

건물일체형 태양광발전시스템(BIPV) 적용을 위한 태양전지모듈 제조

*강기환, *유권종, **한득영, **안형근
 *한국에너지기술연구원 **건국대학교

PV module manufacture for application of Building Integrated photovoltaic system

*Gi-Hwan Kang, *Gwon-Jong Yu, **Deuk-Young Han, **Hyung-Geun An
 *Korea Institute Of Energy Research, **Konkuk University

Abstract - In this paper, deduced manufacturing condition of glass/glass curtain wall module and metal curtain wall module.

From the results, lamination condition of glass/glass curtain wall module deduced optimum in pumping time-120°C, 23min, slow press-120°C, 300mmHg, 3min, standard press-120°C, 200mmHg, 0.5min, fast press-120°C, 100mmHg, 0.3min and curing-140°C, 6min, and lamination condition of metal curtain wall module deduced optimum in pumping time-120°C, 8min, slow press-120°C, 700mmHg, 0.5min, standard press-120°C, 600mmHg, 0.5min, fast press-120°C, 100mmHg, 1.5min and curing-140°C, 6min.

This time, power uniformity of glass/glass curtain wall module and metal curtain wall module showed each +2.7%, +2.12%.

1. 서 론

건물의 외피를 구성하는 요소로 통합된 태양광발전시스템은 전력생산이라는 본래의 기능에, 건물의 외피재료로서의 새로운 기능을 추가함으로써 태양광발전시스템 설치에 드는 비용을 절감하는 이중 효과를 기대할 수 있다. 또한 기존의 지상용 태양광발전시스템과 같이 설치 공간을 위한 별도의 부지확보가 필요 없기 때문에 더욱 경제성 측면에서 유리한 기술로서 각광을 받고 있다.[1] 그러나 건물일체형 태양전지모듈은 건물의 외피 재료로써 사용되기 때문에 장 수명과 신뢰성, 안전성 등을 고려하여 설계 및 설치되어야 하나, 국내에 보급되어 있는 일부 지상용 태양전지모듈의 경우 약 5년이 경과 후 전기적 성능시험을 분석해본 결과 5~25% 가량의 전기적 특성이 감소되는 현상을 발견하였으며[2], 선진국에서도 장기간 Field test한 시스템을 대상으로 시험해본 결과 물리적인 영향에 의해 파손된 것을 제외하고도 전극부분에서의 열화현상 및 완충재 등의 변색 등으로 전기적 성능이 매우 감소되는 것으로 확인되었다[3].

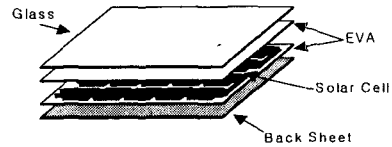
이러한 현상은 시각적 이미지와 의장성을 고려하여 설계된 건축물의 수명에 많은 문제점을 나타낼 수 있으며, 태양광발전시스템의 건축물 적용에 장애 요인으로 작용될 수 있어, 장수명, 고신뢰성 태양전지모듈의 제조기술 개발이 시급한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 태양전지모듈 제조 조건이 수명에 미치는 영향을 분석하고, 건물의 박코니형 Glass/Glass 커튼월 태양전지모듈과 건물 외벽용 금속 커튼월 태양전지모듈을 시제작 하여, 제조시 문제점을 분석하고, I-V 특성시험을 통하여 제조조건에 재현성을 확인하였다.

2. 태양전지 모듈의 구조 및 수명저해요인

2.1 태양전지모듈의 구조

일반적으로 상용화된 태양전지모듈의 구조는 [그림 2-1]에서 보는바와 같이 Low iron glass /EVA sheet/Cells/EVA sheet/Back sheet의 형태로 구성 되어 있으며, 라미네이터 내의 열판을 가열시켜서 완충재(EVA sheet)를 녹인 후 진공상태에서 라미네이션 하여 수분이나 기포등을 제거하고, 외부 환경으로부터 태양전지를 보호할 수 있도록 제조하게 된다[4].



