태양전지 모듈의 내구성을 위한 EVA sheet의 특성 연구

강경찬*, 강기환**, 허창수***, 유권종****

*인하대학교 대학원 전기공학과(cpv@kier.re.kr),
**한국에너지기술연구원 태양광발전연구센터(ghkang@kier.re.kr),
***인하대학교 전기공학과(cshuh@inha.ac.kr),
****한국에너지기술연구원 태양광발전연구센터(y-gj@kier.re.kr)

A Study on EVA Sheet Characteristic for Photovoltaic Modules Durability

Kang, Kyung-Chan*, Kang, Gi-Hwan**,
Huh, Chang-Su***, Yu, Gwon-Jong****

*Dept. of Electrical Engineering, Graduate School, Inha University(cpv@kier.re.kr),
**Photovoltaic Research Center, Korea Institute of Energy Research(ghkang@kier.re.kr),
***Dept. of Electrical Engineering, Inha University(cshuh@inha.ac.kr),
****Photovoltaic Research Center, Korea Institute of Energy Research(y-gj@kier.re.kr)

Abstract

The purpose of EVA sheet in PV module is to bond or laminate the multiple layers of a module. We studied the influence of EVA sheet gel content on photovoltaic module durability. Gel Content was measured by manufacturing Glass/EVA Sheet/Back Sheet scheme at several curing temperature. Through this experiment, we could confirm that there are changes on Gel Content of EVA Sheet. The transmittance of 140℃/4min process condition was more excellent than the other condition at ultraviolet wavelength range. The thermal stability of 150℃/4min process condition was higher than the other condition.

Keywords : 태양전지모듈(Photovoltaic Module), EVA(Ethylene Vinyl Acetate), 투과율(Transmittance), 가교율(Crosslinking rate)

1. 서 론

최근 유가의 변동이 심해지고 지구환경에 대한 국제적인 관심이 높아지면서 안정적이고 깨끗한 미래 에너지원의 확보가 경제적 측면은 물론 국가안보 차원에서도 주요한 과제

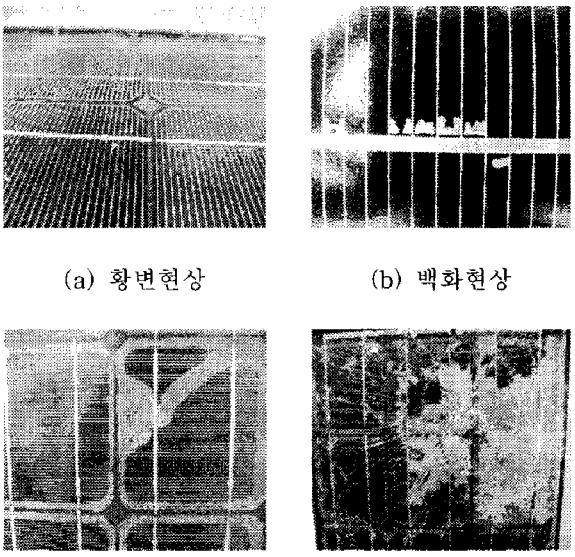
로 부각되고 있다. 이와 같이 이슈가 되고 있는 그린에너지 산업 중에서 세계적인 관심 속에 급속한 속도로 성장을 하고 있는 태양광발전 산업은 해마다 30%이상의 놀라운 성장률을 보이고 있으며, 지금 처해있는 지구환경 및 에너지 문제를 고려해 볼 때, 향후에도 이러한 증가추세는 지속될 것으로 예측하고 있다. 태양광발전의 여러 분야 중에서 태양전지 모듈 분야는 태양전지를 보호하고 외부에 설치하기 용이하게 하기위하여 사용되는 기술로써, 그동안 조립 공정만으로 인식되어 연구개발에서 소외되어 있었으나, 가격이 비싼 태양전지의 수명은 결국 태양전지 모듈 기술에서 좌우되기 때문에 최근에는 모듈의 내구성을 향상시키는 연구가 많이 수행되고 있다.[1] 태양전지모듈은 옥외에서 약 20년 이상의 장기간 사용되어야 하기 때문에 자연환경의 영향을 강하게 받는다. 태양전지모듈의 성능 또는 수명에 영향을 미치는 주요 요인으로는 태양광선 중의 자외선, 온도변화, 습도, 바람, 적설, 결빙, 우박 등에 의한 기계적 스트레스, 염분, 기타 부식성 가스 또는 모래, 분진 등을 생각할 수 있다. 이러한 영향들로부터 태양전지모듈을 보호하기 위해서는 적정한 재료의 선정과 각 재료의 특성에 맞는 적정한 제조방법으로 태양전지 모듈을 제조하여야만 수명을 연장하고, 신뢰성을 확보할 수 있게 된다.

