

PSCAD/EMTDC를 이용한 태양광발전용 태양전지 어레이의 서지특성분석

이 기옥, 최 주엽, '강 기환, '유 권중
 광운대학교, '한국에너지기술연구원

Impedance Analysis and Surge Characteristics of PV Array with PSCAD/EMTDC

Ki-Ok Lee, Ju-Yeop Choi, 'Gi-Hwan Kang, 'Gwon-Jong Yu
 Kwangwoon University, 'Korea Institute of Energy Research

Abstract - Photovoltaic(PV) array, which is generally installed outside, has the possibility to be damaged by high voltage due to lightning. Because the electrical characteristics of PV array have not been fully identified by lightning yet, there is a 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 the PV cell's barrier capacitance and ground capacitance for analysis of electrical characteristics by lightning using PSCAD/EMTDC.

1. 서 론

태양광발전 시스템의 태양전지 어레이는 필요한 전력을 얻기 위해서 옥외에 발전용량에 따른 설치면적이 필요하다. 그러므로 필요한 용량에 따른 설치면적이 비례적으로 증가하므로 번개와 같은 서지전압이 인가될 수 있는 위험성도 비례한다. 그러나 태양전지 어레이의 서지에 의한 전기적 특성이 명확하지 않기 때문에 태양전지 어레이를 접지하는 국가와 접지하지 않는 국가가 있는 것이 현 실정이다. 그러므로 안전성과 태양광발전 시스템의 보호를 위하여 태양전지 어레이의 서지에 의한 전기적 특성을 PSCAD/EMTDC를 이용하여 해석하고 평가하여 태양전지 어레이의 접지에 대해서 검토할 필요가 있다. 본 논문에서는 서지에 의한 어레이의 전기적 특성의 해석방법으로 태양전지 어레이의 임피던스 분포를 측정 또는 계산하여 태양전지 어레이의 모델을 제안하고, PSCAD/EMTDC를 이용하여 서지에 의한 태양전지 어레이의 전기적 특성을 검토하고자 한다.

2. 태양전지 어레이(Array)의 모델

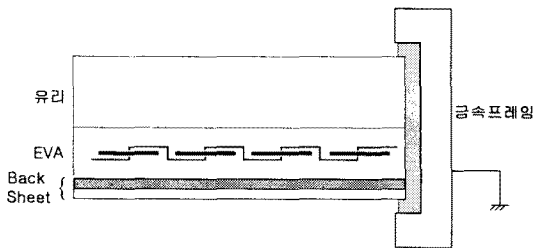


그림 1. 태양전지 모듈의 구조

2.1 태양전지 모듈(Module)의 구조

그림 1은 일반적인 태양전지 모듈의 구조를 나타낸다. 모듈은 유리, EVA(Ethylene Vinyl Acetate), 셀(Solar Cell), Back Sheet, 금속 프레임 등으로 구성되어 있다.

이 금속 프레임은 접지되기 때문에 모듈의 출력단자와 프레임 사이의 접지용량이 존재하고, 서지에 의한 전기적 특성 해석을 하기 위해서 이 모듈에 분포하는 임피던스를 실험과 계산으로 모델을 구한다.

2.2 태양전지 셀(Cell)의 모델

태양전지 셀은 실리콘 등 반도체의 pn접합으로 되어 있고, 이 접합 용량을 고려할 필요가 있으므로 본 논문에서는 셀 출력단자간의 임피던스를 LCR Meter를 사용하여 주파수별 임피던스를 측정하였다. 측정 시 셀에 빛을 조사하는 상태와 빛을 조사하지 않는 상태로 나누어 측정을 하였다.

2.3 태양전지 모듈(Module)의 모델

태양전지 모듈은 원하는 전력을 얻기 위해 수 수십 개의 태양전지 셀이 직병렬의 연결로 구성된다. 모듈의 출력단자간의 모델도 위의 셀 출력단자간의 모델과 같은 방법으로 주파수에 따른 임피던스의 변화를 측정하였다.

2.4 태양전지 모듈의 출력단자와 금속 프레임 모델

그림 1에서와 같이 태양전지 셀은 EVA에 의해 주위와 절연이 되어있기 때문에 셀 출력단자(+, -)의 회로는 대지로부터 절연이 되어 절연저항 및 대기 용량이 존재하므로 이 논문에서는 단락시킨 태양전지 모듈의 출력단자(+,-)와 금속 프레임 사이의 접지 용량을 절연저항 시험기를 사용하여 아래와 같은 순서로 실험을 하였다.

