

젤형 염료 태양전지의 광전변환 특성에 관한 연구

(Study for Photovoltaic Characteristics of Gel Type Dye Sensitized Solar Cells)

박병욱* · 곽동주 · 성열문**

(Byung-Wook Park · Dong-Joo Kwak · Youl-Moon Sung)

요 약

본 연구에서는 Poly(VdF-HFP)를 사용한 Gel Polymer 전해질을 제작하여 기존의 액상전해질과 비교하였다. 제작된 젤 고분자 전해질의 성분은 FTIR 분석을 사용하여 화학적 구조를 고찰한 후, 성분조사를 통해 Gel Polymer 전해질임을 확인 하였으며, SEM 관측을 통해 Polymer 상태의 Gel 전해질의 구조를 확인하였다. 본 실험에서 제작된 젤 고분자 전해질을 구성하는 DEC와 PC의 최적의 성분비는 5 : 5임을 확인할 수 있었다. 최적조건인 젤 고분자 전해질을 이용하여 제작된 염료 태양전지(DSCs)의 효율은 3~4[%]정도의 측정값을 얻었으며, 이상의 결과로부터 기존의 액상 전해질을 대체할 수 있는 준 고체형 염료태양전지의 제작이 가능함이 확인되었다.

Abstract

In this paper Gel polymer electrolyte using Poly(Vdf-HFP) was fabricated and compared with liquid type electrolyte. The chemical structure and ingredients of fabricated gel electrolyte was investigated and identified to gel polymer electrolyte by FTIR, gel electrolyte was verified to polymer state by SEM. From the experiment result, the better component ratio of Propylene carbonate and Diethyl carbonate for gel type electrolyte was 5 : 5. The conversion efficiency of fabricated DSCs using gel electrolyte was 3~4[%], expected to alternate with liquid type electrolyte.

Key Words : Dye Sensitized Solar Cells, Liquid Electrolyte, Gel-Polymer Electrolyte, Conversion Efficiency

1. 서 론

금속이나 그 산화물을 전극으로 하여 전해질 용액에 침적시키면 광기전력이 발생하는 현상은 19세기

전반부터 베르셀(Becquerel)효과로서 알려져 왔고, 20세기 중반에 이르러 다양한 반도체 전극을 대상으로 꾸준한 연구가 계속되어 왔다[1]. 특히 TiO₂와 같은 자외선 영역의 반도체를 염료로써 감응시키는 아이디어도 1980년대 초반부터 제안되었으나, 광전류 값이 수 10[$\mu\text{m}^2/\text{cm}^2$] 범위였기에 그다지 주목을 받지 못했다. 그런데 1991년에 발표된, Grätzel cell[2]은 다공질의 TiO₂ 미립자 막에 Ru계 색소의 단분자층을 흡착시키고, 여기에 I⁻/I₃⁻의 전해질을 도입한 것

* 주저자 : 경성대학교 전기전자공학과

** 교신저자 : 경성대학교 전기전자공학과 부교수

Tel : 051-620-4777, Fax : 051-624-5980

E-mail : ymsung@ks.ac.kr

접수일자 : 2008년 12월 15일

1차심사 : 2008년 12월 18일, 2차심사 : 2009년 1월 22일

심사완료 : 2009년 2월 3일

이 약 10%라고 하는 높은 변환효율을 얻는데 성공하였다. 그 후 Grätzel Cell은 유럽 각국으로부터 많은 주목을 받음과 동시에, 태양전지분야에 있어서 효율향상을 목표로 하는 DSCs연구개발에 붐을 이루는 원동력이 되어 왔다. 염료 감응 태양전지(Dye Sensitized solar Cells; DSCs)는 이러한 Grätzel cell을 베이스로 하는 습식형 태양전지로서, TiO₂ 등의 반도체 표면에 염료를 부착시켜 가시 광에 의한 광전 변환을 모색하는 방식을 원리로 하고 있다. 실리콘계와 비교하여 제작 공정과정이 단순하고 저렴하다는 장점을 지니고 있고, 현재 최대 11% 정도의 에너지 변환효율을 나타내고 있다. 그러나, 염료 태양전지가 상용화되기까지는 앞으로 많은 기술적 과제가 남아있다. 그 중에서 전해질 기술은 최근 활발히 연구되고 있다[3-5]. 염료 태양전지용 전해질은 다음 화학반응식을 기본 원리로 하는 요오드(Iodine)의 산화환원체(Redox couple)가 주로 사용되고 있다.



