치할 수 있는 근거 자료가 될 수 있으며 연동온실에서 팬 간의 좌·

우측 간격을 선정할 수 있는 기초가 될 수 있을 것으로 판단된다. 본 시험 결과를 통해 온실에 필요한 팬 수를 줄일 수 있어 온실 설비 시 팬 설치 비용을 절감하는데 필요한 참고 자료가 될 것으로 사료된다.

3절 스마트온실 1차 피복자재의 성능 평가에 필요한 추가 항목 개발 및 시험방법 개발

온실에서 피복의 주된 목적은 주간에는 온실 내부로 입사하는 태양복사에 의한 내부공기의 온도상승에 있다. 이러한 목적을 위해 사용되는 피복재가 구비해야 할 가장 기본적인 성질은 투광성과 보온성이다. 그러나 이 두 가지 조건은 서로 상반되는 물리적인 성질이기 때문에 동시에 만족시키는 것은 상당히 어렵다. 따라서 가능한 한 투광성이 양호한 동시에 보온효과가 우수한 피복재와 피복방법의 개발이 지속적으로 요구되고 있다(김 등, 2000; 이 등, 2012; 이 등, 2013).

온실 내부로 투과하는 광량은 태양복사의 강도, 지형, 주위의 장애물, 온실의 구조와 방향, 피복재의 광학적 특성 등에 따라 다르다(Nelson, 1991; JGHA, 1994; Boodley, 1996; Hanan, 1998; 김 등, 2000; 이 등, 2002). 우리나라 온실구조는 연동 및 단동의 다양한 형태가 있고 피복재도 온실에 따라 다양한 방법으로 설치되고 있으며, 피복재의 사용기간도 농가에 따라 서로 다르다. 따라서 피복자재의 성능 평가를 위한 항목 및 시험방법의 개발을 통하여 상업용 온실에 대하여 적절한 피복방법과 관리방법을 구명할 필요가 있다.

가. 피복자재별 추가 성능평가항목 설정

우리나라는 온실 생산비 중 난방비가 차지하는 비중이 40% 내외로 매우 높고 난방유류를 전량 수입에 의존하고 있어 농산물 수출의 국제 경쟁력 면에서도 크게 불리한 입장이기 때문에 난방비를 절감할 수 있는 방안들이 절실히 요구되고 있다(이 등, 2012). 온실의 난방비를 평가하기 위해서는 우선 난방에 소요되는 경비가 정확히 계산되어야 하며 이를 위해서는 난방설비의 적정용량을 결정하기 위한 최대 난방부하와 재배기간 동안의 난방소요열량을 산정하기 위한 기간난방부하의 정확한 계산이 필요하다. 난방부하의 요인이 되는 온실의 열손실량은 피복재를 통한 관류열손실량, 온실 표면의 틈새를 통한 환기 전열손실량 및 실내공기와 토양과의 열교환에 의한 지중전열손실량의 합으로 계산되지만 이 중 관류열손실량은 전체 열손실량의 60~100%정도로 대부분을 차지하고 있기 때문에 난방부하량을 산정하는데 가장 중요한 요소이다. 관류열손실량은 일반적으로 관류열전달계수와 온실내외부 온도차의 곱으로 구해지고, 관류열전달계수는 외부기온, 풍속 및 천공상태 등의 기상조건, 피복재의 표면상태, 피복재 내외부 표면의 대류열전달 방식, 장파복사 열교환량, 틈새환기량, 피복면적, 온실형태, 온실바닥면적, 보온커튼의 유무 등에 따라 달라지며, 이 값은 열전도계수, 피복재 내외부의 대류열전달계수 및 장파복사열전달계수의 향으로 구성되어있다(Papadakis 등, 2000).

표 2-3-1은 피복자재의 성능평가항목을 나열한 것이다.

표 2-3-1. 피복소재의 성능평가항목

구분	내용
<p>태양광 투과율 (Solar transmittance)</p> <p>및</p> <p>태양광 반사율 (Solar reflectance)</p>	<p>태양광 투과율 및 태양광 반사율은 피복 표면에서 수직으로 입사되는 태양에너지의 복사 플럭스와 투과된 복사 플럭스 또는 반사된 복사 플럭스이 비율을 나타낸다. 이러한 값은 300 ~ 2500nm 파장 범위에서 분광광도계(Spectrophotometer)를 사용하여 투과율 측정 및 반사율 측정하여 얻은 분광투과율 및 분광반사율을 사용하여 아래 식에 의해 계산된다.</p> $\tau_e = \frac{\sum_{\lambda} E\lambda \cdot \Delta\lambda \cdot \tau(\lambda)}{\sum_{\lambda} E\lambda \cdot \Delta\lambda}, \quad \rho_e = \frac{\sum_{\lambda} E\lambda \cdot \Delta\lambda \cdot \rho(\lambda)}{\sum_{\lambda} E\lambda \cdot \Delta\lambda}$ <p>식에서, τ_e: 태양광 투과율, ρ_e: 태양광 반사율, $\tau(\lambda)$: 분광투과율, $\rho(\lambda)$: 분광반사율, $E\lambda \cdot \Delta\lambda$: 태양광 스펙트럼 분포 중량계수</p>
<p>가시광선 투과율 (Visible radiation transmittance)</p> <p>및</p> <p>가시광선 반사율 (Visible radiation transmittance)</p>	<p>가시광선 투과율과 가시광선 반사율은 피복 표면에 수직으로 입사하는 가시광선과 투과광 또는 반사광의 입사광 비율을 나타낸다. 이값은 380~780nm 파장 범위에서 분광광도계(Spectrophotometer)를 사용하여 투과율 측정 및 반사율 측정하여 얻은 분광 투과율 및 분광 반사율을 사용하여 계산된다.</p> $\tau_v = \frac{\sum_{\lambda} D\lambda \cdot V\lambda \cdot \tau(\lambda)}{\sum_{\lambda} D\lambda \cdot V\lambda}, \quad \rho_v = \frac{\sum_{\lambda} D\lambda \cdot V\lambda \cdot \rho(\lambda)}{\sum_{\lambda} D\lambda \cdot V\lambda}$ <p>식에서, τ_v: 가시광선 투과율, ρ_v: 가시광선 반사율, $\tau(\lambda)$: 분광투과율, $\rho(\lambda)$: 분광반사율, $D\lambda \cdot V\lambda$: 가시광선 스펙트럼 분포 중량계수</p>
<p>복사열 투과율 (Thermal radiation transmittance)</p>	<p>단위시간에 단위면적당 표면에 입사되는 총 열복사를 복사량(Irradiation)이라고 한다. 복사량 중에서 표면에서 반사되는 비율을 반사율(Reflectance), 물체를 투과하는 비율을 투과율(Transmittance), 물체에 흡수되는 비율을 흡수율(Absorptance)이라고 하며, 어떤 물체의 반사율, 투과율 및 흡수율의 합은 항상 1이 된다.</p>

표 2-3-1. 피복자재의 성능평가항목(계속)

구분	내용
복사열 방출 (Thermal radiation emission)	복사에너지의 발산은 모든 물체의 표면에서 일어나며, 절대온도 0도 이상의 모든 물체는 복사열을 방출한다. 열역학적 이론에 의하면 이상적인 복사체(흑체: Black body)는 절대온도의 4제곱에 비례하는 복사에너지를 방출한다.
전도도 (Conductivity ($W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$))	연속적이고 정지된 매체를 통한 열에너지의 확산이다. 매체의 특성에 따라 차이가 있으며 물질을 이루고 있는 분자와 분자 상호 간의 운동에너지 전달이다.
관류열전달계수 (Overall heat transfer coefficient ($W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$))	열관류에 의한 관류열량의 계수로, 단위 표면적을 통해 단위시간에 고체벽의 양쪽 유체가 단위 온도차 일 때 한쪽 유체에서 다른쪽 유체로 전해지는 열량, 열통과율 이라고도 한다.
두께 (Thickness (mm))	피복자재의 두께

출처: JIS R 3106, 농업시설공학(2000)

나. 피복자재별 보온성 및 광학특성 분석(5종)

관류열전달계수는 실험할 때의 환경조건과 피복재의 열복사 성질에 따라 달라지기 때문에 동일한 종류의 피복재에 대해서도 연구자에 따라 다른 값을 제시하거나 사용하고 있는 실정이다(Abdel- Ghany와 Kozai,2006). 특히 기본소재가 동일하더라도 첨가물에 따라 열전달 특성이 달라 피복재 및 보온재의 특성에 맞는 관류열전달계수가 제시될 필요가 있다(Seginer 등,1988). 국내에서는 표준화된 관류열전달계수 측정시스템 및 측정기준의 부재로 최근 개발되어 상용화된 피복재와 보온재에 대한 관류열전달 특성을 객관적으로 비교할 수 있는 통일된 정량적 기준이 마련되어 있지 못한 실정이다. 따라서 국내 환경에 적합한 표준화된 피복재 및 보온재의 관류열전달계수 측정시스템과 측정방법 및 기준의 개발이 필요하며 본 연구에서는 현재 개발된 관류열전달계수 측정시스템을 이용하여 피복자재별 관류열전달계수를 제시하고자 한다. 본 연구에서 평가한 1차 피복자재의 종류 및 특징은 표 2-3-2와 같다.

표 2-3-2. 피복자재의 종류 및 특징

구분	특징
<p>폴리에틸렌 필름 (Polyethylene, PE)</p>	<p>PE필름은 가격이 저렴하며 연질필름 가운데 자외선 적외선을 투과시키는 비율이 높다. 특히 장파장을 많이 투과시키므로 보온성은 떨어지지만 가시광선 영역의 투과율은 비슷하다. 일부 PE필름은 내후성을 증가시키기 위하여 자외선 흡수제를 사용하지만 전반적으로 EVA나 PVC필름에 비하여 내후성이 떨어진다. 색깔은 옅은 유백생이고 오염이 적다.</p>
<p>염화비닐 필름 (Polyvinyl chloride, PVC)</p>	<p>PVC필름의 분광 투과성은 가시광선 영역에서 PE필름이나 EVA필름과 거의 비슷하고, 380 nm 이하의 자외선 파장에서는 투과율이 현저히 떨어진다. 또한, 보온성과 관계가 깊은 1,000~3,000 nm 파장에서 방사율이 적어 오전의 온도상승이나 야간의 방열 억제에 효과가 크다.</p>
<p>폴리카보네이트 판 (Polycarbonate, PC)</p>	<p>PC판은 열가소성 물질로서 가시광선 투과율이 높고 내충격성이 강하여 유리 대용으로 사용된다. 또한, 보온성, 내열, 내한성, 난연성이 우수하여 내구연한이 10년 이상 유지된다. 380nm 이하의 단파가 투과되지 않으며 농업용으로 가공된 것은 광의 산란 효과를 높이고 구조적으로 안정된 골판 형태로 성형이 되어있어 두께가 0.8 mm 내외이나 경질판으로 분류된다.</p>
<p>아크릴 판 (Polymethymetacrylate, PMMA)</p>	<p>아크릴수지로 되어있어 유리에 비하여 장파장(적외선)의 투과율이 낮아 보온성이 뛰어나지만 충격에 약하다. 열전도 특성은 PC와 같은 수전이고, 투광성은 유리와 비슷한 정도로 뛰어나지만 가격이 비싸다.</p>
<p>유리 (Horticulture glass, HG)</p>	<p>온실의 피복재로 사용하는 유리에는 보통판유리, 형판유리 및 열선흡수유리가 있으나 두께 3~4 mm의 보통판유리가 온실 피복재로 가장 많이 이용된다. 투명유리와 형판유리는 파장 330~380 nm의 자외선을 80~90% 투과시키나 310 nm이하의 자외선은 투과시키지 않는다. 열선흡수유리는 350~380 nm의 자외선을 40~70% 투과시키나 330 nm이하의 투과시키지 않는다. 투명유리는 가시광선 투과율이 90%이고 형판유리는 이보다 약간 낮다.</p>

출처: 피복자재의 종류와 선택에 대해서(비닐하우스를 중심으로)

1) 열전도도 측정

본 연구에서 사용된 피복자재의 열전도율 값을 측정하기 위해 Kyoto Electronics에서 제조한 QTM-500 열전도도 측정기를 사용하였다. QTM-500은 다양한 시료의 열전도도의 측정을 할 수 있는 기기이며, Soft-QTM(소프트웨어)을 사용하면 컴퓨터와 연동하여 측정값을 저장 및 확

인할 수 있다. QTM-500은 본체와 Probe(센서), 냉각판 등으로 구성되어 있으며, 그림 2-3-1은 QTM-500의 구성을 나타낸 사진이며, 피복자재의 열전도도 측정은 5회 이상 수행하였으며 5회의 평균값을 사용하였다. 측정에 사용된 PD-11 prob의 세부 사항은 표 2-3-3과 같다.



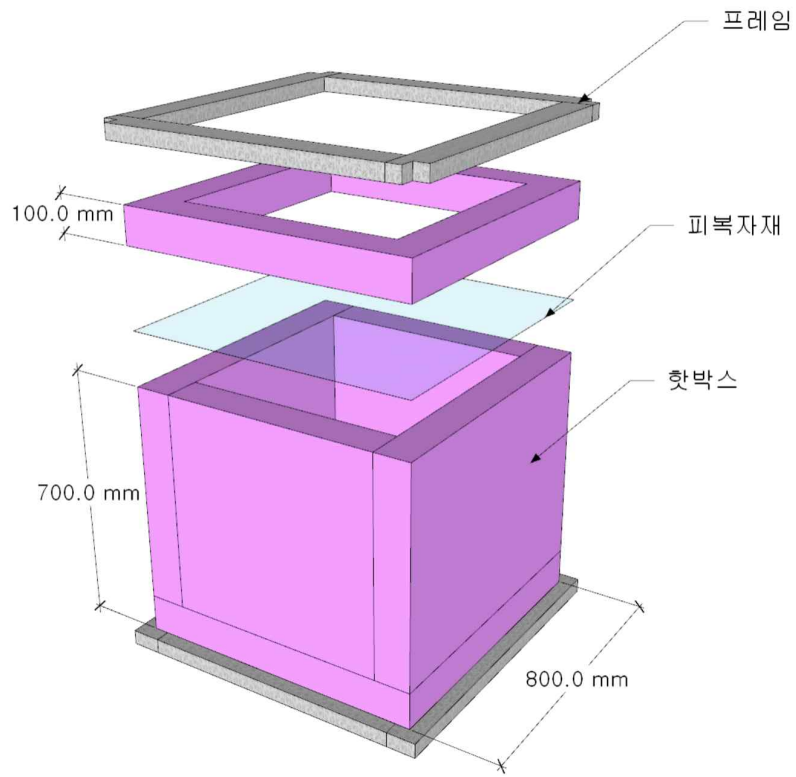
그림 2-3-1. Thermal conductivity meter(QTM-500)

표 2-3-3. Specifications of PD-11 prob

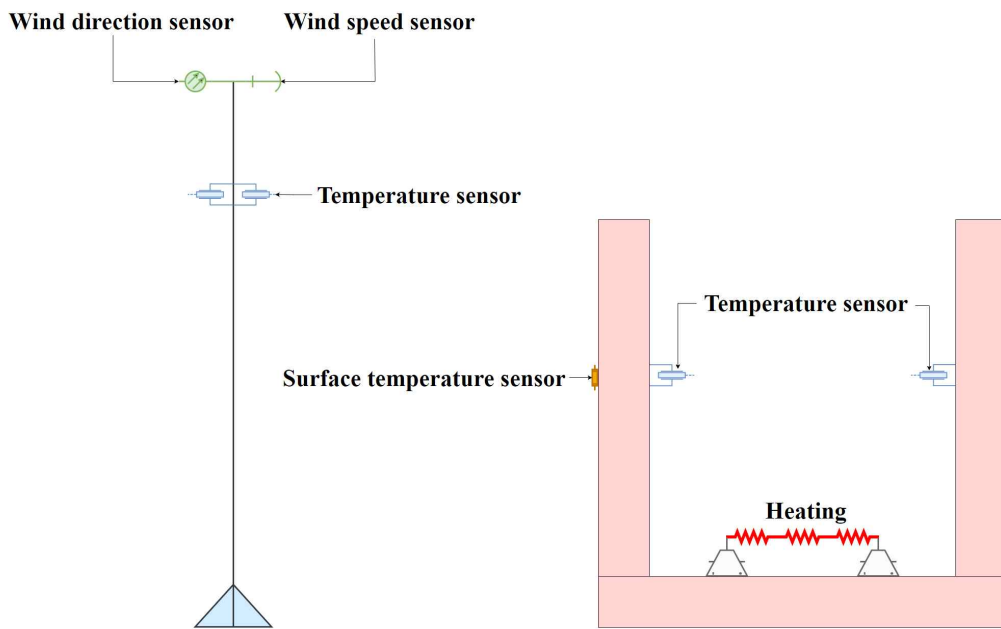
Feature	Unit	Sensor (PD-11)
Measuring temperature range	°C	-10 to 200
Minimum sample size	mm ³	100 × 50 × 20
Measurement range	W·m ⁻¹ ·K ⁻¹	0.023 to 11.63
Thin sample thickness	mm	0.03 to 10
Measuring time	Sec	60

2) 실험장치(핫박스)를 이용한 관류열전달계수

본 연구에서 피복자재의 관류열전달계수 측정을 위해 실험장치(핫박스)를 사용하였다. 실험 장치의 개략도 및 센서 위치도는 그림 2-3-2와 같으며 실험에 사용된 센서종류 및 사양은 표 2-3-4와 같다.



(a) 시험장치 개략도



(b) 시험장치 센서 위치도

그림 2-3-2. 시험장치 개략도 및 센서 위치도

표 2-3-4. 센서종류 및 사양

Component	Specifications	Unit	Data logger
PM-B540-W wattmeter	220 V, 60Hz, -10°C to 60°C (AI power manager, South Korea)	watt	
CM-100S electric heater	600 W, 200 V, and 60 Hz (Comax Electric, CHINA)		
HOBO MX2302A Surface temperature sensor	-40° to 70°C, Accuracy ± 0.25°C from -40° to 0°C and ± 0.2°C from 0° to 70°C, response time 0.3 s, 0 to 100 RH, (MacArthur Blvd, USA)	°C	HOBO MX2302A
LTH-203 heating control relay box	(220V, 30A, South Korea).		
HOBO Pro-v2 U23-002 Ambient temperature & thermocouple	-40° to 70°C, (Onset, USA)	°C	HOBO UX120-06m 4-channel thermocouple logger

시험장치는 피복자재의 양면 사이의 온도 차이를 이용하여 열저항을 측정하여 계산된다. 피복자재의 U값을 계산하기 위한 식은 다음과 같다.

$$U = \frac{Q}{A(T_i - T_o)} \quad (1)$$

여기서, U: 관류열전달계수(W·m⁻²·K⁻¹), Q: 시험재료를 통한 열손실(W),
A: 시험재료 면적(m²), T_i: 내부공기온도(°C), T_o: 외부공기온도(°C)

$$Q = Q_r - Q_w \quad (2)$$

여기서, Q_r: 히터의 가열전력(W), Q_w: 벽을 통한 열손실(W)

$$Q_w = \frac{\lambda S_w (T_s - T_u)}{L} \quad (3)$$

여기서, λ: 열전도도(W·m⁻²·K⁻¹), S_w: 벽 면적(m²), L: 시험장치 벽 두께(m),
T_s: 내측변면 표면온도(°C), T_u: 외측변면 표면온도(°C)

그림 2-3-3은 실험장치를 이용하여 계산한 시험재료별 관류열전달계수를 나타낸 것이다. 그 래프에서 보듯이 PE가 6.1로 가장 높게 나타났으며, PMMA가 3.8로 가장 낮게 나타나 보온성 은 PMMA 가장 좋은 것으로 확인되었다. 그리고 피복자재의 두께에 따른 관류열전달계수는 두께가 두꺼워 질수록 관류열전달계수가 낮게 나타나 보온성 또한 두께가 두꺼울수록 높은 것으로 나타났다.

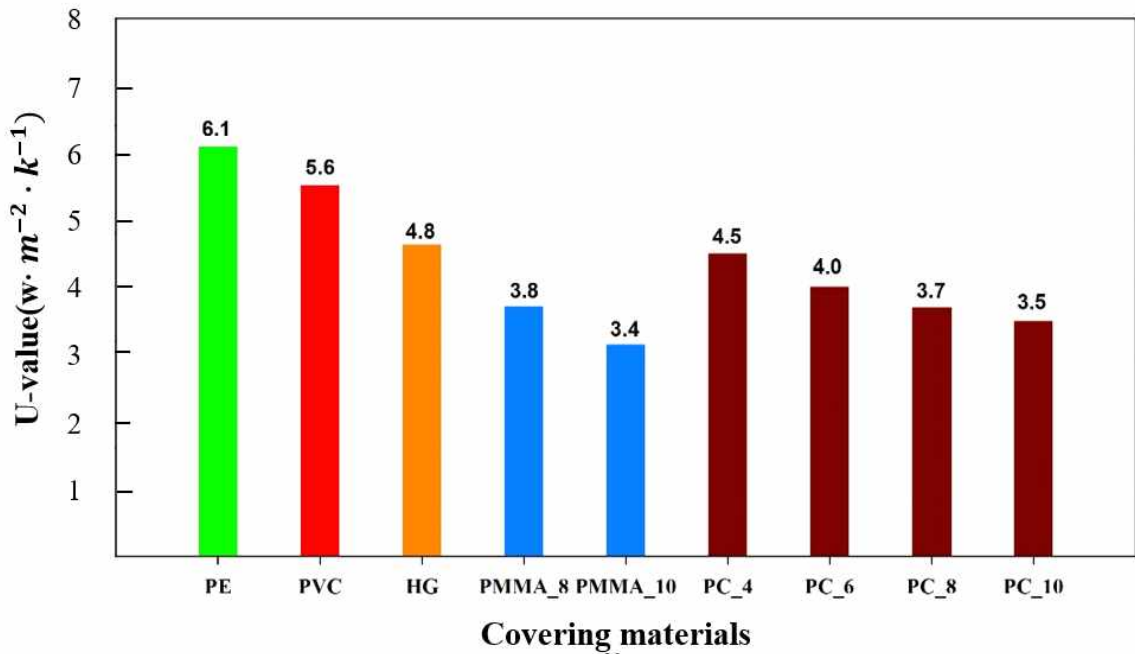


그림 2-3-3. 시험재료 별 관류열전달계수

표 2-3-5는 피복자재 별 특성과 시험장치를 이용하여 계산된 관류열전달계수를 나타낸 것이다.

