

염료감응태양전지(DSC)를 적용한 Glazing의 구성에 따른 단열 및 전기 성능 분석

김지성*, 박세현**, 강준구***, 김준태****

*공주대학교 건축공학과 대학원(dfgyuiop@kongju.ac.kr), **공주대학교 건축공학과
대학원(sehyun1091@kongju.ac.kr), ***공주대학교 건축학과 대학원(zzang9@kongju.ac.kr),
****공주대학교 건축학부(jtkim@kongju.ac.kr)

A Study on Thermal & Electrical Performance of Glazings with DSC modules

kim, Ji-Seong*, Park, Se-Hyeon**, Kang, Jun-Gu***, Kim, Jun-Tae****

*Dept. of Architecture Eng, Graduate School, Kongju National University(dfgyuiop@kongju.ac.kr),
**Dept. of Architecture Eng, Graduate School, Kongju National University(sehyun1091@kongju.ac.kr),
***Dept. of Architecture, Graduate School, Kongju National University(zzang9@kongju.ac.kr),
****Dept. of Architecture Eng, Kongju National University(jtkim@kongju.ac.kr)

Abstract

Recently, more attention has been paid to DSC(Dye-sensitized Solar Cell) with the potential of glazing applications. The aim of the study is to analyze thermal and electrical performance according to composition of glazing with DSC. For this study, the electrical and thermal performance of glazing with DSC modules were measured and their result were compared. The measurement were performed according to the KS L2525 and with a solar simulator of DSC modules. The result show that the U-value of the DSC double glazings with clear glass and low-e glass were 2.78 W/m²K and 1.70 W/m²K, respectively. The electrical measurement indicated that the electrical efficiency of the DSC double glazings with clear glass and low-e glass decreased by 9.9% and 13.3%, respectively, compared to the DSC medules electrical performance.

Keywords : DSC(염료감응태양전지), BIPV(건물일체형태양광발전), U-value(열관류율), Thermal Performance(단열성능), Electrical Performance(전기성능), glazing(창호)

기 호 설 명

h_s : 중공층의 열컨덕턴스

N : 중공층의 수

M : 구성하는 유리판의 장수

d_m : 구성하는 유리판의 두께 또는
접합유리의 중간막의 두께

A_m : 구성하는 유리판의 열전도율 또는
접합 유리의 중간막의 열전도율

h_r : 방사 열컨덕턴스

- h_g : 기체의 전도와 대류에 의한 열전달계수
- h_e : 실외 쪽의 표면 열전달계수
- h_i : 실내 쪽의 표면 열전달계수

1. 서 론

1.1 연구배경 및 목적

최근 BIPV 적용이 가능한 태양전지 가운데 염료감응 태양전지(Dye-Sensitized Solar Cell)에 대한 관심이 높아지고 있다. 염료감응 태양전지(DSC)는 기존 실리콘 태양전지에 비해 가시광선 및 산란광에도 작동을 하여 광 위치와 설치 장소에 대한 제약이 적으며, 투과성이 있고 사용 염료에 따라 다양한 색상의 구현이 가능하여 건물의 창호, 커튼 월 등 BIPV 시스템으로 활용이 가능하다. 또한, 저가의 제조설비 및 공정 기술로 인해 제조단가가 저렴하고 대량생산이 용이하여 향후 기존 발전과 경쟁이 가능한 대안으로 부상하고 있다. 염료감응 태양전지가 건물의 창호를 대신해 적용되기 위해서는 창호 자체의 성능인 채광, 단열 성능을 만족해야 한다. 하지만 염료감응 태양전지에 대한 연구는 고효율 및 안전성테스트에 대한 화학적 측면에서의 연구가 주를 이루고 있으며, BIPV로서 건물외피에 시범 적용한 몇몇 사례가 있을 뿐, 건물에 적용하기 위한 정확한 성능평가에 대한 연구는 미흡한 실정이다. 이에 따라 본 논문에서는 DSC모듈과 DSC적용 glazing의 구성에 따른 전기성능 및 단열성능을 분석하였다.

1.2 연구방법

본 연구는 DSC적용 glazing의 단열 성능을 분석하기 위해 레이어 구성에 따른 5가지 타입을 선정하였고, 건축용 판유리 시험방법(KS L 2525)에 의해 열관류율을 측정 하였다. 전기성능을 측정하기 위해 Solar Simulator를 활용하여 발전량을 측정하였다.

