

**PV 모듈용 EVA Sheet의 Curing 조건에 따른 Gel Content 특성**

강기환, 김경수, 박경은, 김현일, 유권중  
한국에너지기술연구원 태양광발전연구단

**The Effect of EVA Sheet Gel Content Depending on Curing Condition for Photovoltaic Module**

Kang Gi-Hwan, Kim Kyung-Soo, Park Kyung-Eun, Kim Hyun-Il, Yu Kwon-Jong  
Korea Institute of Energy Research

**Abstract** - In this paper, we analyzed the effect of EVA Sheet Gel Content depending on curing condition for photovoltaic module. Gel Content was measured by manufacturing Glass/EVA Sheet/Back Sheet scheme at several curing temperature and curing time. And the surface analysis of EVA Sheet depending on process condition could be observed using SEM(Scanning Electron Microscope). Through this experiment, we could confirm that there are differences on Gel Content of EVA Sheet and surface configuration depending on curing temperature and curing time. To find out the optical characteristic dependency on curing condition, Glass/EVA Sheet/Glass scheme was fabricated. The optical transmittance of EVA Sheet at visible wavelength was enhanced 5% when compared to Glass/Glass scheme. And the transmittance of 130°C/4min, 110°C/4min, 110°C/6min process condition was higher at ultraviolet wavelength range. These curing conditions could be regarded as the best process for suppression the discoloration speed of EVA Sheet under UV light.

Cure용 EVA Sheet를 사용하여 Glass/EVA Sheet/Back Sheet의 구조로 시편을 제작하였다. <표 1>은 본 실험에서 사용한 EVA Sheet의 Curing조건을 보여주고 있다.

이때, Lamination 온도와 시간은 110°C/6min으로 동일하게 하고, Curing 온도와 시간을 변화시켜 시편을 제작하였으며, Curing온도는 110°C, 130°C, 140°C의 조건에서 각각 2min, 4min, 6min으로 설정하여 총 9가지의 샘플을 준비하였다.

**<표 1> EVA Sheet의 Curing조건**

	110°C	130°C	140°C
2min	○	○	○
4min	○	○	○
6min	○	○	○

Curing 조건에 따른 EVA Sheet의 Gel Content를 측정하기 위하여 <표 1>의 실험 조건에 따라 준비된 시료에서 각각 2g의 EVA를 채취한 후 톨루엔(Toluene)용액 100ml에 담고 Hot Plate에서 60°C의 온도로 약 3시간 동안 가열하였다. 그 후, Gel화된 EVA Sheet를 Filtering한 후 60°C Convection Oven에서 약 4시간동안 건조하였다. 이때 초기 채취된 EVA Sheet와 건조된 EVA의 무게비를 산출하여 Gel Content를 측정하였다.

실험 조건에 따른 표면형상을 관찰하기 위하여 주사전자현미경(SEM, HITACHI-S-4700)을 사용하여 500배의 배율로 측정하였다.

공정 조건에 따른 EVA Sheet의 광학적 특성을 분석하기 위해서는 별도의 Glass/EVA Sheet/Glass의 투과용 구조로 <표 1>의 Curing온도, Curing 시간에 따라 시편을 제작하였다. 이때 광투과율 측정에는 Spectrophotometer(UV3101 PC, Shinmadzu)를 사용하여 파장 범위 200nm~800nm에서 광투과율을 측정하였다.

**3. 결과 및 고찰**

**3.1 Gel Content 특성**

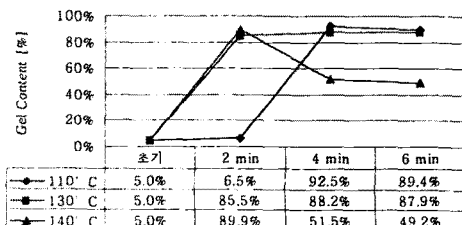
EVA Sheet의 Gel Content는 Polymer의 Cross Linking정도를 나타내며 아래의 식으로 표현된다. 여기서  $m_0$ 은 초기의 EVA Sheet의 무게이고  $m$ 은 건조된 후 EVA Sheet의 무게이다.

$$\text{gel content}(\%) = \frac{m}{m_0} \times 100$$

<그림 3>은 <표 1>의 조건에서 제조된 각각의 시료에 대한 Gel Content 특성을 보여주고 있다. Curing전 EVA Sheet의 Gel Content는 5.0%로 측정되었다. 110°C의 온도에서 Curing 시간이 2분에서 4분으로 증가하면 Gel Content는 6.5%에서 92.5%로 급격한 증가를 나타내었고, 이후 6분에서는 89.4%로 3.1%의 감소를 나타내었다.

