

접촉전압 저감을 위한 변전소 접지망 설계

최종기*, 기현찬*, 정길조*, 김범진**
 한진 전력연구원*, 한국전력공사**

Design of Substation Grounding Grid for Reduction of Touch Voltage

J.K.Choi*, H.C.Kee*, G.J.Jung, B.J.Kim
 KEPRI*, KEPCO**

Abstract- The purpose of substation grounding system is to provide reference potential with power system and protect field workers from electrical shock resulted from unsymmetrical power system faults. For this purpose, grounding grid should be designed to maintain max. touch voltage under safety criteria in fault conditions. It is difficult, however, to design a safe grounding grid at very resistive or narrow area. This paper describes an example of substation grounding grid design procedures in such areas with very severe design conditions. By using grounding conductors, which is located close to earth surface, earth surface potential could be controlled effectively, so that maximum touch voltages is to be maintained under safety criteria.

1. 서론

변전소 접지계는 정상운전시 중성점 접지에 의한 계통의 기준전위를 제공하며, 변전소 구내 사고시 불평형전류를 대지로 안전하게 분산시키는 역할을 한다. 접지망을 통해 고장전류를 대지로 분산시킬 때, 전류가 대지를 통과하면서 발생하는 전압강하는 접지도체의 전위상승(Ground Potential Rise 또는 접지전위상승)으로 나타난다. 이러한 접지도체의 전위상승으로 인하여 접지망 주변 토양의 전위도 상승하게 되는데, 이 때 변전소 구내에서 작업하고 있는 사람은 두 발이 딛고 서 있는 지표면의 전위상승(Earth Surface Potential Rise 또는 대지전위상승)으로 인하여 양 발사이에 전위차가 발생하고 이를 보폭전압이라고 한다[1].

보폭전압에 의하여 인체를 흐르는 전류는 양 발사이를 흐르며, 심장을 직접 통과하지 않으므로 안전허용치가 크고 접촉전압에 비하여 덜 위험하다. 그러나 작업원이 외함을 붙잡고 지표에서 서 있는 경우, 접지된 외함을 붙잡고 있는 작업원의 손은 접지전위상승(GPR)에 노출되며 작업원의 발은 대지전위상승에 노출되므로, 손과 발 사이에 발생하는 전위차, 즉 접촉전압은 한쪽 손-인체-발을 통과하는 전류를 발생시켜 인체에 매우 위험할 수 있다. 따라서 변전소 접지망을 설계할 때, 접촉 및 보폭전압이 안전허용치를 만족하는가 여부는 안전측면에서의 접지성능을 대표하며, 발생가능한 최대 접촉/보폭전압 모두 허용치보다 작아지도록 접지망의 제원을 결정하게 된다.

접지설계에는 토양이나 고장시 작업원이 접촉전압에 노출될 확률 등 불확실하거나 정확히 평가하기가 어려운 요소가 많이 있기 때문에, 고장전류 크기나 대지로 분류하는 비율(=분류율), 고장지속시간 등의 측면에서 가혹한 가정을 전제하는 경우가 많다. 본 논문은 접지면적이 협소하거나 대지저항율이 높아, 접촉/보폭전압을 안전허용치 이하로 유지하기 어려운 154 kV 변전소에서, 상기가혹한 가정들을 유지하면서도 접촉전압을 허용치 이하로

낮추기 위한 변전소 접지망 설계사례를 보인 것이다.

2. 대지귀로 전류의 추정

변전소 구내의 불평형고장시, 고장전류 영상분의 일부는 가공지선 등의 도전성 경로를 통해, 나머지는 대지를 통해 전원단으로 귀환하게 된다. 이 때, 접지망의 전위상승에 기여하는 전류는 대지를 통해 귀환하는 전류이다. 따라서 고장전류 분류율(=총 고장전류 중 대지를 통해 귀환하는 전류의 비)의 추정은 접지망 전위상승과 접촉전압의 계산에서 매우 중요한 단계이다.

IEEE Std-80 적용가이드[2]에서는 변전소 접지저항, 회선수 및 철탑 접지저항에 함수인 분류율 그래프를 제시하고 있으나, 우리나라에서는 계통조건에 무관하게 60%의 분류율을 일률적용하는 경우가 많다. 그러나, 이는 북미지역과 같이 변전소 접지저항이 1 ohm 미만이 대부분인 곳에서는 다소 가혹한 분류율이나, 대지저항율이 비교적 높고 부지가 협소하여, 변전소 접지저항이 큰 우리나라에는 지나치게 가혹한 분류율이다[3-8].

