

<표지>

(옆면)

(앞면)

316083-3

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

**첨단생산기술개발사업 제3차 연도 최종보고서**

11-1543000-002522-01

**시설원에 설해방지용 발열필름 개발 및 산업화  
최종보고서**

2019. 3. 20.

(별색바탕 : C50, M20, Y59, K0)

주관연구기관 / 엔씨티(NCT)  
참여연구기관 / (주)세진케미칼  
동국대학교

시설원에  
설해방지용  
발열필름  
개발  
및  
산업화  
최종보고서

2019

농림축산식품부

농림식품기술기획평가원

**농림축산식품부**

(전문기관) 농림식품기술기획평가원

<제출문>

제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “시설원에 설해방지용 발열필름 개발 및 산업화”(개발기간 : 2016. 09. 05~ 2018. 12. 31)과제의 최종보고서로 제출합니다.

2019. 3. 20.

주관연구기관명 :	엔씨티	(대표자) 김정엽	
협동연구기관명 :		(대표자) (인)	
참여기관명 :	(주)세진케미칼	(대표자) 이진노	(인)
	동국대학교 산학협력단	(대표자) 변지희	

주관연구책임자 : 김정엽

협동연구책임자 :

참여기관책임자 : 이진노 변지희

국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제18조에 따라 보고서 열람에 동의합니다.

<보고서 요약서>

보고서 요약서

과제고유번호	316083-3	해 당 단 계 연 구 기 간	2016.09.05 ~ 2018.12.31	단 계 구 분	(해당단계)/ (총 단 계 )
연구사업명	단 위 사 업	농식품기술개발사업			
	사 업 명	첨단생산기술개발사업			
연구과제명	대 과 제 명	(해당 없음)			
	세부 과제명	시설원예 설해방지용 발열필름 개발 및 산업화			
연구책임자	김 정 엽	해당단계 참여연구원 수	총: 11 명 내부: 11 명 외부: 0 명	해당단계 연구개발비	정부:300,000천원 민간:100,000천원 계:400,000천원
		총 연구기간 참여연구원 수	총: 11 명 내부: 11 명 외부: 0 명	총 연구개발비	정부:700,000천원 민간:233,334천원 계:933,334천원
연구기관명 및 소속부서명	엔씨티(니치케미칼테크놀로지) 연구개발부			참여기업명 (주)세진케미칼 동국대학교 산학협력단	
국제공동연구	상대국명:			상대국 연구기관명:	
위탁연구	연구기관명:			연구책임자:	

※ 국내외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 같음

연구개발성과의 보안등급 및 사유	
-------------------------	--

9대 성과 등록·기탁번호

구분	논문	특허	보고서 원문	연구시설 ·장비	기술요약 정보	소프트 웨어	화합물	생명자원		신품종	
								생명 정보	생물 자원	정보	실물
등록·기탁 번호		제 10-191 6674호									

국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

구입기관	연구시설· 장비명	규격 (모델명)	수량	구입연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	NTIS 등록번호
동국대학 교	햇플레이트	6798-420D	2	2018.09.11	1,267.2	(주)비바젠 (031-737-2 080_	과학관 2층 205호	

요약(연구개발성과를 중심으로 개조식으로 작성하되, 500자 이내로 작성  
합니다) 보고서 면수

나노 탄소 복합체를 이용한 발열 기능이 있는 설해예방 발열필름을 개발  
하였음. 발열필름의 광학적 특성을 확인하기 위해 가시광선 투과율, 근적  
외선 흡수율 등을 연구하였고 일반 필름과 비교하여 광학적 특성이 낮지  
않음을 확인하였음. 또한 발열필름의 물성을 확인하기 위해 신장률 등을  
시험하였고 좋은 결과를 얻었음.

위의 결과를 바탕으로 일산 동국대학교 농장과 정읍에 비닐하우스를 설  
치하여 필드 테스트를 진행하였음. 필드 테스트를 통해 일반 비닐하우스  
와 발열필름을 사용한 기능성 비닐하우스의 온도 및 습도 데이터를 수집  
하여 기능성 비닐하우스의 표면온도 상승과 내부 온도에 대해 입증하였  
음. 또한 적외선 램프를 설치하여 야간 비닐하우스 온도 및 설해 예방 효  
과를 입증하였음.

이와 동시에 IoT system을 적용하여 핸드폰의 앱을 통해 비닐하우스의  
적외선 램프와 CCTV의 전원을 on, off 조작을 적용하였음. 이를 통해 겨  
울철 폭설 시 설해 예방효과를 위해 적외선 램프 조작을 필드에 나가지  
않고 핸드폰으로 CCTV를 통해 확인 후 램프 전원을 켤 수 있음.

결과적으로 비닐하우스의 폭설 피해를 능동적으로 대처할 수 있는 기능  
을 부여한 원예시설용 비닐 필름 응용소재를 개발하여 광학적, 물성적 특  
성을 분석하였고 필드에 적용시켜 온습도 데이터를 통해 유의미한 데이  
터를 확보함. 또한 필드 테스트를 통해 IoT system을 통한 설해 예방이 가  
능한 것을 확인하였음.

이를 통해 겨울철 폭설에 의한 설해피해 방지 및 농업의 선진화 및 고부  
가가치 농작물 생산기반 조성에 기여할 수 있음을 확인하였음.

<요약문>

<p>연구의 목적 및 내용</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 나노 탄소 복합체를 이용한 발열필름 제조기술개발             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 나노 탄소 복합체를 이용한 발열 필름소재 개발</li> <li>- 비닐하우스용 발열필름 수지, 코팅액 제조 및 코팅기술 개발</li> <li>- 나노 복합체 비닐하우스피복소재 물성 평가 기법 구축</li> </ul> </li> <li>● 고유연성, 고투광성 발열필름 제조장비 및 생산제어기술 개발             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 고유연성 발열필름 연속생산이 가능한 제조설비 설계</li> <li>- 설해방지용 발열 필름 제조 수지 함침기술 및 이송장치, 권취장치 개발</li> <li>- 통합 제어컨트롤러 및 모니터링 시스템 개발</li> </ul> </li> <li>● 고유연성, 고투광성, 내구성 등에 대한 현장실증연구 및 산업화             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 시설원예 농업현장에 실증 적용하여 제설 효과 및 원예의 생장기간, 생육상태, 수량성 및 품질 향상에 주는 영향을 조사 비교</li> <li>- 열화상카메라를 이용한 설해방지용 발열필름의 열 균일성 및 열적 특성 분석</li> </ul> </li> <li>● 고유연성, 고투광성, 내구성 등에 대한 현장실증연구 및 산업화             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 설해방지용 발열필름 경제성 분석, 제품화하여 산업화</li> <li>- 설해방지용 기능성 비닐하우스 시스템 개발</li> </ul> </li> </ul>
<p>연구개발성과</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 나노 탄소 복합체를 이용한 발열 기능으로 설해예방 발열필름을 개발하고 유연성, 투광성 평가를 실시하여 비닐하우스의 폭설 피해를 능동적으로 대처할 수 있는 기능부여를 원예시설용 비닐 필름 응용소재를 개발하여 농업의 선진화 및 고부가가치 농작물 생산기반 조성.</li> <li>● (사업화 지표) 특허출원 2건, 특허등록 1건, 사업화 1건 개발, 인력양성 1건, 기술이전1건</li> <li>● (연구기반지표) SCI급 1편 게재 (추가 1편 리뷰 중), 학술발표 4건</li> </ul>
<p>연구개발성과의 활용계획 (기대효과)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 나노 탄소 복합체 원예시설 설해예방용 발열필름 개발은 농업생산성 향상, 품질개선, 시설경영비 절감, 환경재난 방지, 및 첨단농업분야 활용가능 측면에 크게 기여함으로써 다음과 같은 농업·환경·산업적 효과를 기대할 수 있음</li> <li>● 농업분야의 기대효과             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 작물재배환경 개선에 의한 작물생산성 및 품질향상에 의한 농업소득 증대</li> </ul> </li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 온실피복자재 내구성 증가, 동절기 난방비 감소효과에 의한 농가 경영비 절감</li> <li>- IoT system 적용하여 핸드폰의 앱을 통한 원격 제어를 통한 편의성 증가 및 농가의 노령화 문제 해소 기여</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 환경 분야의 기대효과 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 기후변화 대응 환경재해 예방에 따른 농가손실 최소화</li> </ul> </li> <li>● 산업 경제 분야의 기대효과 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 설해 예방용 발열필름 개발에 의한 국내 시장 선점</li> <li>- 폭설이 잦은 국가 대상으로 해외 수출</li> <li>- 유사 기능 수입제품 대체</li> </ul> </li> <li>● 첨단농업분야의 기대효과 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 설해 예방용 발열필름을 도시농업, 식물공장 적용에 의한 첨단 농업가능</li> <li>- 겨울철 폭설피해 예방 및 겨울철 농업에 사용되는 난방에너지 절감 효과로 인한 농가 소득 증대</li> </ul> </li> </ul>				
국문핵심어 (5개 이내)	발열필름	제설시스템	투광성	나노 탄소 복합체	산업화
영문핵심어 (5개 이내)	Heating film	Snow melting system	Transparency	Nano-carbon complex compound	Production

※ 국문으로 작성(영문 핵심어 제외)

## < 목 차 >

1. 연구개발과제의 개요 .....	7
1-1. 연구개발 목적 .....	7
1-2. 연구개발의 필요성 .....	7
1-3. 연구개발 범위 .....	17
2. 연구수행 내용 및 결과 .....	18
1) 나노 탄소 복합체 선정 .....	18
2) 비닐하우스 내 작물 재배 및 생산성 평가 연구 .....	19
3) 1세부 .....	20
4) 2세부 .....	48
5) 3세부 .....	57
3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도 .....	100
1) 목표 .....	100
2) 목표 달성여부 .....	101
3) 목표 미달성 시 원인(사유) 및 차후대책 .....	103
4) 사업화 .....	104
4. 연구결과의 활용 계획 등 .....	106

# 1. 연구개발과제의 개요

## 1-1. 연구개발 목적

- 기존의 원예시설용 필름의 경우, 내부의 난방을 통한 보온효과 및 외부 유해물질로부터의 보호가 주목적임. 겨울철 비닐하우스 농가는 폭설로 인해 비닐하우스의 붕괴로 인해 큰 피해를 입음. 이 같은 피해를 막기 위해 비닐하우스 구조 변경 및 자재 강도 향상을 함. 또한 내부 난방을 통해 눈을 녹여내는 방법을 사용하는데 이는 엄청난 경제적 부담이 되고 있음. 이 외에 비닐하우스 표면에 적설 차단막을 설치하여 눈을 피하는 방법이 있으나 이 또한 경제적 부담 및 일시적인 방편에 지나지 않아 근본적인 해결책이 필요.
- 나노 탄소 복합체 발열필름은 태양광의 적외선을 받아 필름표면에 열을 발생하여 눈을 녹이는 기술임. 이는 비닐하우스 붕괴 피해를 막기 위해 조치하는 다른 방법에 비해 매우 간단하고 경제적인 부담도 매우 적음. 기존의 필름 대비 작물 성장에 방해되는 자외선을 차단해주는 효과 및 단열효과도 있어 작물 생산 향상 뿐 아니라 농가의 소득증대 효과를 기대 할 수 있음.
- 나노 탄소 복합체 발열필름의 경우, 태양광 내의 적외선을 흡수하는 물질과 함께 사용하여 태양광 존재하에 발열기능이 유지됨. 또한 비닐하우스에 사용되는 비닐소재로 생산 가능하여 추가적인 설비가 필요 없음. 투과성, 내구성 등 기존의 비닐하우스용 필름 기능뿐만 아니라 작물 성장을 저해하는 자외선 차단 기능이 있어 작물 성장에 도움을 줌

## 1-2. 연구개발의 필요성

### (1) 우리나라의 기후 및 원예시설 이용

- 북위 38도에 위치한 우리나라의 기후환경은 뚜렷한 4계절로 인해 노지에서의 작물생육기간이 내륙 지방을 기준으로 평균 180일~200일이며, 지역에 따라 차이는 있으나 연평균 150일 이상 노지에서의 작물재배가 어려움.
- 비닐하우스는 피복자재를 이용해 외부환경의 영향을 차단하고, 내부의 온도를 조절함으로써 작물생육에 필요한 환경을 일정하게 유지하는 기능을 하므로, 작물생육기간이 상대적으로 짧은 우리나라의 경우 식물생육기간을 연장하여 작물을 재배할 수 있다는 장점이 있음.
- 따라서 우리나라의 농업은 비닐하우스 등 인공 환경을 이용한 작물생산이 차지하는 비중이 매우 높으며, 엽채류, 과채류 및 화훼류 등 고소득 작물의 생산을 목적으로 이용됨.



<그림 1> 원예 재배 시설

(2) 기후 및 농업환경변화에 대응한 환경재해 방지 비닐하우스 소재개발의 필요성

① 설해 방지용 비닐하우스소재 개발의 필요성

- 최근 2016년 1월 전남지역에서 사흘간 내린 폭설로 비닐하우스, 축사 붕괴로 45억원에 이르는 피해가 발생했음. 특히 강원지역은 2014년 2월 폭설에 의해 120억원의 농가피해가 또다시 발생하는 등 대규모의 눈피해가 특정지역에서 반복되는 현상이 심화되고 있음.

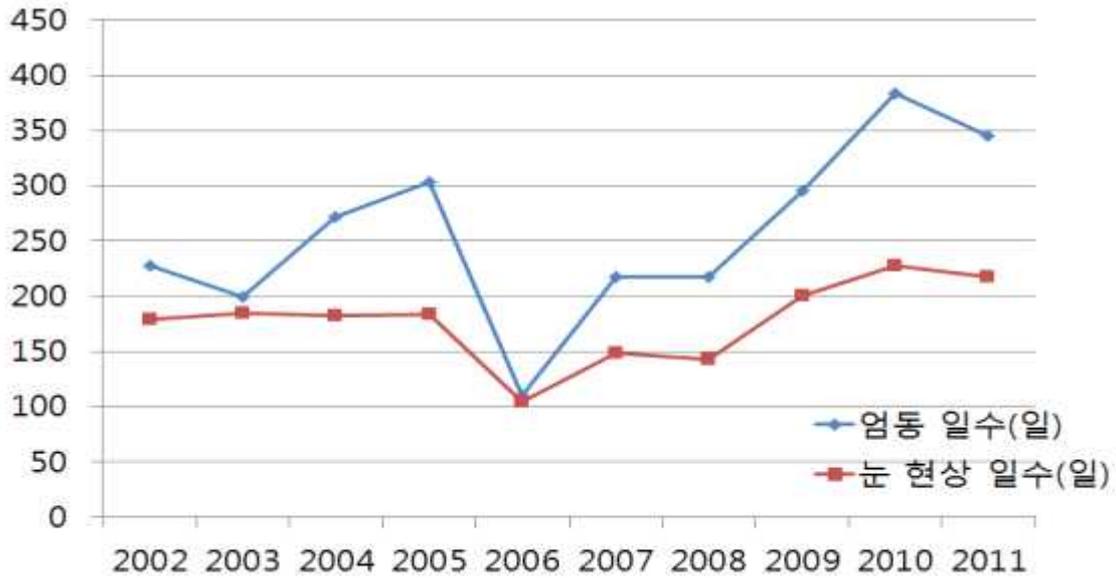


<그림 2> 2016년 1월 전라북도 고창군 아산면 성산리 비닐하우스 대설 피해

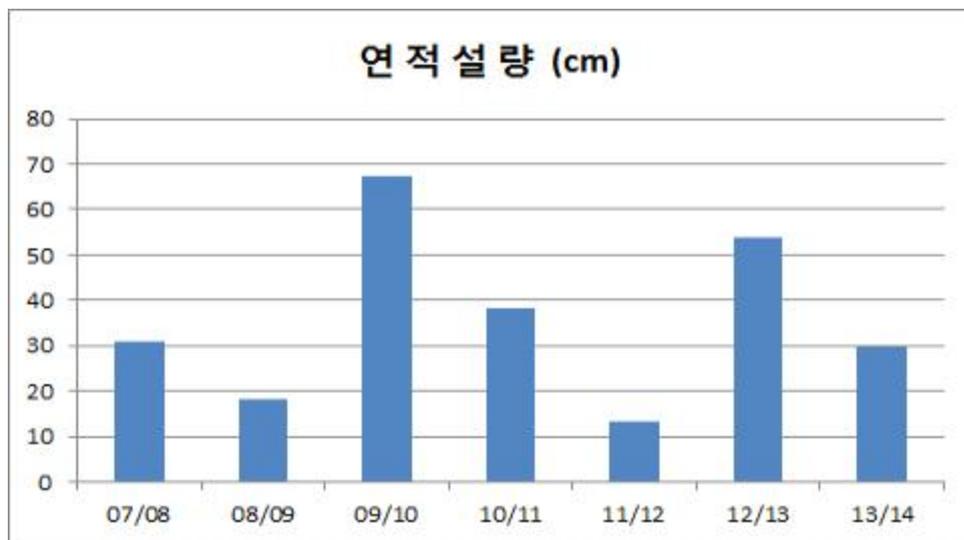


<그림 3> 2015년 12월 경상남도 함안군 대산면 비닐하우스 대설 피해

- 현재 비닐하우스 시설의 눈 피해 방지 대책은 (1) 외부 보온 덮개 및 차광막 설치에 의해 눈이 미끄러져 내리도록 하는 방법, (2) 수막 설치 및 비닐하우스내부 가온에 의해 눈을 녹이는 방법 등이 있으나, 이들 방법은 임시적 방편이거나 또는 과도한 에너지의 소모를 필요로 하며 지속적인 눈 피해 방지에 효과를 볼 수 없음.
- 이에 대한 대책으로 적은 에너지 사용으로 비닐하우스 지붕에 쌓이는 눈을 녹여 폭설 피해를 방지할 수 있는 비닐하우스소재 개발이 시급함.



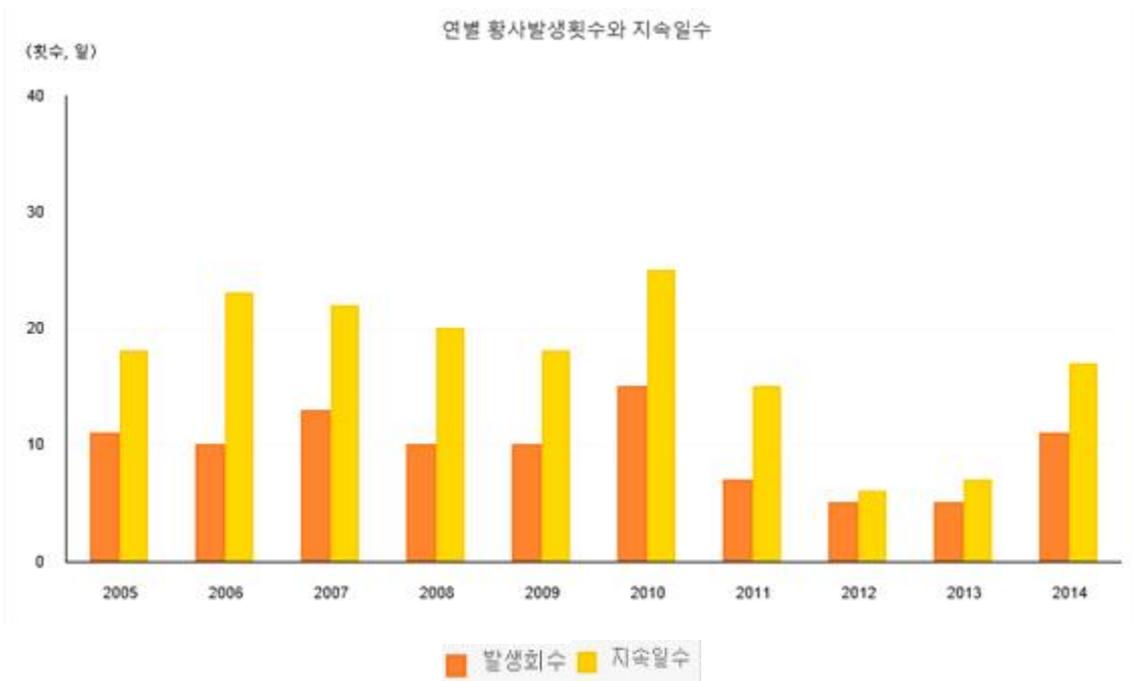
<그림 4> 10대 도시 엄동 일수와 눈 현상 일수,(2002~2011년) (\*기상청)



<그림 5> 최근 8년(07~'14년)간 강설 적설량(60개 주요지점) (\*기상청)

② 비닐하우스 광환경 개선을 위한 내구성 있는 기능성 발열필름 소재 개발의 필요성

- 발열필름 소재의 선택은 비닐하우스의 광 투과 및 차단에 의한 광 환경조성 뿐만 아니라 비닐하우스 내부의 온도조절에 가장 중요한 영향을 미침.
- 특히 자외선의 차단은 식물의 광 스트레스와 병 발생율을 경감시키며 가시광과 적외선의 흡수를 증진은 식물의 광합성 효율을 증진시키는 효과가 있어 비닐하우스 내 광 환경을 개선할 수 있는 피복소재의 개발이 필요함.
- 최근 대기환경의 오염 및 온난화에 의한 빈번한 황사 발생은 피복재의 오염을 가속화 시켜 비닐하우스의 광 투과율을 떨어뜨리는 문제점을 야기하고 있어 이에 대한 대책이 시급함



<그림 6> 연별 황사발생횟수와 지속일수 (\*기상청)

- 현재 개발된 연질 필름 중 폴리에틸렌피복소재 사용은 보편화되어 있으나 비닐하우스 광투과율 개선에 의한 작물생육개선을 위해 비닐하우스 피복재의 세척이 필요하며 이에 대한 비용과 노동력이 많이 소요됨.



<그림 7> 비산먼지에 의한 비닐하우스 오염

③ 고투과성 발열필름 개발의 필요성

- 기후변화에 따른 농가의 피해는 전 세계적인 농가의 문제로 인식. 이러한 피해를 막기 위해 시설재배지 기상정보 취득 및 제어신호 전송기를 개발하거나 강화 소재를 이용하여 우수한 내구력의 비닐하우스를 만들기 위해 연구.
- 하지만 단시간에 국지적으로 폭설이 내려 적설량이 많은 경우 비닐하우스의 내구력 강화를 통한 피해예방은 한계. 비닐하우스에 쌓인 눈을 제거하기 위해 인력으로 제설작업을 하거나, 내부 난방기를 가동하여 눈을 녹이는 방법은 많은 노동력이 필요하고, 많은 에너지를 소비.

<표 1> 비닐하우스 피해 방지 대책

보강기술	적용모델	보강방법	적용대상
보강지주	단동	○ 하우스 중간부분에 2.0~2.5m간격으로 버팀기둥을 설치 - 보강지주 규격 : $\phi 31.8 \times 1.5t$ (KSD 3760)	적설
눈 제거장치	단동	○ 비닐하우스 지붕위에 설치, 작동	적설
조리개교체	단동, 연동	○ 하우스 마루(동고) 및 측고의 가로대와 서까래 교차부위 조리개를 내재해형 조리개(수지, 강판)로 교체 - 접속력 : 인장력 90kgf이상, 미끄럼저항력: 139kgf이상	적설, 강풍
쌍꽃이보강재	연동	○ 연동온실 곡부에 설치된 1중 쌍꽃에 덧붙여 조립 (농업공학연구소 개발)	적설
서까래 보강	단동, 연동	○ 1.2m~1.8m간격의 서까래를 추가설치	적설, 강풍
파이프줄기초	단동	○ 기초가 없는 하우스의 경우, 서까래 매설부분 지중 25cm깊이에 서까래끼리 서로 연결되도록 조리개로 접속 연결함	강풍
파풍망	단동, 연동	○ 강풍지역의 경우 주 강풍방향 비닐하우스 측면에 파풍망을 설치 - 하우스로부터 2.5m떨어져 하우스 높이 66%이상의 높이로 설치	강풍



<그림 8> 비닐하우스 제설작업



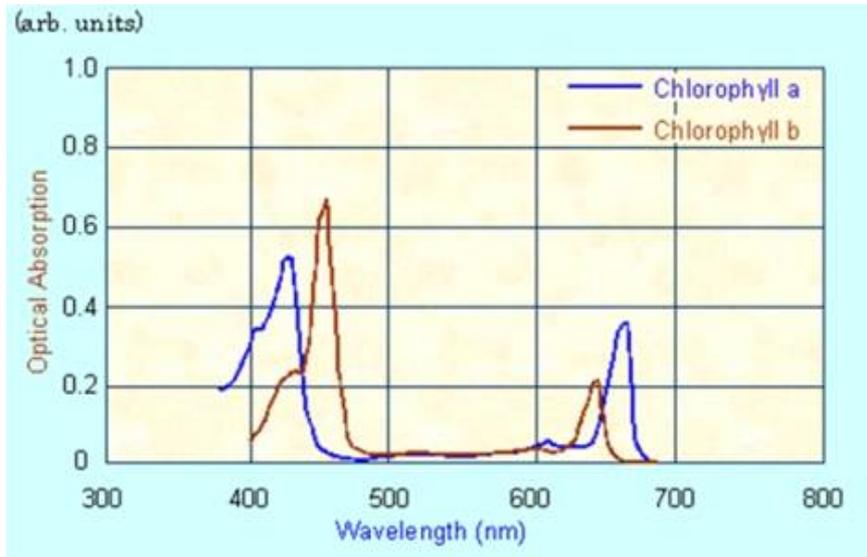
<그림 9> 비닐하우스 보일러

- 비닐하우스의 폭설피해에 따른 기존 설해예방법의 문제점을 해결하기 위해 개선된 설해 예방법 필요. 발열필름을 개발하여 발산된 근적외선을 비닐하우스피복소재의 나노 탄소 복합체가 흡수하여 발열함으로써 비닐하우스 표면의 온도가 상승하여 비닐하우스에 쌓인 눈이 제설되어 저비용, 저에너지로 설해예방 효과 기대. 또한 비닐하우스 내부의 열

이 외부로 방출되는 열손실을 감소시키는 효과 기대.

④ 가시광선만 선택적으로 투과하는 발열필름 소재 개발의 필요성

- 식물의 광합성 반응은 엽록소가 빛을 흡수하는 것으로부터 행해짐. 엽록소의 광흡수 스펙트럼에서 600nm 부근의 적색 빛은 광합성에 유효하고, 450nm 부근의 청색 빛은 형태 형성이나 광굴절성에 유효.



<그림 10> 엽록소A와 엽록소B의 광흡수 스펙트럼 (\*일본 식물 공장 연구소)

- 식물 재배에 어울리는 광원의 선택은 식물이 얼마나 효율적으로 합성 에너지인 빛을 흡수하는지 그리고 시설 전체로 보아 운영 경비를 최소화 할 수 있을지가 관건.

<표 2> 빛 파장이 식물에 미치는 작용효과 (\*(주)과루스)

파장 (nm)		작용효과	
적외선	IR-A	1400~1000	식물에 대해 특별한 작용은 없음. 열의 영향을 미침.
		780	식물에 특별한 산장 효과를 촉진 시키는 파장.
가시광선	적색	700	발아저지(730), 광합성 작용의 최대 (670)
		660	엽록소 작용 최대(655), 발아작용과 잎 배포 화아형성(660)
	적황색	610	광합성에 유익하지 않음. 해충방제(580~650)
	녹황색	510	노란 색소에 의한 일부 흡수, 어류 집어(485)
	청색	430~440	광합성작용의 최대(430), 엽록소 작용의 최대(440), 해충유인
자외선	UV-A	400 ~ 315	일반적으로 식물의 잎을 두껍게 하는 작용. 색소의 발색 촉진 작용. 해충 유인
	UV-B	280	많은 합성 과정에 중요한 작용(면역체 형성). 강하면 해가 됨.
	UV-C	100	식물을 급속하게 시들리게 하는 작용.

- 이와 같이 식물생장을 방해하는 자외선은 제거하고, 식물생장에 필요한 가시광선만 선택적으로 투과하는 기능성 비닐하우스피복소재 개발 필요.

(3) 폭설피해 예방을 통한 시설원예용 비닐하우스 피해 및 복구비 절감의 필요성

- 우리나라의 기후환경 특성 때문에 연평균 150일 이상 노지에서 작물재배가 어려움. 따라서 우리나라의 농업은 비닐하우스 등 인공 환경을 이용한 작물생산이 차지하는 비중이 매우 높으며, 엽채류, 과채류 및 화훼류 등 고소득 작물의 생산을 목적으로 이용됨

<표 3> 지역별 시설농가 및 시설면적 (\*조사관리국 인구총조사과 농림어업총조사)

행정구역별	특성별	2010					
		자동화비닐하우스·농가 (가구)	자동화비닐하우스·면적 (ha)	일반비닐하우스·농가 (가구)	일반비닐하우스·면적 (ha)	유리온실·농가 (가구)	유리온실·면적 (ha)
○ 전국	○ 계	15,157	7,790	104,236	43,326	666	329
○ 서울특별시	○ 계	36	15	659	303	3	1
○ 부산광역시	○ 계	129	63	1,545	911	7	3
○ 대구광역시	○ 계	156	81	2,105	1,138	7	1
○ 인천광역시	○ 계	130	31	1,580	256	6	4
○ 광주광역시	○ 계	239	136	1,670	743	8	4
○ 대전광역시	○ 계	234	118	579	153	1	0
○ 울산광역시	○ 계	64	26	424	131	3	2
○ 경기도	○ 계	1,686	736	13,407	4,879	112	40
○ 강원도	○ 계	911	307	8,150	1,769	58	24
○ 충청북도	○ 계	1,404	793	3,969	1,801	47	19
○ 충청남도	○ 계	2,170	1,221	16,013	5,669	93	40
○ 전라북도	○ 계	897	525	8,427	3,616	63	39
○ 전라남도	○ 계	1,680	854	9,048	3,135	58	40
○ 경상북도	○ 계	2,261	1,107	15,432	7,933	69	37
○ 경상남도	○ 계	2,422	1,290	15,775	7,894	107	58
○ 제주특별자치도	○ 계	730	408	5,425	3,034	24	17

- 지난 2016년 1월 17일~25일 폭설로 인한 피해를 복구하기 위해 중앙재난안전대책본부는 대설 피해지역 복구비용으로 재산 피해액 18,507백만원 중 14,043백만원을 심의, 의결함. 1.23~25 기간 중 적설심이 고창 해리면 43cm, 제주 조천읍 51.3cm로 많은 강설이 피해의 주요 원인. 총 비닐하우스 피해면적 122.87ha중 고창 30%(36.64ha), 제주 26%(31.38ha) 피해 차지.

(단위 : 백만원)

시도	시군구	우심 구분	복 구 비			비 고
			계	공공시설	사유시설	
<b>계</b>	<b>38개</b>	<b>2개</b>	<b>14,043</b>	<b>5,791</b>	<b>8,252</b>	
인천	1	-	36	-	36	
광주	4	-	280	251	29	
충남	6	-	1,216	1,009	207	
전북	11	1	3,951	1,157	2,794	
전남	12	-	3,648	1,721	1,927	
경북	4	-	656	572	84	
제주		1	4,256	1,081	3,175	

<그림 11> 대설 피해지역 시도별 복구비

<표 4> 2004~2013년 연도별 대설피해 복구비 현황

[단위 : 백만원]

	2004년	2005년	2006년	2007년	2008년	2009년	2010년	2011년	2012년	2013년	합계
대설	883,213	760,383	2,461	2,743	1,283	5,189	25,701	29,522	8,543	4,203	1,723,246

<표 5> 2004~2013년 시도별 대설피해 복구비 현황

[단위 : 백만원]

	서울	부산	인천	광주	대전	강원	충북	충남	전북	전남	경북
대설피해 복구비	304	14,124	359	40,562	82,206	30,101	282,544	463,996	325,394	342,711	113,370

- 2004년부터 2013년 대설피해 복구비 현황을 살펴보면 지역별 차이가 있으나, 10년간 최대 4,000억여원의 피해 복구비가 지원되었음. 설해예방 기능성 비닐하우스피복소재의 개발 효과로 비닐하우스의 폭설피해를 예방하면 농민 피해를 줄일 수 있고, 피해복구에 사용되는 국비절감 효과기대

(4) 동절기 난방비 절감을 위한 기능성 비닐하우스피복소재 개발의 필요성

- 겨울철 시설하우스 농민들이 호소하는 가장 큰 애로사항은 무엇보다 판매금액의 50~60%에 이르는 연료비임. 재배농가들은 경제적 부담을 조금이라도 줄이려면 하우스 내부 온도를 낮출 수밖에 없음.
- 또 종자와 포장재 가격 등 생산성 자재가 10% 정도 올라 난방을 위해 부수적으로 설치하는 부직포 등 난방자재 설치를 꺼리면서 상품의 품질저하로 이어짐.



<그림 12> 면세유류 경유 리터당 가격 변동 (\*농협중앙회)

- 경상북도는 고유가로 어려움을 겪고 있는 하우스 시설원예농가 9천666ha의 난방비 부담을 줄이기 위해 다겹보온커튼, 자동보온덮개, 목재펠릿난방기, 지열난방시설 등 에너지절감시설 설치를 위해 2011년과 2012년에 걸쳐 국비 149억원 등 총 525억원을 지원.
- 땅속 지열을 이용한 “지열난방시설”은 기존의 경유난방에 비해 70~80%의 난방비 절감 효과가 있지만 설치비용이 ha당 농가부담 3억원 정도 소요돼 어려움이 있으나 파프리카, 토마토, 오이 등 고소득 작물 재배농가 위주로 설치가 증가.
- 최근 적외선램프를 이용한 난방시스템도 적용됨.



<그림 13> 김해시 진례면 시온장미원의 적외선램프 설치 비닐하우스난방

<표 6> 난방 방식별 장미 비닐하우스 난방비 비교 (\*장미특화작목산학연합력단)

	나노탄소섬유 적외선등 설치 농가	전기히터-기존제품 설치농가	온수 보일러 난방 설치 농가
입사용량	4,900 kw	7,500 kw	1,000 L
월사용량	147,000 kw	225,000 kw	30,000 L
단가(원)	26.3 /kw·h (농가용 '울')	36.4 /kw·h (농가용 '병')	665 /L (연세유)
월사용요금(원)	128,870원 x 30 일	273,000원 x 30 일	665,000원 x 30 일
부가세 포함 요금(원)	= 3,866,100 4,952,710	= 8,190,000 9,859,000	= 19,950,000 19,950,000
난방비 절감율(%)	75.2	50.6	대조구(0)
환경	8,250 m <sup>2</sup> 온실 기준; 설정온도 18~20℃, 외부기온 -8℃ 내외		

장미특화작목산학연합력단 

- 기능성 비닐하우스피복소재는 근적외선 흡수 기능으로 뛰어난 단열소재의 특성으로 인해 내부의 열이 외부로 방출되는 양을 줄일 수 있어서 동절기 하우스 내부 난방효율 상승으로 인한 난방비 절감효과 기대. 따라서 동절기 하우스 난방비 절감을 위하여 보온성이 뛰어난 기능성 비닐하우스피복소재의 개발 필요.

(5) 고유연성, 고투광성 발열필름 제조장비 및 생산기술 개발 필요성

- 현재 범용적으로 사용되는 플라스틱 필름 생산방법인 롤투롤 도핑방법은 롤투롤 공정을 이용하여 도펀트를 포함하는 도핑 용액 또는 도펀트 증기 내로 통과하도록 함으로써 필름을 도핑하는 방법.
- 하지만 롤투롤 방법은 성분, 형상, 크기 및 필름의 종류, 두께 정도 등의 차이로 인해 필름에 균일하게 도핑 되지 않음. 도핑 용액이나 도펀트 증기를 통과하고 바로 건조가 되지 않기 때문에 도핑 용액의 손실이 있음. 또한 생산된 필름에 스크래치나 주름 등 불량 이 생길 수 있음.
- 반면 플라스틱 비닐 원료와 코팅액을 농축, 분산시켜서 pellet 형태로 만들어서 비닐을 뽑는 master batch 방법으로 비닐을 생산 시 물성에 미치는 영향이 적고, 취급이 용이하며, 비오염성, 계량성이 우수함.
- 기본원료와 master batch의 혼합비율은 100:3~100:5가 주류이나, 필요에 따라 100:0.3까지 혼합 할 수 있도록 개발되어 있어 다양한 목적으로 사용이 가능함.
- 롤투롤 방법과 다르게 코팅액이 균일하게 분산 되어있고 용액의 손실도 적음. 기존 생산 방식으로 비닐을 생산 할 수 있어서 추가적인 생산 설비비용이 들지 않음.

