

변전소 접지 설계의 적정성에 관한 연구

장정호, 최형철
한국수자원공사

A study of Appropriate Technologies for Grounding System Planning of Sub-Station

Jeong-Ho Chang, Hyeung-cheol Choi
K-water

Abstract - 전기설비에 대한 접지의 근본 목적은 인체에 대한 감전으로부터의 안정성의 확립과 기기 및 설비의 기능 향상을 위하여 사고 시 고장전류를 대지로 안전하게 방전시켜 안전을 확보하는 데 그 목적이 있다. 변전소 접지 설계 시 고려해야 할 중요한 설계 요소로는 토양조건, 대지저항률의 측정과 분석, 구조체 접지방식의 이용, 고장전류 선정 등이 있으며 주요 설계 파라미터에 따라 접지 설계 방법 및 물량이 결정되므로 적정한 기술적, 경제적 여건을 고려한 설계 요소의 선정과 기준 정립에 대한 연구가 필요한 실정이다.

1. 서 론

전력수요의 지속적인 증가와 계통 설비의 대용량화로 인한 고장 전류의 증가 추세에 반해 변전소 건설에 필요한 용지확보가 어려워지고, 주변 환경과의 조화가 요구됨에 따라 축소형 GIS 옥내변전소의 건설이 증가하고 있다. 그러나 한정된 부지에서 규정에 적합한 접지저항 값을 얻는 것이 어려워지고 지락사고 시 접지 전위가 과도하게 상승할 위험이 내재된다. 이에 변전소에 적용할 수 있는 접지설계 및 시공, 접지저항 측정에 관한 기준 정립이 필요한 실정이다. 또한 접지설계 시 설계 방법의 결정과 설계 물량의 산출에 있어서 대상 부지의 대지저항률과 표면저항 등 각각의 요소에 많은 영향을 받는 점을 고려하여 지질조건과 대지저항률의 분포를 적절하게 결정해야 할 필요가 있다. 따라서 접지 설계에 영향을 주는 파라미터를 분석하고 그 적용에 따른 설계 조건의 변화량을 비교함으로써 최적 설계를 위한 기준 정립의 필요성을 제시한다.

2. 본 론

2.1 접지설계 주요 검토사항

접지설계는 IEEE Std-80에서 제시한 설계방식을 채택한다.

2.1.1 대지저항률

접지저항은 접지전극의 형상과 재료, 크기, 접지전극이 매설된 대지를 구성하는 토양의 형태와 조건, 대지 구조 등에 따라 변화하며, 특히 대지저항률의 영향이 지배적으로 접지 전극이 매설되는 지점의 대지저항률(Ground Resistivity)이 접지의 효과를 크게 좌우하게 된다. 대지저항률은 단면적이 1[m²]이고, 길이가 1[m]인 토양의 전기저항으로 정의하며 단위는 [Ω·m]로 나타낸다.

대지저항률에 영향을 미치는 요인으로 토양의 종류와 온도, 수분의 양 그리고 계절적 요인이 있다.

<표 1> 토양의 종류와 저항률

종류	저항률[Ω·m]
늪지 및 진흙	80~200
점토질	150~300
모래질	250~500
사암 및 암반지대	10,000~100,000

토양의 수분 함유량이 증가하면 대지저항률은 급격히 감소된다. 또한 온도가 낮아지면 대지저항률이 증가하므로 접지도체는 동절기에도 얼지 않는 깊이에 매설할 필요가 있다.

기후나 계절의 영향을 크게 받으며 기온이 낮으면 건조한 겨울에 높고, 여름에 낮게 나타나며 통상 2배 정도 차이가 난다.

2.1.2 각종 물질의 저항률

다양한 개소에서의 접지설계를 위한 암반 및 해수, 콘크리트의 저항률을 고려해야 한다. 일반적으로 금속광물은 저항률이 적으므로 암석 중에 전도성 광물의 함유량에 따라서 저항률이 좌우된다. 해수의 저항률은 토양과 같이 온도의 영향을 받으며, 일본 학술진흥회에서는 온도에 따라 대양의 저항률을 0.1~0.3[Ω·m]로 표시하고 있다.

