

# Silicone 봉지재를 이용한 태양광 모듈 제조 공정 및 평가에 대한 연구

정인성\*, 이범수\*\*, 양오봉\*\*\*, 강성환\*\*\*\*, †김종일\*\*\*\*\*

\*전북대학교 신재생에너지소재개발지원센터 기업지원팀(kjunggye@jbnu.ac.kr), \*\*전북대학교  
신재생에너지소재개발지원센터(lbs3422@jbnu.ac.kr), \*\*\*전북대학교 화학공학부(obyang@jbnu.ac.kr),  
\*\*\*\*전북대학교 신재생에너지소재개발지원센터 기업지원팀(newrecstar@jbnu.ac.kr), \*\*\*\*\*전북대학교  
신재생에너지소재개발지원센터(kimbo@jbnu.ac.kr)

## The study on evaluation for PV module development using the silicone encapsulation

Jung, In-sung\*, Lee, Bum-Su\*\*, Yang, O-Bong\*\*\*, Kang, Seong-Hwan\*\*\*\*, †Kim, Jong-Il\*\*\*\*\*

\*Dept. of Business Support, New Renewable Energy Material Development Center,  
Chonbuk University(kjunggye@naver.com), \*\*Dept. of New Renewable Energy Material Development  
Center, Chonbuk University(lbs3422@jbnu.ac.kr), \*\*\*Dept. of Chemical engineering, Chonbuk  
University(obyang@jbnu.ac.kr), \*\*\*\*Dept. of Business Support, New Renewable Energy Material  
Development Center, Chonbuk University(newrecstar@jbnu.ac.kr), \*\*\*\*\*Dept. of New Renewable Energy  
Material Development Center, Chonbuk University(kimbo@jbnu.ac.kr)

### Abstract

---

Individual solar cells must be connected together to give the appropriate current and voltage levels and they must also be protected from damage by the environment.[1] PV module consists of a glass/ polymer encapsulation/ solar cell string/ polymer encapsulation/ back sheet. Usually, encapsulation materials is used EVA(ethylene vinyl acetate), PVB(polyvinyl butyral), PO(polyolefin)sheet. This study is about fabrication of module using silicone material instead of above them. We got to know advantage that is fabrication time and efficiency of modules.

Keywords : Silicone, encapsulation(봉지재), efficiency(효율), PV module, 태양전지, 태양광 모듈

---

## 1. 서 론

현재 국내의 박막 태양전지 및 bulk type 태양전지 모듈의 수요는 발전소 시장 위주에서 BIPV(building integrated photovoltaic) system 쪽으로 이동하고 있으나 현 태양광 모듈의 생산 공정은 BIPV 시장에서 요구하는 대면 적 모듈 개발에 적합하지 못하다. 이는 현 태양광 모듈공정의 기술적인 문제와 더불어 모듈을 구성하는 encapsulation 재료의 size 한계에 많은 제약을 받고 있기 때문이다. Silicone encapsulation 방식의 태양광 모듈은 재료의 size에 구애받지 않는다는 장점이 있어 대면적화에 크게 유리하다. 본 연구를 통해서 silicone encapsulation 제조 공정장비가 개발 된다면 기존 모듈 경화속도가 약 20분 이상인 반면 silicone 소재 경화 속도는 100℃에서 100초 내외로 기존 모듈 보다 높은 생산성을 달성 할 수 있다. 경화 온도가 기존 sheet type은 150℃ 부근이나 silicone encapsulation type은 100℃ 로써 에너지 절감과 동시에 열에 의한 제품 loss를 줄일 수 있다. 미국은 현재 이 기술을 이용하여 상용화해 보급하고 있지만 우리나라 및 기타 국가는 아직 태양전지 생산원가 및 생산 장비 개발 등을 고려하여 생산을 주저하고 있다. Silicone 소재를 사용한 태양광 발전시스템의 이용 기술상의 문제점은 기술개발과 실증 실험을 통하여 개선될 수 있으나 관련소재를 적용한 생산설비의 개발의 초기의 많은 투자와 높은 발전가격은 선결되어야 할 과제이다.

