

ITS설비의 안정화를 위한 대지파라미터 및 등가대지저항률 추정 알고리즘 개발

A Development of Earth Parameters and Equivalent Resistivity Estimation Algorithm for ITS Facility Stabilization

이 중 필* · 임 재 윤** · 지 평 식†
(Jong-Pil Lee · Jae-Yoon Lim · Pyeong-Shik Ji)

Abstract - Earth equipments are essential to protect ITS facilities from abnormal situation. In this research, an estimation algorithm of earth parameters and equivalent resistivity is introduced. Traditional estimation methods can be divided into graphic method and numerical method. The result of graphic method is varied by the ability of expert or repeated calculation and it is hard to estimate the parameters precisely. The numerical method requires special techniques such as optimizing theory, and numerous calculations, whose results can be varied with initial values. The proposed algorithm is based on the relationship between apparent resistances and earth parameters and approximates the nonlinear characteristics of earth using ANN(artificial neural networks). The effectiveness of proposed method is verified in case studies.

Key Words : ANN, Earth parameter, Equivalent resistivity, LMBP, MLP

1. 서 론

ITS 설비의 안정성은 설비 운용의 측면에서 매우 중요하다. 대부분의 ITS 설비들은 전기 에너지를 이용해서 운용되고 있고 전기적인 충격에 비교적 취약한 형편이다. ITS 설비의 안정성을 확보하기 위해서는 정전사고 및 재해의 방지가 필수적이고 이를 위하여 필요한 것이 바로 접지설비로, 변압기의 중성점, 전기설비의 외함, 철대 등을 대지와 전기적으로 접속하여, 낙뢰·개폐서지·지락사고 등의 전기적인 고장으로 인한 위험으로부터 설비 및 사람을 보호하기 위한 것이다.

고장전류가 접지선을 통해 대지로 흘러 들어가는 경우 전기설비 외함과 대지전위의 상승을 억제하기 위해서는 접지설비가 필요하다. 어떠한 원인으로 접지설비에 지락전류가 흐를 때, 지락전류와 접지저항의 곱으로 나타나는 전위상승을 최대한 제한하기 위해서는 설비의 접지저항값을 규정된 값 이하로 낮추어야 한다[1-5]. 접지저항은 전극재료 자체의 저항, 전극과 대지와의 접촉저항 그리고 대지저항률의 세 가지에 의하여 결정되는데[6], 여기에서 전극재료의 저항은 도체의 종류와 크기에 따라 결정되는 매우 작은 값이고, 접촉저항 또한 접지저항재 등을 이용할 경우 무시할 수 있을 정도까지 낮추는 것이 가능하기 때문에, 접지저항의 크기는 이

세 가지 요소 중 주로 대지저항률에 의하여 결정된다[7].

대지저항률은 대지의 고유한 성질을 표시하는 것으로, 대지를 이루고 있는 성분이 균일한 것이 아니므로 불확실한 인자들로 인하여 이를 정확히 측정한다는 것은 사실상 불가능한 일이다. 따라서 대지저항률을 구하는 방법은 비균질한 대지를 균일한 성분으로 구성된 여러 개의 층으로 구성되어 있다고 가정하고 겹보기 저항률을 측정하여 그 결과로부터 각 층의 저항률과 두께(대지파라미터)를 추정하고 해석하는 방법을 사용하고 있다.

겹보기 저항률로부터 대지파라미터를 구하기 위한 방법으로는 그래픽법, 해석적 방법, 컴퓨터를 이용한 방법 등이 있는데 이 방법들은 비균질한 대지를 각 층마다 균일한 2층 또는 그 이상의 다층구조라는 전제하에 작성되거나 프로그램 되어있다. 따라서 실제의 대지저항률과는 차이가 있고, 해석할 때 전문가의 기술과 경험이 필요하거나 계산량이 많아 현장에서 이용하는 데는 한계가 있다. 게다가 대지파라미터들을 구한 후에 그 결과로부터 다시 등가대지저항률을 계산해야 하는 번거로움이 있어, 현장에서는 진술한 방법 이외에 공사 현장의 토양샘플을 채취하여 그 저항률 값을 그대로 사용하는 경우도 있다.[8-9]

