

PV모듈의 음영 상태 및 바이패스 다이오드 단락 고장 특성 분석

The Characteristics of PV module under the Partial Shading Condition and with a Failure of Bypass Diode with Short

고석환* · 주영철* · 소정훈* · 황혜미* · 정영석* · 강기환*†

Ko Suk-Whan*, Ju Young-Chul*, So Jung-Hun*, Hwang Hye-Mi*,
Jung Young-Seok* and Kang Gi-Hwan*†

(Received 09 June 2016; accepted 11 August 2016)

Abstract : A bypass diode is connected in parallel to solar cells with opposite polarity. The advantage of using the bypass diode is circumvented a destructive efforts of hot-spot heating in the photovoltaic(PV) module. In addition, it is possible to reduce a energy loss under the partial shading on the PV module.

This paper presents a characteristic of photovoltaic module under partial shading condition and with defective bypass diode by using the experimental data. The results of field testing for each photovoltaic modules, when photovoltaic system which is connected power grid is operating, the inner junction-box temperature of shading photovoltaic module is high 5°C because of difference of flowing current through into bypass diode. And incase of not operating photovoltaic system, the inner junction-box temperature of module with defective bypass diode is greatly higher than partial shading PV module.

Key Words : 태양광발전(PV system), 바이패스다이오드(Bypass Diode), 음영(Shading), 고장(Diagnosis), 일사량(Insolation), 정션박스(Junction box)

*† 강기환 : 한국에너지기술연구원 태양광연구실
E-mail : ghkang@kier.re.kr, Tel : 042-860-3418

*고석환 : 한국에너지기술연구원 태양광연구실

*주영철 : 한국에너지기술연구원 태양광연구실

*소정훈 : 한국에너지기술연구원 태양광연구실

*황혜미 : 한국에너지기술연구원 태양광연구실

*정영석 : 한국에너지기술연구원 태양광연구실

*† Kang Gi-Hwan : Photovoltaic Laboratory, Korea Institute
of Energy Research(KIER)

E-mail : ghkang@kier.re.kr, Tel : 042-860-3418

*Ko Suk-Whan : Photovoltaic Laboratory, KIER

*Ju Young-Chul : Photovoltaic Laboratory, KIER

*So Jung-Hun : Photovoltaic Laboratory, KIER

*Hwang Hye-Mi : Photovoltaic Laboratory, KIER

*Jung Young-Seok : Photovoltaic Laboratory, KIER

1. 서 론

대단위 태양광발전 단지의 장기간 운영에 따른 시스템 성능 및 고장요인에 대한 연구결과가 발표되고 있다.¹⁾²⁾ 태양광시스템의 여러가지 고장요인 중 PV 모듈내부의 바이패스 다이오드 고장은 중대한 결함으로 보고되고 있다.³⁾⁴⁾ 일반적인 바이패스 다이오드 손상의 주요 원인은 다이오드 항복전압 이상의 서지전압과 정션박스 내부에 설치됨으로 인한 열배출 미비로 인한 파괴이다. 또한, 바이패스 다이오드의 손상은 정션 파괴에 의한 단락상태가 대부분이다. 바이패스 다이오드의 고장이 중대한 결함으로 보고되고 있는 이유는 시스템 손실에 악영향을 미치기 때문이다. 중대형 인버터를 채택한 태양광발전시스템에서 음영 및 바이패스다이오드 결함에 의한 손실은 어레이 출력 전압 미스매치 영향에 따른 인버터 최대전력 동작 점 추종(MPPT) 손실이다.⁵⁾⁶⁾ 일반적인 대형 인버터 시스템(Centralized PV Inverter System)의 경우 모듈의 직 병렬 수에 따라서 다르겠지만, 모듈 1장 손실의 약 10배 이상의 발전량 손실을 야기하기도 한다.⁷⁾ 바이패스 다이오드 고장진단 기술은 정기적인 유지보수 시 모듈의 정션박스 (Junction-Box)를 개폐하여 진단하는 방법과 모듈 내의 고장진단 센서를 부착하는 방법이 있다. 그러나 모듈의 음영, 오염, 적설 등의 상태와 바이패스 다이오드 손상에 대한 고장구분 기술이 명확하게 진단하는 기술은 현재까지 없는 상태이다. 일반적으로 결정질 태양전지모듈 제품 대부분의 경우에 있어서 바이패스 다이오드는 반드시 적용되고 있다.³⁾ 바이패스 다이오드의 주요 기능은 태양전지 셀의 손상이 발생하였을 경우 핫스팟 및 모듈 화재를 예방할 수 있다. 또한, 태양전지모듈의 일부분 음영, 적설, 오염이 발생할 경우, 나머지 부분에서 생산되는 전기에너지를 바이패스 시켜 에너지 손실을 저가할 수 있도록

