

## 다층 대지비저항 해석에 의한 최적 접지설계

김형수

한국수자원공사 수자원연구원 지하수지반연구소

### Design of Optimum Grounding by the Resistivity Analysis of Multi-layered Subsurface

Hyoung-Soo Kim

Korea Institute of Water and Environment, Korea Water Resources Corporation, Korea

**요 약** 전기설비의 접지는 시설과 인명피해를 방지하기 위한 시설로서 고압전선의 지락사고시 대용량의 전류를 대지속으로 흘려보냄으로서 주변대지의 전위상승을 억제하는데 있다. 이와 같은 위험전위는 접지계의 대지구조의 성분 및 균질성, 지락전류의 크기 및 지속시간, 인체의 전기적 특성 등과 같이 변수가 많아 해석이 매우 어렵다. 최근 고장 전류 유입시 대지전위분포를 최대한 균일하게 하기위하여 접지저항을 낮추는 GPR(Ground Potential Rise) 저감 방향으로 접지시스템 설계가 이루어졌으며, 지상공간의 전위변동의 최소화, 균등화함으로써 보안 및 기능 접지를 동시에 만족하는 접지시스템의 해석과 설계가 이루어지고 있다. 본 연구에서는 전기비저항 탐사를 통해 밝혀진 지하의 대지비저항 분포를 통해, 접지 설계를 수행한 사례를 보여준다.

**주요어** 접지, 고압, 대지전위, 전기비저항탐사

**ABSTRACT** The object of grounding of electrical facility is to protect human and machine damage from the power supply interruption high voltage by use of the accident current dissipating into the ground. Generally, it is not easy to make suitable ground design for inhomogeneous subsurface geology and the variability of accident current in magnitude and duration time. To make efficient ground, ground potential rise must be controlled in the way of overall lowering and evenness. This study shows the case of optimized ground design by use of subsurface resistivity structure from electrical soundings.

**Key words** grounding, high-voltage, ground potential, electric resistivity survey

#### 1. 서 론

전기설비를 접지하는 것은 시설과 인축피해를 방지하는 시설로, 고압전선의 지락사고시 대용량의 전류를 대지속으로 흘려보냄으로서 주변대지의 전위상승을 억제하는데 있다(이형수, 1996; IEEE, 1996).

지락사고시 큰 전류가 대지로 흘러 들어가면 발(번)전소의 구내 및 주변에 전위경도가 높게 발생함으로 지표면상의 2000volt 이상의 전위는 인체에 위험을

초래하게 된다. 이와 같은 위험전위는 접지계의 대지구조의 성분 및 균질성, 지락전류의 크기 및 지속시간, 인체의 전기적 특성 등과 같이 변수가 많아 해석이 매우 어렵다.

종래의 접지는 지구(대지)를 대상으로 소요접지저항을 얻는 측면에서 전기설비와 대지간의 확실한 전기적 접촉을 실현하여 인축의 감전을 방지하고 설비의 절연내력을 충족하는 법으로 제한된 접지저항치를 유지하도록 접지 시스템을 구축하였다.

Corresponding Author : 김형수(hskim@kowaco.or.kr)

원고접수일 : 2003년 5월 2일 게재승인일 : 2003년 7월 18일

그러나 최근에는 고장전류 유입시 대지전위분포를 최대한 균일하게 하기위하여 접지저항을 낮추는 즉, GPR (Ground Potential Rise) 저감 방향으로 접지시스템 설계가 이루어졌다. 그리고 일렉트로닉스화, 고도정보화에 반해 접지는 단순한 대지를 대상으로 하는 것이 아니고 지상공간의 전위변동을 최소화, 균등화함으로 보안 및 기능접지를 동시에 만족하는 접지시스템의 해석과 설계가 이루어지고 있다.

횡성댐은 기존 수력발전소와는 달리 본댐에서 도수터널을 이용 섬강유역으로 방류하는 유역변경식 수력발전소로서, 야산을 절토하여 건설부지로 사용하므로 부지가 협소하고 대지고유저항값이 상대적으로 높게 나타나는 것이 일반적이다.

대지고유저항값을 파악하지 않고 접지계통을 설계하면 정확한 설계대로 시공하더라도 실측할 경우에 목표 접지저항을 얻지 못하는 사태가 발생할 우려가 있다.

본 연구에서는 횡성댐 접지효과 증대를 위해 발전소 부지주변 대지비저항을 다층적으로 정확히 측정, 해석하고 이를 토대로 최적 접지시공 방법을 제시하고자 한다.

## 2. 접지환경 조사 및 대지비저항 측정

### 2.1 현장 조사분석

횡성댐 발전소는 본댐에서 도수터널(382m)을 이용 섬강유역으로 방류하는 유역변경식 발전소로써 발전소 부지가 댐 직하식보다 협소하고 산지를 절토하여 부지로 활용함으로 암반지대가 대부분이다. 그러므로 접지망 포설면적도 상대적으로 좁고 대지비저항도 높게 나타나 낮은 접지저항을 얻기가 어렵다.

