

용담댐 발전소 접지설계를 위한 대지비저항 모델링 및 접지저항 추정

오민환, 김형수, 김종득
한국수자원공사 수자원연구소

Earth Resistivity Modelling and Grounding Resistance Estimation for Yongdam Dam Power Station Grounding Design

Oh, Min Hwan, Kim, Hyoung-Soo, Kim, Jong Deug
Korea Water Resources Corporation, Water Resources Research Institute

Abstract - Detailed estimation of subsurface resistivity distribution and accurate estimation of actual fault current coming into the grounding system are indispensable to optimum grounding system design. Especially, it is essential for efficient grounding design to estimate subsurface resistivity distribution quantitatively and logically. Accurate estimation of subsurface resistivity distribution has an absolute influence on calculating touch voltage, step voltage and ground potential rise (GPR) which are related with grounding design standard for human safety.

In this study, thirty-three electrical sounding surveys were made in Yongdam Power Station to obtain detailed subsurface resistivity distribution and the sounding data were interpreted quantitatively using multi-layered model. The results of the quantitative resistivity models were adopted practically to calculate grounding resistance values. Analytical asymptotic equations and CDEGS program were used in grounding resistance calculation and the results were compared and reviewed in the study.

1. 서 론

접지공사를 시행하는 주 목적은 시설과 인축피해를 방지하기 위한 것으로, 고압전선의 지락사고시 대용량의 전류를 대지속으로 흘려보냄으로서 급격한 전위상승을 억제하는데 있다.

지락사고시 대전류가 대지로 흘러들어가면 발(변)전소의 구내 및 주변에 전위경도가 높게 발생함으로 지표면상의 2000V 이상의 전위는 인체에 위험을 초래하게 된다. 이와 같은 위험전위는 접지계 구조대지의 성분, 균질성, 지락전류의 크기 및 지속시간, 인체의 전기적 특성 등과 같은 많은 변수의 영향을 받으므로 정확한 해석이 매우 어렵다[1].

본 발전소의 경우, 접지설계에 있어서 대지비저항치를 정확하게 파악하지 않고 접지계통을 설계하면 정확하게 접지공사가 시공되어도 목표접지저항을 얻는데 어려움이 있을 것으로 예견되었다.

따라서 용담댐 제1발전소의 정확한 접지설계를 위하여 실제적인 현장 수직 비저항탐사를 수행하였으며, 이들 관측치는 정량적인 실제 대지비저항치로 환산되어 접지설계에 직접 응용되었다. 매쉬접지와 보링접지를 이용한 병렬접지 모델을 선정하여 타 발전소에 비해서 상대적으로 협소한 부지에서 만족할만한 목표접지저항을 설계하였다.

2. 본 론

2.1 적용현장

본 발전소는 기존에 시공된 수력발전소와는 달리 용담 본댐 저수지에서 도수터널을 통해 취수되는 물을 이용하는 유역변경식 수력발전소로, 발전방류된 물이 전주시의 용수공급을 위한 정수장의 취수원으로 활용되도록 되어 있다. 이와 같은 이유로 기존의 댐과 함께 설치되는 타 발전소에 비해 접지망 포설을 위한 부지가 협소하다.

접지망을 포설할 수 있는 용담댐 제1발전소의 전체 부지는 발전소부지 1,111㎡, 변전소지역 2,698㎡, 가설비부지 7,200㎡, 사토장 부지 10,764㎡, 분배조 부지 6,000㎡의 총 27,773㎡으로 그 배치현황은 그림 1. 과 같다.