표 2-3-5. 피복자재의 특성 및 계산된 관류열전달계수

Cover characteristics	Greenhouse materials				
	PC	HG	PE	PVC	PMMA
Solar transmittance	0.78	0.89	0.86	0.91	0.78
Solar reflectance	0.14	0.08	0.10	0.07	0.14
Visible radiation transmittance	0.75	0.91	0.89	0.92	0.75
Visible radiation reflectance	0.15	0.08	0.08	0.14	0.15
Thermal radiation transmittance	0.02	0.1	0.18	0.06	0.02
Thermal radiation emission	0.89	0.90	0.79	0.62	0.89
Conductivity (W·m ⁻¹ ·K ⁻¹)	0.190	0.76	0.33	0.13	0.19
Overall heat transfer coefficient (W·m ⁻² ·K ⁻¹)	4.5	4.8	6.1	5.6	3.8
Thickness (mm)	0.8	4	0.10	0.10	0.8

다. 피복 및 차광재 조합에 따른 측정 방법 개발 및 고도화

1) 차광스크린 열복사 특성 실험장치

대부분의 스마트온실에서는 내외부에 보온 및 차광스크린을 설치하여 여름철 고온기에는 투광량을 줄여 온실 내부의 온도상승을 억제하고 겨울철 저온기에는 야간에 온실내부의 온도저하를 억제하고 있다. 스마트온실에서 에너지절감을 위한 복합환경제어를 도입하기 위해서는 온실의 에너지 수지분석이 정확히 이루어져야 하며 이를 위해서는 태양복사 및 열복사와 스크

린과의 열교환 특성을 정확히 알아야 할 필요가 있다. 태양복사와 차광스크린의 열교환 특성 및 스크린의 여러 가지 성질에 관한 연구들이 수행된 바 있지만 스크린의 열복사 성질에 관한 연구결과는 많지 않다. 특히 자연조건하에서 스크린의 열복사 교환에 관한 연구는 많지 않다. 적외선 열측정기는 스크린의 투과, 반사 및 흡수 열복사를 구별하여 측정할 수 없기 때문에 스크린의 열복사 특성(투과, 반사, 흡수)을 정확하게 측정하는 것은 불가능하다. 따라서 본 연구에서는 온실의 에너지 수지 분석에 필요한 스크린의 열복사 특성을 제시하기 위하여 자연환경 하에서 측정시스템을 구축하고 스크린 위와 아래의 열복사량을 측정하여 스크린의 열복사 투과율, 반사율 및 흡수율을 산정하였으며 핫박스를 이용하여 피복재 및 차광재 조합의 관류 열전달계수를 측정하여 계산하였다.

그림 2-3-4는 스크린의 열복사 특성을 측정하기 위한 실험장치의 개략도이며, 그림 2-3-5는 실험장치의 센서 위치도이다. 실험의 방해 요소를 줄이기 위하여 그림 2-3-6 같이 건물 옥상에 설치하였다. 프레임의 크기는 2 m(폭) × 2 m(길이) × 1 m(높이)이며, 프레임의 가장 위에 스크린을 수평으로 설치하고 바닥에는 복사 특성이 알려져 있는 흑색 천(투과율=0, 반사율=0.07, 흡수율=0.93)을 설치하였다. 스크린의 위와 아래에 각각 순복사계와 장파복사계를 설치하여 순복사량 및 장파복사량을 측정하였고, 스크린의 표면과 주변의 온도를 측정하였다. 측정결과를 검증하기 위하여 spectro-photometer (FT-IR/NIR)를 이용하여 Polyethylene(PE)과 스크린들의 투과율을 측정하여 비교하였다.

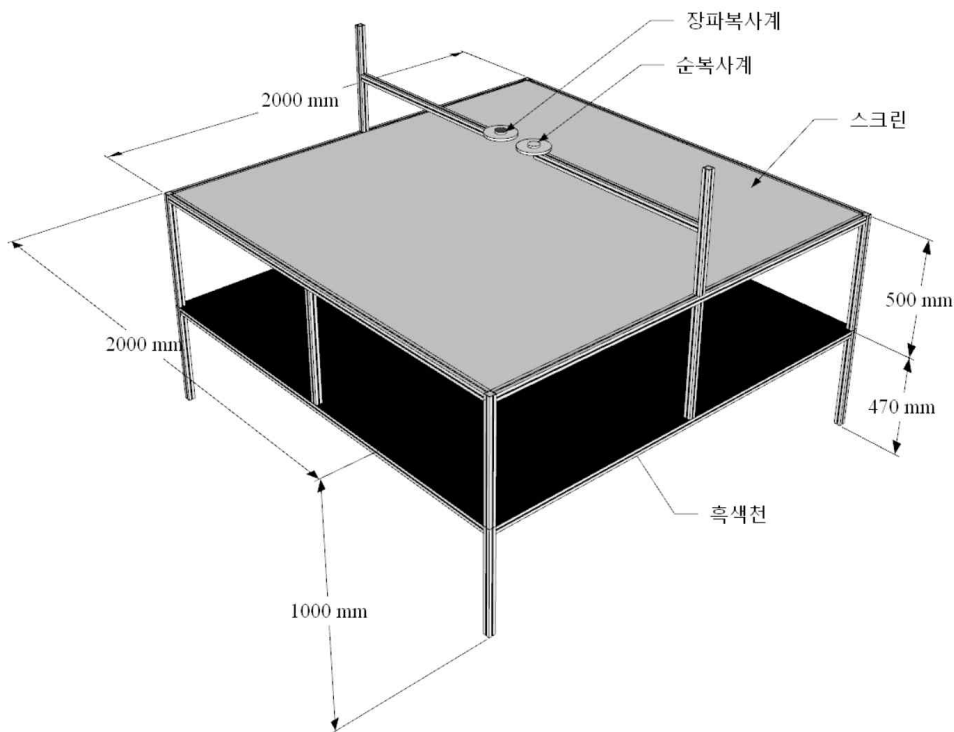


그림 2-3-4. 스크린의 열복사 실험장치 개략도

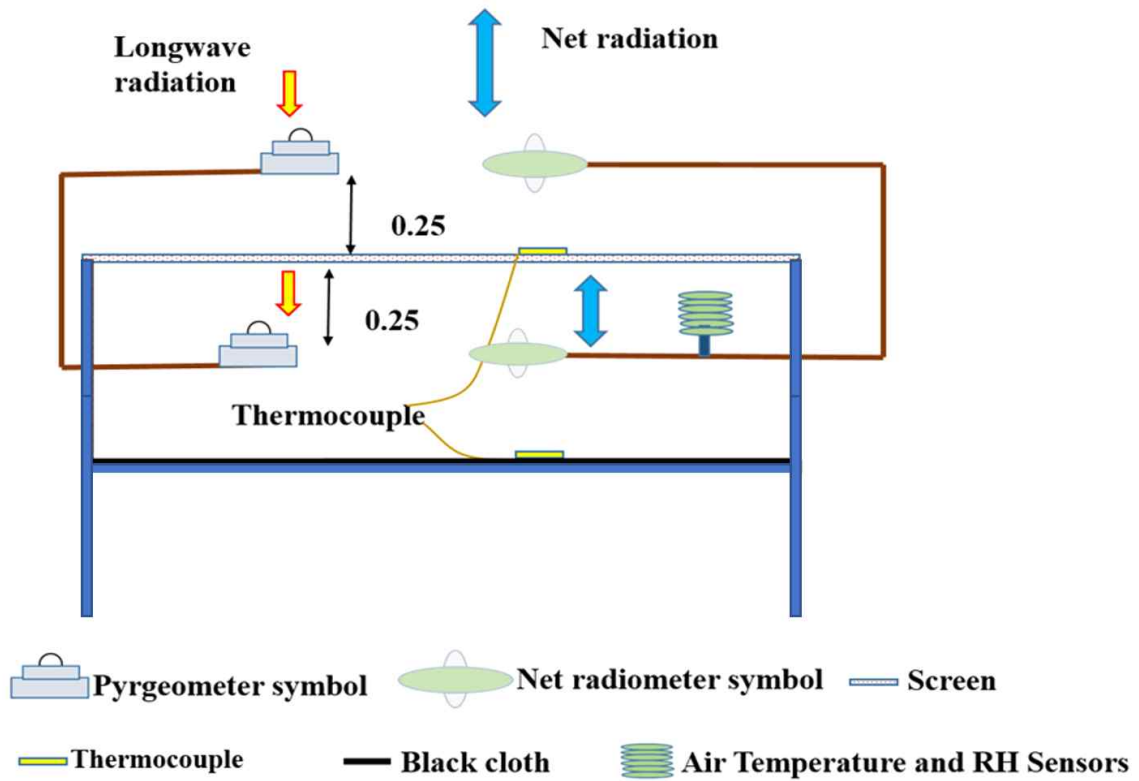


그림 2-3-5. 스크린의 열복사 실험장치 센서 위치도



그림 2-3-6. 스크린의 열복사 실험장치 사진

그림 2-3-7은 천공, 스크린 및 흑색천들의 서로 간의 열복사 교환을 도시한 것이며, 미지의 값은 붉은색으로 표기하였다. 아래 방향의 장파복사량(Q_1 and Q_3)은 천공복사계를 사용하여 측정하였고, 윗 방향의 장파복사량(Q_2 and Q_4)은 순복사계의 측정값과 아래 방향의 장파복사량의 차이를 산정하여 구하였다. 스크린의 열복사 특성은 다음과 같이 산정하였다. 스크린과 흑색천의 표면온도를 측정하기 위하여 2개의 서모커플을 설치하였다. 모든 데이터는 10분 간격으로 저장되도록 하였다. 표 2-3-6는 각종 측정 장치들의 사양을 나타낸 것이다.

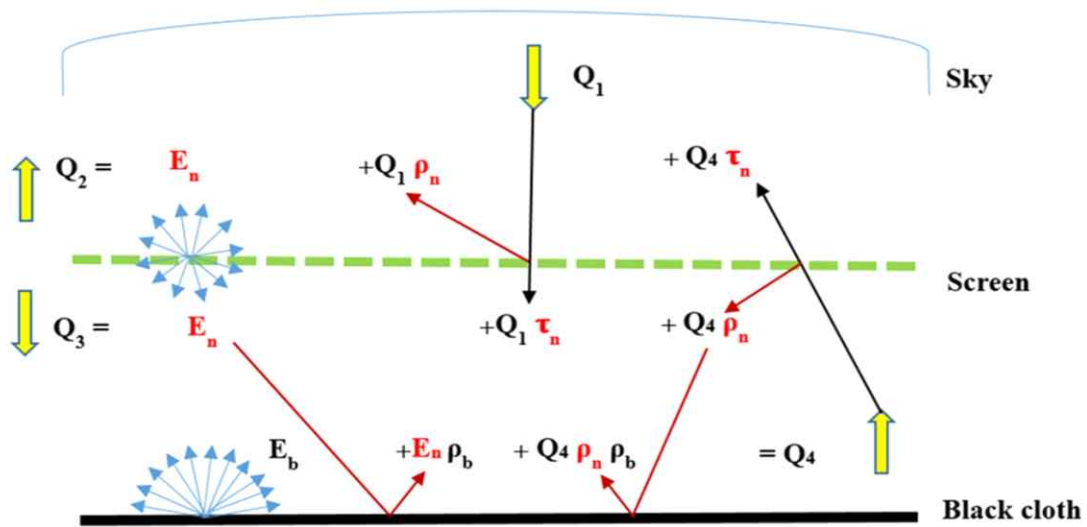


그림 2-3-7. 스크린의 내부복사(Q1, Q4)와 외부복사(Q2, Q3) 수지식

표 2-3-6. 센서 종류 및 사양

Parameter	Unit	Sensors	Range	Data logger
Net long-wave radiation	W/m ²	NR Lite2 Net Radiometer (Kipp and Zonen, Netherlands)	0.2-100 μm	LR 5041 (Hioki, Japan)
Downward long-wave radiation (Q ₁)	W/m ²	CGR3 Pyrgeometer (Kipp and Zonen, Netherlands)	4.5-42 μm	21x Micrologger (Campbell Scientific, Inc. USA)
Downward long-wave radiation (Q ₃)	W/m ²	IR02 Pyrgeometer (Hukseflux, Netherlands)	4.5-40 μm	CR300 (Campbell Scientific, Inc. USA)
Temperature/Relative Humidity	°C/ %	Hobo pro v2 U23-002 (Onset, USA)	-40 °C-70 °C 0%-100 %	Hobo pro v2 U23-002 (Onset, USA)
Surface temperature	°C	T-type thermocouple wires	-270 °C-370 °C	Hobo UX120-014M (Onset, USA)

상하면이 동일한 재질인 스크린 위에서의 상향 장파복사량(Q₂, W/m²)은 다음 식으로 산정된다.

$$Q_2 = E_n + \rho_n Q_1 + \tau_n Q_4 \quad (4)$$

여기서, ρ_n는 스크린의 반사율, E_n는 스크린의 방사량(W/m²), τ_n는 스크린의 투과율, Q₁는 천공복사량(W/m²)이다.

상하면이 동일한 재질인 스크린 아래 즉 흑색천 위에서의 하향 장파복사량(Q₃, W/m²)은 다음 식으로 산정된다.

$$Q_3 = E_n + \tau_n Q_1 + \rho_n Q_4 \quad (5)$$

스크린 아래 즉 흑색천 위에서의 상향 장파복사량(Q_4 , W/m^2)은 스크린의 물리적인 조건에 따라 달라진다. 스크린의 공극이 아주 작은 경우(0.05이하)에는 $\rho_b \tau_s L_a$ 요소는 무시하고 다음 식으로 산정한다.

$$Q_4 = E_b + \rho_b E_n + \rho_n \rho_b Q_4 \quad (6)$$

여기서, ρ_b 는 흑색천의 반사율, E_b 는 흑색천의 장파복사 방사량(W/m^2)이며 스테판볼츠만 법칙으로 산정된다.

투명하거나 반투명한 재질 및 공극이 있는 스크린 아래 즉 흑색천 위에서의 상향 장파복사량(Q_4 , W/m^2)은 다음 식으로 산정한다.

$$Q_4 = E_b + (\rho_b + \mu)E_n + (\rho_b - \mu) \rho_n Q_4 + (\rho_b - \mu)\tau_n Q_1 \quad (7)$$

여기서, $\mu(10^{-6})$ 는 방정식 풀이 시 오차에 의해 계산이 수행되지 않는 현상을 방지하기 위한 특수값(복사량의 크기에 따라 부호를 달리한다), 흑색천의 장파복사 방사량은 다음 식으로 산정한다.

$$E_b = (Q_4 - Q_3 * \rho_b) \quad (8)$$

$$E_b = (Q_4 * \varepsilon_b) \quad (9)$$

여기서, ε_b 는 흑색천의 흡수율이다.

스크린의 방사율은 Kirchhoff's 법칙인 다음 식으로 산정한다.

$$\tau_n + \rho_n + \varepsilon_n = 1 \quad (10)$$

여기서, ε_n 는 스크린의 방사율이다.

스크린의 장파복사 흡수량은 다음 식으로 계산된다.

$$A_s = \alpha_s * (Q_1 + Q_4) \quad (11)$$

여기서, α_s 는 스크린의 흡수율이다.

표 2-3-7은 실험에 사용된 스크린들의 성질을 나타낸 것이다. TEMPA 8672 D FB는 차광 스크린이며 보온 겸용으로 사용되고 있고, LUXOUS 1547 D FR와 Oxford는 에너지절감을 위해 사용되고 있는 스크린이다.

표 2-3-7. 실험에 사용된 스크린의 성질

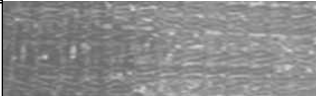


Materials Properties	LUXOUS 1547 D FR	TEMPA 8672 D FB	White polyester (Oxford 300*600)
Picture			
Weight	51 g/m ²	79 g/m ²	152 g/m ²
Energy saving	47%	72%	-

그림 2-3-8은 온도의 변화를 도시한 것이며, 그림 2-3-9는 맑은 날의 LUXOUS 1547 D FR, TEMPA 8672 D FB 및 White polyester 스크린의 열복사 특성인 투과율, 흡수율 및 반사율의 변

화를 각각 도시한 것이다. 스크린의 열복사 특성은 하루 중 온도 변화에는 큰 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. 투과율은 LUXOUS 1547 D FR이 가장 높고 그 다음은 TEMPA 8672 D FB, White polyester 순으로 나타났으며, 이는 제품회사에서 제시한 에너지 절감율과 반비례하는 것으로 나타났다. 이러한 결과들은 향후 온실의 에너지 수지를 분석하는데 유용하게 활용될 수 있을 것이며, 냉난방 에너지 절감에 크게 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

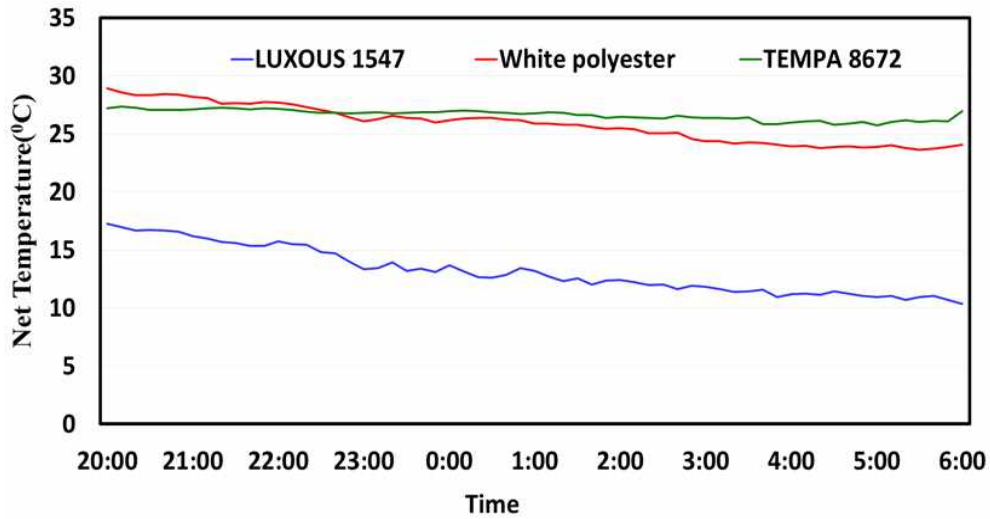
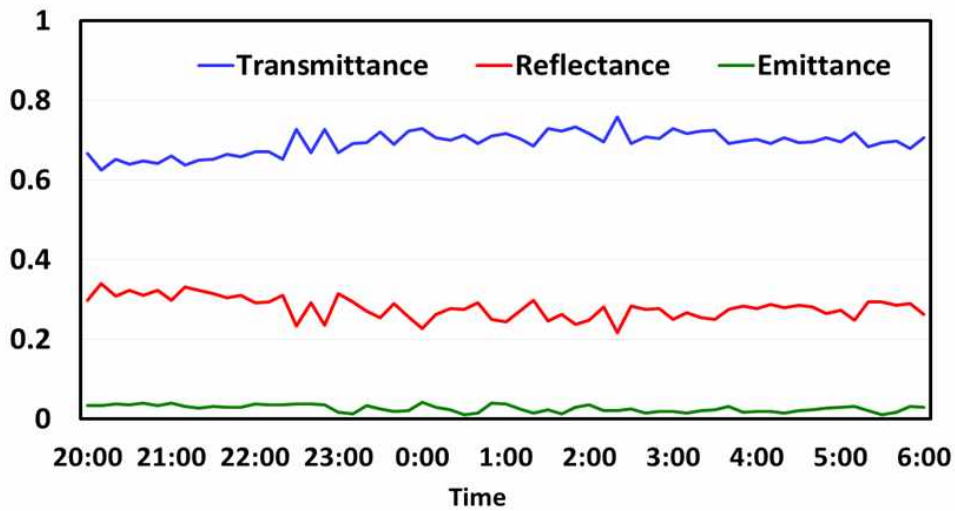
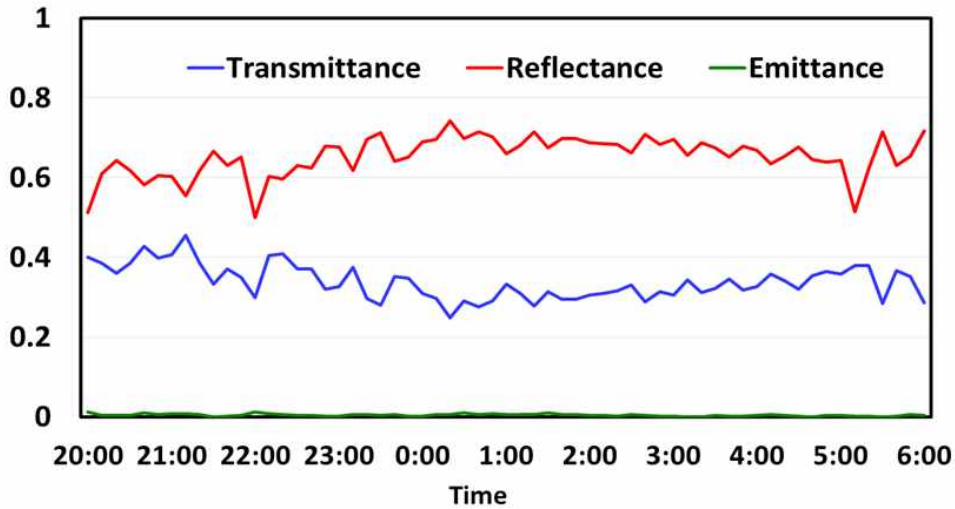


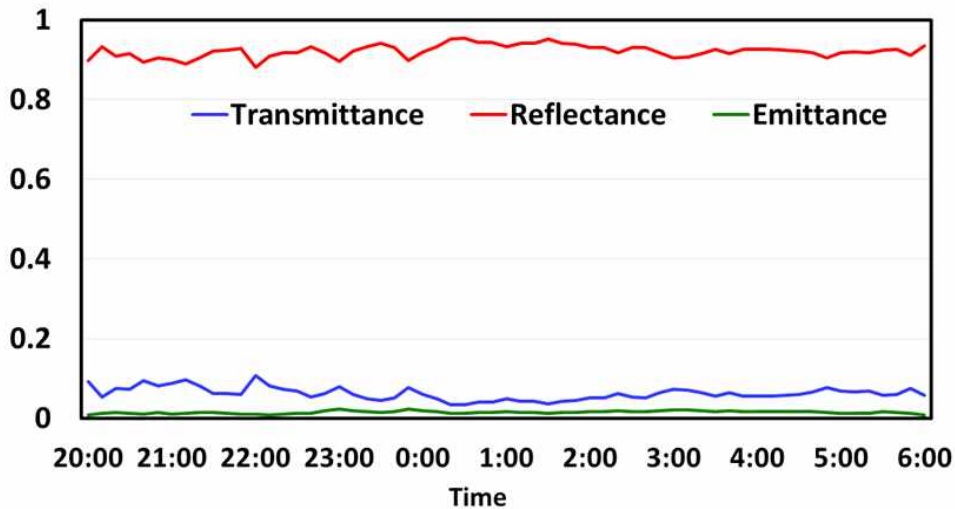
그림 2-3-8. 야간온도 변화



(a) LUXOUS 1547 D FR
그림 2-3-9. 스크린의 방사 특성



(b) TEMPA 8672 D FB



(c) White Polyester

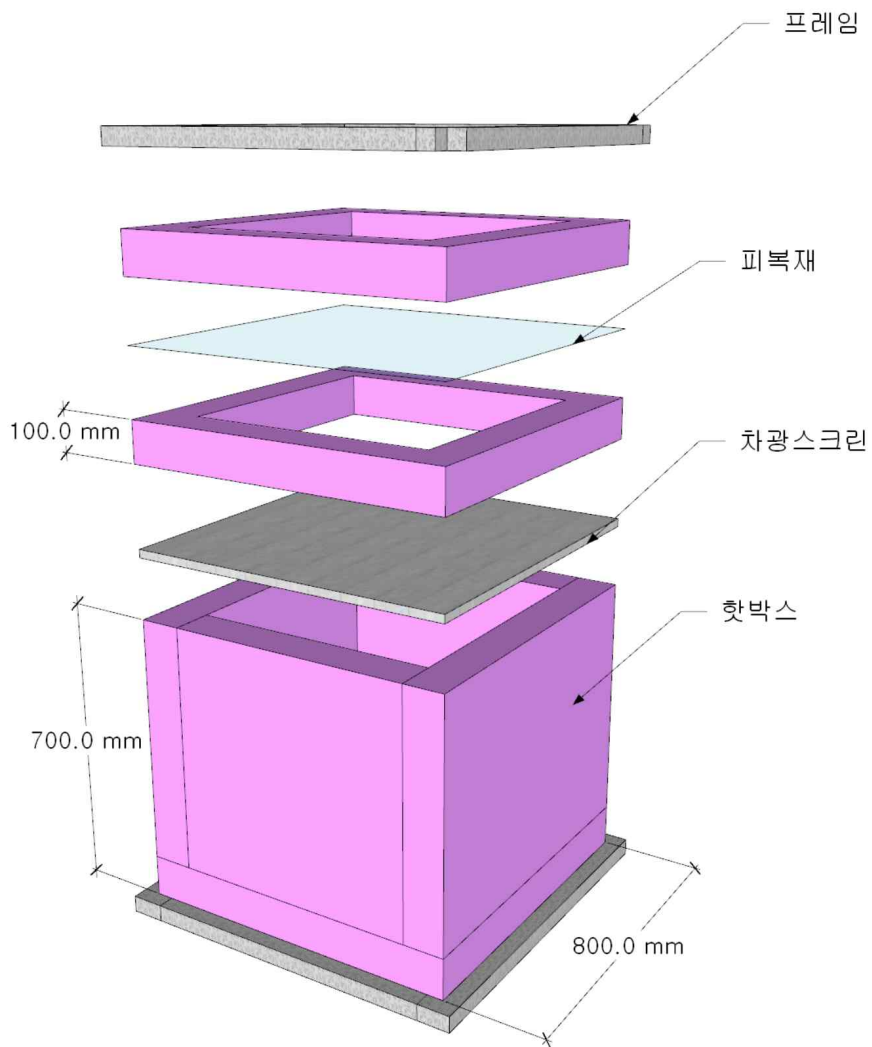
그림 2-3-9. 스크린의 방사 특성(계속)

2) 피복 및 차광재 조합에 따른 측정방법

일반적으로 내부스크린은 일중 혹은 이중피복 온실의 내부에 수평으로 설치되어 있다. 스크린이 설치된 온실의 단열효과를 분석하기 위해서는 외부피복재와 내부 스크린이 조합된 상태에서의 단열특성이 규명되어야 할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 내외부 피복재의 조합에 따른 단열특성을 구명하기 위하여 내외부 피복재의 조합에 따른 관류열전달계수 측정장치를 이용하였다. 실험장치는 기존의 관류열전달계수 측정장치인 핫박스에 프레임을 추가하여 피복재를 2중, 3중으로 추가할 수 있도록 하였다. 그림 2-3-10은 피복 조합에 따른 실험장치의 사진과 개략도를 나타낸 것이다.



