

수치해석 범용프로그램(Matlab)을 이용한 유도전압 및 차폐계수 계산 프로그램 개발

김도영\*, 김점식\*, 박용범\*, 권신원\*, 권세원\*, 최장영\*\*  
 대원전기(주)\*, 충남대학교\*\*

A Development of Calculation Program for Lightning Induced Voltage and Shielding Coefficient by using MATLAB

Do-Young Kim\*, Jeom-Sik Kim\*, Do-Young Kim\*, Yong-Beom Park\*, Sin-Won Kwon\*, Se-Won Kwon\*, Jang-Young Choi\*\*  
 Daewon Electric Corp.\*, Chungnam Nat'l Univ.\*\*

**Abstract** - 전력계통의 절연설계에 있어 뇌과전압을 정확하게 측정하고 분석하는 것은 매우 중요하다 할 수 있다. 유도뢰 해석의 일환인 수치해석은 계산식을 기반으로 유도뢰 차폐효과에 대해 해석이 가능하나 이러한 수치적 해석은 선로정수, 뇌격전류의 크기 또는 접지저항 값이 변경되었을 경우 계산을 하는데 다소 복잡한 과정을 거쳐야하기 때문에 이를 일괄적으로 처리할 수 있는 프로그램의 개발 필요성이 대두되었다. 이에 유도뢰 차폐효과 계산 프로그램을 MATLAB을 사용하여 개발하였다.

1. 서 론

배전선로에서 가공지선은 낙뢰 발생시 선로에 낙뢰가 직접 떨어지는 것을 방지하고 뇌격 발생시 이상전류를 대지에 신속하게 흘려주기 위한 용도로 이용되고 있다. 이러한 가공지선의 유도뢰 차폐 효과에 대한 계산은 외국의 여러 문헌에 발표되었으나 우리나라와 같은 22.9 kV-Y 중성점 다중 접지계통에서의 설치원리와 효과를 고려하여 검토한 결과는 많지 않다. 특히 1984년 Yokoyama가 접지저항 크기에 따른 유도뢰 유도전압 변화를 발표하였으나 그의 논문은 중성선이 여러 개소에 접지되어 있는 실제통에 적용하기 어렵고, 접지개수도 1개소만을 대상으로 하기 때문에 우리 실정에 적용하기 어려운 문제가 있었다. 이러한 문제점을 보완하기 위해 다중접지에 적합한 계산 접지장소별 접지저항의 영향이나 연결에 따른 영향 등에 대한 연구가 요구된다.[1-3]

이에 본 논문에서는 수치해석을 통하여 지상고 및 접지저항, 선로 구조 등에 따른 유도뢰 차폐효과를 계산하였으며, 이를 기반으로 22.9kV 배전선로의 구조에 따른 유도뢰 차폐효과 분석 프로그램을 MATLAB을 이용하여 개발하고자 한다.

2. 본 론

2.1 유도뢰 수치해석

2.1.1 계산의 전제조건

유도뢰 해석 프로그램을 작성할 경우 주방전의 진행 개시시간 에서는 모든 선로전압, 선로전류, 기유도 스칼라 포텐셜, 기유도 벡터 포텐셜은 0으로 하고 계산하나 Rusck의 식은 기유도 스칼라 포텐셜  $V_i(t)$ 에 대해서  $t=0$ 에서 0이 되지 않는다는[4]. 그러나 선행방전 단계에서 전하의 움직임은 주방전 단계에 비해서 아주 느리기 때문에 짧은 선로에서 누설 저항이 아주 높은 경우를 제외하고는 선로상에 유도된 전압은 크게 되지 않는다. Rusck의 연구에서도 결국 주방전 전류만을 고려해도 동일한 결과가 나오는 것으로 되어 있다. 여기서는 가공지선의 접지점, 피뢰기 설치점, 선로 말단 등을 변이점이라고 하며 이 이외의 영역을 일반구간이라고 한다. 이때의 계산식은 다음과 같다.

$$\left(-\frac{\partial I}{\partial x}\right) = [C] \frac{\partial (V - V_i)}{\partial t} \quad (1)$$

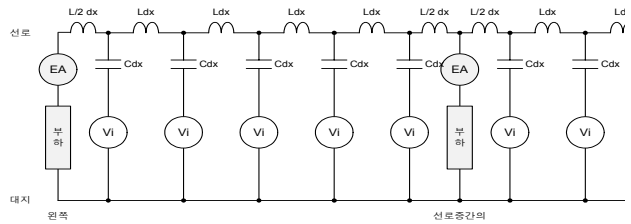
$$\left(-\frac{\partial V}{\partial x}\right) = [L] \left(\frac{\partial I}{\partial t}\right) \quad (2)$$

