

[논문] 한국태양에너지학회 논문집

Journal of the Korean Solar Energy Society

Vol. 27, No. 3, 2007

# 구성 재료와 방사조도 특성에 따른 태양전지모듈의 최대출력 분석

강기환\*, 김경수\*, 박지홍\*\*, 유권종\*, 안형근\*\*, 한득영\*\*

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

## Analysis of Maximum Power Generation of Photovoltaic Module Depending on Constituent Materials and Incident Light Characteristics

Kang, Gi-Hwan\*, Kim, Kyung-Soo\*, Park, Chi-Hong\*\*,  
Yu, Gwon-Jong\*, Ahn, HyungKeun\*\*, Han, Deuk-Young\*\*

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

\*\*Konkuk University, Department of Electrical Engineering (dyhan@konkuk.ac.kr)

### Abstract

In this study, we analyze the maximum power generation of photovoltaic(PV) module depending on constituent materials and incidence angle dependence of light. To verify characteristics of constituent materials, we made photovoltaic modules with 4 kinds of solar cells and textured glass according to fabrication method. To find the degree of the maximum power generation dependence on intensity of light, Solar Simulator is applied by changing angle of module and light intensity. Through this experiment, to obtain maximum power generation from limited PV modules, it is needed to fully understand constituent materials, fabrication method and dependence of incident light characteristics.

**Keywords** : 태양전지모듈(Photovoltaic module), 최대출력(Maximum power generation), 인공광원(Solar simulator)

### 기 호 설 명

$V_{oc}$  : 개방 전압 (V)  
 $I_{sc}$  : 단락 전류 (A)  
 $P_{max}$  : 최대 출력 (W)

### 1. 서론

태양광발전은 태양전지를 사용하여 입사되는 태양광의 가시광선을 전기에너지로 바꾸는 재생에너지 기술의 한 분야이다. 현재 태양전지의 원료로

접수일자 : 2007년 5월 22일, 심사완료일자 : 2007년 8월 27일

교신저자 : 강기환(ghkang@kier.re.kr)

90%이상이<sup>1)</sup> 실리콘을 사용하고 있는데 태양전지는 단결정과 다결정으로 구분되며 두께는 보통 200 $\mu\text{m}$  내외로 현재 실리콘의 재료 절감 차원에서 두께가 점차 줄어들고 있다.

최근 전 세계 태양광발전에 대한 수요의 상승적 증가로 인하여 태양전지용 실리콘의 공급 부족현상이 나타나고 있다.<sup>2)</sup> 많은 연구소와 기업에서는 실리콘의 사용을 줄이는 박막 태양전지 기술과 지금의 실리콘 태양전지와 다른 개념의 화합물 반도체를 이용한 새로운 방식의 소자 및 높은 변환 효율의 태양전지 개발을 위한 연구의 박차를 가하고 있다.

일반적으로 태양전지모듈은 전면의 광투과율이 높은 저철분 강화 투명유리와 후면의 Back sheet를 사용하고 제작되고 있다. 그리고 그사이에 전기적으로 연결된 태양전지 스트링과 EVA (Ethylene Vinyl Acetate) sheet를 Laminator를 사용하여 모듈화 한다.

태양전지모듈의 최대출력은 연결된 개개의 태양전지의 출력의 합으로 구성된다. 그러나 실제로 태양전지모듈이 전기를 생산하기 위하여 외부에 설치되었을 때에 생산되는 전력량의 정도는 설치 장소의 온도, 일사량, 설치 방식 등의 환경조건에 따라 차이가 나타난다. 고정형 태양광시스템의 경우 입사되는 태양의 방사조도 및 입사 빛의 각도가 시간에 따라 변하는데 이는 태양전지모듈을 구성하는 태양전지의 특성과 모듈의 구조에 따라 발전량의 차이로 나타날 수 있다.

따라서, 본 연구에서는 태양전지모듈의 최대 출력특성을 얻기 위하여 모듈 제조 공정에 구성 재료에 따른 차이점을 살펴보고 모듈에 입사되는 인공 광원의 방사조도를 Solar simulator를 이용하여 조절하여 모듈의 경사각에 따른 최대 출력 특성의 변화를 분석하였다.

## 2. 본 론

### 2.1 실험방법

태양전지모듈의 제조시 전면에서 사용되는 유리는 광투과율이 우수한 저철분 투명유리이며 유리와 태양전지에서 반사되는 태양 빛의 손실을 줄이기 위하여 표면에 텍스처링(Texturing)이 되어있다. 제조 방법에 따른 전기적 광학적 성능 차이를 분석하기 위하여 태양전지모듈을 전면 유리의 방향에 따라 그림 1의 (a)와 (b)의 구조로 제작하였다.

