

전자전달증대기를 이용한 고효율 태양전지 시스템에서 전자전달증대기 입력 교류 전압 변화에 따른 태양전지 효율 향상에 대한 연구

김학수^{a*} · 유영기^b · 이 혁^a · 윤소영^a

^a선문대학교 생명화학공학과, 아산 336-708

^b선문대학교 정보통신공학과, 아산 336-708

(2013년 2월 22일 받음, 2013년 5월 2일 수정, 2013년 5월 6일 확정)

본 연구에서는 기존의 상업용 태양전지에서 전자-정공 재결합을 최소화하여 태양전지의 효율을 향상시키는 부가장치인 전자 전달증대기(Electron Relay Enhancer: ERE)를 소개한다. 전자전달증대기는 교류 전력 공급 장치와 연결된 두 개의 캐패시터와 전자의 흐름 방향을 제어하는 브릿지 다이오드 시스템으로 구성되어 있다. 두 개의 캐패시터는 브릿지 다이오드 시스템을 통하여 태양전지로부터 전자를 포집하고 포집된 전자를 로드저항이나 인버터쪽으로 펌핑하는 것을 반복한다. 양으로 대전된 한 개의 캐패시터가 전자를 포집하는 동안 음으로 대전된 다른 캐패시터는 전자를 펌핑한다. 태양전지에서 여기된 전자가 정공에 재결합되기 전에 양으로 대전된 캐패시터는 태양전지로부터 더 많은 여기된 전자를 끌어온다. 이러한 까닭에 ERE 시스템은 태양전지의 효율을 증대시킨다. 연구결과로 ERE 활성화 시 태양전지의 증가된 전력은 각각의 실험조건에서 5.9 W에서 25.6 W사이였고, 가장 높은 태양전지전력증가율은 ERE 비활성 시 태양전지 전력의 30.8%였다.

주제어 : 태양전지, 전자-정공 재결합, 캐패시터, 브릿지 다이오드, 주파수

I. 서 론

석유에너지의 사용으로 인한 지구의 온난화, 이로 인한 기상이변 그리고 환경적 재앙에 대한 우려가 있는 원자력 발전 등으로 인하여 대체에너지에 대한 관심이 급증하고 있다. 이러한 환경적 재앙을 유발할 수 있는 에너지를 대체할 수 있는 새로운 에너지로써 공해를 유발하지 않는 청정 에너지에 대한 관심과 연구가 최근 활발히 진행되고 있다 [1,2]. 특히 태양전지 시스템은 태양의 빛 에너지를 전기 에너지로 변환시킬 수 있는 시스템으로써 공해를 유발하지 않고 영구적이라는 장점을 가지고 있어 청정에너지로써 각광을 받고 있다 [3,4].

태양전지(solar cell)는 광기전효과(photovoltaic effect)를 이용하는 장치로써 태양의 빛 에너지를 전기 에너지로 변환시킬 수 있는 장치이다. 광기전 효과는 빛에 노출된 금속판으로부터 전자가 발생하는 원인을 규명하는 과정에서 발견된 것으로써 빛이 입자의 성질을 가진다는 것을

증명한 효과이다 [5]. 빛 입자는 광자(photon)라고 하는데, 운동하던 광자가 태양전지의 금속판에 충돌하여 그 운동에너지에 해당하는 양의 전자를 금속판으로부터 생성시키며 이렇게 생성된 전자를 저장하는 것이 태양전지라고 할 수 있다 [6].

태양전지 효율에 영향을 주는 인자로는 태양전지 표면 반사에 의한 손실, 태양전지의 내부 저항에 의한 손실, 그리고 빛 파장에 따른 전기에너지 변환효율 등이 있다고 할 수 있다. 상용화된 태양전지 표면은 보통 저 철분 강화유리나 에폭시 수지로 되어 있으며 무반사코팅(anti-reflective coating) 처리가 되어 있지 않은 유리나 에폭시 수지 표면의 경우 약 10% 정도의 반사가 일어나는 것으로 알려져 있다. 무반사와 더불어 태양전지에서 발생된 전기에너지가 자체 전기 저항에 의해 열에너지로 손실되는 양도 많은 것으로 알려져 있다 [7]. 이와 함께 빛의 파장에 따라 서로 다른 전기에너지 변환을 특성으로 인하여 모든 파장의 빛을 전기로 변환되지 않는 것 또한 변환 효율 손실을 가져

