

765kV 심형기초 철탁의 정상 접지저항

한 풍*, 최종기**, 정길조**, 김정부**
 (*한국전력기술(주), **한국전력공사 전력연구원)

1. 서론

가공송전선의 접지는 주로 내뢰설계에 그 목적이 있지만 전력계통의 안정도, 전력계통의 고장검출과 철탁주변의 접촉전압 및 보폭전압에도 영향을 미치고 있는 것이 사실이다. 특히 전력계통에서 지락사고가 발생할 경우 지락전류가 송전철탁에 시설되어 있는 가공지선과 대지로 분류하는 정도에 따라 지락지점에서 대지전위상승이 크게 좌우된다. 그러므로 철탁의 접지저항이 내뢰설계 이외에도 중요한 역할을 한다는 것을 간과할 수 없을 것이다.

또한 뇌임펄스 전류에 의한 접지저항의 과도특성이 $2 \sim 3 \times 10^{-4}$ 초가 지나면 포화되어 정상 접지저항치에 근접하게 되므로[1~6] 우선 정상 접지저항의 파악과 관리가 필요하며, 철탁의 기초시공 직후 및 철탁 조립후에 기본적인 건설공사관리를 위하여 정상 접지저항을 측정하는 것도 매우 중요하다[5]. 따라서 본 해설에서는 철탁의 과도 접지저항은 물론 정상 접지저항의 측정과 관리에 대한 필요성을 강조하며, 일차적으로 765kV 심형기초 철탁의 정상 접지저항의 계산 및 측정에 관하여 설명한다.

기타 다른 형태의 철탁 접지저항의 계산과 지락사고시의 접촉전압 및 보폭전압에 대한 검토나 접지저항의 과도특성에 관한 설명은 다음 기회로 미룬다.

2. 철탁 접지계통 구성

765kV 송전계통에서는 철탁기초가 대형화되고 철근과 콘크리트로 구축되기 때문에 철탁기초 구조체 자체가 좋은 접지극이 될 수 있으며 철탁기초 구조체만으로 소요 접지저항을 얻을 수 없을 경우에는 접지저항을 더욱 낮추기 위하여 38mm^2 동복강연선을 매설지선으로 보강하고 필요시 도진성 콘크리트와 같은 접지저항 저감제를 사용한다. 특별히 언급하지 않는한 대지고유저항은 $1,000\Omega \cdot \text{m}$, 철탁의 최대 암폭은 31m를 적용한다.

3. 철탁의 접지저항 계산

3.1 심형기초 구조체의 모델링

원래 심형기초는 원통형의 주체부(柱體部)와 구체부(軀體部)로 구성되어 있으며 형상이 다소 복잡하지만 접지저항 계산을 위하여 그림 1과 같이 단순하게 모델링한다.

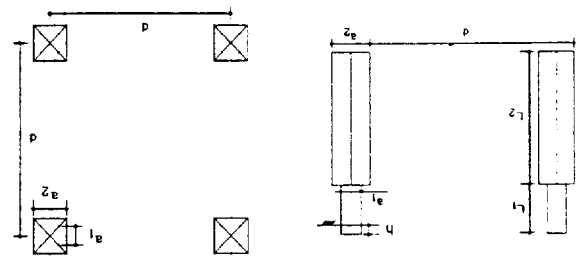


그림 1. 철탁기초 모델링 단면 및 평면도

계산을 위하여 그림 1과 같이 단순하게 모델링한다.

3.2 심형기초 구조체 및 매설지선의 접지저항 수작업 계산

철탁접지저항 계산에 사용되는 공식이 많이 있으나 여기서는 765kV T/L 접지설계검토서[7]에 제시된 다음 공식(1~5)를 적용한다. 이 공식에 사용되는 변수명은 표 1과 같다.

표 1. 변수명 일람표

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

(1) 심형기초 구조체의 등가반경

$$\begin{aligned}
 \text{체적} : V &= \pi \left(\frac{a_1}{2} \right)^2 (L_1 - h) + \pi \left(\frac{a_2}{2} \right)^2 L_2 \\
 &= \pi r^2 L \quad [m^3]
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

$$\begin{aligned}
 \text{등가반경} : r &= \sqrt{\frac{V}{\pi L}} \\
 &= \sqrt{\frac{a_1^2 (L_1 - h) + a_2^2 L_2}{4L}} \quad [m]
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

(2) 심형기초 구조체 4각 접지저항

$$\begin{aligned}
 R_{t4} &= \frac{1}{4\eta} \times K \times \frac{\rho}{2\pi L} \times \left(\ln \frac{4L}{r} - 1 \right) \\
 &= \frac{1}{4 \times 0.5} \times 0.65 \times \frac{\rho}{2\pi L} \times \left(\ln \frac{4L}{r} - 1 \right) \quad [\Omega]
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

(3) 매설지선 접지저항

$$\begin{aligned}
 R_{cn} &= \frac{1}{n\eta} \times \frac{\rho}{2\pi L_c} \times \ln \frac{L_c^2}{2t \times r_c} \\
 &= \frac{1}{4 \times 0.8} \times \frac{\rho}{2\pi L_c} \times \ln \frac{L_c^2}{2t \times r_c} \quad [\Omega]
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

(4) 심형기초 구조체 및 매설지선 합성 접지저항

$$R_{tc4} = \frac{R_{t4} \times R_{cn}}{R_{t4} + R_{cn}} \times \frac{1}{0.8} \quad [\Omega]
 \tag{5}$$

3.3 계산에 사용되는 검토번호의 구성

이해를 돕기위하여 계산에 사용되는 검토번호는 그림 2와 같이 구성하고 각종 코드는 표 2와 같이 정하였다.

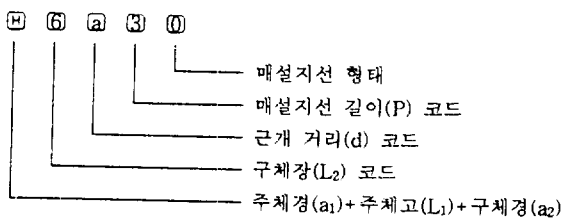


그림 2. 검토번호 구성 체계도

표 2. 검토번호 코드 일람표

코드	주체경, 주체고 및 구체경			구체장(L ₂)	근개거리(d)	매설지선 길이(P)	매설지선 형태
	주체경(a ₁)	주체고(L ₁)	구체경(a ₂)				
A	1.4 m	3.5 m	3.0 m	1:6 m	0:10 m	0:0 m	0:평행방사형
B	1.4 m		3.5 m	2:7 m	2:12 m	3:30 m	1:단말연결형
C	1.4 m		4.0 m	3:8 m	4:14 m	5:50 m	2:방사형
D	1.6 m		3.0 m	4:9 m	6:16 m	7:70 m	3:격자형
E	1.6 m		3.5 m	5:10 m	8:18 m	a:100 m	4:무프형
F	1.6 m		4.0 m	6:11 m	a:20 m	f:150 m	c:전압조정형
G	1.8 m		3.0 m	7:12 m	c:22 m		위의 값에 5를 더하면 도전성 콘크리트를 시공한 경우임
H	1.8 m		3.5 m	8:13 m	e:24 m		
L	2.0 m		4.0 m	b:16 m			

그림 2에 예시된 검토번호 H6a30은 (표-2)로부터 H가 주체경 1.8m, 주체고 3.5m, 구체경 3.5m를 의미하고, 구체장 코드 6은 11m, 근개거리 코드 a는 20m, 매설지선 길이 코드 3은 30m, 매설지선 코드 0은 평행 방사형 매설지선을 의미한다.

