

에너지 저장장치를 사용한 스마트 팜 환경에서 전력 소비 감소 및 이익 향상을 위한 자동화 운용 알고리즘

정진영*, 강현욱*, 강문수**, 최용훈^o

Automated Operation Algorithm for Reducing Power Consumption and Gaining Benefit in Smart Farm Environment with Energy Storage System

Jin-young Jeong*, Hyun-wook Kang*, Moon-soo Kang**, Yong-hoon Choi^o

요약

도시화로 인한 농촌 지역의 지속적인 인구감소 및 고령화의 빠른 진행으로 인해 정부에서는 스마트 그리드 기술을 농장에 접목하여 자동으로 작물과 가축의 생육환경을 적절하게 유지, 관리할 수 있는 농장인 스마트 팜 사용을 장려하고 있다. 스마트 팜은 작물 생육 정보와 환경정보에 대한 데이터를 바탕으로, 최적 생육환경을 조성하여 사용되는 에너지, 노동력, 양분 등을 덜 투입하고도 농산물의 생산량과 품질을 향상시키는 데 도움을 주어 이용이 증가할 것으로 보인다. 본 논문은 스마트 팜에서 사용되는 에너지 소비를 줄이기 위하여 기존의 스마트 팜 시스템에 창문 개폐 시스템과 전력거래 시스템을 도입할 것이다. 스마트 팜에서 수집한 실내온도와 기상 온도 데이터를 토대로 창문 개폐를 통해 온도조절에 사용되는 전력량을 감소시킬 것이다. 이에 더해, 잉여전력거래 시스템을 사용하여 스마트 팜에서 태양광 발전을 통해 얻은 전력을 사용하고 남은 전기는 되팔아 이익을 얻을 수 있도록 한다. 잉여전력 거래 시 시간별 계통한계가격과 신재생에너지 공급 인증서 가중치 값을 토대로 최대의 전력 판매 이익을 얻는 알고리즘을 제안한다.

키워드 : 스마트 팜, 프로슈머, 에너지 저장장치, 전력거래, 최적화

Key Words : smart farm, prosumer, energy storage system, energy trading, optimization

ABSTRACT

As urbanization leads to continued population decline and rapid aging in rural areas, the government encourages the use of smart farms, which can automatically maintain and manage the growth environment of crops and livestock by grafting smart grid technology to the farm. Based on the data of crop growth information and environmental information, smart farms will help improve the yield and quality of agricultural products, even if using less energy, labor and nutrients to create the best growing environment. This paper deploys an automated window opening and closing system, and an energy trading system into the existing smart farm system to reduce energy consumption of the smart farm. According to the indoor and weather

※ 이 논문은 2019년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단-현장맞춤형 이공계 인재양성 지원사업의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2019H1D8A1109673).

• First Author : Chonnam National University, Department of Electrical Engineering, 196393@jnu.ac.kr, 학생회원

^o Corresponding Author : Chonnam National University, Department of Electrical Engineering, yh.choi@jnu.ac.kr, 중신회원

* Chonnam National University, Department of Mechanical Engineering, kanghw@jnu.ac.kr

** Chosun University, Department of Computer Engineering, mskang@chosun.ac.kr, 정회원

논문번호 : 202007-146-0-SE.R1, Received June 30, 2020; Revised July 31, 2020; Accepted July 31, 2020

temperature data collected by the smart farm, the power used for temperature control will be reduced by opening and closing the windows. In addition, the surplus energy trading system utilizes energy obtained by solar power generation in smart farms, and the remaining energy can be sold for profit increase. This paper proposes an algorithm to obtain the maximum profit based on the system marginal price and the renewable energy certificate in the transaction of surplus electricity.

I. 서 론

기존의 전력망에 정보통신기술(Information and Communications Technologies, ICT)을 더하여 에너지 효율을 최적화시키는 스마트 그리드가 증가하고 있다. 기후변화 대응을 위한 국제사회의 요구가 증대되고 있으며, 정부가 발표한 온실가스 감축 목표를 달성하기 위해 저탄소 녹색성장 인프라 구축이 필요하고, 화석연료의 고갈에 대비해 재생에너지 확대 및 석탄 연료 절감이 필수적이기 때문에 스마트 그리드 기술의 필요성이 더욱 대두되고 있다¹⁾.

