

# 태양전지와 LED 조명을 이용한 가정용식물공장 시스템 실증시험

양 준 우<sup>1)</sup> · 정 동 열<sup>2)</sup> · 김 정 열<sup>2)</sup> · 백 종 현<sup>\*2)</sup>

한국교통대학교 에너지시스템공학과<sup>1)</sup> · 한국생산기술연구원 에너지융합기술센터<sup>2)</sup>

## An Experimental Study on Plant Factory System Applied Photovoltaic System and LED Lighting

Jun-Woo Yang<sup>1)</sup> · Dong-Yeol Chung<sup>2)</sup> · Jeong-Yeol Kim<sup>2)</sup> · Jong-Hyeon Peck<sup>\*2)</sup>

<sup>1)</sup>Department of Energy System Engineering, Korea National University of Transportation, 50 Dasehak-ro, Chungju-si, Chungbuk 380-702, Korea

<sup>2)</sup>Energy Conversions Technology Center, Korea Institute of Industrial Technology, 50 Dasehak-ro, Chungju-si, Chungbuk 380-702, Korea

(Received 2013. 03. 11 / Accepted 2013. 05. 06)

**Abstract** : Plant factory industry as a new agriculture is in the spotlight. In this paper, we experimented plant factory applied photovoltaic system and LED lighting. For growing the plant, red, blue and white LED were placed into 1:4:3. Electric power generated by the photovoltaic system was supplied on DC power supply instead of AC. The designed and experimented power generation amount per day of photovoltaic system were 2,860 Wh and 2,272 Wh respectively. Plant has not been grown at the dead space of LED lighting so it is required to array LED lighting.

**Key words** : Plant factory , LED lighting, Photovoltaic system, Solar cell

### 1. 서 론

이상기후 현상으로 인한 자연재해, 기상이변 등의 이유로 국제 농산물 가격이 급등하고 있으며, 안정적인 농산물 공급에 대한 문제를 해결하기 위한 식물공장 (plant factory)의 필요성이 점차 대두되고 있다. 또한 최근 생활수준 향상으로 안전한 고품질 먹거리에 대한 소비자의 관심도 증가하고 있는 점도 이러한 이유 중 하나이다.

식물공장이란 기존의 필름하우스와는 달리 농산물의 생육환경(광, 온도, 습도, 이산화탄소, 양분 등)을 인위적으로 제어하여 계절에 관계없이 계획적인 대량 생산이 가능한 생산시스템이다.<sup>1)</sup>

미래의 신 농업으로 주목 받는 식물공장은 1957년 덴마크에서 처음 시작된 이래, 광원, 냉난방 등 공조시

스템 및 식물 재배기술 등에 대해 국내뿐만 아니라 해외에서도 많은 연구가 진행되고 있다.

이전의 식물공장에 대한 연구는 주로 자동화장비 및 제어장비 등에 대해 이루어졌으며, CO<sub>2</sub>, 인공광원, 온도 등 식물의 생육환경 변화에 따른 재배기술에 대한 연구가 주를 이루었다. 최근에는 보급이 활성화된 LED를 식물공장의 인공광원으로 사용하고 있으며, 광원 종류에 따라 식물의 선택적 성장이 가능하여 고품질 농산물 생산이 가능하다고 보고되었다.<sup>2)</sup>

한편, 세계 식물공장 생산기술을 선도하고 있는 네덜란드는 신재생에너지 이용과 에너지 절감을 위한 새로운 개념을 제시하였다. 국내에서는 주로 LED, 센서 및 재배시스템 등을 식물공장시스템에 활용하는 기술이 주를 이루고 있으며<sup>3)</sup>, 태양전지와 LED를 접목한 식물공장시스템에 대한 연구가 일부 진행되고 있다.<sup>4)</sup>

본 연구에서는 태양전지 시스템과 LED 조명을 연

\*Corresponding author, E-mail: pjh6240@kitech.re.kr

제한 가정용 식물공장 시스템을 개발하여 이에 대한 실증시험을 수행하고자 한다.

## 2. 시스템 설계

### 2.1 LED

Fig. 1은 LED 광원 종류에 따른 파장 범위를 나타낸 그래프로 식물성장에 필요한 파장영역은 400nm ~ 700 nm이다. 본 실증시험에서는 식물성장에 필요한 파장 영역범위를 430nm(청색), 450nm(백색), 640 ~ 660nm(적색)으로 설정하여 재배 작물(상추류 등 엽채류 대상) 및 면적(상단 0.72m<sup>2</sup>, 하단 0.72m<sup>2</sup>)에 따른 LED 조명 설계를 하였다. 조명은 적색과 청색 및 백색 LED를 선정하였으며, 40 W급 LED (공급전압 24 V, 소비전류 1.7 A) 모듈을 1단에 4개씩 2단으로 배치하였다.

### 2.2 태양전지 발전 시스템

일반적으로 태양전지 발전전력은 인버터를 통해 AC전원에서 사용되며, 이 과정에서 전력손실이 발생한다.<sup>6)</sup> 따라서 본 연구에서는 효율적인 시스템 구축을 위해 DC전원 기반으로 태양전지-LED간 연계 제어 모듈에 대한 설계를 수행하였다.

