

역전파 알고리즘(BP)을 이용한 대지저항률 추정 방법에 관한 연구

論 文
51A-2-5

A Study on Methodology of Soil Resistivity Estimation Using the BP

柳 輔 赫* · 魏 浚 錫** · 金 正 勳***
(Ryu Bo-Hyuk · Wee Won-Seok · Kim Jung-Hoon)

Abstract - This paper presents the method of soil-resistivity estimation using the backpropagation(BP) neural network. Existing estimation programs are expensive, and their estimation methods need complex techniques and take much time. Also, those programs have not become well spreaded in Korea yet. Soil resistivity estimation method using BP algorithm has studied for the reason mentioned above. This paper suggests the method which differs from expensive program or graphic technology requiring many input stages, complicated calculation and professional knowledge. The equivalent earth resistivity can be presented immediately after inputting apparent resistivity through the personal computer with a simplified program without many processing stages. This program has the advantages of reasonable accuracy, rapid processing time and confident of any users.

Key words : Earth, grounding, Soil-resistivity, Backpropagation neural network(BP), Earth parameter, Wenner's configuration

1. 서 론

접지설비는 전기기기를 대지와 전기적으로 접속하여, 낙뢰 사고, 개폐장치, 지락사고 등 전력계통에서 발생하는 각종 이상시에 기기 또는 사람을 보호하기 위하여 설치하는 것으로, 만약의 사고시 고장전류가 접지설비를 통해 대지로 흘러 들어갈 때 나타나는 대지 전위 및 기기 외함 전위의 상승을 억제하기 때문에 안전상 아주 중요하다. 따라서, 어떠한 원인으로 접지설비에 고장전류가 흐를 때, 옴의 법칙에 의한 고장전류와 접지저항의 곱으로 나타나는 전위상승을 최대한 제한하기 위해서는 접지저항을 규정값 이하로 낮추어야 한다. 이 접지저항은 전극의 저항, 전극과 대지와의 접촉저항 및 대지 저항(대지저항률) 등 주로 이 세 가지에 의하여 결정되는데, 여기에서 전극저항은 도체의 종류와 크기에 따라 결정되는 아주 작은 값이고, 접촉저항 또한 무시할 수 있을 정도까지 낮추는 것이 가능하기 때문에, 접지저항의 크기는 이 세 가지 요소 중 주로 대지저항에 의하여 영향을 받는다. 그러나, 이 대지저항은 토양의 구조 및 여러 인자에 따라 변화되어 일반 저항체와는 다른 아주 복잡한 성질을 갖고 있기 때문에 통상 대지의 고유한 성질을 개념적으로 표시하는 대지저항률로 나타내는데, 이것은 토양의 비균질성, 즉 불확실한 인자들로 인

하여 정확히 측정한다는 것은 현실적으로 불가능하다. 따라서, 대지저항률을 알기 위해서는 비균질한 대지를 균질한 여러 층으로 구성되어 있다고 가정하고 측정한 겉보기 저항률로부터 각 층의 저항률과 두께(이를 "대지파라미터"라 함)를 추정하고 이를 해석하는 방법을 사용하고 있다. 실제 측정이 가능한 전극간격에 따른 겉보기 대지 저항률로부터 대지파라미터를 구하기 위해서는 이 측정값과 각 파라미터들 사이의 관계를 알아야 한다. 이에 대한 지금까지의 연구결과를 살펴보면, Gish & Rooney는 '측정된 대지저항률은 전극사이의 거리와 같은 깊이까지의 대지저항 평균값'이라 주장하였고 [1][2], 그 후 1930년에 Lancaster-Jones는 지표면 이하 층의 깊이는 전극간격의 2/3이라고 하는 실측자료와 경험에 의한 해석을 바탕으로 한 $\rho - a$ 곡선을 이용하는 그래픽법을 개발하였다[1][3]. 한편, 근래에 들어 복잡한 수학적 계산을 보다 쉽게 할 수 있는 컴퓨터가 개발·보급됨에 따라 측정된 겉보기 대지저항률과 대지파라미터의 관계식으로부터 직접 대지파라미터를 계산하는 프로그램이 개발되었는데, 캐나다의 Mr. Dawalibi와 일본의 Mr. Takahashi가 발표한 2층 이상의 다층구조를 해석하는 방법[7][8]이 그 대표적인 예로 그래픽법보다 신뢰도가 한층 높은 결과를 보여주었다. 그러나, 위에서 제시한 그래픽법과 수치해석법(컴퓨터 이용법)을 이용한 추정은 앞서 언급한대로 비균질한 대지를 각 층마다 균일한 2층 또는 다층구조라는 전제하에 작성되거나 프로그래밍되었기 때문에 실제의 대지저항률과는 차이가 있을 뿐만 아니라, 해석시 전문적인 기술을 요하거나 계산량이 많아 현장에서 이용하는데는 한계가 있고, 또한 얻은 대지파라미터들로부터 다시 등가대지저항률을 계산해야 하는 번거로움이 있어, 현장에서는 위의 두 가지 방법 외에도 공사현장의 토양샘플을 채취하여 그것의 저항률을 그대로 사용하는 경우[1]도 적지 않다.

