

가공배전선로 유도뢰 해석 프로그램 개발

이용한 정동학*
*한국전기연구소

하복남** 남궁도** 유현재**
**한전전력연구원

Development of a Computer Program for Analysis of Induced Lightning Overvoltages on Overhead Distribution Lines

LEE, YONGHAN JUNG, DONGHAK* HA, BOKNAM** NAMKUNG, DO** YOO, HYUNJAE**
*KERI **KEPRI

Abstract

A computer program for calculation of induced lightning overvoltages on the multiconductor overhead distribution lines has been developed. This program is very useful in a wide range of applications for investigating the effects on distribution lines of lightning protection equipment such as lightning arresters, overhead ground wire and arcing devices.

1. 서론

가공송전선로의 뇌새어지에 대한 보호는 선로 또는 첩탑에 직접 뇌격이 가해진 경우를 상정하여 검토하지만, 가공배전선로의 뇌새어지에 대한 보호는 선로에 근접된 뇌격에 의해 선로에 유도되는 유도뢰를 주대상으로 한다. 따라서 가공배전계통의 절연협조설계 및 기타 기기들의 뇌새어지에 대한 운동특성을 검토하기 위해서는 유도뢰 새어지의 해석이 필수적인데, 유도뢰의 특성상 일반적인 회로해석 프로그램(EMTP, PSPICE 등)에 의해 모의하기 곤란하므로, 유도뢰 현상을 모의할 수 있는 별도의 프로그램이 반드시 필요하다.

여기에서는 국내 다중접지 가공배전계통에 발생하는 유도뢰 새어지를 해석하기 위한 프로그램을, 개인용 컴퓨터의 Windows 용으로 Visual Basic 3.0 을 사용하여 개발한 내용에 대해 기술하였다.

2. 해석 이론

가. 전제조건

(1) 뇌격에 대한 가정

- 주방전만을 대상으로 시간영점에서 지표면으로부터 공간으로 전류가 흐른다.
- 전류는 대지에 대해 수직방향으로만 흐르며, 가지갈림은 없다.
- 전류의 진행속도는 일정하다.

(2) 선로 및 대지에 대한 가정

- 도체저항은 무시한다. 즉, 도체방향의 전계성분은 항상 0 이다.
- 선로에서의 진행파의 감쇠 및 왜형은 무시한다.
- 대지는 완전 평판도체다.

나. 수치해석을 위한 기초방정식

(1) 선로방정식

- 유도뢰에 의한 선로에서의 전압, 전류 방정식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 [U] &= [V] + [h] \left[\frac{\partial A_i}{\partial t} \right]_z \\
 \left[\frac{\partial V}{\partial x} \right] &= -[L] \left[\frac{\partial I}{\partial t} \right] \quad \text{----- (1)} \\
 \left[\frac{\partial I}{\partial x} \right] &= -\frac{1}{[k]} \left[\frac{\partial (V - V_i)}{\partial t} \right]
 \end{aligned}$$

[U] : 도체 전압 벡터
[V] : Induced Scalar Potential Vector
[I] : 도체 전류 벡터
[A_i] : Inducing Vector Potential Vector
[L] : 선로 인덕턴스 행렬
[k] : 선로 전위계수 행렬
[V_i] : Inducing Scalar Potential Vector
[h] : 선로 지상고 행렬

(2) V_i 및 A_i

- 자유공간에서의 V_i 및 A_i 는 다음과 같이 구해진다.

$$V_i(t) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{q \left(z, t - \frac{r}{v_0} \right)}{r} dz \quad \text{----- (2)}$$

$$A_i(t) = \frac{\mu_0}{4\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{I \left(z, t - \frac{r}{v_0} \right)}{r} dz \quad \text{----- (3)}$$

q : 뇌격의 단위길이당 전하량
I : 뇌격전류
v₀ : 광속

다. 변이점의 취급

선로의 말단, 피뢰기 설치지점, 가공지선의 접지개소 및 섬락개소 등을 변이점이라 하며, 이들은 다음과 같이 모의하여 Kirchhoff's Law 를 적용하여 계산한다.

