2011년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 2011. 7. 20 - 22

IEEE 기준에 의한 시화조력발전소의 목표접지저항 만족도 평가

이은춘*, 이광호*, 이동근*, 남진극*, 김현한*, 김현일*, 송현승*
한국수자원공사*

Satisfaction Evaluation for Optimal Grounding Resistance of the Sihwa Tidal Power Plant by IEEE

Eun Chun-Lee*, Dong Keun-Lee*, Jin Keuk-Nam*, Hyun Han-Kim*, Hyun il-Kim*, Hyun Sung-Song*
Korea Water Resources Corporation *

Abstract - 접지시스템 구축의 근본 목적은 인체의 안전(Safety)과 설비의 안정(Stability)을 목적으로 하며, 보호목적에 따라 전력설비용 접지와 약전용 접지로 크게 나눌 수 있다.

전력설비용접지(Frame Earth)는 감전이나 설비의 피해를 방지하기 위한 것으로서 주로 보안용접지에 속하며 평상시에는 접지선에 전류가 흐르지 않는 것이 일반적이다. 이에 반하여 약전용접지(Signal Earth)는 전자통신 회로의 안정된 동작을 확보하기 위한 것으로 평상시에도 전류가 흐르는 것이 일반적이다.

이와 같이 접지시스템은 인축의 안전과 설비의 안정적 가동확보를 위해 대단히 중요한 설비이며, 특히 전력설비용 접지의 목적은 대지면의 국부적 전위상승에 따른 인체의 감전사고방지와 1선지락사고시 전위상승억제 및 보호계전기의 확실한 동작을 도모하기 위하여 실시한다.

본 연구에서는 2011. 10월 준공예정인 시화조력발전소의 전력설비용 접지시스템을 대상으로 IEEE에서 제시하는 목표접지저항값 유지여부를 평가하였다.

1. 서 론

세계 최대 규모로 건설되는 시화조력발전소는, 서해와 시화호 사이의 조수간만의 차를 이용하는 수력발전소로서, 발전방식은 밀물 때 발전하는 창조식이다. 발전소 위치가 해안에 근접되어 있고, 발전설비용량이 254 MVA로 비교적 큰 용량이므로 1선지락사고와 낙뢰 등으로 이상전압 발생시 설비의 안정도 유지를 위한 접지시스템 구축은 대단히 중요하다.

본 연구에서는 시화조력발전소의 실제 준공된 시설물을 대상으로 전력계통의 Impedance Map을 작도하여 고장전류를 계산하고, 이를 이용하여 IEEE std 80에서 제시하는 안전전압의 만족여부를 판정하였다. 판정 방법은 기 구축된 접지극을 대상으로 전압강하법을 이용하여 측정하였고, 그 측정값이 1선지락사고와 같은 큰 고장전류가 흐를 때 허용안전전압을 만족하는지 여부를 평가하였다. 또한, 준공시설물을 대상으로 접지저항값을 측정하고, 목표접지저항값의 만족도를 평가하였다.

2. 본 론

2.1 시화조력 접지설비 현황

시화조력발전소의 발전설비 및 접지설비 현황은 표 1과 같다.

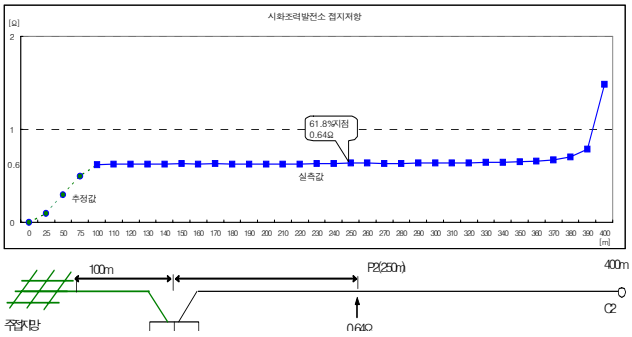
〈표 1〉 발전설비 및 접지설비 현황

구 분	내 용	비 고
발전기용량	254MW(25.4MW×10대)	
변전설비	주변압기 3대(90MVA 2대, 45MVA 1대)	
발전/송전전압	15kV/154kV	
송전선로	XPLE 1,200㎟, 10.5km	
접지방식	Mesh+Rod, 접지선 BC 150㎟,	
접지극매설량	A=20,250㎡, L=3,450m, 간격 15m	추가 제외

