

축소모델을 이용한 구조체 접지 분석

길현준, 김향곤, 한운기, 이기연, 최충석
한국전기안전공사 부설 전기안전연구원

The Analysis of Structure Grounding Using Reduced Scale Model

Hyoung-Jun Gil, Hyang-Kon Kim, Woon-Ki Han, Ki-Yeon Lee, Chung-Seog Choi
Electrical Safety Research Institute, subsidiary of Korea Electrical Safety Corporation

Abstract - This paper deals with ground potential rise 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 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.

1. 서 론

현대사회의 핵심요소인 전기설비, 정보통신설비, 집중원방 감시설비나 생산의 자동화설비 등이 고도화된 전자제어시스템으로 이루어져 있으며 이를 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. 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 최근까지 접지설비의 규제를 단지 접지저항만으로 제한하기 때문에 효과적인 접지시스템의 기능을 기대할 수 없는 실정이다[1][2]. 전력설비의 지락사고나 절연불량, 뇌서지 등과 같은 과전압으로부터 인체의 감전보호는 물론이고 전력설비나 사회시스템의 신경 역할을 하는 정보통신제어설비를 효과적으로 보호할 수 있는 대책의 마련이 중요한 과제로 대두되었으며, 이 분야에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있는 중이다.

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 이의 지지대도 제작하였다. 이를 통해 실험용 모의접지

전극에 대한 대지표면 전위분포를 측정하여 인체에 위험요소로 작용하는 전위경도 즉, 보폭전압과 접촉전압을 저감시키는 형태의 구조체 접지전극의 구조를 제안하고자 한다.

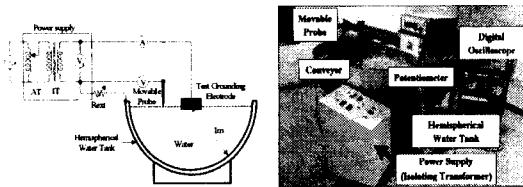
2. 실험장치 및 방법

반구형 접지모의시스템은 실규모 접지계의 도체 크기와 매설깊이를 임의의 축척으로 줄이고, 접지계에 전류가 흐를 때 생기는 등전위면의 형상이 실규모 접지계와 동일하게 유지할 수 있도록 하는 장치이다. 본 시스템은 교류전원공급장치, 이송형 전위계측장치, 반구형 수조탱크 등으로 구성되었으며 그림 1은 반구형 접지모의시스템 측정계의 측정 원리도 및 외형을 나타내고 있다. 반구형 수조탱크의 재질은 스테인리스이며 직경은 2[m]이다. 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. 대지전위를 측정하기 위한 프로브는 물의 표면 혹은 내부의 전위를 측정하기 위한 것으로 직경 5.1[mm]의 동봉을 사용하였고 콘베이어를 통해 이송되며, 전위계측장치에서 프로브의 이동궤적이 표시된다[1][2]. 측정시의 물의 저항률은 약 38[Ω·m]를 나타내었으며 수저항률계(CM-21P, TOA · DKK, Japan)로 측정하였다.

구조체 접지에는 철골, 철근콘크리트의 구조물인 건축물의 기초를 비롯하여 철도, 수도관, 고가철교 등 접지저항이 낮은 여러 가지 구조물을 이용할 수 있다. 우리나라의 경우 전기설비기술기준 제24조에 「대지와의 사이에 전기 저항치가 2[Ω] 이하인 값을 유지하는 건물의 철골 기타의 금속제는 이를 비접지식 고압전로에 시설하는 기계기구의 철태 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[3].

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 스테인리스

로 제작되었다. 스테인리스로 제작한 이유는 반구형 접지모의시스템에 장착하여 지락전류를 인가시 전기분해에 의한 부식에 강하기 때문에 상기 재료를 선택하였다.



(a) 측정회로 (b) 외형

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

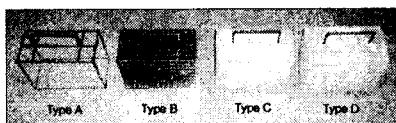


그림 2 구조체 접지전극의 일례
Fig. 2 An example of structure grounding electrode

표 1 구조체 유형별 특징
Table 1 Characteristics of structure types

구조체 유형	특 징
구조체 A	<ul style="list-style-type: none"> 외부 기둥만 철골 구조 무게 : 0.26kg
구조체 B	<ul style="list-style-type: none"> 외부 및 내부 망상형 철골 구조 무게 : 2.65kg
구조체 C	<ul style="list-style-type: none"> 외부 및 내부 망상형 철골 구조 외부 표면 두께 20mm를 콘크리트로 마감처리 콘크리트의 배합비(시멘트:모래=1:2) 무게 : 6.65kg
구조체 D	<ul style="list-style-type: none"> 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

모델 항목	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 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 : 2 : 4	6.2	51.6
1 : 2 : 0	16.1	37.9

표 1은 제작된 각 구조체의 특징을 나타내었으며 표 2는 실제 모델과 축소 모델을 비교한 것이다. 여기서 수

조탱크에 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 수평 방향으로 25[mm] 이격되도록 설치하였다. 표 3은 콘크리트의 배합비와 흡수율에 대한 전기 저항률의 관계를 나타낸다. 그럼 3은 구조체를 지지하여 수조탱크내에 장착하기 위한 구조체 지지대의 외형 및 개략도이다. 구조체의 무게를 지탱하여 수조탱크내에 장착하기 위해서는 구조체 지지대가 필요하였으며, 구조체를 설치하여 수조탱크내에 장착한 후 지락전류를 인가할 때 전류가 지지대, 제어부 등으로 유입되는 것을 방지하기 위해 지지대 말단부분에 절연재료를 사용하였다.

