

염료감응형 태양전지의 광전극 확장에 따른 광전특성 연구

서 현웅¹⁾, 김 미정²⁾, 박 제욱, 김 호성, 김 희제³⁾

A Study on The Photoelectric Characteristics of Dye-sensitized Solar Cell according to Expanding Photo-electrode

Hyunwoong Seo, Mijeong Kim, Jewook Park, Hosung Kim and Heeje Kim

Key words : Dye-sensitized Solar Cell(염료감응형 태양전지), Photoelectric Characteristic (광전특성), Electrode face(전극면)

Abstract : The field of dye-sensitized solar cell(DSC) is being researched actively at present. Because DSC has several advantages to pass the limits of Si solar cells such as a low manufacturing expense, a simple manufacturing process and its transparency. A lot of researches are underway about materials and processes in the field of dye-sensitized solar cell but its structure has been fixed up as the sandwich structure that both edges are used as positive and negative terminals. But the structure as of present is a factor of decreasing efficiency because the more electrons are recombined the further distance from terminal, considering about the characteristic of dye-sensitized solar cell that electrons generated inside cell are moved by diffusion. In this study, we made experiment on expanding the terminal to shorten internal moving distance of electron and compared the results according to the variation of active area to find out the effect of this trial. As a result, we achieved about 15.5% improvement of maximum power and 0.5% improvement of efficiency from terminal-expanded dye-sensitized solar cell of 2cm² active area and concluded that the increasing rate of efficiency is raised as the active area becomes wider.

1. Introduction

다양한 신·재생 에너지 중 태양광 에너지는 현재 우리나라의 환경에 가장 적합한 에너지의 형태로 여겨지고 있다. 이러한 배경으로 결정질 실리콘(Si) 계열의 태양전지는 수십 년간의 활발한 연구와 정부의 적극적인 육성으로 현재 대부분의 태양광 발전 시장을 점유하고 있는 실정이다. 하지만 장기간의 연구개발에도 불구하고 결정질 실리콘 태양전지는 비싼 원자재 가격과 설비, 복잡한 제조공정 등으로 현재 경제성의 한계에 부딪혀 있는 상황이다. 이런 상황에 새로운 제 3세대 태양전지로 주목받으며 등장한 염료감응형 태양전지(dye-sensitized solar cell : DSC)는 저렴한 제조비용과 간단한 공정, 작은 규모의 설비만으로도 생산이 가능하다는 점과 투명성 등의 장점을 살려 결정질 실리콘 태양전지가 당면한 문제를 해결할 대안으로 떠오르고 있다.¹⁾

1991년 스위스의 그레첼 교수가 염료감응형 태양전지를 개발한 이후²⁾로 결정질 실리콘 태양전지에 미치지 못 하는 효율과 휘발성 습식 전해질의 사용으로 야기되는 안정도를 극복하기 위해서 염료나 TiO₂ 입자, 상대전극의 박막 연구^{3),4),5)} 등 재료적인 측면에서 대부분의 연구가 진

행되었고 전해질 분야 또한 고효율 고체 전해질의 개발⁶⁾에 집중하고 있는 실정이다. 그러나 염료감응형 태양전지의 효율이 결정질 실리콘 태양전지에 필적하기 위해서는 재료 분야의 개발뿐만 아니라 전체적인 메커니즘이나 구조적인 면에서의 접근 또한 병행되어야 한다. 이러한 관점에서 본 연구에서는 염료감응형 태양전지의 구조적인 면을 다루어 보았다.

