Journal of the Korean Institute of Electrical and Electronic Material Engineers, Vol. 23, No. 1, p. 61, January 2010.

논 문 23-1-13

가공지선이 연결된 송전철탑의 탑각저항 측정에 관한 연구

A Study on the Measurement of Footing Resistance of Transmission Towers with Overhead Grounding wires

이원교[1,a], 최종기[1], 이영우[1], 최인혁[1], 김경철[2]
(Won-kyo Lee[1,a], Jong-Kee Choi[1], Young-Woo Lee[1], In-Hyuk Choi[1], and Kyung-Chul Kim[2])

Abstract

Footing Resistance of a 154 kV transmission towers in korea is commonly required to be less than 15 ohm to avoid lightning back-flashover accident. The periodic measurement of Footing Resistance is important to verify that the grounding performance of the towers has been maintained good. Towers are electrically connected in parallel with overhead grounding wire, therefore footing resistance of each tower will be measured after disconnecting the overhead ground wires from the towers. however, In this paper, three direct measurement methods of footing resistance are presented. There are very useful methods without disconnecting overhead ground wires from the tower under measurement. They are compared in KEPCO 154 kV transmission towers. The experimental results describe performances of them.

Key Words : Footing resistance, Ground resistance, Back-flashover

1. 서 론

송전선로 뇌격시 송전철탑의 접지저항 또는 탑각저항(footing resistance)이 크면 역섬락사고 가능성이 커지게 된다. 송전선로의 내뢰성능 개선을 위해서는 탑각저항이 작을수록 유리하기 때문에 전력회사에서는 송전철탑의 탑각저항을 정기적으로 측정하여 탑각저항이 규정된 값 이하를 유지하는지 점검하고 필요에 따라 접지보강을 하고 있다[1,2].

기설 송전선로의 송전철탑은 가공지선을 통해 다른 철탑들과 병렬로 연결되기 때문에 철탑 단독의 접지저항을 측정하기 위해서는 철탑에서 가공지선을 분리한 후 측정하거나 또는 가공지선 외부의 회로와의 병렬연결 효과를 최소화하는 특별한 측정방법이나 장비가 사용되어야 한다[3].

1. 한국전력공사 전력연구원
(대전시 유성구 문지동 103-16)
2. 홍익대학교 산업기술연구소
a. Corresponding Author : leewonkyo@kepco.co.kr
접수일자 : 2009. 11. 12
1차 심사 : 2009. 12. 7
심사완료 : 2009. 12. 15

CIGRE WG C4.2.02에서 발간한 보고서에서는 탑각으로부터 가공지선을 분리하지 않는 방법으로 다음 두 가지 측정방식(장비)을 권하고 있다[4].

(1) 고주파수의 시험전류를 흘려서 탑각저항을 측정하는 방식

(2) 일반장비를 사용하되 철탑 탑각(4개)으로 흐르는 전류를 측정하여 탑각저항을 산정하는 방법

본 논문에서는 첫 번째로 기설 송전철탑에 상승시간이 빠른 구형파 전류(i(t))를 탑각에 주입하고 탑각의 전위상승(v(t))을 측정함으로써 가공지선 병렬연결의 효과가 나타나기 전에 탑각저항(R(t)= v(t)/i(t))을 측정하는 방식과 두 번째로는 이렇게 측정된 전압, 전류파형을 주파수영역에서 분석함으로써 가공지선의 병렬연결 효과가 나타나지 않는 고주파영역에서 탑각저항을 산정하는 방식 그리고 세 번째로 송전철탑에 저주파의 시험전류를 주입하되 각 탑각별로 누설되는 전류를 측정함으로써 개별 탑각의 저항을 산정하는 방식(CIGRE 보고서는 두 번째 추천방식)의 측정사례를 제시하였다. 측정결과 비교를 통해 각 측정방식의 정확성을 검증하였고 장단점을 비교하였으며 두 번째 측정방식에서 적정한 시험 주파수를 확인하였다[5].