3.4 철탑 접지저항의 수작업 및 전산 계산

검토번호 H6 계열 즉 주체경 1.8m, 주체고 및 구체경 3.5m, 구체장 11m, 근개거리 10m와 20m인 심형기초 구조체와 방사형 매설지선 0~150m를 포설한 경우의 접지저항 계산결과를 표 3에 수록하였다.

상기 계산에서 대지고유저항은 단일균질 토양으로 간주하여 1,000Ω·m를 적용하였다. 다층구조 토양모델로부터 등가 대지고유저항을 구할 경우에는 40m 대지심도를 고려하여야 할 것이다.[8] 수계산은 공식 (1)~(5)를 적용하고, 전산처리는 CDEGS 프로그램[9]을 사용하였다. 공식(3)에서 병렬효율 η를 0.5로 고정하였기 때문에 근개거리가 달라지더라도 수계산에서는 탐각저항이 변화하지 않은 결과를 나타내고 있다.

일반적으로 수계산 값은 전산처리한 경우보다 작은 결과를 보이고 있다. 공식(4)에서 도체의 배치간격과 형태를 감안하는 요소가 없기 때문에 근개거리가 달라지더라도 수계산에서는 매설지선의 저항값이 변화하지 않으나 전산처리 시에는 근개거리가 10m에서 20m로 증가할 때 탐각저항은 20%, 매설지선은 길이가 30m일 때 4%, 합성저항은 매설지선을 30m 설치할 때 14%가 감소하고 있다.

표 3. 철탑 접지저항의 수작업 및 전산 계산 (Ω)

급도 번호	구간장 (L)	근개거리 (G)	배설지선 (P)	수 계 산			전 산 처 리		
				합계 (R _{tot})	지선 (R _{ca})	합성 (R _{res})	합계 (R _{tot})	지선 (R _{ca})	합성 (R _{res})
H6030	11 m	10 m	30 m	9.4	20.7	8.1	15.0	20.0	12.0
H6050	11 m	10 m	50 m		13.4	6.9		13.4	9.8
H6070	11 m	10 m	70 m		10.1	6.1		10.3	8.3
H60a0	11 m	10 m	100 m		7.4	5.2	7.7	6.6	
H60f0	11 m	10 m	150 m		5.2	4.2	5.6	5.0	
H6a30	11 m	20 m	30 m		20.7	8.1	12.0	19.2	10.1
H6a50	11 m	20 m	50 m		13.4	6.9		13.0	8.6
H6a70	11 m	20 m	70 m		10.1	6.1		10.0	7.4
H6aa0	11 m	20 m	100 m		7.4	5.2		7.6	6.1
H6af0	11 m	20 m	150 m	5.2	4.2	5.5		4.7	

표 4에 수작업과 전산처리 결과를 비교하였다. 탐각저항이 수계산시에 전산처리 경우보다 근개거리에 따라 22~37% 정도 작은 값을 나타내기 때문에 배설지선의 저항이 약간 높게 나타나더라도 수작업시의 합성저항은 전산처리시보다 20~32% 정도 낮게 나타나는 결과를 보여주고 있다.

표 4. 수작업과 전산처리 결과의 비교

구 분	수 계 산	전산처리	대 비 ($\frac{a}{b} \times 100$)	비 고
탐 각 저 항	9.4 Ω	15.0 Ω	62.7 %	근개거리: 10m
		12.0 Ω	78.3 %	근개거리: 20m
배설지선 30m	20.7 Ω	20.0 Ω	103.5 %	근개거리: 10m
		19.2 Ω	107.8 %	근개거리: 20m
합 성 저 항 (배설지선 30m)	8.1 Ω	12.0 Ω	67.5 %	근개거리: 10m
		10.1 Ω	80.2 %	근개거리: 20m

3.5 배설지선 형태별 철탑 접지저항

배설지선의 형태를 그림 3에 도시하였다. 형태별 분류는 본 설명을 용이하게 하기위하여 새로 명명한 것이다. 방사형 또는 평행방사형의 배설지선 길이를 동일하게 기본적으로 각 형태에 적용하고 다른 형태에는 그 모양에 상당한 도체를 추가한 것이다.

표 6에 배설지선 형태별 철탑 접지저항 계산결과를, 표 5에 요약결과를 수록하였다. 평행방사형과 루프형은 근개거리가 달라도 서로 거의 똑같은 결과를 나타내고, 방사형과 평행방사형을 비교할 때 지선길이 50m 이상에서 방사형이 유리하

나 부지사용의 제약을 받을 것이다. 단말연결형이

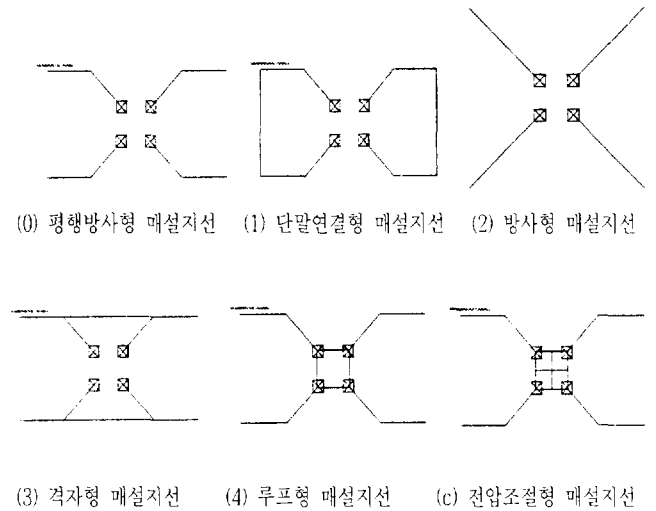


그림 3. 배설지선의 형태

표 5. 배설지선 형태별 철탑 접지저항 비교

구 분	배설지선	평행 방사형	단말 연결형	방사형	대 비	
					($\frac{a}{b} \times 100$)	($\frac{c}{d} \times 100$)
근개거리:10m	30 m	12.0 Ω	10.7 Ω	12.0 Ω	89.2 %	100.0 %
	70 m	8.3 Ω	7.4 Ω	8.0 Ω	89.2 %	96.4 %
	150 m	5.0 Ω	4.7 Ω	4.7 Ω	94.0 %	94.0 %
근개거리:20m	30 m	10.1 Ω	9.2 Ω	10.0 Ω	91.2 %	99.0 %
	70 m	7.4 Ω	6.7 Ω	7.1 Ω	90.5 %	95.9 %
	150 m	4.7 Ω	4.4 Ω	4.4 Ω	93.6 %	93.6 %

방사형이나 평행방사형보다 접지도체가 더 소요되고 격자형과 루프형과는 비슷하게 접지도체가 소요되지만 단말연결형이 5개의 형태중에서 접지저항이 가장 낮은 결과를 보여주고 있다.

