

박막태양전지의 철도적용 태양광 발전 연구.

A Study on Photovoltaic Power Generation by Railroad Application of Thin-Film Solar Cells

고상원*[†], 오혁근** , 장용준* , 강석원*** , 최두호**

Sangwon Ko*[†], Hyuck Keun Oh** , Yong-Jun Jang* , Seok-Won Kang*** , Dooho Choi**

Abstract We measured the voltage of solar cells attached on HEMU-430x window to study solar power generation as a railroad application. To enable the solar cell on windows to serve as a solar curtain charging for mobile electronics, a light-weight flexible CIGS solar cell was tested in this study. Open-circuit voltage (V_{oc}) was measured under natural illumination and when attached on multi-layer glass frame (East side going toward Seoul). The lower V_{oc} was observed for CIGS cells on windows compared to that under natural illumination; nevertheless, the solar cells showed maximum 5.3 V of V_{oc} , indicating a potential for charging mobile electronics. Further, a high voltage-sensitivity of CIGS cell allows the device to be a sensor for tunnel detection, showing near zero of V_{oc} where the amount of light was reduced rapidly.

Keywords : Solar cell, CIGS, solar power generation, window, sensor for tunnel detection

초 록 본 연구에서는 철도적용 태양광 발전 가능성을 조사하기 위하여 태양전지를 차세대 고속열차 HEMU-430x 유리창에 부착하여 전압을 측정 및 비교하였다. 객실 측 유리창에 적용하여 커튼으로 사용시 모바일기기의 충전을 고려하였으며 가볍고 유연한 박막태양전지 중 대표적으로 CIGS전지를 이용하였다. 자연광 조건과 HEMU의 복합유리창 구조(상행 동쪽 면)에 부착 시 open-circuit voltage(V_{oc})를 비교하였다. CIGS 전지는 자연광 조건하에 비해 HEMU의 객실유리에서 낮은 V_{oc} 값을 보였지만, HEMU 객실유리에서 최대 5.3V의 V_{oc} 를 나타내며 모바일기기 충전 가능성을 보였다. 또한 CIGS 전지는 전압의 민감도가 커서 터널과 같이 태양광이 급격하게 감소하는 곳에서 V_{oc} 가 0에 가까운 값을 나타내 주간 시운전 주행 시 터널검지센서로 활용할 수 있음을 확인하였다.

주요어 : 태양전지, CIGS, 태양광 발전, 유리창, 터널검지센서

1. 서 론

전세계적으로 저탄소 녹색에너지 개발이 이슈화 되면서 태양전지, 풍력에너지, 그리고 연료전지 등 다양한 녹색 에너지원의 개발 및 효율 향상을 위한 연구가 활발히 진행되고 있다 [1]. 특히 태양전지는 주로 건물 외벽이나 인공위성 등에 설치하여 전력을 공급하고 있고 세계 태양광 시장은 지속적인 성장을 할 것으로 전망하고 있으며, 미국의 경우 태양광 발전

† 교신저자: 한국철도기술연구원 에코시스템연구실(sko@krri.re.kr)

* 한국철도기술연구원 에코시스템연구실

** 한국철도기술연구원 차세대고속철도기술개발사업단

*** 한국철도기술연구원 수요응답형교통연구단

설치는 2011년에 비하여 2012년에 76%의 성장을 기록하였다[2].

더 나아가 국내에서는 공공부분 온실가스를 줄이기 위한 노력으로 건물 및 철도차량에서 발생하는 온실가스의 배출량을 2015년까지 기준배출량의 20%를 저감하도록 되어있다(2011년 1월 환경부 고시). 이러한 녹색에너지 개발의 일환으로 철도적용 태양광 발전 예를 살펴보면 독일과 스위스는 철도 선로변에 태양광 방음벽을 설치하여 상업운영하고 있고 10kW에서 50kW의 전력을 생산하고 있다. 승강장 역시 태양전지의 설치가 가능하며 현재 독일과 일본은 역사에서 180kW ~ 200kW의 전력을 얻고 있다. 프랑스의 경우 철도차량 지붕에 설치하여 비상시 전원 공급원(1kW)으로 활용하고 있다. 본 연구에서는 박막태양전지를 차세대 고속열차 HEMU-430x 유리창에 부착하여 전압을 측정 및 비교를 통해 국내의 철도적용 범위를 넓히고 박막태양전지의 태양광 발전 가능성을 조사하고자 한다.

