

발광 다이오드(LED)를 이용한 대형 태양전지 패널 평가용 인공 태양광 구성

정광교¹, 김주현¹, 류재준¹, 이석환¹, 고영수¹, 허 산¹, 문성득¹, 이승현¹,
김동현¹, 장미나¹, 김정미¹, 구지은¹, 장지호^{1,a}

¹ 한국해양대학교 나노반도체공학과

Fabrication of LED Solar Simulator for the Evaluation of Large Solar Panel

Kwang-kyo Jung¹, Joo-hyun Kim¹, Jae-jun Ryu¹, Seok-hwan Lee¹, Young-soo Ko¹,
San Huh¹, Sung-Deuk Moon¹, Seung-hyun Lee¹, Dong-hyun Kim¹, Mi-na Jang¹,
Jeong-mi Kim¹, Ji-eun Koo¹, and Ji-ho Chang^{1,a}

¹ Department of Nano-semiconductor, National Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

(Received July 11, 2012; Revised August 17, 2012; Accepted August 24, 2012)

Abstract: We developed a new solar simulator to evaluate a large-scale solar cell using seven kinds of LEDs (Infrared, Red, Yellow, Green, Blue, White and Ultra Violet LED). LED solar simulator can be displaced the existing solar simulator which has several demerits such as high power consumption and short lifetime. We have tried to fabricate LED solar simulator which fulfills the spectrum for AM 1.5G condition, and to verify the feasibility of LED solar simulator.

Keywords: LED, Solar cell simulator

1. 서 론

태양전지 산업은 환경 문제와 에너지 문제의 해결 방안으로 주목을 받으며 태양전지 생산량도 급속도로 증대되어 산업적 중요성도 높아지고 있다. 태양전지를 생산, 상용화하기 위해 태양전지의 성능 평가가 필수적이다. 하지만 태양전지의 성능은 일조량 등에 따라서 변화하므로, 성능 평가는 인공광원을 이용하여, 규격화 된 광 조사 조건을 구현하고 실시하게 된다. 이를 위한 인공조명 (인공 태양광)을 솔라 시뮬레이터라고 한다. 태양전지 평가에 사용되는 모든 인공

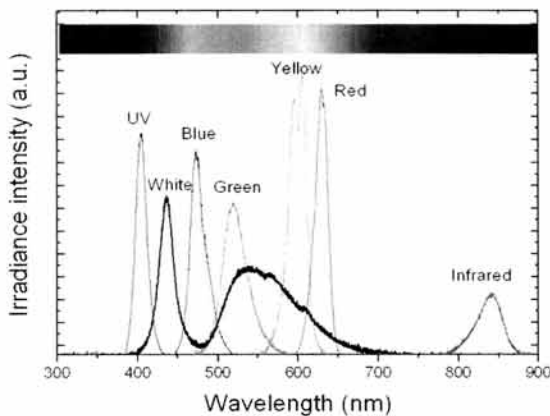
태양광은 IEC (international electrotechnical commission)에서 제정한 AM1.5G 태양광 기준에 부합하여야 한다 [1-3]. 인공 태양광을 사용하는 솔라 시뮬레이터의 핵심 기술은 광원의 분광 특성을 이용하여 파장대별 광도 영역을 $\pm 25\%$, 방사 조도의 균일도를 $\pm 2\%$, 광안정도를 $\pm 2\%$ 일치하는 것이다. 기존의 솔라 시뮬레이터는 인공 태양광으로 제논 램프와 할로겐램프를 사용한다. 하지만 이런 광원은 비교적 넓은 발광 스펙트럼과 충분한 광량을 얻을 수 있지만 스펙트럼의 관점에서는 태양광의 스펙트럼은 차이가 있고, 수명도 제한적인 실정이다 [4].

본 연구는 발광다이오드 (light emitting diode, LED)를 광원으로 하여 인공태양광의 필수 조건을 만

a. Corresponding author: jiho_chang@hhu.ac.kr

Table 1. Specification and characteristics of LED.

Color	Peak Position [nm]	Illuminance [lm/, lx]	Directivity [deg]	Total Forward Current [I _F , mA]	Total Forward Voltage [V _F , V]
White	464.8	1,500	30	20	3.4
Green	508.8	1,100	30	20	3.4
Yellow	579.6	5,000	30	20	2.3
Blue	460.9	200	30	20	3.4
Red	659.3	420	30	20	2.3
Infrared	859.7	40	30	20	1.5
Ultra Violet	377.7	70	30	20	3.4

**Fig. 1.** Spectra of various LEDs used for the LED-solar simulator.

족하며 기존 광원보다 긴 수명과 낮은 전력소비를 가지는 태양광 시뮬레이터용 광원의 개발 가능성을 알아볼 목적으로 연구를 진행하였다.