* 正會員 : 韓國産業安全公團 産業安全保健研究院
首席研究員

** 正會員 : 韓國産業安全公團 安全技術部

*** 正會員 : 弘益大 電氣制御工學科 教授 · 工博
接受日字 : 2001年 9月 11日
最終完了 : 2002年 1月 9日

따라서, 본 논문에서는 대지의 비균질로 인한 비선형 특성을 반영하면서도 간단하고 좀더 신뢰성있는 등가대지저항률을 구하기 위하여 해석적 방법의 결과를 이용한 신경회로망을 구축하는 방법을 제안하였다. 본 논문에서 활용하는 신경회로망은 역전파(Backpropagation)알고리즘으로 이 알고리즘을 이용할 경우 아무리 복잡한 구조라 하더라도 입력자료만 확보하면 쉽게 등가대지저항률을 구할 수 있고, 사용자에게 따라 대지의 구조에 대한 서로 다른 가정들로 인해 발생하는 오차 등을 고려하지 않아도 되는 장점이 있다.

2. 대지저항률의 측정과 추정

2.1 대지저항률의 측정

접지설비를 설계하기 위해서 가장 중요한 것 중의 하나가 등가대지저항률인데, 이것은 시공부지의 전극간격을 달리하여 측정된 겉보기 대지저항률 값과, 이를 이용하여 대지를 수평 2층, 또는 3층 구조로 해석하여 추정된 각 층의 대지저항률과 두께를 알아야 한다. 이 값들은 접지 설계시 직접 사용하거나 등가대지저항률을 계산하는 입력자료로써 활용한다. 여기에서, 이 겉보기 대지저항률을 측정하는 방법은 직접적인 방법과 간접적인 방법이 있는데, 전자는 다양한 깊이별로 토양의 시료를 추출하여 실험실에서 토양을 조사하는 방법이다. 이 방법은 시료를 추출하는 과정에서 토양이 서로 뒤섞이지 않는다면 비교적 정확하고 직접적인 조사가 되겠지만, 조사 대상부지를 대표할 수 있도록 땅을 직접 파서 지층을 살펴보는 많은 양의 보링(boring) 작업을 필요로 하기 때문에, 간접적인 측정 방법에 의하여 예비조사를 완료한 후에 상세 설계단계에서 조사 결과를 확인하는 수단으로 주로 활용된다.

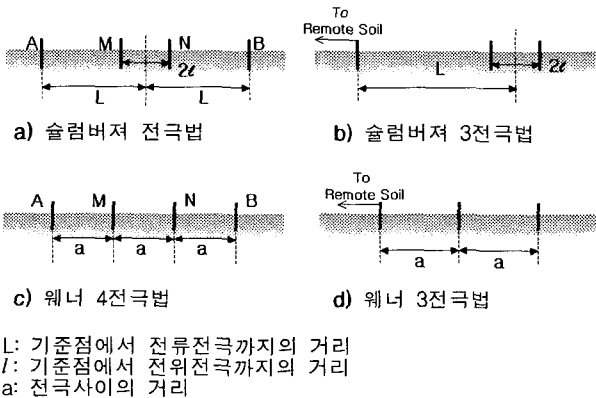


그림 1 대지저항률 측정을 위한 전극배치
Fig. 1 Various electrodes arrangements for measurement of soil-resistivity

간접적인 측정 방법은 지표면에 직선으로 3~4개의 전극을 배치하고, 한 쌍의 전극을 통해서 대지로 전류를 주입하고 다른 한 쌍의 전극사이에서 전위차를 측정하여 구한 저항값으로부터 대지 구조를 해석하는 방법이다. 여기에서 측정된 저항값은 대지저항률과는 다른 대지파라미터와의 함수관계로 나타나는 물리적인 값으로, 이 값으로부터 대지저항률과 대지파라미터와의 관계를 이용하여 대지의 구조를 정하는 방법이

다. 그림 1은 여러 가지의 대지저항률 측정법의 예를 나타낸 것으로, 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 접지설계에 대부분이 이 방법을 사용하고 있고, 이 방법은 수직 대지저항률 변화를 인식하는데 아주 유용하다.

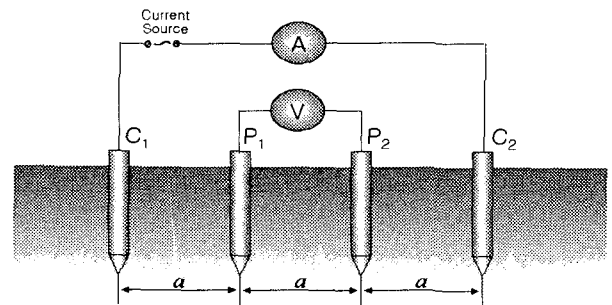


그림 2 웨너(Wenner) 4전극법
Fig. 2. Wenner's configuration

웨너 4전극법 배열은 그림 2에서와 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.

$$\rho_a = a \frac{V}{I} = aR \quad (1)$$

여기서, a는 전극의 배치에 따른 기하학적 계수로서 웨너의 4전극법인 경우 a=2πa이다.