한다.⁸⁾⁹⁾ 바이패스 다이오드는 일반적으로 모듈 내 셀에 병렬 및 역방향 극성으로 연결이 되는데, 최근 태양전지모듈제품(250W 기준)의 경우 60셀에 3개의 바이패스 다이오드가 연결된다. 즉 약 20개의 셀마다 병렬로 바이패스 다이오드가 연결되는 것이다. 72셀 이상의 모듈 경우에는 바이패스 다이오드 4개가 설치된 제품도 있다. 본 논문에서는 부분 음영 발생했을 때 바이패스 다이오드 발열 특성과 바이패스다이오드가 결함이 발생되었을 때의 PV 모듈 발열 특성을 비교분석하였고, 이러한 바이패스 다이오드의 열 특성을 이용한 고장 진단 방법을 제안하고자 한다.

2. 본 론

2.1 부분 음영 및 손상된 바이패스 다이오드가 설치된 모듈의 전기회로 특성

Fig. 1은 부분음영 상태와 손상된 다이오드가 있는 태양전지 모듈의 전류 흐름도를 나타낸다. Fig. 1의 (a)와 같은 음영상태에서 흐르는 출력전류(I_o)는 바이패스 다이오드를 통하여 전류가 흐르게 되며 바이패스 다이오드 순방향 전류특성에 따라 열이 발생하게 된다.¹⁰⁾ 또한, 부분 음영이 발생한 셀에서는 음영이 발생하지 않은 셀보다 열화가 가속된다.

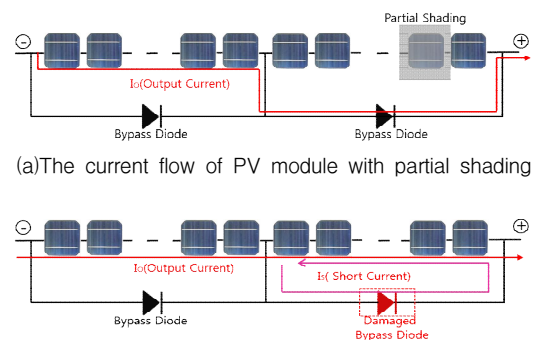


Fig. 1 The current flow of PV module according to each state

그러나 Fig. 1 (b)의 손상된 바이패스 다이오드를 갖는 PV 모듈에서 전류흐름은 시스템 출력전류 뿐만 아니라 모듈내부에 손상된 바이패스다이오드로 인한 단락회로를 통해 전류가 흐르게 된다. 따라서 시스템이 운전 중일 경우 손상된 바이패스 다이오드로 흐르는 전류는 식(1)과 같다.

$$I_d = I_s - I_{MPP} \quad (1)$$

여기서 I_d 는 바이패스 다이오드에 흐르는 전류, I_s 는 모듈의 단락 전류, I_{MPP} 는 인버터의 동작전류이다. 따라서 인버터가 연결되어 운전 중일 때 손상된 바이패스 다이오드로 흐르는 전류는 음영상태 시 흐르는 전류보다량이 적어 바이패스 다이오드에서 열이 덜 발생할 것이다. 일사량이 최대일 경우에는 다이오드에서 열이 많이 발생되므로 본 특성이 적용된다면 고일사량에서 음영과 바이패스 고장특성이 구분 될 것이다.

2.2 음영 및 손상된 바이패스 다이오드 모듈의 출력 특성 실험

(1) 손상된 바이패스 다이오드를 갖는 모듈의 전류 특성

손상된 바이패스 다이오드를 갖는 PV 모듈의 특성을 실험하기 위하여 인위적으로 정선 파괴된(단락상태) 바이패스 다이오드 1개를 PV 모듈 정선박스 내부에 연결하여 실험을 실시하였다. 측정에 사용된 PV 모듈은 바이패스 다이오드가 3개가 적용된 260 W 60셀로 구성된다.

Fig. 2은 60셀 태양전지모듈에서 손상된 바이패스 다이오드가 연결된 구성 도를 나타낸다. 본 실험 측정을 위한 태양광 발전 실증 B

ED는 3kW 계통연계 형 인버터에 연계되어 운전이 된다. 태양전지 모듈의 특성데이터는 Table 1과 같다.

