

154KV 변전소의 접지저항 저감대책 검토사례

기현찬, 최종기, 정길조, 은대현
한전 전력연구원, 전력계통건설처

A Case of Reducing Grounding Resistance of 154KV Substation

J.K.Choi, H.T.Kee, G.J.Jung
KEPRI

Abstract - In our country, most region is composed of mountains and people have recently been displeased with the construction of the substations in their vicinity, so the substations newly built are mainly constructed with GIS system in the small area that has high soil resistivity near mountain. Therefore, nowadays the design of substation grounding system has been difficult, and the additional considerations are needed. UC substation was also difficult to design the grounding system because of so small substation area and high soil resistivity. This paper shows the examples of reducing the grounding system resistance reasonably by using several ways. Designing the ground grid electrode in the access road, deep electric earth probe, changing the substation soil with the low level resistivity soil. This report deals with the computer simulation of the grounding system resistance about the ways illustrated above.

1. 서론

변전소 접지계의 접지성능은 접지저항으로 대변된다. 즉, 접지저항이 낮을수록 정상상태나 사고시에 접지도체의 전위상승(=접지전위상승; Ground Potential Rise)이 영전위에 가까워지므로(=기준전위의 제곱) 접지성능은 좋은 것이다. 접지성능의 또다른 성능지수로서, 사고시 인체에 인가될 수 있는 위험전압(=접촉,보폭전압)이 안전허용치를 만족하는가 여부를 들수 있다. 설계하고자 하는 접지망의 접지성능(ex. 접지저항, 위험전압)을 예측하기 위해서는 IEEE-80(1986)이 제공하는 접지저항/위험전압 수계산식을 이용하거나 컴퓨터 프로그램을 활용하여야 한다. 그러나 수계산식을 사용하고자 하는 경우에는 많은 한계가 따른다. 즉, 토양은 일정한 저항을 갖는 균일매질로 가정하며, 접지망의 도체간격은 등간격이어야 하고, 심매설전극이나 접지봉과 같은 수직방향의 접지도체는 단지 수평방향의 접지도체길이가 증가한 것으로 밖에 고려하지 않는다. 이같은 수계산식의 사용은 접지저항이 낮은 지역에서 위험전압을 안전허용치 이내로 쉽게 낮출 수 있는 경우라면 별 문제가 없으나, 대지저항을 높거나 접지면적이 좁은 등 가혹한 조건에서는 문제가 될 수 있다. 즉, 위험전압이 초과하는 일부 구역에만 접지도체를 보강하면 되는 경우라도, 접지망 전체를 촘촘한 등간격 접지망으로 설계하여야 하므로 비경제적인 설계가 될 수 있으며, 심한 경우에는 아예 안전허용치를 만족시킬 수 없는 경우도 있다. 154KV UC변전소의 경우 겹보기 저항을 측정결과 표토층부터 암반이 존재하고, 심층으로 갈수록 대지저항이 더욱 높아져 접지저항이 크게 되고, 위험전압도 안전허용치를 초과하

는 등 수계산식을 적용할 경우 안전한 접지계 설계가 어려운 곳이다. 따라서 본 보고서에서는 면적이 한정된 변전소에서 취할수 있는 다음의 접지저항 저감방법들에 대하여 컴퓨터로 모의하고 그 효과를 분석하였다.

- 1) 진입로에 접지도체를 포설하여 접지면적을 증가시키는 방법
- 2) 심매설전극을 포설하는 방법
- 3) 변전소 부지의 일부를 저저항을 토양으로 교체하는 방법

2. 154KV UC 변전소의 접지망 기본설계 개요

변전소의 접지성능을 기본설계시 제시된 접지망 계원을 이용하여 접지저항 측면에서 예측하고, 변전소 지락고장시 얼마만한 전류가 대지로 귀환하는지를 분석하였다. 접지도체의 전위상승에 영향을 주는 것은 대지를 통해 전원단으로 귀환하는 전류이며, 접촉/보폭전압 같은 위험전압은 접지도체의 전위상승에 비례하므로 이와 예측은 접지성능에 있어서 매우 중요한 요소이다. 우선 Wenner 4전극법에 의한 겹보기 대지저항(=apparent soil resistivity) 측정결과에 기초하여 등가의 토양모델을 추정후 이에 따른 접지저항을 계산하였으며, 변전소 주변계통의 회로모델을 통하여 고장전류 분류율(Fault Current Division Factor)과 대지전위상승을 계산하였다.