2.2 대지저항률의 추정

현장에서 측정된 겉보기 대지저항률의 측정값으로부터 대지구조를 해석하는 작업은 아주 어려운 작업이다. 실제의 대지구조는 지층별로 저항률이 서로 다르기 때문에 이 저항률의 변화가 복잡한 경우가 많아 간혹 전극 간격에 따른 함수로 나타나는 겉보기 저항값이 크게 변화하는 경우도 있다. 이는 대지가 상당히 비균질하다는 것을 의미하는데, 일반적으로는 겉보기 대지저항률의 곡선은 완만하게 변화한다.

접지설계를 하기 위해서 측정된 대지저항률을 해석할 때 사용되는 방법은 경험적인 방법과 해석적인 방법이 있고, 이외에 후자를 컴퓨터 프로그램을 이용하여 해석하는 방법이 활용되고 있다.

경험적 방법(Empirical method)은 많은 측정과 해석을 통해서 얻어진 경험을 바탕으로 하는 것으로, 겉보기 대지저항률 곡선의 모양이 측정 지점의 대지구조와 그 특성과 아주 밀접한 관계가 있는 것을 이용한 것이다. 따라서 측정된 곡

선의 어떠한 특성으로부터 지층의 두께와 저항률값을 추론할 수 있다. 경험적 방법은 현장에서 해석방법으로써 유용하고, 보다 정밀한 방법, 즉 보링에 의한 직접측정법의 사전방법으로써 가치가 있다.

해석적 방법(Analytical method)은 이론적으로 계산된 마스터 곡선을 기준으로 하여, 측정결과에서 얻어진 곡선을 비교하여 토양모델을 추정하는 방법으로 그래픽법이라고도 하며, 우리나라 현장에서 근래까지 많이 활용되고 있다.

컴퓨터 프로그램에 의한 방법은 전술한 바와 같이 측정된 겹보기 대지저항률을 이용하여 곧바로 대지파라미터를 구할 수 있도록 한 방법으로, 최근에 개발되었으나 사용빈도에 비하여 고가인 관계로 보급이 활발하지는 않다.

앞에서 설명한 대지저항률 추정방법 중에서 수작업에 의한 해석적 방법은 담당자의 기술능력과 경험에 따라 그 값이 달라질 수 있고, 또한 동일한 기술자가 같은 측정결과를 다시 해석한다 하더라도 값이 차이가 날 수 있을 뿐만 아니라, 이를 해석하기 위해서는 많은 경험을 필요로 하기 때문에 이 기술을 습득시키는 것도 실제적으로는 한계가 있다. 최근에는 컴퓨터의 보급과 활용의 증대로 대지저항률의 해석분야에도 많은 컴퓨터 프로그램이 개발되어 시판되고 있고, 이를 활용할 경우에는 입출력 관련 내용과 실행에 필요한 제어내용의 파악만으로 대지저항률의 해석을 보다 쉽게 수행할 수 있어 활용도가 늘어나고 있는 추세에 있다. 그러나, 이 프로그램은 대부분이 고가일 뿐만 아니라 초보자의 경우 사용에 한계가 있고 경험이 풍부한 기술자라야 어느 정도의 신뢰도 확보가 가능하고, 현장에서 필요로 하는 것은 주로 등가대지저항률이므로 해석한 대지파라미터를 한번 더 계산을 해야 하는 번거로움이 있다.

3. 신경회로망에 의한 대지저항률의 추정

3.1 신경회로망

인간의 두뇌가 무수히 많은 신경들의 결합구조로 되어 있음을 착안하여 개발한 인공신경망은 두뇌의 뉴런과 같은 기능을 하는 인공뉴런들로 구성하여 계산하기 힘들고 복잡한

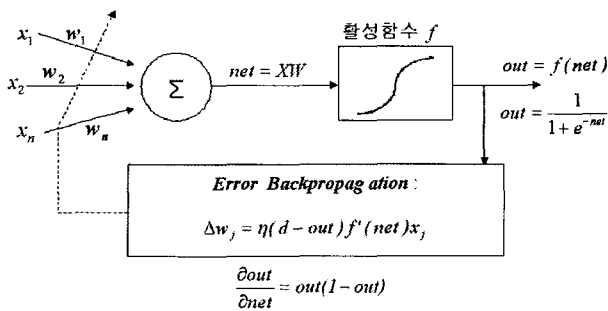


그림 3 역전파 신경망의 일반 구조
Fig. 3 General structure of backpropagation neural-network

비선형 문제를 해석하는데 주로 사용되고 있다. 본 논문에서 제시한 역전파 신경망(Backpropagation Neural Network; BP)은 하나의 조정층으로 구성되어 있는 다른 신경망과는

달리 입력층과 출력층 사이에 하나 이상의 중간층이 있는 것으로 이를 다층 퍼셉트론이라고 하기도 한다. 역전파 신경망의 연결은 입력층(Input layer), 은닉층(Hidden layer), 출력층(Output layer)방향으로 연결되어 있으며, 각층 내의 연결과 입력층에서 출력층의 직접적인 연결이 없는 전방향(Feed forward) 신경망이다. 역전파 신경망의 일반적인 구조는 그림 3과 같다.