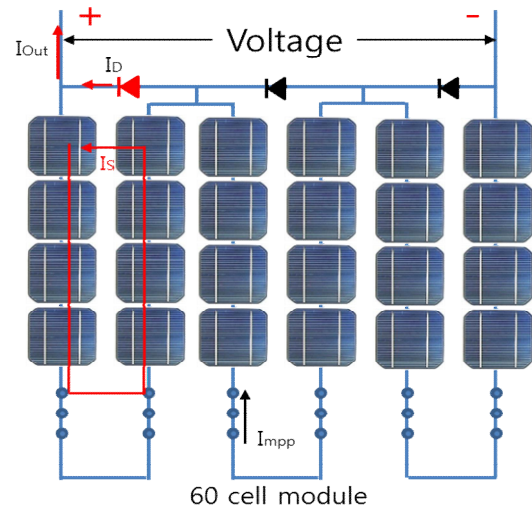


Fig. 2 The configuration of the PV module

Table 1. The static Characteristics of solar module at the STC condition

최대 전력 (P_{max})	260 W
MPP 전압 (V_{mp})	30.70 V
MPP 전류 (I_{mp})	8.62 A
단락 전류 (I_{sc})	9.16 A
개방 전압 (V_{oc})	38.0 V

태양광 시스템은 260 W 태양전지 모듈 10장이 직렬로 연결되어 있다. 10장의 직렬연결 모듈 중 1장의 바이패스 다이오드를 인위적으로 파괴시켜 실험을 실시하였다. 손상된 바이패스 다이오드에 흐르는 전류 및 인버터 연계되어 운전되는 출력전류를 측정하였다. 또한, 모듈 표면의 온도변화를 측정하기 위해 열화상 카메라를 이용하였다. 본 실험 시 일사량은 약 $900 \sim 910 \text{ W/m}^2$ 이었으며, 대기온도는 약 $15 \sim 20^\circ\text{C}$ 이었다.

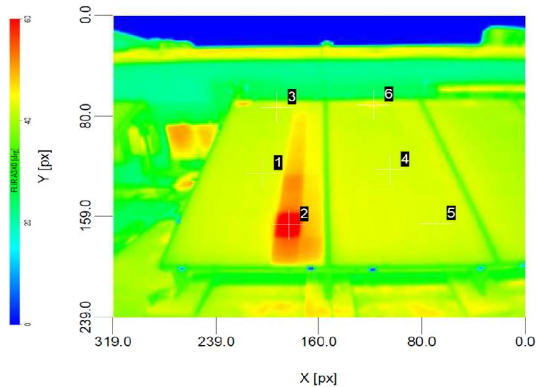


Fig. 3 The thermal image of a surface temperature in PV modules

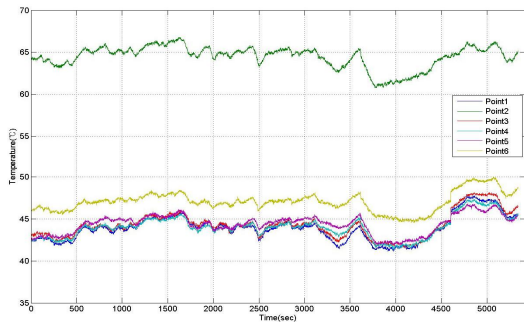


Fig. 4 The surface temperature at each point in PV modules as shown Fig. 3

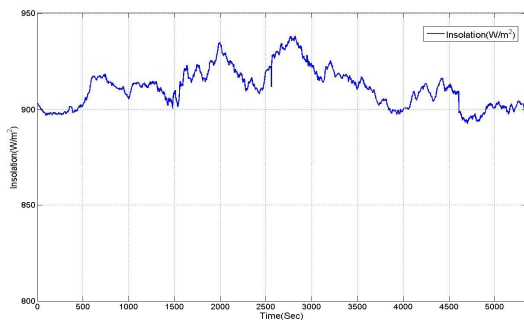


Fig. 5 The insolation during the measurement

Fig. 3은 손상된 바이패스 다이오드 1개를 갖는 PV 모듈과 정상 PV모듈의 표면 열화상 이미지를 나타낸다. 좌측 모듈이 손상된 바이패스 다이오드를 갖는 모듈이고 우측이 정상 모

듈이다. 측정 시간 동안 각 지점 온도특성은 Fig. 4와 같고, 일사량 변화는 Fig. 5와 같다. 열화상 이미지 ② 지점의 온도가 모듈 표면의 다른 지점보다 15 ~ 20 °C 이상 높은 것을 확인할 수가 있다. 이유는 바이패스 다이오드가 손상되어 모듈 내부 회로가 단락회로 상태가 되고 Fig. 2와 같이 단락전류가 생성이 되지만 인버터 출력전류를 제외한 만큼 모듈 내부 손상된 바이패스다이오드가 있는 스트링으로 흐르면서 다른 셀보다 열이 더 많이 발생하는 것이다.