2.1.2 변이점의 처리

선로말단, 피뢰기 설치점, 가공지선과 같은 변이점은 일반구간과 같이 취급하여 계산할 수 없기 때문에 변이점은 별도의 계산식을 모든 변이점에 대해서 유도식을 만들어서 계산한다. 즉 편미분방정식에 대해서 경계조건으로 하여 취급한다. 이들의 처리방법은 변이점을 차분방정식으로 변환하고 이들의 유도시에는 다음과 같은 원칙을 적용한다.

- (1) 변이점 양측의 미소분할을  $\Delta x$ 에서는  $\Delta x/2$ 로 한다.
- (2) 변이점간의 각 구간 거리는 미소분할  $\Delta x$ 의 배수가 되게 한다.
- (3) 변이점에는 기유도 스칼라 포텐셜 를 삽입하지 않는다. 그러나 기유도 벡터 포텐셜은 삽입한다.

<그림 1>은 변이점을 처리한 선로에 대해서 등가회로의 예를 표시하고 표시를 간단히 하기 위해서 단일 도체계로서 나타내었다.



<그림 1> 변이점의 삽입

2.1.2 반사가 생기지 않는 종단의 취급

긴 배전선로에서 유도뢰 현상을 수치 해석할 경우에 선로의 길이를 종단에서 절단할 수 있지만 이때 여기서 반사가 생기지 않도록 방정식을 유도해야 한다. 좌측 종단에서 반사가 생기지 않을 때 구할 값은  $V_v^+(t + \Delta t)$ ,  $I_v^+(t + \Delta t)$  ( $v=1..m$ )이며 종단에서 반사를 일으키지 않는 조건이므로 다음식이 성립한다.

$$V_v^+(t) = \sum_{k=1}^m Z_{vk}^* \cdot \{-i_k^-(t)\} \quad (3)$$

좌측 종단에 매칭저항이 있을 경우 앞에서 유도한 것을 차분법으로 해석하면 구하고자 하는 유도전압은 다음과 같다.

$$[U_v^n(t)] = [V_v^n(t)] + [E_{Av}^n(t)] \quad (4)$$

2.2 MATLAB을 이용한 유도전압 계산 절차

변이점 이외에서는 연립 편미분 방정식을 연립 차분 방정식으로 변환하고 이들의 행렬식을 풀어서 선로의 전류와 전압을 구하였다. 변이점에서는 접지선에 흐르는 전류에 대해서 키르히호프 법칙을 적용하여 선로 전압과 전류를 계산하였다. 본 프로그램은 가공지선의 효과를 계산할 수 있으며 전주마다 접지저항이 다른 경우도 계산할 수 있고 가공지선과 중성선과 연결한 경우도 계산할 수 있도록 알고리즘을 개발하고 상용 툴인 MATLAB을 이용하여 작성되었다.

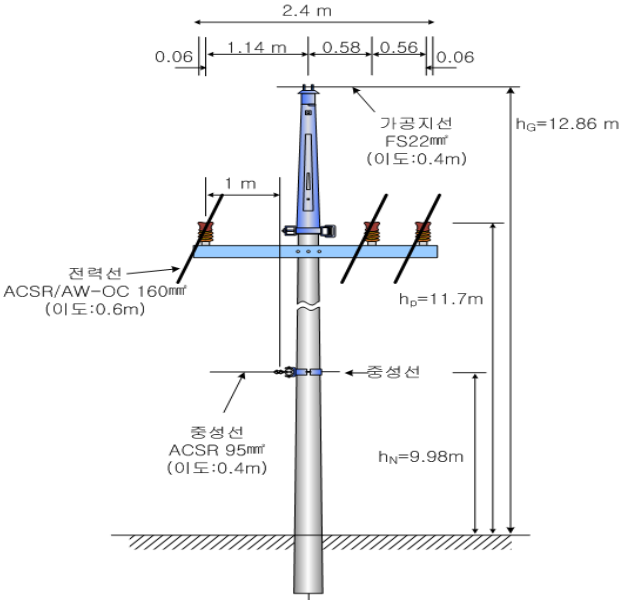
수치 해석적 방법으로 유도 전압 계산을 수행하기 위한 각각의 단계는 다음과 같다.

