

321003-02

보안 과제(), 일반 과제(O) / 공개(), 비공개(O)발간등록번호(O)
농업에너지자립형산업모델기술개발사업 2022년도 최종보고서

발간등록번호

11-1543000-004400-01

작물별
생산성을
고려한
영농형
태양광
표준모델
개발 및
실증

작물별 생산성을 고려한 영농형 태양광 표준모델 개발 및 실증

2022

2023.05.26.

주관연구기관 / 영남대학교 산학협력단
참여연구기관 / (주)모든솔라
한화솔루션(주)

농림축산식품부
농림식품기술기획평가원

농림축산식품부
(전문기관)농림식품기술기획평가원

제출문

제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “작물별 생산성을 고려한 영농형 태양광 표준모델 개발 및 실증”(개발
기간 : 2021. 04. ~ 2022. 12.)과제의 최종보고서로 제출합니다.

2023. 05. 26.

주관연구기관명 : 영남대학교 산학협력단 (대표자) 김 우 경 (인)
참여기관명 : (주)모든솔라 (대표자) 채 종 윤 (인)
참여기관명 : 한화솔루션(주) (대표자)이구영, 김은수, 남이현, 김동관 (인)

주관연구책임자 : 정 재 학

참여기관책임자 : 이 경 호

참여기관책임자 : 김 진 수

국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제18조에 따라 보고서 열람에 동의합니다.

< 요약 문 >

※ 요약문은 5쪽 이내로 작성합니다.

사업명		2021년도 농업에너지 자립형산업 모델 기술개발사업		총괄연구개발 식별번호 (해당 시 작성)		321003-02	
내역사업명 (해당 시 작성)		에너지자립형 저장·관리기술개발		연구개발과제번호		321003-2	
기술분류	국가과학기술 표준분류	1순위 LB0104	50%	2순위 EF0601	30%	3순위 LB0901	20%
	농림식품 과학기술분류	1순위 CA0201	50%	2순위 CA0299	30%	3순위 RC0102	20%
총괄연구개발명 (해당 시 작성)		작물별 생산성을 고려한 영농형 태양광 표준모델 개발 및 실증					
연구개발과제명		작물별 생산성을 고려한 영농형 태양광 표준모델 개발 및 실증					
전체 연구개발기간		2021.04.01. ~ 2022.12.31.(21개월)					
총 연구개발비		총 1,465,000 천원 (정부지원연구개발비: 1,400,000 천원, 기관부담연구개발비 : 471,500 천원)					
연구개발단계		기초[] 응용[] 개발[✓] 기타(위 3가지에 해당되지 않는 경우)[]		기술성숙도		착수시점 기준(8단계) 종료시점 목표(9단계)	
연구개발과제 유형 (해당 시 작성)							
연구개발과제 특성 (해당 시 작성)							
연구개발 목표 및 내용	최종 목표	작물별 생산성을 고려한 한국형 영농형 태양광 표준모델 3종 개발 및 실증 (채소, 과수)					
	전체 내용	<p>및 필요성</p> <ul style="list-style-type: none"> · 재생에너지3020 계획 등 탈탄소·에너지 대전환 시대 국내 농업분야 적응전략 필요 · 농업분야 역량 향상에 필요한 표준 영농형 시스템 구축 필요성 · 영농형 태양광 효율성 및 투명성에 대한 국가·사회적 요구에 대응 · 농촌 태양광 확대를 위한 정부의 지원 정책 확대 · 농지 상부에 태양광시설을 설치하여 농업과 재생에너지 생산을 병행하는 새로운 농작물-에너지 생산모델이 활발히 연구개발 제시되고 있는 상황에서 영농형 태양광 시스템의 구조적 문제점 파악, 표준설계도 미비, 정립되지 않은 재배기술과 운영관리 방안 등의 문제점으로 농업과 재생에너지 생산을 병행하는 융합 에너지 활용 표준 모델이 필요함. 이에 농업과 태양광발전시스템이 결합된 영농형 태양광 설비 보급 확대를 촉진하는데 관련한 제반 문제점과 개선방안 및 표준모델을 제시를 목적으로 함. <p>◎ 세부연구내용</p> <ul style="list-style-type: none"> · 국내외 설치사례 조사, 실증연구 결과분석, 개선방안 도출 및 작물별 영농형 태양광 시스템 설계 및 설치 가이드라인 작성, 대상작물의 생육조건과 영농현장 여건을 고려한 시설구조, 태양광 모듈, 배치 등 작물과 태양광 모듈 구조에 적합한 구조물의 설계, 농작물의 생육 및 농작업의 장애 최소화 위한 구조물의 규격 및 배치를 위한 구조 설계, 설계된 구조물 적설·풍압 등의 구조안전성 분석·평가, 폭우시 낙수효과로 농작물의 피 					

		<p>해를 최소화할 수 있으며, 음영지속 구간이 발생하지 않는 배치를 위한 구조물 설계, 농장(생육)관리 및 태양광 시스템의 실시간 모니터링 및 스마트 관리 기준(안) 작성, 국가 단위 영농형 태양광 통합 플랫폼 설계·운영 가이드라인 작성, 영농형 태양광 적용 과수 재배 실증, 장기 모니터링, 평가를 위한 기반 연구, 과수 및 채소 후보군 품목별 영농형 태양광 장기 재배 실증 시험설계 및 대상 작물별 생육조사, 수량·품질 평가, 생육모델, 장기 모니터링 연계를 위한 조사 항목 및 방법, 데이터 형식 등 기준 설정, 작물별 영농형 태양광 모니터링 및 스마트 영농관리 시스템 설계 가이드라인 작성, 장기 모니터링 연계를 위한 조사 항목 및 방법, 데이터 형식 및 수집항목 정의, 영농형 태양광에 적합한 태양광 모듈 최적화 및 규격화 연구, RoHs 및 친환경 고내성 영농형 태양광모듈 최적화 및 제작, 영농형 태양광 실증과제 총괄운영관리 체계 구축 및 협업과제와의 유기적 협업 연구기술개발 활동 추진</p>
1단계 (해당 시 작성)	목표	<ul style="list-style-type: none"> - 사례조사와 기존 문제점 및 개선방안 도출 - 영농형 태양광 시스템·실증시험설계 및 구축 - 표준모델(안) 제안 및 실증시험 및 시험 후 성능 및 품질평가 분석
	내용	<ul style="list-style-type: none"> · 영농형 태양광 시제품 설계 및 최적화 · 작물(채소) 실증 예비시험 및 실증시험 설계 · 모니터링(에너지, 생육 등) 시스템 설계 및 평가 · 영농형 맞춤형 태양광모듈 개발 및 최적화 · 데이터 기반 영농형 태양광 최적 운영관리 가이드라인 개발 · 사례 조사 및 문제점·개선사항 평가·분석 · 기 구축 실증설비 이용 채소 비교군 예비실증시험 및 평가 분석 · 실증시험 방법, 기준, 평가지표 설계 및 실증시험 · 하부 및 미시환경 변화 정량화 · 정량적 평가 기반 개선방안 도출 및 시스템·모듈 최적화 · 재배 및 모니터링 기술 설계 적정성 평가 및 보완설계
2단계 (해당 시 작성)	목표	<ul style="list-style-type: none"> - 영농형 태양광 시스템 보완 및 개선 설계 - 실증시험 반복 및 특성 평가 - 표준모델 3종 및 재배기술 완성
	내용	<ul style="list-style-type: none"> · 대상작물별 실증시험 및 평가·분석 · 문제점 보완 및 개선방안 도출 · 영농형 태양광 맞춤형 태양광 모듈 제시 · 보완 및 재구조화된 영농형 태양광 시스템 및 재배기술 실증시험 · 영농형 태양광 표준모델 3종, 정책제안 1건, 영농활용 2건 제시 · 영농형 태양광 시스템 보완설계 및 표준모델 3종 제시 · 하부 및 미시환경 정밀 측정기술 확보 · 작물별 스트레스 반응 분석을 통한 환경변화에 따른 영향 구명 · 작물별 환경관리 데이터 수집 모델 개발 및 검증 · 실증시험 재설계 및 2차 실증시험 수행 · 측정데이터 통합 및 연계방안 도출

연구개발성과	특허 등록 2건, 논문(비SCI) 2편, 기술이전 3건, 정책제안 1건, 자료발간 2건, 영농활용 2건, 영농형 표준모델 3종
연구개발성과 활용계획 및 기대 효과	<p>◎ 연구개발성과</p> <p>< 핵심성과 ></p> <p>○ 특허 등록 2건, 논문(비SCI) 2편, 기술이전 3건</p> <p>< 전략성과 ></p> <p>○ 정책제안 1건, 자료발간 2건, 영농활용 2건, 영농형 태양광 표준모델 3종</p>

- 하부 작물 농지 음영 균일도가 30%미만, 1㎡ 면적당 농작물 감수량이 15% 미만, 설계강도 적설심 57cm, 풍속 40m/s 한국형 영농형 태양광 표준모델 설계 3건, 친환경 고내구성 영농형 태양광 모듈 시작기 150kW 규모 제작, 영농형 태양광 실시간 모니터링 및 스마트 관리기준(안) 1건, 작물별 영농형 태양광 재배관리 지침서 2건, 영농형 태양광시스템 농산물 안전성 검증 1건, 영농형 태양광시스템 토지 오염 및 부식도 검증 1건 등의 연구개발 정량적 성과를 확보함

◎ 활용계획

- 영농활용

- 영농형 태양광 표준모델에 따른 농촌 맞춤형 재생에너지 생산 시설 구축
- 영농형 태양광 작물 재배 재연성 구현 및 지속성 확보를 위한 최적 생육모델 개발 기초자료로 활용
- 하부환경 변화에 따른 작물 반응정보를 실시간 측정하고 신속하게 진단함으로써 이상기상 피해 대응 부가기능 확보

- 논문게재 및 학술발표

- 영농형 태양광 표준모델 기준설정과 운영에 관한 연구
- 영농형 태양광 하부 배추생장의 특성에 관한 연구
- 영농형 태양광 구조물과 농업시설의 복합이용에 따른 경제성 연구

- 홍보

- 영농형 태양광발전시스템의 안정적인 재배 조건 및 방법
- 사후관리 및 운영 Know-How 기술교육
- Green Energy EXPO 등 신재생에너지 전문 전시회 참가
- 영남지역 영농형 태양광 전문 지원기관 활동
- 지역 농어민단체 · 조합, NGO 등과 연계한 영농형 태양광 Governance 구축

◎ 기대효과

- 기술적 측면

- 재배법 확립을 통한 안정생산 체계 구축 및 상품률 향상
- 우리나라의 기후에 적합하며 경제적인 영농형 표준시스템 개발

- 경제 · 산업적 측면

- 영농형 태양광 표준모델 개발로 농업소득 이외 발전소득 획득에 의한 농가 소득 향상 기여
- 지속가능한 노지 밭작물 재배기반 마련과 태양광 발전수익에 따른 농가 생산 효율성 제고 및 소득 증대
- 저탄소 농업시설의 선행 인프라 구축 효과

- 사회적 측면

- 고령화 및 출생률 감소에 따른 농업 인구 감소, 낮은 농업소득에 따른 정주여건 열악 → 뉴노멀시대 청년 귀농 정책 활용

연구개발성과의 비공개여부 및 사유

연구개발성과의 등록 · 기탁 건수	논문	특허	보고서 원문	연구 시설 · 장비	기술 요약 정보	소프트 웨어	표준	생명자원		화합물	신품종	
								생명 정보	생물 자원		정보	실물
3	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
연구시설 · 장비 종합정보시스템 등록 현황	구입 기관	연구시설 · 장비명	규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	ZEUS 등록번호			
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
국문핵심어 (5개 이내)	영농형 태양광		표준사양		생산성 최적화		자립형 에너지		농업 시설			
영문핵심어 (5개 이내)	Agrophotovoltaics		Standard specification		Productivity optimization		Self-supporting energy		Agricultural facilities			

최종보고서							보안등급		
							일반[✓], 보안[]		
중앙행정기관명	농림축산식품부			사업명	사업명		농업에너지자립형산업 모델기술개발사업		
전문기관명 (해당 시 작성)	농림식품기술기획평가원				내역사업명 (해당 시 작성)		에너지자립형저장관리 기술개발		
공고번호	농축2021-27호			총괄연구개발 식별번호		321003-02			
				연구개발과제번호		321003-2			
기술 분류	국가과학기술 표준분류	1순위 LB0104	50 %	2순위 EF0601	30 %	3순위 LB0901	20 %		
	농림식품과학기술분류	1순위 CA0201	50 %	2순위 CA0299	30 %	3순위 RC0102	20 %		
총괄연구개발명 (해당 시 작성)	국문	작물별 생산성을 고려한 영농형 태양광 표준모델 개발 및 실증							
	영문	Development and Demonstration of Agrophotovoltaics Standard Model Considering Productivity by Crops							
연구개발과제명	국문	작물별 생산성을 고려한 영농형 태양광 표준모델 개발 및 실증							
	영문	Development and Demonstration of Agrophotovoltaics Standard Model Considering Productivity by Crops							
주관연구개발기관	기관명	영남대학교 산학협력단		사업자등록번호		515-82-06574			
	주소	(우 38541) 경북 경산시 대 학로 280		법인등록번호		174871-0003711			
연구책임자	성명	정재학		직위		교수			
	연락처	직장전화	*****		휴대전화		*****		
		전자우편	*****		국가연구자번호		*****		
연구개발기간	전체	2021. 04. 01 - 2022. 12. 31 (21개월)							
	단계 (해당 시 작성)	1단계	2021. 04. 01 - 2021. 12. 31 (9개월)						
		2단계	2022. 01. 01 - 2022. 12. 31 (12개월)						
연구개발비 (단위: 천원)	정부지원 연구개발비	기관부담 연구개발비		그 외 기관 등의 지원금				연구개발비 외 지원금	
	현금	현금	현물	현금	현물	현금	현물		
총계	1,400,000	60,000	411,500			1,460,000	411,500	1,871,500	
1단계	1년차	600,000	30,000	204,000			630,000	204,000	834,000
	2년차	800,000	30,000	207,500			830,000	207,500	1,037,500
공동연구개발기관 등 (해당 시 작성)	기관명	책임자	직위	휴대전화	전자우편	비고			
		역할	기관유형						
공동연구개발기관	한화솔루션 (주)	김진수	팀장	*****	*****	공동	대기업		
	(주)모든솔라	이경호	연구위원	*****	*****	공동	중소기업		
위탁연구개발기관									
연구개발기관 외 기관									
연구개발담당자 실무담당자	성명	김보명		직위		연구원			
	연락처	직장전화	*****		휴대전화		*****		
		전자우편	*****		국가연구자번호		*****		

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

2023년 02월 24일

연구책임자: 정재학 (인)
주관연구개발기관의 장: 영남대학교 산학협력단 김우경 (직인)
공동연구개발기관의 장:
한화솔루션(주) 이구영, 김은수, 남이현, 김동관 (직인)
공동연구개발기관의 장: (주)모든솔라 채종윤 (직인)

농림축산식품부장관·농림식품기술기획평가원장 귀하

< 목 차 >

1. 연구개발과제의 개요	7
2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행내용	9
3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도	214
4. 목표 미달 시 원인분석	243
5. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도	244
6. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획	245

1. 연구개발과제의 개요

○ 연구 목적 및 필요성

- 재생에너지3020 계획 등 탈탄소·에너지 대전환 시대 국내 농업분야 적응전략 필요
- 농업분야 역량 향상에 필요한 표준 영농형 시스템 구축 필요성
- 영농형 태양광 효율성 및 투명성에 대한 국가·사회적 요구에 대응
- 농촌 태양광 확대를 위한 정부의 지원 정책 확대
- 농지 상부에 태양광시설을 설치하여 농업과 재생에너지 생산을 병행하는 새로운 농작물-에너지 생산 모델이 활발히 연구개발 제시되고 있는 상황에서 영농형 태양광 시스템의 구조적 문제점 파악, 표준 설계도 미비, 정립되지 않은 재배기술과 운영관리 방안 등의 문제점으로 농업과 재생에너지 생산을 병행하는 융합 에너지 활용 표준 모델이 필요함. 이에 농업과 태양광발전시스템이 결합된 영농형 태양광 설비 보급 확대를 촉진하는데 관련한 제반 문제점과 개선방안 및 표준모델을 제시를 목적으로 함.

○ 세부연구내용

- 국내외 설치사례 조사, 실증연구 결과분석, 개선방안 도출 및 작물별 영농형 태양광 시스템 설계 및 설치 가이드라인 작성, 대상작물의 생육조건과 영농현장 여건을 고려한 시설구조, 태양광 모듈, 배치 등 작물과 태양광 모듈 구조에 적합한 구조물의 설계, 농작물의 생육 및 농작업의 장애 최소화 위한 구조물의 규격 및 배치를 위한 구조 설계, 설계된 구조물 적설·풍압 등의 구조안전성 분석·평가, 폭우 시 낙수효과로 농작물의 피해를 최소화할 수 있으며, 음영지속 구간이 발생하지 않는 배치를 위한 구조물 설계, 농장(생육)관리 및 태양광 시스템의 실시간 모니터링 및 스마트 관리 기준(안) 작성, 국가 단위 영농형 태양광 통합 플랫폼 설계·운영 가이드라인 작성, 영농형 태양광 적용 과수 재배 실증, 장기 모니터링, 평가를 위한 기반 연구, 과수 및 채소 후보군 품목별 영농형 태양광 장기 재배 실증 시험설계 및 대상 작물별 생육조사, 수량·품질 평가, 생육모델, 장기 모니터링 연계를 위한 조사 항목 및 방법, 데이터 형식 등 기준 설정, 작물별 영농형 태양광 모니터링 및 스마트 영농관리 시스템 설계 가이드라인 작성, 장기 모니터링 연계를 위한 조사 항목 및 방법, 데이터 형식 및 수집항목 정의, 영농형 태양광에 적합한 태양광 모듈 최적화 및 규격화 연구, RoHs 및 친환경 고내성 영농형 태양광모듈 최적화 및 제작, 영농형 태양광 실증과제 총괄운영관리 체계 구축 및 협업과제와의 유기적 협업 연구 기술개발 활동 추진

○ 연구개발성과

< 핵심성과 >

- 특허 등록 2건, 논문(비SCI) 2편, 기술이전 3건

< 전략성과 >

- 정책제안 1건, 자료발간 2건, 영농활용 2건, 영농형 태양광 표준모델 3종
 - 하부 작물 농지 음영 균일도가 30%미만, 1m² 면적당 농작물 감수량이 15% 미만, 설계강도 적설심 57cm, 풍속 40m/s 한국형 영농형 태양광 표준모델 설계 3건, 친환경 고내구성 영농형 태양광 모듈 시작기 150kW 규모 제작, 영농형 태양광 실시간 모니터링 및 스마트 관리기준(안) 1건, 작물별 영농형 태양광 재배관리 지침서 2건, 영농형 태양광시스템 농산물 안전성 검

증 1건, 영농형 태양광시스템 토지 오염 및 부식도 검증 1건 등의 연구개발 정량적 성과를 확보함

○ 활용계획

- 영농활용
 - 영농형 태양광 표준모델에 따른 농촌 맞춤형 재생에너지 생산 시설 구축
 - 영농형 태양광 작물 재배 재연성 구현 및 지속성 확보를 위한 최적 생육모델 개발 기초자료로 활용
 - 기후환경 변화에 따른 작물 반응정보를 실시간 측정하고 신속하게 진단함으로써 이상기상 피해 대응 부가기능 확보
- 논문게재 및 학술발표
 - 영농형 태양광 표준모델 기준설정과 운영에 관한 연구
 - 영농형 태양광 하부 배추생장의 특성에 관한 연구
 - 영농형 태양광 구조물과 농업시설의 복합이용에 따른 경제성 연구
- 홍보
 - 영농형 태양광발전시스템의 안정적인 재배 조건 및 방법
 - 사후관리 및 운영 Know-How 기술교육
 - Green Energy EXPO 등 신재생에너지 전문 전시회 참가
 - 영남지역 영농형 태양광 전문 지원기관 활동
 - 지역 농어민단체·조합, NGO 등과 연계한 영농형 태양광 Govenece 구축

○ 기대효과

- 기술적 측면
 - 재배법 확립을 통한 안정생산 체계 구축 및 상품률 향상
 - 우리나라의 기후에 적합하며 경제적인 영농형 표준시스템 개발
- 경제·산업적 측면
 - 영농형 태양광 표준모델 개발로 농업소득 이외 발전소득 획득에 의한 농가 소득 향상 기여
 - 지속가능한 노지 밭작물 재배기반 마련과 태양광 발전수익에 따른 농가 생산 효율성 제고 및 소득 증대
 - 저탄소 농업시설의 선행 인프라 구축 효과
- 사회적 측면
 - 고령화 및 출생률 감소에 따른 농업 인구 감소, 낮은 농업소득에 따른 정주여건 열악 → 뉴노멀시대 청년 귀농 정책 활용
 - 재배법 확립을 통한 안정생산 체계 구축 및 상품률 향상
 - 우리나라의 기후에 적합하며 경제적인 영농형 표준시스템 개발
 - 에너지 전환에 필요한 태양광 발전 부지 80% (전국 16,000 평방 km 농지에서 1.6 TW 발전 가능) 확보로 탄소중립을 가능하게 함

2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행내용

○ 작물별 맞춤형 영농형 태양광 표준모델 개발 및 설계 연구

1) 국내 설치사례 조사 및 개선방안 도출

가) 국내 설치사례 조사

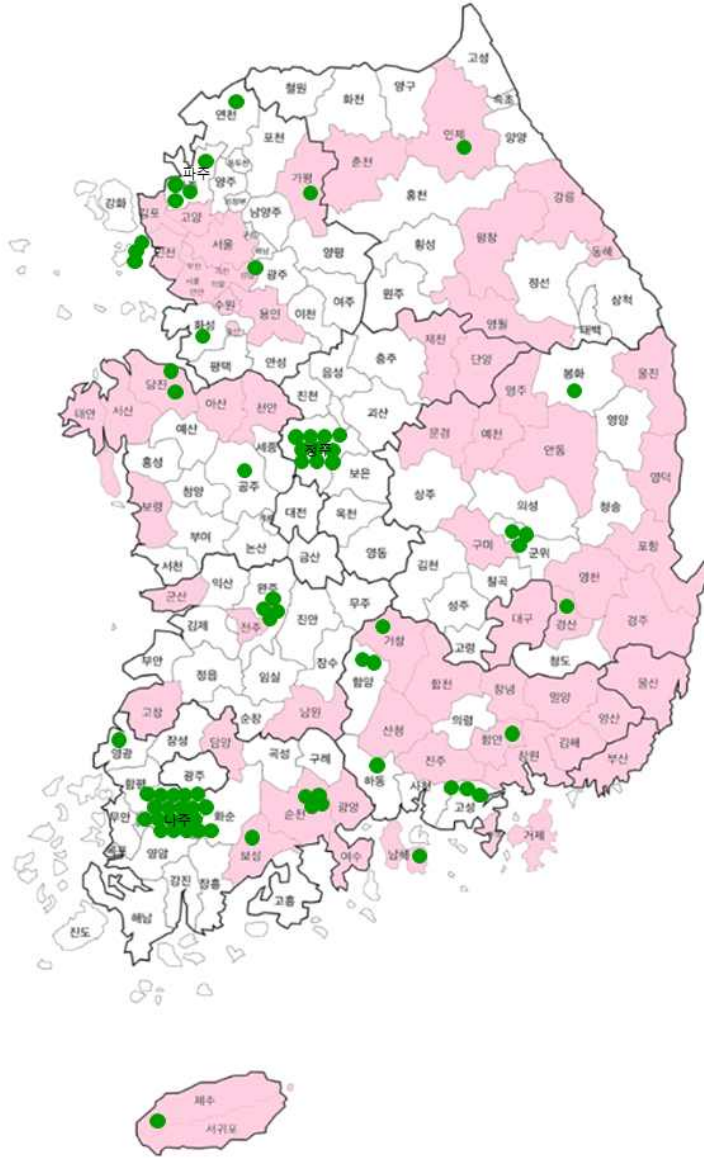
- 한국농수산대학에서 1차 조사한 자료를 바탕으로 실제 실증지를 방문하여 국내 설치 사례를 조사하였음.
- 영농형 태양광 시설에 대한 차광률과 시설 설치유형(고정·추적형) 및 사용 모듈과 배치, 지주 간격·높이, 기초 설치 방법 등의 조사
- 작물 재배에 따른 품종 및 감수율 등 조사
- 영농형 태양광 실증지 조사 및 분석 : 문헌조사, 현장방문조사, 관계자 인터뷰

나) 영농형 태양광 실증지 현황 분석

- 영농형 태양광 발전시설의 실증 및 시범사업이 진행되고 있는 곳에 대한 현황 조사를 수행하였음.
 - 기관별 확인 : 농식품부(9개소), 농진청(4개소), 한수원(2개소), 남동발전(8개소), 동서발전(5개소), 원광전력(5개소), 녹색에너지연구원(7개소), 솔라팜(2개소), HS솔라(2개소), 현대에너지솔루션(1개소), ㈜파루(1개소), GS건설(2개소), 새마을운동중앙회(1개소)
 - 지역별 확인 : 인천광역시(1개소), 경기도(8개소), 충청북도(10개소), 충청남도(3개소), 경상북도(5개소), 경상남도(10개소), 전라북도(4개소), 전라남도(22개소), 제주도(1개소)

다) 작물 재배 현황 분석

- 영농형 태양광 발전 실증 및 시범사업으로 진행되었거나 진행 중인 작물은 총 20여 종인 것으로 조사됨.
 - 식량작물(5) : 벼, 보리, 옥수수, 콩, 팥, 호밀
 - 채소류(10) : 마늘, 감자, 배추, 무, 양파, 오이, 딸기, 토마토, 대파, 양배추
 - 과수(2) : 배, 포도
 - 기타(3) : 녹차, 무화과, IRG(이탈리안라인그라스)



국내 영농형 태양광 실증시험 현황

라) 모듈 규격 및 형식

- 실증연구 및 시범사업에 태양광 모듈 규격은 3×12, 4×8, 4×9, 6×10, 6×12이 사용되고 있으며, 가장 많이 사용되는 모듈의 규격은 3×12, 모듈 면적으로는 4×8 모듈임.
 - 3×12 모듈은 실증연구에 주로 사용되고 있으며, 국내에서는 생산되지 않는 모듈임.
 - 4×8 모듈의 설치면적이 가장 높게 나타나는 이유는 남동발전에서 시행하고 있는 시범사업의 건수가 많은 것으로 인함.
- 모듈 방식은 고정형이 95.2%로 가장 많았으며, 모듈 각도조절은 태풍에 시설보호를 위하여 가변형이 64.5%를 차지하고 있으나 대부분 사용하지 않음.
- 모듈 형식은 단면형이 80.6%로 가장 많은 것으로 조사되었으며, 양면형과 투과형은 연구단계에 있는 것으로 조사되었음. 2022년 이후 설치하는 양면형 모듈을 적용하여 설치하고 있음.
- 6×12 모듈 규격을 사용하는 실증지 중 빗물 집수 시스템을 갖춘 것이 있

으며, 밭작물에 있어서 낙수에 의한 작물 피해를 줄이기 위해서는 빗물 집수 시스템의 고려가 필요할 것으로 판단됨.

마) 영농형 태양광 구조물 규격

- 영농형 태양광 발전시설 구조물의 기둥 설치 간격은 폭 방향으로 4.0~11.4m, 길이 방향으로 3.3~6.5m 범위였으며, 높이는 2.5~6.0m 범위임.
- 구조물의 기둥 폭 방향 설치 간격은 4.0m가 48.8%로 가장 많았으며, 6.0m도 16.3%를 차지하는 것으로 조사되었음.
- 구조물의 기둥 길이 방향 설치 간격은 4.0~5.0m 범위가 58.1%를 차지함.
- 구조물의 기둥 높이는 3.0~4.0m 범위가 19.4%, 4.0~5.0m 범위가 21.0%를 차지함.
- 구조물 기둥 규격은 설치지역의 설계풍속과 설계 적설심에 따른 구조 안전성을 확보하는 조건으로 폭 방향 설치 간격은 농작업을 고려하여 결정하는 것이 타당하다고 판단됨.
 - 6조식 : 4.0m, 8조식 : 4.8m
- 영농형 태양광 발전설비의 기둥은 원형강관 50.8%, 각형강관 39.0%, 기타(H형강 등) 10.2%를 차지하는 것으로 분석됨.

원형 강관이 많은 이유는 초기 실증지가 일본의 가로세로 일체형 프레임 구조로 설계되었기 때문이며, 2022년 이후 설치 실증지는 사각관의 사용이 많음. 기둥의 형상과 관계없이 설계하중에 견딜 수 있는 재료의 선정이 되어야 할 것으로 판단됨.
- 영농형 태양광 발전설비의 기초는 스퀘어형 형식이 76.3%로 가장 많이 사용되는 것으로 조사됨.

바) 차광율 분석

- 영농형 태양광 발전설비의 차광율은 11.4~53.1% 범위인 것으로 조사되었으며, 실증연구를 위하여 차광율을 40% 이상으로 설치한 곳은 2개소임.
- 영농형 태양광 발전설비의 차광율이 30% 이하인 곳은 57.7%이며, 30%보다 큰 곳은 42.3%로 확인됨.
- 조사된 차광율과 계산된 차광율(모듈면적/부지면적)을 비교한 결과 차광율이 다소 차이가 나고 있음. 이러한 차광율의 차이는 태양광 발전 설비 설치면적의 부정확성에서 오는 것으로 판단됨.

조사된 차광율과 계산된 차광율이 동일하지 않는 곳도 있는 것으로 나타나, 차광율에 대한 정의가 다른 것으로 파악됨.

한국에너지공단 ‘영농형 태양광 시범사업 시공 가이드라인’에서 차광율은 다음과 같이 정의하고 있으나, 태양광 발전 모듈의 수평 투영 면적을 계산하므로 모듈의 각도에 따라 차광율이 변화될 수 있는 단점이 있음.

따라서, 영농형 태양광 발전시설의 차광율에 대한 용어와 정의를 새롭게 정립하는 것이 필요할 것으로 판단됨.

 - 차광율(%) = 태양광발전 모듈면적/태양광발전 부지면적×100

사) 작물별 수확 감소율

- 벼의 경우 조사된 감소율은 7.2~20.3%(평균 15.7%) 범위인 것으로 조사되었으며, 벼 품종(조생종과 중만생)에 따른 감소율은 거의 차이가 없는 것으로 나타남.

한국남동발전의 시범사업의 경우에는 벼의 수확량 감소율이 2018년 대비 2019

년은 10~71.5%(38.2%), 2020년은 20~50%(28.3%)로 실증연구에서의 벼 수확량 감소율과는 많이 차이가 나타남.

거창 시범사업지 감소율이 71.5%(2019)로 차이가 크게 나타난 부분은 확인 결과 감소율이 14~20%로 확인됨. 2019(감소율20%), 2020(감소율14%).

시범사업과 실증연구에서의 벼 수확량 감소율의 차이는 관리수준에 따른 것으로 파악되며, 수확량 감소율에 대한 지속적인 원인 분석 등이 필요할 것으로 판단됨.

- 콩의 경우 조사된 감소율은 0.3~26.0%(평균 16.4%) 범위인 것으로 조사되었으며, 팥은 수확 감소율은 10.4%인 것으로 조사됨.
- 배추의 경우 조사된 감소율은 0.7~23.0%(평균 17.7%) 범위이며, 마늘의 감소율은 18.3~33.0%(평균 22.4%) 인 것으로 조사됨.
- 작물별 수확량 감소율을 분석한 결과는 벼는 평균 15.7%, 콩 16.4%, 팥 10.4%, 배추 17.7%, 마늘 22.4%, 포도 24.0%, 감자 22.0%, 호밀 8.3%, 배추 6.7%, 옥수수 1.0%, 대파 9.7% 임.
- 녹차와 보리의 경우 각각 13.2%, 8.1% 수확량이 증가 된 것으로 조사됨.

아) 차광율과 벼 수확 감소율

- 차광율에 따른 벼 수확 감소율 분석한 결과, 차광율 30%까지는 수확량이 완만하게 감소하지만 차광율이 30%를 넘어가면 수확량이 급격하게 감소하는 경향임. 고정형의 경우에 차광율이 30%보다 크게 되면 벼 수확량은 급감하는 것으로 나타남.

자) 영농형 태양광 시범 실증단지 현황

- ① 한국농수산대학 이종원교수팀에서 작성한 기본 자료를 바탕으로 추가 확인이 필요한 부분을 재확인하여 작성함.
- ② 실증지에 대하여 현장 방문 및 관계자의 인터뷰를 통하여 확인.
- ③ 각 실증지의 차광율의 정의를 확인.
- ④ 구조물의 형태 및 설치품의 사용 등의 내용 확인.

※ 전국 영농형 태양광 시범실증지 현황 조사 후 정리 기준임

하기와 같은 조건으로 전국의 영농형 태양광 시범실증지를 확인한 결과 총 65개소로 확인되었음. (실증하였으나 철회된 곳은 8개소임)

- ① 같은 지역이라도 발전소가 별개로 설치된 경우는 독립적인 개소임.
(발전소 설치를 위해 구조분석이 별도로 이루어짐)
- ② 같은 지역 및 동일 장소라도 모듈의 형태나 설치 형태가 완전히 다르며, 독립적인 인버터가 설치된 경우는 독립적인 개소임.
- ③ 복수의 지면에 설치되어 있더라도 하나의 발전소인 경우 독립적인 개소임.
- ④ 동일 장소라도 설치 시기가 다른 발전소의 경우 독립적인 개소임.
- ⑤ 각 지역 농기센터의 경우는 위의 정의를 적용하지 않고 동일 장소에 설치되어 있으면 하나의 개소로 함.

No	지원 기관	진행 기관	설치지역	준공일	용량 (kW)	차광율	모듈 (셀)	재배 작물	감소율(%)
1	남동 발전	남동 발전	경남 고성군 하이면 덕호리 201-4.5번지	'17.06	99.84	28	4×8	벼	13 (2019) 8 (2020)
2			경남 하동군 금남면 계천리 920, 921, 934번지	'19.05	97.28	32	4×8	벼	13 (2019)
3			경남 남해군 고현면 오곡리 1890번지	'19.06	97.28	32	4×8	벼	10 (2019) 10 (2020)
4			경남 거창군 신원면 과정리 960, 961번지	'19.06	97.28	32	4×8	벼	20 (2019) 14 (2020)
5			경남 함양군 함양읍 신관리 511-4번지	'19.04	97.28	32	4×8	벼	28 (2019) 16 (2020)
6			경남 고성군 하이면 석지리 733-1번지	'19.02	76.8	32	4×8	벼	12 (2019) +12 (2020)
7			경남 고성군 구만면 화림리 1450	'20.04	83.2	32	4×8	벼	-
8			경남 함안군 군북면 명관리 962번지	'19.05	97.28	32	4×8	벼	16 (2019) 16 (2020)
9	농식 품부	녹색 에너지 구원	전남 나주시 왕곡면 양산동	'17.08	10	24.6	3×12	마늘 양파	18.3(마늘) 11.7(양파)
10			전남 나주시 금천면 석전리 544	'18.09	10	30.1	4×9	배	6.7
11			전남 나주시 금천면 석전리 544, 549-56	'19.09	10	29.8	3×12	배	-
12			전남 나주시 금천면 석전리 549-56	'20.12	16	29.7	4×9	배	28 (2021) 30 (2022)
13			전남 나주시 문평면 옥당리 697	'20.12	13	25.2	6×12	포도	15.5~41.8 (2022)
14			전남 보성군 보성읍 봉산리 643	'20.12	20	25.2	6×12	녹차	+40.8 (2021) +48.6 (2022)
15	산자 부		전남 나주시 남평읍 남석리 162-12, 897-8, 163-1	'19.05	2	30	3×12	무화과	-
16			전남 나주시 남평읍 남석리 162-12, 897-8, 163-1	'20.01	10	30	3×12	포도	-
17	농식 품부	농촌 진흥 청	전북 완주군 이서면 혁신로 181	'19.05	43.2	33.4	3×12	벼	18.5
18			전북 완주군 이서면 혁신로 181	'19.05	43.2	33.1	6×12	벼	17.9
19			전북 완주군 이서면 혁신로 181	'20.09	84	30.2	6×12	벼	21
20			전북 완주군 이서면 혁신로 181	'20.09	78	30.2	6×12	벼	17
21	산자 부	원광 전력	충북 청주시 청원구 오창읍 탑리 187-1	'19.08	99.17	30	4×9	감자, 배추, 무, 양파, 들깨, 참깨, 마늘	5(감자), 14(배추), 19(무), 13(양파), 9(들깨)
22			전남 나주시 산포면 산제리 284-1번지	'19.08	99	30	3×12	마늘, 양파, 양배추	29(마늘), 30(양파), 15(양배추)
23			인천 옹진군 영흥면 내리 175번지	'18.10	33	30	4×9	포도	+2
24			인천 옹진군 영흥면 내리 175번지	'18.10	33	30	4×9	포도	+2
25			인천 옹진군 영흥면 내리 175번지	'18.10	33	30	4×9	포도	+2

No	지원 기관	진행 기관	설치지역	준공일	용량 (kW)	차광율	모듈 (셀)	재배 작물	감소율(%)
26	산자 부	원광 전력	전남 보성군	'18.05	10	30	4×9	녹차	0
27			전남 강진군	'18.05	10	30	4×9	옥수수	0
28		전남 농기 원	전남 나주시 산포면 산제리 284-1번지	'18.10	100	30	3×12	녹차, 호밀, 양배추, 양파, 마늘	+11(녹차) 12(호밀) 19(배추)
29	동서 발전	한국 에너지 지재 단	경기 파주시 적성면 객현리 553-1	'20.01	49.6	27.3	4×8	벼	7.2
30			경기 파주시 적성면 객현리 613-1	'20.04	99.2	27.3	4×8	콩	13.1
31			경기 파주시 적성면 객현리 639,641	'20.02	148.8	27.3	4×8	콩	-
32			충남 당진시 석문면 교로리 472, 473, 474	'20.06	99.2	27.3	4×8	벼	-
33			경남 울산시 울주군 두서면 구량리	'22.5	300		6×12	벼	-
34		영남 대학 교	경북 경산시 삼풍동	'19.11	50	30	6×12	보리 대파	+17.5(보리) +38(대파)
35			경북 경산시 삼풍동	'22.04	10	30	4×10	배추 대파	-
36			경북 경산시 삼풍동	'22.05	20	30	6×12	밀	-
37			경북 경산시 삼풍동	'22.05	20	30	6×12	밀	-
38		산자 부	원광 전력	충북 청주시 청원구 오창읍	'18.05	33	30	3×12	감자 배추
39	충북 청주시 청원구 오창읍			'18.09	33	30	3×12	감자 배추	-
40	충북 청주시 청원구 오창읍			'19.05	33	30	3×12	감자 배추	-
41	한국 수력 원자 력	녹색 에너지 지연 구원	경기 가평군 설악면 미사리 484-3	'17.06	96.9	19.2	6×12	벼	18.2, 15.2 14.4, 16.5
42			전남 영광군	'19.07	100	30	6×12	옥수수	
43			전남 나주시 도민길 50	'21.08	16.38	30	6×12	무화과	-
44			전남 나주시 용산동 31-1	'21.08	16.38	30	6×12	블루 베리	-
45			전남 나주시 도민길 50	'22.06	16.92	30	6×12	무화과	+22
46			전남 나주시 용산동 31-1	'22.06	16.92	30	6×12	블루 베리	13

No	지원 기관	진행 기관	설치지역	준공일	용량 (kW)	차광율	모듈 (셀)	재배 작물	감소율(%)
47	산자 부	현대	충북 청주시 청원구 오창읍 탑리 773	'20.03	16.9	32.7	3×12	감자 양파	22
48		에너지솔루션	충북 청주시 청원구 오창읍 탑리 773	'20.03	16.9	32.5	3×12	감자 양파	15.1
49		루션	충북 청주시 청원구 오창읍 탑리 773	'20.03	16.9	40.7	3×12	감자 양파	12.7
50	중기 부	HS	충북 청주시 상당구 미월면	'18.08	97.9	11.4	6×12	벼	-
51		솔라	충북 청주시 상당구 미월면	'19.09	176.1	18.9	6×12	콩	-
52	중부 발전	파루	전북 김제시 백구면 영상리	'22.08	99	30	6×12	대파, 들깨, 밀,보리	18.5(대파) 19.7(들깨) 14.1(밀) 16.9(보리)
53	산자 부	파루	전남 해남군 산이면 금속리	'21.07	268	30	6×12	보리	
54			전남 순천시	'17.09	96	30	6×12	벼	-
55		새마을 운동중앙회	경기도 성남시	'18	70	30	3×12	마늘 양파 쌈채소	-
56	농식 품부	파주농기센터	경기도 파주시 파평면 덕천리 482	'20.12	49.6	27.6	4×8	콩 양파	-
57		순천농기센터	전남 순천시 승주읍 산학리 5-1	'21.02	50	28.7 24.8 32.5	4×8	오이 딸기 토마토	-
58		제주서부농기센터	제주시 한림읍 금능리 350-9	'20.12	40	26.8	6×12	마늘 양파 양배추	-
59		화성농기센터	경기도 화성시 장안면 독정리 1289, 1289-1	'21.03	51.8	29.8	3×12	마늘 옥수수	-
60		당진농기센터	충청남도 당진시 석문면 삼화리 207-74	'21.09	49.8	30	6×12	감자	-
61		강원산채연구소	강원도 인제군	'21.12	48.9	30	3×12	산마늘 곰취	-
62		봉화약용작물연구소	경북 봉화군	'21.12	50.4	29.8	6×24 (12)	지황 천궁	-
63		함양농기센터	경남 함양군	'22	48.8	30	6×12	감자 양파	-
64	한국 전력	한국 전력	전남 나주시 산포면 세남로 1508	'20.12	374	21.3 25.6 32	6×12	벼,콩 보리 옥수수	-
65			충남 태안군 월북면 방갈리 788-10	'22.12	350	30	6×26		

표. 영농형 태양광 국내 실증지 현황

No	지원 기관	진행 기관	설치지역	준공일	용량 (kW)	차광율	모듈 (셀)	재배 작물	감소율(%)
1		솔라 팜	충북 청주시 청원구 오창읍 탑리 787	'16.03	15	30	4×9	벼	15.1
2			충북 청주시 청원구 오창읍 탑리 773	'16.08	15	30	4×9	감자 배추	15(감자) 12.3(배추)
3	농식 품부	녹예 연	전남 나주시 용산동 41	'18.01	10	30	6×12	-	-
4	GS 건설	경북 대	경북 군위군	'18.07	15.4	53.1	3×12	팔 옥수수 콩	10(팔) 11.7(옥수수,콩)
5			경북 군위군	'18.07	15.4	32.3	3×12	벼 호밀 마늘	14.7, 8.5(벼) 2.7, 13.8(호밀) 22.3, 17.1(마늘)
6			경북 군위군	'18.07	15.4	32.3	3×12	양파 옥수수 콩	19.4, 9.4(양파) 0(콩)
7		공주 대	충북 공주시	'18.05	70	30	6×10	배추 벼	-
8		전남 대	광주광역시	'20.05	30	30	3×12	브로컬리	-

표. 철거된 국내 영농형 태양광 실증지 현황

No	구분	모듈종류	경사각	각도조정	비고
1	남동발전	4•8	30	가변(수동)	
2	녹색에너지연구원	4•9 3•12 6•12	30 0	가변(수동,전동) 고정	
3	농촌진흥청	3•12 6•12	30	가변(수동) 추적, 고정	살수시스템 사용 실증지 有
4	원광전력	4•9 3•12	30	가변(수동)	살수시스템 및 무인방제 시스템 사용 실증지 有
5	동서발전	4•8 6•12	30	가변(수동) 고정	집수 / 살수 / LED보광 사용 실증지 有
6	한국수력원자력	6•12	30	고정	
7	현대에너지솔루션	3•12	30 90	가변(수동) 고정	
8	순천시농업기술센터	4•8	30	고정	
9	화성시농업기술센터	3•12	30	가변(수동)	
10	HS솔라	6•12	30	가변(수동)	현재 고정식으로 변경

표. 영농형 태양광 구조물 - 상부구조

No	구분	프레임형		독립지주형		하이브리드형	비고
		가대형	트러스	추적식	고정식		
1	남동발전					○	지상조립, 크레인이용
2	녹색에너지연구원	○	○				
3	농촌진흥청	○		○			
4	원광전력	○	○				
5	동서발전	○				○	하이브리드형의 경우 지상조립, 회전직립 설치
6	한국수력원자력				○		1기동에 4개 모듈 장 착
7	현대에너지솔루션		○				
8	순천시농업기술센터	○					비닐하우스 위에 설 치 H-Beam 적용
9	화성시농업기술센터		○				
10	HS솔라		○				

표. 영농형 태양광 구조물 - 기둥구조

No	구분	스크류/ 스파이럴	콘크리트	기타	기둥형태	비고
1	남동발전	○			원형관 사각관	
2	녹색에너지연구원	○	○		사각관	녹차, 배 실증지 기초는 콘크리트 적용
3	농촌진흥청	○			원형관 사각관	
4	원광전력	○		○	원형관	기타 - U자관 적용
5	동서발전	○	○			
6	한국수력원자력		○		원형관	
7	현대에너지솔루션	○			원형관	
8	순천시농업기술센터		○		H-beam	
9	화성시농업기술센터	○			원형관	
10	HS솔라	○			사각관	

표. 영농형 태양광 구조물 - 기초구조

2) 작물별 영농형 태양광 시스템 설계 및 설치 가이드라인 개발 (가이드라인 별첨3)

영농형 태양광 발전 시스템은 그 설치 가이드라인이 독일과 일본 두 국가가 제정하여 운용 중이다. 독일의 경우, 독일 표준원에서 2021년에 “DIN SPEC 91434”으로 명명하여 사용 중이다. 일본은 2013년부터 규정이 완비되어 매년 최신화 과정을 거치고 있으며 “”으로 명명하여 사용하고 있다.

우리나라는 일본의 가이드라인이 보다 국내 상황에 잘 부합되어 이 연구를 일본 가이드라인을 기초로 일본과 다른 국내 사정을 반영하여 작성하였다.

우선 우리나라보다 먼저 가이드라인을 작성한 독일과 일본의 차이점을 다음 표에 나타내었다.

<표. 해외(독일, 일본) 가이드라인의 차이점>

	독일 DIN SPEC 91434: 2021-5	일본 가이드라인
목적	영농형 태양광의 농업 용도에 대한 요구 사항(농업용 품질보증을 위한 테스트 절차에 대한 측정 지표)	영농형 태양광 설치 형태의 태양광 발전 설비에 관한 안전성 확보를 위함
영농형 태양광 범주	○ 범주 1: 설치 높이가 명확한 것 ○ 범주 2: 지면 설치만 있는 것	범주없이 높이 2m로 제한함 ※ 최근 범주 2에 해당하는 수직형을 포함하기 위해 높이 2m 규정을 수정하는 작업 수행 중
작물종에 따른 분류	○ 영구 및 다년 생작물 ○ 일년생 및 다년 작물 ○ 작디 깎기를 위한 영구초원 ○ 목초지로 사용되는 영구초원	구분 없음
기둥 높이	범주 1 경우 최소 2m와 10m	모두 2m
차광율	범주 1에서 기둥이 잠식한 지역 외 농업 가능지역의 부분 또는 전체를 모듈로 덮을 수 있음	농민이 농업계획서에서 제시하는 작물의 차광율 범위에 따라 차광율을 설정하여 설계 가능 (작물별 차광율은 2019 한 대학 연구자료 제시함)
농업 경작 제안서	토지사용자(농부, 세입자), EPC계약자(설치자)가 공동작성 농업보유일반사항(소유권 구조, 규모, 현재 생산량) 다음 3년 어떻게 사용될 것인지 활용 계획	
PV 시스템 설치 균일성	기둥 간격은 토지이용과 작물 생산을 유지 할 수 있게 고르게 분배하고 충분히 커야 함	영농에 지장 없는 충분한 공간의 기둥 간격과 보의 높이 농기계 충돌 시 연쇄 과도 하지 않는 구조
토지 손실	○ 범주 1은 10% 이내 ○ 범주 2는 15% 이내	없음
경운 작업성	농업가능지역 모두 경작 가능해야 함	농업기계의 치수, 선회 반경을 확인
차광율 및 광균질성	적절한 빛 이용 가능 구조 가능한 가장 높은 빛 균일성이 보장되어야 하며, 충족되지 않을 경우 농업 경작이 보장됨을 증명	농작물의 일조와 발전 특성 양면을 고려한 모듈의 경사각과 이격거리 설정 모듈 각도는 풍압, 적설 하중 영향도 고려하여 설정 (빛 균일성에 대한 내용은 없고 차광율로 대신한 것으로 파악)
물가용성	빗물이 작물에 균일 분배되도록 함	작물에 악영향을 미치지 않도록 배치 결정

토양 침식 및 표토의 미사	빗물 분배기 또는 빗물 집수 시스템 사용	작물에 악영향을 미치지 않도록 배치 결정
조립, 분해	해체 시 토지가 원상태 유지 건설, 해체 시 토양 구조 변형 불허	농지의 일시전용허가제이므로 허가기간 후 해체 해야하며, 해체가 용이하도록 설치해야 함
감소율 (수확량)	66% 이상 요구 ○ 영구 작물 및 초원: 지난 3년간 수확량 평균 ○ 윤작 경작: 개별작물 수확량의 3회 평 균 ○ 미재배 작물: 관련 간행물 (연방 통계 청, 연방 주의 농업 통계)의 지난 3년 수 확량 평균	80% 이상 농작물 품종별 과거 평균수량과 품질 고려 황폐농지의 경우 주변 지역 해당 농작물 연간 평 균 수량 및 품질 농작물 수량, 품질 조사 계획서를 작성하여 농업 위원회에 보고
차광율	태양광 모듈 및 지지구조 부분을 고려하 고 모듈 중 셀 사이 빛이 투과되는 부분은 빛 100%로 산입가능	차광율 계산식이 모듈과 구조물 포함 모듈 내의 빛 투과 부분 고려 없음 차광율= (Am + Af)/Aa , Am: 태양광 조감도상 평면적 Af: 가대구조물 평면적 Aa: 총 시설 설치 평면적
지지구 조 안정성	유로코드의 반확률적 안전 개념에 따라 설계	자체하중, 풍하중, 적설하중, 내지진 강도를 지역 별 자연재해극한치에 따른 가중 계산에 따라 하중 안전 전문가가 산출하여 확인 가능
PV 모듈	모든 PV 모듈 사용 가능. 그러나 전지 간 격, 봉지재료(투명), 모듈설치방향 등은 빛의 이용 가능성과 농업 적용도에 맞게 조정되어야 함. 모듈은 최고의 빛 균질성 을 보장하도록 고르게 분포	모듈 종류, 빛 투과 모듈 고려 빛 균일성에 대한 내용 없음
설치 재료	모든 재료	강철, 알루미늄합금제, 콘크리트, 사용목적에 맞 는 강도와 내구성 갖는 기타 재료
설치 높이 정의	최소 2, 10m로 구조물의 가장 낮은 요소 의 높이. 움직이는 구조요소는 가장 낮은 바닥까지의 높이	농기계 높이 및 작업자가 서서 작업 할 수 있는 높이 (최저지상고가 2m이상)
손상 보호 구조	기동 주위에 충격보호장치를 뚱에 고정하 여 설치 가능	없음
케이블	쟁기 및 농기계로부터 안전하도록 DIN VDE 0100-502에 따라 최소 길이로 매설	50kW 미만은 450V로 낮추어 발전 케이블, 커넥터 및 접속상자가 빗물이나 자외선에 직접 노출되지 않도록 설치 매설 접지봉 위치는 알 수 있도록 표시
설치 시 토양 변형 불허	건설, 해체 과정으로 토양 열화가 없어야 하고 작동 물질 누출 없어야 함.	없음
농업 시스템 승인 및 시운전	○ 농업재배제안서 준수 ○ 쟁기 등으로부터 케이블 안전 길이 ○ 면적 손실 최소화 ○ 지지구조 안정성	승인 및 시운전은 없고 대신 사전조사항목이 많음 (지반조사, 원위치시험, 농작물조사 등)

유지 보수	유지 보수 작업은 시스템 설치자가 작동설명서에 기록, 작업자는 관찰 결빙, 고드름 형성 시 작업 불가 고드름은 빗물 배분, 집수 시스템으로 방지 가능	유지관리계획서는 시설 소유자가 작성하는 것을 원칙으로 하고, 설계자, 시공자의 전문지식을 가진자의 의견 반영 재해 시 신속 시공, 대응을 위한 긴급연락체제 정비 전기 이상 시 신속 접속상자 차단 위험 평가 및 대응 매뉴얼 준비
청소	PV 모듈의 심한 흙먼지 오염은 청소해야 함 청소 시 세척제는 식품, 사료, 의약품 규정을 준수	없음
부식방지	없음	사용약지비료성분확인 및 부식방지를 위한 pH 측정하여 금속 부식영향조사 후 부식환경에 부식되지 않는 재료 사용

독일의 경우 소형 농장을 위한 높이 제한은 2m, 대형 농장을 위한 높이 제한을 10m로 두고 작물의 천정을 덮어 차광하는 유형을 ‘Category 1’로, 천정을 덮지 않고 펜스형으로 세워두는 유형을 ‘Category 2’로 두며 작물 목초를 비롯한 4가지 유형으로 분류하여 각각에 맞는 설치 가이드라인을 설정하지만, 일본의 경우는 우리나라와 같이 1년 작물 재배에 초점을 두어 가이드라인을 작성하고 있다.

우리나라의 경우 일본과 같이 1년생 작물을 알곡이 수확하는 식량 자원과 잎이나 뿌리 또는 열매를 수확하는 밭작물을 중심으로 하되, 다년생 작물이 대부분인 과수에 대해서도 고려하여 가이드라인을 작성하였다. 다음 표에 이 연구에 의해 구성된 가이드라인과 일본의 가이드라인의 차이점을 나타내었다.

<표. 국내 가이드라인과 일본 가이드라인의 차이점>

항목	일본 가이드라인	한국 가이드라인	사유
적용 범위 및 인용 사항	가대구조를 강철 또는 알루미늄 사용	재료의 강도 등의 조건이 기준에 충족된다면 가대로 사용이 가능(용융아연, 텅스텐, 포스맥그리고FRP 등)	한국의 경우 강철 구조는 물을 다량 사용하며 특히 염해 농지 등 간척지 농지가 많아 부식에 취약함. 또한, 꾸준히 문제 제기 되는 토양오염의 원인을 차단하고 20년을 지탱하는 강도를 유지하여야 하기 때문임
구조 설계 지침	사용기한이 명시되어있지 않음	20년 이상 사용 가능한 구조를 명시하고 콘크리트 기초 철거 시, 주의 사항 명시	일본의 경우 지침서 작성 시 3년 단위로 재평가되고, 현재 10년 단위로 재평가가 되므로 구조물의 사용 시한을 명시하지 않고 작성되었으나, 한국의 경우 20년 사용을 기준으로 작성되었기 때문
태양 전지 어레이 배치 계획	차광률은 경작물에 따라 농민이 결정하여 설치하는 것으로, 작물별 차광률 권고안만 제시됨.	경작물과 관계없이 30% 차광률을 고정함. 음영 균일도 및 낙수 피해 최소화를 위해 영농형 특화 모듈 사용과 빗물 집수 시스템을 권고	일본의 경우 경작물에 따라 차광률을 자유로이 결정하다 보니 기존의 벼 작물이 음지식물인 양아 등으로 급속히 대체되고 있는 부작용이 발생함
차광률 계산법	태양광 모듈 설치 각도에 따른 조감도 상 뷰팩터 면적과 가대 구조물 면적을 포함하여 전체 토지 대비 구조물 면적을 뜻함	전체 토지 면적 대비 모듈의 면적 총합으로 단순화함	농민이 계산하기 간단하고 수치상으로 명확히 밝힐 수 있는 지표로 제안함. 일본의 경우 한국보다 모듈 면적은 좁게, 가대 면적은 추가로 넓게 반영되어 전반적으로 비슷한 차광률이 도출됨
구조물의 최저 높이	영농에 지장을 초래하지 않는 정도의 충분한 공간 확보가 가능한 기둥의 간격 및 기둥의 높이 확보. 구조물은 서서 작업하기 위한 최저높이로 2m를 정하고 있음	기둥 간격은 농민이 소유하고 있거나 작업할 농기계의 재원을 기반으로 한 영농에 지장을 초래하지 않는 간격을 4m 이상으로 설정하고 높이는 구조물의 최저 지상고가 2.5m 이상 지정	일본의 경우 작업자가 서서 작업 할 수 있는 높이를 최저 지상고로 정의함. 한국의 경우 농기계의 작업 범위와 전기 전선 등 설비의 안정성을 고려하여 더욱 높게 설정함
설계 하중	지역별로 고정 하중에 더해 풍압, 적설, 지진을 누적하여 계산하는 누적 지표를 적용	고정 하중, 풍압 하중, 적설 하중, 지진 하중을 계산한 뒤 지역별 각각의 설계 하중을 만족하도록 함	일본의 경우 태풍, 적설, 지진 등이 동시에 오는 일기 상황이 존재하나, 국내의 경우 위의 일기 상황이 동시에 일어난 예가 지난 100년간 없었기 때문임
사용 재료 규격	일본 규격인 JIS를 따름	KS 규격을 원칙으로 하되, 그 외의 재료는 설계 조건을 견딜 수 있는 강도 특성 및 내구성을 가진다는 점을 명시	구조물 사용 재료는 목적과 부위, 환경조건, 내구성 등을 고려하여 선정하는데, 일본과 한국의 규격 체계가 다소 상이할 수 있어 KS 규격을 따르도록 함

항목	일본 가이드라인	한국 가이드라인	사유
부식 방지	별도의 부식 방지에 대한 지침이 없음	한국은 일반 철제를 불허하며 염해 농지 등 특수 환경에서 적합한 재료를 사용할 것을 권장함	염수 분무 가속 시험을 통해 20년을 보장할 수 있는 부품별 재료를 실험한 결과 염해 농지의 경우, 볼트, 너트는 일반 강제뿐만 아니라 용융아연도금 재료도 견딜 수 없음을 확인하여 이들을 불허함
기초 설계	말뚝 기초를 원칙으로 하며, 기초의 점유면적을 최소화하는 것으로 명시 줄기초가 아니면 콘크리트를 사용할 수 있도록 명시	말뚝 기초를 기본으로 하되, 콘크리트를 사용하면 철거 시 콘크리트 분쇄를 불허하며, 농지 피해를 주지 않는 방법인 현장 양생을 불허함 기초 잠식 면적은 10% 이내로 명시	일본의 경우 비닐하우스와 같이 영농형 태양광 시스템이 작고 소규모로 설치되기 시작하여 일반적으로 콘크리트 기초를 사용하고 있음. 한국의 경우 콘크리트 사용 시 발생할 문제점이 대두되어 그 문제점에 대한 보완책을 명시함. 또한 일본의 경우 기초에 의해 잠식되는 면적을 최소화하라고만 명시되어 있어 한국의 경우 독일의 지침서를 준용하여 10%로 명시함
유지 관리	농작물의 감수율을 20% 이하로 명시하고, 이의 검증을 농민의 보고서를 기반으로 한 농업위원회가 심의함	농작물 감수율 72%로 명시함 작황 감수율 심의 기관이 필요함을 명시	한국은 농작물 감수율 80%와 토지 잠식률 10%를 모두 반영하여 90% 경작지 면적의 80%인 72%로 명시함. 농민이 작황 보고서를 작성하도록 권고하고, 이에 따라 추후 설치될 심의 기관에서 심의하도록 함
중금속 검사	없음	농산물 안전성 확보를 위해 토양 중금속 검사를 10년에 1회 시행하여 보고	농림축산식품부의 요청 사항
감전 사고 예방	출력이 50kW 미만인 경우 직류 대지 전압을 450V 이하로 한다. 50kW 이상의 경우, 분할하여 450V 이하로 함	출력이 100kW 미만인 경우 직류의 대지 전압을 750V 이하로 한다. 100kW 이상이면 분할하여 750V 이하로 한다. 전선의 처짐 방지와 절단 방지를 위해 전선의 결선은 MP-4 등 전선 커넥터를 사용할 것을 권고함	일본의 지침이 단선으로 인한 감전 시 인체에 충격을 완화하기 위해 450V로 낮추어 지침이 마련되었으나, 한국전기안전공사의 준공 시 전기안전공사 검사기준에 부합하여야 하므로 전압 기준을 일본과 같이 규정하지 못함. 하지만, 전선의 단선 위험을 줄이기 위해 결선 시 전선의 처짐 방지와 절단 방지를 위해 MP-4 등의 부품을 사용하도록 권고함
자외선 및 빛물 대책	케이블, 커넥터, 인버터나 접속함이 자외선이나 빛물에 직접 노출되지 않도록 설치함	동일하지만 커넥터 등의 표현을 결선 부품 명으로 구체화함	부품을 보다 구체화함
사고 발생 대비책	없음	농기계와 감전으로 인한 사고 대비 보험 가입 의무화	농기계 안전사고, 감전 사고 등에 대비한 보험 가입을 의무화함

국내 가이드라인을 요약하면 다음과 같다. 가이드라인 전문은 별첨에 나타내었다.

· 설계, 설치 가이드라인 요약

1. 농지 형상 유지 및 보전 방안으로 영농형 태양광 발전 설비 시설로 인한 농지의 변형, 진입로 차단등을 일체 불허하며 스크류 등 토지에 기초를 박는 형태를 권유하며 콘크리트 기초를 사용할 경우 농지 현지에서 양생은 불허하며 철거시 콘크리트 파쇄를 불허한다. (영농 활동 안전 보장)
2. 안전한 영농 활동을 보장하기 위해 기둥의 넓이는 4m 이상으로 하되, 농민이 사용할 농기계의 경작 폭의 배수로 산정하고 높이는 2.5m 이상이 되어야 하며 전선은 영농 활동 공간에 설치될 수 없고 반드시 상부구조 위로 설치되며 표준 소켓으로 전선은 처짐없이 설치되어 누전 시 사고 발생을 방지할 수 있어야 한다.

3. (농작물의 생육 의무) 모듈의 설치시 천정을 메우는 모듈 차광률은 30% 이내로 하고 농작물의 비에 의한 낙수를 줄이기 위해 협소형 모듈과 빗물 집수 설비를 권장한다.
4. (발전 사업자 유지) 발전사업자 유지를 위해 농산물의 경작 영농 계획서를 작성 제출하고 영농 계획서의 작물 경작 및 작황 분석을 위해 과거 2~3년간의 동일 작물 토지면적당 수확량을 조사해서 밝히고 작황률은 3년간 평균 80% 이상을 유지하여야 함(80% 수확은 단위 농지 면적당 작물의 무게)
5. (시설물 점유 면적 제한) 영농형 태양광 시설물이 점유하는 농지 면적은 10% 이내이어야 한다.
6. (농산물의 안정성) 농산물의 안정성을 담보하기 위해 10년에 1회 토양 중금속 검사를 실시하고 보고해야 한다.
7. (사용 재료) 염해 농지의 경우 일반 철재, 강재는 사용할 수 없으며 볼트, 너트의 경우 일반 철재, 강재와 용융아연도금재는 사용을 불허한다. 모든 농지위의 태양광 발전 설비의 금속 기둥 구조, 기초 구조는 수도용 자재와 제품의 위생 안전 기준에 따라 인증된 제품을 사용하여야 하며, 부식 방지 보호필름, FRP 등을 사용할 수 있다.
8. (모듈배치) 영농형 태양광 설비 토지 위에 모듈은 균등 배치되어 특정 부위에 국부적으로 설치되지 않아야 한다.
9. (구조 강도 조건) 영농형 태양광 발전 시설물은 건축구조 기준 KDS 41 12 00: 2022 건축물 설계 하중 규정을 따른다.
10. (농지 복원) 농지는 20년 태양광 발전 사용 후 원상복귀 되어야하며 시설물은 철거가 쉽도록 설치되어 철거 후 토지 변경을 불허하고, 콘크리트 등의 구조물은 철거시 파쇄를 불허한다.
11. (보험) 영농 활동시 농기계와 시설물의 충돌로 인한 피해를 보상하는 보험가입을 의무화한다.
12. (계획수립과 유지관리계획) 영농형 태양광 발전 시설을 설치하기 위해, 영농 계획서와 발전설비 설치계획을 위한 사전조사, 전기시설 계통연계 용량 여유 확인과 이격거리기준 등 사전조사, 이상상태 점검 및 유지보수를위한 대행업체 선정등을 권고함.

3) 농업가치 훼손 없는 작물별 생산성이 고려된 K-영농 태양광 표준모델 3종

작물별 맞춤형 영농형 태양광 표준모델 개발 및 설계·관리기준의 개발을 위해 다음과 같은 추진과 제에 의한 연구가 진행되었다.

우선 첫째 국내외의 영농형 태양광 발전 시설물의 사례를 연구하였다. 해외 사례에서는 시설물의 정확한 설치 요소인 차광률, 기둥 간격, 시설물 높이, 사용 모듈의 크기 등의 실측 Data를 얻기 힘들었고, 또 각 요소별 경작물과 그 경작물 작황에 대한 결과를 얻어내기 어려워 설치된 영농형 태양광 발전의 특징과 유형으로 살펴보았다.

둘째 국내 사례의 경우 전국에 걸쳐 시범사업으로 운용된 약 60여개소의 연구 결과가 일목요연하게 조사된 사례가 있어 태양광 발전 설비의 설치 요소별로 작황 분석을 수행할 수 있었다. 작황 분석은 ① 빛의 차광률, ② 모듈의 크기(면적), ③ 기둥의 간격, ④ 모듈의 높이가 아래의 경작물 성장 환경에 미치는 영향이 크다고 보았으며, 경작환경 중, 토양 20cm이하의 온도와 습도, 대기온도, 대기습도, 빛의분포 및 빛 조사강도(차광률에의해 결정된다고 가정하였음)에 영향을 미쳐 궁극적으로 작물의 작황에 영향을 끼치는 것으로 가정하였다.

또한 총 60여개소중 작황율이 없는 20여개의 Data를 제외한 40여개의 자료중 가장 작황이 많았던 벼의 경우 21개 Data가 산출되었으나 기타 작물은 배추와 양파등이 4~6개의 Data가 있을 뿐 나머지는 1~2개의 Data밖에 없었다. 각 설계 요소와 작황율간의 관계가 유의미한 결과인지를 판별하기위해 추세분석, 회기분석, 상관관계분석 중 상관관계분석을 선택했으며 설계 요소와 작황율간의 상관관계는 1차(비례)관계로 가정하였다. 예를들어 차광률과 작황율(감수율)간에는 차광률이 높을수록 감수율로 1차 관계(비례 관계)로 높아진다. 라는 명제가 성립하는 것으로 가정하였고 그 Data들을 1차 Least-squair법을 통한 1차 직선을 구한 후 각 Data의 직선과의 오차들의 상관분석을 통해 유의수준 70%이상일 때 비례관계가 유의미하다고 보았다.

실험의 종류에따라 70%이상의 Data 분포에서 상관관계가 성립하는 경우와 50%이상일때도 상관관계가 성립하는 경우로 나눌수 있는데 본 연구의 설계요소-감수율의 상관관계는 70%이상 유의수준을 가정하였음을 밝힌다.

셋째 국내외 사례연구를 통한 상부의 구조, 기둥구조, 기초구조의 종류와 각 구조물에 설치될 수 있는 여러가지 부가 시설물을 조사하였다.

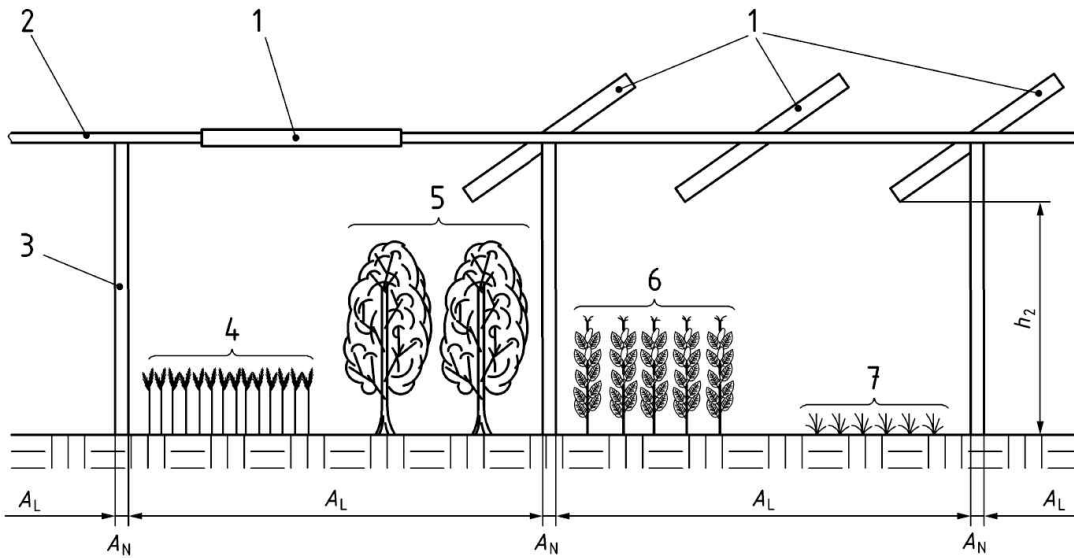
마지막으로 이들 조사와 본 연구과제의 작황을 종합하여 한국 실정에 맞는 작물별 표준 영농형 태양광 발전 표준 모델을 제시하였다. 작물별 표준 모델을 위해 작물의 종류를 ① 식량자원인 곡류작물, ② 밭작물인 뿌리, 잎, 열매를 수확하는 밭작물, ③ 키가 낮고 일열로 균집을 이루는 다년생 작물, ④ 키가 크고 단독으로 자라는 다년생 과수작물을 선별하였으며 그 선별기준은 다음과 같다. 아래의 이유로 태양광 발전 시설물은 설계가 달라질 이유가 발생하기 때문이다.

- ① 경지 정리가 잘 이루어진 4각형 다년생 농작물
- ② 경사가 있는 부정형 다년생 밭작물
- ③ 다년생 작물로 이미 심어진 작물이 일열로 자라는 작물
- ④ 다년생 작물로 이미 심어진 키가 큰 과수열매작물

가) 국내의 사례 및 현장조사와 선행 연구·실증 결과 분석

- 해외 사례 연구

• 독일 : 독일의 경우 영농형 태양광 시스템을 2가지 카테고리로 나누어 설명하고 있다. 첫째는, 구조물 아래에서 경작하는 영농형 태양광 시스템이며, 둘째는 경작영역 사이에 열 형태로 설치하는 영농형 태양광 시스템이다(DIN SPEC 91434). 다음 그림 1-1 ~ 그림 1-5에 이들을 나타내었다.

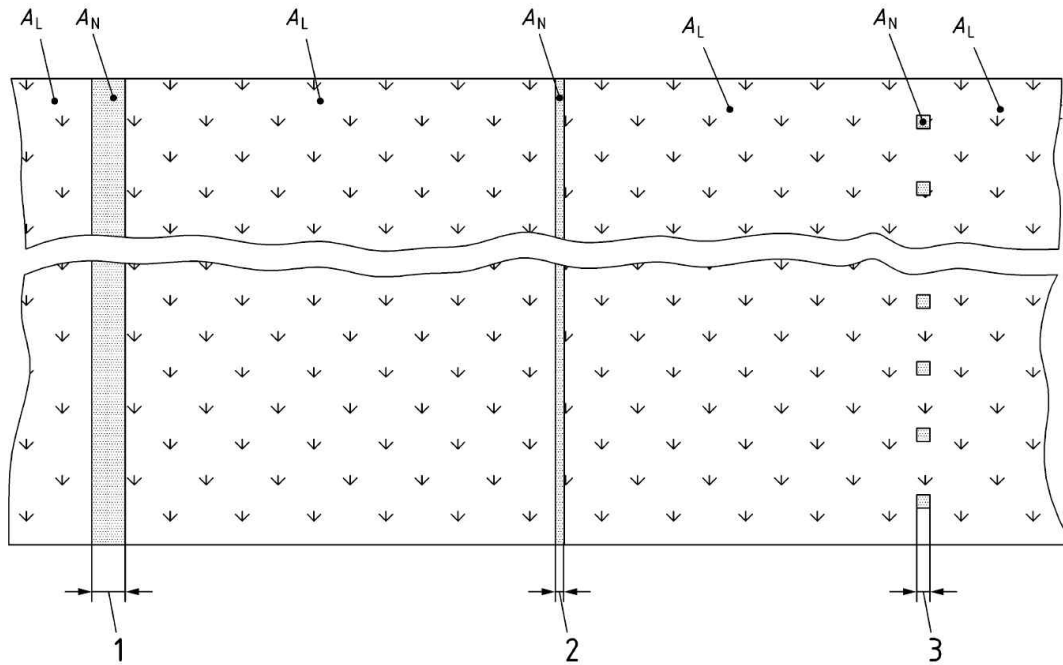


Key

- A_L agriculturally usable area
- A_N agriculturally unusable area
- h_2 clear height over 2,10 m
- 1 examples of solar modules
- 2 strut
- 3 mounting structure
- 4 to 7 examples of agricultural crops

그림1-1. 카테고리1의 개략도

작물 상부 구조물은 태양광 모듈이 1과 같이 수평으로 배치되거나 또는 일정각도를 유지하도록 배치될 수 있다. 2와 같이 이들의 모듈과 기둥을 연결하는 상부구조 가대가 설치되어있다. 3과 같이 기둥이 설치되고 기둥의 간격, 기둥의 두께 그리고 기둥을 세우기 위한 기초로 인해 잠식되는 농지의 폭이 영농 불가능 영역으로 표현되고 있다.

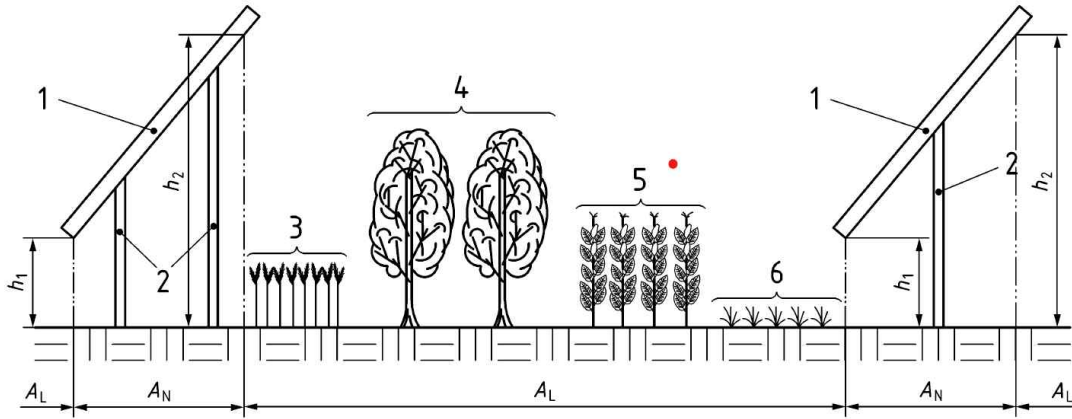


Key

- A_L agriculturally usable area
- A_N agriculturally unusable area
- 1 and 2 near-ground installations (category II) or highly elevated installations (category I) with different widths and only one processing direction
- 3 highly elevated installations (category I) with workability in all directions

그림 1-2. 여러 가지 영농형 태양광 시스템 설치 영역의 평면도

카테고리1 혹은 카테고리2의 영농형 태양광 시스템을 설치하기 위한 영역은 위와 같이 3가지로 구분된다. 열 형태로 설치하거나 점 형태로 설치할 수 있다.

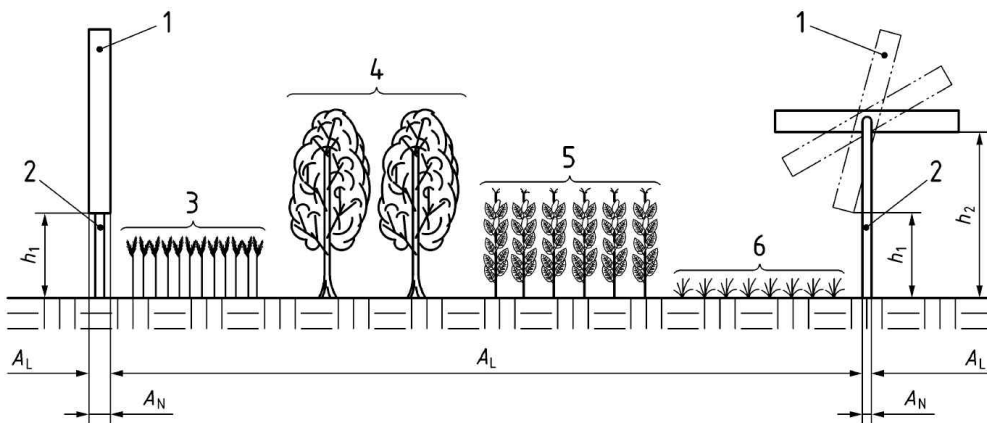


Key

- A_L agriculturally usable area
- A_N agriculturally unusable area
- h_1 clear height under 2,10 m
- h_2 clear height over 2,10 m
- 1 examples of solar modules
- 2 mounting structure
- 3 to 6 examples of agricultural crops

그림 1-3. 카테고리2의 고정형 구조물의 개략도

카테고리2의 경우 농작물을 구조물 아래에서 경작하지 않는 구조이며, 위 그림은 카테고리2 고정형의 예시로 기둥이 한 개 혹은 두 개가 설치될 수 있고, 모듈 하부는 경작하지 못하는 영역으로 설정되어있다. 그래서 넓은 영역의 열 구조로 영농 불가 영역이 설정되어있다. 보통 이러한 구조물은 광범위하고 폭이 넓은 목축지대나 대형 기계 농장에 적용되는 것으로, 우리나라에는 적합하지 않은 형태이다.



Key

- A_L agriculturally usable area
- A_N agriculturally unusable area
- h_1 clear height under 2,10 m
- h_2 clear height over 2,10 m
- 1 examples of solar modules
- 2 mounting structure
- 3 to 6 examples of agricultural crops

그림 1-4. 카테고리2의 수직 고정형 및 단축 가변형 구조물의 개략도

카테고리2의 고정형 구조물은 넓은 영농 불가 면적을 요구한다. 이에 카테고리2의 경우라도 영농 불가 면적을 줄이기 위해 수직 고정형 및 단축 가변형 구조물을 제안하고 있다. 수직 고정형은 우리나라에서도 적용되고 있는 일명 펜스형과 같은 형태이다.

• 일본 : 일본의 경우 영농형 태양광 시스템의 실증이 가장 오래전부터 이루어져 왔다. 2003년에 발명되고 2010년부터 실증 연구가 일어나 2013년 관련 규정이 제정되어 현재 약 4000가구가 영농형 태양광 사업을 농사와 함께 진행하고 있다. 일본의 영농형 태양광 환경은 유럽과 달리 우리나라와 매우 흡사하다. 주로 영농형 태양광 시스템 아래에서 경작을 하는, 독일의 경우 카테고리1에 해당하는 유형이 대부분이다. 그 이유는 경작지가 대규모가 아닌 농민이 직접 참여하는 형태이기 때문이다. 이러한 이유로 영농형 태양광 시스템의 구조가 여러 가지가 아니라 초기에 실시되었던 건축자재인 아시바 기둥을 이용한 가로 세로 고정형이 대부분이다. 그 외에 연구개발 차원의 몇 가지 새로운 영농형 태양광 시스템을 제안하고 있다. 그 예를 다음 그림 1-6 ~ 그림 1-10에 나타내었다. (솔라 셰어링, 나가시마 아키라 외 4인, 2018)

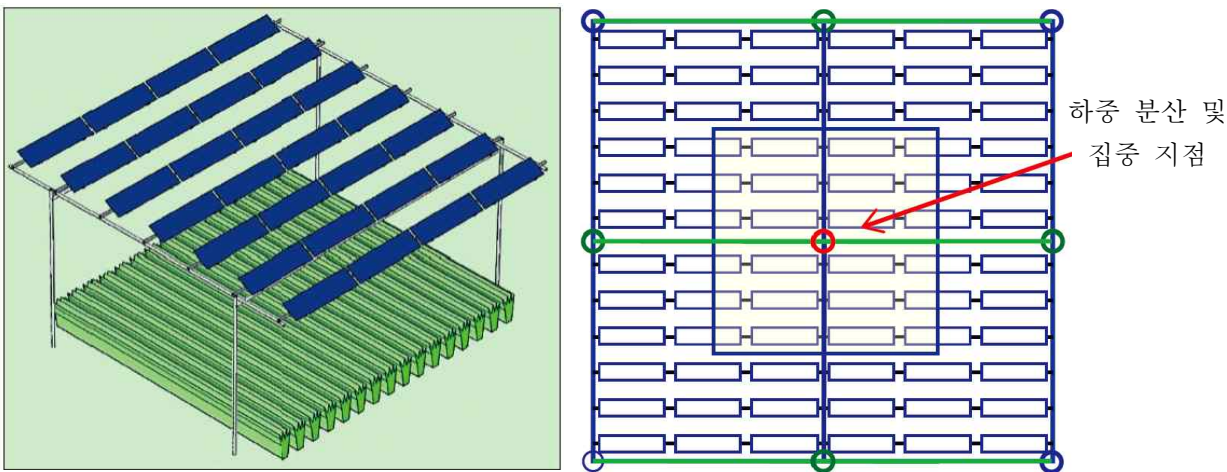


그림 1-5. 협소형 모듈과 아시바 기둥을 적용한 일본의 영농형 태양광 구조

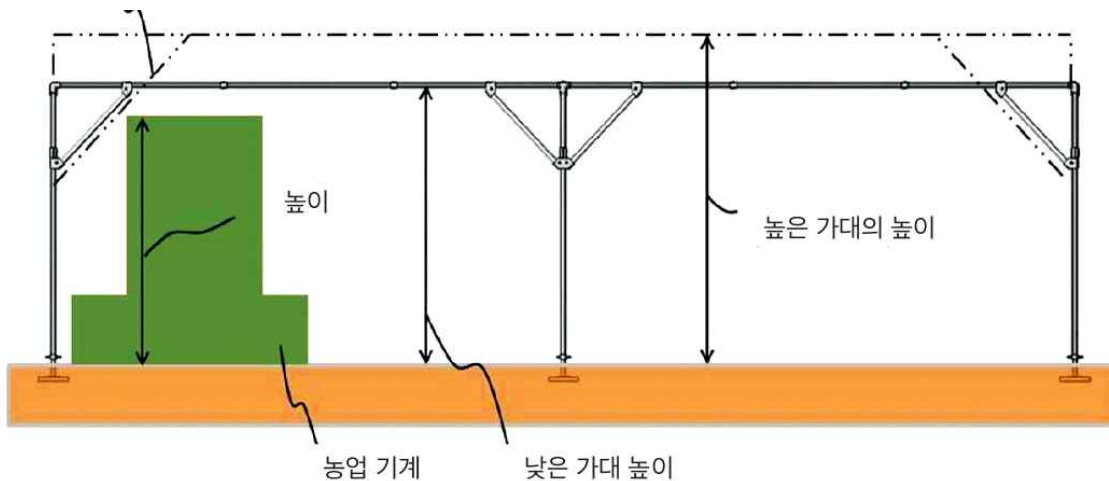


그림 1-6. 일본의 영농형 태양광 시스템의 가대 높이에 따른 기둥 구조

일본의 영농형 태양광 시스템은 협소형 모듈 3~4개를 한 가대에 연결하여 이 가대를 다시 5~6개로 나란히 배열 후 4개의 기둥이 전체 구조물을 지지하는 형태이다. 또한, 가대와 기둥을 지지하는 힘을 충분히 보강하기 위해 가새를 설치하였다. 기둥의 간격과 높이는 일정하게 반복적으로 설

치되며, 모든 기둥과 가대들은 일체형으로 연결되어 우리나라의 가로 세로 고정형 기둥 구조와 매우 유사하다.

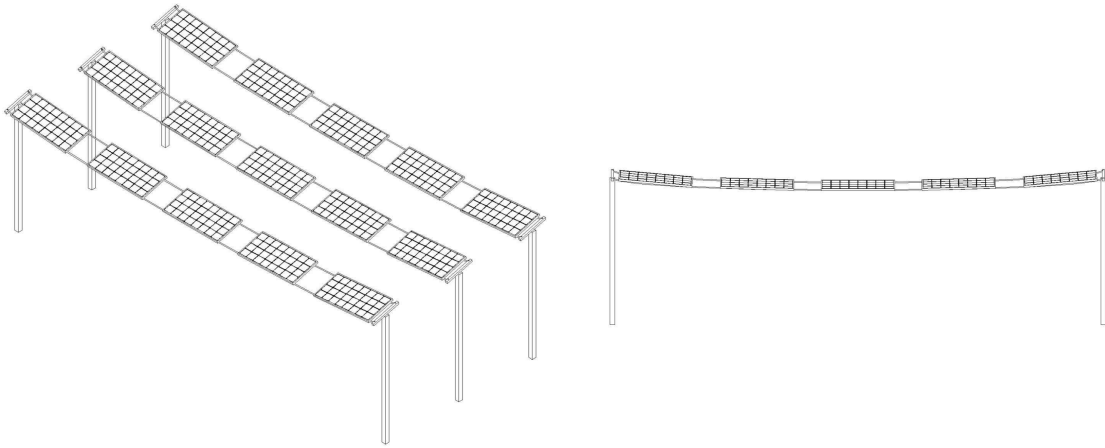


그림 1-7. 와이어 지지 구조

2016년 규정이 발효된 후, 일본 정부가 연구비를 조성하여 여러 가지 형태의 가능한 영농형 태양광 시스템을 개발하였다. 그중 하나가 와이어 지지 구조이다. 이 구조는 농작물 경작 구역 내에 아무런 기둥이 없이 작업에 지장을 초래하지 않는 구조이다. 다만, 적설량이 많거나, 태풍이 불 때는 시스템 전체가 흔들리거나 처지는 현상이 관찰되기도 하였다. 몇몇 장점에도 불구하고 여러 가지 단점으로 인해 실증 시험 후 아직 현장에 사용되는 예는 찾아보기 어렵다.