### 1-3. 연구개발 범위

연구 범위	연구수행방법 (이론적·실험적 접근방법)	구체적인 내용
나노 탄소 복합체 선정	유기·무기 나노소재 연구	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 적외선 흡수 유기·무기 나노소재의 합성기술 연구</li> <li>- 나노 탄소 복합체용 고분자 선정을 위한 용매 및 소재 분산도 연구</li> <li>- CNT와 Graphite등 탄소 소재와 나노소재 비율에 따른 효과 연구</li> </ul>
	나노 탄소 복합체 발열필름소재 용액 제조	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 유기용매의 변화 및 비율의 변화에 따른 분산성 비교</li> <li>- 유기성분, 무기성분, 용매시스템, 등으로 구성된 최적화 제조법 연구</li> </ul>
나노 탄소 복합소재 처리 공정 연구	나노 탄소 복합체 필름 생산라인 개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 나노 탄소 복합체 필름 생산라인 디자인 및 기초 설계</li> </ul>
	나노 탄소 복합체 코팅용액, Master batch chip 생산	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 나노 탄소 복합체 농도 (250ppm, 500ppm)별 시험용 Chip제작 및 Disc제작</li> </ul>
나노 탄소 복합체 코팅제 기능성 분석 및 농가 섭외	농가 현장검증을 위한 농가 섭외 및 비닐하우스 코팅 준비	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 나노 탄소 복합체 코팅용액을 이용하여 일산 동국대학교 농장 비닐하우스에 코팅 실시</li> <li>- 코팅 비닐하우스와 일반 비닐하우스의 환경, 작물재배 및 생산성 연구 및 현장 검증 준비</li> <li>- 제설효과 검증을 위한 현장 평가 지역 연구 (강원도 횡성, 정읍 등)</li> </ul>
	나노 탄소 복합체 물성 평가 기법 구축	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 자외선 흡수율 연구</li> <li>- 광투과율 연구</li> </ul>
	비닐하우스 내 작물 재배 및 생산성 평가 연구	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 엽채류 대상 동절기 무가온 하우스 (코팅 및 일반 비닐하우스) 내 작물 재배 및 생육 조사</li> <li>- 대상 작물: 상추 (아삭이상추 및 꽃상추), 부추</li> </ul>

## 2. 연구수행 내용 및 결과

### 1) 나노 탄소 복합체 선정

#### (1) 적외선 흡수 유기, 무기 나노소재의 합성기술 연구

- 제 1세부 NCT 에서는 비닐하우스 설해 예방을 위한 적외선 흡수 소재에 대한 연구를 진행 할 예정. 논문, 특허등 문헌조사를 통해 나노 소재군을 설정하고 이 중 적외선 흡수 특성을 가진 소재에 대한 합성 방법을 연구 진행.
- 현재 고려되고 있는 나노 소재는 적외선 흡수 특성을 보이는 ATO, ITO 및 WO, FeO 등 다양한 소재들을 검토 중에 있으며 또한 이 소재군들의 나노입자를 만들기 위한 합성법을 연구 중. 1차년도 ATO 소재를 대상으로 줄-겔 합성방법을 진행하였고 각 나노 소재에 맞는 합성방법의 확립에 대한 연구.

#### (2) 나노 탄소 복합체용 고분자 선정을 위한 용매 및 소재 분산도 연구

- 나노소재를 이용한 코팅용액 및 비닐소재를 만들기 위해 그 과정에서 필요한 용매의 선정이 필요함. 현재 사용되고 있는 유기용매는 극성도, 점도, 탁도 등 다양한 분류로 나뉘져 있고 이에 따라 다양한 실험을 통해 용매 선정이 필요함. 본 연구 수행을 위해 나노 탄소 복합체용 나노소재에 필요한 고분자의 용해도, 탁도를 분석하여 1차 분류를 진행하고 이후 용매의 비율에 따른 용해도 검증을 통해 최종 조성 결정.
- 최종 선정된 용매를 이용하여 기초 고분자 용액을 제조 한 후, 나노 탄소 복합체와 결합하여 소재의 분산정도를 측정해야 함. 나노 소재의 경우 매우 작은 단위로 이루어진 탄소 복합체로 잘 분산이 될 경우, 높은 투명도를 보이며 소재의 특성을 갖게 되지만 나노 단위의 특성상 소재간의 뭉침이 쉽게 발생 할 수 있음. 현재 실험을 진행중인 ATO 를 이용하여 코팅 용액을 제조 후 이를 SEM을 이용하여 입자 크기 및 분산도를 확인.

#### (3) CNT와 Graphite등 탄소 소재와 나노소재 비율에 따른 효과 연구

- 본 연구에서 사용하게 될 탄소 소재는 Carbon nano tube, Graphite, Graphine oxide 등 탄소 나노 소재들 임. 이 탄소 소재와 복합체로 사용 되어 질 ATO, ITO, WO등의 소재를 이용해 탄소 나노 복합체를 만들 예정. 이러한 복합체의 경우 단순 Mixing 방법으로 쉽게 제조 되는 경우도 있지만 보통 고온의 열을 가하는 Furnace를 이용해 합성 됨.
- 나노 소재와 탄소 소재의 비율에 따른 탄소 나노 복합체를 제조하여 코팅액을 제조하고 이 코팅액을 이용해 IR, UV등 광화학적 특성과 열적 특성을 분석하여 최적의 나노 탄소 복합체 비율 확인.

## 2) 비닐하우스 내 작물 재배 및 생산성 평가 연구

- (1) 엽채류 대상 동절기 무가온 하우스(코팅 및 일반 비닐하우스)내 작물 재배 및 생육 조사
- 본 연구 수행을 위해 동국대학교 바이오자원생태농장 (경기도 고양시 일산동구 식사동 1022-1)에 위치한 소형 하우스 2동의 비닐 (장수비닐)을 교체 후 1동에 대하여 나노 복합체 스프레이 코팅을 진행하였으며, 완전히 건조 후 작물 생육 평가를 수행함.
  - 나노 복합체 코팅 처리가 엽채류 작물 생육 및 동절기 무가온 비닐하우스 내 생산성에 미치는 영향을 확인하기 위해 상추 2종 (아삭이상추 및 꽃상추)과 부추를 모종시장 (갑조네)에서 구입하여 본 연구에 사용함.
  - 동절기 무가온 비닐하우스에서의 작물 재배를 위해 지름 490mm 및 높이 365 mm 규격의 원형 화분을 사용하였으며, 흙과 상토 (식물세계)의 비율은 1:1, 퇴비 (청용비료)는 이의 1/10을 넣어 재배를 위한 토양을 제작함.
  - 또한 동절기 토양 동해 방지와 온도 및 습도 유지를 위해 모종 이식 후 코코화이버를 이용하여 멀칭하였고, 상추 모종은 화분 한 구당 4 개체 씩 이식하여 주차별로 생육을 관찰 중 (일반적으로 4주)이나 생육 상태에 따라 조사 일정을 조정할 계획임.



<그림 14> 엽채류 모종 화분 이식 사진 (멀칭재 포함)

(A) 아삭이상추, (B) 꽃상추, (C) 부추

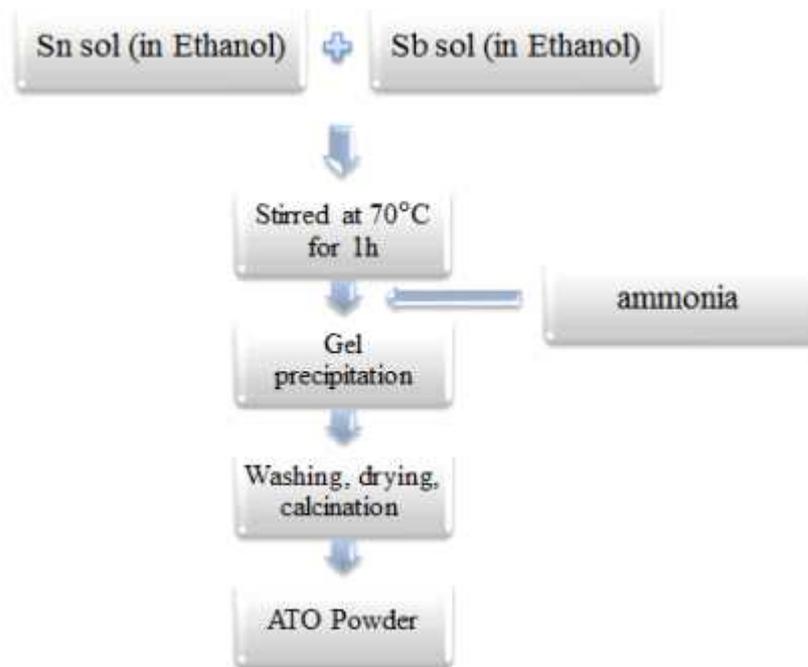
- 부추의 경우 작물 생육 특성 상 동절기 동안 생육 상태에 따라 조사 일정 조정 또는 대상 작물 교체를 진행.
- 상추 생육조사항목: 엽수 (매), 엽장 (cm), 엽폭 (cm), 생체중 (g), 엽 생체중 (g)
- 부추 생육조사항목: 초장 (cm), 엽수 (매), 경수 (개/주), 생체중 (g)
- 최종 수집된 데이터는 IBM SPSS (Statistical Package for the Social Sciences, SPSS Inc., Chicago, IL) 통계 프로그램을 이용하여 t-test ( $p=0.05$ )를 수행하여 처리 간 유의 차를 확인.

### 3) 1세부

#### (1) 시설원에 설해방지용 발열필름 소재 생산 및 최종 formulation 선정

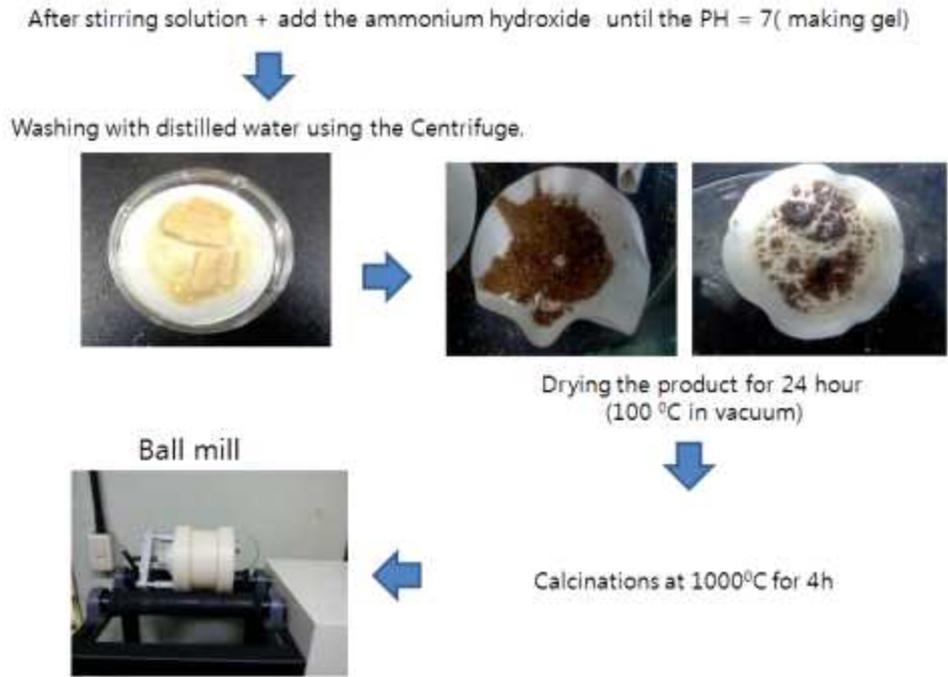
##### ① 나노 탄소 복합체 발열필름 소재, 코팅 용액 제조

- 적합한 나노 탄소 복합체 선정을 위한 실험 진행을 위해 탄소 계열 (CNT, graphene, graphite), 나노 무기물 (ATO, ITO, WO<sub>x</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), 고분자 (PE, PO, PVA, PC, ephichloro hydrin) 등을 이용하여 연구 진행



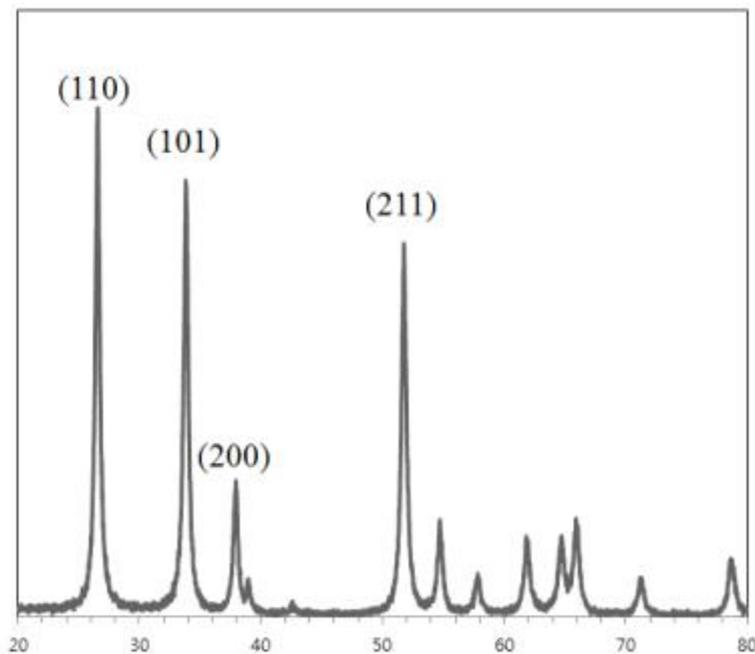
<그림 15> 근적외선 흡수 ATO 나노소재 합성 flow chart

- 근적외선 흡수 ATO 나노소재를 합성하기 위하여 Sn sol(Tin sol)과 Sb sol(Antimony sol)을 교반 시킨 후, NH<sub>4</sub>OH(Ammonia)를 가하여 gelation된 ATO cake를 형성하고, 1000℃에서 calcination하고, Ball mill로 분쇄하여 푸른색의 ATO powder를 얻음.



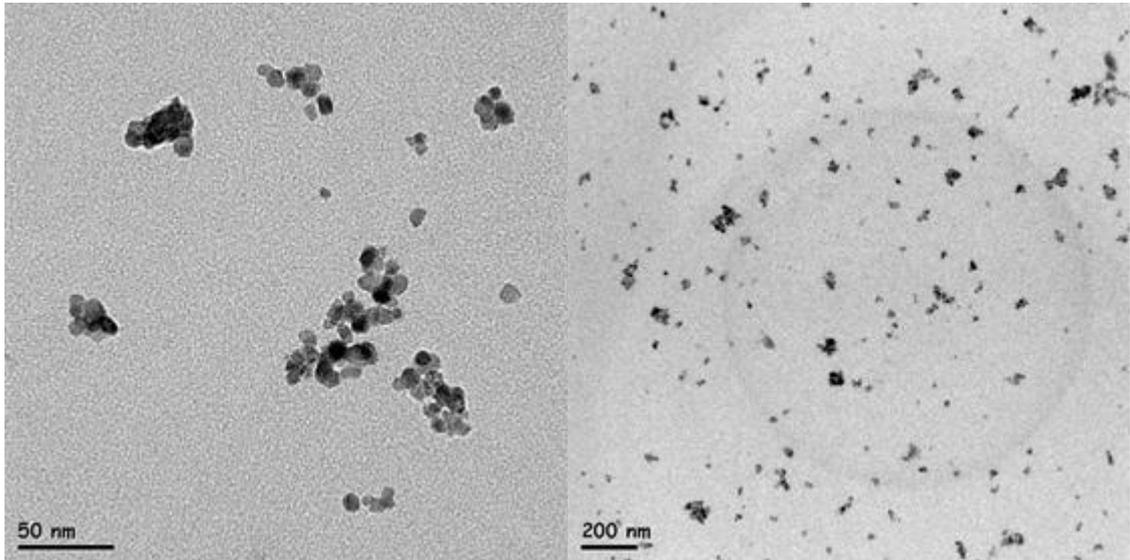
<그림 16> ATO 나노소재 합성 단계별 진행 결과

- 합성한 ATO 나노소재의 XRD 측정 결과, (110), (101), (200), (211) peak을 통해 ATO가 합성되었음을 확인. (JCPDS) (110) peak를 scherrer식으로 계산하여 ATO particle의 크기가 19.9 nm 임을 확인.



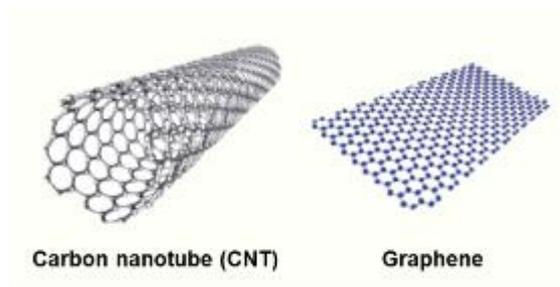
<그림 17> 근적외선 흡수 ATO 나노소재 XRD 측정

- 합성한 ATO 나노소재의 TEM을 측정한 결과 10~20 nm 크기의 particle이 만들어진 것을 확인.



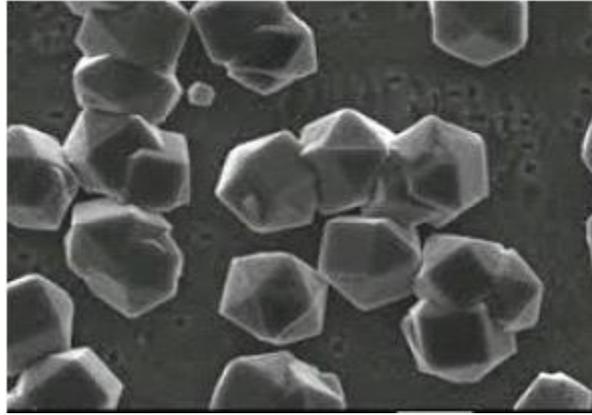
<그림 18> 합성된 ATO 나노소재 TEM 측정

- 나노 탄소 복합체에 사용되는 탄소계열 물질을 선정하기 위해 다양한 물질을 사용함. 일반적으로 사용되는 Carbon nanotube (CNT), Graphene, graphite을 연구. CNT는 Graphene으로 구성되어 한 층으로 이루어져있고 반데르발스 힘에 의해 여러 가닥이 뭉쳐 로프형태로 정렬되는 경우가 많음. 탄소계열 물질을 중량비로 base 코팅액에 분산시켜 연구를 진행함.



<그림 19> 나노 탄소계열 물질

- 또한 탄소물질로서 현재 각광받고 있는 나노 다이아몬드를 사용하여 연구를 진행. 나노 다이아몬드는 탄소, 질소, 수소 및 산소로 이루어진 물질로 높은 빛 투과성, 화학적 안정성, 생체적합성을 갖고 있는 물질이다. 최근 나노기술의 비약적인 발전으로 다양한 연구 분야에서 각광받고 있는 나노 다이아몬드를 나노 탄소 복합체에 사용하여 발열필름 연구를 진행함.



<그림 20> 나노 다이아몬드

② 나노 탄소소재 코팅액 제조

- 나노 탄소소재용 비닐제조를 위해서는 비닐 제조시 사용되는 비드에 첨가하는 방향으로 연구가 진행되어야 함. 이를 쉽게 적용시키기 위해 고분자계열과 잘 혼합되는 코팅액을 제조하여 이를 비드제조에 넣는 것이 가장 바람직 함.
- 나노 탄소소재의 분산과 상온경화가 가능한 silane base의 코팅액을 제조하기 위하여, 첨가하는 silane의 비율, 유기용매의 종류, 개시제의 종류 등을 조절하여 silane base 코팅액을 제조함.

**IR coating binder (Silane base)**

Phenyltrimethoxysilane : Tetramethoxysiloxane ( 1 : 1 )	30g(wt)
H <sub>2</sub> O	5g
Boric acid	1g
Dibutylthindilaurate	2g

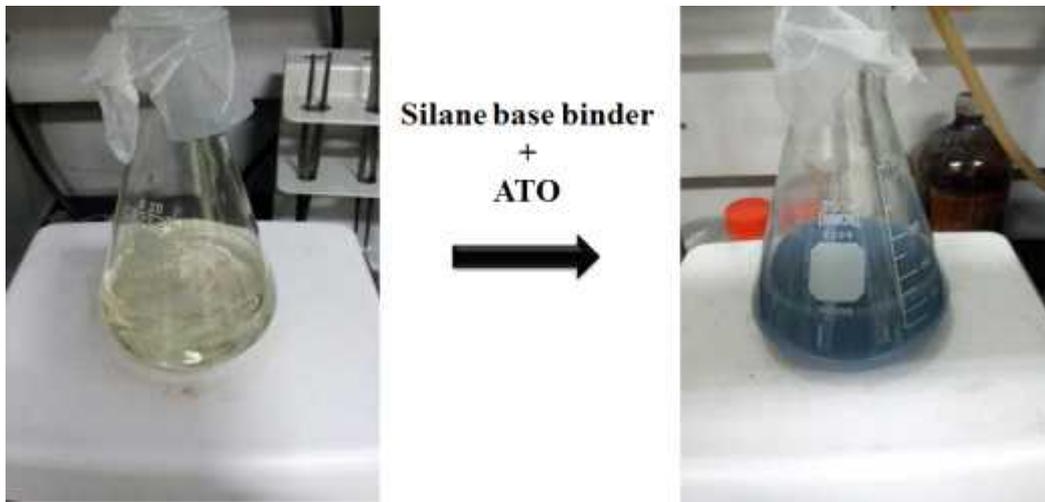
(Mixing for 1h at RT) ↓

3-gloxydoxyprophylene trimethoxysilane	20%
Bisphenol A epoxy resin	10%
Ethylene glycol monopropylether	20%

(Mixing for 30min at RT) →

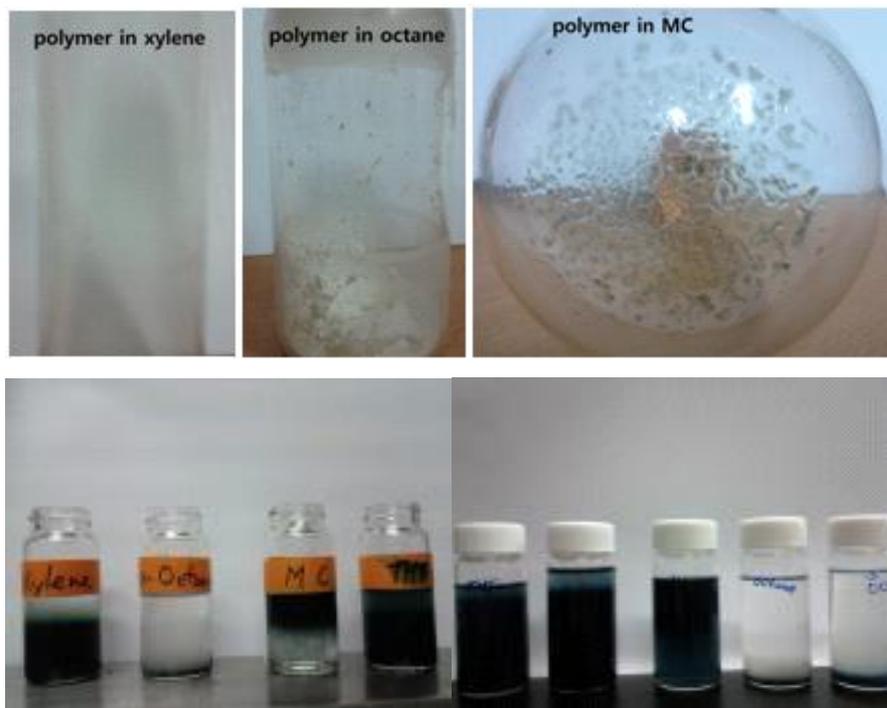


Coating 원액 제조



<그림 21> 근적외선 흡수 나노소재 Silane base 코팅액

- 유기용매의 변화 및 비율의 변화에 따른 분산성 비교



<그림 22> 유기용제별 고분자 분산성 시험

- 나노 탄소소재의 분산과 상온경화가 가능한 urethane base의 코팅액을 제조하기 위하여 양이온성 urethane 코팅액, 음이온성 urethane 코팅액, 중성 urethane 코팅액 등을 제조하고, 분산 안정성을 테스트함.



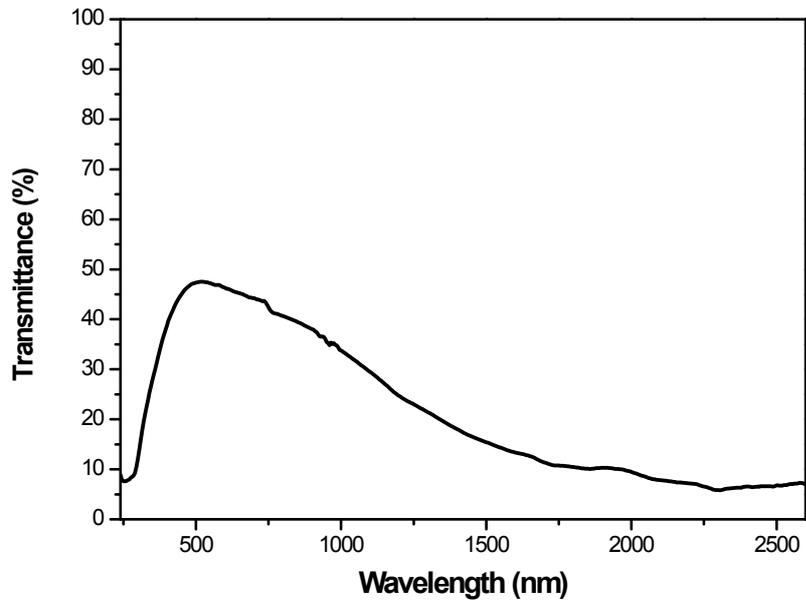
<그림 23> 근적외선 흡수 나노소재 Urethane base 코팅액 및 분산 안전성 테스트

- 비닐 생산용 비드 제조에 있어서 다양한 조건이 필요하지만 이중 가장 필요한 조건은 비드 제조시에 고분자내에 잘 분산이 되어야 하고, 비드 제조시 적용되는 고온 고압에 영향을 받아 공정에 악영향을 끼치지 않아야 함. 이와 같은 조건을 만족시키기 위해 Polybisphenol 계열을 사용하여 코팅액을 제조함. 또한 Polybisphenol 계열의 경우 상온 경화가 가능하고 투명하여 비드 제조에 탁월하고 나노, 탄소 소재의 분산이 용이하다는 장점이 있어 분산 안전성 테스트를 진행하였음.

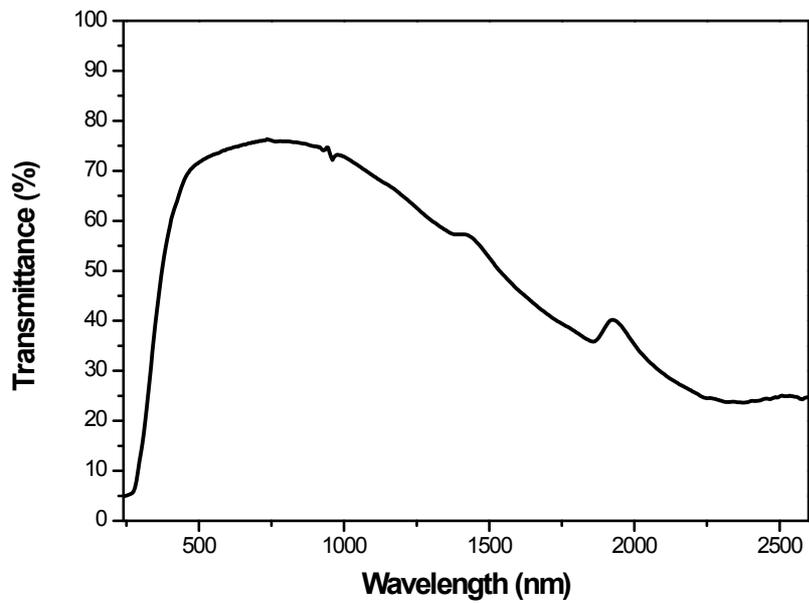


<그림 24> Polybisphenol base 나노 탄소소재 분산성 시험

- ③ 근적외선 (800~2600 nm)영역의 열선을 흡수하여 발열하는 나노 탄소소재 개발
  - 나노 탄소소재의 구성 성분의 다양한 조성비에 따른 근적외선 흡수 변화를 관찰하기 위하여, UV-Vis-NIR spectroscopy 측정
  - ATO의 조성을 조절하기 위하여 Sb와 Sn의 비율을 1:9, 2:8, 3:7, 4:6, 5:5의 비율로 변화시켜 합성한 ATO를 UV-Vis-NIR spectroscopy로 측정한 결과, Sb : Sn 비율을 3:7로 합성한 ATO의 결과가 가장 뛰어난 자외선 흡수, 가시광선 투과, 근적외선 흡수의 결과를 보임.



<그림 25> Sb : Sn 비율을 1 : 9로 합성한 ATO의 UV-Vis-NIR spectrum



<그림 26> Sb : Sn 비율을 3 : 7로 합성한 ATO의 UV-Vis-NIR spectrum

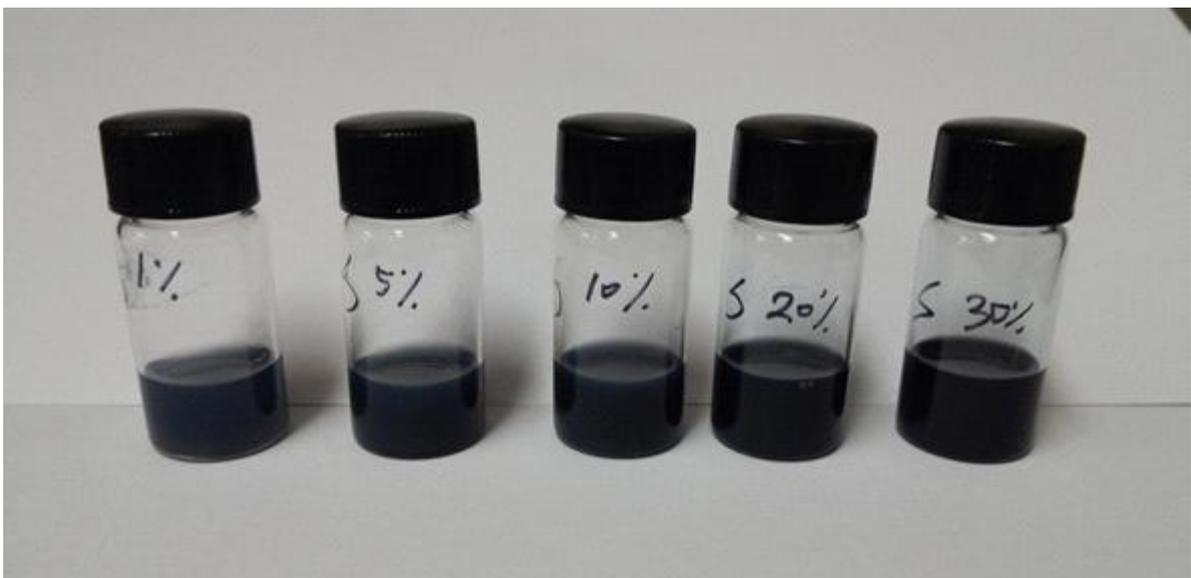
(2) 나노 탄소 복합체 발열필름소재용 코팅용액 조성 확립

- 앞서 이루어진 용매, 고분자간의 분산도 실험을 진행하여 최종 후보군을 선택 함. 최종 선택에 영향을 미친 요소들은 다음과 같다. 나노 탄소소재, 나노 무기소재의 분산에 악영향을 주지 말아야 하며, 최종적으로 필름제작에 있어서 제품 사출시 악영향을 끼치지 않아야 함. 이러한 요소들을 고려하여 최종후보군을 아래의 표와 같이 선정.

<표 7> 다양한 종류의 Polymer를 이용한 분산도 실험

1. Poly bisphenol A co epichloro hydrin	고체
2. Bisphenol A glycerolate	액체
3. Polystyrene	고체
4. Polyethyleneimine	액체
5. Polyvinyl chloride	고체
6. Polyvinylpyrrolidone	고체
7. Polycarbonate	고체

- 선정된 7가지 Polymer를 Base로 설정하고 ATO와 나노 탄소소재를 이용하여 코팅용액을 제조. 제조된 나노 탄소 복합체 코팅용액은 유리에 코팅을 하여 온도차이를 통해 효과를 검증하였고 그 효과를 통해 최종 나노 탄소 복합체 코팅용액 조성을 설정.



<그림 27> 나노 탄소 복합소재 코팅용액 제조

- 그 결과 ATO와 나노 탄소소재를 5 wt% 사용하였을 때 가장 효과적인 온도차를 확인. 표 2를 살펴보면 10 wt%를 사용했을 때 가장 큰 온도차이를 확인할 수 있지만 그 차이가 매우 적고 코팅을 진행했을시 표면의 투과도를 고려했을 때 가장 적합한 농도는 5 wt%의 나노 탄소 복합체가 들어갔을 때로 확인 됨.



<그림 28> 나노 탄소 복합체 코팅성능 장치

<표 8> 나노 탄소 복합 코팅용액의 성능 비교

	Reference	3 wt% 복합체	5 wt% 복합체	7 wt% 복합체	10 wt% 복합체
시작온도 (°C)	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0
1시간 후 아래 공간 온도 (°C)	55.6	53.2	50.8	50.7	51.1
차이 (°C)	-	2.4	4.8	4.9	4.5

(3) 나노 탄소 복합체 발열필름 코팅용액 및 필름의 물성 검증

①가시광선 투과율 평가

• 나노 탄소 복합체 코팅제의 가시광선 투과율이 목표치인 투과율 60%보다 높은 72.86%인 것을 확인함.

- 가시광선 영역의 광투과율은 식물 생육에 필수적임. 가시광선 영역에서도 청색과 적색 파장의 빛은 식물이 광합성을 위한 엽록소가 흡수하는 파장의 빛이므로 가시광선 투과율이 높을수록 긍정적 요소로 작용함.
- 나노 탄소 코팅제의 가시광선 투과율을 측정하기 위하여, 나노 탄소 코팅제 시료를 UV-Vis-NIR spectroscopy로 측정하여 400~800 nm 파장의 가시광선 투과율 계산. 가시광선 파장 중 430~470 nm의 청색 파장과 620~670 nm의 적색 파장의 투과율 계산.

<표 9> 나노 탄소 복합체 코팅용액의 가시광선 투과율

파장	투과율
가시광선 (400~800 nm)	72.86 %
청색 (430~470 nm)	68.00 %
적색 (620~670 nm)	75.08 %

- 나노 탄소 복합체 코팅용액의 가시광선 투과율이 73.64%인 것을 확인함. 가시광선 파장 중 청색과 적색 파장의 투과율이 68.00%와 75.08%인 것을 확인함. 이는 가시광선 투과율 목표치인 60% 보다 월등히 높은 값으로 비교적 우수한 성능으로 판단됨.

②자외선 차단율 평가

• 나노 탄소 복합체 코팅용액의 자외선 차단율이 목표치인 차단율 70% 보다 높은 73.64%인 것을 확인함.

- 자외선 영역의 빛은 식물에 광스트레스를 가하여, 식물 생육을 저해하고, 병을 발생시킴. 따라서 근적외선 흡수 기능성 코팅제의 자외선 차단율이 높을수록 긍정적 요소로 작용함.
- 나노 탄소 복합체 코팅용액의 자외선 흡수율을 측정하기 위하여, 나노 탄소 코팅제 시료를 UV-Vis-NIR spectroscopy로 측정하여 240~400 nm 파장의 자외선 흡수율 계산

<표 10> 나노 탄소 복합체 코팅용액의 자외선 투과율

파장	차단율
자외선 (240~400 nm)	73.64 %

- 나노 탄소 복합체 코팅용액의 자외선 차단율이 73.64%인 것을 확인함. 이는 자외선 차단율 목표치인 70% 보다 높은 값으로 비교적 우수한 성능으로 판단됨.

③근적외선 흡수율 평가

- 나노 탄소 복합체 코팅제의 근적외선 흡수율이 목표치인 60%에 근접한 53.96%인 것을 확인함.
- 근적외선 영역의 파장 흡수는 나노 탄소 코팅제 온실피복재에서 제설효과를 갖기 위한 가장 중요한 요소임. 근적외선 흡수율이 높을수록 근적외선 흡수 기능성 온실피복재의 제설효과에 긍정적 요소로 작용함.
- 나노 탄소 복합체 코팅용액의 근적외선 흡수율을 측정하기 위하여, 나노 탄소 복합체 코팅용액 시료를 UV-Vis-NIR spectroscopy로 측정하여 800~2600 nm 파장의 근적외선 흡수율 계산

<표 11> 나노 탄소 복합체 코팅용액의 근적외선 흡수율

파장	흡수율
근적외선 (800~2600 nm)	53.96 %

- 나노 탄소 복합체 코팅용액의 근적외선 흡수율이 53.96%인 것을 확인함. 이는 근적외선 흡수율 목표치인 60%에 근접한 값으로 근적외선 흡수 능력을 확인함.

(4) 기능성 비닐하우스 시스템 개발

- 나노 탄소 복합체 코팅용액을 이용하여 만든 초기 시제품 필름을 이용하여 일산 동국대학교 농장에 비닐하우스 설치. <그림 29>를 보면 일반필름과 초기 시제품 필름의 색상은 같은 것을 확인함. 나노 탄소 복합체 코팅용액을 적용시켜 필름을 제조해도 제품의 색상이 변화가 없음을 확인. 이를 이용하여 두 비닐하우스에서 작물 성장 시 발생하는 유의미한 차이를 확인하는 연구를 진행하였음.