다층 퍼셉트론을 학습시키는 알고리즘인 역전파 학습규칙은 원하는 목표값(t)과 실제 출력값(y) 사이의 오차 제곱합(Sum of squared errors)을 최소화하는 방향으로 학습시키는 것이다(식 (2) 참조). 또한, 이 역전파 학습규칙은 퍼셉트론의 실제 출력과 목표 출력간의 평균 제곱 오차(Mean Square Error : MSE)를 최소화하기 위해서, 가중값에 대한 오차의 미분계수가 감소되는 방향으로 가중값을 계속 변경시키는 반복경사하강 알고리즘이다.

$$E = \sum_p E_p, \left(E_p = \frac{1}{2} \sum_j (t_{pj} - y_{pj})^2 \right) \quad (2)$$

여기서 p: 학습패턴의 순서, E_p: p번째 패턴에 대한 오차,
t_{pj}: p 패턴 목표 출력의 j 번째 요소,
y_{pj}: p 패턴 실제 출력의 j 번째 요소이다.

3.2 BP를 이용한 대지저항률 추정 알고리즘

BP 신경회로망의 학습요인은 초기 연결 가중값의 설정, 각 뉴런의 활성화함수 기울기, 학습률, 모멘텀항, 중간층의 개수와 뉴런 수 등이 있다.

본 논문에서 사용한 신경회로망의 구조는 3층구조의 신경회로망으로 함수 근사화는 입력층 뉴런 7개, 은닉층 뉴런 40개, 출력층 뉴런 13개이고, 패턴 분류는 입력층 뉴런 7개, 중간층 뉴런 40개, 출력층 뉴런 3개로 각각 정하였다. BP 학습과정은 각 뉴런에 연결된 입력과 가중값의 합에 의한 활성화함수로부터 출력을 얻었으며, 계산된 출력값과 목적값과의 평균 제곱 오차를 최소화하기 위해 반복적으로 최대경사법을 이용하여 가중값을 변화시키는 것이다. 신경회로망에서의 활성화함수로는 연속적으로 미분이 가능한 비선형 함수가 필요한데, 대표적인 것으로 시그모이드(Sigmoid) 함수를 이용하였다. 회상과정은 신경회로망의 특성을 실제로 구현하는 것으로서, 학습과정에 이용되지 않은 자료를 사용하여 확인하였다.

3.2.1 신경회로망 자료의 수집

등가대지저항률 추정을 위해 BP와 같이 학습능력을 가진 신경회로망의 모델링시에 필요한 입력자료는 겹보기 저항률값으로 하고 출력자료는 등가대지저항률로 하였다. 따라서, 본 논문에서는 입력자료를 우리나라의 여러 지역에서 측정한

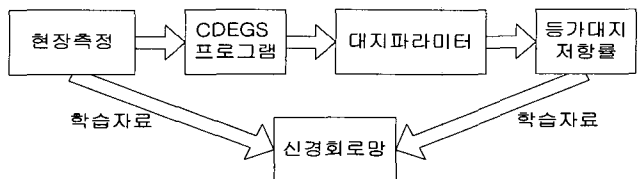


그림 4 학습을 위한 자료수집방법
Fig. 4 Data collection method for BP's learning

전극간격별 길보기저항률로, 출력자료는 범용의 대지저항률 해석 프로그램인 캐나다 SES사의 CDEGS의 계산결과를 토대로 구한 등가대지저항률로 하였다. 컴퓨터를 이용한 자료 수집 방법은 그림 4와 같다.

3.2.2 자료의 분류 및 표준화

등가대지저항률 값을 구하기 위하여 전체입력 자료를 $\rho-a$ 곡선의 형태에 따라 9개 종류로 분류하고, 이 자료에 대해 각각의 등가대지저항률을 계산하는 방법, 즉 분류와 추정 두 부분에서 BP를 사용하여 1개의 분류기와 9개의 추정기로 구성된 총 10개의 BP를 학습시켰다. 본 프로그램은 임의의 입력 자료(2, 4, 6, 10, 15, 20, 30m의 전극간격에 대한 길보기 저항률로 구성됨)가 들어오면, 이 입력 자료를 표준화(normalize)해서 분류기에 입력시키면 9개의 추정기 중 가장 유사한 값 하나를 선택한다. 그 후 분류기의 출력과 각 BP의 특성값 사이에서 오차가 가장 작은 BP가 선택되어 크기가 조정된 데이터가 입력되면 해당 BP가 출력되고 여기에서 조정된 크기 값을 보정하면 구하고자 하는 값을 얻도록 되어있다. 이 표준화는 BP에서 사용하는 활성화함수가 시그모이드 함수이기 때문에 필요한 것으로 모든 입력값과 목표값이 0~1 사이에 나타나도록 하여야 한다. 분류기의 학습시 표준화된 자료를 사용했으므로 모든 입력데이터도 표준화하여야 한다. 표준화 방법은 입력 자료 7개(2, 4, 6, 10, 15, 20, 30m)중 가장 큰 값을 나눈다. 이 최대값을 신경회로망의 출력에 곱해주면 최종적으로 구하고자 하는 등가대지저항률을 얻을 수 있다. 여기에서 사용한 자료는 우리나라의 각종 토양에서 측정된 총 102개 대지저항률 자료와 이 자료를 바탕으로 추가적인 자료를 만들어 사용하였다. 인위적으로 만든 대지저항률 값은 각 패턴 당 45개이며, 9개의 모든 패턴에 대하여 495개의 자료를 이용하였다. 이것을 하나의 BP로 학습시켜서 출력을 얻고, 보다 더 CDEGS의 해석결과와 가까운 값을 얻기 위해 다음의 방법을 사용하였다.

