

태양전지 어레이의 임피던스 분석과 서지 특성 고찰

이 기 옥, 소 정 훈, 정 명 웅, 유 권 중, 최 주 엽, 안 현 식*
 광운대학교, 한국에너지기술연구원, 국민대학교*

Impedance Analysis and Surge Characteristics of PV Array

Ki-Ok Lee, Jeong-Hoon So, Myung-Woong Jung, Gwon-Jong Yu, Ju-Yeop Choi, Hyun-Sik Ahn**
 Dept. Kwangwoon University, Korea Institute of Energy Research, Dept. Kookmin University**

Abstract - PV array, which is generally installed in the outside, has the possibility to be damaged by high voltage due to lightning. Because the surge characteristic of PV array has not been fully identified yet, there is the very important issue whether PV array should be connected with ground or not.

In this paper, a basic model of PV array is provided considering solar cell's barrier capacitance and ground capacitance for analysis of surge characteristics.

1. 서 론

태양광발전 시스템의 태양전지 어레이는 필요한 전력을 얻기 위해서 옥외에 발전용량에 따른 설치면적이 필요하다. 그렇기 때문에 번개와 같은 서지전압이 인가될 수 있는 위험성이 있다. 그러나 태양전지 어레이의 서지 특성이 명확하지 않기 때문에 태양전지 어레이를 접지 혹은 비접지하였을 경우, 이에 대한 태양전지 어레이의 특성해석이 현재까지 명확히 파악되지 않고 있다. 이러한 이유로 태양전지 어레이를 접지하는 국가와 접지하지 않는 국가가 있다. 그러므로 안전성과 태양광발전 시스템의 보호를 위해 태양전지 어레이의 서지특성을 해석하고 평가하여 태양전지 어레이의 접지에 대해서 검토할 필요가 있다. 본 논문에서는 서지특성의 해석방법으로 태양전지 어레이의 임피던스 분포를 측정 또는 계산하여 태양전지 어레이의 모델을 제안하고, 태양전지 어레이의 서지특성을 검토하였다.

2. 태양전지 어레이 모델

2.1 태양전지 모듈 구조

그림 1은 일반적인 태양전지 모듈의 구조를 나타낸다. 태양전지 모듈은 유리, EVA(Ethylene Vinyl Acetate), 셀, Back Sheet, 금속프레임 등으로 구성되어 있다. 이 금속프레임은 접지되기 때문에 태양전지 모듈의 출력단자와 프레임간에 접지용량이 존재하고, 서지해석을 하기 위해서 이 태양전지 모듈에 분포하는 임피던스를 실험과 계산으로 모델을 구한다.

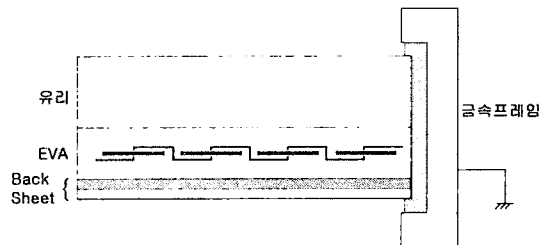


그림 1. 태양전지 모듈 구조

2.2 태양전지 셀(Cell) 모델

태양전지 셀은 실리콘 등 반도체의 pn접합으로 되어 있고, 이 접합용량을 고려할 필요가 있으므로 본 논문에서는 셀의 출력단자간의 임피던스를 Zentech사의 1075 Precision LCR Meter를 사용하여 주파수별 임피던스를 측정하였다. 측정시 셀에 빛을 조사하는 상태와 빛을 조사하지 않는 상태로 나누어 실험을 하였다.

2.3 태양전지 모듈 모델

태양전지 모듈은 원하는 전력을 얻기 위해 수~수십개의 태양전지 셀이 직렬로 연결되어 구성된다. 태양전지 모듈의 출력단자간의 모델도 위의 셀 출력단자간의 모델과 같은 방법으로 주파수에 따른 임피던스의 변화를 측정하였다.

2.4 태양전지 모듈 출력단자와 금속프레임 모델

그림 1에서와 같이 태양전지 셀은 EVA에 의해 주위와 절연이 되어있기 때문에 셀 출력 단자(+, -)의 회로는 대지로부터 절연이 되어 절연저항 및 대지용량이 존재하므로 이 논문에서는 단락시킨 태양전지 모듈의 출력단자(+,-)와 금속프레임 사이의 절연저항을 HIOKI사의 3153 절연저항 시험기를 사용하여 아래와 같은 순서로 실험을 하였다.

