

PV모듈의 cell crack 방지를 위한 EVA Sheet의 최적 Gel content 특성

강경찬*, 강기환**, 김경수**, 허창수*, 유권종**
 인하대학교*, 한국에너지기술연구원**

The Optimum Gel Content Characteristics for Cell Cracks Prevention in PV Module

Kyung-Chan Kang*, Gi-Hwan Kang**, Kyung-Soo Kim**, Chang-Su Huh*, Gwon-Jong Yu**
 Inha University*, Korea Institute of Energy Research**

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. Recently, the thickness of solar cell gets thinner to reduce the quantity of silicon. And the reduced thickness make it easy to be broken while PV module fabrication process. Solar cell's micro cracks are increasing the breakage risk over the whole value chain from the wafer to the finished module, because the wafer or cell is exposed to tensile stress during handling and processing. This phenomenon might make PV module's maximum power and durability down. So, when using thin solar cell for PV module fabrication, it is needed to optimize the material and fabrication condition which is quite different from normal thick solar cell process. Normally, gel-content of EVA sheet should be higher than 80% so PV module has long term durability. But high gel-content characteristic might cause micro-crack on solar cell. In this experiment, we fabricated several specimen by varying curing temperature and time condition. And from the gel-content measurement, we figure the best fabrication condition. Also we examine the crack generation phenomenon during experiment.

1. 서 론

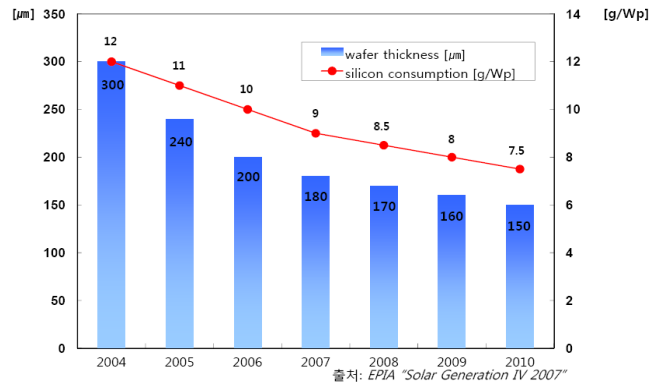
태양전지 모듈 제조기술은 태양전지를 보호하고 외부에 설치하기 용이하게 하기위하여 사용되는 기술로써, 그동안 조립 공정만으로 인식되어 연구개발에서 소외되어 있었으나, 가격이 비싼 태양전지의 수명은 결국 태양전지 모듈 기술에서 좌우되기 때문에 최근에는 모듈의 내구성을 향상시키는 연구가 많이 수행되고 있다. 태양전지모듈의 성능 또는 수명에 영향을 미치는 주요 요인으로는 태양광선 중의 자외선, 온도변화, 습도, 바람, 적설, 결빙, 우박 등에 의한 기계적 스트레스, 염분, 기타 부식성 가스 또는 모래, 분진 등을 생각할 수 있다. 이러한 영향들로부터 태양전지모듈을 보호하기 위해서는 적절한 재료의 선정과 각 재료의 특성에 맞는 적절한 제조 방법으로 태양전지 모듈을 제조하여야만 수명을 연장하고, 신뢰성을 확보할 수 있게 된다.

최근에는 태양전지 모듈의 주 재료인 태양전지가 실리콘 웨이퍼의 사용량을 줄이기 위해 점점 박형화되어 가고 있다. 그리고 태양전지가 점점 박형화되어 갈수록 제조공정 상에서 깨질 가능성이 높아진다. 이러한 현상으로 인해 모듈의 출력이 저하되며 내구성에도 영향을 미칠 수 있다. 따라서 얇은 태양전지를 이용한 모듈 제조 시 이전에 상대적으로 두꺼운 태양전지를 이용할 때와 다른 재료의 선정과 공정 조건이 필요하다. 일반적으로 가교율이 80% 이상이 되어야만 모듈의 내구성을 만족시킨다. 그러나 가교율이 너무 높을 경우 태양전지의 크랙 현상이 예상된다. Curing 온도 조건과 시간 조건에 달리하여 시료를 제작하였다. 그리고 Gel content 측정을 통해서 적절한 공정 조건을 알아보고, 제조공정에 따라 실제로 모듈을 제조하면서 태양전지의 크랙발생 현상을 관찰하였다.