- 1) 전체자료를 특징별로 9개로 분류
- 2) 9개 종류 각각에 대해 독특한 자료를 10개씩 추출
- 3) 각각의 값을 표준화함
- 4) 총 9개의 종류 597개 자료를 각 특성값으로 학습

특성값은 $\begin{bmatrix} -1 \\ -1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} -1 \\ 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} -1 \\ 1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 \\ -1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}$ 의 9개 벡터이다. 임의의 값이 입력되었을 때의 출력은 정확하게 -1, 0, 1을 나타내지는 않으므로, 이를 구분하여 해당 BP로 보내기 위하여 비교하게 된다.

3.3.3 비교

전술한 바와 같이 분류기에서 나온 출력이 정확한 특성값을 나타내지 못하므로 어떠한 BP를 사용해야 할 지를 결정하여야 한다. 따라서, 각 BP의 특성값을 미리 정해 놓고 거리가 최소가 되는 BP를 선택한다.

$$\text{분류기 출력} = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix}, \quad \text{BP 특성값} = \begin{pmatrix} a \\ b \end{pmatrix}$$

$$\text{Min } \sqrt{(x_1 - a)^2 + (x_2 - b)^2}$$

$$\begin{aligned} \text{제약조건 } & |x_1 - a| > 0.5 \quad |x_2 - b| > 0.5 \\ & \Rightarrow \sqrt{(x_1 - a)^2 + (x_2 - b)^2} = 1 \quad (\text{부적합한 BP 선택}) \\ & |x_1 - a| < 0.5 \quad |x_2 - b| < 0.5 \\ & \Rightarrow \sqrt{(x_1 - a)^2 + (x_2 - b)^2} = 0 \quad (\text{적합한 BP 선택}) \end{aligned}$$

이러한 방법을 이용하는 이유는 최소거리는 같지만 벡터에서 차이가 있는 경우를 위해 추가한 것이다.

3.3.4 결과

본 연구의 목적이 실제 현장에서 필요로 하는 등가대지저항률을 간편하게 구하는 것이므로, 입력력 자료로써 우리나라 현장 여러 지점에서 측정된 데이터를 활용하는 방법을 사용하였다.

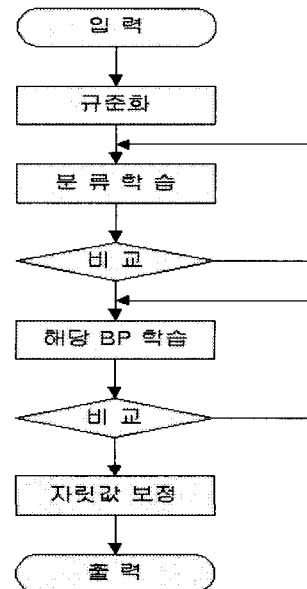


그림 5 BP 학습프로그램의 흐름도
Fig. 5 Flowchart of BP algorithm

총 597개의 데이터를 9종류로 구분하여 각각을 학습시켜 함수를 근사화시키고, 목표값은 2층 토양을 모델로 하여 CDEGS의 결과로부터 구한 등가대지저항률로 하였다. 입력 값을 일정값으로 나누어 함수값은 그대로 유지하면서 자료들이 1~0 사이의 값이 되도록 하였고, 목표값은 1개의 출력 마디를 구성하여 적합한 데이터가 출력되도록 하였다. 자료 학습과정에서 입력자료가 한 쪽으로 편중되거나 부족한 경우가 발생하였고, 이를 보완하기 위하여 현장에서 대지저항률을 구할 때 사용하는 방법을 도입하여 해당 BP의 모든 자료들을 평균하여 이를 표준화한 후, 일부 범위, 즉 자료가 부족한 경우 그 크기를 곱하고 대입함으로써 이를 보정하였다. 본 프로그램은 데이터가 입력되면, 자료의 유형분류를 위해 입력 자료의 최대값으로 표준화하여 분류기에 입력되고 9개의 값 중 하나가 선택되어 각각의 해당 BP의 특성값과 비교된 후 해당 BP로 보내진다. 해당 BP에 보내진 입력값은 일정값으로 나뉘어서 입력되고, 학습된 BP에 의해 값이 출력되는데, 여

기에 각 노드의 자리값을 곱해주면 원하는 최종 출력, 즉 등가대지저항를 얻게 된다.

