

Verification of Underground Distribution Line Modeling with Field Test

尹 稔 燮* · 李 鍾 範[†] · 李 載 奉** · 金 炳 塾***

(Chang-Sub Yun · Jong-Beom Lee · Jae-Bong Lee · Byong-Suk Kim)

Abstract - This paper described the verification of modeling technique of underground distribution line from comparison between field test and simulation. It needs more exact transient phenomenon analysis model to establish lightning protection of underground distribution line. Although, there were a lot of transient phenomenon researches, nobody could has verified the confidence of modeling from field tests in interior until now. So, simulation model verified field test is needed to analyse transient phenomenon of underground distribution system. The examination must be accomplished in many different condition before suggesting these verified analysis model. In this paper, the conditions were examined and the various data results on the different line composition was compared with the EMTP simulation, when the lightning impulse test was accomplished at underground distribution line. Also the value between field test and simulation was very closed and the method of modeling has demonstrated confidence, when the method is used to analyse domestic transient phenomenon of underground distribution.

Key Words : Underground distribution system, EMTP, Cable, Modeling, Field test.

1. 서 론

전국의 주요 지역을 중심으로 하는 고밀도 도시화로 인하여 지중배전계통은 나날이 증대되고 있으며 전력의 안정적 공급을 필요로 하는 중요한 시설과 첨단장비들이 설치된 수용가도 점차 증가되고 있다. 또한 지중배전계통에서는 가공으로 이루어진 선로와는 다르게 신속한 고장의 복구가 쉽게 이루어지지 않으며 가공배전선로를 통해 침입한 뇌 서지 또는 차단기 동작 등의 영향으로 각종 과도현상이 발생하여 계통에 과전압이 발생하게 된다. 과전압이 계통에 반복적으로 발생하면 지중배전케이블에 열화가 진행되며 이것이 누적되면 절연과피가 되어 장시간 정전을 유발시키는 요인으로 작용된다. 따라서 지중배전계통에서 과전압의 발생과 보호를 위한 서지특성을 해석하는 것은 계통의 상태를 파악하고 보호하여 안정적인 운전 상태를 확보하기 위한 중요한 연구이다. 이러한 연구를 수행하기 위해 지중배전계통에 대한 많은 과도현상 연구가 수행 되어왔으나 실제시험을 통해 검증된 연구는 없었다. 따라서 실제 시험과 시뮬레이션을 병행하여 보다 정확한 모델링 기법에 관한 연구가 필요하다. 이러한 문제점에 대한 연구를 위해 한국전력공사에서 지중배전계통 서지 특성에 관한 실측시험을 실시하였다.[1] 실제

뇌격에 대해 보호대책 수립을 위한 연구는 신뢰성 있는 모델이 매우 중요하다. 따라서 이러한 모델을 수립하기 위해서는 실제 현상과 동일한 응답 특성을 가져야만 하고 과도현상 해석에 영향을 주는 요인을 검증하여 신뢰성을 제공하여야 한다. 그러므로 실제 시험과 모델링에 대해 검증 할 필요가 있다.[2] 지금까지 지중배전계통 과도현상에 관한 많은 연구가 이루어져 왔지만 국내의 실증시험을 통해 모델의 신뢰성을 검토한 연구는 없었다. 따라서 신뢰성을 확보하기 위한 방법으로 실측시험 결과를 근거로 뇌격 모델을 검증하기 위해 시뮬레이션 모델을 사용하여 선형적 뇌격과 비선형적 뇌격에 대해 검토하였으며, 선로정수모델을 검증하기 위해 국내 배전계통에 주로 사용되고 있는 배전케이블의 특성을 적용하여 주파수, 케이블 모델, 유전율에 변화를 주어 모델의 신뢰성을 검토하였다. 또한 이러한 조건 검토를 통해 Case분석을 하였고 실제 뇌격에 가까운 뇌임펄스를 인가하여 측정된 시험 결과와 시뮬레이션으로 측정된 결과를 비교함으로써 실제 낙뢰사고와 동일한 결과를 나타 낼 수 있는 효율적인 지중배전계통 해석 모델링을 제안하였다. 본 논문에서는 수행된 실측 시험과 시뮬레이션의 결과를 비교 검토하여 제안된 모델의 정확성을 검증하였고 차후 지중배전계통에 대한 내뢰대책 및 보호방안에 신뢰성 있는 모델을 적용하여 정밀한 과도현상해석을 수행하고자 한다.