특히 단말연결형은 부지면적이 적게 소요되고 지선의 길이가 짧을 때는 접지저항 저감효과가 크게 나타나므로 정상 접지저항측면에서는 유리한 방안이다.

근개거리가 길어지고 배설지선의 길이가 짧을 때 각 배설지선 형태별로 거의 15% 정도의 접지저항 저감효과가 나타나고, 배설지선의 길이가 150m가 되면 약 6% 정도의 접지저항 저감효과가 나타났다.

격자형, 루프형과 전압조절형은 별도 검토를 요하나 철탑의 접촉전압 분포와 과도 접지저항측면에서 좋은 결과를 나타내리라고 생각한다.

표 6. 매설지선 형태별 철탑 접지저항 (Ω)

검토 번호	구체장 (L _c)	근개거리 (d)	매설지선 형 태	매 설 지 선 길 이					
				0m ㉠	30m ㉡	50m ㉢	70m ㉣	100m ㉤	150m ㉥
H60†0	11 m	10 m	평행방사형	15.0	12.0	9.8	8.3	6.6	5.0
H60†1	11 m	10 m	단말연결형		10.7	8.8	7.4	6.1	4.7
H60†2	11 m	10 m	방 사 형		12.0	9.7	8.0	6.3	4.7
H60†3	11 m	10 m	격 자 형		11.5	9.5	8.1	6.5	5.0
H60†4	11 m	10 m	루 프 형		12.0	9.8	8.3	6.6	5.0
H6a†0	11 m	20 m	평행방사형	12.0	10.1	8.6	7.4	6.1	4.7
H6a†1	11 m	20 m	단말연결형		9.2	7.8	6.7	5.6	4.4
H6a†2	11 m	20 m	방 사 형		10.0	8.4	7.1	5.8	4.4
H6a†3	11 m	20 m	격 자 형		9.9	8.5	7.3	6.0	4.7
H6a†4	11 m	20 m	루 프 형		10.0	8.5	7.4	6.1	4.7

(주) † : 매설지선 길이 코드

3.6 도전성 콘크리트의 접지저항 저감효과

전기저항율이 $0.2\Omega \cdot m$ 이하인 도전성 콘크리트의 접지저항 저감효과나 컴퓨터 모델링 기법이 잘 알려져 있지 않은 실정이므로 여기서는 그림 4와 같이 도전성 콘크리트를 포설한 부분을 등가 단면적 1개의 원형동선으로 모델링하여 도전성 콘크리트의 접지저항 저감효과를 검토한다.

표 7에서 보는 바와 같이 도전성 콘크리트의 접지저항 저감효과는 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.

상기 검토는 단지 상용주파수에 대한 것이므로 도전성 콘크리트의 고주파 진류에 대한 접지저항 저감 효과 및 대지전위 상승억제 효과에 대하여는 별도 검토를 요한다.

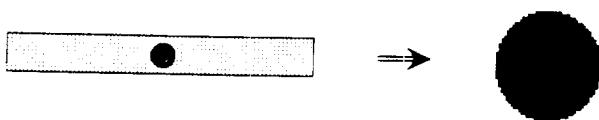


그림 4. 도전성 콘크리트의 등가 단면적 원형동선 모델링

표 7. 도전성 콘크리트의 접지저항 저감효과

검토번호	구체장 (L _c)	근개거리 (d)	매설지선 (P)	매설지선 형 태	도전성 콘크리트		저감효과 ($\frac{\Omega_{\text{전}}}{\Omega_{\text{전}} \times 100}$)
					접지경 ㉠	시 공 ㉡	
H6070	11 m	10 m	70 m	평행방사형	83 Ω	74 Ω	108 %
H6071	11 m	10 m	70 m	단말연결형	74 Ω	66 Ω	108 %
H6072	11 m	10 m	70 m	방 사 형	80 Ω	71 Ω	113 %
H6073	11 m	10 m	70 m	격 자 형	81 Ω	72 Ω	111 %
H6074	11 m	10 m	70 m	루 프 형	83 Ω	74 Ω	108 %
H6a30	11 m	20 m	30 m	평행방사형	101 Ω	96 Ω	50 %
H6a31	11 m	20 m	30 m	단말연결형	91 Ω	86 Ω	65 %
H6a32	11 m	20 m	30 m	방 사 형	100 Ω	95 Ω	50 %
H6a33	11 m	20 m	30 m	격 자 형	99 Ω	93 Ω	61 %
H6a34	11 m	20 m	30 m	루 프 형	100 Ω	95 Ω	50 %
H6a70	11 m	20 m	70 m	평행방사형	74 Ω	67 Ω	95 %
H6a71	11 m	20 m	70 m	단말연결형	67 Ω	61 Ω	90 %
H6a72	11 m	20 m	70 m	방 사 형	71 Ω	64 Ω	99 %
H6a73	11 m	20 m	70 m	격 자 형	73 Ω	66 Ω	96 %
H6a74	11 m	20 m	70 m	루 프 형	74 Ω	67 Ω	95 %
H6af0	11 m	20 m	150 m	평행방사형	47 Ω	42 Ω	106 %
H6af1	11 m	20 m	150 m	단말연결형	44 Ω	39 Ω	114 %
H6af2	11 m	20 m	150 m	방 사 형	44 Ω	39 Ω	114 %
H6af3	11 m	20 m	150 m	격 자 형	47 Ω	42 Ω	106 %
H6af4	11 m	20 m	150 m	루 프 형	47 Ω	42 Ω	106 %

3.7 구체장, 근개거리 및 매설지선 길이 변화에 대한 접지저항

표본적으로 H계열(주체경 1.8m, 주체고 3.5m 및 구체경 3.5m) 심형기초 및 평행방사형 매설지선이 포설된 철탑의 접지저항 계산결과를 표 9에 수록하고, 표 8에 요약하였다. 표 8에 나타난 바와같이 지선을 매설하지 않는 심형기초 구조체 단독의 접지저항은 대지고유저항을 $1,000\Omega \cdot m$ 라고 하면 $9.8 \sim 18.9\Omega$ 범위의 값을 갖고, 지선을 30m 매설할 경우에는 $8.8 \sim 13.6\Omega$ 범위의 값을 갖으며, 지선을 150m 매설할 경우에는 $4.5 \sim 5.2\Omega$ 범위의 값을 갖는다. 지선의

표 8. 765kV 심형기초 철탑 접지저항 요약표

매설지선	대지고유저항	접지저항		중감 ($\frac{a-b}{b} \times 100$)
		최소 a	최대 b	
0 m	1,000 Ω·m (단일균질토질)	9.8 Ω	18.9 Ω	48.1 %
30 m		8.8 Ω	13.6 Ω	35.3 %
70 m		6.8 Ω	8.8 Ω	22.7 %
150 m		4.5 Ω	5.2 Ω	13.5 %

매설길이가 깊어 질수록 심형기초 구조체의 영향을 적게 받아 접지저항 값의 변동폭이 작아진다.