콘크리트는 그 배합, 흡수율에 따라 다르므로 건조 시에는 절연물로 보게 되며 수분을 포함한 경우에는 토양으로 간주한다. 구조체 기초의 콘크리트 저항률은 보통 토양에 비하여 낮으므로 접지설계 시 고려하여야 한다.

<표 2> 콘크리트 배합과 저항률

시멘트:모래:자갈	흡수율[%]	저항률[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

2.1.3 대지저항률 측정

대지저항률의 측정은 Wenner의 4전극법이 정확도가 우수하고 측정도 간편하므로 가장 널리 사용되고 있다.

대형 발·변전소일 경우 지하의 깊은 층까지의 토양상태를 알아내기 위하여 전극간격을 넓게 측정하는 것이 좋다. 측정 위치에 따라 측정값이 달라지므로 측정 부지에 수평 및 수직 방향으로 측정선을 정하여 측정 결과 가혹한 토양조건을 채택하여 설계한다.

2.1.4 접지도체 굵기 산정

접지선에 강력한 고장전류가 흐르면 주열열에 의하여 최악의 경우 용단될 수도 있다. 따라서 충분한 전류용량의 도체가 선정되어야 함으로 접지선의 굵기 선정시 고장전류, 통전시간, 온도 및 재료의 특성값 등을 적용하며 IEEE 표준식은 아래와 같다

$$A = I_f \sqrt{\frac{t_c \times \alpha r \times \rho r \times 10^4}{TACP} \ln \left[1 + \left(\frac{T_m - T_a}{K_o + T_a} \right) \right]}$$

- I_f : 최대 단락전류(kA)
- T_m : 도체의 최대용단온도 [°C]
- T_a : 주위온도 (°C)
- A : 도체 단면적 [mm²]
- αr : 저항의 열계수
- ρr : 접지도체의 저항 [μΩ/cm]
- K_o : 1/a₀
- a₀ : 0°C에서의 저항의 저항온도계수
- t_c : 고장 지속 시간 [sec]
- TACP: THERMAL CAPACITY FACTOR [h/cm²°C]

2.1.5 최대허용전압과 보폭전압

$$E_{touch50} = (1000 + 1.5 \times Cs (hs, k) \times \rho s) \times \frac{0.116}{\sqrt{ts}}$$

$$E_{ste p50} = (1000 + 6 \times Cs (Hs, k) \times \rho s) \times \frac{0.116}{\sqrt{ts}}$$

- Cs : 감쇄계수
- ρ : 대지저항률(Ω·m)
- ρs : 표면저항(Ω·m)
- ts : 고장지속시간(=1초)
- hs : 자갈층의 두께

여기서 대지저항률이나 표면저항, 자갈층의 두께 등의 적용 데이터의 결정에 따라 계산 결과가 다르게 나타난다.

2.1.6 접지저항

$$Rg = \rho \left[\frac{1}{L_T} + \frac{1}{\sqrt{20A}} \times \left(1 + \frac{1}{1 + h \sqrt{20/A}} \right) \right]$$

- 토양의 대지저항률(ρ[Ω·m])
- 접지도체의 총 길이(L_T[m])
- 접지면적(A[m²])
- 매설깊이(h[m])

2.1.7 매쉬에 인입되는 접지전류의 계산

최대고장전류가 I_F 라면 접지전류 I_G 는 다음과 같이 계산된다.

$$I_G = \beta \times D_f \times C_p \times I_F [A]$$

- β : 지락전류 분류계수
- D_f : 비대칭분에 대한 교정계수
- C_p : 장차 계통확장 계수
- I_F : 최대 지락전류

2.1.8 접지망의 최대전위상승(GPR)

IEEE 가이드에 의하여 접지망 전체의 최대전위상승은 접지점류와 접지저항의 곱으로 구할 수 있다

$$GPR = I_g \times R_g$$

GPR이 접지망 내 접촉전압(E_{tm})과 보폭전압(E_{sm})과 비교하여,

$$E_{tm} < E_{touch50} \text{ 그리고 } E_{sm} < E_{stop50}$$

위 조건을 만족하도록 접지망을 설계하여야 한다.

