

## 매설지선 방식을 적용한 에너지 자립마을용 수상 태양광 발전 시스템의 접지저항 분석

고재우<sup>1</sup>, 임종록<sup>1</sup>, David K. Kim<sup>1</sup>, 차혜림<sup>1</sup>, 김시한<sup>1</sup>, 이창구<sup>2</sup>, 안형근<sup>1,a</sup>

<sup>1</sup> 건국대학교 전기공학과

<sup>2</sup> 한국에너지기술평가원

### Analysis of Grounding Resistance for Zero Energy Town Floating PV System Using Underground Wiring

Jae-Woo Ko<sup>1</sup>, Jong-Log Lim<sup>1</sup>, David K. Kim<sup>1</sup>, Hae-Lim-Cha<sup>1</sup>, Si-Han Kim<sup>1</sup>, Chang-Koo Lee<sup>2</sup>,  
and Hyung-Keun Ahn<sup>1,a</sup>

<sup>1</sup> Department of Electrical Engineering, Konkuk University, Seoul 05029, Korea

<sup>2</sup> Energy Efficiency & New Industry Division, Korea Institute of Energy Technology Evaluation and Planning,  
Seoul 06175, Korea

(Received April 18, 2016; Revised April 22, 2016; Accepted April 24, 2016)

**Abstract:** Floating PV system is installed on the water such as artificial lake, reservoir, river for the purposes of zero energy town and/or large scale of PV station. There are electrical gains from cooling effect by water and reflection of water surface. Particularly, floating PV power station with high efficiency solar cell modules receives a lot of attention recently. Floating PV system is installed on the water, which means grounding method to the frame of solar cell and electrical box such as connector band and distribution panelboard should be applied in different way from grounding method of PV system on land. The grounding resistance should be  $10[\Omega]$  in case the voltage is over  $400[V]$  in accordance with Korean Standard. The applicable parameters are the resistivity of water in various circumstances, depth of water, and length of electrode in order to meet  $10[\Omega]$  of grounding resistance. We calculated appropriate length of the electrode on the basis of theoretical equation of grounding resistance and analyzed the relation between each parameters through MATLAB simulation. This paper explains grounding system of floating PV power station and presents considerations on grounding design according to the resistivity of water.

**Keywords:** Floating PV system, Grounding method, Grounding resistance

#### 1. 서 론

수상 태양광 발전 시스템은 다습한 지역(수상, 습지)

에 태양광 모듈을 설치하고 발전을 하여 생산되는 전기를 전력계통에 전달하여 사용하는 것을 말한다. 수상 태양광 발전 시스템은 설치비용이 육상 태양광 발전 시스템에 비해 비싸다는 단점이 있지만, 물의 증발열 흡수로 인한 온도 강하와 수면에서의 빛의 반사효과로 육상 태양광 발전 시스템보다 발전효율이 약10[%] 높고 [1-3] 녹조류 저감 [4] 등의 긍정적인 효과를 보여 주고 있다. 또한 호주에서는 저수지 물자원의 약

a. Corresponding author; [hkahn@konkuk.ac.kr](mailto:hkahn@konkuk.ac.kr)

Copyright ©2016 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.

40[%]가 증발에 의해 사라지는 것으로 보고되고 있으며 [5] 수상 태양광 발전 시스템은 이러한 현상을 막아 주어 물자원의 관리를 효율적으로 할 수 있는 장점을 가진다. 일반적으로 수상 태양광 발전 시스템은 수상이나 습지의 특수한 설치환경을 가지므로 육상 태양광 발전 시스템과 태양광 모듈의 구성요소 및 부자재의 종류가 다르다. 접지방법의 경우 육상 태양광 발전 시스템은 전기사업법 전기설비 기술 기준에서 제시하는 접지저항 10[Ω]의 제 1종, 특별 제 3종 접지를 따르고 있으며, 수상 태양광 발전 시스템의 경우는 확실한 접지방법이 규정되어 있지 않은 상황이다.

본 논문에서는 수상 태양광 발전 시스템의 접지 방법에 대해서 다루고 있으며, 대지저항을 대신에 수중저항률을 적용하여 이론적인 접지저항 값을 계산하였으며 그 이론식을 바탕으로 MATLAB 시뮬레이션을 실시하였다.

**2. 실험 방법**

**2.1 물의 비저항 test**

수심이 깊은 수상 태양광 발전 시스템에서는 접지선을 수중을 통과하여 수저의 땅 속에 매설하기가 현실적으로 어려운 부분이 많기 때문에 일반적으로 땅보다 비저항이 작은 수중에 직접 접지선을 설치하는 경우가 많다. 이 경우 설치되는 물의 비저항 값을 정확하게 측정해야 이론적으로 정확한 접지저항 값을 계산할 수 있다.



