

농업분야 신재생에너지 보급현황 및 파급효과 분석

박지연*, 김연중

한국농촌경제연구원 농림산업정책연구본부

The Effects of Renewable Energy in Agricultural Sector

Jiyun Park*, Yeonjoong Kim

Korea Rural Economic Institute, Department of Agriculture, Food and Forestry Policy Research

요약 농기계와 시설원에 보급 확대 등으로 인하여 농업부문 에너지 이용량이 증가함에 따라 난방비 등 투입비용의 증가 및 온실가스 배출 등 여러 가지 문제점이 발생하고 있다. 이러한 문제점을 개선하기 위하여 본 연구에서는 시설원에 농업부문 에너지 이용실태를 개략적으로 살펴보고, 면세유, 농사용 전기의 변화 형태를 살펴보았으며, 농업용 신재생에너지 및 에너지 절감시설의 보급현황을 검토하였다. 마지막으로 신재생에너지 및 에너지 절감시설의 보급면적을 조사하고, 신재생에너지와 에너지 절감시설의 에너지 절감비율을 적용하여, 농업부문 신재생에너지 및 에너지 절감시설 보급에 따른 난방비 절감효과, 생산성 증대효과, 정부재정지출절감효과, 온실가스 절감효과, 그리고 석유류 대체효과를 살펴보았다. 주요 분석결과(파프리카)는 다음과 같다. 첫째, 단위면적당 재정지출 절감효과는 열회수환기장치가 300,863원/10a으로 가장 높은 것으로 나타났다. 둘째, 국제유가가 상승할수록 신재생에너지 및 에너지 절감시설 보급에 따른 재정지출 절감효과도 증가하는 것으로 나타났다. 셋째, 온실가스 감축에 따른 경제적 총 편익을 계산한 결과 다겹보온커튼이 608.1억 원으로 가장 높게 나타났다. 넷째, 농업부문 신재생에너지 및 에너지 절감시설의 보급은 경유 등 에너지 투입비용을 감소시킴으로써 경영비 절감효과를 가져오는데 열회수환기장치는 3,593천 원/10a의 난방비 등 경영비 절감 효과가 있는 것으로 나타났다. 다섯째, 농업부문 신재생에너지 및 에너지 절감시설은 투입비용 절감효과뿐만 아니라 생산성 증대효과도 있다. 지열히트펌프의 경우 9,539kg/10a의 파프리카 생산량 증대효과가 있는 것으로 나타났다. 다섯째, 농업부문 신재생에너지 및 에너지 절감시설의 보급은 경유 등 석유류 투입을 대체하는 효과가 있으며 열회수환기장치는 1,806리터/10a의 석유류 대체효과가 있는 것으로 나타났다.

Abstract The increase in the amount of energy used in the agricultural sector due to the expansion of agricultural machinery and greenhouse horticulture has caused a range of problems, such as an increase in the cost of input, such as heating costs and greenhouse gas emission. To overcome these problems, this study examined the current status of energy use in greenhouse horticulture as well as the change patterns of non-taxable oil and agricultural electricity, and reviewed the current status of the supply of renewable energy and energy saving facilities for agriculture. This study investigated the area of advanced and renewable energy and energy saving facilities implemented, applied the energy saving ratio of advanced and renewable energy and energy saving facilities, and determined the effects of renewable energy in the agricultural sector, such as increase in production, decrease in heating cost, reduction in Government financial expenditure, reduction in greenhouse gas emission, and oil substitution effect.

Keywords : Renewable energy, advanced energy, agriculture, heating costs, greenhouse gas emission, oil substitute effects.

본 논문은 농촌진흥청의 위탁연구과제[농업분야 에너지소비량 조사 및 이산화탄소 배출량 추정(PJ0124102018)]의 지원에 의해 이루어짐.

*Corresponding Author : Jiyun Park(Korea Rural Economic Institute)

Tel: +82-61-820-2330 email: jiyunpark@krei.re.kr

Received September 21, 2018

Revised (1st November 9, 2018, 2nd November 20, 2018, 3rd November 26, 2018, 4th December 4, 2018, 5th December 13, 2018)

Accepted January 4, 2019

Published January 31, 2019

1. 서론

우리나라의 온실가스 총 배출량은 2015년 기준 6억 9,020만 톤으로 세계 7위 수준이며, 특히 이산화탄소 총 배출량은 6억 3,300만 톤에 이른다[1]. 이러한 온실가스 배출량은 90년대 이후 연평균 3.50%씩 증가하고 있어 지구온난화 대비 자발적 온실가스 배출량 감축이 요구되고 있다. 따라서 정부는 2030년 기준 온실가스 배출량 대비 37%의 온실가스를 자발적으로 감소하겠다는 목표를 설정하였다[2]. 이러한 온실가스 감축목표를 달성하기 위하여 산업부문별 주어진 감축량을 달성해야 한다. 온실가스 배출 감소를 위해서는 화석연료기반의 에너지 소비를 줄이는 것이 급선무이다.

우리나라의 경제구조는 에너지 다소비산업의 비중이 높기 때문에 저탄소 신재생에너지 경제체제로 전환해야 한다. 2017년 정부는 재생에너지 3020 이행계획을 통해 2030년까지 재생에너지 발전량 비중을 20%로 확대하기 위하여 48.7GW규모의 설비를 확충한다고 발표하였다[3]. 현재 재생에너지 시장은 폐기물·바이오의 비중이 높는데, 정부는 향후 태양광·풍력 중심으로 시장을 개편하고, 외지인이나 사업자가 주도하는 난개발이 아닌 지역 주민과 국민이 참여하는 방식으로 전환하고자 한다. 특히 농촌지역 태양광 사업을 확대하기 위하여 비우량농지를 중심으로 약 10GW 보급할 예정이다[3]. 구체적으로는 정부는 2022년까지 3.3GW, 2030년까지 10.0GW의 태양광을 보급할 계획을 발표했으며, 농촌태양광 설치지역은 농업진흥구역 내 염해간척지(1.5만 ha), 농업진흥지역 이외 농지(86만 ha), 농업용 저수지(188ha) 등에 태양광 설치를 활성화하여 2030년까지 10GW 규모의 태양광을 보급한다는 것이다[3]. 이는 영농형 태양광 사업을 통해 농업과 태양광 발전을 동시에 추진함을 의미한다.