도시화의 영향으로 도시 지역에는 인구집중, 교통체증, 환경파괴와 같은 문제가 나타나고 있지만, 농촌 지역은 지속적인 인구감소와 고령화가 급속하게 진행되고 있다. 이로 인해, 국가에서는 스마트 그리드 기술을 농장에 접목한 스마트 팜 사용을 장려하고 있다. 스마트 팜이란 비닐하우스나 축사에 ICT 기술을 접목해 자동으로 작물과 가축의 생육환경을 적절하게 유지 관리할 수 있는 농장이다. 작물 생육 정보와 환경 정보에 대한 데이터를 바탕으로, 최적 생육환경을 조성하여 사용되는 에너지, 노동력, 양분 등을 덜 투입하고도 농산물의 생산성과 품질을 유지할 수 있다²⁾. 이러한 이유로 인구감소와 고령화가 진행되고 있는 농촌에서 스마트 팜이 생산 효율을 높이는 데 도움을 주어 이용이 증가할 것으로 보인다. 농림축산식품부에서 발표한 '2016년 스마트 팜 도입 농가 성과분석 결과'에 따르면, 단위면적당 생산량이 27.9 % 증가하였고, 품질이 6.6 % 향상되었으며, 고용 노동비가 15.9 % 줄어들어 이익이 16.1 % 늘어나는 등 스마트 팜의 효과가 입증되었다³⁾.

태양광 발전은 에너지 저장 장치(Energy Storage System, ESS), 스마트 그리드, 하이브리드 발전 등 다양한 산업과 연관되어 있기 때문에, 타 산업과의 동반 성장이 가능하며 기존 인프라를 활용할 수 있어 국내 신재생에너지 산업의 중추적인 역할을 하고 있다. 무한한 태양에너지를 이용하기 때문에, 연료의 수송이나 저장에 따른 문제가 없고 온실가스 감축 효과가 매우 높다. 또한, 전력수요가 최대가 되는 한낮에 발전량이

최대를 기록하므로 피크 전력 감소에도 효과적이다⁴⁾.

그러나 스마트 팜은 에어컨이나 환풍기 가동을 통한 온도조절 시스템으로 인한 전력 소비가 크고, 유지보수가 힘들어 농민들에게 많은 부담을 주고 있다. 따라서 스마트 팜의 소비전력을 줄이거나 에너지 사용 시스템의 효율을 높이는 것에 관한 많은 연구가 수행되어왔다. 본 논문은 온·습도 제어에 필요한 에어컨이나 환풍기 사용을 줄이기 위해 실외 온도가 실내온도보다 낮은 경우 창문을 개폐하는 방식으로 실내온도를 제어한다. 또한, 태양광 패널을 설치해 전력소비량을 일정 수준 충족하고, 남은 전력은 파는 시스템을 도입해 전기요금 부담을 줄여줄 수 있는 효율적인 시스템을 기존 시스템과 비교하여 제시한다. 이에 본 논문은 몇 개의 스마트 팜 그룹을 하나의 스마트 그리드로 생각하고, 스마트 팜 각각의 전력을 소비함과 동시에 전력을 판매하는 주체인 프로슈머로 간주하여 시스템을 구현한다. 스마트 팜의 전력 소비를 감소시키고 동시에 남은 전력을 이웃의 스마트 팜이나 전력거래소에 팔아 스마트 팜 운영자가 전력거래 시 이익을 얻도록 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 본 논문에서 고려하는 스마트 팜에서의 모든 전력 제어 시스템 모델을 제안함과 더불어 동작 절차를 설명한다. 3장에서는 제안한 시스템 모델의 시뮬레이션을 통한 성능을 분석한다. 마지막으로 4장에서는 본 연구에 대한 결론을 제시한다.