(1) 피뢰기

- 피뢰기는 전압-전류특성을 구간선형화하여 표현한다. (그림 1. 참조)
- 갭이 있을 경우, 갭 섬락전에는 전압-전류특성식을 적절히 변형(a=∞)하여 표현한다.

(2) 가공지선의 접지개소

가공지선의 접지개소는 피뢰기의 전압-전류 특성식에서 a=b=0으로 두고 계산한다.

(3) 심략개소

집이 있는 피뢰기의 집 심략과 유사한 방법으로 심략전 후를 표현한다.

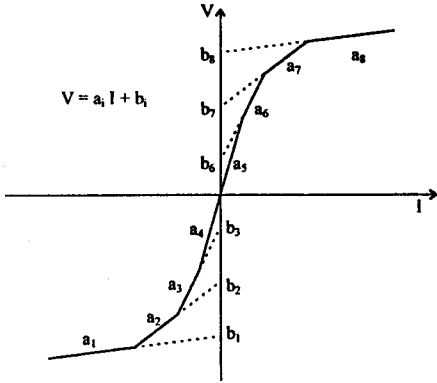


그림 1. 피뢰기 전압-전류특성의 구간선형에 의한 모의

3. 프로그램의 구성 및 형태

가. 프로그램의 구성

프로그램의 구성은 다음과 같다.

(1) Pre-Processing

(가) 뇌격 데이터 입력

- 뇌격의 파형 및 크기 : 구간선형에 의한 모의

(나) 선로 데이터 입력

- 도체의 기하학적 구성 : 선로 임피던스 및 캐패시턴스 행렬 계산
- 선로 경과지 좌표 : 뇌격 위치를 좌표 원점으로 둔다.
- 다수의 직선 형태로 모의 가능

(다) 변이점 데이터 입력

- 가공지선, 중성선 데이터 입력 : 경간 및 접지저항
- 선로 양단 데이터 입력 : 정합 또는 비정합
- 접지점, 심략지점 및 피뢰기 설치지점 입력 : 위치, 접지저항, 심략전압 및 비선형저항값(구간선형으로 표현)

(라) 출력지정

- 위치 및 변수(Node 전압, Branch 전압, 전류) 지정

(마) 입력 데이터의 사전 처리

- 시간증분 입력
- 거리증분 입력
- 뇌격전류 진행속도 입력
- Node Numbering
- 선로 임피던스 행렬 재구성

(2) Main Processing(Time Step Loop)

- 각 Node 에서의 유도도 전압, 전류 계산
- 출력지정 변수값 저장

(3) Post-Processing

(가) 계산 결과 출력

- 출력 형태 지정 : 도표 또는 그래프 형태로 출력

나. 프로그램의 형태

각 모드별 프로그램 형태는 다음과 같다.

(1) 프로그램의 초기화면

그림 2. 에 현재 개발중인 프로그램 수행시 초기화면을 나타내었으며, 여기에서 뇌격 데이터, 선로 데이터, 기타 데이터의 입력 모드 및 계산 결과의 사후처리 모드를 선택할 수 있다.

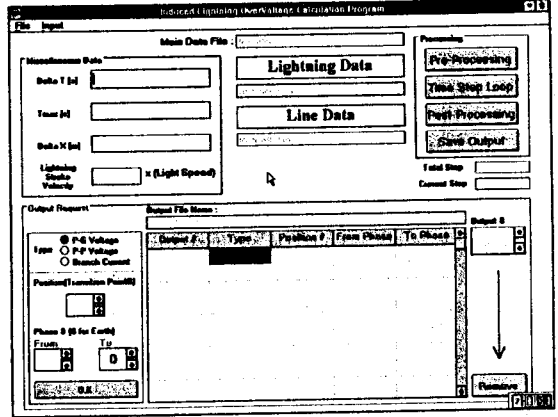


그림 2. 프로그램 수행 초기 화면

(2) 뇌격 데이터 입력화면

그림 3. 에 뇌격 데이터를 입력하기 위한 화면을 나타내었는데, 뇌격 데이터는 시간-전류 평면상에서 구간 선형화된 뇌격전류 파형의 각 꼭지점을 입력하면 된다.

