

최 종 보 고 서

<p>(뒷면)</p> <p>나 노 유 기 무 기 첨 단 소 재 기 반 설 해 예 방 기 능 성 온 실 피 복 소 재 제 조 기 술 개 발</p> <p>주 의 (편집순서 8)</p> <p>(15 포인트 고딕체열)</p> <p>↑ 6cm ↓</p> <p>농림축산식품부 ↑ 3cm ↓</p>		<p>(앞면)</p> <table border="1"><tr><td>발간등록번호</td></tr><tr><td>11-1543000-001003-01</td></tr></table> <p>나노 유기·무기 첨단소재 기반 설해예방 기능성 온실피복소재 제조 기술개발</p> <p>(Functionality greenhouse covering materials based on nanomaterials with organic and inorganic compounds develop for preventing of heavy snow damage)</p> <p>동국대학교</p> <p>농림축산식품부</p>	발간등록번호	11-1543000-001003-01
발간등록번호				
11-1543000-001003-01				

제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

이 보고서를 “나노 유기·무기 첨단소재 기반 설해예방 기능성 온실피복소재 제조 기술개발에 관한 연구” 과제의 보고서로 제출합니다.

2015 년 9월 23일

주관연구기관명 : 동국대학교
주관연구책임자 : 유 국 현
세부연구책임자 : 조 준 형

연 구 원 : 성 정 석	연 구 원 : 김 정 엽
연 구 원 : 조 원 제	연 구 원 : 김 민
연 구 원 : 정 순 재	연 구 원 : 임 종 민
연 구 원 : 박 승 일	연 구 원 : 장 현 진
연 구 원 : 심 주 용	연 구 원 : 백 송 이
연 구 원 : 이 원 길	연 구 원 : 변 지 희
연 구 원 : 김 명 수	연 구 원 : 서 재 완
연 구 원 : 박 효 섭	

요 약 문

I. 제 목

- 나노 유기·무기 첨단소재 기반 설해예방 기능성 온실피복소재 제조 기술개발

II. 연구성과 목표 대비 실적

- 나노 유기·무기 첨단소재 기반 근적외선 흡수 발열 기능으로 설해예방 기능성 온실피복소재 개발을 위해 다양한 나노소재를 테스트 실시. ATO와 ITO를 접목한 나노 화합물을 고분자에 접목하여 기능성 온실피복소재를 제조 완료.
- 개발된 온실피복소재의 인체 안전성, 유해 미생물에 대한 항균성, 광합성 저해 오염에 대한 방오성 평가를 통해 개발 제품의 부가적인 기능성 효과를 입증.
- 고품질 원예작물 품종 적용성 평가 (고부가가치 적합 품종 발굴)
- 개발된 기능성 하우스 피복소재의 효과적인 시설물 적용 방법을 위해 강원도 홍천에 온실피복소재를 적용한 기능성 하우스를 제작. 설해예방 기능 확인 및 기능 평가를 진행하여 온실피복소재를 적용하지 않은 하우스와 비교하여 차이가 있음을 확인함. 또한 두 비닐 하우스에 작물을 재배하여 작물 성장의 차이를 확인.
- 나노 유기·무기 첨단소재 기반 근적외선 흡수 발열 기능 온실피복소재 개발로 인한 고부가가치 창출을 위해 하우스용 비닐과 근적외선 흡수 코팅액을 적용함.
- 근적외선 흡수 발열 기능 온실피복소재 시제품으로 비닐, 플라스틱 사출용 bead를 제작하였고 이를 이용한 pilot 비닐 제작 완료.

III. 연구개발의 목적 및 필요성

- 최근 급변하는 환경변화에 따라 동절기 폭설에 의한 온실시설의 피해가 매우 심각함. 비닐 하우스의 폭설피해에 따른 기존 설해예방방법의 문제점을 해결하기 위해 유기·무기 나노소재 근적외선 흡수 기능성 온실피복소재를 개발하여 폭설이 내릴 때 비닐하우스 내부에서 적외선 램프를 이용하여 근적외선을 발산, 발산된 근적외선을 기능성 온실피복소재의 유기·무기 나노소재가 흡수하여 발열함으로써 기능성 온실피복재 표면의 온도가 상승하여 비닐하우스

에 쌓인 눈이 제설되어 농가의 노동력과 금전적 손해를 줄이는데 이바지 하고자 함.

IV. 연구개발 내용 및 범위

- ATO, ITO 나노물질을 유기용매와 조합하여 나노 화합물을 만들고, 그 나노 화합물을 고분자와 반응하여 유기·무기 나노소재 개발.
- 유기·무기 나노소재를 고분자와 접목시키기 위한 유기용매 및 유기 화합물을 첨가함으로써 안정한 기능성 온실피복소재 제조 연구.
- 유기·무기 나노소재를 이용한 유리 코팅, 비닐 코팅을 진행하여 소재의 항균성, 안정성, 방오성 평가 및 물성 연구.
- 연구결과를 바탕으로 기능성 온실피복소재를 개발하여 시제품 제작. 시제품을 통해 현장 테스트를 진행하고 최종적 파일럿 제품 제작.
- 토양 유용 미생물 및 토양 환경 유출에 대한 ATO 나노소재의 안정성 검증 완료.
- ATO 나노소재의 인체 안전성 검증.
- 기능성 온실피복소재가 하우스 내부 온도에 미치는 영향 검증.
- 기능성 온실피복소재를 이용한 비닐하우스와 일반 비닐하우스에서 엽채류 (시금치, 상추) 과채류 (방울토마토, 파프리카, 가지) 작물의 성장 비교.

V. 연구개발결과

- 나노물질을 이용한 기능성 유기·무기 나노소재 개발.
- 기능성 나노소재를 이용한 근적외선 흡수 코팅액 개발.
- 기능성 온실피복소재를 개발하여 제설효과 입증.
- 연구결과를 통해 기능성 온실피복소재 비닐, 플라스틱 사출용 bead 제작. 이를 이용하여 pilot 비닐 제작 완료.
- 기능성 온실피복소재의 토양 미생물, 환경 유출에 무해한 것을 확인.
- 다기능성 온실피복소재 응용제품의 시설작물 영향성 평가를 위해 엽채류, 과채류 작물을 이용하여 실험 진행함. 작물의 성장력이 증가된 것을 확인.

VI. 연구성과 및 성과활용 계획

- 근적외선 흡수 기능성 온실피복소재를 통한 에너지 절약 및 기능성 온실피복소재 비닐하우스의 동절기 제설효과에 기여하여 농가의 금전적 손실 예방.
- 시제품 제작이 성공한 비닐, 플라스틱용 bead를 이용하여 기능성 온실피복소재의 자동화 생산으로 겨울철 농가 피해 예방 및 소득 증대 기여.
- 기능성 온실피복소재를 통해 자외선 영역의 차단 및 항균성 기능을 부여하여 작물의 성장 증가. 농업의 선진화 및 고부가가치 농작물 생산기반 조성.

SUMMARY

Recently, global climate change accompanied by heavy snowfall during winter season often resulted in significant damage to the greenhouse, and thereby causing a huge loss of crops cultured in the greenhouse covered with conventional vinyl materials. In order to solve this problem, we developed nano-composite film consisting with polymers coated by ATO and ITO, which provide functionalities including antibacterial effects on harmful microorganisms and preventive properties against dust cover on the greenhouse. Exposure of near infrared light to the newly developed greenhouse covering materials resulted in increase of temperature on the surface, which is enough to prevent accumulation of snow on the greenhouse and furthermore induce melting of the icy surface that interfere photosynthesis of cultivated crops in the greenhouse. Application of manufacturing process for coating material was optimized to ensure that the selected nano-composites were evenly dispersed on the suitable polymer surface. To verify that the greenhouse built with this nano-composite polymers is effective on crop cultivation, the greenhouse with actual size generally used in crop farming field was built, and the growth of the plants and preventive effect on the snowfall mediated damage on the greenhouse were evaluated. Growth of various plants cultivated in this system was stimulated or at least not affected by either nano-composite polymer coating or near infrared light exposure, while it was significantly improved under the circumstances affected by snowfall on the greenhouse. Manufacturing protocol for industrialization in producing nano-composite polymer was developed by optimizing the process with vinyl bead and nano-composite coating solution. In overall, construction of the greenhouse with the system developed in this study by using nano-composite polymer and near infrared light exposure will provide preventive effect against the damage of greenhouse caused by sudden heavy snowfall and additional functionalities to promote plant growth in the greenhouse.

CONTENTS

(영 문 목 차)

- Chapter 1 Research, development outline and results
 - Section 1 Research, development outline
 - Section 2 Research, development results

- Chapter 2 Domestic and international technology development status
 - Section 1 Domestic technology development status
 - Section 2 International technology development status

- Chapter 3 Performing research and development and results
 - Section 1 Investigation of anti-microorganism effect of ATO nano composites
 - Section 2 Evaluation of anti-microorganism activity of ATO nano composites in soil pathogenic microorganisms.
 - Section 3 Investigation of bio-safety effect of ATO nano composites.
 - Section 4 Effects of high performance greenhouse films on crop growth and agricultural productivity in greenhouse environment

- Chapter 4 Goal attainment and related areas contribution

- Chapter 5 Research, development results and utilization plan
 - Section 1 Research, development results summary

- Chapter 6 International scientific and technical information

- Chapter 7 Research facilities·Equipments

- Chapter 8 Laboratory safety management
 - Section 1 Laboratory safety system

- Chapter 9 Reference

목 차

제 1 장 연구개발과제의 개요 및 성과목표

제 1 절 연구개발과제의 개요

제 2 절 연구개발과제의 성과목표

제 2 장 국내외 기술개발 현황

제 1 절 국내 기술개발 현황

제 2 절 국외 기술개발 현황

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

제 1 절 근적외선 흡수 및 자외선 차단 유기·무기 나노소재 개발

제 2 절 그람 음성 및 양성 세균에 대한 항균 활성 검증

제 3 절 ATO 나노소재의 안정성 검증

제 4 절 기능성 온실패복재가 온실 환경, 작물생육 및 농업생산성에 미치는 영향

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

제 5 장 연구개발 성과 및 성과활용 계획

제 1 절 연구개발 성과 요약

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

제 7 장 연구시설·장비 현황

제 8 장 연구실 안전관리 이행실적

제 1 절 연구실 안전점검 체계

제 9 장 참고문헌

<첨부> 특허, 논문 및 시장분석 보고서

제 1 장 연구개발과제의 개요 및 성과목표

제 1 절 연구개발과제의 개요

- 북위 38도에 위치한 우리나라의 기후환경은 뚜렷한 4계절로 인해 노지에서 작물생육기간이 내륙 지방을 기준으로 평균 180일~200일이며, 지역에 따라 차이는 있으나 연평균 150일 이상 노지에서 작물재배가 어려움.
- 온실은 피복자재를 이용해 외부환경의 영향을 차단하고, 온실내부의 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 온실 등 인공 환경을 이용한 작물생산이 차지하는 비중이 매우 높으며, 엽채류, 과채류 및 화훼류 등 고소득 작물의 생산을 목적으로 이용됨.



그림 1. 하우스 재배 시설

- 최근 급변하는 환경변화에 따라 하절기 강우와 강풍 및 동절기 폭설에 의한 온실시설의 피해는 매우 심각함. 특히, 2000년대 이후 동절기 설해 (눈피해)는 국지적 대량 폭설에 의한 온실시설의 피해가 특징이며, 농업분야의 경제적 손실 규모는 2000년 이후 매우 빠르게 증가하고 있음. 2005년 12월 폭설에 의한 전국적인 온실시설의 피해규모는 2,000억원에 달함. 또한 최근 2010년 강원지역에서만 폭설에 의해 462동의 온실이 파손되어 약 130억원의 경제적 손실이 발생하였으며, 전남북 및 경북지역 역시 364억원에 달하는 농가피해가 발생함. 특히 강원지역은 2011년 2월 폭설에 의해 113억원의 농가피해가 또다시 발생하는 등 대규모의 눈피해가 특정지역에서 반복되는 현상이 심화되고 있음.

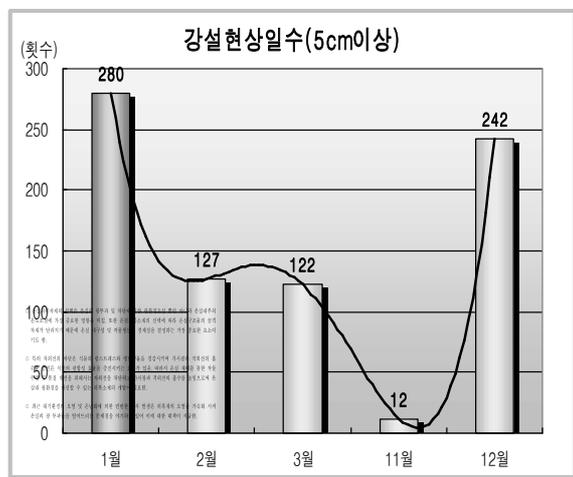
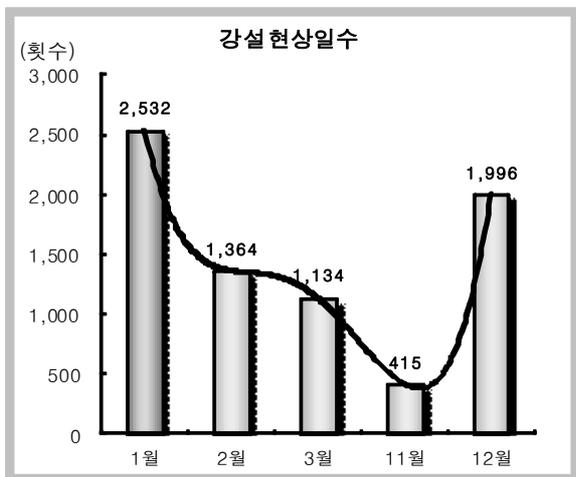
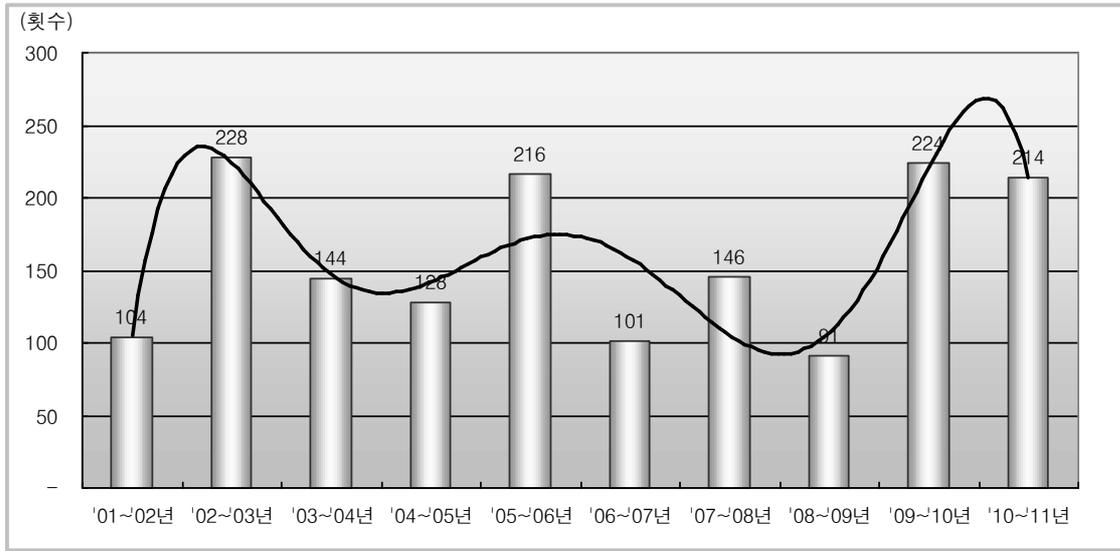


그림 2. 2010년 3월 충청북도 음성군 맹동면
비닐하우스 대설피해



그림 3. 2011년 2월 강원도 강릉시 송정동
비닐하우스 대설피해

- 원예농업 및 채소 과일류의 재배가 이루어지는 시설 비닐하우스 설비는 폴리에틸렌 및 폴리에스테르 계열의 농업용 필름을 기반으로 설치되어 사용됨으로 인해 잦은 강풍과 강설에 대하여도 내구성이 취약한 문제점을 내포 하고 있음. 이러한 이유로 인해 정부는 자연 재해 대책법 26조와 관련하여 내재해형 규격 비닐하우스, 인삼 재배 시설 설치 및 기준 활용의 편의를 위해 "원예특작 시설 내재해 기준 지정 고시" 개정안을 고시 (농림부고시 제2007-64호, 2007. 9. 28)를 통해 지역별 내재해 기준 적설심 (40 cm) 및 풍속 (40 m/sec) 등을 견딜 수 있도록 내재해형 규격 인정 기준을 마련하여 시설재배 설치물의 피해 예방을 유도 하고 있음.
- 한편 정책적 지원을 통한 동분야의 다양한 신기술개발을 적극 유도는 시설 장치의 물리적 인장력 강화 및 시설재배 설치물의 지지하중 증강을 위한 시설보강물을 이용한 물성강화에 주안을 둔 개선방향에만 집중하고 있어 기존시설물의 변형 혹은 물성강화 이외의 대체수단을 활용한 신기술분야의 도입이 절실히 요구됨.
- 현재 온실 시설의 눈 피해 방지 대책은 (1) 외부 보온 덮개 및 차광막 설치에 의해 눈이 미끄러져 내리도록 하는 방법, (2) 수막 설치 및 온실내부 가운데 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 온실 지붕에 쌓이는 눈을 녹여 폭설 피해를 방지할 수 있는 온실피복소재 개발이 시급함.





출처 : 기상청 (기후자료시스템)

그림 6. 연별 황사발생횟수와 지속일수 (*기상청)

- 현재 개발된 연질 필름 중 폴리에틸렌피복소재는 초산 및 염화비닐소재보다 정전기 발생이 적어 오염원의 부착이 덜하기 때문에 일반농가의 사용이 보편화되어 있음. 그러나 온실 광투과율 개선에 의한 작물생육개선을 위해 온실 피복재의 세척이 필요하며 이에 대한 비용과 노동력이 많이 소요됨.



그림 7. 비산먼지에 의한 비닐하우스 오염

- 불소 수지는 분자 중에 불소 원자를 포함하는 합성 고분자로서 1938년 듀폰사에 의해 처음 개발된 후 내열성, 절연성, 내화학성 등의 우수한 물성으로 인해 일상생활용품에서부터 자동차, 통신, 반도체는 물론 우주 항공 산업을 비롯한 첨단 산업에 이르기까지 광범위하게 이용되고 있음. 이처럼 우수한 물성의 불소 수지를 적용하면 열적, 화학적으로 극히 안정하여, 초내구성, 내후성, 내약품성, 방오성 등이 우수. 따라서 이와 같은 특성을 갖는 불소 수지를 온실피복소재에 적용하여 산업분야에서 활용되고 있는 무극성 코팅 소재 개발기술을 온실 피복재에 적용함으로써 오염원 부착 경감 및 세척 용이성을 개선하고 온실의 광환경을 개선

할 필요가 있음.



그림 8. 실리콘/불소 소재의 특성

- 근적외선은 일반적으로 850~2000 nm의 파장 영역, 자외선은 10~400 nm의 파장 영역을 나타냄. 근적외선 흡수 및 자외선 차단제는 유기계, 무기계, 유·무기계 하이브리드 근적외선 흡수 및 자외선 차단제로 나뉨.
- 근적외선 흡수제의 응용 분야는 정보 기록분야, 정보 표시 분야, 에너지 변환 분야, 바이오 분자 인식 분야로 분류됨. 정보 기록 분야로는 정보 저장 매체로 사용되고 있는 CD-R, 레이저 프린터의 유기 광도전체로 사용되는 광증감제로 사용되고 있으며, 정보 표시 분야로는 PDP (Plasma Display Panel)용 근적외선 차단 필터로, 에너지 변환 분야로는 유기 태양전지, 농업용 필름, 색소 레이저, 열차단 필름 등으로, 바이오분자 인식 분야로는 생체분자 probe, 바이오센서, 진단시약으로 그 외 위조 방지 및 보안, 군사용 위장 재료 등으로 근적외선 흡수제가 다양하게 사용.

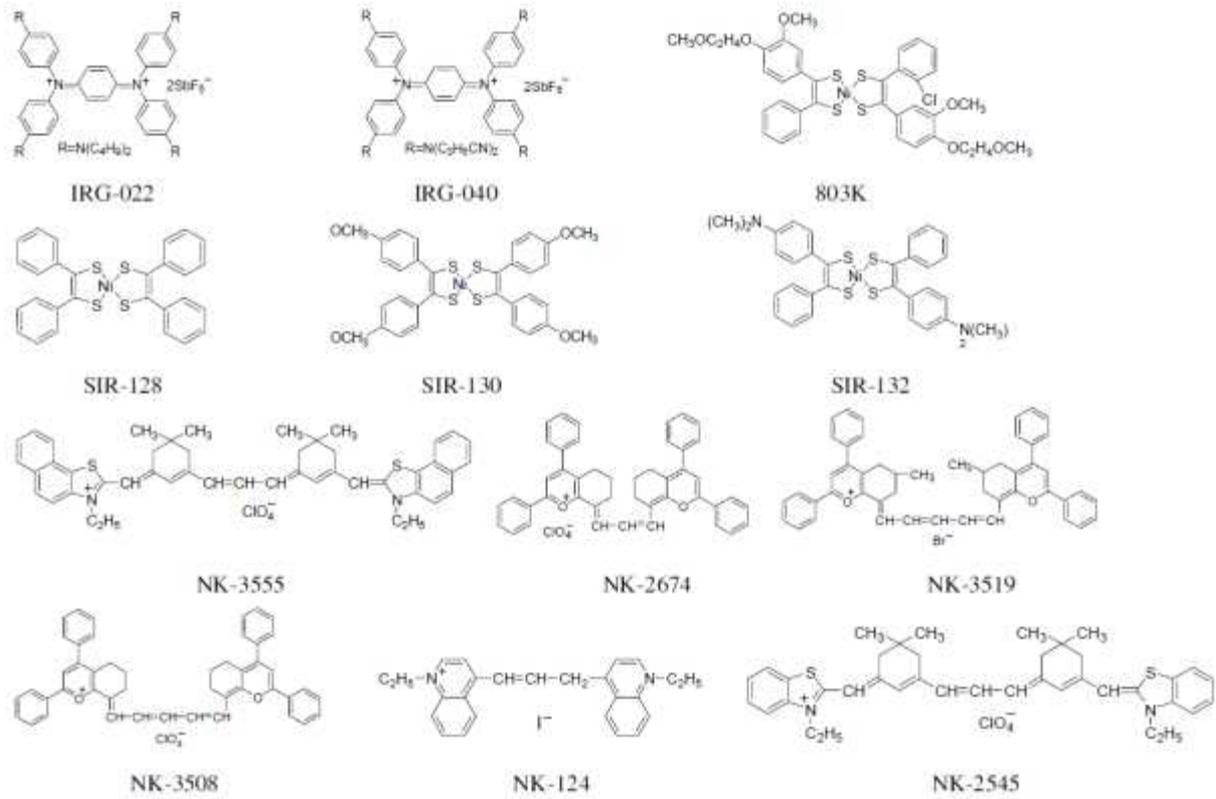


그림 9. PDP용 근적외선 흡수제

○ 태양으로부터 오는 빛의 파장 중 자외선은 물체를 변색시키거나 피부에 손상을 가져오며, 식물생장을 방해하는 등 유해요인으로 작용. 자외선에 의해 제품의 변색을 막기 위해 플라스틱 제품, 가구 제품 등에 사용하고, 피부 손상이나 식물생장의 방해 등 생물학적 손상을 막기 위해 화장품 분야, 유리 분야, 농업용 필름 등에 사용하고, 그 외 태양전지, 광촉매 등 다양한 분야의 제품에서 자외선을 차단하기 위해 자외선 차단제를 사용.



그림 10. 유기계 자외선 차단제

○ 무기계 근적외선 흡수제로는 ATO (Antimony Tin Oxide, $Sb_2O_3 - SnO_2$), $Sb_2O_3 - ZnO$, ITO (Indium Tin Oxide, $In_2O_3 - SnO_2$) 나노소재 등이 사용되고 무기계 자외선 차단제는

TiO₂, WO₃, ZnO, CeO 나노소재 등이 사용.

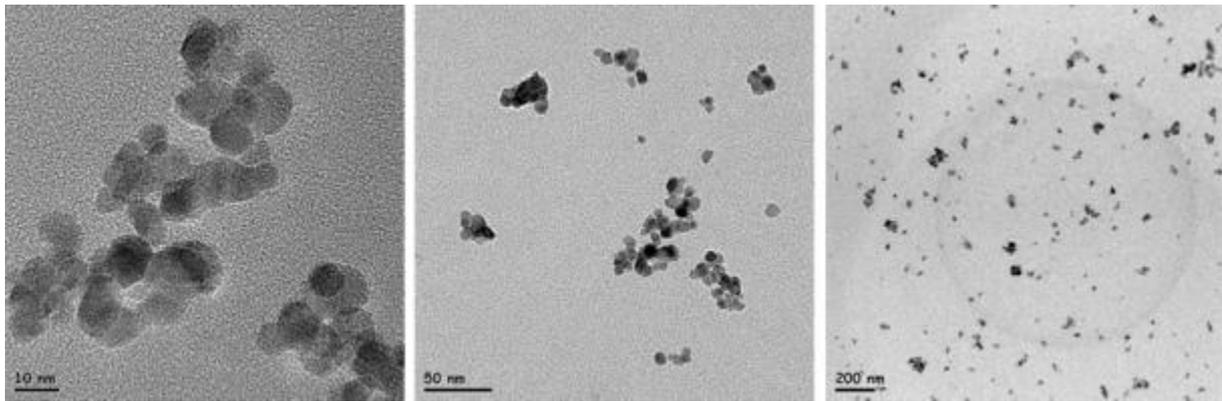


그림 11. 근적외선 흡수 무기나노입자 (Sb₂O₃-SnO₂) TEM 사진

- 한편 유기계 근적외선 흡수 및 자외선 차단제는 분자구조의 변형을 통해 흡수 파장의 조절이 용이하다는 장점이 있지만, 열안정성과 내구성이 무기 나노소재 근적외선 흡수 및 자외선 차단제보다 낮은 단점. 무기 나노소재 근적외선 흡수 및 자외선 차단제는 열안정성과 내구성이 유기계 근적외선 흡수 및 자외선 차단제보다 높은 장점이 있지만, 흡수 파장의 조절이 용이하지 않고 재료 가격이 유기계 근적외선 흡수 및 자외선 차단제보다 고비용인 단점.
- 이와 같이 유기계, 무기계 근적외선 흡수 및 자외선 차단제의 단점을 극복하기 위해 유기계, 무기계, 유·무기계 하이브리드 근적외선 흡수 및 자외선 차단제의 개발을 통해 다양한 파장 선택성을 갖고, 열안정성과 내구성이 우수한 유기·무기 나노소재 근적외선 흡수 및 자외선 차단제의 개발이 필요.
- 기후변화에 따른 농가의 피해는 단지 국내문제뿐만 아니라 전 세계적인 농가의 문제로 인식. 국내에서 이러한 피해를 막기 위해 시설재배지 기상정보 취득 및 제어신호 전송기를 개발하거나 강화 소재를 이용하여 우수한 내구력의 비닐하우스를 만들기 위해 연구. 또한 폭설주의보, 경보 등 때에 맞는 경보를 내려 미리 준비 할 수 있도록 기상청에서 조치. 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.

보강기술	적용모델	보강방법	적용대상
보강지주	단동	○ 하우스 중간부분에 2.0~2.5 m간격으로 버팀기둥을 설치 - 보강지주 규격 : $\phi 31.8 \times 1.5$ t (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 90 kgf이상, 미끄럼저항력: 139 kgf이상	적설, 강풍
쌍꽃이보강재	연동	○ 연동온실 곡부에 설치된 1중 쌍꽃에 덧붙여 조립 (농업공학연구소 개발)	적설
서까래 보강	단동, 연동	○ 1.2 m~1.8 m간격의 서까래를 추가설치	적설, 강풍
파이프줄기초	단동	○ 기초가 없는 하우스의 경우, 서까래 매설부분 지중 25 cm깊이에 서까래끼리 서로 연결되도록 조리개로 접속 연결함	강풍
파풍망	단동, 연동	○ 강풍지역의 경우 주 강풍방향 비닐하우스 측면에 파풍망을 설치 - 하우스로부터 2.5 m떨어져 하우스 높이 66%이상의 높이로 설치	강풍

표 1. 비닐하우스 피해 방지 대책



그림 12. 비닐하우스 제설작업



그림 13. 비닐하우스 보일러

- 비닐하우스의 폭설피해에 따른 기존 설해예방법의 문제점을 해결하기 위해 개선된 설해예방법 필요. 유기·무기 나노소재 근적외선 흡수 기능성 온실피복소재를 개발하여 폭설이 내릴 때 비닐하우스 내부에서 적외선 램프를 이용하여 근적외선을 발산, 발산된 근적외선을 기능성 온실피복소재의 유기·무기 나노소재가 흡수하여 발열함으로써 기능성 온실피복재 표면의 온도가 상승하여 비닐하우스에 쌓인 눈이 제설되는 효과 기대. 기존의 설해예방법에 대비하여 특별한 중장비나 기기 및 연료의 사용을 하지 않아 저비용, 저에너지로 설해예방 효과 기대.

- 유기·무기 나노소재 근적외선 흡수 기능성 온실피복소재의 단열소재로써의 기능으로 동절기 내부난방을 통한 비닐하우스 온도유지의 경우 비닐하우스 내부의 열이 외부로 방출되는 열손실을 감소시키는 효과 기대.
- 식물의 광합성 반응은 엽록소가 빛을 흡수하는 것으로부터 행해짐. 엽록소의 광흡수 스펙트럼에서 600 nm 부근의 적색 빛은 광합성에 유효하고, 450 nm 부근의 청색 빛은 형태 형성이나 광굴절성에 유효.

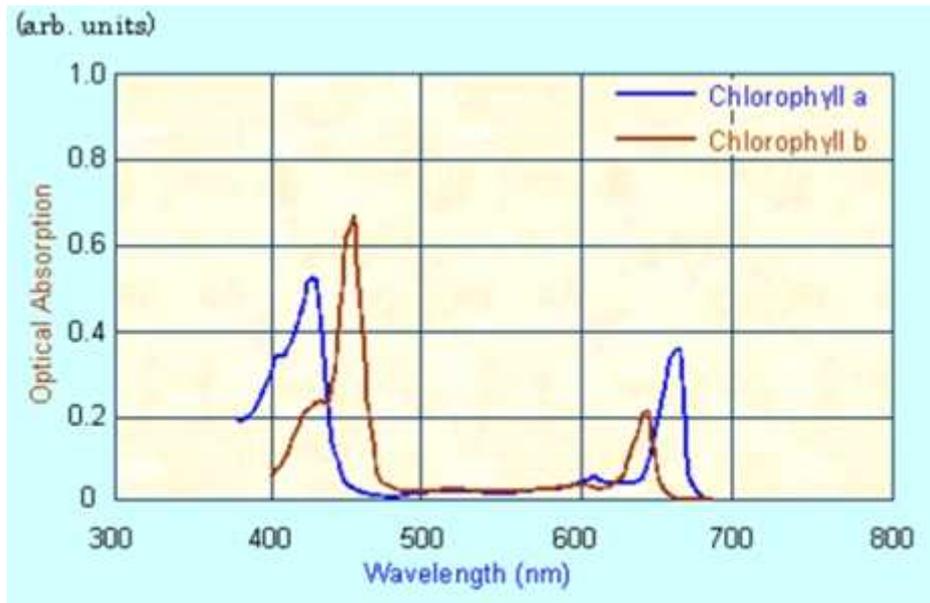


그림 14. 엽록소A와 엽록소B의 광흡수 스펙트럼 (*일본 식물 공장 연구소)

- 식물 재배에 어울리는 광원의 선택은 식물이 얼마나 효율적으로 합성 에너지인 빛을 흡수하는지 그리고 시설 전체로 보아 운영 경비를 최소화 할 수 있을지가 관건. 식물이 이용하는 빛은 주로 가시광선으로 빛의 파장에 의해 식물의 성장에 주는 효과는 각기 차이가 있음.

파장 (nm)		작용효과	
적외선	IR-A	1400~1000	식물에 대해 특별한 작용은 없음. 열의 영향을 미침.
		780	식물에 특별한 신장 효과를 촉진 시키는 파장.
가시광선	적색	700	발아저지(730), 광합성 작용의 최대 (670)
		660	엽록소 작용 최대(655), 발아작용과 잎 배포 화아형성(660)
		610	광합성에 유익하지 않음. 해충방제(580~650)
		510	노란 색소에 의한 일부 흡수, 어류 집어(485)
		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.

표 2. 빛 파장이 식물에 미치는 작용효과 (*(주)파루스)

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

1. 경제적·산업적 개발의 필요성

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

행정구역별	특성별	2010					
		자용화비닐하우스·농가 (가구)	자용화비닐하우스·면적 (ha)	일반비닐하우스·농가 (가구)	일반비닐하우스·면적 (ha)	유리온실·농가 (가구)	유리온실·면적 (ha)
☞ 전국	☞ 계	15,157	7,700	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	1,500	250	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	3,989	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	26
☞ 전라남도	계	1,680	854	9,048	3,135	58	40
☞ 경상북도	계	2,261	1,107	15,432	7,903	69	37
☞ 경상남도	계	2,422	1,290	15,775	7,894	107	59
☞ 제주특별자치도	계	730	408	5,425	3,034	24	17

표 3. 지역별 시설농가 및 시설면적 (*조사관리국 인구총조사과 농림어업총조사)

- 최근 이상기후에 따른 국지적 폭설로 인한 폭설피해가 빈번해 지고 있음. 지난 2011년 2월 11일~14일 폭설로 인하여 강원도 강릉시·삼척시, 경북 울진군이 특별재난지역으로 선포됨. 폭설피해로 인하여 특별재난지역으로 선포된 강원도 강릉시·삼척시, 경북 울진군에서는 총 253억원의 재산 피해를 입어 복구비로 142억원 중 95억원이 국비부담액으로 지원.

구 분	강 원		경 북	비 고
	강릉	삼척	울진	
재산피해액(억 원)	130	56	67	
특별재난지역 선포기준	80	50	50	

표 4. 2011년 2월 11~14일 대설피해지역 피해액 (총 253억원) (*행정안전부)

(단위 : 백만 원)

특별재난지역 선포		지 원 복 구 비			비 고
		합계	국비	지방비	
합 계		14,292	9,513	4,779	
강원도	강릉시	4,817	3,403	1,414	
	삼척시	5,399	3,246	2,153	
경북 울진군		4,076	2,864	1,212	

표 5. 2011년 2월 11~14일 대설피해지역 재난복구비 지원 계획 (*행정안전부)

적설기준 (cm)	피해지역	피해 정도
2001.01.07 2001.01.09	호남과 경북을 제외한 전국	주택 23동, 비닐하우스 3,455ha 인명피해 4명, 축사·잡사 8,900여동
2004.03.04 2004.03.05	중부	주택 94동, 비닐하우스 2,211ha 학교시설 79동, 축사·잡사 8,900여동
2005.12.03 2005.12.21	호남과 서해안	비닐하우스 1,242ha, 인명피해 14명 축사·잡사 9,037여동
2010.01.04	중부	비닐하우스 610여동, 인삼재배시설 266.2ha, 축사 57동
2011.01.05 2011.01.08	포항	비닐하우스 2,700여동, 공장 10동 농작물 70억원

표 6. 폭설피해 지역과 폭설피해 정도

- 설해예방 기능성 온실피복소재의 개발 효과로 비닐하우스의 폭설피해를 예방하여 농민 피해를 줄이고, 피해복구에 사용되는 국비절감 효과 기대.

2. 동절기 난방비 절감을 위한 기능성 온실피복소재 개발의 필요성

- 겨울철 시설하우스 농민들이 호소하는 가장 큰 애로사항은 무엇보다 판매금액의 50~60%에 이르는 연료비임. 기름값은 2011년 200ℓ 기준으로 20만원에 이르던 면세유가 올해는 24

만원에 이르러 15% 이상 상승. 2011년 11월부터 올 3월까지 재배 100평 기준으로 약 3천 ℓ가 필요하지만, 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 꺼려하면서 상품의 품질저하로 이어짐.



그림 15. 면세유류 경유 리터당 가격 변동 (*농협중앙회)

- 경상북도는 고유가로 어려움을 겪고 있는 하우스 시설원예농가 9천666 ha의 난방비 부담을 줄이기 위해 다겹보온커튼, 자동보온덮개, 목재펠릿난방기, 지열난방시설 등 에너지절감시설 설치를 위해 2011년과 2012년에 걸쳐 국비 149억원 등 총 525억원을 지원.
- 2011년 국비 86억원 등 264억원을 투자해 다겹보온커튼, 자동보온덮개 등 에너지절감시설 412 ha와 목재펠릿난방시설 22 ha, 지열난방시설 2 ha 등 현대화된 에너지절감시설 436 ha를 지원한 경상북도는 2012년에도 국비 63억원 등 261억원을 투자해 순환식 수막재배시설, 열회수형 환기장치 등 에너지절감시설 400 ha와 목재펠릿난방시설 30 ha, 지열난방시설 1 ha 등 현대화된 에너지절감시설 431 ha를 설치·지원.
- 이 외에도 땅속 지열을 이용한 “지열난방시설”은 기존의 경유난방에 비해 70~80%의 난방비 절감효과가 있지만 설치비용이 ha당 농가부담 3억원 정도 소요돼 어려움이 있으나 파프리카, 토마토, 오이 등 고소득 작물 재배농가 위주로 설치가 증가.
- 최근 적외선 램프를 이용한 난방시스템도 적용됨.



그림 16. 김해시 진례면 시온장미원의 적외선 램프 설치 온실난방

	나노탄소섬유 적외선등 설치 농가	전기히터-기존제품 설치농가	온수 보일러 난방 설치 농가
일사용량	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 '을')	36.4 / kw·h (농가용 '병')	665 / L (면세유)
월사용요금(원)	128,870원 × 30 일	273,000원 × 30 일	665,000원 × 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 ² 온실 기준: 설정온도 18~20℃, 외부기온 -8℃ 내 외		

장미특화작목산학연협력



표 7. 난방방식별 장미온실 난방비 비교 (*장미특화작목산학연협력단)

- 동절기 하우스 내부 난방비가 농민에게 많은 부담을 주고 있고, 정부에서도 매년 동절기 하우스 난방비 절감을 위해 보온재 등을 지원하고 있음. 개발 기능성 온실피복소재는 근적외선 흡수 기능으로 뛰어난 단열소재의 특성으로 인해 내부의 열이 외부로 방출되는 양을 줄일 수 있어서 동절기 하우스 내부 난방효율 상승으로 인한 난방비 절감효과 기대. 또한 최근 적외선 램프를 이용한 보온방법은 동절기 저비용의 난방시스템임과 동시에 근적외선 흡수 및 자외선 차단 기능성 온실피복소재의 설해예방 기능의 근적외선 공급원이 될 수 있음. 따라서 동절기 하우스 난방비 절감을 위하여 보온성이 뛰어난 기능성 온실피복소재의 개발 필요.

3. LDPE 소재 기반 기능성 온실피복소재 개발의 필요성

- 비닐의 특징에 따른 분류를 나누면 LDPE와 HDPE 두 종류로 나눌 수 있음. LDPE는 Low Density Polyethylene으로 LDPE가 갖는 가장 대표적인 특성은 내충격성, 내저온 취화성, 유연성, 가공성, 필름의 투명성, 내화학적, 내수성, 전기절연성 등을 들 수 있는데, 이러한 특성들은 근본적으로 LDPE가 갖는 분자 구조적 특성과 분자들이 모여진 3차원적 구조에서 그 원인을 찾을 수 있음. LDPE가 나타내는 각종 특성들은 분자량, 분자량 분포 및 밀도에 의해 크게 좌우되며 용융장력, 탄성 등이 중요한 변수가 되는 상황에서는 장쇄 및 단쇄 분자의 수나 형태가 중요한 영향은 미치기도 함. LDPE는 -120°C 의 유리전이온도와 $105\sim 115^{\circ}\text{C}$ 의 용점 (Melting point T_m)을 가짐으로 인해 유연성과 내충격성, 용이한 가공성을 갖게 되나 T_m 이 낮고 vicat 연화점이 $80\sim 90^{\circ}\text{C}$ 로 나타나기 때문에 비교적 높은 온도에서는 물성을 유지하지 못하여 가교방법을 통해 취약한 내열성으로 보완하기도 함. 그에 반해 HDPE는 High Density Polyethylene으로 상대적으로 높은 용융점을 갖고 있어 딱딱한 성질을 가짐. EVA (Ehtylene Vinyl Acetate Copolymer)의 경우는 에틸렌 비닐아세테이트 공중합체 수지임. 투명성, 유연성, 저온취성 등이 우수하여 신발용 소재, 농업용 필름, 라미네이팅 필름의 원료로 사용되고 있으며 PVC (Poly Vinyl Chloride)대체 소재로도 주목받고 있음.
- LDPE 필름이 농업용 하우스 비닐로 사용되며, 농업용 하우스 비닐을 생산하는 기업은 한화케미칼과 SK케미칼 그리고 대림 등이 대표적인 기업임. 한화케미칼은 주로 LDPE 및 EVA를 제작하여 농업용 하우스 비닐로 사용. 2010년 농업용필름 시장규모는 연간 약 1,480억원대임.



그림 17. 판매되고 있는 하우스용 비닐

- 비닐하우스의 피복재로는 PE, EVA, PVC 등의 플라스틱소재가 사용. 일반적으로 PE 필름이 EVA 필름이나 PVC 필름보다 분진에 대한 오염정도가 낮음. 먼지나 분진을 부착하는 정전지가 PE 필름이 EVA 필름이나 PVC 필름보다 적게 발생.

품목별	년	년					
		품목별생산량		품목별내수량		품목별수출량	
		원데이터	전년비 증감	원데이터	전년비 증감	원데이터	전년비 증감
② 저밀도폴리에틸렌 (M/T)	2000	1,575,194	-67,010	777,944	-5,096	720,344	-98,337
	2001	1,613,618	38,424	856,103	78,159	739,273	18,929
	2002	1,624,375	10,757	898,066	41,963	726,654	-12,619
	2003	1,627,001	2,626	912,345	14,279	717,393	-9,261
	2004	1,706,838	79,837	1,006,059	93,714	667,645	-49,748
	2005	1,744,351	37,513	1,043,092	37,033	716,366	48,741
	2006	1,727,556	-16,795	1,026,431	-16,661	693,553	-22,833
	2007	1,790,394	62,838	1,067,509	41,078	737,204	43,651
	2008	1,782,710	-7,684	957,880	-109,629	755,291	18,087
	2009	1,893,442	110,732	1,035,424	77,544	881,399	126,108
	2010	2,077,490	184,048	1,115,508	80,084	916,957	35,558
	2011	2,081,510	4,020	1,116,950	1,442	919,679	2,722

표 8. LDPE 생산·내수·수출량 (*경제통계국 산업동향과)

- LDPE 시장은 내수 및 수출량이 꾸준히 증가함에 따라 생산량이 매년 증가하고 있음. LDPE 소재 기반 기능성 온실피복소재의 개발로 계속 성장 중인 LDPE 시장으로 진입이 수월할 것으로 기대.

제 2 절 연구개발과제의 성과목표

- 근적외선 흡수 및 자외선 차단 유기·무기 나노소재를 응용한 표면 발열소재 개발 및 코팅제 제작.
- 근적외선 흡수 및 자외선 차단 기능성 온실피복소재 물성 평가 기법 구축
- 근적외선 흡수 및 자외선 차단 기능성 온실피복소재 제설효과 평가 기법 구축
- ATO 적용 기능성 유기·무기 나노 코팅 소재의 그람 음성 및 양성 세균에 대한 항균 활성 평가.
- ATO 나노소재의 토양 위해 세균 및 진균에 대한 생장 저해 효과 평가.
- 토양 유용 미생물에 대한 ATO 나노소재의 안전성 및 온실피복소재 최대 적용 농도 확립.
- 인간 유래 세포를 이용한 ATO 적용 기능성 유기·무기 나노 코팅 소재의 인체 안전성 및 토양 환경 유출 독성도 평가.

제 2 장 국내외 기술개발 현황

제 1 절 국내 기술개발 현황

- 2001년 남은 ‘비닐하우스 폭설피해 방지용 가지주 장치의 개발’ 연구를 논문 게재. 파이프 골조의 아치형 비닐하우스의 경우 내풍성은 비교적 강하나 적설에 약한 구조이므로 폭설에 대한 보강이 필요. 그러나 기둥설치나 골조의 보강은 작업성 및 투광성을 떨어뜨릴 뿐만 아니라 건축비의 증가를 초래하므로 보강용 가지주를 준비해 두었다가 대설 주의보가 발령되면 설치함으로써 폭설로 인한 피해를 방지할 수 있을 것으로 기대. 비닐하우스용 아연도강관을 이용한 응급 보강용 가지주 장치를 개발하고 추가적인 적설하중지지 능력을 검토 연구.
- 2008년 강 등은 ‘비닐하우스의 폭설피해 방지장치’ 특허등록. 지면에 종방향으로 일정한 간격을 두고 다수열로 세워지는 활형골조들과 이 활형골조들의 상부 또는 측부를 연결하는 중형골조로 이루어진 비닐하우스로 상기 상부에 구비된 중형골조 또는 활형골조에 고정된 지지수단으로 지지되어 내리는 눈을 붙어내어 눈이 비닐하우스의 표면에 쌓이는 것을 방지하는 송풍수단이 더 구비된 비닐하우스의 폭설피해 방지장치를 개발.

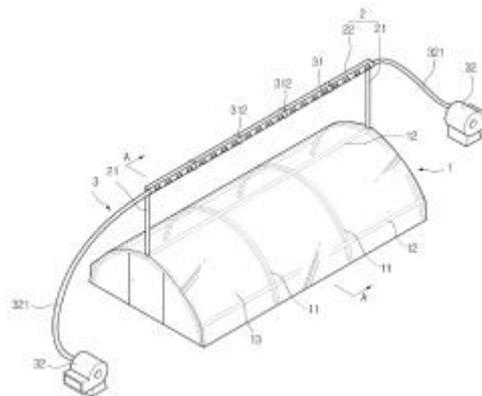


그림 18. ‘비닐하우스의 폭설피해 방지장치’ 등록특허 대표도

- 2005년 김 등은 ‘샤워꼭지가 부착된 폭설피해 방지용 XL (엑셀) 파이프’ 실용신안등록. XL 파이프를 완만한 반원형으로 만들어 비닐하우스 상단부에 접착하여 폭설시 온수 내지 뜨거운 물이 공급됨과 동시에 상부에 부착된 샤워꼭지를 통해 온수, 뜨거운 물이 뿜어져 나와 눈이 쌓이지 않고 눈이 내리는 즉시 물이 되어 흐르게 하여 재배설이 붕괴되는 것을 예방.
- 2008년 반 등은 ‘비닐하우스용 폭설피해 방지장치’ 특허출원. 비닐하우스의 골조 파이프에 모터를 설치하여 비닐하우스를 진동 시켜, 동절기에 폭설이 내릴 경우에 비닐하우스의 상부에 적설되는 눈을 진동에 의하여 제거.

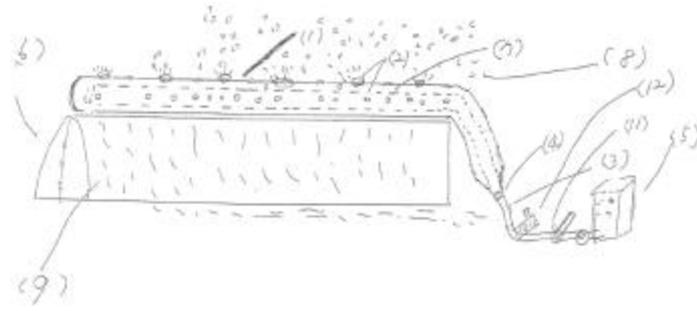


그림 19. '샤워꼭지가 부착된 폭설피해 방지용 XL (엑셀) 파이프' 등록실용신안 대표도

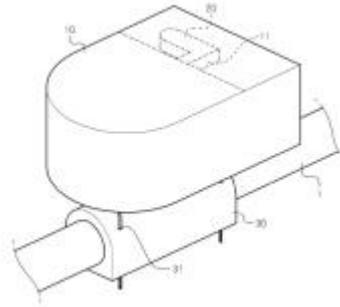


그림 20. '비닐하우스용 폭설피해 방지장치' 공개특허 대표도

- 2009년 유는 '눈을 녹이는 비닐하우스 프레임워크 (뼈대)' 실용신안 출원. 눈이 내리면 비닐 하우스 상부와 양옆의 뼈대에 니크롬선을 장치한 전열판으로 내장된 비닐하우스 뼈대에 전원을 흐르게 함으로서 전열판이 있는 뼈대의 온도가 올라가면서 눈이 녹도록 하는 장치.

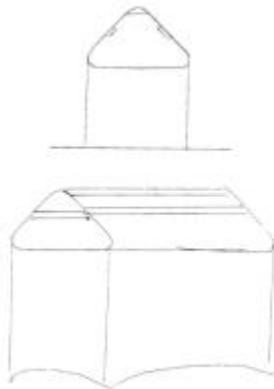


그림 21. '눈을 녹이는 비닐 하우스 프레임워크 (뼈대)' 공개실용신안 대표도

제 2 절 국외 기술개발 현황

- 2011년의 일본의 윈도우필름 시장규모 전망은 1,670만 m²로, 이 중 약 15%가 자동차용, 약 85%가 건축용으로 추산됨. 용도별에서는 자동차용이 전년의 에코카 특수 영향으로 반동 감소를 보여, 전년 대비 7.4% 감소하며 마이너스 성장을 나타냈으나, 건축용은 전년 대비 53.5% 증가하며 대폭의 성장을 나타냈음.
- 3월의 동일본대지진 발생의 영향으로 3월 하순~4월은 비산방지필름의 수요가 급증, 그 후, 전국적인 전력 부족·절전 장려의 움직임 중에서 기온이 상승하기 시작한 5월 이후에 일조 조정·차열 (遮熱)기능을 부여한 에너지절감필름이 폭발적인 성장을 나타냈음.
- 건축용 윈도우필름 (업무용)시장에서 접하는 에너지절감필름의 구성비는 2010년에 44.4%정도였던 것이, 2011년 전망에서는 55.6%, 2012년에는 58.1%까지 확대될 것으로 예측됨.
- 단열필름의 수요는 2009년에는 30만m²정도였으나, 2010년에는 45만 m² (전년 대비 50% 증가), 2011년 전망에서 67만 m² (전년 대비 48.9% 증가)로 순조롭게 확대하고 있음. 단열성능을 가진 필름의 개발·라인업은 메이커에게 필수가 되고 있음.
- 기존의 단열필름은 가시광선 투과율이 30~40%정도로 낮은 것이 많아, 실내가 어두워지기 때문에 조명이 필요해지는 등 절전효과가 발휘되지 않음. 또, 일본시장에서는 실내의 밝음이 나 창문에서의 경관이 중시되기 때문에, 단열성과 투명성을 고루 갖춘 투명단열필름의 개발은 윈도우필름의 연중의 수요 확대를 위한 필수사항임.

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

제 1 절 근적외선 흡수 및 자외선 차단 유기·무기 나노소재 개발

1. 근적외선 흡수 및 자외선 차단 유기·무기 나노소재 개발

- 근적외선 흡수, 자외선 차단, 가시광선 투과 특성을 갖는 10~20 nm 크기의 나노입자를 졸-겔법을 이용하여 그림 1의 방법을 통해 합성함.

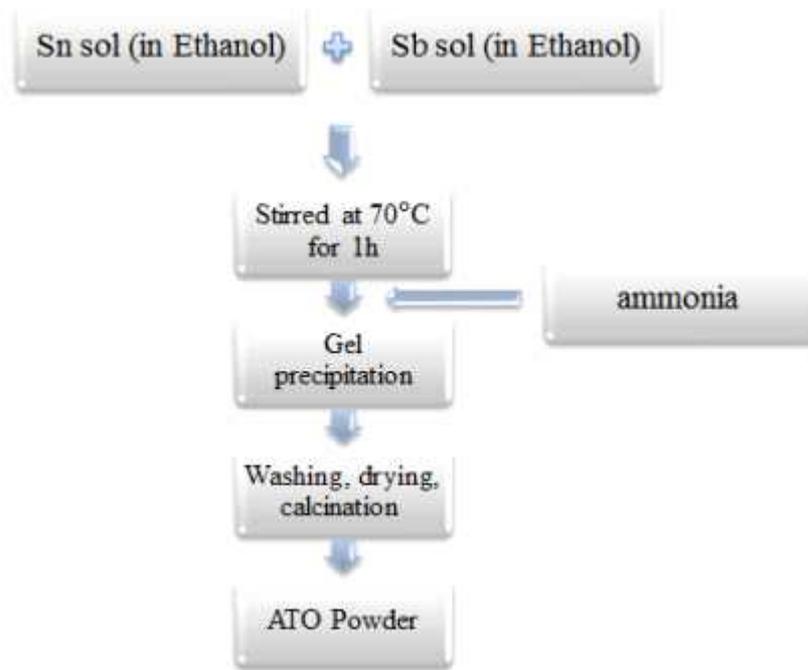


그림 22. 근적외선 흡수 ATO 나노소재 합성 flow chart

- 근적외선 흡수 ATO 나노소재를 합성하기 위하여 Sn sol (Tin sol)과 Sb sol(Antimony sol)을 교반시킨 후, NH₄OH (Ammonia hydroxide)를 가하여 gelation된 ATO cake를 형성하고, 1000°C에서 calcination하고, Ball mill로 분쇄하여 푸른색의 ATO powder를 얻음.