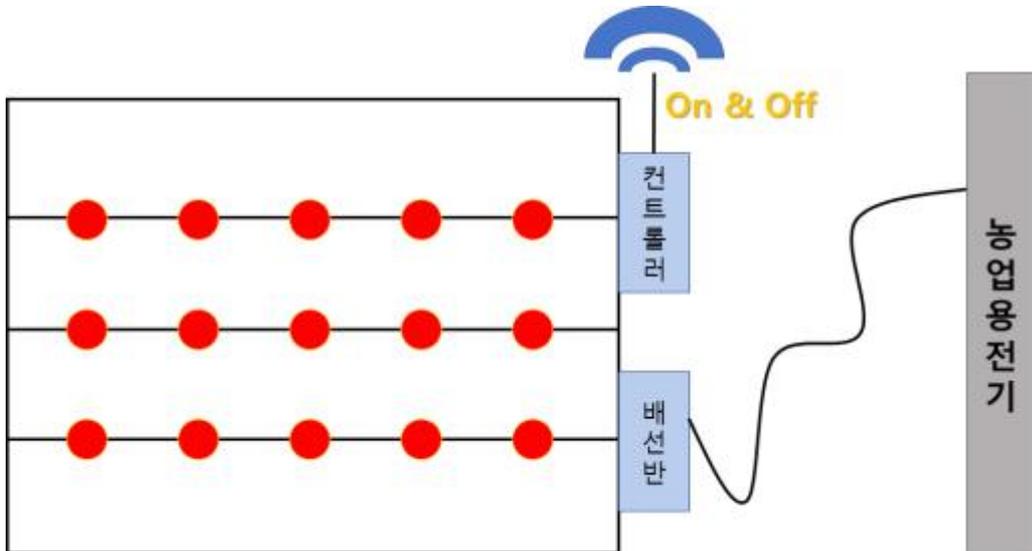


<그림 29> 일반필름 (좌)과 초기 시제품 필름 (우)



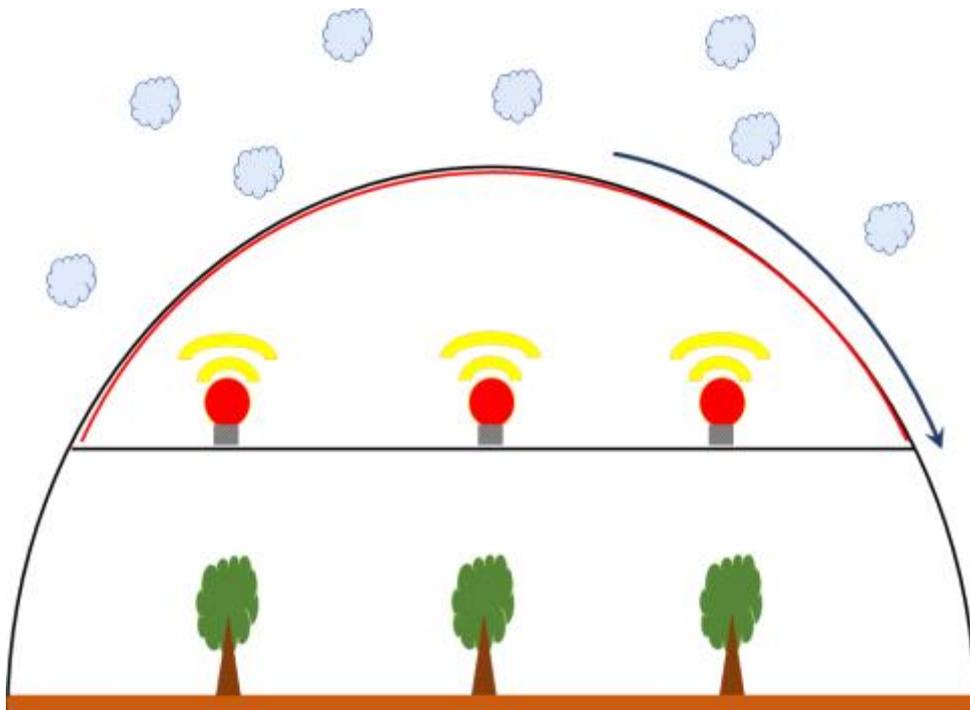
<그림 30> 일반 비닐하우스 (좌) 와 시제품 발열필름 비닐하우스 (우)

- 궁극적으로 발열필름 적용한 기능성 비닐하우스를 설치하기 위해서 기존의 비닐하우스와는 다른 시스템이 필요함. 발열필름은 태양광 내의 근적외선 파장을 흡수하여 발열하는 것으로 기본적인 기능요소는 태양광이지만 낮이 아닌 밤 또는 눈, 비가 내리는 상황에서는 그 효과가 감소 됨. 이러한 문제점을 해결하기 위해 기능성 비닐하우스 만의 시스템이 필요한 상황임.



<그림 31> 기능성 발열필름용 비닐하우스 모식도

- <그림 31>을 살펴보면 비닐하우스 내에 붉은색 빛을 띄는 적외선 전구를 설치함. 이는 태양광에서 흡수하게 되는 적외선을 인공적으로 제공해주기 위한 장치임. 비닐하우스 외부에 배선반을 달아 내부에서 사용하게 되는 전기에너지를 공급받는데 이는 하우스 근처에서 농업용 전기로 송전을 받아 오게 되고 이를 이용하여 비닐하우스를 덮고 있는 발열필름에 근적외선을 공급하여 기능을 가동 시킴. 또한 하우스 외부에 IoT 컨트롤러를 설치하여 하우스와 거주지의 거리가 떨어져 있더라도 원격으로 작동을 시킬 수 있는 시스템을 설치 할 수 있음.



<그림 32> 기능성 발열필름용 비닐하우스 작동 실시예 모식도

- 적설량이 높거나 순간적인 폭설이 내릴 때 기능성 발열필름 비닐하우스를 작동시키게 되면 <그림 32>과 같이 하우스 내에 있는 적외선 램프는 IoT 시스템에 의해 거주지에서 신호를 받아 점등이 됨. 점등된 램프에서 발생하는 적외선파는 하우스 상부로 향하게 되고 발열필름내의 나노 탄소 복합체 영향으로 표면온도가 상승하게 됨. 이는 하우스 상단 표면의 눈을 녹여 물로 만들고 눈과 함께 중력에 의해 비닐하우스 표면을 따라 떨어지게 되어 폭설에 의한 비닐하우스 붕괴 현상을 방지 할 수 있음. 또한 비닐하우스 내부의 온도를 보온 유지시켜 겨울철 작물의 생장에 큰 도움을 줄 수 있음.

#### (5) 기능성 비닐하우스 필드 테스트

- 연구개발 된 기능성 발열필름의 설해방지 테스트를 위해 필드 테스트를 진행함. 겨울철 강설량이 큰 전라북도 정읍 지역에 기능성 발열필름을 이용한 비닐하우스 (기능성 비닐하우스) 와 대조군 (일반 비닐하우스)의 설치를 진행.



<그림 33> 전라북도 정읍에 설치한 (A) 기능성 비닐하우스, (B) 일반 비닐하우스.

- 기능성 비닐하우스 (A)는 과제 수행결과로 얻어낸 데이터를 통해 하우스용 비닐과 접목시킨 후, 세진케미칼을 통해 시생산한 비닐로 제조. 일반 비닐하우스 (B)는 필드 테스트 진행 시 대조군의 역할로 세진케미칼에서 제조한 하우스용 비닐로 제조.

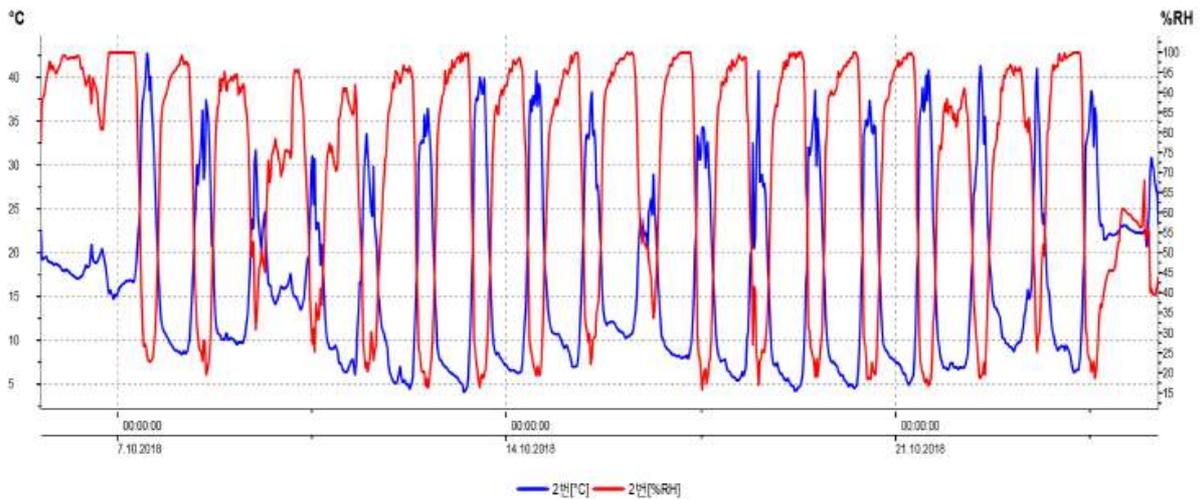


<그림 34> 기능성 및 일반 비닐하우스 간의 온,습도 측정을 위한 데이터 로거 설치

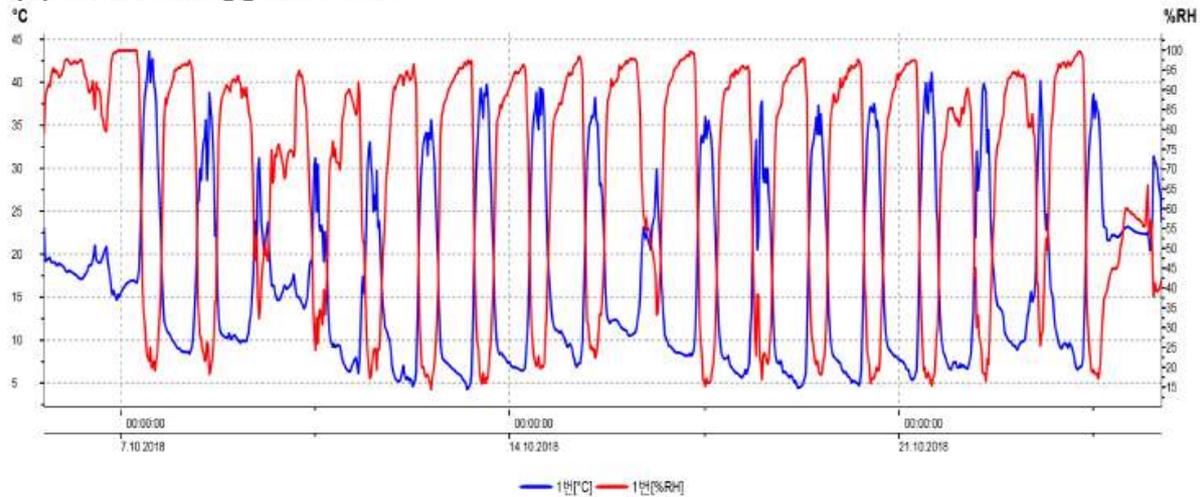
- 설해 예방 뿐만 아니라 전반적인 데이터를 얻기 위해 기능성 비닐하우스와 일반 비닐 하우스 내에 데이터 로거를 설치 함. 데이터 로거는 30분 간격으로 각각의 비닐 하우스 내부의 온도와 습도를 자동으로 측정한다. 데이터의 신뢰도를 높이기 위해 그림 20의 (A)와 같이 백엽상을 동일한 지역에 설치하여 외부 온도 및 습도 데이터를 얻었고, 하우스 내의 데이터 로거는 각 비닐 하우스의 가운데에 천장으로부터 1m 떨어진 곳에 설치함. <그림 35>는 정읍에서 얻은 일반 비닐하우스와 기능성 비닐하우스의 온습도 데이터.

(A) Normal vinyl greenhouse

2018.10.8-2018.10.24

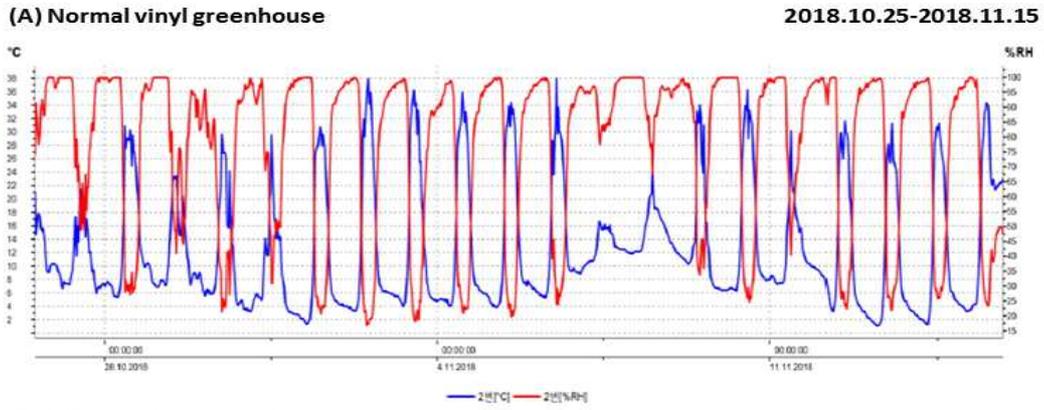


(B) NIR absorbing greenhouse

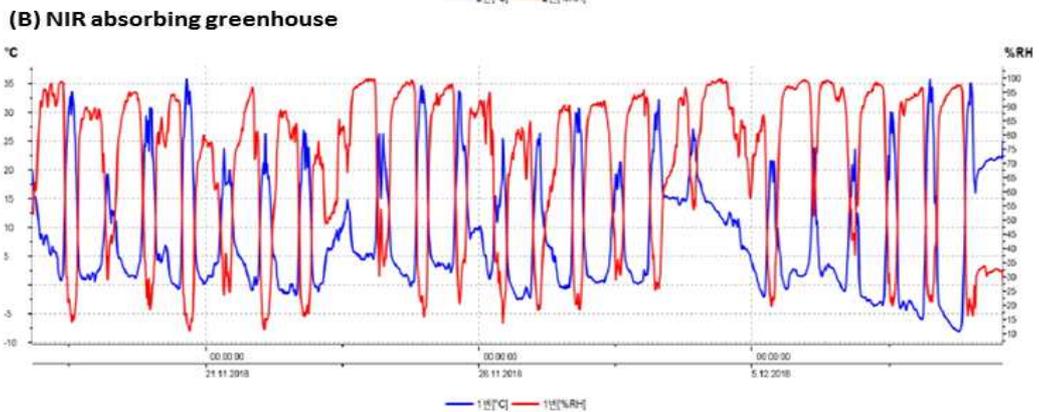
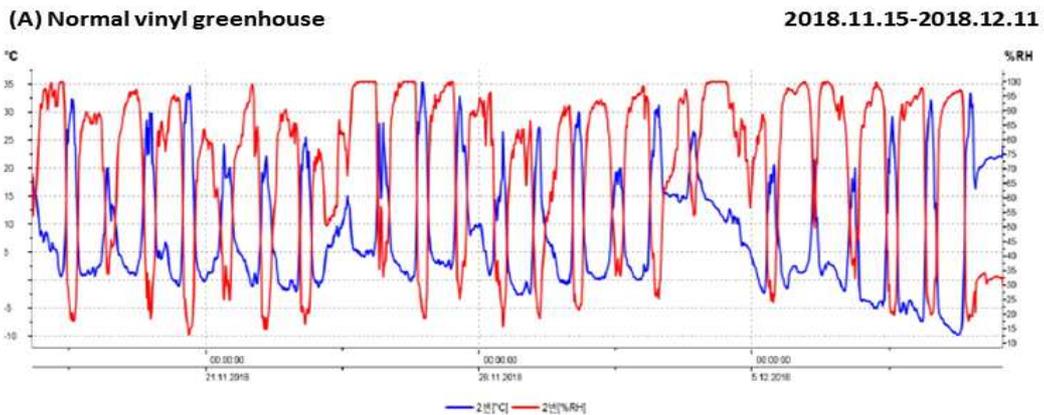


<그림 35> 일반 비닐하우스 (A)와 기능성 비닐하우스 (B)의 온습도 데이터 (정음)

- 2018년 10월 8일부터 24일까지의 하우스 내의 온습도 데이터를 도식화 함. 빨간색은 습도를 파란색은 온도를 나타내고 있음. 두 하우스의 온습도 데이터는 도표상으로 비슷하다고 볼 수 있지만 세부적으로 살펴보면 차이가 있음을 확인 할 수 있음. 일반 비닐하우스의 경우, 평균 최소 온도 4.1 °C 최대 온도 42.8 °C를 보이고 있는 반면 기능성 비닐하우스의 경우, 평균 최소 온도 4.3 °C 최대 온도 43.7 °C로 평균 최소온도의 경우 0.2 °C, 최대 온도 약 1 °C 정도 차이를 보이고 있음. 데이터 로거의 특성상 30분마다 온습도를 측정하기 때문에 데이터의 오차가 존재함. 해가 떨어진 이후 다음날 해가 뜨기 전까지 두 비닐하우스에 태양빛이 닿지 않기 때문에 장시간 온도가 떨어지고 이는 어떠한 외부적인 요인으로 하우스에 열에너지를 가하지 않았을 경우, 온도 평형이 이뤄지기 때문임. 이러한 환경적 요인으로 인해 데이터 보정이 필요함. 태양빛이 존재하는 낮시간으로 데이터를 수집하면 다음과 같은 결과를 얻을 수 있음.



<그림 36> 일반 비닐하우스 (A)와 기능성 비닐하우스 (B)의 온습도 데이터 (2018.11)



<그림 37> 일반 비닐하우스 (A)와 기능성 비닐하우스 (B)의 온습도 데이터 (2018.12)

- 2018년 10월 이후로 1달 간격으로 온습도 데이터를 수집해본 결과, 일반 비닐하우스와 기능성 비닐하우스의 온습도 동향은 <그림 35>에서 얻었던 온습도 데이터와 같은 경향을 보이는 것을 확인. 3개월의 데이터를 바탕으로 기능성 비닐하우스의 온습도 데이터는 경향성이 있음을 확인함.

<표 12> 일반 비닐하우스 (A) 와 기능성 비닐하우스 (B)의 온습도 보정 데이터 (정읍)

	일반 비닐하우스	기능성 비닐하우스	외부 (백엽상)
최저 온도 (°C)	9.1	9.1	8.7
최고 온도 (°C)	61.6	57.2	39.9
10:00-17:00 온도 평균 (°C)	38.41	37.75	27.07

- 해가 떨어진 뒤 밤부터 새벽까지의 데이터를 제거하고 해가 떠있는 시간의 온도 평균을 살펴보면 <표 12>과 같이 기능성 비닐하우스의 내부 온도가 일반 비닐하우스보다 약 4°C 정도 낮은 것을 확인 할 수 있음. 최저 온도의 경우 오전 10시까지 두 비닐하우스 내의 온도는 지난 밤과 새벽의 온도 평균이 유지되고 있음을 보여주고 그 이후 해가 떠서 하우스 내에 온도를 상승시킬 때 시간당 온도 상승 정도가 일반 비닐하우스보다 기능성 비닐하우스가 더 낮은 것으로 볼 수 있음. 이는 같은 열원 (태양빛)으로부터 에너지를 받아 기능성 비닐하우스 표면에서 에너지를 흡수하여 내부온도의 상승을 적절하게 조절할 수 있다고 추측 할 수 있음. 이를 검증하기 위해 각 하우스의 표면온도를 측정함.



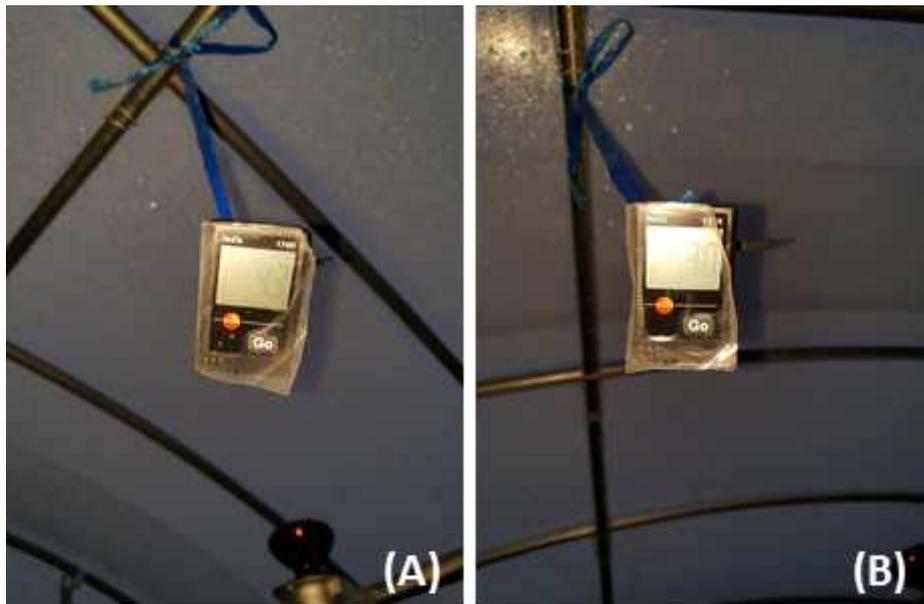
<그림 38> 기능성 비닐하우스 (A)와 일반 비닐하우스 (B)의 표면온도 측정

- 태양빛이 두 비닐하우스에 영향을 미치는 정오부터 30분 간격으로 각 비닐하우스 가운데 45도에 센서를 부착하여 표면온도를 측정함. 일반 비닐하우스와 기능성 비닐하우스의 표면 온도를 살펴보면 약 2~3 °C 정도 기능성 비닐하우스의 표면온도가 높은 것을 확인함. 다음의 결과를 조합하면 기능성 비닐하우스가 일반 비닐하우스에 비해 하우스 내부 온도는 낮고 비닐의 표면온도는 높아 태양빛으로부터 적외선을 흡수하여 낮시간 내리는 눈을 높아진 비닐하우스 표면온도를 통해 설해 피해를 예방 할 수 있음을 확인함.



<그림 39> 정읍 두 비닐하우스내에 적외선 램프 설치.

- 주간 실험 결과를 바탕으로 야간 실험을 진행하였다. 야간의 경우, 주간과는 달리 에너지원으로 태양광을 사용하는 대신 적외선 램프를 설치하여 기능성 비닐하우스의 설해 예방 기능을 활성화 함.



<그림 40> 야간 실험 전 기능성 비닐하우스 (A)와 일반 비닐하우스 (B)의 내부 온도

- 측정 전, 기능성 비닐하우스와 일반 비닐하우스의 내부 온도를 확인하였다. 적외선 램프를 사용하기 전 각 하우스의 내부온도는 기능성 비닐하우스가 일반 비닐하우스보다 약 1.5°C 높은 것을 확인함. 또한 저녁에 눈이 잠깐 내렸고 비닐하우스 외부 온도가 영하로 떨어져 두 비닐하우스 지붕에 눈과 얼음이 생성 됨. 이를 바탕으로 근적외선 램프를 이용한 기능성 비닐하우스의 설해 예방 가능성을 실험.

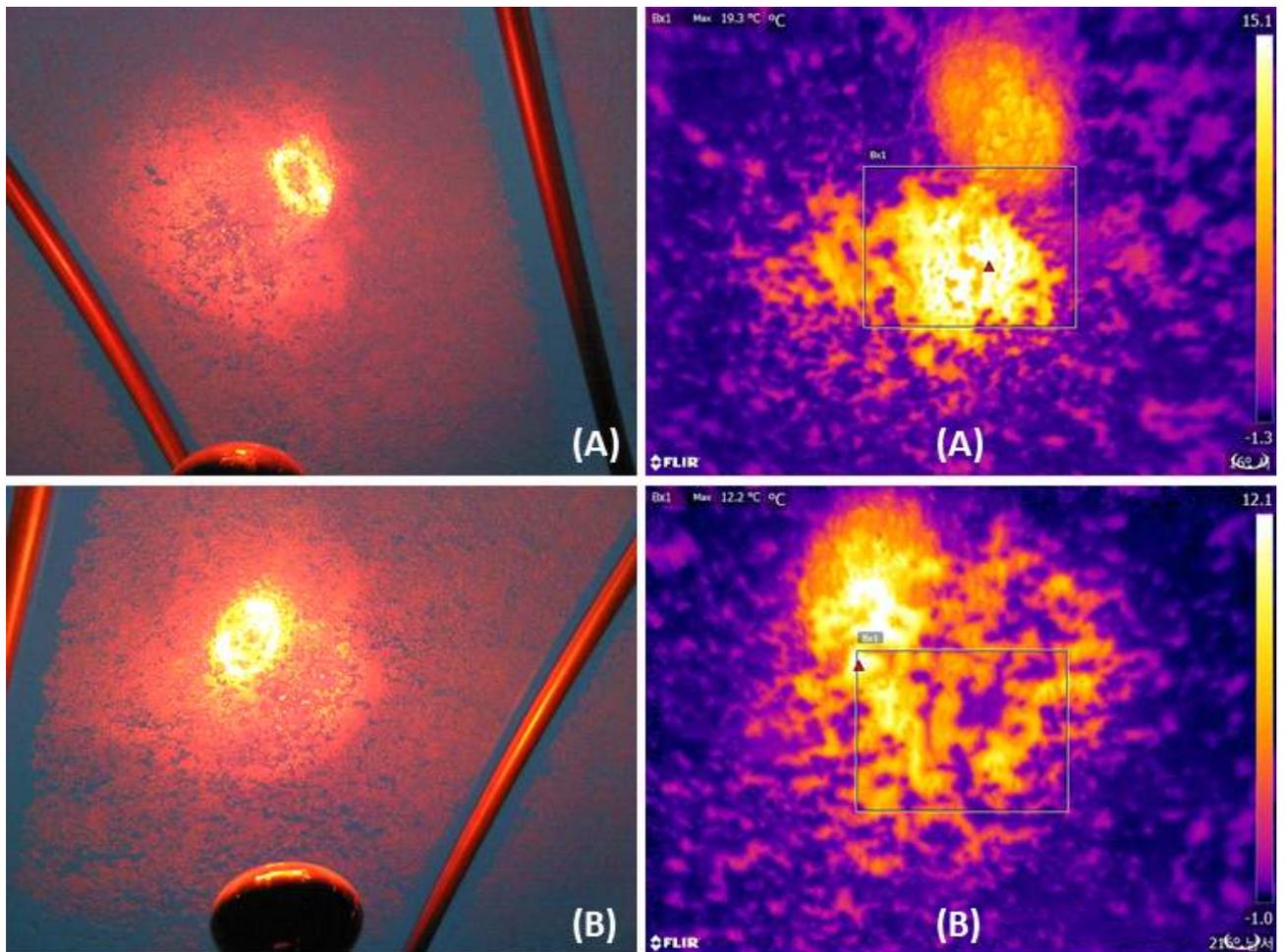


<그림 41> 적외선 램프를 작동시킨 비닐하우스 내부 (야간)



<그림 42> 적외선 램프 작동하에 기능성 비닐하우스 (A)와 일반 비닐하우스 (B)의 표면 상태

- 같은 근적외선 램프의 광원 동작 하에 두 비닐하우스의 표면상태는 큰 차이를 나타냄. 주간 실험했던 데이터를 고려해보면 야간의 적외선 램프하에서 비닐의 표면온도는 기능성 비닐하우스 표면온도가 일반 비닐하우스 표면온도보다 높게 나타남. 이를 바탕으로 비닐하우스를 덮고 있는 눈과 얼음들은 녹아내리기 시작함. <그림 40>은 적외선 램프를 작동시켜 실험을 진행한지 30분만에 나타난 두 비닐하우스의 표면 상태이다. 기능성 비닐하우스 (A)의 표면은 적외선 램프로부터 에너지를 받아 표면온도가 상승되어 표면의 눈과 얼음을 녹여 자연스럽게 눈과 얼음을 낙하시킴. 그러한 이유로 표면에 눈과 얼음은 상당부분 제거가 되어있는 상태임. 하지만 일반 비닐하우스 (B)의 경우, 적외선 램프를 사용했음에도 불구하고 표면의 눈과 얼음은 녹지 않아서 비닐하우스 표면에 적층되어 있다. 이러한 경우 장시간 폭설이 내린다면 비닐하우스 표면, 특히 지붕에 쌓인 눈의 무게를 버티지 못하고 비닐하우스가 무너져 설해 피해가 발생 하게 될 수 있음. 다음의 실험으로 야간의 설해 피해를 예방할 수 있는 기능성 비닐하우스의 필드 테스트 결과를 확인함.



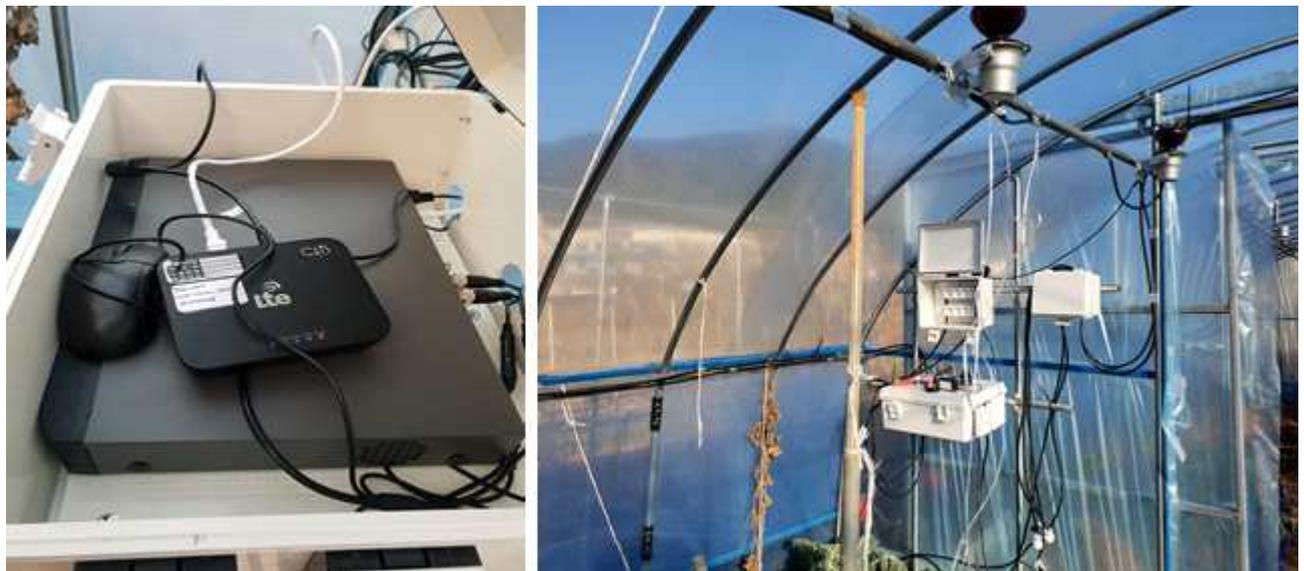
<그림 43> 기능성 비닐하우스 (A)와 일반 비닐하우스 (B)의 적외선 카메라 촬영

- 적외선 램프의 사용으로 표면온도 상황을 더 자세히 연구하기 위해 적외선 카메라로 기능성 비닐하우스와 일반 비닐하우스 표면을 촬영함. <그림 43>을 살펴보면 적외선 카메

라로 촬영한 사진에 최고 최저 온도 표시를 나타냄. 기능성 비닐하우스 (A)는 최고 온도 19.3°C를 나타내고 있지만 일반 비닐하우스의 경우 12.2°C를 나타내고 있음. 같은 적외선 램프에서 에너지를 받는 것을 감안한다면 기능성 비닐하우스와 일반 비닐하우스 표면의 온도차는 7°C 차이를 보이고 있음. 이 표면온도 차이로 인해 표면의 눈과 얼음을 녹여 설해를 예방 할 수 있음.

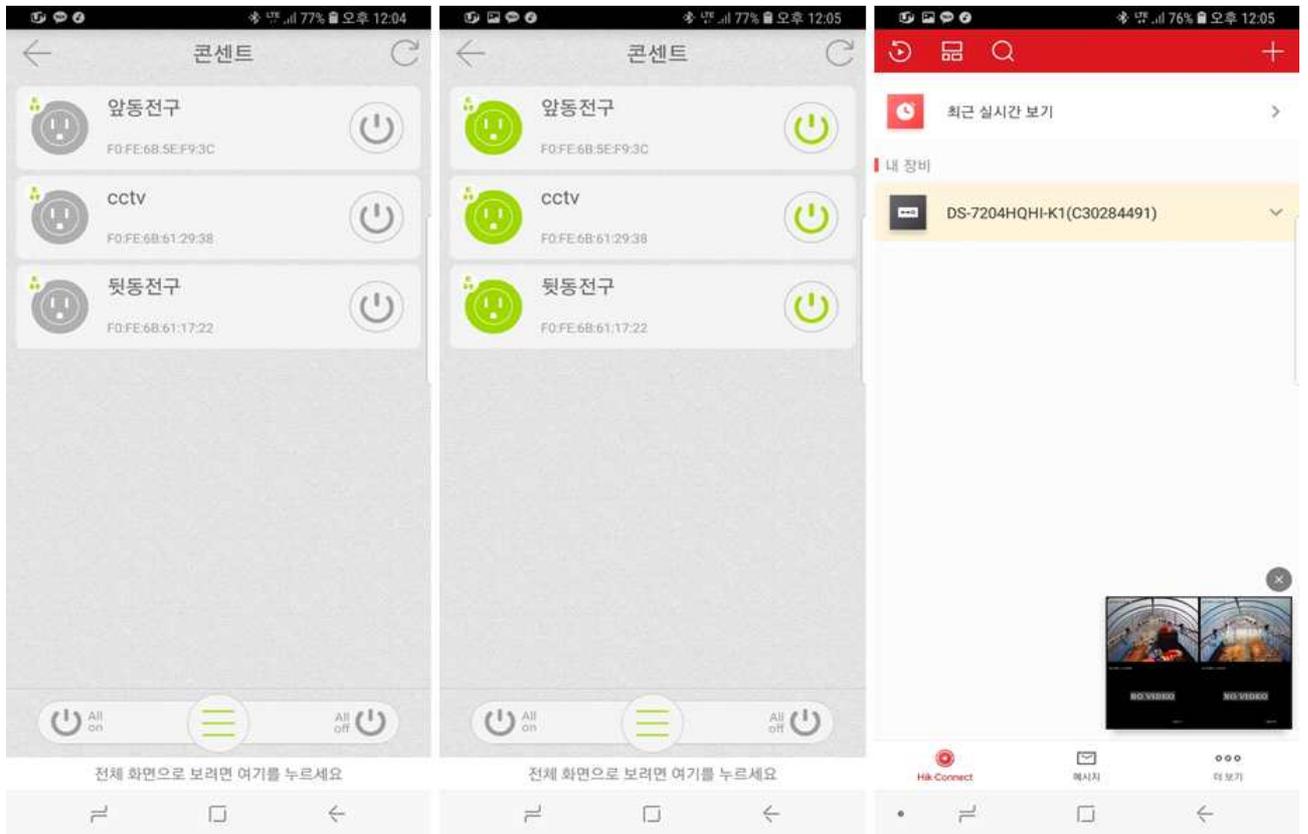
- 일반 장수 필름 및 기능성 발열 필름의 내부 결로 현상의 경우, 기능성 발열 필름 비닐하우스의 내부 결로가 적은 것을 확인했다. 결로는 외부온도와 내부온도의 차이에 의해 내부 공간의 수분이 차가운 표면에 닿아 물로 변해 흘러내리는 현상이다. 하지만 기능성 비닐하우스의 비닐 표면온도는 일반 비닐하우스의 비닐 표면온도에 비해 비교적 높게 유지가 되고 있기 때문에 내부 결로 현상 발생이 적다. 이는 그림 42에서 눈이 흘러내리는 사진을 보면 외부 표면에서 눈이 녹아 흘러내린 것을 제외하고 내부 결로가 보이지 않는 것을 확인 할 수 있다.

