

구조체 접지의 전위상승에 대한 반구형 수조에 의한 측정값과 계산값의 비교

(Comparison of Theoretical Results and Measured Data Using
Hemispherical Water Tank Model for Potential Rise of Structure Grounding)

길형준* · 최중석* · 김향곤* · 한운기* · 이복희**

(Hyoung-Jun Gil · Chung-Seog Choi · Hyang-Kon Kim · Woon-Ki Han · Bok-Hee Lee)

(*전기안전연구원 · **인하대학교)

Abstract

This paper presents a comparison of experimental value by hemispherical grounding simulation system and calculated value by CDEGS program for ground potential rise of structure. When a test current flowed through structure grounding electrodes, ground potential rise was measured and analyzed for types of structure using the hemispherical grounding simulation system in real time, and was computed by means of CDEGS program. The model structures were designed and fabricated with two types on a scale of one-one hundred sixty. When the experimental data were compared with the theoretical values, the similar profile was shown. Therefore, the confidence of measurement was obtained. The distributions of ground surface potential are dependent on the resistivity and absorption percentage in concrete attached to structure.

1. 서 론

오늘날 정보화 사회로의 이행과 더불어 전자·통신기기가 전력계통에 광범위하게 설치되면서 전력설비, 산업설비, 금융, 행정, 건축물 등 대부분의 사회시스템이 정보통신망과 연계되어 있다. 이와 관련한 접지방식에 대해 외국의 국제규격 등을 보면 종전에 비해 키워드가 상당히 변하고 있음을 알 수 있다. 즉, 접지라고 하면 종전의 경우 접지저항이라는 용어를 연상하였으나 최근에는 기준접지, 등전위 접지, GPR, EMI, EMC 등의 용어가 많이 등장하고 있다. 접지에 관한 설계기준은 나라마다 약간의 차이를 보이고 있으나, 근본적으로는 인체에 대한 감전위험을 피하고 설비간의 안정적인 가동이라는 측면에서 차이는 없다. 그러나 국내에서는 아직도 전기설비기술기준에서 접지공사의 종류에 따른 접지저항의 기준을 주로 제시하고 있는데, 과전압에 대한 인체의 감전보호와 전자·통신기기의 오동작이나 파손을 방지하기 위해서는 접지를 시스템적으로 파악하여 접지효과를 최적으로 발휘할 수 있게 하여야 하며 접지시스템의 성능을 단지 접지저항이 아니라 대지전위상승, 접촉전압, 보폭전압 등 위험전압으로 파악할 필요가 있다[1-5].

현재 국내에서도 WTO/TBT 협정에 따른 국제기준과의 조화를 위해 법규로서의 기술기준은 간소화·국제

화하고 보완조치로서 국제표준을 활용하도록 전기설비 기술기준의 국제화 개편 추진이 활발히 진행중에 있다.

따라서, 본 연구에서는 정부의 국제 표준화 정책에 부합하여 건축물 구조체의 등전위 접속에 대한 전기적 안정성 평가를 위해 반구형 수조실험장치 및 CDEGS 프로그램을 이용한 대지전위의 해석이 이루어졌으며 향후 분석된 자료는 대지전위상승에 따른 감전사고의 감소뿐만 아니라 설비의 안정적 가동 측면에서도 활용될 수 있을 것이다.

2. 실험장치 및 방법

반구형 수조실험장치는 지락전류를 일정하게 발생하기 위한 교류전원공급장치, 측정점의 케적과 대지전위상승을 측정하는 이송형 전위계측장치, 반구형 수조탱크 및 시험접지극으로 구성하였다. 반구형 수조실험장치의 사진을 그림 1에 나타내었다.

