

주파수영역에서의 접지임피던스에 대한 실증적 연구

강지원[○], 정길조, 정재기, 양병모
한전 전력연구원

The Experimental Study on the behavior of Ground Impedance in the frequency region

J.W.Kang, G.J.Jung, J.K.Jeong, B.M.Yang
KEPRI (Korea Electric Power Research Institute)

Abstract - This paper presents the results of an experimental investigation of ground impedance in the low frequency region regarding the transient state on the soil and ground electrodes(rod, electric rod with needles, electric mesh). The grounding resistance playing an important part in substation grounding designs is measured. Especially, the reduction effect of ground impedance by using the electric rod with needles in the soils are presented.

1. 서 론

접지란 대지에 전기적으로 단자(터미널)를 접속하는 것이며, 이 전기적 단자역할을 하는 것이 접지전극이다. 지금까지의 통상적인 변전소 접지저항 설계방법은 상용주파수계통에 대해서만 필요한 접지저항값으로 설계되었기 때문에 개통이상시 접지시스템이 필요한 기능을 발휘하지 못하고 설비나 개통으로의 과급영향을 주어, 전력개통이 확대되어 고장전류가 증가하고 있는 현 계통에서 심각한 문제로 대두되고, 고도정보화 사회의 실현에 필수적인 각종 전기, 전자, 통신장비 및 설비가 작은 전기적 충격에도 취약성을 나타내고, 특히 진행파성격의 썬지에 대해서는 더욱 더 취약하다. 그리고 최근에 전력설비의 감시진단과 전력설비 자체가 반도체소자로 대체되는 경향이 있어 썬지가 침입되었을 때의 임펄스 임피던스의 효과적인 측정과 대책이 시급히 요구되고 있는 실정이다.

우리가 흔히 말하는 접지저항이란 상용주파수(60[Hz]) 부근에서 측정된 접지임피던스로 대지전위상승과 주입전류가 동상이 되어 저항성분만 존재한다. 그러나 주파수가 10[Hz]이하의 저주파이거나 10[kHz]이상의 고주파가 되면 대지전위상승과 주입전류가 동상이 되지 않게 되며, 이때의 접지저항을 "접지 임피던스"라 부른다.

따라서 본 논문에서는 토양 및 접지극형상에 대하여 자체 설계·제작한 가변주파수 전원장치를 이용하여 상용주파수뿐만 아니라 과도상태에서의 주파수별 접지임피던스를 측정하고자 실시한 실증시험으로 주파수에 따른 접지임피던스의 특성에 대해서 논하겠다.

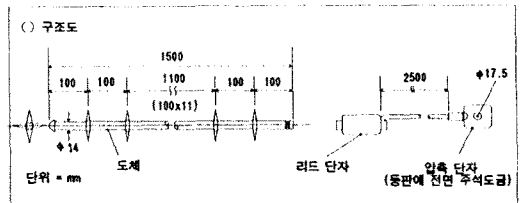
2. 본 론

2.1 시험대상 접지극 및 토양의 소개

1) 접지극의 종류

가) 침상전극봉

낙뢰성 썬지에 대해서 침의 뾰족한 끝부분에서 방전이 일어나도록 하여 뇌썬지전압을 빨리 소멸시키는 점 등 다른 접지전극과 비교하여 방전량, 시간적 특성에서 상대적으로 우수한 효과를 나타낸다고 소개되고 있음.



<그림 1> 침상전극봉의 구조

나) 방사상 접지방

- 반경 2.5[m], 5.0[m] 2종류를 지하 50[cm]에 수평으로 매설하였다.

다) 일반접지동봉

- 1개 - 4개를 1조로 사용 가능하도록 방사상으로 지하 50[cm]에 매설하였다.