유리 배열 방향에 따른 가시광선 투과율의 정도의 차이를 확인하기 위해 Spectrophotometer (V-570, JASCO)를 사용하여 파장 범위 200nm ~ 1100nm에서 광투과율을 측정하였다.

태양전지의 제조회사에 따른 전기적 출력 특성을 확인하기 위하여 표 1에서와 같이 3개사 4종류의 실리콘 태양전지를 사용하였다.

표 1. 태양전지 종류 및 사양

Maker	Cell-Type	Size [mm]	Pmax [W]	Isc [A]	Voc [V]
A	Single	150	3.2	8.29	0.6
A	Poly	150	3.1	7.99	0.6
B	Single	125	2.2	5.33	0.6
C	Single	125	2.1	4.87	0.6

태양전지모듈은 표 1의 태양전지를 이용하여 제작하였는데 이때 사용된 Laminator는 최대 시료 크기 2m × 2m 까지 가능한 NISSHINBO사의 제품이다. EVA Sheet는 ETIMAX사의 Fast cure type을 사용하였다.

제작된 태양전지모듈의 발전성능시험은 최대 모듈 사이즈 2m × 2m까지 측정가능하며 방사균일도  $\pm 2\%$ , 방사안정도가  $\pm 2\%$ 인 A급 Solar simulator (PasanIIIb)를 사용하였으며 측정조건은 측정 온도 25 $^{\circ}\text{C}$ , AM 1.5, 방사조도 0.2 ~ 1.2  $\text{kW}/\text{m}^2$  조건에서 기준셀을 이용하여 I-V curve를 측정하였다.

Texturing유리의 방향과 경사각에 따른 태양전지모듈의 최대출력은 수평면을 기준으로 90 $^{\circ}$ , 75 $^{\circ}$ , 56 $^{\circ}$ , 39 $^{\circ}$  및 30 $^{\circ}$ 로 기울여 1 $\text{kW}/\text{m}^2$ 의 방사조도에서 측정하였으며 입사 광량에 변화에 따른

출력값의 변화정도는 태양전지모듈을 90°로 유지하고 방사조도를 0.2 ~ 1.2 kW/m<sup>2</sup>로 변화시켜 측정하였다.

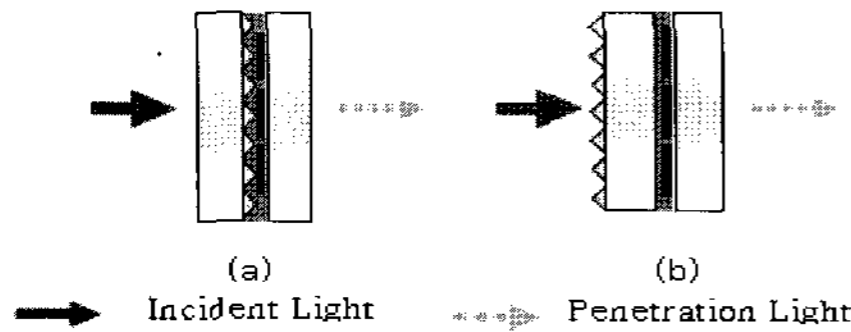


그림 1. 유리 방향에 따른 모듈 시료 구조

## 2.2 실험결과

태양전지모듈의 Texturing된 유리의 제조 방법에 따른 광투과율을 분석하기 위하여 Textured-Glass/EVA/Glass의 구조로 유리 방향에 따라 3개씩 제작하였다. 그림 2의 A로 표시된 것은 표면 처리된 유리 방향이 그림 1의 (b)와 같은 구조로 외부로 노출된 경우이며 B로 표시된 것은 그림 1의 (a)로 방향이 태양전지 표면을 향하여 제작된 경우이다. 그림 2의 광투과율 측정결과 입사 파장 500nm에서 A의 경우 평균 투과율 90.2%, B의 경우 91.2%였다. 입사 파장 700nm에서는 A는 평균 투과율은 88.5%를 나타내었으며, B의 경우 89.7%로 가시광선 전 영역에서 걸쳐 B의 평균 투과율이 약 1%정도 A보다 높게 측정이 되었다. 이것은 그림 1의 (a)의 구조로 제작된 태양전지모듈의 광투과율이 높다는 것을 증명하는 것으로 최대 출력값의 상승을 예상할 수 있다.

