

태양전지모듈용 EVA Sheet의 특성 평가 방법

강경찬*, 이진섭**, 강기환***, 허창수****, 유권종*****

*인하대학교 대학원 전기공학과(cpv@kier.re.kr),
**건국대학교 대학원 전기공학과(jslee79@konkuk.ac.kr),
***한국에너지기술연구원 태양광발전연구센터(ghkang@kier.re.kr),
****인하대학교 전기공학과(cshuh@inha.ac.kr),
*****한국에너지기술연구원 태양광발전연구센터(y-gj@kier.re.kr)

Characteristic Evaluation Tools of EVA Sheet for Photovoltaic Module Fabrication

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

*Dept. of Electrical Engineering, Graduate School, Inha University(cpv@kier.re.kr),
**Dept. of Electrical Engineering, Graduate School, Konkuk University(jslee79@konkuk.ac.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

To survive in outdoor environments, photovoltaic modules rely on packaging materials to provide requisite durability. We analyzed the properties of encapsulant materials that are important for photovoltaic module packaging. The properties of Ethylene Vinyl Acetate(EVA) sheet in photovoltaic encapsulant materials have to meet conditions that are high optical transmittance, good adhesion and high cross-linking rate. The objective of this paper is to understand the property evaluation methods of EVA sheet. Through this research, we could confirm that properties of EVA sheet have an effect on durability and operating efficiency of photovoltaic module.

Keywords : 태양전지모듈(Photovoltaic Module), EVA(Ethylene Vinyl Acetate), 투과율(Transmittance), 부착력 측정(Adhesion Measurement)

1. 서 론

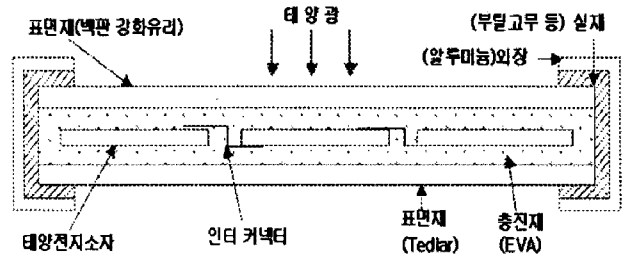
태양전지모듈은 적절한 크기의 전압과 전류를 생성하기 위하여 여러 개의 태양전지를 서로 직렬 또는 병렬로 연결하고 외부환경으로부터 태양전지를 보호하기 위하여 충전재, 표면재 등으로 진공상태에서 적층(Lamination)하여 내구성 있고 설치하기 용이하게 제작한다. 여러 태양전지모듈의 종류 중 결정질 실리콘 태양전지모듈은 여러 개의 태양전지를 얇은 도체 선으로 연결하여 충전재와 유리기판, Back sheet 등과 함께 진공 상태로 압축시켜 제조한다. 태양전지모듈은 옥외에서 약 20년 이상의 장기간 사용되어야 하기 때문에 자연환경의 영향을 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 적절한 재료의 선정과 각 재료의 특성에 맞는 적절한 제조 방법으로 태양전지 모듈을 제조하여야만 수명을 연장하고, 신뢰성을 확보할 수 있게 된다.¹⁾

따라서 본 논문에서는 태양전지 모듈의 구성재료 중 충전재로 사용하는 EVA(Ethylene Vinyl Acetate)에 초점을 맞추어, 재료의 특성을 평가하는 방법을 연구함으로써 내구성이 우수한 태양전지모듈을 제조하는데 도움이 되고자 한다.

2. EVA Sheet의 조건 및 분류

태양전지모듈의 구조는 그림 1과 같다. 구성 재료 중 충전재로는 실리콘 수지, PVB,

EVA(Ethylene Vinyl Acetate)가 이용되어 왔으며, 처음 태양광 모듈을 제조 할 때만 해도 실리콘 수지의 사용이 주였으나, 충전하는데 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 있



다. EVA의 조건 및 분류는 다음과 같다.