농기계 보급의 확대와 시설원예의 가온비중 확대로 농업부문 에너지 이용이 지속적으로 증가하고 있다[4], [5]. 농업부문의 에너지 이용 증대는 난방비 등 투입비용의 증가로 경영비 상승요인으로 작용하고 있으며, 특히 국제유가 상승시 농가경영 여건 변동에 취약한 구조를 나타내고 있다[5]. 또한 최근 지구온난화 등 기후변화문제를 고려할 때 농업부문의 에너지 소비에 따른 온실가스 배출도 시급한 과제로 제시되고 있다.

이러한 농업부문의 화석연료 에너지 의존도의 증가는 여러 가지 문제점을 발생한다. 첫째, 농가의 수익성 측면

에서 국제유가 상승시 난방비 등 경영비의 증가요인은 채산성 악화를 유발한다. 시설원예 농가의 경우 화석연료에 의존할 경우 국제유가 변동, 면세유 지원 폐지 등 외부요인에 의해 농가 경영상황이 악화될 우려가 있다. 따라서 장기적인 관점에서 화석연료 에너지를 대체 또는 절감할 수 있는 신재생에너지 및 에너지 절감시설의 보급을 통해 경영 안정성을 도모할 필요가 있다.

둘째, 화석연료 에너지 이용은 이산화탄소 등 온실가스 배출을 통해 환경오염을 유발하는 문제가 있다. 특히 2030년까지 전망치 대비 국내 온실가스 배출감축을 고려할 때 농업부문도 에너지 투입의 감소를 통한 온실가스 감축이 필요하다.

셋째, 농업부문 에너지는 크게 석유류와 전력이 주를 이루고 있으며, 정부는 농가 부담 경감을 위해 면세유와 농사용 전력 가격 지원정책을 추진하고 있다. 그러나 농업용 에너지 투입 증가는 정부의 면세유 지원액이 증가하는 문제가 발생한다.

넷째, 우리나라는 에너지 수입의존도가 2016년 기준 94.7%에 달한 만큼 에너지 자립도가 낮은 상태이다[6]. 따라서 농업부문 신재생에너지 및 에너지 절감시설의 보급은 석유류 대체를 통한 에너지 자립 향상에도 기여할 것으로 기대된다.

이처럼 농업부문의 에너지 문제를 해결하기 위한 방안 중 하나로 신재생에너지가 대두되고 있다. 강석원 외는 우리나라 농업부문, 특히 농업시설의 에너지소비 현황을 분석하여 높은 전력 및 석유류 의존도와 시설원예와 축산의 성장으로 인한 에너지사용량 증가 추이를 증명하고, 증가하는 에너지 수요를 충당하고 온실가스 배출 저감을 위해 신재생에너지의 적극적 활용을 주장하였다[7]. 이상호·박재홍은 다중속성 평가를 통해 농가들이 신재생에너지 기술을 도입할 때 경제적 요인을 가장 중요하게 고려하고 있음을 보여주었고[8], 박순철도 연구를 통해 신재생에너지 기술개발을 통한 비용절감으로 인한 경제성 및 이용 수익성 확보가 신재생에너지 보급확대에 가장 중요한 것임을 주장하였다[9]. 김연중·한혜성·최칠구 또한 시설농가들의 에너지 에너지 절감시설에 관한 만족도를 분석하여 설치 단가를 낮출 수 있는 정책 및 제도나 저비용 대체에너지 시설 보급 확대 등 비용 부담을 경감시켜줄 수 있는 방안에 대한 요구가 큰 것을 보여주었다[10]. 이에 따라 농업생산에서 신재생에너지 및 에너지 절감시설의 효과성 및 경제성에 대한 연구가

진행되었는데, 강금춘은 배기열 회수장치를 부착시 일반 난방기에 비하여 약 16%의 난방비를 절감할 수 있다고 주장하였고[11], 권진경 외는 온실내부의 태양 잉여열과 외부의 공기열을 선택적 열원으로 이용함으로써 히트펌프의 성능을 기존보다 25~36% 가량 향상시킬 수 있음을 보여주었다[12]. 또한 이태석 외는 실증실험을 통해 토마토 단동온실에서 가장 경제적이고 효과적인 공기순환팬 배치방법을 제시하였고[13], 이태석 외는 공기순환팬이 온실 내 온습도 및 에너지사용량에 미치는 영향을 분석하여 방울토마토 단동온실의 경우 공기순환팬이 약 14.2%의 에너지소비를 줄일 수 있음을 보여주었다[14]. 김영화 외는 공기-물 직접 접촉식 히트펌프시스템을 제주지역에 적용하여 성능을 분석하였다[15]. 이처럼 농업분야 에너지 절감 및 신재생에너지 관련 효과성 연구는 대부분 실험온실에서 수행되는 테스트에 그쳤으나, 최근 몇몇 연구들은 실제 농가에 에너지 절감 및 신재생에너지 기술을 적용하고 경영성과를 분석하는 단계까지 진행하였다. 김연중·한혜성·최칠구는 지열히트펌프를 도입한 파프리카 농가의 경영성과를 분석하여 화석에너지와 신재생에너지의 효과를 비교·분석하였으며[16], 강연구 외는 제주지역 망고 농가를 대상으로 화력발전소 온배수를 활용한 냉난방 시스템을 실증실험하여 경제성을 제시하였다[17].

이처럼 농업부문 신재생에너지 관련 다양한 선행연구들이 수행되었으나, 대부분의 경제성 분석 관련 연구들은 특정 기술 및 에너지원의 농가 단위 효과 분석에 그치고 있다.

따라서 본 연구는 농업용 신재생에너지 및 에너지 절감시설의 보급현황을 검토하고, 농업부문 신재생에너지 및 에너지 절감시설 보급에 따른 난방비 절감효과, 생산성 증대효과, 정부재정지출절감효과, 온실가스 절감효과, 그리고 석유류 대체효과를 농가단위 뿐만 아니라 국가단위에서 살펴보고자 한다. 이를 위해 신재생에너지 및 에너지 절감시설의 보급면적을 조사하고, 신재생에너지와 에너지 절감시설의 에너지 절감비율을 적용하였다.

2. 농업부문 신재생에너지 및 에너지 절감시설 보급현황

2.1 신재생에너지 보급현황

농업분야 에너지 대책은 크게 신재생에너지와 에너지 절감시설 보급으로 나눌 수 있다. 먼저 신재생에너지 보급은 태양광, 소수력, 풍력, 지열, 목재펠릿 등으로 분류할 수 있다. 농업분야 신재생에너지 보급은 면세유 및 농사용 전기보급 절감 및 난방비 절감이라는 직접효과 뿐만 아니라 온실가스 절감을 통한 환경효과의 부차적 효과도 갖고 있다.

