

PV모듈 제조공정에서 Lamination과 Bubble의 상관성

이진섭*, 강기환*, 박지홍**, 유권종*, 안형근**, 한득영**

*한국에너지기술연구원(ghkang@kier.re.kr), **건국대학교(rock12@konkuk.ac.kr),

Correlation Effect of Lamination Condition and Bubble in Photovoltaic Module Manufacturing Process

Lee, Jin-Seob*, Kang, Gi-Hwan*, Park, Chi-Hong**, Yu, Gwon-Jong*

Ahn, Hyung-Gun**, Han, Deuk-Young**

*Korea Institute of Energy Research(ghkang@kier.re.kr),

**Konkuk University(rock12@konkuk.ac.kr),

Abstract

In this paper, the reason for formation of bubbles between Lamination and Curing conditions and the direction of glass at the manufacturing process of the PV modules is investigated. The light transfer rate is also analyzed as a result of the curing condition. From this results, the front and back glass surfaces of the module bends by 8.5mm due to heat expansion. It can be explained through experiments that the glass bending is the cause of the occurrence of the bubble phenomena. In addition, the corelation between the Curing condition and the light transfer rate is analyzed and the results are as follows for the Curing temperature verses the light transfer rate; 110℃/ 87.50%, 130℃/ 88.25%, 147℃/ 89.30%, at a wave length range 500nm, showing a maximum difference of 1.8%.

Keywords : Photovoltaic module, Lamination, Curing, Bubble, Transmittance

1. 서 론

태양광발전시스템의 구성요소기술에서 가장 중요한 태양전지모듈은 발전소자로 사용되는 태양전지 셀을 보호하고, 설치하기 용이하게 제작되어 20년 이상의 내구년수를 확보해야 한다.

그러나 태양전지모듈이 외부환경에 노출되어 발전하게 되면, 시간이 지남에 따라 출력 감소와 EVA Sheet의 변색, 전극 부식 등 다양한 형태의 노화현상이 발생하게 된다. 이러한 태양전지모듈은 대부분 제조공정에서의 문제점과 사용재료 또는 설치방법에 따른 문제점으로 볼 수 있다.

특히, 일반 지상용 태양전지모듈의 경우 후면 보호를 Back sheet로 사용하기 때문에 제조공정이 어렵지 않고, 생산성을 높일 수 있는 장점이 있으나, BIPV용으로 가장 각광을 받고 있는 Glass to Glass 커튼월 형태의 태양전지모듈은 제조공정이 어렵고, 생산성이 낮아 많은 어려움을 갖게 된다.

이러한 형태의 태양전지모듈은 Back sheet 형태의 태양전지모듈 구조 보다 무거워 다루기 불편하고 공정시간이 길어질 뿐 아니라 String과 Busbar의 뒤틀림 현상, 태양전지의 파손, 유리의 휨, 버블 현상 등이 발생하게 된다.

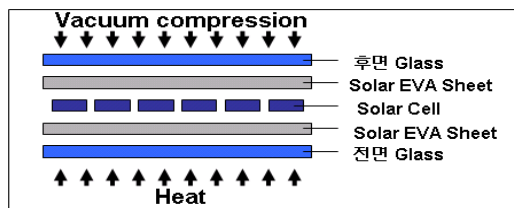
따라서 본 논문에서는 태양전지모듈 제조공정 중 가장 중요한 라미네이션 공정에서 발생할 수 있는 버블현상의 원인과 Bus bar의 휨 현상, Cure 조건에 따른 투과성능 등을 분석하여, 최적의 제조 조건을 도출하였다.

2. 라미네이션 공정의 기술적 배경

2.1 태양전지모듈 구조 설명

태양전지 모듈은 사용 재료 및 설치 목적과 용도에 따라서 Glass/EVA/Cell/EVA/Backsheet, Glass/EVA/Cell/EVA/Glass, Glass/EVA/Cell/EVA/Metal, PVF/EVA/Cell/EVA/Metal 등 여러 가지 형태로 제작할 수 있다.

[그림 1]은 BIPV용으로 가장 많이 사용되고 있는 Glass/EVA/Cell/EVA/Glass 형태의 구조를 갖는 BIPV용 태양전지모듈 구조를 나타내고 있다.