바꿔말해서 매설지선이 철탑의 접지저항 값에 미치는 영향이 가장 크다는 것이다. 만일 대지고유저항이 500Ω·m라고 하면 단일 균질토양에서 접지저항 값은 대지고유저항에 비례하기 때문에 상기 값의 절반을 취하고, 2,000Ω·m라고 하면 상기 값의 2배를 취하면 된다. 표 9에서도 동일하게 적용된다.

표 9. 철탑 심형기초 및 평행방사형 매설지선의 접지저항 [Ω]

검토 번호	주채경 (a ₁)	주채고 (L ₁)	구채경 (a ₂)	구채광 (L ₂)	근거리 (d)	매설지선(평행방사형) 길이					
						0m a	30m b	50m c	70m d	100m e	150m f
A10†0	1.4 m	3.5 m	3.0 m	6 m	10 m	18.9	13.6	10.7	8.8	6.9	5.2
H10†0	1.8 m	3.5 m	3.5 m	6 m	10 m	18.2	13.4	10.6	8.7	6.9	5.2
H20†0	1.8 m	3.5 m	3.5 m	7 m	10 m	17.4	13.1	10.4	8.6	6.8	5.1
H22†0	1.8 m	3.5 m	3.5 m	7 m	12 m	16.4	12.6	10.1	8.4	6.7	5.1
H24†0	1.8 m	3.5 m	3.5 m	7 m	14 m	15.5	12.1	9.8	8.2	6.6	5.0
H26†0	1.8 m	3.5 m	3.5 m	7 m	16 m	14.9	11.7	9.6	8.1	6.5	5.0
H28†0	1.8 m	3.5 m	3.5 m	7 m	18 m	14.3	11.4	9.4	7.9	6.4	4.9
H2a†0	1.8 m	3.5 m	3.5 m	7 m	20 m	13.9	11.1	9.2	7.8	6.3	4.9
H40†0	1.8 m	3.5 m	3.5 m	9 m	10 m	16.1	12.5	10.1	8.4	6.7	5.1
H42†0	1.8 m	3.5 m	3.5 m	9 m	12 m	15.1	12.0	9.8	8.2	6.6	5.0
H44†0	1.8 m	3.5 m	3.5 m	9 m	14 m	14.4	11.6	9.5	8.0	6.5	5.0
H46†0	1.8 m	3.5 m	3.5 m	9 m	16 m	13.8	11.2	9.3	7.9	6.4	4.9
H48†0	1.8 m	3.5 m	3.5 m	9 m	18 m	13.3	10.9	9.1	7.7	6.3	4.9
H4a†0	1.8 m	3.5 m	3.5 m	9 m	20 m	12.8	10.6	8.9	7.6	6.2	4.8
H60†0	1.8 m	3.5 m	3.5 m	11 m	10 m	15.0	12.0	9.8	8.3	6.6	5.0
H62†0	1.8 m	3.5 m	3.5 m	11 m	12 m	14.1	11.5	9.5	8.0	6.5	5.0
H64†0	1.8 m	3.5 m	3.5 m	11 m	14 m	13.4	11.1	9.3	7.9	6.4	4.9
H66†0	1.8 m	3.5 m	3.5 m	11 m	16 m	12.9	10.7	9.0	7.7	6.3	4.8
H68†0	1.8 m	3.5 m	3.5 m	11 m	18 m	12.4	10.4	8.8	7.5	6.2	4.8
H6a†0	1.8 m	3.5 m	3.5 m	11 m	20 m	12.0	10.1	8.6	7.4	6.1	4.7
H80†0	1.8 m	3.5 m	3.5 m	13 m	10 m	14.0	11.6	9.6	8.1	6.5	5.0
H82†0	1.8 m	3.5 m	3.5 m	13 m	12 m	13.3	11.1	9.3	7.9	6.4	4.9
H84†0	1.8 m	3.5 m	3.5 m	13 m	14 m	12.7	10.7	9.0	7.7	6.3	4.9
H86†0	1.8 m	3.5 m	3.5 m	13 m	16 m	12.1	10.3	8.8	7.5	6.2	4.8
H88†0	1.8 m	3.5 m	3.5 m	13 m	18 m	11.7	10.0	8.5	7.4	6.1	4.7
H8a†0	1.8 m	3.5 m	3.5 m	13 m	20 m	11.3	9.7	8.3	7.2	6.0	4.7
L8a†0	2.0 m	3.5 m	4.0 m	13 m	20 m	11.0	9.5	8.2	7.2	6.0	4.7
Lbc†0	2.0 m	3.5 m	4.0 m	16 m	22 m	9.8	8.8	7.7	6.8	5.7	4.5

(주) † : 매설지선 길이 코드 최대 암폭 : 31m, 대지고유저항 : 1,000Ω·m

주체경, 주체고 및 구체경의 변화는 표 9의 검토번호 A10 및 H10, H8a 및 L8a 계열에 표시된 바와 같이 기초 단독만 고려할 때는 3~4%의 변화를 보여주나 매설지선을 포설할 경우에는 거의 변화를 보여주지 않고 있다. 따라서 주체경, 주체고 및 구체경의 변화는 그렇게 민감하지 않기 때문에 표 1에 예시한 주체경, 주체고 및 구체경의 분류가 타당한 것으로 볼 수 있다.

구체장이 7m에서 13m로 변경될 때 각각 자체저항은 약 20% 정도 감소하나, 매설지선을 30m 포설하면 철탑의 접지저항은 11% 정도, 매설지선을 70m 포설하면 6% 정도 감소하는 결과를 보여주고 있다.

근개거리가 10m에서 20m로 변경될 때 각각 자체저항은 약 20% 정도 감소하고, 매설지선을 30m 포설하면 철탑의 접지저항은 15% 정도, 매설지선을 70m 포설하면 10% 정도 감소하는 결과를 보여주고 있다.