따라서 본 논문에서는 태양전지 모듈의 노화 사례를 조사 분석하고 태양전지 모듈의 구성재료 중 충진재로 사용하는 EVA(E thylene Vinyl Acetate)에 초점을 맞추어 Gel content 측정을 하고 태양전지 모듈의 특성에 어떠한 영향을 미치는지 연구하였다.

2. 태양전지 모듈의 노화

태양전지 모듈의 손실 특성은 출력 불 균일 셀의 사용으로 전체 모듈의 출력 저하를 일으키는 사례나, Tabbing이나 String공정 그리고 Lamination 공정 중에 일어나는 태양전지의 미세 균열 같은 제조공정에서의 손실 뿐 아니라, 모듈의 완성 후 사용과정에서 자연환경의 영향으로 노화가 일어나 손실이 일어날 수 있다. 그림 1에서 보는 것과 같이 자외선이나 열의 영향으로 EVA sheet가 변색되어 투과율의 감소가 일어나고 유리와 EVA sheet 그리고 태양전지 사이에 공기의 침투로 인해 백화현상이 발생하기도 하며, 물리적인 영향으로 전면의 유리가 파손되고 습기 침투로 인해 전지나 전극이 부식하기도 한다.

표1은 참고 문헌에 제시된 태양전지 모듈의 노화 현상별 발생 비율을 보여 주고 있다.[2] 부식현상과 셀이나 연결부위의 부식이나 파손이 노화현상의 주된 원인으로 나타나고 있으며 자외선이나 열의 영향으로 충진재가 변색되어 투과율의 감소로 손실이 일어날 수 있다.



(a) 황변현상 (b) 백화현상

(c) 습기침투 및 전극 산화 (b) 유리 파손

그림 1. 태양전지 모듈의 노화 사례

표 1. 노화 사례 분석 결과

노화 현상	발생비율(%)
부식현상	45.3
셀 또는 연결부위 파손	40.7
출력선 문제	3.9
단자박스 문제	3.6
EVA Sheet 박리	3.4
전선, 다이오드, 터미널 단자 등의 과열분해	1.5
기계적, 물리적 파손	1.4
바이패스 다이오드 결함	0.2
합 계	100

3. EVA의 Gel 특성

태양전지 모듈의 구성 재료 중 충진재 로는 실리콘 수지, PVB, EVA(Ethylene Vinyl Acetate)가 이용되어 왔으며, 처음 태양광 모듈을 제조 할 때만 해도 실리콘 수지의 사용이 주였으나, 충진 하는데 기포방지와 셀의 상하로 움직이는 균일성을 유지하는 데에 시간이 걸리기 때문에 현재는 PVB와 EVA가 이용되게 되었다. 그러나 PVB도 재료적으로 흡습성이 있기 때문에 최근에는 EVA가 가장 많이 이용되고 있으며, 다음과 같은 특성을 가지고 있다.

