

전자전달증대기(ERE)를 이용한 태양전지의 전력 향상

윤소영 · 홍주희* · 김학희 · 김학수†

선문대학교 생명화학공학과
336-708 충남 아산시 탕정면 선문로 221

*순천제일대학교 산업기술화공과

540-744 전남 순천시 제일대학길 17

(2013년 12월 1일 접수, 2013년 12월 27일 수정본 접수, 2013년 12월 29일 채택)

Improvement of Solar Cell Power Using Electron Relay Enhancer (ERE)

So-Young Yun, Joo-Hee Hong*, Hak-Hee Kim and Hak-Soo Kim†

Department of Chemical and Biochemical Engineering, College of Engineering, Sun Moon University,
221 Sunmoon-ro, Tangjeong-myeon, Asan-si, Chungnam 336-708 Korea

*Department of Industrial Technology & Chemical Engineering, Suncheon Jeil College,
17 Jeildaehak-gil, Suncheon-si, Chonnam 540-744, Korea

(Received 1 December 2013; Received in revised form 27 December 2013; accepted 29 December 2013)

요 약

태양전지의 전력향상을 위해 외부에 연결된 시스템적인 접근방법으로써 가변병렬공급기(DC1)와 가변직렬공급기(DC2)가 부착된 전자 전달 증대기(Electron Relay Enhancer: ERE)를 이용한 연구를 수행하였다. DC1의 전압이 태양 전지 전압보다 높을 경우 DC1은 저항과 같은 역할을 하므로 태양전지의 전압이 상승하게 되고 반면 전류는 낮아지게 된다. 이 때 낮아진 전류는 DC2에서 보충해주어 태양전지의 출력이 증가하게 된다. DC ERE 직-병렬 시스템은 병렬 전압의 1.5~2.0 V 증가로 태양전지의 전압을 2.0~3.0 V 높일 뿐 아니라 전력 증가율도 약 10% 정도 향상시켰다.

Abstract – The studies to improve the power of Solar Cell using ERE (Electron Relay Enhancer) system with Variable parallel-feeder (DC1) and variable series-feeder (DC2) were carried out. For DC1 voltage was higher than that of Solar Cell, this was raised because that functioned as a load, whereas a current was lowered. At that moment, the power of the Solar Cell was increased because the DC2 replenished the lower current. Not only increased the DC ERE series-parallel system the voltage of Solar Cell to 2.0~3.0 V, but they also increased the rate of power increase to about 10%.

Key words: Solar Cell, ERE, Series-feeder, Parallel-feeder, DC-voltage

1. 서 론

화석 연료의 사용으로 인한 지구의 온난화와 기상이변 현상, 최근의 일본 후쿠시마 원자력 발전소의 환경 파괴적 현상들은 인류에게 불리한 영향이 없고 친환경적인 태양광, 바이오, 풍력, 지열 및 수력 등의 새로운 에너지의 개발과 연구에 대한 관심을 더욱 높아졌을 뿐 아니라 이에 대한 연구 또한 활발하게 진행되고 있다[1-4]. 특히 태양광을 이용한 발전은 연료의 공급이 쉽고 반영구적이며 친환경적이며 또한 에너지 생산에 따른 부산물 등이 없는 청정 에너지로서 더

욱 주목 받고 있다[5-7].

태양광을 전기 에너지로 변환시킬 수 있는 태양전지에 대한 연구는 1888년 독일의 물리학자 헤르츠(Heinrich Rudolf Hertz)에 의해 처음 시작되었으며, 그 이후 1954년 미국 벨 연구소에서 에너지 변환 효율이 약 6%인 세계 최초의 태양전지를 개발하였다[8].

최근에는 유기물 태양전지, 화합물 태양전지, 박막형 태양전지, 실리콘 태양전지, 염료형 태양전지 등 다양한 형태의 태양전지가 개발되고 있다[9]. 이들 중 실리콘 기반 태양전지는 산화막을 이용한 PESC (Passivated Emitter Solar Cell), 일부분의 산화막을 제거하여 금속 전극을 직접 실리콘에 형성시키는 PERC(Passivated Emitter and Rear Contact), 전극형태로 변환한 PERL(Passivated Emitter, Rear Locally diffused cell) 그리고 KOH, NaOH, HNO₃ 산화물과 IPA(Iso Propyl Alcohol)의 혼합물을 이용한 에칭 용액 내에서 표면을 식각(Texturing)하는 방법 등 에너지의 변환효율을 높이기 위한 다양한 기술이 개발되어 왔다[10-12]. 그러나 현재까지 재료의 구조변경 또는 개질을 통한

†To whom correspondence should be addressed.