[그림 2-1] 태양전지 모듈의 일반 구조

2.2 수명저해요인

태양전지모듈의 수명을 단축시키는 주된 손실요인은 태양전지 자체의 특성 열화현상도 있지만 그보다 태양전지를 보호하기 위한 완충재료(EVA sheet)의 변색으로 태양전지에 도달하는 태양빛의 투과율 감소에 의해 전기적 특성을 감소시키고 있으며, 태양전지모듈 제조공정상의 문제점에 의해 외부에서의 온도, 습도의 영향과 주변 환경의 영향으로 태양전지 표면 전극과 태양전지 사이의 연결부가 산화되기 때문이다.

이러한 산화 또는 부식에 의한 전극의 열화현상은 태양전지의 직렬저항을 증대시키고 따라서 발생전류를 감소시켜 결국 전력의 손실을 가져오게 된다[5].

3. BIPV 태양전지 모듈 제조 및 시험방법

3.1 제조 장치 및 시험 방법

본 연구에서 BIPV용 태양전지모듈 제조에 사용된 라미네이터는 LM480i(Nishinbo, Japan)를 사용하였으며, 전기적 출력 측정에 사용된 시험장비는 Sun simulator TM240A(Spire사, 미국)를 사용하여 1kW/m²의 광원과 25°C의 온도조건에서 인공광원법에 의해 I-V 특성 시험을 수행하였다.

본 연구에서 Glass/Glass 커튼월 태양전지모듈 시제작에 사용한 구성재료는 현재 국내에서 가장 많이 사용하는 103x103mm의 단결정 실리콘 태양전지(solar cell)를 사용하였으며, 전면 투과체는 저절분 유리로 두께 3.2mm, 파장대범위 0.5~1.1µm의 투과율 평균 91.8%로 안쪽 면은 texture 처리된 강화유리를 사용하였다.

또한 모듈의 후면에는 백시트(backsheet)대신 5mm의 일반 그린칼라 강화유리를 사용하였으며, 완충재료로 사용하는 EVA sheet는 광투과율 92%의 STR사의 0.46mm와 0.9mm EVA를 사용하였다.

금속 커튼월 태양전지모듈 시제작에 사용한 구성재료는 현재 국내에서 가장 많이 사용하는 103x103mm의 단결정 태양전지(solar cell)를 사용하였으며, 전면 투

파쇄는 저철분유리로 두께 3.2mmt, 파장대범위 0.5~1.1 μ m의 투과율 평균 91.8%로 안쪽 면은 texture 처리된 강화유리를 적용하였다.

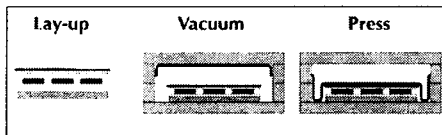
또한 불투명 소재인 백시트(backsheet) 대신 0.25mmt의 알루미늄판을 사용하였으며, 태양전지를 적층하는 EVA sheet는 광투과율 92%의 STR사의 0.46mmt EVA를 사용하였다.

3.2 라미네이션 조건

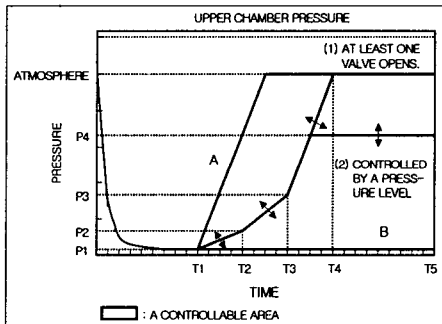
태양전지모듈을 제조하기 위해서 가장 중요한 공정은 라미네이션 공정이라 할 수 있다.

라미네이션은 [그림 3-1]과 같이 Glass/EVA/Cell/EVA/Backsheet 등의 구조로 셋팅된 모듈을 라미네이터의 열판 위에 올려 놓은 후 상부의 챔버를 닫고 상부 챔버와 하부 챔버를 1 Torr 이하의 진공상태로 pumping한 후 상부 챔버에 압력을 높여 Silicon rubber를 밀어서 적층하게 된다.