## 2. 실험 방법

### 2.1 Encapsulation silicone 점도 분석

본 실험에서는 2액형 실리콘(Dow corning, PV-6100)의 특성분석을 위해 각각의 용액을 일정한 양으로 조성별로 나누어 점도계(AND, SV-10)를 통해 점도를 측정하였다. 각 시료는 20cc 홀더에 담아 실시간 측정온도 및 점도를 측정하여 평균값으로 데이터를 종합하였다.

그런 후 점도측정과 샘플의 투과율에 대해 분석실험 하였다. 이 실험에서는 각 샘플들을 정량적으로 분석하기 위해 초자류 접시에 같은 두께를 만들기 위해 일정한 양으로 도포하여 110℃에서 2~3분 동안 경화를 시킨 다음 상온에서 수분동안 냉각하였다. Fig.1은 사용한 점도계, 초자류, 오븐 등을 도시한 것이다.



Fig.1. Encapsulation용 silicone 점도 분석실험

### 2.2 Encapsulation silicone 투과율 분석

투과율 측정을 위해 UV-VIS-NIR spectrometer (UV-3600)을 사용하여 파장 범위 185~2000 nm 범위에서 반사율을 측정하였다. 먼저 blank test로 실리콘이 없는 초자를 측정하고 이어 각각의 조성별로 샘플링 된 초자를 분석하여 결과 값을 도출하였다. 아래 Fig.2 는 본 실험에서 사용된 분석 장비 및 샘플 홀더에 샘플링 한 그림이다.

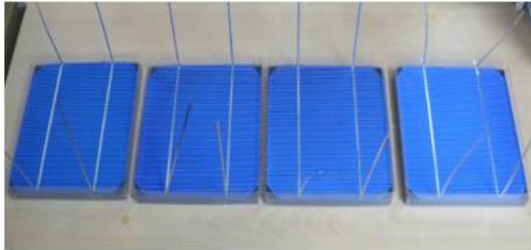


Fig. 2. Encapsulation용 silicone 투과율 분석실험

### 2.3 Encapsulation silicone 두께에 따른 효율 분석

실리콘을 모듈화 시키기 위해 이번 실험에서는 실리콘 5:5와 4:6의 비율로 섞인 액을 정량적으로 셀 표면에 도포를 시켜 그 두께별로 효율을 분석하고 최종적으로 최적화된 결과를 도출하기 위해 Fig. 3.과 같이 틀을 만들어

셀 위에 준비된 5:5, 4:6비율의 2액 형 실리콘을 두께별로 고르게 도포하였다.



(a) 2액 형 실리콘(5:5) ; 0.2mm, 1mm, 2mm,3mm,5mm



(b) 2액 형 실리콘(4:6) ; 0.2mm, 1mm, 2mm, 3mm, 5mm

Fig. 3. 실리콘 도포를 위한 6"셀과 고정 틀 제조

위 실험에서는 6inch 저효율 단결정 실리콘 태양전지를 T&S equipment (Tabber & String equipment : ART-600)를 사용하여 효율을 측정할 수 있도록 양쪽으로 전극을 내어 놓고 실리콘 액이 틀 사이로 새지 않도록 테이프로 보완한 후 태양전지를 내려놓고 바닥까지 닿도록 전체적으로 눌러준 다음 각 정해진 양만큼 2액 형 실리콘 액을 도포시킨 뒤 오븐에 넣어 110℃로 2분간 경화 후 상온에서 냉각시켜 샘플을 만들었다.