E-mail: hskim@sunmoon.ac.kr

‡이 논문은 동국대학교 화공생명공학과 김병식 교수님(초당대학교 총장님)의 정년을 기념하여 투고되었습니다.

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

태양전지의 에너지 변환효율이 최대 약 20~25%인 것으로 보고되었지만 제작 비용, 발전단가 등 경제적인 문제와 계절별, 시간별에 영향에 의한 생산량 문제로 실생활에 적용에는 한계가 있었다[13,14].

태양전지의 출력전력은 전류와 전압에 의해 발생되므로 태양전지의 최대 출력전력은 최대(최적)동작전압과 최대(최적)동작전류일 때 발생한다. 그러므로 태양전지의 효율을 향상시키기 위해서는 태양전지의 최대 출력점을 찾는 것이 중요하다[15].

본 연구에서는 태양전지의 효율향상을 위해 기존의 태양전지 구조변경 또는 개질을 통한 접근방법이 아닌 태양전지 외부에 연결된 시스템적인 접근방법을 통하여 태양전지 시스템 내에 여기(excitation)된 전자의 이동을 증대시켜 태양전지의 효율을 증대시킬 수 있는 전자전달증대기(Electron Relay Enhancer: ERE) 기술 개발과 최대 출력을 위한 최적 동작전압과 최적 동작전류를 위한 연구 등을 수행하였다.

2. 실험 및 장치

2-1. DC ERE 직-병렬 시스템

실제의 태양전지는 직렬, 병렬, 기생저항을 가지고 있으며 이를 고려한 등가회로는 해석이 용이하고, 표준화된 방식으로 소자의 특성을 묘사할 수 있기 때문에 태양전지의 물리적 특성을 이해하고, 설계 및 해석을 위해 많이 이용되고 있다[16].

태양전지의 최대출력을 높이기 위한 고안된 DC ERE 직-병렬 시스템은 기존의 인버터(inverter) 대신 로드(Load)를 장착하였다. 또한, 태양전지의 기본 출력전압보다 약간 높은 전압을 공급하기 위해 병렬회로에 가변 병렬공급기(DC1)를 설치하였으며 이는 회로의 저항 역할을 하게 되어 태양전지의 출력전압이 다소 높아지게 된다. 이로 인하여 태양전지의 출력전류는 감소하게 되는데 감소된 출력전류는 추가적으로 직렬회로에 장착된 가변 직렬공급기(DC2)를 이용하여 전류를 보충함으로써 기존의 최대출력보다 높은 최대출력을 생산하게 된다. 이와 같이 추가 장착된 DC1과 DC2의 결합은 태양전지의 최대출력을 상승시키는 시너지(synergy)효과를 갖게 된다. 그러므로, 태양전지에 ERE를 직-병렬 조합으로 만든 DC ERE 직-병렬시스템은 전압, 전류 값이 동반 상승하여 전력 값이 증가하게 된다. Fig. 1은 본 연구에 사용된 DC ERE 직-병렬 시스템의 개략도 이다.

2-2. DC ERE 직-병렬 시스템 효율

DC ERE 직-병렬 시스템의 전자전달증대기 비활성 상태(ERE Off)와 전자전달증대기 활성 상태(ERE On)의 효율 비교 실험을 위한 시스템의 회로 모듈은 Fig. 2와 같다.

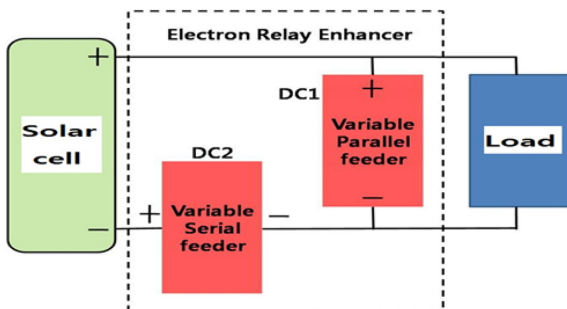


Fig. 1. DC serial-parallel ERE system circuit diagram.