[그림 3-2]는 라미네이션을 하기 위하여 상부 챔버의 압력과 Silicon rubber의 press speed 의한 실험변수 영역을 보여주고 있다.



[그림 3-1] 라미네이션의 원리



[그림 3-2] Upper chamber의 제어 Curve

여기서 Line A는 Upper chamber의 Air 밸브 3개가 T1에서 동시에 Open된 상태를 보여주고 있으며, Line B는 계속해서 Upper chamber의 진공을 1torr 이하로 pumping하고 있는 것을 보여주고 있다.

T1~T5는 Lamination시간을 나타내며, P1~P4는 Upper chamber의 pressure level을 나타내고 있다. 일반적으로 T1까지의 시간은 Pumping시간을 의미하며, T1에서 T2는 slow press, T2에서 T3는 standard press, T3에서 T4는 fast press, T4에서 T5는 Curing 시간을 의미한다.

[그림 3-2]에서 보여주고 있는 Curve의 Pressure level과 press의 관계를 정리하면,

- T1~T2 : P1~P2 = Valve 1 ⇒ Open
- T2~T3 : P2~P3 = Valve 1,2 ⇒ Open
- T3~T4 : P3~P4 = Valve 1,2,3 ⇒ Open

으로 나타낼 수 있다.
위의 제어조건은 태양전지모듈에 사용되는 유리의 두께나 크기, EVA sheet, Back sheet등 Setting된 태양전지모듈의 구조에 따라 라미네이션 조건이 달라지는데 이때의 조건이 적절하지 못할 때 발생할 수 있는 문제점은 태양전지의 파손, 태양전지의 배열 홀트러짐, Bubble현상 등 제조공정상의 경제적 손실과 태양전지

모듈의 수명에 큰 영향을 미칠 수 있다.

위와 같은 문제점을 해결하기 위해서 사용자는 태양전지모듈 구조에 적절하게 Valve1~3의 open/close에 의한 T1~T5의 press 시간과 P1~P4의 Pressure level을 잘 설정해야 한다.

3.3 Glass/Glass 커튼월 태양전지모듈 제조

Glass/Glass 타입의 태양전지모듈은 일반 Back sheet 타입의 태양전지모듈을 제조하는 것보다 제조 시간이 많이 소요될 뿐만 아니라 제조기술 자체가 매우 어렵다. Glass/Glass 타입의 태양전지모듈 제조에 있어서 발생될 수 있는 문제점은 아래와 같다.

- 중량이 무거워서 다루기 불편
- Module Lay-up 장시간 소요
- 라미네이션 공정에서의 셀의 비틀림 현상 발생
- 라미네이션 공정에서의 Bubble 현상이 발생
- 라미네이션 공정 장시간 소요

위에서와 같이 Glass/Glass 타입의 경우 중량이 무거워서 다루기 불편하고, 이동 중에 자칫 잘못하면 배열된 셀의 흔들림으로 생산 능력이 많이 떨어지게 된다.

또한 가장 중요한 것은 적층공정이다. Glass/Glass 타입의 라미네이션은 EVA sheet의 선정도 중요하지만, 온도 and Press, Pumping 시간 및 Curing 시간 등 많은 조건 변수가 따르게 된다.

특히, Back sheet 타입의 라미네이션 조건과 차이점은 EVA sheet가 Pumping시간동안에 녹으면서, 유리와 유리사이에서 밖으로 많이 유출 되어 EVA 부족으로 Bubble현상이 발생할 우려가 매우 높다. 또한, 유리와 유리사이에서 EVA sheet가 한꺼번에 밖으로 많이 유출되면서 Press 시간에 태양전지 셀의 비틀림 현상이 많이 발생하게 된다.

[표 3-1]은 본 연구에서 Glass/Glass 커튼월 태양전지모듈 제조에 사용된 라미네이션 공정의 최적 조건을 보여주고 있다.

