

전 략 체 계	안정 - 6 - 2		구 분	완결	
기술분야코드	V2	기술유형코드	S01	작목구분코드	VC-06-1401,1499
과 제 증 류	기관고유		과제번호	LP004576	
과 제 명	영농형 태양광 산채 재배모델 개발				
과 제 책임자	성 명		직 급	소속기관 및 부서	
	김 세 원		농업연구관	강원도원 산채연구소	
연 구 기 간	2021 ~ 2022		참여연구기관	인제군농업기술센터	
세부과제명			부 서	세부책임자	연구기간
1) 음지성 산채 영농형 태양광 재배모델 실증 연구			산채연구소	김세원	'21~'22
색 인 용 어	영농형태양광, 곰취, 산마늘, 차광, 활착율				

ABSTRACT

For carbon neutrality by 2050, it is essential to discover and introduce sustainable renewable energy sources. The introduction of agricultural photovoltaic power generation is expected to contribute to the supply of renewable energy and the achievement of carbon neutrality. In 2021, the installation of a farming-type photovoltaic facility structure was completed in the public area of Eco-friendly Energy Town in Inje-gun. The total generation capacity was 67,431 Kwh in 2021. The efficiency was highest in the spring of April and May, when there was little rainfall and sunny days lasted.

Cultivation tests were carried out on shade-prone wild vegetables, such as *Ligularia* sp. and mountain garlic, in agricultural photovoltaic power generation facility. After planting, only 14-21% of the plants of the *Ligularia* sp. survived in the non-treated sunlight district, and a considerable amount of them withered. Agricultural photovoltaic power showed higher growth in above-ground parts such as plant height, number of leaves, and leaf color than those non-treated sunlight. For the growth of wild vegetables, supplementary shading or additional panel installation is required in agricultural solar power facilities. As a result of measuring the meteorological environment for 2 months during the high temperature period, the daily maximum temperature was 1.7°C lower than the Na district, and the daily maximum light intensity was 76%. For wild garlic, the 3-year-old adult seedlings were planted in the fall, and the growth is planned to be continuously observed.

2017년부터 신재생에너지 사업을 확대하기 위해 대규모 벼농사 중심으로 광역 영농형태양광 국가시범사업을 추진 중이나 전체면적 중 산림이 81.5%인 강원도 여건상 사업화가 어려운 실정이다. 영농형 태양광 시설은 차광률 30% 이내로 규정되어 있어, 산업용보다 2배 이상 많은 설치면적을 확보해야 한다. 일반적인 태양광 시설은 임야나 경사전에 설치 시 장마기 토양유실에 의한 산사태 피해 우려가 높은 실정으로 농촌지역 내 영농형 태양광 발전은 기존의 영농환경을 유지하고 산림을 훼손하지 않아 지역사회의 수용성이 제고될 것으로 예상하였다(2021, KEI).

국내 영농형 태양광 시설에서 작물재배 실행 실증연구 결과로 벼는 12~20%, 감자는 9~20%, 배추는 7~23% 정도가 감수되는 것으로 나타났다. 2020년부터 농식품부 주관으로 적정품목, 영농방법(농기계 등) 실증 및 표준모델 개발을 위해 재배모델 실증 지원 사업이 추진되고 있으며 최초 5개소를 시작으로 개소당 150백만원을 지원하며 국비 70%, 지방비 30%의 비율로 사업이 추진된다. 현재는 14개소에서 채소류, 산·약초류 등 다양한 작물로 확대되고 있다.

영농형 태양광 해외사례를 살펴보면 독일에서는 태양광 부지수요 충족, 농촌 경쟁력 제고를 위해 지역주민 워크숍을 통한 갈등해소로 2015년부터 APV(Agrophotovoltaics; 영농형태양광) 시범사업을 추진 중이다(2020, Ketzer). 일본의 경우 2003년 나가시마 아키라에 의해 특허출원을 시초로 확대되어 다양한 작물에서 재배 결과를 얻게 되었으며, 법령이 제정되고 농업인들이 태양광발전 사업자를 겸업함으로써 2019년 3천개소 이상이 운영되고 있다. 식량작물로는 벼, 콩, 땅콩, 고구마, 감자, 옥수수, 원예작물로는 토마토, 수박, 오이, 딸기, 시금치, 파, 호박 등의 재배에 이용되고 있다(2020, 정).

