

## 염료감응태양전지의 광학특성분석을 통한 건축창호 적용가능성 평가 연구

심세라\*, 윤종호\*\*, 정선영\*\*\*, 백남춘\*\*\*\*

\*한밭대학교 대학원 건축공학과(simsera1110@naver.com),

\*\*한밭대학교 건축학과(jhyoon@hanbat.ac.kr),

\*\*\*한국에너지기술연구원(jizja@hanmail.net),

\*\*\*\*한국에너지기술연구원(baek@kier.re.kr)

### An Evaluation of Application Possibility of Window System in the Building based on Optical Characteristics Analysis of DSSC

Sim, Se-Ra\* Yoon, Jong-Ho\*\* Baek, Nam-Choon\*\*\* Jeong, Seon-Yeong\*\*\*\*

\*Dept. of Architecture Eng, Graduate School, Hanbat National University(simsera1110@naver.com),

\*\*Dept. of Architecture Eng, Hanbat National University(jhyoon@hanbat.ac.kr),

\*\*\*Solar Energy Research Center, Korea Institute of Energy Research(jizja@hanmail.net),

\*\*\*\*Solar Energy Research Center, Korea Institute of Energy Research(baek@kier.re.kr)

#### Abstract

It can gain both the electric energy production and disperse of light at the same time if DSSC is applied in the building as window system. It means to help facade design and to be used in lighting, heating, cooling energy directly by applying DSSC BIPV window that is possible to daylighting and materialization of color. For this, optical characteristics analysis that is basic step must take precedence. So, basic databases of DSSC are builded and optical performances according to the double and triple glazing are evaluated by analyzing spectral data of various colored DSSC. As a result, Green④ has the highest visible transmittance that is 28.8%, and Blue③ has the lowest that is 0.3%. And, in case of optical performance of Green④ depending on the incidence angle, SHGC and Tsol are decreased sharply from more than 60°. Finally, It is judged that Red④, Green①, ④, Blue④ are suitable for application in office building because visible transmittance is high and solar heat gain coefficient is low relatively in spite of composing to double and triple glazing.

Keywords : 염료감응태양전지(DSSC), 광학특성(Optical characteristic), 분광분석(Spectroscopic analysis),

투고일자 : 2011년 5월 2일, 심사일자 : 2011년 5월 13일, 게재확정일자 : 2011년 6월 17일

교신저자 : 윤종호(jhyoon@hanbat.ac.kr)

## 1. 서론

### 1.1 연구배경 및 목적

2010년 16.5GW규모의 태양광 시장이 2011년에는 20GW이상으로 형성될 것이란 전망 아래, 3세대 태양전지로 일컬어지는 염료감응태양전지의 고효율 및 저가화를 위한 개발 및 투자가 꾸준히 이루어지며 상용화를 위한 연구가 집중되고 있다.

염료감응태양전지(DSSC; Dye Sensitized Solar Cell)는 실리콘을 사용하는 기존의 태양전지에 비해 저가의 제조설비 및 공정 기술로 인해 제조단가를 최대 1/5까지 낮출 수 있어 경제적이다. 특히 투명하고 다양한 색상 구현이 가능하기 때문에 건물의 창호를 대신하는 BIPV시스템으로 활용될 경우 경쟁력이 매우 높아진다고 할 수 있다.

한편, 건물에서 창호는 조망권 확보와 더불어 미래지향적 설계에 의해 그 면적이 지속적으로 증가하고 있는 추세이다. 고층의 사무소건물을 유심히 관찰해보면 창면적비의 증가로 인해 실내로 그대로 유입되는 직사광선을 피하기 위해 블라인드를 내리는 경우가 많은데, 이를 투명한 DSSC창호로 대체한다면, 빛의 산란효과와 더불어 에너지를 생산하는 장점을 동시에 얻을 수 있을 것이다. 이는 곧, 색상구현과 자연채광이 가능한 DSSC BIPV 창호가 건물에 응용됨으로써 건물 연출에 일조하고 창호로부터 발생하는 에너지를 곧바로 조명, 냉방 및 난방에 활용될 수 있음을 의미한다.