2. 이론적 고찰

2.1 염료감응 태양전지(DSC)

염료감응 태양전지(DSC)는 태양빛을 받으면 전기를 생산하는 염료를 이용해 전기를 생산한다. 기존 반도체 접합 태양전지와는 달리 광합성 원리를 이용한 화학적 태양전지로서 1991년 스위스 연방 기술원(EPFL)의 Michael Gratzel에 의해 최초 개발 되었다.

염료감응 태양전지(DSC)는 그림 1과 같이 작동 전극(working electrode), 전해질(electrolyte), 상대전극(counter electrode)으로 구성되어 있다. DSC는 태양빛을 받아 TiO₂(산화티탄) 표면에 있는 염료(Dye)에 외부의 빛이 닿으면 전자(Electron)가 생성되면서 작동을 시작한다. 생성된 전자는 TiO₂를 이동해 전도성 유리(ITO Glass)에 이르고, 전선을 따라 흐르면서 전기를 생산한다. 전자는 반대편 전도성 유리표면의 백금판에 도달해 두 전도성 유리판 사이에 들어 있는 전해질로 전달된다. DSC는 이처럼 투명전극 기판에 염료를 부착하여 사용하기 때문에 그림 2와 같이 다양한 색상과 및 투과율을 조절할 수 있어 건물 창호로 사용할 수 있다. 이러한 DSC는 실리콘 태양전지에 비해 제조단가는 3분의1에서 최대 5분의1 수준이고 입사각에 민감성이 적고 부분적인 그늘짐에 강하다. 또한 25°C이상의 온도에서 효율이 감소하지 않는 특성이 있다.¹⁾

DSC는 실험실 기준 변환효율이 최대 약 11%로 실리콘 기반 태양전지의 절반 수준이다. 하지만, 실리콘 태양전지가 매우 강한 빛을 직사로 쬐었을 때에만 발전이 가능한 것에 비해 염료감응 태양전지는 약한 빛에서도 발전이 가능하기 때문에, 건물 벽이나 창문 등을 이용하여 발전하는 건물일체형 태양전지로는 실리콘 태양전지보다 오히려 효율적으로 전력을 생산할 수 있다.²⁾

1) 정해순, 유계영, TCI Report 염료감응태양전지, 한국과학기술정보연구원, P 15, 2009.

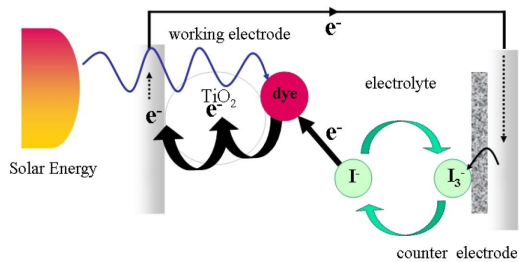


그림 1. 염료감응형 태양전지의 원리



그림 2. 염료감응 태양전지 모듈

2.2 창호의 특징 및 단열성능

건물분야의 에너지 소비량은 총에너지 소비량의 24%에 이르고 그중 창을 통한 열손실량은 평균 30%를 차지하고 있어 총에너지의 7% 이상이 창을 통한 열손실량이다. 창의 열전달계수는 벽체나 지붕의 5배 이상으로 크기 때문에 가장 취약한 부분이다.³⁾

창호의 단열성능을 높이기 위한 일반적인 방법으로는 유리창의 수를 2중, 3중, 4중으로 늘리는 것이다. 그러나 유리창의 수를 늘리게 되면 창의 무게가 늘어나고 창 간격이 증가할 뿐만 아니라 투과율이 낮아지기 때문에 비효율적이다. 일반적으로 2중, 3중이 많이 사용되며, 특수한 경우 4중창 까지 선택 사용된다.

(1) Double glazing

이중창호의 중공층 내로 일사가 유입될 때 일부분은 유리표면에 흡수, 반사되며, 대부분의 태양열은 실내로 투과된다. 태양의 일사

에너지에 의해 유리 표면은 열을 흡수하고 방출하게 되며 이는 중공층의 온도 변화에 영향을 주게 되고 그로 인해 유리 표면과 중공층 그리고 실내 사이에 열 이동이 이루어지게 된다.⁴⁾

창호의 열손실은 주로 유리를 통한 열의 복사, 전도에 의해 이루어진다. 복사에 의한 손실은 주로 기존의 로이유리 코팅에 의해 개선이 가능하며, 전도에 의한 손실은 복층유리 구성에 의한 공기층의 단열효과에 의해 막을 수 있다. 복층유리 사이에 일반 공기 대신 열전도율이 낮은 가스를 주입함으로써 열전도를 대폭 낮추고 단열성능을 향상 시키게 된다.