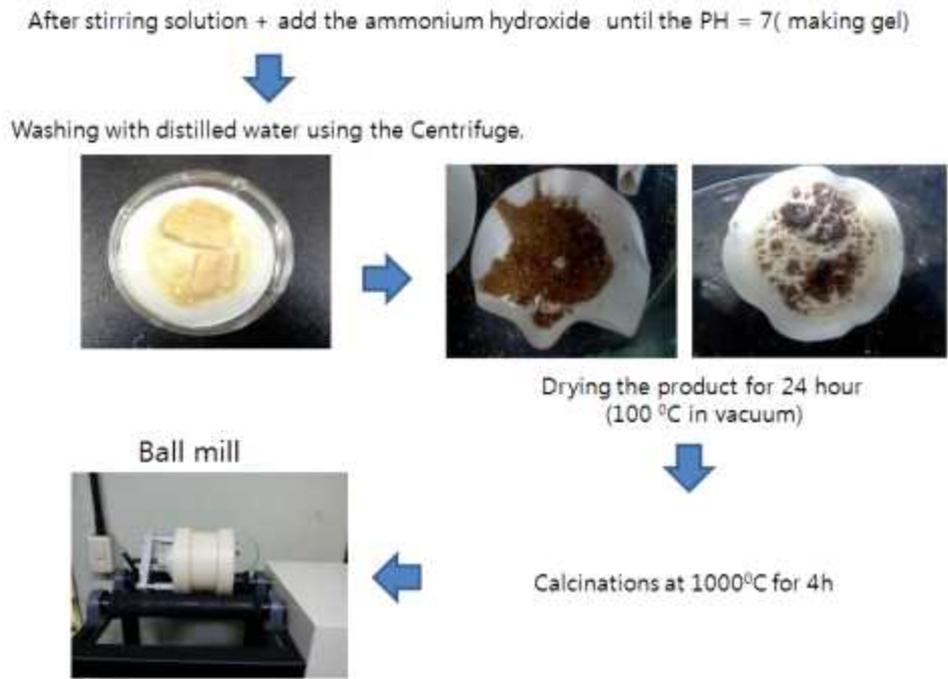


그림 23. 근적외선 흡수 ATO 나노소재 합성 단계별 진행 결과

○ 근적외선 흡수 Indium Thin Oxide (ITO) 나노소재 합성방법은 그림 24의 방법을 이용

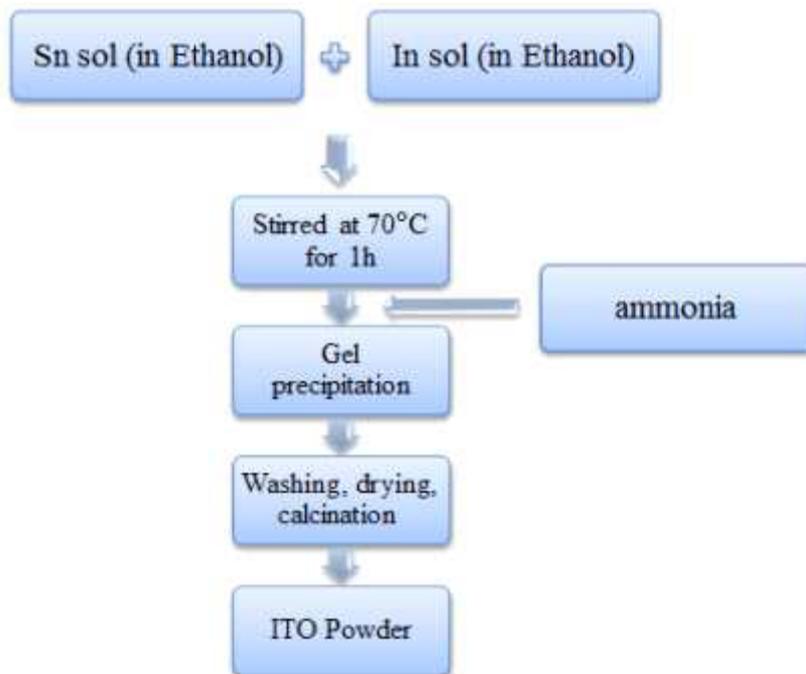


그림 24. 근적외선 흡수 ITO 나노소재 합성 flow chart

○ 근적외선 흡수 ITO 나노소재를 합성하기 위하여 Sn sol (Tin sol)과 In sol (Indium sol)을 교반시킨 후, NH_4OH (Ammonia hydroxide)를 가하여 gelation된 ITO cake를 형성하고, 75 °C에서 calcination하고, Ball mill로 분쇄하여 노란색의 ITO powder를 얻음.

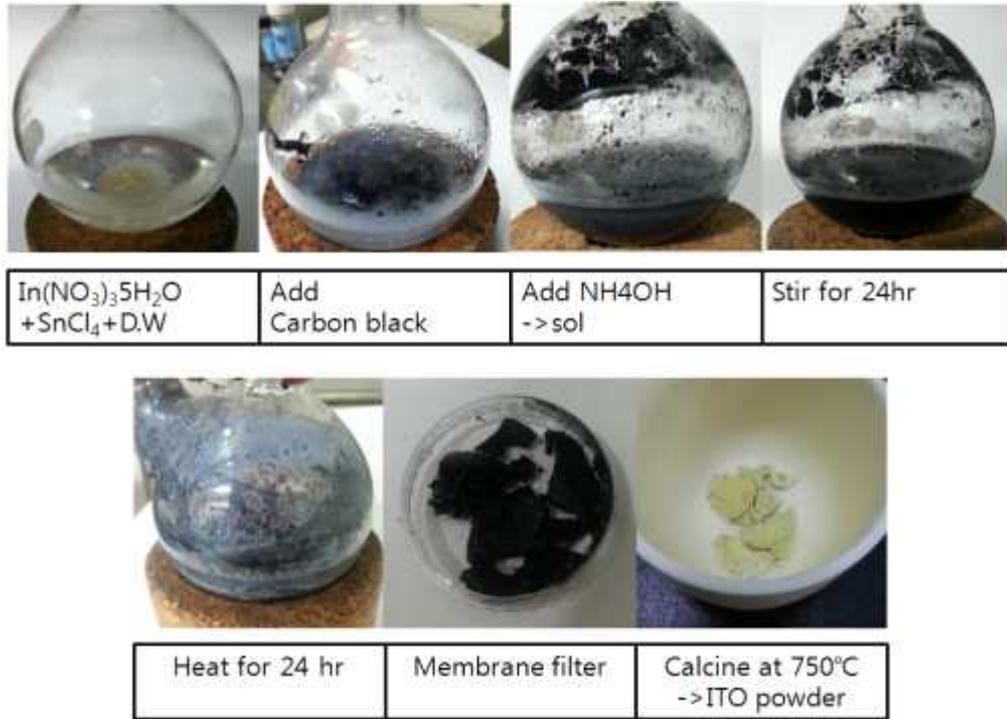
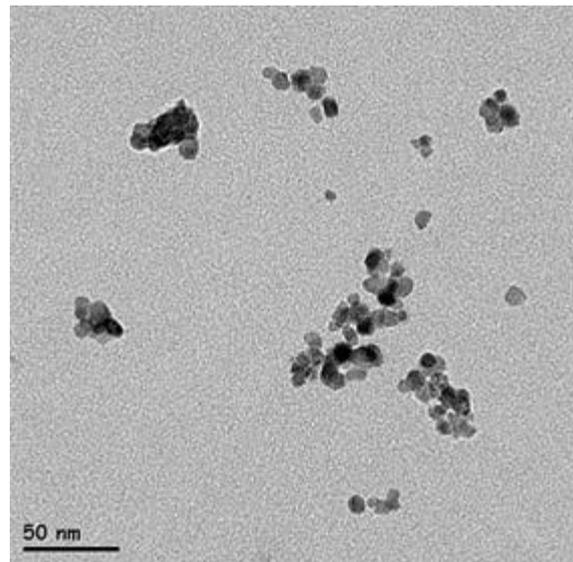
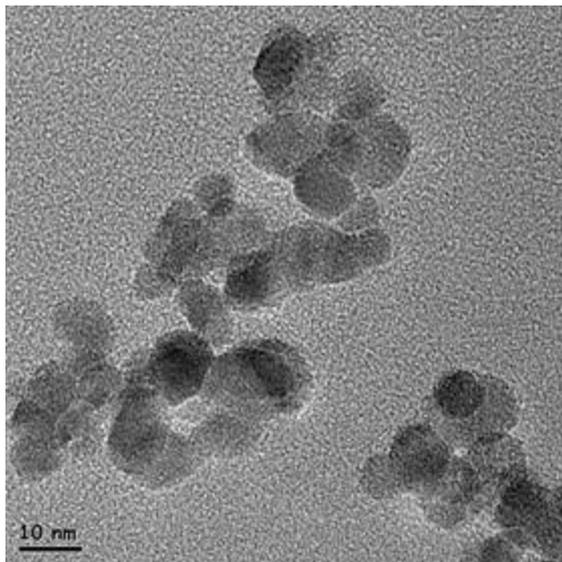


그림 25. 근적외선 흡수 ITO 나노소재 합성 단계별 진행 결과

- 합성한 근적외선 흡수 ATO 나노소재의 TEM 측정 결과, 약 10~20 nm 크기의 particle이 만들어 진 것을 확인.



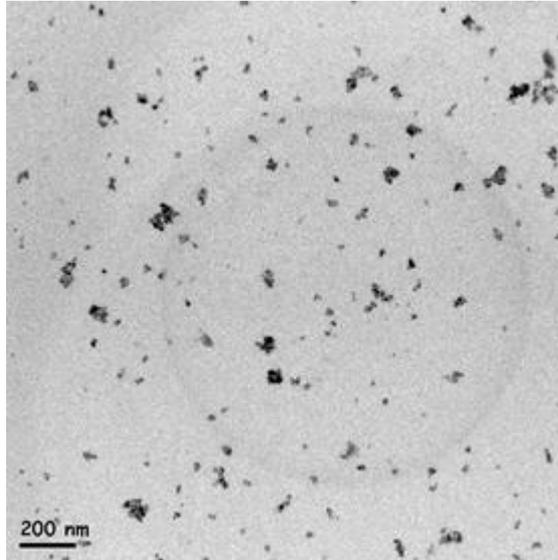


그림 26. 근적외선 흡수 ATO 나노소재 TEM 측정

- 근적외선 흡수 ATO 나노소재의 EDX 측정을 통하여 TEM에서 확인한 particle의 구성성분을 확인한 결과, Sn과 Sb으로 구성되어 있는 것을 확인.

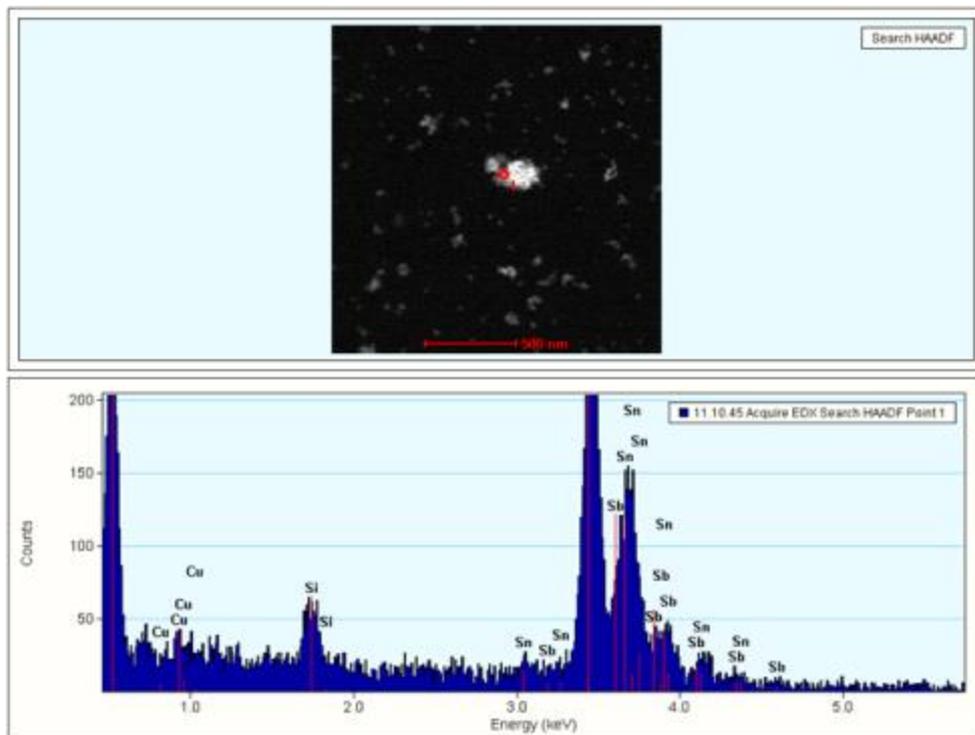


그림 27. 근적외선 흡수 ATO 나노소재 EDX 측정

- 근적외선 흡수 ATO 나노소재의 XRD 측정 결과, (110) peak를 scherrer식으로 계산하여 ATO particle의 크기가 19.9 nm 임을 확인.

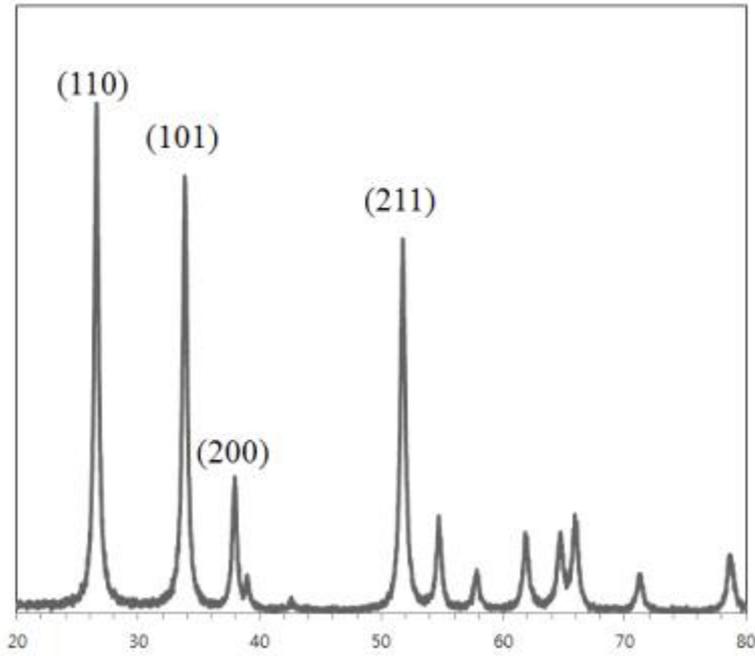
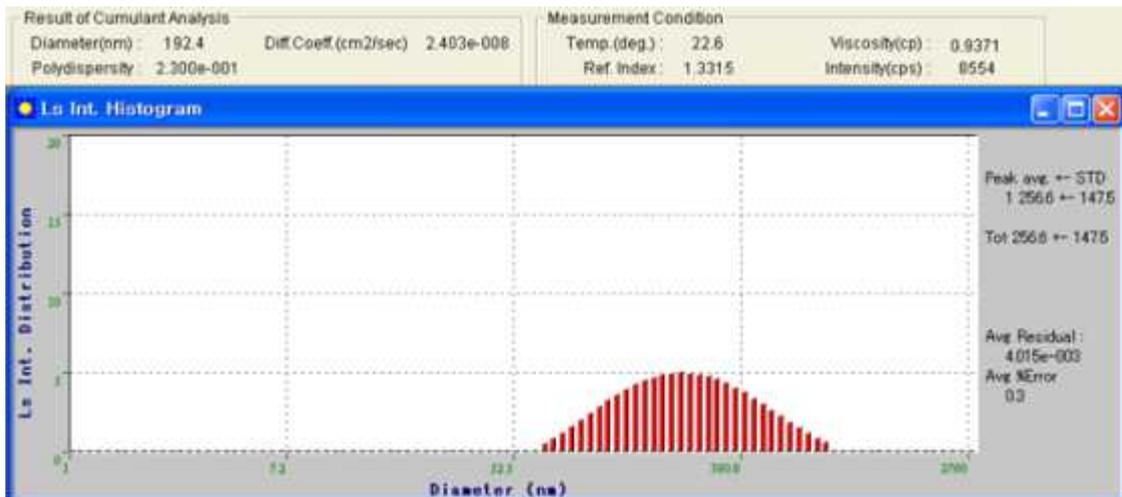


그림 28. 근적외선 흡수 ATO 나노소재 XRD 측정

○ 근적외선 흡수 ATO 나노소재의 Zeta potential 측정 결과, ATO particle들이 약 200 nm의 크기로 뭉쳐서 존재하고 있음을 확인.



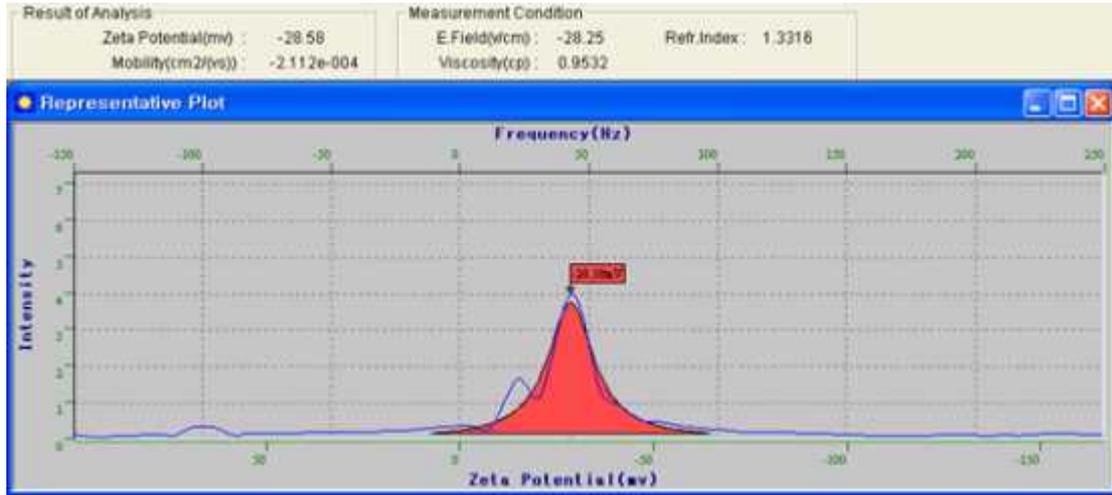


그림 29. 근적외선 흡수 ATO 나노소재 Zeta potential 측정

- 근적외선 흡수 나노소재의 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.

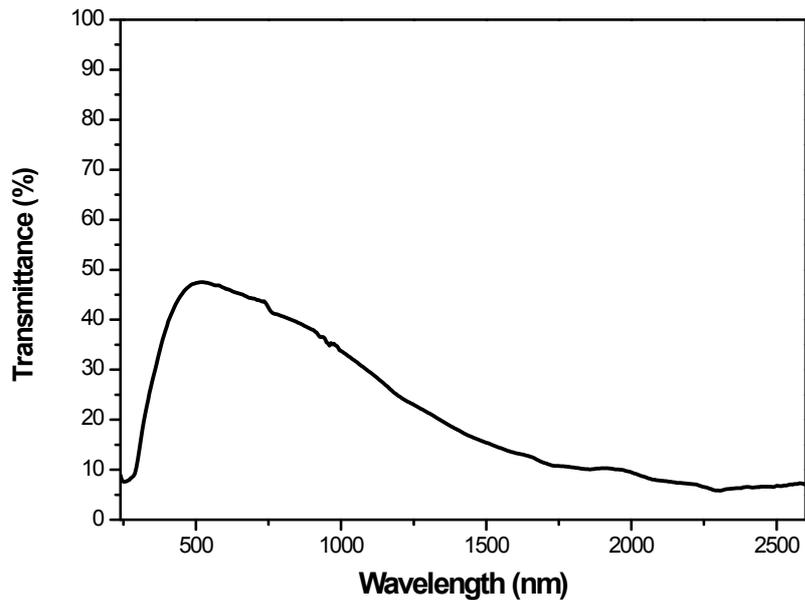


그림 30. Sb : Sn 비율을 1 : 9로 합성한 ATO의 UV-Vis-NIR spectrum

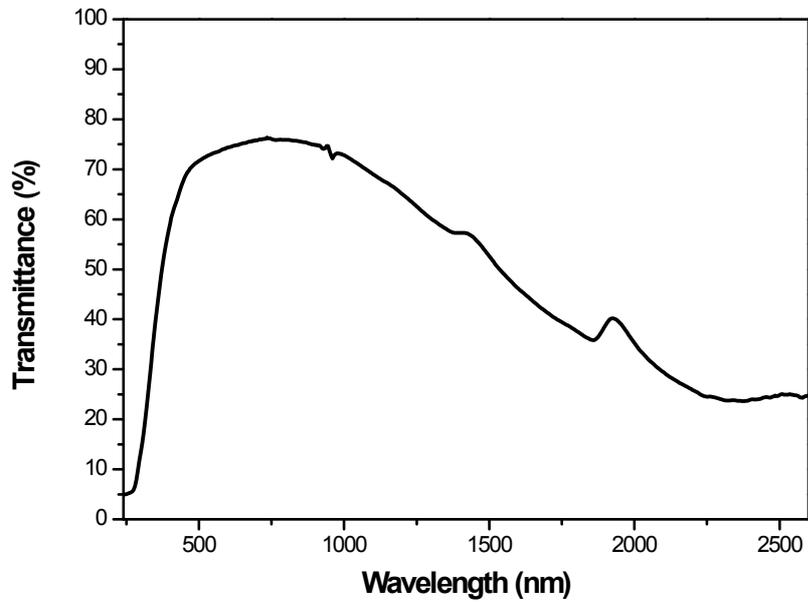


그림 31. Sb : Sn 비율을 3 : 7로 합성한 ATO의 UV-Vis-NIR spectrum

- ITO의 조성을 조절하기 위하여 In과 Sn의 비율을 9 : 1, 8 : 2, 7 : 3, 6 : 4, 5 : 5의 비율로 변화시켜 합성한 ITO를 UV-Vis-NIR spectroscopy로 측정된 결과, In : Sn 비율을 9 : 1로 합성한 ITO의 결과가 가장 뛰어난 자외선 흡수, 가시광선 투과, 근적외선 흡수의 결과를 보임.

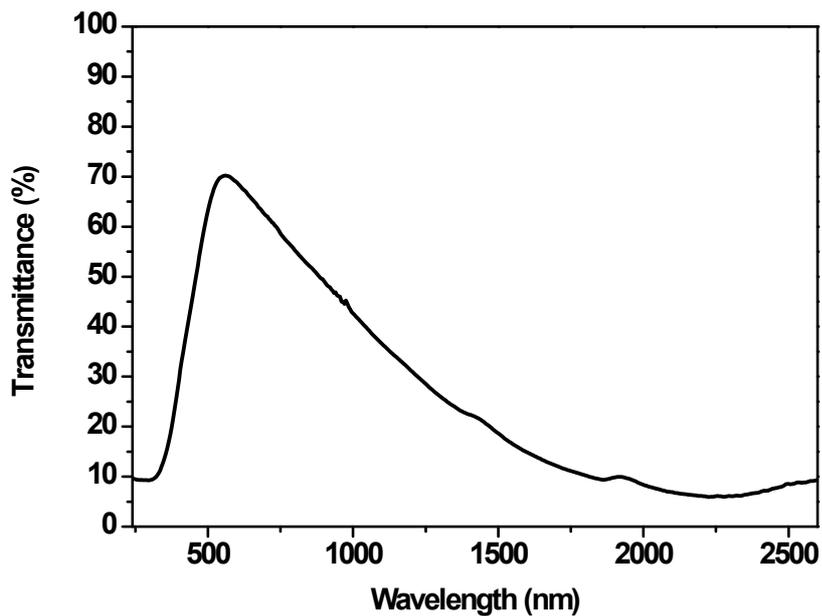


그림 32. In : Sn 비율을 9 : 1로 합성한 ITO의 UV-Vis-NIR spectrum

- ATO와 ITO의 조성을 조절하기 위하여 In, Sb, Sn의 비율을 1: 1: 1, 1: 1: 2, 1: 1: 3, 1: 1: 4, 1: 1: 5의 비율로 변화시켜 합성한 IATO를 UV-Vis-NIR spectroscopy로 측정한 결과, In : Sb : Sn 비율을 1: 1 : 5로 합성한 IATO의 결과가 가장 뛰어난 자외선 흡수, 가시광선 투과, 근적외선 흡수의 결과를 보임. 이는 Sb : Sn 비율을 3 : 7로 합성한 ATO와 거의 유사한 UV-Vis-NIR spectrum을 나타냄.

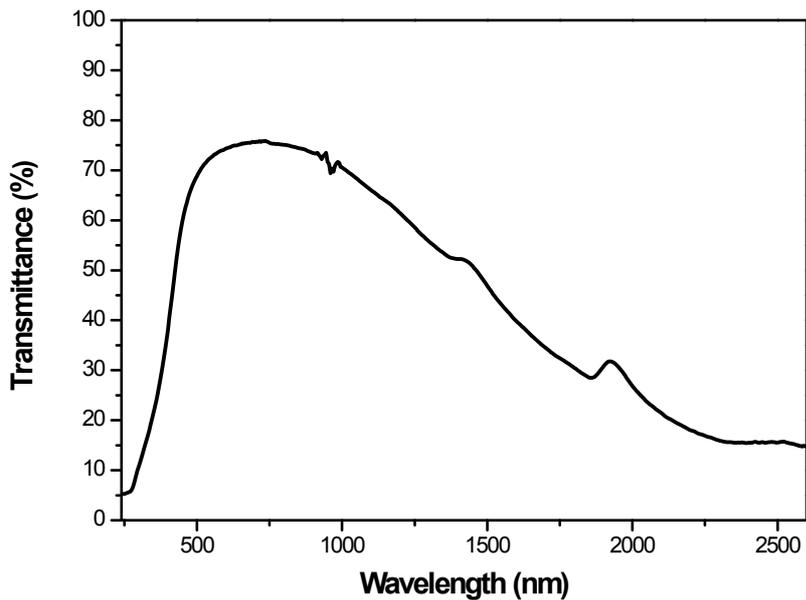


그림 33. In : Sb : Sn 비율을 1: 1 : 5로 합성한 IATO의 UV-Vis-NIR spectrum

2. 기능성 코팅소재 제조 및 고분자 기능성 첨가제 개발

- 비닐에 코팅하기 위해서는 비닐에 변형을 줄 수 있는 가열경화를 사용할 수 없으므로 상온 경화 가능한 코팅액이 요구됨.
- 근적외선 흡수 나노소재의 분산과 상온경화가 가능한 silane base의 코팅액을 제조하기 위하여, 첨가하는 silane의 비율, 유기용매의 종류, 개시제의 종류 등을 조절하여 그림 13의 silane base 코팅액을 제조함.

IR coating binder (Silane base)

Phenyltrimethoxysilane : Tetramethoxysiloxane
(1 : 1) 30g(wt)
H₂O 5g
Boric acid 1g
Dibutylthindilaurate 2g

(Mixing for 1h at RT) ↓

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

(Mixing for 30min at RT) →



Coating 원액 제조



Silane base binder
+
ATO
→



그림 34. 근적외선 흡수 나노소재 Silane base 코팅액

○ 유기용매의 변화 및 비율의 변화에 따른 분산성 비교.

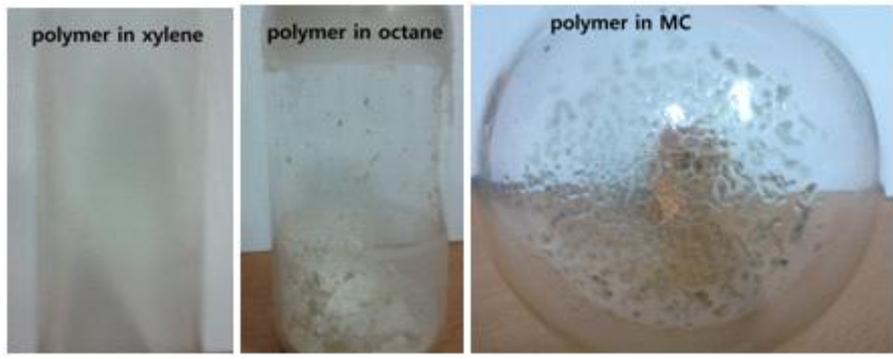




그림 35. 유기용제별 고분자 분산성 시험

- 근적외선 흡수 나노소재의 분산과 상온경화가 가능한 urethane base의 코팅액을 제조하기 위하여, 그림 15의 양이온성 urethane 코팅액, 음이온성 urethane 코팅액, 중성 urethane 코팅액 등을 제조하고, 분산 안정성을 테스트함.

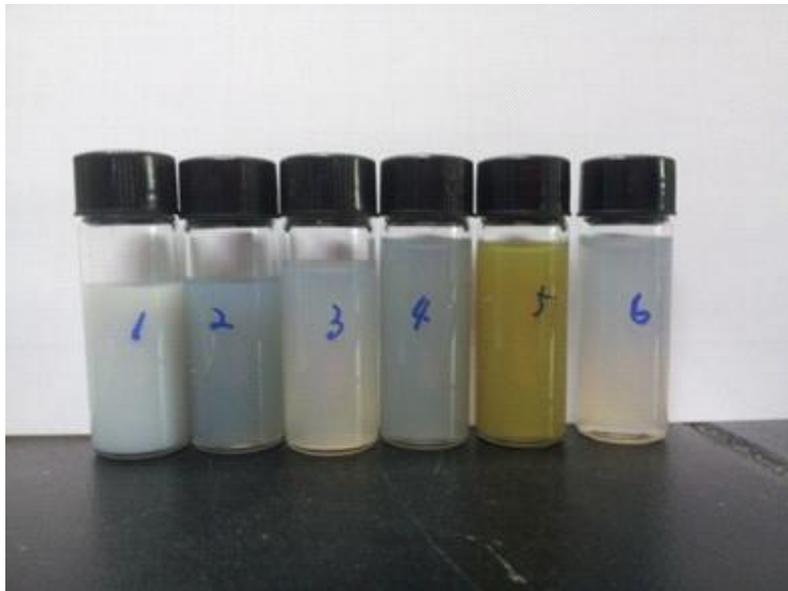


그림 36. 근적외선 흡수 나노소재 Urethane base 코팅액 및 분산 안정성 테스트

- 표면 흡착물질의 접촉각 향상을 통한 오염물의 효과적인 제거를 위해 전기음성도가 높은 불소계 화합물을 사용한 첨가제를 합성.
- Silane 분자의 가교도 조절을 통해 PC, PE분자와 합착성이 우수한 Silane base 방오성 고분자 합성을 위하여 아래의 합성 scheme을 이용.

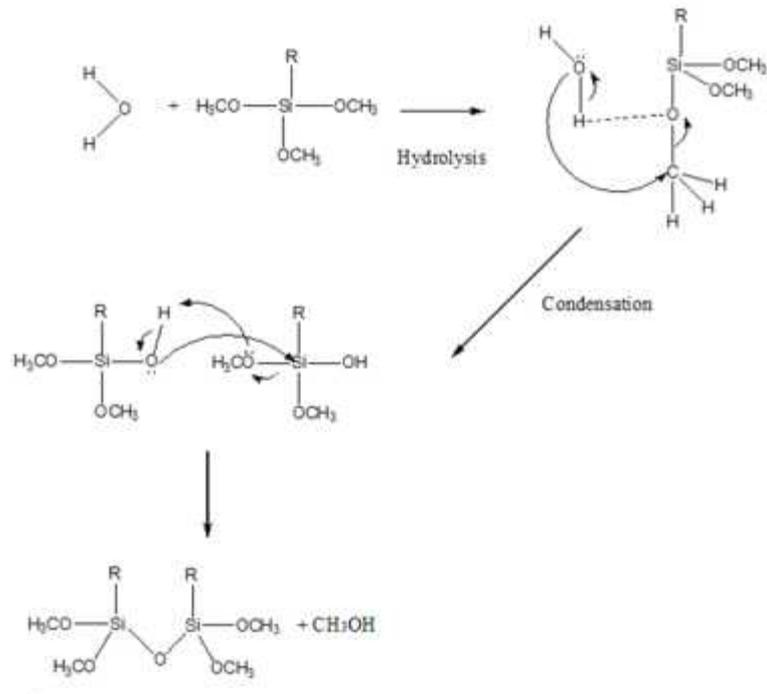


그림 37. Silane base 불소계 방오성 고분자 합성 scheme

- 접촉각 향상과 함께 표면 오염물질의 원천적 부착 방지를 위한 표면 구조의 부분적 3차원 입체화를 이룰 수 있는 고분자 가교결합의 조절을 통해 오염물의 흡착을 저감화 및 표면에너지를 최소화할 통한 방오성 기능을 향상시킴.

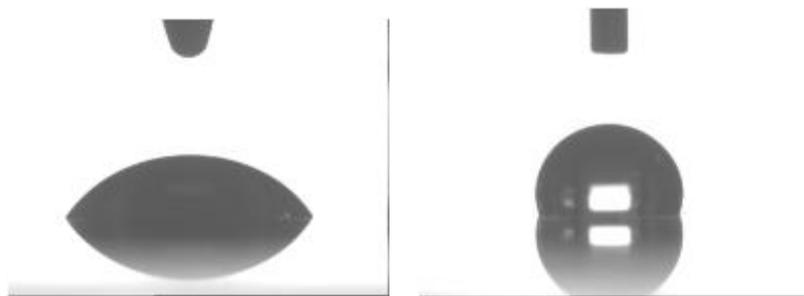


그림 38. 방오성 고분자 적용에 따른 물에 대한 표면 접촉각 확인 시험
(좌 : 대조군, 우 : 방오성 코팅)

- 그림 38의 표면 접촉각 확인 시험 방법을 통하여 불소계 방오성 고분자 코팅에 따른 표면 접촉각 차이를 비교 실험함.

Contact angle	불소계 방오 코팅	대조군
Di-water	~ 109°	10°
n-hexadecane	~ 60°	N/A

표 9. 불소계 방오성 고분자 코팅에 따른 표면 접촉각 비교

- 표 9의 접촉각 측정결과, 불소계 방오성 코팅의 경우 물과 유기용매에 대한 접촉각이 모두 크게 증가한 것을 확인함. 이는 오염물질의 표면 흡착을 감소시켜 방오성 기능을 향상시킬 수 있는 결과임.
- 대부분의 오염물질이 유기 특성을 갖기 때문에 유성 매직을 이용한 방오성 기능을 비교함. 그림 39에서 방오성 코팅의 경우 유성 매직이 거의 묻지 않음.

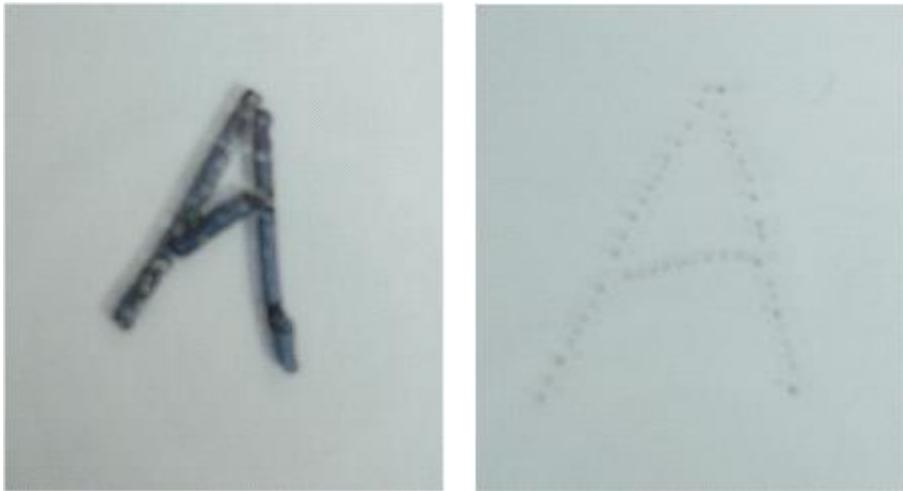


그림 39. 유성 매직을 이용한 표면 얼룩 확인 시험 (좌 : 대조군, 우 : 방오성 코팅)

- 지용성 오염물질에 대한 비교에서도 방오성 코팅의 경우 지용성 오염물질이 거의 남지 않은 것을 확인함.

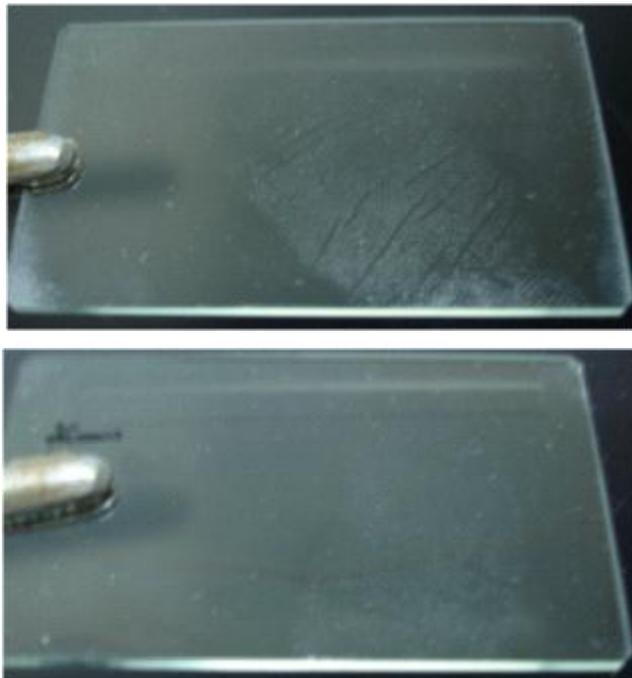


그림 40. 지용성 오염물질에 의한 표면 얼룩 확인 시험 (상 : 대조군, 하 : 방오성 코팅)

○ 넓은 면적의 비닐에 코팅을 하기 위한 방법으로 스프레이 코팅 방법이 가장 효율적인 것으로 판단하여 스프레이 코팅 방법으로 근적외선 흡수 기능성 코팅제를 비닐에 코팅.



그림 41. 근적외선 흡수 나노소재 스프레이 코팅

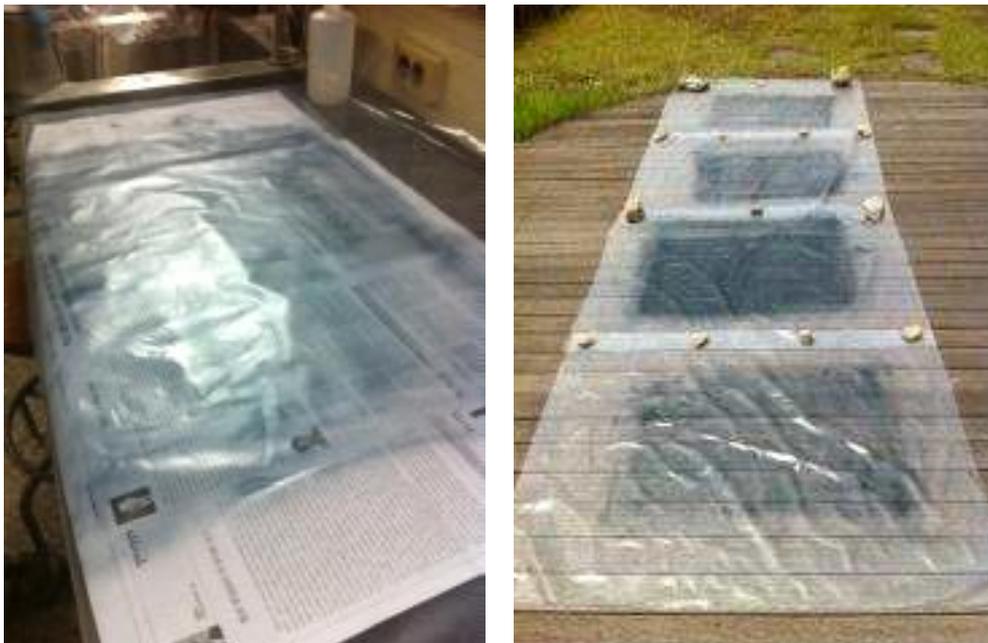


그림 42. 근적외선 흡수 나노소재 코팅된 비닐

3. 기능성 온실피복소재 물성 평가 기법 구축

가. 가시광선 투과율 평가

- 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.
- 근적외선 흡수 및 자외선 차단 기능성 온실피복소재의 가시광선 투과율을 측정하기 위하여, 근적외선 흡수 및 자외선 차단 기능성 온실피복소재 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.

파장	투과율
가시광선 (400~800 nm)	72.42 %
청색 (430~470 nm)	62.37 %
적색 (620~670 nm)	74.75 %

표 10. 근적외선 흡수 및 자외선 차단 기능성 온실피복소재의 가시광선 투과율

- 근적외선 흡수 및 자외선 차단 기능성 온실피복소재의 가시광선 투과율이 72.42%인 것을 확인함. 가시광선 파장 중 청색과 적색 파장의 투과율이 62.37%와 74.75%인 것을 확인함. 이는 가시광선 투과율 목표치인 60% 보다 월등히 높은 값으로 비교적 우수한 성능으로 판단됨.
- 근적외선 흡수 및 자외선 차단 기능성 온실피복소재의 가시광선 투과율이 목표치인 투과율 60%보다 높은 72.42%인 것을 확인함.

나. 자외선 차단율 평가

- 자외선 영역의 빛은 식물에 광스트레스를 가하여, 식물 생육을 저해하고, 병을 발생시킴. 따라서 근적외선 흡수 및 자외선 차단 기능성 온실피복소재의 자외선 차단율이 높을수록 긍정적 요소로 작용함.
- 근적외선 흡수 및 자외선 차단 기능성 온실피복소재의 자외선 흡수율을 측정하기 위하여, 근적외선 흡수 코팅 시료를 UV-Vis-NIR spectroscopy로 측정하여 240~400 nm 파장의 자외선 흡수율 계산.

파장	차단율
자외선 (240~400 nm)	75.16 %

표 11. 근적외선 흡수 및 자외선 차단 기능성 온실피복소재의 자외선 투과율

- 근적외선 흡수 및 자외선 차단 기능성 온실피복소재의 자외선 차단율이 목표치인 차단율 70% 보다 높은 75.16%인 것을 확인함.

다. 근적외선 흡수율 평가

- 근적외선 영역의 파장 흡수는 근적외선 흡수 기능성 온실피복재에서 제설효과를 갖기위한 가장 중요한 요소임. 근적외선 흡수율이 높을수록 근적외선 흡수 및 자외선 차단 기능성 온실피복소재의 제설효과에 긍정적 요소로 작용함.
- 근적외선 흡수 및 자외선 차단 기능성 온실피복소재의 근적외선 흡수율을 측정하기 위하여, 근적외선 흡수 및 자외선 차단 기능성 온실피복소재 시료를 UV-Vis-NIR spectroscopy로 측정하여 800~2600 nm 파장의 근적외선 흡수율 계산.

파장	흡수율
근적외선 (800~2600 nm)	55.13 %

표 12. 근적외선 흡수 기능성 코팅제의 근적외선 흡수율

- 근적외선 흡수 및 자외선 차단 기능성 온실피복소재의 근적외선 흡수율이 목표치인 60%에 근접한 55.13%인 것을 확인함.
- 근적외선 흡수 기능성 코팅제의 성능을 평가하기 위하여 코팅된 유리판과 코팅되지 않은 유리판을 대조군으로 설정하고, 백열등으로 근적외선을 가하였을 때의 표면과 유리판을 투과한 내부의 온도 변화를 관찰함.



(10분 경과)



(40분 경과)

그림 43. 근적외선 흡수 코팅의 표면온도 및 투과온도 비교

(1-S : 대조군 표면온도, 1-T : 대조군 투과온도, 2-S : 코팅 표면온도, 2-T : 코팅 투과온도)

- 실험시작 10분까지는 눈에 띄는 변화가 나타나지 않았지만 점점 온도변화가 나타나면서 40분 경과 후에는 코팅된 유리판의 표면온도가 76.4℃로 대조군 표면온도보다 15.6℃ 더 높게 나타났고, 유리판을 투과한 내부온도가 37.6℃로 대조군의 투과한 내부온도보다 9.5℃ 더 낮게 나타남.
- 실험시작 10분까지는 눈에 띄는 변화가 나타나지 않았지만 점점 온도변화가 나타나면서 40분 경과 후에는 코팅된 유리판의 표면온도가 76.4℃로 대조군 표면온도보다 15.6℃ 더 높게 나타났고, 유리판을 투과한 내부온도가 37.6℃로 대조군의 투과한 내부온도보다 9.5℃ 더 낮게 나타남.
- 이러한 온도변화는 근적외선 흡수 기능성 코팅제가 백열등에서 조사된 근적외선이 코팅제에 흡수되어 표면온도는 상승하고, 투과된 내부 온도는 낮게 나타는 것으로, 근적외선 흡수 기능성 코팅제의 근적외선 흡수 능력을 확인함.
- 근적외선 흡수 기능성 코팅제의 근적외선 흡수에 따른 온도차이 변화를 통해 근적외선이 기능성 코팅제에 흡수되는 것을 확인함.
- 근적외선 흡수 및 자외선 차단 기능성 온실피복소재의 근적외선 흡수 성능을 평가하기 위하여 근적외선 흡수 기능성 온실피복 필름소재와 일반 온실피복 필름소재를 대조군으로 설정하고, 백열등으로 근적외선을 가하였을 때의 온실피복소재를 투과한 근적외선에 의해 내부의 온도상승을 관찰함.

백열등
가동 시간

근적외선 흡수 온실퍼복 필름

일반 온실퍼복 필름

0분
(25.9℃)



60분



그림 44. 근적외선 흡수 기능성 온실퍼복 필름소재의 근적외선 흡수 성능 평가

- 백열등을 1시간동안 가동하여 근적외선이 투과되어 내부온도를 상승시킴. 근적외선 흡수 기능성 온실퍼복 필름소재의 경우 일반 온실퍼복 필름보다 내부온도가 5.8℃ 더 낮았으며, 일반 온실퍼복 필름보다 내부온도 상승 속도도 늦음. 근적외선 흡수 온실퍼복 필름소재가 백열등에서 발생된 근적외선을 효과적으로 흡수함으로써 내부로 투과되는 근적외선의 양이 적게 되어 내부온도 상승을 억제한 것을 확인함.

4. 근적외선 흡수 기능성 코팅제의 방오성 평가

- 근적외선 흡수 기능성 코팅제의 방오성 평가를 위해 40×60 cm 크기의 근적외선 흡수 기능성 코팅이 되어있는 비닐과 코팅되지 않은 비닐을 대조군으로 황사 기간 중 3일간 야외에 방치하여 오염정도를 확인함.

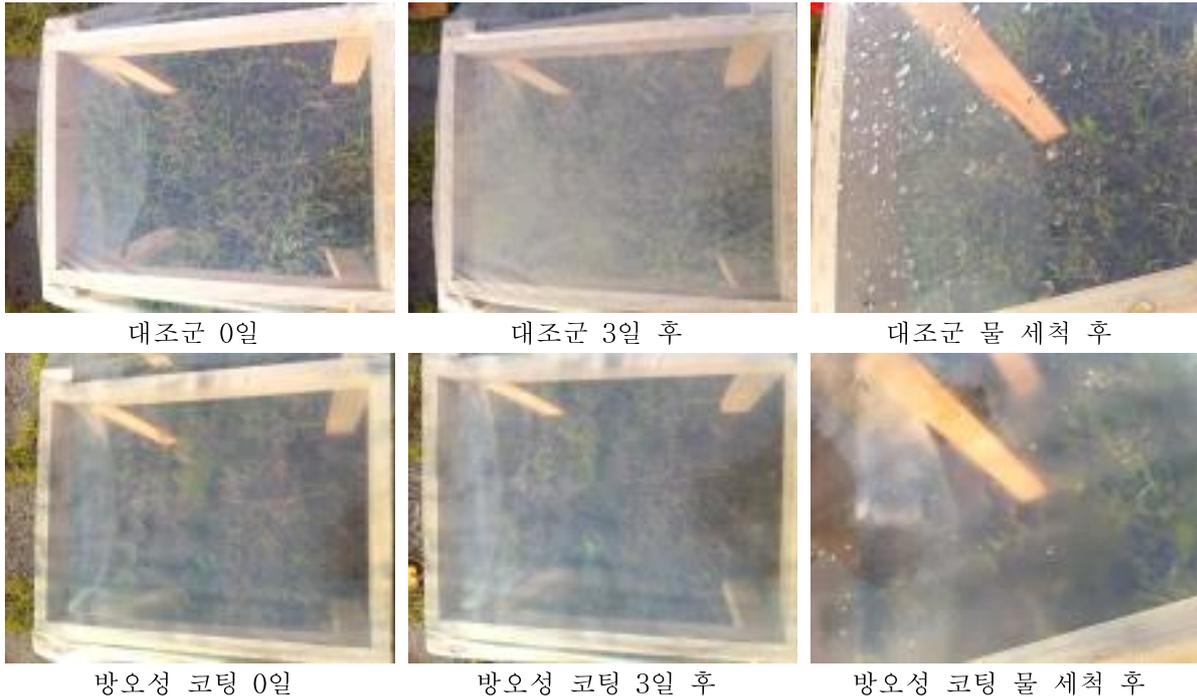


그림 45. 근적외선 흡수 기능성 코팅의 방오성 비교

- 3일간 황사에 노출된 대조군 비닐은 표면에 많은 먼지가 부착되어 투과도가 현저히 감소되었지만 방오성 코팅 비닐은 대조군에 비하여 매우 적은 양의 먼지가 부착되어 투과도의 감소가 적음.
- 물로 세척시 대조군 비닐은 약간의 먼지 얼룩이 남아있고, 방오성 코팅 비닐은 깨끗하게 표면이 씻겨짐. 물 세척 후, 대조군 비닐은 표면에 많은 물방울이 맺혀있지만 방오성 코팅 비닐은 발수성 때문에 표면에 남은 물방울이 맺혀있지 못하고 미끄러져 떨어짐.
- 근적외선 흡수 기능성 코팅제의 황사에 대한 방오성 평가결과, 대조군에 비하여 황사오염이 현저히 적고, 물 세척으로 황사오염이 제거됨을 확인함.
- 방오성 불소계 화합물 코팅액을 이용하여 비닐용 고분자물질과의 혼합을 통해 비닐필름소재 제조 연구를 수행 하였으나 비닐원료물질인 PE (polyethylene), PC (polycarbonate) 소재와의 원료 혼합 후 casting 과정을 거쳐도 필름막이 형성되지 않는 것을 확인, 생성된 비닐 필름의 경우 불소계 화합물과의 화학적 결합을 통한 고분자사슬의 생성이 잘 이루어지지 않아 필름의 강도가 확보되지 않음.



그림 46. 근적외선 흡수 기능성 코팅의 방오성 비교

- 따라서 방오성을 가진 비닐하우스용 필름제조는 원료물질을 혼합한 필름생산방식이 아닌 Silane 분자의 가교도 조절을 통해 PC, PE분자와 합착성이 우수한 Silane base 방오성 고분자 코팅액을 제조하고 이를 비닐용 필름표면에 코팅하는 방식으로 비닐의 방오성을 부여하는 방법이 타당하다고 결론내림.

5. 근적외선 흡수 기능성 코팅제의 제설효과 평가

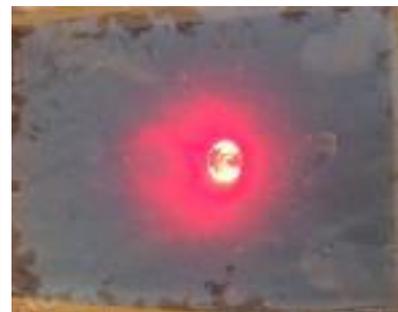
- 근적외선 흡수 기능성 코팅제의 제설효과 평가를 위해 40×60 cm 크기의 근적외선 흡수 기능성 코팅이 되어있는 비닐과 코팅되지 않은 비닐을 대조군으로 같은 양의 얼음조각을 비닐 위에 올리고, 적외선 램프로 근적외선을 조사하여 같은 시간 동안 얼음이 녹는 현상을 관찰 비교함.



대조군
5분 후



대조군
20분 후



대조군 얼음 제거 후 비닐
뒷면에 성에 발생



근적외선 흡수 코팅
5분 후

근적외선 흡수 코팅
20분 후

근적외선 흡수 코팅 얼음 제거 후
비닐 뒷면에 성에 없음

그림 47. 근적외선 흡수 기능성 코팅의 제설효과 비교

- 적외선 램프를 켜고 시간이 지남에 따라 얼음이 녹는 정도에 차이가 나타남. 약 20분 후, 대조군 비닐은 얼음이 약간 녹기 시작하였지만 근적외선 흡수 코팅 비닐은 적외선 램프의 근적외선이 조사되는 부분을 중심으로 얼음이 녹아서 경사면을 따라 녹은 얼음이 미끄러져 내림.
- 대조군과 근적외선 흡수 코팅 비닐의 얼음을 모두 제거한 뒤 관찰한 결과, 대조군 비닐의 뒷면에는 온도차이 때문에 결로현상이 발생하여 성애가 끼어있었으나 근적외선 흡수 코팅 비닐은 결로현상이 발생하지 않음.
- 동일한 실험을 필드 테스트에 앞서 서울 동국대학교 과학관 옥상에 근적외선 흡수 기능성 온실피복소재와 기존 일반 비닐하우스용 온실피복소재를 이용하여 미니 터널하우스를 설치함.

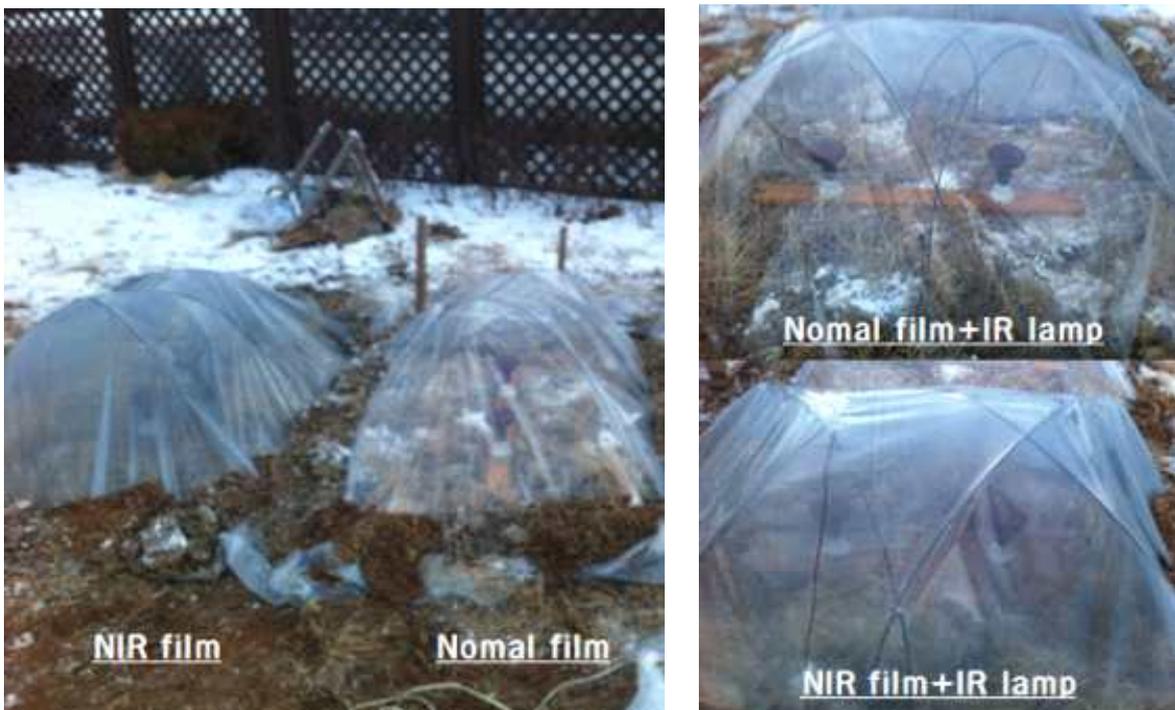


그림 48. 근적외선 흡수 기능성 온실피복소재를 적용한 미니 터널하우스 설치

- 2013년 12월 12일 강설 후 근적외선 램프에 의한 근적외선 흡수 가능성 온실퍼복소재의 제설효과 평가 실험 (평균기온 : -3.2℃, 최고기온 : 0.3℃, 최저기온 : -6.3℃, 적설량 : 4.4 cm)



그림 49. 강설 후 근적외선 램프를 가동하여 제설효과 평가 실험

- 근적외선 램프를 켜고 시간이 지남에 따라 눈이 녹는 정도에 차이가 나타남. 약 20분 후, 일반 온실퍼복재는 근적외선 램프 수직방향의 눈만 녹았으나 근적외선 흡수 온실퍼복재는 근적외선 램프의 근적외선이 조사되는 부분을 중심으로 넓은 부위의 눈이 녹아서 경사면을 따라 눈이 미끄러져 내림.
- 근적외선 흡수 온실퍼복재의 표면에서는 적설되는 눈이 계속해서 녹아서 미끄러져 내렸지만, 일반 온실퍼복재의 표면에서는 근적외선 램프의 수직방향에서 녹은 눈이 영하의 외부 온도에 의해 다시 얼면서 결로현상이 발생함.