염료감응태양전지가 창호로써 건물에 적용되기 위해서는 창호 자체의 성능, 즉 채광과 단열성능을 만족해야 한다. 염료의 흡착 두께가 같아 하더라도 염료 색상에 따라 투과율이 달라지기 때문에 가장 기초적 연구단계인 스펙트럼 영역대별 광학특성 분석이 반드시 선행되어야 할 것이며, 이를 바탕으로 복층 및 삼중창호로 적용될 경우 투과율 및 일사확득

계수 등의 광학성능에 대한 평가가 이루어져야 할 것이다. 이후, 요구되는 단열성능을 만족시키기 위한 구성재 조합 과정이 필요할 것이다. 본 연구에서는 DSSC BIPV창호의 상용화를 위해 선행단계로, DSSC 시편의 스펙트럼 영역대별 분광특성을 분석하고, 복층 및 삼중화에 따른 광학특성데이터를 도출함으로써 DSSC BIPV창호의 건축적용 가능성 평가를 수행하고자 한다.

### 1.2 연구방법 및 범위

본 연구에서는 염료감응태양전지를 이용한 BIPV창의 광학성능을 평가하기 위해 분광분석기기를 이용하여 시편의 태양스펙트럼 영역대별 투과율 및 반사율, 흡수율을 측정하였다. 이를 바탕으로 복층 및 삼중 DSSC BIPV창을 구성하였으며, 일반 투명창, 투명 로이창, 블라인드와 비교하여 광학성능을 비교분석하였다. 또한 다양한 색상의 색유리와 염료 색상에 따른 창의 성능을 비교하였다. 그림 1은 본 연구의 흐름도이다.

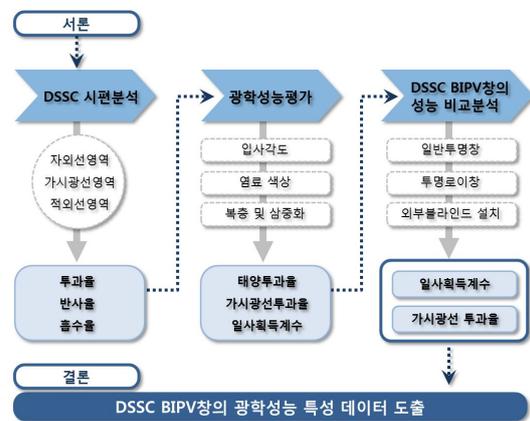


그림 1. Flow Chart

## 2. 이론 고찰

염료를 사용하여 태양빛을 전기에너지로 변환시키는 염료감응태양전지는 기존의 태양

전지에 비해 광전효율이 약 11%로 낮은 수준이지만, 제조단가를 1/5까지 낮출 수 있고 유연기판에 투명 태양전지로 응용이 가능한 장점이 있다.

염료감응태양전지는 염료, 전자 이동층, 투명전극, 전해질로 구성되어 있으며, 이 중 염료는 태양에너지를 흡수하는 역할을 담당한다. 염료는 다양한 색상구현이 가능하며 염료에 따라 흡수파장이 서로 다르다. 따라서 염료의 색상에 따라 가시광선 영역의 빛을 흡수하여 전자를 생성하고, 그 전자들이 이동하면서 전기를 발생시키게 된다.

염료감응태양전지의 상용화를 위해서는 고효율화 및 액체전해질의 누수, 경년 열화문제 등 극복해야 할 과제가 많이 남아있지만, 확산광에도 발전이 가능하고 투과율 조절이라는 BIPV로서의 최대 강점이 있기 때문에 미래 대체에너지원으로 크게 부각될 것으로 전망된다.

표 1. 태양전지 종류별 변환효율[1]

태양전지 유형	광-전 변환효율	
	셀	모듈
단결정 실리콘 태양전지	24%	10-15%
다결정 실리콘 태양전지	18%	9-12%
비정질 실리콘 태양전지	13%	7%
염료감응형 태양전지	10-11%	-
유기물 태양전지	2-3%	-

### 3. DSSC 시편의 분광분석

#### 3.1 측정 개요

DSSC 시편은 염료의 두께, 즉 투과율에 따라 적색계열 6종, 녹색계열 6종, 청색계열 6종, TiO<sub>2</sub>, 전해질의 총 20개 시편(30mm × 30mm)을 제공받았으며, 한국에너지기술연구원에 구비되어 있는 분광분석기기를 통해 0.2 $\mu$ m~2.4 $\mu$ m(0.001 $\mu$ m간격) 파장대의 투과율 및 흡수율, 반사율을 측정하였다.