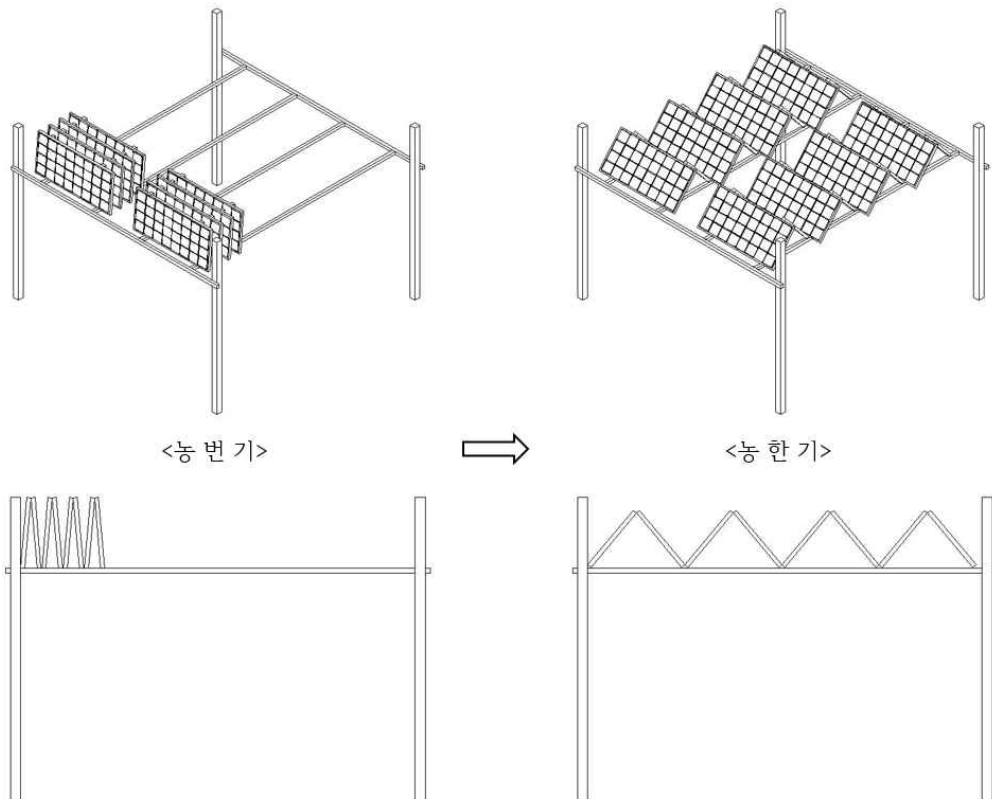


그림 1-8. 가변 접이식 구조

위의 구조는 논농사의 경우 일정 기간 작물에 충분한 태양광이 필요하다. 여름 동안 작물이 햇빛이 많이 필요한 경우 태양광 모듈을 접어두고 발전을 포기하며, 그렇지 않은 기간은 모듈을 펼쳐 놓아 최대한 발전량을 늘리는 형태이다. 작물에 따라서는 일정 기간 약 3~4개월 동안 집중적으로 태양 빛이 필요하지만, 그 외에 대부분 기간 약 7~8개월은 태양 빛이 적어도 작황에 지장이 없는 경우에 적용하기 위해 개발되었다. 다만, 모듈을 접고 펴는 동작을 농민이 스스로 수행해야 하며, 그에 따라 전선의 처짐 등이 발생하여 다소 보완책이 필요한 구조이다.

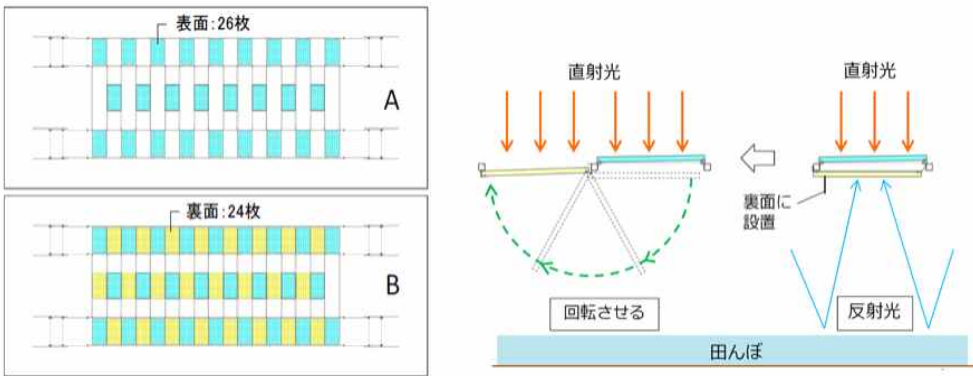


그림 1-9. 수평 접이식 구조

가변 접이식과 유사하지만, 또 다른 접이식 방법을 제안하고 있다. 이 방법 역시 태양광이 아주 필요한 기간에는 모듈 두 장을 겹쳐진 형태로 접어 작물에 태양광을 충분히 공급하는 형태이며, 태양광이 많이 필요 없는 기간에는 겹쳐 놓은 모듈을 다시 펼쳐 발전량을 극대화하는 구조이다.

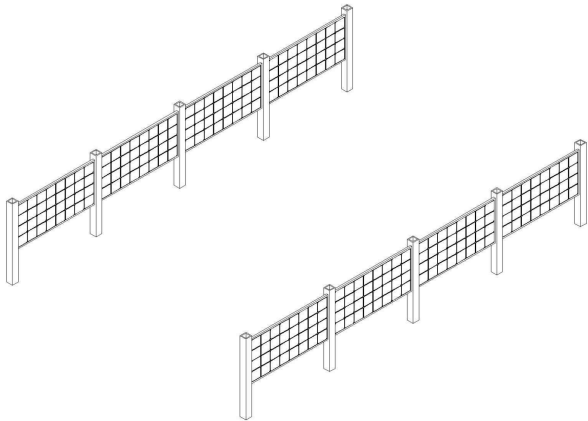


그림 1-10. 수직형(펜스형) 구조

독일(유럽)에서 카테고리2의 한 예로 수직 고정형이 있었다. 유럽에서는 이를 펜스형이라고 이르기도 한다. 이것은 수직 고정형을 말 그대로 어떤 토지의 경계면에 주로 사용하였기 때문이다. 일본에서는 이것을 영농형에 접목하여 여러 열을 토지 위에 수직형으로 세워 적용한 사례가 보고되고 있다. 수직형 구조는 영농 작업조건에 매우 우호적이다. 이 때문에, 일본에서는 지침서에 “구조물의 최저높이가 2m 이상”으로 명시된 부분을 수정하여 규정 내에 이 형태를 수용하는 움직임이 있다.

- 국내 66개 실증 사례 조사 (2016년 ~ 2021년)

앞에서 살펴본 바와 같이 해외의 여러 가지 구조물 설계와 유사하거나 다르게 국내서도 많은 형태의 구조물이 개발되어 실증 연구되었다. 국내에서는 2016년부터 현재까지 약 80여 개의 실증 연구가 진행 중이며, 그 중이 현재도 진행 중인 것은 40여 개가 있다. 국내의 연구 구조물을 다음과 같은 유형으로 분류해볼 수 있다.

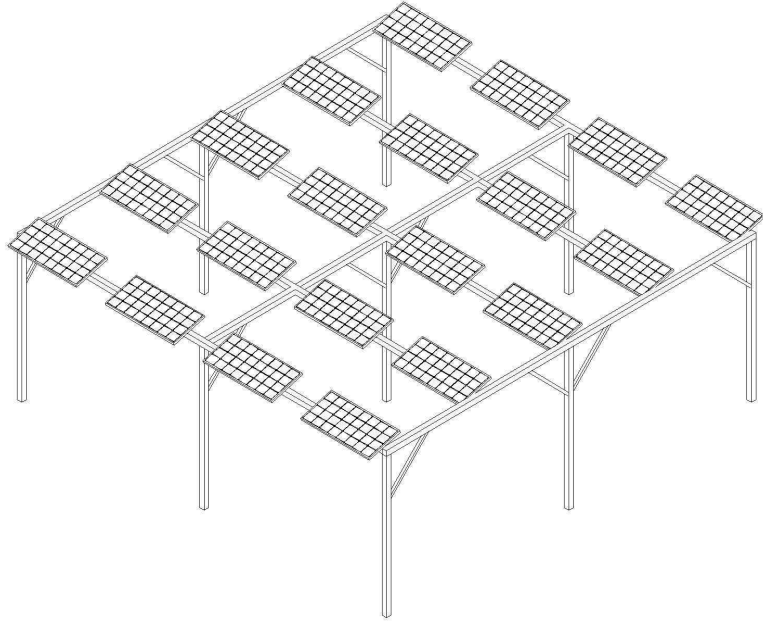


그림1-11. 가로세로 고정형 기둥 구조

첫째, 가로세로 고정형 기둥 구조로 가로세로 사각형 지역에 균일한 기둥을 설치하는 일본의 구조와 유사한 일체형 구조로 가장 많이 실증에 활용된 구조이다. 이 구조는 평평하고 사각으로 경지정리가 잘 된 지역에 설치하기 적합한 구조이다. 경사진 논밭에는 상부구조 설치 시 안전 문제가 발생하여 적합하지 않으나 하중의 고른 분산이 장점인 구조이다. 이 구조의 상부는 고정형 모듈 설치뿐만 아니라, 모듈의 각도를 조절하는 단축 가변형도 설치할 수 있다.

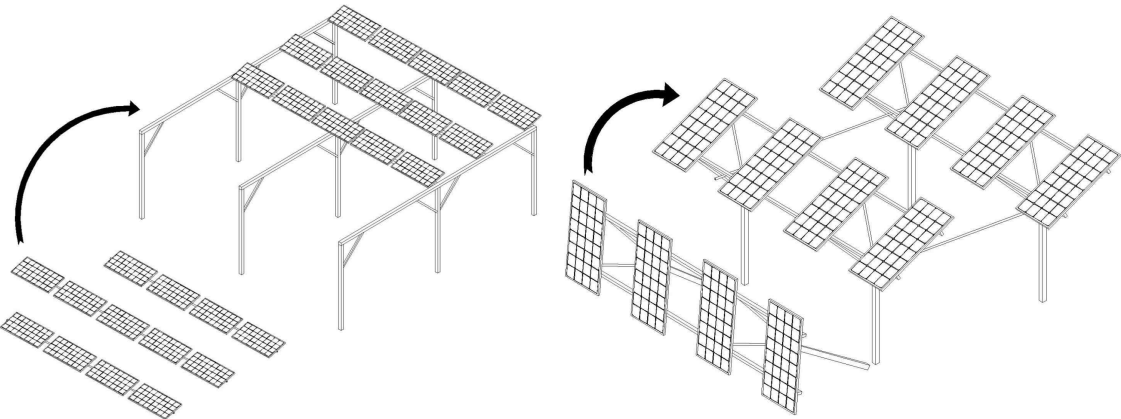


그림 1-12. 상부 지상조립 기둥 구조 (좌- 가로보 일체형 조립, 우- 단축 조립 후 회전 직립)

둘째, 가로세로 고정형 기둥 구조는 경지정리가 잘 되어 사각형이면서 평평한 논에 적합한 설치구조이나, 논, 밭의 모양이 사각형이 아닌 부정형인 논이거나, 경사도가 있는 경지에 설치하기에는 어려움이 많다. 상부 지상조립 기둥 구조는 경사지 및 부정형 경지에 설치하기에 적합한 구조이다. 이 구조물은 상부구조를 지상에서 조립하여 조업에 안정성을 부여하는 장점이 있다.

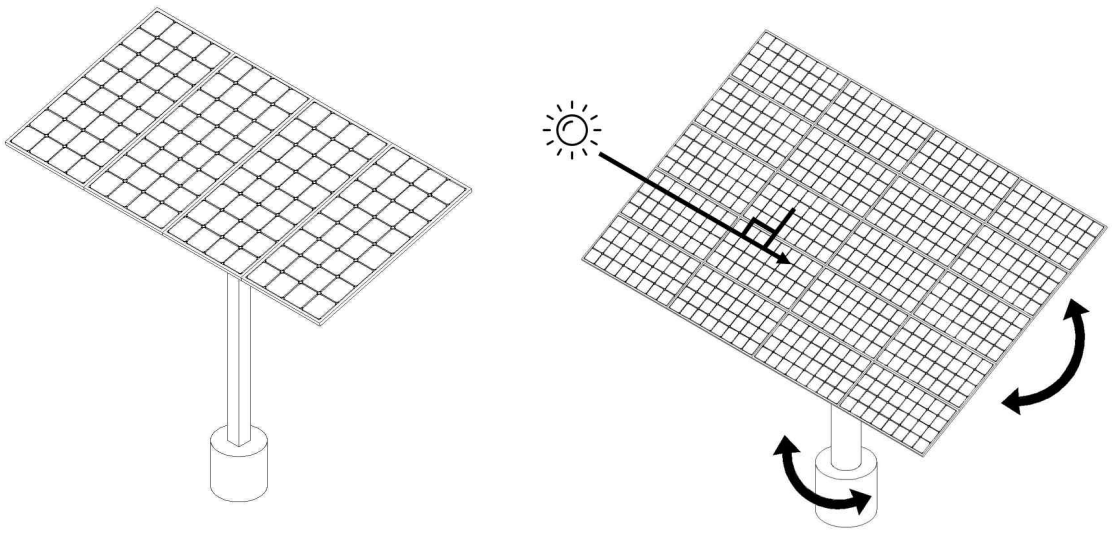


그림1-13. 독립 지주 구조 (좌-상부구조 고정형, 우-양축 트래커형)

셋째, 독립 지주 구조는 기둥 간의 연결이 없이 독립 지주 위에 상부구조가 설치된 형태로 상부구조가 고정형인 구조와 상부구조가 양축 트래커에 의해 태양을 따라가는 구조가 설치되고 있다.

나) 작물별 생육 및 재배의 표준모델 설계 요소에 대한 제한 조건 정립

a) 분석 방법

작물별 생육 재배의 조건과 결과를 과학적 수치로 모을 수 있는 경우는 선행 연구 과제인 농수산대학 이종원 교수의 “ 영농형 태양광 실증연구 추진 현황 분석 및 향후 추진방향 ” 결과에 기반을 두었다. 우선 이종원 교수의 “ 영농형 태양광 실증연구 추진 현황 분석 및 향후 추진방향 ” 연구 결과를 바탕으로 데이터의 신뢰성에 문제가 있다고 판단한 경우는

- ① 감수율의 차이가 크게 발생함.
- ② 차광률의 차이가 있음.
- ③ 모듈 사이즈 및 발전용량의 차이가 있음.

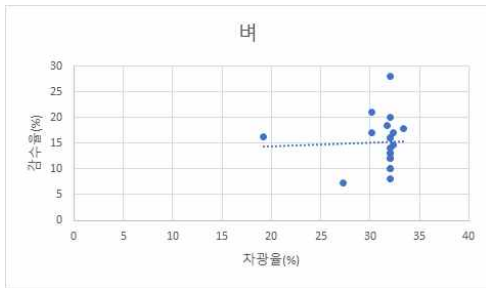
그 결과 총 69개 실증지의 특성과 작물별 감수율을 비교 검토하여 태양광 설비에 의한 감수율 특성과의 관련성을 분석하고자 하였다.

다) 작물별 설비특성별 감수율 검토결과

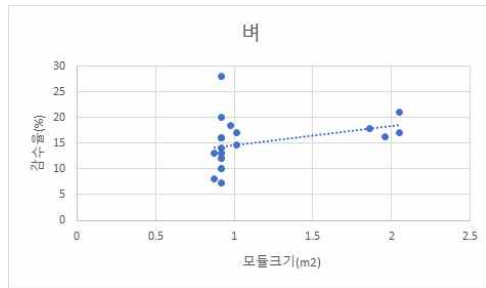
문제의 성격과 규정에 따라 다소 다를 수는 있으나 이 연구에서 살펴볼 모듈의 크기, 모듈의 높이, 기둥의 폭 그리고 차광율과 작물 작황 지표인 감수율과는 1차 상관관계로 가정하였다. 예를 들어 차광율이 높을수록 1차 비례로 감수율은 증가할 것으로 가정하였고, 모듈의 높이가 높을수록 감수율을 1차 비례로 감소할 것으로 가정하였다. 그래서 각 변수와 감수율간의 1차 상관관계를 가정하여 그래프 기울기가 음 혹은 양인 것은 그 변수에 따라 정해지나 1차 상관관계임을 가정하고 분석하였다.

상관관계 계수(Co-relation coefficient)의 절대값(데이터의 1차 선형 error의 분산의 크기)이 보통 70% 이상 즉, 0.7 이상이 주어졌을 때, 데이터의 상관관계가 성립하고 50% 이하의 경우 감수율과 해당 설계 요소는 상관관계가 없다고 판단하였다.

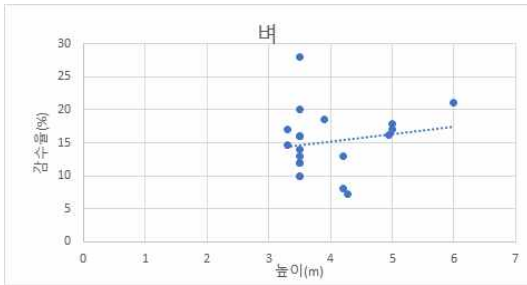
① 벼 차광율/모듈크기/높이/폭 vs 감수율 - 시료수 21



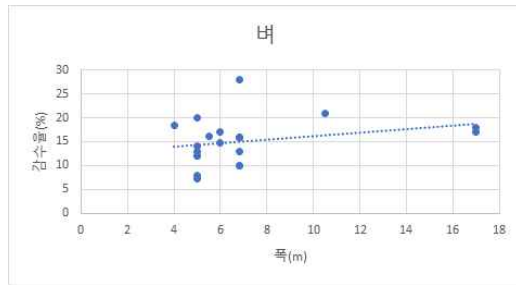
상관계수 : 4.6%



상관계수 : 32.8%

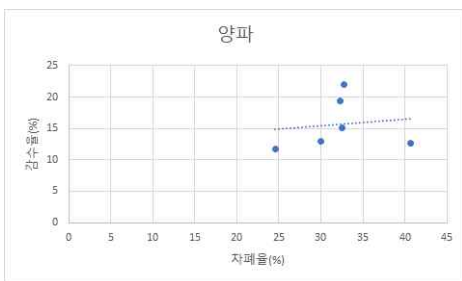


상관계수 : 16.7%

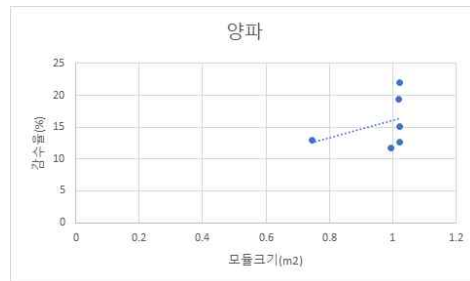


상관계수 : 27.4%

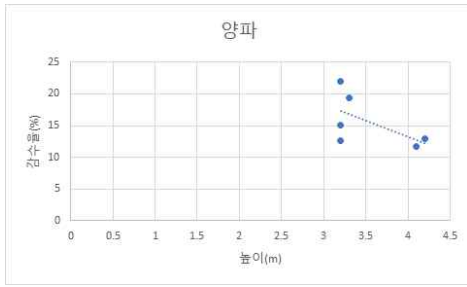
② 양파 : 차광율/모듈크기/높이/폭 vs 감수율 - 시료수 6



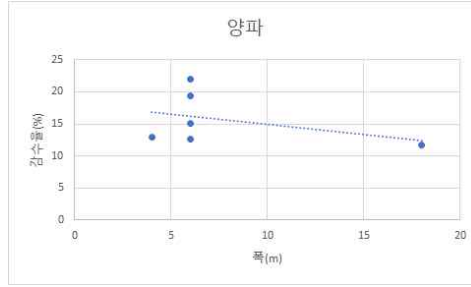
상관계수 : 13.1%



상관계수 : 36.1%

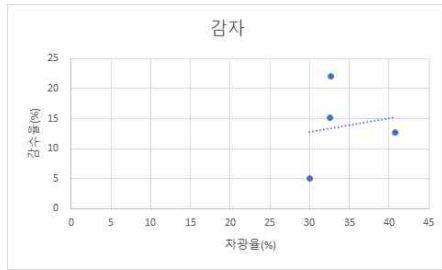


상관계수 : -58.5%

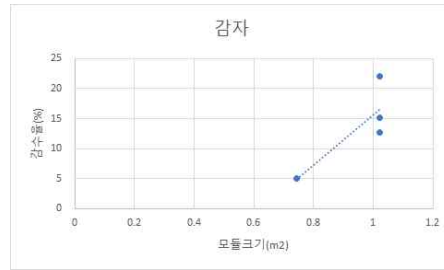


상관계수 : 39.6%

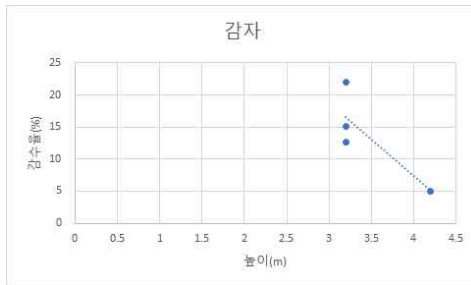
③ 감자 : 차광율/모듈크기/높이/폭 vs 감수율 - 시료수 4



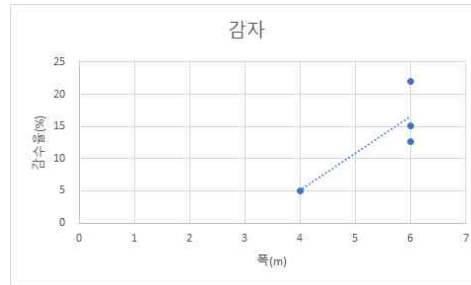
상관계수 : 15.6%



상관계수 : 82.7%

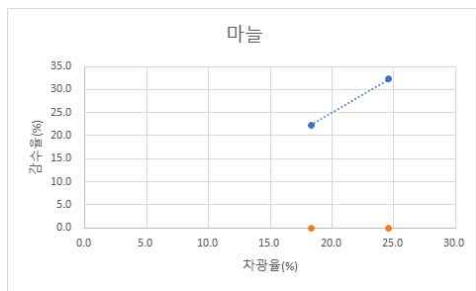


상관계수 : -82.7%

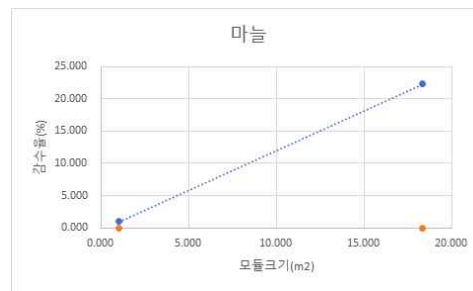


상관계수 : 82.7%

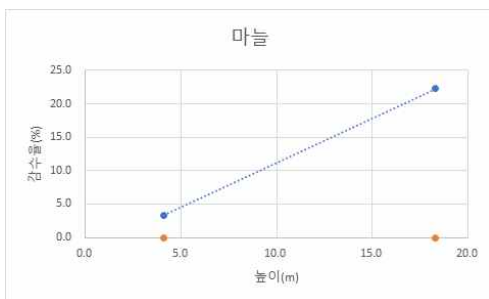
④ 마늘 : 차광율/모듈크기/높이/폭 vs 감수율 - 시료수 2



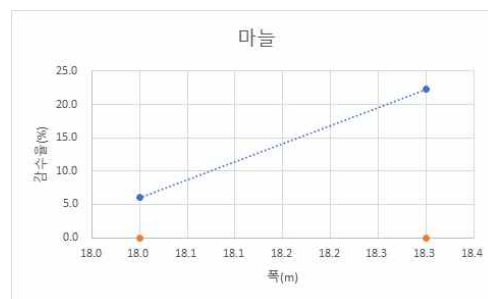
상관계수 : 100%



상관계수 : 100%

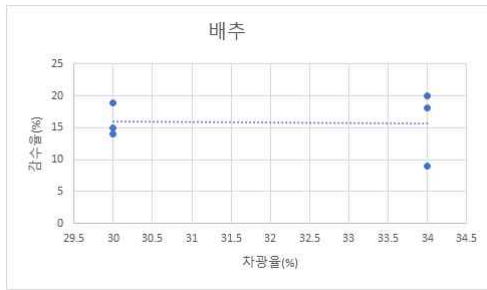


상관계수 : 100%

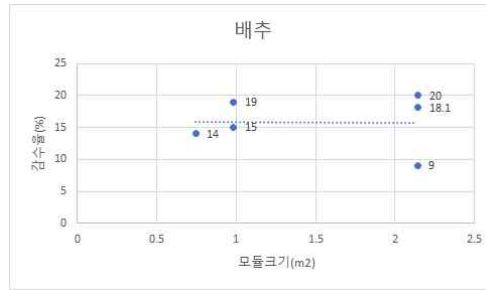


상관계수 : 100%

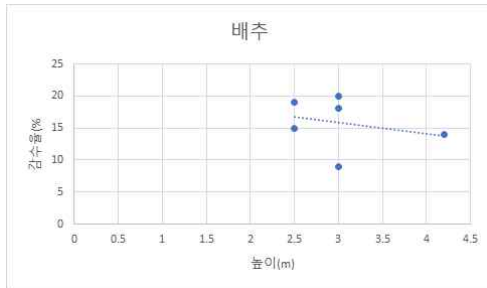
⑤ 배추-양배추 : 차광율/모듈크기/높이/폭 vs 감수율 - 시료수 6



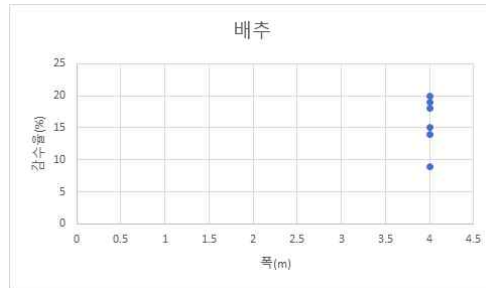
상관계수 : -4%



상관계수 : -0.6%



상관계수 : -26.6%



상관계수 : - %

<표. 감수율 상관계수 검토 결과 정리표>

감수율 상관계수(%)				
작물	벼	양파	감자	배추-양배추
차광율(%)	5	13.1	15.6	-4
모듈크기(m2)	33	36.1	82.7	-0.5
높이(m)	17	-58.5	-82.7	-26.5
폭(m)	27	-39.6	82.7	-

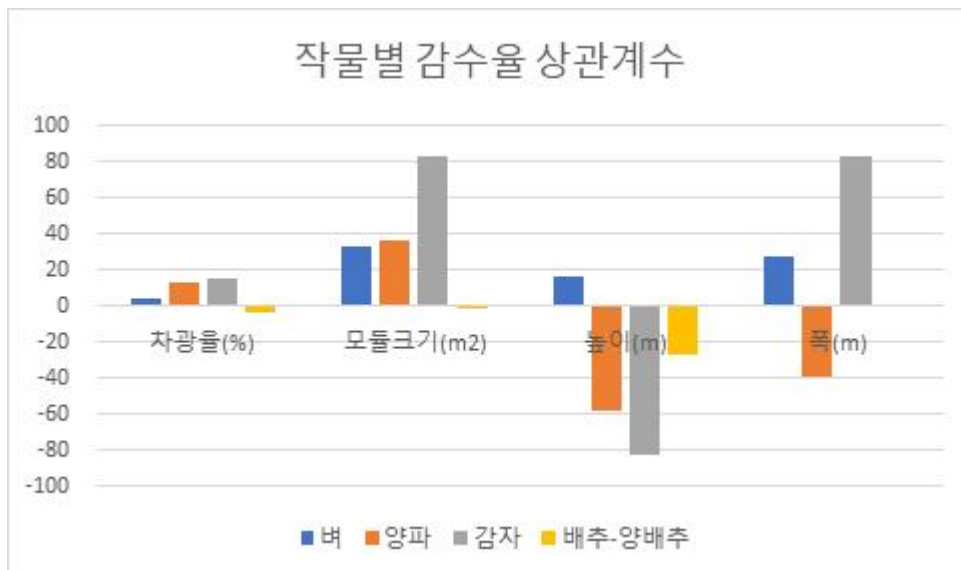


그림. 작물별 감수율 상관계수

b) 분석 내용

우선 국내의 실증 자료 중 가장 온전한 데이터가 많은 벼의 경우, 21개의 시료를 얻을 수 있었으나 벼의 감수율과 차광률, 모듈의 크기, 높이, 기둥의 폭 모두 상관계수가 33% 미만으로 나타나 그 상관관계를 1차 관계로 볼 수 없다고 결론 지을 수 있다. 차광률의 경우 독일의 연구에서 차광률이 높을수록 감수율이 증가한다고 하는 결과를 얻어내고 있으나 국내의 실증연구에서는 차광률이 20~35%로 벼가 성장하기에 제약을 주는 조건은 모두 벗어나 있었고 벼의 경우 광포화점이 차광률 약 40~45%에서 형성된다는 연구 결과가 있어 그 이하의 차광률에서는 1차 개연성이 보이지 않았다. 모듈의 크기의 경우, 모듈이 커질수록 상식적으로 영농형에 적합하지 않고 감수율이 증가할 것으로 판단 할 수 있으나, 조사 결과 모듈이 커지면서 다소 감수율이 상승하기는 하지만 작은 모듈의 경우 이보다 더 큰 감수율이 존재하여 이 또한 1차 상관관계를 입증 할 수 없었다. 이는 모듈의 크기보다는 차광률을 충분히(35% 이하) 해줄 경우, 감수율이 증가하지 않음을 알 수 있다. 모듈의 높이의 경우 모듈을 높이 설치할수록 감수율은 감소하는 것이 상식적이거나 69개의 sample에서는 오히려 감수율이 증가하는 직선을 보여주어 상관관계에 영향을 주지 않는다는 결과를 얻을 수 있었다. 모듈의 폭 또한 넓으면 넓을수록 감수율의 감소요인이 많아질 것으로 생각되나, 분석 결과는 그렇지 않다.

종합적으로 설계 요소들이 작황에 미치는 영향을 분석하는 데이터의 개수가 한정적이고 이미 주요 상관관계 데이터인 차광률을 충분히 작게 설계했으며 기타 설계요인들이 각각 서로 상호보완적 관계가 있는 시료가 다수 포함되어 각 설계 변수와 작황과의 확연한 상관관계가 도출되기에는 부족한 부분이 있었음을 알 수 있다.

양파의 경우 시료수가 6개로 다소 작지만 각 변수와 감수율 간의 상관관계는 모두 40% 이하이며, 높이가 높을수록 감수율이 떨어지는 결과가 도출되어 천정에 설치되는 모듈의 높이가 3m 보다는 4m에서 감수율이 떨어져 더 좋은 작황을 보였음이 의미 있다. 그러나 이 또한 시료 수가 부족하고 상관관계 계수가 70%에 미치지 못하여 그 의미를 찾기에 부족하다고 판단된다.

감자의 경우 시료 수는 4개뿐이지만 모듈의 크기가 클수록 감수율이 증가한 결과가 눈에 띄며 높이 또한 높을수록 감수율이 감소하고 있다. 기둥의 간격의 경우는 넓을수록 감수량이 증가하여 그 데이터는 신뢰성을 가질 수 없다. 감자의 경우는 모듈의 크기가 작고, 높이 설치할수록 작황에 좋은 결과를 미친다는 결론을 얻을 수 있었다.

배추의 경우 시료 수가 6개이나 기둥의 간격이 넓을수록 감수율이 감소하여 작황에 좋다는 결과를 보이지만 모두 70% 이하의 상관관계 계수로 나타나 그 의미를 부여하기 어려워 보인다. 그 외 시료수가 2개 이하인 마늘, 옥수수, 콩, 오이, 딸기, 토마토, 지황, 곰취, 천궁, 배, 들깨, 포도, 파, 보리, 팔, 호밀, 무, 녹차 등은 데이터 수가 작아 그 분석의 상관관계를 얻을 수 없었다.

c) 결론

영농형 태양광 발전시설 구조물의 변수를 차광율, 모듈의 크기, 모듈 설치 높이, 기둥의 폭으로 두고 그 경작환경 변화에 따른 작물별 작황 분석에 있어서 큰 영향성이 있는 상관관계 분석 결과는 없는 것으로 나타났다. 그 이유는 우선 차광률은 35% 이내로 한 결과, 대부분 작황에는 크게 저해 요인을 제공하지 않았으며, 또 모듈 설치의 높이와 기둥의 간격은 단지 작황에만 관련 있는 것이 아니라 농가의 소유 농기계와의 관련성이 더 크기 때문에 경작지의 죽은 공간을 최소화하기

위한 최적의 기동 간격 설정이 더 우선되어야 하므로 의미가 부족하다. 하지만 밭, 농사의 경우, 모듈의 크기를 가급적 소형인 협소형으로 권고할 수 있으며 그 높이의 경제적 부담이 적은 조건으로 높을수록 작황에는 더 유리함이 나타나 높은 구조물을 권고할 수 있다.

라) 상부구조, 기동구조, 기초구조의 종류

- 세계적으로 설치되어 운용되고 있는 영농형 태양광 시설은 크게 상부구조, 기동구조, 기초구조로 나뉘어 그 종류가 다양하게 설치되어 있다. 부분별 설치된 부속 설비는 다음 표에 나타내었다.

<표. 상부구조, 기동구조, 기초구조의 종류>

<p>상부구조</p>	<p>1. 모듈 - 협소형 : 2 × 10, 3 × 9, 3 × 10, 4 × 10 등 - 양산형 : 6 × 9, 6 × 12 등 - 단면형, 양면형 2. 스프링클러, 빗물 집수 시스템, LED 보광 시스템, 모듈 냉각 분무 시스템, 세정시스템 등 3. 2축, 3축 경사각 조절 장치</p>
<p>기동구조</p>	<p>1. 프레임구조(가대형, 트러스형, 상부구조 지상조립형) 2. 독립자주구조 (고정형, 추적형)</p>
<p>기초구조</p>	<p>1. 스파이럴구조 (판형, 원통형, 스프링형) 2. 스크류구조 3. H빔, U빔 항타구조 4. 콘크리트 구조 (철거 시 파쇄금지조건 첨부)</p>

- 상부구조의 경우, 다음 그림과 같이 다양한 형태의 모듈이 사용되었다. 모듈의 종류는 그 크기 별로 폭이 좁고 작은 협소형 모듈, 72개의 전지가 들어있는 일반 양산형 모듈이 있고 발전면별로는 단면형, 양면형이 있다. 또한 스프링클러와 빗물 집수 장치, LED 보광 시스템, 모듈 분무 냉각 및 세정 시스템이 있고 태풍이 올 때 풍하중을 줄이기 위한 모듈 각도 조절기능을 하는 2축 경사각 조절장치나 태양을 따라 추적하는 3축 트래킹 장치를 설치할 수 있다.

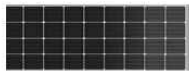
태양광 모듈 크기에 따른 설치도



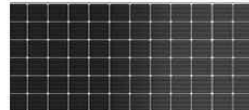
3*12=36셀



4*8=32셀



4*9=36셀



6*12=72셀

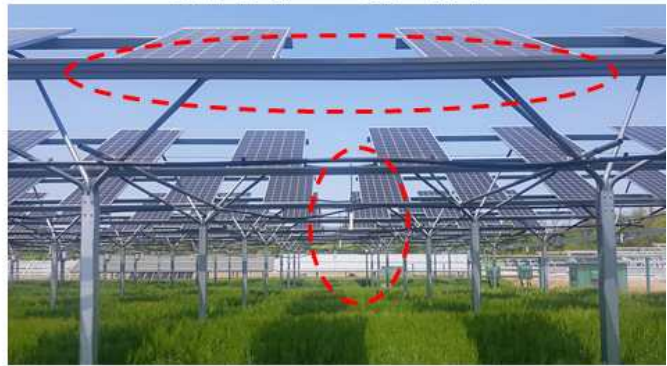


그림. 태양광 모듈에 따른 설치도

LED 보광시스템 설치



빗물 집수, 스프링클러설치



스프링클러설치



그림. 영농형 태양광 시스템 상부구조의 기능성 부품 설치 사진

모듈 각도 조정



그림. 영농형 태양광 시스템의 모듈 각도 조절에 따른 상부구조 설치 사진

- 기둥 구조는 기둥을 먼저 세우고 기둥끼리 서로 연결하는 프레임구조가 있고 단일기둥 위에 모듈은 없는 독립 지주 구조가 있다.

프레임 구조(가대형, 트러스)



독립지주 구조(고정형, 추적식)



하이브리드 구조(프레임형과 독립지주 장점)



그림. 영농형 태양광 구조물 기둥 구조의 종류별 설치 사진

- 기초구조는 스파이럴 기둥을 회전하여 박는 스파이럴 기초, 기둥에 나선선 홈을 만들어 회전하여 박는 스크류 구조, 충격을 주어 기둥을 박는 항타구조, 그리고 콘크리트를 매설하는 콘크리트 구조가 있다.

콘크리트 기초



스크류,스파이럴 기초



U빔 기초

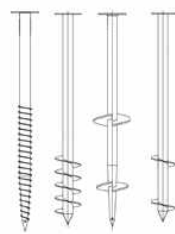


그림. 영농형 태양광 구조물 기초구조의 종류별 설치 사진

마) 작물별 3가지(식량 작물, 밭 작물, 과수 작물) 영농형 태양광 표준모델 제시

a) 경지정리가 잘 이루어진 농지의 다년생 논작물을 위한 표준모델

우리나라의 대표적 식량 작물은 쌀이다. 쌀의 경우, 논에서 생산되며 논은 대부분 평지이며 사각형으로 경지 정리가 되어있다. 이에 가로세로 고정형 기둥 구조가 적합하다. 그러나 토지의 방향이 정남향이 아닌 경우가 대부분이어서, 남향을 반영하는 구조가 개발되어 적용될 필요가 있다.

가로세로 고정형 기둥 구조는 일본에서 시작되어 영농형 태양광 발전 시스템으로 가장 많이 적용되고 있는 구조이다. 일본의 영농형 태양광 발전 시스템의 구조는 여러 가지가 아니라 초기에 시행되었던 비계 건축자재 기둥을 이용한 가로세로 고정형이 대부분이다. 아래에 그 구조의 개략도와 조감도를 나타내었다.

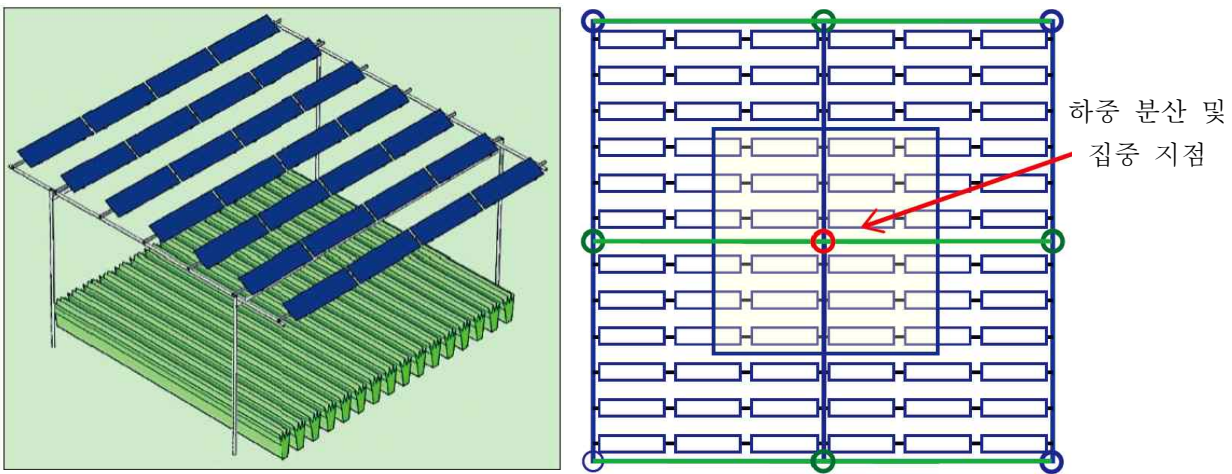


그림 1-1. 협소형 모듈과 비계 기둥을 적용한 일본의 영농형 태양광 구조

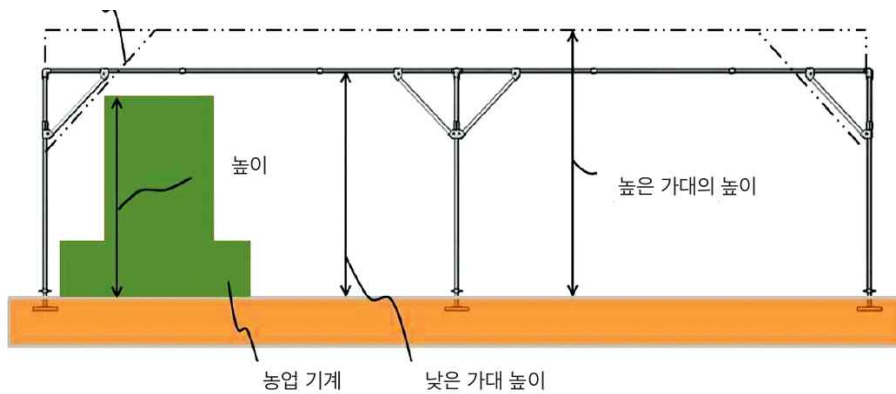
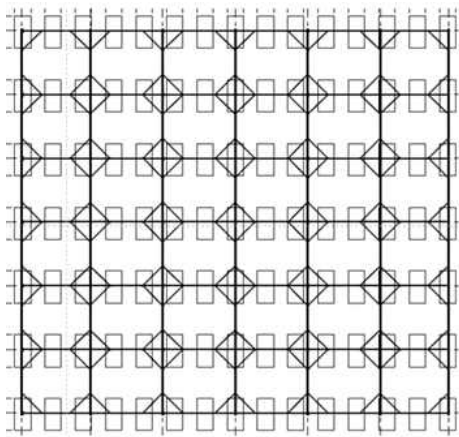
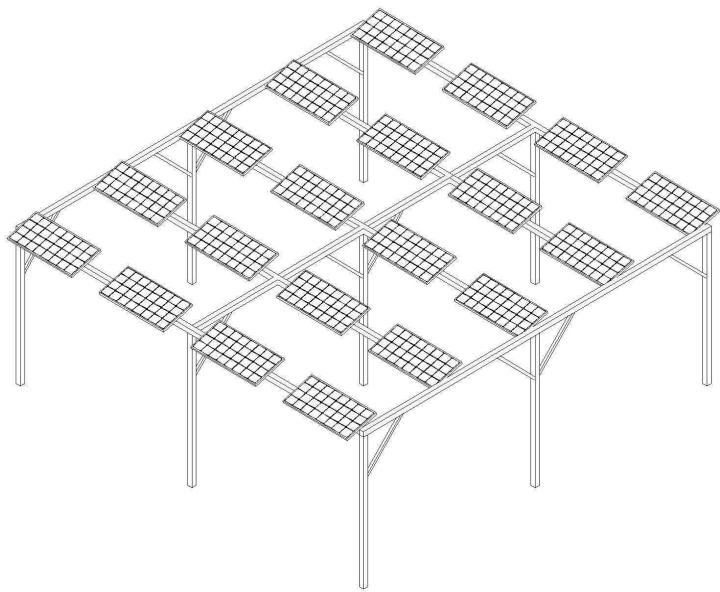


그림 1-2. 일본의 영농형 태양광 시스템의 가대 높이에 따른 기둥 구조

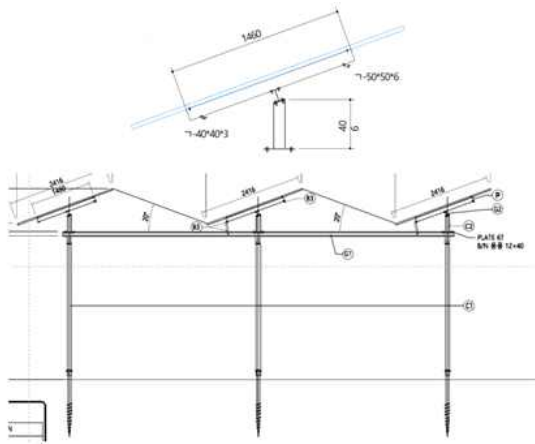
일본의 영농형 태양광 시스템은 협소형 모듈 3~4개를 한 가대에 연결하여 이 가대를 다시 5~6개로 나란히 배열 후 4개의 기둥이 전체 구조물을 지지하는 형태이다. 또한, 가대와 기둥을 지지하는 힘을 충분히 보강하기 위해 가새를 설치하였다. 기둥의 간격과 높이는 일정하게 반복적으로 설치되며, 모든 기둥과 가대들은 일체형으로 연결되어 우리나라의 가로세로 고정형 기둥 구조와 매우 유사하다.

이 가로세로 고정형 기둥 구조는 우리나라 식량 작물 생산 토지에 적합하다. 그 이유는 사각형 설치가 용이하며, 기둥을 먼저 일정 간격으로 설치한 후, 기둥을 연결하는 가대를 추가로 설치하고 상부구조의 하중을 견디기 위해 가새를 설치하여 모듈 고정 작업을 구조물 위에서 시공하는 형태이다. 이에 따라 어느 특정 부위로 힘이 가해지더라도 힘의 분산이 균일하게 일어난다. 각 기둥의 강도가 낮더라도 전체 시스템의 안전성이 보장된다. 또 일반적으로 논 농사에 적합하므로 기초를 깊게 설치해야 한다. 지면 위로 일정 높이의 물이 고여있는 기간이 상당하며, 지면 아래로 약 30 ~ 50 cm 가량 부드러운 토질로 구성되어 기초의 깊이가 약 1 m 50 cm 가 권고된다. 또한 모듈은 조립이 기둥 위에서 이루어지므로 무게가 가벼운 협소형 모듈이 권장된다. 기초와 물이 닿는 기둥의 재질은 일반 강철이 불허된다.

모듈은 논외의 경우, 낙수피해가 크지 않고 시범실증사업의 결과, 상관분석에서 모듈의 크기와 감수율의 상관관계가 낮아보여 어떤 모듈이든 사용이 가능할 것으로 판단된다.



배치도



구조도

그림 1-3. 가로세로 고정형 기둥 구조

b) 경사가 있는 부정형 농지의 단년생 밭작물을 위한 표준모델

식량 자원의 표준모델의 경우, 주로 논에서 이루어지므로 평지 설치가 용이하였으나, 밭작물의 경우 상당수의 밭이 평지가 아닌 다소간 경사가 있거나 토지 모양이 사각형이 아닌 경우가 많다. 이러한 경우는 가로세로 고정형 기둥 구조는 설치하기 어렵다. 특히 경사가 있는 토지의 경우 기둥 위에서 조립하는 구조는 작업의 안정성을 보장할 수 없다. 이에 가로세로 고정형 기둥 구조의 개선으로 지상 모듈 조립 후 회전 직립 구조가 적합하다. 회전 직립 구조는 지상에서 모든 조립 행위가 완료된 후 최소한의 장비를 운용하여 회전 직립시키는 형태로, 공기가 매우 단축되고 최소 단위 유닛의 조립으로 경사지거나 사각형이 아닌 부정형 토지에도 적용하기 매우 용이한 구조이다. 그리고 토지의 방향이 정남향이 아니더라도 남향의 방향으로 설치할 수도 있는 장점이 있다.

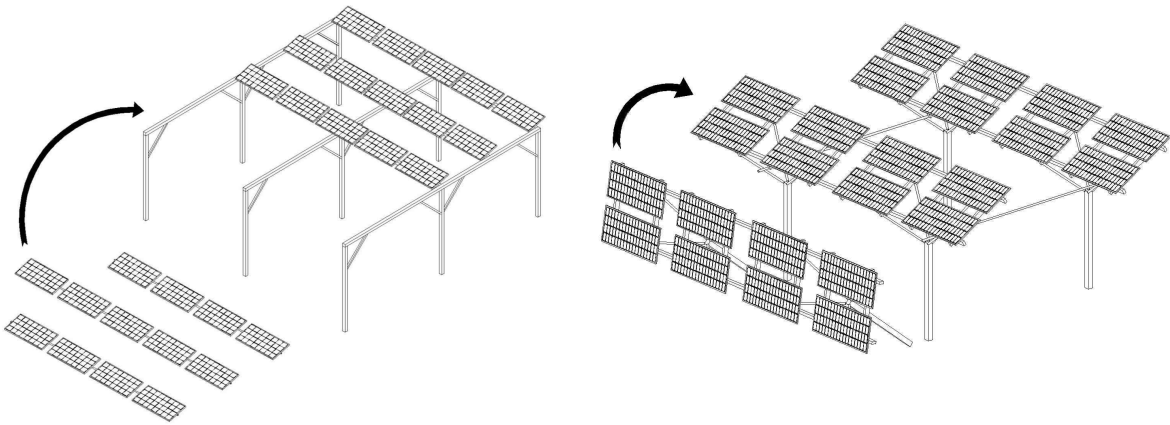
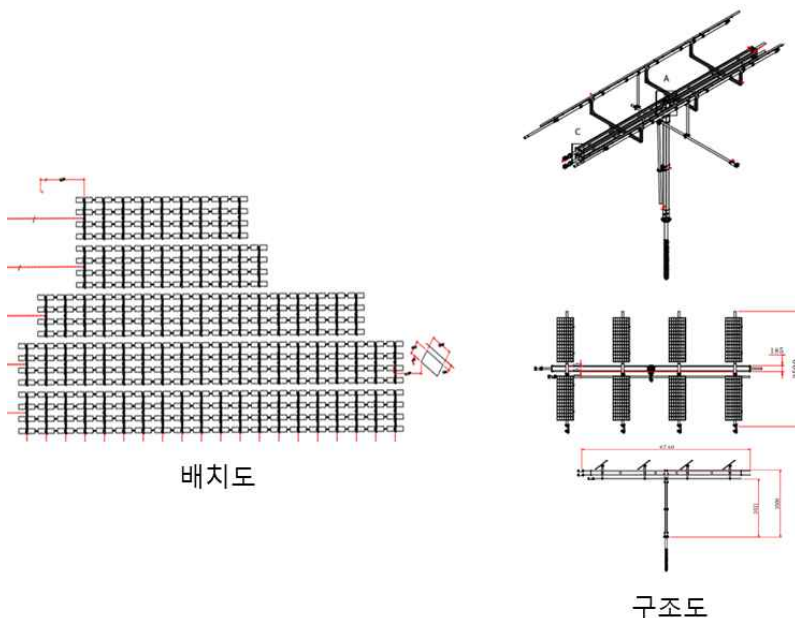
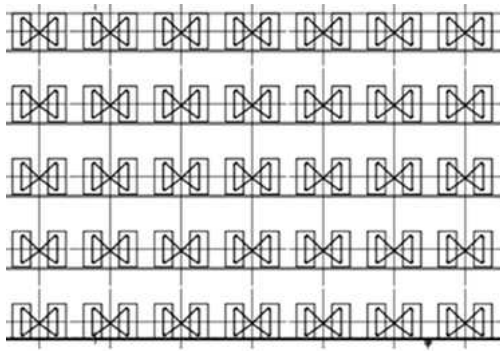


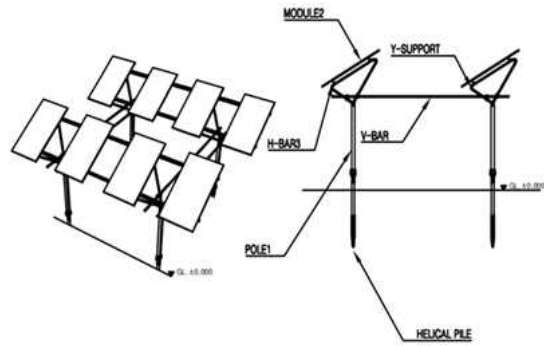
그림 2-1. 지상 조립 상부 이동 구조

기초는 건축구조기준에 부합하는 어떠한 형태도 가능하며 기둥의 간격은 농민의 사용농기계의 영농작업 반경의 배수에 맞추어 설치하도록 권고하고 있으며 상부구조는 실증조사의 상관관계 분석과 낙수피해 최소화를 위해 협소형 모듈을 권고하며 실시 설계의 예는 다음 그림2-2와 같다.





배치도



구조도

그림 2-2. 부정형 농지에 설치가 용이한 구조

c) 다년생 과수 작물을 위한 표준모델

c-1) 다년생 작물로 일렬로 이미 심어진 작물

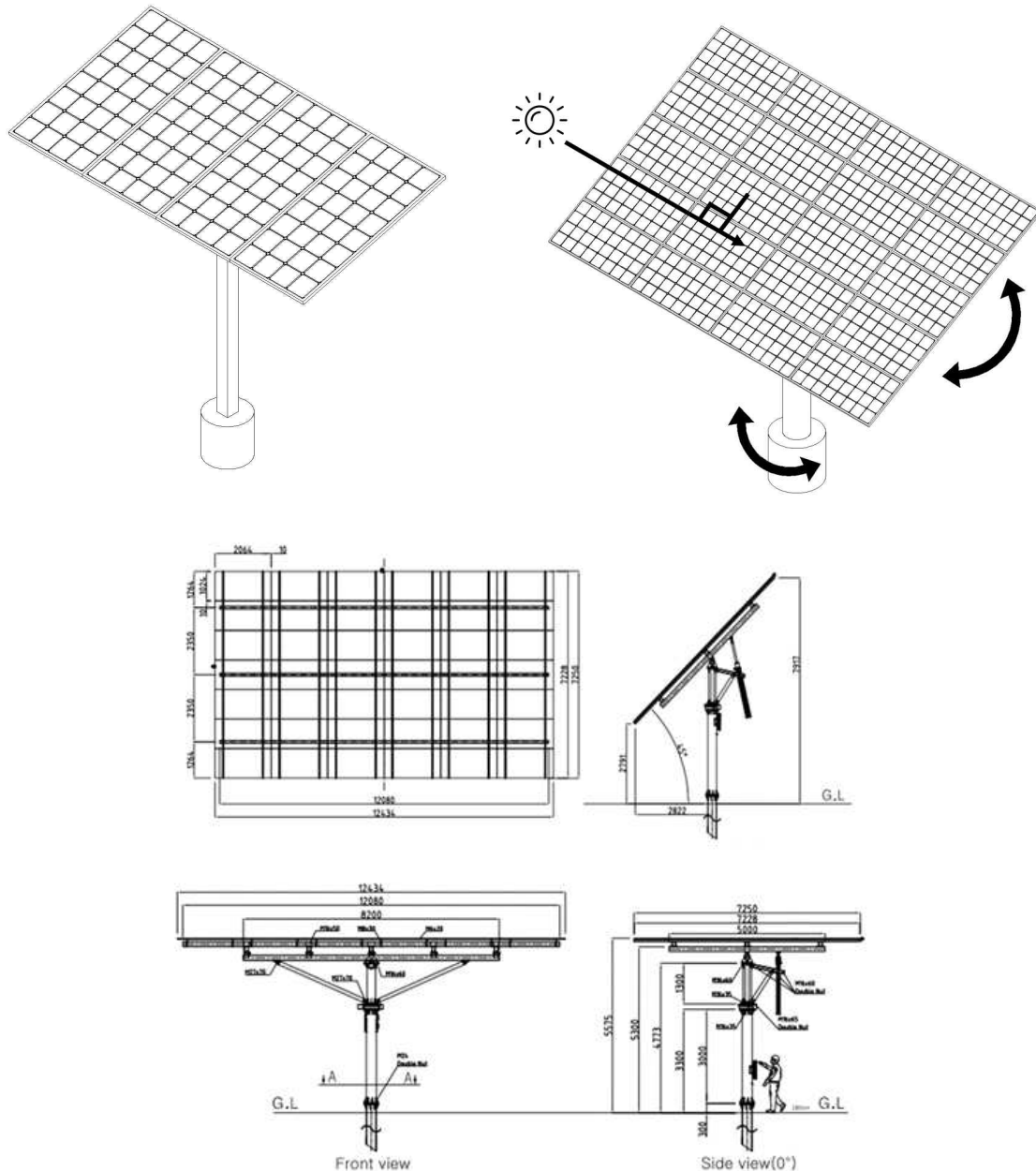
키가 낮고 이미 심어진 과수작물 중 다년생 넝쿨 혹은 군집 작물에는 녹차와 포도, 등이 있다. 키가 작은 블루베리 등도 이 작물군에 포함시킬 수 있다. 이미 일렬로 심어진 작물은 작물 수확을 위한 길이 마련되어있다. 작물에 상처를 주지 않고 영농형 태양광 설비를 설치하는 것이 최선의 길이며 또 이러한 작물들의 농장은 약간의 경사가 있는 경사지나 산지에 많이 조성되어있다. 작물 수확로가 일직선이 아니라 다소 곡전형태가 자주 목격된다. 이에 따라 시공시 기둥을 일정 간격으로 직각 연결하는 것은 매우 어려운 일이며 또 경사지에서의 상부구조 조립을 기둥 위에서 시행하기에는 매우 어렵다. 이러한 경우 앞서 살펴본 경사가 있는 부정형 단년생 밭작물을 위한 표준 모델을 준용하는 것이 가장 효과적으로 보인다.



그림 2-2. 일렬로 심어진 다년생 작물을 위한 모델

c-2) 다년생 작물로 이미 심어진 키 큰 과수 열매 작물을 위한 표준모델

이미 심어진 키 큰 과수 열매 작물의 경우, 이미 식재되어있는 작물을 훼손하지 않고 설치하여야 하므로 가로세로 고정형 기둥 구조 설치가 매우 어려운 형태이다. 이러한 경우 식재된 작물을 피해 단일 기둥을 설치하고 기둥 위에 적절한 형태와 개수의 모듈을 설치하는 독립 지주 기둥 구조가 권장된다. 독립 지주 기둥 구조는 아래와 같이 고정형 독립 지주 기둥 구조와 양축 트래커를 사용한 추적형 독립 지주 기둥 구조가 있다. 과수의 종류에 따라 독립 지주 기둥을 부정형으로 설치할 수도 있고 일렬로 설치할 수도 있다. 사과, 복숭아 등의 경우 나무가 심겨 있는 구간 외에 빈 곳을 찾아 기둥을 세울 수 있고, 포도와 같이 일렬로 나무가 식재되어있는 경우는 띠 형태의 기둥 배치를 할 수 있다.



구조도

그림 3-1. 독립 지주 기둥 구조 (좌 - 상부 구조 고정형, 우 - 양축 추적형)



그림 3-2. 독립 지주 기둥 구조의 시공

바) 작물별 생육 및 재배관리 특성을 고려한 영농형 태양광 표준모델 설계 상세 예시

- 영농형 태양광 구조물의 설계 및 구조안전성 확보
- 구조물 규격(높이, 기둥 간격 등) 및 구조안전성, 차광률, 태양광 모듈 규격 및 배치 방법 등이 설계 조건에 부합되게 설계
- 차광비율은 30%±3 미만으로 배치할 수 있는 구조 설계
- 빗물로 인한 낙수효과로 농작물의 피해를 최소화할 수 있도록 설계
- 구조물은 농지의 방향과 형상에 상관없이 정남향으로의 배치가 가능하여 태양광발전의 효율을 증가시킬 수 있는 구조물의 구조 설계
- 음영지속 구간이 발생하지 않는 배치를 위한 구조물 설계
- 농기계의 작업에 지장을 초래하지 않는 높이 및 간격의 설계

a) 건축물의 중요도 분류

- 건축물의 중요도는 용도 및 규모에 따라 다음과 같이 중요도(특), 중요도(1), 중요도(2) 및 중요도(3)으로 분류한다.
- 영농형 태양광 구조물은 중요도(3)에 해당하며, 여기에 속하는 것은 농업시설물, 소규모 창고, 가설구조물 등이며, 중요도 계수는 0.8이다.

a-1) 중요도(특)

- (1) 연면적 1,000m² 이상인 위험물 저장 및 처리시설
- (2) 연면적 1,000m² 이상인 국가 또는 지방자치단체의 청사·외국공관·소방서·발전소·방송국·전신전화국
- (3) 종합병원, 수술시설이나 응급시설이 있는 병원
- (4) 지진과 태풍 또는 다른 비상시의 긴급대피수용시설로 지정한 건축물

a-2) 중요도(1)

- (1) 연면적 1,000m² 미만인 위험물 저장 및 처리시설
- (2) 연면적 1,000m² 미만인 국가 또는 지방자치단체의 청사·외국공관·소방서·발전소·방송국·전신전화국
- (3) 연면적 5,000m² 이상인 공연장·집회장·관람장·전시장·운동시설·판매시설·운수시설 (화물터미널과 집배송시설은 제외함)
- (4) 아동관련시설·노인복지시설·사회복지시설·근로복지시설
- (5) 5층 이상인 숙박시설·오피스텔·기숙사·아파트
- (6) 학교
- (7) 수술시설과 응급시설 모두 없는 병원, 기타 연면적 1,000m² 이상인 의료시설로서 중요도(특)에 해당하지 않는 건축물

a-3) 중요도(2)

- (1) 중요도(특), (1), (3)에 해당하지 않는 건축물

a-4) 중요도 (3)

- (1) 농업시설물, 소규모창고
- (2) 가설구조물

	중요도 분류	초고층 건축물*	특	1	2	3
Snow	중요도계수(I_s)	-	1.2	1.1	1.0	0.8
Wind	중요도계수(I_w)	1.05	1.00	1.00	0.95	0.9
Earthquake	중요도계수(I_E)	-	1.5	1.2	1.0	1.0
	내진등급	-	특	I	II	
	허용층간변위 Δ_s	-	$0.010h_{sx}$	$0.015h_{sx}$	$0.020h_{sx}$	

* 초고층건축물은 50층 이상인 건축물 또는 200m 이상인 건축물

b) 경지정리가 잘 이루어진 농지의 다년생 논작물을 위한 표준모델의 구조안전성 검토 예시
(가로세로 고정형 기둥 구조)

b-1) 구조물의 개요

- (1) 설치지역 : 서울대학교 수원캠퍼스 영농형 태양광 발전소
경기 수원시 영통구 광고로 145
- (2) 설치위치 / 태양광 구조물 형식 : 지면 위 설치 / 철골구조
- (3) 태양광 전지판 지지구조물 최대 높이 : G.L + 3.4m
- (4) 태양광 전지판 사양 : 한화 580Wp(규격 : 2416x1134x35mm,
- (5) 지지형식 : Screw Pile에 대하여 본 태양광 구조물에서 요구되는 최대
인발하중은 12.95kN(/분)이고, 최대압축하중은 13.17kN(/분)임.

b-2) 검토 결과

태양광 발전 시설 부재 검토 결과 (Type1)

구분		결과	허용	RATIO	판정
다리					
축력 최대	축방향 압축 응력 검토	5.107	99.068	0.052	O.K
	휨응력 검토 (My)	100.207	165.000	0.607	O.K
	휨응력 검토 (Mz)	0.309	165.000	0.002	O.K
	축압축 및 휨모멘트 검토 1	0.689	1.000	0.689	O.K
	축압축 및 휨모멘트 검토 2	0.640	1.000	0.640	O.K
	전단응력 검토	3.235	110.000	0.029	O.K
모멘트 최대	축방향 압축 응력 검토	4.722	99.068	0.048	O.K
	휨응력 검토 (My)	116.819	165.000	0.708	O.K
	휨응력 검토 (Mz)	0.161	165.000	0.001	O.K
	축압축 및 휨모멘트 검토 1	0.787	1.000	0.787	O.K
	축압축 및 휨모멘트 검토 2	0.738	1.000	0.738	O.K
	전단응력 검토	3.235	110.000	0.029	O.K
보					
축력 최대	축방향 압축 응력 검토	0.930	154.336	0.006	O.K
	휨응력 검토 (My)	55.948	165.000	0.339	O.K
	휨응력 검토 (Mz)	9.359	165.000	0.057	O.K
	축압축 및 휨모멘트 검토 1	0.402	1.000	0.402	O.K
	축압축 및 휨모멘트 검토 2	0.401	1.000	0.401	O.K
	전단응력 검토	1.848	110.000	0.017	O.K
모멘트 최대	축방향 압축 응력 검토	0.001	154.336	0.000	O.K
	휨응력 검토 (My)	64.212	165.000	0.389	O.K
	휨응력 검토 (Mz)	0.008	165.000	0.000	O.K
	축압축 및 휨모멘트 검토 1	0.389	1.000	0.389	O.K
	축압축 및 휨모멘트 검토 2	0.389	1.000	0.389	O.K
	전단응력 검토	1.848	110.000	0.017	O.K
브레싱					
축력 최대	축방향 압축 응력 검토	4.349	80.376	0.054	O.K
	휨응력 검토 (My)	12.849	165.000	0.078	O.K
	휨응력 검토 (Mz)	0.976	165.000	0.006	O.K
	축압축 및 휨모멘트 검토 1	0.143	1.000	0.143	O.K
	축압축 및 휨모멘트 검토 2	0.110	1.000	0.110	O.K
	전단응력 검토	0.191	110.000	0.002	O.K
모멘트 최대	축방향 압축 응력 검토	0.789	80.376	0.010	O.K
	휨응력 검토 (My)	19.969	165.000	0.121	O.K
	휨응력 검토 (Mz)	0.346	165.000	0.002	O.K
	축압축 및 휨모멘트 검토 1	0.134	1.000	0.134	O.K
	축압축 및 휨모멘트 검토 2	0.128	1.000	0.128	O.K
	전단응력 검토	0.191	110.000	0.002	O.K

구분		결과	허용	RATIO	판정
다리2					
축력 최대	축방향 압축 응력 검토	2.723	159.761	0.017	O.K
	휨응력 검토 (My)	20.702	165.000	0.125	O.K
	휨응력 검토 (Mz)	4.456	165.000	0.027	O.K
	축압축 및 휨모멘트 검토 1	0.170	1.000	0.170	O.K
	축압축 및 휨모멘트 검토 2	0.169	1.000	0.169	O.K
	전단응력 검토	4.473	110.000	0.041	O.K
모멘트 최대	축방향 압축 응력 검토	2.721	159.761	0.017	O.K
	휨응력 검토 (My)	20.743	165.000	0.126	O.K
	휨응력 검토 (Mz)	2.999	165.000	0.018	O.K
	축압축 및 휨모멘트 검토 1	0.161	1.000	0.161	O.K
	축압축 및 휨모멘트 검토 2	0.160	1.000	0.160	O.K
	전단응력 검토	4.473	110.000	0.041	O.K
보2					
축력 최대	축방향 압축 응력 검토	1.106	154.405	0.007	O.K
	휨응력 검토 (My)	15.899	165.000	0.096	O.K
	휨응력 검토 (Mz)	29.389	165.000	0.178	O.K
	축압축 및 휨모멘트 검토 1	0.282	1.000	0.282	O.K
	축압축 및 휨모멘트 검토 2	0.281	1.000	0.281	O.K
	전단응력 검토	6.295	110.000	0.057	O.K
모멘트 최대	축방향 압축 응력 검토	0.906	154.405	0.006	O.K
	휨응력 검토 (My)	28.052	165.000	0.170	O.K
	휨응력 검토 (Mz)	0.938	165.000	0.006	O.K
	축압축 및 휨모멘트 검토 1	0.182	1.000	0.182	O.K
	축압축 및 휨모멘트 검토 2	0.181	1.000	0.181	O.K
	전단응력 검토	6.295	110.000	0.057	O.K
퍼린					
축력 최대	축방향 압축 응력 검토	0.053	156.974	0.000	O.K
	휨응력 검토 (My)	20.969	165.000	0.127	O.K
	휨응력 검토 (Mz)	0.127	165.000	0.001	O.K
	축압축 및 휨모멘트 검토 1	0.128	1.000	0.128	O.K
	축압축 및 휨모멘트 검토 2	0.128	1.000	0.128	O.K
	전단응력 검토	5.722	110.000	0.052	O.K
모멘트 최대	축방향 압축 응력 검토	0.052	156.974	0.000	O.K
	휨응력 검토 (My)	20.974	165.000	0.127	O.K
	휨응력 검토 (Mz)	0.127	165.000	0.001	O.K
	축압축 및 휨모멘트 검토 1	0.128	1.000	0.128	O.K
	축압축 및 휨모멘트 검토 2	0.128	1.000	0.128	O.K
	전단응력 검토	5.722	110.000	0.052	O.K

b-3) 검토 조건

1) 구조물 설치 개요

- 시설명 : 서울대학교 수원캠퍼스 영농 (1 TYPE)
- 설치 장소 : 경기 수원시 영통구 광교로 145

2) 검토 하중

- 자중은 부재 재질 및 규격에 따라 프로그램에서 자동 재하
- 풍하중 및 설하중 계산은 국가 건설기준코드 KDS 41 10 05 (건축구조기준 설계하중)에 따름

3) 검토 방법

- 허용응력 설계법

4) 검토 프로그램

- MIDAS GEN

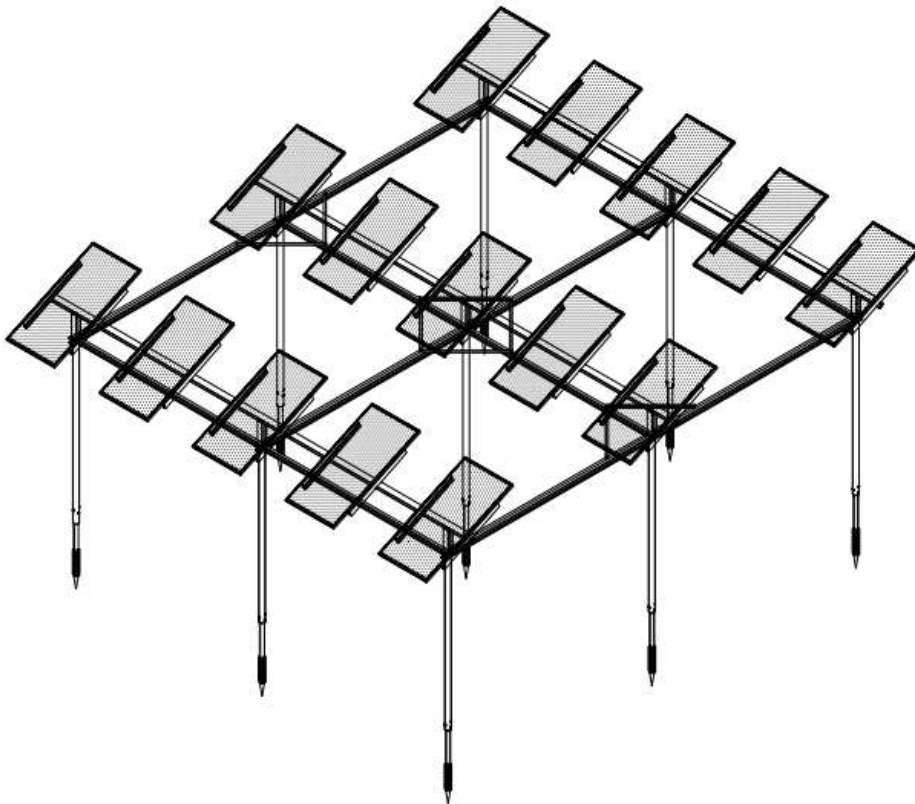
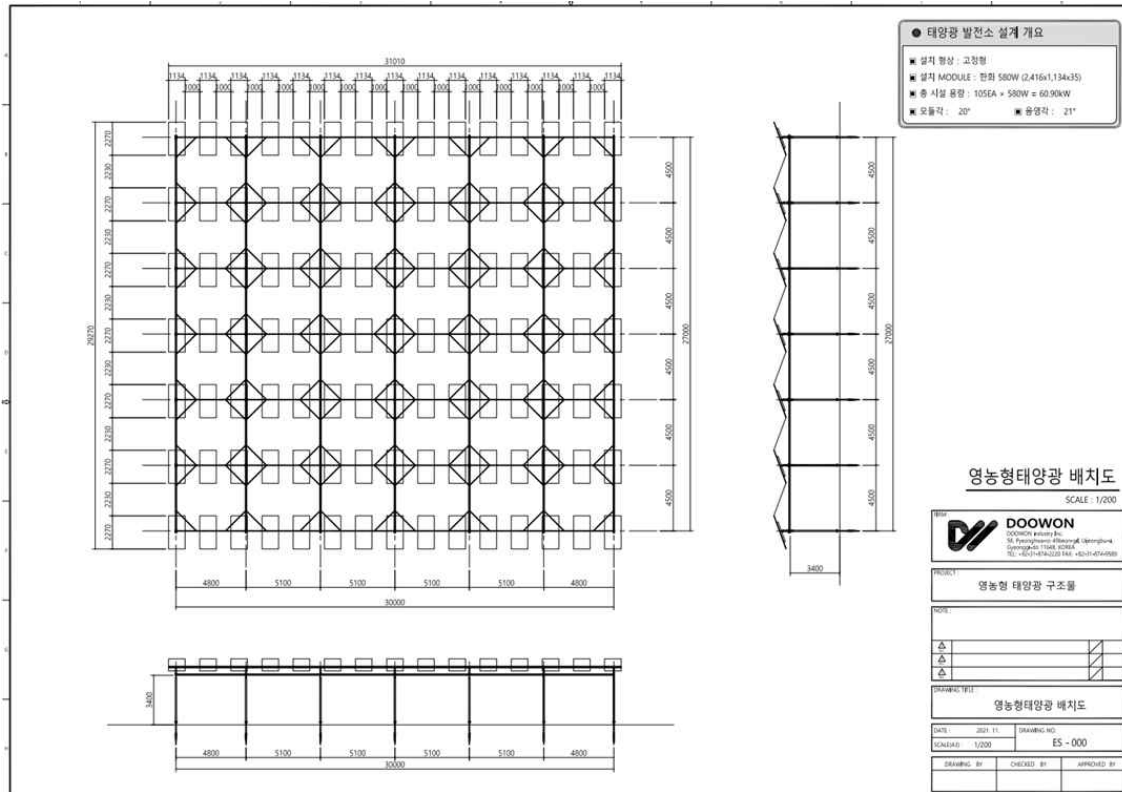
5) 참고 문헌

- 국가 건설기준 코드 강구조 설계(KDS 14 30) - 국토 교통부, 2019년
- 국가 건설기준 코드 건축구조기준 설계하중(KDS 14 10 15) - 국토 교통부, 2019년
- 국가 건설기준 코드 콘크리트용 앵커 설계기준(KDS 14 20 54) - 국토 교통부, 2016년

6) 특기 사항

- MIDAS GEN 전산 해석 결과 부재력을 통해 태양광 구조물을 구성하는 각 부재의 안정성을 검토
- 시공시, 본 구조검토서에서 적용한 것과 상이한 조건이 발생할 경우, 설계자의 승인을 득한 후 시공하여야 함
- 하부 구조물의 경우 구조물의 부식, 부재 연결부 결함 또는 기타 다른 이유에 따른 구조물 노후화 여부는

b-4) 설계도



b-5) 검토 하중

1) 자중

- 해석 프로그램의 Self Weight 기능을 사용하여 재하
- 강재 단위중량 : 76.980 kN/m³ 적용
- 패널 단위중량 : 2.900 kN/m³ 적용

2) 적설하중

- 구조물의 형태, 기울기 등에 따라 KDS 41 10 15에서 규정하는 경사지붕적설하중 기준에 따라 다음 식에 따라 산정함

$$S_s = C_s \times S_f \quad (\text{kN/m}^2)$$

- C_s : 경사도계수

적설면의 표면 상태, 기울기, 눈이 미끄러지는 정도를 고려하여 정하며, 본 검토에서는 패널 위에서 눈이 미끄러지지 않는 상태로 가정하여 경사도 계수 1.0 으로 적용함

- S_f : 평지붕 적설하중

$$S_f = C_b \times C_e \times C_t \times I_s \times S_g \quad (\text{kN/m}^2)$$

- C_b : 기본 지붕 적설하중계수

기본지붕적설하중계수는 일반적으로 0.7로 함 (KDS 41 10 15, 2019, p.25)

- C_e : 노출계수

주 변 환 경	노출계수
A. 지형, 높은구조물, 나무 등 주변 현황에 의해 모든 면이 바람막이가 없어 노출된 지붕이 있는 거센 바람 부는 지역	0.80
B. 약간의 바람막이가 있는 거센 바람 부는 지역	0.90
C. 바람에 의한 눈의 제거가 지형, 높은 구조물 또는 근처의 몇몇 나무들 때문에 지붕 하중의 감소를 기대할 수 없는 위치	1.00
D. 바람의 영향이 많지 않은 지역 및 지형과 높은 구조물 또는 몇몇 나무들에 의하여 지붕에 바람막이가 있는 지역	1.10
E. 바람의 영향이 거의 없는 조밀한 숲 지역으로서, 솟음한 침엽수 사이에 위치한 지붕	1.20

- C_t : 온도계수

주 변 환 경	온도계수
난방 구조물 (적설하중 제어구조)	1.00
비난방 구조물 (적설하중 비제어구조)	1.20

- I_s : 중요도계수

중요도	건축물의 용도 및 규모	중요도계수
특	• 연면적이 1,000m ² 이상인 위험물 저장 및 처리시설, 종합병원, 병원, 방송국, 전신전화국, 발전소, 공공업무시설 및 노약자시설	1.20
1	• 연면적이 5,000m ² 이상인 관람집회시설, 운동시설, 운수시설, 전시시설, 및 판매시설 • 5층 이상인 숙박시설, 오피스텔, 기숙사, 아파트 • 5층 이상의 학교	1.10
2	• 중요도(특), (1) 및 (3)에 해당하지 않는 건축물, 방음터널	1.00
3	• 가설 건축물, 농가 건축물 및 소규모 창고	0.80

- S_g : 기본지상적설하중 (kN/m²)

지 역	기본지상 적설하중 (kN/m ²)
서울, 수원, 춘천, 서산, 충주, 대전, 추풍령, 포항, 군산, 대구, 전주, 울산, 광주, 부여, 통영, 목포, 여수, 제주, 서귀포, 진주, 이천, 부산	0.50
정읍, 울진	0.65
연천	0.80
속초	2.00
강릉	3.00
울릉도, 대관령	7.00

• 적설하중 산정

$$S_s = C_b \times C_w \times C_t \times I_e \times S_g$$

$$= 0.7 \times 1.0 \times 1.2 \times 1.0 \times 0.5 = 0.42 \text{ kN/m}^2$$

3) 풍하중

• 구조물에 작용하는 풍하중은 다음 식에 따라 산정함

$$p_f = (1/2) \cdot \rho \cdot V_d^2 \cdot G_f \cdot C_f$$

• ρ : 공기 밀도로서 균일하게 1.22kg/m³으로 한다(KDS 41 10 15) = 1.22

• V_d : 설계 풍속으로 다음식에 따라 산정함

$$V_d = V_o \cdot K_{zt} \cdot K_{d1} \cdot I_w$$

- V_o : 지역별 기본 풍속 (m/s) KDS 41 10 15 : 2019

지 역		풍속
서울특별시 인천광역시 경기도	울진	30
	연천, 강화, 안산, 시흥, 평택	28
	서울, 김포, 구리, 수원, 군포, 오산, 화성, 의왕, 부천, 고양, 안양, 과천, 광명, 의정부, 동두천, 양주, 파주, 포천, 남양주, 가평, 하남, 성남, 광주, 양평, 용인	26
강원도	연성, 연천, 여주, 이천	24
	속초, 양양, 강릉, 고성	34
	동해, 삼척, 홍천, 정선, 안제	30
	양구	26
대전광역시 충청남도	철원, 화천, 춘천, 횡성, 원주, 평창, 영월, 태백	24
	서산, 태안	34
	당진	32
	서천, 보령, 홍성, 청주, 청원	30
	예산, 세종, 대전, 공주, 부여	28
	아산, 계룡, 진천	26
부산광역시 대구광역시 울산광역시 경상남도	전안, 증평, 정양, 논산, 금산, 음성, 증주, 제천, 단양, 괴산, 보은, 영동, 옥천	24
	울릉(독도)	40
	부산	38
	포항, 경주, 기장, 통영, 거제	36
	양산, 김해, 남해, 울산, 울주	34
	영덕, 고성	32
	울진, 창원, 사천, 영천	30
	청송, 대구, 경산, 청도, 밀양, 하동	28
	영양, 군위, 칠곡, 성주, 달성, 함안, 고령, 창녕, 진주	26
	봉화, 영주, 예천, 문경, 상주, 추풍령, 안동, 의성, 구미, 김천, 의령, 거창, 산청, 함천, 함양	24
광주광역시 전라남도	완도, 해남	36
	진도, 여수, 고흥, 신안, 무안, 장흥	34
	목포, 부안, 영암, 강진	32
	영광, 함평, 나주	30
	익산, 김제, 순천, 고창, 광양	28
	광주, 보성, 원주, 전주, 장성	26
	무주, 진안, 장수, 임실, 정읍, 순창, 남원, 담양, 곡성, 구례	24
제주도	서귀포, 제주	44

- K_{zr} : 풍속고도분포계수로 주변 지역의 지표면상태에 따라 아래구분에 따라 정함

지표조도구분	주변 환경
A	대도시 중심부에서 고층건축물(10층 이상)이 밀집해 있는 지역
B	수목, 높이 3.5m 정도의 주택과 같은 건축물이 밀집해 있는 지역 중층 건물 (4~9층)이 산재해 있는 지역
C	높이 1.5~10m 정도의 장애물이 산재해 있는 지역 수목, 저층건축물이 산재해 있는 지역
D	장애물이 거의 없고, 주변 장애물의 평균높이가 1.5m 이하인 지역 해안, 초원, 비행장

지표조도구분	A	B	C	D	비 고
z_0	20	15	10	10	대기 경계층 시작높이(m)
Z_0	550	450	350	350	기준경도풍높이(m)
α	0.33	0.22	0.15	0.15	풍속고도분포지수

지표면으로부터 높이 Z(m)	지표면 조도구분에 따른 풍속고도분포계수 K_{zr}			
	A	B	C	D
$z \leq z_0$	0.58	0.81	1.0000	1.13
$Z_0 < z \leq Z_0$	$0.22 z^\alpha$	$0.45 z^\alpha$	$0.71 z^\alpha$	$0.97 z^\alpha$

지표조도구분 C, 구조물의 지표로부터 높이 $z = 4.4m$ 로 위의 구분에 따라
 풍속고도분포계수 K_{zr} = 1.00

- K_{zt} : 지형계수 = 1.0

산, 언덕 및 경사지의 영향을 받지 않는 평탄한 지역의 지형계수는 1.0 (KDS 14 10 15)

- I_w : 중요도계수로, KDS 41 10 05(건축구조기준 총칙)에서 정의한 건축물의
 중요도 분류에 근거하여 아래 표에 따라 정함 (중요도 구분은 적설하중 참고)

중요도 분류	초고층건축물	특	1	2	3
중요도 계수 (I_w)	1.05	1.00		0.95	0.90

※ 초고층 건축물은 50층 이상 또는 200mm 이상인 건축물

- 설계 풍속 산정

$$V_d = 26.0 \times 1.00 \times 1.0 \times 0.95 = 23.465 \text{ m/s}$$

• G_f : 가스트 영향 계수

노풍도 구분	가스트 영향계수(G_f)	주변지역의 지표면 상태
A	2.5	대도시 중심부에서 10층이상의 대규모 고층건물이 밀집해 있는 지역
B	2.2	높이 3.5미터 정도의 주택과 같은 건축물이 밀집해 있는 지역과 중층 건물이 산재해 있는 지역
C	1.9	높이 1.5~10미터 정도의 주택과 같은 건축물이 밀집해 있는 지역과 저층건물이 산재해 있는 지역
D	1.8	장애물이 거의 없고, 주변 장애물의 평균높이가 1.5미터 이하인 지역, 해안, 초원, 비행장

• C_1 : 풍력 계수

단면형태	표준조건	C_1		
		$h_f/d=1$	$h_f/d=7$	$h_f/d=25$
사각형(면적 직각풍)	모든 경우	1.3	1.4	2.0
사각형(단면 대각선풍)	모든 경우	1.00	1.1	1.5
육각형 혹은 팔각형	모든 경우	1.00	1.2	1.4
원형($d\sqrt{qf} > 5.3$)	미고려된 면	0.5	0.6	0.7
	거친 면($d'/d=0.02$)	0.7	0.8	0.9
	매우 거친 면($d'/d=0.08$)	0.8	1.00	1.2
원($d\sqrt{qf} \leq 5.3$)	모든 경우	0.7	0.8	1.2

• 풍하중 산정

$$\begin{aligned}
 p_f &= (1/2) \cdot \rho \cdot V_d^2 \cdot C_1 \cdot C_f \\
 &= 0.5 \times 1.22 \times 23.5^2 \times 1.9 \times 1.1 = 701.968 \text{ N/m}^2 \\
 &= 0.702 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