Fig. 2는 태양전지 발전 시스템의 개략도로, 주요구성요소로는 태양전지 모듈, 축전지 및 전력분배 시스템으로 구성되어진다. LED 용량을 기준으로 태양전지 발전 부하 설계 및 태양전지-LED 간 연계 제어 모듈 방안에 대해 검토하였다.

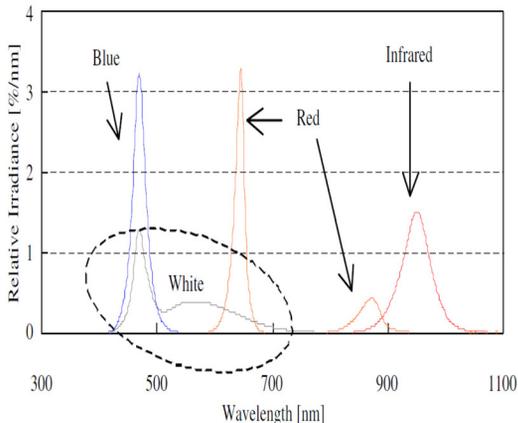


Fig. 1 Wavelength characteristics of LED built-in solar simulator.<sup>5)</sup>

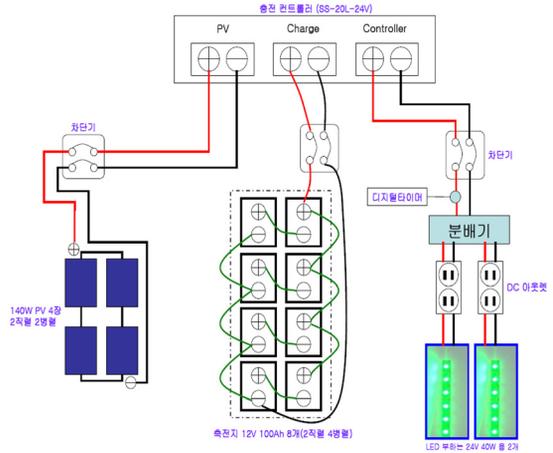


Fig. 2 Schematic diagram of photovoltaic system.

1일 LED 총 소비부하를 16 시간 기준으로 부조일 수, 축전지 손실보상률 등을 고려하여 전력수요량을 산출하였으며, 이에 해당하는 태양전지 모듈 설비용량을 설계하였다. 140 W급 태양전지 모듈 4개를 1 세트로, 2세트가 병렬로 연결되어 LED 모듈에 AC 전원이 아닌 DC 전원이 직접 공급하는 태양전지 발전 시스템을 구성하였다. 또한 식물이 성장을 위한 전원공급은 16시간 이상 요구되며, 안정적인 전력공급을 위해 축전지를 설치하였다.

### 2.3 식물공장시스템

식물공장시스템은 40 W급 LED 모듈로 구성된 조명시스템, 재배시스템 및 컨트롤 박스 등으로 구성된다. 대상식물의 효과적인 성장을 위해 적색, 청색, 백색을 1:4:3으로 LED 모듈을 배치하였으며, 태양전지 모듈과 축전지, 부하 측의 전원을 연계하고 식물공장시스템을 제어하기 위한 제어시스템을 구성하였다. 또한 식물을 재배하는 재배단은 2단으로 구성되어 총 64 주(1단: 32주)의 식물이 재배 가능하며, 양액을 직접 뿌리에 분사하는 분무재배시스템을 적용하였다.

## 3. 실증시험

### 3.1 실증시험 방법

1,120 W급 태양전지와 LED 조명을 이용한 가정용 식물공장 시스템 실증시험 한국생산기술연구원에서 수행되었으며, Fig. 3과 4에 구축된 태양전지 발전 시스템과 식물공장시스템을 나타내었다. 태양전지 집



Fig. 3 Photovoltaic system for plant factory system.



Fig. 4 Plant factory system.

광판은 남향으로 45°의 각도로 설치되었으며, 연계 시스템을 통해 식물공장시스템으로 공급된다. 대상 식물은 엽상추이며, 35일 동안 1일 17시간 이상 조사하여 시간별 재배식물 성장과정을 살펴보았다. 양액은 노즐분사방식으로 식물 뿌리에 주기적으로 직접 분사하였다. 챔버 내 온도는 18 ~ 23℃로 유지하였으며, CO<sub>2</sub>를 별도로 공급하지 않았다.

### 3.2 결과

Fig. 5는 태양전지 발전 시스템의 1일 발전 경향을 나타낸 그래프로 09시부터 18시까지 누적발전량은 2,272 Wh(140kW급 태양전지 모듈 4개)이며, 12시에 발전량이 최대이다. 전압은 25 V 이하로 안정적인 전압으로 발전되었으며, 태양과 태양전지 집광판의 각도에 따라 전류 변화가 발생하고 있다.