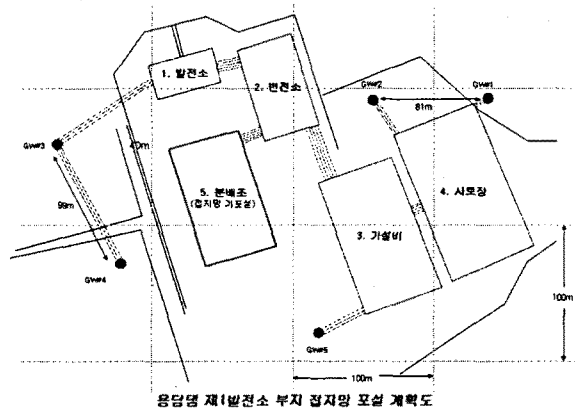


그림1. 제1발전소 부지 현황 및 접지망 포설계획도

2.2 대지비저항 측정 및 해석

2.2.1 용담댐 제1발전소 일반지질

조사 대상지역인 용담댐 제1발전소 지역의 지질은 중생대 백악기의 화산암류가 주로 분포되어 있으며, 조사 대상 지역에서 부분적으로 변성퇴적암류가 분포하는 것이 관측되었다. 또한 조사 지역내에 소규모 단층 및 절리 등의 구조선이 발달되어 있는 것이 관측되었다. 지표의 풍화대는 매우 얇게 발달되어 있으며, 간혹 전석들이 혼재된 상태로 존재하기도 한다.

2.2.2 탐사자료 획득 및 처리과정

용담댐 제1발전소 부지의 대지비저항을 측정하기 위하여 총 33점으로 전기비저항 탐사가 수행되었다. 이들 측정 위치는 발전소 부지, 변전소 부지, 가설비 부지, 사토장 부지 및 분배조 부지의 5개소 부지조사와 지하수 조사를 위해 수행된 조사로 대분된다. 부지별 조사자료는 발전소 부지의 경우 4개 측선, 6점 조사, 변전소 부지의 경우 2개 측선, 5점 조사, 가설비 및 사토장 부지의 경우 5개 측선 14점, 분배조 부지의 경우 1개 측

선 4점이며, 보링점지를 위하여 지하수 부존 가능성이 높은 지역에 대한 5개 지점의 지하수 조사 자료가 획득되었다.

전기비저항 탐사는 기본적으로 수직탐사 기법으로 수행되었으며, 전극의 배열은 외곽에 전류 전극을, 내부에 전위 전극을 배열하는 형태를 취하였다. 이러한 배열은 기존의 Schlumberger 및 Wenner 배열처럼 반드시 일정한 규칙에 의해 전류전극과 전위전극을 배치시키지 않아도 되는 혼합된 형태에 해당된다.

획득 자료는 겉보기 비저항치로 환산되어 전류전극간격의 1/2에 해당되는 심도에 표현된 심도-겉보기 비저항 곡선으로 작성되었으며, 이 자료를 정량해석에 사용하였다. 비저항 모델의 정량해석을 위해서는 대화식 해석법인 ESII (Electrical Sounding Interactive Interpretation) 프로그램이 이용되었다[2]. 본 해석 프로그램은 기존의 Wenner, Schlumberger 배열 방식의 수직탐사 뿐만 아니라 임의의 전극 배열에 대해서도 층상 해석이 가능하며, 현장에서 전극의 접지가 용이치 않은 경우, 임의 위치의 전극 접지의 경우도 층상 해석을 가능하게 하여 주는 장점을 가지고 있다.

지하의 실제 비저항 모델은 각 측정마다 작성되어 각 부지를 대표할 수 있는 2층 혹은 3층의 대표 층상 구조로 형성되어 등가 비저항 계산을 위한 입력자료로 활용되었다.

2.2.3 탐사해석결과

관측된 겉보기 비저항치는 층상 구조 모델링 작업을 통해 실제 비저항 구조로 해석되었다. 본 해석된 지층 구조는 발전소, 변전소, 사토장-가설비, 분배조 부지의 4개 부지로 대분되어 각각 이들 부지를 대표할 수 있는 대표적인 층상구조의 형태로 해석되었으며, 이 비저항 층상 구조를 통해 등가 비저항치 계산 수행에 이용하였다.

발전소 부지의 경우는 2층 구조의 대표 층상 구조로 표현 가능한 것으로 해석되었다. 본 부지의 경우는 지표에 암반이 노출되어 있는 상태로 이 암반의 전기비저항치가 2,000 내지 3,000Ωm의 높은 비저항치를 갖고 있는 것으로 밝혀졌으며, 본 비저항층의 두께는 10m 전후의 값을 갖는다. 하부의 비저항층은 상대적으로 지표의 암반층에 비해서는 낮은 500 내지 1,000Ωm의 비저항치를 갖고 있는 것으로 해석되었다.