- (1) 태양전지 모듈의 출력단자를 단락시킨다.
- (2) 태양전지 모듈의 출력단자와 금속 프레임에 직류전압(1000V)을 인가하여 접지저항을 측정한다.
- (3) 측정된 값을 이용하여 모듈 출력단자와 금속 프레임간의 모델을 추정하고 그 모델의 저항값을 시정수를 이용하여 이론식을 세운다.
- (4) 이론식을 이용하여 최소 오차를 갖는 모델의 값을 계산한다.

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

표 1. 실험에 이용한 모듈의 사양

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

3. 실험결과

3.1 태양전지 셀(Cell)의 모델

태양전지 셀의 출력단자간의 주파수별 임피던스의 측정 결과는 그림 2와 같다. 측정은 셀 출력단자 사이에 10Hz 100kHz의 정현파를 인가하여 주파수별 셀 출력단자간의 임피던스를 LCR meter 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 경우 주파수가 높아짐에 따라 임피던스가 감소하는 경향을 볼 수 있다. 이 특성을 그림 3과 같은 회로로 셀에 빛을 조사하지 않는 경우의 임피던스 특성과 같게 나타낼 수가 있었고, 그 비교 파형은 그림 4와 같고, 그림 3의 모델로 계산한 각 소자의 값은 표 2와 같다.

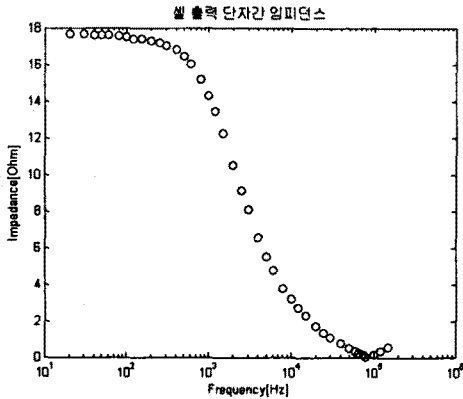


그림 2. 셀 출력단자간의 임피던스

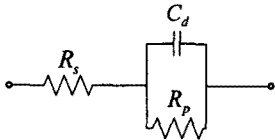


그림 3. 태양전지 셀의 모델

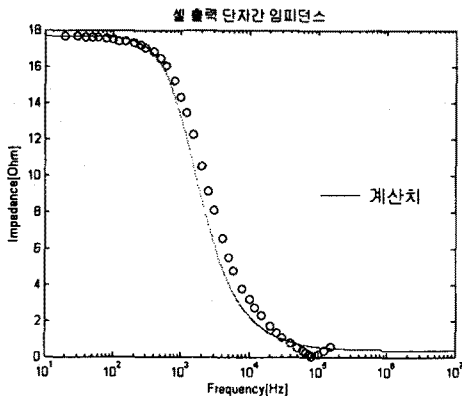


그림 4. 측정치와 계산치의 비교

표 2. 계산된 Parameter (셀 출력단자간)

$R_s(\Omega)$	$R_p(\Omega)$	$C_d(\mu F)$
0.3452	17.34	8.36

3.2 태양전지 모듈 출력단자간 모델

셀 출력 단자간의 모델과 같은 방법으로 모듈 출력단자간의 모델을 구하였다. 모듈은 36개의 셀이 직렬연결로 구성되어 있고 주파수별 임피던스 측정값과 추정한 결과는 그림 5와 같다. 그림 5에서와 같이 셀 출력단자간의 특성과 모듈 출력단자간의 특성이 비슷한 결과임을 확인할 수가 있다. 하지만 태양전지 어레이의 서지에 의한 전지적 특성 해석에 있어서 그림 3의 셀 모델을 이용한다면 회로의 수가 많아져 시뮬레이션의 계산에 큰 부담이 될 것으로 생각된다. 그러므로 모의실험을 할 경우에는 셀 출력단자간의 모델 보다 모듈 출력단자간의 모델을 사용하는 것이 바람직하다고 생각된다. 모듈 출력단자간의 모델에서 각 소자의 값은 표 3과 같다.