3.1 EVA의 gelation mechanism

EVA에 일정온도 이상의 열이 가해지면 개시제에 해당하는 peroxide가 •OH 라디칼을 형성하여 EVA 고분자의 -C=O- 이중결합을 공격함으로써 3차원적 그물구조를 형성하게 된다. 이때 유기용매에 용해되지 않는 gelation이 일어나게 되며 mechanism은 아래 그림2와 같다.2)

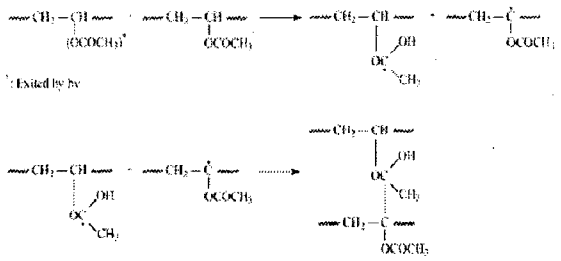


그림 2. EVA의 gelation mechanism

3.2 EVA의 adhesion mechanism

PV용 EVA의 접착제는 아래 그림 3과 같은 반응구조를 갖고 있다. 그림과 같은 반응구조 때문에 아래와 같이 적절한 가교화 구조를 가진 망상의 EVA sheet 내부에 화학 결합된 접착제는 또 다시 유리 표면에 생성되어 있는 OH(수산기)와 공유결합을 하거나 수소결합을 하여 강인한 접착력을 갖게 되는 것이며, 봉입제로서 유리와 일체가 되어 외부의 유해 환경에 대해 방어를 하게 된다. 하지만 이 때 EVA sheet에 단지 가교제와 접착제만을 첨가한다고 해서 저절로 가교화가 되는 것은 아니다. EVA sheet를 가교와 접착을 시키기 위해서는 두 가지의 요소가 더 필요하게 된다.

그 중 첫 번째는 반응개시제(peroxide)이며 두 번째는 그 개시제를 활성화 시키기 위한 에너지인 열이다. perxoide는 일정한 열을 받으면 그 자체가 두 개의 불안정한 분자로 나누어지면서 일반적으로 그림 4와 같은 구조가 된다.

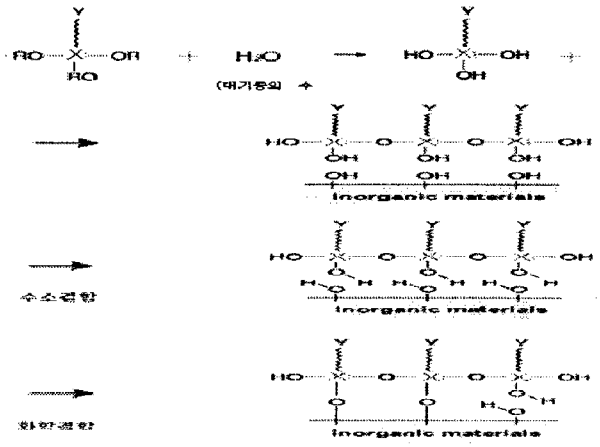


그림 3. EVA의 adhesion mechanism

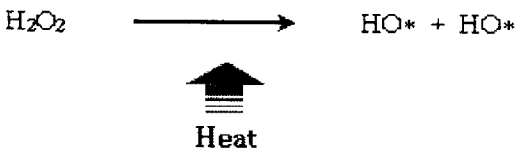


그림 4. Heating 시의 반응 개시제

3.3 EVA의 degradation mechanism

PV용 EVA는 VA(Vinyl Acetate)의 함량이 약 28~33% 가량이며 그림 5와 같이 $-(CH_2-CH_2)_{6.14}-(CH_2-CHAc)-$로 구성되어 있으며 Ac는 아세테이트이 부산물로서 $OCOCH_3$이다. 그림과 같이 Norrish Ⅱ작용으로 초(acetic)와 산(acid)이 생성되며 Norrish Ⅰ작용으로 CO, CO_2, CH_4가 생성된다. 자외선이나 열에 의해 생성된 초산은 EVA 분해의 촉매작용을 해 EVA의 열화로 인한 황변현상이 일어나게 된다.[4]