II. 시스템 모델

2.1 시스템 모델

그림 1은 본 논문에서 제시하는 전체적인 시스템 구성도이다. 제안하는 모델의 전력거래 시스템은 스마트 그리드 내부에서와 외부에서, 두 가지로 나누어 생각할 수 있다.

일반적인 태양광 발전 사업은 생산된 전력을 한전에 팔아 이익을 취하는 것을 목적으로 한다. 때문에 태양광 패널 설치를 위한 공간과 한전과의 상계거래 시스템만 갖추면 된다. 그러나 본 논문에서 사용하고

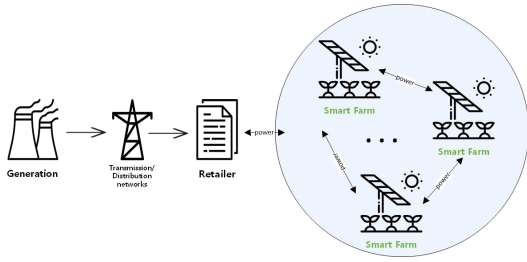


그림 1. 제안하는 스마트 팜 제어 시스템 구성도
Fig. 1. The structure of the proposed smart farm control system structure

자 하는 스마트 팜 태양광 전력 시스템은 태양광 발전을 이용하여 스마트 팜에 필요한 전력을 충당하고, 남은 전기는 한전과 실시간 거래를 하거나 ESS에 저장 후 최대의 이익을 얻을 수 있는 시스템을 통해 판매하는 것으로 정의한다.

스마트 그리드 내에서 스마트 팜은 설치된 태양광 발전(Photo Voltaics, PV)을 이용하여 발전하며, 그 발전된 에너지를 사용하여 스마트 팜을 운영한다. 사용하고 남은 에너지는 ESS에 저장하여 에너지 발전이 어려운 밤 시간에 사용할 수 있다. 또한, 전력 사용량을 감소시켜 에너지 소비를 최소화하기 위한 프로그램이 필요하다. 본 논문에서는 실외 온도와 실내온도를 비교하여 자동 창문 개폐를 통해 실내온도를 제어하여 에어컨이나 환풍기, 히터 등의 사용을 줄여 전력 소비를 최소화하는 방안을 제시한다.

스마트 그리드 외부와의 전력거래는 신재생에너지 발전이 어렵거나, 스마트 팜에서 발전한 전력량이 부족하여 한전으로부터 전력을 수급받아야 하는 경우와, ESS에 저장된 전력을 전력거래 시장과 공유한 정보를 토대로 전력이 필요한 다른 스마트 그리드와 거래를 하는 경우이다. 이 경우 시간별 계통한계가격 (System Marginal Price, SMP)과 신재생에너지 공급 인증서 (Renewable Energy Certificates, REC) 가중치 값을 토대로 계산하여 전력을 파는 스마트 팜이 최대의 이익을 얻는 방법을 제안한다.

2.1.1 스마트 팜 온도조절 시스템

본 논문에서 스마트 팜 온도조절 시스템은 창문을 이용하여 스마트 팜 내부의 온도를 제어하는 시스템에 사용한다. 스마트 팜 외부의 온도에 따라 내부온도가 영향을 받으며 온도 변화가 클수록 내부의 온도를 조절하기 위해 에어컨이나 냉난방기 사용이 증가하기 때문에 그에 따른 전력 사용량도 증가한다. 창문 개폐를 통해 외부의 온도로 스마트 팜 내부의 온도를 조절

하여 에어컨이나 냉난방기를 사용했을 때 소비되는 전력량을 감소시켜 전체적인 전력 사용을 최소화한다. 온도 제어 시스템에 사용되는 변수들은 표 1과 같다⁵⁾. 계산된 변화량은 스마트 팜에서 내부온도에 사용되는 전력 최적화가 진행될 때와 진행되어야 하는 시간을 계산할 때 사용된다. 시스템에서 사용하는 식은 식 (1)과 같다⁵⁾.

$$\frac{dT_i}{dt} = \frac{1}{C_g} (\delta G + K_h (T_p - T_i) + K_s (T_s - T_i) + K_v (T_o - T_i) + K_r (T_o - T_i)) \quad (1)$$