2. 본 론

2.1 CIGS 태양전지 효율 및 전력 측정

철도차량의 객실 측 유리창에 태양전지를 적용하여 커튼으로 사용시 모바일기기 충전을 고려하였으며 가볍고 유연한 박막태양전지 중 대표적으로 CIGS 전지를 이용하였다. CIGS는 $Cu(In,Ga)Se_2$ 의 다원소 화합물을 광흡수층으로 사용하고 있으며 CdTe 그리고 비정질 실리콘과 더불어 박막태양전지의 대표적인 광활성 물질이라 할 수 있다[3,4]. CIGS 전지는 19.9%의 세계 최고 효율 (power conversion efficiency, PCE)이 보고되었고 대면적의 패널에서는 13.8%의 효율을 보이고 있다[5,6]. 본 연구에서는 28.4cm × 13.1cm 크기의 활성층을 가진 Ascent SOLAR 사의 제품을 이용하였으며 철도차량 적용에 앞서 자연광에서의 효율 및 전력을 측정하였다. 전압-전류 특성은 Keithley 2400으로 기록하였으며 입사량을 1sun으로 가정하여 효율을 측정하였다.

본 연구에 사용된 CIGS 태양전지는 표1과 그림1에 나타난 것처럼 7.46 V의 Open-circuit voltage(V_{oc}), 1.90 mA/cm²의 short-circuit current(J_{sc}), 53.34의 fill factor로 7.56%의 효율 (power conversion efficiency, PCE)을 보였다. 이 효율은 실제 태양광의 특성을 계산하는 대신 1sun 기준으로 계산했을 때의 값이므로 모바일기기 충전 등의 전력으로 쓰이기 위해서는 다음과 같은 maximum power point(P_{max})의 특성이 의미를 가진다고 볼 수 있다. 표 1 및 그림1과 같이 4.976 V의 V_{max} 와 0.569 A의 I_{max} 로 인해 P_{max} 는 2.834 W로 관찰되었으며 여기서 V_{max} 와 I_{max} 는 P_{max} 에서의 전압과 전류를 뜻한다.

Table 1 Photovoltaic properties of CIGS thin-film solar cell under natural illumination

V_{oc} [V]	J_{sc} [mA/cm ²]	FF	PCE [%] ^a	V_{max} [V]	I_{max} [A]	P_{max} [W]
7.46	1.90	53.34	7.56	4.976	0.569	2.834

^a Calculated assuming 1 sun AM 1.5G radiation

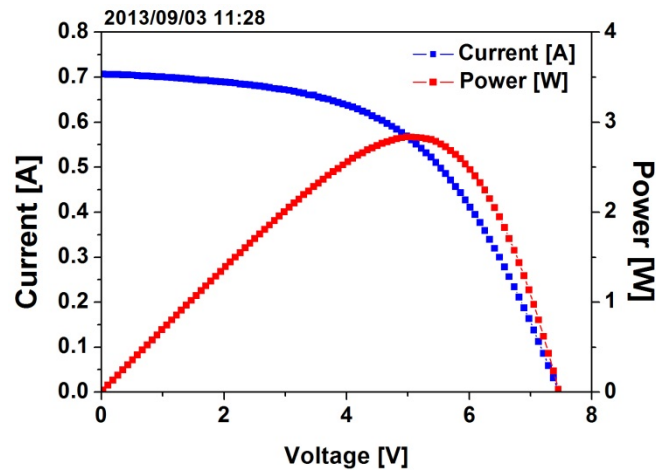


Fig. 1 Current-voltage-power curves of CIGS solar cell under natural illumination