* [전자우편] hskim@sunmoon.ac.kr

오는 것으로 알려져 있다 [8,9]. 기존 태양전지의 경우, 축적된 전기에너지 즉 전자들이 충전지에 전달되지 못하여 생성된 전자의 개수와 충전에 사용된 전자 개수의 비율이 상당히 낮아 변환 효율을 더욱 더 감소시키는 것으로 보고되었다 [10]. 따라서 태양전지로부터 생성된 전자의 손실을 최소화하여 가용한 전기 에너지로 전환시킬 수 있는 방법에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

본 연구의 목적은 태양전지로부터 생성된 전자의 손실을 최소화하고 생성된 전자와 정공의 재결합 최소화를 이끌어 내어 태양전지 효율을 향상시킬 수 있는 전자전달증대기 (Electron Relay Enhancer: ERE) 연구 개발에 있다 [11]. 또한 전자전달증대기의 구동에 필요한 에너지의 최소화와 더불어 태양전지의 출력에너지를 극대화할 수 있는 최적의 조건을 찾는 것이 이 연구의 목적이라 할 수 있다.

II. 실험방법

본 연구에 사용된 태양전지와 기기 및 램프에 대한 스펙은 Table 1에 나와 있다. 전자전달증대기는 Fig. 1과 같이 제 1 및 제 2 전자유도 및 펌핑장치와 전자경로 선택장치를 포함한다. 제 1, 제 2 전자유도 및 펌핑장치는 AC power supply의 제어신호에 응답하여 선택된 서로 다른 극성을 가진 2개의 전압전원 중 양극성 전압을 이용하여 전자를 유도하고, 즉, 전자를 포집하고, 유도된 전자를 음극성 전압을 이용하여 펌핑한다. 이 전자유도 및 펌핑장치는 캐패시터와

AC power supply로 구성된다. 전자경로 선택장치는 Fig. 2에서와 같이 기본적으로 4개의 다이오드의 조합인 Bridge diode system으로 구성되어 있으며 태양전지로부터 출력되는 전자를 입력단자(IN)로부터 D1 또는 D2에 통과시킨 후 각 각의 입출력단자(I/O1, I/O2)를 통해 전자유도 및 펌핑장치에 전달하고 또한 각 각의 전자유도 및 펌핑장치에서 펌핑된 전자를 각 각의 입출력단자(I/O1, I/O2)를 통해 각각 수신한 후 출력단자(OUT)로 출력한다. 이때 제 1 전자유도 및 펌핑장치가 전자를 유도하면 제 2 전자유도 및 펌핑장치는 유도된 전자를 펌핑한다. 각 각의 전자유도 및 펌핑장치의 캐패시터는 하나가 양극으로 대전 될 때 다른 쪽은 음극으로 대전되면 교류 특성상 이를 반복하게 된다.

Fig. 2에서 보면 태양전지로부터 생성된 전자들은 제1다

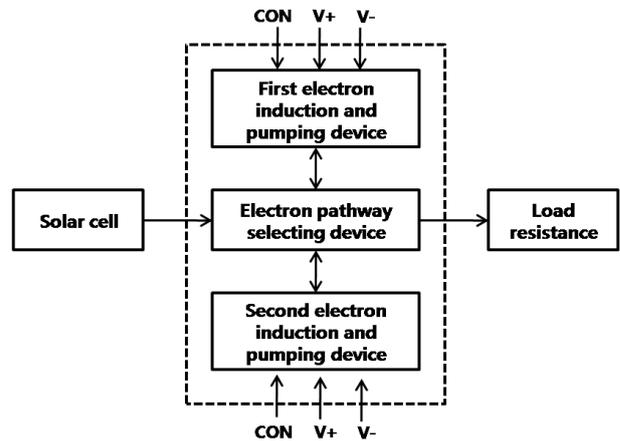


Figure 1. AC ERE circuit diagram.

Table 1. Solar cell module and equipments spec.