염료감응형 태양전지의 구조는 그림 1과 같이 TiO₂, 염료, 전해질로 구성된 내부 구성물을 투명전극(transparent conducting oxide : TCO)이 도포된 유리가 감싸고 있는 샌드위치형 구조이고 양방향으로 어긋나 돌출되어 있는 투명전극 부분이 일반적인 전지의 양, 음극 단자 역할을 하는 형태로 고정되어 있다. 하지만 염료감응형 태양전지의 메커니즘을 고려해 볼 때, 전지 내부에서

- 1) 부산대학교 전자전기공학과
E-mail : woong_1980@hotmail.com
Tel : (051)510-2770 Fax : (051)513-0212
- 2) 부산대학교 전자전기공학과
E-mail : now82mj@nate.com
Tel : (051)510-2770 Fax : (051)513-0212
- 3) 부산대학교 전자전기공학과
E-mail : heeje@pusan.ac.kr
Tel : (051)510-2364 Fax : (051)513-0212

전자가 전도가 아닌 확산에 의해 이동한다는 사실과 투명전극의 표면저항이 일반적인 전도체에 비해 상당히 크다는 점 (7-9 Ohm / square 이상)은 여기된 염료 분자의 위치에서부터 전자가 외부로 빠져나가는 전극까지의 거리가 전체 효율에 큰 영향을 미친다는 것을 의미한다.

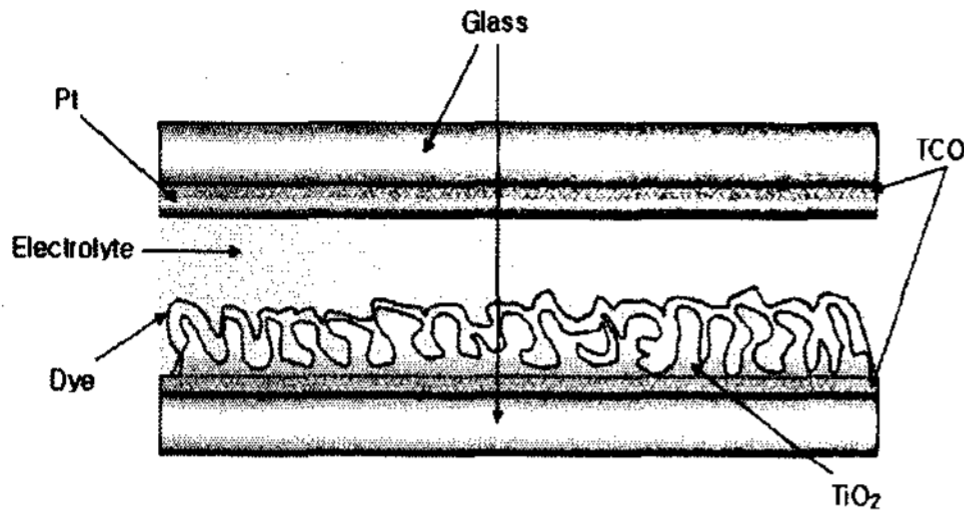
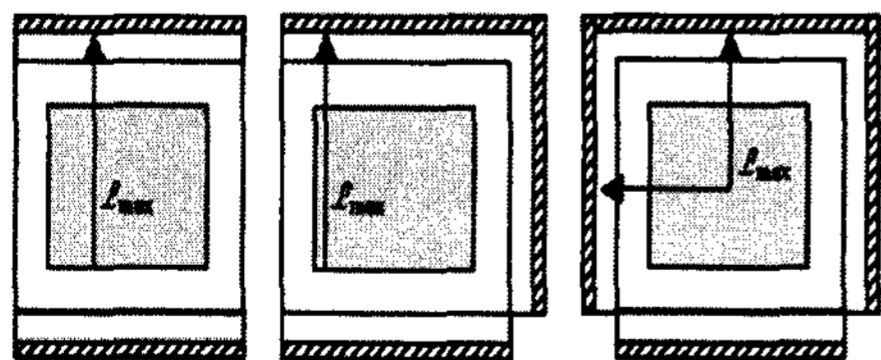