2.1.1 접지저항 측정결과

접지저항 측정방법은 국제적(IEEE)으로 많이 이용하는 전압강하법을 적용하였으며, 측정선의 펼친 길이는 현장여건상 측정가능 최대길이인 약 400m를 이격하여 측정하였다. 접지저항 측정값을 그래프로 나타내면 그림 1과 같다.

시화조력발전소의 공용접지저항의 참값은 측정선 펼친 길이의 61.8% 지점인 **0.64Ω**으로 나타났으며, 측정결과 그래프에서 보는 바와 같이 수평부분 길이가 길고 안정적이어서 측정 신뢰도는 상당히 높다고 볼 수 있다.



〈그림 1〉 접지저항 측정위치 및 측정결과

2.1.2 계절별 접지저항 변화추이 예상

대지비저항은 온도, pH, 수분함량 및 염분농도 등에 따라 변하므로 표 2의 계절변동계수를 적용하여 접지설계에 활용하도록 하고 있다[1]. 일본열도와 우리나라의 한강수계 이남에서는 여름철과 겨울철의 접지저항 차이가 약 2배 정도 나는 것으로 조사되었다. 계절변동계수는 접지극을 지표면에서 약 3m이내에 매설하는 천매법(淺埋法)에 적용하며, 수십 m 이상의 심매법(深埋法)는 적용하지 않는 것이 일반적이다.

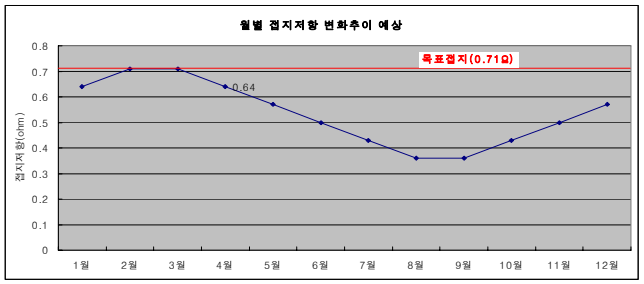
〈표 2〉 계절변동계수

구 분	2,3월	**1,4월**	5,12월	6,11월	7,10월	8,9월	비 고
계절변동계수	1.0	**0.9**	0.8	0.7	0.6	0.5	

시화조력발전소의 접지저항 측정은 2011년 4월 1일 실시하였으며, 이를 토대로 계절변동계수를 적용하면 표 3 및 그림 2와 같이 월별 변화추이를 예측할 수 있다.

〈표 3〉 월별 접지저항 변화 값

월별	1월	2월	3월	**4월**	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
접지저항(Ω)	0.64	0.71	0.71	**0.64**	0.57	0.50	0.43	0.36	0.36	0.43	0.50	0.57



〈그림 2〉 시화조력 월별 접지저항 변화추이 예상

표 2.3과 같이 계절변동계수를 적용할 경우 시화조력의 여름철 접지저항은 0.5Ω이하에서 안정적으로 유지될 것으로 판단된다.

2.2 목표접지저항 산정

2.2.1 선진국의 목표접지저항 산정방법

대규모 발변전소의 목표접지저항은 IEEE std 80 및 한전설계기준(ESB)에 의하여 산정하며, 미국, 일본 등 선진국가의 목표접지저항은 표 4와 같이 제시하고 있다.