#### (6) 기능성 비닐하우스의 IoT system 도입 연구

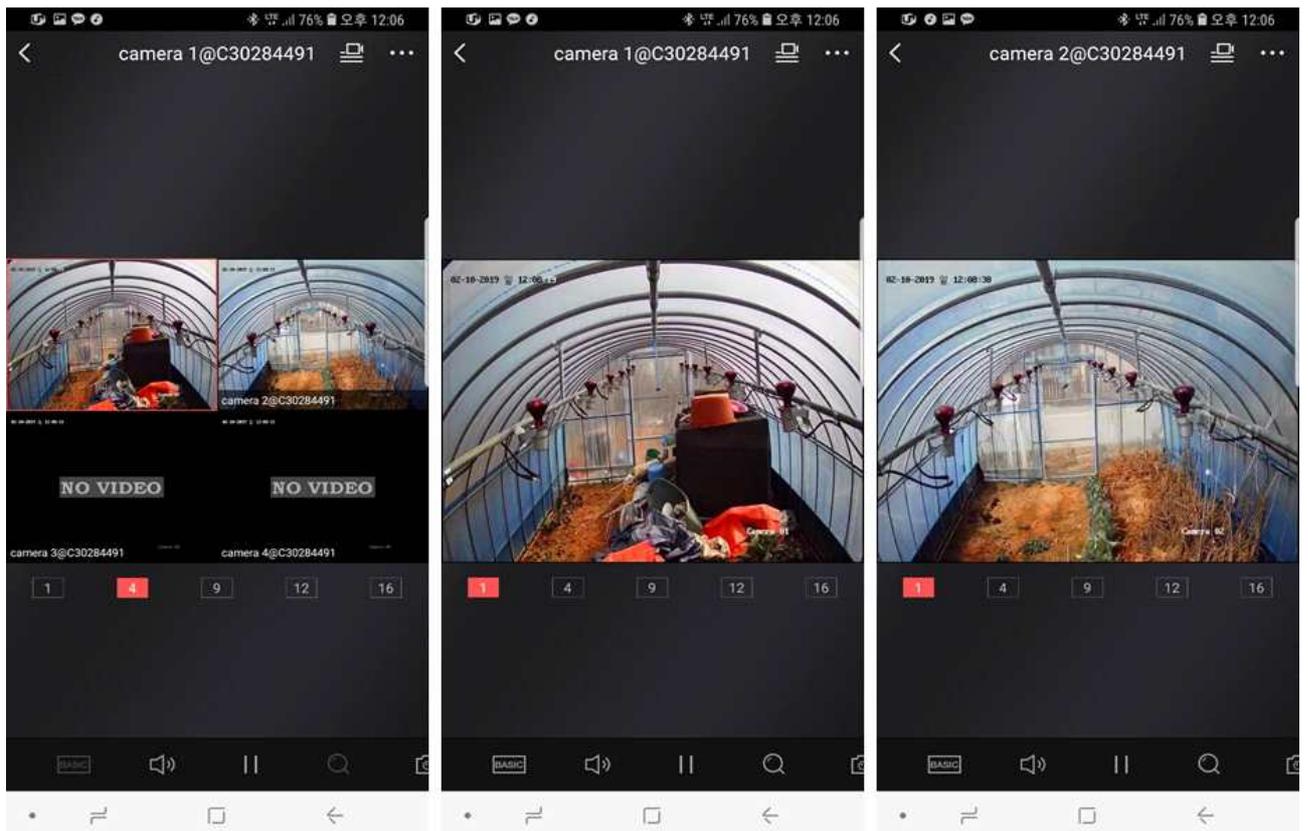


<그림 44> IoT system 적용을 위한 장비 설치

- 기능성 비닐하우스의 적외선 램프 작동 편의를 위해 IoT system을 적용함. 인터넷 라우터를 사용하여 인터넷 연결을 시키고 와이파이로 전기 전원 온,오프를 가능하게 하여 핸드폰 앱을 통해 각 하우스 램프를 점등시킴.



<그림 45> IoT system을 사용을 위한 핸드폰 어플 적용



<그림 46> IoT system을 이용하여 핸드폰으로 점등 및 CCTV 확인

- <그림 45>과 <그림 46>를 살펴보면 핸드폰 앱을 통해 기능성 비닐하우스와 일반 비닐하우스 전원을 실행 할 수 있음. 또한 CCTV 전원 역시 따로 동작 시킬 수 있기 때문에 낮시간 램프를 작동하지 않아도 두 비닐하우스의 상황을 관찰 할 수 있음. 또한 컨센트 앱을 통해 적외선 램프를 동작시키는 부분도 기능성 비닐하우스와 일반 비닐하우스를 따로 작동 시킬 수 있어 필요한 부분에 있어서 상황에 따라 조작이 가능함. 이러한 모든 과정은 CCTV 앱을 통해 핸드폰으로 시간과 장소에 상관없이 언제든 확인 할 수 있기 때문에 겨울철 폭설 시 적설량에 따라 적외선 램프와 CCTV의 on, off가 가능함.
- 또한 CCTV 역시 핸드폰 앱을 통해 온,오프를 하여 자택에서 하우스까지 나와서 설해 예방을 위해 적외선 램프를 작동 시키는 것이 아니라 집에서 핸드폰을 통해 강설 정도를 판단하고 적외선 램프를 작동시켜 번거로움을 제거함.

(7) 나노 탄소 복합체 발열필름 물성 검증

- 실험실 내에서의 실험과 필드테스트를 통해 나노 탄소 복합체 발열필름의 성능을 검증함. 정읍에서 필드테스트에 사용된 나노 탄소 복합체 비닐하우스용 비닐의 물리적 특성을 검증하기 위해 한국화학융합시험연구소 (KTR)에 물리적, 광학적 특성을 의뢰하여 시험 성적서를 받음.



우 13811 경기도 과천시 교동원로 99(농업진흥)

TEL 031-953-8072 FAX 031-953-8075

성적사번호 : TAK-0018-13811

대 표 자 : 이인호

업 체 명 : (주)세진에이엠

주 소 : 경기도 과천시 가산로 99(농업진흥단지) 9-100

시 료 명 : 발열장수 필름

시험결과

시험항목	단위	시험구분	결과치	시험방법
인장강도(가로)	N/cm <sup>2</sup>	-	2,921	KS M 3001 : 2001
인장강도(세로)	N/cm <sup>2</sup>	-	2,812	KS M 3001 : 2001
신장률(가로)	%	-	694	KS M 3001 : 2001
신장률(세로)	%	-	518	KS M 3001 : 2001
두께	mm	-	0.084	KS M 3001 : 2001
태양방사투과율	%	-	87.9	KS L 2514 : 2011
자외선투과율	%	-	79.3	KS L 2514 : 2011

\* 시험항목 : 온도, 습도, 빛, 열

- 용 도 : 품질관리용

비 고 : 1. 이 성적서는 시험결과를 제시한 시료 및 시험방법으로 시험한 결과에 대해 계약에 대한 통찰을 보증하지 않으며, 성적서의 진위확인용 홈페이지(www.ktr.or.kr) 또는 QR code로 확인 가능합니다.  
2. 이 성적서는 용도, 안전, 경고 및 조류용 등으로 사용될 수 없으며, 용도 외에는 사용할 수 없습니다.  
3. 이 성적서는 원부시험장 도장만 유효하며, 사본 및 전자 인쇄본(개인용)은 효력이 없습니다.



우 13811 경기도 과천시 교동원로 99(농업진흥)

TEL 031-953-8072 FAX 031-953-8075

성적사번호 : TAK-0018-13811

대 표 자 : 이인호

업 체 명 : (주)세진에이엠

주 소 : 경기도 과천시 가산로 99(농업진흥단지) 9-100

시 료 명 : 발열장수 필름

시험결과

시험항목	단위	시험구분	결과치	시험방법
인장강도(가로)	N/cm <sup>2</sup>	-	2,868	KS M 3001 : 2001
인장강도(세로)	N/cm <sup>2</sup>	-	2,727	KS M 3001 : 2001
신장률(가로)	%	-	733	KS M 3001 : 2001
신장률(세로)	%	-	517	KS M 3001 : 2001
두께	mm	-	0.101	KS M 3001 : 2001
태양방사투과율	%	-	87.2	KS L 2514 : 2011
자외선투과율	%	-	76.5	KS L 2514 : 2011

\* 시험항목 : 온도, 습도, 빛, 열

- 용 도 : 품질관리용

비 고 : 1. 이 성적서는 시험결과를 제시한 시료 및 시험방법으로 시험한 결과에 대해 계약에 대한 통찰을 보증하지 않으며, 성적서의 진위확인용 홈페이지(www.ktr.or.kr) 또는 QR code로 확인 가능합니다.  
2. 이 성적서는 용도, 안전, 경고 및 조류용 등으로 사용될 수 없으며, 용도 외에는 사용할 수 없습니다.  
3. 이 성적서는 원부시험장 도장만 유효하며, 사본 및 전자 인쇄본(개인용)은 효력이 없습니다.

인장강도(가로)	N/cm <sup>2</sup>	-	2,921	인장강도(가로)	N/cm <sup>2</sup>	-	2,868
인장강도(세로)	N/cm <sup>2</sup>	-	2,812	인장강도(세로)	N/cm <sup>2</sup>	-	2,727
신장률(가로)	%	-	694	신장률(가로)	%	-	733
신장률(세로)	%	-	518	신장률(세로)	%	-	517
두께	mm	-	0.084	두께	mm	-	0.101
태양방사투과율	%	-	87.9	태양방사투과율	%	-	87.2
자외선투과율	%	-	79.3	자외선투과율	%	-	76.5

KTR 한국화학융합시험연구원

일반 장수 필름

KTR 한국화학융합시험연구원

기능성 발열 필름

<그림 47> 일반 장수 필름 및 나노 탄소 복합체 비닐하우스용 비닐 시험 성적서

- 나노 탄소 복합체 비닐하우스용 비닐의 시험 성적서를 살펴보면 인장강도 (가로, 세로), 신장률 (가로, 세로)의 경우 일반 비닐하우스용 비닐과 거의 동일한 성능을 보인다. 또한 태양방사 투과율과 자외선 투과율의 경우도 일반 비닐과 유사한 성능을 보임. 이는 나노 탄소 복합체가 비닐에 첨가되었음에도 불구하고 기본적 물성 변화없이 설해를 예방할 수 있는 적외선 흡수 발열 기능을 부여할 수 있는 것을 확인함.
- 그림 47을 통해 일반 장수 필름과 기능성 발열필름의 내구성을 확인 할 수 있다. 내구도에 영향을 보여주는 인장강도 (가로, 세로)와 신장률 및 두께를 살펴보면 일반 장수 필름과 기능성 발열 필름의 인장강도는 약 2% 차이를 보이지만 유사하다고 볼 수 있다. 신장률의 경우, 기능성 발열필름의 신장률이 더 높지만 이 또한 일반 필름과 유사하다. 이것은 기능성 발열능력을 부여하기 위해 나노 탄소 복합체를 필름 제조에 사용했음에도 불구하고 기능의 물성에 악영향을 미치지 않으면서 그 기능을 발현 할 수 있다고 볼 수 있다. 그로 인해 기능성 발열 필름은 일반 장수 필름과 동일한 내구성을 가질 수 있다고 볼 수 있다.

(8) 나노 탄소 복합체 기능성 발열필름 사업화

- 나노 탄소 복합체를 이용하여 고분자 재료와 융합한 기능성 발열필름을 이용하여 광학적 특성과 물성을 모두 확인하였고 이를 바탕으로 일산, 정읍 필드테스트를 통해 그 실험적 데이터를 입증함. 이러한 기능성 발열필름의 사업화를 진행하는 과정에서 일반 비닐하우스용 비닐에 비해 추가된 나노 탄소 복합체의 단가 계산을 진행함.

<표 13> 일반 필름과 기능성 발열 필름의 원가 및 배합비율

1. 일반 비닐하우스용 필름				
	원료	비율 (%)	Kg 단가 (원)	금액 (원)
내층	LLD	60	1,750	1,050
	LD	33	1,800	594
	장수제	7	3,800	266
	합계			<b>1,910</b>
중층	EVA	40	2,000	800
	장수제	7	3,800	266
	무적제	12	3,300	396
	LD	41	1,800	738
합계			<b>2,200</b>	
외층	EVA	20	2,000	400
	장수제	7	3,800	266
	무적제	12	3,300	396
	LD	61	1,800	1,098
합계			<b>2,160</b>	
제품 Kg 당 단가				<b>2,090</b>

2. 기능성 발열 필름				
	원료	비율 (%)	Kg 단가 (원)	금액 (원)
내층	LLD	60	1,750	1,050
	LD	21	1,145	378
	나노 탄소복합체	12	6000	720
	장수제	7	3,800	266
	합계			<b>2,414</b>
중층	EVA	40	2,000	800
	장수제	7	3,800	266
	무적제	12	3,300	396
	LD	41	1,800	738
	합계			<b>2,200</b>
외층	EVA	20	2,000	400
	장수제	7	3,800	266
	무적제	12	3,300	396
	LD	61	1,800	1,098
	합계			<b>2,160</b>
제품 Kg 당 단가				<b>2,258</b>

- 비닐하우스용 비닐은 기본적으로 3층으로 구성되어 있음. 내층, 중층, 외층으로 구성하여 내풍성과 내구성을 높이고 방한성을 높이는 장수 필름계열임. 기능성 발열필름의 경우 기본적으로 장수필름 계열이기 때문에 3층 구성에서 나노 탄소복합체를 내층에 사용하여 그 기능을 작동시킬 수 있게 제조함. <표 13>를 살펴보면 일반 비닐하우스용 필름에 사용되는 원료, 원가 및 배합비율을 나타냈다. 일반 비닐하우스용 필름의 제품 Kg 당 단가를 살펴보면 2,090원으로 제품화되어 시중에 판매되고 있음. 기능성 발열 필름의 경우 내층에 나노 탄소복합체가 12% 포함되고 다른 2개의 층은 일반 비닐하우스용 필름과 똑같이 제조 됨. 제품 Kg 당 단가를 계산하면 일반 비닐하우스용 필름과 비교하여 약 10% 상승. (기능성 발열 필름 Kg 당 단가 : 2,258원) 이러한 10%의 단가상승은 설해 예방 기능을 추가 부여하는 과정에서 첨가되는 나노 탄소복합체의 단가가 추가된 것이며 이러한 가격상승은 제품 시장내에서 제품 판매 시 큰 장애가 되지 않을 것이라 판단 됨. 10%의 단가 상승은 연구과정내에서 최적화된 원료 비율을 사용하여 시제품을 제조하며 환산된 단가이기 때문에 산업 자동화를 통한 최적화를 진행 할 시 단가 상승을 줄일 수 있을 것이라 예상됨. 또한 기능성 발열필름의 시제품 제조과정에서 내층에서 나노 탄소복합체가 12% 추가되면서 LD의 비율을 21%로 낮추었지만 KTR에서의 시험을 통해 물리적으로 일반 비닐하우스의 필름과 차이가 없음을 확인함.

#### (9) 기능성 발열필름을 통한 에너지 절감

- 나노 탄소 복합체 기능성 발열필름 비닐하우스 데이터를 살펴보면 일반 필름을 사용한 비닐하우스에 비해 필름 표면온도가 높아 적설 시 눈이 녹아 흘러내려 폭설에 의한 비닐하우스 붕괴를 막을 뿐 아니라 비닐하우스 내부 온도를 좀 더 높게 유지하는 기능을 보임. 늦은 야간 시간대 적외선 램프를 점등하지 않고 약 2℃ 높게 유지함. 이는 폭설

시, 비닐하우스의 봉괴를 막기 위해 들어가는 내부 난방온도 및 겨울철 비닐하우스 온도 유지에 들어가는 열, 전기 및 기타 동력에너지를 낮추는 효과를 보임.

## "난방비만 200만원"... 한숨만 나오는 겨울딸기 농가들

작황 부진·농산물 가격 하락·난방비... 한파 이어지며 난방비 작년 2배 수준

원주투데이 최다니엘 (bjynews)



<그림 48> 겨울철 비닐하우스 난방비 국내기사 (출처 : 2018.02 오마이뉴스)

- 난방비에 관한 기사를 살펴보면 비닐하우스를 이용한 딸기 농사를 짓고 있는 농가에서 9개의 비닐하우스 난방비는 월 200만원 이상이고 1,000평 기준 월 500만원 이상 겨울철 난방비로 소비하고 있다고 함. 이는 온도 유지를 위해 비닐하우스 천장에 보온덮개를 씌워 추가적인 열손실을 막고 온도를 올리고 있음에도 불구하고 난방비가 위와 같이 소비된다는 것이다. 유리온실을 사용하는 파프리카 및 토마토 농가도 사정은 비슷했음. 온실 8,200 m<sup>2</sup> 하우스 7,300 m<sup>2</sup>의 경우, 화석연료를 사용하는 것에 비해 가격이 저렴한 전기와 갈탄으로 난방온도를 유지하고 있지만 월 난방비는 1,200만원을 사용하고 있다고 함. 기본적인 비닐하우스의 온도유지는 평균 20 ℃를 유지하고 평균적인 겨울철 외부온도를 -5 ℃라고 가정한다면 25 ℃의 온도를 상승시키는데 있어 1,000평 기준 500만원/월이 소모된다고 계산됨. 이를 기준으로 난방비 절감효과를 계산함.

<표 14> 기능성 발열필름 사용시 난방비 절감효과 예상 산출

	일반 비닐하우스
20 ℃기준 난방비 (원/월)	500 만원
1 ℃당 난방비 (원/월)	20 만원
2 ℃에 대한 난방비 차액	40 만원/월

- 계산을 살펴보면 25 ℃ 상승에 500만원이 소모되는 것으로 1 ℃당 20만원/월 이 소모되

는 것으로 확인됨. 정읍 필드테스트를 통해 겨울철 야간 일반 비닐하우스와 기능성 비닐하우스의 적외선 램프 점등하지 않았을 시, 2 ℃정도 차이가 나는 것을 확인함. 이를 바탕으로 난방비를 계산하면 매월 40만원의 난방비 절감을 예상할 수 있음. 이는 기본적으로 계산한 데이터이고 폭설 및 한파에서 외부온도가 더 낮게 떨어졌을 때 낮은 온도에서 온도를 올릴시 에너지가 더 크게 필요하다는 것을 감안하면 1달동안 약 10%의 난방비 절감효과라고 볼 수 있음.

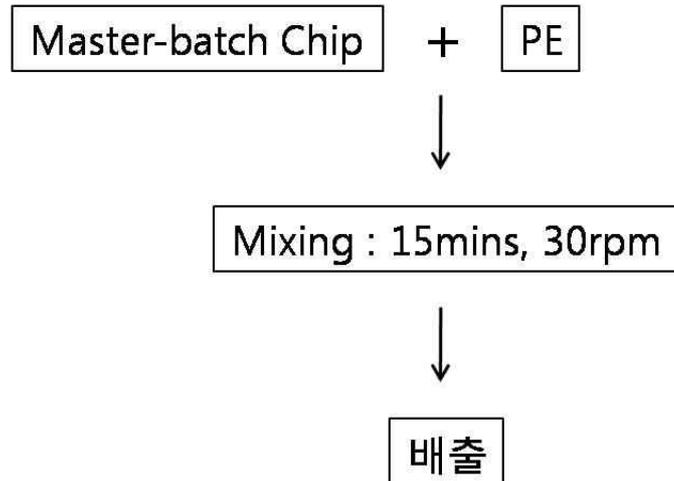
- 현재 겨울철 비닐하우스 내부온도 유지 및 상승을 위해 보온덮개 및 지하수를 이용하여 하우스 온도를 유지하는 방법을 사용하고 있음. 하지만 보온덮개의 경우, 비닐하우스 지붕위에 설치하여 온실내부 온도를 보존함에 있어 다른 태양광까지 차단하기 때문에 광량부족으로 인한 작물생육 과정에서 문제가 발생할 수 있다. 또한 지하수를 이용하여 하우스 온도를 유지하거나 수막을 설치하는 경우, 비닐하우스 환경이 너무 습해져 병해 발생이 잦아지는 단점이 있음.
- 기능성 발열필름 비닐하우스의 경우, 기본적인 하우스 내부 온도 상승을 통해 난방을 해야하는 온도를 줄여주어 난방비 절감효과를 봄과 동시에 추가적인 고가의 설비 없이 설해 예방이 가능함. 또한 기능성 발열필름의 경우 KTR 시험성적서를 바탕으로 가시광선 투과율이 일반 비닐하우스와 동등하여 하우스내의 작물생육에 저해를 가하지 않고 습도 데이터 역시 일반 비닐하우스와 같아 난방비 뿐만 아니라 난방비를 줄이기 위해 사용하는 다른 기자재의 단점까지 해소할 수 있다는 장점이 있음.

#### 4) 2세부

##### (1) 연속 생산을 위한 라인 최적화 연구

###### ① 발열필름 연속생산이 가능한 제조설비 설계

- Master-batch chip과 PE와의 균일한 혼합을 위해 Mixer의 speed와 혼합시간에 따른 영향 분석 및 연구



- 최적 혼합속도와 시간을 연구한 결과, Master-batch Chip과 PE를 1:1(wt%) 로 혼합 후 실온에서 30rpm의 속도로 15분간 mixing했을 때 가장 좋은 결과를 얻음.

- Master -batch Chip Mixing Process



Mixer



혼합



배출



혼합 된 Chip

<그림 49> Master -batch Chip Mixing Process

(2) Master batch Chip을 이용한 pilot 필름 제작

- ① 최종 선정 된 나노 탄소 복합체 조성을 통해 발열필름 제조용 Chip제작  
 - 나노 탄소 복합체와 PE의 균일한 분산성과 최적의 가공 조건은 아래 표와 같다.

<표 15> Master batch Chip 가공 조건

원료	Super Mixer			Extruder		냉각수 온도(℃)
	온도(℃)	시간(분)	속도(rpm)	온도(℃)	배출량(kg/시)	
PE + 나노탄소복합 체	70~80	30	600	130~135	100	20~25

- Master batch Chip 가공 Process



Super Mixer





Extruder -1



Extruder -2

- Master-batch Chip 제작 sample

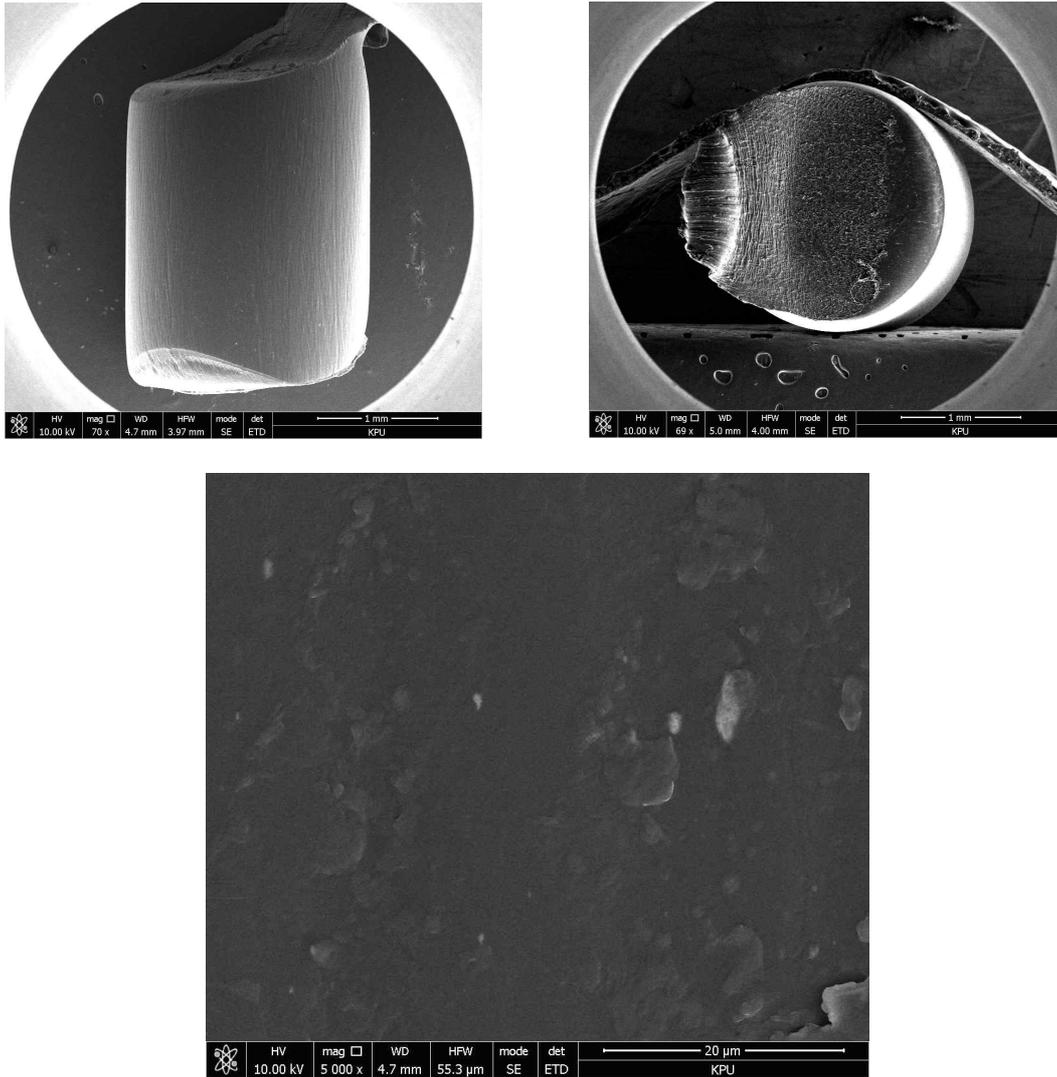


<그림 50> 3% 나노탄소 복합체 Chip



<그림51> 5% 나노탄소 복합체 Chip

- 나노 탄소 복합체 Chip의 분산 균일성을 알아보기 위해 SEM을 이용해 Chip의 표면 및 단면을 측정.



<그림 52> 나노 탄소 복합체의 SEM측정

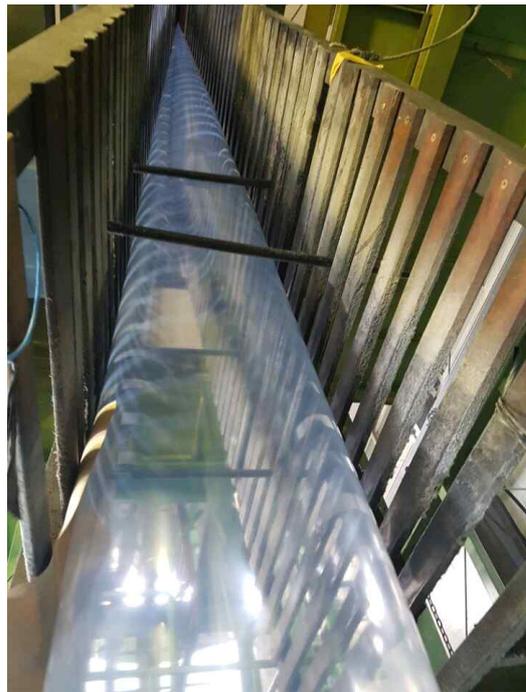
- 균일하게 혼합 된 나노 탄소 복합체 Chip과 PE혼합물을 이용하여 연속생산이 가능한 최적의 조건을 연구한 결과 아래 <표 16> 와 같은 생산 조건을 얻음.

<표 16> 연속생산 필름 생산 조건

PE 혼합물	Blower 온도 (°C)	권취 속도(m/min)	필름두께(mm)
Master-batch chip : PE = 1:1	190±5	22±0.5	0.05~0.8



<그림 53> Blower -1



<그림 54> Blower -2



<그림 55> 권취기 -1



<그림 56> 권취기 -2



<그림 57> 권취기 -3

- 제품화 공정을 거치며 최적의 생산조건에 대해 추가로 연구를 진행하였음. 시제품으로 1,2 개의 제품화 공정과는 달리 연속공정 및 그에 들어가는 에너지를 중점적으로 고려하여 좀 더 효과적으로 생산할 수 있게 되었음. 제품 생산시 고분자 재료를 녹이는 온도를 내층과 외층, 중층을 분리하여 좀 더 효율적으로 녹여내어 에너지 절감효과를 얻을 수 있었음.

<표 17> 생산시 원료의 녹는점 조절

	내층	중층, 외층
온도	190 ℃	180 ℃

- 표 3과 같이 온도 조절을 통해 기능성 발열필름을 제조하여 테스트 결과, 기존의 제품과 차이가 없음을 확인하였고 일반 비닐하우스용 필름 또한 다음의 온도 조절을 통해 필름을 제조하여 일산, 정읍 필드테스트용 필름으로 사용하였음. KTR에 의뢰 시 물성 및 광학적 특성에 사용한 필름도 다음의 녹는점 조절로 제조한 기능성 발열필름을 사용하였음.

- 다음의 온도 조건 내에서 기능성 발열필름의 생산 시설 및 공정의 경우, 생산시설과 기타의 다른 공정은 일반적인 비닐하우스용 필름 제조의 조건과 동일하고 기능성 발열필름 제조를 위한 나노 탄소 복합체 첨가 및 첨가로 인한 기존의 필름 배합비율만 변경하였음. 이는 제품 생산을 위해 추가 시설설비를 구매 또는 장비구매를 위한 비용이 들지 않아 사업화 진행 시 큰 장점이 될 수 있음.

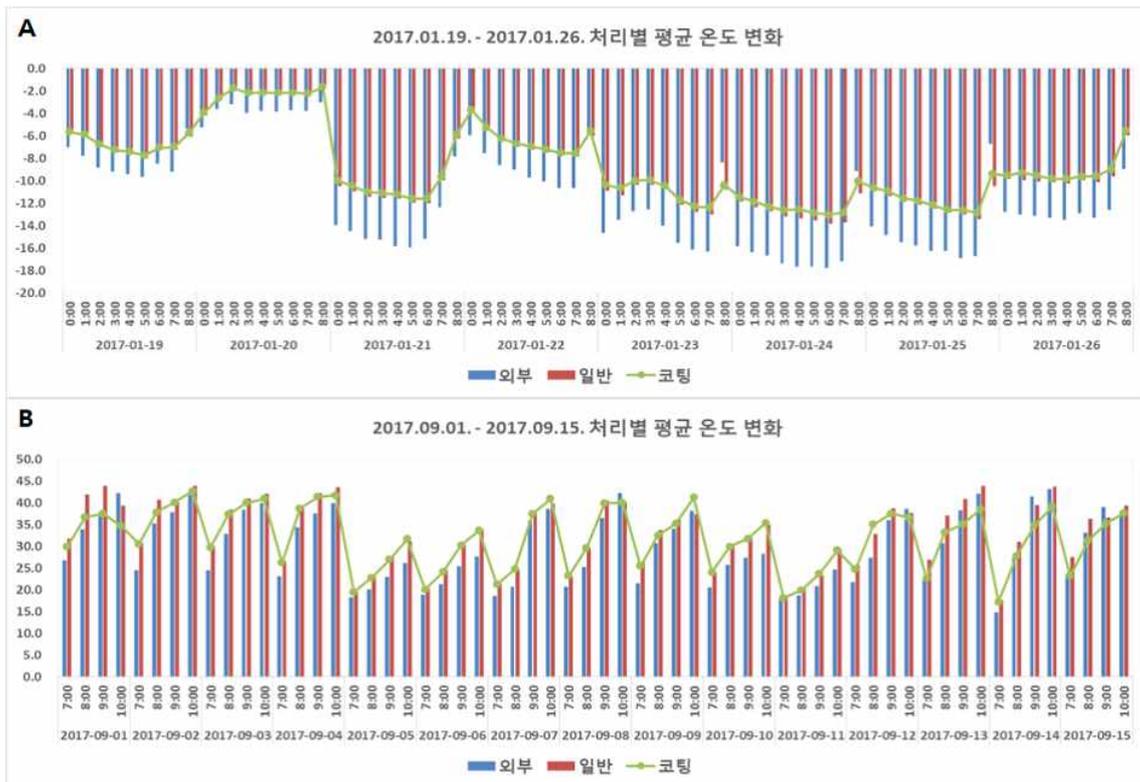
5) 3세부

(1) 비닐하우스 내 작물 재배 및 생산성 평가 연구

(1)-1 나노 탄소 복합체 코팅 소재가 비닐하우스 내부 환경에 미치는 영향

① 온·습도 비교(나노 탄소 복합체 스프레이 코팅)

- 동절기와 하절기 나노 탄소 복합체 및 일반 비닐하우스 내부의 온·습도 변화를 확인하기 위해 GILTRON 온·습도 데이터 로거(GT88162)를 설치하여 30분 간격으로 온·습도를 측정하였으며, 시간당 평균을 계산하여 처리별로 비교함.
- 2017년 1월 19일부터 1월 26일까지의 동절기와 2017년 9월 1일부터 9월 15일까지 하절기를 대상으로 동절기에 온도가 가장 낮게 떨어지는 0시(00:00-01:00)부터 기온이 올라가기 전인 8시(08:00-09:00)까지의 데이터를 비교하였고, 하절기에는 온도가 급격히 높아지는 7시(07:00-08:00)부터 하루 중 온도가 가장 높게 올라가는 10시(10:00-11:00)까지의 데이터를 비교 분석하였음.
- 그 결과, 평균 기온이 영하로 내려가는 동절기에는 나노 탄소 복합체 기능성 비닐하우스 내부의 온도가 일반 비닐하우스에 비해 상대적으로 높은 것으로 확인되었으며 (그림 58 A), 기온이 전날 대비 상대적으로 급격히 떨어졌던 2017년 1월 20일부터 21일 사이의 온도 변화를 수치로 확인해보면 <표 18>과 같음.



<그림 58> 동절기 및 하절기 처리별 평균 온도 변화  
A: 2017.01.19. - 2017.01.26., B; 2017.09.01. - 2017.09.15.

- 2017년 1월 20일 상대적으로 영하의 기온이 높았던 날에는 나노 탄소 복합체의 유무에 관계없이 유사한 온도가 측정되었으나, 전날 대비 상대적으로 급격히 온도가 떨어졌던 다음 날에는 기능성 비닐하우스 내부의 온도가 외부 온도에 비해 평균 3.72℃, 코팅 처리하지 않은 일반 비닐하우스에 비해 평균 0.41℃ 높게 유지되는 것이 확인됨.
- 본 조사는 무가온 상태에서 단일 비닐을 사용했을 때 측정한 결과로, 이중 비닐 또는 적외선 램프를 사용하는 경우에는 단일 효과가 이보다는 증대될 것으로 사료됨.
- 한편, 하절기에는 비닐하우스 내부의 온도가 외부보다 높게 측정되게 되지만 기온이 최대 42.2℃ 및 43.2℃까지 올라갔던 2017년 9월 13일-14일 나노 탄소 복합체 기능성 비닐하우스 내부 온도가 일반 비닐하우스 내부에 비해 상대적으로 낮게 측정되었으며, 이는 외부의 온도보다도 낮은 것으로 확인됨. (그림 58 B, 표 19)

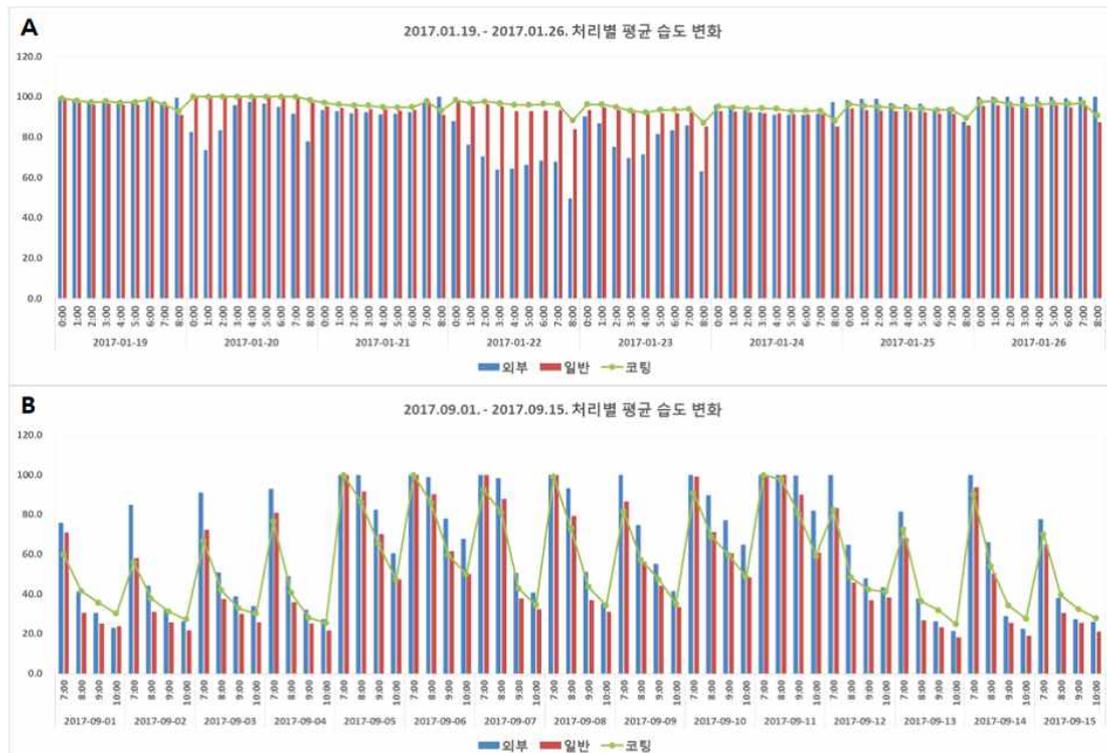
<표 18> 동절기 비닐하우스 내부 온도 변화 비교 (단위: ℃)

		외부	일반	코팅
2017-01-20	0:00-01:00	-5.3	-4.2	-4.0
	1:00-02:00	-3.6	-2.8	-2.6
	2:00-03:00	-3.2	-1.9	-1.8
	3:00-04:00	-4.0	-2.2	-2.2
	4:00-05:00	-3.8	-2.2	-2.2
	5:00-06:00	-3.8	-2.2	-2.2
	6:00-07:00	-3.7	-2.2	-2.2
	7:00-08:00	-3.8	-2.3	-2.3
	8:00-09:00	-3.0	-1.7	-1.7
2017-01-21	0:00-01:00	-14.0	-10.5	-10.0
	1:00-02:00	-14.5	-11.0	-10.5
	2:00-03:00	-15.2	-11.4	-11.0
	3:00-04:00	-15.3	-11.6	-11.1
	4:00-05:00	-15.8	-11.6	-11.3
	5:00-06:00	-16.0	-12.0	-11.6
	6:00-07:00	-15.2	-12.0	-11.6
	7:00-08:00	-12.4	-10.0	-9.7
	8:00-09:00	-7.8	-6.3	-5.9

<표 19> 하절기 비닐하우스 내부 온도 변화 비교 (단위: °C)

		외부	일반	코팅
2017-09-05	7:00-08:00	18.4	19.7	19.5
	8:00-09:00	20.2	23.2	22.9
	9:00-10:00	23.0	27.7	27.1
	10:00-11:00	26.2	31.3	31.7
2017-09-13	7:00-08:00	22.6	27.0	22.7
	8:00-09:00	30.8	37.1	33.3
	9:00-10:00	38.4	41.0	35.2
	10:00-11:00	42.2	44.1	38.6
2017-09-14	7:00-08:00	14.8	17.7	17.3
	8:00-09:00	27.5	31.1	27.8
	9:00-10:00	41.6	39.6	34.9
	10:00-11:00	43.2	43.9	39.2

- 습도가 49.6%RH 및 63.0%RH까지 떨어져 상대적으로 건조했던 2017년 1월 22일과 23일 양일 간 습도변화를 확인한 결과, 나노 탄소 복합체 기능성 비닐하우스에서 최소 0.3%RH부터 최대 4.1%RH까지 일반 비닐하우스에 비해 높게 측정됨. (그림 59 A, 표 20)
- 두 하우스 내부 습도는 모두 최적 범위인 70-90%RH가 유지되었으며 (그림 59 A), 따라서 나노 탄소 복합체 기능성 비닐하우스 내부의 습도 변화에 미치는 부정적인 영향은 없는 것으로 판단됨.



