

Characteristics of Potential Gradient for the Type of Structure Grounding Electrode

吉亨准[†] · 崔忠錫^{*} · 金珣坤^{**} · 李福熙^{***}

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

Abstract - This paper presents the potential gradient characteristics of structure grounding electrode when a test current flows through grounding electrode. In order to analyze the potential gradient of ground surface on structure grounding electrode, the reduced scale model has been used. The potential gradient has been measured and analyzed for types of structure using the hemispherical grounding simulation system in real time. The structures were designed through reducing real buildings and fabricated with four types on a scale of one-one hundred sixty. The supporter was made to put up with weight of structure and could move into vertical, horizontal, rotary direction. When a test current flowed through structure grounding electrodes, ground potential rise was the lowest value at electric cage type(type B). According to resistivity and absorption percentage in concrete attached to structure, the potential distribution of ground surface appeared differently.

Key Words : Potential Gradient, Structure, Reduced Scale Model, Supporter, Electric Cage Type

1. 서 론

발전·변전설비, 산업설비, 지능형 빌딩 등 사회 전반에 고도 정보통신시스템이 적용되고 있으며, 전력시설물, 생산설비, 금융, 행정, 건물관리 등 대부분의 사회시스템이 정보통신망과 연계되어 있다. 현대사회의 핵심요소인 전기설비, 정보통신설비, 집중원방 감시설비나 생산의 자동화설비 등이 고도화된 전자제어시스템으로 이루어져 있으며 이들 기기는 종래의 기기에 비해서 과전압에 매우 취약한 특성을 가지고 있어 전자시스템의 고장은 사회의 큰 혼란과 막대한 경제적 손실을 가져온다. 과전압에 대한 인체의 감전보호와 전자기기의 오동작이나 파손을 방지하기 위해서는 고성능의 접지시스템이 필수요건이다. 따라서, 선진외국에서는 접지시스템의 성능을 단지 접지저항이 아니라 대지전위상승, 접촉전압, 보폭전압 등 위험전압으로 규제하고 있다[1-6]. 현재 국내에서도 WTO/TBT 협정에 따른 국제기준과의 조화를 위해 법규로서의 기술기준은 간소화·국제화하고 보완조치로서 국제표준을 활용하도록 전기설비기술기준의 국제화 개편 추진이 활발히 진행중에 있으며 이에 따라 접지시스템에 대한

성능 평가의 기준 변경이 예상된다. 우리나라의 경우 최근 까지 접지설비의 규제를 단지 접지저항만으로 제한하기 때문에 효과적인 접지시스템의 기능을 기대할 수 없는 실정이다. 전력설비의 지락사고나 절연불량, 뇌서지 등과 같은 과전압으로부터 인체의 감전보호는 물론이고 전력설비나 사회시스템의 신경 역할을 하는 정보통신 제어설비를 효과적으로 보호할 수 있는 대책의 마련이 중요한 과제로 대두되었으며, 이 분야에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다.

따라서, 본 연구에서는 정부의 국제 표준화 정책에 부합하여 건물 구조체의 등전위 접속에 대한 전기적 안정성 평가를 위해 축소모델 및 반구형 접지모의시스템을 이용한 대지전위의 해석이 이루어졌다. 실제 건축물을 참고하고 철골 및 철근 콘크리트의 유형을 다르게 하여 4가지 유형의 구조체 접지전극을 설계 및 제작하였으며 구조체의 무게를 감안하여 이를 접지모의시스템에 장착할 수 있도록 수직, 수평, 회전운동이 가능한 지지대를 제작하였다. 이를 통해 실험용 모의접지전극에 대한 대지표면 전위분포를 측정하여 인체에 위험요소로 작용하는 전위경도 즉, 보폭전압과 접촉전압을 저감시키는 형태의 구조체 접지전극의 구조를 제안하고자 하며 분석된 자료는 기술기준의 국제화 개편 내용중 등전위 접속 구조체 접지에 대한 평가에 활용될 수 있을 것이다.