반구형 수조탱크의 재질은 스테인리스이며 직경은 2[m]이다. 수조탱크 외함은 인체감전보호 및 설비 안정화, 노이즈 제거를 위해 접지를 시설하였다. 220[V]의 전원계로 고장전류의 분리 및 측정시 안전을 고려하여 절연변압기를 사용하였고, 고장전류의 가변을 위한 전압조정기(AT : Auto-Transformer)가 포함되어 있다. 그림 2(a)에서 가변저항은 교류전원발생장치에서 지락

전류 발생시 전류를 제한하기 위해 설치한 것으로 6.04 [Ω]로 설정하였다. 인가전압을 지시하는 전압계(Vs)는 시험접지극과 무한점간의 전압이 얼마인지를 모의하기 위한 것이며 전압계(V)는 프로브와 무한점간의 대지전위를 나타낸다. 또한 전류계(A)는 시험접지극과 무한점 사이에 흐르는 전류를 나타내며, V/I의 비로서 준무한 대지에 매설된 접지전극의 접지저항이 구해진다[6-8]. 대지전위를 측정하기 위한 프로브는 이송형 전위계측장치에 장착되어 있으며 물의 표면 혹은 내부의 전위를 측정하기 위한 것이고 콘베이어를 통해 이송되며, 전위계측장치에서 프로브의 이동궤적이 표시된다. 전위계측장치 모터의 가변속도범위는 0~0.01[m/s]이며 프로브의 재질은 직경 5.1[mm]의 동봉을 사용하였으며 프로브를 지지물로 완전히 고정시켜 이송시 흔들림이나 기울어짐이 발생하지 않도록 하였다. 측정시의 물의 저항률은 35[Ω · m]이며 수저항률계(CM-21P, TOA · DKK, Japan)로 측정하였다.

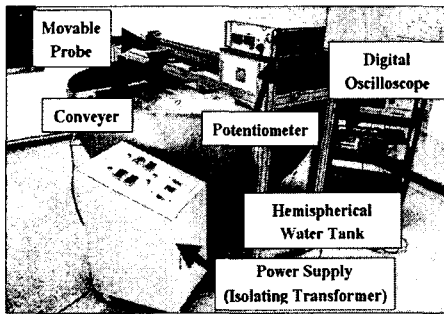


그림 1. 반구형 수조실험장치
Fig. 1. Hemispherical water tank experimental apparatus

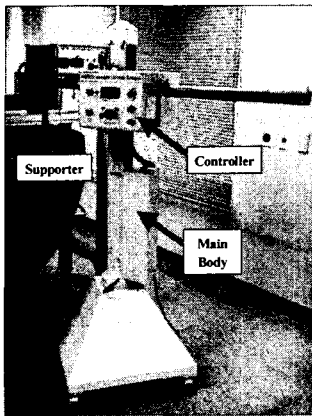


그림 2. 구조체 지지대의 사진
Fig. 2. Photo of supporter

그림 2는 구조체를 지지하여 수조탱크내에 장착하기 위한 구조체 지지대의 사진이다. 구조체의 무게가 6~

8[kg]으로 매우 무거운 상태이므로 이를 지지하여 수조 탱크내에 장착하기 위해서는 구조체 지지대가 필요하였다. 구조체 지지대는 주요 몸체, 위치센서, 모터 및 속도 제어기, 디지털 지시계, 지지체 등으로 구성되며 수직, 수평, 회전운동이 가능하다. 모터는 0~30[rpm] 사이로 속도 조절이 가능하고 토크는 17[kg · cm]이다. 운동 범위는 수직운동에 있어 주요 몸체의 경우 1100~1300[mm]이고, 구조체 걸이대는 50~300[mm]이다. 수평운동은 900~1100[mm] 범위에서 가능하고 회전운동은 180° 회전이 가능하다. 지지대에 있어서 구조체를 설치하여 수조탱크내에 장착한 후 지락전류를 인가할 때 전류가 지지대, 제어부 등으로 유입되는 것을 방지하기 위해 지지대 말단부분에 절연재료를 사용하였다.

본 연구에서는 실제 건축물 구조체를 모의하기 위해 가로× 세로× 높이가 38[m]× 19[m]× 26[m]인 건축물을 160:1로 축소한 240[mm]× 120[mm]× 160[mm] 구조체의 콘크리트 배합비를 달리 하여 2가지 유형으로 설계 및 제작하였으며 지락전류 발생시 대지전위분포를 분석하고자 하였다. 그림 3은 구조체의 골격 및 2가지의 구조체 접지전극을 나타내며 구조체의 기본 골격은 정사각형 형상의 3[mm] 두께의 스테인리스로 제작되었으며 각 골격사이의 간격은 약 20[mm]이다. 스테인리스로 제작한 이유는 반구형 수조실험장치에 장착하여 지락전류를 인가시 전기분해에 의한 부식에 강하기 때문에 상기 재료를 선택하였다.