(a) 실험장치 사진



(a) 실험장치 개략도

그림 2-3-10. 피복 및 차광재 조합 실험장치

표 2-3-8은 관류열전달계수 산정을 위해 적용한 다양한 종류의 보온스크린이며, 표 2-3-9은 각각의 보온스크린에 대한 물리적 및 열적 특성을 나타낸 것이다(Kim et al., 2009). Table 2-1의 각종 보온스크린에 대해 관류열전달계수를 산정하였고, 일중PE필름과의 조합한 조건에 대한 관류열전달계수도 산정하였다.

표 2-3-8. 보온스크린 조합

Module Number	Insulation material
1	White polyester (Apparent density 890.1 kg/m ² , Thickness 0.4 mm, Oxford 300*600)
2	White polyester (Apparent density 884.7 kg/m ² , Thickness 0.44 mm, called as Oxford 600*600)
3A	Aluminum foil-outward direction of the luster face with the inward direction of the non-luster face
3B	Aluminum foil-Inward direction of the luster face with the outward direction of the non-luster face
4A	Black fabric polyester (80 g/m ²) + Chemical wool (4 ounces) +White fabric polyester (80 g/m ²)
4B	White fabric polyester (80 g/m ²) + Chemical wool (4 ounces) + Black fabric polyester (80 g/m ²)
5	Black fabric polyester (80 g/m ²) + Black fabric polyester (40 g)) + Chemical wool (4 ounces) + Black fabric polyester (80 g/m ²)
6	White polyester (module 1 material) +White polyethylene foam (1mm*1layer) + Chemical wool (4 ounces) +White polyester (module 1 material)
7	White polyester (module 1 material) + Polyethylene foam (1mm*3 layers)) +White polyester (module 1 material)
8	White polyester (module 1 material) + Polyethylene foam (1mm*2 layers)) +White polyester (module 1 material)
9	White fabric polyester (80 g/m ²) + Polyethylene foam (1mm*3 layers)) + White fabric polyester (80 g/m ²)
10A	Black polyester (module 1 material) +White threads +White polyester (module 1 material)
10B	White polyester (module 1 material) +White threads + Black polyester (module 1 material)
11	White polyester (module 1 material) +White threads +White polyester (module 1 material)
12	Black polyester (module 1 material) + Black threads + Black polyester (module 1 material)

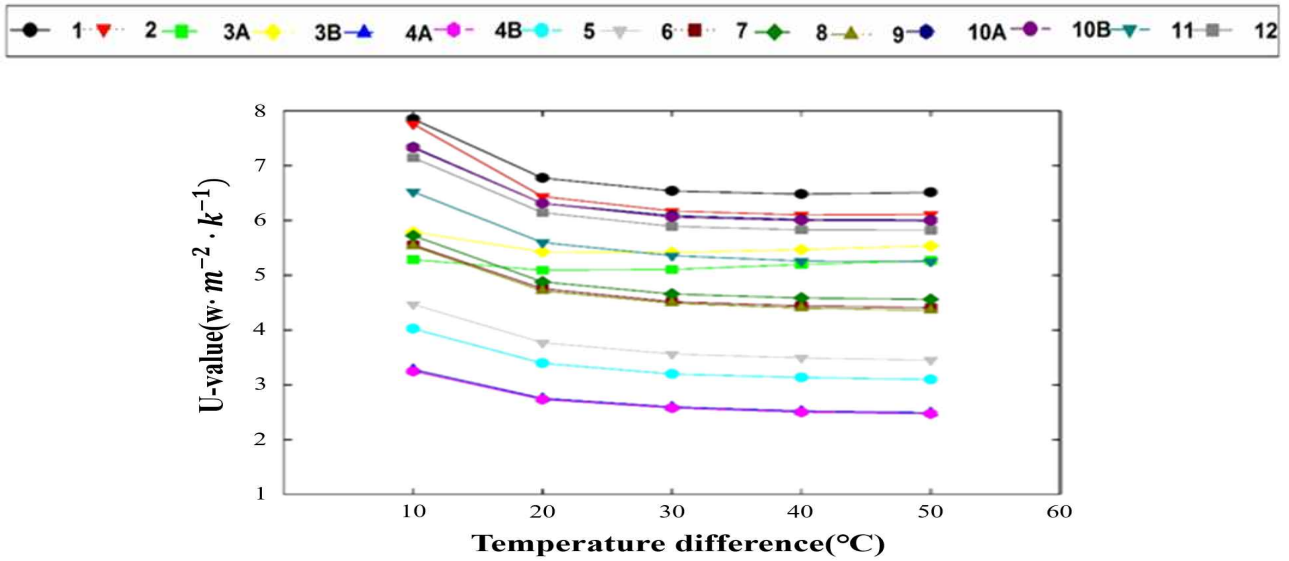
표 2-3-9. 보온스크린에 대한 물리적 및 열적 특성

Module number	Thickness (mm)	Conductivity (W·m ⁻¹ ·K ⁻¹)	Transmittance	Reflectance	Emittance
1	0.4	0.0123	< 0.001	0.116	0.884
2	0.44	0.0101	< 0.001	0.114	0.886
3A	1.05	0.0381	< 0.001	0.649	0.351
3B	1.05	0.0381	< 0.001	0.556	0.444
4A	6.40	0.0206	< 0.001	0.126	0.874
4B	6.40	0.0206	< 0.001	0.150	0.850
5	5.02	0.0226	< 0.001	0.128	0.872
6	3.96	0.0212	< 0.001	0.117	0.883
7	3.78	0.0338	< 0.001	0.135	0.865
8	2.59	0.0248	< 0.001	0.132	0.868
9	4.49	0.0388	< 0.001	0.116	0.884
10A	1.10	0.0237	< 0.001	0.114	0.886
10B	1.10	0.0237	< 0.001	0.119	0.881
11	1.53	0.0210	< 0.001	0.117	0.883
12	1.21	0.0231	< 0.001	0.113	0.887

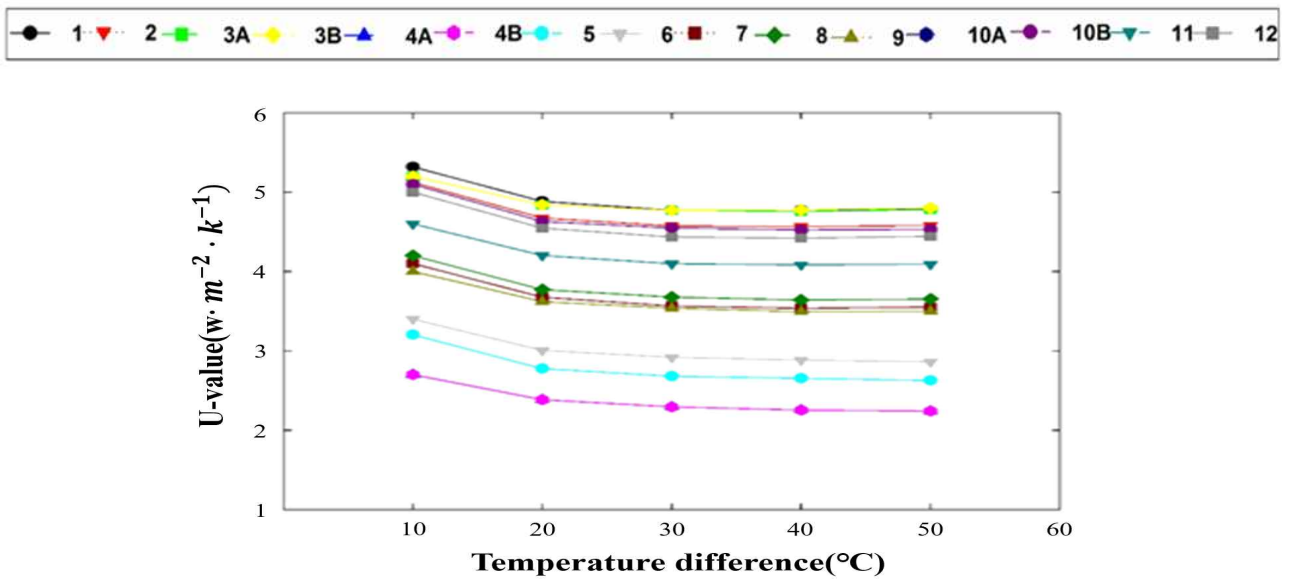
3) 보온스크린의 관류열전달계수

실험장치를 이용하여 보온스크린에 대한 관류열전달계수를 산정하였다. 그림 2-3-11의 (a)는 한 층의 스크린에 대한 관류열전달계수이고, (b)는 두 층(PE+스크린)에 대한 관류열전달계수이다. 실험장치의 내외부 온도차이가 낮을 때는 관류열전달계수가 크고 온도차이가 증가함에 따라 값이 안정화 되는 경향을 나타내었다. 이러한 결과는 Feuilloley and Issanchou(1996) 및 Diop 등(2014)의 결과와도 잘 일치한다.

표 2-3-10는 내외부 온도 차이가 30℃일 때 보온스크린의 관류열전달계수를 크기 순서대로 나타낸 것이다. 관류열전달계수는 스크린의 두께, 전도도, 방사율에 따라 달라지는 것으로 나타났다. 향후 개발된 시뮬레이션 모델을 이용하여 다양한 종류의 피복재와 스크린의 조합에 따른 관류열전달계수를 산정함으로써 스크린의 선택에 기준이 되는 자료를 제시할 수 있을 것으로 판단된다.



(a) 1중 스크린



(B) 2중 스크린

그림 2-3-11. 실험장치의 내외부 온도차에 따른 관류열전달계수

표 2-3-10. 보온스크린의 특성 및 관류열전달계수

Module number	U-value (W/ m ² · K-1)	Thickness (mm)	Conductivity (W· m-1· K-1)	Emissivity
4B	2.2	6.40	0.0206	0.874
4A	2.3	6.40	0.0206	0.850
5	2.7	5.02	0.0226	0.872
6	3.0	3.96	0.0212	0.883
9	3.8	4.49	0.0388	0.884
7	3.8	3.78	0.0338	0.865
8	3.9	2.59	0.0248	0.868
11	4.5	1.53	0.0210	0.883
3A	4.7	1.05	0.0381	0.351
3B	4.8	1.05	0.0381	0.444
12	4.9	1.21	0.0231	0.887
10A	5.1	1.10	0.0237	0.886
10B	5.1	1.10	0.0237	0.881
2	5.2	0.40	0.0101	0.884
1	5.5	0.44	0.0123	0.886

4절 비교용 피복자재 보온을 시험 시스템 구축 및 데이터 수집

가. KS K 0560(천의 보온성 측정방법) 만족 시험 시스템 구축

1) 시스템 개요

가) 일반사항

KS K 0466, KS K 0560 규격을 만족하는 시스템 구축을 위하여 항온을 유지하는 가열판에서 대기로 방출되는 열을 측정하는 보온성 측정법을 통한 보온을 측정이 가능한 시험장치를 구성하였다.

나) 시스템 구성

시험장치의 전체 구성도는 그림과 같다. 그 구성품은 보온을 측정을 위하여 가열을 담당하는 열판 플레이트, 시스템 전체를 보호하는 커버, 측정시험을 위한 제어기, 전원공급장치, 계측장치 등으로 구성된다.

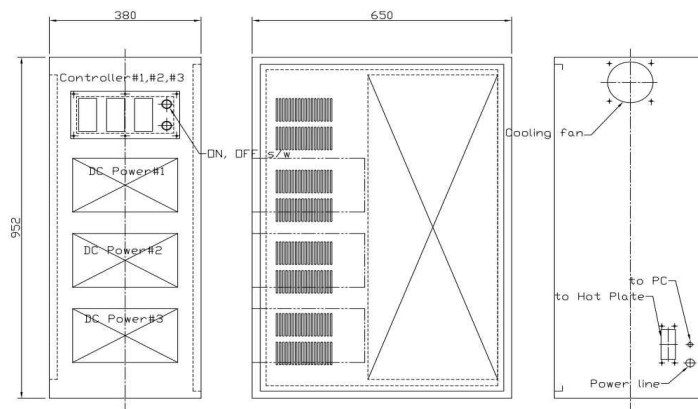


그림 2-4-1. 전체 구성도

(1) 시험판

열판 플레이트는 상부에 보온자재 등 온실 자재를 커버하고, 가열 후 외부온도와 비교하여 보온율을 측정할 수 있도록 가열하는 장치이다. 열판 플레이트에 가해지는 온도가 균일하게 가해질 수 있도록 전원을 제어할 수 있도록 구성하였다. 열판 플레이트에서 열판 크기는 254 mm x 254 mm로 열전달이 용이한 재질인 알미늄판을 탑재하였고, 크기 514 mm x 514 mm 의 알루미늄 재질의 보호판과 밀판을 설치하여 보온자재에 균일하게 열이 가해지도록 하였다. 열원은 실리콘 히터를 활용하였고, 40 ℃까지 가열이 가능하여 시험법에 규정된 35 ℃까지의 가열이 가능하도록 구성하였다.

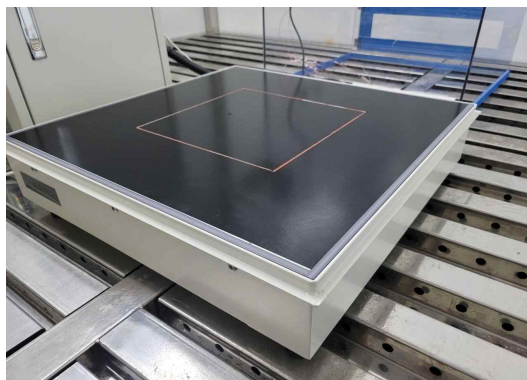


그림 2-4-2. 열판 플레이트

(2) 커버

보온을 측정 시 보온자재를 통해 분리된 공간 상부의 온도와 외부의 온도를 일정 부분 분리하기 위하여 열판 플레이트 끝부분에서 상부로 575 mm 높이의 투명 아크릴판을 설치하였다. 아크릴판의 역할은 시험 시 시험자의 부주의에 의해 보온자재가 열판 플레이트에서 이탈하는 것을 방지도 있다.



그림 2-4-3. 투명아크릴

(3) 제어기

보온을 측정을 위한 균일한 온도를 유지하기 위한 제어는 PID기법을 활용한 3기의 제어기를 활용하였다. 3기의 제어기는 가열판 표면, 가드링부, 밀판의 온도제어를 담당한다. 이때 각 부위의 온도는 Pt100을 이용하여 온도를 측정하여 정밀 제어하였다. 각 열원공급장치에서 사용된 열량을 계산하기 위하여 그림과 같이 전원공급장치를 각각 탑재하여 소비전력량을 계측하였다.



그림 2-4-4. 제어기



그림 2-4-5. 전원공급장치

(4) 계측장치

보온을 측정을 위하여 열전대 4개를 설치하고, 가열판 표면 온도, 공기측 온도, 외부온도 등을 측정하였다. 데이터 취득은 디지털 다점 측정장치를 활용하여 취득하였다. 디지털 다점 측정장치의 측정점수는 10 Chanel을 시계열로 저장할 수 있고, 측정 대상은 시편의 표면온도, 공기 온도, 가드링 온도, 가열판 제어온도, 후드 주위온도, 습도, 투입전류, 전압을 입력받아 데이터를 분석하였다. 계측 DATA 처리는 DIGITAL 다점 측정장치에 의한 DATA 측정 및 처리를 위한 소프트웨어를 제작하여 활용하였다. 소프트웨어는 윈도 기반으로 각부의 온도, 투입 열량, 주위온도, 습도를 실시간으로 표시하고 파일에 저장 및 수정할 수 있다. 이러한 입력된 데이터를 활용하여 보온율, 방열량, 시료의 열저항/열전도율 산출 및 표시할 수 있도록 프로그래밍 하였다. 모든 데이터는 엑셀 FILE 출력할 수 있도록 하였으며, 결과 표시는 소숫점 2자리까지 출력된다.

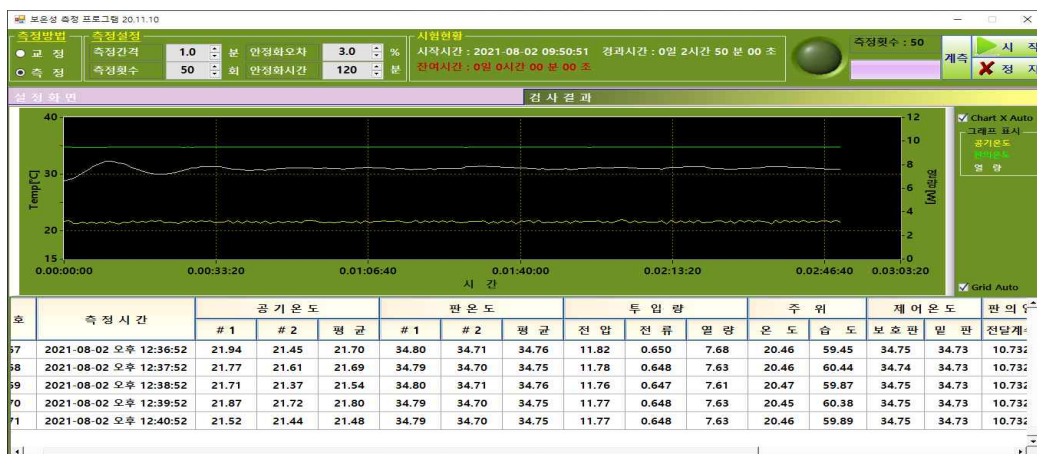


그림 2-4-6. 시스템 인터페이스

(5) 시스템 전기장치 구성도

시스템에 활용된 전기회로는 아래의 그림과 같다. 열판을 가열하기 위한 전원공급부와 소비 전력을 측정하기 위한 측정부, 계측부 등으로 나누어진다.

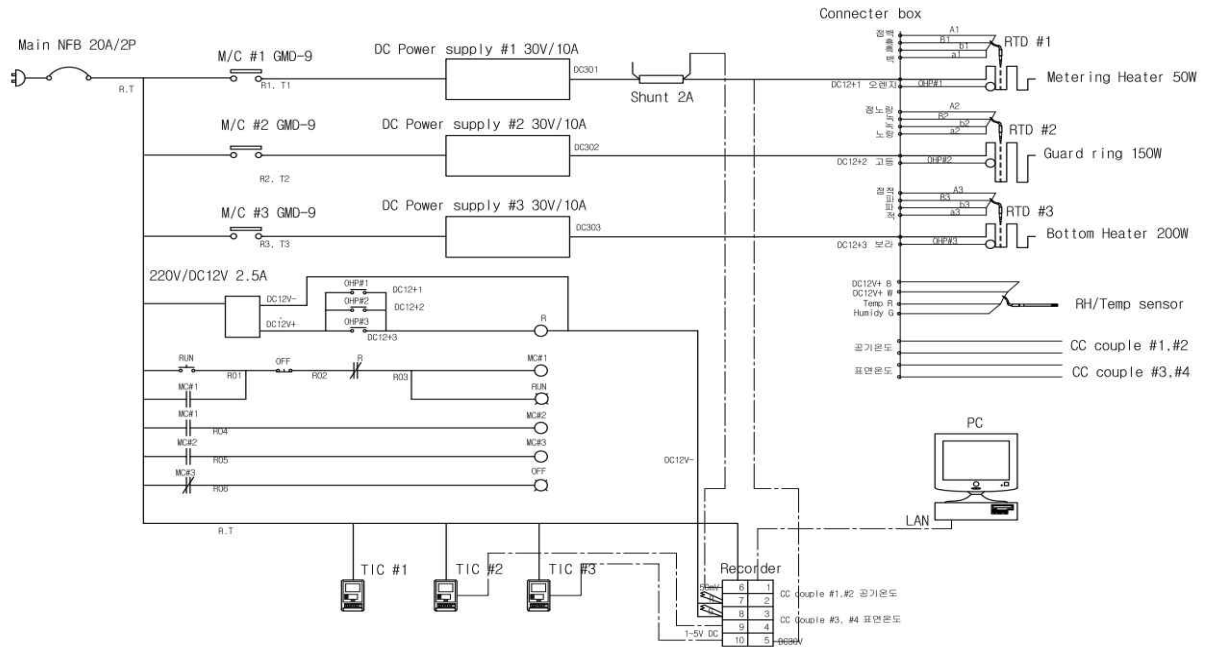


그림 2-4-7. 전기장치 구성도

2) 보온성 측정원리

제작한 보온율 측정장치의 측정원리는 다음과 같다.

가) 외기보다 낮은 온도 상태에서 열판의 온도를 일정하게 유지하기 위하여 열량이 투입되는데, 그 열량의 전원(V), 전류(A)을 측정하여 계산하면, 열량(W) = V x A이다. DC전원으로 바뀌어서 투입해서 곧바로 기록계에서 읽어 계산한다.