Solar cell module					
Model	Voc	Vmp	Isc	Imp	Pm
ESE-230S	37.5 V	29.1 V	8.65 A	8.07 A	230 Wp
Conter					
Model	Manufacturer	Fundamental power accuracy	Current	Voltage	
WT1600	Yokogawa	0.1%	10 mA~5 A/1~50 A	1.5 V~1,000 V	
AC power supply					
Model	Manufacturer	Output			
SW3500A	Elgar	3,500 VA			
Lamp					
Model	Manufacturer	Voltage	Wattage		
GHL026	Hino	220 V~60 Hz	100 W, IP54		

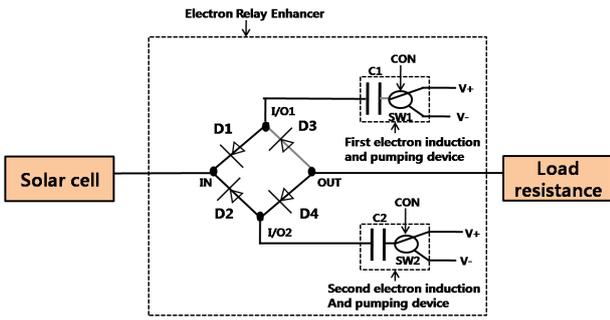


Figure 2. ERE equipped solar cell system.

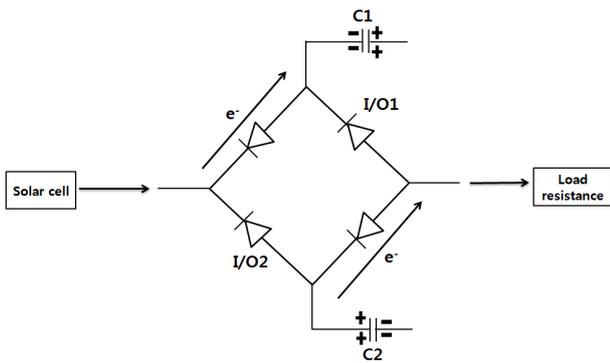


Figure 3. Electron flows in ERE circuit.

이오드(D1)를 거쳐 제1입출력단자(I/O1)에 전달되며, 이곳에 전달된 전자들은 제3다이오드(D3)를 거쳐 로드저항으로 이동하거나 제1전하유도 및 펌핑장치로 이동할 수 있다. 이 때 제1커패시터(C1)에 양의 전압준위를 가지는 제1전원전압(V+)이 인가되면, I/O1에 전달된 전자들은 D3을 거쳐 로드저항쪽으로 이동하지 않고 C1로 이동될 것이다.

반대로 C1에 음의 전압준위를 가지는 제2전원전압(V-)이 인가되면, C1은 전자를 밀어내어 I/O1을 통해 D3으로 전자를 펌핑하게 된다. V+ 및 V-의 전압준위를 적절하게 선택하여, I/O1을 통하여 전자들 전부를 C1에 유도할 수 있고, 유도된 모든 전자들은 D3을 거쳐 로드저항으로 펌핑시킬 수 있다. 또한 태양전지로부터 생성된 전자들은 D1뿐 아니라 D2를 거쳐 I/O2에 전달되는데, 이곳에 전달된 전자들은 역치 마찬가지로 D4를 거쳐 로드저항으로 이동하거나 제2전하유도 및 펌핑장치로 이동할 수 있다. 이 때 C2에 양의 전압준위를 가지는 V+이 인가되면, I/O2를 통해 전자들은 D4를 거쳐 로드저항으로 이동하지 않고 C2로 이동될 것이다. 반대로 C2에 음의 전압준위를 가지는 V-이 인가되면, C2에 유도된 전하들이 D4를 거쳐 로드저항으로

모두 펌핑 될 것이다. Fig. 3을 보면 C1과 C2는 항상 서로 다른 극성으로 대전되기 때문에 둘 중 하나가 태양전지로부터 전자를 유도할 때 다른 쪽은 태양전지로부터 이미 유도된 전자를 로드저항쪽으로 펌핑한다.

2개의 커패시터 전원전압을 생성하는 방법은 다양한데 이 연구에서는 싸인파가 아닌 구형파의 AC 전원을 사용하였다. 따라서 이 때 설정되는 AC 전원 전압과 구형파의 주파수는 연구의 중요한 변수가 된다. 물론 ERE에 사용되는 커패시터의 종류와 용량도 중요한 변수이나 일단 커패시터 변수는 고정 값으로 하고 AC 전원 전압과 구형파 주파수에 따른 태양전지의 효율 증대 변화를 먼저 연구하였다.

실험에 사용 된 태양전지 모듈 및 장비의 성능은 Table 1과 같으며 커패시터의 용량은 14 μ F으로 고정하였다.

