

765kV 심형기초 철탑의 정상 접지저항

자료제공/한전 765kV 건설처

1. 서론

가공송전선의 접지는 주로 내뢰설계에 그 목적이 있지만 전력계통의 안정도, 전력계통의 고장검출과 철탑주변의 접촉전압 및 보폭전압에도 영향을 미치고 있는 것이 사실이다. 특히 전력계통에서 지락사고가 발생할 경우 지락전류가 송전철탑에 시설되어 있는 가공지선과 대지로 분류하는 정도에 따라 지락지점에서의 대지전위 상승이 크게 좌우된다. 그러므로 철탑의 접지저항이 내뢰설계 이외에도 중요한 역할을 한다는 것을 간과할 수 없을 것이다. 또한 뇌임펄스 전류에 의한 접지저항의 과도특성이 $2\sim 3 \times 10^{-6}$ 초가 지나면 포화되어 정상 접지저항치에 근접하게 되므로 우선 정상 접지저항의 파악과 관리가 필요하며, 철탑의 기초시공 직후 및 철탑 조립후에 기본적인 건설공사관리를 위하여 정상 접지저항을 측정하는 것도 매우 중요하다.

따라서 본 고에서는 철탑의 과도접지저항은 물론 정상 접지저항의 측정과 관리에 대한 필요성을 강조하며, 일차적으로 765kV 심형기초 철탑의 정상 접지저항의 계산 및 측정에 관하여 설명한다.

2. 철탑 접지계통 구성

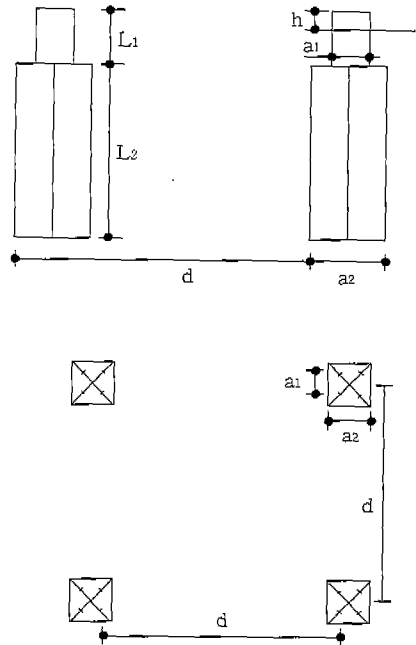
765kV 송전계통에서는 철탑기초가 대형화되고 철근과 콘크리트로 구축되기 때문에 철탑기초 구조체 자체가 좋은 접지극이 될 수 있으며 철탑기초 구조체만으로 소요 접지저항을 얻을 수 없을

경우에는 접지저항을 더욱 낮추기 위하여 38mm 동복강연선을 매설지선으로 보강하고 필요시 도전성 콘크리트와 같은 접지저항 저감제를 사용한다.

3. 철탑의 접지저항 계산

3.1 심형기초 구조체의 모델링

원래 심형기초는 원통형의 주체부(柱體部)와 구



<그림 1> 철탑기초 모델링 단면 및 평면도

<표 1> 변수명 일람표

구분	단위	변수명	비고	구분	단위	변수명
대지 고유저항	$\Omega \cdot m$	ρ		병렬 효율		η
돌출부	m	h		매설지선 조수		n
주체경	m	a_1		매설지선 길이	m	L_c
주체고	m	L_1		매설지선 깊이	m	t
구체경	m	a_2		매설지선 반경	m	r_c
구체장	m	L_2		상관부의 영향을 고려한 계수		K
구조체의 지표면하 깊이	m	L	$L=L_1-h+L_2$			

체부(軀體部)로 구성되어 있으며, 형상이 다소 복잡하지만 접지저항 계산을 위하여 그림 1과 같이 단순하게 모델링한다.

3.2 심형기초 구조체 및 매설지선의 접지저항 수작업 계산

철탑 접지저항 계산에 사용되는 공식이 많이 있으나 여기서는 765kV T/L 접지설계점토서에 제시된 다음 공식(1~5)을 적용한다. 이 공식에 사용되는 변수명은 표 1과 같다.