일반적으로 투명유리로 구성된 24mm Double glazing의 경우 열관류율 값은 $2.882\text{W/m}^2\cdot\text{K}$ 정도를 나타낸다.

(2) Triple glazing

기존에 주로 사용되는 유리는 24mm 일반 복층유리 또는 24mm 로이 복층유리이다. 3중 유리는 복층유리의 단열 성능 개선을 위해 3장의 6mm 유리 사이에 각각 12mm씩 공기층을 설치하여 구성한다. 3중 유리는 차음효과의 증대와 단열 성능 향상의 두 가지 목적을 가진다. 일반적인 투명유리로 구성된 42mm 3중유리의 열관류율은 $1.901\text{W/m}^2\cdot\text{K}$ 로 일반복층유리에 비해 단열 성능이 향상되었다. 3중 유리는 단열 성능과 차음 두 가지 모두 효과적으로 개선하였다.

(3) Low-e glazing

로이유리는 일반유리 내부에 적외선 반사율이 높은 특수 금속(Ag)또는 금속산화물을 코팅한 것으로 저방사유리라고도 한다. 로이유리는 창을 통해 들어오는 가시광선은 대부분 투과시키고, 그에 비해 적외선 영역의 복사선은 효과적으로 차단하여 단열성능을 높

2) 강준구 외4명, 염료감응태양전지(DSC)를 적용한 창호의 단열성능 평가 연구, 한국생태환경학회 춘계학술대회 논문집, Vol.20, No11, pp3-4, 2011.
3) 친환경 건축 전문인력 양성 교육 자료, 에너지관리공단.

4) 강은을 외2명, 창호를 통한 열전달 현상에 관한 연구, 한국태양에너지학회 추계학술발표회 논문집, p32, 2009.

였다. 이런 장점 때문에 주택이나 일반 건축물의 창이나 채광을 위한 용도로 쓰며, 에너지 절약을 위한 용도로도 많이 쓰인다

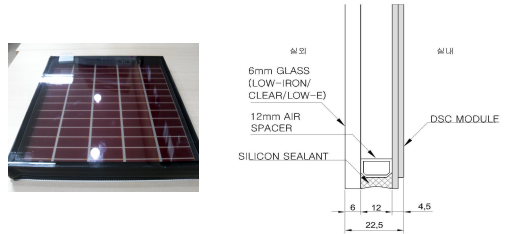
일반적인 로이복층유리의 열관류율은 $1.765 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ 이며, 로이 3중유리의 경우 $1.344 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ 정도를 나타낸다.

3. 실험 방법

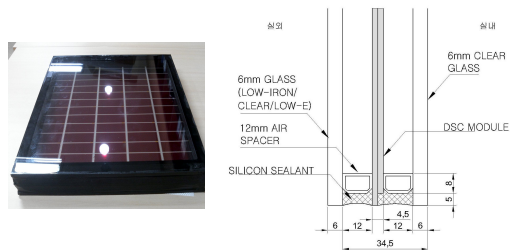
단열 및 전기성능 분석을 위해 사용된 DSC모듈은 국내 D사의 N719염료를 사용한 ($\text{TiO}_2 \ 5\mu\text{m}$, 전해액 MPN) 5직렬 구성의 DSC Module을 사용하였다. 사용된 모듈의 크기는 Glass면적 $300 \times 300 = 900 \text{ cm}^2$, Aperture면적 $289.8 \times 286.2 = 829.4 \text{ cm}^2$, 1 cell 면적 $289.8 \times 54.2 = 157.0 \text{ cm}^2$ 크기의 DSC모듈을 사용하였다.

DSC모듈을 적용한 2중 및 3중으로 유리 구성은 그림 3과 같다.

DSC적용 glazing 실험유형은 표 1과 같이 레이어 구성에 따라 DSC단판유리, 2중유리, 3중유리, low-e 2중유리, low-e 3중유리로 5개 type의 실험시편을 제작하였다.