발전소 부지별 접지 가능면적은 발전소 856m<sup>2</sup>, 입구주차장 857m<sup>2</sup>, 동쪽 야산부지 811m<sup>2</sup>로 접지부지로 활용할수 있는 총 가용면적은 2,524m<sup>2</sup>이고 평면도는 그림 2.1과 같다.

### 2.2 다층대지비저항 측정 해석

횡성댐 발전소 주변의 접지매설이 가능한 부지를 중심으로 전기수직탐사를 실시하여 다층 대지비저항을 측정, 해석 하였으며, 측정위치는 그림2.2와 같다. 측

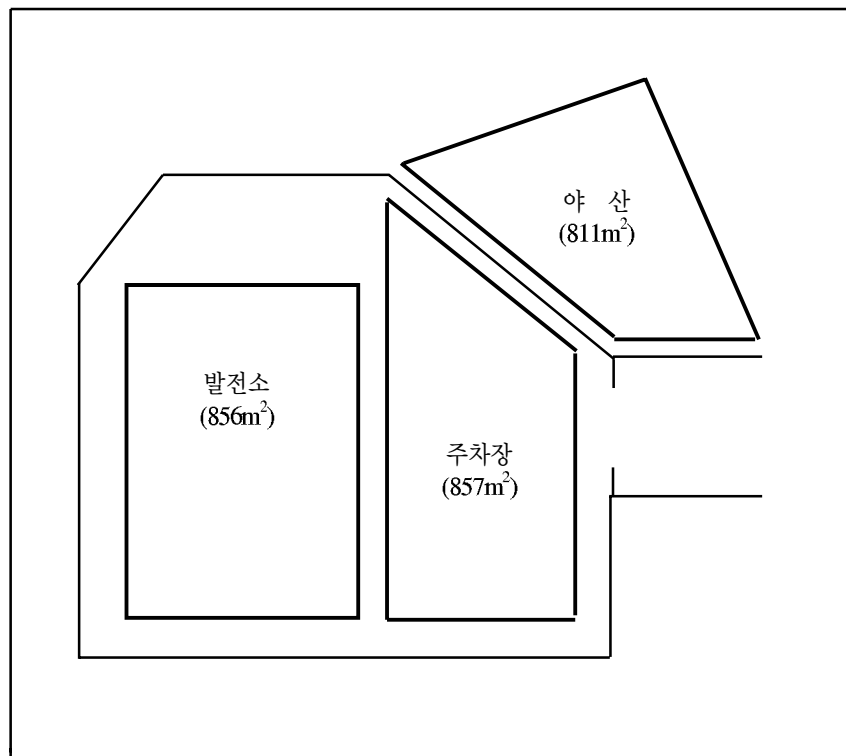


그림 1 발전소 주변 평면도

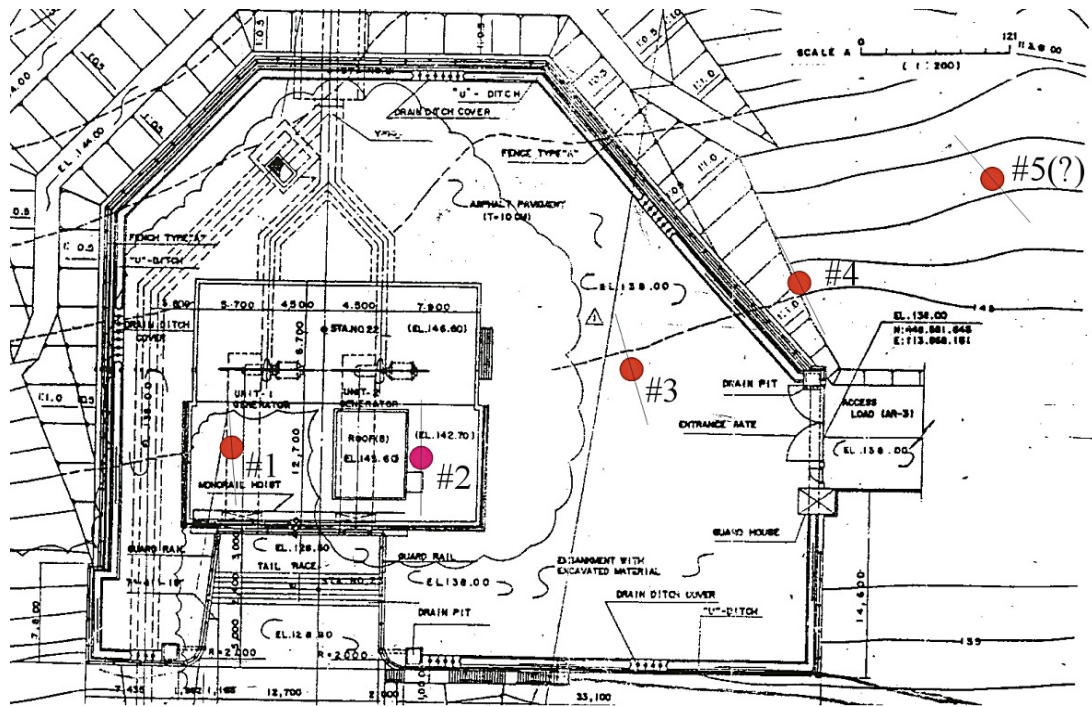


그림 2 대지비저항 측정위치

정방법은 Winner 4전극법과 Schlumberger의 혼합 배열 형태로 겜보기 저항을 측정하였으며 다층 대지구 조 해석을 위한 자료를 취득 하였다.