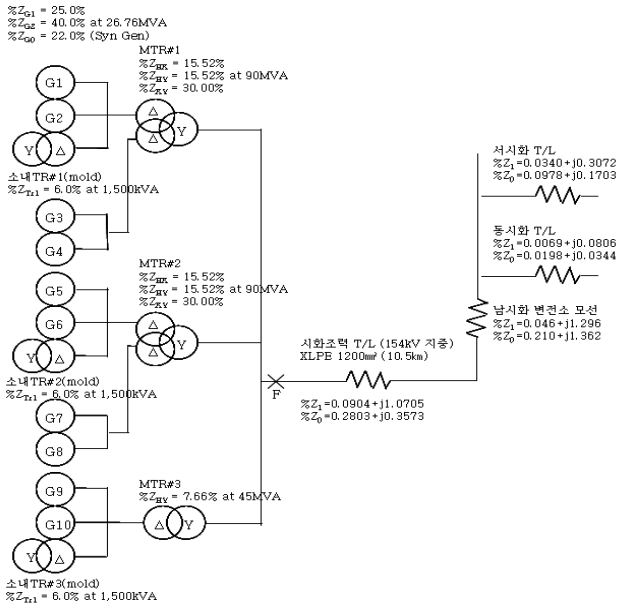
〈표 4〉 국제규격 및 선진국의 목표접지저항 산정방법

국가별	적용규격	목표접지저항	비 고
미국	IEEE std-80	허용보폭, 접촉전압 기준	안전전압(보폭, 접촉전압)은 1선 지락전류가 접지망 유입시 전위상승 제한값을 기준으로 함.
	IEEE std-142	대용량 발변전소 : 1Ω이하 대용량 수전설비 : 1~5Ω이하	
일본	JEAC 50001	발변전소 : 1Ω이하 대지전위상승 : 5000V이하	
캐나다	CSA C22.1	허용보폭, 접촉전압 기준	
IEC	IEEE std-80	허용보폭, 접촉전압 기준	

국제규격 및 선진국들의 목표접지저항 산정 방법은 1선지락사고시 접지망에 유입하는 고장전류에 의한 전위상승으로 허용 안전전압(보폭, 접촉)을 초과하지 않는 접지저항을 요구하고 있다. 그리고 대용량 발변전소의 경우 접지저항이 1Ω 이하를 유지하도록 권고하고 있다.

2.2.2 고장전류 계산

시화조력발전소의 준공시설물을 대상으로 1선 지락전류를 계산하면 그림 3과 같다.



〈그림 3〉 전력계통 및 Impedance Map

그림 3의 Impedance Map을 이용하여 100(MVA) 기준용량으로 합성 임피던스를 산출하면 식(1) 같다.

$$\%Z = \%Z_1 + \%Z_2 + \%Z_0 \quad (1)$$
$$= 13.73 + 16.44 + 0.56$$
$$= 30.73\%$$

총 임피던스와 정격전류를 이용하여 전력계통의 1선 지락전류(I_f)를 식(2)를 이용하여 계산하면 다음과 같다.

$$I_f = \frac{3}{\%Z} \times I_n \times 100 \quad (2)$$
$$= \frac{3}{30.73} \times \left(\frac{100,000}{\sqrt{3} \times 154}\right) \times 100 = 3,661[A]$$

2.2.3 시화조력 목표접지저항 산정

IEEE std-80에서 제시하는 식(3) 및 식(4)를 이용하여 허용안전전압을 계산하면 다음과 같고, 최악조건을 고려하여 체중 50kg의 사람을 기준으로 보호구역별 최대허용접촉전압($E_{touch50}$)과 최대허용보폭전압(E_{step50})은 표 5와 같다.

$$E_{touch50} = (1000 + 1.5 \times 0.78 \times 3000) \times \frac{0.116}{\sqrt{1.0}} = 523(V) \quad (3)$$

$$E_{step50} = (1000 + 6 \times 0.78 \times 3000) \times \frac{0.116}{\sqrt{1.0}} = 1,744(V) \quad (4)$$

여기서, -ρs : 3000 [Ω·m], -ts : 1.0 [sec]
-Cs : 0.78, -hs : 0.15 [m]