2. 실험장치 및 방법

반구형 접지모의시스템은 실규모 접지계의 도체 크기와 매설깊이를 임의의 축척으로 줄이고, 접지계에 전류가 흐를

† 교신저자, 正會員 : 電氣安全研究院 課長
E-mail : fa523@paran.com

* 正會員 : 電氣安全研究院 그룹장

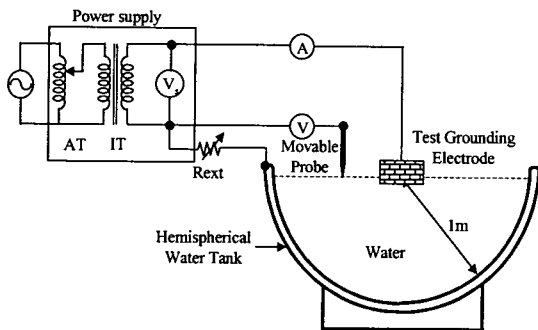
** 正會員 : 電氣安全研究院 部長

*** 正會員 : 仁荷大學 電子·電氣工學科 教授

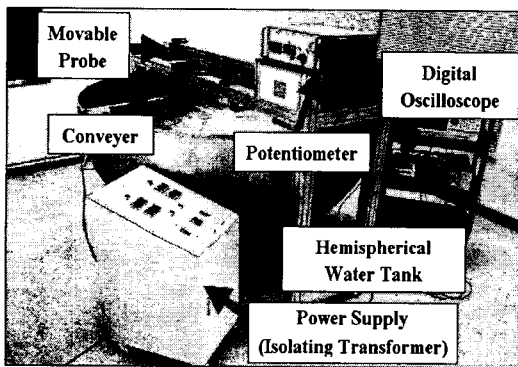
接受日字 : 2005年 5月 17日

最終完了 : 2005年 7月 1日

때 생기는 등전위면의 형상이 실규모 접지계와 동일하게 유지할 수 있도록 하는 장치이다. 반구형 접지모의시스템에 대한 원리는 이미 「대한전기학회 논문지」에 보고한 바 있으며 수조모형을 이용한 측정값과 접지해석 프로그램(CDEGS: Current Distribution, Electromagnetic Interference, Grounding and Soil Structure, Canada)을 이용한 이론적 계산값의 비교도 제시하였다[7]. 개략적인 시스템 구성을 기술하면, 지락전류를 일정하게 발생하기 위한 교류전원공급장치, 측정점의 제적과 대지전위상승을 측정하는 이송형 전위계측장치, 반구형 수조탱크 등으로 구성되었다. 그림 1은 반구형 접지모의시스템 측정계의 측정 원리도 및 외형을 나타내고 있다.



(a) 측정회로



(b) 외형

그림 1 반구형 접지모의시스템의 측정회로 및 외형
Fig. 1 Measuring circuit and shape of hemispherical grounding simulation system

반구형 수조탱크의 재질은 스테인리스이며 직경은 2[m]이다. 220[V]의 전원계로 고장전류의 분리 및 측정시 안전을 고려하여 절연변압기를 사용하였고, 고장전류의 가변을 위한 전압조정기(AT : Auto-Transformer)가 포함되어 있다. 그림 1(a)에서 가변저항은 교류전원발생장치에서 원격 접지점으로부터 탱크까지의 저항률이 일정하다고 가정한 경우의 외부 저항을 모의한 것으로 6.04[Ω]으로 설정하였다. 인가전압을 지시하는 전압계(Vs)는 시험접지극과 무한원점간의 전압이 얼마인지를 모의하기 위한 것이며 전압계(V)는 프로브와 무한점간의 대지전위를 나타낸다. 또한 전류계(A)는 시험접지극과 무한원점 사이에 흐르는 전류를 나타내며, V/I의 비로서 준무한 대지에 매설된 접지전극의 접지저항이 구해

진다[8-11]. 대지전위를 측정하기 위한 프로브는 물의 표면 혹은 내부의 전위를 측정하기 위한 것으로 직경 5.1[mm]의 동봉을 사용하였고 콘베이어를 통해 이송되며, 전위계측장치에서 프로브의 이동계적이 표시된다. 측정시의 물의 저항률은 약 38[Ω·m]를 나타내었으며 수저항률계(CM-21P, TOA·DKK, Japan)로 측정하였다.

구조체 접지의 개념을 알기 위해 우선 접지전극의 유형을 살펴보면 크게 2가지로 분류할 수 있다. 구리, 알루미늄, 철 등의 금속 또는 탄소계 재료로 만든 봉형, 직선형, 망상형, 판형 등의 접지전극과 이들을 조합한 접지체를 대지에 매설한 경우의 접지전극을 인공 접지전극(artificial grounding electrode)이라고 한다. 의도적으로 접지를 하고자 할 목적으로 시설한 것은 아니지만 넓은 표면적으로 대지와 자연적으로 접촉되어 있는 건축물의 기초 공사에 사용한 강관이나 철골 등의 구조체, 금속제 수도관 등 대지에 매설된 도전성 물체를 접지전극으로 대응하는 경우 이들 도전성 물체를 자연 접지전극(natural grounding electrode) 또는 구조체 접지전극(structure grounding electrode)이라고 한다. 구조체 접지에는 철골, 철근콘크리트의 구조물인 건축물의 기초를 비롯하여 철도, 수도관, 고가철교, 옹벽, 철탑의 기초, 터널의 내벽 등 접지저항이 낮은 여러 가지 구조물을 이용할 수 있다. 우리나라의 경우 금속제 시설물이나 건축용 철골 등을 접지전극으로 이용할 수 있는 법적인 근거와 적용범위에 대해서는 전기설비기술기준에 정해져 있다. 다시 말하면, 전기설비기술기준 제24조에 「대지와외의 사이에 전기 저항치가 2[Ω] 이하인 값을 유지하는 건물의 철골 기타의 금속체는 이를 비접지식 고압전로에 시설하는 기계기구의 철대 또는 금속제 외함에 실시하는 제1종 접지공사나, 비접지식 고압전로와 저압전로를 결합하는 변압기의 저압전로에 실시하는 제2종 접지공사의 접지전극으로 사용할 수 있다」라고 규정되어 있다. 또한 한국산업규격(KS C 9609)와 한국산업안전보건법 피뢰침의 설치에 관한 기술상의 지침에는 피보호물의 기둥 및 대들보가 철골조이던지 금속판으로 덮인 구조로서 전기적으로 접속되어 있으며, 철재 기둥이 지표면으로부터 3[m] 이상의 깊이까지 매설되어 있거나 철골조 피보호물의 합성 접지저항이 5[Ω] 이하인 경우에는 접지를 생략하여도 무방한 것으로 규정되어 있다[12][13].

