

RS-2021-
821067-03

광발열 입자를 함유한 Master batch를 적용하여 표면온도 5°C 상승효과를
가지는 난방 에너지 저감형 멀칭 매트 및 농자재 응용제품 개발

2024

농림식품기술기획평가원
농림축산식품부

보안 과제(), 일반 과제(O) / 공개(O), 비공개() 발간등록번호(O)
기술사업화지원사업 2023년도 최종보고서

발간등록번호

11-1543000-004714-01

광발열 입자를 함유한 Master
batch를 적용하여 표면온도 5°C
상승효과를 가지는 난방 에너지
저감형 멀칭 매트 및 농자재
응용제품 개발

2024.07.09.

주관연구기관 / (주)뉴프라임
공동연구기관 / 한국섬유개발연구원

농림축산식품부
농림식품기술기획평가원

제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

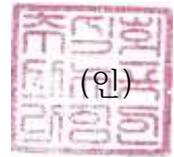
본 보고서를 “광발열 입자를 함유한 Master batch를 적용하여 표면온도 5°C 상승효과를 가지는 난방 에너지 저감형 멀칭 매트 및 농자재 응용제품 개발”(개발기간 : 2021.04.01 ~ 2023.12.31.) 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2024. 07. 09.

주관연구기관명 : (주)뉴프라임

(대표자) 성 점 화

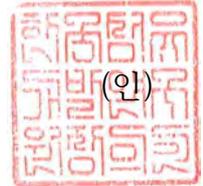
(인)



공동연구기관명 : 한국섬유개발연구원

(대표자) 호 요 승

(인)



주관연구책임자 : 현 치 문

(인)

공동연구책임자 : 김 진 오

(인)

국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제18조에 따라 보고서 열람에 동의합니다.

< 요약 문 >

사업명		기술사업화지원사업			총괄연구개발 식별번호		-
내역사업명		민간중심 R&D 사업화 지원			연구개발과제번호		821067-03
기술분류	국가과학기술 표준분류	EC0799	50 %	EB0308	25 %	EC0705	25 %
	농림식품 과학기술분류	RC0102	50 %	CA0105	25 %	RA0499	25 %
연구개발과제명		광발열 입자를 함유한 Master batch를 적용하여 표면온도 5℃ 상승효과를 가지는 난방 에너지 저감형 멀칭 매트 및 농자재 응용제품 개발					
전체 연구개발기간		2021. 04. 01 - 2023. 12. 31(2년 9개월)					
총 연구개발비		총 945,000 천원 (정부지원연구개발비 : 803,000천원, 기관부담연구개발비 : 142,000천원)					
연구개발단계		기초[] 응용[] 개발[<input checked="" type="checkbox"/>] 기타(위 3가지에 해당되지 않는 경우)[]		기술성숙도 (해당 시 작성)		착수시점 기준() 종료시점 목표()	
연구개발과제 유형		난방 에너지 저감형 멀칭 매트 및 농자재 응용제품 개발					
연구개발과제 특성		광발열 입자를 함유한 Master batch를 적용하여 표면온도 5℃ 상승효과 발현					
연구개발 목표 및 내용	최종 목표	광발열/기능성 입자를 함유한 Master batch 제조 기술과 광발열/기능성 Master batch를 적용한 Flat Yarn(편평사) 제사 기술 및 편평사 원단 제직 기술을 활용하여 태양광 등 빛에 의해 스스로 발열하고 항균/방충 기능을 가지며 원단의 요철로 인해 형성된 공기층이 보온 효과를 주는 멀칭 매트 및 농자재 응용제품을 개발하고 사업화					
	전체 내용	<ul style="list-style-type: none"> ○ 균일 분산 기술을 활용한 광발열/기능성 Master batch 제조 <ul style="list-style-type: none"> - 광발열 소재, 기능성(항균, 방충 등) 소재의 선정 - Master Batch 내 입자의 균일 분산을 위한 분산 조건 연구 - 입자 함량별 Master Batch 제조 및 입자 함량에 따른 흐름성 분석 ○ 광발열/기능성 Master batch를 활용한 편평사 제사 공정 개발 <ul style="list-style-type: none"> - Master batch 입자 함량에 따른 폴리머의 흐름성 분석 및 최적 압출 조건 연구 - 고화 및 열연신, Slitting 조건 최적화를 통한 편평사 제조 ○ 광발열/기능성 편평사를 활용한 편평사 원단 제직 공정 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 원단 내부의 공기층 형성을 위한 직물 제직 설계 조건 연구 - 위사의 비틀림 없는 위입을 위한 위입 조건 최적화 ○ 광발열/기능성 Master batch를 활용한 편평사 원단 코팅 공정/부직포 합포 공정 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 개발한 Master batch를 활용하여 광발열/기능성 코팅 조건 연구 - 개발한 편평사 원단과 부직포, 필름 등 타 소재와 합포를 통한 다양한 용도 적용 ○ 광발열/기능성 편평사 원단의 현장 실증 평가 및 성능 분석 <ul style="list-style-type: none"> - 개발 편평사 원단과 기존 멀칭 제품의 현장 실증 평가 - 개발 제품의 성능 분석을 통한 광발열, 기능성 확보 여부 및 물성 분석 					

연구 개발 목표 및 내용	1단계 (1차 년도)	목표	광발열 편평사 원단 제사/제직 및 작물별 최적 조건 연구
		내용	<ul style="list-style-type: none"> ○ 주관연구개발기관((주)뉴프라임성주공장) <ul style="list-style-type: none"> - 광발열 Master batch를 활용한 편평사 제사 공정 개발 - 광발열 편평사를 활용한 편평사 원단 제직 공정 개발 - 작물별 최적 발열 조건에 따른 광발열 편평사 원단 제직 조건 연구 ○ 공동연구개발기관(한국섬유개발연구원) <ul style="list-style-type: none"> - 균일 분산 기술을 활용한 광발열 Master batch 제조 - 광발열 편평사 원단의 물성 및 발열 성능 분석 - 작물별 최적 발열 조건 연구
	1단계 (2차 년도)	목표	광발열 편평사 원단 공정 최적화/후가공 개발 및 기능성 편평사 원단 제사/제직 공정 개발
		내용	<ul style="list-style-type: none"> ○ 주관연구개발기관((주)뉴프라임) <ul style="list-style-type: none"> - 광발열 Master batch를 활용한 편평사 원단 코팅 공정 및 부직포 합포 공정 개발 - 광발열 Master batch를 활용한 편평사 제사 공정 최적화 - 광발열 편평사를 활용한 편평사 원단 제직 공정 최적화 - 향균, 방충 등 기능성 Master batch를 활용한 편평사 제사 공정 개발 - 향균, 방충 등 기능성 편평사를 활용한 편평사 원단 제직 공정 개발 - 광발열 편평사 원단의 현장 실증평가 ○ 공동연구개발기관(한국섬유개발연구원) <ul style="list-style-type: none"> - 코팅 공정이 가능한 광발열 Master batch 제조 조건 연구 - 균일 분산 기술을 활용한 향균, 방충 등 기능성 Master batch 제조 - 광발열 편평사 코팅 원단 및 부직포 합포 원단의 물성 및 발열 성능 분석 - 기능성 편평사 원단의 물성 및 기능성 분석
	2단계	목표	기능성 편평사 원단 공정 최적화/후가공 개발 및 현장 실증 평가 분석
		내용	<ul style="list-style-type: none"> ○ 주관연구개발기관((주)뉴프라임) <ul style="list-style-type: none"> - 향균, 방충 등 기능성 Master batch를 활용한 편평사 원단 코팅 공정 및 부직포 합포 공정 개발 - 향균, 방충 등 기능성 Master batch를 활용한 편평사 제사 공정 최적화 - 향균, 방충 등 기능성 편평사를 활용한 편평사 원단 제직 공정 최적화 - 적용 작물별, 시설 환경별 타공, 합지 여부, 폭 두께 등 제품의 형태 연구 - 기능성 편평사 원단의 현장 실증평가 ○ 공동연구개발기관(한국섬유개발연구원) <ul style="list-style-type: none"> - 코팅 공정이 가능한 기능성 Master batch 제조 조건 연구 - Graphite 분말 및 기능성 소재 Master batch 균일 분산 공정 최적화 - 기능성 편평사 코팅 원단 및 부직포 합포 원단의 물성 및 발열 성능 분석

연구개발성과

- 정량적 성과
 - 특허 출원 및 등록 2건
 - : 광발열 입자가 함유된 발열 기능성 멀칭 매트 제조방법 (10-2574873)
 - : 광발열 입자가 함유된 발열 기능성 멀칭 매트 (10-2574880)
 - 제품화 2건
 - : 광발열원단, 향균성원단
 - 매출액 315,033천원(국내)
 - : 광발열 제초 매트용으로 매출 발생
 - 고용 창출 6명
 - 학술 발표 2건
 - : 제직 공정 조건에 따른 광발열 편평사 원단의 광발열 특성
 - : 온실 내부에서 광발열 편평사 원단의 광발열 특성
 - 홍보 전시 2건
 - : 해외 바이어 방문, OX Engineered Products
 - : 국내 바이어 방문, 영화산업
 - 결과물의 성능지표

평가 항목 (주요성능)	단위	전체 항목에서 차지하는 비중 (%)	세계 최고수준	연구개발 전 국내 수준	연구 개발 목표치	연구 개발 결과
			성능수준	성능수준		
발열체 함유량	wt%	15	-	-	1.0 ↑	2.2
발열 성능	+℃	15	-	-	5 ↑	12.9
투습도	g/m ² ·h	15	150	150	150 ↑	158
공기투과도	cm ³ /cm ² /sec	15	5	5	5 ↑	6.0
인장강도	N	15	500	500	500 ↑	800/770
파열강도	N	15	300	300	300 ↑	368/373
인열강도	N	10	100	100	100 ↑	558

- 정성적 성과
 - HDPE / Graphite Master Batch Chip을 제조 조건
 - HDPE / 향균 기능성 Master Batch Chip을 제조 조건
 - 광발열 입자가 함유된 Master batch와 원재료의 혼합 공정 조건, 온도 조건 및 속도/압력 조건, 연신 및 슬리팅 공정 조건
 - 기능성 입자가 함유된 Master batch와 원재료의 혼합 공정 조건, 온도 조건 및 속도/압력 조건, 연신 및 슬리팅 공정 조건
 - 광발열/기능성 편평사의 경사 장력 조건을 안정화 및 제직 조건
 - 편평사/기능성 원단의 조직에 따른 특성
 - 편평사 원단의 광발열/기능성 성능 분석법
 - 광발열 편평사 원단의 현장 실증 평가를 통한 온실 내부에서의 발열 효과 검증

<p>연구개발성과 활용계획 및 기대 효과</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 온실 내부 멀칭 비닐, 부직포 등을 대신하여 멀칭하고 그 효과를 검증 <ul style="list-style-type: none"> - 기존 제품 대비 통기 및 배수성, 내구성, 보온 효과 우수 - 태양광에 의한 광발열 효과로 난방에너지 저감 효과 - 뛰어난 내구성으로 일회성이 아닌 다회성 사용 가능 ○ 보온 덮개, 커튼 등 다양한 용도 전개 <ul style="list-style-type: none"> - 광발열/기능성 Master batch를 활용한 편평사 원단의 코팅 공정 및 부직포 합포 공정 개발을 통해 다양한 용도 전개 - 광발열 뿐만 아니라, 항균, 방충 등 기능성을 추가하여 고기능성 농자재 개발 ○ 파급효과 <ul style="list-style-type: none"> - 세계 최초 태양광 광발열 멀칭 원단의 제조 기술 개발을 통하여 국내 농업용 멀칭 시장을 확보하고 향후 수출을 통한 매출 성과 기대 - 보온 효과, 잡초 방지 등 기존 멀칭 제품의 성능을 모두 가지면서, 광발열 효과 및 기능성 향상을 통해 기존 멀칭 제품에는 없었던 새로운 기능을 추가하여 멀칭 원단 및 농자재 시장 내 파급 효과 기대 				
<p>국문핵심어 (5개 이내)</p>	<p>광발열</p>	<p>에너지 절감</p>	<p>편평사</p>	<p>멀칭</p>	<p>항균</p>
<p>영문핵심어 (5개 이내)</p>	<p>Heat generating</p>	<p>Energy -saving</p>	<p>Flat yarn</p>	<p>Mulching</p>	<p>Antibacterial</p>

〈 목 차 〉

1. 연구개발과제의 개요	8
2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행내용	23
3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도	160
4. 목표 미달 시 원인분석(해당 시 작성)	168
5. 연구개발성과 및 관련 분야에 대한 기여 정도	169
6. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획	170

최종보고서							보안등급					
							일반[✓], 보안[]					
중앙행정기관명		농림축산식품부			사업명		사업명		기술사업화지원사업			
전문기관명		농림식품기술기획평가원					내역사업명		[민간중심 R&D 사업화 지원] 지원분야 융복합			
공고번호		제 농축2021-41호			총괄연구개발 식별번호		-					
					연구개발과제번호		821067-03					
기술 분류	국가과학기술표준분류	EC0799	50 %	EB0308	25 %	EC0705	25 %					
	농림식품과학기술분류	RC0102	50 %	CA0105	25 %	RA0499	25 %					
연구개발과제명		국문	광발열 입자를 함유한 Master batch를 적용하여 표면온도 5℃ 상승효과를 가지는 난방 에너지 저감형 멀칭 매트 및 농자재 응용제품 개발									
		영문	Development of heating energy-saving mulching mats and agricultural materials application products that have the effect of raising the surface temperature by more than 5℃ by applying a master batch containing light-heating particles									
주관연구개발기관		기관명	(주)뉴프라임			사업자등록번호		510-81-18025				
		주소	(40031) 경북 성주군 성주읍 성주산업단지로4길 28-29			법인등록번호		175111-0011797				
연구책임자		성명	현 치 문			직위		상무				
		연락처	직장전화			휴대전화						
			전자우편		국가연구자번호							
연구개발기간		전체		2021. 04. 01 - 2023. 12. 31(2년 9개월)								
		단계	1단계	2021. 04. 01 - 2022. 12. 31(1년 9개월)								
			2단계	2023. 01. 01 - 2023. 12. 31(1년 0개월)								
연구개발비 (단위: 천원)		정부지원 연구개발비	기관부담 연구개발비		그 외 기관 등의 지원금				합계		연구개발비 외 지원금	
			현금	현금	현물	현금	현물	현금	현물	현금		현물
총계		803,000	4,400	137,600	0	0	0	0	807,400	137,600	945,000	0
1단계	1년차	219,000	0	37,000	0	0	0	0	219,000	37,000	256,000	0
	2년차	292,000	0	61,000	0	0	0	0	292,000	61,000	353,000	0
2단계	1년차	292,000	4,400	39,600	0	0	0	0	296,400	39,600	336,000	0
공동연구개발기관 등		기관명	책임자	직위	휴대전화		전자우편				비고	
공동연구개발기관		한국섬유개발연구원	김진오	선임연구원							역할	기관유형
연구개발과제 실무담당자		성명	최 선 유			직위				차장		
		연락처	직장전화			휴대전화						
			전자우편			국가연구자번호						

이 단계보고서에 기재된 내용이 사실임을 확인하며, 만약 사실이 아닌 경우 관련 법령 및 규정에 따라 연구개발과제 중단, 협약 해약, 제재처분 등의 불이익도 감수하겠습니다.

2024 년 2 월 29 일

연구책임자: 현 치 문



주관연구개발기관의 장: 성 점 화



공동연구개발기관의 장: 호 요 승



농림축산식품부장관·농림식품기술기획평가원장 귀하

1. 연구개발과제의 개요

1) 연구개발의 개요

(1) 광발열 입자를 함유한 난방 에너지 저감형 멀칭 매트 및 농자재 응용제품 개발

- 본 연구개발 과제는 **광발열/기능성 입자를 함유한 Master batch 제조 기술**과 광발열/기능성 Master batch를 적용한 **Flat Yarn(편평사) 제사 기술 및 편평사 원단 제직 기술**을 활용하여 태양광 등 빛에 의해 스스로 발열하고 항균/방충 기능을 가지며 원단의 요철로 인해 형성된 공기층이 보온 효과를 주는 **멀칭 매트 및 농자재 응용제품을 개발하고 사업화**하는 것이 목표임
- 또한 추가적인 기능을 부여하는 후공정(코팅, 합포 등) 기술을 개발하여 기능성 부여를 통해 다양한 응용제품을 개발하고 용도 전개하는 것이 목표임
- 본 연구개발을 통하여 개발하고 사업화를 진행할 멀칭 매트의 대표적인 특징
 - ① 태양광에 의한 발열로 겨울철 비닐하우스 내부 난방 에너지 절감 효과
 - ② 원단의 요철 구조에 의한 공기층 형성으로 토양의 급격한 온도 변화 조절
 - ③ 원단 조직 구조의 기공을 통해 공기의 순환, 원활한 배수
 - ④ 후공정(코팅 합포 등)을 통해 기능을 부여하고 다양한 용도 전개 가능



Fig. 광발열 보온 멀칭 원단 제품의 특징

(2) 국내 에너지소비량과 농림업 에너지소비량의 변화

- 2016년 우리나라 수요부문 전체 에너지소비량은 215,419,000toe로 2013년 대비 연평균 2.4% 증가율을 보였으며 석유의 에너지소비 비중은 51.6%로 여전히 주종 에너지의 위치를 점하고 있음
- 수요부문별로는 산업부문이 60.4%로 점유율이 가장 높으며, 2013년 대비 산업 및 수송 부문의 소비 비중은 확대된 반면, 가정 및 상업·공공부문의 비중은 축소

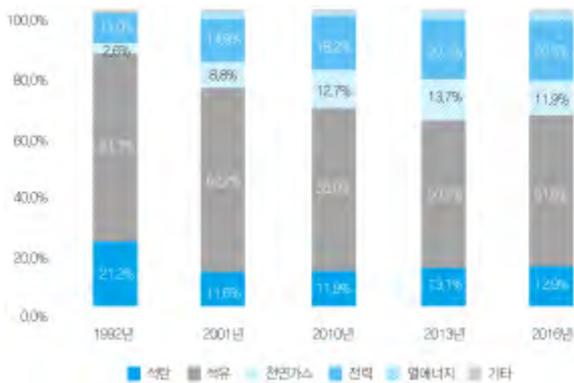


Fig. 에너지원별 소비 비중 추이



Fig. 부문별 에너지 소비 비중 추이

- 2016년 산업부문 에너지소비는 2013년 대비 연평균 3.0% 증가한 130,010,000toe로, 수요부문 전체 에너지소비의 60.4%를 차지하였으며 그 중에서 제조업의 에너지소비량이 산업부문 소비의 대부분(95.8%)을 차지하였고, 제조업을 제외한 나머지 산업의 에너지소비는 농어업 2.6%, 건설업은 1.5%, 광업 0.1%로 집계됨

Table. 산업부문 업종별 에너지 소비 추이

	에너지 소비(천toe)					연평균 증가율(%)			
	1992년	2001년	2010년	2013년	2016년	'01/'92년	'10/'01년	'16/'10년	'16/'13년
농림어업 (%)	2,268 (4.6)	4,487 (5.6)	3,434 (3.3)	3,485 (2.9)	3,320 (2.6)	7.9	-2.9	-0.6	-1.6
광업 (%)	190 (0.4)	141 (0.2)	145 (0.1)	130 (0.1)	154 (0.1)	-3.2	0.3	1.0	5.8
제조업 (%)	45,947 (93.8)	74,875 (93.0)	97,989 (95.1)	113,820 (95.7)	124,600 (95.8)	5.6	3.0	4.1	3.1
건설업 (%)	591 (1.2)	1,018 (1.3)	1,449 (1.4)	1,556 (1.3)	1,935 (1.5)	6.2	4.0	4.9	7.5
합계 (%)	48,997 (100.0)	80,522 (100.0)	103,017 (100.0)	118,991 (100.0)	130,010 (100.0)	5.7	2.8	4.0	3.0

- 2016년 농림어업 에너지소비는 3,320,100toe로 수요부문 전체 에너지소비의 1.5%를 차지하였으며, 2013년 이후 연평균 1.6% 감소하였는데 이는 농림가 수 감소, 농업 부문 경제활동 둔화가 원인임
- 2016년 농림어업 에너지소비량은 농림업이 2,333,100toe(70.3%), 어업 987,200toe (29.7%)를 차지하였으며 농림업은 2013년 대비 에너지소비량이 연평균 2.2% 감소하였지만 어업은 2013년과 큰 차이를 나타내지 않음
- 농림어업 석유 소비량은 1,974,000toe(59.5%), 전력 소비량은 1,262,000toe(38.0%)로써 2016년 농림어업 소비량 대부분을 차지하였는데, 농사용 설비의 연료 대체(석유→전기)로 인해 석유소비량은 지속적으로 감소하고 전력 소비량은 지속적으로 증가한 것으로 판단됨(석유소비는 2013년 대비 연평균 4.0% 감소, 전력은 연평균 7.7% 증가)
- 농림업 용도별 에너지소비는 농기계용이 46.6%, 건물용이 13.3%, 장비 및 설비용이 40.1%를 차지하였으며, 농기계의 보유 대수의 감소로 인해 농기계용 에너지소비는 2013년 대비 연평균 6.0% 감소하였으며, 농기계와 장비·설비에 소비되는 경유 소비량이 급감(2013년 대비 약 41.5%)한 반면 장비 및 설비용 등유 소비량이 급증

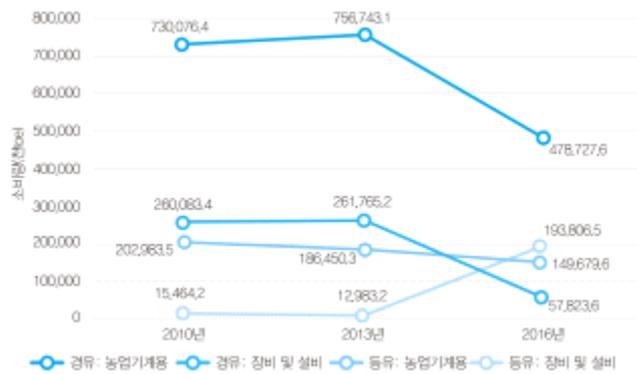
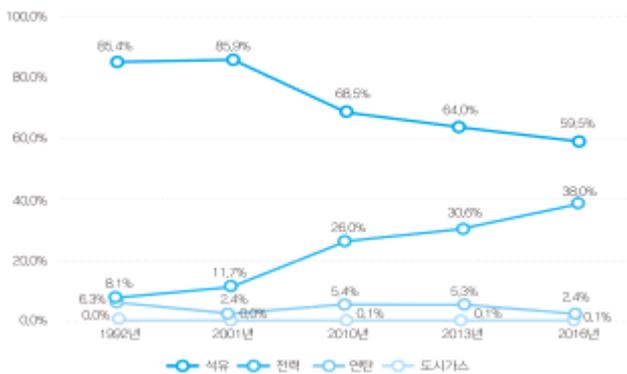


Fig. 에너지원별 소비 비중 추이(농림어업) Fig. 경유 및 등유의 용도별 소비량(농림업)
 (※ 출처: 에너지경제연구원. 2017년 에너지총조사보고서. 2017)

- 에너지 총조사 결과에 따르면, 전체 에너지 사용량은 계속해서 증가하고 있지만 농림어업의 에너지사용량은 지속적으로 감소하고 있으며, 그 중에서도 농림업의 에너지 사용량이 감소하고 있는데, 그 이유는 농림가 수 감소, 농업 부문 경제활동 둔화임
- 이처럼 농림업 부분의 에너지 사용량은 감소하지만 아이러니하게도 농기계에 사용되는 경유의 사용량만 큰 폭으로 감소하였고 주로 겨울철 난방용으로 사용되는 등유의 사용량은 오히려 큰 폭으로 증가하였으며, 전력이 석유를 대체해서 소비 비중을 높이고 있는 상황에서 등유의 사용량이 증가한 부분은 겨울철 시설 농가의 난방에 대한 에너지 소비가 많은 부분을 차지하고 있으며, 지속적인 증가 추세라는 것을 의미함

(3) 광발열 입자를 함유한 복합소재의 발열 원리

- 태양광을 통한 발열은 태양광의 빛에너지를 흡수한 입자들의 진동으로 인해 운동에너지가 발생하고 이 운동에너지가 열에너지가 변환되어 발열하게 되는 원리임
- 이는 태양광뿐만 아니라 인공 광원을 통해서도 가능하며, 단순히 빛에너지에 의한 진동으로 발생하는 운동에너지의 변환이므로 빛의 공급만 있다면 추가적인 에너지 공급 없이 영구적으로 발열하는 친환경 소재임

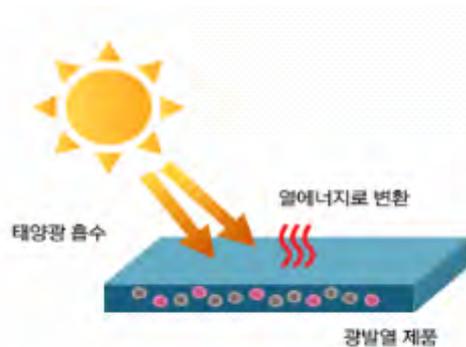


Fig. 광발열 소재의 발열 메커니즘 모식도

- 광발열 입자를 포함하지 않는 고분자 소재와 광발열 입자를 포함하는 고분자 소재를 시트 형태로 성형하여 동일한 조건에서 광조사 시, 아래의 그림과 같이 온도 변화의 차이가 발생하는 것을 확인할 수 있음

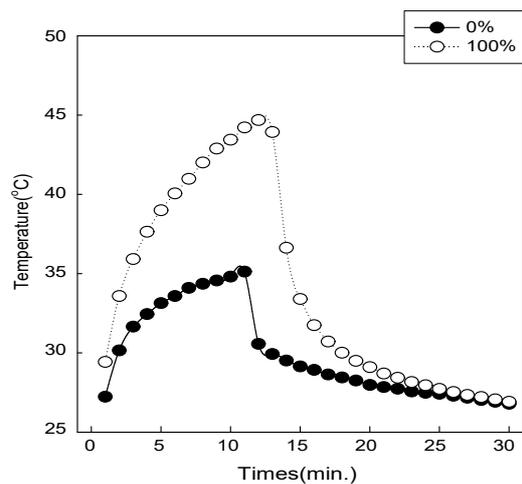


Fig. 광발열 입자를 함유한 Master batch의 표면 온도 변화

- 편평사의 내구성에 문제가 발생하지 않는 최적의 입자 함량과 제사 조건을 확립하고 이를 통해 광에 의한 발열 정도를 조절한다면, 난방 에너지 절약에 큰 기여를 할 것으로 보임

(4) 항균 기능성 입자의 적용 방법과 항균 원리

- 항균제는 무기 항균제와 유기 항균제로 나누어지지만 유기 항균제는 인체에 유해하고 낮은 지속성 및 열안전성 등 여러가지 단점을 가지고 있어 최근에는 대부분 무기 항균제를 사용하고 있음
- 무기항균제는 담체에 금속이온을 담지시켜 사용하는 방법과 금속 자체를 사용하는 방법으로 나누어지지만 범용성의 문제로 대부분 담체를 사용하여 적용하고 있으며, 담체는 인산지르코늄, 인산칼슘, 제올라이트 등이 사용되고 있고, 금속 이온은 은(Ag), 구리(Cu) 등이 사용되고 있음

Table. 은(Ag)계 항균제 종류

	인산지르코늄계	인산칼슘계	제올라이트계	나노실버
담체	인산지르코늄	인산칼슘	제올라이트	없음
이온 상태	Ag 이온	Ag 이온 + Ag	Ag 이온	Ag
항균력	상	중상	상	상
입자 Size	미립자 조절 용이	미립자 조절 용이	1 ~ 3 μ m	나노
황변 현상	낮음	낮음	보통	없음(이론상)
단가	높음	보통	낮음	매우 높음
인체 안정성	높음	높음	높음	낮음
적용 용도	섬유, 필름	섬유, 필름	범용	제한적
수지 분산성	상	상	중(분산제 필요)	상

- 무기항균제의 항균 원리는 담체와 결합된 은(Ag), 구리(Cu) 등 이온형태로 결합되어 있는 금속이온 물질들이 세균이나 곰팡이 등의 세포막에 있는 단백질에 흡착됨과 동시에 세포의 구조파괴를 일으켜 에너지대사를 불능으로 만들어 균을 사멸
- 또 담체를 제올라이트계로 사용할 경우, 금속이온으로 이온교환된 제올라이트의 골격구조에 있는 산소들이 부분적으로 활성산소(Active oxygen)로 전환되어 세균이나 곰팡이의 세포막에 있는 단백질에 흡착되어 강력한 살균효과를 보임



Fig. 구리(Cu)의 항균 원리

(5) 원단의 요철 구조를 통한 내부 공기층 형성

- 기존 편평사 원단의 경우, 위사와 경사가 각자의 폭과 일정한 간격으로 교차하면서 제직되기 때문에 위사 1겹, 경사 1겹으로 이루어진 원단이 되지만, 개발 원단의 경우, 폭보다 좁은 공간에서 경사와 위사가 교차하여 제직되면서 편평사의 길이방향으로 불규칙적인 주름이 생기게 되고 이로 인해 원단의 두께가 두꺼워지면서 마치 여러 겹의 Flat yarn을 적층한 형태가 되고, 각 층 사이에 공기층을 형성

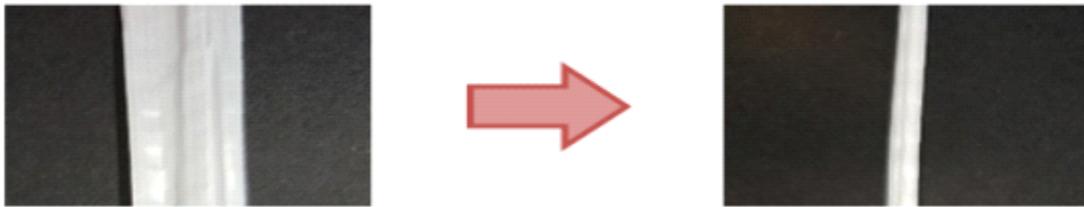


Fig. Flat yarn의 길이방향 주름으로 인해 폭이 감소하여 공기층 형성

- 공기는 개발 원단에 적용되는 PE(Polyethylene), PP(Polypropylene) 고분자와 비교하여 20배 이상 낮은 열전도도를 가지고 있음. 이는 기존 편평사 원단에 비해 여러 겹으로 구성되어 두께로 인한 보온성뿐만 아니라, 공기층으로 인해 열전도도를 매우 낮출 수 있어 토양의 급격한 온도 변화를 막아주고 한파 등으로 인한 급격한 온도 저하 환경에서도 작물의 뿌리 생육에 문제가 생기지 않도록 보호할 수 있음

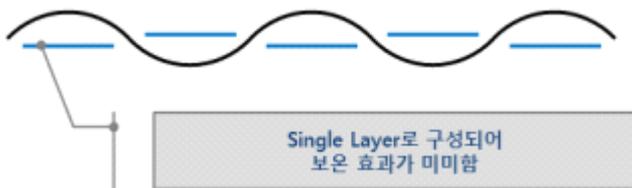


Fig. 기존 Flat yarn 원단의 단면 모식도



Fig. 개발 원단의 단면 모식도

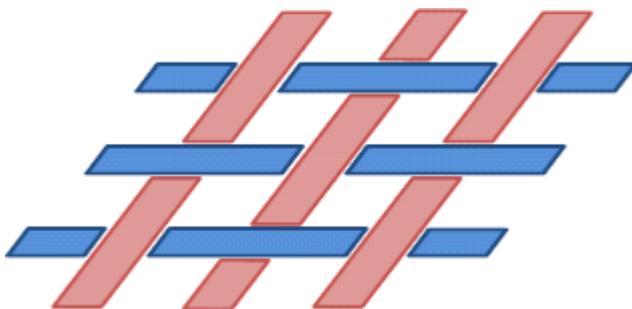


Fig. 기존 Flat yarn 원단의 표면 모식도

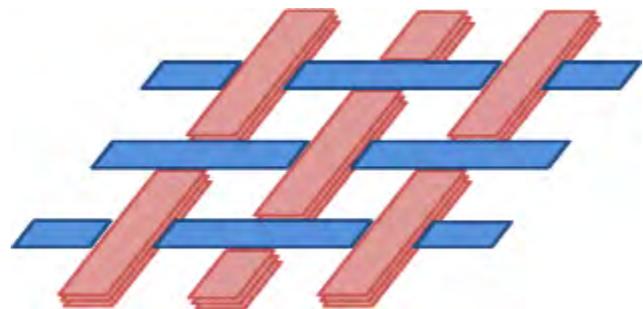


Fig. 개발 원단의 표면 모식도

- 또한 두께는 두꺼워지지만 직물의 구조를 가지는 원단이므로 필름, 부직포와 다르게 위사와 경사가 교차하는 지점에 공극이 발생하게 되고, 이 공극을 통하여 공기의 순환 및 원활한 배수가 가능함

(6) 사전 연구개발을 통한 현장 실증 분석 결과

○ 국가연구개발사업 세부 내용

- 사업명 : 농축산자재산업화기술개발사업
- 과제명 : 태양광 발열 편평사를 적용하여 표면온도 5℃ 상승효과를 가지는 난방 에너지 저감형 멀칭 매트 개발
- 주관기관 : 한국섬유개발연구원(본 사업의 공동연구개발기관)

○ 멀칭 원단의 멀칭 방법

- 40m 고랑에 개발 원단 30m(각 10m), 기존 비닐 10m 멀칭하여 비교 분석 진행



기존 멀칭 비닐



광발열 편평사 원단



항균 처리 편평사 원단



미처리 편평사 원단

Fig. 개발 원단 3종과 기존 비닐을 멀칭하여 모종을 심은 모습

○ 온습도 기록계 설치 방법

- 광발열 편평사 원단과 기존 멀칭 비닐의 상단과 하단에 온습도 기록계 1개씩 설치하고, 온실 내부에 1개를 설치
- 10분마다 1번씩 온습도를 기록하며, 1달에 1번씩 Data Back-up
- 탐침 온도계는 온실 농가 방문 시, 1시간을 체류하며 30분 간격으로 3번 측정

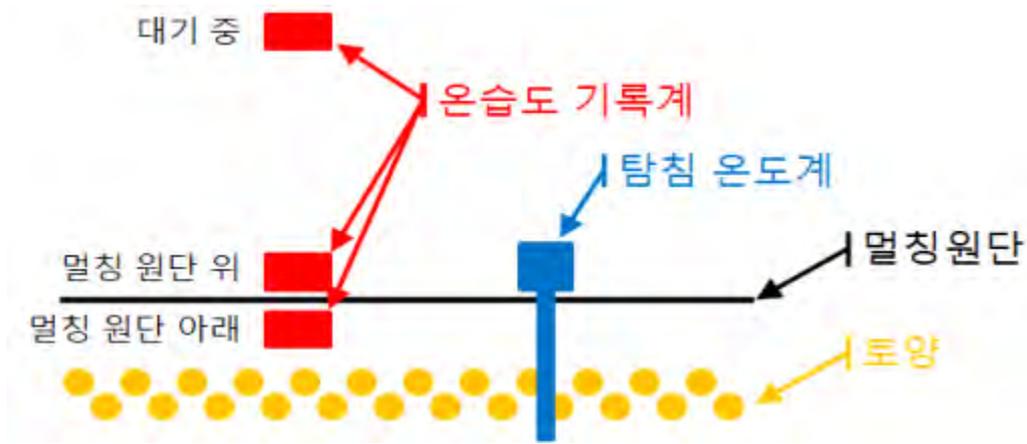


Fig. 온도계 설치 위치

○ 관찰 및 기록 방법

- 매주 1명씩 번갈아 농장 방문, 일지 기록 및 사진 촬영
 - : 9/28 설치, 10월~12월 관찰 및 기록
 - : 월요일 또는 화요일 방문
 - : 오전 10시 → 오후 1시 30분 → 오후 5시 순서대로 번갈아 방문
 - ex) 10/5(월, 오전10시) → 10/12(월, 오후 1시 30분) → 10/20(화, 오후 5시)

- 일지 기록

- : 표시해 놓은 작물을 관찰하여 일지 기록(원단별로 3개 표시, 총 12개)
- : 잎의 폭, 잎의 길이(표시된 줄기에서 가장 큰 잎 1개 측정)
- : 줄기의 굵기(표시된 줄기의 가장 밑 부분 측정)
- : 잎의 개수(표시된 작물의 전체 잎의 개수)
- : 꽃 / 과실 수(표시된 작물의 전체 꽃 / 과실의 개수)

- 일정한 위치에서 사진 촬영

- : 원단별 표시된 작물 전체 촬영 (총 4장)

○ 작물의 성장 정도에 대한 현장 실증 분석 결과

- 4개 원단을 비교 분석한 결과, 잎의 폭이나 길이, 잎의 수에서 나머지 3개 원단과 비교하여 광발열 편평사 원단을 멀칭하여 생장한 작물의 성장 정도가 가장 높게 나타남
- 광발열 편평사 원단의 잎의 폭 증가율은 10/6 기준으로 12/29 까지 27%로 가장 높았고, 잎의 길이 증가율은 23%로 항공 가공 편평사 원단 다음으로 두 번째, 잎의 개수 증가율은 237%로 유일하고 200%대를 기록함

Table. 4개 멀칭 원단별 작물의 생장률 비교

분류		잎의 폭 (mm)	잎의 길이 (mm)	잎의 개수
기존 (비닐 원단)	10/6	66.66	74.33	17
	12/29	75.33	82.00	48.66
	증가율(%)	13	10	186
편평사 원단 (광발열)	10/6	56.33	71.00	15
	12/29	72.00	88.00	50.66
	증가율(%)	27	23	237
편평사 원단 (항균)	10/6	54.66	61.66	14
	12/29	68.33	80.33	40.33
	증가율(%)	25	30	188
편평사 원단 (미처리)	10/6	64.33	71.66	20
	12/29	72.33	81.33	47.33
	증가율(%)	12	13	136

- 또한 꽃/과실의 수에서는 12/1 기준으로 평균 25개로 가장 높은 수치를 기록함 (12/1 기준, 기존 비닐 원단 22개, 항균 편평사 원단 20개, 미처리 편평사 원단 12.6개)
- 특히 각 원단별 가장 높은 꽃/과실 수를 기록한 줄기의 일자별 꽃/과실 수를 비교한 결과에서는 더 큰 차이를 보여주고 있음
- 이런 분석 결과를 토대로 광발열 편평사 원단은 딸기 작물의 생장을 촉진한다고 판단되며, 항균 처리 편평사 원단의 경우도 잎의 생장에 도움을 주고 있는 것을 알 수 있음
- 미처리 편평사 원단의 경우, 작물의 생장률이 기존 비닐 원단과 비슷하거나 더 낮게 나타나 생장률 촉진에 영향을 주지 못한다고 판단됨

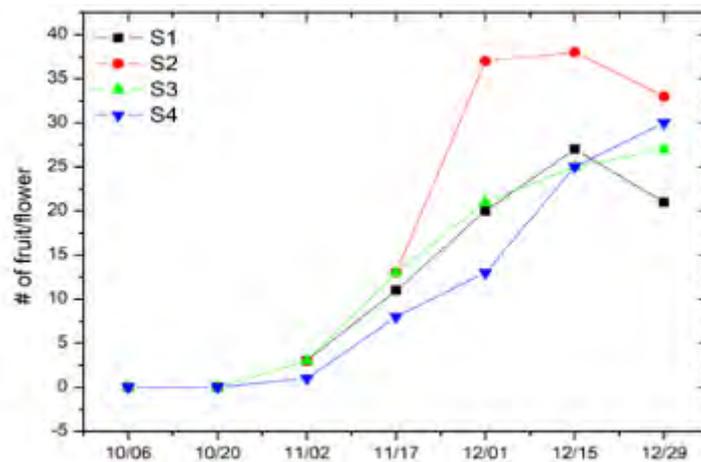


Fig. 각 원단의 일자별 꽃/과실 수 비교(적색 : 광발열 원단)

○ 온습도 변화에 대한 현장 실증 분석 결과

- 온습도 변화에 대한 분석을 위하여 광발열 편평사 원단과 기존 멀칭 비닐의 상단과 하단에 온습도 기록계 1개씩 설치하고, 온실 내부에 1개를 설치하여 Data를 수집함
- 그래프는 일주일 단위로 잘라서 표시하였으며, 온습도 기록계 각각의 데이터를 표시하고 광발열 편평사 원단과 기존 비닐 원단의 하단 비교 분석을 통해 광발열 편평사 원단의 발열 성능을 분석함
- 광발열 편평사 원단과 기존 비닐 원단의 하단 비교 분석 결과 중, 꽃/과실의 생장이 시작된 11/30~12/6의 최고 온도 데이터를 비교한 결과, 최소 5.8 °C ~ 최대 8.3 °C 까지 온도 차이가 발생했으며, 평균 7.15 °C의 온도 차이를 보이는 것을 확인함
- 위 결과를 토대로 광발열 편평사 원단은 기존 멀칭 비닐 대비 지표면에서 약 7 °C 정도의 온도 상승효과가 있는 것으로 판단됨

Table. 기존 비닐 원단과 광발열 편평사 원단의 하단부 온도 비교

날짜	편평사 원단(광발열)	기존(비닐 원단)	온도 차이(°C)
11/30	38	29.7	8.3
12/1	33.3	25.5	7.8
12/2	31.9	26.1	5.8
12/3	35	28.3	6.7
12/4	36.8	30	6.8
12/5	33.7	26.5	7.2
12/6	34.2	26.7	7.5

(7) 광발열 편평사 원단의 주/야간, 동/하절기의 성능 및 적용

○ 동절기 주/야간에 광발열 편평사 원단의 성능 및 난방비 절감

- 동절기에는 주/야간 모두 난방이 필요하므로 주간에는 태양광을 통해 발열하여 난방비를 절약하고, 야간에는 열전도도가 낮은 원단 내부 공기층의 보온 단열 성능으로 온도가 떨어지는 것을 최대한 억제할 수 있어 난방비를 절감할 수 있을 것으로 판단됨
- 예를 들어 근권부의 온도가 주간에는 20℃ 이상, 야간에는 10℃ 이상 되어야 하는 작물이 라면, 주간에는 난방을 통해서 내부 온도를 15℃만 유지해도 근권부의 온도는 20℃를 확보할 수 있으므로 난방비를 절약할 수 있으며, 야간에는 공기층의 보온 단열 성능으로 일몰 후에 온도가 10℃까지 떨어지는 시간이 상대적으로 오래 걸리므로 난방비 절약 가능
- 또한 야간에 빛이 있어도 되는 작물이라면 인공 조명을 통한 광발열 가능

○ 하절기 광발열 편평사 원단의 발열 문제 및 기능성 편평사 원단 적용

- 온실의 경우, 많은 농가들이 하절기 폭염으로 인한 농작물의 피해 방지 및 농민의 온열 질환 방지를 위해서 차광 스크린을 설치하고 있으며, 차광 스크린이 있는 온실의 경우 광에 의한 발열이 없으므로 광발열 편평사 원단의 발열 문제를 해결할 수 있음
- 노지나 차광스크린이 없는 온실의 경우, 하절기에 광발열 편평사 원단의 적용은 어렵지만, 광발열 원단이 아닌 항균, 방충 기능성 원단을 사용한다면, 원단 내부의 공기층이 단열 효과를 주어 온도 상승을 억제할 수 있으며, 하절기에 많이 발생하는 세균 및 벌레로 인한 피해를 억제하는 효과
- 또한 기존 멀칭 필름과 다르게 편평사 원단의 공극으로 배수가 가능하므로 물을 뿌려 온도 조절 가능



Fig. 조명이 설치된 온실



Fig. 차광스크린이 설치된 온실

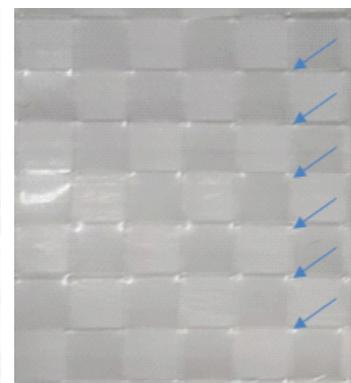


Fig. 편평사 원단 공극

2) 연구개발 대상의 국내·외 현황

(1) 국내 기술 수준 및 시장 현황

○ 기술현황

- 농가에서는 흙속 병원균의 식물체 전염 방지, 잡초의 발아 방지, 수분 증발 방지를 통한 토양의 수분유지, 지온유지, 토양 침식 및 유실 방지 등의 이유로 멀칭 필름을 토양에 덮게 되는데, 이런 멀칭 필름의 경우, 내구성이 부족하며 통기 및 배수가 불량하고 보온 효과는 미미함
- 내구성과 통기 및 배수 성능을 위하여 부직포 소재를 이용한 멀칭 원단을 도입하였으나 광발열 성능은 없으며 두꺼운 두께로 인하여 부피가 크고 내구성도 높지 않음
- 본 연구개발 과제는 광발열 입자를 함유한 Master batch를 적용하여 난방에너지를 절감하고 편평사 원단 내부의 공기층 형성을 통해 토양의 급격한 온도 변화를 조절하며, 원단 조직 구조의 기공을 통해 통기, 배수를 원활하게 하고, 추가적인 기능성을 부여하는 후공정(코팅, 합포 등) 기술을 개발하여 기능성 부여를 통해 다양한 응용제품을 개발하고 용도 전개하는 것이 목표임

Table. 농업용 멀칭 필름, 부직포, 광발열 편평사 원단 성능 비교

성능	필름	부직포	개발 원단
병충해 방지	△	△	○
잡초 발아 방지	○	○	○
토양 수분 유지	○	△	△
지온 유지	△	○	○
토양 침식 및 유실 방지	○	○	○
광발열 효과	×	×	○
통기 및 배수	×	△	○
내구성	×	△	○



Fig. 농업용 멀칭 필름(좌), 부직포(중), 광발열 편평사 원단(우)의 멀칭된 모습

○ 시장현황

- 시설농자재는 골조자재, 피복자재, 생육환경조절기자재, 관수시설, 기타부대시설로 분류하며 이중 멀칭 필름은 피복자재, 보온 덮개는 생육환경조절기자재로 분류됨
- 국내 시설 농자재는 2013년 기준 약 1조 1천억원 규모의 시장을 가지고 있으며, 그 중 멀칭필름, 부직포, 알루미늄 시트 등이 포함된 피복자재의 경우, 1995년과 비교하여 약 2.3배 성장하여 3,751억원 규모의 시장을 가지고 있으며 보온덮개, 반사필름 등이 포함된 생육환경조절기자재는 1,015억원 규모의 시장을 가지고 있음

Table. 국내 시설농자재 부문별 시장규모

단위 : 억 원

연도	시설골조	피복자재	관수자재	시설환경	방제기자재	육묘자재	총 계
1995	883	1,652	178	808	122	607	4,250
2000	2,939	2,513	496	565	139	696	7,149
2003	3,796	3,081	628	629	200	757	9,091
2005	3,757	2,836	664	687	212	802	8,958
2010	3,562	3,519	847	877	281	1,404	10,490
2011	3,565	3,593	889	920	295	1,462	10,724
2012	3,579	3,680	934	966	310	1,500	10,969
2013	3,576	3,751	981	1,015	326	1,518	11,167

(※ 출처: 한국농촌경제연구원. 시설원에 생산자재 산업의 현황과 발전방안. 2015)

- 비닐하우스용 필름과 멀칭 필름으로 대표되는 농업용 필름 산업은 연간 6만 2천톤, 매출액 2,300억원 내외로 피복자재 시장의 60%이상을 차지하고 있으며 소재는 PE(Polyethylene), PP(Polypropylene)등 PO(Polyolefin) 소재가 대부분을 차지하고 있음
- 에너지 절감을 위한 보온 덮개 산업은 보온 덮개로 작물 덮는 방법과 일정 높이에 보온 커튼을 사용하는 방법으로 분류되며 일반 원단 또는 알루미늄 코팅 원단, 부직포, 폴리 폼 등이 사용되며 소재는 농업용 필름과 마찬가지로 PO(Polyolefin) 소재가 대부분을 차지하고 있음
- 하지만 멀칭 필름의 경우 잡초방지, 수분유지 등의 역할 외에 에너지 절감 효과를 줄 수 없으며, 에너지 절감을 위한 보온 덮개 또는 보온 커튼의 경우, 별도의 시설을 설치해야 하므로 비용적인 문제가 크고 태양광이 차단되는 단점이 있음

○ 경쟁기관현황

- 국내 광발열 멀칭 원단 생산 업체는 전무하며 농업용 필름 생산 업체는 2002년 25개사에서 2015년 13개사로 감소했으며 보온자재 생산 업체는 59개사로 상당수의 보온자재 생산 업체는 보온커튼 외에도 다양한 제품을 생산하고 있는 것으로 파악됨
- 국내 최초 광발열 멀칭 원단을 생산하여 멀칭 필름이 보온자재로써의 역할을 함께 가지고 있는 제품으로 시장에 판매될 것으로 판단됨

(2) 국외 기술 수준 및 시장 현황

○ 기술현황

- D사에서 판매하고 있는 다용도 농업용 부직포 원단인 T제품은 HDPE(High Density Polyethylene) 소재의 극세사 부직포로써 멀칭 용도뿐만 아니라 차광망, 보온커튼, 과수 봉지 등으로 사용되는 다용도 제품임



Fig. D사 T제품의 다양한 농업용 용도

- T제품은 광발열 기능이 없지만 부직포 원단으로써 내구성과 통기 및 발수 효과를 가지고 있음. 하지만 전량 수입품으로 1m² 기준 1,500~2,000원의 고가 제품(개발 제품은 1,000원 미만 예상)이며, 국내 부직포 원단과 마찬가지로 두꺼운 두께로 인해 부피가 크다는 단점이 있음

<p>D사 T제품</p> <p>다용도 농업용 부직포 원단</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 멀칭 용도 외 보온커튼, 차광망, 과수 봉지 등 다양한 농업용 용도로 사용 가능 2. 광발열 기능이 없고 통기 및 발수효과 있음 3. 전량 수입품으로 1m² 기준 1,500~2,000원 수준의 고가 제품 	<p>개발 원단</p> <p>멀칭용 다기능 편평사 원단</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 멀칭 용도로만 사용 가능하지만 광발열, 통기 및 발수, 난반사 등 다양한 기능성 확보 2. 광발열 입자를 함유하여 태양광에 의해 스스로 발열 3. 원단 내부 공기층을 통해 보온성 부여 4. 후공정(코팅, 합포 등)을 통해 다양한 기능성 부여 가능
--	---

Fig. D사 T제품과 개발 원단의 특징 비교

○ 시장현황

- 세계 농업용 필름 시장은 2016년 79억 2,000만 달러에서 연평균 7.81% 성장하여 2021년에는 110억 6,000만 달러에 이를 것으로 전망되며 소재 역시 국내와 마찬가지로 PE(Polyethylene), PP(Polypropylene)등 PO(Polyolefin) 소재가 대부분을 차지하고 있음
- 그 중에서도 멀칭용 필름의 경우, 2016년 2,412,300톤에서 연평균 6.61% 성장하여 2021년 3,322,620톤에 이를 것으로 전망되고 있어 국내 시장에서 벗어나 국외 시장으로 판로를 개척해야 할 것으로 보임
- 지역별로는 2016년 기준 아시아 태평양 지역이 66.4%로 가장 높은 점유율을 보였으며 유럽 지역이 15%, 북미 지역이 9.1%, 중동-아프리카 지역이 5.5%, 라틴아메리카 지역이 4.0%로 나타남

(※ 출처: 연구개발특구진흥재단. 농업용 필름 시장 글로벌 시장동향 보고서. 2018)

○ 경쟁기관현황

- 세계적으로도 광발열 멀칭 원단 생산 업체는 전무하며 농업용 필름 생산 업체는 Berry Global Inc(미국), Kuraray Co Ltd(일본), Coveris Plc(미국), RPC Group(영국), The RKW Group(독일)이 가장 점유율이 높으며 대부분 농업용 필름에 국한되지 않고 다양한 화학물질을 제조하는 업체임

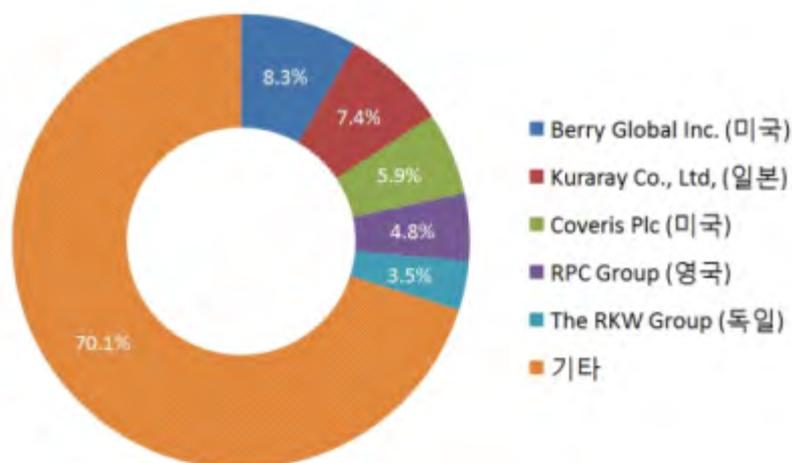


Fig. 세계 농업용 필름 시장의 주요 기업 점유율 현황(2017)

(※ 출처: Markets and Markets. Agricultural Films. 2017)

- 국외에서도 광발열 멀칭 원단을 생산하는 업체는 전무하며 광발열 멀칭 원단 개발 시, 수출을 통한 매출 성과도 기대할 수 있을 것으로 판단됨

2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용

<1차년도>

1) 주관연구개발기관((주)뉴프라임)

(1) 광발열 Master batch를 활용한 편평사 제사 공정 개발

- 기존의 방법에서 멀칭 매트 원재료가 되는 PE 또는 PP를 용융 시, 필요에 따라서 적정한 색상을 나타낼 수 있는 Master batch를 첨가하여 혼합 용융공정을 진행한다. 하지만 첨가하는 Master batch의 물성에 따라 용융 온도 및 시간에서 차이가 발생하므로 본 연구에서 광발열 성능을 가지는 Master batch를 첨가할 경우, 해당 물성의 변화에 따른 공정 개발이 요구된다.

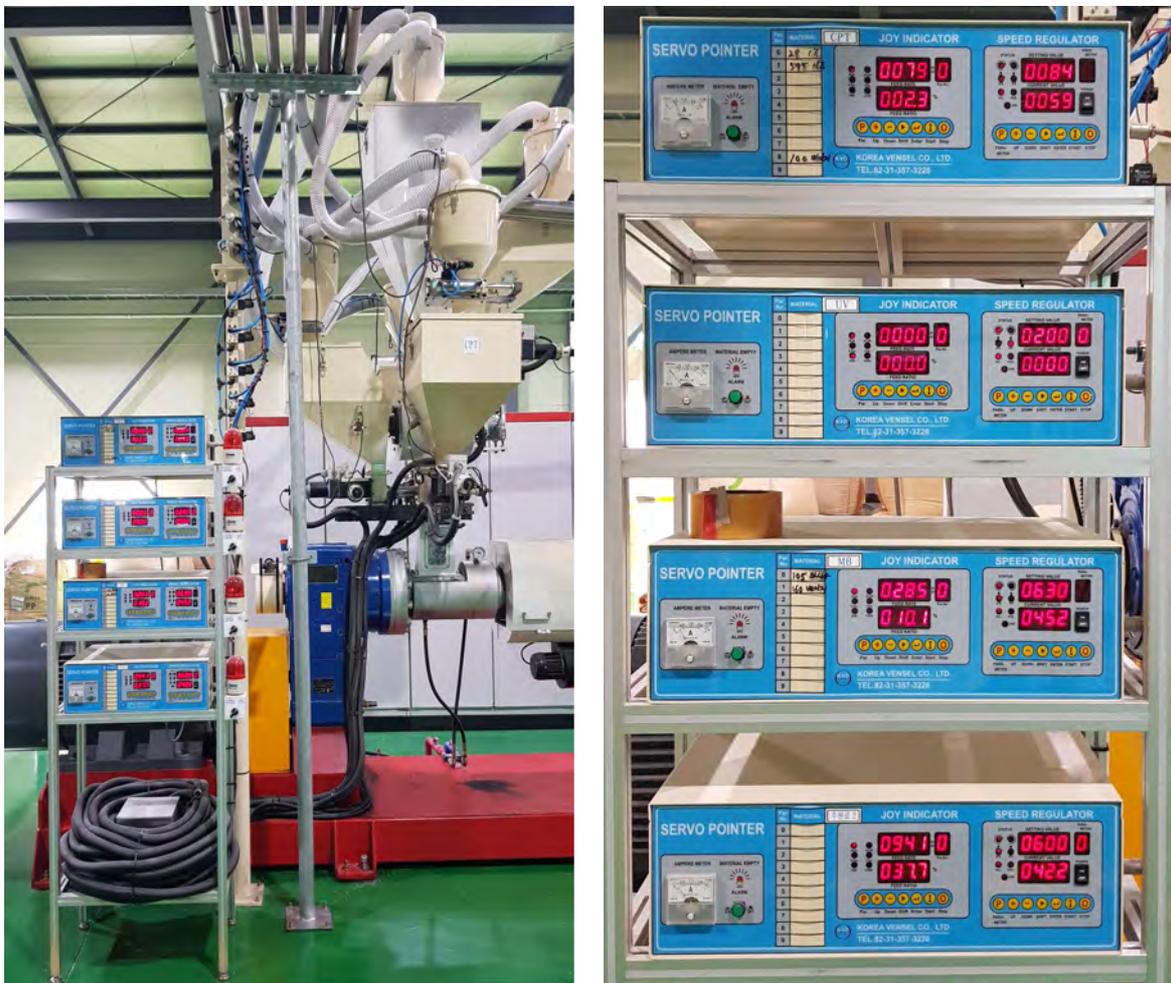


Fig. 광발열 Master batch 혼합 시, 원료 투입 호퍼 구성 및 온도 조절

- 공동연구개발기관에서는 전달받은 HDPE / Graphite Master Batch Chip을 활용하여 2% 수준의 광발열 입자를 함유하는 필름을 제조하고자 하므로, 공동연구개발기관의 사전 연구 조건인 Extrusion Temp. 270℃ 조건을 기준으로 온도를 높이면서 최대 300℃에서 최적 조건을 확립하였다.

- 광발열 입자가 함유된 Master batch와 원재료의 혼합 공정 후, 이를 압출기를 통해서 압출하게 되는데, 이때 점성을 유지하면서 흐름성을 확보할 수 있는 온도 조건 및 속도 /압력 조건이 필요하다.



Fig. 제사 공정 중, 필름 압출 공정

- 이렇게 방사된 수지는 냉각수를 통해서 냉각되어 필름의 형태를 갖추게 되고 이후 연신 및 슬리팅 공정을 통해서 편평사를 제조하게 된다.
- 사전 필름 방사 조건을 바탕으로 양산형 설비에서 최적의 조건을 확립하였으며, 그 조건은 아래의 표에 나타내었다.

Table. 필름 방사 조건표

구금 온도(℃)		연결 라인 온도(℃)		Extruder 온도(℃)		기타	
Zone	Actual	Zone	Actual	Zone	Actual	Zone	Actual
19	285	12	280	7	300	Screw	23.5 rpm
18	280	11	280	6	300	Pump	20.3 rpm
17	280	10	280	5	295	냉각수	58 ℃
16	280	9	280	4	285		
15	280	8	290	3	275		
14	280			2	265		
13	285			1	245		

- 연신 및 슬리팅 공정에서는 가열판의 온도가 편평사의 섬도를 결정하는 중요한 요소인데, 가열판의 온도 조절을 통해서 같은 폭을 가지면서 다양한 섬도를 가지는 편평사 제조가 가능하다.



Fig. 연신 및 슬리팅 공정



Fig. 연신 과정의 가열판 온도 조절

- 편평사의 섬도별 원단의 물성 및 광발열 성능을 비교 분석하기 위하여 가열판의 온도를 다르게 하여 총 4종의 편평사 원사(680d, 750d, 860d, 1100d)를 제조하였으며, 제조 조건은 아래의 표에 나타내었다.

Table. 편평사 연신 및 슬리팅 조건

편평사 섬도	680 d	750 d	860 d	1100 d
연신판 온도(℃)	100	108	110	115
속도(mpm)	160	160	160	150
연신비	6.6	6.6	6.6	6.6
슬리팅 폭(mm)	8	8	8	8

- 연신 및 슬리팅 이후 권취 공정을 통해서 보빈에 감아주어 최종적으로 편평사 원사를 제조하였다.



Fig. 연신 후 권취 공정



Fig. 광발열 입자를 함유한 편평사 원사

(2) 광발열 편평사를 활용한 편평사 원단 제직 공정 개발

- 정경과 Beaming을 통해 경사 작업을 하여 경사의 장력이 균일한 일반적인 원형 단면 직물과 다르게 편평사 원단은 Water jet loom을 활용하여 제직을 진행하는데, 직기 뒤편의 Creel에서 경사 각각이 독립적인 장력 조절로 제어되며 균일한 장력에 실패할 경우, 불량 발생할 수 있다.
- 따라서 이를 균일하게 제어하는 것이 매우 중요하며, 총 4개의 광발열 편평사 제직 공정에 대한 경사 장력 조건을 안정화하여 경사 준비를 완료하였다.