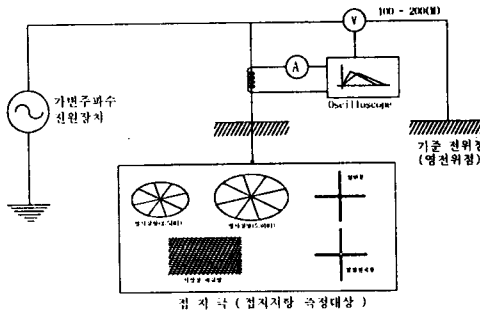
라) Mesh 접지방

- 고장 765 kV 실증시험장에 포설된 100[m] x 80[m], 간격 2[m], 매설깊이 2.5[m]인 매쉬 접지방을 시험대상으로 하였다.

2) 토양의 종류 : 황토흙, 모래, 석분, 콘크리트

2.2 시험회로 및 측정방법

1) 실증시험회로



<그림 2> 점지임피던스를 측정하기 위한 회로도

자체 설계·제작한 가변주파수 전원장치(전압 AC ±100V, 200W, 0.01[Hz] ~ 1[MHz])에 의해 주파수를 가변(1Hz - 1MHz)시키며, 일정한 프로그램에 의하여 주파수 대별 점지 임피던스의 크기 및 위상을 구할 수 있게 되어 있다. 이때 대지의 전위상승은 이론상으로는 영전위가 되는 무한원점을 기준으로 해야되나 현실적으로 불가능하므로 실제로 영전위가 되는 측정하고자 하는 점지극으로부터 100 ~ 200(m) 거리에 임의의 점지극을 매설하고 이점을 영전위로 하여 측정 점지극의 전위를 측정하였다.

2) 시험장비

- 가) 15MHz function waveform generator
- 나) Current probe amplifier (AM 503B)
- 다) 가변주파수 전원장치(AC±100V, 0.01[Hz]~1[MHz])
- 라) 오실로스코프(Oscilloscope): Tektronix TDS 684A

3) 점지 임피던스 측정방법

- ① 가변주파수 전원장치를 이용하여 각각의 점지극형상에 주파수를 가하고 이때의 대지전위상승 및 유입전류 파형을 오실로스코프에 측정·수록한 후 이를 가공(MATLAB이용)하여 점지 임피던스의 크기 및 위상값을 분석한다.
- ② 가변주파수 전원장치가 제공할 수 있는 주파수를 가변(1Hz ~ 1MHz)하면서 ①의 시험을 반복한다.
- ③ 점지형상을 Mesh점지방, 방사상점지방 2종류, 일반점지방 4종, 침상전극봉 4종으로 변화시키면서 ①,②의 시험을 반복한다.
- ④ 주위의 매질(황토흙, 모래, 석분, 콘크리트)을 변화시키면서 ①,②,③의 시험을 반복한다

2.3 실증시험 결과와 해석

1) 점지극 종류별 성능 비교

이후 각 표에서 위상(표에서 ()의 값)은 전류가 전압보다 앞선정도를 단위 degree[°]를 사용하여 나타내었다. <표 1>은 본 논문의 저자들이 제작한 장

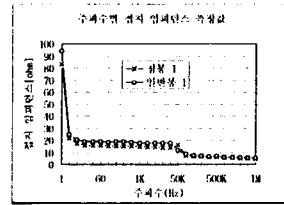
비(<표 3>)와의 비교를 위하여 기존 장비를 이용해서 측정한 값이다.

<표 1> 상용점지저항 측정결과

(기존 점지저항 측정계 : Auto Earth Tester를 이용)

매질 주파수	황 토 흙				
	일반봉 4개	침상봉 4개	방사상 (반경2.5[m])	방사상 (반경5.0[m])	Mesh 점지방
150Hz	6.0	4.63	3.12	1.361	0.22

황토흙(측정당시의 함수율 : 26.2%)에서 각 점지극의 성능을 아래에 나타내었다.