변전소 부지의 경우는 3개의 대표적인 비저항층 구조로 해석되었다. 제 1층의 비저항치는 200내지 600Ωm, 제 2층은 150내지 200Ωm, 제 3층은 300내지 700Ωm의 비저항치를 갖고 있으며, 1층과 2층의 경계는 5m 내외, 2층과 3층의 경계는 15m 내외인 것으로 추정되었다.

사토장-가설비 부지의 경우도 3층 비저항 구조로 대표될 수 있음이 밝혀졌다. 본 부지의 경우 제 1층의 비저항치는 200내지 500Ωm, 제 2층의 경우 100 내지 200Ωm, 제 3층의 경우는 400 내지 600Ωm의 비저항치를 갖고 있으며, 층의 경계는 4m 및 12m 전후로 해석되었다.

지하수 조사를 위해 수행된 5개 지점의 해석결과는 첫 번째 지점(GW1)의 경우, 지하 5 내지 15m 부위에 120Ωm 전후의 낮은 비저항대가 분포하는 것으로 분석되었으며, 두 번째 지점(GW2)의 경우 역시 유사한 심도에 100Ωm 전후의 낮은 비저항대가 분포함을 알 수 있었다. 세 번째 조사 지점(GW3)의 경우, 지하 10내지 30m 부위에 170Ωm 전후의 낮은 비저항대가 분포하는 것으로 분석되었다. 네 번째 조사 지점(GW4)의 경우는 지하 40m 이하에 40Ωm 정도의 낮은 비저항대가 분포하는 것으로 나타났으며, 다섯 번째 조사 지점(GW5)의 경우는 지하 10내지 20m 내외에 300Ωm 정도의 비저항층이 존재하는 것으로 해석되었다. 그림2.와 3은 각 부지 및 지하수 조사 지점에 대하여 다층구조

로 해석된 지하 비저항분포를 보여주고 있다.

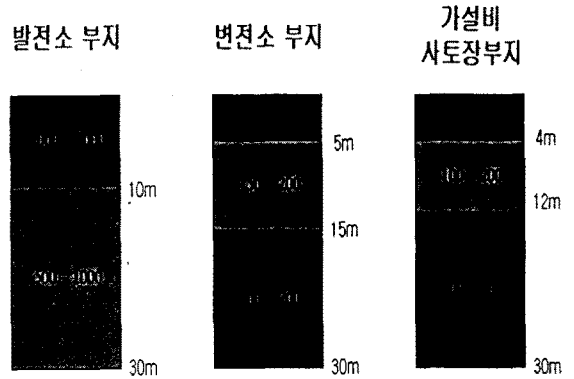
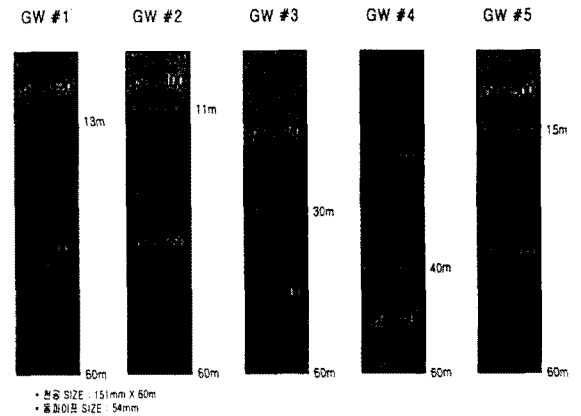


그림2. 제1발전소 부지별 대지비저항층 구조



• 전극 SIZE : 151mm X 50mm
• 탐사 깊이 SIZE : 54mm

그림3. 지하수탐사 대지비저항 구조

2.3 해석식 계산과 CDEGS 시뮬레이션

2.3.1 목표점지저항 설정

점지저항 계산을 위하여 안전 한계 접촉전압을 적용하여 목표점지저항 (R_0)을 구하면[1][3], 그 값은 0.43Ω이며, 변전소에 설치되는 저전압 회로의 절연내력전압은 2,000V를 초과하지 않도록 되어 있으며, 본 발전소의 최대 고장전류는 4,124A이므로 이 경우의 저항은 0.485Ω에 해당된다. 그러므로 목표점지저항은 0.43Ω으로 설정되었다. 안전 한계 접촉전압을 적용한 목표점지저항 계산을 위해서는 아래 (1)식이 사용되었다 [1][3].

$$R_0 = \frac{E_{touch}}{I_n \times t} \times a \quad (1)$$

여기서 a : 안전율, 일반적으로 4, E_{touch} : 접촉전압(V),

I_n : 고장시 유입전류(A), t : 지속시간 (sec).

