

태양전지 모듈의 구성 요소가 PID 발생에 미치는 영향

김한별^{1,2}, 정태희², 강기환^{2,a}, 장호식^{1,a}

¹ 충남대학교 녹색에너지기술전문대학원

² 한국에너지기술연구원 태양에너지연구단

The Effect of PID Generation by Components of the PV Module

Han-Byul Kim^{1,2}, Tae-Hee Jung², Gi-Hwan Kang^{2,a}, and Hyo Sik Chang^{1,a}

¹ Graduate School of Green Energy Technology, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

² Korea Institute of Energy Research, Solar Energy Research Center, Daejeon 305-343, Korea

(Received September 3, 2013; Revised September 23, 2013; Accepted September 23, 2013)

Abstract: PID (potential induced degradation) of PV module is the degradation of module due to the high potential difference between the front surface of solar cells and ground when PV modules operate under high humidity and temperature conditions. PID is generally derived from the positive sodium ions in front glass that are accumulated on P-type solar cells. Therefore, some papers for the electrical characteristic of only front components as glass, EVA sheet, solar cell under PID generation condition were revealed. In this paper, we analyzed the different outputs of module with PID by considering the all parts of module including the back side elements such as glass, back sheet. Mini modules with one solar cell were fabricated with the various parts on front and back sided of module. To generate PID of module in a short time, the all modules were applied -1,000 V in 85°C, 85% RH. The outputs, dark IV curves and EL images of all modules before and after experiments were also measured to confirm the main components of module for PID generation. From the measured results, the outputs of all modules with front glass were remarkably reduced and the performances of modules with back and front glass were greatly deteriorated. We suggest that the obtained data could be used to reduce the PID phenomenon of diverse modules such as conventional module and BIPV (building integrated photovoltaic) module.

Keywords: PID, PV module, BIPV, Humidity, Temperature, Potential

1. 서론

태양전지 모듈은 실외에 설치되어 장기간 발전할 수 있도록 glass / EVA sheet / solar cells / EVA

/back sheet의 형태로 구성되어 충분한 내구성을 갖도록 만들어 진다 [1,2]. 하지만 이러한 태양전지 모듈도 설치 환경에 따라서 장·단기적인 발전 출력뿐만 아니라 모듈 자체의 신뢰성에도 큰 영향을 미치게 된다 [3].

최근에는 대규모 태양광 발전소의 높은 시스템 전압으로 인한 태양전지 모듈과 대지와의 전위차가 태양전지 모듈의 열화 (degradation)을 가속시킴으로써 출력이 감소하는 PID (potential induced degradation)

a. Corresponding author: hschang@cnu.ac.kr, ghkang@kier.re.kr

Copyright ©2013 KIEEME. All rights reserved.

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있다 [4-6].

PID가 발생한 태양전지는 병렬저항이 감소하여 누설전류가 증가함으로써 전체 시스템의 출력 감소로 이어진다고 알려져 있다 [7]. PID의 발생은 웨이퍼의 저항, 에미터 면저항, ARC (anti reflection coating)와 같은 태양전지의 사양에 의한 영향을 많이 받게 된다.

특히 ARC의 경우에는 이중, 삼중 구조의 ARC막에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며, SiNx를 ARC 막으로 사용하는 경우에는 굴절률을 증가시켜 PID 발생을 줄일 수 있다는 연구 결과도 있다 [8]. PID는 높은 전위차와 함께 온도와 습도가 높은 환경일수록 더욱 쉽게 발생하는 것으로 알려져 있다. 태양전지 모듈과 대지와의 높은 전위 차이로 인하여 태양전지와 태양전지 모듈 프레임 사이에 누설 전류가 발생하며, 이에 따라 태양전지 표면에 전하가 축적됨으로써 PID가 발생한다는 연구 결과가 보고되고 있다 [9,10].

