

콘크리트전주의 임펄스전류 응답에 대한 실험적 고찰

박상만¹, 강운호¹, 정영호¹, 류희석², 남기영², 이재덕², 정동하³
 전력연구원¹, 한국전기연구원², 일렉트로 컨설팅³

An Experimental Study on the Response of Concrete Pole to Impulsive Current

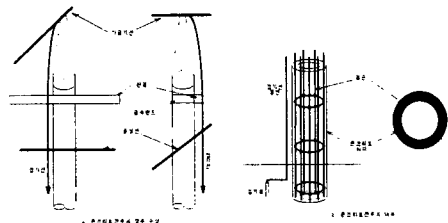
Sang-Man Park, Moon-Ho Kang, Yeong-Ho Jeong
 Hee Suk Ryoo, Kee-Young Nam, Jae-Duck Lee, Dong-Hak Jung

Abstract - 특별고압 가공배전선로는 일반적으로 콘크리트전주를 지지물로 하고 있고, 선로의 상부에는 가공지선을, 하부에는 중성선을 설치하되, 매전주에서 가공지선, 중성선, 완철을 서로 접속하고 적절한 공간마다 전주에서 접지하도록 하고 있다.

또한 콘크리트전주는 기계적 강도의 유지를 위하여 철근이나 강선을 주골재로 사용하면서도 설계기준에서는 콘크리트전주의 뇌격에 대한 접지효과를 고려하지 않고 있는데, 실험에 의해, 접지선에 어느 정도 이상의 임펄스전류가 흐르면 전주의 철근이 접지회로의 일부를 구성하는 것으로 확인되었다.

본 논문에서는 콘크리트전주의 뇌임펄스에 대한 응답을 실험적으로 고찰하였다.

선 등이 모두 전기적으로 연결되어 접지된다. 콘크리트전주의 구조는 b와 같으며 피복의 두께는 9mm 이상으로 하도록 하고 있다^[3].



(그림1) 장주의 구성 및 전주 구조 개요

1. 서 론

우리나라의 22.9kV 가공배전선로는 중성선 다중접지 방식으로 되어 있고, 원칙적으로 가공지선을 설치하며, 매전주에서 가공지선과 중성선을 접속하되, 선로여건에 따라 일정간격 이하마다, 일정 저항값 이하가 되도록 가공지선을 접지할 것을 규정하고 있다.^{[1][2]}

가공지선은 유도되는 물론, 직격뢰도 차폐함으로써, 뇌격침입시의 뇌격에 대한 보호성능을 발휘하는데, 일반적으로 가공지선의 접지저항이 작을수록, 접지간격이 짧을수록 뇌격에 대한 보호특성이 우수해진다.

콘크리트 전주는, 실제적으로는 기계적 강도의 유지를 위하여 철근이나 철근과 강선을 혼합하여 주골재로 조립할 수 있도록 하고 있고, 전주의 윗등은 모르타르나 콘크리트로 완전 밀봉하도록 하고 있어^[3], 실제로는 철근은 전주의 노출부에서는 어느 정도의 절연성능을 갖는 콘크리트 외피를 통하여만 가공지선, 완철 등과 접촉되며, 전주의 밑등에서는 철근이 노출되므로 상시 대지와 직접 접촉한다.

콘크리트 전주는 평상시에는 전기적으로 고려하지 않아도 되지만, 접지선에 큰 임펄스전류가 흐르는 경우에는 전주가 접지회로의 일부를 구성하는 것으로 확인되었으며^[4], 따라서, 내외설계에 있어 전주의 접지효과를 고려할 필요가 있는 것으로 판단된다.

2. 본 론

2.1 특별고압 가공배전선로 내외 설계기준 개요

배전선로에는 가공지선의 설치를 원칙으로 하며, 모든 전주에서 중성선과 접속한다^[2]. 또한, 완철은 다중접지된 중성선에 연결하여야 한다^[1].

가공지선은 매 200m 이내마다 중성선과 공용하여 접지저항 50Ω 이하로 접지하되, 기기가 설치되어 있는 경우는 기기 접지저항을 가공지선 접지저항치로 한다^[2].

2.2 특별고압 장주의 구성 및 전주 구조

설계기준의 내용을 정리하면, 가공지선이 접지되는 장주는 (그림1)의 a처럼 구성되어, 가공지선, 완철, 중성

2.3 직격뢰 차폐와 콘크리트전주의 응답

가공지선은 유도뢰에 대하여 차폐역할을 하지만, 직격뢰에 대하여도 차폐기능을 수행하게 되는데, 가공지선에 직격뢰가 침입하면, 뇌격전류는 가공지선과 가공지선-중성선의 연결선으로 나뉘어지고, 이 연결선의 전류는 다시 중성선에서 나뉘게 되는데, 만약 접지선에 의해 접지된 전주라면, 접지선을 따라 대지로도 분류된다.