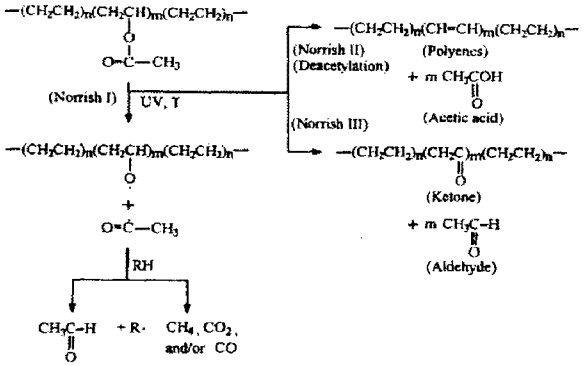


그림 5. EVA의 degradation mechanism

4. 실험 장치 및 방법

4.1 Gel content 측정

EVA의 Gel Content는 Polymer의 Cross Linking정도를 나타내며 아래의 식으로 표현된다. 여기서 m_0은 초기의 EVA Sheet의 무게이고 m은 건조된 후 EVA Sheet의 무게이다.

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

EVA sheet가 모듈 제조 공정을 거치고 재료나 공정에 따라 Gel content가 어떻게 달라지는지 알아보기 위해 실제 모듈을 만드는 재료 중 태양전지를 제외하고 강화유리와 EVA, Backsheet를 이용하여 300× 300(mm) 크기의 시료를 제작하여 가운데 부분의 EVA 조각을 채취한 후 실험하였다.

제조 공정 조건은 표2와 같이 pumping과 press 공정은 시료마다 동일하게 적용하고 마지막 curing 온도 조건 만 달리하여 시료를 제작하였다.

4.2 투과율 측정

EVA sheet는 라미네이션(lamination) 공전전에는 일반적으로 투과율이 10% 이하로 불투명 하지만 라미네에션 공정을 거치면 투과율이 상승해 거의 투명하게 되는데, 투과율은 공정 조건에 따라 EVA의 종류에 따라 다르게 나타나고 모듈의 효율에 큰 영향을 미친다.

표2. Lamination 공정조건

		온도 [℃]	시간 [min]	공정 압력 [mmHg]
Pumping		110	5	
Slow Press		110		600
Standard Press		110		50
Fast Press		110		50
Curing	조건1번	120	4	
	조건2번	130	4	
	조건3번	140	4	
	조건4번	150	4	

4.3 자외선 조사 시험

자외선은 단파장 대역으로 큰 광자에너지를 가지고 있어 고분자 재료가 이를 흡수하면 분자나 원자의 전자상태를 변화시켜 물리적 또는 화학적 변화를 일으키게 된다. 이러한 자외선 열화는 주로 고분자 재료의 특성에 기인되는 것으로 재료에 있어 장기적으로 요구되는 전기적, 기계적 성능에 중요한 영향을 미치게 된다.[5]

태양전지 모듈은 자외선에 쉽게 노출되어 변색 현상이 일어나는데 이는 EVA의 열화현상의 하나로 변색현상의 원인 및 그 정도는 평균 일일 태양 일사강도의 정도와 모듈의 작동 온도와의 상호 연관성에서 나타난다는 것이 연구를 통해 알려져 있다.

따라서 자외선 조사 시험 전후를 비교함으로써 육안으로 얼마나 변색이 일어났는지 관찰하고 투과율 측정과 전기적 출력 측정을 통해 EVA Sheet가 자외선 노출에 얼마나 내구성을 가지고 있는지 알 수 있다.

4.4 내열내습시험

고온•고습 상태에서의 사용 및 저장하는 경우의 태양전지 모듈의 열적 스트레스와 적성을 시험하는 것으로 접합 재료의 밀착력 저하를 관찰한다. 온도 85±2℃, 상대습도 85±5%로 약 500시간 시험하였다.

