

직류 접지 환경에서 접지극을 전식으로부터 보호하기 위한 방법

*정우용, †김호성

*†공주대학교 전기전자제어공학부

Protection Method for Earthing Electrode of DC Systems from Corrosion

*Woo-Yong Jeong, †Hyosung Kim

*†School of EE and control Engineering, Kongju National University

ABSTRACT

극성이 일정한 주기로 교번되는 교류 접지 환경과 달리, 직류 접지 환경에서 접지극은 지속적으로 (+) 또는 (-) 극성을 유지하게 된다. 이때 (+) 극성을 가지는 접지극은 산화반응에 의해 전식이 진행된다. 이러한 (+) 접지극의 전식을 막기 위해, 보호전극을 사용하여 (+) 접지극에 흐르는 누설전류의 극성과 반대로 직류전류를 흘려줌으로써 (+) 접지극에 흐르는 전류가 0A가 되도록 할 수 있다. 하지만 (+) 접지극을 보호하는 과정에서 보호전극은 산화반응으로 인한 전식 현상이 발생하여 손상이 진행된다. (+) 접지극을 전식으로부터 보호하면서도 보호전극의 사용 수명을 연장시키기 위해, 보호전극에 흐르는 전류의 평균값이 (+) 접지극에 흐르는 누설전류의 크기와 같으면서 PWM 펄스파형의 형태가 나타나도록 하였다. 본 연구에서는 일정 시간 동안 보호극 전원의 주파수에 따른 보호극의 전식 정도를 실험을 통해 분석하였다. 실험에서 PWM 펄스파형의 주파수는 0.1Hz, 1Hz, 8Hz, 10Hz, 20Hz, 50Hz, 100Hz, 1kHz를 고려하였다. 실험 및 분석을 통해 저압직류(LVDC) 접지 환경에서 (+) 전극 및 보호전극의 전식손상을 낮출 수 있는 최적의 주파수 조건을 제시한다.

1. 서론

직류 배전 시스템이 교류 배전 시스템에 비해 많은 장점을 가지며 따라, 직류 배전에 대한 관심이 높아지고 있다. 이에 따라 직류 배전 시스템에 대한 보호대책의 중요성도 증가하고 있다. 특히 접지는 직류 배전 시스템에 대한 안전을 확보하기 위해 필요한 필수대책 중 하나이며, 인명과 설비를 감전 및 지락 사고로부터 보호하는 일차적 역할을 한다.

극성이 일정한 주기로 교번되는 교류 접지 환경과는 달리 직류 접지 환경에서 접지극은 각각 (+) 또는 (-) 극성을 일정하게 유지한다. 이때 (-) 극성을 가진 접지극은 환원 반응에 따라 전식이 발생하지 않지만, (+) 극성을 가진 접지극은 산화반응에 의해 전식이 진행된다. (+) 접지극에서 발생하는 전식으로 인한 손상은 직류 배전 시스템에 안전사고를 일으킬 뿐만 아니라 교량을 구성하는 철제 빔이나 지하에 설치된 금속 가스관에 부식을 일으킬 수도 있다^{[1]-[2]}.

전식으로 인한 손상이 발생할 수 있는 (+) 접지극을 보호하기 위해 보호전극을 사용할 수 있다. 보호전극은 (+) 접지극에 흐르는 누설전류의 극성과 반대로 직류전류를 흘려주어 (+) 접

지극에 흐르는 전류가 0A가 되도록 한다. 하지만 보호전극은 (+) 접지극을 보호함에 따라 산화반응으로 인한 전식 현상이 발생하여 손상이 진행된다. (+) 접지극을 전식으로부터 보호함과 동시에 보호전극의 사용 수명을 연장시키기 위해, 보호전극에 흐르는 전류의 평균값이 (+) 접지극에 흐르는 누설전류의 크기와 같은 PWM 펄스파형의 전류형태가 되도록 설정하였다. 이때 키르히호프의 전류법칙에 의해 (+) 접지극에 흐르는 전류는 일정한 주기로 교번되는 PWM 교류파형 형태가 되며 평균값은 0A가 된다.

본 논문에서는 일정 시간 동안 보호극 전원의 주파수에 따른 보호극의 전식 정도를 실험을 통해 분석하였다. 실험에서 주파수는 0.1Hz, 1Hz, 8Hz, 10Hz, 20Hz, 50Hz, 100Hz, 1kHz를 고려하였으며, 보호전극에 직류전류(DC)를 흘릴 경우도 같이 비교를 하였다. 이를 통해 저압직류(LVDC) 접지 환경에서 주파수에 따른 (-) 접지극과 (+) 접지극, 보호전극의 전식 정도를 분석하고 전식 정도가 낮은 최적의 주파수 조건을 제시한다.

