

OPGW 활선 공사시 건조대 아크 예측

김정년, 김성욱, 백주흠, 전승익
LG전선 전력연구소

Prediction to Dry-Band Arcing in Live Line Installation

J. N. Kim, S. W. Kim, J. H. Baekm, S. I. Jeon
Electric Power Research & Technology Center, LG Cable

Abstract - 본 논문에서는 기존의 가공지선(GW, Ground Wire)을 OPGW(Optical Ground Wire)로 교체공사를 할 경우 나타나는 절연로프에서의 건조대 아크현상을 수치적인 모델링을 통하여 해석할 수 있는 프로그램을 제작하고 현장조건을 입력하여 문제점을 판단하고 해결할 수 있는 방안을 제시하고자 한다.

1. 서 론

OPGW(Optical Ground Wire)는 낙뢰 또는 선로사고로부터 전력을 보호하기 위한 기능과 통신의 전송매체로서 국내외적으로 수요가 급격히 증대하고 있다. 특히, 개발 도상국에서는 통신분야의 수요가 증가함에 OPGW의 수요가 증대하고 있는 실정이다. 기존의 가공지선을 OPGW로 교체하는 공사에 있어서 선하지 접근의 어려움과 열악한 전력환경으로 인하여 활선상태에서 교체공사가 선회되어지고 있다.

본 논문에서는 GW를 OPGW로 활선가선 공사시 발생하는 절연로프의 전기적인 문제점을 검토한다.

2. 본 론

2.1 절연로프에서의 건조대 아크현상

기존의 가공지선(GW)을 OPGW로 활선 교체 공사시 소요되는 장비로서는 자루기, 조급차, 회수기 및 수종의 절연로프를 사용하며, 이러한 장비는 고전계하에 놓임으로써 전기적인 문제가 발생한다.

특히 절연로프의 건조대 아크(Dry Band Arcing) 문제로 인해 로프에 화재가 발생하는 경우가 있다. 이러한 경우는 주로 비가 오기 시작할 때나 안개가 낀 경우와 같이 대기 중에 수분이 존재할 경우에 발생하고 안전상의 문제점을 야기 시킬 수도 있다.

건조대 아크(Dry Band Arcing)현상은 그림1과 같이 고전계하에서 절연 로프에 공간전위가 형성되어 로프의 길이 방향으로 높은 전계가 형성되는 조건하에서 대기중에 수분을 포함하고 있거나 오손에 의해서 절연로프의 표면 저항에 낮아지고 접지부근에서 강한전계에 의해서 나타나는 현상이다. 이러한 현상으로 로프의 아크가 발생하고 간혹 화재가 발생하는 경우도 있다.

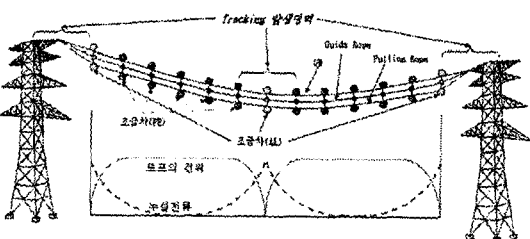


그림 1. 절연 로프의 건조대 아크

2.2 정식화 (Formulation)

그림1에서 절연로프는 금속물질인 조급차를 통해서 가공 지선과 전기적으로 접촉을 하고 있고 중간 부분은 전력선과 일정한 거리를 두고 있어서 로프의 위치에서 전력선의 전위에 의해 로프의 표면에서는 전력선과 로프의 정전결합에 의해 공간전위(Space Potential)가 형성되는데 본 논문에서는 전력선과의 정전 결합에 의한 공간전하를 구하는 방법과 로프에서 나타는 건조대 아크를 위한 전기적인 등가회로를 제시한다.

2.2.1 Capacitance 계산

로프의 위치에서의 지점에서의 전력선과 절연 로프가 위치한 점에서의 공간전위는 전력선과의 정전결합(Capacitive Coupling)을 통해서 설명할 수 있다.