그림 1. 태양전지모듈의 구조

2.1 EVA의 조건

EVA란 Ethylene Vinyl Acetate의 약자로 Ethylene과 Vinyl Acetate의 Copolymer이며 투과율이 높고 접착력이 좋아야 하며, Crosslink가 잘되어야 만 외부환경에서 태양광 모듈의 수명을 최대를 할 수 있는 모듈의 매우 중요한 구성 재료이다. 그리고 태양전지는 모듈에서 전기를 생산하는데 가장 중요한 소재이지만, 고가이면서 깨지기 쉬운 소재이다. 그럼에도 사용 되어지는 환경이 열악한 상태이므로, 태양전지 주변의 사용 소재가 이러한 환경을 견디기 위한 조건을 만족해야 한다. 따라서 태양전지 모듈에 사용되기 위한 EVA는 다음과 같은 조건들이 요구된다.

- 첫 째, 모듈 제조 시 취급이 간편해야 한다.
- 둘 째, 급변하는 온도에 태양광 모듈 형태의 변화가 없어야 한다. (특히 이탈, 공기층 형성, 변색, 탈착 등)
- 셋 째, 수명이 반영구적 이어야 한다. (약 20년 이상)
- 넷 째, 높은 투과율이 유지되어야 한다.

1) 건축환경을 고려한 BIPV용 태양전지모듈 및 제조기술개발, 산업자원부, 2007.10.

다섯째, 90℃ ~ -40℃에서도 구성품의 변형 및 파손이 없어야 한다.

여섯째, 외부환경과 물리적인 충격에 태양전지의 파손이 없어야 한다.

일곱째, 전기적으로 절연이 되어야 한다.

여덟째, 염해 및 온도의 변화에 따라서 모듈에 스트레스가 없어야 한다.

2.2 EVA Sheet의 분류

EVA Sheet는 태양전지모듈의 라미네이션(Lamination) 공정조건에 따라서 Fast Cure 용 EVA Sheet와 Standard Cure 용 EVA Sheet로 구분하여 사용되고 있다. Fast Cure 용 EVA Sheet의 경우 그림 2에서 보는 바와 같이 라미네이션과 큐어링(Curing)을 동일한 라미네이터 내에서 동시에 수행할 때 사용하게 되며, 짧은 시간 내에 라미네이션과 큐어링을 수행할 수 있는 장점이 있으나, 라미네이션과 큐어링을 완료한 후 불량률이 발생했을 경우 수정이 불가능하여 경제적 손실이 많은 단점도 있다.

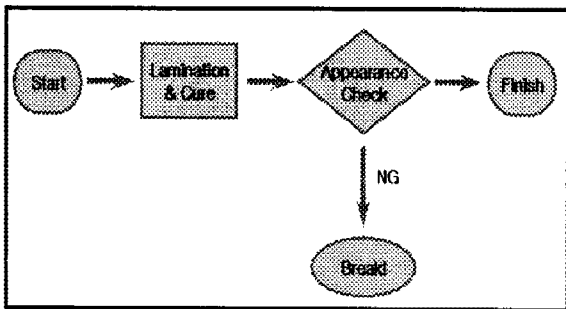


그림 2. Fast Cure 용 EVA Sheet의 공정 흐름도

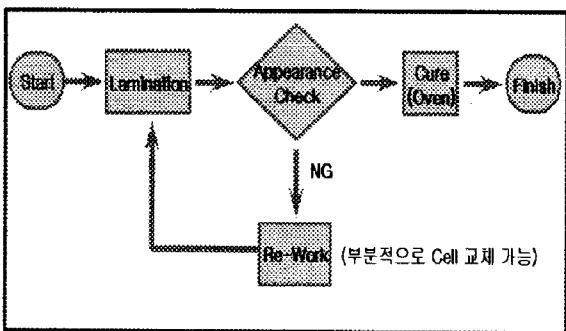


그림 3. Standard Cure 용 EVA Sheet의 공정 흐름도

Standard Cure 용 EVA Sheet의 경우 대규모 자동화 라인에서 많이 사용하는 방법으로 별도의 경화 오븐에서 큐어링을 실시하게 된다. 본 공정에 대해서는 그림 3에서 보는 바와 같이 라미네이션이 완료된 후 외관검사를 실시하여 불량률이 발생했을 경우 부분 수정이 가능해 경제적 손실을 최소화할 수 있고, 짧은 시간동안에 라미네이션을 수행한 후 별도의 운반대에 저장해 놓고 한꺼번에 큐어링 오븐 내에서 큐어링을 실시하기 때문에 생산량을 높일 수 있는 장점이 있다.