본 연구에서는 실제 건축물 구조체를 모의하기 위해 가로 × 세로 × 높이가 38[m] × 19[m] × 26[m]인 건축물을 160:1로 축소하여 축소 구조체를 4가지 유형으로 설계 및 제작하였으며 지락전류 발생시 대지전위분포를 분석하고자 하였다. 그림 2는 제작된 구조체를 나타내며 구조체의 기본 골격은 정사각형 형상의 3[mm] 두께의 스테인리스로 제작되었다. 스테인리스로 제작한 이유는 반구형 접지모의시스템에 장착하여 지락전류를 인가시 전기분해에 의한 부식에 강하기 때문에 상기 재료를 선택하였다. 그림 2에 나타난 바와 같이 구조체 A는 외부 골격만 있는 유형이고 구조체 B는 내부 및 외부를 철골 또는 철근을 모의하기 위해 망상형으로 제작하였고 각 골격 사이의 간격은 약 20[mm]이다. 또한 구조체 C는 시멘트 : 모래 = 1 : 2, 구조체 D는 시멘트 : 모래 : 자갈 = 1 : 2 : 4의 비율로 외부 두께 약 20[mm] 콘크리트로 둘러싸인 구조로 제작하였다. 표 1은 제작된 각 구조체의 특징을 나타내었으며 표 2는 실제 모델과 축소 모델을

비교한 것이다. 여기서 수조탱크에 구조체를 설치할 때 구조체의 매설깊이를 18.75[mm]로 한 것은 한국산업규격(KS C 9609)과 한국산업안전보건법 피뢰침의 설치에 관한 기술상의 지침에서 철재 기둥을 지표면으로부터 3[m] 이상의 깊이로 매설하도록 규정되어 이를 참조하였으며 대지전위 측정시 프로브의 이동에 방해가 되지 않도록 프로브로부터 수평방향으로 25[mm] 이격되도록 설치하였다.

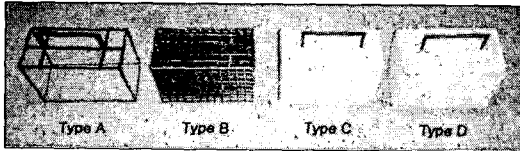


그림 2 구조체 접지전극의 일례
Fig. 2 An example of structure grounding electrode

표 1 구조체 유형별 특징
Table 1 Characteristics of structure types

구조체 유형	특징
구조체 A	· 외부 기둥만 철골 구조 · 무게 : 0.26kg
구조체 B	· 외부 및 내부 망상형 철골 구조 · 무게 : 2.65kg
구조체 C	· 외부 및 내부 망상형 철골 구조 · 외부 표면 두께 20mm를 콘크리트로 마감처리 · 콘크리트의 배합비(시멘트 : 모래 = 1 : 2) · 무게 : 6.65kg
구조체 D	· 외부 및 내부 망상형 철골 구조 · 외부 표면 두께 20mm를 콘크리트로 마감처리 · 콘크리트의 배합비(시멘트 : 모래 : 자갈 = 1 : 2 : 4) · 무게 : 7.7kg

표 2 실제 모델과 160:1의 축소모델
Table 2 A full scale model and a reduced scale model of one-one hundred sixty