### 2.3 대지비저항 해석

발전소 주변의 대지비저항을 다층적으로 해석한 결과 절토된 부분은 암반지대로 비교적 대지비저항이 높게 나타났다. 해석 방법은 현장에서 측정된 겜보기 저항을 입력으로하여 수직 토양구조의 비저항을 해석하는 ESII Program을 이용하였다. 해석결과는 그림 2.3 과 같다.

그림 3의 해석결과를 볼 때 발전소부지의 지층 구조 중 계절적인 영향 또는 굴착 제거될 표토부를 제외하고 비저항 층상 모델을 설정하는 경우, 지표에서 3m 심도까지 3,000ohm-m, 3~11m 까지 1,350ohm-m, 그 이하는 3,000 ohm-m로 간주 할 수 있다. 또한 주차장 부지의 지층구조는 심도 약 2m까지의 표토부를 제외하고는 조사가 수행된 약 20m의 심도까지는 모두 4,000 ohm-m의 대지 비저항을 보이고 있다. 그리고 동쪽 야산부분의 지층구조는 13m까지는 약 400ohm-m

의 대지비저항을 나타내고 그 이하는 4,000ohm-m의 대지 비저항을 나타내고 있다. 야산 부지의 13m까지 상대적으로 낮은 대지 비저항은 사면처리배후의 배수구로부터 유입된 지표수의 포화구간이거나 절리 등의 발달이 현저한 파쇄대의 영향으로 비저항이 낮게 나타난 것으로 추정되어진다.

발전소 주변의 지층 구조를 해석한 결과 발전소부지는 일반적인 암반부지의 형태로 비저항이 비교적 높고, 주차장부지는 경암 종류로 구성되어 일정깊이까지 대단히 높은 비저항을 나타내고 있다. 그리고 동쪽 야산 부지의 경우 약15m까지는 일반토양(파쇄암)으로 구성되어 있고 그 이하는 암반구조의 형태를 나타내고 있다.

### 2.4 등가 대지비저항 산출

#### 1) 등가반경 계산

다층 대지비저항을 해석한 후 등가 대지비저항을 산출하기 위해서는 등가 반경이 필요하다. 등가반경은 지하에 접지시설을 할 경우 유입되는 전류가 어느범위까지 영향을 미치느냐를 판정하는 것과 병렬접지 시공

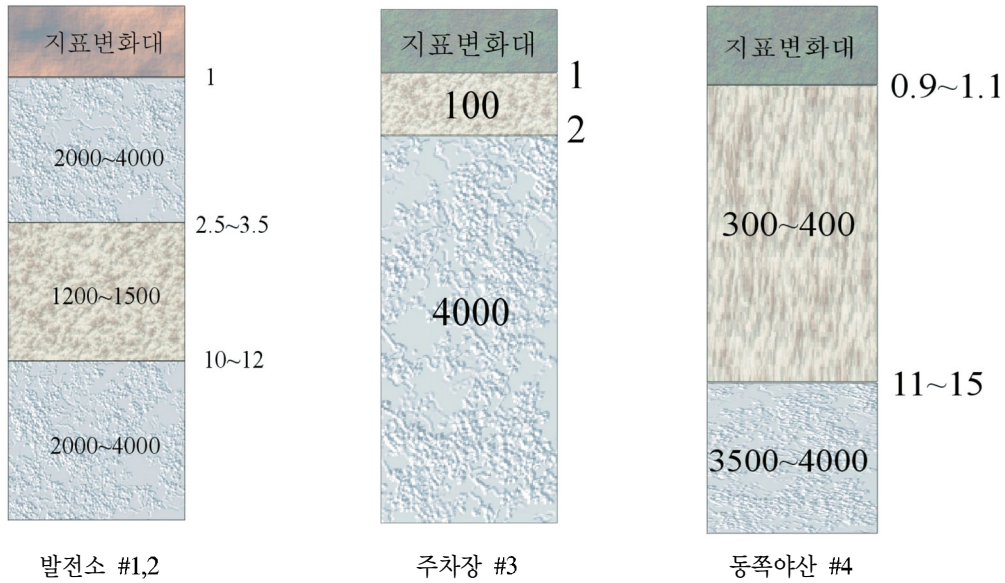


그림 3 다층대지비저항 구조

시 집합계수의 계산등에 이용된다. 접지극의 매설종류 및 형태에 따라 등가반경 계산식이 달라지나 여기에서는 흔히 사용되는 매쉬전극과 보링전극 설계시 이용되는 등가반경 계산에 대하여 알아보하고자 한다.

