

다상 가공선로의 유도회 전압 해석을 위한 프로그램 개발

이 용 한(0) 박 동 욱 *임 용 혁
한국전기연구소 한국전기연구소 *한전 기술연구원

Development of Computer Program for Calculation of Induced Lightning Voltages on Overhead Multiconductor Systems

Lee, Yong Han Park, Dong Wook *Lim, Yong Hyeok
KERI KERI *KEPCO

ABSTRACT

A program for numerical analysis of induced lightning surge is developed. The program first converts simultaneous differential equations into simultaneous difference equations for line sections without transition points, and calculates the line voltage and current by solving a determinant. It, then, calculates the line voltage and current at transition points by applying kirchhoff's law.

This program is potentially useful in a wide range of applications for investigating the effects on distribution lines of lightning protection equipment such as lightning arresters and overhead ground wires.

1. 서론

배전계통의 합리적이고 경제적인 절연설계를 위해서는 가공배전선로에 발생하는 유도회전압의 정확한 예측이 필수적인 과제가 된다.

가공선로 근방에 뇌격이 가해지면, 가공선로에는 전자유도 현상에 의해 전압이 발생하게 되고, 발생된 전압은 선로를 따라 진행하게 된다.

본 프로그램에서는 이러한 유도회 현상에 대한 수학적 모델을 설정하고, 이를 수치해석이 가능한 형태로 변형하여 손쉬운 방법으로 가공선로에 발생하는 유도회 전압을 해석할 수 있도록 하였다.

2. 프로그램의 개요

본 프로그램의 특징은 다음과 같다.

- 다도체계의 선로방정식에 차분방정식을 적용하고, 도체 간의 상호용량계수 및 상호유도계수에 의해 도체 간의 결합을 나타내었다. 이에 의해 가공지선수가 증가하더라도 기본적으로 유도회 현상 해석이 가능하다.

- 선로상의

- 가. 가공지선의 접지점
- 나. 피뢰기의 설치점
- 다. 섬락개소

라. 선로의 말단

마. 선로의 분기점

등을 변이점(Transition Point)이라 부르며, 이들에 대해서는 키르히호프의 법칙을 적용하였다.

- 가공지선에 대해서는 접지 저항값과 접지선의 인덕턴스들, 피뢰기에 대해서는 Gap부와 Gapless의 구별등을 프로그램에 입력할 수 있으므로, 대단히 광범위하게 내뢰설비의 효과를 고려할 수 있다.

- 주방전전류는 꺾인 선으로 모의하였으므로 실제파형과 아주 근사하게 모의할 수 있다.

- 다음 사항의 검토에도 이용할 수 있다.

- 가. Gap부 피뢰기의 보호 특성
- 나. Gapless 피뢰기의 보호 특성
- 다. 절연물의 섬락 특성

라. 가공지선의 보호 특성

본 프로그램의 흐름도는 그림 1.과 같다.

3. 해석의 전체 조건

- 뇌격에 대한 가정

가. 뇌격은 주방전만을 고려하며, $t=0$ 에서 지표면으로부터 공간으로 향하여 전류가 흐르기 시작하는 것으로 한다.

나. 전류는 수직 방향으로만 흐르고 가지갈림은 없다.

다. 뇌격은 일정한 속도로 진행한다.

라. 전류 파형은 그림 2.과 같이 꺾인선으로 모의한다.

- 선로 및 대지에 대한 가정

가. 도체의 저항은 무시한다. 즉, 도체방향의 전계성분은 항상 0이다.

나. 진행파의 감쇄 및 왜형은 없다.

다. 대지는 완전 평판 도체이다.

4. 해석을 위한 선로방정식

유도회 전압에 의한 선로방정식은 식 (1), (2) 및 식 (3)과 같이 표현된다.