이상 설명한 바와 같이 주체경, 주체고, 구체경, 구체장 및 근개거리를 조합하여 표 9와 같은 표를 여러 개 만들면 심형기초 구조체의 접지저항을 쉽게 파악할 수 있다. 그러나 어느 특정한 경우의 표가 준비되지 않았는데, 개선 접지저항 값을 알고자 할 경우에는 주체경, 주체고 및 구체경이 접지저항에 미치는 영향이 미세하므로 구체장과 근개거리에 중점을 두고 주체경, 주체고 및 구체경이 가장 비슷한 경우를 찾아 표 9에서 값을 읽어 내고 대지고유저항 값에 따라 접지저항 값을 보정하는 방법을 사용할 수 있다.

예를 들어 구체장이 8m이고 근개거리가 16.32m인 경우에 표 9에서 가장 근사한 경우가 검토번호 H2600이며 이 때 각각 저항값 14.9Ω을 읽을 수 있다. 실제의 대지고유저항이 1,156Ω·m이라고 하면 표 9에서 적용한 1,000Ω·m의 1.156배이므로 심형기초 구조체의 개선 접지저항은 $14.9 \times 1.156 = 17.2 [Ω]$ 으로 볼 수 있을 것이다. 매설지선을 30m 포설하면 $11.7 \times 1.156 = 13.5 [Ω]$ 이 되어 규정치 15Ω 이하 [7]를 유지할 수 있을 것이다. 이 결과는 후술하는 표 14 및 표 15의 결과와 비슷하다.

4. 철탑주변의 접촉전압 및 보폭전압 계산

4.1 보폭전압

지락사고가 발생하여 철탑을 통하여 대지로 흐르는 대전류는 사고위치, 철탑의 접지저항, 가공지선의 도전을 등의 요인에 의하여 달라지지만 계산의 편의를 위하여 단위 전류가 흐른다고 가정하고, 최대 대전진위상승 전압(Ground Potential Rise : GPR)은 철탑의 접지저항과 대전전류의 곱으로 정의한다. 심형기초 구조체만 존재할 때 최대 보폭전압은 GPR을 기준하여 백분율로 표시하면 표 10에서와 같이 5.83%이며 그림 5.1에서와 같이 철탑각을 중심으로 방사형으로 분포하고 있다. 검토번호 H6a70에서와 같이 평행방사형 매설지선 70m를 포설하면 최대 보폭전압은 GPR의 9.50%이며 그림 5.2에서와 같이 매설지선을 따라 높

표 10. 접촉전압 및 보폭전압

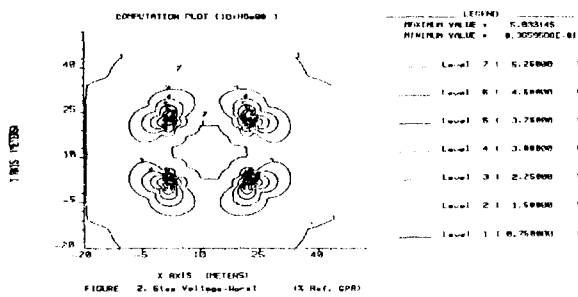
검토번호	구체장 (Lz)	근개거리 (d)	매설지선 (P)	매설지선 형태	접지저항	접촉전압	보폭전압
						GPR에 대한 비율	
H6a00	11 m	20 m	0 m	—	12.0 Ω	22.96 %	5.83 %
H6a30	11 m	20 m	30 m	평행방사형	10.1 Ω	19.64 %	9.66 %
H6a31	11 m	20 m	30 m	단말연결형	9.1 Ω	18.55 %	8.69 %
H6a32	11 m	20 m	30 m	방사형	10.0 Ω	19.03 %	7.94 %
H6a33	11 m	20 m	30 m	격자형	9.9 Ω	17.54 %	9.64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

은 보폭전압이 걸리게 된다. 매설지선의 길이를 증가시키므로써 접지저항이 감소하고 GPR에 대한 보폭전압 비율도 감소하는 결과를 보여주고 있다.

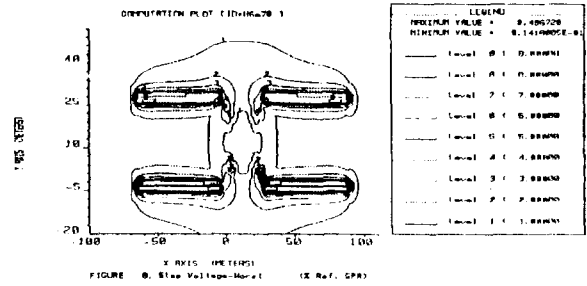
4.2 접촉전압

철탑의 1m밖에 서서 철탑을 만졌을 때의 접촉전압을 계산하여 GPR에 대한 비율로 표시하면 표 10과 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. GPR의 7%가 넘는 접촉전압 (Minimum Threshold)의 분포를 그리면 그림 6과 같다. 그림 6.4에서 접지도체를 추가 배치하므로써 그림 6.1에 비하여 접촉전압의 절대치를 22.96%에서 7.50%로 감소시키고 동시에 발생지역을 현저하게 감소시킨다는 것을 알 수 있다.

참고문헌[11~16]에 철탑주변의 접촉전압 및 보폭전압의 계산, 완화대책 등에 관하여 소개되어 있다. 앞에서 설명한 바와 같이 지락사고시 철탑주변에 위험한 접촉전압과 보폭전압이 발생할 수 있지만 지락사고 발생시 사람이 철탑을 접촉할 확률이 극히 작기 때문에 거의 모든 국가에서 이에 관한 규정을 제정하지 않고 있다고 한다[16].