#### 2.4 Silicone 기포 제거를 위한 시뮬레이션 실험

본 실험은 encapsulation silicone을 사용하여 모듈제조에 적용시켰을 경우 스트링 된 태양전지 표면 위에 silicone을 도포하고 유리를 접합시켰을 때 생기는 기포를 확인하고 이를 제거하기 위한 실험을 하였다. 실험방법은 총 4가지 방법으로 샘플링을 하여 결과분석을 하였다. 첫 번째 방법은 silicone 액을 일반 소형 pilot laminator를 통해 압착하여 G to B(Glass to Back sheet)type의 미니모듈샘플화

한것 이고, 두 번째 방법은 silicone 액을 일반 소형 pilot laminator를 통해 압착하여 G to G(Glass to Glass)type의 미니모듈샘플화 한 것이고, 세 번째 방법은 silicone을 스트링 된 셀에 도포한 후 경화시켜 G to G type으로 수동 압착하여 미니모듈샘플화 한 것이며, 네 번째 방법은 silicone 액을 모듈 크기에 맞는 주형틀에 3mm 두께로 채우고 경화시켜 G to G type으로 수동 압착하여 미니모듈샘플화 한 것이다.

#### 2.5 Encapsulation silicone을 사용한 모듈 공정에서 MIR 경화장비 test

경화실험은 silicone encapsulation 모듈을 제조할 때 silicone 경화를 시키는데 이때 빠른 건조를 위해 MIR lamp를 적용시켜 실험을 통해 공정상의 최적화를 분석하는 실험이다. 실험방법은 아래 표와 같은 방법으로 진행 하였다. 기본 조건은 유리 규격이 400mm\*400mm\*5mm(width, length, thickness)이고, 온도는 20℃에서 컨베이어를 이용하여 실험하였다.

#### 2.6 Encapsulation silicone을 사용한 모듈화

엑상 silicone을 사용하여 module화 할 수 있는 pilot laminator를 개발하였다. 그 크기는 1m\*1.5m(width, length)이며, 경화는 MIR lamp를 사용하였다. Silicone을 사용한 모듈과 EVA sheet를 사용한 모듈의 효율을 비교하기 위하여 각각 54장의 6inch wafer 태양전지를 사용하였다. 사용된 각각의 54장의 태양전지의 출력 전체 값은 약 0.1%이내의 오차범위에서 분류된 것을 사용하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 Encapsulation silicone 점도 분석 결과

2액형 실리콘의 특성분석을 위해 각 용액을 4가지 비율로 조성을 나누어 분석한 결과 Table 1.과 같이 조성별 점도의 차이를 볼 수 있었다.

Table 1. Encapsulation silicone 조성별 점도 측정

	a(5:5)	b(4:6)	c(3:7)	d(2:8)
평균 온도 (°C)	18.920	22.400	21.660	21.410
전체평균점도(cp)	889.87	848.030	909.040	840.460

### 3.2 Encapsulation silicone 투과율 분석

각 점도별 투과율을 분석한 결과 Fig. 4와 같이 200nm~2000nm까지의 투과율 그래프를 확인할 수 있었다. 일반 glass 샘플과 비교하여 각 조성별 투과율을 비교분석 할 수 있었다.

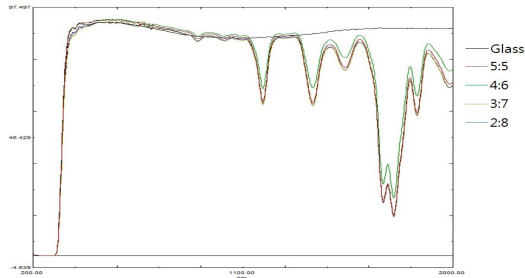


Fig. 4. 2액형 실리콘 조성비별 투과율 분석 그래프

Table 2. 2액형 실리콘 조성비에 대한 파장별 평균 투과율 분석 결과

	glass	55 T%	46 T%	37 T%	28 T%
UV	2689	2666	2678	2536	2594
Visible	90371	91314	91601	90358	90492
NIR	87427	74252	77086	7335	7333

### 3.3 Encapsulation silicone 두께에 따른 효율 분석

Table 3.은 Encapsulation silicone 두께별로 만든 샘플들을 I-V measurement(IVIUM, continuous type)로 측정하여 얻어진 데이터로써 1 sun(25°C, 1000w/m<sup>2</sup>)으로 조사할 수 있는 광원장비를 통해 빛을 받은 셀에서 I(전류)값과 V(전압)값을 읽어 줌으로써 저장되어 있는 공식을 통해 위와 같은 결과 값을 얻을 수 있었다.