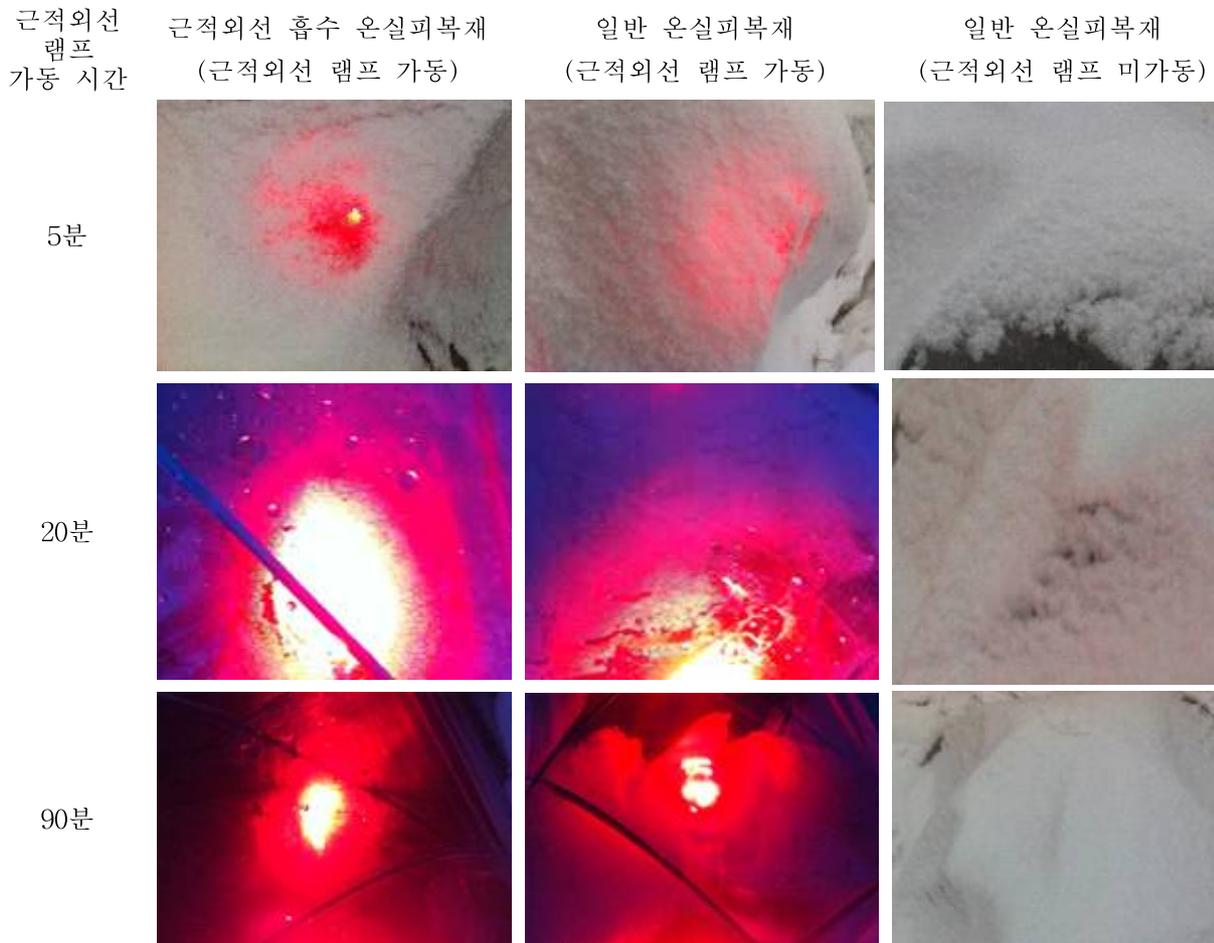


그림 50. 근적외선 흡수 기능성 온실피복재와 일반 온실피복재의 제설효과 비교

○ 근적외선 흡수 온실피복재와 일반 온실피복재의 근적외선 램프 수직방향의 표면온도 변화를 관찰함. 표면온도의 측정위치가 근적외선 램프의 수직방향으로 근접한 근적외선 램프의 열에 의한 표면 온도상승이 모든 온실피복재에서 관찰됨. 하지만 근적외선 흡수 온실피복재에서의 온도상승 변화가 일반 온실피복재에 비하여 더욱 크게 나타남.

근적외선 램프 가동 시간	근적외선 흡수 온실피복재	일반 온실피복재
5분	24.1℃	19.2℃
20분	31.2℃	25.3℃
90분	41.5℃	36.5℃

표 13. 근적외선 흡수 기능성 온실피복재와 일반 온실피복재 표면 온도 변화

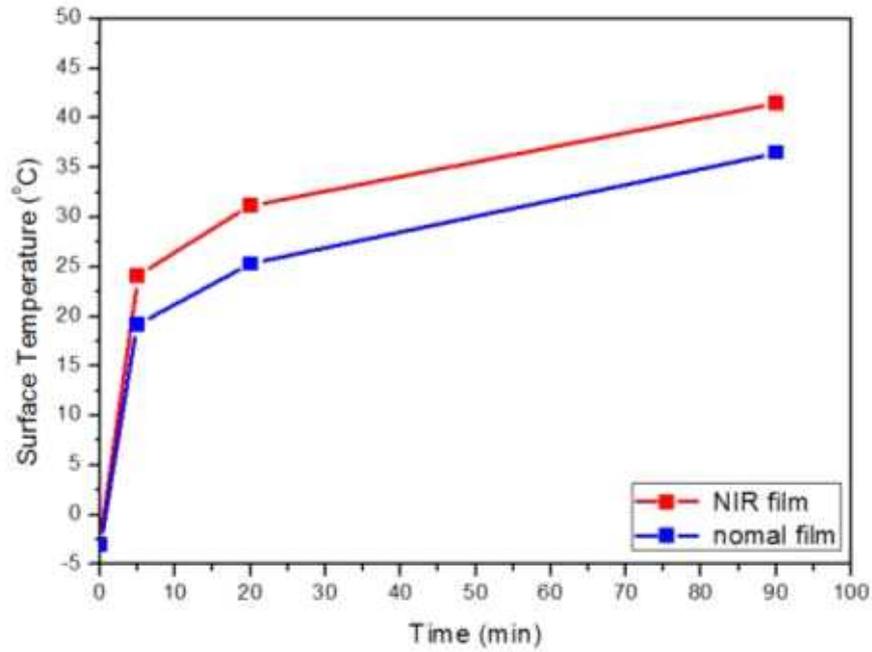


그림 51. 근적외선 흡수 기능성 온실피복재와 일반 온실피복재 표면 온도 변화

- 근적외선 흡수 온실피복재의 제설 기능의 효과적인 적정 각도 확인함으로써 필드 테스트에 지어질 비닐하우스의 최대 제설효과를 가질 수 있는 제설 각도를 설정 가능.

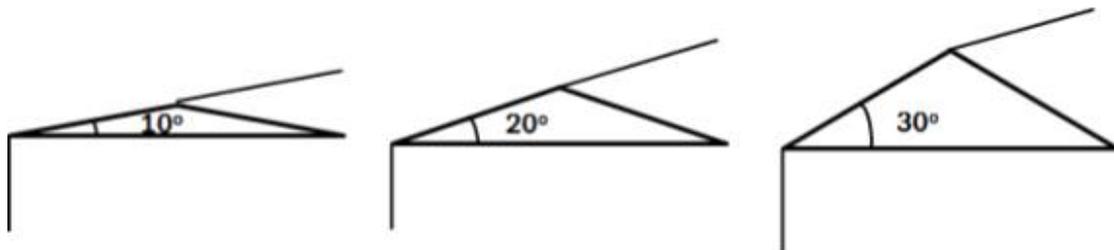


그림 52. 근적외선 흡수 온실피복재의 각도별 제설효과 평가

- 얼음을 갈아서 만든 고운 얼음가루를 눈으로 대체하여 4°C의 저온챔버 안에서 제설 평가 실험을 진행함. (일반적인 눈의 평균밀도 : 0.3 g/cm³ (기상청 자료), 얼음가루의 밀도 : 0.31 g/cm³)



그림 53. 얼음가루의 밀도 측정

- 근적외선 흡수 기능성 필름소재의 각도별 제설효과 평가를 위해 40×60 cm 크기의 근적외선 흡수 기능성 필름소재와 일반 온실피복 비닐필름을 대조군으로 같은 양의 얼음가루를 필름 위에 도포하고, 각각 10°, 20°, 30°의 각도에서 적외선 램프로 근적외선을 같은 시간동안 조사하여 녹은 얼음가루가 아래로 흘러내리는 현상을 관찰 비교함.

각도

근적외선 흡수 온실피복재

일반 온실피복재

10°



20°



30°

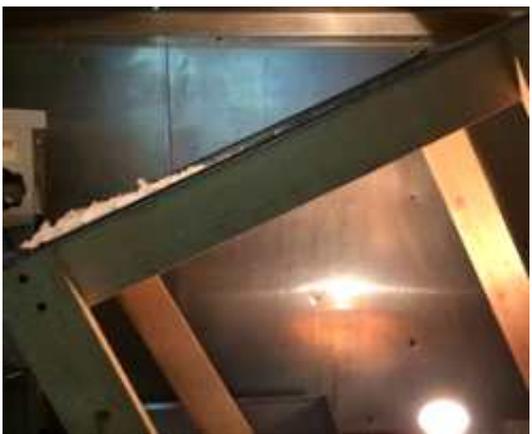


그림 54. 근적외선 흡수 온실피복재의 각도별 제설효과 평가

- 각도별 제설효과 평가결과 같은 각도에서 근적외선 흡수 기능성 온실피복 필름소재의 얼음 가루가 일반 온실피복 필름소재의 얼음가루보다 더욱 많은 양이 아래로 흘러내려 제거됨.
- 10°의 각도에서는 근적외선 흡수 기능성 필름소재의 얼음가루가 흘러내린 양이 많지 않았으나 20°의 각도에서부터 일반 온실피복 필름소재와 큰 차이로 흘러내리는 양의 많음. 30°의 각도에서 일반 온실피복 필름소재는 적외선등 수직부분만 녹았으나, 근적외선 흡수 기능성 필름은 넓은 면적에서 얼음가루가 녹으면서 흘러내리며 녹지 않은 얼음가루와 함께 미끄러져 내림.

- 최종적으로 일반적인 비닐하우스 상황에서 근적외선 흡수 온실풍복재의 제설능력을 실험하기 위해 강원도 홍천에 비닐하우스를 설치하여 근적외선 흡수 온실풍복재의 제설효과 검증을 함.



그림 55. 강원도 홍천군 동면 노천리 비닐하우스 부지 (위)와 비닐하우스 설치 후 코팅 과정 (아래)

- 이 실험의 지역으로 선정된 강원도 홍천은 겨울지역 평균 눈 현상 일수가 높고 기온이 낮아 근적외선 흡수 온실풍복재의 제설능력을 검증하기 위한 최고의 지역임.

기후 요소	단위	11월	12월	1월
		지역: 강원도 용천 기후		
평균기온	℃	5.4	-2.5	-4.7
평균 최고 / 최저 기온	℃	11.5/0.3	3.1/-7.2	1.6/-10.2
강수량	mm	42.6	20.9	14.0
강수일수	일	8.2	7.2	5.0
일조시간	시간	142.2	150.0	165.0
일최저기온 0℃미만일수(-10℃미만)	일	14.8(0.1)	28.9(9.6)	30.1(16.4)
눈연장일수	일	1.5	5.6	6.3

그림 56. 강원도 용천 최근 10년간 평균 겨울 기후 (*기상청)



그림 57. 근적외선 흡수 코팅을 하지 않은 A (오른쪽)와 코팅이 된 비닐하우스 B (왼쪽)

- 비닐하우스 2동은 내부, 외부적으로 동일한 제질의 비닐을 사용하였고 전기 설비를 통해 똑같은 적외선등을 설치하여 야간 강설 시 효과적인 데이터를 수집할 수 있도록 제작하였음. 이를 이용해 강설 후 주, 야간 실험을 진행하여 제설효과를 검증함.

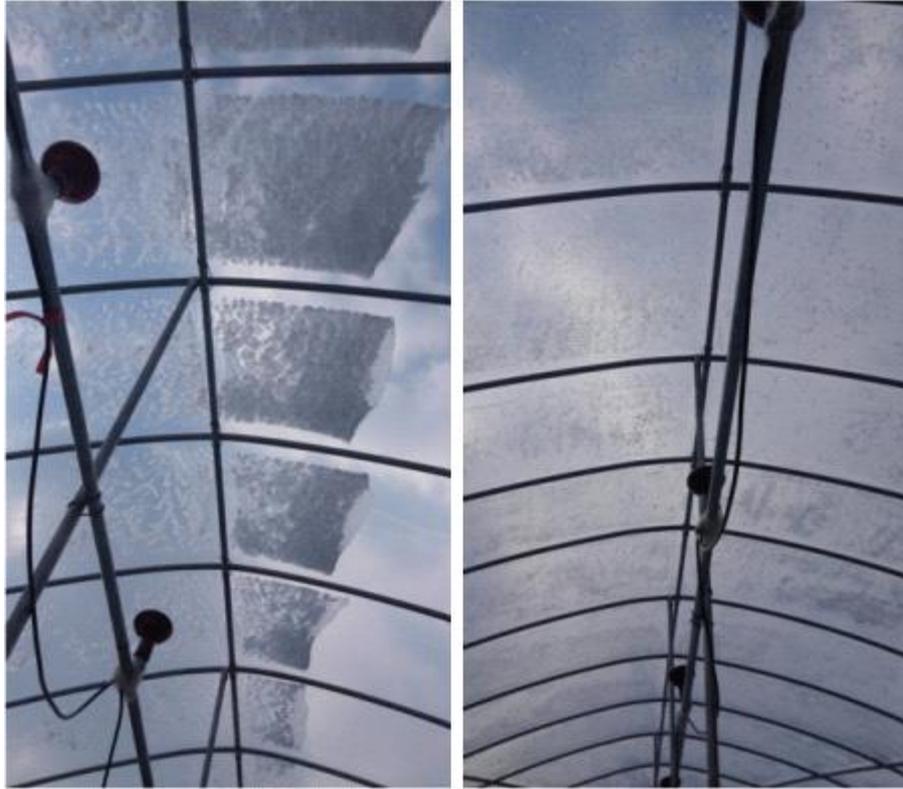


그림 58. 강설 후 주간 제설 능력 결과

- 근적외선 흡수 코팅이 되지 않은 일반 비닐하우스 A의 경우 낮에 태양빛을 받아도 비닐하우스 상단에 적설 된 눈이 쌓여있는 것을 확인. 그에 비해 근적외선 흡수 코팅이 되어있는 기능성 비닐하우스 B의 경우 태양빛에서 오는 근적외선을 비닐 표면의 코팅이 흡수하여 표면온도가 상승하여 눈이 녹고 적설된 눈 또한 비닐하우스 표면에 눈이 녹아 생긴 물로 인해 표면에서 미끄러져 상단에 눈이 쌓이지 않는 것을 확인.
- 이때 표면온도를 확인해본 결과 코팅을 치지 않은 일반 비닐하우스 A의 경우 평균 표면온도는 2°C 이고, 근적외선 흡수 코팅처리한 기능성 비닐하우스 B의 평균 표면온도는 4.5°C 정도로 두 비닐하우스 간 온도차이 2.5°C 확인.

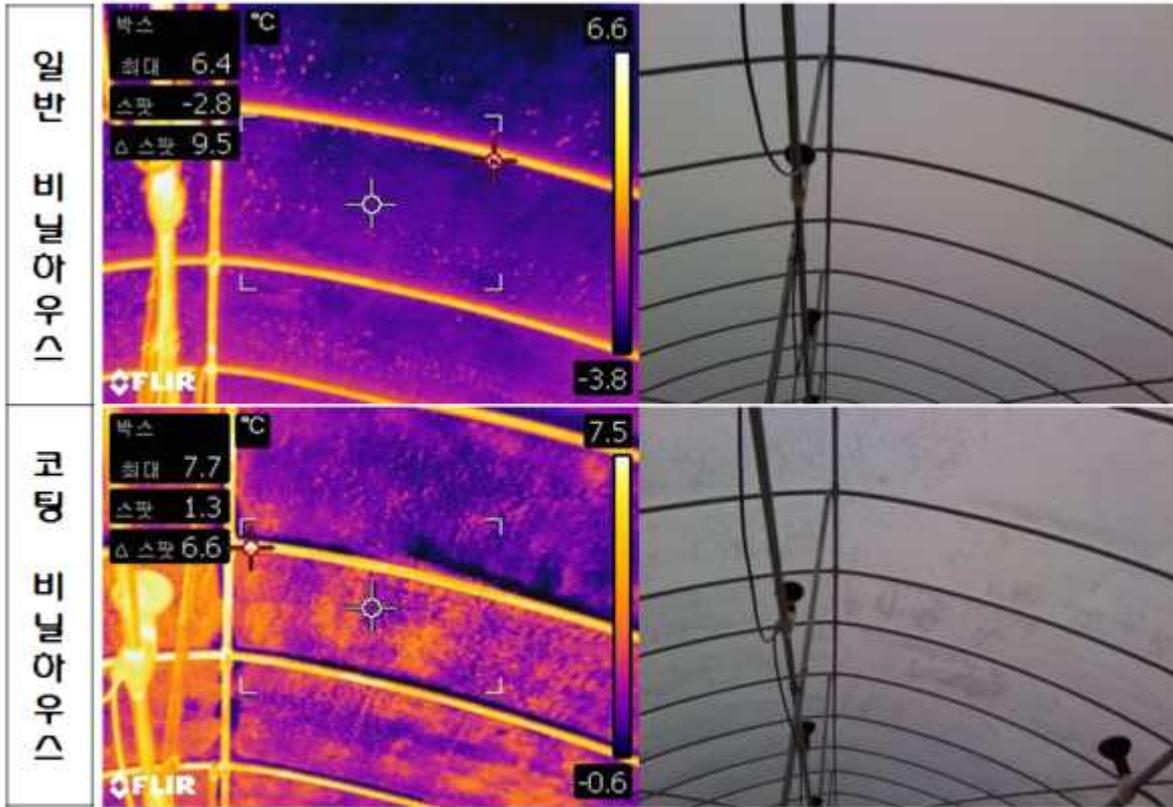


그림 59. 적외선 카메라로 촬영한 주간 비닐하우스 표면 온도

- 적외선 카메라로 비닐하우스 표면을 촬영한 결과, 근적외선 흡수 코팅을 한 비닐하우스의 경우 근적외선 흡수를 통해 전체적인 표면온도가 높고 열이 고루 분포되었는 것을 확인함. 이는 열 분포가 없고 표면온도가 영하의 온도까지 떨어진 근적외선 흡수 코팅을 하지 않은 일반 비닐하우스와 매우 다른 결과였음.
- 근적외선 흡수 능력을 통한 야간 제설효과를 확인하기 위해 새벽 1시경 실험을 진행함. 코팅한 기능성 비닐하우스 B와 코팅을 하지 않은 일반 비닐하우스 A에 적외선 등을 점등시켜 적외선을 활성화 하였음.

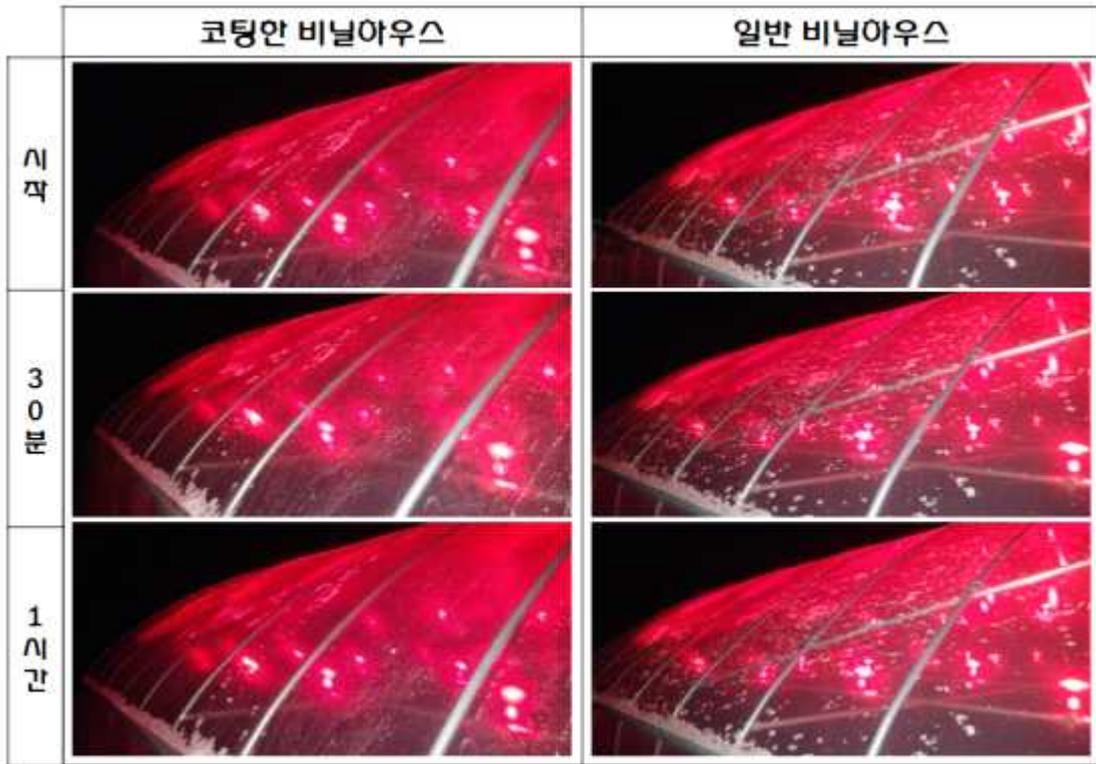


사진 60. 야간 제설 성능 실험을 진행한 비닐하우스 상태

- 적외선 등을 활성화시켜 실험을 진행한 결과, 근적외선 흡수 코팅을 한 기능성 비닐하우스 B의 경우 적외선을 흡수하여 표면온도가 높아져 눈이 녹고 흘러내리는 것을 확인 할 수 있었음. 그에 비해 코팅을 하지 않은 일반 비닐하우스 A의 경우, 눈이 녹지 않고 쌓이는 현상을 확인하였음.
- 야간 실험 시 표면온도 확인 결과 근적외선 흡수 코팅을 한 기능성 비닐하우스 표면은 평균 5℃를 보인 반면 코팅을 하지 않은 일반 비닐하우스는 9℃로 근적외선 흡수 코팅을 한 비닐하우스 표면온도가 4℃ 높은 것을 확인. 이는 근적외선 흡수 코팅이 적외선 등으로부터 열을 흡수하여 코팅표면에 온도를 높여 코팅된 비닐하우스 표면 전체 온도상승 효과를 일으킴. 이를 통한 제설효과가 가능하다는 것을 입증.

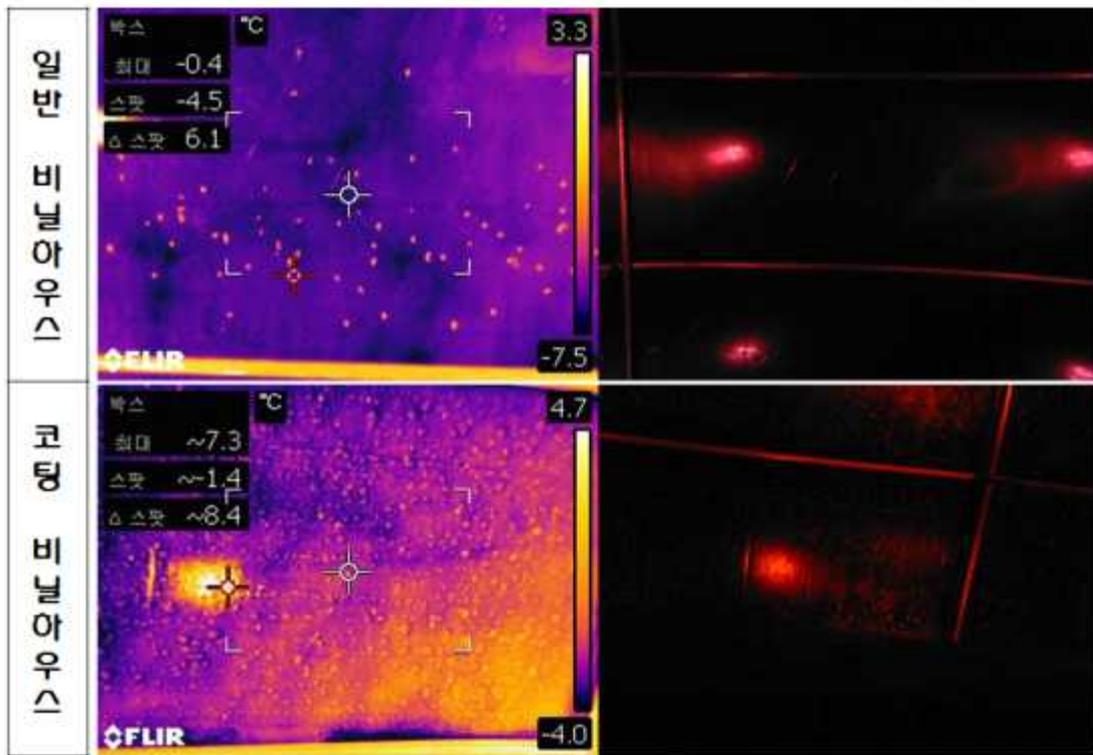


그림 61. 적외선 카메라로 촬영한 야간 비닐하우스 표면 온도

○ 적외선 카메라로 비닐하우스 표면을 촬영한 결과, 근적외선 흡수 코팅을 한 비닐하우스의 경우 근적외선 흡수를 통해 최대 온도 8℃까지 올라간 것을 확인할 수 있었음. 반면에 일반 비닐하우스의 경우 최대 -0.4℃로 코팅한 비닐하우스와 약 8℃의 온도차이를 확인함.

○ 강원도 홍천에 일반 비닐하우스와 기능성 코팅이 된 비닐하우스의 제설효과를 비교한 결과 기능성 코팅 된 비닐하우스의 표면온도가 태양빛의 적외선과 적외선 등에 의한 적외선 흡수로 표면온도가 높아 일반 비닐하우스에 비해 더 높은 제설효과를 지니는 것을 확인함.

6. 근적외선 흡수 기능성 온실피복소재의 제설효과 적용에 따른 적외선 램프 작동에 필요한 전기 소모량 측정

○ 근적외선 흡수 기능성 온실피복소재의 제설효과 적용에 따른 적외선 램프 작동에 필요한 전기 소모량을 측정하기 위하여 단위 면적당 필요한 적외선 램프의 필요량을 측정함.



그림 62. 근적외선 흡수 기능성 온실피복재의 제설효과 적용에 따른 적외선 램프의 필요량 측정

- 1×1m 크기의 근적외선 흡수 기능성 온실피복소재의 정중앙 수직의 1 m 위치에 적외선 램프를 설치한 뒤, 정 중앙에서부터 10 cm 간격으로 표면온도 측정 센서를 부착함.

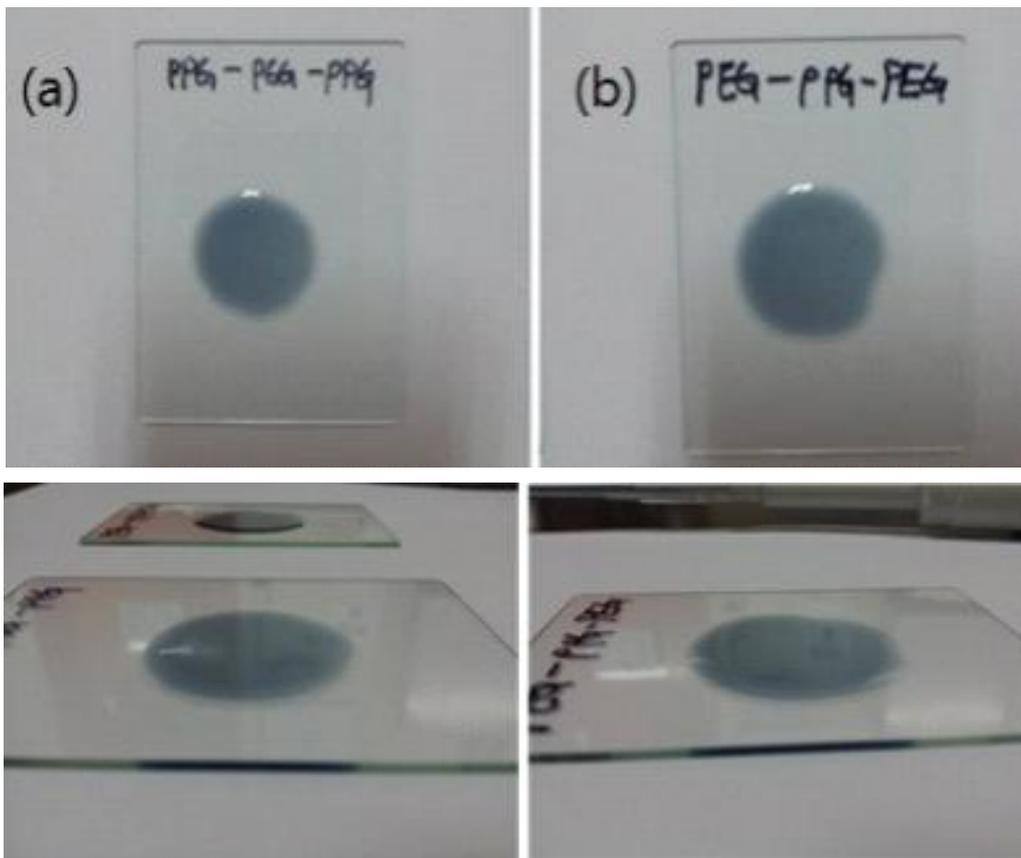
적외선 램프 가동시간	①	②	③	④	⑤
10분	26℃	25.6℃	25.0℃	24.6℃	24.0℃
30분	31℃	30.4℃	29.8℃	29.0℃	28.5℃
60분	34℃	33.4℃	33.0℃	32.2℃	31.7℃
90분	38℃	37.3℃	36.5℃	35.9℃	35.0℃
120분	40℃	38.8℃	37.9℃	37.1℃	36.0℃

표 14. 근적외선 흡수 기능성 온실피복재의 위치별 표면온도 변화

- 근적외선 흡수 기능성 온실피복소재의 제설효과 적용에 따른 적외선 램프의 필요량을 측정하기 위하여, 1 m²의 단위면적에서 표면온도를 관찰한 결과, 적외선 램프에서 가장 먼 위치의 ⑤센서에서의 표면온도 상승값을 고려하였을 때, 근적외선 흡수 기능성 온실피복소재의 제설효과를 적용하기 위해서는 1 m²의 단위면적 당 1개의 적외선 램프가 필요함.
- 따라서 근적외선 흡수 기능성 온실피복소재의 제설효과 적용에 따른 적외선 램프 작동에 필요한 전기 소모량은 1 m²의 단위면적을 1시간 동안 100 w의 전력이 소모됨. 백열등을 이용할 경우 전기 소모량은 1 m²의 단위면적을 1시간 동안 60 w의 전력이 소모됨. 이는 기존 경유난방의 1m²의 단위면적당 299 w(kcal단위환산전력량)에 비해 1/3수준의 소모량으로 기존 비닐하우스 농법에서 난방비 및 에너지 소모에 있어서 절감효과가 기대되어짐

7. 근적외선 흡수 및 자외선 차단 나노소재를 응용한 Pilot 제품 개발 및 양산화 연구

- 근적외선 및 자외선 차단 기능성 필름소재의 도막이 평탄화를 잘 이루어져야 균일한 투명도를 유지 할 수 있음. 평탄화 첨가제 적용으로 필름소재 도막의 평탄화 확인함.
- 저분자량의 copolymer를 이용한 필름소재 도막 균질화 첨가제 (a) poly(propylene glycol-ethylene glycol-propylene glycol), (b) poly(ethylene glycol-propylene glycol-propylene glycol)을 첨가함.

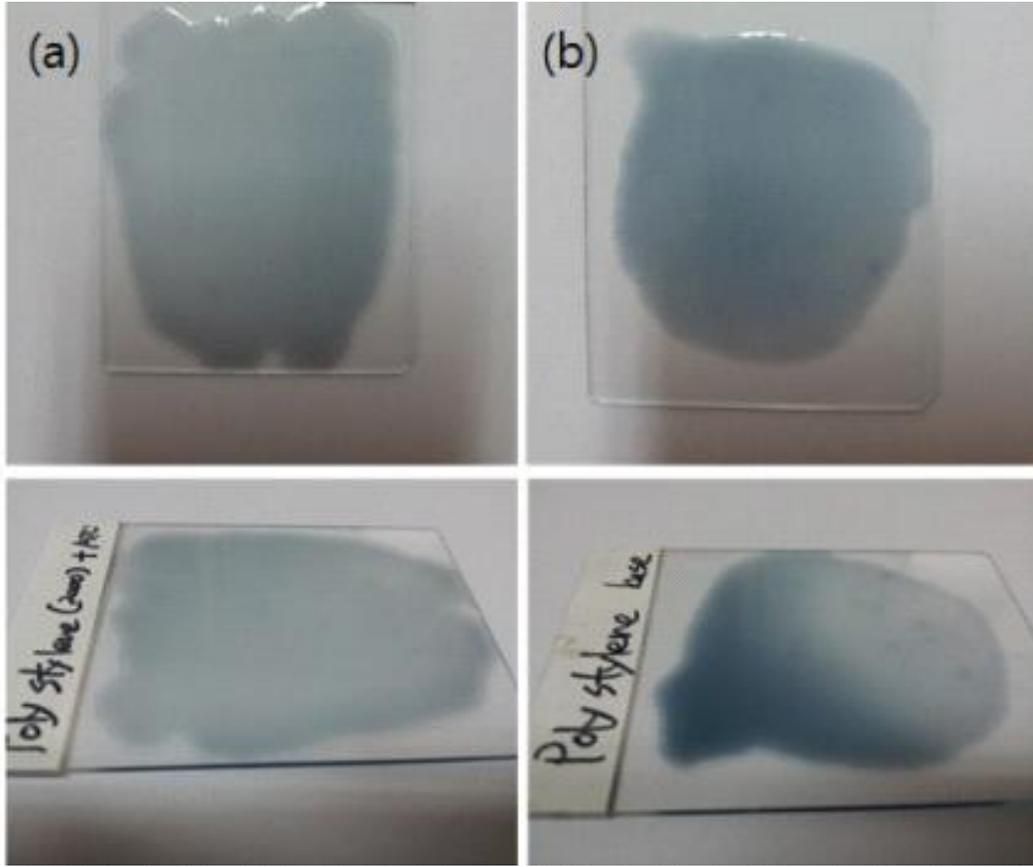


(a) poly(propylene glycol-ethylene glycol-propylene glycol)

(b) poly(ethylene glycol-propylene glycol-propylene glycol)

그림 63. 근적외선 및 자외선 차단 기능성 필름소재 도막 평탄화 첨가제 실험

- 근적외선 흡수 및 자외선 차단 기능성 필름소재에 평탄화 첨가소재를 적용하여 도막의 평탄화에 따른 균일한 투명도를 유지함을 확인함. 평탄화 첨가소재 미적용한 경우에는 도막이 평탄화되지 못하여 한쪽으로 솔림 현상을 보이며 불균일한 투명도를 보임.



(a) 평탄화 첨가소재 적용 (b) 평탄화 첨가소재 미적용
 그림 64. 근적외선 및 자외선 차단 기능성 필름소재 도막 평탄화 첨가제 실험

○ 근적외선 흡수 및 자외선 차단 기능성 필름소재 도막을 SRG-4500 장치를 이용하여 평탄도를 측정함. (Tracing speed : 1 mm/s, sampling length : 2.5 mm)

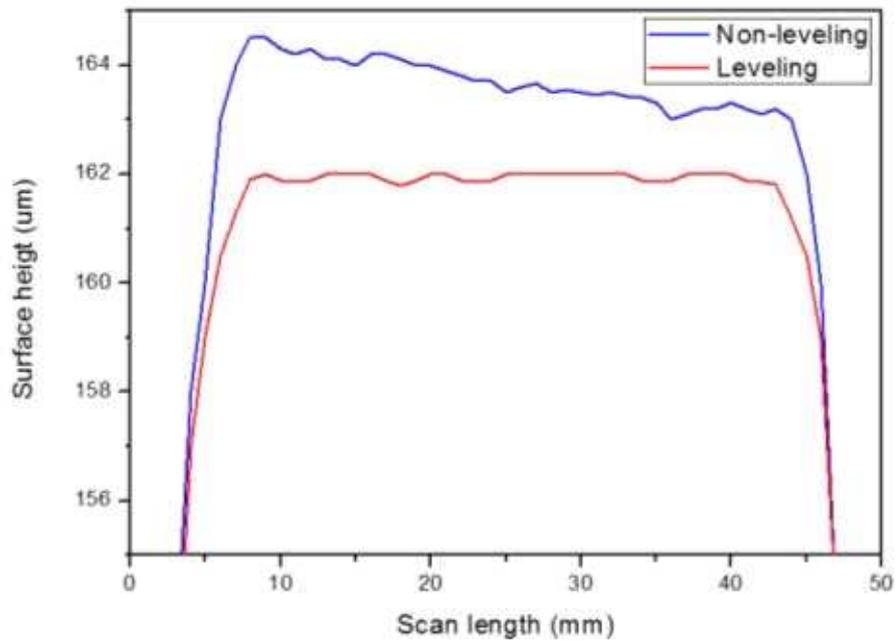


그림 65. SRG-4500와 평탄화 첨가소재 적용에 따른 도막 평탄도 측정

- 평탄화 첨가소재를 적용하지 않은 도막은 치우침 현상이 발생하여 도막의 표면이 평평하지 못하고 치우친 쪽은 도막의 두께가 두껍게 형성 되었고 반대쪽은 상대적으로 도막의 두께가 얇게 형성되었음. 평탄화 첨가소재를 적용한 도막의 경우 거의 일정한 두께의 도막이 형성되었음.
- 또한 평탄화 첨가소재를 적용한 도막의 경우 표면의 거칠기 (울퉁불퉁한 정도)에서도 평탄화 첨가소재를 적용하지 않은 경우보다 거칠기가 더 낮은 것을 확인함.

가. 근적외선 및 자외선 차단 기능성 필름소재 용액 제조를 위한 용매 최적화

- 분산력 실험을 위하여 각 특성별 용매들을 (a) 수계 및 알콜계열 용매, (b) keton계 극성 용매, (c) 비극성 용매로 나누어서 분산력 평가 실험.

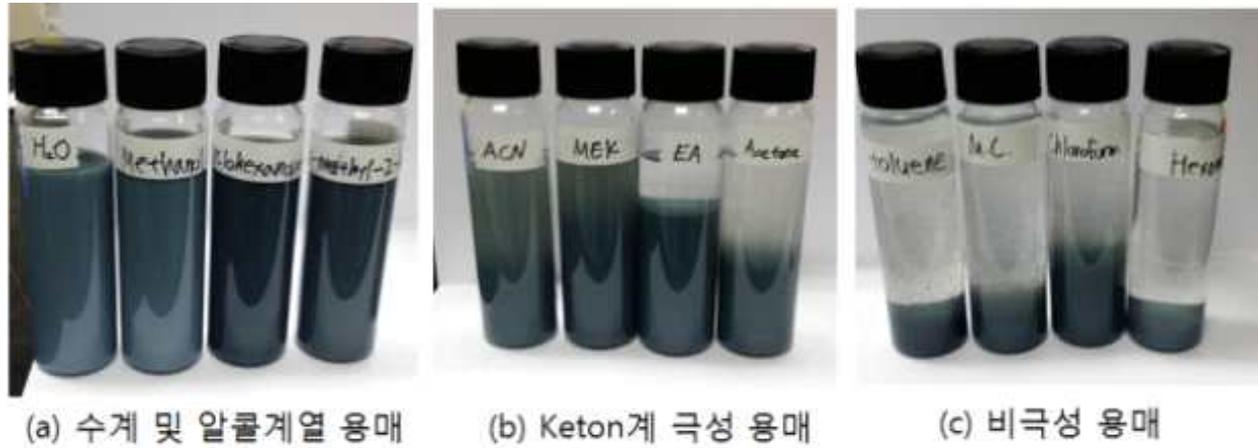


그림 66. 특성별 용매에 대한 분산력 평가 실험

- Acetate group의 극성용매는 분자내 hydroxy group의 존재 및 α 탄소의 ketone group이 같이 존재하여 전기적 공명 안정화구조를 가질 수 있어 ATO와 같은 무기 금속 산화물의 표면과 친화성이 우수하여 나노입자의 분산력이 우수함.
- 특히 수계용매의 분산력이 탁월함을 확인 하였으나 수계 용매의 경우 고분자 레진과의 친화성이 부족하여 도막 형성 혹은 비닐용 소재 고분자와의 친화성이 떨어져, 이를 적용한 비닐용 소재의 제조에는 부적합함.
- 저급 알코올 종류의 용매와의 친화성은 수계 용매보다는 약하나 비교적 안정적이며 분산력이 우수함을 확인.
- Ketone group의 유기 용제는 극성의 화학 작용기를 보유하고 있으나 무기 금속 산화물의 표면 극성과 같은 전기적 전하를 유지 하고 있어 오히려 정전기적 반발력을 유발하여 나노입자의 분산성이 떨어짐을 확인.
- 방향족 및 포화 탄화수소 계열의 유기용매의 경우 무기산화물 ATO 입자와의 친화성이 전혀 없어 분산력이 급격히 떨어짐.
- 유기고분자 내 용해 침투성이 우수한 MEK (methyl ethyl ketone)은 형성된 적외선 흡수 도막의 점착력을 향상시켜 비닐소재 내 기능성 도막의 내구성에 큰 영향을 미침.

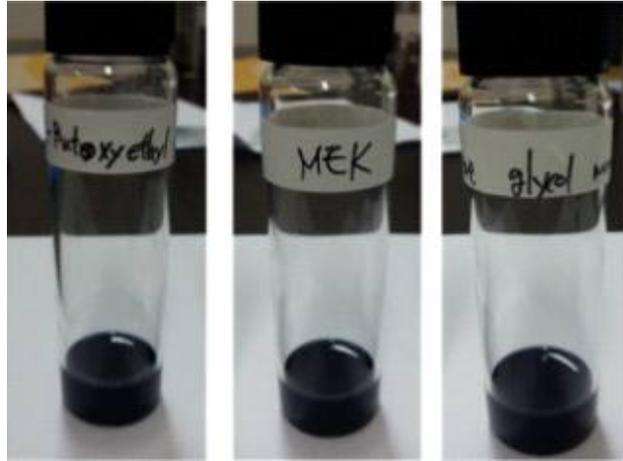


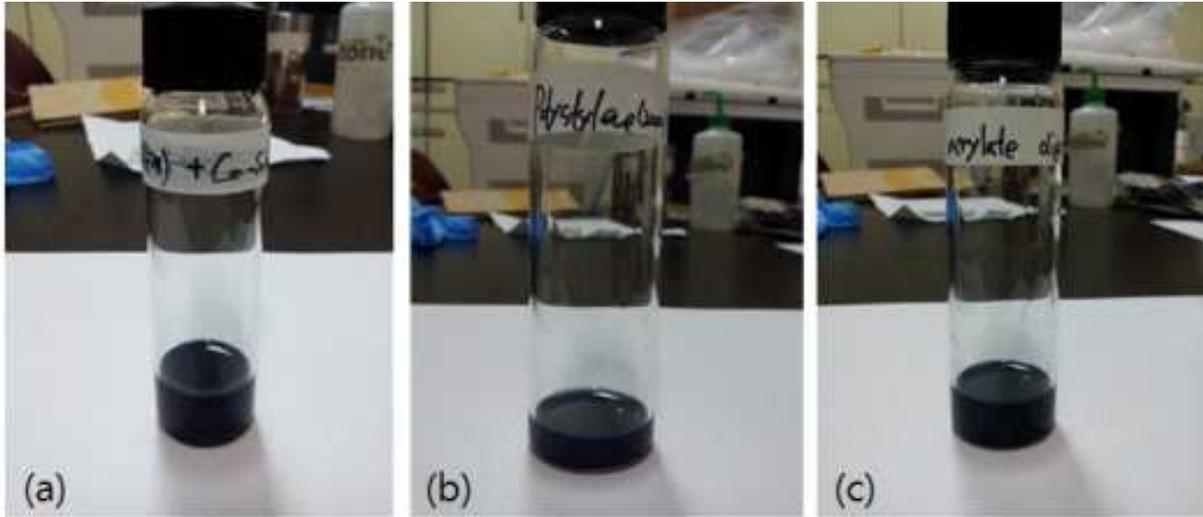
그림 67. Acetate group을 갖는 용매 분산력 평가 실험

- 각 특성별 용매에 대한 분산력 평가 실험 결과에 따른 혼합 공 용매를 제조하여 혼합 공 용매에 대한 분산력 평가 실험.



그림 68. 혼합 공 용매 분산력 평가 실험

- 표면 극성이 강한 무기금속소재와 유기용매와의 친화성 및 분산성 평가를 통해 상안정성이 우수한 코팅 소재 및 고분자 레진 제조를 위한 시험평가 수행.



(a) Co-solvent + ATO + Polymer

(b) Co-solvent + ATO + Polymer + glycol-co-polymer첨가제

(c) Co-solvent + ATO + Polymer + urethane-co-polymer첨가제

그림 69. 근적외선 흡수 및 자외선 차단 기능성 필름소재 용액 제조

- Acetate 계열 및 ketone 계열의 혼합 용매를 이용하여 고분자 레진을 용해시킨 용액을 제조 후 ATO 물질을 분산시킨 용액을 제조하여 본 결과 분산 안정성이 우수하며 3개월 이상의 장기 보관 테스트를 통해 상 안정성이 우수한 것을 확인함.
- 제조된 용액과 고분자 첨가 소재와의 혼합과 후 안정성 평가에서 glycol 계열의 공중합 고분자 첨가제 및 우레탄 계열 공중합 첨가제와의 혼합 평가에서 우수한 안정성을 보이는 용액이 제조됨을 확인.

나. 기능성 필름 제조 Pilot 시제품 제작 및 양산화 연구

- 근적외선 흡수 및 자외선 차단 기능성 코팅 용액을 이용하여 필름 제작을 위한 비드 제작을 실시하였음. 비드 제작을 위해 다양한 농도의 코팅 용액을 제조하였고 이를 기존의 비드 제작과 접목하여 비드 제작 함.



그림 70. 다양한 농도로 제조된 비드

번호	필름 소재 용액 함량 (wt%)
0	0
1	2.00
2	1.50
3	1.20
4	1.00
5	0.80
6	0.50
7	0.30
8	0.20
9	0.10

표 14. 제조된 비드의 필름 소재 농도

- 1번 비드와 8번 비드의 색상에 다소 편차가 발생. 1번의 경우 1번의 추가작업으로 인해 코팅액 특유의 색인 푸른빛이 제거됨.
- Super mixer를 통해 450 rpm/min 으로 코팅액과 기본 레진을 섞어줌. 이후 두차례의 컴파운딩을 거쳐 비드를 제작함. 또한 이 비드를 이용하여 Hot press 방법을 통해 필름을 제작.
- PE 기본 레진을 바탕으로 기존의 기능성 고분자 필름을 만드는 법을 응용 PLA등의 고분자를 첨가할 경우 보다 다기능성을 부여하는 것이 가능할 것으로 예측됨

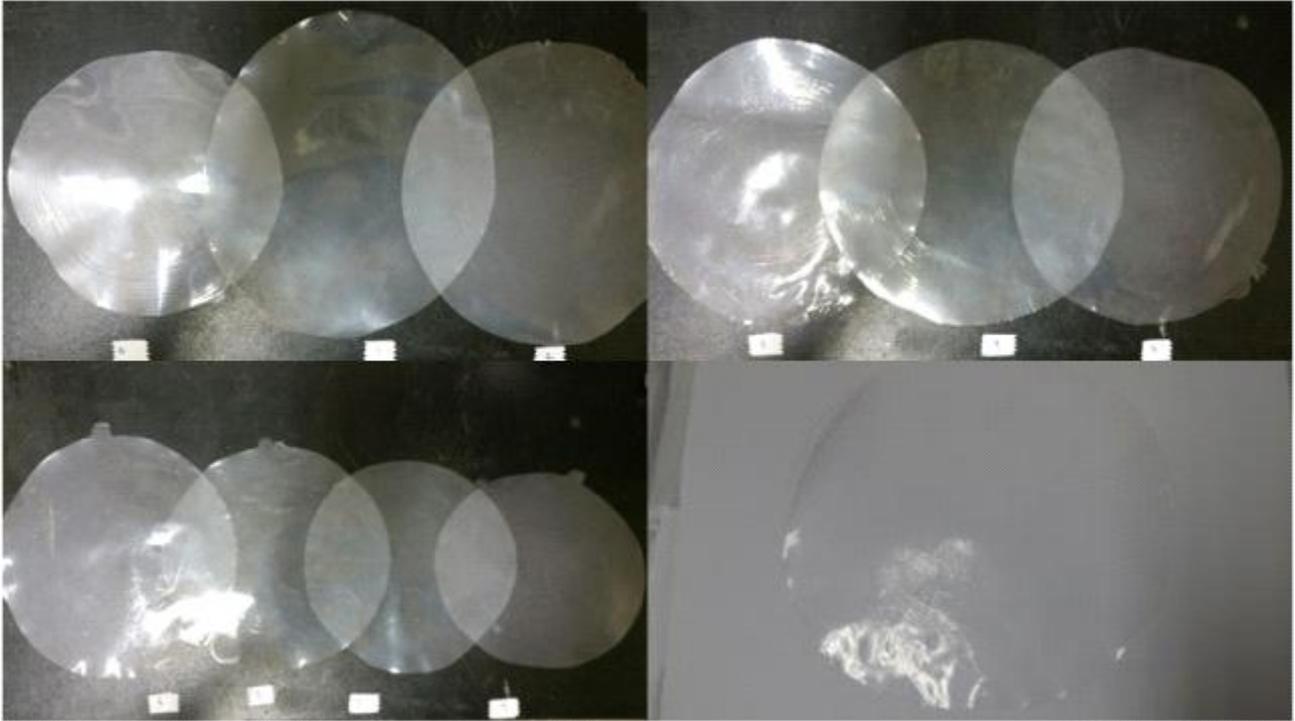


그림 71. 기능성 비드를 이용한 필름 제조

- 그림상 필름의 모습에 약간의 주름이 있는 것이 확인됨. 이는 Hot press 작업으로 인한 한계점이고 제조 방법 변경시 주름이 생기지 않음.
- 이렇게 제조된 10가지 필름의 인장강도를 확인하기 위해 UTM (universal testing machine) 를 사용하여 측정하였음.



그림 72. 인장강도 실험을 위한 UTM 샘플



그림 73. UTM 테스트 장면

- Reference인 0번부터 9번까지 총 10가지 시료를 시료당 5~6번씩 실험을 진행하였음. 그 중 최대값과 최소값을 제외하고 남은 데이터들의 평균을 구해 인장강도와 최대하중을 확인. 모든 시료는 단면적을 0.58 mm^2 으로 제작하여 고정화 하여 실험 외부적 요소들을 획일화 하였음.

시료 번호	최대하중 (N)	인장강도 (N/mm ²)
0	6.52	11.241
1	4.33	7.462
2	4.56	7.856
3	3.74	6.44
4	3.32	5.724
5	4.49	7.747
6	3.82	6.581
7	4.61	7.954
8	5.36	9.247
9	6.25	10.77

표 15. 다양한 농도의 필름 시료 평균 최대하중 및 인장강도

- 인장강도와 최대하중은 각각의 농도에 따라 변화를 살펴보면 기능성 비드와 그를 이용한 필름은 Reference 비드이자 필름인 0번 비드에 비해 약간 낮은 최대하중과 인장강도를 보였음. 이는 필름과 비드제작에 있어 최적화의 부족으로 제품이 균일하게 만들어지지 않았고 Pilot 제품이기에 표준화가 되지 못했기 때문에 나온 시행착오로 판단됨. 균일한 비율과 개량된 필름 제조법을 적용시키면 개선될 여지가 존재함. 또한 Pilot 제품임에도 불구하고 기능성 부여를 성공하고 대량생산이 가능한 비드제작까지 가능한 점은 큰 의미가 있음.

제 2 절 그람 음성 및 양성 세균에 대한 항균 활성 검증

1. 그람 음성 및 양성 세균에 대한 ATO 나노소재의 항균 효능 검증

가. ATO 나노소재의 항균 효능 평가 대상균 선정

○ 대표적 그람 음성 세균인 *Escherichia coli* 및 *Pseudomonas aeruginosa*을 선정하였으며 대표적 그람 양성 세균인 *Staphylococcus aureus* 및 *Bacillus cereus*을 선정함. 특히 작물의 부패를 유발하는 세균인 *E. coli*와 *S. aureus*를 선정함으로써 향후 ATO 나노소재 기반으로 개발된 비닐하우스 내에서 재배된 작물의 부패 및 성장에도 관여할 것으로 사료됨. 또한 주사전자현미경 (SEM) 및 colony counting assay을 통해 유기·무기 나노소재의 정성적 및 정량적인 항균 효능 평가를 실시함.