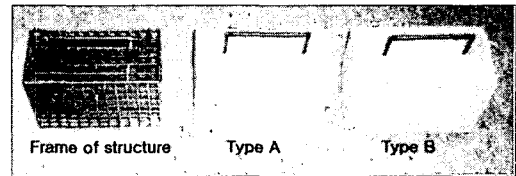


그림 3. 구조체 접지전극의 일례
Fig. 3. An example of structure grounding electrode

표 1에 콘크리트의 배합비와 흡수율에 대한 전기 저항률의 관계를 나타내었다[9].

표 1. 콘크리트의 배합비와 흡수율에 대한 전기저항률

Table 1. Resistivity by mixture ratio and absorption percentage of concrete

콘크리트의 배합비 (시멘트 : 모래 : 자갈)	흡수율[%]	전기저항률 [Ω · m]
Type A(1 : 2 : 0)	16.1	37.9
Type B(1 : 2 : 4)	6.2	51.6

콘크리트는 일종의 암석과 같이 생각되지만 특히 콘

크리트가 대지에 매입되어 있는 경우 암석에 비해서 흡수율이 크기 때문에 전기 저항률은 상당히 낮은 편으로 대략 40~80[Ω·m] 정도이다.

3. 결과 및 고찰

3.1 구조체 A의 대지전위상승

반구형 수조실험장치를 이용한 대지전위상승 측정과정에 대해 살펴보면, 우선 구조체를 구조체 지지대에 설치하고 이를 수조탱크 중심부까지 이동시킨 후 수면 아래에 장착한 후 교류전원공급장치를 이용해 구조체 중심부에 1[A]의 지락전류를 흘려주어 대지전위상승을 측정하였고 구조체 A뿐만 아니라 구조체 B도 동일한 지락전류를 인가하였다. 또한 CDEGS 프로그램을 이용한 해석에 있어서, 제작된 구조체의 바닥면과 동일한 형상의 망상형 접지전극에 두께 20[mm]의 콘크리트로 마감처리되고 표 1에 나타낸 전기저항률을 갖는 모델을 사용하여 대지전위분포를 해석하였다. CDEGS 프로그램은 접지전극 및 대지구조의 해석용으로 대지에 매설되는 접지전극을 모의하기 때문에 망상형 접지전극을 해석 모델로 선정하였다.

그림 4는 구조체 A의 대지전위상승에 대한 반구형 수조실험장치를 이용한 측정값과 CDEGS 프로그램을 이용한 계산값의 비교 분포를 나타낸다. 측정값의 경우, 최대값은 수조탱크의 중심점인 1000[mm] 지점에서 발생하였으며 그 값은 1[A]당 42.2[V]이다. 또한 CDEGS 프로그램 해석결과, 최대값은 중심점에서 44.8[V]로 계산되었다. 최대값에 대한 측정값과 계산값의 차이는 약 2.6[V] 정도로 측정의 신뢰도를 검증하였으며, 거리에 따른 대지전위분포는 수조탱크 중심점을 기준으로 좌우 대칭의 \cap 형상을 나타내었다.

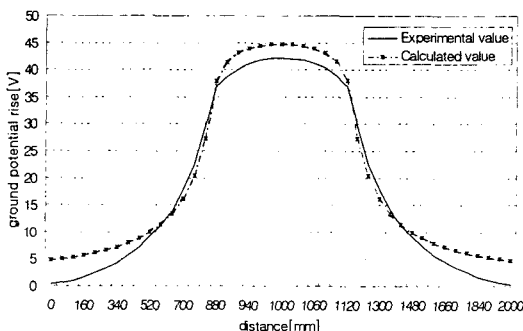


그림 4. 구조체 A의 대지전위상승에 대한 측정값과 계산값의 비교
Fig. 4. A comparison of experimental value and calculated value for ground potential rise of type A