물론 현재에도 계속해서 새로운 전해질의 개발이 요구되고 있으며, 전해질이나 용매에 있어서 요구되는 성질을 간단히 정리하면 다음과 같다.

- ① 음이온과 양이온의 상호작용이 거의 없다.
- ② 유전율이 높다.(용매)
- ③ 전해질은 잘 용해시키지만, 염료는 용해되지 않는다.
- ④ 점도가 낮다.
- ⑤ 화학적으로나 열적으로 안정하다.

한편, 액체 전해질은 용매의 휘산이나 전해액의 누설에 의한 열화 문제가 지적되고 있어서 이를 해결하기 위한 방안으로써 전해질의 준 고체화 혹은 완전 고체화가 검토되고 있다. 고체화가 실현되면 필름화가 가능해지므로 사용 범위가 투명성을 이용한 각종 커버용도나, Flexible에다 Colorful한 구성이 가능해지므로 이러한 특성을 살린 인테리어(Interior) 용도 등, 그 범위가 대폭적으로 확대될 수 있다. 이러한 측면에서 현재 고체화 전해질의 연구가 활발하게 진행되고 있다[4-5]. 단, 완전 고체화할

경우, 전해액과 전극 계면 간의 접촉 불량이 해결해야 할 과제로 남아 있고, 이에 대한 방안으로써 용액을 젤(gel)화하는 기술이 검토되어 왔다.

본 연구는 이러한 연구의 일환으로서, 종래의 액상형의 전해질을 준 고체형으로 대체할 수 있는 젤 고분자(Gel polymer)형의 전해질을 제조하였다. 그리고 각 공정 조건 하에서 얻어진 젤 전해질의 전기 화학적 특성을 고찰하여 최적의 공정조건을 구하고자 하였고, 최종적으로 젤 전해질을 베이스로 하여 염료 태양전지를 직접 제작하여, 셀의 광전변환 특성을 조사하였다.

2. 본 론

2.1 액상형 염료 태양전지

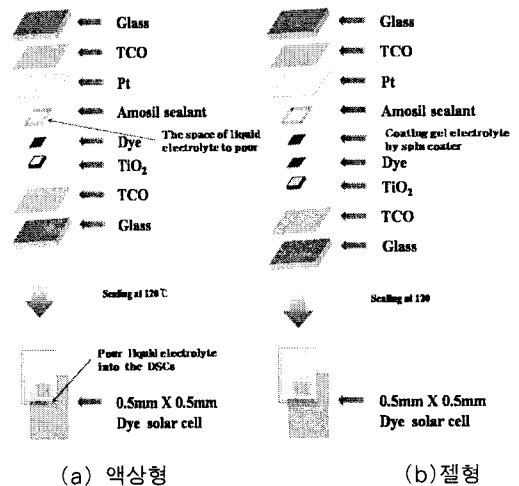


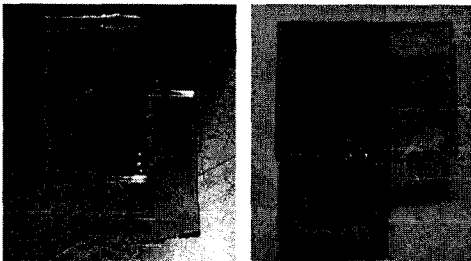
그림 1. 액상형 및 젤형 염료 태양전지 제작 공정
Fig. 1. Processes of gel and liquid type DSCs