시험균주 (Bacteria)	<i>E. coli</i>	<i>P. aeruginosa</i>	<i>S. aureus</i>	<i>B. cereus</i>
구분	Gram-negative	Gram-negative	Gram-positive	Gram-positive
배지	Trypticase soy Broth	Trypticase soy broth	Trypticase soy Broth	Mannitol egg yolk polymyxin broth
배양 시간	24 h	24 h	24 h	24h
온도	37 °C	37 °C	37 °C	30 °C

표 16. 선정 그람 음성 및 양성 세균

○ *E. coli*에 대한 항균 효능 구명

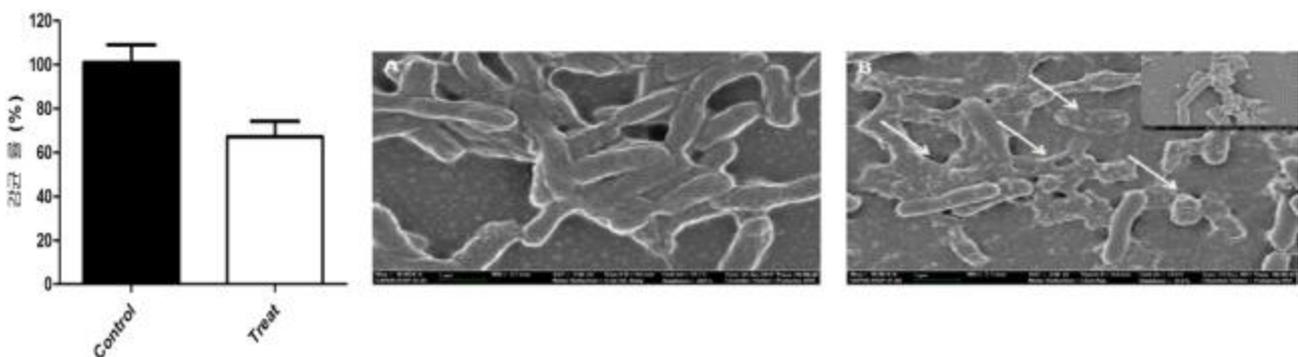


그림 74. *E. coli*에 대한 ATO 나노소재의 항균 효능

○ *E. coli*에 대한 항균효능 평가 결과, ATO 나노소재 처리 시 대조군과 비교하여 콜로니 생성이 억제되었으며, 주사전자현미경 (scanning electron microscope : SEM)을 통해 관찰 시 *E. coli*의 세포벽 용해 현상을 통해 항균 활성이 나타남을 확인함. 이를 통해 *E. coli*에 대한 ATO 나노소재의 항균효능을 검증함.

나. *S. aureus*에 대한 항균 효능 구명

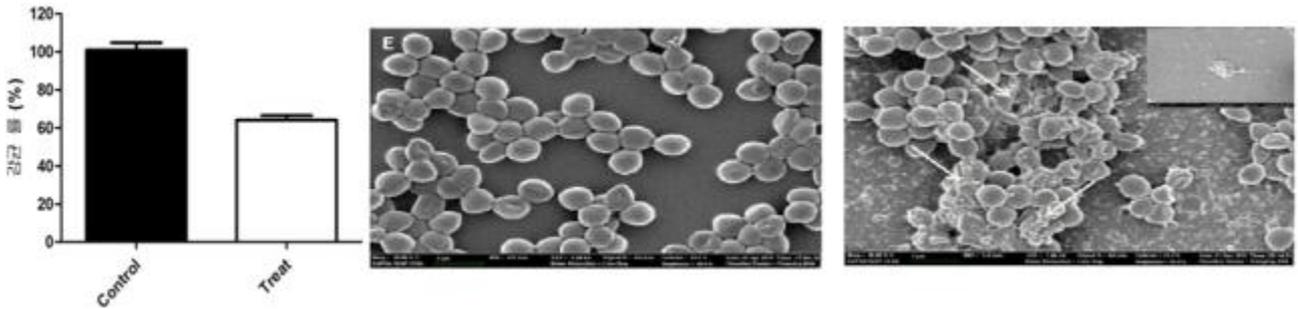


그림 75. *S. aureus*에 대한 ATO 나노소재의 항균 효능

○ *S. aureus*에 대한 항균효능 평가 결과, ATO 나노소재 처리 시 대조군과 비교하여 콜로니 생성이 억제되었으며, 주사전자현미경을 통해 관찰 시 *S. aureus*의 세포벽 용해 현상을 통해 항균 활성이 나타남을 확인함. 이를 통해 *S. aureus*에 대한 ATO 나노소재의 항균효능을 검증함.

다. *P. aeruginosa*에 대한 항균 효능 구명

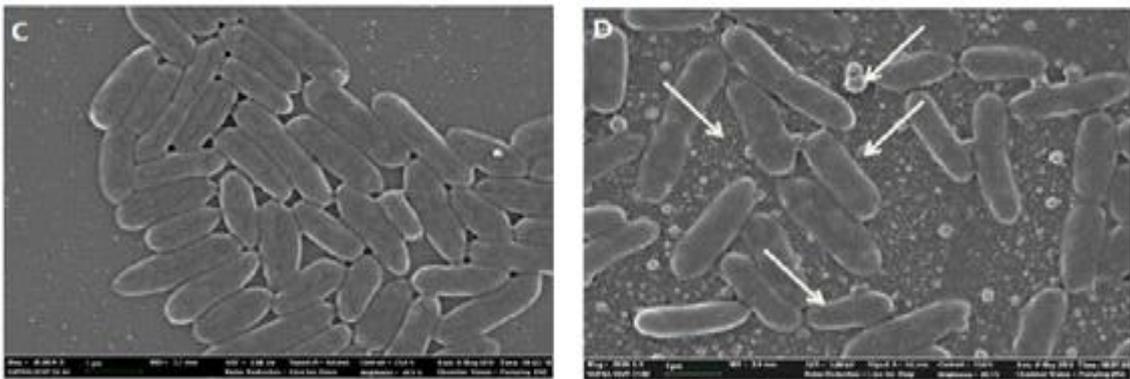


그림 76. *P. aeruginosa*에 대한 ATO 나노소재의 항균 효능

○ 주사전자현미경을 통한 *P. aeruginosa*에 대한 항균효능 평가 결과, ATO 나노소재 처리 시 대조군과 비교하여 세포벽 용해 현상이 증가함을 확인함. 이를 통해 *P. aeruginosa*에 대한 ATO 나노소재의 항균효능을 검증함.

라. *B. cereus*에 대한 항균 효능 구명

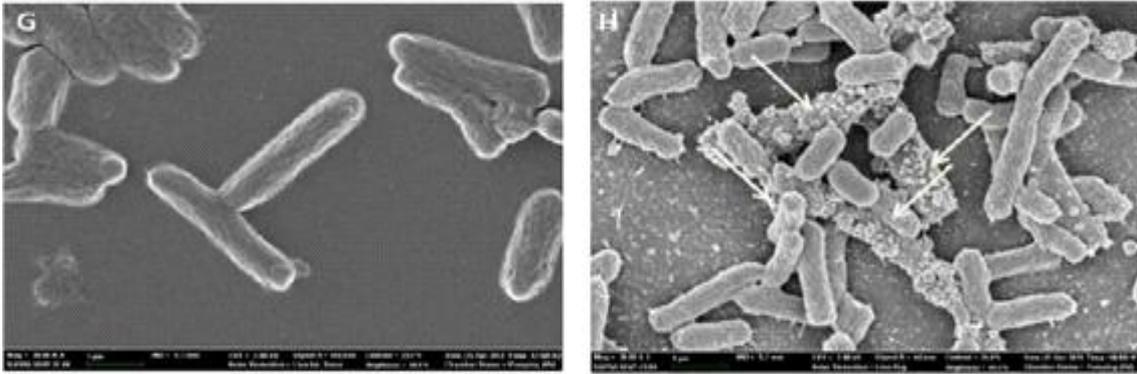


그림 77. *B. cereus*에 대한 ATO 나노소재의 항균 효능

- 주사전자현미경을 통한 *B. cereus*에 대한 항균효능 평가 결과, ATO 나노소재 처리 시 대조군과 비교하여 세포벽 용해 현상이 증가함을 확인함. 이를 통해 *B. cereus*에 대한 ATO 나노소재의 항균효능을 검증함.
- 평가 결과, colony counting assay를 통해 대표적 그람 음성 및 양성 세균인 *E. coli* 및 *S. aureus*에 대한 ATO 나노소재의 항균활성을 구명하였으며, 주사현미경을 통한 대상 세균의 세포벽 관찰 결과, ATO 나노소재 처리 군에서 세포벽 용해 현상이 발생함을 확인함. 이를 통해 그람 음성 및 양성 세균에 대해 세포벽 용해 현상을 통한 ATO 나노소재의 항균 활성을 검증함.

2. 그람 음성 및 양성 세균에 대한 ATO 나노소재 적용 유기·무기 나노 코팅소재의 항균 활성 검증

가. *E. coli*에 대한 항균 효능 구명

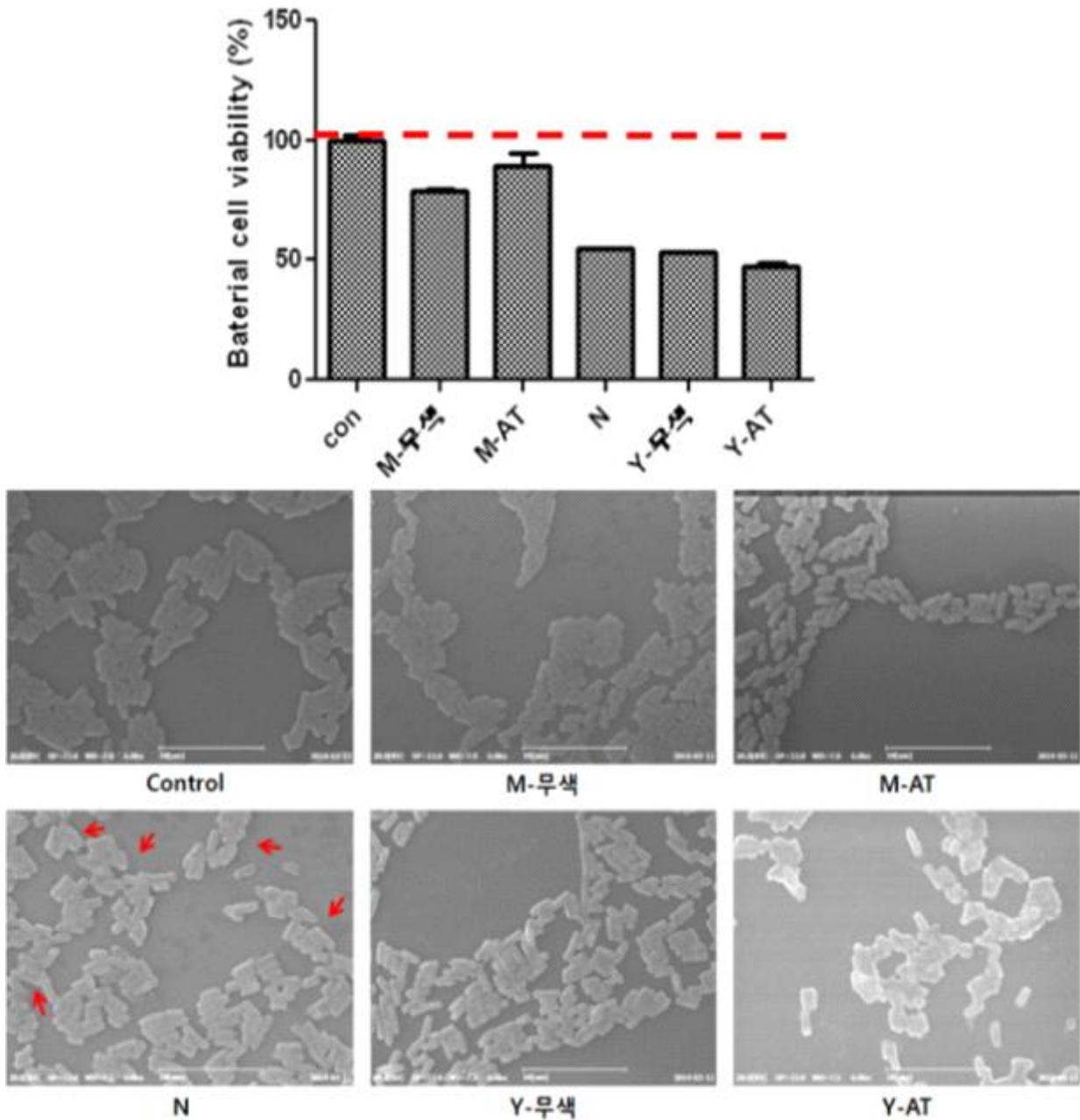


그림 78. *E. coli*에 대한 유기·무기 나노소재의 항균 효능

○ *E. coli*에 대한 항균효능 평가 결과, ATO 적용 유기·무기 나노소재 처리 시 대조군과 비교하여 콜로니 생성이 억제되었으며, 주사전자현미경을 통해 관찰 시 *E. coli*의 세포벽 용해 현상을 통해 항균 활성이 나타남을 확인함. 이를 통해 *E. coli*에 대한 유기·무기 나노소재의 항균효능을 검증함.

나. *S. aureus*에 대한 항균 효능 구명

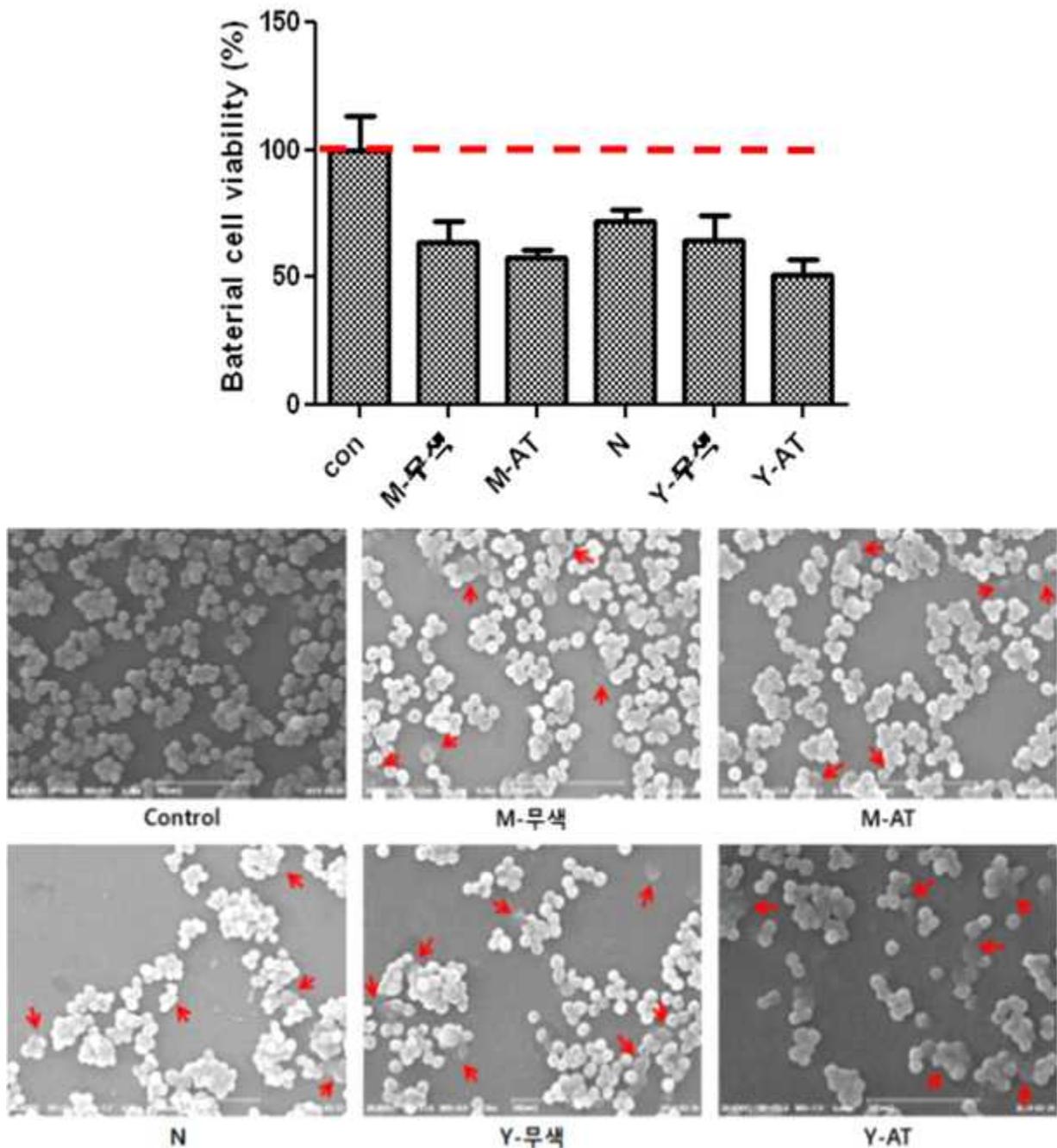


그림 79. *S. aureus*에 대한 유기·무기 나노소재의 항균 효능

- *S. aureus*에 대한 항균효능 평가 결과, ATO 적용 유기·무기 나노소재 처리 시 대조군과 비교하여 콜로니 생성이 억제되었으며, 특히 ATO 나노소재가 적용된 코팅소재에서 적용되지 않은 소재에 비해 colony 수가 더 감소함을 확인함. 또한 주사전자현미경을 통해 관찰시 *S. aureus*의 세포벽 용해 현상을 통해 항균 활성이 나타남을 확인함. 이를 통해 *S. aureus*에 대한 유기·무기 나노소재의 항균효능을 검증하였으며 특히 ATO 나노소재의 항균 활성이 *E. coli*에 비해 *S. aureus*에 더 특이적으로 작용함을 확인함.

2. 토양 위해 미생물에 대한 ATO 나노소재의 항균활성 검증

가. 토양 위해 미생물에 대한 항균활성 검증

(1) ATO 나노소재의 항균 효능 평가 대상 위해 미생물 선정

○ 토양 및 식물 위해 미생물 중 위해 세균류인 *Agrobacterium tumefaciens* (*A. tumefaciens*) 와 위해 진균류인 *Fusarium oxysporum* (*F. oxysporum*)를 선정함. *A. tumefaciens*는 그람 음성 (Gram-negative) 토양균으로 쌍떡잎식물 중 140종 이상에서 뿌리혹병을 일으키는 균이며, *F. oxysporum*는 자낭균으로 식물 뿌리 내에서 콜로니를 형성하며 식물뿐만 아니라 인간에도 기생이 가능함. 대표적인 식물 위해 미생물 2종을 이용하여 유기·무기 나노 비닐 소재의 항균성을 평가하였으며, colony counting assay을 통해 ATO 나노소재의 정량적인 항균 효능 평가를 실시함.

시험균주	<i>A. tumefaciens</i>	<i>F. oxysporum</i>
구분	Gram-negative bacteria	Fungi
배지	Nutrient broth	Potato dextrose broth
배양 시간	24 h	24 h
온도	30 °C	25 °C

표 17. 선정 토양 위해 미생물

(2) *A. tumefaciens*에 대한 항균 효능 구명

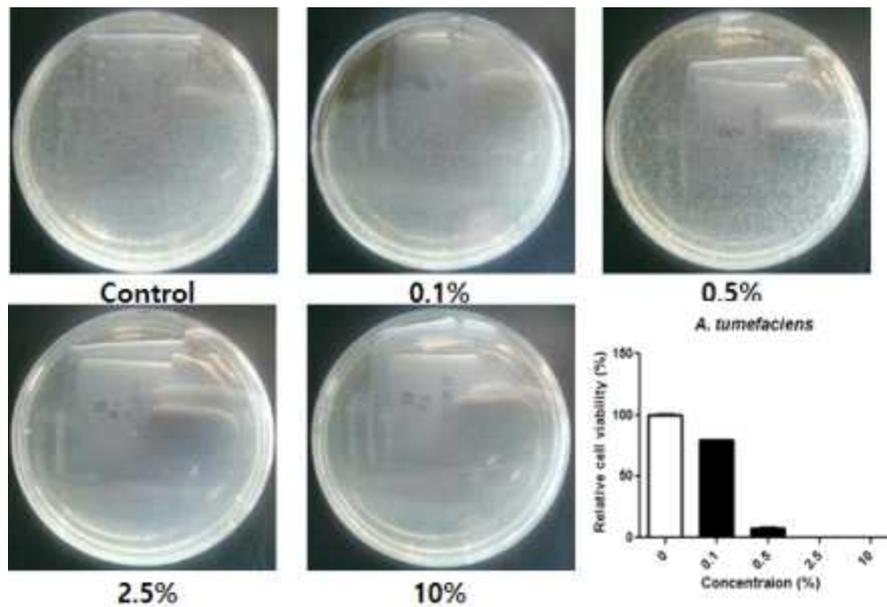


그림 80. *A. tumefaciens*에 대한 ATO 나노소재의 항균 효능

○ *A. tumefaciens*에 대한 항균효능 평가 결과, 0.5 % 이상의 ATO 나노소재 처리 시 대조군

과 비교하여 콜로니 생성이 억제됨을 확인함, 이를 통해 온실피복소재에 대한 ATO 나노소재 적용 시 0.5 % 이상의 농도에서 *A. tumefaciens*에 대한 방제 효과에 대해 과학적 근거 및 처리 조건을 확립함.

(3) *F. oxysporum*에 대한 항균 효능 구명

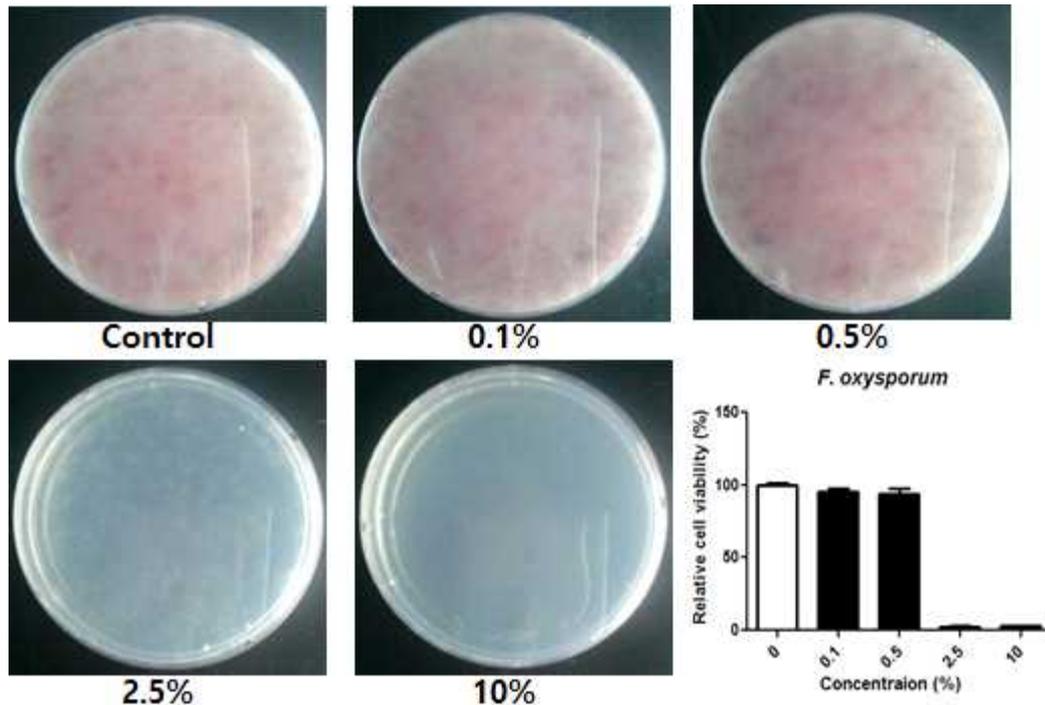


그림 81. *F. oxysporum*에 대한 ATO 나노소재의 항균 효능

- *F. oxysporum*에 대한 항균효능 평가 결과, 0.5 % 이하의 ATO 나노소재 농도에서는 해당 진균에 대한 항균 효능이 거의 전무하지만 2.5 % 이상의 ATO 나노소재 처리 시 대조군과 비교하여 *F. oxysporum*의 포자 생성 능력이 완전히 제어됨을 확인함. 이를 통해 온실피복소재에 대한 ATO 나노소재 적용 시 2.5 % 이상의 농도에서 *F. oxysporum*에 대한 방제 효과에 대해 과학적 근거 및 처리 조건을 확립함.
- 평가 결과, ATO 나노소재의 항미생물 효능은 나노소재의 저농도 처리 시 토양 위해 세균에 더 특이적으로 나타남. 또한 2.5 % 이상의 ATO 나노소재 처리 시 토양 위해 진균의 성장이 완전히 제어됨을 확인하였으며 0.5% 이상의 농도에서도 일정부분 토양 위해 진균에 대한 방제효과를 보임. 따라서 온실피복소재에 ATO 나노소재 적용 시 0.5 % 이상의 농도에서 토양 위해 미생물에 대한 방제 효과를 갖는 처리 조건을 확립함.

제 3 절 ATO 나노소재의 안전성 검증

1. 토양 유용 미생물에 대한 ATO 나노소재의 안전성 검증

가. ATO 나노소재의 토양 안전성 평가 대상 유용 미생물 선정

- 대표적 유용 세균류인 *Pseudomonas Fluorescens* (*P. fluorescens*)와 유용 진균류인 *Trichoderma harzianum* (*T. harzianum*)를 대상으로 유기·무기 나노소재의 안전성 평가를 실시함. *P. fluorescens*는 그람음성균 (Gram-negative bacteria)으로 식물의 저항력을 증가시키거나 다른 위해한 토양 미생물에 대한 항균력이 있음. *T. harzianum*는 자낭균류이며 살진균력이 있어 곰팡이에 오염된 토양이나 식물을 치료하는 곳에 사용됨. 대표적인 유용 미생물 2종을 이용하여 유기·무기 나노소재의 비닐하우스 적용 시 토양 생태계에 대한 안전성을 평가함. 또한 colony counting assay을 통해 정량적으로 ATO 나노소재의 안전성 평가를 실시함.

시험균주	<i>P. fluorescens</i>	<i>T. karzianum</i>
구분	Gram-negative bacteria	Fungi
배지	Trypticase soy broth	Potato dextrose broth
배양 시간	24 h	24 h
온도	25℃	25℃

표 18. 선정 토양 유용 미생물

나. *P. fluorescens*에 대한 안전성 구명

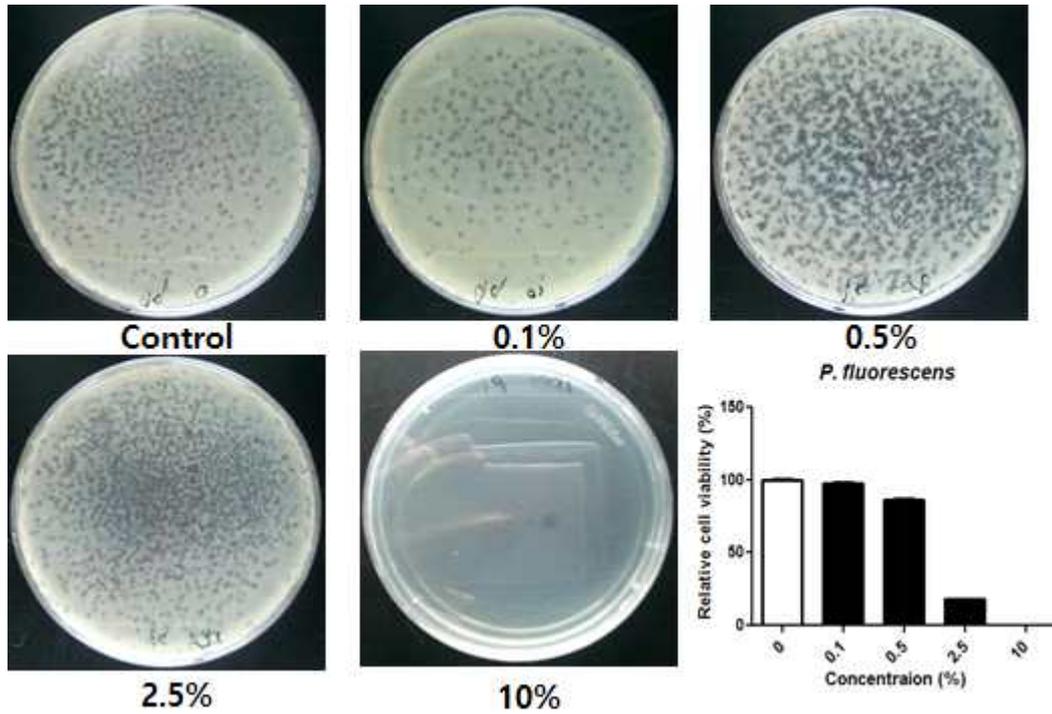


그림 82. *P.fluorescens*에 대한 ATO 나노소재의 안전성 평가

○ *P. fluorescens*에 대한 안전성 평가 결과, 2.5% 이상의 ATO 나노소재 처리 시 대조군과 비교하여 콜로니 생성이 억제됨을 확인함. 그러나 토양 위해 세균인 *A. tumefaciens*에 비해 2.5% 이상의 고농도의 ATO 나노소재에서 높은 저항성을 나타냄. 이를 통해 온실피복소재에 ATO 나노소재 적용 시 2.5% 이하의 농도에서 *P. fluorescens*에 대한 안전성 확보 처리 조건에 대한 과학적 근거를 확립함.

다. *T. harzianum*에 대한 안전성 구명

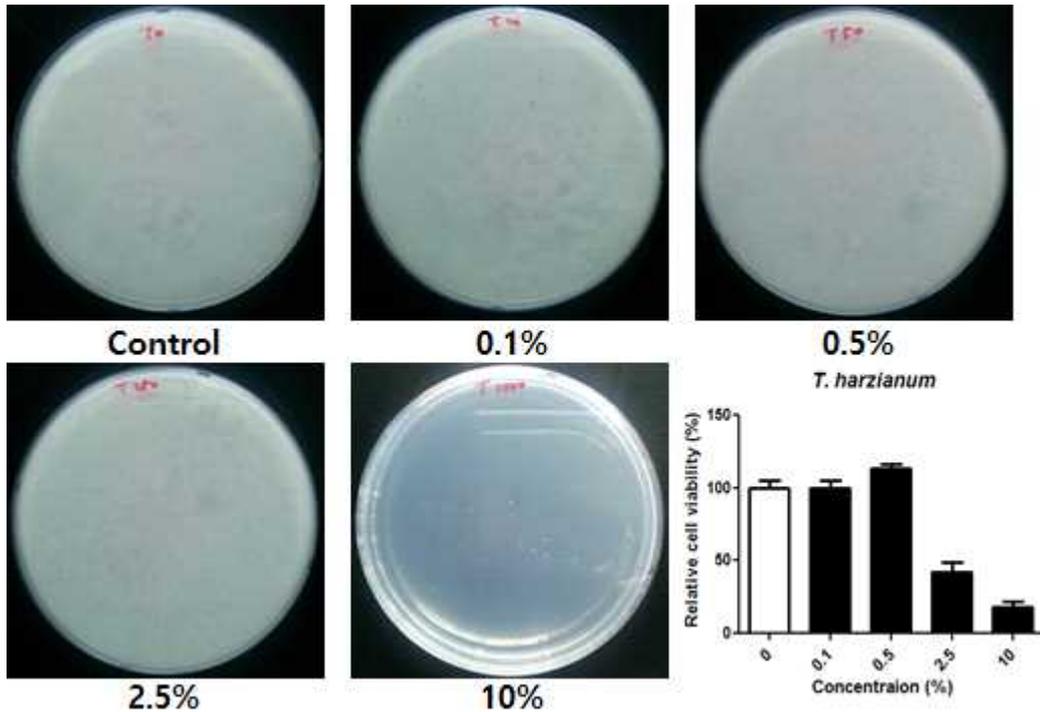


그림 83. *T. harzianum*에 대한 ATO 나노소재 안전성 평가

- *T. harzianum*에 대한 안전성 평가 결과, 2.5% 이상의 ATO 나노소재 처리 시 대조군과 비교하여 포자 생성이 억제됨을 확인함. 그러나 0.5% ATO 나노소재 농도에서 이전 처리 농도에 비해 *T. harzianum*의 포자 생성이 증가하는 것을 확인하였으며, 토양 위해 진균인 *F. oxysporum*과 비교하여 고농도의 ATO 나노소재에서 높은 저항성을 나타냄. 이를 통해 온실 피복소재에 ATO 나노소재 적용 시 2.5% 이하의 농도에서 *T. harzianum*에 대한 안전성 확보 처리 조건에 대한 과학적 근거를 확립함.
- 평가 결과, *P. fluorescens*와 *T. harzianum*에서 2.5% 이상의 ATO 나노소재 처리 시 대조군에 비해 colony 및 포자 생성이 억제됨을 확인함. 그러나 토양 위해 미생물인 *A. tumefaciens*와 *F. oxysporum*과 비교하였을 때 토양 유용 미생물의 ATO 나노소재에 대한 저항성이 더 높은 것을 확인함. 따라서 ATO 나노소재의 온실피복소재 적용 시 0.5% 이상 2.5% 이하 조건에서 토양 위해 미생물에 대한 항균성 및 토양 유용 미생물에 대한 안전성 확보 가능한 처리 조건을 확보함.

2. ATO 나노소재의 인체 안전성 검증

가. 인간유래세포에 대한 ATO 나노소재의 안전성 구명

○ ATO 나노소재의 1차적 안전성을 인간 유래 피부각질 세포 (HaCaT; human keratinocyte) 를 이용하여 MTT assay 및 Live/Dead assay를 통해 평가함. ATO 나노소재가 코팅된 cover glass위에 HaCaT cell을 배양한 후 살아있는 세포의 esterase에 의해 형광을 띄는 Calcein AK을 이용하여 대조군과 cell morphology를 비교함.

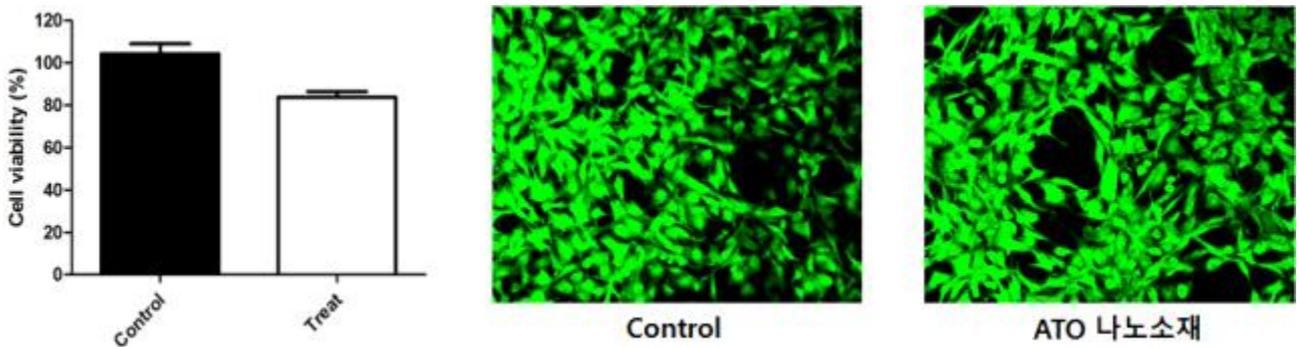


그림 84. ATO나노소재의 인체 안전성 평가

○ 평가 결과, 대조군과 비교하여 ATO 나노소재 처리 시 세포 생존율이 약간 감소하나 유의성이 없으며 또한 cell morphology의 변화가 거의 없는 것을 확인함. 이를 통해 ATO 나노소재의 온실피복소재 적용 시 피부접촉에 의한 인체 손상이 거의 없을 것으로 확인됨.

나. 인간유래세포에 대한 ATO 나노소재 적용 유기·무기 나노소재의 안전성 구명

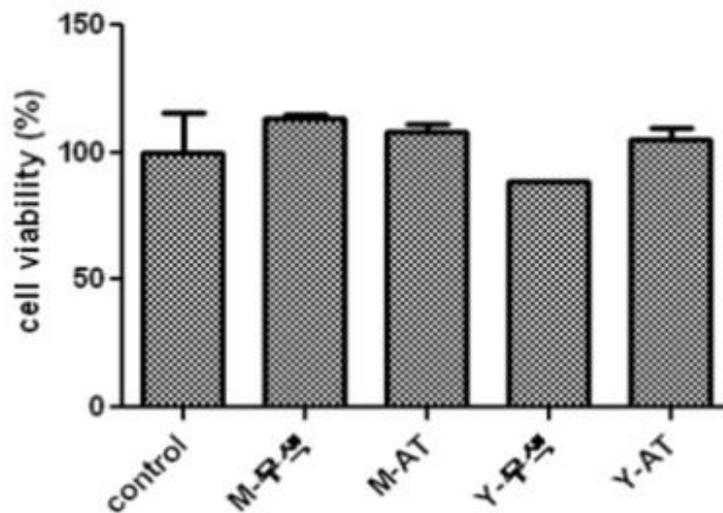


그림 85. ATO 적용 유기·무기 나노소재의 안전성 평가

○ 평가 결과, 대조군과 비교하여 유기·무기 나노소재 처리 시 Y-무색 코팅군을 제외한 모든 코팅군에서 세포 생존율이 감소하지 않음을 확인함. Y-무색 코팅군 처리 시 대조군과 비교하여 세포 생존율이 약간 감소하였으나, 통계적 유의성이 없음을 확인함. 또한 Y 코팅군의 경우 ATO 나노소재 적용 코팅군에서 Y-무색 코팅군에 비해 세포 생존율이 증가함을 확인함. 이를 통해 ATO 나노소재 적용 유기·무기 나노소재의 세포 안전성을 확보하였으며 ATO 나노소재 적용 코팅군에서 비적용 코팅군에 비해 높은 세포 생존율이 나타나는 것을 확인함.

3. ATO 나노 코팅 소재의 토양 환경 유출 안전성 검증

가. ATO 나노 코팅 소재의 토양 환경 유출 안전성 구명

○ ATO 나노소재의 토양 환경 유출 독성 평가를 위해 나노소재에서 용출한 용출액을 통해 인간 세포에 대한 독성도를 분석함으로써 나노소재의 안전성을 검증함. 토양 환경 유출 독성 평가를 위해 OECD 독성 평가 가이드라인 TG 106 (Bath equilibrium method)을 이용함. 나노소재 희석액을 농도별로 (토양:용출액 = 1:0, 1:1, 1:2, 1:4, 1:8) 토양에 혼합·교반 한 뒤, 기간(1주일, 2주일, 1달, 2달)에 따라 노출시켜 토양에 흡착시킴. 토양에 흡착하지 못한 나노소재 희석액은 증류수로 washing 후 원심분리기를 이용하여 나노소재 희석액이 흡착된 토양을 침전·분리함. 나노소재가 흡착된 토양은 다시 증류수를 이용하여 탈착한 뒤 인간 배양 세포 독성 평가 시험법을 통해 나노소재의 환경 유출 독성도를 분석함.

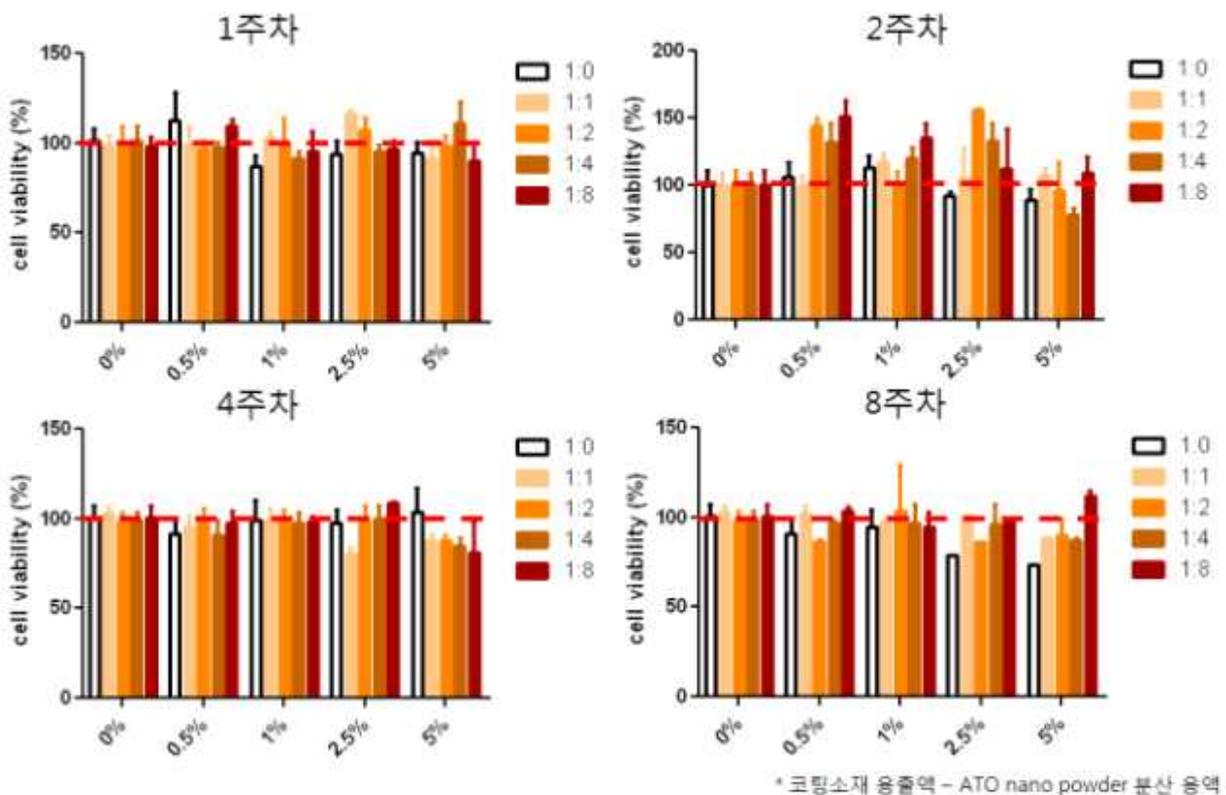


그림 86. ATO 나노소재의 토양 환경 유출 안전성 평가

- 평가 결과, 기간별 농도별로 토양에 흡착한 ATO 나노소재를 탈착시킨 증류수를 처리한 세포의 생존율과 대조군의 세포 생존율의 차이에 통계적 유의성이 없음을 확인함. ATO 나노소재를 고농도로 흡착시킨 토양에서도 세포 생존율이 감소하지 않은 것으로 보아 ATO 나노소재의 온실피복소재 적용 시 토양 환경 유출에 대한 안전성을 확보함.

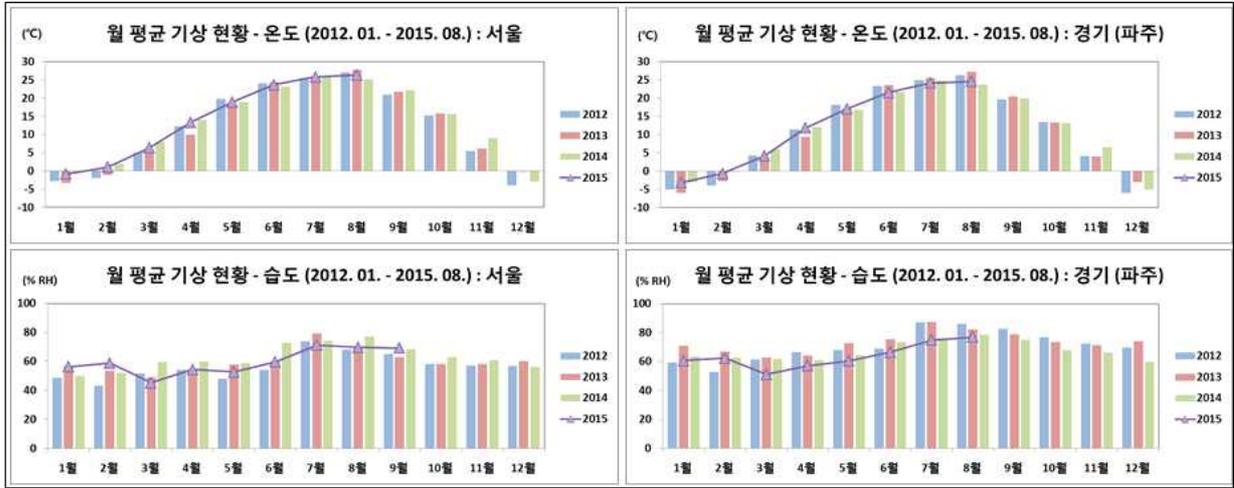
제 4 절 기능성 온실피복재가 온실 환경, 작물생육 및 농업생산성에 미치는 영향

- 현재 농업에 사용되고 있는 시설은 일반적으로 연필필름 소재 비닐하우스를 사용하고 있으며 (국내 농가의 약 99.2%) 이의 수명은 약 1년 정도로 알려져 있음. 이 중 86.1%는 가격이 저렴한 polyethylene (PE) 필름을 사용하고 있으나 이 필름은 장파장을 많이 투과시켜 보온성이 떨어지며 내구성이 약해 자연 재해에 취약하다는 단점이 있음.
- 또한 PE 필름을 이용한 비닐하우스는 자외선 및 근자외선 투과율이 매우 높아 작물 재배 시 광 스트레스와 병해충 발생률을 증가시킴.
- 따라서 자외선 차단으로 식물의 광 스트레스와 병해충 발생을 경감 시키고, 식물의 광합성 효율을 증진시키는 가시광선 및 적외선 흡수를 높이는 기능성 피복 소재의 개발이 요구됨.
- 우리나라는 4계절의 기후환경 특성으로 연평균 150일 이상 노지에서 작물 재배에 어려움이 있어 온실에서의 작물 재배가 주로 이루어지고 있음.
- 또한 이상 기후로 인한 여름철 폭우 및 겨울철 폭설 피해로 농민들의 피해뿐만 아니라 높은 국비가 부담되고 있음. 특히 겨울철 지역별 국지적 폭설은 시설농업에 큰 피해를 유발함.
- 과거 강원지역에 제한적이었던 적설량 증가에 의한 하우스 시설농업의 피해는 최근 충청북도, 충청남도, 및 전라남북도 등 내륙지역은 물론 서해안 지역에 까지 확대되고 있음.
- 투명 전도막으로 가장 널리 사용되고 있는 것은 산화주석 (SnO_2) 및 산화인듐 (In_2O_3) 등 물질로서 가시광선영역에서 높은 투과율과 낮은 전기 비저항을 보이며, 특히 ATO 및 ITO는 투명 전도성 산화물막의 코팅 시 가장 중요한 요인인 막 도전성 및 투과성을 보이는 소재로 반도체 코팅, 디스플레이 코팅, 정전기방지코팅, 전자방해 차폐물 코팅은 물론 건축 유리 외장코팅 등 다양한 산업분야에 이용됨. 본 연구에서는 하우스 피복소재인 PE에 ATO/ITO 혼합물을 코팅함으로써 작물생육에 필요한 가시광투과율 및 적외선 흡수는 증가시키는 반면 광스트레스를 유발하는 자외선 투과를 감소함으로써 작물생육에 유리하도록 함.
- ATO/ITO 코팅소재를 하우스 피복 코팅소재로 사용할 경우, 황사 및 먼지 등 오염경감효과는 물론 높은 적외선 흡수에 의한 표면온도 증가효과로 적설피해를 줄일 수 있을 것으로 사료됨.
- 본 세부과제에서는 ATO/ITO 나노코팅소재로 코팅한 PE 비닐하우스 및 무코팅처리 하우스 시설에서의 작물 재배 시 시설 내부의 온도변화, 작물 별 생육변화, 및 수량성을 비교함으로써 적설피해경감을 위해 개발된 ATO/ITO 나노코팅소재가 작물 재배에 미치는 영향을

구명하고자함.

- 국내 농업에서 하우스 온실시설은 엽채류, 과채류 및 화훼류 등 고소득 작물 생산을 목적으로 많이 이용되고 있어, 본 연구에서는 주요 엽채류 및 과채류 6종 8품종을 대상으로 제1세대로부터 개발된 근적외선 흡수 및 자외선 차단 기능성 피복소재가 작물 생육 및 생산성에 미치는 영향을 평가하고자 수행됨.
- 기능성 ATO 코팅액 처리가 하우스 내부 온도 변화에 미치는 영향
하우스 내부 온습도 변화 측정 : GILTRON 온습도계 (GT342)를 이용한 동절기 및 일교차가 심한 봄철 기능성 피복재 처리 및 무처리 하우스 내부의 온습도 변화를 측정
- 기능성 ATO 코팅액 처리 시 근적외선 흡수에 따른 동절기 하우스 눈 적층 방지 효과 및 표면 온도 상승 효과
적외선램프 (PHILIPS, 100 W) 설치 후 열화상 카메라 (testo 875i)를 이용하여 표면 촬영 방사율 (emissivity) 0.95 / 반사온도 20.0℃로 설정 후 촬영
- 기능성 ATO 코팅액 처리가 하우스 내 엽채류 및 과채류 생육에 미치는 영향
동절기 양과 생육 비교
엽채류 생육 비교 (시금치 1품종, 상추 2품종)
과채류 생육 비교 (미니방울토마토 2품종, 파프리카 2품종, 가지 1품종)
최근 4년간 기상 현황을 참고하여 조사 결과 분석 (그림 87, 그림 88, 그림 89)

A



B

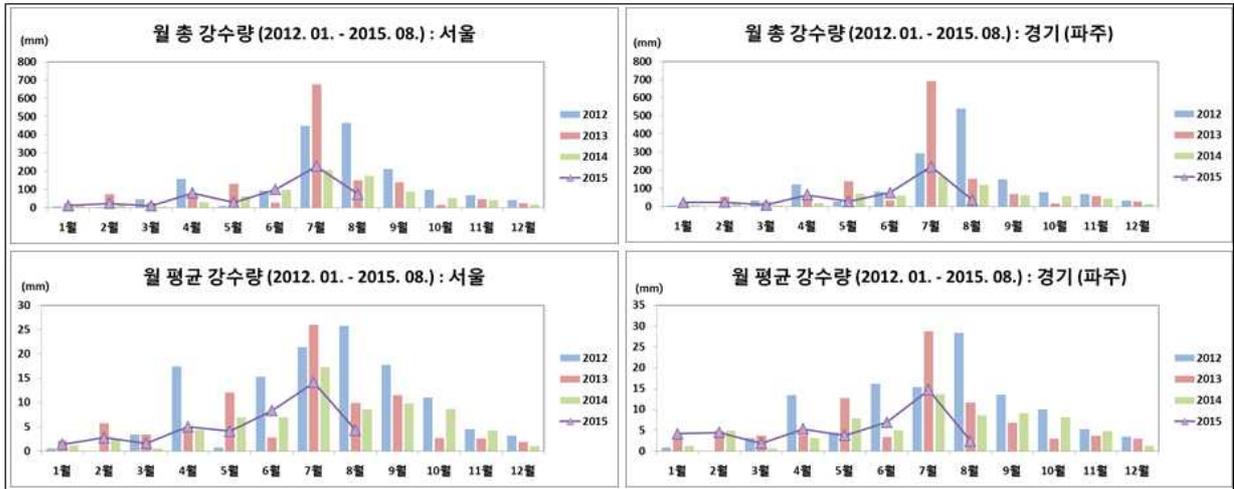


그림 87. 최근 4년 평균 기상 현황 : 2012. 01. ~ 2015. 08. 기상청 자료

A: 월 평균 온습도, B: 월 총 강수량 및 월 평균 강수량

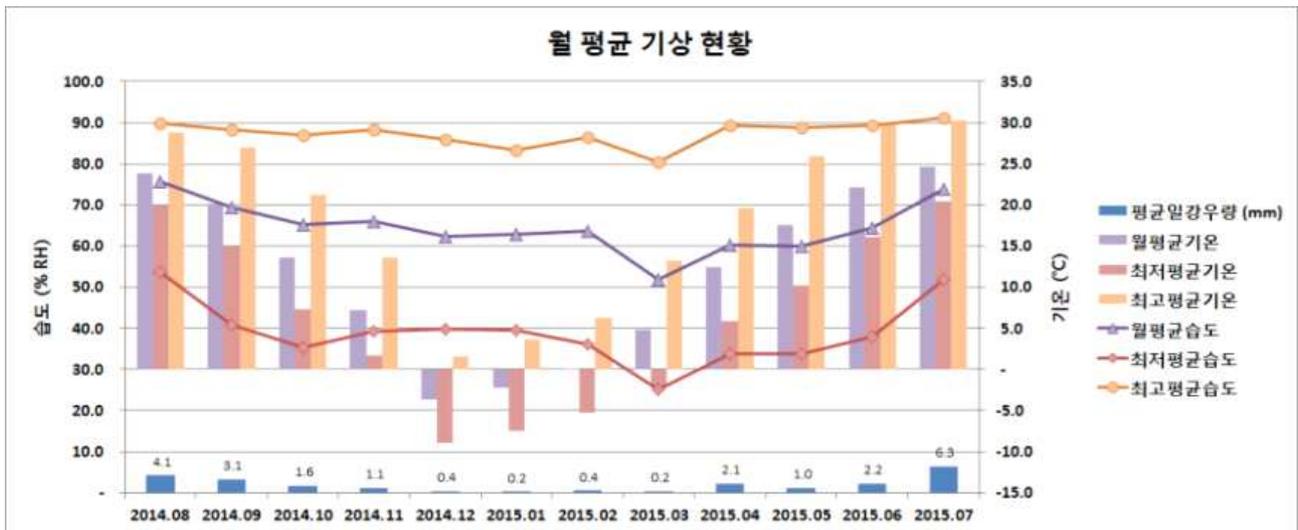


그림 88. 2014. 08. ~ 2015. 07. 월 평균 기상 현황

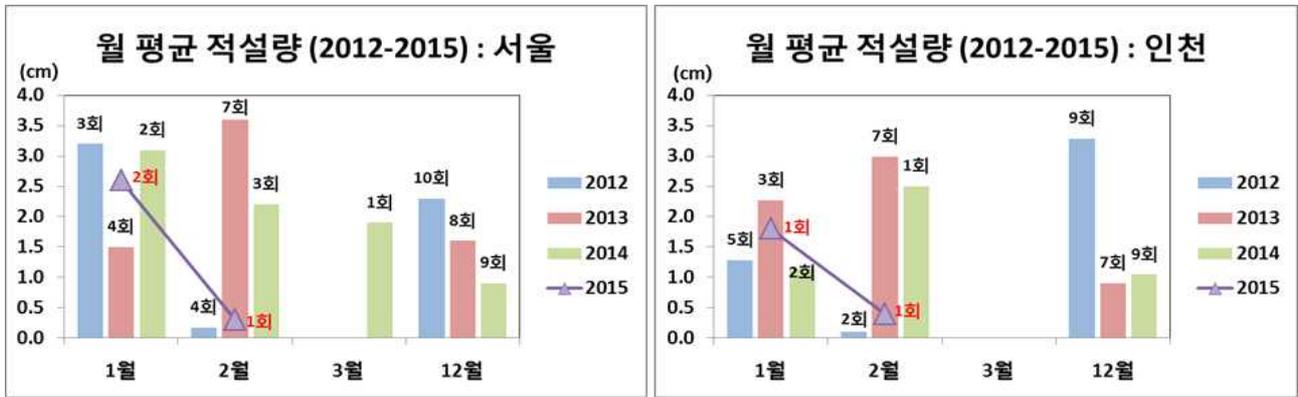


그림 89. 동절기 월 평균 적설량 : 2012.01 ~ 2015.02. 기상청 자료

1. 공시재료 및 실험 모델 설치 현황

가. 미니하우스 (3.24 m²)

- 본 연구를 위한 미니하우스 및 소형하우스 비닐은 현재 일반 농가에서 많이 사용되고 있는 PE 소재 비닐 (장수필름)을 사용하였으며 제 1세부로부터 ATO (Antimony Thin Oxide) 코팅 소재를 제공받아 동일 소재 비닐하우스 1동에 피복하여 시험구로 사용함.
- 서울 중구 장충동 2가 192-5 (필동로1길 30) 동국대학교 혜화관 건물 옥상에 3.24 m² 규격의 미니하우스 2동을 설치하고 58.3*38.3*14.5 cm (가로*세로*높이) 포트상에서 작물 생육을 수행함.