[†] 교신저자 : 圓光大 電氣電子情報工學部 教授 · 工博

E-mail : ipower@wonkwang.ac.kr

* 學生會員 : 圓光大 大學院 電氣工學科 碩士課程

** 正 會 員 : 韓國電力公社 KEPRI 先任研究員

*** 正 會 員 : 韓國電力公社 配電運營處 副處長

接受日字 : 2007年 7月 12日

最終完了 : 2007年 10月 8日

2. 본 론

2.1 지중배전계통 시험 선로 구성

시험 선로는 국내 지중배전계통의 배전설계기준에 따라 설계하여 시험선로의 여건과 다양한 회로 연결 조건(선로의 길이 변화, 선종의 변화, 분기선로 모의, 측정점의 연결 등)

의 시험이 가능하도록 하였다.[3]-[4] 시험선로구성은 그림 2.1과 같이 시험동으로부터 강관 입상주 까지 지중케이블과 가공선로를 모두 설치함으로써 뇌임펄스가 가공선을 통하여 지중선으로 입사되는 경우와 지중케이블에 직접 입사하는 두가지 경우를 시험할 수 있도록 하였다. 케이블은 지중배전계통에서 주로 사용되고 있는 325 mm² 규격의 케이블과 60 mm² 규격의 케이블 선로 4개 회선을 설치하였으며 각 회선을 개폐기에 접속함으로써 개폐기의 조작에 의하여 선로 길이의 변화와 분기선로 등을 모의할 수 있도록 배치하였다. 60mm² 규격의 케이블의 중간에 지상변압기를 설치하였고 지상변압기에 의한 뇌임펄스 전달특성 영향도 분석할 수 있도록 하였다. 모든 케이블은 현재 국내 지중배전계통에서 가장 많이 운용되고 있는 CNCV-W 케이블이다. 2번개폐기와 강관입상주에는 가공선이 연결될 수 있도록 하여 지중케이블과 가공케이블이 연결된 부분에서 어떠한 변화를 보이는지 검토할 수 있도록 하였다. 개폐기 1번과 2번은 근접하여 설치되었고 지중배전계통의 표준 구간인 약 250m의 거리에 개폐기 3번과 4번이 근접하여 설치되었다.

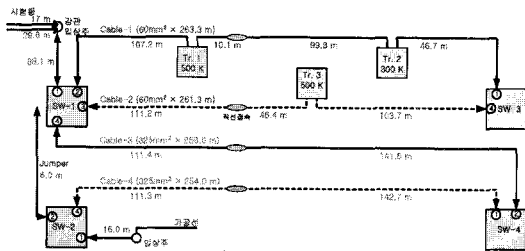


그림 2.1 지중배전계통 모의시험선로 간선도
Fig. 2.1 Underground distribution line for testing

2.2 서지 모델

2.2.1 모의시험 뇌임펄스 발생장치

본 연구에서는 고장 전력시험센터에 설치된 뇌임펄스 전압 발생장치를 이용하여 지중배전시험선로에 1.2×50μs 표준 뇌임펄스 전압, 50kV로 시험 하였다. 뇌임펄스 전압 발생 장치의 전압을 생성시키는 기본 회로는 Marx 회로를 채용하고 있다. 최대 600kV의 전압을 발생시키기 위하여 여섯 개의 커패시터를 직류충전전원으로 충전하고 직렬 연결된 커패시터를 트리거 갭을 통하여 시험대상물에 임펄스 전압을 인가하는 구조이다. 이때 파형의 모양은 주로 직렬저항에 의하여 결정되고 시험대상물의 정전용량이 크거나 파두시간을 길게 할 경우에는 충전 커패시터의 용량을 증가시켜야 한다. 충격전압 발생장치의 제원은 표 2.1과 같다.