또한, Curing온도 130°C Curing시간 2분 조건에서의 Gel Content는 85.5%, 4분에서는 88.2%로 2.7%의 증가를 보였으며 6분에서는 87.9%를 나타내어 오히려 0.3% 감소현상을 나타내었다. 아울러 Curing온도 140°C 2분 조건에서 Gel Content가 89.9%, 4분 6분에서는 51.5% 49.2%로 급격히 감소되는 현상을 볼 수 있었다.

EVA Sheet의 Gel Content특성은 제조 회사별 태양광모듈 공정 조건에 따라 다르게 나타날 수 있는데 본 연구에서 사용된 ETIMEX사의 Fast Cure EVA Sheet는 특정 Curing 시간 및 특정 Curing 온도 조건에서 Gel Content가 감소하는 경향을 나타내었다.



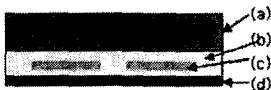
**<그림 3> EVA Sheet의 공정조건에 따른 Gel Content의 변화**

**1. 서 론**

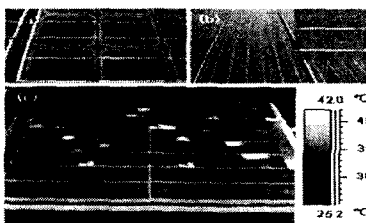
태양광 모듈은 일반적으로 <그림 1>과 같이 유리, Encapsulation, 태양전지, Back Sheet등으로 구성된다. 그리고 Encapsulation은 광투과율 특성이 우수하고 습기에 강하며 유리와 접착력이 좋은 EVA Sheet를 많이 사용한다. EVA Sheet는 태양전지와 기타 재료들과의 구조적인 지지 역할 및 태양전지와 입사 태양광의 최적의 광학적 결합 그리고 태양전지와 외부 환경과의 전기적, 물리적 분리 등의 기능을 가지고 있다.

태양광 모듈이 외부 환경에 노출되면 자외선, 온도, 대기 가스, 오염 물질 및 온도 사이클링 등으로 인하여 광산화작용이 일어나 태양전지모듈의 발전성능의 감소가 나타나고 특히, EVA Sheet의 불균일한 백화 현상으로 인하여 열화 현상의 가속이 일어난다. <그림 2>는 Field Aged된 태양광 모듈의 노화현상을 보여주고 있다. <그림 2>의 (a),(b)에서는 자외선 노출에 의한 EVA Sheet의 변색현상을 볼 수 있으며 (c)는 변색된 EVA Sheet로 인하여 태양광 모듈이 열화되어 Hot-Spot에 의한 열적 온도분포 특성을 보여주고 있다.

본 연구에서는 태양광 모듈 제조 공정에서의 가장 핵심장비인 Laminator를 사용하여 Curing 온도 및 Curing 시간에 따라서 시료를 제작한 후, EVA Sheet의 Gel Content를 분석하고 이를 SEM, Spectrophotometer등을 사용하여 구조적 광학적 특성을 분석하였다.



**<그림 1> 태양광 모듈 단면 (a)유리 (b)EVA Sheet (c)태양전지 (d) Back Sheet**



**<그림 2> (a),(b)변색된 EVA Sheet (c)변색된 EVA Sheet로 인한 태양광 모듈의 온도분포**

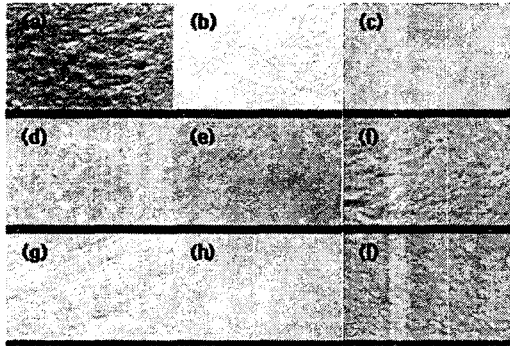
**2. 실험 장치 및 실험 방법**

EVA Sheet의 Curing온도 및 Curing시간에 따른 Gel Content 특성을 분석하기 위하여 본 연구에서는 ETIMEX사에서 생산된 두께 0.4mm Fast

### 3.2 SEM을 이용한 표면 형상 관찰

<그림 4>는 EVA Sheet의 Curing조건에 따른 EVA Sheet의 표면형상을 SEM을 이용하여 관찰하였다. 110°C에서 Curing 시간이 2분에서 6분으로 증가할수록 표면의 거칠기가 줄어들고 단단한 구조의 형상이 나타남을 알 수 있었다. 130°C 공정 조건에서는 Curing 시간 4min에서 2min, 6min에 비하여 표면 상태가 매끄럽고 균일한 두께를 가진 것을 알 수 있었다. 또한, 140°C에서는 Curing시간에 상관없이 표면의 거칠기가 크고 EVA Sheet의 두께 균일성이 좋지 않은 것을 관찰할 수 있었다.