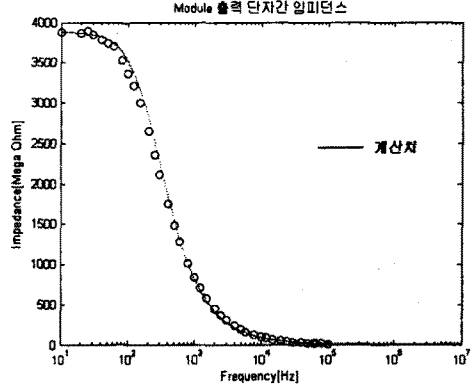


그림 5. 측정결과와 계산치의 비교 (모듈 출력단자간)

표 3. 계산된 Parameter (모듈 출력단자간)

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

3.3 태양전지 모듈의 출력단자와 금속 프레임 모델

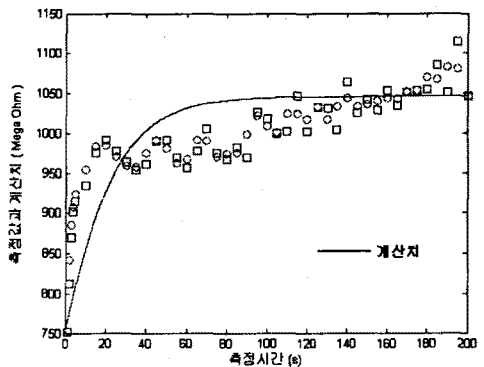


그림 6. 출력단자와 금속 프레임간의 임피던스

단락시킨 태양전지의 출력단자와 금속 프레임간의 측정된 절연저항의 변화를 그림 6에 나타내었다. 이 결과를 바탕으로 앞에서의 셀의 모델에서와 유사한 방법으로 그림 7과 같은 회로로 모델을 세울 수 있다.

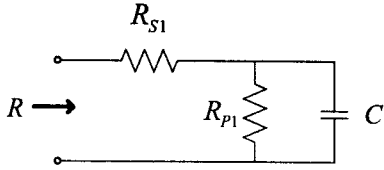


그림 7. 출력단자-금속 프레임간의 모델

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

$$R = \frac{R_{S1}(R_{S1} + R_{P1})}{R_{S1} + R_{P1} \cdot e^{-t/\tau}} \quad \text{---- 식 (1)}$$

$$\tau = R_{S1}R_{P1}C / (R_{S1} + R_{P1})$$

표 4. 출력단자-금속 프레임간의 모델 Parameter

	$R_{S1}[G\Omega]$	$R_{P1}[G\Omega]$	$C[\mu F]$
측정값	0.752	0.294	4.58

4. 태양전지 어레이의 모델 및 모의실험

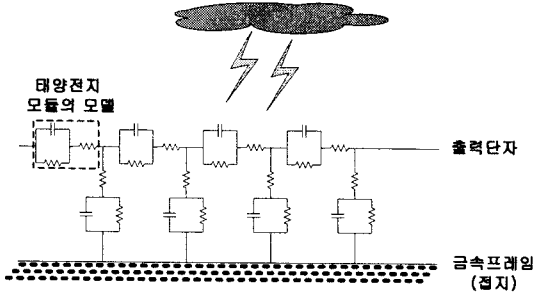


그림 8. 태양전지 어레이 모델

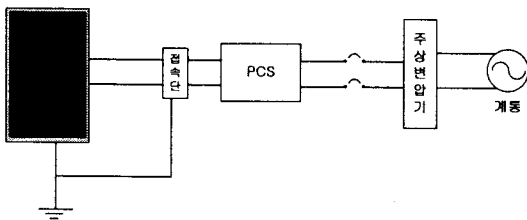


그림 9. 낙뢰 모의실험의 구성도

지금까지의 실험 및 계산의 결과를 정리하여 모듈 출력단 모델의 직렬 연결과 모듈의 출력단과 금속 프레임 사이의 모델을 직병렬로 조합하여 태양전지 어레이의 모델을 나타낼 수 있다고 생각되어 이를 그림 8과 같이 서지에 의한 어레이의 전기적 특성을 분석할 수 있는 태양전지 어레이 모델을 구성하였다. 그림 8의 모델을 이용하여 낙뢰가 태양광발전 시스템의 어레이에 끼치는 영향을 PSCAD/EMTDC를 이용하여 모의실험 하였다. 구성한 시스템은 그림 9와 같이 3kW급의 계통연계형 시스템을 택하였고, 서지의 침입경로는 태양전지 어레이의 금속 프레임으로 유도되는 낙뢰와, 계통에 떨어진 낙뢰에 의해 태양광발전 시스템으로 침입해 오는 서지를 생각할 수 있는데 본 논문에서는 금속 프레임으로 유도되

