

A Decision Support System for Smart Farming in Agrophotovoltaic Systems

Youngjin Kim · Junyong So · Yeongjae On · Jaeyoon Lee · Sojung Kim[†]

Industrial and Systems Engineering, Dongguk University-Seoul

영농형 태양광 시스템에서의 스마트 농업을 위한 의사결정지원시스템

김영진 · 소준용 · 운영재 · 이재윤 · 김소정[†]

동국대학교 산업시스템공학과

Agrophotovoltaic (APV) system is an integrated system producing crops as well as solar energy. Because crop production underneath Photovoltaic (PV) modules requires delicate management of crops, smart farming equipment such as real-time remote monitoring sensors (e.g., soil moisture sensors) and micro-climate monitoring sensors (e.g., thermometers and irradiance sensors) is installed in the APV system. This study aims at introducing a decision support system (DSS) for smart farming in an APV system. The proposed DSS is devised to provide a mobile application service, satellite image processing, real-time data monitoring, and performance estimation. Particularly, the real-time monitoring data is used as an input of the DSS system for performance estimation of an APV system in terms of production yields of crops and monetary benefit so that a data-driven function is implemented in the proposed system. The proposed DSS is validated with field data collected from an actual APV system at the Jeollanamdo Agricultural Research and Extension Services in South Korea. As a result, farmers and engineers enable to efficiently produce solar energy without causing harmful impact on regular crop production underneath PV modules. In addition, the proposed system will contribute to enhancement of the smart farming technology in the field of agriculture.

Keywords : Agrophotovoltaic, Decision support system, Internet of things, Smart farming

1. 서 론

기후변화는 2020년대에 인류가 해결해야 할 중요한 문제이다. 세계 각국은 기후변화 문제를 함께 해결하기 위해 유엔기후변화 당사국총회(United Nations Climate Change Conference of the Parties)를 통해 매년 협약을 체결하고 있고, 2021년 영국 글래스고에서 열린 글래스고 기후협약(Glasgow Climate Pact)에서는 모든 선진국이 재생에너지

개발, 화석연료 감축을 위한 기후금융에 매년 1,000억 달러를 지출하기로 합의하였다[3].

대한민국도 재생에너지 개발에 많은 노력을 기울이고 있는데, 산업통상자원부에서 발표한 재생에너지 3020 이행 계획(안)에서는 2030년까지 우리나라의 재생에너지 발전 비율을 20%까지 확대할 것임을 밝힌 바 있다[16]. 재생에너지 보급에 여러 문제가 있지만, 기존 화석연료 에너지원에 비해서 상대적으로 낮은 재생에너지 생산가격 경쟁력이 가장 큰 원인으로 꼽히고 있다[11]. 이를 극복하기 위한 대안으로써, 대표적 재생에너지원인 태양광 에너지의 경우 경제적 지원이 활발히 이루어지고 있다. 보다 구체적으로, 태양

Received 21 November 2022; Finally Revised 14 December 2022;
Accepted 14 December 2022

[†] Corresponding Author : sojungkim@dgu.ac.kr

광 발전을 통해 생산한 전기를 판매하면 전력가격인 계통한계가격(System marginal price, SMP)에 추가로 신재생 에너지 공급 인증서(Renewable Energy Certificate, REC) 혜택을 부여하여 더 높은 가격에 전기를 판매할 수 있다[12].

하지만, 이런 경제적 지원정책에도 불구하고, 2016년 기준 대한민국은 재생에너지 발전량 비중이 7% 수준에 머물고 있다. 이는 다른 주요 선진국과 비교했을 때 낮은 수준인데, 각국의 재생에너지 발전량 비중은 2016년 기준 미국 14.9%, 독일 29.3%로 대한민국보다 각각 약 2~4배 높은 것으로 나타났다[16]. 사실, 재생에너지 개발에서 가장 큰 비중을 차지하는 태양광을 기준으로 살펴보면, 대한민국은 태양광 발전을 위한 입지가 다른 나라와 비교하여 부족한 상황이다. 국토의 70%가 임야, 약 20%가 농업시설인 논과 밭, 나머지 10%가 도시, 도로 등 유희부지로 이루어져 있다[7]. 2022년까지도 임야에 태양광 발전시설이 설치되어 왔지만, 이는 자연환경 훼손, 토사유출 등 환경 문제를 발생시킨다[8]. 추가적으로 태양광 발전에서 가장 중요한 요소인 일사량이 충분한 지역은 이미 농업시설인 논과 밭으로 활용이 되고 있어서 기존 농경지 훼손에 대한 우려도 높아지고 있는 현실이다[11].