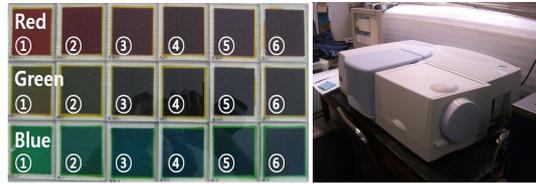


그림 2. DSSC 시편 및 분광분석기

추출된 투과율 및 반사율 데이터 값을 분광분석 프로그램<sup>1)</sup>에 입력하여 DSSC 단판 모듈을 제작하였으며, 이를 대상으로 스펙트럼 영역대별 평균 투과율 및 반사율 등의 데이터를 도출하였다. 그림 2는 해석대상 시편과 분광분석기기 모습을 나타낸 것이다. 시편의 번호는 염료흡착두께 순서로 구분한 것이다.

#### 3.2 염료색상별 시편의 분광분석 결과

일반적으로 광학성능 데이터는 각 층을 구성하는 부재의 스펙트럼별 분광데이터를 통해 종합적인 성능데이터를 계산하여 도출한다. 따라서 DSSC 시편의 스펙트럼별 분광분석이 선행되었으며, 그림 3, 4 및 표 2는 염료 색상에 따른 투과율 및 흡수율 측정 결과를 나타낸 것이다.

분석결과, 파장이 짧은 자외선영역(UV, 0.001~0.38 $\mu$ m)에서는 대부분 투과되지 못하고 흡수되는 것으로 나타났으며, 인간의 눈으로 지각되는 파장범위인 가시광선 영역(Tvis, 0.38~0.78 $\mu$ m)에서의 투과율은 각 시편의 색상 및 염료 흡착두께에 따라 0.3%에서 28.8%의 범위로 다양한 결과를 보였다.

또한 가시광선이나 자외선에 비해 열적인 효과를 발휘하는 근적외선 영역(NIR, 0.78 $\mu$ m~2.5 $\mu$ m)에서는 비교적 투과율은 높지만 1.8 $\mu$ m 이후부터는 거의 투과시키지 못하고 흡수 또는 반사하는 것으로 나타났다.

1) Optics 5.1 : Lawrence Berkely National Laboratory(LBNL)에서 개발 보급하고 있는 Glazing system의 광학특성분석 프로그램