신재생에너지 사업의 근거법령은 신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법」 제4조(시책과 장려 등), 「에너지이용 합리화법」 제36조(폐열의 이용), 「농어업·농어촌 및 식품산업기본법」 제8조(농어업의 구조개선과 지속가능한 발전)에 기반하고 있다[18].

사업내용은 신재생에너지시설의 경우 지열·지중열난방시설, 폐열 재이용시설, 목재펠릿난방기 등이며, 에너지절감시설은 다검보온커튼, 보온덮개, 순환식수막시설, 공기열냉난방시설 등이다. 신재생에너지 보급사업은 '09년부터 시작되었으며, 지중열·폐열 '15년, 지열냉난방시설 '10년, 공기열냉난방시설 '12년에 도입되었다.

농업분야 에너지이용 효율화사업의 재정투입은 2014년까지 1조 278억 원이며, 2017년 기준 1,035억 원 중 국고가 340억 원, 지방비가 319억 원으로 전체의 63.5%를 차지하고 있다[18]. 나머지는 용자 154억 원, 자부담 222억 원으로 구성되어 있다[18].

Table 1. Agricultural energy use efficiency project fund (Unit: Million won)

	~2014	2015	2016	2017	2018~
Total	1,027,760	144,979	104,985	103,514	394,074
Treasury	436,623	51,405	35,984	33,952	129,330
Loan	77,920	23,406	16,384	15,401	58,440
State	282,734	40,096	31,823	31,928	121,617
Farmers	230,483	30,072	20,794	22,232	84,687

Source: MAFRA (2018).

농업부문 신재생에너지는 크게 목재펠릿 난방기와 지열히트펌프로 구성되는데, 지열에너지는 2014년 136ha, 2015년 214ha, 2016년에는 232ha로 매년 증가하는 추세를 보이고 있다. 시설원예용 목재펠릿 난방기는 2014년 542ha에서 2015년 730ha로 증가하였다가 2016년에는 684ha로 다소 감소하였다.

Table 2. Distribution of Renewable Energy in Agricultural Sector

(Unit: ha)

	2014	2015	2016
Wood Pallet	542	730	684
Geothermal	136	214	232

Source: MAFRA (each year).

2.2 에너지 절감시설 보급현황

농업부문 에너지 절감시설은 시설온실의 유형에 따라 단동과 연동으로 분류할 수 있다. 연동형 에너지 절감시설은 다겹보온, 배기열 회수장치, 열회수형 환기장치이며, 다겹보온은 2014년 2,449ha에서 2016년 2,948ha로 매년 증가하고 있다. 배기열 회수장치도 2014년 50ha, 2015년 53ha, 2016년 57ha로 증가추세를 보이고 있다. 열회수형 환기장치는 2014년 18ha에서 2016년 20ha로 다소 증가하였다.

단동형 시설하우스의 에너지절감시설은 다중피복, 다겹보온, 보온덮개, 외부보온, 수막시설, 배기열 회수장치, 열회수형 환기장치 등이 있다. 다겹보온은 2014년 5,669ha에서 2016년 6,587ha로 매년 증가하고 있다. 배기열 회수장치도 2014년 147ha에서 2015년 79ha로 감소하다가 2016년에는 125ha로 다시 증가하였다. 열회수형 환기장치는 2014년 27ha에서 2016년 44ha로 증가하였다.

Table 3. Distribution of Energy Saving Facilities in Ag. Sector

(Unit: ha)

		2014	2015	2016
Coupling house	Multi-layer heat insulation ¹⁾	2,449	2,745	2,948
	Exhaust heat recovery system	50	53	57
	Heat recovery ventilator	18	22	20
Single house	Multi-layer coating	13,704	12,953	12,674
	Multi-layer thermal screen	5,669	6,395	6,587
	Warm cover	10,674	10,545	9,966
	External thermostat	1,653	1,521	1,724
	water-covering	6,381	7,115	7,290
	Exhaust heat recovery system	147	79	125
	Heat recovery ventilator	27	41	44

Source: MAFRA (each year).

1) 본 논문에서 multi-layer heat insulation은 다겹보온, exhaust heat recovery system은 배기열회수장치, heat recovery ventilator는 열회수형환기장치, multi-layer coating은 다중피복, multi-layer thermal screen은 다겹보온커튼, warm cover는 보온덮개, external thermostat은 외부보온, water-covering은 수막시설을 의미함.

3. 농업부문 신재생에너지 및 에너지 절감시설 보급에 따른 파급효과

3.1 정부재정지출 절감 효과

농업부문 신재생에너지 및 에너지 절감시설의 보급은 면세유 공급 감축을 통해 정부재정지출을 경감시키는 효과가 있다. 재정지출 절감효과는 신재생에너지와 에너지 절감시설 보급에 따른 에너지 절감비율과 단위당 정부 면세지원액에 의해 결정된다. 에너지 절감비율은 지역별, 작목별로 상이한 특성이 있으며, 신재생에너지 및 에너지 절감시설의 보급기종에 따라 상이하다. 또한 정부의 면세 지원액은 국제유가에 따라 변동하는 특성이 있다.

$$\text{단위당 재정지출 절감액} = \text{단위당 에너지 절감량} \times \text{정부면세 지원액(일반 에너지가격 - 농업용 면세 가격)}$$

신재생에너지 및 에너지절감시설에 따른 재정지출 절감액은 단위당 재정 절감액과 총 보급면적에 따라 결정된다.

$$\text{재정지출 절감액} = \text{단위당 절감액} \times \text{총 보급면적}$$

신재생에너지 및 에너지 절감시설 도입에 따른 파프리카 재정지출 감소효과를 살펴보면 다음과 같다. 먼저 10a당 파프리카 유류 사용량은 3개년 평균(2014년~2016년 기준) 3,612리터이며, 면세유 3개년 평균 가격 757.23원/리터를 적용하였다. 신재생에너지 및 에너지 절감시설별 재정지출 절감비율은 수막시설이 6%로 가장 낮았고, 열회수 환기장치가 50%로 가장 높게 나타났다. 따라서 10a당 재정지출 절감액은 수막시설이 34,900원으로 가장 낮았으며, 열회수 환기장치가 300,863원으로 높게 나타났다. 그러나 총 정부의 재정지출 절감액은 면적 단위당 재정지출 절감과 면적에 의해 결정되기 때문에 다겹보온커튼이 263.9억원으로 가장 높은 것으로 나타났다. 그 다음으로는 다중피복 79.3억원, 수막시설 25.4억원, 목재펠릿 20.2억원의 순으로 나타났다. 2016년 기준 신재생에너지 및 에너지 절감시설 보급 면적은 다중피복 12,674ha, 다겹보온커튼 9,535ha, 수막시설 7,290ha의 순으로 나타났다.