Fig. Creel에서 바로 직기로 연결되는 편평사

- 기존 원단과 광발열 편평사를 활용한 편평사 원단의 광발열 성능을 비교 분석하기 위하여, inch 당 8×8의 밀도를 가지는 기존 원단의 제직 조건을 동일하게 적용하여 제직을 진행하였다.



Fig. 기존 원단의 제직 공정



Fig. 광발열 편평사 원단의 제직 공정

- 밀도는 8×8 ea/inch, 사종은 HDPE, 경/위사의 섬도는 680~1100d로 나누어 제작하였으며, 성폭 122 inch, Plain 조직으로 제작하였다.
- 비교를 위한 기존원단은 경/위사 섬도 750d인 편평사 원단이며, 개발원단은 경/위사 섬도가 680d, 750d, 860d인 원단과 경사 860d, 위사 1100d인 원단으로 총 4종을 제조하여 비교 분석하였다.

Table. 광발열 편평사 원단의 제작 조건

시료	기존	개발 1	개발 2	개발 3	개발 4
밀도(ea/inch)	8×8	8×8	8×8	8×8	8×8
사종	HDPE	HDPE	HDPE	HDPE	HDPE
Graphite 함량(%)	0	2	2	2	2
경사 섬도(de)	750	680	750	860	860
위사 섬도(de)	750	680	750	860	1100
초본수(본)	976	976	976	976	976
중광(매)	2	2	2	2	2
성폭(inch)	122	122	122	122	122
조직	Plain	Plain	Plain	Plain	Plain

Table. 기존 편평사 원단

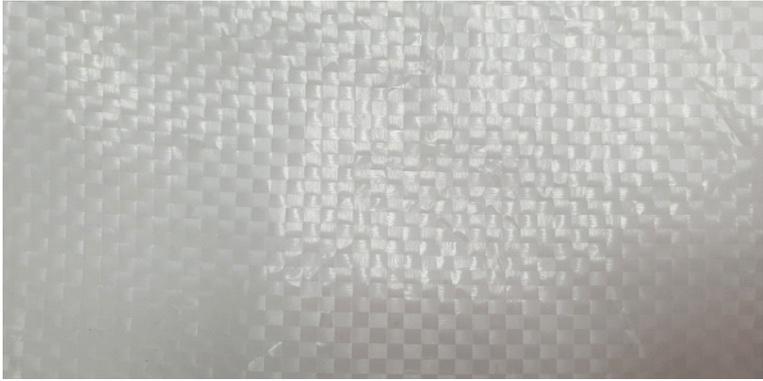
시료	기존	표면 사진
밀도(ea/inch)	8×8	
사종	HDPE	
Graphite 함량(%)	0	
경사 섬도(de)	750	
위사 섬도(de)	750	
성폭(inch)	122	
조직	Plain	

Table. 개발 편평사 원단 1

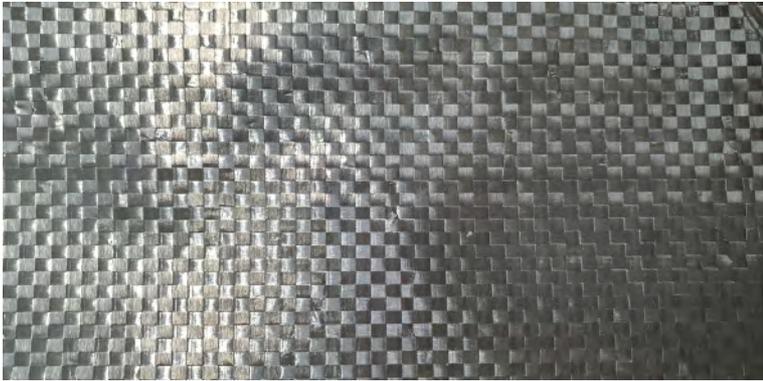
시료	기존	표면 사진
밀도(ea/inch)	8×8	
사종	HDPE	
Graphite 함량(%)	2	
경사 섬도(de)	680	
위사 섬도(de)	680	
성폭(inch)	122	
조직	Plain	

Table. 개발 편평사 원단 2

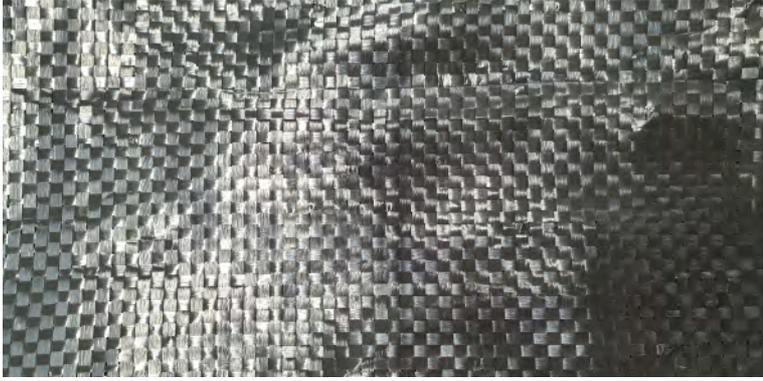
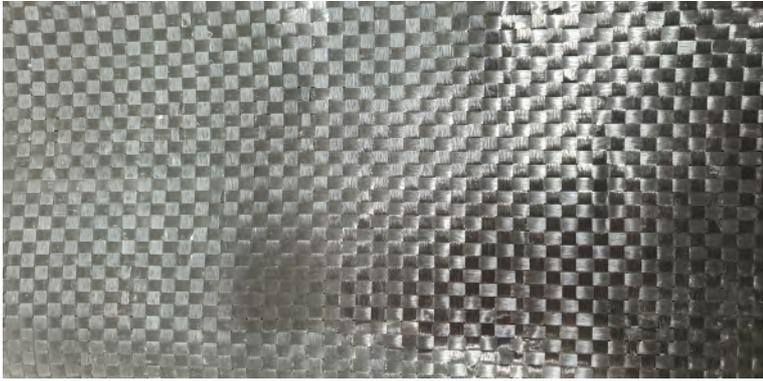
시료	기준	표면 사진
밀도(ea/inch)	8×8	
사종	HDPE	
Graphite 함량(%)	2	
경사 섬도(de)	750	
위사 섬도(de)	750	
성폭(inch)	122	
조직	Plain	

Table. 개발 편평사 원단 3

시료	기준	표면 사진
밀도(ea/inch)	8×8	
사종	HDPE	
Graphite 함량(%)	2	
경사 섬도(de)	860	
위사 섬도(de)	860	
성폭(inch)	122	
조직	Plain	

Table. 개발 편평사 원단 4

시료	기준	표면 사진
밀도(ea/inch)	8×8	
사종	HDPE	
Graphite 함량(%)	2	
경사 섬도(de)	860	
위사 섬도(de)	1100	
성폭(inch)	122	
조직	Plain	

- 개발된 원단의 현장 실증 Test를 위하여 기존 편평사 원단의 섬도와 동일한 개발 편평사 원단 2를 활용하여 온실 농가의 커피 작물을 대상으로 설치하였으며, 기존 제초 매트와 비교 분석을 진행할 예정이다.
- 커피나무의 생육 환경
 - 아라비카 종(Coffea arabica L.)과 로부스타로 불리는 카네포라 종(Coffea canephora L.)으로 분류되며, 종에 따라 적합한 생육 환경도 다름
 - 커피나무는 열대·아열대 작물로 상록수
 - 연중 온화한 기온이 유지되고 연 강우량이 1,500mm 이상
 - 씨를 심으면 싹이 트기까지 30~90일이 소요
 - 1년생 가지는 영양생장을 하며 2년생 가지에 꽃이 피고 열매가 달림
 - 커피의 열매는 과일 껍질, 과육, 2개의 종자 껍질, 종자(생두)로 구성
 - 정상적으로 성장한 열매에는 2개의 종자가 들어 있음
 - 최상의 조건으로 나무를 잘 관리하면 80년 이상 과실 생산성을 유지할 수 있다고 알려져 있으나 실제 커피의 경제 수령은 30년 미만으로 보고

Table. 아라비카 종과 카네포라 종 특성 비교

	카네포라 종	아라비카 종
원산지	아프리카 콩고	에티오피아 고원 지대
생육 적온	20-30℃	15-25℃
적정 재배 고도	해발 200-800m 저지대	해발 500-2,000m 고지대
적정 강수량	2,000-3,000mm	1,200-1,500mm
열매 성숙 기간	9-11개월	6-9개월
번식	타가수분	자가수분
카페인 함량	1.7-4%	0.8-1.4%
대표 품종	로부스타, 코닐론	티피카, 버본, 카투라, 문도노보, 카투아이, 마라고지페 등

- 국내 커피 재배를 위한 조건
 - 커피나무는 흔히 커피벨트라 알려진 남북 양회귀선(남위 23.37°, 북위 23.37°) 사이 지역에서 주로 재배
 - 커피벨트 내에서도 아라비카종은 비교적 서늘한 고산지대에서 재배되며, 카네포라종은 따뜻한 저지대에서 재배
 - 문헌에 따르면 커피의 생육 온도를 서서히 떨어뜨려 4℃에서 4시간씩 3일 두었을 때 잎의 일부가 괴사하고 낙엽이 되는 피해가 발생
 - 그 이상 냉기가 지속되면 나무가 마르기 시작해 생육에 매우 치명적
 - 우리나라는 사계절이 뚜렷한 온대 지역에 위치
 - 겨울이 가장 따뜻한 서귀포조차도 2018~2020년 기준 기온이 4℃ 이하로 떨어지는 시간이 평균 10.2일로 나타나 노지에서 커피를 재배하는 것은 불가능
 - 국내에서 커피를 재배하기 위해서는 난방 시설을 갖춘 하우스 재배가 필수

- 커피 재배를 위한 온도 조건
 - 커피는 평균 15℃ 이하 온도에 장기간 노출되면 꽃피는 시기에 정상적 발화 안됨
 - 11월부터 4월 말까지는 온풍기를 가동하여 하우스 안을 15℃ 이상 유지해주어야 커피 재배가 가능
 - 여름철에는 맑은 날 하우스 내부 온도가 45~50℃ 이상으로 치솟아 성장점이나 어린 잎이 타는 등 여러 고온 피해가 발생할 수 있어 조심
 - 문헌에 따르면 커피는 34℃ 이상에서는 건물중 축적량이 전혀 이루어지지 않으며 50℃ 이상에서는 1시간만 노출되어도 잎이 노랗게 변하고 마르기 시작
 - 커피의 최적 생산에 필요한 평균 일조시간은 2,200~2,400시간

- 설치 장소는 경북 청도군 각북면 남산리 1464번지에 위치한 꿈그린 농원으로, 1차년도에는 현장 실증 Test를 위한 사업비가 없어, 비용 없이 편평사 원단 설치 협조가 가능한 농장을 찾아 설치를 진행하였다.



Fig. 광발열 편평사 원단 설치 전



Fig. 광발열 편평사 원단 설치 후

- 설치된 광발열 편평사 원단과 기존 제초 매트 표면의 상/하부 표면에 각각 온습도 기록계를 설치하고, 온실 내부에도 온습도 기록계를 설치하였다.
- 온습도 기록계는 10분마다 1번씩 온습도를 기록하며, 1개월 Data를 저장할 수 있다.



Fig. 온도계 설치

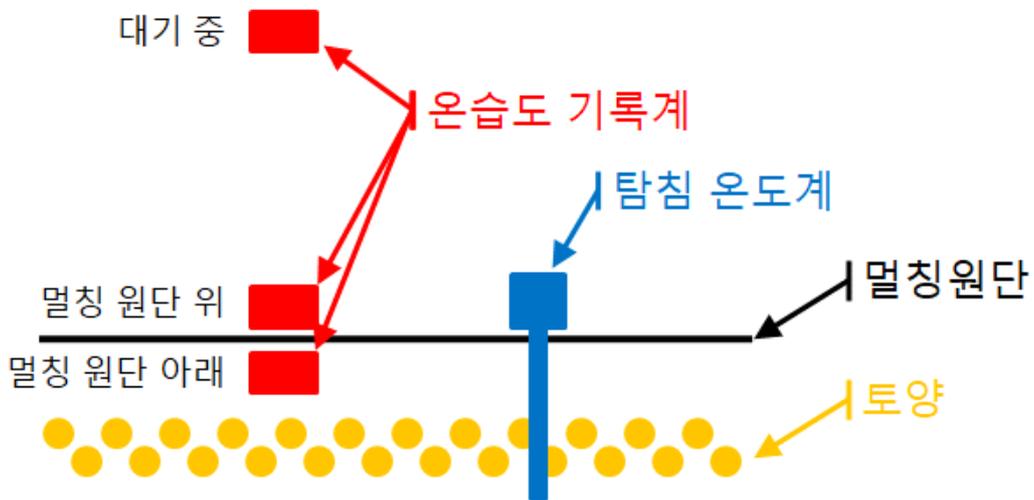


Fig. 온도계 설치 위치

- 광발열 편평사 원단과 기존 제초 매트가 설치된 작물 5개를 선정하여 매주 작물의 높이와 탐침 온도를 측정하고 관찰 일지에 기록할 예정이다.

Table. 멀칭 원단 관찰 일지 양식

날짜	시간	기록자	작물 높이 (mm)		탐침 온도 (°C)	
			개발 원단	기존 원단	개발 원단	기존 원단

(3) 작물별 최적 발열 조건에 따른 광발열 편평사 원단 제직 조건 연구

- 공동연구개발기관에서 조사한 바에 따르면 작물의 대기에 대한 생육 적온은 약 15~30℃ 수준으로 범위가 매우 넓지만, 지온에 대한 생육 적온은 약 15~20℃ 내외로 상대적으로 범위가 좁은 것을 알 수 있다.
- 또한 적용 편평사의 섬도에 따른 광발열 성능 분석에서 1시간 광조사 기준, 약 6.8℃의 표면 온도 차이를 보였다.
- 즉 제직 조건에 따라 다양한 광발열 수준을 가지는 원단을 제직할 수 있고, 이렇게 디자인할 수 있는 발열 성능의 범위는 작물의 지온에 대한 생육 적온 범위보다 넓으므로, 다양한 발열 성능을 가지는 광발열 편평사 원단을 활용하여 작물에 따라, 기온에 따라 적용이 가능할 것으로 판단된다.
- 적용 가능한 제직 조건은 1차년도에서 진행했던 적용 편평사의 섬도를 통한 직물의 두께 조절 외에 조직, 밀도, 원단에 요철 구조를 만들어 공기층을 형성하는 방법까지 다양하다.
- 이중에서도 조직의 변경을 통해 표면, 이면의 발열 성능을 다르게 하는 등 다양한 성능 디자인이 가능하므로 차년도 연구에서 조직의 변경에 따른 광발열 성능 연구를 진행할 예정이다.

< 주자직의 특징 >

- 일반적으로 경주자직은 경사밀도를 많이 하고 경사에 질이 좋은 실을 사용하며, 위주자직은 위사밀도를 많이 하거나 같게 하고 위사에 질이 좋은 실을 사용한다.
- 주자직은 경사와 위사를 최대한 길게 뜨므로 기계장치에 따라서는 경사의 움직임을 줄이기 위하여 뒤집어 제직하는 경우도 있다.
- 일반적인 주자직의 특징
 - ▶ 다른 종류의 직물보다 교차점이 적음
 - ▶ 마찰에는 약하나 구김이 적음
 - ▶ 종광 5매 이상으로 제직이 가능
 - ▶ 직축율이 작음
 - ▶ 밀도를 많이 할 수 있음
 - ▶ 표면이 평활하고 부드러우며 광택을 요하는 직물에 적합

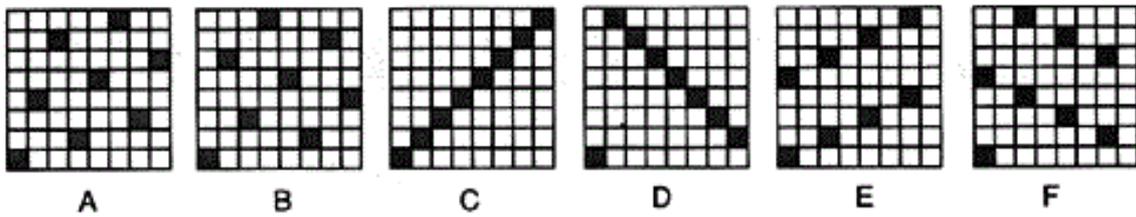


Fig. 주자직 조직도

< 능직의 특징 >

- 능직은 사문직이라고도 하며, 직물 바닥에 비스듬한 능과 골을 나타내도록 한 직물로 줄무늬를 능선 또는 사문선이라고 한다. 그중에서 능선에 변화 없이 한 개씩 계단처럼 이동한 것을 정척능직 또는 정능직 또는 정사문이라 한다.
- 능직의 표시 방법은 위사를 뜻하는 가로줄을 굵고 경부점은 위에 기입하고 위부점은 아래에 기입한 후 능선의 방향을 표시한다.
- 일반적인 능직의 특징
 - ▶ 평직에 비해 밀도를 높일 수 있음
 - ▶ 평직에 비해 유연하고 부드러움
 - ▶ 평직보다는 견고하지 못하나 광택이 많이 남
 - ▶ 직물에 능선을 나타낼 수 있음

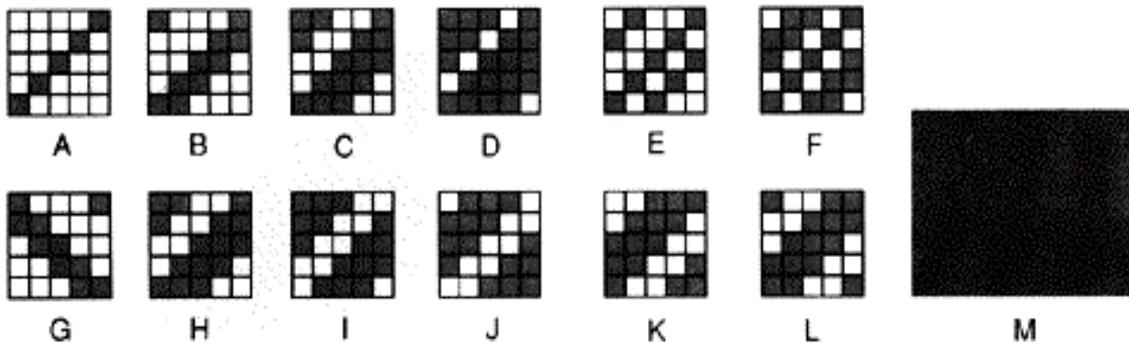


Fig. 능직 조직도

< 평직의 특징 >

- 평직은 직물 조직 중 가장 간단한 조직이며 직물의 기초를 이루고 있어 가장 널리 사용되고, 간단하지만 질기므로 여러 가지 용도에 사용되고 있다.
- 많은 종류의 순색 직물 외에 경위사의 밀도변화, 색사 응용, 경사 밀도변경, 경사 장력 변화, 종류가 다른 실의 응용, 굵기가 다른 실의 응용, 꼬임의 변화 등이 있으며 이를 혼합하여 혼용하면 다양한 종류의 직물이 제직 가능하다.

- 평직은 부점이 적어서 편평사가 잘 직조되고, 위사로 사용된 편평사의 꼬임이 적게 나타나며 경사 방향으로 말림 현상도 적어 전체적으로 가장 편평사에 적합한 조직이다.
- 특히 조직점이 많아 위사 풀림도 적게 나타나므로 광발열 편평사 제작의 기본조직으로 적합하다고 판단된다.
- 일반적인 평직의 특징
 - ▶ 다른 종류의 직물보다 교차점이 많음
 - ▶ 가장 질기지만 구김이 많음
 - ▶ 종광 2매로 제작이 가능
 - ▶ 직축율이 가장 큼
 - ▶ 밀도를 많이 할 수 없음
 - ▶ 교차점이 많으므로 광택을 요하는 직물에는 적합하지 않음
 - ▶ 제직음이 직물 표면에 쉽게 나타나므로 고도의 제직 기술이 필요

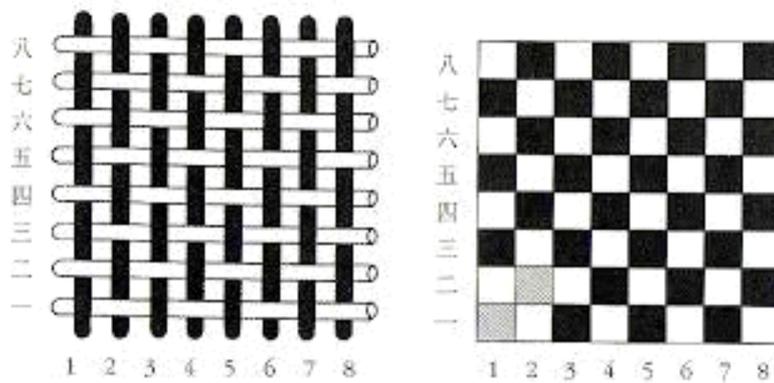


Fig. 평직 조직도

2) 공동연구개발기관(한국섬유개발연구원)

(1) 균일 분산 기술을 활용한 광발열 Master batch 제조

- 광발열 효과를 가지는 Master batch를 제조하기 위하여, 사전 연구개발을 통해 선정된 Graphite 소재와 주관연구개발기관에서 적용중인 L사의 HDPE 수지(5000S)를 활용하여 HDPE / Graphite Master Batch Chip을 제조하였다.

Table. 시중에 판매중인 Graphite 소재

업체명	가격 (천원/kg)	입자크기 (μm)	입자형태	순도 (%)
오현스타	7,500	2~2.3	powder	99.9
현대코마산업	10	2~2.5	powder	99.5
요산이엔지	30	2~2.5	powder	99.9
코엔테크	300	5	powder	99.95
신성카본	15	3	powder	99.9
포사이언스	96	20	powder	99
카본테크	12	5	powder	99.9
이비덴코리아	39	3	powder	99

Table. 적용한 L사 HDPE 수지(5000S)의 물성

용융지수 (at 190°C/2.16kg)	밀도	항복응력	파단신율	굴곡탄성률	Rockwell 경도	연화점
0.95 g/10min	0.954 g/cm ³	24.5 MPa	> 500 %	10,000 kgf/cm ²	50	125 °C

- 광발열 입자의 함량은 20%로 제조하였으며, 광발열 입자의 가격과 작업성을 고려하여 입자 사이즈는 5μm, 입자 형태는 Powder인 Graphite를 사용하였다.
- 균일하게 분산된 HDPE / Graphite Master Batch Chip을 제조하기 위하여 분산제 및 Wetting제를 최적화하였고, 압출 Screw Configuration 최적화, 최적의 mixing 조건을 검토하기 위해 Lab Scale Compounding 장비를 활용하여 압출 압력 70~80%, 토출조건은 수조함침 1/3, 온도 조건은 150~240°C로 HDPE / Graphite Master Batch Chip을 제조하였다.

Table. 균일 분산 조건

Base	Filler	입도 (μm)	속도 (rpm)	압출 압력 (%)	온도 조건 (°C)	스크린	토출 조건	Mesh time (h)	토출량 (kg/h)
HDPE	Graphite	5	350~400	70~80	150~240	80/120/2 50/ 80	수조 함침 1/3	1	20



압출기



토출부



시편 성형기

Fig. Lab Scale Compounding 장비의 각 부분

- 균일 분산을 위한 조건을 활용하여 Master Batch 제조 업체에서 200kg의 HDPE / Graphite Master Batch Chip을 생산하였다.

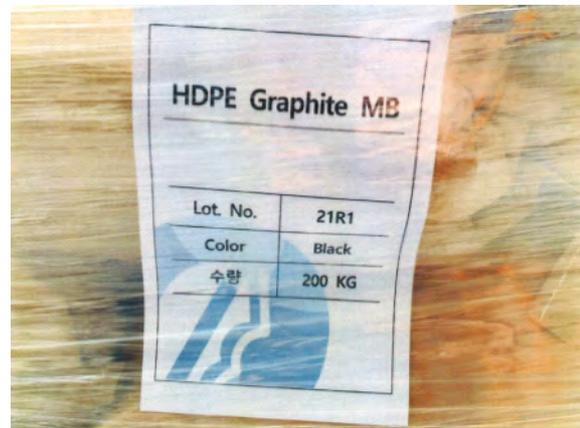


Fig. Master Batch 제조 업체에서 제조된 HDPE / Graphite Master Batch Chip

- 제사 공정을 진행하기 위하여 Pilot Scale 필름 방사 설비를 활용하여 필름 제조 공정성을 확인하였다.
- M/B 제조업체에서 생산한 20% 광발열 HDPE / Graphite Master Batch Chip 2kg과 HDPE Virgin Chip 20kg을 활용하여 광발열 입자 함량 2% 필름 방사를 진행하였으며, 방사 설비는 한국섬유개발연구원의 필름 방사기를 활용하였다.

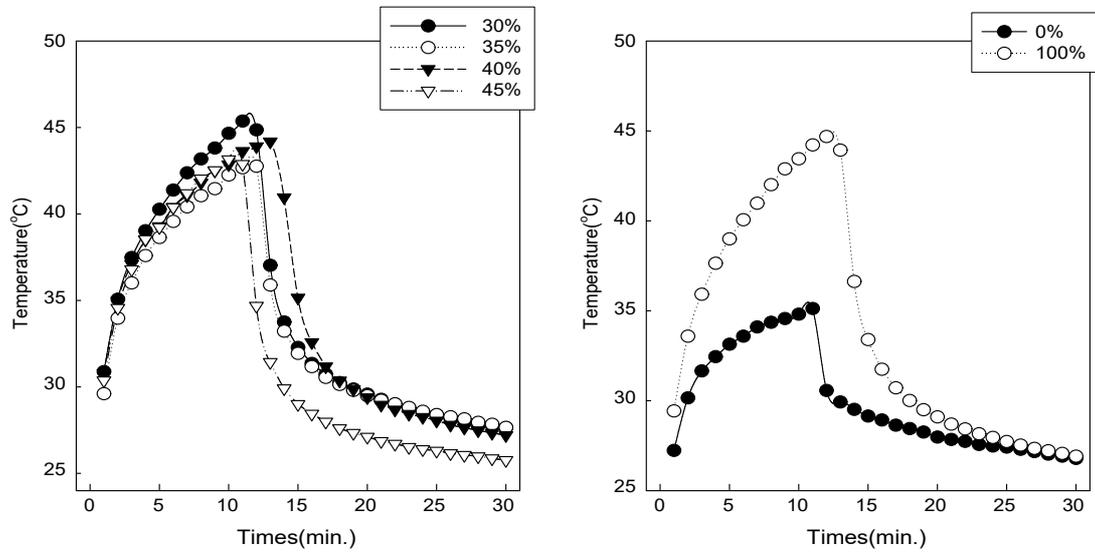


Fig. 광발열 입자 함량에 따른 광발열 효과

- 사전 선행연구 결과, 광발열 입자 함량이 증가함에 따라 광발열 성능도 증가하지만, 2% 이상에서는 광발열 성능의 상승률은 미미하지만 물성 저하는 커지게 되어 2% 함량을 최적 함량으로 설정하고 공정을 진행하였다.
- 그래프의 함량은 M/B의 함량을 나타내며, 광발열 입자의 함량은 아래와 같다.
 - 30% = 2%, 35% = 2.33%, 40% = 2.66%, 45% = 3%, 100% = 6.66%

- ▶ 제조사 : COLLIN社 [獨]
- ▶ Temp. : Max. 400 °C
- ▶ Sheet 두께 Range : 0.1 inch 이상
- ▶ Speed : Max.30 m/min
- ▶ T-Die Width : 750 mm



Fig. 필름 방사기



Fig. 필름 방사기 구조

- 방사 조건은 Extrusion Temp. 270℃, T-Die Temp. 250 ~ 240℃, Screw 속도 9rpm, Pump 속도 8rpm, Pump 압력 30bar, 드럼 온도 90℃, Line 속도 5m/min으로 설정하여 진행하였다.



Fig. 사전 필름 방사 조건

Table. 사전 필름 방사 조건표

Zone	Actual	Zone	Actual	Zone	Actual	Zone	Actual
29	250	19	260	10	270	Screw	9 rpm
28	250	18	260	9	270	Pump	8 rpm
27	240	17	260	8	270	Pump	30 bar
26	240	16	260	7	250	드럼온도	90 ℃
25	240	15	260	6	230	line 속도	5m/min
24	250	14	260	5	180		
23	250	13	260	4	150		
22	250	12	260	3	140		
21	250	MT1	268	2	100		
20	250	11	270	1	40		

- * 노란색 : Extruder 온도
- * 주황색 : Pump 온도
- * 열은 빨간색 : Pump-구금 연결 라인 온도
- * 짙은 빨간색 : 구금 온도

- 방사 결과, 두께 0.02 ~ 0.03mm까지 안정적으로 방사가 진행되었으며, 최종 설정된 방사 조건을 주관연구기관에 전달하였다.



Fig. 필름 방사 공정을 통해 제조된 광발열 필름과 이를 제조하기 위해 적용된 광발열 M/B

(2) 광발열 편평사 원단의 물성 및 발열 성능 분석

- 주관연구개발기관에서 개발한 4종의 광발열 편평사 원단과 기존 편평사 원단, 총 5종의 편평사 원단의 물성을 비교 분석하였다.
- 투습도는 기존 원단 대비 상대적으로 낮았지만, 적용 편평사의 섬도가 올라갈수록 증가하는 경향을 보여, 섬도 860d 원사를 적용한 원단에서 기존 원단보다 높은 투습도를 보이고 위사 섬도를 1100d로 적용하자 감소하였다.
- 공기 투과도는 기존 원단 대비 상대적으로 높았는데, 역시 투습도와 동일하게 적용 편평사의 섬도가 올라갈수록 증가하는 경향을 보여, 섬도 860d 원사를 적용한 원단에서 가장 높고, 위사 섬도를 1100d로 적용하자 감소하였다.
- 인장강도 역시 광발열 입자라는 불순물이 함유되어 있으므로 동일한 섬도 조건에서는 순수한 HDPE 보다 낮은 경향을 보였지만, 최적 조건으로 보이는 섬도 860d 원사를 적용한 원단에서는 경위사 모두 기존 원단보다 높은 인장강도를 나타내었다.

Table. 편평사 원단의 물성

시료		기존	개발 1	개발 2	개발 3	개발 4
투습도(g/m ² ·h)		106	43	95	127	89
공기투과도(cm ³ /cm ² /s)		8.4	10.2	11.4	12.9	12.5
인장강도(N)	경사방향	635.9	547.2	590.2	691.7	612.5
	위사방향	553.7	498.8	548.6	631.0	793.4

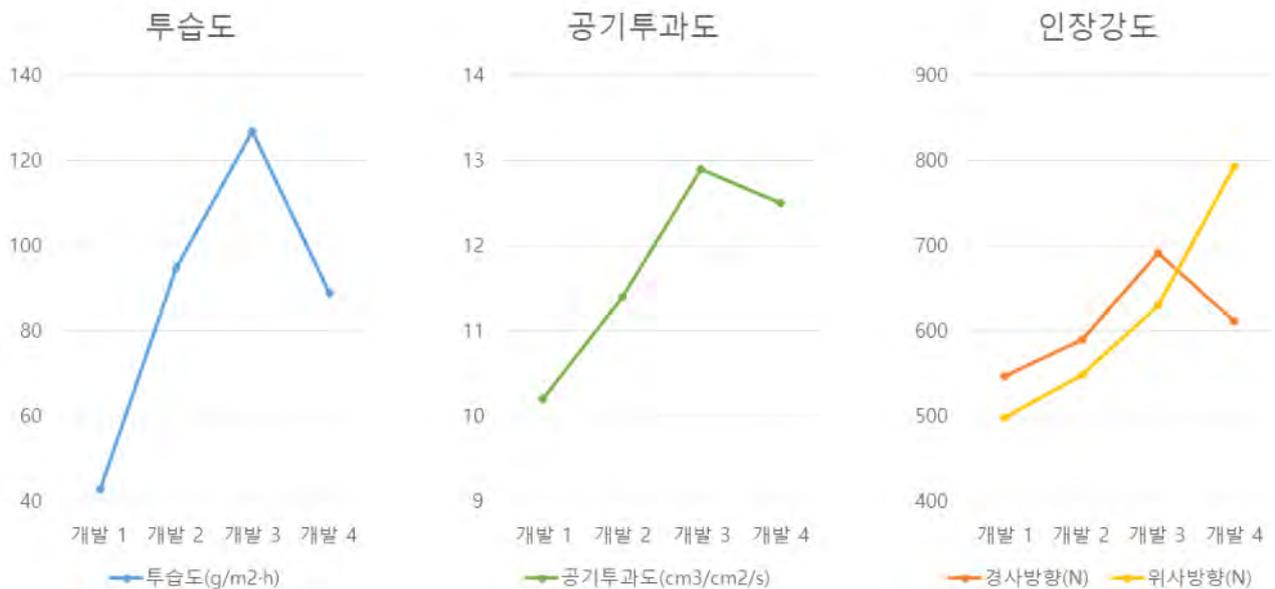


Fig. 광발열 편평사 원단의 물성 비교

- 광발열 입자 유무, 적용 편평사의 섬도에 따른 5종의 편평사 원단의 광발열 성능 비교 분석을 진행하였다.
- 설비는 공동개발기관의 광발열 분석 설비를 활용하였으며, 광원과 시료간의 거리는 50cm, 조도 13,000lux, 광원 220V, 500W, 3200K의 조건으로 진행하였다.

Table. 광발열 시험 조건

광원과 시료간의 거리	50 cm
조도	13,000 lux
시험시간	60분 동안 광원 조사
광원	220V, 500W, 3200K
조건	시료 하부의 표면에 위치한 온도 센서에서 2초 간격으로 데이터 기록



Fig. 광발열 분석 설비

- 광발열 성능 분석 결과, 1시간 경과 기준, 기존 원단의 표면 온도는 44.0℃이며, 경/위사 섬도가 680d인 원단은 48.3℃, 750d인 원단은 52.1℃, 860d인 원단은 55.1℃, 경사 860d, 위사 1100d인 원단은 52.7℃로 측정되었다.
- 광발열 입자를 함유한 원단은 기존 원단보다 높은 광발열 성능을 보였으며, 적용 편평사의 섬도가 올라갈수록 증가하는 경향을 보여, 섬도 860d 원사를 적용한 원단에서 기존 원단보다 11.1℃ 높은 표면온도를 보였으나 위사 섬도를 1100d로 적용한 원단에서는 소폭 감소하였다.

Table. 편평사 원단의 광발열 성능 비교 분석

시간(분)	표면 온도(°C)				
	기존	개발 1	개발 2	개발 3	개발 4
10	32.5	35.6	34.9	36.1	36.0
20	36.9	40.8	41.1	42.6	42.3
30	39.7	43.8	45.2	47.3	46.2
40	41.7	45.7	48.2	50.8	49.0
50	43.1	47.2	50.3	53.2	51.0
60	44.0	48.3	52.1	55.1	52.7

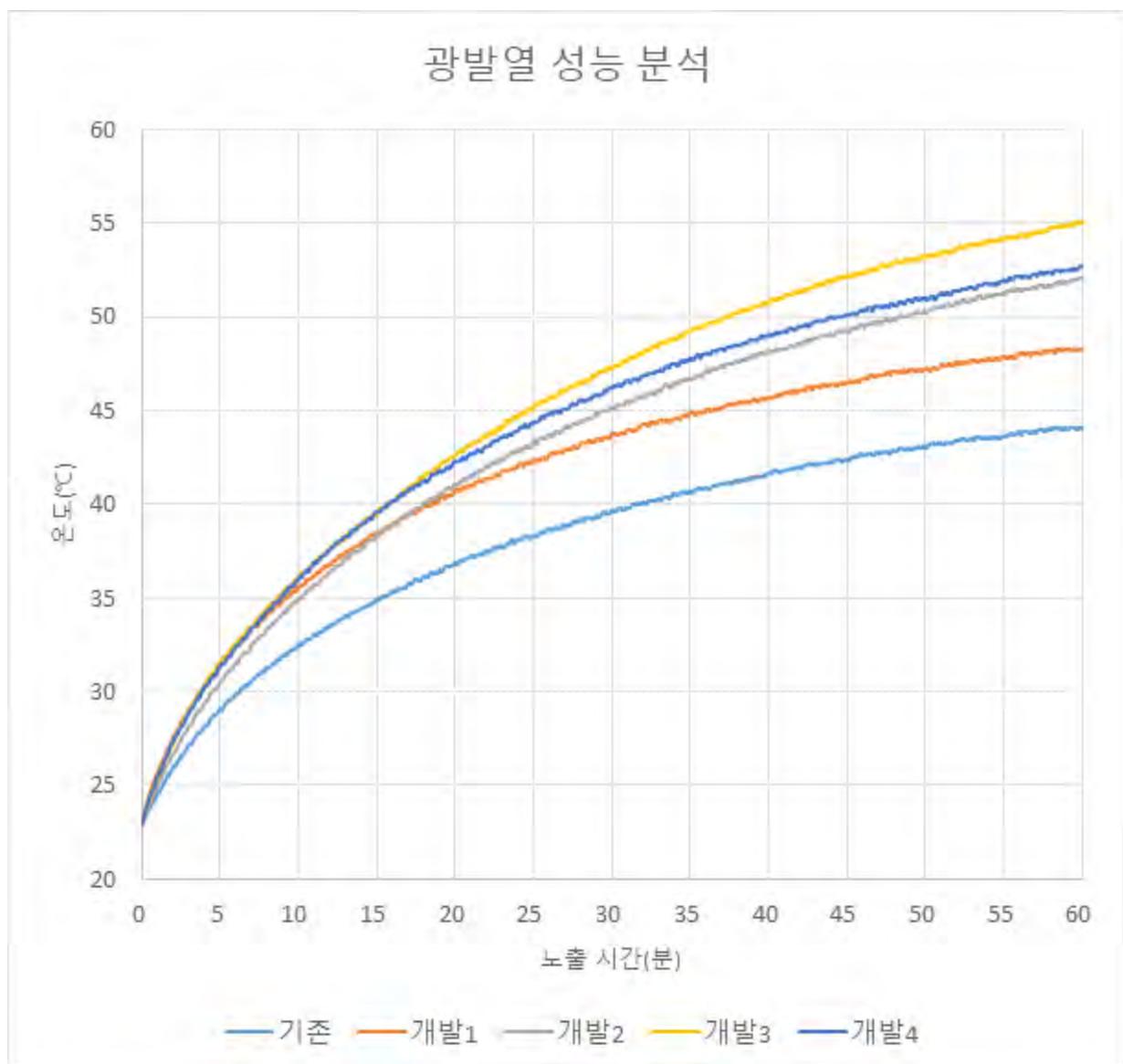


Fig. 편평사 원단의 광발열 성능 비교

(3) 작물별 최적 발열 조건 연구

- 작물의 성장 활동은 복잡한 물리/화학적 반응의 결정체이며 그중에서 온도의 영향을 가장 크게 받는다. 작물의 생육 가능한 온도를 유효 온도라고 지칭하며 생육이 가장 왕성한 온도를 최적 온도, 생육 가능한 가장 낮은/높은 온도를 각각 최저 온도/최고 온도라고 한다. 이 세 온도를 주요 온도라고 하는데, 작물의 성장 단계와 종류에 따라 다르고, 주야간의 생육 적정 온도도 다르다.
- 작물은 생육 적온에서 가장 생육이 가장 잘 이루어지고, 한계 온도까지 생육이 가능하지만, 적온에서 멀어질수록 생육이 둔화되며, 적온 범위 밖에서 방치되면 생육 억제 현상이 발생한다. 또한 한계 온도를 벗어나면 고온/저온 장애가 발생한다. 따라서 온실 내부 온도는 한계 온도를 벗어나지 않도록 관리해야 하며, 가능하면 생육 적온 범위 안에서 유지되도록 해야 한다.

Table. 채소류의 생육 적온과 한계 온도

작 물		최저 한계 온도(℃)	생육 적온(℃)	최고 한계 온도(℃)
가지과	토마토	5	20 ~ 25	35
	가지	10	23 ~ 28	35
	고추	12	25 ~ 30	35
박과	오이	8	23 ~ 28	35
	수박	10	23 ~ 28	35
	온실멜론	15	25 ~ 30	35
	참외	8	20 ~ 25	35
	호박	8	20 ~ 25	35
엽근채류	시금치	8	15 ~ 20	25
	무	8	15 ~ 20	25
	배추	5	13 ~ 18	23
	샐러리	5	15 ~ 20	23
	썩갓	8	15 ~ 20	25
	겉구상추	8	15 ~ 20	25
장미과	딸기	5	18 ~ 23	30

(※ 출처: 손정익 등, 2010, 시설원예학, 향문사 p128.)

- 작물의 생육 적온과 한계 온도를 통해서 작물의 성장 정도를 예측할 수 있는데, 토마토나 멜론 등 하절기 식물의 경우, 특정 온도 이하에서 전혀 자라지 않고, 시금치와 같은 선선한 계절 작물의 경우는 식물 생장이 전혀 없는 온도에서 생육 적온에 도달할 때까지 성장 정도가 비례하는 특징을 보인다.

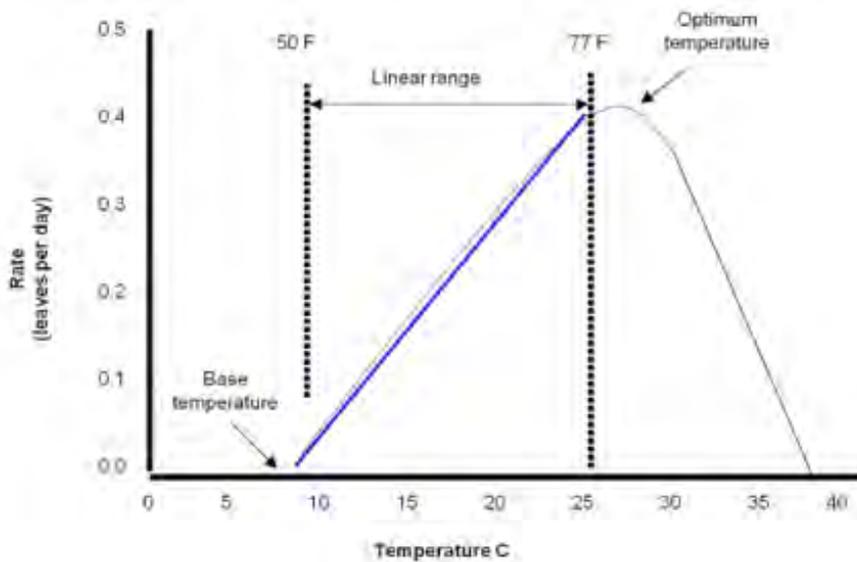


Fig. 온도 조건에 따른 식물의 성장 곡선

- 또한 식물은 온도 변화에 따라 잎과 잎 사이의 거리가 달라진다는 특징이 있다. 낮과 밤의 온도 차이가 커짐에 따라, 잎과 잎 사이의 거리가 증가하게 되며 차이가 감소함에 따라 거리가 줄어드는 특징이 있다.
- 줄기의 길이가 길어야 유리한 작물을 재배할 때에는 낮과 밤의 온도차가 큰 경우가 유리하지만 토마토, 가지 등 과실 작물의 경우에는 작물 생산량에 영향을 미칠 수 있다.

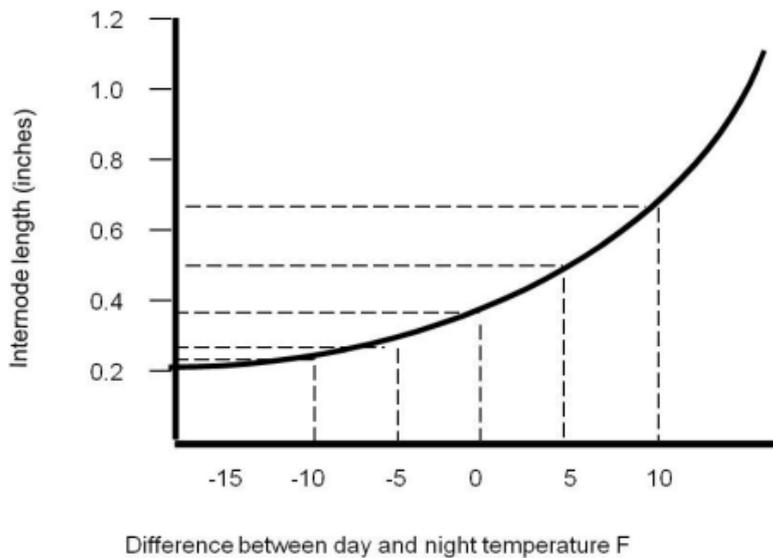


Fig. 낮과 밤의 온도 차이에 따른 잎과 잎 사이의 거리

- 지온 역시 작물의 생육에 큰 영향을 미치는데, 특히나 식물은 토양으로부터 영양분을 흡수하는 근권부(뿌리)가 식물의 생장에 미치는 영향이 크기 때문에 식물의 생장에 매우 중요하다고 할 수 있다. 지온의 적정 온도는 대체적으로 15~20°C의 범위에 있으며, 최저 한계 지온은 13°C, 최고 한계 지온은 25°C이다.

- 지온이 30℃ 이상이 되면, 근모(뿌리털)의 발생이 억제되고 뿌리의 호흡이 왕성해져 동화 산물(동화 작용에 의한 산물)의 소모가 많아진다. 그리고 지온이 낮으면 뿌리의 신장과 활성이 떨어지고 토양 미생물의 활동이 억제되어 결국 양분과 수분의 흡수가 불량해진다.

Table. 채소류의 지온에 대한 생육 적온과 한계 온도

작물	지온(℃)			작물	지온(℃)		
	최저 한계 온도	생육 적온	최고 한계 온도		최저 한계 온도	생육 적온	최고 한계 온도
토마토	13	15 ~ 18	25	참외	13	15 ~ 18	25
오이	13	18 ~ 20	25	애호박	13	15 ~ 18	25
수박	13	18 ~ 20	25	피망	13	18 ~ 20	25
멜론	13	18 ~ 20	25	딸기	13	15 ~ 18	25

- 위 표에 나타난 것과 같이, 지온은 대기 온도보다 한계 온도 범위가 좁고, 생육 적온 범위 역시 좁은 것을 알 수 있다. 즉 근권부(뿌리)의 온도 조건은 지상부(줄기)의 온도 조건보다 더 민감하며, 상대적으로 일정하여야 한다는 것을 알 수 있다.
- 또한 토양의 지온에 따라 종자의 발아 특성이 영향을 받는데, 대부분의 작물에서 최적의 발아 온도는 18~23℃ 사이에 위치한다.

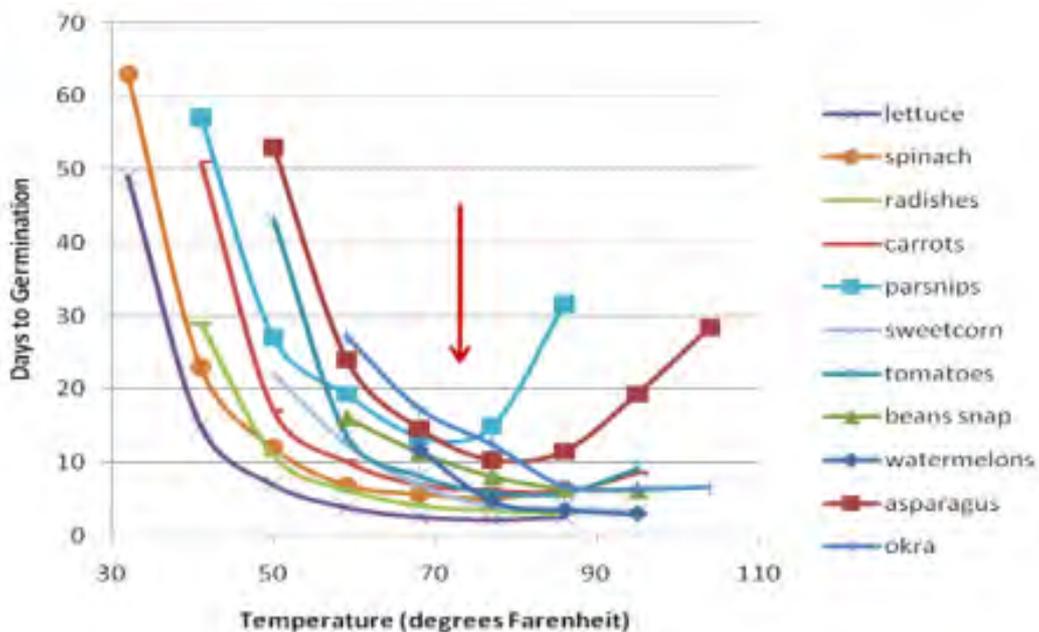


Fig. 온도 조건에 따른 작물별 발아 특성

- 즉, 광발열 멀칭 원단 적용을 통해, 작물별 지온에 대한 생육 적온 유지에 필요한 난방 에너지를 절감할 수 있으며, 원단 내부 공기층의 단열 효과로 난방 장치의 비정상적인 작동 환경에서도 비교적 장시간 작물을 보호할 수 있을 것으로 예상된다.
- 이런 온도 차이에 따른 채소류의 성장 속도 차이를 비교하기 위하여, 15.5℃와 21℃에서 상추의 성장을 비교한 결과, 아래의 사진과 같이 성장 속도에서 큰 차이를 보이는 것을 확인하였다.



Fig. 온도 차이에 따른 상추의 성장 비교 (왼쪽 : 15.5℃, 오른쪽 : 21℃)

<2차년도>

1) 주관연구개발기관((주)뉴프라임)

(1) 광발열 Master batch를 활용한 편평사 원단 코팅 공정 및 부직포 합포 공정 개발

- 부직포 합포를 통하여 부직포 내부 공기층에 의한 보온성을 확보하고, 통기성 필름 합포를 통하여 기체는 통과하고, 액체는 통과하지 못하게 하여 토양의 환기는 가능하게 하면서, 수분은 보존할 수 있는 기능성을 확보하기 위하여, 광발열 편평사 원단을 활용하여 부직포, 통기성 필름과 3중 합포를 통한 원단 코팅 공정 및 부직포 합포 공정을 진행하였다.
- 총 2종의 광발열 편평사 원단(PE, PP)를 사용하여 진행하였으며 발열 원단(PE) + Breathable film + White(or Black) Nonwoven fabric 시제품의 경우, 발열 원단 55 g/m², Breathable film 25 g/m², Nonwoven fabric 60~65 g/m² 및 본딩재료 7 g/m²으로 구성하였고, 발열원단(PP) + Breathable film + White(or Black) Nonwoven fabric 시제품의 경우, 발열 원단 60 g/m², Breath-able film 25 g/m², Nonwoven fabric 60~65 g/m² 및 본딩재료 7 g/m²으로 구성하였다.

Table. 3중 합포 원단의 비율

발열 원단 소재	Nonwoven Fabric 색상	재료 중량(g/m ²)				최종 제품 중량 (g/m ²)
		발열 원단	Breathable film	Nonwoven Fabric	본딩 재료	
PE	White	55	25	60	7	147
	Black	55	25	65	7	152
PP	White	60	25	60	7	152
	Black	60	25	65	7	157

- 본 공정은 부직포 합포를 통한 보온성 확보 유/무 확인 및 통기성 필름 부착을 통한 수분 보호가 가능한지 확인하기 위한 공정으로 최대한 동일한 조건에서 비교 분석하기 위하여 가능한 일반적인 공정 조건으로 진행하였으며, 접착 온도는 120 °C에서 진행하였다.
- 광발열 편평사 원단과 Nonwoven fabric, Breathable film를 투입함과 동시에 본딩 재료를 분사하고, 열과 압력을 가하여 접착하는 방식의 공정이며, 건조 후 와인딩한다.



Fig. 거치된 광발열 편평사 원단



Fig. Nonwoven fabric(White) 공급 및 상단부 노즐에 의한 접착 재료 분사



Fig. Nonwoven fabric(Black) 공급

- 완성된 4종의 시료는 공동연구개발기관에서 물성 분석 및 광발열 성능, 보온성, 투습도 등을 비교분석 하였다.

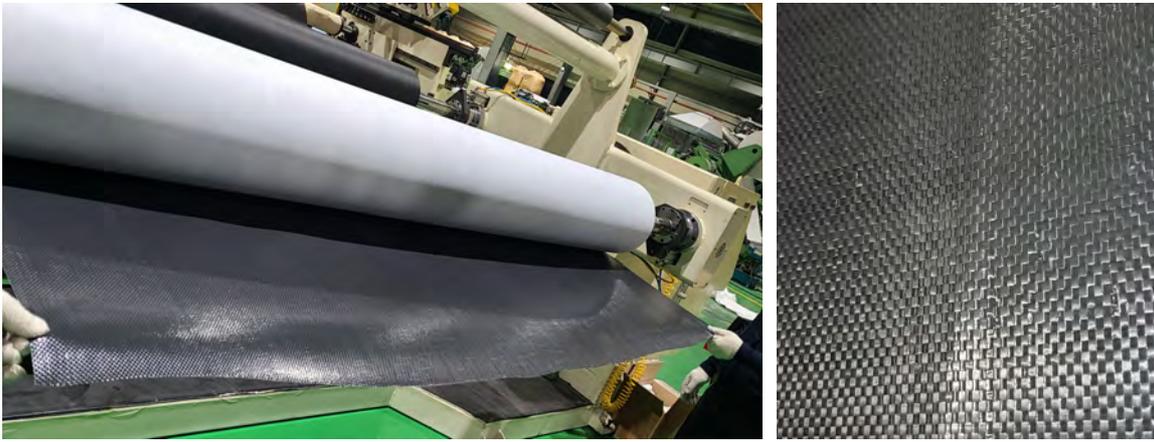


Fig. 광발열 원단 + Nonwoven fabric(White) + Breathable film 합포 원단



Fig. 광발열 원단 + Nonwoven fabric(Black) + Breathable film 합포 원단

(2) 광발열 Master batch를 활용한 편평사 제사 공정 최적화

- 1차년도에 개발한 광발열 Master batch를 활용한 편평사 원사의 제사 공정 최적화를 위하여 공동연구개발기관에서 최적 분산 연구를 통하여 제조한 PE(PP) / Graphite Master Batch Chip을 활용하여 제사 공정을 진행하였다.
- 1차년도 공정 진행 시, 불균일한 입자 분포 및 응집된 입자로 인하여 사절 발생 빈도가 높고, 원사의 물성이 균일하지 못한 문제점이 발생하였다.



Fig. 응집된 입자를 포함한 필름의 표면

- 이는 PE(PP) / Graphite Master Batch Chip의 입자 분포가 불균일하거나, 용융하여 토출, 냉각하는 과정에서 입자의 응집이 발생하였을 가능성이 있다고 판단하였다.
- 이를 해결하기 위하여, 공동연구개발기관에서 최적 분산 조건 연구를 통하여 균일하게 분산된 PE(PP) / Graphite Master Batch Chip을 확보하고, 이를 활용하여 제사 공정의 최적화를 진행하였다.



Fig. PE(PP) / Graphite Master Batch Chip

- 제사 설비는 1차년도와 동일하며, 공정 조건은 270~300 °C 온도 범위에서 응집이 일어나지 않는 최적 조건 확보를 위한 연구를 진행하였다.



Fig. 광발열 Master batch 혼합 시, 원료 투입 호퍼 구성 및 온도 조절



Fig. 제사 공정 중, 필름 토출 및 냉각 공정

- 광발열 입자가 함유된 Master batch와 원재료의 혼합 공정 후, 이를 압출기를 통해서 압출하게 되는데, 이때 점성을 유지하면서 흐름성을 확보할 수 있는 온도 조건 및 속도 /압력 조건이 필요하다.
- 또한 1차년도에 발생한 입자 응집 문제를 해결하기 위하여 냉각수 온도를 낮추고 압출 속도를 상향 조정하여 용융된 상태에서 입자의 응집 발생을 최소화하였다.
- PE 소재의 압출 조건은 구금 온도 280~285 °C, 연결 라인 온도 280~290 °C, Extruder 온도 300~245 °C, Screw 37.1 rpm, Pump 24.3 rpm, 냉각수 55 °C의 조건으로 진행하였다.
- PP 소재의 압출 조건은 구금 온도 290~295 °C, 연결 라인 온도 290~300 °C, Extruder 온도 310~245 °C, Screw 37.1 rpm, Pump 24.3 rpm, 냉각수 55 °C의 조건으로 진행하였다.
- 이는 1차년도 Screw 23.5 rpm, Pump 20.3 rpm, 냉각수 58 °C의 조건보다 빠른 속도와 낮은 냉각수 온도이며, 이 방법을 통하여 입자의 응집 문제를 해결하였다.



Fig. 압출 조건

Table. PE 필름 압출 조건표

구급 온도(℃)		연결 라인 온도(℃)		Extruder 온도(℃)		기타	
Zone	Actual	Zone	Actual	Zone	Actual	Zone	Actual
19	285	12	280	7	300	Screw	37.1 rpm
18	280	11	280	6	300	Pump	24.3 rpm
17	280	10	280	5	295	냉각수	55 ℃
16	280	9	280	4	285		
15	280	8	290	3	275		
14	280			2	265		
13	285			1	245		

Table. PP 필름 압출 조건표

구급 온도(℃)		연결 라인 온도(℃)		Extruder 온도(℃)		기타	
Zone	Actual	Zone	Actual	Zone	Actual	Zone	Actual
19	295	12	290	7	310	Screw	37.1 rpm
18	290	11	290	6	310	Pump	24.3 rpm
17	290	10	290	5	305	냉각수	55 ℃
16	290	9	290	4	295		
15	290	8	300	3	280		
14	290			2	260		
13	295			1	245		

- 연신 및 슬리팅 공정에서는 가열판의 온도 및 연신 속도가 편평사의 섬도를 결정하는 중요한 요소인데, 가열판의 온도 조절 및 연신 속도를 통해서 같은 폭을 가지면서 다양한 섬도를 가지는 편평사 제조가 가능하다.

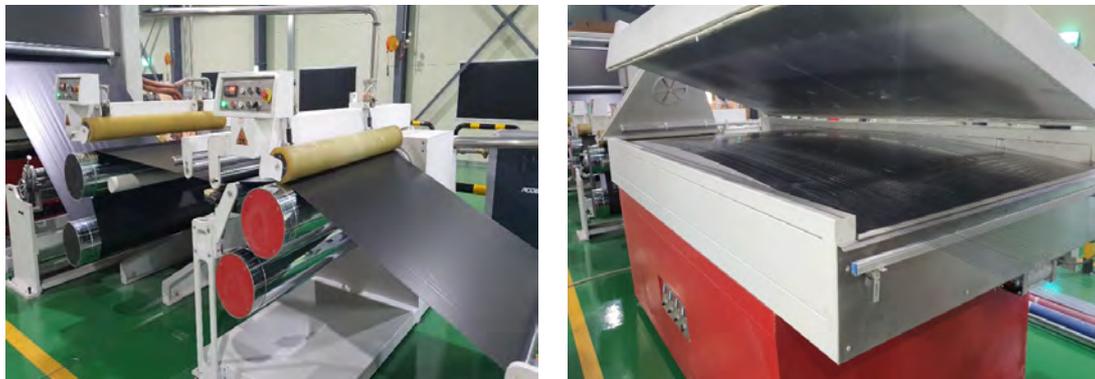


Fig. 연신 및 슬리팅 공정



Fig. 연신 과정의 가열판 온도 조절



Fig. 연신 과정의 연신 속도 조절

- 원사의 섬도에 따른 물성 및 광발열 성능에 대한 분석은 1차년도에 진행하였으므로, 2차년도에는 동일한 섬도의 원사의 경위사를 변경하여 광발열 성능을 분석할 예정이므로 확보된 최적 공정 조건을 활용하여 1000d, 7목 원사를 제사하였다.

Table. 편평사 연신 및 슬리팅 조건

편평사 섬도	1000 d
연신판 온도(°C)	119
속도(mpm)	143
연신비	6.6
슬리팅 폭(mm)	7

- 연신 및 슬리팅 이후 권취 공정을 통해서 보빈에 감아주어 최종적으로 편평사 원사를 제조하였다.



Fig. 연신 후 권취 공정



Fig. 광발열 입자를 함유한 편평사 원사

(3) 광발열 편평사를 활용한 편평사 원단 제작 공정 최적화

- 기존 원단과 광발열 편평사를 활용한 편평사 원단의 광발열 성능을 비교 분석하기 위하여, inch 당 14x14의 밀도를 가지는 기존 원단의 제직 조건을 동일하게 적용하여 제직을 진행하였다.
- 다만 광발열 성능 및 보온 성능의 향상을 위하여 낮은 목수(7목)의 원사를 높은 밀도(14x14)로 제직하는 접사 제직 공정을 진행하였다.
(접사 제직 공정은 편평사의 폭 보다 좁은 제직 폭으로 설계하여 제직하는 방법으로, 제직한 원단에서 원사가 2~3중으로 겹쳐서 제직되어 접힌 부분에 공기층을 확보할 수 있음)



Fig. 기존 원단의 제직 공정



Fig. 광발열 편평사 원단의 제작 공정

- 밀도는 14×14 ea/inch, 사종은 PE/PP, 경/위사의 섬도는 1000d로 제작하였으며, 성폭 122 inch, Plain 조직으로 제작하였다.
- 사종별로 경위사의 조합을 다르게 하여 총 4종의 원사를 제작하였으며, 경위사 조합을 기존(White)/기존(White), 광발열/기존(White), 광발열/광발열, 기존(Black)/기존(Black)으로 구성하였다.