2.1 등가 토양모델의 결정

현장에서의 대지저항을 측정결과를 이용하여 토양의 대지저항을 등가모델화한 결과는 그림1과 같은 2층구조의 토양으로 측정치와 계산결과가 잘 일치하고 있다. 지형적 특성은 표토층부터 암반으로 이루어지는 구조로 심층으로 갈수록 대지저항이 더 높아져 접지설계를 위한 조건으로는 최악으로 되어 있다. 위험전압의 허용치 계산은 균일 토양모델을 가정한 것이므로 이를 다시 균일토양화 하는 환산식을 적용하여 계산하면 1884 [Ω -m]가 된다.

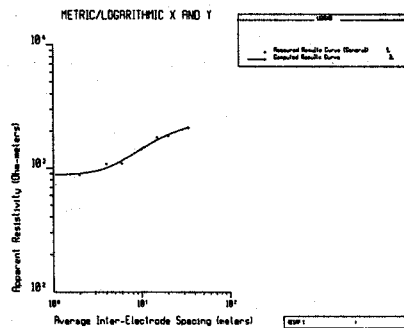


그림1. 대지저항을 측정값과 계산값 비교

	대지저항을 [ohm-m]	지층두께 [m]
표토층	879.1642	4.755217
심층	2431.368	-
균일층 환산	1884	-

표 1. 등가 토양모델의 구조

2.2 154KV UC변전소 접지망의 제원

다음은 UC변전소내 부지에 기본 설계된 접지망의 제원을 나타낸 것이다.

- 1) 접지면적 : 5,316 [m²] (접지망 매설깊이 1 [m])
- 2) 도체간격 : 가로 - 5.14 [m] (= 72 [m] / (15개-1))
세로 - 4.89 [m] (= 88 [m] / (18개-1))
(주접지망의 최외곽에 도체 1개씩 보강하여 최외곽의 도체간격은 각각 2.57, 2.445 [m])
- 3) 도체굵기: 150 [mm²]
- 4) 접지봉 : 1 [m] x120개 (5군데 모서리 부분에 시공)
- 5) 보조접지망 : 도체간격 1 [m]로 2가닥을 접지망의 밖에 둘러서 포설(매설깊이 0.2[m])
- 6) 도체총길이 : 3431.75 [m] (접지봉 및 보조접지망 길이 모두 포함)

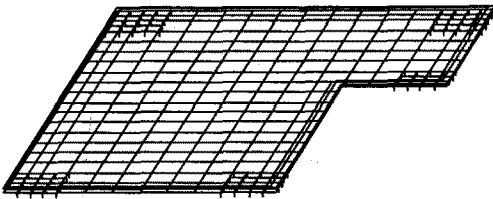


그림2. 154KV UC변전소의 접지망 상세도

- 7) 주어진 조건들을 이용하여 접지저항값을 계산한 결과 10.9 [ohm]의 비교적 높은 저항값으로 나왔다.

3.3 고장전류 분류율의 계산

변전소 구내 지락사고시, 총 지락전류 중에서 접지망의 전위상승에 기여하는 것은 접지망을 통해 대지로 빠져나가는 전류이다. 이러한 사고전류 중에서 대지를 통해 빠져나가는 전류의 비, 즉 고장전류 분류율이 얼마나 될것인가는 접지망의 접지저항, 즉 대지귀로 임피던스의 크기에 따라 달라지며, 가공지선을 통해 전원단으로 귀환하는 경로의 임피던스, 즉 선로수와 가공지선의 종류, 전기적 성질, 상도체와의 상호유도결합 등과 관계가 있다. 따라서 분류율을 정확히 계산하기 위해서는 다음의 효과를 고려하여야 한다. 계산순서는 다음과 같다.

- 1) 선로정수의 계산 : 대지저항을, 상도체 및 가공지선의 종류, 절대 및 상대위차표폭를 고려하여, 선로의 자기/상호 임피던스를 계산. 본 보고서에서는 한전 전력계통에 적용하는 154kV선로의 일반적인 값을 적용하였음
- 2) 변전소 주변계통 회로모델의 구성 : 1)에서 구해진 선로정수를 가지고 주변계통을 모델링. 각 철탑의 접지저항이 클수록 변전소 접지망으로 유입되는 전류가 상대적으로 커지므로 가혹한 조건임. 각 철탑의 평균 접지저항은 20, 30, 40 [ohm]의 세가지 경우를 고려하였으나, 이중 가장 가혹한 것은 40[ohm]으로 계산되었음(그림4).
- 3) 여러 가지 지락고장 시나리오를 가정하여 UC변전소의 접지전위상승을 모의 계산. 그림2에 UC변전소 주변계통을 보였으며, 선로조건은 표2와 같다.