Table 4. Reduction of financial expenditure of paprika by introduction of renewable energy and energy saving facilities

(Unit: %, won/10a, ha, billion won)

	Reduction ratio	Financial savings	Acre	Total Financial savings
Geothermal	31	189,363	232	4.39
Exhaus heat recovery system	16	96,276	182	1.75
Heat recovery ventilator	50	300,863	64	1.93
Multi-layer thermal screen	46	276,794	9,535	263.92
water-covering	6	34,900	7,290	25.44
Multi-layer coating	10	62,579	12,674	79.31
Wood Pallet	49	294,845	684	20.17

정부 재정지출 절감액은 일반유가와 면세유 가격에 차이에 의해 결정되며, 이는 국제유가에 따라 변화한다. 따라서 유가 상승 시나리오를 고려한 재정지출 절감효과를 산출하면 다음과 같다. 먼저 최근 3개년 기준년도(2014년~2016년) 국제유가는 62.89달러였으며, 향후 국제유가가 75달러, 100달러, 125달러, 150달러까지 상승할 경우의 재정지출 절감효과를 산출하였다. 분석결과 국제유가가 상승할수록 정부의 면세유 단위당 재정지원 금액이 커짐에 따라 신재생에너지 및 에너지 절감시설 보급에 따른 재정지출 절감효과도 증가하는 것으로 나타났다. 다검보온의 경우 75달러 기준 263.9억 원 절감, 150달러 기준에서 629.5억 원이 절감되는 것으로 분석된다. 즉 향후 국제유가가 상승할 경우 신재생에너지 및 에너지 절감시설 보급이 중요하다는 것을 알 수 있다.

Table 5. Reduction of financial expenditure of paprika by oil price scenario

(Unit: billion won)

	USD75	USD100	USD125	USD150
Geothermal	4.39	5.24	8.73	10.48
Exhaus heat recovery system	1.75	2.09	3.48	4.18
Heat recovery ventilator	1.93	2.30	3.83	4.59
Multi-layer thermal screen	263.92	314.76	524.60	629.52
water-covering	25.44	30.34	50.57	60.69
Multi-layer coating	79.31	94.59	157.65	189.18
Wood Pallet	20.17	24.05	40.09	48.10

신재생에너지 및 에너지 절감시설 도입에 따른 토마토(축성) 재정지출 절감 효과를 살펴보면 다음과 같다. 먼저 10a당 토마토 유통 사용량은 3개년 평균(2014년~2016년 기준) 1,822리터이며, 면세유 3개년 가격 757.23원/리터를 적용하였다. 신재생에너지 및 에너지 절감시설별 재정지출 절감비율은 지열이 4%로 파프리카, 오이(축성)와 상이하였으며, 여타 에너지 절감시설은 동일한 감축 비율을 적용하였다. 10a당 재정지출 절감액은 수막시설이 17,605원으로 가장 낮았으며, 열회수 환기장치가 151,764원으로 높게 나타났다. 그러나 총 정부의 재정지출 절감액은 면적 단위당 재정지출 절감과 면적에 의해 결정되기 때문에 다검보온커튼이 133.1억원으로 가장 높은 것으로 나타났다. 그 다음으로는 다중피복 40.0억원, 수막시설 12.8억원, 목재펠릿 10.2억원의 순으로 나타났다.

Table 6. Reduction of financial expenditure of tomato by introduction of renewable energy and energy saving facilities

(Unit: %, won/10a, ha, billion won)

	Reduction ratio	Financial savings	Acre	Total Financial savings
Geothermal	4	13,507	232	0.31
Exhaus heat recovery system	16	48,564	182	0.88
Heat recovery ventilator	50	151,764	64	0.97
Multi-layer thermal screen	46	139,623	9,535	133.13
water-covering	6	17,605	7290	12.83
Multi-layer coating	10	31,567	12,674	40.01
Wood Pallet	49	148,729	684	10.17

정부 재정지출 절감액은 국제유가에 따라 변화하기 때문에 유가 상승 시나리오를 고려한 재정지출 절감효과를 산출하면 다음과 같다. 먼저 최근 3개년 기준년도(2014년~2016년) 국제유가는 62.89달러였으며, 이를 바탕으로 향후 국제유가가 75달러, 100달러, 125달러, 150달러까지 상승할 경우의 재정지출 절감효과를 산출하였다. 토마토 다검보온커튼의 경우 75달러 기준 133.1억 원 절감, 150달러 기준에서 317.6억 원이 절감되는 것으로 분석된다.

Table 7. Reduction of financial expenditure of tomato by oil price scenario

(Unit: billion won)

	USD75	USD100	USD125	USD150
Geothermal	0.31	0.37	0.62	0.75
Exhaus heat recovery system	0.88	1.05	1.76	2.11
Heat recovery ventilator	0.97	1.16	1.93	2.32
Multi-layer thermal screen	133.13	158.77	264.62	317.55
water-covering	12.83	15.31	25.51	30.61
Multi-layer coating	40.01	47.71	79.52	95.43
Wood Pallet	10.17	12.13	20.22	24.27

3.2 온실가스 감축 효과

농업부문 신재생에너지 및 에너지 절감시설의 보급은 경유 등 화석연료 사용을 감소시킴으로써 온실가스 감축 효과가 있다. 온실가스 감축효과는 신재생에너지와 에너지 절감시설 보급에 따른 에너지 감축량과 온실가스 배출계수, 그리고 보급면적에 의해 결정된다.

$$\text{단위당 온실가스 감축량} = \text{단위당 에너지 감축량} \times \text{배출계수} \times \text{총 보급면적}$$

온실가스 감축에 따른 경제적 효과는 온실가스 감축량과 배출권 거래가격에 의해 결정된다. 배출권 거래가격은 2017년 인종실적(KOC)의 평균 가격을 21,000원/톤을 적용하였다.

$$\text{온실가스 감축액} = \text{온실가스 감축량} \times \text{배출권 거래 가격}$$

화석연료 이용에 따른 이산화탄소 배출량 계산은 직접계측과 간접계산에 의해 가능하다. 그러나 직접계측은 실시간 모니터링이 필요하고, 조사비용의 문제가 발생한다. 따라서 일반적으로 이산화탄소 배출량 계산공식을 적용하여 화석연료별 이산화탄소 배출량을 계산한다.

$$\text{화석연료 이산화탄소 배출량}(\text{ton CO}_2) = \text{해당연료의 TOE} (\text{총발열량}/107) \times \text{탄소배출계수} \times 44/12 (\text{CO}_2 \text{ 환산계수})$$

연료원별 탄소배출계수를 살펴보면 전력은 0.424, 경유는 0.837, 가스는 0.637로 나타났다. 이러한 계수 값을 적용하여 파프리카, 오이(축성), 토마토(축성)의 기준년도 온실가스 배출량을 산정하였다.