2. 실험 방법

본 논문에서는 기존의 태양전지 측정을 위해 LED를 이용한 솔라시뮬레이터를 제작하였으며, 표 1에 정리한 것 같이 7가지 서로 다른 파장의 LED를 혼용하였다. 먼저 표 1에 정리한 바와 같이 각 LED별로 스펙트로미터 및 조도계를 사용하여 기본 파장대별 강도를 측정하였다. 그림 1은 본 실험에서 측정된 각각의 LED 스펙트럼 결과를 보여준다. 이렇게 얻어진 결과를 표준광원의 파장별 상대강도와 비교하여 유사수준으로 구현되도록 하여 AM 1.5G조건에 더 부합하는 스펙트럼을 구현하는 방법을 사용하였다.

또한 넓은 조사면적을 구현하기 위하여 그림 2에서 보이듯이 각 파장별로 24개 씩, 총 168개의 LED를

사용하여 가로 13 cm, 세로 9 cm의 LED 인공 태양광을 구현하였다. 이는 더 넓은 면적으로 확장이 가능한 최적화된 형태로 구성하였다. LED인공 태양의 전원 공급 장치는 리니어 방식에 비해서 효율이 높고 내구성이 강하며 소형, 경량화에 유리한 SMPS (switch mode power supply) 방식을 사용하였고, LED의 발광 강도는 가변저항을 사용하여 조절하였다.

3. 결과 및 고찰

본 연구에서 제작된 LED 인공 태양광은 6.22인치 of 판넬 형태이다. 이는 6인치 이상의 대형 태양전지 모듈의 경우도 측정이 가능한 면적으로 더 넓은 면적으로도 구현이 가능하다. 솔라시뮬레이터로 사용될 인공 태양광 제작을 위해서는 우선 IEC에서 제시한 AM 1.5G 기준을 구현해야 한다. 본 연구에서는 AM 1.5G 표준 광원 파장 스펙트럼을 구현할 목적으로 실험을 진행하였고, 이를 위하여 각각의 LED 발광강도를 해당 파장 별로 조정하였다. 그 결과, 그림 3에서 보이는 것 같이 LED 램프를 광원으로 이용한 경우에도 용이하게 AM 1.5G 표준 광원 스펙트럼과 유사한 스펙트럼이 구현됨을 확인하였다.

하지만 이러한 점 이외에도 몇 가지 측면을 고려해야 한다. 기존의 광원은 하나의 점광원에서 충분한 광출력을 갖는 동일 스펙트럼의 빛이 방사되므로 적절한 배광 장치를 통해 필요한 면적 내에 비교적 균일한 조사가 가능하다. LED는 지향성이 있는 광원으로, 측정을 위해서 필요한 면적 전체에 균일한 광 분포를 형성하는 것이 상대적으로 곤란하다는 점이 그것이다.

따라서 측정을 위한 면적 내에 균일한 광 분포를 얻기 위해서는 LED 소자를 적절한 간격으로 배치해야 하고, 이 경우에도 LED의 지향성과 광 출력 등을 고려해서 LED소자의 균일한 광 분포를 얻기 위한 거리와

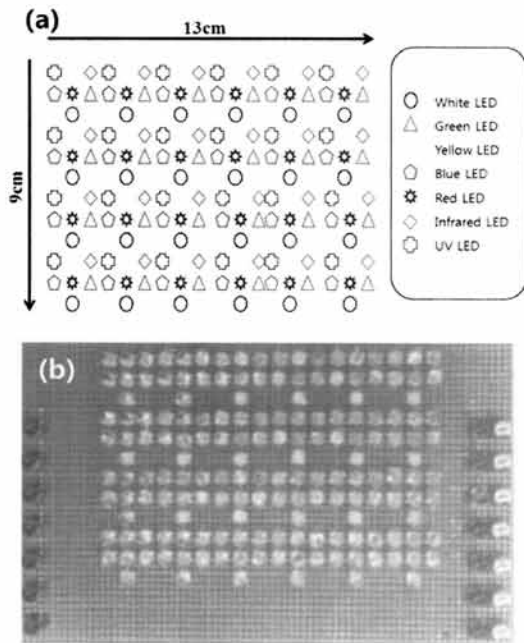


Fig. 2. (a) Schematic illustration of LEDs arrangement, (b) photograph of LED solar simulator.

소자의 배치 간격에 대한 검토가 필요하다.