- 1 단계 입력 데이터 읽기
  - 상도체 수, 전력선 수, 선로 길이, 도체의 위치, 도체의 직경
  - 뇌격 위치, 뇌격 속도, 뇌격전류 파형, 뇌격전류 시정수,
  - 가공지선의 대지간 저항, 대지간 인덕턴스
- 2 단계 계통정수 계산
  - 상호 인덕턴스 계수, 상호 커패시턴스 계수
- 3 단계 초기조건 계산
- 4 단계 유도된 스칼라 포텐셜  $V_i$  계산
- 5 단계 선로에서 변이점이 없는 지점에서 유도된 스칼라 포텐셜과 전류 계산
- 6 단계 유도된 필드에서 벡터 포텐셜 (dAi/dt) 계산
- 7 단계 변이점에서 전압과 전류 계산
  - Kirchhoff 법칙을 적용하여 변이점에서 전압과 전류값 계산
- 8 단계 계산종료시간이 될 때까지 4 단계 ~ 7 단계를 반복
- 9 단계 유도뢰계산 결과를 출력

## 2.3 배전선로 모델링

본 계산 프로그램에 사용된 배전선로 모델링은 22.9kV-Y 배전선로의 표준전주로서 사용된 전선의 종류 및 설치 위치는 다음과 같다.

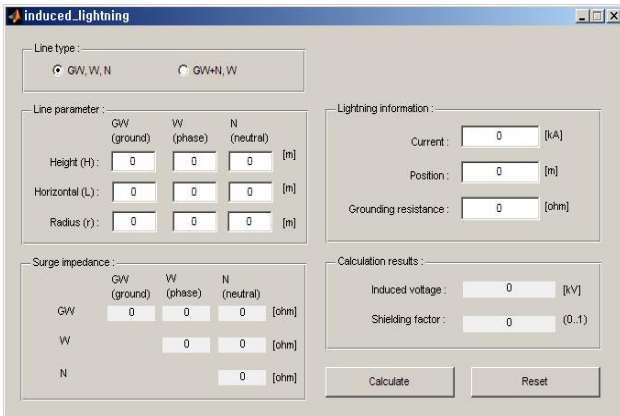
- 가. 배전선의 종류: ACSR 160[mm<sup>2</sup>] (직경 15.4 [mm])
- 나. 가공지선의 종류: FS 22[mm<sup>2</sup>] (직경 6.0 [mm])
- 다. 중성선의 종류: ACSR 95[mm<sup>2</sup>] (직경 12.6 [mm])
- 라. 지상높이: 가공지선 (12.86 m), 배전선 (11.7 m), 중성선 (9.98 m)



〈그림 2〉 22.9kV-Y 배전선로 표준모델

## 2.4 유도뢰 차폐효과 계산 프로그램 개발

유도뢰 차폐효과 계산 프로그램은 MATLAB 2008a 환경에서 개발하였으며 GUI 모듈을 적용하였다. 프로그램의 실행은 MATLAB을 실행한 후 명령 대기줄(command prompt)에서 “induced\_lightning”을 입력하면 되도록 하였다. 〈그림 3〉은 MATLAB에서의 실행화면을 나타내고 있다.



〈그림 3〉 유도뢰 차폐효과 계산 프로그램 초기화면

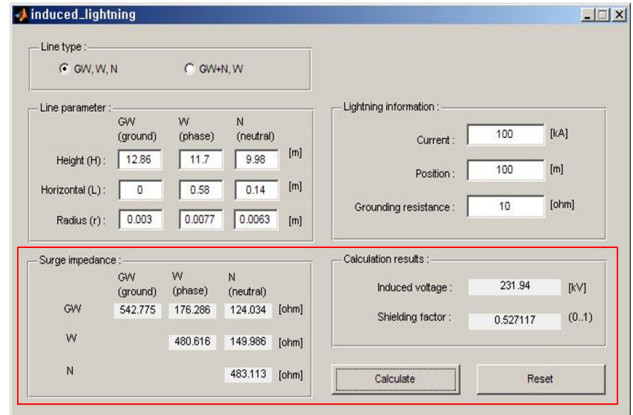
〈그림 3〉에 나타난 바와 같이 3개의 입력 패널과 2개의 출력패널 및 2개의 명령실행 버튼을 구성되어 있다. 입력패널에 있어서 “Line type” 패널에서는 선로의 형태를 선택하는 부분을 나타낸다. 선택사항 “GW, W, N”은 현행 선로 구조를 나타낸다. 즉 GW는 가공지선, W는 상도체, N은 중성선을 의미한다. 선택사항 “GW+N, W”은 제한한 선로 구조를 나타낸다. 이는 GW와 N을 공동으로 사용하는 것을 의미한다.

