

PV용 투명유리와 G/G모듈의 광학적 특성 평가 및 분석

김경수*, 강기환, 유권종

*한국에너지기술연구원(kskim@kier.re.kr)

Analysis of Optical Characteristics of Transparent Glasses for PV and Glass-Glass Module Application

Kim, Kyung-Soo*, Kang, Gi-Hwan, Yu, Gwon-Jong

*Photovoltaic Research Center, Korea Institute of Energy Research (kskim@kier.re.kr)

Abstract

In this study, we analyze the electrical optical characteristics of transparent glass for photovoltaic and glass-glass module application. The elemental facts from raw glass to laminated glass with solar cells are analyzed using UV spectrophotometer and spectroradiometer. From the data of transmittance and reflectance, the optimum PV module processing condition and selection of material for fabrication should be considered deeply for obtaining high module efficiency. Also we introduce two glasses which has 2%~4% higher transmittance using coating technology with anti-reflection material. From this experiment, we try to give some basic information for PV module manufacturing industry. The detail description is specified as the following paper.

Keywords : 태양전지모듈(photovoltaic module), 저철분투명유리(Low Iron Transparent Glass), 투과율(Transmittance), 반사율(Reflectance)

1. 서 론

일반적으로 태양전지모듈은 태양에너지를 전기에너지로 변환시키는 태양전지를 전면의 투명유리와 후면의 BackSheet 그리고 EVA Sheet를 봉합 재료를 사용하여 라미네이션 공정을 통하여 제조되어진다. 최근 가장 많이

사용되는 태양전지는 실리콘계 태양전지로 출력 전압이 대개 0.6V로 수십 장의 태양전지를 직렬로 연결하여 모듈 당 출력 전압이 수십 볼트가 된다. 그리고 모듈을 직병렬 연결하여 인버터를 거쳐 우리가 사용가능한 교류로 변환하게 된다.

태양전지모듈의 전면은 투과되는 태양

투고일자 : 2008년 8월 14일, 심사일자 : 2008년 8월 20일, 게재확정일자 : 2008년 10월 9일
교신저자 : 김경수(kskim@kier.re.kr)

빛의 투과율을 높이기 위하여 저철분 투과유리를 사용하게 되며 태양전지 표면도 텍스처링(Texturing) 공법을 통한 표면반사를 줄이는 기술을 적용하고 있다.

최근 실리콘 가격의 상승에 따른 태양전지 모듈 단가를 낮추기 위한 여러 가지 기술과 방법이 논의되고 있으며 특히 현재 사용되는 재료를 통한 최고의 출력 특성을 얻고자 재료 선정 및 공정 최적화 등의 많은 노력이 기울여 지고 있다.

특히 태양전지모듈의 기본 재료로 사용되는 저철분 투명유리의 기본적인 특성을 토대로 제조 공정에서의 광투과율 향상과 출력증가에 영향을 미칠 수 있는 요소에 대한 실험 결과가 어느 때보다 필요한 상황이다.

따라서 본 논문에서는 태양전지모듈에 적용 가능한 일반 투명 유리와 저철분 투명 유리 제품에 대한 광학적 특성을 평가하고 모듈 제조과정을 통한 광특성 변화 및 분석에 대한 기본적인 정보를 제공하고자 하였다.

2. 본 론

2.1 이론적 배경

일반적으로 태양빛은 설치된 유리와 비수직면으로 입사된다. FRESNEL 방정식으로부터 유리 한 장에 대한 빛의 광투과율 및 반사율 계산식은 아래와 같다. 이때 입사되는 빛에 대하여 polarization 수평(\perp)방향과 polarization 수직(\parallel)방향으로 빛이 반사와 투과가 일어나게 된다. (그림 1. 참조)

$$R_{\parallel} = \frac{\tan^2(\theta_{in} - \theta_{out})}{\tan^2(\theta_{in} + \theta_{out})},$$

$$R_{\perp} = \frac{\sin^2(\theta_{in} - \theta_{out})}{\sin^2(\theta_{in} + \theta_{out})}$$

$$T_{\parallel} = 1 - R_{\parallel}, T_{\perp} = 1 - R_{\perp}$$

이때, 굴절되는 빛의 각도는 다음과 같게 된다.

$$\theta_{out} = \arcsin\left(\frac{n_0}{n_1} \sin\theta_{in}\right)$$

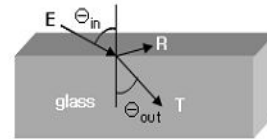


그림 1. 단일유리에서의 빛의 입사 및 투과

태양빛이 단일 유리를 통과하게 되면 입사 전, 유리, 입사후의 매질을 통과하게 된다. 그림 2는 단일 구조의 유리를 통과할 때 발생하는 빛의 반사 및 투과를 세분화하여 나타낸 것이다. 이때 아래첨자는 빛이 지나가는 매질을 나타낸다. 예를 들면, T_{01} 은 n_0 매질을 통과한 빛이 n_1 매질의 투과율을 나타낸다.