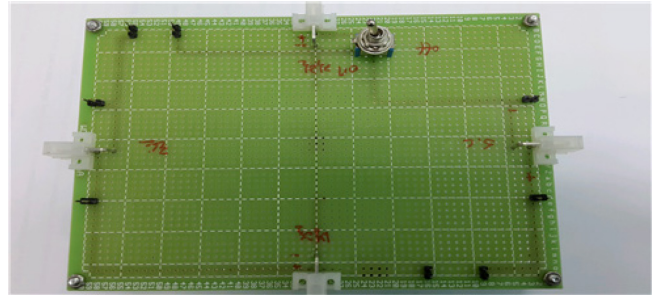


Fig. 2. DC serial-parallel ERE system circuit module.

Table 1. Solar cell module

Solar cell module	
Model	ESE-230S (Single Crystal Silicon)
Open Voltage (V_{oc})	37.5 V
Rated Maximum Voltage (V_{mp})	29.1 V
Short Current (I_{sc})	8.65 A
Rated Maximum Current (I_{mp})	8.07 A
Rated Power (P_m)	230 W _p

태양전지의 일반적인 효율과 DC ERE 직-병렬 시스템을 결합시킨 태양전지의 효율의 비교하기 위하여 비활성 상태(ERE Off)와 활성상태(ERE On)에서의 실험은 동일 조건에서 수행되었다. 비활성 상태에서 가변저항 1~18 Ω에서의 태양전지(Solar Cell)의 전압(Voltage: V), 전류(Current: A), 전력(Power: W)과 저항(Load)에서의 전압(V), 전류(A), 전력(W)을 측정하였으며 또한, 가변저항 1~18 Ω에서 최대 출력점(Maximum power point: MPP)을 갖는 저항 값을 찾아 그 MPP에서 활성 상태의 전압(V)를 0.5, 1.0, 1.0 V로 변화시키면서 전류(A), 전력(W) 등을 측정하고 그 결과들을 이용하여 다음의 식에 의하여 상승전력 증가율을 구하였다.

$$\text{전력 증가율(\%)} = \frac{A - B - DC1 - DC2}{B} \times 100$$

A: 활성화된 전자전달증대기(ERE On) 태양전지 출력전력

B: 비활성화된 전자전달증대기(ERE Off) 태양전지 출력전력

DC1: 가변 병렬공급기, DC2: 가변 직렬공급기

또한, 활성상태와 비활성 상태에서의 전자전달 증대기에서의 전압, 전류, 전력 등을 비교 검토하였다. DC ERE 실험에 사용한 태양전지 모듈의 사양을 Table 1에 나타내었다.

3. 결과 및 토의

3-1. DC ERE 직-병렬 시스템 전자전달증대기 비활성 상태(ERE Off)

비활성화된 DC ERE 직-병렬 시스템에서 가변 저항 1~18Ω에서 태양전지(Solar Cell)와 저항(Load)에서의 전력, 전류, 전압을 측정하였다(Fig. 3). 측정된 전력은 태양전지와 로드에서 가변저항이 4.5 Ω 일 때 각각 123.6, 108.3 W의 MPP를 나타내었다(Fig. 3(a)). 또한, MPP에서 태양전지와 저항에서의 전류와 전압은 각각 4.9, 4.7 A 그리고 24.7, 22.6 V를 나타내었다(Fig. 3(b)(c)). 그러므로 비활성화된 DC ERE 직-병렬 시스템은 Fig. 3과 유사한 결과를 나타내는 단순