①매쉬전극 등가반경

$$A = 2\pi r^2 (m^2), \quad r = \sqrt{\frac{A}{2\pi}} (m)$$

여기서 A : 접지망 면적(가로×세로), r : 등가반경(m)

②보링전극 등가반경

$$R_l = \frac{\rho}{2\pi\ell} \cdot \ln \frac{4\ell}{d} (\Omega), \quad R_r = \frac{\rho}{2\pi r} (\Omega)$$

$R_l = R_r$ 이라고 하면

$$\frac{\rho}{2\pi\ell} \cdot \ln \frac{4\ell}{d} = \frac{\rho}{2\pi r}, \quad r = \frac{\ell}{\ln \frac{4\ell}{d}} (m)$$

여기서  $R_l$  : 봉상전극 접지저항,  $R_r$  : 반구상 접지극

저항,  $\ell$  : 보링깊이, d : 도체지름, r : 등가반경이다.

위의 식을 이용하여 등가대지비저항의 계산조건 및 결과는 표 1과 같다.

위 계산결과를 표에서 보는 바와 같이 보링접지는 수평방향의 영향을 많이 받고 매쉬접지는 수직방향의 영향을 많이 받는 것을 알 수 있다.

등가반경을 구한 다음 등가깊이를 다시 산정 하여야 한다. 등가깊이는 등가저항을 바탕으로 계산할 수 있으며 대지의 정확한 탐색 미비 및 여유율을 감안하여 선정한다. 여기서는 한전 접지설계지침을 참고하고자 하며 등가깊이는 표 2와 같다.

위 표의 등가깊이는 154kV이상 대규모 접지망 구축시 적용하는 등가깊이를 말하며, 횡성댐의 경우처럼 사용전압이 22.9kV이고 설비용량이 1,000kVA정도밖에 안되는 중규모 설비에서는 등가반경을 등가깊이로 산정하여도 별 문제가 없을 것으로 사료된다.

표 1 등가반경

구 분	보링 접지	매쉬 접지
계산조건	깊이 : 30m 사용도체 : 100mm <sup>2</sup> 나동선	면적 : 900 m <sup>2</sup> (30×30) 사용도체 : 100mm <sup>2</sup> 나동선
등가반경	3.2 m	11.9 m

표 2 등가깊이 적용값

등가 반경	등가 깊이	비 고
30m 이하	40m	적용근거 : 한전설계기준2602 적용전압 : 154kV이상 해석방법 : 반구형
40m 이하	60m	
70m 이하	80m	
70m 초과	별도검토	

표 3 등가대지비저항

구 분	등가 대지비저항(Ω-m)		적용 검토
	수평전류(보링)	수직전류(매쉬)	
발 전 소	1,514	1,725	매쉬접지
주 차 장	941	3,675	보링접지
동쪽야산	350	350	매쉬+보링

2) 등가대지비저항 계산방법

등가 대지비저항은 접지설계시 평균대지비저항을 적용하기 위하여 다층 비저항을 균일대지로 환산하는 것이다. 환산 방법은 접지시공을 수평매설(매쉬) 방법과 수직매설(보링) 방법중 어느것이 유리한가를 다층해석 결과에 따라 결정 할수 있다. 즉, 수평전류성분이 강한 보링접지의 경우와 수직전류 성분이 강한 매쉬접지 방법에 따라 달리할 수 있다.

①수평전류성분이 강한 경우 --- (보링접지)

보링접지의 경우 지표를 기준으로 할 때 수직방향으로 접지도체를 매설 하지만 접지전류의 유출은 대기 속에서 수평적으로 많이 흐르게 된다. 그러므로 대지를 기준으로 지층저항이 병렬로 연결된 것으로 해석하여 다음 식으로 등가대지비저항을 선정한다.

$$\rho_L = \frac{d}{\sum_{i=1}^N h_i \rho_i} \quad (\text{ohm-m})$$

여기서, d : 등가 깊이(m),  $\rho_i$  : i(m)까지의 비저항(ohm-m),  $h_i$  :  $\rho_i$ 층의 깊이(m)이다.

②수직전류성분이 강한 경우 --- (매쉬접지)

매쉬접지의 경우 지표를 기준으로 할 때 수평방향으로 접지도체를 매설 하지만 접지전류의 유출은 대기

속에서 수직적으로 많이 흐르게 된다. 그러므로 대지를 기준으로 저항이 직렬로 연결된 것으로 해석하여 다음 식으로 등가대지비저항을 선정한다.

$$\rho_T = \frac{\sum_{i=1}^n h_i \rho_i}{d}$$

여기서, d: 등가깊이 깊이(m),  $\rho_i$  : i(m)까지의 비저항(ohm-m),  $h_i$  :  $\rho_i$ 층의 깊이(m)이다.

위의 계산식을 이용하여 발전소 주위 각 부지별 등가 대지비저항은 표 3과 같다.