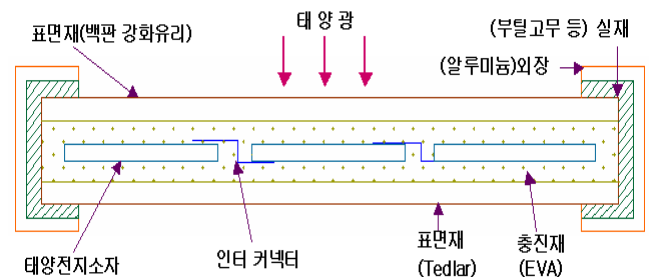
2. 본 론

2.1 PV용 EVA Sheet

PV용 EVA(Ethylene Vinyl Acetate) sheet는 EVA자체의 우수한 물성에 자외선 안정성을 추가하여 보다 우수한 물성을 갖도록 여러 가지의 추가적인 보강 물질들을 첨가하여 EVA resin을 sheet상으로 압출하여 제조한다. PV용 EVA sheet는 그 중 VA의 함량이 28-33% 사이인 EVA grade가 사용되어지며, EVA에 가교제, 개시제, 접착제등의 배합을 하여 sheet상으로 압출을 하여 제조된다.



〈그림 1〉 웨이퍼 사용량과 태양전지 두께의 변화

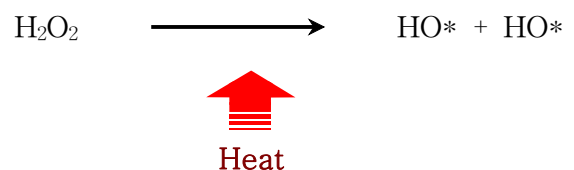


〈그림 2〉 태양전지 모듈의 구조

태양전지 모듈 제조 시 EVA Sheet는 수광면인 유리와 셀 사이, 후면인 Back sheet와 셀 사이에 위치하여 충진제로 사용되어 완충작용을 하며 적층공정(lamination)을 거쳐 모듈로 제작된다. EVA Sheet는 적층 공정 전에는 불투명한 상태이나 적층공정 후에는 광투과율 90%이상의 투명한 상태가 된다. 적층공정 후의 EVA Sheet의 물성은 가교율(Crosslinking Rate)을 통해 특성지어지며 Gel Content 측정방법으로 알 수 있다.

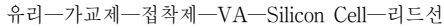
2.2 EVA Sheet의 적절한 가교(Gel) 구조 형성 관계

EVA Sheet를 가교시키고 다른 재료와 접착시키기 위해서는 가교제와 접착제만을 첨가한다고 해서 가교화 반응과 접착반응이 일어나는 것은 아니며 두 가지의 요소가 더 필요하게 된다. 그 중 첫 번째는 반응개시제(peroxide)이며 두 번째는 그 개시제를 활성화시키기 위한 energy 즉, 열이다. peroxide는 일정한 열을 받으면 그 자체가 두개의 불안정한 분자로 나누어지면서 일반적으로 다음과 같은 구조가 된다.



〈그림 3〉 Heating 시의 반응 개시제

위와 같이 분해된 라디칼 구조(HO*)는 적절한 온도에서 가교제, 접착제, 그리고 EVA의 vinyl acetate기와 동시에 반응을 하여 아래와 같이 결합하는 반응을 하게 된다.



2.2.1 가교도(Gel화)가 부족할 경우

라미네이션 공정 후 EVA Sheet의 Gel-Content가 낮은 경우 고분자 물질이 중력에 노출이 되어 있을 때 자체중량으로 인하여 서서히 중력 방향으로 휘어지는 creep현상으로 module 및 cell에 변형을 초래하게 된다.

2.2.2 가교도(Gel화)가 과도할 경우

가교도가 지나치게 높아질수록 고분자의 tear strength(찢김강도)가 점차적으로 약해지며 이것은 EVA에 대한 미세 스크래치나 충격에 의해 손상되기 쉬워진다.

따라서 과도한 가교도는 모듈의 온도가 최고에 달했을 때 외부충격에 의해서 모듈이 손상될 가능성이 커진다. 또한 모듈의 온도가 최저가 되었을 때에는 부스러지는 현상이 발생될 수 있다. 따라서 적절한 가교도의 조절은 모듈의 내구성을 위해서 필수적인 요소이다.



<그림 4> Gel 화에 따른 EVA Sheet의 변형 정도

2.3 Gel Content 측정

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

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

Gel Content 측정용 시료는 두께 3mm, 가로 세로 300mm의 유리와 두께 0.45mm의 EVA Sheet를 사용하여 Back sheet 타입으로 표1과 같이 Curing 온도 조건과 시간 조건을 달리하여 제작하였고, 후면의 Back sheet를 제거 한 후 굳어진 EVA sheet 약 2g을 채취하여 각 시료의 Gel Content를 측정하였다.