이러한 문제점을 해결하기 위하여 대지구조에 따라 신경회로망을 구축하여 대지파라미터와 등가대지저항률을 계산할 것을 제안하였다[10]. 그러나 이 방법은 대지의 구조를 분류한 후, 해석하고자하는 대지의 구조에 따라 대지 저항률 등을 추정하였다. 그러나 이 방법은 대지 구조 추정 후 대지 저항률을 추정하는 다단 구조형태로 계산량이 많을뿐만 아니라 대지 구조 추정 부분에서 오류가 발생할 경우 부정확

* 정 회 원 : 한국교통대 전기공학과 겸임교수 · 공박

** 종신회원 : 대덕대학 전기과 교수 · 공박

† 교신저자, 시니어회원 : 한국교통대 전기공학과 교수 · 공박

E-mail : psji@ut.ac.kr

접수일자 : 2013년 11월 6일

수정일자 : 2013년 11월 25일

최종완료 : 2013년 11월 27일

한 결과를 초래할 수 있는 단점이 있다. 따라서 본 연구에서는 대지의 구조를 추정하는 과정 없이 겉보기 대지저항률을 이용하여 대지파라미터와 등가 대지저항률을 추정하는 알고리즘을 개발하였다. 개발된 방법은 현장의 기술자가 경험이 많지 않아도 다년간 경험을 가진 사람과 같은 판단을 내릴 수 있도록 신뢰도 높은 정보를 제공한다.

2. 대지저항률의 측정과 해석기법

2.1 대지 파라미터

대지는 여러 가지 대지 저항률을 가진 토양의 집합체이다. 일반적으로 대지는 유사한 토양들로 이루어진 층을 이루고 있는데 수평지층이나 경사지층 등으로 생각할 수 있다. 대지 파라미터란 지층의 두께와 이의 대지 저항률을 말한다. 대지 저항률이란 흙의 종류나 수분의 양 혹은 온도 등에 의해 결정되는 것으로 측정 당시의 온도, 습도 등 여러 가지 불확실한 인자들에 의해 영향을 받기 때문에 정확히 측정한다는 것은 현실적으로 불가능하다. 현재 사용되고 있는 대부분의 대지저항률 측정법은 Mr. F. Wenner가 제안한 등간격의 4전극법을 변형시킨 것으로 사용되는 기기가 다양하고 측정 결과에 대한 해석 방법도 비교적 간단하여 전력계통 접지설계시 대부분 이 방법을 사용하고 있다[6].

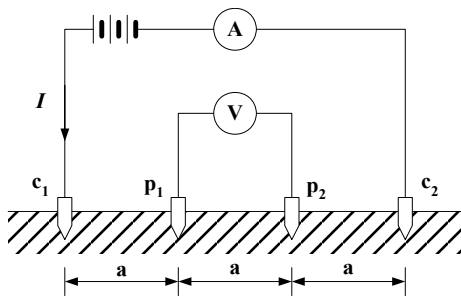


그림 1 Wenner의 4전극법
Fig. 1 Wenner's configuration

Wenner 4전극법 배열은 그림 1에서와 같이 측정 대상 부지 내에 선정된 일직선상의 내부에 전위전극 (P₁과 P₂), 외부에 전류전극(C₁과 C₂)을 설치하고, C₁과 P₁, P₁과 P₂, P₂와 C₂의 거리가 각각 a인 등간격이 되도록 배치하고, 외부의 전류 전극(C₁과 C₂)에 전류 I를 주입하고, 내부의 전위전극(P₁과 P₂) 사이의 전위차 V를 측정하여 R=V/I의 관계로부터 대지저항을 구하는 것이다. 이 대지저항 R은 전극간격 a일 때의 겉보기 대지저항률 ρ_a와 비례하는데 이를 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$\rho_a = \alpha \frac{V}{I} = 2\pi a R \quad (1)$$

여기서, α는 전극의 배치에 따른 기하학적 계수이다.