일반적으로 대지를 대상으로 접지설비를 매설하는 방법은 크게 수직매설(보링, 접지봉)과 수평매설(매쉬, 접지도선, 접지판) 방법이 있다. 매설방법에 따라 접지전류의 흐름특성이 분명히 달라지는데 등가대지비저항을 계산할 때는 보통 수평전류성분(수직매설)만을 적용하는 경우가 대부분이다. 이와 같은 문제점을 감안하여 황성담의 등가 대지비저항 해석은 수직, 수평매설을 구분하여 제시하고 매설방법별로 등가 대지비저항을 표 3과 같이 선택 적용코자 한다.

3) 등가 대지비저항 해석 결과

각 부지별 등가 대지비저항을 분석해 볼 때 발전소 부지는 보링접지 효과가 약간 우수하나 매쉬접지와 비슷하므로 시공의 용이성과 경제성을 고려하여 매쉬접지만 시공하고, 주차장부지는 암반지대로 높은 대지저항을 갖고 있어 매쉬접지효과는 극히 낮고 보링접지의

효과는 다소 있을것으로 판단되며 동쪽 야산부지의 경우 약15m까지 350Ω-m의 낮은 대지저항을 갖고 있으므로 매쉬 접지로 설계하고 목표접지저항 보다 높을 때 보링접지와 혼용하여 시공토록 하는 것이 타당하다고 본다. 지금까지 검토한 대지비저항 해석결과를 설계에 적용할 자료는 표 4와 같다.

자료는 횡성댐 자체검토서를 참고 하였으며, 접지설계 기준은 IEEE Std 80-1986 및 한전 접지설계지침을 참고로 하였다. 그리고 목표접지저항은 허용안전전압(보폭, 접촉전압)과 2,000V의 절연내압을 고려하여 설정 하였다. 위 두가지 조건을 만족하기 위한 접지설계의 순서는 매쉬 접지→매쉬+보링→매쉬+보링+저감제 순으로 설계할 계획이다. 참고로 설계조건은 표 5와 같다.

### 3. 접지 설계

### 3.2 횡성댐 접지설계

#### 3.1 접지설계 일반

#### 1) 설계조건

접지설계에 필요한 기초자료인 고장전류 계산 등의

①계통전압 및 접지방식 : 22.9kV 중성점 다중 접지 방식

표 4 접지설계 적용값

구 분	접지설계 적용값		시공방법 (설계조건)
	등가깊이(m)	등가대지비저항(Ω·m)	
발 전 소	12	1,725	매쉬
주 차 장	3.5	941	(보링)
동쪽야산	11	350	매쉬+(보링)

표 5 설계조건 비교

구 분	도화종합기술	횡성댐	연구소	비 고
1. 계통전압 및 접지방식	22.9kV중성점 다중접지방식	좌 동	좌 동	
2. 등가대지고유 저항(Ω·m)	200	1,000	발전소 1,725 주차장 941 야 산 350	
3. 발전소 바닥 CON'C고유저항(Ω·m)	3,000	-	3,000	한전설계기준 3,000명시
4. 고장 지속 시간(Sec)	0.15	0.5	1.0	IEEE-80 1.0Sec 명시
5. 매설깊이(m)	1.0	0.75	1.0	한전설계기준 0.25-1.0m명시
6. 접지가능 면적(m <sup>2</sup> )	매쉬 900	매쉬 10,917 보링 12공	매쉬 900 ×2개소 병렬연결	
7. 고장전류(kA)	17	1.423	1.423	
8. 고장전류 유입율(분류율)(%)	60	50	17	한전설계기준 2회선이하 17%
9. 접지시공방법	매쉬 + 접지봉	매쉬+보링+저감제	매쉬	
10. 접지저항 계산 식 적용	Schwarz's식	Sverak식	Sverak식	한전설계기준 Sverak식 이용
11. 매쉬도체 간격	1.5m	3.0m	2.5m	IEEE, 2.5m 권장

- ②고장지속시간 : 1.0 sec
- ③인체의 안전허용 감전시간 : 1.0 sec
- ④최대 1선 지락전류  $I_F$  : 1,423 A
- ⑤도체전류 분류계수  $\alpha$  : 50 %
- ⑥GPR 전류 분류율  $\beta$  : 17 %
- ⑦토양의 등가 대지저항율  $\rho$  : 발전소 1,725 ( $\Omega \cdot m$ )  
 주차장 941 ( $\Omega \cdot m$ )  
 야 산 350 ( $\Omega \cdot m$ )
- ⑧발전소 부지 표토층 대지저항율  
 $\rho_S$  : 1,000 ( $\Omega \cdot m$ ) (구조체 콘크리트)
- ⑨발전소 부지 표토층 두께  $h_S$  : - m
- ⑩접지망 매설 깊이  $h$  : 1.0 m
- ⑪접지망 포설면적  $A$  : 발전소  $30m \times 30m = 900m^2$   
 야 산  $30m \times 30m = 900m^2$