그림 1은 액상형 및 젤형 염료 태양전지의 제작공정을 나타낸 그림이다. 그림 1 (a)는 액상형 염료 태양전지의 공정 과정과 구조를 알아보기 쉽게 하였다. 먼저 상대전극은 FTO glass를 준비한다. 그리고 전해질의 산화-환원 반응을 활성화시키기 위해서 사용된 촉매 전극은 H₂PtCl₆H₂O 용액을 FTO glass위에 침하시킨 후, 450[°C]에서 30분간 열처리를 하여 제작하였다. 그리고 동작전극은 TiO₂ paste를 FTO

젤형 염료 태양전지의 광전변환 특성에 관한 연구

glass위에 5[mm]의 간격을 두고 마스크 테이프를 접착시킨 후, Doctor blade 방법으로써 코팅시켜 450[°C]에서 30분간 열처리를 하였다. TiO₂의 두께는 대략 13[μm]이다. TiO₂가 증착된 FTO glass를 N719 염료에 침적시켜 24시간 동안 나노 TiO₂에 충분히 흡착시켰다. 제작된 동작전극과 상대전극은 두께 60[μm]의 SX1170-60 (Solaronix) sealing 재료를 이용하여 120[°C]의 열풍건조기에서 3분 동안 열을 가하여 접착시켰다. 접착하기 전에 sealing 재료를 적당한 크기로 자른 후 sealing 될 위치의 양쪽에 적당한 공간을 두어 sealing을 하는데 이러한 모습은 그림 1 (a)에 잘 나타나 있다. 그리고 이러한 방법을 이용하지 않고 전해질을 투입 할 때에는 상대전극을 다이아몬드 팁 드릴을 이용하여 두 군데의 적당한 위치에 전해질 주입구를 만든 후 sealing하여 제작한다. 그 후 sealing 되지 않은 공간이나, 드릴로 뚫은 주입구에 액상형 전해질을 투입하고 에폭시로 마감을 하여 제작했다.

2.2 젤형 염료 태양전지



(a) 액상형

(b) 젤형

그림 2. 제작된 액상형 과 젤형 염료 태양전지 (0.5×0.5[cm])

Fig. 2. Fabricated the liquid and gel type dye sensitized solar cell(0.5×0.5[cm])

젤형 염료 태양전지의 동작전극과 상대전극의 제작과정은 액상 염료 태양전지의 제작과정과 동일하다. 하지만 젤형 염료 태양전지에서는 전해질의 투입방법이 액상과 다르며 이는 그림 1 (b)에 나타내었다. 젤 고분자 전해질은 sealing하기 전에 젤 고분자 전해질을 동작전극 위에 스포이드로 적정량을 떨어

뜨린 후, Spin coater로 500RPM에서 1분간 회전시켜 코팅한다(Doctor blade 방법으로도 가능함). 그 후 동작 범위 밖으로 퍼진 전해질을 긁어 낸 다음 두께 60[μm]의 SX1170-60(Solaronix) sealing 재료를 그림 1 (b)에 나타나 있는 것과 같이 자른 후 120[°C]의 열풍건조기에서 3분 동안 넣어두어 접착시켰다. 위에서 거론된 액상형 염료 태양전지와 젤형 염료 태양전지는 전해질을 투입하는 공정이 다르다. 액상형 염료 태양전지는 전해질 투입구를 만들어 쥐어하는 공정이 있지만, 젤형 염료 태양전지는 전해질 투입구를 만드는 공정 대신에 전해질을 코팅하는 공정으로 바뀐 것을 알 수 있다. 그림 2는 제작된 액상형과 젤형 염료 태양전지의 사진을 나타내고 있다.

2.3 실험 재료

본 실험에서 사용된 각 시약 및 재료는 다음과 같다. Poly(VdF-HFP, MW 400,000), TBP, DEC, LiI와 I₂등은 Aldrich사 제품이며, ACN과 PC는 SAMCHUN사 제품을 사용하였다. 한편, Nano TiO₂(D/SP-paste), (N719)cis-dithiocyanate-N,N⁺-bis-(4-carboxylate-4-tetrabutylammonium carboxylate-2,2⁺-bipyridine) ruthenium(II)는 Solaronix사를, FTO(fluorine doped tin oxide: TEC8) 도전성 유리는 Pilkington사 제품을 사용하였다.