**Fig. 1.** Conductivity meter for measurement of resistivity of water.

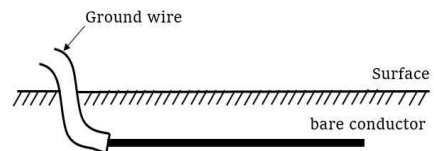


**Fig. 2.** Self-made instruments for measurement of resistivity of water.

물의 정확한 비저항을 측정하기 위하여 그림 1, 2와 같은 실험도구를 이용하여 비저항을 측정하였다. 그림 1은 전기전도도 측정기이고, 그림 2는 측정값의 오차를 줄이기 위해 직접 제작한 비저항 측정기이다. 일정한 크기의 고무튜브에 측정하고자 하는 물을 채워 넣고 양쪽 끝으로 전류와 전압을 측정하여 비저항을 계산하였다. 수상 태양광 발전 시스템이 설치되는 물의 환경 조건은 각기 다르기 때문에 수상 태양광 발전 시스템이 설치될 수 있는 다양한 종류의 물의 비저항을 측정하였다. 비저항을 측정한 물은 한강, 중랑천, 수돗물, 샘물이며 비저항은 온도에 민감하기 때문에 동일한 온도에서 측정하였다.

**2.2 MATLAB 시뮬레이션**

육상 태양광 발전 시스템에서 접지를 시행하는 경우에는 크게 접지봉을 땅에 매설하는 방식과 접지선을 지표면과 수평하게 매설하는 매설지선 방식이 있다. 본 논문에서는 수중에서 동일한 수심에 접지선을 설치하는 매설지선 방식에 대해서 MATLAB 시뮬레이션을 실시하였다.



**Fig. 3.** Schematic of the underground wiring.

그림 3은 육상 태양광 발전 시스템의 매설지선 방식을 나타낸 것으로 지표면과 수평하게 접지선을 매설하는 방식이다.

$$R = \frac{\rho}{2\pi l} \left( \ln \frac{2l}{r} - 1 \right) + \frac{\rho}{2\pi l} \left( \ln \frac{l}{d} - 1 \right) \quad (1) [6]$$

매설지선 방식에서의 접지저항( $R$ )은 대지저항률( $\rho$ )와 매설지선의 길이( $l$ ), 매설 깊이( $d$ )와 관계가 있으며 수식 (1)을 적용하여 접지저항을 계산하게 된다. 이 방식을 수상 태양광 발전 시스템에 적용하여 지표면에 수평하게 접지선이 매설되는 것과 같이 물의 수면에 수평하게 접지선을 매설하는 방법을 적용하였다. 또한 수심과 매설지선의 길이를 변화하여 MATLAB 시뮬레이션을 실시하였으며 실제 적용되는 접지저항을 만족하기 위한 매설지선의 길이를 시뮬레이션을 통해 역산하였다.

### 3. 결과 및 고찰

물의 비저항 측정 결과 한강의 물이 비저항 17.857~18.541[ $\Omega \cdot m$ ]로 가장 작았고, 수돗물이 57.143~57.583[ $\Omega \cdot m$ ]으로 가장 컸다. 측정에 사용된 두 계측기의 측정값은 0.74~4.43[%]의 오차를 보였다. 그림 4에 측정값의 분포도를 나타내었다.

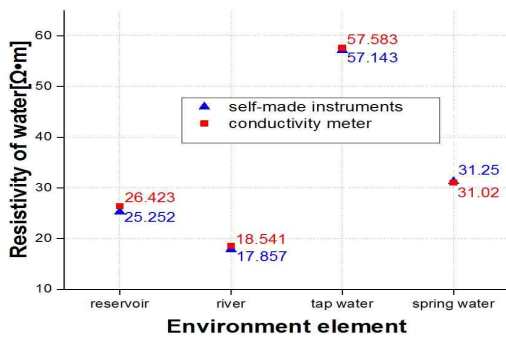


Fig. 4. The resistivity of water under various environment elements.

이 결과를 통해서 수상 태양광 발전 시스템의 이론적인 접지저항을 계산할 때 수중저항률은 17.857 ~ 57.583[ $\Omega \cdot m$ ]로 적용하였다. 최종 접지저항값은 국내의 전기사업법 전기설비 기술 기준에 의거하여 제1종

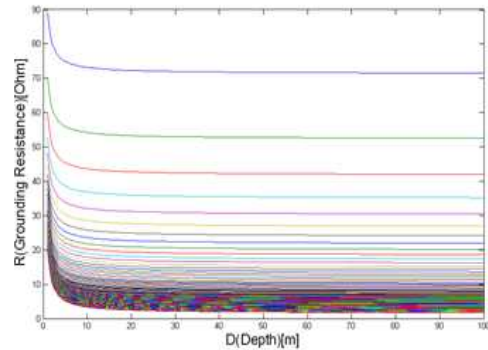


Fig. 5. Dependence of the burial depth on the grounding resistance.