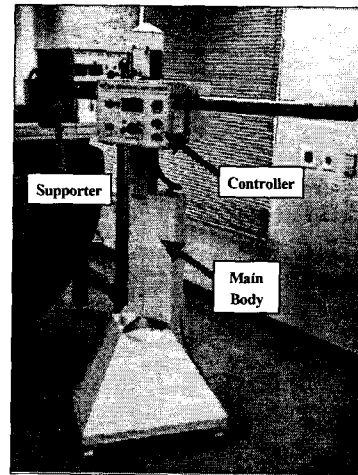
항목	모델	실제 모델	축소 모델
구조체의 매설깊이		3m	18.75mm
구조체의 크기(가로×세로×높이)		38m × 19m × 26m	240mm × 120mm × 160mm
철골 또는 철근 콘크리트의 두께		500mm	3mm

표 3에 콘크리트의 배합비와 흡수율에 대한 전기 저항률의 관계를 나타내었다[13]. 콘크리트는 일종의 암석과 같이 생각되지만 특히 콘크리트가 대지에 매입되어 있는 경우 암석에 비해서 흡수율이 크기 때문에 전기 저항률은 상당히

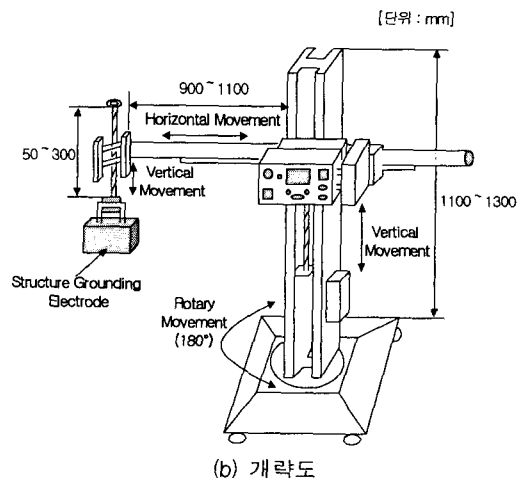
낮은 편으로 대략 40~80[Ω·m] 정도이다. 지하에 매설되어 수분을 많이 함유하고 있는 상태의 콘크리트의 전기 저항률은 보통의 토양에 비해서 낮은 편이므로 철골 또는 철근이 콘크리트에 매입되어 있어도 건축물 구조체의 접지 저항은 증가하지 않는다. 이와 같이 건축물의 기초 콘크리트의 전기 저항률은 주변 대지의 전기 저항률에 비해서 낮으므로 구조체의 접지저항에는 거의 영향을 미치지 않기 때문에 건축물 구조체의 접지저항은 낮은 값을 가지게 된다.

표 3 콘크리트의 배합비와 흡수율에 대한 전기저항률
Table 3 Resistivity by mixture ratio and absorption percentage of concrete

콘크리트의 배합비(시멘트 : 모래 : 자갈)	흡수율[%]	전기저항률 [Ω·m]
1 : 3 : 6	4.9	80.0
1 : 2 : 4	6.2	51.6
1 : 3 : 0	13.9	47.2
1 : 2 : 0	16.1	37.9



(a) 외형



(b) 개략도

그림 3 구조체 지지대의 외형 및 개략도
Fig. 3 Shape and schematic diagram of supporter

그림 3은 구조체를 지지하여 수조탱크내에 장착하기 위한 구조체 지지대의 외형 및 개략도이다. 구조체의 무게를 살펴보면, 구조체 A의 경우 0.26[kg]으로 가벼운 물체이지만 구조체 C 및 D는 무게가 6.65[kg] 및 7.7[kg]으로 매우 무거운 상태이므로 이를 지지하여 수조탱크내에 장착하기 위해서는 구조체 지지대가 필요하였다. 구조체 지지대는 주요 몸체, 위치센서, 모터 및 속도제어기, 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 길이대는 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.

3. 결과 및 고찰

3.1 구조체 A 및 B의 대지전위 특성

구조체 A는 외부 골격만 있는 유형 즉, 직육면체의 각 변만 스테인리스 골격으로 된 형상이다. 우선 구조체를 구조체 지지대에 설치하고 이를 수조탱크 중심부까지 이송시킨 후 수면아래에 장착한 후 교류전원공급장치를 이용해 구조체 손잡이의 중심부에 1[A]의 지락전류를 흘려주어 대지전위상승을 측정하였고 구조체 A뿐만 아니라 다른 구조체도 동일한 지락전류를 인가하였다. 그림 4는 구조체 A의 대지전위분포를 나타낸다. 인가전압은 109[V]이며 최대값은 수조탱크의 중심점인 1000[mm] 지점에서 발생하였으며 그 값은 1[A]당 44.7[V]이다. 거리에 따른 대지전위분포는 수조탱크 중심점을 기준으로 좌우대칭의 \cap 형상을 나타내었다. 구조체 A의 경우, 외부 골격만 있는 구조로 되어 있지만 최대값은 중심부에서 발생하여 거리의 증가에 따라 감소함을 알 수 있고 구조체 경계면에서 가파른 전위경도를 나타내었다. 구조체가 설치된 880[mm]와 1120[mm] 사이의 최대값과 최소값의 전위차는 약 5[V] 정도이었다.