이러한 문제점을 해결하기 위한 방법으로 제안된 것이 영농형 태양광 시스템(Agrophotovoltaic System, APV)이다. 영농형 태양광 시스템은 농경지에 태양광 시스템을 설치하여 농업과 태양광 발전을 동시에 하는 것이 가능하도록 만든 시스템이다[4]. 따라서, 대한민국과 같이 태양광 발전시설을 설치할 수 있는 입지가 부족한 국가에서는 영농형 태양광 시스템을 도입하는 것이 기존 정부의 식량수급 정책을 유지하면서, 재생에너지 발전량을 높이는 데 큰 도움이 될 수 있다. 본 연구는 영농형 태양광 확대 보급과 스마트팜(Smart farm) 기술 증진을 위한 의사결정지원시스템(Decision Support System, DSS)을 제안하고자 한다. 특히, 영농형 태양광 하부모듈에서 생산되는 작물의 수확량 손실은 최소화 하면서, 발전량 수익을 포함한 전체 수익이 최대화 될 수 있는 대안을 찾을 수 있는 의사결정 모델을 다항회귀기법(Polynomial Regression)을 적용하여 구현하였다. 개발된 의사결정 시스템은 [11]에서 제공된 전라남도 농업기술원 옥수수 생산량 및 영농형 태양광 발전 데이터를 통해 예측정확도를 검증하였다.

결과적으로 제안한 의사결정지원시스템은 다양한 조건(혹은 환경요인)들 속에서 농업인과 시스템 엔지니어가 영농형 태양광 시스템을 효율적으로 구성하는 데 있어 도움을 줄 수 있다. 각 농지에서의 미기상 조건은 서로 다르기 때문에 태양광 패널을 설치하는 각도와 태양광 패널의 종류는 농지에 따라 달라진다. 본 의사결정지원시스템은 이러한 조건들을 스마트폰 애플리케이션 하나로 쉽게 고려하여, 최적의 영농형 태양광 설계를 할 수 있도록 한다.

2. 배경이론

2.1 영농형 태양광 시스템

영농형 태양광 시스템은 <Figure 1>과 같이, 태양광 발전 시설을 토지와 이격을 두어 설치해, 토지에서는 농사를 짓는 동시에 태양광 발전 시설에서는 전력을 생산하는 시스템이다[12]. 일사량은 태양광 발전량을 높일 뿐만 아니라, 식물의 성장에 있어서도 가장 중요한 요소중 하나이기 때문에, 영농형 태양광 시스템에서 설치된 태양광 시설이 발생시키는 그림자는 결과적으로 작물 생산량에 영향을 주게 된다[9]. 선행 연구에 따르면, 태양광 패널의 설치 각도가 커질수록 작물 생산량도 적어지는 것을 확인할 수 있다[11]. 하지만 수익의 경우 줄어드는 작물 수입보다 더 큰 전력 수입이 발생하여 전체적으로 영농형 태양광 시스템에서의 수익이 일반 농경지에서의 수익보다 더 큰 것으로 나타났다[10]. 다른 선행 연구에서는 영농형 태양광 시스템이 토양의 생산성을 오히려 향상시킨다고 하였다. 태양광 패널의 설치로 인해 발생하는 그림자는 토양 수분의 증발을 막아주는 역할을 할 수 있게 되어, 토양의 유기물이 보존이 될 수 있는 것으로 나타났다[6]. 이는 곧 영농형 태양광 시스템이 농업에 사용되는 물을 절감하는 것도 가능하다는 것을 보여준다[9].