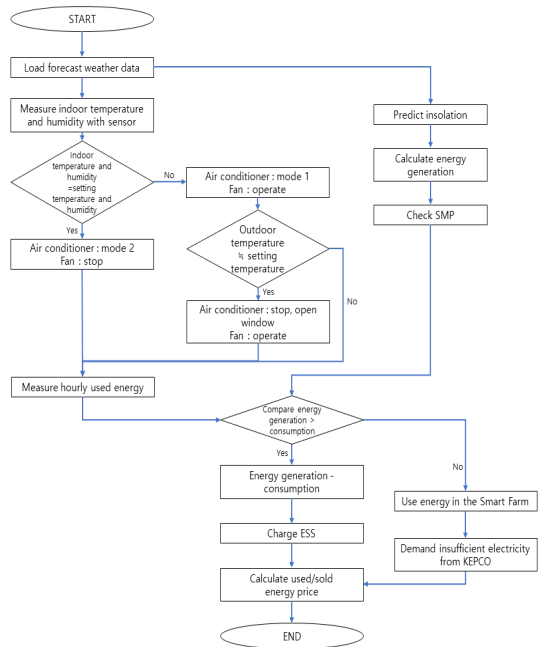


그림 2. 제안하는 스마트 팜 제어 시스템 순서도
Fig. 2. Flowchart of the proposed smart farm control system

표 1. 하우스 온도 변화 물리 모델 변수

Table 1. Germination period temperature dynamic model parameters

Symbol	Symbol Significance	Parameter Value	Unit
ρ_g	Air Density	1.29	kg/m^3
v_g	Greenhouse Capacity	1036.8	m^3
c_g	Air Specific Heat at Constant Pressure	1.01	$J/kg \cdot k$
σ	Radiation Conversion Factor	0.7	

Symbol	Symbol Significance	Parameter Value	Unit
G	Average Energy of Solar Radiation at Time t		w/m^2
k_h	Heating Pipe Coefficient	2.1	$w/m^2 \cdot ^\circ C$
k_s	Oil Heat Transfer Coefficient	5.7	$w/m^2 \cdot ^\circ C$
k_v	Ventilation Coefficient		$w/m^2 \cdot ^\circ C$
k_r	Roof and Cover Material Coefficient of Heat Transfer	7.9	$w/m^2 \cdot ^\circ C$
T_p	Heating Pipe Temperature		$^\circ C$
T_s	Soil Temperature		$^\circ C$
T_0	Outdoor Temperature		$^\circ C$
Φ_b	Hot-pressing Ventilation		$w/m^2 \cdot ^\circ C$
Φ_v	Wind Pressure Ventilation		$w/m^2 \cdot ^\circ C$
C_f	Flow Coefficient	0.6	
β	Air Coefficient of Expansion		$1/k$
L_0	Skylight Length	10	m
H	Skylight Lift Height	0.2	m
v_w	Wind Speed		m/s

2.1.1.2 스마트 팜 상황별 모드 변환

기존의 스마트 팜 시스템은 스마트 팜 내의 온도에 따라 냉난방기와 유동팬 구동기를 이용하여 원격 설정이나 시간 설정 등을 사용하여 온도를 조절한다. 이 시스템에서는 주로 두 가지 모드를 사용한다. 냉난방기를 일반 모드로 가동하다가 스마트 팜 내의 온도가 설정 온도와 비슷해지면 절전모드를 사용하여 가동한다. 본 논문에서는 기존에 있는 모드에 냉난방기를 절전모드로 가동하면서 창문을 개폐하여 온도를 조절하는 모드 한 가지를 추가하여 가동한다.

2.1.1.3 스마트 팜 전력 시스템

스마트 팜은 설치된 PV를 이용하여 발전하며, 그 에너지로 스마트 팜을 운영한다. 세부적인 발전량과 소비량을 조사하기 위해 발전량과 소비량을 시간대별로 계산한다. t 시간대의 태양광 발전량 P_t [kWh]는 아래 식 (2)로 표현된다.