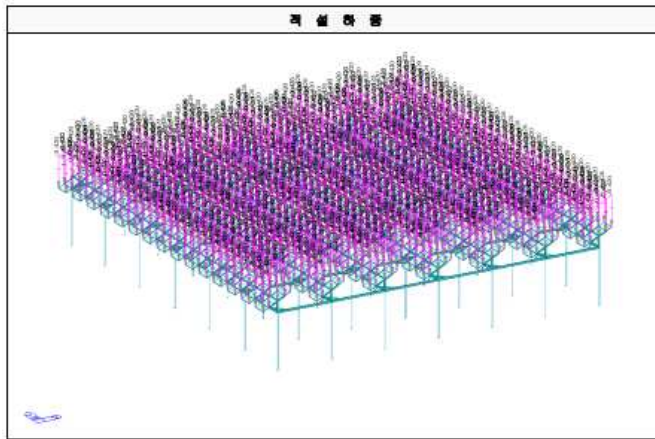
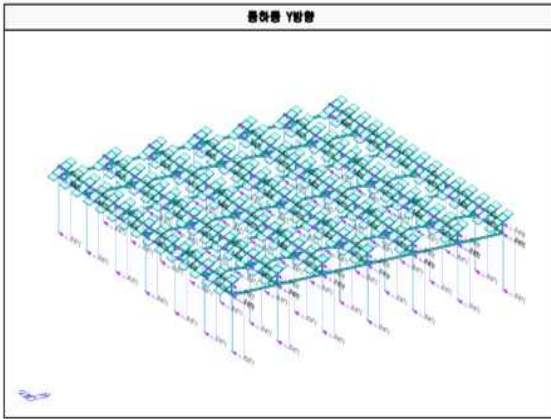
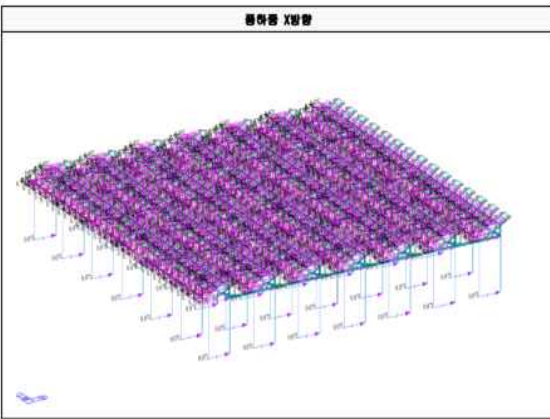
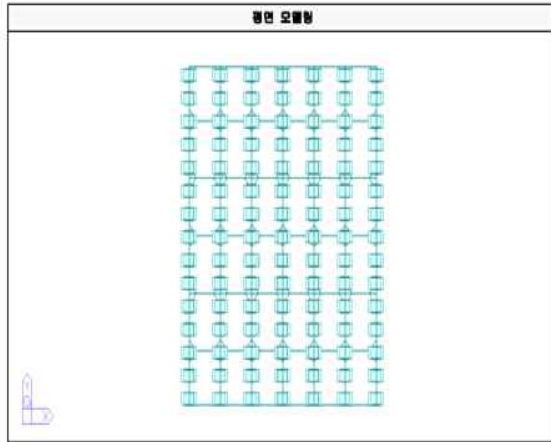
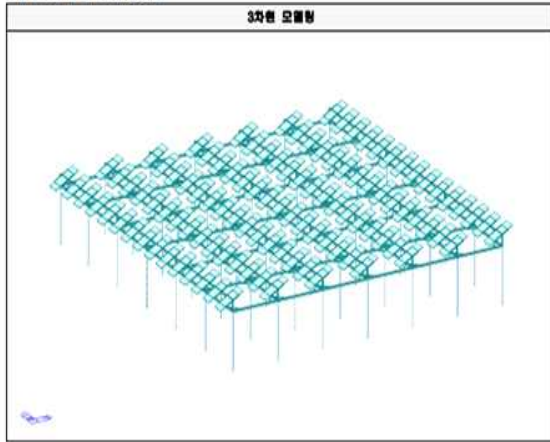
4) 하중 조합

구분	하중조합	허용응력증가계수	하중 보정 계수
LC1	고정하중	1.00	1.00
LC2	고정하중 + 설하중	1.25	0.80
LC3-1	고정하중 + 풍하중(+X방향)	1.25	0.80
LC3-2	고정하중 + 풍하중(-X방향)	1.25	0.80
LC4-1	고정하중 + 풍하중(+Y방향)	1.25	0.80
LC4-2	고정하중 + 풍하중(-Y방향)	1.25	0.80
LC5-1	고정하중 + 설하중 + 풍하중(+X방향)	1.25	0.80
LC5-2	고정하중 + 설하중 + 풍하중(-X방향)	1.25	0.80
LC6-1	고정하중 + 설하중 + 풍하중(+Y방향)	1.25	0.80
LC6-2	고정하중 + 설하중 + 풍하중(-Y방향)	1.25	0.80

* 허용응력 증가계수는 국토교통부에서 제시한 KDS 14 30 05 (강구조 설계 일반사항, 허용응력 설계법)의 기준을 적용하였으며, 본 검토에서는 허용응력을 증가시키는 대신, 적용하중을 증가계수만큼 감하여 적용하였다.

b-6) 구조 검토

1) 구조해석 모델링(Type1)



b-7) 부재 단면성 검토

1 다리

1-1 단면 제원

• 부재 규격 : ◦-101.6*3.2 • 재 질 : SS275

단면적(A)	989.2	mm ²	전단면적(A)	494.6123	mm ²
단면2차모멘트(Iyy)	1200000	mm ⁴	단면2차모멘트(Izz)	1200000	mm ⁴
단면2차반경(ry)	34.8	mm	단면2차반경(rz)	34.8	mm
탄성계수	205000	MPa	항복강도	275	MPa

1-2 검토하중

축력(kN)	휨모멘트-y(kN-m)	휨모멘트-z(kN-m)	전단력(kN)	비 고
5.052	2.367	0.007	1.600	축력 최대시
4.671	2.760	0.004	1.600	모멘트 최대시

1-3 허용 응력

1) 허용 축방향 인장응력 (Ft)

$$F_y = 275 \text{ MPa}$$

$$F_t = 0.6 \times 275 = 165 \text{ MPa}$$

2) 허용 축방향 압축응력 (Fc)

$$\text{좌굴 길이 계수 } K = 1$$

$$\text{좌굴 길이 } L = 3350 \text{ mm}$$

$$\text{단면 회전 반경 } r = 34.8 \text{ mm}$$

$$KL/r = 96.264$$

$$\text{한계 세장비 } C_c = \sqrt{2\pi^2 E_s/E_y} = 121.304$$

허용 압축응력 Fc (KDS 14 30 10)

(1) $KL/r < C_c$ 일 때

$$F_c = \frac{\left[1 - \frac{(KL/r)^2}{2C_c^2}\right] F_y}{\frac{3}{8} - \frac{3(KL/r)^2}{8C_c^2} - \frac{(KL/r)^4}{8C_c^4}}$$

(2) $KL/r > C_c$ 일 때

$$F_c = \frac{12\pi^2 E_s}{25(KL/r)^2}$$

$$KL/r < C_c \text{ 이므로 } F_c = 99.068 \text{ MPa}$$

3) 허용 휨 압축응력 (Fb)

$$F_b = 0.6 \times 275 = 165 \text{ MPa}$$

4) 허용 전단응력 (Fv)

$$F_v = 0.4 \times 275 = 110 \text{ MPa}$$

1-4 축력 최대 시 부재 응력 검토

1) 축방향 압축응력 (Fx)

$$f_c = 5052 / 989 = 5.107 \text{ MPa} < 99.068 \text{ MPa} \therefore \text{OK}$$

2) 휨 응력 (My)

$$f_{by} = M_y / I_{xy} = 2367100 / 1200000 \times 50.800 = 100.207 \text{ MPa} < 165.000 \text{ MPa} \therefore \text{OK}$$

3) 휨 응력 (Mz)

$$f_{bz} = M_z / I_{xz} = 7300 / 1200000 \times 50.800 = 0.309 \text{ MPa} < 165.000 \text{ MPa} \therefore \text{OK}$$

4) 합성응력 (축력 - 휨)

축압축과 휨을 받는 부재는 다음 식을 만족하여야 함 (KDS 14 30 10)

$$\frac{f_c}{F_c} + \frac{C_{mz} f_{bx}}{\left(1 - \frac{f_c}{F_{cx}}\right) F_{bx}} + \frac{C_{my} f_{by}}{\left(1 - \frac{f_c}{F_{cy}}\right) F_{by}} \leq 1.0 \quad (4.6-1)$$

$$\frac{f_c}{0.60 F_y} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \leq 1.0 \quad (4.6-2)$$

$$\frac{5.107}{99.068} + \frac{1 \times 100.207}{\left(1 - \frac{5.107}{113.914}\right) \times 165.000} + \frac{1 \times 0.309}{\left(1 - \frac{5.107}{113.914}\right) \times 165.000} = 0.689 < 1.0 \therefore \text{OK}$$

$$\frac{5.107}{0.6 \times 275} + \frac{100.207}{165.000} + \frac{0.309}{165.000} = 0.640 < 1.0 \therefore \text{OK}$$

여기서,

$C_m = 1$ 적용

$F_e =$ 안전율을 포함한 오일러 좌굴응력(MPa)

$$= \frac{12 \times \pi^2 \times 205000}{23 \times 96^2} = 113.914 \text{ MPa}$$

5) 전단응력 (Fyz)

$$f_v = V / 0.5 A = 1600 / 495 = 3.235 \text{ MPa} < 110.000 \text{ MPa} \therefore \text{OK}$$

1-5 모멘트 최대 시 부재 응력 검토

1) 축방향 압축응력 (Fx)

$$f_c = 4671 / 989 = 4.722 \text{ MPa} < 99.068 \text{ MPa} \therefore \text{OK}$$

2) 휨 응력 (My)

$$f_{by} = M_y / I \times y = 2759500 / 1200000 \times 50.800 = 116.819 \text{ MPa} < 165.000 \text{ MPa} \therefore \text{OK}$$

3) 휨 응력 (Mz)

$$f_{bz} = M_z / I \times y = 3800 / 1200000 \times 50.800 = 0.161 \text{ MPa} < 165.000 \text{ MPa} \therefore \text{OK}$$

4) 합성응력 (축력 - 휨)

축압축과 휨을 받는 부재는 다음 식을 만족하여야 함 (KDS 14 30 10)

$$\frac{f_c}{F_c} + \frac{C_{m2} f_{bx}}{\left(1 - \frac{f_c}{F_{cx}}\right) F_{bx}} + \frac{C_{m3} f_{bz}}{\left(1 - \frac{f_c}{F_{cz}}\right) F_{bz}} \leq 1.0 \quad (4.6-1)$$

$$\frac{f_c}{0.60 F_y} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{bz}}{F_{bz}} \leq 1.0 \quad (4.6-2)$$

$$\frac{4.722}{99.068} + \frac{1 \times 116.819}{\left(1 - \frac{4.722}{113.914}\right) \times 165.000} + \frac{1 \times 0.161}{\left(1 - \frac{4.722}{113.914}\right) \times 165.000} = 0.787 < 1.0 \therefore \text{OK}$$

$$\frac{4.722}{0.6 \times 275} + \frac{116.819}{165.000} + \frac{0.161}{165.000} = 0.738 < 1.0 \therefore \text{OK}$$

여기서,

Cm = 1 적용

Fe' = 안전율을 포함한 오일러 좌굴응력(MPa)

$$= \frac{12 \times \pi^2 \times 205000}{23 \times 96^2} = 113.914 \text{ MPa}$$

5) 전단응력 (Fyz)

$$f_v = V / 0.5 A = 1600 / 495 = 3.235 \text{ MPa} < 110.000 \text{ MPa} \therefore \text{OK}$$

b-8) 매입 말뚝 기초 검토

본 검토에서는 태양광 구조물 기초로 시공되는 파일기초에 대하여, 매입말뚝의 지지력 공식을 사용 하여 지지력을 검토하였음. (N치 15적용)

1) 극한 선단 지지력

$$200 * N = 3000 \text{ kN/m}^2$$

2) 극한 주변 마찰력

$$2.5 * N = 37.5 \text{ kN/m}^2$$

여기서,

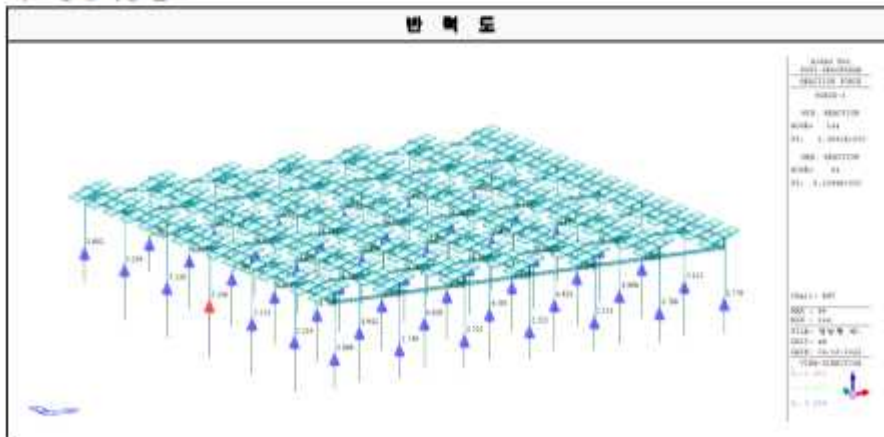
$$\begin{aligned} \text{선단 단면적} &= 0.058^2 * \pi / 4 \\ &= 0.0026421 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{주변 면적} &= 0.058 * \pi * 1.3 \\ &= 0.2368761 \text{ m}^2 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} \text{극한 지지력} &= 3000 \times 0.0026421 + 37.5 \times 0.237 = 16.8091 \text{ kN} \\ \text{허용 지지력} &= 16.8091 / 3 = 5.60303 \text{ kN} \end{aligned}$$

기초 상재 하중 검토



최대 반력 = 5.052 (kN) < 5.603 (kN) O.K
 - 기초 시공전에 반드시 지반 다짐을 실시하여 표준관입시험 결과 N치가 15이상 나오는지 확인하여야 함

c) 경사가 있는 부정형 농지의 단년생 발작물을 위한 표준모델 구조안전성 검토 예시
(지상 조립 상부 이동 구조)

c-1) 구조물의 개요

- (1) 설치지역 : 경북 경산시 대학로 280 (영남대학교 MW 실증단지)
- (2) 설치위치 / 태양광 구조물 형식 : 지면 위 설치 / 철타골구조
- (3) 태양광 전지판 지지구조물 최대 높이 : G.L + 3.921m
- (4) 태양광 전지판 사양 : 한화 480Wp(규격 : 2216x1045x35mm,
중량 : 29.1kgf/EA)
- (5) 지지형식 : Screw Pile에 대하여 본 태양광 구조물에서 요구되는 최대
인발하중은 12.95kN(/분)이고, 최대압축하중은 13.17kN(/분)임.

c-2) 설계하중 결과

- (1) 고정하중 : 태양광모듈은 0.13kN/m², FRAME하중은 프로그램에서
자동으로 반영
- (2) 적설하중 : 기본적설하중 Sg=0.57kN/m²에 구조물중요도/구조특성을
고려하여 0.46kN/m² 적용
- (3) 풍 하 중 : 기본풍속 Vo=40m/sec를 고려하여 정압은 3.07kN/m²,
부압은 - 2.89kN/m² 적용

c-3) 재료 및 구조해석 결과

구분	부재명	재료		부재규격	부재검토			결과
		강종	항복강도		Pu/ØPn	Mu/ØMn	Vu/ØVn	
태양광 구조물	PURLIN	PosMAC400	295MPa	LC-100×50×20×2.1	-	0.257	0.113	안전함
	Y-Support	PosMAC400	295MPa	Ø43×2.1	-	0.614	0.039	안전함
	V-BAR	PosMAC400	295MPa	Ø43×2.1	-	0.665	0.020	안전함
	POLE	PosMAC540	400MPa	□-100×100×3	0.070	0.774	0.027	안전함

c-4) 구조개요

(1) 구조설계 기준

- ① 건축구조기준 설계하중(KDS 41 10 15, 국토교통부)
- ② 건축물 강구조 설계기준 (KDS 14 31 00, 국토교통부)
- ③ 강구조 부재 설계기준 (KDS 14 31 10, 국토교통부)

(2) 사용재료

① 철타골

- PURLIN : LC형강, PosMAC400 (Fy=295MPa)
 Y-Support : 원형강관, PosMAC400 (Fy=295MPa)
 V-Bar : 원형강관, PosMAC400 (Fy=295MPa)
 POLE : 각형강관, PosMAC540 (Fy=400MPa)

② 볼트 : Connection Bolt 4.6(일반볼트)

볼트규격 4.6은 항복강도 fy=240MPa 이상 제품임.

(3) 해석프로그램 및 검토방법

- ① 골조해석 : MIDAS-GEN
- ② 부재 설계 및 검토 : MIDAS-GEN, BeST.Steel, Best.RC, Etc.
- ③ 태양광 모듈 지지대 및 부속 자재에 대하여 자중, 적재하중, 적설하중,

풍하중을 조합하여 한계상태설계법으로 검토함.

c-5) 설계하중

: 태양광 구조물에 작용하는 하중

(1) 고정하중

Load Element	Uniform Load
Solar Panel	0.13 kN/m ²
PURLIN & ETC	프로그램 자동반영
BEAM & GIRDER	프로그램 자동반영
COLUMN	프로그램 자동반영
Dead Load for Unit Area	0.13 kN/m ²

(2) 적설하중

① 적설하중계수 Cb, Ce, Ct, Is, Sg

기본지붕적설하중계수 Cb = 0.7

노출계수 Ce = 0.9 B. 약간의 바람막이가 있는 거센바람 부는지역

온도계수 Ct = 1.2 비난방구조물 : 적설하중 비제어구조

중요도계수 Is = 0.8

기본지상적설하중 Sbg = 0.57 지역 : 성능지표

지상적설하중 Sg.cal = Sbg × 1 「평탄지역」으로서 특정한 지형조건 아님.
 = 0.57 × 1 기본지상적설하중이 3.0kN/m² 이하인 지역.
 = 0.57 따라서 지상적설하중은 기본지상적설하중을 그대로 적용.

Sg.min = 0.50

Sg = MAX[Sg.cal , Sg.min] = 0.57

② 평지붕적설하중 Sf

Sf.cal = Cb·Ce·Ct·Is·Sg
 = 0.34

Sf.min = Sg·Is Sg가 1.0kN/m² 이하인 곳에서 Sf는 Sg×Is 이상으로 할 것.
 = 0.57 × 0.8
 = 0.46

Sf = MAX[Sf.cal, Sf.min] = 0.46

③ 경사지붕적설하중 Ss

지붕경사각 θ = 10.0°

지붕경사도계수 Cs = 1.00

Ss = Cs·Sf
 = 1×0.46
 = 0.46

④ 비로 인한 추가하중 고려 여부

w = 2.2 m

(w/15)° = 0.1°

(w/15)° < θ

∴ 눈 위의 비로 인한 하중은 추가할 필요없음.

Ss = 0.46+0

= 0.46 kN/m²

(3) 풍하중

PURLIN은 외장재 설계용 풍압계수로서 프로그램 계산하고, 이하 태양광구조물은 주골조 설계용 지붕의 설계풍압으로 산정.

① 풍하중계수 V_o, K_{zr}, K_{zt}, I_w

기본풍속	$V_o = 40 \text{ m/s}$	지역 : 성능지표
지표면조도	구분 : D	장애물이 거의없는 해안·초원·비행장.
지역 대기경계층시작높이	$z_b = 5 \text{ m}$	
지역 기준경도풍높이	$Z_g = 250 \text{ m}$	
지역 풍속고도분포지수	$\alpha = 0.10$	
풍속고도분포계수	$K_{zr} = 1.13 \text{ or } 0.98z^\alpha$	 = 1.13 기준높이 H에서의 풍속고도분포계수.
지형계수	$K_{zt} = 1.00$	지형 : 평탄지역
	$H_+ = X$	언덕, 산, 경사지의 정점높이
	$H_+/2 = X$	
	$L_u = X$	정점중앙에서 아래로 풍상측 $H'/2$ 지점까지 수평거리
	$\emptyset_d = X$	정점중앙에서 아래로 풍하측 $5H'$ 거리까지 평균경사
	$k_t = X$	경사지형 형상계수
	$\emptyset = X$	풍상측경사
	$\emptyset' = X$	\emptyset 와 0.3 중 작은 값
	$z = X$	국지표면에서 임의높이
	$s = X$	경사에서 구조물 위치계수
	$I_z = X$	높이 z에서 난류강도
중요도계수	$I_w = 0.90$	

② 설계속도압 q_H

설계풍속	$V_H = \frac{V_o \cdot K_{zr} \cdot K_{zt} \cdot I_w}{0.7}$
	= 40.68 m/s
설계속도압	$q_H = \frac{1}{2} \rho V_H^2$
	= 1.01 kN/m ²

③ 지붕 외압가스트영향계수 G_{pe}

태양광구조물기준높이	$H' = 3.73 \text{ m}$	
태양광구조 지붕경간	$l = 4.00 \text{ m}$	
태양광구조 보 하중부담폭	$b = 4.20 \text{ m}$	
풍방향1차고유진동수	$n_D = 7.74437 \text{ Hz}$	ASCE-7-10에 의함.
풍방향1차감쇠비	$\zeta_D = 0.018$	ISO 4354 : 2009(E)에 의함.
무차원고유진동수	$n \cdot R_O = n R_O H' / V_H$	
	= 0.7101 Hz	
	$n R_O H' / V_H < 1.5$	지붕의 공진효과를 무시할 수 없는 경우
공진계수	$R_{pe} = 0.004$	
	$(n \cdot R_O) 2.8 (l/H)^{1.5} (b/H)^{0.55} \zeta_D$	
	= 0.48892	지붕보가 풍향과 나란한 경우.
비공진계수	$B_{pe} = 0.36$	
	$(l/H)^{0.84} (b/H)^{0.09}$	
	= 0.33587	지붕보가 풍향과 나란한 경우.
기준높이 난류강도	$I_H = 0.1(H/Z_g) - \alpha - 0.05$	
	= 0.18650	
외압변동계수	$r_{pe} = 2.2 I_H^2 + 0.19$	
	= 0.26652	
피크팩터	$g_{pe} = \sqrt{(2 \ln(600 n R_O)) + 1.2}$	

$$= 3.369$$

$$\text{외압가스트영향계수 } G_{pe} = 1 + g_{pe} r_{pe} \sqrt{B_{pe} + R_{pe}}$$

$$= 1.82 \text{ 지붕보가 풍향과 나란한 경우.}$$

θ	$\beta=0^\circ$								$\beta=180^\circ$							
	개방흐름				장애흐름				개방흐름				장애흐름			
	하중상태:가		하중상태:나		하중상태:가		하중상태:나		하중상태:가		하중상태:나		하중상태:가		하중상태:나	
	CN.W	CN.L	CN.W	CN.L	CN.W	CN.L	CN.W	CN.L	CN.W	CN.L	CN.W	CN.L	CN.W	CN.L	CN.W	CN.L
0°	1.2	0.3	-1.1	-0.1	-0.5	-1.2	-1.1	-0.6	1.2	0.3	-1.1	-0.1	-0.5	-1.2	-1.1	-0.6
7.5°	-0.6	-1	-1.4	0	-1	-1.5	-1.7	-0.8	0.9	1.5	1.6	0.3	-0.2	-1.2	0.8	-0.3
10.0°	-0.70	-1.10	-1.57	0.00	-1.03	-1.50	-1.83	-0.73	1.03	1.53	1.67	0.40	0.00	-1.17	0.93	-0.30
15°	-0.9	-1.3	-1.9	0	-1.1	-1.5	-2.1	-0.6	1.3	1.6	1.8	0.6	0.4	-1.1	1.2	-0.3
30°	-1.8	-1.8	-2.5	-0.5	-1.5	-1.8	-2.3	-1.1	2.1	2.1	2.6	1	0.6	-1	1.6	0.1
45°	-1.6	-1.8	-2.3	-0.7	-1.3	-1.8	-1.9	-1.2	2.2	2.5	2.6	1.4	0.8	-0.9	2.1	0.4

④ 독립지붕 순압력계수 CN

$$\begin{aligned} \text{하향 순압력계수 } CN^+ &= 1.67 \\ \text{상향 순압력계수 } CN^- &= -1.57 \end{aligned}$$

태양광구조물 하부의 개방흐름을 고려
태양광구조물 하부의 개방흐름을 고려

⑤ 태양광구조물 주골조설계용 지붕 설계풍압

$$\begin{aligned} \text{지붕보 하향작용 풍압 } p_{R^+} &= qHG_{pe}CN^+ \\ &= 3.07 \text{ kN/m}^2 \\ \text{지붕보 상향작용 풍압 } p_{R^-} &= qHG_{pe}CN^- \\ &= -2.89 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

⑥ 외장재설계용 편지붕 피크순압력계수 CN^

θ	개방흐름		장애흐름	
	하향작용	상향작용	하향작용	상향작용
0°	2.6	-2.3	1.1	-2.6
7.5°	3.4	-3.0	1.7	-3.6
10.0°	3.53	-3.36	2.00	-3.90
15°	3.8	-4.1	2.6	-4.5
30°	5.5	-5.3	3.4	-4.9
45°	5.5	-4.9	4.5	-4.1

$$A_{eff} = 2.32\text{m}^2 \text{ 태양광모듈 유효수압면적}$$

$$a = 1.00\text{m} \quad a^2 = 1.00\text{m}^2 \quad 4a^2 = 4.00\text{m}^2$$

$$\begin{aligned} \text{하향 피크순압력계수 } CN^+ &= 3.53 \\ \text{상향 피크순압력계수 } CN^- &= -3.36 \end{aligned}$$

⑦ 태양광판넬 외장재설계용 설계풍압

$$\begin{aligned} \text{하향작용 풍압 } p_{C^+} &= qHCN^+ \\ &= 3.57 \text{ kN/m}^2 \\ \text{상향작용 풍압 } p_{C^-} &= qHCN^- \\ &= -3.39 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

(4) 지진하중

태양광구조물은 건축구조물과 달리 고정하중이 크지 않아 일반적으로 지진

하중보다 풍하중에 지배받는 특성이 있으나, 지진하중을 산정하여 풍하중과 지진하중의 하중작용효과를 비교하여 지진하중 고려를 생략 가능한지를 확인함.

① 지진하중 기본계수

지역계수	$S = 0.22$	지역 : 성능지표
지반등급	KDS 41 : S5	S1~S5 중 불리한 등급으로 가정
구조물중요도	IE = 1.0	
구조물기준높이	hn = 3.73 m	
구조물가동중량	W = 5.38 kN	

② 지반증폭계수

단주기지반증폭계수	Fa = 1.30
1초주기지반증폭계수	Fv = 2.64

③ 설계스펙트럼가속도

단주기설계스펙트럼가속도	SDS = 0.4767
1초주기 "	SD1 = 0.3872

④ 고유주기 및 지진계수

기준 To	$0.2SD1/SDS = 0.1625$
기준 TS	$SD1/SDS = 0.8123$
기준 TL	TL = 5.0
지진력저항시스템	: 일반규정만을 만족하는 철골구조시스템
반응수정계수	R = 3.00
시스템초과강도계수	$\Omega_0 = 3.00$
변위증폭계수	Cd = 3.00
기본고유주기 Ta 산정	Ct = 0.0724
	x = 0.8
	Ta = 0.2075
	Cthnx

⑤ 지진응답계수

지진하중계수 산정	Cs = 0.159	SDS/[R/IE]
	Cs.max = 0.622	SD1/([R/IE]T)
	Cs.min = 0.021	0.044SDSIE
	∴ Cs = 0.159	

⑥ 지진하중

밀면전잔력	V = 0.86 kN	CSW
지진하중	Eh = 1.12 kN	100:30 효과적용

⑦ 풍하중 수평방향 성분

풍에 의한 수평 작용하중	Wh = 11.48 kN	pc,max · B · D · sinθ
---------------	---------------	-----------------------

⑧ 계수를 적용한 두 하중효과 비교

강도검토시	1.0Eh = 1.12 kN	한계상태설계법 최대계수를 적용한 지진하중
	0.65Wh = 7.46 kN	한계상태설계법 최소계수를 적용한 풍하중
변형검토시	0.7Eh = 0.78 kN	한계상태설계법 최대계수를 적용한 지진하중
	0.75 × 0.85Wh = 7.32 kN	한계상태설계법 최소계수를 적용한 풍하중

⑨ 지진하중 고려여부

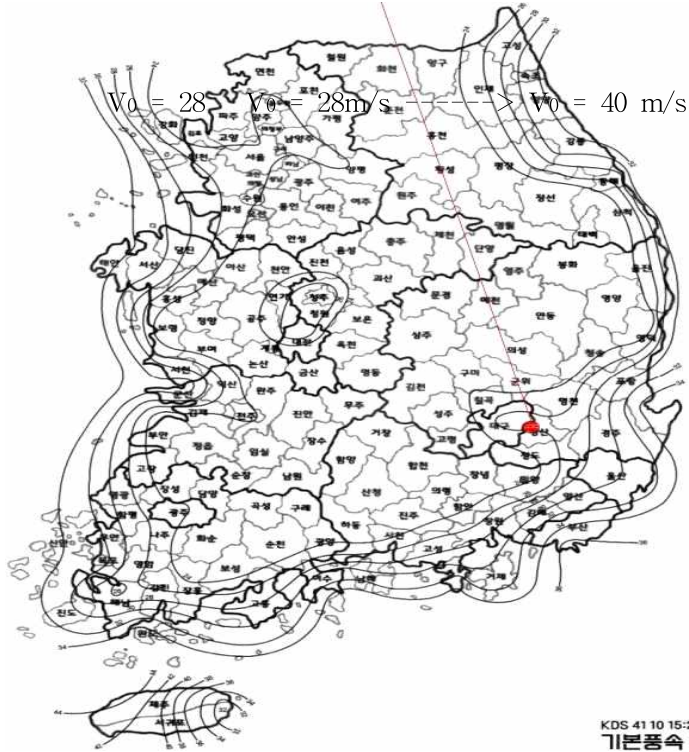
강도검토시 풍하중 효과가 지진하중 효과와 비교하여 6.66배 더 크게 지배하므로 지진하중을 고려할 필요없음.
 변형검토시 풍하중 효과가 지진하중 효과와 비교하여 9.38배 더 크게

지배하므로 지진하중을 고려할 필요없음.

따라서 본 태양광구조물이 풍하중에 대하여 안전함이 확인된 경우, 지진하중에도 안전함.

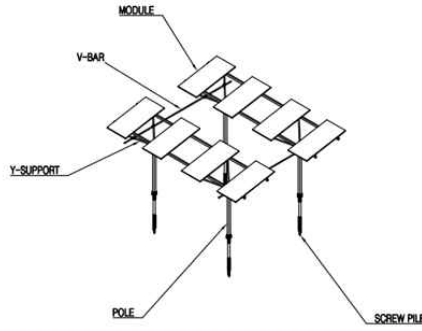
경상북도 경산시 대학로 280 (영남대학교 MW실증단지)

$$S_g = 0.5 \text{ kN/m}^2 \text{ -----> } S_g = 0.57 \text{ kN/m}^2$$



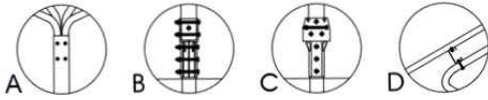
c-6) 3D Modeling

(1) 구조도

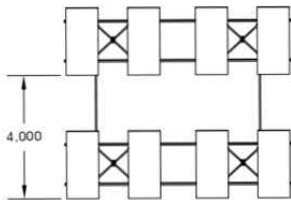


구조물 일람표

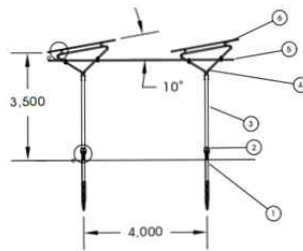
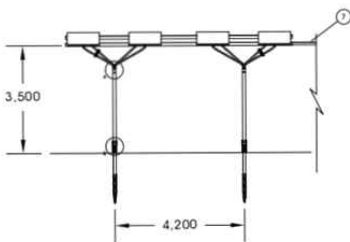
품명	사양	길이	재질
MODULE	Q.PEAK DUO XL-G10.3 /BFG		
H-BAR	LC-100*50*20*2.1t	7,345mm	PosMAC400
Y-SUPPORT	○-43∅*2.1t	5,200mm	PosMAC400
J-BAR (전선 정리)	LC-75*45*15*2.1t	1,169mm	PosMAC400
POLE	□-100*100*3t	2,300mm	PosMAC540
V-BAR	○-43∅*2.1t	6,000mm	PosMAC400
SCREW PILE	○-89∅*3t	2,200mm	SS275



A: POLE & Y-SUPPORT 체결 (M10*120 4EA 체결)
 B,C : 기초부 & POLE 체결 (상단 : M14*150 4EA 체결 / 하단 : M14*140 3EA 체결)
 D: MODULE & H-BAR 체결 (M8*20 4EA 체결)
 H-BAR & Y-SUPPORT 체결 (M10*50 2EA 체결)



재질	부품명	개수/Pole	규격
	1 Helical 기초	1EA	∅89*3t
	2 BASE 브라켓	1EA	-
	3 POLE	1EA	□ 100*100*3t
	4 Y-지지대	2EA	○ ∅43*2.1t
	5 V-BAR	1EA	○ ∅43*2.1t
	6 H-BAR	1EA	LC 100*50*20*2.1t
	7 J-BAR	0.5EA	LC 75*45*15*2.1t



(2) 구조부재검토

① PURLIN-SOLAR : OK

○ Design Code : KDS 14 31 10 : 2017

Steel : PSMACC00
 $f_y = 235 \text{ MPa}$
 $E = 210000 \text{ MPa}$

○ Member Data

Roof Slope : $\theta = 10.0^\circ$
 Member Span : $L = 2.20 \text{ m}$

Solar Panel Hook Setting : **Short Side**

Concrete Span : 2

Purlin EA / Panel EA : 2

Member Spacing : $S_p = 1.08 \text{ m}$

End Support : One Fixed & Other Hinged

Section Star : IC-100x50x20x2.1

Section Property : $A_g = 4750 \text{ mm}^2$ $S_x = 14,300 \text{ mm}^3$ $Z_x = 16,000 \text{ mm}^3$
 $I_x = 714,000 \text{ mm}^4$ $S_y = 5,400 \text{ mm}^3$ $Z_y = 8,000 \text{ mm}^3$
 $I_y = 169,000 \text{ mm}^4$ $r_x = 24.61 \text{ mm}$ $r_y = 18.86 \text{ mm}$ $c = 0.36$



○ Load Condition

Dead Load : 0.13 kN/m^2
 Snow Load : 0.46 kN/m^2
 Possible Wind : $q_w = 1.01 \text{ kN/m}^2$

$A_w = 2.26 \text{ m}^2$

$C_d \cdot q = 3.53$ 단면의 단면적에 대한

$P_{d,w} = 3.57 \text{ kN/m}^2$ 정압 하중의 단면적계수

Negative Wind : $C_{df} = -3.36$ 정압 하중의 단면적계수

$P_{d,w} = -3.39 \text{ kN/m}^2$ -----> 동압 보정하중 : 52.25%

○ Load Combination

LCB	for Strength Check		for Displacement Check	
	DP-X	DP-Y	DP-X	DP-Y
LCB1	0.101 kN/m	0.017 kN/m	2.094 kN/m	0.012 kN/m
LCB2	1.394 kN/m	0.015 kN/m	-1.842 kN/m	-
LCB3	-1.158 kN/m	0.015 kN/m	0.072 kN/m	0.012 kN/m
LCB4	2.702 kN/m	0.015 kN/m	0.327 kN/m	0.037 kN/m
LCB5	-2.602 kN/m	0.015 kN/m	-	-
LCB6	2.600 kN/m	0.011 kN/m	-	-
LCB7	-2.624 kN/m	0.011 kN/m	-	-
LCB8	1.803 kN/m	0.007 kN/m	-	-
LCB9	0.495 kN/m	0.007 kN/m	-	-
LCB10	-1.158 kN/m	0.007 kN/m	-	-
LCB11	0.214 kN/m	0.037 kN/m	-	-
LCB12	2.702 kN/m	0.037 kN/m	-	-
LCB13	-2.275 kN/m	0.037 kN/m	-	-
MAX/MIN	2.702 kN/m	0.037 kN/m	2.094 kN/m	0.037 kN/m

○ Check Thickness Ratio for Flexure

$\lambda (b/t) = 26.68$
 Flange Th: $\lambda_f = 10.14$ $\lambda = 26.68$ $b/t = 9.52$... Compact Sec.
 Flange II: $\lambda_f = 29.88$ $\lambda = 37.35$ $b/t = 21.81$... Compact Sec.
 Web: $\lambda_w = 64.57$ $\lambda = 152.08$ $b/t = 45.62$... Compact Sec.

○ Check Bending Strength

$L_p = 886 \text{ mm}$ $L_r = 2,675 \text{ mm}$
 $L_b = 1,045 \text{ mm}$ $L_c = 2,675 \text{ mm}$
 $L_p < L_b < L_r$ $M_{n1} = 8,578 \text{ kN/m}$
 $L_b < L_p < L_r$ $M_{n2} = 6,434 \text{ kN/m}$
 $L_r < L_b < L_p$ $M_{n3} = 2,960 \text{ kN/m}$

LCB	M_x	M_y	OM_x	OM_y	R_{max}	R_{min}	Result
1	0.01	0.01	7.72	2.12	0.005	0.005	OK
2	0.19	0.01	7.72	2.12	0.025	0.025	OK
3	-0.7	0.01	5.79	2.12	0.121	0.121	OK
4	0.37	0.01	7.72	2.12	0.048	0.048	OK
5	-1.45	0.01	5.79	2.12	0.250	0.250	OK
6	0.37	0.01	7.72	2.12	0.048	0.048	OK
7	-1.47	0.01	5.79	2.12	0.254	0.254	OK
8	0.25	0.05	7.72	2.12	0.040	0.040	OK
9	0.07	0.05	7.72	2.12	0.025	0.025	OK
10	-0.7	0.05	5.79	2.12	0.123	0.123	OK
11	0.03	0.02	7.72	2.12	0.010	0.010	OK
12	0.37	0.02	7.72	2.12	0.049	0.049	OK
13	-1.38	0.02	5.79	2.12	0.239	0.239	OK

○ Check Shear Strength

- Local Y Direction

$V_w = 2,972 \text{ kN}$ $\lambda = 1.10 \cdot \sqrt{(d/A_f)} = 65.63$

$k_w = 5$

$W_t = 45.62 < \lambda$

$C_v = 1.00$ $A_w = 20.18 \text{ mm}$

$OM_{w,y} = 26,710 \text{ kN}$

$V_w / OM_{w,y} = 0.111 < 1.0$ -----> OK

- Local X Direction

$V_w = 0.096 \text{ kN}$

$k_w = 1.2$ $\lambda = 1.10 \cdot \sqrt{(d/A_f)} = 32.15$

$W_t = 21.81 < \lambda$

$C_v = 1.00$ $A_w = 192.36 \text{ mm}$

$OM_{w,x} = 25,540 \text{ kN}$

$V_w / OM_{w,x} = 0.004 < 1.0$ -----> OK

○ Check Displacement

$\delta_y = 14.67 \text{ mm}$

LCB	δ_x	δ_y	$\delta_{y,trans}$	R_{max}	R_{min}	Result
1	1.760	0.043	1.761	0.12	0.12	OK
2	-1.550	0.043	1.557	0.106	0.106	OK
3	0.061	0.043	0.075	0.005	0.005	OK
4	0.276	0.203	0.343	0.023	0.023	OK

○ Result

$M_x / OM_x = 0.254 < 1.0$ -----> OK

$V_w / OM_w = 0.111 < 1.0$ -----> OK

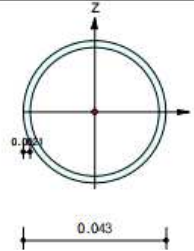
$\delta_{max} / \delta_y = 0.120 < 1.0$ -----> OK

Certified by :

	Company	CORE STRUCTURAL ENGINEERING	Project Title	
	Author		File Name	D:\...220526_설계\ANAL_40ms.mgb

1. Design Information

Design Code KDS 41 31 : 2019
 Unit System kN, m
 Member No 59
 Material PosMAC400 (No:1)
 (Fy = 295000, Es = 210000000)
 Section Name Y-Support (No:2)
 (Built-up Section).
 Member Length : 1.53978



2. Member Forces

Axial Force Fxx = -7.5365 (LCB: 6, POS:1)
 Bending Moments My = -0.2525, Mz = -0.3461
 End Moments Myl = -0.2524, Myj = 0.08823 (for Lb)
 Myi = -0.2524, Myj = 0.23324 (for Ly)
 Mzl = -0.3466, Mzj = 0.21188 (for Lz)
 Shear Forces Fyy = 0.64231 (LCB: 5, POS:1/2)
 Fzz = 0.83381 (LCB: 5, POS:J)

Outer Dia.	0.04300	Wall Thck	0.00210
Area	0.00027	Asz	0.00013
Oyb	0.00042	Ozb	0.00042
Iyy	0.00000	Izz	0.00000
Ybar	0.02150	Zbar	0.02150
Syy	0.00000	Szz	0.00000
ry	0.01448	rz	0.01448

3. Design Parameters

Unbraced Lengths Ly = 1.53978, Lz = 0.90254, Lb = 0.90254
 Effective Length Factors Ky = 1.00, Kz = 1.00
 Moment Factor / Bending Coefficient
 Cmy = 1.00, Cmz = 1.00, Cb = 1.00

4. Checking Results

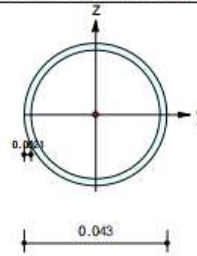
Axial Strength
 $P_u / \phi P_n = 7.5365 / 36.5235 = 0.206 < 1.000$ 0.K
 Bending Strength
 $M_{uy} / \phi M_{ny} = 0.25252 / 0.93349 = 0.271 < 1.000$ 0.K
 $M_{uz} / \phi M_{nz} = 0.34607 / 0.93349 = 0.371 < 1.000$ 0.K
 Combined Strength (Compression+Bending)
 $P_u / \phi P_n = 0.21 > 0.20$
 $R_{max} = P_u / \phi P_n + 8/9 \cdot \sqrt{[(M_{uy} / \phi M_{ny})^2 + (M_{uz} / \phi M_{nz})^2]} = 0.614 < 1.000$ 0.K
 Shear Strength
 $V_{uy} / \phi V_{ny} = 0.030 < 1.000$ 0.K
 $V_{uz} / \phi V_{nz} = 0.039 < 1.000$ 0.K

Certified by :

	Company	CORE STRUCTURAL ENGINEERING	Project Title	
	Author		File Name	D:\...1220526_설계\ANAL_40ms.mgb

1. Design Information

Design Code KDS 41 31 : 2019
 Unit System kN, m
 Member No 5
 Material PosMAC400 (No:1)
 (Fy = 295000, Es = 210000000)
 Section Name V-BAR (No:5)
 (Built-up Section).
 Member Length : 3.13186



2. Member Forces

Axial Force Fxx = -0.0050 (LCB: 5, POS: I)
 Bending Moments My = -0.6189, Mz = 0.04974
 End Moments MyI = -0.6188, MyJ = 0.58612 (for Lb)
 MyI = -0.6188, MyJ = 0.58612 (for Ly)
 MzI = 0.04974, MzJ = -0.0451 (for Lz)
 Shear Forces Fyy = 0.03027 (LCB: 5, POS: 1/2)
 Fzz = 0.42892 (LCB: 6, POS: J)

Outer Dia.	0.04300	Wall Thick	0.00210
Area	0.00027	Asz	0.00013
Qyb	0.00042	Qzb	0.00042
Iyy	0.00000	Izz	0.00000
Ybar	0.02150	Zbar	0.02150
Syy	0.00000	Szz	0.00000
ry	0.01448	rz	0.01448

3. Design Parameters

Unbraced Lengths Ly = 3.13186, Lz = 3.13186, Lb = 3.13186
 Effective Length Factors Ky = 1.00, Kz = 1.00
 Moment Factor / Bending Coefficient Cmy = 1.00, Cmz = 1.00, Cb = 1.00

4. Checking Results

Axial Strength
 $P_u / \phi P_n = 0.00504 / 9.43517 = 0.001 < 1.000$ 0.K

Bending Strength
 $M_{uy} / \phi M_{ny} = 0.61886 / 0.93349 = 0.663 < 1.000$ 0.K
 $M_{uz} / \phi M_{nz} = 0.04974 / 0.93349 = 0.053 < 1.000$ 0.K

Combined Strength (Compression+Bending)
 $P_u / \phi P_n = 0.00 < 0.20$
 $R_{max} = P_u / (2 \cdot \phi P_n) + \sqrt{[M_{uy} / \phi M_{ny}]^2 + [M_{uz} / \phi M_{nz}]^2} = 0.665 < 1.000$ 0.K

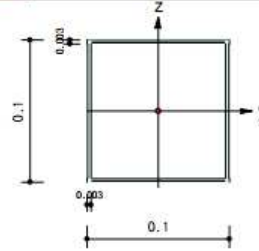
Shear Strength
 $V_{uy} / \phi V_{ny} = 0.001 < 1.000$ 0.K
 $V_{uz} / \phi V_{nz} = 0.020 < 1.000$ 0.K

Certified by :

MIDAS	Company	CORE STRUCTURAL ENGINEERS	Project Title	
	Author		File Name	D:\..\220526_설계\ANAL_40ms.mgb

1. Design Information

Design Code KDS 41 31 : 2019
 Unit System kN, m
 Member No 50
 Material PosMAC540 (No:2)
 (Fy = 400000, Es = 210000000)
 Section Name POLE (No:1)
 (Built-up Section).
 Member Length : 2.80000



2. Member Forces

Axial Force Fxx = -19.701 (LCB: 6, POS:1)
 Bending Moments My = 9.92984, Mz = 0.21571
 End Moments MyI = 9.92984, MyJ = 1.11202 (for Lb)
 MyI = 9.92984, MyJ = 1.11202 (for Ly)
 MzI = 0.21571, MzJ = -0.1166 (for Lz)
 Shear Forces Fyy = -0.1224 (LCB: 7, POS:1/2)
 Fzz = 3.14922 (LCB: 6, POS:1/2)

Depth	0.10000	Web Thick	0.00300
Flg Width	0.10000	Top F Thick	0.00300
Web Center	0.09700	Bot. F Thick	0.00300
Area	0.00116	Asz	0.00060
Oyb	0.00353	Ozb	0.00353
Iyy	0.00000	Izz	0.00000
Ybar	0.05000	Zbar	0.05000
Syy	0.00004	Szz	0.00004
ry	0.03962	rz	0.03962

3. Design Parameters

Unbraced Lengths Ly = 2.80000, Lz = 2.80000, Lb = 2.80000
 Effective Length Factors Ky = 1.00, Kz = 1.00
 Moment Factor / Bending Coefficient
 Cmy = 0.85, Cmz = 0.85, Cb = 1.00

4. Checking Results

Axial Strength
 $P_u / \phi P_n = 19.701 / 279.922 = 0.070 < 1.000$ 0.K
 Bending Strength
 $M_{uy} / \phi M_{ny} = 9.9298 / 13.7280 = 0.723 < 1.000$ 0.K
 $M_{uz} / \phi M_{nz} = 0.2157 / 13.7280 = 0.016 < 1.000$ 0.K
 Combined Strength (Compression+Bending)
 $P_u / \phi P_n = 0.07 < 0.20$
 $R_{max} = P_u / (2 \cdot \phi P_n) + [M_{uy} / \phi M_{ny} + M_{uz} / \phi M_{nz}] = 0.774 < 1.000$ 0.K
 Shear Strength
 $V_{uy} / \phi V_{ny} = 0.001 < 1.000$ 0.K
 $V_{uz} / \phi V_{nz} = 0.027 < 1.000$ 0.K

② Connection of SOLAR FRAME : OK

구조부재 연결 접합부의 안전성용 아래와 같이 검토함

○ Design Code : KDS 14 31 10

Connection of Solar Panel & Purlin

○ Required Strength
 Calculation about Tensile Wind Load of one bolt of Solar Panel as Cladding
 T_u of Bolt = $1.3P_{Rw} \cdot \sqrt{A_{tension}/A_t}$
 = 250 kN

○ Member Data
 Material Name : S15304
 Section Shape : M6
 Section Property : $A_g = 28.3\text{mm}^2$, $F_{tK} = 390 \text{ MPa}$

○ Design Tensile Strength
 $0.75 \cdot F_{tK} = 82.7 \text{ kN}$

○ Safety Check
 $T_u / 0.75 \cdot F_{tK} = 0.30 < 1.0$ → OK

Connection of Purlin & Y-Support

○ Required Strength
 Calculation about Tensile Wind Load of one bolt of Purlin Span
 F_{tK} of Purlin Span = 2
 $T_u = 5.00 \text{ kN}$

○ Connection Member Data
 - Bolt : Material Name : 4.6
 Section Shape : M10
 Section Property : $A_g = 78.5\text{mm}^2$, $F_{tK} = 300 \text{ MPa}$

○ Design Strength
 - Bolt (Shear)
 $0.75 \cdot F_{tK} = 17.67 \text{ kN}$

○ Safety Check
 - Bolt
 $T_u / 0.75 \cdot F_{tK} = 0.28 < 1.0$ → OK

Connection of Y-Support & POLE

○ Required Strength
 T_u of POLE = 12.59 kN

○ Connection Member Data
 - Bolt : Material Name : 4.6
 Section Shape : 4 - M10
 Section Property : $A_g = 78.5\text{mm}^2$, $F_{tK} = 160 \text{ MPa}$
 - POLE : Material Name : PostMAG540
 Section Shape : 2 - PL- 30
 $CEN_{tensile}-EDCE : 50 \text{ mm}$

○ Design Strength
 - Bolt (Shear)
 $0.75 \cdot F_{tK} = 75.36 \text{ kN}$
 - SCL
 $0.75 \cdot F_{tK} = 367.20 \text{ kN}$
 $0.75 \cdot F_{tK} = 233.28 \text{ kN}$
 $0.75 \cdot F_{tK} = 233.28 \text{ kN}$

○ Safety Check
 - Bolt
 $T_u / 0.75 \cdot F_{tK} = 0.16 < 1.0$ → OK
 - Bracket PL
 $V_u / 0.75 \cdot F_{tK} = 0.06 < 1.0$ → OK

Connection of POLE & Base Bracket

○ Required Strength
 T_u of POLE = 12.59 kN

○ Connection Member Data
 - Bolt : Material Name : 4.6
 Section Shape : 3 - M14
 Section Property : $A_g = 153.9\text{mm}^2$, $F_{tK} = 160 \text{ MPa}$
 - Bracket PL : Material Name : S5275
 Section Shape : 2 - PL- 174 × 10.0 T
 $CEN_{tensile}-EDCE : 23 \text{ mm}$
 Bol. Welding : X

○ Design Strength
 - Bolt (Shear)
 $0.75 \cdot F_{tK} = 190.28 \text{ kN}$
 - Bracket PL
 $0.75 \cdot F_{tK} = 746.50 \text{ kN}$
 $0.75 \cdot F_{tK} = 340.20 \text{ kN}$
 $0.75 \cdot F_{tK} = 340.20 \text{ kN}$

○ Safety Check
 - Bolt
 $T_u / 0.75 \cdot F_{tK} = 0.11 < 1.0$ → OK
 - Bracket PL
 $T_u / 0.75 \cdot F_{tK} = 0.03 < 1.0$ → OK

Connection of Base Bracket & Helical Pile

○ Required Strength
 T_u of POLE = 12.59 kN

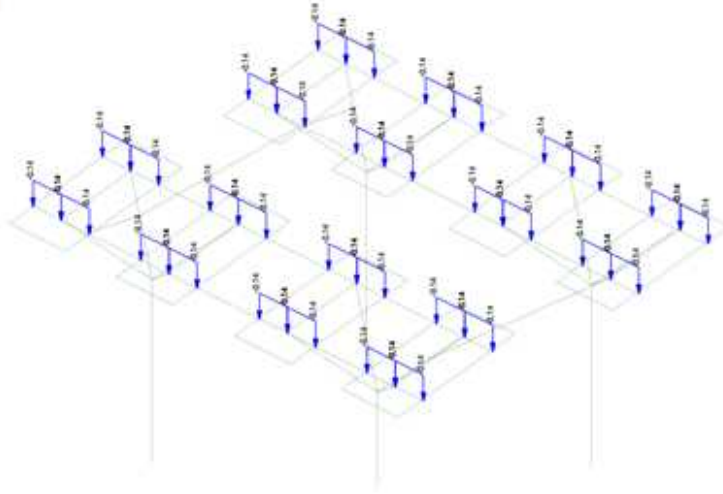
○ Connection Member Data
 - Bolt : Material Name : 4.6
 Section Shape : 3 - M14
 Section Property : $A_g = 153.9\text{mm}^2$, $F_{tK} = 160 \text{ MPa}$
 - Bracket PL : Material Name : S5275
 Section Shape : 2 - PL- 98 × 4.0 T
 $CEN_{tensile}-EDCE : 35 \text{ mm}$
 Bol. Welding : X

○ Design Strength
 - Bolt (Shear)
 $0.75 \cdot F_{tK} = 190.28 \text{ kN}$
 - Bracket PL
 $0.75 \cdot F_{tK} = 146.52 \text{ kN}$
 $0.75 \cdot F_{tK} = 244.94 \text{ kN}$
 $0.75 \cdot F_{tK} = 146.52 \text{ kN}$

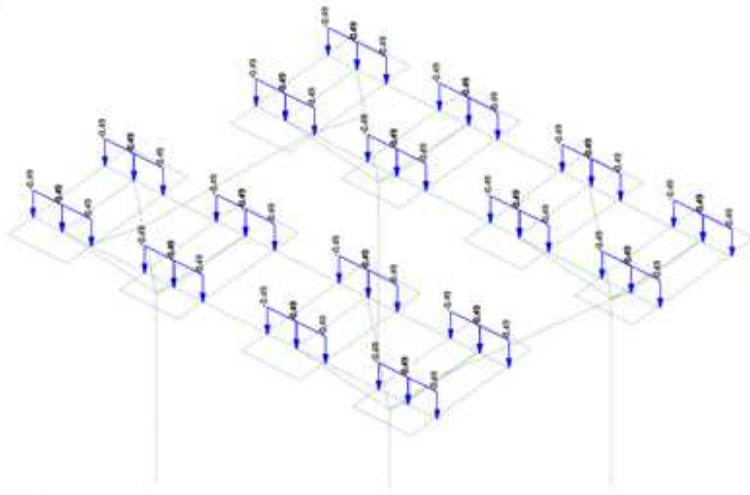
○ Safety Check
 - Bolt
 $T_u / 0.75 \cdot F_{tK} = 0.11 < 1.0$ → OK
 - Bracket PL
 $T_u / 0.75 \cdot F_{tK} = 0.08 < 1.0$ → OK

(3) 구조해석

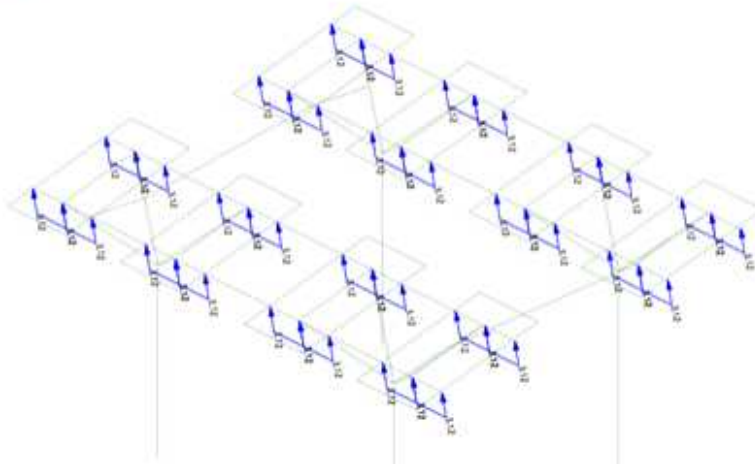
LOAD : DL

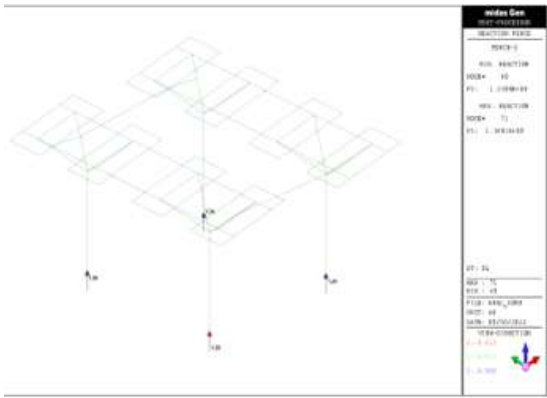


LOAD : SL



LOAD : WL(-)





Midas Gen
OUT-PRODUCTION

REACTION FORCE

REACTOR-101

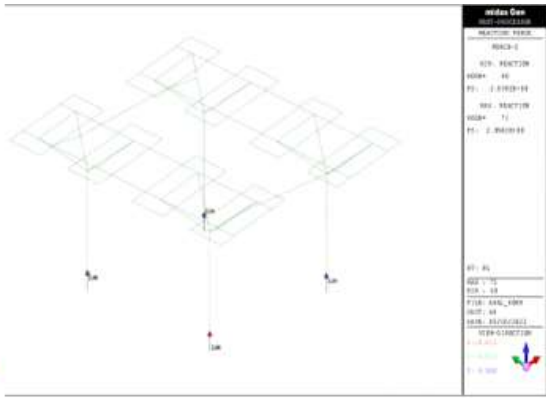
NO. REACTION
REACT 10

COORDINATE
PS: (-1.210E+01)
MS: (-1.320E+01)
RS: (-1.360E+01)

OFF. NO
OFFT 10
OFFL 10

FIXED AREA, MOM
FIXED: 0
MOM: 0

MEM. STRUCTURE
MEM. STRUCTURE
1: 0.001
2: 0.001



Midas Gen
OUT-PRODUCTION

REACTION FORCE

REACTOR-101

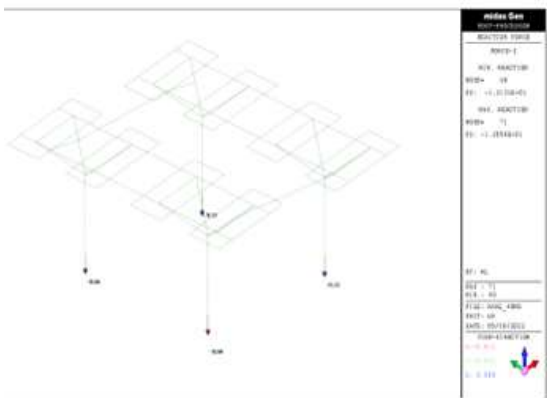
NO. REACTION
REACT 10

COORDINATE
PS: (-1.210E+01)
MS: (-1.320E+01)
RS: (-1.360E+01)

OFF. NO
OFFT 10
OFFL 10

FIXED AREA, MOM
FIXED: 0
MOM: 0

MEM. STRUCTURE
MEM. STRUCTURE
1: 0.001
2: 0.001



Midas Gen
OUT-PRODUCTION

REACTION FORCE

REACTOR-101

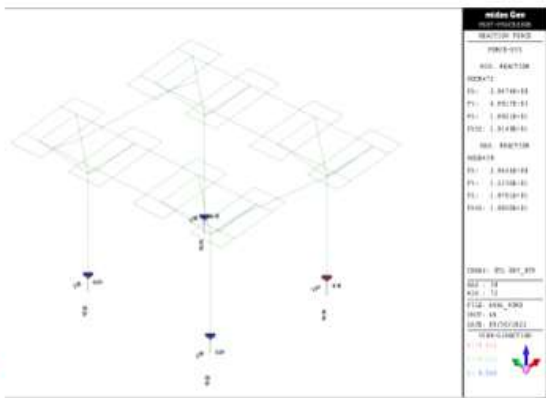
NO. REACTION
REACT 10

COORDINATE
PS: (-1.210E+01)
MS: (-1.320E+01)
RS: (-1.360E+01)

OFF. NO
OFFT 10
OFFL 10

FIXED AREA, MOM
FIXED: 0
MOM: 0

MEM. STRUCTURE
MEM. STRUCTURE
1: 0.001
2: 0.001



Midas Gen
OUT-PRODUCTION

REACTION FORCE

REACTOR-101

NO. REACTION
REACT 101

COORDINATE
PS: (-0.847E+01)
MS: (-1.260E+01)
RS: (-1.360E+01)

FIXED: (-1.340E+01)

NO. REACTION
REACT 10

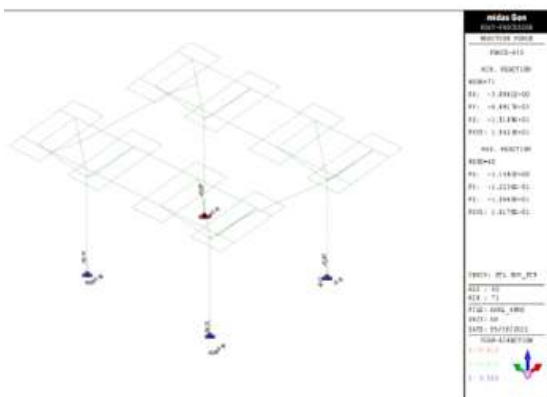
COORDINATE
PS: (-1.210E+01)
MS: (-1.320E+01)
RS: (-1.360E+01)

FIXED: (-1.360E+01)

CONST: PFL_007_004
OFFT 10
OFFL 10

FIXED AREA, MOM
FIXED: 0
MOM: 0

MEM. STRUCTURE
MEM. STRUCTURE
1: 0.001
2: 0.001



Midas Gen
OUT-PRODUCTION

REACTION FORCE

REACTOR-101

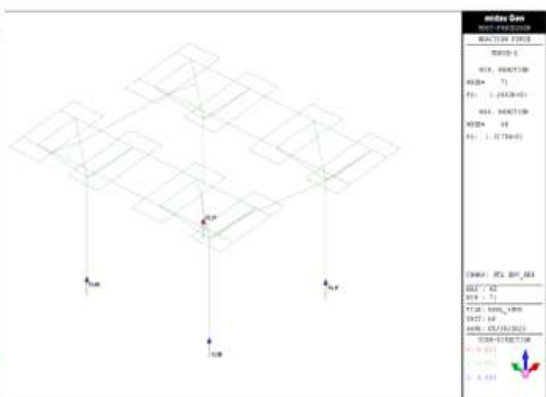
NO. REACTION
REACT 10

COORDINATE
PS: (-1.210E+01)
MS: (-1.320E+01)
RS: (-1.360E+01)

OFF. NO
OFFT 10
OFFL 10

FIXED AREA, MOM
FIXED: 0
MOM: 0

MEM. STRUCTURE
MEM. STRUCTURE
1: 0.001
2: 0.001



Midas Gen
OUT-PRODUCTION

REACTION FORCE

REACTOR-101

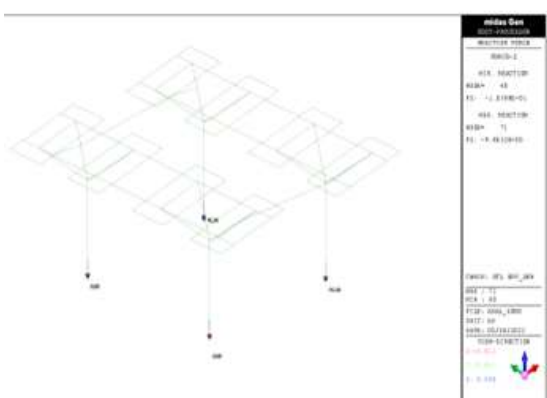
NO. REACTION
REACT 10

COORDINATE
PS: (-1.210E+01)
MS: (-1.320E+01)
RS: (-1.360E+01)

CONST: PFL_007_004
OFFT 10
OFFL 10

FIXED AREA, MOM
FIXED: 0
MOM: 0

MEM. STRUCTURE
MEM. STRUCTURE
1: 0.001
2: 0.001



Midas Gen
OUT-PRODUCTION

REACTION FORCE

REACTOR-101

NO. REACTION
REACT 10

COORDINATE
PS: (-1.210E+01)
MS: (-1.320E+01)
RS: (-1.360E+01)

CONST: PFL_007_004
OFFT 10
OFFL 10

FIXED AREA, MOM
FIXED: 0
MOM: 0

MEM. STRUCTURE
MEM. STRUCTURE
1: 0.001
2: 0.001

c-7) 차광율

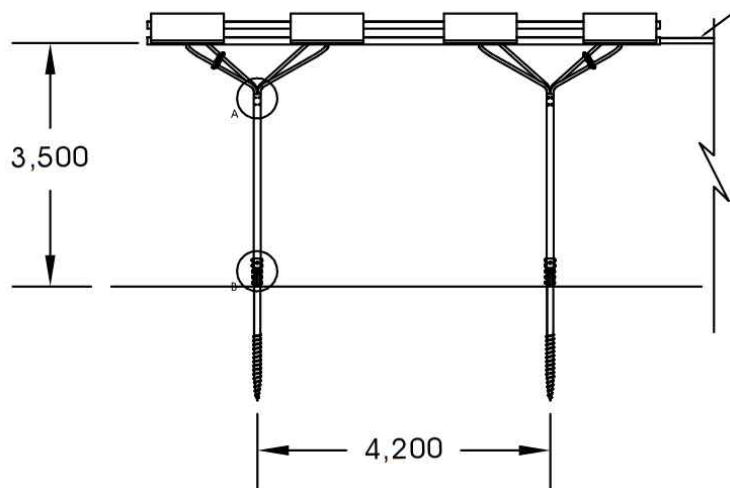
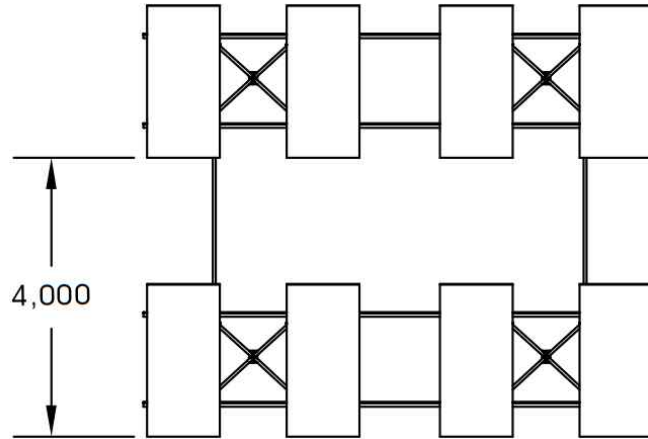
차광비율은 30.4%(목표 : 30%±3 미만)로 태양전지 모듈을 배치할 수 있는 구조 설계를 실시함.

- 태양광 모듈설치면적 : $1.045 \times 2.216 \times 16 \times 8 = 296.4\text{m}^2$

- 태양광발전 부지면적 : $32.245 \times 30.189 = 973.4\text{m}^2$

차광율(%) = 태양광 모듈설치면적/태양광발전 부지면적 $\times 100$

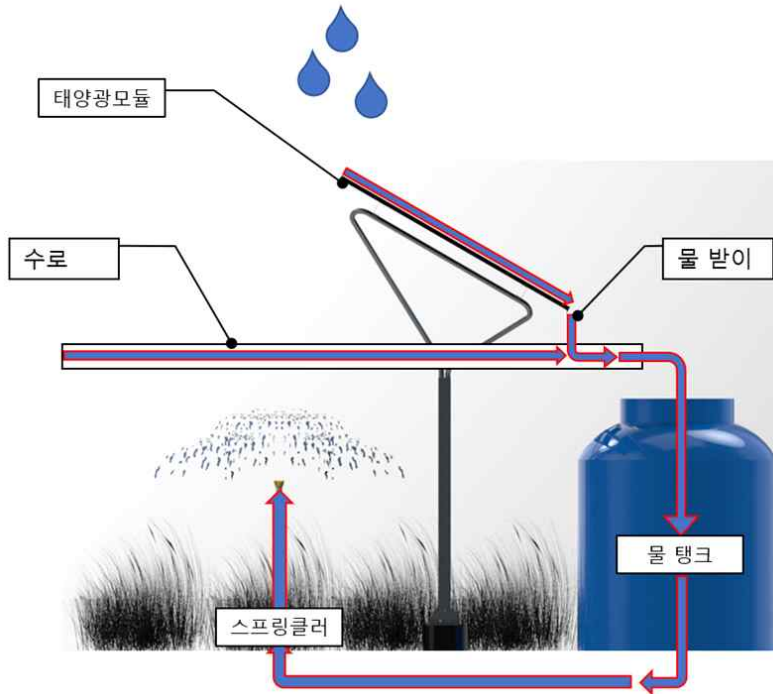
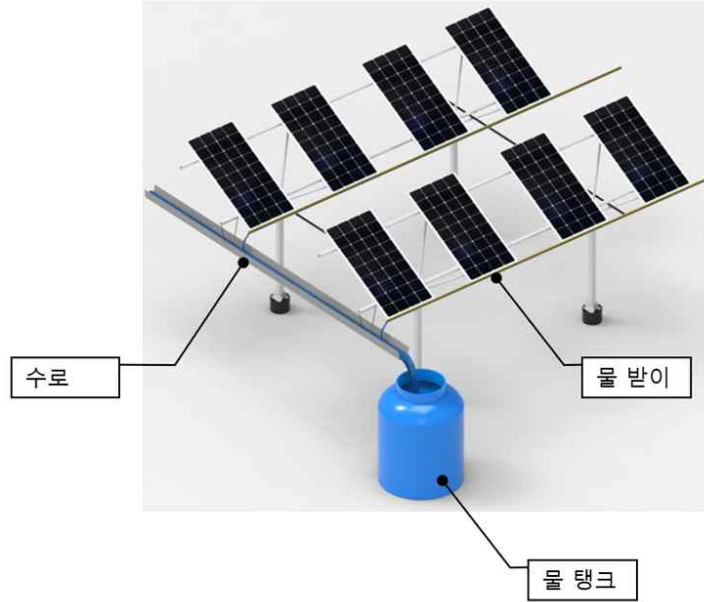
$$= 296.4 / 973.4 \times 100 = 30.4\%$$



c-8) 낙수방지 설계

3×12셀 모듈을 적용하더라도 빗물에 의한 낙수 피해를 막을 수는 없음.

따라서 어떤 형태의 모듈을 사용하더라도 낙수 피해를 방지할 수 있는 대책이 필요하여, 빗물을 집수할 수 있도록 모듈의 끝단에 빗물이 모일 수 있도록 빗물 집수시스템을 설계하였으며, 이를 집수조에 모아 갈수기에 빗물을 재활용할 수 있는 설계를 실시함.



c-9) 부품의 재질별 부식성 검토

영농형 태양광 구조물의 재료는 20여 년 이상의 장기간에도 부식이 없이 사용 가능해야 함. 따라서 장기간 사용에도 부식이 없는 재료를 사용해야 하며 통상적으로 용융아연도금강, Zn-Al-Mg합금도금강, 알루미늄, 스테인레스강 등이 사용됨.

여러 가지 재료를 염수분무 조건으로 테스트한 결과 상기 재료는 모두 사용 가능하나 용융아연도금강은 볼트·너트는 용융아연 도금량이 적어 부식이 발생하므로 사용을 피하는 것이 좋다고 판단됨. 특히 염해지역 등에 설치 시 볼트·너트는 용융아연도금제품은 사용하면 안 되는 것으로 판단됨.

본 과제에서는 구입의 용이성과 장기적인 부식에 강한 Zn-Al-Mg합금도금강(PosMAC3.0)을 적용하여 설계를 진행함.

(1) Zn- 3%Mg- 2.5%Al 3원계 고내식 합금도금강 자료 - 포스코 카탈로그 2020 동일한 도금 부착량의 일반 용융아연도금강판(GI, GI(H)) 대비 5~10배 이상의 내식성을 보유한 제품으로, 특히 절단면의 내식성이 매우 우수하여 후(厚)도금제품의 대체가 가능하며, 기존 GI 강판과 동일한 가공, 조립 및 도장 공정 적용 가능.

- ① GI(용융아연도금) 대비 평판, 가공부, 단면부 내식성 등 우수하고, 갈바륨 대비 단면부 내식성이 우수

품질항목		Zn-Mg-Al합금도금강	GI
도금층경도(Hv)		110~130	60~80
마찰특성		◎	×
내식성	평판	◎	△
	Bending	◎	△
	Cup	◎	△
	단면부	◎	△
내화학성		◎	△
용접성		◎	◎

② 내식성

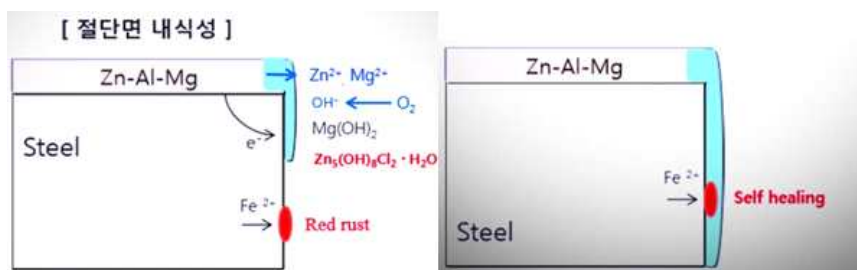
-도금층 중의 마그네슘(Mg)은 매우 안정한 상태의 치밀한 부식생성물($Zn_5(OH)_8Cl_2 \cdot H_2O$)의 형성을 촉진 시키게 됨.

이 부식생성물이 도금층 표면에 마치 Film처럼 형성, 유지되어 소지 철판이 부식되는 것을 방지하는 역할을 함.

-또한, 절단면 발생시 상부 도금층이 용해되어 단면을 피복하게 되고 안정적인 부식생성물의 성장을 촉진시킴.

-그러나 이미 노출된 소지 철판에는 적청이 발생하게 되며, 이후 절단면에 부식생성물 Film으로 피복이 되면 단면부의 부식을 방지하는 역할을 함.

-Zn-Mg-Al합금도금강은 용융아연도금강보다 5~10배 이상 우수한 평판부 내식성을 나타냄.



③ Batch-GI 도금재와의 평판부 내식성 비교 (한국화학융합시험연구원

시험번호 TBO-000048)

-Zn-Mg-Al 합금도금강은 Batch 도금재보다 5~10배 우수한 평판부 내식성을 나타냄.

-Zn-Mg-Al 합금도금강은 GI(H) 2~3배 이상 우수한 굴곡 가공부 내식성을 나타냄.

-Zn-Mg-Al 합금도금강은 GI보다 2~3배 이상의 우수한 가공부 내식성을 나타냄.

④ 옥외실증평가 후 절단면 내식성 결과(한국건설생활시험연구원)

-Zn-Mg-Al 합금도금강은 GI(H) 및 갈바륨보다 우수한 단면부 내식성을 나타냄.

-절단면은 소지철이 노출된 것이기 때문에 옥외폭로 후 초기에는 Zn-Mg-Al 합금도금강의 절단면도 적청이 발생하나, 시간이 경과함에 따라 Zn-Mg-Al합금도금강 특유의 부식산화물 생성으로 초기 발생 적청면적이 감소하는 경향을 보임.

시험편	모재 두께(t)	도금량 (g/m ²)	Cross-section image				
			1년 경과 후	2년 경과 후	3년 경과 후	5년 경과 후	6년 경과 후
PosMAC3.0	1.6	120					
	2.0	350					
	3.0	180					
	4.0	180					
GI(H)	1.6	180					
갈바륨	1.6	120					

Note. 서산 화학공업단지 내 옥외 폭로 결과(12. 10월 ~ 18. 10월, 한국건설생활시험연구원)

④ Zn-Mg-Al합금도금강 사용 수명 예측 평가 결과 (일본 KOBELCO 연구소)

PosMAC®3.0 사용 수명 예측 평가 결과 (일본 KOBELCO 연구소)

종류	시험편	두께(mm)	도금량 (양면, g/m ²)	후처리	소지철 부식 개시 시간(CCT)	내구년수 예측 (Salt Damage 환경)
3원계 합금도금	PosMAC3.0 (POSCO)	2.0	140	Cr	1,920Hr	50년
		2.0	350	Cr-free(NB)	3,700Hr	100년
	타사 고내식 1	2.0	120	Cr-free	1,920Hr	50년
		1.6	190	Cr	2,200Hr	60년
		0.27	120	Cr-free	2,200Hr	60년
상용재	GI(H) (POSCO)	2.0	600	Cr	960Hr	25년 (Base 기준)
	Batch GI (국내 업체)	2.0	1,000	-	960Hr	25년

테스트 방법 : 복합부식시험 (CCT, Cyclic Corrosion Test)

(ISO 14993) 1Cycle : 염수분무 2Hr(5%NaCl, 35%) → 건조 4Hr(25%RH, 60°C) → 습윤 2Hr(95%RH, 50°C)

소재별 내구수명 판단 기준 : 일본 교량건설협회에서 GI K600재 내구수명 연구결과 그 내구수명을 25년으로 판단한 Data를 기준으로 하여 타소재의 내구수명 예측

c-10) 농기계 작업의 장애 최소화 설계를 위한 농기계 검토

-구조물의 설계에 있어 농기계 작업의 장애를 최소화하기 위한 설계를 위해 국내 사용되는 농기계 중 트랙터, 콤바인, 이앙기에 대한 전장, 전폭, 높이에 대하여 분석함.

-주로 사용되는 농기계의 종류에 따른 모듈 하단까지 높이는 3m 이상, 가로 경간거리는 4m 이상으로 설계가 필요함.

(1) L사

① 트랙터

구분	T Series	X Series	MT
전장(mm)	4160~5700	2435~4090	2435~3990
전폭(mm)	2160~2680	1190~1760	1190~1900
높이(mm)	2750~3410	2265~2880	2340~2780

② 콤바인

구분	4조	5조
전장(mm)	4570~4860	4570
전폭(mm)	2040~2235	2170
높이(mm)	2700	2700

③ 이앙기

구분	6조	8조
전장(mm)	3390	3410
전폭(mm)	2100	2690
높이(mm)	2420	2235

(2) D사

① 트랙터

구분	HX,FX	RX,NX	CS	존디어
전장(mm)	3730~4500	3547~3640	2640	4250~4865
전폭(mm)	1960~2267	1655~1960	1020	2280~2460
높이(mm)	2655~3011	2618~2655	2620	2810~3100

② 콤바인

구분	4조	5조	6조	DSF(밭)
전장(mm)	4390	4700	4980	5050
전폭(mm)	1980	2230	2430	2410
높이(mm)	2505~2720	2440~2760	2705~2780	2785

③ 이앙기

구분	6조	8조
전장(mm)	3250~3300	3520
전폭(mm)	2200~2600	2670
높이(mm)	1940~2275	2300

(3) T,K사

① 트랙터

구분	존디어	6 Series	5 Series	3,4 Series
전장(mm)	4250~5150	3935~4490	3850~4490	3205~4250
전폭(mm)	2280~2710	1895~2360	1890~2360	1525~2230
높이(mm)	2765~3390	2624~2990	2624~2955	2490~2820

② 콤바인

구분	4조	5조	TH	KC
전장(mm)	4385~5050	4600~5050	4830~5080	4600~5050
전폭(mm)	2000~2490	2170~2490	2235~2600	2235~2490
높이(mm)	2440~2680	2680~2910	2680~2800	2640~2680

③ 이앙기

구분	6조	8조
전장(mm)	3270~3290	3290
전폭(mm)	2110	2770
높이(mm)	2050~2300	2300

(4) A사

① 트랙터

구분	MF5	MF6	MF7
전장(mm)	4240~4711	4715	4855~5260
전폭(mm)	2140~2360	2520~2580	2520~2630
높이(mm)	2720~2779	3115~3170	3120~3275

② 콤바인

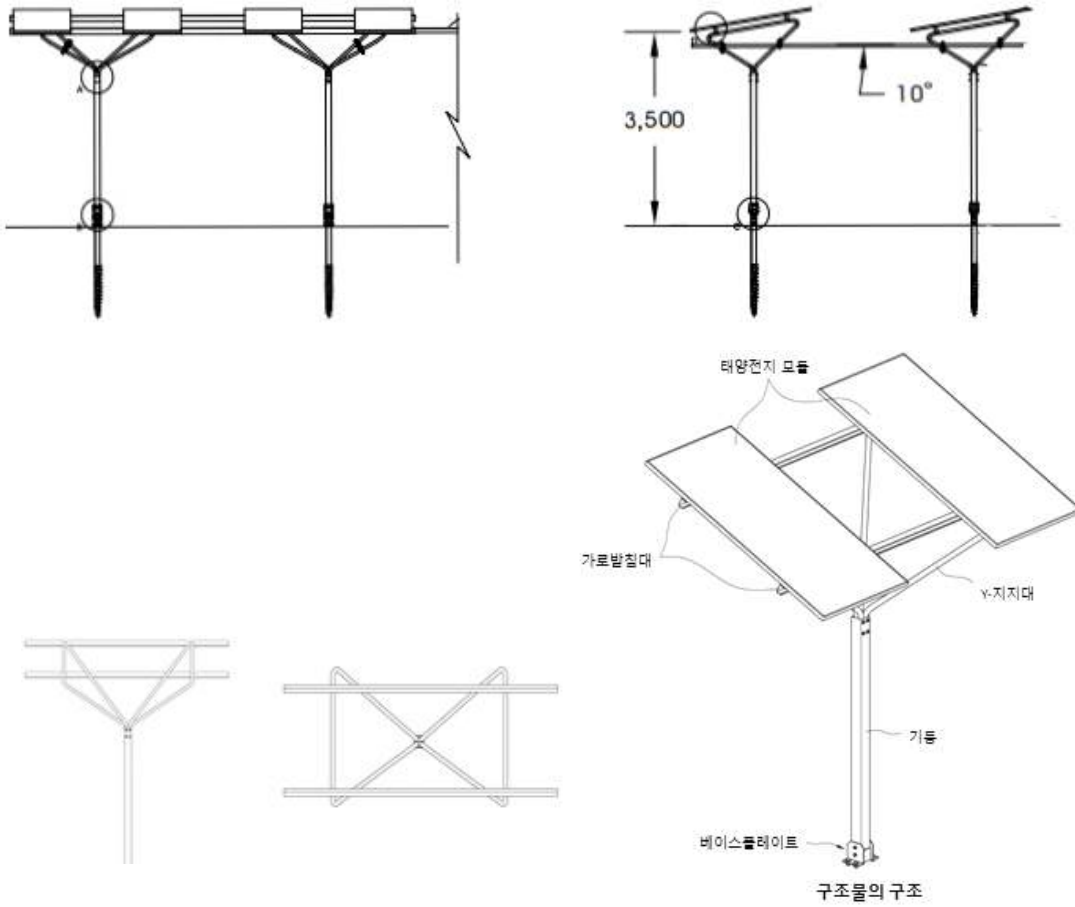
구분	보리,콩
전장(mm)	6100
전폭(mm)	2910
높이(mm)	2950

③ 이앙기

구분	ARP
전장(mm)	3200~3282
전폭(mm)	2000~2212
높이(mm)	1600~1734

c-11) 영농형 구조물 완성

(1) 시작품 제작



(2) 구조분석

적설하중 $S_g=0.57\text{kN/m}^2$, 풍하중=40m/sec

구조검토요약 및 안전확인서

1. 검토-확인명 : 한국형 영농형 태양광 표준모델 설계

2. 구조물 개요

- 1) 설치지역 : 경상북도 경산시 대학로 280 (영남대학교 MW실증단지)
- 2) 설치위치 / 태양광구조물 형식 : 지면 위 설치 / 철골구조
- 3) 태양광전지판 지지구조물 최대높이 : G.L + 3.921m
- 4) 태양광전지판 사양 : 한화480Wp (규격 : 2216×1045×35mm, 중량 : 29.1kgf/EA)

3. 설계하중

- 1) 고정하중 : 태양광모듈은 0.13kN/m², FRAME하중은 프로그램에서 자동으로 반영
- 2) 적설하중 : 기본적설하중 Sg=0.57kN/m²에 구조물중요도/구조특성을 고려하여 0.46kN/m² 적용
- 3) 풍 하 중 : 기본풍속 Vo=40m/sec를 고려하여 정압은 3.07kN/m², 부압은 -2.89kN/m² 적용

4. 재료 및 구조해석 결과

구분	부재명	재료		부재규격	부재검토			결과
		강종	항복강도		P _y /ØP _n	M _y /ØM _n	V _y /ØV _n	
태양광 구조물	PURLIN	PosMAC400	295MPa	LC-100×50×20×2.1	-	0.257	0.113	안전함
	Y-Support	PosMAC400	295MPa	Ø43×2.1	-	0.614	0.039	안전함
	V-BAR	PosMAC400	295MPa	Ø43×2.1	-	0.665	0.020	안전함
	POLE	PosMAC540	400MPa	□-100×100×3	0.070	0.774	0.027	안전함

* KSSC-LSD16 및 AIK-CFSD98 기준에 의한 하중조합 결과중 WORST CASE 적용하고, M_y/ØM_n,는 다른 하중과의 조합효과를 반영.

5. 구조검토 결과요약

태양광발전소 설치 이후, 태양광발전설비는 안전함을 확인합니다.

Helical Pile 기초부에 대하여,

- 인발시험결과가 본 구조물에서 요구하는 최대인발하중 12.95kN 이상이면 안전함.
- 지반시험결과가 본 구조물에서 요구하는 최대지지하중 13.17kN 이상이면 안전함.