2.2 대지파라미터의 추정

Wenner의 4전극법에 의해 대지저항률을 측정했을 때, 측

정용의 전류가 침투한 깊이까지의 저항률 평균값을 얻을 수 있으며, 전극간격을 크게 잡으면 그 만큼 깊숙히 전류가 침투하여 깊은 층의 저항률이 측정값에 영향을 미친다. 이를 이용해서 저항률의 깊이 방향의 변화를 지상에서 추정하는 방법이 개발되었는데 이것이 ρ-a 곡선에 의한 추정법이다. 전극간격 a를 여러 가지로 바꾸어 같은 지점의 저항률 ρ를 a에 대해 추적하여 그래프로 나타내면 그림 2와 같은 ρ-a 곡선을 얻을 수 있다. 대지가 균일한 층이면 전류극 C₁에서 C₂에 흐르는 전류의 분포는 거리가 멀어지더라도 변하지 않으나 대지가 2층 이상의 구조인 경우 전극간격과 지층의 깊이, 토양의 종류에 따라 곡선의 모양이 변화하게 된다. 그림 2의 ρ-a 곡선은 수평 2층 구조의 대지에 대한 예이다. 대지가 그림 2의 (a)와 같은 수평 2층구조로 되어 있다고 할 때 Wenner의 4전극법을 이용한 경우의 겉보기대지저항률은 다음 식과 같다.

$$\rho_a = \rho_1 \left[1 + 4 \cdot \sum_{n=1}^{\infty} \frac{k^n}{\sqrt{1 + 4n^2 \left(\frac{d}{a}\right)^2}} - 2 \cdot \sum_{n=1}^{\infty} \frac{k^n}{\sqrt{1 + n^2 \left(\frac{d}{s}\right)^2}} \right] \quad (2)$$

여기서, $k = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1}$, ρ₁은 제 1층의 대지저항률, ρ₂는 제 2층의 대지저항률이고 d는 지층의 두께이다.

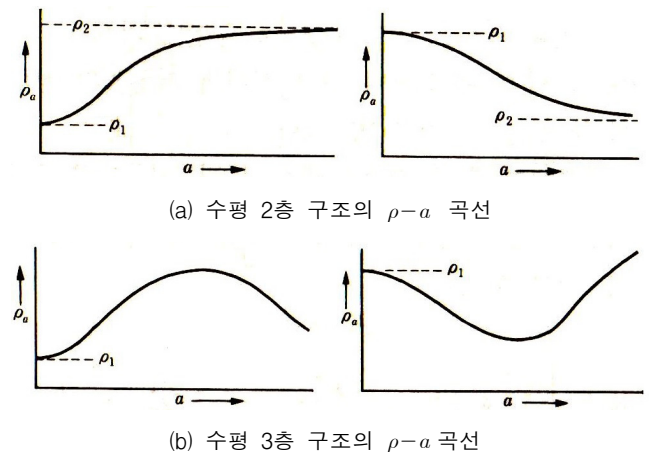


그림 2 ρ-a 곡선의 예
Fig. 2 Examples of ρ-a curve

즉, 겉보기 대지저항률은 각층의 대지저항률과 층의 두께 그리고 전극의 간격에 따른 함수로 이 값들은 이용하여 그래프로 나타낸 것이 2층 표준곡선이다. 표준곡선의 대표적인 것으로 그림 3의 Sundberg의 2층 표준곡선이 있다 [6].

대지구조의 해석에는 경험적인 방법과 해석적인 방법이 사용되는데, 경험적인 방법은 Wenner 4전극법에 의해 얻어진 ρ-a 곡선을 투명한 용지에 그린 후 그림 3의 2층 표준곡선 커브에 겹쳐서 각 파라미터를 찾아가는 방법이고, 수치해석적인 방법은 측정된 값과 식 (2)의 파라미터를 이용하여 계산된 값의 차에 대한 수치적 최적화 기법을 이용하는 방법이다. 경험적 방법은 수작업을 통해 대지 저항률을 추정하는 것으로 기술자의 역량에 따라 계산 결과가 바뀌고 동일한 자료에 대해 반복계산을 할 때에도 그 계산 결과가 달

라지게 되어 정밀한 값을 구하기 어렵다는 단점이 있다. 수치해석적 방법은 대지의 구조에 대한 정보를 얻을 수 없고 매우 복잡하며 많은 계산량을 요구한다. 또한 수치해석적 방법은 초기 값에 따라 그 결과가 달라질 수 있어 초기 값을 바꾸어주면서 여러 번 반복계산을 한 후 적절한 값을 선택해야 한다. 수치해석적 방법의 하나인 상용 프로그램을 이용하는 방법은 사용자가 직접 복잡한 계산을 수행 할 필요는 없으나 역시 초기값에 민감하고 계산량이 많으며 가격 또한 고가이다.

