

식물공장의 헬리오스탯을 이용한 태양광 추적성능 및 LED 균일광 조사

Solar Tracking Performance using a Heliostat and Uniform Irradiation of LED Light for a Plant Factory

구 경 완* · 김 태 진** · 김 영 식*** · 유 봉 조†
(Kyung-Wan Koo · Tae-Jin Kim · Youngshik Kim · Bong-Jo Ryu)

Abstract - This paper deals with the solar tracking performance using a small heliostat, the light reduction rate of the sun light, and the performance of uniform irradiation of LED light for a plant factory. A high precision encoder is attached to the heliostat to improve tracking accuracy. As a result, our heliostat-based solar tracking systems track efficiently the movement of the sun light in experimental tests. The reduction rate of the sun light in the plant factory is then measured by using an illumination sensor. The average reduction rate is 4.29%, which represents lower light reduction rates. In uniform irradiation tests of LED light, sixteen points are measured, and overall deviations of irradiation were within eight percents.

Key Words : Solar tracking performance, Heliostat, Plant factory, Light reduction rate, Uniform light irradiation of LED

1. 서 론

식물공장은 기후와 계절뿐만 아니라 기상이변의 영향을 받지 않고, 출하시기, 생산량, 가격 등을 정할 수 있고, 지역이나 토지에 구애받지 않고 단위면적당 생산량을 증가시킬 수 있어 최근 세계 각국의 각광을 받고 있으며, 재배환경을 조절하는 장치 뿐만 아니라 자동화 장치를 포함하고 있어 전기, 전자, 기계, 생명공학 등 공학의 제 분야의 융·복합기술로 구성된다. 국내외적으로 현재까지의 식물공장은 태양광만을 이용한다든지 아니면 인공광만을 이용하는 두가지 경우로서, 두 경우 모두 초기 설치비용과 유지비용이 많이 들기 때문에 경제성이 낮은 것으로 인식되어 왔다. 태양광을 이용할 경우 태양광 발전이나 집광을 위해 태양광 정밀 추적기술을 이용한 많은 연구가 이루어져 왔다[1-8]. 일반적으로 태양광 추적장치는 프리즘 방식, 렌즈-광케이블 방식, 반사거울 방식 등이 있는데 프리즘 방식은 건물 상단 외부에 채광기를 설치하고, 입사되는 태양광을 광 덕트로 전송하는 방법으로 유럽에서 가장 보편적으로 사용되는 시스템으로 2007년부터 국내에서 상용화되어 사용되고 있다. 렌즈-광케이블 방식은 추적형

태양광 시스템으로서 기존의 시스템 대비 고효율의 성능과 경량화 및 소형화를 실현한 기술로서 렌즈를 통해 집광된 빛을 광섬유를 사용하여 조명에 사용하는 방식으로 태양광을 집광하는 렌즈와 집광된 빛을 전송하는 광섬유로 구성된다. 집광 효율을 높이기 위해 태양광 추적 장치가 사용되며 태양의 방위각과 경사각을 모두 추적하는 2축 방식과 경사각만 추적하는 1축 방식이 있으며 광전송거리가 길고 시공이 편리한 장점이 있으나, 산란광 하에서는 사용이 불가능한 단점이 있다. 반사거울 방식은 2축 추적 장치를 사용하여 빛의 방향을 추적하게 되는데, 반사거울을 사용하여 별도 장치가 없이 빈 공간을 통해 빛을 전송시키는 시스템으로 거울은 평면 또는 곡면 형상을 가진 것이 사용된다. 반사거울은 1개를 사용하거나 여러 개를 사용하여 복합화 할 수도 있다.

위에 기술한 태양광 추적장치를 이용하여 태양광을 이용하는 식물공장은 달리, 최근에는 인공광과 태양광을 병행한 하이브리드형 식물공장에 대한 구상이 대두되고 있지만, 이를 적용한 연구는 현재까지는 없는 실정이다. 하이브리드형 식물공장은 주 간에는 헬리오스탯을 이용하여 태양광을 식물에게 비추어주고, 야간이나 흐린 날과 비오는 날과 같이 태양광 이용이 적절치 않은 경우에는 LED를 이용한 인공광을 식물에게 비추어 줌으로써 식물의 지속적인 성장을 촉진하는 시스템이다. 또한, 이 시스템은 태양광을 이용할 경우는 태양광을 정밀 추적 제어하는 기술을 필요로 하게 되고, 인공광을 이용할 경우는 균일광 조사 시스템이 필요하게 되는데, 이러한 인공광 중의 하나인 LED만을 이용한 식물공장에 대한 연구들도 이루어져 왔다[9-11]. 본 논문에서는 태양광과 인공광을 병행한 하이브리드형 컨테이너 식물공장에 있어서, 첫째, 엔코더를 갖는 소형 헬리오스탯을 이용한 태양광 정