특히, 태양전지 모듈의 전면 재료로 사용되는 glass에 포함되어 있는 sodium 양이온이 고전압에 의해 태양전지 표면으로 이동하여 쌓이게 되고, sodium 양이온은 태양전지 표면에 생성된 전자가 전극으로 수집되는 것을 방해하게 되어 발전 출력을 감소시킨다고 발표되었다 [11]. 이때 glass와 EVA (ethylene vinyl acetate)의 경계부분에 가장 낮은 저항을 가지게 됨으로써 대부분의 누설전류가 이 부분을 통하여 흐른다고 알려져 있다 [12]. 따라서 현재까지 PID에 대한 주요 연구는 glass와 EVA에 관한 연구가 활발하게 이루어지고 있다 [13].

최근에는 경량화 모듈이나 사막 환경에 특화된 태양전지 모듈, 또는 건물 일체형 태양전지 모듈과 같이 사용 환경과 목적에 따라 다양한 제품이 제작되어지고 있다. 하지만 이렇게 제작된 태양전지 모듈을 구성하고 있는 재료들과 구조가 PID에 어떠한 영향이 있는지에 대한 연구가 부족하다.

특히, back sheet 대신 후면재료를 glass로 사용하는 G-to-G 타입의 BIPV와 같은 태양전지 모듈에서의 PID에 대한 연구가 충분히 이루어지고 있지 않다.

본 논문에서는 glass와 back sheet와 같은 태양전지 모듈의 구성 요소가 PID에 어떤 영향을 미치는지를 분석하기 위해서 연구를 진행하였다. 그리고 G-to-G 타입의 BIPV 모듈의 구조를 고려하여 후면이 glass로 이루어진 모듈의 출력 결과와 비교함으로써 glass의 위치에 따른 PID에 의한 모듈 열화를 분석하였다.

2. 실험 방법

2.1 시료 제작

본 연구에서는 표 1에서와 같이 서로 다른 6종류의 구조로 이루어진 태양전지 모듈 (185 mm × 185 mm)을 제작하여 실험하였다. 모듈 A~C는 glass와 back sheet가 PID에 미치는 것을 분석하기 위하여 전·후면의 glass 및 back sheet의 유무에 따라 모듈을 제작하였으며, 모듈 D~F는 전·후면의 glass가 PID에 의한 모듈의 출력 감소에 미치는 영향을 확인하기 위하여 제작하였다.

Table 1. Structure of six mini modules for PID test.

Sample	Structure
Module A	Glass/EVA/cell/EVA/back sheet
Module B	EVA/cell/EVA/back sheet
Module C	EVA/cell/EVA
Module D	Glass/EVA/cell/EVA
Module E	EVA/cell/EVA/glass
Module F	Glass/EVA/cell/EVA/glass

모듈 제작에는 T사에서 P 타입의 웨이퍼로 제작된 16%의 발전 효율을 갖는 6인치 크기의 다결정 실리콘 태양전지를 사용하였으며, SiNx가 반사 방지막으로 적용되었다. Sn/Pb/Ag가 62/36/2의 조성인 solder가 적용된 태양광 모듈용 리본을 사용하여 soft touch 방식의 tabbing machine을 이용하여 리본을 태양전지와 전기적으로 연결하였다. 이 태양전지는 vinyl acetate 함량은 28%이고, 0.5 μm 두께를 갖는 J사의 EVA를 사용하여 lamination하였다. 또한, 모듈 제작에 사용된 back sheet는 tedlar / polyester / tedlar 구조이며, 사용된 glass는 철분 함유량이 200 ppm 이하인 강화 유리이다. Junction box 및 알루미늄 프레임은 설치하지 않았다.

2.2 PID 발생 실험

미니 모듈은 솔라 시뮬레이터를 이용하여 출력 값을 측정하여 실험 전후의 출력 특성의 변화를 확인하였다. 태양전지의 파손과 실험 중에 발생할 수 있는 미니모듈의 손상을 확인하고 실험 전·후의 출력 변화에

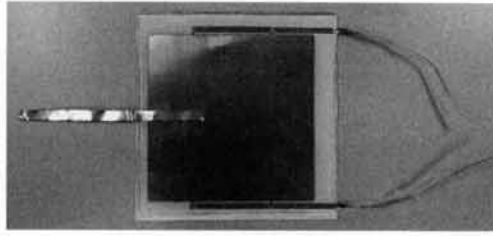


Fig. 1. The mini module and a copper electrode for applying voltage.