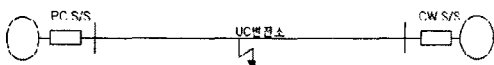


그림 2. UC변전소 주변계통도

구분	거리	철탑 기수	회선 수	비고
PC ⁻	18.005	65	2C	PC, CW S/S 차단기용량 : 50 kA UC S/S 차단기용량 : 31.5 kA
UC	[km]	기	기	
UC ⁻	17.375	67	2C	
CW	[km]	기	기	

표 2. UC변전소 선로조건

계산결과 PC S/S와 CW S/S로부터 고장전류의 유입비가 2:8 (PC S/S로부터 6.3 [kA], CW S/S로부터 25.2 [kA])인 경우가 가장 가혹한 것으로 나타났다. 2.1에서 구한 UC변전소의 접지저항은 약 10 [ohm]정도이므로 분류율은 6.7%로 계산되었으나, 안전측면에서 보수적인 설계가 되도록 7%를 적용하도록 한다.

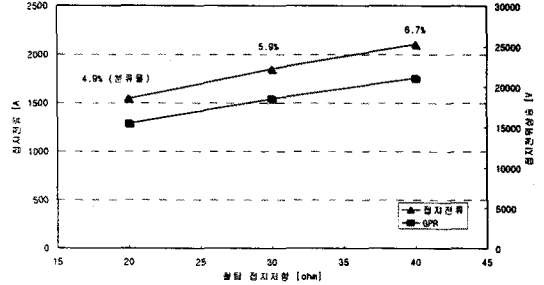


그림3. 변전소 접지저항에 따른 접지전위/전류분류율 (철탑의 접지저항 40 [ohm])

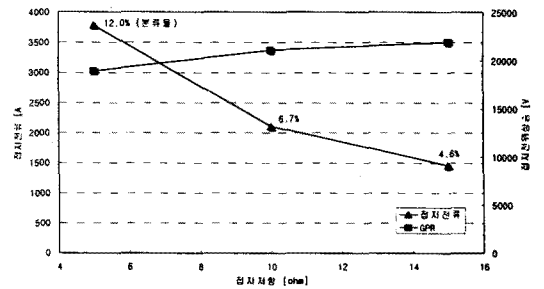


그림 4. 철탑 접지저항에 따른 접지전위/전류

3. 접지저항 저감을 위한 보강방법 및 효과분석

기본접지망 설계시의 접지저항값이 10.9Ω으로 다소 높게 나타났다으므로 이를 더욱 낮추기 위해 다음의 방법을 적용하여 각각의 접지저항 저감효과를 분석한다.

3.1 변전소 진입로 부지를 활용하는 방안

변전소 진입로는 길이가 총 240 m, 폭이 7 m로 총 면적은 1680 [m²]이다(그림5 참조). 이 지역을 접지면적으로 활용하면 접지저항을 상당히 저감시킬 수 있을 것으로 판단된다.

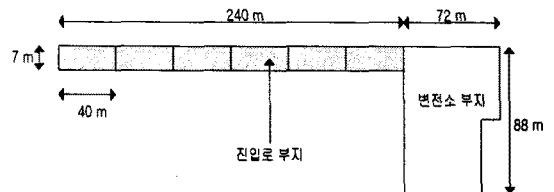


그림5. 변전소 진입로 부지

진입로 부지에 접지도체를 포설한 경우의 접지저항 계산결과는 다음 표 3과 같았다.

구분	기본설계	진입로 포함
접지면적	5,316 [m ²]	6,996 [m ²]
접지저항	10.9 [ohm]	6.9 [ohm]
분류율 (접지전류)	7.0 % (2.2 [kA])	9.5 % (3.0 [kA])
최대 접지도체전위 (G P R)	24.0 [kV]	20.7 [kV]

표 3. 진입로에 접지도체를 포설하여 계산한 결과

진입로 양쪽 방향으로 각 10 m거리 이내의 지표면 전위분포와 보폭전압분포를 그림 6과 7에 보인다.