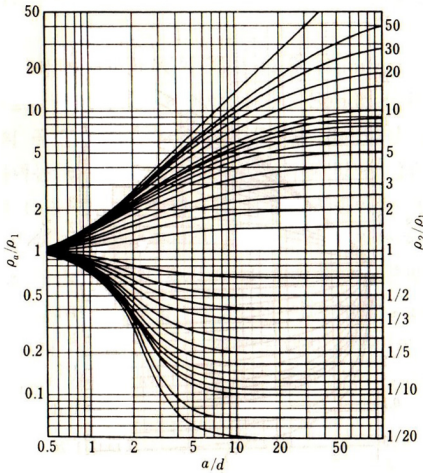


그림 3 Sundberg의 2층 표준곡선
Fig. 3 Sundberg's standard curve

3. 제안된 신경회로망에 의한 대지저항률 추정기법

3.1 개요

본 연구의 목적은 대지파라미터와 등가대지저항률을 기존의 그래픽법이나 컴퓨터를 이용하는 방법대신 신경회로망을 이용하여 해석하는 알고리즘을 제안하는 데 있다. 따라서 대지파라미터와 등가대지저항률을 해석하는 신경회로망 알고리즘을 제안한다. 이 알고리즘에서의 입력데이터는 걸보기 저항률 측정시의 전극 간격과 측정된 저항률 데이터로 하고, 출력데이터는 대지파라미터와 등가대지저항률로 한다. 이 알고리즘은 우리나라 여러 현장에서 Wenner 측정법에 의해 측정된 ρ -a 데이터를 기본 데이터로 하여 전극간격에 따른 ρ -a 데이터를 입력자료로 하고, CDEGS 프로그램으로 구한 대지파라미터와 이 값을 이용하여 계산한 등가대지저항률 값을 출력데이터로 하여 학습시키는 알고리즘이다.

3.2 신경회로망의 구조 및 학습

신경회로망은 병렬처리, 높은 연산율, 고장에 대한 내력, 다양한 적응성 등의 장점으로 많은 연구자들이 여러 연구 분야의 문제들에서 해법을 찾기 위한 수단으로 이용되어 왔다.

본 연구에서는 Levenberg-Marquardt 학습방법(LMBP)을 이용하여 신경회로망을 학습 시켰다. LMBP 알고리즘은 다층형 신경회로망의 학습방법 중 가장 빠른 방법으로 알려져 있다. LMBP 학습은 많은 저장 공간을 필요로 하는 알고리즘이므로 파라미터의 수가 매우 많아지면 비실용적일 수 있어 본 연구에서는 적은 수의 파라미터만을 사용한다[11].

LMBP 알고리즘을 그림 4에 나타내었다. LMBP학습의 첫 단계는 식 (3)을 이용하여 모든 입력들의 오차제곱 합을 구하는 것이다.

$$F(W) = \sum_{q=1}^Q (t_q - a_q^o)^T (t_q - a_q^o) \tag{3}$$

$$= \sum_{q=1}^Q e_q^T e_q = \sum_{i=1}^N (v_i)^2$$

여기서, $e_{j,q}$ 는 q번째 입출력쌍에 대한 오차의 j 번째 요소이다.

오차 제곱합이 구해지면 식 (4)의 자코비안 행렬을 계산하고 식 (5)에 의해 연결가중치가 갱신된다.