Fig. 6은 손상된 바이패스 다이오드로 흐르는 전류와 계통 연계된 인버터에 입력되는 전류를 측정한 것이다. 출력전류는 약 7.5 A 흐르고 있었으며, 손상된 바이패스 다이오드로는 약 1 A 전류가 흐르는 것을 알 수 있다. 식 (1)에서와 같이 다이오드로 흐르는 전류는 단락전류에서 출력전류의 차이만큼 흐르는 것을 확인하였다. 이로 인하여 음영 상태보다 다이오드의 발열이 적게 발생하는 것을 확인할 수 있다.

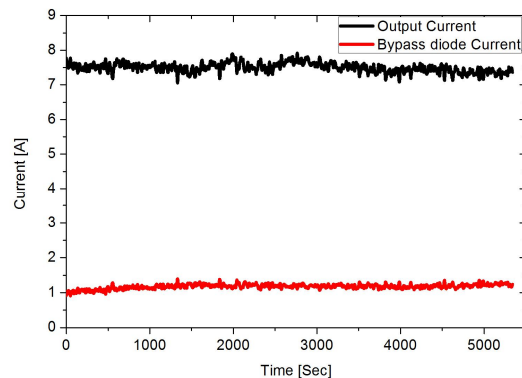


Fig. 6 The current in PV module

(2) 음영 및 손상된 바이패스 다이오드 모듈의 I-V 특성

Fig. 7은 STC 상태에서 솔라시뮬레이터를 이용하여 음영 조건 및 바이패스 다이오드의 고장 개수에 따른 태양전지 모듈의 I-V 특성

곡선을 나타낸다. 실험에 사용된 태양전지 모듈의 STC 조건에서 특성 데이터는 Table 1과 같으며, 파손된 다이오드를 1개, 2개, 모듈의 1/3 음영, 2/3 음영, 1/3 부분음영, 2/3 부분음영 각각의 상태에 대하여 정상상태와 비교실험을 실시하였다. 각 상태에 대한 실험 설정은 Fig. 8과 같다. 태양전지모듈의 33% 음영 상태의 모듈 특성 값과 1개의 바이패스 다이오드가 손상되었을 때의 모듈 특성 값에 차이가 발생하는 것을 Table 2에서 확인 할 수가 있었으며, 최대 출력은 약 4 W 차이가 발생되었으며, 개방전압은 약 0.4 V 차이가 발생되고 있다. 33% 음영 시에는 바이패스 다이오드의 턴 온(turn-on) 전압 차이가 발생되어 1개의 다이오드가 손상된 그래프보다 차이가 발생하는 것이다.

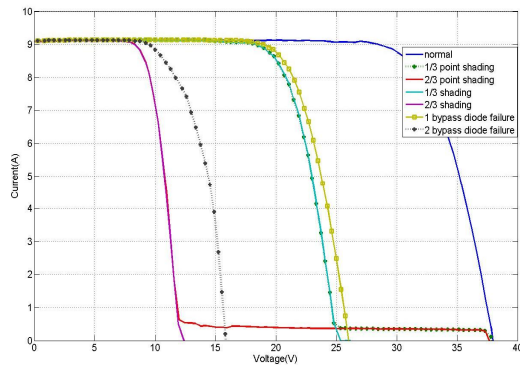


Fig. 7 The I-V curve characteristic in PV module with a shading and damaged bypass diode

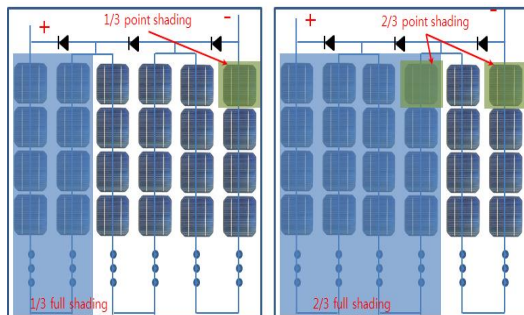


Fig. 8 The shading setting as each testing

Table 2. The I-V curve characteristic of PV module at STC, 30% shading, 60% shading, 1 damaged diode, 2 damaged diode