<그림 59> 동절기 및 하절기 처리별 평균 상대습도 변화

A: 2017.01.19. - 2017.01.26., B; 2017.09.01. - 2017.09.15.

- 하절기에는 기온이 높았던 2017년 9월 13일-14일에 외부의 상대습도도 가장 낮게 나타났으며 (그림 58 B, 그림 59 B), 기온이 최대로 높았던 10:00-11:00경 외부 상대습도는 9월 13일-15일에 각각 21.6%RH, 22.5%RH 및 26.0%RH로 확인됨. (표 21)
- 일반 비닐하우스의 경우, 상대습도가 외부보다 최소 3%RH에서 최대 15.9%RH 낮게 측정되었고, 나노 탄소 복합체 기능성 비닐하우스 내부의 경우 일반 비닐하우스에 비해 높은 상대습도를 유지하는 것으로 확인되었으며, 오히려 외부보다 최대 5.3%RH까지 높은 상대습도가 측정되기도 함. (표 21)
- 따라서 본 연구에서 개발한 나노 탄소 복합체 가 동절기 적설 방지 효과뿐만 아니라 하절기에 미세한 온도 저감 효과 및 상대습도 유지 효과도 있는 것으로 판단됨.

<표 20> 동절기 비닐하우스 내부 상대습도 변화 비교 (단위: %RH)

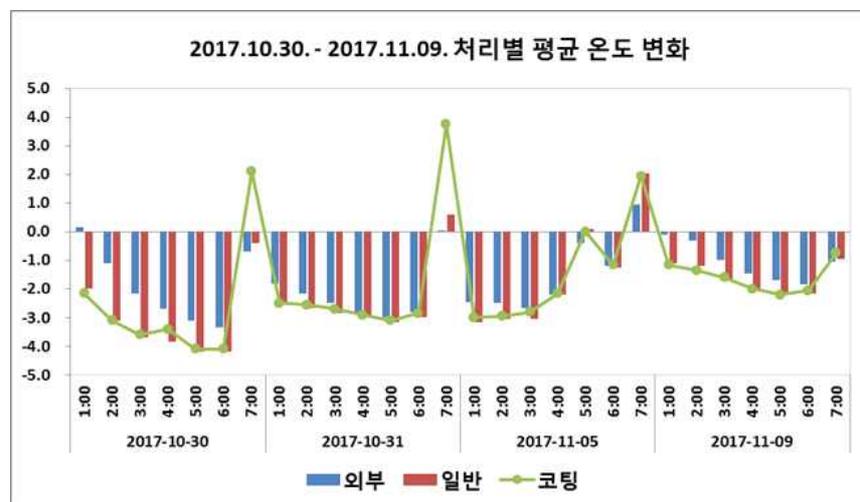
		외부	일반	코팅
2017-01-22	00:00-01:00	87.9	97.9	98.2
	01:00-02:00	76.2	95.3	96.8
	02:00-03:00	70.3	96.4	97.5
	03:00-04:00	63.8	95.3	96.8
	04:00-05:00	64.2	92.9	96.0
	05:00-06:00	66.0	93.0	95.9
	06:00-07:00	68.4	93.1	96.3
	07:00-08:00	67.8	93.4	96.3
	08:00-09:00	49.6	84.0	88.1
2017-01-23	00:00-01:00	90.3	93.5	96.1
	01:00-02:00	86.7	94.7	96.2
	02:00-03:00	75.2	93.5	94.8
	03:00-04:00	69.5	91.9	93.1
	04:00-05:00	71.4	91.4	92.1
	05:00-06:00	81.4	91.7	93.4
	06:00-07:00	83.4	91.9	93.4
	07:00-08:00	85.7	92.1	93.8
	08:00-09:00	63.0	85.3	86.9

<표 21> 하절기 비닐하우스 내부 상대습도 변화 비교 (단위: %RH)

		외부	일반	코팅
2017-09-13	7:00-08:00	81.5	68.2	72.5
	8:00-09:00	37.8	26.8	36.5
	9:00-10:00	26.2	23.2	31.9
	10:00-11:00	21.6	18.3	24.8
2017-09-14	7:00-08:00	99.9	93.7	90.1
	8:00-09:00	66.2	50.3	53.9
	9:00-10:00	28.9	25.4	34.2
	10:00-11:00	22.5	19.0	27.6
2017-09-15	7:00-08:00	77.9	65.0	70.1
	8:00-09:00	38.1	30.6	39.5
	9:00-10:00	27.4	25.5	32.4
	10:00-11:00	26.0	21.3	27.8

② 온·습도 비교(나노 탄소 복합체 비닐 시제품)

- 2017년 9월 중순 비닐을 제거한 뒤 나노 탄소 복합체가 함유된 시제품으로 교체작업을 진행한 뒤 2017년 10월부터 11월 사이에 기온이 영하권으로 떨어졌던 지난 10월 30일부터 10월 31일, 11월 5일, 11월 9일 온도변화를 측정된 결과, 일반 비닐하우스와 기능성 비닐하우스(시제품 적용) 내부 온도는 유사하거나 시제품 적용 비닐하우스에서 상대적으로 높게 측정됨. (그림60, 표 22)
- 특히 -0.7℃까지 떨어졌던 10월 30일 07:00-08:00 경에는 일반 비닐하우스에서 -0.4℃, 시제품 적용 비닐하우스에서는 2.1℃로 측정되었고, 10월 31일 0.1℃까지 떨어졌던 07:00-08:00 경에는 일반 비닐하우스 내부 온도는 0.6℃, 시제품 적용 비닐하우스 내부 온도는 3.8℃로 확인됨.

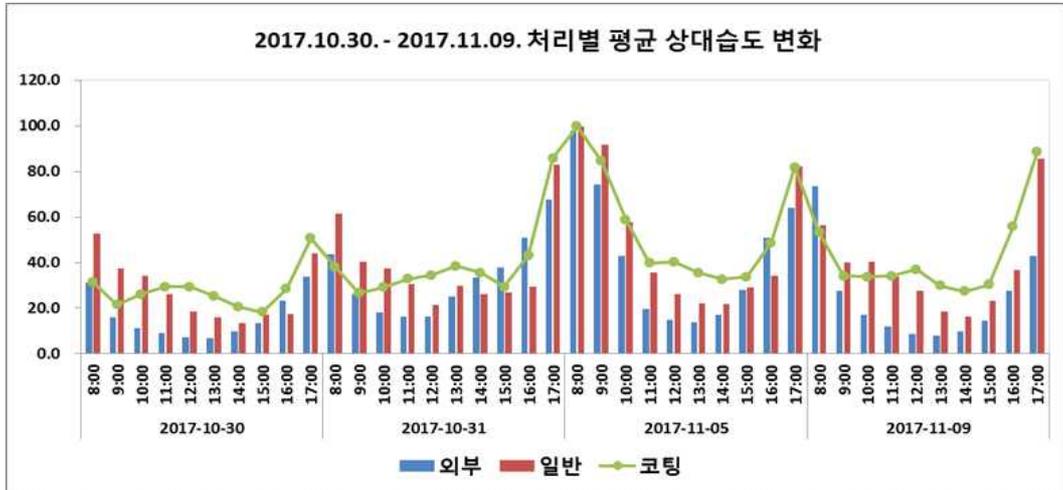


<그림 60> 시제품 적용 처리별 평균 온도 변화

<표 22> 시제품 적용 비닐하우스 내부 온도 변화 비교 (단위: °C)

		외부	일반	코팅
2017-10-30	01:00-02:00	0.2	-2.0	-2.2
	02:00-03:00	-1.1	-3.1	-3.1
	03:00-04:00	-2.2	-3.7	-3.6
	04:00-05:00	-2.7	-3.9	-3.4
	05:00-06:00	-3.1	-4.2	-4.1
	06:00-07:00	-3.4	-4.2	-4.1
	07:00-08:00	-0.7	-0.4	2.1
2017-10-31	01:00-02:00	-1.8	-2.5	-2.5
	02:00-03:00	-2.2	-2.7	-2.6
	03:00-04:00	-2.5	-2.9	-2.7
	04:00-05:00	-2.8	-3.0	-2.9
	05:00-06:00	-3.0	-3.2	-3.1
	06:00-07:00	-2.8	-3.0	-2.9
	07:00-08:00	0.1	0.6	3.8
2017-11-05	01:00-02:00	-2.5	-3.2	-3.0
	02:00-03:00	-2.5	-3.1	-3.0
	03:00-04:00	-2.7	-3.1	-2.8
	04:00-05:00	-2.2	-2.2	-2.2
	05:00-06:00	-0.4	0.1	0.0
	06:00-07:00	-1.2	-1.3	-1.2
	07:00-08:00	1.0	2.1	2.0
2017-11-09	01:00-02:00	-0.1	-1.1	-1.2
	02:00-03:00	-0.3	-1.2	-1.4
	03:00-04:00	-1.0	-1.7	-1.6
	04:00-05:00	-1.5	-2.0	-2.0
	05:00-06:00	-1.7	-2.2	-2.2
	06:00-07:00	-1.9	-2.2	-2.1
	07:00-08:00	-1.1	-1.0	-0.8

- 상대습도의 경우 2017년 10월부터 11월 사이에 새벽 기온이 영하권으로 떨어지고 낮에는 상대적으로 건조했던 지난 10월 30일부터 10월 31일, 11월 5일, 11월 9일 상대습도 변화를 측정된 결과, 일부 특정시간을 제외하고 전반적으로 시제품 적용 비닐하우스 내부 습도가 더 높게 측정됨. (그림 61, 표 23)
- 특히 외부 습도가 20%RH 이하로 떨어질 때 일반 비닐하우스 내부의 상대습도도 비교적 높았으나 시제품이 적용된 비닐하우스의 경우 대부분 더 높게 측정됨. (그림 61, 표 23)
- 6.9%RH까지 떨어졌던 10월 30일 13:00-14:00 경에는 일반 비닐하우스에서 16.1%RH, 시제품 적용 비닐하우스에서는 25.4%RH로 측정되었고, 11월 9일 8.0%RH까지 떨어졌던 13:00-14:00 경에는 일반 비닐하우스 내부 상대습도는 18.7%RH, 시제품 적용 비닐하우스 내부 상대습도는 30.0%RH로 확인됨. (표 23)



<그림 61> 시제품 적용 처리별 상대습도 변화

<표 23> 시제품 적용 비닐하우스 내부 상대습도 변화 비교 (단위: %RH)

		외부	일반	코팅
2017-10-30	08:00-09:00	31.4	52.8	31.6
	09:00-10:00	16.1	37.4	21.6
	10:00-11:00	11.3	34.2	26.1
	11:00-12:00	9.2	26.2	29.4
	12:00-13:00	7.4	18.5	29.4
	13:00-14:00	6.9	16.1	25.4
	14:00-15:00	9.7	13.6	20.7
	15:00-16:00	13.3	17.2	18.4
	16:00-17:00	23.2	17.5	28.4
2017-10-31	17:00-18:00	33.7	43.9	50.7
	08:00-09:00	43.6	61.5	38.2
	09:00-10:00	26.3	40.4	26.6
	10:00-11:00	18.1	37.4	29.3
	11:00-12:00	16.5	30.7	32.8
	12:00-13:00	16.4	21.4	34.5
	13:00-14:00	25.1	29.7	38.4
	14:00-15:00	33.4	26.1	35.7
	15:00-16:00	37.7	26.9	29.4
2017-11-05	16:00-17:00	50.9	29.5	43.2
	17:00-18:00	67.6	83.2	85.8
	08:00-09:00	98.0	99.9	99.8
	09:00-10:00	74.2	91.8	84.6
	10:00-11:00	42.8	57.8	59.0
	11:00-12:00	19.5	35.7	39.7
	12:00-13:00	15.0	26.3	40.3
	13:00-14:00	14.0	22.1	35.6
	14:00-15:00	17.3	21.9	32.6
2017-11-09	15:00-16:00	28.0	29.2	33.7
	16:00-17:00	50.9	34.1	48.8
	17:00-18:00	64.0	82.2	81.8
	08:00-09:00	73.7	56.5	53.3
	09:00-10:00	27.7	40.1	34.1
	10:00-11:00	17.3	40.3	33.7
	11:00-12:00	11.9	33.8	34.1
	12:00-13:00	8.8	27.8	37.1
	13:00-14:00	8.0	18.7	30.0
	14:00-15:00	10.0	16.5	27.3
	15:00-16:00	14.5	23.1	30.3
	16:00-17:00	27.7	36.8	55.8
	17:00-18:00	42.8	85.4	88.7

## (1)-2 작물 재배 및 생산성 평가 연구

### ① 동절기 엽채류 생육 비교 (나노 탄소 복합체)

#### • 아삭이생채 상추 (*Lactuca sativa* L. (Lettuce))

- 조사기간: 2016.12.21.2017.02.01. (2017.04.10.)
- 생육조사항목: 6항목 (총 생체중, 지상부 생체중, 엽수, 엽장 및 엽폭, 근장)
- 분석조사항목: Chlorophylls, Carotenoids
- 생육조사는 처리 당 5개체 씩 선발하여 조사하였으며, 엽수는 엽장이 1cm 이상인 것만 조사하였고, 엽장 및 엽폭은 개체별로 3엽 씩 추가 선발 후 측정된 뒤 평균을 내어 비교함
- 두 처리 간 비교를 위해 IBM SPSS v.23 (Statistical Package for the Social Sciences, SPSS Inc., Chicago, IL) 통계 프로그램을 이용하여 t-test ( $p=0.05$ )를 수행한 후 두 처리 간 유의적인 차가 있는 경우 \* ( $p<0.05$ ) 또는 \*\* ( $p<0.01$ )로 나타냄.
- 모종 이식 후 3주까지 두 처리 간 생육 발달에는 전반적으로 차이가 없는 것으로 나타났으나, 4주차 총 생체중 조사에서 통계적 유의차를 보이며 ( $P<0.05$ ) 나노 탄소 복합체 기능성 비닐하우스 내 개체의 생육이 상대적으로 우수한 것으로 확인됨 (표 24)
- 6주차 엽수의 경우 두 처리 간 통계적 유의차를 보이며 ( $p<0.01$ ) 일반 비닐하우스 내 개체의 생육이 상대적으로 우수한 것으로 나타났으나 엽의 발달 (엽장 및 엽폭)에 있어서는 두 처리 간 차이가 없는 것으로 확인됨. (표 24)
- 한편, 총 6주의 생육조사 후 추가 관수 없이 약 10주 간 생육 발달을 관찰한 결과, 기능성 비닐하우스 내 개체들에서 상대적으로 더 우수한 성장 발달을 보임. (그림 62)



<그림 62> 16주차 아삭이생채 생육 비교

A: 일반 비닐하우스, B: 나노 탄소 복합체 기능성 비닐하우스

<표 24> 나노 탄소 복합체 기능성 비닐하우스 및 일반 하우스의 아삭이생체 상추의 생육 비교

항목		처리		F value (sig.)	t value	P
		일반	복합체			
엽수 (ea)	0 week	6.80±0.75	6.80±0.75	-	-	-
	1 week	7.20±0.40	7.20±0.75	1.969 (0.198)	0.000	1.000
	2 weeks	7.20±0.40	7.60±1.02	3.881 (0.084)	-0.730	0.486
	3 weeks	8.40±1.02	8.60±0.49	2.326 (0.166)	-0.354	0.733
	4 weeks	8.40±0.80	8.40±1.02	0.264 (0.621)	0.000	1.000
	5 weeks	10.40±1.36	10.00±1.10	0.358 (0.566)	0.459	0.659
	6 weeks	13.40±0.80	11.40±0.80	0.000 (1.000)	3.536 **	0.008
엽장 (cm)	0 week	8.69±0.69	8.69±0.69	-	-	-
	1 week	9.46±0.75	8.89±1.00	0.226 (0.647)	0.884	0.402
	2 weeks	9.62±0.36	10.19±0.71	10.066 (0.013)	-1.467	0.193
	3 weeks	10.07±0.69	11.19±1.20	2.860 (0.129)	-1.623	0.143
	4 weeks	10.14±0.65	10.76±0.52	0.503 (0.498)	-1.534	0.164
	5 weeks	10.11±1.19	10.06±1.42	0.122 (0.736)	0.065	0.950
	6 weeks	10.77±0.57	11.72±0.68	0.020 (0.890)	-2.109	0.068
엽폭 (cm)	0 week	4.27±0.30	4.27±0.30	-	-	-
	1 week	4.95±0.79	4.14±0.32	1.301 (0.287)	1.928	0.090
	2 weeks	4.67±0.35	4.64±0.17	0.855 (0.382)	0.102	0.921
	3 weeks	5.71±0.27	5.47±0.56	4.019 (0.080)	0.826	0.433
	4 weeks	5.08±0.66	5.36±0.35	3.401 (0.102)	-0.723	0.490
	5 weeks	5.32±0.50	5.98±0.58	0.210 (0.659)	-1.719	0.124
	6 weeks	6.04±0.60	6.54±0.52	0.012 (0.915)	-1.226	0.255
근장 (cm)	0 week	17.22±2.05	17.22±2.05	-	-	-
	1 week	11.90±5.56	9.52±4.47	0.048 (0.833)	0.667	0.523
	2 weeks	11.60±2.16	10.48±4.86	2.848 (0.130)	0.421	0.685
	3 weeks	9.32±1.28	9.66±2.04	1.847 (0.211)	-0.283	0.785
	4 weeks	7.20±2.30	10.40±2.36	0.014 (0.910)	-1.940	0.088
	5 weeks	11.36±2.63	11.18±3.22	0.235 (0.641)	0.087	0.933
	6 weeks	14.40±2.28	16.18±5.88	4.361 (0.070)	-0.564	0.588
총 생체중 (g)	0 week	4.22±0.41	4.22±0.41	-	-	-
	1 week	4.29±0.52	3.60±0.71	1.470 (0.260)	1.555	0.158
	2 weeks	4.01±0.67	3.78±0.53	0.137 (0.721)	0.550	0.597
	3 weeks	7.04±0.65	6.52±1.59	4.977 (0.056)	0.607	0.561
	4 weeks	6.64±0.80	7.98±0.75	0.141 (0.717)	-2.443 *	0.040
	5 weeks	8.55±1.66	9.63±2.08	0.648 (0.444)	-0.807	0.443
	6 weeks	13.69±2.06	13.83±2.12	0.055 (0.820)	-0.093	0.928
지상부 생체중 (g)	0 week	3.36±0.29	3.36±0.29	-	-	-
	1 week	3.76±0.47	3.26±0.64	1.077 (0.330)	1.247	0.248
	2 weeks	3.49±0.55	3.41±0.39	0.370 (0.560)	0.255	0.805
	3 weeks	6.15±0.51	5.74±1.45	6.612 (0.033)	0.534	0.616
	4 weeks	5.36±0.72	6.04±0.68	0.016 (0.904)	-1.388	0.203
	5 weeks	6.48±1.35	7.71±1.91	1.566 (0.246)	-1.050	0.324
	6 weeks	10.98±1.73	10.47±1.25	1.049 (0.336)	0.475	0.647

• **꽃상추 (Cichorium endivia L. (Escarole Lettuce))**

- 조사기간: 2016.12.21.2017.02.01. (2017.04.10.)
- 생육조사항목: 6항목 (총 생체중, 지상부 생체중, 엽수, 엽장 및 엽폭, 근장)
- 분석조사항목: Chlorophylls, Carotenoids
- 생육조사는 처리 당 5개체 씩 선발하여 조사하였으며, 엽수는 엽장이 1cm 이상인 것만 조사하였고, 엽장 및 엽폭은 개체별로 3엽 씩 추가 선별 후 측정된 뒤 평균을 내어 비교함.
- 두 처리 간 비교를 위해 IBM SPSS v.23 통계 프로그램을 이용하여 t-test ( $p=0.05$ )를 수행한 후 두 처리 간 유의적인 차가 있는 경우 \* ( $p<0.05$ ) 또는 \*\* ( $p<0.01$ )로 나타냄.
- 모든 기간에 엽의 생육 발달에는 두 처리 간 차이가 없는 것으로 확인되었으나, 총 생체중에 있어 3주차와 5주차에 두 처리 간 통계적 유의차를 보이며 ( $p<0.01$ (\*\*)) 기능성 비닐하우스 내 개체의 생육이 상대적으로 우수한 것으로 나타남. (표 25)
- 또한 지상부 생체중의 경우에도 마찬가지로 3주차와 5주차에 두 처리 간 통계적 유의차를 보이며 ( $p<0.05$ (\*)) 나노 탄소 복합체 기능성 비닐하우스 내 개체의 생육 상대적으로 높게 확인됨. (표 25)
- 한편, 총 6주의 생육조사 후 추가 관수 없이 약 10주 간 생육 발달을 관찰한 결과에서는 일반 비닐하우스의 개체들이 1개체를 제외하고 모두 사멸하였으며, 나노 탄소 복합체 기능성 비닐하우스 내 개체들은 대부분 생존하여 상대적으로 매우 우수한 발달 차이를 보임. (그림 63)



<그림 63> 16주차 꽃상추 생육 비교

A: 일반 비닐하우스, B: 나노 탄소 복합체 기능성 비닐하우스

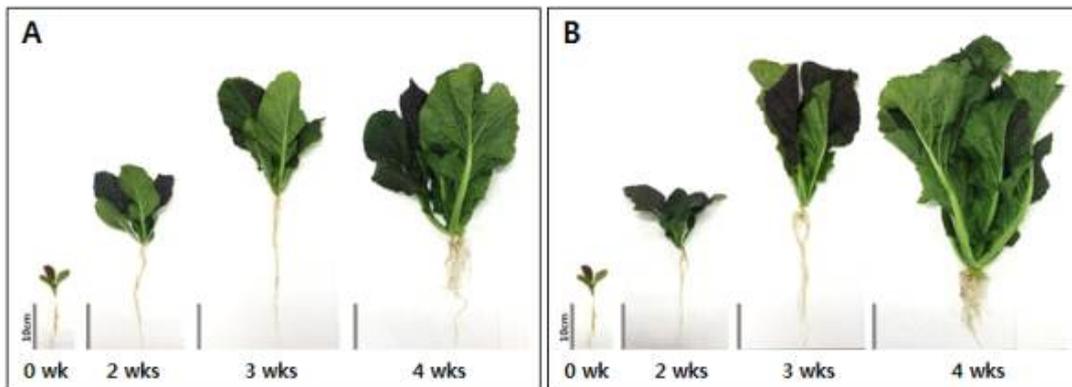
<표 25> 나노 탄소 복합체 기능성 비닐하우스 및 일반 비닐하우스 내 꽃상추의 생육 비교

항목		처리		F value (sig.)	t value	P
		일반	복합체			
엽수 (ea)	0 week	7.00±1.41	7.00±1.41	-	-	-
	1 week	5.00±0.63	4.40±0.49	0.103 (0.757)	1.500	0.172
	2 weeks	6.20±0.75	5.40±0.49	0.640 (0.447)	1.789	0.111
	3 weeks	6.00±0.63	7.00±1.10	0.800 (0.397)	-1.581	0.153
	4 weeks	8.00±0.89	6.60±1.02	0.060 (0.812)	2.064	0.073
	5 weeks	8.00±0.00	8.40±0.49	96.000 (0.000)	-1.633	0.178
	6 weeks	9.80±0.75	9.60±1.36	1.252 (0.296)	0.258	0.803
엽장 (cm)	0 week	8.81±0.68	8.81±0.68	-	-	-
	1 week	8.31±0.24	8.32±0.53	1.115 (0.322)	0.000	1.000
	2 weeks	9.63±0.72	8.57±0.60	1.106 (0.324)	2.169	0.062
	3 weeks	8.67±0.73	9.59±0.98	0.856 (0.382)	-1.537	0.163
	4 weeks	8.47±0.93	9.69±0.97	0.038 (0.850)	-1.809	0.108
	5 weeks	9.07±0.80	9.50±0.39	0.782 (0.402)	-0.904	0.392
	6 weeks	9.83±0.63	9.77±0.82	0.003 (0.961)	0.115	0.911
엽폭 (cm)	0 week	5.07±0.58	5.07±0.58	-	-	-
	1 week	5.08±1.05	4.63±0.41	1.923 (0.203)	0.811	0.441
	2 weeks	6.17±0.50	5.43±0.50	0.449 (0.522)	2.101	0.069
	3 weeks	6.11±0.36	5.91±1.01	7.181 (0.028)	-1.557	0.181
	4 weeks	5.85±0.34	6.29±0.96	6.293 (0.036)	-0.882	0.419
	5 weeks	6.37±0.55	6.89±0.46	0.130 (0.728)	-1.421	0.193
	6 weeks	7.07±0.80	7.21±0.80	0.001 (0.975)	-0.248	0.810
근장 (cm)	0 week	10.70±1.63	10.70±1.63	-	-	-
	1 week	7.68±1.85	6.62±2.45	0.337 (0.577)	0.690	0.510
	2 weeks	8.74±3.24	8.42±2.90	0.027 (0.874)	0.147	0.887
	3 weeks	6.14±0.45	10.90±4.29	4.742 (0.061)	-1.429	0.191
	4 weeks	6.56±1.51	9.20±2.53	5.801 (0.043)	-1.793	0.119
	5 weeks	8.30±1.91	9.22±1.88	0.017 (0.898)	-0.687	0.512
	6 weeks	10.24±2.10	9.40±1.89	0.302 (0.598)	0.595	0.568
총 생체중 (g)	0 week	2.48±0.56	2.48±0.56	-	-	-
	1 week	2.10±0.46	1.78±0.41	0.694 (0.429)	1.541	0.162
	2 weeks	3.24±0.84	2.41±0.48	2.552 (0.149)	1.718	0.124
	3 weeks	3.23±0.28	5.59±1.32	3.299 (0.107)	-3.490 **	0.008
	4 weeks	5.04±0.55	6.48±2.03	5.273 (0.051)	-1.376	0.206
	5 weeks	6.65±0.72	8.96±1.11	0.644 (0.445)	-3.488 **	0.008
	6 weeks	11.61±2.42	9.56±2.28	0.013 (0.911)	1.240	0.250
지상부 생체중 (g)	0 week	2.15±0.48	2.15±0.48	-	-	-
	1 week	1.86±0.40	1.61±0.36	0.456 (0.519)	0.936	0.377
	2 weeks	2.89±0.75	2.17±0.41	4.287 (0.072)	1.679	0.132
	3 weeks	2.85±0.28	4.76±1.13	2.737 (0.137)	-3.273 *	0.011
	4 weeks	3.88±0.34	4.54±1.48	7.382 (0.026)	-0.871	0.428
	5 weeks	4.86±0.63	6.08±0.82	0.319 (0.587)	-2.359 *	0.046
	6 weeks	8.39±1.84	7.26±1.69	0.002 (0.965)	0.905	0.392

② 엽채류 및 근채류 생육 비교 (나노 탄소 복합체)

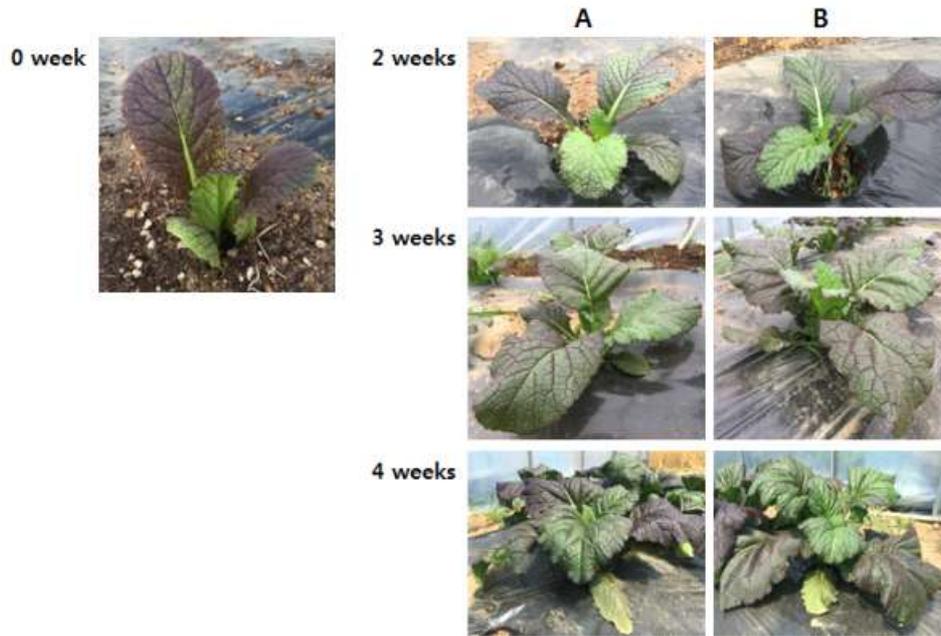
• 적겨자 (*Brassica juncea* L. (Red Mustard Leaf))

- 조사기간: 2017.05.17.-2017.06.14.
- 생육조사항목: 8항목 (총 생체중, 지상부 생체중, 엽수, 엽장 및 엽폭, 근장, 수확량)
- 분석조사항목: Chlorophylls, Carotenoids, Anthocyanin
- 생육조사는 처리 당 3개체 씩 선발하여 조사하였으며, 엽수는 엽장이 1cm 이상인 것만 조사하였고, 엽장 및 엽폭은 개체별로 3엽 씩 추가 선발 후 측정된 뒤 평균을 내어 비교함.
- 두 처리 간 비교를 위해 IBM SPSS v.23 통계 프로그램을 이용하여 t-test ( $p=0.05$ )를 수행한 후 두 처리 간 유의적인 차가 있는 경우 \* ( $p<0.05$ )로 나타냄.
- 적겨자의 경우 이식 후 2주차까지 뚜렷하게 구분되는 생장 발달 차이는 없는 것으로 나타났으나, 3주차와 4주차 생육 차이가 육안으로 비교됨에 따라 통계분석을 통해 유의미한지 여부를 판단하도록 함. (그림 64, 그림 65)
- 분석 결과, 4주차 생육조사에서 통계적 유의차를 보이며 ( $p<0.05$ ) 기능성 비닐하우스 내 개체의 엽장 생육이 상대적으로 우수한 것으로 나타났으나 처리 간 전반적인 생육 발달의 차이는 없는 것으로 확인됨. (표 26)



<그림 64> 적겨자 처리 및 주차별 생육조사 사진 (bar: 10 cm)

A: 일반 비닐하우스, B: 나노 탄소 복합체 기능성 비닐하우스



<그림 65> 적겨자 처리 및 주차별 하우스 생육 사진  
 A: 일반 비닐하우스, B: 나노 탄소 복합체 기능성 비닐하우스

<표 26> 나노 탄소 복합체 및 일반 비닐하우스 내 적겨자의 생육 비교

항목		처리		F value (sig.)	t value	P
		일반	복합체			
엽수 (ea)	0 week	4.33±0.47	4.33±0.47	-	-	-
	2 weeks	7.00±0.82	6.00±0.00	4.000 (0.116)	1.732	0.158
	3 weeks	8.33±1.25	9.00±0.82	0.727 (0.442)	-0.632	0.561
	4 weeks	19.33±3.77	26.67±3.40	0.114 (0.752)	-2.043	0.111
	0 week	6.69±0.13	6.69±0.13	-	-	-
엽장 (cm)	2 weeks	14.18±3.18	12.64±2.61	0.251 (0.643)	0.529	0.625
	3 weeks	24.36±0.79	30.91±3.24	6.262 (0.067)	-2.763	0.051
	4 weeks	33.82±0.80	38.13±1.26	1.070 (0.359)	-4.018 *	0.016
	0 week	2.83±0.14	2.83±0.14	-	-	-
	2 weeks	6.38±1.76	6.13±1.63	0.098 (0.769)	0.137	0.897
엽폭 (cm)	3 weeks	13.08±0.34	15.81±2.89	4.222 (0.109)	-1.335	0.253
	4 weeks	21.74±1.63	25.21±1.56	0.004 (0.951)	-2.178	0.095
	0 week	13.40±3.93	13.40±3.93	-	-	-
근장 (cm)	2 weeks	22.57±2.33	22.33±1.19	2.228 (0.210)	0.126	0.906
	3 weeks	29.43±2.66	36.20±2.30	0.187 (0.688)	-2.720	0.053
	4 weeks	25.83±4.62	24.80±2.06	1.170 (0.340)	0.289	0.787
	0 week	1.17±0.04	1.17±0.04	-	-	-
총 생체중 (g)	2 weeks	13.69±8.11	10.02±5.66	0.977 (0.379)	0.524	0.628
	3 weeks	51.91±5.47	95.89±31.89	9.578 (0.036)	-1.922	0.187
	4 weeks	257.32±64.52	347.96±63.34	0.003 (0.956)	-1.418	0.229
	0 week	0.09±0.11	0.09±0.11	-	-	-
지상부 생체중 (g)	2 weeks	12.80±7.77	9.51±5.63	0.792 (0.424)	0.484	0.654
	3 weeks	49.85±5.27	91.90±30.77	9.673 (0.036)	-1.905	0.190
	4 weeks	248.53±62.50	336.97±61.00	0.003 (0.962)	-1.432	0.225

- 또한 4주차 생육조사 후 총 8개체를 대상으로 수확 무게를 측정한 결과, 나노 탄소 복합체 기능성 비닐하우스 처리에서 총 2.30 kg, 일반 비닐하우스에서 1.95 kg을 획득함에 따라 나노 탄소 복합체 기능성 비닐하우스에서의 적겨자 생산량이 상대적으로 높은 것으로 확인됨. (그림 66)



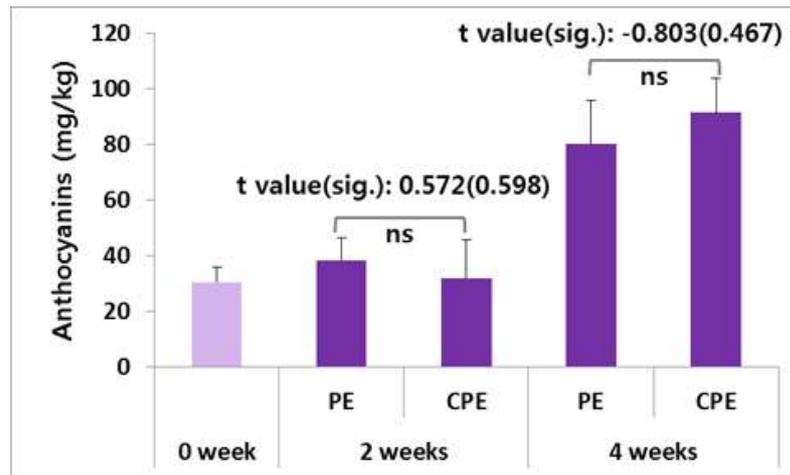
<그림 66> 처리별 적겨자 8개체 기준 생체중

- 한편, 적겨자의 Chlorophylls 및 Carotenoids 함량을 측정한 결과, Chlorophyll b의 경우, 2주차에 통계적 유의차를 보이며 ( $p < 0.05$ ) 기능성 비닐하우스 내 개체에서 높은 수치를 보였으나 이 외에 최종 수확기까지 두 처리 간 엽록소 및 카로티노이드 함량에 유의미한 차이는 없는 것으로 나타남. (표 27)
- 또한 Anthocyanin 함량을 분석한 결과에서도 수치적으로는 기능성 비닐하우스 내 개체들에서 높은 것으로 나타났으나, 유의미한 통계적 차이는 없는 것으로 확인됨. (그림 67)