2.4 실험

그림 3은 젤 고분자 전해질을 제작하기 위한 공정 흐름도를 나타내고 있다. 여기서 Propylene carbonate(PC)와 Diethyl carbonate(DEC)가 Poly(vinylidene fluoride-hexafluoropropylene)가 혼합되어 고분자화가 진행된다. 그리고 전해질의 유전율은 이온의 확산과 용해작용에서 결정된다. 이러한 젤 고분자 전해질의 이온 확산과 용해를 결정짓는 요소로는 제작된 젤 고분자 전해질의 유전율과 점도가 그 특성을 결정하게 되는데, 본 실험에서 사용된 PC는 높은 유전율($\epsilon=64.6$)과 높은 점도($\eta=2.53$)를 가지고 있으며, DEC는 낮은 유전율($\epsilon=2.82$)과 낮은 점도($\eta=0.748$)를 가진다. 두 시약의 비율을 표 1에서 나타

넨 바와 같이 다양한 체적비로 합성하여 준비하였다. 그리고 준비된 시약에 Acetonitrile(ACN) 5[ml]를 1/0.5(v/v)의 비율로 첨가한 뒤 초음파 세척기로 충분히 용해 시켰다. 초음파 세척기로 용해 시키는 동안에 LiI 0.5[M]과 I₂ 0.05[M]을 혼합하여 30분간 초음파 세척기로 용해한 후, 4-tert-butylpyridine (TBP) 0.5[M]을 넣고 다시 30분간 용해하였다. 그리고 Poly(VdF-HFP) 8[wt%]를 혼합하여 60[°C]에서 24시간 동안 초음파 세척기로 충분히 분산시켜 용해 시킨 후, 젤 고분자 전해질 시료를 완성하였다.

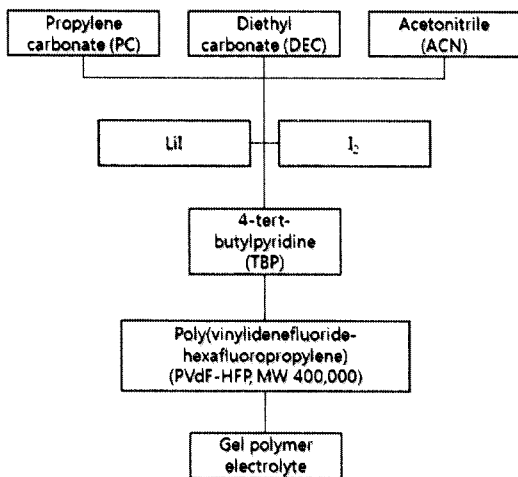


그림 3. 젤 고분자 전해질의 제작 공정
Fig. 3. Processes of Gel polymer electrolyte

표 1. 전해질 제작시 PC와 DEC의 체적비
Table 1. Volume ratio of PC and DEC

sample	PC(volume)	DEC(volume)
1	3	7
2	4	6
3	5	5
4	6	4
5	7	3

3. 실험결과 및 고찰

그림 4에 제작된 젤 고분자 전해질 시료 1 (a), 3 (b), 5 (c)의 FTIR(Fourier transform infrared) spectra를 각각 나타내었다.