† Corresponding Author : Dept. of Mechanical Engineering
Hanbat National University, Korea

E-mail : bjryu701@hanbat.ac.kr

* Dept. of Defense Science Technology, Hoseo University, Korea

** Smartsystec Inc., Korea

*** Dept. of Mechanical Engineering, Hanbat National University, Korea

Received : October 7, 2015; Accepted : November 16, 2015

밀 추적장치의 성능, 둘째, 태양광 빛 감쇠율 저감 기술, 셋째, LED 균일 광 조사 성능을 연구한다.

2. 본 론

2.1 태양광 추적 시스템

식물공장의 5대 핵심기술 중의 한 가지는 빛(Light)이다. 본 논문에서는 LED를 이용한 인공광과 태양광을 병행하여 사용할 수 있는 식물공장을 설계하였으며, 태양광 추적 시스템은 식물공장에 있어 가장 핵심적인 기술이다. 헬리오스탯(heliostat)은 거울을 사용하여 태양광을 반사시키는 장치로, 발전이 가능한 중앙 타워에 태양광을 집광함으로써 전력을 발생시키는데 사용하거나 혹은 건물내부의 그늘 혹은 어두운 곳을 비추는 자연채광에 사용된다. 대형 거울면을 갖는 헬리오스탯의 경우, 헬리오스탯의 견고한 고정을 위해 정확한 방향을 고려한 안정한 위치에 구조물을 설치하고, 구동모터는 서보(servo)급을 사용하는데, 높은 감속비를 갖는 기어박스와 작동을 피드백하기 위한 정밀 엔코더가 설치된 구조이다. 본 논문의 헬리오스탯은 소형건물이나 주택의 옥상 등에 간단히 설치할 수 있는 구조로 제작되어 자연채광에 적용하기 위한 소형의 거울 면을 지닌 제품이다. 소형 헬리오스탯의 기구 작동부는 CCTV 등에 사용되는 펜-틸트 구조를 개조한 것으로 방위각과 고도각의 작동이 가능하도록 개발되었다. 헬리오스탯은 자동제어를 통해 자연채광을 위한 목표점으로 태양의 움직임에 따라 태양광을 일정하게 반사한다. 목표점에 헬리오스탯으로 반사되는 반사광이 모아지면 이 반사광을 건물 내부로 다시 반사시키는 2차 거울, 광 덕트(light duct)나 광 파이프 등을 이용하여 건물내부에서 자연채광이 가능하게 된다. 소형 헬리오스탯은 소형 건물이나 주택에 설치가 용이한 작은 규모의 구조로서 저가화를 고려하여 개발된 것이다. 초기에 개발 제작된 소형 헬리오스탯에서는 엔코더를 부착하지 않아 기어와 벨트로 구성된 기구부에서 감속비가 높아 헬리오스탯의 미세구동에 대해 기구의 오차

로 인해 작동오차가 누적되는 문제가 발생하였다. 본 논문의 소형 헬리오스탯은 소형의 정밀 엔코더를 설치하여 이러한 누적오차의 문제점을 차단하고자 하였으며, <그림 1>은 개발한 소형 헬리오스탯을 보여주고 있다.