<그림 3> 침상전극봉 및 일반전극봉 1개(황토흙)

<표 2> 각 주파수대에서 점지 임피던스 측정 결과

주 파 수	일반봉 1개	침상봉 1개	일반봉 4개	침상봉 4개
1 Hz	94.1(66.1)	83.5(86.4)	30.8(95.5)	20.3(95.5)
10 Hz	20.61(21.6)	17.4(25.2)	6.81(28.8)	5.02(17.8)
60 Hz	18.65(4.3)	15.54(4.3)	6.20(0)	4.47(4.3)
100 Hz	18.96(0)	15.4(3.6)	6.03(0)	4.56(3.6)
1 KHz	18.10(0)	14.7(-3.6)	5.89(0)	4.41(-3.6)
10 KHz	17.65(0)	14.0(7.2)	5.58(0)	4.27(-7.3)
100 KHz	-	7.30(3.6)	-	-
1 MHz	-	-	-	-

각 주파수대에서 침상전극봉(일반전극봉)을 1개를 사용했을때보다 4개를 사용했을 때 점지 임피던스면에서 약 70%의 저감효과를 나타내었음. 또한 각 전극봉에 대해서 상용주파수대에 비해서 10 [Hz]이하인 저주파수일때에는 수배(최고 6배) 높은 점지 임피던스를 나타내었으며, 10 [KHz]이상인 고주파수일때에는 일반전극봉 및 침상전극봉 1개의 경우 최대 70%, 4개의 경우 50%까지 감소함을 알 수 있다. 또한 각 주파수대에서 침상전극봉을 사용했을때가 일반전극봉을 사용했을때보다 점지 임피던스면에서 저감효과(20~30%)를 나타내고 있음을 알 수 있다.

다음 <표 3>은 황토흙에서 점지극형상에 따른 점지임피던스 측정결과이다.

<표 3> 점지극형상에 따른 점지임피던스 측정결과
(본 논문의 저자들이 제작한장비 이용)

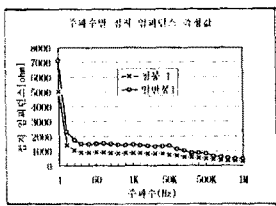
매질 주파수	황 토 흙				
	일반봉 4개	침상봉 4개	방사상 (반경2.5[m])	방사상 (반경5.0[m])	Mesh 점지방
1 Hz	30.8(95.5)	20.3(95.5)	22.1(160.9)	7.58(79.2)	2.07
10 Hz	6.81(28.8)	5.02(17.8)	4.77(28.8)	1.66(44.1)	1.19
60 Hz	6.20(0)	4.47(4.3)	3.52(8.8)	1.70(0)	1.02
100 Hz	6.03(0)	4.56(3.6)	3.58(0)	1.40(0)	0.70
1KHz	5.89(0)	4.41(-3.6)	3.80(0)	1.37(0)	0.67
10KHz	5.58(0)	4.27(-7.3)	3.38(7.3)	1.26(-13.8)	0.18
100KHz	-	-	-	-	-
1MHz	-	-	-	-	-

우리는 <표 1,2,3>에서 다음의 중요한 몇가지 사실을 확인할 수 있다.

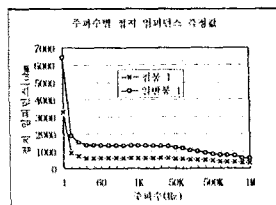
▶ 대지저항률이 낮은 황토흙에서 넓은 면적(100 [m] x 80 [m])에 포설한 매쉬 접지망과 방사상접지망(반경 5.0 [m])이 접지임피던스 측면에서 거의 같은 효과를 나타낸다는 점이다.

▶ 대지저항률의 고저에 상관없이 일반접지동봉에 비해서 침상봉은 접지임피던스 저감측면에서 최대 40 ~ 50%의 저감효과가 있음을 알 수 있다.

모래(측정당시의 함유율 : 1.93%) 및 석분(측정당시의 함유율 : 3.85%)에 대해서 실험한 결과를 아래에 나타내었다.