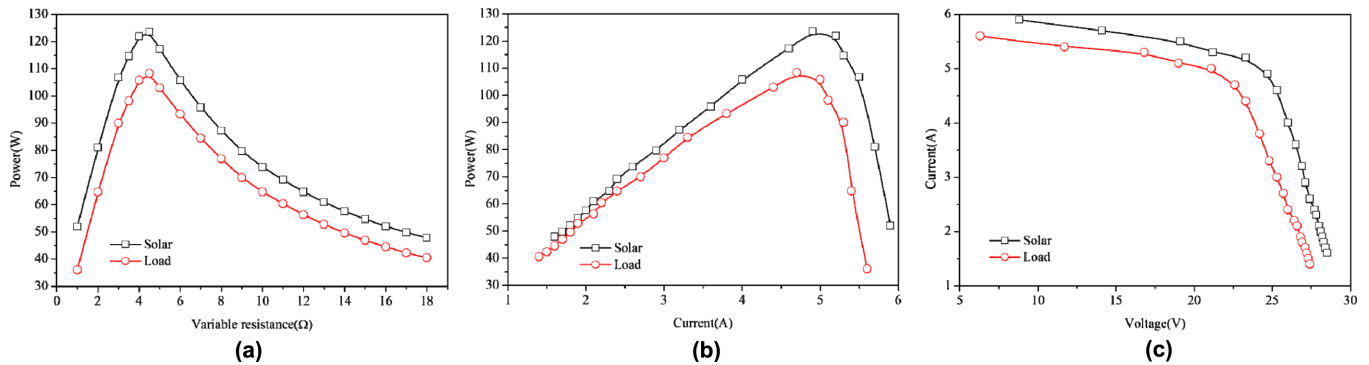


Fig. 3. ERE off curves of solar cell and load; (a) resistance vs. power, (b) ERE off current vs. power, (c) voltage vs. current.

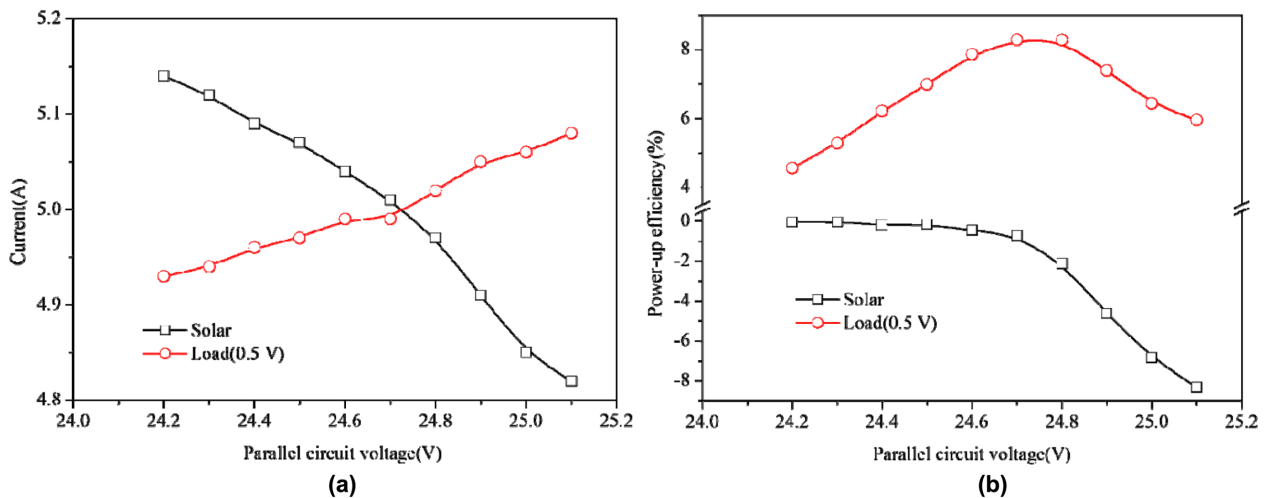


Fig. 4. (a) Current variation, and (b) Power-up efficiency vs. Parallel circuit voltage of solar cell and load (4.5 Ω) for 0.5 V serial potential.

태양전지 시스템과 유사하게 작동하는 것으로 사료된다.

3-2. DC ERE 직병렬 시스템 전자전달중대기 활성상태(ERE On)

3-2-1. 0.5 V ERE On DC ERE 직-병렬 시스템

DC2를 외부전압 0.5 V로 고정시키고 DC1의 전압을 24.2 V부터 0.1 V씩 증가시키면서 태양전지와 로드(4.5 Ω)의 전류를 측정하였다 (Fig. 4(a)). 활성화된 0.5 V ERE 직-병렬 시스템에서 태양전지는 DC1의 전압이 증가할수록 전류가 감소하는 것은 DC1의 전압이 태양전지에 대하여 부가적인 저항의 역할을 하기 때문인 것으로 사료되며, 로드(4.5 Ω)에서는 DC1의 전압이 상승에 따라 전류가 증가하는 것은 DC1의 전압이 더하여져 더 많은 전류를 발생시키기 때문인 것으로 판단된다.