Table 2. Equipment specifications for PID test.

Equipment	Specifications
DC Power Supply	0~3,000 V
Thermal Humidity Chamber	0~100°C , 20~95% RH

영향을 주는 요인을 확인하기 위하여 EL (electro luminescence) image 측정하였다. 미니 모듈의 전류 전압 특성 및 직렬 저항과 병렬저항의 변화를 확인하기 위한 dark I-V 시험 또한 실험 전 후에 수행하였다.

태양전지 모듈의 표면의 전도도를 높여줌으로써 비교적 짧은 시간에 PID에 의한 모듈 출력 변화를 명확하게 볼 수 있었다. 미니 모듈의 전면에는 그림 1과 같이 구리판 설치하여 표면의 전도성을 확보하고 전압을 인가할 수 있는 전극으로 사용하였다. 구리판은 태양전지 모듈의 표면에 최대한 밀착하여 설치한 후 절연 테이프를 이용하여 고정하였으며 모든 시료에 동일하게 적용하였다.

미니 모듈에는 P타입 웨이퍼를 사용한 태양전지가 사용되었으며, 이 태양전지는 대기보다 낮은 전위를 갖게 됨으로써 PID가 발생한다. 따라서 이와 같은 조건을 구현하기 위해 전면의 구리 전극에는 power supply의 양전위 인가하고 미니모듈은 음전위를 인가하였다.

본 실험에는 표 2에서와 같이 일정한 온도와 습도를 유지해줄 수 있도록 한백과학에서 제작된 온습도 챔버 (HB-105SG-O)와 시료에 고전압을 인가해 줄 수 있는 Magna-Power사의 DC power supply (TSD 2000-15)가 사용되었다. 실험은 85°C의 온도와 상대 습도 85%의 챔버 조건에서 1,000 V의 전압을 3시간 동안 인가하여 이루어졌다. 실험 이후 모듈의 발전 출력, EL image, Dark I-V를 다시 측정하여 초기 결

과와 비교함으로써 모듈 구성 요소가 위치에 따른 모듈의 PID에 의한 열화 정도를 확인했다.

3. 결과 및 고찰

3.1 전면 유리에 의한 PID 발생 효과

그림 2는 PID 실험 전과 후에 솔라 시뮬레이터를 이용하여 측정한 각 모듈의 출력 변화를 나타내고 있다. 총 6개의 모듈 중에서 A, D, F는 모두 전면에 glass가 적용된 모듈이며, 이 모듈에서 출력 감소를 확인할 수 있었다. 그 중 F 모듈은 약 81%의 출력이 감소하여 PID가 가장 심하게 발생하였으며, 그 다음으로 A 모듈이 16%, D 모듈이 11%의 출력이 감소하였다.

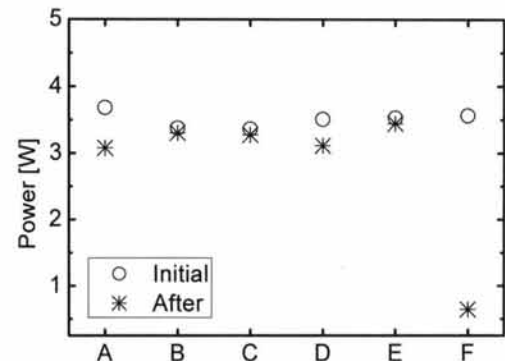


Fig. 2. Electrical power of 6 mini modules in 85°C/85% RH, -1,000 V applied to the solar cell for 3 h.