2. 접지실험

2.1 실험환경

직류 접지 환경에서 (+) 접지극에 보호전극을 연결하여 (-) 접지극과 (+) 접지극, 보호전극의 손상정도에 관한 실험을 진행하였다.

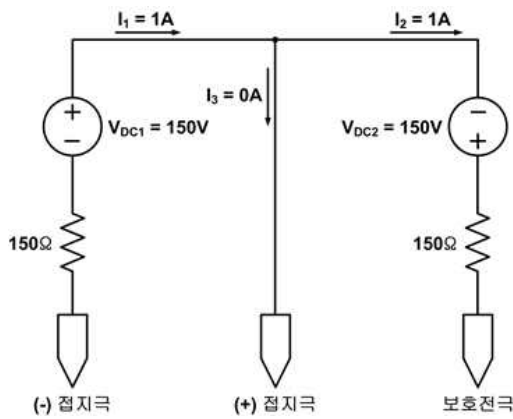
그림 1은 실험 환경을 나타낸다. 실험을 빠른 시간 안에 진행하기 위해, 접지극을 땅속에 매립하는 대신 소금물에 담그는 것으로 대체하였다. 이때 사용된 소금은 총 1.5kg이며, 소금물의 부피는 39.23L이다. 실험 진행 전 염도는 평균 3.4~3.5%로 관리 되었다.



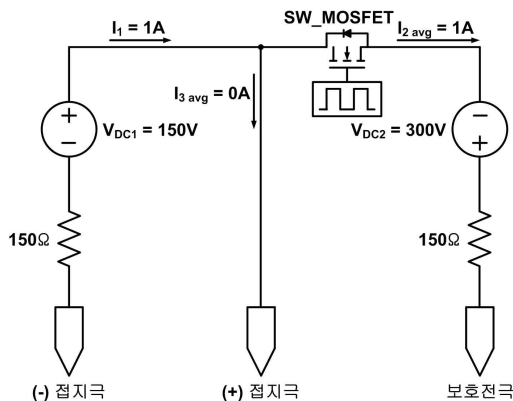
[그림 1] 실험 환경



[그림 2] 실험에서 사용된 접지극



[그림 3] 실험 개념도 (보호전극을 DC로 구동할 경우)



[그림 4] 실험 개념도 (보호전극을 펄스전류로 구동하는 경우)

그림 2는 실험에서 사용된 접지극을 나타낸다. 접지극은 (-) 접지극과 (+) 접지극, 그리고 보호전극으로 총 세 대를 사용하였다. 사용된 접지극의 재질은 단심 구리 전선이다. 소금물에 담궈 접지극 선의 길이는 22cm이며, 무게는 22cm 기준 7.6g이다. 접지극은 그림 1과 같이 왼쪽으로부터 (-) 접지극, (+) 접지극, 보호전극 순으로 소금물에 담갔다.

먼저 보호전극에 주파수를 가진 전류가 흐를 경우와 직류 전류(DC)가 흐를 경우에 대한 접지극의 손상정도를 비교하는 것이 필요하다. 이를 위해 보호전극에 전류(DC)가 흐를 경우에 대한 실험을 진행하였다. 그림 3은 보호전극을 DC로 구동할 경우의 실험 개념도를 나타낸다. 누전사고를 모의하는 (-) 접지극과 (+) 접지극 사이에 연결된 전원은 150VDC 전압의 전

[표 1] 접지극 전식실험에 대한 실험 결과

접지 실험	(-) 접지극		(+) 접지극		보호전극		전체 접지극 손상 정도 합 (%)
	무게 (g)	손상 정도 (%)	무게 (g)	손상 정도 (%)	무게 (g)	손상 정도 (%)	
DC	7.4	2.63	7.2	5.26	3.2	57.89	65.78
0.1Hz	7.4	2.63	7.4	2.63	3.3	56.58	61.84
1Hz	7.4	2.63	6.9	9.21	3.4	55.26	67.11
8Hz	7.4	2.63	7.3	3.95	3.5	53.95	60.53
10Hz	7.4	2.63	7.4	2.63	3.7	51.32	56.58
20Hz	7.4	2.63	7.3	3.95	3.2	57.89	64.47
50Hz	7.4	2.63	7.3	3.95	3.0	60.54	67.11
100Hz	7.4	2.63	7.2	5.26	2.9	61.84	69.74
1kHz	7.4	2.63	7.4	2.63	2.5	67.11	72.37

압원으로 설정하였다. 누설전류는 (-) 접지극에서 (+) 접지극으로 전류 1A가 흐르도록 150Ω값을 갖는 부하저항을 접속하였다. 보호전극 측의 전원은 누전사고 회로와 동일하게 150VDC 전압원과 부하저항 150Ω을 연결하여, 보상전류가 1A 흐르도록 하였다. 이를 통해 (+) 접지극에 흐르는 누설전류의 크기가 키르히호프 전류법칙에 의해 0A가 되어, 누전사고가 발생하는 (+) 접지극을 보호하도록 하였다. 이때 실험은 총 세 시간 동안 진행하였다.