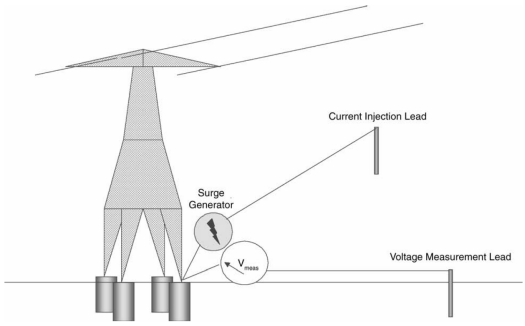

그림 1. 탑각저항 측정회로.
Fig. 1. Footing resistance test circuit.

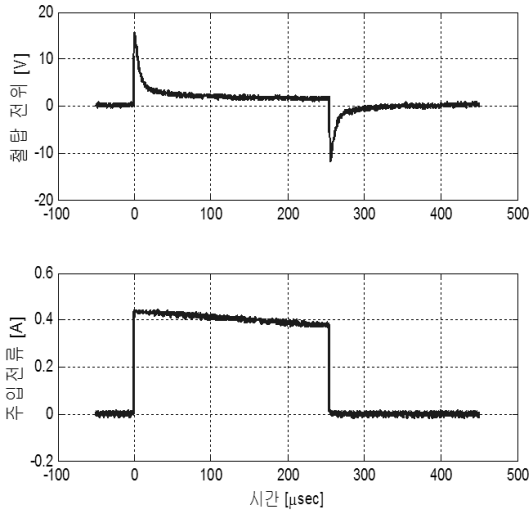

그림 2. 철탑전위 및 주입전류 측정파형.
Fig. 2. Measured footing voltage and injected current.

2. 급준파를 이용한 탑각저항 측정

그림 1은 상승시간이 빠른 급준파를 탑각에 주입하여 탑각저항을 측정하는 회로를 보인 것이다. 가공지선 외부의 병렬효과가 나타나기 전에 측정한 전압과 전류값으로 탑각저항을 산정함으로써 가공지선이 없을 때 측정하는 것과 같은 효과를 얻는다.

그림 2는 강릉지역에 있는 154 kV 송전철탑의 탑각에 상승시간이 1 μs 인 구형파를 주입했을 때 탑각의 전위와 주입전류 측정파형을 보인 것이다.

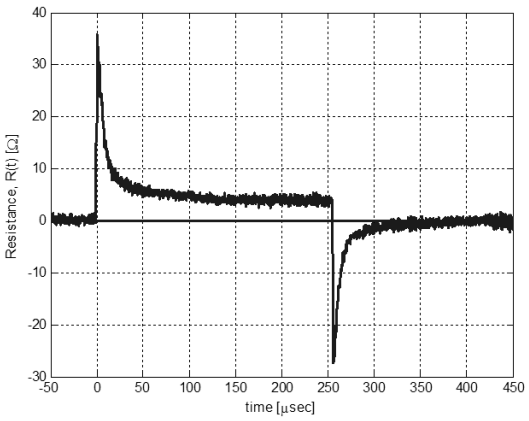

그림 3. 시간영역 저항곡선.
Fig. 3. Resistance curve in time domain.

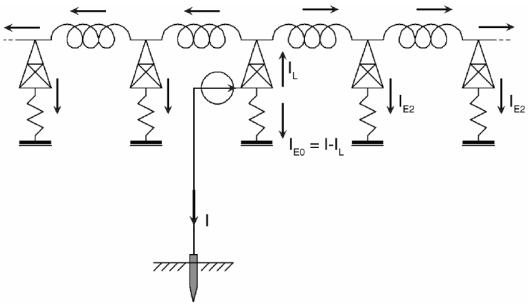

그림 4. 철탑과 가공지선간 전류 분포.
Fig. 4. Current distribution between tower footing and overhead groundwire.

그림 3은 측정한 탑각전압(v(t))와 주입전류(i(t))를 이용하여 시변저항(R(t)=v(t)/i(t))을 산정한 결과이며, 초기 저항의 최대값은 36 Ω 이다. 이 값이 가공지선의 효과가 나타나기 전, 즉 철탑이 단독으로 있을 때의 탑각저항 값으로 볼 수 있다.