반면, 전면에 glass를 사용하지 않은 모듈 B, C, E는 모두 약 2% 정도의 출력 변화가 확인되었으며, 이 결과는 측정오차 범위 이내에 포함되는 것으로 PID가 발생하지 않은 것으로 보인다. 전면에 glass를 사용한 모든 모듈에서 출력 감소가 나타나는 이유는 고전압에 의해 glass에 포함된 sodium 양이온이 태양전지 표면으로 이동하여 쌓이게 되고, 태양전지 표면에 쌓인 sodium 양이온이 전자 수집을 방해하기 때문으로 판단된다 [10]. 또한 후면에 glass를 적용한 F 모듈의 출력 감소가 가장 많았고, back sheet를 후면에 적용한 D 모듈의 출력이 두 번째로 많이 감소하는 것으로 보아 glass와 back sheet가 모듈 후면에 적용되었을 경우 PID 발생에 영향을 줄 수 있음을 예상할

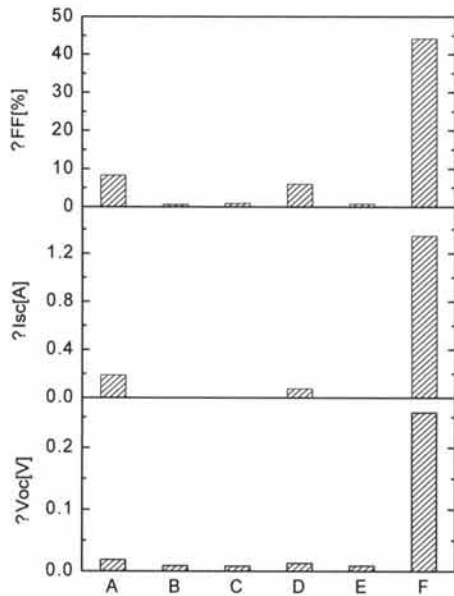


Fig. 3. Electrical characteristics of 6 mini modules in 85% RH, -1,000 V applied to the solar cell for 3 h.

수 있다. PID 실험 전·후 모듈의 F.F. (fill factor) 단락 전류, 개방 전압의 변화는 그림 3에서 확인할 수 있다. F.F.와 단락전류는 모듈의 출력 변화와 비슷한 경향이 나타난다. 특히 F 모듈의 경우 F.F. 변화가 44%로 가장 크게 감소하였지만, A 모듈과 D 모듈은 각각 8%와 6%로서 비교적 적게 감소한 것을 알 수 있다.

F.F.의 변화는 태양전지의 저항성분의 변화를 의미하며 PID 실험으로 인해 모듈의 저항이 증가하였음을 알 수 있다. 또한 모듈의 단락전류 감소는 F, A, D 모듈이 각각 1.3 A, 0.19 A, 0.07 A로서 출력 감소와 동일한 경향을 나타내었다. 개방전압의 경우 출력 감소가 가장 큰 F 모듈이 0.25 V 정도 감소하였지만, A~D 모듈은 약 0.01 V 이내의 미미한 변화가 발생하는 것을 볼 수 있다. 이는 PID가 발생 초기에는 광생성 전자의 재결합을 증가시켜 주로 단락전류의 감소로 나타나지만, PID가 심하게 발생할 경우에는 태양전지의 공핍층 부근까지 영향을 받아 단락 전류뿐만 아니라 개방전압 또한 감소하게 되는 것을 본 실험으로써 확인할 수 있다 [11].

그림 4는 F.F.가 크게 감소한 A, D, F 모듈을 솔라 시뮬레이터로 측정된 I-V curve 결과를 나타내고 있다.