(1) 심형기초 구조체의 등가반경

체적:

$$V = \pi \left(\frac{a_1}{2}\right)^2 (L_1 - h) + \pi \left(\frac{a_2}{2}\right)^2 L_2 = \pi r^2 L \text{ [m}^3\text{]} \quad \dots (1)$$

등가반경:

$$r = \sqrt{\frac{V}{\pi L}} = \sqrt{\frac{a_1^2 (L_1 - h) + a_2^2 L_2}{4L}} \text{ [m]} \quad \dots (2)$$

(2) 심형기초 구조체 4각 접지저항

$$R_{tt} = \frac{1}{4\eta} \times K \times \frac{\rho}{2\pi L} \times \left(L n \frac{4L}{r} - 1 \right) = \frac{1}{4 \times 0.5} \times 0.65 \times \frac{\rho}{2\pi L} \times \left(L n \frac{4L}{r} - 1 \right) \text{ [}\Omega\text{]} \quad \dots (3)$$

(3) 매설지선 접지저항

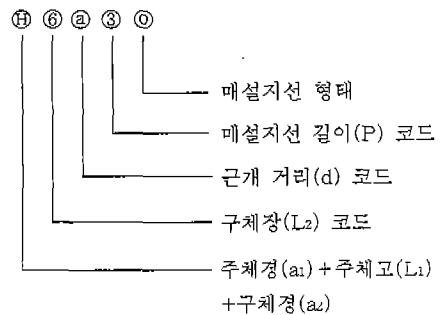
$$R_{en} = \frac{1}{n\eta} \times \frac{\rho}{2\pi L_c} \times L n \frac{L_c^2}{2t \times r_c} = \frac{1}{4 \times 0.8} \times \frac{\rho}{2\pi L_c} \times L n \frac{L_c^2}{2t \times r_c} \text{ [}\Omega\text{]} \quad \dots (4)$$

(4) 심형기초 구조체 및 매설지선 합성 접지저항

$$R_{tct} = \frac{R_{tt} \times R_{en}}{R_{tt} + R_{en}} \times \frac{1}{0.8} \text{ [}\Omega\text{]} \quad \dots (5)$$

3.3 계산에 사용되는 검토번호의 구성

이해를 돕기 위해 계산에 사용되는 검토번호는 아래와 같이 구성된다



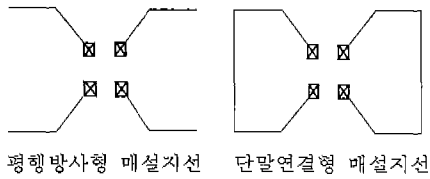
검토번호 구성 체계도

3.4 매설지선 형태별 철탑 접지저항

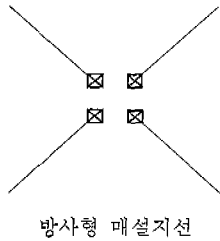
매설지선의 형태별 분류는 본 설명을 용이하게 하기 위하여 새로 명명한 것이다. 방사형 또는 평

<표 2> 접촉전압 및 보폭전압

검토 번호	구체장 (Lz)	근개거리 (d)	매설지선 (P)	매설지선 형태	접지저항[Ω]	접촉전압	보폭전압
						GPR에 대한 비율[%]	비율[%]
H6a00	11m	20m	0m	-	12.0	22.96	5.83
H6a30	11m	20m	30m	평행방사형	10.1	19.64	9.66
H6a31	11m	20m	30m	단말연결형	9.1	18.55	8.69
H6a32	11m	20m	30m	방사형	10.0	19.03	7.94
H6a33	11m	20m	30m	격자형	9.9	17.54	9.64
H6a34	11m	20m	30m	루프형	10.0	14.02	9.56
H6a3c	11m	20m	30m	전압조절형	10.0	8.75	9.56
H6a70	11m	20m	70m	평행방사형	7.4	16.92	9.50
H6a71	11m	20m	70m	단말연결형	6.7	16.39	8.95
H6a72	11m	20m	70m	방사형	7.1	15.74	7.45
H6a73	11m	20m	70m	격자형	7.3	14.43	9.45
H6a74	11m	20m	70m	루프형	7.4	11.99	9.46
H6a7c	11m	20m	70m	전압조절형	7.3	7.50	9.45
H6afc	11m	20m	150m	전압조절형	4.7	6.43	8.82

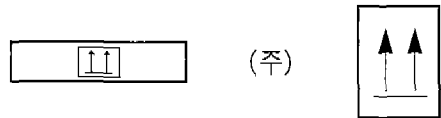
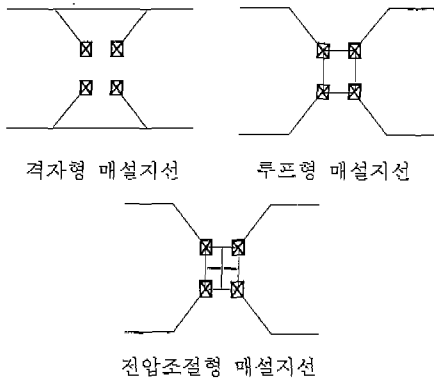


행 방사형의 매설지선 길이를 동일하게 각 형태에 적용하고 다른 형태에는 그 모양에 상당한 도체를 추가한 것이다(그림 2).