나) 이때, 가드링, 밀판의 온도를 똑같이 유지한다면 Test plate 측면과 하부를 통해서 빠져나가는 열량이 없는 것으로 간주하고, 상부의 공기층으로 방출된다.

다) 시편이 없는 상태에서의 투입열량과 시편을 올려놓은 상태에서의 투입열량 비교를 백분율(%)로 나타낸 것이다.

라) 예시

(1) 시편없는 상태의 열량 : 8.62 W

(2) 시편을 올려놓은 상태의 열량 : 3.25 W

(3) 보온률 = $(1 - 3.25/8.62) \times 100 = 62.29\%$ 으로 표기

(4) 실제로 온도차(판의온도-대기온도), Test Plate 면적을 가산하여 계산이 가능하다.

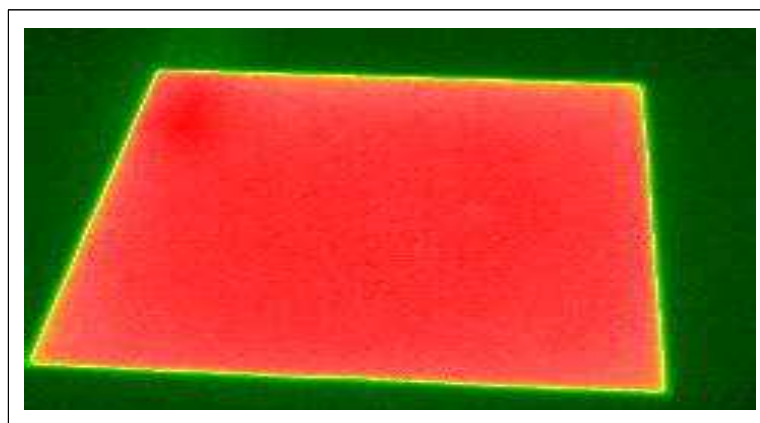


그림 2-4-8. Test plate 36°C 상태에서 온도 분포도

3) 보온성 측정 순서

보온율 측정시험은 다음과 같은 순서로 측정한다.

가) 시험 시료가 Test plate에 없는 상태에서 열전달계수를 측정을 통해 교정을 실시한다.



그림 2-4-9. 교정시험

나) 플레이트 상단이 빈 상태의 열전달계수를 기준값으로 입력한 후 보온자재를 Test plate에 덮은 상태에서 열전달계수를 측정하여 그 차이값으로 보온율을 측정한다.

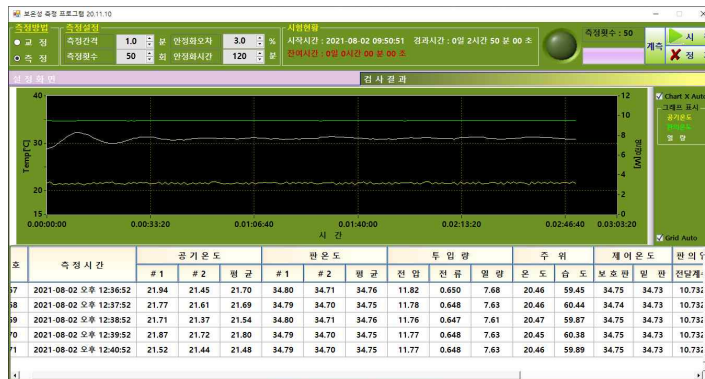


그림 2-4-10. 측정시험

4) 영점 및 계기 파라미터 값

시험자의 계기 파라미터와 데이터 취득장치의 세팅 값은 아래의 표를 통해 알 수 있다.

표 2-4-1. 보온율 측정시스템 파라미터

Item			TP	GP	BP	Remark
			열판	보호판	밀판	
UPMD	IN	IN1	Pt3	Pt3	Pt3	입력 코드
		UN	℃	℃	℃	단위
		RH1	50.00	50.00	50.00	제어범위 상한
		RL1	0.00	0.00	0.00	제어범위 하한
		DP1	2	2	2	소숫점
		SH1	50.00	50.00	50.00	세팅치 상한
		SL1	0.00	0.00	0.00	세팅치 하한
	OUT	OT1	2	2	2	제어출력 종류
		CT	30	30	30	제어출력 Cycle Time (sec)
CMLP	RET	RET1	1	1	1	레코더에 전송출력
		RTH1	50.00	50.00	50.00	전송출력 상한
		RTL1	0.00	0.00	0.00	전송출력 하한
LP1	PAR	P	15	15	15	비례 P (%)
		I	240	240	240	적분시간 I sec
		D	5	5	5	미분시간 D sec
		FL	15	15	15	측정입력 Filter (Scanning time)
		bS	-0.05	0.0	0.3	측정입력 편차조정
		AL				상한 알람

표 2-4-2. Hybrid Recorder Setting

채널	명칭	입력	범위	Scale	비고
01	공기 온도 #1	Couple	T-type	-50.00 ~ 50.00 °C	#1, #2 합산 평균
02	공기 온도 #2	Couple	T-type	-50.00 ~ 50.00 °C	
03	판의 온도 #1	Couple	T-type	-50.00 ~ 50.00 °C	#1, #2 합산 평균
04	판의 온도 #2	Couple	T-type	-50.00 ~ 50.00 °C	
05	투입전압	V	100 V	0 ~ 30.00 V	투입 열량 계산
06	투입전류	mV	60m V	0 ~ 2.000 A	투입 열량 계산
07	주위 공기 온도	V	1~5 V	0 ~ 100.0 °C	숫자, 그래프표시
08	주위 공기 습도	V	1~5 V	0 ~ 100.0 % R.H.	숫자, 그래프표시
09	보호판의 제어 온도	V	1~5 V	0 ~ 50.00 °C	숫자, 그래프표시
10	밀판의 제어 온도	V	1~5 V	0 ~ 50.00 °C	숫자, 그래프표시

5) 소프트웨어 적용 수식

보온율 계산 소프트웨어에 적용된 판의 열전달계수, 혼합열전달계수, 시편의 열전도율, 시편의 열저항, 보온율은 계측장치에서 측정된 값을 아래의 식을 활용하여 계산하여 표시하고, 저장될 수 있도록 프로그래밍하였다.

① V_{bp} 판의 열전달계수

$$V_{bp} = \frac{P}{A \times T_p - T_a}$$

여기서, P : 투입전력량(W)

A : 판의 크기(0.254 × 0.254mm)

T_p : 판의 온도(°C)

T_a : 공기 온도(°C)

② V_1 혼합 열전달 계수(시편 올려놓은 상태)

$$V_1 = \frac{P}{A \times T_p - T_a}$$

여기서, P : 투입전력량(W)

A : 판의 크기(0.254 × 0.254mm)

T_p : 판의 온도(°C)

T_a : 공기 온도(°C)

③ V_2 시편의 열전달 계수

$$\frac{1}{V_2} = \frac{1}{V_1} - \frac{1}{V_{bp}}$$
$$V_2 = \frac{V_{bp} \times V_1}{V_{bp} - V_1}$$

여기서, V_2 : 시편 열전달 계수($W/m^2 \cdot K$)
 V_1 : 혼합 열전달 계수($W/m^2 \cdot K$)
 V_{bp} : 판의 열전달 계수($W/m^2 \cdot K$)

④ k 시편의 열전도율

$$k = \frac{V_2 \times t}{1000}$$

여기서, V_2 : 시편 열전달 계수($W/m^2 \cdot K$)
 t : 시편의 두께(mm)

⑤ R 시편의 열저항

$$R = \frac{1}{V_2}$$

여기서, R : 시편 열저항($m^2 \cdot K/W$)
 V_2 : 시편 열전달 계수($W/m^2 \cdot K$)

⑥ I_r 보온율

$$I_r = \left(1 - \left(\frac{V_1}{V_{bp}} \right) \right) \times 100$$

여기서, I_r : 보온율(%)
 V_1 : 혼합 열전달 계수($W/m^2 \cdot K$)
 V_{bp} : 판의 열전달 계수($W/m^2 \cdot K$)

6) 센서 및 계측 장비 교정

보온을 측정장치에 활용된 센서, 지시기, 조절장치, 온도변환기 등 모든 장치에 대해 교정 성적서를 받았으며, 정밀하게 측정될 수 있도록 하였다. 또한, 공동연구의 보온자재의 보온을 측정시험에도 공동 활용하였다.

표 2-4-3. 측정 장비에 탑재된 장비 및 센서 검교정 성적서

<p>교정 성적서</p> <p>(주) 대영씨엔티</p> <p>상사서 번호 : 2019047-002</p> <p>경기도 군포시 공단로140번길 10-10 (15동합동) Tel : 031-458-1020, Fax : 031-458-1134</p> <p>1. 목적 2. 측정항목 3. 교정일자 4. 교정환경 5. 측정방법 6. 교정결과 7. 측정불확도 8. 교정일자</p> <p>2020. 09. 10</p> <p>한국과학기술원 (주) 대영씨엔티 대표이사 (인)</p> <p>DYD-CP-14-02 Rev. 09</p>	<p>교정 결과</p> <p>(주) 대영씨엔티</p> <p>상사서 번호 : 2019047-002</p> <p>경기도 군포시 공단로140번길 10-10 (15동합동) Tel : 031-458-1020, Fax : 031-458-1134</p> <p>1. 측정항목 2. 교정결과 3. 교정일자</p> <p>2020. 09. 10</p> <p>한국과학기술원 (주) 대영씨엔티 대표이사 (인)</p> <p>DYD-CP-14-02 Rev. 09</p>	<p>교정 성적서</p> <p>(주) 대영씨엔티</p> <p>상사서 번호 : 2019047-001</p> <p>경기도 군포시 공단로140번길 10-10 (15동합동) Tel : 031-458-1020, Fax : 031-458-1134</p> <p>1. 목적 2. 측정항목 3. 교정일자 4. 교정환경 5. 측정방법 6. 교정결과 7. 측정불확도 8. 교정일자</p> <p>2020. 09. 10</p> <p>한국과학기술원 (주) 대영씨엔티 대표이사 (인)</p> <p>DYD-CP-14-01 Rev. 09</p>
<p>교정 결과</p> <p>(주) 대영씨엔티</p> <p>상사서 번호 : 2020047-001</p> <p>경기도 군포시 공단로140번길 10-10 (15동합동) Tel : 031-458-1020, Fax : 031-458-1134</p> <p>1. 측정항목 2. 교정결과 3. 교정일자</p> <p>2020. 09. 11</p> <p>한국과학기술원 (주) 대영씨엔티 대표이사 (인)</p> <p>DYD-CP-14-02 Rev. 09</p>	<p>교정 성적서</p> <p>(주) 대영씨엔티</p> <p>상사서 번호 : 2020047-008</p> <p>경기도 군포시 공단로140번길 10-10 (15동합동) Tel : 031-458-1020, Fax : 031-458-1134</p> <p>1. 목적 2. 측정항목 3. 교정일자 4. 교정환경 5. 측정방법 6. 교정결과 7. 측정불확도 8. 교정일자</p> <p>2020. 09. 11</p> <p>한국과학기술원 (주) 대영씨엔티 대표이사 (인)</p> <p>DYD-CP-14-01 Rev. 09</p>	<p>교정 결과</p> <p>(주) 대영씨엔티</p> <p>상사서 번호 : 2020047-008</p> <p>경기도 군포시 공단로140번길 10-10 (15동합동) Tel : 031-458-1020, Fax : 031-458-1134</p> <p>1. 측정항목 2. 교정결과 3. 교정일자</p> <p>2020. 09. 11</p> <p>한국과학기술원 (주) 대영씨엔티 대표이사 (인)</p> <p>DYD-CP-14-02 Rev. 09</p>
<p>교정 성적서</p> <p>Calibration Certificate</p> <p>상사서 번호 : 202004845</p> <p>경기도 군포시 공단로140번길 10-10 (15동합동) Tel : 031-458-1020, Fax : 031-458-1134</p> <p>1. 목적 2. 측정항목 3. 교정일자 4. 교정환경 5. 측정방법 6. 교정결과 7. 측정불확도 8. 교정일자</p> <p>2020. 09. 11</p> <p>한국과학기술원 (주) 대영씨엔티 대표이사 (인)</p> <p>DYD-CP-14-02 Rev. 09</p>	<p>교정 결과</p> <p>Calibration Results</p> <p>상사서 번호 : 202004845</p> <p>경기도 군포시 공단로140번길 10-10 (15동합동) Tel : 031-458-1020, Fax : 031-458-1134</p> <p>1. Temperature 2. Temperature Trend Line</p> <p>2020. 09. 11</p> <p>한국과학기술원 (주) 대영씨엔티 대표이사 (인)</p> <p>DYD-CP-14-02 Rev. 09</p>	<p>교정 성적서</p> <p>Calibration Certificate</p> <p>상사서 번호 : 202004847</p> <p>경기도 군포시 공단로140번길 10-10 (15동합동) Tel : 031-458-1020, Fax : 031-458-1134</p> <p>1. 목적 2. 측정항목 3. 교정일자 4. 교정환경 5. 측정방법 6. 교정결과 7. 측정불확도 8. 교정일자</p> <p>2020. 09. 11</p> <p>한국과학기술원 (주) 대영씨엔티 대표이사 (인)</p> <p>DYD-CP-14-02 Rev. 09</p>

표 2-4-3. 측정 장비에 탑재된 장비 및 센서 검교정 성적서(계속)

<p>교정 결과 CALIBRATION RESULTS</p> <p>교정 일자: 2020. 09. 11 교정 대상: 200910AAB7</p> <p>1. 측정 항목 1.1. Temperature Accuracy</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Reference Value</th> <th>Measured Value</th> <th>Correction</th> <th>Measurement Uncertainty</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>30.00 °C</td> <td>29.99 °C</td> <td>0.1 °C</td> <td>±0.02 °C</td> </tr> <tr> <td>40.00 °C</td> <td>39.99 °C</td> <td>0.1 °C</td> <td>±0.02 °C</td> </tr> </tbody> </table> <p>1.2. Temperature Trend Line</p> <p>교정 결과 요약: 교정 결과에 따라 측정값이 기준값에 정확히 일치함을 확인하였습니다.</p>	Reference Value	Measured Value	Correction	Measurement Uncertainty	30.00 °C	29.99 °C	0.1 °C	±0.02 °C	40.00 °C	39.99 °C	0.1 °C	±0.02 °C	<p>교정 성적서</p> <p>(주) 대영세멘트</p> <p>교정 일자: 2020.09.11</p> <p>1. 측정 항목 1.1. 온도 정확도 1.2. 온도 추세선</p> <p>교정 결과 요약: 교정 결과에 따라 측정값이 기준값에 정확히 일치함을 확인하였습니다.</p>	<p>교정 결과</p> <p>(주) 대영세멘트</p> <p>교정 일자: 2020.09.11</p> <p>1. 측정 항목 1.1. 온도 정확도 1.2. 온도 추세선</p> <p>교정 결과 요약: 교정 결과에 따라 측정값이 기준값에 정확히 일치함을 확인하였습니다.</p>
Reference Value	Measured Value	Correction	Measurement Uncertainty											
30.00 °C	29.99 °C	0.1 °C	±0.02 °C											
40.00 °C	39.99 °C	0.1 °C	±0.02 °C											
<p>교정 성적서</p> <p>(주) 대영세멘트</p> <p>교정 일자: 2020.09.11</p> <p>1. 측정 항목 1.1. 온도 정확도 1.2. 온도 추세선</p> <p>교정 결과 요약: 교정 결과에 따라 측정값이 기준값에 정확히 일치함을 확인하였습니다.</p>	<p>교정 결과</p> <p>(주) 대영세멘트</p> <p>교정 일자: 2020.09.11</p> <p>1. 측정 항목 1.1. 온도 정확도 1.2. 온도 추세선</p> <p>교정 결과 요약: 교정 결과에 따라 측정값이 기준값에 정확히 일치함을 확인하였습니다.</p>	<p>교정 성적서</p> <p>(주) 대영세멘트</p> <p>교정 일자: 2020.09.11</p> <p>1. 측정 항목 1.1. 온도 정확도 1.2. 온도 추세선</p> <p>교정 결과 요약: 교정 결과에 따라 측정값이 기준값에 정확히 일치함을 확인하였습니다.</p>												
<p>교정 결과</p> <p>(주) 대영세멘트</p> <p>교정 일자: 2020.09.11</p> <p>1. 측정 항목 1.1. 온도 정확도 1.2. 온도 추세선</p> <p>교정 결과 요약: 교정 결과에 따라 측정값이 기준값에 정확히 일치함을 확인하였습니다.</p>	<p>교정 성적서</p> <p>(주) 대영세멘트</p> <p>교정 일자: 2020.09.11</p> <p>1. 측정 항목 1.1. 온도 정확도 1.2. 온도 추세선</p> <p>교정 결과 요약: 교정 결과에 따라 측정값이 기준값에 정확히 일치함을 확인하였습니다.</p>	<p>교정 결과</p> <p>(주) 대영세멘트</p> <p>교정 일자: 2020.09.11</p> <p>1. 측정 항목 1.1. 온도 정확도 1.2. 온도 추세선</p> <p>교정 결과 요약: 교정 결과에 따라 측정값이 기준값에 정확히 일치함을 확인하였습니다.</p>												
<p>교정 성적서 CALIBRATION CERTIFICATE</p> <p>교정 일자: 2020.10.23</p> <p>1. 측정 항목 1.1. 온도 정확도 1.2. 온도 추세선</p> <p>교정 결과 요약: 교정 결과에 따라 측정값이 기준값에 정확히 일치함을 확인하였습니다.</p>	<p>교정 결과 CALIBRATION RESULTS</p> <p>교정 일자: 2020.10.23</p> <p>1. 측정 항목 1.1. 온도 정확도 1.2. 온도 추세선</p> <p>교정 결과 요약: 교정 결과에 따라 측정값이 기준값에 정확히 일치함을 확인하였습니다.</p>	<p>교정 성적서 CALIBRATION CERTIFICATE</p> <p>교정 일자: 2020.10.23</p> <p>1. 측정 항목 1.1. 온도 정확도 1.2. 온도 추세선</p> <p>교정 결과 요약: 교정 결과에 따라 측정값이 기준값에 정확히 일치함을 확인하였습니다.</p>												

나. KS K 0560(천의 보온성 측정방법)에 따른 시험수행 및 데이터 수집

1) 판의 열 전달계수 측정

표는 동일 조건의 판의 온도 및 공기 온도에서 유사한 판의 열 전달계수 결과를 나타낸 것이다. 측정된 결과에 따라 판의 열 전달계수를 적용하여 보온성 측정시험을 실시하였으며, 시료는 기존 시험기관에서 발급된 성적 결과와 비교하여 마련 시스템의 정확도를 비교 확인하였다. 판의 열 전달계수는 시험환경에 따라 정확도가 달라지며, 본 시험은 온도변화가 0.1 °C 이내인 1급 챔버에서 시험을 실시하였으나, 실제 운영 환경은 주변 공기의 온도 오차가 0.5 °C 수준으로 나타남에 따라 이에 대한 보완책이 필요한 것으로 조사되었다. 향후 추가 시험환경 유지 시스템 확보(1급 챔버)로 시험결과의 정확도 향상 필요할 것으로 사료된다.

표 2-4-4. 판의 열 전달계수 측정

구분	판의 온도 (°C)	공기 온도 (°C)	공급 열량 (W)	판의 열 전달계수 (W/m ² ·K)
1차	22.06	34.87	9.166	11.09
2차	22.86	34.88	8.402	10.83
3차	23.32	34.88	8.098	10.85

2) 보온자재 활용 보온성 시험

제작한 시험장치의 성능을 평가하기 위하여 두 가지의 다겹 보온자재를 이용하여 보온성 측정 시험을 실시하고 결과의 정확도를 검증하기 위하여 전문 시험기관에 의뢰하여 결과를 비교 분석하였다.

첫 번째 시험에 이용된 다겹 보온자재는 마트(300/300)+히트솜(부직포(30 g)+솜(70 g)+부직포(30 g))+마트(300/300)로 구성된 시료를 활용하여 보온을 측정시험을 실시하였다. 시편은 국내 업체에서 제작된 제품으로 시험 결과 표와 같이 약 72.6%의 보온율이 나타났다. 이는 전문 시험기관에 의뢰하여 측정한 결과인 72%와 비교하여 약 0.6%p 차이는 결과로 시험장치를 활용한 보온율 측정은 가능할 것으로 판단된다.

표 2-4-5. 시료 보온율 측정결과

구분	판의 온도 (°C)	공기 온도 (°C)	공급 열량 (W)	혼합 열 전달계수 (W/m ² ·K)	보온율
1차	34.94	21.32	2.62	2.981	72.52
2차	34.97	21.16	2.64	2.966	72.65
평균	34.96	21.24	2.63	2.97	72.58

시험 성적서

KATR 한국유틸시험연구원
 KTR14007 경기도 안산시 일원구 수곡로49번길 4(안산동) (Tel : 031-398-3900, Fax : 031-398-3901)

시험사양번호 : KTR020-0000105
 품목명 (1 / 1) (총 3)

1. 의뢰자
 과명 열 (9차) 열
 주 : 공학 상무관 수현영 생리 35-9
 의뢰일자 : 2020.07.21

2. 시험대상품목/품명/시험명 : 삼중연성폼
 규격(300*300)+히트솜(부직포(40g)+솜(4온스)+부직포(40g))+마트(300*300)

3. 시험기간 : 2020.07.21 ~ 2020.07.23

4. 시험장소 : 고장시험실 현장시험
 (주소 : 서울특별시 용인군구 용산로 51 (용두동))

5. 시험방법 : KS K 9506:2016

6. 시험결과 : 불합

확인	작성자	기술책임자
생 영	안 자 현	장 영

* 비고
 1) 이 성적서는 의뢰자가 제시한 시험 및 시험조건으로 시험한 결과로서, 만약 의뢰에 대한 불응을
 증명하려는 경우에는 없습니다.
 2) 이 성적서는 열 환경시험 시험 시에 열의 열의 발생, 안전, 경고 및 충돌등에 사용될 수
 없으며, 복귀를 표적으로 할부하면 '비교'로 사용될 수 없습니다. 또한 불응의 사용은 가능합니다.
 3) 시험자는 국제시험기관인증협회(International Laboratory Accreditation Cooperation)
 표준인정협정(Mutual Recognition Arrangement)을 체결한 한국인증기관(KOLAS)로부터 인정받은
 분야에 대한 시험결과입니다.

2020.07.23

한국유틸시험연구원 (인)

시험 성적서

KATR 한국유틸시험연구원
 KTR14007 경기도 안산시 일원구 수곡로49번길 4(안산동) (Tel : 031-398-3900, Fax : 031-398-3901)

시험사양번호 : KTR020-0000105
 품목명 (2 / 1) (총 3)

시험항목 (No)	시험결과
1. 온도	75.4

* 비고

그림 2-4-11. 전문 시험기관 의뢰 결과

두 번째 다겹보온커튼 시료는 마트(300/300)+히트솜(부직포(40 g)+솜(4 온스)+부직포(40 g))+마트(300/300)로 구성된 자재에 대해 시험을 실시하였다. 본 시험에 이용된 자재도 국내업체에서 제작된 제품이다. 시험 결과 표와 같이 보온율은 평균 76.5%로 측정되었다. 이는 전문 시험기관에 의뢰하여 측정한 결과인 75.4%와 비교하여 약 1.1%p 차이는 결과로 이번 시험결과에서도 보온율을 측정 가능할 것으로 판단되는 결과를 보였다.