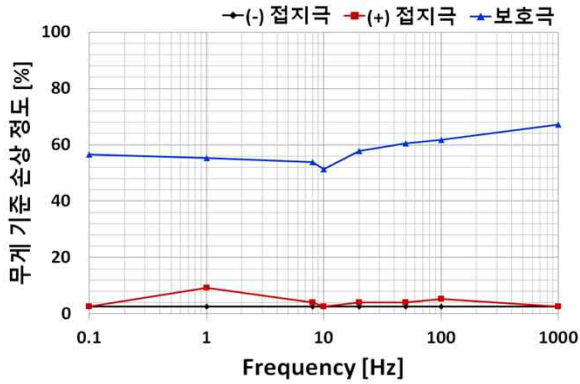
그림 4는 보호전극을 펄스전류로 구동할 경우의 접지극 전식 실험 개념도를 나타낸다. 보호전극은 그림 3과 동일한 구조로서 전압원을 사용하였다. 실험에서 보호전극에 흐르는 전류가 듀티비 0.5에 일정 주파수를 가지는 PWM 펄스파형의 형태를 갖도록 하기 위해, MCU를 통해 MOSFET의 Gate를 구동하여 MOSFET로 보호전극 전원을 PWM 파형의 형태로 On/Off 시켰다. 또한 PWM 파형의 전류 평균값 $I_{2\text{ avg}}$ 가 (+) 접지극에 흐르는 누설전류 크기 1A와 일치하도록, 보호전극 전압원의 전압은 300VDC으로 설정하고 보호전극 측에 부하저항 150Ω을 연결하였다.

실험에서의 주파수는 총 0.1Hz, 1Hz, 8Hz, 10Hz, 20Hz, 50Hz, 100Hz, 1kHz를 고려하였으며, 보호전극에 직류전류(DC)가 흐를 때의 실험과 동일하게 총 세 시간 동안 실험을 진행하였다. 실험이 끝난 후 접지극의 길이 22cm 기준 무게를 측정하여 세 개의 접지극의 손상정도를 평가함으로써, 보호전극에 직류전류가 흐를 때의 경우와 주파수에 따른 접지극의 전식정도를 같이 비교분석 하였다.

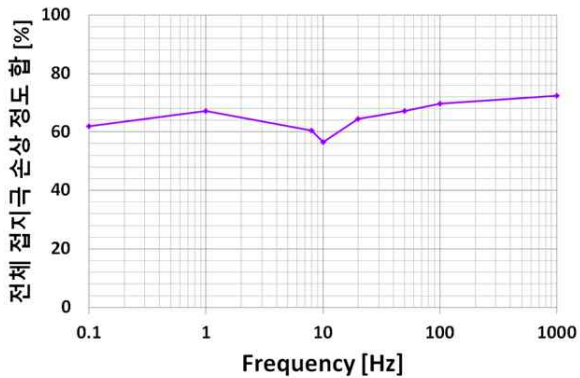
2.2 실험 결과

표 1은 보호전극에 직류전류(DC)가 흐를 때와 PWM 펄스 형태의 전류가 흐를 때, 주파수에 따른 (+) 접지극과 (-) 접지극, 보호극의 무게 및 손상 정도에 대한 실험 결과와 각 접지극의 손상정도를 합한 결과를 나타낸다. 손상정도(damage %)는 식 (1)과 같이 실험이전 접지선 무게 m_{before} 와 실험이후 접지선 무게 m_{after} 의 차이를 백분율로 구한 값을 100에서 빼준 값이다.

$$100 - \frac{m_{after}}{m_{before}} \times 100 = \text{damage} [\%] \quad (1)$$



[그림 5] 주파수에 따른 접지극의 손상정도



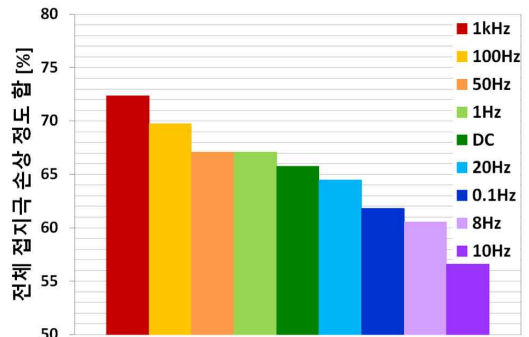
[그림 6] 주파수에 따른 전체 접지극의 손상정도의 합

그림 5는 표 1의 결과를 바탕으로 PWM 펄스전류의 주파수에 따른 (+) 접지극과 (-) 접지극, 보호전극의 손상 정도를 그래프로 나타내었다. 전체 주파수 조건에서 보호전극은 다른 접지극에 비해 전식으로 인한 손상정도가 높게 나타난다. 주파수 10Hz에서 보호전극의 손상정도가 가장 낮게 나타나며, 주파수에 따른 보호전극의 손상 정도는 10Hz 이상 및 이하의 주파수대에서 증가하는 결과가 나타난다.