전자전달증대기의 상승전력은 다음 식 1과 같으며 상승전력증가율은 식 2와 같다.

$$\text{상승전력}(W) = A - B - C \quad (1)$$

$$\text{상승전력증가율}(\%) = [(A - B - C) / B] \times 100 \quad (2)$$

- A: 전자전달증대기 활성화 시 태양전지 출력 전력
- B: 전자전달증대기 비활성 시 태양전지 출력 전력
- C: 전자전달증대기 소모 전력

III. 결과 및 고찰

전자전달증대기를 활용한 태양전지 실험의 변수는 입력 AC 전압과 구형파의 주파수이다. 최종 목표는 최적의 전압과 주파수를 입력해서 전자전달증대기 소비전력을 최소화하고 태양전지의 효율을 최대화하는 것이다.

먼저 전자전달증대기 비활성화 상태에서 태양전지의 최대 전력을 측정하였다(Fig. 4). 일반적으로 이는 솔라 시뮬레이터(solar simulator)를 이용하나 전자전달증대기의 특성상 아직 솔라 시뮬레이터를 이용하면 측정이 불가하기에 저항을 변화시키면서 전력을 측정하였다. 그 이유는 Fig. 4와 같이 전자전달증대기의 활성화는 태양전지 최대 출력점에서만 작용시키기 때문이다.

먼저 태양전지 저항을 변화시켜 태양전지 최대출력인 MPP (maximum power point)를 찾고 그 최대출력점에서 전자전달증대기를 활성화시켰다. 그리고 전자전달증대기

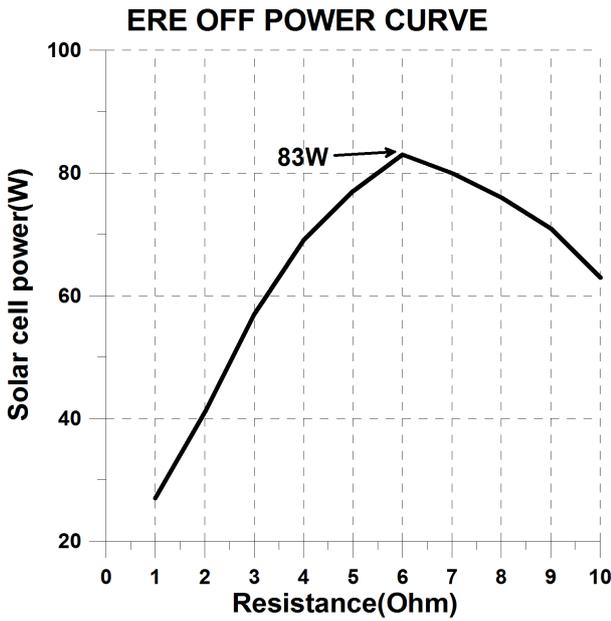


Figure 4. ERE off solar cell power.

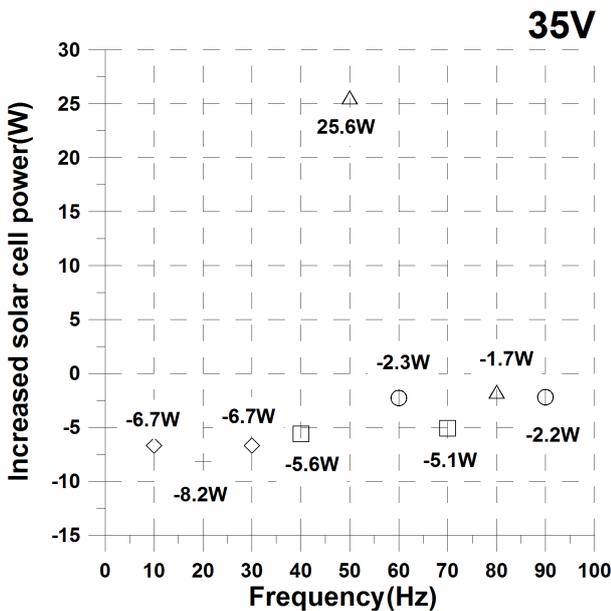


Figure 5. Solar cell power gain according to ERE input frequency at AC 35 V.