표 2-4-6. 시료 보온율 측정결과

구분	판의 온도 (℃)	공기 온도 (℃)	공급 열량 (W)	혼합 열 전달계수 (W/m ² ·K)	보온율 (%)
1차	34.99	21.84	2,202	2.595	76.07
2차	35.01	21.52	2,178	2.502	76.92
평균	35.00	21.68	2190	2.55	76.50

시험 성적서

KATR 한국유틸시험연구원
 KTR14007 경기도 안산시 일원구 수곡로49번길 4(안산동) (Tel : 031-398-3900, Fax : 031-398-3901)

시험사양번호 : KTR020-0000105
 품목명 (1 / 1) (총 3)

1. 의뢰자
 과명 열 (9차) 열
 주 : 공학 상무관 수현영 생리 35-9
 의뢰일자 : 2019.06.19

2. 시험대상품목/품명/시험명 : 용량공률계

3. 시험대상품목/품명/시험명 : 기동전압 시험
 규격(300*300)+부직포(40g)+솜(4온스)+부직포(40g)+마트(300*300)

4. 시험기간 : 2019.06.15 ~ 2019.06.28

5. 시험방법 : KS K 9502:2011

6. 시험환경 : 온도 (20 ± 2) ℃, 습도 (65 ± 4) %RH

7. 시험결과 : 불합

확인	작성자	기술책임자
생 영	안 자 현	장 영

* 비고
 1) 이 성적서는 의뢰자가 제시한 시험 및 시험조건으로 시험한 결과로서, 만약 의뢰에 대한 불응을
 증명하려는 경우에는 없습니다.
 2) 이 성적서는 열 환경시험 시험 시에 열의 열의 발생, 안전, 경고 및 충돌등에 사용될 수
 없으며, 복귀를 표적으로 할부하면 '비교'로 사용될 수 없습니다. 또한 불응의 사용은 가능합니다.
 3) 시험자는 국제시험기관인증협회(International Laboratory Accreditation Cooperation)
 표준인정협정(Mutual Recognition Arrangement)을 체결한 한국인증기관(KOLAS)로부터 인정받은
 분야에 대한 시험결과입니다.

2019.06.28

한국유틸시험연구원 (인)

시험 성적서

KATR 한국유틸시험연구원
 KTR14007 경기도 안산시 일원구 수곡로49번길 4(안산동) (Tel : 031-398-3900, Fax : 031-398-3901)

시험사양번호 : KTR020-0000105
 품목명 (2 / 1) (총 3)

시험항목 (No)	시험결과
1. 온도	75.4
2. 습도	65.4
3. 시험시간	1900분

* 비고

그림 2-4-12. 전문 시험기관 의뢰 결과

다. KS L 2525 및 ISO 10292 시험방법에 따른 스마트온실용 피복자재 열관류율 측정 및 데이터 수집

본 시험은 농업기술실용화재단에서 보유하고 있는 “판유리류의 열저항 및 건축 관련 열관류율의 계산방법” 의거 시험이 가능한 장치를 활용하여 시험을 실시하였다. 시험조건은 보온자재를 중심으로 고온부 온도는 20 ℃, 저온부 온도는 -20 ℃, 고온부의 풍속은 0.5 m/s 이하이며 습도 조건은 70 % R.H. 이하의 조건에서 다겹 보온자재에 따른 열관류율을 측정하였다. 하나의 샘플을 활용하여 열관류율을 측정한 결과는 표와 같다. 표에서와 같이 일정한 값의 열관류율이 측정되지 못하고, 많은 차이가 발생하였다. 이는 시험기관에서 보유중인 장치의 잦은 고장으로 정밀 측정이 불가능하여 발생한 것으로, 보완이 필요할 것으로 사료된다. 잦은 고장으로 인하여 본 시험장치를 활용하여 열관류율을 측정하고자 하였던 공동연구 기관에서는 핫박스과 열관류 센서를 활용하여 열관류율을 측정하고 분석하여 결과를 도출하였다.

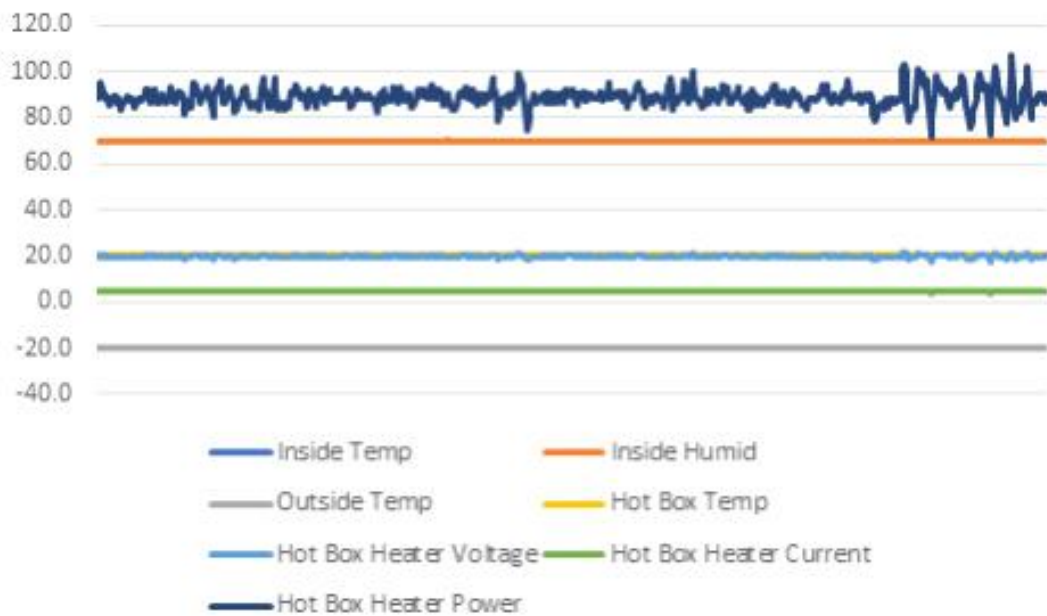


그림 2-4-13. 열관류율 측정 상세결과(그래프)

표 2-4-7. 열관류율 측정 상세결과

투입열량 (W)	고온부 온도 (℃)	저온부온도 (℃)	전열면적(m ²)	열관류율 (W/m ² · K)
85.05	20.2	-20.1	1.21	1.75
85.66	20.2	-20.1	1.21	1.76
96.89	20.4	-20.1	1.21	1.98
85.05	16.3	-20.0	1.21	1.94

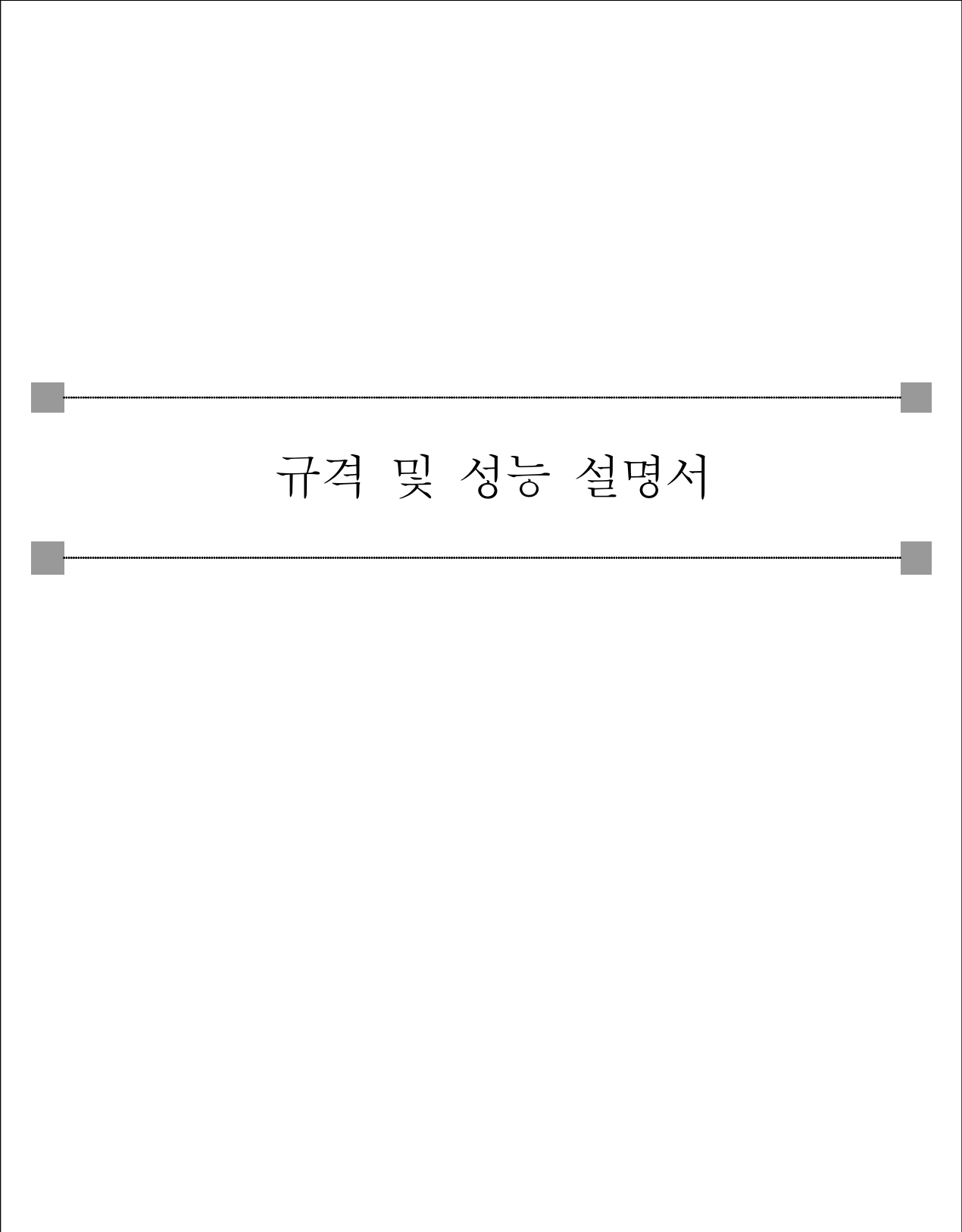
5절. 스마트온실 피복자재 검정기준 개발

가. 스마트온실 피복자재 검정기준 개발

스마트 온실 보온자재에 대한 정밀한 보온율에 대한 검정기준을 개발하기 위하여 주관연구기관에서 개발한 시험방법을 활용하여 검정방법에 대한 연구를 수행하였다.

1) 보온율 측정 시험방법 마련(안)

먼저 보온율 및 열관류율을 활용한 규격 및 성능 설명서, 검정 방법에 대하여 작성하였다.



규격 및 성능 설명서

1 시설원예용 보온자재

1. 형상

1-1. 시료의 크기 :

1-1. 시료의 두께 :

2. 재질

2-1. 시료의 재질 :

3. 용도별 환경온도

3-1. 시료의 보온측 온도 :

3-2. 시료의 냉각측 온도 :

3-3. 시료의 냉각측 기류속도 :



검정방법

00 시설원예용 보온자재

1. 적용범위

이 검정방법은 시설원예용 열관류율을 측정하는 목적으로 하는 피복자재(섬유, 필름-열전도 계수, 다겹보온자재-열관류율) 등에 적용한다.

2. 용어의 뜻

2-1. 열관류율(thermal transmittance, thermal conductance, heat transfer coefficient)

나란한 2개 평면 사이의 열전달 현상이 정상 상태에 있을 때, 2개 평면 사이에 온도차가 나타나면 열전달 현상이 생긴다. 이 경우에 단위 온도차와 단위 면적당 한 방향, 열전달량을 나타내는 상수. 단위는 $W/m^2 \cdot K$ 이다.

2-3. 열전도율(thermal conductivity)

나란한 2개 평면 사이의 열전달 현상이 정상 상태일 때, 2개 평면 사이에 단위량의 온도차가 나타나면 열전달 현상이 생긴다. 이 경우에 단위 온도차와 단위 면적당의 한 방향, 열전달량을 나타내는 상수. 따라서 열전도율은 열전달 계수에 2개 평면 사이의 거리를 곱함으로써 구할 수 있다. 단위는 $W/m \cdot K$ 이다.

2-2. 혼합 열전달 계수(combined thermal transmittance)

공기를 내포하는 시험편이 혼합되었을 때의 혼합 열전달 계수. 기호는 V_1 로 나타낸다.

2-2. 시험판의 열전달 계수(thermal transmittance of the bare plate)

시험기의 시험판에 시험편을 덮지 않았을 때의 시험판의 열전달 계수. 기호는 V_{bp} 로 나타낸다.

2-2. 시험편의 고유 열전달 계수(intrinsic thermal transmittance of the specimen)

혼합 열전달량에서 시험판의 열전달량을 뺀 값. 기호는 V_2 로 나타낸다.

2-4. 열저항(thermal resistance)

열전달 계수의 역수

2-4. 표준 상태

온도 20 K(± 2.0 K)와 상대습도 65 %(± 4.0 %) 이상이어야 한다.

3. 시험항목

3-1. 구조조사

3-2. 성능시험

3-2-1. 보온성 측정 시험

3-2-2. 열관류율 측정 시험

4. 시험조건

4-1. 장비 온도 조건

시험관, 보호 영역, 밀관의 온도는 $(35 \pm 0.5)^\circ\text{C}$ 에서 $\pm 0.1^\circ\text{C}$ 의 변동폭이 없도록 유지되어야 한다. 시험관과 보호 영역 사이의 온도 차이는 시험 동안에 $\pm 0.2^\circ\text{C}$ 내에서 유지되어야 한다. 다만, 다점보온커튼과 같이 두꺼운 샘플의 경우 더 높은 관온도가 사용될 수 있다.

4-2. 공기 온도

(가) 공기의 온도는 시험장비 내부에서 1°C 에서 20°C 사이의 설정된 특정 온도에서 $\pm 0.1^\circ\text{C}$ 오차 이내로 유지해야 한다. 시험편이 없는 빈 관 상태의 시험은 20°C 에서 실시되어야 한다.

(나) 공기의 온도는 관의 중앙 위쪽 508 mm 지점에서 측정한다.

4-3. 상대 습도

시험하는 동안 $\pm 4\%$ 보다 큰 변동이 없는 상태에서 칸막이 내의 공기의 상대 습도는 20% 에서 80% 사이를 유지해야 한다.

4-4. 풍속

0.1 m/s 이하로 공기의 흐름이 거의 없는 상태를 유지하여야 한다.

4-5. 열관류율 온도조건

평균 온도를 ($10 \sim 20^\circ\text{C}$), 온도차를 20°C 이상으로 하는 것이 일반적이다. 가열 쪽 및 냉각 쪽의 기류 속도는 시험의 목적에 맞게 조절한다.

4-6. 열관류율 측정시간

정해진 시간없고, 시료의 열관류율을 측정할 수 있는 시간을 신청자와 협의하여 정한다.

5. 구조조사

5-1. 조사목적

이 조사는 시설하우스용 보온자재의 구조, 주요치수, 질량 등을 확인하는 것을 목적으로 한다.

5-2. 측정 및 조사방법

5-2-1. 두께

0.1 kPa 또는 더 적은 가벼운 압력을 주어 0.5 mm 까지 측정

5-2-2. 단위 면적당 질량(M)

단위 면적당 질량을 0.1 g/m^2 까지 측정

5-2-3. 밀도

부피 밀도는 다음의과 같이 계산한다.

$$B = \frac{M}{t}$$

여기서, B : 부피 밀도(kg/m²)

M : 천의 단위 면적당 질량(g/m²)

t : 이불솜 또는 천의 두께(mm)

5-3. 사용계측기

위치측정장치, 외부환경측정 및 기록 장치, 제원 측정 장치(줄자, 버니어캘리퍼스)

6-1. 보온성 측정 시험

6-1-1. 시험목적

이 시험은 시설하우스용 보온자재의 보온성 측정을 목적으로 한다.

6-1-2. 시험조건

가. 시험실의 공기온도는 20℃(±0.1℃)이하로 한다.

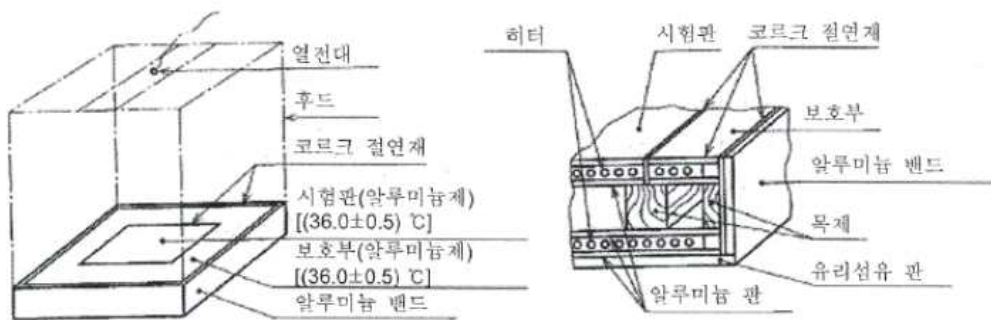
나. 시험실의 풍속은 0.1 m/s 이하로 유지한다.

다. 시험편은 원단의 가장자리에서 150 mm 이상 떨어진 부분에서 크기는 500 mm × 500 mm로 절단면이 고르도록 재단하여 준비한다.

라. 시험편은 표준 상태에서 적어도 4시간 이상 컨디셔닝하여야 한다.

* 컨디셔닝에 대한 정의 필요 - 온습도 조건

마. 보온성 시험기는 다음과 같은 구조여야 한다.



<보온성시험기>

6-1-3. 측정 및 조사항목

가. 시험편이 소비한 전력(W)

- 나. 시험편의 면적(m²)
- 다. 시험편의 온도(℃)
- 라. 외부공기의 온도(℃)
- 마. 내부공기의 온도(℃)

6-1-4. 시험방법

- 가. 별도로 규정되어 있지 않는 한, A법은 KS K ISO 139의 표준 상태에서 실시하고, B법은 KS K 0466에 제시된 환경 또는 동등 이상의 조건에 따라서 시행한다.
- 나. 가공된 면 또는 표면을 위로해서 시험편을 발열체 위에 덮어 놓는다. 이때 시험편은 최대한 발열체와 밀착되어 공기층이 형성되지 않도록 한다.
- 다. 발열체의 표면에서 시험편 외부로 유출되는 열량이 일정해져서 발열체의 표면 온도가 일정한 값을 나타내면서부터 측정을 시작하여 2시간 후에 시험편을 통과하여 방산된 열손실을 구한다.
- 라. 시험 중에 발열체가 항온을 이루고 있는지를 점검한다. 이때의 온도는 ±0.5 ℃ 보다 더 많이 변동되어서는 안 된다.
- 마. 위와 같은 절차로 각각의 시편으로 2회 반복하여 측정한다.
- 바. 발열체에 시험편을 덮지 않은 상태로 위의 절차를 반복하여 시험편이 없는 상태의 방산된 열손실을 구한다.
- 사. 다음 식에 따라 보온율(thermal insulation rate, %)을 계산한다.

$$T_{ir} = \left(1 - \frac{a_2}{a_1}\right) \times 100$$

여기서, T_{ir} : 보온율(%)

a₁ : 발열체에 시험편이 없을 때의 방열량(cal/cm²/s 또는 W/cm²)

a₂ : 발열체에 시험편을 부착하였을 때의 방열량(cal/cm²/s 또는 W/cm²)

- 아. 다음 식에 따라 보온율(thermal insulation rate, %)을 계산한다.

$$H_r = \left(\frac{I \times V \times \frac{T_1}{T_2}}{A} \right)$$

여기서, H_r : 방열량(W/cm^2)
 A : 시험판의 면적(cm^2)
 I : 발열체에 공급된 전류(A)
 V : 발열체에 공급된 전압(V)
 T_1 : 발열체에 전력이 공급된 시간(s)
 T_2 : 전체 측정 시간(s)

6-1-5. 시험장비 및 계측기

온도센서, 전압계, 전류계, 줄자, 버니어캘리퍼스 등

6-2. 열관류율 측정 시험

6-2-1. 시험목적

이 시험은 시설하우스용 보온자재의 열관류율 측정을 목적으로 한다.

6-2-2. 시험조건

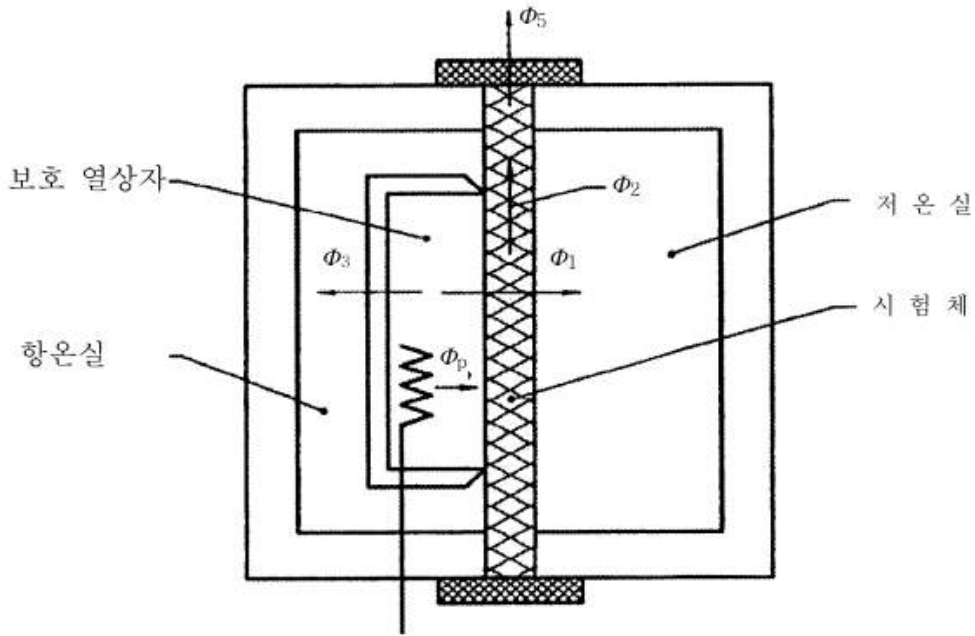
가. 시험대상은 실제의 제품을 대표하도록 선택하거나 제작한다.

나. 평균온도는($10 \sim 20 \text{ }^\circ\text{C}$), 온도차를 $20 \text{ }^\circ\text{C}$ 이상으로 한다. 단, 시료의 용도에 따라 온도를 변화할 수 있다.

다. 냉각 기류의 속도는 시료의 용도에 따라 신청자가 제시한다.

라. 정상 상태가 되었다고 판단한 후 3시간 이상의 측정을 2회 반복한다. 이때 R, U, Q_p 및 T의 측정값의 변동이 1 % 이내로 변화하지 않는 상태이어야 한다. 단, 시험체의 열저항이 매우 큰 경우, 질량이 매우 큰 경우, 또는 양자인 경우, 이 조건에서는 불충분하며 측정시간을 연장하여야 한다.

리. 보호 열상자 시험장치의 구성은 다음과 같다.