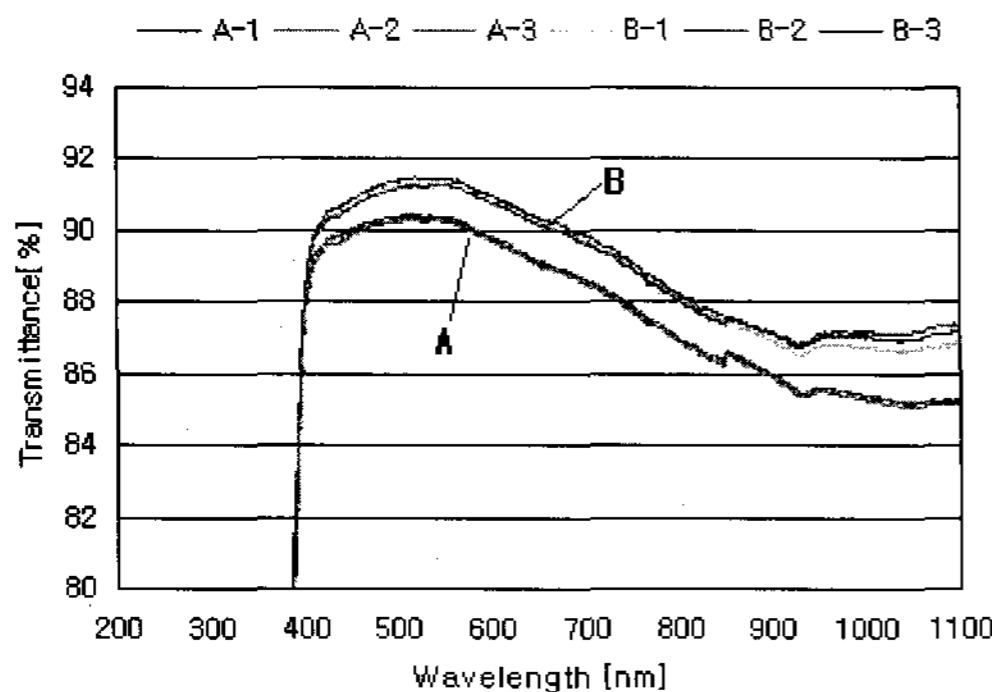


그림 2. 투과율 측정결과

Texturing된 유리 방향에 따라 입사되는 태양빛의 투과정도가 다름으로부터 태양빛이 유리 표면에서의 산란 메커니즘도의 차이가 있음을 예상할 수 있다. 이에 입사되는 빛의 경사에 따른 태양전지모듈의 최대 출력 특성의 변화 정도를 측정하기 위하여 표 1의 태양전지를 각 1장씩 이용하여 그림 1의 (a)와 (b)의 구조로 모듈을 제작하였다. 그리고 Solar simulator내에서 경사각 90°, 75°, 56°, 39°, 및 30°으로 기울여 측정하였다. 이때 방사 조도는 1 kW/m<sup>2</sup>로 유지하였다.

그림 3는 표 1의 태양전지를 그림 1의 (b)의 구조로 모듈을 제작하였을 때 Solar simulator에서의 최대 출력값 (Pmax)의 변화를 경사각에 따라 나타낸 것으로 경사각 90°에서 측정된 Pmax에 대한 비율을 %로 나타낸 것이다.

A사의 단결정 태양전지를 이용한 태양전지모듈의 경우 경사각 75°, 56°, 39°, 30°에서 최대 출력값 변화율이 각각 94%, 91%, 73%, 45%이고, 다결정 태양전지모듈의 경우 94%, 90%, 77%, 45%로 출력값의 감소로 단결정과 유사한 감소 특성을 나타내었다. B사의 경우 최대 출력값의 변화율이 경사각의 감소에 따라 95%, 91%, 73%, 27%로 A사의 단결정 태양전지보다 경사각 30°에서 20%의 출력감소율이 큰 것으로 측정되었다. C사의 태양전지의 경우 앞의 3가지 모델의 태양전지에 비하여 출력감소율이 큰 것을 확인할 수 있었는데 경사각 A사의 단결정 태양전지보다 75°에서 7%, 56°에서 23%, 39°에서 13% 그리고 30°에서는 28%의 출력 감소율의 증가가 나타났다. 이를 통하여 태양전지 제조사별 태양전지 모듈과 입사 광원이 이루는 경사각에 따라 출력 특성 변화의 정도가 다르게 나타남을 확인할 수 있었다.