산채는 국내 자생 토종식물로 최근 기능성이 밝혀지면서 건강식품으로 소비자에게 각광을 받고 있고 강원도는 산채를 지역특화 품목으로 육성하고 있어 3,734ha가 재배되고 전국의 32.6% 점유하고 있다(2021, 산림청). 특히 음지성 산채인 곰취, 산마늘 등은 재배를 위해 50% 이상의 차광이 필수적인데 실행연구 결과 태양광시설 하부에서도 생육이 양호하였다. 이에 고랭지 경사전 등 강원도 농지에 적용 가능한 음지성 산채 영농복합 태양광시설 사업화 모델개발이 시급하여 본 실증연구를 추진하였다.

〈제1세부과제: 음지성산채 영농형 태양광 재배모델 실증 연구〉

(시험 1) 영농형 태양광 시설구축 및 발전용량 수집

본 연구과제를 실증하기 위한 영농형 태양광 시설은 인제군 북면 월학리에 위치한 인제친환경 에너지타운 내 공공부지에 농지전용후 설치하였다(그림 1). 당초 본 실증시험은 3개년간 수행

하고자 하였으나, 1차년도인 2021년에는 태양광 시설구축이 12월말 지연 준공되어 작물 식재는 곤란하여 이듬해 4월 유공관매설, 객토작업후에 산채 정식이 가능하였다. 총 태양광 패널 설치 면적은 905㎡였으며 나지상태의 대조구를 두어 비교분석하였다. 실증대상 작목은 곰취속인 곰취, 곤달비와 산마늘 등 3종의 음지성 산채에 대해 적용하였다. 태양광 모듈과 구조물, 인버터 등의 설치규격은 표 1, 2와 같다.

<표 1> 태양광 모듈의 설치규격

실증 품목	셀규격 (가로×세로, cell)	크기 (가로×세로, m)	형태	출력 (Wp)	수량 (매)	모듈면적 (㎡)	차광률 (%)	모듈간격(m)		각도 조절
								직렬	병렬	
곰취 곤달비 산마늘	3×12	1.98×0.52	단면형	185	264	271.8	30.0	0.30	0.98	가변형

<표 2> 지지대 등 구조물, 인버터·접속함

기초 방식	구조물				인버터·접속함		
	기둥 형태	높이 (m)	간격(m)		설치높이 (m)	지붕설치 여부	하부 설치구조
			직렬	병렬			
스크류	원형	3.7	4.6	6	1.5	·	지지대 사용



영농형태양광 설치 전경



태양광 하단 차광양상

(그림 1) 영농형 태양광 시설 구축

인근 강변 고수에서 채토된 토양으로 객토된 포장 시험전 토양이화학성 및 중금속 함량은 표 3, 4와 같았는데 유기물 함량과 치환성 양이온이 현저히 낮은 상태였다.

<표 3> 시험전 토양 일반화학성 분석결과

채취장소	pH	EC	SOM	Cation			Av. P ₂ O ₅	LR
				Ca	K	Mg		
				cmolc/kg				
태양광	6.0	0.23	6	2.8	0.1	0.6	28	133
나지구	6.0	0.22	5	2.7	0.1	0.6	28	133

<표 4> 시험전 토양중금속 분석결과

(mg/kg)

채취장소	Cr ⁶⁺	Ni	Cd	Pb	Zn	Cu	As	Hg
태양광	0.24	14.9	불검출	7.8	50.5	10.2	불검출	0.01
나지구	0.09	14.5	불검출	7.6	51.6	9.8	불검출	0.01

본 연구과제를 위해 일사량, PAR, 온습도, 강우량, 풍속, 토양수분, 토양온도, 토양EC 등 기상 환경관측 장비를 설치 운영하고자 하였으나, 사업추진이 지연되어 기온, 상대습도, 광량 등 HOBO 센서를 설치하여 간이 기상데이터를 수집 비교하였다. 인제군농업기술센터에서는 본 태양광 시설에서 생산된 전력 발전량을 모니터링하였고 첨단 기상관측장비를 2023년 구축할 예정이다.

시험장소는 표고 260m로서 곰취, 산마늘과 같은 저온성 산채 재배에는 좀 낮은 편이고 기존 농경지가 아닌 신규 개간지로 유효토심이 약 30cm로 조성되었는데 점토함량 및 비옥도가 낮아 산나물 재배에는 어려움이 있었다. 초기활착과 생육관리를 위해 점적관수로 주기적으로 물관리 하였다.