Table 3. 2액형 실리콘 태양전지 I-V 특성분석

	a55_0 .2mm	a55_1 mm	a55_3 mm	a55_5 mm	b46_0 .2mm	b46_1 mm	b46_3 mm	b46_5mm
Isc (A)	8.340	8.520	8.580	7.380	8.630	8.680	8.550	8.590
Jsc (A/m <sup>2</sup> )	3.430	3.500	3.520	3.030	3.550	3.570	3.510	3.530
Eoc (V)	0.578	0.588	0.601	0.603	0.587	0.591	0.609	0.589
E (Pmax) (V)	0.383	0.384	0.396	0.411	0.396	0.384	0.412	0.381
Pmax (W)	2.310	2.340	2.460	2.290	2.530	2.370	2.620	2.280
FF	0.478	0.466	0.477	0.513	0.499	0.461	0.502	0.449
CE	0.094	0.096	0.101	0.094	0.104	0.097	0.107	0.093
CE (%)	9.490	9.620	10.120	9.400	10.400	9.730	10.750	9.360

### 3.4 Silicone 기포 제거를 위한 시뮬레이션 실험 결과

아래 그림은 4가지 절차에 따라 만들어진 미니 모듈 샘플로써 각각의 결과에 따라 유관으로 확인할 수 있을 정도의 기포가 있는 샘플도 있었다. Fig.5에서 (a)는 소형 laminator를 사용한 Glass to Glass의 모듈형태이고, (b)는 소형 laminator를 사용한 glass to back sheet형태이며, (c)는 3mm silicone을 태양전지위에 coating-후 100°C에서 유리를 덮고 경화한 것이며, (d)는 3mm silicone 용액에 cell을 deeping한 후 유리를 덮고 경화한 사진이다.

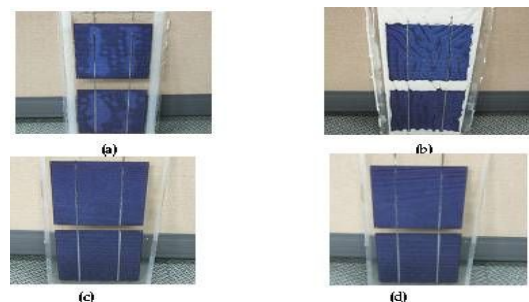


Fig. 5. 실험 결과 사진, (a) 절차 1에 대한 결과 (b) 절차 2에 대한 결과 (c) 절차 3에 대한 결과 (d) 절차 4에 대한 결과

위 실험방법에서와 같이 4가지 방법으로 미니모듈샘플을 제작하여 실험한 결과 1,2번 방법은 일반 모듈개발과 동일한 방법으로 테스트한 것으로 laminator rubber의 굴곡 및 실리콘의 고른 도포에 의한 매우 큰 기포가 발생하였다. 3번 방법에서 스트링된 셀에 도포 시 표면에 도포된 균일성 등으로 인해 약간의 기포가 발생됨을 알 수 있었고 4번 방법에서는 기포가 거의 발생되지 않음을 확인할 수 있었고 이를 통해 G to G type의 모듈제조 가능성을 확인할 수 있었다.

### 3.5 Encapsulation silicone을 사용한 모듈 공정에서 MIR 경화장비 test

Fig. 6.과 같이 본 연구에서 개발된 MIR 조사장치를 통해 경화실험을 한 결과 silicone을 경화하기 위해 MIR을 사용하여 100℃에서 1분 동안 경화를 시키고 하부의 glass의 열에 의한 굴곡현상을 제거하기 위해 MIR module을 이동할 수 있도록 프로그래밍을 구축하여 굴곡현상 또한 제거됨을 볼 수 있었다.