또 하나의 고려할 점은 LED소자는 다양한 발광스펙트럼 구현하기 위해서는 적합한 재료가 달라지게 되고, 이러한 점 때문에 소자별 적정 구동조건에서 (구동전류, 구동전압) 얻어지는 광 출력이 서로 상이하다. 일반적으로 파장이 짧아질수록 LED의 구동전압이 높고, 반대로 파장이 길어지면 구동전압이 낮아진다. 또한 청색이나 적색 계열의 LED는 고출력을 얻을 수 있는 제품이 상용화되어 있지만, 녹색계열의 LED는 상대적으로 고출력 제품을 얻을 수 없다.

이러한 점을 고려할 때, 특정 파장을 갖는 LED를 여러 개 사용하여야 다른 파장의 LED와 스펙트럼 균형이 얻어지는 현상이 발생하기 때문에, LED인공태양광을 구현하기 위해서 LED 소자의 배치는 다각적인 검토를 필요로 하는 인자라는 점을 알 수 있다. 따라서 백색광 LED의 경우는 단파장 LED 보다는 넓은 발광 스펙트럼을 가져 인공태양광 구현에 적합할 것으로 보이지만, 그림 1에서의 백색광 LED 스펙트럼을 통해 알 수 있듯이, 480 nm 부근과 590 nm 부근의 발광이 주로 이루어져 인공 태양광에서 요구되는 넓은 영역의 발광 스펙트럼을 구현하는데 차이가 있음을 알 수 있다.

본 연구에서는 인공 태양광을 구현하기 위해서 그림 2처럼 기판 위에 적색, 녹색, 청색 소자를 중심으

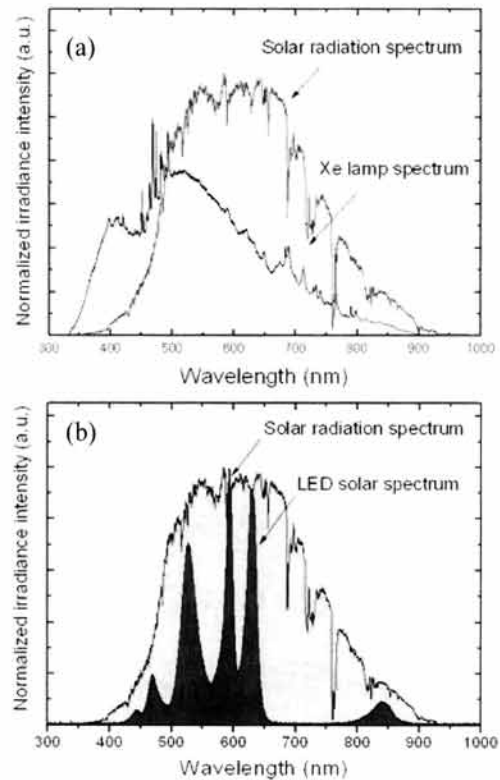


Fig. 3. (a) Spectra of Xenon lamp and sun light (AM 1.5G), (b) spectrum of LED solar simulator (filled in red) and sun light (filled in yellow).

로 하고 그 주위에 나머지 색 LED를 배열하는 방법을 선택하였다. 전술한 바와 같이 이 배열은 광원으로 부터 태양전지 모듈까지의 거리와 빛이 조사되어야 하는 면적 내에 구현되는 균일도를 고려하였으며, 이는 실험을 통해 구현한 것으로 유사 연구에서 다른 형태의 배열이 최적일 가능성은 배제할 수 없다. 또한 LED 소자의 배치를 결정하고 구동 회로를 검토하여 결정하였으며, 동일한 색의 LED 소자를 계열별로 제어할 수 있도록 하였다. 그 이유도 앞서 설명한 바와 같이 각 LED마다 광 출력량을 서로 다르게 조절할 필요가 있기 때문이다. 전체 광 출력량은 LED 판넬에서 15 cm 정도 떨어진 위치에서 확인한 스펙트럼이 인공 태양광 스펙트럼과 얼마나 합치되는가를 판단하여 조정하였다.

마지막으로 전체 전원은 SMPS를 사용하여 공급하였다. 또한 조사면적 내의 균일도를 높이기 위해서 LED 배치된 광원 앞에 산란판을 설치하여 배광의 균일도를 높이는 방법을 사용하였으며, 필요한 광 출력은 산란판을 통과한 광을 기준으로 결정하였다.

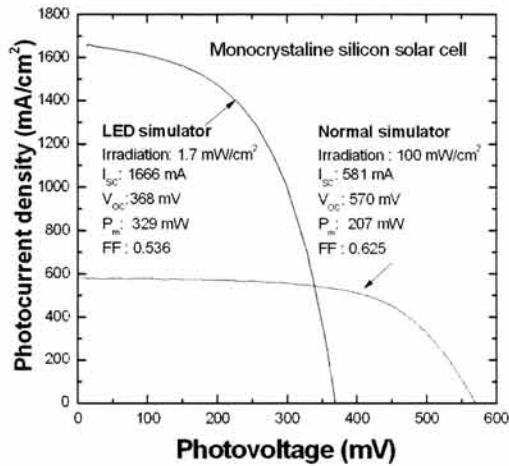


Fig. 4. I-V characteristic of mono-crystalline solar cells using LED solar simulator and Xenon lamp solar simulator.