자연채광을 위한 소형 헬리오스탯은 건물의 주차장, 지하실, 반지하실과 같은 그늘진 공간으로 자연광의 이동경로를 구성하여 인공광을 대체하고 건물내에 거주하는 사람의 건강과 주거환경 개선을 목표로 개발되고 있다. 인공광이 있어야 거주가 가능한 곳에 헬리오스탯을 설치하면 전력손실을 감소시키는 효과가 있으며, 주야의 사이클에 따라 사람의 활동을 자연스럽게 유지하게 되어 심리적인 안정에도 도움을 주게 되고, 병원이나 화장실과 같이 미생물 활동이 많은 구역에는 태양광에 포함된 자외선에 의한 살균 역할도 할 수 있다. 태양을 추적하는 헬리오스탯의 구동에 대해서는 다양한 연구가 이루어지고 있는데, 대부분 기본적인 태양추적 방법은 동일하기 때문에 헬리오스탯의 설치오차, 기구 오차 등을 고려한 제어방법에 대한 연구가 주로 이루어지고 있다. 본 논문의 소형 헬리오스탯은 식물공장이나 소형 주택 공간에 설치하는 헬리오스탯을 대상으로 하고 있어, 설치오차 등에 대한 영향은 있을 수 있다. 따라서 태양광을 목표위치로 반사시키기 위해 목표위치에도 광의 방향을 확인하기 위한 센서를 설치하였으며, 계절과 시간 조건에 따른 광의 변화와 이를 유지시키기 위한 방법을 시뮬레이션으로 확인하였다.

본 논문의 소형 헬리오스탯은 <그림 2~그림 3>에서와 같이 기구부 아래쪽으로 전원과 신호선이 연결되어 있고, 고도각과 방위각 방향으로 회전하는 상부로는 슬립링(slip ring)을 통해 전원과 신호선이 연결되어 있다. 소형 헬리오스탯의 거울면을 통하여 목표지점으로 광원을 보내는 것은 목표지점까지의 거리를 고려하여야 한다. 즉 100m 거리에 목표가 있다면, 미소한 각도변화가 발생하더라도 목표지점으로 광원을 위치시키기 어렵기 때문이다. 다만 본 연구의 소형 헬리오스탯의 경우는 10m 이내의 거리를 고려하여 제어하지만, 효율적으로 광원을 확보하기 위해 목표지점에 원형의 센서를 설치하였다. 하루 중 태양의 위치변화는 광원의 반사각도 차이가 있어 반사되는 광원의 형태가 달라진다.



그림 1 소형 헬리오스탯
Fig. 1 A small size heliostat

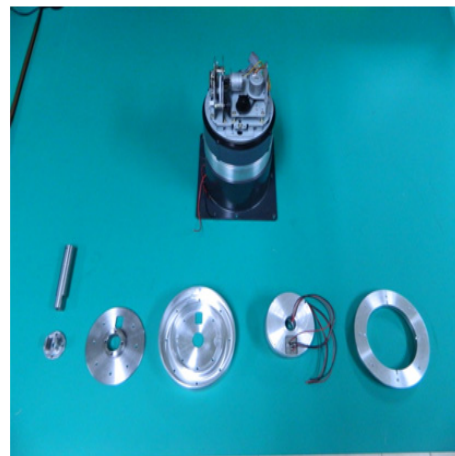


그림 2 소형 헬리오스탯의 기구부와 슬립링
Fig. 2 Machinery part and slip ring of a mini heliostat

〈그림 4〉는 소형 헬리오스탯의 반사 메커니즘을 보여주고 있는 그림이다.

〈그림 5〉와 같이 목표지점에 설치한 센서는 기구부의 구동오차와 태양추적 알고리즘의 계산오차에 의해 태양추적의 어려움이 발생하는 경우를 대비한 것으로 센서는 반사거울의 반사광이 지향하는 방향에 수직으로 설치하였다. 센서의 배치는 원형으로 배치되어 있으며, 각 센서의 위치에서 광원에 반응하는 신호에 따라 반사광의 방향을 확인할 수 있다. 즉 센서의 반응을 확인하여