표 2.1 충격전압 발생장치 사양

Table 2.1 Performance of impulse voltage generator

Performance	Value
Total Charging Voltage	600kV 30kJ
Wave Shape	1.2/50 μs , Standard Impulse
Charging Capacitors	6 Stages of 1 μF - 100 kV Capacitors

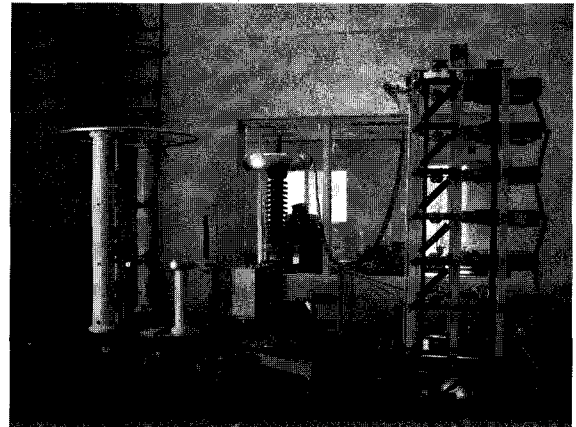


그림 2.2 표준 뇌임펄스 발생장치
Fig. 2.2 Standard lightning impulse generator

2.2.2 서지 모델링

EMTP에서 서지해석을 위한 뇌임펄스 모델링은 매우 중요하다. 따라서 실측시험을 통해 측정된 뇌임펄스 파형과 EMTP해석에 적용하고자 하는 파형은 가급적 동일한 특성을 가져야만 한다. 지중배전계통에 인가된 뇌임펄스와 시뮬레이션의 뇌임펄스가 동일한 특성을 가질 때 계통해석을 통해 다른 성분의 정확성을 확보할 수 있다. 실제 자연현상의 뇌임펄스는 선형적인 파형이 아니라 지수적인 특성을 갖는 비선형의 파형을 나타낸다. 그러므로 본 연구에서는 이상적인 특성을 갖는 선형적 RAMP파형 보다 지수적인 특성을 갖는 서지파형이 적합할 것으로 판단하였다.

실측시험에 사용된 파형과 등가성분을 갖는 파형을 모델링하기 위해 모의 지중배전선로 EMTP 해석을 이용하여 RAMP 파형과 Heidler 파형의 비교를 통해 신뢰성 있는 모델을 수립하고자 하였다. 이를 위해 지중배전케이블을 시험동에서부터 개폐기 3번까지 접속하여 CNCV 325mm²케이블로 구성된 97.8m, 253m, 254m의 지중배전선로를 모의하여 1.2×50us 표준 뇌임펄스 전압 50kV를 인가하였다. 실측시험의 전압 파형은 IVG(Impulse Voltage Generator)에 설치된 오실로스코프를 통하여 측정하였으며 그림 2.3은 실측시험에 사용된 동일한 선로를 모델링하여 IVG의 파형과 EMTP에서 계산이 쉽고 적용하기가 편리한 Slope-RAMP파형과 Heidler파형을 RAMP, Heidler로 표시하고 비교하였다.

실측시험을 통해 측정된 전압의 최대값은 12.07kV로 나타났다. 시뮬레이션에서 적용된 RAMP파형과 Heidler파형은 전원모델로서 각기 다른 특성을 나타내는데 RAMP파형은 선형적인 파형의 특성으로 모의되며 Heidler파형은 비선형적인 특성으로 뇌임펄스가 모의된다. 여기서 두가지 모델을 각기 적용하였을 때 나타나는 전압 크기에 차이가 있었다. 그림 2.3에서 보는바와 같이 동일한 지중배전선로일 때 RAMP파형은 실측시험을 통해 측정된 전압보다 2.1kV 높은 전압이 발생하였다. Heidler파형을 적용하였을 때는 실측시험과 동일한 전압이 나타났다. 이를 통하여 볼 때 EMTP시뮬레이션에서 뇌임펄스 해석을 위한 모델을 선정할 경우, 같은 파라미터를 가질 때 선형적인 Slope-RAMP파형보다 비선형특성을 가지는 Heidler파형이 정확도가 높은 것으로 확인되었다.