(시험 2) 음지성 산채(곰취속, 산마늘) 영농형 태양광 재배모델 실증

시험재료인 곰취는 농가재래 자생종으로 강원산, 곤달비는 흑산도 원산지 수집종이었다. 10a 기준 부숙퇴비 2000kg, 석회 200kg, 질소 14.7kg, 인산 12.1kg, 칼리 8.6kg을 정식전 시비하였고 질소는 70%, 칼리는 50%을 8월상순 분시하였다. 고자리파리 방제를 위해 시비와 함께 토양살충제를 살포하였다. 1.2m폭 두둑에 휴간 0.6m로 작반하였으며 흑색필름으로 멀칭하고 재식간격 30×20cm로 4열 재배로 2022년 5월 2일 분주묘로 정식하였다. 병해충 방제는 정식전 살균제로 종묘소독을 실시하고 고온기인 7~8월중 흰가루병과 갈색무늬병 방제를 위해 생육 상황을 살피며 약제살포를 수행하였다. 나지구와 비교를 위해 일부 면적에 대해 50%흑색차광망으로 7월 5일 터널을 설치하였다.(그림 2) 음지성 곰취속 식물의 생육장해가 우려되는 고온기인 7월 29일 활착율과, 초장, 엽수, 엽색도 등을 조사하였다.



(그림 2) 곰취 정식 및 간이 차광터널 설치

산마늘은 울릉산마늘 자생종으로 3년생 분구 성묘를 시험재료로 활용하였다. 10a기준 부숙퇴비 2000kg, 석회 200kg, 질소 10kg, 인산 4.5kg, 칼리 4.4kg을 정식전 전량기비로 시비하였다. 흰비단병 방제를 위해 종묘소독하였고, 토양소독제를 시비와 함께 처리하였다. 곰취와 동일하게 1.2m폭 두둑에 휴간 0.6m로 작반하였으며 흑색필름으로 멀칭하고 재식간격 30×20cm로 4열 재배로 2022년 9월 14일 1주 3분으로 정식하였다.

3 결과 및 고찰

<제1세부과제: 음지성산채 영농형 태양광 재배모델 실증 연구>

(시험 1) 영농형 태양광 시설구축 및 발전용량 수집

본 태양광 시설은 공공시설 부지에 농지전용 후 2021년 12월 준공 완료하였으며, 2022년 연중 측정된 발전용량은 표 5와 같다. 4~5월 봄철에 가장 효율이 높게 나타났는데 강우가 적고 맑은 날이 지속되는 시기가 지속되는 이유로 판단된다.

<표 5> 2022년 영농형 태양광 발전량

합계	2022년										
	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월
월발전량 (Kwh)	6,258	6,258	6,258	8,680	7,322	4,674	6,051	5,337	5,407	5,593	5,593
누적량 (Kwh)	6,258	12,516	18,774	27,454	34,776	39,450	45,501	51,378	50,838	61,838	67,431

(시험 2) 음지성 산채(곰취속, 산마늘) 영농형 태양광 재배모델 실증

곰취와 곤달비를 당해연도 정식하고 고온기에 생육양상을 비교한 결과(표 6, 7.), 내서성이 강한 곤달비가 곰취보다는 상대적으로 생육이 양호하였다. 음지성 곰취속 식물의 경우 나지구에서 활착이 14~21%로 매우 낮아 상당량 고사되었다. 영농형 태양광 하단 조건에서 차광효과가 일부 있어 활착율이나, 초장, 엽수, 엽색도 등 지상부 생육이 나지구보다는 높게 나타났는데(그림 3), 다만, 영농형 태양광의 온도, 광 환경이 곰취 속의 적정 생육을 위해서는 보조 차광이 필요하거나, 추가 패널이 더 설치될 필요가 있다고 판단된다.

<표 6> 곱취 정식 당해연도 고온기 생육양상

처리구	활착율(%)	초장(cm)	엽수(매)	엽색도(SPAD)
태양광	64.2 a	19.9 a	5.0 a	39.2 a
차광터널	43.2 b	21.4 a	5.2 a	36.6 b
나지(대조구)	14.2 c	11.5 b	2.8 b	37.5 ab
Pr > F	<0.0001	0.0009	0.0009	0.0429
LSD	3.6622	3.5265	0.8606	1.914

* 조사시기: 2022. 7. 29일 * DMRT 0.05

<표 7> 곤달비(흑산도 수집종) 정식 당해연도 고온기 생육양상

처리구	활착율(%)	초장(cm)	엽수(매)	엽색도(SPAD)
태양광	78.5 a	25.6 a	6.5 a	36.4 b
차광터널	68.4 b	26.2 a	5.9 a	40.5 a
나지(대조구)	21.0 c	12.3 b	3.4 b	32.1 c
Pr > F*	<0.0001	<0.0001	0.0002	0.0006
LSD*	6.4616	3.3378	0.788	2.5104