이때, 본 연구에서의 접촉전압과 고장시 유입전류의 값은 기존의 자료를 사용하여 각각 222.1V 및 2,062 A로 설정하였다[4].

2.3.2 점근 해석식을 이용한 점지저항 계산

점지방식은 매쉬점지와 보링점지 방식이 선정되었으며, 매쉬점지에 대한 점근 해석식은 대지비저항, 매쉬 포설깊이, 포설면적, 포설길이 등이 모두 고려되는 Schwarz에 의한 다음 (2)식이 적용되었으며, 보링점지의 경우는 일반적으로 적용되는 다음 (3)식이 적용되었다.

$$R = \frac{\rho}{\pi L} \left(\ln \frac{2L}{a} + K_1 \frac{L}{\sqrt{A}} - K_2 \right) \quad (2)$$

$$R = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{2l}{r} \quad (3)$$

여기서, R:접지저항(Ω), ρ :등가대지비저항(Ωm),
 a :접지도체반경(m), t :매설깊이(m), A:등가면적(m^2),
 $a' = \sqrt{a \times 2\pi}$, K_1, K_2 :계수, L:접지매쉬의 총길이(m),
 ℓ :접지봉 도체길이(m), r:접지봉의 반경(m).

다음 표 1.은 용담댐 제1발전소 부지에 대한 접지 포설 계획을 보여준다.

표 1. 부지별 접지 포설계획

구 분	가로 (m)	세로 (m)	면적 (m^2)	도체간격 (m)	도체길이 (m)
발전소	51	21.8	1,111.8	5 * 5	640
변전소	71	38	2,698	10 * 10	877
가설비	120	60	7,200	6 * 6	2,940
사토장	138	78	10,764	6 * 6	4,236
분배조	80	75	6,000	5 * 5	2,555
계			27,773		11,248

매쉬접지에 대한 접지저항을 구하기 위해서 표 1.의 값들이 이용되었다. 또한 (2)식에서의 계수인 K_1, K_2 의 값은 일반적으로 적용되는 1.25 및 5.5를 각각 취하였으며, 등가대지비저항은 매쉬접지인 경우 전류의 흐름 방향이 수직인 점을 고려하여 수직전기비저항치로 등가시켰다(2). 등가를 위해 사용된 심도의 범위는 각 부지에 매설되는 접지매쉬의 최대변에 해당하는 값과 두배에 해당하는 값을 각각 선정하여 구하였으며, 지층의 대지비저항치는 그림2.에 주어진 각 층의 비저항치의 최대치와 최소치 경우에 대하여 각각 계산된 2개의 값의 기하평균치를 선정하였다. 이때 일반적으로 지하의 비저항치 기하평균치는 정규분포를 갖고 있다고 알려져 있는 점을 착안하였다. 등가비저항치를 구할 때 적용된 심도의 차이에 의해 나타난 결과는 산술적으로 평균되어 최종적으로 접지저항을 구하였다. 이러한 과정을 거쳐 최종적으로 Schwarz의 접근 해석식을 적용한 결과는 표 2.에 주어진다.

보링접지의 경우 위의 (3)식과 그림3.의 결과에 주어진 대지비저항치를 이용하여 GW1, GW2, GW3, GW4에서의 접지저항을 구할 수 있었으며, 각각의 경우 접지저항값은 역시 표2.에 주어져 있다.

결국 최종적으로 이들 접지망과 접지봉들이 단순 병렬 연결된다고 가정하는 경우의 접지저항은 0.36Ω 으로 계산되어 목표접지저항인 0.43Ω 이하의 값을 얻을 수 있었다.