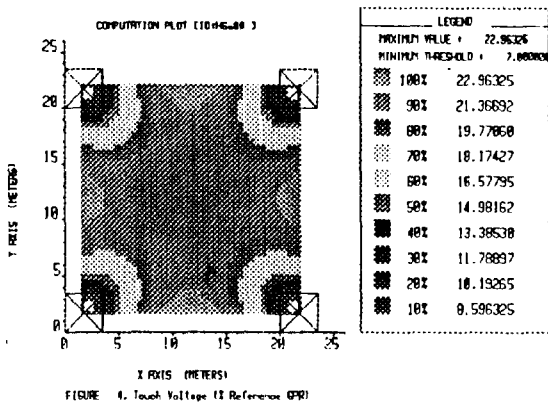


(1) H6a00

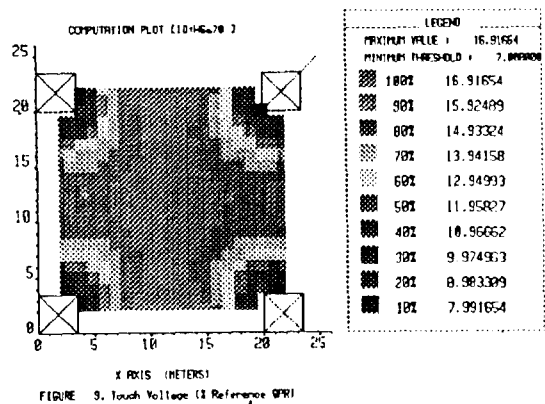


(2) H6a70

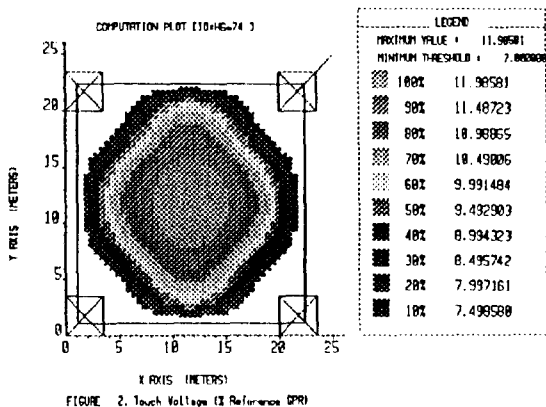
그림 5. 철탑 주변의 보폭전압 분포도



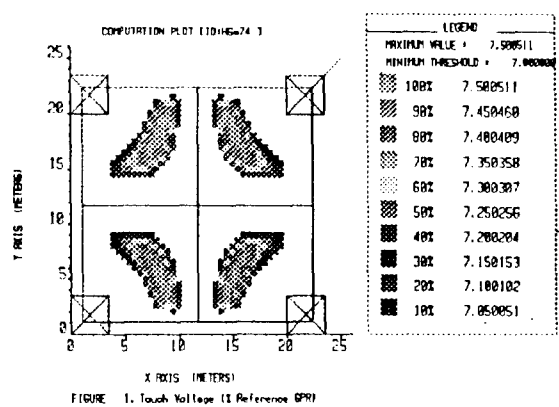
(1) H6a00



(2) H6a70



(3) H6a74



(4) H6a7C

그림 6. 철탑 주변의 접촉전압 분포도

5. 철탑의 접지저항 측정

5.1 접지저항 측정방법

접지저항 측정시에 전위강하법을 많이 채용하고 있다[7]~[20]. 전위강하법은 그림 7에서 피측정 접지극(E)와 전

류전극(C)에 전류 I를 흘리고, 접지극(E)와 전위전극(P)간의 전위 V를 측정하여 $R = \frac{V}{I}$ [Ω]에 의거 결보기 저항 R을 측정하는 것이다. 이 측정법에서 전류전극(C)은 피측정 접지극(E)의 영향을 받지 않는 충분히 이격된 곳에 박고, 결보기 저항을 전위전극 간격에 대하여 그래프를 그렸을 때 평탄한 부분이 존재하여야 정확한 접지저항을 측정할

수 있는 것이다. 또는 접지극의 규모가 작고, 토질이 단일 균질일 경우에 피측정 접지극으로부터 전류전극 이격거리의 61.8%의 위치[18,19]에 전위전극을 박고 겘보기 저항을 측정하면 접지저항을 측정할 수 있다. 그러나 접지극의 규모가 크거나 토질이 복잡한 다층구조인 경우에 겘보기 저항 곡선에 평탄한 부분이 발생하지 않을 수 있으며, 이러한 경우에 61.8% 규칙이 성립되지 않게 된다. 이러한 사실을 외면하고 짧은 전극간격을 유지하여 61.8% 한 점의 접지저항을 측정하는 것은 커다란 오차를 가져올 수 있는 측정이 될 것이다.

위에서 설명한대로 정확하게 접지저항을 측정한다고 하여도 측정당시 토양이 어느 정도 수분을 함유하고 있는냐에 따라 접지저항이 달라지기 때문에 접지저항 측정당시에 대지고유저항을 측정하여 기록을 유지하여 두는 것이 바람직하며, 검증을 위하여 접지저항 실측치를 계산치와 비교하는 것도 의미있는 일이라 하겠다. 접지저항의 설계치를 계산할 경우에 접지저항 측정당시의 대지고유저항 측정결과를 이용하는 것이 필수적이다.

본고에서는 765kV 신태백송전선 137호 철탑의 접지저항 측정결과를 인용하여 설명한다.

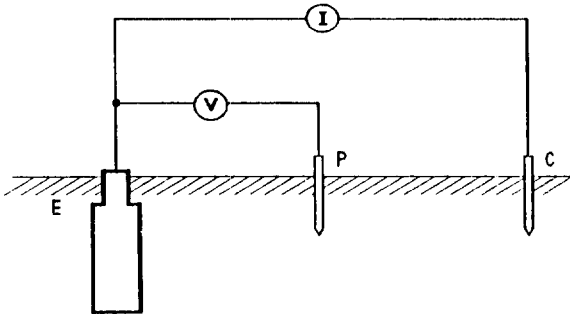


그림 7. 접지저항 측정회로

5.2 대지고유저항 및 접지저항 측정선 선정

대지고유저항과 접지저항을 측정하기 위한 측정선은 현장여건을 감안하여 그림 8과 같이 선정하였다.

5.3 대지고유저항 측정 및 해석

대지고유저항의 측정결과는 표 11에, 해석결과는 표 12에 수록한 바와 같다. 표 12의 “최대 전극간격 20m”란은 표 11에서 전극간격 0.5m에서 20m까지의 측정자료를 이용하여 해석한 결과를 나타내며, “등가저항”란은 3층구조 토양을 5, 25 및 40m 대지심도에 대한 등가 대지고유저항을 계산한 것이다. 5m나 25m 대지심도를 고려한 경우에는 등가 대지고유저항 값이 비슷하지만 40m 등가 대지고유저항 값은 최대 전극간격에 따라 차이가 많이 나고 있다. 따라서 대지고유저항을 측정할 경우에 최대 전극간격을 50m 이상으로 하는 것이 접지설계를 위한 정확한 대지구조를 파악할 수 있는 방법이라 하겠다.

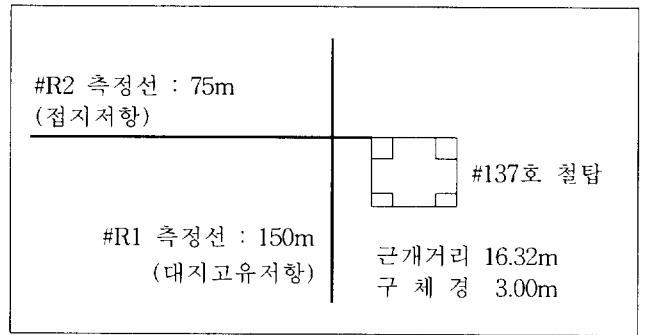


그림 8. 대지고유저항 및 접지저항 측정선 위치도

표 11. Wenner 전극법에 의한 R1 측정선 대지고유저항 측정결과

측정번호	전극간격 (m)	저항(Ω)	측정번호	전극간격(m)	저항(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

표 12. 최대전극간격별 대지고유저항 해석 결과

구분	최대 전극간격			
	20m	30m	40m	50m
제1지층	251Ω·m 1.75m	251Ω·m 1.71m	251Ω·m 1.84m	251Ω·m 1.85m
제2지층	450Ω·m 4.95m	447Ω·m 5.54m	510Ω·m 8.67m	521Ω·m 9.98m
제3지층	1,444Ω·m ∞	1,677Ω·m ∞	2,648Ω·m ∞	3,491Ω·m ∞
등가저항	5m	352Ω·m	353Ω·m	370Ω·m
	25m	816Ω·m	839Ω·m	839Ω·m
	40m	975Ω·m	1,033Ω·m	1,128Ω·m
40m 등가 저항 비율	0.84	0.89	0.98	1.0

5.4 심형기초 구조체의 접지저항 측정

전위강하법에 의하여 측정된 자료는 표 13과 같고 61.8% 법칙에 의한 접지저항은 15.3Ω으로 간주할 수 있다.