5. 결과 및 고찰

네 종류의 EVA sheet의 Gel Content 측정 결과 그림 6에서 보는 것과 같이 Curing 온도가 올라 갈수록 측정값도 같이 상승하였다. B모델의 경우에는 120℃조건에서는 EVA 조각이 톨루엔 용액에 완전히 녹아버리는 현상이 일어났으며 측정값도 매우 낮아 고분자의 가교가 부족하여 환경시험 후 변색이 예상되었다.

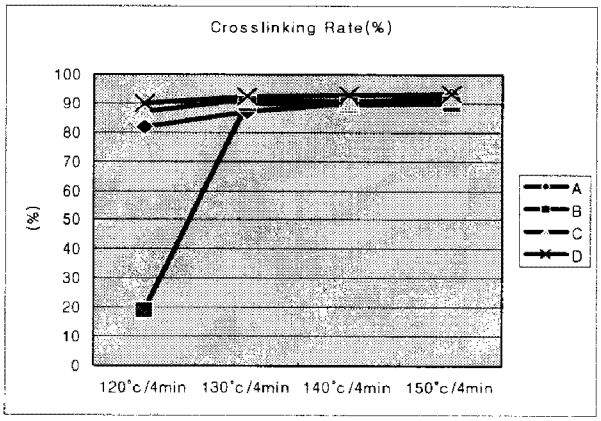


그림 6. EVA의 Gel content 측정 값

투과율 측정 결과는 모든 시료의 가시광선 영역(381~750nm)에서의 평균 투과율은 88~89%로 크게 차이가 없었으나 자외선 영역(200~380nm)에서의 평균 투과율은 그림 7과 같이 4종류의 시료 모두 140℃ 조건에서 우수한 특성이 있었다.

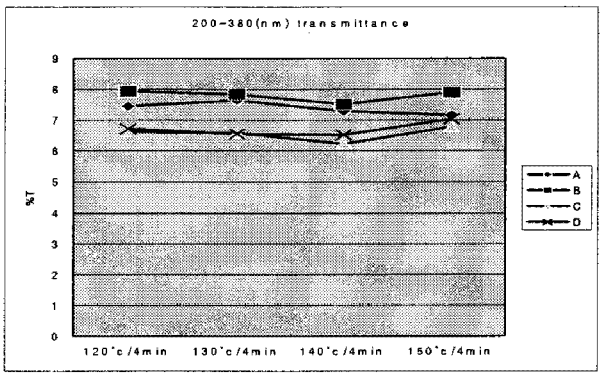
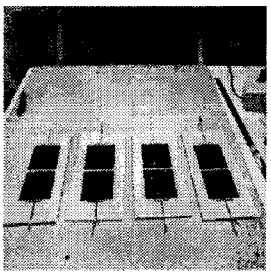
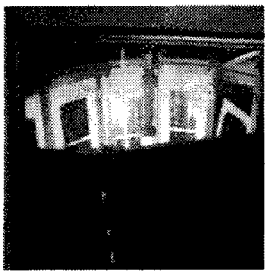


그림 7. 자외선 영역에서의 평균 투과율

자외선 영역에서 가장 특성이 우수했던 140℃조건으로 모듈을 제작하여 자외선 조사시험을 하였더니 예상과는 달리 EVA의 변색이나 출력저하는 일어나지 않았다.



(a)UV 테스트 mini 모듈



(b)UV 조사 시험

그림 8. 자외선 조사 시험

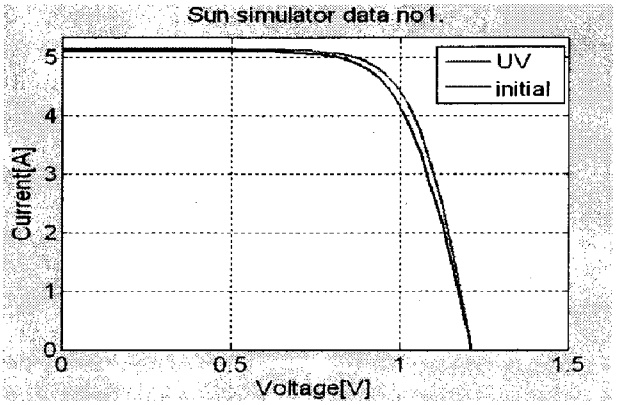


그림 9. 자외선 조사 전·후의 모듈의 전압-전류 곡선

이는 실험에 사용된 EVA가 자외선 흡수제, 광 안정제가 잘 첨가된 모델이라 판단되며 출력이 오히려 상승한 부분은 자외선의 역할로 가교가 더욱 진행된 것이라 판단되며, 좀 더 오랜 시간 광 조사를 한 후 전후를 비교해 볼 필요가 있다고 판단된다.