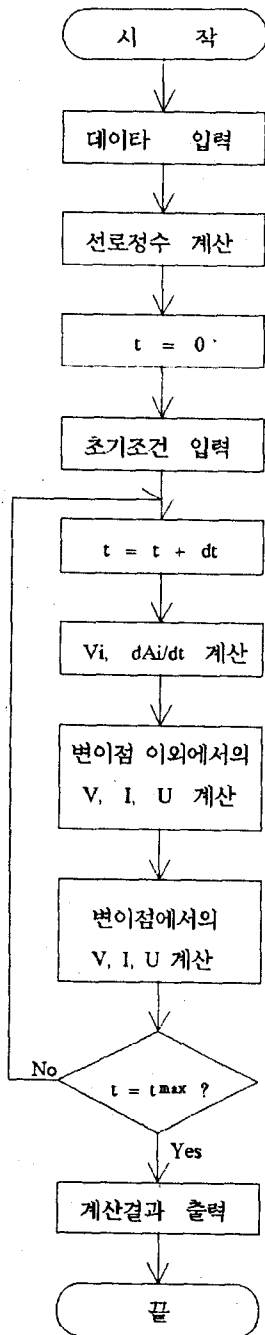


그림 1. 프로그램의 흐름도

$$\frac{\partial[V]}{\partial x} = -[L] \frac{\partial[I]}{\partial t} \quad (1)$$

$$\frac{\partial[I]}{\partial x} = -[C] \frac{\partial[V - V_i]}{\partial t} \quad (2)$$

$$[U] = [V] + h \frac{\partial[A_i]}{\partial x} \quad (3)$$

단, [L]: 선로의 단위길이당 인덕턴스 행렬

[C]: 선로의 단위길이당 커패시턴스 행렬

[U]: 전체 유도된 전압

h: 선로의 지상고

식 (1), (2) 및 식 (3)에서 A_i 는 뇌격전류에 의해 임의의 지점에 유도되는 기유도 벡터 전위(Inducing Vector Potential)의 수직성분을 나타내고, V_i 는 기유도 스칼라 전위(Inducing Scalar Potential)를 나타내며, 그림 2와 같은 뇌격전류에 대한 값은 각각 식 (4)와 식 (5)로부터 구할 수 있다. 또한 식 (1), (2) 및 식 (3)에 의한 등가회로는 그림 3과 같다.

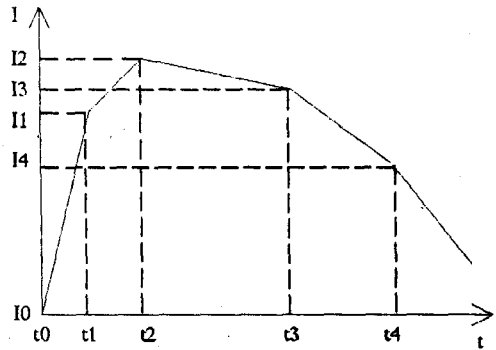


그림 2. 격인선으로 표현된 뇌격전류 파형

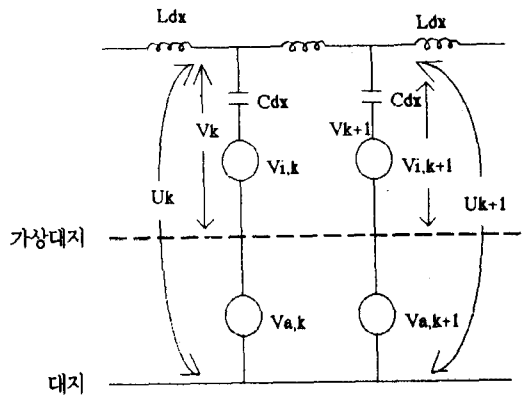


그림 3. 유도된 전압 해석을 위한 등가회로

$$V(t) = \sum_{j=0}^n 2z_0 h \frac{v_0}{v} (a_{j1} - a_j) \left(\frac{t-t_j}{v_0} - \frac{1}{v_0} + \frac{1}{v} \ln \frac{\sqrt{v^2(t-t_j)^2 + [1 - (\frac{v}{v_0})^2] r_0^2} - v(t-t_j)}{r_0 (1 - \frac{v}{v_0})} \right) \quad (4)$$

$$V(x) = h \frac{\partial A}{\partial t}$$

$$= \sum_{F=0}^n -2z_0 h \frac{v}{v_0} (a_{n1} - a_1) \frac{1}{v}$$

$$\ln \frac{\sqrt{v^2(t-t_0)^2 + [1 - (\frac{v}{v_0})^2] t_0^2} - v(t-t_0)}{t_0(1 - \frac{v}{v_0})} \quad (5)$$

