변전소의 위험전압 측정

김 재 이　　윤 태 양
동신대학교 전지전자정보통신공학부

Dangerous Voltage Measurements of Substations

Kim, Jae-Yee　　Yun, Tae-Yang
Dept. of Electrical & Electronics, Information Communication Engineering Dongshin Univ.

Abstract - 일반적으로 상용주파수에서의 대지는 입력 전류의 크기에 따라 일정한 저항체로 다루어 질 수 있으며, 접지도체 임피던스도 무시할 수 있고 접지도체 전체가 등전위로 볼 수 있다.

그러나 써어지 전류 유입시에는 주파수가 수백 MHz 이므로 접지도체 임피던스에 의한 전압강하가 크게 될 뿐 아니라 써어지 전류 유입점의 도체전위가 매우 많이 상승하게 된다.

따라서, 본 논문에서는 운전중인 변전소 안전측면에서 접지임피던스와 보폭 및 접촉전압 등의 위험전압측정을 통한 안전성을 검토하였다.

1. 서　론

접지계는 고장 전류 유입에 의한 접지극의 전위상승을 억제함으로서 전력기기 보호와 절연 파괴 방지의 측면에서도 고려되어야 하며, 특히 전력 계통에는 상용 주파수 대역의 고장 전류뿐만 아니라 차단기의 동작이나 낙뢰의 침입 등으로 인한 고주파 성분이 포함된 써어지 전류도 발생하게 되므로 써어지 전류 유입에 의한 전위 상승 억제가 매우 중요하다.

일반적으로 상용 주파수에서의 대지는 입력 전류의 크기에 따라 일정한 저항체로 다루어 질 수 있으며, 접지도체 임피던스도 무시할 수 있고, 접지 도체 전체가 등전위로 볼 수 있다.

그러나, 낙뢰나 써어지 전류 유입시에는 써어지 전류의 주파수가 수 백 ㎒이므로 접지 도체 임피던스(특히 인덕턴스)에 의한 전압 강하가 크게 될 뿐 아니라 써어지 전류 유입점의 도체 전위가 매우 많이 상승할 것으로 알려져 있다.

따라서, 써어지 전류에 의한 접지망의 임피던스는 달라질 수 밖에 없고, 운전중인 변전소의 안전 측면에서 접지임피던스와 접지전류 분류율과 더불어 보폭 및 접촉전압 등의 위험전압 측정을 통한 안전성의 검토가 필요하다.

2. 본　론 (1-11)

2.1 위험전압 측정시스템

변전소 접지계통의 접지전극과 보조 전류전극 간에 전류를 흘리고, 영전위점을 기준하여 변전소 내·외부의 대지전위, 금속구조물에 대한 전위를 측정한다. 대지전위 측정은 측정에 의하여 위험전압을 정밀하게 검토할 필요가 있을 경우에 한하여 시행한다.

2.1.1 접지전위 측정개요

가. 접지전위 측정회로

대지전위 측정회로는 아래의 그림 2.1과 같이 결선한다.

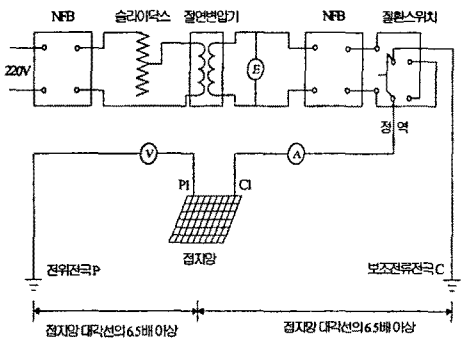

그림 2.1 접지전위 측정회로도

나. 측정계기의 정격

① 절연변압기 : 220/220[V], 5[kVA]
절연변압기는 전원계통이 접지되어 있기 때문에 그 영향을 없애기 위한 것

② 슬라이드닥스 : 220[V], 5[kVA]
측정 전류를 조정하기 위한 것

③ V(교류전압계) : 멀티미터 0~50[V]
대지전위를 측정하는 전압계는 내부저항이 큰 전압계(디지탈식 전압계)를
사용하여 보조 전위전극의 접지저항에 의한 측정오차를 작게 한다.