3. 고주파수 대역의 탑각저항

그림 4는 탑각저항 측정을 위해 기설 송전철탑에 전류를 주입했을 때 전류분포를 보인 것이다. 주입전류의 주파수가 올라가면 가공지선의 리액턴스로 인해 가공지선으로 분류되는 전류(IL)가 점점 작아져서 주입전류(I)와 해당 철탑의 탑각으로 분류되는 전류(IE0)가 같아지게 된다. 즉, 철탑으로부터 가공지선을 분리하는 것과 유사한 효과를 얻을 수 있다[6].

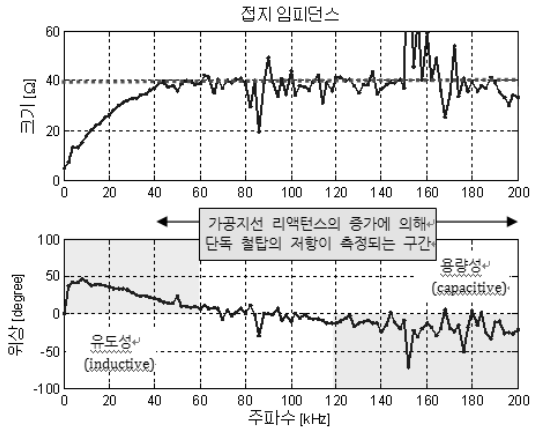

그림 5. 주파수 영역의 임피던스.
Fig. 5. Impedance in frequency domain.

고주파수 대역의 탑각저항의 검토는 별도의 전류주입을 하지 않고 앞 절에서 측정된 전압과 전류파형의 주파수 분석을 통해 수행되었다. 그림 5는 그림 1의 측정회로에서 취득한 전압전류 파형(그림 2)의 주파수 스펙트럼을 보인 것이다.

상대적으로 낮은 주파수 대역에서는 가공지선의 리액턴스가 작기 때문에 가공지선을 통한 외부 회로의 영향이 커지게 된다. 그러나 주파수 대역이 높아질수록 가공지선의 리액턴스가 커져서 측정대상 철탑과 병렬로 연결된 외부 회로의 영향이 작아지게 된다. 그림 5에서 주파수가 40 kHz 이상이 되면서 접지임피던스가 거의 일정해지는 경향을 볼 수 있다. 40 kHz 이상에서는 접지임피던스 크기가 35~40 Ω 으로 철탑 단독의 탑각저항을 반영한다.

4. 탑각 누설전류 측정에 의한 방법

그림 4에서 고주파수의 전류를 주입함으로써 가공지선의 리액턴스를 증가시켜 철탑이 마치 단독으로 있는 것처럼 만드는 방법도 있으나, 저주파수 전류를 주입하더라도 철탑의 네 탑각을 통해 대지로 나가는 시험전류를 측정함으로써 접지전류(그림 4의 I_{E0})를 직접 구하는 방법이 있다. 즉 아래 그림 6에서 네 개의 탑각 누설전류(I_1 measured ~ I_4 measured)의 합을 탑각전위(Vmeasured)로 나누면 탑각 단독의 저항을 측정할 수 있다. 이렇게 탑각저항을 측정하는 방법이 CIGRE 보고서에서 추천한 두 번째 방법이다[7].

탑각의 누설전류 측정을 위해서는 탑각을 감쌀 수 있을 정도의 대구경이고 미소전류를 측정할 수 있는 고감도의 비접촉식 전류프로브가 필요하다. 그림 7은 측정에 사용한 대구경의 Split core 방식의 Current Transformer를 보인 것이다.

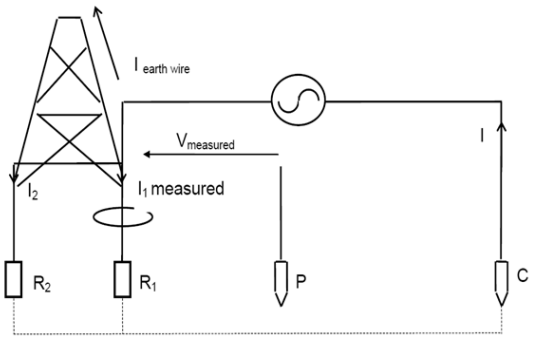

그림 6. 누설전류 측정을 통한 탑각저항 측정.
Fig. 6. Test circuit for footing resistance and leakage current through tower footing.

그림 7. 탑각 취부용 Split-core 변압기.
Fig. 7. Split-core transformer for tower footing leakage current measurement.