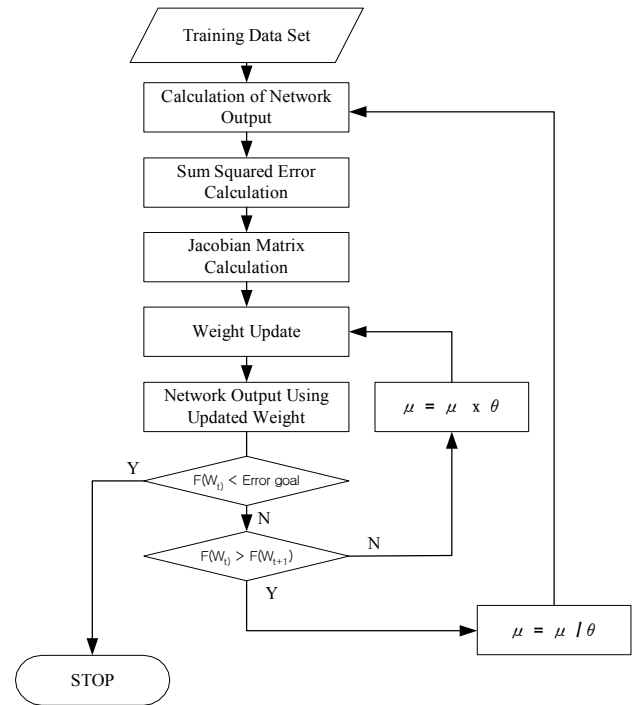


그림 4 LMBP 학습 알고리즘
Fig. 4 LMBP learning algorithm

$$J(x) = \begin{bmatrix} \frac{\partial e_{1,1}}{\partial w_{1,1}^1} & \frac{\partial e_{1,1}}{\partial w_{1,2}^1} & \dots & \frac{\partial e_{1,1}}{\partial w_{s^1,R}^1} & \frac{\partial e_{1,1}}{\partial b_1^1} & \dots \\ \frac{\partial e_{2,1}}{\partial w_{1,1}^1} & \frac{\partial e_{2,1}}{\partial w_{1,2}^1} & \dots & \frac{\partial e_{2,1}}{\partial w_{s^1,R}^1} & \frac{\partial e_{2,1}}{\partial b_1^1} & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{\partial e_{s^M,1}}{\partial w_{1,1}^1} & \frac{\partial e_{s^M,1}}{\partial w_{1,2}^1} & \dots & \frac{\partial e_{s^M,1}}{\partial w_{s^1,R}^1} & \frac{\partial e_{s^M,1}}{\partial b_1^1} & \dots \\ \frac{\partial e_{1,2}}{\partial w_{1,1}^1} & \frac{\partial e_{1,2}}{\partial w_{1,2}^1} & \dots & \frac{\partial e_{1,2}}{\partial w_{s^1,R}^1} & \frac{\partial e_{1,2}}{\partial b_1^1} & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \end{bmatrix} \tag{4}$$

$$W_{k+1} = W_k - [J^T(W_k)J(W_k) + \mu_k I]^{-1} J^T(W_k)v(W_k) \tag{5}$$

여기서, J는 자코비안 행렬이다. 신경회로망의 입력으로는 7개 지점의 걸보기 저항률 측정 자료를 이용하고, 출력으로는 각각 대지파라미터(ρ_1 , ρ_2 , depth, ρ_a)를 설정하였다.

4. 사례 연구

4.1 자료 획득

Wenner 4전극법에 의해 원하는 장소에서 7[개] 지점의 겐보기 저항률을 측정하고, 측정된 자료를 이미 학습된 신경 회로망에 입력시켜 대지파라미터와 등가대지저항률의 값을 계산하게 된다.

본 논문에서 사용하는 입력데이터는 국내 각 지역에서 실제로 측정된 데이터로, 그 측정은 그림 5의 예에서와 같이 Wenner의 4전극법으로 해당지역의 각 측정선을 따라 실시하였다. 출력데이터로 쓰일 등가대지저항률은 이러한 입력력 데이터를 SES社의 CDEGS 프로그램에 의한 대지파라미터와 이 값을 등가대지저항률 식에 대입하여 구하였다. 이와 같은 절차에 의하여 수집된 입·출력 데이터는 등가대지저항률 해석을 위한 데이터로 이용한다.

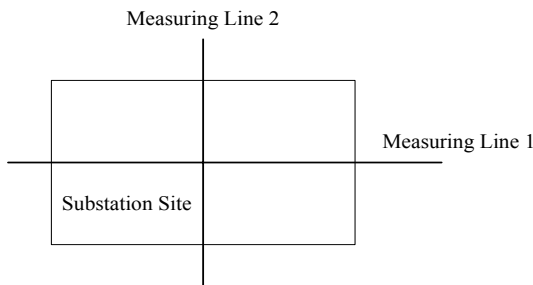


그림 5 Wenner 4전극법의 측정 예

Fig. 5 An example of measuring plan for Wenner's method

측정된 데이터 중에 사례연구를 위하여 전극간격에 따른 대지저항률 값이 높은 값에서 낮은 값으로 변화되는 데이터 (UD Type) 110 [개]와 반대로 낮은 값에서 높은 값으로 변화되는 데이터(UD Type) 110 [개]를 선정하여 총 220 [개]의 데이터로 선정하였다. 전체 220 [개]의 데이터 중에 절반 (홀수번째 데이터)은 신경회로망의 학습에 사용하고 나머지 절반(짝수번째 데이터)은 학습된 신경회로망의 성능평가에 사용하였다.