TRANSITION TYPE	SYMBOL
LEFT END :	⊙
RIGHT END :	△
MIDDLE POINT :	+
T-BRANCH POINT :	×
STROKE POINT :	↓

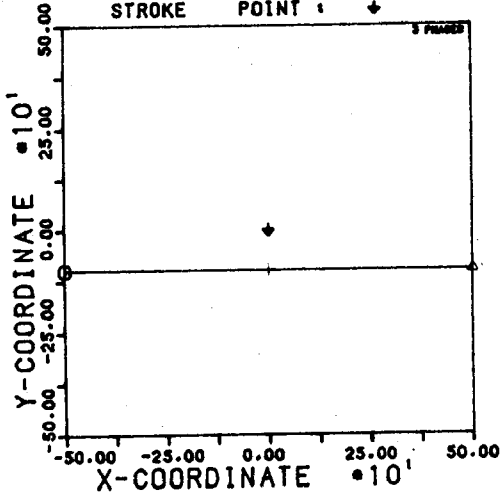


그림 4. 유도회 전압 해석을 위한 선로 1

TRANSITION TYPE	SYMBOL
LEFT END :	⊙
RIGHT END :	△
MIDDLE POINT :	+
T-BRANCH POINT :	×
STROKE POINT :	↓

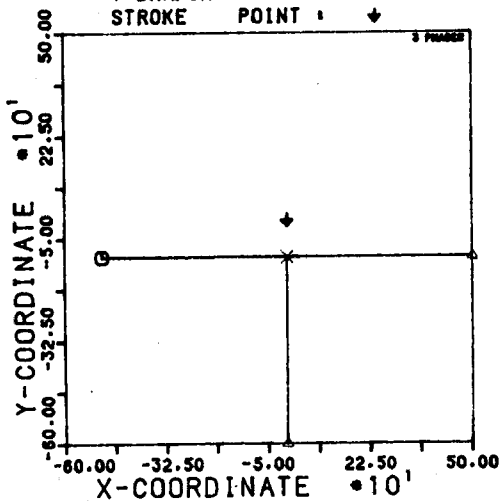


그림 5. 유도회 전압 해석을 위한 선로 2

5. 해석 예

그림 4. 및 그림 5.의 선로에 대해 그림 6.과 같은 뇌격이 선로로부터 100m 떨어진 지점에 가해졌을 경우의 유도회 전압을 해석한 결과를 그림 7. 그림 8. 및 그림 9에 나타내었다.