(a) Double glazing



(b) Triple glazing

그림 3. DSC적용 2중 및 3중유리

표 1. DSC적용 복합유리 유형

Glazing Type	Thick (mm)	Layers
Type 1	4.5	4.5mm DSC
Type 2	22.5	6mm CL + 12mm Air + 4.5mm DSC
Type 3	22.5	6mm Low-e + 12mm Air + 4.5mm DSC
Type 4	40.5	6mm CL + 12mm Air + 4.5mm DSC + 12mm Air + 6mm CL
Type 5	40.5	6mm Low-e + 12mm Air + 4.5mm DSC + 12mm Air + 6mm CL

* CL : Clear glass(투명유리) * Air : Air space(공기층)

* Low-e : 저방사유리

(1) 단열성능

DSC적용 glazing의 단열성능은 건축용 판유리에 대한 열저항 및 건축 관련 열관류율을 계산하는 방법이 규정된 KS L 2525 '판유리류의 열저항 및 건축 관련 열관류율의 계산 방법'에 따라 공인시험기관에 시험을 의뢰하였다. 5판유리류의 열저항은 구성하는 유리판의 열전도 저항과 중공층의 열저항의 합계에 의해 구한다. 열관류율은 열저항에 표면 열전달 저항을 더한 값의 역수로 한다.

판유리류의 열저항 R 은 다음 식(1)에 의해 중공층의 열저항과 유리판의 열전도 저항의 관계식에 의해 구한다.

$$R = \sum \frac{1}{h_s} + \sum \frac{d_m}{\Lambda_m} \quad (1)$$

중공층의 열컨덕턴스 h_s 는 다음 식(2)에 따라 방사 열컨덕턴스와 기체의 전도와 대류에 의한 열컨덕턴스의 합으로 구한다.

$$h_s = h_r + h_g \quad (2)$$

5) KS L 2525, 판유리류의 열저항 및 건축관련 열관류율의 계산 방법, 산업자원부 기술표준원, 2006.

유리창에서의 유리 중앙 부분의 열관류율 U 는 앞의 식에 따라 구한 R 을 사용하여 다음 식(3)에 의해 계산한다.

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_e} + R + \frac{1}{h_i} \quad (3)$$

(2) 전기성능

DSC적용 glazing의 전기적 출력 특성을 측정하기 위하여 그림 3과 같이 국내 D사에 구비되어있는 Solar Simulator를 사용하여 I-V curve를 측정하였다.

Solar Simulator는 할로겐 램프를 사용하여 인공 태양광으로 태양전지의 전기성능을 측정하는 장치이다.

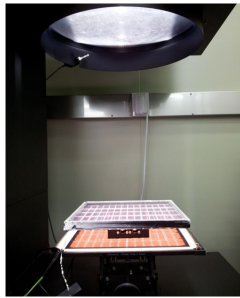


그림 4. Solar Simulator

4. 실험 결과 및 분석

4.1 단열성능 분석

단열성능 분석결과는 표 2와 같이 DSC모듈의 열관류율은 $5.92 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ 로 나타났다.

DSC모듈을 적용한 glazing의 유형별 열관류율은 Type 2(6mmCL+12mmAir+4.5mmDSC)의 경우 $2.78 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$, Type 3 (6mm Low-e+12mmAir+4.5mmDSC)의 경우 $1.70 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$, Type 4(6mmCL+12mmAir+4.5mmDSC+12mmAir+6mmCL)의 경우 $1.88 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$, Type 5(6mmLow-e+12mmAir+4.5mmDSC+12mmAir+6mmCL)의 경우 $1.32 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ 로 나타났다.

DSC모듈의 glazing 구성에 따른 열관류율은 2중유리의 경우 $3.14 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$, 3중 유리의 경우 $4.22 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ 향상된 것으로 나타났다.

또한, Type 4, Type 5와 같이 로이코팅 적용시 2중 유리의 경우 $0.9 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$, 3중 유리의 경우 $0.32 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ 열관류율이 향상되는 것으로 나타났다.

표 2. DSC적용 복합유리 단열성능

Glazing Type	U-factor ($\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$)
Type 1	5.92
Type 2	2.78
Type 3	1.70
Type 4	1.88
Type 5	1.32

4.2 전기성능 분석

DSC적용 유리의 유형별 전기성능 분석결과 실험에 적용된 DSC모듈의 경우 표 3에서 보는바와 같이 최대출력 3.2W, 4.0% 효율을 나타냈다.

표 3. DSC모듈의 전기성능

	Isc(A)	Voltage(V)	Pmax(W)	FF(%)	Eff(%)
REF.	1.15	4.3	3.2	65.0	4.0

DSC적용 유리 유형별 전기성능은 type 2의 경우 9.9%, type 3의 경우 13.3%의 효율 저하를 나타내었다. 이는 전면에 구성된 유리의 투과율에 따라 일사투과량 감소로 전기효율이 저하된 것으로 분석되었다.