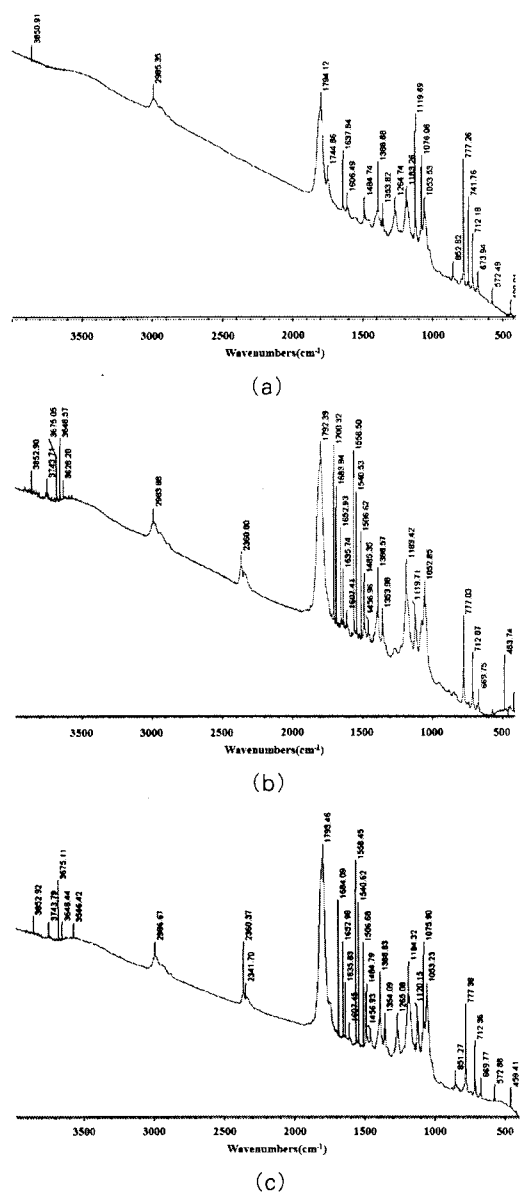


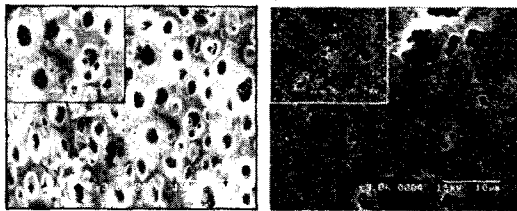
그림 4. 젤 고분자 전해질의 FTIR spectra
Fig. 4. FTIR spectra of gel polymer electrolyte

그림에서 알 수 있듯이, PC의 첨가 비율이 증가함에 따라 각 파수에서 검출된 투과 강도가 증가함을 보이고 있다. PC와 DEC의 다른 비율에 대한 FTIR spectra의 결과에 의하면, 먼저 611, 760, 872, 972, 1,064, 1,180 그리고 1,400[cm⁻¹]의 피크가 확인되었다. 그림 3에서는 미약하나마 확인 가능하며, 이러한

젤형 염료 태양전지의 광전변환 특성에 관한 연구

주파수에서 검색된 결과를 토대로 분석할 때, CF₃ 그룹과 Vinylidene band의 CH₂ 피크가 관찰되었으며, C-H bending, -C-F- stretching, CF₂ stretching, Vinyl group의 진동 피크가 나타났다.

이러한 결과들로 부터 Poly(VdF-HFP)의 진동임을 확인할 수 있었다. 그리고 1,780과 1,637[cm⁻¹]에서는 가소제의 C=O stretching 진동 피크가 나타나므로 PC와 DEC인 것을 확인할 수 있었다. 1,499 및 1,448[cm⁻¹] 부근에서 검출된 주파수로 보아 TBP의 -CH₃ bending 진동을 확인할 수 있으며, 837[cm⁻¹] 부근의 피크는 CH₂의 rocking 진동인 것으로 나타났다. 3,600~3,200범위의 전체적으로 낮은 피크는 -O-H stretching인 것으로 확인되었으며, 이는 Poly(VdF-HFP)와 PC/DEC의 내부 분자결합에 의한 것으로 사료된다. PC와 DEC의 비율에 따른 FTIR spectra 결과로 볼 때, PC의 강도가 커질수록 -O-H stretching의 강도가 커지며, 이는 점차로 젤화가 진행되고 있음을 나타내고 있다[6].