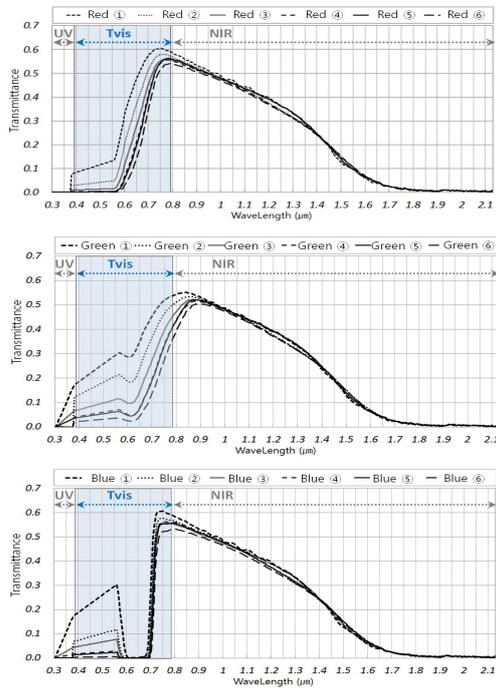


그림 3. 색상별 DSSC 시편의 투과율 분광곡선

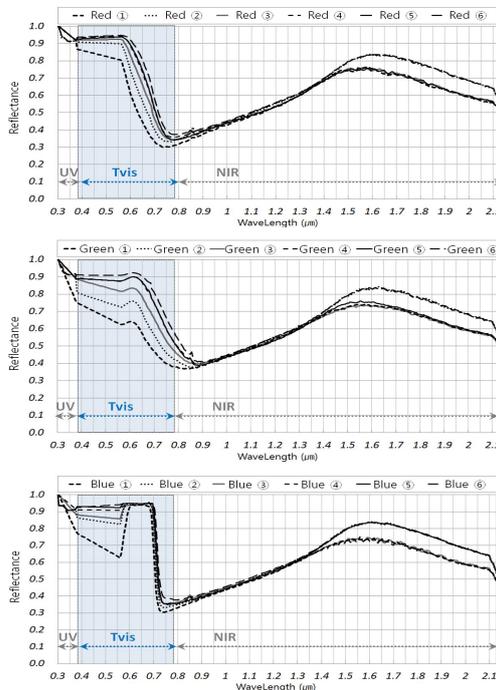


그림 4. 색상별 DSSC 시편의 흡수율 분광곡선

표 2. 염료색상별시편의 일사투과율 및 가시광선투과율

시편 번호		①	②	③	④	⑤	⑥
적색	Tsol	0.335	0.293	0.268	0.253	0.253	0.237
	Tvis	0.192	0.098	0.050	0.027	0.024	0.014
녹색	Tsol	0.342	0.297	0.253	0.223	0.224	0.200
	Tvis	0.288	0.200	0.108	0.064	0.058	0.033
청색	Tsol	0.298	0.247	0.236	0.227	0.223	0.209
	Tvis	0.201	0.071	0.046	0.017	0.013	0.003

염료색상에 따른 결과를 살펴보면, 적색계열의 경우 Red①의 Tsol(일사투과율, 0.2~2.4 μm) 및 Tvis(가시광선투과율, 0.38~0.78μm)이 각각 33.5%, 19.2%로 가장 높으며, Red⑥이 각각 23.7%, 1.4%로 가장 낮게 나타났다. 또한 녹색계열의 경우 Green①가 Tsol 34.2%, Tvis 28.8%로 가장 높게 나타났으며, Green ⑥이 각각 20%, 3.3%로 가장 낮은 것으로 나타났다. 마지막으로 청색계열의 경우 Blue①이 Tsol 29.8%, Tvis 20.1%로 가장 높으며, Blue⑥의 Tvis가 0.3%로 전체 DSSC 시편 중에서 가장 낮은 것으로 나타났다.

### 3.3 전해질 및 TiO2 시편의 분광분석결과

본 측정실험에서는 각각 전해질과 TiO2로만 제작된 시편을 추가적으로 분석하였다. 표 3은 일사투과율 및 가시광선 투과율 측정결과이며 그림 5와 6은 스펙트럼 영역대별 분석 그래프이다.

표 3. 전해질 및 TiO2의 일사투과율 및 가시광선투과율

	전해질	TiO2
Tsol	0.533	0.574
Tvis	0.711	0.770

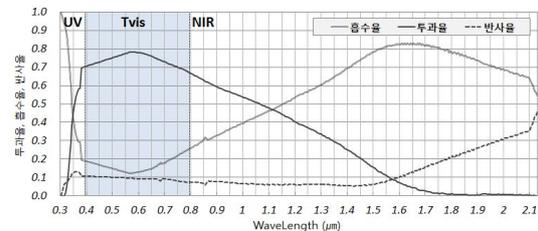


그림 5. TiO2의 흡수율 및 투과율, 반사율 분광곡선

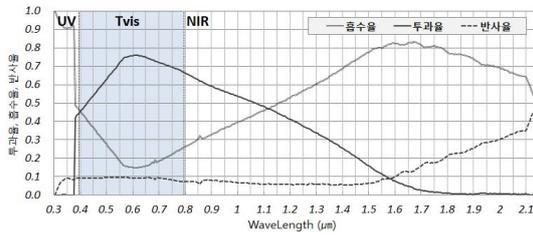


그림 6. 전해질의 흡수율 및 투과율, 반사율 분광곡선

이번 DSSC시편에 사용된 전해질은 일사투과율이 53.3%, 가시광선 투과율이 71.1%로 나타났다. TiO<sub>2</sub>의 경우 일사투과율이 57.4%, 가시광선투과율이 77%로 나타났다. 또한 가시광선 영역에서의 흡수율이 염료시편(적색, 녹색, 청색계열)보다 낮고 투과율이 높게 나타났다으며, 근적외선 영역에서는 염료시편과 마찬가지로 1.8 $\mu$ m 이상에서는 투과성의 거의 없는 것으로 나타났다.

#### 4. DSSC BIPV창의 광학성능분석

##### 4.1 DSSC BIPV복층 및 삼중창의 광학성능

빛은 파장에 따라 투과율, 반사율, 흡수율이 다르며, 유리에 입사되는 빛의 각도(입사각)와 유리의 굴절률 등에 따라서도 달라진다. 시시각각 변하는 태양고도와 방위각에 의해 유리에 입사되는 빛의 각도가 달라지기 때문에 입사각에 따른 광학데이터의 일사투과율 및 일사획득계수, 가시광선투과율에 대한 고려가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 DSSC 시편 중 가시광선 투과율이 가장 높은 Green ①을 대표적으로 분석을 수행하였다.