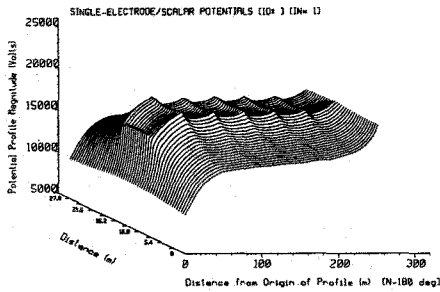


그림 6. 진입로 주변의 지표면 전위분포

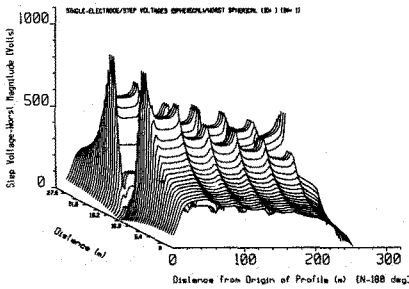


그림 7. 진입로 주변의 보폭전압 분포

그림 8은 변전소 접지망을 통해 3 [kA]의 전류가 대지로 누설될 때 진입로 주변의 보폭전압 분포를 보인 것이다. 진입로 주변은 자갈이 포설되어 있지 않으므로, 이 지역에서의 보폭전압 허용치(변전소 구내는 1960 [V])는 1482 [V]이다. 진입로로부터 도로쪽 방향 말단 부근에서 나타나는 보폭전압 최대치는 957 [V]로 안전허용치 이내에 있음을 알 수 있다. 변전소 구내의 지표면 전위분포, 접촉전압 및 보폭전압 분포는 그림 9~10과 같다. 접촉전압의 경우 모서리 극히 일부지역을 제외한 전 지역에서 허용치를 만족하며, 최대 보폭전압역시 990 [V]로 안전허용치(1960 [V])보다 훨씬 낮다.

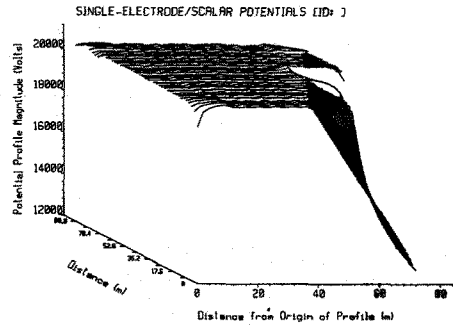


그림 9. 변전소 구내 지표면 전위분포

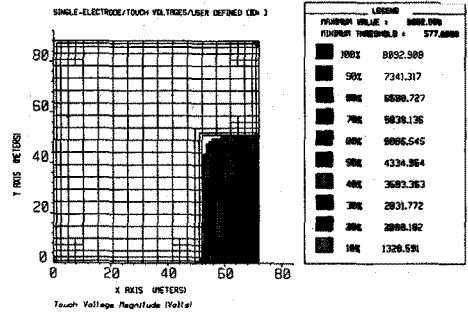


그림 9. 변전소 구내의 접촉전압 분포 (진한 부분이 허용치(577 [V]) 초과부분)

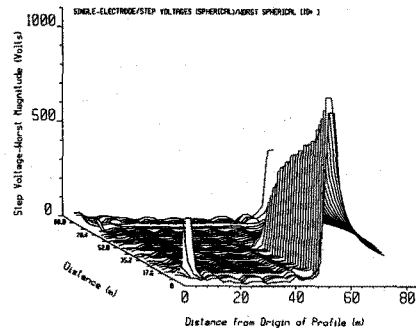


그림 10. 변전소 구내의 보폭전압 분포

2.2 변전소 부지의 토양을 치환하는 방안

토양을 치환하는 방법은 변전소 부지의 전체 또는 일부의 토양을 대지저항율이 낮은 토양으로 모두 교체하는 방법을 말한다. 본 모의실험에서는 대지의 저항율을 1884 [ohm-m]의 균일토양으로 하고, 변전소 부지의 전체 또는 일부(그림 8 참조)를 지상으로부터 1[m]깊이까지 50 [ohm-m] 또는 100 [ohm-m]의 낮은 저항율을 갖는 매질로 채워넣었을 때의 접지저항을 계산하였다. 토양치환 모의실험을 위하여 MALT의 Finite Volume Soil Model[4]을 사용하였다.