[그림 1] Glass to Glass커튼월 모듈의 구조

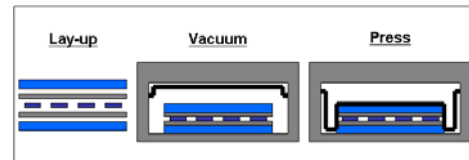
일반적으로 태양전지모듈의 전면에 사용되는 유리는 철분량을 최소화 하여 태양광의 투과율을 높이고, 유리의 파손을 방지하기 위하여 저철분강화유리를 사용하게 되며, Solar EVA는 태양전지를 충격으로부터 보호해주는 역할과 습기 침입 및 태양전지 전극의 부식 방지 등의 역할을 하게 된다. 이러한 Solar EVA는 접착력과 투과율이 우수해야 하고, 자외선에 강해야만 태양전지모듈의 성능을 오래 동안 유지할 수 있게 된다.

또한, BIPV용 투과형 모듈을 제작하기 위해서는 일반적으로 태양전지모듈 후면에 Back sheet 대신 다양한 형태의 컬러유리를 사용하게 되는데, 이러한 후면 재료 구성에 따라서 라미네이션 공정 조건은 크게 달라질 수 있다.

2.2 라미네이션 원리

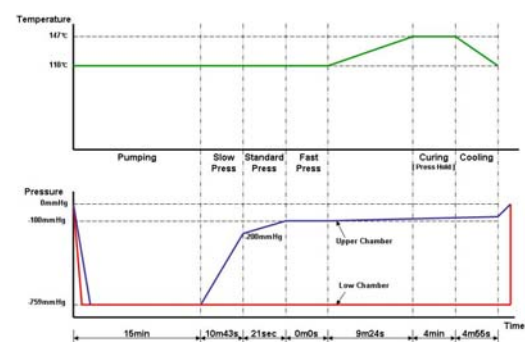
태양전지모듈 제조에 있어서 가장 중요한 공정인 라미네이션 공정은 제조조건에 따라서 내구성과 수명에 크게 영향을 주게 된다. 라미네이션 공정을 제외한 다른 공정에서는 불량률이 발생하더라도 손실부분이 많지 않지만 라미네이션 과정에서 발생하는 불량률은 재생이 불가능하기 때문에 많은 경제적 손실을 줄 수 있다.

라미네이션의 원리는 [그림 2]에서 보는 바와 같이 Glass/EVA/Cell/EVA/Glass등의 구조로 Lay-up된 모듈을 가열된 Hot Plate에 올려놓고 Upper Chamber를 닫은 후 1 Torr이하의 진공상태로 Pumping을 하게 된다.



[그림 2] 라미네이션의 원리

설정된 Pumping 시간이 끝나면 압력으로 Silicon rubber를 밀어서 태양전지 모듈을 성형시키는 Press공정을 거친 다음 EVA Sheet를 교환시키는 Curing공정을 실시하게 되는데 이는 고온에서 열처리하여 태양전지모듈의 내구성을 높이는 역할을 하게 된다.



[그림 3] 라미네이션의 온도와 압력 사이클

라미네이션 공정은 Pumping, Slow press, Standard press, Fast press, Curing, Cooling 등

6개의 과정으로 공정이 진행되게 되는데, 온도와 압력 사이클은 [그림 3]에서 보는바와 같지만, 본 조건은 Solar EVA Sheet의 제조회사 및 사양, 태양전지모듈의 종류에 따라서 라미네이션 온도, 시간, 압력조건이 차이가 있으므로 이점에 유의해야 한다.

3. 실험장치 및 실험 방법

3.1 실험장치

본 실험에서 사용된 라미네이터는 LM480i (Nishinbo, Japan)를 사용하였고, Curing 조건에 따른 투과율 측정 장비는 JAS.CO사의 V-570을 사용하였다.

모듈 제조에 사용된 구성 재료는 전면에 5mm의 저철분강화유리, 후면에는 5mm의 저철분강화유리, 일반Green유리, 일반Brown유리, Low-e유리, 6mm의 Green반사유리, 6mm의 Blue반사유리 등을 사용하였다.