4. 사례 연구

본 연구에서 제시한 역전과 알고리즘을 이용한 등가대지저항를 계산의 효율성을 입증하기 위하여 기존의 방법 등과 그 결과를 비교하였다. 사례연구는 먼저 분류기로서 사용되는 BP에 임의의 자료가 입력되었을 때의 출력과 그 입력 자료의 $\rho-a$ 곡선을 비교하였고, 등가대지저항를의 근사화 BP에 의해 위에서 분류된 자료를 해당 BP에 입력하여 등가 대지저항를을 얻었다. 그리고, 이의 효율성을 비교하기 위해 현재 많이 활용되고 있는 컴퓨터를 이용하는 SES社의 CDEGS package 중 RESAP와 그래픽법을 이용하여 얻은 대지과라미터들로부터 얻은 등가대지저항를과 비교하였다.

4.1 입력자료

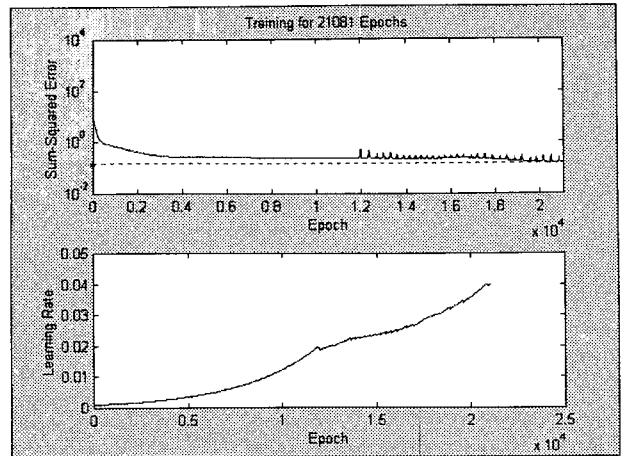
사례연구에서는 현장에서 실측된 자료중 각각의 유형별로 학습되지 않은 자료를 남겨두어 학습된 BP의 효율성을 확인하기 위한 비교자료로 활용하였다. 대상 자료의 선정은 가급적 각 유형별로 여러 크기의 값을 갖는 자료들을 골랐고, 이를 기준으로 하여 BP들을 구성하여 기존 방법(그래픽법 및 컴퓨터법)에 의한 결과와 비교하였다.

4.2 사례연구 결과 및 분석

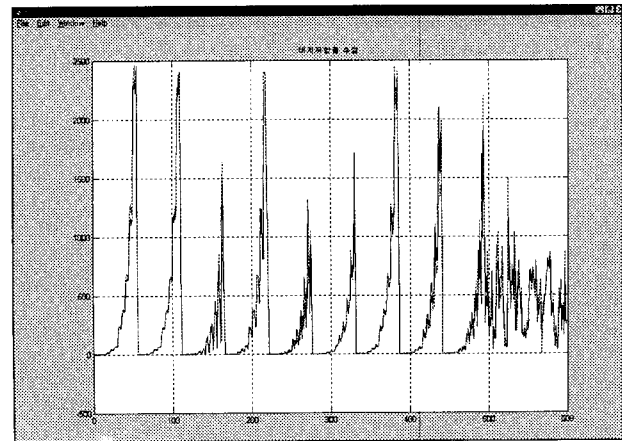
사례연구를 위하여 학습에 사용한 대지저항를 자료는 102개의 실제 현장에서 실측한 겉보기 대지저항값과 실측값을 토대로 가공한 자료 500여개로서 이 값으로 CDEGS를 이용하여 대지저항를을 구한 자료이다. 그림 6(a)는 인공신경회로를 이용하여 대지저항를을 추정해내는 과정을 화면상으로 나타내었다.(상부 그래프는 오차율을 나타냄) 그림 6(b)는 앞에서 분류된 입력자료를 BP와 CDEGS프로그램을 이용하여 얻은 결과를 비교한 것이다. 그림 6(c)는 학습하지 않은 10개의 자료를 입력했을 때의 최종 결과값을 비교한 것이다. BP에 의한 값과 CDEGS 프로그램에 대한 값을 CDEGS 프로그램을 기준으로 하였을 경우 오차의 최대값은 15.24%이며, 평균값은 6.1% 이하이다.(표 1 참조)