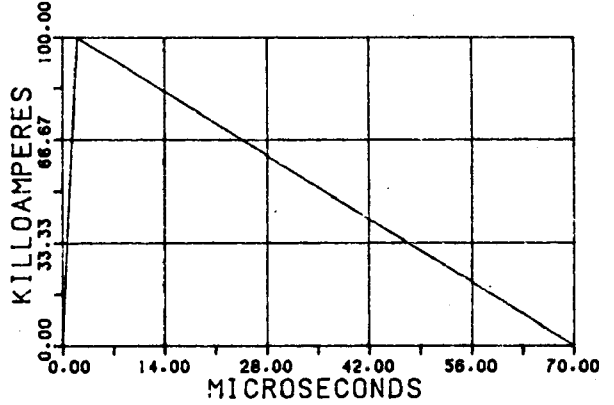


그림 6. 뇌격전류 파형

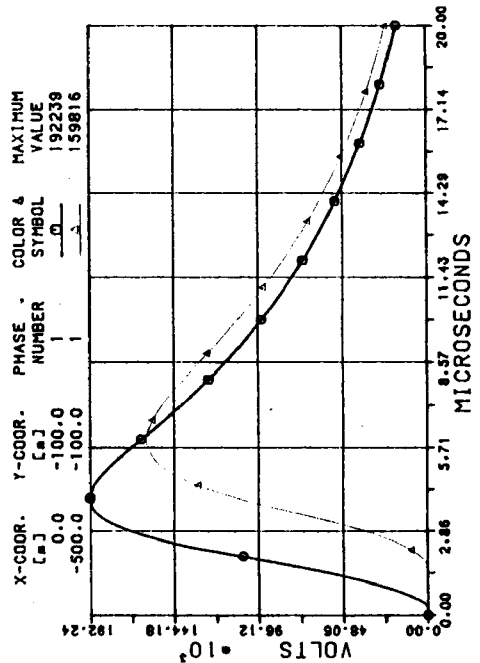


그림 7. 선로 1의 말단이 장합되어 있을 경우의 해석 결과

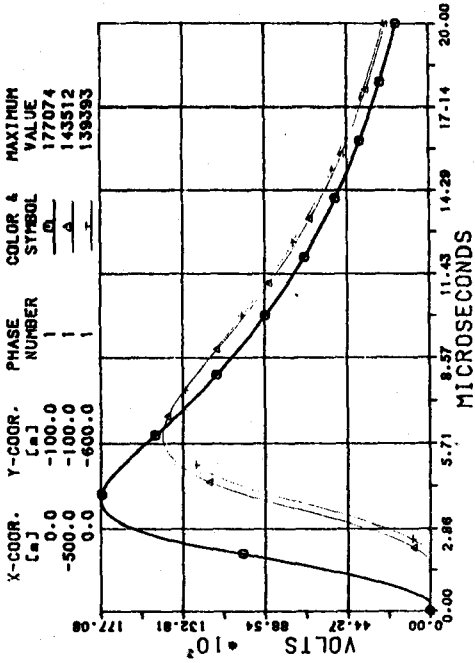


그림 8. 선로 2의 말단에 정합되어 있을 경우의 해석 결과

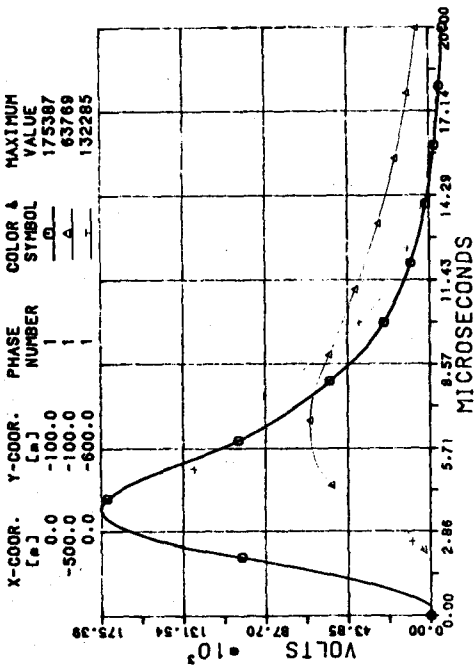


그림 9. 선로 2의 좌단에 피뢰기가 설치되어 있을 경우의 해석 결과

6. 결론

본 프로그램에 의해 가공배전선로에 발생하는 유도 전압을 해석함으로써, 배전계통의 절연설계를 위한 기초자료를 제공할 수 있으며, 각종 내뢰설비의 효과적인 과전압 억제에 대한 검토를 컴퓨터에 의해 손쉽게 수행할 수 있게 되었다.

그러나, 본 프로그램의 타당성을 판정하기 위해서는 실측자료 또는 실증시험자료가 필요로 하므로 이를 위해 실측장비 또는 실증시험장비를 구비해야 한다.

7. 참고문헌

가. S. Yokoyama, "Numerical Analysis of Induced Lightning Surges", IEEE PES Winter Meeting, A 78 123-2, January/February 1978.

나. R. Lundholm, "Induced Overvoltage-Surges on Transition Lines and Their Bearing on the Lightning Performance at Medium Voltage Networks", Trans. of Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden, 1957.

다. S. Yokoyama, "Development of Computer Program for Analysis of Induced Lightning Voltages on Overhead Multiconductor Systems", CRIEPI, Tokyo, Japan, 1982.

라. S. Rusck, "Induced Lightning Over-Voltages on Transmission Lines with Special Reference to the Over-Voltage Protection of Low-Voltage Networks", Transactions of the Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, No. 120, 1958.