<보호 열상자>

6-2-3. 측정 및 조사항목

- 가. A : 열류에 대한 수직 면적(m^2)
- 나. Q : 열량(W)
- 다. T_{ni} : 가열부 환경온도(K)
- 라. T_{ne} : 냉열부 환경온도(K)
- 마. T_r : 평균 방사 온도
- 바. T' : 시험체 마주한면 평균 방사 온도
- 사. T_a : 시험체 표면 근방의 공기 온도(K)
- 아. T_s : 시험체 표면 온도(K)

6-2-4. 시험방법

- 가. 시료를 스테처 개구부에 고온부와 저온부 사이가 통할 수 있는 빈공간이 없도록 평탄하게 설치한다.
- 나. 시험체는 측면으로부터의 공기 및 습기의 침입, 가열 쪽으로부터 냉각 쪽 또는 역방향으로의 공기 및 습기의 투과가 되지 않도록 제작 또는 실드를 한다.
- 다. 시험체는 측면으로부터의 공기 및 습기의 침입, 가열 쪽으로부터 냉각 쪽 또는 역방향으로의 공기 및 습기의 투과가 되지 않도록 제작 또는 실드를 한다.
- 라. 시험체 표면에 요철이 있는 경우 열상자와 항온실 사이의 기밀을 확보하기 위해 열상자가 시험체에 접촉하는 부분을 플라스틱 또는 코킹재로 평탄하게 한다.

마. 시험체가 열상자의 개구 치수보다도 작은 경우 시험체를 시험체에 맞는 막음판 등으로 시험체를 부착한다.

바. 고온부의 온도를 20 °C로 설정하고 저온부는 0 °C로 설정하여 온도 안정화 이후 3시간 이상 측정항목(온도 및 열량)을 기록한다.

사. 결과의 계산은 다음과 같다.

- (1) 시험체가 균질하거나 또는 시험체의 표면 온도의 차가 시험체 양 표면의 평균 표면 온도차의 20 % 이하의 균질인 경우 표면 온도로부터 열저항 R을, 환경 온도로부터 열관류율 U 및 표면 열전달률 h를 계산할 수 있다. 통상 측정된 R로부터 열관류율을 산출하는 것은 표준, 기타로 규정된 열전달률을 사용한다.

$$\frac{Q}{A} = h_r(T_r^1 - T_s) + h_c(T_a - T_s)$$

여기서, Q_1/A : 시험체 표면으로의 단위 면적당 열량(W/m²)

T_r^1 : 시험체에 마주한 면의 평균 방사 온도(K)

T_a : 시험체 표면 근방의 공기 온도(K)

T_s : 시험체 표면 온도(K)

h_r : 방사열 전달률[W/(m² · K)]

h_c : 대류열 전달률[W/(m² · K)]

- (2) 공기 온도와 방사 온도를 적절한 방법으로 가중 평균한 환경 온도 T_n 을 사용하여 열류량을 정의한다.

$$T_n = \frac{h_r}{h_r + h_c} T_r^1 + \frac{h_c}{h_r + h_c} T_a$$

- (3) R_s 표면 열 전달 저항은 다음과 같다.

$$R_s = \frac{1}{h_r + h_c}$$

- (4) h_s 표면 열 전달율은 다음과 같다.

$$h_s = 4\sigma E T_m^3$$

여기서, Q : 스테판-볼츠만 정수[5.67×10^{-8} W/(m² · K⁴)]

T_m^3 : 평균 방사 절대 온도

- (5) T_m^3 평균 방사 절대온도는 다음과 같다.

$$T_m^3 = \frac{(T_r'^2 + T_s^2)(T_r' + T_s)}{4} \quad \text{또는} \quad T_m \approx \frac{(T_r' + T_s)}{2}$$

(6) 통상 수직 표면에서 자연 대류의 경우 $h_c=3.0 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 이지만, 강제 대류의 경우는 이것보다도 훨씬 크게 되므로 h_c 의 값은
 확인 필요 - 앞에서 정의가 필요하다. (전체적으로 용어정의에서 간단히 정의필요)

$$T_n = \frac{T_a \frac{Q}{A} + h_r (T_a + T'_r) T_s}{\frac{Q}{A} + h_r (T_a + T'_r)}$$

(7) 시험체의 표면 온도의 차가 시험체 양 표면의 평균 표면 온도차의 20 % 이상의 불균질인 경우 또는 특수한 형상을 한 경우 환경 온도 T_{ni} 및 T_{ne} 를 사용하여 열관류율 U 만을 계산한다.

$$U = \left(\frac{Q_1}{A(T_{ni} - T_{ne})} \right)$$

여기서, Q_1 : 시험체 통과 열량(공급열량 Q_p 와 동일)

A : 전열면적

T_{ni} : 가열부 환경온도

T_{ne} : 냉열부 환경온도

6-2-5. 시험장비 및 계측기

온도센서, 전압계, 전류계, 줄자, 버니어캘리퍼스 등

붙임. 사용 기호의 설명 및 단위

앞쪽으로 표기하는 방법 강구

기호	설명	단위
i	내부, 일반적으로 가열 쪽을 표시하는 첨자	
e	외부, 일반적으로 냉열 쪽을 표시하는 첨자	
s	표면을 표시하는 첨자	
n	분위기를 표시하는 첨자	
k	열전도도 - 정의	[W/(m·K)]
h	표면 열전달률	[m ² ·K/W]
Q	열량	[W]
Q _p	열상자 내 공급 열량	[W]
Q ₁	시험체 통과 열량	[W]

Q_2	시험체 표면과 평행인 손실 열량	[W]
Q_3	열상자 주변 벽에서의 손실 열량	[W]
Q_4	시험체 측면에서의 손실 열량	[W]
Q_5	시험체 가장자리의 시험체 표면에 평행한 손실 열량	[W]
A	열류에 대한 수직 면적	[W/(m ² ·K)]
q	열류 밀도	[m ²]
d	시험체 두께	[m]
T_a	공기 온도	[K]
T_r	평균 방사 온도	[K]
T_n	환경 온도	[K]
T_s	표면 온도	[K]
$R = A(T_{si} - T_{se})/\Phi_1$	열저항	[m ² ·K/W]
$R_s = 1/h$	표면 열전달 저항	[m ² ·K/W]
$R_{si} = A(T_{ni} - T_{si})/\Phi_1$	내부 표면 열전달 저항	[m ² ·K/W]
$R_{se} = A(T_{se} - T_{ne})/\Phi_1$	외부 표면 열전달 저항	[m ² ·K/W]
$R_u = R_{sj} + R + R_{se}$	열관류 저항	[m ² ·K/W]
$R_u = 1/U$		[m ² ·K/W]
$U = \Phi_1/A(T_{ni} - T_{ne})$	열관류율	[W/(m ² ·K)]
$\Phi_1 = \Phi_p - \Phi_3 - \Phi_2$	(보호 열상자법일 경우)	[W]
$\Phi_1 = \Phi_p - \Phi_3 - \Phi_4$	(교정 열상자법일 경우)	[W]

2) 보온을 및 열관류를 측정 시험방법 마련(안) 마련 절차 추진

농업기계화촉진법 시행규칙 별표 제4조(농업기계의 검정 방법 등) 3항에 따라 시험방법은 농업기술실용화재단의 “농업기계 검정 및 안전관리 세부실시 요령”에서 시험방법 등을 정하고 있다. 따라서 스마트팜용 온실자재에 대한 검정 방법은 농업기술실용화재단의 시험방법 제정 절차에 따라 제정하여야 한다. 이를 위하여 관련 전문가 자문을 실시하였으며, 현재 내규 개정을 추진 중으로 연내에 개정 공표 예정이다.

제4조(농업기계의 검정방법 등) ① 법 제9조제1항 본문에 따른 필수적 검정대상 농업기계에 대한 검정의 종류는 다음 각 호와 같다. <개정 2010. 7. 9., 2012. 11. 23.>

1. 종합검정: 농업기계의 형식에 대한 구조, 성능, 안전성 및 조작의 난이도에 대한 검정
2. 안전검정: 농업기계의 형식에 대한 구조 및 안전성에 대한 검정
3. 변경검정: 종합검정 또는 안전검정에서 적합판정을 받은 농업기계의 일부분을 변경한 경우 그 변경 부분에 대한 적합성 여부를 확인하는 검정

4. 삭제 <2012. 11. 23.>

② 별표 4에 따른 검정대상 농업기계 외의 농업기계와 법 제9조제1항 단서에 따른 농업기계에 대한 임의적 검정의 종류는 다음 각 호와 같다. <개정 2012. 11. 23., 2019. 6. 25.>

1. 국제규범검정: 국제기술규정에 따른 검정
2. 기술지도검정: 농업기계의 개량·개발을 촉진하기 위하여 신청인이 요청하는 특정한 항목에 대한 검정
3. 선택검정: 법 제4조제1항에 따른 국가의 자금지원을 받는 농업기계에 대하여 신청인이 요청하는 특정 항목(제1항제1호 또는 제2호에 따른 검정항목만 해당한다)에 대한 검정

③ 제1항에 따른 검정의 기준(이하 “검정기준”이라 한다), 검정의 세부기준으로서의 구조기준(이하 “구조기준”이라 한다) 및 검정의 세부기준으로서의 안전기준(이하 “안전기준”이라 한다)은 농림축산식품부장관이 정하여 고시하고, **그 밖의 검정기준과 절차 등에 관한 사항은 이사장이 정하여 공표한다.** 다만, 검정 방법이 정해지지 않은 기술지도검정은 신청인과 이사장이 협의하여 정한다. <개정 2012. 11. 23., 2014. 3. 6., 2017. 9. 13., 2019. 6. 25.>

④ 법 제9조제3항에 따른 사후검정의 기준은 별표 7과 같고, 그 밖에 사후검정의 방법 및 절차는 농촌진흥청장이 정하여 고시한다. <신설 2012. 11. 23., 2014. 3. 6.>

[전문개정 2009. 9. 11.]

그림 2-5-1. 농업기계화촉진법 검정기준관련 규정

시설하우스용 피복자재 보온율 및 열관류율 시험방법 전문가 자문 회의 결과 보고

'21.6.29. 디지털농업본부 ICT기자재신뢰성평가팀

□ 배 경

- 「스마트온실 피복자재 열관류율 측정방법 및 기준 개발」관련 시설하우스용 피복자재 보온율 및 열관류율 시험방법(안) 마련을 위한 전문가 자문

□ 개 요

- 일시 : 2021년 6월 25일 14:00 ~ 16:00
- 장소 : 화상회의
- 참석 : 국립농업과학원 농업공학부 이○영 연구관, 김○권 연구사, 유○화 연구사, 전주대학교 이○우 교수, 육일부직포 대표 여○택, 일신화학 이○범 부장, 농업기술실용화재단 김○국, 백○욱 연구원 등 8명
- 내용 : 시설하우스용 피복자재 보온율 시험방법 검토
시설하우스용 피복자재 열관류율 시험방법 검토

□ 자문결과

- 이○영 연구관

- 용어를 열관류율로 표현하여야 한다.
- 대류 복사 열전달계수에 대해서 설명에 대한 정의를 추가 하여야 함
- 표면의 경우 전도 대류 복사를 통칭해서 열관류율로 용어정의 부피 밀도 등 일 반적인 사항에 대한 정의는 삭제하는 것이 바람직
- °C % 띄어쓰기 정해서 통일 필요

○ 김○권 연구사

- 별도의 용어에 대한 참고 부속서 추가 필요
- 공기유동의 방향에 대한 정의 추가
 - * 공기의 유동방향은 시편과 같은 방향
- 단위가 혼재 되어있다. 단위 통일이 필요(m로 표현 및 지수 활용)
- 스테판-볼츠만 정수 약자 오류 정정(이부분에서는 반드시 K으로 표현)

○ 유○화 연구사

- 시험조건 추가 및 열관류율 시험조건 추가 필요
- 컨디셔닝에 대한 정의 필요 - 온습도 조건
- 시험 반복 횟수 2회 반복하여 측정으로 수정
 - * 2회의 이유는 1회의 시험에 대한 검증 개념이다.
- 동일한 단위를 쓰는 단위 (전력, 열량이 같은 W)

○ 이○우 교수

- 밀관의 온도는 $(35 \pm 0.5)^\circ\text{C}$ - > 밀관의 온도는 $(36 \pm 0.5)^\circ\text{C}$
- 표현에서는 이해가 상이할 수 있기 때문에 요약 표현을 좀 더 풀어서 명확하게 표현
- 일반적으로 쓰는 표현으로 차이를 뒤서 표현하여야한다.
 - * 전력량 kWh로 정확한표현

○ 여○택 대표

- 별도의 용어에 대한 참고 부속서 추가 필요
- 공기유동의 방향에 대한 정의 추가
 - ex) 공기의 유동방향은 시편과 같은 방향
- 용어 정의 앞쪽으로 표기하여야 혼동이 없음

○ 이○범 부장

- 보호열상자 / 교정열상자 방법중 어떠한 방법이 적절한지 재검토 필요
- 표면 열 전달 저항삭제 필요표면 열 전달 저항
- 열관류율(U)에 대한 명확한 정의 필요

□ 회의영상(참석자 명단 대체)



그림 2-5-3. 전문가 자문회의 결과

나. 시험방법의 KS 규격화 방안 제시

1) KS F 2277의 스마트온실용 피복자재 열관류시험 적용의 한계점

KS F 2277 건축용 구성재의 단열성능 측정방법 - 교정 열상자법 및 보호 열상자법 시험방법의 경우 건축용자재의 열관류율 시험방법으로 섬유와 솜 등을 사용하여 보온자재를 구성한 다겹보온 커튼 KS F 2277의 시험방법을 적용하기에는 시료 고정 및 불균질도 측정등에 어려움이 따른다. 이러한 다겹보온커튼은 시험체 표면에 요철이 있는 경우에 해당하여, 본 시험방법에 따른 경우 플라스틱 또는 코킹재로 평탄작업을 하여야 한다. 하지만 천 섬유로 이루어진 피복자재로 이를 시행하기는 어려움이 있다. 이에 따라 스마트온실용 피복자재의 시험 스테치의 고정 설치 방법에 대한 정의가 필요하며, 본 연구에서는 다음의 고정 설치방법을 제시한다.

- 가) 별도로 시료를 평평하게 유지할 수 있는 고정장치에 피복자재를 설치 후 고정장치를 시험용 스테처에 KS F 2277의 시험방법에 따라 고정 설치한다.
- 나) 피복자재 고정장치의 재질은 시험체의 틀 재질과 동일하게 제작하여야하며, 시험시 온도 변화에 따라 탈락, 변형이 최소화되어야 한다.
- 다) 고정장치를 설치하기 위해 시험체의 틀에 별도의 가이드 홈을 추가하여 제작하였으며, 홈의 위치는 저온부의 5 cm에 위치 토록하여 저온부 바람이 직접 시료에 접촉하지 않도록 한다.

본 연구에서 적용한 시료의 표면의 거칠기를 최소화할 수 있는 방법이며, 향후 추가연구를 통해 고정방법에 따른 열관류율 변화에 대한 관찰이 필요하고 최적의 고정 방법에 대한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

2) 기존 시험방법의 한계

대부분 건축자재의 열관류율 측정에 맞춰져 있어 스마트온실용 피복자재에 비해 단열성능이 매우 우수하고 표면 고르기와 강도가 뛰어난 시료에 대한 시험방법이다. 이에 따라, 스마트온실용 피복자재의 열관류율을 측정하기에는 설치 및 시료관리에 매우 어려움이 따른다.

본연구 수행 과정에서도 많은 시험의 실패가 있었으며, 시험의 재연성을 찾기 위해서 높은 시험의 숙련도를 요구하였다. 본연구에서 제시한 개선방안은 기존 시험방법을 적용하기 위한 방편으로 정확한 스마트온실용 피복자재 열관류율 측정을 위해서는 별도의 새로운 시험방법이 필요할 것이다.

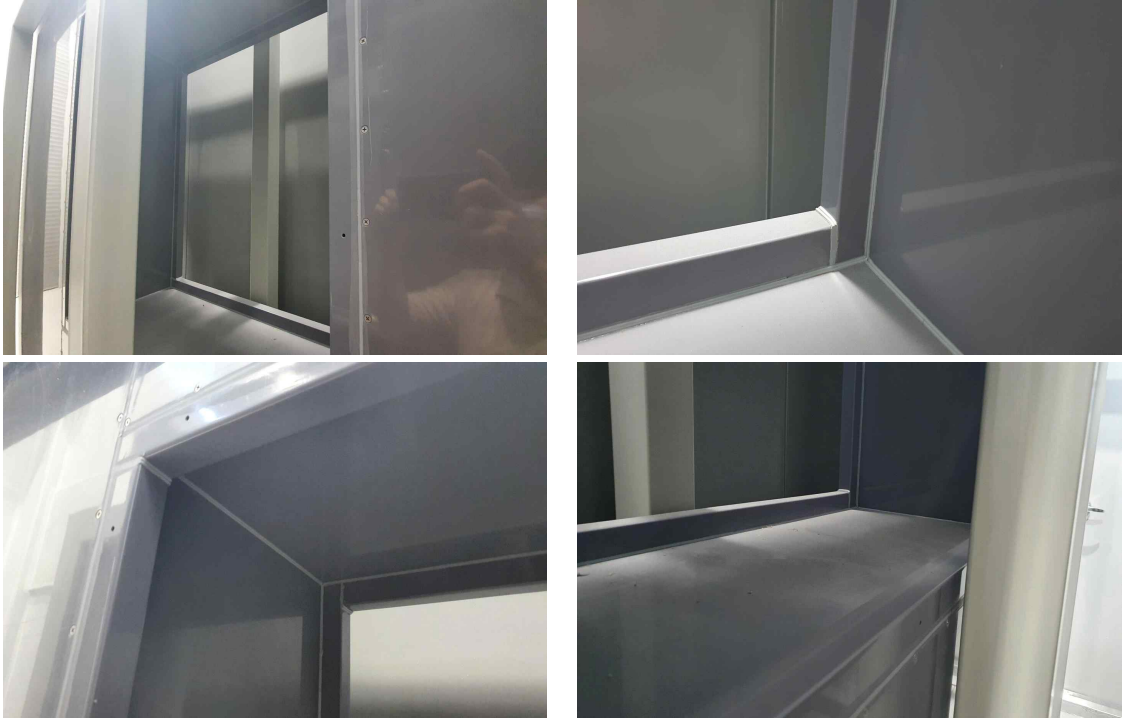


그림 2-5-4. 시험체의 틀 개선(안)

6절. 스마트온실 자재 열관류 기준 제시

가. 시험결과 간 비교분석을 통해 스마트온실 자재용 열관류율에 대한 기준제시

보온율-열관류 비교시험 결과는 동일 시료 군으로 항온법에 의한 보온율과 열관류율을 측정 한 결과 보온율 70% 수준에서 열관류율 2.0 (W/m²·K) 수준으로 나타났으나, 현재 유통 중인 다겹보온커튼을 전량 시험 데이터가 없어 기준제시가 어려운 상황이다. 이러한 상황에서 향후 기준도입으로 인해 지원사업에 참여 불가한 보온커튼 제조업체가 있을 경우 문제의 소지가 있어 정확한 기준 제시 곤란하였다. 기존 항온법에 의한 보온율과 열관류율을 비교 시험하여 항온법 기준 적합한 소재를 구분할 수 있으나, 열관류율 2.0 (W/m²·K) 수준의 열관류율이 농가 현장에서 보온효과를 보장할 수 없는 수치이다. 열관류율 2.0 (W/m²·K) 수준의 열관류율을 바로 적용하기에는 제도적인 어려움이 따를 것으로 사료됨에 따라 기존의 항온법에 의한 보온율(의무)과 열관류율(제시)을 병행토록 하는 것을 제안할 예정이다. 또한, 주관연구기관의 연구결과를 바탕으로 다겹보온자재에 대한 복합 촉진시험을 통해 열관류율 시험결과 축적을 통한 검정기준 제정을 위하여 농식품부에 추가 연구를 건의할 예정이다.

나. 농식품부 농업에너지효율화사업 시행지침 개정 건의

1) 농식품사업 시행지침_농업에너지 이용 효율화 사업(현행)

현행 농림축산식품부에서 시행 중인 농업에너지 이용 효율화 사업에서 다겹보온자재의 지원기준은 아래의 표와 같이 항온법 기준 보온율 70 % 이상으로 지정하고 있다.

에너지절감시설(보온자재)

○ 기준단가

설비형식	기준단가	지원내용
다겹보온커튼	수평권취식 13천원/m ²	<ul style="list-style-type: none"> ○ 수분흡수 방지를 위한 코팅 보온재를 포함한 5겹 이상의 보온 재료를 사용한 보온커튼 (항온법 기준 보온율 70%, 이상) * 단, 저온성 작물 또는 제주도 등 품목별·지역별 특성을 감안하여 3겹 보온커튼으로 대체가 가능할 경우 지자체장이 종합적으로 판단하여 3겹 보온 커튼으로 지원 가능(보온율 기준 미적용) ○ 알루미늄스크린의 겹수를 포함한 5겹 이상의 보온 재료를 사용한 다층 보온커튼(항온법 기준 보온율 55%, 이상)
	예인식·외부권취식 11천원/m ²	
	알루미늄스크린 11천원/m ²	
순환식 수막재배시설	5천 원/m ²	○ 비순환식 수막재배시설 제외
열회수형 환기장치		○ 열회수형 환기장치 개별지원
자동보온덮개	2.5천원/m ²	○ 작물별·시설별 특성에 맞는 제품 지원
배기열 회수장치		

* 다겹보온커튼과 자동보온덮개의 기준단가 단위(m²)는 설치되는 커튼 또는 보온덮개의 면적을 의미, 나머지 시설의 기준단가 단위(m²)는 설치되는 온실의 면적을 의미

현행 향온법의 직물의 보온성은 직물 내부에 함유되는 정지 공기에 많이 지배되는 것이며, 섬유종류보다는 직물의 두께, 밀도, 조직 등의 구성에 따른다. 하지만 에너지의 손실은 대기 수분, 공기유동의 풍속 다양한 인자의 영향을 받아 결정된다. 이에 따라 향온법에 의한 보온성으로 에너지의 손실을 대표하기는 불충분하며, 물리적 의미를 갖는 열전도율, 열전달, 열관류율 등으로 표기하는 것이 바람직하다. 이중 열전도율, 열전달율의 개념을 모두 포함하는 열관류율을 사용하는 것이 더욱 에너지손실을 대표할 수가 있다. 또한, 주관연구기관의 연구 결과에서와 같이 사용 기간에 따른 보온율을 차를 정확히 확인할 수 없고, 이로 인한 농가의 피해가 발생할 우려가 있으므로 복합 촉진시험과 열관류율 시험을 통한 기준을 활용할 필요가 있는 점을 건의할 예정이다. 다만 현재 열관류율에 대한 정밀 데이터 축적이 미비한 상황이므로 현재의 보온율과 병행하여 사용하고 추가 연구 수행 후 변경이 필요할 것으로 사료된다.