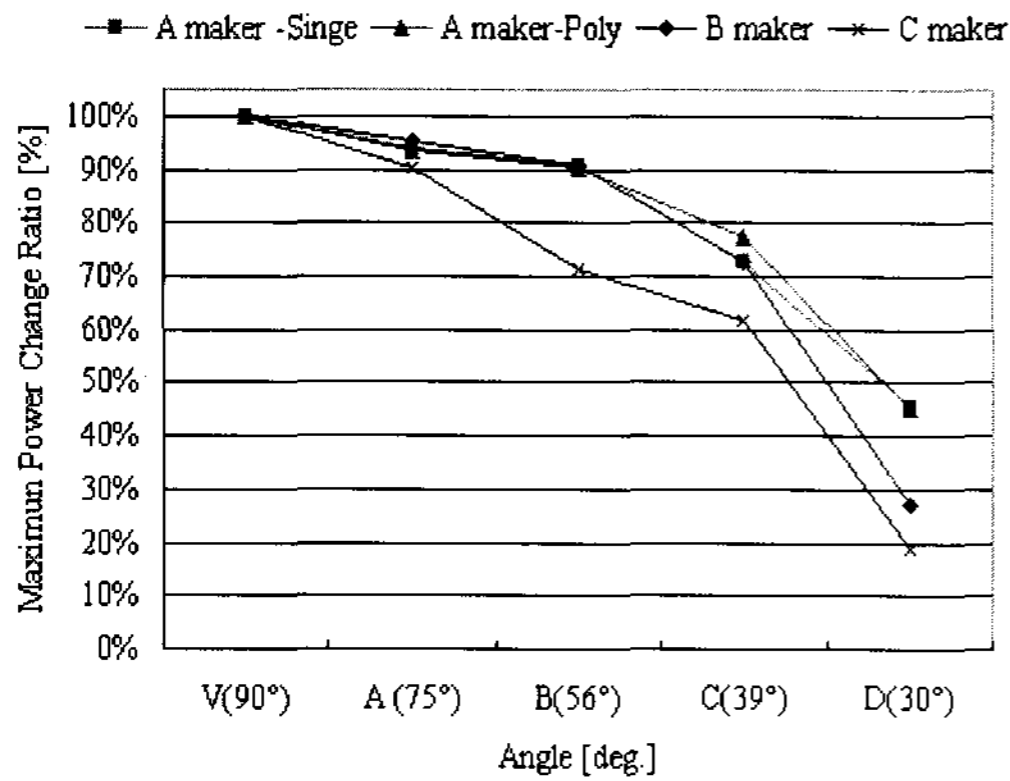


그림 3. 출력 변화율 그래프 (texturing된 유리가 전면과 후면으로 제작된 모듈)

그림 4는 표 1의 4가지의 태양전지를 그림 1의 (a)와 (b)의 구조로 모듈을 제작하여 그림 3과 같이 경사각에 따른 출력 특성을 비교한 것이다. 이때 A(a)로 표시된 것은 A사의 태양전지를 이용하여 그림 1의 (a)의 구조의 모듈임을 나타낸다.