<표 27> 적겨자의 처리별 엽록소 및 카로티노이드 함량 비교

		처리		F value (sig.)	t value	P
		일반	복합체			
Chl a	0 week	6.95±3.15	6.95±3.15	-	-	-
	2 weeks	11.45±5.05	19.82±2.55	3.039 (0.156)	-2.094	0.104
	3 weeks	11.69±4.58	18.68±1.95	1.439 (0.296)	-1.990	0.118
	4 weeks	22.79±1.10	22.21±1.00	0.004 (0.954)	0.553	0.610
Chl b	0 week	3.35±1.47	3.35±1.47	-	-	-
	2 weeks	5.99±2.07	11.08±1.35	1.364 (0.308)	-2.909 *	0.044
	3 weeks	6.85±1.65	9.29±1.09	1.236 (0.329)	-1.738	0.157
	4 weeks	13.24±1.33	12.41±1.38	0.036 (0.858)	0.612	0.574
Chl a+b	0 week	10.30±4.61	10.30±4.61	-	-	-
	2 weeks	17.44±7.12	30.90±3.90	2.473 (0.191)	-2.346	0.079
	3 weeks	18.54±6.13	27.97±3.04	1.567 (0.279)	-1.949	0.123
	4 weeks	36.02±2.41	34.62±2.37	0.021 (0.891)	0.587	0.589
Chl a/b	0 week	2.06±0.05	2.06±0.05	-	-	-
	2 weeks	1.81±0.29	1.79±0.02	13.687 (0.021)	0.115	0.919
	3 weeks	1.64±0.34	2.02±0.03	6.980 (0.057)	-1.519	0.203
	4 weeks	1.73±0.09	1.80±0.11	0.310 (0.607)	-0.676	0.536

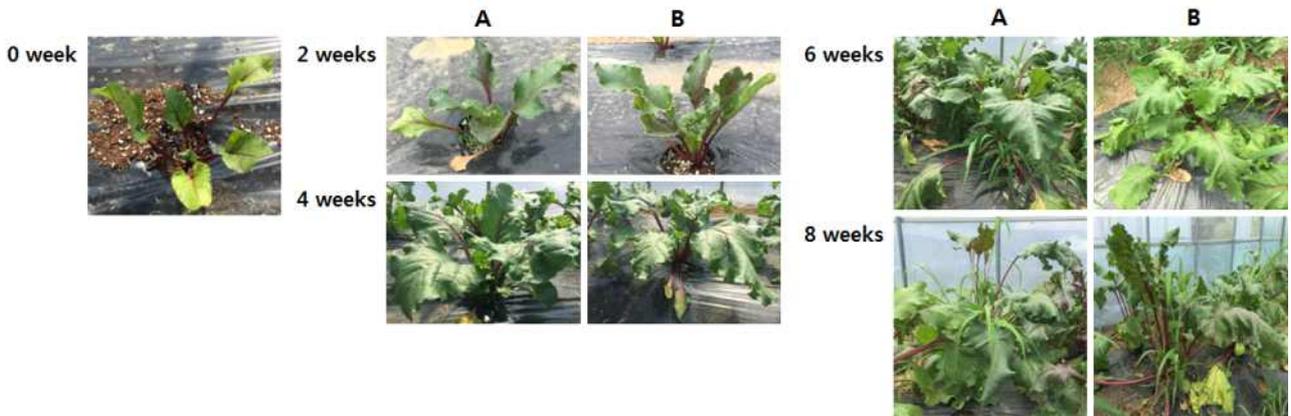
Total	0 week	1.25±0.52	1.25±0.52	-	-	-
carotenoids (x+c)	2 weeks	2.45±1.21	4.82±0.63	1.465 (0.293)	-2.457	0.070
	3 weeks	1.85±0.93	2.92±0.35	1.746 (0.257)	-1.520	0.203
	4 weeks	3.82±0.53	3.46±0.47	0.084 (0.786)	0.716	0.514



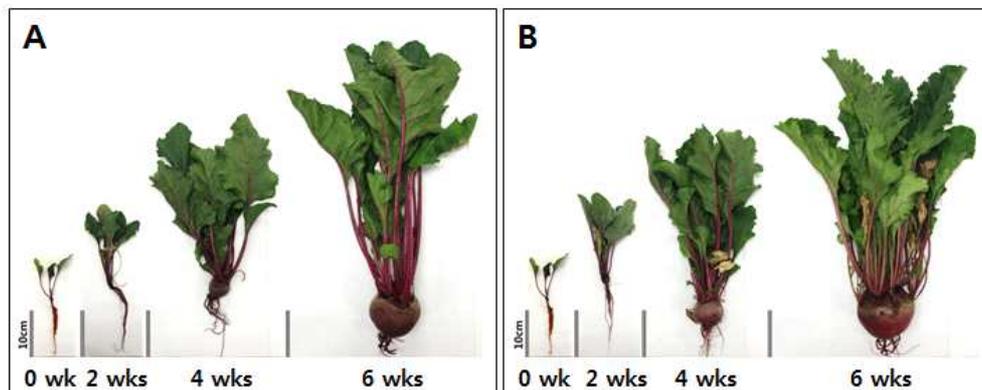
<그림 67> 적겨자의 처리별 안토시아닌 함량 비교

• 비트 (*Beta vulgaris* L. (Red Beet; Beetroot))

- 조사기간: 2017.05.17.-2017.07.12.
- 생육조사항목: 9항목 (총 생체중, 지상부 생체중, 지하부 생체중, 엽수, 엽장 및 엽폭, 구경, 구장, 수확량)
- 분석조사항목: Chlorophylls, Carotenoids, Anthocyanin, Brix degree
- 생육조사는 처리 당 3개체 씩 선발하여 조사하였으며, 엽수는 엽장이 1cm 이상인 것만 조사하였고, 엽장 및 엽폭은 개체별로 3엽 씩 추가 선발 후 측정된 뒤 평균을 내어 비교함.
- 두 처리 간 비교를 위해 IBM SPSS v.23 통계 프로그램을 이용하여 t-test ( $p=0.05$ )를 수행한 후 두 처리 간 유의적인 차가 있는지 확인함.
- 비트의 경우 두 처리 간 육안으로 띄는 생육 발달 차이는 없는 것으로 보였으며 (그림 68), 생육조사 결과에서 기능성 비닐하우스 내 개체들에서 상대적으로 높은 수치로 나타났으나, 통계 분석 결과 처리 간 유의미한 차이가 없는 것으로 확인됨. (그림 69, 표 28)



<그림 68> 비트 처리 및 주차별 하우스 생육 사진  
A: 일반 비닐하우스, B: 나노 탄소 복합체 기능성 비닐하우스



<그림 69> 비트 처리 및 주차별 생육조사 사진 (bar: 10 cm)  
A: 일반 비닐하우스, B: 나노 탄소 복합체 기능성 비닐하우스

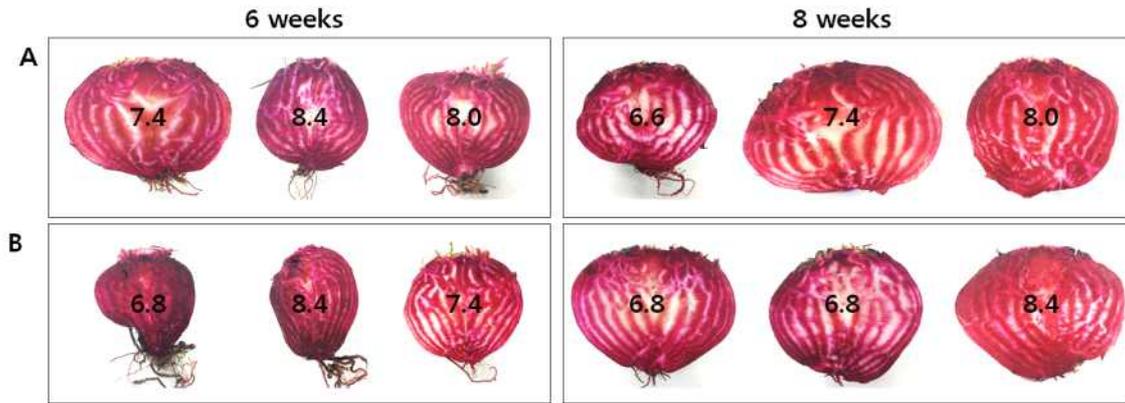
<표 28> 나노 탄소 복합체 및 일반 하우스 내 비트의 생육 비교

		처리		F value (sig.)	t value	P
		일반	복합체			
엽수 (ea)	0 week	4.33±0.94	4.33±0.94	-	-	-
	2 weeks	9.33±0.47	8.67±0.47	0.000 (1.000)	2.121	0.101
	4 weeks	24.67±4.03	34.00±9.42	1.340 (0.312)	-1.289	0.267
	6 weeks	40.67±8.81	60.00±10.42	0.078 (0.793)	-2.004	0.116
	8 weeks	-	-	-	-	-
엽장 (cm)	0 week	10.10±0.39	10.10±0.39	-	-	-
	2 weeks	14.66±0.43	16.06±1.21	3.661 (0.128)	-1.532	0.200
	4 weeks	32.23±1.82	36.67±3.64	1.566 (0.279)	-1.545	0.197
	6 weeks	49.64±4.44	47.08±1.42	6.067 (0.069)	0.781	0.479
	8 weeks	-	-	-	-	-
엽폭 (cm)	0 week	3.14±0.25	3.14±0.25	-	-	-
	2 weeks	4.84±0.37	5.59±1.26	3.558 (0.132)	-0.797	0.470
	4 weeks	13.77±2.33	14.91±1.38	1.256 (0.325)	-0.614	0.573
	6 weeks	20.33±0.44	19.81±1.25	4.151 (0.111)	0.578	0.594
	8 weeks	-	-	-	-	-
구경 (mm)	0 week	6.90±3.50	6.90±3.50	-	-	-
	2 weeks	13.46±1.46	16.77±1.80	0.052 (0.832)	-2.027	0.113
	4 weeks	46.66±10.78	54.93±3.89	2.214 (0.211)	-1.020	0.365
	6 weeks	95.56±4.94	99.41±7.83	0.369 (0.577)	-0.589	0.587
	8 weeks	137.41±11.85	137.28±7.99	1.144 (0.345)	0.013	0.990
구장 (mm)	0 week	20.59±4.96	20.59±4.96	-	-	-
	2 weeks	27.76±0.93	28.79±0.62	0.472 (0.530)	-1.308	0.261
	4 weeks	46.88±4.25	58.19±4.69	0.183 (0.691)	-2.526	0.065
	6 weeks	83.29±10.04	102.65±4.46	2.315 (0.203)	-2.492	0.067
	8 weeks	99.77±6.72	107.07±3.74	1.985 (0.232)	-1.341	0.251
총 생체중 (g)	0 week	4.57±2.12	4.57±2.12	-	-	-
	2 weeks	12.74±1.54	17.04±2.74	0.547 (0.501)	-1.936	0.125
	4 weeks	150.78±49.04	230.74±46.19	0.034 (0.863)	-1.679	0.169
	6 weeks	817.53±0.36	932.60±135.38	15.833 (0.016)	-1.202	0.352
	8 weeks	-	-	-	-	-
지상부 생체중 (g)	0 week	2.54±0.94	2.54±0.94	-	-	-
	2 weeks	9.24±1.12	12.29±3.18	2.410 (0.196)	-1.280	0.270
	4 weeks	99.35±34.68	137.93±28.68	0.103 (0.765)	-1.212	0.292
	6 weeks	495.83±41.61	517.23±88.98	3.041 (0.156)	-0.308	0.773
	8 weeks	-	-	-	-	-
구 무게 (g)	0 week	2.03±1.27	2.03±1.27	-	-	-
	2 weeks	3.50±0.56	4.75±0.68	0.180 (0.693)	-2.008	0.115
	4 weeks	51.43±20.28	92.81±19.88	0.013 (0.916)	-2.061	0.108
	6 weeks	321.70±41.30	415.37±48.49	0.147 (0.721)	-2.080	0.106
	8 weeks	1026.38±214.69	1015.72±182.01	0.008 (0.934)	0.054	0.960

- 한편 지상부와 지하부 모두를 식용하는 비트의 이용 특성에 따라 구가 비대된 6주와 8주에 당도 분석을 추가로 실시하였으며, 당도는 Atago N1 type Hand Refractometer

(Atago Co., Tokyo, Japan)를 이용하여 측정함.

- 당도 확인 결과, 6주차 일반 비닐하우스 내 개체들은 평균 7.9 (7.4-8.4), 기능성 비닐하우스 내 개체들은 평균 7.5 (6.8-8.4)로 확인되었고, 최종 수확한 8주차에는 일반 처리구에서는 6.6-8.0, 기능성 처리구에서는 6.8-8.4 범위에서 값이 측정됨에 따라 두 처리구 모두 동일하게 평균 7.3으로 확인됨. (그림 70)



<그림 70> 비트의 주차 및 처리별 당도 비교

- 8주차에 총 10개체를 대상으로 총 수확 무게를 측정한 결과, 일반 비닐하우스 개체들은 총 6.05 kg, 나노 탄소 복합체 기능성 비닐하우스 개체들은 총 6.50 kg으로 기능성 비닐하우스에서 상대적으로 높게 측정됨. (그림 71)



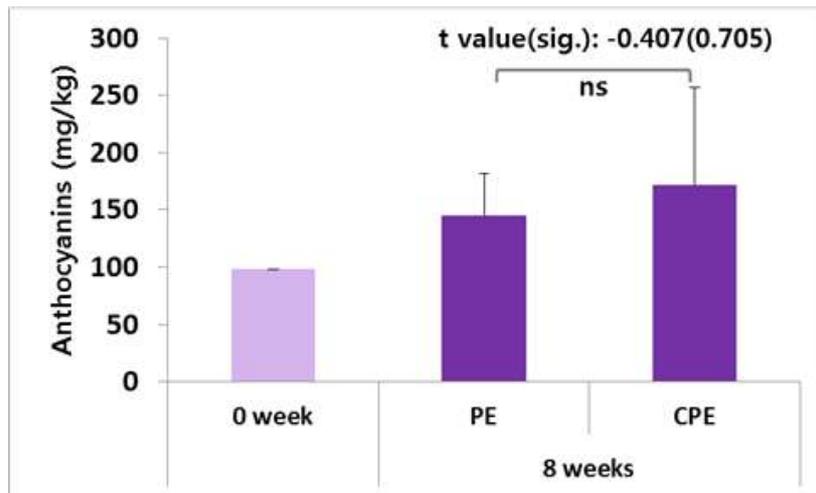
<그림 71> 처리별 비트 10개체 기준 생체중

- 한편, 처리 간 엽록소 및 카로티노이드 함량을 비교하기 위해 처리별로 3개체 잎을 대상으로 추출하였으며 3반복씩 흡광도를 측정하여 평균을 비교하였음.
- 그 결과, 적겨자의 Chlorophylls 및 Carotenoids 함량을 측정한 결과, Chlorophyll a/b의 경우, 2주차에 통계적 유의차를 보이며 ( $p < 0.05$ ) 일반 비닐하우스 내 개체들에서 높게 나타났으며, 이외 두 처리 간 엽록소 및 카로티노이드 함량에는 차이가 없는 것으로 확인됨. (표 29)
- 따라서 비닐하우스의 나노 탄소 복합체가 광합성에 미치는 부정적인 영향은 없는 것으로 판단되며, 본 연구에 사용된 나노 탄소 복합체는 기존의 일반 비닐하우스를 보강할 기능성 피복 소재로 유용할 것으로 사료됨.

- 또한 Anthocyanin 함량을 분석한 결과에서도 수치적으로는 기능성 비닐하우스 내 개체들에서 높은 것으로 나타났으나, 유의미한 통계적 차이는 없는 것으로 확인됨. (그림 72)

<표 29> 비트의 처리별 엽록소 및 카로티노이드 함량 비교

		처리		F value (sig.)	t value	P
		일반	복합체			
Chl a	0 week	5.64±0.60	5.64±0.60	-	-	-
	2 weeks	14.03±3.57	11.92±5.98	1.155 (0.343)	0.428	0.691
	4 weeks	10.94±5.07	15.28±1.76	5.954 (0.071)	-1.145	0.316
	6 weeks	12.51±4.67	9.42±0.23	3.747 (0.125)	0.934	0.403
Chl b	0 week	2.56±0.14	2.56±0.14	-	-	-
	2 weeks	6.26±1.51	6.16±2.72	1.133 (0.347)	0.046	0.966
	4 weeks	5.18±2.10	7.19±0.37	4.995 (0.089)	-1.331	0.254
	6 weeks	6.67±2.69	4.97±0.53	2.934 (0.162)	0.875	0.431
Chl a+b	0 week	8.19±0.73	8.19±0.73	-	-	-
	2 weeks	20.28±5.07	18.08±8.69	1.157 (0.343)	0.309	0.773
	4 weeks	16.12±7.10	22.47±2.13	6.350 (0.065)	-1.211	0.293
	6 weeks	19.18±7.35	14.39±0.71	3.471 (0.136)	0.916	0.411
Chl a/b	0 week	2.20±0.13	2.20±0.13	-	-	-
	2 weeks	2.23±0.08	1.89±0.12	0.675 (0.458)	3.440 *	0.026
	4 weeks	2.02±0.37	2.12±0.13	1.938 (0.236)	-0.346	0.747
	6 weeks	1.90±0.06	1.91±0.18	1.885 (0.242)	-0.100	0.925
Total carotenoids (x+c)	0 week	1.13±0.17	1.13±0.17	-	-	-
	2 weeks	3.10±1.29	2.51±1.75	0.743 (0.437)	0.386	0.719
	4 weeks	2.05±1.04	2.79±0.44	3.693 (0.127)	-0.933	0.404
	6 weeks	2.25±0.58	1.59±0.07	6.538 (0.063)	1.580	0.189



<그림 72> 비트의 처리별 안토시아닌 함량 비교

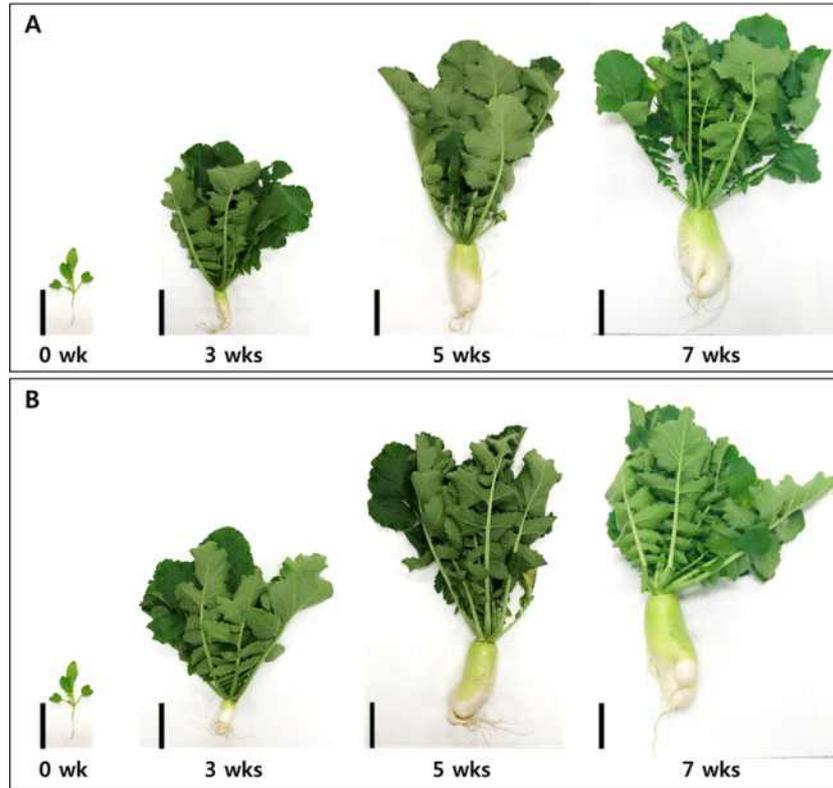
③ 동절기 근채류 생육 비교 (나노 탄소 복합체)

• 무 (*Raphanus sativus* L. (White Radish))

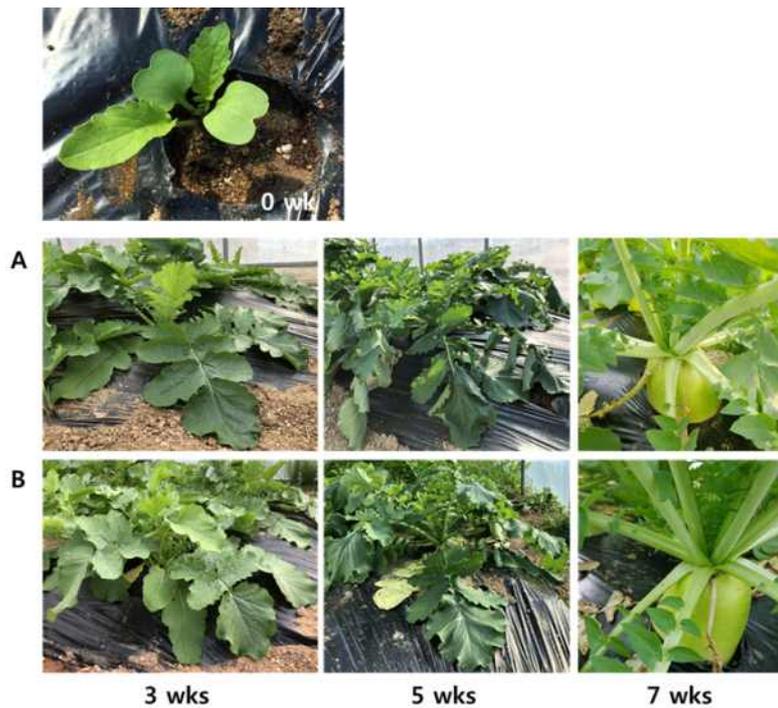
- 조사기간: 2017.09.20.-2017.11.(진행중)
- 생육조사항목: 7항목 (총 생체중, 무 생체중, 엽수, 엽장 및 엽폭, 무 직경, 무 길이)
- 생육조사는 처리 당 3개체 씩 선발하여 조사하였으며, 엽수는 엽장이 1cm 이상인 것만 조사하였고, 엽장 및 엽폭은 개체별로 3엽 씩 추가 선발 후 측정된 뒤 평균을 내어 비교함.
- 두 처리 간 비교를 위해 IBM SPSS v.23 통계 프로그램을 이용하여 t-test (p=0.05)를 수행한 후 두 처리 간 유의적인 차가 있는 경우 \* (p<0.05)로 나타냄.
- 생육 조사 결과, 3주차 무 길이 생육 발달에 있어 일반 비닐하우스 내 개체들이 상대적으로 우수한 것으로 나타났으나 이 후 전반적으로 두 처리 간 생육 발달의 차이는 없는 것으로 나타남. (표 30)

<표 30> 나노 탄소 복합체 및 일반 비닐하우스 내 무의 생육 비교

		처리		F value (sig.)	t value	P
		일반	복합체			
엽수 (ea)	0 week	3.00±0.00	3.00±0.00	-	-	-
	3 weeks	14.67±0.47	14.67±0.47	0.000 (1.000)	0.000	1.000
	5 weeks	18.00±0.00	19.00±1.41	16.000 (0.016)	-1.000	0.423
	7 weeks	25.00±0.82	23.00±2.16	4.000 (0.116)	1.225	0.288
엽장 (cm)	0 week	9.28±0.54	9.28±0.54	-	-	-
	3 weeks	34.87±2.32	35.92±1.03	3.062 (0.155)	-0.592	0.585
	5 weeks	45.32±1.05	48.19±1.88	1.250 (0.326)	-1.865	0.136
	7 weeks	48.88±3.65	47.32±2.94	0.028 (0.875)	0.465	0.666
엽폭 (cm)	0 week	2.88±0.13	2.88±0.13	-	-	-
	3 weeks	17.57±1.50	18.00±0.05	5.438 (0.080)	-0.372	0.729
	5 weeks	22.67±0.14	24.54±1.04	8.222 (0.046)	-2.460	0.130
	7 weeks	23.49±1.30	22.36±1.06	0.297 (0.615)	0.966	0.389
무 직경 (mm)	0 week	-	-	-	-	-
	3 weeks	28.68±2.66	29.10±0.98	3.151 (0.151)	-0.211	0.843
	5 weeks	71.60±4.03	67.62±0.85	9.557 (0.037)	1.368	0.295
	7 weeks	116.83±6.21	104.49±12.70	2.080 (0.223)	1.235	0.285
무 길이 (mm)	0 week	-	-	-	-	-
	3 weeks	88.25±5.39	69.73±3.30	1.364 (0.308)	4.416 *	0.014
	5 weeks	136.63±13.17	130.72±33.20	3.886 (0.120)	0.234	0.827
	7 weeks	215.33±15.92	237.33±53.12	2.115 (0.220)	-0.561	0.605
총 생체중 (g)	0 week	1.93±0.11	1.93±0.11	-	-	-
	3 weeks	196.81±29.60	198.44±18.81	3.151 (0.151)	-0.065	0.951
	5 weeks	749.11±66.77	718.49±68.07	0.002 (0.965)	0.454	0.673
	7 weeks	1624.67±161.46	1315.07±43.55	3.870 (0.121)	2.618	0.059
무 생체중 (g)	0 week	-	-	-	-	-
	3 weeks	-	-	-	-	-
	5 weeks	357.52±30.09	355.18±27.91	0.147 (0.721)	0.081	0.940
	7 weeks	1112.83±156.69	928.27±50.41	2.358 (0.199)	1.586	0.188



<그림 73> 무 처리 및 주차별 생육조사 사진 (bar: 10 cm)  
 A: 일반 비닐하우스, B: 나노 탄소 복합체 기능성 비닐하우스



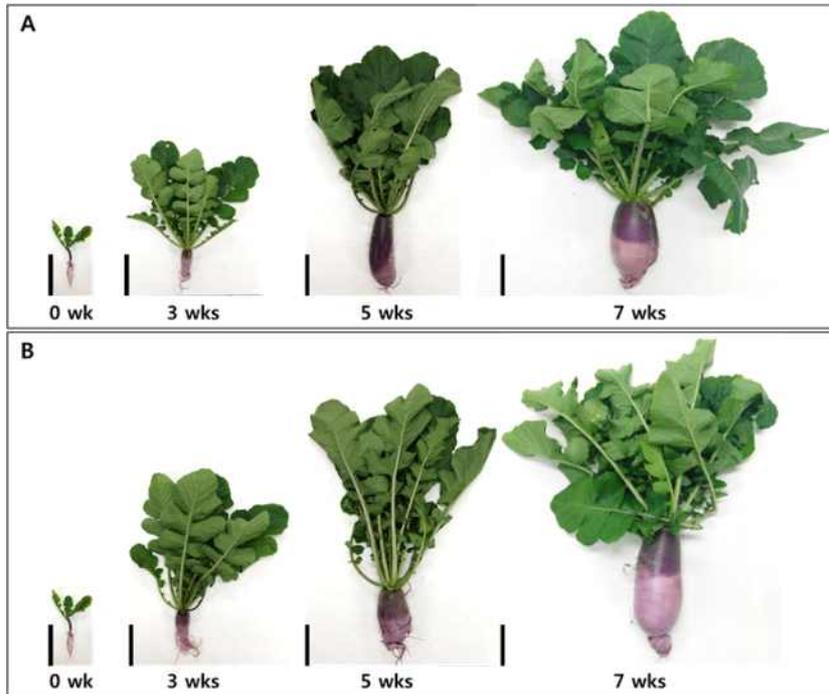
<그림 74> 무 처리 및 주차별 하우스 생육 사진  
 A: 일반 비닐하우스, B: 나노 탄소 복합체 기능성 비닐하우스

• **적무 (*Raphanus sativus* L. (Red Radish))**

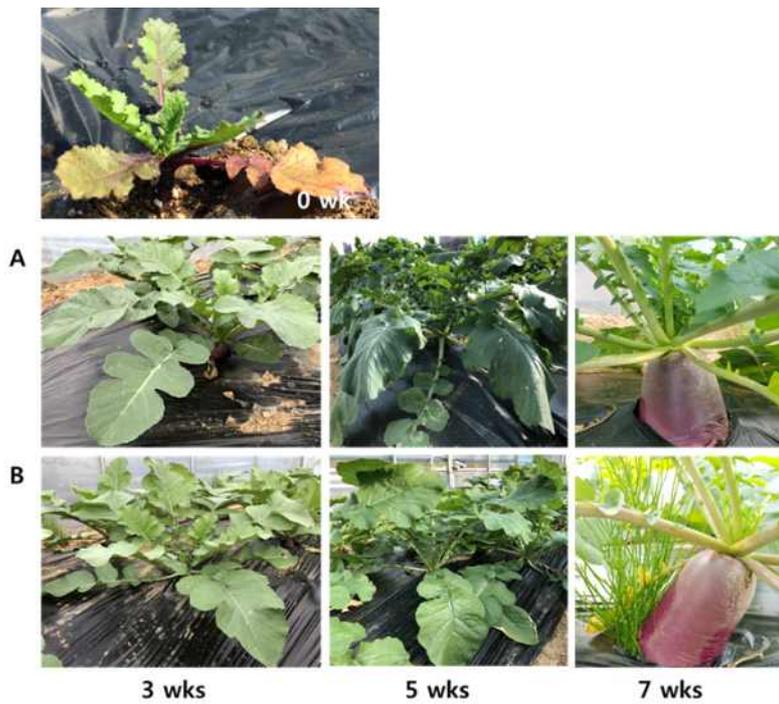
- 조사기간: 2017.09.20.-2017.11.(진행중)
- 생육조사항목: 7항목 (총 생체중, 무 생체중, 엽수, 엽장 및 엽폭, 무 직경, 무 길이)
- 생육조사는 처리 당 3개체 씩 선발하여 조사하였으며, 엽수는 엽장이 1cm 이상인 것만 조사하였고, 엽장 및 엽폭은 개체별로 3엽 씩 추가 선별 후 측정된 뒤 평균을 내어 비교함.
- 두 처리 간 비교를 위해 IBM SPSS v.23 통계 프로그램을 이용하여 t-test (p=0.05)를 수행한 후 두 처리 간 유의적인 차가 있는 경우 \* (p<0.05)로 나타냄.
- 생육 조사 결과, 3주차 엽장 및 엽폭이 나노 탄소 복합체 기능성 비닐하우스 내 개체들에서 더 높게 측정되었으며 다른 생육 발달에 있어서는 일반 비닐하우스 내 개체들과 유의미한 차이는 없는 것으로 확인됨. (표 31)
- 본 연구에 사용된 나노 탄소 복합체 소재는 가을~겨울 무의 생육 발달에 부정적 영향을 끼치지 않으며, 오히려 초기 생육 시 엽의 발달이 더 효과적으로 나타남.

<표 31> 나노 탄소 복합체 및 일반 비닐하우스 내 적무의 생육 비교

		처리		F value (sig.)	t value	P
		일반	복합체			
엽수 (ea)	0 week	6.00±0.82	6.00±0.82	-	-	-
	3 weeks	14.67±0.94	14.33±0.94	0.000 (1.000)	0.354	0.742
	5 weeks	21.67±3.09	21.33±2.36	0.468 (0.524)	0.121	0.909
	7 weeks	28.67±1.70	29.33±3.40	2.063 (0.224)	-0.248	0.816
엽장 (cm)	0 week	8.81±0.70	8.81±0.70	-	-	-
	3 weeks	28.44±1.43	33.20±0.75	1.375 (0.306)	-4.126 *	0.015
	5 weeks	41.91±1.23	43.91±1.90	1.363 (0.308)	-1.244	0.281
	7 weeks	39.88±1.76	40.59±0.86	2.684 (0.177)	-0.527	0.626
엽폭 (cm)	0 week	3.33±0.10	3.33±0.10	-	-	-
	3 weeks	12.48±0.72	14.92±0.96	0.660 (0.462)	-2.852 *	0.046
	5 weeks	17.46±0.39	18.22±1.33	3.693 (0.127)	-0.777	0.481
	7 weeks	17.24±0.86	16.77±0.86	0.004 (0.954)	0.537	0.620
무 직경 (mm)	0 week	-	-	-	-	-
	3 weeks	30.24±3.72	35.36±2.99	0.113 (0.753)	-1.515	0.204
	5 weeks	62.40±1.73	68.98±3.67	3.473 (0.136)	-2.296	0.083
	7 weeks	93.54±8.47	86.73±3.04	4.362 (0.105)	1.069	0.345
무 길이 (mm)	0 week	-	-	-	-	-
	3 weeks	89.51±5.92	79.47±3.45	1.774 (0.254)	2.073	0.107
	5 weeks	165.01±34.72	121.79±0.50	10.927 (0.030)	1.760	0.220
	7 weeks	181.33±25.20	193.00±29.81	0.007 (0.938)	-0.423	0.694
총 생체중 (g)	0 week	2.97±0.40	2.97±0.40	-	-	-
	3 weeks	126.07±25.50	169.69±25.20	0.020 (0.893)	-1.721	0.160
	5 weeks	546.42±62.98	611.51±77.44	0.230 (0.657)	-0.922	0.409
	7 weeks	1126.93±124.78	1054.80±162.12	0.418 (0.553)	0.499	0.644
무 생체중 (g)	0 week	-	-	-	-	-
	3 weeks	-	-	-	-	-
	5 weeks	217.32±22.97	286.03±37.81	1.208 (0.333)	-2.197	0.093
	7 weeks	795.00±145.28	761.00±116.68	0.155 (0.714)	0.258	0.809



<그림 75> 적무 처리 및 주차별 생육조사 사진 (bar: 10 cm)  
 A: 일반 비닐하우스, B: 나노 탄소 복합체 기능성 비닐하우스



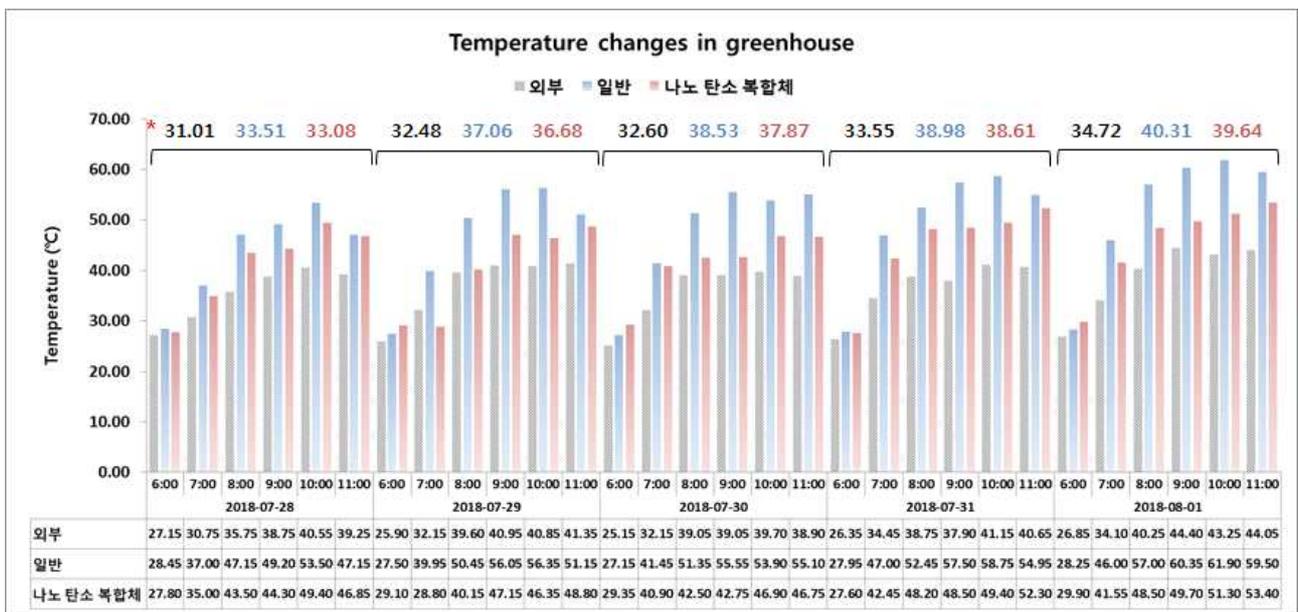
<그림 76> 적무 처리 및 주차별 하우스 생육 사진  
 A: 일반 비닐하우스, B: 나노 탄소 복합체 기능성 비닐하우스

(2) Pilot 제품 적용 비닐하우스 내 원예 재배 및 생산성 평가 연구

(2)-1 나노 탄소 복합체 소재가 비닐하우스 내부 환경에 미치는 영향

① 온·습도 비교

- 나노 탄소 복합체 기능성 비닐하우스 (시제품)와 일반 비닐하우스의 하절기 및 동절기 내부 온·습도 차이를 비교하기 위해 Giltron 온·습도 데이터 로거 (GT88162)를 하우스 외부 및 내부 중앙에 지면으로부터 약 2m 위치에 설치하여 30분 간격으로 측정 후 시간 당 평균을 비교하였음.
- 온·습도 데이터 로거 규격은 100(L)\*45(W)\*17(T)mm 이며 측정 범위는 온도 - 30-70℃ (보관가능온도 - 40-85℃), 습도 < 90%RH, 정확도는 ±0.3℃, ±2%RH 임
- 2018.07.28.-2018.08.01. 기간 동안 하루 평균 온도는 일반 비닐하우스에서 33.51-40.31℃로 확인되었고 나노 탄소 복합체 기능성 비닐하우스 내부는 하루 평균 33.08-39.64℃로 일반 비닐하우스에 비해 약 1.28-1.67% 낮았음
- 특히 하우스 내 온도가 급격히 높아지기 시작하는 06:00-11:00에 기능성 비닐하우스 내부 온도가 일반 비닐하우스에서보다 낮게 확인됨.