Fig. 4(b)에 DC1과 DC2의 총 전력이 2.5 W이고 시스템이 활성상태일 때 태양전지와 로드(4.5 Ω)에서의 전력 증가율을 나타내었다. 태양전지의 경우 DC1의 전압이 증가함에 따라 전력 변화가 거의 일정하게 유지되었으나 24.7 V 이후에는 감소하였다. 또한, 로드(4.5 Ω)의 경우 DC1의 전압이 증가에 따라 24.7 V까지는 지속적으로 증가하여 8.3%의 최대 전력 증가율을 나타내었으나 이후에는 감소하는 경향을 보였다. 이는 DC1이 태양전지에 대해서는 부가적으로 추가된 직렬 저항으로 작용할 뿐 아니라 24.7 V 이후의 전압부터는 태양전지의 출력 전압을 억제하고, 로드(4.5 Ω)에 대하여는 DC1이 추가된 병렬 저항으로 작용하여 전력이 최대 전력 증가율을 나타내는 24.7 V

까지는 전류와 동반하여 전력 증가율이 상승하였으나 이후에는 DC2의 전압이 출력 전압을 촉진하는 매체로서의 역할을 수행하지 못하기 때문에 판단된다. 그러므로, DC2를 외부 전압 0.5 V로 고정시켜 최대 전력상승 효과를 얻을 수 있는 최적의 전압이 24.7 V이며 전력을 약 8.3% 상승시킬 수 있는 것으로 사료된다.

3-2-2. 1.0 V ERE On DC ERE 직-병렬

Fig. 5(a)에 DC2를 외부전압 1.0 V로 고정시키고 DC1의 전압을 24.5 V부터 0.1 V씩 증가시키면서 측정된 태양전지와 로드(4.5 Ω)의 전류 변화를 나타내었다. 활성화된 1.0 V ERE 직-병렬 시스템에서 태양전지와 로드(4.5 Ω)의 전류 변화는 활성화된 0.5 V ERE 직-병렬 시스템에서와 유사한 경향을 나타내었다. 1.0 V로 활성화된 시스템에서 DC1과 DC2의 총 전력이 5.35 W이고 태양전지와 로드(4.5 Ω)에서의 전력 증가율은 태양전지의 경우 DC1의 전압이 25.1 V될 때까지는 전력 변화가 거의 일정하게 유지되었으나 이후부터 감소하는 경향을 나타내었다. 한편, 로드(4.5 Ω)의 경우 DC1의 전압이 증가함에 따라 25.1 V일 때 10.2%의 최대 전력 증가율을 나타내었으며 이후에는 태양전지에서와 동일하게 전력 증가율이 감소하는 경향을 나타내었다. 이와 같은 결과들은 활성화된 0.5 V DC ERE 직-병렬 시스템에서와 같은 이유에 기인하는 것으로 사료된다. 그러나, DC2의 고정 전압을 0.5 V로 하였을 경우보다 전압은 0.4 V, 전력 증가율은 1.9% 더 상승되었다.

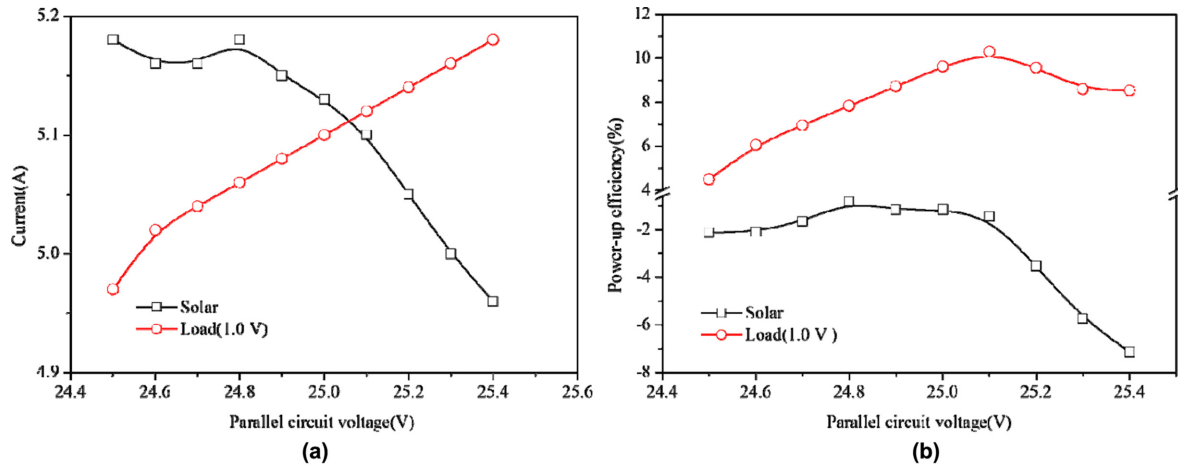


Fig. 5. (a) Current variation, and (b) Power-up efficiency vs. Parallel circuit voltage of solar cell and load (4.5Ω) for 1.0 V serial potential.