최종적으로 구현된 LED 인공 태양광의 스펙트럼은 AM 1.5G 스펙트럼과 비교를 하였다. 그림 3(a)는 제논 램프를 사용한 인공 태양광과 AM 1.5G 스펙트럼을 비교한 결과이고, 그림 3(b)는 AM 1.5G 스펙트럼과 LED 인공 태양광과 비교한 결과이다. LED로 구성된 인공 태양광의 스펙트럼은 실제 태양광 스펙트럼과 높은 합치된 면적을 가지지 못했지만, 기존의 제논 램프의 비해 태양광 스펙트럼에 근접함을 확인할 수 있었다. 이러한 태양광 스펙트럼과의 합치된 정도를 정확하게 알아보기 위해 IEC 60904-9 규격을 이용하여 분포된 정도를 알아보았다 [5]. LED 인공 태양광은 400-1,000 nm 파장에서의 조사량 분포도를 비교하였을 때, AM 1.5G 스펙트럼과는 0.8-2.0의 분포 값을 가지는 것을 확인하였는데, 이는 A-C 분류에 넓게 해당되는 것으로, 400-600 nm 파장에서는 높은 일치 분포 값을 가지는 것으로 확인하였다. 단, 650-800 nm 파장과 같이 낮은 일치 분포 값을 가지는 경우, 본 실험에서 얻어진 결과보다 더 많은 수의 LED (각기 다른 파장)를 사용하거나, 일반 산란판 대신 형광체 산란판 등을 사용하는 등의 개선의 여지가 있음은 자명하다.

마지막으로 이렇게 제작한 LED 인공 태양광을 이용하여 실제 시판되는 태양전지의 평가를 진행하여 보았다. 그림 4는 태양전지를 기존의 인공 태양광과 LED 인공 태양광을 사용하여 평가한 결과이다. 평가를 위해서 단결정 실리콘 태양전지를 사용하였고, 태양전지 측정용 장비와 LED 인공 태양광을 각각 이용하여 측정

하여 그 결과를 비교하였다. 본 연구에서는 스펙트럼 구현에 초점을 맞춰서 실제 조사되는 총 광량은 1.7 mW/cm² 정도로 시판되고 있는 계측 시스템에서 조사되는 100 mW/cm²에 비해 크게 작았기 때문에 정확한 I-V 특성 고찰을 위해 조사 강도에 대한 보정식을 이용하여, 측정된 I-V 특성곡선을 보정하였다 [6]. 그림 4에서의 LED 인공광원으로 측정된 I-V 특성 곡선은 표준 인공광원을 이용한 I-V 특성 곡선과 동일한 측정결과는 얻지 못했지만, 표준인공광원에 뒤지지 않는 329 mW의 높은 전력과 0.536의 높은 충전률 (fill factor; FF)를 통해, 본 연구에서 제작한 LED인공태양광이 태양전지 측정에 이용될 수 있음을 알 수 있었다.

4. 결론

본 연구는 AM 1.5G 조건의 광원 스펙트럼을 구현하는 LED 인공 태양광을 구현하였고 그 가능성을 확인하였다. 충실한 스펙트럼 구현을 위한 중요 인자로 LED 광원의 구성, 배치와 구동조건의 선택 등에 대해서 고찰하였다. 또한 실제로 태양전지 평가를 실시하여 대형 태양전지 모듈이나 판넬 등의 평가에도 이용할 수 있음을 보였다.

감사의 글

"본 연구는 지식경제부 및 정보통신진흥원의 대학 IT 연구센터 지원사업 (NIPA-2012-C1090-1221-0015) 연구결과로 수행되었음".

REFERENCES

- [1] K. Emery, *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering* (John Wiley & Sons, 2002) p. 22.
- [2] I. Park, K. Kang, M. Lee, J. Song, and K. Lee, *Solar Energy*, 14, 87 (1994).
- [3] J. C. Kim, I. H. Choi, D. H. Kim, and S. K. Cheong, *The Korean Society for Composite Material*, 24, 56 (2011).
- [4] K. S. Kim, G. H. Kang, G. J. Yu, and S. G. Yoon, *J. the Korean Solar Energy Society*, 31, 93 (2011).
- [5] IEC 60904-9 (2ed.), *Solar Simulator Performance Requirements* (2007).
- [6] S. Ahn, K. S. Shin, and K. H. Yoon, *Poly. Sci. Tech.*, 22, 570 (2011).