또한 완충 재료로 사용된 EVA Sheet 는 ETIMEX사의 0.4mm와 HI-Sheet사의 0.45mm를 사용하였으며, 태양전지는 네스코솔라사의 5인치 단결정실리콘 태양전지를 사용하였다.

3.2 실험방법

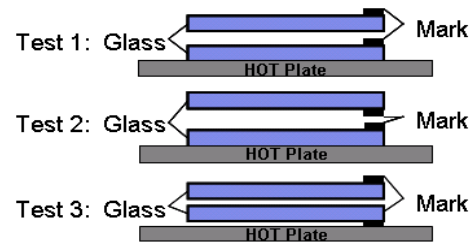
BIPV실험용 모듈을 제작하는 과정에서 발생하는 가장 큰 문제점은 버블현상과 String Cell의 뒤틀림 현상, Busbar의 휨 현상 등으로 볼 수 있는데, 본 실험에서는 태양전지모듈의 전면과 후면에 900mm×1210mm 크기의 저철분강화유리를 사용하여, 모듈 적층과정에서의 전·후면 유리방향에 따른 버블현상 및 라미네이션 조건에 따른 버블 현상 등 라미네이션 공정에서 발생할 수 있는 버블 현상의 원인을 분석하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1 유리 방향과 버블의 상관성

라미네이션 공정에서의 버블현상은 Pumping 온도와 시간 그리고 Press의 압력 조건에 따라서 결정되어질 뿐 아니라 EVA Sheet의 종류와 Glass의 종류, 방향성에 따라서도 결정된다.

실험용 모듈을 제작하는 과정에서 같은 조건에서의 다른 버블현상에 의한 재연성의 부족으로 인하여 [그림 4]와 [표 1]에서 보는바와 같이 최적조건을 도출하였다.



[그림 4] Glass 방향에 따른 Setting구조

[표 1] 라미네이션 조건

항 목	Plate온도	조건
Pumping Time	110℃	15min
Slow Press	110℃	200mmHg
Standard Press	110℃	100mmHg
Fast Press	110℃	100mmHg
Curing	147℃	4min

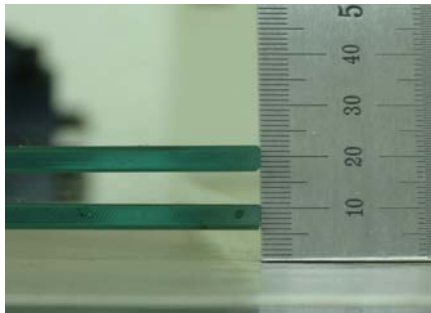
[그림 4]의 유리 방향성과 버블 현상과는 매우 밀접한 관계를 갖게 되는데, 일반적으로 어떠한 유리를 사용하더라도 열이 가해진 Hot Plate위에 유리판을 올려놓게 되면 유리판의 열팽창으로 인하여 휨 현상이 발생하게 된다.

본 연구에서는 이러한 현상으로 인하여 유리의 방향성에 따라서 재현성 있는 실험을 실시할 수 없었는데, 본 실험결과로 부터 유리의 방향성에 따른 버블 현상의 원인을 확인할 수 있었다.

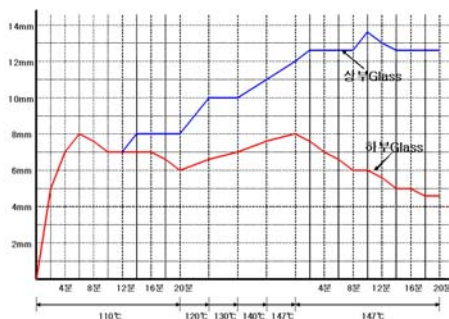
[그림 5]는 2장의 유리를 겹쳐서 열이 가해진 라미네이터 Plate위에 올려놓았을 때 유리의 휨 현상을 보여주고 있다.

[그림 6]은 110℃의 라미네이터 Plate에 올려놓았을 때의 시간에 따른 전·후면 유리의 휨 간격을 보여주고 있다.