표 2. 스마트 팜 모드 변환
Table 2. Mode change by temperature

Mode	Setting	Energy Consumption [kWh]
Mode 1	Operate Air Conditioner, Stop Fan	33
Mode 2	Power Saving Mode	33*0.7
Mode 3	Power Saving Mode, Operate Fan, Open Window	33*0.7+33/10+0.02

$$P_t = G_t \times S \times K \times \eta_\alpha \times \eta_I \tag{2}$$

여기서 G_t 는 t 시간대의 일사량 [MJ/m^2], S는 PV 전체 면적 [m^2], K는 단위 [MJ]를 [kWh]로 변환시켜주는 상수, η_α 는 변환 효율 [16.30%], η_I 는 인버터 효율 [98.70%]이다⁶⁾.

사용하고 남은 에너지는 ESS에 저장하여 에너지 발전이 어려운 시간에 사용할 수 있다. 시간대별 발전량 P_t 와 SMP, REC를 적용하여 얻을 수 있는 하루 수익 I는 아래 식 (3)으로 표현된다

$$I = \max \sum_{t=0}^{23} \left[\left(P_t - \frac{P_{t, farm}}{(1-l_{chr})} \right) \times (SMP_t + REC_d) \right] \tag{3}$$

여기서 $P_{t, farm}$ 은 t 시간대에 스마트 팜에서 사용한 전력량 [kWh], l_{chr} 은 충전 손실 [9.71%], SMP_t 는 t 시간대의 SMP [원/kWh], REC_d 는 d달의 REC 단가 [원/kWh]이다.

III. 실험 및 분석

3.1 실험의 전제조건 및 가정

효과적인 시뮬레이션을 위해서 본 논문에서는 몇 가지 전제조건을 가정한다. 첫째, 사용한 데이터는 우리나라의 농업지역 중 한 곳의 실제 농업 기상 관측 데이터이다. 따라서, 사용된 데이터를 충분히 신뢰할 만하다고 할 수 있다. 둘째, 본 논문의 시뮬레이션에서 밀폐된 공간에서의 실내온도는 설정값이기 때문에 변하지 않는다고 가정한다. 또한, 실외의 공기를 이용하여 실내의 온도를 제어하기 때문에 실외 온도가 실내온도와 차이가 나는 상황에서 실험한다. 셋째, 본

표 3. 스마트 팜 설정 온도
Table 3. Setting temperature for strawberry

Time	Setting Temperature [°C]
00:00~4:00	9~11
4:00~8:00	11~15
8:00~12:00	15~18
12:00~16:00	18~21
16:00~20:00	15~18
20:00~24:00	11~15

논문의 실내온도 변화량을 측정할 때는 [5]에서 가정한 주변 환경을 이용하여 실험하였다. 넷째, 창을 개폐하는데 사용한 모터의 소비전력은 20 W, 유동팬 구동기는 320 W 그리고 에어컨은 6 kW로 가정하며, 75 m²를 기준으로 한다. 다섯째, 스마트 팜의 크기는 실제 많이 사용되고 있는 넓이인 10,000 m²로 하며, 자연광과 인조광을 모두 사용하는 스마트 팜이기 때문에 지붕에 설치된 태양광 패널의 넓이는 스마트 팜의 절반인 5,000 m²로 설정한다. 작물 생육 환경을 방해하지 않으면서 최대한 자연광을 사용할 수 있도록 지붕의 태양광 패널을 지그재그식으로 배열한다. 여섯째, 본 논문은 과수를 위한 스마트 팜으로 딸기를 재배하는 것으로 가정하며, 이에 적절한 온도를 표 3과 같이 설정한다. 일곱째, 아직까지 우리나라는 프로슈머의 전력거래 시스템을 정해진 조건을 가진 일부의 세대에서만 사용할 수 있으며 모든 세대가 사용할 수 있는 시스템은 갖추어져 있지 않다. 이를 활성화하기 위한 에너지 판매법 개선과 인프라 구축 등 에너지 프로슈머 시장의 발전을 도모하고 있으므로 본 논문에서는 영국의 피콜로라는 Peer-to-Peer(P2P) 전력거래 플랫폼을 통한 잉여전력 온라인 거래를 사용한다고 가정한다⁷⁾. 마지막으로, 본 논문에서 사용한 데이터는 시뮬레이션을 통해 시스템이 실현 가능한지 검토하기 위해 정확한 데이터를 사용하고자 2019년의 데이터를 사용했기 때문에 2019년이라는 가정하에서 실행한다.