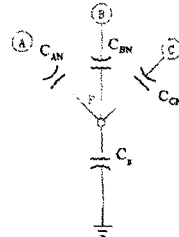


그림 1. 절연로프의 등가회로

로프가 위치한 점과 전력선과의 커패시턴스의 값은 Maxwell Potential coefficients를 이용하여 계산하고 Pulling Rope가 위치한 점에서 등가 전압은 아래 식과 같이 구할 수 있다.

$$V_N^{\#} = V \frac{C_{AN} + a^2 C_{BN} + a C_{CN}}{C_{AN} + C_{BN} + C_{CN}}, \quad a = 0.5 + j0.866 \quad (1)$$

2.2.2 로프의 전기적인 등가회로

대상구간을 m구간으로 나누어 전계하에서의 Pulling Rope는 아래와 같은 등가회로로 표현할 수 있다.

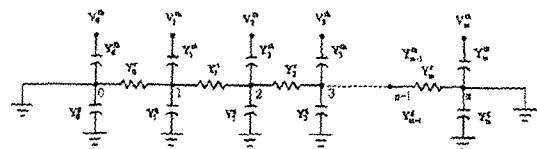


그림 2. 건조대 아크 모델링

$V_N^{\#}$: 로프에서 들여다 본 등가전압 (N=1~m)

Y_N^{th} : 로프와 전력선과의 등가 어드미턴스 ($N=1\sim m$)

Y_N^G : 로프와 대지간의 어드미턴스 ($N=1\sim m$)

Y_N^r : 로프의 표면저항 ($N=1\sim m$)

그림 2와 같은 등가회로를 식 (2)와 같이 방정식을 세워 절점해석(Nodal Analysis)을 통해 노드전압을 계산함으로써 로프의 표면에서의 전위를 계산할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} I_1^{th} \\ I_2^{th} \\ M \\ M \\ I_m^{th} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & \Lambda & \Lambda & 0 \\ Y_{21} & Y_{22} & \Lambda & \Lambda & 0 \\ M & O & M & M \\ M & O & M & M \\ 0 & 0 & \Lambda & \Lambda & Y_{mm} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ M \\ M \\ V_m \end{bmatrix} \quad (2)$$

2.2.3 알고리즘

로프의 각 지점에서의 전위분포, 누설전류 및 전계는 아래와 같은 알고리즘으로 구할 수 있다.

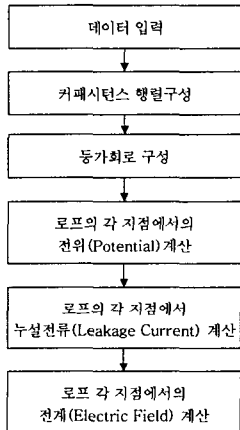


그림 3. 로프의 각 지점에서의 전위분포 계산

2.3 해석 프로그램 개발

본 절에서는 상술한 알고리즘으로 향후 현장부서에서 사용하기 위해서 초보자도 쉽게 이용할 수 있도록 윈도우 환경하에서 동작하며 입출력이 간단하고 시각적인 이미지를 제공해 주는 프로그램을 개발하였다.

본 프로그램을 이용하여 현재 선로의 상태 및 장비의 상태를 입력하면 건조대 아크를 예측할 수 있도록 함으로써 공사 및 운영에 편의를 도모하고자 한다.

건조대 아크를 예측할 수 있는 프로그램의 개략적인 사항은 다음과 같다.

- 개발언어 : Visual C++ 6.0
- 사용자 환경 : Windows(Windows 95이상)

2.3.1 화면구성

전체적인 화면 구성은 시뮬레이션 모드, 시스템 정보, 로프의 정보, Sag정보와 전력선, 가공지선의 위치 및 절연 로프의 가선위치를 입력하는 부분과 시각적으로 위치를 확인하는 부분으로 구성되어 있다.