Table 8. Carbon emission factors by energy sources

	Unit	kcal	Mj	Carbon Emission Factor
Electricity	kWh	2300	9.6	0.424
Diesel	L	9010	37.7	0.837
Gas	Nm3	10430	43.6	0.637

신재생시설에너지 및 에너지 절감시설 도입에 따른 파프리카의 온실가스 감축 효과를 살펴보면 다음과 같다. 10a당 파프리카의 온실가스 배출량은 66.02톤 CO₂로 산출되었으며, 온실가스 감축량은 열회수 환기장치 33.01톤 CO₂로 가장 높게 나타났고, 그 다음으로는 다겹보온커튼 30.37톤 CO₂, 지열 20.78톤 CO₂의 순으로 분석되었다. 톤당 온실가스 배출권거래가격(21,000원/톤)을 적용하여 온실가스 감축에 따른 경제적 편익을 계산한 결과 다겹보온커튼이 608.1억 원으로 가장 높게 나타났고, 그 다음으로는 열회수 환기장치가 4.4억 원, 배기열 회수장치 4.0억 원의 순으로 분석되었다.

Table 9. Reduction of greenhouse gases (GHG) emission from paprika by introduction of renewable energy and energy saving facilities
(Unit: ton CO₂/10a, ha, million won)

	GHG Reduction	Area	Total Benefits
Geothermal	20.78	31	135.26
Exhaus heat recovery system	10.56	182	403.71
Heat recovery ventilator	33.01	64	443.63
Multi-layer thermal screen	30.37	9,535	60,807.00

신재생시설에너지 및 에너지 절감시설 도입에 따른 토마토(축성)의 온실가스 감축효과를 살펴보면 다음과 같다. 10a당 토마토 온실가스 배출량은 18.75톤 CO₂로 산출되었으며, 온실가스 감축량은 열수회 환기장치 9.38톤 CO₂로 가장 높게 나타났고, 그 다음으로는 다겹보온 커튼 8.63톤 CO₂, 배기열 회수장치 3.00톤 CO₂의 순으로 분석되었다. 톤당 온실가스 배출권거래가격을 적용하여 온실가스 감축에 따른 경제적 편익을 계산한 결과 다

겹보온커튼이 172.7억 원으로 가장 높게 나타났고, 그 다음으로는 열수회 환기장치가 1.3억 원, 배기열 회수장치 1.1억 원의 순으로 분석되었다.

Table 10. Reduction of greenhouse gases (GHG) emission from tomato by introduction of renewable energy and energy saving facilities

(Unit: ton CO2/10a, ha, million won)

	GHG Reduction	Area	Total Benefits
Geothermal	0.17	31	1.12
Exhaus heat recovery system	0.62	182	23.70
Heat recovery ventilator	1.94	64	26.05
Multi-layer thermal screen	1.78	9,535	3,570.11

3.3 경영비 절감 효과

농업부문 신재생에너지 및 에너지 절감시설의 보급은 경유 등 에너지 투입비용을 감소시킴으로써 난방비 등 경영비 절감 효과가 있다. 경영비 절감 효과는 신재생에너지와 에너지 절감시설의 에너지 감축량과 에너지 가격에 의해 결정된다.

$$\text{단위당 경영비 절감액} = \text{단위당 에너지 감축량} \times \text{에너지 가격}$$

경영비 절감액은 단위당 절감액과 보급면적에 의해 결정된다. 그리고 경영비 절감수준은 국제유가 등 에너지 가격이 변화함에 따라 상이해질 수 있다.

$$\text{경영비 절감액} = \text{단위당 경영비 절감액} \times \text{보급 면적}$$

신재생에너지 및 에너지 절감시설 도입에 따른 파프리카 경영비 절감 효과를 살펴보면 다음과 같다. 먼저 10a당 파프리카 난방비는 3개년 평균(2014년~2016년 기준) 7,186천 원이며, 면세유 3개년 가격 757.23원/리터를 적용하였다. 신재생에너지 및 에너지 절감시설별 난방비 절감비율은 지열이 31%이며, 열회수 환기장치가 50%로 가장 높게 나타났다. 10a당 난방비 절감액은 수

막시설이 417천 원으로 가장 낮았으며, 열회수 환기장치가 3,593천 원으로 높게 나타났다. 그러나 경영비 절감액은 면적 단위당 경영비 절감과 보급면적에 의해 결정되기 때문에 다겹보온커튼이 3,1521.0억 원으로 가장 높은 것으로 나타났다. 그 다음으로는 다중피복 947.2억 원, 수막시설 303.9억 원, 목재펠릿 240.9억 원의 순으로 나타났다.

Table 11. Reduction of heating costs of paprika by introduction of renewable energy and energy saving facilities

(Unit: %, won/10a, ha, billion won)

	Reduction ratio	Heating cost savings per 10a	Acre	Total heating cost savings
Geothermal	31	2,261,543	232	52.47
Exhaus heat recovery system	16	1,149,815	182	20.93
Heat recovery ventilator	50	3,593,173	64	23.00
Multi-layer thermal screen	46	3,305,719	9,535	3,152.00
water-covering	6	416,808	7290	303.85
Multi-layer coating	10	747,380	12,674	947.23
Wood Pallet	49	3,521,310	684	240.86

경영비 절감액은 국제유가에 따라 변화하기 때문에 유가 상승 시나리오를 고려한 경영비 절감효과를 산출하면 다음과 같다. 먼저 최근 3개년 기준년도(2014년~2016년) 국제유가는 62.89달러였으며, 향후 국제유가가 75달러, 100달러, 125달러, 150달러까지 상승할 경우의 경영비 절감효과를 산출하였다. 파프리카 다겹보온커튼의 경우 75달러 기준 3,759.2억 원 절감, 150달러 기준에서 7,518.3억 원이 절감되는 것으로 분석된다. 즉 향후 국제유가가 상승할 경우 신재생에너지 및 에너지 절감시설 보급이 경영비 절감에 미치는 영향이 중요하다는 것을 알 수 있다.