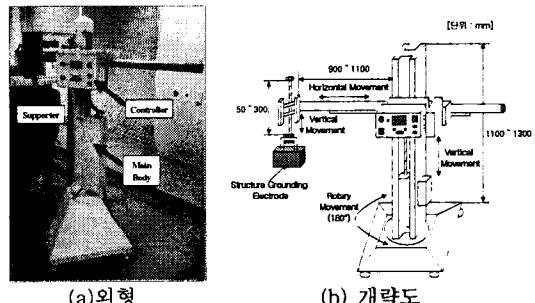


그림 3 구조체 지지대의 외형 및 개략도
Fig. 3 Shape and schematic diagram of supporter

3. 결과 및 고찰

3.1 구조체 A 및 B의 대지전위분포

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 A 뿐만 아니라 다른 구조체도 동일한 지락전류를 인가하였다. 그럼 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.

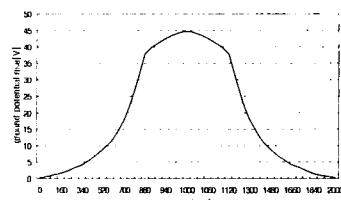


그림 4 구조체 A의 대지표면의 전위분포
Fig. 4 Potential distribution of ground surface for type A

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. 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. 그럼 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 나타낸다. 그림 5에 나타낸 바와 같이, 전위분포를 나타내는 구조체는 커다란 접지전극이라고 볼 수 있다.

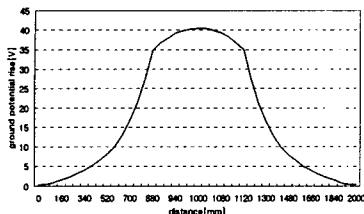


그림 5 구조체 B의 대지표면의 전위분포

Fig. 5 Potential distribution of ground surface for type B

3.2 구조체 C 및 D의 대지전위분포

구조체 C는 구조체 B를 기본 구조로 하여 시멘트 : 모래 = 1 : 2의 비율로 외부 두께 약 20[mm]의 콘크리트로 둘로 쌓은 구조로 실제 건축물과 유사한 형상이다. 측정시의 인가전압은 87[V], 최대값은 1[A]당 42.2[V]이다. 그럼 6에 나타낸 바와 같이, 구조체 B와 비교하였을 때 콘크리트의 저항률 및 흡수율에 따라 전위상승값은 약 2[V] 정도 높게 측정되었고 구조체가 설치된 부분에서는 거의 등전위면이 형성되었다고 할 수 있다.

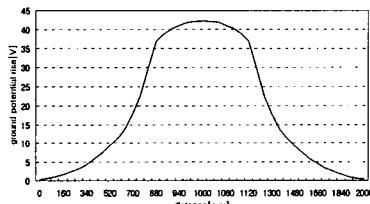


그림 6 구조체 C의 대지표면의 전위분포

Fig. 6 Potential distribution of ground surface for type C

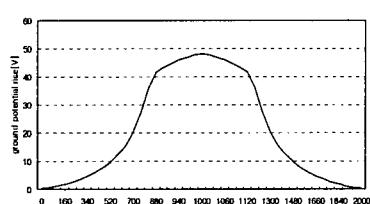


그림 7 구조체 D의 대지표면의 전위분포

Fig. 7 Potential distribution of ground surface for type D

구조체 D는 구조체 B를 기본 구조로 하여 시멘트 : 모래 : 자갈 = 1 : 2 : 4의 비율의 콘크리트로 둘로 쌓은 구조이며 구조체 C와 유사하다. 측정시의 인가전압은 107[V], 최대값은 1[A]당 48.2[V]이다. 그럼 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 있다.

그림 8은 4가지 유형의 구조체에 대한 대지전위 특성을 비교한 것이다. 그림 8에 나타낸 바와 같이, 스테인리

스 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 결과를 참고로 하여 건축물의 기계적인 측면과 전기적인 측면을 조화시켜 설계 및 시공이 이루어져야 할 것이다.

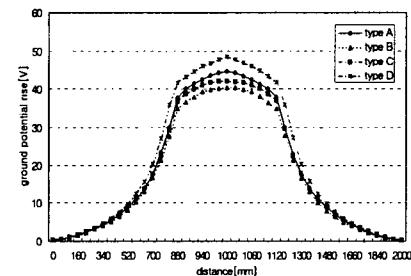


그림 8 4가지 유형의 대지전위 비교

Fig. 8 Comparison of ground potential for four types

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 이용되었으며 수평, 수직, 회전운동이 가능하다.

(2) 스테인리스 골격만으로 구성된 구조체 A 및 B에 있어, 구조체 외곽 골격만으로 이루어진 구조체 A보다 전기적 케이지방식인 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.

본 연구는 산업자원부 전력산업기반기금의 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] R. Cadecott, D.G. Kasten, "Scale Model Studies of Station Grounding Grids", IEEE Trans. PAS., Vol.PAS-102, No.3, pp.558-566, 1975.
- [3] 이복희, "접지의 핵심기술", 의제, pp.179-190, 2000.