2) 설계 계산

단계 1 : 현장자료

- 설계조건으로부터 접지망 포설면적은
- 발전소  $30m \times 30m = 900m^2$
- 야 산  $30m \times 30m = 900m^2$
- 토양의 등가 대지고유저항  $\rho$  는
- 발전소 1,725 ( $\Omega \cdot m$ )
- 야 산 350 ( $\Omega \cdot m$ )

단계 2 : 접지망 도체 굵기

- 도체는 나동연선을 사용하고, 접속은 압축식으로 한다.
- 설계조건으로부터 최대 1선 지락전류 :
- $I_F = 1.423 \text{ kA}$
- 도체전류 분류율 :  $\alpha = 50 \%$
- 고장지속시간 :  $t_C = 1.0 \text{ sec}$
- 20. C에서의 저항온도계수  $\alpha_r = 0.00393$
- 20. C에서의 접지도체의 고유저항율  
 $\rho_r = 1.7241 [\mu\Omega \cdot m]$
- 0. C에서의 저항온도계수의 역수  $K_o = 234$
- 열용량계수 :  $TCAP = 3.422 [J/cm^2 / ^\circ C]$
- 주위온도  $T_a$  : 40. C
- 압축접속인경우의 최대허용온도 :  $T_m = 350. C$
- 접지망 굵기는 다음식(IEEE-80)에서 계산하면

$$A = I_F \cdot \alpha \sqrt{\frac{t_c \cdot a_y \cdot \rho_y \cdot 10^4}{TCAP \cdot \ln[1 + (\frac{T_m - T_a}{K_o + T_a})]}} \approx 5.5 (\text{mm}^2)$$

접지도체의 굵기는 5.5 mm<sup>2</sup> 이상이면 되지만 지하에 매설되는 특수성과 접지효과 증대 및 기계적 강도를 고려하여 100 mm<sup>2</sup>를 사용(직경 0.013mm - 내선규정) 한다.

단계 3 : 위험전압 기준(체중 50kg 기준)

- 토양의 등가대지고유저항  $\rho$  : 1,725  $\Omega \cdot m$
- 발전소 바닥 암반 의 고유저항  $\rho_S$  : 1,000  $\Omega \cdot m$
- 최대허용 보폭전압 ( $E_{step}$ )
- $= (1,000 + 6 \cdot C_S \cdot \rho_S) \cdot \sqrt{\frac{0.116}{T_S}}$  (V) = 812 (V)

최대허용 접촉전압 ( $E_{touch}$ )

$$= (1,000 + 1.5 \cdot C_S \cdot \rho_S) \cdot \sqrt{\frac{0.116}{T_S}}$$
 (V) = 290 (V)

단계 4 : 예비설계

- 설계조건으로부터 접지망 매설깊이 :
- $h = 1.0(m)$
- 접지망 포설면적 : 발전소 =  $30 \times 30 = 900m^2$   
 야 산 =  $30 \times 30 = 900m^2$
- 접지망 그리드 간격  $D$ 가 2.5m이므로 접지망의 도체수( $n$ )과 접지망 외곽길이 ( $L_P$ ) 및 총길이 ( $L_C$ )는
- $L_P = (30_{(가로)} + 30_{(세로)}) \times 2_{(도체수)} = 120m$
- $L_C = (30_{(가로)} \times 13_{(도체수)}) + (30_{(세로)} \times 13_{(도체수)})$   
 $= 780m$

$$n = n_1 \cdot n_2 = 2 \cdot \frac{L_C}{L_P} \cdot \sqrt{\frac{L_P}{4\sqrt{A}}} = 0.782$$

$$L_{\text{접촉전압}} = L_c + (1.55 + 1.22(\frac{L_r}{\sqrt{L_x^2 + L_y^2}}))L_R$$

$$L_{\text{보폭전압}} = 0.75 \cdot L_C + 0.85 \cdot L_r$$

단계 5 : 접지저항 계산

- ①발전소 매쉬접지
- 접지망 매설깊이 : 1.0m

접지망 포설면적 :  $30 \times 30 = 900\text{m}^2$   
 접지도선 총길이 :  $30 \times 13 \times 2 = 780\text{m}$   
 등가대지 저항율 :  $1,725 \ \Omega\text{-m}$

접지저항( $R_{g1}$ )을 Sverak식을 이용하여 계산하면

$$R_g = \rho \left[ \frac{1}{L} + \frac{1}{\sqrt{20A}} \left( 1 + \frac{1}{1 + h\sqrt{\frac{20}{A}}} \right) \right]$$

$$= 26.25(\Omega)$$

②동쪽 야산부지 매쉬접지

접지망 매설깊이 :  $1.0\text{m}$   
 접지망 포설면적 :  $30 \times 30 = 900\text{m}^2$   
 접지도선 총길이 :  $30 \times 13 \times 2 = 780\text{m}$   
 등가대지 저항율 :  $350 \ \Omega\text{-m}$