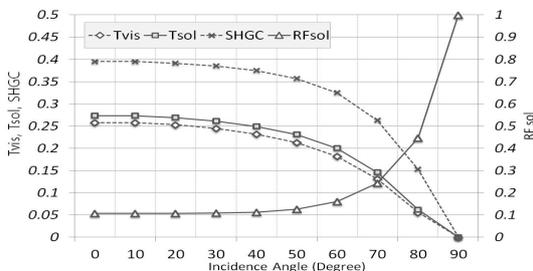


그림 7. DSSC BIPV복층창의 입사각별 광학데이터

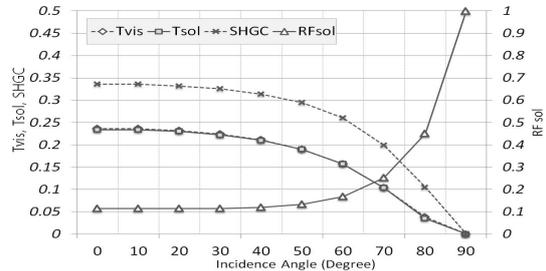


그림 8. DSSC BIPV삼중창의 입사각별 광학데이터

표 4는 입사각 0°에서의 광학특성 결과이며, 그림 7과 8은 복층 및 삼중화에 따른 입사각별 광학성능데이터이다.

표 4. DSSC BIPV복층 및 삼중창의 광학특성 결과

(입사각 : 0°)	복층창	삼중창
일사투과율 (Tsol, 0.2~2.4 $\mu$ m)	0.273	0.234
가시광선투과율(Tvis, 0.38~0.78 $\mu$ m)	0.260	0.238
전면반사율 (RFsol, 0.2~2.4 $\mu$ m)	0.108	0.115
일사획득계수 (SHGC)	0.396	0.337
열관류율 (W/m <sup>2</sup> ·°C)	2.723	1.728

일사투과율(Tsol)의 경우 입사각이 커질수록 투과율이 점점 줄어들다가 60°이상부터 급격히 떨어진다. 또한 투과된 양과 흡수되어 실내로 재방출된 양을 모두 포함하는 일사획득계수(SHGC) 역시 입사각 60°까지는 미미한 감소추세를 보이다가 그 이상부터는 급격하게 줄어드는 것으로 분석되었다.

Green ①의 투과율이 28.8%임을 고려할 때 복층 및 삼중화에 따라 가시광선투과율이 각각 2.8%, 4%가 감소하였음을 알 수 있다.

##### 4.2 DSSC BIPV창의 성능 비교분석

상기의 광학성능 특성결과를 바탕으로 그림 9에 나타난 바와 같이 다양한 종류의 창과 비교하여 가시광선투과율 및 일사획득계수를 산포도형태로 도식하였으며, 그래프는 총 4개영역으로 구분하여 분석하였다.