표 1 각 추정방법의 결과 비교
Table 1 Estimation Results

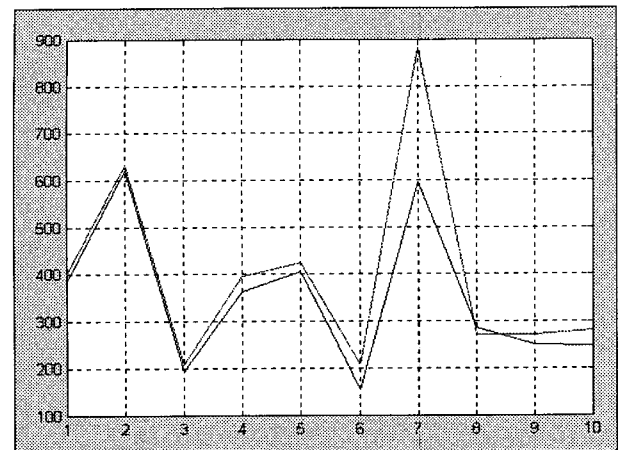
구분	오차율(%)		
	CDEGS	새안한 프로그램	그래픽법
평균	기준(0)	6.1	16.7
사례 1	207.7(100%)	192.8(92.8%)	211.0(97.89%)
사례 2	394.6(100%)	427.9(108.44%)	363.0(91.9%)
사례 3	424.9(100%)	427.7(100.66%)	357.0(84.02%)
사례 4	208.8(100%)	170.3(81.56%)	146.7(70.26%)
사례 5	881.4(100%)	757.1(85.90%)	604.9(68.63%)



(a) 대지저항를 추정 프로그램의 실행



(b) 대지저항를 추정 결과



(c) 등가 대지저항를 추정 결과(미학습 자료)

그림 6 사례연구 결과
Fig. 6 Estimation of equivalent soil-resistivity using BP

4.3 대지저항를 추정 프로그램

본 프로그램은 PC 또는 노트북만 있으면 현장 어디에서나 누구나 간단한 사용설명을 통해 활용할 수 있도록 간편하고 쉽게 구성되어 있다. 기존의 방법인 저항률 측정 - 대지과라

미터 추정 - 등가대지저항률 계산의 일련의 절차에서 계산 등을 생략하고, 단 한번의 입력만으로 등가대지저항률을 구할 수 있어 현장 적용에 있어서 아주 유용하다.

5. 결 론

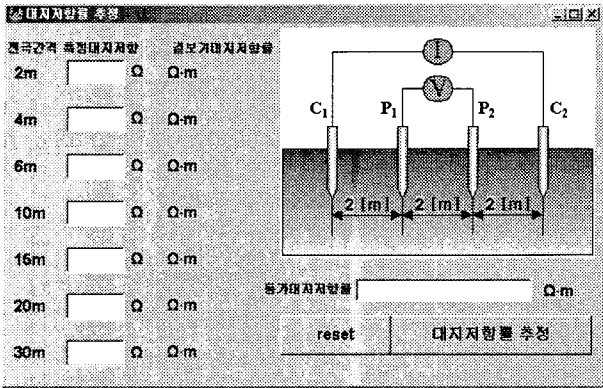


그림 7 대지저항률 추정프로그램의 초기화면
Fig. 7 Main window of soil-resistivity estimation program

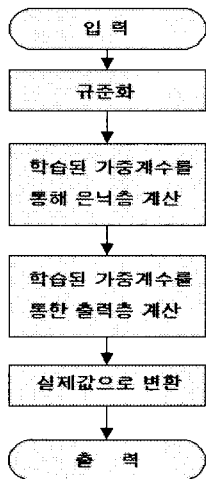


그림 8 대지저항률 추정프로그램의 흐름도
Fig. 8 Flowchart of soil-resistivity estimation program

대지저항률 해석 프로그램은 Matlab에서 추정한 인공신경 회로망의 가중값을 이용한 것으로, 전극간격에 따른 겉보기 대지저항률 입력하면 등가대지저항률로 환산한 값이 직접 출력되도록 하는 프로그램이다. 초기화면은 그림 7과 같다. 입력값은 모두 7개의 겉보기 대지저항 측정값으로, 이는 웨너의 4전극법에 의하여 전극 간격을 2, 4, 6, 10, 15, 20, 30m(7개)로 하여 측정된 값이다. 전극의 배치는 전류전극을 C_1, C_2 , 전위전극을 P_1, P_2 라고 할 때, $C_1 - P_1 - P_2 - C_2$ 로 한다. 대지저항률 측정기로부터 얻은 각 전극간격에서의 겉보기 대지저항값을 입력하고 대지저항률 계산 버튼을 누르면 등가대지저항률 값이 나온다. 개발된 프로그램의 오차를 줄이기 위해서 대상 대지의 대지저항률을 반복적으로 측정하여 그 평균값을 대지저항률로 이용하면 보다 효과적이다. 또한, 현장에서 측정된 보다 많은 자료를 입력자료로 하여 손쉽게 업데이트할 수 있도록 하여 본 프로그램의 신뢰도를 높일 수 있도록 하였다.