(a) 시료-3 (b) 시료-5

그림 5. 젤 고분자 전해질의 표면 관측 SEM 사진
Fig. 5. SEM images of gel polymer electrolyte

그림 5는 샘플 3과 샘플 5의 젤 고분자 전해질 샘플의 표면 SEM(scanning electron microscope)사진이다. 각각의 사진은 샘플 3과 샘플 5의 사진이다. 샘플 1은 사진에 나타나 있지 않지만 고분자화가 많이 진행 되지 않았으며, 샘플 3에서는 그림 5 (a)에서 알 수 있듯이 많은 다공성이 확인이 되었다. 하지만 샘플 5는 그림 5 (b)에서 볼 수 있듯이 고분자화가 상당히 진행되었음을 알 수 있다.

그림 6에서는 Poly(VdF-HFP)가 첨가되지 않은 상태의 액상 형의 전해질을 사용하여 제작된 염료 태양전지 단위 셀의 전류-전압 특성 곡선과 각각의

효율을 나타내고 있으며, 식 (2)를 이용하여 효율을 계산하였다. 그리고 변환효율 특성은 광원 150[W] Xenon lamp(AM 1.5 : Oriel Co. Ltd.)를 이용하여 광을 조사하였으며, 2,400 sourcemeter(KEITHLEY Co. Ltd.)로 측정하였다.

$$\eta = \frac{P_m}{P_{input}} = \frac{I_m \cdot V_m}{P_{input}} = \frac{V_{oc} \cdot J_{sc}}{P_{input}} \cdot FF \quad (2)$$

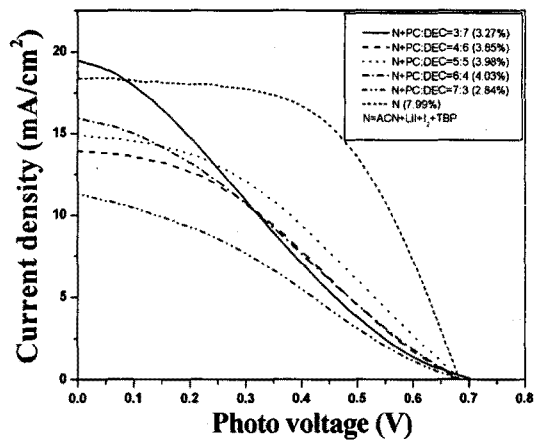


그림 6. Poly(VdF-HFP)를 첨가하지 않은 젤형 염료 태양전지의 일반 액상의 전해질을 사용한 염료 태양전지의 전류-전압 특성 곡선
Fig. 6. I-V curve of Dye sensitized solar cells using the various electrolyte

그림 6의 셀은 염료로 N719를 사용하였다. 그림에서 알 수 있듯이, 개방 전압은 기존의 전해질 보다 약간 높은 것으로 나타났으며, 단락 전류는 전체적인 경향으로 보아 PC의 비율이 증가함에 따라 단락 전류가 낮아지는 경향을 보이고 있다. 그리고 PC의 비율이 증가하고 DEC의 비율이 감소함에 따라 유전율의 증가가 예상되며, 이에 따라 셀의 효율이 증가된 것으로 보인다. 그리고 PC의 비율이 증가함에 따라 전해질의 점도가 증가하게 되는데, 이러한 점도의 증가는 이온의 확산을 저해하여 효율을 떨어뜨린다. 이러한 사실로 미루어 볼 때 PC와 DEC 비율이 3 : 7에서 5 : 5 혹은 6 : 4까지는 효율이 증가하다가 7 : 3에서 급격하게 효율이 감소하는 결과에서 PC와 DEC의 성분비의 특성과 잘 일치함을 보여 주고 있다.

표 2. PC와 DEC의 체적비에 따른 내부저항
Table 2. internal resistance with volume ratio of PC and DEC

전 해 질	Resistance([Ω])
N+PC : DEC=3:7	239
N+PC : DEC=4:6	109
N+PC : DEC=5:5	56
N+PC : DEC=6:4	78
N+PC : DEC=7:3	119

표 2에서 각 셀의 내부 저항을 측정된 결과를 나타내고 있다. 전해질의 교체화에 따른 효율특성과의 상관관계를 알 수 있다.