Table 12. Reduction of heating costs of paprika by oil price scenario

(Unit: billion won)

	USD75	USD100	USD125	USD150
Geothermal	62.57	83.43	104.29	125.15
Exhaus heat recovery system	24.96	33.28	41.60	49.92
Heat recovery ventilator	27.43	36.57	45.71	54.85

Multi-layer thermal screen	3,759.15	5,012.20	6,265.25	7,518.29
water-covering	362.38	483.18	603.97	724.76
Multi-layer coating	1,129.69	1,506.25	1,882.81	2,259.37
Wood Pallet	287.25	383.00	478.75	574.50

신재생에너지 및 에너지 절감시설 도입에 따른 토마토(축성) 절감 효과를 살펴보면 다음과 같다. 먼저 10a당 토마토 난방비는 3개년 평균(2014년~2016년 기준) 4,038천 원이며, 면세유 3개년 가격 757.23원/리터를 적용하였다. 신재생에너지 및 에너지 절감시설별 경영비 절감비율은 지열이 4%이며, 여타 에너지 절감시설은 동일한 값을 적용하였다. 10a당 난방비 절감액은 수막시설이 234천 원으로 가장 낮았으며, 열회수 환기장치가 2,019천 원으로 높게 나타났다. 그러나 총 경영비 절감액은 면적 단위당 재정지출 절감과 면적에 의해 결정되기 때문에 다겹보온커튼이 1,711.2억 원으로 가장 높은 것으로 나타났다. 그 다음으로는 다중피복 532.3억 원, 수막시설 170.7억 원, 목재펠릿 135.3억 원의 순으로 나타났다.

Table 13. Reduction of heating costs of tomato by introduction of renewable energy and energy saving facilities
(Unit: %, won/10a, ha, billion won)

	Reduction ratio	Heating cost savings per 10a	Acre	Total heating cost savings
Geothermal	4	179,695	232	4.17
Exhaus heat recovery system	16	646,095	182	11.76
Heat recovery ventilator	50	2,019,045	64	12.92
Multi-layer thermal screen	46	1,857,522	9,535	1,771.15
water-covering	6	234,209	7290	170.74
Multi-layer coating	10	419,961	12,674	532.26
Wood Pallet	49	1,978,664	684	135.34

경영비 절감액은 국제유가에 따라 변화하기 때문에 유가 상승 시나리오를 고려한 경영비 절감효과를 산출하면 다음과 같다. 먼저 최근 3개년 기준년도(2014년~2016년) 국제유가는 62.89달러였으며, 향후 국제유가가 75달러, 100달러, 125달러, 150달러까지 상승할 경우의 경영비 절감효과를 산출하였다. 토마토 다겹보온커튼의 경우 75달러 기준 1,328.4억 원 절감, 150달러 기준에서 2,659.7억 원이 절감되는 것으로 분석된다.

Table 14. Reduction of heating costs of tomato by oil price scenario

(Unit: billion won)

	USD75	USD100	USD125	USD150
Geothermal	3.13	4.17	5.21	6.25
Exhaus heat recovery system	8.82	11.76	14.70	17.64
Heat recovery ventilator	9.69	12.92	16.15	19.38
Multi-layer thermal screen	1,328.36	1,771.15	2,213.93	2,656.72
water-covering	128.05	170.74	213.42	256.11
Multi-layer coating	399.19	532.26	665.32	798.39
Wood Pallet	101.51	135.34	169.18	203.01

3.4 생산성 증대 효과

농업부문 신재생에너지 및 에너지 절감시설은 투입비용 절감효과뿐만 아니라 생산성 증대효과도 있다. 생산성 증대는 시설별 생산량 증가율과 단위당 생산량에 의해 결정된다.

$$\text{단위당 생산성 증대} = \text{단위당 생산량 증가율} \times \text{생산량} \times \text{보급면적}$$

생산액 증대는 단위당 생산성 증대와 가격에 의해 결정된다.

$$\text{생산액 증대} = \text{단위당 생산성 증대} \times \text{가격}$$

신재생에너지 및 에너지 절감시설 도입에 따른 파프리카 생산량 증대 효과를 살펴보면 다음과 같다. 먼저 10a당 파프리카 생산량 3개년 평균(2014년~2016년 기준) 12,719kg을 적용하였다. 신재생에너지 및 에너지 절감시설별 생산성 증가비율은 다중피복이 12%로 가장 낮았고, 지열히트펌프가 75%로 가장 높게 나타났다. 따라서 10a당 생산량 증가는 다중피복커튼이 1,514kg으로 가장 낮았으며, 지열 히트펌프가 9,539kg으로 가장 높게 나타났다. 그러나 총 생산량 증가량은 단위당 증가량과 보급면적에 의해 결정되기 때문에 다겹보온커튼이 201.3천 톤으로 가장 높은 것으로 나타났다. 그 다음으로는 다중피복 191.8천 톤, 수막시설 128.0천 톤의 순으로 나타났다.

Table 15. Increase in quantity produced of paprika by introduction of renewable energy and energy saving facilities

(Unit: %, kg/10a, ha, ton)

	Increase ratio	Quantity increased per 10a	Area	Total Quantity Increased
Geothermal	75	9,539	232	22,132
Heat recovery ventilator	36	4,579	64	2,931
Multi-layer thermal screen	17	2,111	9,535	201,323
water-covering	14	1,755	7290	127,959
Multi-layer coating	12	1,514	12,674	191,834

신재생에너지 및 에너지 절감시설 도입에 따른 파프리카 생산액 증대 효과를 살펴보면 다음과 같다. 먼저 10a당 파프리카 생산액 3개년 평균(2014년~2016년 기준) 39,791천 원을 적용하였다. 10a당 생산액 증가는 수막시설이 5,491천 원으로 가장 낮았으며, 지열 히트펌프가 29,843천 원으로 높게 나타났다. 그러나 총 생산액 증가는 면적 단위당 증가량과 보급면적에 의해 결정되기 때문에 다겹보온커튼이 6,298억 원으로 가장 높은 것으로 나타났다. 그 다음으로는 다중피복 6,001억 원, 수막 시설 4,003억 원의 순으로 나타났다.