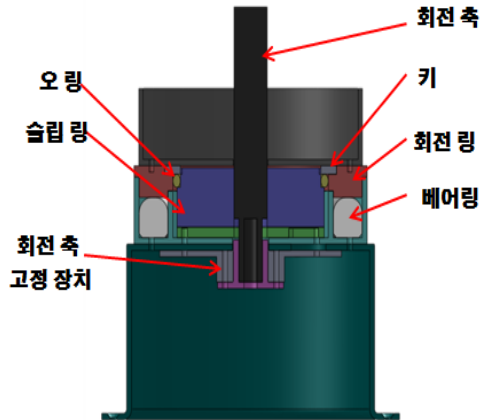


그림 3 슬립링 배치 형상

Fig. 3 Arrangement configuration of a slip ring

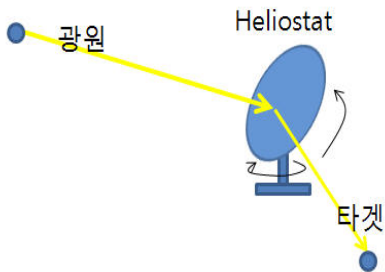


그림 4 헬리오스탯에 의한 반사

Fig. 4 Reflection of a heliostat

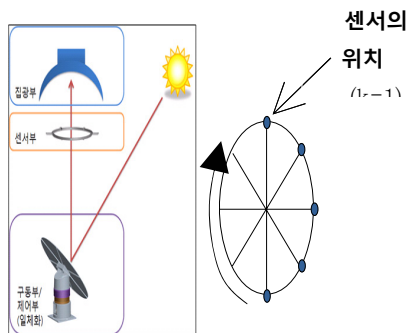


그림 5 센서의 배치와 위치

Fig. 5 Arrangement and position of the sensor

각 위치에서의 벡터 합을 고려하면 광원이 목표의 중심에서 벗어난 정도를 알 수 있어 광원의 방향을 미세 제어하게 된다.

이와 같은 미세 정밀제어를 위해서는 센서와 소형 헬리오스탯의 설치위치가 중요한 요소로 작용한다. 센서가 설치되는 목표지점은 태양이라는 광원의 이동 범위를 고려하여 가능한 남쪽으로 선정해야 광원의 형상이나 채광이 가능한 시간측면에서 가장 효율적이다. 소형 헬리오스탯 또한 기구의 정면이 정남쪽을 향하도록 설치해야 구동범위를 벗어나지 않고 태양을 추적할 수 있다. 소형 헬리오스탯은 원형 거울을 사용하므로 목표지점에 도달하는 광원의 형상은 태양의 방위각과 고도각의 변화에 따라 타원이 된다. 목표지점이 정남쪽에 있다고 가정하고 계절 별로 광원의 형상을 시뮬레이션 하면, 고도가 낮을수록 원형에 가까운 형상을 가지며, 동지 절기에 가장 원형에 가까운 타원이 된다. 〈그림 6~그림 8〉에 절기 변화에 따른 광원 궤적의 시뮬레이션 결과를 1 시간마다 광원 형상의 색상을 변경하여 나타내었다. 〈그림 6〉은 춘추분 시의 광원궤적을 시뮬레이션 한 것으로 하지와 동지의 중간정도의 궤적 면적을 나타낸다.

〈그림 7~그림 8〉에서와 같이 광원의 형상에 따라 하지에 가까울수록 채광가능한 면적은 좁지만 긴 시간 동안 이용 가능하고, 동시에 가까울수록 면적은 넓지만 하지보다 짧은 시간만 사용 가능하다. 시뮬레이션을 통하여 광원의 반사형상을 확인 할 수 있

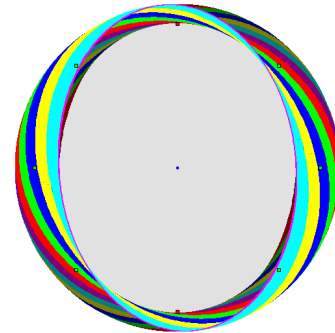


그림 6 춘추분의 광원 궤적

Fig. 6 Light source locus of the vernal and the autumnal solstice

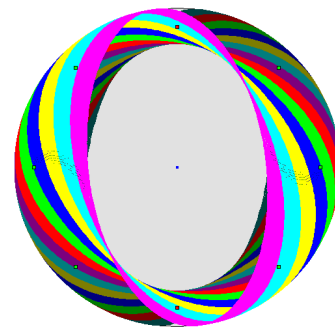


그림 7 하지의 광원 궤적

Fig. 7 Light source locus of the summer solstice

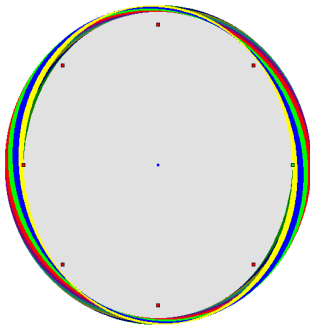


그림 8 동지의 광원 궤적
Fig. 8 Light source locus of the winter solstice

였기 때문에, 반사광의 목표방향을 예측할 수 있어 좀 더 안정적으로 헬리오스탯을 제어할 수 있게 된다.