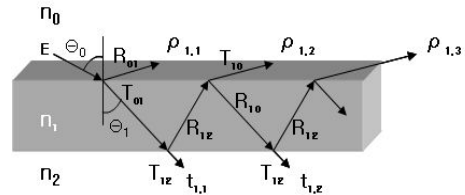


그림 2. 단일유리에서의 빛의 입사 및 투과

빛이 n_k 의 매질을 통과후 빛의 감소되는 정도는 다음 수식에 의해 나타내어진다.

이때 $\alpha_k(\lambda)$ 는 물질의 흡수 계수이며, d_k 는 매질의 두께 그리고 θ_k 는 빛의 입사 각도이다.

$$\frac{\Delta E_k}{E_k} = \exp\left(-\alpha_k \frac{d_k}{\cos\theta_k}\right)$$

빛이 입사에 의한 내부 반사 R_{01} 과 R_{12} 에 의하여 유리를 통과하는 투과율은 아래와 같이 표현된다.

$$t_{1,1} = T_{01}T_{12}\exp(-\alpha_1 \frac{d_1}{\cos\theta_1})$$

그리고, 내부반사 R12와 R10에 의하여 다시 유리를 통과하는 투과율을 구하면 아래 식으로 표현된다.

$$t_{1,2} = T_{01}R_{12}R_{10}T_{12}\exp(\frac{-3\alpha_1 d_1}{\cos\theta_1})$$

위와 같이 매질 n₁을 통과하게 되는 총 투과율은 다음과 같이 표현되는데

$$t_1 = T_{01}T_{12}\exp(\frac{-\alpha_1 d_1}{\cos\theta_1}) \times \sum_{i=1}^{\infty} [R_{12}R_{10}\exp(\frac{-2\alpha_1 d_1}{\cos\theta_1})]^{i-1}$$

위의 무한수열을 계산하면 유리 매질을 통과하는 빛의 투과율은 다음과 같이 나타난다.

$$t_1 = \frac{T_{01}T_{12}\exp(\frac{-\alpha_1 d_1}{\cos\theta_1})}{1 - R_{12}R_{10}\exp(\frac{-2\alpha_1 d_1}{\cos\theta_1})}$$

그리고 유리 매질을 통하여 반사되는 빛의 반사율은 다음과 같이 최종 표현된다.

$$\rho_1 = R_{01} + \frac{T_{01}R_{12}T_{10}\exp(\frac{-2\theta_1 d_1}{\cos\theta_1})}{1 - R_{10}R_{12}\exp(\frac{-2\alpha_1 d_1}{\cos\theta_1})}$$

2.2 실험방법

태양전지모듈 제조에 적용 가능한 유리는 구성 재료, 두께, Surface Texturing 및 표면 처리 등의 방법에 따라 분류가 가능하다. 표 1

은 태양전지모듈 제조에 사용되는 저철분 투명유리의 특징을 정리한 것이다.

유리 종류에 따른 투과율 및 반사율을 측정하기 위하여 10cm x 10cm 크기 이하의 시료를 Spectrophotometer(V570, JASCO)를 사용하여 파장 범위 200nm~1100nm파장 범위에서 측정하였다.

자연 태양광 스펙트럼에서의 유리 종류에 따른 투과 스펙트럼을 분석하기 위하여 Spectroradiometer(EKO, MS-720)을 사용하였다.

표 1. 저철분 투명유리의 특징

구분	특징
투과율	90% 이상
반사율	8% 이하
두께	3.2mm ± 0.2 mm
철분량	0.02 % 이하
강화	열처리
표면	Texture

2.3 실험결과

그림 3은 일반적인 저철분 투명유리에 대한 투과율을 일반유리와 비교 측정된 결과이다. 저철분 유리의 자외선 Cut-Off 파장은 일반유리의 310nm보다 30nm 짧은 280nm로 짧고 가시광선 영역에서 약 3%정도 높은 투과율을 나타낸다. 750nm부터 1100nm영역에서는 저철분유리의 광투과율이 일반유리의 투과율에 비하여 약 8%높은 특성을 나타내고 있다.