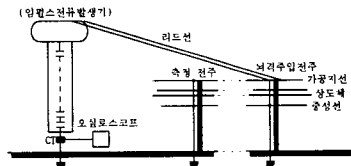
뇌격 침입전주와 가까운 전주에서는 접지선 외에도, 전주를 통하여 뇌격전류가 분류되는 현상이 발생하는 것을 실험적으로 확인하였다.

2.3.1 실험회로 구성

(1) 회로구성 개요

콘크리트 전주의 임펄스전류에 대한 응답을 검토하기 위하여, 고장 실증시험장에 임펄스전류발생기(ICG)와 실증용 배전선로를 활용하여 (그림2)와 같은 실험회로를 구성하였다.

실험회로는 기본적으로 R,L,C 직렬회로이며, 주입 임펄스전류의 파형, 파고치 등은 ICG의 콘덴서의 정전용량, 단간 접속용 R/L set, 리드선 및 선로의 임피던스 특성 등에 의해 결정된다.

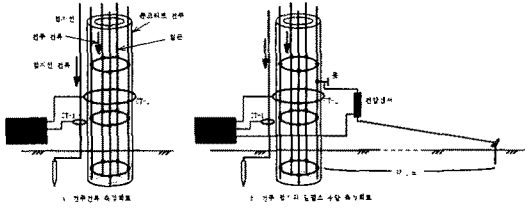


(그림2) 측정회로 개요

(2) 전주 응답 측정회로

콘크리트 전주를 통한 임펄스전류의 분류를 검토하기 위하여 (그림3)의 a와 같은 측정회로를, 전주 접지의 임펄스 응답을 측정하기 위하여 (그림3) b와 같이 측정회로를 구성하였으며, 측정에 사용된 주요설비 및 측정장비의 사양은 다음과 같다.

- ICG : IP 400/4000G(HIGHVOLT)
- 전류센서(CT) : CWT60, CWT150(PEM)
- 전압센서(VD) : P6015A(Tektronix)
- Scope : TDS3014B(Tektronix)



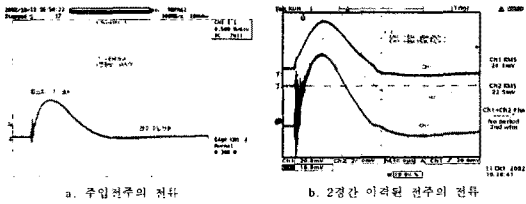
(그림3) 분류전류 및 전주의 접지 응답 측정회로 구성

2.3.2 실험 결과

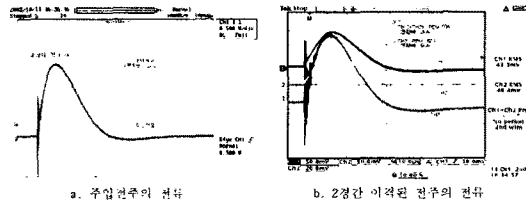
위와 같이 구성한 실험회로에 대하여, 전주를 통하여 흐르는 전류 및 전주 접지의 임펄스전류 응답의 예는 다음과 같았다.

(1) 전주로 분류되는 전류

(그림3)의 a처럼 측정회로를 구성하고, 비교적 큰 전류가 접지선에 흐르도록 하되, 주입전류를 서로 달리하여 측정한 접지선과 전주의 전류의 예를 다음의 (그림4) 및 (그림5)에 나타냈다.



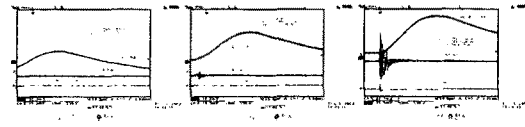
(그림4) 20m 이격된 전주의 분류전류 예 (1)



(그림5) 20m 이격된 전주의 분류전류 예 (2)

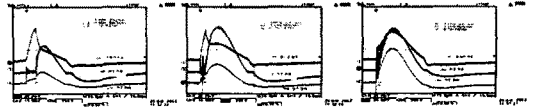
동일한 전주에 있어, 주입전류를 다르게 한 두 경우에 있어, 주입전류를 크게 한 경우의 전주 전류가 크게 나타났으나, 주입전류와 비례관계를 나타내지는 않았는데, 이는 증성선의 영향에 의한 것으로 추정된다.