즉, 영농형 태양광 시스템은 우리나라와 같이 국토면적이 넓지 않은 국가에서 고려할만한 시스템이다. 우리나라에 태양광 발전에 충분한 일사량을 갖추고 있는 지역은 대부분 농경지로 사용되고 있다[10]. 이는 재생에너지 개발을 위해 태양광 발전시설을 설치한다면, 최적 입지에서 생산되는 식량자원을 포기해야 하는 잠재적 문제의 발생 가능성이 있을 수 있다. 영농형 태양광 시스템이 이러한 문제를 해결할 수 있는 대안이 될 수 있다.



<Figure 1> Agrophotovoltaic System [10]

2.2 농업에서의 의사결정지원시스템

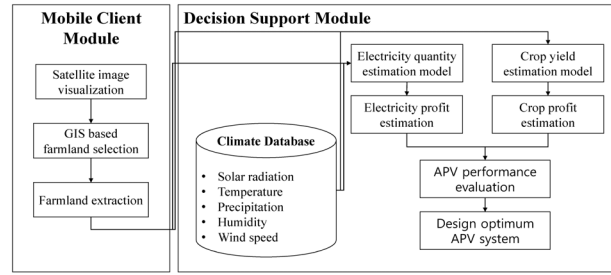
의사결정지원시스템은 사용자와의 연동을 통해 다양한 데이터를 수집하여 사용자의 목적에 맞는 유용한 정보를 제공해주는 시스템이다. Han and Oh[5]는 기후변화로 인해 작물들의 생산량이 타격을 받아 식품 가격의 급격한 변동이 발생함에 따라, 농업 분야에서도 의사결정지원시스템의 도입이 필요하다고 주장하였다.

이후 연구들을 통해 농업에서의 의사결정지원시스템 모델들이 개발되었다. Benis et al.[2]은 건물 통합 농업(Building Integrated Agriculture, BIA)에 시뮬레이션 기반 의사결정지원시스템을 적용하였다. 해당 시뮬레이션 모델은 일사량, 에너지, 물 모델의 통합을 통해 작물 수확량을 최대로 하고 에너지와 물의 사용량을 최소로 하는 BIA의 작물 선택 및 재배 요구사항을 사용자에게 안내한다. Park et al.[17]은 농산물 생산성 향상을 위한 딥러닝 기반 농업 의사결정지원시스템을 개발하였다. 해당 시스템은 농장의 위치의 기상정보를 이용하여 딥러닝을 통해 토지의 탄소, 수소, 산소, 질소, 수분 함유량을 파악해 특정 작물을 재배하기 좋은 환경인지를 판단한다. Zhai et al.[18]은 농업 4.0(Agriculture 4.0)에서의 농업 의사결정지원시스템을 분석하였는데, 농업 4.0에서는 첨단 정보시스템 및 인터넷의 도입으로 기상, 토양 등 방대한 농업 데이터가 수집됨에 따라, 이를 활용하여 농업 의사결정 지원시스템이 더 발전할 수 있다고 분석하였다. 특히, Adebayo et al.[1]에 따르면 Connected Farm Field App 등의 스마트폰 애플리케이션을 활용한 농업 의사결정지원시스템에서 제공하는 수확량 예측 정보, 손익 정보 등이 실제 농업인들의 재배 작물 수확량 향상에 도움을 주는 것으로 나타났다.

본 연구는 영농형 태양광 시스템에 집중하여 스마트폰 애플리케이션을 통해 농업인들에게 영농형 태양광 시스템 운영에서의 의사결정을 지원하는 데 초점을 맞추고 있다.

3. 영농형 태양광 시스템 설계를 위한 의사결정지원시스템

본 연구에서 제안하는 영농형 태양광 시스템 설계를 위한 의사결정지원시스템은 <Figure 2>과 같이 총 2개의 모듈로 구성되어있다. 모바일 클라이언트 모듈에서는 영농형 태양광 시스템 설치의 대상이 될 농경지 정보를 수집·추출하고, 의사결정지원 모듈에서는 해당 농경지의 영농형 태양광 시스템에서의 전력 발전량, 작물 생산량을 예측하고 수익을 분석하여 해당 농경지에 최적화된 디자인을 도출한다.