3.2 시뮬레이션 결과

본 논문에서는 기상청의 기상자료 개방 포털에서 제공하는 농업 기상 관측 데이터를 이용하여 시스템 모델이 구현되는지 MATLAB을 통해 확인하였다. 스마트 팜 내부의 온도는 기상자료에 나와 있는 체감 온도에 정규분포에 따른 랜덤 함수를 더하여 시간대별로 차이를 주었다. 온도조절 시스템을 도입한 스마트

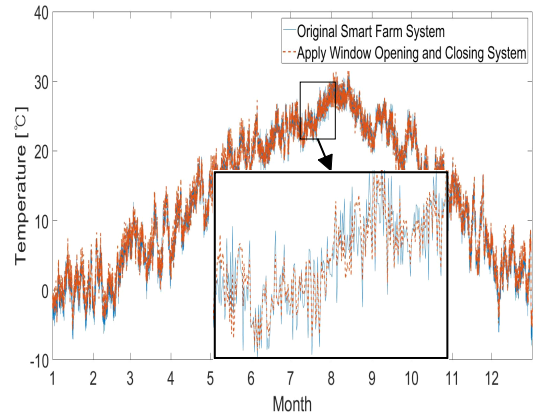


그림 3. 스마트 팜에 온도조절 시스템을 적용하기 전과 후의 온도 변화
Fig. 3. Temperature change before and after applying the temperature controlling system to smart farm

팜의 실내온도는 앞의 식 (1)을 이용하여 온도를 제외한 다른 조건들이 같은 환경에서 소비전력 절감 성능을 비교 분석한다.

그림 3은 밀폐된 스마트 팜에 창문 개폐를 이용하여 외부의 공기가 유출입 되는 시스템 적용 전과 후의 온도 변화 그래프이다. 온도조절 시스템 적용 전의 그래프와 적용 후의 그래프를 비교해보면 시스템 적용 후의 그래프의 온도 변화가 더 적은것을 확인할 수 있으므로 이 시스템이 스마트 팜의 온도조절에 사용되는 전력량을 감소시키는 데 도움이 된다는 것을 확인할 수 있다.

위의 온도조절 시스템을 통해 얻은 결과값을 이용하여 그림 4의 스마트 팜 전력 사용량을 얻었다. 넓이 75m²을 기준으로 창을 개폐하는데 사용한 모터의 소비전력은 20 W, 유동팬 구동기는 320 W 그리고 에어컨은 6,000 W로 가정하여 설정 넓이 10,000 m²인 스마트 팜을 운영하는데 1시간당 약 8,070 kW의 전력이 필요하다. 스마트 팜에 설정해 놓은 온도와 내부 온도에 따라 얻어진 일별 전력소비량 그래프이다. 설정 온도와 기상 온도의 차이가 큰 여름과 겨울에는 창문 개폐 방식을 사용하기 어려우므로 필요한 전력량을 그대로 모두 사용하는 것을 볼 수 있다. 비교적 설정 온도와 외부온도가 비슷한 봄, 가을에는 창문 개폐를 통한 온도조절로 인해 전력 사용량이 적은 것을 확인할 수 있다.