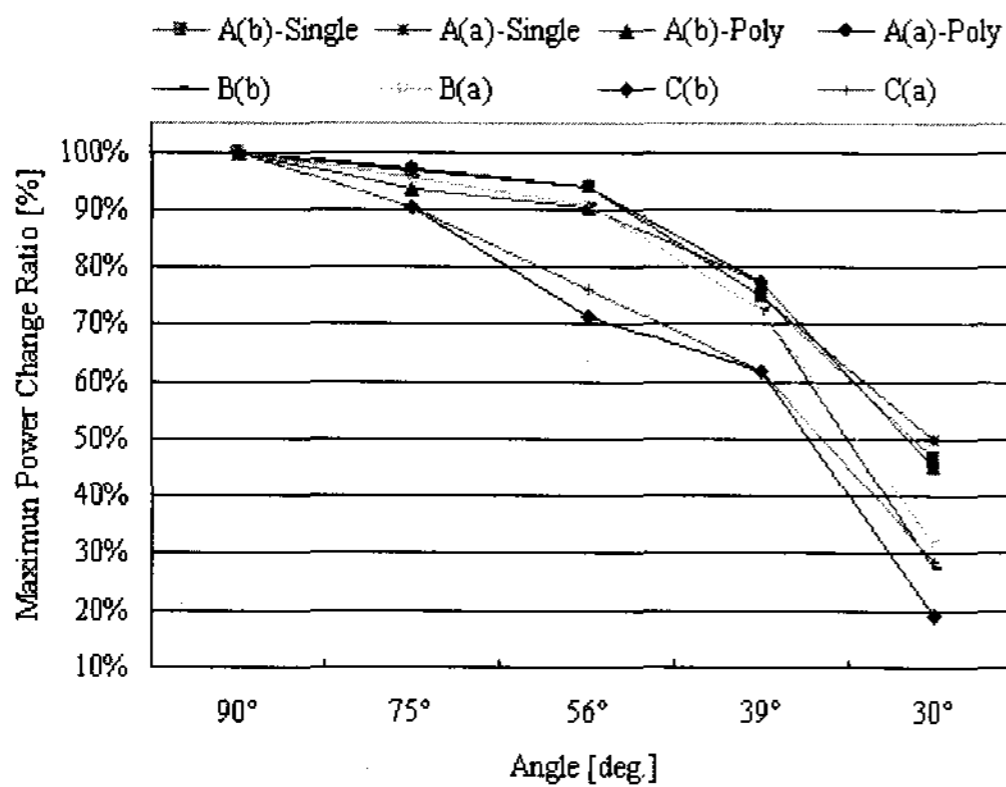


그림 4. 출력 변화율 그래프 (texturing된 유리가 전면과 후면으로 제작된 모듈)

표 2. 태양전지 종류와 경사각에 따른 출력 변화율

Cell Maker	A-Single		A-Poly		B-Single		C-Single	
	A(b)	A(a)	A(b)	A(a)	B(b)	B(a)	C(b)	C(a)
Angle	A(b)	A(a)	A(b)	A(a)	B(b)	B(a)	C(b)	C(a)
90°	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
75°	97%	97%	94%	97%	95%	95%	90%	90%
56°	94%	94%	90%	94%	91%	91%	71%	76%
39°	75%	75%	77%	77%	73%	73%	62%	62%
30°	47%	50%	45%	45%	27%	32%	19%	29%

Texturing유리의 제조 방법과 태양전지모듈과 광원의 경사각에 따른 출력 감소율을 측정된 결과가 표 2에 나타나있다. 먼저 Texturing유리의 제조 방향에 따른 출력 차이를 확인해 보면 A사의 단결정 태양전지모듈의 경우 경사각 75°, 56°, 39°에서의 출력 변화는 같고 경사각 30°에서 A(b)구조의 출력 감소가 A(a)구조보다 3%의 출력감소가 크게 나타남을 알 수 있었다. A사의 다결정태양전지에서는 단결정 태양전지의 경우와 유사하게 A(b)의 구조가 경사각 75°, 56°에서 A(a)의 구조에 대비하여 각각 3%, 4%의 출력 변화 감소율이 높음을 확인하였다. B사의 태양전지모듈의 경우 경사각 30°에서 B(a)구조의 모듈이 B(b)에 비하여 5%의 출력감소율이 낮게 나타났으며 30°에서는 출력 감소율이 동일하였다. C사의 태양전지의 경우 56°와 30°에서 C(a)의 구조가 C(b)의 구조보다 각각 5%와 10%의 출력 감소가 낮게 나타났다. 이를 통하여 동일 태양전지를 사용한 모듈의 경우 Texturing유리의 제조 방향에 따라 경사각 30°에서 최대 10%의 출력값의 차이가 나타나며 같은 구조의 태양전지모듈의 경우 태양전지 종류에 따라서 경사각 30°에서 최대 28%의 출력 차이가 있음을 관찰할 수 있었다. 이는 경사각과 입사되는 방사조도에 따른 태양전지모듈의 광학적 특성과 분광 응답특성의 차이로 기인하는 것으로 예상된다.<sup>3)</sup>

태양전지모듈을 구성하는 태양전지의 직렬연결 수가 많을 경우 단일 태양전지모듈과 비교했을 때 최대 출력감소율의 변화정도의 차이를 확인하기 위하여 B사의 태양전지 28개를 직렬로 연결하여 그림 1의 (a)의 구조로 64W급 태양전지모듈을 제작하였다. B사의 64W급 태양전지의 경우 경사각 75°에서 출력 변화율이 95%로 같은 종류의 단일 태양전지모듈과 같았으며 경사각 56°와 39°에서는 단일모듈에 비하여 약 14%정도 크게 나타났다 (그림 5 참조). 그리고 30°에서는 같은 감소율을 보였다. 위와 같이 낮은 경사각 56°와 39°에서 출력 감소율이 다르게 나타나는 것은 참고문헌의 결

과에서와 같이 태양전지모듈을 구성하는 태양전지의 Shunt 저항값의 차이에 따른 것으로 입사 광원의 감소에 따른 출력 변화율의 변화로 예상된다.<sup>4)</sup>

이 그림 1의 (a)구조로 제작되었을 때 방사조도와 입사광의 경사에 따른 출력 감소율을 최대한 줄일 수 있는 것으로 확인되었다.