4.2 신경회로망 학습결과

신경회로망의 입력층은 Wenner의 4전극법으로 측정된 겐보기대지저항률 자료를 사용하기 위해 7개의 뉴런으로 설정하였으며, 출력층은 추정 목표인 대지파라미터와 등가대지저항률로 하여 하나의 뉴런으로 설정하였다. 또한 은닉층은 15개의 뉴런으로 구성하였고 초기 학습률은 0.001로 하여 학습이 진행됨에 따라 증감하도록 하였다. 최대 반복횟수는 500회로 하였으나 모든 경우에서 40회 이내에 학습이 완료되었다. 신경회로망의 학습이 완료된 후, 학습에 사용하지 않은 자료를 이용하여 학습된 신경회로망의 성능을 평가하였다.

전체 데이터에 대한 추정결과를 그림 6에 나타내었다. 그림 6에서 상단의 그래프는 학습에 사용된 데이터를 신경회로망 모델에 다시 입력시켜 얻은 결과이고 하단의 그래프는 학습에 사용되지 않은 검증용 데이터를 이용한 추정결과이다. 각 그래프의 가로축은 입력자료의 번호이고 세로축은 정규화된 저항값이다.

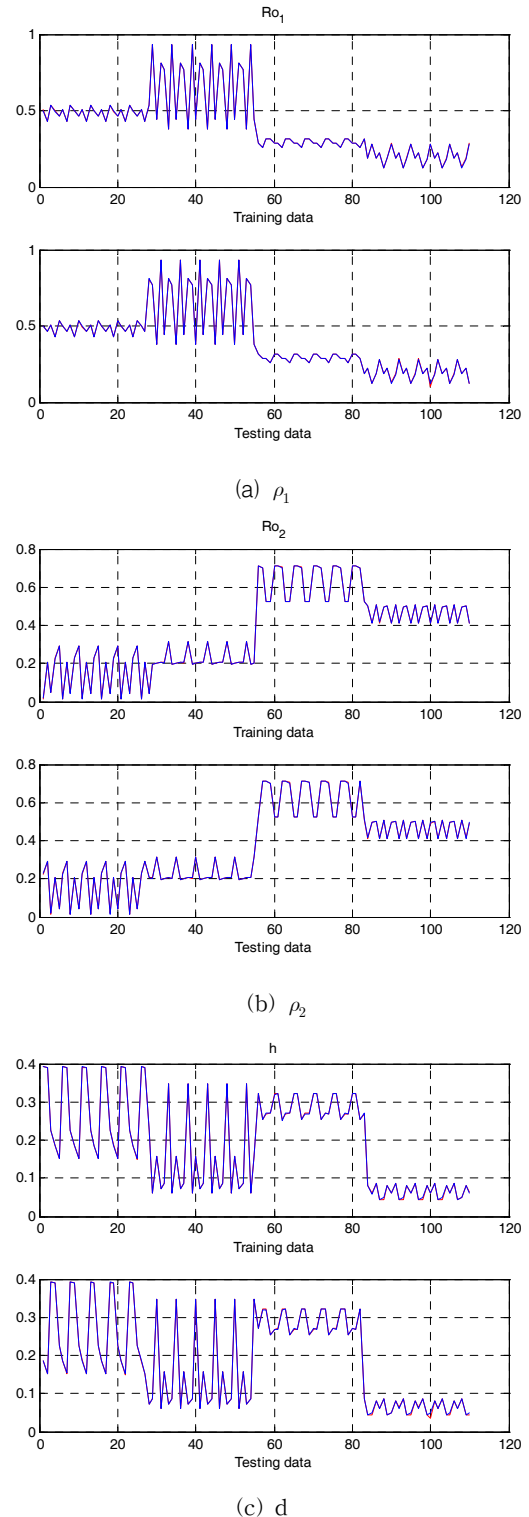


그림 6 대지파라미터 추정 결과

Fig. 6 Estimation result of earth parameters

그림 6에서 보이는 바와 같이, 이미 학습에 사용된 데이터를 다시 신경회로망 모델에 입력시켜 얻은 대지파라미터 (ρ_1 , ρ_2 , h)에 대한 오차는 각각 0.2344 [%], 0.2078 [%], 0.5271 [%]로 매우 양호하게 학습되었음을 알 수 있다. 또한 학습에 사용하지 않은 데이터를 입력시켰을 때의 오차는 각

각 0.3955 [%], 0.2049 [%], 0.8439 [%]로 학습에 사용한 데이터를 이용한 결과보다 약간 증가하였으나 매우 양호하게 추정하고 있음을 알 수 있다. 다른 대지파라미터들에 비해 깊이의 경우 오차가 더 큰 결과가 나왔는데, 이것은 본 연구에서 측정간격을 2[m], 4[m], 6[m], 10[m] 등으로 비교적 크게 잡은 이유 때문에 나타난 것으로 사료된다.