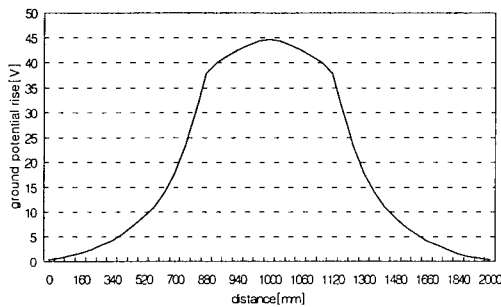


그림 4 구조체 A의 대지표면의 전위분포
Fig. 4 Potential distribution of ground surface for type A

구조체 접지에 대한 이해를 위해서는 건축물의 구조체를 전기적 특성에 대한 관점에서 살펴보는 것이 바람직하다.

목조 또는 절연성의 재료를 사용하지 않은 대형의 철골, 철근콘크리트, 철골과 철근을 병용하여 건조한 건축물은 기둥이나 대들보 등이 서로 접속되어 있으며, 건축물 전체가 일체화 되어 있다. 이와 같이 건축물 구조체가 일체화되어 있게 되면 구조체의 전기적 특성이 정해지게 된다. 다시 말하면 건축물 각각의 구조체가 서로 낮은 전기저항으로 접속되어 있는 것으로 볼 수 있다. 즉, 의도적으로 접속하지 않는다고 하여도 구조체 자체에 의해서 자연적으로 접속되어 건축물의 구조체는 도전성 물질로 구성된 전기적 케이지(electric cage)가 된다. 이를 모의하도록 구조체 B는 내부 및 외부를 망상형으로 제작하였다. 실험방법은 구조체 A와 동일하며 인가전압은 87[V]이고 최대값은 1[A]당 40.5[V]이다. 그림 5에서 알 수 있는 바와 같이, 구조체 A와 비교할 때 구조체가 시설된 880[mm]와 1120[mm] 사이에서 전위경도가 더 완만함을 알 수 있다. 특히, 인공접지전극인 망상형 접지전극과 유사한 전위분포를 나타냄을 주목할 필요가 있으며 지하에 매설된 건축물의 구조체는 커다란 접지전극이라고 볼 수 있다. 따라서 인위적으로 접지전극을 건축물 기초의 하부 또는 주변에 설치하더라도 구조체의 접지저항 값보다 낮은 값을 얻는 것은 용이하지 않으므로 접지저항이 낮은 양호한 구조체 접지전극을 두고 많은 비용을 들여 별도의 인공 접지전극을 시설할 필요가 없다고 판단된다.

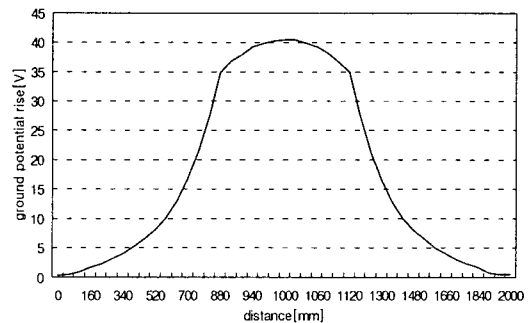


그림 5 구조체 B의 대지표면의 전위분포
Fig. 5 Potential distribution of ground surface for type B

3.2 구조체 C 및 D의 대지전위 특성

구조체 C는 구조체 B를 기본 구조로 하여 시멘트 : 모래 = 1 : 2의 비율로 외부 두께 약 20[mm]의 콘크리트로 둘러 쌓은 구조로 실제 건축물과 유사한 형상이다. 상기 명기된 콘크리트의 배합비와 흡수율에 대한 전기저항률에 나타낸 바와 같이, 흡수율은 16.1[%]이고 전기저항률은 37.9[Ω·m]이다. 측정시의 인가전압은 87[V], 최대값은 1[A]당 42.2[V]이다. 그림 6에 나타낸 바와 같이, 구조체 B와 비교하였을 때 콘크리트의 저항률 및 흡수율에 따라 전위상승값은 약 2[V] 정도 높게 측정되었지만 전위분포 특성은 전위경도 측면에서 유사한 양상을 나타내었다. 결국, 건축물의 구조체가 하나의 커다란 접지전극으로 작용하여 인공 접지전극과 유사한 역할을 한다는 것이 판명되었고 이를 통해 접지의 목적인 설비보호 및 감전보호 외에도 경제적인 측면을 고려하여 접지를 설계하고 시공할 필요가 있을 것으로 판단된다.

구조체 D는 구조체 B를 기본 구조로 하여 시멘트 : 모래

: 자갈 = 1 : 2 : 4의 비율의 콘크리트로 둘러 쌓은 구조이며 구조체 C와 유사하다.