Table. 광발열 편평사 원단의 제작 조건

시료	기존1	기존2	개발1	개발2
밀도(ea/inch)	14×14	14×14	14×14	14×14
사종	PE	PE	PE	PE
섬도(de)	1000(7목)	1000(7목)	1000(7목)	1000(7목)
경사	기존(Black)	기존(White)	광발열	광발열
위사	기존(Black)	기존(White)	기존(White)	광발열
초본수(본)	976	976	976	976
종광(매)	2	2	2	2
성폭(inch)	122	122	122	122
조직	Plain	Plain	Plain	Plain
시료	기존3	기존4	개발3	개발4
밀도(ea/inch)	14×14	14×14	14×14	14×14
사종	PP	PP	PP	PP
섬도(de)	1000(7목)	1000(7목)	1000(7목)	1000(7목)
경사	기존(Black)	기존(White)	광발열	광발열
위사	기존(Black)	기존(White)	기존(White)	광발열
초본수(본)	976	976	976	976
종광(매)	2	2	2	2
성폭(inch)	122	122	122	122
조직	Plain	Plain	Plain	Plain

Table. 기존1 원단

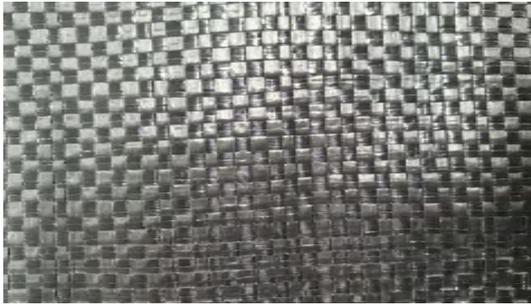
시료	기존	표면 사진
밀도(ea/inch)	14×14	
사종	PE	
섬도(de)	1000(7목)	
경사	기존(Black)	
위사	기존(Black)	
성폭(inch)	122	
조직	Plain	

Table. 기존2 원단

시료	기존	표면 사진
밀도(ea/inch)	14×14	
사종	PE	
섬도(de)	1000(7목)	
경사	기존(White)	
위사	기존(White)	
성폭(inch)	122	
조직	Plain	

Table. 개발1 원단

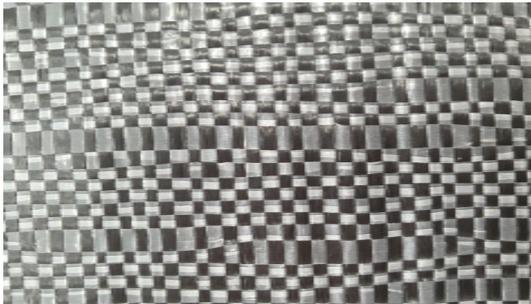
시료	개발	표면 사진
밀도(ea/inch)	14×14	
사종	PE	
섬도(de)	1000(7목)	
경사	광발열	
위사	기존(White)	
성폭(inch)	122	
조직	Plain	

Table. 개발2 원단

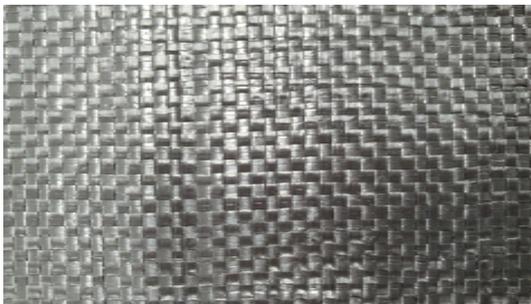
시료	개발	표면 사진
밀도(ea/inch)	14×14	
사종	PE	
섬도(de)	1000(7목)	
경사	광발열	
위사	광발열	
성폭(inch)	122	
조직	Plain	

Table. 기존3 원단

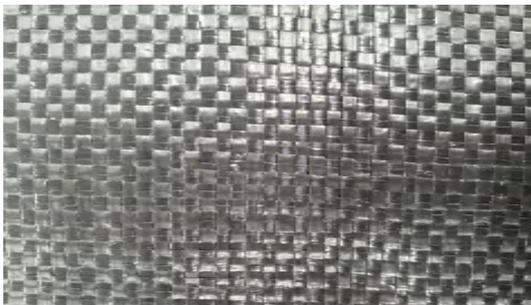
시료	기존	표면 사진
밀도(ea/inch)	14×14	
사종	PP	
섬도(de)	1000(7목)	
경사	기존(Black)	
위사	기존(Black)	
성폭(inch)	122	
조직	Plain	

Table. 기존4 원단

시료	기존	표면 사진
밀도(ea/inch)	14×14	
사종	PP	
섬도(de)	1000(7목)	
경사	기존(White)	
위사	기존(White)	
성폭(inch)	122	
조직	Plain	

Table. 개발3 원단

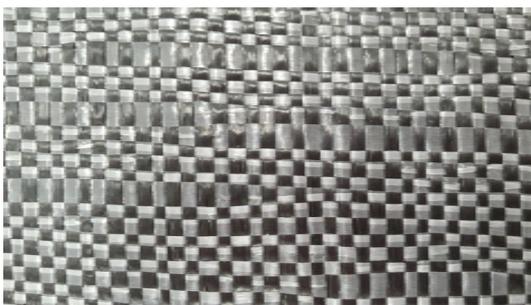
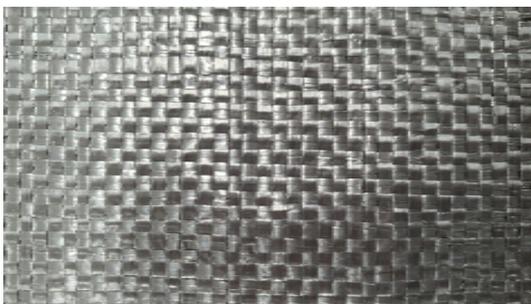
시료	개발	표면 사진
밀도(ea/inch)	14×14	
사종	PP	
섬도(de)	1000(7목)	
경사	광발열	
위사	기존(White)	
성폭(inch)	122	
조직	Plain	

Table. 개발4 원단

시료	개발	표면 사진
밀도(ea/inch)	14×14	
사종	PP	
섬도(de)	1000(7목)	
경사	광발열	
위사	광발열	
성폭(inch)	122	
조직	Plain	

(4) 항균, 방충 등 기능성 Master batch를 활용한 편평사 제사 공정 개발

- 공동연구개발기관에서 연구한 항균 기능성 HDPE / Graphite Master Batch Chip을 활용하여 2% 수준의 기능성 입자를 함유하는 필름을 제조하고자 하므로, 공동연구개발기관의 사전 연구 조건인 Extrusion Temp. 270℃ 조건을 기준으로 온도를 높이면서 최대 300℃에서 최적 조건을 확립하였다.
- 제사 설비는 광발열 Master batch를 활용한 편평사 제사 공정 설비와 동일하며, 공정 조건은 270~300℃ 온도 범위에서 응집이 일어나지 않으면서 점성을 유지하고 흐름성을 확보할 수 있는 온도 조건 및 속도/압력 조건 연구를 진행하였다.



Fig. 기능성 Master batch 혼합 시, 원료 투입 호퍼 구성 및 온도 조절

- 기능성 입자가 함유된 Master batch와 원재료의 혼합 공정 후, 이를 압출기를 통해서 압출하게 되는데, 이때 점성을 유지하면서 흐름성을 확보할 수 있는 온도 조건 및 속도/압력 조건이 필요하다.
- 또한 1차년도에 발생한 입자 응집 문제를 해결하기 위하여 냉각수 온도를 낮추고 압출 속도를 상향 조정하여 용융된 상태에서 입자의 응집 발생을 최소화하였다.
- 압출 조건은 구금 온도 280~285℃, 연결 라인 온도 280~290℃, Extruder 온도 300~245℃, Screw 37.1 rpm, Pump 24.3 rpm, 냉각수 55℃의 조건으로 진행하였다.



Fig. 제사 공정 중, 필름 토출 및 냉각 공정

Table. 항균 기능성 필름 압출 조건표

구금 온도(℃)		연결 라인 온도(℃)		Extruder 온도(℃)		기타	
Zone	Actual	Zone	Actual	Zone	Actual	Zone	Actual
19	285	12	280	7	300	Screw	37.1 rpm
18	280	11	280	6	300	Pump	24.3 rpm
17	280	10	280	5	295	냉각수	55 ℃
16	280	9	280	4	285		
15	280	8	290	3	275		
14	280			2	265		
13	285			1	245		

- 연신 및 슬리팅 공정에서는 가열판의 온도 및 연신 속도가 편평사의 섬도를 결정하는 중요한 요소인데, 가열판의 온도 조절 및 연신 속도를 통해서 같은 폭을 가지면서 다양한 섬도를 가지는 편평사 제조가 가능하다.

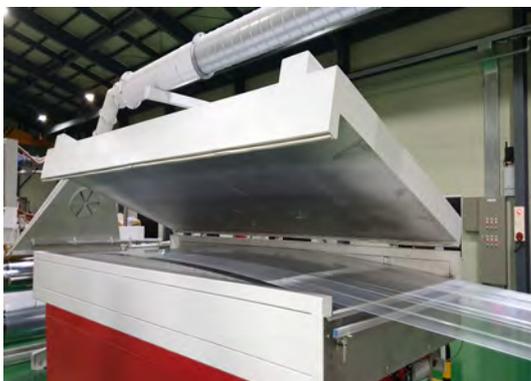


Fig. 연신 및 슬리팅 공정



Fig. 연신 과정의 가열판 온도 조절



Fig. 연신 과정의 연신 속도 조절

- 기능성 입자를 함유한 원사의 기능성을 분석하기 위한 공정이므로 광발열 입자를 함유한 원사의 연신 및 슬리팅 조건과 동일하게 1000d, 7목 원사를 제사하였다.

Table. 편평사 연신 및 슬리팅 조건

편평사 섬도	1000 d
연신판 온도(°C)	119
속도(mpm)	143
연신비	6.6
슬리팅 폭(mm)	7

- 연신 및 슬리팅 이후 권취 공정을 통해서 보빈에 감아주어 최종적으로 편평사 원사를 제조하였다.



Fig. 연신 후 권취 공정



Fig. 기능성 입자를 함유한 편평사 원사

(5) 항균, 방충 등 기능성 편평사를 활용한 편평사 원단 제작 공정 개발

- 기존 원단과 항균 기능성 편평사를 활용한 편평사 원단의 항균 성능을 비교 분석하기 위하여, inch 당 14×14의 밀도를 가지는 기존 원단의 제작 조건을 동일하게 적용하여 제작을 진행하였다.



Fig. 기존 원단의 제작 공정



Fig. 항균 기능성 원단의 제작 공정

- 밀도는 14×14 ea/inch, 사종은 HDPE, 경/위사의 섬도는 1000d로 제작하였으며, 성폭 122 inch, Plain 조직으로 제작하였다.

Table. 기능성 편평사 원단의 제작 조건

시료	기존	개발
밀도(ea/inch)	14×14	14×14
사종	HDPE	HDPE
섬도(de)	1000(7목)	1000(7목)
경사	기존(White)	항균
위사	기존(White)	항균
초본수(본)	976	976
종광(매)	2	2
성폭(inch)	122	122
조직	Plain	Plain

Table. 기존 원단

시료	기존	표면 사진
밀도(ea/inch)	14×14	
사종	PE	
섬도(de)	1000(7목)	
경사	기존(White)	
위사	기존(White)	
성폭(inch)	122	
조직	Plain	

Table. 개발 원단

시료	개발	표면 사진
밀도(ea/inch)	14×14	
사종	PE	
섬도(de)	1000(7목)	
경사	항균	
위사	항균	
성폭(inch)	122	
조직	Plain	

(6) 광발열 편평사 원단의 현장 실증평가

- 1차년도에 개발한 광발열 편평사 원단의 현장 실증 Test를 위하여 기존 편평사 원단의 섬도와 동일한 개발 편평사 원단 2를 활용하여 온실 농가의 커피 작물을 대상으로 설치 하였으며, 1차년도 11월 25일부터 2차년도 4월 4일까지 진행하였다.
- 설치 장소는 경북 청도군 각북면 남산리 1464번지에 위치한 꿈그린 농원으로, 1차년도에는 현장 실증 Test를 위한 사업비가 없어, 비용 없이 편평사 원단 설치 협조가 가능한 농장을 찾아 설치를 진행하였다.

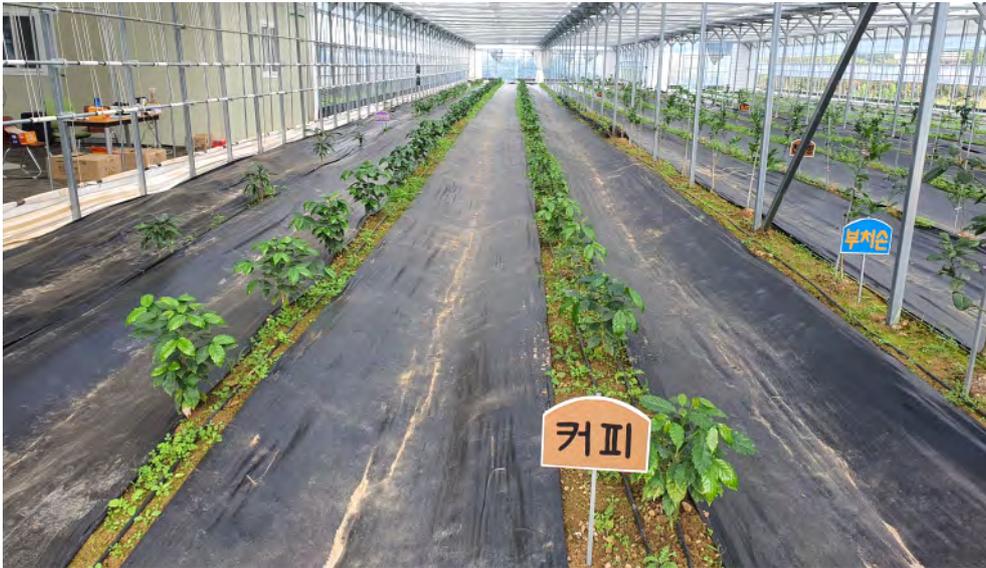


Fig. 광발열 편평사 원단 설치 전



Fig. 광발열 편평사 원단 설치 후

- 설치된 광발열 편평사 원단과 기존 제초 매트 표면의 상/하부 표면에 각각 온습도 기록계를 설치하고, 온실 내부에도 온습도 기록계를 설치하였다.

- 온습도 기록계는 10분마다 1번씩 온습도를 기록하며, 1차년도 12월 20일, 2차년도 2월 7일, 4월 4일 총 3번 데이터를 백업하였다.



Fig. 온습도기록계 설치

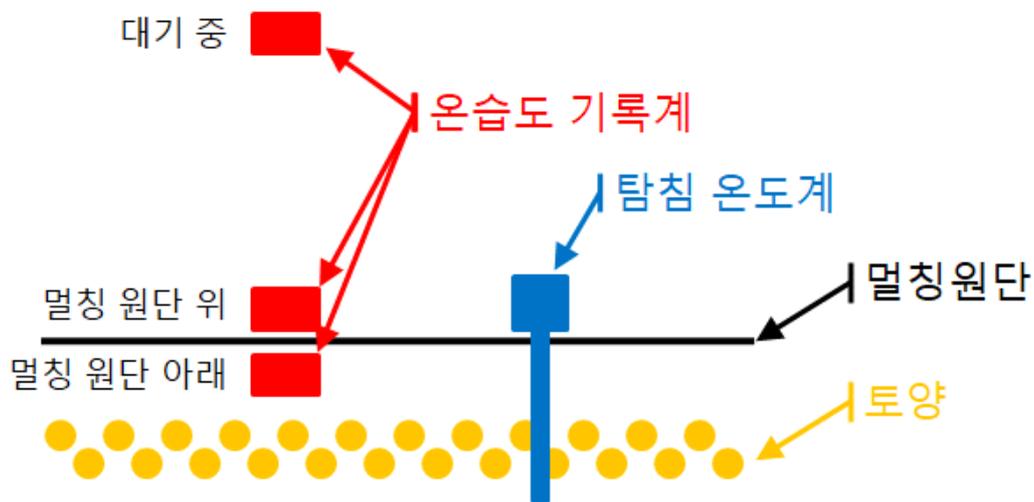


Fig. 온습도기록계 설치 위치

- 그래프는 일주일 단위로 잘라서 표시하였으며, 온습도기록계 각각의 데이터를 표시하고 광발열 편평사 원단과 기존 멀칭 원단의 하단 비교 분석을 통해 광발열 편평사 원단의 발열 성능을 분석하였다.
- 광발열 편평사 원단과 기존 멀칭 원단의 비교 분석 결과를 쉽게 비교하기 위하여 오전 12시와 오후 12시의 온도 데이터만 비교 분석한 결과, 상단과 하단, 오전과 오후 모두 개발 원단이 기존 원단보다 온도가 높은 것을 확인할 수 있었다.
- 특히 태양광을 받을 수 있는 오후 12시의 상단 비교 데이터는 5도 이상 차이를 보이기도 하였으며, 오후 12시의 하단, 오전 12시의 하단 데이터 역시 유의미한 차이를 보여주었으나, 태양광이 없는 오전 12시의 상단은 큰 차이를 확인하기 어려웠다.
- 위 결과를 토대로 광발열 편평사 원단은 기존 멀칭 비닐 대비 지표면에서 약 5 °C 정도의 온도 상승효과가 있는 것으로 판단된다.

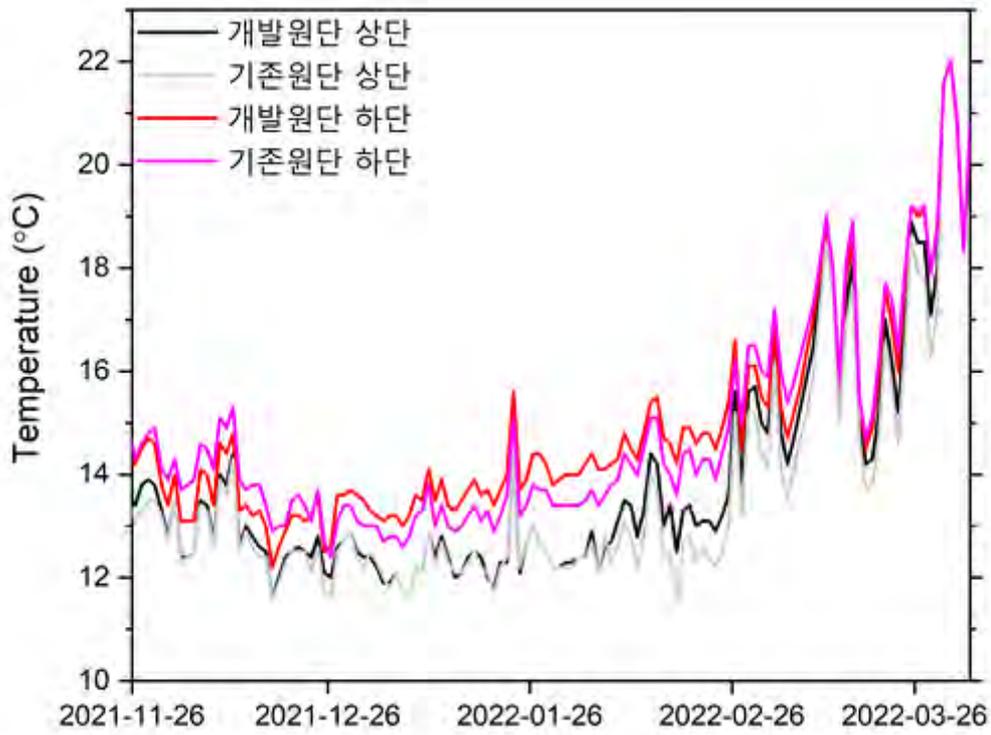


Fig. 광발열 편평사 원단과 기존 멀칭 원단의 온도 비교 (오전 12시)

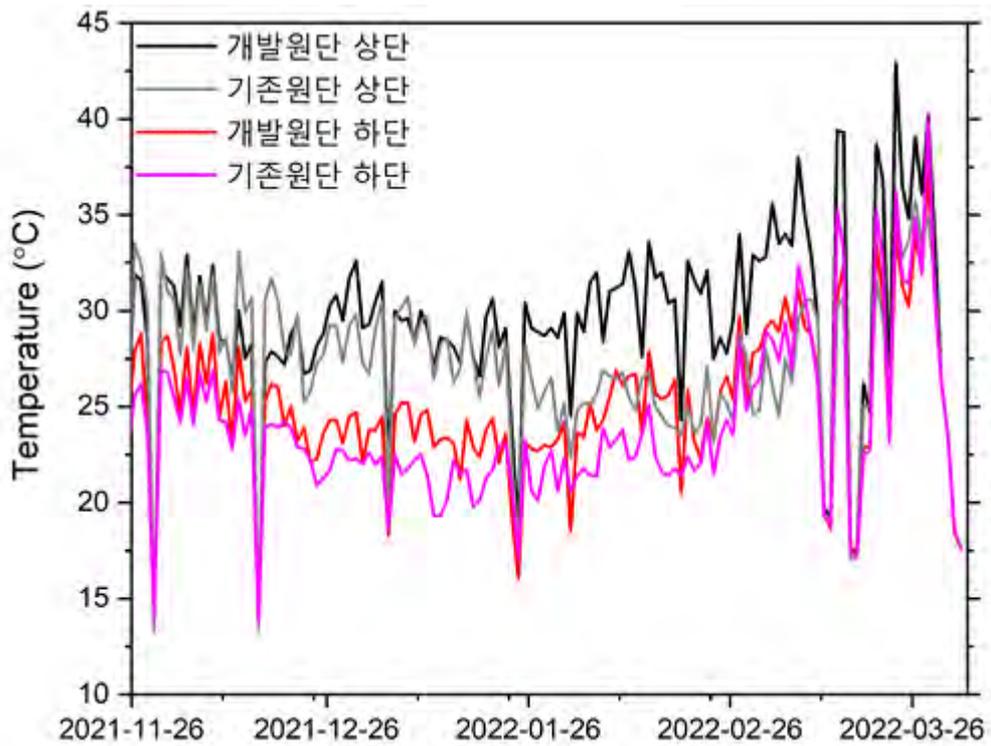


Fig. 광발열 편평사 원단과 기존 멀칭 원단의 온도 비교 (오후 12시)

- 일일 누적 온도 비교를 위하여 2월 9일, 3월 2일의 개발원단 상/하단, 기존원단 상/하단 온도 데이터를 그래프를 만들어 비교하였다.
- 비교 결과, 태양광을 받을 수 있는 낮 시간대에서는 확연하게 차이가 나는 것을 확인하였으며, 광이 없는 시간에는 큰 차이를 확인하지 못하였다.

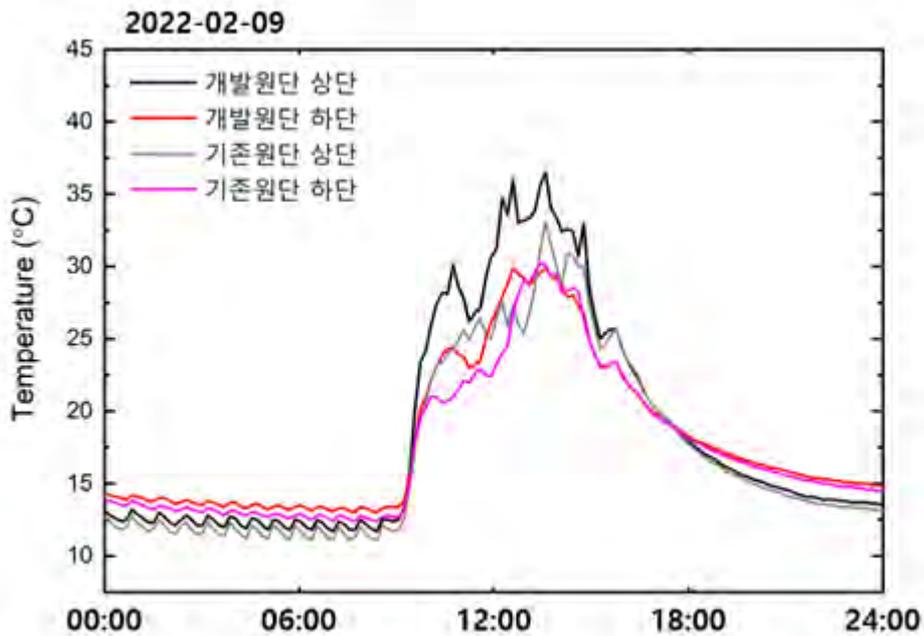


Fig. 광발열 편평사 원단과 기존 멀칭 원단의 온도 비교 (2월 9일)

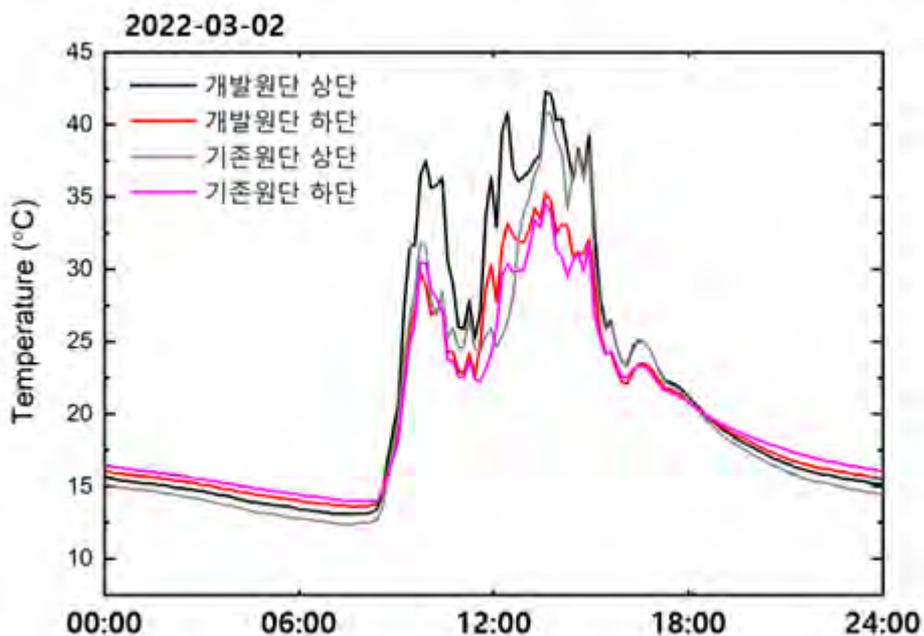


Fig. 광발열 편평사 원단과 기존 멀칭 원단의 온도 비교 (3월 2일)

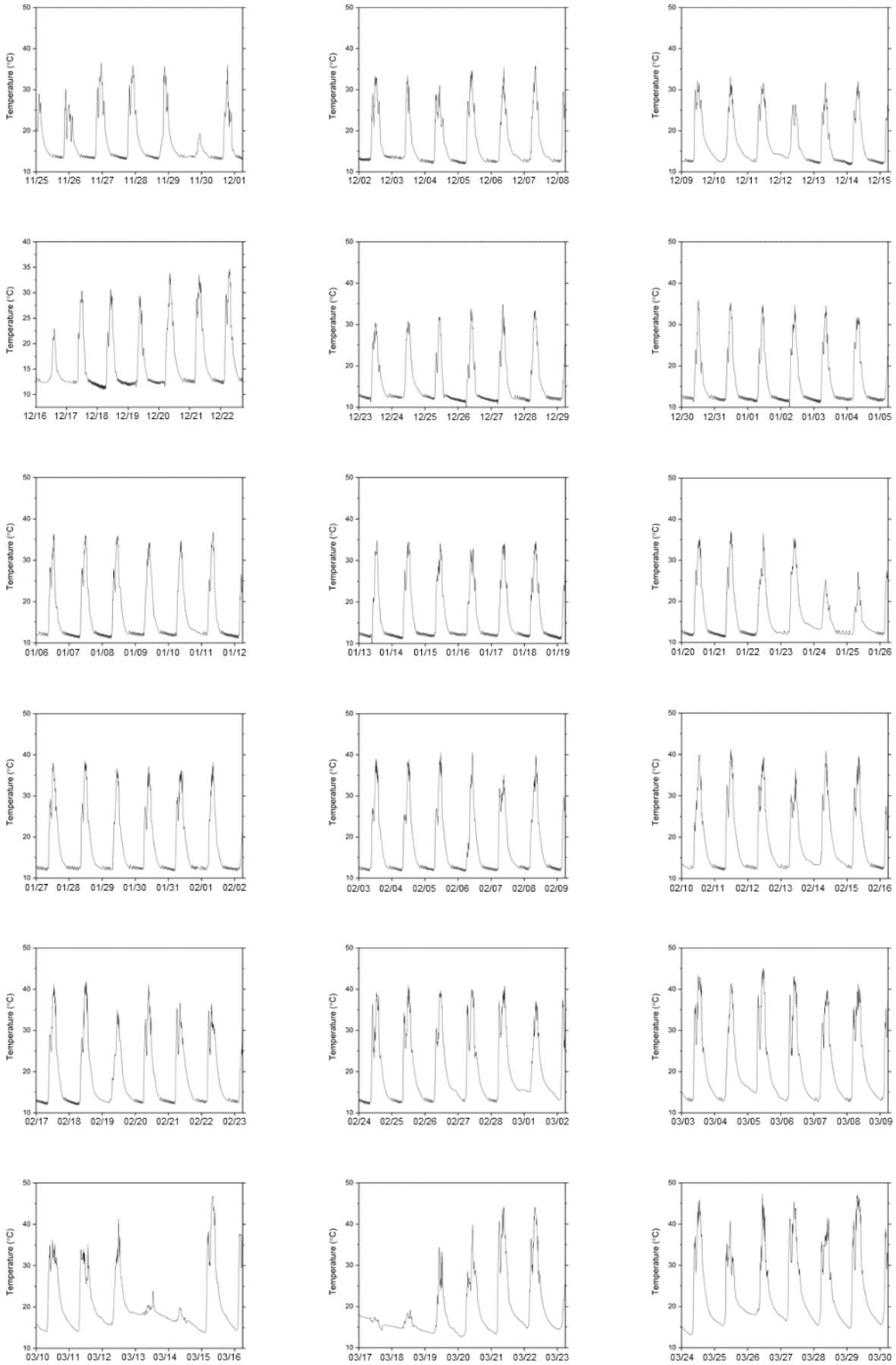


Fig. 광발열 편평사 원단의 상단 온도 data

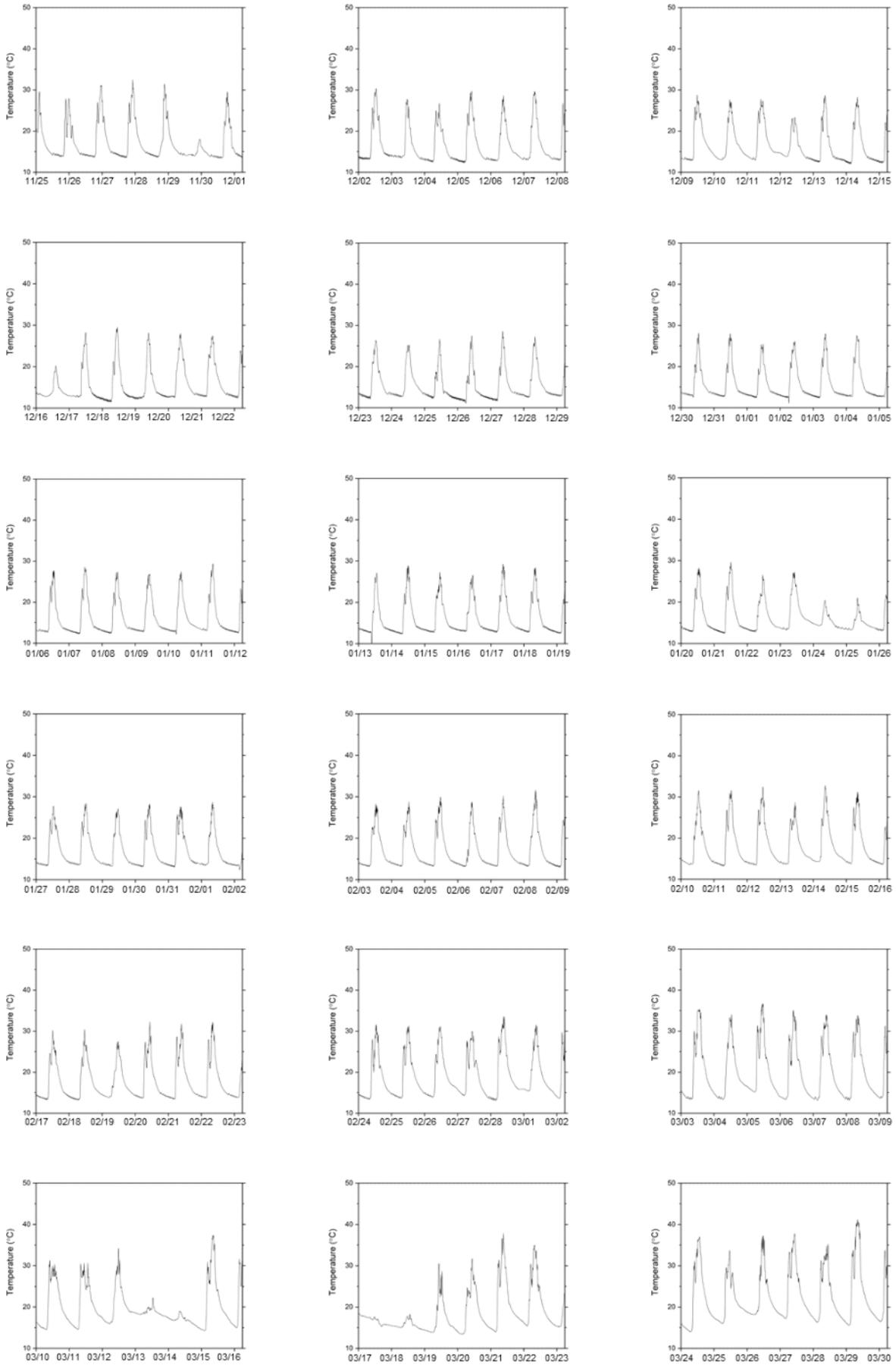


Fig. 광발열 편평사 원단의 하단 온도 data

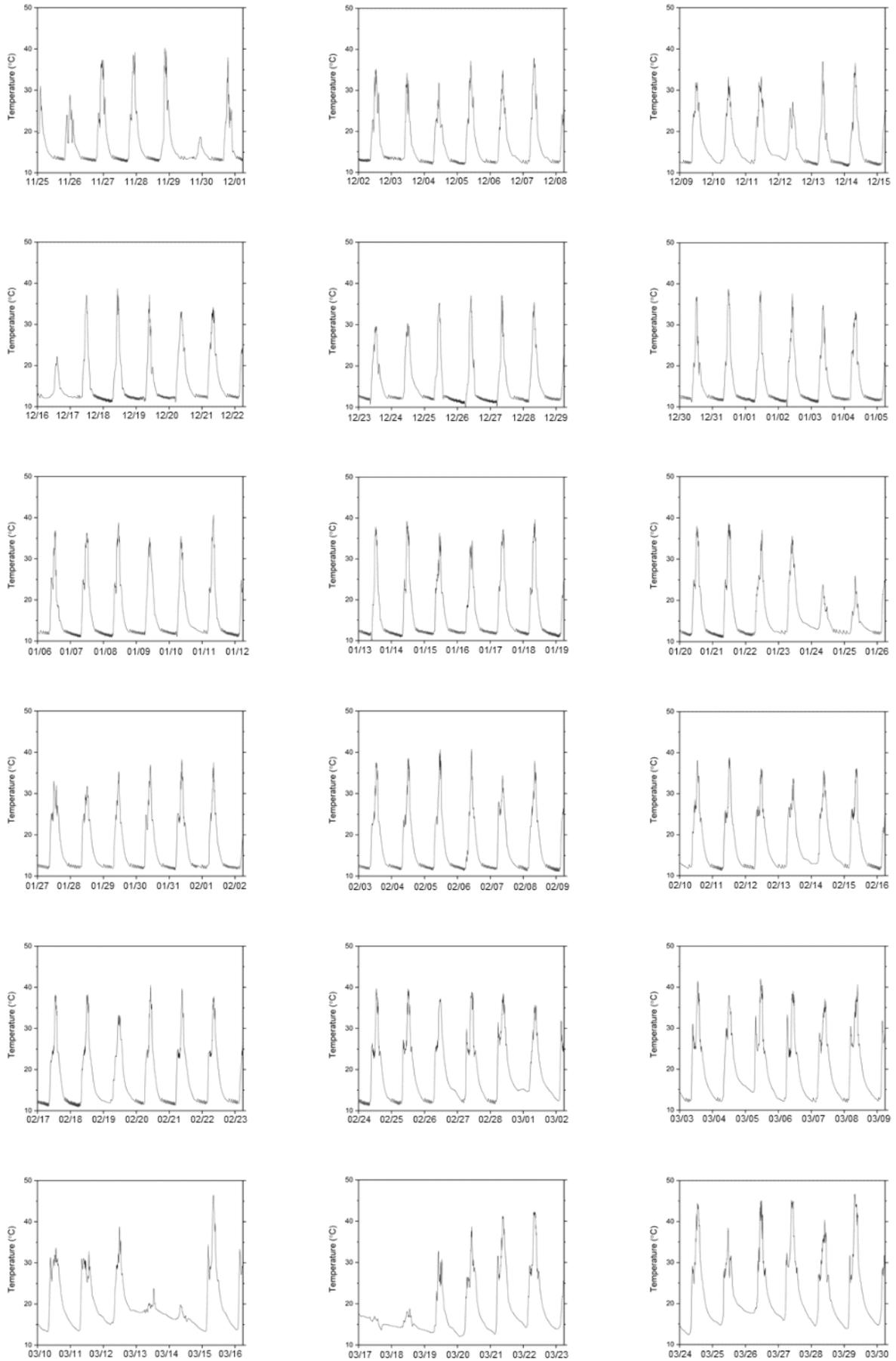


Fig. 기존 멀칭 원단의 상단 온도 data

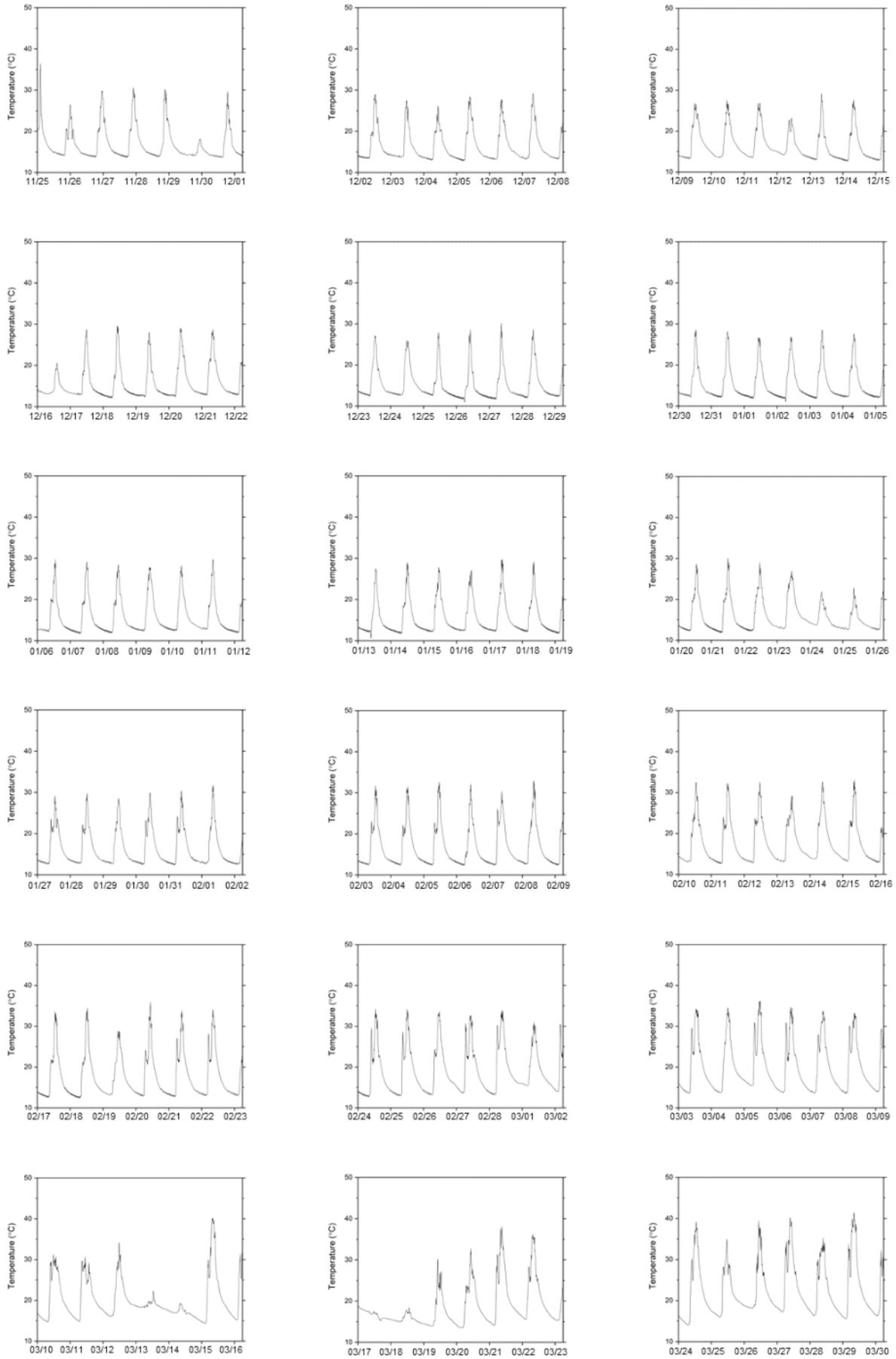


Fig. 기존 멀칭 원단의 하단 온도 data

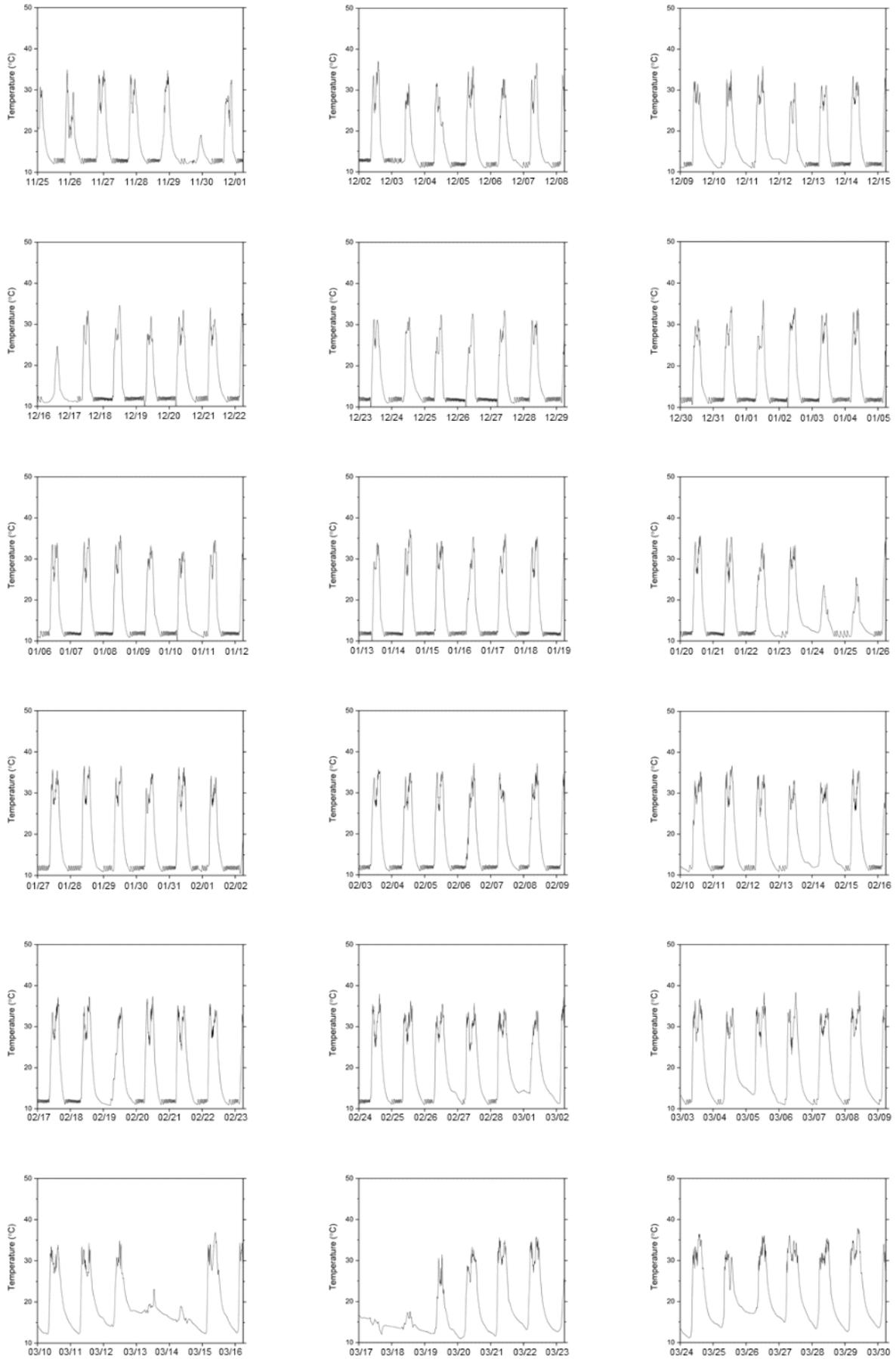


Fig. 온실 내부 온도 data

- 2차년도에 개발한 광발열 편평사 원단의 현장 실증 Test를 위하여, 경북대학교 농업생명과학대학과 협의하여 경북 군위군의 오이/가지 농가에 11월 말에 멀칭 원단을 멀칭하는 시점에 맞추어 현장 실증 평가를 시작할 예정으로, 현재 경북대학교, 농가, 주관연구개발기관간의 협의를 진행하였다.
- 4개의 이랑을 선택하여 기존 원단 2개, 개발 원단 2개를 멀칭하고, 멀칭 원단 아래에 온도 센서를 설치, 이랑 가장자리에 Data Logger를 설치하고, 물/농약 등의 살포에 의한 오염을 방지하기 위하여 전용 케이스를 제작하여 설치하였다.

<실증 분석 계획>

1. 이랑 개수 : 4개(기존 2개, 개발 2개)
2. 센서 설치 : 각 이랑마다 온도 센서 4개씩, 15m 간격으로 설치
(맨 처음 센서는 이랑의 가장자리에서 5m 내부에 설치)
3. Data Logger : 이랑 가장자리에 설치하며, 물/농약 등의 살포에 의한 오염을 방지하기 위하여 전용 케이스 제작 설치
4. 온도 센서 측정 가능 범위 : -20 ~ +70 °C
5. 온실 내부 온도 측정 : 상부/하부 및 가장자리/중심부 등 비교할 수 있는 위치에 온습도기록계 설치
6. 일조량 측정: 2주에 1번씩 방문하여 일조량 측정

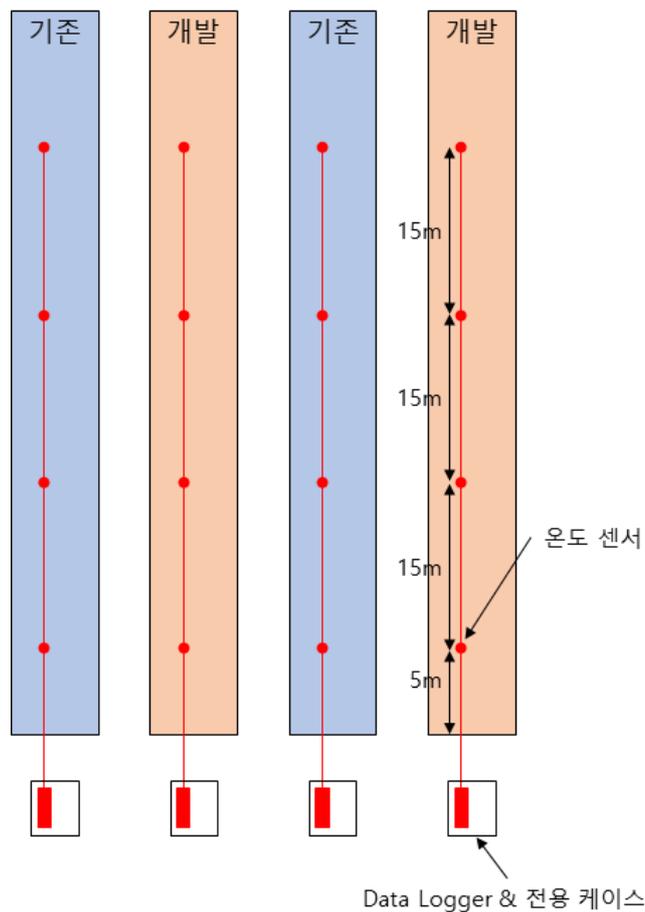


Fig. 온도 센서 설치 계획

2) 공동연구개발기관(한국섬유개발연구원)

(1) 코팅 공정이 가능한 광발열 Master batch 제조 조건 연구

- 코팅 공정이 가능한 광발열 Master batch를 제조하기 위하여 기존 Black Master batch와 성분 비교분석을 진행하였다.



Fig. 기존 Black Master batch와 1차년도 개발 광발열 Master batch Chip



Fig. 기존 Black Master batch와 1차년도 개발 광발열 Master batch의 분해 후, 잔여물 (왼쪽부터 기존 PE, 기존 PP, 개발 광발열 PE 소재)

- 기존 PE 소재의 Black Master batch Chip의 경우, 분해 후 흰색의 분말이 남는 것으로 보아, Black 색상은 유기 안료를 활용한 것으로 판단되며, 기존 PP 소재의 Black Master batch Chip의 경우, 분해 후 검은색과 흰색이 혼합되어 있는 것으로 보아, Black 색상의 유기안료와 Graphite가 혼합되어 있는 것으로 판단된다.
- 기존 PE 소재의 Black Master batch와 PP 소재의 Black Master batch, 1차년도에 개발한 HDPE / Graphite Master Batch Chip을 700 °C에서 전기로에서 2시간 방치하여 유기물을 모두 분해시키고 남은 잔여물의 FT-IR 분석을 진행하였다.

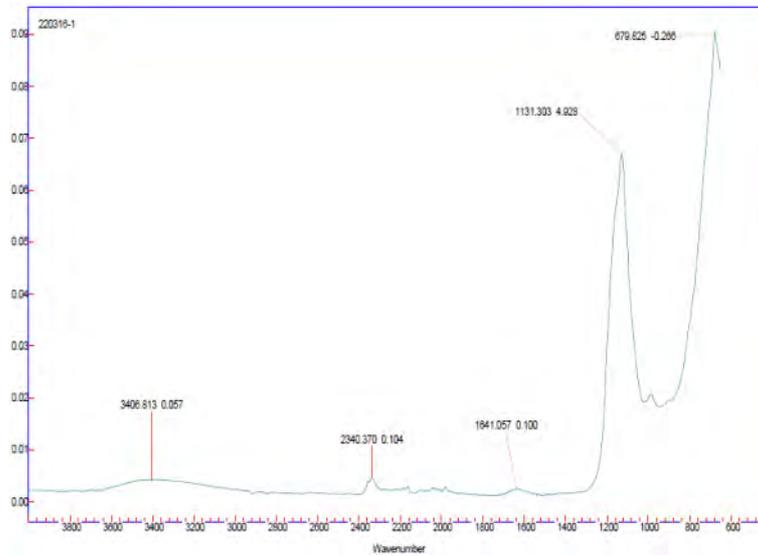


Fig. 기존 PE 소재의 Black Master batch Chip 분해 후, 잔여물의 FT-IR 분석 결과

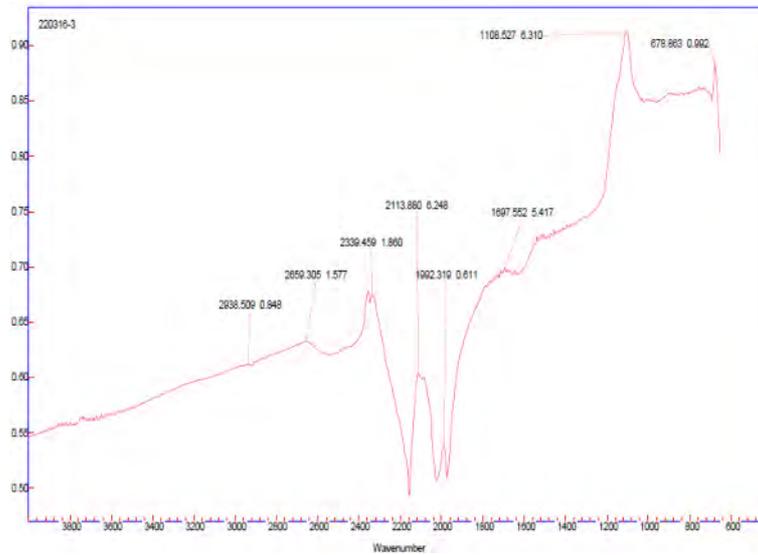


Fig. 기존 PP 소재의 Black Master batch Chip 분해 후, 잔여물의 FT-IR 분석 결과

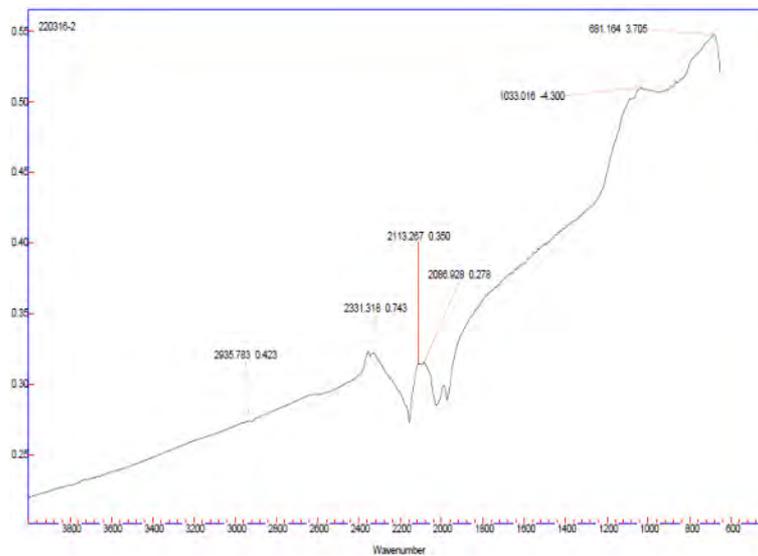


Fig. HDPE / Graphite Master Batch Chip 분해 후, 잔여물의 FT-IR 분석 결과

- FT-IR 분석 결과, 기존 소재는 Zeolites, Anhydrite 등의 광물로 분석되었으며, 개발 광발열 Master batch는 Graphite로 분석되었다.
- 기존 Black Master batch와 1차년도 개발 광발열 Master batch의 분해 후, 잔유물의 중량비를 측정하기 위하여 TGA 분석을 진행하였다.

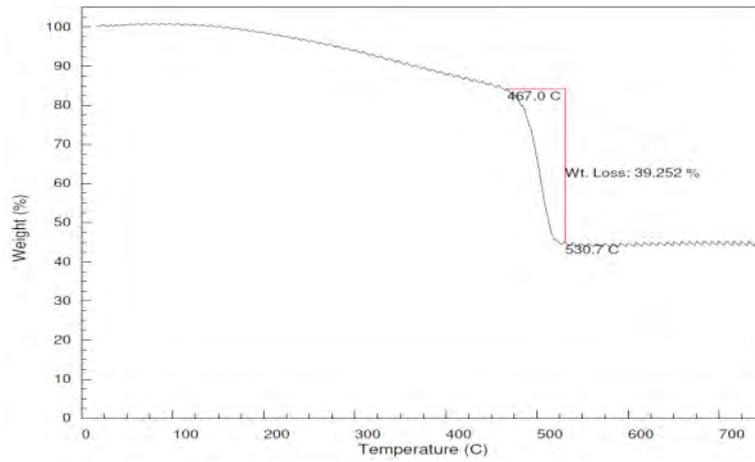


Fig. 기존 PE 소재의 Black Master batch Chip의 TGA 분석 결과

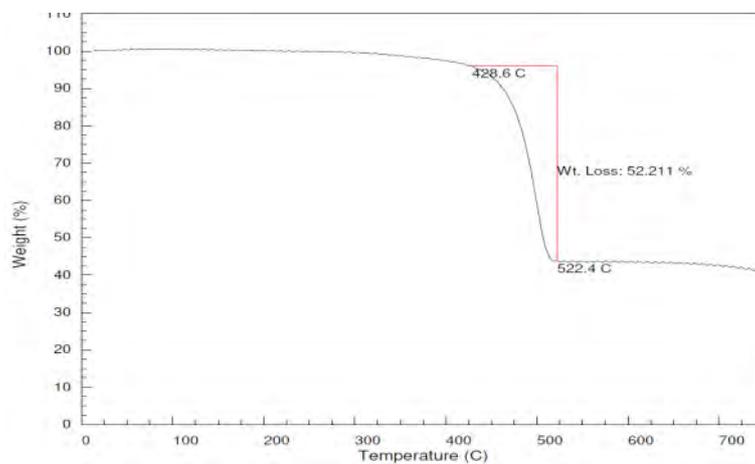


Fig. 기존 PP 소재의 Black Master batch Chip의 TGA 분석 결과

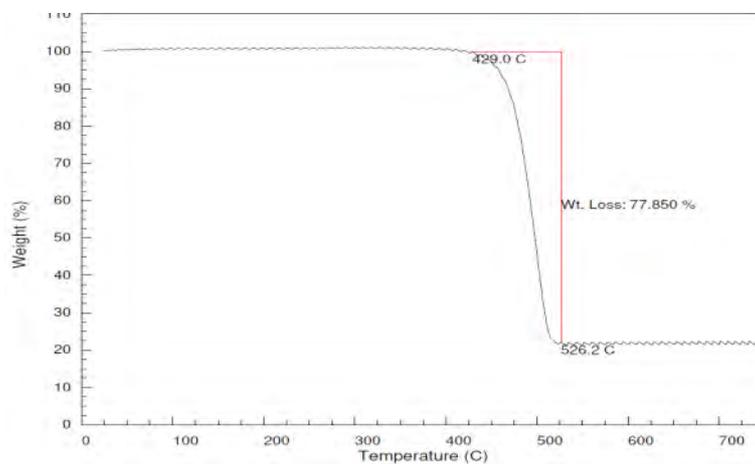


Fig. HDPE / Graphite Master Batch Chip의 TGA 분석 결과

- TGA 분석 결과, 기존 소재는 50~60%의 중량 감소율을 보였지만, 개발 광발열 Master batch는 80%에 가까운 중량 감소율을 보였다.
- 기존 소재의 경우 PP/PE 소재 외에 첨가제로 다량의 무기물이 첨가되어 낮은 중량 감소율을 보이는 것으로 판단되며, 개발 광발열 Master batch는 20%의 Graphite를 제외하고 대부분 HDPE로 구성되어 있으므로 80%에 가까운 중량 감소율을 보이는 것으로 판단된다.
- 코팅 공정이 가능한 광발열 Master batch를 제조하기 위하여, 사전 연구개발을 통해 선정한 Graphite 소재와 주관연구개발기관에서 적용중인 L사의 PE 수지(5000S) 및 PP 수지(H5300)를 활용하여 PE(PP) / Graphite Master Batch Chip을 제조하였다.