그림 4는 일반투명유리와 저철분유리의 반사율을 비교한 것이다. 두 유리 모두 가시광선 영역에서 8%~10%대의 반사율을 가지고 있으며 일반유리가 가시광선 영역 대에서 약 1% 높은 값을 가지는 특징이 있다.

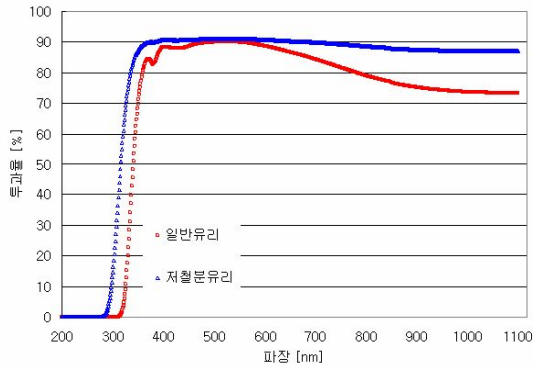


그림 3. 일반유리와 저철분유리의 투과율 비교

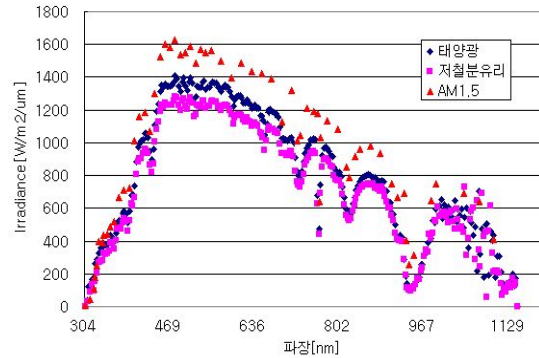


그림 5. 저철분유리 통과 후 태양광 스펙트럼 비교

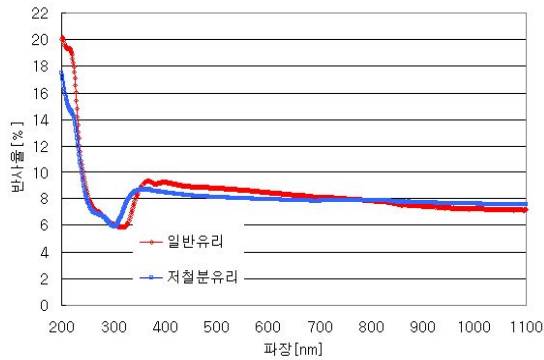


그림 4. 일반유리와 저철분유리의 반사율 비교

그림 5는 태양광 스펙트럼이 표면 Texturing 된 저철분 투명유리를 통과하기 전후의 스펙트럼을 측정된 결과이다. 태양전지모듈은 태양전지 종류에 따라 일정 파장에서 전기에너지로 변환하는 정도가 다른데 비정질 실리콘 태양전지의 경우 550nm에서 결정질 실리콘 태양전지의 경우 800nm에서 가장 우수한 외부 양자효율을 가지고 있다. 태양전지모듈의 성능을 측정하는 기준으로 1000W/m²에 해당하는 A.M 1.5의 태양광의 스펙트럼을 기준으로 미스매치(mismatch) 정도를 고려하여 측정하고 있다. 본 실험에서는 일사강도 약 800W/m²에서 10%투과율 감소에 따른 태양광 스펙트럼을 보여주고 있다.

그림 6은 Glass/EVA/SolarCell/EVA/Glass구조로 태양전지모듈을 제작 후 일반 투명유리와 태양전지 등으로 부터의 반사율을 측정하였다. 이때 사용한 유리는 5mm두께의 저철분유리이며 ETIMEX사의 0.4 mm두께의 Fast Cure Type을 사용하였다. 이때 4개 업체의 결정질 실리콘 태양전지를 사용하였다.

측정결과 370nm에서의 Lamination 후 9%~13%대로 Lamination 전과 비교하여 약 3배~4배의 반사손실이 감소됨을 알 수 있었다. 그리고 600nm이후 평균 6%의 반사율로 라미네이션후 약 2%의 반사 손실을 줄일 수 있는 것으로 확인되었다. 표 2에 550nm와 750nm에서의 반사율을 정리하였다.