<Figure 2> The Decision Support System Framework for an APV system

3.1 모바일 클라이언트 모듈

모바일 클라이언트 모듈은 의사결정지원시스템 사용자가 스마트폰을 활용하여 영농형 태양광 대상지를 검색하고, 영농형 태양광 설계 가능성에 대해 판단할 수 있도록 해주는 역할을 한다. 모듈 개발은 구글 지도(Google Maps) Application Programming Interface(API)를 기반으로 하며, 모바일 애플리케이션에서 인공위성 이미지를 통해 영농형 태양광 대상지역을 사용자에게 가시화한다[12]. <Figure 3>에서 볼 수 있는 것처럼 사용자는 본인의 스마트폰에서 Geographic Information System(GIS) 정보를 활용하여, 본인의 농경지에 대한 인공위성 이미지를 선택할 수 있다. 농경지의 GIS 정보는 애플리케이션에 저장되어 의사결정이 필요한 농경지를 선택하여 확인하는 것이 가능하다.



<Figure 3> A Satellite Image of the Sample Farmland in South Korea

사용자가 대상 농경지의 인공위성 이미지를 선택하게 되면, 모듈 내부에 있는 농경지를 추출 알고리즘이 실행되어, 농경지 인식을 실시한다. 연산 사양이 부족한 모바일 환경을 고려하여, 상대적으로 가동이 쉬운 K-Means Clustering 알고리즘이 사용되었다. 이미지 블러링(Image Blurring) 기법을 통해 압축된 여러 이미지를 기존 K-Means Clustering을 통해 군집을 형성하여 농경지를 추출하는 것이다. 이러한 원리를 활용하면, <Figure 4>와 같이 원본 인공위성 이미지에서 농경지만 추출하는 것이 가능하다.



<Figure 4> Farmland detection via K-Means Clustering

3.2 의사결정 지원 모듈

의사결정지원 모듈은 다항회귀(Polynomial Regression) 기반의 전력 발전량과 작물 생산량 예측 모델을 활용하여, 대상 지역의 영농형 태양광 성능을 평가하고 영농형 태양광 시스템의 최적의 설계를 도출한다. 의사결정 목표 함수는 최대 총이익을 가져다 주는 영농형 태양광의 디자인으로써, 식 (1)과 같다. 의사결정 변수는 (1) 차광율 (shading ratio, %)과 (2) 태양광 모듈 타입(1: 단면형, 2: 양면형)이다. 영농형 태양광 시스템의 총 이익은 전력 판매 이익($f(X_1, X_2)$)과 작물 판매 이익($g(X_1)$)을 결합한 함수이다.

$$Max Z = f(X_1, X_2) + g(X_1) \quad (1)$$

$$f(X_1, X_2) = \alpha f_R(X_1, X_2) - f_C(X_1, X_2) \quad (2)$$

$$g(X_1, X_2) = \beta g_R(X_1) - g_C(X_1) \quad (3)$$

여기서 X_1 은 차광율, X_2 는 태양광 모듈 타입, α 와 β 는 각각 전력 판매 가격과 작물 판매 가격, $f_R(\cdot)$ 은 전력 생산량, $f_C(\cdot)$ 은 전력 판매비용, $g_R(\cdot)$ 은 작물 수확량, $g_C(\cdot)$ 은 작물 판매비용을 각각 나타낸다.

두 가지의 의사결정 변수를 선택한 이유는 태양광의 발

전량과 작물의 생산량이 크게 영향을 받기 때문이다. 즉, 태양광 패널의 설치 각도를 완만하게 하면 태양광 패널로 인한 농경지 차광율이 증가하고, 태양광 패널의 설치 각도를 급격하게 하면 태양광 패널로 인한 농경지 차광율이 감소하게 된다. 전자의 경우는 전력 발전량은 증가하지만 작물 생산량은 감소하게 되고, 후자의 경우는 전력 발전량은 감소하지만 작물 생산량은 증가한다[9]. 또한, 시중에 널리 공급되는 태양광 패널의 종류에는 양면형 패널과 단면형 패널이 있는데, 양면형 패널의 경우 단면형 패널과 비교했을 때 더 많은 전력을 발전할 수 있지만 패널의 가격도 더 비싸다[11].