따라서 여기서는 60%의 분류율을 가정하지 않고, 변전소 주변계통의 회로모형을 통하여 분류율을 계산해 내었다. 그림 1과 표1은 변전소 주변계통과 선로조건을 보인 것이다. 최대 지락고장전류는 B S/S의 차단기용량인 31.5 [kA]를 가정하였고, A, C S/S변전소로부터의 고장전류 유입비는 8:2, 5:5, 2:8의 세가지 경우를 가정하여, 그 중 가혹한 경우를 선택하였다.

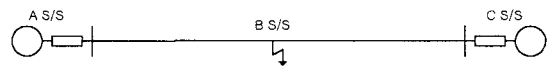


그림 1. 변전소 주변계통

표 1. 선로거리 및 철탑 수

	거리 [km]	철탑기수	회선수	비고
A-B	18.0	65 기	2C	B S/S의 차단기용량은 31.5 [kA]
B-C	17.4	67 기	2C	

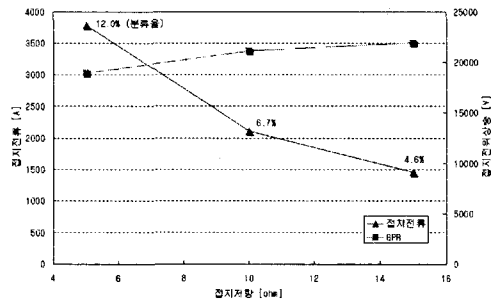


그림 2. 접지저항에 따른 고장전류 분류율

그림 2는 B S/S의 접지저항에 따른 고장전류 분류율 및 접지전위상승을 계산한 결과이다. B S/S 접지저항이 약 10 ohm이라 가정하여 7%의 분류율을 가정하였고, 따라서 접지전류(grid current)는 2.2 [kA]로 정하였다.

3. 접지망의 설계

변전소 부지에서 길보기 대지저항율 측정결과에 근거하여, 수평2층 토양모델에서 측정치와 가장 근접한 결과가 계산되는 파라메타(대지저항율과 지층의 두께)를 식별한 결과가 아래 표 2와 같았다. 그림 3은 측정치와 계산치를 비교한 것으로, 변전소 부지의 수평2층구조의 등가화가 적합한 수준임을 보여준다.

표 2. 등가토양모델(수평2층구조)

	대지저항율 [ohm-m]	지층두께 [m]
표토층	879.1	4.76
심층	2431.4	-

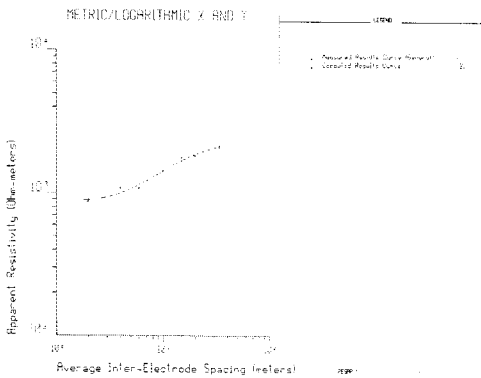


그림 3. 길보기저항율의 측정, 계산치 비교

접지망의 초기설계 제원(그림3 참조)은 아래와 같다.

- ▷ 접지면적 : 5,316 [m²] (매설깊이는 1 [m])
- ▷ 도체간격 : 가로 - 5.14 [m], 세로 - 4.89 [m]
- ▷ 도체굵기 : 150 [mm²]
- ▷ 접지저항 : 11.1492 [ohm]