Fast Cure 용 EVA와 Standard Cure 용 EVA의 특성을 비교하면 Fast Cure 용 EVA가 Standard Cure에 비해 기포발생이 많으며 작업시간이 짧고 Standard Cure 용 EVA는 진공오븐 사용 시 기포발생이 적어 작업의 안정성이 높으며 작업시간이 빠른 특성을 가진다.

그리고 VA(Vinyl Acetate)의 함량에 따라 분류할 수 있으며 VA의 함량에 따라 저온, 한대지방에서 안정적인지 고온, 열대지방에서 안정적인지 알 수 있으며, 또 함량에 따라 수축률에 영향을 미쳐 모듈 제조 시 Cell의 유동이 많고 적음을 알 수 있다.

3. EVA Sheet의 특성 평가 방법

3.1 Gel Content 측정 방법

EVA의 Gel Content는 Polymer의 Cross Linking 정도를 나타내며 아래의 식으로 표현된다. 여기서 m_0 은 초기의 EVA Sheet의 무게이고 m 은 건조된 후 EVA Sheet의 무게이다.²⁾

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

4개의 EVA 시료를 가지고 표 1과 같이 큐어링 온도와 시간을 달리하여 back sheet형 모듈을 제조해 Gel content 측정을 하였으

2) 강기환 외, PV 모듈용 EVA Sheet의 Curing 조건에 따른 Gel Content 특성, 2006년 한국전기전자재료학회 하계학술대회.

며 결과는 표 2와 같다.

Gel Content 측정 결과는 위의 표와 같이 큐어링 온도와 시간에 따라 다르게 나타나며, EVA의 제조사의 각각 다른 제조 방법에 따라 다르게 나타날 수 있다.

표 1. Gel Content 측정용 모듈 공정 조건

		온도 [°C]	시간 [min]	공정 압력 [mmHg]
Pumping		110	5	
Slow Press		110		600
Standard Press		110		50
Fast Press		110		50
Curing	시료 1번	147	4	
	시료 2번	147	6	
	시료 3번	153	4	
	시료 4번	153	6	

표 2. Gel Content 측정 결과

	여과지 무게 (g)	EVA 조각무게 (g)	실험 후 총 무게 (g)	Gel content (%)
시료 1번	1.6890	2.0023	3.2502	77.97
시료 2번	1.6683	2.0014	3.2570	79.38
시료 3번	1.6672	2.0020	3.2710	80.11
시료 4번	1.7007	2.0017	3.3168	80.74

라미네이션 공정 후 EVA Sheet의 Cross-Linking Rate가 낮은 경우 고분자 물질이 중력에 노출이 되어 있을 때 자체 중량으로 인하여 서서히 중력방향으로 휘어지는 Creep 현상으로 인해 Module 및 Cell에 변형을 초래하게 되며, Cross-Linking Rate가 지나치게 높은 경우 고분자의 Tear Strength (찢김강도)가 점차적으로 약해지고 이것은 EVA에 대한 미세 스크래치나 충격에 의해 손상되기 쉬어진다. 따라서 과도한 가교도는 모듈의 온도가 최고에 달했을 때 외부충격에

의해서 모듈이 손상될 가능성이 커지고, 모듈의 온도가 최저가 되었을 때에는 부스러지는 현상이 발생할 수 있다. 따라서 적절한 가교도의 조절은 모듈의 내구성을 위해서 필수적인 요소이다.