2.2 태양광 추적 시스템 성능 시험

태양광 추적 시스템의 성능검사는 시험 대상 품 성능시험 절차에 따라 초기화 시험, 통신시험, 센서를 통한 방위각 및 고도각의 계산 값에 대한 오차를 측정하고 태양광 추적 장치의 기본적인 이상 유무를 확인하였다. 태양광 추적 시스템의 성능 시험은 다음과 같은 절차를 진행하였다. 첫째 진북 방향으로 태양광 추적 장치인 헬리오스탯 4대를 외부에 설치한다. 둘째, 전원공급기 및 Pxie PC는 식물공장 내부에 설치하고 관련 케이블을 연결한다. 셋째, <그림 9>와 같은 성능시험 구성도로 연결되었는지 확인한다. 넷째, 태양광 추적 프로그램을 구동시킨다. 다섯째, 초기화 검사 및 5분 간격으로 성적서에 방위각 및 고도각 설정 값과 확인 값을 작성한다. 태양광 추적시스템의 성능확인 시험을 위한 장치의 구성은 <그림 9>와 같이 헬리오스탯 장비 4대와 태양광 추적 프로그램이 내장되어 있는 PC가 필요하다. <그림 10>은 헬리오스탯 4대 각각의 성능 실험을 한 결과 그래프이다.

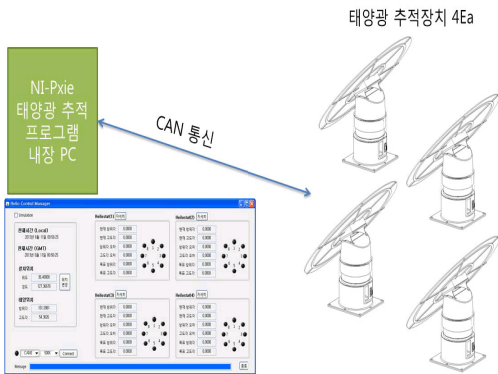


그림 9 태양광 추적시스템의 성능시험 구성도
Fig. 9 Schematic diagram of performance tests for the solar tracking system

태양광 추적 시스템 성능 시험은 고도각(elevation angle)과 방위각(azimuth angle)을 헬리오스탯이 잘 추적하고 있는지를 알아보기 위한 시험이다. <그림 10>은 태양광 추적 시스템 성능 시험결과를 보여주고 있으며, 타겟(target)이라고 표시된 청색선과 현재(current)를 나타내는 적색선은 각각 태양의 실제 움직임과 헬리오스탯의 움직임을 표시한 선이다. 가로 축은 시간 축으로 5분 간격으로 되어있고, 세로 축은 고도각과 방위각을 나타낸다. 각 실험마다 두 개의 그래프가 나타나게 되는데, 위의 그래프는 고도각을 나타내며, 아래 그래프는 방위각을 나타낸다. 각 그래프에 나타난 바와 같이 헬리오스탯 장비가 태양의 움직임을 거의 유사하게 추적하여 움직이는 것을 볼 수 있다. 즉 4대의 헬리오스탯 장비가 모두 일정하게 태양을 잘 추적하고 있음을 알 수 있었다.

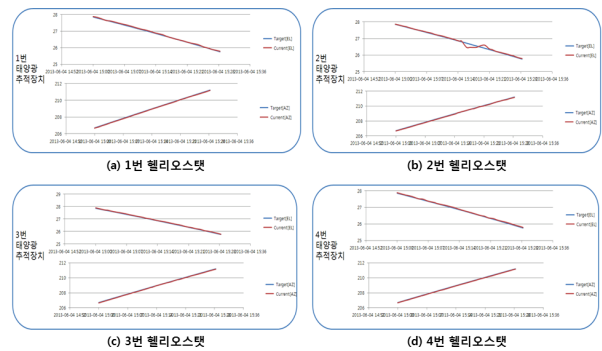


그림 10 태양광 추적시스템의 성능시험 구성도
(a) 1번 헬리오스탯, (b) 2번 헬리오스탯
(c) 3번 헬리오스탯, (d) 4번 헬리오스탯

Fig. 10 Schematic diagram of performance tests for the solar tracking system

(a) Number 1 heliostat, (b) Number 2 heliostat
(c) Number 3 heliostat, (d) Number 4 heliostat