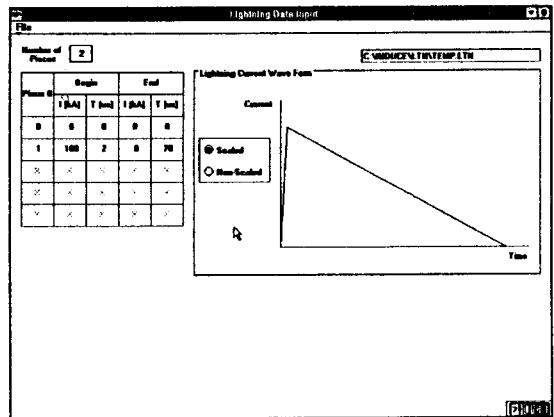


그림 3. 뇌격 데이터 입력 화면

(3) 선로 데이터 입력화면

그림 4. 에 선로 데이터를 입력하기 위한 화면을 나타내었다. 선로 데이터는 선로를 구성하는 도체의 기하학적 배치 형태와 선로 경과지의 뇌격점에 대한 상대위치로 구분하여 입력하도록 되어 있으며, 뇌격 경과지는 구간 선형화하여 다수의 직선으로 표현할 수 있도록 하였다.

(4) 변이점 데이터 입력화면

그림 5. 에 변이점 데이터를 입력하기 위한 화면을 나타내었다. 다중접지 중성선 및 가공지선의 접지점은 변이점으로 취급되기 때문에 변이점 데이터 입력 모드에서 처리하였으며, 기타 다른 변이점을 추가로 입력할 수 있도록 하였으며, 선로 양단은 정합된 형태로 모의할 수 있도록 하였다.

(5) Pre-Processing 후의 주화면

그림 6. 에 Pre-Processing 후의 주화면을 나타내었으며, 완성된 입력모드는 색상을 달리하여 표현하도록 하였다. 출력지정은 변이점에서만 가능하며, 화면에는 나타나지 않으나, 계산 모드(Time-Step-Loop)를 수행하기 위한 Node-Numbering 등의 과정이 처리되어 있다.