위의 온도조절 시스템을 통해 얻은 결과값을 이용하여 그림 4의 스마트 팜 전력 사용량을 얻었다. 넓이 75m²을 기준으로 창을 개폐하는데 사용한 모터의 소

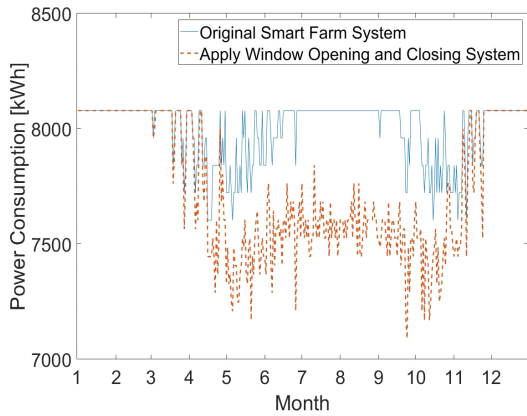


그림 4. 창문 개폐 온도조절 시스템 설정 전과 후의 전력량
Fig. 4. Consumed power before and after applying the temperature controlling system

비전력은 20 W, 유동팬 구동기는 320 W 그리고 에어 컨은 6,000 W로 가정하여 설정 넓이 10,000 m²인 스마트 팜을 운영하는데 1시간당 약 8,070 kW의 전력이 필요하다. 스마트 팜에 설정해 놓은 온도와 내부 온도에 따라 얻어진 일별 전력소비량 그래프이다. 설정 온도와 기상 온도의 차이가 큰 여름과 겨울에는 창문 개폐 방식을 사용하기 어려우므로 필요한 전력량을 그대로 모두 사용하는 것을 볼 수 있다. 비교적 설정 온도와 외부온도가 비슷한 봄, 가을에는 창문 개폐를 통한 온도조절로 인해 전력 사용량이 적은 것을 확인할 수 있다.

스마트 팜 지붕에 설치한 태양광 발전 판넬로부터 생산한 에너지를 ESS에 저장한 후 SMP와 REC를 통해 얻은 이익은 그림 5와 같다. 농업 기상 관측 데이터에서 얻은 발전량을 식 (2)에 적용하여 스마트 팜에 필요한 전력을 사용하고 남은 전력을 식 (3)을 통하여 이익으로 계산한 결과이다. 태양광 발전을 사용할 수 없는 밤 시간이나 흐린 날은 ESS에 저장된 전력량을 사용하는 것으로 가정하였으나 그 전력량이 부족한 경우에는 한전으로부터 필요한 양의 전력을 구매하여 그 전기요금을 빼고 계산한 순 이익이다. 일사량이 적어 발전량이 적고 온도조절에 필요한 전력량이 많은 겨울에는 상대적으로 적은 이익을 얻는 것을 볼 수 있다. 봄과 여름에는 발전 시간이 차츰 길어지고 일사량도 증가하여 5월에 얻을 수 있는 이익이 최대가 되는 것을 볼 수 있다. 일사량이 제일 많고 발전 시간도 제일 긴 여름에는 온도조절에 필요한 전력량이 많아 다른 달에 비해 상대적으로 적은 이익을 얻는 것을 그래프를 통해 알 수 있다.

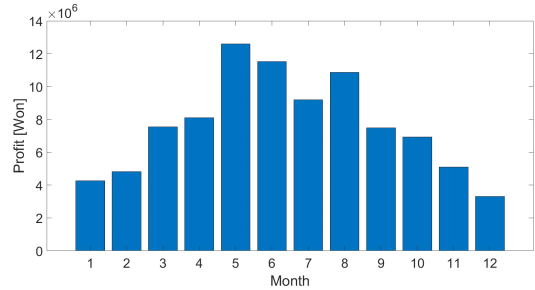


그림 5. 스마트 팜 태양광 발전 잉여전력거래 시 이익
Fig. 5. Profit in case of surplus energy trading

IV. 결론

본 논문에서는 스마트 팜의 실시간 날씨 정보를 이용하여 자동으로 창문을 개폐함으로써 냉난방에 사용되는 전력소비량을 감소시키면서 전력거래를 통해 이익을 얻을 수 있는 제어 시스템을 제시하였다. 본 논문에서 사용한 온도 변화 시스템을 통해 실제 값보다 온도 변화가 줄어드는 것을 확인할 수 있었다. 스마트 팜 내의 온도 제어로 온도 변화 감소를 증명하였고, 이 결과값을 토대로 실제 전력 사용량이 최대 약 9.5% 감소하는 것을 증명했다. 또한, 태양광 발전 잉여전력 거래 시 소비 전력량을 줄여 전기요금 소비가 아닌 이익을 얻을 수 있는 결과를 도출해 내었다.