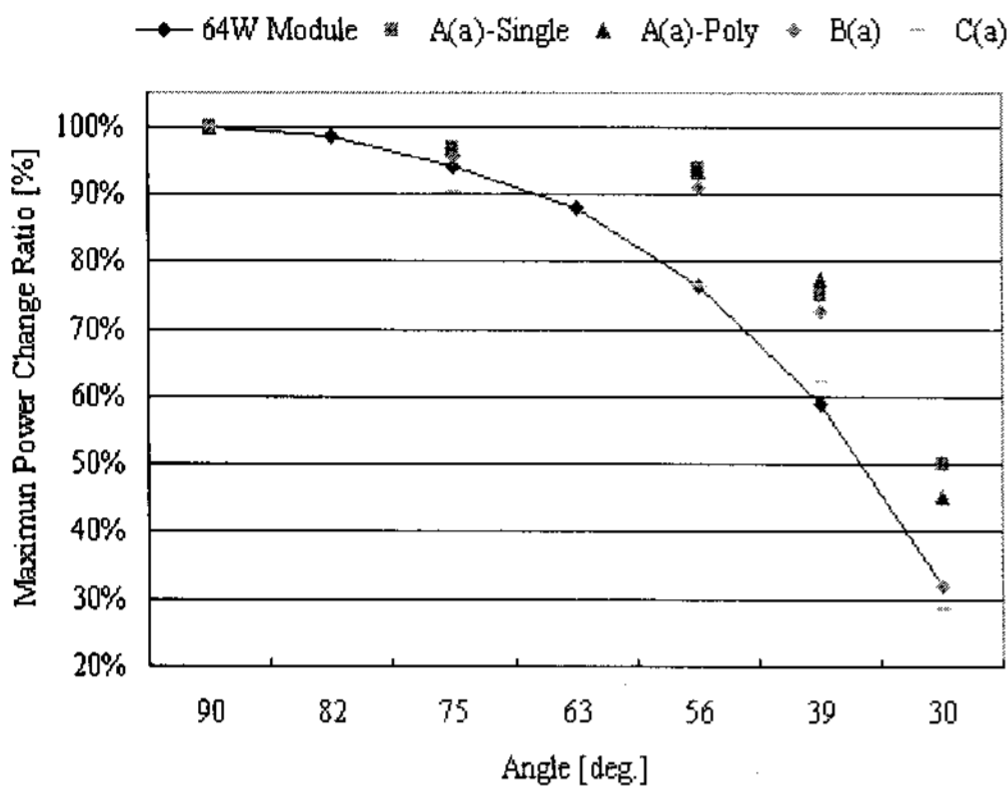


그림 5. 경사각별 출력 변화율 비교

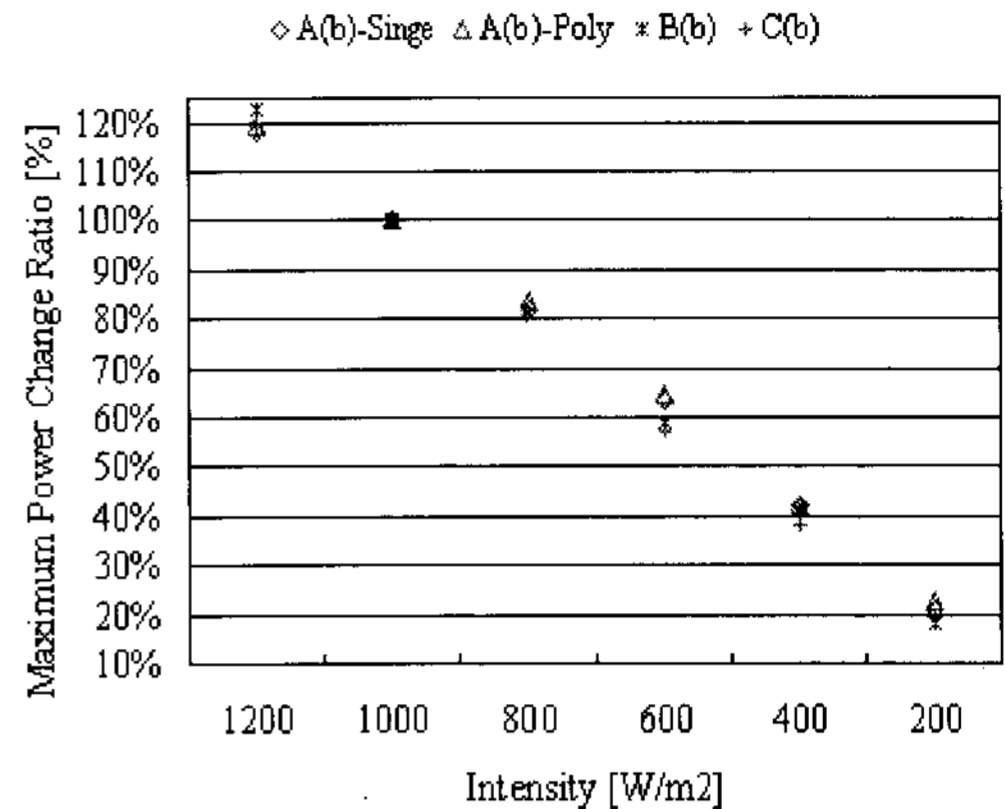


그림 6. 방사조도에 따른 출력 변화율 (표면 처리된 유리가 전면으로 제작된 모듈)

태양전지모듈의 경사를 90°로 일정하게 유지하고 입사되는 방사조도를 200W/m<sup>2</sup>에서 1200W/m<sup>2</sup>까지 변화시켜 광원의 출력에 따른 최대 출력 변화율을 측정하였다. 그림 6은 태양전지모듈의 Texturing된 유리가 그림 1의 (b)의 구조로 그림 7은 그림 1의 (a)의 구조 제작된 경우이다. 이때 최대 출력 변화율은 1000W/m<sup>2</sup>에서 측정된 최대 출력값을 기준으로 하여 나타내었다. 두 경우 모두 최대 출력 변화율이 방사조도가 200W/m<sup>2</sup>씩 증가 또는 감소에 따라 평균 20%로 비례하여 나타났다. 그림 6에서 입사광의 800W/m<sup>2</sup>에서 태양전지 종류에 따른 출력 변화율 차이가 2.9%로 가장 낮게 나타났으며, 600W/m<sup>2</sup>에서 최대 7.4%의 출력 변화율의 차이가 있음을 확인할 수 있었다. 그림 7에서는 입사광 1200W/m<sup>2</sup>에서 최소 1.8%, 600W/m<sup>2</sup>에서 최대 5.4%의 태양전지 종류에 따른 최대 출력 변화율의 차이가 있음을 알 수 있었다. 두 경우 모두 방사조도 600W/m<sup>2</sup>에서 Texturing된 유리 방향과 태양전지 종류에 따른 출력 차이가 가장 큼을 알 수 있었는데 이에 대하여 추후 추가적인 분석을 실시할 예정이다.(표 3 참조) 태양전지모듈