농업에너지 효율화사업 관련 다겹보온 커튼 기준 개정 건의안

- 농업기술실용화재단 ICT기자재신뢰성평가팀 -

□ 개요

- (현행) 다겹보온커튼의 품질기준으로 일정기준 이상의 보온율 (70% 또는 55%, 알루미늄스크린 42%)을 기준으로 정하고 있음
 - 보온자재는 보온율(향온법 기준) 70%이상
 - 알루미늄스크린을 포함한 5겹 이상의 보온 재료를 사용한 다층의 보온커튼은 보온율(향온법 기준) 55% 이상
 - 알루미늄스크린을 알루미늄스크린 향온법 기준 보온율 42%, 이상 제품

□ 문제점

- 현행 보온율은 일반 의류용 소재에 적합한 검사방법으로 복사, 대류, 전도 등 다양한 방법의 열전도 및 열전달 등의 종합적인 에너지 손실에 대한 농업용 보온자재의 특성을 나타내기 어려움

□ 개선방안

- (방향) 단동 및 연동 비닐하우스, 유리온실 등 시설원에 농가의 온실 환경에 따른 농업용 보온자재의 특성 검증할 수 있는 방법

으로 기준 개선

- (기준) 당분간 기준은 보온율과 병행하며, 열관류율은 2.0 (W/m²·K) 수준으로 정함

□ 개선기준의 적정성

- 표준기반 스마트온실 자재 성능시험 및 검정 기준 개발 연구 결과 기존 항온법 보온율 70% 수준의 열관류율은 2.0 (W/m²·K) 수준으로 나타남

□ 검토사항

- (현행제도) 현행 제도에 적용할 경우 문제점 및 보완점을 발굴하여 시행과정의 애로사항을 최소화
- (유예기간) 보온커튼 제조업체의 기술 검증 및 성적서 확보 기간을 고려하여 2년의 유예기간을 두고 시행
- (보완사항) 알미늄포함 다겹보온커튼의 경우 추가연구 필요

□ 기대 효과

- 다겹보온커튼 등을 사용하는 스마트온실의 난방 에너지 절감
- 난방용 피복재를 생산 업체 기술경쟁력 향상
- 지원목적 부합하는 정책 시행 가능

3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도

1) 연구수행 결과

(1) 정성적 연구개발성과

- 복합 촉진시험을 통한 온실 보온자재의 보온성능 변화를 예측하고 검정기준을 마련함으로써 부실 자재 사용으로 인한 광열동력비 상승 및 잦은 보온자재 교체 등의 소요되는 농가의 경제적 부담 완화 가능
- 온실 피복자재의 광환경 및 열적환경 분석으로 농자재 개발 산업에 활용
- 건축자재와 차별화된 농업용 보온자재의 검정기준에 제정에 활용
- 스마트 온실 자재 보급 지원사업에 자재의 보급 최소기준 제시를 통한 예산 절감 및 농가보호

(2) 정량적 연구개발성과

성과목표											연구기반지표									
	지식 재산권			기술 실시(이전)		사업화					기술인증	학술성과				교육지도	인력양성	정책 활용·홍보		기타(타연구활용등)
	특허출원	특허등록	품종등록	건수	기술료	제품화	매출액	수출액	고용창출	투자유치		논문		논문평균 IF	학술발표			정책 활용	홍보전시	
												SCI	비SCI							
단위	건	건	건	건	백만원	건	백만원	백만원	명	백만원	건	건	건	건	명	건	건			
가중치	60												20			10	10			
1차년도	1												2			1	1			
성과	1												4			1	2			
달성률	100												200			100	200			
최종목표	1												60	3		1	2			
합계	1												-	4		1	2			
달성율	100												0	130		100	100			

(3) 세부 정량적 연구개발성과

[과학적 성과]

□ 국내 및 국제 학술회의 발표

번호	회의 명칭	발표자	발표 일시	장소	국명
1	2020 한국농업기계학회 추계공동학술대회	박○제	2020년 10월 30일	전북대학교	대한민국
2	2021 한국농업기계학회 춘계공동학술대회	박○제	2021년 04월 30일	국립농업과학원 농업공학부	대한민국
3	2021 한국농업기계학회 춘계공동학술대회	강○균	2021년 04월 30일	국립농업과학원 농업공학부	대한민국
4	2021 (사)한국생물환경조절 학회 춘계 학술대회	이○우	2021년 05월 06일	e-conference	대한민국

[기술적 성과]

□ 지식재산권(특허, 실용신안, 의장, 디자인, 상표, 규격, 신품종, 프로그램)

번호	지식재산권 등 명칭 (건별 각각 기재)	국명	출원				등록			기여율	활용 여부
			출원인	출원일	출원 번호	등록 번호	등록인	등록일	등록 번호		
1	캠버형 화학적 및 물리적 변형시험장치	대한민국	한국농수 산대학 산학협력 단	2021년0 4월28일	10-2021 -005479 8					100	

[사회적 성과]

□ 정책활용 내용

번호	구분 (제안/채택)	정책명	관련 기관 (담당 부서)	활용 연도	채택 내용
1	제안	농업에너지효율화사 업	농림축산식품부 (원예경영과)	미정	

□ 홍보 실적

번호	홍보 유형	매체명	제목	홍보일
1	기타	농수축산신문	저탄소 농축산물 인증제, 하반기 인증 지원사업 추진	2020년 07월 28일
2	기타	식품저널 foodnews	실용화재단, 저탄소 농축산물 인증 지원	2020년 07월 28일

온실 보온자재의 보온성능 평가방법 조사

A Study on the Evaluation Method of Thermal Performance of Greenhouse Insulation Materials

박재¹ 강균¹ 김익¹ 홍중¹ 강현^{1*}

Je Park¹ Gyun Kang¹ Eok Kim¹ Joong Hong¹ Hyeon Kang^{1*}

¹한국농수산대학 교양공통과

Department of General Education, Korea National College of Agriculture and Fisheries,
Korea

초록(Abstract)

국내에 유통되고 있는 온실 보온자재의 보온성능검증은 KS K 0560 “천의 보온성 측정 규정”을 따르고 있으나, 2000년 이후의 국내 온실 보온자재 보온성능 관련 연구는 Hot Box를 이용하여 열관류율을 측정 후 보온성능을 평가하는 방식을 채용하고 있다. 하지만 국내에서는 표준화된 관류열전달계수 측정시스템 및 측정 기준의 부재로 최근 개발되어 상용화된 피복재와 보온재에 대한 관류열전달 특성을 객관적으로 비교할 수 있는 통일된 청량적 기준이 마련되어 있지 못한 실정이다(이현우 등, 2014). 따라서 본 연구에서는 온실 보온재의 보온성 성능평가 규정과 최근 수행된 국내연구 결과를 조사하여 온실 보온재의 보온성능 분석방법을 비교 분석하였다.

국내의 보온자재의 보온성능 평가 표준은 KS K 0466, KS K 0560, ASTM D 1518, ASTM C 236-89 등이 있다. KS K 0466, KS K 0560, ASTM D 1518 규정은 사람의 체온을 기준으로 한 가열시험관 위에 올려놓은 보온재를 통과하여 방출되는 발열량을 소비 전력량으로 측정하여 보온성능을 평가하는 방식이다. ASTM C 236-89 규정은 건축물의 주거환경인 내부와 외부 조건을 조성 후 내부환경과 외부환경 사이에 시편을 설치한 후 내부환경에 난방하여 일정 온도까지 열을 공급 후 난방기를 끄고 내부, 외부온도가 같아질 때까지 시험을 진행한다. 이후 내부, 외부 보온재의 표면 온도 차이가 가장 클 때 값과 난방기에 공급된 열량을 이용하여 보온재의 보온성능을 평가하는 방식이다. 2000년 이후 온실 보온재 보온성능 분석 관련 논문은 약 9편 정도 있었으며, 모든 연구에서 ASTM C 236-89의 기준에 따라 Feuilloley and Issanchou(1996)가 사용한 Hot Box를 응용한 것으로 이 중 3편의 논문은 수직 열관류율 측정 장비를 제작하여 보온성 성능분석 시험하였고, 나머지 6편은 각각 다른 시험 조건으로 열관류율을 측정 후 보온성능을 평가하였다.

따라서 온실 보온자재에 대한 보온성능 검증은 사람체온을 기준으로 한 KS K 0560가 아닌 온실 외부환경을 기반으로 응용한 ASTM C 236-89의 결과가 필요하며 이에 따른 장비 및 시험방법 개발이 필요할 것으로 사료된다.

키워드(Keywords)

보온성, 보온자재, 온실, 열관류율, Hot Box

사사(Acknowledgement)

농림식품기획평가원 에너지융합 산업기술개발사업(세부과제번호: 320094-1) 지원으로 수행되었음.

*교신지자 : 강현 (h.kang@korea.kr)

온실 보온자재의 사용기간에 따른 보온성능 평가방법 개발

Development of Method for Evaluating Thermal Performance according to using period of Multi-layer Thermal Screen

박재¹ 강근² 김익¹ 홍중¹ 강환² 강현^{1*}
Je Park¹, Gyun Kang², Eok Kim¹, Joong Hong^{1,2},
Hwan Kang², Hyeon Kang^{1*}

¹한국농수산대학 교양공통과

¹Department of General Education, Korea National College of Agriculture and Fisheries, Korea

²공주대학교 스마트팜공학과

²Department of Smart Farm Engineering, Kong Ju National University, Korea

초록(abstract)

스마트 온실 난방비용을 절감하기 위해 개발된 다겹보온커튼을 이용하여 보온성을 높이기 위해 많은 연구가 진행되었다. 윤 등(2013)은 무광성 보온커튼을 이용한 난방에너지 절감 연구를 수행하였고 유 등(2013)은 다겹보온커튼과 에어로겔 보온커튼의 총괄 열전달 계수 분석을 통해 성능을 개선하기 위한 연구를 수행하였다. 국내에서 유통되고 있는 다겹보온자재에 대한 보온성능 검증방법에 대한 연구가 진행되어 몇 개 기관에서 보온성에 대한 검증을 실시하고 있으나, 현재 수행 중인 방법은 미사용 다겹보온자재를 이용하여 보온성능을 검증하고 있어 태양광 등에 의해 발생할 수 있는 보온자재의 부식으로 인한 보온성 저하에 대한 검증은 수행되지 못하고 있다. 윤 등(2019)에 의하면 온실 보온 관련 연구는 다겹보온자재의 내부 재료 조합형태별 보온성과 그 개선 효과에만 집중되어 있으며 오래사용된 보온자재의 보온성 변화 및 교체 기간 등의 실정을 위해 접근한 연구는 미비한 실정이라고 하였다. 본 연구에서는 온실 보온자재를 40W 자외선 형광등을 이용하여 168시간(1주), 336시간(2주), 504시간(3주), 672시간(4주) 동안 자외선에 노출 시키는 촉진 내후성 시험과 1년에 5개월을 보온자재를 이용하여 보온한다는 가정하에 권취양식으로 150년 왕복 개폐를 1년으로 가정하여 6년(900년 왕복) 개폐 후 시험하였다. 보온성능 비교는 내후성 시험 후 보온율 측정, 내구성 촉진시험 후 보온율 측정, 내후성 시험을 수행하고 내구성 촉진시험을 한 후 보온율을 측정하는 방법으로 보온성능을 비교 분석하였다. 내구성 촉진시험만 수행한 결과에서는 보온율 변화가 거의 없었으며, 내후성 시험만 수행한 결과에서 0.85%의 보온율이 낮아졌다. 내후성 시험과 내구성 촉진시험을 동시에 하는 시험에서는 내후성 시험결과보다 약 1.1% 낮아지는 결과가 도출되었다. 시험장치의 대해 수정 보완한다면 보온자재 사용기간에 따른 보온성능 평가도 가능할 것으로 사료된다.

키워드(Keywords)

보온성, 보온율 측정, 보온자재, 평가방법

사사(Acknowledgement)

농림식품기획예산처 에너지사업 사업기술개발사업(세부과제번호: 320094-1) 지원으로 수행되었음.

*교신저자 : 강현 (hkyoon@korea.kr)

풍속계를 이용한 온실내 순환팬 풍속구배 분석

Analysis of air velocity profile of circulation fans in green house using an anemometer

강■균¹, 박■제¹, 김■의¹, 홍■중¹, 강■환², 강■현^{1,2}
■■■■ Gyun Kang¹, ■■■■ Jo Park¹, ■■■■ Eok Kim¹, ■■■■ Joong Hong¹, ■■■■ Hyeon Kang^{1,2}

¹한국농수산대학 교양공통과

¹Department of General Education, Korea National College of Agriculture and Fisheries, ■■■■ Korea

²공주대학교 스마트팜공학과

²Department of Smart Farm Engineering, Kong Ju National University, ■■■■ Korea

초록(Abstract)

본 연구는 스마트온실의 내부순환팬 성능 평가 방법을 개발하기 위하여 순환팬 작동에 따른 풍속 도달거리를 측정 및 분석하는 연구를 수행하였다. 공기순환팬의 풍속 도달거리를 측정하기 위해 풍속센서(HD103T.0)를 수직, 수평으로 설치하여 사용하였다. 풍속측정을 위해 프로파일로 센서 설치 및 고정할 수 있도록 제작하였고, 풍속센서의 수직방향 측정은 Yu, 등(2007)의 온풍 시험과 같이 지면에서부터 0.6m 간격으로 설치하여 총 5개를 설치하였다. 수평방향 측정은 수직으로 설치한 중앙센서를 기준으로 좌우 2개씩 1m 간격으로 설치하였다. 풍속센서의 데이터는 데이터로거(GP10)를 통해 측정 및 기록하였다. 시험에 사용한 순환팬은 직경 250mm(LD-SF250), 270mm(SN-14-2), 300mm(SW-SF300), 340mm(SN-14-1), 350mm(LD-SF350) 팬을 사용하였고, 천동리프트에 고정시켰으며, 리프트는 순환팬이 수직, 수평방향의 중앙센서의 정면에 위치하도록 상하좌우를 맞추었다. 시험방법은 순환팬이 안정화되도록 30분동안 작동시킨 후 시험을 시작하였다. 최초 측정은 중앙센서에서 1m 거리부터 측정하였으며 이후 1m 간격으로 리프트를 이동시키며 최대 17m까지 측정하였다. 측정방법은 데이터로거를 통해 각 위치마다 2분 동안 5초 간격으로 측정하여 평균값을 분석하였다. 시험결과, 순환팬 230mm, 250, 300, 340, 350, 팬의 최소풍속은 2.71m/s, 3.27, 4.35, 5.31, 5.50으로 조사되었다. Kim(1997)의 연구에 따르면 작물의 생육을 위한 적정 기류속도는 0.3 - 0.5m/s이라 하였으며 이를 기반으로 각 팬의 풍속 도달거리로는 230mm가 6 - 15m, 250mm가 9 - 16m 구간으로 나타났다. 직경 300 - 350mm 팬은 최대 측정거리까지 0.2m/s 이하로 떨어지지 않았으며, 각각 11m, 12, 14 부터 풍속 0.5m/s 미만으로 떨어졌다. 본 시험결과를 통해 순환팬의 풍속 도달거리 시험 및 순환팬 설치 기준에 대한 지표가 될 것으로 사료된다. 추후 시험에서는 17m 이상 거리에서 풍속을 측정하여 각 팬의 풍속 0.2m/s 미만 도달거리까지 측정이 필요할 것으로 판단된다.

키워드(Keyword)

순환팬, 적정 기류속도, 풍속, 도달거리

사사(Acknowledgement)

농림식품기획평가원 에너지사업 산업기술개발사업(세부과제번호: 320094-1) 지원으로 수행되었음.

*교신저자 : 강■현 (■■■■@korea.kr)

P2-5	Effect of Single- and Double-layer Polyolefin on the Microclimate of Thermal Screened Greenhouses for Strawberry (Seolhyang sp.) Cultivation Woo Lee*, D. Akpenpoon, Ho Na, O. Ogunlowo, Rabi, Adenmi Adesanya, Tae Kim	53
P2-6	Effect of Glazing Configuration as an Energy-Saving Strategy in Naturally Ventilated Greenhouses for Strawberry (Seolhyang sp.) Cultivation Woo Lee*, D. Akpenpoon, Ho Na, Opeyemi Ogunlowo, Rabi, Adenmi Adesanya, Sasi Adia, Tae Kim	54
P2-7	A Study on Determination of Overall Heat Transfer Coefficient of Some Selected Greenhouse Energy-Saving Screen Using TRNSYS Woo Lee*, Rabi, Ho Na, Rasheed, Denen Akpenpoon, Adesanya, Ogunlowo	55

포스터 발표 -에너지/자원/구조/설계 분야

P2-7

A Study on Determination of Overall Heat Transfer Coefficient of Some Selected Greenhouse Energy-Saving Screen Using TRNSYS

Woo Lee^{1*}, Rabi¹, Ho Na², Rasheed², Denen Akpenpoon³, Adesanya¹, Ogunlowo¹

¹Department of Agricultural Civil Engineering, College of Agricultural & Life Sciences, Kyungpook National University, Korea

²Smart Agriculture Innovation Center, Kyungpook National University, Korea

³Department of Agricultural and Biosystems Engineering, University of Ilorin, Nigeria

The overall heat loss coefficients (U-value) of selected greenhouse thermal screens was investigated. Physical, radiometric, thermal conductivity and aerodynamic (air-permeability) properties of thermal screens were determined. Screen properties determined were inputted into Windows 7.4 (LBNL software) and a DOE-2 file generated and used in TRNBuild. The U-value was then determined using a hot box laboratory experiment and validated using a hotbox building energy simulation (BES) TRNSYS model with or without airflow. The result of the U-value obtained from the experimental hotbox was validated using the TRNSYS model. The U-value obtained with airflow and without airflow, and experimental hotbox for white-polyester (300/600), Luxous, PH55 (open), PH_super, PH66_al, M1, M2, M3, NewPH66_sil, New_lux were 5.5, 8.0; 3.8, 9.0; 4.4, 72.1; 5.2, 11.5; 4.6, 9.8; 4.3, 4.4; 5.4, 6.2; 4.4, 4.4; 4.5, 8.9; and 4.0, 9.6 Wm⁻²k⁻¹, respectively, while the experimental U-value was 8.2, 9.4, 35.9, 10.8, 9.1, 3.9, 5.8, 4.6, 8.7, and 9.8 Wm⁻²k⁻¹, respectively. In comparison, the U-value of the TRNSYS model without airflow and the experimental hotbox U-value were significantly different for all thermal screens except M3. However, the U-value with airflow and the experimental hotbox U-value were insignificantly different for all thermal screens, which is desirable. This study has shown that airflow characteristics of screen materials have significant effects on the overall U-value.

This work was supported by Korea Institute of Planning and Evaluation for Technology in Food, Agriculture, Forestry (IPET) through Agriculture, Food and Rural Affairs Convergence Technologies Program for Educating Creative Global Leader, funded by Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA) (717001-7). This work was supported by Korea Institute of Planning and Evaluation for Technology in Food, Agriculture and Forestry (IPET) through Smart Animal Farming Industry Technology Development Program, funded by Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA) (320094-1).

*Corresponding author, E-mail: jknu.ac.kr



출원번호통지서

출원 일자 2021.04.28
 특 기 사 항 심사청구(유) 공개신청(무)
 출원 번호 10-2021-0054798 (접수번호 1-1-2021-0495455-43)
 (DAS접근코드6532)
 출원인 명칭 한국농수산대학 산학협력단(2-2005-042117-9)
 대리인 성명 송■근(9-2002-000122-3)
 발명자 성명 강■현 이■원 김■예 홍■중 배■수 강■균 박■제 신■아
 발명의 명칭 점변형 화학적 및 물리적 변형시험장치

특 허 청 장

<< 안내 >>

1. 귀하의 출원은 위와 같이 정상적으로 접수되었으며, 이후의 심사 진행상황은 출원번호를 이용하여 특허로
 홈페이지(www.■.gokr)에서 확인하실 수 있습니다.
 2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 동봉된 납입영수증에 성명, 납부자번호 등을 기재하여 가
 까운 은행 또는 우체국에 납부하여야 합니다.
 ※ 납부자번호 : 0131(기관코드) + 접수번호
 3. 귀하의 주소 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 [특허고격번호 정보변경(경정), 정정신고서]를 제출하
 여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다.
 4. 기타 심사 절차(제도)에 관한 사항은 특허청 홈페이지를 참고하시거나 특허고객상담센터(☎ 1544-■)에
 문의하여 주시기 바랍니다.
 ※ 심사제도 안내 : <http://www.■.gokr>-지식재산제도

【출원언어】 국어
 【심사청구】 청구
 【이 발명을 지원한 국가연구개발사업】
 【과제고유번호】 1545022296
 【과제번호】 320094011S8010
 【부처명】 농림축산식품부
 【과제관리(전문)기관명】 농림식품기술기획평가원
 【연구사업명】 1세대스마트플랜트광산업융합기술개발
 【연구과제명】 스마트온실 파복자재 성능시험 시험방법 개발
 【기여율】 1/1
 【과제수행기관명】 한국농수산대학 산학협력단
 【연구기간】 2020.07.03 ~ 2021.07.02
 【취지】 위와 같이 특허청장에게 제출합니다.

대리인 송■근 (서명 또는 인)

양 식	정책건의/시행	※ 정부시책, 법령개정, 매뉴얼(지침), 시스템 반영 등	
과제명	표준기반 스마트 온실 자재 성능시험 및 결정기준 개발 연구		
건의명	농식품부 농업에너지효율화사업 시행지침 개정 건의		
주관부처 (담당자)	농림축산식품부 원예경영과 (최■철 사무관)	건의일자 (제출일)	21년 8월 30일
시책명	농업에너지효율화사업	시행일 (시행예정일)	미정
주요내용 요약	<ul style="list-style-type: none"> □ 개요 <ul style="list-style-type: none"> ○ (현행) 다겹보온커튼의 품질기준으로 일정기준 이상의 보온율(70% 또는 55%, 알루미늄스크린 42%)을 기준으로 정하고 있음 - 보온자재는 보온율(향온법 기준) 70% 이상 - 알루미늄스크린을 포함한 5겹 이상의 보온 재료를 사용한 다층의 보온커튼은 보온율(향온법 기준) 55% 이상 - 알루미늄스크린을 알루미늄스크린 향온법 기준 보온율 42%, 이상 제품 □ 문제점 <ul style="list-style-type: none"> ○ 현행 보온율은 일반 의류용 소재에 적합한 검사방법으로 복사, 대류, 전도 등 다양한 방법의 열전도 및 열전달 등의 종합적인 에너지손실에 대한 농업용 보온자재의 특성을 나타내기 어려움 □ 개선방안 <ul style="list-style-type: none"> ○ (방향) 단동 및 연동 비닐하우스, 유리온실 등 시설원에 농가의 온실 환경에 따른 농업용 보온자재의 특성 검증할 수 있는 방법으로 기준 개선 ○ (기준) 당분간 기준은 보온율과 병행하며, 열관류율은 2.0 (W/m²·K) 수준으로 정함 		
기대효과	<ul style="list-style-type: none"> ○ 다겹보온커튼 등을 사용하는 스마트온실의 난방 에너지 절감 ○ 난방용 피복재를 생산 업체 기술경쟁력 향상 ○ 지원목적 부합하는 정책 시행 가능 		
증빙자료 1 (하단별첨)	※ 제출 공문 및 건의내용		
증빙자료 2 (하단별첨)	※ 정부시책 및 법령(개정) 결과물 등		

건의내용

일자리가 생기고 복지입니다.



농업기술실용화재단

수신 농업축산식품부 식품산업정책실 유통소비정책관 권애경영과
(경유)

제목 시설 디지털 농기자재 검증관련 정책건의

스마트팜 국장파제 83번과 관련하여 시설 디지털 농기자재의 호환성 검증제도 제정 및 농업에너지 효율화 사업 관련 다검보은 커튼 기준 개정을 불임과 같이 건의 드리오너 관련 내용을 검토하여 주시기 바랍니다.

- 불임 1.시설 디지털 농기자재 호환성 검증방법 및 기준 제정 건의(안),
- 2.농업에너지 효율화사업 관련 다검보은 커튼 기준 개정 건의(안), 문.