(2) 접지선 전류의 크기와 전주로의 분류 전류
접지선의 전류의 크기에 따라, 전류가 전주로 분류하는지의 여부가 결정되는데, 측정 예는 다음과 같았다.

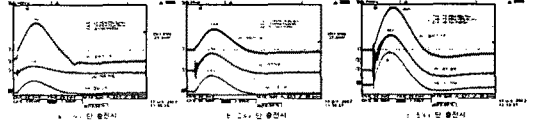


(그림6) 접지선전류가 작은 경우의 전주 전류

[전류 주입전주로부터 6경간 이격된 전주, 접지선 접지저항 : 3Ω]



(그림7) 접지선 전류가 중간인 경우의 전주 전류
[전류 주입전주로부터 2경간 이격된 전주, 접지선 접지저항 : 9Ω]

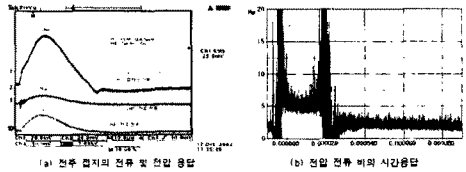


(그림8) 접지선 전류가 큰 경우의 전주 전류
[전류 주입전주로부터 2경간 이격된 전주, 접지선 접지저항 : 6Ω]

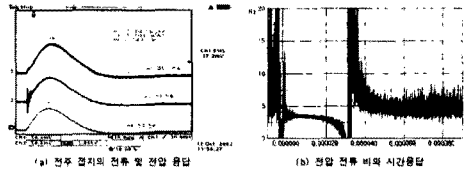
위의 측정 예에서처럼, 접지선에 큰 전류가 흐를수록 전주로의 분류현상도 일찍 나타나는 것을 볼 수 있는데, 전류가 작은 (그림6)의 경우는 분류현상이 거의 발생하지 않는 반면, 전류가 큰 (그림8)에서는 초기부터 분류현상이 발생하는 것을 볼 수 있다. 전류의 크기가 중간 영역인 (그림7)은 접지선 전류의 증가에 따른 전주로의 전류 분류현상의 경향을 잘 나타내고 있다.

(3) 전주 접지의 임펄스전류 응답

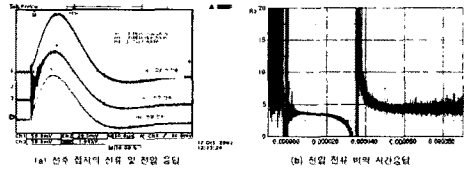
앞의 (그림8)의 측정결과로부터, 전주 접지의 20m 이격점에 대한 전위를 전주를 흐르는 전류로 나누어 다음의 (그림9)~(그림11)의 b와 같은 결과를 얻었는데, 이는 개략 전주의 임펄스에 대한 접지저항을 나타낸다. 이 전주의 접지저항계에 의한 접지저항치는 3.6Ω 이었다.



(그림9) 변개5호주에서의 전주 전류 및 전주 전위



(그림10) 변개5호주에서의 전주 전류 및 전주 전위



(그림11) 변개5호주에서의 전주 전류 및 전주 전위

전압이나 전류 측정치에 있어, 잡음이 심한 곳과 개략 '0'의 값을 나타내는 곳을 제외하고, 20μs 부근까지의 값을 버임펄스에 대한 실질적인 과도응답으로 볼 수 있는데, 주입전류가 작은 (그림9)의 경우는 약 5Ω을 나타내 AC저항보다 큰 값을 보였으며, 주입전류가 비교적 큰 (그림10) 및 (그림11)의 경우는 약 3.5Ω을 나타내

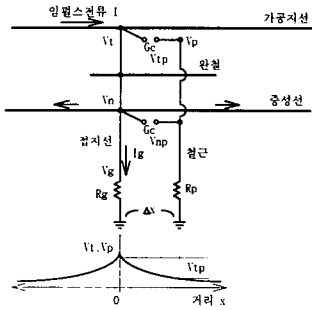
AC저항과 비슷한 값을 보였다.

2.4 전주의 접지구성 메커니즘

2.4.1 가공지선을 접지한 전주의 경우

(1) 전주 상부의 전위

접지 전주의 전기적 회로는 다음의 (그림12)처럼 구성된다. 접지 R_g 에는 전류 I_g 에 의한 전압 V_g 가 형성되고, 가공지선과 중성선에는 접지선의 전압강하에 의해 각각 V_l 와 V_n 이 형성된다.