3.5 도전성 콘크리트의 접지저항 저감효과

전기저항률이 0.2[Ω·m] 이하인 도전성 콘크리트의 접지저항 저감효과나 컴퓨터 모델링 기법이 잘 알려져 있지 않은 실정이므로 여기서는 아래 그림과 같이 도전성 콘크리트를 포설한 부분을 등가 단면적 1개의 원형등선으로 모델링하여 콘크리트의 접지저항 저감효과를 검토한다. 검토 결과에 따르면 매설지선 형태에 크게 영향을 받지 않고 대략 10% 정도로 나타나고 있다. 매설지선이 짧아 도전성 콘크리트의 시공량이 작을 때는 효과 역시 낮게 나타나고 있다. 다른 검토에 의하면 도전성 콘크리트의 접지저항 저감효과는 변전소 접지망과 같이 그 규모가 커질수록 작아지는 것으로 알려지고 있다.



<그림 2> 매설지선의 형태

도전성 콘크리트의 등가 단면적 원형등선 모델링

4. 철탁주변의 접촉전압 및 보폭전압 계산

4.1 보폭전압

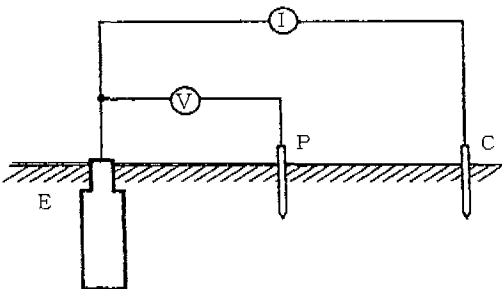
지락사고가 발생하여 철탁을 통하여 대지로 흐르는 대지전류는 사고위치, 철탁의 접지저항, 가공지선의 도전을 등의 요인에 의하여 달라지지만 계산의 편의를 위하여 단위전류가 흐른다고 가정하고, 최대 대지전위상승전압(Ground Potential Rise : GPR)은 철탁의 접지저항과 대지전류의 곱으로 정의한다.

심형기초 구조체만 존재할 때 최대 보폭전압은 GPR을 기준하여 백분율로 표시하면 표 2에서와 같이 5.83%이며, 철탁각을 중심으로 방사형 분포도를 그린다. 검토번호 H6a70에서와 같이 평행방사형 매설지선 70m를 포설하면 최대 보폭전압은 GPR의 9.50%이며, 매설지선을 따라 높은 보폭전압이 걸리게 된다.

매설지선의 길이를 증가시키므로써 접지저항이 감소하고 GPR에 대한 보폭전압 비율도 감소하는 결과가 나타난다.

4.2 접촉전압

철탁의 1m밖에 서서 철탁을 만졌을 때의 접촉전압을 계산하여 GPR에 대한 비율로 표시하면 표 2와 같다. 검토번호 H6a00에서는 GPR의 22.96%가 접촉전압이 되어 상당히 높은 전압에 노출될 우려가 있다. 매설지선을 격자형, 루프형 또는 전압조절형 등으로 변화시킬 때 접촉전압은 현저하게 감소하고 있다. 계통여건에 따라 적당한 매설지선 형태를 선택하여야 할 것이다.



<그림 3> 접지저항 측정회로

5. 철탁의 접지저항 측정

5.1 접지저항 측정방법

접지저항 측정시에 전위강하법을 많이 채용하고 있다. 전위강하법은 그림 3에서 피측정 접지극(E)와 전류전극(C)에 전류(I)를 흘리고, 접지극(E)와 전위전극(P)간의 전위(V)를 측정하여 $R = V/I [Ω]$ 에 의거 걸보기 저항(R)을 측정하는 것이다.

이 측정법에서 전류전극은 피측정 접지극의 영향을 받지 않는 충분히 이격된 곳에 박고, 걸보기 저항을 전위전극 간격에 대하여 그래프를 그렸을 때 평탄한 부분이 존재하여야 정확한 접지저항을 측정할 수 있다. 또는 접지극의 규모가 작고, 토질이 단일균질일 경우에 피측정 접지극으로부터 전류전극 이격거리의 61.8%의 위치에 전위전극을 박고 걸보기 저항을 측정하면 접지저항을 측정할 수 있다. 그러나 접지극의 규모가 크거나 토질이 복잡한 다층구조인 경우에 걸보기 저항곡선에 평탄한 부분이 발생하지 않을 수 있으며, 이러한 경우에는 61.8% 규칙이 성립되지 않게 된다.

접지저항을 정확하게 측정한다고 하여도 측정당시 토양이 어느 정도 수분을 함유하고 있는느냐에 따라 접지저항이 달라지 때문에 접지저항 측정당시에 대지고유저항을 측정하여 기록을 유지하여 두는 것이 바람직하다.