[그림 6]에서 보는바와 같이 Plate에 놓인 하부 유리는 처음부터 유리의 휨이 발생하면서 6분 후 높이가 서서히 감소하지만 상부 유리는 14분이 지난 후 서서히 증가하는 것을 볼 수 있다.



[그림 5] 유리의 휨 Test



[그림 6] 유리의 휨 비교

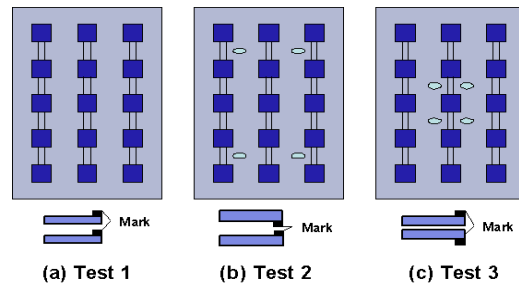
이는 상부 유리에 열이 전달되는 시간이 하부 유리에 전달되는 시간보다 늦어지면서 발생하게 되며, Curing공정에 의한 온도가 상승하게 되면서 상부유리와 하부유리 사이의 간격은 더욱더 증가하게 된다. 이 실험에서 상부유리와 하부유리의 간격이 최대 8.5mm, 하부 유리와 Plate의 간격이 최대 8mm까지 휨은 현상을 관찰할 수 있었다.

이러한 결과로부터 Glass to Glass커튼월 모듈 실험에서 유리의 열팽창에 의한 휨 현상으로 파손의 우려가 높기 때문에 전·후면 필히 강화유리를 사용해야 될 것으로 판단된다.

본 실험에서와 같이 유리의 휨은 태양전지모듈의 버블현상에도 직접적인 영향을 줄 것으로 판단되는데, 유리의 휨 현상을 최소화하기 위하여 Plate위에서 12분 동안 예열 한 후 라미네이션을 시작하였다.

유리 전·후면의 방향성에 따른 실험결과로부터 [그림 7]의 (a)와 같이 유리 방향이 동일할 경우에는 버블현상이 발생하지 않았으며, (b)와

같이 전면과 전면이 서로 마주보는 구조에서는 가장자리 부분에 버블이 발생하였다. 또한 (c)와 같이 후면과 후면을 마주본 구조에서는 가운데 부분에 버블이 발생하게 되었다. 이 실험에서 유리의 열팽창에 의한 버블현상을 발견할 수 있었으며, 라미네이션 조건에 의해서만 최적의 조건이 도출되는 것이 아니라 구성재료의 열팽창 특성 등이 고려되어야 할 것으로 판단되었다.



[그림 7] 유리 방향성에 따른 버블현상

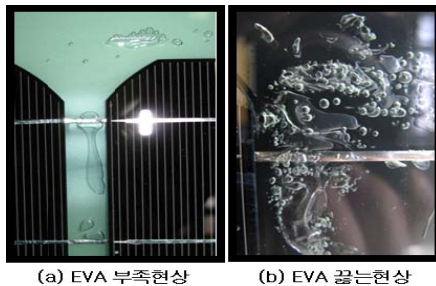
또한, 라미네이션 공정에서의 버블 현상은 유리의 열팽창에 의한 버블 외에도 Pumping의 부족으로 발생하는 현상, 과열에 의한 현상, 과도한 Pumping에 의한 EVA 부족현상, EVA 경화에 의한 현상 등 많은 변수를 갖고 있다.

본 논문에서는 EVA 부족에 의한 버블 현상과 EVA 경화에 의한 버블 현상을 [그림 8]에서 보여주고 있다.

[그림 8]의 (a)는 EVA 부족현상에 의한 버블로써, 이러한 현상은 일반적으로 Back sheet 구조에서는 잘 나타나지 않지만, Glass to Glass 구조에서는 많이 나타날 수 있다. 이러한 경우 후면의 EVA를 2장 또는 두겹게 적층해야만 버블 현상을 해결할 수 있으며, Pumping시간과 온도 조건을 잘 맞추어야 한다.