〈표 5〉 허용 안전전압 계산결과

보 호 지 역	최대허용접촉전압($E_{touch50}$)	최대허용보폭전압(E_{step50})
154kV GIS 및 주변전실 지역 수차발전기 지역 중앙제어실 일원	523 [V]	1744 [V]

목표접지저항은 지락전류가 접지망에 유입될 때 허용접촉전압 및 허용보폭전압 이하를 유지할 수 있는 접지저항을 말하며, 식(5) 및 식(6)을 이용하여 계산하면 다음과 같다.

1) 허용접촉전압을 고려한 목표저항

$$R_t = \frac{E_{touch} \times \alpha_{(여유계수)}}{I_{F(지락전류)} \times \beta_{(분류율)} \times t_{(고장시간)}} \ (\Omega) \quad (5)$$
$$= \frac{523 \times 1}{3,661 \times 0.2 \times 1_{\sec}}$$
$$= 0.71(\Omega)$$

2) 허용보폭전압을 고려한 목표저항

$$R_s = \frac{E_{step} \times \alpha}{I_F \times \beta \times t} \ (\Omega) \quad (6)$$
$$= \frac{1,744 \times 1}{3,661 \times 0.2 \times 1_{\sec}}$$
$$= 2.38(\Omega)$$

허용 안전전압 중에서 접촉전압이 낮으므로 이를 만족하는 0.71Ω이 시화조력의 목표접지저항이다. 이 값은 아주 가혹한 최악조건에서의 값이고, IEEE에서는 여유계수 α값을 3~5(통상 4) 적용하고, Kepco의 설계기준(ESB)에서 제시하는 지중송전선의 분류계수를 0.1로 적용할 때, 목표접지저항은 약 5Ω까지 올라간다.

2.3 접지저항 만족도 평가

시화조력발전소의 실제 준공된 시설물을 대상으로 1선지락전류와 허용위험전압을 계산하고, 그 값이 IEEE에서 제시하는 예상안전전압을 만족하는지를 검토하였다. 그리고 매설접지극의 접지저항을 전압강하법으로 측정하여 목표접지저항값의 만족유무를 평가하였다. 표 6은 시화조력발전소의 접지시스템에 대한 만족도 평가결과이다.

〈표 6〉 접지시스템 만족도 평가결과

항 목	접지시스템			비 고
	기 준	실 제	판정	
목표접지저항 (Ω)	1	0.71	만족	적용기준
접촉전압 (V)	523(허용)	57(예상)	만족	IEEE std-80
보폭전압 (V)	1,744(허용)	45(예상)	만족	IEEE std-142
접지저항 (Ω)	0.71	0.64	만족	4월 측정값

3. 결 론

국내 최초로 건설되는 시화조력발전소의 1선 지락사고시 접지망으로 유입되는 고장전류를 기준으로 안전전압과 목표접지저항의 만족도를 평가한 결과 모두 양호한 수준으로 평가되었다.

접지시스템은 인체의 안전과 설비의 안정적 운영에 필수불가결한 요소로써 국제기준에 적합한 설계, 시공 및 유지관리가 중요하다.

최근 국내에서도 접지분야에 국제규격(IEC)을 도입하였으나, 전력공급자(한전)의 TN-C방식과 수용설비의 TT방식이 동일계통에 혼용되어 불완전한 접지형태를 유지하고 있다. 이와 같은 문제점을 조속히 해결하기 위한 관계부처의 적극적인 자세와 세부규정 개정 등을 위한 산·학·연의 발 빠른 대처가 필요한 실정이다.

[참 고 문 헌]

[1] 이형수, 접지설계입문, 1996.
[2] 전력연구원, 축소형 변전소 접지효과 증대방안 연구, 1998.
[3] IEEE std 80, Guide for Safety in AC Substation Grounding, 2000.
[4] K-water, 시화조력발전소 접지설계도서, 2005.