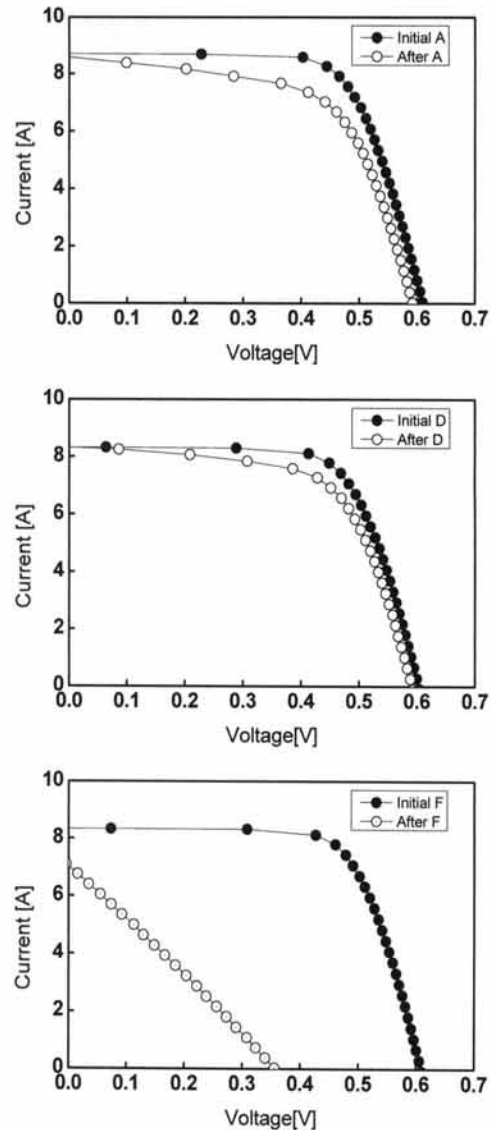


Fig. 4. Light current-voltage curve of 3 mini modules (A, D, F) by PID test.

그림에서 보는 바와 같이, 출력 감소가 나타난 모듈에서의 직·병렬 저항의 성분 변화가 나타나는 것을 확인할 수 있으며, 출력 감소가 비교적 작게 나타난 A와 D 모듈보다 출력 감소가 큰 F 모듈에서 직·병렬저항 성분의 변화가 많이 발생한 것을 알 수 있다. 이는 PID 발생 시 초기에는 병렬저항 성분 감소에 의한 F.F.의 저하로 발전 출력이 낮아지며, PID가 심하게 발생한 경우에는 병렬 저항 성분의 감소와 더불어 직렬저항까지 증가하여 F.F. 특성이 더욱 나빠져 모듈 발전 출력이 현저하게 감소하는 것으로 판단된다 [11].

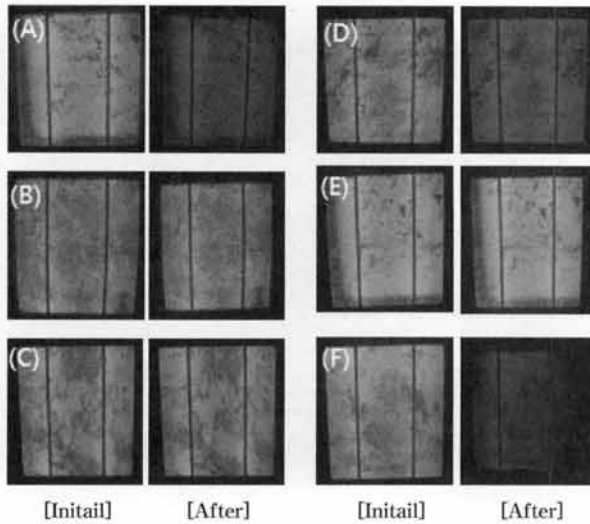


Fig. 5. Electro luminescence image of 6 mini modules before (left) and after (right) PID test.

그림 5는 실험 전·후 미니 모듈의 EL 이미지 측정 결과를 보여준다. A, D, F의 모듈 경우 실험 이후 전체적인 색이 더욱 어두워지는 것을 볼 수 있다. 이 모듈들은 발전 성능이 현저하게 저하되는 것으로 추정할 수 있으며, 태양전지의 크랙과 같은 결함이 나타나지 않는 것으로 보아 태양전지 파손에 의한 출력 손실은 없는 것으로 판단된다 [14]. 특히 F모듈의 경우 가장 짙은 색으로 변화됨으로써 열화가 가장 많이 진행된 것을 확인할 수 있다. 반면, 나머지 모듈은 실험 전·후의 색의 변화가 거의 없는 것으로 보아 모듈의 발전 성능의 차는 없는 것을 알 수 있다. 이는 그림 2에서의 모듈의 출력 감소와 유사한 경향을 나타낸다.

