

염료 감응형 태양전지의 상용화를 위한 실용적 대면적화에 대한 연구

김 미정, 서 현웅, 홍 지태, 김 희제
부산대학교 전기공학과

A study on the large scaling of Dye-Sensitized Solar Cell for commercialization

Mijeong Kim, Hyunwoong Seo, Jitae Hong, Heeje Kim
Pusan national university electrical engineering

Abstract - 염료 감응형 태양전지(DSSC)의 개발 이후 많은 연구와 실험이 상용화를 위한 대면적화에 중점을 두고 진행되고 있다. 대면적화에 대한 대부분의 연구에서 그리드 전극을 넣고 내부적으로 직, 병렬 구조를 조합해 확장 시키는 방법을 채택하고 있지만, 그리드 전극을 넣음으로써 발생하는 손실, 즉 실링 공정의 어려움으로 발생하는 전자의 손실과 제작 공정상에 있어서의 복잡한 절차 및 그에 따라 소요되는 시간 등을 감안할 때 이는 그리드 효과적이지 못하다고 할 수 있다. 면적이 작은 여러 셀을 외부에서 연결시켜 대면적화 시켰을 때 그 효과에 대해서 알아보고, 동일한 면적의 대면적화 된 단일 셀과 비교, 그 결과를 분석해 보았다. 그 결과, 우리는 동일한 면적을 가지고 있는 대면적의 단일 셀보다 여러 셀의 병렬 조합으로 이루어진 것이 더 좋은 결과를 나타낼 수 있었다. 이를 바탕으로 유효면적 8cm²을 가지는 셀을 외부적으로 연결시켜 대면적화 시켰을 때 그 효과에 대해서 알아보고 실험하였다. 하나의 모듈을 만들기 위해 직·병렬의 다양한 조합을 시도하여 직렬 연결이 많이 된 모듈일수록 이를 다시 병렬로 연결했을 때 전류의 손실을 많이 줄일 수 있다는 결론을 얻었다.

1. 서 론

현재 세계의 이목이 대체 에너지 개발에 집중되고 있다. 여러 종류에 대체 에너지에 희망을 걸고 있지만 한국에 가장 적합한 대체에너지는 태양광 발전이라고 해도 과언이 아닐 것이다. 한국의 태양광 분야는 정부의 보급 정책과 기술개발 사업으로 점점 가속화 되고 있으며 대기업을 중심으로 한 태양광 산업에 대한 투자도 증가하고 있는 추세이다. 이에 힘입어 염료 감응형 태양전지(DSSC)의 각 분야에서 계속적인 개발이 이루어지고 있지만[1] 효율개선 문제[2]나 대면적화 문제[3], 전자의 흐름 개선[4] 등 아직도 상용화를 위해서는 해결해야 할 많은 어려움을 가지고 있다. 염료 감응형 태양전지는 구조적으로 Si 태양전지에 비해 대면적화를 이루기가 어려운 특징을 가지고 있고, 대면적화 되어감에 따라 감소하는 효율에 대한 해결을 위해 아직도 많은 연구가 계속되고 있는 실정이다. 그래서 이번 연구는 대면적화를 하면서 생기는 여러 가지 문제를 개선하는 방법에 초점을 두었다. 염료 감응형 태양전지의 대면적화를 이루기 위해서는 내부적으로 그리드 전극을 넣는 방법을 많이 사용한다[5]. 하지만 이는 제작 과정이 복잡하고, 실링 공정의 불완전함에서 생기는 전자의 손실 등으로 인하여 제작에 어려움이 많다. 따라서 이번 연구에서는 염료 감응형 태양전지의 대면적화 방법에 있어서 그리드를 이용한 대면적 단일 셀의 효율 개선에 대한 시도 대신, 작은 유효면적의 여러 셀을 외부에서 연결해 대면적을 구성하는 방법을 적용해 보았다. 그 결과 직렬 10 × 병렬 4 모듈로부터 7.4V, 165.3mA의 출력을 얻을 수 있었다