2022년 6월 2일

확인자 주 소 : 충북 청주시 상당구 중고개로 333, 5층 501호
 등록 번호 : 제 2018-1031 호
 자격증번호 : 18114010300Q
 확 인 자 : 건축구조기술사 신 동 열



코어건축구조기술사사무소
 TEL 1833-9875 FAX 0505-300-9875

d) 다년생 과수 작물을 위한 표준모델 구조안전성 검토 예시
(독립지주형 구조의 구조안전성 검토)

1. 해석개요

본 보고서는 중부발전 현장기술개발 과제 태양광발전소 추적식 태양광 구조물에 대하여 국내 건축구조물 최신 설계기준인 KDS 41(최신 건축구조기준 적용, KBC 2016 신규개정)에 준하여 태풍, 지진, 적설하중 산정 및 KDS 14 구조설계기준에 준하여 구조안전성 검토를 수행한 보고서이다.

추적식 태양광 구조물은 단일기둥과 상부프레임 및 발전을 위한 태양광 모듈로 구성되어 있고, 각각 부재간 연결은 용접과 볼트체결을 통해 이루어지며, 하부는 헬리컬 혹은 강관말뚝을 통해 고정되어 진다.

추적식 태양광 구조물은 단일 기둥위로 상부 프레임구조물이 존재하며, Slew drive와 Actuator를 통해서 상/하 회전 및 좌/우 회전을 구동한다. 태양의 움직임에 따라 회전구동을 하는 추적식 태양광 구조물의 경우 고정식 태양광 구조물에 비해 풍면적이 크고 발전효율이 큰 장점이 있으나, 태풍시 파괴 위험성이 더 크다. 이에 따라 국내 10분 평균풍속이 15m/s 이상 발생시 운용모드에서 안전모드인 0도로 전환이 되며, 전환하는데 약 10분의 시간이 소요된다. 해당 시간 동안의 풍속 증대효과를 보수적으로 고려하여 운용최대각도 45도에서는 국내 10분 평균풍속을 45m/s로 가정하여 구조안전성 검토를 수행한다.

해석모델에서는 해당 회전구동 매커니즘을 구현하여 모델링을 수행하였으며, 설계 기준에 준하여 부재최적화 설계 및 접합부, 연결부, 볼트 등 전반적인 구조물에 대하여 FEM 해석을 통해 구조안전성검토가 수행하였다. 해석 프로그램은 부재설계를 위하여 구조해석 범용프로그램인 midas GEN을 사용하였다.

2. 해석 모델

2.1. 모델 개요

안전모드인 0도와 운용최대 각도인 45도 각각의 추적식 태양광 구조물의 상세제원과 기하형상 모델링은 아래와 같다.

표 1 추적식 태양광 구조물 상세제원

구분	주요치수	최소지간 (m)	무게 (kg)
	L x W x H (m)		
0도	13.5 x 5.5 x 6.0	-	1,850
45도	13.5 x 5.5 x 7.6	-	1,850

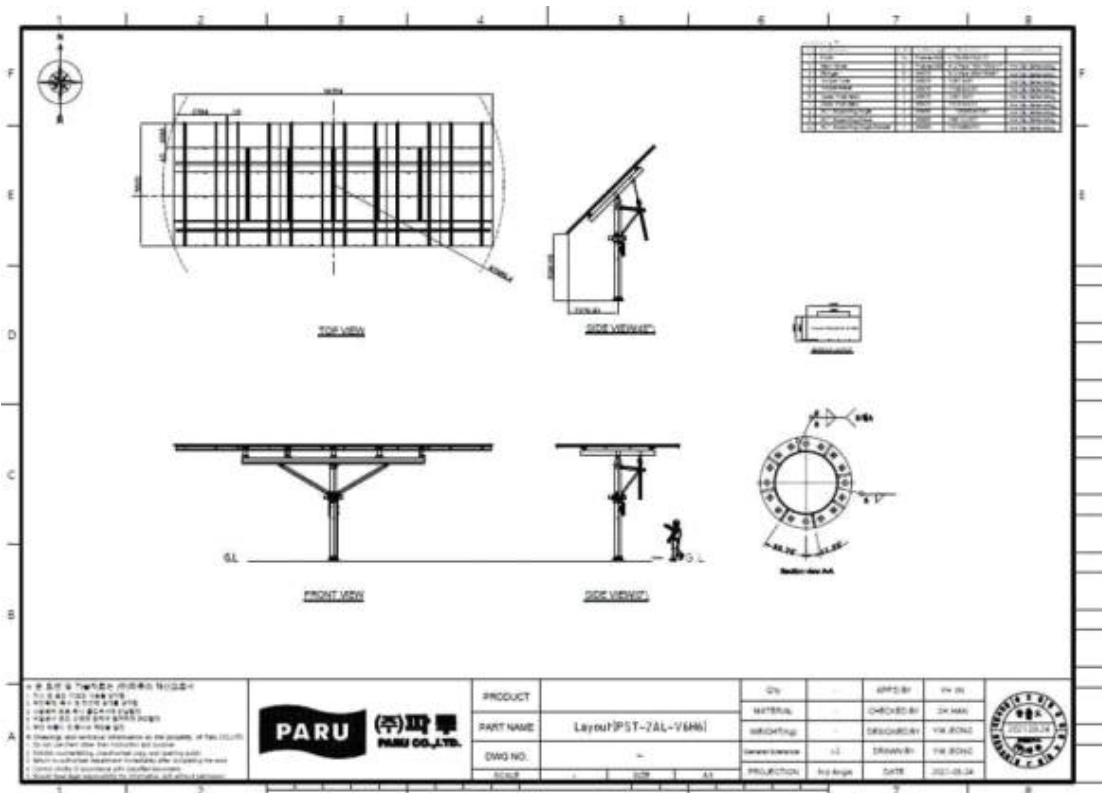


그림 추적식 태양광 구조물 일반도

2.2. 해석 모델링

추적식 태양광 구조물의 해석은 부재 최적화 설계 및 안전성 검토를 수행하였으며, 절점 123개, 요소 146개로 구성되어 있다. 추적식 태양광 구조물의 하부는 말뚝으로 바닥에 지지되며, 해석상에서는 고정조건(T_x , T_y , T_z , R_x , R_y , R_z)으로 가정하여 적용하였다. 본 보고서에서는 지점부 검토는 포함되지 않으며, 지점부에서의 반력데이터를 이용하여 추후 말뚝검토에 적용한다. 연결부는 부재검토모델에서는 Truss 요소와 Beam end release 기능을 이용하여 부재의 회전거동을 모사하였다.

표 해석 좌표계

구분	좌표계 방향
측면방향	X
길이방향, 바람 진행방향	Y
수직방향	Z

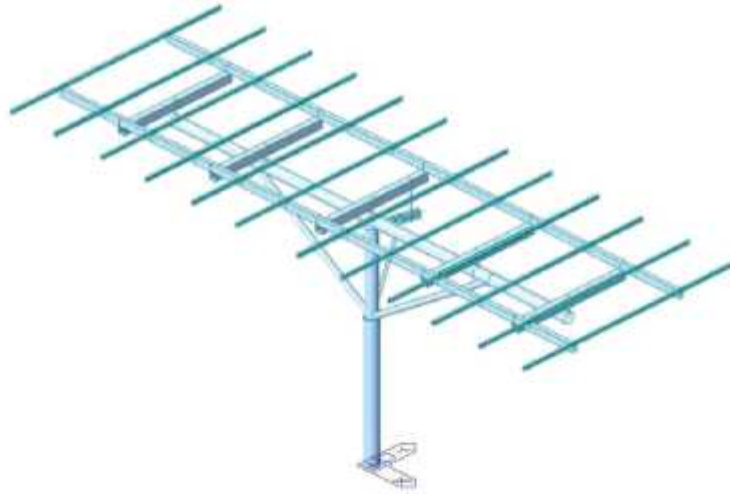


그림 추적식 태양광 구조물, 부재 최적화설계 해석모델 (0도)

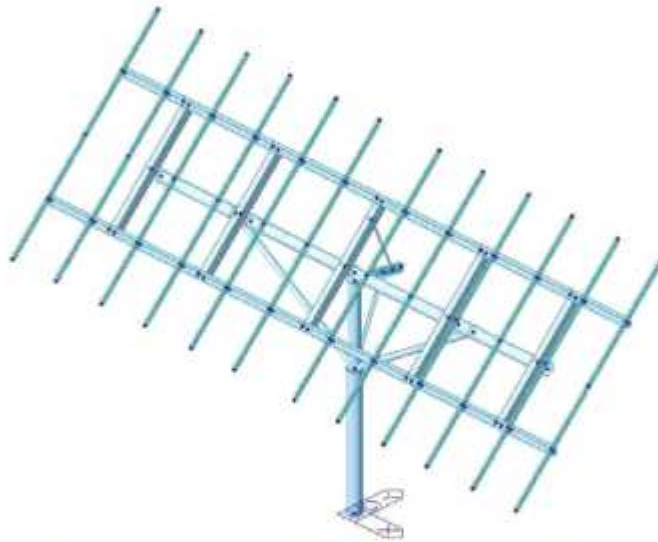


그림 추적식 태양광 구조물, 부재 최적화설계 해석모델 (45도)

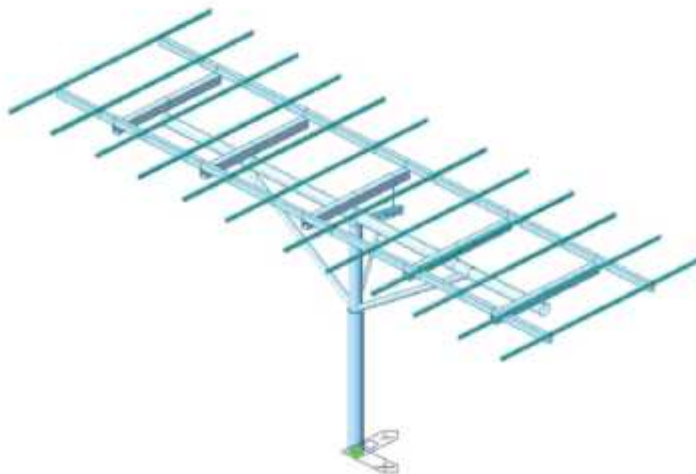


그림 부재 최적화설계 해석모델 경계조건 (45도)

3. 해석조건

3.1. 고정하중

구조물의 고정하중은 프로그램에서 재료의 질량밀도에 따라 자체 무게하중(Self-weight) 기능으로 자동적용된다. 부재 최적화 설계 해석의 경우 Solar module은 생략되며, Purlin에 Solar module의 무게를 중력방향으로 재하하였다. 하중재하도는 아래 그림에 나타내었다.

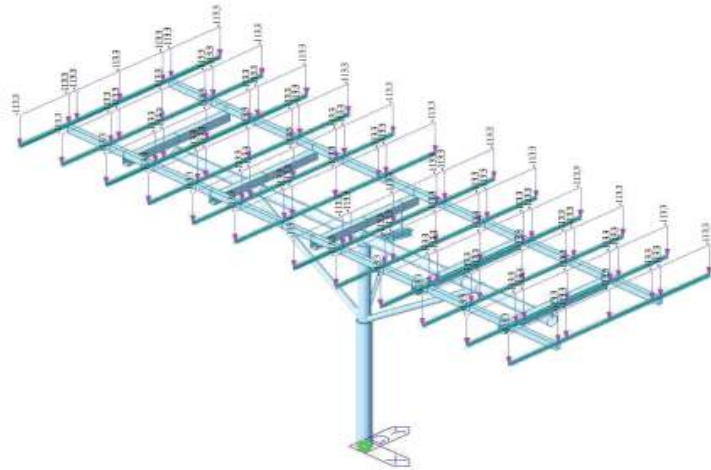


그림 부재 최적화 설계 해석, 고정하중(Solar module) 재하도, 단위 N,m (0도)

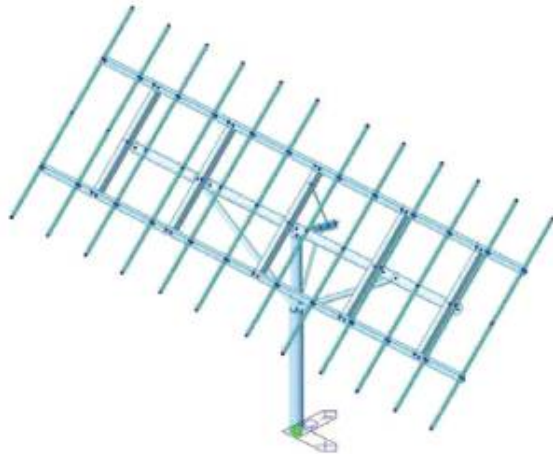


그림 부재 최적화설계 해석모델 경계조건 (45도)

2.3. 재료물성치

추적식 태양광 구조물에 적용된 재료물성치는 아래와 같다. KDS 14 구조설계기준에 준하여 부재최적화 설계 및 연결부 상세검토를 수행하며, 검토대상에 따라 KDS 14 31 하중저항계수설계법(한계상태설계법)과 KDS 14 30 허용응력설계법을 구분하여 검토한다.

표 구조물 재료물성치

구분	탄성계수 (GPa)	프와송비	밀도 (kg/m ³)	항복강도 (MPa)	인장강도 (MPa)	허용응력 (MPa)
SM275	210	0.3	7850	275	400	165
POSMAC440	210	0.3	7850	335	440	201

- KDS 14 30 10 강구조설계기준에 준하여 인장지배 부재의 허용응력은 0.6*(항복강도)로 산정.

3.2. 적설하중

적설하중은 KDS 41 10 15에 준하여 정량목표에 따라 기본적설하중 2.5 kN/m²을 적용하여 하중을 산출하였다. 적설하중은 중력에 의하여 작용하는 하중이므로 중력방향에 대하여 하중이 재하되었으며, 기울기, 온도, 노출도 등 여러 계수를 고려하여 하중을 산출하였다. 해석에 적용된 기본조건과 하중재하도는 아래 그림과 같다.

표 KDS 41 10 15 적설하중 조건

구분	적용기준	비고
지역	국내 최대	
기본적설하중	2.5 kN/m ²	
온도계수	1.2 (비난방구조물)	
중요도	0.80 (중요도 3등급)	
노출계수	1.0 (바람에 의한 하중감소 없음)	
설계 적설하중	$P_s = C_s \times (C_b \times C_e \times C_t \times I_s \times P_g)$	

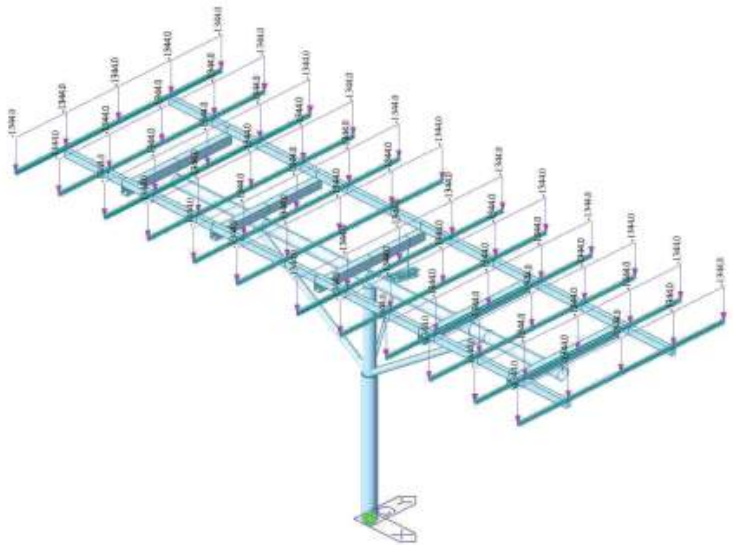


그림 부재 최적화 설계 해석, 적설하중 재하도, 단위 N,m (0도)

3.3. 풍하중

풍하중은 KDS 41 10 15에 준하여 정량목표에 따라 설계기본풍속 45m/s를 적용하여 하중을 산출하였다. 추적식 태양광 구조물은 풍속 증가에 따라 운용모드와 안전모드로 구분하여 적용하며, 운용모드의 경우 최대 15m/s로 보수적으로 가정하여 적용한다. 풍하중은 풍면의 수직방향으로 작용하는 하중이며 Solar module의 기울기에 따라 풍면 수직방향으로 맞춰 재하하였으며, 노출도, 중요도, 지표면조건, 높이에 따른 경계층 영향성 등 여러 계수를 고려하여 하중을 산출하였다. 해석에 적용된 기본조건과 하중재하도는 아래 그림과 같다.

표 KDS 41 10 15 풍하중 조건

구분	적용기준	비고
지역	국내 최대	q_H = 기준높이 H에 대한 설계속도압 GD = 풍방향가스트영향계수 CN = 풍력계수
설계기본풍속	$V_{0.45도} = 15 \text{ m/s}$ $V_{0.05도} = 45 \text{ m/s}$	
지표면 조도구분	C	
중요도	0.90 (중요도 3등급)	
설계 풍하중	$P_f = GD \times q_H \times CN$	

3.4. 지진하중

지진하중은 KDS 41 17 00에 준하여 정량목표에 따라 국내 최대(지진 1구역)의 지역계수 0.22g를 적용하여 하중을 산출하였다. 지진하중은 수평방향으로 재하되며, 구조물 형태, 중요도, 지반조건, 구조물의 주기 등 여러 계수를 고려하여 하중을 산출하였다. 해석에 적용된 기본조건과 하중재하도는 아래 그림과 같다.

표 KDS 41 17 00 지진하중 조건

구분	적용기준	비고
지역계수	0.22g	지진구역 I
지반종류	S4	단단한 토사지반 전단파속도 180 ~ 360m/s
중요도계수	IE = 1.0	중요도 2등급
반응수정계수	R = 3.0	강구조기준의 일반규정만을 만족하는 철골구조 시스템
기본주기	$T = 0.049hn^{3/4}$	기타 골조
지진용답계수	$C_s = SD1/(R/IE) \times T$	-
SDS	$S_x 2.5 \times F_a x 2/3$	F_a = 단주기 지반증폭계수
SD1	$S_x F_v x 2/3$	F_v = 장주기 지반증폭계수

3.5. 하중조합

하중조합은 KDS 41 10 15 에 준하여 산정하였다. 부재 최적화 설계 해석은 한계상태설계법 (LSD) 하중조합이 적용된다. 상세 하중조합은 아래 표와 같다.

표 KDS 41 10 15 한계상태설계법(LSD) 하중조합

구분	하중조합	비고
1	1.4D	D = 고정하중 S = 적설하중 W = 풍하중 E = 지진하중
2	$1.2D + 1.6S \pm 0.65W$	
3	$1.2D + 0.5S \pm 1.3W$	
4	$1.2D + 0.2S \pm 1.0E$	
5	$0.9D \pm 1.3W$	
6	$0.9D \pm 1.0E$	

- 지진하중은 100:30 Rule 적용 : 한 방향 지진하중 100%와 직각방향의 지진하중 30% 고려

4. 해석결과

4.1. 부재 최적화 설계 해석결과

KSSC-LSD16에 준하여 추적식 태양광 구조물 부재검토 결과, 모든부재에서 구조안전성을 가짐을 확인하였다. 구조물의 최대 부재력, 최대 변위 및 설계기준에 따른 구조검토결과는 아래와 같다.

4.1.1. 0도 해석결과 (안전모드)

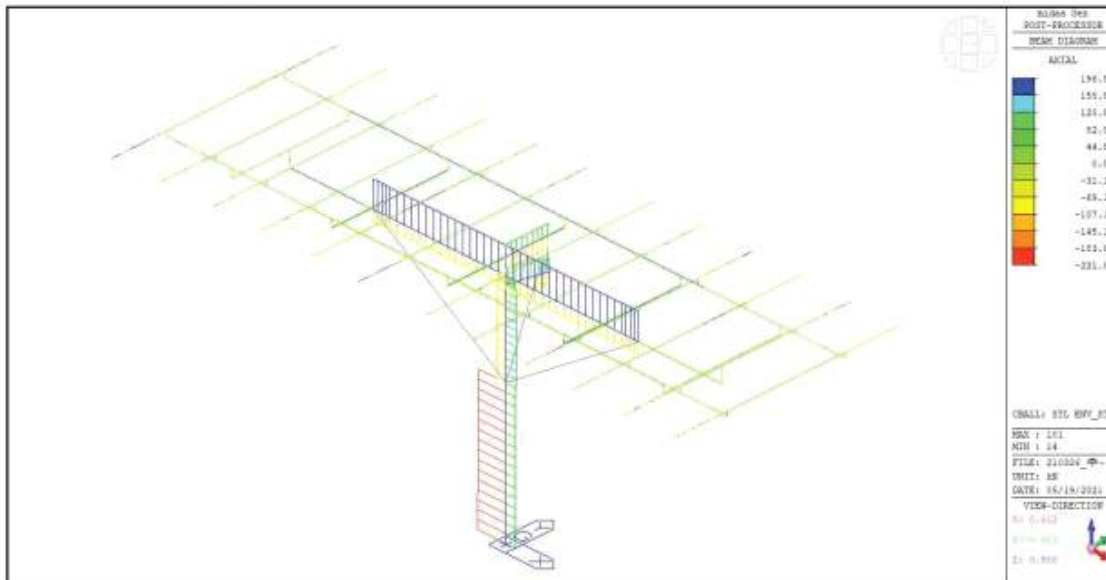


그림 부재 최적화 설계 해석, 부재력 결과, 축력(kN)

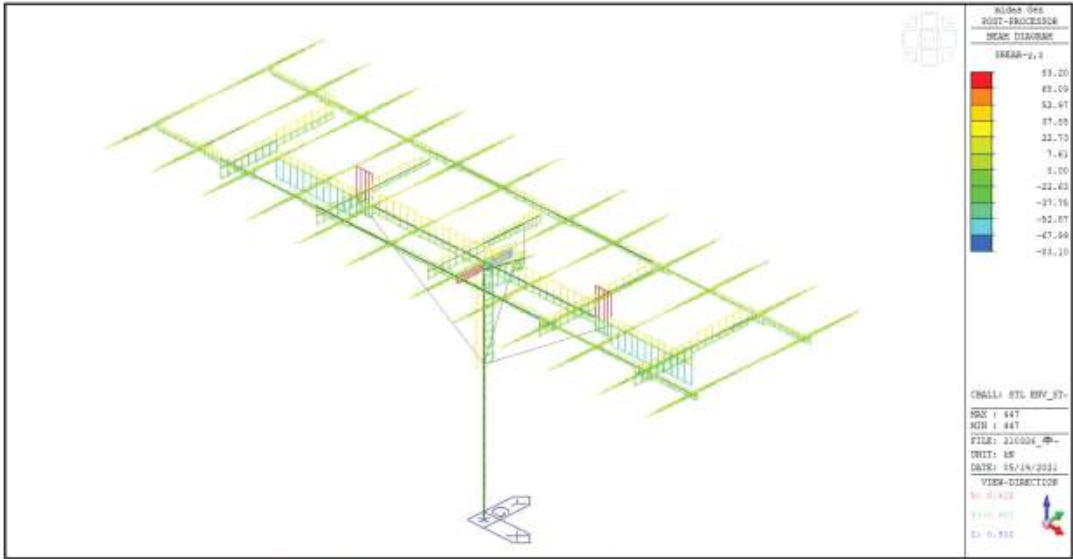
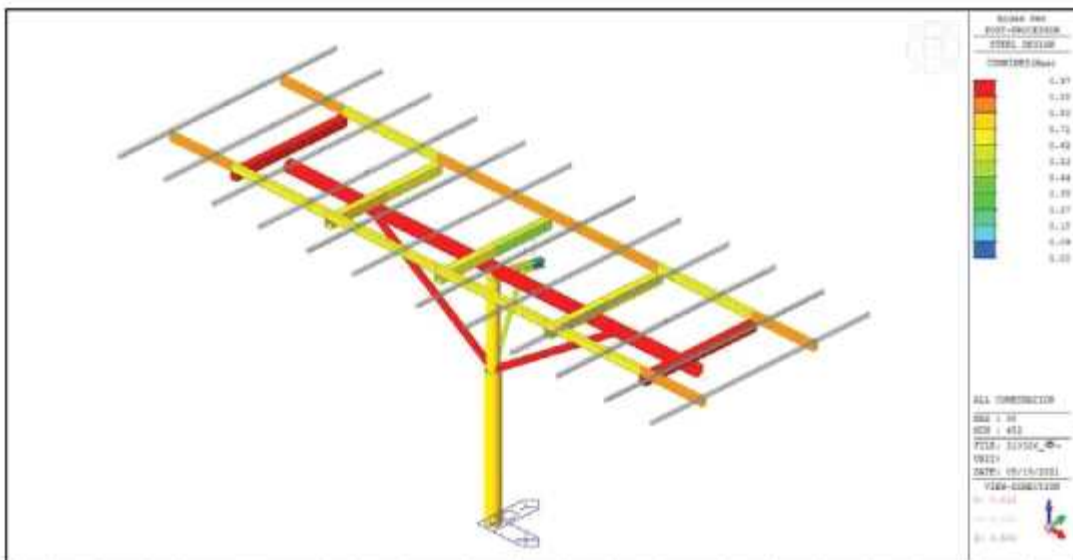


그림 부재 최적화 설계 해석, 부재력 결과, 전단력(kN)



CH K	MEMB COM	SECT SHR	SE L	Section		LCB	Len Lx	Ly	Cθ	My Kz	B1y B1z	B2y B2z	RatPc	Pu gPn	Muy gMny	Muz gMnz	Vuy gVny	Vuz gVnz	Tu gTn	Def
				Material	Fy															
OK	440	8	┌	2C 125x65x6.8	21	760.517	760.517	1.000	1.000	1.003	1.000	0.148	-85.900	-23903	0.00000	0.00000	-48.957	0.00000	-	
	0.763	0.247		SS400	0.23580	760.517	760.517	1.000	1.005	1.000	858.560	33273.8	24758.4	0.00000	190.350	0.00000	-			
OK	184	12	┌	B 150x100x4.8	1E	2768.00	3000.00	1.000	1.000	1.000	1.000	0.008	0.54417	-15587	2730.11	2.00065	-12.523	2545.10	2.83014	
	0.620	0.988		SPS400	0.23580	2008.00	3000.00	1.000	1.000	1.000	447.746	23308.8	17574.5	80.7917	185.097	15626.1	15.0833			
OK	79	22	┌	B 200x150x4.5	8	1400.00	2400.00	1.000	1.000	1.000	1.000	0.008	0.11796	-39223	941.141	-8.5886	27.3919	8350.07	0.87019	
	0.865	0.129		SPS400	0.23580	2400.00	2400.00	1.000	1.000	1.000	636.996	48279.5	29909.0	195.897	213.002	32442.7	9.33333			
OK	95	32	┌	P 283.8x8	8	3168.00	4000.00	1.000	1.000	1.009	1.000	0.008	186.425	-107467	613.290	-1.8580	78.8988	25472.4	2.45042	
	0.973	0.186		SPS400	0.24580	4000.00	4000.00	1.000	1.000	1.000	1437.44	118734	118734	431.232	431.232	111888	21.1200			
OK	448	41	┌	P 287.8x8	1E	2091.00	2091.00	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	86.4927	0.00000	-82307	82.2979	0.00000	3336.48	31.7278	
	0.729	0.255		SPS400	0.24580	1919.00	1919.00	1.000	1.000	1.000	1088.40	80416.4	98416.4	328.921	0.00000	85200.5	41.8200			
OK	14	51	┌	P 318.5x4.5	1E	3158.00	3150.00	1.000	1.000	1.000	1.000	0.163	-153.42	0.00000	82506.8	0.00000	0.00000	1996.37	18.8198	
	0.740	0.010		SPS400	0.24580	3158.00	3150.00	1.000	1.009	1.000	838.986	84577.0	84577.0	0.00000	0.00000	83204.4	83.0000			
OK	274	61	┌	P 130.8x3.0	8	3795.85	3795.85	1.000	1.000	1.000	1.000	0.968	-238.00	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	-	
	0.980	0.000		SPS400	0.24580	3795.85	3795.85	1.000	1.000	1.000	247.951	14728.8	14728.8	0.00000	0.00000	0.00000	-			
OK	453	62	┌	P 88.1x2.8	1E	1943.50	1943.50	1.000	1.000	1.214	1.000	0.598	-68.791	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	-	
	0.598	0.000		SS400	0.23580	1943.50	1943.50	1.000	1.000	1.214	131.790	4412.07	4412.07	0.00000	0.00000	0.00000	-			

그림 구조물 부재 검토결과(KSSC-LSD16)

5. 추적식 태양광발전소 구조물 기초검토

추적식 태양광발전소 구조물의 하부 고정부 반력 중 방향별 최대 반력을 산정하여 기초에 대하여 안정성 검토를 수행하였다. 상세 반력과 결과는 아래와 같다.

- 추적식 모델 반력결과 : 하중케이스 및 조건별 최대 반력값

케이스	각도	Load	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	MX (kN-m)	MY (kN-m)	MZ (kN-m)
압축최대	0도	gLCB6	0	0	221.08 (22.54 ton)	28.42	0	0
인발최대	0도	gLCB34	0	0	-75.72 (-7.72 ton)	-55.61	0	0
전단최대	45도	gLCB20	0	24.66 (2.51 ton)	25.68	-67.91	0	0
전단최대	45도	gLCB26	2.89 (0.29 ton)	0.87	38.41	-1.89	9.75	-1.36
Envelope	-	-	2.89	24.66	221.08	69.18	9.97	2.2

- 추적식 0도 모델 반력결과 : 전체 하중케이스 반력값

Node	Load	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	MX (kN-m)	MY (kN-m)	MZ (kN-m)
14	gLCB5	0.00	0.00	35.47	0.33	0.00	0.00
14	gLCB6	0.00	0.00	221.08	28.42	0.00	0.00
14	gLCB7	0.00	0.00	132.41	-30.46	0.00	0.00
14	gLCB8	0.00	0.00	221.08	-27.24	0.00	0.00
14	gLCB9	0.00	0.00	132.41	31.36	0.00	0.00
14	gLCB10	0.00	0.00	122.55	-27.40	0.00	0.00
14	gLCB11	0.00	0.00	211.23	31.49	0.00	0.00
14	gLCB12	0.00	0.00	122.55	28.27	0.00	0.00
14	gLCB13	0.00	0.00	211.23	-30.34	0.00	0.00
14	gLCB14	0.00	0.00	173.12	56.18	0.00	0.00
14	gLCB15	0.00	0.00	-4.22	-61.59	0.00	0.00
14	gLCB16	0.00	0.00	173.12	-55.15	0.00	0.00
14	gLCB17	0.00	0.00	-4.22	62.05	0.00	0.00
14	gLCB18	0.00	0.00	-23.93	-55.47	0.00	0.00

- 기초검토 근거

	태인 태양광발전소 설치공사	DOC No.	
	직접기초 지지력 및 침하량 검토 추적식 패널 기초(BH-05)	Owner No.	
		REV No.	

1. Soil bearing capacity of Foundation

1) 지반조건

(1) 지지층 설계정수

- 기초지반 단위중량 $\gamma_1 = 18.0 \text{ kN/m}^3$
- 근입지반 단위중량 $\gamma_2 = 18.0 \text{ kN/m}^3$
- 물의 단위중량 $\gamma_w = 10.0 \text{ kN/m}^3$
- 내부 마찰각 $\Phi = 30.0^\circ$
- 점착력 $c = 30.0 \text{ kN/m}^2$
- 지하수위 EL. -2.50 m
- 기초면 EL. -2.50 m
- 적용 N값 $N = 8$
- 작용하중 $q = 103.31 \text{ kN/m}^2$ (작용하중 221.08 kN, beam기초 면적 2.14m²)
- 기초의 근입깊이 $D_f = 0.00 \text{ m}$

2) Terzaghi의 직접기초 지지력 - 구조물기초설계기준해설 2018, P.178

(1) 허용지지력 공식

$$Q_u = 1/F_s \cdot Q_{ult} = 1/F_s \cdot (\alpha \cdot c \cdot N_c + \beta \cdot \gamma_1 \cdot B \cdot N_q + \gamma_2 \cdot D_f \cdot N_r)$$

여기서 α, β : 기초의 형상에 따라 결정되는 계수 (아래표 참조)

구분	연속	정사각형	직사각형	원형
α	1.0	1.3	$1+0.3B'/L'$	1.3
β	0.5	0.4	$0.5-0.1B'/L'$	0.3

- α : 기초형상계수 1.017
- β : 기초형상계수 0.494
- γ_1 : 기초지반의 유효단위중량 8.0 kN/m³ (깊이 B 만큼 평균 적용)
- γ_2 : 근입지반의 단위중량 18.0 kN/m³
- B : 기초폭 0.15 m (beam 1분의 폭 적용)
- L : 기초의 길이 2.60 m (beam 1분의 길이 적용)
- D_f : 기초의 근입깊이 0.0 m

N_c, N_q, N_r : Terzaghi의 지지력 계수(구조물기초설계기준해설 2009)

- $N_c = 16.2$
- $N_q = 10.6$
- $N_r = 7.5$

(2) 허용지지력 산정결과

$$Q_{ult} = 498.71 \text{ kN/m}^2$$

$$F_s = 3$$

$$Q_u = 1/F_s \cdot Q_{ult} = 166.24 \text{ kN/m}^2$$

3) N값을 이용한 경험식에 의한 방법(Meyerhof, 1965) - 구조물기초설계기준해설 2018, P.215

(1) 허용지지력 공식

(a) $Q_a = 19N \cdot K_d$ (B < 1.2m인 경우)
 (b) $Q_a = 12N \cdot K_d \cdot \{(B+0.3)/B\}^2$ (B ≥ 1.2m인 경우)

여기서, K_d : 깊이 계수 (조건을 고려하여 1.00 으로 결정)
 $K_d = 1+0.33D_f/B$ $D_f < B$ 인 경우 (O) $K_d = 1.00$
 $D_f > B$ 인 경우 (X) $K_d = 1.30$
 $D_f = 0.00$ m
 $B = 0.2$ m
 $N = 8$

(2) 허용지지력 산정결과

B < 1.2m 이고 $D_f < B$ 인 경우 이므로 $Q_a = 19N \cdot K_d = 152.00 \text{ kN/m}^2$

4) 확대기초 지지력의 경험치(U.S. Navy, 1982) - 구조물기초설계기준해설 2018, P.209

(1) 지층별 지지력 경험치(토사 및 자갈층 범위)

지층	현장 연경도	범위	추천값	적용
입도분포가 양호한 세립토 모래자갈의 혼합물, 점성토 섞인 자갈(GW-GC, GC, SC)	매우 조밀	800~1,200	1,000	
자갈, 자갈-모래 혼합물, 호박돌-자갈 혼합물(GW, GP, SW, SP)	매우 조밀	600~1,000	700	
	중간	400~700	500	
	느슨	200~600	300	
입자가 굵거나 중간정도의 모래 자갈이 약간 섞인 모래(SW, SP)	매우 조밀	400~600	400	
	중간	200~400	300	◎
	느슨	100~300	150	

지층은 중간정도 모래층의 최소값 적용 : 200.00 kN/m²

5) 허용 지지력 산정

구분	상시	지진시
Terzaghi 공식	166.24 kN/m ²	249.35 kN/m ²
N값을 이용한 경험식에 의한 방법(Meyhof, 1965)	152.00 kN/m ²	228.00 kN/m ²
경험치에 의한 허용지지력(U.S. Navy, 1982)	200.00 kN/m ²	266.67 kN/m ²
허용지지력 선정(최소값 선정)	152.00 kN/m ²	228.00 kN/m ²

→ 작용하중 (103.31kPa) < 허용지지력 (152kpa) ∴ O.K

2. Foundation settlement

* Schmertmann 공식에 의한 방법 - 구조물기초설계기준 해설 2018, p243

(1) 침하량 공식

$$S = C_1 \cdot C_2 \cdot (q' - q) \cdot \sum lz/E \cdot \Delta Z$$

여기서 $C_1 = 1 - 0.5 \cdot [q/(q' - q)]$ 단, $C_1 > 0.5$ = 1.00 (근입깊이 보정계수)

$C_2 = 1 + 0.2 \log(t/0.1)$ = 1.54 (크립 보정계수)

q : 기초 근입깊이에서 유효응력 = 0.00 kN/m²

q' : 기초 순하중 접지압 = 103.31 kN/m²

Δz : 5.6 B 까지 심도로 산정 = 0.8 m

지층	Z1	Z2	두께(m)	탄성계수(kPa)	lz	(lz+Δz)/Es
풍화토	0.00	0.10	0.10	8,000	0.333	0.000004163
풍화토	0.10	0.21	0.11	8,000	0.443	0.000006084
풍화토	0.21	0.50	0.29	8,000	0.385	0.000013956
풍화토	0.50	0.84	0.34	8,000	0.135	0.000005738
					SUM	0.000029941

$$S = C_1 \cdot C_2 \cdot (q' - q) \cdot \sum lz/E \cdot \Delta Z = 1.00 \times 1.54 \times 103.3 \times 0.0000299 = 0.00476 \text{ m}$$

(2) 침하량 산정결과

$$S = 0.00476 \text{ m} = 4.76 \text{ mm} < 25 \text{ mm} \quad \therefore \text{O.K}$$

6. 결론

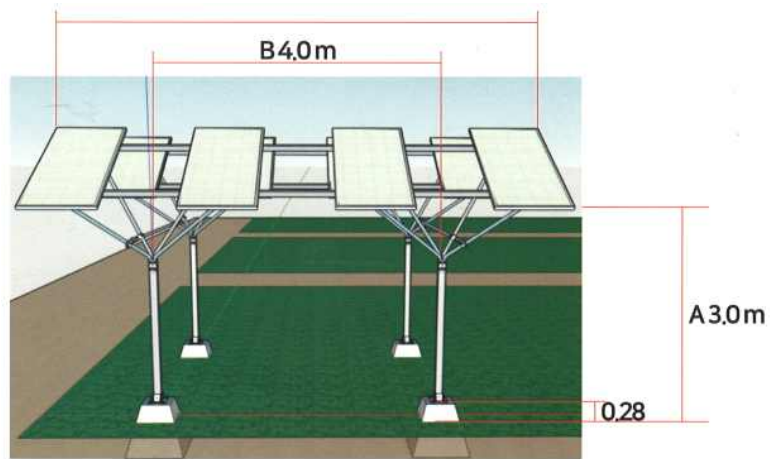
본 보고서는 KDS 41(건축구조 설계기준) 및 KDS 14 30(강구조 설계기준)에 준하여 하중산정 및 적용하여 추적식 태양광 구조물 및 기초에 대한 안전성 검토를 수행하였다. 해석은 아래 2가지 단계로 수행하였다.

- (1) 최적화 부재선정을 위한 부재검토 해석
- (2) 최대 하중조합에 대한 기초검토

구조안전성 검토결과, 지진, 적성, 태풍의 자연재해 조건에 대하여 추적식 태양광발전소 구조물의 모든 부재에서 구조안전성을 가짐을 확인하였으며, 최대 하중조합에 대한 기초 안전성을 확인하였다.

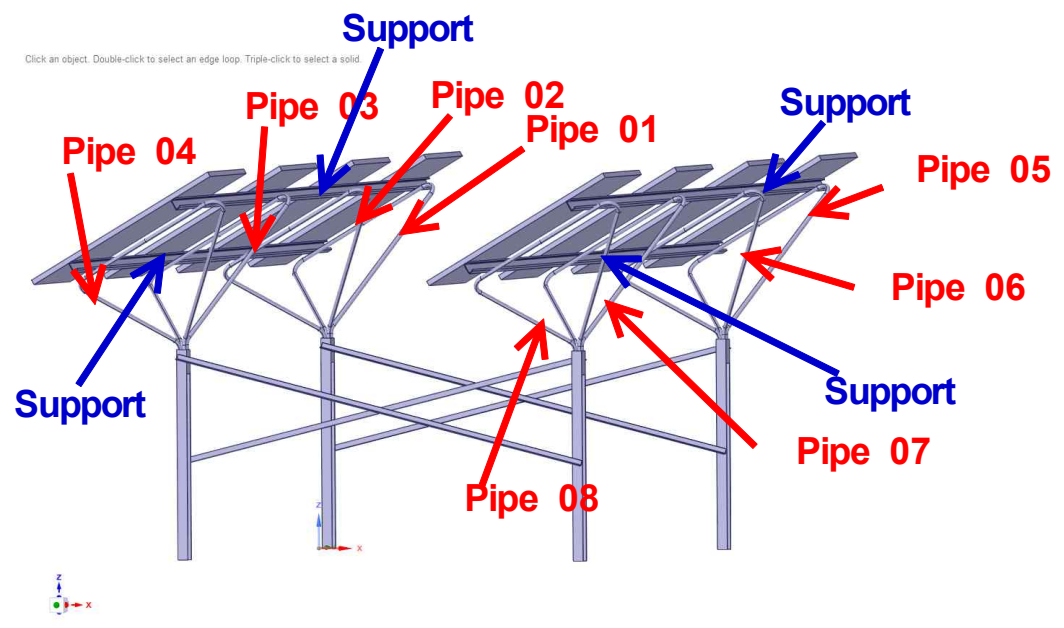
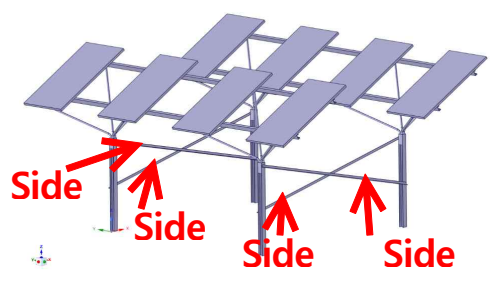
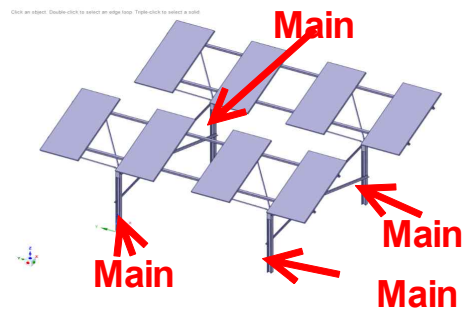
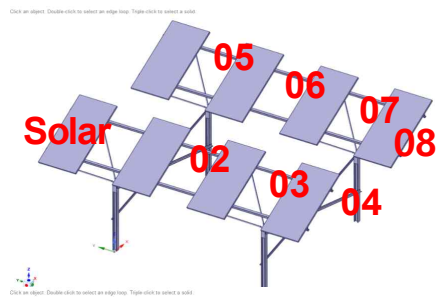
○ CFD Simulation에 의한 영농형 태양광 풍하중 및 자체하중예시

- 우선 대상공정은 아래의 그림에 나타나 있는 영농형 태양광 2열 배치이다. 패널의 크기는 클수록 풍하중이 많이 걸리므로 그 크기를 1000*1994mm로 하고 높이는 3m, 경사각 30°, 기둥간격 4m의 설계 요소를 갖는다.

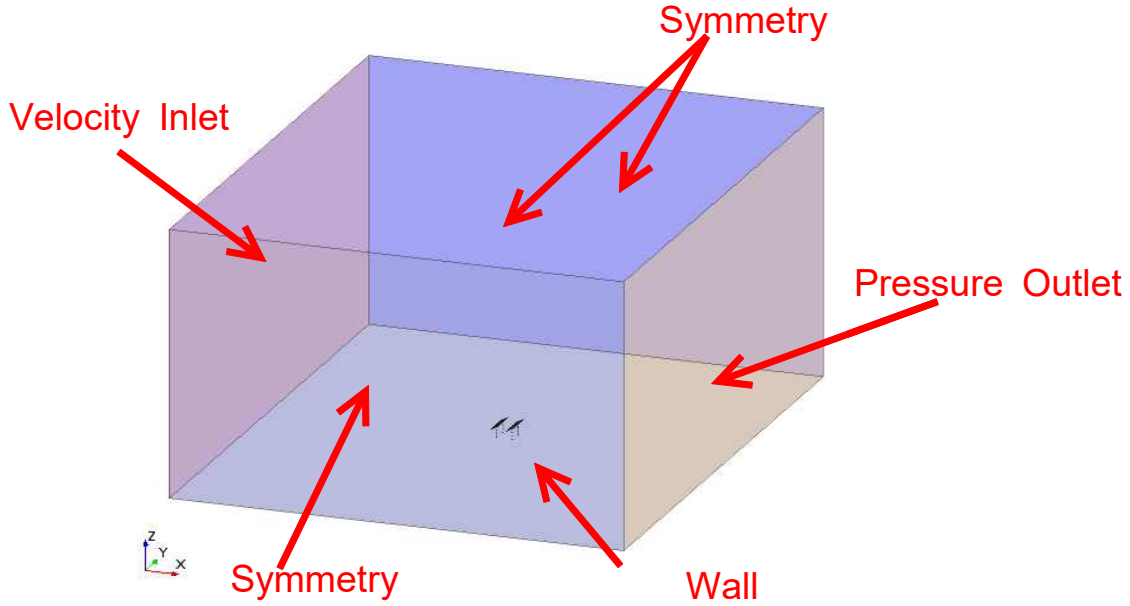


(Structure layout)

각 부품의 명칭은 다음과 같다.



풍압 Simulation control Volum은 아래와 같다.



control volum의 CFD simulation을 위한 grid mesh는 다음과 같다.

CFD simulation은 Fluent Ansys®를 사용하였다.

Simulation을 위한 유동모델과 바람의 조건 및 parameter는 아래와 같다.

Physics Model

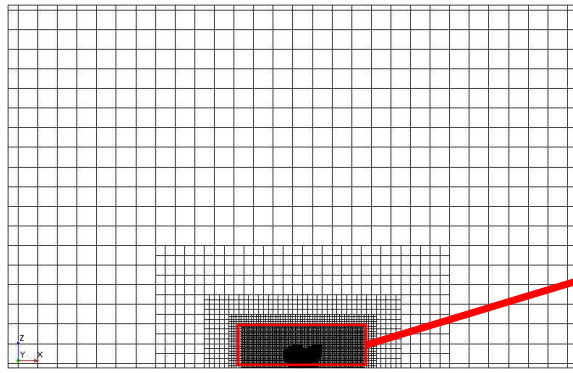
- Constant Density
- Segregated Flow
- Implicit Unsteady
- All Y+ Wall Treatment
- SST $k-\omega$ Turbulence Model
- Reynolds-Averaged Navier-Stokes

Solver Parameter

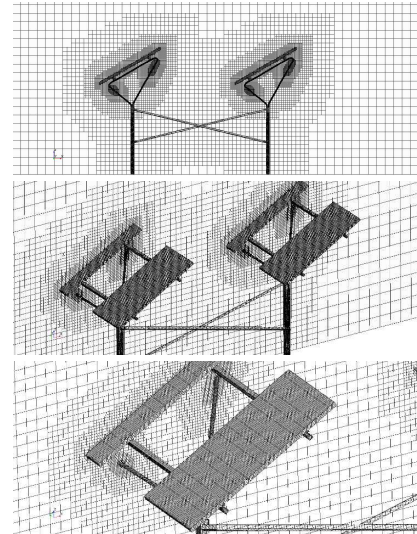
- Time Step : 0.01 s (2nd Order)
- Maximum Inner Iterations : 10

Fluid Conditions

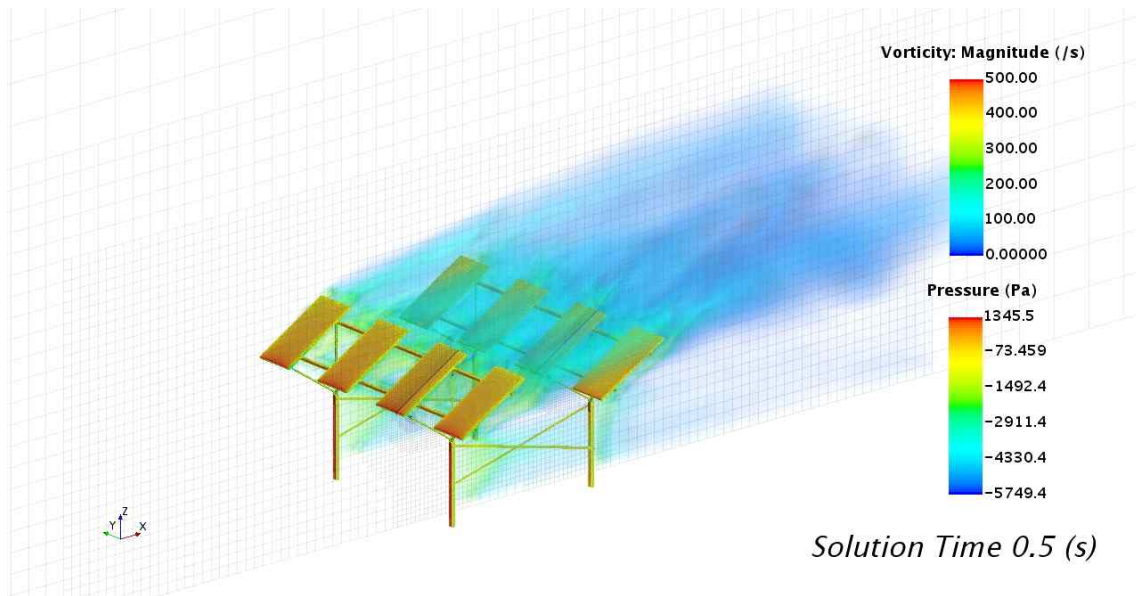
- Air Density : 1.225 kg/m³
- Pressure : 101325 Pa
- Velocity : 46 m/s

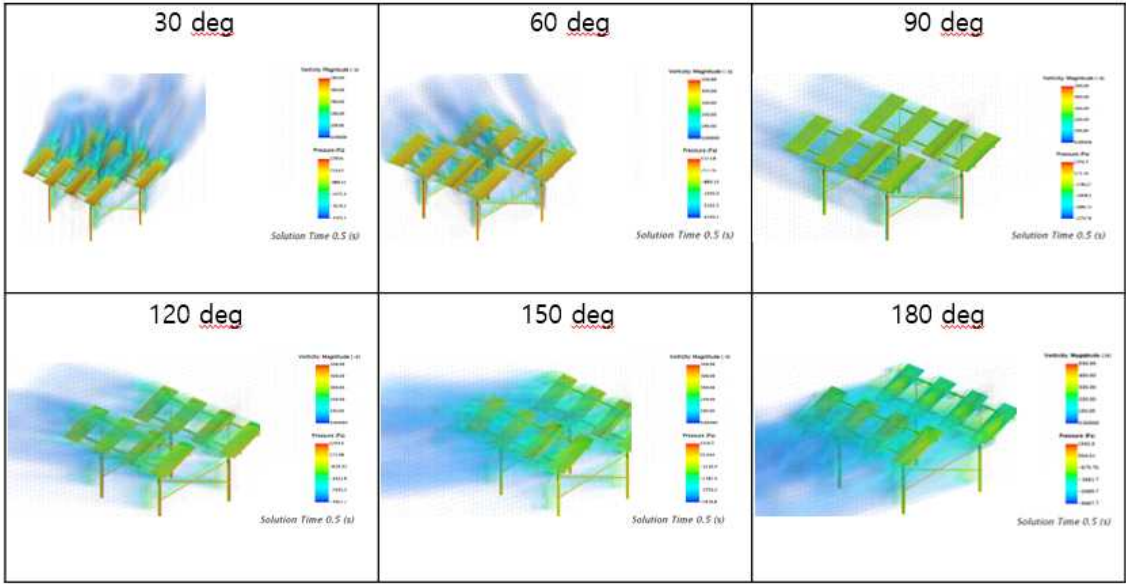


Volume Mesh - Properties	
Properties	
Cells	6925990
Interior Faces	20829861
Vertices	7387267

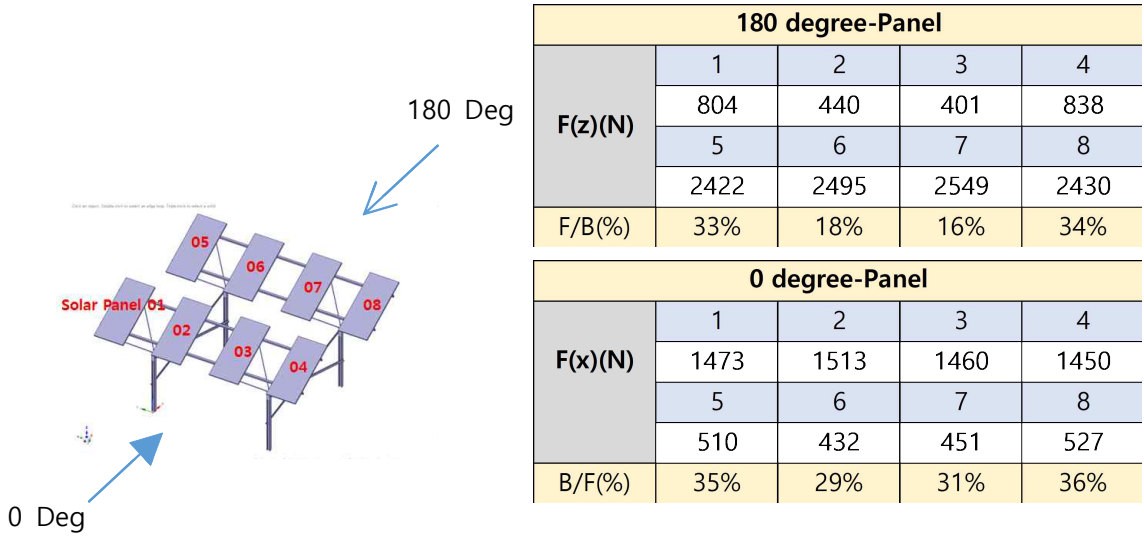


CFD 유동해석의 결과 구조물 요소들에 미치는 풍량풍속은 다음과 같다. 그리고 바람이 여러각도에서 불기 때문에 그 바람의 방향에 따른 구조물 패널, 기초에 미치는 압력은 N단위로 다음과 같다. $F(z)$ 는 인발 압력으로 뒷바람(180° 바람)의 풍압이며 $F(x)$ 는 압축 압력으로 전면바람(0° 바람)의 각 패널에 미치는 압력이다.





앞 바람이 불 때는 패널 1~4인 전면에 압축 압력이 패널 5~8(뒷열)에 비해 약 70%이상 증가되고
 뒤쪽에서 바람이 불 때는 패널 5~8(뒷열)에 인발 압력이 70~80%더 많이 걸린다.



최대 압축 압력은 1513N이 걸리고 인발 압력은 2549N이 걸리므로 이러한 인발 압력에 견디는 기초 screw 시스템을 사용하여야 하며 또 1513N의 압축 압력을 견디는 기초 및 기둥구조와 재질 및 규격을 사용하여야 함을 알 수 있다.

이와 같이 모든 종류의 설계에서 설치될 지역의 태풍의 최대속도, 적설량의 최대치, 지진강도를 감안하여 Simulation을 할 때 최대 인발 압력 및 최대 압축 압력이 계산되고 이 값에 맞추어 구조물의 재질과 두께 규격을 갖추어 설치해야 한다.

○ 하부 작물 음영 균일도

1) 음영 균일도 측정 영농형 태양광 발전 시스템 선정

하부 작물의 음영 균일도를 측정하여 목표를 달성하기 위하여 설치된 50KW 단면형 영농형 태양광 발전 시스템의 음영 균일도를 Shading loss Simulation program인 Skelion으로 simulation 시행. 하부 작물의 음영 균일도를 simulation 하기 위하여 배치한 일사량계는 그림 1에 도시된 바와 같음. 모든 일사량계의 설치 높이는 작물의 키를 고려해서 1.5m로 했고 우선 노지에 일사량계 하나를 설치하고 태양광 스트링의 간격이 4m이므로 다른 일사량계 세 개는 기둥 밑에, 기둥에서 1m 거리에, 기둥에서 2m 거리에 설치.

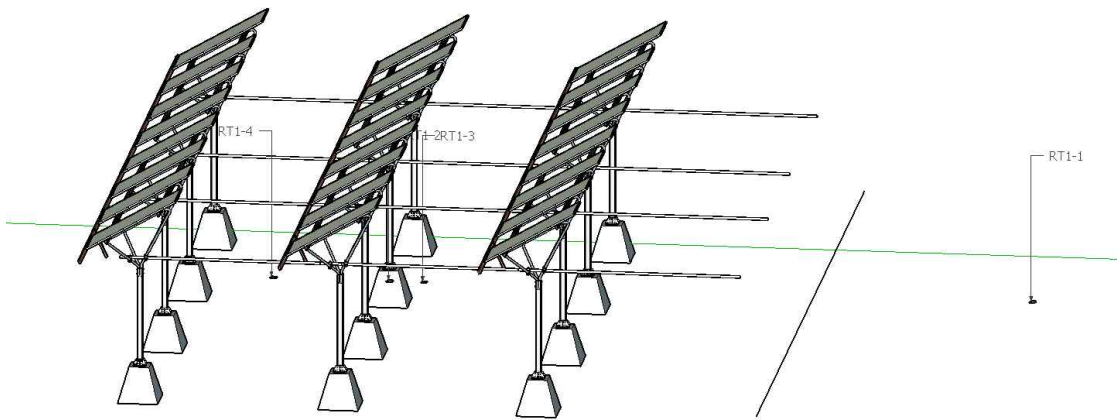


그림 1. 음영 균일도를 simulation 하기 위한 영농형 태양광 발전 시스템과 일사량계 배치도

Skelion program으로 simulation 한 normalize 된 하부 작물의 연간 일사량은 그림 2와 같다.

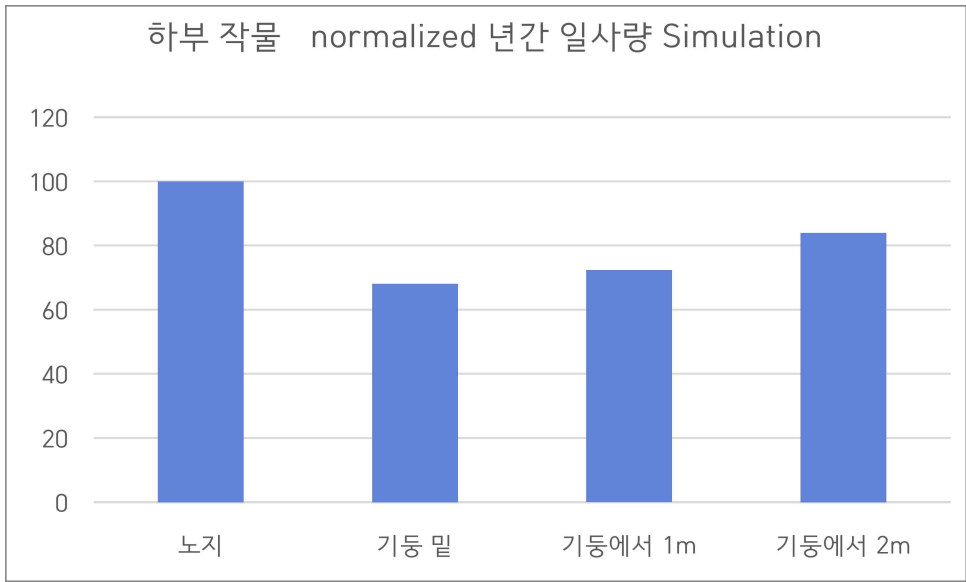


그림 2. Simulation 한 하부 작물 Normalized 연간 일사량

음영 균일도는 각 하부 작물 위치들의 일사량의 표준 편차 (Standard Deviation)를 일사량의 평균값으로 나눈 것으로 정의. Simulation으로 계산된 값은 다음과 같음.

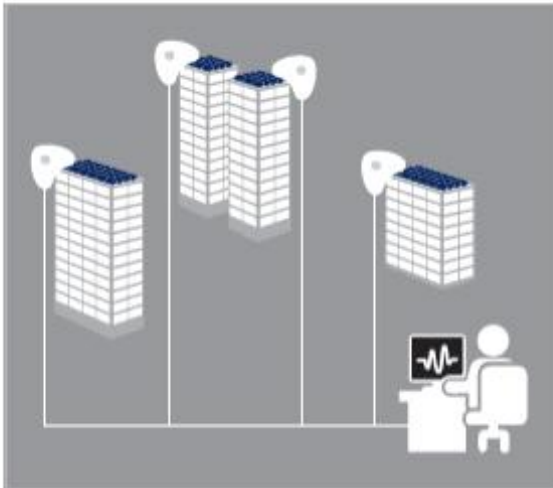
하부 작물 위치에서 Normalized 연간 일사량 평균값	= 81.1
하부 작물 위치에서 Normalized 연간 일사량 표준 편차	= 12.4
하부 작물 음영 균일도	= 15.2 %

50 KW 단면형 영농형 태양광 발전 시스템의 simulated 된 하부 작물 음영 균일도는 개발 목표치 30% 미만인 것으로 확인되어 설치된 영농형 태양광 발전 시스템은 목표를 달성할 수 있으므로 일사량계를 simulation 한 위치에 설치하여 측정하기로 함.

2) 음영 균일도 측정 센서 구매 및 설치

하부 작물의 음영 균일도를 측정하기 위하여 아래 그림 3에 있는 Kipp & Zonnen 사의 RT1 일사량계 센서를 선정하여 구매하였음. 1차년도인 2021년 10월에 구매 신청을 했으나 코로나 팬데믹과 우크라이나 전쟁으로 인한 물류대란으로 올해 5월에 인도를 받아서 설치하여 모니터링을 시작.

rt1 rooftop PV monitoring made easy



The rt1 rooftop sensor:

- outperforms reference cells
- is very rugged, stable and reliable
- measures the real solar irradiance from dawn till dusk
- has a soiling resistant design, for low maintenance
- is extremely simple to mount on a corner of a PV panel
- can be easily removed for recalibration or service
- also fits on the side or top with a clamp-on adapter
- comes with a Kipp & Zonen calibration certificate



rt1 is a small, fully weatherproof duo-sensor that independently measures the incoming solar irradiance and the back panel temperature. Thanks to this included back panel temperature sensor you collect all the data you need to monitor the performance of your installation - all in digital Modbus® format. Thanks to the unique design you can easily fix it to your PV panel without the need for any tools.

“If you don't measure accurately, you don't know what you're missing.”

Technical specifications	
Irradiance	0 to 2000 W/m ²
Precision/resolution	1 W/m ²
Spectral range	400 to 1100 nm
Non-stability (change/year)	< 1 %
Non-linearity (0 to 1000 W/m ²)	< 1 %
PV panel temperature	-20 to +100 °C, ± 1 °C
Calibration	Against traceable reference pyranometer
Signal connections	1 - RS-485 Modbus® to host 2 - PV panel temperature sensor
Voltage range	5 to 30 VDC
Power consumption maximum	60 mW
Ambient operating temperature	-40 to +80 °C
Recommended calibration interval	2 years
Standard warranty	2 years

그림 3. Kipp & Zonnen 사의 RT1 일사량계 센서

RT1 일사량계는 배추를 재배하는 50 KW 단면형 영농형 태양광발전 시스템에 그림 4와 같이 설치 함.

영농형태양광 구조물 (smart solar pipe) 설치 (2019. 11. 03)



(a) 50 KW 단면형 영농형 태양광발전 시스템 (b) 설치된 RT1 일사량계

그림 4. 50 KW 단면형 영농형 태양광발전 시스템에 설치한 RT1 일사량계

하부 작물의 음영 균일도를 측정하기 위해 일사량계 배치는 그림 5에 도시된 바와 같이 simulation 때의 배치와 동일 일사량계의 설치 높이는 작물의 키를 고려해서 1.5m로 하였고 우선 노지에 RT1-1을 설치하고 태양광 스트링의 간격이 4m 이므로 RT1-2는 기둥 밑에, RT1-3는 기둥에서 1m 거리에, RT1-4는 기둥에서 2m 거리에 설치함.

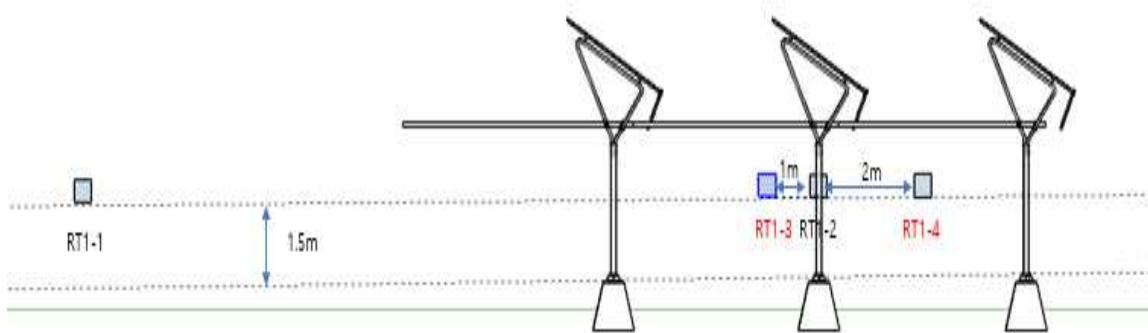


그림 5. 50 KW 단면형 영농형 태양광발전 시스템에 설치한 RT1 일사량계 배치도

3) 음영 균일도 측정

설치된 일사량계들로 측정된 일사량 데이터는 영남대 MW Center의 서버로 전송되어 저장되어 분석. 평범한 2022년 7월 7일 하부 작물의 일사량 데이터는 그림 6에 도시. X축 단위는 10분이고 Y축 단위는 W/m^2 . 노지의 RT1-1 일사량은 그림자가 없었으나 기둥 밑의 RT1-2의 일사량은 모듈 그림자에 의하여 상당히 많이 가려졌으며 기둥 밑에서 1m인 RT1-3도 상당히 가려졌고 기둥 밑에서 2m인 RT1-4는 조금만 가려짐.

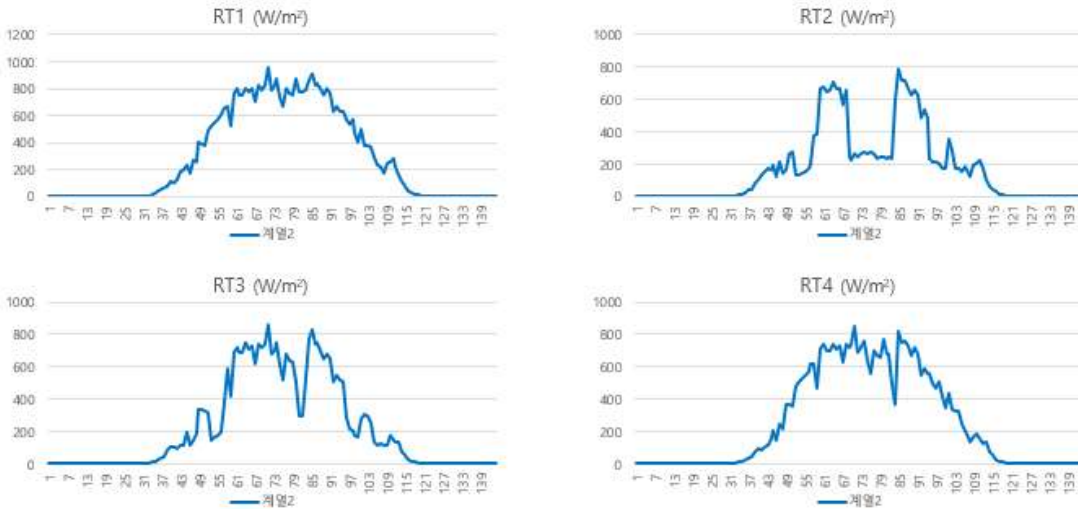


그림 6. 2022년 7월 7일 하부 작물의 일사량 Graph

하부 작물의 일사량은 2022년 5월 23일부터 12월 27일까지 측정. 그림7 에는 지금까지 하부 작물의 일사량을 측정하여 일일 평균을 계산한 것을 도시. 일일 평균 일사량은 예측한 대로 노지가 제일 많고 기둥에서 2m, 기둥에서 1m 및 기둥 밑의 순서로 감소.

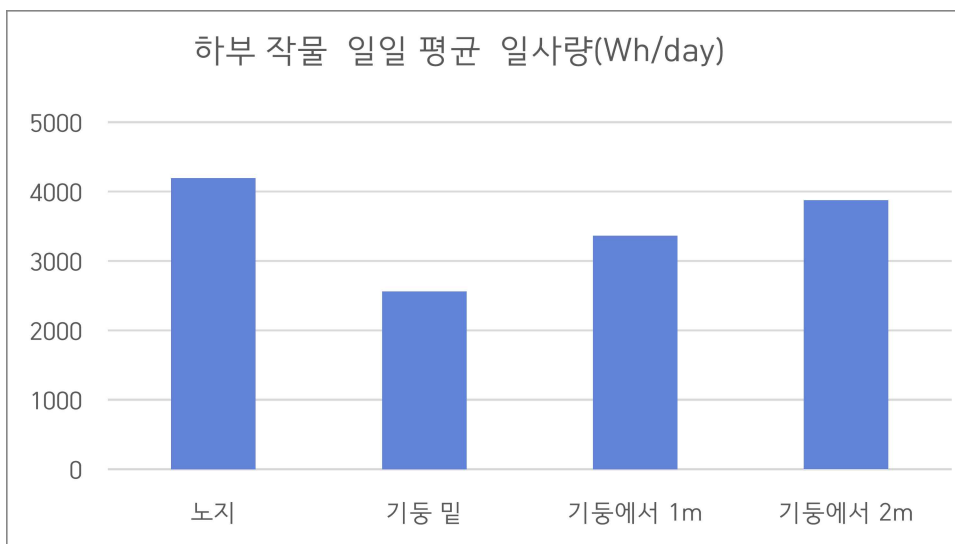


그림 7. 하부 작물 각 위치들의 일일 평균 일사량

음영 균일도는 각 하부 위치들의 일사량의 표준 편차 (Standard Deviation)를 일사량의 평균값으로 나눈 것으로 정의 측정된 데이터에서 계산된 값은 다음과 같음.

하부 위치들의 일사량 평균 값	= 3,499 Wh/day
하부 위치들의 일사량의 표준 편차	= 616. Wh/day
음영 균일도	= 17.6%

측정된 하부 작물 음영 균일도는 개발 목표치 30% 미만인 것으로 확인되어 설치된 50 KW 영농형 태양광 발전 시스템은 목표에 맞게 설치된 것을 확인.

○ 영농형 태양광 적용 작물 실증지 모니터링 시스템 구축 및 데이터수집

- 영농형 태양광 시스템의 환경 데이터의 경우, 인천 영흥의 포도밭과 경산 영남대 배추밭 두 군데의 기온(Air Temp), 상대습도(Relative Humidity), 그리고 지면으로부터 20cm 이하 땅속의 온도(Soil Temp), 수분함량(Soil Water)을 여름철부터 겨울철까지 측정하였고, 제 1협업 과제에도 공급하였다.
- 인천 과수 작물의 경우, 포도가 선정이 되었고 포도밭의 경우 비가림막이 작물 위에 설치되었으며, 비가림막 윗부분에 태양광 발전모듈이 설치되었다. 그러나 경산 영남대의 배추밭에는 태양광 발전 모듈과 작물 사이에 아무런 시설물이 없는 형태로 설치되었다.

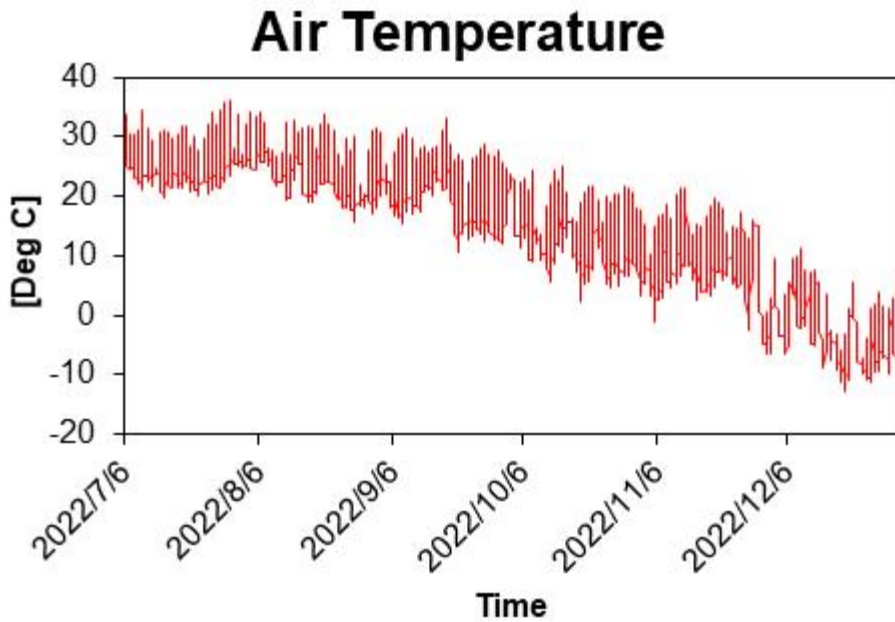


그림. 인천(영흥) 포도 작물 실증지 환경 데이터 분석 자료

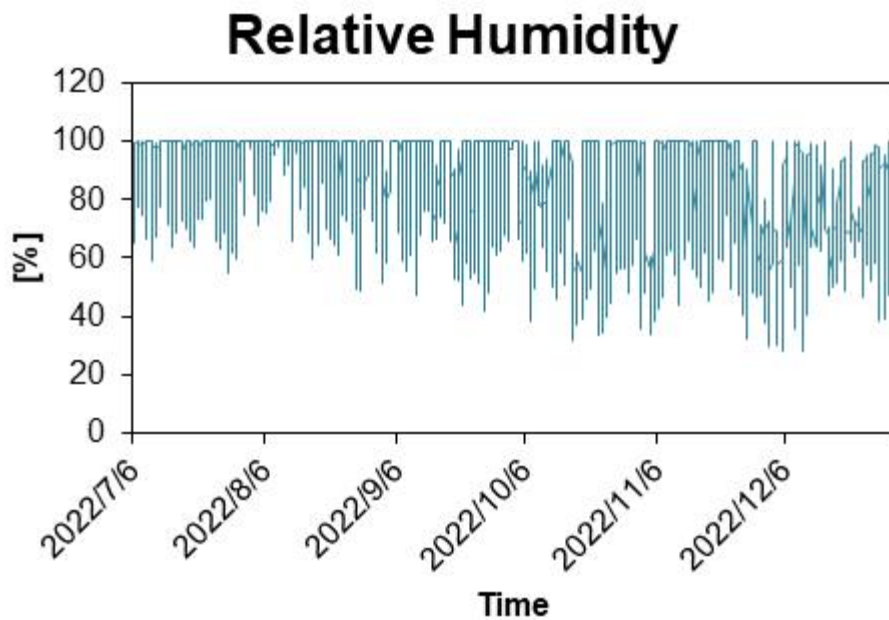


그림. 인천(영흥) 포도 작물 실증지 환경 데이터 분석 자료

Soil temperature 20cm

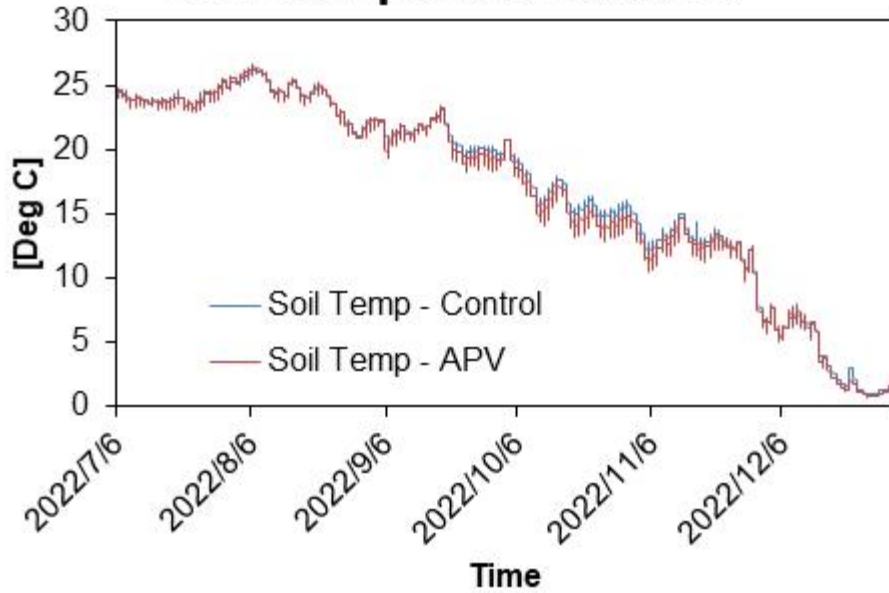


그림. 인천(영흥) 포도 작물 실증지 환경 데이터 분석 자료

Soil Water

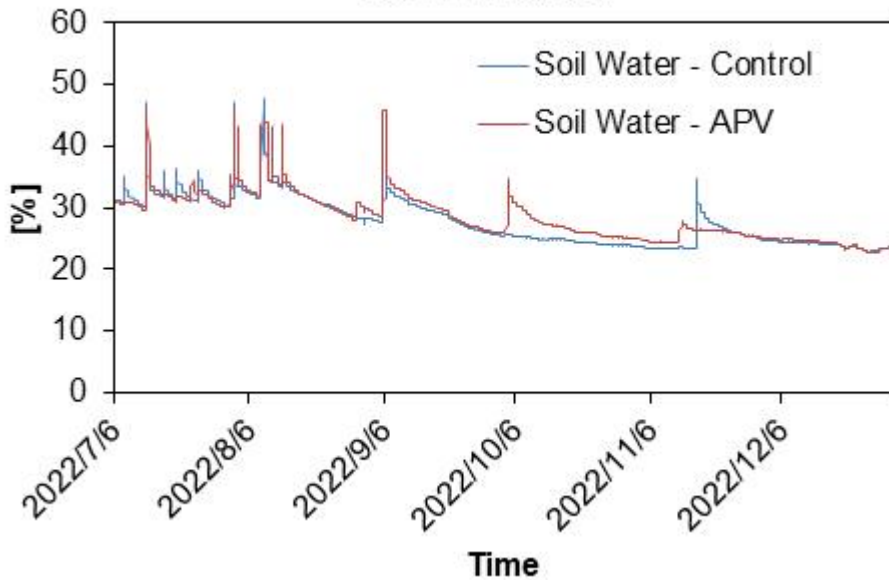


그림. 인천(영흥) 포도 작물 실증지 환경 데이터 분석 자료

- 영흥 포도밭은 태양광 발전 모듈이 있는 부분이 대조를 위한 일반 밭에 비해 20cm 이하 지온(Soil temp)가 약간 낮거나 거의 비슷하고 수분함량은 태양광 발전 모듈이 있는 부분보다 없는 부분의 수분량이 적은 데이터를 얻었다.
- 이는 비가림막이 이미 존재하므로 그 하부의 토양 온도와 수분함량은 큰 차이가 없다는 것을 알 수 있었고 작물의 작황 환경 중 온도와 습도는 대조구와 태양광 설치구가 비슷함을 알 수 있었다. 작물의 경작환경은 단지 햇빛의 조사량만 차이가 낮음을 알 수 있다.

Air Temperature

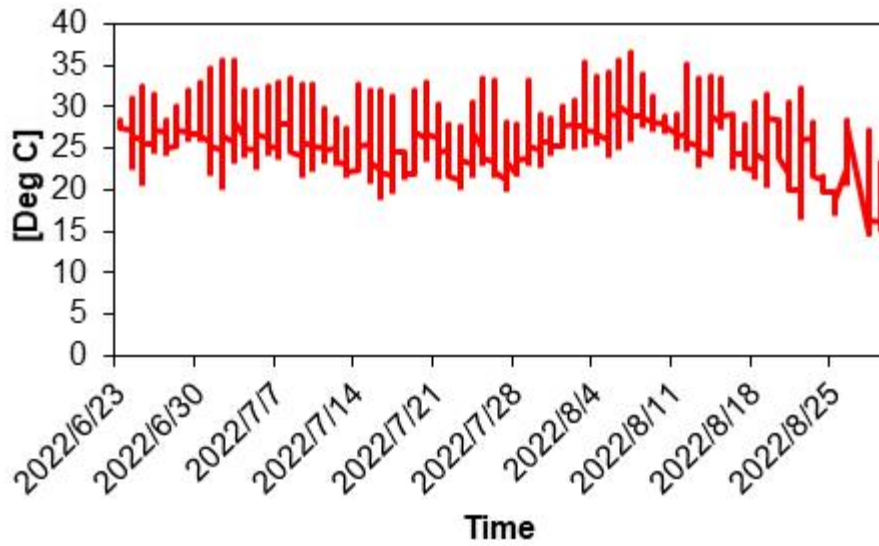


그림. 경산 배추 작물 실증지 환경 데이터 분석 자료

Relative Humidity

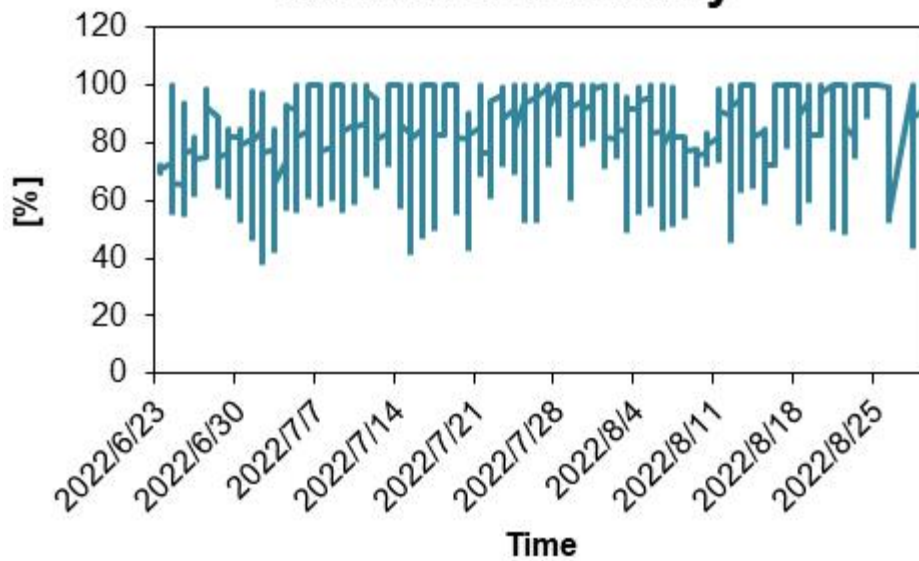


그림. 경산 배추 작물 실증지 환경 데이터 분석 자료

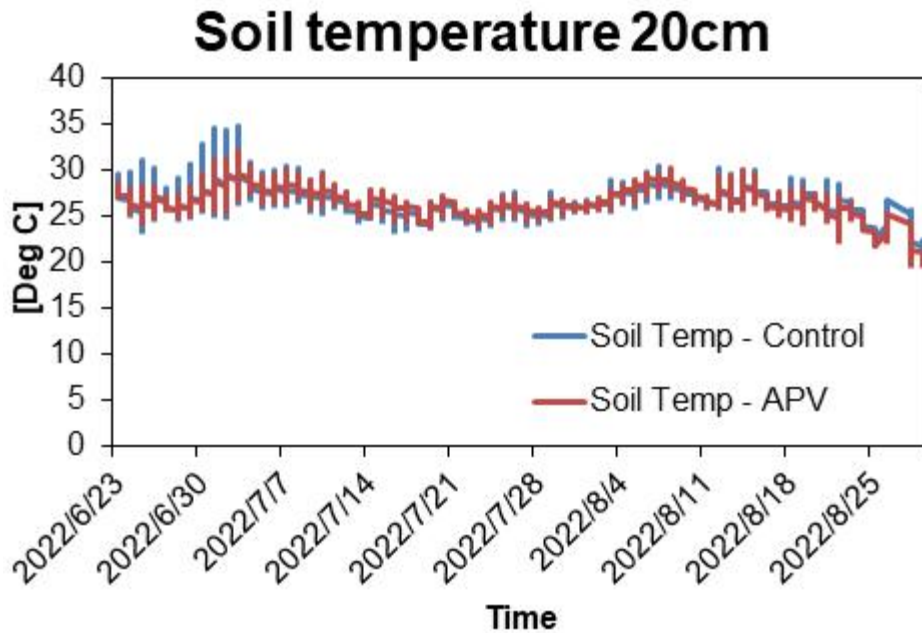


그림. 경산 배추 작물 실증지 환경 데이터 분석 자료

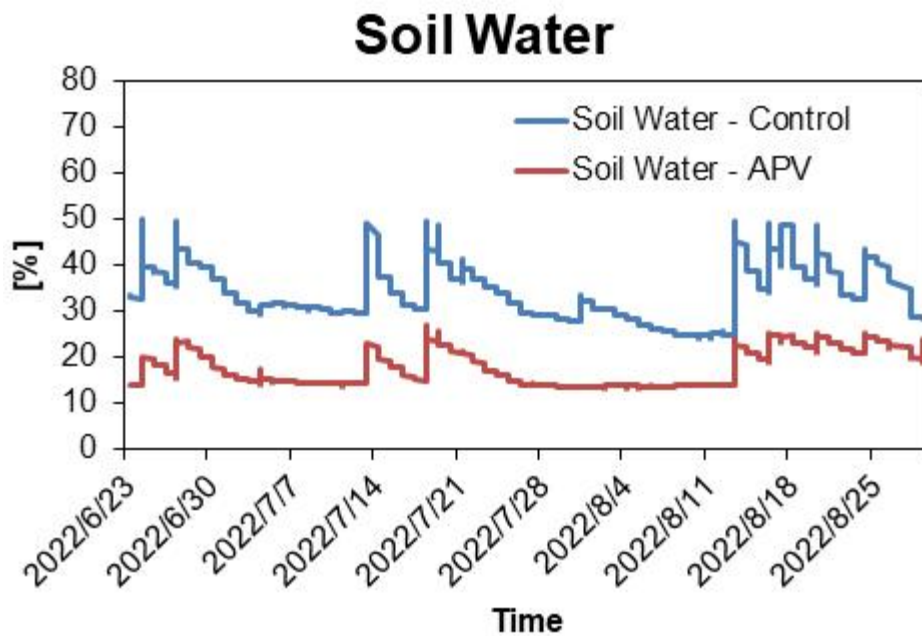


그림. 경산 배추 작물 실증지 환경 데이터 분석 자료

- 그러나 경산의 배추밭의 경우는 특히 위 그림과 같이 여름철 20cm 이하 토양의 온도와 토양 수분 함량의 차이가 상당한 값을 보였다. 태양광 발전 모듈이 있는 곳은 20cm 이하 토양의 온도가 낮고 수분 함량이 매우 높았으며 상대적으로 비교를 위한 일반 농토의 경우, 토양 20cm 이하 토양 온도가 높고 이에 따라 수분 증발량이 증가하여 수분함량도 크게 낮아지는 것을 확인하였다.
- 봄, 가을의 경우 그 차이가 크지 않지만 6월에서 8월 사이 여름철의 토양 습도는 태양광 패널이 설치된 곳의 토양에서는 약 30 ~ 40%를 유지하지만 태양광 패널이 없는 일반 농지에서는 10 ~ 20% 선을 보여주고 있다. 이는 여름철 작물을 재배하는 시기에 영농형 태양광 발전 시설이 밭의 수분을 많이 보존해주어 농작에 큰 도움을 줄 수 있을 것으로 보인다.