Table. 시중에 판매중인 Graphite 소재

업체명	가격 (천원/kg)	입자크기 (μm)	입자형태	순도 (%)
오현스타	7,500	2~2.3	powder	99.9
현대코마산업	10	2~2.5	powder	99.5
요산이엔지	30	2~2.5	powder	99.9
코엔테크	300	5	powder	99.95
신성카본	15	3	powder	99.9
포사이언스	96	20	powder	99
카본테크	12	5	powder	99.9
이비덴코리아	39	3	powder	99

Table. 적용한 L사 PE 수지(5000S)의 물성

용융지수 (at 190°C/2.16kg)	밀도	항복응력	파단신율	굴곡탄성률	Rockwell 경도	연화점
0.95 g/10min	0.954 g/cm ³	250 kgf/cm ²	> 500 %	10,000 kgf/cm ²	50	125 °C

Table. 적용한 L사 PP 수지(H5300)의 물성

용융지수 (at 190°C/2.16kg)	밀도	항복응력	파단신율	굴곡탄성률	Rockwell 경도	연화점
3.5 g/10min	0.900 g/cm ³	350 kgf/cm ²	> 100 %	15,000 kgf/cm ²	100	152 °C

Grade	5000S
제품	HDPE

Grade	H5300
제품	Homo PP

제품 정보			
특징	- 가공성, 기계적 강도, 열안정성, 연신특성 우수		
주요 용도	로프, 모노필라멘트, 풀렛 안, 연신 테이프		
항목	시험방법	단위	대표값
물리적 성질			
용융 지수	ASTM D1238	g/10min	0.95
밀도	ASTM D1505	g/cm ³	0.954
기계적 성질			
항복점 응력	ASTM D638	kgf/cm ²	250
파단점 신율	ASTM D638	%	≥500
굴곡 탄성율	ASTM D790	kgf/cm ²	10000
Rockwell 경도	ASTM D785	R	50
충격 특성			
IZOD 충격강도	ASTM D256	kgf-cm/cm	20
열적 특성			
VICAT 연화점	ASTM D1525	°C	125

제품 정보			
특징	- 성형성, 강성, 연신성 우수		
주요 용도	Woven백, 로프, 어망		
항목	시험방법	단위	대표값
물리적 성질			
용융 지수	ASTM D1238	g/10min	3.5
밀도	ASTM D1505	g/cm ³	0.900
기계적 성질			
항복점 응력	ASTM D638	kgf/cm ²	350
파단점 신율	ASTM D638	%	≥100
굴곡 탄성율	ASTM D790	kgf/cm ²	15,000
Rockwell 경도	ASTM D785	R	100
충격 특성			
IZOD 충격강도	ASTM D256	kgf-cm/cm	3
열적 특성			
HDT (4.6kgf/cm ²)	ASTM D648	°C	104
VICAT 연화점	ASTM D1525	°C	152

Fig. 적용한 L사 수지의 물성

- 광발열 입자의 함량은 20%로 제조하였으며, 1차년도에 발생한 불균일 분산 및 응집 문제를 해결하기 위하여, 입자 사이즈를 낮추어 2~2.5 μ m, 입자 형태는 Powder, 순도는 99.9%인 Graphite를 사용하였다.
- 균일하게 분산된 PE(PP) / Graphite Master Batch Chip을 제조하기 위하여 분산제 및 Wetting제를 최적화하였고, 압출 Screw Configuration 최적화, 최적의 mixing 조건을 검토하기 위해 Lab Scale Compounding 장비를 활용하여 압출 압력 70~80%, 토출조건은 수조함침 1/3, 온도 조건은 150~280 $^{\circ}$ C로 PE(PP) / Graphite Master Batch Chip을 제조하였다.
- 불균일 분산 및 응집되는 입자를 최소화 하기 위하여, 1차년도와 비교하여 최종 속도 50 rpm, 온도 조건 20 $^{\circ}$ C를 올려 진행하였으며, PP 소재의 조건도 확립하였다.

Table. 균일 분산 조건

Base	Filler	입도 (μ m)	속도 (rpm)	압출 압력 (%)	온도 조건 ($^{\circ}$ C)	스크린	토출 조건	Mesh time (h)	토출량 (kg/h)
PE	Graphite	2~2.5	350~450	70~80	150~260	80/120/2 50/ 80	수조함침 1/3	1	20
PP	Graphite	2~2.5	350~450	70~80	150~280	80/120/2 50/ 80	수조함침 1/3	1	20



압출기



토출부



시편 성형기

Fig. Lab Scale Compounding 장비의 각 부분

- 균일 분산을 위한 조건을 활용하여 Master Batch 제조 업체에서 500kg의 PE(PP) / Graphite Master Batch Chip을 생산하였다.



Fig. Master Batch 제조 업체에서 제조된 PE(PP) / Graphite Master Batch Chip

- 제사 공정을 진행하기 위하여 Pilot Scale 필름 방사 설비를 활용하여 필름 제조 공정성을 확인하였다.
- M/B 제조업체에서 생산한 20% 광발열 PE(PP) / Graphite Master Batch Chip 2kg과 PE(PP) Virgin Chip 20kg을 활용하여 광발열 입자 함량 2% 사전 필름 방사를 진행하였으며, 방사 설비는 1차년도와 동일한 한국섬유개발연구원의 필름 방사기를 활용하였다.

- ▶ 제조사 : COLLIN社 [獨]
- ▶ Temp. : Max. 400 °C
- ▶ Sheet 두께 Range : 0.1 inch 이상
- ▶ Speed : Max.30 m/min
- ▶ T-Die Width : 750 mm



Fig. 필름 방사기



Fig. 필름 방사기 구조

- 방사 조건 역시 1차년도와 동일하게 Extrusion Temp. 270°C, T-Die Temp. 250 ~ 240°C, Screw 속도 9rpm, Pump 속도 8rpm, Pump 압력 30bar, 드럼 온도 90°C, Line 속도 5m/min으로 설정하여 진행하였다.
- 압출 공정성을 확인하기 위한 공정 연구이므로 PP 소재도 1차년도 PE 방사 조건과 동일하게 진행하였다.

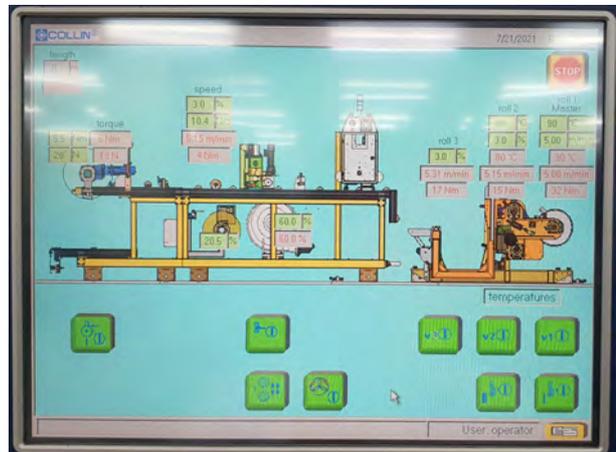


Fig. 사전 필름 방사 조건

Table. 사전 필름 방사 조건표

Zone	Actual	Zone	Actual	Zone	Actual	Zone	Actual
29	250	19	260	10	270	Screw	9 rpm
28	250	18	260	9	270	Pump	8 rpm
27	240	17	260	8	270	Pump	30 bar
26	240	16	260	7	250	드럼온도	90 °C
25	240	15	260	6	230	line 속도	5m/min
24	250	14	260	5	180		
23	250	13	260	4	150		
22	250	12	260	3	140		
21	250	MT1	268	2	100		
20	250	11	270	1	40		

- * 노란색 : Extruder 온도
- * 주황색 : Pump 온도
- * 옅은 빨간색 : Pump-구금 연결 라인 온도
- * 짙은 빨간색 : 구금 온도

- 방사 결과, 두께 0.02 ~ 0.03mm까지 안정적으로 방사가 진행되었으며, 최종 설정된 방사 조건을 주관연구개발기관에 전달하였다.



Fig. 필름 방사 공정을 통해 제조된 광발열 필름과 이를 제조하기 위해 적용된 광발열 M/B

(2) 균일 분산 기술을 활용한 향균, 방충 등 기능성 Master batch 제조

- 향균 기능성을 가지는 Master batch를 제조하기 위하여, 구리(Cu) 금속 입자가 담지된 제올라이트 소재와 주관연구개발기관에서 적용중인 L사의 HDPE 수지(5000S)를 활용하여 HDPE / Cu-Zeolite Master Batch Chip을 제조하였다.

Table. 적용한 L사 HDPE 수지(5000S)의 물성

용융지수 (at 190°C/2.16kg)	밀도	항복응력	파단신율	굴곡탄성률	Rockwell 경도	연화점
0.95 g/10min	0.954 g/cm ³	24.5 MPa	> 500 %	10,000 kgf/cm ²	50	125 °C

- 적용한 구리(Cu) 제올라이트 소재는 입자 사이즈 2~3.5 µm, 순도 99.5%, Loosed bulk density 0.25 ~ 0.35 g/cm³, 입자 형태는 Powder인 Cu-Zeolite를 사용하였다.

Table. Cu-Zeolite 소재

입자	Loosed bulk density (g/cm ³)	입자크기 (µm)	입자형태	순도 (%)
Cu-Zeolite	0.25 ~ 0.35	2~3.5	powder	99.5

- 균일 분산 조건을 연구하기 위하여 PE(PP) / Graphite Master Batch Chip 제조와 동일한 Lab Scale Compounding 장비를 활용하였다.
- 균일하게 분산된 HDPE / Cu-Zeolite Master Batch Chip을 제조하기 위하여 분산제 및 Wetting제를 최적화하였고, 압출 Screw Configuration 최적화, 최적의 mixing 조건을 검토하기 위해 Lab Scale Compounding 장비를 활용하여 압출 압력 70~80%, 토출조건은 수조함침 1/3, 온도 조건은 150~260°C로 HDPE / Cu-Zeolite Master Batch Chip을 제조하였다.

Table. 균일 분산 조건

Base	Filler	입도 (µm)	속도 (rpm)	압출 압력 (%)	온도 조건 (°C)	스크린	토출 조건	Mesh time (h)	토출량 (kg/h)
HDPE	Graphite	5	350~400	70~80	150~260	80/120/2 50/ 80	수조 함침 1/3	1	20

- 균일 분산을 위한 조건을 활용하여 Master Batch 제조 업체에서 200kg의 HDPE / Cu-Zeolite Master Batch Chip을 생산하여 주관연구개발기관에 전달하였다.

(3) 광발열 편평사 코팅 원단 및 부직포 합포 원단의 물성 및 발열 성능 분석

- 주관연구개발기관에서 개발한 4종의 3중 합포 원단과 기존 편평사 원단, 총 5종의 편평사 원단의 물성을 비교 분석하였다.
- 투습도는 통기성 필름의 효과로 인하여 0에 가까운 수치를 보여주므로 통기성 필름으로 인하여 수분 보존 기능성을 확인하였다.
- 공기 투과도는 낮아지면서 토양의 환기 효율은 감소하겠지만, 기존 원단 대비 50% 이상의 공기 투과도를 유지하고 있어, 수분을 보존하면서 일정 수준 이상의 공기 투과도는 유지하는 효과를 확인하였다.
- 인장강도는 부직포 및 통기성 필름의 강도가 더해지면서 2배 이상 상승하는 것을 확인하였다.

Table. 3중 합포 원단의 물성

시료		기존	PE-White	PE-Black	PP-White	PP-Black
투습도(g/m ² ·h)		106	2	2	3	2
공기투과도(cm ³ /cm ² /s)		8.4	4.3	4.7	4.4	4.6
인장강도(N)	경사방향	635.9	1432.5	1572.1	1413.8	1532.7
	위사방향	553.7	1284.7	1356.9	1241.5	1329.2

- 합포 원단의 광발열 성능 분석을 진행하였다.
- 설비는 공동연구개발기관의 광발열 분석 설비를 활용하였으며, 광원과 시료간의 거리는 50cm, 조도 13,000lux, 광원 220V, 500W, 3200K의 조건으로 진행하였다.

Table. 광발열 시험 조건

광원과 시료간의 거리	50 cm
조도	13,000 lux
시험시간	60분 동안 광원 조사
광원	220V, 500W, 3200K
조건	시료 하부의 표면에 위치한 온도 센서에서 5분 간격으로 데이터 기록

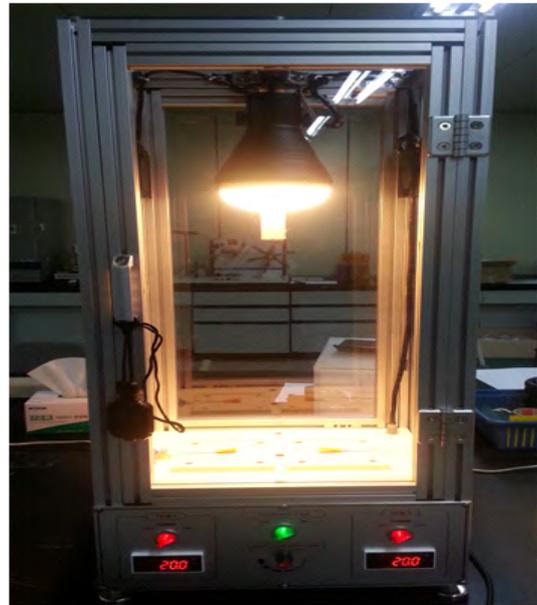
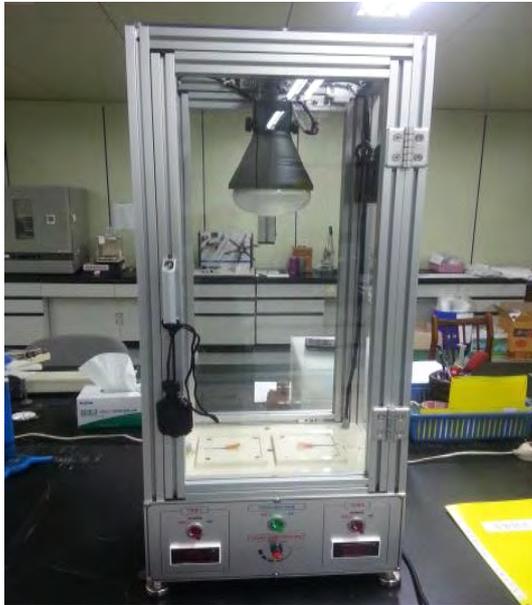


Fig. 광발열 분석 설비

- 광발열 성능 분석 결과, 1시간 경과 기준, 기존 원단의 표면 온도는 44.0 °C이며, PE 소재 + White Nonwoven Fabric은 48.3 °C, PE 소재 + Black Nonwoven Fabric은 53.6 °C, PP 소재 + White Nonwoven Fabric은 49.3 °C, PP 소재 + Black Nonwoven Fabric은 54.6 °C로 측정되었다.
- 광발열 입자를 함유한 원단은 기존 원단보다 높은 광발열 성능을 보였으며, 이면에 적용한 Nonwoven Fabric의 색상이 black인 원단이 White인 원단보다 성능이 높은 것을 확인하였다.

Table. 편평사 원단의 광발열 성능 비교 분석

시간(분)	표면 온도(°C)				
	기존	PE-White	PE-Black	PP-White	PP-Black
0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0
5	29.1	30.1	30.7	30.4	30.9
10	32.5	35.1	36.1	35.5	36.5
15	35.0	38.2	39.8	38.7	40.5
20	36.9	40.5	42.8	40.9	43.4
25	38.3	42.2	45.2	42.7	45.7
30	39.7	43.7	47.3	44.3	47.7
35	40.7	44.8	48.9	45.6	49.4
40	41.7	45.7	50.1	46.5	50.6
45	42.4	46.5	51.1	47.4	51.8
50	43.1	47.2	52.2	48.0	52.8
55	43.6	47.8	52.9	48.7	53.6
60	44.0	48.3	53.6	49.3	54.2

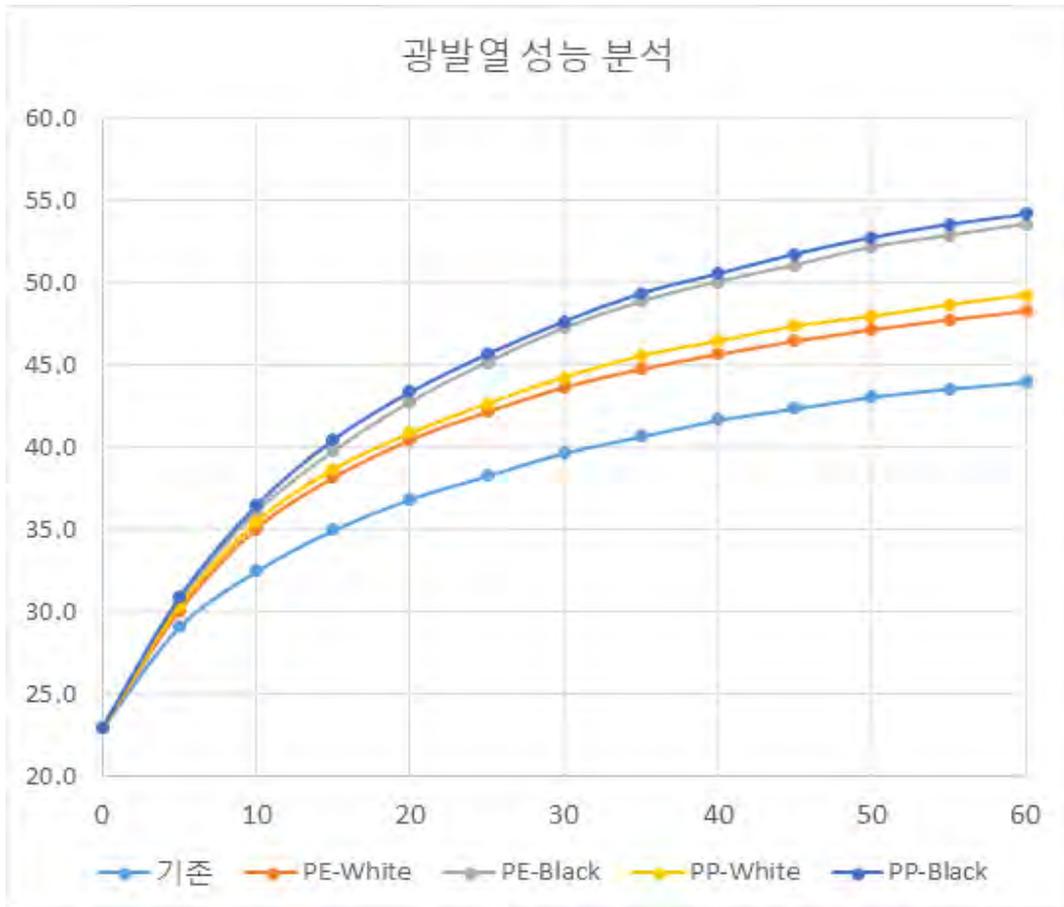


Fig. 3종 합포 원단의 광발열 성능 비교

- 주관연구개발기관에서 제직 조건을 동일하게 하고 경위사 적용 소재를 다르게 하여 제작한 시제품의 광발열 성능 분석을 진행하였다.

Table. 광발열 편평사 원단의 경위사 소재

시료	기존1	기존2	개발1	개발2
사종	PE	PE	PE	PE
경사	기존(Black)	기존(White)	광발열	광발열
위사	기존(Black)	기존(White)	기존(White)	광발열

- 기존 원단 2종과 개발원단 2종, 총 4종의 원단을 비교 분석 하였으며, 광발열 성능 분석 결과, 1시간 경과 기준, 기존 Black 원단은 48.0 °C, 기존 White 원단은 44.0 °C, 경사만 광발열 소재를 사용한 원단은 48.6 °C, 경위사 모두 광발열 소재를 사용한 원단은 53.0 °C로 측정되었다.
- 측정 결과, 광발열 소재를 경위사 모두 사용한 원단이 가장 높은 성능을 보였으며, 기존 Black 원단은 색상으로 인하여 빠른 속도로 온도가 상승하다가 점점 둔화되었으며, 경사만 광발열 소재를 사용한 원단은 기존 Black 원단보다 상승 속도가 느렸지만 꾸준히 상승하여 1시간 경과 기준, 오히려 더 높은 온도값을 나타내었다.

Table. 경위사 소재에 따른 편평사 원단의 광발열 성능 비교 분석

시간 (분)	표면 온도(℃)			
	기존1	기존2	개발1	개발2
0	23.0	23.0	23.0	23.0
5	29.8	29.1	29.6	30.6
10	34.7	32.5	34.1	35.9
15	38.1	35.0	37.3	39.6
20	40.5	36.9	39.8	42.6
25	42.2	38.3	41.8	45.2
30	43.7	39.7	43.4	47.2
35	44.8	40.7	44.7	48.7
40	45.6	41.7	45.8	49.8
45	46.4	42.4	46.7	50.8
50	47.0	43.1	47.6	51.8
55	47.6	43.6	48.2	52.5
60	48.0	44.0	48.6	53.0

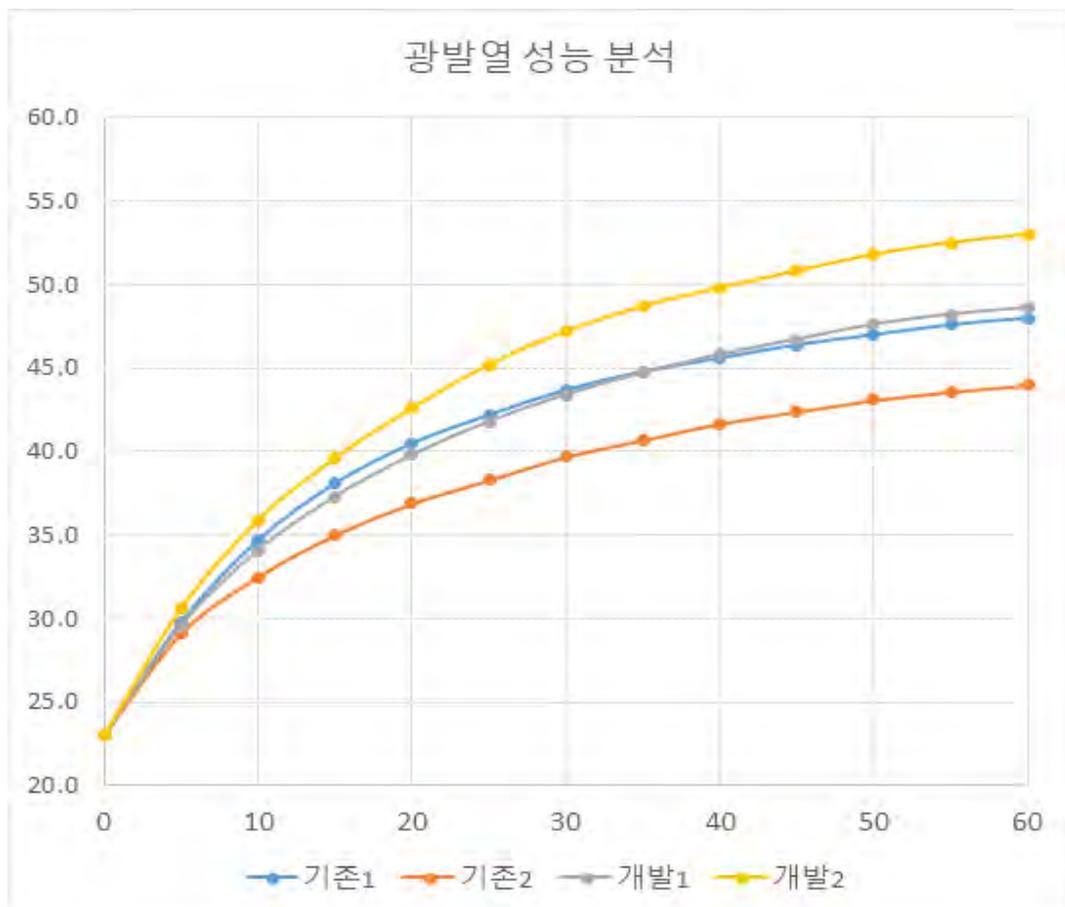


Fig. 경위사 소재에 따른 광발열 성능 비교

(4) 기능성 편평사 원단의 물성 및 기능성 분석

- 주관연구개발기관에서 개발한 항균성 기능성 편평사 원단과 기존 편평사 원단의 물성을 비교 분석하였다.
- 투습도, 공기투과도는 큰 차이가 없었으며, 인장강도는 항균 기능성 입자라는 불순물이 함유되어 있으므로 동일한 섬도 조건에서는 순수한 HDPE 보다 낮은 경향을 보였다.

Table. 기존 편평사 원단과 항균 기능성 편평사 원단의 물성

시료		기존	항균 기능성
투습도(g/m ² ·h)		106	103
공기투과도(cm ³ /cm ² /s)		8.4	8.6
인장강도(N)	경사방향	635.9	574.2
	위사방향	553.7	503.9

<3차년도>

1) 주관연구개발기관((주)뉴프라임)

(1) 광발열 편평사 원단의 현장 실증평가

- 2차년도에 개발한 광발열 편평사 원단의 현장 실증 Test를 위하여, 경북대학교 농업생명과학대학과 협의하여 경북 군위군의 오이 농가에서 현장 실증 평가를 진행하였다.
- 농가 및 오이 제원
 - 실증 장소 : 군위군 군위읍 하곡리
 - 실증 면적 : 600평
 - 오이의 형태적 특징 : 길이 약 10 cm
 - 재배 시기 : 12월 말~5월 말
 - 재식거리 35~45 cm이며, 상부 줄 유인
 - 병해충 : 노균병, 흰가루병, 온실가루이, 응애, 진딧물, 총채벌레 등

Table. 오이 재배 시기

종류	시기	비고
비닐 멀칭	12월 말	경운 작업 및 멀칭
정식	1월 중순	모종 정식
수확	2월 말 ~ 5월 말	수확

- 온실 내 두둑을 만들고 현 양산품 비닐과 개발 원단을 그림과 같이 덮었다.

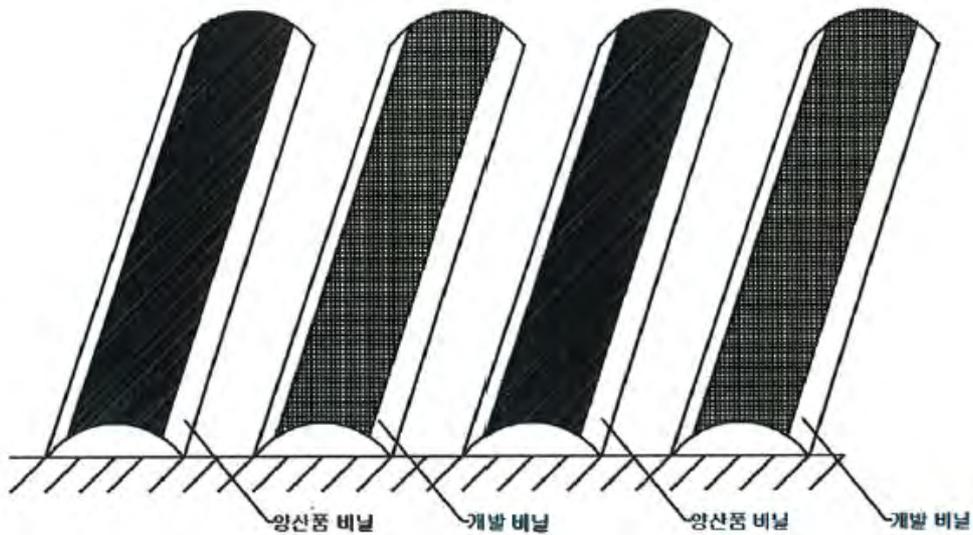


Fig. 멀칭 원단 설치 모식도

- 식물의 성장은 식재 1주차인 1월 19일부터 14주차 4월 20일까지 대조군 및 직조형 비닐에 대하여 주 1회 측정하였다.

1. 줄기 길이

- 생육기간 동안 줄기 길이는 식재 1주차에 20 cm에서 시작하여 약 6주 후부터 줄기의 길이가 차이되기 시작하였고, 대조군은 480 cm 정도, 실험군은 540 cm 정도까지 성장하였다.

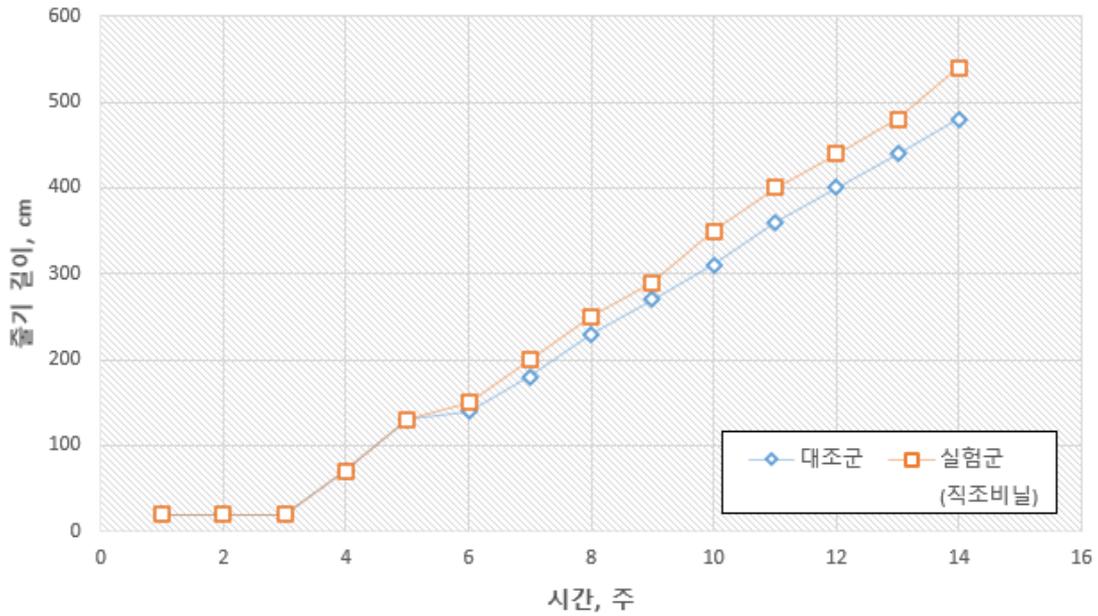


Fig. 직조형 비닐 설치에 따른 오이 줄기 길이의 변화

2. 줄기 굵기

- 생육기간 동안 줄기의 굵기 변화는 식재 초기 3 mm 정도 굵기에서 식재 13주에 대조군은 9 mm, 실험군은 11 mm까지 성장한 것을 확인할 수 있었다.

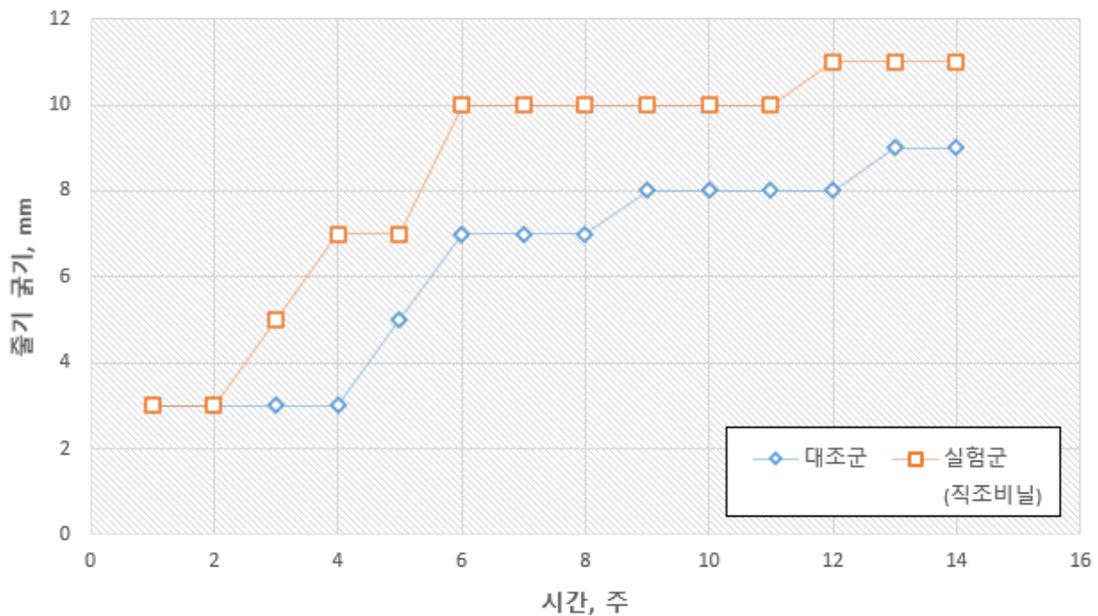


Fig. 직조형 비닐 설치에 따른 오이 줄기 굵기 변화

3. 잎의 길이

- 생육기간 동안 잎의 길이 변화는 식재 1주차 잎의 길이는 대조군 8 cm, 실험군 8.5 cm였으며, 4주차에는 대조군 20 cm, 실험군 25 cm로 성장하였고, 10주차에 대조군 26 cm, 실험군 30 cm로 성장하였으며, 본격적인 오이 수확이 이루어진 식재 8주차 부터는 잎의 길이가 더 이상 성장하지 않는 것을 확인할 수 있었다.
- 잎의 길이는 오이가 본격적으로 열리기 시작한 시점부터 줄기 길이와 달리 더 이상 크지 않는 것을 확인할 수 있었는데, 오이가 열리면서 성장보다는 열매를 맺는 것에 에너지 소비가 집중되어 나타나는 현상이라 사료된다.

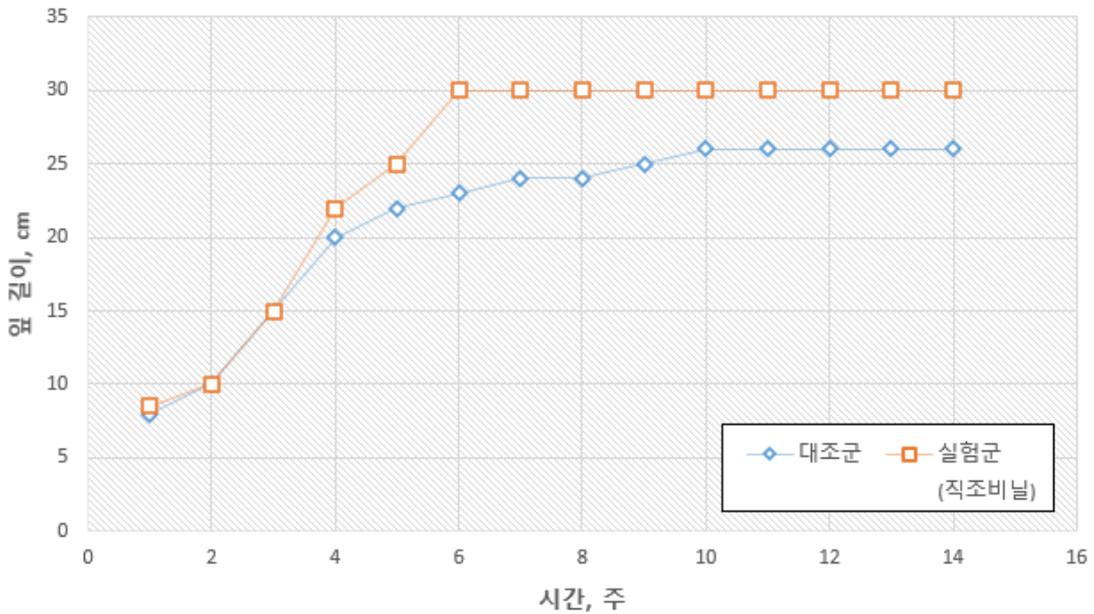


Fig. 직조형 비닐 설치에 따른 오이 잎의 길이 변화

4. 오이의 크기

- 생육기간 동안 오이 크기의 변화는 식재 5주차에 대조군 18 cm, 실험군 20 cm 크기로 열매가 열리기 시작하였고, 대조군은 10주차에 27 cm까지 자란 반면 실험군은 8주차에 30 cm까지 성장하여 대조군보다 실험군이 품질과 수확시기 면에서 앞서는 것을 확인할 수 있었다.
- 또한, 첫 수확 이후 열매들이 대조군보다 실험군에서 2 cm 가량 더 큰 것을 확인할 수 있었다.

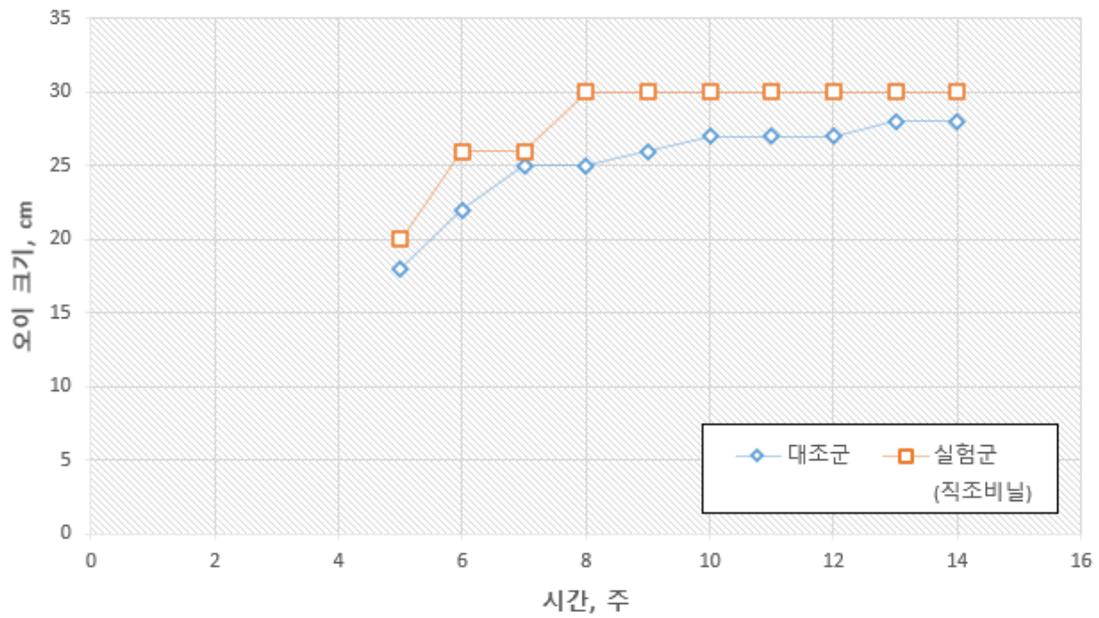


Fig. 직조형 비닐 설치에 따른 오이 크기 변화

5. 주차별 생육 모니터링

- 식재 후 1주차(23.01.19)부터 14주차(23.04.20) 동안 매주 1회 대조군 및 실험군 생육 변화를 관찰한 결과, 대조군 및 실험군의 생육변화는 4 ~ 6주 차부터 나타나기 시작하였으며, 열매가 맺히는 시점부터는 잎의 길이가 성장하지 않는 경향을 보였고, 직조형 비닐의 오이가 품질과 수확시기 면에서 앞서는 것을 확인하였다.



Fig. 정식 1주차



Fig. 정식 6주차



Fig. 정식 11주차

Table. 정식 주차별 생육 상태 모니터링

날짜	식재 주차	대조군	실험군
2023-01-19	1	줄기 길이 20 cm 정상적인 뿌리 활착 확인됨	정식1 주차. 식재 6,000주 중 3일 차에 3,000주 보식. 오이 줄기가 매우 약하고 길이는 약 20cm
2023-01-25	2	줄기 길이 20 cm이고 정상적인 생육이 이루어짐	줄기 길이 20 cm 오이 모종 2,000포기 이상 추가로 보식
2023-02-02	3	줄기 길이 20 cm 수세 양호하고 해충유입은 지속되고 있으나 잘 제어되고 있는 상황임	줄기 길이 20 cm 수세 양호하고 해충유입은 지속되고 있으나 잘 제어되고 있는 상황임
2023-02-08	4	줄기 길이 60 cm. 첫 오이 착과가 진행되는 상황	줄기 길이 70 cm 대조군과 성장의 차이가 나타나기 시작 첫 오이 착과가 진행되는 상황
2023-02-15	5	줄기 길이 130 cm 오이 길이 약 18cm 고자리 파리 일부 유입이 있는 상황임	줄기 길이 130 cm 오이 길이 약 20cm 고자리 파리 일부 유입이 있는 상황임
2023-02-22	6	줄기 길이 140 cm 오이 길이 22cm 해충 유입이 있어 방제가 필요한 상황	줄기 길이 140 cm 오이 길이 26cm 수량 및 품질이 양호함
2023-03-03	7	줄기 길이 180 cm 줄기 굵기가 7 mm정도고 꽃의 크기 오이 착과량 품질은 양호	줄기 길이 180 cm. 착과율과 중량 양호함
2023-03-09	8	줄기 길이 230 cm 오이 길이 25 cm 실험군과 비교하여 오이 생장이 더디지만 착과량 및 수세 양호	줄기 길이 230 cm. 오이 길이 30cm 특상품 90% 형성되고 오이가 곧고 상품성이 뛰어남
2023-03-16	9	줄기 길이 270 cm, 꽃의 크기 양호 오이 전반적인 생장 양호 착과량, 줄기 및 잎 수세 양호	줄기 길이 290 cm, 꽃의 크기가 양호 오이 전반적인 생장 양호 많은 수확에도 수세가 죽지 않고 양호함
2023-03-24	10	줄기 길이 310 cm 착과량, 줄기 및 잎 수세 양호	줄기 길이 350 cm. 지속적인 수확에도 착과율, 줄기 및 잎 수세가 양호
2023-03-31	11	줄기 길이 360 cm 착과량, 줄기 및 잎 수세 양호	줄기 길이 400 cm. 착과율. 줄기. 잎수세 양호하며 곰팡이 소강상태
2023-04-06	12	줄기 길이 400 cm 착과량, 줄기 및 잎 수세 양호	줄기 길이 440 cm. 오이 착과량. 수확량 등 오이발 전반적인 상황은 양호
2023-04-13	13	줄기 길이 440 cm 오이 크기가 실험군과 견줄 정도로 커짐	줄기 길이 480 cm, 오이 착과량. 수확량 등 오이발 전반적인 상황 양호
2023-04-20	14	줄기 길이 480 cm 주간온도가 올라감에 하우스 내부 온도는 50도에 육박하는 상황임. 차광막 개패로 일소 피해를 방지하고 있는 상황임	줄기 길이 540 cm. 오이 착과량, 수량, 품질 등 전반적인 상황 양호

6. 측정 위치별 온도 데이터 비교분석

- 온도센서는 각 이랑마다 4개씩, 15 m 간격으로 설치하였으며, 맨 처음 센서는 이랑의 가장자리에서 5 m 내부에 설치하였으며, Data Logger는 이랑 가장자리에 설치하며, 물/농약 등의 살포에 의한 오염을 방지하기 위하여 전용 케이스를 제작하여 설치하여 양산품 비닐과 개발 원단 하부의 온도 변화를 측정하였다.

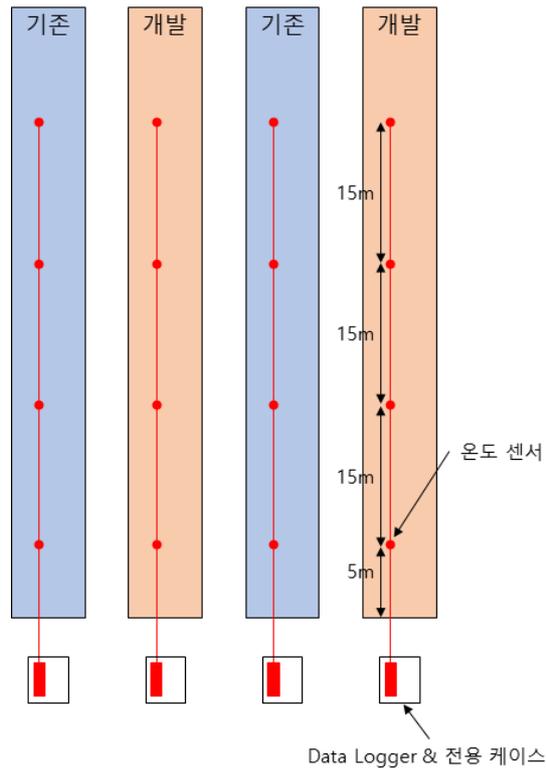


Fig. 온도 센서 설치 모식도

◦ 측정 위치별 온도 데이터 비교분석

- 광발열 멀칭 필름의 발열 성능 확인을 위한 온도 데이터는 다음과 같이 데이터 로거를 활용하여 진행하였으며 멀칭 필름의 발열 성능을 명확히 확인하고자 같은 필름 하에서 4곳의 측정 위치에서 온도 데이터를 확인하고자 하였다.

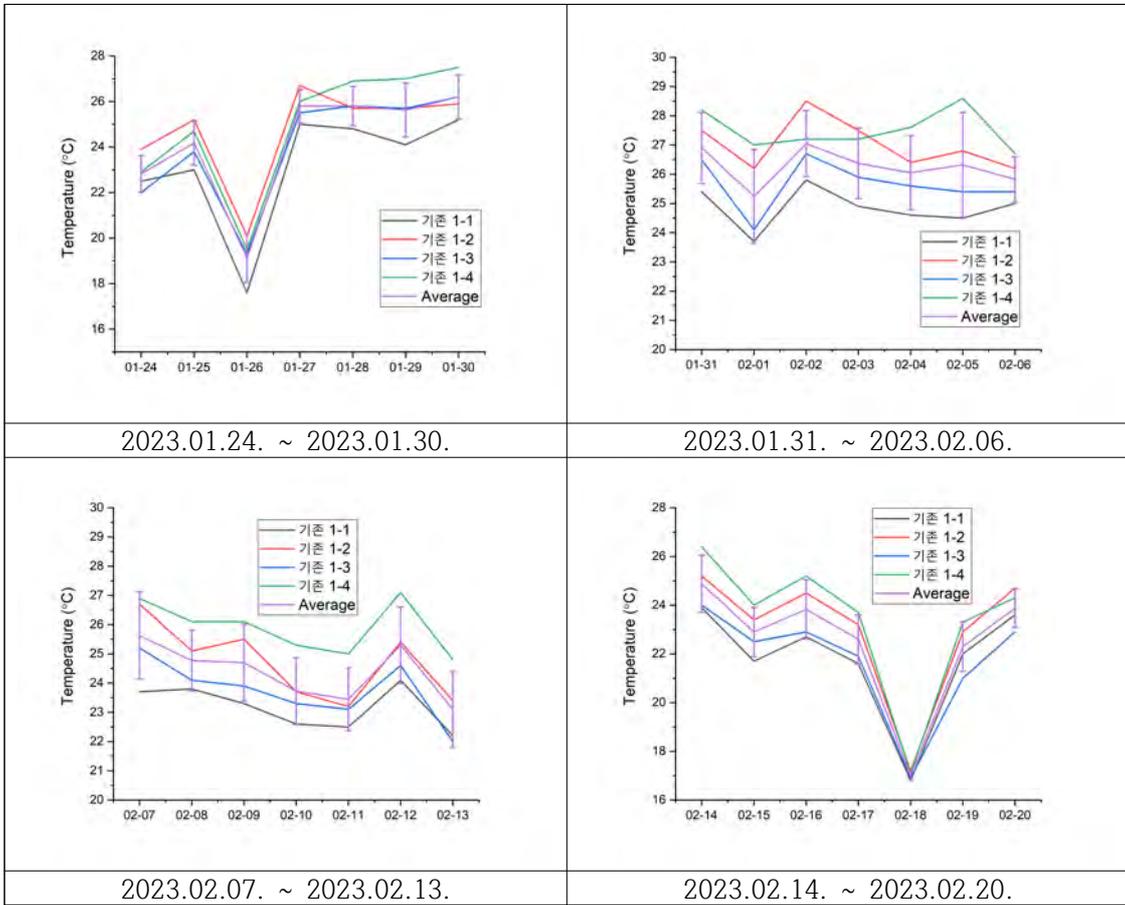


Fig. 온도 데이터 확인을 위한 로거

- 광발열 멀칭 필름의 경우 햇빛을 받아 발열 성능을 나타내어 작물의 생장에 긍정적인 영향을 미칠 수 있으나 햇빛이 모든 부위에 똑같이 쬐여지는게 아니기 때문에 측정 위치별 데이터의 편차가 생길 수 있으므로, 측정 위치별 데이터 편차를 확인하기 위해 기존제품1,2 및 개발제품1,2의 측정 위치에 대한 데이터 분석을 실시하였으며 측정 기간은 2023.01.24. ~ 2023.02.20. 으로 약 1달간의 데이터 측정 및 수집을 실시하였다.

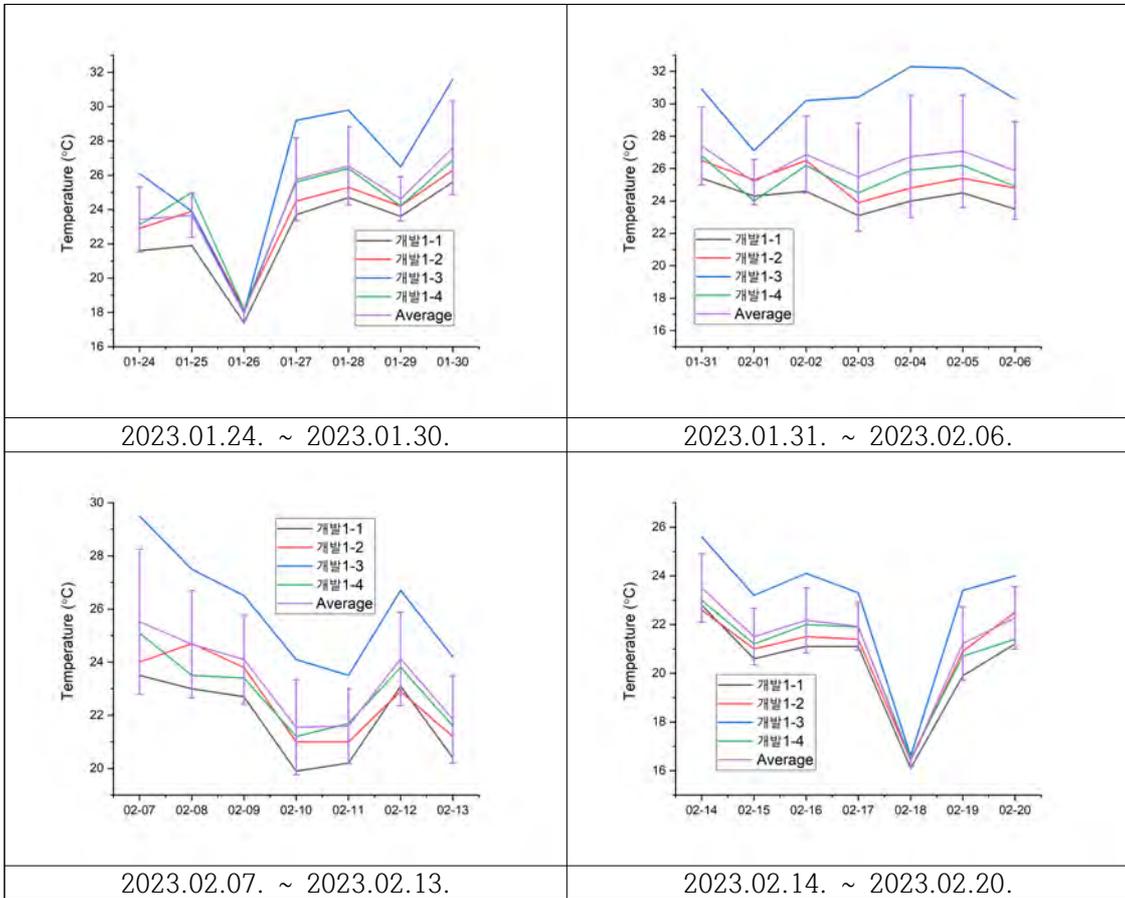
	기존제품 1 평균	기존제품 1 표준편차	개발제품 1 평균	개발제품 1 표준편차
2023-01-24	22.825	0.805709	24.425	1.903287
2023-01-25	24.175	0.974252	24.675	1.291962
2023-01-26	19.125	1.071992	18.95	0.378594
2023-01-27	25.8	0.725718	26.75	2.428305
2023-01-28	25.8	0.860233	27.55	2.278157
2023-01-29	25.625	1.187083	25.625	1.281601
2023-01-30	26.2	0.962635	28.6	2.719068
2023-01-31	26.9	1.219289	28.4	2.409703
2023-02-01	25.25	1.601041	26.175	1.398511
2023-02-02	27.05	1.126943	27.875	2.368368
2023-02-03	26.375	1.203813	26.475	3.333042
2023-02-04	26.05	1.268858	27.75	3.781093
2023-02-05	26.325	1.787689	28.075	3.486522
2023-02-06	25.825	0.767572	26.875	3.01814
2023-02-07	25.625	1.490805	26.525	2.732978
2023-02-08	24.775	1.043631	25.675	2.01391
2023-02-09	24.7	1.316561	25.1	1.66333
2023-02-10	23.725	1.144188	22.55	1.793507
2023-02-11	23.45	1.078579	22.6	1.407125
2023-02-12	25.3	1.314027	26.125	1.759498
2023-02-13	23.1	1.290994	22.85	1.644182
2023-02-14	24.875	1.175798	24.5	1.409492
2023-02-15	22.9	1.00995	22.5	1.16046
2023-02-16	23.825	1.220314	23.175	1.335103
2023-02-17	22.6	1.00995	22.925	0.974252
2023-02-18	17	0.182574	18.4	0.216025
2023-02-19	22.3	1.023067	22.225	1.512999
2023-02-20	23.875	0.7932	23.275	1.284199

- 기존 제품1의 기간별 데이터와 관련된 그래프 확인 결과, 4곳의 온도별 데이터에서 미비한 차이가 있음을 확인하였으나(기존 1-4) 이는 햇빛 노출, 비닐 하우스 내의 위치 등에 의한 요인이며 그 차이가 비교적 적으므로 측정 위치간 유의미한 차이를 확인하기 어려웠다.
- 기존 제품1의 평균 및 표준편차 수치는 다음과 같으며 표준편차가 $\pm 1.6^{\circ}\text{C}$ 로 확인되었다.



< 기존 제품1의 온도 데이터 >

- 개발제품 1의 측정 위치에 따른 데이터 분석을 실시하였으며 측정 기간은 기존제품 1과 동일하게 약 1달간의 데이터(2023.01.24. ~ 2023.02.20.) 측정 및 수집을 실시하였다.

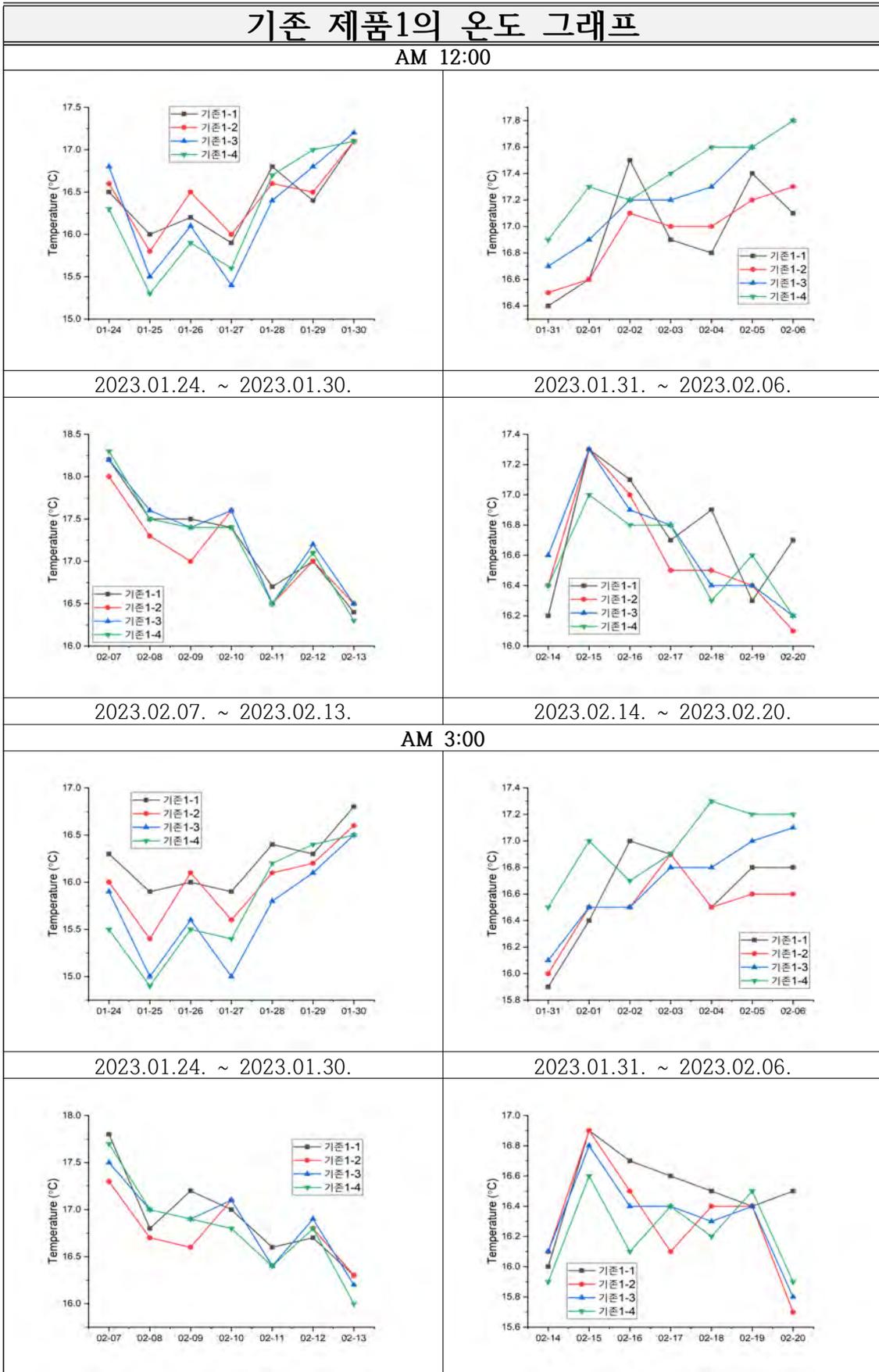


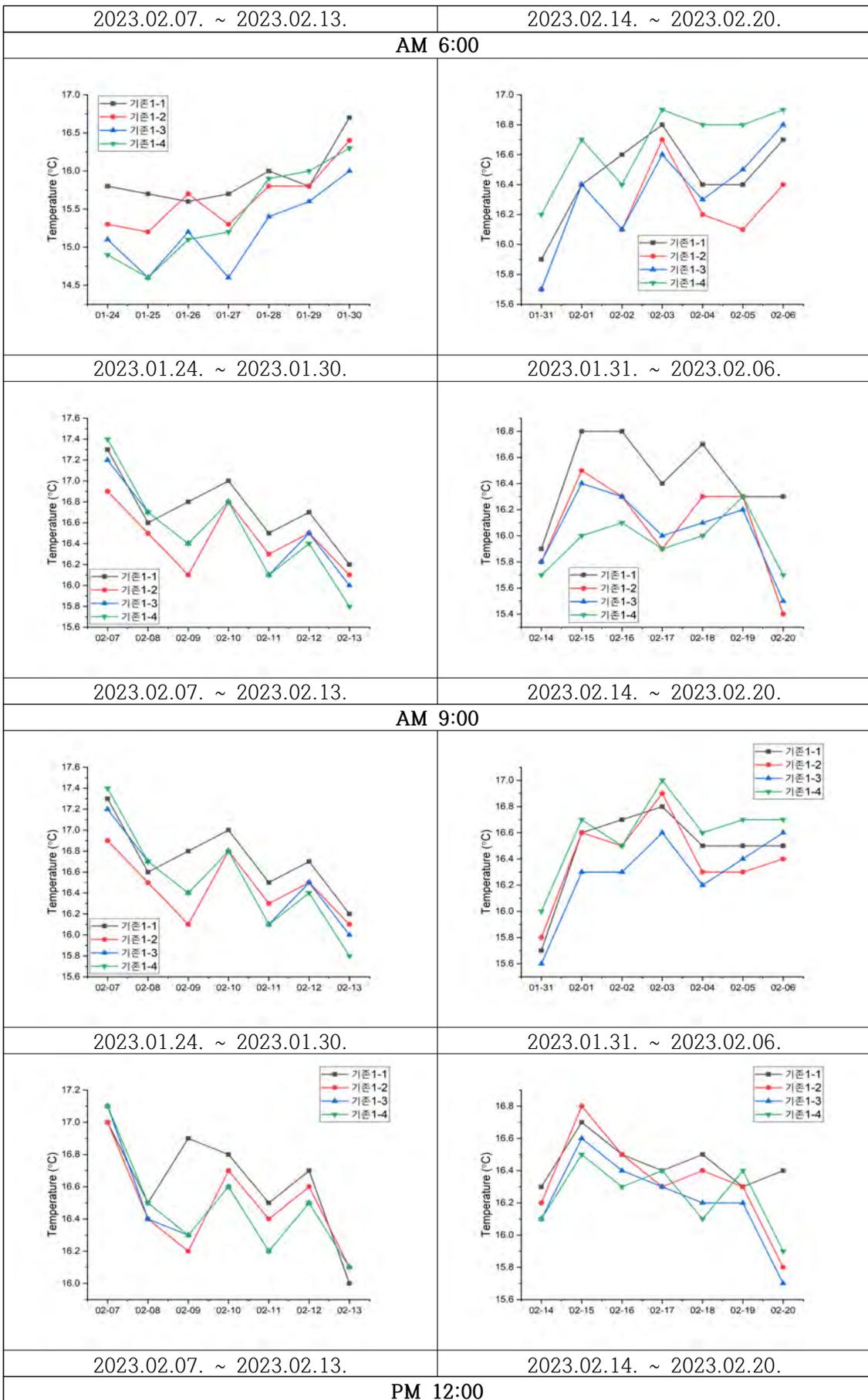
<개발 제품1의 온도 데이터>

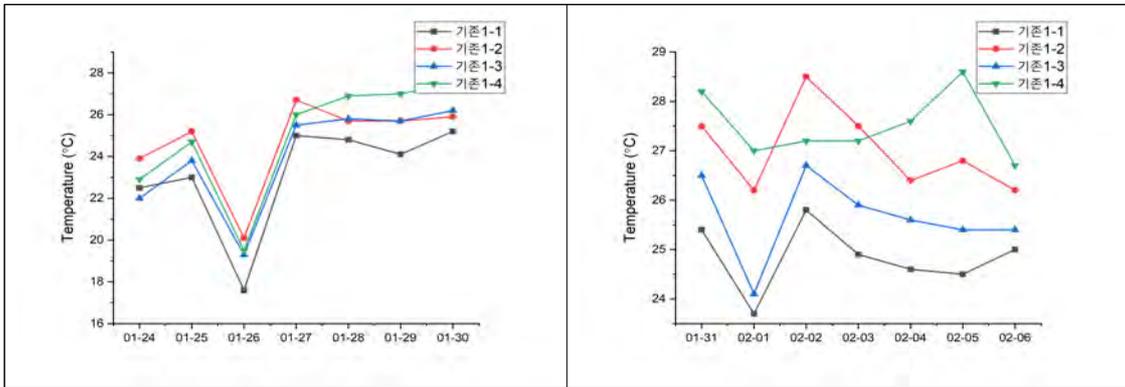
- 개발 제품1의 기간별 데이터와 관련된 그래프 확인 결과, 기존 제품1에 비해 표준편차 값이 다소 높게 나타나는 것을 확인하였으나 이는 발열 멀칭 필름의 특성상 햇빛을 받는 경우 광발열 현상에 의해 온도가 더 높아지고, 그렇지 않은 경우 기존 멀칭 필름과 유사한 온도 조건을 가지므로 완벽히 동일한 조건이 아닐경우에 표준 편차는 상대적으로 크게 보일 수 있다.
- 기존 제품1의 데이터 수집 기간 동안의 평균온도는 24.33 °C, 최고 온도는 27.05 °C를 나타내었으며 개발 제품1의 평균 온도는 24.87 °C, 최고 온도는 28.60 °C를 나타내었다.
- 해당 데이터 비교분석 및 수치를 통해 온도 측정 위치에 따라 데이터 비교의 유의미한 차이를 확인할 수 없었으며 평균 온도 및 최고 온도 비교에 따라 개발된 광발열 멀칭 필름의 온도가 기존 제품에 비해 약 1.5 °C 이상의 높은 온도를 달성하는 것을 확인하였다.