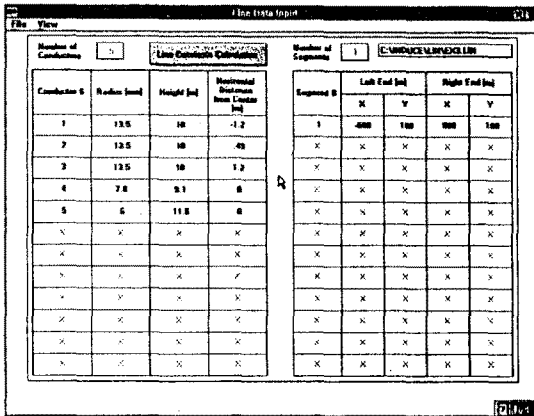


그림 4. 선로 데이터 입력 화면

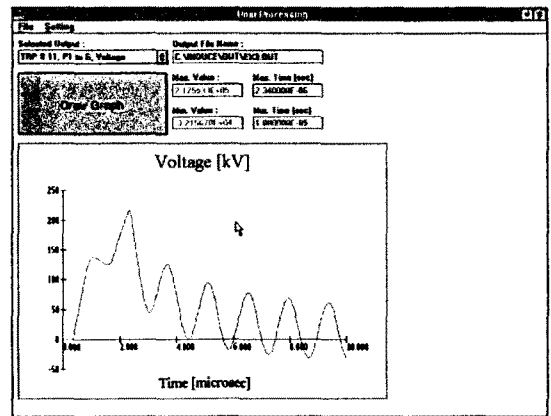


그림 7. Post-Processing 화면

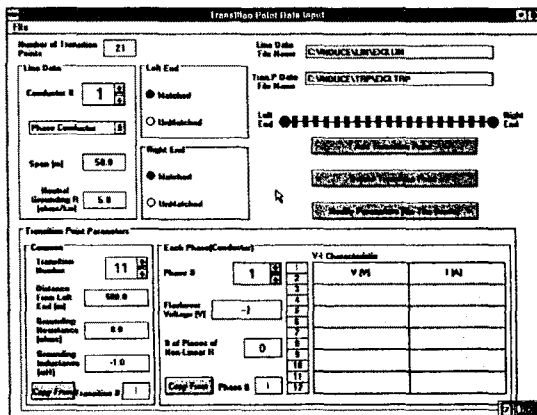


그림 5. 변이점 데이터 입력 화면

4. 사용예

그림 8.에 나타낸 해석대상 계통에서의 유도회 써이지를 해석한 결과를 그림 9.에 나타내었다.

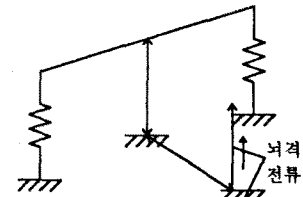


그림 8. 해석 대상 계통 예

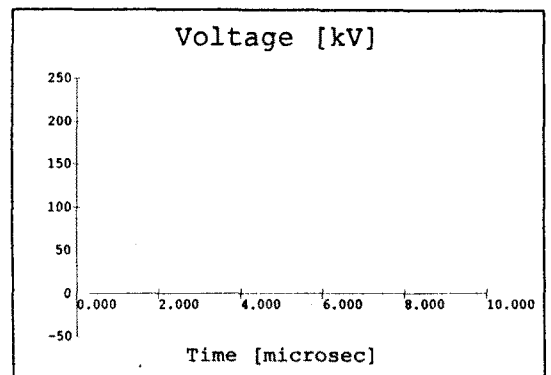


그림 9. 계산 결과 그래프 출력 예

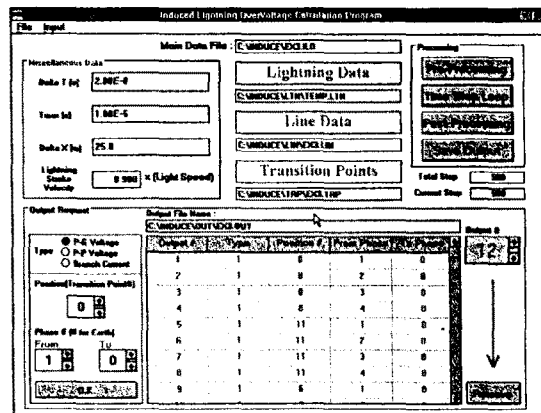


그림 6. Pre-Processing 후의 주화면 화면

(6) Pre-Processing 후의 주화면

그림 7.에 계산 결과를 출력하기 위한 Post-Processing 모드 화면을 나타내었으며, 그래프는 프린터로 직접 출력하거나, 파일 형식(*.WMF 형식)로 저장할 수도 있다.

5. 결론

가공배전계통에 발생하는 유도회 써이지는 저격자체의 불확실성 및 배전계통과 주변 구조물의 복잡성 등으로 인해 아주 정밀한 해석 프로그램을 요구하지 않기 때문에, 급변에 개발된 프로그램이 비록 해석 모델의 정교성이나 해석 결과의 정도가 뛰어나지 않더라도, 가공배전계통에 발생하는 유도회 써이지에 대한 여러 보호설비들의 용동특성을 개념적으로 검토하기에는 충분한 것으로 생각된다.

참고문헌

1. 横山 茂, "多導體系誘導雷現象解析プログラムの開発", 電力中央研究所, 研究報告 183039, 1984.4.
2. Microsoft Visual Basic Programmer's Guide