	S T C	33% shading	66% shading	1 damaged diode	2 damaged diode
P _{max} (W)	263.8	171.4	78.2	175.99	94.2
V _{oc} (V)	38	25.6	12.2	26	15.8
V _{mp} (V)	30.5	19.8	9.2	20.2	12.3
I _{sc} (A)	9.18	9.17	9.16	9.18	9.18
I _{mp} (A)	8.6	8.66	8.49	8.71	7.69

2.3 부분 음영 및 손상된 바이패스 다이오드가 설치된 모듈 특성 비교

Fig. 9는 인버터가 정상 동작하고 있는 상황에서 부분음영 상태의 모듈과 바이패스 다이오드 1개가 손상된 모듈의 표면 열화상 온도를 비교한 그림이다. 그림의 좌측 모듈 상단을 부분 음영상태로 하고 우측 모듈의 바이패스 다이오드 1개를 인위적으로 파손하여 비교 실험을 하였다. 또한, 정션박스 내부의 온도를 측정하였으며, PV 시스템이 동작하지 않는 상태와 동작하는 각 상태에서 온도 특성을 비교 분석하였다.

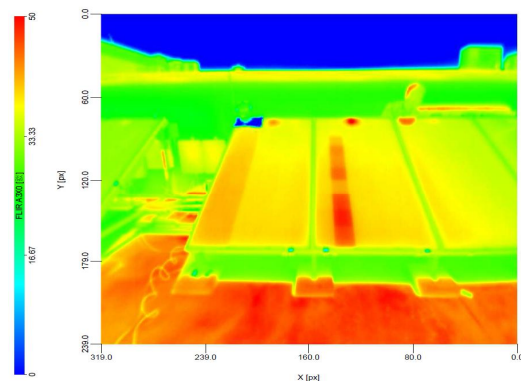


Fig. 9 The thermal image of PV modules during the inverter operates

Fig. 10은 인버터가 동작하지 않는 상태에서 일사량에 따른 정션박스 내부 온도의 변화를 나타내고 있다. 인버터가 동작하지 않고, 부분 음영 상태일 때 모듈 정션박스 내부 온도는 평균 38℃를 유지하고 있었으며, 바이패스 다이오드가 손상된 모듈의 정션박스 내부 온도는 일사량에 따라서 온도변화가 50 ~ 100℃까지 발생하는 것을 확인할 수가 있었다. Fig. 11은 인버터가 정상 동작하고 있는 상황에서 부분음영 모듈과 바이패스 다이오드 손상 모듈의 정션박스 내부 온도 비교를 나타내고 있다. 부분음영 상태의 모듈 정션박스 온도가 손상된 바이패스 다이오드가 있는 모듈 정션박스 온도보다 약 5℃ 이상 높게 측정이 된 것을 확인할 수가 있었으며, 이때 일사량은 700 ~ 740 W/m²인 상태였다.

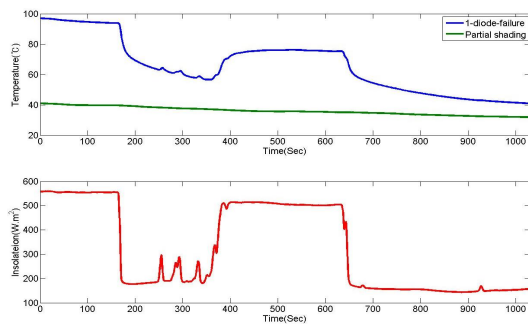


Fig. 10 The temperature in junction-box when the inverter not operated

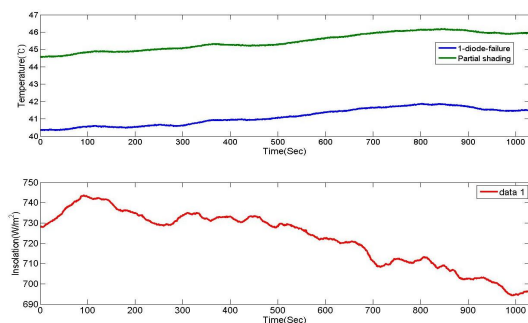


Fig. 11 The temperature in junction-box when the inverter operated

3. 결 론

태양전지 모듈의 음영상태와 바이패스 다이오드가 손상 되었을 때 모듈의 특성 데이터 변화를 도출하기 위하여 필드 실증과 및 PV 시뮬레이터를 이용한 특성 실험을 실시하였다. 또한 이를 통하여 음영, 오염, 적설과 같은 상태와 바이패스 다이오드가 손상되었을 경우 특성 데이터가 다르다는 것을 본 연구를 통하여 확인하였다. 이를 통하여 바이패스 다이오드의 고장 및 음영 상태 진단을 온도 특성을 이용하여 검출이 가능함을 알 수가 있었다.