[표 3-1] G/G 커튼월 BIPV모듈의 라미네이션 조건

항 목	Plate 온도	조 건
Pumping Time	120	23min
Slow press	120	300mmHg, 3min
Standard press	120	200mmHg, 0.5min
Fast press	120	100mmHg, 0.3min
Curing	140	6min

3.4 금속 커튼월 태양전지모듈 제조

금속 커튼월 태양전지모듈은 일반 Back sheet 타입의 태양전지모듈을 제조하는 것보다 제조 시간이 많이 소요될 뿐만 아니라 제조기술 자체가 매우 어렵다. 금속 커튼월 태양전지모듈 제조에 있어서 발생될 수 있는 문제점은 아래와 같다.

- 후면 금속의 열팽창에 의한 모듈의 변형
- 금속과의 접촉으로 인한 내부의 절연파괴
- Module Lay-up 장시간 소요
- 라미네이션 공정에서의 셀의 비틀림 현상 발생
- 라미네이션 공정에서의 Bubble 현상 발생

위에서와 같이 금속 커튼월 태양전지모듈의 경우 Back sheet 타입과 달리 라미네이션 후 금속의 열팽창으로 인하여 모듈의 휘어짐이 발생하고, 태양전지 셀의 파손과 절연 파괴의 우려가 높다. 따라서 금속 커튼월 방식의 경우 금속판의 두께 및 열팽창 계수 등을 고려하여 재료를 선정해야만 불량율을 최소화 할 수 있다.

또한, Lay-up과 Circuit에 신중을 기해야만 한다. Back sheet 타입의 경우 내부 회로를 구성한 후 Back sheet의 일부를 절단하여 Circuit 단자를 외부로 도출시키게 되는데, 금속판의 경우 Circuit 단자가 도출될 수 있는 Hole을 미리 가공하여야 한다.

그러나 Hole을 뚫고 도출되는 Circuit 단자가 Hole 외부에 닿을 경우 절연이 파괴되어 불량률이 발생하는 경우가 많다.

〈표 3-2〉는 금속 커튼월 태양전지모듈 제조시 본 연구에서 도출된 라미네이션 최적 조건을 보여주고 있다.

〈표 3-2〉 금속 커튼월 BIPV모듈의 라미네이션 조건

항 목	Plate 온도	조 건
Pumping Time	120	8min
Slow press	120	700mmHg, 0.5min
Standard press	120	600mmHg, 0.5min
Fast press	120	100mmHg, 1.5min
Curing	140	6min

4. 결과 및 고찰

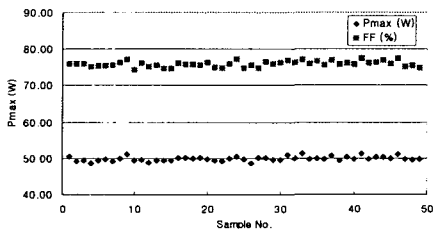
본 연구에서 Glass/Glass 커튼월 태양전지모듈에 사용된 태양전지 셀은 Dark Blue Color의 단결정 Si 태양전지를 사용하여, 4x9열 36cells 직렬연결된 50W급 발코니형 Glass/Glass 커튼월 태양전지모듈을 제조하였다.

태양전지모듈의 일반적인 성능평가 기준은 대부분 I-V 특성시험을 실시하여 최대출력에 의한 결과를 시험하게 되며, 시스템의 종합효율을 높이기 위하여 태양전지모듈의 균일도 평가를 실시하게 된다.

〈표 3-3〉과 〈그림 3-3〉은 시제작된 49매의 발코니형 Glass/Glass 커튼월 태양전지모듈의 최대출력값을 보여주고 있다. 〈표 3-3〉과 〈그림 3-3〉에서 보는바와 같이 최대출력 균일도는 $\pm 2.7\%$ 이내이며, 가장 높은 출력을 나타낸 것은 51.37W, 가장 낮은 출력을 나타낸 것은 48.67W를 나타내고 있다.