본 논문에서는 다층 인공신경회로망을 이용하여 전극의 간격과 겉보기 대지저항률 사이의 관계로부터 손쉽게 등가대지저항률을 구할 수 있는 방법을 개발하였고, 이를 프로그램화하였다. 또한 측정된 겉보기저항률로부터 대지구조를 추정하는 알고리즘도 개발하였다. 국내 건설현장에서 측정된 토양 샘플 102개소와 이를 바탕으로 가공한 자료 등 600여 개의 데이터를 입력자료로 활용하여 국내 대지구조에 적합하도록 하였다. 개발된 프로그램은 현재 현장에서 활용되고 있는 프로그램과 비교하여 신뢰도에 있어 크게 차이를 보이지 않고 있어 실용상 문제가 없는 것으로 판명되고 다음과 같은 장점을 갖고 있다. ① 프로그램을 구동하기 위한 사전지식 습득이 불필요하여 누구나 사용 가능하다. ② 시간이 절약된다. 측정데이터로 등가대지저항률을 계산하는데 소요되는 시간이 다른 방법의 경우 수십분 이상이 소요되나 본 프로그램은 1~2분 정도 밖에 소요되지 않는다. ③ 경제적이다. 기존 시판중인 컴퓨터 프로그램의 경우 1,000만원대이나 본 프로그램은 컴퓨터의 기본 사양만 부합된다면 거의 비용이 들지 않는다. ④ 사용자 또는 반복계산에 따른 오차가 없다. 대지 파라미터 추정시 전문가의 판단을 요구하는 기존 그래픽법이나 프로그램에 의한 방법과는 달리 본 연구 결과물에서는 측정값만 입력시키면 대지저항률이 나오도록 되어있기 때문에 측정값이 같을 경우 항상 같은 값이 출력된다.

본 프로그램의 제약 요건은 기존 사용되고 있는 방법 (CDEGS 등)과의 비교에서 어떠한 것이 보다 더 정확한 값을 출력하는 지를 객관적으로 비교할 수 있는 방법이 없다는 한계가 있었다. 이외에도 전극간의 간격을 달리한 겉보기 저항률값이 작아지는 2층구조의 대지는 비교적 잘 분류되었지만, 전극간격에 따라 증가와 감소를 되풀이하는 경우는 그 층수를 잘 분류하지 못하는 경향이 있음을 발견하였다. 그러나, 이러한 3층 이상의 대지는 현재 개발되어 사용되고 있는 그래픽법이나 컴퓨터를 이용한 방법에서도 그 이상의 정확도를 기대하기가 곤란하므로 앞으로 보다 많은 연구가 필요할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] G. F. Tagg, "Earth Resistances", 1964
- [2] O. H. Gish, W. J. Rooney, "Measurement of Resistivity of Large Masses of Undisturbed Earth", Terrestrial Magnetism and Atmospheric Electricity, Vol. 30, p. 161
- [3] E. Lancaster-Jones, "The Earth-Resistivity Method of Electrical Prospecting", The Mining Magazine, June 1930
- [4] Irwin Roman. "Some Interpretations of Earth-Resistivity Data", American Institute of Mining and Metallurgical Engineers Contribution No. 66(Class L, Geophysical Prospecting), March 1934.
- [5] R. W. Moore. "An Empirical Method of Interpretation of Earth Resistivity Measurements", Trans. A. I. M.

E., p 197, 1945

[6] H. E. Barnes. "Soil Investigation Employing a New Method of Layer Value Determination", Bulletin Michigan Highway Department ,1951

[7] F. Dawalibi, C. J. Blattner, "Earth Resistivity Measurement Interpretation Technique". IEEE PAS, Vol. 103. No. 2, pp. 374-382. Feb. 1984

[8] Takehiko Takahashi. Taroh Kawase, "Analysis of Apparent Resistivity in a Multi-Layer Earth Structure", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 5. No. 2, pp. 604-612, 1990

[9] Jack M. Zurada. "Artificial Neural Systems". 1992

[10] 한전전력연구원. "축소형 변전소 접지효과 중대방안 연구(최종보고서)". 1997.4

저 자 소 개



류 보 혁(柳 補 赫)

1956년 9월 7일 생.
 1983년 한양대학교 공대 전기공학과 졸업
 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사)
 1997년 홍익대학교 대학원 전기제어공학과 박사과정 수료
 한국산업안전공단 산업안전보건연구원 기술위원 재직중
 Tel : 032-510-0692, Fax : 032-518-0867
 E-mail : bhryu@kosha.net



김 정 훈(金 正 勳)

1955년 9월 13일 생.
 1978년 서울대학교 공대 전기공학과 졸업.
 1981년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사).
 1985년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사).
 1988년~1989년 미국 Penn State Univ. 방문 교수. 현재 홍익대학교 전자전기공학부 교수.
 대한전기학회 사업이사, 평의원 및 용어위원회 위원장.

Tel : 02-320-1621, Fax : 02-320-1110
 E-mail : kimjh@wow.hongik.ac.kr



위 원 석(魏 浚 錫)

1973년 6월 14일 생.
 1998년 홍익대 전기제어공학과 졸업.
 2001년 동 대학원 전기제어정보공학과 졸업(석사). 現 한국산업안전공단 재직중.
 Tel : 032-510-0838, Fax : 032-518-0867
 E-mail : wswee@kosha.net