

배전반 접지저항 해석을 위한 시스템 설계

(Design a System for Analysis of Distributing Board with Grounding Resistance)

고봉운* · 부창진 · 최승준 · 정광자

(Bong-Woon Ko · Chang-Jin Boo · Seung-Joon Choi · Kwang-Ja Jeong)

Abstract

The grounding system of the subsurface should ensure the safe and reliable operation of power systems, and guarantee a human being's safety in the situation of grounding fault in the power system. The safety of power apparatus in the subsurface can be reached by decreasing grounding resistance and grounding potential rise of subsurface. This paper presents a method based on the design of an artificial neural network(ANN) model for modeling and predicting the relationship between the grounding resistance and temperature-humidity in the subsurface.

1. 서 론

정전사고가 없는 양질의 전기 공급을 위한 노력과 고밀도 에너지인 전기를 사용함에 따른 화재, 감전 등의 재해 발생가능성을 염두에 두지 않을 수 없다. 이때 정전사고 및 재해를 방지하기 위하여 필요한 것이 바로 접지설비로, 변압기의 중성점, 전기설비의 외함, 철대 등을 대지와 전기적으로 접속하여, 낙뢰·개폐써지·지락사고 등의 전기적인 고장으로 인한 위험으로부터 설비 및 사람을 보호하기 위한 것이다. 이것은 고장전류가 접지를 통해 대지로 흘러 들어갈 때 나타나는 대지전위와 전기설비 외함의 전위상승을 억제하는 중요한 안전 설비이다. 따라서 전기적인 고장으로 접지설비에 고장전류가 흐를 때, 고장전류와 접지저항의 곱으로 나타나는 전위상승을 줄이기 위해서는 접지저항을 규정값 이하로 낮추어야 한다[1].

양호한 접지시스템은 장비보호, 정전기에 대한 보호, 그리고 장비운용자를 안전하게 보호한다. 또한 접지시스템은 합선에 의한 지락전류, 낙뢰전류, 전력선 혹은 내외부의 강한 서지전압(surge voltage), 그리고 전류로부터 통신 및 각종 제어장치 손상을 예방한다[2]. 그러므로 이러한 본래의 보호기능을 수행하기 위해서는 세계적으로 공인된 IEEE, ANSI, NEC, OSHA 등의 규정에 의한 권고 사양을 만족시키는 신뢰성 높은 접지시스템이 요구된다. 이러한 안정성과 신뢰성을 지닌 접지시스템을 시공하기 위해 정확한 접지 저항 측정 및 설계가 가장 중요하다.

본 논문에서는 배전반 접지저항의 변동값을 계산하기 위해 실시간 접지저항 측정시스템 설계와 신경망 알고

리즘을 이용하여 온도와 습도에 따른 접지저항값 예측 시스템 설계를 통해 보다 안정적인 접지시스템 운영을 가능하게 하는데 목적을 두고 있다.

2. 본 론

2.1. 기본이론

반경이 r 인 동봉이 l [m] 길이로 대지에 타설되었을 때 저항값은 다음과 같다.

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad (1)$$

증가되는 dx 와 거리에 대해 나타내면 다음과 같다.

$$dx = \frac{\rho}{2\pi x^2 + 2\pi x l} dx = \frac{\rho}{2\pi l} \left[\frac{1}{x} - \frac{1}{x+l} \right] dx \quad (2)$$

저항값 R 에 대해 정리하면 다음과 같다.

$$R(x) = \frac{\rho}{2\pi l} \int_r^x \left[\frac{1}{x} - \frac{1}{x+l} \right] dx + \frac{\rho}{2\pi l} \left[\ln\left(\frac{x}{r}\right) - \ln\left(\frac{x+l}{r+l}\right) \right] \quad (3)$$

최종적으로 저항값 R 은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$R = \lim_{x \rightarrow \infty} R(x) = \frac{\rho}{2\pi l} \ln\left[\frac{r+l}{r}\right] \quad (4)$$

2.2. 측정방법

접지저항을 측정하는 방법으로는 3전극을 이용하는 전위강하법(fall-of-potential method)이 있는데, 이 방법은 타설된 접지봉부터 측정용 보조전극까지의 겘보기저항의 변화를 그래프로 나타내면 Fig. 1과 같다. 겘보기저항값은 타설된 접지봉에서 멀어지면서 증가하는 것을 알 수 있다. 이 곡선에 나타난 평탄한 부분은 타설된 접지봉과 전류 귀환하는 전극의 영향을 받지 않는 곳이며, 측정대상 접지전극의 접지저항 값이 된다. 일반적으로 측정하고자 하는 접지봉으로부터 이격거리의 61.8[%]가 되는 곳의 저항값을 접지저항으로 사용된다.