〈표 3-3〉 발코니형 Glass/Glass 커튼월 태양전지모듈의 출력 특성

항 목	결 과
기준출력	50W 급
최대출력	51.37 W
최소출력	48.67 W
출력균일도	$\pm 2.7\%$
평균출력	49.9 W



〈그림 3-3〉 발코니형 Glass/Glass 커튼월 태양전지모듈의 출력 및 곡선을

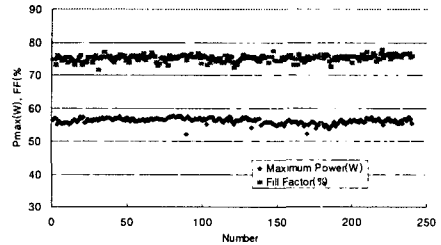
따라서, 본 연구에서 시제작된 Glass/Glass 커튼월 태양전지모듈 49매의 출력 평균값은 약 49.9W로, 매우 우수한 전기적 특성을 보여주고 있다.

본 연구에서 금속 커튼월 태양전지모듈에 사용된 태양전지 셀은 White Blue Color의 단결정 Si 태양전지를 사용하여, 5x8열 40cells 직렬연결된 60W급 건물 외장재용 금속 커튼월 태양전지모듈을 제조하였다.

〈표 3-4〉와 〈그림 3-4〉는 시제작된 240매의 건물 외장재용 금속 커튼월 태양전지모듈의 최대출력값을 보여주고 있다.

〈표 3-4〉 건물 외장재용 금속 커튼월 태양전지모듈의 출력 특성

항 목	결 과
기준출력	60W 급
최대출력	57.39 W
최소출력	55.00 W
출력균일도	$\pm 2.12\%$
평균출력	56.17 W



〈그림 3-4〉 금속 커튼월 태양전지모듈의 최대출력과 곡선을 비교

〈표 3-4〉와 〈그림 3-4〉에서 보는바와 같이 최대출력은 일부 몇매의 태양전지모듈을 제외하고는 모두 55.0~57.39W로 평균 56.2W를 보여주었으며, 출력 균일도는 $\pm 2.12\%$ 로 매우 우수한 전기적 특성을 보여주고 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 건물일체형 태양전지모듈을 제조하기 위하여 태양전지모듈 제조공정에서 가장 중요한 라미네이션 공정의 최적 조건을 도출하였다.

이때의 최적조건은 bubble현상과 셀의 비틀림 현상이 전혀 없는 재현성 있는 조건으로 glass/glass 커튼월 태양전지모듈은 plate 온도 120℃에서 pumping time 23분, slow press 300mmHg까지 3분, standard press 200mmHg까지 0.5분, fast press 100mmHg까지 0.3분에서 가장 좋은 조건을 얻었으며, 출력균일도 $\pm 2.7\%$ 의 매우 균일한 출력특성을 나타내었다.

금속 커튼월 태양전지모듈의 경우 plate온도 120℃에서 pumping time 8분, slow press 700mmHg까지 0.5분, standard press 600mmHg까지 0.5분, fast press 100mmHg까지 1.5분의 최적조건을 도출하였으며, 이때 출력균일도 $\pm 2.12\%$ 의 매우 균일한 출력 특성을 나타내었다.

(참 고 문 헌)

- 한국에너지기술연구원 연구보고서, "중대규모 건축환경에서의 태양광발전시스템 적용 요소기술개발", 산업자원부 대체에너지기술개발사업, 2004.01
- 강기환, 유권중, 안형근, 한득명, "태양전지모듈에서 Interconnection용 SnPbAg paste가 전기적 특성에 미치는 영향" 한국전기전자재료학회 학제학술대회 논문집, pp71~74, 2003. 7.
- M.A.Quintana, et al., "Diagnostic Analysis of Silicon Photovoltaic Module after 20-Year Field Exposure", Presented at 28th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Anchorage, Sept. 15~22, 2000.
- 강기환, 유권중, 박경은, 안형근, 한득명, "태양전지모듈 제조를 위한 요소기술 연구", 대한전기학회 학제학술대회 논문집, pp1365~1367, 2003. 7.
- 新エネルギー・産業技術総合開発機構委託業務成果報告書, "太陽電池評價技術の 研究開発", 平成13年度.