CDEGS 프로그램 해석상의 망상형 접지전극에 콘크리트가 시설된 모델은 지락전류가 지중으로 직접 유입되어 접지전극 중심부에서 방사상으로 흐르는 것을 알 수 있으며 반구형 수조실험장치를 이용한 구조체의 경우 구조체 상부에서 방사상으로 고르게 지락전류가 흘러 최종적으로 대지로 흘러나가는 분포를 나타낸다고 할 수 있다. 따라서 그림 4에서 측정값과 계산값 사이에 거의 유사한 분포이지만 분포도 최상부에서 약간의 오차가 발생하는 것은 이러한 지락전류의 흐름에 의해 발생하는 것으로 판단되며 분포도의 하반부에서의 전위상승의 오차는 CDEGS 프로그램의 경우 기준전위를 무한대지로 가정하여 평가하는데 반해 반구형 수조실험장치의 경우 반구형 수조탱크의 중앙에서 양쪽으로 1[m] 거리까지를 0 전위로 보고 측정하였기 때문에 다소 차이가 나는 것으로 사료된다.

3.2 구조체 B의 대지전위상승

구조체 B는 구조체 A의 콘크리트 배합에 있어 자갈이 추가된 모델이다. 그림 5에 나타낸 바와 같이, 측정값과 계산값은 유사한 양상을 나타내었으며 분포도 최상부와 하반부의 약간의 오차는 접지전류의 분포에 기인된 것으로 보인다. 측정된 대지전위상승의 최대값은 1[A]당 47.2[V]이고 프로그램에 의해 계산된 대지전위상승의 최대값은 48.4[V]이다. 구조체 A와 B를 비교하였을 때, 구조체 A에 비해 구조체 B의 최대값이 약 5[V] 정도 높게 나타났는데 이는 콘크리트의 흡수율과 전기저항률에 기인하는 것으로 판단된다.

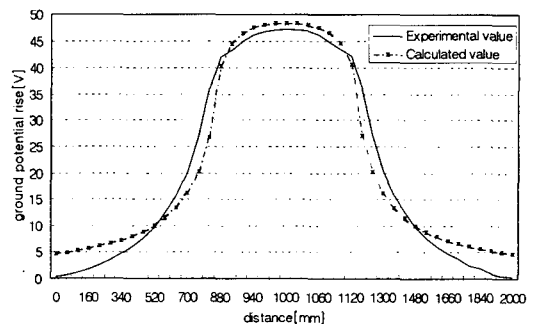


그림 5. 구조체 B의 대지전위상승에 대한 측정값과 계산값의 비교
Fig. 5. A comparison of experimental value and calculated value for ground potential rise of type B

상술한 바와 같이, 반구형 수조실험장치에 의해 측정된 구조체의 대지전위상승은 프로그램에 의해 계산된 망상형 접지전극의 전위상승과 매우 흡사함을 알 수 있었다. 철골 구조체의 건축물인 경우 골조 부분은 철근

본 연구는 산업자립부 전력산업기반기금
의 지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- (1) Chung-Seog Choi, Hyoung-Jun Gil, Hyang-Kon Kim, Woon-Ki Han, Bok-Hee Lee, "Profiles of Ground Potential for Shapes of Grounding Electrode by Using Scale Model Grounding Simulation System", *Progress in Safety Science and Technology*, pp.104~112, 2004.
- (2) 길형준, 이복희, "임시전력 건설현장에 사용되는 전기설비의 감전위험에 관한 현장실태 조사 및 분석", *한국조명·전기설비학회*, Vol. 18, No. 6, pp.197~204, 2004.
- (3) 길형준, 최중석, 이복희, "반구형 접지모의시스템을 이용한 접지전극의 형상에 따른 대지전위상승의 분석", *대한전기학회*, Vol. 54C, No. 7, pp.319~325, 2005.
- (4) IEC Pub. 1200-413, "Electrical Installations Guide, Part413 ; Protection against Indirect Contact Automatic Disconnection of Supply", pp.9~19, 75~84, 1996.
- (5) IEC Pub. 364-413, "Electrical Installations of Building, Part4 ; Protection for Safety, Chapter41 ; Protection against Electric Shock", pp.25~37, 1999.
- (6) F. Dawalibi, D. Mukedkar, "Optimum Design of Substation Grounding in a Earth Structure : Part I-Analytical Study", *IEEE Trans. PAS.*, Vol. PAS-94, No. 2, pp.252~261, 1975.
- (7) F. Dawalibi, D. Mukedkar, "Optimum Design of Substation Grounding in a Earth Structure : Part II-Comparison between Theoretical and Experimental results", *IEEE Trans. PAS.*, Vol. PAS-94, No. 2, pp.262~266, 1975.
- (8) R. Cadecott, D.G. Kasten, "Scale Model Studies of Station Grounding Grids", *IEEE Trans. PAS.*, Vol. PAS-102, No. 3, pp.558~566, 1975.
- (9) 이복희, "접지의 핵심기초기술", 의재, pp.179~190, 2000.
- (10) Ronald P. O'Riley, "Electrical grounding", Delmar Thomson Learning, pp.1~29, 2002.
- (11) 이복희, 이승철, 염주홍, 김효진, "보조접지전극의 시설에 의한 대지표면전위경도의 저감", *한국조명·전기설비학회 논문지*, Vol. 16, No. 2, pp.121~129, 2002.