접지저항( $R_{g2}$ )을 Sverak식을 이용하여 계산하면

$$R_g = \rho \left[ \frac{1}{L} + \frac{1}{\sqrt{20A}} \left( 1 + \frac{1}{1 + h\sqrt{\frac{20}{A}}} \right) \right]$$

$$= 5.37(\Omega)$$

위의 발전소 매쉬와 야산에 매설된 매쉬를 상호 병렬 연결하여 합성저항( $R_T$ )을 구하면

$$R_T = \frac{1}{\frac{1}{R_{g1}} + \frac{1}{R_{g2}}} = 4.45 (\Omega)$$

단계 6 : 대지전류 계산

설계조건으로부터 최대 1선 지락전류 :

$$I_F = 1.423\text{kA}$$

GPR전류 분류계수  $\beta=0.17$  적용

고장지속시간 :  $t_C = 1.0$ 초

고장지속시간이 1.0초이므로 비대칭분에 의한 교

표 6 GPR전류 분류계수

접지저항	선로수		
	2개이하	3-5개	6개이상
3Ω미만	20%	15%	10%
3Ω이상	17%	12%	10%

정계수( $D_j$ )는 아래 표에서 1.0이다.

그리고, 장치의 계통확장을 고려한 교정계수 ( $C_p$ )를 1.0라 정하면 대지전류( $I_G$ )를 다음 식에 의거 계산하면

$$I_G = \beta \cdot D_j \cdot C_p \cdot I_F = 242 (A)$$

표 7 비대칭분에 의한 교정계수

고 장 지 속 시 간		교정계수 ( $D_j$ )
초	사이클(교류60HZ)	
0.008	1/2	1.65
0.1	6	1.25
0.25	15	1.10
0.5또는 그 이상	30또는 그 이상	1.00

단계7 : 최대 대지전위 상승(GPR)

최대 대지전위 상승은 단계 5 및 단계 6에서 계산한 값을 다음 식에 대입하여 계산한다.

$$GFR = I_G \cdot R_g = 1,077(V)$$

GPR이 단계 3에서 계산한 허용 접촉전압(290V)보다 크므로 다음 단계로 넘어간다.

단계 8 : 위험전압계산

가) 매쉬전압(최대접촉전압)

매쉬간격계수식에서 접지망의 기준매설깊이 :

$$h_o = 1.0\text{m}$$

설계조건으로부터 접지망깊이 :

$$h = 1.0\text{m} \text{이므로 매설깊이에 따른 보정계수 } K_h \text{는}$$

$$K_h = \sqrt{1 + \frac{h}{h_o}} = 1.41$$

매쉬전압 계산을 위한 변수 n을 구하기 위하여 다음 식에 의해

$$n = n_1 \cdot n_2 = 2 \cdot \frac{780}{120} \cdot 1 (\text{정방형}) = 13$$

외곽 도체에 대한 내부도체의 보정계수  $K_{ii}$ 는 접지망에 접지봉을 타설하지 않았으므로

$$K_{ii} = \frac{1}{(2n)^{\frac{2}{n}}} = \frac{1}{(2 \cdot 13)^{\frac{2}{13}}} = 0.60$$

단계 2에서 구한 접지망 도체의 직경 :

$$d = 0.013\text{m}$$



단계 4에서 정한 접지망 그리드의 간격 :  
 $D = 2.5\text{m}$ 이므로, 지금까지 구한 계수를 다음식에  
 대입하면 매쉬전압산출을 위한 간격계수  $K_m$ 은

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \left[ \ln\left(\frac{D^2}{16hd} + \frac{(D+2h)^2}{8Dd} - \frac{h}{4d}\right) + \frac{K_{ii}}{K_h} \ln \frac{8}{\pi(2n-1)} \right] = 0.5595$$

전위경도 변화에 대한 교정계수  $K_i$ 는 <단계4>에  
 서 구한 도체변수  $n$ 을 대입하면

$$K_i = 0.644 + 0.148 n = 2.568$$

매쉬전압은 설계조건에서 발전소부지와 야산부지의  
 평균대지저항율을 적용하고 도선길이는 총 길이를  
 적용하여 지금까지 구한 계수를  $E_m$ 식에 대입하면  
 된다. 여기서, 평균 등가대지저항률  $\rho = \sqrt{\rho_1 \cdot \rho_2}$   
 이며,  $\rho_1, \rho_2$ 는 발전소 및 야산의 등가 대지비저  
 항이다. 계산결과  $\rho = 777 \Omega - m$ 이다

$$E_m = \frac{\rho \cdot I_G \cdot K_m \cdot K_i}{L_{\text{접촉전압}} + L_{T(\text{기타방 + 매쉬})}} = 169 \text{ (V)}$$

접촉전압(169V)가 허용접촉전압(290V)보다 낮아 조건  
 을 만족 하므로 다음 단계를 검토한다.

나)보폭전압

매쉬간격계수식에서 접지망의 기준매설깊이 :

$$h_o = 1.0\text{m}$$

설계조건으로부터 접지망깊이 :  $h = 1.0\text{m}$ 이므로  
 변수  $n$ 을 구하기 위하여 다음 식에

$$n = n_1 \cdot n_2 = 2 \times \frac{780 \times 2}{120 \times 2} = 13$$

이므로 보폭전압 산출을 위한 간격계수  $K_s$ 는 다음  
 식으로부터 구할 수 있다.