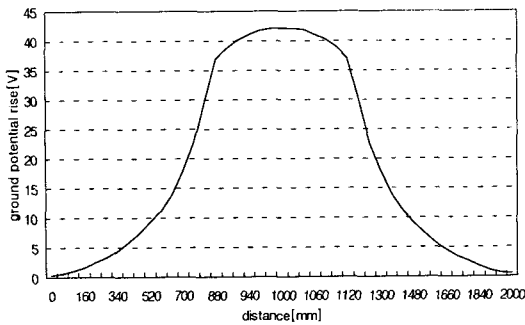


그림 6 구조체 C의 대지표면의 전위분포
Fig. 6 Potential distribution of ground surface for type C

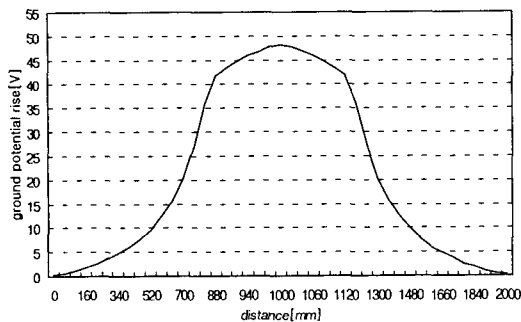


그림 7 구조체 D의 대지표면의 전위분포
Fig. 7 Potential distribution of ground surface for type D

구조체 D의 흡수율은 6.2[%]이고 전기저항률은 51.6[Ω · m]이다. 측정시의 인가전압은 107[V], 최대값은 1[A]당 48.2[V]이다. 그림 7에 나타낸 바와 같이, 구조체 C와 비교하였을 때 콘크리트의 저항률 및 흡수율에 따라 전위상승값은 약 5[V] 정도 높게 측정되었지만 구조체 C와 유사한 대지전위분포를 나타내었다. 따라서, 건축물의 구조체는 거시적 관점에서 보면 공통접지가 시설된 것으로 볼 수 있으며 전원측의 계통접지와 부하측의 기기접지를 공용하여 시설하면 지락보호와 부하기기에 대한 접촉전압의 관점에서 유리할 수 있다. 왜냐하면, 부하기기의 절연이 저하되어 지락사고가 발생한 경우 지락전류는 독립접지의 경우 대지를 경유해서 흐르게 된다. 한편, 공통접지인 경우 지락전류는 금속회로를 통하여 흐르며, 금속회로의 전류경로의 임피던스는 매우 낮으므로 큰 지락전류에 의해서 과전류차단장치가 동작할 수도 있어 과전류차단장치로 지락보호를 할 수도 있게 된다.

지락전류가 대지를 경유하지 않고 금속회로를 통하여 전원으로 되돌아가는 경로를 통하여 흐르면 또 하나의 장점이 있는데 그것은 절연내력이 비교적 낮은 부하기기의 금속제 외함 등에 사람이 닿을 경우 인체에 큰 지락전류가 흐르지 않는다는 것이다. 즉, 그만큼 안전하다는 것인데 이는 인체-대지를 경유하는 회로의 임피던스가 금속회로보다 훨씬 크기 때문이며, 접지의 공용에 의한 일종의 분로(바이패스)효

과라 할 수 있다.

그림 8은 4가지 유형의 구조체에 대한 대지전위 특성을 비교한 것이다. 그림 8에 나타낸 바와 같이, 스테인리스 골격으로 구성된 구조체 A 및 B에 있어, 전기적 케이지방식인 구조체 B에서 더 낮은 대지전위상승이 나타났으며 구조체의 경계면에서도 보다 완만한 전위경도를 나타내었다. 또한 콘크리트로 구성된 구조체 C 및 D의 경우, 콘크리트의 흡수율 및 전기저항률에 따라 대지전위상승이 다르게 나타났으며 콘크리트에 자갈이 혼합된 구조체 D에서 더 높은 대지전위상승이 발생하였다. 4가지 유형의 분포도는 서로 유사한 형상을 나타내지만 전위경도의 측면에서 기울기가 각각 차이가 있음을 알 수 있으며 본 분석 자료를 참고로 하여 건축물의 기계적인 측면과 전기적인 측면을 조화시켜 설계 및 시공이 이루어져야 할 것이다.