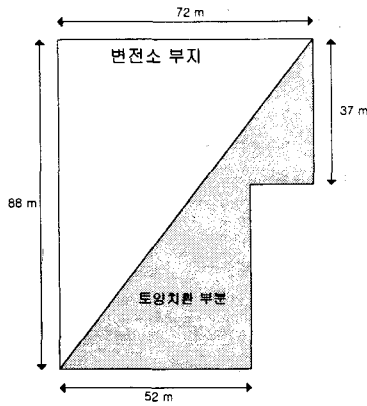


그림11. 토양치환 부분 (case-2)

	치환토양의 저항율	
	50 [ohm-m]	100 [ohm-m]
case-1 (부지전체 치환)	10.2552 [ohm] (▽8.0%)	10.3023 [ohm] (▽7.6%)
case-2 (부지일부만 치환)	10.7461 [ohm] (▽3.6%)	10.8091 [ohm] (▽3.0%)

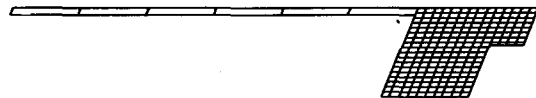
표4. 접지저항 계산결과(괄호안은 접지저항 저감율)
※ 1884[Ω-m] 균일대지에서 접지저항 계산값은 11.14Ω

상기 표4의 계산결과를 보면, 서론에서 이미 예상하였던 바와 같이 토양을 치환하는 방법으로는 접지저항의 저감효과가 크지 않음을 볼 수 있었다. 이는 접지저항 저감제나 토양치환은 접지극의 규모가 작을수록 효과적이며, 접지극의 규모가 커지면 별로 효과적이지 않음을 보여주는 것이다[2]. UC변전소의 경우, 토양치환에 소요되는 비용을 생각하면 비경제적인 방법이라 하겠다.

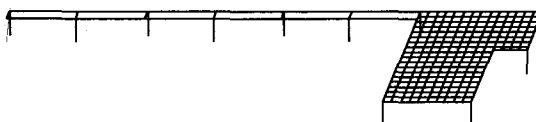
2.3 심매설전극을 시공하는 방안

겉보기 대지저항을 측정결과, UC변전소 부지는 심층 토양으로 갈수록 저항율이 높아지는 것으로 나타났으므로 심매설전극에 의한 접지저항 저감효과는 그리 효과적이지 않을 것으로 생각된다. 그러나, 부지 주변에 물이 흐르는 곳도 있어 수맥의 위치를 잘 조사하여 수맥을 관통하도록 심매설전극을 시공하면 접지저항 저감에 상당한 효과가 있을 것으로 예상된다.

본 모의실험에서는 수맥을 모델링하기가 어려웠더라도, 수맥의 위치도 잘 모르므로 수맥은 없다고 가정하여 계산한다(표5 참조).



(a) 심매설전극 시공안함



(b) 심매설전극 10[m] x 11개 시공

그림12. 심매설전극 시공전후의 접지저항 계원

구 분	심매설전극 시공안함	심매설전극 시공
접지저항 계산치	6.9855 ohm	6.8684 ohm (▽1.7%)

표5. 접지저항 계산결과(계산결과 요약은 부록4 참조)

수맥을 고려하지 않았을 때 심매설전극에 의한 접지저항 저감효과는 2% 미만으로, 접지저항 저감에 별로 효과적이지 않음을 알 수 있다.

3. 결 론

이제까지의 모의실험 결과를 토대로 다음과 같은 결론을 내릴 수 있다.

1) UC변전소 부지에서 토양치환이나 접지저항 저감제 또는 심매설전극에 의한 접지저항 저감효과는 크지 않다.

2) UC변전소 진입로(240m x 7 m)에 접지도체를 포설하여 접지극으로 활용하므로써, 접지저항을 6.9 [ohm]까지 저감(▽ 36%)할수 있었다.

[참고문헌]

- [1] 접지설계 프로그램 : SES (Canada)
- [2] "Namchoonchun(남춘천) Gas Insulated Substation Grounding Analysis (Final Report)", 1996.12
- [3] 전력연구원, "인입출이 지중케이블인 변전소의 고장전류 분류율 검토보고서 - 154 kV 신내변전소 (TM.98PJ09.S1998.525)", 1998.8
- [4] P.R.Pillai, E.P.Dick, "A Review on Testing and Evaluating Substation Grounding Systems", IEEE Trans. on PD, Vol.7, No.1, Jan. 1992
- [5] 전력연구원, "축소형변전소 접지효과 증대방안 연구(최종보고서)", 1998.4
- [6] IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding(IEEE Standard 80), 1986
- [7] IEEE Tutorial Course, Practical Applications of IEEE Standard 80-1986, 1986