식 (2)에 표현된 전력 판매 이익은 생산된 전력의 판매 가격에서 태양광 모듈 설치 및 운영 비용을 차감한 함수이다. 식 (3)의 작물판매 이익은 영농형 태양광 하부모듈에서 생산된 작물의 판매가격에서 작물의 생산비용을 차감한 함수이다. 식 (2)에 보여진 전력 생산량(kWh/day/ha)은 식 (4)에서 보다 자세히 살펴볼 수 있는데, 주어진 의사결정 변수와 관측된 미기상 데이터의 값을 활용한다. 기상 변수는 (1) A_1 : 일사량(MJ/m²); (2) A_2 : 일 최대온도(°C); (3) A_3 : 일 최저온도(°C); (4) A_4 : 일강수량(mm); (5) A_5 : 일습도(%); (6) A_6 : 일평균 풍속(m/s)으로써[10], IOT(Internet of things) 기술이 적용된 미기상 관측센서를 통해 얻어진 데이터를 모델에 적용하여 발전량을 예측한다. 식 (4)의 개발에는 전라남도 농업기술원의 영농형 태양광 시스템의 미기상 관측센서를 통해 얻어진 데이터와 태양광 발전량의 실측 데이터를 활용하였다.

$$f_R(X_1, X_2) = -812.25 + 184.68A_1 + 9.91A_2 + 6.01A_3 - 0.29A_3^2 - 0.65A_4 + 1.64 \times 10^{-3}A_4^2 - 2.10A_5 + 7.14 \times 10^{-5}A_5^3 + 0.10A_6 + 2172.10X_1 + 60.96X_2 \quad (4)$$

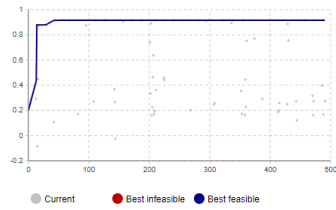
작물 모델의 경우, 태양광 하부 모듈에서 옥수수 생산량을 예측모델을 보여준다. 차광율 0%, 21.3%, 25.6%, 32.0%에서 측정된 실측 데이터로 다항회귀(Polynomial regression)모델을 개발하였으며, 식 (5)와 같다[8].

$$g_R(X_1) = 8.1208 + 15.488X_1 - 75.119X_1^2 \quad (5)$$

결과적으로 식 (1)에 보여진 최적화 모델은 <Figure 5>에 보여지는 메타휴리스틱 기반의 OptQuest 최적화 엔진을 이용하여 최적 영농형 태양광 디자인을 선택하게 된다.

APV5 : Optimization

	Current	Best
Iterations completed	504	490
Objective: ↑	0.855	0.916
Parameters Copy best		
SesameProductionCost	1.044	1.044
MungbeanProductionCost	0.68	0.68
RedbeanProductionCost	0.666	0.666
CornProductionCost	1.071	1.071
SoybeanProductionCost	0.558	0.558
Mono21ConstructionCost	0.695	0.695
Mono25ConstructionCost	0.742	0.742
Mono32ConstructionCost	1.001	1.001
Bi21ConstructionCost	0.785	0.785
Bi25ConstructionCost	0.816	0.816
Bi32ConstructionCost	1.102	1.102
ShadingRatio	0.225	0.137
PanelType	2	1
TotalProfit	0	0
CropType	4	4



<Figure 5> Optimization of the Best Design of an APV System

4. 실험

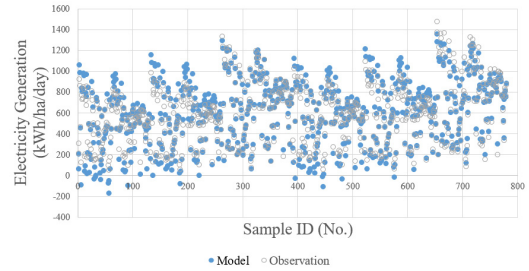
제안한 의사결정지원시스템을 평가하기 위해 실제 영농형 태양광 시스템에서의 전력 발전량과 작물 생산량 데이터를 활용하여 검증을 진행하였다. 검증에는 전라남도 나주시에 위치한 전라남도 농업기술원(35.0161°N, 126.7108°E)의 영농형 태양광 시스템 데이터를 활용하였다[11]. <Figure 6>에 보이는 영농형 태양광 시스템에서 좌측 농경지는 태양광 발전 시스템이 설치되지 않은 농경지이고, 우측 농경지는 태양광 발전 시스템이 각 구역마다 다른 농경지 차광율을 가지고 설치된 농경지이다. 좌측 농경지의 면적은 4,410m²이고, 우측 농경지는 차광율 21.3%의 면적 1,134m², 25.6%의 면적 1,701m², 32.0%의 면적 1,575m²이다.