농업기술실용화재단이사장



연구원 **한기우** 선임연구원 **한기우** ICT산학협력 294 201 A 30,
 협조자 기원장 **김철배**
 시명 ICT산학협력기원-408 (2021-8-30.) 협수
 우 54687 전라북도 [redacted] / www.[redacted].kr
 전국번호 063-[redacted] 팩스번호 063-[redacted] / [redacted]@fact.or.kr / 대한민국 공제
 농가소득 향상 - 국민복지 실현

농업에너지 효율화사업 관련 다겹보온 커튼 기준 개정 건의안

- 농업기술실용화재단 ICT기자재신뢰성평가팀 -

□ 개요

- (현행) 다겹보온커튼의 품질기준으로 일정기준 이상의 보온율(70% 또는 55%, 알루미늄스크린 42%)을 기준으로 정하고 있음
 - 보온자재는 보온율(항온법 기준) 70%이상
 - 알루미늄스크린을 포함한 5겹 이상의 보온 재료를 사용한 다층의 보온 커튼은 보온율(항온법 기준) 55% 이상
 - 알루미늄스크린을 알루미늄스크린 항온법 기준 보온율 42%, 이상 제품

□ 문제점

- 현행 보온율은 일반 의류용 소재에 적합한 검사방법으로 복사, 대류, 전도 등 다양한 방법의 열전도 및 열전달 등의 종합적인 에너지손실에 대한 농업용 보온자재의 특성을 나타내기 어려움

□ 개선방안

- (방향) 단동 및 연동 비닐하우스, 유리온실 등 시설원에 농가의 온실 환경에 따른 농업용 보온자재의 특성 검증할 수 있는 방법으로 기준 개선

- (기준) 당분간 기준은 보온율과 병행하며, 열관류율은 2.0 (W/m²·K) 수준으로 정함

□ 개선기준의 적정성

- 표준기반 스마트온실 자재 성능시험 및 검증 기준 개발 연구 결과 기존 항온법 보온율 70% 수준의 열관류율은 2.0 (W/m²·K) 수준으로 나타남

□ 검토사항

- (현행제도) 현행 제도에 적용할 경우 문제점 및 보완점을 발굴하여 시행과정의 애로사항을 최소화
- (유예기간) 보온커튼 제조업체의 기술 검증 및 성적서 확보 기간을 고려하여 2년의 유예기간을 두고 시행
- (보완사항) 알루미늄포함 다겹보온커튼의 경우 추가연구 필요

□ 기대 효과

- 다겹보온커튼 등을 사용하는 스마트온실의 난방 에너지 절감
- 난방용 피복재를 생산 업체 기술경쟁력 향상
- 지원목적 부합하는 정책 시행 가능

저탄소 농축산물 인증제, 하반기 인증 지원사업 추진

서 이■ 기자 | 2020.07.28 11:27

농업기술실용화재단

농업기술실용화재단은 '저탄소 농축산물 인증제' 인증 지원사업 참여자를 다음달 12일까지 모집한다고 밝혔다.

대상농가는 유기농, 무농약 또는 GAP 인증을 사전 취득하고, 저탄소 농업기술(뚝거름 작물재배, 다겹보온커튼, 수막재배 등)으로 비료, 유류, 전기 등의 영농자재 사용량을 절감하는 기술을 적용해 농산물을 생산하는 농가이며, 대상품목은 식량·특용·채소·과수 등 51개 품목이다.

신청을 원하는 농가는 저탄소 농축산물 인증기관인 실용화재단 홈페이지(www.arkr.or.kr)에서 신청서를 다운받아 작성한 후, 이메일, 우편(등기) 또는 팩스로 신청서류를 제출하면 된다.

실용화재단은 작년 상·하반기에 걸쳐 저탄소 인증 농가를 대상으로 '저탄소 인증 농산물 유통활성화'를 위한 품평상담회를 개최하여 대형마트, 백화점, 온라인 프리미엄 마켓 등의 주요 유통사 MD를 직접 만나볼 수 있는 기회를 제공했다.

이를 통해 196건의 상담이 이루어졌으며, 포장, 중간유통, 마케팅 등의 전문가 상담 기회도 함께 제공하여 인증농가와 유통사MD 양측의 큰 호응을 받았다.

이길재 실용화재단 기후변화대응팀 팀장은 '농림축산식품부와 우리 재단은 농산물 생산 전 과정에서 탄소의 발생을 줄이고, 지구환경을 생각하는 착한소비 문화를 유도하기 위한 기반을 갖춰가고 있다.'며, '앞으로 저탄소 농축산물 확대하기 위하여 더욱 노력 하겠다고 밝혔다.



이■ 기자 | benj@afnews.co.kr

실용화재단, 저탄소 농축산물 인증 지원

▲ 이현 기자 | © 승인 2020.07.28 10:12

농업기술실용화재단(이사장 박웅)이 저탄소 농축산물 인증 지원사업 참여 농가를 이달 27일부터 8월 12일까지 모집한다.

대상 농가는 유기농, 무농약 또는 GAP 인증을 사전 취득하고, 풋거름 작물재배·다겹보온커튼·수막재배 등으로 비료, 유류, 전기 등의 영농자재 사용량을 절감하는 저탄소 농업기술을 적용해 농산물을 생산하는 농가이며, 대상 품목은 식량·특용·채소·과수 등 51품목이다.

신청을 원하는 농가는 실용화재단 홈페이지에서 신청서를 다운로드 받아 작성한 후 이메일, 우편(등기) 또는 팩스로 제출하면 된다.

선정된 농가는 '인증 신청-인증보고서 작성-인증 심사'에 이르는 전 과정에 대한 컨설팅과 인증 수수료 및 인증 심사 비용을 국고 지원받게 되며, 심의를 거쳐 12월초 인증 받을 수 있다.

2) 목표 달성 수준

추진 목표	달성 내용	달성도(%)
○ 피복자재에 대한 보온성 시험 장치를 개발	○ 내구성 시험, 내후성시험, 내구, 내후 복합시험을 통해 보온자재의 보온성 성능시험 장치 개발	100
	○ 피복자재의 차광, 보온, 투광 등 다양한 특성 분석 장치 설계	100
○ 피복자재에 대한 평가기준을 작성	○ 내구, 내후 복합시험장치 이용 열관류율 평가기준(안) 작성	100
○ 검정기준을 정책건의	○ 검정기준(안) 작성 및 전문가 자문	100
	○ 보온율과 열관류율 병행 사용 건의	100

4. 목표 미달 시 원인분석

해당사항 없음

5. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도

(가) 스마트온실 자재 열관류 시험방법 제도 반영 및 운영

- 농업기술실용화재단 “농업기계 검정 및 안전관리 세부실시요령”에 반영 및 운영으로 피복자재 생산기업에 객관적이고 신뢰할 수 있는 시험결과를 제공하여 관련 기업 기술경쟁력 강화

(나) 스마트온실 자재 열관류 기준 제도 반영 건의

- 농식품부 “농업에너지이용효율화 사업” 피복자재(다겹보온커튼) 지원 요건 건의를 통한 농가에서는 양질의 피복자재(다겹보온커튼)을 지원 받을 수 있는 기반 마련

(다) 건축자재 등과 차별화된 열관류율 측정 방법 도입

- 야간 냉각복사가 심한 시설농가에 바른 데이터를 제공함으로써 적절한 보온대책을 강구할 수 있는 기반 조성

(라) 스마트온실 자재의 성능을 평가할 수 있는 객관적 지표 제시를 통하여 농가의 안정적인 생산기반 구축이 가능하며, 국내 스마트온실의 수출을 위한 경쟁력 강화에 기여

(마) 스마트온실 자재의 검정기준을 제시함으로써 제품 개발시 기준을 제시할 수 있으며, 자재의 성능 평가항목별 시험방법의 표준화 가능

6. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획

(가) 스마트온실 자재 열관류율 시험방법 제정 및 운영

- 농업기술실용화재단 “농업기계 검정 및 안전관리 세부실시요령” 보완 및 제정
- 스마트온실 자재 생산기업에 성능시험 서비스 운영으로 기술개발에 활용

(나) 스마트온실 자재 열관류율 기준 마련 및 제도 반영 건의

- 농식품부 “농업에너지이용효율화 사업”에 피복자재(다겹보온커튼) 지원 요건을 보온율에서 열관류율로 수정토록 지속 건의

(다) 스마트 온실 보온자재의 열관류율 명확화를 추가 과제 추진

[별첨 1]

연구개발보고서 초록

과 제 명	(국문) 표준기반 스마트 온실 자재 성능시험 및 검정기준 개발 연구						
	(영문) Study on performance test and verification standard development for standard material using in smart greenhouse						
주관연구기관	한국농수산대학 산학협력단		주 관 연 구 자 책 임 자	(소속) 한국농수산대학 산학협력단			
참 여 기 업				(성명) 강동현			
총연구개발비 (450,000천원)	계	450,000천원	총 연 구 기 간	2020. 07. 03. - 2021. 07. 02. (1년)			
	정부출연 연구개발비	450,000천원		총 인 원	22		
	기업부담금	-		총 참 여 수 연 구 원	내부인원	7	
	연구기관부담금	-			외부인원	15	
<p>○ 연구개발 목표 및 성과</p> <ul style="list-style-type: none"> - 스마트온실 피복자재 성능평가 항목 및 시험방법 개발을 통한 검정방법 제안 - 스마트온실 자재 성능 평가 항목 및 시험방법 개발을 통한 검정 항목 제안 - 스마트온실 피복자재 검정 기준 제시를 통한 시험방법 표준화 <p>○ 연구내용 및 결과</p> <ul style="list-style-type: none"> - 내구성시험, 내후성시험, 촉진복합시험 방법 개발 <ul style="list-style-type: none"> · 보온성능 영향 : 내구성시험은 유의성 없음, 내후성시험은 유의성 없음, 촉진복합시험은 유의성 있음 - 촉진복합시험 활용 보온자재 보온성능 시험 <ul style="list-style-type: none"> · 보온율, 열관류율시험 실시결과 보온율 시험만으로 성능평가 불가, 열관류율시험 병행 혹은 변경 - 스마트온실의 광환경 평가방법의 표준화 방안 개발 <ul style="list-style-type: none"> · 온실의 형태, 자재 등의 위치 차로 광환경의 균일화 곤란하여 광환경을 고려하여 센서 설치 필요 - 스마트온실의 환기에 따른 열적환경 평가방법의 표준화 방안 개발 <ul style="list-style-type: none"> · 외부풍속 및 외부온도에 따른 내부 순환팬, 천측창의 개폐 등을 제어할 필요가 있는 것으로 평가됨 - 스마트온실의 내부유동팬 성능 평가 방법의 표준화 방안 개발 <ul style="list-style-type: none"> · 내부유동팬 풍속도달거리는 온실 환경설계기준(2015)에서 제시한 거리보다 먼거리까지 영향을 미침 - 피복 및 차광재 조합에 따른 측정 방법 개발 및 고도화 <ul style="list-style-type: none"> · 관류열전달계수는 스크린의 두께, 전도도, 방사율에 따라 달라지는 것으로 조사됨 - 스마트온실 피복자재 검정방법 개발 <ul style="list-style-type: none"> · 보온율 및 열관류율을 활용한 규격 및 성능 설명서, 검정 방법 작성 - 시험결과 간 비교 분석을 통해 스마트온실 자재용 열관류율에 대한 기준 제시 - 농식품부, 농진청 등 스마트온실 자재 보급 사업 최소 기준(보온율→열관류율) 제안 <p>○ 연구성과 활용실적 및 계획</p> <ul style="list-style-type: none"> - 스마트온실 자재 검정기준 제정 - 스마트온실 자재 열관류율 및 보온율 활용 제안 - 스마트온실 자재에 대한 시험방법 표준화 추진 							

[별첨 2]

자체평가의견서

1. 과제현황

		과제번호	320094-1		
사업구분	1세대스마트플랜트팜산업화기술개발사업				
연구분야	농업생산시설/환경		과제구분	단위	
사업명	1세대 스마트 플랜트팜/애니멀팜 산업화기술개발사업			주관	
총괄과제			총괄책임자	-	
과제명	표준기반 스마트 온실 자재 성능시험 및 검정기준 개발 연구		과제유형	응용	
연구개발기관	한국농수산대학 산학협력단		연구책임자	강동현	
연구기간 연구개발비 (천원)	연차	기간	정부	민간	계
	1차년도	450,000	450,000	-	450,000
	2차년도	-	-	-	-
	3차년도	-	-	-	-
	4차년도	-	-	-	-
	5차년도	-	-	-	-
	계	450,000	450,000	-	450,000
참여기업	해당사항 없음				
상대국	해당사항 없음	상대국연구개발기관	해당사항 없음		

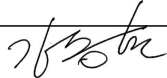
2. 평가일 : 2021. 8. 30.

3. 평가자(연구책임자) :

소속	직위	성명
한국농수산대학 산학협력단	조교수	강동현

4. 평가자(연구책임자) 확인 :

본인은 평가대상 과제에 대한 연구결과에 대하여 객관적으로 기술하였으며, 공정하게 평가하였음을 확약하며, 본 자료가 전문가 및 전문기관 평가 시에 기초자료로 활용되기를 바랍니다.

확 약	
-----	---

I. 연구개발실적

1. 연구개발결과의 우수성/창의성

■ 등급 : 우수

- 온실 자재(보온자재, 차광자재, 순환팬 등)의 검정기준 작성을 위한 시험 수행 우수
- 보온자재에 대한 검정기준 진행 우수

2. 연구개발결과의 파급효과

■ 등급 : 우수

- 온실 자재(보온자재, 차광자재, 순환팬 등)에 대한 검정기준 작성으로 농가에 우수 농자재 보급 가능

3. 연구개발결과에 대한 활용가능성

■ 등급 : 우수

- 2021년 중 작성될 자재 검정 기준의 농식품부 지원사업 활용 가능

4. 연구개발 수행노력의 성실도

■ 등급 : 우수

- 온실자재(보온자재, 차광자재, 순환팬 등)에 대한 기초시험 수행
- 검정기준 제정을 위한 전문가 위원회 등 다양한 노력

5. 공개발표된 연구개발성과(논문, 지적소유권, 발표회 개최 등)

■ 등급 : 우수

- 시험장치에 대한 산업재산권 출원
- 성능시험 내용에 대한 학술발표 등 우수
- 결과 취합을 통한 논문 투고 예정(종료 1년차)

II. 연구목표 달성도

세부연구목표 (연구계획서상의 목표)	비중 (%)	달성도 (%)	자체평가
○ 스마트온실 피복자재 열관류 성능 평가 장치 개발	20	100	- 내구 및 내후 복합 시험장치 개발을 통한 열관류성능 평가
○ 스마트온실 피복자재 성능평가 항목 및 시험방법 개발	20	100	- 내구연수에 따른 열관류율 측정방법 구명 및 활용
○ 스마트온실 자재(보온자재, 유동팬 등) 성능 분석 및 시험방법 개발	20	100	- 온실 자재에 대한 기초시험법 제안을 통한 시험방법 제시
○ 스마트온실 자재(보온자재)의 검정 기준 개발	20	100	- 보온자재의 검정기준 개발 및 보완
○ 스마트온실 피복자재 열관류율 기준 제시	20	100	- 피복자재에 대한 열관류 기준 제시
합계	100점	100	

III. 종합의견

1. 연구개발결과에 대한 종합의견

- 스마트 온실 자재에 대한 검정방법에 대한 다양한 연구수행
- 연구결과 활용 검정기준 작성 및 제도화 진행 중

2. 평가시 고려할 사항 또는 요구사항

- 다양한 자재를 활용한 다양한 데이터 취득을 통한 검정기준이 제안이 필요하지만, 1년이라는 짧은 연구기간 동안 명확한 시험방법에 대한 연구수행으로 다양한 데이터 취득이 어려웠던 점이 아쉽습니다.
- 기회가 주어진다면 추가 과제 진행을 통한 다양한 데이터 취득을 통한 검정기준의 명확화가 필요하다고 사료됩니다.

3. 연구결과의 활용방안 및 향후조치에 대한 의견

- 보온자재에 대한 검정기준을 농업기술실용화재단의 검정기준에 등재
- 추가 보완과제 제안을 통한 추가데이터 확보 및 검정기준 보완

IV. 보안성 검토

해당사항 없음

3. 연구목표 대비 성과

(단위 : 건수, 백만원, 명)

성과 목표	사업화지표											연구기반지표								
	지식 재산권				기술 실시 (이전)		사업화					기술인증	학술성과			교육 지도	인력 양성	정책 활용· 홍보		기타 (타연구 활용비)
	특허 출원	특허 등록	품종 등록	S M A R T	건 수	기술 료	제 품 화	매 출 액	수 출 액	고 용 창 출	투 자 유 치		논문		학 술 발 표			정 책 활 용	홍 보 전 시	
													S C I	비 S C I						
단위	건	건	건	평가 단위	건	백 만 원	건	백 만 원	백 만 원	명	백 만 원	건	건	건	명	건	건			
가중치	60													20			10	10		
최종 목표	1													60	3		1	2		
당해 년도	목표	1													2		1	1		
	실적	1													4		1	2		
달성률 (%)	100														200		100	200		

4. 핵심기술

구분	핵심기술명
①	보온자재 검정 기준
②	
③	

5. 연구결과별 기술적 수준

구분	핵심기술 수준					기술의 활용유형(복수표기 가능)				
	세계 최초	국내 최초	외국기술 복제	외국기술 소화·흡수	외국기술 개선·개량	특허 출원	산업체이전 (상품화)	현장으로 해결	정책 자료	기타
①의 기술									○	
②의 기술										
③의 기술										
•										
•										

* 각 해당란에 v 표시

6. 각 연구결과별 구체적 활용계획

핵심기술명	핵심기술별 연구결과활용계획 및 기대효과
①의 기술	- 농업기술실용화재단에서 보온자재 검정기준 적용
②의 기술	
③의 기술	

7. 연구종료 후 성과창출 계획

(단위 : 건수, 백만원, 명)

성과 목표	사업화지표											연구기반지표								
	지식 재산권				기술 실시 (이전)		사업화					기술인증	학술성과			교육 지도	인력 양성	정책 활용·홍보		기타 (타연구활용예)
	특허출원	특허등록	품종등록	S M A R T	건수	기술료	제품화	매출액	수출액	고용 창출	투자유치		논문		논문 평판 I-F			학술 발표	정책 활용	
												SCI	비 SCI	건		건	건			건
단위	건	건	건	평 건 100건	건	백 만원	건	백 만원	백 만원	명	백 만원	건	건	건	건	명	건	건		
가중치	60													20			10	10		
최종목표	1													60	3		1	2		
연구기간내 달성실적	1													4			1	2		
연구종료후 성과장출 계획														60						

8. 연구결과의 기술이전조건(산업체이전 및 상품화연구결과에 한함)

해당사항 없음

참고문헌

- Bakker, J.C. 1990. Effects of day and night humidity on yield and fruit quality of glasshouse tomatoes. *J. Hort. Sci.* 65(3):323–331.
- Choi. D.K, D.H. Kang, M.J. Park, S.W. Yun, J.K. Son., 2020 Study on changes of heat insulation property according to using time of multi-layer thermal screen
- Diop, S., J.W. Lee, W.H. Na, and H.W. Lee, (2012). Overall heat transfer coefficient measurement of covering materials with thermal screens for greenhouse using the hot box method. *Journal of the Korean Society of Agriculture Engineers* 54(5): 1–7.
- Diop, S., J.W. Lee, and H.W. Lee (2013) “Measurement apparatus of Overall Heat Transfer Coefficients for Greenhouse Covering Materials with Thermal Screens” *Magazine of the Korean Society of Agricultural Engineers*, 55(4), 50–58.
- Diop, S., J.W. Lee, and H.W. Lee (2014). Measurement and Comparison of Overall Heat Transfer Coefficients for Greenhouse Covering Materials with Thermal Screens. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* Vol.56 no.4 ,pp. 41 – 51.
- Feuilloley, P., and G. Issanchou. 1996. Greenhouse covering materials measurement and modeling of thermal properties using the hotbox method, and condensation effects. *J. agric. Eng. Res.* 65:129–142.
- Jin, B.O., H.K. Kim, Y.S. Ryou, T.S. Lee, Y.H. Kim, S.S. Oh, J.P. Moon and G.C. Kang, 2018. Comparative Analysis of Thermal Performance According to Combines of Multilayer Insulating Curtain. *Journal of the Korean Society of Mechanical Technology.* 20(6):763–769
- Jin B.O., H.K. Kim, Y.S. Ryou, T.S. Lee, Y.H. Kim, S.S. Oh, and G.C. Kang, 2019. Analysis of heat transfer characteristics on multi-layered thermal screens coated with silica aerogel. *Protected Horticulture and Plant Factory.* 28:273–278
- Kang N.J., Cho M.W., Rhee H.C., Choi Y.H., Um Y.C. 2007. Differential Responses of Antioxidant Enzymes on Chilling and Drought Stress in Tomato Seedlings(*Lycopersicon esculentum* L.). *J Bio-Environ Control.* 16:121–129.
- Kim M.K. 1997. Design standards for greenhouse environment(II). Korea Rural Community and Agriculture Corporation. 149–163 (in Korea)
- Kothes, B.J. and J.W. Bartok. 1985. *The greenhouse Environment.* John Wiley & Sons. INC.
- KSIC. 2021. “KS K 0560” Measuring method for warmth keeping property of cloth. https://standard.go.kr/KSCI/standardIntro/getStandardSearchView.do?menuId=919&topMenuId=502&upperMenuId=503&ksNo=KSKISO1968&tmpRksNo=KS_K_NEW_2016_1253&reformNo=00
- Lee T.S., Kang G.C., Paek Y., Moon J.P., Oh S.S., and Kwon J.K., 2016, Analysis of Air Temperature and Humidity Distributions and Energy Consumptions according to Use of Air Circulation Fans in a Single-span Greenhouse. *Protected Hort. Plant Fac.* 25(4):277–282.
- Lee T.S., Kang G.C., Paek Y., Moon J.P., Oh S.S., and Kwon J.K., 2017, Analysis of Temperature and Humidity Distributions according to Arrangements of Air Circulation Fans in

- Single-span Tomato Greenhouse. *Protected Hort. Plant Fac.* 26(4):276–282.
- Nam S.W. and Y.S. Kim. 2009. Analysis on the uniformity of temperature and humidity according to environment control in tomato greenhouses. *J. Bio-Env. Con.* 18(3):215–224.
- Papaioannou, C., N. Katsoulas, P. Maletsika, A. Siomos, and C. Kittas. 2012. Effects of a UV-absorbing greenhouse covering film on tomato yield and quality. *Span. J. Agric. Res.* 10:959–966.
- Woo YH, Nam YI, Cho IH, Kwon YS (2000) Moisture Measuring and Control in Soil and Plant. *Kor J Hort Sci Technol.* 18:414–419
- Yu, I.H., M.W Cho, S.Y. Lee, H. Chun, and I.B. Lee. 2007. Effects of circulation fans on uniformity of meteorological factors in warm air heated greenhouse. *Protected Hort. Plant Fac.* 16(4):291–296.
- Yun, S.W, S.Y. Lee, , J.K. Son, M.J. Park, H.T. Kim, and D.K. Choi. (2019) “Comparison of Thermal Insulation of Multi-Layer Thermal Screens for Greenhouse: Results of Hot-Box Test,” *Protected horticulture and Plant Factory.* The Korean Society for Bio-Environment Control, 28(3), pp. 255–264.

주 의

1. 이 보고서는 농림축산식품부에서 시행한 1세대 스마트 플랜트팜 산업화기술개발사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 농림축산식품부에서 시행한 1세대 스마트 플랜트팜 산업화 기술개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.