2. 본 론

2.1 염료 감응형 태양전지의 제작

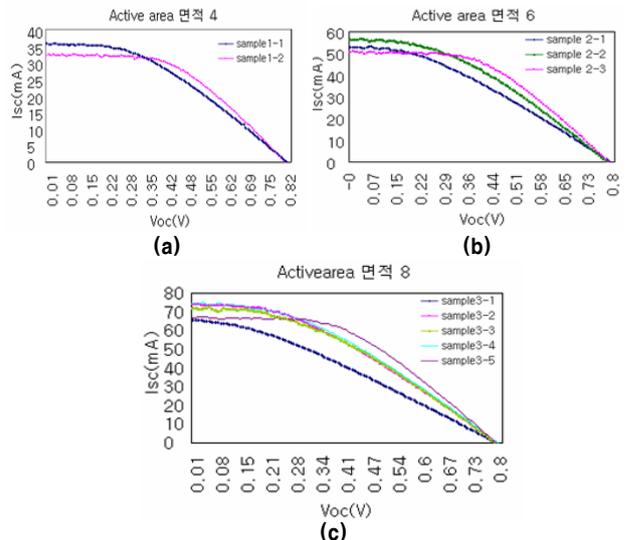
광전극의 재료는 TCO로 FTO를 사용하며 먼저 세척한 후에 그 위에 닥터 블레이드 방법으로 Ti-Nanoxide HT/SP를 도포하여 450℃에서 소성 시킨다. Ruthenium 염료(N719)에 24시간을 담궈 다공질의 TiO₂에 염료가 잘 흡착할 수 있도록 한다. 흡착되지 않고 남은 염료는 무수 에탄올로 깨끗이 세척하고 건조하여 준비한다. 상대전극은 FTO glass의 양끝에 sand blast로 전해질 주입을 위한 미세한 구멍을 뚫어 세척하고 건조한다. 그리고 촉매역할을 하는 백금을 증착하기 위해서 10⁻⁵Torr를 기준으로 2.8×10⁻³Torr, 100℃에서 150W의 RF sputter power를 인가함으로써 200~300nm의 두께로 Pt 박막층을 형성했다. 광전극과 상대전극을 준비한 후, 고체 전해질을 이용하여 고온에서 광전극과 상대전극을 접합하고, 전해질을 주입한 후, 실링을 하고 마지막으로 양극을 솔더링하여 완성한다.

2.2 동일 유효면적에 대한 다양한 조합에 따른 실험 및 결과 분석

〈표 1〉 다양한 병렬 조합에 따른 분류

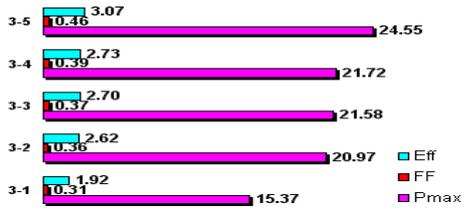
Group	sample number	Active area (cm ²)
1그룹	1-1	4
	1-2	2+2
2그룹	2-1	6
	2-2	2+4
	2-3	2+2+2
3그룹	3-1	8
	3-2	4+4
	3-3	2+6
	3-4	2+2+4
	3-5	2+2+2+2

동일한 유효면적을 가지는 셀을 만들기 위해서 우선 4가지 면적을 가진 셀을 제작하였다. 각각 2cm², 4cm², 6cm², 8cm²의 유효 면적을 갖는 셀을 준비하고 전자의 이동 효율에 영향을 줄 수 있는 전극간의 거리는 모든 셀이 같게 하여 실험변수 외의 다른 요소에 의한 오차를 최소화하는 방향으로 실험을 진행했다. 실험은 DSSC를 세 그룹으로 분류해 진행되었다. 표 1과 같이 1, 2, 3그룹은 각각 4cm², 6 cm², 8cm²의 유효면적을 갖는 표본으로, 단일 셀과 그와 동일한 면적을 가지는 작은 셀의 조합을 통하여 결과를 비교, 분석했다. 각 그룹의 I-V 커브를 그림 1에 나타내었다.



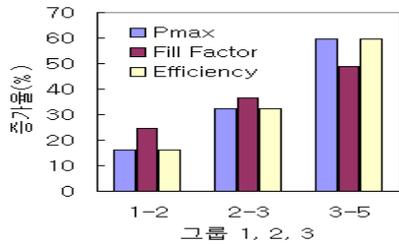
〈그림 1〉 Group별 I-V curve

(a)는 그룹 1의 I-V 커브로 1-2의 FF가 1-1보다 개선된 것을 알 수 있다. 또한 효율 면에서도 0.5%의 증가를 보였다. 그룹2의 커브 (b)는 2-1보다는 2-2가, 2-2보다는 2-3의 FF가 개선되었음을 알 수 있다. 효율 면에서도 각각 0.43%, 0.78%의 증가로 동일한 유효면적에서 더 세분화될수록 개선 효과를 보였다. 그룹 3의 I-V 커브인 (c)에서도 3-1에서 3-5로 갈수록 점점 출력 특성이 개선되고 있음을 알 수 있고, 효율도 0.34%, 0.37%, 0.45%, 1.15%의 증가를 보였다.