본 연구는 스마트 팜과 태양광 발전 설비들이 모두 지어져 있고 전력 판매업자와 전력 거래하는 시스템이 갖춰져 있다는 조건 아래에 진행되었다. 스마트 팜과 태양광 설비 건설 시 초기 비용이 많이 요구된다. 하지만, 농작물의 품질 향상과 높은 효율성, 생산비 절감, 전력거래를 통한 이익을 고려하면 농가의 소득 증가에 도움이 될 것이므로, 향후 연구에서는 태양광 자재, 용량, 효율, 배치 등의 경제성 분석을 통하여 초기 투자 비용 회수에 대한 연구를 진행하려고 한다.

References

[1] *Smart Grid Information*, Korea Smart Grid Association(KSGA), Retrieved Jun. 5, 2020, from <http://www.ksga.org/sub2/sub02.asp>

[2] *Smart Farm Information*(2020), Retrieved Jun. 5, 2020, from <https://www.smartfarmkorea.net/contents/view.do?menuId=M01010102>.

[3] J. Kim and J. Moon, "Result analysis of applying smart farm farmhouses," Ministry of

Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA) (2016), Retrieved Jun. 5, 2020, from <https://www.mafra.go.kr/sites/mafra/index.do>.

- [4] W. Ja, "A study on the prediction of the annual power generation through the analysis on factors affecting photovoltaic power generation," Thesis, 2015.
- [5] Z. Yao, Z. Xu, and S. Du, "Optimal control based on temperature dynamic model of greenhouse crop germination period," *ICICIP*, pp. 267-270, Beijing, China, Jun. 2013.
- [6] Y. Choi, "A study on the optimal operation according to PCS and battery capacity estimation of PV-BESS system," Thesis, 2019.
- [7] C. Zhang, J. Wu, C. Long, and M. Cheng, "Review of existing Peer-to-Peer energy trading projects," *Energy Prodedia*, vol. 105, pp. 2563-2568, May 2017.
- [8] S. Kang, J. Go, J. Jeong, and Y. Choi, "Vandebrom based energy trading algorithm for surplus energy in multi-micro grid environment," in *Proc. KIEE Fall Conf. Smart Grid*, pp. 182-185, Gwangju, Korea, Nov. 2019.
- [9] S. Moon, S. Park, J. Jeong, and Y. Choi, "Real-time power trading program considering energy storage system in smart grid environments," in *Proc. KICS Winter Conf.*, pp. 814-815, Pyeongchang, Korea, Feb. 2020.

정 진 영 (Jin-young Jeong)



2019년 : 전남대학교 전기공학과 졸업
 2019년~현재 : 전남대학교 전기공학과 석사 과정
 <관심분야> 전력거래, 신재생 에너지, 에너지 프로슈머
 [ORCID:0000-0001-7025-0898]

강 현 옥 (Hyun-wook Kang)



2007년 : 전남대학교 기계공학부 졸업
 2009년 : 한국과학기술원 기계공학과 석사
 2013년 : 한국과학기술원 기계공학과 박사
 2014년~현재 : 전남대학교 기계공학부 부교수

<관심분야> 전산유체역학, 나노소자, 유연전자공학

강 문 수 (Moon-soo Kang)



1998년 : 한국과학기술원 전산학과 졸업
 2000년 : 한국과학기술원 정보통신공학 석사
 2007년 : 한국과학기술원 정보통신공학 박사
 2007년~현재 : 조선대학교 컴퓨터공학과 교수

<관심분야> IoT, 차량이동통신, 센서네트워크, 네트워크보안

최 용 훈 (Yong-hoon Choi)



1999년 : 성균관대학교 전자공학과 졸업
 2003년 : 한국과학기술원 정보통신공학 석사
 2010년 : 한국과학기술원 정보통신공학 박사
 2014년~현재 : 전남대학교 전기공학과 부교수

<관심분야> 전력ICT 및 최적화, 스마트그리드통신/네트워크, 무선센서네트워크

[ORCID:0000-0002-5218-4513]