본 연구에서 오차는 식 (6)을 이용하여 계산하였다.

$$SSE = \frac{1}{n} \sqrt{\sum_{i=1}^n (t_i - c_i)^2} \times 100 \quad (6)$$

$$AER = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{t_i - c_i}{t_i} \right| \times 100$$

여기서, t_i : 목표값(실제값), c_i : 신경회로망 출력
 n : 해석 패턴수

그림 7에는 등가대지저항률에 대한 추정결과를 나타내었다. 등가대지저항률의 경우 학습에 사용한 자료와 테스트 자료에 대한 추정오차가 각각 0.1422 [%]와 0.1600 [%]로 매우 양호하게 추정하고 있음을 알 수 있다.

표 1에 학습이 완료된 신경회로망 모델에 학습에 사용된 자료를 다시 입력시켜 얻은 결과와, 학습에 사용하지 않은 자료를 입력시켜 얻은 결과에 대한 오차를 정리하였다. 표 1에서 보는 바와 같이 학습자료와 테스트 자료 모두 대지 대지 파라미터를 양호하게 추정함을 알 수 있다. 그림 8에는

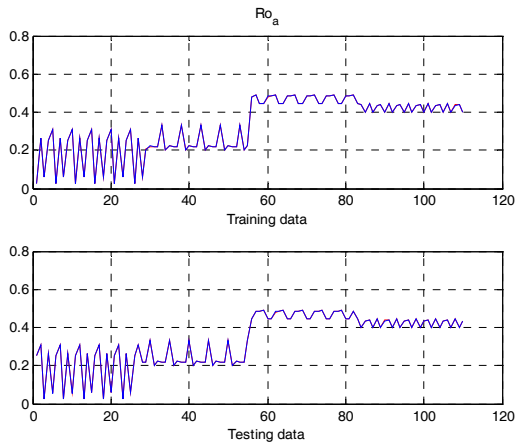


그림 7 등가대지저항률 추정결과
 Fig. 7 Estimation result of equivalent resistivity

표 1 신경회로망 학습결과

Table 1 ANN training result

	학습자료		테스트자료	
	SSE	AER	SSE	AER
ρ_1	0.0131	0.2344	0.0213	0.3955
ρ_2	0.0048	0.2078	0.0074	0.2049
h	0.0079	0.5271	0.0128	0.8439
ρ_a	0.0033	0.1422	0.0053	0.1600

추정 오차에 대한 분석의 한 예로 ρ_2 에 대한 오차의 분포를 나타내었다. 대부분의 오차가 0 부근에 존재하고 어느 한쪽으로 치우침 없이 분포하고 있으므로 신경회로망의 학습이 잘 이루어졌음을 알 수 있다.