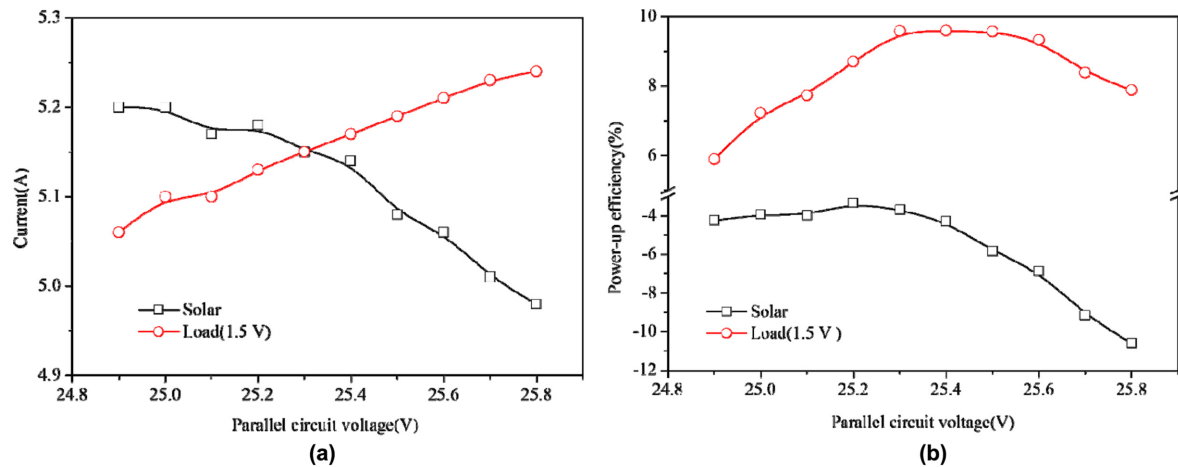


Fig. 6. (a) Current variation, and (b) Power-up efficiency vs. Parallel circuit voltage of solar cell and load (4.5Ω) for 1.5 serial potential.

3-2-3. 1.5 V ERE On DC ERE 직-병렬

외부전압으로 1.5 V를 DC2를 고정시키고 DC1을 24.9 V에서부터 0.1 V씩 증가시키며 활성화된 1.5 V ERE 직-병렬 시스템에서 태양전지와 로드(4.5Ω)에서 측정된 전류 변화를 Fig. 6(a)에 나타내었다. 또한, DC1의 변화에 따른 전력 증가율을 Fig. 6(b)에 나타내었다. 이들 결과들은 활성화된 0.5 V, 1 V ERE 직-병렬 시스템에서와 유사한 경향을 나타내었다. 한편, 이 시스템에서 최대 전력 증가율은 25.3 V의 전압에서 9.5%를 나타내었다. 또한, 25.3 V 이후 태양전지의 전류는 감소하고 로드(4.5Ω)에서의 전력 증가하며, 전력 증가율은 이 전압보다 큰 경우에는 0.5, 1 V ERE 직-병렬 시스템에서와 동일한 이유로 인하여 감소하는 것으로 판단된다. 그러나, DC2의 고정 전압을 1.0 V로 하였을 경우보다 전압은 0.2 V 정도 상승하였으나 전력 증가율은 0.7% 감소하였다. 특히, 전력 증가율은 감소는 DC2가 감소된 태양전지의 전류를 보충할 수 있는 최대 전압을 초과하여 태양전지의 출력을 억제하기 때문인 것으로 사료된다.

4. 결 론

본 연구에서는 태양전지의 효율향상을 위해 태양전지 외부에 연결된 시스템적인 접근방법을 통하여 효율을 증대시킬 수 있는 전자

전달 증대기를 결합시킨 DC ERE 직-병렬 시스템을 이용하여 비활성 상태와 활성 상태에서의 태양전지와 저항에서 출력된 전류, 전압, 전력을 측정하고 이들을 비교 분석하여 다음의 결론을 얻었다.