이 내장되어 있지만 어느 일부에는 철근이 전기적으로 완전히 접속되어 있지 않은 부분도 있다. 그러나 콘크리트의 전기저항률이 비교적 낮은 값이므로 콘크리트에 의해 건축물 전체가 접속되어 있는 전기적 케이저라고 보아도 된다. 건축물 구조체의 전기적 특성은 구조체의 재료나 형상, 규모에 따라 다르며 이에 대한 전기적 특성의 평가는 그리 간단하지만은 않다. 그러나 건축물의 구조체를 접지전극으로 적용하는 경우 건축물 구조체의 전기적 특성을 잘 평가한 후에 활용하는 것이 합리적이다. 건축물의 구조체를 접지전극으로 이용하게 되면 건축물 내에 시설되는 모든 전기·전자·통신 기기의 접지를 구조체에 접속하게 되므로 공통접지를 이루게 되어 등전위 접속이 가능해진다[9-11].

건축물이 공통접지로 시설되었을 경우, 지락사고시 지락전류가 대지를 경유하지 않고 금속회로를 통하여 전원으로 되돌아가는 경로를 통하여 흐르면 절연내력이 비교적 낮은 부하기기의 금속체 외함 등에 사람이 닿을 경우 인체에 큰 지락전류가 흐르지 않는다. 즉, 그만큼 안전하다는 것인데 이는 인체-대지를 경유하는 회로의 임피던스가 금속회로보다 훨씬 크기 때문이며, 접지의 공용에 의한 일종의 분로(바이패스)효과라 할 수 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 반구형 수조실험장치와 CDEGS 접지 해석 프로그램을 통해 구조체 접지전극에 대한 대지전위상승의 비교 및 분석이 수행되었으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 반구형 수조실험장치에 의한 대지전위상승의 측정값과 프로그램에 의한 계산값을 비교하였을 때, 매우 흡사한 양상을 나타내었으며, 망상형 접지전극과 구조체에 흐르는 지락전류 분포, 프로그램과 수조실험장치의 기준전위 설정 등에 의해 대지전위 분포도의 최상부와 하반부에서 약간의 오차가 발생한 것으로 판단된다.

(2) 스테인리스 폴격과 콘크리트로 구성된 구조체 A와 B를 비교하였을 때, 콘크리트의 흡수율 및 전기저항률에 따라 대지전위상승이 다르게 나타났으며 콘크리트에 자갈이 혼합된 구조체 B에서 더 높은 대지전위상승이 발생하였다. 건축물의 구조체를 접지전극으로 사용할 때 전기적 측면 및 기계적 측면을 상호 보완하여 적합한 기계적 강도와 전기적 안정성을 얻을 수 있도록 건축물의 설계 및 시공이 이루어져야 할 것이다.

상기한 분석자료는 건축물, 전력설비 등의 접지시스템 설계에 기술자료로 이용될 수 있을 것이며 국내 전기설비기술기준의 국제화 개편에 따른 등전위 접속 구조체 접지에 대한 평가에 활용될 수 있다.