(그림12) 접지전주의 접지구성

(2) 철근의 대지전위 상승

접지저항을 흐르는 전류 I_g 는 대지전위의 상승을 유발하므로, 대지에 접촉된 철근에도, 접지와 이격거리에 따라 전위 V_p 가 형성되는데, 설계기준(1)에서 가공지선 접지와 전주와의 이격거리는 0.5m로 하고 있다.

철근의 대지전위 상승과정은 (그림7) a)의 Ch3에서 확인할 수 있다.

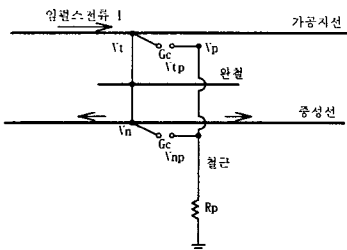
(3) 접지선-철근간 절연파괴

따라서, 전주의 상부에서는 부위에 따라 접지선과 철근간의 콘크리트에 V_{lp} , 또는 V_{np} 의 전압이 가해지며, 이 전압이 콘크리트의 절연파괴전압을 초과하여 콘크리트의 절연이 파괴되면 접지선과 철근간에 회로가 구성되어 철근을 경유한 별도의 접지회로가 구성된다.

2.4.2 가공지선을 접지하지 않은 전주의 경우

(1) 전주 상부의 전위

접지하지 않은 전주의 전기적 회로는 다음의 (그림13)처럼 구성되는데, 가공지선과 중성선에 임펄스전류가 흐르면 이들에는 각각 주변 전주의 상태에 따라 V_l 와 V_n 의 전위가 형성된다.



(그림13) 비접지 전주의 접지구성

(2) 접지선-철근간 절연파괴

전주의 철근은, 주변 접지들에 의한 대지전위상승을 무시하면, 초기에는 거의 0의 전위를 나타내므로, 가공지선이나 중성선의 전위 V_l 와 V_n 이 콘크리트에 인가

되며, 이 전압이 콘크리트 절연파괴전압에 이르면 철근을 통한 접지회로가 구성된다.

3. 결 론

(1) 철근을 통한 별도의 접지회로가 구성되면 뇌격 침입시 절연에 있어서는 유리하게 작용하게 된다.

(2) 콘크리트의 절연파괴 특성은, 침입 뇌격의 파고치나 파형에 따라 응답이 달라질 것으로 예상되며, 이에 대한 상세한 검토가 필요하다.

(3) 전주의 구조(완철 배치, 콘크리트 두께 등), 중성선 접지 상태, 건주 상태, 대지 상태 등이 전주의 응답에 영향을 미칠 것으로 예상된다.

(4) 어느 시점의 콘크리트외피의 절연파괴 특성은, 이전의 인가전압에 의한 스트레스의 누적효과가 작용할 가능성이 있고, 따라서, 뇌격의 침입빈도나 강도에 따라 절연파괴전압이 낮아질 가능성이 있으므로, 이에 대한 검토가 필요하다.

(5) 전주의 접지효과를 고려하면, 실제 선로에서 뇌에 의해 가공지선이나 상도체 등에 발생하는 과전압은 낮아질 것이므로, 절연협조에 있어서는 유리해질 것으로 사료되며, 따라서, 배전선에 대한 내뢰기준을 완화할 수 있을 것으로 예상된다.

(6) 고장 발생시에도 접지선, 완철, 중성선 등과 전주의 철근 사이에 개폐과전압 및 상용주파과전압이 형성될 수 있으므로, 이에 대하여도 검토할 필요가 있다.

(7) 절연협조를 위한 해석과정에 전주의 접지효과를 정량적으로 고려하기 위해서는, 다양한 조건의 콘크리트 전주의 써지임피던스(5) 및 접지 특성에 대한 실증을 선행할 필요가 있다.

(참 고 문 헌)

- [1] 한국전력 설계기준-3500, 접지공사, 1999
- [2] 한국전력 설계기준-3800, 배전선 내뢰기준(잠정), 1995
- [3] 한국전력 표준구매시방서 ES 102-128~617, 콘크리트 전주, 2001
- [4] 한국전력공사 전력연구원, 배전시험설비 구축 및 내뢰설비 시설효과 분석 실증연구(2차년도 중간보고서), 2002
- [5] 한국전력공사 기술연구원, IKL圖 作成 및 配電線 耐雷設計, 1988