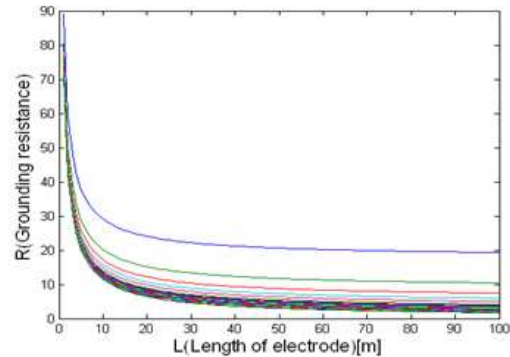


Fig. 6. Dependence of the length of electrode on the grounding resistance.

접지공사와 특별 제3종 접지공사 값인 10[ $\Omega$ ]으로 대입하며 그때의 매설지선의 길이와 매설 깊이와의 관계를 MATLAB을 통해 분석하였다.

그림 5는 매설 깊이에 따른 접지저항 값을 나타낸 것이다. 매설 깊이가 깊어질수록 접지저항 값을 감소하는 경향을 보이며 수심이 약 7[m] 정도까지는 급속하게 접지저항이 감소하다가 20[m] 이상부터는 saturation되는 경향을 확인할 수 있다.

그림 6은 전극의 길이에 따른 접지저항 값을 나타낸 것으로 매설지선의 길이가 길어질수록 접지저항 값은 감소하게 된다. 이것은 접지저항의 기본 원리가 전극 부분에서 누설전류가 발생했을 경우 상승된 전위를 전극을 통해 나가는 전류로 나누어 계산하게 되는 것이기 때문에 전극의 접촉면이 넓을수록 전극을 통해 나가는 전류는 커지게 되고 접지저항 값은 작아지게 된다.

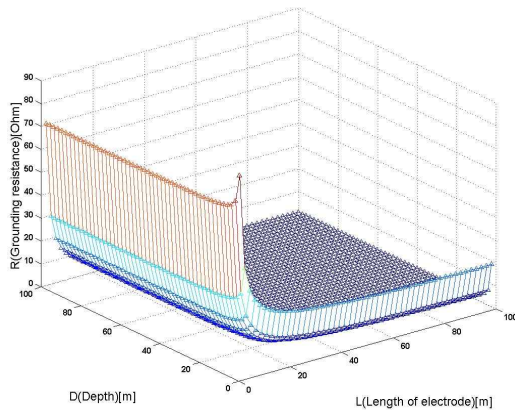


Fig. 7. 3D graph of grounding resistance.

그림 7은 매설 깊이와 매설지선의 길이를 접지저항과 비교하여 3D graph로 나타낸 것이다. 접지저항은 매설 깊이에 따라서도 감소하지만 전극의 길이에 따라서 더 큰 폭으로 감소하는 것을 볼 수 있다. 위의 그림을 통해 접지저항의 값에 더 큰 영향을 미치는 것은 매설지선의 길이라는 것을 알 수 있다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 수상 태양광 발전 시스템에서의 전기사업법 전기설비 기술 기준에 적합한 접지저항 값을 만들기 위한 변수에 대하여 연구하였다. 일반적으로 설치 가능한 지역의 물을 바탕으로 수상 태양광 발전 시스템에서의 수중저항률을 측정하였으며 그 값을 이론식에 대입하여 접지저항을 계산하였다.

접지저항( $R$ )은 매설지선의 길이가 증가할수록, 매설 깊이가 증가할수록 감소하는 경향을 보인다. 두 가지의 변수 중 매설지선의 길이가 접지저항에 더 큰 영향을 미치게 되고 오차를 줄이기 위해서 매설지선의 길이는 매설 깊이를 함께 고려하여 결정해야 한다.

#### 감사의 글

본 연구는 2015년도 산업통상부의 재원으로 한국에너지기술연구원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 20153010012060)

#### REFERENCES

- [1] J. Bione, O. C. Vilela, and N. Fraidenraich, *Solar Energy*, **76**, 703 (2004).  
[DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2004.01.003>]
- [2] J. Freilich and J. M. Gordon, *Solar Energy*, **46**, 267 (1991). [DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/0038-092X\(91\)90093-C](http://dx.doi.org/10.1016/0038-092X(91)90093-C)]
- [3] C. Ferrer-Gisbert, J. J. Ferrán-Gozálvez, M. Redón-Santafé, P. Ferrer-Gisbert, F. J. Sánchez-Romero, and J. B. Torregrosa-Soler, *Renewable Energy*, **60**, 63 (2013).  
[DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2013.04.007>]
- [4] T. Matsuo, K. Hanaki, and H. Satoh, *In Advances in Water and Wastewater Treatment Technology* (Elsevier, 2001) p. 109-117.
- [5] F. Helfer, C. Lemckert, and H. Zhang, *Journal of Hydrology*, **475**, 365 (2012).  
[DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.10.008>]
- [6] G. F. Tagg, *Earth Resistances* (London George Newnes Limited, 1964)