는 낙뢰를 가정하여 모의실험하였다. 그림 10은 태양전지 어레이에 인가한 Rising time = 1.5 μs , Peak Current = 25 kA, Falling time = 48.5 μs 의 서지전류파형이다.^{[1],[2],[3]}

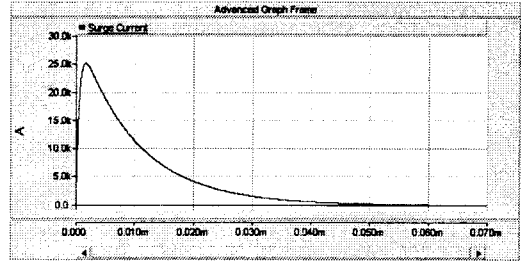


그림 10. 서지 전류파형.

PSCAD/EMTDC를 이용한 모의실험은 아래의 조건하에서 실행하였다.

- 태양전지 어레이와 PCS(Power Conditioning System)의 연결유무
- 태양전지 어레이의 출력단자중 (-)단자의 접지 유무

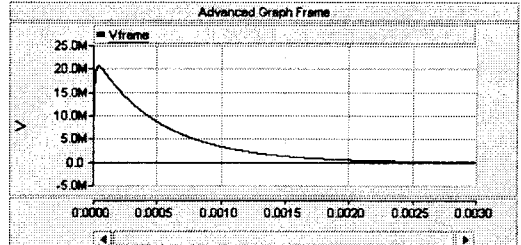


그림 11. (a) 태양전지 어레이의 금속 프레임 접지시.

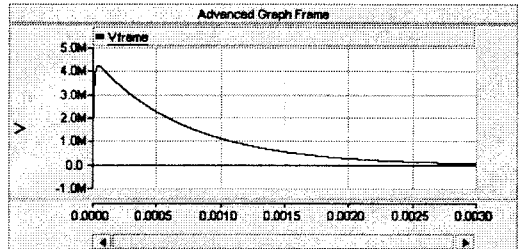


그림 11. (b) 태양전지 어레이의 금속 프레임 비접지시.

그림 11은 금속 프레임을 접지했을 경우(a)와 접지하지 않았을 경우(b)의 대지 전위의 파형이다. 결과적으로 금속 프레임에 접지를 하였을 경우가 접지를 하지 않았을 경우보다 대지 전위의 상승이 억제됨을 알 수 있다. 그러므로 금속 프레임은 접지되어야 함을 알 수 있다.

그림 12는 태양전지 어레이의 (+)출력단자와 가장 가까운 모듈의 양단 전압을 서지 전압을 인가한지 약 40 μs 에서의 Peak 전압을 보여준다. 그림 12의 (a)는 마이너스 출력단자를 접지하였을 경우의 파형이고, (b)는 마이너스 출력단자를 접지하지 않은 경우의 파형이다. 이 결과에서 모듈 양단에 인가되는 전압은 접지를 한 경우가 접지를 하지 않은 경우보다 약 80kV 정도 큰 전압이 인가됨을 알 수 있다.

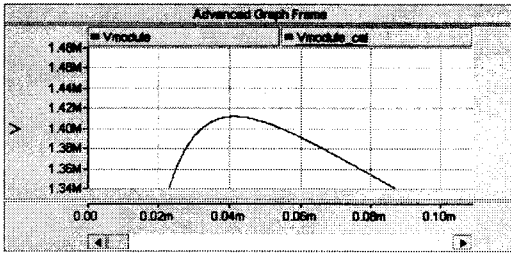


그림 12. (a) 태양전지 어레이의 (-)출력단자 접지시.

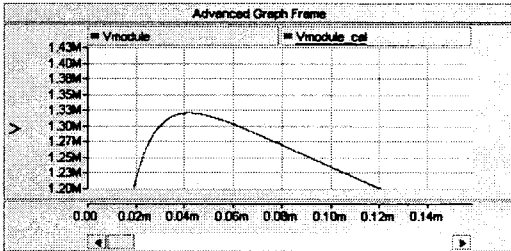


그림 12. (b) 태양전지 어레이의 (-)출력단자 비접지시.