- (1) 태양전지 모듈의 출력단자와 금속프레임에 직류 전압(1000V)을 인가하여 절연저항을 측정한다.
- (2) 측정된 값을 이용하여 태양전지 모듈 출력단자와 금속프레임간의 모델을 추정하고 그 모델의 저항값을 시정수를 이용하여 이론식을 세운다.
- (3) 이론식을 이용하여 최소 오차를 갖는 모델의 소자값을 계산한다.

위의 절연저항이 태양전지 모듈의 Back Sheet 종류에 따라 차이가 있을 것으로 생각되고, 그 종류는 폴리에스테르, 알루미늄박, PVF등이 있지만 이번 실험에 사용된 태양전지 모듈은 폴리에스테르로 되어 있는 태양전지 모듈을 사용하였고, 사양은 표 1과 같다.

표 1. 태양전지 모듈 사양

Model	SM - 50(삼성전자)
출력	50W
Size	942mm×502mm×50mm 세로 × 가로 × 두께
Type	다결정 실리콘(36매 직렬)

3. 실험 결과

3.1 태양전지 셀(Cell) 모델

태양전지 셀의 출력단자간의 주파수별 임피던스 측정 결과는 그림 2와 같다. 측정은 셀 출력단자 사이에 20Hz~100kHz의 정현파를 인가하여 주파수별 태양전지의 출력단자간의 임피던스를 LCR meter로 측정하였다.

임피던스 측정시 셀에 빛을 조사하는 경우와 조사하지 않는 경우로 나누어 실험을 하였는데, 빛을 조사하는 경우에는 임피던스가 주파수에 영향을 받지 않고, 거의 일정한 값이었고, 빛을 조사하지 않는 경우에는 주파수가 높아짐에 따라 임피던스가 감소하는 경향을 볼 수 있다. 이 특성을 그림 3과 같은 회로로 셀에 빛을 조사하지 않는 경우의 특성과 같게 나타낼 수가 있었고, 그 비교 파형은 그림 4와 같고, 셀 출력단자간 모델의 파라미터를 표 2에 나타내었다.

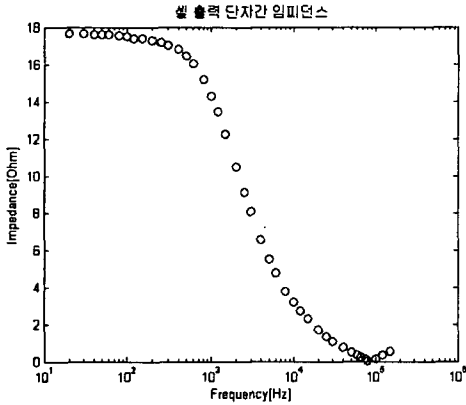


그림 2. 셀 출력단자간 임피던스

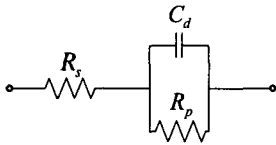


그림 3. 태양전지 셀 모델

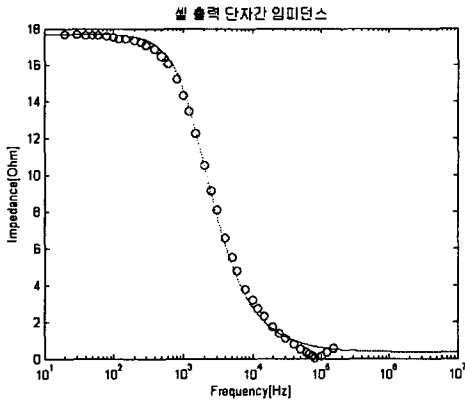


그림 4. 측정치와 계산치의 비교

표 2. 파라미터 계산치
(셀 출력단자간)

$R_s(\Omega)$	$R_p(\Omega)$	$C_d(\mu F)$
0.3452	17.34	6.39

3.2 태양전지 모듈 출력단자간 모델

셀 출력단자간의 모델과 같은 방법으로 태양전지 모듈 출력단자간의 모델을 구하였다. 태양전지 모듈은 36개의 셀이 직렬연결로 구성되어 있고 주파수별 임피던스 특성과 계산한 결과는 그림 5와 같다. 그림 5에서와 같이 셀의 출력단자간의 특성과 태양전지 모듈 출력단자간의 특

성이 비슷한 결과임을 확인 할 수가 있다. 하지만 태양 전지 어레이 서지특성의 해석에 있어서 그림 3의 셀 모델을 적용한다면 회로구성이 복잡해져 계산시간이 상당히 길어짐으로 태양전지 어레이의 서지특성을 모의실험 할 경우에는 태양전지 모듈의 출력단자간 모델을 사용하는 것이 바람직하다고 생각된다. 태양전지 모듈의 출력 단자간의 모델에서 각 소자의 값은 표 3과 같다.