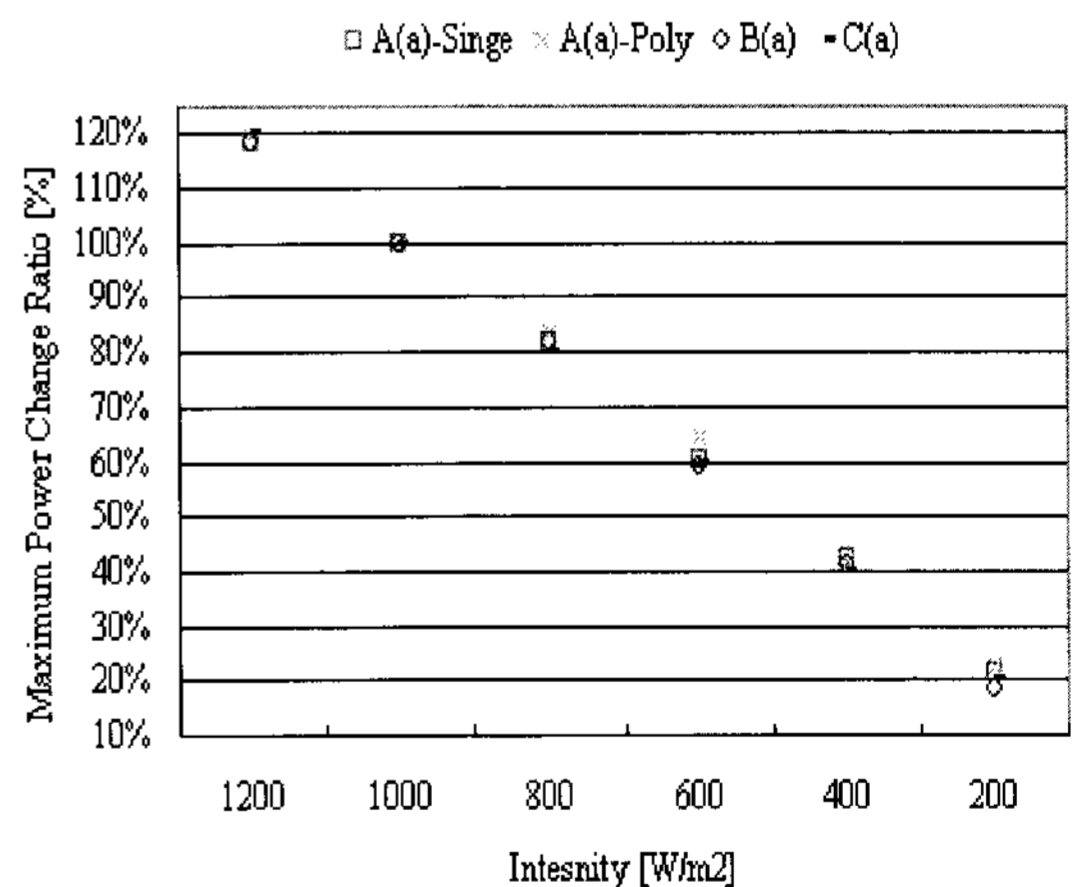


그림 7. 방사조도에 따른 출력 변화율 (표면 처리된 유리가 후면으로 제작된 모듈)

표 3. 방사조도와 유리 제조 방향에 따른 최대 출력 변화율 비교

Intensity [W/m <sup>2</sup> ]	Pmax(b)	Pmax(a)	Pmax(b) - Pmax(a)
1200	4.5%	1.8%	2.7%
1000	0.0%	0.0%	0.0%
800	2.9%	3.9%	-1.0%
600	7.4%	5.4%	1.9%
400	4.3%	2.4%	1.9%
200	4.4%	4.4%	0.0%

### 3. 결론

본 논문에서는 태양전지모듈의 구성 재료와 입사 광량의 차이에 따른 최대 출력특성 의존도에 대한 분석을 하였다. 구성 재료에 따른 출력 특성을 분석하기 위하여 3개 회사의 4가지 종류의 태양전지와 표면이 Texturing된 유리를 사용하여 태양전지모듈을 제작하였으며 이때 유리의 Texturing된 면을 외부와 태양전지가 놓인 방향인 내부의 경우로 나누어 제작하였다. 이를 통하여 모듈의 구조에 따라 입사되는 빛의 투과율이 가시광선 영역에 걸쳐서 약 1%의 차이가 있음을 확인하였다. Texturing된 유리 방향에 따라 입사되는 태양빛의 투과정도가 다름으로부터 태양빛이 유리 표면에서의 산란 메커니즘도의 차이가 있음을 예상하여 태양전지 모듈을 경사각 90°, 75°, 56°, 39°, 및 30°으로 기울여 경사에 따른 최대 출력의 변화율을 측정하였다. 이를 통하여 동일 태양전지를 사용한 모듈의 경우 Texturing유리의 제조 방향에 따라 경사각 30°에서 최대 10%의 출력값의 차이가 나타나며 같은 구조의 태양전지모듈의 경우 태양전지 종류에 따라서 경사각 30°에서 최대 28%의 출력 차이가 있음을 관찰할 수 있었다.

위의 결과들로부터, 태양전지모듈의 성능개선을 위해 라미네이션(Lamination)공정시 Texturing된 유리면을 태양전지가 놓인 방향으로 접합시키며 특히, 고정형 태양광시스템에 적용할 경우 태양전지 종류마다 경사각 변화에 따른 출력특성이 다를 수 있어 제품 선택 시 이에 대한 적절한 고려가 되어야 할 것으로 사료된다.

추후 태양전지모듈을 실제 제작 설치하여 장기간에 걸친 성능을 비교분석할 예정이다.

### 참 고 문 헌

1. PHOTON International Magazine, March, 2006
2. PHOTON International Magazine, October, 2006
3. P. Grunow, S. Lust, D. Sauter, V. Hoffmann, C. Beneking, B. Litzenburger, and L. Podlowski, "Weak light performance and annual yields of PV modules and systems as a result of the basic parameter set of industrial solar cel", 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference, 2004
4. Antonio Parretta, Angelo Sarno, Pierpasquale Tortora, Haruna Yakubu, Pasqualino Maddalena, Jianhua Zhao, and Aihua Wang, "Angle-dependent reflectance measurements on photovoltaic materials and solar cells", Optics Communications 117, 1999
5. R.P.Kenny, G.Friesen, D.Chianese, A Bernasconi, and E.D. Dunlop, "Energy rating of PV modules Comparison of Methods and approach", Proceedings of the 3rd PV World Conference, Osaka, 2003