④ 절환스위치 : 600[V], 100[A]

⑤ E (교류전압계) : 멀티메터 0~300[V]

⑥ A (교류전류계) : 0.5급 0~50[A]

⑦ NFB (배선용 차단기) : 600[V], 60[A]

2.1.2. 접지전위의 측정 원리

그림 2.1의 대지표면 전위 측정회로에서 전류를 인가하지 않은 상태에서 나타나는 전압계의 지시값 V_0[V]를 표유전압이라고 한다. 이 값은 전류를 I_0[A] 흘렸을 때의 전압계 지시값 V_{s1}[V]과 전류의 극성을 반대로 바꾸었을 때의 전압계 지시값 V_{s2}[V]의 값에 이미 포함되어 있는 값이다. 따라서, 대지 표면전위의 참값 V_{s0}를 위해서는 이 표면전압을 측정된 값에서 제외시켜야한다. 그림 1.2.1의 측정회로에서 전류 절체스위치를 절환시키면 전압계 V에 나타나는 전압의 위상이 180° 바뀌어지게 된다.(측정회로에서 임피던스의 리액턴스 성분은 무시함) 이러한 측정에서 나타나는 표유전압 V_0가 +(Positive)라고 하면 변전소전위의 참값 V_{s0}와의 위상차를 고려하여 벡터도를 그림 1.1.2와 같이 그릴 수 있다. 그림 2.2에서 ΔV_0OV_{s2}에 대하여 코사인정리를 적용하면

$$V_{s0}^2 + V_0^2 - 2V_{s0}V_0\cos\alpha = V_{s2}^2 \quad (1.1)$$

이 되고, 마찬가지로 ΔV_0OV_{s1}에 대하여

$$V_{s0}^2 + V_0^2 - 2V_{s0}V_0\cos(\pi-\alpha) = V_{s1}^2 \quad (1.2)$$

와 같이 정리되는데,

$\cos\beta = \cos(\pi-\alpha) = -\cos\alpha$ 이므로 식(1.2)는 다시

$$V_{s0}^2 + V_0^2 + 2V_{s0}V_0\cos\alpha = V_{s1}^2 \quad (1.3)$$

과 같이 정리된다. 그러면 식 (1.1)과 (1.3)을 합하면

$$2V_{s0}^2 + 2V_0^2 = V_{s1}^2 + V_{s2}^2 \quad (1.4)$$

가 되고, 참값 V_{s0}에 대하여 정리하면

$$V_{s0} = \sqrt{\frac{1}{2}(V_{s1}^2 + V_{s2}^2 - 2V_0^2)} \quad (1.5)$$

가 된다. 따라서 그림 2.2에서 측정한 접지망의 대지전위는 식(1.5)로 표시된다.

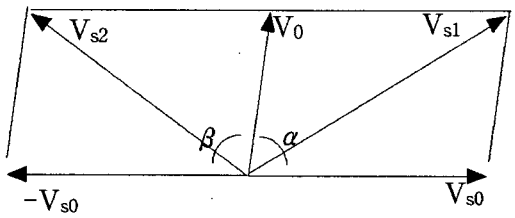

그림 2.2 대지전위 벡터도

2.2. Y변전소의 위험전압 측정 및 분석

Y변전소의 접지전위 측정회로는 그림 2.3과 같이 주파수를 가변할 수 있는 발전기, 개폐 및 절환스위치, 보조전위전극과 전류전극으로 구성된다. 시험전류는 발전기로부터 600[m] 떨어진 보조전극과 접지 전극을 연결하여 접지 전극에 유입되는 전류를 휴대용 오실로스코프로 측정하고, 전위 분포의 전압을 측정하는데는 변전소로부터 보조전류전극의 반대편에 600[m] 떨어져 있는 지점에 전위 보조전극을 만든다. 그림 2.3과 같은 Y변전소의 접지전위 측정도를 이용하여 변전소가 가압되지 않은 상태에서 측정된 접지전위 측정결과는 표 2.1과 같다.