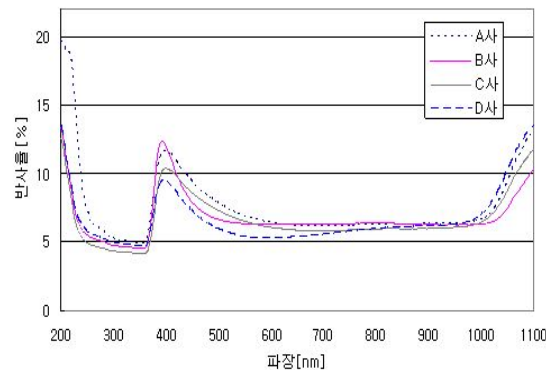


그림 6. Glass/SolarCell/Glass모듈의 반사율 비교

표 2. 라미네이션 후 모듈의 반사율

제조사	반사율(@550nm)	반사율(@750nm)
A사	6.92	6.24
B사	6.32	6.33
C사	6.51	5.87
D사	5.42	5.79

모듈 제조과정에서 Curing 온도 조건에 따른 모듈의 광투과율 변화를 관찰하고자 Curing 시간을 3분으로 고정하고 공정 온도를 110°C에서 140°C까지 변화시켰다. 시료는 Glass/EVA/Glass 구조로 제작하였다. 그림 7의 530nm 파장에서 투과율을 살펴보면 83.7%(110°C/3min), 85.7%(120°C/3min), 86.6%(130°C/3min) 그리고 86.4%(140°C/3min)로 일정 온도 이상에서는 투과도가 더 이상 증기하지 않는 것으로 나타났다.

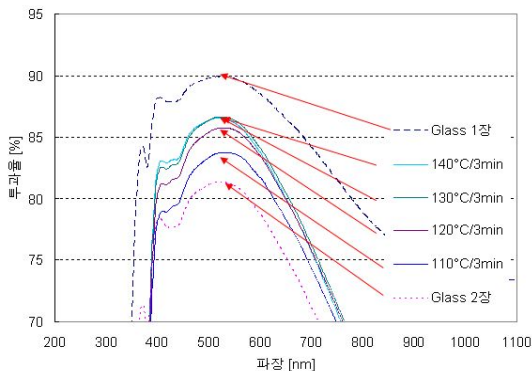


그림 7. 라미네이션 공정 조건에 따른 투과율 변화

위 결과에서부터 태양전지모듈의 제조 및 효율 높은 특성을 얻기 위하여 전면 재료로 사용되는 저철분유리의 광투과율 및 반사율 특성을 면밀히 분석할 필요성이 있으며 광반사 손실을 줄이기 위한 태양전지선별과 라미네이션 공정에서의 최적화에 대한 충분한 고려가 있어야 함을 알 수 있다.

그림 8은 저철분유리 제조사에 따른 광투

과율과 UV Cut-Off 특성 차이를 나타낸 결과이다. 일반적으로 가시광선 영역인 380nm~550nm에서 약 90%의 높은 투과율을 나타낸다. 그러나 UV영역에서의 투과율에서 차이가 나타나는데 A사의 경우 UV Cut-Off 파장이 310nm이며 B사의 경우는 280nm로 유리로 입사되는 자외선의 투과율이 제조사에 따라 차이가 남을 확인할 수 있었다. 이는 외부 노출에 의한 모듈 내부로 입사되는 자외선으로 인한 황변현상 등의 EVA Sheet의 내구성에 영향을 줄 수 있는 요소로 작용할 요소가 될 수 있다.

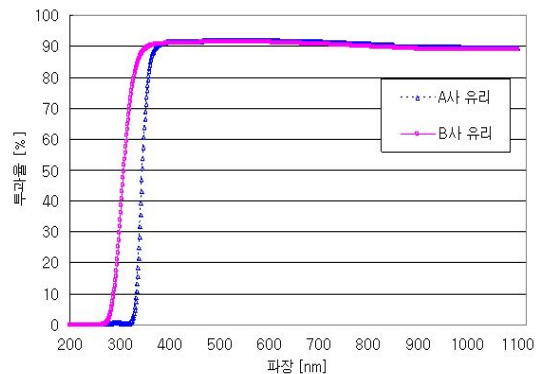


그림 8. 제조사에 따른 저철분유리의 광투과율 비교

그림 9는 그림 8에서의 2개사의 유리를 Glass/EVA/Glass구조로 접합한 후 투과율 결과로써 공통적으로 UV Cut-Off Wavelength가 접합 전에 비하여 약 40nm정도 증가함을 알 수 있었다. 이는 EVA Sheet의 물질 특성으로 접합 시 자외선 차단 효과가 크게 증가하는 것으로 나타났다.