〈그림 2〉 Group 3의 Pmax, FF, Eff 의 비교

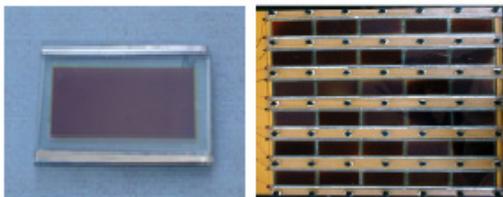
그림 2의 경우, 동일한 유효 면적(그림 3)에서 대면적 단일 셀보다 작은 유효 면적을 가진 셀들을 병렬 조합했을 때 최대 9.18mW의 Pmax 증가, 48.94%의 FF 증가, 1.15%의 효율 향상 등 유효 면적이 나누어질수록 모든 출력 특성에서 개선된 결과를 나타내고 있음을 알 수 있다. 또한 이러한 개선 효과는 셀의 유효면적이 커질수록 더욱 뚜렷하게 나타나고 있는 것을 볼 수 있다. (그림 3 참고)



〈그림 3〉 유효면적 2cm²의 셀로 4cm², 6cm², 8cm²의 유효 면적을 조합했을 때 Pmax, FF, Eff의 증가율 (단일 셀 대비)

2.3 대면적화를 위한 연구

2.2의 실험을 바탕으로 염료 감응형 태양전지 모듈의 대면적화를 위하여 단일 셀의 크기를 최적화 실험을 통해 8cm²로 확정 지은 상태에서 직·병렬 연결로 셀의 면적을 확장시켰다. 그림4는 염료감응형 태양전지의 모듈 구성의 예를 보여준다.



〈그림4〉 염료 감응형 태양전지 모듈 구성의 예

2.3.1 병렬 연결에 의한 모듈제작

먼저 병렬 연결의 경우, 살펴보면 태양광 입력 35mW/cm²에서 표 2와 같이 병렬 연결을 통해 셀을 하나씩 늘어가며 측정했다. 최적화 시킨 유효 면적이 8cm²인 셀의 평균 전류는 38mA였고, 전압의 평균은 0.75V였다. 이 셀들을 하나씩 조합하며 10개 즉, 유효 면적 80cm²까지 연결하며 분석한 결과, 하나씩 늘려갈 때 마다 전압 값은 한 개의 셀과 동일한 약 0.75V정도의 수치를 보였고, 전류의 경우 각 셀들이 가진 전류의 합으로 나타내어질 것이라는 예상과 달리 연결 할수록 셀 하나가 가지는 평균 전류의 양은 현저히 감소하는 결과를 얻었다.

2.3.2 직렬 연결에 의한 모듈제작

광 입력 45mW/cm²의 태양광 아래에서 측정하였다. 직렬 연결을 했을 경우, 표 2에서 나타난 것과 같이 전압의 경우 각각의 셀의 전압을 합한 것과 같은 값을 가졌고, 전류의 경우 각각의 셀의 전류 양의 평균값과 같음을 알 수 있었다.

〈표 2〉 직,병렬 연결로 구성된 각각의 모듈의 I,V 수치

셀의 연결	병렬		셀의 연결	직렬	
	전압(V)	전류(mA)		전압(V)	전류(mA)
셀 1개	0.715	41.5	셀 1개	0.76	41.5
2	0.711	49.4	2	1.60	43.2
3	0.719	54	3	2.24	45.5
4	0.717	58	4	3.0	47.2
5	0.717	60	5	3.75	45
10	0.723	72.5	10	7.63	47.3