의 입력주파수를 10~90 Hz까지 입력전압을 20~100 V까지 변화시켜 전자전달증대기 소모전력(W_{ERE})을 측정하였고 이렇게 전자전달증대기 활성화 시 로드저항에서의 태양전지 전력을 측정하여 전자전달증대기 비활성시의 전력 값과 비교하여 그 차이를 계산하였다. 전압을 변화시켜 전압

Table 2. ERE consumption power according to ERE input power.

ERE input power	Solar power/ERE consumption power
Off	83 W/0 W
AC 20 V, 50 Hz	88 W/1.9 W
AC 25 V, 50 Hz	104 W/2.9 W
AC 35 V, 50 Hz	113 W/4.4 W
AC 50 V, 50 Hz	111 W/12.6 W
AC 100 V, 50 Hz	141 W/52.1 W

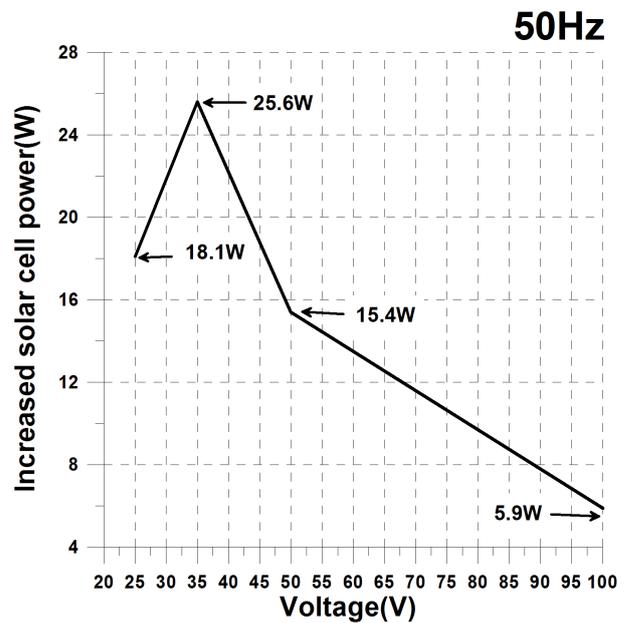


Figure 6. Solar cell power gain according to ERE input AC voltage at 50 Hz.

변화에 따른 태양전지 효율 증가 변화를 알아보았다.

Fig. 5와 같이 실험 결과 입력전압이 약 35 V일 때, 50 Hz 주파수 대역에서 태양전지 효율이 최대를 보여주고 있다. 35 V 이 외 다른 전압 영역에서도 특정 주파수인 50 Hz에서 가장 높은 효율을 보였는데 이는 ERE 부속 중 하나인 커패시터의 주파수 특성과 연관이 있는 것으로 사료된다. 즉 다시 말해 커패시터는 특정 주파수에서 최소치의 임피던스 값을 보이는데 이와 연관되어 ERE 소비전력도 특정 주파수 대역에서만 최소치를 보인다. 그러한 까닭에 두 번째 실험에서는 주파수를 50 Hz로 고정을 시키고 전압을 바꿔서 실험한 결과 전압이 높아짐에 따라 최대 값을 지나 다시 효율이 떨어짐을 볼 수 있었는데 이는 Table 2에서

보는 것처럼 최적 전압(35 V)을 지날 경우 전자전달증대기의 소비전력이 급격히 증가하여 Fig. 6과 같이 효율이 떨어지는 것을 보여주었다.

전압의 경우는 약 35 V에서 최대치를 보여주는데 이는 태양전지 최대 출력 전압보다 근소하게 높은 전압이었다. 따라서 실험의 결과 최적의 전자전달증대기의 입력 AC 전압과 주파수는 각각 35 V, 50 Hz였으며 이 때 태양전지 상승전력증가율은 식 2에 따라서 약 30.8%였다. 현재 전자전달증대기의 최적 입력 전압과 주파수를 자동으로 선택할 수 있는 센싱기술과 회로 알고리즘을 개발 중이며 궁극적으로는 전자전달증대기의 전력 공급을 외부 전력이 아닌 태양전지 자체 전력으로 충당할 연구가 현재 진행 중에 있다.

IV. 결 론

본 연구에 따른 전자전달증대기 및 전자전달증대기를 구비한 태양전지 시스템은 태양전지에서 생성된 전하를 최대한 충전장치로 전달할 수 있으므로, 태양전지에서 생성된 전하가 전하충전장치로 전달되는 효율을 최대한으로 크게 할 수 있는 이점이 있다.