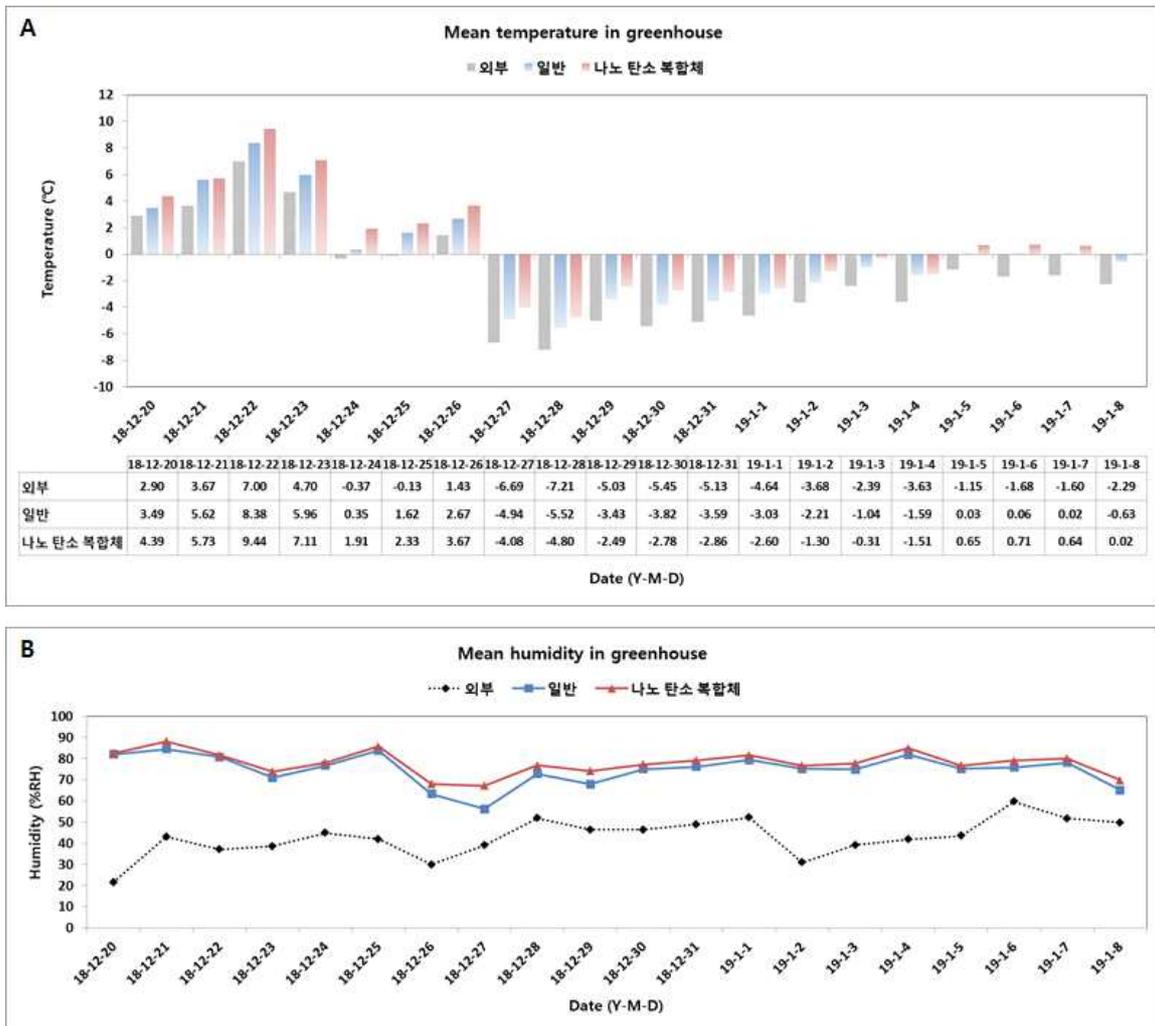


<그림77> 하절기 하우스 내부 온도 변화 (고양시 일산동구 식사동)

\* 24시간 평균 온도 (℃)

- 한편 동절기 급격히 기온이 낮아진 2018.12.20.-2019.01.08. 20일 동안 하우스 내부 온·습도 차이를 확인한 결과, 나노 탄소 복합체 기능성 비닐하우스 내부 온도가 일반 비닐하우스 내부에 비해 높게 측정되었고 상대습도도 일반 비닐하우스보다 높게 유지되는 것으로 나타남.
- 온도 차이는 20일 평균 약 0.77℃로 최소 0.09, 최대 1.56℃의 차이를 보였는데 이는 무가온 상태에서 단일 비닐을 사용했을 때 측정된 값으로 적외선램프를 함께 사용하게 되는

경우 그 효과가 증대될 것으로 사료됨.



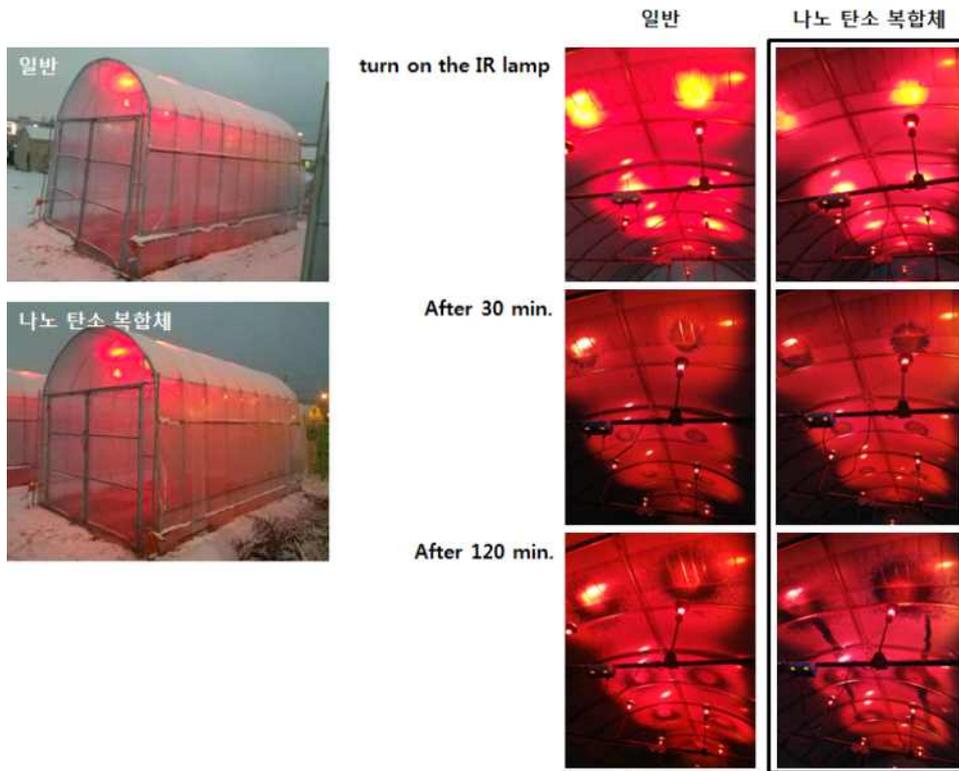
<그림 78> 동절기 하우스 내부 평균 온·습도 비교 (고양시 일산동구 식사동)

A: 2018.12.20.-2019.01.08. 평균 온도 (°C), B: 평균 습도 (%RH)

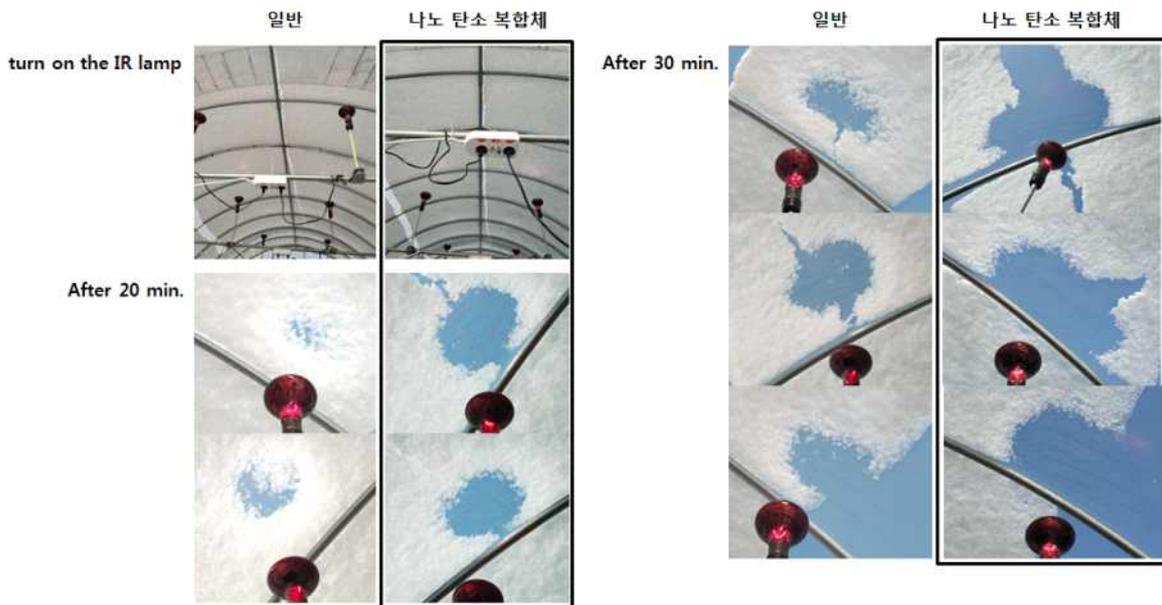
## (2)-2 설해 방지 가능성 평가

### ① 눈 녹임 테스트 (IR Lamp 적용)

- 동절기 나노 탄소 복합체 소재의 근적외선 흡수가 적층된 눈 녹임에 미치는 영향을 알아보기 위해 R95 IR Red 100W 적외선 램프 (Philips, 230V, 95mm \* 130mm)를 처리 당 7구를 지상 약 2m 높이에 설치하였음.
- 눈이 내린 뒤 일부 적층되었을 때 IR 램프를 작동 시킨 뒤 30분-1시간 까지 두 하우스 간 눈 녹임 차이는 크지 않았으나 램프 작동 2시간 정도 지났을 때 기능성 비닐하우스 내 램프 사이의 적층된 눈이 갈라지는 것을 확인할 수 있었으며, 이는 기능성 비닐하우스 비닐 소재의 IR 흡수능이 일반 비닐하우스보다 상대적으로 더 높기 때문으로 사료됨.
- 또한 IR 흡수에 따른 눈 녹임 효과는 해가 없는 시간 보다 낮에 더 효과적이었는데 램프 작동 20-30분부터 처리 간에 확실한 차이를 보임.



<그림 79> IR Lamp 작동 시 눈 녹임 비교 (1)



<그림 80> IR Lamp 작동 시 눈 녹임 비교 (2)

## (2)-3 종자 발아 시험

- 본 실험은 동국대학교 바이오자원생태농장 (경기도 고양시 일산동구 식사동)에 설치한 15m<sup>2</sup>의 비닐하우스에서 수행하였으며 한 동은 제2세부 세진케미칼로부터 나노 탄소 복합체 기능성 비닐을 제공받아 적용함.
- 또한 두 처리 간 동일한 환경을 조성하기 위해 8.5(L)\*8.5(W)\*10(T) cm 화분에 상토 (식물세계)를 넣어 종자 발아 시험을 실시하였고 동일한 양의 물을 저면 관수하였음.
- 발아율은 더 이상 추가 발아개체가 없을 때까지 매일 조사하였고 이를 바탕으로 발아율, 발아세, 평균발아일수 및 평균발아속도 (1일 당 평균 발아종자 수)를 계산함.

### ① 종자 발아 시험

- 대상작물: 백경채 (*Brassica campestris* L. ssp. *chinensis* Jusl.), 앓은뱅이방울토마토 (*Lycopersicon esculentum* Mill), 앓은뱅이황금방울토마토 (*L. esculentum* Mill)
- 조사기간: 2018.04.05. - 2018.04.25.
- 조사항목: 발아율 (PG), 발아세 (GE), 평균발아일수 (MGT), 평균발아속도 (MDG; 평균발아속도)

$$PG = (N/S) * 100 \text{ (N: 총 발아 종자수, S: 총 시험 종자수)}$$

$$GE = (\text{최고 발아까지의 종자수}/S) * 100$$

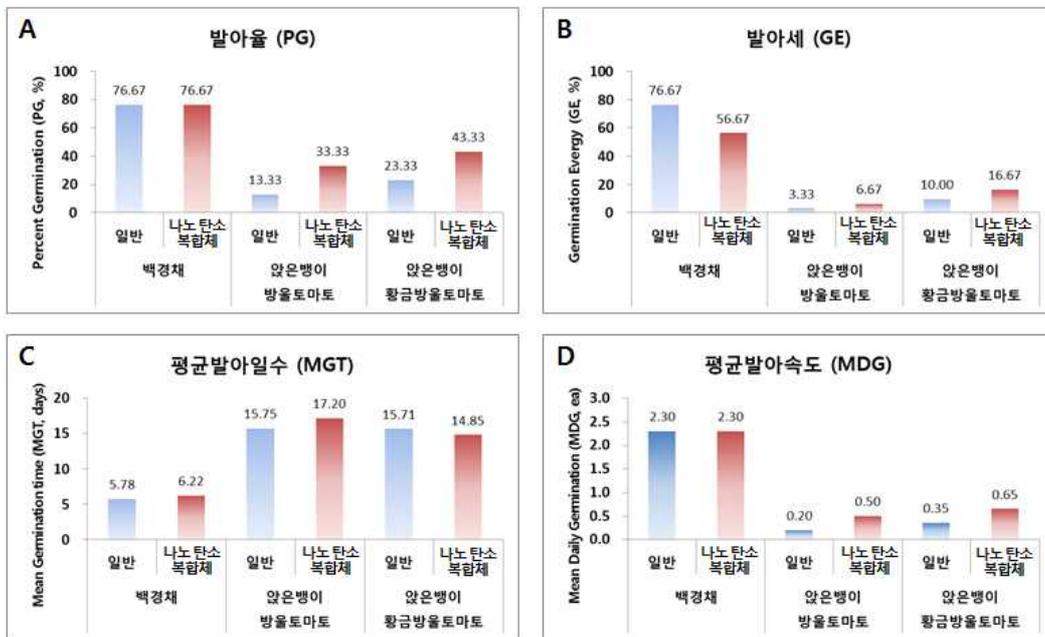
$$MGT = \sum (Tx * Nx) / N \text{ (Tx: 파종 후 경과일수, Nx: 조사당일 발아수)}$$

$$MDG = N/T \text{ (T: 총 조사일수)}$$

- 발아율의 경우 백경채 발아율에는 차이가 없었으나 앓은뱅이방울토마토의 경우 일반 비닐하우스에서 13.33% (황금 = 23.33%), 기능성 비닐하우스에서 33.33% (황금 = 43.33%)로 기능성 비닐하우스에서의 발아율이 높게 나타났으며, 발아세는 백경채의 경우 일반 비닐하우스 (76.67% > 56.67%(복합체))에서, 토마토는 기능성 비닐하우스 (6.67% > 3.33%(일반) 및 16.67% > 10.00%(일반)) 내 개체들이 더 높은 것으로 확인됨.
- 평균 발아일수는 발아 후 발아까지 걸리는 평균일수를 말하며, 앓은뱅이황금방울토마토를 제외하고 일반비닐하우스에서 발아가 더 빨랐지만 1일당 평균 발아 종자수인 평균 발아속도는 기능성 비닐하우스에서 약 0.3일 더 빠른 것으로 확인됨.
- 백경채는 작물 생육 평가를 위해 균일한 모종들을 선별하여 각 하우스 내 제작한 멀칭된 이랑 (1.2\*4.2 m)에 2줄로 이식하였으며, 앓은뱅이방울토마토는 모종시장에 구입한 모종을 동일한 토양에 이식하여 생육 평가를 수행하였음.
- 토양은 모종을 이식하기 일주일 전 기존 토양에 상토 (식물세계) 비율을 1:1로 섞고 퇴비 (청용비료)는 이의 1/10을 넣어 제작하였음.



<그림 81> 종자 발아 시험



<그림 82> 종자 발아 시험 결과 그래프

- A. 발아율 (PG; Percent Germination), B: 발아세 (GE; Germination Energy), C: 평균발아일수 (MGT; Mean Germination Time), D: 평균발아속도 (MDG; Mean Daily Germination)

## (2)-4 식량작물 생육 평가

- 본 실험은 동국대학교 바이오자원생태농장 (경기도 고양시 일산동구 식사동)에 설치한 15m<sup>2</sup>의 비닐하우스에서 수행하였으며 한 동은 제2세부 세진케미칼로부터 나노 탄소 복합체 기능성 비닐을 제공받아 적용하였음.
- 또한 두 처리 간 동일한 환경을 조성하기 위해 1.2\*4.2 m 간격으로 이랑 (고랑 0.5 m) 작업 후 비닐 멀칭을 통해 잡초 방제 및 토양 내 습도를 유지하도록 하였고, 기존 토양과 상토 (식물세계)의 비율은 1:1, 퇴비 (청용비료)는 이의 1/10을 넣어 작물 재배를 위한 토양을 제작하였음.
- 백경채와 비타민다채, 앓은뱅이방울토마토 생육 평가는 매주 동일한 개체를 대상으로 엽 발달 및 엽록소 함량 조사를 실시하였으며, 청로메인과 적꽃상추는 처리별로 각 3개체씩 무작위로 선발하여 수확 후 엽장 및 엽폭은 개체 당 3엽씩 3개체 3반복으로, 엽수, 뿌리길이, 생체중 및 건조중 (45℃)은 3개체 3반복으로 조사함.
- 수집된 데이터는 IBM SPSS (Statistical Package for the Social Sciences, SPSS Inc., Chicago, IL) 통계 프로그램을 이용하여 t-test (p=0.05)를 수행한 후 두 처리 간 유의적인 차가 있는 경우 \* (P<0.05) 또는 \*\* (P<0.01)로 나타냄.

### • 백경채 (*Brassica campestris* L. ssp. *chinensis* Jusl.)

- 조사기간: 2018.04.26. - 2018.05.24.
- 조사항목: 엽수 (Leaf number), 엽장 (Leaf length), 엽폭 (Leaf width), Chlorophyll (SPAD value)
- 백경채의 엽 생육 발달 측정 결과 수치적으로 모두 기능성 비닐하우스 내 개체들이 상대적으로 높게 나타났으며, 특히 2주차 엽수와 2-4주차 엽장의 발달은 통계적으로 유의미한 차이 (\*  $P \leq 0.05$ )를 보이며 일반 비닐하우스 내 개체들보다 우수한 생육 발달을 보임
- 엽록소 함량은 모두 일반 비닐하우스 개체들이 수치적으로 높았으나, 통계적인 차이는 없는 것으로 나타남에 따라 기능성 비닐의 엽록소 함량에 미치는 부정적인 영향은 없는 것으로 판단됨.
- 또한 마지막 4주차에 총 5개체의 생체중을 조사한 결과 기능성 비닐하우스 내 개체들 합은 2.7 kg이었고, 이는 1.7 kg으로 확인된 일반 하우스의 개체들에 비해 상대적으로 높은 수치임.



<그림 83> 처리 및 주차별 배경채 생육 비교



<그림 84> 처리별 배경채 수확량 (5개체 생체중)

<표 32> 나노 탄소 복합체 및 일반 비닐하우스 내 배경채 생육 비교

		Treatment		F value (sig.)	t value	P
		일반	복합체			
Leaf number (ea)	0 week	5.33±0.47	5.33±0.47	-	-	-
	1 week	8.40±1.02	9.00±0.63	1.823 (0.214)	-1.000	0.347
	2 weeks	10.60±1.62	13.20±0.40	14.876 (0.005)	-3.108*	0.031
	3 weeks	16.00±2.45	17.60±1.02	2.215 (0.175)	-1.206	0.262
	4 weeks	19.00±4.73	22.00±1.10	5.885 (0.041)	-1.235	0.278
Leaf length (cm)	0 week	4.81±0.51	4.81±0.51	-	-	-
	1 week	8.34±1.45	9.69±0.78	3.157 (0.114)	-1.640	0.140
	2 weeks	13.33±2.66	17.23±1.57	3.132 (0.115)	-2.505*	0.037
	3 weeks	20.91±2.97	26.45±0.53	19.375 (0.002)	-3.656*	0.019
	4 weeks	27.42±2.92	31.39±0.56	3.258 (0.109)	-2.677*	0.028
Leaf width (cm)	0 week	2.67±0.25	2.67±0.25	-	-	-
	1 week	4.23±0.87	4.79±0.62	1.938 (0.201)	-1.080	0.312
	2 weeks	7.93±1.51	9.43±0.99	3.064 (0.118)	-1.658	0.136
	3 weeks	15.17±2.06	17.74±1.27	2.339 (0.165)	-2.138	0.065
	4 weeks	20.11±2.76	22.07±1.27	2.139 (0.182)	-1.267	0.241
Chlorophyll	0 week	-	-	-	-	-
	1 week	51.10±5.77	47.40±2.28	1.602 (0.241)	1.192	0.267

(SPAD value)	2 weeks	58.54±4.92	52.21±3.04	2.494 (0.153)	2.190	0.060
	3 weeks	50.60±2.86	49.66±2.16	0.287 (0.607)	0.527	0.613
	4 weeks	53.50±1.73	52.34±3.69	4.666 (0.063)	0.568	0.585
Weight of yield (5 ea)		1.7 kg	2.7 kg	-	-	-

• **비타민다채 (Brassica campestris L. var. narinosa)**

- 조사기간: 2018.04.26. - 2018.05.17.
- 조사항목: 엽수 (Leaf number), 엽장 (Leaf length), 엽폭 (Leaf width), Chlorophyll (SPAD value)
- 비타민다채의 엽수 발달은 수치적으로 기능성 비닐하우스에서 상대적으로 높게 나타났으나, 통계분석 결과 일반하우스와 차이는 없는 것으로 확인됨.
- 엽의 발달에 있어서는 시간이 경과할수록 일반 비닐하우스 내 개체들이 수치적으로 높은 것으로 조사되었지만 통계적으로 유의미한 차이는 없는 것으로 나타남.
- 엽록소 함량의 경우 생육 초기에는 일반 비닐하우스 내 개체들에서 높게 측정되었으나 마지막 주차에는 기능성 비닐하우스 개체들에서 높게 측정되었으며, 통계적인 차이는 없는 것으로 확인됨.



<그림 85> 처리 및 주차별 비타민다채 생육 비교

<표 33> 나노 탄소 복합체 및 일반 비닐하우스 내 다채 생육 비교

		Treatment		F value (sig.)	t value	P
		일반	복합체			
Leaf number (ea)	0 week	13.67±2.62	13.67±2.62	-	-	-
	1 week	21.60±1.85	24.40±3.26	5.445 (0.048)	-1.492	0.184
	2 weeks	33.80±4.31	36.00±6.10	0.734 (0.417)	-0.589	0.572
	3 weeks	42.00±12.95	43.60±5.28	7.340 (0.027)	-0.229	0.828
Leaf length (cm)	0 week	4.79±1.11	4.79±1.11	-	-	-
	1 week	6.03±0.95	6.74±0.89	0.311 (0.592)	-1.122	0.295
	2 weeks	11.78±1.81	11.17±1.50	1.368 (0.276)	0.496	0.634
	3 weeks	19.71±2.14	18.46±1.62	0.575 (0.470)	0.956	0.367
Leaf width (cm)	0 week	2.12±0.30	2.12±0.30	-	-	-
	1 week	3.13±0.46	3.27±0.49	0.094 (0.766)	-0.354	0.733
	2 weeks	5.78±0.87	6.21±0.82	0.076 (0.789)	-0.702	0.503
	3 weeks	9.41±1.01	8.74±0.40	1.641 (0.236)	1.154	0.282
Chlorophyll (SPAD value)	0 week	-	-	-	-	-
	1 week	61.5±5.38	57.61±3.90	0.292 (0.604)	1.169	0.276
	2 weeks	60.30±2.58	59.95±2.44	0.006 (0.942)	0.198	0.848
	3 weeks	52.93±4.78	54.40±4.18	0.289 (0.605)	-0.461	0.657

• **얇은뱅이방울토마토 (Lycopersicon esculentum Mill)**

- 조사기간: 2018.04.26. - 2018.07.19.
- 조사항목: 초장 (Plant height), 경직경 (Stem diameter), 꽃수 (Number of flowers), 과실 수 (Number of fruits), Chlorophyll (SPAD value)
- 초장 및 경직경, 엽록소 함량은 두 처리 간 수치적 차이는 보이나 통계적으로는 생육 발달에 차이가 없는 것으로 확인되었으며, 꽃수는 생육 초 2주차 조사 결과에서 기능성 비닐하우스 내 개체들이 고도의 유의차를 보이며 (\*\* P≤0.01) 일반 비닐하우스 내 개체들보다 우수한 발달을 보임.
- 과실은 과실 발달 초기부터 4, 6주차까지 수치적으로 기능성 비닐하우스 내 개체들에서 높게 나타났지만 8주차 조사 결과 평균 약 6.4개의 차이를 보이며 일반 비닐하우스 개체들에서 높게 측정됨. 하지만 통계 분석 결과, 기능성 비닐하우스 내 개체들 간에 차이가 높음에 따라 일반 비닐하우스 내 개체들과 통계적으로 유의미한 차이는 없는 것으로 확인되었음.



<그림 86> 처리 및 주차별 앓은뱅이방울토마토 생육 비교

<표 34> 나노 탄소 복합체 및 일반 비닐하우스 내 앓은뱅이방울토마토 생육 비교

		Treatment		F value (sig.)	t value	P
		일반	복합체			
Plant height (cm)	0 week	18.30±1.91	18.30±1.91	-	-	-
	2 weeks	23.60±2.95	23.64±2.06	1.187 (0.308)	-0.022	0.983
	4 weeks	39.64±5.00	38.12±5.14	0.000 (0.990)	0.424	0.683
	6 weeks	52.92±7.92	54.50±8.18	0.033 (0.861)	-0.278	0.788
	8 weeks	-	-	-	-	-
Stem diameter (mm)	0 week	0.73±0.05	0.73±0.05	-	-	-
	2 weeks	6.84±0.41	7.15±0.61	0.744 (0.414)	-0.851	0.419
	4 weeks	9.64±0.41	10.03±0.58	0.972 (0.353)	-1.099	0.304
	6 weeks	11.39±0.96	11.16±0.38	7.201 (0.028)	0.441	0.677
	8 weeks	12.12±0.91	13.30±1.03	0.117 (0.741)	-1.721	0.124
Number of flowers (ea)	0 week	-	-	-	-	-
	2 weeks	12.20±1.94	19.00±3.03	2.139 (0.182)	-3.778**	0.005
	4 weeks	36.80±8.45	35.60±3.93	1.284 (0.290)	0.258	0.803
	6 weeks	74.20±6.27	51.80±18.47	4.334 (0.071)	2.297	0.051
	8 weeks	37.40±10.95	48.60±19.83	2.122 (0.183)	-0.989	0.352
Number of fruits (mm)	0 week	-	-	-	-	-
	2 weeks	-	-	-	-	-
	4 weeks	1.40±0.49	2.60±1.50	4.188 (0.075)	-1.524	0.166
	6 weeks	22.40±10.86	28.80±5.91	2.842 (0.130)	-1.035	0.331
	8 weeks	64.00±5.83	57.60±12.27	4.210 (0.074)	0.942	0.374
Chlorophyll (SPAD value)	0 week	-	-	-	-	-
	2 weeks	58.35±1.38	61.52±3.83	3.895 (0.084)	-1.561	0.157
	4 weeks	59.01±2.01	56.93±4.23	1.540 (0.250)	0.888	0.400
	6 weeks	51.38±1.96	51.84±2.71	0.767 (0.407)	-0.276	0.789
	8 weeks	51.21±4.02	54.69±2.22	3.613 (0.094)	-1.514	0.168

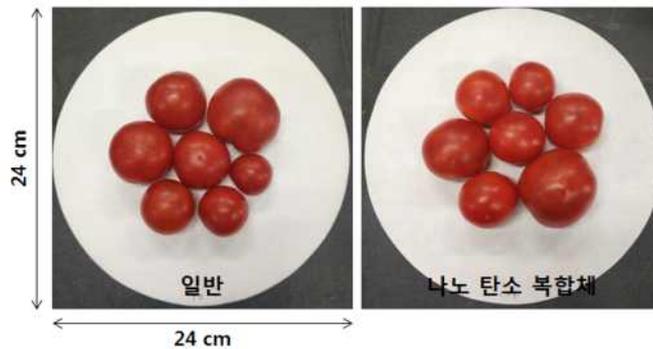
- 또한 과실의 총 수확량을 확인한 결과, 기능성 비닐하우스 처리구가 일반하우스 처리구에 비해 높게 확인되었으며, 처리별로 총 10과를 대상으로 3반복 당도를 측정한 결과에서는 두 처리간 통계적 차이가 없는 것으로 확인되었고, 과실의 형태는 두 처리 모두 개체 간에 차이를 보임.



<그림 87> 앓은뱅이방울토마토 수확량 (1차: 2018.07.04., 2차: 2018.07.19.)

<표 35> 앓은뱅이방울토마토 당도 측정 결과

	Treatment		F value (sig.)	t value	P
	일반	복합체			
1차 수확	3.95±0.67	3.60±0.47	0.435 (0.518)	1.282	0.216
2차 수확	4.11±0.46	4.23±0.39	0.096 (0.761)	-0.599	0.557

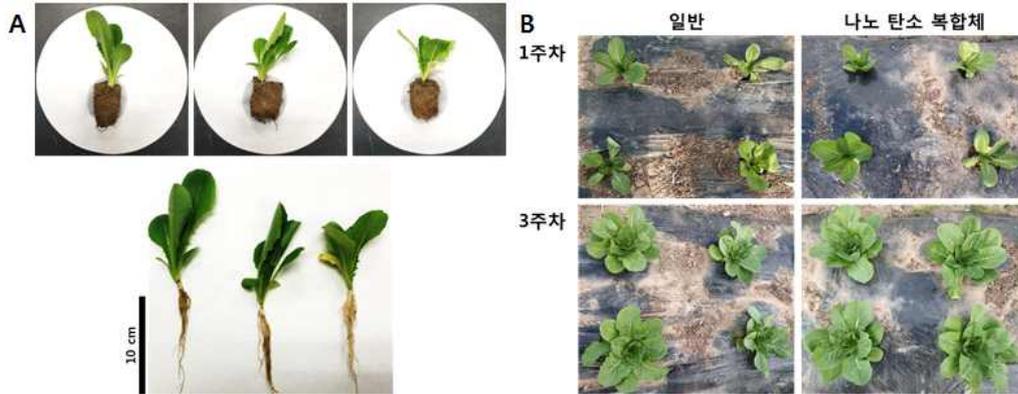


<그림 88> 앓은뱅이방울토마토 과실 형태

• **청로메인 (Romaine lettuce; *Lactuca sativa* L.)**

- 조사기간: 2018.10.25. - 2018.11.23.
- 조사항목: 엽수 (Leaf number), 엽장 (Leaf length), 엽폭 (Leaf width), 뿌리길이 (Root length), 총 생체중 (Total fresh weight), 지상부 생체중 (Shoot fresh weight), 뿌리 생체중 (Root fresh weight), 총 건조중 (Total dry weight), 지상부 건조중 (Shoot dry weight), 뿌리 건조중 (Root dry weight), Chlorophyll (SPAD value)
- 엽의 발달 (엽수, 엽장 및 엽폭)에 있어서 기능성 비닐하우스 내 개체들이 수치적으로 생육이 좋은 것으로 나타났지만 두 처리 간 통계적 차이는 없는 것으로 확인되었고, 생체중 역시 이와 비슷한 결과를 보였으나 뿌리 길이는 4주차에 평균 약 3.44 cm의 차이로 통계적 유의차를 나타내며 (\*  $P \leq 0.05$ ) 기능성 비닐하우스 개체들에서 높게 측정됨.
- 또한 총 건조중과 지상부 (shoot) 건조중 역시 4주차에 유의차를 보이며 (\*  $P \leq 0.05$ ) 기능성 비닐하우스 내 개체들이 높은 것으로 확인됨.

- 이 외에 엽록소 함량을 포함한 대부분의 조사 항목 수치가 기능성 비닐하우스에서 높게 조사되었지만 통계 분석 결과 두 처리 간 차이는 없는 것으로 나타남.
- 따라서 나노 탄소 복합체 사용 유무가 엽채류의 엽 발달에 미치는 부정적인 영향은 없는 것으로 판단되며 오히려 나노 탄소 복합체 농도에 따라 더 우수한 개체의 증식이 가능할 것으로 사료됨.



<그림 89> 청로메인 모종 이식 및 재배

A: 모종 이식 당일, B: 1주차 및 3주차 생육 비교

<표 36> 나노 탄소 복합체 및 일반 비닐하우스 내 청로메인 생육 비교

		Treatment		F value (sig.)	t value	P
		일반	복합체			
Leaf number (ea)	0 week	6.67±0.47	6.67±0.47	-	-	-
	1 week	9.67±0.47	10.33±0.94	3.200 (0.148)	-0.894	0.422
	2 weeks	16.33±2.87	15.33±0.94	2.063 (0.224)	0.469	0.664
	3 weeks	22.33±0.47	23.00±2.16	7.000 (0.057)	-0.426	0.692
	4 weeks	22.67±0.94	28.67±5.19	10.368 (0.032)	-1.610	0.241
Leaf length (cm)	0 week	9.57±0.85	9.57±0.85	-	-	-
	1 week	11.12±0.11	11.57±0.41	3.347 (0.141)	-1.100	0.333
	2 weeks	13.48±1.27	14.63±1.20	0.000 (1.000)	-0.933	0.403
	3 weeks	14.62±1.06	14.66±1.66	1.214 (0.332)	-0.024	0.982
	4 weeks	16.02±0.46	17.11±0.47	0.179 (0.694)	-2.252	0.087
Leaf width (cm)	0 week	4.22±0.17	4.22±0.17	-	-	-
	1 week	5.38±0.03	5.52±0.50	3.151 (0.151)	-0.383	0.721
	2 weeks	6.83±0.98	7.17±0.30	2.587 (0.183)	-0.414	0.700
	3 weeks	7.72±0.53	9.56±1.77	6.230 (0.067)	-1.411	0.231
	4 weeks	10.38±0.22	10.21±0.49	4.028 (0.115)	0.367	0.732
Root length (cm)	0 week	12.77±1.30	12.77±1.30	-	-	-
	1 week	12.53±1.43	10.83±5.61	4.438 (0.103)	0.416	0.699
	2 weeks	8.17±1.44	11.23±1.58	0.066 (0.810)	-2.024	0.113
	3 weeks	11.53±2.81	9.40±2.63	0.058 (0.822)	0.784	0.477
	4 weeks	10.33±0.26	13.77±1.22	5.561 (0.078)	-3.882 *	0.018
Total fresh weight (g)	0 week	3.54±0.29	3.54±0.29	-	-	-
	1 week	7.25±0.79	9.25±2.15	3.771 (0.124)	-1.240	0.283
	2 weeks	24.39±8.66	28.04±5.98	0.207 (0.673)	-0.491	0.649
	3 weeks	41.13±7.34	58.24±19.11	4.477 (0.102)	-1.182	0.303

	4 weeks	70.61±3.13	82.17±5.55	2.148 (0.217)	-2.566	0.062
Shoot fresh weight (g)	0 week	2.94±0.33	2.94±0.33	-	-	-
	1 week	6.00±0.57	7.91±1.70	4.204 (0.110)	-1.506	0.207
	2 weeks	21.67±8.03	25.14±5.76	0.177 (0.695)	-0.497	0.645
	3 weeks	36.55±7.00	52.87±17.24	4.032 (0.115)	-1.240	0.283
	4 weeks	63.05±3.57	74.83±5.79	1.446 (0.295)	-2.449	0.070
Root fresh weight (g)	0 week	0.61±0.08	0.61±0.08	-	-	-
	1 week	1.25±0.28	1.34±0.44	1.188 (0.337)	-0.261	0.807
	2 weeks	2.73±0.65	2.90±0.33	1.383 (0.305)	-0.342	0.750
	3 weeks	4.58±0.38	5.37±1.87	9.492 (0.037)	-0.588	0.612
	4 weeks	7.55±0.44	7.34±0.87	1.707 (0.261)	0.316	0.768
Total dry weight (g)	0 week	-	-	-	-	-
	1 week	0.83±0.08	1.10±0.17	1.166 (0.341)	-1.978	0.119
	2 weeks	1.62±0.48	1.85±0.31	0.482 (0.526)	-0.560	0.605
	3 weeks	3.66±0.59	4.19±1.29	3.796 (0.123)	-0.523	0.628
	4 weeks	5.91±0.22	6.84±0.26	0.262 (0.636)	-3.890 *	0.018
Shoot dry weight (g)	0 week	-	-	-	-	-
	1 week	0.71±0.06	0.92±0.15	1.464 (0.293)	-1.862	0.136
	2 weeks	1.42±0.45	1.62±0.28	0.400 (0.562)	-0.551	0.611
	3 weeks	3.15±0.53	3.75±1.16	3.743 (0.125)	-0.662	0.544
	4 weeks	5.17±0.16	6.22±0.22	0.602 (0.481)	-5.514 *	0.005
Root dry weight (g)	0 week	-	-	-	-	-
	1 week	0.13±0.02	0.18±0.02	0.000 (1.000)	-2.335	0.080
	2 weeks	0.21±0.04	0.23±0.03	0.172 (0.699)	-0.524	0.628
	3 weeks	0.51±0.06	0.44±0.14	2.961 (0.160)	0.614	0.573
	4 weeks	0.74±0.07	0.62±0.23	6.911 (0.058)	0.676	0.536
Chlorophyll l (SPAD value)	0 week	-	-	-	-	-
	1 week	43.14±6.74	41.40±2.28	5.662 (0.076)	0.346	0.746
	2 weeks	40.79±2.11	41.61±3.11	1.065 (0.360)	-0.306	0.775
	3 weeks	41.39±2.58	44.59±1.12	1.106 (0.352)	-1.605	0.184
	4 weeks	48.76±3.50	51.44±2.64	0.276 (0.627)	-0.865	0.436



<그림 90> 주차별 청로메인 생육 비교 (bar: 10 cm)  
 A: 1주차, B: 2주차, C: 3주차, D: 4주차

• 적꽃상추 (*Lactuca sativa* L.)