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left\{ \frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{2D} (1 - 0.5^{n-2}) \right\} = 0.31$$

전위경도 변화에 대한 교정계수  $K_i$ 는 <단계4>에  
 서 구한 도체변수  $n$ 을 대입하면

$$K_i = 0.644 + 0.148 n = 2.568$$

매쉬전압은 설계조건에서 발전소부지와 야산부지의  
 평균대지저항율을 적용하고 도선길이는 총 길이를  
 적용하여 지금까지 구한 계수를  $E_s$ 식에 대입하면  
 된다. 여기서, 평균 등가대지저항률  $\rho = \sqrt{\rho_1 \cdot \rho_2}$   
 이며,  $\rho_1, \rho_2$ 는 발전소 및 야산의 등가 대지비저  
 항이다. 계산결과  $\rho = 777 \Omega - m$ 이다. 그리고  
 $L_{\text{보폭전압}} = 0.75 \cdot L_C + 0.85 \cdot L_{\text{기타}} = 1,248$ 이며,  
 $E_s = \frac{\rho \cdot I_G \cdot K_s \cdot K_i}{L_{\text{보폭전압}}} = 116 \text{ (V)}$ 이다.

따라서, 보폭전압(116V)가 허용보폭전압(812V)보다  
 낮아 조건을 만족한다.

다)절연내력 검토

전기설비기술기준에 절연내압을 2000V이상으로 규  
 정하고 있으므로 고장전류 유입에 의한 전위 상승  
 을 2000V이하로 유지하기 위한 접지저항을 계산해  
 보면

$$R = \frac{V}{I_G} (\Omega) = 8.2 (\Omega)$$

절연내력 유지를 위한 접지저항이  $8.2\Omega$ 이하에서  
 목표접지저항( $4.4\Omega$ )을 선정하여야 한다. 황성담 목  
 표 접지저항이  $4.4\Omega$ 으로 양호하다.

4. 접지설계 결과

황성담의 경우 발전용량 1,000kVA정도로 중소규모  
 의 전기설비를 구축할 계획이며 배전전압도 중성점 다  
 중접지방식의 22.9kV-Y를 사용하므로 배전계통의 1선  
 지락사고시 유입되는 고장전류의 크기도 상대적으로  
 작다. 고장전류 유입시 허용안전전압 범위를 유지할  
 수 있도록 하는 조건에 주안점을 두고 접지설계를 하  
 였으며, 설계의 정확도와 안전도를 고려하여 국제규격  
 인 IEEE를 적용하였고 국내 접지기초자료는 한전 접  
 지설계지침을 준용 하였다.

허용안전전압에 중점을 두고 계산적 설계를 하였으  
 므로 실시설계에서는 발전소와 야산간의 접지연결 방  
 법을 절연전선(GV150mm<sup>2</sup>)을 사용하여 적정개소에 연  
 결하는것과 건물상부로 인출되는 접지선, 피뢰침용, 변  
 압기 중성점 접지 등을 고려하여 하며, 접지단자를 반  
 드시 설치하여 향후 접지설비관리에 효율화를 기하여

야 할 것이다.

## 5. 결 론

본 황성댐 발전소 접지설계는 최적 접지설계로 접지효과 증대는 물론 경제적 시공방안 제시에 중점을 두고 추진하였다.

가. 황성댐의 초기 접지설계시 대표적인 개략저항값을 갖고 설계하였으나, 수직전기탐사와 다층토지비저항을 해석함으로 정량적인 방법을 적용하였다.

나. 황성댐 접지설계의 경우 중소규모의 전기설비와 22.9kV-Y의 배전계통에 연결되는 점을 감안하여 허용 안전전압 이하를 유지하도록 목표 접지저항값을 산출하였으며, 기존의 메쉬+봉접지방법에서 메쉬접지시공방안을 제시하여 경제적 시공법을 제시하였다.

다. 협소한 발전소 부지내에서 접지효과 증대를 위

하여 발전소와 동쪽야산 부지에 매쉬망을 포설하도록 설계 하였으며, 접지저항의 저감을 위하여 병렬접지방법을 도입 하였다.

라. 특별고압 발전, 변전 및 수전설비는 일반적으로 제1종 접지공사를 시공토록 되어있어 이의 접지저항을 10 $\Omega$ 이하로 규정하고 있으며, 법적 규제사항인 제1종 접지공사의 목적은 단순히 인축의 보호를 위한 보안용 접지에 국한하고 있다. 황성댐의 경우 접지저항이 4.4  $\Omega$ 정도로 국내 규정을 충분히 만족하고 있다.

## 참고문헌

이형수, 2003, 접지시스템 입문, 성안당

IEEE, 1994, Guide to Grounding During the Installation of Overhead Transmission Line Conductors IEEE, 1996 Guide for Generating Station Grounding