◦ 측정 시간별 온도 데이터 비교분석

- 온도 데이터의 경우 측정 시간에 따라 많이 달라질 수 있으므로 측정 시간을 구분하여 온도 데이터를 분석하고자 하였으며 기존제품1, 2 및 개발제품 1,2로 총 4개 제품에 대한 온도 데이터의 비교 분석을 실시하였다.

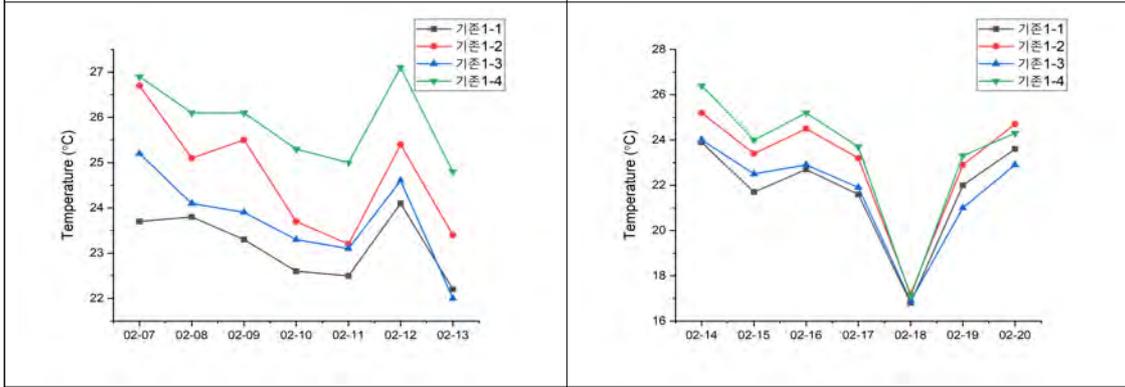






2023.01.24. ~ 2023.01.30.

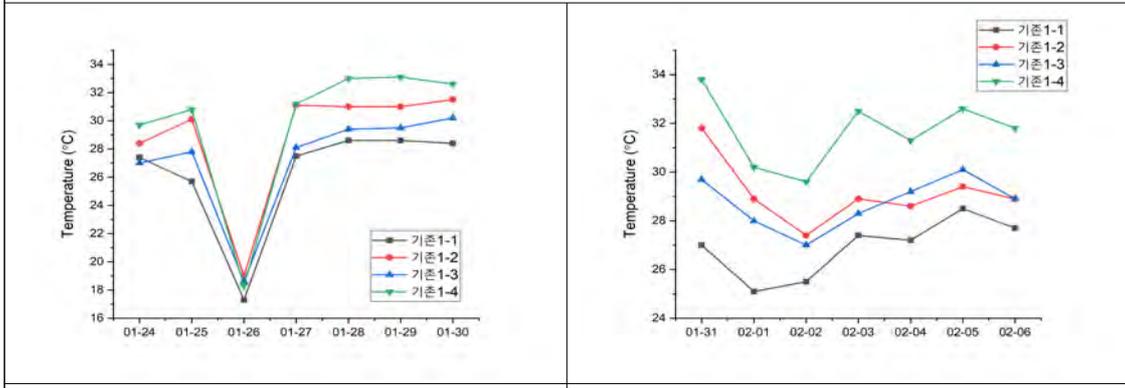
2023.01.31. ~ 2023.02.06.



2023.02.07. ~ 2023.02.13.

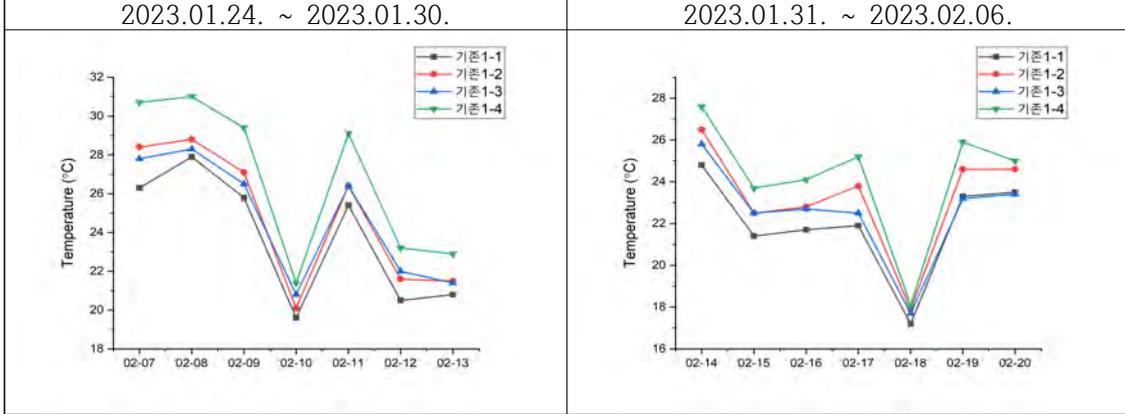
2023.02.14. ~ 2023.02.20.

PM 3:00



2023.01.24. ~ 2023.01.30.

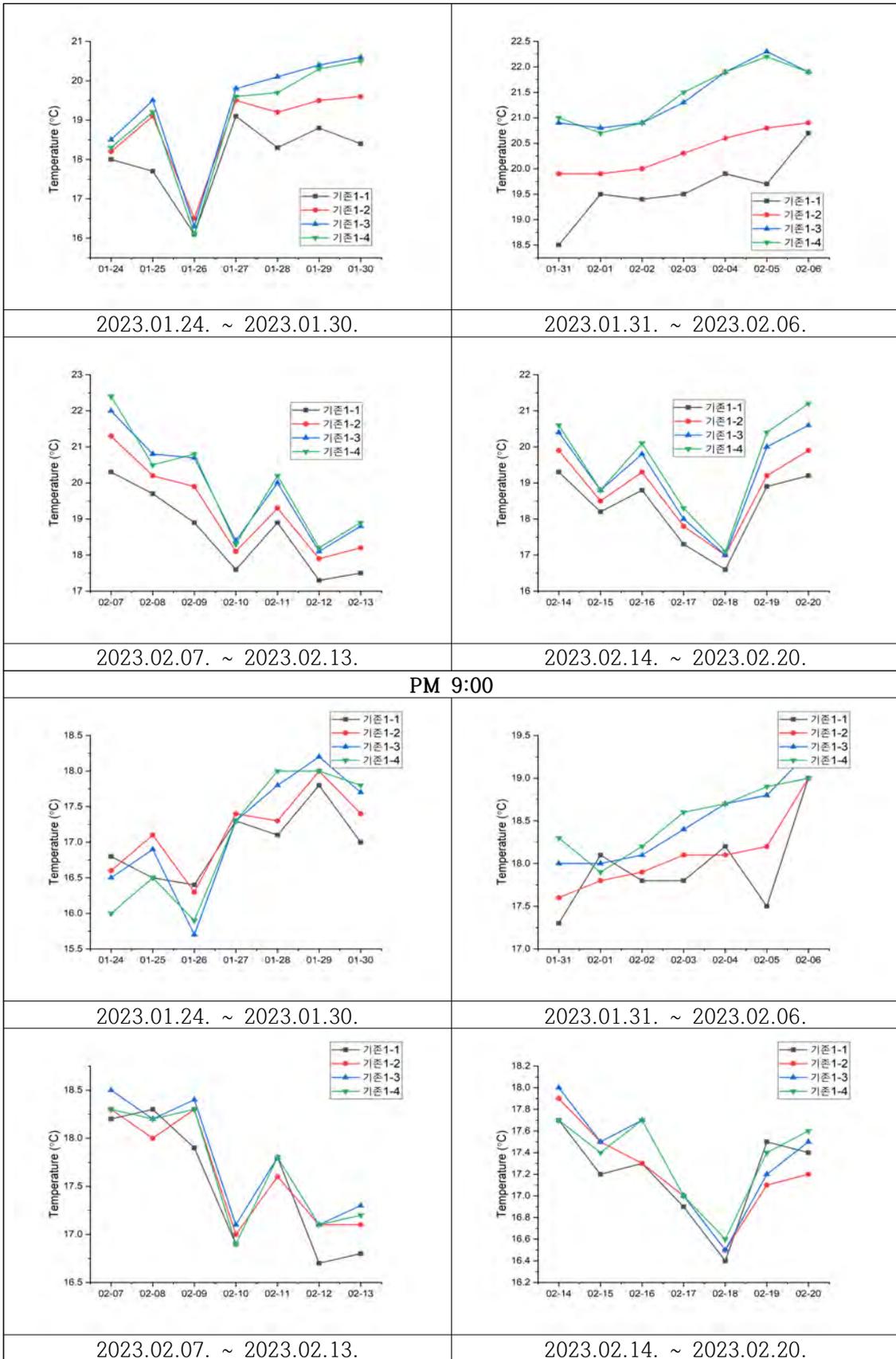
2023.01.31. ~ 2023.02.06.



2023.02.07. ~ 2023.02.13.

2023.02.14. ~ 2023.02.20.

PM 6:00

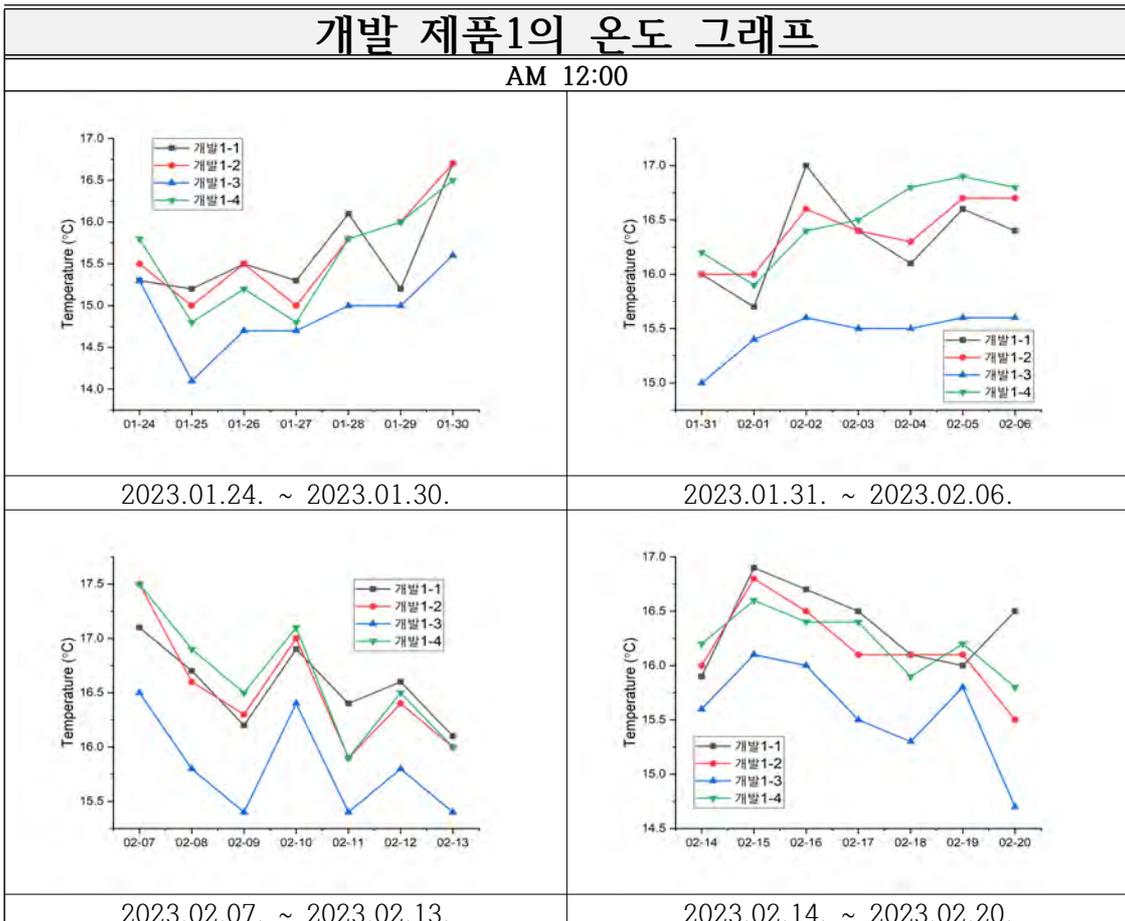


- 측정 시간은 오전 12시, 3시, 6시, 9시 및 오후 12시, 3시, 6시, 9시로, 총 8가지 시간으로 분류하였으며 측정된 4곳의 위치를 포함하는 모든 데이터에서 각 시간대의 최대값, 평균값 및 표준편차 값을 확인하였다.

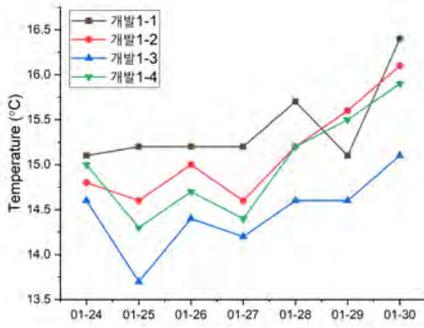
	최대 온도(°C)	평균 온도(°C)	표준편차(°C)
AM 12:00	18.30	16.84	0.58
AM 03:00	17.80	16.44	0.53
AM 06:00	17.40	16.16	0.56
AM 09:00	17.10	16.18	0.55
PM 12:00	28.60	24.33	2.42
PM 03:00	33.80	26.29	4.07
PM 06:00	22.40	19.47	1.43
PM 09:00	19.30	17.56	0.71

<2023.01.24. ~ 2023.02.20. 기존 시료1의 한달간의 시간별 온도 데이터>

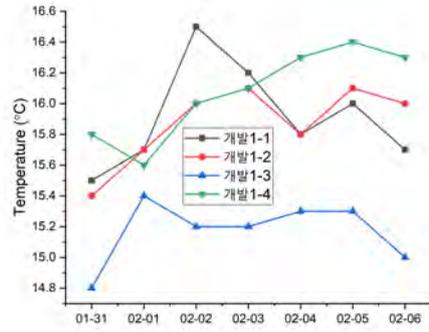
- 분석 결과 최대 온도 및 평균 온도는 오후 3시(PM 03:00)에서 33.80, 26.29°C를 나타내는 것을 확인하였으며 표준 편차는 오전 3시(AM 03:00)에서 최소(0.53°C), 오후 3시에서 최대(4.07°C)값을 갖는 것을 확인하였다.
- 최대 온도가 높을수록 측정 위치, 측정 일자별 표준편차가 큰 특징을 갖는 것을 확인하였다.
- 기존제품 1과 비교하여 개발제품 1의 일자별 특정 시간대에 대한 온도 분석을 실시하였다.
- 온도 데이터는 측정 위치 4개의 평균값 온도를 포함하여 최대온도, 평균온도 및 표준편차를 확인하였다.



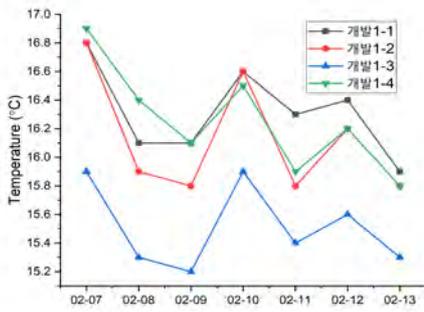
AM 3:00



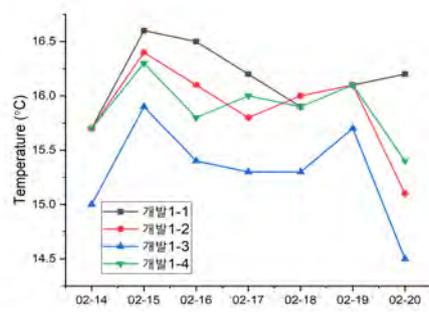
2023.01.24. ~ 2023.01.30.



2023.01.31. ~ 2023.02.06.

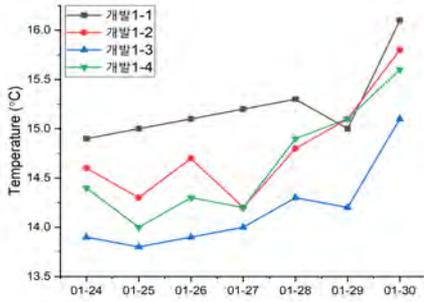


2023.02.07. ~ 2023.02.13.

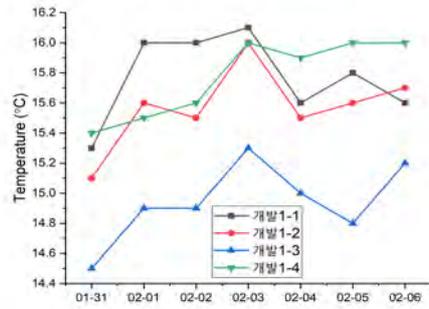


2023.02.14. ~ 2023.02.20.

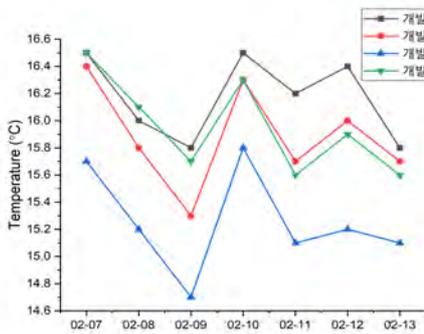
AM 6:00



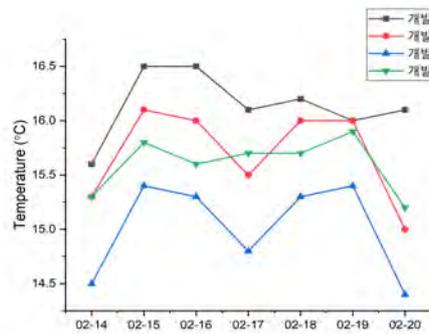
2023.01.24. ~ 2023.01.30.



2023.01.31. ~ 2023.02.06.

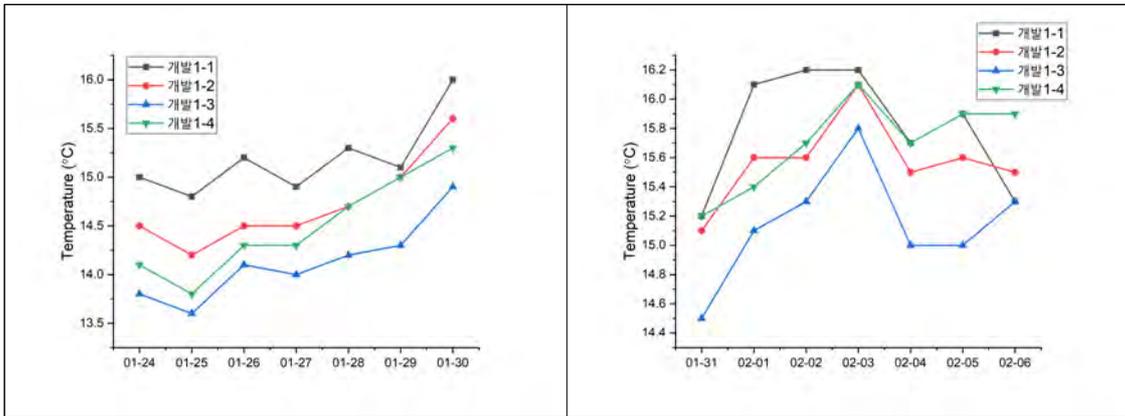


2023.02.07. ~ 2023.02.13.



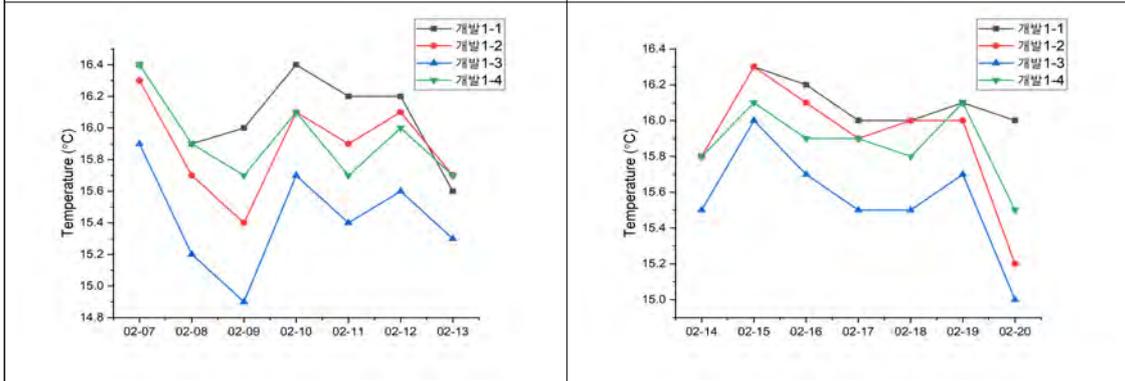
2023.02.14. ~ 2023.02.20.

AM 9:00



2023.01.24. ~ 2023.01.30.

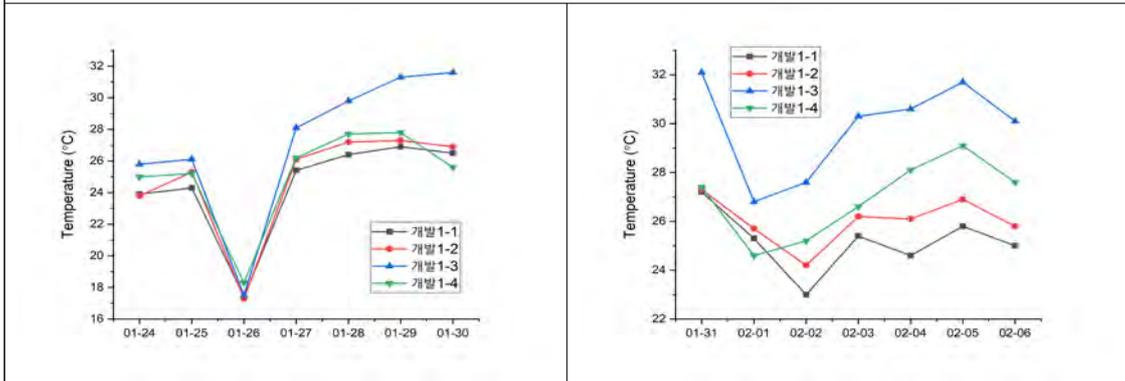
2023.01.31. ~ 2023.02.06.



2023.02.07. ~ 2023.02.13.

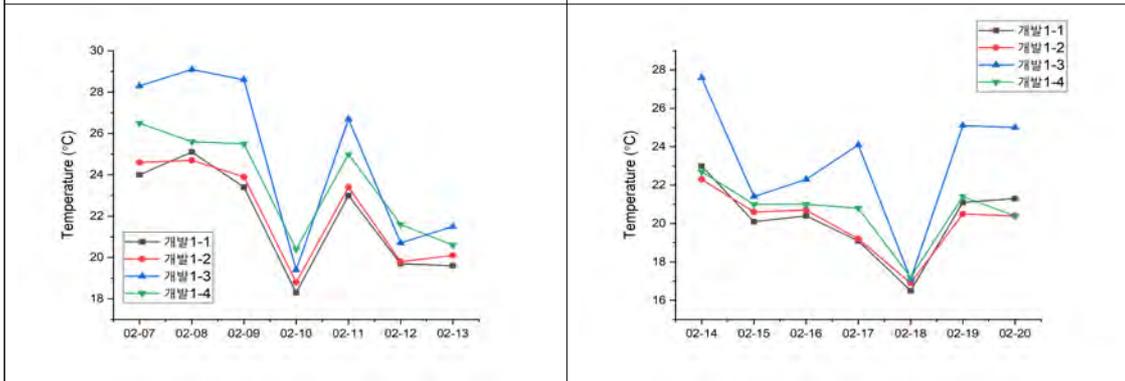
2023.02.14. ~ 2023.02.20.

PM 12:00



2023.01.24. ~ 2023.01.30.

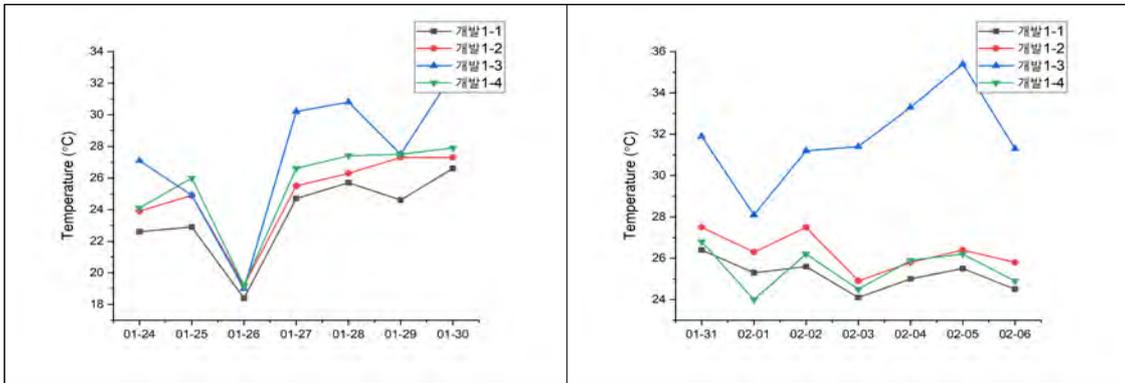
2023.01.31. ~ 2023.02.06.



2023.02.07. ~ 2023.02.13.

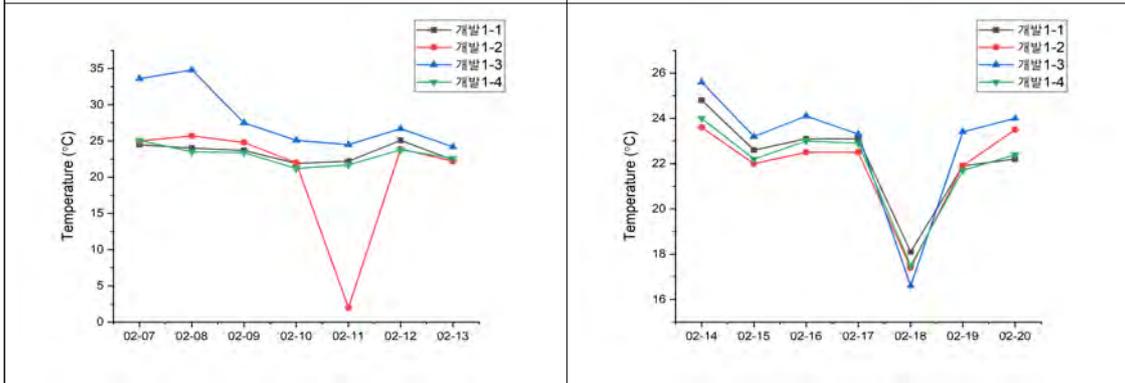
2023.02.14. ~ 2023.02.20.

PM 3:00



2023.01.24. ~ 2023.01.30.

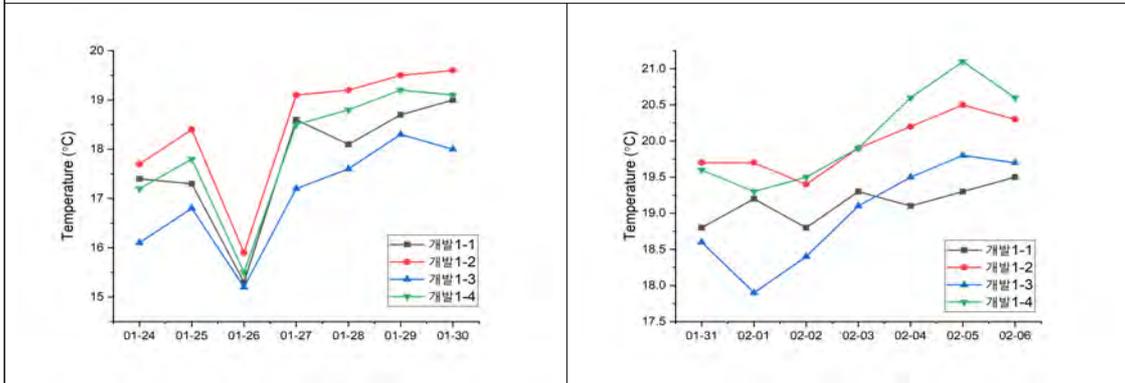
2023.01.31. ~ 2023.02.06.



2023.02.07. ~ 2023.02.13.

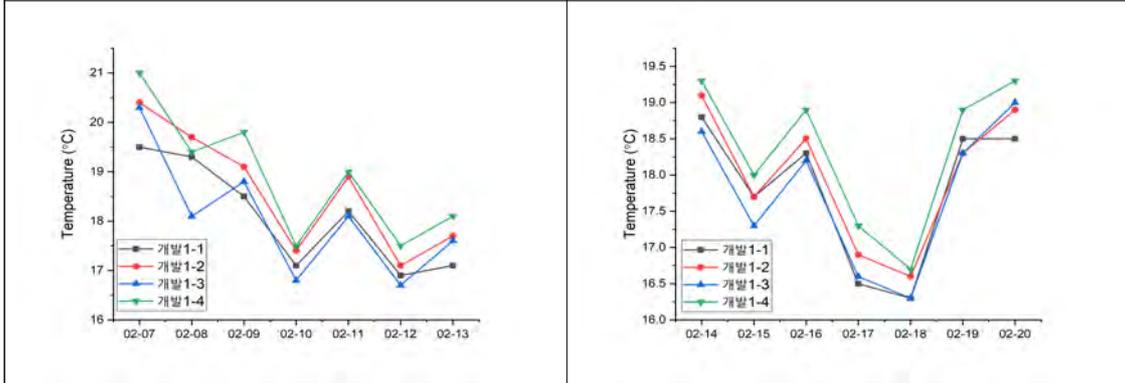
2023.02.14. ~ 2023.02.20.

PM 6:00



2023.01.24. ~ 2023.01.30.

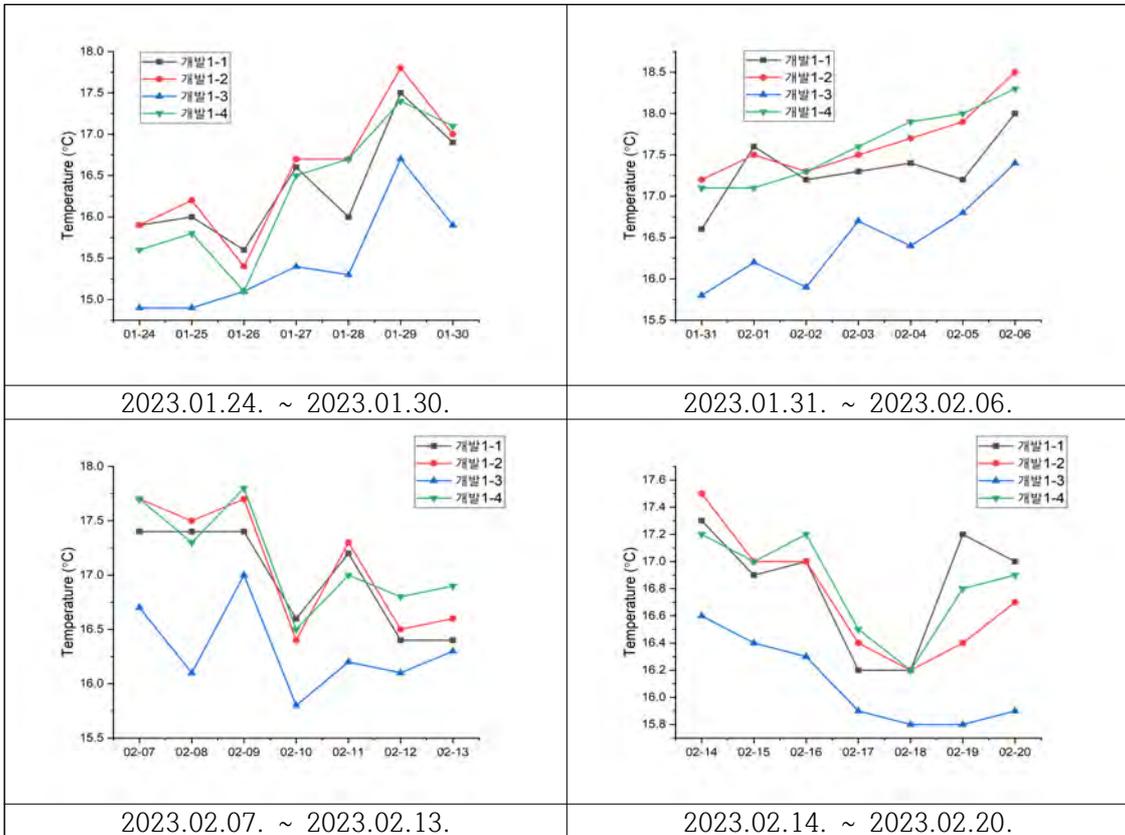
2023.01.31. ~ 2023.02.06.



2023.02.07. ~ 2023.02.13.

2023.02.14. ~ 2023.02.20.

PM 9:00



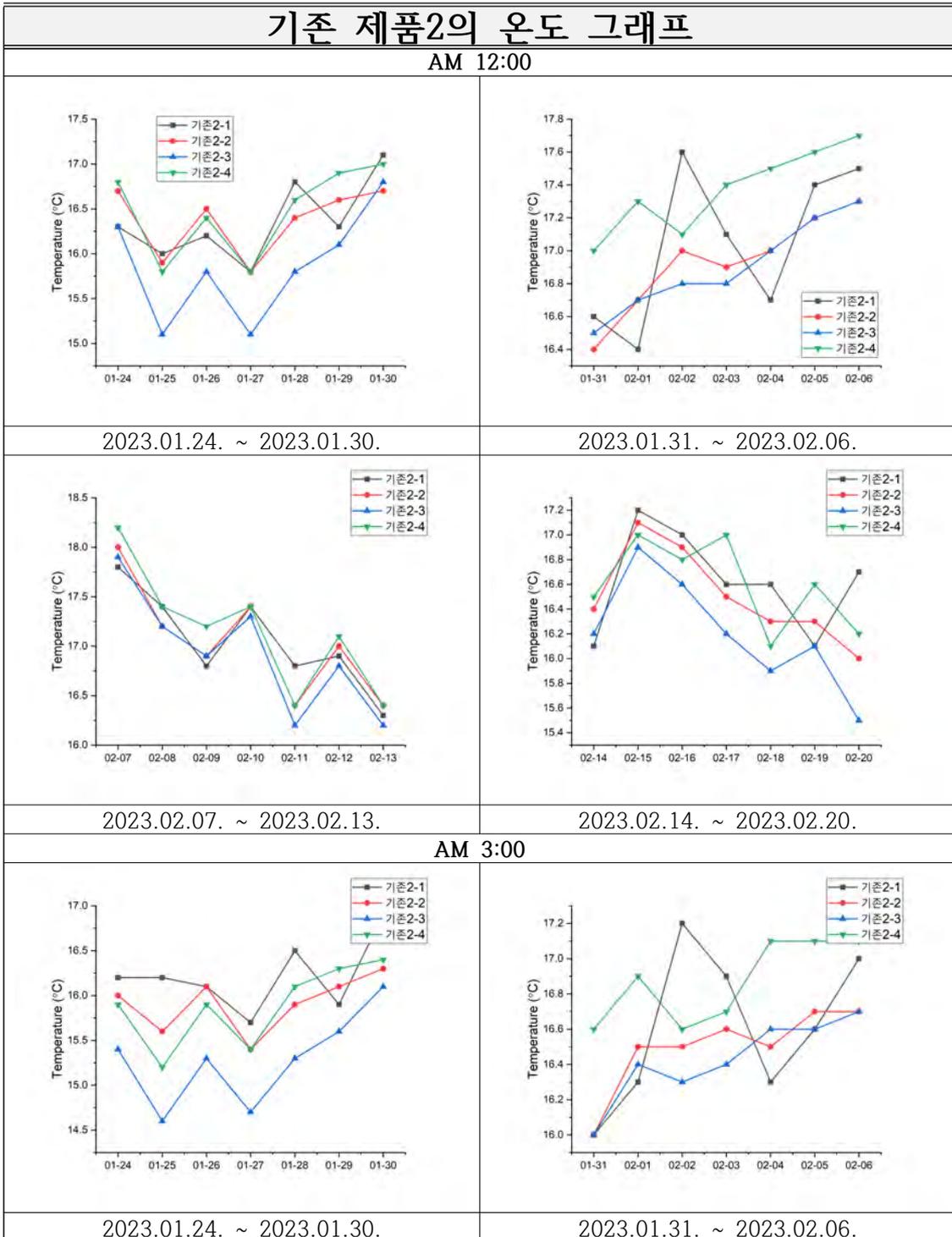
- 측정 시간은 오전 12시, 3시, 6시, 9시 및 오후 12시, 3시, 6시, 9시로, 총 8가지 시간으로 분류하였으며 측정된 4곳의 위치를 포함하는 모든 데이터에서 각 시간대의 최대값, 평균값 및 표준편차 값을 확인하였다,

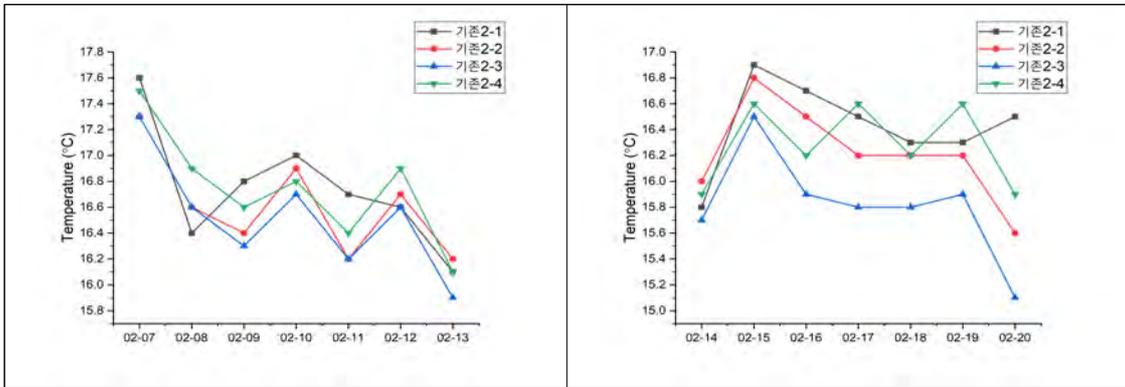
	최대 온도(°C)	평균 온도(°C)	표준편차(°C)
AM 12:00	17.50	16.01	0.65
AM 03:00	16.90	15.65	0.63
AM 06:00	16.50	15.41	0.66
AM 09:00	16.40	15.46	0.65
PM 12:00	32.10	24.14	3.70
PM 03:00	35.40	24.66	4.06
PM 06:00	21.10	18.44	1.25
PM 09:00	18.50	16.73	0.75

<2023.01.24. ~ 2023.02.20. 개발 시료1의 한달간의 시간별 온도 데이터>

- 온도 데이터 분석 결과 오전 12:00(AM 12:00)~ 오전 09:00 까지의 최대 온도는 비교적 낮으나 오후 12:00(PM 12:00) 이후부터는 최대 온도가 크게 높아지는 것을 알 수 있으며 하루 중 최대 온도와 평균 온도가 가장 높은 시간은 오후 03:00에 35.40°C, 24.66°C임을 확인하였다.
- 이를 통해 광발열 입자를 포함하는 멀칭 필름의 경우 햇빛이 존재하는 오후 시간에 발열 효과가 발현되면서 온도가 상승하는 효과가 발생하는 것으로 파악하였다.

- 기존제품 1, 개발제품1과 비교하여 기존제품 2의 특정 시간대별 온도 분석을 평가하였으며 기존제품 2는 기존제품1과 차이는 없으며 비닐하우스 내의 멀칭필름 및 온도 측정 위치의 차이만 존재하였다.

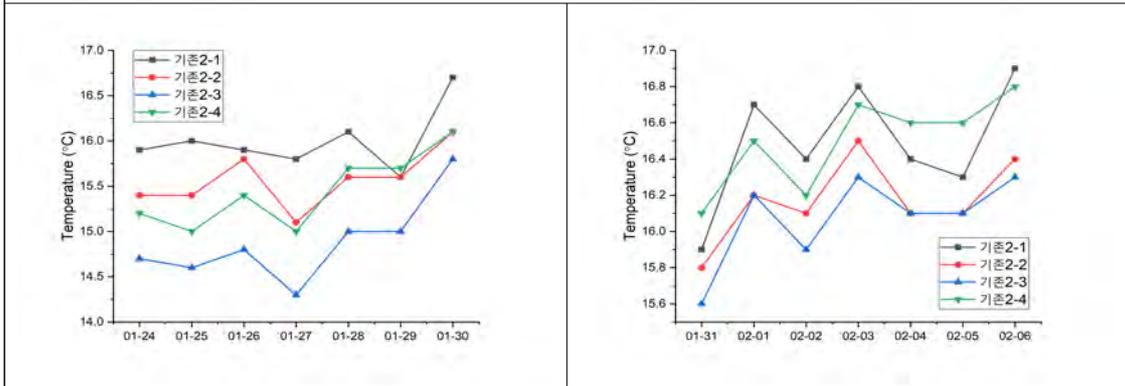




2023.02.07. ~ 2023.02.13.

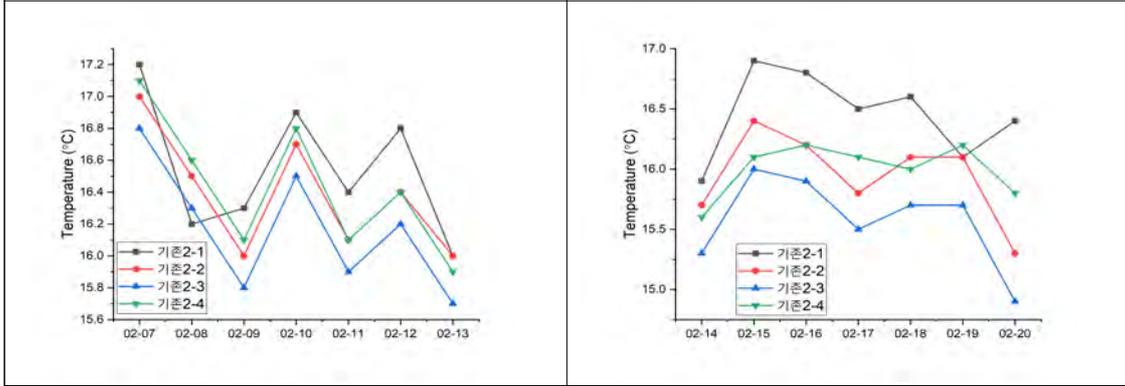
2023.02.14. ~ 2023.02.20.

AM 6:00



2023.01.24. ~ 2023.01.30.

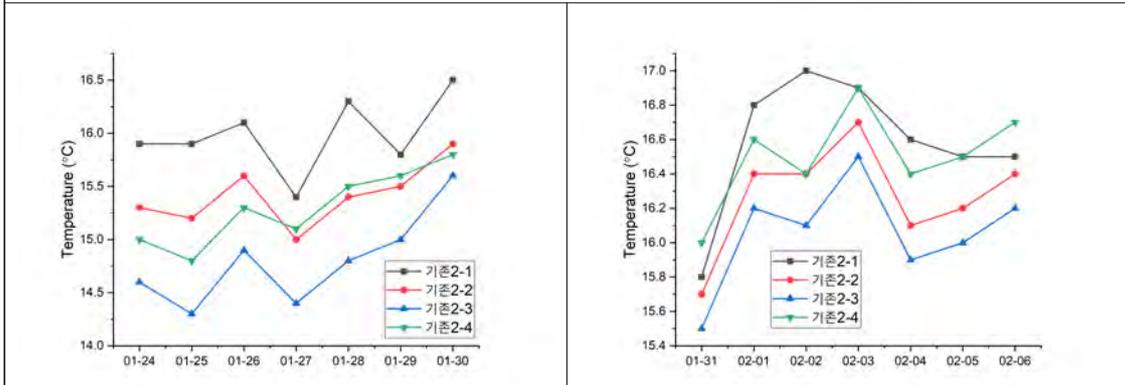
2023.01.31. ~ 2023.02.06.



2023.02.07. ~ 2023.02.13.

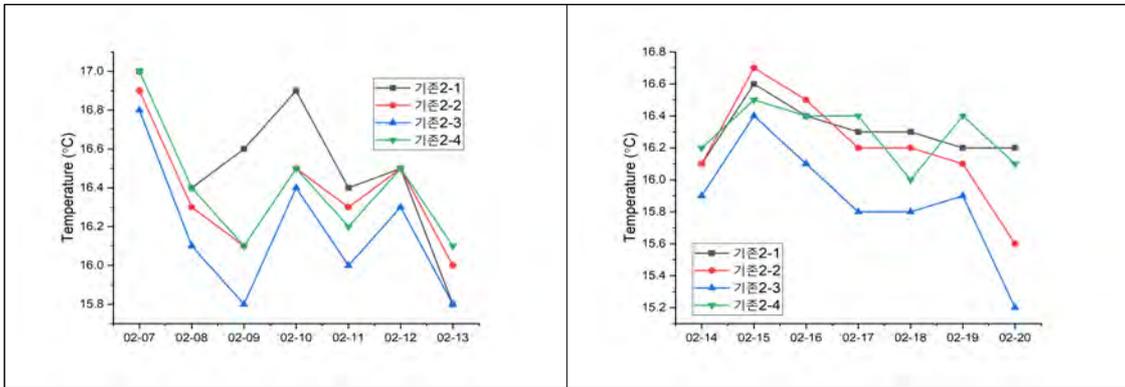
2023.02.14. ~ 2023.02.20.

AM 9:00



2023.01.24. ~ 2023.01.30.

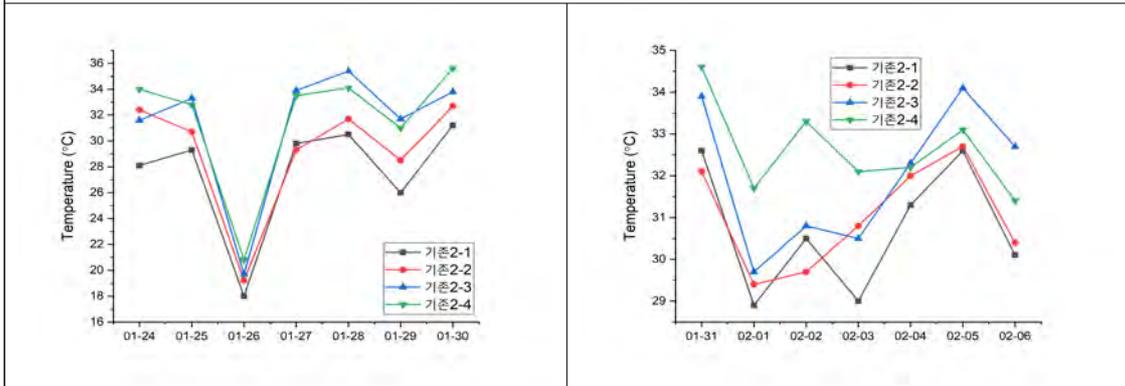
2023.01.31. ~ 2023.02.06.



2023.02.07. ~ 2023.02.13.

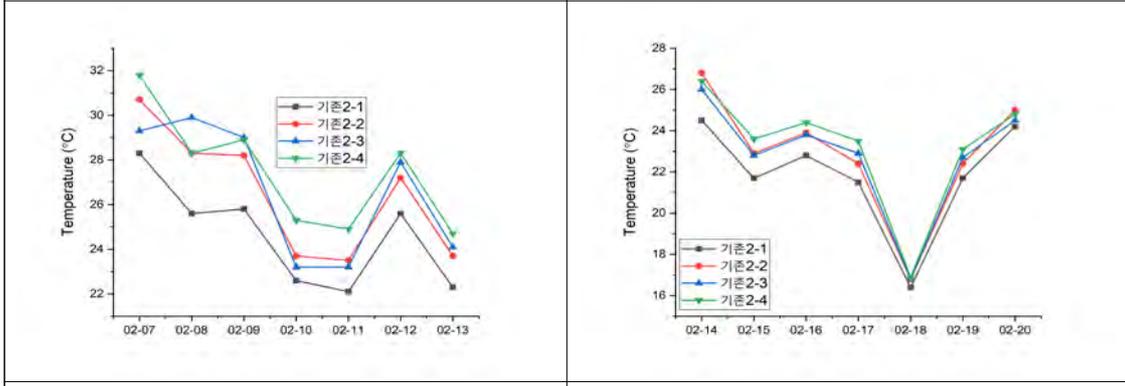
2023.02.14. ~ 2023.02.20.

PM 12:00



2023.01.24. ~ 2023.01.30.

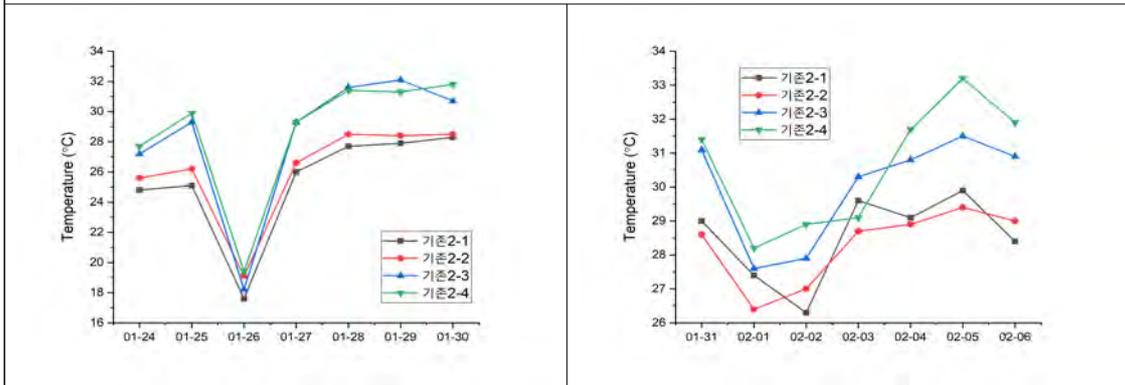
2023.01.31. ~ 2023.02.06.



2023.02.07. ~ 2023.02.13.

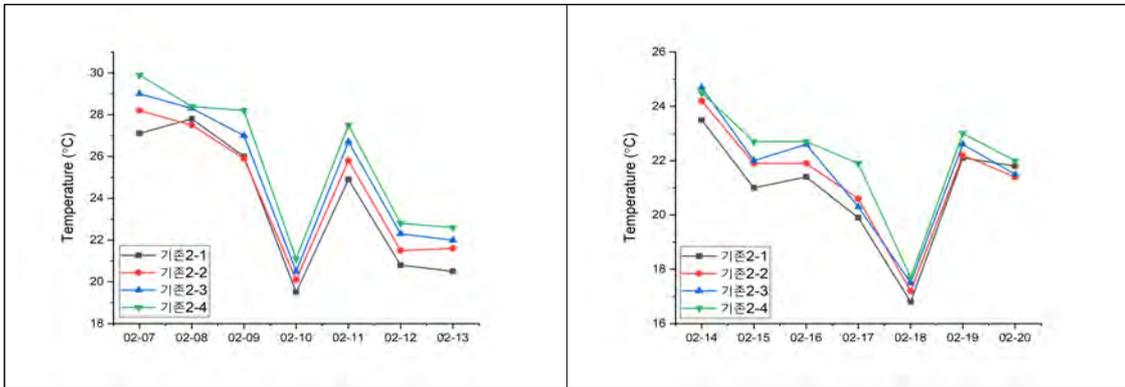
2023.02.14. ~ 2023.02.20.

PM 3:00



2023.01.24. ~ 2023.01.30.

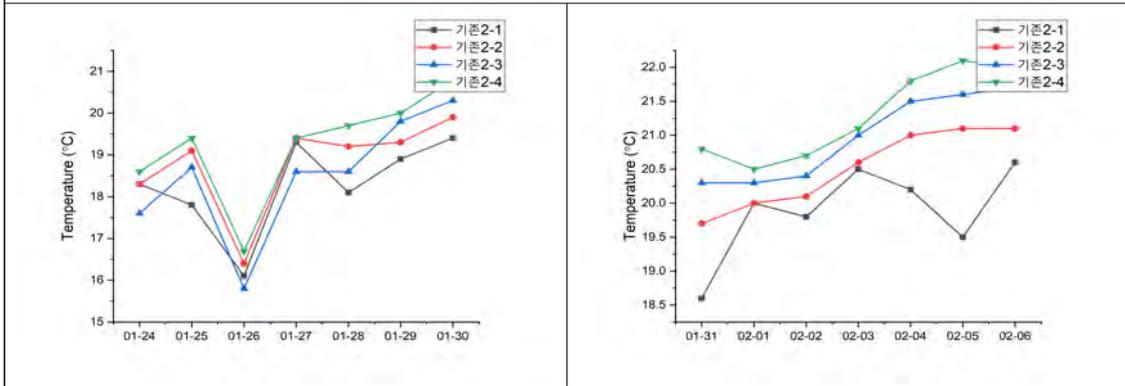
2023.01.31. ~ 2023.02.06.



2023.02.07. ~ 2023.02.13.

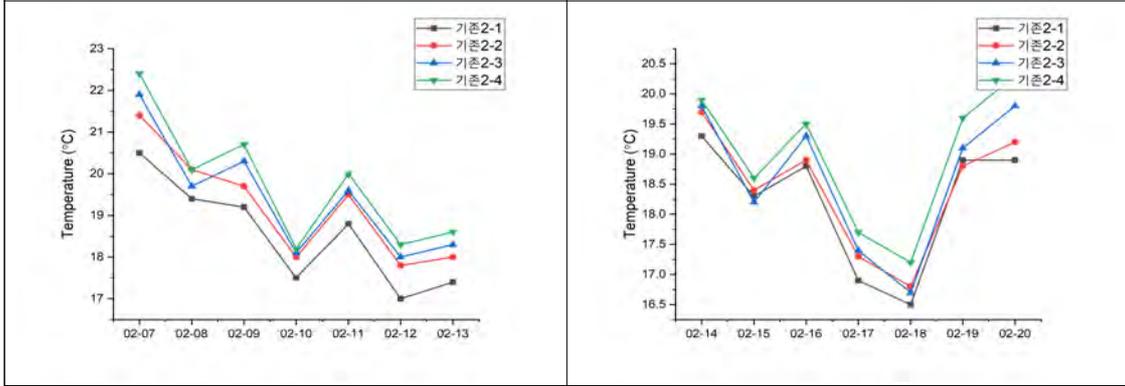
2023.02.14. ~ 2023.02.20.

PM 6:00



2023.01.24. ~ 2023.01.30.

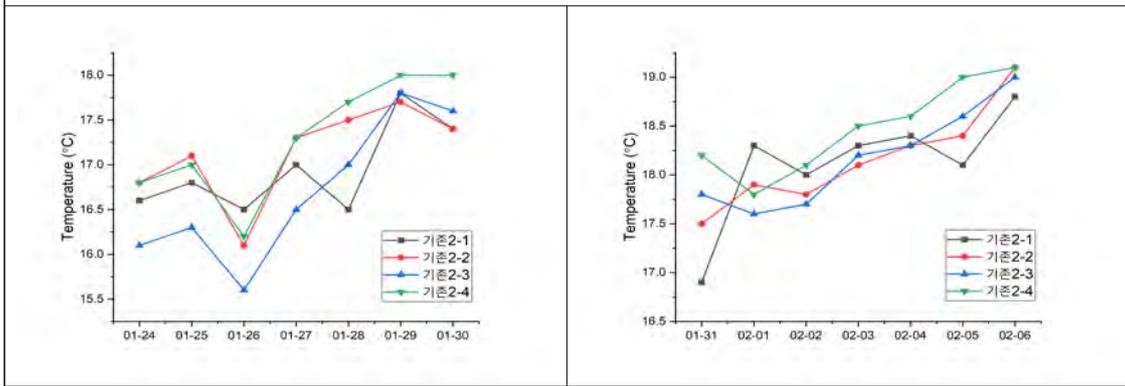
2023.01.31. ~ 2023.02.06.



2023.02.07. ~ 2023.02.13.

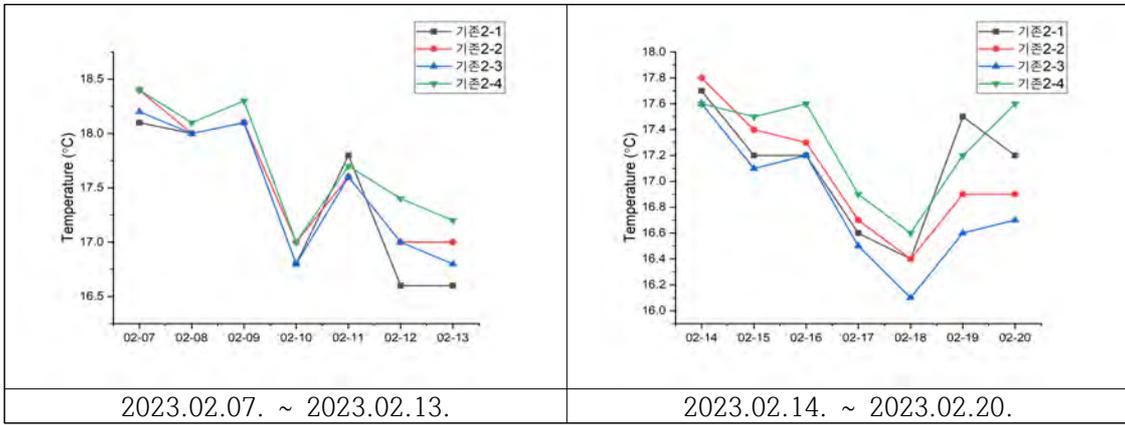
2023.02.14. ~ 2023.02.20.

PM 9:00



2023.01.24. ~ 2023.01.30.

2023.01.31. ~ 2023.02.06.