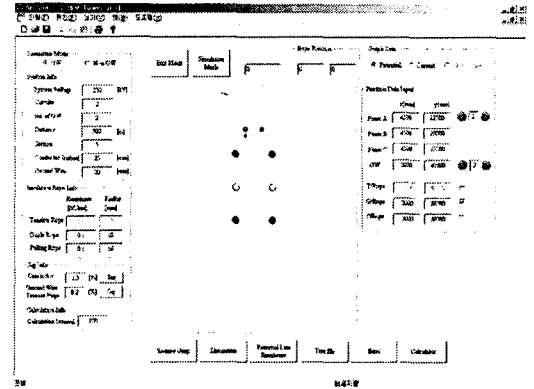


그림 4. 건조대 아크 예측 프로그램 Main Window

2.3.2 시뮬레이션 결과

(1) 등전위선

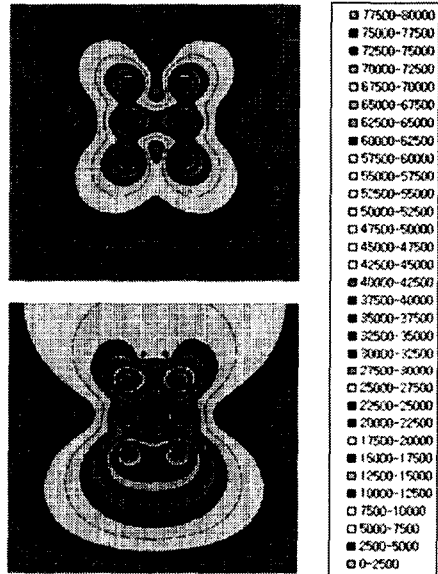


그림 5. 철탑의 전계해석

(2) 작업 Zone에서의 전위분포

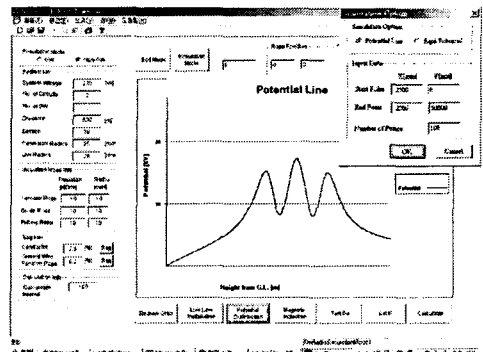


그림 6. 작업 Zone에서의 전위분포

(2) 로프의 각지점에서 전위 분포

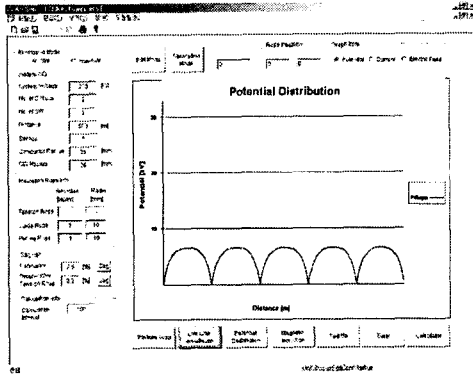


그림 6. 전위분포 (100m간격, $10^7\Omega$ 일때)

(3) 로프의 각 지점에서 전계분포

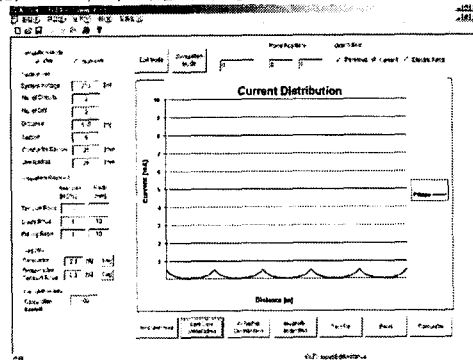


그림 7. 누설전류 (100m간격, $10^6\Omega$ 일때)

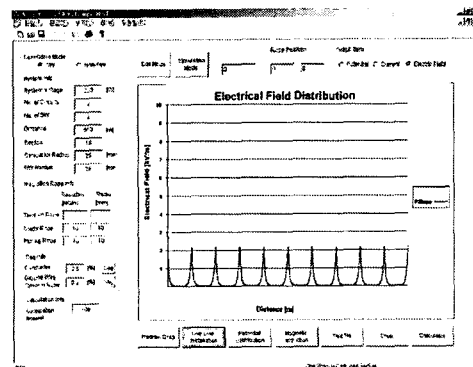


그림 8. 전계분포 (50m간격, $10^7\Omega$ 일때)

2.4 건조대 아크 검토

그림 8은 표면저항에 따른 로프의 각 위치에서의 전압 및 누설전류의 양을 나타낸 그림으로 절연저항이 작을 수록 로프에 유기되는 전압은 작아지며 누설전류의 양이 커짐을 알 수 있다.