○ 영농형 태양광 적용 과수 재배 실증, 장기 모니터링, 평가를 위한 기반 연구 (영남대학교)

1) 서론

영농형 태양광 발전은 영농과 발전을 동시에 진행할 수 있는 시스템으로, 일본에서 solar sharing 개념으로 처음 소개되어 전세계에서 활용되고 있다(Jung 등, 2020; Parkinson과 Hunt, 2020; Sohn 등, 2019). 영농형 태양광 시설은 현재 세계의 여러 나라에서 설치가 증가하고 있으며, 일본, 중국, 프랑스, 미국과 대한민국 등에서는 정부의 지원도 이루어지고 있다(Schindele 등, 2020; Trommsdorff 등, 2021; Vitisphere, 2020; Vollprecht 등, 2012). 서양에서는 차광 실험을 통하여 영농형 태양광 시설에서 재배가 가능한 작물로서 벼, 목화, 콩, 토마토, 상추, 바나나 등을 선별하여 다양한 기준으로 평가를 진행하고 있다(Abdel-Mawgoud 등, 1996; Hernandez 등, 2015; Israeli 등, 1995; Marrou 등, 2013a; Sarkar 등, 2018; Zanon 등, 2016).

국내의 포도 산업은 6,930억 규모이며 포도는 레스베라트롤을 비롯한 스틸벤 화합물 등의 기능성 성분 함량이 많이 존재하여 다른 과실에 비해 소비자의 수요가 증가하고 있다(MAFRA, 2021). 또한 국민의 경제수준 향상에 따라 다양한 포도 품종의 요구가 증가하여, ‘캠벨얼리’ 또는 ‘거봉’ 품종에서 ‘샤인머스켓’ 품종의 소비가 늘어나고 있다(KREI, 2021).

유럽과 일본 등의 외국에서는 영농형 태양광시설을 이용한 생산 기술의 개발에 관한 연구가 활발히 진행되고 있으나(Fiestel 등, 2018; Jahanfara 등, 2018; Jones 등, 2020), 우리나라에서는 벼와 밭작물, 과수 등의 생산에 태양광 시설을 설치하여 농산물 생산에 미치는 영향 평가 분석과 생산성 향상을 위한 연구가 진행되고 있으나 미미한 실정이다(An 등, 2021; Cho 등, 2021; Jung, 2019; Kang 등, 2021; Kim 등 2019; Kim 등, 2020a; Kim 등, 2021b; Ko 등, 2021; Shin 등, 2021; Yoon 등, 2019).

포도는 다른 과종과 비교하여 과실의 발육과 성숙에 필요한 광포화점이 낮고 특정 품종은 산란광을 요구하기 때문에 영농형 태양광 패널을 설치하고 과실을 생산하는 데에 유리할 것으로 여겨진다. 따라서 본 연구에서는 영농형 태양광 패널을 설치한 포도 과원에서 포도나무 수체의 생육 특성과 과실의 발육 특성을 평가하여 노지에서의 특성과 비교하고자 하였다.

2) 시험 재료 및 수행방법

가) 포도나무 및 포도원

본 시험에 사용한 포도나무 품종은 ‘캠벨얼리’(Vitis labruscana L.)이며 6-7년생 나무가 웨이크만식 수형으로 재배되고 있는 포도 과원(재식거리 2.6x3m, 4,000m²)에 태양광 패널을 설치하였으며 포도원은 경상북도 경산시 영남대학교 부속농장과 인천광역시 옹진군 영흥면에 소재하고 있다(그림 1). 시험은 2021년과 2022년에 걸쳐 수행하였다.

인천지역의 기후조건은 포장이 해안에 위치하여 다른 내륙지방보다는 해양성 기후의 특성을

보인다. 기온의 연교차가 적은 편으로 연평균 기온은 12.5℃로서 일 최고 기온은 38.9℃, 일 최저 기온의 극값은 -21.0℃이다. 강수량은 연 1,134.4mm로 비슷한 위도지역에 비해 적은 편이다. 연평균 풍속은 3.06m/s이며, 주 풍향은 북북서풍이다. 중국의 화중지방에서 다가오는 이동성 고기압의 영향으로 남서풍 유입이 많아지면 해상의 안개가 짙어지고 낮 기온 상승을 억지한다.

경산시는 남부대륙형에 속하며, 대구특수형에 가까우며, 태백산맥과 소백산맥 사이에 위치한 남부대륙형으로 기후지역은 분지적 특색을 나타낸다. 연강수량이 적은 지역이며, 하계기온이 가장 높고 기온의 연교차가 큰 지역이다. 인천 및 경산 지역 시험 포장의 기후조건은 표 1에 제시하였다.

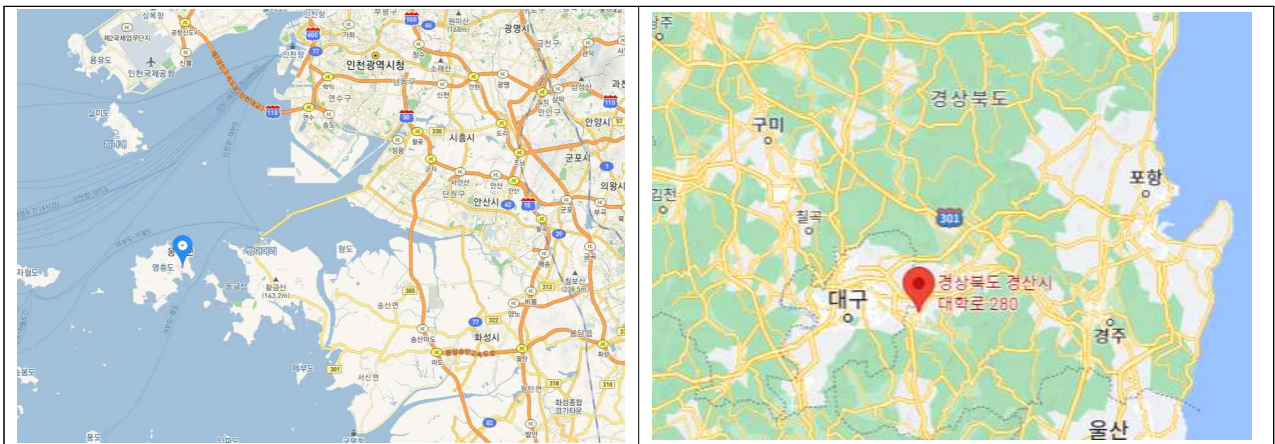


그림 1. 시험처리 포장의 위치

표 1. 인천 및 경산 지역 시험 포장의 기후조건

		평균기온 (℃)	최고기온 (℃)	최저기온 (℃)	강수량 (mm)	평균풍속 (m/s)	평균습도 (%)	일조합 (hr)	평균전운량 (할)
	예년	12.5	16.6	9.1	100.6	2.9	69.9	2591.4	4.85
인천	2021	11.8	24.0	0.8	77.6	0.6	62.0	2573.3	4.95
	2022	13.2	23.6	3.0	145.9	0.8	66.1	2472.1	4.78
	예년	14.1	20.0	9.2	91.0	1.2	60.7	2476.9	4.92
경산	2021	14.0	28.2	2.1	85.9	1.1	65.4	2380.7	5.04
	2022	16.2	29.2	1.3	64.5	1.2	63.6	2591.3	4.72

나) 태양광 패널 설치

포도나무 과수용 영농형 태양광 발전 시스템은 포도나무의 재식열을 고려하여 포도나무의 재식방향과 동일한 방향으로 구조물을 설치하고 해당 구조물에 영농형 태양광 패널(150Wp, 36cell 모듈 48매)을 차광률 30% 미만으로 배치하였다(그림 2-3).



그림 2. 시험처리 포장 전경(위: 인천, 아래; 경산)

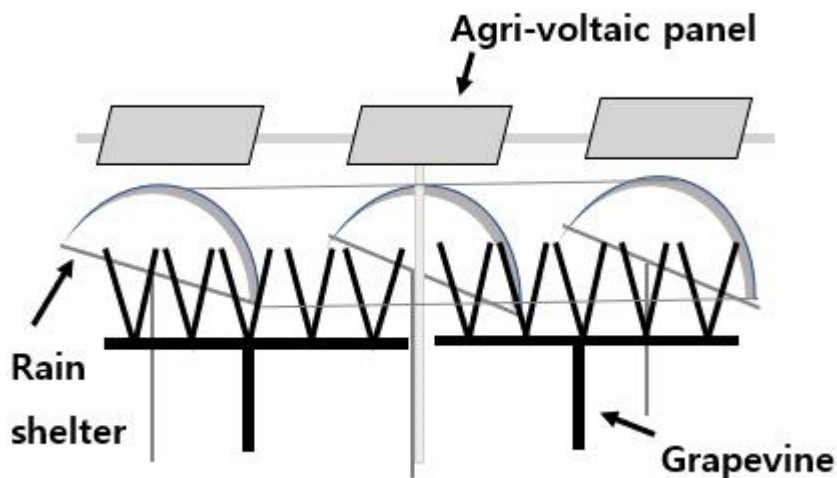


그림 3. 영농형태양광 발전 패널 설치 모식도

다) 포도나무 수체 생육 조사

포도나무 수체 생육 조사는 맹아기, 엽면적, 엽중, 신초장, 절간장, 절간경을 조사하였다. 신초 생육 특성은 처리당 3주에서 신초 10개를 조사하였으며, 엽면적 측정은 각 처리별로 과실 수확일에 3개의 신초에서 기부엽부터 위로 3매의 잎을 동일하게 채취하여 엽면적 측정기(LI-3000, LI-COR, Inc, Lincoln, NE, USA)를 이용하여 측정하여 단위엽당 면적으로 환산하였으며, 절간경은 신초의 기부로부터 3번째 절간을 조사하였다.

라) 시설 하부의 미세환경 변화 조사

시설 하부의 광량과 온도, 풍속의 변화를 조사하였다. 자료는 자료수집장치(STL-T/RH/A4/D2, STA, Anyang, Korea)에 환경관측센서를 연결하여 사용하였다. 기온센서(STL-T/RH, STA,

Anyang, Korea)는 백색의 태양열 차광통에 넣어서 직사광선이나 빗물로부터 보호하였으며, 기온의 측정범위는 -40℃에서 +120℃이고 측정오차는 +/- 0.3℃, 풍향/풍속센서(Davis, USA)에서 풍향의 측정범위는 0-360도, 측정오차 5도 이내, 풍속의 측정범위는 0-50m/s, 측정오차 +/-1m/s 이하이다. 광원의 광도(PPFD)는 spectroradiometer(PAR-200, J&C Tech Co., Ltd., Hwaseong, Korea)를 이용하여 수관 높이(지면으로부터 평균 75cm 높이)에서 측정하였다.

마) 포도나무 내한성 검정

포도나무의 내한성을 비교하기 위하여 이듬해에 온실에서의 눈의 맹아율을 조사하였으며, 휴면 상태의 결과모지의 기부에서 5-8마디의 가지를 12월 21일과 이듬해 1월 24일에 채취하여 수피의 탄수화물 함량을 측정하였다. 채취된 가지의 탄수화물 함량은 수피를 60℃에서 48시간 동안 건조시켜 분쇄한 후 시료 0.5g을 0.7N HCl 용액 20mL에 넣고 99.9℃로 유지되는 항온수조에서 2시간 30분 동안 분해한 후 분해액 3mL에 dinitrosalicylic(DNS) acid 5mL을 첨가하여 다시 5분간 끓인 후 비색계(Model S-3130, Scinco Co., Ltd, Seoul, Korea)를 이용하여 흡광도(A550nm)를 측정하였다(Winkler and Howell, 1986).

바) 엽록소 함량 분석

포도나무 잎을 80% 아세톤 용액에 침지하여 엽록소를 추출한 후, spectrophotometer (UV/Visible Diode Array, Walden Precision Apparatus Ltd., UK)를 사용하여 파장 663nm와 645nm에서 측정하여 다음의 식으로 환산하였다(Aron, 1949).

$$\text{Chlorophyll a} = (12.7 \times A_{663}) - (2.69 \times A_{645})$$

$$\text{Chlorophyll b} = (22.9 \times A_{645}) - (4.68 \times A_{663})$$

$$\text{Total Chlorophyll (a + b)} = (20.2 \times A_{645}) + (8.02 \times A_{663})$$

사) 과실 특성조사

시험 처리구당 무작위로 선발한 과방 5개를 대상으로 하여 농사시험연구기준(RDA, 1995)에 따라 과방중, 과립중, 안토시아닌 함량, 당도 및 적정산도를 분석하였다. 가용성 고형물 함량은 굴절당도계(Digital Refractometer PAL-1, Atago, Japan)로 측정하였으며, 산도는 과일 산도측정기(GMK-835N, G-WON HITECH, Korea)를 이용하여 측정하였고, 각각 10개의 과립을 무작위로 선발하고 3반복으로 실시하였다. 안토시아닌 함량은 흡광도계(Multimode Microplate Reader, SPARK, TECAN)를 이용하여 측정하였다(Kwon 등, 2019).

아) 토양 분석 및 독성 성분 조사

토양 시료는 풍건하여 분쇄한 후 표준체(10mesh)로 통과시켜 일반분석용으로 사용하였고, 토양을 다시 유발에 갈아 체(100mesh) 걸음 한 시료를 중금속 분석용으로 사용하였다. 토양의

이화학적 분석은 농촌진흥청 농업과학원 토양화학분석법(NIAST, 1988)에 따라 토양산도는 pH meter, 전기전도도는 EC측정기, 유기물은 Tyurin법, 유효인산은 Lancaster법, 토성분석은 hydrometer를 이용하였다. 토양의 가용성 중금속 분석은 환경부 토양오염공정시험방법(KSTM ES 07552)에 따라 원소를 측정하였다(Kim 등, 2021a).

자) 통계분석

통계 처리는 SPSS statistic 18(IBM, US)을 이용하여 T-test를 수행하여 유의성을 분석하였다.

3) 결과 및 고찰

가) 시설 하부의 미세환경 변화

설치한 태양광 패널이 포도나무 수관의 온도와 수광량을 조사하였다. 그 결과 태양광 패널을 설치한 처리구와 설치하지 않은 무처리구에서 포도나무 수관내의 온도 차이는 나타나지 않았다. 그러나, 수관내의 수광량은 태양광 패널 설치구에서 감소하였다(그림 4). 또한 태양광 패널 설치구에서는 태양광 설치에 따른 과원의 풍속은 감소하였다(그림 5).

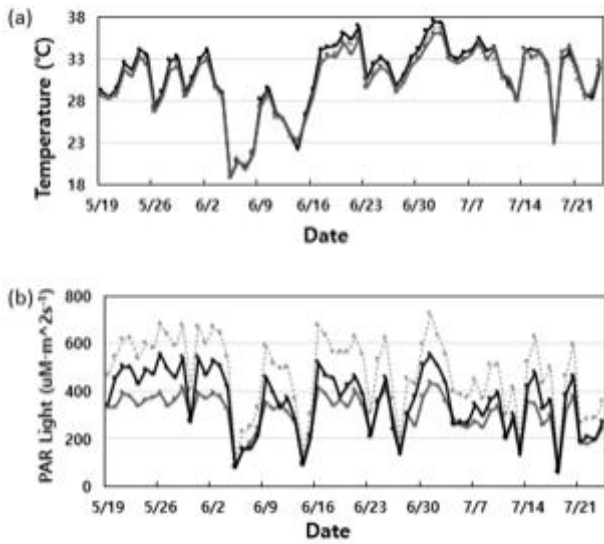


그림 4. 영농형 태양광 발전 패널치리에 따른 포도나무 수관내부의 온도(a)와 수광량(b)의 변화

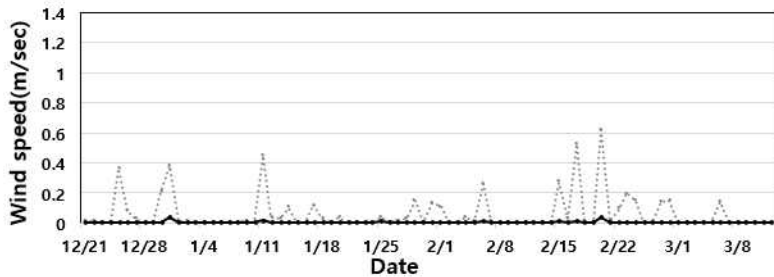


그림 5. 태양광 설치에 따른 동절기 과원의 풍속 비교('21. 12-'22. 3). —, 설치구; ····, 비교구

나) 포도나무의 신초 및 잎의 생육 특성

설치한 태양광 패널이 포도나무 수체의 생육에 영향을 끼치는 지를 분석하고자 2개의 포장에서 태양광 패널을 설치한 처리구와 설치하지 않은 무처리구에서 포도나무 신초의 생육을 조사하였다. 태양광을 설치한 처리구에서 주당 신초수는 23-29개로 무처리구의 주당 신초수(25-26개)와 차이가 없었다(표 2-3). 처리구의 초장길이는 154cm로 무처리구(146cm)와 차이가 없었으며, 처리구의 신초당 엽수는 13-14매로 무처리구(13매)와 차이가 없었다. 처리구 식물체 신초의 평균 절간은 12cm이었고, 무처리구 신초의 평균 절간은 11.0cm이고, 신초의 절간 직경은 8mm로서 무처리구의 절간 직경인 8.3mm와 유사하여 신초의 절간과 절간 직경에는 처리구와 무처리구간의 차이가 없었다.

표 2. 태양광 설치에 따른 포도나무 신초의 생육 특성 변화(인천)

인천		신초수/주	초장(cm)	엽수	절간직경(mm)	평균절간(cm)
2021	비교지	26	130	13	8.0	9.8
	실증지	29	142	14	8.0	10.7
		NS	NS	NS	NS	NS
2022	비교지	26.7	146	13	8.3	11
	실증지	25.3	154	13	8.0	12
		NS	NS	NS	NS	NS

*significant at P<0.05, NS; non significance

표 3. 태양광 설치에 따른 포도나무 신초의 생육 특성 변화(경산)

경산		신초수/주	초장(cm)	엽수	절간직경(mm)	평균절간(cm)
2021	비교지	25	134	13	7.0	9.9
	실증지	23	139	13	8.0	11.0
		NS	NS	NS	NS	NS
2022	비교지	18.1	91	11	5.1	8
	실증지	16.9	99	12	5.3	9
		NS	NS	NS	NS	NS

*significant at P<0.05, NS; non significance

포도나무 신초당 3개의 잎(기부로부터 7, 8, 9번째)을 채취하여 엽중과 엽면적, 갈색무늬병의 발생을 조사하였다(표 4). 두 개 포장에서 태양광 처리구에서 신초 잎의 엽중은 5.2-7.0g으로서 무처리구의 엽중(5.6-8.7g)과 유의차가 없었으며 태양광 처리구의 신초 잎의 엽면적이

226-265mm²로서 무처리구의 엽면적(222-273mm²)에 비해 유의차가 없었다. 태양광 패널 설치에 따른 병해 발생을 비교하고자 갈색무늬병 병반면적률을 조사하였다. 태양광 설치 처리구의 포도나무의 잎에 발생하는 갈색무늬병 발병면적률은 0.2-1.1%로서 무처리구의 잎에 발생한 병반면적률(0.1-4.8%)보다 현저히 낮아 태양광 처리구에서 발생이 적은 경향이였다.

표 4. 태양광 설치에 따른 포도나무 잎의 생육 및 갈색무늬병 병반 진전비교

		엽중(g)		엽면적(mm ²)		갈색무늬병 병반면적률(%)	
		비교지	실증지	비교지	실증지	비교지	실증지
인천	2021	7.2	6.6	273.9	291.9	15.0	11.2
	2022	8.7	7.0	273.5	265.6	4.8	1.1
경산	2021	6.3	6.2	244.7	298.2	8.9	12.4
	2022	5.6	6.2	222.0	226.9	0.1	0.2
		NS	NS	NS	NS	*	*

*Significant at P<0.05, NS: non significance

다) 포도나무 잎의 엽록소 함량 및 색택 특성 비교

포도나무 잎의 엽록소 함량은 처리구와 무처리구 간에 유의차가 없었지만 태양광 설치 처리구에서 23-50µg/g로서 무처리구의 19-41µg/g보다 높게 나타났다(표 5-6). 이는 태양광 패널 설치로 인해 수체의 생육이 늦게까지 유지되었기 때문일 것으로 여겨진다. 태양광 설치구에서 신초 잎의 색택을 비교한 결과, 처리구에서는 색도(Hunter value)는 각각 L=37-41, b=11.65-17.59이었으며, 무처리구의 포도나무 잎의 색도는 L=38-40, b=14-15로서 처리 간의 유의차가 인정되지 않았다.

표 5. 태양광 설치에 따른 포도나무 잎의 엽록소함량 및 색택 특성 비교(인천)

인천		엽록소함량(µg/g)				색도(Hunter value)		
		Chlorophyll a	Chlorophyll b	a/b ratio	Total	L	a	b
2021	비교지	8.06	3.49	2.31	11.55	8.93	0.38	0.41
	실증지	10.65	4.61	2.31	15.26	9.83	0.37	0.41
		NS	NS	-	NS	NS	NS	NS
2022	비교지	27.52	13.71	2.01	41.21	38.07	-2.51	14.08
	실증지	31.41	18.99	1.65	50.39	37.18	-0.94	11.65
		NS	NS	-	NS	NS	NS	NS

*Significant at P<0.05, NS: non significance

표 6. 태양광 설치에 따른 포도나무 잎의 엽록소함량 및 색택 특성 비교(경산)

경산		엽록소함량($\mu\text{g/g}$)			색도(Hunter value)			
		Chlorophyll a	Chlorophyll b	a/b ratio	Total	L	a	b
2021	비교지	7.37	3.59	2.05	10.96	9.33	0.40	0.40
	실증지	9.28	4.82	1.93	14.10	10.30	0.37	0.40
		NS	NS	-	NS	NS	NS	NS
2022	비교지	14.06	4.97	2.83	19.02	40.27	-8.55	15.79
	실증지	17.47	5.89	2.96	23.36	41.89	-7.54	17.59
		NS	NS	-	NS	NS	NS	NS

*Significant at $P < 0.05$, NS: non significance

라) 포도나무 내한성 검정

포도나무 수체의 내한성 차이를 비교하기 위하여 가지를 월동 전과 월동 후로 구분하여 채취하고 수피의 탄수화물 함량을 분석하고 월동 삽수의 발아율을 조사하였다. 처리구 가지의 탄수화물 함량은 183-184mg/g으로 무처리구의 181-198mg/g과 유사하였으나, 채취한 삽수의 발아율은 처리구에서 높게 나타났다(표 7). 영하 20°C에서 24시간 처리한 과수 가지의 갈변에는 큰 차이가 없었으며(그림 6), 전기전도도에도 차이가 없었다(그림 7). 또한 처리구에서는 태양광 설치에 따른 과원의 풍속은 감소하였으나(그림 5), 이상기후에 의한 겨울철 극저온이 도래할 경우에는 처리구에서 풍속이 감소함에 따라 월동하는 포도나무에서 건조에 의한 동해 발생 및 피해는 감소할 것으로 여겨진다.

표 7. 태양광 패널 설치과원의 포도나무 가지 수피의 탄수화물 함량 및 발아율(인천)

채취시기	처리	탄수화물 함량(mg/g)	발아율
1차(21. 12. 21)	비교지	181.3	54.2
	실증지	184.3	50.0
		NS ²	NS
2차(22. 01. 24)	비교지	198.9	66.5
	실증지	183.4	75.0
		NS	*

*Significant at $P < 0.05$, NS: non significance

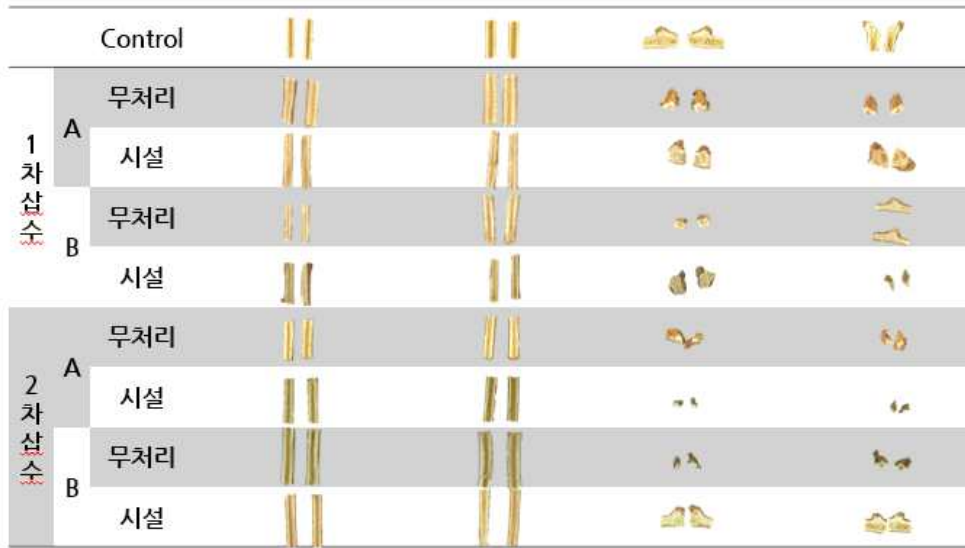


그림 6. 태양광 패널 설치과원의 포도나무 가지 갈변 비교(인천)

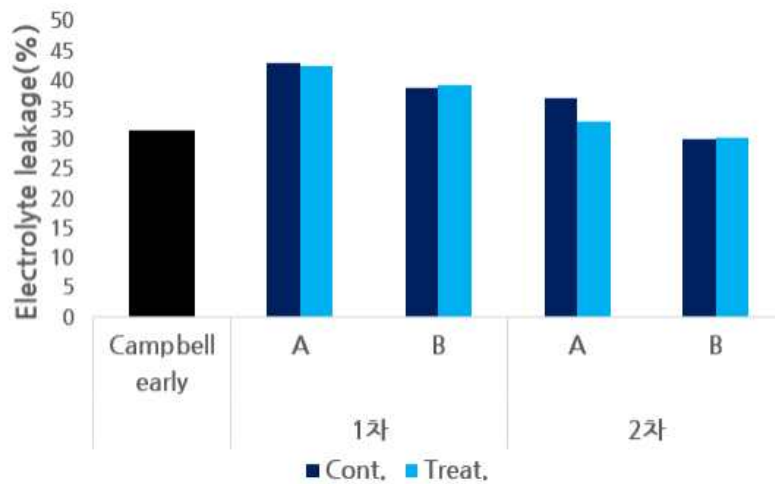


그림 7. 태양광 패널 설치과원의 포도나무 가지의 전기전도도 비교(인천)

마) 포도원 포도 과실 생육 및 특성 비교

태양광 패널 처리구에서의 포도 과실의 생육 특성과 품질의 변화를 비교하였으며, 모든 조사는 3반복으로 수행하였다. 처리구의 포도 과실의 과방중은 253-327g이었고, 무처리구의 과방중은 257-340g이었다(표 8-9). 과방장과 과방경은 162-165.6mm과 80.5-94.4mm로서 무처리구의 과방장(144.2-183.2mm) 및 과방경(76.7-93.4mm)과 차이가 없었다. 과립중은 5.6-5.7g으로 무처리의 과립중(5.9-6.1g)과 유의차가 없었다(표 8-9). 태양광 발전 패널의 설치에 따른 생산량의 감소는 작게 나타났으며 오히려 증가하는 경향도 나타났다. 이는 수확시기의 지연에 따른 생육 시기의 확대로 인해 나타난 결과로 여겨진다.

표 8. 포도원 포도 과실 생육 비교(인천)

인천	과방중(g)	과방장(mm)	과방경(mm)	과립중(g)	생산량(kg/10a)	증감(%)
2021	비교지	221.7	144.2	76.7	6.2	1,807
	실증지	278.4	165.6	94.4	5.6	2,255
	NS	NS	NS	NS		
2022	비교지	340.1	163.4	88.0	5.9	1,543
	실증지	327.9	164.4	95.0	5.7	1,519
	NS	NS	NS	NS		

*Significant at P<0.05, NS; non significance

표 9. 포도원 포도 과실 생육 비교(경산)

경산	과방중(g)	과방장(mm)	과방경(mm)	과립중(g)	생산량(kg/10a)	생산량증감(실증비/비교지)(%)
2021	비교지	301.2	183.2	93.4	5.7	1,807
	실증지	375.9	162.0	80.5	6.4	2,255
	NS	NS	NS	NS		
2022	비교지	257.2	160.0	86.0	6.1	1,543
	실증지	253.2	163.0	89.0	5.6	1,519
	NS	NS	NS	NS		

*Significant at P<0.05, NS; non significance

태양광 패널을 설치한 처리구에서 성숙한 후 수확한 포도 과실의 당함량은 14.0-15.5%이었고, 무처리구의 당함량은 14.9-15.2%와 유의차는 없었다(표 10-11). 과실의 적정산도 역시 처리구 간 유의차는 없었으나 처리구에서 포도 과실에서는 0.56-0.76%로, 무처리구 산함량(0.51-0.63%)에 비해 높게 유지되었다(표 10-11). 이는 태양광 시설에 의해 처리구의 광량이 감소하여 과실에서 성숙이 지연되기 때문으로 여겨진다.

수확한 포도 과실의 과피의 안토시아닌 함량은 처리구와 무처리구에서 모두 0.7-0.9%로서 차이가 없었다. 처리구에서의 적정 수확기는 경산지역에서는 8월 12일, 인천 지역에서는 9월 4-10일경으로 무처리구의 8월 12일, 8월 26-31일에 비해 7-10일 정도 지연되었다(표 10-11).

표 10. 포도원 포도 과실 특성 비교(인천)

인천		색도(Hunter value)			당함량 (°Bx)	적정산도 (%)	적정수확기
		L	a	b			
2021	비교지	4.7	0.3	0.4	17.3	0.57	8. 31
	실증지	5.1	0.3	0.4	16.9	0.66	9. 6
		NS	NS	NS	NS	NS	
2022	비교지	28.3	-2.6	0.2	15.2	0.60	8. 31
	실증지	28.0	-3.1	-0.3	14.6	0.56	9. 10
		NS	NS	NS	NS	NS	

표 11. 포도원 포도 과실 특성 비교(경산)

경산		색도(Hunter value)			당함량 (°Bx)	적정산도 (%)	적정수확기
		L	a	b			
2021	비교지	4.2	0.3	0.4	17.6	0.63	8. 21
	실증지	4.9	0.3	0.4	17.8	0.76	8. 30
		NS	NS	NS	NS	NS	
2022	비교지	27.5	-1.72	0.38	14.9	0.55	8. 18
	실증지	29.4	-1.93	0.22	15.5	0.56	8. 28
		NS	NS	NS	NS	NS	

바) 포도원 토양 특성 조사 및 독성

태양광 패널 설치에 따른 토양의 이화학적 성질변화와 구조물의 설치에 따른 독성물질의 발생 여부를 조사하기 위하여 처리구와 무처리구로 구분하여 무작위로 상층토와 하층토를 구분하여 총 8개의 토양 시료를 채취하였다. 식물의 생육과 관련한 토양성분은 산도와 유기물 함량, 유효인산, 칼슘 함량, 마그네슘 함량과 전기전도도는 시설과 무처리간의 유의적인 상관관계가 나타나지 않았다(표 12-13, 그림 8-9). 칼륨 함량에는 처리와 시설구간에 차이가 있으나 향후 더욱 많은 시료를 대상으로 한 분석이 요구된다. 또한 중금속인 수은, 납, 비소, 카드뮴 등의 성분은 토양오염우려기준보다 낮은 함량으로 검출되었으며 시설과 무처리간의 차이도 나타나지 않았다(표 12-13, 그림 8-9).

표 12. 포도과원의 토양내 비료 성분 비교 결과

		산도 (pH)		유기물 (g/kg)		유효인산 (mg/kg)		칼륨 (cmol/kg)		칼슘 (cmol/kg)		마그네슘 (cmol/kg)		전기전도도 (dS/m)	
		비교지	실증지	비교지	실증지	비교지	실증지	비교지	실증지	비교지	실증지	비교지	실증지	비교지	실증지
상층	A	5.3	5.7	43	31	1011	404	0.69	1.7	8.8	8.2	3.9	3.4	5.2	4.3
	B	5.7	5.2	37	52	458	859	0.69	2.1	6.5	12.8	2.6	5.9	1.0	11.2
하층	A	5.8	5.5	33	45	827	732	0.65	1.5	8.9	10.7	4.1	4.6	5.4	8.1
	B	5.5	5.7	33	46	375	784	0.63	1.7	6.1	15.2	2.5	5.9	1.2	12.5
적정범위		6.0-6.5		25-35		350-450		0.65-0.8		5.0-6.0		1.5-2.0		2이하	

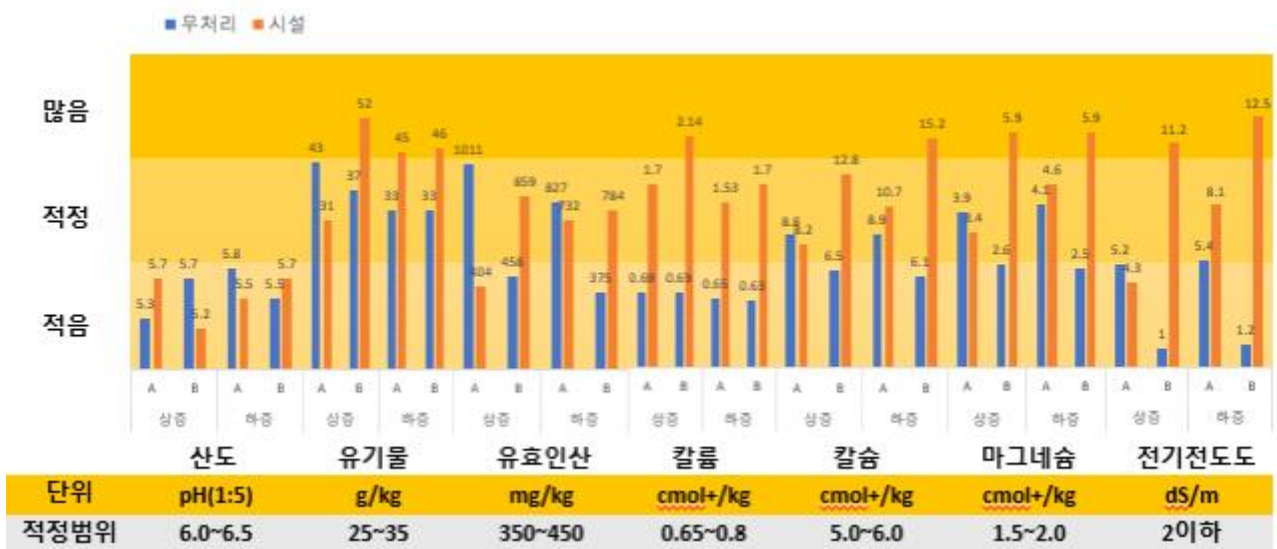


그림 8. 포도과원내 토양의 이화학적 성질 비교

표 13. 포도과원의 중금속 함량

		Hg(mg/kg)		Pb(mg/kg)		As(mg/kg)		Cd(mg/kg)	
		비교지	실증지	비교지	실증지	비교지	실증지	비교지	실증지
상층	A	0.032	0.028	14.37	12.49	1.85	3.09	불검출	불검출
	B	0.041	0.038	15.84	16.76	1.62	1.25	불검출	불검출
하층	A	0.034	0.037	14.79	13.30	2.20	2.60	불검출	불검출
	B	0.044	0.039	15.94	14.79	1.69	2.03	불검출	불검출
토양오염 우려기준		4		200		25		4	

■ 무처리 ■ 시설

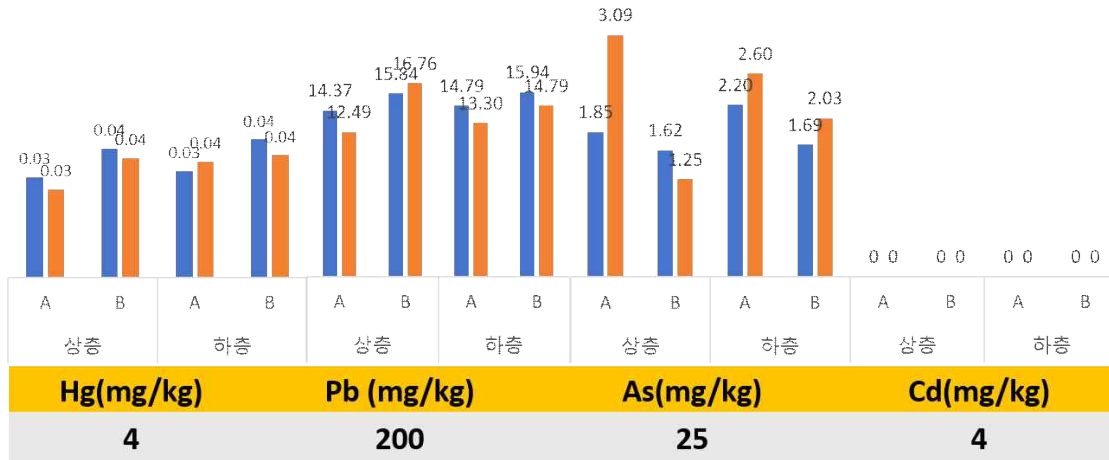


그림 9. 포도과원의 토양내 중금속 함량 (무처리=비교지, 시설=실증지)

영농형 태양광은 경지에서 식물과 에너지를 동시에 생산할 수 있는 시스템으로(Parkinson과 Hunt, 2020), 식물이 이용할 수 있는 광포화점 이상의 빛을 이용하여 전기를 생산하는 것이 영농형 태양광이다. 그러나, 영농형 태양광 시설 하에서의 차광으로 광량이 감소하기 때문에(Cossu 등, 2020) 식물의 생육에 필수적인 광량의 감소는 작물의 생산량 감소와 품질 저하를 초래할 수 있다(Cossu 등, 2020; Loik 등, 2017). 따라서 빛에 대한 반응은 작물에 따라 차이가 크기 때문에 영농형 태양광 시설 하에서 재배가 가능한 적정 작물의 선정과 재배 기술의 개발에 관한 연구가 진행되고 있다(Aroca-Delgado 등, 2018; Cossu 등, 2017; Gonocruz 등, 2021; Marrou 등, 2013b; Murchie, 2002; Touil 등, 2021).

포도 과실의 생산에 있어서 광보상점과 광포화점은 매우 중요하며, 광포화점은 작물의 종류에 따라 다른 특징을 보이며, 포도나무의 광포화점은 40-6klux로서 과실의 생육 및 성숙에 빛이 요구된다(Lim, 2015). 부족한 빛은 포도나무의 생육과 과실의 발육을 방해하기 때문에(Keller 등, 1998; Koyama 등, 2012) 포도나무의 수형 개선을 통한 광투과율 향상이 중요하다(Reynold와 Vanden Heuvel, 2009). 그러나, 광포화점 이상의 빛을 받을 경우, 식물체에서는 자체의 성장을 억제하는 광저해 현상이 나타나, 식물의 성장과 생산성의 저하를 초래한다(Cheng 등, 2016; Takahashi와 Badger, 2011).

차광에 의해서 포도의 과실 발육은 지연되지만 당함량에는 영향이 없었고, 과립의 비대는 증가하였다고 보고되었다(Abeysinghe 등; 2019; Caravia 등, 2016; Greer와 Weedon 2012). 그러나, 포도 생육기인 여름철 높은 photon flux densities(PFDs)과 그로 인한 고온은 포도의 정상적인 생육을 저해한다(Webb 등, 2009). 프랑스에서는 와인 생산용 포도 재배에 태양광 시설을 설치하여, 최근에 기록적인 고온과 높은 일사량으로 인해 발생하는 포도 과수의 스트레스를 최소화하여 과립 비대 촉진, 당도 향상, 안토시아닌과 산 함량의 증가를 꾀하고 있으나(Reasoners와 Ghosh, 2022; Vitisphere, 2020), 향후 포도나무 수체 생육, 광합성 효율, 페놀화합물 축적 등에 대한 효과도 검토되어야 할 것이다(Abeysinghe 등, 2019; Iland 등, 2011).

인도에서는 포도 과원에 태양광을 설치함으로써 포도 생산을 통해 얻는 수익보다 15배 이상의 경제적 효과를 가져온다고 보고하고 있다(Malu 등, 2017).

태양광 시설 처리구에서 포도나무 갈반병의 발생이 적게 관찰되었다. 영농형 태양광 시설하부에서는 생육기 동안에 지상부의 온도 저하, 토양의 온도 상승의 억제 및 수분유지에 도움을 주어 수체의 생육을 촉진하는 것으로 보고되어 있다(Adeh et al., 2018; Marrou et al. 2013a). 따라서 시설 설치에 따라 식물체의 생육에 적합한 기상 조건이 제공되어 식물체의 생육이 왕성하게 유지된 것으로 여겨지며, 이로 인해 병해의 발생도 감소한 것으로 여겨진다. 또한 농업환경 측면에서 영농형태별로 토양의 특성이 변화하거나, 농업자재에 의한 농경지의 중금속 오염이 발생할 수 있고(Jung 등 2004), 중금속의 오염은 비오염지에 비해 토양산도 양이온치환용량 등 토양화학성의 영향을 받는다(McGgrath 1996). 그러나 본 연구에서는 처리구 토양에서는 이화학적 성질 변화가 나타나지 않았고, 이로 인한 독성 성분이나, 구조물 설치로 인해 발생할 수 있는 토양의 독성 성분도 발생하지 않아 태양광 시설의 토양 환경에는 영향을 미치지 않는 것으로 여겨진다.

본 실험에서는 태양광 패널을 설치한 처리구에서 포도나무 수체의 생육과 발육은 무처리구에 비해 큰 차이가 나타나지 않았으나 숙기가 7일 정도 지연되었다. 이는 영농형 태양광을 도입하려면 성숙을 지연하는 질소질 비료의 시비를 줄이고 칼륨, 인산 등의 시비량을 늘리는 재배법의 개발이 필요하다는 것을 의미한다. 그러나 완숙이 된 포도 과실의 특성과 발육은 무처리구에 비해 큰 차이가 없었으며, 잎의 생육이 약간 촉진되고 병해 발생이 억제되었는데 이는 태양광 패널 시설의 설치에 따라 광과 복사열로 인한 식물체의 스트레스가 감소하였기 때문으로 여겨진다. 태양광 패널을 설치함에 따라 햇빛의 복사열로 인한 여름철 기온 및 지온 상승의 방지와 토양의 수분 증발 억제를 통해 열과 방지 등의 포도 생육에 유리한 효과를 기대할 수 있다. 영농형 태양광은 지속적인 수요 증가와 농가의 새로운 소득사업으로 중요한 의미를 지닌다. 따라서 향후 태양광 패널 시설 하부 경지에서 농작물 수량 및 품질 감소를 최소화하면서 포도를 비롯한 농작물을 안정적으로 생산할 수 있는 재배기술의 개발이 요구된다.

4) 적 요

영농형 태양광 발전은 농경지에서 작물을 생산함과 동시에 식물이 요구하는 광포화점 이상의 광을 이용하여 전기를 생산하는 시스템이다. 새로운 농가 소득원의 개발을 위하여 포도원에 태양광 패널을 설치하고 수체의 생육과 과실 발육 특성을 평가하여 영농형 태양광의 활용성을 탐색하고 향후 재배기술을 개발하는 데 필요한 정보를 제공하고자 연구를 진행하였다. 152x68x3.5cm 크기의 구조물에 영농형 150Wp(36cell)모듈을 포도나무 재식열에 따라 배치하고, 과원의 환경과 식물생육을 분석하였다. 무처리에는 겨울철 풍속이 0.4-0.6m/s에 도달하였으나, 시설 설치구에서는 0.01-0.02m/s에 머물렀다. 삼수 수피의 탄수화물함량은 시설 설치구에서 183-184m/g으로 무처리구(181-198mg/g)에 비해 큰 차이가 없으며 삼수의 발아율도 큰 차이가

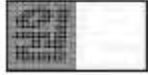
없었다. 잎의 엽록소의 함량은 처리구에서 높게 나타났다. 수확후 과실의 특성으로는 과립중, 과방중, 당도, 과피색의 차이는 없었다. 다만 시설구에서 숙기가 5-7일정도 늦어졌으며, 변색기의 착색에는 약간 차이가 있었다. 영농형 태양광 패널을 설치한 과원에서 포도나무와 과실의 발육은 유의차가 없었고, 설치구에서 착색이 지연되었다. 이러한 결과는 향후 포도원에서 영농형 태양광 시설을 설치하여 포도를 생산하는 기술 개발에 필요한 정보로 활용될 수 있을 것이다.

추가주제어 : 영농형 태양광, 과실 특성, 과실 발육, 포도 재배

5) 영농형 태양광 구조물 적용 시 노하우 정리표 (포도나무)

생육단계	적용내용
휴면기	질소질비료의 시용을 줄임 인산 칼륨의 시비량을 줄임
과립비대기	적심과 2차지 제거를 통한 투광량 및 통기성 향상 적방 및 적립을 통해 착과량을 조절 1차 웃거름 시비시 질소질 비료과잉시비 억제
성숙기	인산과 칼륨의 시비 성숙 촉진을 위한 관수량 조절
수확기이후	토양검정 및 엽분석을 통한 시비량 조절

6) 토지 오염도 및 부식도 분석 검사성적서



제일분석센터

http://www.cheillab.com

☎ 08389 서울시 구로구 디지털로 272번지 한신(타워 913호 전화)1599-7182 팩스)0504-557-2962 접수담당 : 김창미

L0LKR-U4NG5-QEMQQ-3QPEX

검 사 성 적 서

2022-0089912

의뢰인	성명 / 상호	영남대학교 원예생명과학과	사업자등록번호	--
	주소	경상북도 경산시 대학로 280 영남대 응용생명과학대학 제3실험동 원예생명과학과 254호	대표자	
	시료명	2C-1		
접수년월일	2022. 10. 27	검사완료일	2022. 11. 01	
접수번호	22-10-SO0088	검사목적	자체품질검사용	

검 사 결 과

검사항목	검사기준	결과	비고
수은 (mg/kg) (건물중에 대하여)		불검출	
비소 (mg/kg) (건물중에 대하여)		13.10	
카드뮴 (mg/kg) (건물중에 대하여)		0.20	
납 (mg/kg) (건물중에 대하여)		24.53	

시험책임자 : 박영현

시험원 : 송민경

주) 상기 검사결과는 의뢰인이 당사에 제공한 시료에 대한 분석결과입니다.

2022년 11월 03일
제일분석센터 대표이사 이은미



* 본 검사결과는 의뢰목적 이외에 광고 및 소송 등의 목적으로 사용하지할 수 없으며, 그에 따른 책임은 당사와는 무관함을 알려드립니다.



제일분석센터

http://www.cheillab.com

☎ 08389 서울시 구로구 디지털로 272번지 한신타워 913호 전화)1599-7182 팩스)0504-557-2962 접수담당 : 김창미

EWLDU-GAHAN-BIBKS-M4GAV

검 사 성 적 서

2022-0089909

의뢰인	성명 / 상호	영남대학교 원예생명과학과	사업자등록번호	--
	주소	경상북도 경산시 대학로 280 영남대 원예생명과학대학 제3실형통 원예생명과학과 254호	대표자	
	시료명	ZV-1		
접수년월일	2022. 10. 27	검사완료일	2022. 11. 01	
접수번호	22-10-SO0091	검사목적	자체품질검사용	

검 사 결 과

검사항목	검사기준	결과	비고
수은 (mg/kg) (건물용에 대하여)		불검출	
비소 (mg/kg) (건물용에 대하여)		7.76	
카드뮴 (mg/kg) (건물용에 대하여)		0.15	
납 (mg/kg) (건물용에 대하여)		15.34	

시험책임자 : 박영현

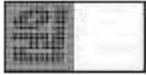
시험원 : 박영현, 송민경

주) 상기 검사결과는 의뢰인이 당사에 제공한 시료에 대한 분석결과입니다.

2022년 11월 03일
제일분석센터 대표이사 이은미



* 본 검사결과는 의뢰목적 이외에 참고 및 소송 등의 목적으로 사용하지할 수 없으며, 그에 따른 책임은 당사자는 무관함을 알려드립니다.



제일분석센터

http://www.cheillab.com

☎ 08389 서울시 구로구 디지털로 272번지 한신IT타워 913호 전화)1599-7182 팩스)0504-557-2962 접수담당 : 김창미

ZADSK-N7WYX-LFA66-MBUNP

검 사 성 적 서

2022-0089910

의뢰인	성명 / 상호	영남대학교 원예생명과학과	사업자등록번호	--
	주소	경상북도 경산시 대학로 280 영남대 응용생명과학대학 제3실험동 원예생명과학과 254호	대표자	
	시료명	3C-1		
접수년월일	2022. 10. 27	검사완료일	2022. 11. 01	
접수번호	22-10-SO0090	검사목적	자체품질검사용	

검 사 결 과

검사항목	검사기준	결과	비고
수은 (mg/kg) (건물중에 대하여)		불검출	분석방법 분석방법
비소 (mg/kg) (건물중에 대하여)		8.98	분석방법 분석방법
카드뮴 (mg/kg) (건물중에 대하여)		0.17	비료품질검사방법 민시표해취기준
납 (mg/kg) (건물중에 대하여)		17.17	분석방법

시험책임자 : 박영현

시험원 : 박영현, 송민경

주) 상기 검사결과는 의뢰인이 당사에 제공한 시료에 대한 분석결과입니다.

2022년 11월 03일
제일분석센터 대표이사 이은미

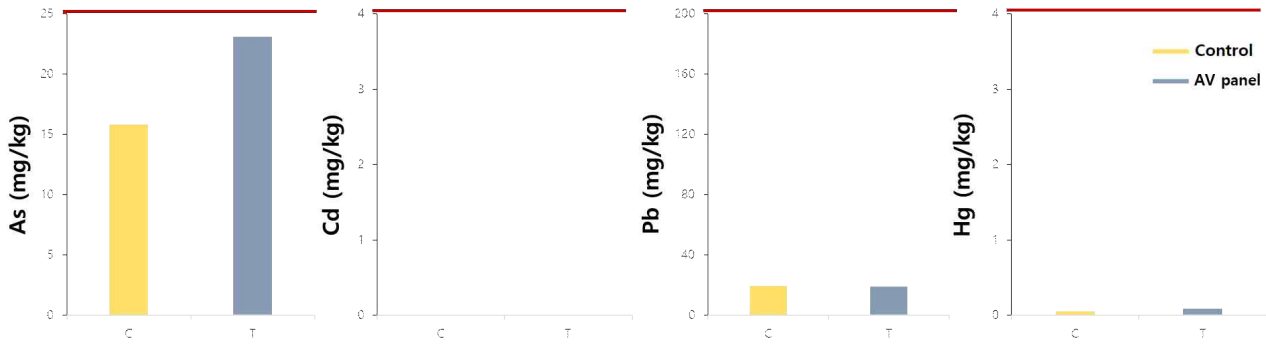


* 본 검사결과는 의뢰목적 이외에 광고 및 소송 등의 목적으로 사용하지할 수 없으며, 그에 따른 책임은 당사와는 무관함을 알려드립니다.

○ 기 구축 실증설비 이용 채소 비교군 예비실증시험 및 평가 분석

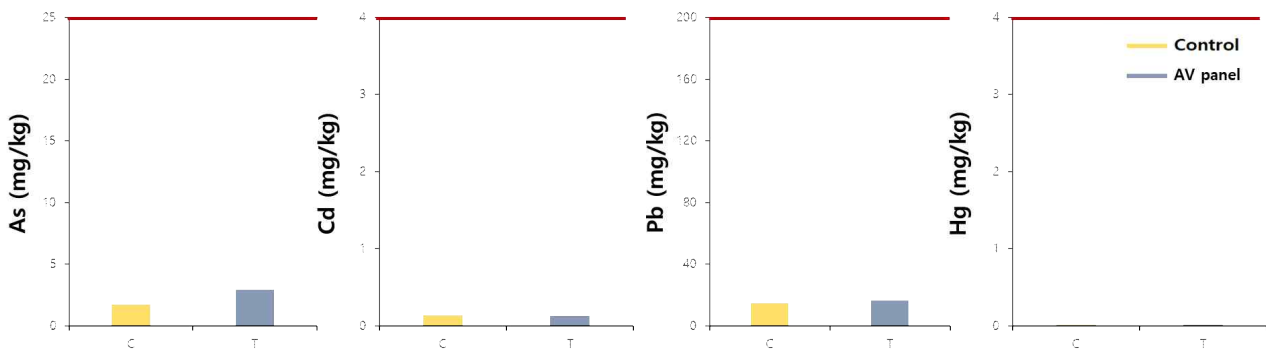
1) 실험대상지 토양성분분석

가) 경산



- As, Cd, Pb, Hg 모두에서 기준치 미만의 중금속이 검출됨

나) 수원



- As, Cd, Pb, Hg 모두에서 기준치 미만의 중금속이 검출됨

2) 2021년 가을 배추(경산) 연구 재료 및 방법

가) 실험재료 및 재배 환경

- 식물 재료 : 배추 '불암3호' 과종 30일 차 실생묘
- 정식일 : 2021년 9월 1일
- 재식장소 : 영남대 영농형 태양광 실증센터 (대조구, 솔라패널 설치구)

표 . 정식 전 묘소질

	초장 (cm)	엽수	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	생체중 (g)	건물중 (g)
평균	3.34	3.60	4.35	2.67	0.82	0.14
S.D.	0.27	0.52	0.24	0.32	0.06	0.01

나) 특성 조사

(a) 생육 특성 조사

- 단위면적당 주수 : 3.3m²당 심겨진 포기 수(이미 식재단계에 결정됨)
 - (조사면적에 심어진 배추 포기 수 × 3.3m²) ÷ 조사면적(가로 × 세로)
 - 태양광 시스템 설치로 인한 식재면적 감소를 추정(선행 연구 : 30% 감소)
- 초장(cm) : 지면에서부터 식물 최상단부까지의 길이
- 초폭(cm) : 개체의 가장 긴 폭
 - 초형지수(plant shape index) : 초장/초폭
- 엽장(cm) : 최장엽의 길이
- 엽폭(cm) : 최장엽의 폭
 - 엽형지수(leaf shape index) : 엽장/엽폭
- 엽수 : 배추 한 포기 중 엽장이 1cm 이상 되는 잎의 수(외엽수와 내엽수로 구분)
- 상품구수 : 상품으로 가치가 있는 식물체의 수
 - 상품률(%) : 상품구수/총 정식 개체수
- 결구수 : 결구가 맺힌 식물체의 수
 - 결구율(%) : 결구 개체수/총 정식 개체수
- 생리적 특성
 - 엽록소함량: Chlorophyll meter로 측정
 - 엽록소 형광: FluorPen으로 측정, 스트레스 정도 추정
 - 생리지수: PolyPen으로 측정, 식물체의 내부 건전성 추정

(b) 품질 분석

- 무기성분 함량, 당함량, 엽록소함량, 색상

(c) 토양 분석

- 물리적(토양수분함량 등) 및 화학적 특성(무기 및 유기성분, pH, EC, 중금속 등)

다) 통계 처리 방법

- T-test

3) 2021년 가을 배추(경산) 연구 결과

가) 전반적인 생육 특성

9월 1일 정식 후 잦은 비와 청명일의 강광 및 고온이 반복되면서 스트레스 상황을 더 자주 겪은 대조구에서 오히려 초기 생육이 좋지 않았고, 결주율이 증가하였음 (표)

표 . 정식 후 시간 경과에 따른 가을 배추 ‘불암3호’의 생육 비교(좌: 대조구, 우: 솔라패널)

촬영일	대조구(control)	처리구 (solar panel)
9월 8일 (정식 1주 후)		
9월 29일 (정식 4주 후)		
11월 2일 (정식 9주 후)		

나) 6주후 생육 특성 (비파괴적 분석)

(a) 솔라패널 하에서 웃자람(도장) 현상이 나타났다.

- 초장과 초형지수, 엽장에서는 솔라패널 설치구와 대조구 간 유의차가 나타나지 않았으나, 초폭과 엽폭은 대조구에서 더 컸으며, 엽형지수는 솔라패널 설치구에서 더 커서 솔라패널 설치구의 배추가 더 길쭉하고 좁은 엽형임을 알 수 있다.

- 이 차이는 솔라패널이 직사광선을 부분적으로 차단하여 생긴 차이로, 직사광선을 받은 대조구의 배추는 순광합성량이 더 많아 초폭이 더 커졌으며 길쭉해진 엽형은 솔라패널 설치구의 배추가 상대적으로 낮은 광도(적은 광량) 하에서 발생한 광부족으로 인한 도장 현상으로 보인다.

(b) 솔라패널 하에서 상품률이 높게 나왔다.

- 정식 전 및 후 잦은 비로 토양 수분이 과다한 상태에서 정식하였는데, 대조구에서는 묘의 활착 전 수분 과다와 강광 및 고온에 의한 스트레스가 심하여 초기 생육이 저조해지면서 상품률이

감소했을 것으로 추론된다.

- 반면, 솔라패널 설치구는 패널이 비가림과 차광 역할을 하여 정식 초기 강광과 고온, 토양수분 과다에 의한 스트레스를 줄였을 것으로 추론된다.

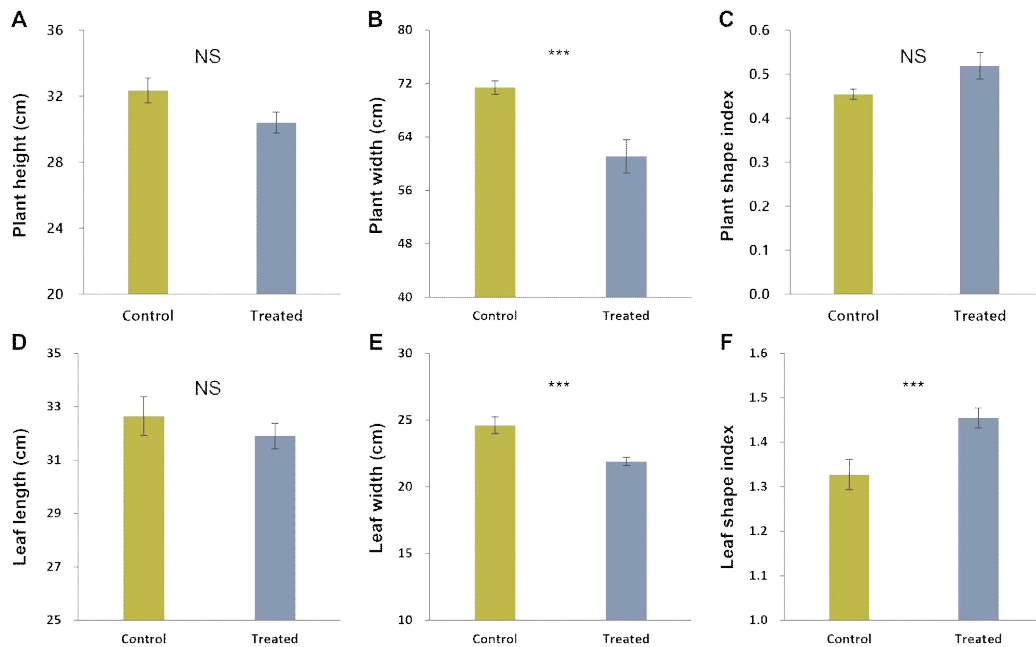
(c) 솔라패널 하에서 결구율이 대조구보다 2배 이상 높다.

- 솔라패널 처리구에서 초기 생육이 좋았으며, 상대적으로 낮은 온도가 결구를 촉진했을 것으로 추론된다.

표 . 정식 6주 후 배추 ‘불암3호’의 생육 특성 비교

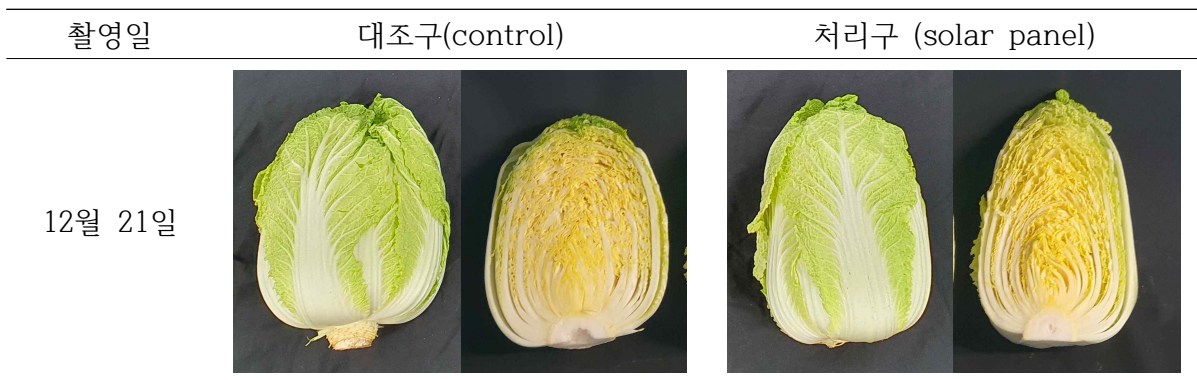
처리	초장 (A, cm)	초폭 (B, cm)	초형지 수(A/B)	엽장 (C, cm)	엽폭 (D, cm)	엽형지 수 (C/D)	상품률 (%)	결구율 (%)
대조구	32.35	71.4	0.45	32.65	24.6	1.33	53	21
솔라패널	30.4	61.1	0.52	31.9	21.9	1.45	75	46
유의성	NS	***	NS	NS	***	***	-	-

NS, ***Non significant or significant at $p \leq 0.001$, respectively.



다) 15주후 생육 특성

표 . 정식 15주 후 가을 배추 ‘불암3호’의 생육 비교(좌: 대조구, 우: 솔라패널)



- 초장과 구폭, 구형지수, 엽장에서는 차이가 없었으나 대조구에서 초폭이 크고 솔라패널의 초형 지수가 높아 솔라패널 설치구의 배추가 더 길쭉한 형태를 하고 있음을 알 수 있다.
- 엽장은 차이가 없으나 대조구의 엽형지수가 높아 솔라패널 설치구의 배추 잎이 더 넓은 형태로 보인다.

표 . 정식 15주 후 배추 ‘불암3호’의 성장 및 형태적 특성 비교

처리	초장 (cm)	초폭 (cm)	초형 지수	구고 (cm)	구폭 (cm)	구형 지수	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	엽형 지수
대조구	34.15	33.68	1.04	27.47	20.04	1.40	35.29	21.32	1.67
솔라패널	33.93	29.49	1.17	30.07	20.15	1.50	35.15	22.55	1.57
유의성	NS	***	**	***	NS	NS	NS	*	**

NS, *, **, *** Non significant or significant at $p \leq 0.05$, 0.10, or 0.001, respectively.

- 최외곽엽의 엽록소 함량(SPAD)은 솔라패널 설치구에서 더 높았음. 솔라패널에 의한 차광으로 광량이 감소하면서 빛을 더 많이 흡수하기 위해 엽록소를 더 생성했을 것임.
- 외부 및 내부 잎의 L, a, b값에서 유의한 차이는 없었음

표 . 정식 15주 후 배추 ‘불암3호’의 엽색 특성 비교

처리	엽록소 함량 (SPAD)	엽색(Hunter's value)					
		외엽			내엽		
		L	a	b	L	a	b
대조구	31.68	74.03	-10.60	31.02	77.82	-8.16	46.07
솔라패널	37.37	76.21	-10.26	29.88	77.68	-8.47	44.40
유의성	***	NS	NS	NS	NS	NS	NS

NS, **, *** Non significant or significant at $p \leq 0.01$ or 0.001, respectively.

- 대조구의 배추가 엽수는 더 적은 반면, 정선 시 손실률은 더 컸음.
- 정선 시 제거하는 외부엽은 결구를 이루지 못한 잎이므로 대조구에서 초기 생육 불량으로 인해 결구가 늦어지면서 정선 손실률이 더 커졌을 것으로 추론됨.

- 주중은 유의차가 없었으나 구중은 솔라패널 설치구가 높았음. 이는 솔라패널구의 낮은 정선 손실률과 높은 수분함량(자료 추후 제시)에 기인한 것으로 보임
- 잎의 경도는 대조구에서 더 높았는데, 이는 상대적으로 많은 광량과 건조한 조건에서 자랐기 때문이라 추정됨.
- 솔라패널구의 높은 결구율은 양호한 초기 생육에 기인한 것으로 보이며, 낮은 냉해율은 낮은 광량(DLI) 및 낮은 VPD에 따른 스트레스 감소와 양호한 결구 형성, 그리고 솔라패널의 물리적 보호물 기능에 기인했을 것으로 추정됨.

표 . 정식 15주 후 배추 ‘불암3호’의 수확 후 품질 특성 비교

처리	엽수	정선수	정선 손실률 (%)	주중 (kg)	구중 (kg)	경도 (kg)	결구율 ^z (%)	냉해율 (%)
대조구	78.65	19.50	24.73	2.95	1.60	2.62	21.9	92.4
솔라패널	84.05	14.58	17.37	2.86	1.95	1.99	65.2	78.5
유의성	**	**	***	NS	**	***	-	-

^z결구율 = 상품률.

NS, **, *** Non significant or significant at $p \leq 0.01$ or 0.001 , respectively.

- 당 함량은 처리구간 차이가 나타나지 않음.

표 . 정식 15주 후 배추 ‘불암3호’의 당 함량 비교

처리	Fructose(g/100g)	Glucose(g/100g)
대조구	2.17	2.76
솔라패널	1.49	1.58
유의성	NS	NS

- 질소와 인은 유의차가 나지 않으며, 칼륨은 패널구가 대조구보다 함량이 높았음

표 . 정식 15주 후 배추 ‘불암3호’의 수확 후 대량원소 함량 비교

처리	N(%)	P(%)	K(%)
대조구	2.21	0.56	3.40
솔라패널	2.72	0.61	4.24
유의성	NS	NS	*

- 구리함량은 대조구가 패널구보다, 칼슘함량은 패널구가 대조구보다 높았으며, 이외의 미량원소 함량 차이는 유의차가 없었다

표 . 정식 15주 후 배추 ‘불암3호’의 미량원소 함량 비교

성분	S(%)	Ca(%)	Mg(%)	Fe(mg/kg)	Cu(mg/kg)	Mn(mg/kg)	Na(%)
대조구	0.35	0.40	0.13	6.13	11.44	10.51	0.09
솔라패널	0.40	0.62	0.14	7.65	8.76	12.50	0.13
유의성	NS	*	NS	NS	*	NS	NS

라) 단위 면적당 수확량

- 10a당 수확량은 정선 전 수확량이 대조구 9.63t, 패널구 7.70t으로 패널구의 수확량이 대조구의 약 80%였으나, 정선 후 수확량은 대조구 5.23t, 패널구 5.24t으로 거의 같았다.

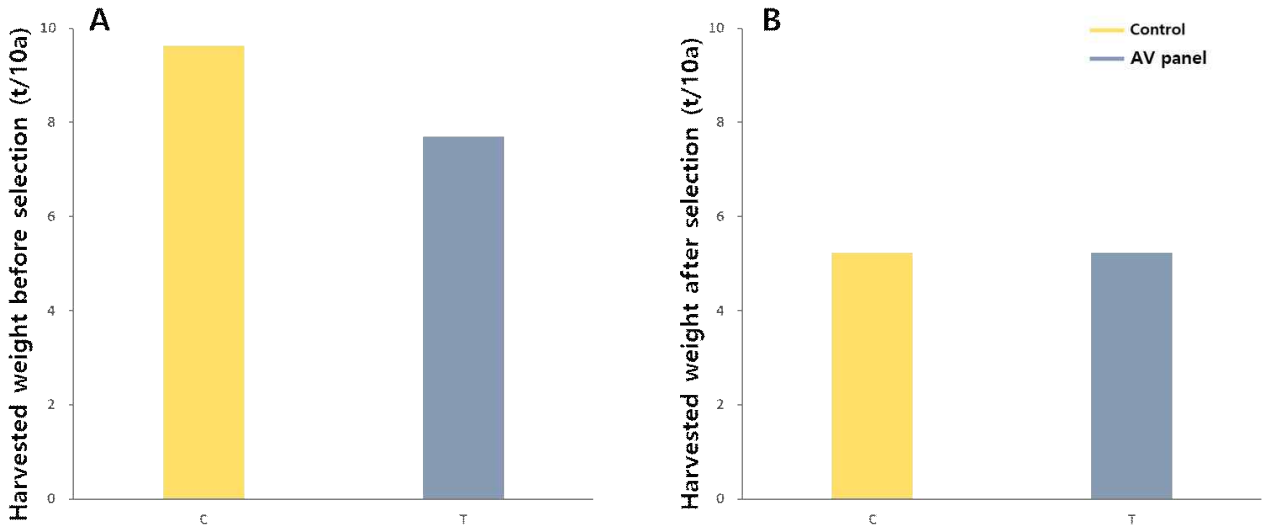
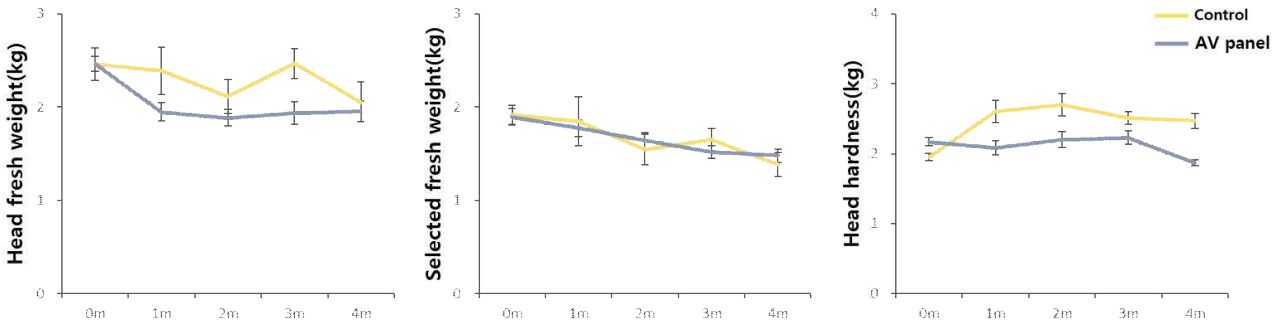


그림 . 정식 15주 후 10a당 정선 전(A), 정선 후(B) 수확량 비교

마) 수확 후 저장 특성

- 구중과 구 경도는 처음 이외에는 대조구가 계속하여 높게 유지되는 경향을 보였고, 정선중은 변동이 조금씩 있으나 전체적으로 비슷하게 가는 모습을 보였다.



바) 환경 특성

- 일적산광량(DLI)은 솔라패널 설치구에 비해 대조구가 약 2배까지 컸음.

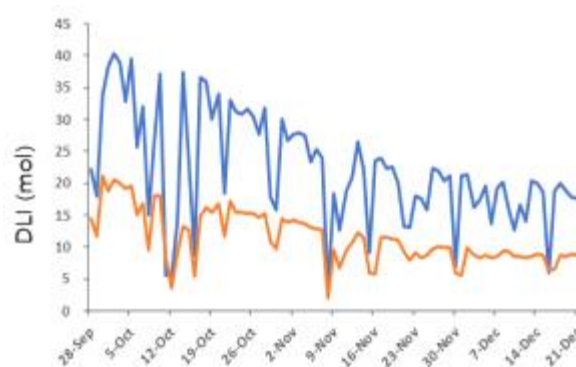


그림 . 정식 후 5주~15주간 실험구별 광환경

- 기온은 솔라패널 설치에 관계없이 둘이 거의 동일했다.

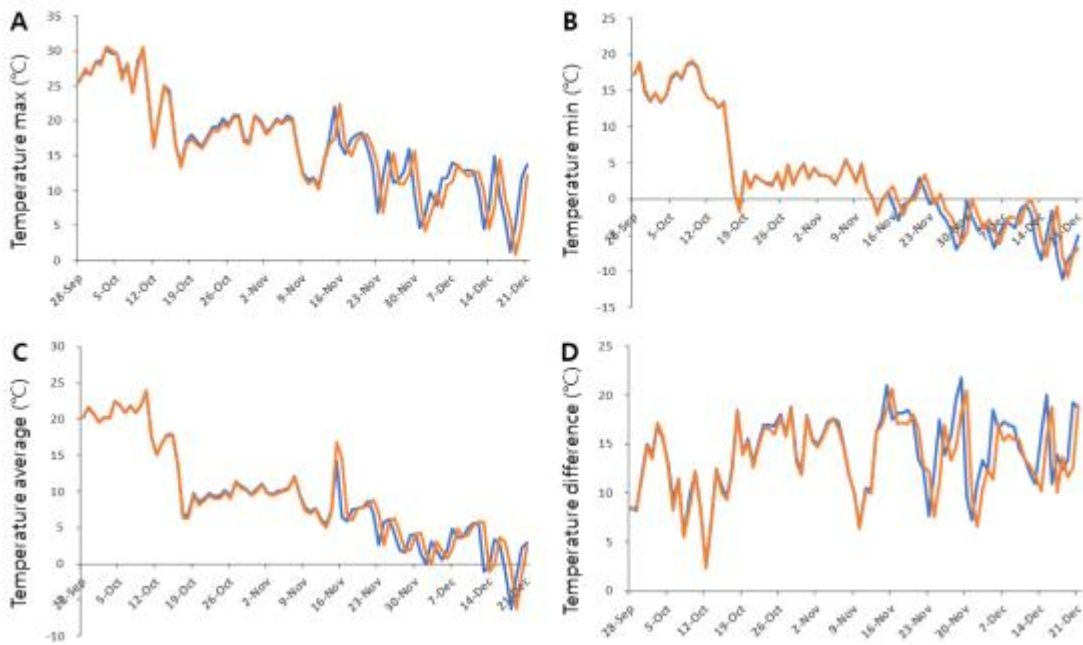


그림 . 정식 후 5주~15주간 실험구별 기온
(A: 일최대기온, B: 일최소기온, C: 일평균기온, D:주야간일교차)

- 토양온도는 대조구에서 더 높으며, 일교차는 솔라패널 설치구에서 더 큰 경향을 보였다.

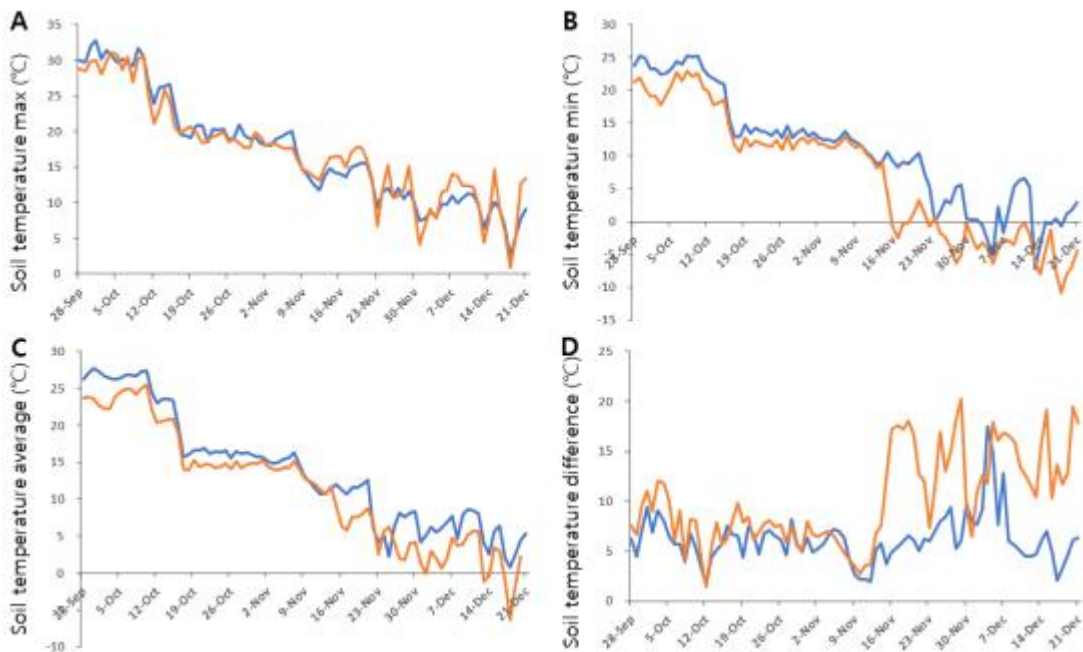


그림 . 정식 후 5주~15주간 실험구별 토양온도
(A: 일최대토양온도, B: 일최소토양온도, C: 일평균토양온도, D:주야간일교차)

- 상대습도는 기온과 유사하게 처리구간 차이가 나지 않았다.

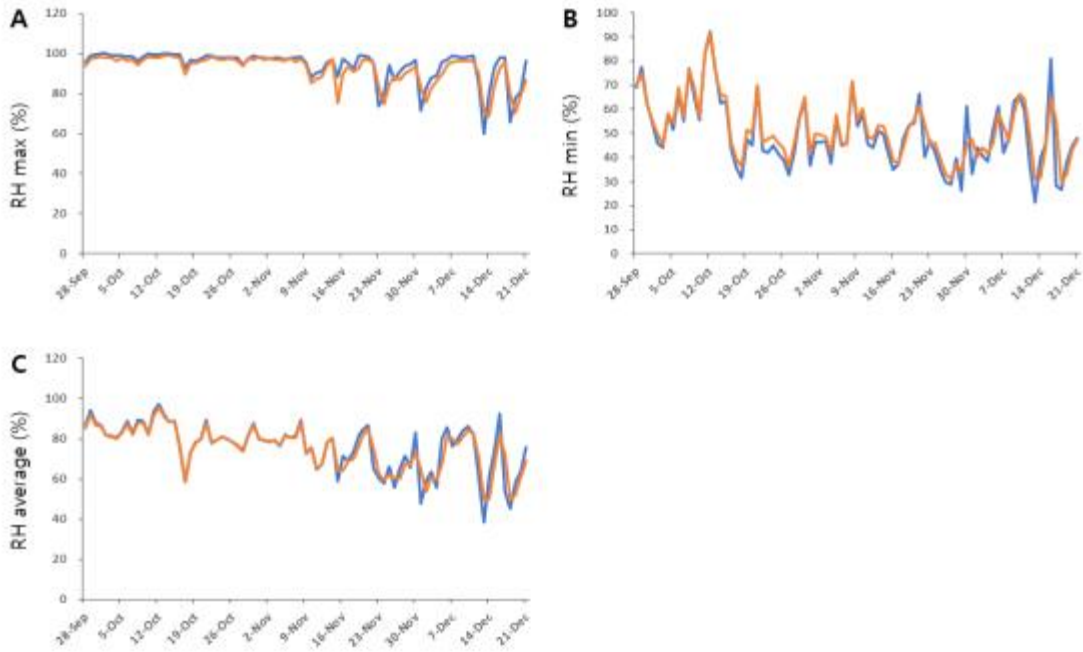


그림 24. 정식 후 5주~15주간 실험구별 상대습도(RH)
 (A: 일최대 상대습도, B: 일최소 상대습도, C: 일평균 상대습도)

- 포화수증기압차(VPD)의 최대치와 평균치는 대조구에서 근소하게 높은 경향을 보이거나 최소치는 솔라패널 설치구에서 더 높았다.

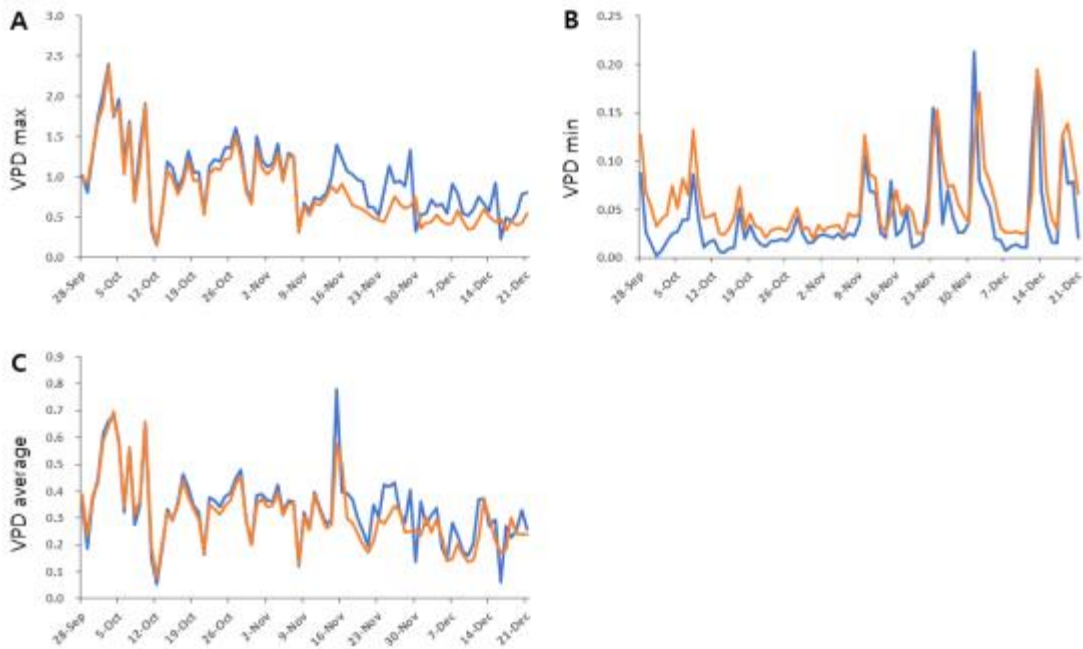


그림 25. 정식 후 5주~15주간 실험구별 수증기압차(VPD)
 (A: 일최대 VPD, B: 일최소 VPD, C: 일평균 VPD)

시) 결론

- 이번 실험의 결과만 본다면, 솔라패널 구에서 상품률이 높았고 구중이 더 커서 대조구 대비 생산성이 높았음. 다만 솔라패널구에서 상대적으로 부드럽고 도장한(길죽한) 상품이 생산되었음.
 - 정식 초기의 환경조건이 대조구의 생육에 매우 부정적이었기 때문에 결론을 내리기에는 다소 무리가 있으나, 대조구는 초기 환경으로 인한 생육 불량에 이후 상품률과 결구율에 영향을 미치고, 이것이 다시 정선 시의 손실률까지 영향을 미쳤다 볼 수 있음. 결과적으로 결구된 배추 수에도 차이가 생기고, 비슷한 크기의 배추를 수확하더라도 정선을 거치면 결구 크기에도 차이가 생겨 최종 생산량을 감소시키게 된 것으로 보임.
 - 가을배추의 정식기 솔라패널에 의해 조성된 환경 조건(낮은 DLI, 낮은 VPD)이 대조구에 비해 배추의 묘 활착과 초기 생육에 상대적으로 적절하여 이후 성장 및 결구에는 좋았을 것임
 - 활착 이후 솔라패널구의 부족한 광량으로 인해 초형지수 등 형태적 측면에서 약간 도장(웃자람)하였고 경도가 낮았던 것으로 판단됨.
- * 현재 건물중 및 함수율, 체내 무기성분 및 당류 함량을 측정하고 있으며, 이 데이터가 확보되면 좀더 구체적인 결과를 제시할 수 있을 것임.

4) 2022년 봄 배추(경산) 연구 재료 및 방법

가) 실험재료 및 재배 환경

- 식물 재료 : 배추 ‘불암3호’ 과종 30일 차 실생묘
- 정식일 : 2022년 4월 27일
- 재식장소 : 영남대 영농형 태양광 실증센터 (대조구, 솔라패널 설치구)

표 . 정식 전 묘소질

	초장	엽수	엽장	엽폭	생체중	건물중
평균	3.46	3.16	3.74	2.86	0.81	0.14
S.D.	0.23	0.13	0.10	0.09	0.06	0.01

나) 특성 조사

(a) 생육 특성 조사

- 단위면적당 주수 : 3.3m²당 심겨진 포기 수(이미 식재단계에 결정됨)
 - (조사면적에 심어진 배추 포기 수 × 3.3m²) ÷ 조사면적(가로 × 세로)
 - 태양광 시스템 설치로 인한 식재면적 감소율 추정(선행 연구 : 30% 감소)
- 초장(cm) : 지면에서부터 식물 최상단부까지의 길이
- 초폭(cm) : 개체의 가장 긴 폭
 - 초형지수(plant shape index) : 초장/초폭
- 엽장(cm) : 최장엽의 길이
- 엽폭(cm) : 최장엽의 폭
 - 엽형지수(leaf shape index) : 엽장/엽폭
- 엽수 : 배추 한 포기 중 엽장이 1cm 이상 되는 잎의 수(외엽수와 내엽수로 구분)
- 생리적 특성
 - 엽록소함량: Chlorophyll meter로 측정

(b) 품질 분석

- 무기성분 함량, 당함량, 엽록소함량






5) 2022년 봄 배추(경산) 연구 결과

가) 전반적인 생육 특성

대조군의 생장이 패널구에 비해 우세하다가 마지막에 차이가 좁아지는 모습을 보임(표). 약 4주경부터 엽색이 노랗게 변색되는 현상을 보이다가, 7~8주부터 대조구와 패널구 양쪽에서 무름병으로 배추가 썩기 시작하여 9주차에는 대조구에서 84.58%, 패널구에서 73.96%의 배추가 무름병 증상을 보여 제대로 된 배추를 수확하지 못했다.