최근에는 태양전지모듈의 효율을 높이고자 다양한 접근이 시도되고 있는데 이중 유리 표면에 코팅 기술을 적용하여 태양빛의 반사를 줄이고 투과율을 높여 광투과율이 우수한 유리를 적용하려는 시도가 진행되고 있다.

그림 10과 11은 저철분유리 표면에 무반사

코팅을 통하여 유리로 입사되는 광투과율이 장파장 영역에서 2%~4%의 광투과율 증가의 효과가 있음을 알 수 있었다.

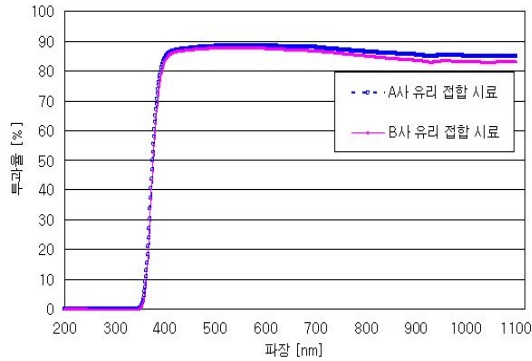


그림 9. 접합 공정 후 저철분유리의 광투과율 비교

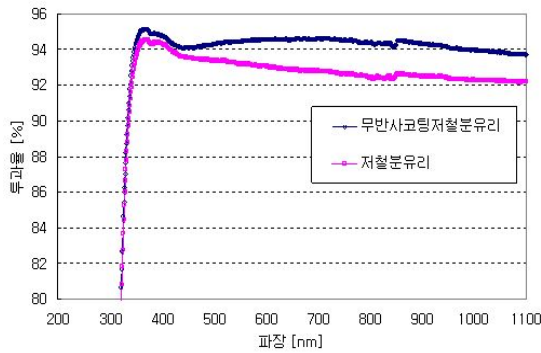


그림 10. 무반사코팅 처리 후 저철분유리의 광투과율 비교(I)

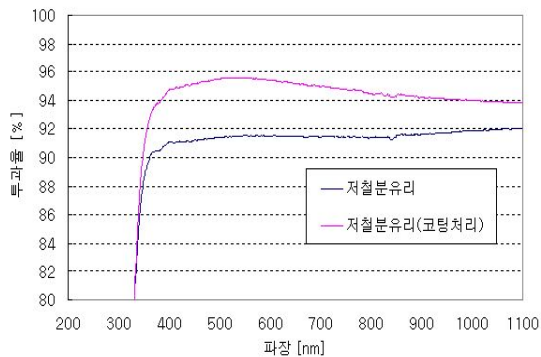


그림 11. 무반사코팅 처리 후 저철분유리의 광투과율 비교(II)

3. 결 론

본 논문에서는 PV용 투명유리와 Glass-Glass 모듈의 광학적 특성에 대하여 평가 및 분석을 실시하였다.

태양전지모듈에 적용 가능한 저철분유리와 일반유리의 투과율과 반사율 차이를 확인하고 모듈 제조를 통한 광반사 손실을 측정 후 라미네이션 제조 공정에 따라 투과율 특성이 변함을 통하여 최적의 공정 조건 도출이 필요함을 확인하였다. 그리고 저철분유리 제조사에 따른 자외선 Cut-Off Wavelength 값이 다를 수 있음을 알 수 있었다.

이를 통하여 태양전지모듈 제조를 위한 저철분유리의 기본 정보를 제공하고자 했다.

참 고 문 헌

1. K.S.Kim, G.H.Kang, G.J.Yu, "The analysis of optical characteristics of glasses for PV module application", Proceeding of KSES Spring Annual Conference, pp.98-103, 2008.
2. K.S.Kim, G.H.Kang, G.J.Yu, "The Optical Characteristics of Low Iron Glass for Photovoltaic Module Fabrication", Proceeding of KIEE Annual Summer Conference, pp.1114 -1115, 2008.
3. K.S.Kim, G.H.Kang, G.J.Yu, "The Optical Analysis of Transparent Glasses for PV Module Application", Proceeding of KIEEME Annual Summer Conference, pp.179-180, 2008.
4. S. Krauter, "Actual Optical and thermal performance of PV-module", Solar Energy Material and Solar Cells, 41/42 pp.557-574, 1996.