* 조사시기: 2022. 7. 29일 * DMRT 0.05

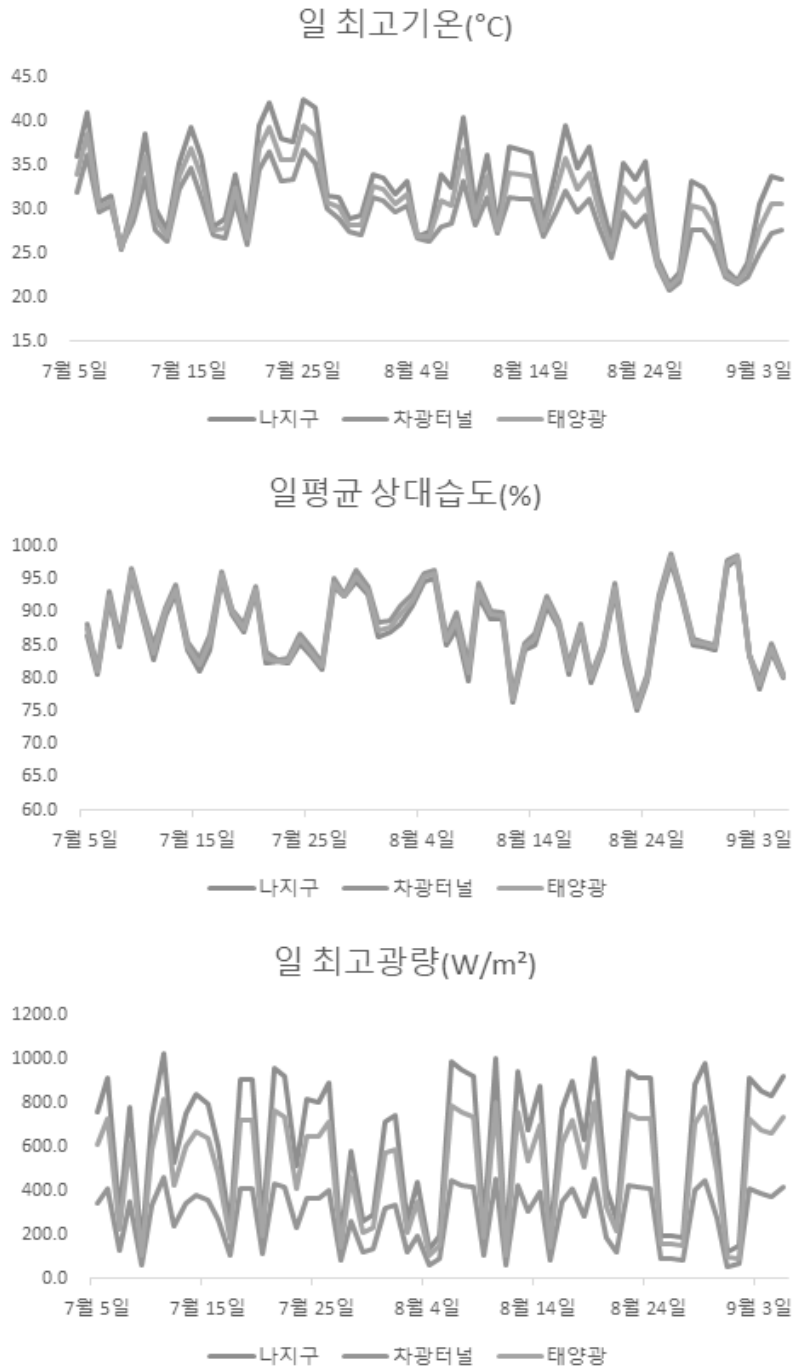
곱취의 적정 차광조건은 고온기 생육을 위해 나지의 50% 이상으로 알려져 있는데, 영농형 태양광 시설의 경우 나지구 대비 약 50%, 곤달비는 57%의 활착율 증진이 확인되었다.



(그림 3) 나지구, 차광터널, 태양광 조건에서의 곱취 생육

HOBO센서를 이용하여 7월 5일부터 9월 5일까지 2개월간 기상환경을 측정된 결과, 일 최고 기온은 나지구 대비 50%차광 터널에서 3.5℃, 태양광 하단은 1.7℃를 낮추는 효과를 보였다. 일평균 상대습도는 처리 간 차이가 없었고, 일 최고 광량은 나지구 대비 50% 차광터널에서 45%, 영농형 태양광 시설에서 76% 수준을 보였는데 현재 영농형태양광 시설은 패널 간격이 넓어 산채류를 재배하기 위해서는 추가 차광이 필요할 것으로 사료된다(그림 4).