Fig 1. The Sandwich structure of Dye-sensitized Solar Cell

따라서, 본 연구에서는 현재까지 광전극 1면, 상대전극 1면으로 제작되던 염료감응형 태양전지의 구조를 그림 2와 같이 광전극 2면, 3면으로 변형시켜 보았다. 광전극의 전자 이동효율이 상대전극보다 더 좋지 않아서 본 연구를 적용할 경우 상대전극에 비해 개선 효과가 더 클 것으로 예상해 전극면의 변화는 광전극을 대상으로 진행했다. 광전극이 1면에서 3면으로 늘어난다는 것은 전자가 염료감응형 태양전지 내부에서 이동하는 최대 거리가 동일 면적에서 1/2-3/5로 줄어든다는 것이고(그림 2 참조) 이는 좀 더 많은 전자가 외부로 전달될 수 있다는 것과 전자가 외부로 빠져 나가기 전 전해질과 재결합하는 비율이 크게 줄어든다는 것을 의미한다.

본 연구에서는 이러한 전극면의 확장 실험을 통해 전체적으로 개선된 데이터를 얻을 수 있었다. 다양한 유효면적의 전지로 실험한 결과, 기존 1면 구조의 염료감응형 태양전지에 비해 2면 구조에서는 최대전력 5.6%, 광전변환효율 0.2%의 증가를, 3면 구조에서는 최대전력 15.5%, 광전변환효율 0.5%의 개선 효과를 얻었다.



L_{max} : 전자가 전극면까지 이동하는 최대 거리
 □ TiO_2 유효면적
 ▨ 염료감응형 태양전지의 전극면

Fig 2. DSC expanded photo-electrode

2. Experiment

2.1 광전극의 제조

광전극은 전극면 수에 따른 특성을 비교하기 위해 기본 구조에 전극면 형성을 위한 공간을 추가해 투명전극을 제작하고 나머지 공정은 염료감응형 태양전지의 기존 제작공정을 토대로 진행했다. 다공질 나노 크기의 균일 TiO_2 입자를 투명전극(fluorine doped tin oxide : FTO) 위에 약 $10\mu m$ 의 두께로 스크린 프린팅하고 $450^\circ C$ 에서 0.5 시간동안 소성한 후 방진상태에서 2시간동안 자연 냉각시킴으로써 TiO_2 층의 단면적을 최대화하는 다공질 구조를 형성했다. 그 후, 염료분자층의 코팅을 위해 N719 염료(cis-bis(isothiocyanato)bis(2,2'-bipyridyl-4,4'-dicarboxylato)-ruthenium(II)bis-tertbutylammonium, $RuC_{58}H_{86}N_8O_8S_2$)에 상온을 유지한 상태에서 24시간동안 침착시키고 99.9% 에틸알콜(C_2H_5OH)에 침지시켜 염료 분자의 단분자층을 형성해 염료 분자의 복층구조로 인한 효율 저하를 방지했다.

2.2 상대전극의 제조

상대전극은 sand-blast 공정을 통해 pin-hole을 형성한 후 광전극과 동일한 투명전극(FTO) 위에 그림 3과 같은 Radio Frequency Magnetron Sputtering 방식을 이용해 10^{-5} Torr를 기준으로 2.8×10^{-3} Torr, $100^\circ C$ 에서 150W의 RF sputter power를 인가함으로써 200-300nm의 두께로 Pt 박막층을 형성했다. Pt 박막의 두께는 100nm 이상이 되면 염료감응형 태양전지의 효율에 영향을 미치지 못 하지만⁷⁾ 특성 비교를 위한 최적의 상태를 위해 동일한 두께로 스퍼터링했다.