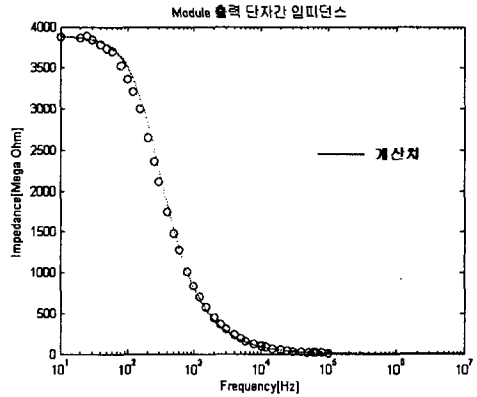


그림 5. 측정결과와 계산치의 비교

(태양전지 모듈 출력단자간)

표 3. 파라미터 계산치

(태양전지 모듈 출력단자간)

$R_s(\Omega)$	$R_p(\Omega)$	$C_d(\mu F)$
9.2	3863.8	0.19

3.3 태양전지 모듈 출력단자와 금속프레임 모델

태양전지의 출력단자를 단락시킨 후, 태양전지의 출력 단자와 금속프레임간의 추정된 절연저항의 변화를 그림 6에 나타내었다. 이 결과를 바탕으로 앞에서와 같이 셀 모델에서와 유사한 방법으로 그림 7과 같은 회로로 모델을 세울 수 있다.

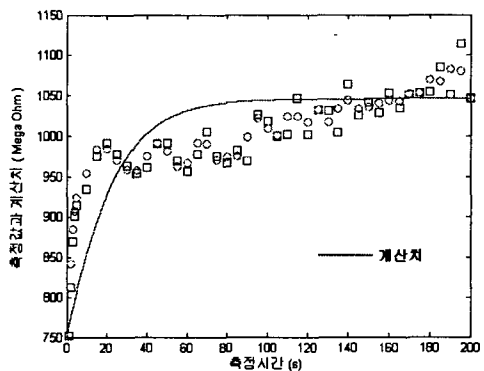


그림 6. 출력단자와 금속프레임간 임피던스

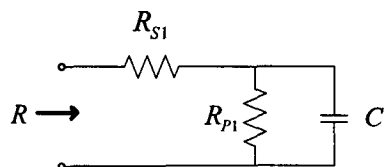


그림 7. 출력단자-금속프레임간 모델

시정수를 이용하여 그림 7의 저항(R)을 나타내면 식 (1)과 같고 이 식 (1)을 이용하여 그림 6의 계산치를 계산하여 모델의 파라미터를 표 4에 나타내었다.

$$R = \frac{R_{s1}(R_{p1} + R_{p1})}{R_{s1} + R_{p1} \cdot e^{-t/\tau}} \quad \text{---- 식 (1)}$$

$$\text{단, } \tau = R_{s1}R_{p1}C/(R_{s1} + R_{p1})$$

표 4. 파라미터 계산치

(출력단자와 금속프레임간)

	$R_{s1}[G\Omega]$	$R_{p1}[G\Omega]$	$C[\mu F]$
측정값	0.752	0.294	4.58

4. 태양전지 어레이 모델 및 모의실험

지금까지의 실험 및 계산결과를 정리하여 태양전지 모듈 출력단자간 모델의 직렬연결과 태양전지 모듈의 출력단자와 금속프레임간 모델을 직병렬로 조합하여 그림 8과 같이 서지특성을 분석할 수 있는 태양전지 어레이 모델을 구성하였다. 그림 8의 모델을 이용하여 낙뢰발생에 따른 태양광발전 시스템의 태양전지 어레이의 특성을 해석하기 위해 PSIM을 이용하여 모의실험 하였다. 그림 9는 특성해석에 사용된 3kW급의 계통연계형 태양광발전 시스템을 보여준다. 서지의 침입경로는 태양전지 어레이의 금속프레임으로 인가되는 서지전압과, 계통에 떨어진 낙뢰에 의해 태양광발전 시스템으로 침입해 오는 서지를 생각할 수 있는데 본 논문에서는 금속프레임으로 인가되는 낙뢰에 대하여 모의실험하였고, 낙뢰는 Rising Time = 1μs, Peak 전압 = 40MV, Falling Time = 70μs인 Ramp 입력을 인가하였다.