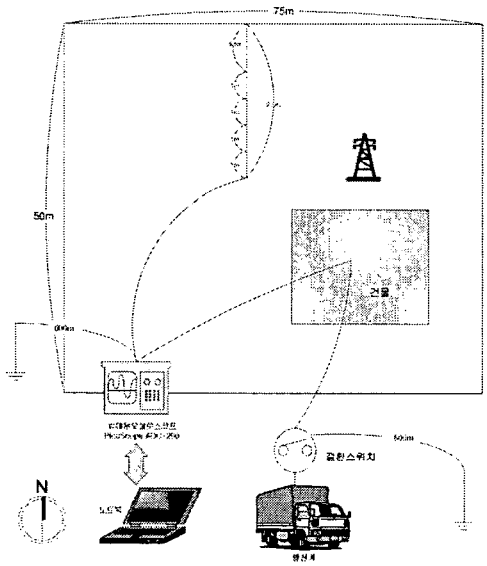

그림 2.3 Y변전소의 접지전위 측정구성도

표 2.1 Y변전소의 접지전위 측정값
(가압되지 않은 상태)

위치 [m]	60[Hz] (0.125[A])			70[Hz] (5.18[A])					시험전류를 50[kA]로 변환[V]
	무인가 [mV]	정위상 [mV]	역위상 [mV]	무인가 [mV]	정위상 [mV]	역위상 [mV]	접지전위 [V]	V/A	
5.5	358.6	375.4	375.4	2.1	253.8	226.2	0.244	0.047	2,355
6.5	472.7	375.4	500.6	13.8	259.7	288.1	0.274	0.053	2,645
7.5	426.1	536.5	530.3	47.8	262.8	65.8	0.269	0.052	2,597
8.5	421.3	441.1	536.5	37.1	218.5	305.2	0.268	0.052	2,587
9.5	574.8	483.7	530.3	60.9	281.5	231.5	0.265	0.052	2,558

현재까지의 조사에 따르면 전력 산업 분야에서 가장 널리 사용되고 있는 접지 임피던스 측정 방법은 전위 강하법이다. 전위 강하법은 접지 임피던스 측정을 위하여 주로 사용되는 기본적인 기술이다. 이론적으로 접지 임피던스 Z는 V/I이고, 여기서 V는 원격 토양과 접지 시스템에 삽입된 전류 I에 서로 관계되는 GPR(접지전위 상승)이다. 삽입 전류 I는 원격 토양에서 전류 전극으로 귀환된다고 가정한다. 가압되지 않은 상태에서 Y변전소의 위험전압 측정은 시험전류의 주파수를 70[Hz]로 선택하고 시험전류 크기는 5.18[A]로 주입할 때 접지전위가 0.2[V]이고, 시험전류를 50[kA]로 변환한다면 2,500[V]정도로 허용 접촉 및 보폭전압보다 낮아서 안전하다.

2.3. K변전소의 위험전압 측정 및 분석

K변전소의 위험전압 측정회로는 그림 2.4과 같이 주파수를 가변할 수 있는 발전기, 개폐 및 절환스위치, 보조전위전극과 전류전극으로 구성된다. 시험전류는 발전기로부터 600[m] 떨어진 보조전극과 접지 전극을 연결하여 접지 전극에 유입되는 전류를 휴대용 오실로스코프로 측정하고, 전위 분포의 전압을 측정하는데는 금속구조물의 전위와 1[m] 떨어진 대지의 표면전위와의 전위차인 금속구조물에 대한 접촉전압을 측정하였다.

그림2.4과 같은 K변전소의 위험전압 측정도를 이용하여 변전소가 가압된 상태에서 측정된 위험전압 측정은 표 2.2과 같다. 금속구조물의 전위와 1[m] 떨어진 대지의 표면전위와의 전위차인 금속구조물에 대한 접촉전압을 측정은 그림 2.4에서 보인 바와 같이 금속 구조물인 가로등으로부터 1[m] 떨어진 위치 ①, ②, ③, ④에서 시험전류를 22,495[A]로 가정할 때 633[V], 875[V], 360[V], 360[V]를 각각 얻었다. 지락 사고시 대지로 흐르는 전류가 22,495[A]이므로 허용 접촉전압은 626[V]보다 안전함을 확인하였다. 또한 허용 보폭전압 2,216[V]보다 안전함을 확인하였다.