2.1.9 접지망의 최대예상접촉전압(E_{tm})의 계산

매쉬전극의 중심부와 4개 모서리 사이에는 전위차가 발생한다. 매쉬전압은 이러한 경우를 고려한 전압으로 전위상승의 전위차를 말하며, 아래의 식에 의하여 구한다

$$E_t = \frac{K_{10} \times \rho \times K_m \times K_i \times I_G}{L_c + [1.55 + 1.22 \left(\frac{L_r}{\sqrt{L_x^2 + L_y^2}} \right)] L_R}$$

- K_{10} : 메시간격 10m 이하일 때 $K_{10} = 2.7159 \times D - 0.4416$, 10m 초과하면 1
- ρ : 대지저항률 [$\Omega \cdot m$]
- K_m : 메시전압 산출을 위한 간격계수
- K_i : 전위경도 변화에 대한 교정계수
- I_G : 접지전류
- L_c : 메시도체의 총 길이 [m]
- L_r : 접지봉 1개의 평균 길이 [m]
- L_R : 접지봉의 총 길이 [m]

2.1.10 접지망의 최대예상보폭전압(E_{sm})의 계산

$$E_{sm} = \frac{\rho \times K_s \times K_i \times I_G}{0.75 \times L_c + 0.85 \times L_R}$$

- ρ : 대지저항률 [$\Omega \cdot m$]
- K_s : 보폭전압 산출을 위한 간격계수
- K_i : 전위경도 변화에 대한 교정계수
- I_G : 접지전류
- L_c : 메시도체의 총 길이 [m]
- L_R : 접지봉의 총 길이 [m]

2.2 접지설계 조건에 따른 결과 비교

팔당1취수장의 신속 GIS 예정 부지에 대한 대지저항률, 표면저항률 등의 조건에 따른 결과 비교로 설계 적정성을 평가한다.

2.2.1 대지저항률 고정 조건 설계

조건 : 대지저항률 270 $\Omega \cdot m$, 표면저항률 3000 $\Omega \cdot m$

<표3> 일반 설계 자료

구 분	설계 조건	구 분	설계 조건
대지저항률	270[$\Omega \cdot m$]	포설 면적	50×40[m^2]
허용접촉전압	479[V]	매설 깊이	0.8[m]
허용보폭전압	1,568[V]	도체 총 길이	6,244[m]
예상접촉전압	471[V]	도체 직경	0.016[m]
예상보폭전압	2,848[V]	도체 단면적	150[mm^2]
표면저항	3000[$\Omega \cdot m$]	GPR	13,216[V]
자갈층두께	0.1[m]	지락전류	50[kA]
접지저항	2.64[Ω]	사고차단시간	1[sec]

*높은 대지저항률과 포설면적의 제한으로 허용보폭전압 조건을 만족하지 못한다.

2.2.2 대지저항률(ρ) 차등적용 설계

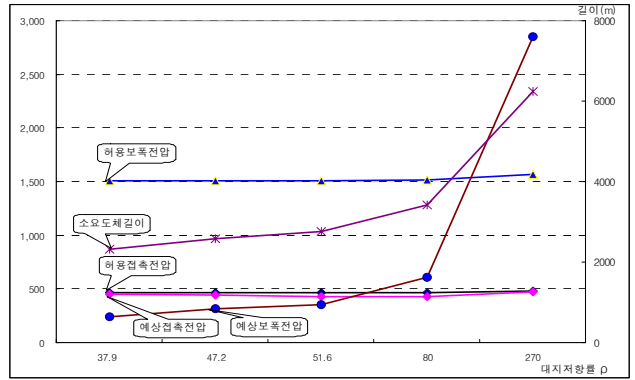
옥내 GIS 공사의 표면저항률을 적용하는데 있어서 옥외변전소 설계와는 달리 구조체 접지방식으로 <표2>의 콘크리트 구조물의 저항률을 적용하여 허용전압을 만족하는 조건을 산출한다.