(+) 접지극은 보호전극에 의해 전식으로 부터 보호되지만 주파수에 따라 손상정도가 다르게 나타나는 것을 보여준다. 주파수 10Hz 이하에서 주파수가 1Hz로 감소함에 따라 (+) 접지극의 손상정도가 증가하며, 1Hz에서 0.1Hz로 감소함에 따라 (+) 접지극의 손상정도가 다시 감소한다. 한편 주파수 10Hz 이상에서 주파수가 100Hz로 증가함에 따라 (+) 접지극의 손상정도가 증가하며, 100Hz에서 1kHz로 증가함에 따라 손상정도가 다시 감소한다. 이를 통해 주파수 10Hz 이하에서는 주파수가 1Hz에 근접할수록 (+) 접지극에 대한 보호정도가 감소하며, 주파수 10Hz 이상에서는 주파수가 100Hz에 근접할수록 (+) 접지극에 대한 보호정도가 감소하는 것을 확인할 수 있다. (-) 접지극은 환원반응에 의해 손상정도가 높지 않으며 주파수에 관계없이 일정하게 나타난다.

그림 6은 표 1의 3개 접지극의 전체 손상정도의 합에 대한 그래프를 나타낸다. 전체적으로 그림 5의 경향과 비슷하게 나타나지만, 주파수 1Hz에서 (+) 접지극의 손상정도가 높음으로 인해 1Hz에서 세 개 접지극 전체의 손상정도는 0.1Hz에서 세 개 접지극 전체의 손상정도보다 더 높게 나타난다.

그림 7은 보호전극에 직류전류(DC)가 흐를 때와 PWM 펄스 전류가 흐를 때의 세 개 접지극 전체 손상정도의 합에 대한



[그림 7] 각 실험에서의 접지극 손상정도의 합 비교

비교를 막대그래프로 나타낸다. 1kHz와 100Hz, 50Hz, 1Hz에서는 보호전극에 직류전류(DC)가 흐를 경우보다 전체 접지극의 손상이 심하다는 것을 보여주고 있으며, 20Hz와 0.1Hz, 8Hz, 10Hz에서는 보호전극에 직류전류(DC)가 흐를 경우에 비해 전체 접지극의 손상이 덜하다는 점을 보여주고 있다. 결과적으로 그림 6과 그림 7을 통해 (+) 접지극을 보호함과 동시에 보호전극의 전식정도가 낮은 최적의 주파수는 10Hz라는 것을 알 수 있었다.

3. 결론

본 논문은 저압직류(LVDC) 접지에서 전식에 의한 안전사고를 일으킬 수 있는 요인인 (+) 접지극을 보호하기 위한 방법을 제시하였고 성능을 비교하였다. 실험을 통해 저압직류 접지 환경에서 보호전극에 펄스 주파수를 인가하는 경우와 직류전류를 인가하는 경우에 따른 각 접지극의 전식 정도를 비교 분석하고 (+) 접지극을 보호함과 동시에 보호전극의 전식손상 정도가 낮은 최적의 주파수 조건을 찾아보았다. 전체 주파수 조건에서 모든 접지극은 주파수 10Hz 조건에서 전식에 의한 손상정도가 가장 낮은 것을 보였다. 이 주파수에서는 (+) 접지극을 보호함과 동시에 보호전극의 사용시간을 연장시킬 수 있다. 본 연구는 직류 배전 시스템을 보호함과 동시에 교량을 구성하는 철재범이나 지하에 설치된 금속 가스관을 전식으로 부터 보호하는 기술 분야에 적용할 수 있을 것으로 기대한다.

이 논문은 2016년도 정부(교육과학기술부)의 재원을 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임.
(2016R1D1A3B01008279)

참고 문헌

- [1] A. Yadav, A. Sharma, M. Chandra "Corrosion control using DC current Parallel wire system", 2014 International Conference on Advances in Engineering & Technology Research (ICAETR - 2014), Unnao, India, August, 2014.
- [2] S. Shankar. B, K. P. Pranav, Kiran. Raj. R, "Solar powered corrosion prevention in iron pipelines using Impressed Current Cathodic Protection", 2014 14th International Conference on Environment and Electrical Engineering, Krakow, Poland, May.