<Figure 6> An Satellite Image of the Subject APV System in Naju-si, Jeollanam-do, South Korea

4.1 전력 발전량 예측 모델 검증

전력 발전량 검증은 2020년 6월 13일부터 동년 10월 20일 까지의 일일 실제 발전량 관측 데이터 (테스트 셋)와 식(4)의 수리 모델을 통한 발전량 예측 값을 비교하는 방식으로 진행하였다(<Figure 7> 참조). <Figure 7>에서의 Sample ID 정보는 <Table 1>과 같다.



<Figure 7> Model and Observation Result of the Electricity Generation from the APV System

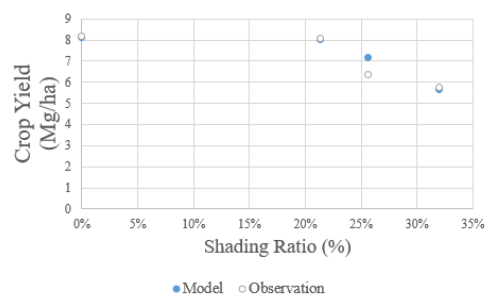
<Table 1> Sample ID information

Sample ID (No.)	Solar panel type	Shading ratio (%)
1~130	Monofacial	21.3%
131~260	Monofacial	25.6%
261~390	Monofacial	32.0%
391~520	Bifacial	21.3%
521~650	Bifacial	25.6%
651~780	Bifacial	32.0%

그 결과, 수리 모델의 결정계수(R²)는 95.89%로써 관측 결과와 매우 비슷한 모델임을 확인할 수 있었다.

4.2 작물 생산량 예측 모델 검증

작물 생산량 검증은 2020년 6월 13일부터 동년 10월 20일까지 영농형 태양광 시스템에서의 실제 옥수수 수확량과 수리 모델의 옥수수 생산량 예측 데이터를 비교하는 방식으로 진행하였다(<Figure 8> 참조). 수리 모델의 데이



<Figure 8> Model and Observation Result of the Corn Yield

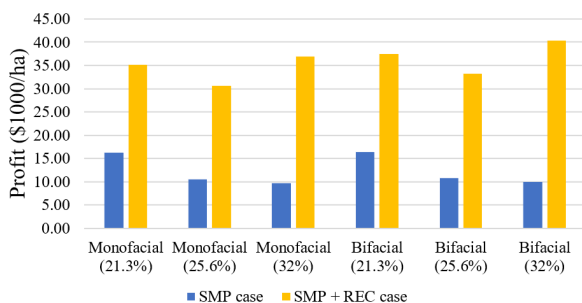
터는 식 (5)를 활용하여 예측한 작물 생산량이다. 그 결과 수리 모델의 결정계수(R^2)는 86.03%로 모델이 신뢰성 있는 것을 확인할 수 있었다.

4.3 실험 결과

앞에서 예측한 결과를 가지고 의사결정을 위한 영농형 태양광 시스템의 이익을 계산해보았다. 3.3절에서 언급한 바와 같이 태양광 패널의 설치 각도와 태양광 패널의 종류가 영농형 태양광 시스템 구성에 있어 의사결정을 진행해야 할 변수이다.

이익 계산에 사용된 전력 판매가격은 2020년 기준 SMP \$0.07/kWh[14]이고, REC \$0.11/kWh[15]이다. 또한, 옥수수 판매 가격은 \$2.74/kg[12]으로 계산하였다.

그 결과, 전라남도 농업기술원의 영농형 태양광 시스템에서 옥수수를 생산할 때 가장 큰 이익을 가져다주는 시스템 조건은 <Figure 9>에서 보이는 바와 같이 SMP만을 지원하는 경우를 고려하였을 때는 양면형 패널을 사용하여 패널의 차광율을 21.3%로 설치하는 것이고, SMP와 REC를 함께 지원하는 경우를 고려하였을 때는 양면형 패널을 사용하여 패널의 차광율을 32.0%로 설치하는 것으로 나타났다.