산마늘은 봄 정식이 불가하여 9월 14일 흑색필름 멀칭 후 3년생 성묘를 가을정식 완료하였다. 이듬해 출현율을 비롯한 생육양상을 지속 관찰하고 농림수산식품부 영농형태양광 지원사업의 실증 결과는 별도로 보고할 예정이다.



(그림 4) 일 최고기온, 상대습도, 최고광량 등 HOBO센서 기상데이터

〈제1세부과제: 음지성산채 영농형 태양광 재배모델 실증 연구〉

(시험 1) 영농형 태양광 시설구축 및 발전용량 수집

- 가. 농림사업 시행지침에 의거 국고를 지원받아 인제군 친환경에너지타운 공공부지 내 농지 전용후 영농형태양광 시설구조물을 2021년 설치완료하였음.
- 나. 2022년 작물재배와 더불어 태양광 발전용량을 연중 특정한 결과, 연간 67,431Kwh를 생산하였는데 강우가 적고 맑은 날이 지속된 4~5월 봄철에 가장 효율이 높게 나타났음.

(시험 2) 음지성 산채(곰취속, 산마늘) 영농형 태양광 재배모델 실증

- 가. 음지성 곰취속 식물의 경우 나지구에서 활착이 14~21%로 매우 낮아 상당량 고사됨. 영농형 태양광 하단 조건에서 차광효과가 나타나 활착율이나, 지상부 생육이 나지구 보다는 높게 나타났으나, 곰취 속의 적정 생육을 위해서는 영농형 태양광의 보조 차광이나, 추가 패널이 더 설치될 필요가 있음.
- 나. 고온기 2개월간 기상환경을 측정한 결과, 영농형태양광 하단은 일 최고기온은 나지구 대비 1.7℃ 낮았고, 일 최고광량은 76% 수준이었는데, 음지성 산채류를 재배하기에는 충분하지 않다고 판단됨.
- 다. 산마늘은 3년생 성묘를 가을정식 완료하였고 지속적으로 생육을 관찰할 계획임.

- 관계부처합동. 2020. 「2050 탄소중립 추진전략」
- 김세원 외. 2020. 알기쉬운 산나물 생산과 이용, 「곰취, 곤달비, 산마늘 편」, 강원도농업기술원 산채연구소
- 김연중, 서대석, 허정희, 이정민. 2021. 탄소중립, 농촌 태양광의 이슈와 과제. KREI농정포커스, 한국농촌경제연구원
- 농림축산식품부. 2021. 영농형 태양광 실증사업 통해 적정품목 검토 및 표준모델 구축 추진. 정책브리핑
- 농림축산식품부. 2020. 2021년 영농형 태양광 재배모델 실증지원사업 농림사업시행지침
- 산림청. 2021. 임산물생산통계
- 신동원, 정예민, 이창훈. 2021. 영농형 태양광 발전 추진을 위한 현안과 정책방향.KEI포커스, ISSN 2288-9043, 한국환경연구원 .

Ketzer, D. 2020. Land use conflicts between agriculture and energy production. Systems approaches to allocate potentials for bioenergy and agrophotovoltaics (Doctoral dissertation, Department of Physical Geography, Stockholm University)

윤성탁. 2021. 영농형 태양광과 농작물 재배, 2021 태양광마켓 인사이트. pp28-29

정재학. 2020. 영농형 태양광 발전 시스템의 현황과 전망. 한국태양광발전협회. 6권 2호. pp25-33

한국에너지공단. 2018. 영농형태양광 시범사업 추진계획(안)

6 연구결과 활용

연도(연차)	활용방안	제 목
2022(2년)	기초자료	음지성 산채의 영농형태양광 시설 활용 재배 기초자료

7 연구원 편성

구분	소속	직급	성명	수행업무	참여년도	
					'21	'22
과제책임자	산채연구소	농업연구관	김세원	과제 총괄	○	○
세부책임자	산채연구소	농업연구관	김세원	세부주관 수행	○	○
공동연구자	산채연구소	농업연구사	서현택	시험계획, 수행	○	-
	산채연구소	농업연구사	문윤기	병해충조사 지원	-	○
	산채연구소	농업연구사	박기덕	기상요인 분석	-	○
	산채연구소	농업연구관	박기진	평가분석 지원	○	○
	인제군농업기술센터	농촌지도사	박홍륜	시설구축, 현장조사	○	○