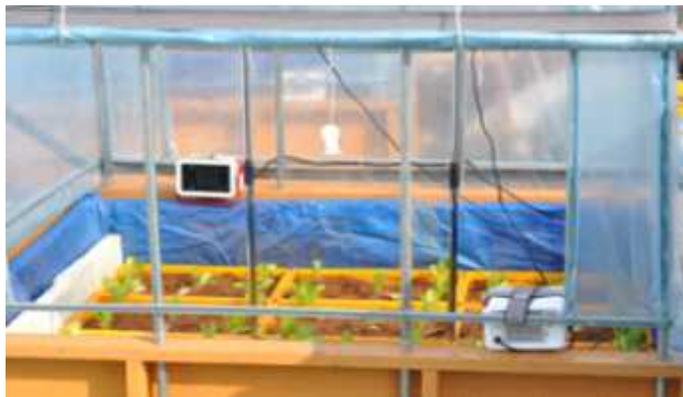


그림 90. 미니하우스 설치 현황

나. 소형하우스 (15 m²)

- 소형하우스 2동은 동국대학교 바이오자원생태농장 (경기도 고양시 일산동구 식사동 1022-1) 내에 15 m² 규격으로 설치하였으며 전 처리구에 동일하게 환경을 조성하기 위해 노지를 포함하여 1.2 x 4.2 m 간격으로 이랑 (고랑 0.4 m) 작업 후 비닐 멀칭하여 잡초를 방제하고 토양 내 습도를 유지하고자 함 (그림 91).
- 본 연구에서 기능성 온실 피복소재 (ATO 혼합 코팅액)가 온실 환경과 작물 생육 및 생산성에 미치는 영향을 확인하고자 동절기에 양파와 상추 (칭치마), 봄과 여름철에 시금치, 상추 (적치마), 방울토마토 (베리킹 미니, 꼬꼬), 파프리카 (슈퍼엘로우, 슈퍼레드)를 공시재료로 함.



그림 91. 일반 PE 비닐 하우스 및 ATO 코팅 하우스 설치 현황 (소형하우스)

다. 중형하우스 (60 m²)

- 중형하우스 2동은 강원도 홍천군 동면 노천리 1942번지에 위치한 농가에 60 m² 규격으로 설치하였으며 (제1세부) 두 하우스 내 동일한 환경을 조성하기 위해 1.2 x 4.2 m 간격으로 이랑 (고랑 0.4 m) 작업 후 비닐 멀칭하여 잡초를 방제하고 토양 내 습도를 유지하고자 함 (그림 92).
- 강원도 홍천에 설치한 하우스 2동에는 고추 (청양)와 가지 (조생종 흑장)를 재배하여 봄-여름 기간동안 처리별 생육을 비교하였으며, 고추의 경우 연작 피해 발생으로 2회 실시 후 실험을 중단함. 각 작물별 연구수행기간은 표 19과 같음.

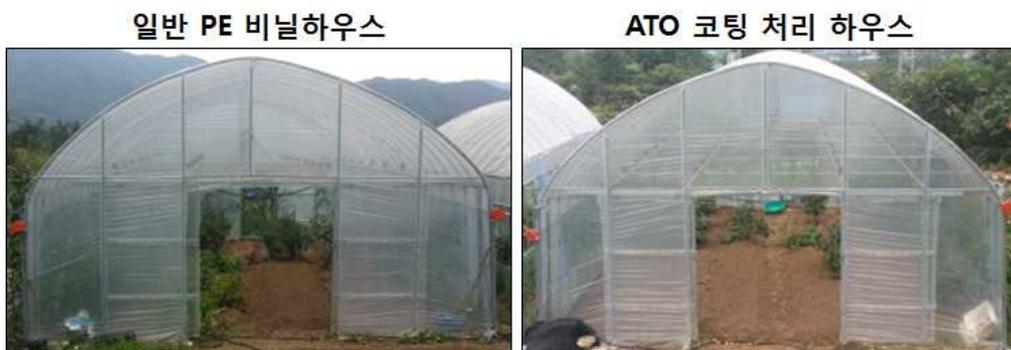


그림 92. 일반 PE 비닐 하우스 및 ATO 코팅 하우스 설치 현황 (소형하우스)

공시재료	연구수행기간	수행장소	비고
상추	2013.02.11.~2013.03.25.	서울 중구	
	2014.04.14.~2014.06.02.	경기도 고양	2품종; 청치마 및 적치마
	2015.04.15.~2015.05.21.	경기도 고양	
방울토마토	2014.05.12.~2014.05.26.	경기도 고양	
	2015.04.10.~2015.08.24.	경기도 고양	3품종; 모종시장 모종, 베리킹 미니, 꼬꼬
	2015.05.22.~2015.08.24.	경기도 고양	
양파	2014.10.15.~2015.05.15.	경기도 고양	1품종
시금치	2015.04.16.~2015.05.23.	경기도 고양	1품종; 수시로
파프리카	2015.05.25.~2015.08.24.	경기도 고양	2품종; 슈퍼엘로우, 슈퍼레드
가지	2015.05.07.~2015.08.05.	강원도 홍천	1품종; 조생종 흑장

표 19. 작물별 연구수행기간

2. 기능성 ATO 코팅액 처리가 하우스 내부 온도 변화에 미치는 영향

가. 하우스 내부 온·습도 변화

- 연구방법: 동절기와 일교차가 심한 봄철 일반 PE 비닐하우스와 ATO 코팅 처리 하우스 내부의 온습도 변화를 확인하기 위해 GILTRON 온습도계 (GT342)를 노지와 두 하우스 내부 중앙에 지면으로부터 50 cm 위치에 설치함 (그림 93). 온습도계의 측정 범위는 온도 -30℃~70℃, 습도 5~98%RH이며 오차범위는 $\pm 0.7^{\circ}\text{C}$, $\pm 3\% \text{RH}$ 임. 측정된 데이터는 SE342 소프트웨어 프로그램을 이용하여 확인 후 수집 및 정리함.

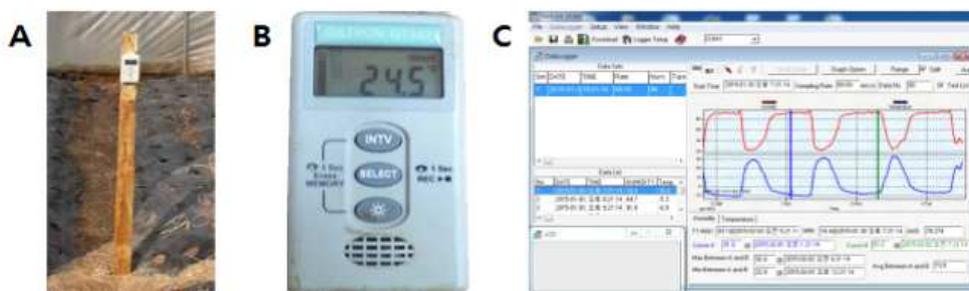


그림 93. 온습도계 (GILTRON GT342) 설치 현황 및 데이터 수집

A: 온습도계 설치 현황, B: GT342 온습도계, C: SE342 프로그램을 이용한 데이터 수집

- 연구결과 미니하우스 내 처리별 온습도 변화를 확인하기 위해 가온상태의 두 하우스 내부를 2012년 11월 22~27일, 12월 4-5일과 2013년 1월 29일~2월 1일 약 12일 간 측정함.
- 동절기 전에는 일반 PE 비닐하우스와 ATO 처리 하우스 내의 온도의 변화가 크지 않았으나 12월 평균 기온이 영하로 내려가기 시작하면서 ATO 처리 하우스의 내부 온도가 일반

PE 비닐하우스에서 보다 높게 측정됨 (그림 94A, B).

- 습도의 경우에도 11월 말에는 두 하우스 간 습도 차이가 없는 것으로 나타났으나 영하로 내려간 12월 초부터 2월 초에 처리간 평균 습도의 변화가 확인됨 (그림 95A, B).
- 12월 초 ATO 처리 하우스 내 습도는 일반 PE 비닐하우스 (약 90%)보다 낮은 약 55%의 습도를 유지하였으나, 1월 말부터 2월 초 조사에서는 전체적으로 70~90%의 수치를 보이며 최적 습도 수준을 유지하는 것으로 확인됨 (그림 95B).
- 이에 ATO 코팅액 처리 하우스는 동절기에 미니 온풍기를 사용한 가온상태에서도 적절한 습도를 유지하고 일반 PE 비닐하우스보다 평균 최소 1.9℃에서 최대 5.4℃까지 높은 온도를 나타냄에 따라 동절기에 기존 비닐하우스를 보강할 기능성 피복 소재로 효율적으로 활용 가능할 것으로 사료됨 (그림 94B, 그림 95B).
- 봄철 두 하우스 내 평균 온도 변화를 확인한 결과에서는 큰 차이를 보이지 않았으나, 습도의 경우 ATO 코팅 처리를 하지 않은 일반 PE 비닐하우스에서 상대적으로 낮게 측정됨 (그림 94C, 그림 95C). 따라서 본 연구에 사용된 기능성 피복 소재가 습도가 낮은 봄철 하우스 내 습도유지에 효과적인 것으로 사료됨에 따라 연중 효율적 활용이 가능할 것으로 판단됨.
- 한편, 무가온 비닐하우스 내 평균 온습도 변화를 확인하기 위해 소형하우스에서 동절기에 9일 동안 측정한 결과, 노지에 비해 일반 PE 비닐하우스와 최소 0.6℃~최대 5.9℃, ATO 코팅 처리 비닐하우스와는 최소 0.3℃~최대 4.8℃의 온도차이를 보임 (그림 94D). 두 하우스 간에는 일반 PE 비닐하우스 내 온도가 평균 0.9℃ 높게 확인됨. 이는 겨울철 낮동안 ATO 코팅 처리에 따른 자외선 차단으로 약간의 기온차를 보이는 것으로 사료됨.
- 그러나 무가온 비닐하우스의 경우 일반적으로 외부온도보다 약 2~5℃정도 보온이 되는 것을 감안할 때 동절기 자외선 차단으로 인한 문제는 없는 것으로 판단됨 (그림 94D). 또한 동절기 습도도 두 하우스에서 모두 최적 수준인 70~80%가 유지되는 것으로 확인됨 (그림 95D).
- 4월 초 (봄철) 일주일동안 온도 변화를 확인한 결과에서는 일반 PE 비닐하우스 내 평균기온이 외부 및 ATO 처리 하우스에 비해 상대적으로 낮게 측정됨. 이는 오후 8시 이후부터 오전 7시까지 처리 간 온도차는 없으나 낮 동안의 온도 차에 의해 평균온도가 낮아진 것으로 봄철 심한 일교차에 따른 수분 증발에 의한 것으로 사료됨 (그림 94E, 그림 95E).
- 습도가 낮을 경우 잎과 줄기, 과실의 생장이 억제되는 경향을 보이므로 적정 수준의 습도를 유지하는 것이 중요함.
- ATO 코팅 처리가 비닐하우스 내 수분 증발을 막아 습도 유지에 도움을 주며, 근자외선의 차단으로 작물 생육에 긍정적인 영향을 준다고 판단됨.

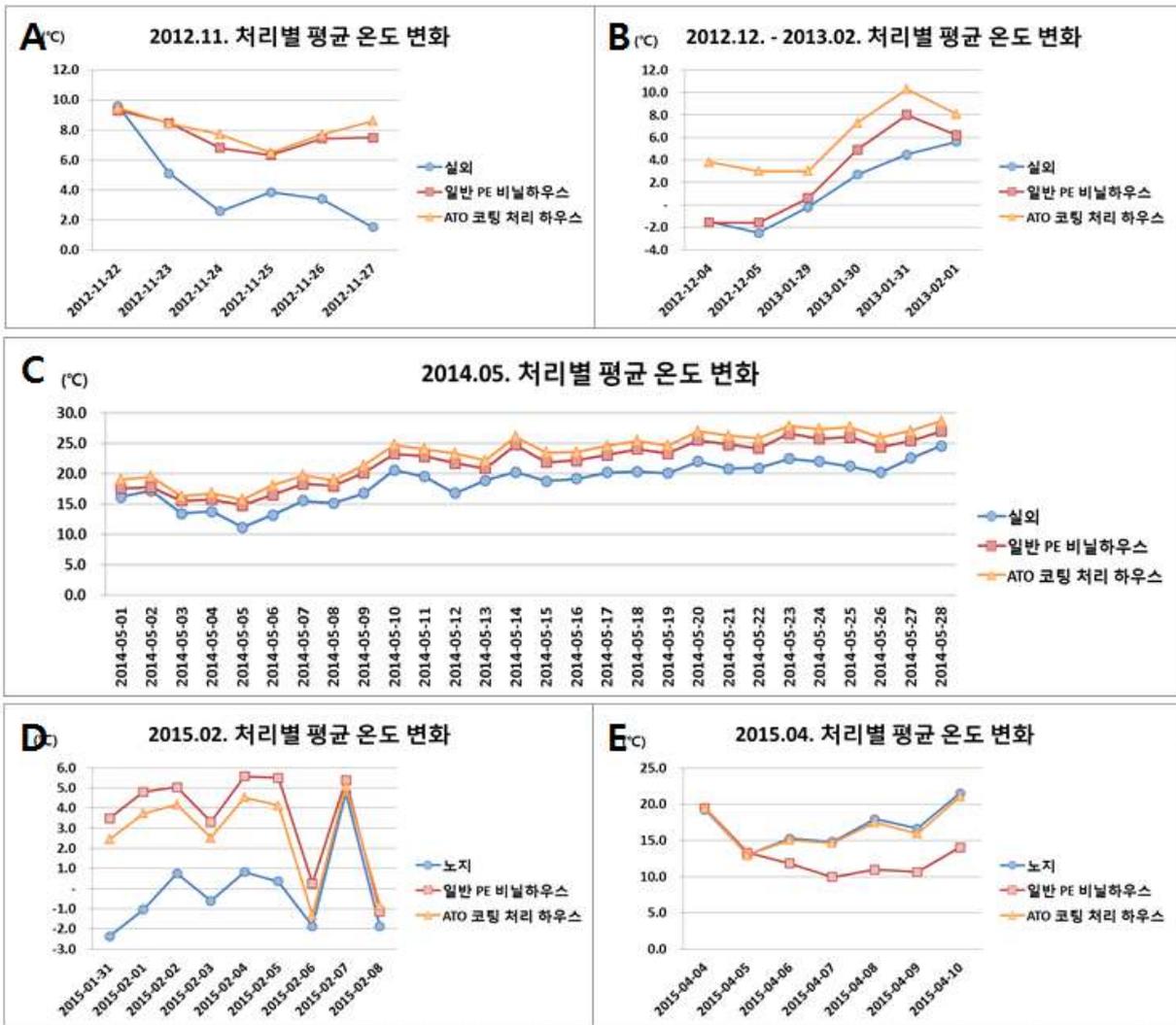


그림 94. ATO 코팅 처리 및 무처리 하우스 내 온도 변화 그래프

A: 2012년 11월, B: 2012년 12월 및 2013년 2월, C: 2014년 5월, D: 2015년 2월, E: 2015년 4월

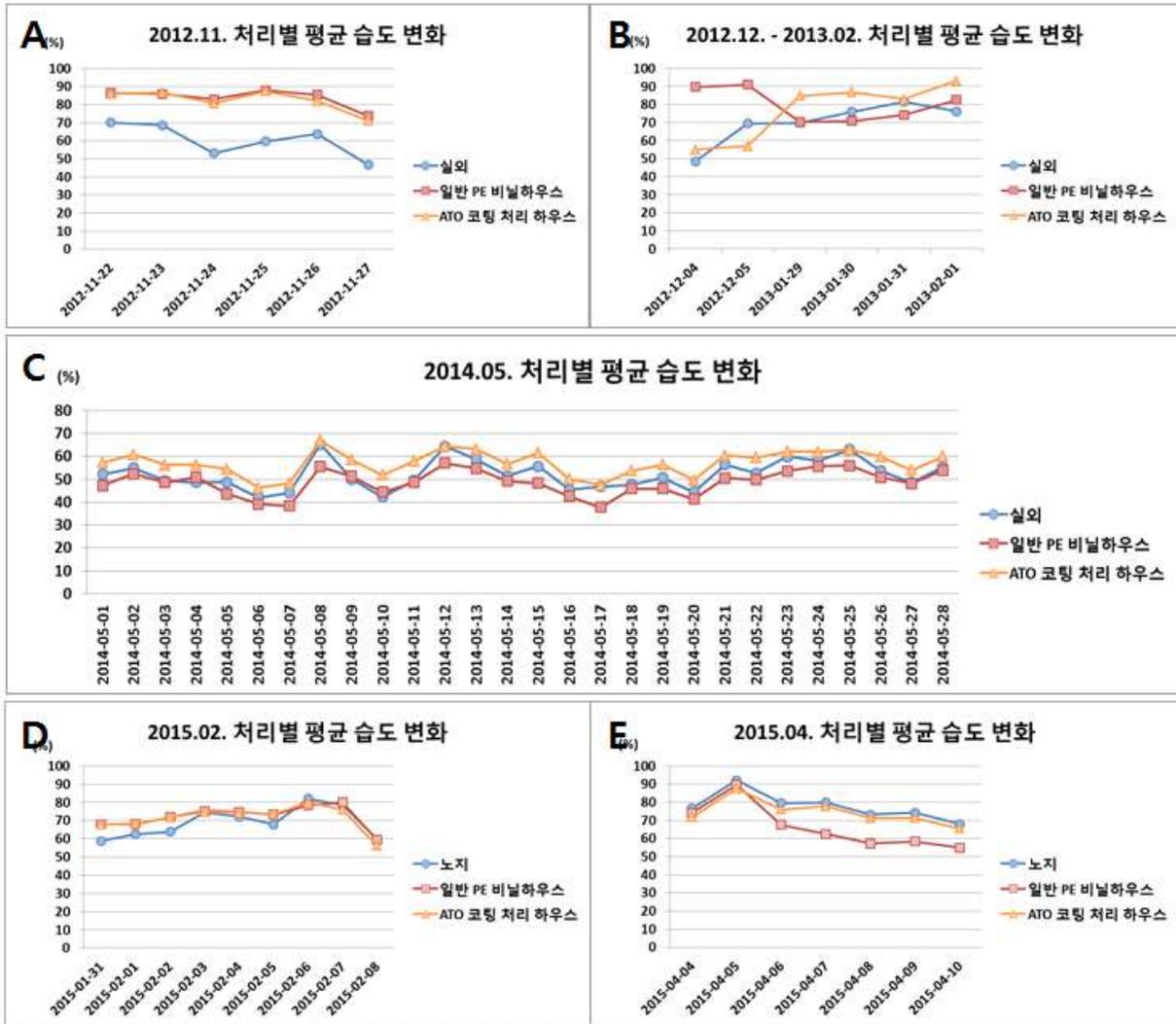


그림 95. ATO 코팅 처리 및 무처리 하우스 내 온도 변화 그래프

A: 2012년 11월, B: 2012년 12월 및 2013년 2월, C: 2014년 5월, D: 2015년 2월, E: 2015년 4월

나. 기능성 ATO 코팅액 처리 시 근적외선 흡수에 따른 동절기 하우스 눈 적층 방지 효과 및 표면 온도 상승 효과

(1) 근적외선 흡수에 따른 눈 적층 방지 효과

○ 연구방법: 동절기에 눈 적층 방지 및 제설 효과를 확인하기 위해 R95 IR Red 100 W 적외선램프 (PHILIPS, 230V, 95mm X 130mm) 2구를 미니하우스에 설치 후 근적외선 흡수에 따른 눈 녹임 현상을 관찰함.

○ 연구결과 눈이 내린 당일 적외선램프를 켜고 적층된 눈의 녹는 정도를 확인한 결과, 두 하우스 모두 비슷한 시간에 적외선램프 주변의 눈이 녹기 시작하였으나 이후부터 ATO 코팅 처리 하우스 표면의 눈이 상대적으로 빨리 녹는 것을 확인할 수 있었음. 또한 제설된 후 일반 PE 비닐하우스 내부에 결로 현상이 나타났으나, ATO 코팅 처리 하우스 내부 표면에는 결로 현상이 없는 것으로 확인됨 (그림 96). 따라서 본 연구에 사용된 ATO 코팅액은 근적

외선 흡수를 높이고 제설 후 온도차에 의한 결로 현상을 방지함으로써 기존 비닐하우스 소재를 보강할 기능성 피복 소재로 유용하다고 판단됨.

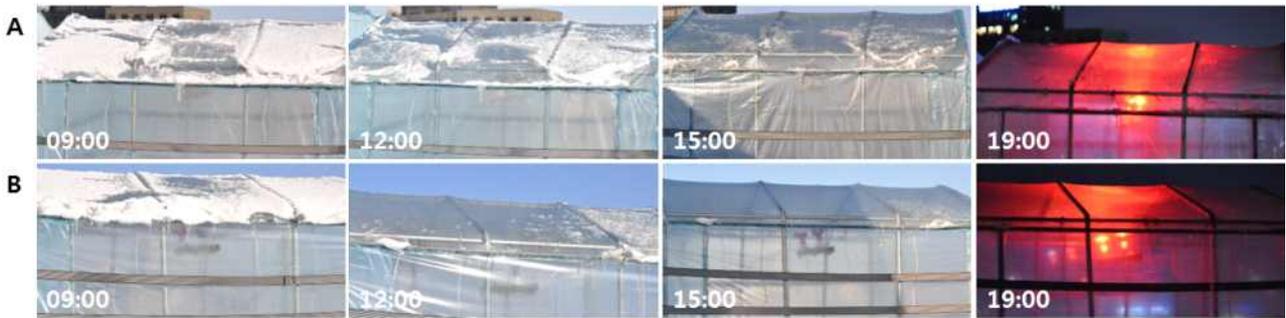


그림 96. 근적외선 흡수에 따른 눈 적층 방지 효과
A: 일반 PE 비닐하우스, B: ATO 코팅처리하우스

(2) 근적외선 흡수에 따른 하우스 표면 온도 상승 효과

- 연구방법: PE 비닐하우스에의 ATO 코팅 소재 처리가 근적외선 흡수에 미치는 영향을 확인하기 위해 동절기에 R95 IR Red 100 W 적외선 램프 (PHILIPS, 230V, 95mm X 130mm) 를 처리당 8구를 (미니하우스 2구) 지상에서 2.2 m 높이 (램프와 비닐하우스 천장 사이는 65 cm 간격)에 설치하여 열화상 카메라 (testo 875i, TESTO, Germany)로 촬영 후 testo IRSofT 프로그램을 이용하여 분석함 (그림 97). 또한 정확한 온도 측정을 위해 비금속 물질에 많이 적용되는 방사율 (emissivity)인 0.95를 적용하였으며 반사 온도는 20.0°C로 설정하여 촬영함.



그림 97. 근적외선 램프 설치 상황 및 열화상 카메라 측정

A: 근적외선 램프 설치 ((a) 미니하우스, (b) 소형하우스), B: 열화상 카메라 testo 875i, C: testo IRSofT

- 연구결과 눈 내린 당일 미니하우스 내 설치한 근적외선램프를 작동시켜 비닐 외부 표면 온도를 측정한 결과 두 하우스 간 차이는 없는 것을 확인됨 (그림 98). 이에 내부 표면 온도 상승효과를 확인하고자 소형하우스에 적외선램프를 설치하여 (그림 97A(b)) 추가 실험을 수행함 (그림 98).

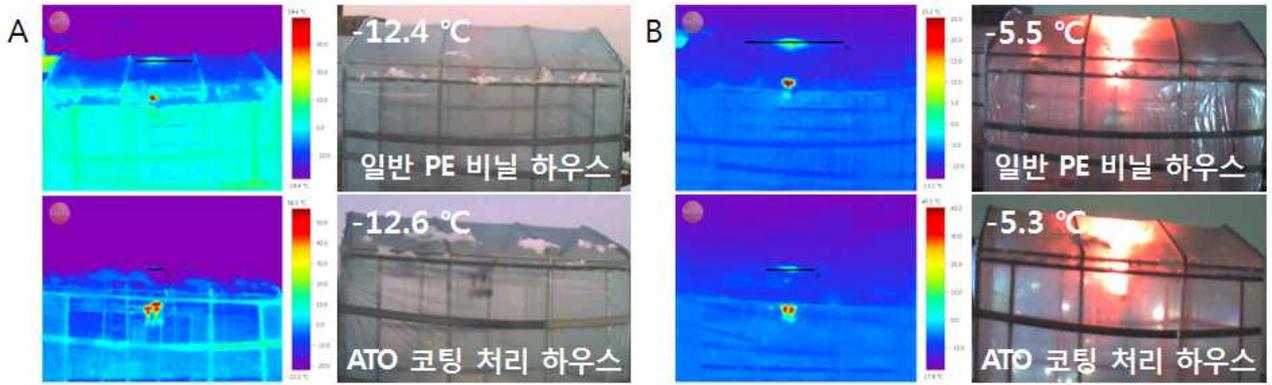


그림 98. 근적외선 흡수에 따른 미니하우스 외부 표면 온도 상승효과

A: 오후 5시, B: 오후 7시

○ 미니하우스에서와 마찬가지로 눈 내린 당일 열화상 카메라 촬영을 수행하였으나 적층이 되지 않아 눈 녹임 결과 확인은 불가능하였음 (그림 98). 이에 근적외선에 의한 표면 온도 상승효과를 비교하고자 오전 11시, 오후 2~4시까지 총 4회에 걸쳐 내부에서 비닐 표면을 촬영함. 그 결과, 오전 11시에 약 3.1°C, 2시에 4.1°C, 3시에 3.8°C, 4시에 1.2°C 온도차를 보이며 ATO 코팅액 처리 비닐하우스 표면의 온도가 상대적으로 높게 측정됨 (그림 99).

○ 눈의 적층 시 눈녹임은 1~2°C의 온도차에도 큰 차이를 나타내므로 본 연구에서 개발된 기능성 피복 소재는 기존 일반 PE 비닐소재를 보강하기에 매우 효과적일 것으로 사료됨.

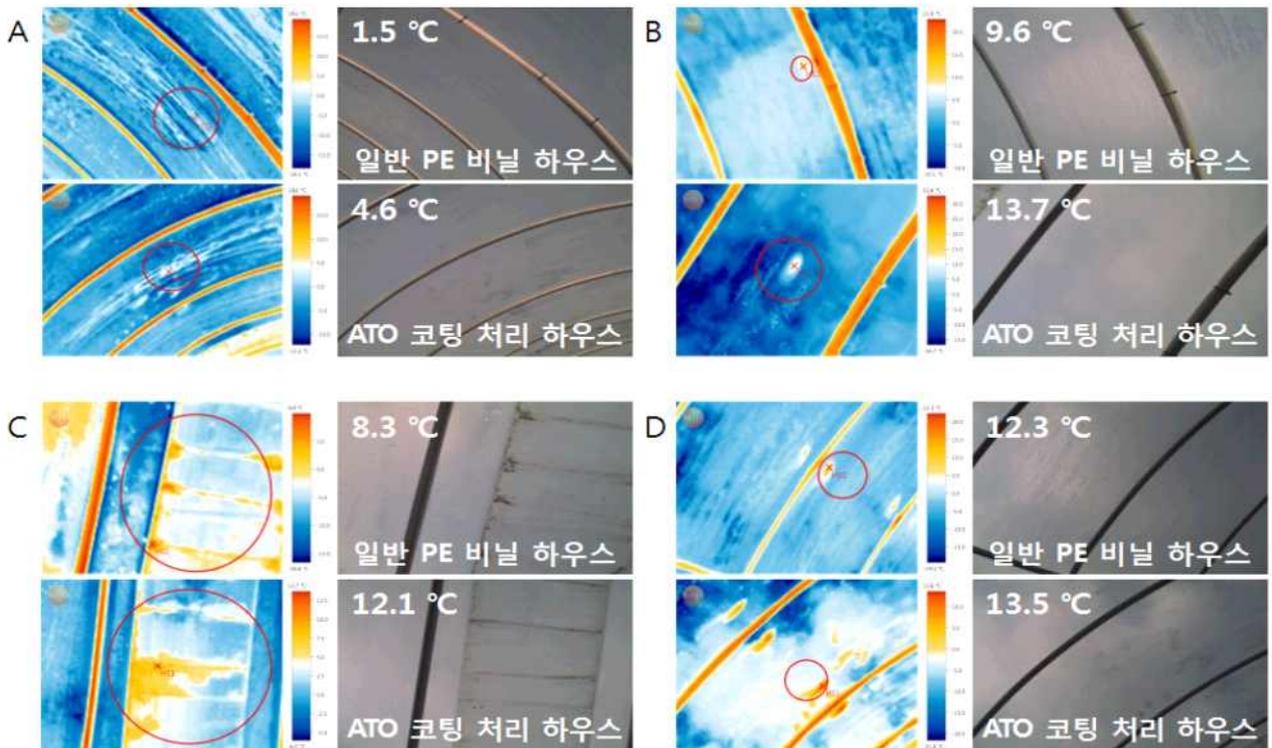


그림 99. 근적외선 흡수에 따른 소형하우스 내부 표면 온도 상승효과

A: 오전 11시, B: 오후 2시, C: 오후 3시, D: 오후 4시

3. 기능성 ATO 코팅액 처리가 하우스 내 엽채류 및 과채류의 생육에 미치는 영향

가. 동절기 양파 (*Allium cepa* L.) 생육 비교

- 조사기간: 2014.10.15.~2015.05.15.
- 조사항목: 6항목 - 초장, 구고, 구경, 구중, 생체중, 엽중
- 연구방법: 동절기 하우스 내 작물 생육을 비교하기 위해 양파 유묘를 영광종묘 (경기도 고양시 일산동구 식사동)로부터 구입하여 실험재료로 사용하였으며 (그림 100), 동절기가 지난 20주차부터 24주차까지 2주 단위로 처리별로 10개체씩 선발하여 생육조사를 실시함. 이로부터 4주 후 (28주) 양파의 구가 커진 뒤 수확 전 최종 생육을 비교함. 수집한 데이터는 IBM SPSS ver. 21 (Statistical Package for the Social Sciences, SPSS Inc., Chicago, IL) 통계 프로그램을 이용하여 duncan's multiple range test (DMRT, $p=0.05$) 분석을 통해 각 처리 간 평균을 비교함.



그림 100. 양파 유묘 이식 42일 (6주) 후 처리별 생육 사진

- 연구결과 동절기 동안 소형하우스 내에 양파를 이식하여 약 20주간 생육을 관찰하였으며 20주차부터 24주차까지 2주 간격으로 생육발달 상태를 조사하여 처리별로 비교함 (표 20). 이식 후 20주차까지 모든 처리구에서 양파 구의 발달이 확인되지 않았으나 22주차부터 비대하기 시작함 (표 20).
- 지상부 조사에 있어 24주차까지 두 하우스 내 양파의 생육 발달에 차이가 없었으나 4주 후인 28주차에 처리별로 유의미한 차이를 보임 (표 21). 모든 조사일에 노지 재배가 두 하우스 처리군에 비해 가장 좋지 않았고, ATO 처리구에서 가장 생육발달이 좋은 것으로 확인됨 (표 21). 특히 22주차의 초장, 구고, 생체중 등은 ATO 코팅액 처리 > 일반 PE 비닐하우스 > 노지재배 순으로 유의성 있는 차이를 보임 (표 21).
- 또한 28주차에서 초장과 구고는 두 하우스 처리 간 차이가 없었으나, 구경, 구중, 생체중, 엽중 등은 ATO 처리가 일반 PE 비닐하우스 및 노지 재배에 비해 유의성 있는 차이를 보이며 우수한 생육 발달을 보임. 한편, 작물의 이용성을 고려한 구의 발달 조사 결과, 구의 크기와 품질에 있어 육안으로 두 하우스 내 생육 차이를 확인할 수 없었으나 통계 분석을 통해 ATO 코팅 처리 하우스에서 재배된 양파 구의 발달이 상대적으로 좋은 것으로 확인됨 (표 21, 그림 101, 그림 102).

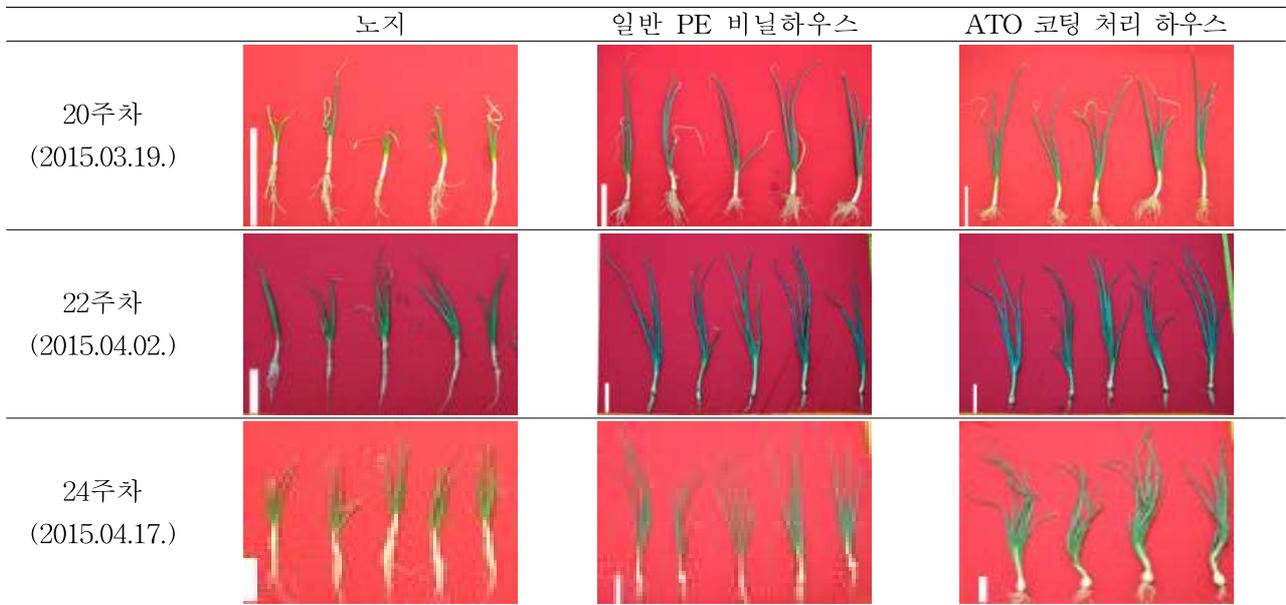


표 20. 양파의 처리 및 주차별 (20-24주차) 생육 사진 (bar: 10 cm)

항목	기간	처 리		
		노지	일반 PE 비닐하우스	ATO 코팅 처리 하우스
초장 (cm)	0주차	10.60 ± 2.86	10.60 ± 2.86	10.60 ± 2.86
	20주차	5.45 ± 1.49 b	23.10 ± 2.18 a	23.60 ± 2.78 a
	22주차	10.40 ± 1.64 c	32.00 ± 4.03 b	40.40 ± 3.34 a
	24주차	14.50 ± 2.02 b	42.40 ± 3.32 a	42.70 ± 5.36 a
	28주차	53.00 ± 3.94 b	61.90 ± 7.84 a	68.30 ± 7.77 a
구고 (cm)	0주차	1.72 ± 0.40	1.72 ± 0.40	1.72 ± 0.40
	20주차	1.75 ± 0.28 b	3.05 ± 0.64 a	2.87 ± 0.72 a
	22주차	2.18 ± 0.14 c	2.82 ± 0.55 b	3.41 ± 0.34 a
	24주차	2.59 ± 0.32 b	3.31 ± 0.30 a	3.59 ± 0.92 a
	28주차	5.48 ± 0.47 b	8.04 ± 0.76 a	8.56 ± 0.94 a
구경 (cm)	0주차	0.33 ± 0.12	0.33 ± 0.12	0.33 ± 0.12
	20주차	0.57 ± 0.08 b	1.12 ± 0.12 a	1.17 ± 0.12 a
	22주차	0.80 ± 0.07 b	1.55 ± 0.19 a	1.56 ± 0.13 a
	24주차	1.10 ± 0.11 b	1.98 ± 0.22 a	2.14 ± 0.26 a
	28주차	4.47 ± 0.42 c	7.41 ± 0.36 b	8.06 ± 0.41 a
구중 (g)	0주차	0.18 ± 0.10	0.18 ± 0.10	0.18 ± 0.10
	20주차	0.72 ± 0.13 b	3.58 ± 0.92 a	3.20 ± 0.61 a
	22주차	1.63 ± 0.39 b	4.98 ± 1.34 a	5.70 ± 0.94 a
	24주차	1.74 ± 0.42 b	7.01 ± 1.20 a	8.13 ± 2.02 a
	28주차	49.91 ± 9.54 c	189.60 ± 26.90 b	241.33 ± 27.46 a
생체중 (g)	0주차	0.32 ± 0.11	0.32 ± 0.11	0.32 ± 0.11
	20주차	1.46 ± 0.38 b	13.46 ± 2.39 a	13.66 ± 2.57 a
	22주차	3.95 ± 0.86 c	26.37 ± 5.03 b	32.87 ± 7.04 a
	24주차	5.36 ± 1.29 b	39.69 ± 7.96 a	40.61 ± 10.25 a
	28주차	102.70 ± 13.02 c	249.25 ± 37.87 b	334.12 ± 49.50 a
엽중 (g)	0주차	0.22 ± 0.19	0.22 ± 0.19	0.22 ± 0.19
	20주차	0.75 ± 0.27 b	9.75 ± 1.64 a	10.56 ± 2.15 a
	22주차	2.32 ± 0.60 c	21.39 ± 3.95 b	27.66 ± 6.39 a
	24주차	3.59 ± 1.02 b	32.67 ± 7.55 a	32.47 ± 8.99 a
	28주차	52.78 ± 8.95 b	59.65 ± 19.55 b	91.07 ± 31.96 a

표 21. 동절기 ATO 코팅 처리 및 무처리 하우스 내 양파의 생육 비교



그림 101. 28주차 처리별 양파 생육 사진 (bar: 10 cm)

A: 노지, B: 코팅 무처리 하우스 (일반 PE 비닐), C: ATO 코팅 처리 하우스

- 국립농산물품질관리원고시 제2013-42호 [농산물 표준규격]에 양파 (규격번호: 3011)는 특, 상, 보통의 등급으로 규정되어 있으며, 크기는 2L, L, M, S의 4단계로 구분됨 (표 22). 등급을 규정함에 있어 크기 기준은 M 이상인 것을 상과 특으로 구분하며 그 이하는 보통 등급으로 분류함.
- 본 연구에서 조사된 양파 구의 크기는 노지에서 4.47/5.48 (구경/구고)로 S 사이즈로 나타난 반면, 일반 PE 비닐하우스 및 ATO 코팅액 처리 하우스에서 각각 7.41/8.04와 8.06/8.56으로 모두 L 사이즈로 확인됨 (표 22, 그림 102).
- 결과적으로 ATO 코팅액 처리 하우스에서 양파의 생육발달이 일반 PE 비닐하우스 내 개체들보다 우수한 것으로 확인되었으며, 상품성에도 두 하우스 간 차이가 없었으므로 기존 비닐하우스에 ATO 코팅 처리가 동절기 기능성 온실로의 역할에 충분히 도움이 될 것으로 사료됨.

구분	호칭			
	2L	L	M	S
1구의 지름 (cm)	9.0 이상	8.0 이상~9.0 미만	6.0 이상~8.0 미만	6.0 미만

표 22. 양파의 크기 구분



그림 102. 28주차 처리별 양파 구의 발달 사진

A: 노지, B: 코팅 무처리 하우스 (일반 PE 비닐), C: ATO 코팅 처리 하우스

나. 엽채류 생육 비교

(1) 시금치 (수시로; *Spinacia oleracea* L.)

- 조사기간: 2015.04.16.~2015.05.23.
- 조사항목: 7항목 - 엽장, 엽신장, 엽폭, 근장, 생체중, 지상부 무게 (엽중), 뿌리무게 (근중)
- 연구방법: 실험재료는 아시아종묘에서 구입한 수시로서금치 (Hybrid Spinach, Su Shi Ro F1) 종자를 소형하우스 2동 및 노지에 파종하고 (2015. 04. 16.) 37일 뒤 처리별로 15개체씩 선별하여 최종 생육 조사를 수행함. 엽의 경우 엽신장 (leaf blade length) 및 엽폭, 엽장 (leaf length)을 그림 103과 같이 측정함.



그림 103. 수시로서금치 (좌, 아시아종묘)와 지상부 생육조사 측정기준 (우)

A: 엽장 (leaf length), B: 엽신장 (leaf blade length), C: 엽폭

- 연구결과 시금치의 경우 일반적으로 봄 파종 재배는 40일 정도, 여름은 30~50일, 가을파종 재배는 50~60일 정도면 수확 가능함. 시금치는 잎과 줄기가 일정하지 않고 웃자라거나 추대된 것, 잎이 질기고 역세 보이는 것은 상품성이 떨어짐.
- 본 연구에 사용된 시금치는 모든 처리구에 유기질 비료를 사용 후 파종하였으며 (2015.04.16.) 약 37일 동안 재배 후 수확 시 생육상태를 조사함. 그 결과 전체적으로 노지에 있는 개체들의 생육이 상대적으로 좋은 것으로 나타났으며, 두 하우스 내 시금치 생육은 유사하거나 ATO 코팅 처리 하우스에서 비교적 높게 측정됨 (표 23).
- 그러나 노지에서 생육된 시금치 개체들은 두 하우스 내 개체들보다 비교적 웃자람이 있으며 상대적으로 줄기가 질기고 역세 보이는 등의 형태를 보여 작물의 이용 특성상 오히려 두 하우스 내에서 수확한 개체들의 상품성이 상대적으로 좋은 것으로 사료됨 (표 23, 그림 104).

항목	처 리		
	노지	일반 PE 비닐하우스	ATO 코팅 처리 하우스
엽장 (cm)	38.20 ± 5.17 a	25.06 ± 2.96 c	30.80 ± 4.38 b
엽신장 (cm)	18.42 ± 2.31 a	13.01 ± 1.87 c	15.08 ± 2.03 b
엽폭 (cm)	13.02 ± 2.71 a	9.31 ± 1.91 b	10.01 ± 1.48 b
근장 (cm)	12.70 ± 2.65 a	8.26 ± 2.99 b	9.42 ± 2.96 b
생체중 (g)	79.98 ± 26.64 a	34.10 ± 11.85 c	51.75 ± 16.66 b
엽중 (g)	76.64 ± 25.74 a	32.83 ± 11.41 c	50.01 ± 16.20 b
근중 (g)	3.34 ± 1.31 a	1.27 ± 0.49 b	1.73 ± 0.90 b

표 23. ATO 코팅 처리 및 무처리 하우스 내 시금치의 생육 비교



그림 104. 수확 직후 처리별 시금치 생육 사진 (bar: 10cm)

(2) 상추 (청치마; *Lactuca sativa* L. var. *crispa* cv. Cheongchima)

- 조사기간: 2013.02.11.~2013.03.25.
- 조사항목: 6항목 - 엽장, 엽폭, 엽수, 엽중, 엽건물중, 뿌리길이
- 연구방법: 동절기에 하우스 내 엽채류 생육을 비교하기 위해 아시아종묘로부터 청치마 상추 종자를 구입하였으며 72공 트레이에 파종 (2013.02.11.)하여 2주간 생육 시킨 뒤 미니하우스 내 작물 재배 실험 재료로 사용함. 엽수는 엽장이 1 cm 이상인 것만 조사하였으며, 엽장 및 엽폭은 개체별로 3엽 씩 추가 선별 후 측정함. 또한 지상부와 지하부를 나누어 지상부는 엽중과 건물중, 지하부는 뿌리길이를 측정하여 생육 발달 정도를 비교함. 생육조사는 처리 당 5 개체씩 선별하여 조사하였으며, 두 처리 간 비교를 위해 IBM SPSS ver. 21 (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.
- 연구결과 동절기에 기능성 ATO 코팅액 처리 및 무처리 하우스에서 엽채류의 성장 발달을 비교하기 위해 종자로부터 받아시킨 유묘를 토양에 이식하여 가온상태에서 재배하였으며 4 주 동안 1주 간격으로 생육 조사를 수행함 (그림 104). 엽의 발달에 있어 2주차 및 4주차에 두 처리 평균 간 유의미한 차이를 나타내며 ATO 코팅 처리 하우스 내 개체들이 상대적으로 발달한 것이 확인됨 (표 24).
- 3주차의 경우 육안으로는 두 처리 간에 차이가 있는 것으로 보였으나 통계분석 결과 유의성을 나타내지 않았으며, 이는 ATO 처리 하우스 내 개체 간에 큰 표준편차에 의한 것으로 판단됨 (그림 105, 표 24). 뿌리의 경우 3주차까지 두 처리 간 생육 차이는 없었으나 최종 4

주차 조사결과에서 유의성을 보이며 기능성 ATO 코팅액을 처리하지 않은 일반 PE 비닐하우스 내 개체들에서 높게 확인됨 (표 24).

- 그러나 엽채류의 이용 특성상 두 처리 간 지상부(엽)의 발달에 차이가 없거나 ATO 코팅 하우스 내 개체들에서 높게 나타남으로써 기능성 ATO 코팅액의 처리가 동절기 엽채류 작물 재배에 부정적 영향을 미치지 않는 것으로 사료됨.

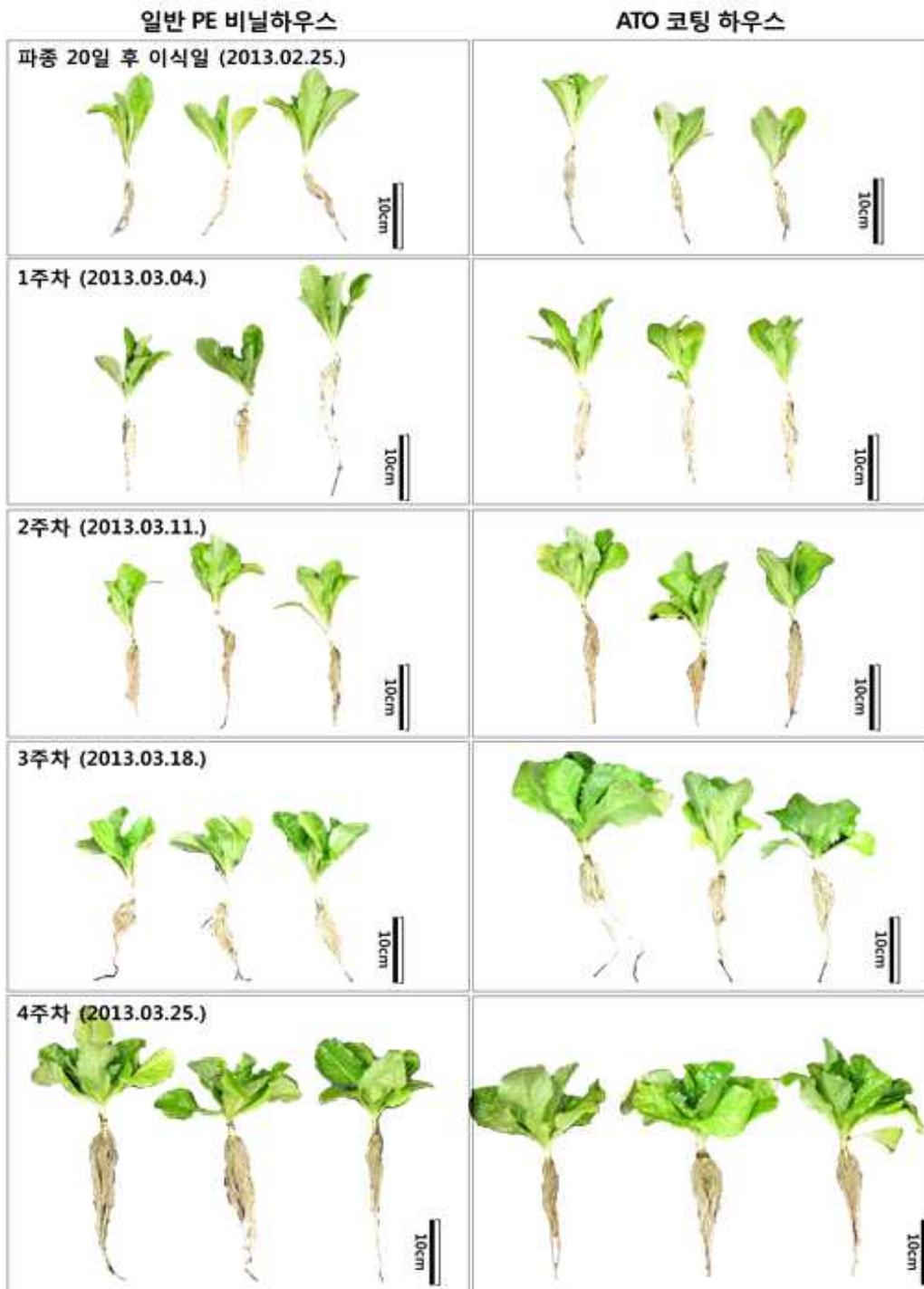


그림 105. 청치마 상추 처리 및 주차별 생육 사진 (bar: 10 cm)

항목	기간	처 리		F value (sig.)	t value	p
		일반 PE 비닐하우스	ATO 코팅 처리 하우스			
엽수 (ea)	0주차 (02/25)	6.40 ± 1.50	7.60 ± 1.02	0.738 (0.415)	-1.325	0.222
	1주차 (03/04)	7.20 ± 0.40	7.60 ± 1.02	3.881 (0.084)	-0.730	0.486
	2주차 (03/11)	7.00 ± 1.55	9.40 ± 1.02	0.334 (0.579)	-2.588*	0.032
	3주차 (03/18)	7.40 ± 1.36	10.00 ± 3.35	1.088 (0.327)	-1.440	0.188
	4주차 (03/25)	11.80 ± 0.75	14.20 ± 1.72	2.467 (0.155)	-2.558*	0.034
엽장 (cm)	0주차 (02/25)	9.45 ± 0.90	9.93 ± 0.62	0.037 (0.853)	-0.925	0.382
	1주차 (03/04)	9.81 ± 0.56	10.18 ± 1.24	5.843 (0.042)	-0.560	0.597
	2주차 (03/11)	10.86 ± 0.76	10.36 ± 0.64	0.488 (0.505)	1.048	0.325
	3주차 (03/18)	11.31 ± 0.48	10.50 ± 2.42	4.063 (0.079)	0.666	0.524
	4주차 (03/25)	12.53 ± 0.96	12.67 ± 1.11	0.019 (0.892)	-0.217	0.833
엽폭 (cm)	0주차 (02/25)	3.57 ± 0.33	3.54 ± 0.17	0.594 (0.463)	0.200	0.846
	1주차 (03/04)	3.55 ± 0.34	3.69 ± 0.33	0.004 (0.950)	-0.581	0.577
	2주차 (03/11)	3.50 ± 0.34	4.29 ± 0.47	0.186 (0.677)	-2.786*	0.024
	3주차 (03/18)	3.77 ± 0.72	4.89 ± 0.95	0.272 (0.616)	-1.923	0.091
	4주차 (03/25)	5.81 ± 0.37	6.14 ± 0.37	0.004 (0.953)	-1.308	0.227
뿌리 길이 (cm)	0주차 (02/25)	16.00 ± 3.82	17.34 ± 6.77	2.699 (0.139)	-0.345	0.739
	1주차 (03/04)	19.08 ± 5.09	15.30 ± 0.69	13.533 (0.006)	1.482	0.213
	2주차 (03/11)	13.54 ± 2.09	15.60 ± 1.97	0.478 (0.509)	-1.433	0.190
	3주차 (03/18)	15.58 ± 1.61	17.76 ± 3.11	0.874 (0.377)	-1.245	0.248
	4주차 (03/25)	29.28 ± 4.88	21.36 ± 1.94	7.956 (0.022)	3.017*	0.028
엽중 (g)	0주차 (02/25)	2.27 ± 0.91	2.57 ± 0.19	2.723 (0.138)	-0.644	0.537
	1주차 (03/04)	2.73 ± 1.03	2.30 ± 0.67	0.223 (0.649)	0.694	0.507
	2주차 (03/11)	2.68 ± 0.58	4.49 ± 0.97	1.378 (0.274)	-3.198*	0.013
	3주차 (03/18)	3.41 ± 1.18	6.79 ± 4.10	1.724 (0.226)	-1.585	0.152
	4주차 (03/25)	10.89 ± 2.09	14.27 ± 3.21	0.172 (0.689)	-1.766	0.115
엽 건물중 (g)	0주차 (02/25)	0.19 ± 0.08	0.25 ± 0.01	4.135 (0.076)	-1.438	0.188
	1주차 (03/04)	0.23 ± 0.04	0.20 ± 0.07	3.807 (0.087)	0.892	0.399
	2주차 (03/11)	0.26 ± 0.09	0.47 ± 0.09	0.132 (0.725)	-3.210*	0.012
	3주차 (03/18)	0.42 ± 0.16	0.75 ± 0.47	1.245 (0.297)	-1.339	0.217
	4주차 (03/25)	0.91 ± 0.14	1.30 ± 0.19	0.581 (0.468)	-3.366*	0.010

표 24. ATO 코팅 처리 및 무처리 하우스 내 청치마 상추의 생육 비교* p<0.05

(3) 상추 (적치마; *Lactuca sativa* L. var. *crispa* cv. Jeokchima)

- 조사기간: (1차) 2014.04.14.~2014.06.02. / (2차) 2015.04.15.~2015.05.21.
- 조사항목: (1차) 7항목 - 엽장, 엽폭, 엽수, 뿌리길이, 생체중 (전체, 지상부, 뿌리)
(2차) 5항목 - 엽장, 엽폭, 엽수, 엽중, 생체중
- 연구방법: 아시아종묘로부터 구입한 청치마 상추 종자를 72공 트레이에 파종 (2014.04.14.)하여 4주간 생육 시킨 뒤 노지와 ATO 코팅액 처리 및 무처리 소형하우스에 재식거리 25 x 30 cm로 이식함. 생육조사는 3주차까지 실시함 (그림 106, 그림 108). 또한 2차 실험은 모종 시장에서 구입한 적치마 상추 유묘를 공시재료로 하였으며 노지와 ATO 코팅액 처리 및 무처리 소형하우스에 재식거리 30 x 30 cm로 이식하여 5주간 1주 단위로 생육조사를 실시함 (그림 106). 엽장 및 엽폭의 경우에는 개체별로 3엽씩 추가 선별 후 측정하여 비교함. 생육조사는 처리 당 5개체씩 선별하여 조사하였으며 처리 간 비교를 위해 IBM SPSS ver. 21 (Statistical Package for the Social Sciences, SPSS Inc., Chicago, IL) 통계 프로그램을 이용하여 duncan's multiple range test (DMRT, p=0.05)를 수행함. 또한 두 처리 간 작물 생육

증가량을 비교하기 위해 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 106. 파종 4주 후 적치마 상추 유묘 처리별 이식 사진



그림 107. 이식 전 상추의 유묘 (bar: 10 cm)

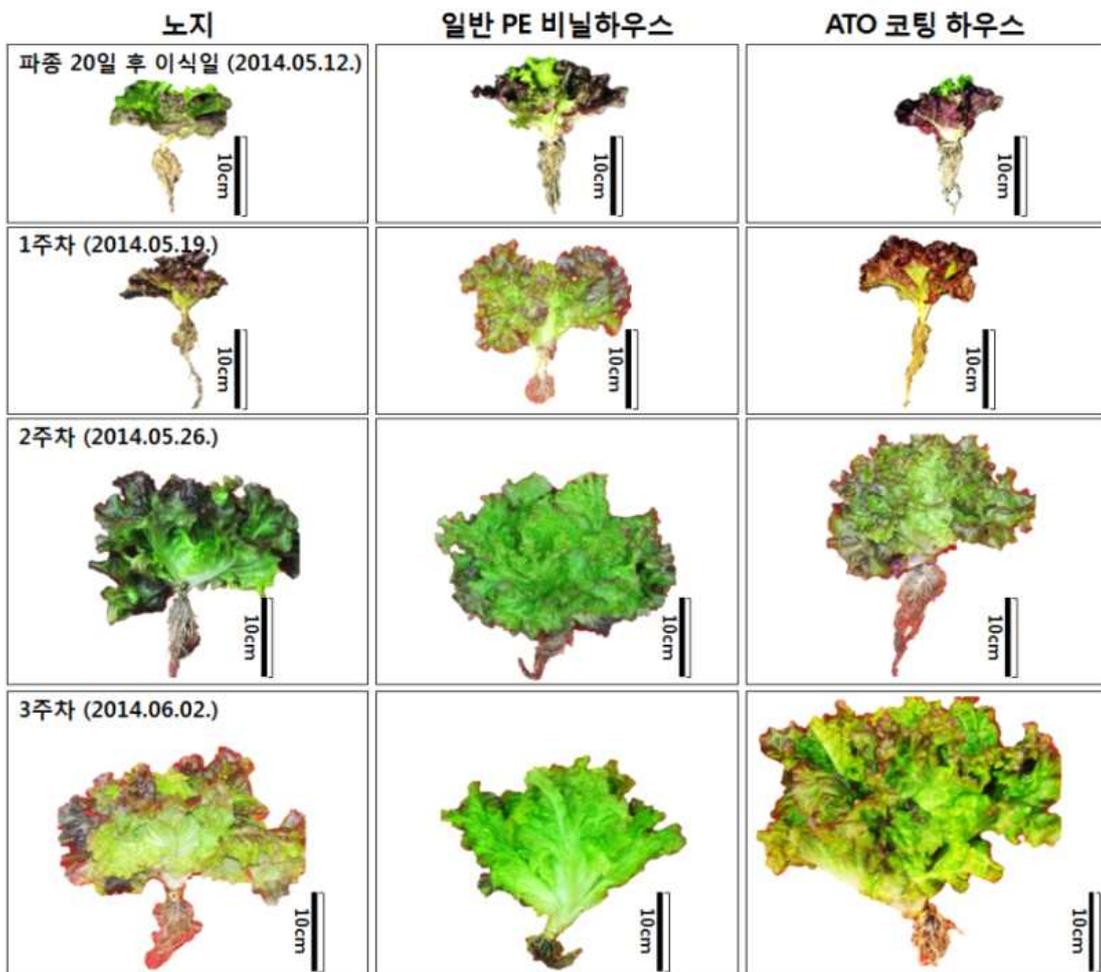


그림 108. 1차 적치마 상추 처리 및 주차별 생육 사진 (bar: 10 cm)

- 연구결과 엽장/엽폭의 경우 이식 당일 기준 3주차 조사에서 노지 개체는 평균 3.2/6.8 cm, 일반 PE 비닐하우스에서는 6.1/10.6 cm, ATO 코팅 처리 하우스에서 7.5/9.1 cm 증가하였으며, ATO 코팅 처리 하우스 내 개체들은 일반 PE 비닐하우스 및 노지재배 처리구와 달리 3주차까지 꾸준한 생육 발달을 보임 (그림 108, 그림 109).
- 엽수의 경우 최종 3주차에 이식일 대비 노지에서 4.2 엽 증가, 일반 PE 비닐하우스 및 ATO 코팅처리 하우스에서 각각 7.2 엽, 7.4 엽 증가하였으며, 두 하우스 내 개체들은 2주차에 모두 평균 15.3 엽에서 3주차에 0.3 엽씩 감소하는 경향을 보였는데 이는 적엽하지 않은 상추 하위엽이 고사한 것으로 확인됨.
- 뿌리길이의 경우 토양에서 뿌리의 고른 분리가 어려워 데이터 분석에 무리가 있었으며, 추후 실험에서는 뿌리길이 및 뿌리 무게 조사는 생략하기로 함. 생체중과 엽 무게의 경우 동일한 양상을 보였으며 (그림 108) 노지의 개체들에 비해 두 하우스 내 개체들의 발달이 우수한 것으로 확인됨.