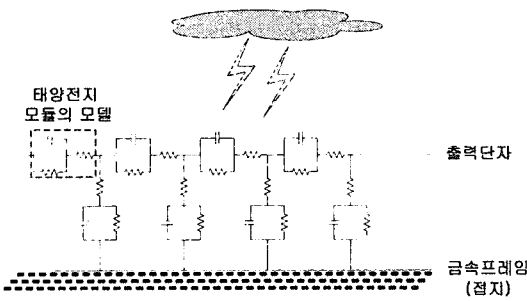


그림 8. 태양전지 어레이 모델

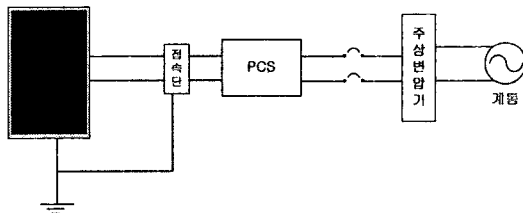


그림 9. 낙뢰 모의실험 구성도

모의실험은 태양전지의 출력단자가 접속단과 개방된 경우와 접속단과 단락된 경우의 두 가지 경우에서 (-)단자가 접지되는 경우와 접지되지 않는 경우에 한하여 진행하였다. 그림 10은 금속프레임을 접지하였을 경우의 파형과 접지하지 않았을 경우의 파형이다. 이 결과에서 금속프레임을 접지를 하는 것이 대기전위의 상승을 막을 수 있는 것을 알 수 있다. 태양전지 어레이의 (+)출력단자에 가장 가까운 태양전지 모듈의 전압을 금속프레임에 접지한 조건에서 태양전지 어레이의 (-)단자를 접지

한 경우와 접지하지 않는 경우의 전압을 그림 11에 나타내었다. 이 결과에서 (-)단자에 접지를 한 경우가 접지하지 않은 경우보다 더 큰 전압이 인가되는 것을 알 수 있다.

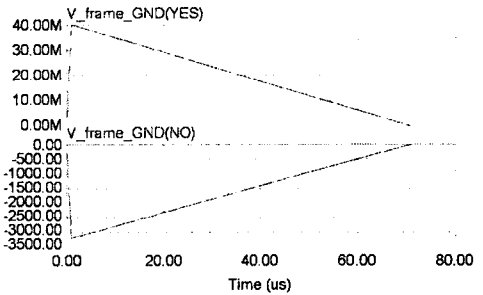


그림 10. 접지유무에 따른 금속프레임 전압

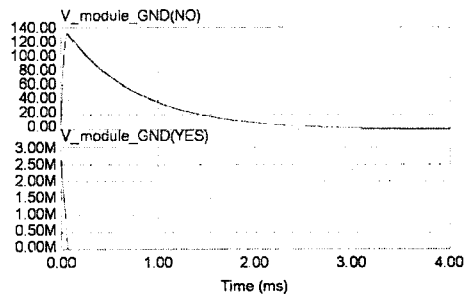


그림 11. 접지유무에 따른 태양전지 모듈 전압

5. 결 론

실험이나 계산으로 태양전지 모듈의 모델과 절연저항을 고려한 태양전지 모듈의 대지 모델을 구하여 서지특성 관찰용 태양전지 어레이 모델을 구하였다. 이 모델을 이용하여 해석한 결과 금속프레임에 접지를 하였을 때는 서지에 의해 태양전지 어레이에 인가되는 대기전압의 상승을 억제하지만, 셀 출력단자의 접지는 오히려 큰 전압이 인가되는 결과를 얻었다. 이 결과는 태양광발전 시스템 설치시 태양전지 어레이의 금속프레임을 접지를 하는 것이 유리하지만 (-)단자 접지는 오히려 불리함을 알 수 있다. 향후에는 낙뢰발생시 계통과 태양전지 어레이로 인가되는 서지전압이 태양광발전 시스템에 미치는 영향에 대한 해석을 수행할 계획이다.

본 논문은 한국과학재단 목적기초연구(R01-2001-00313-0-2002)지원으로 수행되었음.

[참 고 문 헌]

[1] J.A.Gow, C.D.Manning, "Development of a Model for Photovoltaic Arrays Suitable for use in Simulation Studies of Solar Energy Conversion Systems", IEE, no. 429, 1996
 [2] C.Fenimore, F.Martzloff, "Validating surge test standards by field experience: high energy tests and varistor performance" IEEE, vol.2, pp. 1968~1974, 7 12 Oct 1990
 [3] 박민원, 김봉태, 이재득 외, "EMTDC를 이용한 태양전지의 새로운 시뮬레이션 모델", 대한전기학회 추계부록학술대회 논문집, 2000. 11. 25.