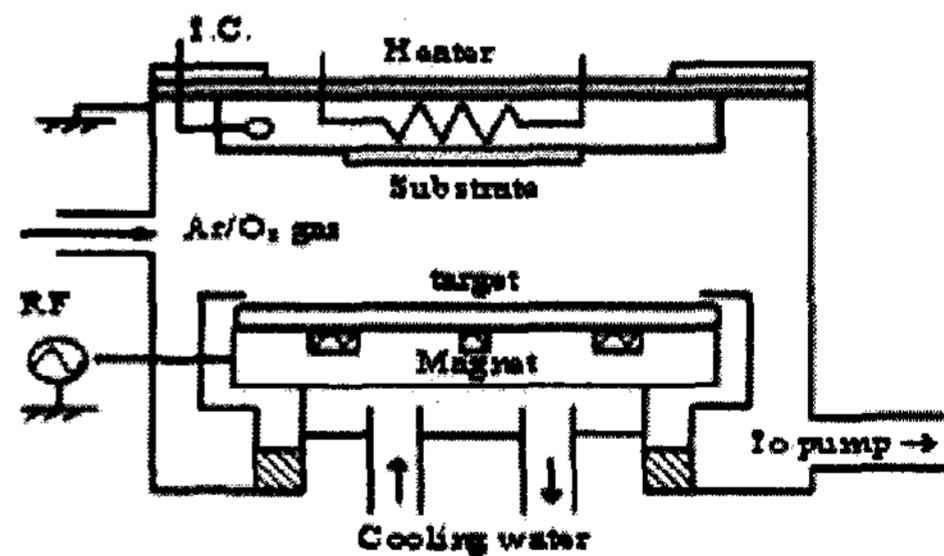


Fig 3. Schematic diagram of RF magnetron sputter system

2.3 염료감응형 태양전지의 제작

위 방식을 통해 제조한 광전극과 상대전극을 $60\mu m$ 두께의 Thermoplast hot-melt sealing sheet를 사용해 5초간 $100^\circ C$ 로 가열, 가압을 주어 실링하고 pin-hole을 통해 low viscosity의 iodide에 50mM의 tri-iodide가 함유된 redox electrolyte를 주입한 후 pin-hole을 실링하고 Ultrasonic Soldering System을 통해 soldering 처리함으로써 염료감응형 태양전지를 완성했다. 실험은 염료감응형 태양전지의 전극면의 확장에

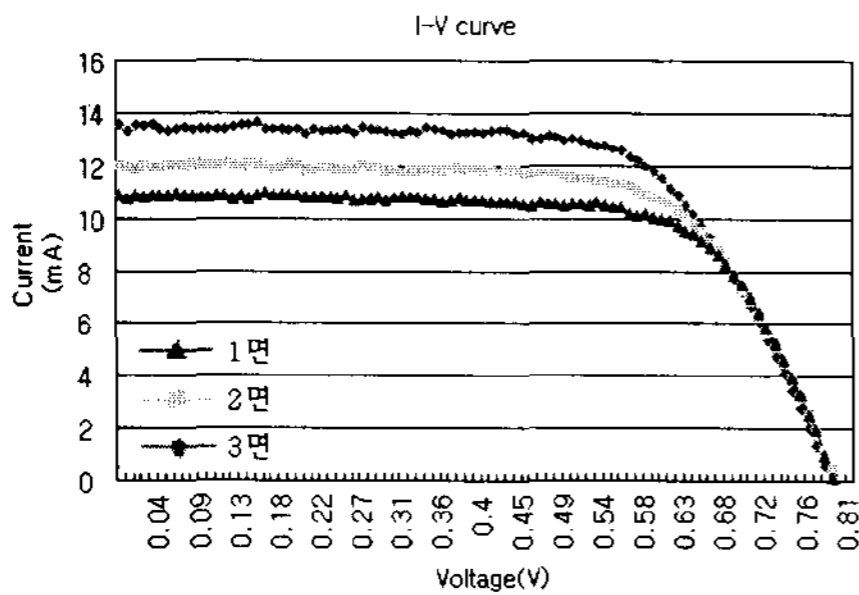
의한 영향에 의한 특성을 정확히 파악할 수 있도록 광전극의 면적을 제외한 모든 공정 및 재료가 동일한 환경 조건에서 적용되었다.