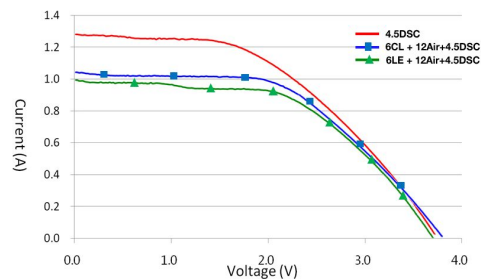


그림 5. DSC모듈 대비 2중유리 전기성능

또한 그림 6와 같이 DSC적용 3중 유리의 경우 type 4의 경우 12.5%, type 5의 경우 16.8%의 효율 저하를 보였다. 이는 3중유리 시편 제작과정에서의 오차로 인해 스페이서 및 간봉재가 모듈의 발전면적을 가리게 되어 2중유리에 비해 전기성능 저하가 더 큰 것으로 판단된다.

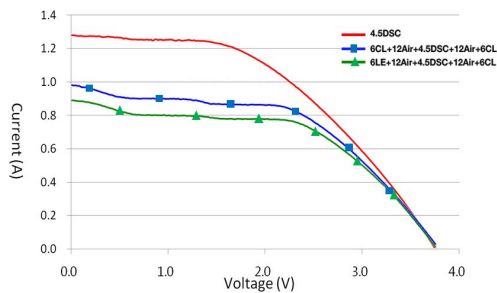


그림 6. DSC모듈 대비 3중유리 전기성능

5. 결 론

본 논문은 DSC적용 glazing의 구성에 따른 단열 및 전기 성능을 실험 분석 하였다.

DSC모듈을 적용한 유리의 유형별 단열 성능은 DSC모듈과 비교하여 2중 구성에 따라 53%, 3중 구성에 따라 71% 향상되었으며, 로이코팅에 의해 평균 27% 단열성능이 향상된 것으로 나타났다.

DSC적용 유리의 유형별 전기효율은 DSC 모듈 대비 9.9%~16.8% 저하되는 것으로 나타났다. 전기효율의 저하는 유리를 구성하는 재료의 투과율 및 유리 구성부재에 의해 DSC모듈의 발전면적 감소가 영향을 미치는 것으로 판단된다.

이와 같이 DSC모듈의 유리구성에 따라 단열 성능의 증가에 따라 전기성능은 감소하는 것으로 나타났다. 그러나 전기성능 감소의 영향보다 단열성능 향상효과가 더 큰 것으로 나타났다. 또한 동일 구성의 기존 유리 단열 성능과 비교하여 유사한 성능으로 건축용 창호로 적용이 가능하다. 이에 따라 단열성능

이 가장 우수한 3중유리 구성을 위해 전기성능 저하요소인 적용 유리의 투과율 및 구성부재의 설치방법 등을 고려한 3중유리 설계가 고려되어야 할 것으로 판단된다.

본 논문은 창호적용을 위한 DSC적용 유리의 단열성능 및 전기 성능을 분석한 논문으로 복층화 구성에 따른 전기효율 개선을 위한 유리의 광학적 특성연구 및 구성부재 설계 등의 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

후 기

본 연구는 지식경제부 “염료감응 태양전지 모듈의 건축적용 설계 및 성능평가” 연구사업 (과제번호: 2010-0698)과 2011년 교육과학기술부로부터 지원받아 수행된 연구임”(지역거점연구단육성사업/에너지자립형 그린빌리지 핵심기술 사업단)

참고문헌

1. 강준구, 김진희, 정선옥, 김지성, 김준태 염료감응태양전지(DSC)를 적용한 창호의 단열성능 평가연구, 한국생태환경학회 추계학술대회 논문집, Vol.20, No11, pp.3-4, 2011.
2. 강은율, 오명원, 김병선 창호를 통한 열 전달 현상에 관한 연구, 한국태양에너지학회 추계학술발표회 논문집, p32, 2009. 11
3. 정해순, 유재영, TCI Report 염료감응태양전지, 한국과학기술정보연구원, P 15, 2009.
4. 친환경 건축 전문인력 양성 교육 자료, 에너지관리공단.
5. KS L 2525, 판유리류의 열저항 및 건축 관련 열관류율의 계산 방법, 산업자원부 기술표준원, 2006.