5.2 대지고유저항 측정

표 3의 대지고유저항의 측정결과에서 보듯이 대지고유저항을 측정할 경우에 최대 전극간격을 50m 이상으로 하는 것이 접지설계를 위한 정확한 대지구조를 파악할 수 있는 방법이다.

5.3 심형기초 구조체의 접지저항 측정

접지저항 측정치와 계산결과는 그림 4와 같다. 전산처리에 의한 저항곡선에 비하여 실측곡선 후반부의 접지저항이 높게 나타났는데 이는 전위전극을 삽입한 지역이 극부적으로 대지고유저항이 높고 토양이 불균질하기 때문에 발생한 것으로 추

<표 3> Wenner 전극법에 의한 R1 측정선 대지고유저항 측정결과

측정번호	전극간격[m]	대지저항[Ω]	측정번호	전극간격[m]	대지저항[Ω]
R1	0.5	79.9	R8	7	10.4
R2	1	30.1	R9	10	8.7
R3	2	33.6	R10	15	7.8
R4	3	16.9	R11	20	6.7
R5	4	14.8	R12	30	5.7
R6	5	13.2	R13	40	5.5
R7	6	11.9	R14	50	5.4

측된다. 전위전극의 위치(25~35m)에서는 실측치와 계산치가 정확히 일치하고, 61.8% 부근에서는 근소한 차이를 나타내고 있다. 전산처리 접지저항 곡선에서 15.3[Ω]을 나타내는 지점은 전류전극 위치의 70.7%인 53m이다. 이는 3층구조 토양에서 전위강하법에 의하여 접지저항을 측정하기 위한 정확한 전위전극의 위치인 것이다. 이 결과로부터 철탑 심형기초 구조체의 접지저항은 15.3[Ω]으로 결론지을 수 있다.

6. 결론

철탑의 접지저항값에 가장 민감한 요소는 대지고유저항이다. 따라서 대지고유저항을 측정할 경우에는 전극간격을 최대한으로 넓혀 지하 깊은 곳의 토양상태를 측정하는 것이 좋다.

접지저항 계산시에 가능하면 다층구조 토양모델을 적용하는 것이 가장 좋지만 여의치 않을 경우

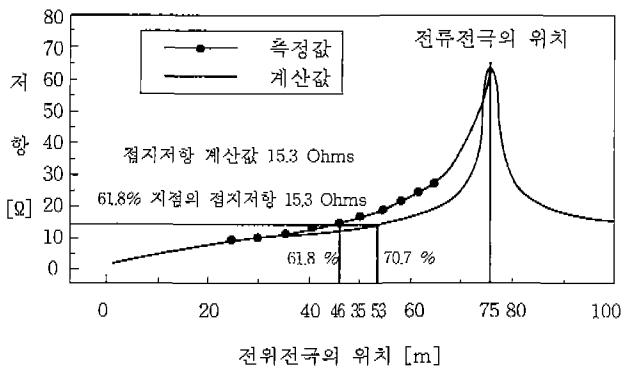
에는 40m 대지심도를 고려한 등가 대지고유저항을 적용한다. 등가 대지고유저항을 적용하면 3층구조 토양모델을 적용한 경우에 비하여 오차가 발생하지만 1개의 형태에 대한 접지저항값이 등가 대지고유저항에 비례하기 때문에 대표적인 경우에 대하여 미리 계산을 해두면 등가 대지고유저항의 변경에 따른 계산을 간단하게 처리할 수 있다.

765kV 심형기초 구조체 자체의 접지저항은 주체경, 주체고 또는 구체경에는 덜 민감하고 구체장과 근개거리에 의하여 주로 영향을 받는다. 매설지선을 포설할 경우에 매설지선의 길이가 증가할수록 철탑의 정상 접지저항이 매설지선의 영향을 많이 받는다.

도전성 콘크리트의 정상 접지저항 저감효과는 약 10% 정도로 추정되고 있으나 대지고유저항이 아주 높아 소오 접지저항을 얻을 수 없는 경우에는 불가피하게 사용하여야 할 것이다.

전위강하법을 이용하여 접지저항을 측정할 경우에는 저항곡선에 평탄한 부분이 나오도록 전류전극의 위치를 선정하는 것이 중요하다. 또한 접지저항의 측정값을 검증하고 측정당시의 토양상태에 대한 기록을 보존하기 위하여 접지저항 측정시 대지고유저항을 동시에 측정하고 접지저항 설계치와 측정치를 비교하여 확인하는 것이 중요하다.

대지고유저항 또는 접지저항을 험준한 산악지에서 정확하게 측정하는 것이 용이한 일이 아니기 때문에 철탑기초를 시공한 후 대지고유저항과 철탑기초의 접지저항을 측정하여 매설지선 포설방법을 선택하여 시공하는 것이 좋은 방안일 것이다.



<그림 4> 전위강하법에 의한 접지저항곡선