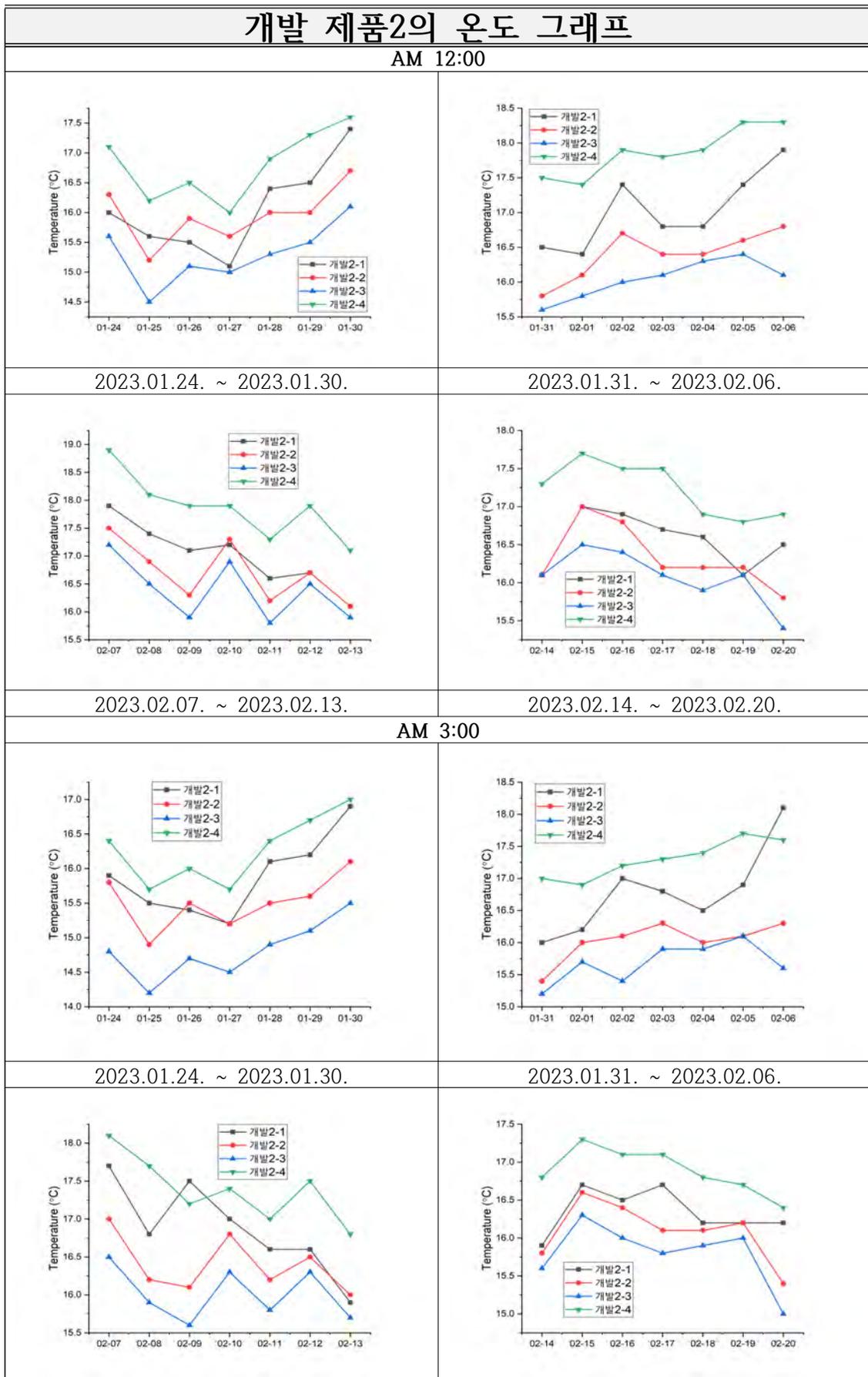
- 측정 시간은 오전 12시, 3시, 6시, 9시 및 오후 12시, 3시, 6시, 9시로, 총 8가지 시간으로 분류하였으며 측정된 4곳의 위치를 포함하는 모든 데이터에서 각 시간대의 최대값, 평균값 및 표준편차 값을 확인하였다.

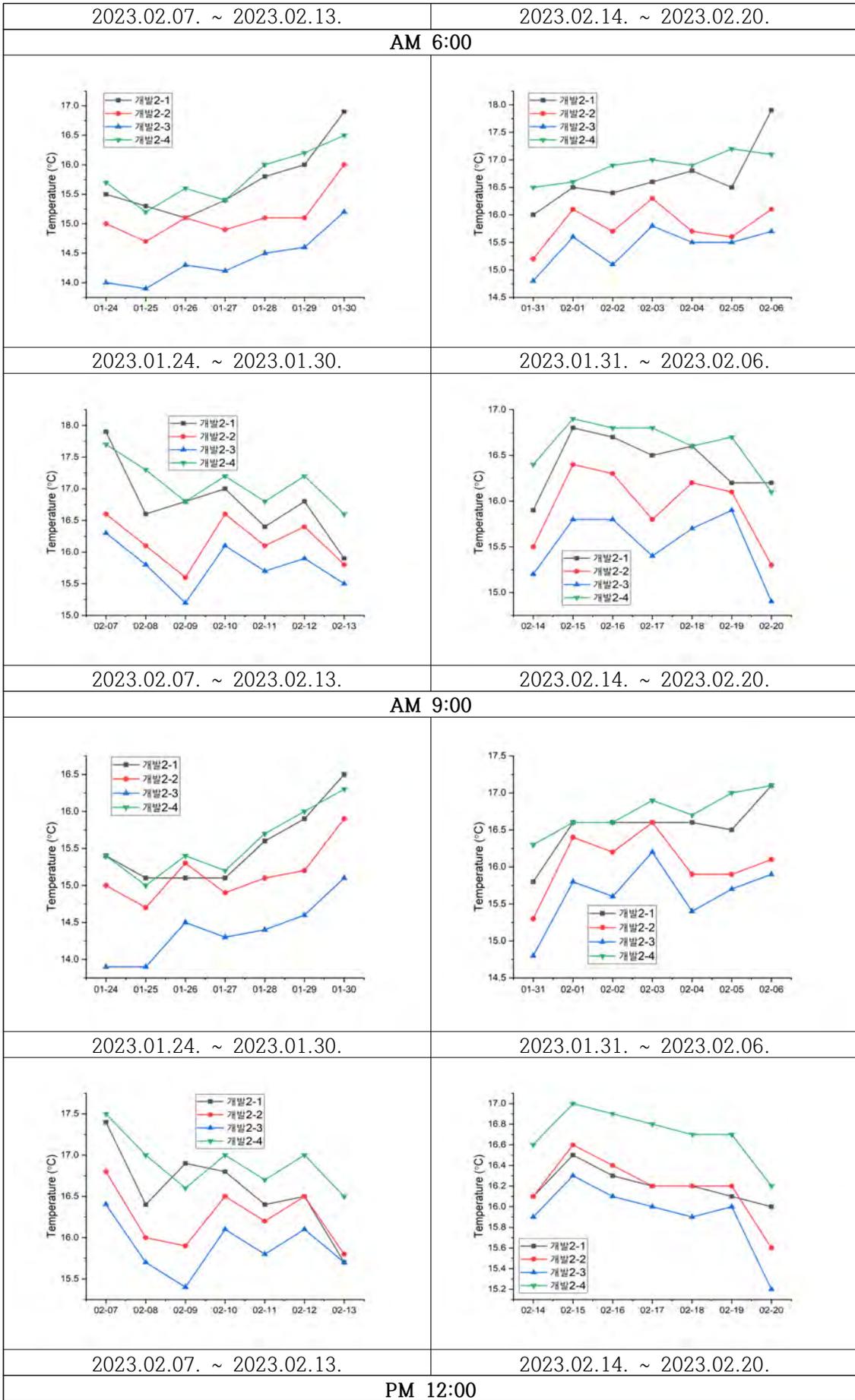
	최대 온도(°C)	평균 온도(°C)	표준편차(°C)
AM 12:00	18.20	16.71	0.58
AM 03:00	17.60	16.31	0.54
AM 06:00	17.20	16.03	0.56
AM 09:00	17.00	16.06	0.27
PM 12:00	35.60	27.63	4.71
PM 03:00	33.20	25.68	4.13
PM 06:00	22.40	19.28	1.41
PM 09:00	19.10	17.46	0.73

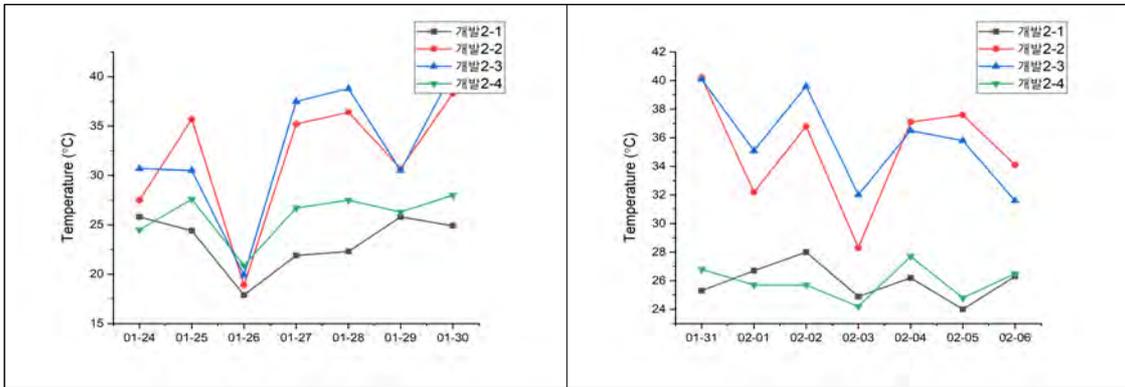
<2023.01.24. ~ 2023.02.20. 기존 시료2의 한달간의 시간별 온도 데이터>

- 온도 데이터 분석 결과 오전 12:00(AM 12:00)~ 오전 09:00 까지의 최대 온도는 비교적 낮으나 오후 12:00(PM 12:00) 이후부터는 최대 온도가 크게 높아지는 것을 알 수 있으며 하루 중 최대 온도와 평균 온도가 가장 높은 시간은 오후 03:00에 35.60°C, 27.63°C임을 확인하였다.
- 기존 시료1과 비교하였을 때 온도 차이가 존재하는 것을 확인하였으나 이는 비닐하우스 내의 햇빛이 드는 위치의 차이 등에 발생할 수 있는 실험적 오차이며 유의미한 차이는 아니라고 판단된다.

- 기존제품 및 개발제품과의 정확한 온도 데이터 비교를 위해 개발제품 2의 온도 데이터를 확인하였으며, 개발제품 2의 경우는 기존 개발제품 1과 비교하여 차이는 없으며 비닐하우스 내의 온도 측정 위치의 차이만 있었다.

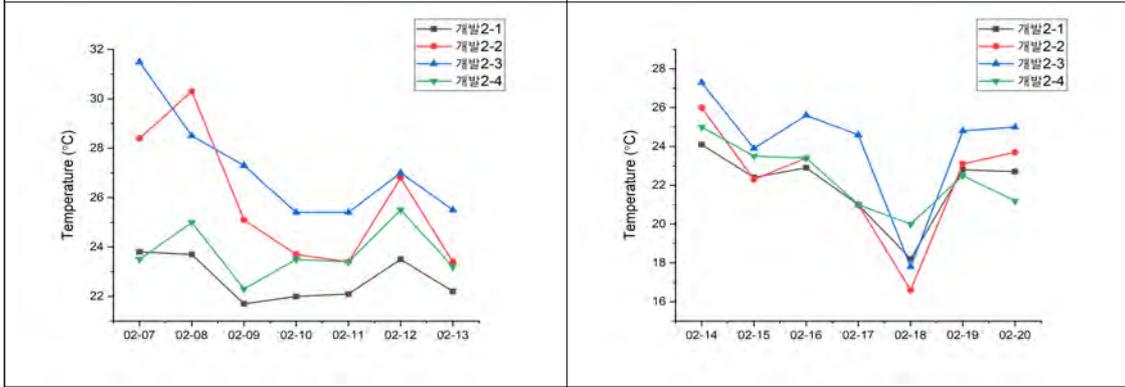






2023.01.24. ~ 2023.01.30.

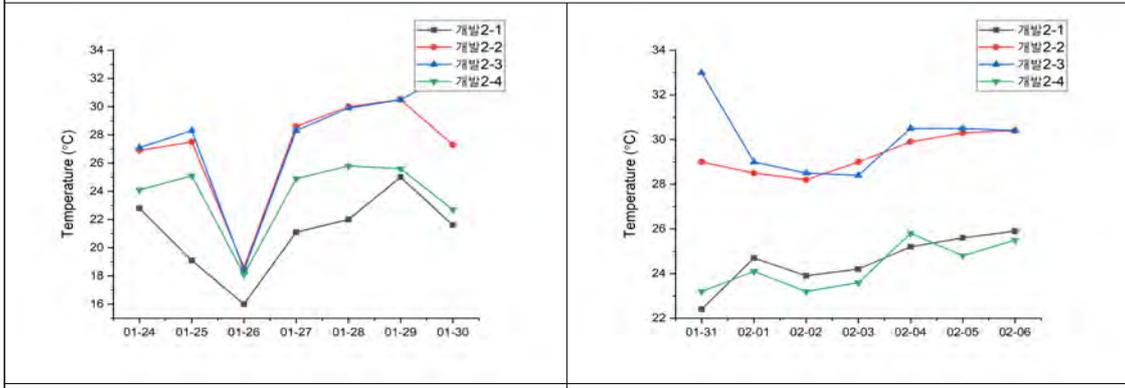
2023.01.31. ~ 2023.02.06.



2023.02.07. ~ 2023.02.13.

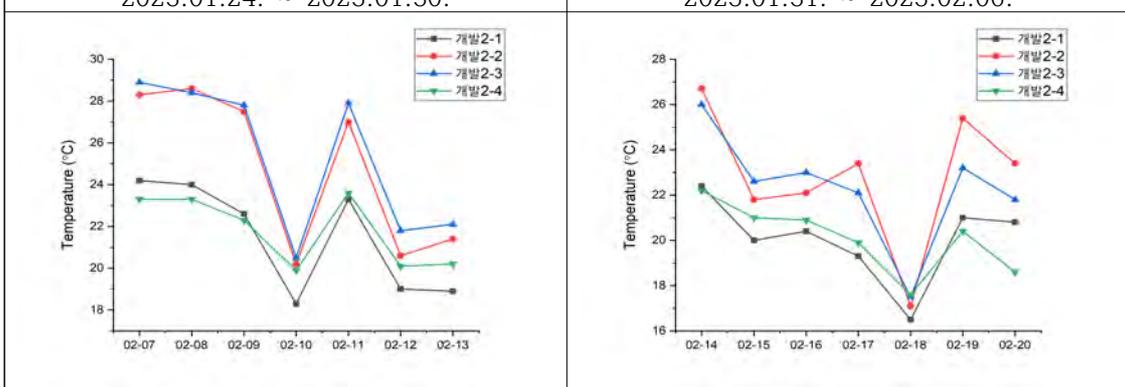
2023.02.14. ~ 2023.02.20.

PM 3:00



2023.01.24. ~ 2023.01.30.

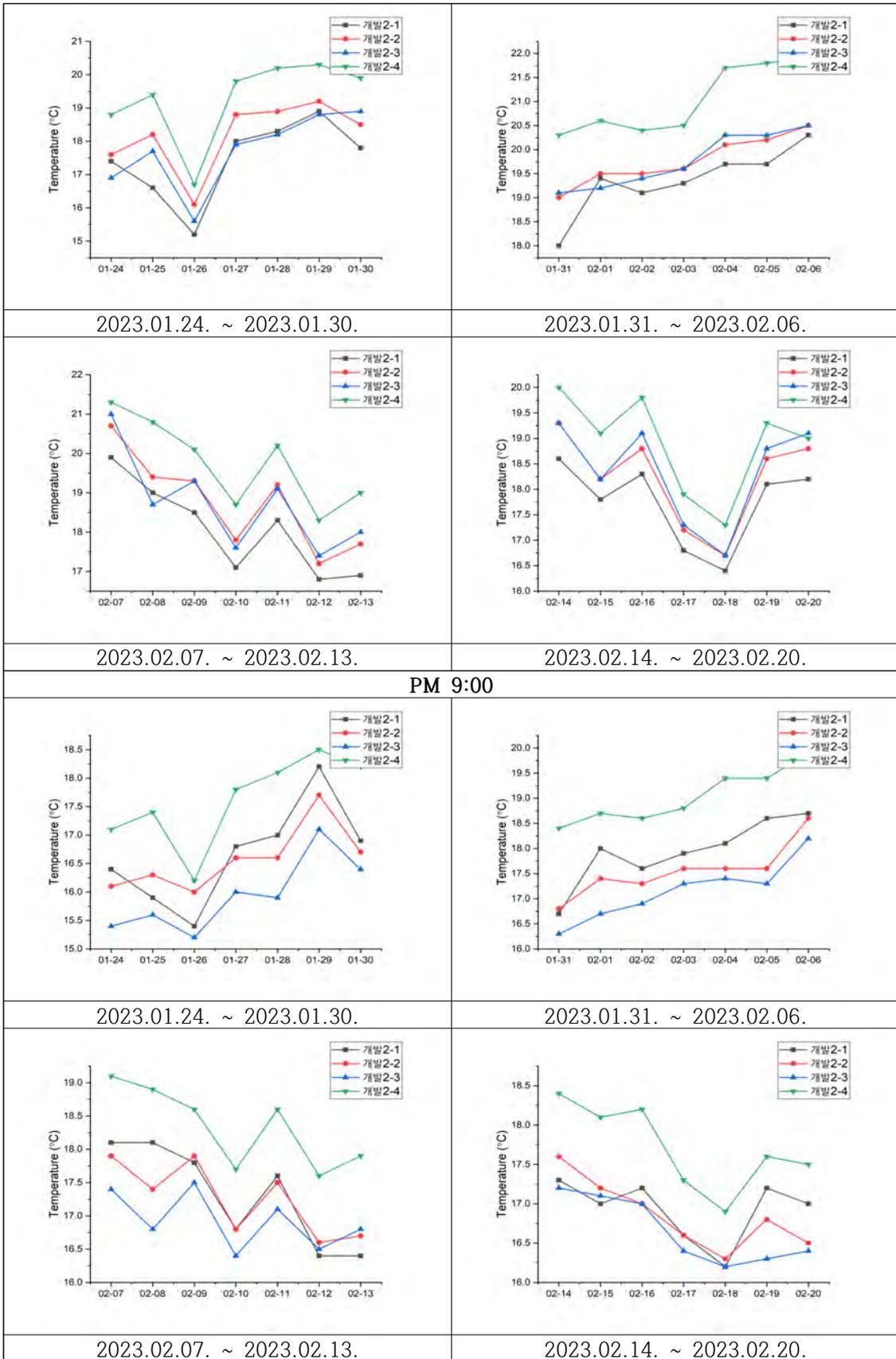
2023.01.31. ~ 2023.02.06.



2023.02.07. ~ 2023.02.13.

2023.02.14. ~ 2023.02.20.

PM 6:00



- 측정 시간은 오전 12시, 3시, 6시, 9시 및 오후 12시, 3시, 6시, 9시로, 총 8가지 시간으로 분류하였으며 측정된 4곳의 위치를 포함하는 모든 데이터에서 각 시간대의 최대값, 평균값 및 표준편차 값을 확인하였다.

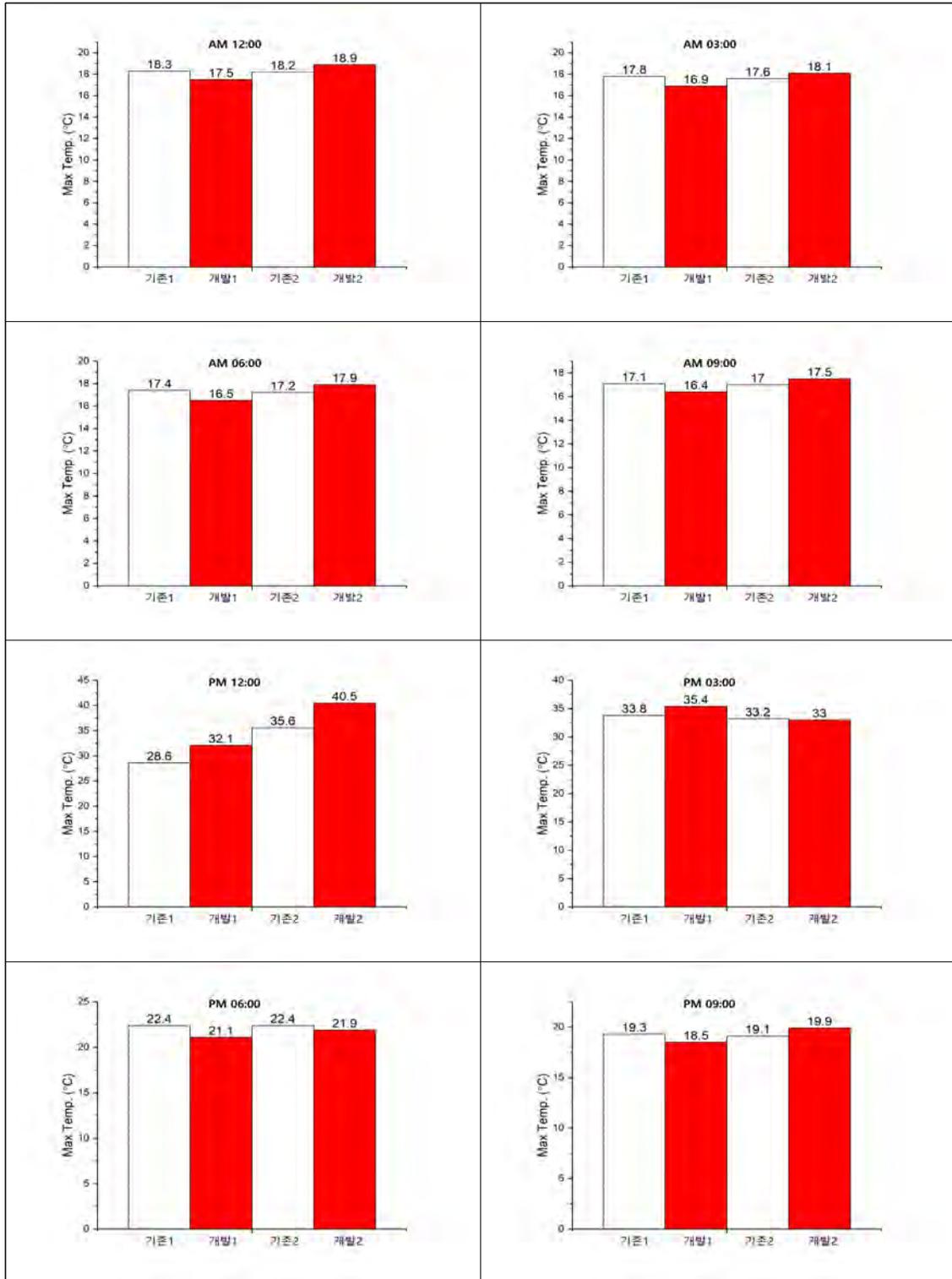
	최대 온도(°C)	평균 온도(°C)	표준편차(°C)
AM 12:00	18.90	16.60	0.81
AM 03:00	18.10	16.25	0.77
AM 06:00	17.90	16.00	0.80
AM 09:00	17.50	16.01	0.73
PM 12:00	40.50	26.68	5.47
PM 03:00	33.00	24.17	3.94
PM 06:00	21.90	18.82	1.32
PM 09:00	19.90	17.27	0.92

<2023.01.24. ~ 2023.02.20. 개발 시료2의 한달간의 시간별 온도 데이터>

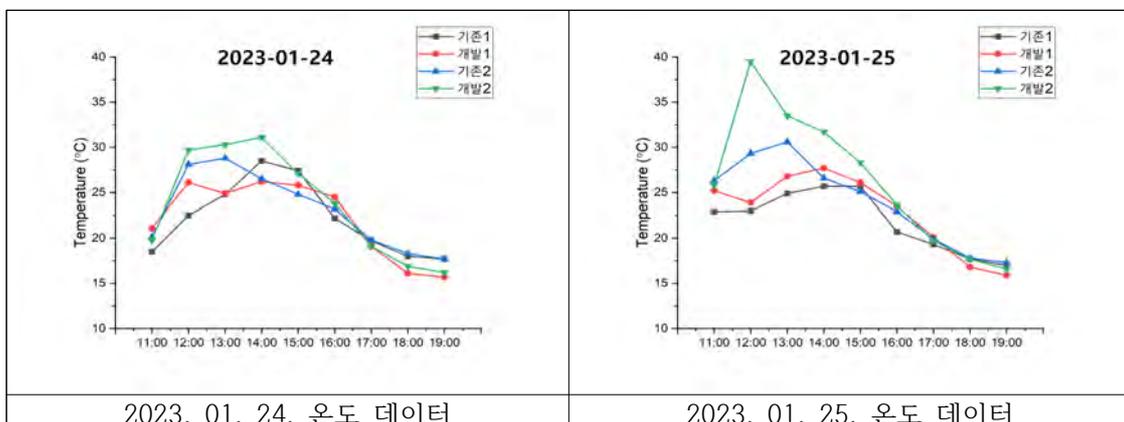
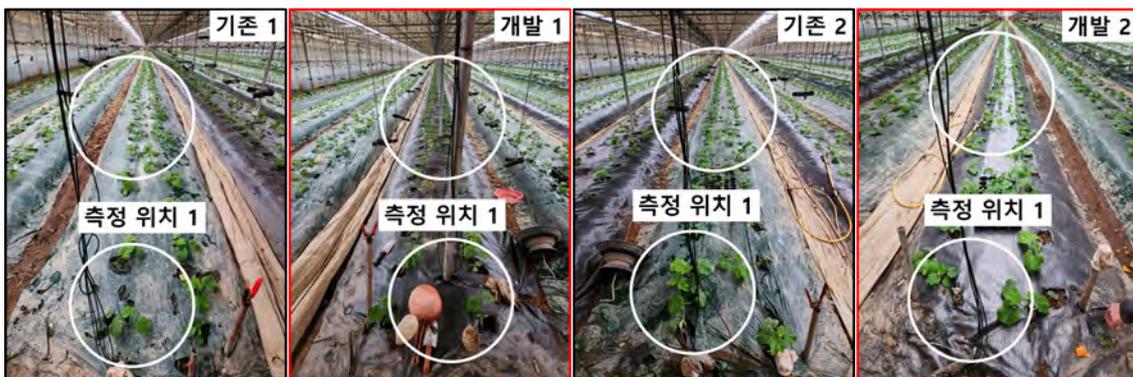
- 온도 데이터 분석 결과 오후 12:00(PM 12:00)에서 최대 온도와 평균 온도가 40.50, 26.68°C로 확인되어 4개의 시료중 가장 높은 온도 데이터를 확보했다,
- 개발 시료1과 비교하였을 때 온도 차이가 존재하는 것을 확인하였으나 이는 비닐하우스 내의 햇빛이 드는 위치의 차이 등에 발생할 수 있는 실험적 오차이며 유의미한 차이는 아니라고 판단된다.

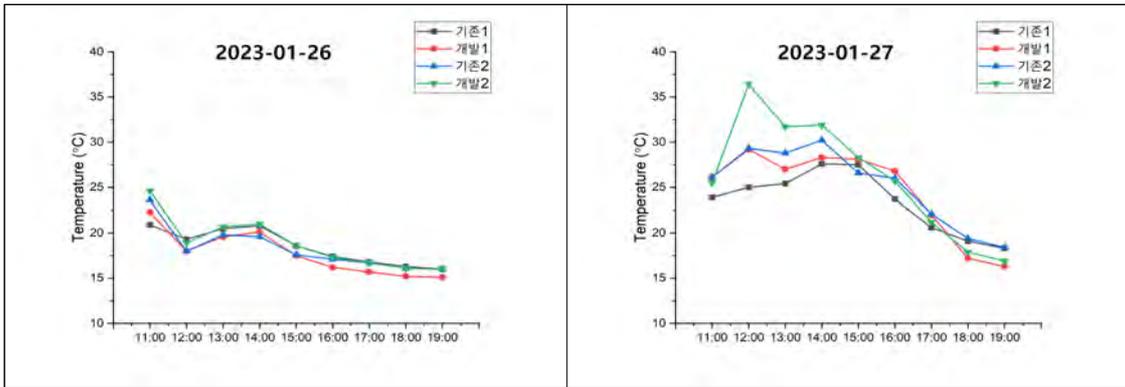
◦ 시료별 온도 데이터 비교분석

- 최종적으로 기존 멀칭필름과 개발된 광발열 입자를 포함하는 멀칭 필름과의 온도 데이터 비교 분석을 위하여 온도 데이터는 ‘오전/오후’로 구분하여 비교하였다.

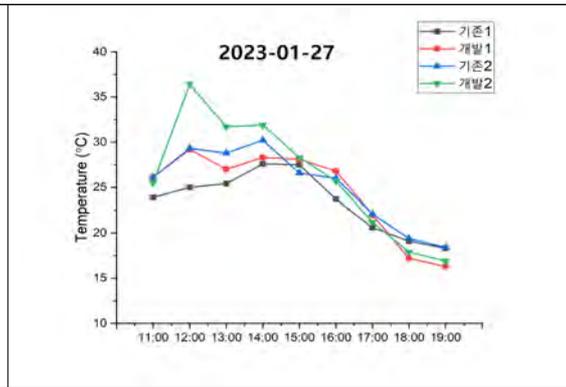


- 총 4가지의 시료 온도 데이터 비교 결과, 햇빛이 없어 광발열 현상이 발현되지 않는 오전 시간대의 경우는 기존 제품과 개발 제품간의 유의미한 온도 차이가 발견되지 않았다,
- 하지만 햇빛이 가장 강하게 드는 오후(PM) 12:00의 경우에서 기존 제품과 개발 제품간 최대 약 12℃ 온도 차이가 발생하는 것을 확인하였으며 최대 온도 및 평균 온도는 측정 위치에 약간의 차이가 있는 것을 확인하였다.
- 오후 12:00 이후 시간이 지남에 따라 기존 제품과 개발 제품간의 온도 차이는 줄어들기 시작하며 오후 06:00 에서는 기존 제품의 온도가 개발 제품보다 미약하게나마 높은 측정 위치도 발견되었다.
- 2023년 2월의 대략적인 일몰 시간은 17:38 ~ 18:09 사이에서 관측되므로 오후 06:00 에서는 이미 해가 저있는 상황이므로 광발열 효과가 줄어들어 온도가 낮아지는 것이라 판단된다.
- 추가적인 시료별 온도 데이터를 확인하기 위해 전체적인 시간대에서의 기존 제품과 개발 제품의 온도 데이터를 확인해보고자 하였으며 시료는 총 4종(기존제품 1,2 및 개발제품 1, 2)이며 측정 위치는 4곳(1번 위치, 2번 위치, 3번 위치, 4번 위치)에서 데이터를 수집하였으며 이중 오차로 판단되는 데이터를 제외하고 균일하게 얻어진 데이터 1종 씩을 추출하여 결과를 확인하였다.

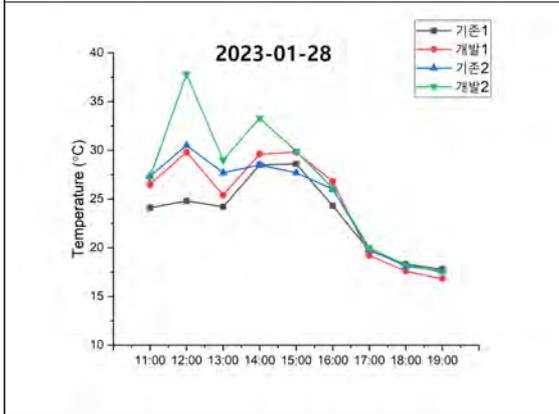




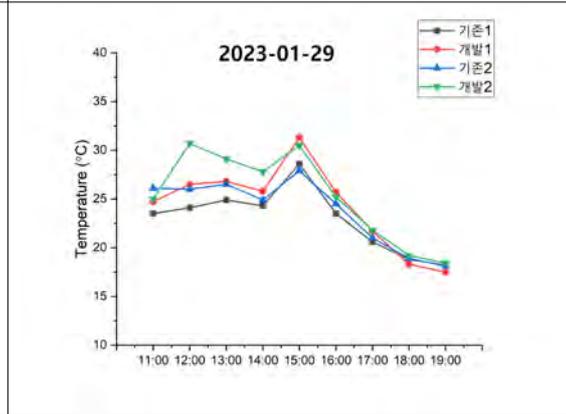
2023. 01. 26. 온도 데이터



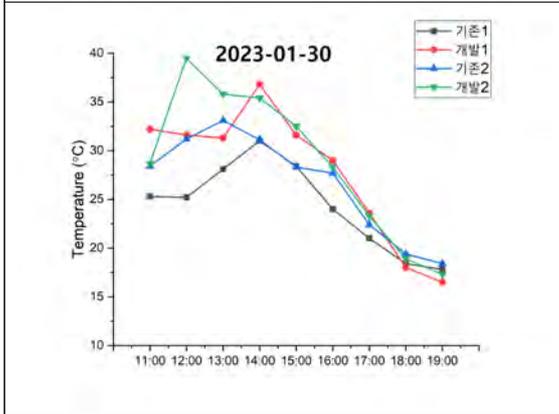
2023. 01. 27. 온도 데이터



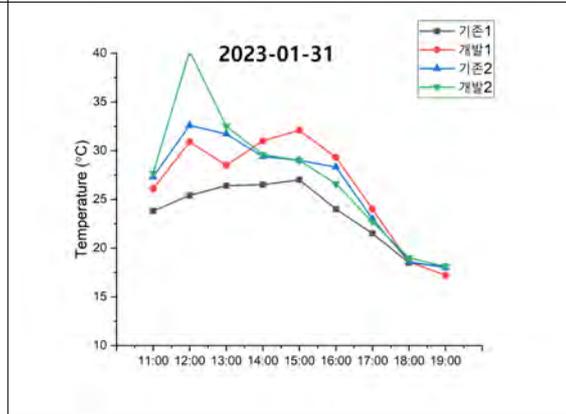
2023. 01. 28. 온도 데이터



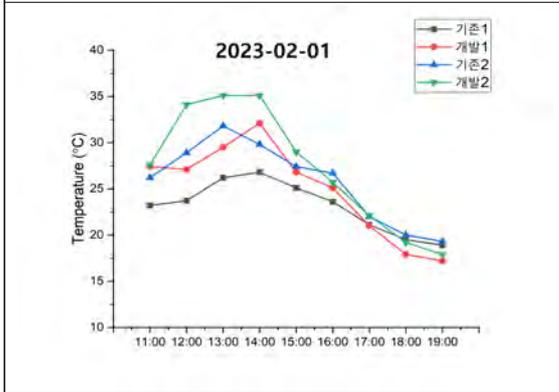
2023. 01. 29. 온도 데이터



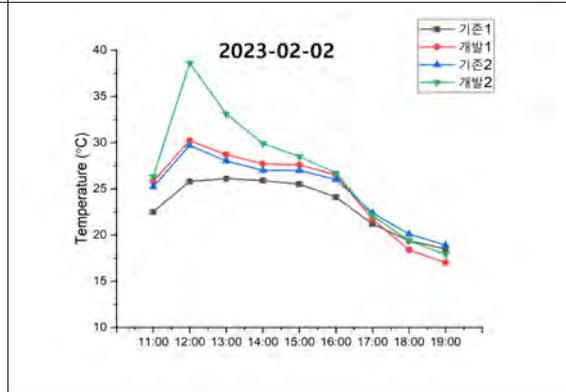
2023. 01. 30. 온도 데이터



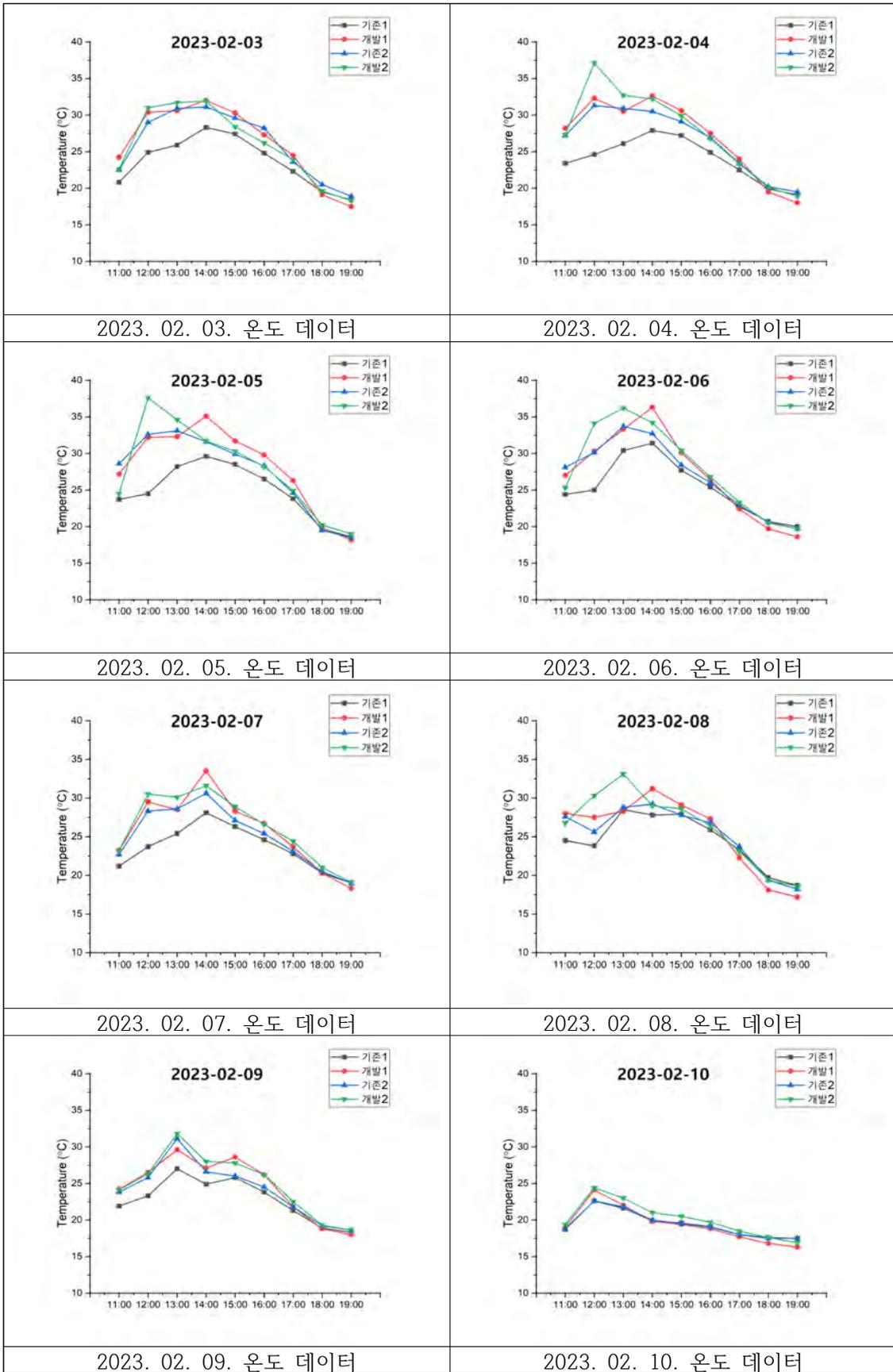
2023. 01. 31. 온도 데이터

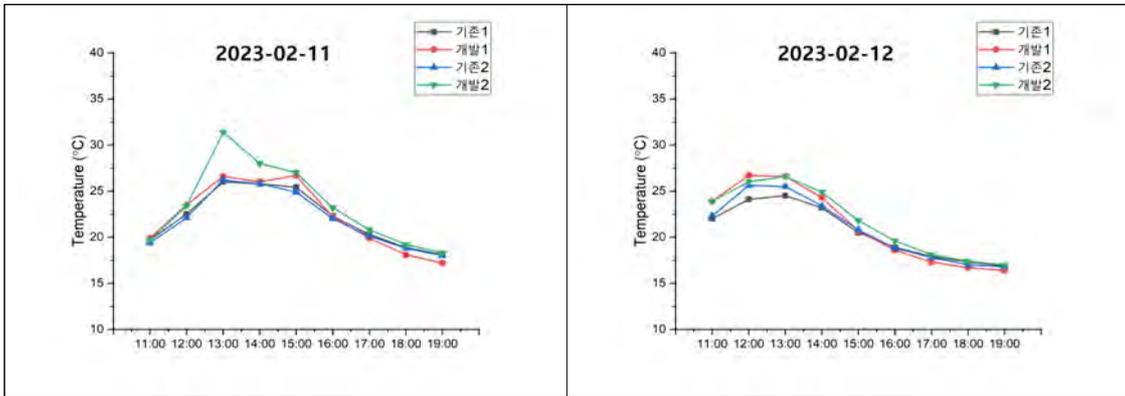


2023. 02. 01. 온도 데이터



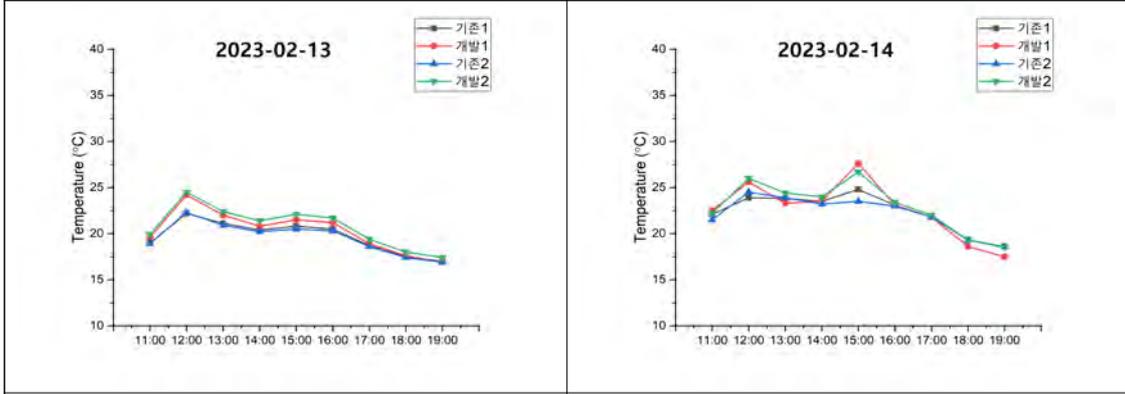
2023. 02. 02. 온도 데이터





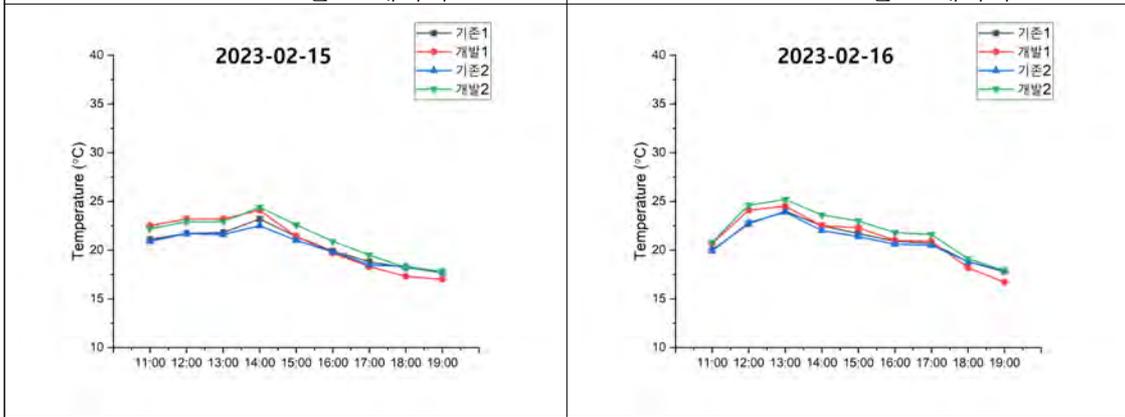
2023. 02. 11. 온도 데이터

2023. 02. 12. 온도 데이터



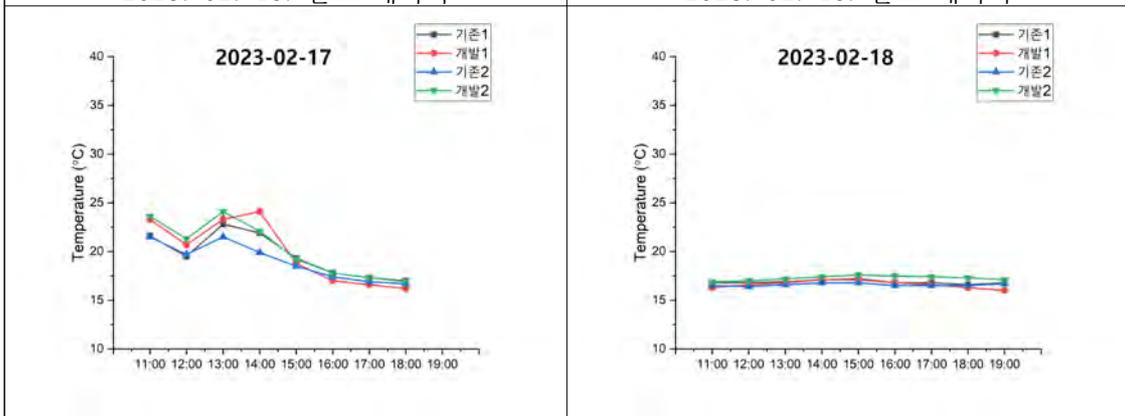
2023. 02. 13. 온도 데이터

2023. 02. 14. 온도 데이터



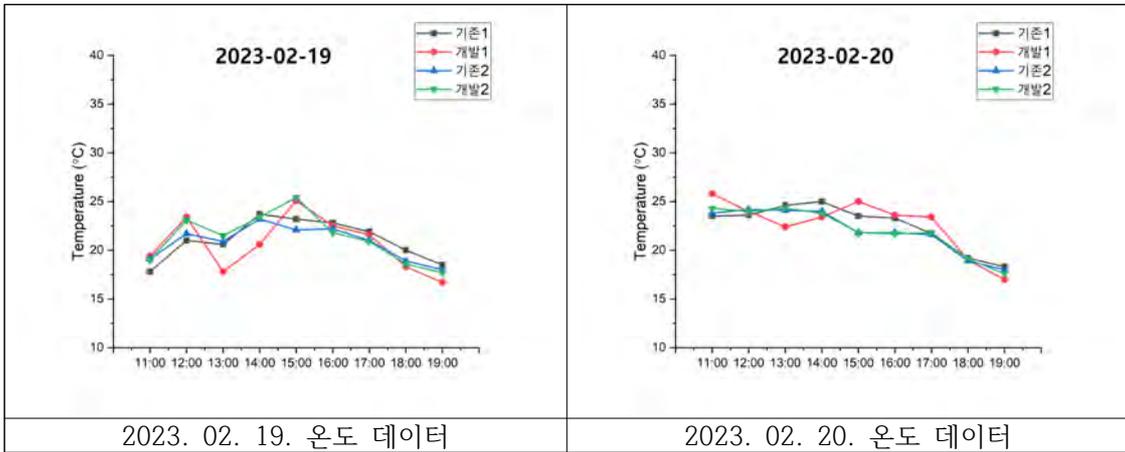
2023. 02. 15. 온도 데이터

2023. 02. 16. 온도 데이터



2023. 02. 17. 온도 데이터

2023. 02. 18. 온도 데이터



- 2023.01.24. ~ 2023.02.20. 약 한 달간의 기존 멀칭필름과 개발된 광발열 멀칭 필름 간의 온도 데이터 비교분석 결과, 거의 대부분의 영역에서 광발열 멀칭 필름의 온도가 기존 멀칭필름보다 높은 것을 확인하였다.
- 온도 차이는 햇빛의 영향을 크게 받는 오후(PM) 12:00 ~ 3:00 사이에 큰 것으로 확인 되었으며 해가 지기 직전과 해가 진 이후에는 두 제품간의 차이는 크지 않거나 역전되는 현상이 발생하였다.
- 또한 온도 차이가 비교적 크지 않은 날(1/26, 2/3, 2/12~18)들이 존재하는데 이때의 기상 상태는 눈(1/26)이 오거나 비, 연무, 박무, 진눈깨비(2/7~13, 15, 17~19) 등의 기상현상으로 햇빛에 의한 광발열 효과가 발현되기 어려운 시기임을 확인하였다.

(2) 향균, 방충 등 기능성 Master batch를 활용한 편평사 원단 코팅 공정 및 부직포 합포 공정 개발

- 부직포 합포를 통하여 부직포 내부 공기층에 의한 보온성을 확보하고, 통기성 필름 합포를 통하여 기체는 통과하고, 액체는 통과하지 못하게 하여 토양의 환기는 가능하게 하면서, 수분은 보존할 수 있는 기능성을 확보하기 위하여, 기능성 편평사 원단을 활용하여 부직포, 통기성 필름과 3중 합포를 통한 원단 코팅 공정 및 부직포 합포 공정을 진행하였다.

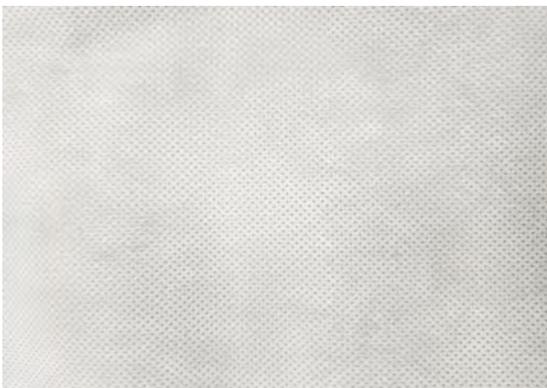


Fig. White Nonwoven fabric

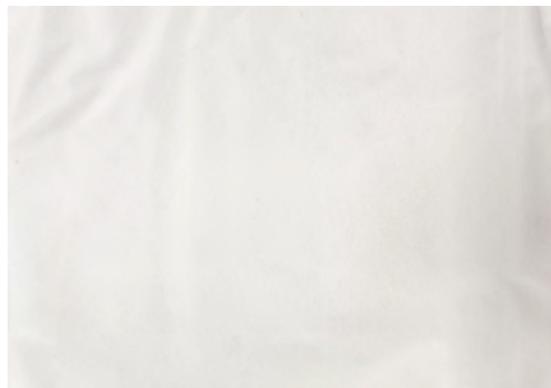


Fig. Breathable film

- 기능성 편평사 원단 2종(광발열 + 기능성, 기능성) 사용하여 진행하였으며 기능성 원단 + Breathable film + White(or Black) Nonwoven fabric 시제품의 경우, 기능성 원단 55 g/m², Breathable film 25 g/m², Nonwoven fabric 60~65 g/m² 및 본딩재료 7 g/m²으로 구성하였고, 광발열 원단 + Breathable film + White(or Black) Nonwoven fabric 시제품의 경우, 발열 원단 60 g/m², Breathable film 25 g/m², Nonwoven fabric 60~65 g/m² 및 본딩재료 7 g/m²으로 구성하였다.

Table. 3종 합포 원단의 비율

기능성 원단 소재	Nonwoven Fabric 색상	재료 중량(g/m ²)				최종 제품 중량 (g/m ²)
		발열 원단	Breathable film	Nonwoven Fabric	본딩 재료	
항균성	White	55	25	60	7	147
	Black	55	25	65	7	152
항균성 + 광발열	White	57	25	60	7	149
	Black	57	25	65	7	154

- 본 공정은 부직포 합포를 통한 보온성 확보 유/무 확인 및 통기성 필름 부착을 통한 수분 보호가 가능한지 확인하기 위한 공정으로 최대한 동일한 조건에서 비교 분석하기 위하여 가능한 일반적인 공정 조건으로 진행하였으며, 접착 온도는 120 °C에서 진행하였다.
- 기능성 편평사 원단과 Nonwoven fabric, Breathable film를 투입함과 동시에 본딩 재료를 분사하고, 열과 압력을 가하여 접착하는 방식의 공정이며, 건조 후, 와인딩하였다.



Fig. 거치된 기능성 편평사 원단



Fig. 상단부 노즐에 의한 접착 재료 분사



Fig. Nonwoven fabric 공급

- 완성된 4종의 시료는 공동연구개발기관에서 물성 분석 및 광발열/항균성 성능, 투습도 등을 비교분석 하였다.

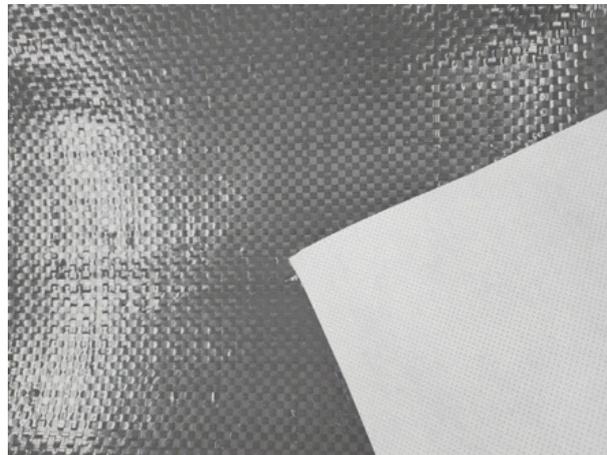


Fig. 광발열+기능성 원단 + Nonwoven fabric(White) + Breathable film 합포 원단

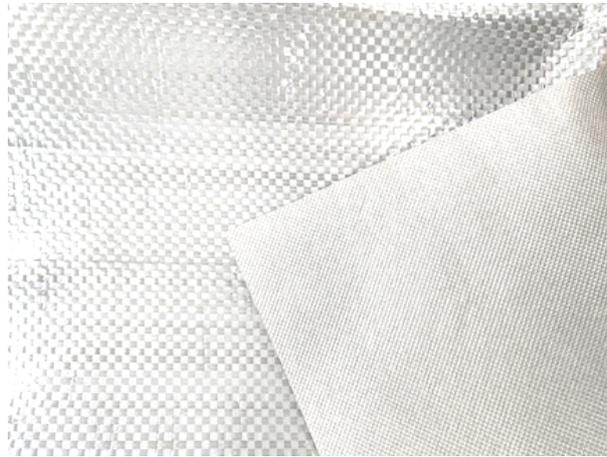


Fig. 기능성 원단 + Nonwoven fabric(White) + Breathable film 합포 원단

(3) 항균, 방충 등 기능성 Master batch를 활용한 편평사 제사 공정 최적화

- 1차년도, 2차년도를 통하여 광발열 Master batch와 기능성 Master batch를 적용한 편평사 제사 공정을 개발하였다. 3차년도에서는 이 두 Master batch를 모두 적용하여 광발열 성능을 가지는 항균 기능성 편평사 제사 공정을 적용하고 최적화하였다.



Fig. 기능성 Master batch 혼합 시, 원료 투입 호퍼 구성 및 온도 조절

- 공동연구개발기관에서는 전달받은 HDPE / Graphite Master Batch Chip과 HDPE / 산화아연(ZnO, Zinc Oxide) Master Batch Chip을 활용하여 1% 수준의 광발열 입자와 1% 수준의 기능성 입자를 함유하는 필름을 제조하고자 하므로, 공동연구개발기관의 사전 연구 조건인 Extrusion Temp. 270℃ 조건을 기준으로 온도를 높이면서 최대 300℃에서 최적 조건을 확립하였다.



Fig. Graphite Master Batch Chip / 산화아연(ZnO, Zinc Oxide) Master Batch Chip

- 광발열 입자가 함유된 Master batch와 기능성 입자가 함유된 Master batch를 원재료와 혼합 공정 후, 이를 압출기를 통해서 압출하게 되는데, 이때 점성을 유지하면서 흐름성을 확보할 수 있는 온도 조건 및 속도/압력 조건이 필요하다.



Fig. 제사 공정 중, 필름 압출 및 냉각 공정

- 또한 2차년도에 확보한 입자 응집 문제를 해결한 공정 조건을 적용하기 위하여 냉각수 온도를 낮추고 압출 속도를 상향 조정하여 용융된 상태에서 입자의 응집 발생을 최소화 하였다.
- 압출 조건은 구금 온도 280~285 °C, 연결 라인 온도 280~290 °C, Extruder 온도 300~245 °C, Screw 37.1 rpm, Pump 24.3 rpm, 냉각수 55 °C의 조건으로 진행하였다.

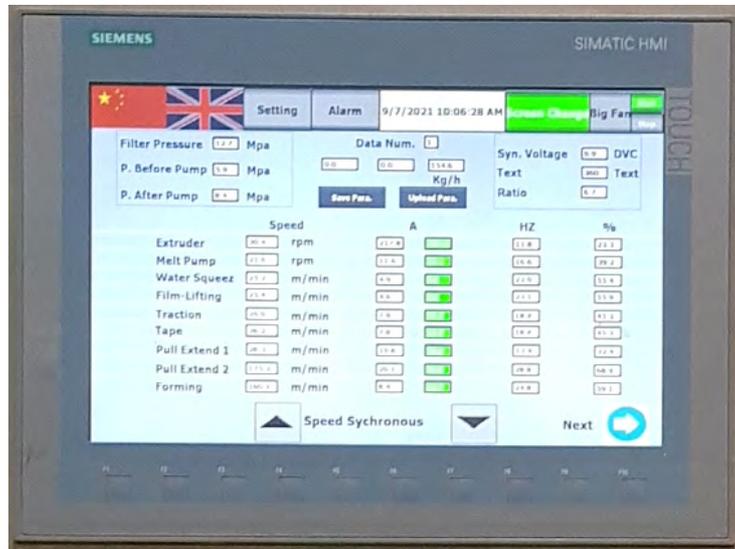


Fig. 압출 조건

Table. 압출 조건표

구금 온도(℃)		연결 라인 온도(℃)		Extruder 온도(℃)		기타	
Zone	Actual	Zone	Actual	Zone	Actual	Zone	Actual
19	285	12	280	7	300	Screw	37.1 rpm
18	280	11	280	6	300	Pump	24.3 rpm
17	280	10	280	5	295	냉각수	55 ℃
16	280	9	280	4	285		
15	280	8	290	3	275		
14	280			2	265		
13	285			1	245		

- 연신 및 슬리팅 공정에서는 가열판의 온도 및 연신 속도가 편평사의 섬도를 결정하는 중요한 요소인데, 가열판의 온도 조절 및 연신 속도를 통해서 같은 폭을 가지면서 다양한 섬도를 가지는 편평사 제조가 가능하다.

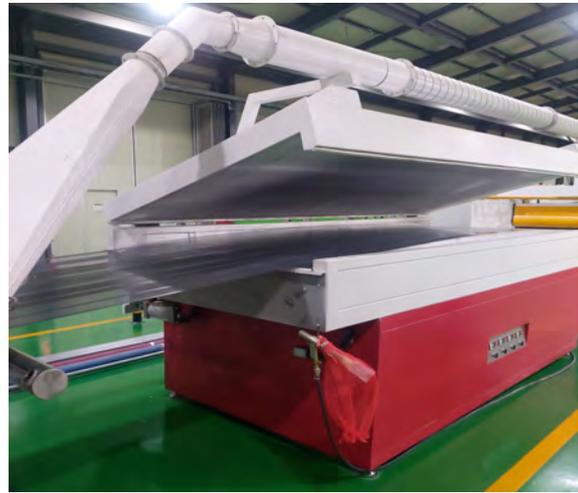


Fig. 연신 및 슬리팅 공정



Fig. 연신 과정의 가열판 온도 조절

- 원사의 섬도에 따른 물성 및 성능에 대한 분석은 1차년도에 진행하였으므로, 2차년도와 동일한 섬도의 원사를 제사하고 경위사를 변경하여 광발열 및 기능성 성능을 분석할 예정이다므로 확보된 최적 공정 조건을 활용하여 1000d, 7목 원사를 제사하였다.

Table. 편평사 연신 및 슬리팅 조건

편평사 섬도	1000 d
연신판 온도(℃)	119
속도(mpm)	143
연신비	6.6
슬리팅 폭(mm)	7

- 연신 및 슬리팅 이후 권취 공정을 통해서 보빈에 감아주어 최종적으로 편평사 원사를 제조하였다.



Fig. 연신 후 권취 공정



Fig. 광발열 + 항균성 입자를 함유한 편평사 원사

(4) 항균, 방충 등 기능성 편평사를 활용한 편평사 원단 제직 공정 최적화

- 기존 원단 및 2차년도 광발열 편평사를 활용한 편평사 원단과 광발열, 항균성 성능을 비교 분석하기 위하여, inch 당 14×14의 밀도를 가지는 기존 원단의 제직 조건을 동일하게 적용하여 제직을 진행하였다.
- 다만 2차년도와 동일하게 낮은 목수(7목)의 원사를 높은 밀도(14×14)로 제직하는 접사 제직 공정을 진행하였다.
(접사 제직 공정은 편평사의 폭 보다 좁은 제직 폭으로 설계하여 제직하는 방법으로, 제직한 원단에서 원사가 2~3중으로 접혀서 제직되어 접힌 부분에 공기층을 확보할 수 있음)



Fig. 기능성(광발열 포함) 편평사 원단의 제직 공정

- 밀도는 14×14 ea/inch, 사종은 HDPE, 경/위사의 섬도는 1000d로 제직하였으며, 성폭 122 inch, Plain 조직으로 제직하였다.
- 사종별로 경위사의 조합을 다르게 하여 총 3종의 원사를 제직하였으며, 경위사 조합을 기존(White)/기존(White), 기능성/기존(White), 기능성/기능성으로 구성하였다.