2.4 특성 측정

동일한 TiO_2 유효면적을 가지면서 전자가 외부로 빠져 나가는 광전극면이 1, 2, 3면인 3종류의 염료감응형 태양전지를 하나의 그룹으로 설정하고 I-V curve를 측정해 특성을 비교했다. 또, 유효면적의 크기에 따른 영향을 살펴보기 위해서 서로 다른 유효면적을 가지는 그룹을 4종류로 나누어 제작했다. 측정은 Solar Simulator 상에서 air mass(AM) 1.5의 조건 하에서 각각의 염료감응형 태양전지의 광전 특성을 측정했다. 본 논문에서 사용하는 1, 2, 3, 4그룹은 각각 $1cm^2$, $2cm^2$, $4cm^2$, $6cm^2$ 의 유효면적을 갖는 염료감응형 태양전지를 말하고 sample x-y에서 x는 그룹 번호를, y는 광전극의 전극면 수를 나타내는 기호임을 밝혀 둔다.

3. Result

3.1 광전극면 변화에 따른 염료감응형 태양전지의 특성비교



광전극 1면 DSC	광전극 2면 DSC	광전극 3면 DSC
Isc=11.3mA	Isc=12.0mA	Isc=13.3mA
Voc=0.80V	Voc=0.80V	Voc=0.80V
FF=0.78	FF=0.78	FF=0.77
Pmax=7.1mW	Pmax=7.5mW	Pmax=8.2mW
Eff.=3.38%	Eff.=3.57%	Eff.=3.90%
Sun=100mW/cm²	Sun=100mW/cm²	Sun=100mW/cm²
Active Area=2.1cm²	Active Area=2.1cm²	Active Area=2.1cm²

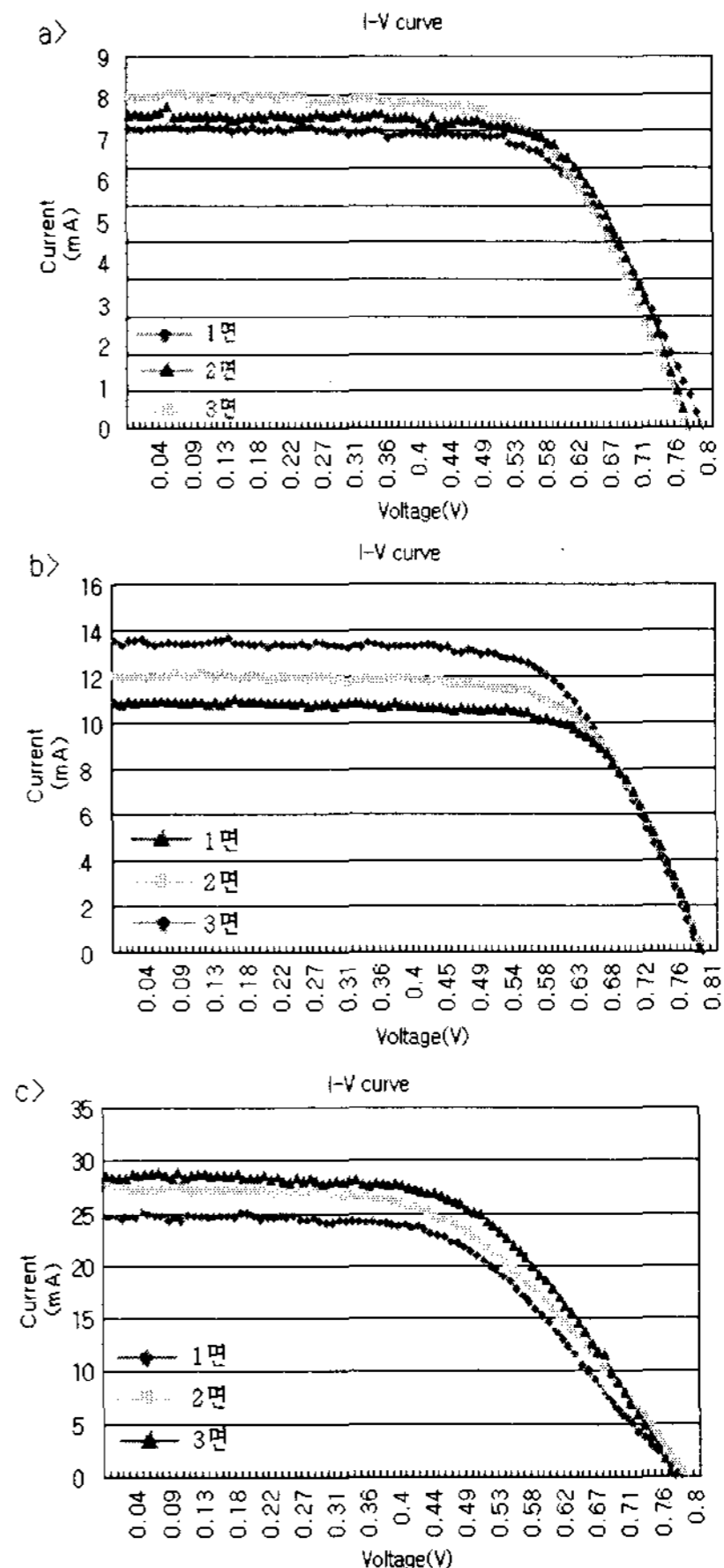
Fig 4. I-V characteristic curve of DSC having $2cm^2$ active area