표 13. 심형기초 구조체의 접지저항 측정자료(R2 측정선)

측정번호	전극간격 (m)	저항(Ω)	비고
R1	25	9.0	
R2	30	10.2	
R3	35	11.4	
R4	40	13.0	정확한 전위전극 위치 : 75m × 61.8% = 46.35m
R5	45	14.5	
R6	50	17.6	측정값 : 14.5 + (17.6 - 14.5) / (50 - 45) × (46.35 - 45) = 15.3 [Ω]
R7	55	20.3	
R8	60	23.8	
R9	65	28.3	
R10	70	34.2	
R11	75		전류전극 위치

5.5 심형기초 구조체의 접지저항 계산

심형기초 구조체의 주체경 1.6m, 주체고 3.5m, 구체경 3.0m, 구체장 8.0m, 근개거리 16.32m라고 하면 심형기초 구조체의 접지저항 계산결과는 표 14와 같다. 검토번호 SD711~SD716에서는 단일 균질토양 모델을 적용하였고 SD730에서는 3층구조 토양모델을 적용하였다. 엄밀하게 말해서 현장과 동일한 다층구조 토양모델을 적용하여야 정확한 접지저항을 계산할 수 있으나 수작업시의 제약사항을 고려하고, 전산처리에 처리시간을 단축하고 계산결과를 얻고자 할 때를 대비하여 단일 균질토양모델을 적용한 것이다. 본 예에서도 3층구조 토양모델을 적용한 경우 접지저항이 15.3Ω으로 계산되었고, 40m 대지심도를 고려한 등가 대지고유저항을 적용한 경우 전산처리시 17.0Ω으로 3층구조 토양모델을 적용한 경우보다 큰 값이 나왔으며, 수계산한 경우에는 13.5Ω으로 낮게 계산되었다. 이러한 결과는 접지극의 크기와 종류, 토양모델에 따라 변화하므로 쉽게 예측할 수 없다.

표 14. 심형기초 구조체 접지저항 계산결과

검토번호	대 지 고 유 저항		접 지 저항		비 고
	대지심도	등가저항	수계산	전산처리	
SD711	5m	373 Ω·m	4.4 Ω	5.5 Ω	
SD712	15m	547 Ω·m	6.4 Ω	8.1 Ω	
SD713	25m	825 Ω·m	9.6 Ω	12.2 Ω	
SD714	30m	945 Ω·m	11.0 Ω	13.9 Ω	
SD715	40m	1,156 Ω·m	13.5 Ω	17.0 Ω	
SD716	50m	1,335 Ω·m	15.6 Ω	19.7 Ω	
SD730	3층구조(표-12 참고)		-	15.3 Ω	

5.6 심형기초 구조체의 접지저항 측정 및 해석

접지저항 측정치와 계산결과를 그림 9에 도시하였다. 전산처리에 의한 저항곡선에 비하여 실측곡선의 후반부의 접지저항이 높게 나타났는데 이는 전위전극을 삽입한 지역이 국부적으로 대지고유저항이 높고 토양이 불균질하기 때문에 발생한 것으로 추측된다. 전위전극 위치 25m~35m에서는 실측치와 계산치가 정확히 일치하고, 61.8% 부근에서 근소한 차이를 나타내고 있다. 전산처리 접지저항 곡선에서 15.3Ω을 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 15.3Ω으로 결론지을 수 있다.

그림 9의 곡선에서 측정치와 계산치 모두 평탄한 부분이 나타나지 않았기 때문에 그림 10에서와 같이 전류전극 위치를 40, 160 및 300 m로 변경해 가면서 전위강하 곡선을 그려보았다. 그 결과 정확한 전위전극의 위치가 전류전극이 40m에 삽입되어 있을 경우에는 전류전극위치의 72.5%, 전류전극의 위치가 160m일 경우에는 66.9%, 전류전극의 위치가 300m일 경우에는 63.7% 이었다. 전류전극의

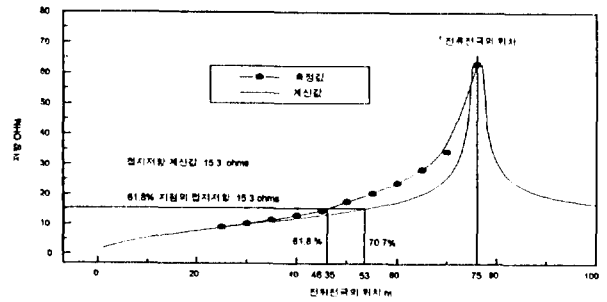


그림 9. 전위강하법에 의한 접지저항 곡선

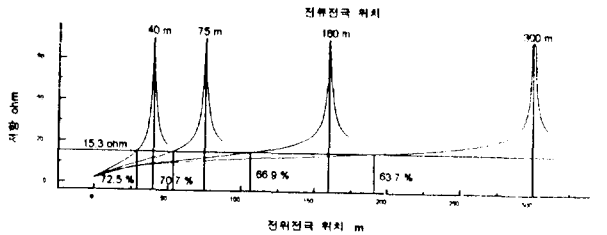


그림 10. 전류전극 위치별 접지저항 곡선

위치가 짧을 때는 곡선의 기울기가 급해서 평탄한 부분이 발생하지 않지만 전류전극의 위치가 멀어질수록 평탄한 부분이 넓어짐을 알 수 있다.

5.7 철탑의 접지저항 설계

심형기초 구조체의 접지저항이 15.3Ω으로서 규정치를 만족할 수 없으므로 매설지선을 포설하여야 할 것이다. 평행방사형 지선을 매설할 경우에 합성 접지저항을 계산한 결과를 표 15에 수록하였다. 매설지선 30m를 포설하면 3층구조 토양모델을 적용한 경우 12.0Ω, 40m 등가 대지고유저항을 적용하여 전산처리한 경우 13.4Ω, 수계산한 경우에는 10.8Ω을 얻을 수 있다. 수계산은 정확성이 떨어지므로 전산처리한 결과를 택하여 30m 매설지선을 포설하는 것이 바람직할 것으로 생각된다.