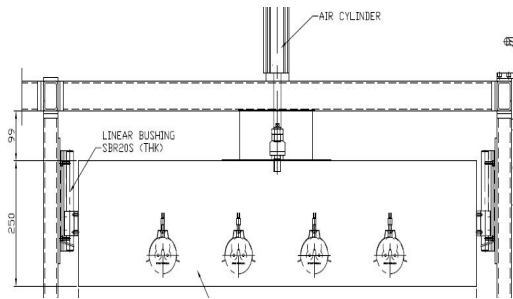


Fig. 6.MIR 조사장치의 설계도면

Table 4. MIR장비 개발을 위한 실험방법

1	유리 + 실리콘 ⇒ MIR (100℃ ~140℃) ↓ 1분 30초 정도에서 완전 경화
2	유리 + 실리콘 + 유리 ⇒ MIR (100℃ ~140℃) ↓ 1분 40초에도 완전 경화 안됨 재투입하여 1분 40초 경화 진행하였더니 완전 경화 됨
3	유리 + 실리콘 + 유리 ⇒ MIR (200℃) ↓ 1분 30초 정도에서 완전 경화

### 3.6 Pilot type 장비를 통한 encapsulation silicone 모듈 효율 비교 분석결과

silicone의 특성평가 및 pilot type 장비개발을 통해 얻은 결과로 기존 200W급 모듈과 비교분석을 한 결과 Table 6.과 같이 측정 되었다.

Table 6. EVA 모듈과 Encapsulation silicone 모듈의 출력 테스트 결과

	Voc	Isc	Pmax	Vm	Im
EVA_001	33686	8.240	206.840	27.676	7.473
EVA_002	33652	8.266	207.460	27.708	7.487
EVA_003	33647	8.266	207.662	27.690	7.499
EVA_004	33651	8.272	207.552	27.725	7.485
EVA_005	33674	8.265	207.823	27.708	7.501

Encap. silicone_1	33643	8.140	211.213	27.324	7.729
Encap. silicone_2	33652	8.149	211.359	27.233	7.761
Encap. silicone_3	33629	8.133	210.819	27.225	7.743
Encap. silicone_4	33610	8.162	211.690	27.285	7.758
Encap. silicone_5	33616	8.153	211.522	27.327	7.740

EVA sheet를 사용하여 제조된 모듈은 평균 207.47W, encapsulation silicone을 사용하여 제조된 모듈은 평균 211.32W로 측정되었다.

## 4. 결 론

EVA sheet를 사용하여 제조된 모듈은 encapsulation silicone을 사용하여 제조된 모듈에 비해 약 2%의 모듈효율 상승을 볼 수 있고 또한 제조 공정시 소모되는 재료 및 기타 비용 등을 추정하여 계산한다면 최소 10%의 공정효율로 계산되어진다.

## 후 기

본 연구는 실리콘계소재소자고급인력양성 사업 및 호남광역경제권선도산업 R&D사업의 “Silicone encapsulation을 활용한 저가형, 고효율 태양전지 모듈공정 기술개발” 연구비지원으로 수행되었음

(과제번호 : 20104010100660, 20096105)

## 참 고 문 헌

1. Keith R. McIntosh, James N. Cotsell, Jeff S. Cumpston, Ann W. Norris, Nick E. Powell, and Barry M. Ketola, Center for Sustainable Energy System, Australian National University, Canberra, ACT 0200, AUSTRALIA (2010).
2. S. Ohl, G. Hahn, Preprint 23rd EU PVSEC, Valencia (2008).
3. F.J. Pern and S.H. Glick, Engineering and Reliability Division, National Center for Photovoltaic NREL, 1617 Cole Blvd, Golden, CO 80401 (1998).
4. Photovoltaic Application Sheet Revision No4, Photovoltaic Applications (2010).
5. U. S. Patent 0051204 (2005).
6. Gaeten Borgers, Inter Solar North America Conference, San Francisco, California (2009)