Table. 기능성 편평사 원단의 제직 조건

시료	기존/기존	기능성/기존	기능성/기능성
밀도(ea/inch)	14×14	14×14	14×14
사종	HDPE	HDPE	HDPE
섬도(de)	1000(7목)	1000(7목)	1000(7목)
경사	기존(White)	기능성	기능성
위사	기존(White)	기존(White)	기능성
초본수(분)	976	976	976
종광(매)	2	2	2
성폭(inch)	122	122	122
조직	Plain	Plain	Plain

Table. 기존/기존 원단

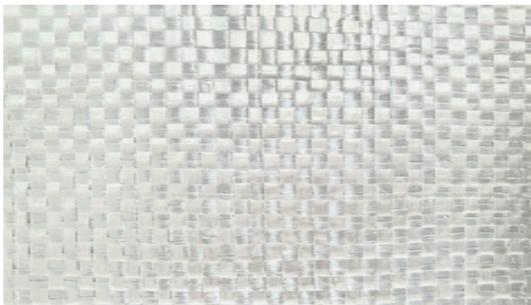
시료	기존	표면 사진
밀도(ea/inch)	14×14	
사종	PE	
섬도(de)	1000(7목)	
경사	기존(White)	
위사	기존(White)	
성폭(inch)	122	
조직	Plain	

Table. 기능성/기존 원단

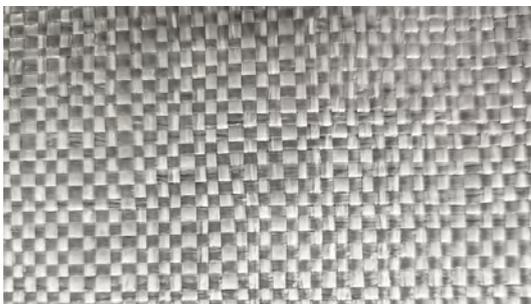
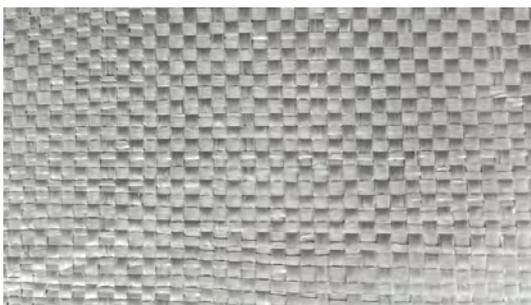
시료	기존	표면 사진
밀도(ea/inch)	14×14	
사종	PE	
섬도(de)	1000(7목)	
경사	기능성	
위사	기존(White)	
성폭(inch)	122	
조직	Plain	

Table. 기능성/기능성 원단

시료	개발	표면 사진
밀도(ea/inch)	14×14	
사종	PE	
섬도(de)	1000(7목)	
경사	기능성	
위사	기능성	
성폭(inch)	122	
조직	Plain	

(5) 기능성 편평사 원단의 현장 실증평가

- 3차년도에 개발한 기능성(광발열 포함) 편평사 원단의 현장 실증 Test를 위하여, 경북대학교 농업생명과학대학과 협의하여 대구광역시 군위군의 가지 농가에서 현장 실증 평가를 진행하였다.
- 농가 및 가지 제원
 - 실증 장소 : 군위군 군위읍 삼령리
 - 실증 면적 : 600평
 - 가지의 형태적 특징 : 길이 약 10 cm
 - 재배 시기 : 8월 중순 ~
 - 재식거리 35~45 cm이며, 상부 줄 유인

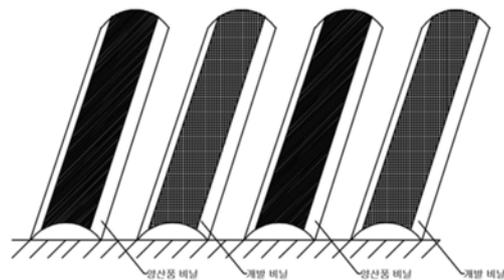
Table. 가지 재배 시기

종류	시기	비고
비닐 멀칭	8월 중순	경운 작업 및 멀칭
정식	8월 말	모종 정식
수확	10월 말 ~	수확

- 온실 내 두둑을 만들고 현 양산품 비닐과 개발 원단을 그림과 같이 덮었다.



(a) 실험 대상지



(b) 필름 설치 위치

Fig. 실증 실험 대상지 및 필름 설치 방법.

- 2차년도와 동일하게 온도센서는 각 이랑마다 4개씩, 15 cm 간격으로 설치하였으며, 맨 처음 센서는 이랑의 가장자리에서 5m 내부에 설치하였으며, Data Logger는 이랑 가장 자리에 설치하며, 물/농약 등의 살포에 의한 오염을 방지하기 위하여 전용 케이스를 제작하여 설치하여 양산품 비닐과 개발 원단 하부의 온도 변화를 측정하였다.

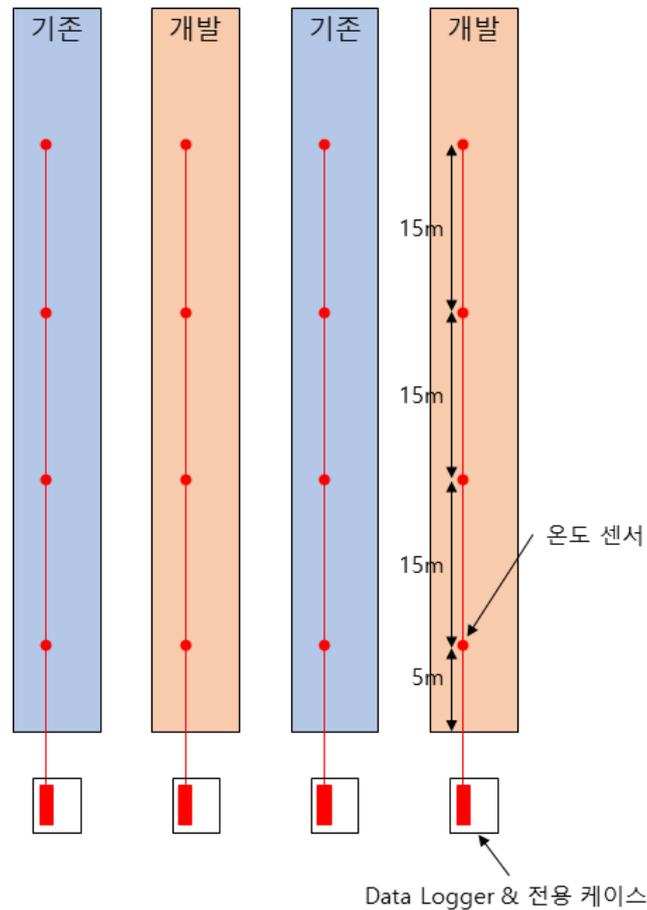


Fig. 온도 센서 설치 모식도

- 작물의 생육 상태 비교를 위하여 잎(크기), 줄기(높이, 굵기), 작물 상태(일정한 크기 및 모양)을 주 1회 측정하였으며, 엽록소 측정기를 이용하여 작물의 광합성 상태 및 화합물량을 측정하였다.

(가) 실험방법

1) 온도 측정

- 멀칭비닐 설치에 따른 온도 변화를 비교·평가하기 위해 대조군 및 개발 비닐이 설치된 비닐 하우스에 각 4곳에 온도센서를 지상에서 140 cm 높이에 장착하여 측정하였으며, 외기 온도도 동일 위치에 센서를 장착하여 측정하였다.
- 측정 기간은 2023.10.18.~2023.12.12.까지였으며, 측정값은 매 1분마다 데이터 로거에 저장되었다.
- 온도센서는 $\phi 8$ mm의 resistance temperature detector (RTD) PT100을 사용하였으며, 디지털 기록계(R-9600, Supmea, 중국)를 사용하여 데이터를 저장하였다.

2) 식물 활성 측정

- 가지 앞의 기공전도도(stomatal conductance), 광합성율(photosynthesis rate), 증산율(transpiration rate) 및 온도(leaf temperature)는 porometer/fluorometer (LI-600, LI-COR Inc., 미국)와 휴대용 광합성 시스템 (LI-6800, LI-COR Inc., 미국)을 사용하여 측정하였다

◦ 기공전도도 (stomatal conductance, gsw)

- 기공전도도는 잎의 기공을 통해 시간당 단위 면적당 이동하는 가스의 양을 나타내는 지표이다. 기공은 식물의 잎 표면에 있는 작은 구멍으로, 이산화탄소와 수증기의 교환을 담당한다. 기공전도도는 식물의 광합성, 증산, 수분 관리, 온도 조절 등 다양한 생리적 과정에 영향을 미친다.
- 기공전도도는 일반적으로 기공계로 측정한다. 기공계는 잎 표면에 압력을 가하여 기공을 열고 닫게 한 후, 기공을 통해 이동하는 가스의 양을 측정하는 장비이다.
- 기공전도도는 식물의 종류, 환경 조건, 생리 상태 등에 따라 달라진다. 일반적으로 광합성 작용이 활발한 낮에는 기공전도도가 높고, 밤에는 낮은 편이다. 또한, 이산화탄소 농도가 높으면 기공전도도가 낮아지고, 수분 부족 상태에서는 기공전도도가 높아진다.
- 기공전도도는 식물의 생리적 과정에 중요한 역할을 합니다. 다음은 기공전도도가 영향을 미치는 주요 생리적 과정입니다.
 - 광합성: 기공을 통해 이산화탄소가 들어오면, 광합성 작용에 의해 포도당이 생성된다. 기공전도도가 높으면 이산화탄소의 유입이 증가하여 광합성 작용이 활발해진다.
 - 증산: 기공을 통해 수증기가 빠져나가면, 증산이 일어난다. 증산은 식물의 체온을 조절하고, 잎의 수분 함량을 유지하는 데 중요한 역할을 한다. 기공전도도가 높으면 증산이 증가한다.
 - 수분 관리: 기공을 통해 수분 손실이 일어나므로, 기공전도도는 식물의 수분 관리에 중요한 역할을 한다. 기공전도도가 높으면 수분 손실이 증가하여, 식물이 수분 부족에 빠질 수 있다.
- 기공전도도는 식물의 생리적 과정과 환경 조건에 따라 달라지는 복잡한 지표이다. 기공전도도의 변화를 이해하면, 식물의 생리적 과정과 환경 적응을 이해하는 데 도움이 될 수 있다.
- 기공전도도의 단위는 일반적으로 $\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 로 표시된다. 이는 단위 시간당 단위 면적당 이동하는 가스(이산화탄소, CO_2)의 양을 나타내는 단위이다. 예를 들어, 기공전도도가 $10 \text{ mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 이면, 단위 시간당 단위 면적당 10 mmol 의 가스가 기공을 통해 이동한다는 의미이다.

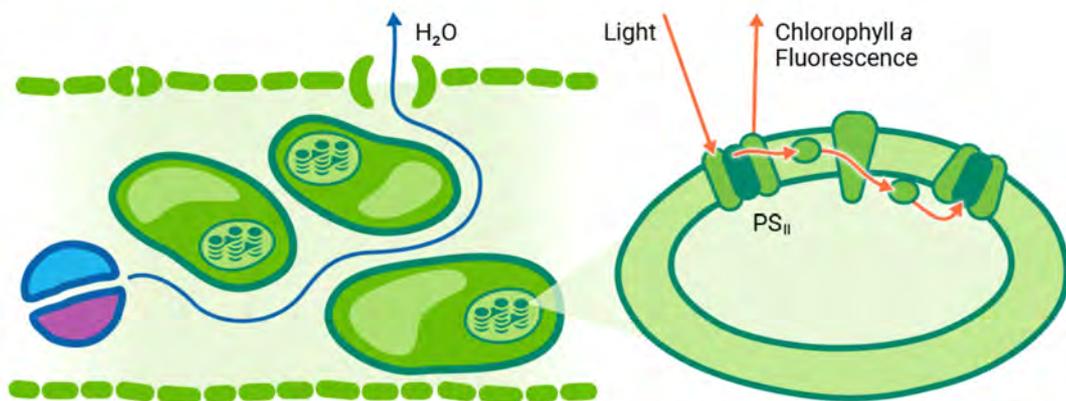


Fig. 기공전도도의 개념도

◦ 광합성율 (photosynthesis rate)

- 광합성율은 단위 시간당 단위 면적당 광합성으로 생산되는 포도당의 양을 나타내는 지표이다. 광합성은 식물의 중요한 생리적 과정으로, 이산화탄소를 포도당으로 전환하여 에너지를 생성한다.
- 광합성율을 측정하는 방법은 크게 다음 두 가지가 있다. 적외선 가스 분석법은 측정이 간편하고, 정확도가 높다는 장점이 있다. 그러나, 장비의 가격이 비싼 단점이 있다. 광합성 색소 추출법은 측정이 간편하고, 장비의 가격이 저렴하다는 장점이 있으나, 정확도가 낮다는 단점이 있다. 본 연구에서는 적외선 가스 분석법으로 광합성율을 측정하였다.
- 적외선 가스 분석법: 잎의 기공을 통해 이동하는 이산화탄소와 산소의 양을 측정하여 광합성율을 계산하는 방법
- 광합성 색소 추출법: 잎의 광합성 색소를 추출하여 광합성율을 측정하는 방법
- 적외선 가스 분석법의 순서 및 방법은 아래와 같다.
 - 1) 잎을 깨끗이 닦아준다.
 - 2) 잎의 기공을 통해 이동하는 이산화탄소와 산소의 양을 측정할 수 있는 장비를 준비
 - 3) 잎을 장비에 고정
 - 4) 측정 시간 동안 이산화탄소와 산소의 양을 측정
 - 5) 측정 시간 동안의 이산화탄소의 감소량과 산소의 증가량을 계산
 - 6) 이산화탄소의 감소량과 산소의 증가량을 광합성율로 변환
- 광합성율은 일반적으로 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 로 표시된다. 이는 단위 시간당 단위 면적당 생산되는 포도당의 양을 나타내는 단위이다. 예를 들어, 광합성율이 $10 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 이면, 단위 시간당 단위 면적당 $10 \mu\text{mol}$ 의 포도당이 생산된다는 의미이다.

◦ 증산율 (transpiration rate)

- 잎의 증산율은 잎에서 시간당 단위 면적당 증발하는 수증기의 양을 나타내는 지표이다. 증산은 식물의 수분 관리, 체온 조절, 광합성 등에 중요한 역할을 하는 과정이다.
- 잎의 증산율을 측정하는 방법은 크게 다음 두 가지가 있다.
- 정적 증산율 측정법: 잎을 일정한 환경 조건에서 일정 시간 동안 증발시키고, 증발량을 측정하는 방법
- 동적 증산율 측정법: 잎의 수분 함량을 일정하게 유지하면서, 증발량을 측정하는 방법
- 잎의 증산율은 일반적으로 $\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 로 표시된다(본 보고서에서는 $\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 단위로 표현함). 이는 단위 시간당 단위 면적당 증발하는 수증기의 양을 나타내는 단위이다. 예를 들어, 증산율이 $10 \text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 이면, 단위 시간당 단위 면적당 10mmol 의 수증기가 증발한다는 의미이다.
- 잎의 증산율은 식물의 종류, 환경 조건, 생리 상태 등에 따라 달라진다. 일반적으로 광합성 작용이 활발한 낮에는 증산율이 높고, 밤에는 낮은 편이다. 또한, 온도가 높으면 증산율이 높아진다.

◦ 엽록소 측정

- 잎의 엽록소 형광 측정은 광합성에 대한 통찰력을 제공하며, 기공전도도와 결합하면 전반적인 식물 생리 및 건강에 대한 보다 완전한 그림을 얻을 수 있다. 가지처럼 빛에 적응된 잎의 경우 형광의 양자 수율(Φ_{PSII})을 측정하거나 생화학 분야에서 사용되는 PSII에 의해 흡수되는 빛의 비율을 측정하여 측정한다.

$$\Phi_{PSII} = \frac{F_m' - F_s}{F_m'} \quad (\text{식 1})$$

여기서,

F_m' = 광 적응 잎의 최대 형광 수율

F_s = 광 적응 잎의 정상 상태 형광 수율



(a) LI-600



(b) LI-8600

Fig. 실험에 사용된 식물 활성 측정 장치



Fig. 식물 활성 현장 측정 전경

3) 식물 생육 측정

- 가지 줄기의 높이, 굵기와 잎의 너비 및 길이는 두둑을 조성한 2023.08.23.~2023.12.28. 일까지 매주 1회 현장 방문하여 줄자 및 디지털 버니어캘리퍼스를 이용하여 측정하였다.

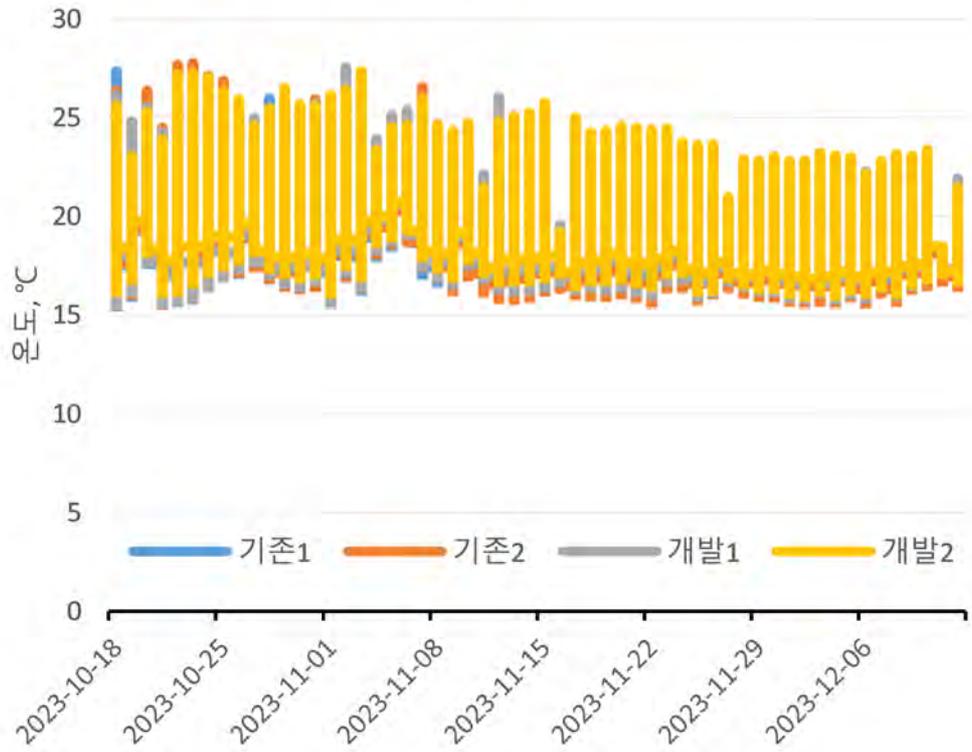


Fig. 식물 생육 현장 측정 예시

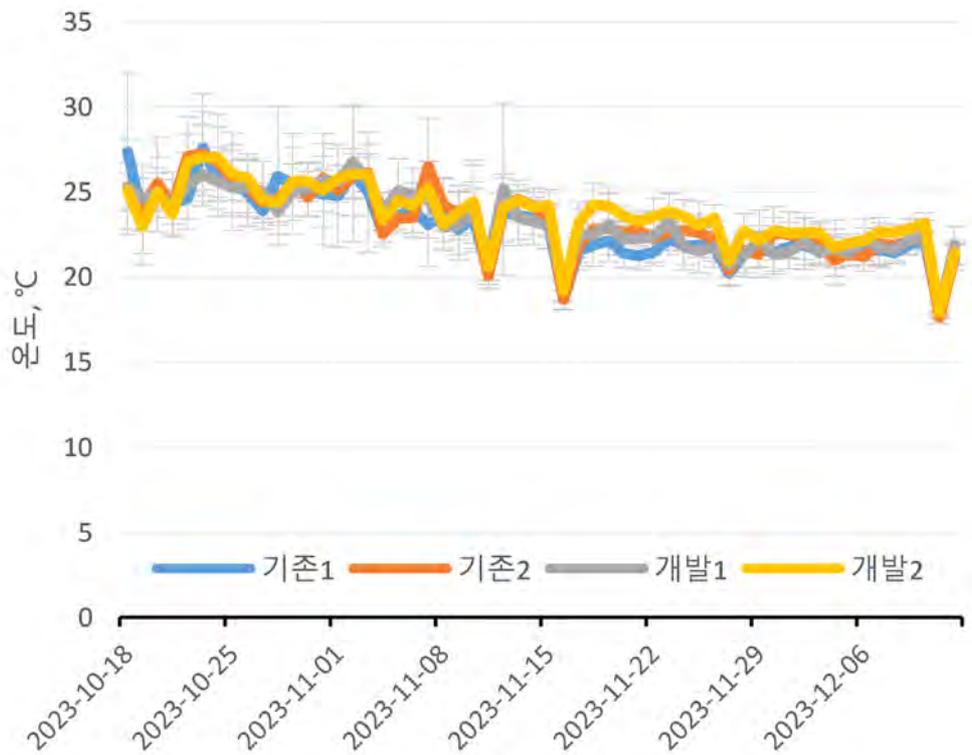
(나) 실험 결과

1) 온도 비교

- 일간 온도변화는 가을~겨울로 진행되면서 일간 온도 변화 폭이 감소하는 경향을 나타내었으며, 대체로 개발 필름의 일간 기온이 기존 필름의 최저 기온보다 높은 경향을 보였다. 또한 일간 최고 온도 변화를 살펴보면, 비교적 따뜻한 가을 시즌에는 대조군 및 개발 필름 간의 최고 온도 차가 크게 나타나지 않았지만, 낮 최고 온도가 낮아지는 겨울 시즌에는 개발 필름의 최고온도가 대체로 기존 필름보다 높게 나타나는 경향을 보였다.
- 해당 기간 동안 온도 변화폭은 대조군 1의 온도는 평균 18.7℃(온도범위: 15.6~27.7℃), 대조군 2의 온도는 평균 18.8℃(온도범위: 15.6~27.8℃), 개발 필름 1의 온도는 평균 19.0℃(온도범위: 15.6~27.5℃), 개발 필름 2의 온도는 평균 19.4℃(온도범위: 16.0~27.4℃범위)로 나타났다. 기존 필름 대비 개발필름의 평균 온도차는 최대 0.7℃(대조군 1 및 개발 2) 차이로 나타났다.
- 개발 필름 간의 온도 차이를 살펴보면 개발 필름 2의 평균온도가 개발 필름 1의 평균 온도보다 0.4℃가량 높은 것으로 나타났다.
- 향후 4계절 전주기에 대한 온도 변화 모니터링을 통해 직조 멀칭비닐 1 및 직조 멀칭비닐 2의 설치에 따른 온도 변화 효과를 분석할 필요가 있는 것으로 판단된다.



(a) 시간에 따른 온도 변화



(b) 일간 최고온도 변화

Fig. 실증기간 동안의 가지 온실 내 온도 변화

2) 식물 활성 측정

◦ 기공전도도

- 직조 멀칭비닐 설치에 따른 대조군의 기공전도도는 평균 $0.349 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 로 나타났으며, 직조 멀칭비닐 설치 가지잎의 기공전도도는 평균 $0.383 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 로 나타났다.
- 대조군 대비 직조 멀칭비닐 설치 가지잎의 기공전도도는 측정기간 동안 $-26.6\% \sim 63.5\%$ 범위에서 증감을 나타냈으며, 평균 10.0% 증가한 것으로 나타났다.
- 측정기간 동안 대체적으로 개발 직조 멀칭비닐이 적용된 가지의 기공전도도가 대조군보다 높게 나타나는 것을 확인할 수 있었으며, 이는 개발 직조 멀칭비닐이 가지 잎의 기공전도도에 긍정적인 영향을 미치고 있는 것으로 판단할 수 있다.

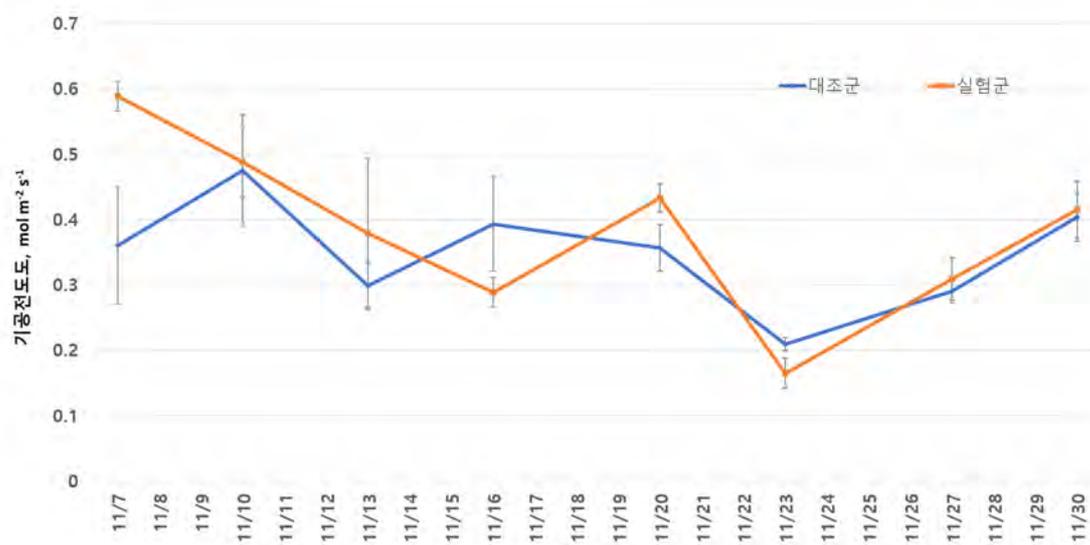


Fig. 기공전도도 변화

◦ 광합성율

- 직조 멀칭비닐 설치에 따른 대조군의 가지잎의 광합성율은 평균 $16.330 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 로 나타났으며, 직조 멀칭비닐 설치 가지잎의 광합성율은 $16.429 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 로 나타났다.
- 대조군 대비 직조 멀칭비닐 설치 가지잎의 광합성율은 측정기간 동안 $-13\% \sim 11.5\%$ 범위에서 증감을 나타냈으며, 평균 0.6% 증가한 것으로 나타났다.
- 측정기간 동안 대체적으로 개발 직조 멀칭비닐이 적용된 가지의 광합성율이 대조군보다 높게 나타나는 것을 확인할 수 있었으며, 이는 개발 직조 멀칭비닐이 가지 잎의 광합성율에 긍정적인 영향을 미치고 있는 것으로 판단할 수 있다.



Fig. 광합성율 변화

◦ 증산율

- 직조 멀칭비닐 설치에 따른 대조군의 증산율은 평균 $2.225 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 으로 나타났으며, 직조 멀칭비닐 설치 가지의 증산율은 평균 $2.528 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 으로 나타났다.
- 대조군 대비 직조 멀칭비닐 설치 가지의 증산율은 측정기간 동안 $-29.5\% \sim 46.6\%$ 범위에서 증감을 나타냈으며, 평균 13.6% 증가한 것으로 나타났다.
- 측정 당시의 온도에 따라 가지의 증산율이 크게 변화되는 것을 확인할 수 있었으며, 대체적으로 개발 직조 멀칭비닐이 적용된 가지의 증산율이 대조군보다 높게 유지되는 것으로 보이는 바, 개발 직조 멀칭비닐의 영향은 잎의 증산작용에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 판단된다.

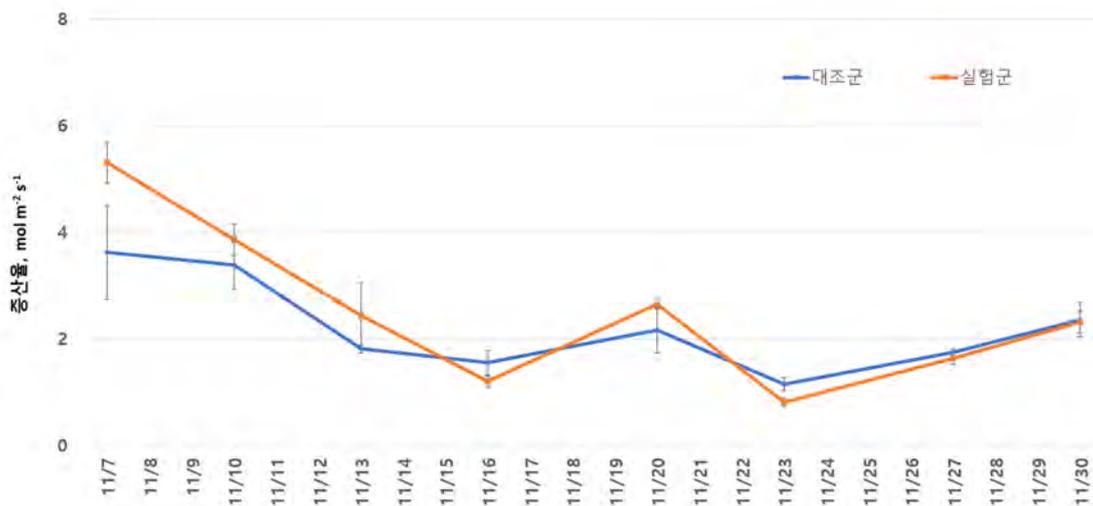


Fig. 증산율 변화

◦ 앞의 온도

- 직조 멀칭비닐 설치에 따른 대조군의 평균 엽온은 20.06℃였으며, 직조 멀칭비닐 설치 가지의 평균 엽온은 21.16℃로 나타났다.
- 대조군 대비 직조 멀칭비닐 설치 가지의 증산율은 측정기간 동안 2.1% ~ 8.9% 범위에서 증감을 나타냈으며, 평균 5.5% 증가한 것으로 나타났다.
- 엽온 역시 앞선 기공전도도, 광합성을 및 증산율의 경우와 마찬가지로 개발 직조필름이 엽온 상승에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 판단되며, 앞선 3가지 항목과 종합적으로 살펴봤을 때 개발 직조 멀칭비닐은 식물의 생육에 대체적으로 긍정적인 영향을 미치는 것을 확인할 수 있었다.

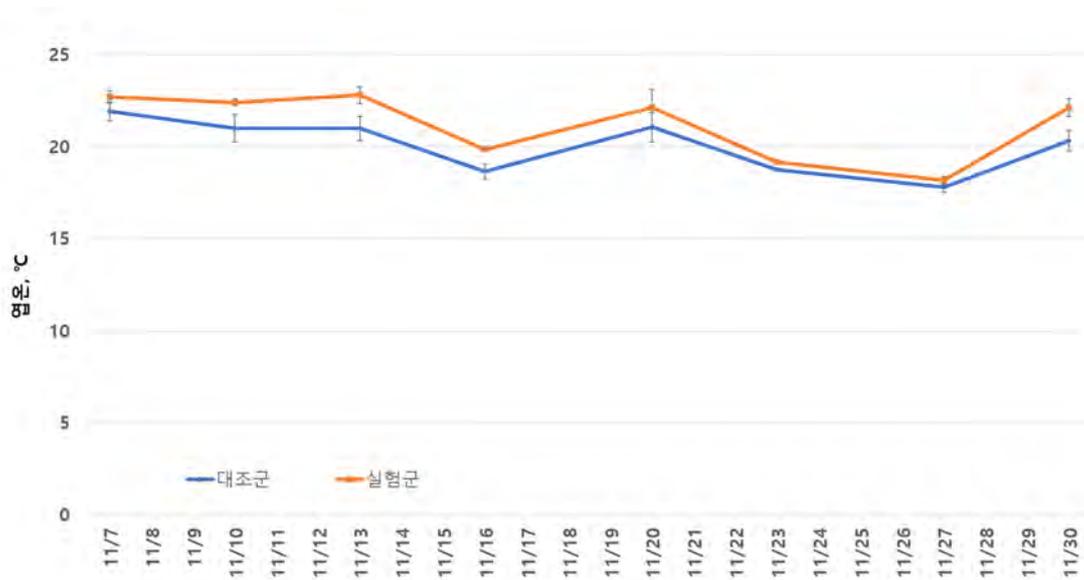


Fig. 앞의 온도(엽온) 변화

3) 식물 생육 변화

◦ 줄기 높이

- 생육기간 동안 직조 필름 설치 가지의 경우 식재가 1주 늦어짐에 따라 식재 5~6주차까지는 대조군보다 줄기 높이가 낮게 측정되었지만 7주차부터는 가지 줄기 높이가 역전되어 대조군 대비 20 cm가량 더 높게 성장하는 것으로 나타났다. 이러한 효과는 앞서 확인된 바와 같이 개발 직조 멀칭비닐이 가지 생육에 긍정적인 효과를 보이는 것을 증명하는 현상 중의 하나이다.

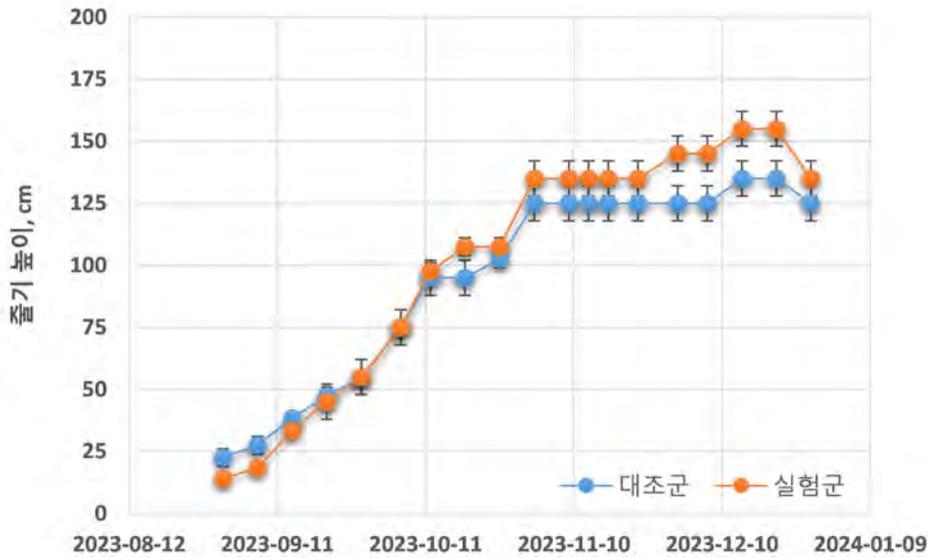


Fig. 가지 줄기 높이의 변화

◦ 줄기 굵기

- 줄기의 높이의 경우와 마찬가지로 초기 식재 차이에 의하여 6주차에 대조군 줄기 약 11 mm, 직조 멀칭비닐 설치 가지의 줄기 굵기 약 10.5 mm로 대조군이 약간 더 굵었으나, 이후부터는 실험군의 가지 줄기의 굵기가 더 굵어져 대조군은 최대 21.5 mm까지 굵어진 반면, 직조 멀칭비닐 설치 가지의 굵기는 28.5 mm까지 성장하는 것을 확인할 수 있었다.
- 줄기 굵기의 경우에도 줄기 높이와 마찬가지로 직조 멀칭비닐 설치가 가지 줄기 굵기 성장에 긍정적인 영향을 미치는 것을 확인할 수 있었다.

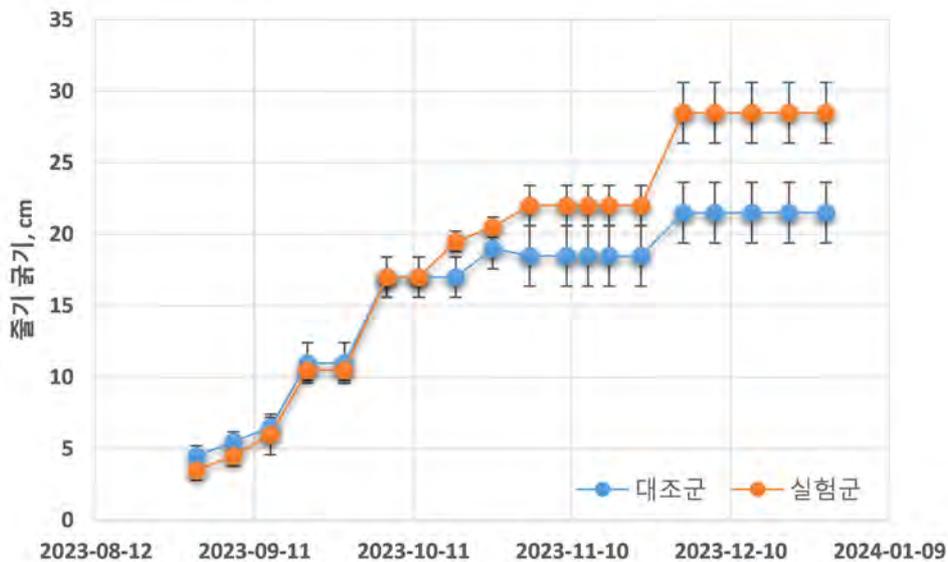


Fig. 가지 줄기의 굵기 변화

◦ 앞의 너비

- 앞선 줄기 높이 및 굵기의 경우와 마찬가지로 식재 초기에는 대조군의 앞의 너비가 더 넓게 형성되다가 대조군 식재 8주차부터 너비가 역전되어 직조 멀칭비닐 설치 가지 앞의 너비가 식재 8주차에 최대 21 cm까지 증가했다가 가지 열매가 열림에 따라 앞의 너비가 점점 줄어 14 cm까지 줄어드는 현상을 확인할 수 있었으며, 대조군은 최대 20 cm까지 증가했다가 12 cm까지 줄어드는 것을 확인할 수 있었다.

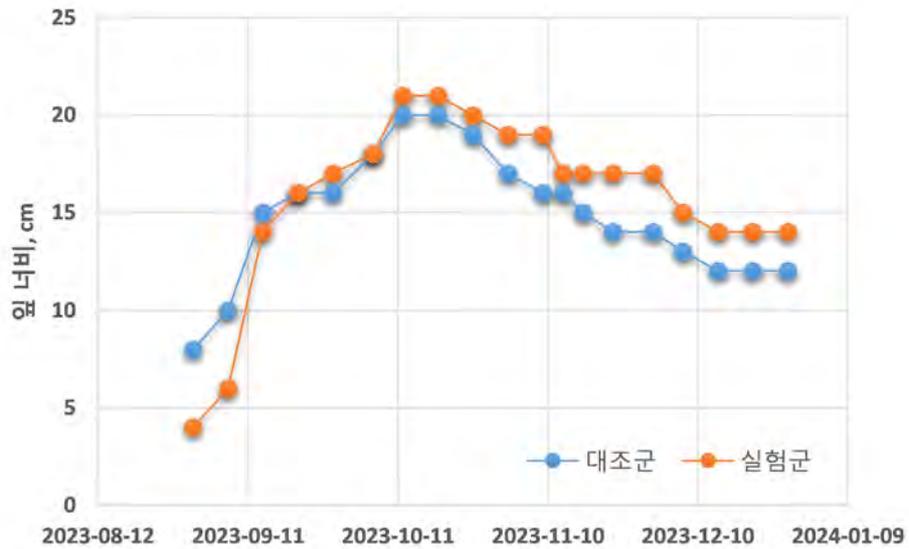


Fig. 가지 앞의 너비 변화.

◦ 앞의 길이

- 앞선 앞의 너비의 경우와 마찬가지로 식재 초기 5주차까지는 대조군의 앞의 길이가 더 길다가 6주차부터는 역전되어 직조 멀칭비닐 설치 가지의 앞이 식재 8주차에 최대 33 cm까지 성장하고 서서히 줄어들어 20 cm까지 줄어드는 것을 확인할 수 있었으며 동 기간 대조군의 앞의 길이는 7주차에 32 cm까지 증가했다가 서서히 줄어들어 17 cm까지 줄어드는 것을 확인할 수 있었다.
- 앞의 너비 및 길이는 가지가 본격적으로 열리기 시작한 시점부터 서서히 감소하는 것을 확인할 수 있었는데, 가지 열매가 열리면서 성장보다는 열매를 맺는 것에 에너지 소비가 집중되어 나타나는 현상이라 사료된다.



Fig. 가지 잎 길이의 변화

◦ 주차별 생육 모니터링

- 식재 후 3주차(23.04.20)부터 32주차(23.11.09) 동안 매주 1회 대조군 및 실험군 생육 변화를 관찰하였다.
- 직조 멀칭비닐을 설치한 실험군의 가지 생육이 대조군보다 대체적으로 생육이 잘 되는 것을 확인할 수 있었으며, 가지 열매가 맺히는 시점부터는 잎의 크기(폭 및 길이)가 모두 감소하는 경향을 보였으며, 동절기 보온 효과가 일부 있는 것을 확인할 수 있었다.

Table. 주차별 생육 관찰 결과

날짜	식재 주차	대조군	실험군
2023.08.24		두둑 높이 40 cm. 골 폭 40 cm. 두둑 폭 80 cm. 골의 길이 100 m. 1,000평	두둑 높이 40 cm. 골 폭 40 cm. 두둑 폭 80 cm. 골의 길이 100 m. 1,000평
2023.08.31	2/1	가지 높이 20-25 cm. 굵기 4-5 mm. 잎 길이 10 cm. 잎 너비 8 cm. 뿌리 활착이 시작됨. 정상 성장이 이루어지고 있는 상황임.	가지 높이 13-15 cm. 굵기 3-4 mm. 잎 길이 6 cm. 잎 너비 4 cm. 뿌리 활착이 시작됨. 직조 필름에 구멍 뚫는 작업이 늦어져 대조군에 비해 약한 모를 1주 늦게 식재한 상황임.
2023.09.07	3/2	가지 높이 25-30 cm. 굵기 5-6 mm. 잎 길이 14 cm. 잎 너비 10 cm. 생육은 정상적임. 가루이, 응애, 나방, 진딧물 등의 해충 유입 확인됨.	가지 높이 17-20 cm. 굵기 4-5 mm. 잎 길이 8 cm. 잎 너비 6 cm. 정상 생육 중임. 가루이, 응애, 나방, 진딧물 등의 해충 유입 확인됨.
2023.09.14	4/3	가지 높이 40 cm. 굵기 6-7 mm. 잎 길이 21 cm. 잎 너비 15 cm. 정상 생육 중임. 가루이, 응애, 나방, 진딧물 등의 해충 방제 중.	가지 높이 35 cm. 굵기 5-7 mm. 잎 길이 20 cm. 잎 너비 14 cm. 정상 생육 중임. 가루이, 응애, 나방, 진딧물 등의 해충 방제 중.
2023.09.21	5/4	가지 높이 45-50 cm. 굵기 10-12 mm. 잎 길이 23 cm. 잎 너비 16 cm.	가지 높이 40-50 cm. 굵기 10-11 mm. 잎 길이 23 cm. 잎 너비 16 cm.
2023.09.28	6/5	가지 높이 50-60 cm. 굵기 10-12 mm. 잎 길이 23 cm. 잎 너비 16 cm.	가지 높이 50-60 cm. 굵기 10-11 mm. 잎 길이 25 cm. 잎 너비 17 cm.

2023.10.06	7/6	가지 높이 80 cm. 굵기 16-18 mm. 앞 길이 30 cm. 앞 너비 18 cm.	가지 높이 80 cm. 굵기 16-18 mm. 앞 길이 30 cm. 앞 너비 18 cm.
2023.10.12	8/7	가지 높이 100 cm. 굵기 16-18 mm. 앞 길이 32 cm. 앞 너비 20 cm.	가지 높이 100 cm. 굵기 16-18 mm. 앞 길이 33 cm. 앞 너비 21 cm.
2023.10.19	9/8	가지 높이 100 cm. 굵기 16-18 mm. 앞 길이 32 cm. 앞 너비 20 cm.	가지 높이 110 cm. 굵기 19-20 mm. 앞 길이 33 cm. 앞 너비 21 cm.
2023.10.26	10/9	가지 높이 105 cm. 굵기 18-20 mm. 앞 길이 32 cm. 앞 너비 19 cm.	가지 높이 110 cm. 굵기 20-21 mm. 앞 길이 33 cm. 앞 너비 20 cm.
2023.11.02	11/10	가지 높이 130 cm. 굵기 17-20 mm. 앞 길이 29 cm. 앞 너비 17 cm.	가지 높이 140 cm. 굵기 21-23 mm. 앞 길이 30 cm. 앞 너비 19 cm.
2023.11.09	12/11	가지 높이 130 cm. 굵기 17-20 mm. 앞 길이 28 cm. 앞 너비 16 cm.	가지 높이 140 cm. 굵기 21-23 mm. 앞 길이 30 cm. 앞 너비 19 cm.
2023.11.13	12/11	가지 높이 130 cm. 굵기 17-20 mm. 앞 길이 26 cm. 앞 너비 16 cm. 광합성량 측정 중.	가지 높이 140 cm. 굵기 21-23 mm. 앞 길이 27 cm. 앞 너비 17 cm. 광합성량 측정 중.
2023.11.17	13/12	가지 높이 130 cm. 굵기 17-20 mm. 앞 길이 25 cm. 앞 너비 15 cm.	가지 높이 140 cm. 굵기 21-23 mm. 앞 길이 27 cm. 앞 너비 17 cm.
2023.11.23	14/13	가지 높이 130 cm. 굵기 17-20 mm. 앞 길이 24 cm. 앞 너비 14 cm.	가지 높이 140 cm. 굵기 21-23 mm. 앞 길이 27 cm. 앞 너비 17 cm.
2023.12.01	15/14	가지 높이 130 cm. 굵기 20-23 mm. 앞 길이 24 cm. 앞 너비 14 cm.	가지 높이 150 cm. 굵기 27-30 mm. 앞 길이 27 cm. 앞 너비 17 cm.
2023.12.07	16/15	가지 높이 130 cm. 굵기 20-23 mm. 앞 길이 20 cm. 앞 너비 13 cm.	가지 높이 150 cm. 굵기 27-30 mm. 앞 길이 25 cm. 앞 너비 15 cm.
2023.12.14	17/16	가지 높이 140 cm. 굵기 20-23 mm. 앞 길이 17 cm. 앞 너비 12 cm.	가지 높이 160 cm. 굵기 27-30 mm. 앞 길이 20 cm. 앞 너비 14 cm.
2023.12.21	18/17	가지 높이 140 cm. 굵기 20-23 mm. 앞 길이 17 cm. 앞 너비 12 cm.	가지 높이 160 cm. 굵기 27-30 mm. 앞 길이 20 cm. 앞 너비 14 cm.
2023.12.28	18/17	가지 높이 120-130 cm. 굵기 20-23 mm. 앞 길이 17 cm. 앞 너비 12 cm. 측지 유도를 위한 적심 작업 진행함.	가지 높이 130-140 cm. 굵기 27-30 mm. 앞 길이 20 cm. 앞 너비 14 cm. 측지 유도를 위한 적심 작업 진행함.

날짜	식재주차 (대조/실험)	대조군	실험군	비고
2023.08.24				
2023.08.31	2/1			뿌리 활착 시작

날짜	식재주차 (대조/실험)	대조군	실험군	비고
2023.09.07	3/2			해충 유입
2023.09.14	4/3			해충 방제
2023.09.21	5/4			
2023.09.28	6/5			
2023.10.06	7/6			
2023.10.12	8/7			

날짜	식재주차 (대조/실험)	대조군	실험군	비고
2023.10.19	9/8			
2023.10.26	10/9			
2023.11.02	11/10			
2023.11.09	12/11			
2023.11.13	12/11			광합성량 측정
2023.11.17	13/12			

날짜	식재주차 (대조/실험)	대조군	실험군	비고
2023.11.23	14/13			
2023.12.01	15/14			
2023.12.07	16/15			
2023.12.14	17/16			
2023.12.21	18/17			
2023.12.28	18/17			적심 작업 진행

◦ 사용 수명 예측 및 경제성 분석

- 기존 멀칭 비닐의 경우, 1회 사용하고 폐기 처리하는 것이 대부분이며, 짧은 작기를 사용한 경우에도 낮은 강도로 인하여 손상되고 형태가 변하여 재사용이 어렵다.
- 개발 제품의 경우, 2차년도에 적용한 원단을 3차년도까지 2회 사용하였고, 동일한 원단으로 3회 사용을 준비하고 있으며, 직조 형태를 통해 높은 강도를 확보하여 최소 5년 이상 사용이 가능할 것으로 예상된다.
- 기존 멀칭 비닐의 판가는 대략 100원(1m² 기준) 수준으로 형성되어 있으며, 1회 사용 후 폐기 처리된다. 하지만 개발 제품의 경우 대략 200원(1m² 기준) 수준의 가격대를 확보할 수 있을 것으로 판단되어, 초기 비용은 기존 멀칭 비닐 대비 2배 비싸지만, 최소 5년 이상 사용한다고 가정했을 때, 약 60% 저렴한 것으로 판단된다.(1년 기준 40원)

◦ 기능성 편평사 원단 현장 실증평가 농장주 인터뷰

- 개발 제품의 폭이 기존 온실 구성과 맞지 않아 시설의 구성을 변경하는 시간이 소요되어 모종이 1주 가량 늦게 식재되었으며, 기존 멀칭 원단에 식재된 모종에 비해 상태가 좋지 않았다.(모가 기존 멀칭 원단 대비 절반 수준)
- 하지만 확연히 빠른 속도로 성장하였으며, 성장 이후에도 강한 수세를 유지하며 기존 멀칭 비닐보다 높은 성장세를 보여주었다.
- 작물 수확량 또한 개발 제품이 기존 멀칭 비닐에 비해 1.5배 이상 증가하였으며, 95% 이상 특, 상품으로 분류되어 품질 또한 우수하였다.
- 일반적으로 토경 작물은 총채벌레가 많이 발생하는데, 공극으로 인해 천적이 활발히 활동하여 가지에 총채벌레 발생량이 크게 감소하였다.
- 현재 전 온실에 설치할 개발 원단의 발주를 요청한 상태이며, 다음 작기에는 온실 전체에 개발 원단을 멀칭하여 재배할 예정이다.

2) 공동연구개발기관(한국섬유개발연구원)

(1) 코팅 공정이 가능한 기능성 Master batch 제조 조건 연구

- 2차년도에 제조한 구리(Cu) 금속 입자가 담지된 제올라이트 소재와 주관연구개발기관에서 적용중인 L사의 HDPE 수지(5000S)를 활용하여 HDPE / Cu-Zeolite Master Batch Chip의 경우, 항균 성능이 스타필로코쿠스 아우레우스(*Staphylococcus aureus* ATCC 6538) 99.5%, 클렙시엘라 뉴모니아(*Klebsiella pneumoniae* ATCC 4352) 99.1%로 기존 원단보다는 높았지만 99.9%에 도달하지 못하였다.
- 이는 제올라이트 소재가 수지 내부에 포함되어 있어, 외부에서 접촉하는 균을 사멸하지 못한 것으로 판단하고, 수지 내부에서도 항균성을 확보할 수 있는 소재를 조사하였다.
- 일반적으로 구리(Cu) 이온과 은(Ag) 이온, 산화아연(ZnO) 등이 대표적으로 수지에 적용되는 항균 첨가제인데, 이 중 산화아연이 유일하게 미국 식품의약국(FDA) 인증 물질로 인정받아 매우 안전한 물질이다. 하지만 구리(Cu) 자연 산화되는 단점이 있고, 은(Ag)은 비용이 높은 단점이 있다. 따라서 가장 범용성이 높고 안정성이 확보된 산화아연(ZnO)을 기능성 입자 첨가제로 선정하였다.
- 코팅 공정뿐만 아니라 제사 공정에도 신규로 적용이 가능한 기능성 Master batch를 제조하기 위하여, 사전 연구개발을 통해 선정한 Graphite 소재와 산화아연(ZnO) 소재, 주관연구개발기관에서 적용중인 H사의 HDPE 수지(3392)를 활용하여 HDPE / Graphite Master Batch Chip과 HDPE / ZnO Master Batch Chip을 제조하였다.

Table. 시중에 판매중인 Graphite 소재

업체명	가격 (천원/kg)	입자크기 (μm)	입자형태	순도 (%)
오현스타	7,500	2~2.3	powder	99.9
현대코마산업	10	2~2.5	powder	99.5
요산이엔지	30	2~2.5	powder	99.9
코엔테크	300	5	powder	99.95
신성카본	15	3	powder	99.9
포사이언스	96	20	powder	99
카본테크	12	5	powder	99.9
이비덴코리아	39	3	powder	99

Table. 적용한 H사 HDPE 수지(3392)의 물성

용융지수 (at 190℃/2.16kg)	밀도	항복응력	파단신율	굴곡탄성률	Rockwell 경도	연화점
0.95 g/10min	0.954 g/cm ³	250 kgf/cm ²	> 500 %	10,000 kgf/cm ²	50	125 °C

수지 물성	단위	시험 방법	대표값
용융지수	g/10min	ASTM D1238	1.1
밀도	g/cc	ASTM D1505	0.954
용융점	°C	ASTM D3418	134
연화점	°C	ASTM D1525	128
표면경도	Rockwell R	ASTM D785	50
굴곡탄성률	kg/cm ²	ASTM D790	10,000
인장강도(항복점)	kg/cm ²	ASTM D638	250
신장율(파단점)	%	ASTM D638	500

Fig. 적용한 H사 HDPE 수지(3392)의 물성

- 광발열 입자와 기능성 입자의 함량은 각각 20%로 제조하였으며, 1차년도에 발생한 불균일 분산 및 응집 문제를 해결하기 위하여, 입자 사이즈를 낮추어 2~2.5µm, 입자 형태는 Powder, 순도는 99.9%인 Graphite 및 산화아연(ZnO)을 사용하였다.
- 균일하게 분산된 HDPE / Graphite Master Batch Chip과 HDPE / ZnO Master Batch Chip을 제조하기 위하여 분산제 및 Wetting제를 최적화하였고, 압출 Screw Configuration 최적화, 최적의 mixing 조건을 검토하기 위해 Lab Scale Compounding 장비를 활용하여 압출 압력 70~80%, 토출조건은 수조함침 1/3, 온도 조건은 150~280°C로 HDPE / Graphite Master Batch Chip과 HDPE / ZnO Master Batch Chip을 제조하였다.
- 불균일 분산 및 응집되는 입자를 최소화하기 위하여, 2차년도와 동일하게 최종 속도 50 rpm, 온도 조건 20 °C를 올려 진행하였다.

Table. 균일 분산 조건

Base	Filler	입도 (µm)	속도 (rpm)	압출 압력 (%)	온도 조건 (°C)	스크린	토출 조건	Mesh time (h)	토출량 (kg/h)
HDPE	Graphite ZnO	2~2.5	350~ 450	70~ 80	150~ 260	80/120/2 50/ 80	수조 함침 1/3	1	20



압출기



토출부



시편 성형기

Fig. Lab Scale Compounding 장비의 각 부분

- 균일 분산을 위한 조건을 활용하여 Master Batch 제조 업체에서 각각 300 kg, 200 kg의 HDPE / Graphite Master Batch Chip과 HDPE / ZnO Master Batch Chip을 생산하였다.



Fig. Graphite Master Batch Chip / 산화아연(ZnO) Master Batch Chip

- 제사 공정을 진행하기 위하여 Pilot Scale 필름 방사 설비를 활용하여 필름 제조 공정성을 확인하였다.
- M/B 제조업체에서 생산한 20% HDPE / Graphite Master Batch Chip과 HDPE / ZnO Master Batch Chip 각 1kg과 HDPE Virgin Chip 20kg을 활용하여 광발열 입자 및 기능성 함량 각 1% 사전 필름 방사를 진행하였으며, 방사 설비는 2차년도와 동일한 한국 섬유개발연구원의 필름 방사기를 활용하였다.

- ▶ 제조사 : COLLIN社 [獨]
- ▶ Temp. : Max. 400 °C
- ▶ Sheet 두께 Range : 0.1 inch 이상
- ▶ Speed : Max.30 m/min
- ▶ T-Die Width : 750 mm



Fig. 필름 방사기



Fig. 필름 방사기 구조

- 방사 조건 역시 2차년도와 동일하게 Extrusion Temp. 270°C, T-Die Temp. 250 ~ 240°C, Screw 속도 9rpm, Pump 속도 8rpm, Pump 압력 30bar, 드럼 온도 90°C, Line 속도 5m/min으로 설정하여 진행하였다.



Fig. 사전 필름 방사 조건

Table. 사전 필름 방사 조건표

Zone	Actual	Zone	Actual	Zone	Actual	Zone	Actual
29	250	19	260	10	270	Screw	9 rpm
28	250	18	260	9	270	Pump	8 rpm
27	240	17	260	8	270	Pump	30 bar
26	240	16	260	7	250	드럼온도	90 °C
25	240	15	260	6	230	line 속도	5m/min
24	250	14	260	5	180		
23	250	13	260	4	150		
22	250	12	260	3	140		
21	250	MT1	268	2	100		
20	250	11	270	1	40		

- * 노란색 : Extruder 온도
- * 주황색 : Pump 온도
- * 열은 빨간색 : Pump-구금 연결 라인 온도
- * 짙은 빨간색 : 구금 온도

- 방사 결과, 두께 0.02 ~ 0.03mm까지 안정적으로 방사가 진행되었으며, 최종 설정된 방사 조건을 주관연구개발기관에 전달하였다.



Fig. 필름 방사 공정을 통해 제조된 광발열 기능성 필름과 이를 제조하기 위해 적용된 M/B

(2) 기능성 편평사 코팅 원단 및 부직포 합포 원단의 물성 분석

- 주관연구개발기관에서 개발한 4종의 3중 합포 원단과 기존 편평사 원단의 물성을 비교 분석하였다.
- 투습도는 통기성 필름의 효과로 인하여 0에 가까운 수치를 보여주므로 통기성 필름으로 인하여 수분 보존 기능성을 확인하였다.
- 공기 투과도는 낮아지면서 토양의 환기 효율은 감소하겠지만, 기존 원단 대비 50% 이상의 공기투과도를 유지하고 있어, 수분을 보존하면서 일정 수준 이상의 공기투과도는 유지하는 효과를 확인하였다.
- 인장강도는 부직포 및 통기성 필름의 강도가 더해지면서 2배 정도 상승하는 것을 확인하였다.

Table. 3중 합포 원단의 물성

시료		기존	항균성 (White)	항균성 (Black)	항균성+광발열 (White)	항균성+광발열 (Black)
투습도 (g/m ² ·h)		132	4	4	4	3
공기투과도 (cm ³ /cm ² /s)		7.4	3.2	3.5	3.4	3.5
인장 강도 (N)	경사 방향	850.4	1534.1	1631.6	1521.8	1672.1
	위사 방향	813.7	1231.3	1401.1	1306.3	1442.7

- 합포 원단의 광발열 성능 분석을 진행하였다.
- 설비는 공동연구개발기관의 광발열 분석 설비를 활용하였으며, 광원과 시료간의 거리는 30cm, 조도 13,000lux, 광원 220V, 500W, 3200K의 조건으로 진행하였다.
- 보다 명확한 차이를 확인하기 위하여, 2차년도 보다 광원과 시료간의 거리를 줄였다.

Table. 광발열 시험 조건

광원과 시료간의 거리	30 cm
조도	13,000 lux
시험시간	60분 동안 광원 조사
광원	220V, 500W, 3200K
조건	시료 하부의 표면에 위치한 온도 센서에서 5분 간격으로 데이터 기록

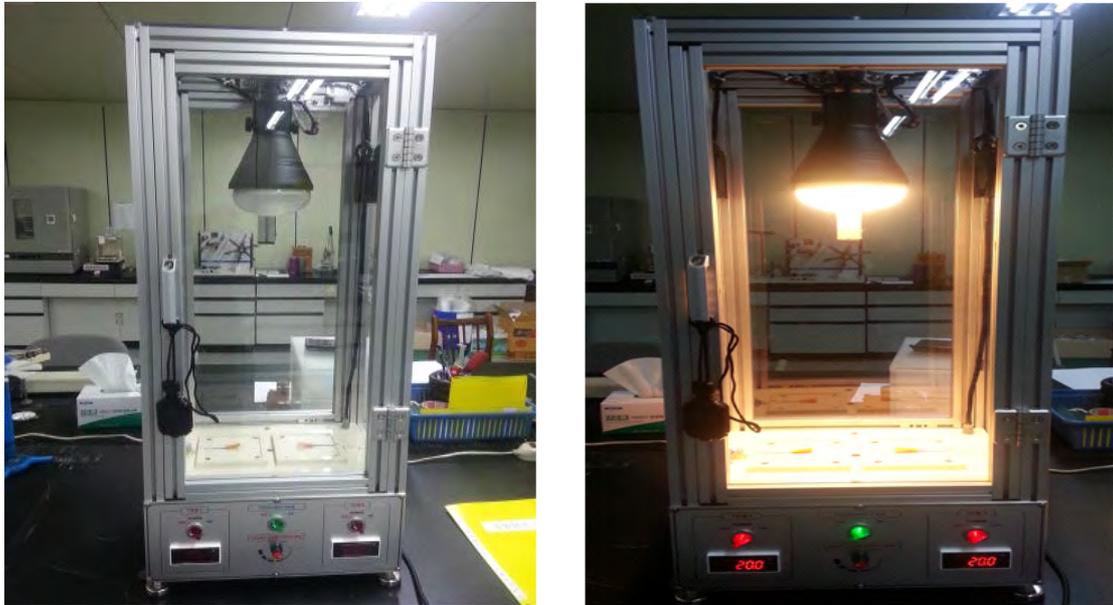


Fig. 광발열 분석 설비

- 광발열 성능 분석 결과, 1시간 경과 기준, 기존 원단의 표면 온도는 59.8 °C이며, 기능성 원단 + Breathable film + White Nonwoven fabric은 55.9 °C, 기능성 원단 + Breathable film + Black Nonwoven fabric은 57.4 °C, 광발열 원단 + Breathable film + White Nonwoven fabric은 66.4 °C, 광발열 원단 + Breathable film + Black Nonwoven fabric은 70.8 °C로 측정되었다.
- 광발열 입자를 함유한 원단은 기존 원단보다 높은 광발열 성능을 보였으며, 이면에 적용한 Nonwoven Fabric의 색상이 Black인 원단이 White인 원단보다 성능이 높은 것을 확인하였다. 또한 항균성 입자만 포함된 시료의 경우, 3중의 두께로 인한 단열 효과로 오히려 온도가 감소하였다.