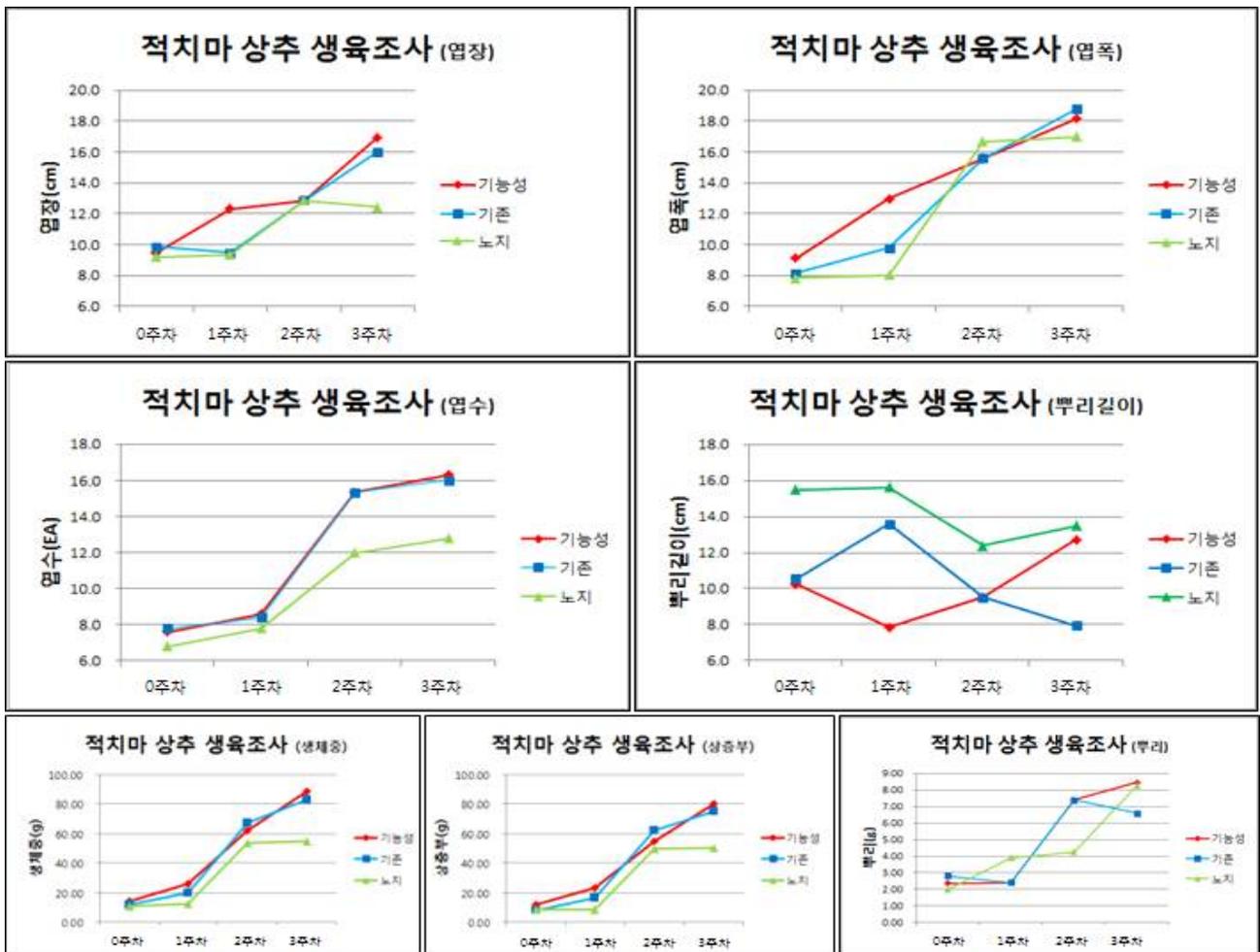


그림 109. 처리별 적치마 상추의 생육 비교

- 한편 2차 생육 조사결과, 초기 이식 후 3주차까지 생체중을 제외한 모든 조사항목에서 노지를 포함한 두 하우스 내 적치마 상추의 생육에 차이가 없었으나 최종 5주차 조사 결과에서 노지에 이식한 적치마상추의 생육이 ATO 코팅액 처리 및 무처리 하우스 내 생육보다 낮게 확인됨 (그림 110, 표 25).
- 생체중의 경우 5주차 조사 결과, 노지에서 375.65 g, ATO 코팅액 무처리 하우스에서 402.90 g 및 처리 하우스에서 평균 489.22 g으로 처리 평균 간 차이를 보임. 반면에 엽의 생육 발달을 조사한 결과에서는 노지에서의 생육발달이 상대적으로 낮고 두 하우스 내 작물 생육 발달은 유사하거나 ATO 코팅액 처리 하우스에서 상대적으로 높은 것으로 확인됨 (표 25).
- 위 조사 결과, 하우스 비닐에의 ATO 코팅액 처리가 무처리 하우스 내 상추와 비교하여 작물 생육에 부정적인 영향을 주지 않음이 확인되었으며, 더불어 작물 성장에 영향을 주는 광의 투과에도 효과적인 것으로 판단됨.

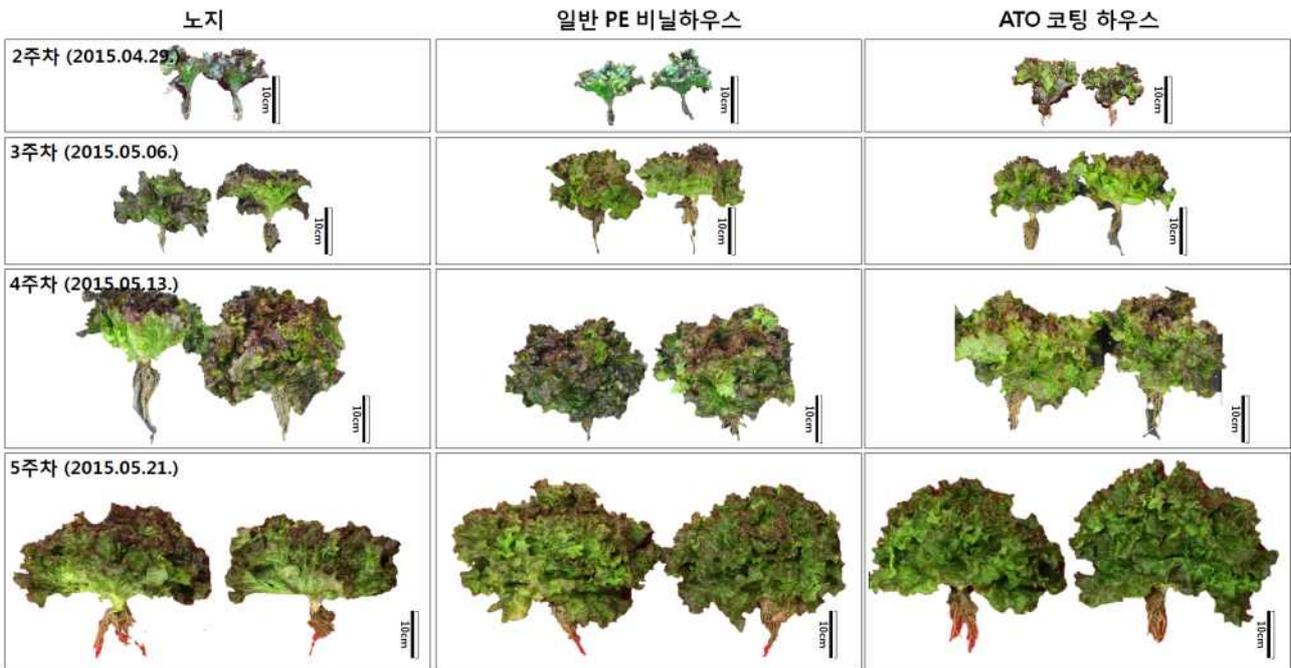


그림 110. 2차 적치마 상추 처리 및 주차별 생육 사진 (bar: 10 cm)

항목	기간	처 리		
		노지	일반 PE 비닐하우스	ATO 코팅 처리 하우스
엽장(cm)	0주차 (04/15)	8.09 ± 0.53	8.09 ± 0.53	8.09 ± 0.53
	2주차 (04/29)	9.02 ± 0.48 b	9.69 ± 0.77 ab	9.97 ± 0.28 a
	3주차 (05/06)	12.1 ± 0.71 b	12.2 ± 1.18 b	13.9 ± 0.55 a
	4주차 (05/13)	16.8 ± 1.03 a	16.9 ± 0.81 a	17.6 ± 1.04 a
	5주차 (05/21)	19.2 ± 0.38 c	21.2 ± 0.36 b	22.0 ± 0.15 a
엽폭(cm)	0주차 (04/15)	6.45 ± 0.42	6.45 ± 0.42	6.45 ± 0.42
	2주차 (04/29)	8.44 ± 0.33 b	9.51 ± 0.81 a	9.66 ± 0.45 a
	3주차 (05/06)	14.0 ± 1.51 a	14.8 ± 2.22 a	16.4 ± 0.52 a
	4주차 (05/13)	20.1 ± 1.62 a	20.5 ± 1.12 a	22.2 ± 1.61 a
	5주차 (05/21)	25.9 ± 0.63 b	26.5 ± 0.72 ab	28.3 ± 1.69 a
엽수(ea)	0주차 (04/15)	5.7 ± 0.45	5.7 ± 0.45	5.7 ± 0.45
	2주차 (04/29)	6.0 ± 0.63 b	6.8 ± 0.40 a	7.0 ± 0.00 a
	3주차 (05/06)	8.4 ± 0.80 a	9.0 ± 0.63 a	9.6 ± 1.50 a
	4주차 (05/13)	15.2 ± 0.75 a	15.6 ± 0.80 a	16.2 ± 1.17 a
	5주차 (05/21)	17.0 ± 0.71 b	19.8 ± 1.30 b	23.0 ± 2.12 a
엽중(g)	0주차 (04/15)	2.85 ± 0.32	2.85 ± 0.32	2.85 ± 0.32
	2주차 (04/29)	9.20 ± 1.08 b	11.81 ± 1.94 a	12.54 ± 1.52 a
	3주차 (05/06)	40.10 ± 5.48 ab	37.40 ± 7.23 b	49.90 ± 8.04 a
	4주차 (05/13)	117.40 ± 22.87 a	123.20 ± 25.54 a	136.90 ± 32.06 a
	5주차 (05/21)	355.50 ± 24.65 b	386.70 ± 30.64 ab	467.90 ± 65.63 a
생체중(g)	0주차 (04/15)	3.53 ± 0.38	3.53 ± 0.38	3.53 ± 0.38
	2주차 (04/29)	10.16 ± 1.18 b	12.69 ± 2.17 a	13.50 ± 1.63 a
	3주차 (05/06)	44.20 ± 6.45 c	41.70 ± 8.88 b	55.20 ± 8.00 a
	4주차 (05/13)	128.20 ± 23.33 b	132.00 ± 28.74 a	145.40 ± 32.71 a
	5주차 (05/21)	375.70 ± 22.59 c	402.90 ± 33.87 b	489.20 ± 68.42 a

표 25. 처리별 내 적치마 상추의 생육 비교

○ ATO 코팅액 처리 및 무처리 하우스 간 재배된 적치마 상추의 최종 생육 증가량을 비교한 결과에서 수치적으로 차이를 확인할 수 있었으나 t-test을 수행한 결과 두 처리 간에는 유의미한 차이는 없는 것으로 나타남 (표 26). 따라서 ATO 코팅액의 처리 유무는 적치마 상추의 생육 발달에 영향을 미치지 않음을 확인할 수 있었으며, 본 연구에 사용된 코팅액이 기존의 PE 비닐 피복소재를 보강할 기능성 소재로 유용할 것으로 사료됨.

	일반 PE 비닐하우스	ATO 코팅 처리 하우스	p value
엽장(cm)	13.19 ± 0.79	14.04 ± 0.57	0.18
엽폭(cm)	20.16 ± 0.70	21.94 ± 1.69	0.16
엽수(ea)	14.13 ± 1.30	17.38 ± 2.12	0.06
엽중(g)	383.98 ± 30.70	465.12 ± 65.73	0.10
생체중(g)	399.48 ± 65.73	485.80 ± 68.42	0.09

표 26. ATO 코팅액 처리 및 무처리 하우스 간 최종 생육 증가량 평균 비교 (4주)

○ 1차 실험에서 노지를 포함한 처리별 엽록소 함량을 비교하기 위해 최종 생육조사일인 3주차에 처리별로 3개체씩 각 3엽으로부터 추출 후 3반복씩 흡광도를 측정하여 평균을 비교함.

- 엽록소 (a, b, a+b, a/b) 함량을 분석하기 위해 0.2 g 잎을 80% 아세톤 10 ml에 넣고 냉암소에서 48시간 침출 후 UV - VIS spectrophotometer (Microplate Spectrophotometer Multiskan GO; Thermo Scientific, USA)의 96-well microplate reader를 이용하여 663 nm, 645 nm 파장에서 흡광도를 측정하여 처리평균을 아래와 같이 Arnon (1949) 및 Lichtenthaler (1987)의 계산식을 이용하여 환산함.

$\text{chlorophyll a} = 12.7 A_{663} - 2.69 A_{645}$ $\text{chlorophyll b} = 22.9 A_{645} - 4.68 A_{663}$ $\text{total chlorophyll (a+b)} = 20.29 A_{645} + 8.02 A_{663}$

- 통계분석은 IBM SPSS ver. 21 (Statistical Package for the Social Sciences, SPSS Inc., Chicago, IL) 통계 프로그램을 이용하여 duncan's multiple range test (DMRT, p=0.05)를 수행하였으며, 그 결과 수치적으로는 모든 처리 간에 차이가 있는 것으로 보였으나 통계분석에 의해 노지를 포함한 두 하우스 내 개체 간 유의미한 차이가 없는 것으로 확인됨 (표 27).
- 따라서 하우스의 ATO 코팅 처리가 광투과율에 미치는 문제는 없는 것으로 확인되었으며 이에 따른 작물 생육 저해도 없는 것으로 확인됨으로써 본 연구에서 사용된 ATO 복합 코팅액이 기존의 비닐하우스를 보강할 기능성 피복 소재로 유용할 것으로 사료됨.

처리	chlorophyll content			chl. a/b
	chl. a	chl. b	total chl.(a+b)	
노지	5.065 ± 1.79 a	1.994 ± 0.67 a	7.074 ± 2.46 a	2.520 ± 0.07 a
일반 PE 비닐하우스	7.619 ± 1.04 a	3.017 ± 0.37 a	10.658 ± 1.42 a	2.521 ± 0.07 a
ATO 코팅 하우스	6.265 ± 0.52 a	1.928 ± 0.53 a	8.224 ± 1.00 a	3.504 ± 0.97 a

표 27. 적치마 상추의 처리별 엽록소 함량 비교

다. 과채류 생육 비교

(1) 미니방울토마토 (*Lycopersicon eschlentum* Mill.)

- 조사기간: 2014.05.12.~2014.05.26.(2014.06.02.)
- 조사항목: 9항목 - 엽장, 엽폭, 엽수, 꽃, 봉오리, 뿌리길이, 생체중 (전체, 지상부, 뿌리)
- 연구방법: 모종시장에서 구입한 방울토마토 모종을 각 처리구별로 재식거리 25 cm X 30 cm로 이식함 (그림 111). 생육조사는 처리별로 5 개체씩 선발하여 조사하였으며, 엽장 및 엽폭의 경우에는 개체별로 3엽씩 추가 선발 후 측정하여 비교함.



그림 111. 모종시장으로부터 구입한 방울토마토 모종의 처리별 이식 사진

- 연구결과 엽장의 경우, 노지를 포함한 일반 PE 비닐하우스 및 ATO 코팅처리 하우스 개체들은 초기 이식 대비 각각 약 48%, 33.64%, 134.78% (약 1.4배), 엽폭은 각각 44.74%, 26.83%, 121.51% (약 1.2배)의 생육발달이 확인됨 (ATO 코팅처리 하우스 > 노지 > 일반 PE 비닐하우스) (그림 113).
- 생체중 및 뿌리길이의 경우에는 ATO 코팅처리 하우스 > 일반 PE 비닐하우스 > 노지 순으로 이식일 대비 생육 발달을 보임 (그림 112). 이식 후 2주 간 생육을 조사 후 (2014.05.26.) 결순 미제거 및 밀식에 의해 생육 발달을 조사함에 무리가 있다 판단되어 조사를 중단하였으며 최종 3주차 (2014.06.02.) 생육사진 촬영 후 재배를 중단함 (그림 112, 그림 113).
- 이에 추후 실험은 재식거리를 넓혀 재배하고 주차별 생육조사와 더불어 엽록소 및 카로티노이드 함량을 비교함으로써 처리별 생육차이를 확인하기로 함. 또한 모든 개체들의 결순제거를 실시함으로써 효과적으로 과실을 유도하고 추후 수량성 조사를 수행하기로 함.



그림 112. 방울토마토 이식일 및 3주차 생육 사진 (bar: 10 cm)

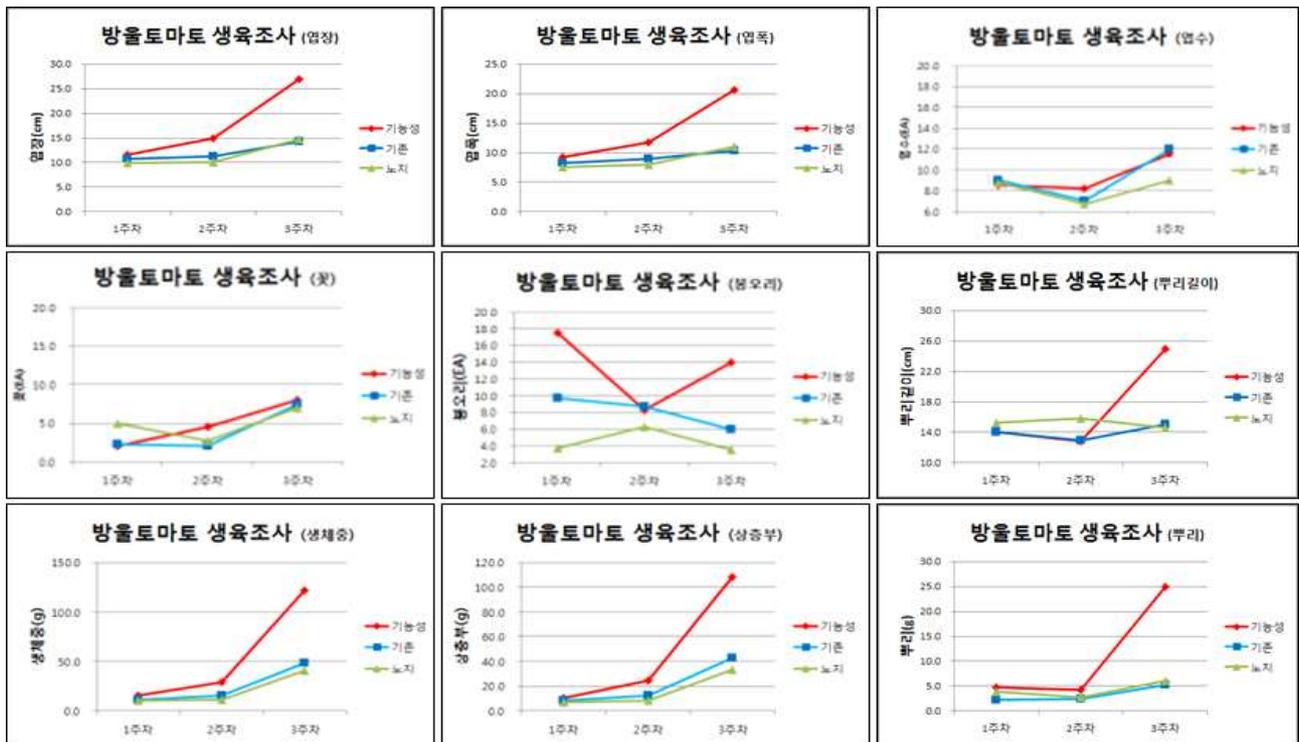


그림 113. 처리별 방울토마토의 생육 비교

(2) 미니방울토마토 (베리킹; *Lycopersicon eschlentum* Mill.)

- 조사기간: 2015.04.10.~2015.08.24.
- 조사항목: 7항목 - 초장, 엽장, 엽폭, 마디수, 줄기둘레, 꽃수, 과실수
- 연구방법: 실험재료는 아시아종묘에서 구입한 베리킹토마토 (Hybrid Tomato, Berry King F1) 종자를 파종하여 (2015.04.10.) 42일 뒤 성장한 유묘를 각 처리구별로 재식거리 45 cm X 50 cm로 이식함 (그림 114). 생육조사는 8주 동안 1주 간격으로 처리별로 10개체씩 선발하여 조사하였으며, 엽장 및 엽폭의 경우에는 개체별로 3엽씩 추가 선발 후 측정하여 비교함. 수집된 데이터는 처리 간 비교를 위해 IBM SPSS ver. 21 (Statistical Package for the Social Sciences, SPSS Inc., Chicago, IL) 통계 프로그램을 이용하여 duncan's multiple range test (DMRT, $p=0.05$)를 수행함. 또한 최종 생육조사 완료 후 2회 (수확시) 앞으로부터 엽록소 및 carotenoid 함량을 측정하여 처리 간 비교하였으며, 과실의 경우 수확 후 수확량을 확인하고 Atago N1 type Hand Refractometer (Atago Co., Tokyo, Japan)를 이용하여 당도 측정을 수행함.



그림 114. 파종 42일 후 (2015.04.10.) 베리킹 미니방울토마토 유묘 처리별 이식 사진

- 연구결과 베리킹 미니방울토마토의 생육을 비교 조사한 결과, 2주차부터 노지에서의 토마토 유묘 잎이 타들어가는 걸 확인했으며 최종 생육조사 8주차까지 매주 잎이 갈변하거나 두 하우스 내 개체들보다 전반적으로 생육 발달이 더딘 것으로 조사됨 (그림 115). 또한 일반 PE 비닐 하우스와 ATO 코팅 처리 하우스 내 개체들 간에는 유의적인 차이가 확인되지 않았으며, 전반적으로 모든 생육이 주차별로 유사하게 발달됨 (표 28).
- 그러나 6-8주의 조사 기간 동안에는 전반적으로 ATO 코팅 처리구가 가장 발달이 이 좋은 것으로 확인됨 (표 28). 이에 최근 3년 ('12~'14)의 강수량과 작물의 재배 기간 (2015.05.~2015.08.)의 기상 및 강수량을 확인해본 결과, 기온은 지난 4년 평균이 유사하였으나 강수량이 매우 낮았음 (그림 97, 그림 98).
- 이러한 급변하는 환경에서 노지에서의 작물 재배는 앞으로도 많은 어려움이 있을 것으로 사료되며 따라서 기존의 비닐하우스 내에서 4계절 동안 효율적으로 작물을 재배하기 위한 기능성 코팅 소재의 개발은 매우 유용할 것으로 판단됨.
- 한편, 꽃의 발달은 이식 1주차부터 확인되었으나 노지의 경우, 최종 생육 조사 8주차까지 두 하우스 내 개체들 보다 상대적으로 적은 것으로 나타남 (그림 116A). 두 하우스 간 꽃의

발달의 차이는 없는 것으로 확인되었으며, 과실의 경우 꽃의 발달 결과와 비례하는 것으로 나타남 (그림 116B).



그림 115. 베리킹 미니방울토마토의 처리 및 주차별 생육 사진

항목	기간	처 리		
		노지	일반 PE 비닐하우스	ATO 코팅 처리 하우스
초장 (cm)	0주차	31.45 ± 1.57	31.45 ± 1.57	31.45 ± 1.57
	1주차	37.72 ± 2.42 a	37.08 ± 1.96 a	33.27 ± 4.34 a
	2주차	40.64 ± 5.54 b	51.91 ± 8.73 a	53.73 ± 6.92 a
	3주차	43.13 ± 3.19 b	76.42 ± 11.84 a	80.81 ± 7.89 a
	4주차	58.44 ± 8.90 b	99.16 ± 10.73 a	103.46 ± 6.92 a
	5주차	68.38 ± 7.83 b	131.63 ± 13.81 a	124.71 ± 16.68 a
	6주차	72.15 ± 8.20 b	152.92 ± 13.96 a	138.09 ± 22.94 a
	7주차	76.23 ± 8.22 b	172.87 ± 15.44 a	176.30 ± 6.72 a
	8주차	82.13 ± 7.81 b	189.26 ± 15.59 a	199.28 ± 7.84 a
엽장 (cm)	0주차	6.91 ± 0.46	6.91 ± 0.46	6.91 ± 0.46
	1주차	7.59 ± 0.56 a	7.92 ± 0.77 a	6.67 ± 0.66 b
	2주차	6.58 ± 0.65 b	7.13 ± 0.74 a	7.55 ± 0.27 a
	3주차	6.67 ± 0.60 b	7.85 ± 0.73 a	8.33 ± 0.51 a
	4주차	7.12 ± 0.76 c	8.58 ± 0.87 b	9.52 ± 0.75 a
	5주차	6.54 ± 0.57 b	9.38 ± 0.88 a	9.52 ± 0.64 a
	6주차	5.58 ± 0.85 b	9.59 ± 0.71 a	9.57 ± 0.42 a
	7주차	5.08 ± 0.54 b	9.91 ± 1.05 a	10.20 ± 0.50 a
	8주차	6.11 ± 0.58 b	9.94 ± 0.59 a	10.42 ± 0.30 a
엽폭 (cm)	0주차	4.90 ± 0.41	4.90 ± 0.41	4.90 ± 0.41
	1주차	4.36 ± 0.31 b	4.86 ± 0.44 a	4.34 ± 0.38 b
	2주차	4.29 ± 0.49 b	5.01 ± 0.81 a	5.09 ± 0.44 a
	3주차	4.31 ± 0.70 b	5.13 ± 0.51 a	5.38 ± 0.30 a
	4주차	4.37 ± 0.63 b	5.66 ± 0.47 a	5.89 ± 0.51 a
	5주차	4.21 ± 0.46 b	6.12 ± 0.57 a	5.94 ± 0.41 a
	6주차	3.85 ± 0.69 b	6.30 ± 0.46 a	6.33 ± 0.27 a
	7주차	3.38 ± 0.42 b	6.02 ± 0.63 a	6.34 ± 0.27 a
	8주차	3.77 ± 0.43 b	6.28 ± 0.57 a	6.52 ± 0.35 a

마디수 (ea)	0주차	5.70 ± 0.45	5.70 ± 0.45	5.70 ± 0.45
	1주차	6.30 ± 0.78 b	6.80 ± 0.40 ab	7.20 ± 1.24 a
	2주차	10.10 ± 0.83 b	11.80 ± 1.46 a	12.00 ± 1.26 a
	3주차	13.40 ± 1.49 b	15.60 ± 1.11 a	16.00 ± 1.73 a
	4주차	15.60 ± 1.13 b	18.30 ± 1.79 a	17.70 ± 2.72 ab
	5주차	19.20 ± 1.07 b	23.30 ± 1.55 a	23.90 ± 2.70 a
	6주차	20.50 ± 2.01 b	28.60 ± 2.20 a	28.40 ± 3.00 a
	7주차	22.20 ± 2.22 b	33.50 ± 2.94 a	32.90 ± 3.67 a
	8주차	23.40 ± 1.90 b	39.20 ± 1.40 a	38.50 ± 1.28 a
줄기 둘레 (mm)	0주차	3.50 ± 0.29	3.50 ± 0.29	3.50 ± 0.29
	1주차	3.64 ± 0.40 a	3.71 ± 0.36 a	3.24 ± 0.28 b
	2주차	3.64 ± 0.29 a	3.82 ± 0.33 a	3.84 ± 0.24 a
	3주차	3.71 ± 0.20 b	4.15 ± 0.24 ab	4.22 ± 0.32 a
	4주차	4.24 ± 0.43 b	4.60 ± 0.36 a	4.77 ± 0.30 a
	5주차	4.14 ± 0.18 c	4.57 ± 0.34 b	5.00 ± 0.16 a
	6주차	4.13 ± 0.22 b	4.99 ± 0.23 a	5.16 ± 0.21 a
	7주차	4.25 ± 0.24 b	5.34 ± 0.42 a	5.41 ± 0.25 a
	8주차	4.43 ± 0.21 b	5.54 ± 0.44 a	5.65 ± 0.34 a

표 28. 처리별 베리킹 미니방울토마토의 생육 비교

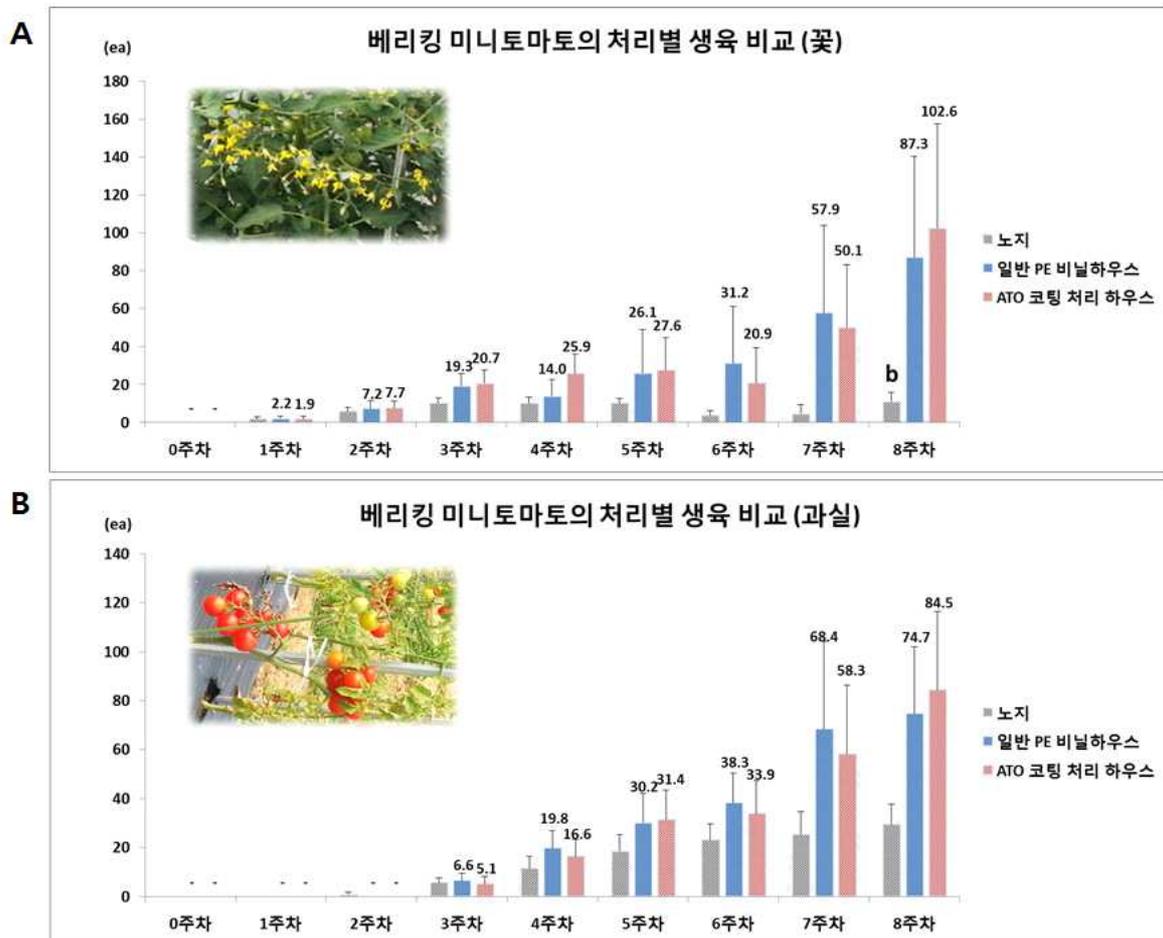


그림 116. 베리킹 미니방울토마토의 꽃 및 과실의 발달 비교

A: 꽃 수, B: 과실 수

- 또한, 8주의 생육 조사 후 2주일 뒤 1차 수확 후 과별 및 처리별로 1과의 생체중을 측정하여 무게에 따른 상품 등급을 확인함. 방울토마토는 국립농산물품질관리원고시 제2013-42호 [농산물 표준규격]에 규격번호 2053으로 특, 상, 보통의 등급으로 규정되어 있으며, 크기는 1과의 지름 및 무게를 기준으로 2L, L, M, S, 2S의 5단계로 구분됨 (표 29).
- 등급을 규격함에 있어 크기가 L, M인 것, 상은 L, M, S인 것이 기준이며, 특과 상 모두 해당 무게에서 1단계 (2 L)를 초과할 수 없다고 규정됨. 보통 등급은 이들 기준에 미달한 것으로 무게는 적용하지 않음이라 규정되어 S 미만의 경우에도 보통으로 분류되는 것으로 판단됨.
- 이에 본 연구에서 수확한 베리킹 미니방울토마토 1과의 무게 및 지름을 처리별로 측정하여 평균으로 나타낸 결과 표 30와 같이 확인되었으며 표 29의 무게 기준에 따라 노지의 경우 0.07 g 부족한 2S (5 단계)로 보통 등급, 두 하우스 내 개체들은 M (3단계)로 구분되어 상 및 특 등급으로 분류됨.
- 1차 수확 후 4주 뒤 2차 수확한 1과의 무게 측정 결과에서는 모든 처리구에서 유의성이 확인되며 일반 PE 비닐하우스 내 개체들이 M으로 구분되어 가장 높은 발달을 보였고, ATO 처리 하우스 내 개체들은 S로 구분되며 상 등급으로 분류됨 (표 30). 또한 모든 처리구의 개체들이 과피의 탄력에 따른 신선도가 우수하며, 모두 사이즈가 고르게 성숙하여 상품성이 좋은 것으로 판단됨 (표 30, 그림 117).
- 한편, 10주차 14 개체 당 처리별 총 수확량을 측정한 결과 노지에서 1.6 kg, ATO 코팅액을 처리하지 않은 일반 PE 비닐하우스 및 코팅 처리 하우스 내에서 각각 6.1 kg 및 6.0 kg으로 확인됨 (그림 118).
- 그 후 4주 뒤 2차 수확량을 조사한 결과에서는 노지에서 0.35 kg, ATO 코팅액을 처리하지 않은 일반 PE 비닐하우스 및 코팅 처리 하우스 내에서 각각 6.00 kg 및 5.40 kg으로 확인됨 (그림 118). 1차 수확 이후 노지의 개체들은 수확량이 약 78.13% 이상 차이를 보인 반면에 ATO 코팅 처리 및 무처리 두 하우스 내에서는 각각 1.64%, 10%의 근소한 차이로 높은 수확량이 확인됨 (그림 118).

구분	호칭				
	2L	L	M	S	2S
1과의 무게 (g)	25 이상	20 이상-25 미만	15 이상-20 미만	10 이상-15 미만	5 이상-10 미만
1과의 지름 (mm)	35 이상	25 이상-35 미만	20 이상-25 미만	15 이상-20 미만	15 미만

표 29. 방울토마토의 크기 구분

		노지	일반 PE 비닐 하우스	ATO 코팅처리 하우스
1과 무게 (g)	1차	9.93 ± 1.25 b	15.45 ± 0.61 a	16.18 ± 0.78 a
	2차	8.19 ± 1.14 c	15.17 ± 2.90 a	11.85 ± 1.15 b
1과 지름 (mm)	-	24.63 ± 0.92 b	28.23 ± 0.43 a	28.84 ± 0.91 a

표 30. 처리별 베리킹 미니방울토마토 1과의 무게 및 지름 측정 결과



그림 117. 처리별 베리킹 미니방울토마토의 과실

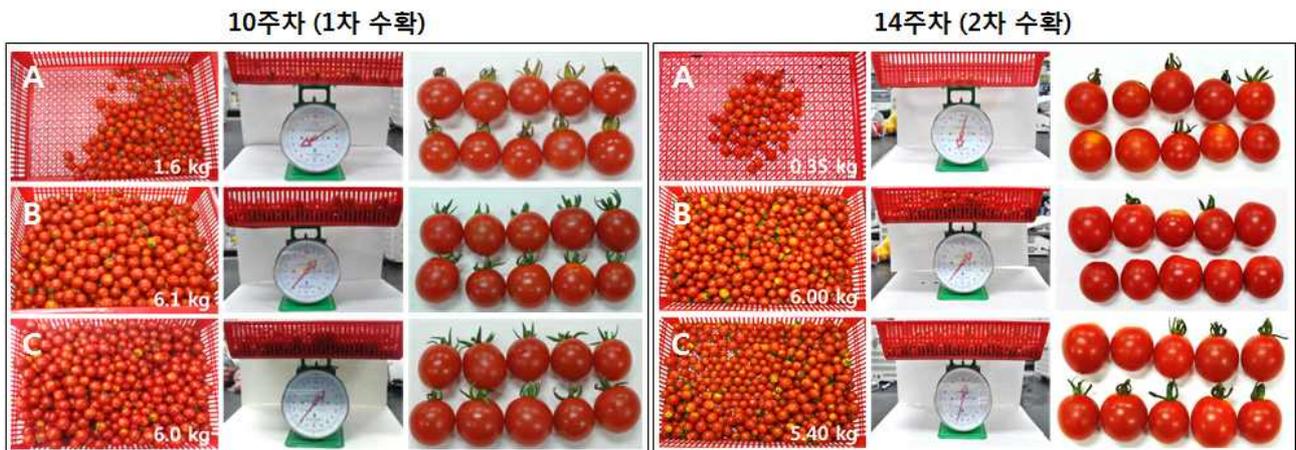


그림 118. 처리별 베리킹 미니방울토마토의 수확량
A: 노지, B: 일반 PE 비닐 하우스, C: ATO 코팅 처리 하우스

- 한편, 베리킹 토마토의 처리별 광합성능력을 확인하기 위해 엽록소 (chlorophyll) a, 엽록소 b, 총 엽록소 함량 (a+b)을 측정하고 식물체의 노화 및 스트레스의 지표가 되는 엽록소 비 (a/b)를 확인함.
- 또한, 빛 에너지를 흡수해서 엽록소에 전달함으로써 식물의 광합성을 돕고, 자외선에서 발생하는 활성산소를 제거하는 색소인 카로티노이드 (carotenoid) 함량을 측정하여 처리별로 비교함.

- 엽록소 및 카로티노이드 함량 측정은 처리별로 3개체씩 각 3엽으로부터 추출 후 3반복씩 흡광도를 측정하여 평균을 비교함. 엽록소 (a, b, a+b, a/b)와 카로티노이드 함량을 분석하기 위해 0.2 g 잎을 80% 아세톤 10 ml에 넣고 냉암소에서 48시간 침출 후 UV - VIS spectrophotometer (Microplate Spectrophotometer Multiskan GO; Thermo Scientific, USA)의 96-well microplate reader를 이용하여 663 nm, 645 nm, 470 nm 파장에서 흡광도를 측정함.
- 엽록소 및 카로티노이드 함량은 처리평균을 아래와 같이 Arnon (1949) 및 Lichtenthaler (1987)의 계산식을 이용하여 환산함.

$\text{chlorophyll a} = 12.7 A_{663} - 2.69 A_{645}$ $\text{chlorophyll b} = 22.9 A_{645} - 4.68 A_{663}$ $\text{total chlorophyll (a+b)} = 20.29 A_{645} + 8.02 A_{663}$ $\text{total carotenoid} = (1,000 A_{470} - 1.82 \text{ chl. a} - 85.02 \text{ chl. b}) / 198$
--

- 엽록소 함량은 두 하우스 처리 간에는 차이가 없었으며, 노지 처리구와는 유의성을 보임. 엽록소 a, b 및 총 엽록소 함량 (a+b) 모두 하우스 내 개체들에서 노지 개체들보다 상대적으로 높게 나타났으며, 엽록소 a/b 함량비는 1차 조사에서는 처리 간 차이가 없는 것으로 확인되었으나 2차 수확 시 조사 결과 두 하우스 내 개체들에서 높은 비율로 나타남 (표 31).
- 카로티노이드 함량도 두 하우스 개체 간 차이는 확인되지 않았으며 노지에서 상대적으로 낮게 확인됨. 따라서 노지에서 생육된 개체들은 자외선 흡수에 의한 활성산소 생성으로 카로티노이드 함량이 감소함으로써 상대적으로 낮게 측정된 것으로 판단됨 (표 31).

처리	chlorophyll content			chl. a/b	carotenoid
	chl. a	chl. b	total chl.(a+b)		
노지	6.806 ± 1.48 b	5.007 ± 1.80 b	11.840 ± 3.29 b	1.44 ± 0.25 a	0.556 ± 0.23 b
1차 일반 PE 비닐하우스	18.102 ± 0.55 a	11.215 ± 0.38 a	29.382 ± 0.89 a	1.61 ± 0.03 a	1.927 ± 0.21 a
ATO 코팅 하우스	19.194 ± 1.01 a	12.170 ± 0.98 a	31.499 ± 2.08 a	1.58 ± 0.04 a	1.987 ± 0.22 a
노지	2.291 ± 0.75 b	1.529 ± 0.30 b	3.828 ± 1.06 b	1.46 ± 0.18 b	0.739 ± 0.23 b
2차 일반 PE 비닐하우스	16.599 ± 1.37 a	9.062 ± 0.74 a	25.716 ± 2.09 a	1.83 ± 0.05 a	3.688 ± 0.29 a
ATO 코팅 하우스	17.922 ± 3.31 a	9.355 ± 2.17 a	27.398 ± 5.57 a	1.94 ± 0.12 a	3.637 ± 0.71 a

표 31. 베리킹 미니방울토마토의 처리별 엽록소 및 카로티노이드 함량 비교

- 한편, 과실의 당도는 모든 처리구에서 유의미한 차이가 확인되지 않음.
- 10주차에 각 처리별로 수확한 과실의 당도 (Soluble solids; °Bx, Brix)를 측정한 결과, 노지의 개체는 평균 5.02 °Brix (4.0~6.4), 일반 PE 비닐 하우스에서는 5.22 °Brix (4.5~6.3), ATO 코팅 처리 하우스 개체들은 5.59 °Brix (4.8~6.8)로 확인됨. 이에 노지의 개체들의 당도가 낮은 것으로 보이나 통계분석 결과 처리 간 유의미한 차이는 없는 것으로 나타남 (그림

119).

- 2차 수확한 과실의 당도 측정 결과에서도 마찬가지로 처리 간 차이가 없는 것으로 확인되었으며 노지에서는 7.32 °Brix, ATO 처리 및 무처리 하우스 내 개체들은 각각 8.00, 7.34 °Brix로 모든 처리구에서 1차 수확 시 보다 높은 당도를 보임 (그림 119).
- 광합성은 과실의 당도에 영향을 미치는 여러 요인 중 하나로 본 연구에서 일반 PE 비닐 코팅에 사용된 ATO 기능성 소재가 광합성에 부정적인 영향을 미치지 않으며, 작물의 효과적인 재배 뿐만 아니라 기존의 PE 비닐 피복소재를 보강할 동절기 기능성 소재로 유용할 것으로 사료됨.

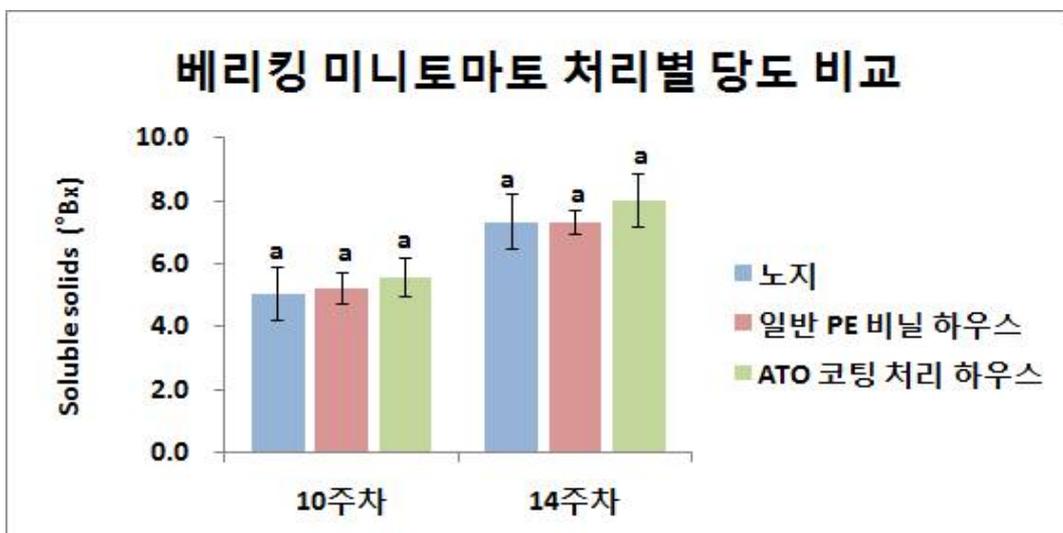


그림 119. 베리킹 미니방울토마토의 처리별 당도 비교

(3) 미니방울토마토 (꼬꼬; *Lycopersicon eschlentum* Mill.)

- 조사기간: 2015.05.22.~2015.08.24.
- 조사항목: 7항목 - 초장, 엽장, 엽폭, 마디수, 줄기둘레, 꽃수, 과실수
- 연구방법: 모종시장에서 구입한 꼬꼬 방울토마토 모종을 각 처리구별로 재식거리 45 cm X 50 cm로 이식함 (그림 120). 생육조사는 8주 동안 1주 간격으로 처리별로 10개체씩 선발하여 조사하였으며, 엽장 및 엽폭의 경우에는 개체별로 3엽씩 추가 선발 후 측정하여 비교함. 수집된 데이터는 처리 간 비교를 위해 IBM SPSS ver. 21 (Statistical Package for the Social Sciences, SPSS Inc., Chicago, IL) 통계 프로그램을 이용하여 duncan's multiple range test (DMRT, p=0.05)를 수행함. 또한 최종 생육조사 완료 후 2회 (수확시) 잎으로부터 엽록소 및 carotenoid 함량을 측정하여 처리 간 비교하였으며, 과실의 경우 수확 후 수확량을 확인하고 Atago N1 type Hand Refractometer (Atago Co., Tokyo, Japan)를 이용하여 당도 측정을 수행함.



그림 120. 아시아종묘로부터 구입한 꼬꼬 미니방울토마토 모종의 처리별 이식 사진

- 연구결과 꼬꼬 미니방울토마토의 경우 베리킹에 비해 잎의 갈변은 적었으나 두 하우스 내 개체들과 비교했을 때 마찬가지로 전반적인 생육 발달이 상대적으로 더딘 것으로 확인됨 (그림 121). 또한 일반 PE 비닐 하우스와 ATO 코팅 처리 하우스 내 개체들 간에는 유의적인 차이가 전반적으로 없는 것으로 나타났으나, 일부 조사에서 베리킹에 비해 ATO 코팅 처리 하우스 내 개체의 일부 생육 발달이 비교적 낮은 것으로 분석됨 (표 32).
- 한편, 꽃 및 과실의 발달에서 노지의 경우, 5~6주차를 제외하고 생육 8주차까지 두 하우스 내 개체들 보다 상대적으로 적은 것으로 나타남 (그림 122).