그림 7은 Poly(VdF-HFP)를 첨가한 전해질을 사용하여 제작한 염료 태양전지 단위 셀의 전류-전압 특성 곡선이다. 그림 7에서 볼 수 있듯이 액상 전해질의 효율은 약 8[%]를 나타내고 있지만 PC와 DEC 비율이 5 : 5 정도일 때 일반 액상 전해질에 비하여 셀의 효율이 약 50[%] 정도 감소한 약 4[%]를 기록하였다.

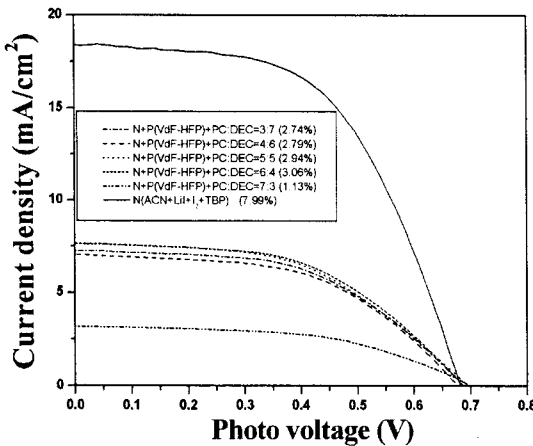


그림 7. Poly(VdF-HFP)첨가한 젤형 염료 태양전지와 일반 액상 형의 전해질을 사용한 셀의 전류-전압 특성 곡선
Fig. 7. I-V curve of gel and liquid typed DSCs

이상의 실험결과로부터 기존의 액상의 전해질을 사용한 셀에 비해 젤 고분자 전해질을 사용한 셀이 전체적으로 변환효율이 저하되는 것을 확인할 수 있

었다. 이러한 실험적 경향으로 미루어 볼 때 전해질에서의 특성이 전해질 내의 전자나 이온의 확산에 크게 영향을 미치는 것으로 사료된다. 결과적으로 본 실험에서 경향에서도 상대적으로 점도가 큰 젤형의 전해질은 액상 형에 비하여 전해질의 이동도가 상대적으로 낮으므로 전체 효율은 저하된 것으로 보인다.

이는 향후 필름형 염료 태양전지의 상용화의 관점에서 반드시 개선되어야 할 선결과제라 할 수 있다. 젤형의 전해질만을 대상으로 비교할 때, PC와 DEC가 거의 6 : 4의 비율을 가질 때 가장 좋은 효율을 보이고 있으며, 5 : 5의 조건에서도 거의 비슷한 효율을 보이고 있는 것으로 나타났다. 그러므로 젤형의 전해질을 제작할 때, 효율의 관점에서 PC와 DEC의 비율은 5 : 5에서 6 : 4의 조건에서 최적임을 알 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 염료 태양전지의 상용화에 필수불가결한 필름형 염료 태양전지의 개발을 목적으로, 기존의 액상의 전해질 구조를 대체할 수 있는 젤 고분자 전해질을 제작하여, 각 조건 하에서 얻어진 젤 전해질의 전기화학적 특성을 고찰하여 최적의 공정 조건을 구하고, 최종적으로 젤 전해질을 베이스로 하는 염료 태양전지를 제작하여, 광전변환 특성을 평가하였다. 실험 결과, 젤 전해질의 제작은 Poly(VdF-HFP)를 8[wt%]로 일정하게 하고 PC와 DEC의 비율 5 : 5로 설정한 조건이 제작된 젤형 염료 태양전지의 효율을 최대로 하는 것으로 나타났다. 그러나 기존의 액상의 염료 태양전지의 효율이 약 8[%]를 보인 것과 비교해 볼 때, 약 50[%] 정도 효율이 저하되어 약 4[%]의 광전 변환 효율을 보였다. 이는 젤 구조 내에서의 전자나 이온의 이동도가 액상 형에 비해 낮기 때문인 것으로 사료된다.