그림 4는 $2cm^2$ 의 동일한 유효면적을 가지면서 광전극의 전극면 수가 1, 2, 3면으로 서로 다른 염료감응형 태양전지의 I-V curve를 나타내고 있다. I-V curve의 측정 결과, open circuit voltage(Voc)는 0.8V 정도로 비슷했지만 전극면 수가 늘어남에 따라 short circuit current (Isc)는 11.3mA에서 12.0mA, 13.3mA로 17.7% 증가했고 최대 전력 또한 7.1mW에서 8.2mW까지 약 15.5% 증가했다. Fill Factor는 Isc의 증가로 세 종류의 태양전지가 유사한 특성을 보였고 3 광전극면이 약 0.5% 높은 광전변환 효율을 나타내었

다. 이는 앞서 언급한 전자가 외부로 빠져나가는 이동효율이 좋아지고 재결합율이 감소했다는 것을 간접적으로 나타내 주는 결과이다. 동일한 소재의 TiO_2 와 염료를 사용했기 때문에 동일한 band-gap을 형성해 Voc는 동일한 레벨의 전압을 출력하고 Fill Factor 또한 유사한 결과를 나타내었지만 전자의 이동을 나타내는 지표인 전류 (Isc)가 증가한 것을 확인함으로써 전자와 가까운 전극면까지의 거리가 전자의 이동에 있어 큰 개선효과를 보인다는 것을 알 수 있다.

3.2 다양한 유효면적에 대한 광전극 확장 효과

유효면적이 넓어질수록 염료감응형 태양전지의 효율은 현저히 감소한다. 이 또한 멀어지는 전극까지의 거리와 무관하지 않은 것이므로 본 연구에서 제안한 방법을 적용해 볼 수 있다. 위에서 언급한 서로 다른 유효면적의 염료감응형 태양전지 1, 2, 3, 4그룹의 I-V curve를 그림 5에 나타내었다. 3.1의 결과와 같이 광전극면이 확장될수록 성능 개선 효과를 보인다.