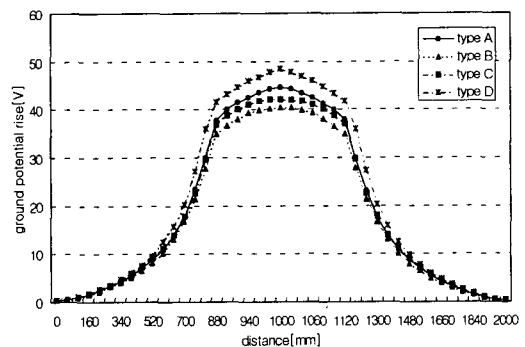


그림 8 4가지 유형의 대지전위 비교
Fig. 8 Comparison of ground potential for four types

철골 구조체의 건축물인 경우 골조 부분은 철근이 내장되어 있지만 어느 일부분에는 철근이 전기적으로 완전히 접속되어 있지 않은 부분도 있다. 그러나 콘크리트의 전기 저항률이 비교적 낮은 값이므로 콘크리트에 의해 건축물 전체가 접속되어 있는 전기적 케이지라고 보아도 된다. 건축물 구조체의 전기적 특성은 구조체의 재료나 형상, 규모에 따라 다르며 이에 대한 전기적 특성의 평가는 그리 간단하지만 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[14].

3.3 건축물 구조체의 접지저항 추정

건축물 구조체나 금속제 관로의 지하에 매설되어 있는 부분 즉, 대지에 접촉되어 있는 부분의 형상은 매우 복잡하므로 임의의 형상 자체를 그대로 적용하여 접지저항을 이론적으로 산출하는 것은 불가능하다. 비록 엄밀하지는 않지만 건축물 구조체의 지하의 매설부분으로 대지와 접촉되어 있는 부분의 전체 표면적에 상당하는 반구형 접지전극으로 치환하여 접지저항을 추정하는 방법을 생각할 수 있다. 그림 9에 나타낸 바와 같이 건축물 구조체의 지하에 매설된 부분

의 전체 표면적과 등가인 반구형 접지전극으로 치환하면 접지저항을 이론적으로 산출할 수 있게 된다[13][15].

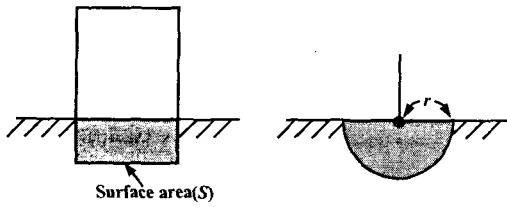


그림 9 구조체 지하부분의 반구형 접지전극으로의 치환
Fig. 9 Replacing underground part of structure with hemispherical grounding electrode

반구형 접지전극의 반경을 r 이라고 하면 대지에 매설되는 표면적은 $2\pi r^2$ 이며, 건축물 구조체의 지하에 매설되어 있는 부분의 전체 표면적 S 를 알게 되면 등가인 반구형 접지전극의 반경은 $S=2\pi r^2$ 으로부터

$$r = \sqrt{\frac{S}{2\pi}} \quad (1)$$

이 된다. 반경이 r 인 반구형 접지전극의 접지저항은 다음 식으로 구해진다.

$$R = \frac{\rho}{2\pi r} \quad (2)$$

반구형 접지모의시스템을 이용한 접지전극의 접지저항은 V/I 의 비로 산정할 수 있으며 실제 건축물에 가장 근접한 구조체 D의 측정값과 이론적 계산값을 표 4에 나타낸다.

표 4 측정값과 이론적 계산값의 비교

Table 4 Comparison of measuring value and calculating value

항 목	구조체 D의 접지저항[Ω]
측정값	48.2
이론적 계산값	54.9

이론적 산정값 : $S=0.07[m^2]$, $r=0.11[m]$, $\rho=38[\Omega \cdot m]$

표 4에 나타낸 바와 같이, 구조체 접지저항의 측정값과 이론적 계산값 사이에는 차이가 있었으나 이는 제작상의 구조체의 구성요소, 구조체 내부의 콘크리트의 시설 유무, 콘크리트의 흡수율 및 전기저항률, 물의 구조체 내부로의 유입, 치환상의 오차 등에 의해 발생한 것으로 판단되며 비교적 유사한 특성을 나타냄을 확인하였다.

4. 결 론

본 논문에서는 축소모델시험을 통해 구조체 접지전극의 대지표면 전위분포의 측정 및 분석이 수행되었으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 실제 건축물을 참조하여 160:1의 비율로 시험 구조체가 설계 및 제작되었고 구조체의 무게를 지탱하기 위한 지지대가 고안되어 실험에 이용되었다. 지지대는 수평, 수직, 회전운동이 가능하고 구조체에 시험전류의 인가시 지지대에 흐르지 않도록 구조체 설치부분을 절연처리하였다.