실제 건물에 창호적용 시에는 건물의 용도에 따라 창호의 성능을 다르게 적용한다. 1번

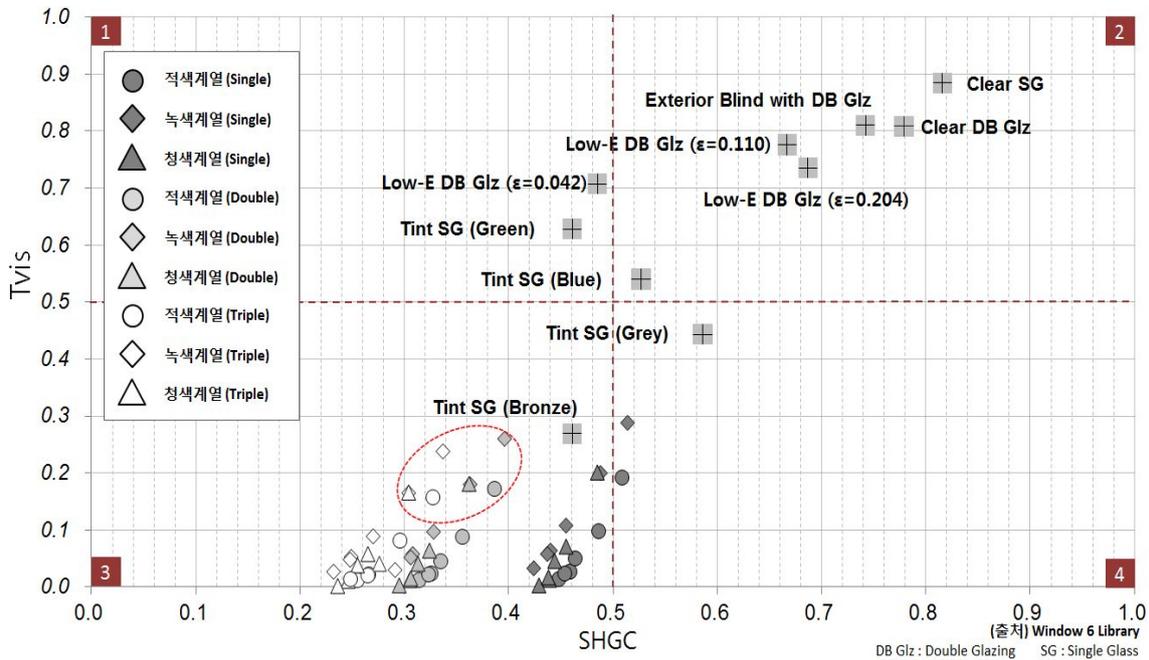


그림 9. 각종 유리 및 색상별 DSSC시편의 광학성능데이터 산포도

영역에 해당하는 경우 가시광선투과율은 높지만 일사획득계수가 낮기 때문에 냉방부하가 큰 사무소 건물에 적용할 경우 가장 이상적일 것이다. 반면 난방부하가 큰 주거용 건물에서는 2번 영역의 창을 선택하여 실내로 열과 빛을 많이 유입시켜야 할 것이다.

분석결과, DSSC 창은 대부분 가시광선 투과율과 일사획득계수가 모두 낮은 3번 영역에 해당되는 것으로 나타났다. 이 중 원으로 표시된 Red①, Green①, ②, Blue①의 경우 복층 및 삼중화에도 불구하고 가시광선투과율이 15%이상으로 크고 냉방부하를 가중시키는 일사획득계수가 상대적으로 작기 때문에 사무소 건물에 적합할 것으로 판단된다.

반면 가시광선 투과율이 5%미만인 시편에 대하여서는 창호적용(복층 및 삼중화)을 재고할 필요가 있을 것이다.

또한 가시광선 투과율이 5%미만인 경우에도 일사획득계수가 20~50%를 유지하고 있는데, 이는 열적인 역할을 하는 적외선영역의

투과율이 높기 때문으로 판단된다. 따라서 추후 창호 구성시 적외선영역의 투과율을 감소시키고 가시광선 투과율은 높게 유지시켜주는 로이코팅의 적용을 고려해야 할 것으로 사료된다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 열료감응태양전지의 건축창호적용을 위해 시편의 광학특성 데이터베이스를 구축하였으며 DSSC BIPV창의 광학성능분석을 통해 건축창호로서의 적용가능성을 평가하였다.

분석결과는 다음과 같이 요약할 수 있다.

첫째, 시편의 분광분석 결과 열료흡착두께에 따라 투과율이 결정되며, Green①의 가시광선 투과율이 28.88%로 가장 높고, Blue⑥가 0.3%로 가장 낮은 것으로 분석되었다.

둘째, Green① 시편을 대표적으로 분석한 결과 일사투과율 및 일사획득계수가 입사각

60° 이상부터 급격히 감소하며, 복층 및 삼중화할 경우 가시광선 투과율이 각각 2.8%, 4% 감소하는 것으로 나타났다.

셋째, Red①, Green①, ②, Blue① 시편의 경우 복층 및 삼중화에도 가시광선 투과율이 크고 일사확득계수가 상대적으로 작아 사무소건물 적용에 적합할 것으로 판단된다.

## 후 기

본 연구는 지식경제부의 2010 신재생에너지기술개발 연구비 지원으로 수행되었음 (과제번호 : 2010-P100100654)

## 참 고 문 헌

1. 서선희, 이동윤, 이원재, 광전기화학형 염료감응형 태양전지기술, 2007.07 한국전기연구원