비활성화된 DC ERE 직-병렬 시스템은 단순히 일반적인 태양전지 시스템과 동일한 역할을 하며, 이때 MPP를 갖는 저항은 4.5Ω 로 나타났다. 4.5Ω 의 저항을 갖는 활성화된 DC ERE 직-병렬 시스템에서의 전압, 전류, 전력을 측정, 비활성화된 DC ERE 직-병렬 시스템과 비교하여 효율을 계산한 결과 활성화된 DC ERE 직-병렬 시스템은 ERE를 결합시키지 않은 기존 태양전지보다 향상된 효율을 보이며 최대 효율은 활성화된 1 V ERE 직-병렬시스템에서 전력 증가율 10.2%이며 병렬전압이 25.1 V에서 가장 높은 효율을 보였다. 그러므로, 병렬 연결된 DC1은 저항의 역할로서 태양전지 전압을 상승시켰고 직렬 연결된 DC2는 감소된 전류를 보충하기 때문에 DC ERE 직-병렬 시스템을 이용하여 기존의 태양전지의 최대출력보다 다소 높은 최대출력을 생산할 수 있을 것으로 판단된다.

References

- Choi, K. L., Jo, Y. T., Yoon, J. H. Kim, S. M. and Lim, E. J., "Strategies for Developing Photovoltaics Business," *Korean J.*

- LCA*, **9**(1), 57-64(2008).
2. Ko, Y. S., Lee, W. C. and Kim, I. S., "The Consideration about the Domestic and Aboard Technology Change in the Renewable Energy Field," *KIIECS Spring Conf.*, **6**(1), 319-322(2012).
 3. Kim, G. S., Park, J. G., Han, S. W. and Yang, G. J., "Research for Reserves and Utilization of Clean Energy in Jeju," *KSPSE Autumn Conf.*, 28-33(2005).
 4. Lee, E. J., "The R & D status of the Solar Cell," *Korean J. Air-Cond. & Refri. Eng.*, **37**(12), 37-42(2008).
 5. Choo, Y. S. and Choo, S. W., "A Study on the Sun Power Solar Light and Solar Heat," *J. Real Esta.*, 266-282(2008).
 6. Bae, D. S., "Trends of the Solar Cell Technology," *Cermist*, **13**(1), 20-27(2010).
 7. Kang, H.-S., Hwang, J., Kang, Y., Lee, H. and Choe, Y., "Characteristics of p-i-n type Organic Thin-film Photovoltaic Cell," *Korean Chem. Eng. Res.(HWAHAK KONGHAK)*, **48**(5), 654-659(2010).
 8. Han, W. S., Kim, H. S., Choi, B. S. and Oh, D. K., "Trends of the Next-Generation Solar Cell Technology," *Electro. & Telecomm. Trends*, **22**(5), 86-94(2007).
 9. Oh, T., "A Study of the Efficiency and Process of Silicon Solar Cells," *KI-IT Autumn Conf.*, 502-504(2011).
 10. Hong, K. J. and Lee, S. H., "Research Trend of High Efficiency Crystalline Silicon Solar Cells," *KSES Spring Conf.*, 45-50(2003).
 11. Cho, E. C., Cho, Y. H., Kim, D. S., Lee, S. H. and Ji, I. H., "Development status of Silicon Solar Cell," *J. KIEEME*, **8**(3), 362-371(1995).
 12. Hyun, I. S. and Oh, T., "Study on the Efficiency in Silicon Solar Cell," *J. Korea Academ.-Indust. Cooperat. Soci.*, **11**(7), 2565-2569(2010).
 13. Jeon, M. S., Kum, Y. S. and Kang, K. S., "The Technological Trend of the Dye-Sensitized Solar Cell by Patent Mapping," *KSES Spring Conf.*, 233-240(2008).
 14. Kim, J. K., "Trend of Solar thermal Energy Industry and Status of Gyeongnam," *The Gyeongnam Develop.*, **119**, 87-99(2012).
 15. Baek, G. Y., *I Would Like to Know The Solar Cell*, Golden Bell(2012).
 16. Kim, T. Y., Lee, Y. K., Ahn, H. G. and Park, S. K., "A Study on the Parameter Estimation of Solar Cell Module," *Trans. KIEE.*, **51**(2), 92-98(2002).