2.2 HEMU-430x 유리창 적용 결과 분석

상행 기준 동쪽 유리창에 CIGS 태양전지를 부착하여 V_{oc} 를 측정하였으며 위에서 서술한 자연광 조건에서의 V_{oc} 값과 비교하고자 하였다. HEMU-430X의 주간 시운전 중 부산-동대구 고속선 구간에서 측정하였으며 측정시간은 오전 8시 38분부터 오전 9시 26분으로 상행선에서 동쪽에 부착한 태양전지에 가능한 많은 태양광이 입사하도록 하였다. V_{oc} 의 측정은 HEMU-430X에 설치된 종합계측시스템의 NI SCXI 1125 전압모듈을 이용하였다. 그림2에서 x축의 KP는 kilometer post를 의미하여 서울역의 0km를 기준으로 동대구역은 286.5 km의 KP를 부산역은 417.3 km의 KP값을 갖는다. HEMU 차량 내에서 측정된 V_{oc} 는 최대 5.3 V를 보이며 자연광 조건하에 비해 29% 낮은 값을 보였다. V_{oc} 수치는 광활성 물질의 에너지 준위 레벨뿐만 아니라 입사광의 강도와 비례관계 [7]가 있기 때문에 객실 내 CIGS 전지의 낮은 V_{oc} 값은 복합유리 구조로 인한 태양광의 낮은 투과율 때문이라고 판단된다. HEMU-430x의 복합유리 구조는 16mm의 공기층을 가운데로 두고 강화유리(5mm)/PVB 필름(1.52mm)/강화유리(4mm)의 내측유리와 강화유리(5mm)/PVB 필름(1.52mm)/강화유리(6mm)의 외측유리로 이루어져 있다. 따라서 1.53의 반사율을 가지는 강화유리와 1.48의 반사율을 가지는 PVB 필름의 다층구조는 태양전지 표면에 직접 태양광이 입사하는 자연광 조건보다 투과율을 감소시킨다고 볼 수 있다[8]. 비록 자연광 조건에서 보다 낮은 전압을 나타냈지만 최대 5.3 V의 V_{oc} 값은 모바일기기 충전의 가능성을 보인다고 판단된다. 또한 28.4cm × 13.1cm 크기의 시편을 고려해볼 때 170.6cm × 71.8cm 크기의 객실 유리에 맞게 여러 개의 CIGS 태양전지를 직렬 배치 시 모바일기기의 충전 시간을 줄일 수 있을 것으로 예상할 수 있다.

또한 사용된 CIGS 모듈은 CIGS 태양전지 셀을 직렬 Array 형태로 연결하여 전압의 민감도가 커서 터널과 같이 태양광이 급격하게 감소하는 곳에서 V_{oc} 가 0에 가까운 값을 나타내 주간 시운전 수행 시 터널검지센서로 활용할 수 있음을 확인하였다. 그림 3은 V_{oc} 를 이용하여 KP에 따

큰 터널 유무 (1:터널, 0:개활지)를 나타낸 그림으로서 매우 정밀하게 터널을 검지하고 있음을 확인할 수 있다.