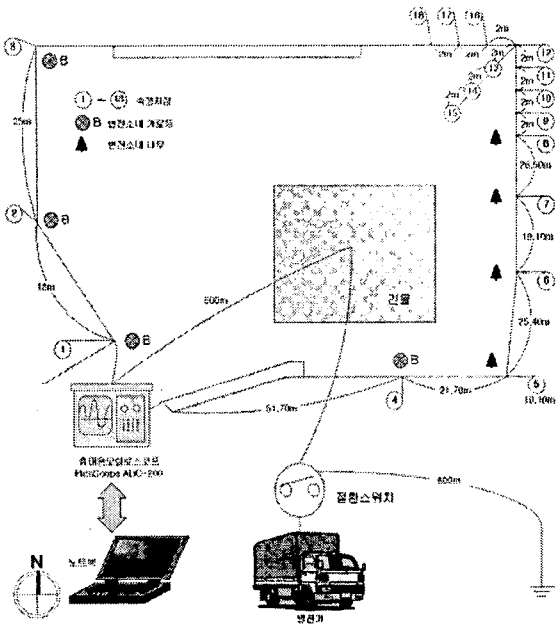

그림 2.4 K변전소의 위험전압 측정 구성도표

표 2.2 K변전소의 위험 전압 측정값 (가압된 상태)

인가된 시험전류	위치	측정된 위험전압 [V]	V/I	시험전류를 22,495[A]로 가정 [V]	인가된 시험전류	위치	측정된 위험전압 [V]	V/I	시험전류를 22,495[A]로 가정 [V]
4.619 [A] (70[Hz])	1	0.130	0.028	633	4.619 [A] (70[Hz])	10	0.2783	0.060	1,358
	2	0.179	0.039	875		11	0.2185	0.047	1,064
	3	0.0741	0.016	360		12	0.1529	0.033	744
	4	0.0943	0.020	360		13	0.0911	0.020	443
	5	0.0812	0.012	395		14	0.0794	0.017	386
	6	0.0501	0.012	248		15	0.1201	0.026	584
	7	0.1926	0.042	937		16	0.2111	0.046	1,028
	8	0.1363	0.030	663		17	0.2160	0.047	1,022
	9	0.1363	0.030	663		18	0.1394	0.030	678

3. 결 론

- 가압되지 않은 상태에서 Y변전소의 위험전압 측정은 시험전류의 주파수를 70[Hz]로 선택하고 시험전류 크기는 5.18[A]로 주입할 때 접지전위가 0.2[V]이고, 시험전류를 50[kA]로 변환한다면 2,500[V]정도로 허용 접촉 및 보폭전압보다 낮아서 안전하다.

- K변전소의 경우 지락사고전류를 22,495[A]로 가정할 때 위험전압은 633[V], 875[V], 360[V], 360[V]를 각각 얻었다. 이로부터 허용 접촉 전압 626[V] 및 허용 보폭 전압 2,216[V]보다 안전함을 확인하였다.

[참 고 문 헌]

[1] 축소형 변전소 접지효과 증대방안 연구 보고서, 전력연구원 1998.

[2] P. R. Pillai, E. P. Dick, "A Review on Testing and Evaluating Substation Grounding Systems", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 7, No. 1, January 1992.

[3] J. MA and F. P. Dawalibi, "Effects of Inductive Coupling Between Leads In Ground Impedance Measurements usingthe Fall-Of- Potential Method", 1999 IEEE, pp. 266-271.

[4] 電氣設備工事技術研究會 編, 接地工事 設計 地工 マニュアル(第2版), オーム社, 昭和54年.

[5] IEEE Std-80-1986 IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding.

[6] IEEE Std-142-1991, IEEE Recommended Practice for Grounding of Industrial and Commercial Power Systems.

[7] 高橋健顔 著, 接地工事入門, オーム社.

[8] 高橋健顔 著, 接地設計入門, オーム社, 1993.

[9] Transmission Line Reference Book, 345[kV] and Above, Second Edition, Electric Power Research Institute, 1982.

[10] Hiroyuki Makino, Hirokazu Itakura, "Study of Overhead Ground-wire Shunting Rates during Ground Failure, for 500[kV] Substation Ground System Design", IEEE Proceedings, pp. 994~999, 1999.

[11] 변전설계기준 - 2602 접지계설계지침, 한국전력공사, 1968. 4제정, 1984. 3.12 개정.