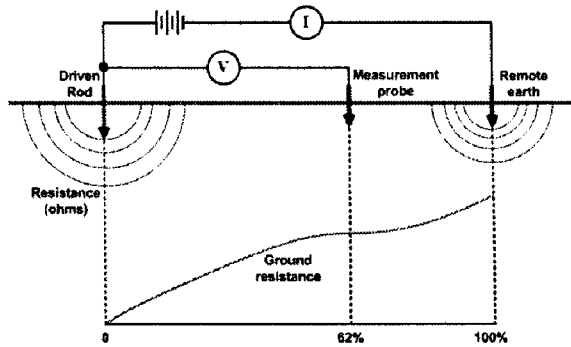


그림 1. 3점 전위차 측정법
Fig. 1. 3 point fall-of-potential method

접지저항을 측정하기 위한 또 다른 방법으로 Clamp-on 측정방법이 있는데, 이 방법은 측정 시 접지 시스템을 장비와 분리시키지 않고 측정할 수 있으며, 접지시스템에 연결된 모든 접지저항을 측정할 수 있으며, 또한 장비와 직접 접촉하지 않으므로 안전하며 측정절차가 쉽고 매우 정확한 측정을 할 수 있는 장점이 있다.

MGN(multi grounding neutral) 전력시스템이나 통신 케이블의 경우처럼 다중접지된 시스템의 경우 Fig. 2와 같이 등가 회로로 모델링될 수 있다.

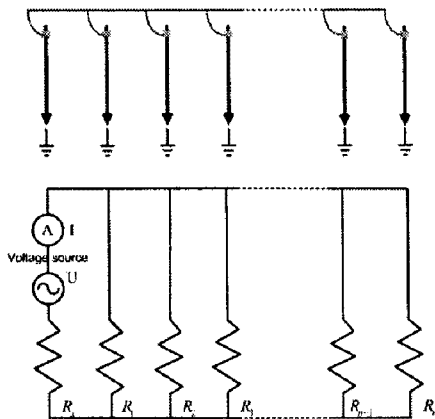


그림 2 Clamp-on 측정법
Fig. 2. Measurement of Clamp-on method

등가회로 상에서 전압 U 가 특별한 변압기를 통해 측정하고자 하는 접지 시설물에 인가된다면, 접지 내로 전류 I 가 흐르게 된다. 전체 접지회로로부터 다음과 같은 방정식을 얻게 된다.

$$\frac{U}{I} = R_x + \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i}} \quad (5)$$

여기서, 식(5)에서의 합성저항은 무시할 수 있으므로, 접지저항은

$$\frac{U}{I} \approx R_x \quad \text{단, } R_x \gg \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i}} \quad (6)$$

이다. 만일 전압 U 가 일정하여 전류 I 를 검출할 수 있다면, 측정할 접지봉의 접지저항을 얻을 수 있다. 따라서 식(6)으로부터 접지저항(R_x)을 얻게 된다. Fig. 2에서 전류 I 는 일정한 전압 발전기(voltage oscillator)에서 전력증폭기를 거친 후 변압기를 통해 장비의 송신단에서 공급되고, 이 전류는 장비의 수신단에서 검출할 수 있게 된다.

2.3. 다층신경망

신경망은 병렬로 작동되는 많은 인공뉴런 (artificial neuron)으로 구성되며, 이 인공뉴런은 뉴런이 갖는 입력과 가중치 벡터를 곱해서 더한 결과를 하나의 활성화함수 (activation function)에 적용하는 방식으로 계산되는 처리요소이다. Fig. 3은 본 논문에서는 다층신경망 (multilayer perceptron)을 나타내었고, 입력층, 은닉층, 출력층 등의 3개의 층으로 복잡하게 구성되었으며, 각각의 층은 여러 개의 노드로 구성되어 있다[3].

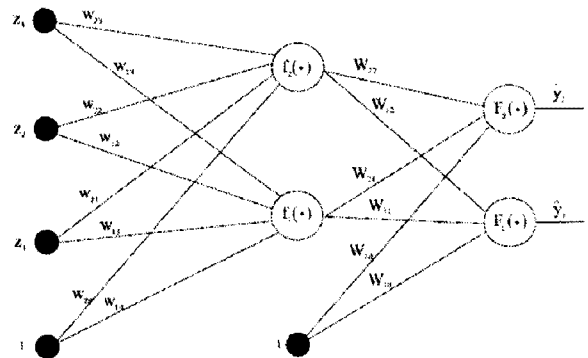


그림 3. 다층신경망
Fig. 3. Multilayer perceptron

다층신경망은 다음에 대한 고려를 하게 된다.

$$\begin{aligned} \hat{y}(w, W) &= F_i \left(\sum_{j=1}^q W_{ij} h_j(w) + W_{i0} \right) \\ &= F_i \left(\sum_{j=0}^q W_{ij} f_j \left(\sum_{l=1}^m w_{jl} z_l + w_{j0} \right) + W_{i0} \right) \end{aligned} \quad (7)$$