그림 121. 꼬꼬 미니방울토마토의 처리 및 주차별 생육 사진

항목	기간	처 리		
		노지	일반 PE 비닐하우스	ATO 코팅 처리 하우스
초장 (cm)	0주차	12.92 ± 0.39	12.92 ± 0.39	12.92 ± 0.39
	1주차	14.34 ± 1.07 a	14.33 ± 0.74 a	14.68 ± 0.84 a
	2주차	18.05 ± 1.54 b	21.33 ± 2.72 a	20.54 ± 2.46 a
	3주차	24.59 ± 2.37 b	38.55 ± 5.49 a	38.40 ± 4.48 a
	4주차	35.36 ± 3.35 b	59.64 ± 6.42 a	59.77 ± 6.47 a
	5주차	44.06 ± 4.23 b	88.22 ± 12.91 a	85.70 ± 13.22 a
	6주차	51.23 ± 7.48 b	107.22 ± 23.91 a	105.98 ± 17.06 a
	7주차	53.33 ± 10.50 b	132.99 ± 29.16 a	131.10 ± 26.16 a
	8주차	54.97 ± 9.01 b	147.43 ± 34.74 a	155.19 ± 32.95 a
엽장 (cm)	0주차	3.80 ± 0.30	3.80 ± 0.30	3.80 ± 0.30
	1주차	4.19 ± 0.17 a	4.12 ± 0.25 a	4.08 ± 0.29 a
	2주차	4.52 ± 0.22 b	5.49 ± 0.62 a	5.38 ± 0.51 a
	3주차	4.63 ± 0.26 b	6.12 ± 0.53 a	6.33 ± 0.47 a
	4주차	4.87 ± 0.39 c	6.81 ± 0.80 a	6.14 ± 0.76 b
	5주차	5.14 ± 0.23 b	7.14 ± 1.22 a	7.38 ± 0.51 a
	6주차	4.82 ± 0.42 b	8.23 ± 1.53 a	7.99 ± 0.96 a
	7주차	4.53 ± 0.60 b	9.13 ± 1.20 a	8.27 ± 0.83 a
	8주차	4.88 ± 0.64 b	9.68 ± 0.70 a	9.10 ± 0.99 a
엽폭 (ea)	0주차	2.36 ± 0.20	2.36 ± 0.20	2.36 ± 0.20
	1주차	2.56 ± 0.25 a	2.42 ± 0.17 a	2.56 ± 0.22 a
	2주차	2.67 ± 0.23 b	3.08 ± 0.41 a	3.21 ± 0.34 a
	3주차	2.72 ± 0.22 b	3.63 ± 0.20 a	3.78 ± 0.33 a
	4주차	2.80 ± 0.26 b	4.31 ± 0.19 a	4.04 ± 0.63 a
	5주차	2.98 ± 0.18 b	4.86 ± 0.82 a	4.56 ± 0.24 a
	6주차	2.86 ± 0.27 c	5.66 ± 0.53 a	5.06 ± 0.36 b
	7주차	2.84 ± 0.30 c	5.83 ± 0.89 a	5.25 ± 0.44 b
	8주차	3.04 ± 0.52 b	5.99 ± 0.43 a	5.84 ± 0.57 a
마디수 (g)	0주차	4.00 ± 0.00	4.00 ± 0.00	4.00 ± 0.00
	1주차	5.90 ± 0.53 a	6.10 ± 0.53 a	6.00 ± 0.45 a
	2주차	9.30 ± 0.90 b	10.70 ± 1.34 a	10.20 ± 0.74 ab
	3주차	12.90 ± 1.22 a	13.50 ± 0.80 a	13.30 ± 1.41 a
	4주차	14.50 ± 1.56 b	16.40 ± 1.11 a	15.60 ± 1.13 ab
	5주차	17.50 ± 0.67 b	20.30 ± 1.41 a	20.40 ± 1.95 a
	6주차	20.30 ± 1.55 b	23.90 ± 3.75 a	23.90 ± 3.17 a
	7주차	22.10 ± 1.64 b	26.20 ± 4.79 a	27.30 ± 3.40 a
	8주차	22.30 ± 1.67 b	32.60 ± 7.13 a	34.10 ± 5.06 a
줄기 둘레 (g)	0주차	2.25 ± 0.13	2.25 ± 0.13	2.25 ± 0.13
	1주차	2.38 ± 0.14 a	2.50 ± 0.14 a	2.51 ± 0.13 a
	2주차	2.71 ± 0.15 b	3.09 ± 0.26 a	3.10 ± 0.16 a
	3주차	2.93 ± 0.17 c	3.36 ± 0.29 b	3.71 ± 0.26 a
	4주차	3.42 ± 0.14 b	4.16 ± 0.27 a	4.24 ± 0.43 a
	5주차	3.61 ± 0.17 b	4.48 ± 0.30 a	4.68 ± 0.30 a
	6주차	3.61 ± 0.19 b	4.73 ± 0.31 a	4.68 ± 0.30 a
	7주차	3.76 ± 0.21 b	5.14 ± 0.40 a	4.83 ± 0.41 a
	8주차	3.93 ± 0.22 c	5.60 ± 0.54 a	5.11 ± 0.41 b

표 32. 처리별 꼬꼬 미니방울토마토의 생육 비교

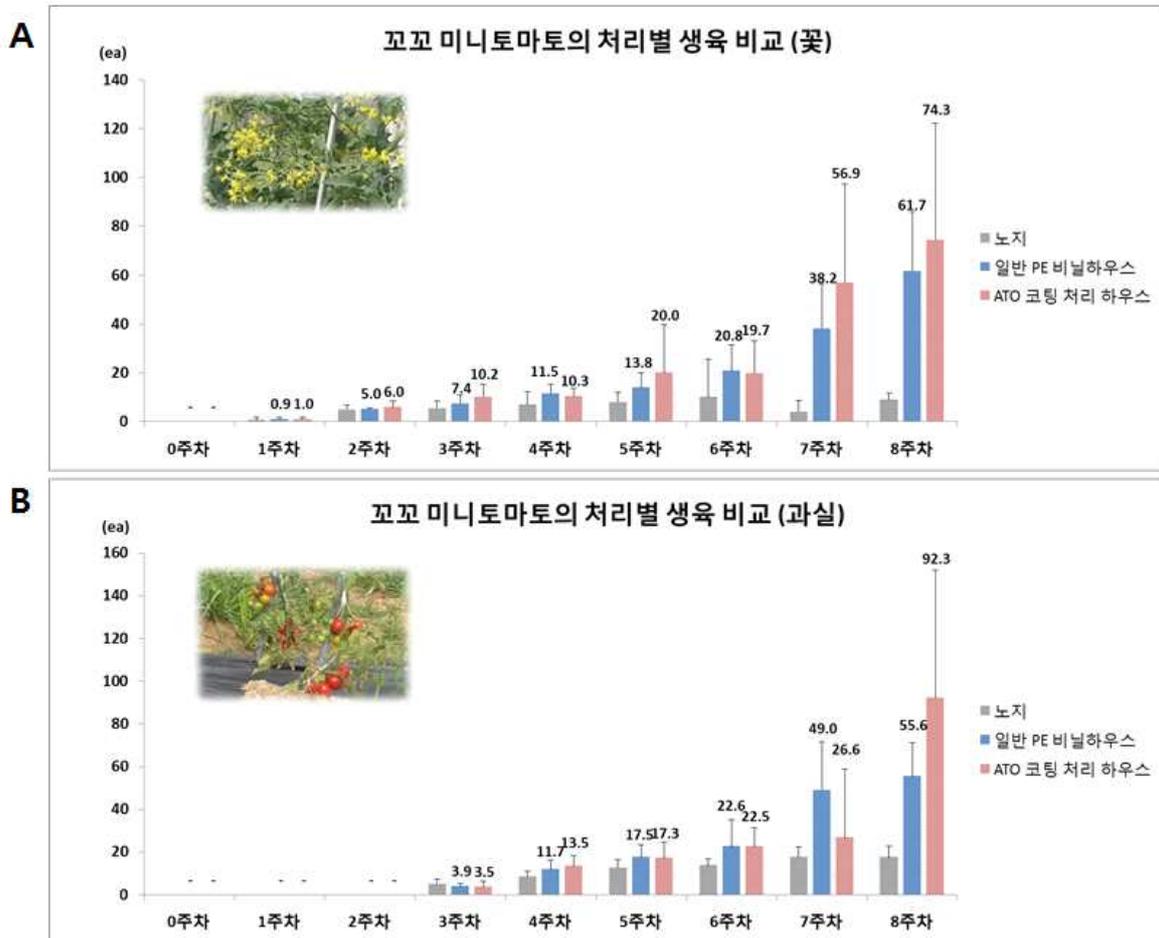


그림 122. 꼬꼬 미니방울토마토의 꽃 및 과실의 발달 비교
A: 꽃 수, B: 과실 수

- 8주의 생육 조사 후 2주일 뒤, 1차 수확 후 과별 및 처리별로 1과의 생체중을 측정하여 무게에 따른 상품 등급을 확인한 결과, 표 9의 무게 기준에 따라 노지의 경우 S, 두 하우스 내 개체들은 M으로 구분되어 모두 상 및 특 등급으로 분류됨 (표 33).
- 2차 수확한 1과의 무게 측정 결과에서는 두 하우스 내 개체들이 M으로 구분되어 가장 높은 발달을 보이며 노지의 개체들과 많은 차이를 나타냄 (표 33). 또한 베리킹과 마찬가지로 모든 처리구의 개체들이 과피의 탄력에 따른 신선도가 우수하며, 모두 사이즈가 고르게 성숙하여 상품성이 좋은 것으로 판단됨 (그림 123).
- 한편, 10주차 14 개체 당 처리별 총 수확량을 측정한 결과 노지에서 1.35 kg, ATO 코팅액을 처리하지 않은 일반 PE 비닐하우스 및 코팅 처리 하우스 내에서 각각 2.3 kg 및 2.9 kg 으로 모든 처리구에서 베리킹에 비해 상대적으로 수확량이 적은 것으로 나타남 (그림 124).
- 그 후 4주 뒤 2차 수확량을 조사한 결과에서는 노지에서 0.20 kg, ATO 코팅액을 처리하지 않은 일반 PE 비닐하우스 및 코팅 처리 하우스 내에서 각각 6.70 kg 및 7.00 kg으로 확인됨 (그림 124).

○ 1차 수확 이후 노지의 개체들은 수확량이 약 85.19% 차이로 적은 수확량을 보인 반면 ATO 코팅 처리 및 무처리 두 하우스 내에서는 각각 2.91배, 2.41배 높은 수확량이 확인됨 (그림 124).

		노지	일반 PE 비닐 하우스	ATO 코팅처리 하우스
1과 무게 (g)	1차	10.04 ± 0.97 c	17.20 ± 1.41 a	14.58 ± 0.86 b
	2차	7.22 ± 1.07 b	16.18 ± 2.36 a	15.17 ± 2.90 a
1과 지름 (mm)	-	25.23 ± 0.78 c	29.88 ± 0.68 a	27.55 ± 0.49 b

표 33. 처리별 꼬꼬 미니방울토마토 1과의 무게 및 지름 측정 결과



그림 123. 처리별 꼬꼬 미니방울토마토의 과실

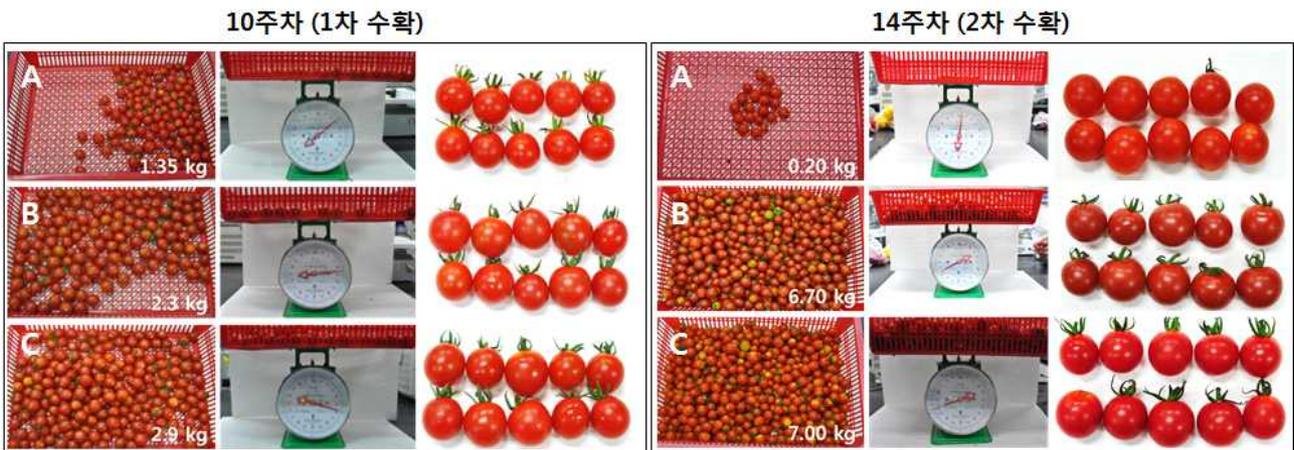


그림 124. 처리별 꼬꼬 미니방울토마토의 수확량

A: 노지, B: 일반 PE 비닐 하우스, C: ATO 코팅 처리 하우스

○ 한편, 꼬꼬 토마토의 처리별 광합성능력을 확인하기 위해 엽록소 (chlorophyll) a, 엽록소 b, 총 엽록소 함량 (a+b)을 측정하고 식물체의 노화 및 스트레스의 지표가 되는 엽록소 비 (a/b) 및 빛 에너지를 흡수해서 엽록소에 전달함으로써 식물의 광합성을 돕고 자외선에 의한 활성 산소를 제거하는 색소인 카로티노이드 (carotenoid) 함량을 측정하여 처리별로 비교함.

- 엽록소 및 카로티노이드 함량 측정은 처리별로 3개체씩 각 3엽으로부터 추출 후 3반복씩 흡광도를 측정하여 평균을 비교하였으며, 처리평균은 Arnon (1949) 및 Lichtenthaler (1987)의 계산식을 이용하여 환산함. 엽록소 함량을 조사한 결과 두 하우스 내 개체들이 노지 개체들 보다 높게 측정되었으며, 카로티노이드 함량도 동일한 결과로 나타남 (표 34).
- 한편, 엽록소 a/b 함량비는 1차 수확 시 측정한 결과에서 노지에서 가장 높게 확인되었으며, 이는 두 하우스 내 개체들과 비교했을 때 노지의 개체들이 차단되지 않은 자외선으로 인해 상대적으로 높은 산화스트레스 환경에 노출된 것으로 판단됨 (표 34). 또한 식물체는 높은 스트레스 환경에서 카로티노이드 함량이 증가되며 엽록소를 보호하는 것으로 알려져 있음. 2차 수확일에 두 하우스에서 채취한 샘플들의 총 카로티노이드 함량은 노지에서보다 약 4.66배, 3.95배로 조사되며 높게 확인된 a/b 함량비 결과와 함께 이를 뒷받침해주고 있음 (표 34).
- 이러한 a/b 함량비의 상반되는 결과는 1차 수확 후 지속적인 생육 발달 및 결가지 치기의 중단으로 하우스 내에서 스트레스 환경에 노출되었기 때문으로 사료됨.

처리	chlorophyll content			chl. a/b	carotenoid
	chl. a	chl. b	total chl.(a+b)		
노지	9.163 ± 1.95 b	4.384 ± 0.88 b	13.576 ± 2.83 b	2.08 ± 0.03 a	1.039 ± 0.34 b
1차 일반 PE 비닐하우스	21.327 ± 0.62 a	11.380 ± 0.35 a	32.777 ± 0.94 a	1.87 ± 0.03 b	2.071 ± 0.16 a
ATO 코팅 하우스	22.168 ± 1.95 a	11.616 ± 1.20 a	33.909 ± 3.08 a	1.91 ± 0.03 b	2.424 ± 0.08 a
노지	2.353 ± 0.99 b	1.603 ± 0.40 b	3.965 ± 1.39 b	1.40 ± 0.26 b	0.751 ± 0.29 b
2차 일반 PE 비닐하우스	16.008 ± 4.18 a	7.984 ± 2.11 a	24.042 ± 6.27 a	2.01 ± 0.10 a	3.501 ± 0.78 a
ATO 코팅 하우스	14.407 ± 3.84 a	7.971 ± 2.08 a	22.452 ± 5.89 a	1.80 ± 0.01 a	2.967 ± 0.77 a

표 34. 베리킹 미니방울토마토의 처리별 엽록소 및 카로티노이드 함량 비교

- 또한, 각 처리별로 수확한 과실의 당도를 측정한 결과, 노지의 개체는 평균 5.30 °Brix (5.2~6.0), 일반 PE 비닐 하우스에서는 5.00 °Brix (3.8~6.4), ATO 코팅 처리 하우스 개체들은 5.18 °Brix (4.0~6.2)로 확인되어 노지에서 수확한 개체들이 하우스 재배 개체들보다 당도가 높은 것으로 나타남. 그러나 통계분석 결과 베리킹과 마찬가지로 처리 간 유의미한 차이는 없는 것으로 확인됨 (그림 125).
- 또한 2차 수확한 과실의 당도 측정 결과에서도 동일하게 처리 간 차이가 없는 것으로 확인되었으며, 베리킹과 마찬가지로 모든 처리구에서 평균 7.70, 8.26, 7.48 °Brix로 1차 수확 시 보다 높은 당도를 보임 (그림 125). 위의 결과들을 바탕으로 ATO 코팅 처리가 하우스 내 작물 (토마토) 생육 시 광합성 능력과 그에 따른 과실의 상품성에 부정적인 영향을 주지 않음이 확인됨.

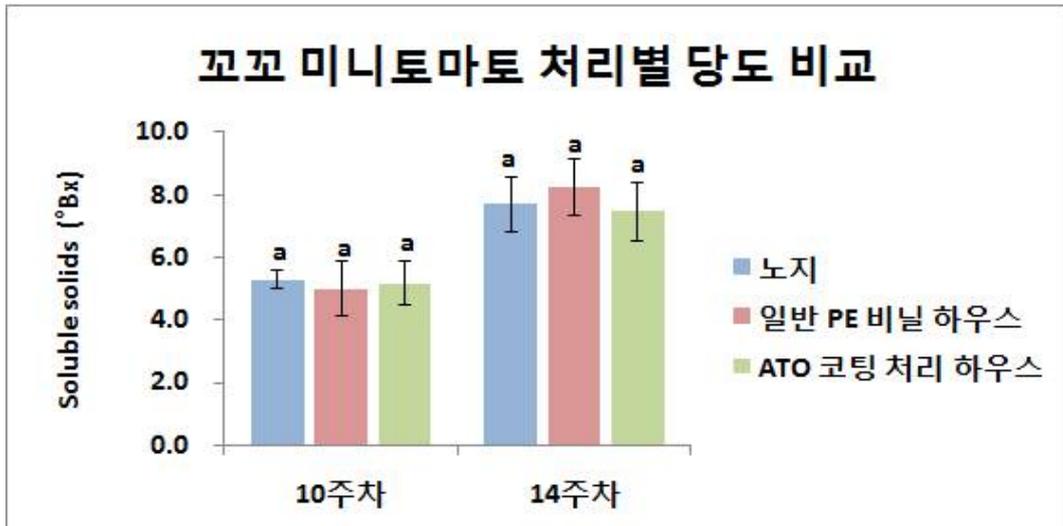


그림 125. 꼬꼬 미니방울토마토의 처리별 당도 비교

(4) 파프리카 (슈퍼엘로우; *Capsicum annuum* var. *angulosum* Mill.)

- 조사기간: 2015.05.25.~2015.08.24.
- 조사항목: 7항목 - 초장, 엽장, 엽폭, 마디수, 줄기둘레, 꽃수, 과실수
- 연구방법: 모종시장에서 구입한 파프리카 모종을 각 처리구별로 재식거리 45 cm X 45 cm 로 이식함 (그림 126). 생육조사는 8주 동안 1주 간격으로 처리별로 10개체씩 선발하여 조사하였으며, 엽장 및 엽폭의 경우에는 개체별로 3엽씩 추가 선발 후 측정하여 비교함. 수집된 데이터는 처리 간 비교를 위해 IBM SPSS ver. 21 (Statistical Package for the Social Sciences, SPSS Inc., Chicago, IL) 통계 프로그램을 이용하여 duncan's multiple range test (DMRT, $p=0.05$)를 수행함. 또한 최종 생육조사 완료 1주 뒤 잎으로부터 엽록소 및 carotenoid 함량을 측정하여 처리 간 비교하였으며, 과실의 경우 동일 색이 변하기 전 5개씩 수확 후 Atago N1 type Hand Refractometer (Atago Co., Tokyo, Japan)를 이용하여 당도 측정을 수행함. 이 후 색이 나타나기 시작하면 추가 수확 후 과실의 당도측정 및 잎으로부터 엽록소 및 carotenoid 함량을 추가 조사함.



그림 126. 모종시장으로부터 구입한 파프리카 (슈퍼엘로우 및 슈퍼레드) 모종의 처리별 이식

- 연구결과 이식 이후 1주간의 생육 적응기간 동안 모든 처리구에서 일부 개체들이 적응하지 못하는 경향을 보였으나 2주차부터 모든 생육이 정상적으로 비례 성장하는 것을 확인함 (그림 127, 표 35).
- 엽장 및 엽폭 조사로 엽의 발달을 확인한 결과, 5주차까지 일반 PE 비닐하우스 및 ATO 코팅 처리 하우스 내 개체들간 유의미한 차이가 나타나지 않았으나 이 후 코팅 처리 하우스에서 더 높이 확인됨 (표 35).
- 꽃의 발달은 일반 PE 비닐하우스에서 4주차부터 상대적으로 높게 조사되었으나, 7주차부터 ATO 코팅 처리 하우스에서 더 높은 발달을 보임 (그림 128).
- 과실의 경우도 일반 PE 비닐하우스에서 꽃의 발달과 비례하게 높게 조사되었으며, 8주차 조사 결과 타 처리구들과 상대적으로 많은 차이를 보임 (그림 128).



그림 127. 슈퍼엘로우 파프리카의 처리 및 주차별 생육 사진

항목	기간	치 리		
		노지	일반 PE 비닐하우스	ATO 코팅 처리 하우스
초장 (cm)	0주차	22.59 ± 1.68	22.59 ± 1.68	22.59 ± 1.68
	1주차	22.72 ± 2.24 ab	20.87 ± 2.57 b	23.48 ± 1.70 a
	2주차	22.72 ± 2.08 a	22.66 ± 2.85 a	24.84 ± 1.70 a
	3주차	25.53 ± 3.29 a	24.15 ± 4.56 a	27.29 ± 1.90 a
	4주차	29.18 ± 4.32 a	31.16 ± 5.59 a	32.67 ± 2.89 a
	5주차	33.54 ± 4.02 b	37.29 ± 6.59 ab	40.26 ± 4.65 a
	6주차	37.02 ± 7.26 b	42.65 ± 8.54 ab	48.61 ± 4.84 a
	7주차	39.44 ± 6.00 c	47.31 ± 10.80 b	58.91 ± 6.63 a
엽장 (cm)	0주차	8.13 ± 1.07	8.13 ± 1.07	8.13 ± 1.07
	1주차	7.01 ± 0.35 b	9.17 ± 0.93 a	8.42 ± 1.33 a
	2주차	7.00 ± 0.47 b	9.70 ± 1.31 a	9.38 ± 1.58 a
	3주차	7.19 ± 0.60 b	10.69 ± 1.49 a	10.55 ± 1.56 a
	4주차	7.70 ± 0.45 b	11.78 ± 1.64 a	11.71 ± 1.77 a
	5주차	8.19 ± 0.60 b	12.80 ± 1.73 a	13.09 ± 2.25 a
	6주차	8.51 ± 0.97 c	13.17 ± 1.82 b	15.33 ± 1.81 a
	7주차	9.02 ± 0.81 c	14.06 ± 2.04 b	16.68 ± 1.41 a
엽폭 (ea)	0주차	4.58 ± 0.65	4.58 ± 0.65	4.58 ± 0.65
	1주차	3.85 ± 0.25 b	5.08 ± 0.72 a	4.76 ± 0.73 a
	2주차	3.88 ± 0.19 a	5.43 ± 0.93 a	5.70 ± 1.18 a
	3주차	4.01 ± 0.26 b	5.99 ± 1.11 a	5.80 ± 0.97 a
	4주차	4.46 ± 0.21 b	6.30 ± 0.87 a	6.35 ± 1.08 a
	5주차	4.47 ± 0.26 b	7.02 ± 1.04 a	7.13 ± 1.19 a
	6주차	4.52 ± 0.46 c	6.91 ± 0.79 b	8.07 ± 1.07 a
	7주차	4.69 ± 0.50 c	7.34 ± 0.88 b	8.89 ± 0.93 a
마디수 (g)	0주차	8.00 ± 1.18	8.00 ± 1.18	8.00 ± 1.18
	1주차	8.90 ± 0.78 a	8.50 ± 0.92 a	9.30 ± 1.30 a
	2주차	10.10 ± 1.30 a	9.70 ± 1.18 a	10.10 ± 1.30 a
	3주차	10.60 ± 0.91 a	10.10 ± 1.04 a	10.60 ± 0.80 a
	4주차	12.80 ± 1.66 a	12.50 ± 1.28 a	13.20 ± 1.07 a
	5주차	14.40 ± 2.15 b	15.80 ± 1.72 ab	17.00 ± 1.00 a
	6주차	15.30 ± 1.95 a	16.10 ± 2.38 a	17.20 ± 1.07 a
	7주차	18.30 ± 2.10 b	18.77 ± 2.81 ab	20.90 ± 1.64 a
줄기 둘레 (g)	0주차	2.71 ± 0.22	2.71 ± 0.22	2.71 ± 0.22
	1주차	2.97 ± 0.11 a	2.97 ± 0.15 a	2.77 ± 0.29 a
	2주차	3.12 ± 0.11 a	3.09 ± 0.23 a	2.91 ± 0.37 a
	3주차	3.26 ± 0.12 a	3.47 ± 0.29 a	3.33 ± 0.37 a
	4주차	3.58 ± 0.27 a	3.92 ± 0.35 a	3.72 ± 0.43 a
	5주차	3.86 ± 0.23 a	4.58 ± 0.58 a	4.39 ± 0.29 a
	6주차	4.16 ± 0.31 b	4.83 ± 0.60 a	5.11 ± 0.47 a
	7주차	4.50 ± 0.34 b	5.37 ± 0.80 a	5.92 ± 0.65 a
8주차	4.88 ± 0.50 b	5.86 ± 1.00 a	6.42 ± 0.62 a	

표 35. 처리별 슈퍼엘로우 파프리카의 생육 비교

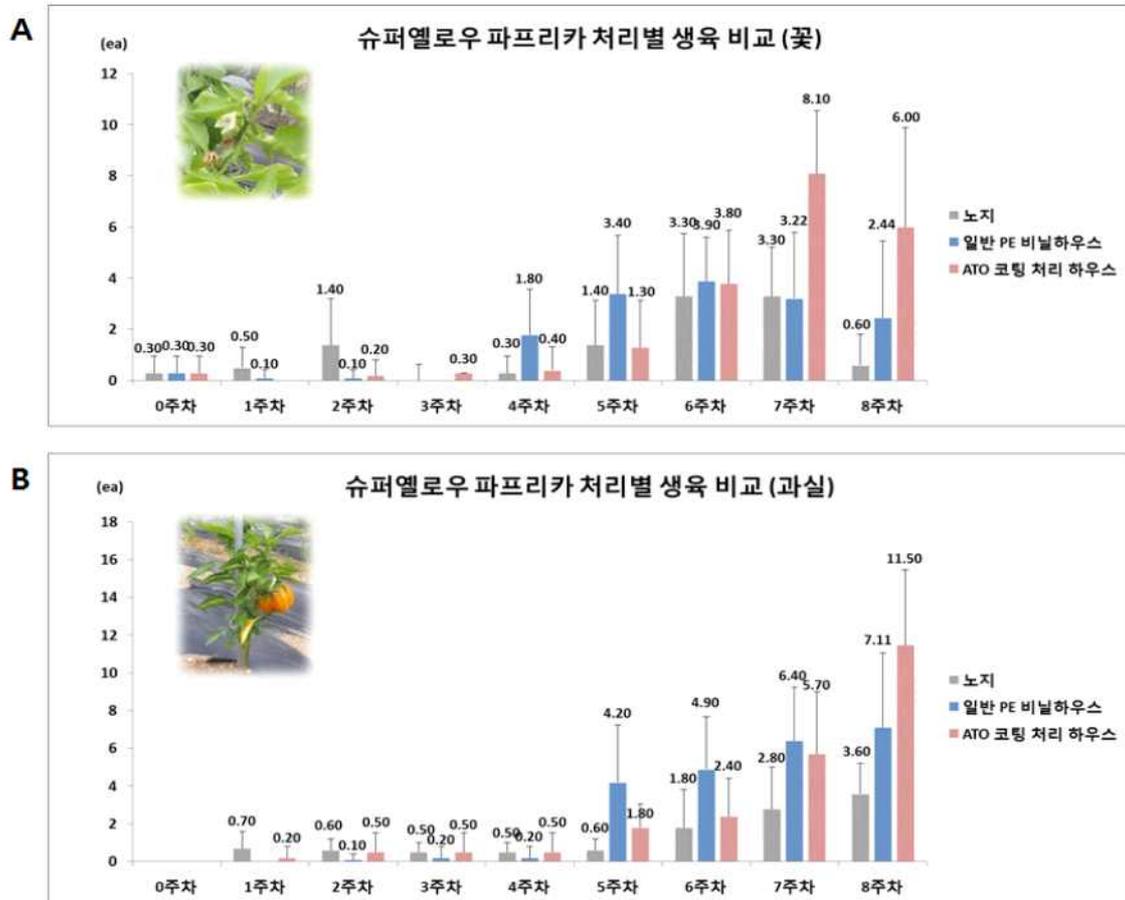


그림 128. 슈퍼엘로우 파프리카의 꽃 및 과실의 발달 비교
A: 꽃 수, B: 과실 수

- 8주의 생육 조사 후 9주차부터 2주 단위로 3회 과실을 수확하여 수확량을 조사하고 처리별로 5개체씩 당도 측정을 수행하였으며 (그림 129), 수확당일 채취한 잎으로부터 엽록소 및 카로티노이드 함량을 측정함.
- 파프리카는 국립농산물품질관리원고시 제2013-42호[농산물 표준규격]에 (규격번호 2101) 표 103의 피망을 기준으로 무게가 다른 것이 5% 이하인 것과 10% 이하인 것으로 특, 상 등급으로 규정하며, 이외에는 보통으로 규격화함. 무게는 특 등급에서만 적용하며 표 2-19의 S, M, L에 해당함.
- 3차 수확 (13주차) 개체들의 1과의 평균 무게를 조사 결과 모든 처리구의 개체들 평균이 110 g 미만으로 나타났으나 (표 38), 두 하우스 내 개체별로는 M 등급에서 2 S까지 다양하게 조사됨 (data not shown). 그러나 노지에서 수확한 모든 개체들은 35.50 g부터 80.57 g으로 낮게 측정되어 상품성이 떨어지는 것으로 확인됨 (data not shown). 또한 처리 간에 LSD (least-significant difference) 다중 비교 방법으로 사후 검정을 수행한 결과, 노지와 일반 PE 비닐하우스, 노지와 ATO 처리 하우스 간에는 차이가 있는 것으로 분석되었으나 두 하우스 처리 간에는 유의한 차이가 없는 것으로 확인됨 (표 38).

○ 3차로 수확한 과실의 총 무게를 측정한 결과, 일반하우스에서 1.00 kg, ATO 처리 하우스에서 1.55 kg으로 확인되었으며, 노지는 0.35 kg으로 두 처리군보다 약 65%, 77% 낮게 조사됨 (그림 130).



그림 129. 당도측정을 위한 처리별 슈퍼엘로우 파프리카 수확

구분	호칭		
	L	M	S
1과의 무게 (g)	100 이상	50 이상 - 100 미만	50 미만

표 36. 피망의 크기구분

구분	호칭				
	2L	L	M	S	2S
1과의 무게 (g)	240 이상	180 이상-240 미만	140 이상-180 미만	110 이상-140 미만	110 미만

표 37. 파프리카의 크기구분

	노지	일반 PE 비닐 하우스	ATO 코팅처리 하우스
1과 무게 (g)	51.39 ± 17.80	102.03 ± 31.16	103.71 ± 43.15
treatment (1)	treatment (2)	sig. (p=0.05)	LSD post-hoc
노지	일반 PE 비닐하우스	0.030	노지 < 일반 PE 비닐하우스 +
노지	ATO 코팅처리 하우스	0.015	노지 < ATO 코팅처리 하우스 +
일반 PE 비닐 하우스	ATO 코팅처리 하우스	0.922	일반 PE 비닐하우스 < ATO 코팅처리 하우스 ^{NS}

표 38. 처리별 슈퍼엘로우 파프리카 1과의 무게 측정 결과+ p<0.05, NS: no significant difference



그림 130. 당도측정을 위한 슈퍼옐로우 파프리카의 처리별 성숙과실 수확

- 한편, 슈퍼옐로우 파프리카의 처리별 광합성능력을 확인하기 위해 1차 (9주차) 및 3차 (13주차) 수확 시 엽록소 (chlorophyll) a와 b, 총 엽록소 함량 (a+b), 엽록소 비 (a/b) 및 카로티노이드 (carotenoid) 함량을 측정하여 처리별로 비교함.
- 엽록소 및 카로티노이드 함량 측정은 미니방울토마토 조사와 동일한 방법으로 처리별로 3개체씩 각 3엽으로부터 추출 후 3반복씩 흡광도를 측정하고 Arnon (1949) 및 Lichtenthaler (1987)의 계산식을 이용하여 처리 간 평균을 비교함.
- 엽록소 함량을 조사한 결과, 9주차에는 엽록소 함량이 두 하우스 내 개체들이 노지의 개체들보다 높게 조사되었으나 엽록소 a/b 함량비와 카로티노이드 함량은 모든 처리구에서 차이가 없는 것으로 나타남 (표 39).
- 13주차에는 엽록소 및 카로티노이드 함량 등 모든 조사 항목에서 유의성을 보이며 두 하우스 내 개체들이 노지의 개체들보다 높게 확인됨 (표 39).

처리	chlorophyll content			chl. a/b	carotenoid
	chl. a	chl. b	total chl.(a+b)		
노지	6.687 ± 0.34 b	3.597 ± 0.01 b	10.306 ± 0.35 b	1.86 ± 0.09 a	1.121 ± 0.09 a
9주차 일반 PE 비닐하우스	21.477 ± 0.47 a	11.414 ± 0.51 a	32.961 ± 0.92 a	1.88 ± 0.06 a	2.148 ± 1.06 a
ATO 코팅 하우스	21.880 ± 1.87 a	12.164 ± 0.79 a	34.182 ± 2.66 a	1.80 ± 0.06 a	2.372 ± 0.45 a
노지	1.386 ± 0.51 b	1.242 ± 0.27 b	2.634 ± 0.78 b	1.07 ± 0.21 b	0.114 ± 0.09 b
13주차 일반 PE 비닐하우스	19.281 ± 0.67 a	9.912 ± 0.57 a	29.255 ± 0.72 a	1.95 ± 0.15 a	2.354 ± 0.29 a
ATO 코팅 하우스	20.902 ± 4.14 a	10.915 ± 3.78 a	31.965 ± 7.97 a	2.01 ± 0.28 a	3.013 ± 0.66 a

표 39. 슈퍼엘로우 파프리카의 처리별 엽록소 및 카로티노이드 함량 비교

- 각 처리별로 수확한 과실의 당도를 측정된 결과, 9주차 과실의 색이 변하기 전에는 모든 처리구에서 유의성을 보이며 일반 PE 비닐하우스 내 과실 당도가 가장 높은 것으로 확인된 반면 11주차에 색이 바뀌는 단계에서는 ATO를 코팅 처리한 하우스 내 개체들이 당도가 낮게 측정됨 (그림 131). 그러나 13주차에 성숙한 과실로부터 측정된 당도는 노지에서 평균 7.08 °Brix (6.4~8.0), 일반 PE 비닐하우스와 ATO 처리 비닐하우스에서는 각각 평균 7.56 °Brix (6.8~9.0), 7.20 °Brix (6.4~7.8)로 모든 처리구에서 차이가 없는 것으로 확인됨 (그림 131).
- 오히려 ATO 처리구에서 각 개체 간 표준편차가 적게 확인됨에 따라 상품의 균일성이 상대적으로 더 좋은 것으로 사료됨 (그림 131).

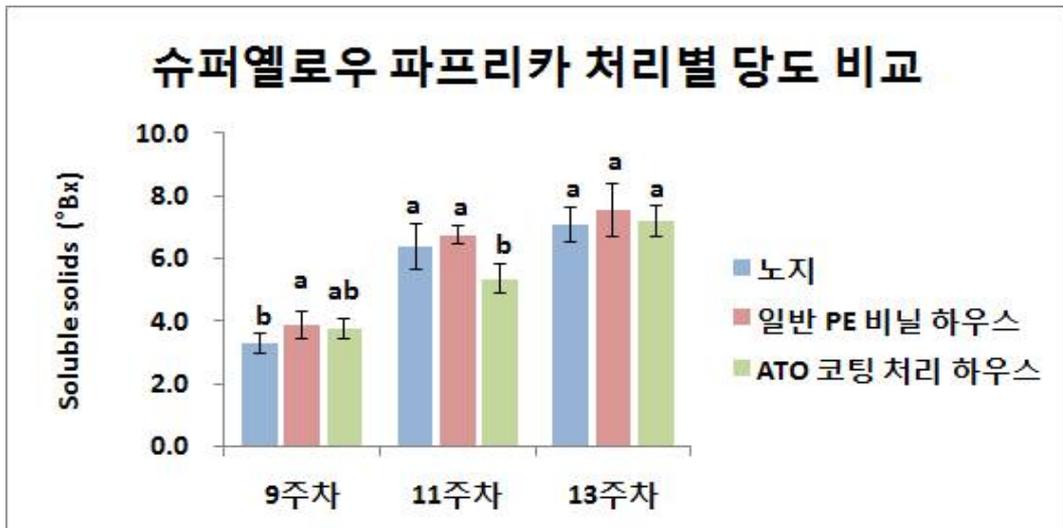


그림 131. 슈퍼엘로우 파프리카의 처리별 당도 비교

- 과실 수량성은 9주차, 11주차, 13주차에 당도 측정된 개체들을 포함한 총 과실수를 조사하여 누적그래프로 나타냄 (그림 132). 9주차 조사에서 노지의 개체들이 두 하우스 내 개체들에 비해 매우 낮은 수량성을 보였으나, 2차 (11주차) 조사 결과, 두 하우스에서 과실 수가 1차 조사 대비 9.09%, 11.11% 증가한 것에 비해 노지에서는 3.1배 (210%) 증가하며 높은 발달을 보임 (그림 132).

- 최종 수량은 노지에서 37개, 일반 PE 비닐하우스 및 ATO 처리 하우스에서 각각 65개, 61개로 조사됨으로써 (그림 132) 두 하우스 간에는 큰 차이가 없으며, 이에 ATO 코팅 처리가 작물 생육 및 상품 수량에 부정적인 영향을 미치지 않음이 확인됨.

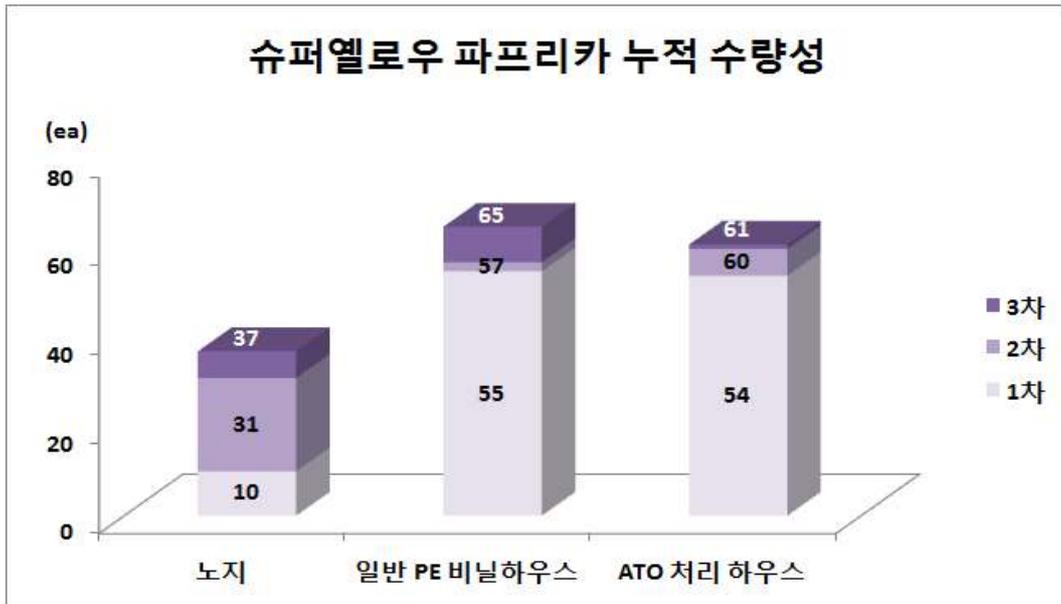


그림 132. 슈퍼엘로우 파프리카 누적 수량성

(5) 파프리카 (슈퍼레드; *Capsicum annuum* var. *angulosum* Mill.)

- 조사기간: 2015.05.25.~2015.08.24.
- 조사항목: 7항목 - 초장, 엽장, 엽폭, 마디수, 줄기둘레, 꽃수, 과실수
- 연구방법: 슈퍼레드 파프리카 생육조사는 8주 동안 1주 간격으로 처리별로 10개체씩 선발하여 조사하였으며, 엽장 및 엽폭의 경우에는 개체별로 3엽씩 추가 선발 후 측정하여 비교함. 수집된 데이터는 처리 간 비교를 위해 IBM SPSS ver. 21 (Statistical Package for the Social Sciences, SPSS Inc., Chicago, IL) 통계 프로그램을 이용하여 duncan's multiple range test (DMRT, p=0.05)를 수행함. 또한 최종 생육조사 완료 1주 뒤 이후로부터 엽록소 및 carotenoid 함량을 측정하여 처리 간 비교하였으며, 과실의 경우 동일 색이 변하기 전 5개씩 수확 후 Atago N1 type Hand Refractometer (Atago Co., Tokyo, Japan)를 이용하여 당도 측정을 수행함. 이 후 색이 나타나기 시작하면 추가 수확 후 과실의 당도측정 및 이후로부터 엽록소 및 carotenoid 함량을 추가 조사함.
- 연구결과 이식 후 생육 적응기간 동안 일부 개체들이 적응하지 못하는 경향을 보였으나 ATO 처리 하우스 내에서 3주차와 4주차에 2개체가 사멸한 것을 제외하고, 2주차부터 모든 생육이 정상적으로 비례 성장함 (그림 133, 표 40). 엽장 및 엽폭 조사로 엽의 발달을 확인한 결과, 슈퍼엘로우와 달리 5주차까지 일반 PE 비닐하우스 내 개체들이 상대적으로 발달이 더 높은 것으로 확인되었으나 그 후부터는 일부 개체를 제외하고 두 처리 간에 차이는 없었음 (표 40).

○ 꽃의 경우에는 5주차를 제외하고 두 처리간에 유사한 발달을 보였으며 8주차에는 ATO 코팅 처리 하우스 내에서 꽃의 발달이 상대적으로 더 높은 것으로 확인됨 (그림 134A). 과실의 경우에는 두 처리 평균 간에 유의미한 차이가 확인되지 않음 (그림 134B).



그림 133. 슈퍼레드 파프리카의 처리 및 주차별 생육 사진

항목	기간	처 리		
		노지	일반 PE 비닐하우스	ATO 코팅 처리 하우스
초장 (cm)	0주차	27.00 ± 2.01	27.00 ± 2.01	27.00 ± 2.01
	1주차	25.75 ± 2.66 ab	24.92 ± 3.37 b	28.64 ± 3.14 a
	2주차	26.73 ± 2.92 b	26.32 ± 2.89 b	29.96 ± 3.30 a
	3주차	27.53 ± 2.48 ab	26.60 ± 4.61 b	31.18 ± 4.99 a
	4주차	31.39 ± 3.63 a	30.75 ± 3.93 a	34.63 ± 5.80 a
	5주차	34.68 ± 4.50 a	34.88 ± 5.62 a	37.57 ± 6.05 a
	6주차	36.74 ± 4.73 b	38.71 ± 7.17 b	45.67 ± 8.51 a
	7주차	37.74 ± 4.73 b	42.46 ± 8.25 b	52.48 ± 11.69 a
엽장 (cm)	0주차	9.13 ± 0.90	9.13 ± 0.90	9.13 ± 0.90
	1주차	9.09 ± 0.81 b	9.88 ± 0.80 a	8.08 ± 0.59 c
	2주차	9.38 ± 2.92 b	10.21 ± 2.89 a	8.21 ± 3.34 c
	3주차	9.58 ± 0.71 b	11.03 ± 0.81 a	8.70 ± 0.83 b
	4주차	10.05 ± 0.90 b	12.10 ± 0.97 a	10.78 ± 0.59 b
	5주차	10.39 ± 1.05 b	12.69 ± 1.17 a	11.26 ± 1.17 b
	6주차	10.79 ± 0.93 b	12.93 ± 1.16 a	12.40 ± 1.35 a
	7주차	10.30 ± 1.10 b	13.74 ± 1.37 a	13.22 ± 2.37 a
엽폭 (ea)	0주차	4.81 ± 0.47	4.81 ± 0.47	4.81 ± 0.47
	1주차	4.80 ± 0.45 b	5.36 ± 0.47 a	4.44 ± 0.35 b
	2주차	4.81 ± 0.83 b	5.71 ± 0.78 a	4.54 ± 0.70 b
	3주차	5.14 ± 0.37 b	6.14 ± 0.44 a	5.11 ± 0.45 b
	4주차	5.36 ± 0.45 b	6.53 ± 0.42 a	6.45 ± 1.37 a
	5주차	5.64 ± 0.52 b	6.95 ± 0.56 a	6.05 ± 0.42 b

	6주차	5.64 ± 0.49 b	7.01 ± 0.58 a	6.67 ± 0.86 a
	7주차	5.51 ± 0.58 b	7.31 ± 0.74 a	6.85 ± 1.09 a
	8주차	5.64 ± 0.45 b	7.34 ± 0.71 a	7.25 ± 0.86 a
마디수 (g)	0주차	10.20 ± 1.32	10.20 ± 1.32	10.20 ± 1.32
	1주차	10.90 ± 0.94 a	11.80 ± 1.40 a	11.60 ± 1.85 a
	2주차	12.10 ± 1.13 a	12.30 ± 1.48 a	12.40 ± 1.68 a
	3주차	12.20 ± 1.32 a	12.50 ± 1.11 a	12.44 ± 0.95 a
	4주차	13.60 ± 1.20 a	13.80 ± 0.97 a	14.62 ± 1.21 a
	5주차	15.90 ± 0.83 b	17.60 ± 2.45 ab	18.00 ± 1.50 a
	6주차	17.00 ± 1.18 a	18.50 ± 2.53 a	18.25 ± 1.63 a
	7주차	18.70 ± 1.26 b	19.70 ± 1.48 ab	21.00 ± 1.93 a
줄기 둘레 (g)	0주차	3.17 ± 0.19	3.17 ± 0.19	3.17 ± 0.19
	1주차	3.28 ± 0.21 a	3.16 ± 0.19 a	3.07 ± 0.27 a
	2주차	3.47 ± 0.18 a	3.21 ± 0.12 b	3.22 ± 0.12 b
	3주차	3.61 ± 0.18 a	3.56 ± 0.22 a	3.52 ± 0.32 a
	4주차	3.86 ± 0.16 a	3.87 ± 0.24 a	3.76 ± 0.23 a
	5주차	4.20 ± 0.29 a	4.21 ± 0.41 a	4.23 ± 0.48 a
	6주차	4.37 ± 0.24 b	4.62 ± 0.57 ab	4.98 ± 0.55 a
	7주차	4.74 ± 0.20 b	5.06 ± 0.69 b	5.68 ± 0.70 a
8주차	4.59 ± 0.23 b	5.37 ± 0.70 a	5.95 ± 1.07 a	

표 40. 처리별 슈퍼레드 파프리카의 생육 비교

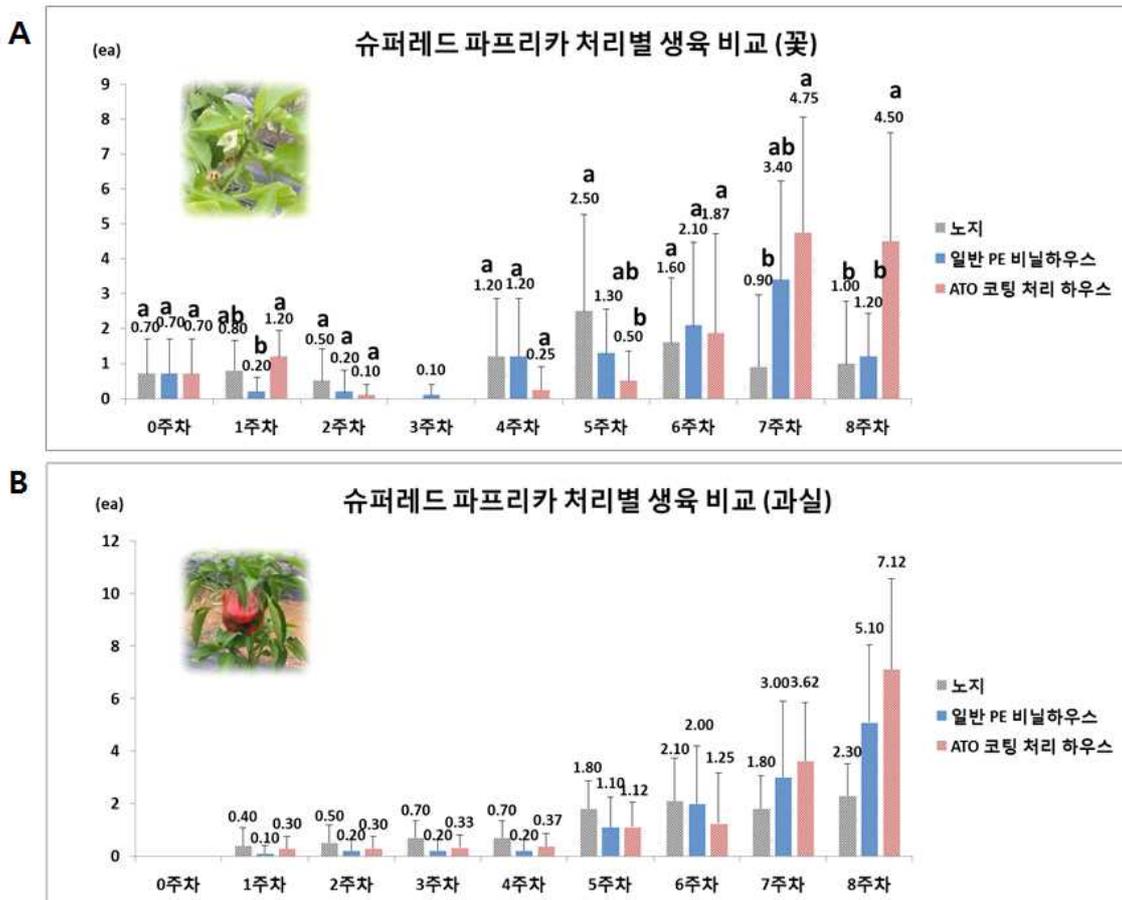


그림 134. 슈퍼레드 파프리카의 꽃 및 과실의 발달 비교

A: 꽃 수, B: 과실 수

- 8주의 생육 조사 후 9주차부터 2주 단위로 3회 과실을 수확하여 수확량을 조사하고 처리별로 5개체씩 당도 측정을 수행하였으며 (그림 135), 수확당일 채취한 잎으로부터 엽록소 및 카로티노이드 함량을 측정함.
- 3차 수확 (13주차) 개체들의 1과의 평균 무게를 조사 결과, 슈퍼엘로우와 달리 두 하우스 내 개체들은 평균 S로 확인되어 무게에 따른 상품등급은 특 등급으로 분류됨 (표 41).
- 또한 두 하우스에서 개체별로는 L 등급에서 2S까지 다양하게 조사되었으나 노지에서 수확한 개체들은 32.03 g부터 96.07 g으로 낮게 측정되어 상품성이 떨어지는 것으로 확인됨 (data not shown).
- 또한 처리 간에 LSD (least-significant difference) 다중 비교 방법으로 사후 검정을 수행한 결과, 노지와 일반 PE 비닐하우스 및 노지와 ATO 처리 하우스 내 개체들은 차이가 있는 것으로 분석되었으나 두 하우스 처리 간에는 유의한 차이가 없는 것으로 확인됨 (표 41).
- 3차로 수확한 성숙 과실의 총 무게를 측정한 결과, 일반하우스에서 1.25 kg, ATO 처리 하우스에서 0.85 kg으로 확인되었으며, 노지는 0.25 kg으로 두 처리군보다 약 80.00%, 70.59% 낮게 조사됨 (그림 136).

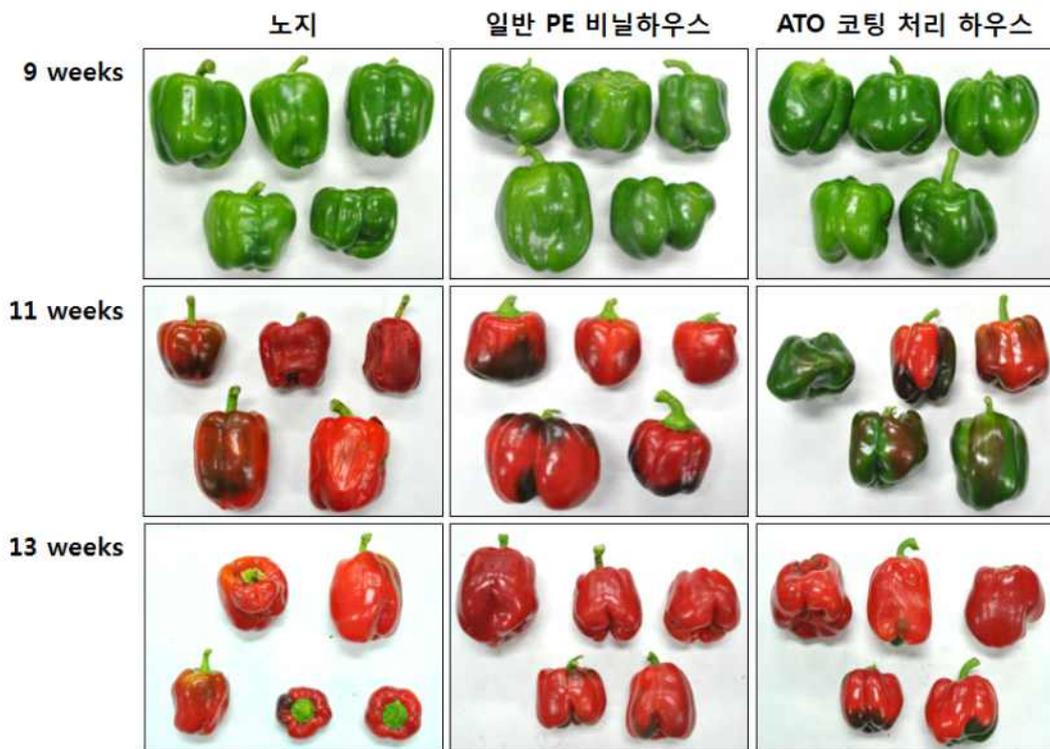


그림 135. 당도측정을 위한 처리별 슈퍼레드 파프리카 수확

	노지	일반 PE 비닐 하우스	ATO 코팅처리 하우스
1과 무게 (g)	60.53 ± 26.88	136.80 ± 39.03	114.21 ± 35.19
treatment (1)	treatment (2)	sig. (p=0.05)	LSD post-hoc
노지	일반 PE 비닐하우스	0.006	노지 < 일반 PE 비닐하우스 ++
노지	ATO 코팅처리 하우스	0.049	노지 < ATO 코팅처리 하우스 +
일반 PE 비닐 하우스	ATO 코팅처리 하우스	0.297	일반 PE 비닐하우스 > ATO 코팅처리 하우스 NS

표 41. 처리별 슈퍼엘로우 파프리카 1과의 무게 측정 결과
+ p<0.05, ++ p<0.01, NS: no significant difference



그림 136. 당도측정을 위한 슈퍼레드 파프리카의 처리별 성숙과실 수확

- 한편 슈퍼레드 파프리카의 처리별 광합성능력을 확인하기 위해 엽록소 및 카로티노이드 함량을 조사한 결과, 9주차에는 두 하우스 내 개체들이 노지의 개체들보다 높게 조사되었으나 엽록소 a/b 함량비는 슈퍼엘로우와 마찬가지로 처리 간 차이가 없는 것으로 확인됨 (표 42).
- 13주차에는 엽록소 함량이 각 처리별로 유의성을 보이며 ATO 처리 하우스 > 일반 PE 비닐하우스 > 노지 순으로 높게 측정되었으나, 엽록소 a/b 함량비는 두 하우스 간에는 차이가 없었으며, 카로티노이드 함량은 모든 처리 평균 간에 유의미한 차이가 없는 것으로 분석됨 (표 42).

처리	chlorophyll content			chl. a/b	carotenoid
	chl. a	chl. b	total chl.(a+b)		
노지	7.778 ± 1.73 b	4.567 ± 0.95 b	12.372 ± 2.69 b	1.70 ± 0.04 a	0.960 ± 0.09 b
9주차 일반 PE 비닐하우스	20.906 ± 2.37 a	12.135 ± 1.80 a	33.114 ± 4.18 a	1.73 ± 0.06 a	2.240 ± 0.29 a
ATO 코팅 하우스	19.647 ± 1.09 a	11.048 ± 0.82 a	30.816 ± 1.88 a	1.78 ± 0.04 a	2.011 ± 0.07 a
노지	1.515 ± 0.08 c	1.252 ± 0.01 c	2.774 ± 0.08 c	1.21 ± 0.06 b	0.252 ± 0.07 a
13주차 일반 PE 비닐하우스	10.314 ± 2.86 b	4.833 ± 1.02 b	15.178 ± 3.88 b	2.10 ± 0.20 a	1.370 ± 0.34 a
ATO 코팅 하우스	20.124 ± 1.79 a	9.033 ± 0.96 a	29.272 ± 2.77 a	2.23 ± 0.07 a	0.662 ± 1.83 a

표 42. 슈퍼레드 파프리카의 처리별 엽록소 및 카로티노이드 함량 비교

- 각 처리별로 수확한 과실의 당도를 측정 한 결과에서는, 슈퍼엘로우 품종과 마찬가지로 과실의 색이 변하기 전에는 모든 처리구에서 유의성을 보이며 일반 PE 비닐하우스 내 과실 당도가 가장 높은 것으로 확인되었고, 11주차에 색이 바뀌는 단계에서는 ATO를 코팅 처리한 하우스 내 개체들이 당도가 낮게 측정됨 (그림 137).
- 그러나 13주차에 성숙한 과실로부터 측정 한 당도는 노지에서 평균 7.75 °Brix (5.2~9.0), 일반 PE 비닐하우스와 ATO 처리 비닐하우스에서는 각각 평균 7.40 °Brix (6.4~8.0), 7.50 °Brix (6.0~9.0)로 모든 처리구에서 차이가 없는 것으로 확인됨 (그림 137). 따라서 ATO 코팅 처리가 하우스 내 작물의 광합성 및 그에 따른 과실의 당도에 부정적인 영향을 미치지 않음이 확인됨.