결과로부터 110°C/6min, 130°C/4min 조건하에서 EVA Sheet의 표면이 다른 조건에 비하여 표면이 균일하며 단단한 구조의 형상을 가지는 것을 관찰할 수 있었다.

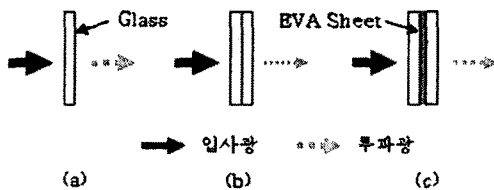


<그림 4> EVA Sheet의 표면형상 (a)110°C/2min (b)110°C/4min (c)110°C/6min (d)130°C/2min (e)130°C/4min (f)130°C/6min (g)140°C/2min (h)140°C/4min (i)140°C/6min

### 3.3 광학적 특성 분석

공정에 따른 EVA Sheet의 광학적 특성을 분석하기 위하여 <표 1>의 조건과 같이 Glass/EVA Sheet/Glass의 구조로 시편을 제작하여 광투과율을 파장범위 200~800nm에서 측정하였다.

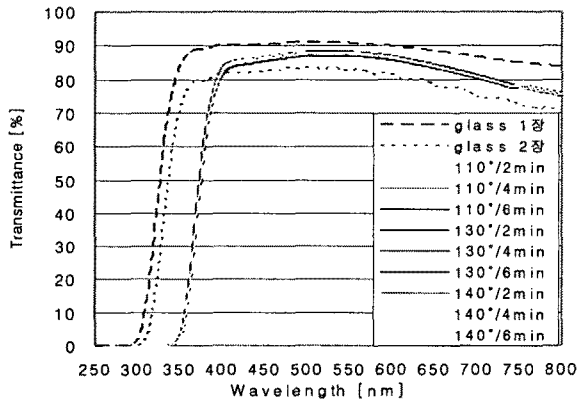
<그림 5>는 광투과율을 측정하기 위하여 준비된 시편의 구조를 보여 주고 있다. <그림 5>의 (a),(b)는 Reference로 사용된 Glass자체의 광투과율을 비교한 것이며 (c)는 <표 1>의 실험조건하에 준비된 시료를 나타낸 것이다.



<그림 5> 광투과율 측정 (a)유리 1장 (b)유리 2장 (c)Glass/EVASheet/Glass

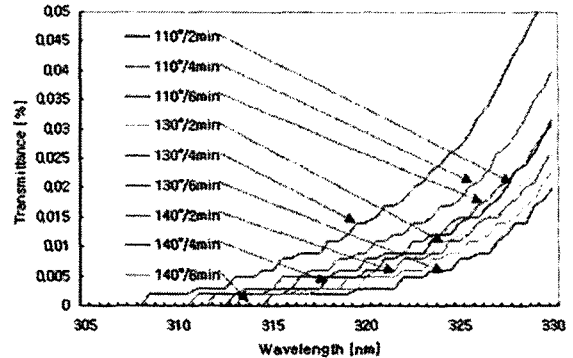
<그림 6>에서 Glass가 1장인 경우의 투과율을 살펴보면 400nm~800nm에서 투과율이 평균 89%를 나타내었고, Glass가 2장인 경우 Glass가 1장인 경우와 비교하여 투과율이 10% 감소한 79%로 측정 되었다.

Glass/EVA Sheet/Glass의 구조인 경우 Curing온도와 Curing시간에 상관없이 400nm~800nm에서 평균 투과율이 84%로 Glass가 2장인 경우보다 약 5%의 증가를 보였다. 이는 Curing된 EVA Sheet가 Glass와의 접촉면에서의 표면 반사를 줄여줌으로써 광투과율을 증가 시키는 효과를 나타내는 것을 관찰할 수 있었다.