입력 $u(t)$ 와 이에 상응하는 출력 $y(t)$ 의 학습에 대한 설정을 하게 되면 다음과 같다.

$$Z^N = \{[u(t), y(t)] \mid t=1, \dots, N\} \quad (8)$$

학습의 목적은 가중치 설정에 대한 학습데이터 설정으로부터 맵핑을 결정하는데 있다.

$$Z^N \rightarrow \hat{\theta} \quad (9)$$

예측오차에 대한 접근은 다음과 같이 나타낼 수 있으며[4],

$$V_N(\theta, Z^N) = \frac{1}{2N} \sum_{t=1}^N [y(t) - \hat{y}(t|\theta)]^T [y(t) - \hat{y}(t|\theta)] \quad (10)$$

가중치는 $\hat{\theta} = \min V_N(\theta, Z^N)$ 이며 다음과 같은 반복 최소화 전략에 의해 나타낼 수 있다.

$$\theta^{(i+1)} = \theta^{(i)} + \mu^{(i)} f^{(i)} \quad (11)$$

여기서 $\theta^{(i)}$ 는 현재 반복이고 $f^{(i)}$ 는 탐색방향, $\mu^{(i)}$ 는 단계크기를 나타낸다.

2.4. 접지저항 측정방법

현장에 온도센서와 습도센서를 설치하고, Clam-on 방식의 접지저항계를 연결하여 접지저항값을 측정하였다. 이때 온도와 습도 센서데이터 측정과 접지저항 측정은 5분 간격으로 측정하게 되며 이때의 데이터는 현장의 TCP/IP를 사용한 서버에 저장되어 사용자가 원격지에서 액세스할 수 있도록 설계하였다. 설계된 시스템을 Fig. 4에 나타내었다.

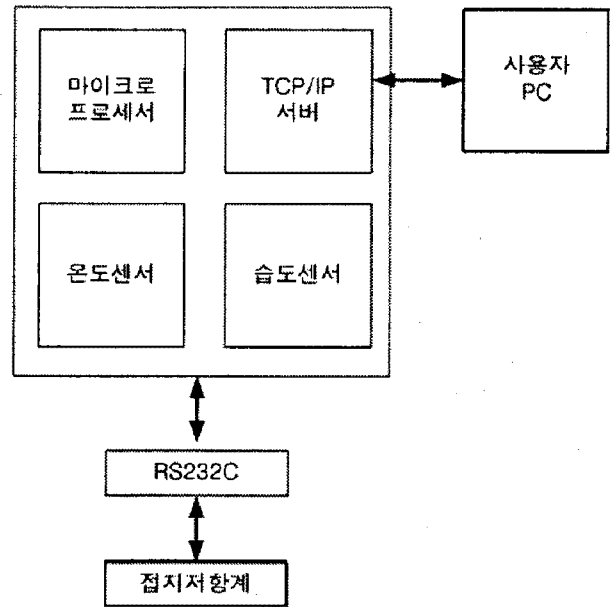


그림 4. 접지저항 측정방법
Fig. 4. Measurement of grounding resistance

2.5. 다층신경망 설계

현장의 접지저항 출력으로 설정하고 온도와 습도를 입력으로 설정하게 된다. Fig. 5는 신경망 구성을 나타내었으며 여기서 입력층은 온도, 습도이며 출력층은 접지저항을 이다. 입력2에 출력 1인 네트워크로 설정되며, 10개의 은닉층으로 구성하였다[5].

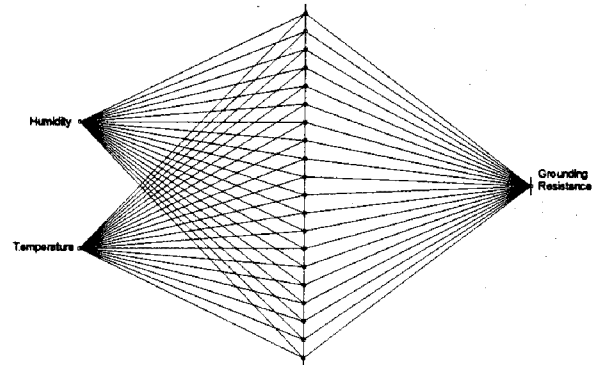


그림 5. 신경망 구성
Fig. 5. Definition of MLP

3. 측정결과 및 컴퓨터 시뮬레이션

설계된 시스템을 이용하여 현장에서 측정된 데이터를 온도, 습도, 접지저항으로 분류하여 데이터를 측정하였다. 온도의 변화폭은 2[°C] 내외이며, 습도는 3[%] 정도의 변화를 보이고 있으며 접지저항은 13.9[Ω]-14.1[Ω]으로 변화가 거의 없는 형태이다. Fig. 6에 측정된 데이터를 나타내었다.