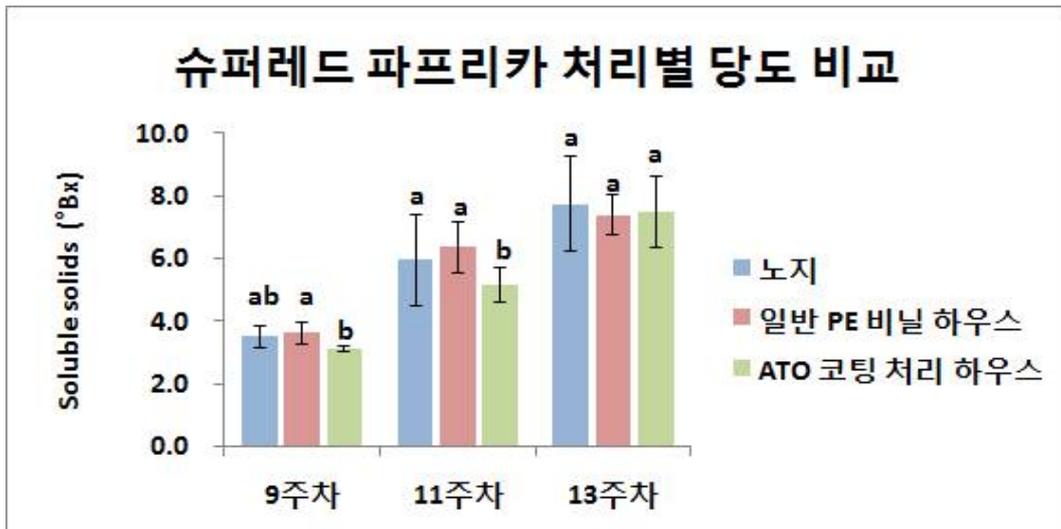


그림 137. 슈퍼레드 파프리카의 처리별 당도 비교

- 한편 당도 측정 한 개체들을 포함한 총 과실 수량성을 조사한 결과, 1차 (9주차) 조사에서 노지의 개체들이 두 하우스 내 개체들에 비해 11~14개 차이로 상대적으로 낮은 수량성을 보임 (그림 138).
- 2차 (11주차) 조사에서는 노지에서 8개, 일반 PE 비닐하우스 및 ATO 처리 하우스에서 각각 9개, 11개 증가하였고, 최종 수량성은 노지에서 32개, 두 하우스에서 각각 42개, 45개로 조사됨 (그림 138). 이때, ATO 처리 하우스 내 과실 수량은 노지와 일반 PE 비닐하우스에

비해 20% 적은 개체수에서 조사된 것으로 동일한 개체수를 기준으로 했을 때 56.25개로 상대적으로 매우 높은 수량성을 나타냄 (data not shown).

- 따라서, ATO 코팅 처리가 작물 생육 및 상품 수량에 부정적인 영향을 미치지 않으며, 오히려 일반 PE 비닐 하우스에 비해 높은 수량성을 보임에 따라 기존 비닐 소재를 보강할 피복 소재로 유용할 것으로 사료됨.

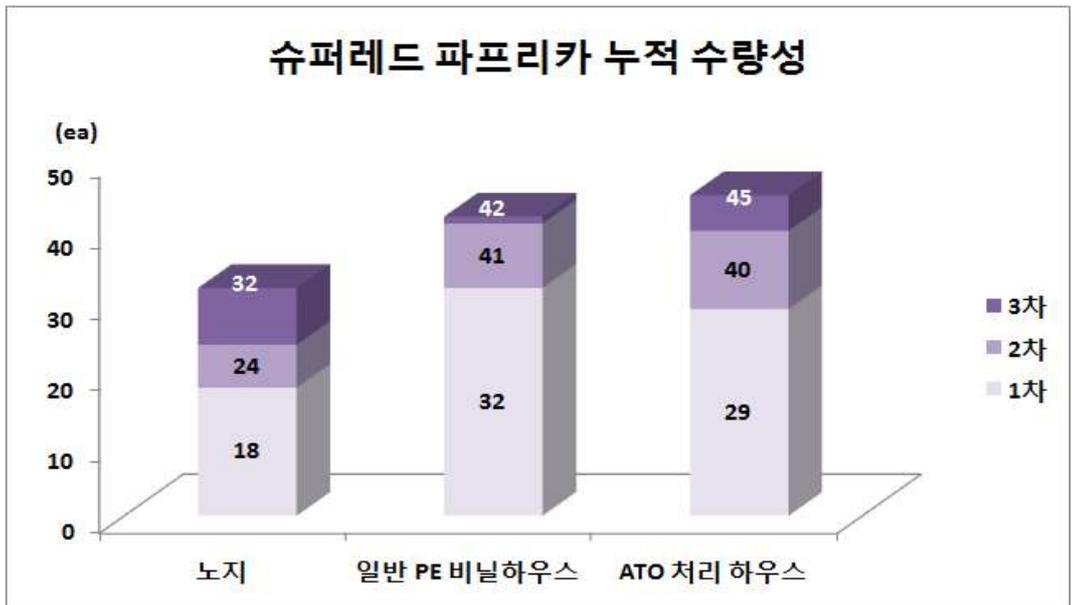


그림 138. 슈퍼레드 파프리카 누적 수량성

(6) 가지 (조생종 흑장 가지; *Solanum melongena* L.) 생육 비교

- 연구장소: 강원도 홍천군 동면 노천리 1942번지
- 조사기간: 2015.05.07.~2015.08.05.
- 조사항목: 7 항목 - 초장, 엽장, 엽폭, 마디수, 줄기 둘레, 꽃, 과실
- 연구방법: 모종시장에서 구입한 파프리카 모종을 제1세부에서 제작한 일반 PE 비닐하우스 및 ATO 코팅 처리 하우스 (60 m²) 내에 이랑작업 후 재식거리 60 cm X 60 cm로 이식함 (그림 139). 생육조사는 약 80일 동안 10일 간격으로 처리별로 10개체씩 선별하여 조사하였으며, 엽장 및 엽폭의 경우에는 개체별로 3엽씩 추가 선별 후 측정하여 비교함. 수집된 데이터는 처리 간 비교를 위해 IBM SPSS ver. 21 (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), ** (p<0.01) 또는 *** (p<0.001)로 나타냄. 또한 70일 생육조사일에 잎으로부터 엽록소 및 carotenoid 함량을 측정하여 처리 간 비교하였으며, 이후 20일 뒤 재측정하고 최종적으로 과실 수확량 확인 및 당도 측정을 수행함.



그림 139. 하우스 설치 현황 및 조생종 흑장 가지의 처리별 이식 사진 <헌지농가실증실험>

- 연구결과 강원도 홍천에 설치한 ATO 처리 및 무처리 하우스 내 가지의 생육발달을 비교한 결과, 초장의 경우 이식 후 50일 까지 두 하우스 간 생육 차이를 보이지 않았으나 그 후 본격적으로 과실이 열리기 시작하면서부터 두 처리 간에 차이가 나타남 (그림 140, 표 43).
- 생육 적응기간을 포함한 약 30일 동안 엽장 및 엽폭의 경우 일정한 생육 발달을 보이지 않았고, 꽃과 과실의 발달이 시작되는 40일 후 부터 일부 유의미한 차이를 보이며 비례하여 증가하는 것으로 확인됨 (표 43).
- 마디수의 경우에는 이식 40일 이후부터 처리 간에 유의차를 보이면서 ATO 처리 하우스 내 가지의 생육이 상대적으로 발달된 것으로 나타났으며, 줄기둘레의 경우는 이식 30일 이후부터 50일차 조사를 제외한 모든 조사일에 두 하우스 간 유의차가 확인됨 (표 43). 특히, 줄기 둘레는 과실의 발달이 본격적으로 시작되는 기간부터 (60일차) 두 하우스에서 고도의 유의차 ($p < 0.001$)를 보이며 처리 간 생육 발달 차이를 보임 (그림 140, 표 43).



그림 140. 조생종 흑장 가지의 처리별 생육 사진

항목	기간	처 리		F value (sig.)	t value	p
		일반 PE 비닐하우스	ATO 코팅 처리 하우스			
초장 (cm)	0	8.38 ± 0.69	8.38 ± 0.69	-	-	-
	10일차	9.61 ± 1.19	9.99 ± 0.85	2.463 (0.134)	-0.775	0.448
	20일차	15.21 ± 0.80	15.30 ± 0.62	1.073 (0.314)	0.036	0.971
	30일차	15.67 ± 1.26	16.84 ± 1.80	1.839 (0.192)	-1.593	0.129
	40일차	25.78 ± 5.28	28.75 ± 5.70	0.083 (0.777)	-1.146	0.267
	50일차	38.79 ± 9.72	44.05 ± 4.00	6.124 (0.024)	-1.500	0.160
	60일차	45.51 ± 6.62	54.34 ± 5.42	0.903 (0.355)	-3.093**	0.006
	70일차	50.23 ± 9.01	59.96 ± 7.94	0.326 (0.575)	-2.428*	0.026
엽장 (cm)	0	5.01 ± 0.76	5.01 ± 0.76	-	-	-
	10일차	7.52 ± 1.24	7.05 ± 0.91	0.935 (0.346)	0.911	0.374
	20일차	10.33 ± 1.08	10.31 ± 1.00	0.128 (0.724)	0.036	0.971
	30일차	9.28 ± 0.94	11.55 ± 1.11	0.421 (0.524)	-4.648***	0.000
	40일차	12.45 ± 2.31	14.78 ± 1.47	3.813 (0.067)	-2.543*	0.020
	50일차	15.19 ± 2.71	16.12 ± 1.53	1.894 (0.186)	-0.900	0.380
	60일차	15.10 ± 1.08	18.80 ± 2.41	6.801 (0.018)	-4.112**	0.001
	70일차	16.71 ± 2.49	18.94 ± 1.40	1.619 (0.219)	-2.326*	0.032
엽폭 (ea)	0	5.01 ± 0.54	5.01 ± 0.54	-	-	-
	10일차	5.03 ± 0.43	4.20 ± 0.59	0.983 (0.335)	3.374**	0.003
	20일차	4.70 ± 0.36	5.03 ± 0.87	0.837 (0.372)	-1.027	0.318
	30일차	6.16 ± 0.44	8.04 ± 0.89	2.918 (0.105)	-5.656***	0.000
	40일차	7.99 ± 1.23	9.23 ± 1.13	0.574 (0.459)	-2.225*	0.039
	50일차	8.60 ± 1.26	9.54 ± 0.99	4.392 (0.051)	0.885	0.388
	60일차	8.64 ± 1.19	9.95 ± 0.97	1.281 (0.273)	-2.517*	0.022
	70일차	9.98 ± 1.58	10.09 ± 0.97	3.850 (0.065)	-0.180	0.859
마디수 (g)	0	6.3 ± 0.45	6.3 ± 0.45	-	-	-
	10일차	6.4 ± 0.49	6.3 ± 0.45	0.750 (0.398)	0.447	0.660
	20일차	6.7 ± 0.45	6.5 ± 0.67	2.359 (0.142)	0.739	0.470
	30일차	7.3 ± 0.78	7.8 ± 0.74	0.120 (0.733)	-1.387	0.182
	40일차	10.4 ± 1.42	12.7 ± 0.90	1.154 (0.297)	-4.087**	0.001
	50일차	12.6 ± 0.48	13.2 ± 0.40	3.429 (0.081)	-2.846*	0.011
	60일차	14.9 ± 1.04	16.2 ± 1.24	0.793 (0.385)	-2.396*	0.028
	70일차	17.1 ± 0.94	18.6 ± 1.28	1.785 (0.198)	-2.829*	0.011
줄기 둘레 (g)	0	0.67 ± 0.07	0.67 ± 0.07	-	-	-
	10일차	0.90 ± 0.08	0.92 ± 0.16	2.218 (0.154)	-0.318	0.754
	20일차	0.91 ± 0.17	0.94 ± 0.18	0.069 (0.795)	-0.352	0.729
	30일차	2.57 ± 0.22	2.81 ± 0.13	3.441 (0.080)	-2.741*	0.013
	40일차	3.38 ± 0.29	3.89 ± 0.39	1.792 (0.197)	-3.094**	0.006
	50일차	3.90 ± 0.51	4.01 ± 0.19	3.405 (0.082)	-0.598	0.558
	60일차	4.00 ± 0.28	4.80 ± 0.30	0.935 (0.346)	-5.657***	0.000
	70일차	4.24 ± 0.33	5.11 ± 0.32	0.116 (0.737)	-5.599***	0.000
80일차	4.59 ± 0.34	5.36 ± 0.39	0.111 (0.743)	-4.419***	0.000	

표 43. ATO 코팅 처리 및 무처리 하우스 내 조생종 흑장 가지의 생육 비교

* p<0.05, ** p<0.01, *** p<0.001

○ 꽃의 경우 이식 40일 후 두 하우스 간 고도의 유의차를 보이며 ATO 처리 하우스에서 2.58 배 많은 것으로 조사됨 (그림 141A). 이 후 꽃의 생육은 70일차까지 과실의 발달과 반비례 하는 것으로 나타났으며, 80일차에는 과실수가 고도의 유의차를 보이며 ATO 처리 하우스에 서 평균 약 1.5개가 더 많이 조사됨 (그림 141).

○ 또한 과실이 발달은 생육 40일차에 두 하우스에서 동시에 시작되었으며 70일차까지 두 하우스 간에 유의미한 생육 차이는 나타나지 않음에 따라 ATO 처리 여부가 과실 생육에 미치는 부정적인 영향은 없는 것으로 확인됨 (그림 141B).

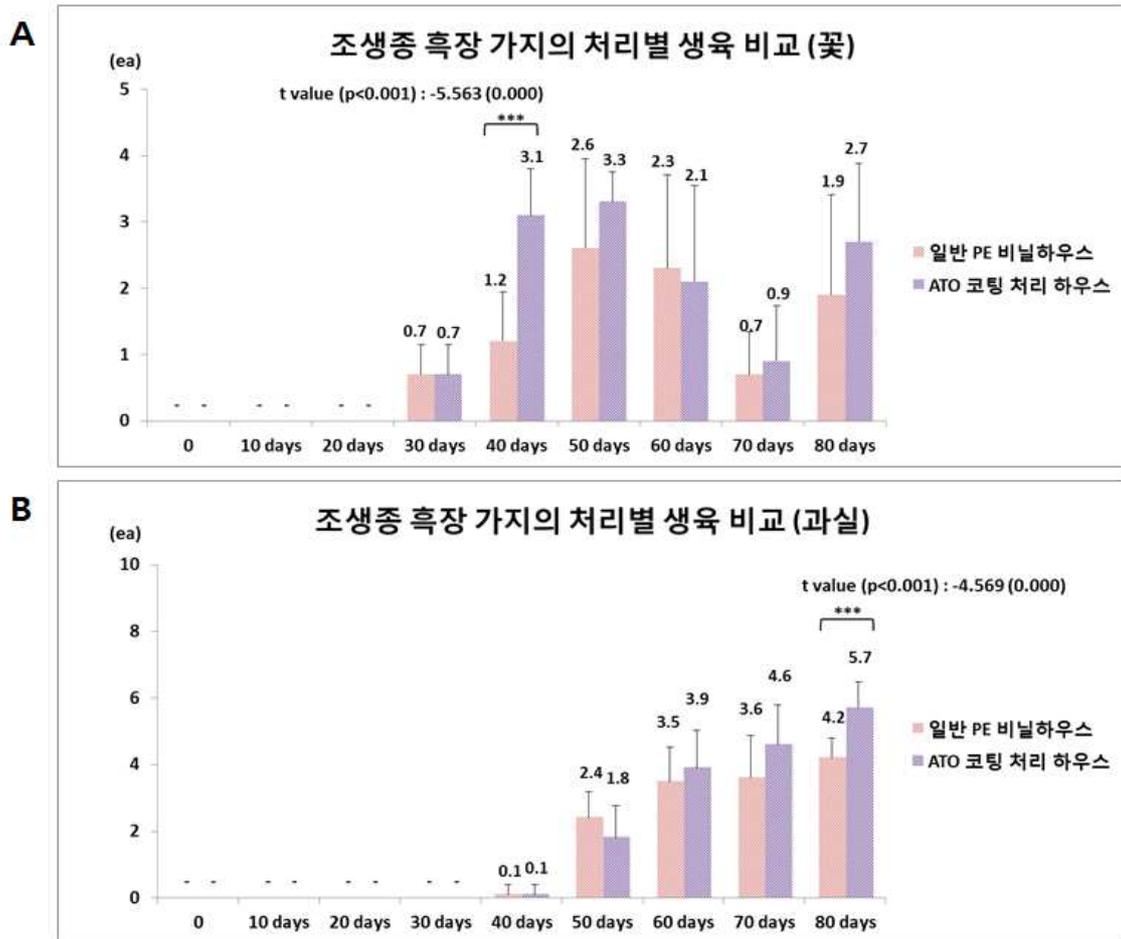


그림 141. 조생종 흑장 가지의 꽃 및 과실의 발달 비교
A: 꽃 수, B: 과실 수

○ 한편, 두 처리별 광합성능력을 확인하기 위해 앞의 실험들과 동일한 방법으로 UV - VIS spectrophotometer (Microplate Spectrophotometer Multiskan GO; Thermo Scientific, USA) 의 96-well microplate reader를 이용하여 663 nm, 645 nm, 470 nm 파장에서 흡광도를 측정하였으며, 엽록소 및 카로티노이드 함량은 처리평균은 Arnon (1949) 및 Lichtenthaler (1987)의 계산식을 이용하여 나타냄.

○ 엽록소 및 카로티노이드 함량 측정은 꽃수가 급격히 감소했던 70일차와 최종 과실 수확일인 90일차 2회 수행하였으며, 타 작물과 동일하게 처리별로 3개체씩 각 3엽으로부터 추출 후 3반복씩 흡광도를 측정하여 평균을 비교함.

○ 엽록소 함량을 조사한 결과, 2회 조사 결과에서 모두 두 하우스 내 개체 평균에는 차이가 없는 것으로 확인되었으며, 엽록소 a/b 함량비 및 카로티노이드 함량도 처리 간에 유사한

것으로 나타남 (표 44).

항목	기간	처리		F value (sig.)	t value	p
		일반 PE 비닐하우스	ATO 처리 하우스			
chl. a	70 days	9.458 ± 1.62	8.479 ± 2.47	0.631 (0.471)	0.468	0.664
	90 days	18.788 ± 1.57	17.898 ± 1.75	0.017 (0.903)	0.535	0.621
chl. b	70 days	5.140 ± 0.17	4.313 ± 1.22	11.390 (0.028)	0.951	0.438
	90 days	8.358 ± 0.96	7.995 ± 0.87	0.030 (0.871)	0.397	0.712
total chl. (a+b)	70 days	14.629 ± 1.80	12.839 ± 3.66	2.213 (0.211)	0.622	0.568
	90 days	27.202 ± 2.53	25.985 ± 2.56	0.004 (0.953)	0.478	0.658
chl. a/b	70 days	1.832 ± 0.26	1.966 ± 0.20	0.577 (0.490)	-0.597	0.583
	90 days	2.255 ± 0.07	2.242 ± 0.07	0.007 (0.936)	0.236	0.825
carotenoid	70 days	0.866 ± 0.19	0.687 ± 0.16	0.350 (0.586)	1.012	0.369
	90 days	2.741 ± 0.17	2.698 ± 0.09	1.762 (0.255)	0.323	0.763

표 44. 조생종 흑장 가지의 처리별 엽록소 및 카로티노이드 함량 비교

- 한편, 초기 이식 이후 일반 PE 비닐하우스 내 개체들은 약 20% 사멸하였으며 ATO 처리 하우스에서 사멸한 개체는 없는 것으로 확인됨 (data not shown). 최종 수확량을 조사한 결과 일반 PE 비닐하우스에서는 3.45 kg, ATO 코팅 처리 하우스에서는 10.25 kg으로 나타남 (그림 142).
- 이는 일반 PE 비닐하우스 내 개체들의 사멸률을 고려하더라도 두 처리 간에 약 42%의 차이를 보이며 ATO 코팅 처리한 하우스에서의 수확량이 상대적으로 높게 확인됨 (그림 142).

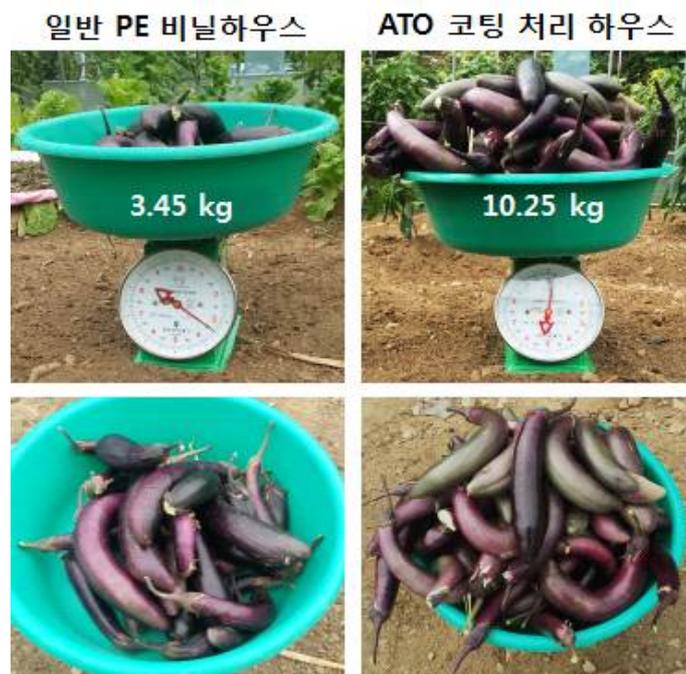


그림 142. 일반 PE 비닐하우스 및 ATO 코팅 처리 하우스 내 조생종 흑장 가지의 수확량

- 가지의 경우 국립농산물품질관리원고시 제2013-42호[농산물 표준규격]에 규격번호 2041로 등급을 규격함에 있어 평균 과실 길이에서 ±2.5 cm를 초과하는 것이 10% 이하면 특, 20%

이하면 상, 그 외는 보통으로 분류됨. 또한 가지의 모양은 처음과 끝의 굽기가 거의 비슷하며 구부러진 정도가 2.0 cm 이내인 것이 특, 4.0 cm 이내인 것이 상, 그 이상은 보통으로 구분함

- 이에 수확한 가지에서 랜덤으로 10개체씩 선별하여 과실의 길이, 구부러짐 정도, 과실의 상하 굽기비를 조사하였고 구부러짐 정도에 대한 측정 기준은 [농산물 표준규격]에 준하며 그림 143과 같음.
- 과실의 길이는 수치상으로 큰 차이가 없었으나 통계분석 결과에서 두 처리 간에 유의미한 차이를 보이며 ATO 코팅액을 처리한 하우스에서의 가지 길기가 상대적으로 긴 것으로 나타남 (표 45).
- 평균길이 \pm 2.5 cm를 초과하는 개체는 일반 PE 비닐하우스와 ATO 코팅처리 하우스 처리에서 각각 30%, 40%로 확인되었으나 소량의 측정 결과이므로 큰 의미는 없는 것으로 판단됨 (data not shown).
- 구부러진 정도는 일반 PE 비닐하우스 내에서 높은 수치로 측정되었으나 통계분석 결과 두 처리 간에는 유의미한 차이가 없는 것으로 확인됨 (표 45). 그러나 가지의 구부러진 정도가 처리별로 각각 4.1 및 3.6으로 확인됨에 따라 일반 PE 비닐하우스 내 개체들은 0.1 cm 차이로 보통, ATO 하우스 내 개체의 등급은 상으로 구분됨 (표 45). 또한, 상하 굽기비는 두 처리에서 모두 평균 0.7 \pm 0.1로 조사되었으며 (표 45), 처리와 관계없이 수확된 모든 개체들이 광택이 좋고 탄력이 있었음.

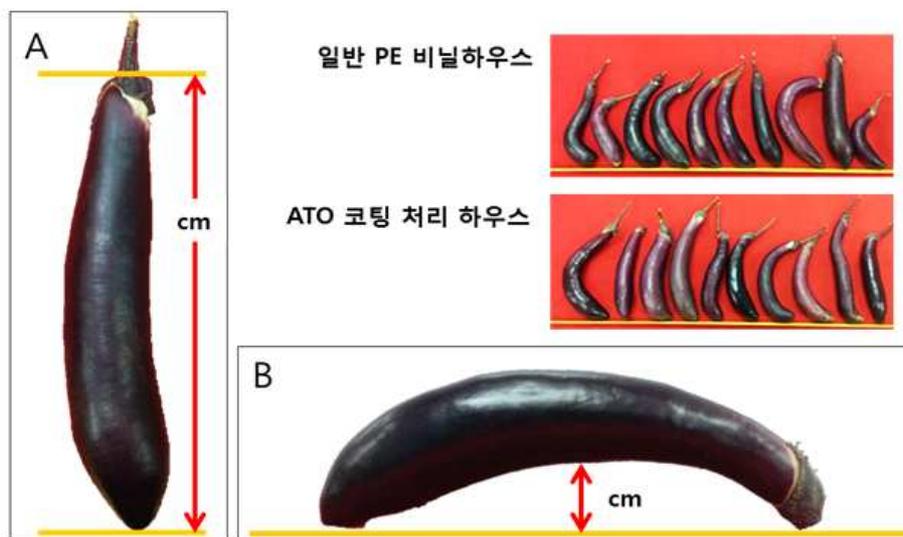


그림 143. 가지의 구부러짐 정도 측정기준
A: 과실 길이, B: 구부러짐 정도

항목	처리		F value (sig.)	t value	p
	일반 PE 비닐하우스	ATO 처리 하우스			
과실 길이	21.9 ± 3.6	25.1 ± 2.6	0.317 (0.580)	-2.117*	0.048
구부러짐 정도	4.1 ± 1.8	3.6 ± 1.9	0.044 (0.837)	0.607	0.551
과실 상하 굵기비	0.7 ± 0.1	0.7 ± 0.1	0.001 (0.970)	-1.845	0.081

표 45. 수확한 가지의 개체별 상품성 비교

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

목 표	연구개발 수행내용	달 성 도(%)
근적외선 흡수 및 자외선 차단 유기·무기 나노소재를 응용한 표면 발열소재를 응용한 시제 품 생산 및 현장 적용	고분자 기능성 첨가제를 비닐 수지와 함께 압출하 여 기능성 필름 온실피복소재 개발	100
	참여기업(NCT) 기능성 비닐 시제품 제작	100
	코팅 비닐 필름 소재기반 비닐 코팅소재 적용 현 장 시험	100
기능성 온실피복소재 물성 평 가	가시광선 투과율, 근적외선 흡수율, 자외선 차단 율 평가	100
	제설효과 평가	100
	물리적 성능 평가	100
ATO 나노소재의 항균성 및 다기능성 평가 기법 구축	ATO 나노소재의 그람 음성 세균에 대한 정성적 및 정량적 항균 활성 평가	100
	ATO 나노소재의 그람 양성 세균에 대한 정성적 및 정량적 항균 활성 평가	100
	ATO 나노소재 처리에 따른 토양 위해 미생물에 대한 항균 활성 평가	100
근적외선을 통한 발열기능을 갖는 유기·무기 나노소재 필름 의 항균성 평가 기법 구축	ATO 나노소재 적용 유기·무기 나노소재의 그람 음성 세균에 대한 정성적 및 정량적 항균 활성 평가	100
	ATO 나노소재 적용 유기·무기 나노소재의 그람 양성 세균에 대한 정성적 및 정량적 항균 활성 평가	100
유기·무기 나노소재 필름의 안 전성 평가 시스템 구축	ATO 나노소재의 인간 유래 세포에 대한 정성적 및 정량적 안전성 평가	100
	ATO 나노소재 적용 유기·무기 나노소재의 인간 유래 세포에 대한 안전성 평가	100
	기능성 온실피복소재의 부식으로 인한 ATO 나 노소재 토양환경 유출에 대한 독성도 평가	100

	ATO 나노소재의 토양 유용 미생물에 대한 안전성 평가	100
기능성 온실 피복재의 온실 내 작물 생육 환경에 미치는 영향 구명	동절기 눈 적층방지 효과 및 온도변화 조사	100
	기능성 온실 피복재의 적외선 흡수에 따른 온실 내 작물 생육 환경 변화 조사	100
	ATO 코팅 소재 처리 유무에 따른 엽채류 (상추)의 성장 발달 비교	100
기능성 온실 피복재 사용에 의한 작물 성장발달, 수량성 및 품질에 미치는 효과 구명	ATO 코팅 처리가 엽채류 (상추 등)의 생육, 수량성 및 품질 향상에 미치는 영향 평가	100
	ATO 코팅 처리가 과채류 (토마토 등)의 생육, 수량성 및 품질 향상에 미치는 영향 평가	100
기능성 온실 피복재의 환경재해 경감효과, 농업현장 적용성 및 실용성 구명	ATO 코팅 소재 처리 유무에 따른 작물 생육 비교 (농가 실증 실험)	100
	기능성 온실 피복재의 자외선 차단 효과 및 광합성 효율 평가	100
	기능성 온실 피복재 처리 유무가 동절기 작물 생육에 미치는 영향 비교	100

제 5 장 연구개발 성과 및 성과활용 계획

제 1 절 연구개발 성과 요약

1. 논문 게재

게재연도	논문명	저자			학술지명	Vol.(No.)	국내외 구분	SCI구분
		주저자	교신저자	공동저자				
2014	F and Ti doped Silicate Nanocomposite Film for Antimicrobial and Easy Clean Applications	Yong Seong Seo	Kook-Hyun Yu	You-Hwan Son, Wonjae Cho, DaeJin Kim	Journal of Nanoscience and Nanotechnology	14	국외	SCI
2014	Antibacterial Behaviour of Quaternized Poly(vinyl chloride)-g-Poly(4-vinylpyridine) Graft Copolymer	Madhumita Patel	Jung-Suk Sung,	Jong Hak Kim, Rajkumar Patel, Won Seok Chi	Chinese Journal of Polymer Science	33: 265-274	국외	SCI

2. 국내 및 국제 학술발표 대회

게재연도	제목	저자			학회명	국내외 구분
		주저자	교신저자	공동저자		
2013	Antibacterial Properties of Quaternized poly(vinyl chloride)-g-poly(4-vinyl pyridine) Graft Copolymer	Madhumita Patel	Jung-Suk Sung	-	한국미생물학회	국내
2014	Preparation and characterization of NIR absorbed ATO polymer film	이원길	유국현	조원제, 심주용, 김정엽	한국공업화학회	국내
2014	ATO와 ITO를 이용한 표면발열 코팅액을 이용한 하우스용 비닐 개발에 의한 작물재배	박효섭	조준형	서재완, 김명수, 변지희, 조원제, 심주용, 이원길, 유국현	한국작물학회	국내
2014	유기·무기 나노소재를 응용한 표면 발열소재의	박효섭	조준형	서재완, 김명수,	한국자원식물학회	국내

	눈적층방치효과			변지희, 조원제, 심주용, 이원길, 유국현		
2014	표면발열 코팅액을 처리한 하우스의 작물재배 효과	박효섭	조준형	서재완, 김명수, 변지희, 조원제, 심주용, 이원길, 유국현	한국자원식물 학회	국내
2014	Antibacterial/Cytotoxicity Activities and Environmental Toxicity of Hybrid Organic/Antimony Tin Oxide Nano Composites Thin Films	Song-Yi Baek	Jung-Suk Sung	-	한국생명과학 회	국내
2015	Near-infrared absorbing coatings developed for greenhouses in winter snow capability	심주용	유국현	조원제, 이원길, 김기혁, 박승일	한국공업화학 회	국내
2015	ATO/ITO 코팅 처리 및 무처리 비닐하우스 내 적치마 상추의 생육 평가	서재완	조준형	김정훈, 변지희	한국식물생명 공학회	국내
2015	ATO 및 ITO 코팅 피복 소재를 처리한 비닐하우스 내 양파의 생육 평가	서재완	조준형	김정훈, 변지희	한국자원식물 학회	국내

3. 특허 성과

출원된 특허의 경우					등록된 특허의 경우				
출원연도	특허명	출원인	출원국	출원번호	등록연도	특허명	등록인	등록국	등록번호
2014	발열 필름을 이용하는 온실 시설물	동국대학교 산학협력단	대한민국	10-2014-0069147					
2015	유리 및 이를 구비하는 성에 제거 장치 및 차량	동국대학교 산학협력단	대한민국	10-2015-0107192					
2015	반도체 나노입자를 이용한 설해예방비닐하우스 필름제조 및 설치방법	동국대학교 산학협력단	해외	PCT/KR 2015/005 662					

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

제 1 절 세계 필름 시장 개황 및 동향

- 2011년의 일본의 윈도우필름 시장규모 전망은 1,670만 m²로, 이 중 약 15%가 자동차용, 약 85%가 건축용으로 추산됨. 용도별에서는 자동차용이 전년의 에코카 특수의 영향으로 반동 감소를 보여, 전년 대비 7.4% 감소하며 마이너스 성장을 나타냈으나, 건축용은 전년 대비 53.5% 증가하며 대폭의 성장을 나타냈음.
- 3월의 동일본대지진 발생의 영향으로 3월 하순~4월은 비산방지필름의 수요가 급증, 그 후, 전국적인 전력 부족·절전 장려의 움직임 중에서 기온이 상승하기 시작한 5월 이후에 일조 조정·차열 (遮熱)기능을 부여한 에너지절감필름이 폭발적인 성장을 나타냈음.
- 건축용 윈도우필름(업무용)시장에서 접하는 에너지절감필름의 구성비는 2010년에 44.4% 정도였던 것이, 2011년 전망에서는 55.6%, 2012년에는 58.1%까지 확대될 것으로 예측됨.
- 단열필름의 수요는 2009년에는 30만 m² 정도였으나, 2010년에는 45만m² (전년 대비 50% 증가), 2011년 전망에서 67만 m² (전년 대비 48.9% 증가)로 순조롭게 확대하고 있음. 단열성능을 가진 필름의 개발·라인업은 메이커에게 필수가 되고 있음.
- 기존의 단열필름은 가시광선 투과율이 30~40% 정도로 낮은 것이 많아, 실내가 어두워지기 때문에 조명이 필요해지는 등 절전효과가 발휘되지 않음. 또, 일본시장에서는 실내의 밝음이 나 창문에서의 경관이 중시되기 때문에, 단열성과 투명성을 고루 갖춘 투명단열필름의 개발은 윈도우필름의 연중의 수요 확대를 위한 필수사항임.

제 2 절 특허, 논문등 해외과학기술정보

- 극변하는 세계 기후로 인해 많은 연구자들이 농업에 대한 관심과 연구가 많아지고 있음. 특히 비닐하우스의 경우 고부가가치 상품을 재배할 수 있고 겨울철에 작물재배를 가능하게 하기에 지속적인 연구가 되고 있음.
- 하지만 연구의 방향이 비닐하우스 내의 온실가스과 토양의 질을 개선하려는 연구가 대다수이고 겨울철 설해예방에 대한 연구는 지극히 미비한 상황임.
- 근적외선을 사용하려는 연구가 존재하긴 하지만 이는 설해예방 기능성 비닐하우스가 아닌 근적외선 광원을 이용한 작물의 성장 연구로 그치고 있음. 이는 구조적으로 설해예방에 한계가 있는 비닐하우스에 본 연구의 기능성 온실피복소재가 큰 이바지 할 수 있어 농가의 소득증대와 설해피해 예방에 큰 효과를 볼 수 있음.

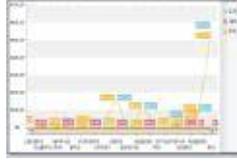
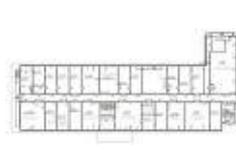
제 7 장 연구시설·장비 현황

○ 연구수행 기간 중 연구시설 장비·현황 해당 없음

			
가스용기전도방지	아이샤워기	폐시약분류보관	낙하방지안전바
			
보호구함 및 구급상자	안전수칙	안전표지	가스(MSDS)
			
실험실배치도	교육책자배부	방폭캐비닛	비상기구함

○ 안전관리 시스템 운영

- 주요 구축 : 일상점검 온라인, 화학물질관리, 안전장비배치, MSDS (물질보건자료) 자료 DB화 방사능실험실, 동물실험실, 폐기물 처리, 교육 콘텐츠 등
- 주요 구성도

			
메인화면	실험실별 약품현황	위험물질현황1	위험물질현황2
			
일상점검	도면기반안전	MSDS	교육콘텐츠

○ 건강검진 현황 : 매년 1회 건강검진 실시

○ 교육 훈련

○ 개요 : 개별 연구실험실의 특성에 따른 맞춤형 안전교육실시

○ 교육대상 : 본교 재학 중인 대학원생, 조교 (행정, 교육, 연구), 연구프로젝트 연구원, 실험실 사용자

- 교육내용 : 연구실 안전환경 조성에 관한 법률, 보호구 사용법,
분야별 (가스, 화학, 기계, 소방, 산업위생 등) 교육, 보험, 응급처치 등
- 보험 가입 현황
- 연구활동종사자 상해보험
 1. 가입대상 : 총 5,334명 (학부생:4,527명 / 대학원생:437명 / 연구원:370명)
 2. 보장내용 : 사망 - 1인기준 1억 원 보상 / 후유장애 - 1억 원(1급)을 한도로 후유장애
등급별 정액보상 상해의료비 - 1천만 원 한도로 1인당 상해등급별 정액
및 손실 보상
 3. 주관부서 : 운영지원본부 자산관리팀 (내선 3078)
- 교직원 단체보험
 1. 가입대상 : 전임교원 및 직원
 2. 보장내용 : 재해사망 - 5천만 원 / 일반사망 - 2천만 원 보상 / 재해 장해 - 3천만
원 보상 입원의료비 1천만 원 / 상해통원의료비 30만 원
 3. 주관부서 : 운영지원본부 총무팀 (내선 3074)
- 대학종합보험
 1. 가입대상 : 학부/대학원생, 시간강사, 교직원
 2. 보장내용 : [상해] 사망 및 후유장애 1천만 원 / 신입생학교행사중상해 2천만 원 / 치
료비 2백만 원[배상책임담보] 학교시설배상 1인당 2억 원, 사고당 20억 원
 3. 주관부서 : 학사지원본부 학생서비스팀 (내선 3043)
- 건축물 화재보험
 1. 가입대상 : 정각원, 박물관 및 교내 건물 전체
 2. 보장내용 : 건축물별로 상이함
 3. 주관부서 : 사업개발본부 건설관리팀 (내선 8568)

제 9 장 참고문헌

1. Rajkumar Patel *et al.*, 2013, Bioinert membranes prepared from amphiphilic poly(vinyl chloride)-g-poly(oxyethylene methacrylate) graft copolymers, *Materials Science and Engineering C* 33 : 1662-1670
2. Masanori Horie *et al.*, 2012, Association of the physical and chemical properties and the cytotoxicity of metal oxide nanoparticles: metal ion release, adsorption and specific surface area, *Merallomics* 4 : 350-360 Indiamart. 2013
3. Fei-Peng Lee *et al.*, Antibacterial nanostructured composite films for biomedical applications: microstructural characteristics, biocompatibility, and antibacterial mechanisms, *Biofouling* Vol. 29, No. 3, 295-305
4. Sergey Sladkevich *et al.*, Antimony Tin Oxide (ATO) Nanoparticle Formation from H₂O₂ Solutions: a New Generic Film Coating from Basic Solutions, *Inorg. Chem.*, 49, 9110-9112
5. Rafael O. da Silva *et al.*, Antimony-Doped Tin Oxide Nanocrystals: Synthesis and Solubility Behavior in Organic Solvents, *ChemPhysChem*, 10, 840-846
6. Yiqing Sun *et al.*, Antimony-Doped Tin Oxide Nanorods as a Transparent Conducting Electrode for Enhancing Photoelectrochemical Oxidation of Water by Hematite, *ACS Appl. Mater. Interfaces* 2014, 6, 5494–5499
7. Yuichiro Kudo *et al.*, Cytotoxicity and solubility evaluation of two types of whiskers by cell magnetometry, *Environ Health Prev Med*, 2011, 16, 327--334
8. Ruma Ghosh *et al.*, Effect of a Metal Alloy Fuel Catalyst on Bacterial Growth, *Langmuir* 2005, 21, 10655-10661
9. Chao Li *et al.*, The antifungal activity of graphene oxide-silver nanocomposites, *Biomaterials*, 34, 2013, 3882-3890



Copyright © 2014 American Scientific Publishers
All rights reserved
Printed in the United States of America

Article

Journal of
Nanoscience and Nanotechnology
Vol. 14, 1-5, 2014
www.aspbs.com/jnn

F and Ti Doped Silicate Nanocomposite Thin Films for Antimicrobial and Easy Clean Applications

YongSeong Seo¹, You-Hwan Son², Dae-Jin Kim¹, Wonjae Cho¹,
C. Justin Raj¹, and Kook HyunYu^{1,4}

¹Department of Chemistry, Dongguk University-Seoul, 30, Pil-dong-ro 1-gil, Jung-gu, Seoul, 100-715, South Korea
²Department of Mechanical Engineering and Material Science, University of Pittsburgh, Pittsburgh, PA 15261, USA

Titanium isopropoxide (TIPO), tetraethyl orthosilicate (TEOS) and Fluoroalkylsilane (FAS) silane precursor were employed to coat transparent thin film on the glass substrate and these effectively prevents pollution on the glass from microorganisms. The each nanocomposition film was prepared by sol-gel method, the solution of nanocomposite was coated by spin coater with 1200 rpm for 30 sec and cured by thermal at 100 °C on glass which surface treated with Piranha solution. The nanocomposite films with highly self cleaning efficacy were fabricated and studied for various molar compositions of TEOS, TIPO and FAS. TEOS/TIPO film in glass substrate shows an optical transparency over 90% up to 30 mol% of TIPO in TEOS/TIPO composite films and also FAS incorporated up to 4 mol% onto TEOS/TIPO films. The anti-microbial efficiency of the nanocomposite film was improved 30% when it was exposed under UV light radiation than that in ambient condition.

Keywords: Nanocomposite, Self-Cleaning, Anti-Microbial, Transparent Film, Surface Property.

1. INTRODUCTION

A broad range of micro-organisms are coexisting in a natural equilibrium with human body and living environments, but a rapid and uncontrolled fast thriving of microbes can lead to some serious problems.^{1,2} Therefore controlling harmful effects of micro-organisms would be necessary to improve the human life faithfully. Recently many efforts have been developed to control or destroy the harmful microorganisms from food and domestic appliances. Among them inorganic nano-particles and their nano-composites have been paid attention to anti-microbial applications as an promising solutions to remove or control the micro-organisms growth.^{3,7}

Especially, TiO₂ nanoparticles have created a new approach for remarkable applications as an attractive multi-functional material. TiO₂ nanoparticles have unique properties such as higher stability, long lasting, safe and broad-spectrum anti-biosis.^{3,4} TiO₂ nanoparticles have been especially the center of attention for their photocatalytic activities.⁵⁻⁷ These properties make TiO₂ nanoparticles applicable in many fields such as self-cleaning,

anti-bacterial agent, UV protecting agent,⁸ environmental purification,⁹ water and air purifier,¹⁰ gas sensors,¹¹ and high efficient solar cell.^{12,13} The photo-activity property is strongly related to the structure, micro-structure and the powder purification.¹⁴

Three famous crystalline structures for TiO₂ have been known as anatase (tetragonal, $a = 0.3785$ nm, $c = 0.9514$ nm, band gap = 3.2 eV which is equivalent to a wavelength of 388 nm), rutile (tetragonal, $a = 0.4593$ nm, $c = 0.2959$ nm, band gap = 3.02 eV) and brookite (orthorhombic, $a = 0.9182$ nm, $b = 0.5456$ nm, $c = 0.5143$ nm, band gap = 2.96 eV). Titanium dioxide irradiation by light with more energy compared to its band gaps generates electron because of its higher redox reactions at the surface of the titanium dioxide. Consequently, electrons in TiO₂ jump from the valence band to the conduction band, and the electron (e⁻) and electric hole (h⁺) pairs are formed on the surface of the photo-catalyst. The created negative electrons and oxygen will combine into O₂⁻, the positive electric holes and water will generate hydroxyl radicals. Ultimately, various highly active oxygen species can oxidize organic compounds of cell to carbon dioxide (CO₂) and water (H₂O). Thus, titanium dioxide

*Author to whom correspondence should be addressed.

Antibacterial Behaviour of Quaternized Poly(vinyl chloride)-g-Poly(4-vinyl pyridine) Graft Copolymers*

Madhumita Patel^{a,c**}, Rajkumar Patel^{b**}, Won Seok Chi^b, Jong Hak Kim^{b**} and Jung-Suk Sung^{a**}

^aDepartment of Life Science, Dongguk University-Seoul, 3-26 Phil-dong, Chung-gu, Seoul 100-715, South Korea

^bDepartment of Chemical and Biomolecular Engineering, Yonsei University, 262 Seongsanno,

Seodaemun-gu, Seoul 120-749, South Korea

^cDepartment of Chemistry and Nano Science, EwhaWomans University, Global Top 5 Research Program,

52 Ewhayodae-gil, Seodaemun-gu, Seoul, 120-750, Korea

Abstract Amphiphilic graft copolymers consisting of poly(vinyl chloride) (PVC) main chains and poly(4-vinyl pyridine) (P4VP) side chains were synthesized *via* atom transfer radical polymerization (ATRP) using direct initiation of chlorine atoms. The successful synthesis of PVC-g-P4VP graft copolymers was confirmed by Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) and proton nuclear magnetic resonance (¹H-NMR). Transmission electron microscope (TEM) and small angle X-ray scattering (SAXS) analysis showed that PVC-g-P4VP exhibited microphase-separated, ordered structure with 37.6 nm of domain spacing, which was not observed in neat PVC. For antibacterial applications, the tertiary nitrogen atoms of PVC-g-P4VP was quaternized using 1-bromohexane, as confirmed by FTIR measurements. Bacteria including *Escherichia coli* (*E. coli*), *Staphylococcus aureus* (*S. aureus*), *Bacillus cereus* (*B. cereus*), and *Pseudomonas aeruginosa* (*P. aeruginosa*) were completely killed in 24 h on the quaternized PVC-g-P4VP (46% grafting) surface, indicating its excellent antibacterial behavior while it showed to be cytotoxic to mammalian cell.

Keywords: Graft copolymer; Membranes; Atom transfer radical polymerization; Antibacterial property; Quaternized polymer.

INTRODUCTION

With the increasing population, globalization effect and travelling activity it is a great challenge for the prevention of the spread of new and dangerous infectious diseases. The most recent example is the enterohemorrhagic *E. coli* (EHEC) epidemic in Europe. The use of efficient biocides like antibiotics and disinfectants are limited due to safety and environmental pollution. In addition, an alarming increase in resistance in clinical pathogens causes public health problem worldwide. In order to overcome various drawbacks, using antimicrobial polymers is considered a simple and easier pathway^[1]. The antimicrobial polymer usually biomimics the physicochemical properties of antimicrobial peptides^[2-10]. As the efficient

* This work was financially supported by a National Research Foundation (NRF) grant funded by the Korean government (MEST) through the Core Research Program (2012R1A2A2A02011268), Agriculture Research Center program of Ministry for Food, Agriculture, Forestry, and Fisheries (IPET 112051-3), the Korea CCS R&D Center and the Energy Efficiency & Resources of the Korea Institute of Energy Technology Evaluation and Planning (KETEP) grant funded by the Ministry of Knowledge Economy (20122010100040).

** Corresponding authors: Rajkumar Patel, E-mail: patelrajku@gmail.com

Jong Hak Kim, E-mail: jonghak@yonsei.ac.kr

Jung-Suk Sung, E-mail: sungjs@dongguk.edu

Received April 14, 2014; Revised June 22, 2014; Accepted July 2, 2014

doi: 10.1007/s10118-015-1577-3

<첨부> 특허 1.

관인생략 출원번호통지서

출원일자 2014.06.09
특기사항 심사청구(유) 공개신청(무)
출원번호 10-2014-0069147 (접수번호 1-1-2014-0534174-36)
출원인명칭 동국대학교 산학협력단(2-2006-008178-3)
대리인성명 특허법인 제나(9-2014-100001-2)
발명자성명 유국현 조원제 김정엽
발명의명칭 발열 필름을 이용하는 온실 시설물

특 허 청 장

<<안내>>

1. 귀하의 출원은 위와 같이 정상적으로 접수되었으며, 이후의 심사 진행상황은 출원번호를 통해 확인하실 수 있습니다.
2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 동봉된 납입영수증에 성명, 납부자번호 등을 기재하여 가까운 우체국 또는 은행에 납부하여야 합니다.
※ 납부자번호 : 0131(기관코드) + 접수번호
3. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 [출원인코드 정보변경(경정), 정정신고서]를 제출하여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다.
※ 특허로(patent.go.kr) 접속 > 민원서식다운로드 > 특허법 시행규칙 별지 제5호 서식
4. 특허(실용신안등록)출원은 명세서 또는 도면의 보정이 필요한 경우, 등록결정 이전 또는 의견서 제출기간 이내에 출원서에 최초로 첨부된 명세서 또는 도면에 기재된 사항의 범위 안에서 보정할 수 있습니다.
5. 외국으로 출원하고자 하는 경우 PCT 제도(특허·실용신안)나 마드리드 제도(상표)를 이용할 수 있습니다. 국내출원일을 외국에서 인정받고자 하는 경우에는 국내출원일로부터 일정한 기간 내에 외국에 출원하여야 우선권을 인정받을 수 있습니다.
※ 제도 안내 : <http://www.kipo.go.kr>-특허마당-PCT/마드리드
※ 우선권 인정기간 : 특허·실용신안은 12개월, 상표·디자인은 6개월 이내
※ 미국특허상표청의 선출원을 기초로 우리나라에 우선권주장출원 시, 선출원이 미공개상태이면, 우선일로부터 16개월 이내에 미국특허상표청에 [전자적교환허가서(PTO/SB/39)]를 제출하거나 우리나라에 우선권 증명서류를 제출하여야 합니다.
6. 본 출원사실을 외부에 표시하고자 하는 경우에는 아래와 같이 하여야 하며, 이를 위반할 경우 관련법령에 따라 처벌을 받을 수 있습니다.
※ 특허출원 10-2010-0000000, 상표등록출원 40-2010-0000000
7. 기타 심사 절차에 관한 사항은 동봉된 안내서를 참조하시기 바랍니다.

관인생략

출원번호통지서

출원일자 2015.07.29
특기사항 심사청구(유) 공개신청(무) 참조번호(07015)
출원번호 10-2015-0107192 (접수번호 1-1-2015-0737508-88)
출원인명칭 동국대학교 산학협력단(2-2006-008178-3)
대리인성명 두호특허법인(9-2014-100041-1)
발명자성명 유국현 조원재 김병철 저스틴라즈 김정엽 이원길 심주용
발명의명칭 유리 및 이를 구비하는 성에 제거 장치 및 차량

특 허 청 장

<< 안내 >>

1. 귀하의 출원은 위와 같이 정상적으로 접수되었으며, 이후의 심사 진행상황은 출원번호를 통해 확인하실 수 있습니다.
2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 동봉된 납입영수증에 성명, 납부자번호 등을 기재하여 가까운 우체국 또는 은행에 납부하여야 합니다.
※ 납부자번호 : 0131(기관코드) + 접수번호
3. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 [출원인코드 정보변경(경정), 정정신고서]를 제출하여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다.
※ 특허로(patent.go.kr) 접속 > 민원서식다운로드 > 특허법 시행규칙 별지 제5호 서식
4. 특허(실용신안등록)출원은 명세서 또는 도면의 보정이 필요한 경우, 등록결정 이전 또는 의견서 제출기간 이내에 출원서에 최초로 첨부된 명세서 또는 도면에 기재된 사항의 범위 안에서 보정할 수 있습니다.
5. 외국으로 출원하고자 하는 경우 PCT 제도(특허·실용신안)나 마드리드 제도(상표)를 이용할 수 있습니다. 국내출원일을 외국에서 인정받고자 하는 경우에는 국내출원일로부터 일정한 기간 내에 외국에 출원하여야 우선권을 인정받을 수 있습니다.
※ 제도 안내 : <http://www.kipo.go.kr>-특허마당-PCT/마드리드
※ 우선권 인정기간 : 특허·실용신안은 12개월, 상표·디자인은 6개월 이내
※ 미국특허상표청의 선출원을 기초로 우리나라에 우선권주장출원 시, 선출원이 미공개상태이면, 우선일로부터 16개월 이내에 미국특허상표청에 [전자적교환허가서(PTO/SB/39)]를 제출하거나 우리나라에 우선권 증명서류를 제출하여야 합니다.
6. 본 출원사실을 외부에 표시하고자 하는 경우에는 아래와 같이 하여야 하며, 이를 위반할 경우 관련법령에 따라 처벌을 받을 수 있습니다.
※ 특허출원 10-2010-0000000, 상표등록출원 40-2010-0000000
7. 기타 심사 절차에 관한 사항은 동봉된 안내서를 참조하시기 바랍니다.

<첨부> 특허 3.

온라인제출 PCT-SAFE로 작성된 PCT국제출원서를 온라인으로 제출할 수 있습니다.

PCT온라인제출결과안내

- 온라인 제출 결과 아래와 같이 접수되었습니다.
- **제출결과조회**를 통해 접수하신 서류에 대한 접수결과 및 방식심사 진행상태를 조회하실 수 있습니다.
- 수수료는 서식작성기에서 입력한 수수료 금액이며, 제출결과조회 화면에서 특허청 전산시스템에서 계산한 수수료를 조회할

접수번호	국제출원번호	참조기호	
6-1-2015-0030178-82	PCT/KR2015/005662	OP15-0070	국제출원서

- 이용방법안내**
1. 제출하신 출원서류는 압축파일(ZIP)의 손상, 전자서명 오류, 바이러스 감염 등 "물리적 오류"와 "명백한 반려" 있습니다.
 2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 동봉된 납입영수증에 성명, 납부자번호 등을 기재하시어 가다.
*납부자번호 : 0131(기관코드) + 접수번호
 3. 기타 문의사항이 있으시면 특허고객상담센터(1544-8080)에 문의하시거나 특허청 홈페이지(www.kipo.go.k

※ 보고서 겉표지 뒷면 하단에 다음 문구 삽입

주 의

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