(2) 스테인리스 골격만으로 구성된 구조체 A 및 B에 있어, 구조체 외곽 골격만으로 이루어진 구조체 A보다 전기적 캐이지방식인 구조체 B에서 더 낮은 대지전위분포가 나타났으며 구조체의 경계면에서도 보다 완만한 전위경도를 나타내었다. 스테인리스 골격과 콘크리트로 구성된 구조체 C 및 D의 경우, 콘크리트의 흡수율 및 전기저항률에 따라 대지전위상승이 다르게 나타났으며 콘크리트에 자갈이 혼합된 구조체 D에서 더 높은 대지전위상승이 발생하였다. 또한, 구조체 접지저항의 측정값과 이론적 계산값 사이에는 차이가 있었으나 이는 물의 구조체 내부로의 유입, 구조체 내부의 콘크리트 비시설 등에 따라 발생한 것으로 사료되며 비교적 유사한 특성을 나타내었다. 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.

(3) 상기 분석된 자료는 국내 전기설비기술기준의 국제화 개편에 따른 등전위 접속 구조체 접지에 대한 평가에 활용될 수 있다. 또한, 시장경제 체제하에서의 국가 경쟁력을 강화할 수 있는 국내 기술기준의 체제 구축이 필요하며 기술시장의 국제화 추세에 부응하는 연구가 추후에도 지속적으로 이루어지도록 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부 전력산업기반기금의 지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- [1] Chung-Seog Choi, Hyung-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, 김향근, 한운기, 이기연, 최홍석, "축소모델을 이용한 봉형과 망상형 접지전극의 전위경도 비교", 한국안전학회 춘계학술발표회, pp.48-53, 2004.
- [3] Institute of Electrical Installation Engineers of Japan, "Lightning Protection for Information-oriented and Computerized Society", *IEIE of Japan*, pp.10-52, 1999.
- [4] A. Ohmi, "Lightning Protection for Information and Telecommunication System", *Journal of IEIE Jpn.*, Vol.21, No.6, pp.450-453, 2001.
- [5] IEC Pub. 1200-413, "Electrical Installations Guide, Part413 ; Protection against Indirect Contact Automatic Disconnection of Supply", pp.9-19, 75-84,

1996.

- [6] IEC Pub. 364-413, "Electrical Installations of Building, Part4 ; Protection for Safety, Chapter41 ; Protection against Electric Shock", pp.25-37, 1999.
- [7] 길형준, 최충석, 이복희, "반구형 접지모의시스템을 이용한 접지전극의 형상에 따른 대지전위상승의 분석", 대한전기학회 논문지, Vol.54C, No.7, pp.319-325, 2005.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] R. Cadecott, D.G. Kasten, "Scale Model Studies of Station Grounding Grids", IEEE Trans. PAS., Vol.PAS-102, No.3, pp.558-566, 1975.
- [11] B. Thapar, K. K. Puri, "Mesh Potentials in High-Voltage Grounding Grids", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol.PAS-86, No.2, pp.249-254, 1967.
- [12] Ronald P. O'Riley, "Electrical grounding", Delmar Thomson Learning, pp.1-29, 2002.
- [13] 이복희, "접지의 핵심기초기술", 의제, pp.179-190, 2000.
- [14] IEEE Standards Board, "ANSI/IEEE Std 80-1999; An American National Standard/IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding", The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., pp.31-48, 1986.
- [15] 이복희, 엄주홍, 김성원, "측정전류전이법을 이용한 운전중인 접지시스템의 접지저항 측정", 대한전기학회 논문지, Vol.51C, No.8, pp.347-353, 2002.

저 자 소 개



길형준 (吉亨准)

1969년 8월 5일생. 1997년 2월 인하대 공대 전기공학과 졸업. 1999년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 전기공학과 박사과정. 2000년~현재 전기안전연구원 전기재해연구그룹 과장.

Tel : 031-580-3034

Fax : 031-580-3045

E-mail : fa523@paran.com



최충석 (崔忠錫)

1961년 9월 19일생. 1991년 2월 인하대 공대 전기공학과 졸업. 1993년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1993년 나고야대학 초청연구원. 1994~95년 구마모토 대학 객원연구원. 1997년~현재 전기안전연구원 전기재해연구그룹 그룹장.

Tel : 031-580-3030, Fax : 031-580-3045

E-mail : enetek@naver.com /

ccseog@kesco.or.kr



김향곤 (金珮坤)

1970년 12월 14일생. 1996년 2월 조선대 공대 전기공학과 졸업. 2000년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년~현재 전기안전연구원 전기재해연구그룹 부장.

Tel : 031-580-3031, Fax : 031-580-3045

E-mail : khk9803@hanmail.net



이복희 (李福熙)

1954년 6월 29일생. 1980년 2월 인하대 공대 전기공학과 졸업. 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1988~89년 동경 대학 생산기술연구소 객원연구원. 1995년 호주 Queensland대학 방문교수. 1999년 Cincinnati대학 방문교수. 현재 인하대 공대 전자전기컴퓨터공학부 교수.

Tel : 032-860-7398

Fax : 032-863-5822

E-mail : bhlee@inha.ac.kr