<표 1> Gel content 측정용 모듈제조 공정

		온도[°C]	시간[min]	공정 압력 [mmHg]
Pumping		110	5	
Slow Press		110		600
Standard Press		110		50
Fast Press		110		50
Curing (Press Hold)	시료1번	125	3	
	시료2번	125	6	
	시료3번	135	3	
	시료4번	135	6	
	시료5번	145	3	
	시료6번	145	6	

<표 2> Gel content 측정 결과

	여과지 무게(g)	EVA 조각무게(g)	실험 후 총 무게(g)	Gel content (%)
시료 1번	1.6672	2.0023	3.2507	77.97
시료 2번	1.6586	2.0001	3.3867	86.40
시료 3번	1.6523	2.0033	3.4973	92.10
시료 4번	1.6549	2.0010	3.5217	93.74
시료 5번	1.6547	1.9997	3.5349	94.02
시료 6번	1.6371	1.9997	3.5192	94.12

Gel Content 측정 결과는 위의 표2와 같이 Curing 온도가 높아지고 지속 시간이 길어짐에 따라 반응 개시제가 활성화되어 결합이 단단해짐으로써 측정값이 높게 나타나는 특성을 보였다. 그리고 본 실험에 사용된 EVA Sheet의 경우에는 Curing 온도 135°C 이후로는 Gel content 측정값이 약 90%이상으로 증가세가 낮은 온도에 비해 둔화됨을 알 수 있다.

일반적으로 Gel Content 값이 80% 이하이면 태양전지 모듈이 외부에 노출되었을 때 시간이 지날수록 EVA Sheet가 변색되고 습기가 침투하기 쉬워 태양전지 모듈의 수명에 영향을 미치게 된다. 또한, 반대로 Gel Content 값이 95% 이상으로 너무 높으면 가교된 EVA Sheet가 너무 딱딱해져 자체 Cell Crack 현상이 발생되거나 태양전지에 손상을 주게 된다.

2.3 Solar Cell Crack 현상 관찰

태양전지 모듈 제조 시 공정조건에 따른 가교율의 변화와, 가교율이 Cell Crack에 미치는 영향을 알아보기 위해 실제 태양전지 모듈을 제작하였다. Gel Content 측정용 시료와 같은 Back Sheet 타입에 중간에 태양전지를 삽입하여 만들었다. 사용된 태양전지는 두께 200 μm 5inch poly-crystalline silicon solar cell과 상대적으로 깨지기 쉽다고 예상되는 두께 180 μm 6inch poly-crystalline silicon solar cell을 각각 20매와 15매 사용하여 제작하고 비교하였다. 공정조건은 가교율이 약 94% 정도인 Curing 온도 145°C 6분 조건을 선택하여 모듈은 제작하였다.

제조 과정에서 Lamination 이전의 공정인 Soldering 공정과 Lay-up 공정에서 몇 장의 셀이 파손이 되었지만 손상이 없는 정상적인 셀을 선별하여 Lamination 한 결과 두 종류의 태양전지 모두 외관상의 셀의 파손은 나타나지 않았고 모듈의 출력도 정상적으로 나타났다.

3. 결 론

태양전지 모듈은 옥외에서 약 20년 이상 장기간 사용되어야 하기 때문에 자연환경의 영향을 강하게 받는데, EVA Sheet는 외부환경에서 태양전지 모듈의 수명을 최대로 할 수 있는 매우 중요한 구성재료이다. EVA Sheet의 변색을 막고 모듈의 습기 침투를 막기 위해서는 일반적으로 80%이상의 높은 가교율이 필요하다. 가교율을 높이기 위해서는 고온의 Curing 온도와 보다 긴 시간이 필요한데 이는 실제 제조현장에서 긴 Lamination 공정 시간으로 인해 제조 지연이 일어날 수 있다. 그리고 내구성을 위해 무조건 가교율을 높이면 딱딱해진 EVA Sheet로 인해 Solar Cell이 파손될 우려가 있다. 본 연구에서는 제조 공정 시간과 Solar Cell이 파손될 수 있는 가교율을 고려하여 도출된 공정 조건으로 모듈을 제작하였다. 현재 모듈에 사용되는 Solar Cell 중 두께가 얇은 180 μm 6inch poly-crystalline silicon solar cell로 모듈을 만들어 Crack 현상을 관찰 하였으나 외관상 파손되는 현상은 발견 되지 않았고 출력도 정상적이었다. 하지만 눈으로 발견 할 수 없는 Micro Crack이 발생할 수도 있으며, 모듈의 인증 시험 중 바람, 눈 및 얼음에 의한 하중에 대한 기계적 내구성을 시험하는 기계적 강도 시험을 하면 Solar Cell의 Crack으로 인해 출력 저하 및 내구성에 영향을 미칠 수 있다. 이러한 가능성으로 향후 실험을 통해 좀 더 다양한 공정 조건으로 모듈을 만들고 다양한 실험방법을 통해 태양전지 모듈의 특성을 알아보겠다.

[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] P. Grunow et al., "INFLUENCE OF MICRO CRACKS IN MULTI-CRYSTALLINE SILICON SOLAR CELLS ON THE RELIABILITY OF PV MODULES" Proc. of the 20th PVSEC, Barcelona (2005), 5BV.4.27
- [4] F.J. Pern "Factors that affect the EVA encapsulant discoloration rate upon accelerated exposure" Solar Energy Materials and Solar Cells 41/42 (1996) 587-615