3.2 후면재료에 의한 PID 발생 효과

앞선 실험 결과를 통해 전면이 glass이며, 후면재료가 glass와 back sheet인 경우에도 미니 모듈의 출력 감소의 차가 다른 것으로 보아 후면재료에 의한 영향도 있는 것으로 예상할 수 있다. 후면재료로 사용된 glass와 back sheet에 의한 출력 감소의 영향을 자세히 확인하기 위해 모듈 A, D, F와 같은 구조의 미니 모듈을 각각 4장씩 제작하여 반복적으로 동일한 PID 발생 실험을 진행하였다.

그림 6은 후면재료가 back sheet, glass, EVA를 각각 이용하여 제작된 미니 모듈의 출력 감소율의 분

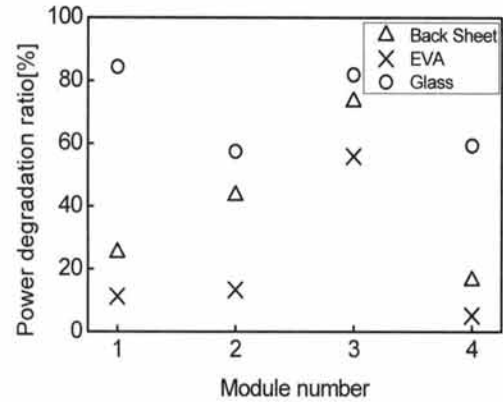


Fig. 6. Power degradation ratio of mini module biased at -1,000 V after 3 hours.

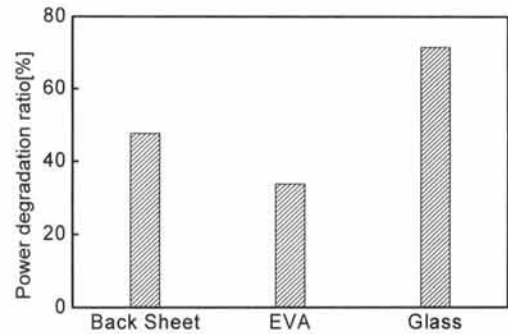


Fig. 7. Degradation ratio of average power of mini modules fabricated with various back materials after PID test.

포를 나타내고 있다. 그림에서 보는 바와 같이, 출력 감소의 분포는 후면재료에 따라 차이를 나타내고 있으며 glass를 후면에 사용한 모듈의 출력 감소율이 84~57%의 분포를 보여 가장 큰 출력 감소율을 나타냈고 후면에 아무런 재료를 사용하지 않은 모듈이 73~16%으로 가장 작은 출력감소 분포를 나타냈다. 또한 back sheet를 후면에 사용한 모듈은 55~5%의 출력 감소율의 분포를 보였다.

그림 7에서는 그림 6의 결과를 바탕으로 출력감소율의 평균값을 나타냈다. Glass를 후면재료로 사용한 모듈에서는 초기 측정값에 비해 평균 71%의 출력 감소율을 보이며, back sheet를 사용한 모듈의 출력 감소 평균인 47%로서 glass가 후면에 있을 때에는 약 1.5배 이상의 출력이 감소하는 것을 확인하였다. 이 결과를 통해 전면의 glass뿐만 아니라 후면의 재료도

PID를 가속시키는 중요한 요소임을 알 수 있다. 후면 재료가 PID 발생에 영향을 주게 되는 원인에 대해서는 아직까지 밝혀진 바가 없으며 이에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

4. 결론

본 논문은 결정질 실리콘 태양전지 모듈의 구성요소 중 전면에 사용되는 glass와 후면재료로 사용되는 back sheet와 glass가 PID의 발생에 미치는 영향에 대한 연구를 수행하였다. 모듈의 전면에 glass를 사용한 모든 미니 모듈에서 PID가 발생하는 것을 확인하였으며 그렇지 않은 미니 모듈에서는 초기의 발전출력을 유지하는 것을 확인하였다. 이를 통해, PID 발생에 태양전지 모듈의 전면에 사용된 glass가 가장 큰 역할을 하는 것을 알 수 있었다.