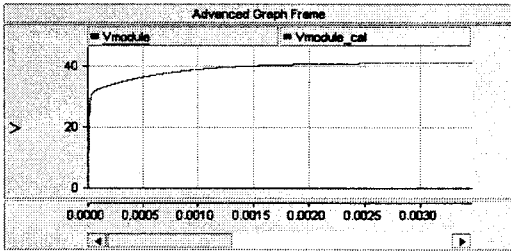


그림 13. (a) 커패시터를 삽입한 태양전지 어레이의 마이너스 출력단자 접지시.

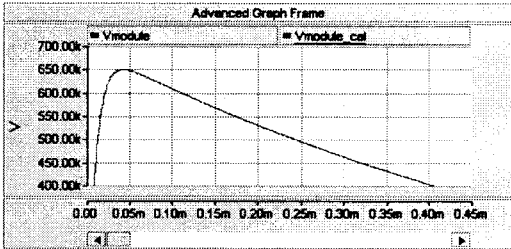


그림 13. (b) 커패시터를 삽입한 태양전지 어레이의 마이너스 출력단자 비접지시.

그러나 모의실험 결과 태양전지 어레이의 마이너스 출력단자를 접지를 하는 경우와 하지 않는 경우 매우 높은 전압이 인가됨을 알 수가 있다. 이 매우 높은 인가전압의 상승을 억제하기 위해서 600 μF 의 커패시터를 태양전지 어레이의 출력단자 사이에 삽입하여 모의실험을 하였다. 그 결과 인가전압이 수 Mega Volt에서 수백 Kilo Volt로 제어되는 결과를 얻었다.

그림 13 (a)는 커패시터를 삽입하고 태양전지의 마이너스 단자를 접지하였을 경우의 모듈에 인가되는 전압을 나타내고, 그림 13 (b)는 커패시터를 삽입하고 태양전지의 마이너스 단자를 접지하지 않았을 경우의 모듈에 인가되는 전압이다.^[4]

5. 결 론

본 논문에서는 낙뢰와 같은 서지에 의한 태양광발전

시스템의 태양전지 어레이의 전기적인 특성을 해석하기 위하여 측정 또는 계산된 임피던스 특성이 고려된 태양전지 어레이의 기본적인 모델을 제시하였다.

이 모델을 이용하여 모의실험한 결과 금속 프레임의 접지는 대지전위의 상승을 억제하고, 태양전지 어레이의 출력단자 중 마이너스 단자의 접지는 오히려 태양전지 모듈에 높은 전압이 인가됨을 알 수 있었다. 즉 태양광발전 시스템의 설치시, 금속 프레임의 접지는 유리하지만 마이너스 출력단자의 접지는 오히려 불리함을 알 수 있다. 또한 서지에 의해 모듈에 인가되는 높은 전압에 대하여 태양전지 어레이의 보호를 위해 어레이의 출력단자 사이에 커패시터를 삽입함으로써 높은 전압이 인가되는 것을 방지할 수 있음을 확인하였다.

향후의 계획으로는 계통 연계형 태양광발전 시스템과 전력계통이 낙뢰와 같은 서지 전류의 다양한 침입경로에 따른 영향과 대책에 대하여 연구를 수행할 계획이다.

이 논문은 한국과학재단 목적기초연구(R01-2001-00313-0-2002)의 연구비 지원에 의하여 연구되었습

[참 고 문 헌]

- [1] I.R.C.A.Pinto and O.Pinto, Jr, "Cloud-to-ground lightning distribution in Brazil", Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, Volume 65, Issue 6, pp. 733-737, April 2003
- [2] Isamu Nagano, Satoshi Yagitani, Kazutoshi Miyamura and Satoshi Makino "Full-wave analysis of elves created by lightning-generated electromagnetic pulses", Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, Volume 65, Issue 5, pp. 615-625, March 2003
- [3] Philippe Lalande, Anne Bondiou-Clergerie, G. Bacchiaga and I. Gallimberti, "Observations and modeling of lightning leaders", Comptes Rendus Physique, Volume 3, Issue 10, pp. 1375-1392, December 2002
- [4] K.S.Lee, Y.S.Jung, J.H.So, G.J.Yu, J.H.Choi, "The analysis for appropriate value of the input capacitor in dispersed generation PV inverter", KIEE, Issue B, pp.1362-1364, 21-23 July 2003
- [5] 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
- [6] 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
- [7] M.W.Park, B.T.Kim, J.D.Lee, I.K.Yu, K.C.Sung, "A Novel Simulation model of PV using EMTDC", KIEE, 25 Nov 2000