EVA는 일반적으로 사용 내구년수가 제조일로부터 수개월밖에 되지 않는다. 따라서 유효기간이 경과된 EVA sheet를 사용하여 라미네이션을 하게 되면, 버블 현상에 의한 불량현상이 많이 발생하게 되는데, [그림 8]의 (b)는 유효기간이 지난 EVA Sheet를 사용했을 때 발생한 버블 현상을 보여주고 있다. 그림에서 보는바와 같이 유효기간이 경과된 EVA를 사용했을 때 발생하는 버블 현

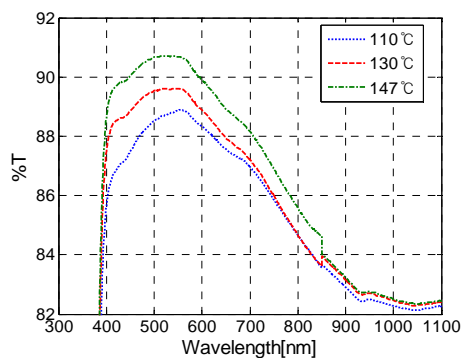
상은 국부적으로 끓는 현상을 발견할 수 있는데, 이러한 현상은 라미네이션 조건만으로는 해결할 수 없는 것이 단점이다. 따라서 이러한 결과로 볼 때 태양전지모듈 제조라인에서는 EVA Sheet의 유효기간 및 보관 방법에 대해 중요성이 매우 강조된다.



[그림 8] EVA의 버블 형상

4.2 Curing과 광투과율의 상관성

물리적인 파손이나 버블현상, 또 다른 불량현상에 비해 Curing의 불량은 태양전지모듈의 내구성에 큰 영향을 줄 뿐만 아니라 모듈의 변환 효율에도 나쁜 영향을 주게 된다.



[그림 9] Curing온도에 따른 투과율 측정

따라서 본 실험에서는 110°C, 130°C, 147°C 등 3가지 Curing조건에서 시료를 제작하여 광 투과율을 분석하였다.

그 결과 [그림 9]에서 보는바와 같이 가시광선 범위에서의 평균 투과율은 Curing온도 110°C에서는 87.50%, 130°C에서는 88.25%, 147°C에서는 89.30%로 분석 되었으며 550nm의 파장범위에서

는 최대 1.8%의 차이를 나타내었다.

따라서 최적의 Curing 조건에서 모듈의 내구성과 변환효율을 증가시킬 수 있는 실험결과를 얻을 수 있었다.

5. 결 론

본 논문에서는 태양전지모듈의 제조공정에서 라미네이션과 Curing 조건, 구성 재료의 방향성에 따른 버블 발생 요인을 도출하였으며, Curing 조건에 따른 광투과율을 비교분석 하였다.

그 결과로부터 Glass to Glass 모듈 구성재료로 사용되는 전·후면 유리 열팽창에 의해 약 8.5mm의 휨 현상이 발생되었으며, 그러한 원인으로 발생하는 버블 현상을 실험적으로 확인할 수 있었다.

또한, Curing 조건에 따른 광투과율 분석 결과 가시광선 범위에서의 평균 투과율은 Curing온도 110°C에서는 87.50%, 130°C에서는 88.25%, 147°C에서는 89.30%로 분석 되었으며 550nm의 파장범위에서는 최대 1.8%의 차이를 나타내었다.

따라서, 본 논문에서는 라미네이션 공정에서의 Pumping 및 Press 조건에 의해 발생하는 버블 현상 이외에 또 다른 버블발생의 원인을 도출함으로써, 모듈 제조공정에서 불량률을 최소화 할 수 있는 공정기술을 제시하였다.

참고문헌

1. M.J.Nowlan et al, "Post-Lamination Manufacturing Process Automation for Photovoltaic Modules", NREL Final Subcontract Report, 2002.
2. J.Wohlgemuth, S. Shea, "PVMat Improvements in the BP Solar Photovoltaic Module Manufacturing Technology", NREL Final Subcontract Report, 2001.
3. 강기환외, "태양전지 모듈 제조장치의 구성 및 Laminator의 온도 특성", 대한전기학회 하계 학술대회 논문집, 2002
4. 강기환외, "PV 모듈용 EVA Sheet의 Curing조건에 따른 Gel Content 특성", 대한전기학회 하계학술대회, vol.37, pp.1155~1156, 2006.