- (1) 인버터가 동작하고 있을 때, 부분 음영 모듈에서는 바이패스 다이오드를 통해 전체 전류가 흐르게 되어 정션박스 내부 온도 및 다이오드 표면온도가 손상된 바이패스 다이오드가 있는 모듈보다 높아진다.
- (2) 인버터가 정지 상태 일 경우, 손상된 바이패스 다이오드가 있는 모듈의 내부 회로가 단락상태를 이루고 있으므로 단락전류가 흐르게 되어 일사량에 따라 다르지만 온도가 높게 상승이 된다.
- (3) 손상된 바이패스 다이오드가 있는 모듈은 인버터가 동작할 때 단락전류에서 출력전류를 뺀 량의 전류가 손상된 다이오드로 흐르게 된다.

후 기

본 연구는 2015년 산업통상자원부의 재원으로 한국 에너지기술평가원의 지원을 받아 수행한 결과입니다. (과제번호 : No.20153010011980, No.20143010011820)

Reference

1. Jung-Hun So, Yeong-Seok Jung, Byung-Gyu

- Yu, Gwon-Jong Yu, and Ju-Yeop Choi, The Loss Factor Analysis for PV System Optimization, Journal of the Korean Institute of Power Electronics, Vol.11, No.1, pp.22-29, 2006. 2
2. Kang Gi-Hwan, Go Seok-Hwan, Jung Young-Seok, The type of complaints and failure of photovoltaic system, Bulletin of the Korea Photovoltaic Society Vol. 1 No. 1, 2015. 06
3. Ji Yang-Geun, Kong Ji-Hyun, Kang Gi-Hwan, Yu Gwon-Jong, Ahn Hyung-gun, Han Deuk-Young, The Characteristic of the Performance of the Bypass Diode with Composition Change of the String in Si-PV Module, Journal of Korea Institute of Electronics Engineers, Vol.50, No.7, pp. 985-996, 2014
4. Chae Myoung-Suk, Suh Hun-Young, A Study on Bypass Characteristics for Photovoltaic Module, Journal of the Korean Institute of Power Electronics, pp.79-80, 2014. 11
5. So Jung-Hun, Lim Hyun-Mook, Hwang Hye-Mi, Jung Young-Seok, Ko Suk-Whan, Ju Young-Chul, Loss Calculation Method of Grid-Connected Photovoltaic System, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 33, No. 5, 2013
6. So Jung-Hun, Choi Ju-Yeop, Yu Gwon-Jong, Jung Young-Seok, Choi Jae-Ho, A Study on Performance Analysis of 3kW Grid-Connected PV Systems, Journal of the Korean Solar Energy Society Vol. 24, No. 2, 2004
7. Pearsall NM., Atanasiu B., Zdanowicz T., Progress on the Modernisation of the European PV System Monitoring Guidelines, European Photovoltaic Solar Energy Conference, pp.3208-3216, 2008
8. Lijun Gao, Roger A. Dougal, Shengyi Liu, Albena P. Iotova, Parallel-Connected Solar PV System to Address Partial and Rapidly Fluctuating Shadow Conditions, Journal of the Institute of Electrical and Electronics Engineers, Vol. 56, No. 5, 2009. 5
9. Kim Seung-Tae, Kang Gi-Hwan, Ahn Hyung-Keun, Han Deuk-Young, Yu Gwon-Jong, The Electrical Characteristics of Shading Effect in Photovoltaic Module, Journal of the Korean Solar Energy Society, pp.257-262, 2008.4
10. Shin Woo-Gyun, Jung Tae-Hee, Go Seok-Hwan, Ju Young-Chul, Chang Hyo-Sik, Kang Gi-Hwan, Analysis on thermal & electrical characteristics variation of PV module with damaged bypass diodes, Journal of the Korean Solar Energy Society Vol.35, No. 4, pp.67-75, 2015