그림 8. 개별 탑각의 저항 측정.
Fig. 8. Individual resistance of 4 footings.

대구경 CT를 이용하여 네 개의 탑각별로 흐르는 누설전류를 측정(I_1~I_4)를 측정하고 탑각의 전위(V)를 누설전류로 나눈 각 탑각의 저항 측정결과를 그림 8에 표시하였다.

표 1. 탑각저항 측정결과 요약.
Table 1. Summary of tower footing resistance.

	급준파 이용방법	고주파수 탑각저항	탑각 누설 전류 측정
철탑 #1	36 Ω	35~40 Ω	43.0 Ω
철탑 #2	25 Ω	-	23.4 Ω
철탑 #3	8 Ω	-	8.9 Ω

탑각 전체의 저항(R)은 4 개의 탑각의 개별 저항을 병렬합성값이 된다.

$$R = \frac{1}{\frac{1}{209}+\frac{1}{191}+\frac{1}{144}+\frac{1}{157}} = 43\ \Omega \quad (1)$$

지금까지 기술한 세가지 측정방식을 이용하여 총 3개의 154 kV 송전철탑에 대하여 탑각저항을 측정한 결과를 표 1에 요약하였다. 탑각저항은 측정당시 기후나 토양 습도 등에 의해 차이가 나는 등의 이유로 측정의 정확도가 20% 정도면 충분하다는 CIGRE 보고서의 기술을 감안하면 세 측정법의 결과는 모두 잘 일치하는 것으로 나타났다.

5. 결 론

본 논문에서는 기설 송전선로에서 철탑 단독의 탑각저항 측정을 위해 해당 철탑으로부터 가공지선을 분리하지 않고 측정하는 대표적인 세 가지 방법, 즉 (1) 상승시간이 빠른 급준파 전류를 주입하고 가공지선의 병렬연결 효과가 나타나기 전의 철탑전위를 측정하는 방법, (2) 고주파수 대역에서 가공지선 리액턴스 증가에 의해 가공지선이 open 되는 효과를 이용한 방법, (3) 철탑에 주입한 전류 중 해당 철탑의 탑각으로 누설되는 전류만을 검출하여 저항을 산정하는 방법을 이용하여 철탑 탑각저항을 실측하였다.

첫 번째 방법은 국내에서 사용되어 온 방법이나 CIGRE의 관련 Working Group에서 발간한 보고서에서는 신뢰성이 검증되지 않은 방법이라고 기술되어 있기 때문에, CIGRE 보고서에서 추천한 두가지 측정방법, 즉 고주파수대역에서 측정하는 방법과 탑각 누설전류를 측정하는 방법과의 측정결과 비교를 통해서 국내에서 사용하여 온 측정방법의 신뢰성을 검증하였다.

세 가지 측정방식의 비교를 통해 국내에서 사용되고 있는 급준파를 이용한 측정방법의 신뢰성을 검증하였다. 또한 고주파수대역의 측정방법 적용시 주파수대역은 40 kHz 이상이 되어야 신뢰성이 있는 것으로 나타났다.

참고 문헌

[1] 이우선, 정용호, 박진성, “알루미늄 스크랩을 이용하여 제작한 접지 전극의 전압-전류 특성”, 전기전자재료학회논문지, 9권, 8호, p. 806, 1996.

[2] N. Harid, H. Griffiths, and A. Haddad, “Computation model for ground potential and current distribution in ground impedance measurements at high-voltage towers”, UPEC 2007, p. 806, 2007.

[3] H. Motoyama, Y. Kinoshita, and K. Nonaka, "Experimental study on lightning surge response of 500-kV transmission tower with overhead lines", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 23, p. 2488, 2008.

[4] CIGRE Working Group C4.2.02, “Methods for measuring the earth resistance of transmission towers equipped with earth wires”, CIGRE Brochure 275, 2005.

[5] EPRI, Palo Alto, CA, "Guide for transmission line grounding Part-1 theory book", Product ID 1013900, 2007.

[6] IEEE Std 81-1983, "IEEE guide for measuring earth resistivity, ground impedance, and earth surface potentials of a ground system", p. 35, 1983.

[7] Fluke, "Earth ground resistance principles, testing methods and applications", 2006.