2.3 태양광의 빛 감쇠율 성능 시험

태양광의 빛 감쇠율 성능 시험은 태양광을 헬리오스탯에서 반사시켜 식물공장 컨테이너 재배선반의 작물이 받은 빛이 재배선반의 상단부와 하단부에 어떤 조도 차이를 보이는지를 확인하기 위한 것이다. 즉, 태양광을 작물에 비추어 주는데 재배선반 상단부는 많이 받고 하단부는 적게 받게 되면 작물의 생장 차이로 인하여 작물 수확이 고르지 못할 수 있으므로 균일하고 일정한 광원을 작물에 주고 있는지를 알아보기 위한 시험이다. 재배선반은 3개의 단으로 제작되었으며, 단별로 자동적으로 미끄러짐(sliding)이 가능하여 주간에는 슬라이딩 되고, 흐린 날이나 비오는 날 그리고 야간에는 슬라이딩 되지 않고 재배선반 3개 모두 수직으로 있게 된다. 태양광의 빛 감쇠율 성능 시험을 위해 재배선반을 슬라이딩시켜두고, 상단, 중단, 하단 선반의 빛을 조도 센서를 통해 측정하였다. 재배선반의 상단과 하단의 거리는 1(m)이다. <표 1>은 조도센서에 의해 조도를 측정한 값이며, 이 측정

표 1 태양광 빛 감쇠율

Table 1 Light reduction rate of the sun light

	Measurement positions		Reduction rate(%/m)
	Upper part of cultivation shelves	Lower part of cultivation shelves	
Measurement values (Lux)	551	527	4.36
	552	530	3.98
	550	525	4.54
Average light reduction rate of the sun light			4.29

값은 재배선반 상단과 하단의 조도 측정을 3회하여 평균 빛 감쇠율을 나타내었으며, 빛 감쇠율은 약 4.29%/m 값으로서 비교적 빛 감쇠율이 작음을 알 수 있었다. <그림 11>은 조도를 측정하는 광경을 나타낸다.

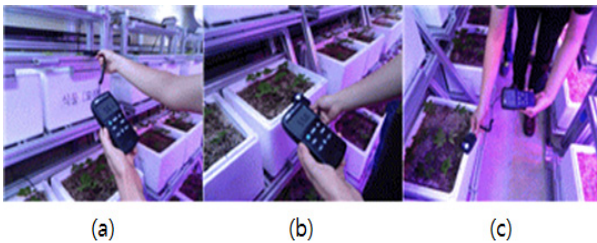


그림 11 재배 선반의 위치에 따른 조도 측정
(a) 선반 상단, (b) 선반 중단, (c) 선반 하단

Fig. 11 Illumination measurement depending on the position of cultivation shelves
(a) Upper part of the shelf, (b) Middle part of the shelf, (c) Lower part of the shelf

2.4 LED를 이용한 인공광의 균일광 조사 성능검사

일반 온실에서는 특별한 이상기후가 아니면 태양광의 빛을 이용하여 충분한 광에너지를 흡수할 수 있다. 그러나 컨테이너 식물공장의 다층 재배인 경우는 태양광으로 식물재배에 충분한 광량을 확보하기가 어렵다. 이러한 이유로 식물재배에 충분한 광을 확보하기 위해서는 인공광을 이용하여야 하는데 고압 나트륨 조명 등은 열 발생이 많아 다층 재배에 사용할 경우 조명장치 위에 있는 식물은 고온 피해를 받기 쉽다. 따라서 열 발생이 적은 LED 조명을 사용하면 이러한 문제를 해결할 수 있을 것으로 판단되었다. LED 조명은 파장 폭이 작고 단색광이므로 식물재배에 쉽게 사용할 수 있다. 또한 식물의 광합성에 필요한 파장만을 갖는 단색광으로 특정파장의 광질 선택이 가능하다. 본 논문의 식물재배에는 광합성에 효과가 있는 적색(660nm), 청색(450nm) 2 종류의 파장대를 사용하였으며, LED 조명 제품을 소형화 하여

비교적 좁은 공간에서도 활용할 수 있도록 하였고, 전력소모량이 적어 경제적이고 열선을 방사하지 않으며 수명은 반영구적이라고 할 수가 있다. LED를 이용한 인공광은 야간에만 이용하는 것이 아니라 기상변화에 따라 사용할 수 있다. 예를들어 비가 오거나, 눈이 내리거나 하는 등의 곳은 날씨에도 이 인공광을 이용하여 식물의 성장을 촉진시킬 수 있다.