2.3.3 CDEGS를 이용한 수치계산

상용 접지저항 프로그램인 CDEGS를 이용하여 수치적인 접지저항을 계산하였다. 수치 계산의 대지비저항 입력자료는 해석식을 이용한 경우와 동일하게 전기수직 탐사 결과를 분석하여 획득된 비저항 층상 구조가 이용되었다. 각각의 부지에 대해서 매쉬접지저항과 보링접지에 의한 접지저항이 각각 독립적으로 계산되었으며, 이들 저항의 병렬연결방식의 합성접지저항이 표 2.에 보여진다. 그림4.~그림6.은 발전소 부지에서 계산된 접지전위상승치 및 접촉, 보폭전압의 분포상을 보여준다.

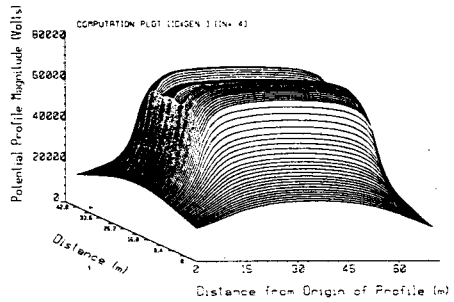


그림4. 발전소 부지의 접지전위상승(GPR) 분포곡선

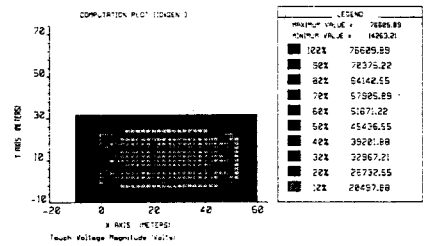


그림5. 발전소 부지의 접촉전압 분포곡선

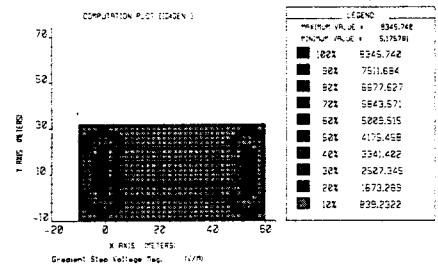


그림6. 발전소 부지의 보폭전압 분포곡선

표 2. 접지저항 계산결과 비교표

구 분	해석식 계산치(Ω)	CDEGS 계산치(Ω)
발전소	13.71	22.43
변전소	3.88	3.34
가설비	2.48	1.76
사토장	2.02	1.48
분배조(실측)	4.4	4.4
보링접지 #1	10.28	12.04
보링접지 #2	1.38	1.68
보링접지 #3	7.28	7.37
보링접지 #4	2.82	2.32
합성접지저항	0.36	0.33

3. 결 론

용담댐 제1발전소에 대한 접지설계를 위해 수직전기 탐사를 수행하여 측정된 데이터를 정량적으로 2층 내지 3층의 대표층상구조로 해석하여 접지설계 입력자료로 활용하였다.

협소한 부지에서 목표접지저항을 얻기 위해 기존의 경우 매쉬접지와 이에 수반된 동봉접지방법을 사용하는데 반해 본 연구에서는 매쉬접지와 독립된 보링(심매)접지의 병렬접지설계를 도입하여 만족할만한 목표접지저항을 설계하였다.

해석식 계산과 CDEGS 계산에 의한 접지저항을 비교한 바 다소의 차이가 있으나 전반적으로 유사한 결과를 보여줌이 밝혀졌다.

본 연구의 경우, 독립적으로 계산된 접지저항을 단순 병렬방식으로 합성하여 전체부지의 접지저항을 산출하였으나, 추후 전체 부지에 대한 합성접지저항의 계산은 독립된 개별접지의 상호 연관성을 고려하여 종합적으로 분석, 재검토되어야 할 것으로 요망된다.

[참 고 문 헌]

- [1] 高橋健彦著, "접지설계입문", 李鳳容 監修, 李炳秀 譯, 才-ム社/동일출판사, 1996.
- [2] 김형수, 이기화, "대화식 방법을 이용한 Schlumberger 전기 탐사 및 Magnetotelluric 탐사 자료의 1차원적 해석", 대한지질학회지, 29권, 5호, pp. 493-506, 1993.
- [3] IEEE, "IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding", 1986.
- [4] 한국수자원공사, "용담다목적댐 건설사업 수차, 발전설비 설계 제계산서 (도수터널, 제1발전소 및 부대시설공사)", 1991.