내열 내습 시험 전•후 모듈의 출력 특성과 EVA sheet의 변색을 관찰한 결과 높은 온도의 영향으로 시험 후의 출력이 모든 시료에서 감소하였으며, 그림 10에서 보는 것과 같이 가교율(Crosslinking rate)이 높을 수록 감소율은 작게 나타났다.

출력감소의 원인으로는 EVA sheet의 변색으로 인해 Isc가 감소하여 전체적인 출력에 영향을 미친 것으로 판단된다.

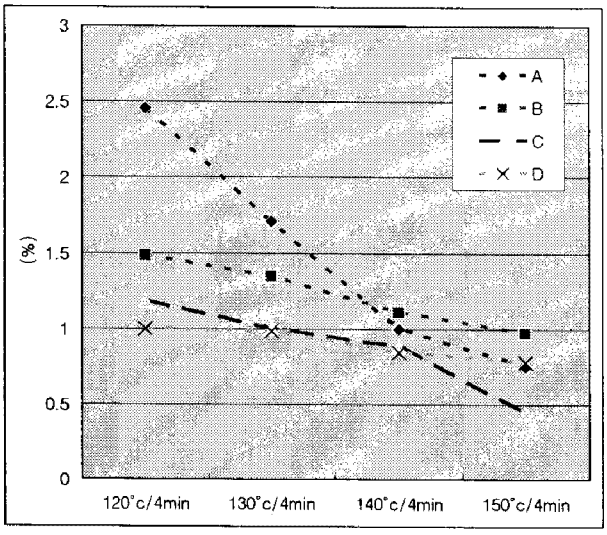


그림 10. 내열내습 전•후의 출력 감소율

6. 결론

태양전지 모듈은 태양전지를 외부 환경으로부터 보호 하고, 20년 이상의 장기간의 수명을 보장 할 수 있게 내구성을 갖추어야 하는데, 모듈의 구성 재료 중 하나인 EVA sheet는 이와 같은 역할을 하는데 중요한 소재이다.

태양전지 모듈의 노화 사례를 조사하면서 EVA sheet의 변색으로 인한 황변현상을 많이 발견할 수 있었고 그로 인해 출력의 저하도 많이 일어나는 것을 알 수 있었다.

모듈 제조 공정 후의 EVA sheet의 Gel content는 고분자의 가교율을 측정하는 것으로 모듈이 얼마만큼의 내구성을 가지는지 예측하는 좋은 지표라 생각한다. EVA sheet의 가교율은 재료나 모듈 제조공정에 따라 차이가 난다.

가교율에 따라 광 투과성이 달라지는 것을 알 수 있었고 열에 의한 변색정도를 판단하고 그에 따른 전류값과 출력값의 변화를 관찰 할 수 있었다.

따라서 모듈의 내구성 확보를 위해 재료의 선정과 적절한 제조 공정을 선택하기 위해 Gel content측정은 필수적이라 판단된다.

참 고 문 헌

1. 건축환경을 고려한 BIPV용 태양전지모듈 및 제조기술개발, 산업자원부, 2007.10.
2. John H.W, Long Term Reliability of PV Modules, DOE Solar Program Review Meeting, Denver, CO, 2003.
3. 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, polymers for advanced technologies Volume 16, pp.61~66, 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. 연복희, 표면특성 분석을 통한 전력용 실리콘 절연재료의 열화기구 해석, 박사학위 논문, 2003.02.