Table. 편평사 원단의 광발열 성능 비교 분석

시간(분)	표면 온도(°C)				
	기존	항균성 (White)	항균성 (Black)	항균성+광발열 (White)	항균성+광발열 (Black)
0	23.0	23.1	23.1	23.1	23.1
5	33.0	30.1	30.6	36.0	38.2
10	39.4	35.2	36.1	44.3	47.6
15	44.1	39.7	40.7	50.2	54.0
20	47.5	43.2	44.3	53.8	57.8
25	50.2	45.9	47.1	56.8	61.0
30	52.4	48.0	49.4	58.9	63.3
35	54.2	49.8	51.2	60.8	65.1
40	55.7	51.3	52.7	62.3	66.7
45	57.1	52.7	54.1	63.7	68.0
50	58.2	54.1	55.5	64.9	69.3
55	59.2	55.2	56.7	65.7	70.1
60	59.8	55.9	57.4	66.4	70.8

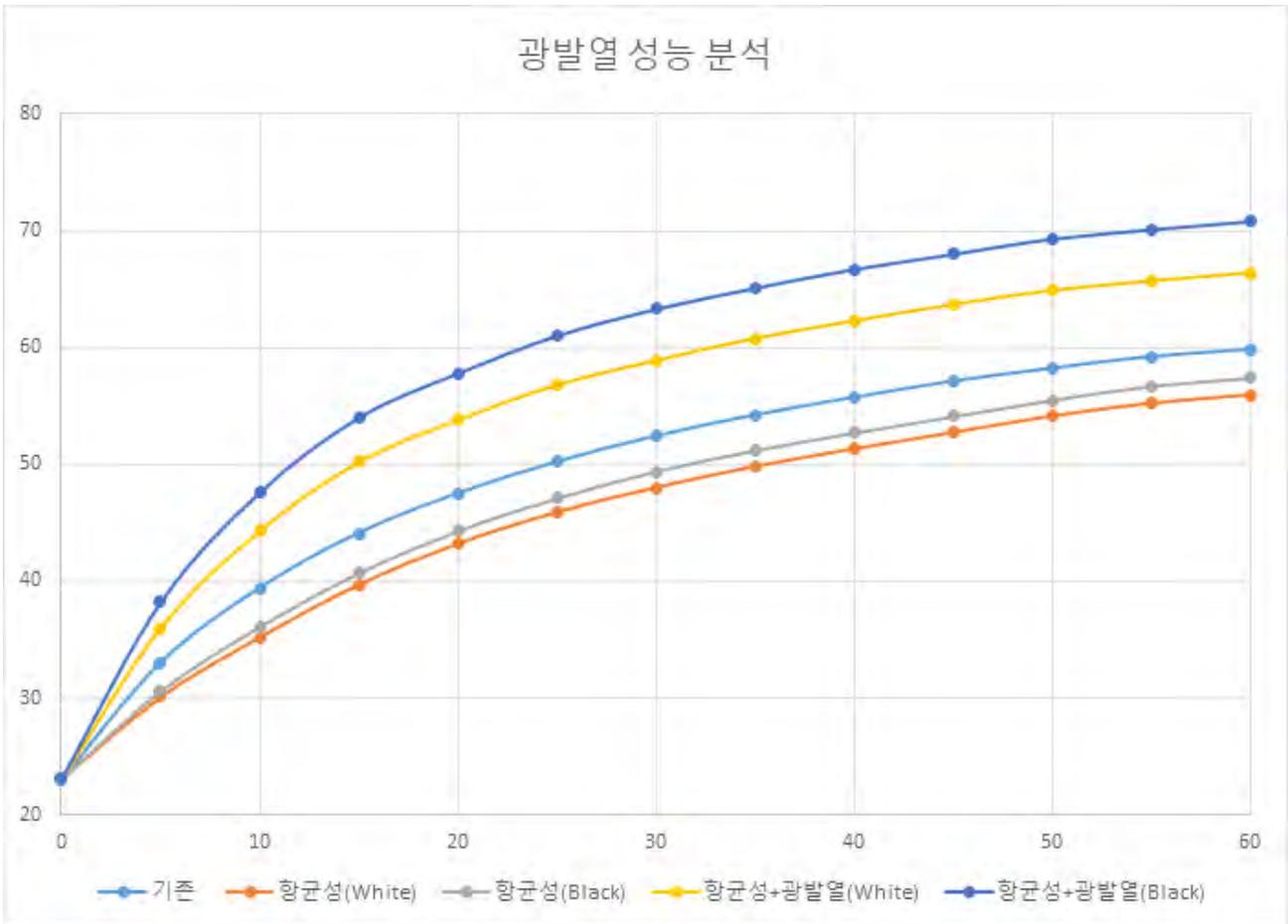


Fig. 3종 합포 원단의 광발열 성능 비교

- 주관연구개발기관에서 제직 조건을 동일하게 하고 경위사 적용 소재를 다르게 하여 제직한 시제품의 물성 분석을 진행하였다.

Table. 광발열 편평사 원단의 경위사 소재

시료	기존/기존	기능성/기존	기능성/기능성
사종	HDPE	HDPE	HDPE
경사	기존(White)	기능성	기능성
위사	기존(White)	기존(White)	기능성

- 투습도, 공기투과도는 큰 차이가 없었으며, 인장강도는 광발열 입자 및 기능성 입자라는 불순물이 함유되어 있으므로 동일한 섬도 조건에서는 순수한 HDPE 보다 낮은 경향을 보였다. 경위사 다른 원사를 사용한 경우, 두 시료의 중간 수준의 물성치를 보였다.

Table. 기존 편평사 원단과 기능성 편평사 원단의 물성

시료		기존/기존	기능성/기존	기능성/기능성
투습도(g/m ² ·h)		132	146	152
공기투과도(cm ³ /cm ² /s)		7.4	6.3	5.5
인장강도(N)	경사방향	850.4	810.6	802.3
	위사방향	813.7	802.1	773.2
인열강도(N)	경사방향	407.2	357.2	356.6
	위사방향	401.8	396.4	352.3
파열강도(N)		589.4	562.9	550.8

- 기존 원단 1종과 개발 원단 2종, 총 3종의 원단의 광발열 성능 분석 결과, 1시간 경과 기준, 기존 원단은 59.8 ℃, 경사에만 기능성 소재를 사용한 원단은 66.2 ℃, 경위사 모두 기능성 소재를 사용한 원단은 72.7 ℃로 측정되었다.
- 측정 결과, 기능성 소재를 경위사 모두 사용한 원단이 가장 높은 성능을 보였으며, 경사만 기능성 소재를 사용한 원단은 기존 원단과 경위사 모두 사용한 원단의 중간 수준의 측정치를 보였다.

Table. 경위사 소재에 따른 편평사 원단의 광발열 성능 비교 분석

시간 (분)	표면 온도(℃)		
	기존/기존	기능성/기존	기능성/기능성
0	23.0	23.1	23.0
5	33.0	37.3	41.7
10	39.4	44.8	50.3
15	44.1	50.0	55.9
20	47.5	53.5	59.6
25	50.2	56.5	62.8
30	52.4	58.7	65.1
35	54.2	60.7	67.2
40	55.7	62.1	68.6
45	57.1	63.6	70.2
50	58.2	64.7	71.3
55	59.2	65.6	72.0
60	59.8	66.2	72.7

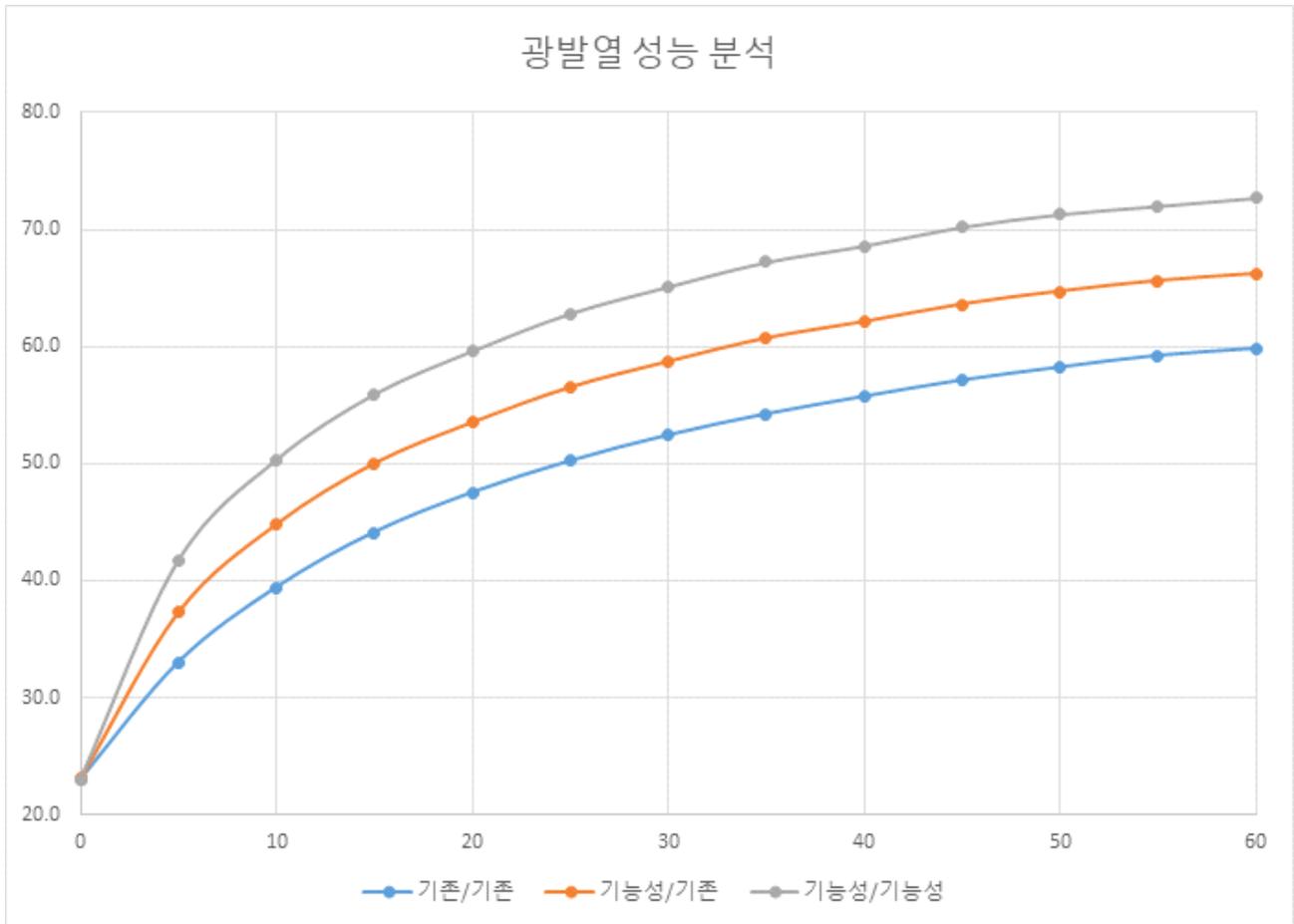


Fig. 경위사 소재에 따른 광발열 성능 비교

3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도

1) 연구수행 결과

(1) 정성적 연구개발성과

- HDPE / Graphite Master Batch Chip을 제조 조건
- HDPE / 항균 기능성 Master Batch Chip을 제조 조건
- 광발열 입자가 함유된 Master batch와 원재료의 혼합 공정 조건, 온도 조건 및 속도/압력 조건, 연신 및 슬리팅 공정 조건
- 기능성 입자가 함유된 Master batch와 원재료의 혼합 공정 조건, 온도 조건 및 속도/압력 조건, 연신 및 슬리팅 공정 조건
- 광발열/기능성 편평사의 경사 장력 조건을 안정화 및 제직 조건
- 편평사/기능성 원단의 조직에 따른 특성
- 편평사 원단의 광발열/기능성 성능 분석법
- 광발열 편평사 원단의 현장 실증 평가를 통한 온실 내부에서의 발열 효과 검증

(2) 정량적 연구개발성과

[성과지표 및 목표치]

성과지표명	단계	1단계 (1차년도)		1단계 (2차년도)		2단계 (1차년도)		계		가중치(%)
		목표	실적	목표	실적	목표	실적	목표	실적	
전담기관 등록·기탁지표	특허 출원(건)	-	-	1	2	-	-	1	2	15
	특허 등록(건)	-	-	-	-	1	2	1	2	15
	기술 실시(건)	-	1	-	-	1	-	1	1	10
	제품화(건)	-	-	1	1	1	1	2	2	10
	매출액(백만원)	-	-	100	108	200	206	300	314	10
	고용 창출(명)	1	2	-	2	1	2	2	6	15
	학술 발표(건)	-	-	1	1	1	1	2	2	10
	홍보 전시(건)	-	-	1	0	1	2	2	2	15
계		1	3	104	114	206	214	311	331	100

[결과물의 성능지표]

평가 항목 (주요성능)	단위	전체 항목에서 차지하는 비중 (%)	세계 최고수준	연구개발 전 국내 수준	연구 개발 목표치	연구 개발 결과	목표 설정 근거
			성능수준	성능수준			
발열체 함유량	wt%	15	-	-	1.0 ↑	2.2	연구자료
발열 성능	+°C	15	-	-	5 ↑	12.9	연구자료
투습도	g/m ² ·h	15	150	150	150 ↑	158	기존제품
공기투과도	cm ³ /cm ² /sec	15	5	5	5 ↑	6.0	기존제품
인장강도	N	15	500	500	500 ↑	800/770	기존제품
파열강도	N	15	300	300	300 ↑	368/373	기존제품
인열강도	N	10	100	100	100 ↑	558	기존제품

TEST REPORT

▶ 성적서번호 T24-02-0030
▶ 페이지번호 Page(1) / (4) Pages

▶ 의뢰자 한국섬유개발연구원
▶ 주소 대구광역시 서구 국제보상로 136
▶ 의뢰일자 2024. 02. 07.
▶ 발급일자 2024. 02. 23.
▶ 시험장소 ■ 고정시험실 (주소 : 대구광역시 서구 달서로 92 DYETEC연구원)
□ 현장시험
▶ 시료명 #1 개발 원단

·이 성적서는 제시된 시료에 대한 시험결과에 한해 재원에 대한 품질을 보증하지 않으며, 시료명은 의뢰자가 제시한 내용입니다.
·이 성적서는 DYETEC 연구원들이 사용 중인 장비의 성능, 운영, 관리 및 조건의 정교함으로 사용될 수 있으며, 용도 이외의 사용을 금합니다.
·이 성적서는 KOLAS 인증과 관련 없습니다.
·이 성적서의 기재사항 사실 확인 및 요구 문의처는 053-350-3700입니다.

▶ 시험결과 다음 페이지 참조

시료 정보
#1



시험자 이민영

기술책임자 김명순

DYETEC 연구원장

PMF-13-C101

91, DALSEOCHON-RO, SEO-GU, DAEJEON, KOREA TEL: 053-350-3700 FAX: 053-350-3988

TEST REPORT

▶ 성적서번호 T24-02-0030
▶ 페이지번호 Page(3) / (4) Pages

6) 광발열시험 : °C

	#1
	41.7
5분	비교분: 33.0 온도차: (+) 8.7
	50.3
10분	비교분: 39.4 온도차: (+) 10.9
	55.9
15분	비교분: 44.1 온도차: (+) 11.8
	59.6
20분	비교분: 47.5 온도차: (+) 12.1
	62.9
25분	비교분: 50.2 온도차: (+) 12.6
	65.1
30분	비교분: 52.4 온도차: (+) 12.7
	68.6
40분	비교분: 55.7 온도차: (+) 12.9
	71.3
50분	비교분: 58.2 온도차: (+) 13.1
	72.7
60분	비교분: 59.8 온도차: (+) 12.9

▶ 측정장비 : 220 W/500 M/J 200 K
조사거리 : 30 cm, 광조사시간 : 60분, 시험시간 : 60분
시험조건 : (20 ± 2) °C, (65 ± 2) % RH, 24 시간 방치 후
충량발열성 기기에 표면이 광원을 향하게 장착 후 시험
이 결과는 위탁시험한 것임

7) TGA (KS M ISO 11358-1:2014)

	#1
시작점 (°C)	24.5
질량 손실률 (%)	97.8
중점 (°C)	750.0

▶ 시험장비 : Thermo Gravimetric Analysis (TA INSTRUMENTS)
관계 곡선 별첨

PMF-13-C101

91, DALSEOCHON-RO, SEO-GU, DAEJEON, KOREA TEL: 053-350-3700 FAX: 053-350-3988

TEST REPORT

▶ 성적서번호 T24-02-0030
▶ 페이지번호 Page(2) / (4) Pages

1) 공기 투과도 (KS K ISO 9237:1995) : mm³/(cm²·s)

	#1
	59.8(6.0)

▶ 시험장비 : Air Permeability Tester (TEXTES)
시험면적 : 20 cm²
시험압력 : 200 Pa
시료량 부족으로 규정횟수 미만으로 시험함

2) 인장강신도 (KS K 0520:2021, 그레브법)

	#1
강도(N)	경사 800 위사 770
신도(%)	경사 24.6 위사 27.0

▶ 시험장비 : Universal Testing Machine (ZWICK-CRE)

3) 인열강도 (KS K 0537:2019, 트레피조이드법) : N

	#1
경사	368.2
위사	373.0

▶ 시험장비 : Universal Testing Machine (ZWICK-CRE)

4) 파열강도 (KS K 0350:2022, 볼버스팅법) : N

	#1
	558.0

▶ 시험장비 : Universal Testing Machine (ZWICK-CRE)

5) 투습도 (KS K 0594:2021, 아세트산포타슘 제1법) : g/(m² · h)

	#1
	158

▶ 시험환경 : 온도 (30 ± 2) °C
이 결과는 위탁시험한 것임

PMF-13-C101

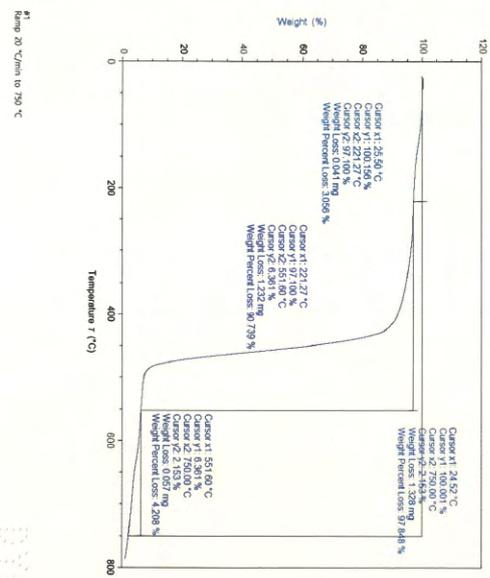
91, DALSEOCHON-RO, SEO-GU, DAEJEON, KOREA TEL: 053-350-3700 FAX: 053-350-3988

TEST REPORT

TEST REPORT

▶ 성적서번호 T24-02-0030
▶ 페이지번호 Page(4) / (4) Pages

TGA



PMF-13-C101

91, DALSEOCHON-RO, SEO-GU, DAEJEON, KOREA TEL: 053-350-3700 FAX: 053-350-3988

(3) 세부 정량적 연구개발성과

[과학적 성과]

□ 국내 및 국제 학술회의 발표

번호	회의 명칭	발표자	발표 일시	장소	국명
1	2022년 한국섬유공학회 추계학술대회	김진오	2022.10.30	부산 벡스코 제1전시장	대한민국
2	2023년 한국섬유공학회 추계학술대회	김진오	2023.10.27	부산 벡스코 제1전시장	대한민국

4PS-05

제직 공정 조건에 따른 광발열 편평사 원단의 광발열 특성

Exothermic characteristics caused by light of fabric made of flat yarn that heat up by light according to weaving process condition

Jin Oh Kim¹

¹Korea Textile Development Institute

Introduction

우리나라 주요부분 전체 에너지소비량은 215,419,000tce로 전중국 2.4% 증가율을 보이고 있으며, 석유의 에너지소비 비중은 51.6%로 여전히 주종 에너지의 위치를 점하고 있다. 주요부분별로는 산업용이 60.4%로 점유율이 가장 높으며, 산업용 중 섬유산업의 소비 비중은 2.4%에 달한다. 한편, 가정 및 상업 부문 비중은 지속적으로 증가한다. 산업부문 에너지소비량은 130,010,000tce로, 주요부분 전체 에너지소비의 60.4%를 차지하였으며, 그 중에서 제조업의 에너지소비량이 산업부문 소비의 대부분(95.8%)을 차지하고, 제조업을 제외한 나머지 산업의 에너지소비에는 농업이 2.6%, 건설업은 1.5%, 광업 0.1%를 점하고 있다.

농업용 에너지소비량은 3,320,100tce로 증가 수 감소, 농업 부문 경제활동 변화에 인하여 지속적으로 감소하고 있는 추세이지만 에너지소비에도 증가세를 보이는 농업의 사용량 또한 증가하고 있다. 농업 기술의 발달로 사육되는 동물은 사육하는 인공적인 환경에서 자라므로, 인공적인 환경을 대체해서 소비 비중을 보이고 있는 상황에서 동물의 사용량이 증가하면 동물 사육 시 소비 비중이 증가할 것으로 예상된다. 따라서 조 직에서는 난방비 절감 및 농산물 에너지 자급을 위하여 이에 의해 발생하는 광발열 문제를 Master Batch를 활용하여 편평사 원단을 제조하고, 제직 조건에 따른 광발열 편평사 원단의 광발열 특성 및 특성을 분석하였다.

Experimental

1. 소재
L2에서 생산한 HDPE 수지에 Graphite powder를 혼합하여 HDPE / Graphite Master Batch Chip(Graphite 함량 20%)을 제조하여 사용하였다.

2. 제직/제직 공정 조건
필드는 8.5ea/inch, 사중은 HDPE, 편/위사의 선도는 690~1100d를 나누어 제직하였으며, 성폭 122 inch, Plain 조직으로 제직하였다. 비교를 위한 기본 원단은 편/위사 선도 750d인 편평사 원단이며, 개별 원단은 편/위사 선도가 880d, 750d, 690d인 원단과 편사 890d, 위사 1100d인 원단을 중 4종을 제조하여 비교 분석하였다.

< Feeding > < Extruding > < Drawing > < Winding >

Fig. 1 Melt-spinning Machine

시료	기본	개발 1	개발 2	개발 3	개발 4
필드 (ea/inch)	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5
사중	HDPE	HDPE	HDPE	HDPE	HDPE
Graphite 함량 (%)	0	2	2	2	2
편사 선도 (d)	750	680	750	860	860
위사 선도 (d)	750	680	750	860	1100
크로스(본)	976	976	976	976	976
중폭 (mm)	2	2	2	2	2
성폭 (inch)	122	122	122	122	122
조직	Plain	Plain	Plain	Plain	Plain

Fig. 2 Weaving process Condition

Results & Discussion

특수도는 기본 원단 대비 상대적으로 낮았지만, 편평사의 선도가 올라갈수록 증가하는 경향을 보여, 선도 690d 원사를 적용한 원단에서 기본 원단보다 높은 특수도를 보이고 위사 선도를 1100d로 적용하여 감소하였다. 편사 특수도는 기본 원단 대비 상대적으로 높았지만, 위사 특수도와 동일하여 편평사의 선도가 올라갈수록 증가하는 경향을 보여, 선도 690d 원사를 적용한 원단에서 기본 원단보다 높은 특수도를 보이고 위사 선도를 1100d로 적용하여 감소하였다. 편평사 특수도는 편평사 특수도보다 낮은 경향을 보였지만, 최적 조건으로 보이는 선도 690d 원사를 적용한 원단에서는 편평사 모두 기본 원단보다 높은 특수도를 나타내었다.

광발열 특성 분석 결과, 1시간 경과 기준, 기본 원단용 표준 원단은 44.0°C이며, 편평사 선도가 690d인 원단은 48.3°C, 750d인 원단은 52.1°C, 860d인 원단은 55.1°C, 편사 890d, 위사 1100d인 원단은 59.7°C로 측정되었다. 광발열 입사를 통한 원단 온도 상승은 기본 원단보다 높은 광발열 성능을 보였으며, 편평사 원단의 선도가 올라갈수록 증가하는 경향을 보여, 선도 690d 원사를 적용한 원단에서 기본 원단보다 11.1°C 높은 광발열 성능을 보였으나 위사 선도를 1100d로 적용한 원단에서는 소폭 감소하였다.

Fig. 4 Physical properties and Exothermic characteristics

Conclusion

광발열 입사를 통한 편평사 원단의 광발열 성능이 발전되는 것을 확인하였으며, 동일한 입사 환경에서도 편평사 선도 증가에 따라 광발열 성능이 상승하는 것을 확인하였다.

이는 같은 필드보다 높은 선도의 원사를 사용하여 단위면적당 광발열 입사량이 증가하기 때문이며, 선도 증가에 따른 편평사의 굵기 증가로 인한 단위 면적당 광발열량이 증가하는 것으로 판단된다.

편평사의 제직 환경에서 편평사의 보충을 보정시켜 증가율을 감소하면, 이로 인한 증가율이 단면적당 광발열을 줄여 주므로 광발열 성능을 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

* 발표의 글 : 본 연구는 농림축산식품부와 농림식품기술기획개발원이 지원하는 기술사업화지원사업으로 수행된 연구 결과입니다. (과제번호 : 821067-03)

온실 내부에서 광발열 편평사 원단의 광발열 특성

Exothermic characteristics caused by light of fabric made of flat yarn that heat up by light in greenhouse

Jin Oh Kim, Hak Jeon Kim¹

¹Korea Textile Development Institute

Introduction

우리나라 주요부분 전체 에너지소비량은 215,419,000tce로 전중국 2.4% 증가율을 보이고 있으며, 석유의 에너지소비 비중은 51.6%로 여전히 주종 에너지의 위치를 점하고 있다. 주요부분별로는 산업용이 60.4%로 점유율이 가장 높으며, 산업용 중 섬유산업의 소비 비중은 2.4%에 달한다. 한편, 가정 및 상업 부문 비중은 지속적으로 증가한다. 산업부문 에너지소비량은 130,010,000tce로, 주요부분 전체 에너지소비의 60.4%를 차지하였으며, 그 중에서 제조업의 에너지소비량이 산업부문 소비의 대부분(95.8%)을 차지하고, 제조업을 제외한 나머지 산업의 에너지소비에는 농업이 2.6%, 건설업은 1.5%, 광업 0.1%를 점하고 있다.

농업용 에너지소비량은 3,320,100tce로 증가 수 감소, 농업 부문 경제활동 변화에 인하여 지속적으로 감소하고 있는 추세이지만 에너지소비에도 증가세를 보이는 농업의 사용량 또한 증가하고 있다. 농업 기술의 발달로 사육되는 동물은 사육하는 인공적인 환경에서 자라므로, 인공적인 환경을 대체해서 소비 비중을 보이고 있는 상황에서 동물의 사용량이 증가하면 동물 사육 시 소비 비중이 증가할 것으로 예상된다. 따라서 조 직에서는 난방비 절감 및 농산물 에너지 자급을 위하여 이에 의해 발생하는 광발열 문제를 Master Batch를 활용하여 편평사 원단을 제조하고, 제직 조건에 따른 광발열 편평사 원단의 광발열 특성 및 특성을 분석하였다.

Experimental

1. 소재
L2에서 생산한 HDPE 수지에 Graphite powder를 혼합하여 HDPE / Graphite Master Batch Chip(Graphite 함량 20%)을 제조하여 사용하였다.

2. 제직/제직 공정 조건
Graphite 함량 2%, 필드 14×14 ea/inch, 편사(7개), 사중 HDPE 편/위사 선도 1000d를 제직하였으며, 성폭 122 inch, Plain 조직으로 제직하였다.

< Feeding > < Extruding > < Drawing > < Winding >

Fig. 1 Melt-spinning Machine

3. 온실 환경 설정 및 측정 조건
- 비닐 하우스 (2개) 기준 2개 (개발 2개)
- 센서 설치 : 각 원단마다 온도 센서 4개씩, 15m 간격으로 설치 (원격 측정용 센서 이외의 기타장치에서 5m 내부에 설치)
- Data Logger : 이원 장치(자외선)를 설치하여, 온도/습도/광도/이산화탄소 농도를 실시간으로 측정하여, 원격 제어 시스템을 통해 데이터를 수집
- 온도 센서 측정 가능 범위 : 20 ~ 70°C
- 온실 내부 온도 측정 : 상부(연부) 및 가장자리(실상부)를 비교할 수 있는 위치에 온도측정기 설치

Fig. 5 온도 변화와 조습률 변화의 온도 데이터 비교(편평사 : 기본, 오른쪽 : 개발)

Results & Discussion

1. 측정 위치별 온도 데이터 비교
측정 위치에 따라 광발열 특성을 연구하기 위해 기준12 및 개발12의 측정 위치에 대한 데이터 분석을 실시하였다. 기준1의 평균 온도는 24.33 °C, 최고 온도는 27.05 °C로 나타났다. 개발1의 평균 온도는 24.87 °C, 최고 온도는 28.00 °C로 나타났다. 개발1의 최고 온도를 통해 온도 상승에 따라 유의미한 차이를 확인할 수 있었으며, 평균 온도 및 최고 온도 비교에 따라 개발 원단의 온도가 기준에 비해 약 1.5 °C 이상 높은 것을 확인하였다.

2. 기본/개발 원단의 온도 데이터 비교
기본 원단과 개발 원단의 온도 데이터 비교 분석을 실시 하였으며, 온도 데이터는 '온도 센서'로 수집하여 비교하였다. 총 47개 시료의 온도 데이터는 '온도 센서'로 수집하여 비교하였다. 기본 원단과 개발 원단의 온도 데이터는 '온도 센서'로 수집하여 비교하였다. 기본 원단과 개발 원단의 온도 데이터는 '온도 센서'로 수집하여 비교하였다. 기본 원단과 개발 원단의 온도 데이터는 '온도 센서'로 수집하여 비교하였다.

Fig. 2 온도 센서 설치 위치도

* 발표의 글 : 본 연구는 농림축산식품부와 농림식품기술기획개발원이 지원하는 기술사업화지원사업으로 수행된 연구 결과입니다. (과제번호 : 821067-03)

[기술적 성과]

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

번호	지식재산권 등 명칭	국명	출원			등록			기여율 (%)	활용 여부
			출원인	출원일	출원 번호	등록인	등록일	등록 번호		
1	특허	대한민국	(주)뉴프라임, 한국섬유개발연구원	2022.07.25	10-2022-0092027	(주)뉴프라임, 한국섬유개발연구원	2023.08.31	10-2574873	100	활용
2	특허	대한민국	(주)뉴프라임	2022.06.09	10-2022-0070117	(주)뉴프라임	2023.08.31	10-2574880	100	활용

○ 지식재산권 활용 유형

번호	제품화	방어	전용실시	통상실시	무상실시	매매/양도	상호실시	담보대출	투자	기타
1	√									



위의 발명은 「특허법」에 따라 특허원부에 등록되었음을 증명합니다.
This is to certify that, in accordance with the Patent Act, a patent for the invention has been registered at the Korean Intellectual Property Office.



위의 발명은 「특허법」에 따라 특허원부에 등록되었음을 증명합니다.
This is to certify that, in accordance with the Patent Act, a patent for the invention has been registered at the Korean Intellectual Property Office.



[경제적 성과]

□ 시제품 제작

번호	시제품명	출시/제작일	제작 업체명	설치 장소	이용 분야	사업화 소요 기간	인증기관	인증일
1	광발열원단	2022.10.01	(주)뉴프라임	2022년 겨울 현장 실증	작물 재배 시 멀칭 원단	시제품 출시 후 2년 소요 예상	-	-
2	항균성원단	2023.11.30	(주)뉴프라임	2023년 겨울 현장 실증	작물 재배 시 멀칭 원단	시제품 출시 후 1년 소요 예상	-	-

<첨부>

농림축산식품 연구개발과제 제품출시 확인서

과 제 명	광발열입자를 함유한 Master batch를 적용하여 표면온도 5℃ 상승효과를 가지는 난방 에너지 저감형 멀칭 매트 및 농자재 응용제품 개발			
주관연구기관	(주)뉴프라임	참여기관	한국섬유개발연구원	
연구책임자	현치문	연구기간	2021년 04월 ~ 23년 12월(총 2년 9월)	
총 정부출연금	803,000,000원			
해당 기술의 제품출시 유형				
시제품(제품출시 예정)	()	기존 제품 공정개선	()	
신제품(제품출시 완료)	(○)	기 타	()	
제품 출시 실적				
제품명	제품사진	제품용도	제품 출시일	해당 기술의 제품출시 기여율(%)
광발열원단		작물 재배 시 멀칭원단으로 사용. 광발열에 의한 지하부 온도 상승 효과	2022. 10.01	30
<p>* 첨부 : 당해연도 제품출시 여부를 확인할 수 있는 자료(제조년월일 표기사진, 제품등록번호 등) **식품R&D는 품목제조보고서 제출 필수</p> <p style="text-align: center;">상기와 같이 R&D 기술을 제품화한 실적을 보고합니다.</p>				

2022년 11월 10일

연구책임자 : 현 치 문 서명 또는 인)

[붙임 5] 제품출시 확인서

농림축산식품 연구개발과제 제품출시 확인서

과 제 명	광발열입자를 함유한 Master batch를 적용하여 표면온도 5℃ 상승효과를 가지는 난방 에너지 저감형 멀칭 매트 및 농자재 응용제품 개발			
주관연구기관	(주)뉴프라임	참여기관	한국섬유개발연구원	
연구책임자	현치문	연구기간	2021년 04월 ~ 23년 12월(총 2년 9월)	
총 정부출연금	803,000,000원			
해당 기술의 제품출시 유형				
시제품(제품출시 예정)	()	기존 제품 공정개선	()	
신제품(제품출시 완료)	(○)	기 타	()	
제품 출시 실적				
제품명	제품사진	제품용도	제품 출시일	해당 기술의 제품출시 기여율(%)
항균성 원단		작물 재배 시 멀칭원단으로 사용. 근권부 온도 상승과 항균효과	2023. 11.30	83.47
<p>* 첨부 : 당해연도 제품출시 여부를 확인할 수 있는 자료(제조년월일 표기사진, 제품등록번호 등)</p> <p style="text-align: center;">상기와 같이 R&D 기술을 제품화한 실적을 보고합니다.</p>				

2023년 12월 27일

연구책임자 : 현 치 문 서명 또는 인)

□ 사업화 현황

번호	사업화 방식	사업화 형태	지역	사업화명	내용	업체명	매출액		매출 발생 연도	기술 수명
							국내 (천원)	국외 (달러)		
1	자기실시	신제품 개발	국내	광발열원단	광발열원단 시제품의 매출	(주)엔피피 인터네셔널	315,033	0	2022 ~ 2023	5년

□ 매출 실적(누적)

사업화명	발생 연도	매출액		합계	산정 방법
		국내(천원)	국외(달러)		
광발열원단	2022	108,755	0	108,755	광발열 원단 시제품의 매출 집계
	2023	206,278	0	206,278	
합계		315,033	0	315,033	2022년 최초 매출 발생

[별첨4] 농림축산식품 연구개발과제 매출 확인서

농림축산식품 연구개발과제 매출 확인서

과제명	광발열입자를 함유한 Master batch를 적용하여 표면온도 5°C 상승효과를 가지는 난방 에너지 저감형 밀칭 매트 및 농자재 응용제품 개발			
주관연구기관	㈜뉴프라임	참여기관	한국섬유개발연구원	
연구책임자	현치문	연구기간	2021년 04월 ~ 23년 12월(총 2년9월)	
기업 정보	기업 매출 총액 : 21,535,189,316원(2022년 3분기까지 부가세 신고액 기준)			
관련 실적	특허(○), 표준(), 소프트웨어(), 디자인(), 상표(), 기타(상세)			
	명칭(번호) : 광발열입자가 함유된 발열 기능성 밀칭 매트(10-2022-0070117) 기술실시 명칭 : 광발열원단			
해당제품의 매출 실적				
제품명	제품사진	매출액(원)	해당 과제의 매출액 기여율(%)	
광발열 원단		국내	108,755,863	30%
		국외	0	
* 첨부 : 당해연도 매출액을 확인할 수 있는 자료(매출전표, 세금계산서, 매출원장, 수출계약 등) 상기와 같이 R&D 기술을 사업화하여 발생한 매출액을 보고합니다.				

2022년 11월 10일

연구책임자 : 현치문 (서명 또는 인)

[별첨4] 농림축산식품 연구개발과제 매출 확인서

농림축산식품 연구개발과제 매출 확인서

과제명	광발열입자를 함유한 Master batch를 적용하여 표면온도 5°C 상승효과를 가지는 난방 에너지 저감형 밀칭 매트 및 농자재 응용제품 개발			
주관연구기관	㈜뉴프라임	참여기관	한국섬유개발연구원	
연구책임자	현치문	연구기간	2021년 04월 ~ 23년 12월(총 2년9월)	
기업 정보	기업 매출 총액 : 24,067,677,484원(2023년 3분기까지 부가세 신고액 기준)			
관련 실적	특허(○), 표준(), 소프트웨어(), 디자인(), 상표(), 기타(상세)			
	명칭(번호) : 광발열입자가 함유된 발열 기능성 밀칭 매트(10-2574880) 기술실시 명칭 : 광발열원단			
해당제품의 매출 실적				
제품명	제품사진	매출액(원)	해당 과제의 매출액 기여율(%)	
광발열 원단		국내	206,278,150	83.47%
		국외	0	
* 첨부 : 당해연도 매출액을 확인할 수 있는 자료(매출전표, 세금계산서, 매출원장, 수출계약 등) 상기와 같이 R&D 기술을 사업화하여 발생한 매출액을 보고합니다.				

2023년 12월 29일

연구책임자 : 현치문 (서명 또는 인)

□ 고용 창출

순번	사업화명	사업화 업체	고용창출 인원(명)			합계
			2021년	2022년	2023년	
1	광발열원단	(주)뉴프라이밍성주공장	2	1	0	3
2	광발열원단	(주)뉴프라이밍	0	1	2	3
합계			2	2	2	6

출력일시 : 2021.12.21 09:54

출력일시 : 2022.12.28 13:23

4대 사회보험 사업장 가입자 명부

발급번호 : 20211221147479 발급일시 : 2021-12-21 09:53 사업장 관리번호 : 57885012080

구분	국민연금	건강보험	산재보험	고용보험
사업자등록번호	578-85-01208	578-85-01208	578-85-01208	578-85-01208
사업장 명칭	(주)뉴프라이밍성주공장	(주)뉴프라이밍성주공장	(주)뉴프라이밍성주공장	(주)뉴프라이밍성주공장

■ 가입 내역(발급일자 현재기준) 1 / 2

연번	주민(외국인)등록번호	성명	자격취득일			
			국민연금	건강보험	산재보험	고용보험
1	580404-1-*****	정관석	2020.06.01	2020.06.01	2020.06.01	2020.06.01
2	610314-1-*****	성정화	2021.04.01			
3	611004-1-*****	현치문	2020.06.01	2020.06.01	2020.06.01	2020.06.01
4	620115-1-*****	정관석	2021.07.01	2021.07.01	2021.07.01	2021.07.01
5	640326-1-*****	김건호	2020.06.01	2020.06.01	2020.06.01	2020.06.01
6	660205-2-*****	조선자	2020.08.11	2020.08.11	2020.08.11	2020.08.11
7	660315-1-*****	천창배	2021.04.01	2021.04.01	2021.04.01	2021.04.01
8	670201-2-*****	이혜린	2021.04.21	2021.04.21	2021.04.21	2021.04.21
9	680220-2-*****	김우남	2020.09.21	2020.09.21	2020.09.21	2020.09.21
10	680530-1-*****	김영준	2020.09.10	2020.09.10	2020.09.10	2020.09.10
11	700220-1-*****	황광연	2020.06.01	2020.06.01	2020.06.01	2020.06.01
12	700228-2-*****	이영실	2020.09.04	2020.09.04	2020.09.04	2020.09.04
13	701201-2-*****	염미숙	2020.11.17	2020.11.17	2020.11.17	2020.11.17
14	720122-2-*****	임석순	2021.04.01	2021.04.01	2021.04.01	2021.04.01
15	730505-2-*****	이형진	2021.07.01	2021.07.01	2021.07.01	2021.07.01
16	750809-1-*****	남상현	2021.04.01	2021.04.01	2021.04.01	2021.04.01
17	750815-2-*****	최진우	2021.04.01	2021.04.01	2021.04.01	2021.04.01
18	760227-1-*****	이진수	2020.10.24	2020.10.24	2020.10.24	2020.10.24
19	800209-1-*****	성기권	2020.05.01	2020.05.01	2020.05.01	2020.05.01
20	810304-2-*****	박유나	2021.07.01	2021.07.01	2021.07.01	2021.07.01

▶ 위 사업장 가입자 명부는 4대 사회보험 정보연계시스템이 국민연금공단 국민건강보험공단 근로복지공단의 가입자 정보를 실시간 연계받아 제공하는 것이며, 발급사실 여부는 발급일로부터 90일까지 4대 사회보험 포털사이트(www.4insure.or.kr)의 [발급사실확인] 메뉴에서 확인 가능합니다.
*정확한 정보연계서비스, 4대 사회보험이 함께 합니다.

4대 사회보험 사업장 가입자 명부

발급번호 : 20221228254876 발급일시 : 2022-12-28 13:22 사업장 관리번호 : 51081180250

구분	국민연금	건강보험	산재보험	고용보험
사업자등록번호	510-81-18025	510-81-18025	510-81-18025	510-81-18025
사업장 명칭	(주)뉴프라이밍 (본점)	(주)뉴프라이밍 (본점)	(주)뉴프라이밍 (본점)	(주)뉴프라이밍 (본점)

■ 가입 내역(발급일자 현재기준) 1 / 2

연번	주민(외국인)등록번호	성명	자격취득일			
			국민연금	건강보험	산재보험	고용보험
1	580404-1-*****	정관석	2022.07.01	2022.07.01	2022.07.01	2022.07.01
2	610314-1-*****	성정화	2022.07.01			
3	611004-1-*****	현치문	2022.07.01	2022.07.01	2022.07.01	2022.07.01
4	640326-1-*****	김건호	2022.07.01	2022.07.01	2022.07.01	2022.07.01
5	660205-2-*****	조선자	2022.12.01	2022.12.01	2022.12.01	2022.12.01
6	700220-1-*****	황광연	2022.07.01	2022.07.01	2022.07.01	2022.07.01
7	730505-2-*****	이형진	2022.07.01	2022.07.01	2022.07.01	2022.07.01
8	750516-2-*****	송경화	2022.09.01	2022.09.01	2022.09.01	2022.09.01
9	750815-2-*****	최진우	2022.07.01	2022.07.01	2022.07.01	2022.07.01
10	800209-1-*****	성기권	2022.07.01	2022.07.01	2022.07.01	2022.07.01
11	810304-2-*****	박유나	2022.07.01	2022.07.01	2022.07.01	2022.07.01
12	830804-1-*****	박용호	2022.07.01	2022.07.01	2022.07.01	2022.07.01
13	860729-2-*****	이혜린	2022.12.02	2022.12.02	2022.12.02	2022.12.02
14	870917-5-*****	룩킴	2022.07.01	2022.07.01	2022.07.01	2022.07.01
15	890603-1-*****	김지호	2022.07.01	2022.07.01	2022.07.01	2022.07.01
16	911227-1-*****	성국현	2022.07.01	2022.07.01		
17	920627-2-*****	염혜민	2022.07.01	2022.07.01	2022.07.01	2022.07.01
18	931103-1-*****	김민호	2022.07.01	2022.07.01	2022.07.01	2022.07.01
19	931223-5-*****	렘파잉 소우			2022.07.01	
20	931223-5-*****	렘파잉 소우			2022.07.01	

▶ 위 사업장 가입자 명부는 4대 사회보험 정보연계시스템이 국민연금공단 국민건강보험공단 근로복지공단의 가입자 정보를 실시간 연계받아 제공하는 것이며, 발급사실 여부는 발급일로부터 90일까지 4대 사회보험 포털사이트(www.4insure.or.kr)의 [발급사실확인] 메뉴에서 확인 가능합니다.
*정확한 정보연계서비스, 4대 사회보험이 함께 합니다.

출력일시 : 2023.12.19 09:37

4대 사회보험 사업장 가입자 명부

발급번호 : 20231219308656 발급일시 : 2023-12-19 09:21 사업장 관리번호 : 51081180250

구분	국민연금	건강보험	산재보험	고용보험
사업자등록번호	510-81-18025	510-81-18025	510-81-18025	510-81-18025
사업장 명칭	(주)뉴프라이밍 (본점)	(주)뉴프라이밍 (본점)	(주)뉴프라이밍 (본점)	(주)뉴프라이밍 (본점)

■ 가입 내역(발급일자 현재기준) 1 / 2

연번	주민(외국인)등록번호	성명	자격취득일			
			국민연금	건강보험	산재보험	고용보험
1	010731-7-*****	아비만드레	2023.10.04	2023.10.04	2023.10.04	2023.10.04
2	580127-1-*****	김종화	미가입	2023.12.05	2023.12.05	2023.12.05
3	580404-1-*****	정관석	미가입	2022.07.01	2022.07.01	2022.07.01
4	610314-1-*****	성정화	미가입	2022.07.01	미가입	미가입
5	610419-1-*****	박주현	미가입	2023.07.03	2023.07.03	2023.07.03
6	611004-1-*****	현치문	미가입	2022.07.01	2022.07.01	2022.07.01
7	640326-1-*****	김건호	2022.07.01	2022.07.01	2022.07.01	2022.07.01
8	660205-2-*****	조선자	2022.12.01	2022.12.01	2022.12.01	2022.12.01
9	660315-1-*****	천창배	2023.04.26	2023.04.26	2023.04.26	2023.04.26
10	660718-1-*****	김연배	2023.06.12	2023.06.12	2023.06.12	2023.06.12
11	700220-1-*****	황광연	2022.07.01	2022.07.01	2022.07.01	2022.07.01
12	730505-2-*****	이형진	2022.07.01	2022.07.01	2022.07.01	2022.07.01
13	750516-2-*****	송경화	2022.09.01	2022.09.01	2022.09.01	2022.09.01
14	750815-2-*****	최진우	2022.07.01	2022.07.01	2022.07.01	2022.07.01
15	770402-2-*****	가오리탈	2023.04.03	2023.04.03	2023.04.03	2023.04.03
16	800209-1-*****	성기권	2022.07.01	2022.07.01	2022.07.01	2022.07.01
17	810304-2-*****	박유나	2022.07.01	2022.07.01	2022.07.01	2022.07.01
18	830804-1-*****	박용호	2022.07.01	2022.07.01	2022.07.01	2022.07.01
19	860729-2-*****	이혜린	2022.12.02	2022.12.02	2022.12.02	2022.12.02

▶ 위 사업장 가입자 명부는 4대 사회보험 정보연계시스템이 국민연금공단 국민건강보험공단 근로복지공단의 가입자 정보를 실시간 연계받아 제공하는 것이며, 발급사실 여부는 발급일로부터 90일까지 4대 사회보험 포털사이트(www.4insure.or.kr)의 [발급사실확인] 메뉴에서 확인 가능합니다.
*정확한 정보연계서비스, 4대 사회보험이 함께 합니다.

4대 사회보험 사업장 가입자 명부

발급번호 : 20231219308656 출력일시 : 2023.12.19 09:37 2 / 2

연번	주민(외국인)등록번호	성명	자격취득일			
			국민연금	건강보험	산재보험	고용보험
20	870917-5-*****	룩킴	2022.07.01	2022.07.01	2022.07.01	2022.07.01
21	890603-1-*****	김지호	2022.07.01	2022.07.01	2022.07.01	2022.07.01
22	890907-1-*****	백상민	2023.06.01	2023.06.01	2023.06.01	2023.06.01
23	911227-1-*****	성국현	2022.07.01	2022.07.01	미가입	미가입
24	920627-2-*****	염혜민	2022.07.01	2022.07.01	2022.07.01	2022.07.01
25	931223-5-*****	렘파잉 소우	미가입	2023.05.01	미가입	미가입
26	931223-5-*****	렘파잉 소우	미가입	미가입	2022.07.01	미가입
27	950306-5-*****	데디	2023.09.15	2023.09.15	2023.09.15	2023.09.15
28	950603-5-*****	소넷나뎀	미가입	2023.06.20	2023.06.20	2023.06.20
29	980620-5-*****	부살라	미가입	2023.12.05	2023.12.05	2023.12.05
30	990505-5-*****	싯우	미가입	2023.06.20	2023.06.20	2023.06.20

미 하역

▶ 위 사업장 가입자 명부는 [확인용]으로 신청 발급된 것을 알려드립니다.
- [확인용]은 4대 사회보험의 업무목적 위해서만 제공하는 것이며, 재직증명용, 경력증명용, 대출용 등 다른 용도로 사용시에는 발급 기관에 법적 책임이 없다는 점을 알려드립니다.
- 타 기관 제출을 위한 용도로 발급을 원하시는 경우에는 각 공단 전자 창구로 신청하시기 바랍니다.
▶ 위 사업장 가입자 명부는 국민연금공단, 국민건강보험공단, 근로복지공단의 가입자 정보를 실시간 연계 받아 제공하는 것입니다. (문의전화: 국민연금 1355, 건강보험 1577-1000, 산재·고용보험 1588-0075)
- 사업장 가입자 명부의 내용이 사실과 다를 경우에는 해당 공단으로 문의하시기 바랍니다.
- 과거 가입내역은 해당 보험별 각 공단으로 문의하여 발급 받으시기 바랍니다.
▶ [산재보험의 경우, 자격취득일]은 근로자 고용일을 뜻하며, 건설업 및 무역업 등 '자진신고 사업장'은 근로자 고용정보 신고 대상이 아니므로 '자격취득일(고용일)'은 표기되지 않습니다.
▶ 위 사업장 가입자 명부는 [사업장 관리번호]를 기준으로 작성되었습니다.

위와 같이 국민연금 가입내역을 확인합니다. 	위와 같이 건강보험 가입내역을 확인합니다. 	위와 같이 산재보험 가입내역을 확인합니다. 	위와 같이 고용보험 가입내역을 확인합니다. 
--	--	--	--





▶ 위 사업장 가입자 명부는 4대 사회보험 정보연계시스템이 국민연금공단 국민건강보험공단 근로복지공단의 가입자 정보를 실시간 연계받아 제공하는 것이며, 발급사실 여부는 발급일로부터 90일까지 4대 사회보험 포털사이트(www.4insure.or.kr)의 [발급사실확인] 메뉴에서 확인 가능합니다.

□ 고용 효과

		구분	고용 효과(명)
고용 효과	개발 전	연구인력	2
		생산인력	35
	개발 후	연구인력	5
		생산인력	40

[사회적 성과]

□ 홍보 실적

번호	홍보 유형	매체명(기업명)	제목	홍보일
1	해외 바이어 방문	OX Engineered Products	광발열 원단 홍보	2023.10.10.
2	국내 바이어 방문	영화산업	광발열 원단 홍보	2023.12.28.

홍보 실적

- 일자 : 2023년 10월 10일 화요일
- 장소 : ㈜뉴프라임 본사(경상북도 성주군 소재)
- 대상 : OX Engineered Products(미국 기업)
- 방문자 : David S. Ulmer(Chief Executive officer),
Chris Sauline(Chief operating officer)
- 내용 : 광발열 매트 제품 홍보
- 참고 사진 자료



주식회사 뉴프라임 대표이사



홍보 실적

- 일자 : 2023년 12월 28일 목요일
- 장소 및 대상 : 영화산업(경상북도 성주군 소재, 농업용 매트 제작/판매사)
- 참석자 : 영화산업 정상욱(대표), 노재수(공장장) 외 구매/영업부 임직원 2인
- 내용 : 농업용 광발열 밀칭 매트 기능성 홍보
- 참고 사진 자료



주식회사 뉴프라임 대표이사



2) 목표 달성 수준

추진 목표	달성 내용	달성도 (%)
<ul style="list-style-type: none"> ○ 균일 분산 기술을 활용한 광발열/기능성 Master batch 제조 <ul style="list-style-type: none"> - 광발열 소재, 기능성(항균, 방충 등) 소재의 선정 - Master Batch 내 입자의 균일 분산을 위한 분산 조건 연구 - 입자 함량별 Master Batch 제조 및 입자 함량에 따른 폴리머의 흐름성 분석 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 균일 분산 기술을 활용한 광발열/기능성 Master batch 제조 <ul style="list-style-type: none"> - 광발열 소재, 기능성(항균, 방충 등) 소재의 선정 완료 - Master Batch 내 입자의 균일 분산을 위한 분산 조건 연구 완료 - 입자 함량별 Master Batch 제조 및 입자 함량에 따른 폴리머의 흐름성 분석 완료 	<ul style="list-style-type: none"> 100 100 100
<ul style="list-style-type: none"> ○ 광발열/기능성 Master batch를 활용한 편평사 제사 공정 개발 <ul style="list-style-type: none"> - Master batch 입자 함량에 따른 폴리머의 흐름성 분석 및 최적 압출 조건 연구 - 고화 및 열연신, Slitting 조건 최적화를 통한 편평사 제조 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 광발열/기능성 Master batch를 활용한 편평사 제사 공정 개발 <ul style="list-style-type: none"> - Master batch 입자 함량에 따른 폴리머의 흐름성 분석 및 최적 압출 조건 연구 완료 - 고화 및 열연신, Slitting 조건 최적화를 통한 편평사 제조 완료 	<ul style="list-style-type: none"> 100 100
<ul style="list-style-type: none"> ○ 광발열/기능성 편평사를 활용한 편평사 원단 제직 공정 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 원단 내부의 공기층 형성을 위한 직물 제직 설계 조건 연구 - 위사의 비틀림 없는 위입을 위한 위입 조건 최적화 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 광발열/기능성 편평사를 활용한 편평사 원단 제직 공정 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 원단 내부의 공기층 형성을 위한 직물 제직 설계 조건 연구 완료 - 위사의 비틀림 없는 위입을 위한 위입 조건 최적화 완료 	<ul style="list-style-type: none"> 100 100
<ul style="list-style-type: none"> ○ 광발열/기능성 Master batch를 활용한 편평사 원단 코팅 공정/부직포 합포 공정 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 개발한 Master batch를 활용하여 편평사 원단 광발열/기능성 코팅 조건 연구 - 개발한 편평사 원단과 부직포, 필름 등 타 소재와 합포를 통한 다양한 용도 적용 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 광발열/기능성 Master batch를 활용한 편평사 원단 코팅 공정/부직포 합포 공정 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 개발한 Master batch를 활용하여 편평사 원단 광발열/기능성 코팅 조건 연구 완료 - 개발한 편평사 원단과 부직포, 필름 등 타 소재와 합포를 통한 다양한 용도 적용 완료 	<ul style="list-style-type: none"> 100 100
<ul style="list-style-type: none"> ○ 광발열/기능성 편평사 원단의 현장 실증 평가 및 성능 분석 <ul style="list-style-type: none"> - 개발 편평사 원단과 기존 멀칭 제품의 현장 실증 평가 - 개발 제품의 성능 분석을 통한 광발열, 기능성 확보 여부 확인 및 물성 분석 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 광발열/기능성 편평사 원단의 현장 실증 평가 및 성능 분석 <ul style="list-style-type: none"> - 개발 편평사 원단과 기존 멀칭 제품의 현장 실증 평가 완료 - 개발 제품의 성능 분석을 통한 광발열, 기능성 확보 여부 확인 및 물성 분석 완료 	<ul style="list-style-type: none"> 100 100

4. 목표 미달 시 원인분석

- 해당사항 없음

5. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도

○ 기술적 기여도

- 농가에서는 흙속 병원균의 식물체 전염 방지, 잡초의 발아 방지, 수분 증발 방지를 통한 토양의 수분유지, 지온유지, 토양 침식 및 유실 방지 등의 이유로 멀칭 필름을 토양에 덮게 되는데, 이런 멀칭 필름의 경우, 내구성이 부족하며 통기 및 배수가 불량함
- 내구성과 통기 및 배수 성능을 위하여 부직포 소재를 이용한 멀칭 원단을 도입하였으나 태양광 광발열 성능은 없으며 반사광의 의한 균일한 빛 환경 조성 효과도 미미하고 두꺼운 두께로 인하여 부피가 큰 단점이 있음
- 또한 태양광의 난반사를 통하여 과수에 균일한 빛 환경을 조성하기 위한 알루미늄 코팅 시트 또는 알루미늄 필름의 경우, 과도한 반사광으로 인하여 과수에 일소 피해를 입히고 멀칭 필름과 마찬가지로 내구성, 통기 및 배수 등의 단점이 있음
- 본 연구개발 과제를 통하여 태양광에 의해 발열하는 광발열 Flat yarn을 적용하여 난방 에너지를 절감하고 원단 내부의 공기층 형성을 통해 토양의 급격한 온도 변화를 조절하며, 원단 조직 구조의 기공을 통해 통기, 배수를 원활하게 하고, 원단 표면의 요철 구조로 발생하는 빛의 난반사로 균일한 빛 환경 조성이 가능한 멀칭 원단 개발

Table. 농업용 멀칭 필름, 부직포, 알루미늄 코팅 시트, 개발 원단 성능 비교

성능	필름	부직포	알루미늄 시트	개발 원단
병충해 방지	○	○	○	○
잡초 발아 방지	○	○	△	○
토양 수분 유지	○	△	○	△
지온 유지	△	○	△	○
토양 침식 및 유실 방지	○	○	○	○
태양광 광발열	×	×	×	○
통기 및 배수	×	△	×	○
반사광에 의한 과수의 착색 품질	×	△	△	○
내구성	×	○	×	○

○ 경제적 기여도

- 국내 시설 농자재는 2013년 기준 약 1조 1천억원 규모의 시장을 가지고 있으며, 그 중 멀칭필름, 부직포, 알루미늄 시트 등이 포함된 피복자재의 경우, 1995년과 비교하여 약 2.3배 성장하여 3,751억원 규모의 시장을 가지고 있으며 보온덮개, 반사필름 등이 포함된 생육환경조절기자재는 1,015억원 규모의 시장을 가지고 있음
- 비닐하우스용 필름과 멀칭 필름으로 대표되는 농업용 필름 산업은 연간 6만 2천톤, 매출액 2,300억원 내외로 피복자재 시장의 60%이상을 차지하고 있으며 소재는 PE(Polyethylene), PP(Polypropylene)등 PO(Polyolefin) 소재가 대부분을 차지하고 있음
- 에너지 절감을 위한 보온 덮개 산업은 보온 덮개로 작물 덮는 방법과 일정 높이에 보온 커튼을 사용하는 방법으로 분류되며 일반 원단 또는 알루미늄 코팅 원단, 부직포, 폴리폼 등이 사용되며 소재는 농업용 필름과 마찬가지로 PO(Polyolefin) 소재가 대부분을 차지하고 있음
- 하지만 멀칭 필름의 경우 잡초방지, 수분유지 등의 역할 외에 에너지 절감 효과를 줄 수 없으며, 에너지 절감을 위한 보온 덮개 또는 보온 커튼의 경우, 별도의 시설을 설치해야 하므로 비용적인 문제가 크고 태양광이 차단되는 단점이 있음
- 여기에 개발한 광발열 편평사 원단을 적용하게 되면, 난방비 절감뿐만 아니라, 농업 폐기물 감소로 이어지는 경제적인 효과를 가져 올 것으로 예상됨

6. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획

○ 활용분야 및 활용방안

- 태양광 광발열 멀칭 원단의 제조 기술 개발을 통하여 국내 농업용 멀칭 시장을 확보하고 향후 수출을 통한 매출 성과 기대
- 보온 효과, 난방비 절감을 통한 기존 멀칭 제품의 성능을 모두 가지면서, 광발열 효과를 통해 기존 멀칭 제품에는 없었던 새로운 기능을 추가하여 멀칭 시장 내 파급 효과 기대

○ 추가연구의 필요성

- 광발열 효과의 통제와 작물에 미치는 영향에 대한 추가 연구가 필요할 것으로 판단됨
- 광발열 입자 및 기능성 코팅에 따른 토양에 미치는 영향에 대한 연구도 필요

○ 기술이전 후, 사업화 계획

- 온실 내부 난방에너지 저감 기능성 멀칭 원단 적용
- 노지 작물의 수확시기 연장을 위한 기능성 멀칭 원단에 적용
- 기존 필름 형태의 멀칭 원단의 단점 보완을 통한 다양한 판로 개척

< 연구개발성과 활용계획표 >

구분(정량 및 정성적 성과 항목)		연구개발 종료 후 5년 이내
인력양성	학사	2
	석사	-
	박사	-
	계	2
사업화	상품출시	2
	기술이전	-
	공정개발	-
제품개발	시제품개발	2
성과홍보		5

주 의

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