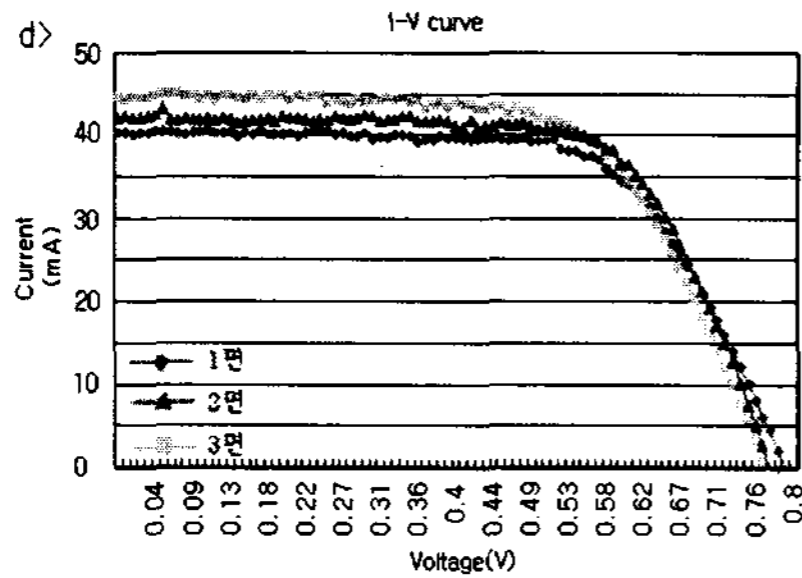


Fig 5. I-V characteristic curve of each group having different active area (Active area a>1cm², b>2cm², c>4cm², d>6cm²)

여기에 유효면적의 증가에 따른 효과를 보기 위해 그룹별 최대전력과 효율의 증가율을 그림 6에 나타내었다. 위 그림에서 알 수 있듯이, 유효면적이 증가할수록 전극면 확장의 효과는 더 크다는 것을 알 수 있다. 이는 유효면적이 넓어질수록 멀어지는 전극까지의 거리에 비례해 전극면을 확장했을 때 1/2~3/5 정도로 줄어드는 거리 또한 더 많이 줄어들기 때문이다. 1그룹에서 최대전력이 4.5%, 효율이 0.14% 증가한 반면, 유효면적 증가에 따라 점차 증가율이 커져서 본 실험에서 가장 넓은 유효면적을 가지는 4그룹은 최대전력이 25.3%, 효율이 0.9% 증가하는 결과는 이를 뒷받침하고 있다.