정식 9주 후 상태가 좋지 않아 미성숙 개체를 수확, 측정하였다.

표 . 정식 후 시간 경과에 따른 봄 배추 ‘불암3호’의 생육 비교(좌: 대조구, 우: 솔라패널)

촬영일	대조구	처리구
5월 18일		
6월 09일		
6월 30일		

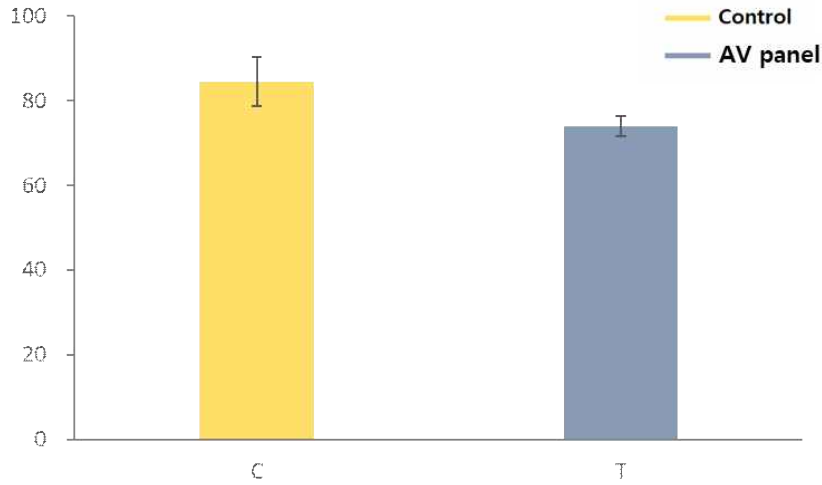


그림 . 정식 9주 후 무름병 발생 비율

나) 9주후 생육 특성

- 초형에 있어서는 처리구간 차이가 나타나지 않았음.

표 . 정식 9주 후 배추 '불암3호'의 생장 및 형태적 특성 비교

처리	초장	초폭	초형지수
대조구	29.90	66.55	0.45
슬라패널	28.85	66.30	0.44
유의성	NS	NS	NS

- 엽형 또한 처리구간에 차이가 나타나지 않았음.

표 . 정식 9주 후 배추 '불암3호'의 엽 형태 특성 비교

처리	엽장	엽폭	엽형지수	SPAD
대조구	33.60	19.45	1.78	35.62
슬라패널	33.00	20.60	1.63	34.32
유의성	NS	NS	NS	NS

- 생체중은 대조구와 패널구가 유사하였으나, 패널구에서 건물중이 더 작고 수분함량이 더 높았음.

표 . 정식 9주 후 배추 '불암3호'의 수확 후 품질 특성 비교

처리	엽수	생체중	건물중	수분함량
대조구	23.50	422.87	33.03	92.11
슬라패널	22.05	419.50	29.22	93.01
유의성	NS	NS	*	***

- 당 함량은 처리구간 차이가 나타나지 않음.

표 . 정식 9주 후 배추 '불암3호'의 당 함량 비교

처리	Fructose(g/100g)	Glucose(g/100g)
대조구	0.295	0.679
슬라패널	0.274	0.57
유의성	NS	NS

- 질소와 칼륨 모두 패널구가 대조구보다 함량이 높았음

표 . 정식 9주 후 배추 '불암3호'의 수확 후 대량원소 함량 비교

처리	N(%)	P(%)	K(%)
대조구	3.964	0.523	4.566
슬라패널	5.004	0.575	4.981
유의성	***	NS	*

- 황과 철분, 나트륨 함량은 대조구가 패널구보다 높았으며, 칼슘 함량은 패널구에서 더 높았음.

표 . 정식 9주 후 배추 '불암3호'의 미량원소 함량 비교

처리	S(%)	Ca(%)	Mg(%)	Fe(mg/kg)	Cu(mg/kg)	Mn(mg/kg)	Na(%)
대조구	0.682	1.554	0.419	4.113	4.021	26.711	0.231
슬라패널	0.625	1.918	0.254	2.805	4.169	29.396	0.154
유의성	*	*	NS	*	NS	NS	**

다) 단위 면적당 수확량

- 10a당 수확량은 정선 전 수확량이 대조구 5.52t, 패널구 4.52t으로 대조구의 수확량은 패널구에 비해 약 82%였다.

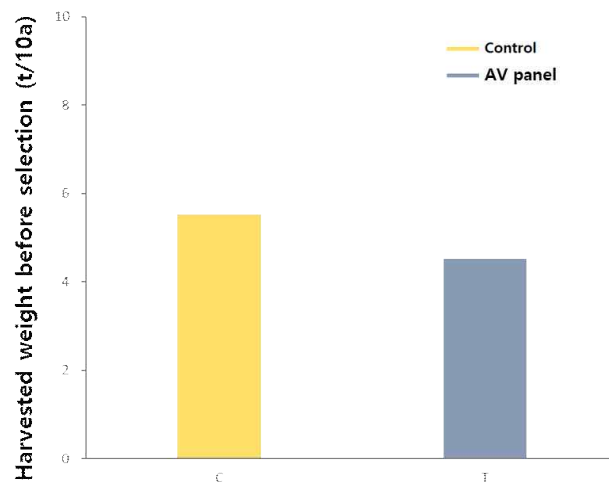
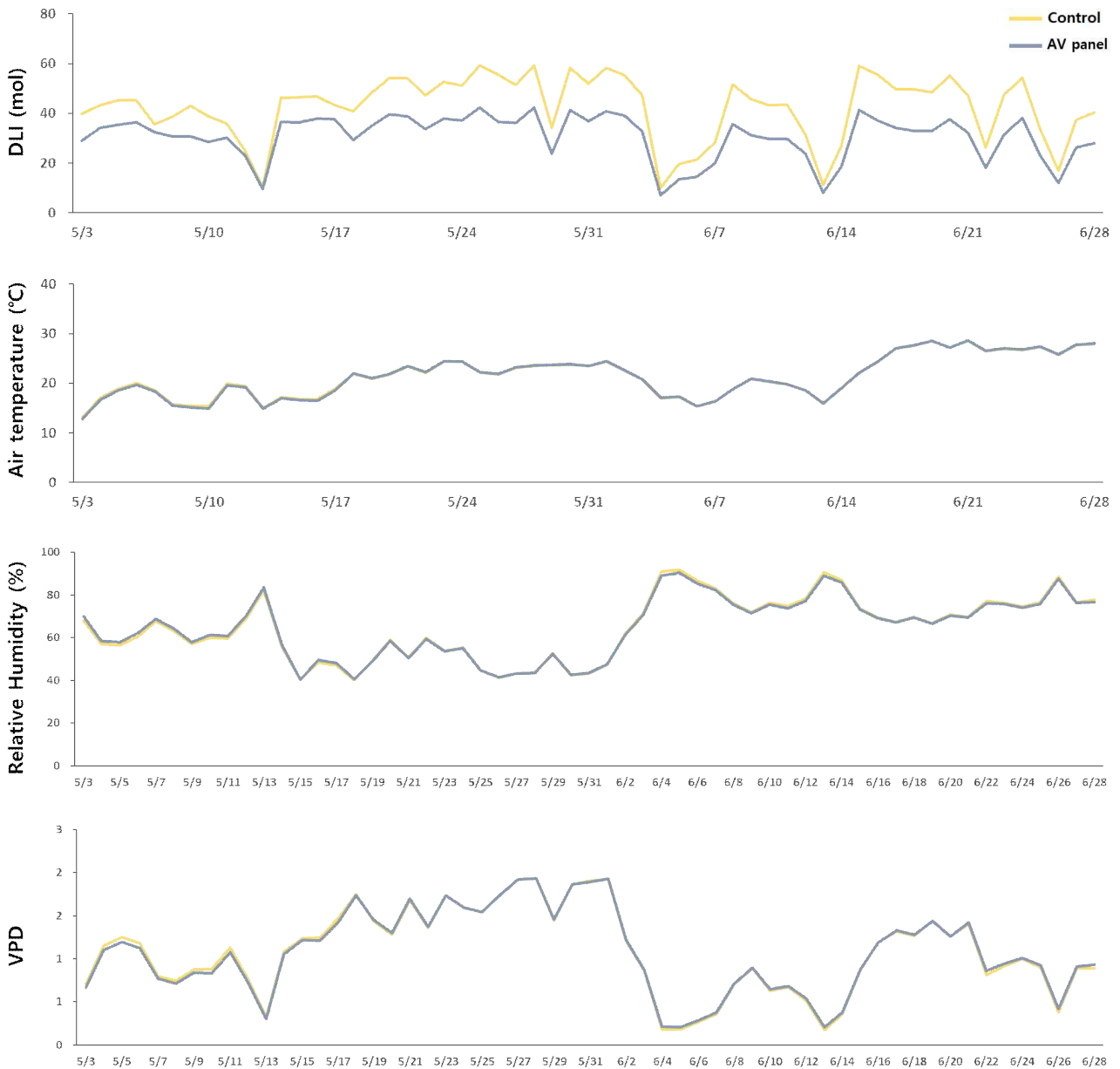


그림 . 정식 9주 후 10a당 정선 전 수확량 비교

라) 환경 특성

- 패널구의 평균 DLI는 대조구에 비해 약 평균 72% 수준이었음(맑은 날에는 약 70%, 흐린 날에는 90% 이상).
- 이외에 기온, 상대습도, 포화수증기압차는 차이가 거의 없었다.



6) 2022년 봄 배추(수원) 연구 재료 및 방법

가) 실험재료 및 재배 환경

- 식물 재료 : 배추 ‘불암3호’ 파종 30일 차 실생묘
- 정식일 : 2022년 4월 26일
- 재식장소 : 수원 영농형 태양광 실증센터 (대조구, 솔라패널 설치구)

표 . 정식 전 묘소질

	초장	엽수	엽장	엽폭	생체중	건물중
평균	3.46	3.16	3.74	2.86	0.81	0.14
S.D.	0.23	0.13	0.10	0.09	0.06	0.01

나) 특성 조사

(a) 생육 특성 조사

- 단위면적당 주수 : 3.3m²당 심겨진 포기 수(이미 식재단계에 결정됨)
 - (조사면적에 심어진 배추 포기 수 × 3.3m²) ÷ 조사면적(가로 × 세로)
 - 태양광 시스템 설치로 인한 식재면적 감소율 추정(선행 연구 : 30% 감소)
- 초장(cm) : 지면에서부터 식물 최상단부까지의 길이
- 초폭(cm) : 개체의 가장 긴 폭
 - 초형지수(plant shape index) : 초장/초폭
- 엽장(cm) : 최장엽의 길이
- 엽폭(cm) : 최장엽의 폭
 - 엽형지수(leaf shape index) : 엽장/엽폭
- 엽수 : 배추 한 포기 중 엽장이 1cm 이상 되는 잎의 수(외엽수와 내엽수로 구분)
- 생리적 특성
 - 엽록소함량: Chlorophyll meter로 측정

다) 통계 처리 방법

- T-test





7) 2022년 봄 배추(수원) 연구 결과

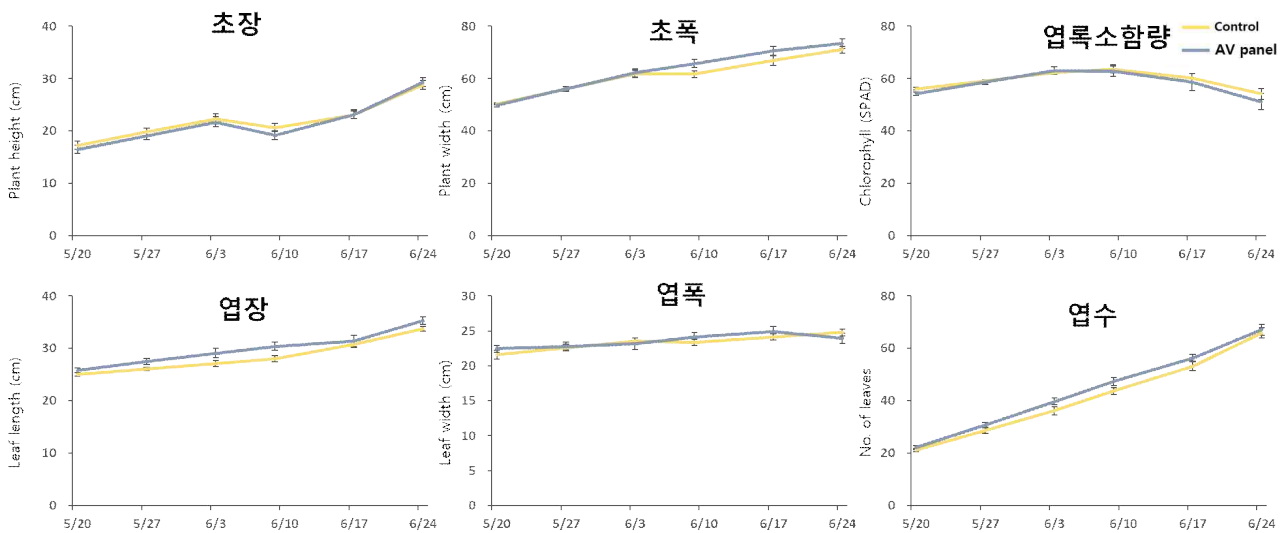
가) 전반적인 생육 특성

초장과 엽록소함량, 엽폭은 패널구가 생장기간동안 대조구보다 낮거나 비슷한 모습을 보였지만, 나머지 항목에서는 오히려 패널구의 생장이 근소하게 우세하였다.

경작지의 문제로 인해 장마가 시작되자 밭 전체가 침수, 배추가 심한 피해를 받아 제대로 성장하지 못했다. 상태가 심하게 좋지 못해 수확은 하지 못하였다.

표 . 정식 후 시간 경과에 따른 봄 배추 '불암3호'의 생육 비교(좌: 대조구, 우: 솔라패널)

촬영일	대조구	처리구
4월 26일		
7월 04일		



8) 2022년 가을 배추(경산) 연구 재료 및 방법

가) 실험재료 및 재배 환경

- 식물 재료 : 배추 ‘불암3호’ 파종 30일 차 실생묘
- 정식일 : 2022년 9월 3일
- 재식장소 : 수원 영농형 태양광 실증센터 (대조구, 솔라패널 설치구)

표 . 정식 전 묘소질

	초장	엽수	엽장	엽폭	생체중	건물중
평균	3.28	3.62	4.27	2.58	0.82	0.14
S.D.	0.10	0.18	0.10	0.13	0.03	0.01

나) 특성 조사

(a) 생육 특성 조사

- 단위면적당 주수 : 3.3m²당 심겨진 포기 수(이미 식재단계에 결정됨)
 - (조사면적에 심어진 배추 포기 수 × 3.3m²) ÷ 조사면적(가로 × 세로)
 - 태양광 시스템 설치로 인한 식재면적 감소율 추정(선행 연구 : 30% 감소)
- 초장(cm) : 지면에서부터 식물 최상단부까지의 길이
- 초폭(cm) : 개체의 가장 긴 폭
 - 초형지수(plant shape index) : 초장/초폭
- 엽장(cm) : 최장엽의 길이
- 엽폭(cm) : 최장엽의 폭
 - 엽형지수(leaf shape index) : 엽장/엽폭
- 엽수 : 배추 한 포기 중 엽장이 1cm 이상 되는 잎의 수(외엽수와 내엽수로 구분)
- 생리적 특성
 - 엽록소함량: Chlorophyll meter로 측정

다) 통계 처리 방법

- T-test

9) 2022년 가을 배추(경산) 연구 결과



가) 전반적인 생육 특성

전체 실험 중 가장 양호하고 균일한 성장을 이뤘다.

표 . 정식 후 시간 경과에 따른 봄 배추 '불암3호'의 생육 비교(좌: 대조구, 우: 솔라패널)

촬영일	대조구	처리구
9월 06일		
10월 24일		
11월 22일		

표 . 정식 12주 후 시간 경과에 따른 가을 배추 '불암3호'의 생육 비교(좌: 대조구, 우: 솔라패널)

촬영일	대조구(control)	패널구 (solar panel)
12월 21일		

나) 수확 후 생육 및 품질 특성

- 패널구가 대조구에 비해 구폭은 작고 구형지수는 높아 전체적으로 결구가 길쭉한 형태를 띠었으며, 엽형에 있어서는 처리구간 차이를 보이지 않았다.

표 . 정식 주 후 배추 '불암3호'의 생장 및 형태적 특성 비교

처리	구고	구폭	구형지수	엽장	엽폭	엽형지수
대조구	29.35	20.40	1.45	33.00	18.95	1.79
솔라패널	30.30	17.85	1.72	33.40	18.90	1.78
유의성	NS	**	***	NS	NS	NS

- 대조구의 경도가 패널구보다 높았으며, 이외는 차이가 없었다.

표 . 정식 주 후 배추 '불암3호'의 수확 후 품질 특성 비교

처리	엽수(/4)	구중	경도	SPAD	구중-생	구중-건	함수율
대조구	20.20	2.86	2.02	42.00	305.05	119.06	63.50
솔라패널	20.85	3.16	1.76	43.67	331.97	19.45	94.05
유의성	NS	NS	*	NS	NS	NS	NS

- Sucrose는 대조구가, Glucose는 패널구쪽이 더 함량이 많은 모습을 보였다.

표 . 정식 주 후 배추 '불암3호'의 당 함량 비교

처리	Sucrose(%)	Fructose(%)	Glucose(%)
대조구	1.32	8.15	6.86
솔라패널	1.19	8.18	7.42
유의성	*	NS	**

- 대조구에서는 N이, 패널구에서는 K의 함량이 더 높았다.

표 . 정식 주 후 배추 '불암3호'의 대량원소 함량 비교

처리	N(%)	P(%)	K(%)
대조구	3.04	0.63	3.88
솔라패널	2.76	0.66	4.30
유의성	*	NS	*

- Ca와 Fe, Cu, Mn의 함량이 패널구에서 더 높았으며 이외에는 비슷한 모습을 보였다.

표 . 정식 주 후 배추 '불암3호'의 미량원소 함량 비교

처리	S(%)	Ca(%)	Fe(mg/kg)	Cu(mg/kg)	Mn(mg/kg)	Na(%)
대조구	0.60	0.49	45.14	3.64	18.20	0.11
솔라패널	0.61	0.69	60.53	3.91	19.66	0.13
유의성	NS	*	***	*	*	NS

- 결구의 무게와 정선 후 무게는 둘 다 대조구에서 조금 낮다가 마지막에 역전하는 모습을 보였으며, 경도는 대조구에서 지속적으로 높았다.

다) 단위 면적당 수확량

- 정선 전 수확량은 패널구가 9.34t/10a으로 대조구의 8.50t/10a에 비해 약 91%, 정선후는 대조구 7.97t/10a, 패널구 7.15t/10a로 패널구 수확량이 대조구의 약 90%였음.

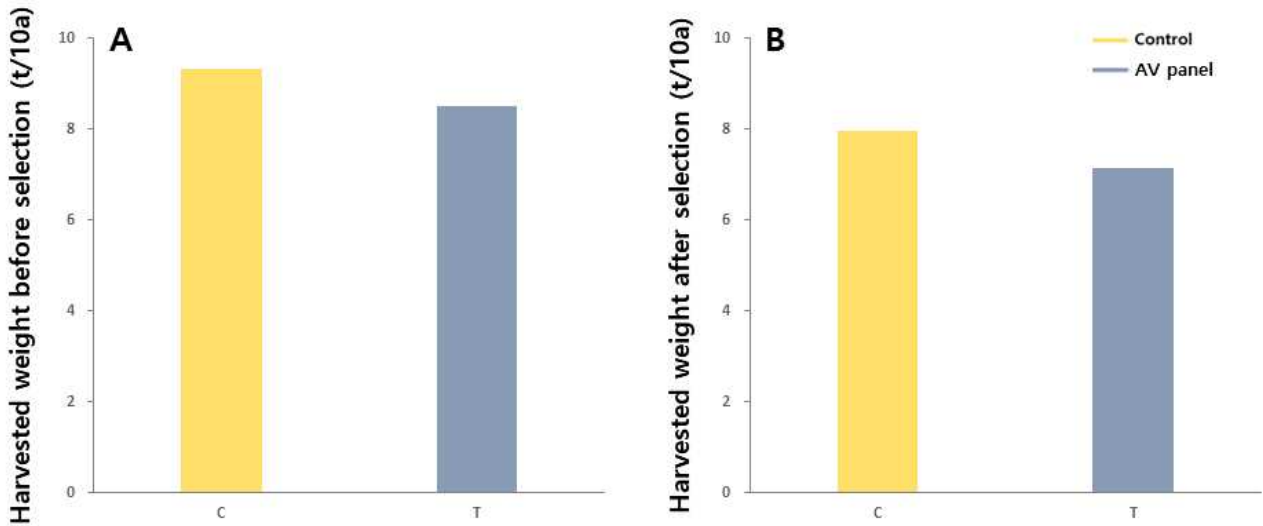
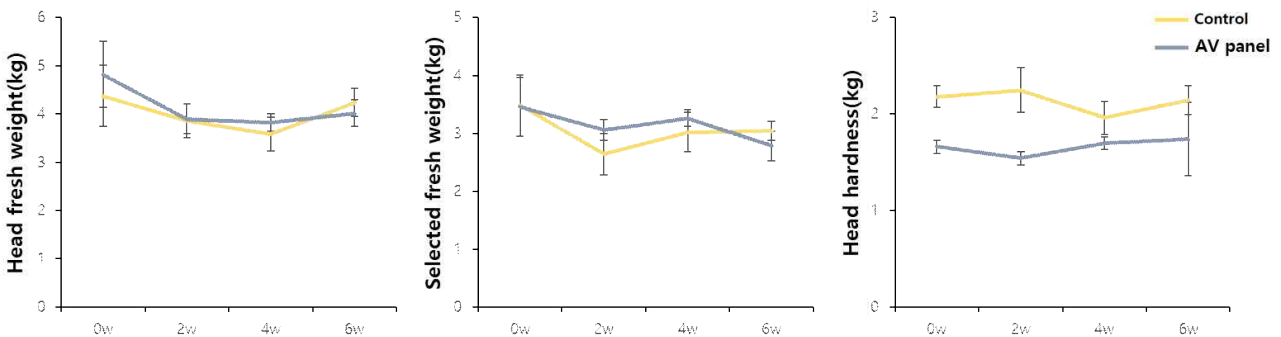


그림 . 정식 15주 후 10a당 정선 전(A), 정선 후(B) 수확량 비교

라) 저장 특성

- 결구의 무게와 정선 후 무게는 둘 다 대조구에서 조금 낮다가 마지막에 역전하는 모습을 보였으며, 경도는 대조구에서 지속적으로 높았다.



10) 2022년 가을 배추(수원) 연구 재료 및 방법

가) 실험재료 및 재배 환경

- 식물 재료 : 배추 ‘불암3호’ 파종 30일 차 실생묘
- 정식일 : 2022년 9월 25일
- 수확일 : 2022년 11월 22일
- 재식장소 : 수원 영농형 태양광 실증센터 (대조구, 솔라패널 설치구)

표 . 정식 전 묘소질

	초장	엽수	엽장	엽폭	생체중	건물중
평균	3.28	3.62	4.27	2.58	0.82	0.14
S.D.	0.10	0.18	0.10	0.13	0.03	0.01

나) 특성 조사

(a) 생육 특성 조사

- 단위면적당 주수 : 3.3m²당 심겨진 포기 수(이미 식재단계에 결정됨)
 - (조사면적에 심어진 배추 포기 수 × 3.3m²) ÷ 조사면적(가로 × 세로)
 - 태양광 시스템 설치로 인한 식재면적 감소율 추정(선행 연구 : 30% 감소)
- 초장(cm) : 지면에서부터 식물 최상단부까지의 길이
- 초폭(cm) : 개체의 가장 긴 폭
 - 초형지수(plant shape index) : 초장/초폭
- 엽장(cm) : 최장엽의 길이
- 엽폭(cm) : 최장엽의 폭
 - 엽형지수(leaf shape index) : 엽장/엽폭
- 엽수 : 배추 한 포기 중 엽장이 1cm 이상 되는 잎의 수(외엽수와 내엽수로 구분)
- 생리적 특성
 - 엽록소함량: Chlorophyll meter로 측정

다) 통계 처리 방법

- T-test

11) 2022년 가을 배추(수원) 연구 결과

가) 전반적인 생육 특성

지속된 강우로 재식시기가 늦었으며, 경작지의 문제로 인해 밭 전체가 침수된 상태가 지속, 배추가 심한 피해를 받아 제대로 성장하지 못했음

표 . 정식 후 시간 경과에 따른 가을 배추 '불암3호'의 생육 비교(좌: 대조구, 우: 솔라패널)







촬영일	대조구	처리구
9월 29일		
11월 29일		

표 . 정식 8주 후 가을 배추 '불암3호'의 생육 비교(좌: 대조구, 우: 솔라패널)

촬영일	대조구(control)	패널구 (solar panel)
12월 21일		

나) 주후 생육 특성

표 . 정식 8주 후 배추 '불암3호'의 수확 후 품질 특성 비교

처리	구중	생체중	건물중	함수율
대조구	1.33	186.27	13.11	92.91
솔라패널	1.19	181.51	10.90	93.97
유의성	NS	NS	*	**

- Sucrose는 대조구에서, Glucose는 패널구에서 더 높은 함량을 보였으며, Fructose는 유의차를 보이지 않았다.

표 . 정식 8주 후 배추 ‘불암3호’의 수확 후 당 함량 비교

처리	Sucrose(mg/kg)	Glucose(mg/kg)	Fructose(mg/kg)
대조구	1.32	6.86	8.15
솔라패널	1.19	7.42	8.18
유의성	*	**	NS

- 대조구에서는 N함량이, 패널구에서는 K함량이 높았다.

표 . 정식 8주 후 배추 ‘불암3호’의 수확 후 대량원소 함량 비교

처리	N(%)	P(%)	K(%)
대조구	3.04	0.63	3.88
솔라패널	2.76	0.66	4.30
유의성	**	NS	***

- Ca, Fe, Cu, Mn이 패널구에서 더 높은 함량을 보였고, 이외에는 차이를 보이지 않았다.

표 . 정식 8주 후 배추 ‘불암3호’의 수확 후 미량원소 함량 비교

처리	S(%)	Ca(%)	Fe(mg/kg)	Cu(mg/kg)	Mn(mg/kg)	Na(%)
대조구	0.60	0.49	45.14	3.64	18.20	0.11
솔라패널	0.61	0.69	60.53	3.91	19.66	0.13
유의성	NS	**	**	*	*	NS

다) 단위 면적당 수확량

- 정선 전 수확량은 각각 대조구 5.13t/10a, 패널구 3.68t/10a으로 패널구의 수확량이 대조구에 비해 약 72%의 비율을 보였다.

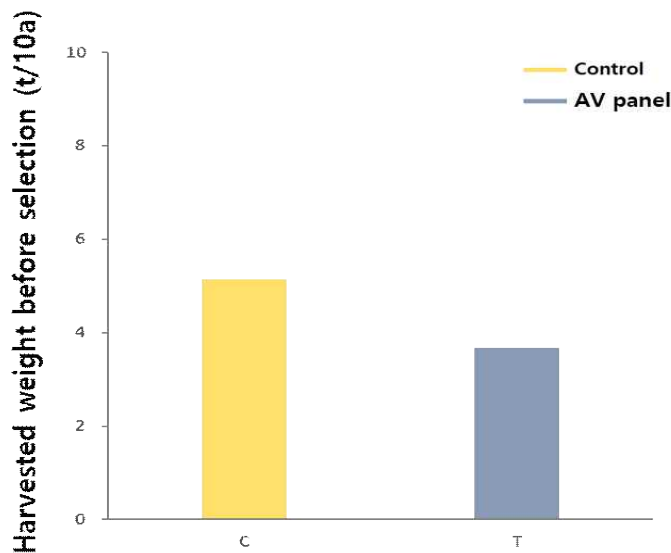


그림 . 정식 8주 후 10a당 정선 전 수확량 비교

12) 결론

가) 전반적 생육 특성

- 솔라패널 하에서 웃자람(도장) 현상이 나타났다.
 - 일반적으로 초형지수나 구형지수가 패널구에서 높거나 같아서 패널구의 배추가 더 길쭉하고 좁은 엽형임을 알 수 있다.
 - 이 차이는 솔라패널이 직사광선을 부분적으로 차단하여 생긴 차이로, 직사광선을 받은 대조구의 배추는 순광합성량이 더 많아 초폭이 더 커졌으며 길쭉해진 엽형은 솔라패널 설치구의 배추가 상대적으로 낮은 광도(적은 광량) 하에서 발생한 광부족으로 인한 도장 현상으로 보인다.
- 솔라패널 하에서 엽색이 짙다
 - 솔라패널 하의 배추는 대조구에 비해 엽색이 비슷하거나 진한 것으로 보이는데, 이는 솔라패널에 의한 차광으로 광량이 감소하면서 빛을 더 많이 흡수하기 위해 엽록소를 더 생성했기 때문으로 보인다.

나) 수확 후 생육 및 품질 특성

- 솔라패널 하에서 수분함량이 더 높다
 - 생체중에서는 차이가 많이 보이지 않으나, 패널구에서 건물중이 작으며 수분함량이 높으며, 경도가 떨어지는 경우가 많다.
 - 대조구에서는 햇빛을 가리는 것이 없지만, 패널구에서는 지면에 직사광선이 닿는 것을 솔라패널이 일정부분 차단하기 때문에 식물체의 증산활동이 적으며, 지온 또한 더 낮아 지면에서 증발하는 수분량도 적기 때문으로 보인다.
- 솔라패널 하에서 특정 성분 함량이 더 높다
 - 패널구 배추의 성분을 분석하면 대조구에 비하여 당류 중에서는 Sucrose는 적은 편이나 오히려 Glucose는 함량이 높은 모습을 보이며, 대량원소 중에서는 주로 K가, 미량원소 중에서는 주로 Ca, Fe, Cu, Mn이 대조구에서 더 높은 함량을 보인다.

다) 환경 특성

- 패널구의 평균 DLI는 대조구에 비해 맑은 날에 50~70%, 흐린 날에는 90%이상으로 평균 70%대 수준이었다.
- 환경센서가 백엽상 내부에 있는 특성상 식물과는 달리 복사열의 영향을 받지 않아 기온은 차이를 보이지 않았으나 지온은 차이를 보였는데, 이는 솔라패널의 음영으로 인해 지면에 도달하는 직사광선이 적기 때문이다. 식물체 또한 지온과 유사하게 복사열의 영향을 받는 것으로 추정된다.
- VPD는 습도가 낮을수록, 온도가 높을수록 커지기에 대조구가 패널구보다 좀 더 증발산량이 많았을 것으로 보인다.

라) 단위면적당 수확량


- 2020년 가을 실험의 결과에선 솔라패널 구에서 상품률이 높았고 구중이 더 커서 대조구 대비 생산성이 높았다(이 부분은 단위면적당 수확량에서는 볼 수 없는 부분으로, 단위면적당 수확량은 건전한 식물체가 있는 부분을 기준으로 측정했기 때문이다). 다만 솔라패널구에서 상대적으로 부드럽고 도장한(길쭉한) 상품이 생산되었다. 이것은 정식 초기 환경조건이 대조구의 생육에 매우 부정적이었기 때문에 나타났던 현상으로, 실제로 2021년 가을 실험에서는 양쪽 실험구 모두에서 탈락한 개체가 거의 없이 98%가 넘는 생존율 및 결구율을 보였고, 생체중의 차이는 거의 없었기 때문에 솔라패널 설치 면적에 의한 경작면적 감소가 단위면적당 수확량에 가장 큰 영향을 끼친 것으로 보인다.

- 일반적인 상황에서는 벗어나, 이상기후로 인하여 기온이나 강우량이 배추 재배의 적정 기후에서 벗어날 시, 2020년 가을 실험에서 보이듯 솔라패널이 햇빛을 가려 광합성량을 줄이는 것이 아닌, 강광에 대한 차광효과와 어느정도의 비가림역할을 제공하여 부정적인 환경에서 배추의 생육에 대해 도움이 될 수 있을 것으로 생각된다.

13) 영농형 태양광 구조물 적용 시 노하우 정리표 (배추)

생육단계	적용내용
유묘기	가뭄시 스프링클러이용 추가 관수 멀칭으로 수분 증발 방지
경엽신장기	시비시 규산질 비료 추가 시용 질소질 비료 관행 대비 1/3시용
결구기	필요시 추가 관수 요구

14) 배추 시험 성적서 증빙자료

발급번호 : U-22-01110				
분석 성적서				
① 의뢰인	성명	영남대학교산학협력단	사업자등록번호	515-82-06574
	주소	우편번호38541 경상북도 경산시 대학로 280, 산학협력단		
② 의뢰내용	대상 물품명	C 1		
	용도	실험 결과 보고용		
③ 분석(시험) 성적				
항목		성적(단위)	항목	성적(단위)
프럭토스		0.29 g/100g		
글루코스		0.63 g/100g		
수크로스		0.00 g/100g		
락토오스		0.00 g/100g		
말토오스		0.00 g/100g		
Fe		4.59 mg/100g		
		이하여백		
④ 비 고				
「분석시험 의뢰 및 처리규칙」 제4조의 규정에 의하여 2022년 08월 04일자로 의뢰한 시료에 대한 분석(시험) 성적입니다.				
이 성적은 신청인이 제출한 시료를 분석한 것으로 관련사항 이외의 선전 소송 등 증거자료로 사용하지할 수 없습니다.			2022년 08월 24일	
한국농업기술진흥원장				

KGAT 분석(시험) 성적서

① 의뢰인	성명	영남대학교산학협력단	사업자등록번호	515-82-06574
	주소	우편번호38541 경상북도 경산시 대학로 280, 산학협력단		
② 의뢰내용	시료명	C 1		
	접수번호	분석의뢰-U-22-01111	접수일자	2022. 08. 04.
	용도	실험 결과 보고용	검사책임자	김민석

③ 분석(시험) 성적

시험항목	결과
N	4.24 %
S	0.75 %
P	0.45 %
K	5.02 %
Ca	1.86 %
Mg	0.37 %
Mn	36.73 mg/kg
Na	0.30 %
Cu	5.14 mg/kg
	이하 여백

④ 비고

「한국농업기술진흥원 분석시험 의뢰 및 처리규칙」 제4조의 규정에 의하여 2022년 08월 04일 자로 의뢰한 시료에 대한 분석(시험) 성적입니다.

이 성적은 신청인이 제출한 시료를 분석한 것으로 관련사항 이외의 선전 소송 등 증거 자료로 사용하실 수 없습니다.

2022년 08월 25일

한국농업기술진흥원



KQAT 분석(시험) 성적서

① 의뢰인	성명	영남대학교산학협력단	사업자등록번호	515-82-06574
	주소	우편번호38541 경상북도 경산시 대학로 280, 산학협력단		
② 의뢰내용	시료명	C		
	접수번호	분석의뢰-U-22-01112	접수일자	2022. 08. 04.
	용도	실험 결과 보고용	검사책임자	김민석

③ 분석(시험) 성적

시험항목	결과
As	15.87 mg/kg
Cd	불검출
Pb	19.66 mg/kg
Hg	0.058 mg/kg
이하 여백	

④ 비고

『한국농업기술진흥원 분석시험 의뢰 및 처리규칙』 제4조의 규정에 의하여 2022년 08월 04일 자로 의뢰한 시료에 대한 분석(시험) 성적입니다.

이 성적은 신청인이 제출한 시료를 분석한 것으로 관려사항 이외의 선전 소송 등 증거 자료로 사용하지할 수 없습니다.

2022년 08월 25일

한국농업기술진흥원장



시험성적서

발급번호 : 공동기기2023-RA-0017-1

1. 신청인

① 기관명	영남대학교	② 대표/신청인	-/민상윤
③ 주소	경상북도 경산시 대학로 280, 영남대학교 생명응용과학대학 제3실험동 화폐환경조절학연구실 158호		
④ 전화		⑤ 팩스	-

2. 의뢰내용

① 접수 번호	2022-A-1524	② 접수 날짜	2022-12-22
③ 시료 종류	지참시료(식물체 4접)		
④ 시험 기간	2022-12-22 ~ 2023-01-09	⑤ 성적서용도	참고용

시험결과 (붙임참조)

이 성적서는 의뢰자가 제공한 시료에 대한 결과이며, 용도 이외의 사용을 금하여
선전, 소송 및 기타 법적 요건으로 사용할 수 없습니다.

검토자: 선임연구원 신건환 (인) 최천일 (인)

승인자: 센터장 이근택 (인)

농생명과학공동기기원 분석시험위탁규정에 의하여 분석 시험한 결과를
위와 같이 통지합니다.

2023년 1월 10일



서울대학교 농업생명과학대학 농생명과학공동기기원장
National Instrumentation Center for Environmental Management



시험결과

발급번호: 2023-RA-0017-1

시료명	시험항목	결과	단위
배추 S-C	총인(T-P)	6310.29	mg/kg
배추 S-C	전질소(T-N)	2.67	%
배추 S-C	칼슘(Ca)	2987.85	mg/kg
배추 S-C	칼륨(K)	36405.37	mg/kg
배추 S-C	나트륨(Na)	509.82	mg/kg
배추 S-C	구리(Cu)	3.07	mg/kg
배추 S-C	황(S)	4570.07	mg/kg
배추 S-C	철(Fe)	49.68	mg/kg
배추 S-C	망간(Mn)	13.43	mg/kg
배추 S-T	총인(T-P)	6288.18	mg/kg
배추 S-T	전질소(T-N)	3.07	%
배추 S-T	칼슘(Ca)	4989.80	mg/kg
배추 S-T	칼륨(K)	40478.29	mg/kg
배추 S-T	나트륨(Na)	1109.45	mg/kg
배추 S-T	구리(Cu)	3.64	mg/kg
배추 S-T	황(S)	5175.69	mg/kg
배추 S-T	철(Fe)	57.88	mg/kg
배추 S-T	망간(Mn)	17.55	mg/kg
배추 G-C	총인(T-P)	6259.80	mg/kg
배추 G-C	전질소(T-N)	3.04	%
배추 G-C	칼슘(Ca)	4916.11	mg/kg
배추 G-C	칼륨(K)	38821.64	mg/kg
배추 G-C	나트륨(Na)	1116.79	mg/kg

* ND(Not Detected):검출한계 미만



서울대학교 농업생명과학대학 농생명과학공동기기원장
 National Instrumentation Center for Environmental Management



○ 부품의 재질별 부식성 검토(염수분무 테스트)

영농형 태양광 구조물의 재료는 20여 년 이상의 장기간에도 부식이 없이 사용 가능해야 함. 따라서 장기간 사용에도 부식이 없는 재료를 사용해야 하며 통상적으로 용융아연도금강, Zn-Al-Mg 합금도금강, 알루미늄, 스테인레스강 등이 사용됨.

여러 가지 재료를 염수분무 조건으로 테스트한 결과 상기 재료는 모두 사용 가능하나 용융아연도금강은 볼트·너트는 용융아연 도금량이 적어 부식이 발생하므로 사용을 피하는 것이 좋다고 판단됨. 특히 염해지역 등에 설치 시 볼트·너트는 용융아연도금제품은 사용하면 안 되는 것으로 판단됨.

1) 염수 분무 시험 - 대구 기계부품연구원

가) PosMAC 가공품 시험 : 1000h 경과 적녹 발생 없음.

① 시험조건

-염수농도 : 5%NaCl

-시험온도 : 35±0.5℃

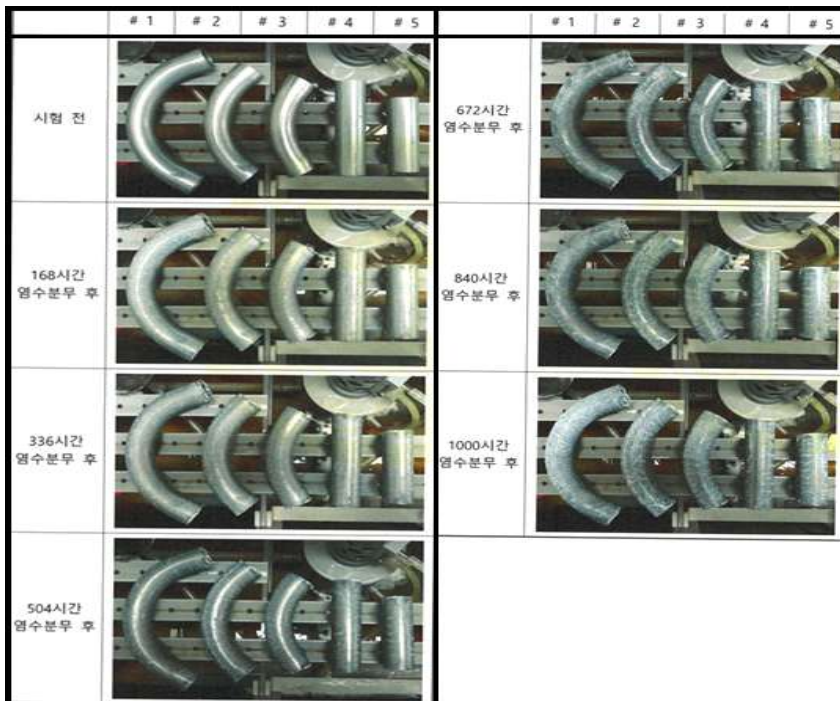
-분무압력 : 0.098±0.002MPa

-분무량 : 1.3ml/h at 80cm²

-시험장비 : Salt/Cass Spray Tester (SUGA, CAP-90V)

② 험방법 : KS D 9502:2009

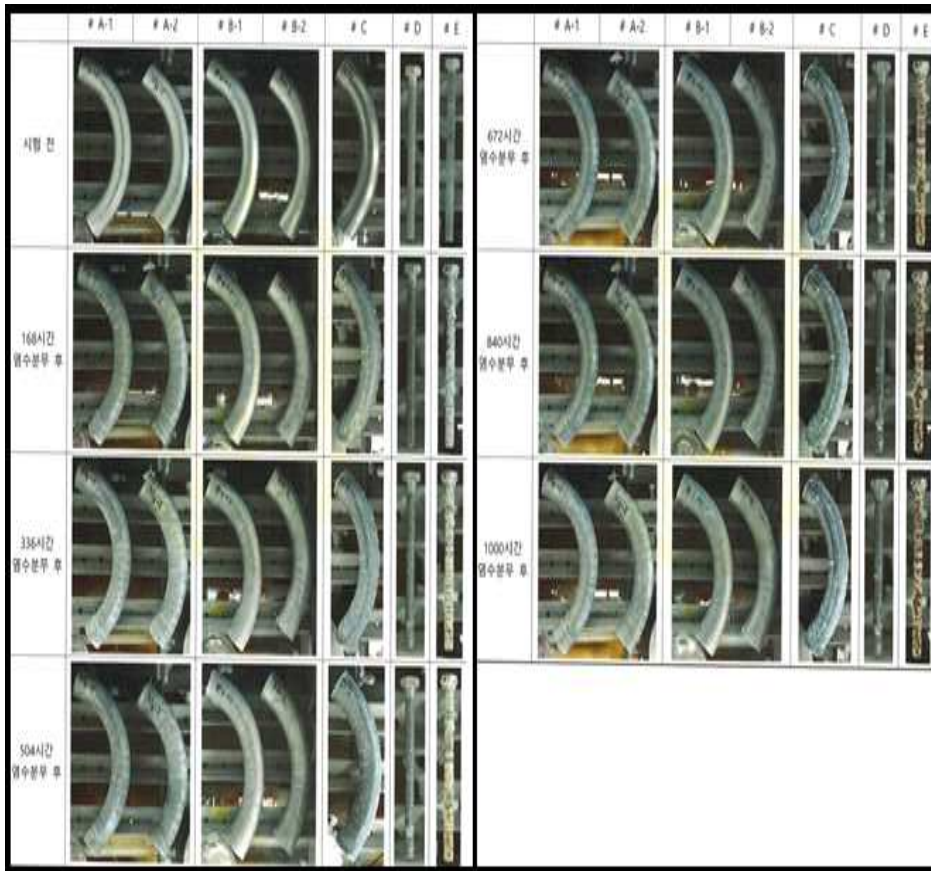
③ 험기간 : 2021.08.26.~2021.10.07.



나) Spray 코팅 시험(PosMAC성분, 아연)+볼트











1000h 경과 코팅품은 부식이 없으나 용융아연 도금볼트는 336h에서 적녹 발생 시작.


































-시험기간 : 2021.09.23.~2021.11.04



다) 재료 절단면 염수분무 시험 : 2000h 경과 PosMAC은 적녹 발생 없음
 - 시험기간 : 2022.06.10.~2022.09.01

라) 재료 종류별 염수분무 시험 : 2000h 경과 PosMAC, 알루미늄은 적녹 발생 없으나 일반 아연도금관(용융아연도금 아님)은 168h부터 적녹 발생.
 - 시험기간 : 2022.06.10.~2022.09.01

	#1 포스텍 절단면	#2 용융금 절단면	#3 용융 절단면	#4 이노티지 절단면	#5 맥 절단면	#6 용융용접부
시험 전						
168시간 열수분무 후						
336시간 열수분무 후						
504시간 열수분무 후						
672시간 열수분무 후						
840시간 열수분무 후						
1000시간 열수분무 후						
1300시간 열수분무 후						
1600시간 열수분무 후						
1900시간 열수분무 후						

	#1 백관	#2 포스맥관	#3 알루미늄	#4		#1 백관	#2 포스맥관	#3 알루미늄	#4
시험 전					840시간 염수분무 후				
168시간 염수분무 후					1000시간 염수분무 후				
336시간 염수분무 후					1300시간 염수분무 후				
504시간 염수분무 후					1600시간 염수분무 후				
672시간 염수분무 후					1900시간 염수분무 후				
					2000시간 염수분무 후				

시험성적서

- 성적서 번호 : TE-22-01188
- 페이지 번호 : 6 쪽 중 1 쪽
- 의뢰자
 기관명 : 주식회사 모든솔라
 주 소 : 경상북도 경산시 대학로 280, g12동 105호(대동 영남대학교 창업보육센터)
- 시험대상 품목 : #1 백관 #2 포스맥관 #3 알루미늄 #4 용융볼트*2 #5 맥볼트*2 #6 스텐볼트*2
- 접수일자 : 2022. 06.03
- 시험기간 : 2022. 06.10 ~ 2022. 09. 01
- 시험장소 : ■ 고정시험실 □ 현장시험
 (주소 : 대구광역시 달서구 성서공단로11길32)
- 시험방법 : 다음 쪽 "시험방법" 참조
- 시험결과 : 다음 쪽 "시험결과" 참조

작성자
성 명 : 전강국

전강국

기술책임자
성 명 : 손영범

손영범

위의 내용은 신청인이 제출한 시험품에 대한 결과이며, 용도 이외의 사용을 금합니다

2022.09.07



대구기계부품연구원장



발급 및 결과문의 - <http://www.dmi.ac.kr>

TP-0114-02(1/2)(01)

A4(210×297mm)

<그림> 염수 분무 시험에 대한 시험성적서

○ 영농형 태양광 구조물 기둥용 각관 형상에 따른 충격강도 검토

영농형 태양광의 구조물용 기둥은 상부의 태양전지 모듈 및 고정보를 지탱할 수 있는 역할을 수행하는 바 견고해야 하고, 장기간 사용에도 부식에 견딜 수 있는 재료로 제작된 것을 사용해야 함. 영농형 태양광은 상부에서의 태양광 발전과 하부의 농업 경작이 진행되어야 하는데, 농작업 중에 농기계에 의해서 구조물 기둥에 부딪히는 경우 손상을 입을 수 있는데, 이때는 원형관이 충격에 강하다고 하는 주장이 있었음. 이에 원형관과 사각관에 대해서 충격강도를 검토하기 위하여 검토 장비를 제작하고, 전문기관에 의뢰하여 비교 평가를 실시함.

1) 시험 방법

가) 시험장비 : 낙하 충격시험 장비에 의한 측정

3차원 스캔

나) 평가방법

① 시험항목 : 자유낙하 충격시험(원형관, 사각관 사각면, 사각관 모서리)

② 평가방법 : 개발된 시료 구조물 기둥의 자유낙하 충격시험값을 확인하기 위하여 전용 시험기에 시료를 안착시키고 정해진 무게값으로 자유 낙하 충격 시험을 진행하고 그 결과값을 확인함.

③ 시험 재료

- 원형관 89φx1000mm

- 사각관 100x100x1000mm

2) 시험 기관

경일대학교 산학협력단 자동차 부품시험 지역혁신센터

재료시험 & 3차원측정실

3) 세부시험 평가 결과

가) #1 원형관 자유낙하 충격시험

나) 평가방법

개발된 시료 구조물 기둥의 자유낙하 충격시험값을 확인하기 위하여 전용 시험기에 시료를 안착시키고 정해진 무게값으로 자유낙하 충격시험을 진행 하고 그 결과값을 확인함.

다) 시험결과 및 내용

- 사각관의 경우가 원형관에 비하여 변형량(-방향)의 값이 작게 나타남.

- 원형관이 사각관 보다 충격량에 대해 유리하다고 볼 수 없음.

- 사각관의 모서리 부분이 충격량에 대해서는 가장 강하게 나타남.

(1) 원형관

① 측정 위치 및 방법

1. 측정위치 및 방법

▶ 개발된 시료로 자유낙하 충격시험기를 사용하여 시험을 진행하고 그 결과 [A] 부분의 깊이 치수값을 확인함.

② 측정 결과

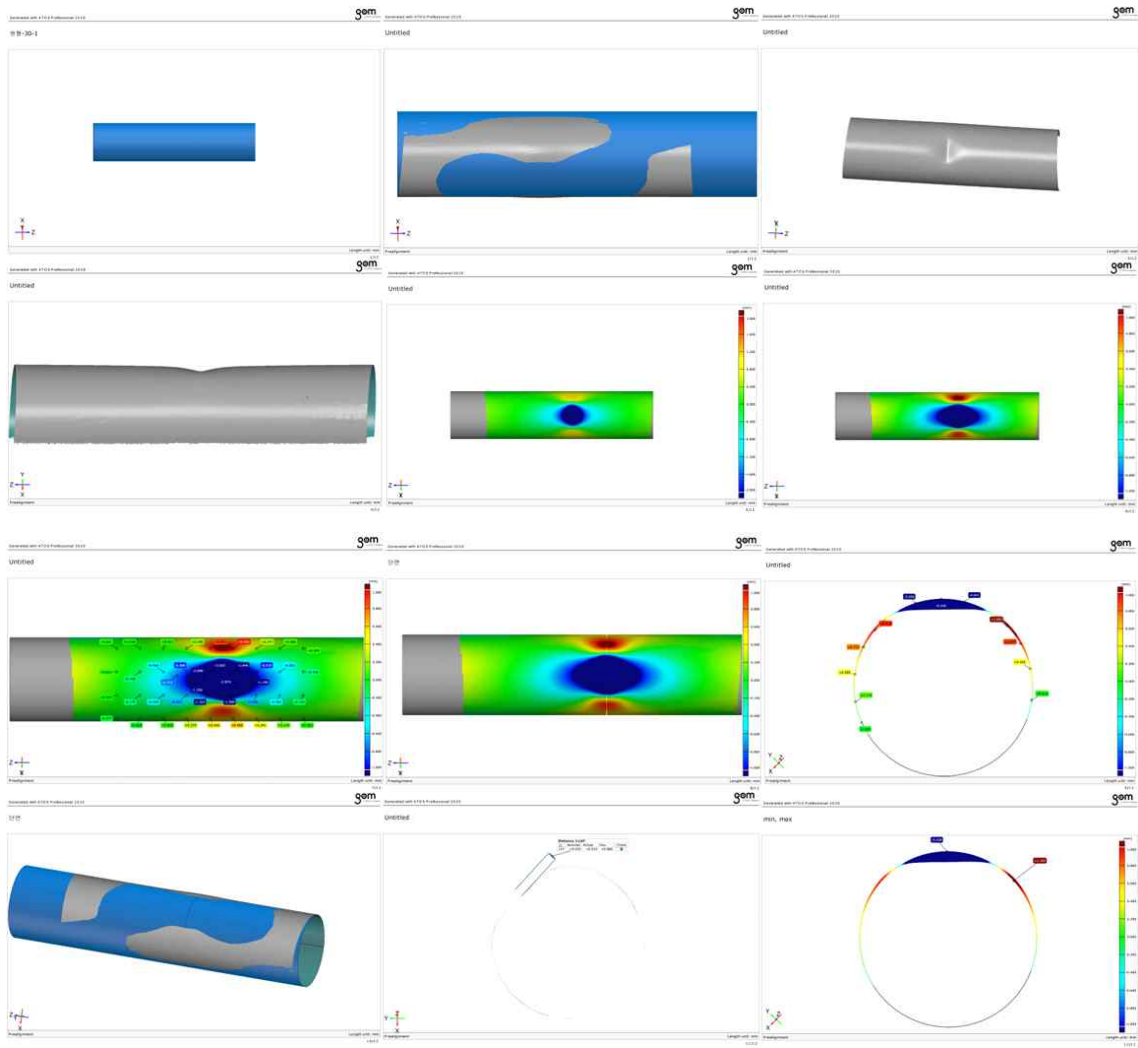
2. 측정결과

시료구분	측정항목	목표값	시험하중(kgf)	측정값(변형량)		단위	결과 (OK/NG)
				(+)방향	(-)방향		
원형	자유낙하 충격시험	N/A	30	1.102	-5.438	mm	N/A
원형	자유낙하 충격시험	N/A	50	1.895	-8.266	mm	N/A
원형	자유낙하 충격시험	N/A	70	2.546	-10.252	mm	N/A

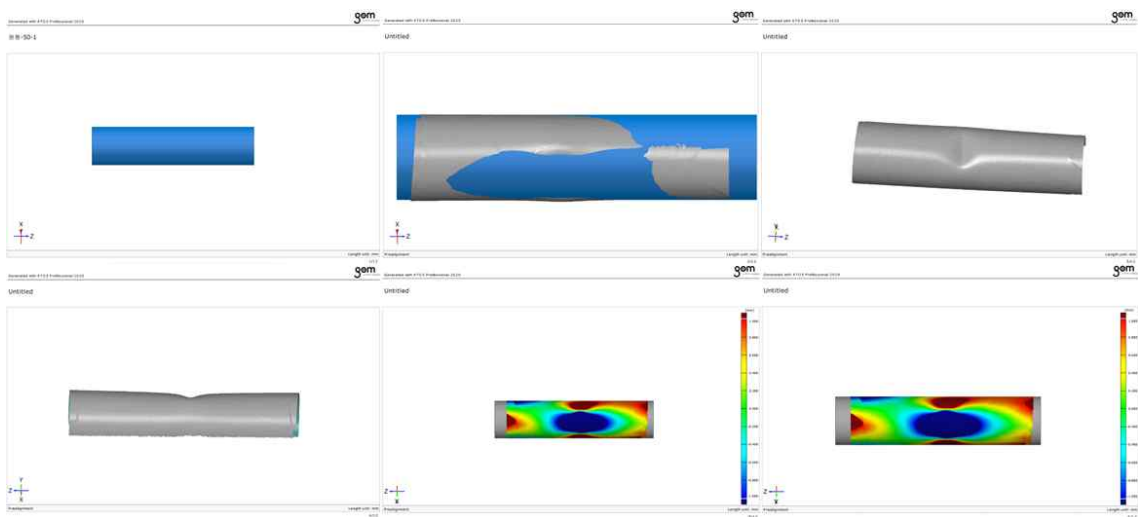
※ 추가 상세 분석 결과값은 첨부 파일 참조.

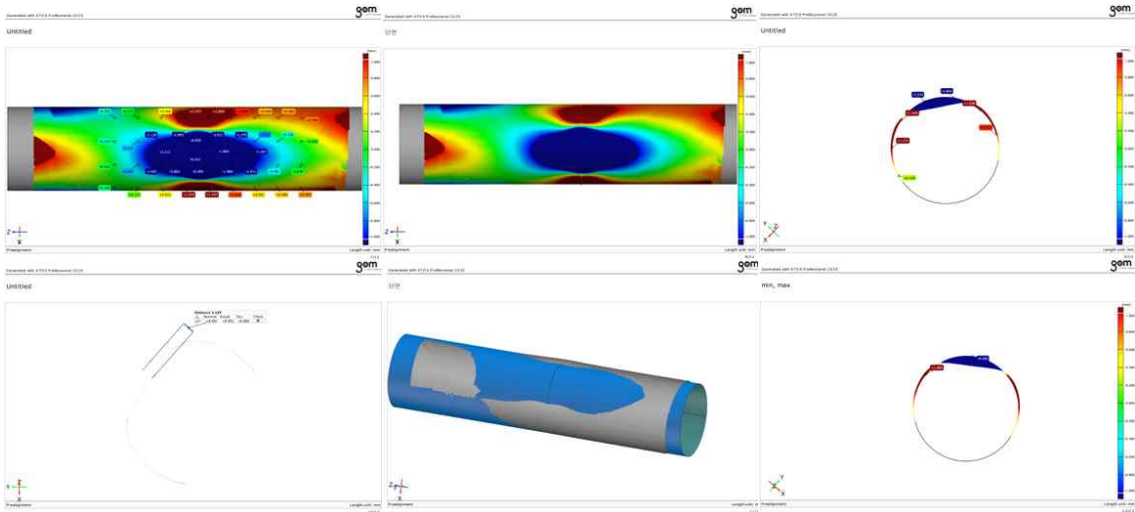
③ 상세분석

- 추 중량 30kg 낙하의 경우

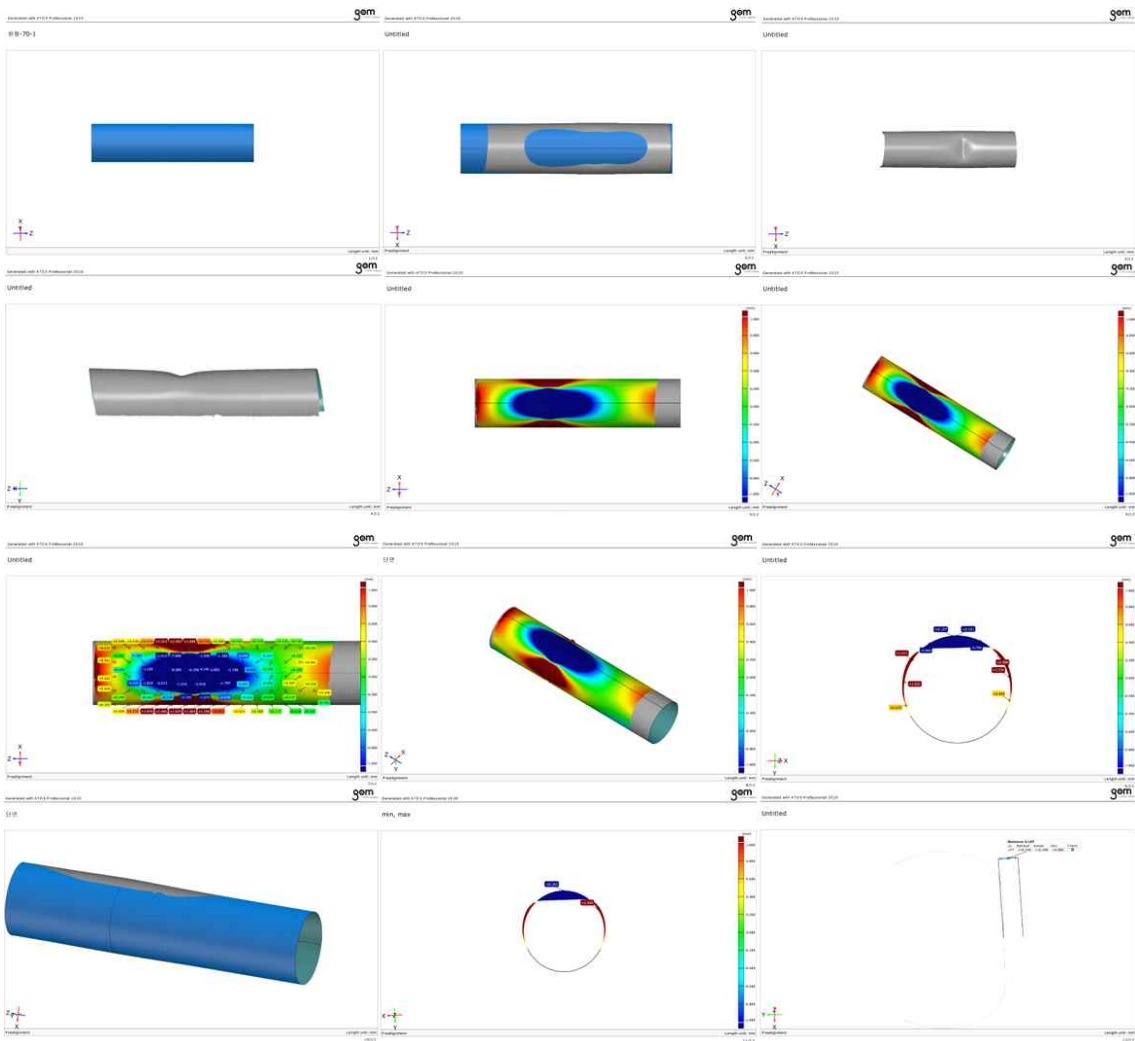


- 추 중량 50kg 낙하의 경우





- 추 중량 730kg 낙하의 경우



(2) 사각관(사각면)

① 측정 위치 및 방법

1. 측정위치 및 방법

시료-사각
측정시료
측정부위
시험하중-30 kg
시험하중-50 kg
시험하중-70 kg
시험추
시험방법

▶ 개발된 시료로 자유낙하 충격시험기를 사용하여 시험을 진행하고 그 결과 [A] 부분의 깊이 치수값을 확인함.

② 측정 결과

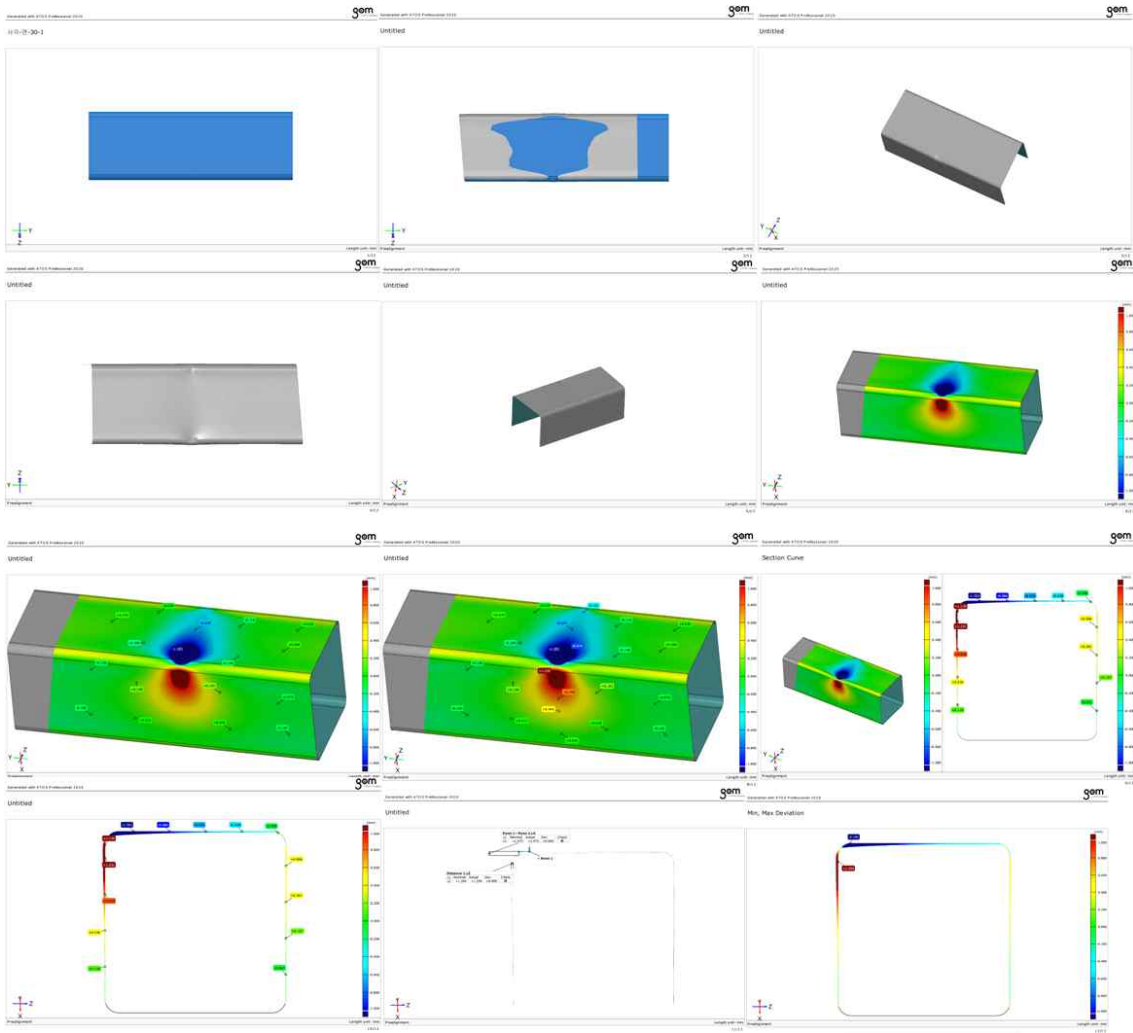
2. 측정결과

3차원스캔 이미지
측정값 분석
3차원스캐너

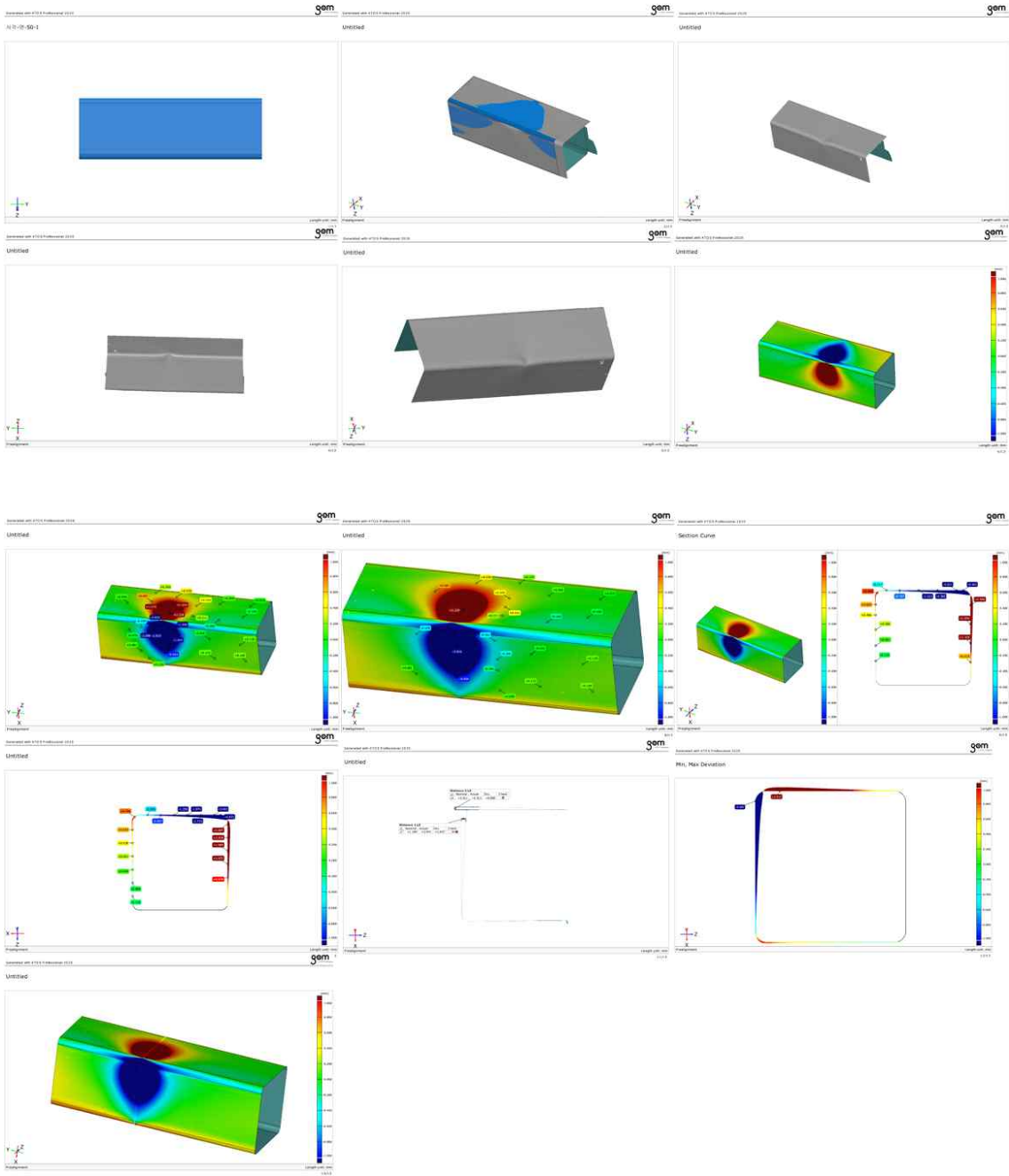
시료구분	측정항목	목표값	시험하중(kgf)	측정값(변형량)		단위	결과 (OK/NG)
				(+)방향	(-)방향		
사각 면	자유낙하 충격시험	N/A	30	1.294	-2.191	mm	N/A
사각 면	자유낙하 충격시험	N/A	50	2.512	-4.482	mm	N/A
사각 면	자유낙하 충격시험	N/A	70	4.582	-6.843	mm	N/A

③ 상세분석

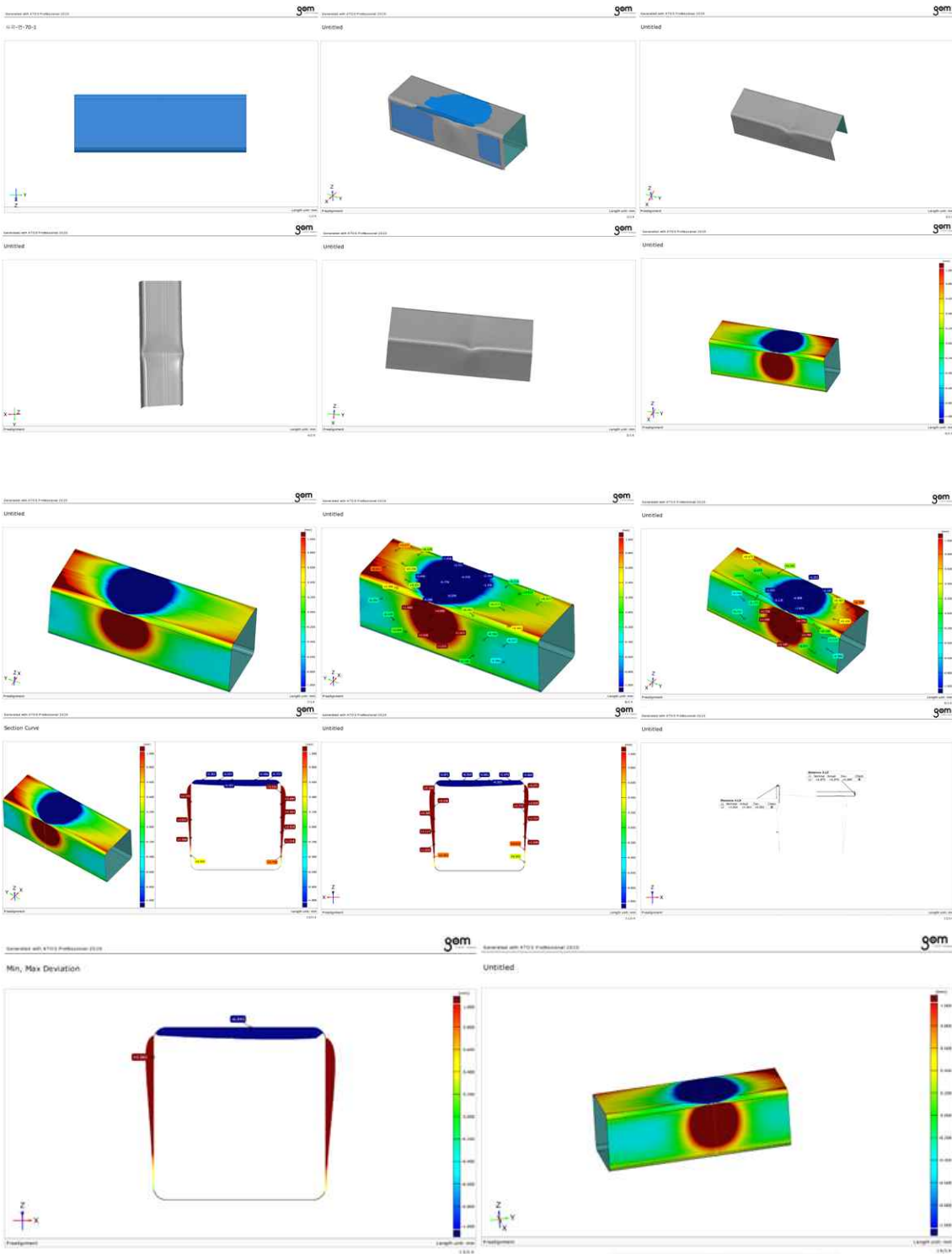
- 추 중량 30kg 낙하의 경우



- 추 중량 50kg 낙하의 경우

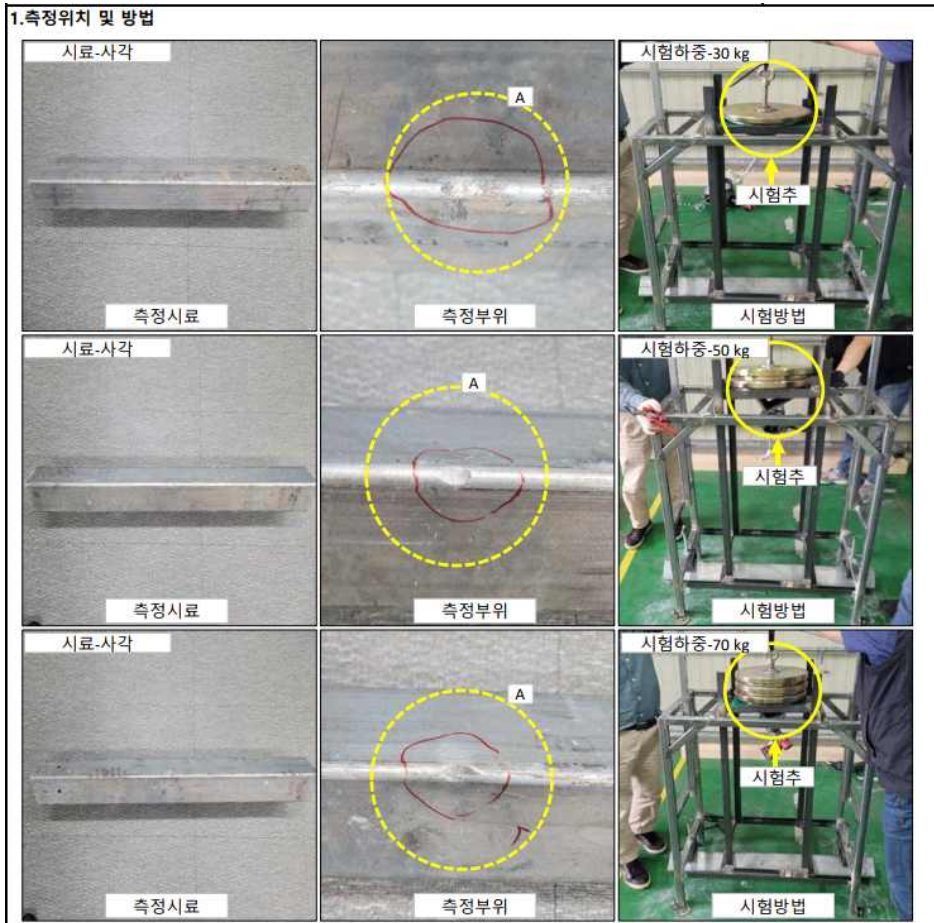


- 추 중량 70kg 낙하의 경우



(3) 사각관(모서리)

① 측정 위치 및 방법



② 측정 결과

2. 측정결과

시료구분	측정항목	목표값	시험하중(kgf)	측정값(변형량)		단위	결과 (OK/NG)
				(+)방향	(-)방향		
사각 모서리	자유낙하 충격시험	N/A	30	0.764	-2.040	mm	N/A
사각 모서리	자유낙하 충격시험	N/A	50	1.263	-3.134	mm	N/A
사각 모서리	자유낙하 충격시험	N/A	70	2.220	-4.598	mm	N/A

○ 스크류기초 인발재하시험

1) 서론

가) 목적

본 인발재하시험은 영농형 태양광 구조물의 스크류 기초가 시공된 물이 있는 논과 물이 없는 논의 기초에 대하여 인발재하시험을 실시하여 허용인발지지력을 구하여 상호 비교하고자 함.

나) 시험 개요

태양광 설치부지 No.1, No.2

시험 날짜 : 2022.08. 08

시험방법 : 인발재하

3) 시험규정 및 방법

ASTM D3689-83, 급속재하시험

2) 인발재하시험

가) 재하 방법

설계하중의 1.5~3.0배에 해당하는 재하하중이 필요함. 재하방법으로는 다음과 같은 방법으로 실시함.



그림1 시험방법

나) 재하 시험 측정장치

① 하중제어 및 하중 측정 장치

시험하중의 재하에는 유압 Jack을 사용함. 유압 Jack 규격은 실린더 내경이 I-Joint Steel Pile 외경 이상으로서 여기에 시험 최대하중을 재하할 수 있어야 함. 본 재하시험은 한 개의 유압 Jack을 사용하여 재하시험 용량 이상이 되도록 하였으며, 진동펌프로 제어함.

② 인발량 측정 장치

인발량 측정은 시험 기초 부근에 2개의 복공판 및 보조빔을 설치하고 기초에 대칭으로 Magnetic holder를 사용하여 다이얼게이지를 180도 간격으로 2개를 설치함. 사용한 다이얼게이지는 일본 Mitutoyo 제품으로 눈금은 1/100mm 간격이며, 최대 50mm까지 측정이 가능함.

③ 재하대 설치

기초의 인발시험은 기초의 2가지 성분중 주면 마찰력에 대한 시험임. 따라서 선단지지력의 불확실성이 배제되어 시험결과에 있어서도 비교적 분명한 결과를 얻을 수 있으며, 해석 방법도 간편함. 재하시험 장치는 시험 기초위로 빔을 설치하고 빔의 위로 1개의 유압잭을 두어 힘을 가함.

다) 재하 시험 방법 및 하중재하 계획

현재 국내에서 실시하는 인발재하시험의 경우 ASTM D 3869-83 규정에 의거 실시하며, 압축재하 시험의 방법과 동일하게 실시함.

① 표준배하 시험방법

② 반복하중 재하방법

③ 급속하중 재하방법

- 재하하중단계를 설계하중의 10% 내지 15%로 정하고 각 하중단계의 재하간격을 2.5분 내지 15분으로 하여 재하함. (주) ASTM에서는 재하간격을 2.5분으로 규정함.
- 각 재하하중 단계마다 2~4차례 (예 : 재하간격 5분일 경우 0, 2.5, 4.0, 5.0 분)침하량을 읽어 기록함.
- 시험은 재하하중을 계속 증가시켜 말뚝의 극한하중에 이를때까지 또는 재하장치의 재하용량이 허용하는 범위까지 재하한 후 최종단계에서 2.5내지 15분간 하중을 유지시킨후 재하함. (주) 일반적으로 총 시험하중을 표준재하시험 방법에서와 마찬가지로 설계하중의 200% 혹은 300%까지로 제한하는 것이 권장되고 있음.

④ 하중증가평형 시험방법

⑤ 일정침하율 시험방법

라) 재하시험 방법의 선택

여러 가지 시험 방법들 중 어떤 방법을 선택할 것인지는 전적으로 기초재하시험 실시목적에 따라 결정되어야 함다.

기초재하시험 목적은 말뚝 설계를 위하여 설계지지력 결정 또는 기 시공된 기초의 허용지지력을 구하는 것임. 이러한 목적을 달성하기 위해서는 기초 설계개념이 분명히 규명되어야 함.

본 시험에서는 상기의 방법중 급속하중재하방법으로 시험을 수행하였다.

3) 성과분석 방법

인발시험의 결과해석은 하중-인발량 관계, 인발량-시간관계 등 압축재하시험의 결과해석과 대동소이하나, 하중-잔류인발량 관계에서는 주면마찰력 특성과 연관시켜 고려하여 볼 때 효과적인 해석 방법이라 판단됨. 기초뚝의 하중(P)-시간(T)-침하량(S) 관계는 주면마찰 성분과 선단지지 성분에 있어 그 특징이 상이함. 선단지지력과 주면마찰력을 분리하여 측정하는 재하시험(SPLT) 결과에 의하면 주면마찰력은 하중증가에 거의 정비례하는 침하량을 보여주며, 일정한 하중재하 상태에서 시간 경과에 따른 침하량-시간 관계에 있어서, 주면마찰의 경우 재하후 비교적 짧은 시간에 안정되는 특성과 극한상태에서는 비교적 급격한 침하량 증가를 나타내어 극한하중 판단에 어려움이 없음. 본 시험에서는 극한하중에 의한 판정과 항복하중에

의한 판정으로 인발하중을 산정하였음.

가) 극한 하중에 의한 방법

극한하중 또는 극한 지지력이라는 것은 I-Joint파일 본체의 파괴 또는 I-Joint 파일을 지지하고 있는 지반의 파괴에 의하여 결정되는 인장력임. 지지층이 아주 단단하여 어떠한 하중에도 지반이 견딜 수 있는 경우에는 I-Joint파일 본체의 응력에 따라 극한하중이 결정되지만, 대부분은 지반의 파괴응력에 따라 극한 하중이 결정됨. 극한 하중상태에서는 I-Joint파일이 연속적인 변위가 발생되고 미소한 하중 증가에도 변위량이 무한대로 증대함. 인장시험에서 항복 하중과 극한하중을 구하는 방법은 그림 2 에서 보는 바와 같이 초기의 완만한 곡선부가 현저하게 구부러질 때의 최대 곡선을 나타내는 점 A의 하중 P1을 항복 하중으로 함. 하중 - 침하량 곡선이 연직으로 될 때의 하중 P2가 극한하중임. 모래층이 타입된 I-Joint파일에서 하중 P2와 같이 일정하중에 이르지 않는 때가 많음. 이와 같은 때에는 점 B와 같이 하중 - 침하량 곡선이 급격히 수직으로 되고, 작은 하중증가에 대해서 큰 변위가 나타나게 되는 점의 하중 P3를 극한 하중으로 함.

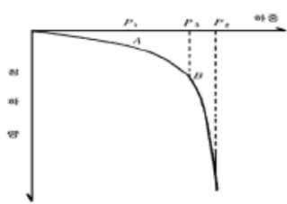


그림 2 항복하중과 극한하중

나) 항복한 하중에 의한 지지력 산정법

① 하중(P) - 침하(S) 곡선법

이 방법은 그림 3과 같이 단계하중 P와 침하율 S를 일반그래프 용지에 Plot하였을 때 곡선이 가장 크게 변했을 때의 하중을 항복하중으로 결정함. 그러나 이 곡선의 변곡점은 구하기가 매우 곤란할 때가 많음.

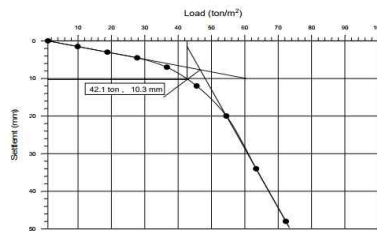


그림 3 P-S 곡선법

② Log P - Log S 곡선법

이 방법은 P와 S를 그림 4와 같이 양대수 그래프에 Plot하여 기울기가 변할 때의 하중을 항복 하중으로 결정하는 방법임.

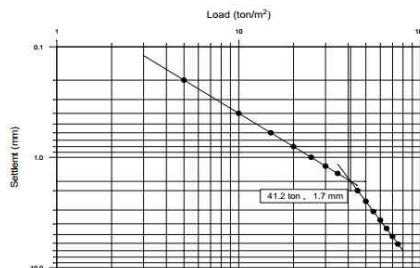


그림 4 Log P - Log S 곡선법

다) 기초의 지지력에 영향을 미치는 요소

기초의 지지력을 신빙성있게 예측하기 위해서는 기초지지력에 영향을 미칠 수 있는 요소에 대한 검토가 필수적임. 일반적으로 기초뚫지지력은 기초뚫의 종류, 설치방법, 지반조건, 설치후 시간경과, 지반의 응력이력등 다양한 요소들에 의해 영향을 받는 것으로 알려져 있음. 이러한 다양한 요소들에 대해서 중요한 개념만을 정리하면 다음과 같음.