1) AC전압을 사용하여 다이오드를 거쳐 커패시터로 전자를 유도하며 유도된 전자들은 로드저항으로 펌핑되어 효율이 증가한다.

2) 전자전달증대기의 MPP는 특정전압과 주파수 대역에 따라 나타나며 최적전압을 지날 경우 전자전달증대기의 소비전력이 상승하여 효율이 저하된다.

3) AC전압을 20 V~100 V 인가하였을 때 35 V, 50 Hz에서 25.6 W 상승하였으며 이는 전자전달증대기 비활성시보다 약 30.8%의 효율상승을 나타낸다.

감사의 글

본 논문은 지식경제부 (충청권)광역경제권연계협력사업인 "태양전지 효율극대화를 위한 전자전달증대장치" 과제의 일환으로 수행되었다.

참고문헌

- [1] J. H. Kim, M. J. Chu, Y. D. Chung, R. M. Park, and H. K. Sung, *Electronics and Telecommunications Trends* **23**, 2 (2008).
- [2] D. S. Bae, *Korean Journal of Ceramic* **13**, 20 (2010).
- [3] J. W. Kang, C. H. Son, G. S. Cho, J. H. Yoo, J. S. Kim, C. K. Park, S. D. Cha, and G. C. Kwon, *J. Korean Vac. Soc.* **21**, 62 (2011).
- [4] F. Dimorth and S. Kurtz, *MRS BULLETIN.* **32**, 230 (2007).
- [5] R. R. King, D. C. Law, K. M. Edmondson, C. M. Fetzer, G. S. Kinsey, H. Yoon, R. A. Sherif, and N. H. Karam, *Appl. Phys. Lett.* **90**, 183516 (2007).
- [6] N. G. Park, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* **9**, 18 (2006).
- [7] W. S. Han, H. S. Kim, B. S. Choi, and D. K. Oh, *Electronics and Telecommunications Trends* **22**, 86 (2007).
- [8] A. Luque, A. Marti, and A. J. Nozik, *MRS BULLETIN.* **32**, 236 (2007).
- [9] I. G. Park, C. H. Son, M. S. Yun, H. J. Yoo, T. H. Cho, J. U. Kang, M. S. Kwon, and G. C. Kwon, *J. Korean Vac. Soc.* **1**, 310 (2010).
- [10] W. Kim, Y. S. Choi, G. S. Lee, S. Y. Cho, and J. S. Hwang, *Journal of the Korean Institute of Ekelectronical Electronic Material Engineers* **24**, 654 (2011).
- [11] Patent, patentee: H. G. A, Sunmoon Industry University, Cooperation Foundation, H. S. K, "Electrical Charge Relay Enhancer and Solar Cell System Including the Enhancer" a registration number: 10-1025795, date of registration: 2011.03.23.

Improvement of Solar Cell Efficiency according to AC Voltage Variation of Electron Relay Enhancer in High Efficient Solar Cell System using Electron Relay Enhancer

Hak Soo Kim^{a*}, Young Kee Ryu^b, Hyuk Lee^a, and So Young Yun^a

^a*Department of Chemical and Biochemical Engineering, Sun Moon University, Asan 336-708*

^b*Department of Information and Communication Engineering, Sun Moon University, Asan 336-708*

(Received February 22, 2013, Revised May 2, 2013, Accepted May 6, 2013)

In this paper, we would like to introduce Electron Relay Enhancer (ERE), a supplementary device, which improves commercial solar cell efficiency minimizing electron-hole recombination of solar cell. The ERE in this study is mainly composed of two capacitors which are connected to AC power source and bridge diode system which controls electron flow direction. Two capacitors repeat collecting electrons from solar cell and pumping the collected electrons to load resistance or inverter through the bridge diode system. While one positively charged capacitor collect electrons, the other negatively charged one pumps electrons. A positively charged capacitor pulls the more excited electrons from the solar cell, before the excited electrons recombine the holes in solar cell. That is why the ERE system enhances solar cell efficiency. As a result, the measured power increase of the solar cell with the ERE is varied from 5.9 W to 25.6 W in each experimental condition. Maximal increase rate of the solar cell power with ERE is 30.8% of solar cell power without ERE.

Keywords : Solar cell, Electron hole recombination, Capacitor, Bridge diode, Frequency

* [E-mail] hskim@sunmoon.ac.kr