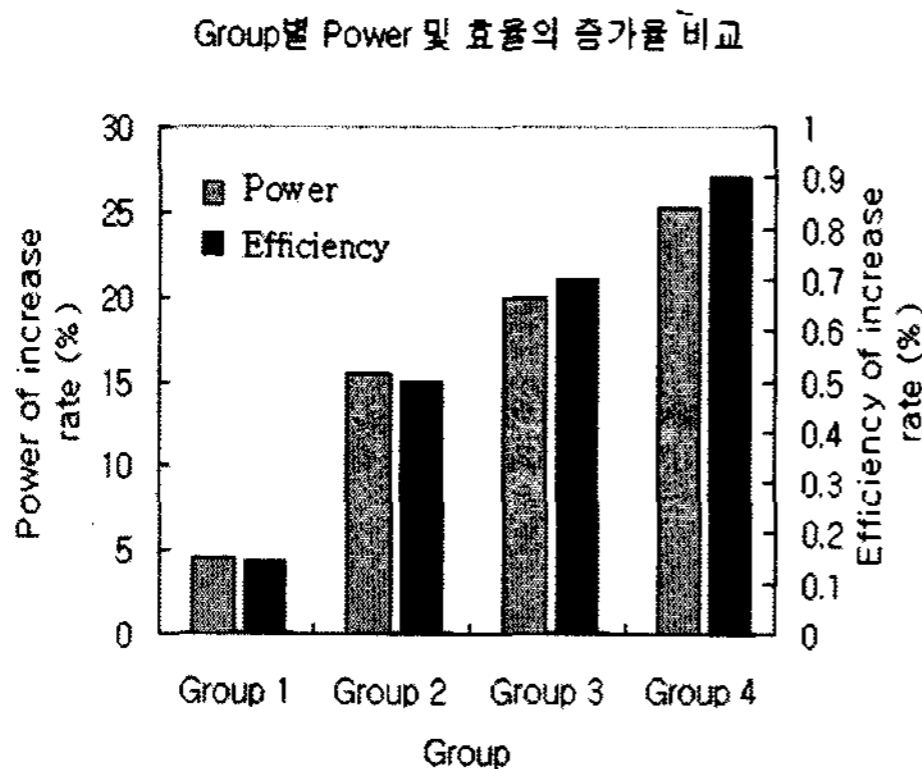


Fig 6. Increase rate of maximum power and efficiency of each group

4. Conclusion

본 연구에서는 동일한 유효면적의 염료감응형 태양전지에 전자의 내부 이동거리를 줄이기 위해 광전극을 1면에서 2, 3면으로 확장하고 태양전지의 I-V curve를 통해 특성을 확인했다. 그 결과, 전극면 수가 늘어남에 따라 Isc는 17.7% 증가했고 최대 전력 또한 약 15.5% 증가했다. Fill Factor는 Isc의 증가로 세 종류의 태양전지가 유사한 특성을 보였지만 효율 또한 3면으로 확장한 광전극을 가지는 염료감응형 태양전지에서 약 0.5% 정도 높은 광전변환 효율을 얻음으로서 전

극면 확장의 효과를 증명했다. 또한 서로 다른 유효면적에 대해 같은 실험을 반복함으로써 유효면적의 변화에 따른 광전극면 확장의 효과도 확인했다. 유효면적이 1cm²에서 4cm²로 증가함에 따라 최대전력의 증가율은 4.5%에서 25.3%까지, 광전변환 효율은 0.14%에서 0.9%까지 증가하는 결과를 통해 본 연구의 시도가 넓은 유효면적에서 더 큰 개선효과를 나타냄을 보였다. 이러한 결과는 기존의 고정적이던 염료감응형 태양전지 구조에서 벗어나 효율 증대를 위한 연구에 한 가지 방법이 될 것으로 기대한다.

후기

본 연구는 과학재단 과제 (과제번호 : R01-2004-000-10318-0) 염료감응형 태양전지 연구의 일환으로 수행되었습니다.

References

- [1] R. D. McConnell, 2002, "Assessment of the dye-sensitized solar cell", Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 6, Issue 3, Pages 271-293
- [2] B. O'Regan, M. Grätzel, 1991, "Optical electrochemistry I: steady-state spectroscopy of conduction band electrons in a metal oxide semiconductor electrode", Chemical Physics Letters, Volume 183, Issues 1-2, pp. 89-93
- [3] Ceylan Zafer et al., 2007, "New perylene derivative dyes for dye-sensitized solar cells", Solar Energy Materials and Solar Cells, Volume 91, Issue 5, Pages 427-431
- [4] Supachai Ngamsinlapasathian et al., 2004, "Highly efficient dye-sensitized solar cell using nanocrystalline titania containing nanotube structure", Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry, Volume 164, Issues 1-3, pp. 145-151
- [5] Matteo Biancardo, Keld West and Frederik C. Krebs, 2007, "Quasi-solid-state dye-sensitized solar cells: Pt and PEDOT:PSS counter electrodes applied to gel electrolyte assemblies", Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry, Volume 187, Issues 2-3, Pages 395-401
- [6] Kazuharu Suzuki et al., 2006, "Dye-sensitized solar cells with ionic gel electrolytes prepared from imidazolium salts and agarose", Comptes Rendus Chimie, Volume 9, Issues 5-6, Pages 611-616
- [7] Xiaoming Fang et al., 2004, "Effect of the thickness of the Pt film coated on a counter electrode on the performance of a dye-sensitized solar cell", Journal of Electroanalytical Chemistry, Volume 570, Issue 2, Pages 257-263