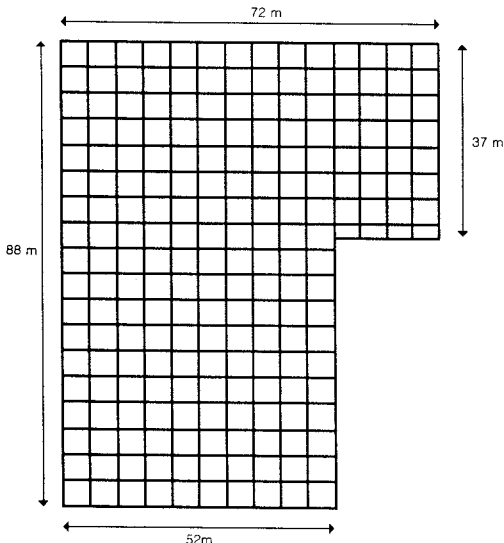


그림 4. 초기설계 접지망

IEEE Std-80의 접촉/보폭전압의 허용치 계산식은 균일 토양모델을 가정한 식이므로, 안전허용치 계산을 위하여 상기 수평2층 토양모델의 균일등가화할 필요가 있다. 따라서 그림 4의 접지망의 접지저항 11.1 ohm과 동일한 접지저항을 계산되는 균일토양모델의 대지저항율을 환산한 결과 1884 ohm-m를 얻을 수 있었으며, 이 값으로부터 접촉, 보폭전압의 안전허용치는 각각 577[V], 1960 [V]로 계산되었다(고장지속시간은 1초, 자갈층 저항율은 3000 ohm-m를 가정)

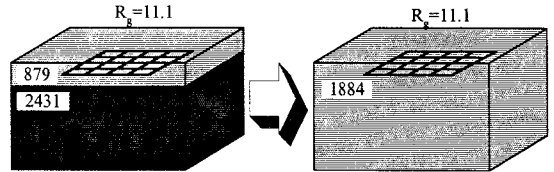


그림 5. 등가대지저항율의 환산

그림 5는 그림3의 초기설계한 접지망에 2.2 [kA]의 고장전류가 유입했을 때, 변전소 구내에서의 지표면 전위상승을 계산한 결과이다. 접지망 외곽부분에서 지표면전위가 급격히 떨어지는 것을 볼 수 있으며, 이 지역에서 작업원이 두 발이 닫고 서서 접지된 외함을 접촉했을 경우 큰 접촉전압에 노출될 위험이 있다.

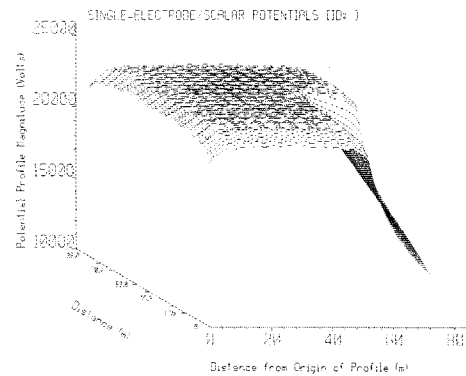


그림 6. 지표면 전위상승(또는 대지전위상승)

변전소 구내에서의 접촉전압 분포를 보인 것이 그림 6이다. 접지망의 외곽부분에서 안전허용치를 초과하는 지역이 많이 나타남을 볼 수 있다.

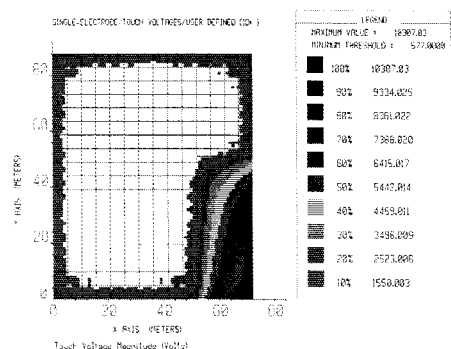


그림 7. 접촉전압 분포(색깔부분이 안전허용치 초과지역)

그림 7에서 위험지역으로 나타난 외곽지역의 접촉전압 저감을 위하여, 1차 보강한 접지망이 아래 그림 8이다. 위험전압이 나타나는 외곽과 모서리 부분에 접지도체와 접지봉을 보강하였다. 이 때 접촉전압 분포가 그림 9와 같았다. 위험지역이 많이 감소하였으나, 외곽부분은 여전히 안전허용치를 초과하고 있음을 볼 수 있다.

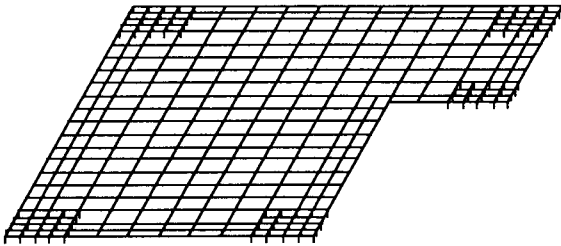


그림 8. 1차 보강한 접지망

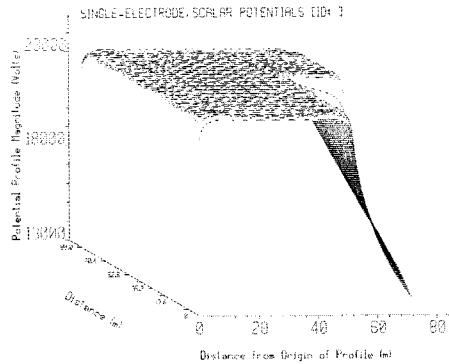


그림 11. 지표면 전위상승(또는 대지전위상승)