추가로 진행된 태양전지 모듈의 후면재료와 PID의 발생에 관한 실험에서는 후면재료로써 사용된 glass와 back sheet가 PID 발생에 미치는 영향을 확인하였다. Glass와 back sheet는 PID 발생에 직접적인 영향을 주지는 않았지만 PID가 발생하는 환경일 경우에는 모듈의 출력 감소를 가속화시키는 것을 알 수 있었다. 후면재료는 glass를 사용한 모듈이 back sheet를 사용한 모듈에 비해 모듈의 출력 감소가 크게 나타났다. 이는 일반적으로 제작되어지는 back sheet 타입의 태양전지 모듈보다 후면에 glass를 사용하는 G-to-G 타입의 태양전지 모듈에서 PID에 의한 모듈 출력이 가장 감소하는 것을 알 수 있다. G-to-G 타입은 주로 BIPV용으로 많이 제작되어지고 있으며 일반적인 태양 전지 모듈에 비해 BIPV에서 PID의 발생이 쉽게 나타날 것을 본 연구 결과를 통해 예상할 수 있다. Glass와 back sheet는 태양전지 모듈을 구성하는 가장 중요한 요소이며 현실적으로 다른 재료로의 대체가 어려울 만큼 훌륭한 재료이다. 각 재료들과 PID 발생에 관한 추가적인 연구가 진행되어 PID 발생에 의한 손실을 최소화해야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 2011년도 지식경제부 재원으로 한국에너지 기술평가원 (KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다 (No. 20113010010010-11-1-000).

REFERENCES

- [1] G. H. Kang, G. J. Yu, H. G. Ahn, and D. Y. Han, *J. KIEEME*, 17, 1289 (2004).
- [2] G. H. Kang, G. J. Yu, H. G. Ahn, and D. Y. Han, *Proc. 2004 Summer Conf. KIEEME*, 5, 28 (2004).
- [3] G. H. Kang, K. S. Kim, J. H. Park, G. J. Yu, H. G. Ahn, and D. Y. Han, *Proc. 2007 Summer Conf. KIEEME*, 12 (2007).
- [4] S. Hoffman and M. Koehl, *Proc. Photovolt: Res. Appl.*, Doi: 10.1002/pip.2238 (2012).
- [5] P. Samanta, H. Huang, S. Chen, and T. Tzeng, *Appl. Phys. Lett.*, 100, 203503 (2012).
- [6] Kempe, *M. Photovoltaics International*, 170 (2010).
- [7] S. Pingel, O. Frank, M. Winkler, S. Daryan, T. Geipel, H. Hoehne, and J. Berghold, *IEEE Photovoltaic Specialists Conference*, 3753 (2010).
- [8] S. Koch, D. Nieschalk, J. Berghold, S. Wendlandt, S. Krauter, and P. Grunow, *27th European Photovoltaic Solar Energy Conference* (2012)
- [9] J. A. del Cueto and T. J. Y. McMahon, *Proc. Photovolt: Res. Appl.*, 10, 15 (2002).
- [10] C. R. Osterwald, T. J. McMahon, and J. A. del Cueto, *Sol. Energ. Mat. Sol. C.*, 79, 21 (2003).
- [11] J. Bauer, V. Naumann, S. Großer, C. Hagendorf, M. Schütze, and O. Breitenstein, *Phys. Status Solidi RRL*, 6, 331 (2012).
- [12] V. V. Hadagali, *Thesis*, p. 22-23, B. S. Karnataka University, Florida (2000).
- [13] S. Koch, C. Seidel, P. Grunow, S. Krauter, and M. Schoppa, *26th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition*, 5 (2011).
- [14] M. Kontges, I. Kunze, S. Kajari-Schroder, X. Breitenmoser, and B. Bjorneklett, *Sol. Energ. Mat. Sol. C.*, 95, 1131 (2011).