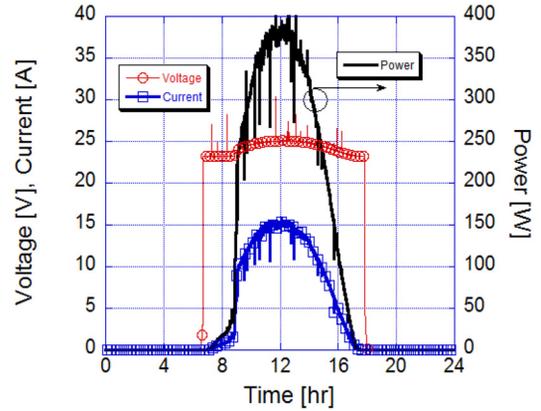


Fig. 5 The patten of electric power by photovoltaic system.

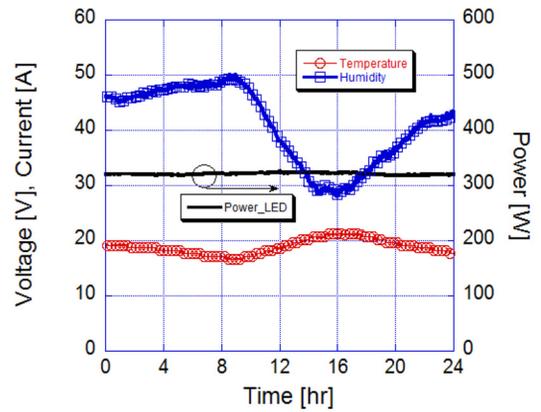
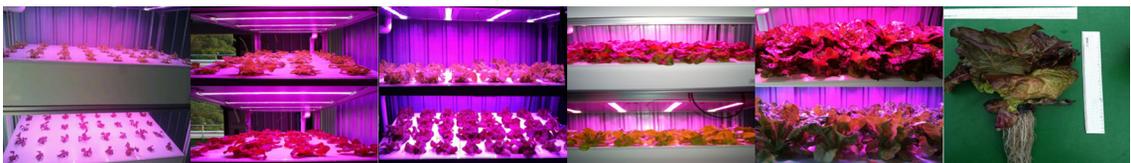


Fig. 6 The patten of electric power consumption of LED.



(a) 1 day (b) 5 days (c) 10 days (d) 15 days (e) 25 days (f) 35 days  
Fig. 7 Pictures of plant growth by plant factory system.

Fig. 6은 식물공장시스템의 LED 소요전력 및 온-습도 변화를 나타낸 그래프이다. 실내온도 18~23℃로 유지되고 있으며, 2단에 설치된 LED의 소요전력은 320 W임을 확인할 수 있었다.

Fig. 7은 제공받은 엽상추 육묘의 35일간 성장과정을 나타낸 사진이다. 전체적으로 균일한 성장이 이루어졌으나, 사각지대에서 정상적으로 성장되지 않음을 확인하였으며, LED 조명의 효과적인 배치가 필요한 것으로 판단된다.

#### 4. 결론

태양전지 시스템과 LED 조명을 연계한 가정용 식물공장 시스템을 개발하여 이에 대한 실증시험을 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 태양전지 발전시스템과 LED 간 연계한 가정용 식물공장 시스템을 개발하였으며, AC 전원으로 변환 없이 직접사용 가능하고 축전지를 이용하여 안정적인 전력공급이 가능하다.
- 2) 최대일조시간을 기준으로 한 설계 발전량 2,860 Wh이었으며, 태양전지 발전 시스템을 통한 1일 발전량은 실증시험 기간 중 최대 2,272 Wh이었다.
- 3) 제공받은 엽상추 육묘에 대한 성장과정을 관찰하였으며, LED 조명의 사각지대에서는 정상적인 성장이 이루어지지 않았다. 이를 해결하기 위해 LED 조명의 효과적인 배치가 필요한 것으로 판단된다.

#### References

- 1) Yeong-Cheol Um, Sang-Seok Oh, Jun-Gu Lee, Seung-Yu Kim and Yoon-Ah Jang, "The Development of Container-type Plant Factory and Growth of leafy Vegetables as Affected by Different Light Sources", Journal of Bio-Environment Control, Vol.19, NO.4, 333-342, 2010.
- 2) Technical Information Institute Co. LTD., "A plant factory business strategy and the latest cultivation technology", TIIC, Tokyo, Japan, 2009.
- 3) Prospect and Policy of Factory Plant, Korea Rural Economic Institute, 2013
- 4) In-Sung Jung, Seong-Hwan Kang, Bum-Su Lee and Jong-Il Kim, "Plant growth evaluation using a wavelength control LED system and the photovoltaic power", Korean Solar Energy Society, Vol. 33, No. 1, 124-129, 2013 Spring Annual Conference.
- 5) Shogo Kohraku and Kosuke Kurokawa, "A Fundamental experiment for discrete-wavelength LED solar simulator", Solar Energy Materials & Solar Cells, Vol. 90, 3364-3370, 2006.
- 6) Jun-Hwan Ahn, Sung-Mo Ku, Hun-Joong Kim, Young-Hun Kim and Chin-Woo Yi, "A study for properties of photovoltaic electric power LED lighting", The Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, 152-154, 2010 Spring Annual Conference.