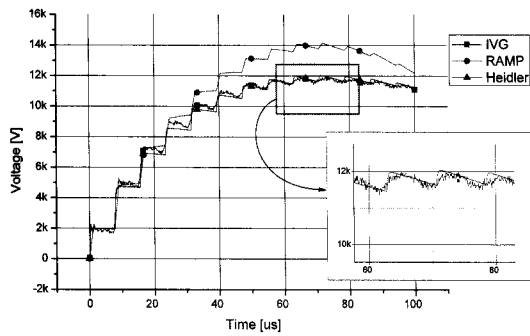


그림 2.3 실측시험과 시뮬레이션의 전압 비교
Fig. 2.3 Voltage comparison between test and simulation

2.3 서지전파특성 시험모델

2.3.1 지중배전케이블

서지해석을 위해 배전케이블의 모델링 또한 매우 중요하다. 뇌임펄스가 인가되었을 때 케이블의 모델링이 정확하지 않다면 데이터 값은 왜곡되어 나타날 것이고 이러한 데이터로 과도현상을 해석할 경우 부정확한 결과로 이루어질 수 있으며 심각한 경우 고장에 이르게 될 가능성이 있다. 따라서 실제측정 값에 근거하는 데이터를 사용해 모델링 하여 신뢰성 있는 케이블의 모델을 수립해야 할 필요가 있다.

표 2.2 지중배전케이블 특성

Table 2.2 Characteristic of underground distribution cable

공칭 단면적 (mm ²)	도체 (mm)	내부 반도전층 (mm)	절연층 (mm)	외부 반도전층 (mm)	중성선				시스 (mm)	외경 (mm)	전기저항 (Ω/km)
					소선경 (mm)	소선수	총단면적 (mm ²)	외경 (mm)			
60	9.3	0.6	6.6	0.7	1.2	18	20	30	3.0	36	0.305
325	21.7	0.6	6.6	0.7	2.6	38	201	53	4.0	61	0.0568

국내에서 주로 사용되고 있는 지중배전케이블의 특성을 표 2.2에 나타내었다. 이와 같은 데이터를 근거로 하여 선로정수를 계산하였으며, EMTP로 모델링한 지중배전케이블은 그림 2.4에 나타내었다. 케이블은 삼각배열로 이루어져 있으며 도체와 절연체, 중성선으로 구성되었다. 또한 선로정수를 계산하기 위해 분포정수모델인 Bergeron(K.CLee)모델을 사용하였다. 실측시험장에 포설된 지중배전케이블은 시험장 입구 부분의 지상노출관로와 시험장내 관로구로 이루어져 있어 이를 구분하여 모델링하였다.

서지해석을 위해서는 선로정수계산에 필요한 계산 주파수를 입력하여야 한다. 본문 2.2.2절에서 사용된 것과 같은 선로구성에 주파수의 변화를 주어 실측시험에서 측정된 결과와 비교한 결과를 그림 2.5에 나타내었다. 100kHz에서 600kHz까지 주파수 값을 변경하며 시뮬레이션 한 결과, 주파수가 낮을수록 계단형태로 발생하는 전압의 상승비와 하강비가 높게 나타났다. 선로정수 계산주파수는 500kHz로 계산하였을 경우 실측파형과 가장 일치하였다. 또한 대지 저항율은 일반적인 대지에 100Ω·m을 사용하며, 200Ω·m, 300

Ω·m 등 다양한 저항 값을 사용하여 측정하여도 발생된 전압 값에는 고려할만한 영향이 없었다.