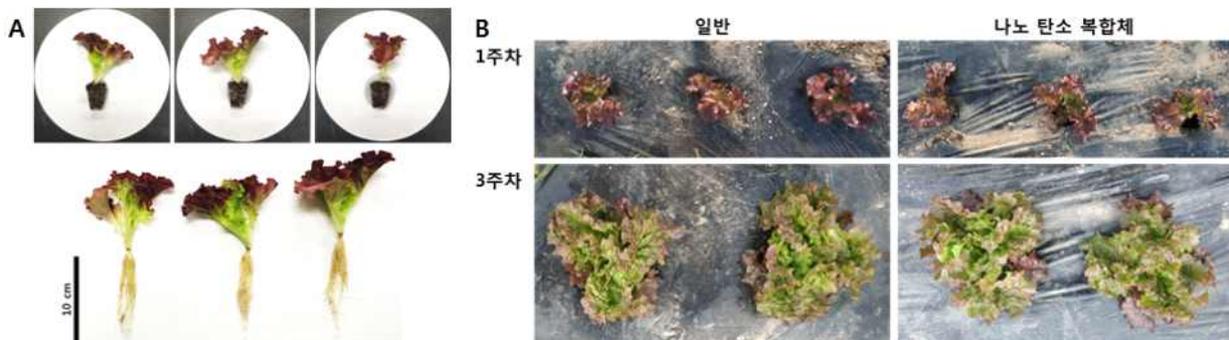
- 조사기간: 2018.10.25. - 2018.11.23.

- 조사항목: 엽수 (Leaf number), 엽장 (Leaf length), 엽폭 (Leaf width), 뿌리길이 (Root length), 총 생체중 (Total fresh weight), 지상부 생체중 (Shoot fresh weight), 뿌리 생체중 (Root fresh weight), 총 건조중 (Total dry weight), 지상부 건조중 (Shoot dry weight), 뿌리 건조중 (Root dry weight), Chlorophyll (SPAD value)

- 엽의 발달은 1주 및 3주차에 통계적인 유의차를 보이며 (\*  $P \leq 0.05$ ) 기능성 비닐하우스 내 개체들이 높게 측정되었고 4주차에는 엽폭의 발달과 3주차 뿌리 길이가 일반 비닐하우스 내 개체들이 더 높게 측정되었음.

- 하지만 2주차 총 생체중과 지상부 생체중 및 건조중, 3주차 뿌리 생체중 및 2-4주차 뿌리 건조중 모두 통계적 유의차를 보이며 (\*  $P \leq 0.05$ ) 기능성 비닐하우스 내 개체들이 일반 하우스 내 개체들보다 우수한 것으로 나타남.

- 엽록소 함량은 수치적으로 기능성 비닐하우스 내 개체들에서 높게 측정되었지만 통계적으로 유의미한 차이는 없는 것으로 나타났으며 청로메인 결과와 마찬가지로 나노 탄소 복합체 소재가 적꽃상추의 엽 발달에 미치는 부정적 영향은 없는 것으로 확인됨.



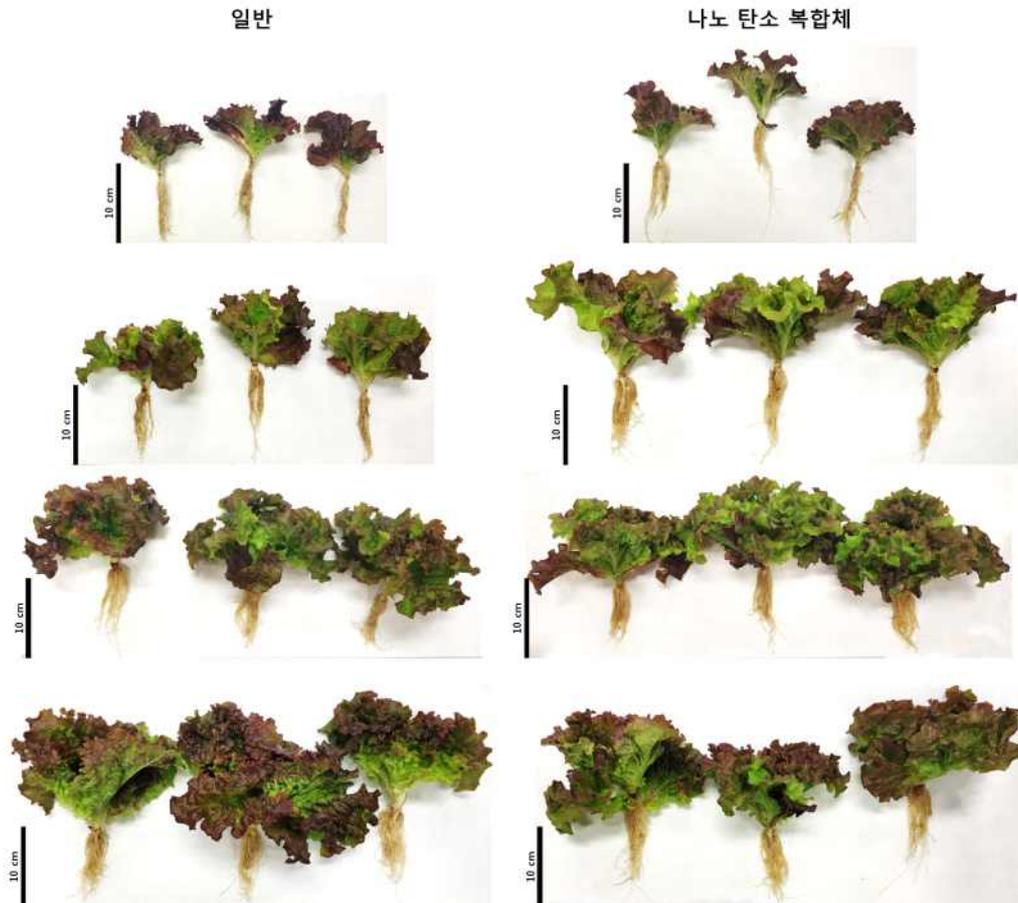
<그림 91> 적꽃상추 모종 이식 및 재배

A: 모종 이식 당일, B: 1주차 및 3주차 생육 비교

<표 37> 나노 탄소 복합체 및 일반 비닐하우스 내 적꽃상추 생육 비교

	Treatment	Treatment		F value (sig.)	t value	P
		일반	복합체			
Leaf number (ea)	0 week	5.00±0.00	5.00±0.00	-	-	-
	1 week	6.00±0.00	7.67±0.47	16.000 (0.016)	-5.000 *	0.038
	2 weeks	9.33±0.47	11.67±1.25	2.571 (0.184)	-2.475	0.069
	3 weeks	13.67±0.47	16.33±0.94	3.200 (0.148)	-3.578 *	0.023
	4 weeks	13.33±0.94	12.67±2.05	1.362 (0.308)	0.417	0.698
Leaf length (cm)	0 week	8.92±0.13	8.92±0.13	-	-	-
	1 week	8.37±0.47	8.79±0.26	2.632 (0.180)	-1.149	0.315
	2 weeks	9.67±0.57	10.63±1.11	2.699 (0.176)	-1.091	0.336
	3 weeks	11.22±0.22	11.87±0.61	3.346 (0.141)	-1.375	0.241
	4 weeks	13.27±0.87	11.99±0.79	0.077 (0.795)	1.491	0.210
Leaf width (cm)	0 week	7.17±0.63	7.17±0.63	-	-	-
	1 week	6.71±0.59	7.12±0.65	0.139 (0.728)	-0.718	0.513
	2 weeks	8.86±0.49	10.06±0.40	0.235 (0.653)	-2.714	0.053

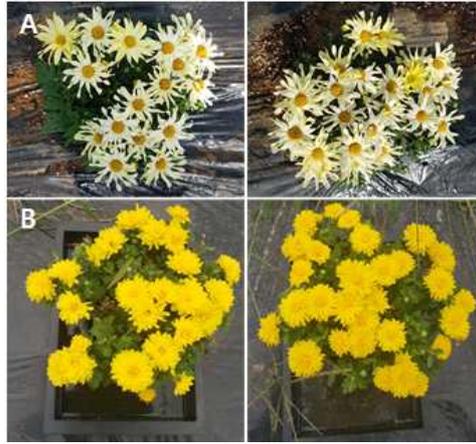
	3 weeks	12.48±0.51	12.91±1.00	1.885 (0.242)	-0.533	0.622
	4 weeks	16.97±0.83	13.81±1.00	0.197 (0.680)	3.377 *	0.028
Root length (cm)	0 week	12.83±1.18	12.83±1.18	-	-	-
	1 week	10.90±0.29	13.70±2.74	3.383 (0.140)	-1.439	0.224
	2 weeks	11.67±1.58	11.00±0.62	4.879 (0.092)	0.556	0.608
	3 weeks	13.57±0.61	10.53±1.40	3.960 (0.117)	2.814 *	0.048
	4 weeks	12.97±1.72	12.97±1.60	0.000 (1.000)	0.000	1.000
Total fresh weight (g)	0 week	4.33±0.79	4.33±0.79	-	-	-
	1 week	5.19±1.00	6.26±1.16	0.299 (0.614)	-0.989	0.379
	2 weeks	13.90±1.42	21.10±0.39	6.080 (0.069)	-6.944 *	0.002
	3 weeks	33.70±4.01	45.08±6.03	1.046 (0.364)	-2.222	0.090
	4 weeks	63.97±6.92	47.29±9.13	0.182 (0.692)	2.058	0.109
Shoot fresh weight (g)	0 week	3.29±0.69	3.29±0.69	-	-	-
	1 week	4.28±0.85	5.35±1.07	0.523 (0.509)	-1.112	0.329
	2 weeks	12.58±1.52	19.34±0.53	3.153 (0.150)	-5.927 *	0.004
	3 weeks	31.74±3.93	42.74±5.97	1.115 (0.350)	-2.176	0.095
	4 weeks	61.02±6.65	44.02±9.34	0.269 (0.631)	2.097	0.104
Root fresh weight (g)	0 week	1.04±0.10	1.04±0.10	-	-	-
	1 week	0.91±0.16	0.91±0.09	1.524 (0.285)	0.026	0.980
	2 weeks	1.32±0.23	1.77±0.16	0.528 (0.508)	-2.263	0.086
	3 weeks	1.96±0.13	2.35±0.09	0.210 (0.670)	-3.543 *	0.024
	4 weeks	2.95±0.28	3.27±0.26	0.008 (0.934)	-1.227	0.287
Total dry weight (g)	0 week	-	-	-	-	-
	1 week	0.56±0.13	0.59±0.12	0.002 (0.968)	-0.246	0.818
	2 weeks	0.82±0.03	1.20±0.08	5.703 (0.075)	-6.146 *	0.004
	3 weeks	2.04±0.17	2.63±0.31	2.155 (0.216)	-2.341	0.079
	4 weeks	3.87±0.31	3.14±0.33	0.002 (0.964)	2.288	0.084
Shoot dry weight (g)	0 week	-	-	-	-	-
	1 week	0.44±0.09	0.49±0.10	0.070 (0.805)	-0.479	0.657
	2 weeks	0.72±0.03	1.06±0.08	5.016 (0.089)	-5.880 *	0.004
	3 weeks	1.87±0.16	2.42±0.31	2.594 (0.183)	-2.229	0.090
	4 weeks	3.63±0.28	2.82±0.36	0.120 (0.747)	2.522	0.065
Root dry weight (g)	0 week	-	-	-	-	-
	1 week	0.11±0.03	0.10±0.02	1.180 (0.338)	0.635	0.560
	2 weeks	0.10±0.02	0.14±0.01	2.286 (0.205)	-3.250 *	0.031
	3 weeks	0.17±0.01	0.21±0.11	0.727 (0.442)	-3.479 *	0.025
	4 weeks	0.24±0.03	0.32±0.03	0.040 (0.851)	-2.988 *	0.040
Chlorophyll l (SPAD value)	0 week	-	-	-	-	-
	1 week	23.73±2.51	21.74±2.04	0.063 (0.814)	0.868	0.434
	2 weeks	21.44±0.96	21.88±0.84	0.111 (0.756)	-0.482	0.655
	3 weeks	24.57±1.42	25.61±1.87	0.241 (0.649)	-0.646	0.554
	4 weeks	24.10±1.39	25.27±0.42	2.233 (0.209)	-1.145	0.316



<그림 92> 주차별 적꽃상추 생육 비교 (bar: 10 cm)  
 A: 1주차, B: 2주차, C: 3주차, D: 4주차

#### (2)-5 원예작물 생육 평가

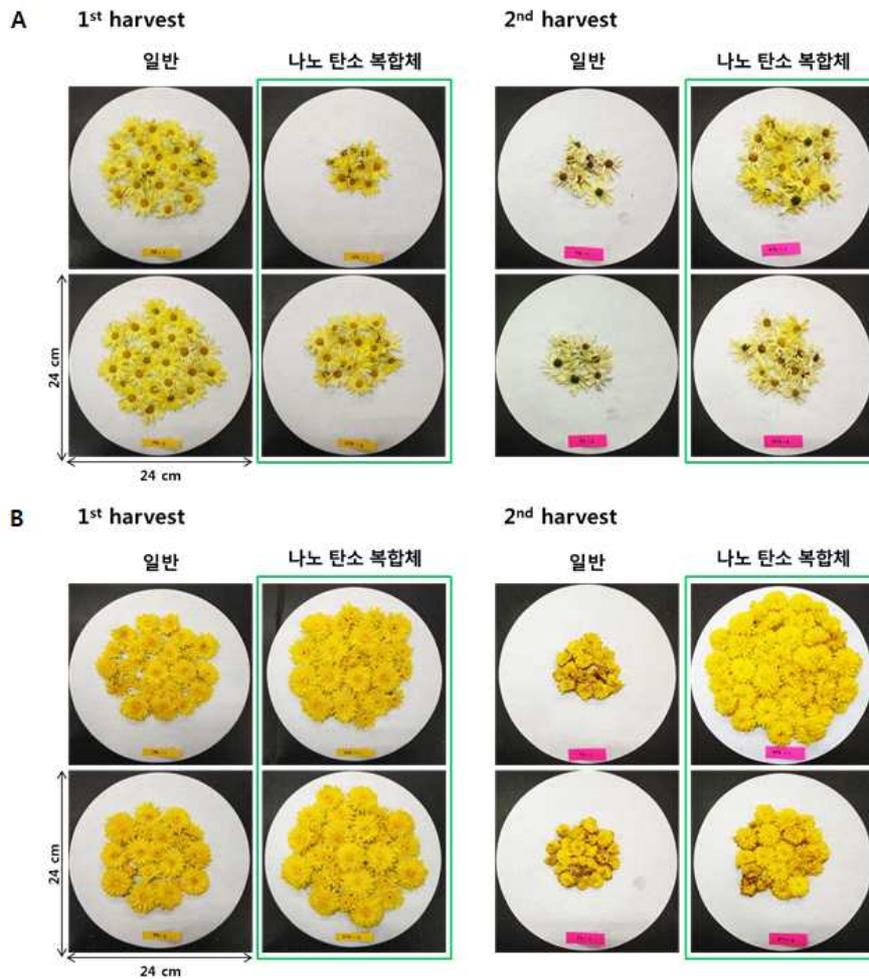
- 본 실험은 동국대학교 바이오자원생태농장 (경기도 고양시 일산동구 식사동)에 설치한 15m<sup>2</sup>의 비닐하우스에서 수행하였으며 한 동은 제2세부 세진케미칼로부터 나노 탄소 복합체 시제품 비닐을 제공받아 적용하였음.
- 구절초는 기존 토양과 상토 (식물세계)의 비율을 1:1, 퇴비 (청용비료)는 이의 1/10을 넣어 제작된 토양에 이식하여 관리하였고, 국화는 화분 그대로 저면관수로 관리하였고, 꽃은 개화 후 화턱 부분을 잘라 꽃수와 생체중 및 건조중 (45℃)을 조사함.
- 수집된 데이터는 IBM SPSS (Statistical Package for the Social Sciences, SPSS Inc., Chicago, IL) 통계 프로그램을 이용하여 t-test (p=0.05)를 수행한 후 두 처리 간 유의적인 차가 있는 경우 \* (P<0.05) 또는 \*\* (P<0.01)로 나타냄.



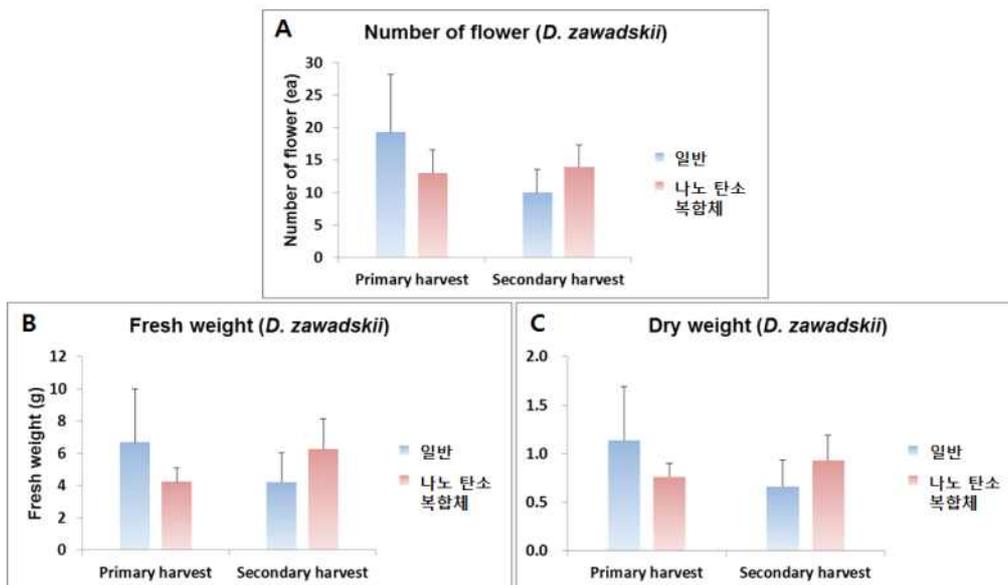
<그림 93> 구절초 및 국화 재배  
A: 4주차 구절초, B: 3주차 국화

#### • 꽃 발달 조사

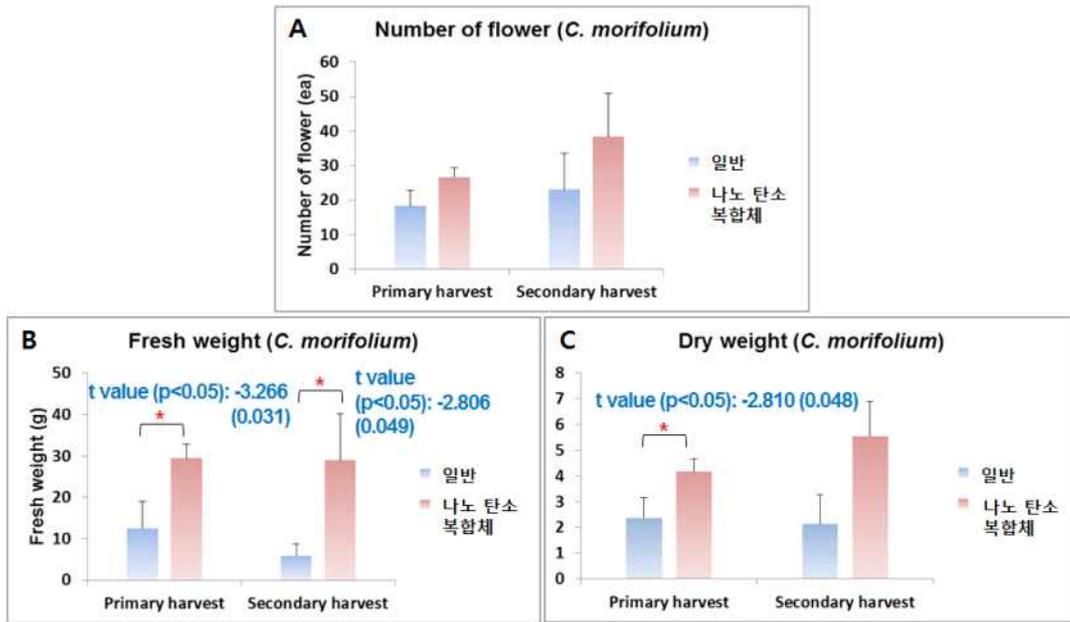
- 대상작물: 구절초 (*Chrysanthemum zawadskii* subsp. *latilobum* (Maxim.) Kitag.) 및 국화 (*Chrysanthemum morifolium* Ramat.)
- 조사기간: 2018.08.27. - 2018.09.28.
- 조사항목: 꽃 수 (Number of flowers), 꽃 생체중 (Fresh weight), 꽃 건조중 (Dry weight)
- 구절초는 1차 수확 시 꽃수 평균이 일반 비닐하우스 내 개체들에서 높게 측정되었으나 처리 내 개체 간 차이가 커 통계분석결과 기능성 비닐하우스 개체들과 차이가 없는 것으로 확인되었으며, 2차 수확에서는 기능성 비닐하우스 내 개체들이 수치적으로 높았으나 마찬가지로 통계적으로 유의미한 차이는 없는 것으로 나타남.
- 국화는 꽃수가 1, 2차 수확 시 모두 기능성 비닐하우스 내 개체들이 높게 측정되었지만 통계적으로 유의미한 차이는 없는 것으로 나타남.
- 하지만 생체중과 건조중에 있어서 통계적 유의차를 보이며 (\*  $P \leq 0.05$ ) 기능성 비닐하우스 내 개체들에서 높게 측정됨에 따라 나노 탄소 복합체 기능성 비닐하우스는 식량자원 외에 원예 자원들의 증식에도 부정적 영향을 나타내지 않으며 오히려 대량 증식을 위한 최소 조건으로 활용 가능할 것으로 판단됨.



<그림 94> 구절초 꽃 발달 (수확량) 비교  
A: 구절초, B: 국화



<그림 95> 구절초 꽃 생육 비교  
A: 꽃 수, B: 꽃 생체중, C: 꽃 건조중



<그림 96> 국화 꽃 생육 비교  
 A: 꽃 수, B: 꽃 생체중량, C: 꽃 건조중량

### 3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

#### 1) 목표

○ 연구개발 성과 최종 목표 - 지식 재산권 : 특허 출원 2건, 특허 등록 1건 - 기술 실시 : 1건 - 사업화 : 제품화 1건 - 학술 성과 : SCI 1건, 비 SCI 2건, 학술발표 4건 - 인력 양성 : 2건			
세부연구목표 (연구계획서상의 목표)	비중 (%)	달성도 (%)	자체평가
설해방지용 발열필름 개발	20	100	- 나노 탄소 복합체와 비닐하우스용 고분자를 융합하여 기능성 발열필름 개발 완료.
발열필름 제조장비 및 생산기술 개발	20	100	- 기능성 발열필름 제조에 관해 시제품을 생산하며 생산기술 자동화 및 최적화 완료.
IoT 비닐하우스 원격 제어 시스템 개발	20	100	- IoT system을 적용하여 핸드폰 앱을 통해 CCTV 및 적외선 램프 점등 가능
나노 탄소 복합체 발열필름의 산업화	20	100	- 현재 비닐하우스용 비닐시장에서 발열필름관련 제품은 아직 없음. 국내 시장 선점효과가 가능하고 이러한 제품을 산업화 하기 위해 기술이전을 통해 사업화 진행 중.
나노 탄소 복합체 기능성 발열필름의 성과 (논문, 특허, 발표 등)	20	70	- 비 SCI 논문, 학회발표와 인력양성부분에 있어 목표달성을 하지 못했음 - 비 SCI 논문은 현재 SCI 논문을 준비하여 현재 저널에서 리뷰 중. 2019. 03월 저널 발표 예정. - 학회발표 1건 미비는 과제 개시일자가 미뤄지며 학회 참석 불가하였음 - 인력 양성의 경우 총 2명의 인력양성을 목표로 진행했으나 1명의 인력양성을 이뤄냈고 2019.08월 추가 2명 준비 중
합계	100점	94	

2) 목표 달성여부

성과 목표	사업화지표										연구기반지표									
	지식 재산권			기술 실시 (이전)		사업화					기술 인증	학술성과				교육 지도	인력 양성	정책 활용·홍보		기타 (타 연구 활용 등)
	특허 출원	특허 등록	품종 등록	건 수	기술 료	제 품 화	매 출 액	수 출 액	고 용 창 출	투 자 유 치		논문		학 술 발 표	정 책 활 용			홍 보 전 시		
												SC I	비 SC I						논 문 평 균 IF	
단위	건	건	건	건	백 만 원	백 만 원	백 만 원	백 만 원	명	백 만 원	건	건	건	건	명	건	건			
가중치	10	10		10		30							20		20					
최종목표	5	3		1		1						1	4		5		2			
1차 년도	목 표														1					
	실 적														0					
2차 년도	목 표	1											1		2					
	실 적	1											0		2					
3차 년도	목 표	1	1		1		1					1	1		2		2			
	실 적	-	-		-		-					1	0		2		1			
소 계	목 표	2	1		1		1					1	2		5		2			
	실 적	1	1		1		1					1	0		4		1			
종료 1차년도			1				2	100	2						1					
종료 2차년도	1	1					6.3	160	3				1		2					
종료 3차년도	2			1		1	12	250	3			1	1		2					
소 계	3	2		1		1	20.3	510	8			1	2		5					
합 계	5	3		2		2	20.3	510	8			2	4		10		2			

성과목표	자 체 평 가
학술목표 4건	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 2017.5.11 한국공업화학회 [겨울철 설해예방을 위한 근적외선 흡수 발열 필름 연구]</li> <li>- 2017.11.9 한국공업화학회 [겨울철 설해예방을 위한 근적외선 흡수 발열 필름 연구]</li> <li>- 2018.4.18 대한화학회 [Study on Near Infrared Absorption Heating Film for Prevention of Winter Snow in Winter]</li> <li>- 2018.12.1 한국공업화학회 [겨울철 설해 피해예방을 위한 근적외선 흡수 발열 필름 연구]</li> </ul>
특허 출원 2건	<ul style="list-style-type: none"> <li>-출원번호 : 10-2017-0126397</li> <li>발명의 명칭 : 비닐하우스용 나노 탄소 소재를 이용한 발열 필름</li> <li>-출원번호 : 10-2018-0089848</li> <li>발명의 명칭 : 비닐하우스용 나노 탄소 소재를 이용한 발열 필름</li> </ul>
특허 등록 1건	<ul style="list-style-type: none"> <li>-등록번호 : 10-1916674-0000</li> <li>발명의 명칭 : 비닐하우스용 나노 탄소 소재를 이용한 발열 필름</li> </ul>
SCI급 논문 1건	<p>제목 [Feasibility of a polybisphenol A epichlorohydrin (PBAE)/antimony-doped tin oxide polymer composite as an NIR absorption coating for outdoor applications]  저널 [J. Coat. Technol <b>15</b> (4) 885-889, 2018]</p>
상표 출원 2건	RAYPASS, 눈썹

No	지식재산권 등 명칭 (건별 각각 기재)	국 명	출원			등록			기여율
			출원인	출원일	출원번호	등록인	등록일	등록번호	
1	특허) 비닐하우스용 나노 탄소 소재를 이용한 발열 필름	비닐하우스용 나노 탄소 소재를 이용한 발열 필름	김정엽 심주용 윤수연	2017.9.28	10-2017-0126397				100%
2	특허) 비닐하우스용	비닐하우스용	김정엽 심주용	2018.8.1	10-2018-0				100%

	나노 탄소 소재를 이용한 발열 필름	나노 탄소 소재를 이용한 발열 필름	윤수연		089848				
3	특허) 비닐하우스용 나노 탄소 소재를 이용한 발열 필름	비닐하우스용 나노 탄소 소재를 이용한 발열 필름				김정엽 심주용 윤수연	2018.11.2	10-1916674-0000	100%
4	상표) RAYPASS		김정엽 심주용 윤수연	2017.9.28	40-2017-0124232				100%
5	상표) 눈썹		김정엽 심주용 윤수연	2017.9.28	10-2017-0124233				100%

No	사업화 방식	사업화 형태	지역	사업화 명	내용	업체명	매출액		매출 발생년도	기술 수명
							국내	국외		
1	기술보유자의 직접 사업화	기존업체 상품화	국내	UVIRC UT(유비르킷)	나노탄소소재를 이용한 설해방지용 비닐하우스 발열필름	엔씨티(NCT)	4,950 천원		2018년	

### 3) 목표 미달성 시 원인(사유) 및 차후대책

- 현재 성과 목표를 달성하지 못한 것은 비 SCI 논문과 인력양성 부분임. 처음에 달성목표로 잡았던 비 SCI 논문 2건의 경우, 현재 SCI급 논문 1편으로 준비 중임. 현재 논문은 SCI 저널 Bulletin of Korea에 제출하고 리뷰 중임. 2019.03월까지 투고완료 예정. 인력양성은 2명의 인력양성을 목표로 설정했었음. 2018.12월까지 인력양성 1명을 달성하였고 추후 2019년까지 추가로 2명의 인력양성을 예정하고 있음. 박사인력 2명의 추가양성이 늦어져 2019년 과제종료 후 달성으로 목표 달성예정.
- 학술목표로 설정했던 5건의 학회발표의 경우, 4건의 학회발표를 달성하였고 1건이 미달되었음. 이 결과는 2016년도 과제 개시가 미뤄짐에 따라 결과적으로 관련 학회들의 기

간 종료후 개시가 되었으며 제출 할 수 있는 학회가 존재하지 않았음. 또한 1년차 과제 기간이 3개월 내외로 매우 짧은 시점이기에 학회에 제출할 실험 결과는 이미 과제계획서에 작성한 사전실험결과 뿐이었음. 이에 따라 차년차 (2017년)부터 관련학회에 1년에 2번씩 학술 발표를 진행하여 총 4회의 학술발표를 진행하였음.

- 나노 탄소복합체 발열필름의 경우, 현재 필름시장에 존재하지 않는 제품으로 시장 진입 시 다양한 장점이 존재함. 기후변화에 따른 온실 및 비닐하우스 증가로 기능성 농업시장의 확대가 예상됨. 국내 시장뿐 아니라 해외시장 또한 국내시장과 마찬가지로 블루오션이기 때문에 철저한 시장분석 이후, 국내 및 해외시장에 진입을 할 예정. 이를 위해 연구과정에서 얻은 데이터를 통해 장점을 더욱 부각하고 제조 단가를 추가로 낮출 수 있는 연구가 필요함.
- 나노 탄소복합체는 필름 개발 뿐 아니라 다양한 형태로 응용이 가능함. 건물 외장재에 적용하여 여름철 냉방비 절감 및 겨울철 난방비 절감효과를 볼 수 있도록 여러 가지 제품화 연구가 필요함. 기존에 설치된 유리나 외장재에 코팅할수 있는 액체 형태의 제품, 집에서 손쉽게 사용 가능한 스프레이형 제품 및 유리에 붙일 수 있는 스티커형 필름 제품 등 연구의 범위를 확장시키고 제품화 할 부분에 대한 사전 조사 및 연구가 필요함.

#### 4) 사업화

##### (1) 사업화성과 및 매출실적

###### - 사업화 성과

항 목	세부 항목	성 과			
사업화 계획	사업화 소요기간(년)	3			
	소요예산(백만원)	200			
	예상 매출규모 (억원)	현재까지	3년후	5년후	
		4,950천원	4	10	
	시장 점유율	단위(%)	현재까지	3년후	5년후
		국내	100	100	100
국외		0	0	0	
	향후 관련기술, 제품을 응용한 타 모델, 제품 개발계획	기능성 과수봉지 건축 유리용 차열코팅액			
무역 수지 개선 효과	(단위: 억원)	현재	3년후	5년후	
	수입대체(내수)	0	3	5	
	수 출	0	1	3	

- 사업화 계획 및 매출 실적

항목	세부항목		성 과	
사업화 성과	매출액	개발제품	개발후 현재까지	4,950 천원
			향후 3년간 매출	5 억원
		관련제품	개발후 현재까지	0.4 억원
			향후 3년간 매출	4 억원
	시장 점유율	개발제품	개발후 현재까지	국내 : 0% 국외 : 0%
			향후 3년간 매출	국내 : 3% 국외 : 0%
		관련제품	개발후 현재까지	국내 : 100% 국외 : 0%
			향후 3년간 매출	국내 : 100% 국외 : 20%
	세계시장 경쟁력 순위	현재 제품 세계시장 경쟁력 순위		5 위
		3년 후 제품 세계 시장경쟁력 순위		4 위

## 4. 연구결과의 활용 계획 등

### (1) 예상되는 연구 성과의 활용분야 및 활용방안

- 나노 탄소 복합체를 이용한 기능성 발열필름은 태양빛으로부터 적외선을 흡수하여 발열하므로 겨울철 폭설 시 표면에 닿는 눈을 녹여 비닐하우스 붕괴를 막을 수 있음. 야간에 폭설 시, 비닐하우스 내부에 설치한 적외선 램프를 작동시켜 그 에너지를 사용하여 기능성 발열필름의 기능으로 눈을 녹일 수 있음. 이는 겨울철 폭설 피해를 막아 농가 피해를 줄일 수 있고 국가에서 지원하는 지원금 및 보조금을 줄일 수 있음. 또한 비닐하우스 내부 난방비를 절감할 수 있는 효과가 있음.

### (2) 추가 연구의 필요성

- 나노 탄소 복합체를 이용한 기능성 발열필름의 경우, 최적의 비율을 이용하여 시제품까지 연구를 진행하였고 그를 이용하여 필드테스트 또한 진행하였음. 이후 사업화와 기술이전을 위해서는 제품의 단가와 생산에 들어가는 추가 비용들을 줄일 연구가 필요함. 필름시장에 제품을 판매할 시 단가가 줄수록 기업과 소비자들에게 장점으로 다가갈 수 있기 때문임. 나노 탄소 복합체의 비율 추가 연구와 좀 더 저렴한 나노 탄소 복합체를 발굴한다면 더 저렴하고 동일 효과를 얻을 수 있는 제품 생산이 가능함. 또한 필름에 기술을 단정하지 않고 건물 외장재 또는 유리등에 적용할 수 있는 연구도 가능함. 액체 형태의 제품 개발 또는 필름이지만 스티커 형태로 제작을 한다면 건물 외장재나 차유리 등에 적용하여 건물 난방비나 자동차 내부 온도 유지에 도움을 줄 수 있는 장점이 존재하여 추후 연구 계발을 통해 다양한 곳에 적용 필요.

### (3) 타 연구에의 응용

- 현재 적외선을 흡수하여 열에너지를 발생하는 기능성 발열필름의 경우, 전 세계적으로 제품화 되어 판매되고 있는 제품이 없음. 이를 바탕으로 국내시장 뿐 아니라 해외시장 진출도 가능함. 기상이변으로 폭염과 폭설이 문제가 되고 있고 이러한 기상이변에 대처하기 위해 농가들이 선택한 방법이 비닐하우스와 온실임. 비닐하우스와 온실을 유지하기 위한 난방비 및 폭설에 의한 붕괴 등의 문제점에 기여할 수 있는 기능성 발열필름은 세계 비닐하우스용 필름 시장에 도입 시 독보적인 장점을 가지고 있다고 볼 수 있음. 또한 필름 형태가 아닌 추가 연구를 통해 온실용 코팅액 또는 온실용 필름으로 제조 가능. 이는 비닐하우스용 비닐 뿐만 아니라 다양한 형태로 응용 될 수 있음.

### (4) 기업화 추진방안

- 현재 기능성 발열필름은 시제품으로 제조하여 판매를 진행했고 과제 종료 후, 제품화를 진행하여 시장 진입을 할 예정.

### (5) 기술이전

- 기능성 발열필름 제조의 경우, 기존의 비닐하우스 필름 제조 설비에서 변화가 없기 때문에 기업에서 기능성 발열필름 제조 시 추가 설비 비용이 발생하지 않아 기술적으로 접

근도가 매우 높음. 또한 기능성 발열필름의 제조방법은 기존의 비닐하우스용 필름 제조 방법에서 나노 탄소 복합체 도입과 비닐하우스용 고분자 용해 온도조절, 첨가제 비율 조절뿐이기 때문에 제조 방법 또한 다른 기술 도입에 비해 편리함. 편한 기술 접근성과 간단한 활용성은 제품 생산효율과 단가 절감에 기여할 수 있고 기능성 발열필름 시장 개척과 수출에 큰 장점으로 볼 수 있음.

주 의

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