LED의 균일광 성능확인 시험을 위해 <그림 12>와 같이 균일광 조사를 위한 시험 지그를 제작하였으며, <그림 13>은 LED 균



그림 12 LED 균일광 조사 시험을 위한 시험지그
Fig. 12 Test zig for uniform light irradiation tests of LED

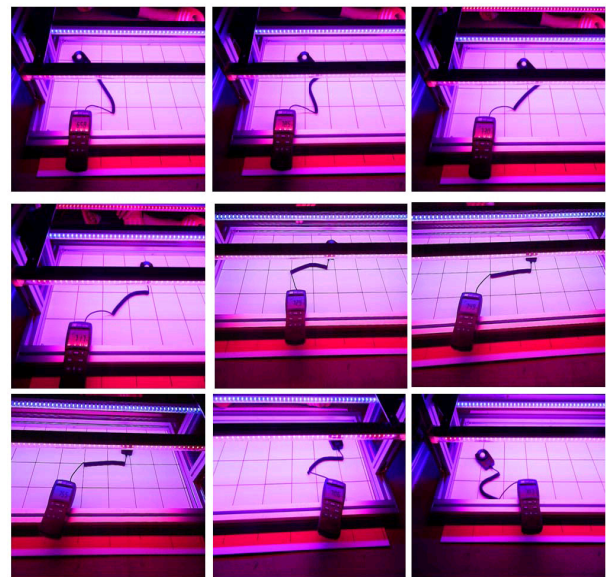


그림 13 조도센서를 이용한 균일광 조사 시험 광경
Fig. 13 A view of uniform light irradiation tests using illumination sensor

일광 조사 시험 광경을 보여준다. 시험 지그에 전원을 연결하여 LED를 켜 다음에 조도 센서를 이용하여 16개 포인트를 측정하여 평균값을 구하였으며, 이를 <표 2>에 나타내었다. 전체적인 편차는 약 7.07%로 비교적 균일광 조사가 잘 이루어지고 있음을 알 수 있었다.

표 2 LED의 조도 측정 값

Table 2 Illumination measurement values of LED

Illumination values of LED (Lux)				Overall deviation (%)
658	785	730	717	7.07%
729	749	755	706	
703	725	753	730	
718	736	714	705	

3. 결 론

식물공장의 헬리오스탯을 이용한 태양광 추적성능 및 LED 균일광 조사 시험을 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

첫째, 태양광 정밀추적을 위해 엔코더가 부착된 소형 헬리오스탯을 개발하였으며, 태양광 추적 시스템 성능시험 결과 센서와 엔코더에 의해 4대의 헬리오스탯 장비가 모두 일정하게 태양을 잘 추적하고 있음을 알 수 있었다.

둘째, 태양광의 빛 감쇠율 성능 시험을 통해, 태양광을 헬리오스탯에서 반사시켜 컨테이너 식물공장 3단(상단, 중단, 하단) 재배선반의 빛 감쇠율은 평균 4.29(%/m)로서 비교적 낮은 감쇠율을 보였다.

셋째, 식물공장 재배선반의 LED 균일광 조사 시험을 위한 시험지그를 개발하였으며, 조도센서를 이용한 균일광 조사 시험결과 전반적 편차는 약 7.07%로 비교적 균일광 조사가 잘 이루어지고 있음을 알 수 있었다.

References

[1] J. S. An, N. E. Heo, I. H. Kim, "Design of Sun Tracker System for Solar Power Generation", Proceedings of the KIEE CICS Conference, pp. 330-332, 2006.
 [2] B. G. Min, B. H. Kim, Y. J. Lim, Y. O. Choi, G. B. Cho, H. L. Baek and S. W. Kim, "Solar Tracking System by One-Sensor Type", Proceedings of the KIEE EMECS Autumn Annual Conference, pp.180-181, 2008.