3.2 투과율 측정 방법

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

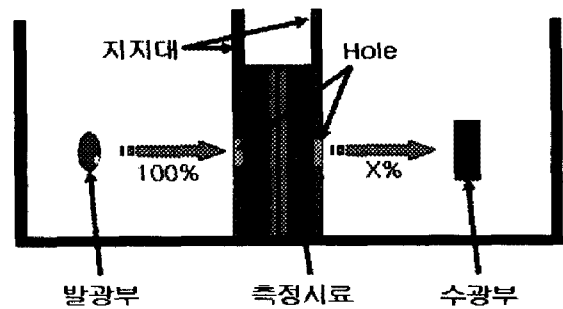


그림 4. 투과율 측정 방법

A사의 EVA와 B사의 EVA Sheet를 Glass/EVA/EVA/Glass 구조로 5cm × 5cm의 5mm 두께의 저철분 Glass로 적층하여 각 2매씩 그림 4와 같이 측정하였다. 측정결과를 표 3과 그림 5와 같이 나타냈는데 두 제품의 가시광선 영역(380nm~770nm)에서의 평균 투과율이 비슷하게 나타났으며 거의 90%에 이를 정도로 높게 측정되었고, 자외선 영역에서는 투과율이 약 2% 정도 차이를 보였다.

표 3. 가시광선(380nm~770nm), 자외선(200nm~379nm) 투과율 비교

	A사 EVA Sample 1	A사 EVA Sample 2	B사 EVA Sample 1	B사 EVA Sample 2
가시광선 (%)	88.94	88.61	88.18	87.99
자외선 (%)	11.44	11.57	9.14	8.79

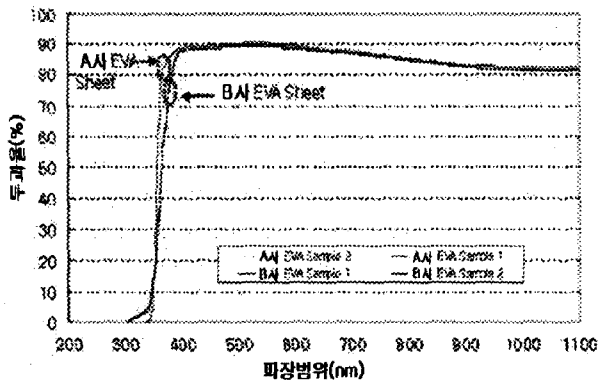


그림 5. 투과율 비교

3.3 UV 조사 방법

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.³⁾

태양전지 모듈은 자외선에 쉽게 노출되어 변색 현상이 일어나는데 이는 EVA의 열화 현상의 하나로 변색현상의 원인 및 그 정도는 평균 일일 태양 일사강도의 정도와 모듈의 작동 온도와의 상호 연관성에서 나타난다는 것이 연구를 통해 알려져 있다.⁴⁾

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.

3.4 부착력 측정 방법

EVA Sheet의 제조 시 접착제의 배합이 적정하지 못하거나 라미네이션 공정 조건이 적

3) 연복희, 표면특성 분석을 통한 전력용 실리콘 절연재료의 열화기구 해석, 박사학위논문, 2003.02.

4) Springborn Laboratories, Inc. "Semi-annual technical progress report on PVMat to national renewable energy laboratory" No. ZAG-3-11219-02-105661.5 November 1993.

정하지 않을 경우 부착력(Adhesion)이 약해져 디라미네이션(delamination)현상으로 인해 습기나 먼지로부터 태양전지를 보호하지 못하게 된다.