“Line parameter” 패널은 가공지선, 상도체, 중성선 각각의 지상높이, 기준선으로부터 수평거리, 도체의 반경을 입력하는 부분이다. “Lightning information” 패널은 뇌격전류의 크기, 뇌격위치 즉 선로와 떨어진 거리 및 가공지선의 접지저항을 입력하는 부분이다.

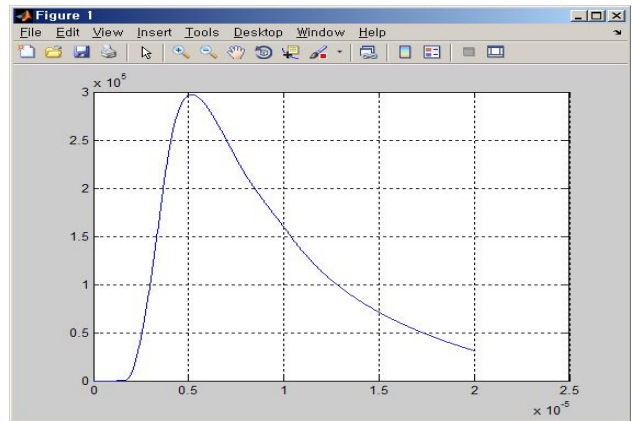
출력패널에 있어서 “Surge impedance” 패널은 가공지선, 상도체, 중성선에 대해 계산된 썬지 임피던스를 표시하는 부분이다. “Calculation results” 패널은 계산된 유도 전압의 크기와 차폐율을 표시하는 부분이

다. 입력패널의 값은 초기값을 미리 할당해 두었으며, 언제든지 변경가능하다. 출력패널은 “Calculate”버튼을 클릭하였을 경우 계산된 결과가 표시된다. “Reset”버튼은 값을 초기화할 경우에 클릭하면 된다.

수치 입력 후 “Calculate”버튼을 클릭하였을 경우 현재의 입력패널에 해당되는 값의 계산결과를 표시하는 화면을 〈그림 4〉에 나타내었다. Surge 임피던스와 유도 전압 및 차폐율 계산결과를 표시한다.



〈그림 4〉 유도뢰 차폐효과 계산 결과 표시 화면



〈그림 5〉 유도뢰 차폐효과 계산 결과 출력

## 3. 결 론

본 논문에서는 범용 수치해석 프로그램인 MATLAB을 이용하여 가공 배전선로의 유도뢰 차폐효과를 계산하는 프로그램을 개발하였다. 기존에는 선로 구조 및 뇌격정보, 접지저항 값에 따른 유도 전압을 계산하기 위해서는 복잡한 수식의 계산이 이루어져야 하며, 결과의 검증이 어려웠다. 그러나 개발 프로그램을 통해 전력설비의 설치 위치 및 지상고에 따른 Surge 임피던스, 유도 전압 및 차폐계수가 계산 가능하며 복잡한 수식의 연산 없이 선로 구조, 선로정수, 접지저항 값 또는 뇌격정보를 변경하여 이에 대한 계산결과를 신속하게 확인할 수 있다.

## [참 고 문 헌]

- [1] 김점식 외 2명, “22.9kV 배전선로 중성선 설치 구조에 따른 유도뢰 차폐효과 분석”, 대한전기학회 논문지 59P권 제2호, pp. 191-196, 2010.
- [2] S. Yokoyama, “Calculation of lightning-induced voltages on overhead multiconductor systems”, IEEE Trans. on Power Apparatus Systems, Vol. PAS-103, No.1, Jan. 1984.
- [3] S. Yokoyama, “Analog Simulation of Lightning Induced Voltages and Its Application for Analysis of Overhead-Ground-Wire Effects”, Proc. IEE, Vol. 132, part C, pp. 208-216, 1985
- [4] S. Rusck, “Induced Lightning Overvoltages on Power Transmission Lines with Special Reference to the Overvoltage Protection of Low-Voltage Networks”, Trans. Royal Inst. Tech, vol, 120, 1958.