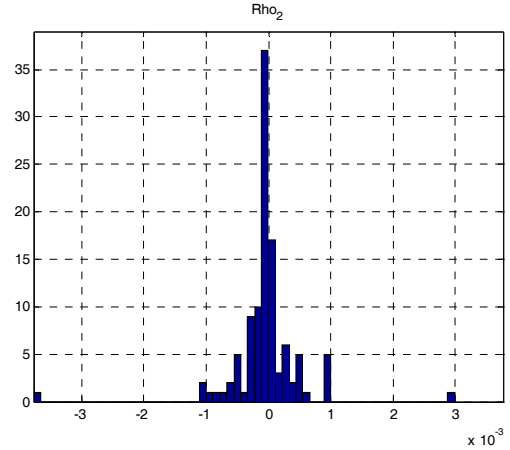


그림 8 잔차분석 결과
 Fig. 8 Result of residual analysis

5. 결 론

본 연구에서는 LMBP 신경회로망을 이용하여 등가대지저항률과 대지파라미터를 해석하는 방법을 제안하였다. 제안된 방법은 이제까지 사용되어 왔던 그래픽법이나 컴퓨터 프로그램에 의한 방법과 비교하여 소요시간이나 신뢰도면에서 매우 큰 장점을 갖는 것으로 나타났다. 특히, 우리나라 대부분의 접지설비 설계시 사용하고 있는 그래픽법에 의한 대지 파라미터 추정과 수작업에 의한 등가대지저항률 계산방법에 비교할 때 그 편리성이나 효율성 등에서 많은 이점을 가지고 있으므로 그 활용성을 기대할 수 있다.

본 연구에서는 전극간격을 2, 4, 6, 10, 15, 20 및 30[m]로 제한하고, 등가대지심도를 30[m]로 하여 겉보기 대지저항률을 측정하고 대지를 2층 구조로 모델링 하였으나 앞으로 보다 조밀한 전극간격과 보다 깊은 대지심도를 이용한 겉보기 대지저항률 데이터를 축적하여 2층 구조 및 다층 구조에 대한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] IEEE Std-80, "IEEE Guide for Safety in AC substation Grounding," IEEE Power Engineering Society, pp. 86- 95, 2000.
- [2] ANSI CI NFPA 70, "National Electrical Code", National Fire Protection Association, pp. 95-104, 2004.
- [3] Canadian Electrical Code Part 1, Safety Standard for Electrical Installations CSA Standard C22.1, Canadian Standards Association, 2006.
- [4] 배전규정, 사단법인 대한전기협회, 1992.

- [5] 류보혁, 남택주, 김정훈, “독립전원설비에서의 접지방법 개선에 관한 연구”, 한국산업안전학회논문지, 제16권 제4호, pp 96-102, 2001.
- [6] T. Takahashi (이형수역), “접지기술입문“, 동일출판사, 1995.
- [7] B. Zhang, X. Cui, L. Li, J. He, “Parameter estimation of horizontal multilayer earth by complex image method,” Power Delivery, IEEE Trans., Vol. 20, No. 2, pp. 1394 - 1401, 2005.
- [8] E. D. Sunde, “Earth Conduction effects in Transmission Systems”, Dover Pub. 1968.
- [9] G. F. Tagg, “Earth Resistance”, George Newnes Ltd., 1964.
- [10] 류보혁, “신경회로망을 이용한 대지파라미터와 대지저항을 해석 알고리즘”, 홍익대학교 박사학위논문, 2004. 6
- [11] M.T. Hagan, H. B. Demuth, and M. Beale, “Neural Network Design”, Thomson Learning, pp. 12~31. 1996.

저 자 소 개



이 종 필 (李鍾弼)

1996년 충북대학교 공대 전기공학과 졸업, 1999년 동 대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학석사), 2013년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사), 현재 한국교통대학교 전기공학과 겸임교수
E-mail : jolious@cjnu.ac.kr



임 재 윤 (林栽尹)

1984년 충북대 공대 전기공학과 졸업, 1986년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학석사), 1995년 홍익대 대학원 전기공학과 졸업(공학박사), 1999~2000 Texas A&M Univ. 방문교수, 현재 대덕대학 전기과 교수
E-mail : jyylim@ddc.ac.kr



지 평 식 (池平植)

1989년 2월 국립 한밭대학교 전기공학과 졸업, 1994년 충북대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학석사), 1998년 동대학원 전기공학과 졸업(공학박사), 현재 국립 한국교통대학교 전기공학과 교수
E-mail : psji@ut.ac.kr