부착력 측정 방법은 여러 가지가 있는데 Scotch tape adhesion⁵⁾, peel strength⁶⁾⁷⁾, lap shear strength⁸⁾ 등이 있으며 Instron 5500R mechanical testing instrument로 측정할 수 있다.⁹⁾

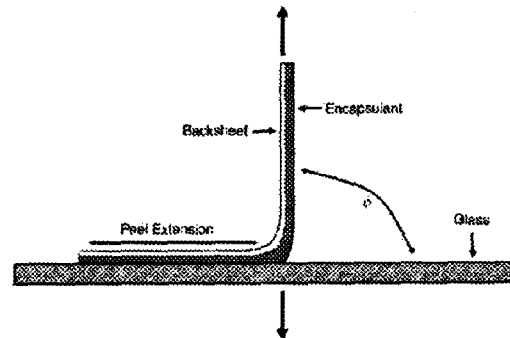


그림 6. Peel-strength measurement

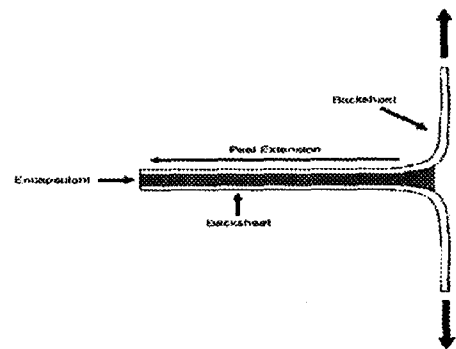


그림 7. T- Peel strength measurement

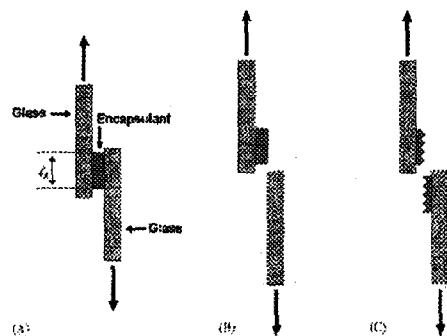


그림 8. Lap shear measurement, showing initial setup (A), adhesive failure (B), and cohesive failure (C)

4. 결론

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

태양전지 모듈의 공정 전 후에 Gel content 측정 방법이나 투과율 측정 방법, 부착력 측정 방법, 그리고 여러 가지 환경 테스트를 통하여 EVA의 특성을 파악하여 태양전지 모듈을 제조해야 제품의 불량률을 줄일 수 있고 내구성을 확보할 수 있다.

본 연구를 통해 모듈의 구성 재료 중 EVA에 초점을 맞추어 특성을 평가하는 몇 가지 방법을 알아보고, 그 방법들이 어떤 의미를 갖는지 알아보았다. 앞으로의 연구를 통해서 더 많은 특성 평가 방법을 알아보고 실험 함으로써 내구성이 확보된 우수한 모듈을 제조하는데 노력하겠다.

참 고 문 헌

1. 건축환경을 고려한 BIPV용 태양전지모듈 및 제조기술개발, 산업자원부, 2007.10.
2. 강기환 외, PV 모듈용 EVA Sheet의 Curing 조건에 따른 Gel Content 특성, 2006년 한국전기전자재료학회 하계학술대회.
3. 연복희, 표면특성 분석을 통한 전력용 실리콘 절연재료의 열화기구 해석, 박사학위논문, 2003.02.
4. Springborn Laboratories, Inc. "Semi-annual technical progress report on PVMat to national renewable energy laboratory" No. ZAG-3-11219-02-105661.5 November 1993.
5. ASTM D3359-02, Standard Test Methods for Measuring Adhesion by Tape Test, Annual book of ASTM Standards 2006, vol. 06.01, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA.
6. ASTM D903-98 (2004), Standard Test Method for Peel or Stripping Strength of Adhesive Bonds, Annual book of ASTM Standards 2006, vol. 15.06, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA, 2004.
7. ASTM D1876-01, Standard Test Method for Peel Resistance of Adhesives (T-Peel Test), Annual book of ASTM Standards 2006, vol. 15.06, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA.
8. ASTM C961-01, Standard Test Method for Lap Shear Strength of Hot-Applied Sealants, Annual book of ASTM Standards 2006, vol. 04.07, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA.
9. G.J.Jorgensen et al., Moisture transport, adhesion, and corrosion protection of PV module packaging materials, Solar Energy Materials & Solar Cells 90 (2006) 2739 - 2775.