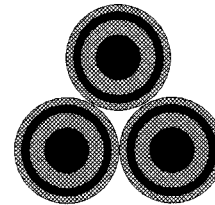


그림 2.4 지중배전케이블 EMTP모델
Fig. 2.4 EMTP Model of underground distribution cable

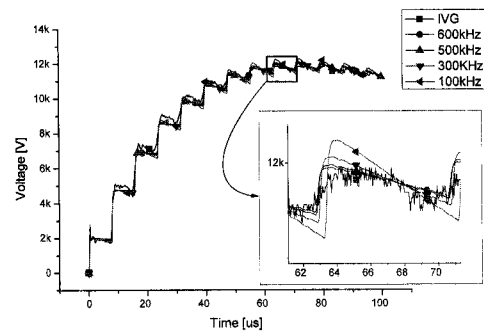


그림 2.5 주파수변화에 따른 발생전압
Fig. 2.5 Voltage according to frequency

지중배전케이블을 모델링하기 위해서는 케이블을 구성하는 물리적, 전기적 특성이 정확하게 입력되어야 한다. 따라서 선로정수를 계산하기 위한 파라미터로 선로정수 프로그램에는 도체의 내외경과 도전율, 비투자율, 비유전율 등을 입력할 수 있게 되어 있다. 지중배전케이블의 과도현상해석에서 절연체의 유전손실은 서지 크기에 중요하게 작용한다. 본 논문에서는 이러한 유전손실을 EMTP를 통해 계산하였다. [5]

지중배전케이블의 손실을 계산하기 위한 임피던스와 어드미턴스를 구하는 방법은 다음과 같다. 한편 케이블의 전파정수와 특성임피던스는 식 (1), (2)로 표현 하였다.

$$r = \sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)} = \alpha + j\beta \quad (1)$$

$$Z = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}} \quad (2)$$

여기서,

- r : 전파정수
- α : 감쇠정수
- β : 위상정수
- Z : 특성임피던스(서지임피던스)
- ω : 각주파수

고주파수 영역에서는 $\omega L \gg R, \omega C \gg G$ 이므로 다음 식 (3)~(6)과 같이 나타내어진다.

$$r = \frac{R}{2Z} + j\omega\sqrt{LC} \quad (3)$$

$$Z = \sqrt{L/C} \tag{4}$$

$$v = \frac{\omega}{\beta} = 1/\sqrt{LC} \text{ (전파속도)} \tag{5}$$

$$R = \frac{\rho}{\pi D \delta} = \frac{1}{D} \sqrt{\frac{\rho f \mu}{\pi}} \tag{6}$$

여기서,

- ρ : 저항률
- f : 주파수
- μ : 비투자율
- D : 케이블도체의 외부반경

위와 같은 정수를 갖는 케이블의 입력단에 $V_i(t)$ 인 서지 전압이 침입했을 때, 거리 x 를 진행한 이후의 전압 V_x 는 감쇠정수, 전파정수 및 진행거리의 함수로서 수식 (7)과 같이 된다.

$$V_x = \exp(-\alpha x) \cdot V_i(t - \sqrt{LC}x) \tag{7}$$

위식과 같이 케이블을 따라서 거리 x 만큼 진행한 서지로 파형은 시간상으로는 $\sqrt{LC}x$ 만큼 지연되어 나타나고 진폭은 $\exp(-\alpha x)$ 로 감쇠한다. 이 때 감쇠정수 α 는 표피효과에 의한 영향을 받으므로 고주파일수록 감쇠가 커지게 된다. 이러한 감쇠량을 DB/km로 표현하면 아래 식 (8) 및 (9)와 같이 나타낼 수 있다.

$$DB/km = -20 \log[\exp(-\alpha x)] \tag{8}$$

$$\begin{aligned} *DB &= 10 \log \frac{POWER_{out}}{POWER_{in}} = 20 \log \frac{VOLTAGE_{out}}{VOLTAGE_{in}} \\ &= 20 \log \frac{V_i(t, \alpha, x)}{V_i(t)} \end{aligned} \tag{9}$$

표 2.3 주파수별 지중배전케이블 EMTP 정수

Table 2.3 EMTP parameters of underground distribution cable by frequency

f[Hz]	R[ohm/m]	Z[ohm]	v[m/s]	DB/km
60	8.70940E-05	25.765	111.86	1.46806E-02
1k	1.95374E-04	19.856	144.73	4.27324E-02
100k	1.93144E-03	17.686	162.67	4.74284E-01
500k	4.30926E-03	17.546	163.97	1.06660E+00
1M	6.09104E-03	17.513	164.28	1.51046E+00

표 2.3의 계산된 케이블정수를 통해 주파수가 증가함에 따라서 지중배전케이블의 서지 감쇠량이 커짐을 알 수 있다. 또한 지중배전케이블의 길이가 길수록 가공선측으로 부터의 고주파 서지에 의한 절연파괴 가능성은 감소된다고 할 수 있다. 한편 실측시험을 통해 IVG에서 인가된 1.2/50 μ s 50kV의 뇌임펄스 전압을 커패시턴스가 큰 케이블에 인가하면 케이블의 커패시턴스에 의하여 초기 전압이 1.9kV 수준으로 감소되고 케이블이 충전되는 과정의 V-t 곡선으로 그림 2.6 처럼 나타난다.