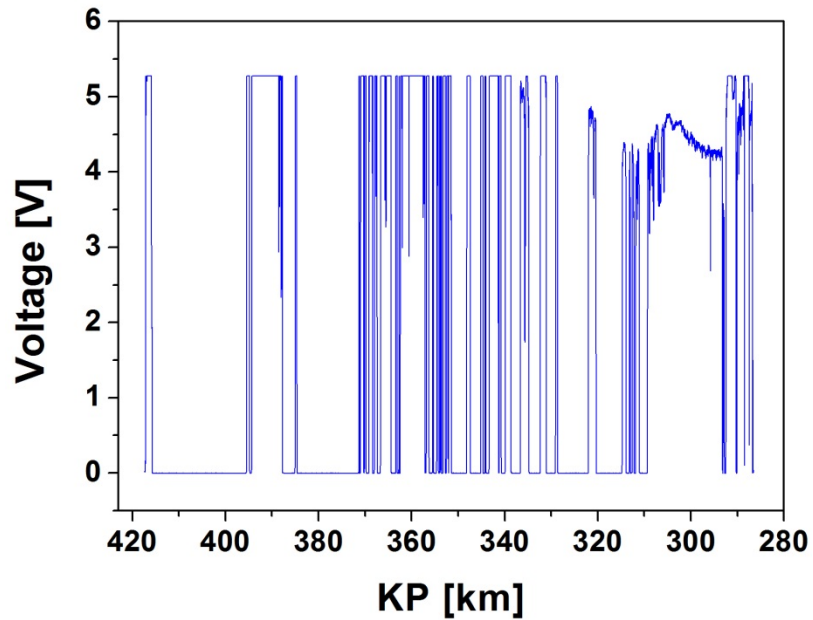


Fig. 2 Voltage plot of CIGS solar cell on HEMU-430x window

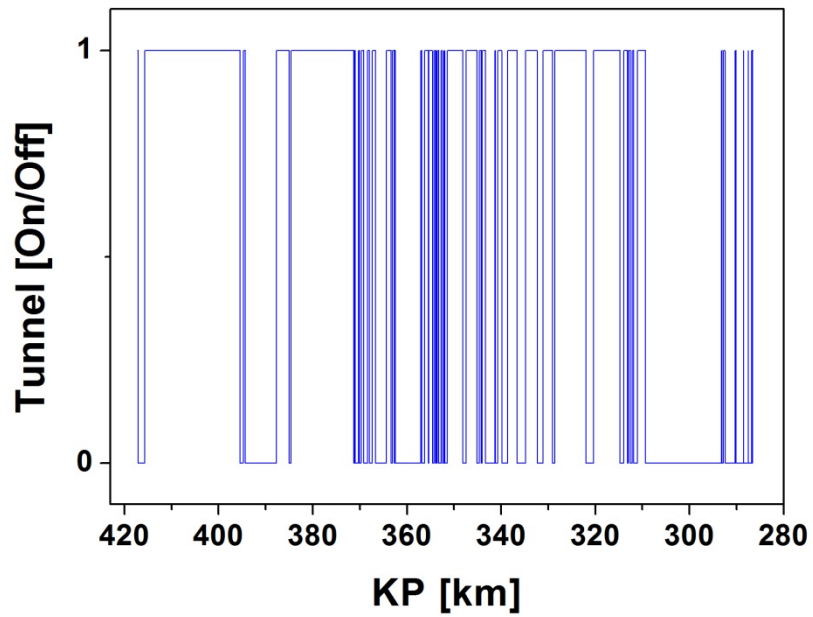


Fig. 3 Tunnel plot after post processing with Voc

3. 결 론

본 연구에서는 CIGS 박막태양전지를 차세대 고속열차 HEMU-430x 유리창에 부착하여 전압을 측정 및 비교하였다. CIGS 태양전지는 자연광 조건에서 7.46 V의 V_{oc} , 1.90 mA/cm²의 J_{sc} , 53.34의 fill factor로 7.56%의 PCE를 보였으며 maximum power point(P_{max})는 4.976 V의 V_{max} 와 0.569 A의 I_{max} 로 인해 2.834 W로 관찰되었다. HEMU 객실 내 복합유리창 구조에서는 최대 5.3V의 V_{oc} 를 나타내며 비록 자연광 조건하에서 보다 낮은 전압이지만 측정면적을 고려해볼 때 모바일기기 충전 가능성을 가진다고 판단된다. 또한 본 연구에서 사용된 CIGS 전지는 셀을 직렬 Array 형태로 연결하여 전압의 민감도가 커서 터널과 같이 태양광이 급격하게 감소하는 곳에서 V_{oc} 가 0에 가까운 값을 나타내었고 이는 주간 시운전 주행 시 터널검지센서로 활용할 수 있음을 의미한다.

후 기

본 연구는 산업기술연구회에서 지원하는 한국철도기술연구원의 2013년도 기관주요사업의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] T. Mai, D. Sandor, R. Wisser, T. Schneider (2012) Renewable Electricity Futures Study, National renewable energy laboratory.
- [2] U.S. Solar Market Insight 2012 Year in Review, Solar Energy Industries Association, <http://www.seia.org/research-resources/us-solar-market-insight-2012-year-review/> [accessed 13.09.24].
- [3] B. J. Stanbery (2002) Copper Indium Selenides and Related Materials for Photovoltaic Devices, *Critical Reviews in Solid State and Materials Science*, 27 (2), pp. 73-117.
- [4] A. McEvoy, T. Markvart, L. Castaner (2013), Solar Cells: Materials, Manufacture and Operation, Elsevier, UK, pp. 261-296.
- [5] I. Repins, M. A. Contreras, B. Egaas, C. Dehart, J. Scharf, C. L. Perkins, B. To, R. Noufi (2008) 19.9%-efficient ZnO/CdS/CuInGaSe₂ solar cell with 81.2% fill factor, *Progress in Photovoltaics: Research and applications*, 16 (3), pp. 235-239.
- [6] D. E. Carlson (2010) The Status and Future of the Photovoltaics Industry, BP Solar.
- [7] J. Nelson (2004) The physics of solar cells, Imperial College Press, UK, pp. 9-11.
- [8] D. C. Miller, M. D. Kempe, C. E. Kennedy, S. R. Kurtz (2011) Analysis of transmitted optical spectrum enabling accelerated testing of multijunction concentrating photovoltaic designs, *Optical Engineering*, 50(1), pp. 013003.