<Figure 9> Estimated Profit from the APV System

SMP만 지원하는 경우에서 작물 생산 이익과 전력 판매 이익을 비교하면 각각 8.115달러와 4.136달러로, 작물 생산 이익이 전력 판매 이익보다 약 2배 큰 것을 알 수 있다. 반대로, SMP와 REC를 함께 지원하는 경우에서 작물 생산 이익과 전력 판매 이익을 비교하면 각각 8.115달러와 27.514달러로, 전력 판매 이익이 작물 생산 이익보다 약 3배 이상 큰 것을 알 수 있다. 즉, SMP만 지원하는 경우 작물 생산 이익이 시스템의 총 수익에 큰 영향을 미치고, SMP와 REC를 함께 지원하는 경우에는 전력 판매 이익이 시스템의 총 수익에 큰 영향을 미친다. 이는 전력 판매 가격 변화에 따라 영농형 태양광 시스템에서의 수익 구조 역시 변화할 필요가 있음을 의미한다. 이에, 영농형 태양

광 시스템을 운영하는 농업인들은 안정적인 수익 창출을 위해 전력이 가격의 변화에 따라 작물 생산과 전력 생산 계획에 유연하게 대처할 필요가 있다.

5. 결론

본 연구는 스마트폰 애플리케이션을 활용하여 영농형 태양광 시스템 설계 및 운영을 위한 의사결정지원시스템을 개발하였다. 영농형 태양광 시스템을 설치하고 싶거나 현재 운영중인 농업인들이 시스템의 성능을 추정하고 싶을 때, 이 시스템을 활용할 수 있다. 농업인들은 본인의 스마트폰에 표시되는 인공위성 지도에서 농경지의 GIS 정보를 활용하여 본인의 농경지를 찾으면, 해당 위치의 인공위성 이미지를 K-Means Clustering을 통해 농경지 식별을 진행한다. 의사결정 지원 모듈에서 해당 농경지에 영농형 태양광 시스템을 설치하였을 때의 전력 생산량과 작물 생산량을 예측하고, 농경지에서의 최적의 영농형 태양광 시스템 설계를 도출하게 된다.

이 시스템을 통해 농업인들과 시스템 엔지니어들은 영농형 태양광 시스템을 구성하는 데 있어, 각자의 농경지에 가장 알맞은 시스템 조건을 선택하는 것이 가능하다. 이러한 일련의 과정들이 스마트폰 애플리케이션 하나로 간단하게 이뤄질 수 있다는 점이 더욱 많은 사람들이 쉽게 의사결정지원시스템을 활용하는 것을 가능하게 한다.

본 연구는 다음과 같은 방향으로 확장이 가능하다. 현재 시스템에서 고려하고 있는 작물은 옥수수이다. 영농형 태양광 시스템에서의 다양한 작물 생산량 데이터를 얻게 된다면, 작물의 종류도 의사결정변수로 추가하여 해당 농경지에서의 최적 생산 작물을 선정하는 것이 가능하다. 또한, 현재 시스템은 대기 기후 정보(일사량, 기온, 강수량, 습도, 풍속)만을 활용하여 작물의 생산량 예측을 진행한다. 작물 생산량은 대기 기후 정보 이외에도 토양 정보(탄소, 수소, 산소, 질소, 수분 함유량 등)를 알 경우 더 정확하게 예측하는 것이 가능하다. 향후 연구를 통해 더 정교한 의사결정지원시스템을 구성할 수 있다.