Table 16. Increase in production of paprika by introduction of renewable energy and energy saving facilities

(Unit: won/10a, ha, billion won)

	Production increased per 10a	Area	Total production increased
Geothermal	29,843,185	232	692
Heat recovery ventilator	14,324,729	64	92
Multi-layer thermal screen	6,605,292	9,535	6,298
Water-covering	5,491,146	7290	4,003
Multi-layer coating	4,735,119	12,674	6,001

신재생에너지 및 에너지 절감시설 도입에 따른 토마토(축성) 생산량 증대 효과를 살펴보면 다음과 같다. 먼저 10a당 파프리카 생산량 3개년 평균(2014년~2016년 기준) 11,329kg을 적용하였다. 10a당 생산량 증가는 수막시설이 1,348kg으로 가장 낮았으며, 지열 히트펌프가

8,497kg으로 높게 나타났다. 그러나 총 생산량 증가량은 면적 단위당 증가량과 보급면적에 의해 결정되기 때문에 다겹보온이 179.3천 톤으로 가장 높은 것으로 나타났다. 그 다음으로는 다중피복 170.9천 톤, 수막시설 114.0천 톤의 순으로 나타났다.

Table 17. Increase in quantity produced of tomato by introduction of renewable energy and energy saving facilities

(Unit: %, kg/10a, ha, ton)

	Increase ratio	Quantity increased per 10a	Area	Total Quantity Increased
Geothermal	75	8,497	232	19,713
Heat recovery ventilator	36	4,079	64	2,610
Multi-layer thermal screen	17	1,881	9,535	179,322
Water-covering	14	1,563	7290	113,975
Multi-layer coating	12	1,348	12,674	170,870

신재생에너지 및 에너지 절감시설 도입에 따른 토마토(축성) 생산액 증대 효과를 살펴보면 다음과 같다. 먼저 10a당 토마토 생산액 3개년 평균(2014년~2016년 기준) 25,228천 원을 적용하였다. 10a당 생산액 증가는 다중피복이 3,002천 원으로 가장 낮았으며, 지열 히트펌프가 18,921천 원으로 높게 나타났다. 그러나 총 생산액 증가는 면적 단위당 증가량과 보급면적에 의해 결정되기 때문에 다겹보온커튼이 3,993억 원으로 가장 높은 것으로 나타났다. 그 다음으로는 다중피복 3,805억 원, 수막 시설 2,538억 원의 순으로 나타났다.

Table 18. Increase in production of tomato by introduction of renewable energy and energy saving facilities

(Unit: won/10a, ha, billion won)

	Production increased per 10a	Area	Total production increased
Geothermal	18,921,063	232	439
Heat recovery ventilator	9,082,110	64	58
Multi-layer thermal screen	4,187,862	9,535	3,993
Water-covering	3,481,476	7290	2,538
Multi-layer coating	3,002,142	12,674	3,805

3.5 석유류 대체 효과

농업부문 신재생에너지 및 에너지 절감시설의 보급은 경유 등 석유류 투입을 대체하는 효과가 있다. 석유류 대체 효과는 신재생에너지와 에너지 절감시설의 에너지 감축량과 보급면적에 의해 결정된다.

$$\text{석유류 대체량} = \text{단위당 에너지 감축량} \times \text{보급 면적}$$

신재생에너지 및 에너지 절감시설 도입에 따른 파프리카의 석유 대체효과를 살펴보면 다음과 같다. 먼저 10a당 파프리카 유류량은 3개년 평균(2014년~2016년 기준) 3,612리터이다. 신재생에너지 및 에너지 절감시설 별 에너지 절감비율은 수막시설이 6%로 가장 낮았고, 열회수 환기장치가 50%로 가장 높게 나타났다. 따라서 10a당 유류 절감량은 수막시설이 209리터로 가장 낮았으며, 열회수 환기장치가 1,806리터로 높게 나타났다. 그러나 총 석유류 대체효과는 단위당 에너지 감축량과 보급면적에 의해 결정되기 때문에 다겹보온커튼이 158.4백만 리터로 가장 높은 것으로 나타났다. 그 다음으로는 다중피복 47.6백만 리터, 수막시설 15.3백만 리터의 순으로 나타났다.

Table 19. Oil replacement effects of paprika by introduction of renewable energy and energy saving facilities
(Unit: %, l/10a, ha, thousand l)

	Reduction ratio	Oil reduction per 10a	Acre	Total oil reduction
Geothermal	31	1,137	232	2,637
Exhaus heat recovery system	16	578	182	1,052
Heat recovery ventilator	50	1,806	64	1,156
Multi-layer thermal screen	46	1,662	9,535	158,426
water-covering	6	209	7290	15,272
Multi-layer coating	10	376	12,674	47,610
Wood Pallet	49	1,770	684	12,106

신재생에너지 및 에너지 절감시설 도입에 따른 토마토(축성)의 석유 대체효과를 살펴보면 다음과 같다. 먼저 10a당 토마토 유류량은 3개년 평균(2014년~2016년 기준) 1,822리터이다. 신재생에너지 및 에너지 절감시설별

에너지 절감비율은 지열이 4%이며, 여타 에너지 절감시설의 비율은 파프리카와 동일한 값을 적용하였다. 따라서 10a당 유류 절감량은 지열히트펌프가 81리터로 가장 낮았으며, 열회수 환기장치가 911리터로 높게 나타났다. 그러나 총 석유류 대체효과는 단위당 에너지 감축량과 보급면적에 의해 결정되기 때문에 다겹보온이 79.9백만 리터로 가장 높은 것으로 나타났다. 그 다음으로는 다중피복 24.0백만 리터, 수막시설 7.7백만 리터의 순으로 나타났다.

Table 20. Oil replacement effects of tomato by introduction of renewable energy and energy saving facilities
(Unit: %, l/10a, ha, thousand l)

	Reduction ratio	Oil reduction per 10a	Acre	Total oil reduction
Geothermal	4	81	232	188
Exhaus heat recovery system	16	292	182	531
Heat recovery ventilator	50	911	64	583
Multi-layer thermal screen	46	838	9,535	79,915
water-covering	6	106	7290	7,704
Multi-layer coating	10	189	12,674	24,016
Wood Pallet	49	893	684	6,107

4. 결론

지구온난화와 에너지 고갈 시대 농업부문의 신재생에너지 및 에너지 절감시설의 보급은 에너지문제와 환경문제를 동시에 해결할 수 있는 대안이다. 또한 난방비 절감과 생산성 증대를 통해 농가소득을 제고할 수 있는 경제적 성과도 높다고 할 수 있다. 본 연구에서는 정부재정지출 절감과 온실가스 감축, 경영비 절감 및 생산성 증대 측면에서의 신재생에너지 및 에너지 절감시설의 효과를 실증자료 분석을 통해 보여주었다.