표 15. 철탑 심형기초 구조체 및 매설지선의 접지저항

검토번호	지선길이 (평행방사형)	수 계 산		전 산 처 리		비 고
		40m 등가저항 1,156 Ω·m	3층구조 토양	수계산	전산처리	
SD701(a)	0 m	13.5 Ω	17.0 Ω	15.3 Ω		기초 단독
SD731(b)	30 m	10.8 Ω	13.4 Ω	12.0 Ω		
SD751(c)	50 m	9.0 Ω	11.0 Ω	10.2 Ω		
SD771(d)	70 m	7.8 Ω	9.3 Ω	8.9 Ω		
SD7a1(e)	100 m	6.5 Ω	7.5 Ω	7.6 Ω		
SD7f1(f)	150 m	5.2 Ω	5.7 Ω	6.3 Ω		

6 결 론

철탑의 접지저항 값에 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 경우에는 40m 대지심도를 고려한 등가 대지고유저항을 적용하는 것이 좋다. 등가 대지고유저항을 적용하면 3층구조 토양모델을 적용한 경우에 비하여 오차가 발생하지만 1개의 형태에 대한 접지저항 값이 등가 대지고유저항에 비례하기 때문에 대표적인 경우에 대하여 미리 계산을 해두면 등가 대지고유저항변경에 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 소요 접지저항을 얻을 수 없는 경우에는 불가피하게 사용하여야 할 것으로 사료된다.

이상의 내용을 종합하여 심형기초 구조체 철탑의 접지저항에 관한 조건표를 작성하는 것이 가능할 것으로 예측된다.

진위강하법을 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 아주 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 방안이라고 추천한다.

이상은 정상 접지저항에 관한 검토내용을 요약하였으나 과도 접지저항에 관한 내용을 검토하여 종합적으로 철탑의 접지저항을 관리하는 것이 바람직할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

[1] 電氣評論 '77 臨時増刊號, 送電線の接地工事
 [2] 電氣評論 '81 臨時増刊號, 架空送電線の接地
 [3] 電氣評論 '86 臨時増刊號, 接地抵抗の Surge 特性
 [4] 電氣評論 '89年4月 特集, 接地抵抗の Surge 特性とその測定法, 衝擊電流に對する接地電極の過渡抵抗, 架空送電線における接地工事と管理

[5] 電氣評論 '95年10月 特集, 山岳地送電線の接地対策とその事例
 [6] 한전 시험소보
 - Vol.6-7, 1973, pp.175~194 철탑접지저항 측정연구, 박석탁, 김시영
 - Vol.8, 1974, pp.146~152 접지시공방안 조사보고서, 변승범, 김창배, 이병주
 - Vol.10, 1976, pp. 57~72 송배전계통 접지표준화 방안연구, 김창배, 김시영
 - Vol.14, 1980, pp.170~192 접지저항 저감연구, 박용규, 백예현
 - Vol.15, 1981, pp.111~126 접지저항 저감조사, 박용규, 김영수, 박경식
 - Vol.16, 1982, pp. 89~170 FY-1981 대지도전율 MAP 작성연구, 김영수
 - Vol.17, 1983, pp. 35~ 50 송전철탑접지의 과도특성 및 저감대책 연구, 김정황, 정동원
 - Vol.18, 1985, pp.182~198 송전철탑접지의 과도특성 및 저감대책 연구, 김영수
 [7] 765kV T/L 접지설계검토, 1994. 12., 송변전처 송전진압격상추진반
 [8] 한국전력기술주식회사, 축소형 변전소 접지효과 증대방안 연구(제6차 분기 진도 보고서), 1997. 5
 [9] SES(Safe Engineering Services & technologies ltd.), CDEGS(Current Distribution, Electromagnetic fields, Grounding and Soil structure analysis) 사용자 지침서, Program Version 2.1 for Windows, 1996
 [10] Electrical Transmission and Distribution Reference Book, Westinghouse Electric Corporation, Fourth edition: Tenth Printing
 [11] Transmission Line Grounding Volume 1, EPRI Research Project 1494-1, EL-2699
 [12] Transmission line tower grounding performance in non-uniform soil, F. Dawalibi, Vol. PAS-99, No.1, March /April 1980, pp. 471~479
 [13] Power frequency performance of transmission line structure grounding, R. Velazquez, Vol. PAS-103, No. 6, June 1984, pp. 1295~1303
 [14] Step and touch potentials at faulted transmission towers, E. A. Chemey, Vol. PAS-100, No.7, July 1981, pp. 3312~3321
 [15] Background and methodology for analyzing step and touch potential near transmission structures, part 1: Background, PWRD-1, No.2, April 1986, pp. 150~157
 [16] Background and methodology for analyzing step and touch potential near transmission structures, part 2: Engineering evaluation, A Report prepared by the Working Group on Transmission Line, PWRD-1, No.2, April 1986, pp. 158~162
 [17] IEEE Std-80-1986 IEEE Guide for Safety in AC Sub

station Grounding

- [18] IEEE Std-81-1986 IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Ground System

- [19] 接地技術入門, 高橋健彦著, 金 聖模·李 炯秀 共譯, オーム社/東逸出版社
 [20] 한전 송전설계기준-1101 가공송전선 지저물 접지기준, 1995. 9. 5 개정

저 자 소 개



한 풍(韓 豊)

1943년 12월 14일생. 1966년 전북대 공대 전기공학과 졸업. 전기기술사(발송배전), 안전관리기술사(전기안전), 현재 한국전력기술주식회사 전력기술개발연구소 수석기술원, 축소형 변전소 접지효과 증대방안 연구 용역

사업책임자, 관심분야 : 접지계통 정상 및 과도현상 해석



정길조(鄭吉朝)

1949년 8월 16일생. 1983년 중앙대 공대 전기공학과 졸업. 1995년 연세대 산업대학원 전기공학과 졸업(석사). 1974년 한국전력공사 입사. 1992년 발송배전기술사 취득. 1996년~현재 전력연구원 전력계통연구실 책임연구원, 주요관심분야 : 전력계통접지기술, 변전설비 진단기술

원, 주요관심분야 : 전력계통접지기술, 변전설비 진단기술



최종기(崔鍾基)

1969년 2월 1일생. 1992년 동국대학교 공대 전기공학과 졸업. 1995년 홍익대학교 대학원 전기제어공학과 졸업(석사). 1995년~현재 전력연구원 전력계통연구실 연구원, 주요관심분야 : 전력계통접지기술



김정부(金正夫)

1943년 1월 14일생. 1971년 서울대 전기공학과 졸업. 동 대학원 전기공학과 석·박사 졸업. 현재 한전 전력연구원 765kV 송변전그룹장 겸 수석연구원, 관심분야 : 전기환경장해 및 전력계통 과도현상 해석