현재 보고되고 있는 최대효율(약 11[%])은 액상의 전해질을 사용한 염료태양전지를 대상으로 한 수치이며, 아직까지 효율적인 측면에서 액상형의 셀이 우수한 경향을 보이고 있다. 그러나 상용화의 관점에서, 기존의 Si태양전지를 비롯한 타 방식의 태양전

젤형 염료 태양전지의 광전변환 특성에 관한 연구

지와의 시장경쟁에서 염료 태양전지가 살아남기 위해서는, 본 연구와 같이 준고체형이나 고체형의 셀 구조를 베이스로 하는 Flexible한 염료태양전지를 개발하는 것이 필수불가결하다. 현재까지 보고된 바에 의하면 젤 고분자 전해질 등을 사용한 준고체형 염료 태양전지는 액상형의 염료태양전지에 비해 변환효율이 다소 떨어지는 것으로 알려져 있으며(최대 약 8%정도), 이는 젤 구조 내에서의 전자나 이온의 이동도가 액상 형에 비해 상대적으로 낮기 때문인 것으로 사료된다. 본 연구에서 얻어진 변환효율은 약 3%정도로서 앞으로 많은 개선이 요구되고 있으나, 향후 연구개발을 통해 5%이상의 결과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

References

- [1] H. Tsubomura, M. Matsumura, Y. Nomura, and T. Amamiya, "Dye sensitised zinc oxide: aqueous electrolyte: platinum photocell," *Nature*, vol. 261, pp 402, 1976.
- [2] B. O'Regan and M. Gratzel, "A low-cost, high-efficiency solar cell based on dye-sensitized colloidal TiO₂ films," *Nature*, vol. 353, pp373, 1991.
- [3] Wei Hao Lai, Yen Hsun Sub, Lay Gaik Teoh, Min Hsiung Hon, "Commercial and natural dyes as photosensitizers for a water-based dye-sensitized solar cell loaded with gold nanoparticles", *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, Vol. 195, pp307-313, 2008.
- [4] Jilian Nei de Freitas, Claudia Longo, Ana Flavia Nogueira, Marco-Aurelio De Paoli, "Solar module using dye-sensitized solar cells with a polymer electrolyte", *Solar Energy Materials & Solar Cells*, Vol. 92, pp1110-1114, 2008.
- [5] Moon-Sung Kang, Kwang-Soon Ahn, Ji-Won Lee, "Quasi-solid-state dye-sensitized solar cells employing ternary component polymer-gel electrolytes", *Journal of Power Sources*, Vol. 180, pp896-901, 2008.
- [6] D. Saikia, C.C. Han, Y.W. Chen-Yang, "Influence of polymer concentration and dyes on photovoltaic performance of dye-sensitized solar cell with P(VdF-HFP)-based gel polymer electrolyte", *Journal of Power Sources*, doi:10.1016/j.jpowsour., 2008.

◇ 저자소개 ◇

박병욱 (朴倂昱)

1979년 8월 14일생. 2007년 2월 경성대학교 공과대학 전기전자공학과 졸업. 2009년 2월 동대학교 대학원 전기전자공학과 졸업(석사).

Tel : (051)620-4777

E-mail : sapgreen79@naver.com

곽동주 (郭東周)

1958년 6월 20일생. 1983년 2월 건국대학교 전기공학과 졸업(학사). 1989년 3월 (일본)구주대학 전기공학과 졸업(박사). 1989년 3월 KERI 선임연구원. 1990년 3월 경성대학교 전기공학과 전임강사. 1997년 Texas Tech Univ. Visiting Scholar. 현재 경성대학교 전기전자공학과 교수.

성열문 (成烈汶)

1966년 11월 2일생. 1992년 2월 부산대학교 전기공학과 졸업. 1994년 2월 동대학교 대학원 졸업(석사). 1996년 8월 동대학교 대학원 졸업(박사). 1998년 7월 큐슈대학 Post-doc.(한국과학재단지원). 1999년 7월 큐슈대학 조수. 2006년 2월 미야자키대학 전기전자공학과 조교수. 현재 경성대학교 전기전자공학과 부교수.

Tel : (051)620-4777

Fax : (051)624-5980

E-mail : ymsung@ks.ac.kr