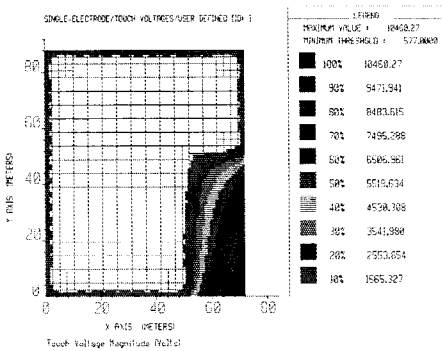


그림 9. 접촉전압 분포

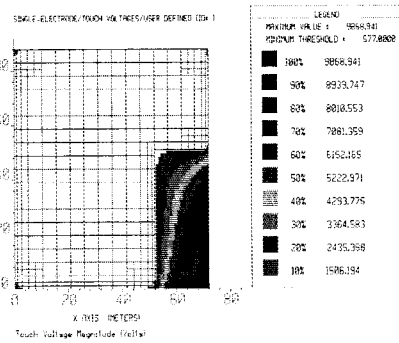
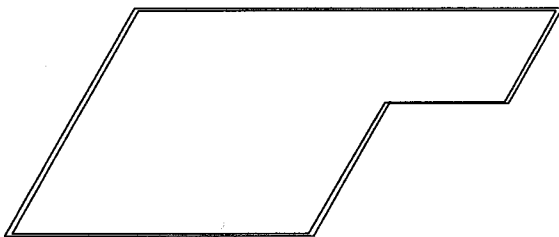
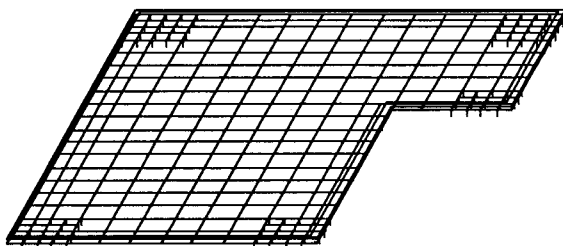


그림 12. 접촉전압 분포

접지망 외곽과 모서리의 접촉전압 안전허용치를 초과하는 지역을 없애기 위하여, 그림 10(a)와 같은 보조접지망을 지표면 가까이(매설깊이 20 cm) 포설하였다. 보조접지망은 지표면전위를 상승시켜, 접촉전압을 감소시키는 역할을 한다. 주접지망과 보조접지망은 동전위가 되도록 여러 군데에서 접속시키게 된다.



(a) 전위경도 조절용 보조접지망



(b) 보조접지망+주접지망
그림 10. 최종설계(안)

그림 10(b)의 접지망에 2.2 [kA]의 전류가 유입되었을 때의 지표면 전위분포와 접촉전압 분포 계산결과가 그림 11,12와 같았다.

4. 결론

본 논문에서는 대지저항율이 높고, 부지가 협소하여 접촉전압을 안전허용치 이내로 저감시키기 어려운 변전소에서의 접지설계 예를 보였다. 지표면전위가 급격히 떨어지는 접지망 외곽부분에 집중적으로 접지도체를 보강하고, 접지망 최외곽에 전위경도 조절을 위한 보조접지망을 지표면 가까이 포설함으로써, 지표면전위를 상승시켜 접촉전압을 저감시킬 수 있었다.

[참고문헌]

- [1]ANSI/IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding, IEEE Std 80-1986
- [2]Practical Applications of ANSI/IEEE Std 80-1986, IEEE Tutorial Course, 1986
- [3]전력연구원, "축소형변전소 접지효과 증대방안 연구 (최종보고서)", 1998.4
- [4]전력연구원, "765kV 신서산변전소 접지설계(안)", 1998.6
- [5]전력연구원, "345kV 울주, 의령변전소 접지검토", 1998.6
- [6]전력연구원, "154kV 소태변전소 접지설계", 1998.9
- [7]전력연구원, "154kV 신내변전소 접지설계", 1998.8
- [8]전력연구원, "154kV 운천변전소 접지설계", 1999.5