<그림 6> Glass/EVASheet/Glass 구조에서의 Curing 온도 및 Curing 시간에 따른 광학적 투과율 측정

<그림 7>은 Glass/EVA Sheet/Glass구조에서 UV 영역에서의 투과율을 측정한 결과이다. UV의 투과율이 크다는 것은 EVA Sheet가 자외선에 의한 흡수율이 낮아 변색되는 속도가 늦다는 의미이다. EVA Sheet의 변색 정도에 따른 투과도를 살펴보면 변색의 정도가 심할수록 UV영역에서의 UV흡수율이 크게 나타난다. 130°C/4min, 110°C/4min, 110°C/6min 공정 조건에서의 UV투과율은 다른 조건에 비하여 높기 때문에 EVA Sheet의 변색 속도 및 정도가 상대적으로 낮을 것으로 예상할 수 있다.



<그림 7> Glass/EVASheet/Glass 구조에서의 Curing 온도 및 Curing 시간에 따른 UV영역 광학적 투과율 측정

내구성이 좋은 태양광 모듈을 제조하기 위해서는 Curing온도, Curing시간, Gel Content등을 기준으로 하여 최적의 공정 조건을 도출할 수 있다. Gel Content가 크다는 것은 EVA Sheet의 Cross Linking정도가 우수함을 나타내며 이는 Polymer Chain의 움직임을 제한하여 외부의 습기나 Gas등의 침투성을 낮추어 이로 인하여 EVA Sheet의 Discoloring을 억제하는 효과가 크다는 것을 의미한다. 또한 SEM 표면형상 분석을 통하여 Curing 온도 및 Curing시간에 따라서 EVA Sheet 표면의 거칠기 및 두께 균일성이 다르다는 것을 관찰할 수 있었다. 또한 광투과율 특성 분석에서 일반 유리의 투과율 보다 EVA sheet를 사용하여 Lamination 하였을 때의 투과율이 약 5% 정도 증가함을 알 수 있었다. 따라서, 위의 3가지 실험을 통하여 110°C/6min 과 130°C/4min에서 제작된 태양광 모듈이 외부 환경의 Stress 등에 대하여 장기 내구성 측면에서 가장 안정적일 것으로 판단되었다.

### 3. 결 론

본 논문에서는 PV 모듈용 EVA Sheet의 Curing 조건에 따른 Gel Content 특성을 분석하였다. 그 결과 110°C 2min 조건에서의 Gel Content는 6.5%를 나타내었으며, 4min에서는 92.5%로 급격히 증가하는 현상을 나타내었고, 이후 6min에서는 반대로 3.1%감소한 89.4%의 Gel Content 특성을 나타내었다. 또한, Curing온도 130°C 2min에서의 Gel Content는 85.5%를 나타내었고, 4min, 6min에서 각각 88.2%, 87.9%를 나타내었다. 140°C에서는 Curing시간 2min에서 Gel Content가 89.9%를 나타내었으며, 4min 6min에서 51.5%, 49.2%로 급격히 감소되는 현상을 관찰 할 수 있었다. 이러한 시료의 표면형상을 관찰한 결과 110°C/6min, 130°C/4min조건에서 다른 시료에 비하여 표면이 매끄럽고, 거칠기가 작고 견고함을 볼 수 있었다.

또한 Glass/EVA Sheet/Glass구조를 제작하여 광학적 투과율을 관찰한 결과 Glass/Glass구조에 비하여 가시광선 영역에서 투과율이 5% 증가함을 확인할 수 있었다. 이는 EVA Sheet와 접촉하는 유리 표면의 반사를 억제함으로써 투과율의 증가 효과를 나타내는 것을 알 수 있었다.

### [참 고 문 헌]

- [1] Mehmet Copuroglu, Murat Sen, "A Comparative Study of UV aging characteristics of poly(ethylene-co-vinyl acetate) and poly(ethylene-co-vinyl acetate)/carbon black mixture" Polym. Adv. Technol. 16:61-66, 2005.
- [2] G.H.Kang, G.J.Yu, H.K.Ahn and D.Y.Han, "Consideration of Electrical Properties in Field-aged Photovoltaic Module", J. of KIEEME(in Korean), Vol. 17, No.12, p.1289, 2004.
- [3] G.H.Kang, G.J.Yu, H.K.Ahn and D.Y.Han, "The Effect of Electrical Properties with Degradation of EVA sheet and Electrode in Photovoltaic Module", Proceeding of KIEEME Annual Summer Conference, 2005.
- [4] A.W. Czanderna, F.J. Pern "Encapsulation of PV modules using ethylene vinyl acetate copolymer as a pottant: A critical review", Solar Energy Materials and Solar Cells 43(1996) 101-181
- [5] Antonio Parretta, Mariano Bombace, Giorgio Graditi, Riccardo Schioppo "Optical degradation of long-term, field-aged c-Si photovoltaic modules" Solar Energy Materials and Solar Cells 86 (2005) 349-364