조건 : 대지저항률 가변, 표면저항률 3,000 $\Omega \cdot m$ 적용

<표4> 콘크리트 구조체 설계

대지저항률[$\Omega \cdot m$]	80	51.6	47.2	37.9
허용접촉전압[V]	1,132	1,500	1,598	1,877
예상접촉전압[V]	1,018	1,441	1,560	1,868
허용보폭전압[V]	4,179	5,656	6,044	7,160
예상보폭전압[V]	2,259	2,063	2,023	1,940
도체 총 길이[m]	4,090	3,420	3,290	3,010

<그림 1> 대지저항률 차등 적용에 따른 설계 결과



<그림 1>의 설계 목표는 매쉬망의 예상전압이 허용전압 이하를 만족하는 것이며 이 결과는 대지저항률이 증가할수록 규정한 설계 물량이 많이 소모되는 것을 나타내고 있다.

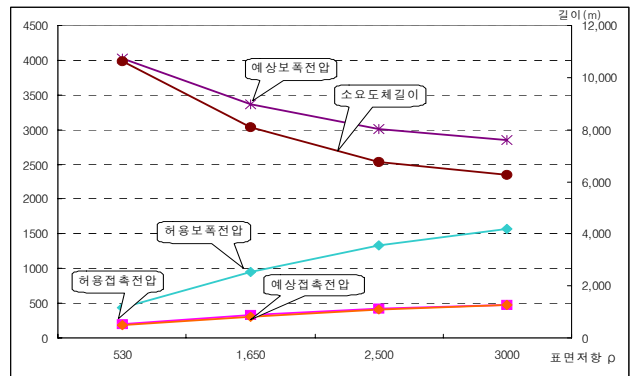
2.2.3 토양의 표면저항(ρ_s)차등 적용 설계

조건 : 수분함유율에 따른 표면저항 가변, 대지저항률 270 $\Omega \cdot m$

<표5> 표면저항 변화 적용 설계(ANSI&IEEE 데이터참조)

수분함유율[%]	0	2.5	5	10
표면저항[$\Omega \cdot m$]	3,000	2,500	1,650	530
허용접촉전압[V]	479	421	324	195
예상접촉전압[V]	471	410	300	186
허용보폭전압[V]	1,568	1,338	947	431
예상보폭전압[V]	2,867	3,006	3,365	4,023
도체 총 길이[m]	6,244	6,757	8,090	10,616

<그림 2> 표면저항 차등 적용에 따른 설계 결과



<표 5>의 결과에 나타나듯이 수분함유율에 따라 표면저항이 감소하게 되면 허용접촉전압과 허용보폭전압이 감소되어 결과적으로 설계 시 많은 도체가 요구된다.

3. 결 론

위 결과는 대지저항률과 표면저항의 적용에 따라 대상 부지의 전위상승이 달라지고 그에 따라 설계 물량이 변경됨을 나타내고 있다. 접지저항은 대지저항률과 접지전극 시공방법 및 크기 등에 의해 결정된다. 접지 설계 및 시공에 있어서 이러한 결정 요소를 적절하게 결정하여 전위 상승을 억제할 필요가 있으나 접지공사 부지에 대한 대지저항률의 산정이나 표면저항의 적용, 구조체 접지공사 등 설계 인자를 결정하는데 있어서 규정화된 판단 기준은 마련되지 못한 현실이며 각각의 여건에 따라 설계 인자의 다양성이 존재한다. 따라서 접지 효과를 증대하기위한 시공 방법의 선정과 안전성과 경제성을 동시에 충족할 수 있는 설계 기준에 대한 연구가 필요하다.

[참 고 문 헌]

[1] 이복희, 이승철 “접지의 핵심 기초 기술”, 도서출판 의제,1999
 [2] 이형수, “접지기술입문”,동일출판사 1996
 [3] 한국전력공사, “설계기준”, 2003
 [4] 전력연구원, “축소형변전소 접지효과 증대방안 연구”,1998
 [5] 정용기, “전기설비 핵심 기초기술”, 도서출판 의제, 1996