2.3.3 직·병렬 연결의 조합에 의한 모듈제작

직렬과 병렬의 실험결과를 토대로 모듈을 구성했다. 위의 실험결과에서 보는 것과 같이 직렬 연결을 이용하면 전압에는 상승효과를 볼 수 있으나 전류는 한 개의 셀의 전류 값과 같이 실용적으로 활용하기에는 다소 부족한 값을 가진다. 직렬 연결의 낮은 전류를 높이기 위한 방안으로는 유효 면적의 크기를 넓히거나 셀을 병렬로 연결시키는 방법이 있다. 이 중 유효면적의 크기를 넓힐 경우 셀의 효율 저하와 낮은 FF값을 가지고 또 이미 이를 감안하여 셀의 크기를 확정시켜 놓은 상태이므로 적합하지 않았다. 병렬 연결을 통한 실험을 고려해볼 때, 다소 전류의 손실이 있었으나 직렬 연결과 조합하는 경우, 병렬 연결의 특징과 다른 결과를 얻을 수 있다고 판단했다. 직·병렬 연결 형태에 따라 출력이 크게 변동되기 때문에 다양한 조합으로 실험했다. 이 실험은 태양광 입력 약 35mW/cm²에서 시행되었고, 표 3과 같은 결과를 보였다. 결과를 바탕으로 우리는 직렬연결로 셀 10개를 연결한 모듈을 다시 병렬로 4라인으로 조합한 결과 약 1.13W의 출력과 5.47%의 효율을 가지는 모듈을 구성할 수 있었다.

〈표 3〉 직·병렬 조합에 의한 모듈의 I,V 수치

직렬 병렬	전압 (V)	전류 (mA)	전압 (V)	전류 (mA)	전압 (V)	전류 (mA)
	1 (cell)		5 (cells)		10 (cells)	
1 (cell)	1.404	38.26	3.65	40.5	7.27	41
2 (cells)	1.415	68.8	3.57	80.6	7.34	87.9
3 (cells)	1.430	86.7	3.6	119	7.35	124.2
4 (cells)	1.425	95.8	3.545	148.8	7.4	165.3

3. 결 론

실험 결과, 작은 유효면적의 셀 여러 개를 외부에서 연결해 대면적을 구성한 경우가 동일한 유효면적을 가지는 단일 셀보다 최대 전력, FF, 효율 면에서 크게 개선되어 더 좋은 결과를 나타낸다는 것을 알 수 있었다. 그리고 유효면적을 변화시켜 가며 실험한 결과, 전체의 유효면적이 커질수록, 또 작은 유효면적의 셀이 더욱 세분화 될수록 개선 효과가 커진다는 것도 볼 수 있었다. 즉, DSSC의 대면적화 시도에 있어서 Si 태양전지와 같이 10cm 이상의 길이를 갖는 대면적 단일 셀을 제작하는 것보다는 전자의 이동 효율이 좋은, 좀 더 작은 유효면적의 DSSC를 병렬 조합하는 것이 더 나은 결과를 이끌어 내는 방법이라 할 수 있다. 이 결과를 바탕으로 유효면적 320cm²의 대면적 모듈을 제작하여 실험하였다. 하지만 실제 대면적에 있어서 병렬조합만으로는 전류의 손실이 커서 전류의 손실을 보완하지 않고는 고출력을 얻기에 어려움이 있기 때문에 직·병렬 조합이 필요했다. 다양한 직·병렬 조합을 시도한 결과 직렬 연결이 많이 된 모듈일수록 이를 다시 병렬로 연결했을 때 전류의 손실을 줄일 수 있다는 결론을 얻었다. 최적의 출력을 얻기 위해 다양한 조합을 시도한 끝에, 직렬 10 × 병렬 4 구성의 염료 감응형 태양전지 모듈로부터 1.13W의 출력과 5.47%의 효율을 얻을 수 있었다.

후기

본 연구는 한국과학재단 기초과학연구사업기금 (No. R01-2004-000-1 0318-0)에 의한 염료 감응형 태양전지 연구의 일환으로 수행되었습니다.

참고 문헌

- [1] B. O'Regan, M. Grätzel, "Optical electrochemistry I: steady-state spectroscopy of conduction band electrons in a metal oxide semiconductor electrode", Chemical Physics Letters, Volume, 1991
- [2] S.Ngamsinlapasathian, S.kulkhaemaruthai, "Highly efficient dye-sensitized solar cell using nanocrystalline titania containing nanotube structure", Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry, Volume 164, Issues 1-3, 145-151, 2004
- [3] K. Okada, H. Matsui, T. Kawashima, T. Ezure, "100 mm × 100 mm large-sized dye sensitized solar cells", Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry, Volume 164, Issues 1-3, 193-198, 2004
- [4] Zhaoyue Liu, Kai Pan, Min Liu, Qinglin Zhang, Jun Li, Yang Liu, "Influence of the binder on the electron transport in the dye-sensitized TiO₂ electrode", Thin Solid Films, Volume 484, Issues 1-2, Pages 346-351, 22 July 2005
- [5] R.Sastrawan, J.Beier, U.Belledin, "A glass frit-sealed dye solar cell module with integrated series connection", Solar Energy Materials and Solar Cells, Volume 90, Issue 11, Pages 1680-1691 6 July 2006