Acknowledgement

This work was supported by the National Research Foundation of Korea(NRF) grant funded by the Korea government(MSIT) (No.2021R1F1A1045855)

References

- [1] Adebayo, S., Ogunti, E. O., Akingbade, F. K., and

- Oladimeji, O., A review of decision support system using mobile applications in the provision of day to day information about farm status for improved crop yield, *Periodicals of Engineering and Natural Sciences (PEN)*, 2018, Vol. 6, No. 2, pp. 89-99.
- [2] Benis, K., Reinhart, C., and Ferrão, P., Development of a simulation-based decision support workflow for the implementation of Building-Integrated Agriculture (BIA) in urban contexts, *Journal of Cleaner Production*, 2017, 147, pp. 589-602.
- [3] Economic Reform Research Institute, International trends related to sustainability and climate change disclosure and suggestions for domestic introduction, *Issue & Analysis*, 2022, Vol. 2022, No. 2, pp. 1-30.
- [4] Goetzberger, A. and Zastrow, A. On the coexistence of solar-energy conversion and plant cultivation, *International Journal of Solar Energy*, 1982, Vol. 1, No. 1, pp. 55-69.
- [5] Han, T.J. and Oh, S.J., A Survey of Decision Support System for Agriculture, *The Korea Academia-Industrial Cooperation Society Fall Conference 2014*, Jeju-do, Korea, 2014, pp. 677-679.
- [6] Hassanpour Adeh, E., Selker, J.S., Higgins, C.W., Remarkable agrivoltaic influence on soil moisture, micro-meteorology and water-use efficiency, *PLoS One*, 2018, Vol. 13, No. 11, pp. e0203256.
- [7] Jeong, J.H., Current Status and Prospects of Solar Power Generation System for Farming, *Bulletin of the Korea Photovoltaic Society*, 2020, Vol. 6, No. 2, pp. 25-33.
- [8] Kim, J.Y., Song, J.J., and Lee, J.E., Environmental Assessment in the Siting of Solar and Wind Power Plants, *Journal of the Korean Society for Environmental Technology*, 2011, Vol. 12, No. 2, pp. 141-147.
- [9] Kim, S.J. and Kim, S.M., Performance Estimation Modeling via Machine Learning of an Agrophotovoltaic System in South Korea, *Energies*, 2021, Vol. 14, No. 20, p. 6724.
- [10] Kim, S.J., Kim, S.M., and Yoon, C.Y., A study on the Efficient Structure of Korean Farming Solar System, *2021 Korean Institute of Industrial Engineers Fall Conference*, 2021, Seoul, Korea, pp. 957-966.
- [11] Kim, S.J., Kim, S.M., and Yoon, C.Y., An efficient structure of an agrophotovoltaic system in a temperate climate region, *Agronomy*, 2021, Vol. 11, No. 8, pp. 1584.
- [12] Kim, S.J., Kim, Y.J., On, Y.J., So, J.Y., Lee, D.B., and Lee, G.E., Simulation-Based Design of an Agrophotovoltaic System for Smart Farming, *Korean Society of Industrial and Systems Engineering Spring Conference 2022*, Jeju-do, Korea, 2022, p. 282.
- [13] Korea Agro-Fisheries & Food Trade Co. Sales Price of Agricultural Products, <https://www.kamis.or.kr/customer/main/main.do>.
- [14] Korea Electric Power Corporation, A price of the System Marginal Price, <https://home.kepco.co.kr/kepco/CO/D/E/CODEPP002/list.do>.
- [15] Korea Power Exchange, A price of the Renewable Energy Certificate, <https://onerec.kmos.kr/portal/index.do>.
- [16] Ministry of Trade, Industry and Energy, The 3020 Renewable Energy Policy, 2017, <https://e-policy.or.kr/policy/04.php>.
- [17] Park, J.U., Ahn, H.H., and Lee, B.K., The Agriculture Decision-making System (ADS) based on Deep Learning for improving crop productivity, *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, 2018, Vol. 11, No. 5, pp. 521-530.
- [18] Zhai, Z., Martínez, J. F., Beltran, V., and Martínez, N. L., Decision support systems for agriculture 4.0: Survey and challenges, *Computers and Electronics in Agriculture*, 2020, 170, p. 105256.

ORCID

Youngjin Kim | <https://orcid.org/0000-0001-9222-4789>

Junyong So | <https://orcid.org/0000-0003-0666-7116>

Yeongjae On | <https://orcid.org/0000-0003-4602-6620>

Jaeyoon Lee | <https://orcid.org/0000-0003-4456-2809>

Sojung Kim | <https://orcid.org/0000-0001-7744-0686>