① 지반을 구성하는 토사의 전단특성

기초지지력의 이론적해석은 대부분 고전소성이론에 근거하고 있음. 이 이론에서는 지반을 구성하고 있는 토사를 완전한 소성체로 가정하여 변형이 발생하는 과정상의 지반의 변형은 허용되지 않고 흙의 전단특성만 고려됨. 그러나 기초에 하중이 재하됨으로서 발생하는 지반의 변형은 유리벽면을 통한 여러시험에서 증면된 바 이와같은 이론에 근거한 기초지지력 계산을 위한 지지력 계수 산정은 무리가 있을 것으로 판단됨.

② 토사의 압축특성

토사의 전단과정에서는 필수적으로 변형이 수반되며 많은 경우 변형특성은 지반의 압축특성과 밀접한 관계가 있으며 이러한 압축 특성이 기초의 지지력에 많은 영향을 미칠것으로 생각되나 이에 대해서 이론적으로 규명하기에는 아직까지 기술 수준이 부족한 것으로 사료됨.

③ 토사의 입자강도, CEMENTATION, SOIL FABRIC 등

이밖에도 말뚝의 지지력은 지반을 구성하고 있는 토사의 입자강도(crush-ability), 지반의 cementation, soil fabric, 응력이력(stress history), 지반형성연대, 입도분포등에 의해 영향을 받는 것으로 알려져 있음.

④ 기초의 관입 깊이

기초의 지지력은 지지 지반내에 기초가 실제로 얼마나 관입되었는가에 따라 크게 영향을 받음. 이론적인 기초지지력 공식에 의하면 기초의 지지력은 관입깊이가 증가할수록 선단부 위치에서의 응력 수준에 비례하여 직선적인 증가를 하여야 함. 그러나 1950년대 말 Kerisel은 균질한 지반에서의 기초재하시험을 통해 말뚝의 지지력은 관입깊이에 따라 어떤 값에 수렴함을 보여주고 있음. 그후 이러한 현상들은 많은 학자들에 의해 증명되어 정확한 원인은 규명되지 못한 상태에서 한계관입깊이(critical penetration depth) 개념을 말뚝지지력의 특성으로 인정하고 있음. 그러나 현재로서는 한계관입깊이가 나타나지않는 다른 연구결과도 많이 보고되고 있는 바 이에 대한 정확한 규명은 불가능한 상태임.

⑤ 기초의 크기

기초의 지지력은 설치되는 기초의 크기와 밀접한 관계가 있다고 보고되는 바, 이는 전술한 한계관입깊이 개념과 일치한다고 할 수 있음. 그러나 CPT에 의한 지지력 계산에는 이를 인정하지 않고 있어 이에 대하여 명확한 결론을 도출하기는 무리라고 사료되며 이 또한 많은 연구를 통하여 규명되어야 할 것으로 사료됨.

⑥ 지반내의 응력수준

대부분의 기초지지력 해석에는 기초선단부 지반의 연직응력이 지지력 계산의 기준으로 적용됨. 이 방법은 연직응력 계산의 간편성 때문에 가장 일반적으로 활용되고 있으나 기초에 하중이 재하됨으로서 야기되는 지반의 반응을 살펴볼 때 기초의 지지력은 연직응력뿐 아니라 횡방향의 지반응력에 대해서도 영향을

받는다는 사실이 반영되지 못해 현실성이 없음.

⑦ 기초 설치후의 시간효과(Time Effect)

일반적으로 기초 지지력은 타입 후 시간의 경과에 따라 증가되는 것으로 알려져 있음. 그러나 이와 같은 현상은 지반의 조건이 점성토 지반인 경우에 국한되어 있음을 유의해야 함. 즉 점성토 지반에 기초를 타입하면 주변지반을 교란시키게 되며 그 결과 말뚝 주변에 상당한 과잉간극수압을 발생시키게 되고 이러한 현상에 의해 유효응력이 감소되어 말뚝의 지지력이 낮아지게 됨. 그러나 시간의 경과에 따라 과잉간극수압이 저하되면서 유효응력은 증가하게 되고 그에 따라 기초의 지지력이 증가되는 것임. 그러나 여타의 지반에서는 이러한 현상이 잘 나타나지 않는 것을 유의해야 함.

4) 시험 결과 및 분석

가) 인발재하시험 시행 내용

시험번호	설계지지력 (kN/本)	시험최대하중 (kN/本)	비고
태양광부지 PILE NO.01	30.0	95.0	-
태양광부지 PILE NO.02	30.0	80.0	-

나) 인발재하시험 결과 및 분석

① 항복하중분석

- P-S 곡선분석 본 말뚝의 시험결과 최대재하하중에 이르기까지 결과를 GRAPH에 PLOT 해 보면 최대재하하중에 이르기까지 재하하중 단계별로 일정한 침하양상을 보이며 뚜렷한 극한하중이나 항복하중의 징후를 나타내지 않는 양호한 상태의 지지력을 보여줌. 이와 같은 결과로 미루어 본 기초는 하중이 설계하중 이상으로 판정할 수 있음.
- LOG P-LOG S 곡선분석
본 기초의 시험 결과, P-S 곡선분석과 마찬가지로 최대 재하하중에 이르기까지 극한하중이나 항복하중이 발생하지 않는 양호한 상태의 지지력을 보여주고 있음. 이와 같은 결과로 미루어 본 기초의 하중은 설계하중 이상으로 판정할 수 있음.
- GROSS-NET Curve Method 곡선분석
본 GRAPH에 의해 분석은 시험 최대 재하하중으로 시험을 실시한 결과 극한하중이나 항복하중이 나타나지 않음. 또한 하중을 모두 제거한 후의 잔류변형량은 총 변형량의 대부분이 파일자체의 파괴나 지지기반의 변형이 아닌 파일의 탄성변형으로 분석됨. 따라서 본 파일은 설계하중을 지지하기에 충분한 것으로 분석됨.
- ELONGATION 곡선분석
신장량에 의한 분석을 보면 하중증가에 의한 파일의 변형량의 탄성변형 범위 내에 있으며, 지반의 소성변위는 전혀 없음. 따라서 본 기초의 하중은 설계하중 이상으로 판정할 수 있음.

다) 시험 결과

◆ [시험위치 : 태양광부지 PILE NO.01]			
판정기준		최대인발력	비 고
곡선분석	P - S Curve	95.00 kN/本	-
	log P - log S Curve	95.00 kN/本	-
신장량분석	ELONGATOIN	95.00 kN/本	-
▶ 최종 분석결과 허용 지지력		95.00 kN/本 이상	
▶ 설계 지지력		30.00 kN/本	
▶ 최대하중 단계에서의 인발량		30.51 mm	

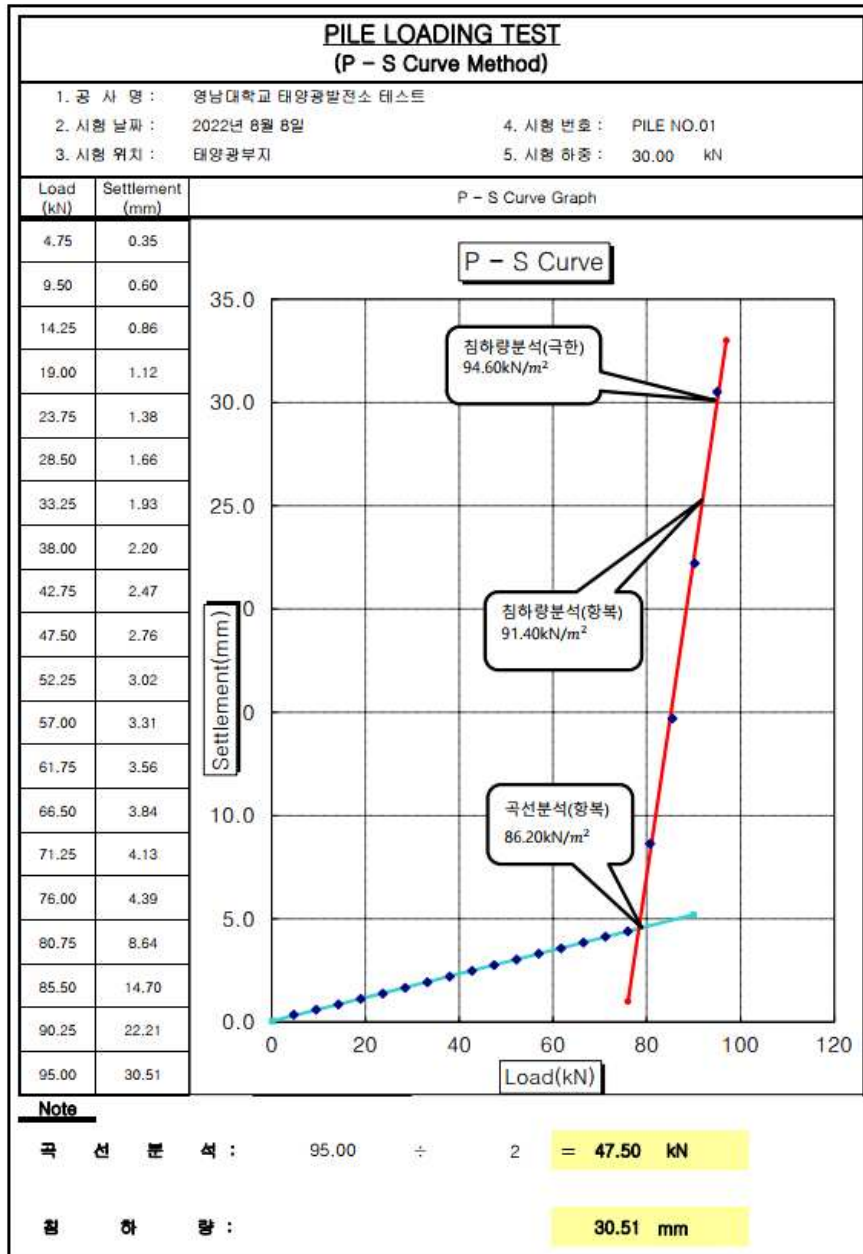
◆ [시험위치 : 태양광부지 PILE NO.02]			
판정기준		최대인발력	비 고
곡선분석	P - S Curve	80.00 kN/本	-
	log P - log S Curve	80.00 kN/本	-
신장량분석	ELONGATOIN	80.00 kN/本	-
▶ 최종 분석결과 허용 지지력		80.00 kN/本 이상	
▶ 설계 지지력		30.00 kN/本	
▶ 최대하중 단계에서의 인발량		30.36 mm	

라) 검토 소견

- ① 본 현장 인발재하시험은 ASTM D 3689-83에 의한 금속재하시험방법으로 실시하였으며, 본 현장의 기초 PILE의 설계하중은 30.00kN/본으로 설계되어 있음.
- ② 본 인발재하시험은 설계하중의 약 2배인 60.00kN/본을 넘어서 최대시험하중 95.00kN/80.00kN/으로 최대치를 측정하여 시험을 수행하였음.
- ③ 본 인발재하시험 결과 태양광부지 NO.01 파일과 태양광부지 NO.02 파일의 최대치를 측정하여 봤을 때, 두 파일모두 설계하중을 충족하는 것으로 나타났다.

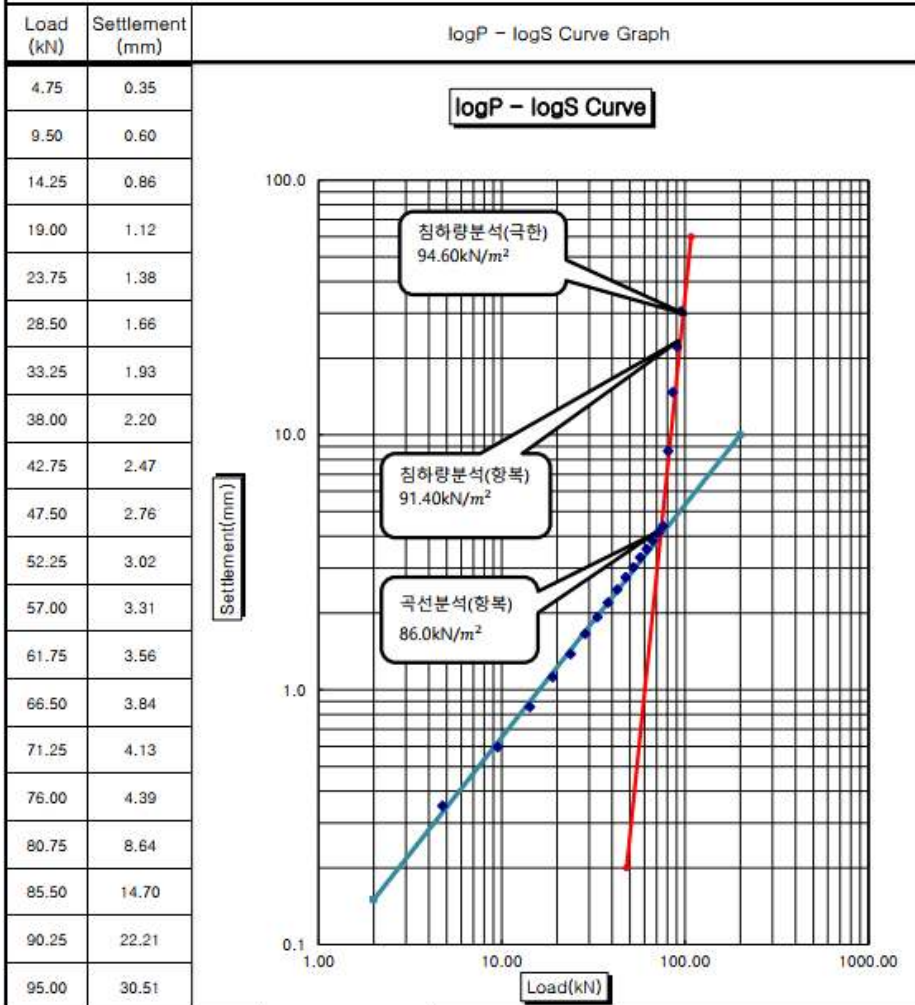
실시된 시험기초의 하중-침하 곡선을 보면 설계하중 60.00kN/본에 이르기까지 뚜렷한 항복하중이 나타나지 않으며, 구배가 매우 완만한 직선 형태의 하중-인발 양상을 나타내고 있음. 하중 인발곡선에 의한 P-S 곡선분석, logP-logS 곡선 분석, GROSS-NET 곡선분석 ELONGATOIN 곡선 분석 결과에서는 95.00kN/, 80.00kN/에서 항복하중이 나타났다. 이와 같은 결과로 보아 본 시험기초의 경우 하중은 30.00kN/본 이상으로 판단됨.

5) 첨부(인발제하시험 결과)



PILE LOADING TEST (logP - logS Curve Method)

- | | |
|-----------------------------|-----------------------|
| 1. 공 사 명 : 영남대학교 태양광발전소 테스트 | 4. 시험 번호 : PILE NO.01 |
| 2. 시험 날짜 : 2022년 8월 8일 | 5. 시험 하중 : 30.00 kN |
| 3. 시험 위치 : 태양광부지 | |



Note

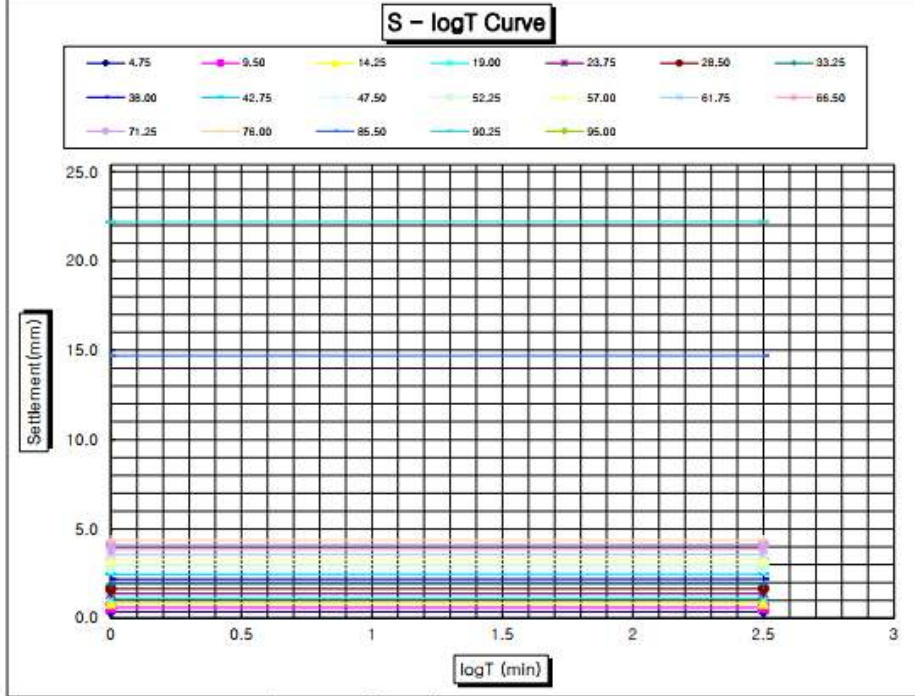
극 선 분 석 : 95.00 ÷ 2 = 47.50 kN

침 하 량 : 30.51 mm

PILE LOADING TEST (S - logT Curve Method)

1. 공 사 명 : 영남대학교 태양광발전소 테스트
 2. 시험 날짜 : 2022년 8월 8일
 3. 시험 위치 : 태양광부지
 4. 시험 번호 : PILE NO.01
 5. 시험 하중 : 30.00 kN

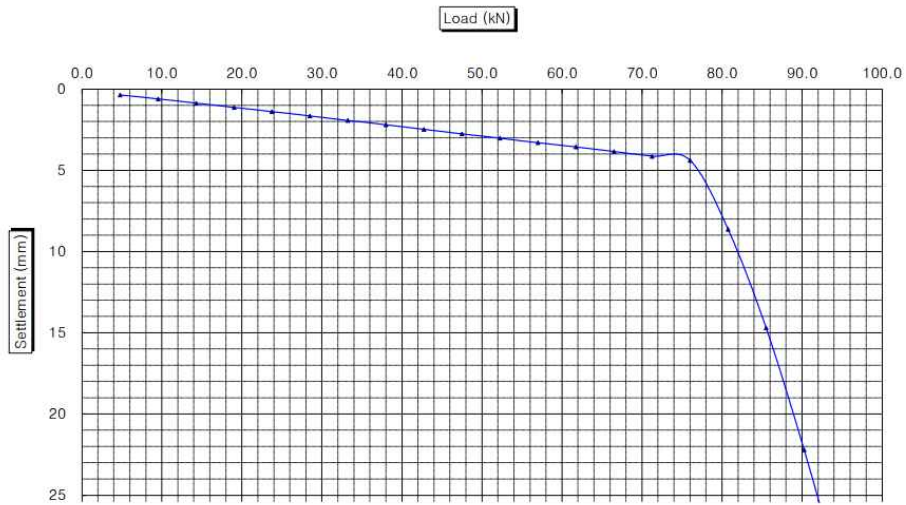
S - logT Curve Graph



Note

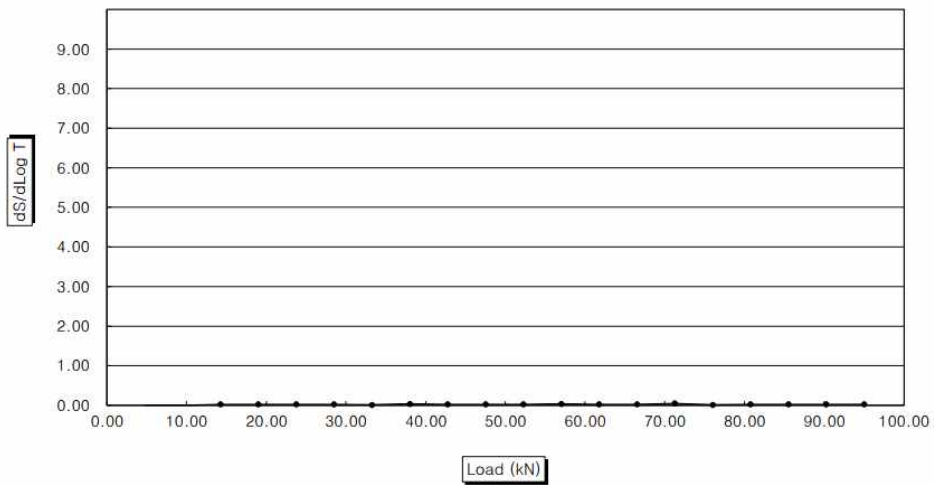
극 선 변 석 : 95.00 ÷ 2 = 47.50 kN
 점 하 량 : 30.51 mm

PILE LOADONG TEST
P - S CURVE



YUJIN E&C Co., Ltd.

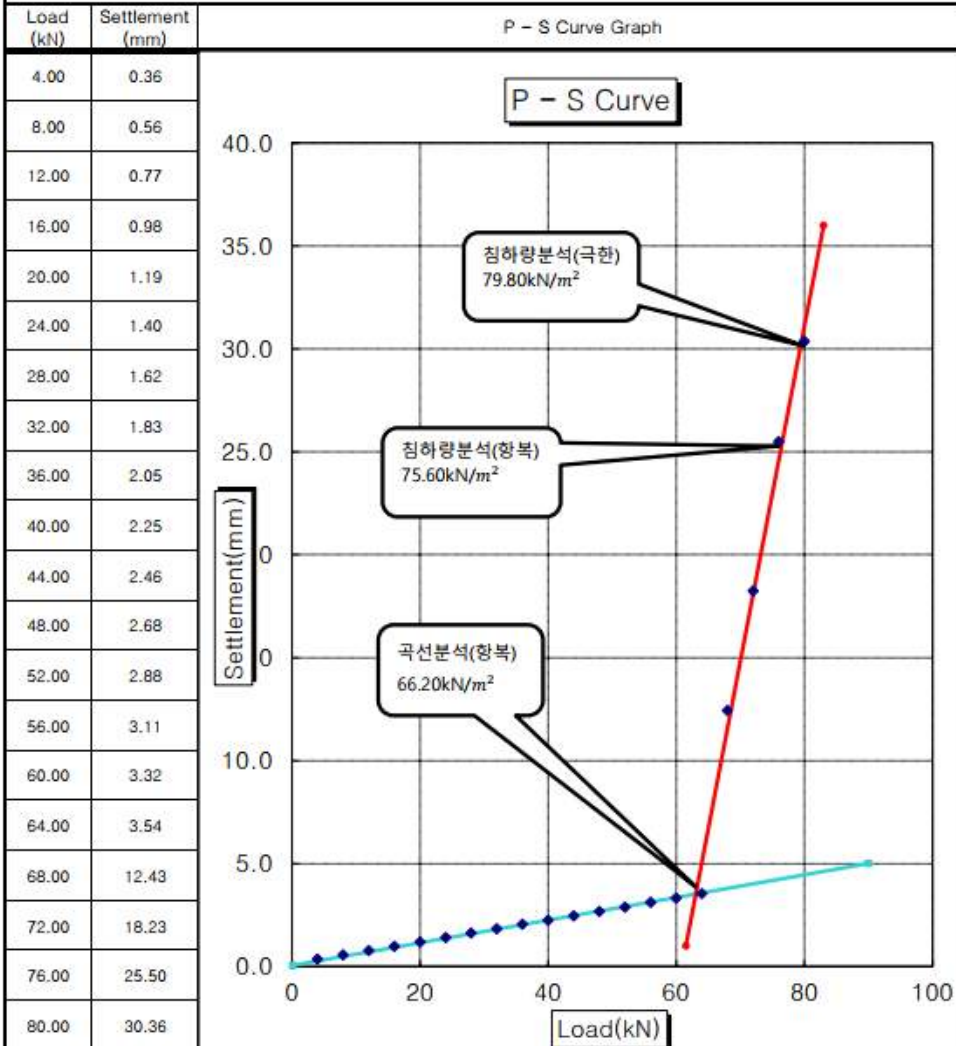
PILE LOADING TEST
P - dS/dLog t



YUJIN E&C Co., Ltd.

PILE LOADING TEST (P - S Curve Method)

1. 공 사 명 : 영남대학교 태양광발전소 테스트
 2. 시험 날짜 : 2022년 8월 8일
 3. 시험 위치 : 태양광부지
 4. 시험 번호 : PILE NO.02
 5. 시험 하중 : 30.00 kN

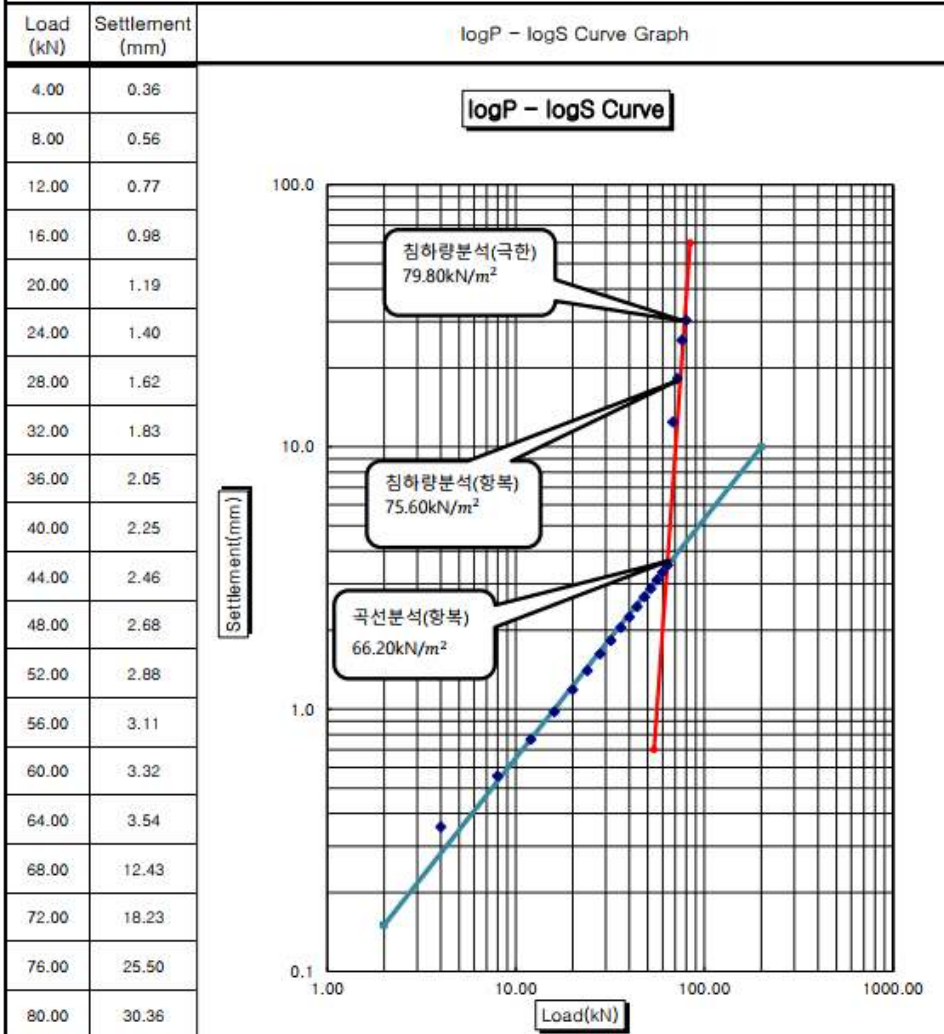


Note

파 선 전 려 소 : 80.00 ÷ 2 = 40.00 kN
 최 하 량 : 30.36 mm

PILE LOADING TEST (logP - logS Curve Method)

- | | |
|-----------------------------|-----------------------|
| 1. 공 사 명 : 영남대학교 태양광발전소 테스트 | 4. 시험 번호 : PILE NO.02 |
| 2. 시험 날짜 : 2022년 8월 8일 | 5. 시험 하중 : 30.00 kN |
| 3. 시험 위치 : 태양광부지 | |



Note

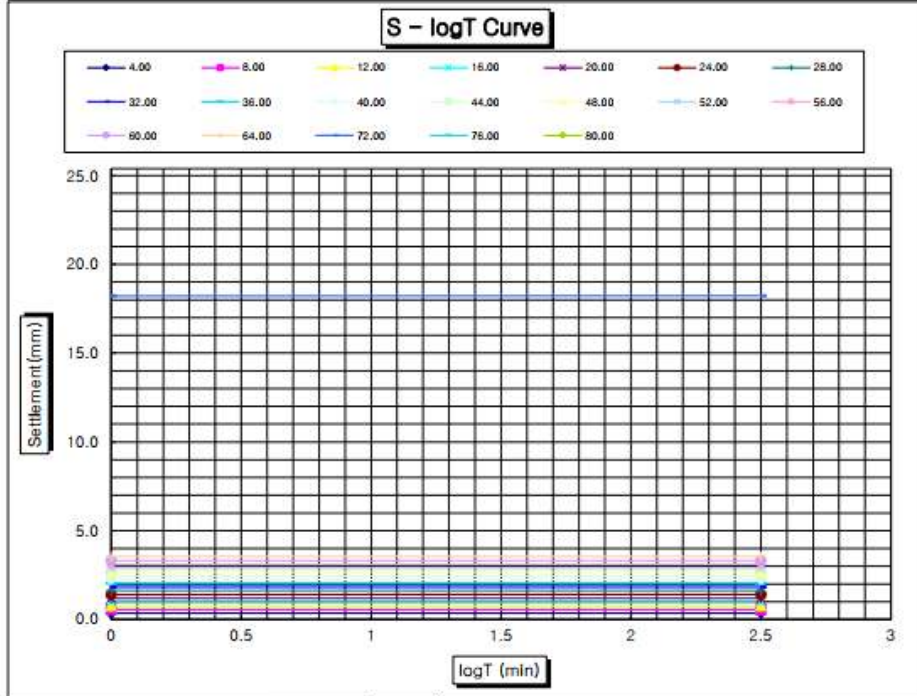
곡 선 분 석 : 80.00 ÷ 2 = 40.00 kN

침 하 량 : 30.36 mm

PILE LOADING TEST (S - logT Curve Method)

- | | |
|-----------------------------|-----------------------|
| 1. 공 사 명 : 영남대학교 태양광발전소 테스트 | 4. 시험 번호 : PILE NO.02 |
| 2. 시험 날짜 : 2022년 8월 8일 | 5. 시험 하중 : 30.00 kN |
| 3. 시험 위치 : 태양광부지 | |

S - logT Curve Graph



Note

파 선 연 속 : 80.00 ÷ 2 = 40.00 kN

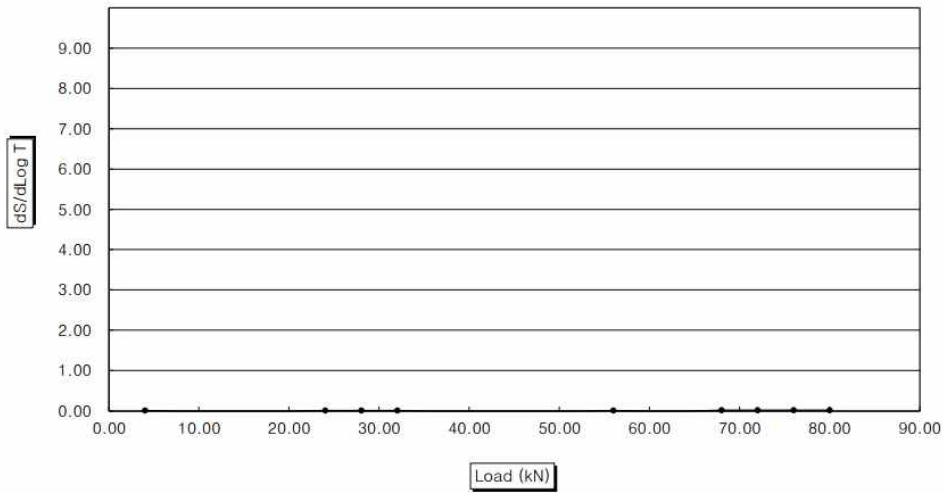
관 하 방 : 30.36 mm

PILE LOADONG TEST
P - S CURVE



YUJIN E&C Co., Ltd.

PILE LOADING TEST
P - dS/dLog t



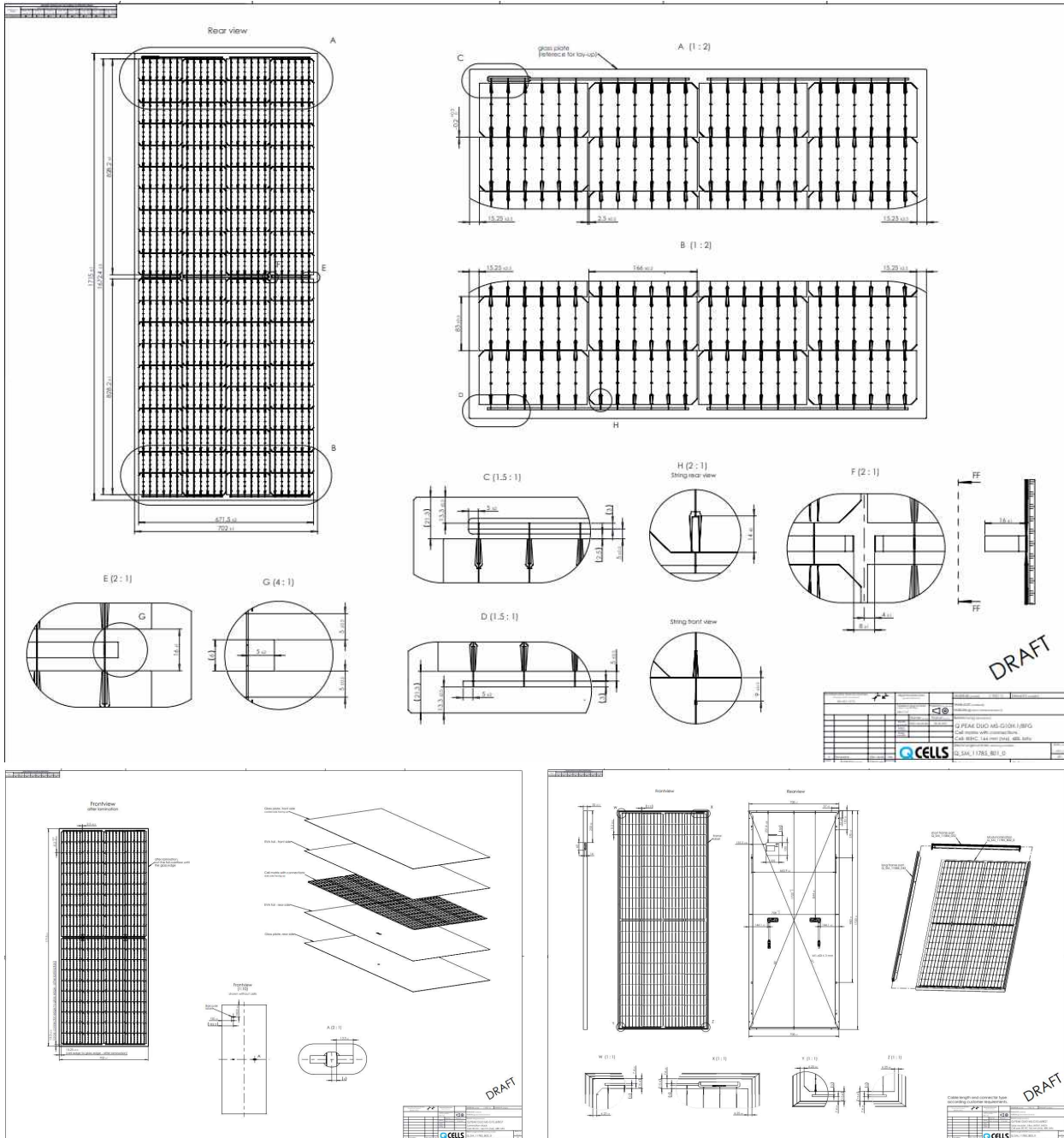
YUJIN E&C Co., Ltd.

○ 영농형 태양광 모듈 디자인 (주식회사 한화솔루션)

- 농지 상부에 설치되어야 하는 영농형 모듈의 최우선 요구 조건은 지표면에 도달하는 일조량 확보가 필수 요소임. 이에 따라 보편적으로 사용되어지는 GTF(Glass to Backsheet) 구조가 아닌 GTG(Glass to Glass) 구조 디자인을 통한 스트링 to 스트링간의 여유공간에서의 빛 투과 디자인 적용
- 일반적인 태양광 모듈(SnPb wire 사용)에서는 태양광 모듈 중량의 0.01% 이하의 Pb 성분이 포함되어 있으며, 농지의 특성 상 사람이 섭취하는 농작물이 경작되어지기 때문에 설계 강도 이상의 천재지변 및 외부 물리적 충격에 의한 태양전지 파손 시 중금속 누출이 없어야함. 이에 따라 Pb 성분이 제외된 Pb-free wire 사용을 통해 중금속 사용이 없는 태양광 모듈 디자인 적용
- 우천 또는 적설 시 영농형 태양광 시스템의 설치로 인한 농작물 낙수 피해 및 토사 유출방지를 위해 소형화 모듈 디자인 적용
- 모듈 소형화 및 차광률 조절을 위한 디자인 적용에 따라 저하되어진 태양광 모듈의 출력 및 효율을 보상하기 위해 Half-cell & Gapless 디자인 적용

<표 X> 영농형 태양광 모듈 디자인

	Reference		영농형 태양광 모듈	
Model	Q.PEAK DUO XL G10.d/BFG (M6 156HC)		Q.PEAK DUO MS-G10.d/BGT (M6 80HC)	
Design	156HC, M6, Zero-Gap, G2G		80HC, M6, Zero-Gap, G2G	
BOM	Details	Supplier	Details	Supplier
Glass	2211*1039*2.0mm	FGG	1715*702*2.0mm	Xinyi
Cell connector	0.36mm(SnPb)	LS/KOS	0.36mm(SnAgCuIn)	KOS
Cross connector	6*0.3/3*0.3mm(SnPb)	Sanko	6*0.3/3*0.3mm(SnAgCuIn)	Sanko
EVA	HEP-02T (550g)	HAMC	HEP-02T (550g)	HAMC
Back sheet	2211*1039*2.0mm with white grid	FGG	1715*702*2.0mm without white grid	Xinyi
J/BOX	JM07X (18A)	JMTHY	JM07X (15A)	JMTHY
Frame	G7.2L	Ttergy/Freemetal	G7.2L	Freemetal
Frame silicone	Crevo 709	CREVO	Crevo 709	CREVO
Potting silicone	Crevo 315	CREVO	Crevo 315	CREVO



<그림 X> 영농형 태양광 모듈 도면

1) Pb-free wire 개발


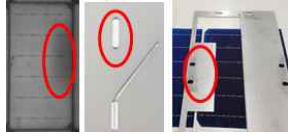
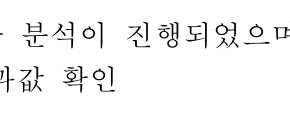
- 기존 SnAg Pb-free wire의 경우 솔더의 액상선(Liquidus line)과 고상선(Solidus line)의 편차로 인해 Mis-soldering 발생확률이 높아 이를 해소하기 위해 공정 온도를 높일 경우 cell crack 등 불량 및 장기 발전 시 온도변화에 따른 수축팽창에 의해 내구성 저하 현상 확인
- 이에 대한 개선을 위해 Ag, Cu, In, Bi 첨가물질 관련 기초 평가를 진행하여 최적 Solder 비율 확보 평가 진행

<표X> Pb-free wire 조성별 액상선, 고상선, 편차 분석

구분	SnPb wire	SnAgCuIn wire	SnBiAgCu wire	SnAgIn wire
액상선[°C]	187	227.1	209.5	205.4
고상선[°C]	184.2	218.3	190.3	182.1
편차[°C]	-2.8	-8.8	-19.2	-23.3

- Pb 첨가 wire 대비 높은 공정 온도에 따른 생산성 저하 개선을 위한 공정조건 최적화가 필요함에 따라 각 공정 조건별 기초 평가를 통한 Pb-free wire 공정 최적화 진행
- 평가 결과 액상선과 고상선의 편차가 가장 적은 SnAgCuIn 조성 확정 및 이에 대한 부착력 평가(Pell test) 진행

<표X> Pb-free wire recipe 최적화 진행 평가표

Comment	Recipe number	Recipe Concept	결과	참고 이미지
Pb free wire recipe	1	Increasing high (Temp/Power/Hold time)	String reject 3.3% Front EL reject 55%	
	2	Increasing high (Temp/Power/Hold time) lower yield strength	String reject 2.78% Front EL reject 33%	
	3	Increasing high (Temp/Power/Hold time) One step soldering IR ramp match	String reject 2.07% Front EL reject 30%	

- 부착력 평가는 12개의 개별 Bus line에 대해 각 7개 포지션에 대한 분석이 진행되었으며, 모든 포지션에서 기초 신뢰성이 확보 되어지는 0.3N/cm 이상의 결과값 확인

<표X> Pb-free wire peel test 결과(0.3N/cm 만족)

Point	L1	L2	L3	L4	L5	L6	R6	R5	R4	R3	R2	R1
QC 기준	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
1	1.75	3.33	1.98	2.12	3.44	1.81	0.34	2.83	2.23	0.95	0.52	1.76
2	0.45	2.26	3.05	1.29	1.81	0.93	1.76	0.62	0.76	2.15	1.02	1.91
3	0.98	0.93	4.84	3.23	4.26	1.79	1.50	1.90	1.56	2.07	3.73	3.09
4	2.07	2.44	2.57	3.08	2.27	2.08	2.24	1.91	1.44	2.48	1.95	5.47
5	1.76	4.37	2.51	4.89	5.10	3.56	3.51	1.57	2.59	2.61	2.76	3.76
6	3.33	4.32	1.56	4.99	3.22	4.13	2.48	2.08	3.67	1.50	2.92	4.92
7	5.33	3.56	1.53	4.77	3.67	3.84	3.78	3.97	3.88	4.73	2.19	4.63
평균	2.24	3.03	2.58	3.48	3.40	2.59	2.23	2.13	2.30	2.36	2.16	3.65

2) 밀봉재(Encapsulant) 적용성 평가

- Pb free wire 적용 태양광 모듈에서는 태양전지 보호를 위해 POE(Polyolefin Elastomer) 소재 적용이 주류를 이루고 있음
- POE 소재의 경우 고내구성 소재이지만 상대적으로 느린 공정 속도 및 고단가의 단점을 가지고 있어 고성능 EVA(Ethylene Vinyl Acetate) 소재 및 EPE(EVA/POE/EVA) 소재 적용에 대한 필요성이 증가하고 있음
- 이에 따라 제품 경쟁력 확보를 위해 체적저항(Volume Resistivity) 개선 EVA 소재에 대한 라미네이션 기초 평가 진행
- 평가에 사용되어진 밀봉재는 범용 EVA, Standard curing EVA, Fast curing EVA에 대한 평가를 진행하였으며, 평가 결과 Fast curing EVA의 공정성능 개선이 가장 우수함을 확인

<표X> 밀봉재 종류별 라미네이션 공정 조건

EVA type	Ref. EVA	Standard EVA	Fast curing EVA
Pre Heating Chamber	Temp 50°C Chamber cycle time 260s	Temp 50°C Chamber cycle time 260s	Temp 50°C Chamber cycle time 260s
Front Chamber	Up temp 120°C Down TEMP 170°C Chamber cycle time 261s	Up temp 118°C Down TEMP 175°C Chamber cycle time 258s	Up temp 118°C Down TEMP 175°C Chamber cycle time 258s
Post Chamber	Up temp 134°C Down TEMP 156°C Chamber cycle time 258s	Up temp 134°C Down TEMP 156°C Chamber cycle time 258s	Up temp 130°C Down TEMP 159°C Chamber cycle time 250s
Cooling Chamber	Temp 15°C Chamber cycle time 260s	Temp 15°C Chamber cycle time 260s	Temp 15°C Chamber cycle time 260s
Tact Time	17min 19s	17min 16s	17min 08s

<그림 X> 가교율 분석 관련 내부 작업표준서

- 밀봉재로 사용되어진 EVA는 열경화성 수지로써 가교밀도(Gel content)에 따라 내구성이 변화되어지는 성질을 보유하고 있음
- 저가교(가교율 85% 미만) 상태에서는 수분 투습에 의한 격자손상, 내구성 저하가 발생되어지고 고가교(가교율 95% 이상) 상태에서는 수지에 의한 태양전지 파손 및 밀봉재 변형 발생
- 최종 선정되어진 라미네이션 공정조건을 활용하여 시료를 제작 후 가교율 분석 시 모든 시료의 가교율은 85% ~ 95% 사이에 위치하였으며, 평균 가교율은 88.55%로 확인

8 테스트 진행 절차			
아래 순서에 맞춰 Xylene 평가 진행			
Legend R - 책임자 OP - 실행자			
No	R	Action	Illustration
9.1	OP	1st 샘플링 Fig.1 or 2 에 맞춰 1 st 샘플링 진행 - 정해진 위치에 맞춰 100*100mm 사이즈로 Back sheet 를 잘라낸다. - 잘라진 Back sheet 를 채취한다. - Siliconized 필름을 제거한다.	Fig.12 : 1 st 샘플링 모습 (100mmX100mm)
9.2	OP	1st 샘플 채취 - Gel test 용 1 st 샘플 채취한다. - Siliconized 필름을 제거해 준다. - Encapsulation(EVA) 분리해 낸다.	Fig.13 : 1 st 샘플 채취 모습
9.3	OP	2nd 샘플링 - 표준 샘플 사이즈(10*10mm±1)에 맞춰 Gel test 용 2 nd 샘플 채취한다. - Xylene 용액에 투입하기 전 무게를 측정해 둔다.	Fig.14 : 2 nd 샘플 준비되어진 모습
9.4	OP	Xylene 용액 투입 및 반응 시작 - Xylene 투입량 100ml - 오븐 설정 온도 110°C - 유지시간 12hour	Fig.15 : 테스트 모습
9.5	OP	12hour 반응 종료한 샘플 건조 - 유리병 내 Xylene 용액 제거한다. - Mesh 망을 통해 테스트용 샘플 분리해 낸다. - 분리해 낸 샘플을 8hour 시간 동안 건조 시켜 준다. - 8hour 건조 완료된 샘플의 무게를 측정한다.	Fig.16 : 테스트 샘플 건조 모습

No	R	Action	Illustration																
9.6	OP	EVA 가교율 확인 Cross-linking Ratio (%) $= 100 - ((A - B/C) * 100)$ A : Xylene 용액 투입 전 초기 무게 B : 8h 건조 완료 후 측정된 무게 C : 초기 샘플 무게																	
9.7	-	평가 기준 <table border="1"> <thead> <tr> <th>EVA material</th> <th>Gel Content</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>HAMC HEP-21/J</td> <td>≥ 85% up to 95%</td> </tr> <tr> <td>HAMC HEP-02/T</td> <td>≥ 80% up to 95%</td> </tr> <tr> <td>Hanwha HEP02/T-T-CE</td> <td>≥ 80% up to 95%</td> </tr> <tr> <td>Sanic PV-FST/O</td> <td>≥ 80% up to 95%</td> </tr> <tr> <td>SOC EF2N/T</td> <td>≥ 80% up to 95%</td> </tr> <tr> <td>TPI S130HP/F130BC</td> <td>≥ 80% up to 95%</td> </tr> <tr> <td>First F406PS / F806PS</td> <td>80% up to 95%</td> </tr> </tbody> </table>	EVA material	Gel Content	HAMC HEP-21/J	≥ 85% up to 95%	HAMC HEP-02/T	≥ 80% up to 95%	Hanwha HEP02/T-T-CE	≥ 80% up to 95%	Sanic PV-FST/O	≥ 80% up to 95%	SOC EF2N/T	≥ 80% up to 95%	TPI S130HP/F130BC	≥ 80% up to 95%	First F406PS / F806PS	80% up to 95%	
EVA material	Gel Content																		
HAMC HEP-21/J	≥ 85% up to 95%																		
HAMC HEP-02/T	≥ 80% up to 95%																		
Hanwha HEP02/T-T-CE	≥ 80% up to 95%																		
Sanic PV-FST/O	≥ 80% up to 95%																		
SOC EF2N/T	≥ 80% up to 95%																		
TPI S130HP/F130BC	≥ 80% up to 95%																		
First F406PS / F806PS	80% up to 95%																		
9.8	-	결과 관리 1) 평가 및 결과 관리 - 테크놀로지 팀 2) 결과 검토 및 관리 - 테크놀로지 팀 (담당 엔지니어) 3) 데이터 송부 주제 - 테크놀로지 팀 4) 데이터 공유 범위 - 품질관리팀 - 고객사 등	<p>** 측정 결과 기록 관리 시트 : REC-A-09-SOP-004-002</p>																

** 현장 온도도 관리는 공장환경관리처침 준수 (K-DIR-01-02-01-0001)

** Xylene(Gel Content) 부적합 처리 지침 준수 (K-DIR-01-02-09-0003)

** 측정 결과 기록 관리 시트 (REC-A-09-SOP-004-002)

** 하위 문서 관리는 문서 및 기록관리 절차서 준수)

<표X> 밀봉재 Gel content 분석 결과

Sample position	초기 중량 (g)	24h 경과 (g)	Gel content (%)
1	1.0547	0.9405	89.17
2	1.0267	0.9118	88.81
3	1.0519	0.9287	88.29
4	1.0311	0.9099	88.25
5	0.9767	0.8616	88.22

3) 태양광 모듈 신뢰성 분석

- 작물 재배 시 제초제 및 살충제 등의 농약 살포가 필요하며 이에 따른 태양광 모듈 외부 노출 소재에 대한 내구성 검토 필요
- 플라스틱과 반응성이 높은 유제 성분의 농약 3종(이소피라잠, 델타메트린, 알파사이퍼메트린) 및 J-BOX 제조사의 권고물질인 파라핀 성분의 농약 1종을 실험군으로 도포 후 외관 변형 상태 분석 진행
- 평가는 원액 10h 노출 방식 및 각 농약 시료의 사용법에 따른 희석액 25일 노출 방식으로 진행하였으며, 평가 시 원액 노출에서는 변형이 발생하였지만 희석액의 경우 변형 미 발생으로 농약에 의한 태양광 모듈 신뢰성 저하는 없을 것으로 예측

※ 델타메트린, 알파사이퍼메트린 희석액 25일 경과 시료 표면 크랙이 발생되었지만 성능 저하 없음

Test 원자재	농약명(주성분)				Remark
	아비온 - 비료 (파라핀)	새나리 - 살균제 (이소피라짐 유제)	데시스 - 살충제 (델타메트린 유제)	화스타 - 살충제 (알파사이피메트린 유제)	
Front Glass	색상 변화(코팅 손상 추정)	변화 미발견	변화 미발견	변화 미발견	유사 원자재로 Test -AR 코팅 및 Glass 성분 동일 -Rear Glass는 AR 코팅 미적용 되어 test 제외
Frame	변화 미발견	변화 미발견	변화 미발견	변화 미발견	유사 원자재로 Test -Anodizing 두께 동일(12um)
Silicone	색상 변화	색상 변화	변화 미발견	변화 미발견	동일 원자재로 Test
J-box Body	변형(뒤틀림) 발생	변화 미발견	Crack 발생	Crack 발생	유사 원자재로 Test -원재료(PV540Z) 동일
J-box Cable	변화 미발견	변화 미발견	변화 미발견	변화 미발견	동일 원자재로 Test
J-box Connector	변화 미발견	Crack 발생	Crack 및 변형 발생	Crack 및 변형 발생	동일 원자재로 Test

<그림 X> 농약 4종 원액 10h 노출 결과

Test 원자재	농약명(주성분)				Remark
	아비온 - 비료: 0.75% 희석 (파라핀)	새나리 - 살균제: 0.05%희석 (이소피라짐 유제)	데시스 - 살충제: 0.1%희석 (델타메트린 유제)	화스타 - 살충제: 0.1%희석 (알파사이피메트린 유제)	
Front Glass	변화 미발견	변화 미발견	변화 미발견	변화 미발견	유사 원자재로 Test -AR 코팅 및 Glass 성분 동일 -Rear Glass는 AR 코팅 미적용 되어 test 제외
Frame	변화 미발견	변화 미발견	변화 미발견	변화 미발견	유사 원자재로 Test -Anodizing 두께 동일(12um)
Silicone	변화 미발견	변화 미발견	변화 미발견	변화 미발견	동일 원자재로 Test
J-box Body	변화 미발견	변화 미발견	변화 미발견	변화 미발견	유사 원자재로 Test -원재료(PV540Z) 동일
J-box Cable	변화 미발견	변화 미발견	변화 미발견	변화 미발견	동일 원자재로 Test
J-box Connector	변화 미발견	변화 미발견	4개중 3개 표면 Crack	4개중 1개 표면 Crack	동일 원자재로 Test

<그림 X> 농약 4종 희석액 25일 노출 결과

	1차 Test 4매 (농약 원액) 결과	2차 Test 16매 (농약 희석) 결과
원부자재 Damage	<p>새나리 - 살균제 (이소피라짐_유제) → 1/1개 Crack</p>  <p>데시스 - 살충제 (델타메트린_유제) → 1/1개 Crack 및 변형</p>  <p>화스탁 - 살충제 (알파사이피메트린_유제) → 1/1개 Crack 및 변형</p> 	<p>새나리 - 살균제 0.05% (이소피라짐_유제) → OK</p>  <p>데시스 - 살충제 0.1% (델타메트린_유제) → 3/4개 표면 Crack • 단순 표면 손상으로 육안 확인 어려움</p>  <p>화스탁 - 살충제 0.1% (알파사이피메트린_유제) → 1/4개 표면 Crack • 단순 표면 손상으로 육안 확인 어려움</p> 
	<p>※ 일본 사례 - 2013년부터 영농형 Module 사업 시작(연간 400건) 2021년 현재, 농약에 의한 품질 Claim 사례 미확인</p>	
품질 검증	ABT(Air Bubble Test) : Crack 발생 3/3개 Fail	ABT(Air Bubble Test) : 표면 Crack 4/4개 Pass

<그림 X> 원액 및 희석액 노출에 따른 상대 비교

- 농약에 의한 반응성 평가를 통해 외부 적용 소재를 선정 완료하였으며, 이를 기반으로 태양광 모듈 장기신뢰성 확보 여부 확인을 위한 물리, 전기, 광학 신뢰성 시험 진행
- 신뢰성 평가는 안전사고 방지를 위한 적설하중 및 풍하중 관련 물리적 하중 시험을 진행하였으며, 설치방식의 다각화를 위해 다양한 체결방식에 대한 평가 진행
- 물리적하중 시험은 가장 보편적으로 사용되어지는 클램프를 이용한 CL1a, CL2a, CL2b 및 볼트를 이용한 FB1항목에 대한 평가 진행
- 평가 방식은 평가 전 초기 출력 측정 및 절연성능 확인 후 적설하중과 풍하중을 인가하여 태양광 모듈의 파손이 없으며, 초기 대비 5% 이하의 출력저하, 절연성능 유지를 기준으로 평가 결과 모든 설치 조건을 만족함을 확인

3.6.1 Mounting Options on Module Long-Side

3.6.1.1 CL1a - 4 Point clamping on long side with substructure

4 clamps on long side of the module. Clamps are fastened on two mounting rails with 40mm width, which run under the test module perpendicular to the long side. This mounting option was formerly called CL1.

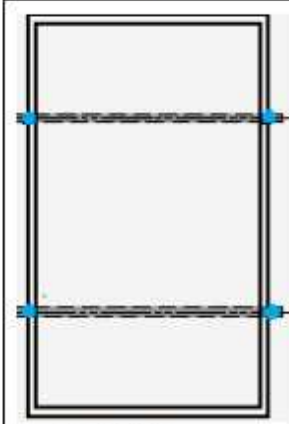


Figure 7: CL1a

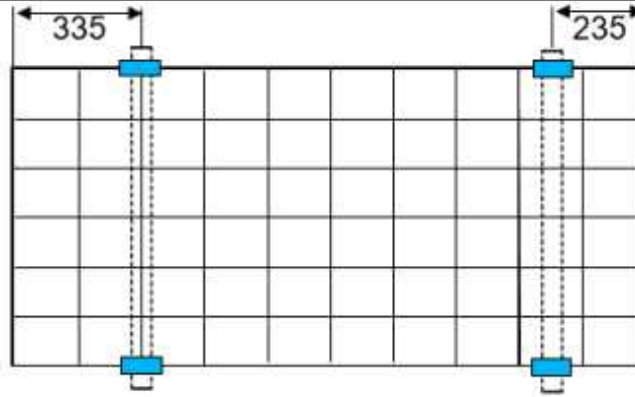


Figure 8: CL1a mounting example: CL1a_335/225



Figure 9: Photo of a module tested using CL1a_650/20 mounting option.

구분	Voc(V)	Vmp(V)	Isc(A)	Imp(A)	Pmax(W)	F.F(%)	절연
초기	27.25	22.76	11.08	10.44	237.85	78.75	만족
시험후	27.04	22.24	10.84	10.23	227.79	77.64	만족
저하율(%)	0.77	2.28	2.17	2.01	4.23	1.41	-

3.6.2 Mounting Options on Module Short-Side

3.6.2.1 CL2a - 4 Point clamping on short side with substructure

4 clamps on short side of the module. Clamps are fastened on two mounting rails with 40mm width, which run under the test module parallel to the long side.

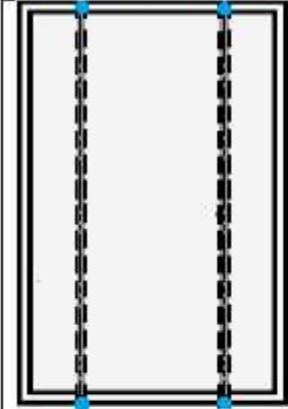


Figure 37: CL2a

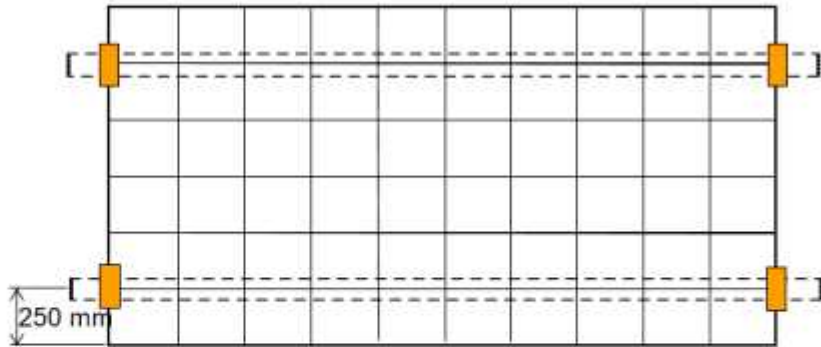


Figure 38: CL2a mounting example: CL2a_250

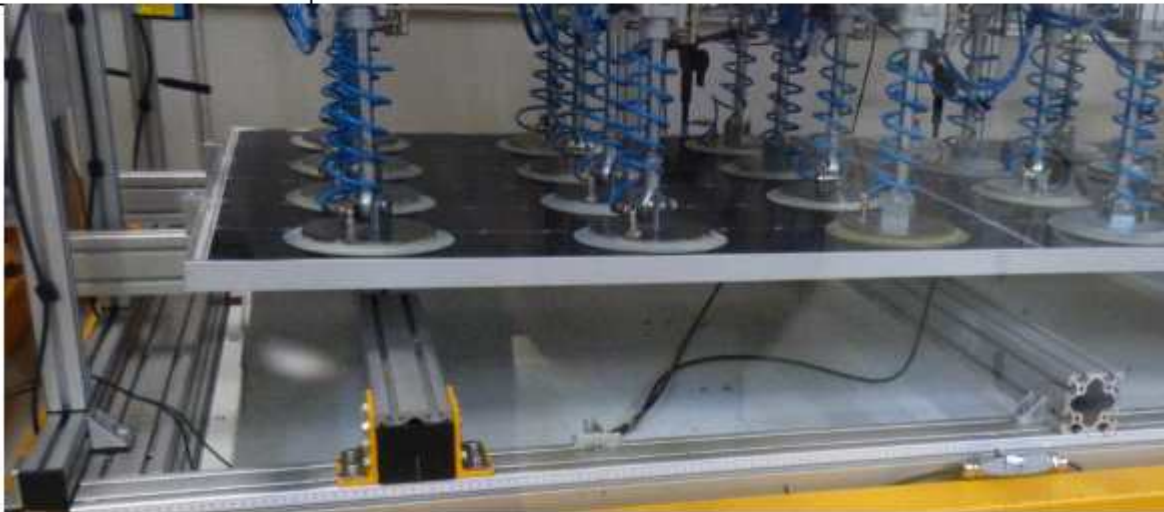


Figure 39: Photo of a module tested using CL2a mounting option.

구분	Voc(V)	Vmp(V)	Isc(A)	Imp(A)	Pmax(W)	F.F(%)	절연
초기	27.23	22.40	11.11	10.50	235.41	77.78	만족
시험후	27.14	22.17	11.06	10.41	231.07	77.65	만족
저하율(%)	0.33	1.03	0.45	0.86	1.84	0.17	-

3.6.2.2 CL2b - 4 Point clamping on short side without substructure

4 clamps on short side of the module. Clamps are fastened on four mounting rails with 40mm width, which do not run under the test module parallel to the long side.

The laminate of the test module must not touch the test base during testing! If test module makes contact to the test base, make sure to use higher mounting rails so that this is prevented.

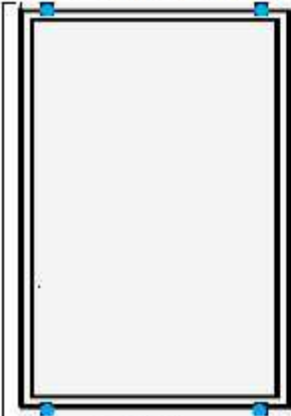


Figure 40: CL2b

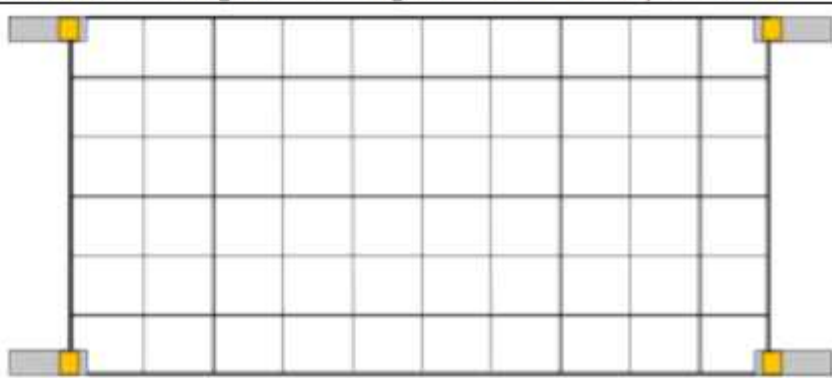


Figure 41: CL2b mounting example: CL2b_20



Figure 42: Photo of a module tested using CL2b mounting option.

구분	Voc(V)	Vmp(V)	Isc(A)	Imp(A)	Pmax(W)	F.F(%)	절연
초기	27.34	22.70	11.06	10.64	237.66	78.80	만족
시험후	27.12	22.09	11.03	10.43	230.47	77.02	만족
저하율(%)	0.80	2.69	0.27	1.97	3.03	2.26	-

3.6.1.5 FB1 - 4 Point screw mounting on module mounting holes on long side with sub-structure

4 screws on long side of the module. Screws are fastened on two mounting rails with 40mm width, which run under the test module perpendicular to the long side.

M8 screws and Ø15.8 mm washers must be used on the module mounting holes.

Position of the screws do not need to be mentioned in FB1 mounting, since the module mounting holes have to be used anyways.

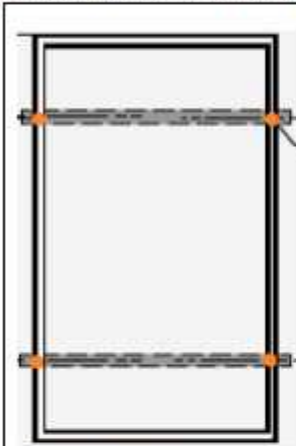


Figure 19: FB1

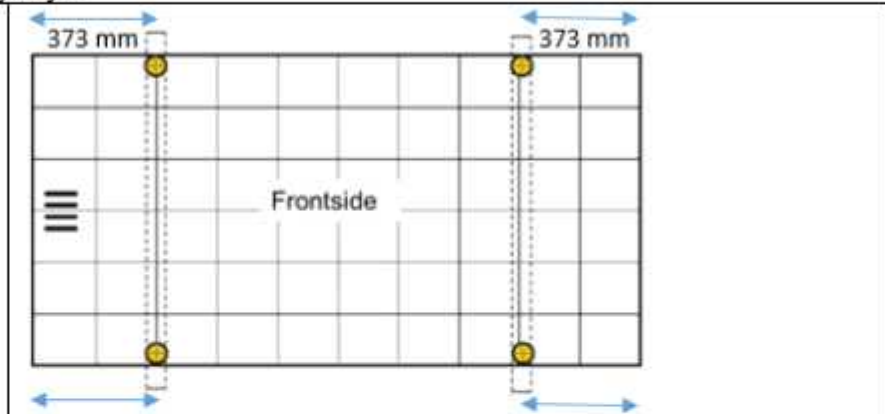


Figure 20: FB1 mounting example: FB1




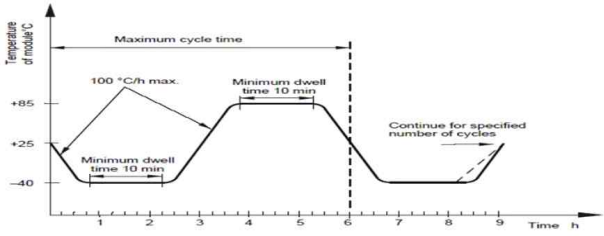
Figure 21: Photo of a module tested using FB1 mounting option.

구분	Voc(V)	Vmp(V)	Isc(A)	Imp(A)	Pmax(W)	F.F(%)	절연
초기	27.27	22.68	11.08	10.58	239.10	79.41	만족
시험후	27.10	22.13	10.83	10.31	228.41	77.76	만족
저하율(%)	0.62	2.43	2.26	2.55	4.47	2.08	-

- 개발 태양광 모듈에 대한 물리적 안정성 확인 후 외부환경 모사 온도, 습도, 자외선에 대한 장기 신뢰성 확보 관련 내구성 평가 필요
- 고온고습 환경에 대한 장기 신뢰성 확인을 위해 KS C 8561 결정질 실리콘 태양광발전 모듈 성능 표준과 동일 환경인 온도 85°C, 습도 85% 환경에서 1,000h 유지 후 초기 대비 절연 성능 유지, 출력저하율 5% 미만에 대한 분석 진행
- 초기 절연 성능 확인 및 출력 측정 후 고온고습 전처리 완료 태양광 모듈에 대한 분석 시 절연 성능은 유지되었으며, 출력저하는 초기 대비 3.64% 출력저하로 고온고습 환경에서의 내구성 확보 확인

고온고습 평가 (Damp Heat)		온도 85°C, 습도 85%, 1,000h 전처리					
				<ul style="list-style-type: none"> - Temp. range : -45°C ~ +100°C - Humi. range : 20%RH ~ 95%RH - Humidity control range <ul style="list-style-type: none"> 20 °C : 45%RH to 95%RH 30 °C : 30%RH to 95%RH 40 °C : 30%RH to 95%RH 50 °C : 25%RH to 95%RH 60 °C : 23%RH to 95%RH 70 ~ 80°C : 15%RH to 95%RH 			
				구분	Voc(V)	Vmp(V)	Isc(A)
초기	27.25	22.76	11.08	10.44	237.85	78.75	만족
시험후	27.04	22.24	10.84	10.23	229.19	77.64	만족
저하율(%)	0.77	2.28	2.17	2.01	3.64	1.41	-

- 동절기와 하절기 및 발전이 진행되어지는 낮 시간과 밤의 온도 편차에 의해 태양광 모듈은 온도 변화에 대한 장기 신뢰성이 확인되어야 함
- KS C 8561 결정질 실리콘 태양광발전 모듈 성능 표준에서는 온도사이클(Thermal Cycle) 평가 항목이 마련되어 있으며, 해당 표준과 동일 환경에서의 장기 신뢰성 분석 필요
- 분석은 초기 25℃에서 -40℃의 저온 환경 변화 상태 10분간 유지 후 다시 85℃의 고온 환경으로 재 변화하는 것을 1회로 총 200회의 변화 환경 시험 후 초기 대비 절연 성능 유지, 출력 저하율 5% 미만에 대한 분석 진행
- 초기 절연 성능 확인 및 출력 측정 후 온도 변화 200회 전처리 완료 태양광 모듈에 대한 분석 시 절연 성능은 유지되었으며, 출력저하는 초기 대비 3.28% 출력저하로 온도변화 환경에서의 내구성 확보 확인

온도가변 평가 (Thermal Cycle)		온도 -45℃ ~ +85℃, 200회 가변					
		<ul style="list-style-type: none"> - Temp. range : -45 °C ~ +100 °C Accuracy : ± 0.2 °C Stability : ± 1.0 °C - Temp. Rise time 0 °C to +100 °C : within 50 min - Temp. Fall time 0 °C to -45 °C : within 45 min 					
							
구분	Voc(V)	Vmp(V)	Isc(A)	Imp(A)	Pmax(W)	F.F(%)	절연
초기	27.27	22.83	11.03	10.40	237.45	78.86	만족
시험후	27.23	22.54	11.08	10.18	229.67	76.06	만족
저하율(%)	0.15	1.27	-0.45	2.12	3.28	3.55	-

- 최대 일사량 흡수를 위해 태양광 모듈은 옥외 환경의 남향 방향으로 설치되어지며, 이에 따라 자외선에 의한 강화유리, 밀봉재, 태양전지의 신뢰성 저하가 발생되어짐에 따라 자외선 장기 노출에 대한 장기 신뢰성이 확인되어야 함
- KS C 8561 결정질 실리콘 태양광발전 모듈 성능 표준에서는 자외선 조사 평가 항목이 마련되어 있으며, 해당 표준과 동일 환경에서의 장기 신뢰성 분석 필요
- 분석은 280nm ~ 400nm의 UV 대역의 광원을 15kW 지속 조사 후 초기 대비 절연 성능 유지, 출력 저하율 5% 미만에 대한 분석 진행
- 초기 절연 성능 확인 및 출력 측정 후 UV 15kW 전처리 완료 태양광 모듈에 대한 분석 시 절연 성능은 유지되었으며, 출력저하는 초기 대비 2.25% 출력저하로 옥외 노출 시 UV에 의한 내구성 확보 확인

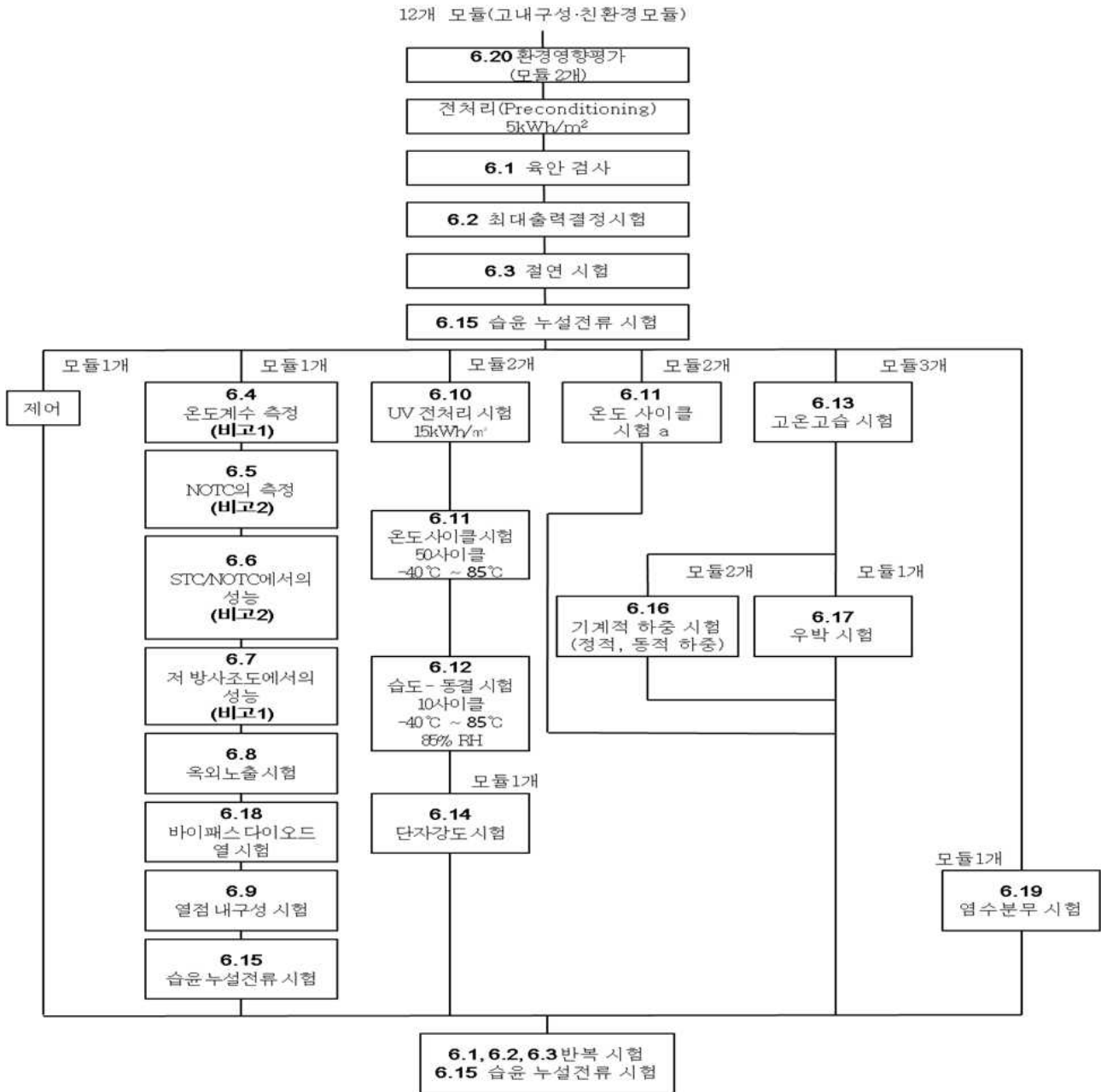
자외선 조사 평가 (UV Test)		UV-A 320nm ~ 400nm, UV-B 280nm ~ 320nm, 복합 15kW 조사					
		측정범위 : 0.0 ~ 2000.0 W/m ² 측정감도 : 2.6uV/(uW/cm ²) UV-A 측정파장 : 320nm ~ 400nm UV-B 측정파장 : 280nm ~ 320nm 정밀도 : < 10% 자외선량측정 : 0.00 ~ 100.00 kWh/m ² 사용온도 : 20 ~ 50°C (모듈온도 60±5°C)					
		구분	Voc(V)	Vmp(V)	Isc(A)	Imp(A)	Pmax(W)
초기	27.25	22.64	11.07	10.46	237.01	78.5	만족
시험후	27.14	22.16	11.06	10.45	231.67	77.10	만족
저하율(%)	0.40	2.12	0.09	0.10	2.25	1.78	-

4) 태양광 모듈 제품인증

- KS 인증 절차에서는 육상환경에서 사용되어지는 태양광 모듈 및 수상환경 등 특수 환경에서 사용되어지는 태양광 모듈에 대한 인증 시험 절차를 구분하여 운영 중
- 특수 환경용 태양광 모듈은 수상 환경을 기반으로 수분 투습 및 하중에 대한 강점을 보유한 제품에 대한 시험 평가 항목으로 구성되어 있으며, **고내구성 친환경 태양광 모듈** 인증으로 구분되어짐
- 영농형 태양광 모듈의 경우 농작물 재배를 위해 답의 경우 상시 물이 채워져 있으며, 전의 경우 농작물 성장 촉진을 위해 주기적으로 물을 채워주거나 스프링 쿨러를 이용하여 분사

하는 형태로 운영


- 이러한 환경적 요인을 기반으로 일반 태양광 모듈에 대한 제품 인증이 아닌 고내구성 친환경 태양광 모듈 제품 인증 획득 진행
- 제품인증은 1차년도 초도개발품에 대한 인증 획득 이 후 해당 제품을 실증시설에 설치하여 효과 분석을 진행 중에 있으며, 2차년도에는 제품 경제성 확보를 위한 원가절감형 제품 개발 후 인증 취득을 통해 사업 기간 내 2건의 고내구성 친환경 태양광 모듈 KS 인증 2건 획득 완료



<그림 X> 고내구성 친환경 태양광 모듈 인증시험 절차도

1차년도 획득 KS 인증서

제 PV0118047 호 최초인증일자 : 2018년 02월 07일




제 품 인 증 서

1. 제조업체명 : 한화솔루션 주식회사 진천사업장
2. 대표자성명 : 이구영, 김희철, 류두형
3. 공장소재지 : 충북 진천군 이월면 산수산단2로 202 한화퓨셀엔드첨단소재(주) 진천사업장
4. 인증제품
 - 가. 표준명 : 결정질 태양전지 모듈(일반모듈)
 - 나. 표준번호 : KS C 8561:2020
 - 다. 종류·등급·호칭 또는 모델 :
- Q.PEAK DUO MS-G10.d/BGT KR1 230 와 28개
(인증제품 모델의 특징, 업체 정보의 변경 이력은 부속서 2 및 3을 따름)

산업표준화법 제17조 제1항에 따른 인증심사를 한 결과 한국산업 표준(KS)과 인증심사기준에 적합하므로, 산업표준화법 제15조 및 같은 법 시행규칙 제10조 제1항에 따라 위와 같이 한국산업표준(KS)에 적합함을 인증합니다.

2018년 02월 07일
(정기심사 기한일 : ~ 2024.02.06)

한국에너지공단 부설
신재생에너지센터 소장




○ 인증서 사용자 : 내부보고용
○ 출력(다운로드) 일자 : 2021-10-06 10:48:02
○ 출력자 명(담당자) : 최선

부속서 1 : KS인증기업 관련 세부정보 1부
부속서 2 : KS인증제품 모델명 특징 및 변경이력 1부
부속서 3 : KS인증 기업 정보 변경 이력 1부
부속서 4 : KS모델 인증 리스트 1부, 끝.

2차년도 획득 KS 인증서

제 PV0116010 호 최초인증일자 : 2016년 06월 08일




제 품 인 증 서

1. 제조업체명 : 한화솔루션 주식회사 음성 제2사업장
2. 대표자성명 : 이구영, 김은수, 남이현, 김인환, 김동관
3. 공장소재지 : 충북 음성군 금왕읍 대금로 1329 한화솔루션 주식회사 음성 제2사업장
4. 인증제품
 - 가. 표준명 : 결정질 실리콘 태양광발전 모듈
 - 나. 표준번호 : KS C 8561
 - 다. 종류·등급·호칭 또는 모델 :
- Q.PEAK DUO XL-G11.2 KF1 570 와 139개
(인증제품 모델의 특징, 업체 정보의 변경 이력은 부속서 2 및 3을 따름)

산업표준화법 제17조 제1항에 따른 인증심사를 한 결과 한국산업 표준(KS)과 인증심사기준에 적합하므로, 산업표준화법 제15조 및 같은 법 시행규칙 제10조 제1항에 따라 위와 같이 한국산업표준(KS)에 적합함을 인증합니다.

2016년 06월 08일
(정기심사 기한일 : ~ 2025.06.07)

한국에너지공단 부설
신재생에너지센터 소장



부속서 1 : KS인증기업 관련 세부정보 1부
부속서 2 : KS인증제품 모델명 특징 및 변경이력 1부
부속서 3 : KS인증 기업 정보 변경 이력 1부
부속서 4 : KS모델 인증 리스트 1부
부속서 5 : KS인증 제품 신고서, 끝.

- 농작물 재배 환경에 설치되어지는 영농형 태양광 모듈 특성 상 사고 발생 시 중금속이 유출되지 않아야 하며, 이를 위해 후면 보호재를 박막의 PET 필름에서 2mm 두께의 저철분 강화유리 적용, 기존 SnPb wire에서 Pb free wire 적용 태양광 모듈 개발 진행
- RoHS 인증에서는 전기, 전자제품을 제조하는데 있어서 특정 유해물질 사용제한에 대한 평가 항목으로 납(Pb), 카드뮴(Cd), 수은(Hg), 6가 크롬(Cr6+), PBBs(Polybrominated phenyls), PBDEs(Polybrominated diphenyl ethers)에 대한 검출 시험 진행
- 개발되어진 영농형 태양광 모듈의 중금속 유출 여부에 대한 확인을 위해 RoHS 인증시험을 진행하였으며, 평가 결과 유해물질의 유출 없음 확인

5) 한국형 협소형 영농형 태양광 모듈 시제품 제작 및 인증 (한화솔루션)

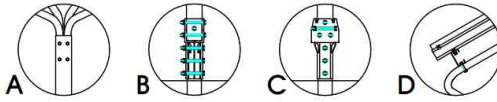
가) 한국형 협소형 영농형 태양광 모듈 시제품 제작 및 배추 작물 경작 실증(경산 영남대)



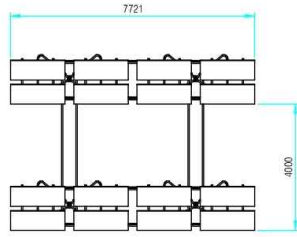
그림. 협소형 영농형 태양광 시스템 실증 사진

- 위 사진에 본 과제에 의해 개발된 한국형 협소형 영농형 태양광 모듈의 밭작물 경작 실증 현장 사진을 나타내었다. 본 과제를 통해 개발된 한화솔루션(주)의 모듈‘Q.PEAK.DUO MS-G10.d/BGT(M6 80HC)’은 KOLAS 인증 후 경산 영남대학교의 밭작물 실증에 활용되어 1회 배추 작물의 경작을 진행하였다. 배추 작물의 작황은 일반 대조구 농지에 비해 91%의 작황(정선 전)을 보여 감수율이 9%로 도출되었다.

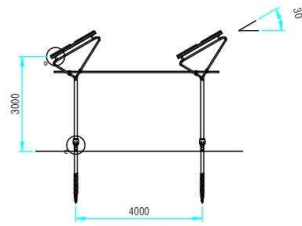
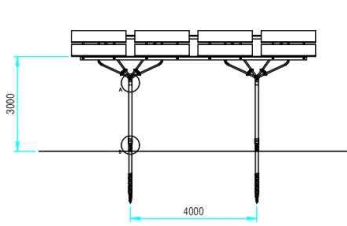
- 기둥 간격 4m, 기둥 높이 3 m, 차광률 30%로 설치되었으며, 기초구조는 1.6m, Spiral-pile 을 사용하였다. 모듈 간 연결은 최소화하여 Y-Support 구조를 사용하였으며 그 도면은 아래와 같다.