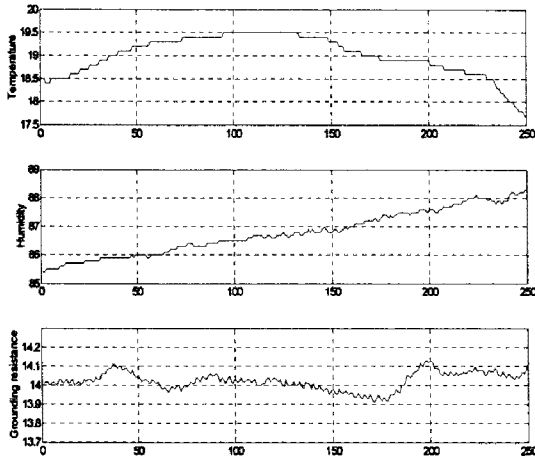


그림 6. 온도, 습도, 접지저항 측정결과
 Fig. 6. Measurement of temperature and humidity and grounding resistance

측정된 250개의 온도와 습도 데이터를 입력으로 설정하고 Back-propagation 과 Levenberg-Marquardt 방법의 학습알고리즘을 이용하여 1000번의 반복을 수행하였다. 학습한 결과를 Fig. 7과 Fig. 8에 나타내었으며, Levenberg-Marquardt 방법의 오차가 적은 것을 알수 있다.

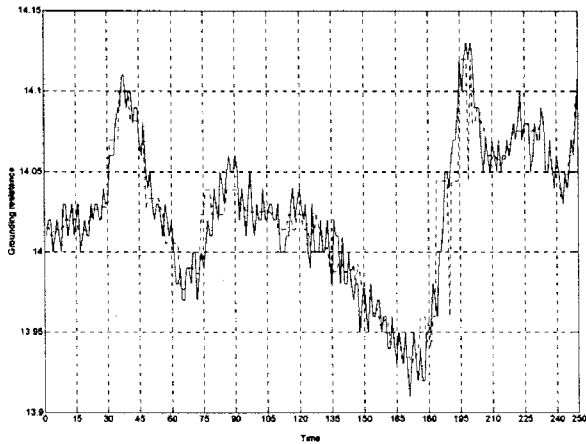


그림 7. Back-propagation 알고리즘.
 Fig. 7. Back-propagation algorithm

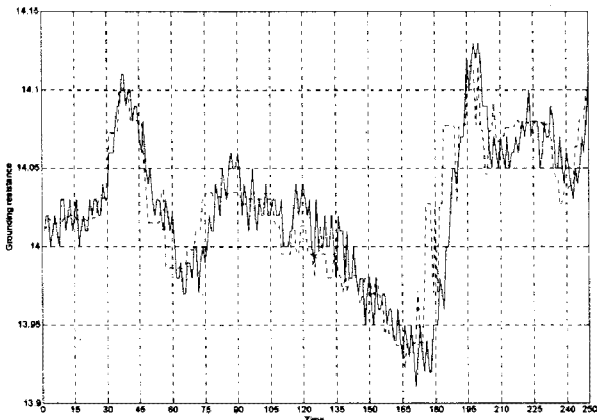


그림 8. Levenberg-Marquardt 방법
 Fig. 8. Levenberg-Marquardt method

4. 결론

본 논문은 배전반 접지저항 해석을 위한 접지저항 측정 및 분석을 할 수 있는 시스템을 제안하였으며, 원격지에 설치된 시설물이 동작하고 있을 때 Clamp-on방식의 측정을 하고 측정된 데이터를 서버에 저장하여 원격지에서 접근하여 신경망 알고리즘을 이용하여 온도와 습도에 의한 접지저항 변동을 예측할 수 있는 시스템을 구현할 수 있었다. 신경망 알고리즘의 예측에 사용된 알고리즘은 Levenberg-Marquardt방법이 상대적으로 적은 오차를 발생하였다. 향후 학습능력을 향상시키고 외란인가에 대한 성능평가를 통해 예측능력을 향상시키면 실제 시스템에 적용이 가능하리라 기대된다.

참고문헌

- [1] IEEE STD-80, IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding, 1996.
- [2] 강인권, "최신 파워 시스템과 접지기술", 성안당, 2004
- [3] H. Demuth & M. Beale, "Neural Network Toolbox: User's Guide, Version 3.0", The MathWorks Inc., Natick, MA, 1998.
- [4] M.E. Salgado, G. Goodwin, R.H. Middleton, "Modified Least Squares Algorithm Incorporating Exponential Forgetting And Resetting", Int. J. Control, 47, pp. 477-491.
- [5] J. Hertz, A. Krogh & R.G. Palmer "Introduction to the Theory of Neural Computation", Addison-Wesley, 1991.