그림 9는 로프의 접지 간격에 따른 로프의 전위분포를 나타낸 것으로 시뮬레이션 조건은 화면상에 디스플레이 된다. 표면저항이 $10^6\Omega$ 일 때 철타와 철타사이에 어느 곳에도 접지를 시키지 않았을 경우와 10구간으로 각 구간의 끝 지점에서 로프를 접지를 시켰을 경우 로프에 유기되는 전압을 상당부분 증가시킬 수 있다. 그러나, $10^6\Omega$ 이상이 되는 경우에는 접지시키는 점을 증가시키더라도 최대전위를 감소시키지 못한다.

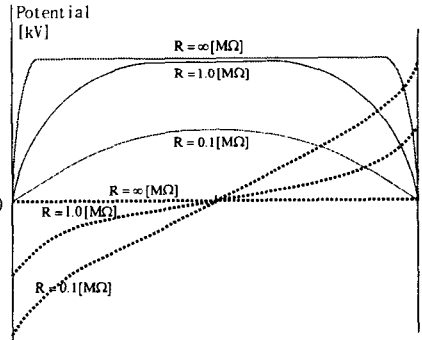


그림 8. 표면저항에 따른 전위/누설전류

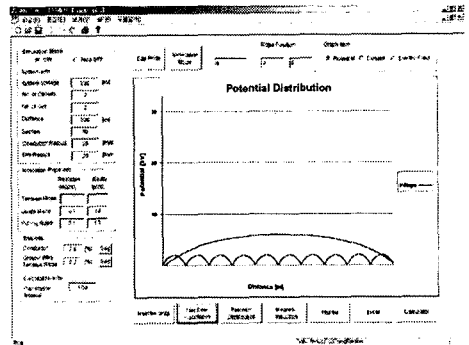


그림 9. 접지간격에 따른 로프의 전위분포

건조대 아크로 인한 로프의 화재나 손상을 방지하기 위해서는 누설전류가 1mA이하가 되도록 조치를 취해주는 것이 중요하다. 상기의 건조대 아크 예측 프로그램을 이용하여 적절한 접지간격을 선정함으로써 건조대 아크를 방지할 수 있을 것이다.

3. 결 론

본 논문에서는 OPGW활선 공사시 로프의 건조대 아크문제를 해결하기 위해 정식화를 시키고 시뮬레이션을 수행하여 아래와 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, OPGW활선공사시 나타나는 아크현상은 로프에 유도되는 공간전위 및 접지로 인한 높은 전계형성에 의해 발생함을 알 수 있었다.

둘째, 조금차의 간격을 조정함으로써 절연로프에 발생하는 건조대 아크를 감소시킬 수 있었다.

셋째, 철타형상 및 포설위치를 입력함으로써 간략하게 3상전위 분포 및 작업공간에서의 전위를 계산할 수 있었다.

[참 고 문 헌]

- [1] 송전선 건설 기술연구회 "가선공사시공기준 해설서", 소화 62년
- [2] 송전선건설 기술연구회 "OPGW가선공법조사 보고서" 소화 41년
- [3] Robert G. Olsen, "An Improved Model for the Electromagnetic Compatibility of All-Dielectric Self-Supporting Fiber-Optic Cable and High-Voltage Power Lines", IEEE Trans. on Electromagnetic Compatibility, Vol. 41, No. 3, pp 180-192, August 1999
- [4] M F Khan and D A Hoch, "Induced Currents on Optical Fibre Cables Installed in High Voltage Transmission Line Environments", IEEE African 2002, pp 623-628
- [5] George G. Karady, "Algorithm to Predict Dry-Band Arcing in Fiber-Optic Cables", IEEE Trans. On Power Delivery, Vol. 16, No. 2, pp 286291, April 2001