A: POLE & Y-SUPPORT 체결 (M10*120 4EA 체결)
 B,C : 기초부 & POLE 체결 (윗부분 : M14*140 4EA 체결 / 아랫부분 : M14*130 3EA 체결)
 D: MODULE & S-BAR 체결 (M8*20 4EA 체결)
 S-BAR & H-BAR 체결 (M10*30 2EA 체결)
 H-BAR & Y-SUPPORT 체결 (M10*60 2EA 체결)



BOLT TABLE					
구분	사양	연결	수량(본)	재질	참고(NTS)
①	M8*20	MODULE & S-BAR	4ea	STS304	☞ ○
②	M10*30	S-BAR & H-BAR	2ea	4.6	☞ ○
③	M10*60	H-BAR & Y-SUPPORT	2ea	4.6	☞ ○
④	M10*120	Y-SUPPORT & POLE	4ea	4.6	☞ ○
⑤	M14*130	BASE BRACKET * HELICAL	3ea	4.6	☞ ○
⑥	M14*140	POLE & BASE BRACKET	4ea	4.6	☞ ○



구역1 상세도
SCALE NONE

그림. 한국형 협소형 영농형 태양광 시스템 구조물 도면

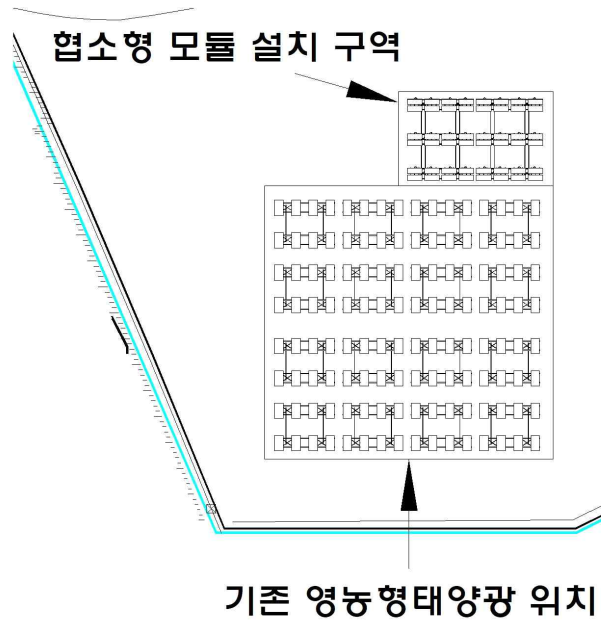
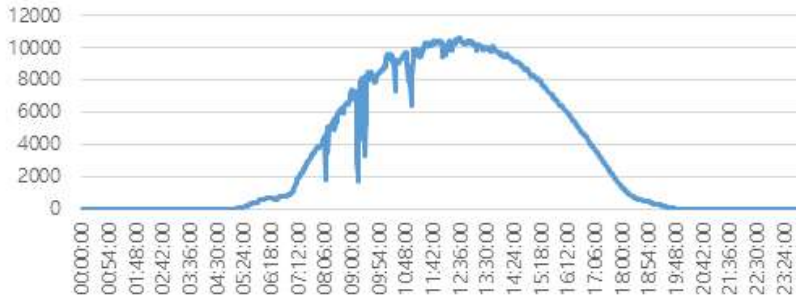


그림. 협소형 영농형 태양광 시스템 설치 구역 도면

영농형 11.28kW 발전량(W):
71,557.2kW/10kW용량



영농형 49.28kW 발전량(W):
62,700.6kW/10kW용량

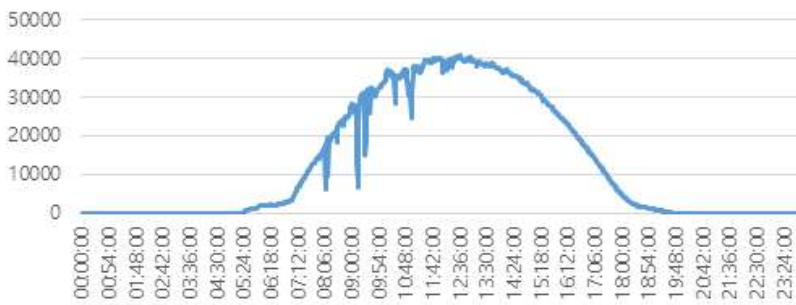


그림. 협소형 영농형 태양광 시스템 발전량 데이터 (22년 6월 16일)

14.1% 발전량 증가

<표. 협소형 영농형 태양광 시스템 누적 발전량 데이터>

기간	일수	평균대기 온도(°C)	GHI 누적일사량 (Wh/m ²)	11.28kW 영농형일일 발전량(Wh/m ²)	49.28kW 영농형일일 발전량(Wh/m ²)
22.06.16 -06.30	13	27.60	80,634	837,105	3,141,846
22.07.01 -07.31	31	27.19	147,710	1,531,352	5,865,097
22.08.01 -08.31	31	26.74	122,743	1,321,263	5,209,479
22.09.01 -09.15	15	22.10	54,008	618,434	2,473,504
합계	90	26.42	405,095	4,308,153	16,689,926

발전량 12.8% 증가

- 위 모듈은 한화와 영남대가 공동으로 협력하여 RoHS 인증, 친환경 인증기준에 부합하도록 납 등의 중금속을 사용하지 않았으며 셀의 배치에 열간 간격을 조금 주어 빛의 투과를 돕고, 협소형이지만 발전 용량을 극대화하기 위해 40 cell 크기로 제작하고 양면형 모듈을 사용하였다. 발전량의 경우, 일일 발전 시, 단면 일반 상용모듈의 발전량에 비해 최대 14% 더 증가하였고 아직 1년간의 발전량은 설치된 지 6개월 정도밖에 지나지 않아 총량은 도출되지 않았다. 부분적인 발전량이지만 청명일 기준 발전량의 부분 합산의 경우, 평균 12%의 발전량이 용량대비 더 많이 발전되었고 그 데이터를 위의 표에 나타내었다.

○ 영농가 경제성 파급효과 분석 및 연구 성과의 산업적 활용계획

1) 영농형 태양광 FIT 적용 소득 검토

- 2021년 REC-SMP 가격 기준 구조물의 구조물 모델별(가로-세로 일체형 기둥 구조, 지상 조립 상부 이동 구조)로 검토하였으며, 아래의 조건으로 수익성을 비교하였다.

항목	1 st Case 가로-세로 일체형 기둥 구조	2 nd Case 지상 조립 상부 이동 구조	비고
1) REC 단가 [원/kW]	71.29	71.29	21년 FIT 기준
2) SMP 단가 [원/kW]	89.98	89.98	
3) REC 가중치		1.2	FIT 적용 기준
4) 평균 발전시간 [시간/일]		3.6	
5) 총투자비용 [만원]		16,500	VAT 포함 (SSP-Frame)
6) 대출비율 [%]		90	
7) 이자율 [%/년]		1.75	1.75%는 21정책자금 기준
8) 운영비 [만원/년]		114	100kW 용량 기준

가) 1st Case (가로-세로 일체형 기둥 구조)

- 22년 기준의 정책자금 이자율 및 운영비를 적용하고 자기 자본 2,200만원을 투자 할 경우, 연평균 787만원의 소득이 예상되며 투자비 회수기간은 약 2년이다.

	년간발전량 (kWh)	매출 (원)	이자 (원)	운영비 (원)	소득 (원)	참고사항
1	131,400	23,065,120	5,682,600	1,140,000	16,242,520	거치기간 5년
2	130,874.40	22,972,860	5,682,600	1,140,000	16,150,260	
3	130,350.90	22,880,968	5,682,600	1,140,000	16,058,368	
4	129,829.50	22,789,445	5,682,600	1,140,000	15,966,845	
5	129,310.18	22,698,287	5,682,600	1,140,000	15,875,687	
6	128,792.94	22,607,494	22,800,529	1,140,000	1,333,036	원리금균등상환 10년
7	128,277.77	22,517,064	22,800,529	1,140,000	1,423,466	
8	127,764.66	22,426,995	22,800,529	1,140,000	1,513,534	
9	127,253.60	22,337,287	22,800,529	1,140,000	1,603,242	
10	126,744.58	22,247,938	22,800,529	8,640,000	9,192,591	
11	126,237.61	22,158,946	22,800,529	1,140,000	1,781,583	원리금균등상환 10년
12	125,732.66	22,070,311	22,800,529	1,140,000	1,870,218	
13	125,229.72	21,982,029	22,800,529	1,140,000	1,958,500	
14	124,728.81	21,894,101	22,800,529	1,140,000	2,046,428	
15	124,229.89	21,806,525	22,800,529	1,140,000	2,134,004	
16	123,732.97	21,719,299		1,140,000	20,579,299	
17	123,238.04	21,632,422		1,140,000	20,492,422	
18	122,745.09	21,545,892		1,140,000	20,405,892	
19	122,254.11	21,459,708		1,140,000	20,319,708	
20	121,765.09	21,373,870		1,140,000	20,233,870	
		444,186,561	256,418,291	30,300,000	157,468,270	
					7,873,413	20년평균 소득
					656,118	월평균 소득

<표> 가로-세로 일체형 기둥 구조의 FIT 적용 소득 검토

이자율 (%)	투자 비율(%)	월수익 (만원)	년수익 (만원)
1.75	10%	75.2	903
	30%	96.8	1,162
			-
2.87	10%	65.6	787
	30%	89.4	1,072

<표> 가로-세로 일체형 기둥 구조 적용 시, 이자 및 투자 비율별 수익

나) 2nd Case (지상 조립 상부 이동 구조)

- 21년 기준의 정책자금 이자율 및 운영비를 적용하고 자기 자본 1,650만원을 투자 할 경우, 연평균 1,200만원의 소득이 예상되며 투자비 회수기간은 약 1년이다.

	년간발전량 (kWh)	매출 (원)	이자 (원)	운영비 (원)	소득 (원)	참고사항
1	131,400	23,065,120	3,314,850	1,140,000	18,610,270	거치기간 5년
2	130,874.40	22,972,860	3,314,850	1,140,000	18,518,010	
3	130,350.90	22,880,968	3,314,850	1,140,000	18,426,118	
4	129,829.50	22,789,445	3,314,850	1,140,000	18,334,595	
5	129,310.18	22,698,287	3,314,850	1,140,000	18,243,437	
6	128,792.94	22,607,494	13,300,309	1,140,000	8,167,185	원리금균등상환 10년
7	128,277.77	22,517,064	13,300,309	1,140,000	8,076,755	
8	127,764.66	22,426,995	13,300,309	1,140,000	7,986,687	
9	127,253.60	22,337,287	13,300,309	1,140,000	7,896,979	
10	126,744.58	22,247,938	13,300,309	8,640,000	307,630	
11	126,237.61	22,158,946	13,300,309	1,140,000	7,718,638	원리금균등상환 10년
12	125,732.66	22,070,311	13,300,309	1,140,000	7,630,002	
13	125,229.72	21,982,029	13,300,309	1,140,000	7,541,721	
14	124,728.81	21,894,101	13,300,309	1,140,000	7,453,793	
15	124,229.89	21,806,525	13,300,309	1,140,000	7,366,216	
16	123,732.97	21,719,299		1,140,000	20,579,299	
17	123,238.04	21,632,422		1,140,000	20,492,422	
18	122,745.09	21,545,892		1,140,000	20,405,892	
19	122,254.11	21,459,708		1,140,000	20,319,708	
20	121,765.09	21,373,870		1,140,000	20,233,870	
		444,186,561	149,577,336	30,300,000	264,309,224	
					13,215,461	20년평균 소득
					1,101,288	월평균 소득

<표> 지상 조립 상부 이동 구조의 FIT 적용 소득 검토

이자율 (%)	투자 비율(%)	월수익 (만원)	년수익 (만원)
1.75	10%	99.5	1,195
	30%	116.0	1,389
			-
2.87	10%	92.3	1,108
	30%	110.0	1,322

<표> 지상 조립 상부 이동 구조 적용 시, 이자 및 투자 비율별 수익

다) 구조물별 수익의 차이 비교

- 투자비와 이자율 차이로 평균 월 22만원, 연간 270만원의 소득차이가 발생하며, 21년 FIT 기준으로 20년간 최소 790만원 ~ 최대 1,400만원의 연평균 수익을 기대할 수 있다.

2nd Case 지상 조립 상부 이동 구조		이자율 (%)	투자 비율(%)	월수익 (만원)	년수익 (만원)
1.75	10%			75.2	903
	30%			96.8	1,162
					-
2.87	10%			65.6	787
	30%			89.4	1,072

1st Case 가로-세로 일체 형 기동 구조		이자율 (%)	투자 비율(%)	월수익 (만원)	년수익 (만원)
1.75	10%			99.5	1,195
	30%			116.0	1,389
					-
2.87	10%			92.3	1,108
	30%			110.0	1,322

1st Case - 2nd Case			
이자율 (%)	투자 비율(%)	차이 (만원/월)	년수익 (만원)
1.75	10%	24.3	292.0
	30%	19.2	227.0
		-	-
2.87	10%	26.7	321.0
	30%	20.6	250.0

<그림> 구조물별 수익 차이 계산

○ 총괄과제의 역할 수행

1) 카톡 단체 대화방 개설 (2021년 4월 19일, 참여자 : 과제 참여 연구원 등)
 총괄과제와 협업과제 간 원활한 교류를 위해 카톡 단체방을 개설하여 협력 활동을 전개하였다. 참여자는 과제 참여자 및 농기평 관련자 등 총 34명이다.

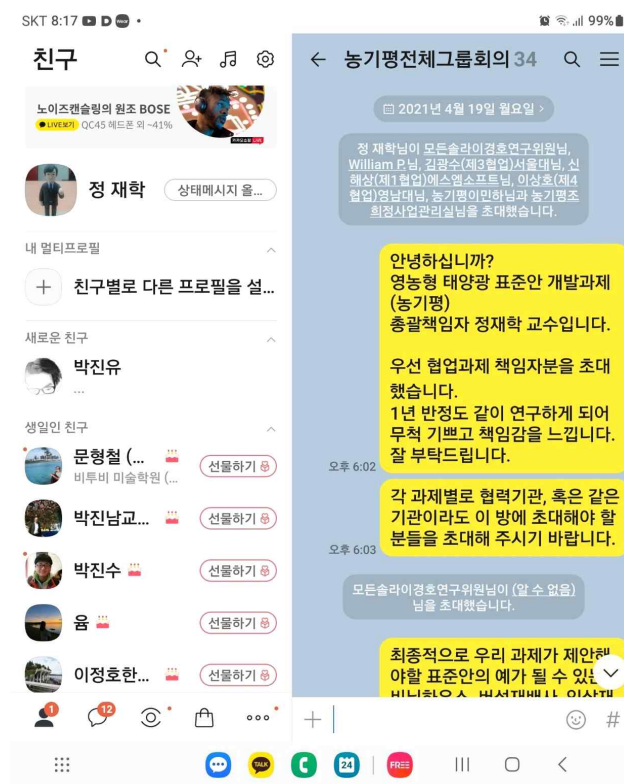


그림1-1) 카톡 단체방 개설일(2021년 4월 19일)

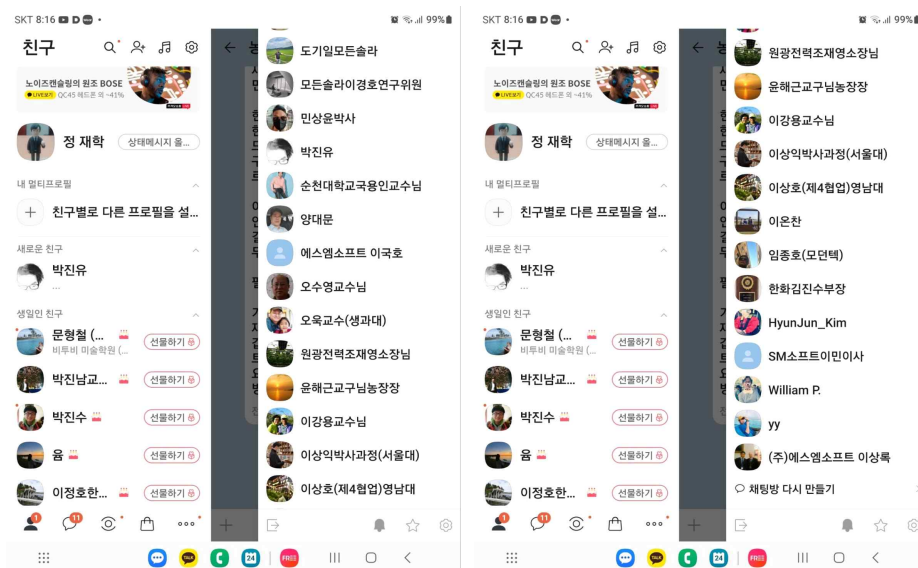


그림1-2) 카톡 단체 대화방 참여 인원

2) 참여연구기관 간 정기 워크샵(총 2회)

가) 제1회 워크샵 (kick-off meeting)

일시 : 2021년 4월 19일 오후 5:00~

장소 : 대구 엑스코 324호

참석자 : 과제 참여자 27명

주제 : 각 과제간 사업계획공유 및 상호협력 내용과 방법



그림2-1) 제1회 정기 워크샵 발표 자료 표지

나) 제2회 워크샵 (과제 보고 및 협력 내용 공유)

일시 : 2022년 8월 31일

장소 : 오송시 세종 시티 오송 호텔

참석자 : 과제 참석자 및 관련 공무원 등 52명



그림2-2) 제2회 워크샵 사진

- 당초 정기 워크샵을 년 4회 개최, 총 6회 개최 계획을 잡았으나 과제 시작 후 코로나 사태로 집합 금지 조치로 인해 2회에 걸쳐 워크샵을 개최하였고, 제1회 워크샵은 상호 협력 방안 및 총괄

의 협력 조율에 관련한 내용과 방법을 토론하고 숙지하였으며, 제2회 정기 워크샵에서는 각 협업 간의 과제 수행 내용 결과 보고 및 상호 협력 요청사항 전달, 구체적인 이행 방법을 토론했다.

3) 정기 월례 비대면 협력 조율 회의(15회)

- 정기 월례 비대면 협력 조율 회의는 아래의 표와 같이 15회 진행하였다. 회의 매체는 코로나 시국으로 비대면 Zoom을 활용하였으며 각 협업 책임자가 반드시 참석하여야 하고 책임자 유보 시 제2책임자를 선임해 회의 내용을 숙지하고 책임자에게 전달하도록 하였다.

일정은 잠정적으로 매월 넷째주 목요일로 고정되 특별한 사유가 있을 경우 카톡 단체 대화방에서 의견을 제시하고 일정을 조율하기로 하였다.

표, 정기 비대면 농기평 회의 일정표

정기 비대면 농기평 회의 일정표			
참석 인원	총괄과제, 협업 1, 협업 2, 협업 3, 협업 4		
순번	회의 날짜	시간	내용
1	2021-05-26	16:00	농기평 과제 전체회의 및 방법 토론
2	2021-06-23	16:00	농식품부 진도 보고 요청 등
3	2021-09-09	15:00	시설 설계 공유 등
4	2021-09-29	17:00	작물환경센서 서류 통일 등 차광율 고정비 토의
5	2021-10-27	16:00	에너지공단 기존 영농형 설치 지침 공유
6	2021-12-16	16:00	빛 도달, 음영 simulation 등
7	2022-03-31	16:00	국제 Agrivoltaic 2023 유치 협력 등
8	2022-05-26	16:00	농약 환경의 부식성 논의(특히 황화합물) 등
9	2022-06-23	16:00	협업 간 정보교류 점검 등
10	2022-07-28	16:00	2차 워크샵 공유 중간보고 내용 교류 등
11	2022-09-29	16:00	현황 조사 및 현재까지의 연구결과 지침서 등의 회람, 보안 요청 등
12	2022-10-27	16:00	벼농사 메탄 저감 결과의 분석 토론 등
13	2022-12-01	16:00	지침서 산입 내용과 과학적 근거 토론 등
14	2022-12-22	16:00	농림부 신입 국장님 과제설명회 및 협력 요청사항 토의
15	2022-12-29	16:00	최종 보고서의 회람 및 농식품부 요청사항 전달 등

표. 총괄 및 각 협업 간의 협력 내용

협업 내용 협업 과제	총괄	제1	제2	제3	제4
총괄		발전량 Data 생육환경 Data 송출	-구조물 상세설계 -서울대 농장 활용 경작	-경작환경 Data 수급, sensor 류 통일 -환경 Data 공유	-현행 제출 법안 및 농민 반대 요인 조사 -경제성 분석 요구 Data 지원
제1	발전량 Data 생육환경 Data 획득 및 활용			-그림자 Simulation 교류 -환경 Data 공급 -홈페이지와 개발 앱 정보 공유	
제2	-구조물 설계를 위 한 spec 공유 -밭 농장 조성, 계통 연계				경제성 분석을 위한 구조물 강도, 재료 정보 제공
제3	경작환경 수급 Sensos spec 제공 환경 Data 공유	-그림자 Simulation 교류 -환경 Data 수급 -홈페이지 제공 정 보 지원			
제4	-농민의 반대 요인 공동 분석 -경제성 분석을 위 한 부품 단가 등 제공		경제성 분석 재료 정 보 협력		

3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도

1) 연구수행 결과

(1) 정성적 연구개발성과

연구 개발의 결과 중 설계·시공 가이드라인은 기존의 에너지공단이 제시한 것에 비해 그 구체성과 정확성 그리고 현실적 적용성 면에서 매우 월등하며 이는 이미 정립되어 활용하고 있는 일본의 지침서를 참고한 영향이 크다. 또 전국에 설치된 실증 연구 단지의 조사는 농수산대학 이종원 교수의 선행조사에 많은 도움을 받았으나, 그 수치적 정확성도 신뢰도를 현장 방문을 통해 높였으며, 농식품부 유관 부서와의 수많은 토의 끝에 정밀도를 크게 높였다. 그 외에도 달라진 농경작 환경에서의 작물 경작 지침서는 세계적으로도 최초의 것이며, 본 연구를 통해 개발된 한국형 영농형에 특화된 양산 영농형 모듈은 환경에도 우수하며 발전량마저 우수한 실재 판매될 제품으로 도출되었다. 본 연구의 결과가 이미 3개의 유료 기술 이전을 성사시켰으며 작황 분석 및 시공 설치의 현장 적용성도 이미 검증되어 일본에 수출을 성공했다. 동남아시아에도 수출 의견을 타진하고 있는 등 농업관련 산업에도 기여하며 특히 중국산의 국내 유입 차단에 큰 기여를 하는 만큼 그 정성적 연구 개발 성과는 농업 적용과 농민 소득증대뿐 아니라 새로운 산업의 시장 개발과 선점에도 큰 역할을 하는 만큼 매우 우수하다 할 것이다.

(2) 정량적 연구개발성과(해당 시 작성하며, 연구개발과제의 특성에 따라 수정이 가능합니다)

(단위 : 건, 천원)

성과지표명		연도	1단계 (2021~2022)	계	가중치 (%)
전담기관 등록·기탁 지표 ¹⁾	비 SCIE	목표(단계별)	4	4	10
		실적(누적)	3	3	10
	특허	목표(단계별)	4	4	10
		실적(누적)	4	4	10
연구개발과제 특성 반영 지표 ²⁾	기술이전	목표(단계별)	3	3	30
		실적(누적)	3	3	30
	시제품 제작 및 인증	목표(단계별)	1	1	15
		실적(누적)	1	1	15
	고용창출	목표(단계별)	0	0	10
		실적(누적)	1	1	10
	정책활용	목표(단계별)	1	1	15
		실적(누적)	1	1	15
	홍보(전시)	목표(단계별)	7	7	10
		실적(누적)	15	15	10
계		목표(단계별)	20	20	100
		실적(누적)	28	28	100

< 정량적 연구개발성과표(예시) >

(단위 : 건, 천원)

성과지표명		연도	1단계 (YYYY~YYYY)	n단계 (YYYY~YYYY)	계	가중치 (%)
전담기관 등록·기탁 지표 ¹⁾		목표(단계별)				
		실적(누적)				
		목표(단계별)				
		실적(누적)				
연구개발과제 특성 반영 지표 ²⁾		목표(단계별)				
		실적(누적)				
		목표(단계별)				
		실적(누적)				
계						

* 1) 전담기관 등록·기탁 지표: 논문[에스시아이 Expanded(SCIE), 비SCIE, 평균Impact Factor(IF)], 특허, 보고서원문, 연구시설·장비, 기술요약정보, 저작권(소프트웨어, 서적 등), 생명자원(생명정보, 생물자원), 표준화(국내, 국제), 화합물, 신제품 등을 말하며, 논문, 학술발표, 특허의 경우 목표 대비 실적은 기재하지 않아도 됩니다.

* 2) 연구개발과제 특성 반영 지표: 기술실시(이전), 기술료, 사업화(투자실적, 제품화, 매출액, 수출액, 고용창출, 고용효과, 투자유

치), 비용 절감, 기술(제품)인증, 시제품 제작 및 인증, 신기술지정, 무역수지개선, 경제적 파급효과, 산업지원(기술지도), 교육 지도, 인력양성(전문 연구인력, 산업연구인력, 졸업자수, 취업, 연수프로그램 등), 법령 반영, 정책활용, 설계 기준 반영, 타 연구개발사업에의 활용, 기술무역, 홍보(전시), 국제화 협력, 포상 및 수상, 기타 연구개발 활용 중 선택하여 기재합니다 (연구개발과제 특성별로 고유한 성과지표를 추가할 수 있습니다).

< 연구개발성과 성능지표(예시) >

평가 항목 (주요성능 ¹⁾)	단위	전체 항목에서 차지하는 비중 ² (%)	세계 최고		연구개발 전 국내 성능수준	연구개발 목표치		목표설정 근거
			보유국/보유기관	성능수준	성능수준	1단계 2021~2021)	2단계 (2022~2022)	
1	영농형 태양광 모듈 시작기 제작	건	-	-	-	목표 : 1건 실적 : 1건	목표 : 없음 실적 : 1건	KS 인증 시제품 제작
2								

* 1」 정밀도, 인장강도, 내충격성, 작동전압, 응답시간 등 기술적 성능판단기준이 되는 것을 의미합니다.

* 2」 비중은 각 구성성능 사양의 최종목표에 대한 상대적 중요도를 말하며 합계는 100%이어야 합니다.

(3) 세부 정량적 연구개발성과(해당되는 항목만 선택하여 작성하되, 증빙자료를 별도 첨부해야 합니다)

[과학적 성과]

□ 논문(국내외 전문 학술지) 게재

번호	논문명	학술지명	주저자명	호	국명	발행기관	SCIE 여부 (SCIE/비SCIE)	게재일	등록번호 (ISSN)	기여율
1	Grapevine growth and berry development under the agrivoltaic solar panels in the vineyards	생물환경 조절학회지	안순영	31(4-12)	영농형 태양광 시설 설치에 따른 포도나무 생육 및 과실 특성 변화 비교	생물환경조절학회지	비 SCIE	2022-11-07	1229-4675	영남대학교(100%)
2	Effects of Environmental Changes by an Agrivoltaic System on Growth and Quality Characteristics of Kimchi Cabbage	인간식물 환경학회지	민상윤	25	영농형 태양광 시스템에서의 환경 변화가 김치 배추의 품질 특성과 성장에 주는 영향	인간식물환경학회지	비 SCIE	2022-12-31	1226-9778	영남대학교(100%)
3	A research of cultivation of green onion under the agrovoltai c with 660nm LED supplemental lighting	인간식물 환경학회지	김보명	미정	적색 LED 보광을 추가한 영농형 태양광 발전 시스템 하에서의 대파 성장 및 작물 특성 연구	인간식물환경학회지 (예정)	비 SCIE	미정	미정	영남대학교(100%)

영농형 태양광 시설 설치에 따른 포도나무 생육 및 과실 특성 변화 비교

안순영¹ · 이단비² · 이해인² · 자리민³ · 민상윤² · 김보명³ · 오 욱⁴ · 정재학⁵ · 윤해근^{6*}

¹영남대학교 원예생명과학과 연구교수, ²영남대학교 원예생명과학과 대학원생,
³영남대학교 화학공학부 대학원생, ⁴세주대학교 생물산업학부 원예환경전공 교수,
⁵영남대학교 화학공학부 교수, ⁶영남대학교 원예생명과학과 교수

Grapevine Growth and Berry Development under the Agrivoltaic Solar Panels in the Vineyards

Soon Young Ahn¹, Dan Bi Lee², Hae In Lee², Zar Le Myint², Sang Yoon Min², Bo Myung Kim³,
Wook Oh⁴, Jae Hak Jung⁵, and Hae Keun Yun^{6*}

¹Research Professor, Department of Horticulture and Life Science, Yeungnam University, Gyongsan 38541, Korea

²Graduate Student, Department of Horticulture and Life Science, Yeungnam University, Gyongsan 38541, Korea

³Graduate Student, School of Chemical Engineering, Yeungnam University, Gyongsan 38541, Korea

⁴Professor, Department of Horticultural Science, Jeju National University, Jeju 63243, Korea

⁵Professor, School of Chemical Engineering, Yeungnam University, Gyongsan 38541, Korea

⁶Professor, Department of Horticulture and Life Science, Yeungnam University, Gyongsan 38541, Korea

Abstract. Agrivoltaic systems, also called solar sharing, stated from an idea that utilizes sunlight above the light saturation point of crops for power generation using solar panels. The agrivoltaic systems are expected to reduce the incident solar radiation, the consequent surface cooling effect, and evapotranspiration, and bring additional income to farms through solar power generation by combining crops with solar photovoltaics. In this study, to evaluate if agrivoltaic systems are suitable for viticulture, we investigated the microclimatic change, the growth of vines and the characteristics of grape grown under solar panels set by planting lines compared with ones in open vineyards. There was high reduction of wind speed during over-wintering season, and low soil temperature under solar panel compared to those in the open field. There was not significant difference in total carbohydrates and bud burst in bearing mother branches between plots. Despite high content of chlorophyll in vines grown under panels, there is no significant difference in shoot growth of vines, berry weight, cluster weight, total soluble solid content and acidity of berries, and anthocyanin content of berry skins in harvested grapes in vineyards under panels and open vineyards. It was observed that harvesting season was delayed by 7–10 days due to late skin coloration in grapes grown in vineyards under panels compared to ones grown in open vineyards. The results from this study would be used as data required in development of viticulture system under panel in the future and further study for evaluating the influence of agrivoltaic system on production of crops including grapes.

Additional key words: agrivoltaic system, berry characteristics, grape development, viticulture

서 언

영농형 태양광 발전은 영농과 발전을 동시에 진행할 수 있는 시스템으로, 일본에서 solar sharing 개념으로 처음 소개되어 전세계에서 활용되고 있다(Jung 등, 2020; Parkinson과 Hunt, 2020; Sohn 등, 2019). 영농형 태양광 시설은 현재 세계의 여러 나라에서 설치가 증가하고 있으며, 일본, 중국, 프랑스, 미

국과 대한민국 등에서는 정부의 지원도 이루어지고 있다(Schindele 등, 2020; Trommsdorff 등, 2021; Vitisphere, 2020; Vollprecht 등, 2021). 서양에서는 차광 실험을 통하여 영농형 태양광 시설에서 재배가 가능한 작물로서 벼, 옥수수, 토마토, 상추, 비나나 등을 선발하여 다양한 기준으로 평가를 진행하고 있다(Abdel-Marwoud 등, 1996; Hernández 등, 2015; Israeli 등, 1995; Marrou 등, 2013a; Ghosh 등, 2018; Zanon 등, 2016).

국내의 포도 산업은 6,930억 규모이며 포도는 레스베라트 품을 비롯한 스티벤 화합물 등의 기능성 성분 함량이 많은

*Corresponding author: yunhk@yu.ac.kr
Received September 23, 2022; Revised October 14, 2022;
Accepted October 17, 2022

Effects of Environmental Changes by an Agrivoltaic System on Growth and Quality Characteristics of Kimchi Cabbage

Sang Yoon Min¹, Bo Myung Kim², Hae Keun Yun³, Jae Hak Jung⁴, and Wook Oh^{5*}

¹Researcher, Department of Horticulture and Life Science, Yeungnam University, Gyeongsan 38541, Republic of Korea

²Graduate student, School of Chemical Engineering, Yeungnam University, Gyeongsan 38541, Republic of Korea

³Professor, Department of Horticulture and Life Science, Yeungnam University, Gyeongsan 38541, Republic of Korea

⁴Professor, School of Chemical Engineering, Yeungnam University, Gyeongsan 38541, Republic of Korea

⁵Professor, Department of Horticultural Science, Jeju National University, Jeju 63243, Republic of Korea

ABSTRACT

Background and objective: For a successful application of agrivoltaic (AV) system, decrease in crop productivity must be minimized while achieving power generation. In this study, changes in microenvironments, crop growth and quality under the AV panels were investigated for kimchi cabbage.

Methods: On September 1, 2021, kimchi cabbage (*Brassica rapa* ssp. *pekinensis*) 'Bulam No. 3' was planted in the soil under the AV panels and in an open field for the control, and grown using a conventional method. Growth characteristics and internal components after 16 weeks were analyzed.

Results: There was no difference in air temperature and relative humidity, however daily light integral (DLI) and soil temperature under the AV panels were lower than the control. Under the AV panels, plant width was lesser and plant height and head height were greater than the control. Head shape index and leaf number of the AV panel plot were greater than in the control. Trimming loss rate was lower but chlorophyll content was higher in the AV panel plot. Head hardness was lower in the AV panel plot, while head fresh weight was greater but head dry weight was smaller in the AV panel plot; therefore, moisture content was greater than the control. Marketable crop yield and heading rate was higher in the AV panel plot.

Conclusion: The environmental changes caused by AV panels including the DLI and soil temperature induced a larger fresh weight, higher heading and trimming loss rates because a relatively good environment was created in the early crop stage which was the period of high temperature and DLI. However, the lower DLI of the latter period had a rather negative effect, resulting in an elongated shape, smaller dry weight, and shorter shelf life.

Keywords: *Brassica rapa* ssp. *pekinensis*, agriphotovoltaic system, photovoltaic system, shade

Introduction

Agriphotovoltaic (or agrivoltaic; AV) systems, in which solar panels for AV are installed at regular intervals on the upper part of the farmland while crops are grown in the lower part under them, enable agriculture and photovoltaic (PV) power generation at the same time and in the

same space (Jung, 2020). Currently, research and development on various demonstrations and applications for the system is actively underway both domestically in South Korea and abroad, including in the United States, France, Japan, and China. Such R&D are mainly conducted through government support in facilities (e.g., greenhouses and mushroom farms), as well as in agricultural lands (e.g.,

This work was supported by Korea Institute of Planning and Evaluation for Technology in Food, Agriculture and Forestry (IPET) through Agricultural Energy Self-Sufficient Industrial Model Development Program, funded by Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA) (321003-2).

Received: December 4, 2022, Revised: December 8, 2022, Accepted: December 13, 2022

First author: Sang Yoon Min,  <https://orcid.org/0000-0002-3853-2024>

*Corresponding author: Wook Oh,  <https://orcid.org/0000-0002-2552-5511>



© 2022 by the Society for People, Plants, and Environment. This is a Peer-Reviewed Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

논문게재 (예정) 확인서

발행번호	THESIS-23-D000	논문번호	THESIS-22-043
논문제목	A research of cultivation of green onion under the agrovoltaic with 660nm LED supplemental lighting		
논문게재자	김보령(1), 서상관(2), 오욱(2), 오수영(1), 정재학(1) 1. 경남대학교 공과대학 화학공학부 2. 경남대학교 생명융합과학대학 권역생명과학과		
교신(연락)저자	정재학 Addr., Tel., E-mail,		
게재권호수	미정		
발행예정일	미정	게재확정일	2022년 12월

위의 논문은 본 학회지에 투고되어 게재가능으로 결정되어 현재 최종편집 중에 있으며 게재될 예정입니다.

2023년 02월 20일

Journal of People, Plants, and Environment

Editor-in-chief Keun Young Huh



□ 국내 및 국제 학술회의 발표

번호	회의 명칭	발표자	발표 일시	장소	국명
1	History & legal aspect of Agrivoltaics in Korea	오수영	2021-06-14	Agrivoltaic 2021	역사와 법적인 측면에서 바라본 한국의 영농형 태양광
2	영농형 태양광 패널에 의한 미세환경 변화가 대파의 생장 및 품질 특성에 미치는 영향	민상운	2022-10-27	2022년 (사)인간식물환경학회 추계 국제학술대회 및 임시총회 (국립세종수목원)	영농형 태양광 패널에 의한 미세환경 변화가 대파의 생장 및 품질 특성에 미치는 영향



History & Legal Aspect of Agrivoltaics in Korea

2021. 6. 14.

Soo-Young Oh
Yeungnam University, Geongsan, Korea





Effects of Changes in Microenvironments by Solar Panels for Agrivoltaics on Growth and Quality Characteristics of Green Onion

영농형 태양광 패널에 의한 미세환경 변화가 대파의 성장 및 품질 특성에 미치는 영향

Sang Yoon Min¹ and Wook Oh^{2*}

¹Department of Horticulture and Life Science, Yeungnam University, ²Department of Horticultural Science, Jeju National University

민상윤¹ · 오욱^{2*}

¹영남대학교 생명농공학과대학원생명과학과, ²제주대학교 생명자원과학대학 생물산업학부 원예환경전공



INTRODUCTION

영농형 태양광 발전(agrivoltaics, agrphotovoltaics, APV)이란 농지에 태양광 패널을 설치하여 패널 하부에서 작물을 재배하며 전기와 작물을 동시에 생산하는 개념이다. 이에 따라 작물 생산량 감소를 최소화하면서 발전을 해야 하므로 APV 패널에 의한 차광이 작물 수량과 품질에 미치는 영향을 구명하는 것이 중요하다.

이 연구에서는 우리나라에서 재배되는 주요 노지 채소 중 하나인 대파(*Allium fistulosum*)를 대상으로 APV 패널 하에서의 미세기상, 성장 및 품질 변화를 분석하였다.

MATERIALS & METHODS

대파는 '신록금강' 대파를 2021년 6월 5일(가을 벼주)에 영남대 APV 실험센터의 APV 패널 하부와 대조용 노지 포장에 정식하여 관행의 방법으로 재배관리하였다. 22주 후 수확하여 성장 및 작물 특성을 조사하였고, 한국농업기술진흥원 분석검정센터에서 무기성분 및 당 분석을 실시하였다.

광량 데이터 분석을 위해서 환경특성 중 밀적산광량(DLI), 기온, 지온, 상대습도의 항목을 포함 가운데 data logger(WatchDog 1650 Micro Station)의 내장 센서 및 외장 지중 센서(Spectrum SMEC 300)를 설치해 재배기간 중 10분 간격으로 데이터를 수집하였다.

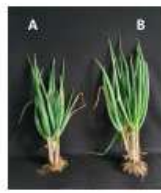


Fig. 1. 'Shinokgeumjang' green onion (*Allium fistulosum*) plants grown in open field (control, A) and under the APV panels (B).



Fig. 2. Test field for the control (A) and APV panel (B).

Results

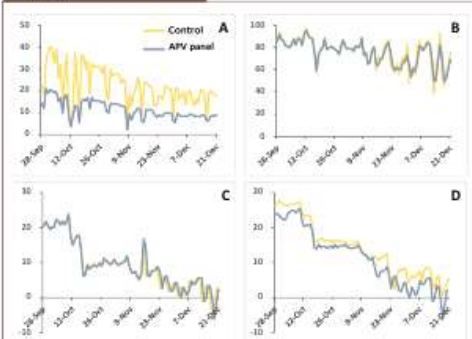


Fig. 3. Environmental characteristics as influenced by solar panels for agrivoltaics. A: Daily light integral (DLI, mol·m⁻²·s⁻¹), B: Relative humidity (RH, %), C: Air temperature (AT, °C), D: Soil temperature (ST, °C).

Table 1. Growth characteristics of green onion as influenced by solar panels for agrivoltaics.

Treatment	No. of tillers	Plant height (cm)	Etioled part length (cm)	Pseudostem length (cm)	Pseudostem width (cm)	Chlorophyll (SPAD)
Control	5.1	68.7	5.2	18.3	20.0	58.3
APV	4.7	78.1	4.9	20.7	18.4	61.9
Significance	NS	***	NS	***	***	***

Treatment	No. of leaves	Leaf length (cm)	Leaf width (mm)	Fresh weight (g/plant)	Dry weight (g/plant)	Moisture content (%)
Control	5.1	50.4	20.3	279.1	33.7	87.9
APV	5.5	57.5	20.0	306.3	32.1	89.5
Significance	NS	***	NS	NS	NS	***

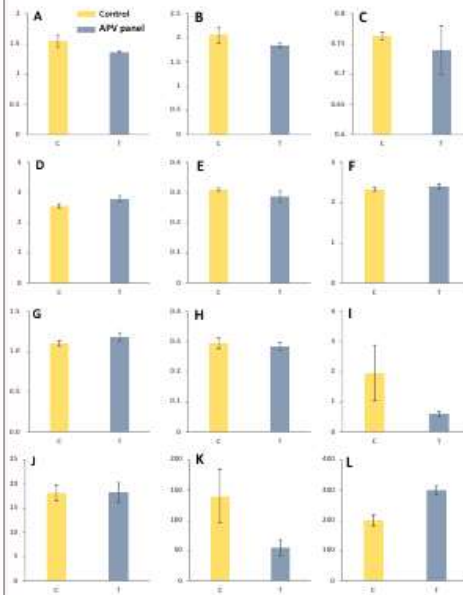


Fig. 4. Ingredient contents of green onion as influenced by solar panels for agrivoltaics. A: Fructose (g/100g), B: Glucose (g/100g), C: S (%), D: N (%), E: P (%), F: K (%), G: Ca (%), H: Mg (%), I: Fe (mg/kg), J: Cu (mg/kg), K: Mn (mg/kg), L: Na (%).

Conclusion

APV 패널구에서 대조구보다 환경장과 조장, 밀집, SPAD가 더 큰 수치를 보였으나 위험폭은 더 작았고, 함수율은 더 높았다. 핵부장과 껍수, 껍육, 생체중, 건물중은 유의차를 보이지 않았다. 성분분석결과 패널구에서 나트륨 함량이 더 높았던 것 이외에 유의차는 없었으나, 당분과 N, Ca, Mg, Mn의 함량은 패널구가 더 낮았고 S, P, K, Cu의 함량은 높은 경향을 보였다. 환경 데이터상으로 기온과 습도는 차이가 나지 않았으나 누적광량은 패널구가 대조구의 51.3%였으며 평균 지온도 패널구가 17.5% 낮았다. 결론적으로 APV 패널에 의한 차광이 광량, 지온을 비롯한 미세기상을 변화시켰고, 이 변화가 고온기(강광기)인 정식 초기에는 상대적으로 양호한 환경을 조성한 반면, 활착 이후에는 부정적인 영향을 준 것으로 판단된다.

Acknowledgement

This work was supported by Korea Institute of Planning and Evaluation for Technology in Food, Agriculture and Forestry(PIET) through Agri-Food Export Business Model Development Program, funded by Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs(MAFF) (322005-02).

□ 기술 요약 정보

연도	기술명	요약 내용	기술 완성도	등록 번호	활용 여부	미활용사유	연구개발기관 외 활용여부	허용방식

□ 보고서 원문

연도	보고서 구분	발간일	등록 번호

□ 생명자원(생물자원, 생명정보)/화합물

번호	생명자원(생물자원, 생명정보)/화합물 명	등록/기탁 번호	등록/기탁 기관	발생 연도

[기술적 성과]

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

번호	지식재산권 등 명칭 (건별 각각 기재)	국명	출원				등록			기여율	활용 여부
			출원인	출원일	출원 번호	등록 번호	등록인	등록일	등록 번호		
1	다층구조를 갖는 영농형 태양광 구조물용 방풍장치	다층구조를 갖는 영농형 태양광 구조물용 방풍장치	주식회사 모든솔라	2021-05-28	10-2021-0068895	10-2319614	주식회사 모든솔라	2021-10-26	10-2319614	이경호 (100%)	
2	수평 및 수직 태양광 발전 구조물을 포함하는 영농형 태양광 발전 시스템	수평 및 수직 태양광 발전 구조물을 포함하는 영농형 태양광 발전 시스템	주식회사 모든솔라	2022-03-23	10-2022-0035819	10-5710000	주식회사 모든솔라	2022-10-24	10-5710000	이경호 (100%)	
3	영농형 태양광 발전구조물의 집수시스템	영농형 태양광 발전구조물의 집수시스템	주식회사 모든솔라	2022-03-23	10-2022-0035749	10-2459571	주식회사 모든솔라	2022-10-24	10-2459571	이경호 (100%)	

출원번호통지서

출원일자 2022.03.23
특기사항 심사청구(유) 공개신청(무)
출원번호 10-2022-0035819 (접수번호 1-1-2022-0311655-43)
(DAS접근코드44FC)
출원인명칭 주식회사 모든솔라(1-2018-023532-1)
대리인성명 이충한(9-2013-001988-2)
발명자성명 임종호 이경호 채중윤
발명의명칭 수평 및 수직 태양광 발전 구조물을 포함하는 영농형 태양광 발전 시스템

특 허 청 장

<< 안내 >>

1. 귀하의 출원은 위와 같이 정상적으로 접수되었으며, 이후의 심사 진행상황은 출원번호를 이용하여 특허로 홈페이지(www.patent.go.kr)에서 확인하실 수 있습니다.
2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 동봉된 납입영수증에 성명, 납부자번호 등을 기재하여 가까운 은행 또는 우체국에 납부하여야 합니다.
※ 납부자번호 : 0131(기관코드) + 접수번호
3. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 [특허고객번호 정보변경(경정), 정정신고서]를 제출하여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다.
4. 기타 심사 절차(제도)에 관한 사항은 특허청 홈페이지를 참고하시거나 특허고객상담센터(☎ 1544-8080)에 문의하여 주시기 바랍니다.
※ 심사제도 안내 : <https://www.kipo.go.kr>-지식재산제도



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2022년10월28일
(11) 등록번호 10-2459571
(24) 등록일자 2022년10월24일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H02S 30/00 (2014.01) A01G 9/24 (2006.01)
F16B 5/02 (2006.01)

(52) CPC특허분류
H02S 30/00 (2013.01)
A01G 9/243 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2022-0035749
(22) 출원일자 2022년03월23일
심사청구일자 2022년03월23일

(30) 우선권주장
1020210130741 2021년10월01일 대한민국(KR)

(56) 선행기술조사문헌
JP05272158 A*
KR102012598 B1*
KR102038530 B1*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
주식회사 모든솔라

(72) 발명자
임종호

이경호

채종윤

(74) 대리인
이승한

전체 청구항 수 : 총 4 항

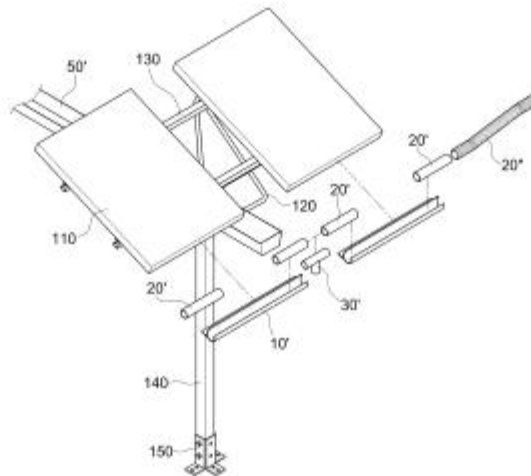
심사관 : 이규재

(54) 발명의 명칭 **영농형 태양광 발전구조물의 집수시스템**

(57) 요약

본 발명은 태양광 발전과 영농의 양립이 가능하도록 하는 영농형 태양광 발전구조물에서 태양광모듈에서 흘러내리는 빗물을 모아 영농에 활용할 수 있도록 하되, 집수부와 배수부를 별개로 구성하여 설치가 용이하고 집수가 원활하게 이루어지도록 함과 아울러 태양광모듈에 각각 구비된 물받이가 연결관에 의해 연결되어 누수로 인한 피(및면에 계속)

대표도 - 도2



○ 지식재산권 활용 유형

※ 활용의 경우 현재 활용 유형에 √ 표시, 미활용의 경우 향후 활용 예정 유형에 √ 표시합니다(최대 3개 중복선택 가능).

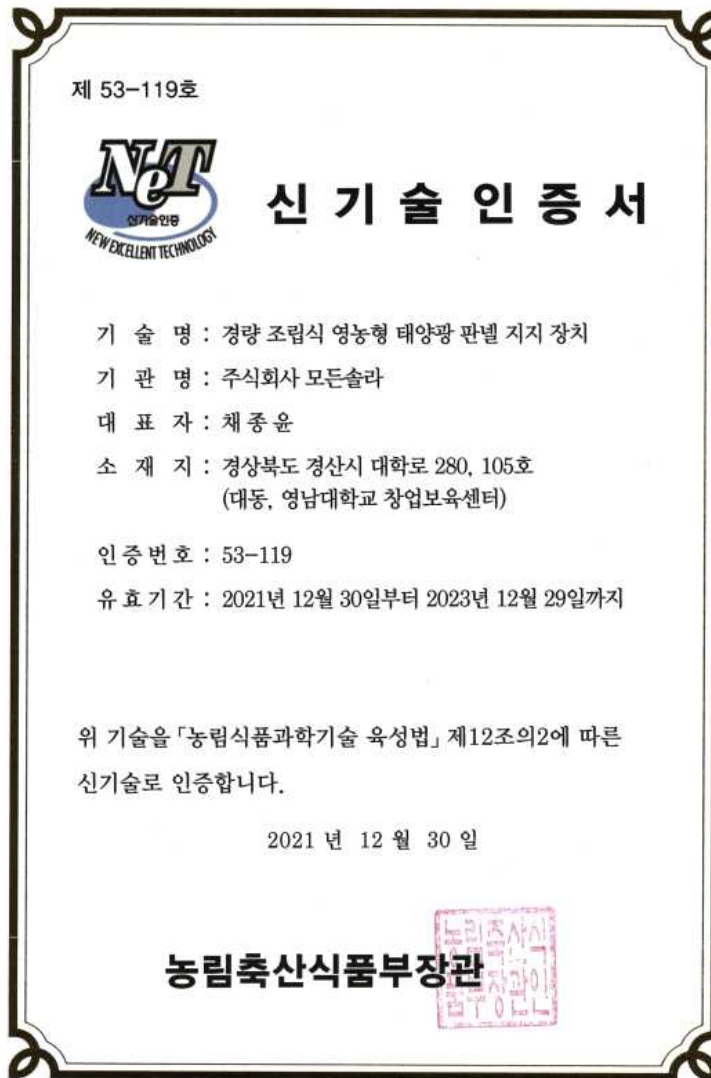
번호	제품화	방어	전용실시	통상실시	무상실시	매매/양도	상호실시	담보대출	투자	기타

□ 저작권(소프트웨어, 서적 등)

번호	저작권명	창작일	저작자명	등록일	등록 번호	저작권자명	기여율

□ 신기술 지정

번호	명칭	출원일	고시일	보호 기간	지정 번호
1	경량 조립식 영농형 태양광 패널지지 장치	-	-	2021-12-30 ~ 2023-12-29	53-119



□ 기술 및 제품 인증

번호	인증 분야	인증 기관	인증 내용		인증 획득일	국가명
			인증명	인증 번호		
1	한국산업표준규격 (KS 8561)	한국에너지공단	신재생에너지설비 KS인증	PV0118047	2021.09.30	대한민국
2	한국산업표준규격 (KS 8561)	한국에너지공단	신재생에너지설비 KS인증	PV0116010	2022.09.27	대한민국
3	국제전기기술규격 (IEC 62321)	한국에스지에스	RoHS 인증	AYAA22-12461	2022.05.16	대한민국
4	국제전기기술규격 (IEC 61701)	TUV SUD 코리아	염수분무시험	077-2412221-000	2022.03.01	대한민국

□ 표준화

○ 국내표준

번호	인증구분 ¹⁾	인증어부 ²⁾	표준명	표준인증기구명	제안주체	표준종류 ³⁾	제안/인증일자

- * 1) 한국산업규격(KS) 표준, 단체규격 등에서 해당하는 사항을 기재합니다.
- * 2) 제안 또는 인증 중 해당하는 사항을 기재합니다.
- * 3) 신규 또는 개정 중 해당하는 사항을 기재합니다.

○ 국제표준

번호	표준화단계구분 ¹⁾	표준명	표준기구명 ²⁾	표준분과명	의장단 활동여부	표준특허 추진여부	표준개발 방식 ³⁾	제안자	표준화 번호	제안일자

- * 1) 국제표준 단계 중 신규 작업항목 제안(NP), 국제표준초안(WD), 위원회안(CD), 국제표준안(DIS), 최종국제표준안(FDIS), 국제표준(IS) 중 해당하는 사항을 기재합니다.
- * 2) 국제표준화기구(ISO), 국제전기기술위원회(IEC), 공동기술위원회1(JTC1) 중 해당하는 사항을 기재합니다.
- * 3) 국제표준(IS), 기술시방서(TS), 기술보고서(TR), 공개활용규격(PAS), 기타 중 해당하는 사항을 기재합니다.

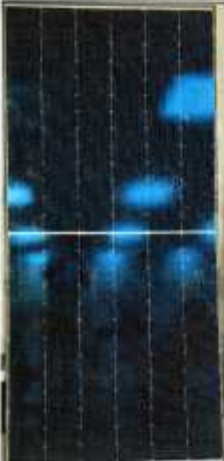
[경제적 성과]

□ 시제품 제작


번호	시제품명	출시/제작일	제작 업체명	설치 장소	이용 분야	사업화 소요 기간	인증기관 (해당 시)	인증일 (해당 시)
1	영농형 태양광 모듈 (표준형)	2021.09.30	한화솔루션 (주)	-	영농형 발전시스템	-	한국에너지공단	2021.09.30
2	영농형 태양광 모듈 (원가절감형)	2022.09.27	한화솔루션 (주)	-	영농형 발전시스템	-	한국에너지공단	2022.09.27
3	경량 조립식 영농형 판넬지지 장치(SSP)	2021.08	주식회사 모든솔라	-	영농형 발전시스템	-	농림축산식품부	2021.12.30

<첨부3>

농림축산식품 연구개발과제 제품출시 확인서

과제명	작물별 생산성을 고려한 영농형 태양광 표준모델 개발 및 실증			
주관연구기관	영남대학교 산학협력단	참여기관	한화솔루션(주), (주)모든솔라	
연구책임자	정재학	연구기간	2021년 04월 ~ 2022년 12월(총 1년 9개월)	
총 정부출연금	1,400,000,000 원			
해당 기술의 제품출시 유형				
신제품(제품출시 예정)	()	기존 제품 공정개선	()	
신제품(제품출시 완료)	(O)	기 타	()	
제품 출시 실적				
제품명	제품사진	제품용도	제품 출시일	해당 기술의 제품출시 기여율(%)
Q.PEAK DUO XL-G11.2 KFI		고내구성 친환경 태양광 모듈 (영농형 태양광 모듈)	2022. 09. 27	100
<p>* 첨부 : 당해연도 제품출시 여부를 확인할 수 있는 자료(제조년월일 표기사진, 제품등록번호 등) **식품R&D는 품목제조보고서 제출 필수</p> <p style="text-align: center;">상기와 같이 R&D 기술을 제품화한 실적을 보고합니다.</p>				

2022 년 12월 30일

연구책임자 : 정재학 (서명 )



제 품 인 증 서

- 1. 제조업체명 : 한화솔루션 주식회사 음성 제2사업장
- 2. 대표자성명 : 이구영, 김은수, 남이현, 김인환, 김동관
- 3. 공장소재지 : 충북 음성군 금왕읍 대금로 1329 한화솔루션 주식회사 음성 제2사업장
- 4. 인증제품
 - 가. 표준명 : 결정질 실리콘 태양광발전 모듈
 - 나. 표준번호 : KS C 8561
 - 다. 종류·등급·호칭 또는 모델 :

- Q.PEAK DUO XL-G11.2 KF1 570 외 139개

(인증제품 모델의 확장, 업체 정보의 변경 이력은 사후처리 및 고문 처리)

산업표준화법 제17조 제1항에 따른 인증심사를 한 결과 한국산업 표준 (KS)과 인증심사기준에 적합하므로, 산업표준화법 제15조 및 같은 법 시행규칙 제10조 제1항에 따라 위와 같이 한국산업표준(KS)에 적합함을 인증합니다.

2016년 06월 08일

(정기심사 기한일 : ~ 2025.06.07)

한국에너지공단 부설


신재생에너지센터




- 부속서 1 : KS인증기업 관련 세부정보 1부
- 부속서 2 : KS인증제품 모델별 특징 및 변경이력 1부
- 부속서 3 : KS인증 기업 정보 변경 이력 1부
- 부속서 4 : KS모델 인증 리스트 1부
- 부속서 5 : KS인증 제품 신고서. 끝.

<첨부3>

농림축산식품 연구개발과제 제품출시 확인서

과제명	작물별 생산성을 고려한 영농형 태양광 표준모델 개발 및 실증			
주관연구기관	영남대학교 산학협력단	참여기관	한화솔루션(주), (주)모든솔라	
연구책임자	정재학	연구기간	2021년 04월 ~ 2022년 12월(총 1년 9개월)	
총 정부출연금	1,400,000,000 원			
해당 기술의 제품출시 유형				
시제품(제품출시 예정)	()	기존 제품 공정개선	()	
신제품(제품출시 완료)	(O)	기 타	()	
제품 출시 실적				
제품명	제품사진	제품용도	제품 출시일	해당 기술의 제품출시 기여율(%)
Q.PEAK DUO MS-G10.d/B GT-KR1		고내구성 친환경 태양광 모듈 (영농형 태양광 모듈)	2021. 09. 30	100
<p>* 첨부 : 당해연도 제품출시 여부를 확인할 수 있는 자료(제조년월일 표기사진, 제품등록번호 등) **식품R&D는 품목제조보고서 제출 필수</p> <p style="text-align: center;">상기와 같이 R&D 기술을 제품화한 실적을 보고합니다.</p>				

2022 년 12월 30일

연구책임자 : 정 재 학 (서명 )

제

PV0118047

호

최초인증일 : 2018년 02월 07일



제 품 인 증 서

- 1. 제 조 업 체 명 : 한화솔루션 주식회사 진천사업장
- 2. 대 표 자 성 명 : 이구영, 김희철, 류두형
- 3. 공 장 소 재 지 : 충북 진천군 이월면 산수산단2로 202 한화솔루션 주식회사 진천사업장
- 4. 인 증 제 품
 - 가. 표 준 명 : 결정질 태양전지 모듈(고내구성 친환경 모듈)
 - 나. 표 준 번 호 : KS C 8561:2020
 - 다. 종 류 등 급 호 칭 또 는 모 델 :

- Q.PEAK DUO MS-G10.d/BGT KR1 240 외 94개

(인증제품 모델의 특징, 업체 정보의 변경 이력은 부속서 2 및 3을 따름)

산업표준화법 제17조 제1항에 따른 인증심사를 한 결과 한국산업 표준(KS)과 인증심사기준에 적합하므로, 산업표준화법 제15조 및 같은 법 시행규칙 제10조 제1항에 따라 위와 같이 한국산업표준(KS)에 적합함을 인증합니다.

2018년 02월 07일

(정기심사 기한일 : ~ 2024.02.06)

한국에너지공단 부설

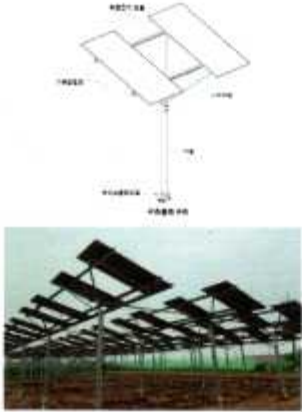
신 재생 에 너 지 센 터



- 인증서 사용처 : 내부보고용
- 출력(다운로드) 일자 : 2021-12-13 14:45:59
- 출력자 명(담당자) : 최선

- 부속서 1 : KS인증기업 관련 세부정보 1부
- 부속서 2 : KS인증제품 모델별 특징 및 변경이력 1부
- 부속서 3 : KS인증 기업 정보 변경 이력 1부
- 부속서 4 : KS모델 인증 리스트 1부. 끝.

농림축산식품 연구개발과제 제품출시 확인서

과제명	작물별 생산성을 고려한 영농형 태양광 표준모델 개발 및 실증		
주관연구기관	영남대학교	참여기관	주식회사 모든솔라
연구책임자	정재학	연구기간	2021년 04월 ~ 22년 12월 (총 1년 9개월)
총 정부출연금	1,400,000,000 원		
해당 기술의 제품출시 유형			
신제품(제품출시 예정)	()	기존 제품 공정개선	()
신제품(제품출시 완료)	(○)	기 타	()
제품 출시 실적			
제품명	제품사진	제품용도	제품 출시일
경량 조립식영농형 태양광 패널지지 장치(SSP)		영농형 태양광 발전시스템의 태양광 모듈을 지지하는 구조물	2021.08
			100
<p>• 첨부 : 당해연도 제품출시 여부를 확인할 수 있는 자료(제조년월일 표기사진, 제품등록번호 등) **식품R&D는 품목제조보고서 제출 필수</p> <p style="text-align: center;">상기와 같이 R&D 기술을 제품화한 실적을 보고합니다.</p>			

2023년 1월 12일

연구책임자 : 정재학 (서명/인)



□ 기술 실시(이전)

번호	기술 이전 유형	기술 실시 계약명	기술 실시 대상 기관	기술 실시 발생일	기술료 (해당 연도 발생액)	누적 징수 현황
1	통상실시권	녹차밭 영농형 태양광 발전 시스템 개발	바이오지이티(주)	2022-08-31	2,000,000	2,000,000
2	통상실시권	"전파장 LED의 노지 영농형 태양광 발전 융합 시스템 개발"에 대한 기술이전	셀 파스페이스(주)	2022-08-31	2,000,000	2,000,000
3	통상실시권	"영농형 태양광 발전 시스템 최적 유지 관리 기술 개발"에 대한 기술이전	주식회사피브이케이	2022-08-31	2,000,000	2,000,000

* 내부 자금, 신용 대출, 담보 대출, 투자 유치, 기타 등

노하우 기술이전계약서

계약명 : "녹차밭 영농형 태양광 발전 시스템 개발"에 대한 기술이전

영남대학교 산학협력단(이하 '갑'이라 한다)과 바이오지이티(주)(이하 '을'이라 한다)는 '갑'이 개발하여 보유하고 있는 '녹차밭 영농형 태양광 발전 시스템 개발' (이하 "계약기술·노하우"라 함)을 '을'에게 일정한 조건에 따라 이전하기 위해 다음과 같이 계약을 체결한다.



제1조 (용어의 정의)

본 계약서에서 사용되는 다음 각 호에 기재되어 있는 용어는, 다른 특별한 언급이 없는 한, 다음의 의미를 갖는다.

"계약기술·노하우"란 '갑'이 개발하여 보유하고 있는 '녹차밭 영농형 태양광 발전 시스템 개발' 관련 노하우를 총칭하는 것(특히 출원 유무와는 무관)이다.

제2조 (계약기술·노하우의 이전·전수)

1항 : '갑'은 '녹차밭 영농형 태양광 발전 시스템 개발' 분야에 한정하여 계약기술·노하우를 '을'에게 이전·전수하기로 한다. 위 이전·전수 분야는 '갑'과 '을'의 합의에 의해 확대될 수 있다. 따라서 '갑'은 '을'이 '녹차밭 영농형 태양광 발전 시스템 개발' 분야에 관하여 계약기술·노하우를 사용하여 계약제품을 제조할 수 있도록 필요한 모든 기술적 지원을 다하여야 한다.

2항 : '을'은 "계약기술·노하우"의 실질적인 이전을 위해 필요한 문서자료의 제출을 '갑'에게 요구하여 이를 수령할 수 있으며, '갑'과 협의 하에 그 문서자료의 사본을 보관할 수 있다.

3항 : '을'은 "계약기술·노하우"의 실질적인 이전을 위해 필요한 범위 내에서 '갑'의 기술자·피용자가 직접 '을'을 방문하여 교육을 해 줄 것을 요청할 수 있다. 이 때 출장비, 감사료, 자문비 등은 '을'이 별도로 부담한다.

4항 : '갑'은 "계약기술·노하우"의 실질적인 이전을 위해 최소 3회이상 유·무선·현장방문·이메일 등의 방법을 통하여 '을'에 기술적인 지원을 하여야 한다.

5항 : 시제품의 성능 시험은 '을'이 시행하며 '갑'은 이에 필요한 기술적 지원을 한다.

노하우 기술이전계약서

계약명 : "전파장 LED의 노지 영농형 태양광 발전 융합 시스템 개발"에 대한 기술이전

영남대학교 산학협력단(이하 '갑'이라 한다)과 ㈜엘파스페이스(이하 '을'이라 한다)는 '갑'이 개발하여 보유하고 있는 '전파장 LED의 노지 영농형 태양광 발전 융합 시스템 개발' (이하 "계약기술·노하우"라 함)을 '을'에게 일정한 조건에 따라 이전하기 위해 다음과 같이 계약을 체결한다.

제1조 (용어의 정의)

본 계약서에서 사용되는 다음 각 호에 기재되어 있는 용어는, 다른 특별한 언급이 없는 한, 다음의 의미를 갖는다.

"계약기술·노하우"란 '갑'이 개발하여 보유하고 있는 '전파장 LED의 노지 영농형 태양광 발전 융합 시스템 개발' 관련 노하우를 총칭하는 것(특허 출원 유무와는 무관)이다.

제2조 (계약기술·노하우의 이전·전수)

- 1항 : '갑'은 '전파장 LED의 노지 영농형 태양광 발전 융합 시스템 개발' 분야에 한정하여 계약 기술·노하우를 '을'에게 이전·전수하기로 한다. 위 이전·전수 분야는 '갑'과 '을'의 합의에 의해 확대될 수 있다. 따라서 '갑'은 '을'이 '전파장 LED의 노지 영농형 태양광 발전 융합 시스템 개발' 분야에 관하여 계약기술·노하우를 사용하여 계약제품을 제조할 수 있도록 필요한 모든 기술적 지원을 다하여야 한다.
- 2항 : '을'은 "계약기술·노하우"의 실질적인 이전을 위해 필요한 문서자료의 제출을 '갑'에게 요구하여 이를 수령할 수 있으며, '갑'과 협의 하에 그 문서자료의 사본을 보관할 수 있다.
- 3항 : '을'은 "계약기술·노하우"의 실질적인 이전을 위해 필요한 범위 내에서 '갑'의 기술자·피용자가 직접 '을'을 방문하여 교육을 해 줄 것을 요청할 수 있다. 이 때 출장비, 강사료, 자문비 등은 '을'이 별도로 부담한다.
- 4항 : '갑'은 '계약기술·노하우'의 실질적인 이전을 위해 최소 3회이상 유무선·현장방문·이메일 등의 방법을 통하여 '을'에 기술적인 지원을 하여야 한다.
- 5항 : 시제품의 성능 시험을 위해 '갑'은 설치 장소를 제공하고 그 성능분석을 '을'에게 제공한다.



노하우 기술이전계약서

계약명 : "영농형 태양광 발전 시스템 최적 유지 관리 기술 개발"에 대한 기술이전

영남대학교 산학협력단(이하 '갑'이라 한다)과 ㈜피브이케이(이하 '을'이라 한다)는 '갑'이 개발하여 보유하고 있는 '영농형 태양광 발전 시스템 최적 유지 관리 기술 개발' (이하 "계약기술·노하우"라 함)을 '을'에게 일정한 조건에 따라 이전하기 위해 다음과 같이 계약을 체결한다.

제1조 (용어의 정의)

본 계약서에서 사용되는 다음 각 호에 기재되어 있는 용어는, 다른 특별한 언급이 없는 한, 다음의 의미를 갖는다.

'계약기술·노하우'란 '갑'이 개발하여 보유하고 있는 '영농형 태양광 발전 시스템 최적 유지 관리 기술 개발' 관련 노하우를 총칭하는 것(특히 출원 유무와는 무관)이다.

제2조 (계약기술·노하우의 이전·전수)

1항 : '갑'은 '영농형 태양광 발전 시스템 최적 유지 관리 기술 개발' 분야에 한정하여 계약기술·노하우를 '을'에게 이전·전수하기로 한다. 위 이전·전수 분야는 '갑'과 '을'의 합의에 의해 확대될 수 있다. 따라서 '갑'은 '을'이 '영농형 태양광 발전 시스템 최적 유지 관리 기술 개발' 분야에 관하여 계약기술·노하우를 사용하여 계약제품을 제조할 수 있도록 필요한 모든 기술적 지원을 다하여야 한다.

2항 : '을'은 "계약기술·노하우"의 실질적인 이전을 위해 필요한 문서자료의 제출을 '갑'에게 요구하여 이를 수령할 수 있으며, '갑'과 협의 하에 그 문서자료의 사본을 보관할 수 있다.

3항 : '을'은 "계약기술·노하우"의 실질적인 이전을 위해 필요한 범위 내에서 '갑'의 기술자·피용자·직원·직접 '을'을 방문하여 교육을 해 줄 것을 요청할 수 있다. 이 때 출장비, 강사료, 자문비 등은 '을'이 별도로 부담한다.

4항 : '갑'은 "계약기술·노하우"의 실질적인 이전을 위해 최소 3회이상 유·무선·현장방문·이메일 등의 방법을 통하여 '을'에 기술적인 지원을 하여야 한다.

5항 : 시제품이 성능 시험은 '을'이 시행하며 '갑'은 이에 필요한 기술적 지원을 한다.

영남대학교
산학협력단



□ 사업화 투자실적

번호	추가 연구개발 투자	설비 투자	기타 투자	합계	투자 자금 성격*

□ 사업화 현황

번호	사업화 방식 ¹⁾	사업화 형태 ²⁾	지역 ³⁾	사업화명	내용	업체명	매출액		매출 발생 연도	기술 수명
							국내 (천원)	국외 (달러)		
1										
2										
3										

- * 1) 기술이전 또는 자기실시
- * 2) 신제품 개발, 기존 제품 개선, 신공정 개발, 기존 공정 개선 등
- * 3) 국내 또는 국외

□ 매출 실적(누적)

사업화명	발생 연도	매출액		합계	산정 방법
		국내(천원)	국외(달러)		
합계					

□ 사업화 계획 및 무역 수지 개선 효과

성과				
사업화 계획	사업화 소요기간(년)			
	소요예산(천원)			
	예상 매출규모(천원)	현재까지	3년 후	5년 후
		단위(%)	현재까지	3년 후
	시장 점유율	국내		
	국외			
	향후 관련기술, 제품을 응용한 타 모델, 제품 개발계획			
무역 수지 개선 효과(천원)	수입대체(내수)	현재	3년 후	5년 후
	수출			

□ 고용 창출

순번	사업화명	사업화 업체	고용창출 인원(명)		합계
			2021년	2022년	
1	작물별 생산성을 고려한 영농형 태양광 표준모델 개발 및 실증	주식회사 모든솔라	1	-	1
합계			1	-	1

재직증명서

■ 인적사항

성 명	한 글 : 김민혁	주민등록번호	[REDACTED]
	한 자 : 金敏赫	연락처	[REDACTED]
주 소	[REDACTED]		

■ 재직사항

회 사 명	주식회사 모든솔라	직 위	주임연구원
부 서	기업부설연구소	입사일자	2021. 03.11.
근속기간	1년 11개월		
특기사항	신재생에너지 벤처기업		

상기인은 재직증명서 발급일 현재 위와 같이 당사에 재직하고 있음을 증명합니다.

■ 발급사항

- 1) 용 도 : 관공서(농림식품기술기획평가원) 제출용
- 2) 발급부서 : 본부 관리팀
- 3) 담 당 자 : 채중윤 (TEL : [REDACTED])

2022 년 12 월 28 일

대표이사 : 채 중 윤



주식회사 모든솔라

□ 고용 효과

구분			고용 효과(명)
고용 효과	개발 전	연구인력	
		생산인력	
	개발 후	연구인력	
		생산인력	

□ 비용 절감(누적)

순번	사업화명	발생연도	산정 방법	비용 절감액(천원)
합계				

□ 경제적 파급 효과

(단위: 천원/년)

구분	사업화명	수입 대체	수출 증대	매출 증대	생산성 향상	고용 창출 (인력 양성 수)	기타
해당 연도							
기대 목표							

□ 산업 지원(기술지도)

순번	내용	기간	참석 대상	장소	인원

□ 기술 무역

(단위: 천원)

번호	계약 연월	계약 기술명	계약 업체명	계약업체 국가	기 징수액	총 계약액	해당 연도 징수액	향후 예정액	수출/ 수입
1									

[사회적 성과]

□ 법령 반영

번호	구분 (법률/시행령)	활용 구분 (제정/개정)	명 칭	해당 조항	시행일	관리 부처	제정/개정 내용

□ 정책활용 내용

번호	구분 (제안/채택)	정책명	관련 기관 (담당 부서)	활용 연도	채택 내용
1	제안	영농형 태양광 발전 확대보급을 위한 농촌 체험현장 및 교육농장 지원 우대	농촌진흥청 기술보급과	-	-



영남대학교 산학협력단

수신자 농촌진흥청장(기술지원국 기술보급과)

(경 유)

제 목 영농형 태양광 발전 확대보급을 위한 지원우대 정책 제안(제안자: 영남대 운해근)

1. 귀 기관의 무궁한 발전을 기원합니다.
2. 영농형 태양광 발전 사업의 확대 보급을 위하여 정부에서 지원하는 농촌 체험농장 및 교육농장 사업을 영농형 태양광을 운영하는 농가에 우선적으로 지원할 수 있는 지침 개선과 관련하여 불임과 같이 제안하오니 제안의견이 반영될 수 있도록 검토와 협조를 부탁드립니다.

불임 정책제안서 등 1부. 끝.

영남대학교 산학협력단장



담당	이명일	부팀장	양병용	팀장	전결12/14 김정태
----	------------	-----	------------	----	----------------

협조자

시행 산학협력단산학연구관리 (2022.12.14.) 접수 ()
 팀-3854
 우 38541 경북 경산시 대학로 280 / http://www.yu.ac.kr
 전화 / 전송 / 공개

양 식	정책건의/시행 <small>※ 정부시책, 법령개정, 매뉴얼(지침), 시스템 반영 등</small>		
과제명	작물별 생산성을 고려한 영농형 태양광 표준모델 개발 및 실증 (농림식품기술기획평가원)		
건의명	영농형 태양광 발전 확대보급을 위한 농촌 체험농장 및 교육농장 지원 우대		
주관부처 (담당자)	농촌진흥청 기술보급과 (안정구 지도관)	건의일자 (제출일)	2022년 12월 일
시책명		시행일 (시행예정일)	년 월 일
주요내용 요약	<ul style="list-style-type: none"> ○ 현황 및 문제점 <ul style="list-style-type: none"> - 친환경 신재생에너지 생산에 있어서 농촌태양광과는 다르게 작물을 지속적으로 생산하면서도 태양광 발전을 병행하는 영농형 태양광이 새롭게 주목되고 있음 - 영농형 태양광과 탄소중립에 대한 일반 국민들의 인식 부족 및 영농형 태양광발전 시설의 활용도에 대한 인지도 부족으로 확산이 더딤 - 영농형 태양광 설치로 인한 포도 등의 과수의 숙기 지연, 농업생산량 감소로 인해 농업소득 감소에 대하여 태양광 이외의 다양한 소득원에 대한 추가 개발을 통해 영농형 태양광 시설의 확대가 필요함 ○ 제안내용 <ul style="list-style-type: none"> - 영농형 태양광 발전시설을 설치한 농장의 경우, 농촌 체험농장 지원 및 농촌 교육농장 지원(품질인증 등) 신청시, 가산점 부여 등을 통하여 우대 지원할 수 있도록 관련 지침 개정을 요청함 		
기대효과	<ul style="list-style-type: none"> ○ 영농형 태양광 발전 시설의 설치로 발생하는 숙기 지연, 농업생산량 변화 등에 따른 농가소득 감소분에 대한 농업 인센티브 제공 ○ 영농형 태양광 설치농가 가산점 부여로 농촌 체험농장 및 교육농장을 통한 영농형 태양광 홍보를 통한 발전시스템 확대에 기여 ○ 영농형 태양광을 통한 재생에너지 발전원 및 탄소중립 확대보급 		
제안자	성명	윤해근	
	소속 및 직위	영남대학교 원예생명과학과, 교수	
	연락처	[전화번호]	
	주소	경북 경산시 대학로 280, 영남대학교	

설계 기준/설명서(시방서)/지침/안내서에 반영

번호	구분 (설계 기준/설명서/지침/안내서)	활용 구분 (신규/개선)	설계 기준/설명서/ 지침/안내서 명칭	반영일	반영 내용

전문 연구 인력 양성

번호	분류	기준 연도	현황																		
			학위별				성별		지역별												
			박사	석사	학사	기타	남	여	수도권	충청권	영남권	호남권	기타								

산업 기술 인력 양성

번호	프로그램명	프로그램 내용	교육 기관	교육 개최 횟수	총 교육 시간	총 교육 인원

다른 국가연구개발사업에의 활용

번호	중앙행정기관명	사업명	연구개발과제명	연구책임자	연구개발비

국제화 협력성과

번호	구분 (유치/파견)	기간	국가	학위	전공	내용

□ 홍보 실적

번호	홍보 유형	매체명	제목	홍보일
1	전시회 참가	국제그린에너지엑스포	영농형 태양광 모듈 전시	2021-04-13 ~ 15
2	전시회 참가	스마트 농업기술 전시회	영농형 태양광 모듈 전시	2022-08-25 ~ 28
3	전시회 참가	대한민국 에너지대전	영농형 태양광 모듈 전시	2022-11-02 ~ 04
4	전시회 참가	솔라페스티벌	영농형 태양광 모듈 전시	2022-10-01 ~ 04
5	전시회 참가	2022 태양광 마켓 인사이트 (PVMI 2022)	PVMI 특별세션 발표_정재학	2022-04-13 ~ 14
6	전시회 참가	2022 태양광 마켓 인사이트 (PVMI 2022)	PVMI 특별세션 발표_김보명	2022-04-13 ~ 14
7	전시회 참가	AGRI WEEK TOKYO 2022	세미나 참석	2022-10-12 ~ 19
8	인터넷 매체	전기신문	한화큐셀-에너지공단 "영농형 태양광으로 농민수익증진과 탄소중립 달성기대"	2022-09-04
9	인터넷 매체	IW 인더스트리 뉴스	한화큐셀, 영농형 태양광 최적화시킨 표준시스템 개발한다	2022-08- 05
10	인터넷 매체	뉴스핌	한화큐셀, '영농형 태양광 표준화' 총괄 국책 과제 공동연구기관 선정 [더스페셜리스트]	2021-04-07
11	인터넷 매체	SBS	재생에너지 상생 방법은? 눈 위에 태양광	2022-09-10
12	인터넷 매체	스트레이트 뉴스	설치했더니...소득이 5배 늘었다	2022-09-19
13	인터넷 매체	한국일보	태양광 모듈 밑에서 자란 싱싱한 배추... 기후위기·식량난 두 마리 토끼 잡는다	2022-12-02
14	중앙TV방송	KBS	농촌에도 버스 차고지에도...태양광으로 '1석 2조' 확산	2022-09-11
15	인터넷 매체	전기신문	정재학 영남대 교수 "영농형 태양광 표준화, 농민과 농지 지키는 효과적 수단"	2022-12-20

□ 포상 및 수상 실적

번호	종류	포상명	포상 내용	포상 대상	포상일	포상 기관

[인프라 성과]

□ 연구시설·장비

구축기관	연구시설/ 연구장비명	규격 (모델명)	개발여부 (○/×)	연구시설·장비 종합정보시스템* 등록여부	연구시설·장비 종합정보시스템* 등록번호	구축일자 (YY.MM.DD)	구축비용 (천원)	비고 (설치 장소)

* 「과학기술기초법 시행령」 제42조제4항제2호에 따른 연구시설·장비 종합정보시스템을 의미합니다.

[그 밖의 성과](해당 시 작성합니다)

(4) 계획하지 않은 성과 및 관련 분야 기여사항(해당 시 작성합니다)

<참고 1> 연구성과 실적 증빙자료 예시

성과유형	첨부자료 예시
연구논문	논문 사본(저자, 초록, 사사표기)을 확인할 수 있는 부분 포함, 연구개발과제별 중복 첨부 불가)
지식재산권	산업재산권 등록증(또는 출원서) 사본(발명인, 발명의 명칭, 연구개발과제 출처 포함)
제품개발(시제품)	제품개발사진 등 시제품 개발 관련 증빙자료
기술이전	기술이전 계약서, 기술실시 계약서, 기술료 입금 내역서 등
사업화 (상품출시, 공정개발)	사업화된 제품사진, 매출액 증빙서류(세금계산서, 납품계약서 등 매출 확인가능 내부 회계자료) 등
품목허가	미국 식품의약국(FDA) / 식품의약품안전처(MFDS) 허가서
임상시험실시	임상시험계획(IND) 승인서

<참고 2> 국가연구개발혁신법 시행령 제33조제4항 및 별표 4에 따른 연구개발성과의 등록·기탁 대상과 범위

구분	대상	등록 및 기탁 범위
등록	논문	국내외 학술단체에서 발간하는 학술(대회)지에 수록된 학술 논문(전자원문 포함)
	특허	국내외에 출원 또는 등록된 특허정보
	보고서원문	연구개발 연차보고서, 단계보고서 및 최종보고서의 원문
	연구시설·장비	국가연구개발사업을 통하여 취득한 3천만 원 이상 (부가가치세, 부대비용 포함) 연구시설·장비 또는 공동활용이 가능한 모든 연구시설·장비
	기술요약정보	연차보고, 단계보고 및 최종보고가 완료된 연구개발성과의 기술을 요약한 정보
	생명자원 중 생명정보	서열·발현정보 등 유전체정보, 서열·구조·상호작용 등 단백질정보, 유전자(DNA)칩·단백질칩 등 발현체 정보 및 그 밖의 생명정보
	소프트웨어	창작된 소프트웨어 및 등록에 필요한 관련 정보
기탁	표준	「국가표준기본법」 제3조에 따른 국가표준, 국제표준으로 채택된 공식 표준정보[소관 기술위원회에 포함된 공식 국제표준화기구(ISO, IEC, ITU)가 공인한 단체 또는 사실표준화기구에서 채택한 표준정보를 포함한다]
	생명자원 중 생물자원	세균, 곰팡이, 바이러스 등 미생물자원, 인간 또는 동물의 세포·수정란 등 동물자원, 식물세포·종자 등 식물자원, DNA, RNA, 플라스미드 등 유전체자원 및 그 밖의 생물자원
	화합물	합성 또는 천연물에서 추출한 유기화합물 및 관련 정보
	신품종	생물자원 중 국내외에 출원 또는 등록된 농업용 신품종 및 관련 정보

2) 목표 달성 수준

추진 목표	달성 내용	달성도(%)
○ 영농형 태양광 모듈 시작기 제작	○ 영농형 태양광 모듈 디자인, 신뢰성 검증을 통한 KS 인증 획득	○ 100
○ 작물(과수, 채소) 실증 예비시험 및 실증시험 설계 모니터링(에너지, 생육 등) 시스템 설계 및 평가	○ 영농형 태양광 적용 과수(포도), 채소(배추) 실증시험 및 평가 데이터 획득	○ 100
○ 데이터 기반 영농형 태양광 가이드라인 제시	○ 국내외 사례 데이터를 기반으로 한국형 영농형 태양광 가이드라인 제작	○ 100
○ 영농형 태양광 표준모델 3종 제시	○ 해당 작물 및 지형에 적합한 영농형 태양광의 표준모델 3가지를 제시	○ 100

4. 목표 미달 시 원인분석

1) 목표 미달 원인(사유) 자체분석 내용

제 1차년도 비SCI 연구논문 1편이 출간되지 않아 해당 과제의 유일한 목표 미달 사례가 되었다. 이는 첫 해에 태양광 발전 설비를 설치하고 작물 환경을 측정하기 위한 센서류를 식재하여 작황과 연동된 연구논문을 기획하였으나 세계적인 물류대란으로 당시 주문한 센서류 기자재가 모두 1차년도를 넘어 2차년도 초에 도착하게 되었고 이에 따라 논문 작성에 어려움을 겪었다. 1차년도에 작물의 작황을 얻기 위해 새로이 시설한 시설물의 인허가 시간 또한 예상보다 오래 걸렸고, 자재 수급 또한 물류대란으로 시간을 맞추지 못하게 되었다.

2) 자체 보완활동

1년간의 온전한 발전량 데이터와 작물 경작환경 데이터를 2차년도가 끝나는 시점에 얻을 수 있었으며, 과제가 종료되었지만 과제 종료와 관계없이 본 과제의 사사글이 들어간 논문을 작성하여 투고 준비 중에 있다.

3) 연구개발 과정의 성실성

연구 개발 과정 중 기자재 수급에 큰 영향을 끼친 세계적 물류 대란이 2021년 진행되었으나 과제의 결과를 얻기 위해 이미 영농형 태양광 발전 시설물이 설치된 2곳을 접하여 위탁 협력 기관으로 MOU를 맺고 선정하여 협조를 얻을 수 있었고 그 결과, 인천 영흥에 있는 원광 전력의 30kW 규모의 과수(포도)밭을 선정하였고 또 밭의 경우, 경산에 있는 동서발전의 50kW 규모 밭작물(배추)을 선정하여 실험에 임하였다. 추후 시설물 설치가 완료된 경산지역 포도밭과 서울대 수원 캠퍼스의 밭(배추) 실험을 병행하여 진행하였으며, 연구 결과에 지장을 초래하지 않게 하려고 최선을 다하여 배추의 경우 3번의 작황 결과를, 포도의 경우 2번의 작황 결과를 끌어냈다.

5. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도

본 연구 개발은 영농형 태양광 발전 설비의 표준안과 그 설치 가이드라인을 작성하여 현재 66개 가량의 시범사업보다 규모가 매우 커질 일반 농민의 시설 설치에 부실을 막아 설치 농민의 재산을 보호하고 농지의 오염과 혐오를 없애기 위해 크게 기여할 것으로 기대된다. 이러한 이유로 본 연구 결과는 영농형 태양광 분야에 대한 기여도는 매우 클 것으로 판단된다.

6. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획

연구 개발 성과로 도출된 표준안과 설치가이드라인은 현장에 적용되면서 지속적으로 현장의 적용결과에 대한 보완과 새로운 문제점의 발굴 및 그 문제의 해소 안을 수용하는 업데이트가 필요하다. 관련 기관이 연 1회씩 가이드라인의 적용사례를 수집하고 발생한 문제에 대해 전문가 그룹으로 구성된 위원회를 거쳐 그 문제를 해결하는 방안을 연구하고 가능하다면 매년 가이드라인 보완 과제를 구성하여 개선을 하면서 완성도를 높여야 한다. 본 연구에서 도출된 표준안과 가이드라인은 그 출발점에 불과할 것이다. 일본의 경우도 2013년 처음 가이드라인이 제정된 후, 매년 개정, 보완을 거쳐 현재 9회째 개정 가이드라인을 발간하고 있으며, 그 개정안은 당해연도에 발생된 문제점을 보완할 수 있는 사안들을 1년간 연구, 적용, 분석하여 최종안으로 개정작업에 포함되고 있고 그 결과, 가이드라인의 완성도는 매우 높고 현실적인 문제를 다수 해결하고 있다.

< 연구개발성과 활용계획표(예시) >

구분(정량 및 정성적 성과 항목)		연구개발 종료 후 5년 이내
국외논문	SCIE	매년 목표치
	비SCIE	
	계	
국내논문	SCIE	
	비SCIE	
	계	
특허출원	국내	
	국외	
	계	
특허등록	국내	
	국외	
	계	
인력양성	학사	
	석사	
	박사	
	계	
사업화	상품출시	
	기술이전	
	공정개발	
제품개발	시제품개발	
비임상시험 실시		
임상시험 실시 (IND 승인)	의약품	1상
		2상
		3상
	의료기기	
진료지침개발		
신의료기술개발		
성과홍보		
포상 및 수상실적		
정성적 성과 주요 내용		

< 별첨 자료 >

중앙행정기관 요구사항	별첨 자료
1.	1) 자체평가의견서
	2) 연구성과 활용계획서
2.	1)
	2)

주 의

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