<그림 4> 침상전극봉 및 일반전극봉 1개(모래)



<그림 5> 침상전극봉 및 일반전극봉 1개(석분)

<표 4> 토양 및 접지극형상에 따른 접지임피던스 측정결과(본 논문의 저자들이 제작한장비 이용)

매쉬 주파수	석분		모래		콘크리트	
	일반봉 1개	침상봉 1개	일반봉 1개	침상봉 1개	일반봉 1개	침상봉 1개
1 Hz	6453(86.4)	3301(97)	7142(145)	5034(90)	369(86.4)	393.4(79)
10 Hz	1532(29.1)	707(32.7)	1754(29)	1061(29)	89.9(28.8)	88.5(29)
60 Hz	1324(4.3)	607(4.3)	1488(8.7)	917(8.7)	79.7(0)	79.3(8.8)
100 Hz	1338(3.6)	601(3.6)	1474(7.3)	891(3.6)	79.4(0)	77.8(0)
1 KHz	1327(0)	603(3.6)	1440(3.6)	-	76.3(0)	76.6(0)
10 KHz	1304(7.2)	598(0)	1321(3.6)	832(7.3)	74.3(7.2)	73.8(0)
100 KHz	1171(14.4)	554(10.8)	-	690(14.4)	63.9(7.2)	64.1(7.2)
1 MHz	611(39.6)	335(36.0)	-	-	-	29.5(22)

각 전극봉에 대해서 상용주파수대(60-10[KHz])에 비해서 10 [Hz]이하인 저주파수일때에는 수배(최고 6배) 높은 접지임피던스를 나타내었으며, 10 [KHz]이상인 고주파수일때에는 최고 30%[석분:50%]까지 감소함을 알 수 있으며, 침상전극봉을 사용했을때가 일반전극봉을 사용했을때보다 접지 임피던스면에서 큰 저감효과(최대 30% - 40%[석분:40%-50%])를 나타내고 있음을 알 수 있다.

3. 결론

① 접지 임피던스 측면에서 토양의 성질

▶ 저주파영역에서는 대지의 캐패시턴스 성분의 작용으로 상용주파 접지저항의 수배(최대 6배) 큰 접지임피던스가 측정된 반면 고주파영역에서는 대지의 캐패시턴스 성분과 접지극의 인덕턴스 성분의 작용으로 오히려 접지저항보다 작은 접지임피던스 값이 측정되었다. 즉, 접지시스템에 유입되는 전류가 저주파성분을 함유하고 있으면 대지전위상승이 커지게 되므로 이련우려가 있는 접지시스템의 경우 대책이 강구되어야한다. 반면에 고주파 정현파 전류의 유입은 상용주파접지저항이 규정치범위에 합당하면 별도의 대책은 필요없을것으로 판단된다.

② 접지 임피던스 저감측면

▶ 유입전류의 크기가 크고, 대지저항률이 높을수록 일반접지봉에 비해서 침상전극봉에 의한 접지 임피던스 저감효과는 더 크게 된다. 일반전극봉 1개를 사용했을때에 비해서 침상봉 1개를 사용했을 때 접지 임피던스 측면에서 큰 저감효과가 있다(모래 : 최고 40%, 석분 : 최고 50%, 콘크리트에서는 거의 일치, 황토흙 : 최고 30%).

③ 토양에 따른 접지 임피던스

▶ 반경이 5[m]인 방사상접지망을 시험한 결과 변전소등의 건설시에 Mesh망의 보조전극으로 사용하면 효과가 있을 것으로 사료되며, 침상봉은 매설면적이 적고 추가시설도 용이하므로 신설 및 보강공사용으로도 사용가능하리라 판단됨.

[참 고 문 헌]

- [1] 高橋健彦, "圖解 接地技術入門", 오음社, 1989
- [2] 高橋健彦, "圖解 接地設計入門", 오음社, 1990
- [3] 井上一男, "Ground Resistivity and Ground Resistance"