이와 같은 긍정적 파급효과에도 불구하고 신재생에너지 및 에너지 절감시설은 농업인의 에너지에 대한 인식 부족, 초기 투자비에 대한 부담, 시공기술이나 성과에 대한 확신 부족 등의 이유로 인하여 보급확대가 잘 이루어지지 못하고 있다[20]. 특히 초기 투자비는 신재생에너지 및 에너지 절감시설 보급의 걸림돌로 지속적으로 언급되고 있어 이에 대한 정책지원이 강화되어야 할 필요

가 있다. 예를 들어 신재생에너지 설치비 중 지열을 이용한 지열히트펌프 설치비는 1ha당 약 14억 4천만 원이고 이중 20%인 약 2억 9천만 원을 농가가 부담하여야 한다 [18]. 농가가 2억 원을 일시에 지불할 능력이 없는 경우 할부 또는 시설담보제도를 보완하여 연차적으로 상환할 수 있는 방안을 마련할 필요가 있다.

우리 농업은 농기계 보급 확대 및 시설원예 증가로 인한 농업부문 에너지 소비량 증가와 농업부문의 높은 화석연료 에너지 의존도와 같은 다양한 에너지 문제들을 직면하고 있다. 본 연구는 학술적 논문이라기 보다는 정책개발을 지원하기 위한 연구로서 신재생에너지 및 에너지 절감시설이 농업부문 에너지 문제들을 경감시킬 수 있는 수단 중 하나임을 보여주었다. 추후 본 연구결과를 활용한 정책적 지원이 이루어져 기술적·경제적 효과와 함께할 때 신재생에너지 및 에너지 절감시설이 효과적으로 확대되고 그 파급효과도 더욱 커질 수 있기를 기대한다.

References

- [1] Greenhouse Gas Inventory and Research Center, 2017 National Greenhouse Gas Inventory Report of Korea, GIR, 2017.
- [2] Ministry of Environment, Press release “2030 Amendment to the GHG Reduction Roadmap and the Plan for Allocation of Emissions from 2018 to 2020”, ME, 2018. 07. 24.
- [3] Ministry of Trade, Industry and Energy, Renewable Energy 3020 Implementation Plan, MOTIE, 2017.
- [4] Y. J. Kim, J. J. Kim, H. S. Han, The Current Status of Agricultural Energy Production and Consumption, KREI, 2013.
- [5] Y. J. Kim et al., Analysis of Management Status of Horticultural Crops by Heating and Cooling System, KREI, 2014.
- [6] Korea Energy Economics Institute, 2017 Energy Statistics, KEEI, 2017.
- [7] S. W. Kang et al., “Analysis of Energy Consumption in Agricultural Facilities”, The Korean Society for New and Renewable Energy Conference Proceedings, p. 293, March, 2017.
- [8] S. H. Lee, J. H. Park, “Investigating Multi-attributes for Expanding New Renewable Energy in Agricultural Sector: Applying the Analytic Hierarchy Process”, CNU Journal of Agricultural Science, Vol.38, No.1, pp. 183-190, March, 2011.
- [9] S. C. Park, “Prospects and Tasks of New and Renewable Energy Development”, Journal of Biosystems Eng., Vol.31, No.3, pp. 292-303, 2006.
- [10] Y. J. Kim, H. S. Han, C. K. Choi, “Study on Controlled Horticulture Farmers’ Attitude of Energy-Saving Facilities using the IPA method”, Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol.15, No.10, pp. 6114-6125, 2014.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2014.15.10.6114>
- [11] K. C. Kang, “Performance Test of Hot Air Heater Exhaust Gas Heat Recovery System Using Heat Pipe”, Kor. Res. Soc. Protected Hort., Vol.13, No.2, pp. 57-66, 2000.
- [12] J. K. Kwon et al., “Performance Improvement of an Air Source Heat Pump by Storage of Surplus Solar Energy in Greenhouse”, Protected Horticulture and Plant Factory, Vol.22, No.4, pp. 328-334, December, 2013.
DOI: <http://dx.doi.org/10.12791/KSBEC.2013.22.4.328>
- [13] T. S. Lee et al., “Analysis of Temperature and Humidity Distributions according to Arrangements of Air Circulation Fans in Single-span Tomato Greenhouse”, Protected Horticulture and Plant Factory, Vol.25, No.4, pp. 277-282, December, 2016.
DOI: <http://dx.doi.org/10.12791/KSBEC.2016.25.4.277>
- [14] T. S. Lee et al., “Analysis of Air Temperature and Humidity Distributions and Energy Consumptions according to Use of Air Circulation Fans in a Single-span Greenhouse”, Protected Horticulture and Plant Factory, Vol.26, No.4, pp. 276-282, October, 2017.
DOI: <http://dx.doi.org/10.12791/KSBEC.2017.26.4.276>
- [15] Y. H. Kim et al., “Performance of the Heat Pump with a Air-Water Direct Contact Heat Exchanger for Greenhouse Heating”, New & Renewable Energy, Vol.13, No.3, pp. 58-64, September, 2017.
DOI: <http://dx.doi.org/10.7849/ksnre.2017.9.13.3.058>
- [16] Y. J. Kim, H. S. Han, C. K. Choi, “A Study on Economic Analysis of New Renewable Energy and Effects of Ground Source Heat Pump in Paprika Farms”. Korean Society for Agricultural Machinery Conference Proceedings, Vol.18, No.2, pp. 193-194, 2013.
- [17] Y. K. Kang et al., “The Agricultural Use Case of Thermoelectric Power Plant Hot Waste Water and Policy Trends”, The Korean Society for New and Renewable Energy Conference Proceedings, p. 80, Spring, 2015.
- [18] Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, MAFRA Implementation Guide, MAFRA. 2018.
- [19] Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, Status of Greenhouse of Vegetable and Production of Vegetable, MAFRA, each year.
- [20] Y. J. Kim, S. M. Lee, B. S. Kim, Revitalization of New and Renewable Energy in Agriculture Sector, KREI, 2010.

박 지 연(Jiyun Park)

[정회원]



- 2012년 8월 : 미국 텍사스A&M 대학교 농업경제학 박사
- 2013년 6월 ~ 현재 : 한국농촌경제연구원 부연구위원

<관심분야>

농업R&D, 바이오소재산업

김 연 중(Yeonjoong Kim)

[정회원]



- 1995년 2월 : 전북대학교 대학원 농업경제학과 박사
- 2004년 9월 ~ 현재 : 한국농촌경제연구원 선임연구위원

<관심분야>

원예작물 생산·수급, 자원경제학, 식물공장, 신재생에너지