[3] M. G. Jang, J. S. Ko, J. S. Choi, J. W. Back, S. J. Kang and D. H. Chung, "Comparison Study of PV Tracking System with Sensor and Program Method", Proceedings of the KIEE Spring Conference, pp. 222-224, 2009.
 [4] S.J. Oh, Y. S. Cho, Y. J. Lee and W. G. Chun, "Development of the Solar Tracking System with High Accuracy by using LabView", Proceedings of the Korean Solar Energy Society Spring Annual Conference, Vol. 29, No. 1, pp. 31-36, 2009.
 [5] J. S. Choi J. S. Ko and D. H. Chung, "Development of a Novel Tracking for Efficiency Improvement of PV System with Sensor Method" The Transactions of The Korean Institute Electrical Engineers, Vol. 59, No. 10, pp. 1823-1831, 2010.
 [6] M. H. Seo, Y. S. Kim, J. W. Hong, H. J. Lee, S. K. Park and S. H. Kim, "Research of the PV Tracking System", Journal of the Korea Academia Industrial Cooperation Society, Vol. 11, No. 8, pp. 2951-2957, 2010.
 [7] J. H. Han, S. C. Ryu, J. H. Yoon, J. H. Jung, B. J. Kim and S. K. Park, "A Study for the Passive Daylighting using the Various Shapes of the Reflectors and Arrays", Proceedings of the Korean Solar Energy Society Autumn Annual Conference, Vol. 30, No. 2, pp. 295-302, 2010.
 [8] K. S. Kim, G. H. Kang, G. J. Yu and S. G. Yoon, "Performance Measurement Method of Several Types of Photovoltaic Module Depending on Efficiency", Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 31, No. 1, pp. 93-99, 2011.
 [9] Y. K. Choo, M. J. Kim, D. K. Ryu and S. O. Chung, "Study on Propose of Optimum Light about Plant Factory LED Layout", Proceedings of the Korea Society for Agricultural Machinery Autumn Annual Conference, Vol. 18, No. 2, pp. 107-108, 2013.
 [10] S. J. Kwak, S. K. Lee, E. J. Kwak, J. W. Han, S. K. Lee, T. H. Kang and W. Kim, "Growth Characteristics of Lettuce by Different Intensity of Light Source with UV LED in Plant Factory", Proceedings of the Korea Society for Agricultural Machinery Autumn Annual Conference, Vol. 19, No. 2, pp. 175-176, 2014.
 [11] J. W. Han, T. H. Kang, and S. K. Lee, Chung Su Han and Woong Kim, "System Design and Performance Analysis of a Variable Frequency LED Light System for Plant Factory", Journal of Biosystems Engineering, Vol. 39, No. 2, pp. 87-95, 2014.

저 자 소 개



구 경 완 (Kyung-Wan Koo)

1961년 2월 5일생. 1983년 충남대학교 전자공학과 졸업(학사). 1992년 동 대학원 전자공학과 졸업(박사). 1987년 현대전자 반도체연구소 선임연구원. 1994년~2005년 영동대학교 전자·정보공학부 부교수. 2005년~현재 호서대학교 국방과학기술학과 교수.

Tel: 041-540-9541

Fax: 041-540-9548

E-mail : alarmkoo@hoseo.edu



김 태 진 (Tae-Jin Kim)

1967년 1월 20일생. 1989년 2월 부산대학교 기계설계공학과 졸업(학사). 1991년 2월 동 대학원 기계설공학과 졸업(석사). 1991년~2011년 국방과학연구소. 2012년~현재 스마트시스텍 대표.

Tel : 042-936-5923

E-mail : tj5777@smartsystec.kr



김 영 식 (Youngshik Kim)

2003년 5월 : University of Utah, 대학원 기계공학과 (석사). 2008년 8월 : University of Utah, 대학원 기계공학과 (박사). 2009년 11월~2011년 1월 : DGIST 선임연구원. 2011년 2월~현재 : 한밭대학교 기계공학과 교수

Tel : 042-821-1163

E-mail : youngshik@hanbat.ac.kr



유 봉 조 (Bong-Jo Ryu)

1959년 11월 19일생. 1981년 2월 연세대학교 기계공학과 졸업(학사). 1988년 2월 동 대학원 기계공학과 졸업(박사). 1992년~1992년 오사카부립대학 항공우주공학과 객원교수. 1989년 7월~현재 한밭대학교 기계공학과 교수

Tel : 042-821-1159

E-mail : bjryu701@hanbat.ac.kr