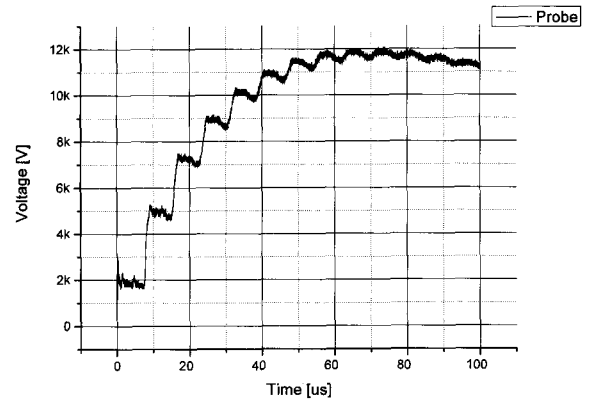


그림 2.6 지중배전케이블에서의 전압 파형
Fig. 2.6 Voltage of underground distribution cable

파형의 진행 형태를 보면 계단식으로 전압이 상승하여 74 μ s에서 12.1kV로 최대 전압이 되고 이후 서서히 감쇠한다. 그림 2.6에서 IVG의 커패시터에 충전되었던 전하가 케이블로 이동하는 과정에서 발생하는 현상으로 판단된다.

케이블의 뇌임펄스 전파특성은 7.5 μ s단위로 전압이 상승하는 것으로 나타났다. 시간 0에서 IVG로부터 1.9kV 정도의 뇌임펄스가 인가되어 15.0 μ s에서 두 번째로 전압이 상승되기 시작하여 9.0 μ s 정도에 5.0kV 정도가 되고, 세 번째로 8.6 μ s에서 다시 전압이 상승하여 17.0 μ s 정도에 7.2kV 정도가 되고, 네 번째로 22.5 μ s에서 다시 상승하여 24.5 μ s에서 9.0kV 정도가 된다. 지중배전케이블에서의 전압상승은 초기에 약 7.5 μ s마다 발생하고 있다. 이것은 표준 뇌임펄스가 IVG에서 인가된 후 1번 개폐기와 4번 개폐기를 지나 2번 개폐기까지 전달된 후 반사되어 IVG에 설치되어 있는 전압 계측 장치에서 측정되었다.

따라서 전파속도는, 뇌임펄스가 7.5 μ s 동안 (97.7+253+254) \times 2m의 케이블을 이동한 것이므로 (97.7+253+254) \times 2 m/7.5 μ s = 161.25 m/ μ s가 된다. 이렇게 계산된 진행파 속도를 이용하여 지중배전케이블의 비유전율을 계산할 수 있다. 실측시험의 서지 전파속도를 식 (10)에 적용하여 계산하였다.

$$\text{전파속도 } v = \frac{1}{\sqrt{\mu\epsilon}} \text{ [m/s]} \tag{10}$$

여기서 v : 전파속도

μ : 투자율 ϵ : 유전율

실측된 케이블의 전파속도를 근거로 하여 식(10)을 이용하여 계산하면 케이블의 비유전율은 CNCV-W 325 mm ϕ 에서 약 3.4가 된다. 따라서 계산된 데이터를 EMTP에 입력하였고 상호비교 적용하였다.

2.3.2 가공배전케이블

가공배전케이블은 실측시험장 시험동에서 강관입상주까지 22m로 연결되어있으며 2번 개폐기에서는 200m의 공장을 가지는 가공배전선로로 이루어져있다. 강관입상주까지 가공배전선로와 지중배전케이블로 구성된 목적은 뇌임펄스 전압이 케이블에 직접 입사한 경우와 서지임피던스가 다른 가공배전선로를 통해 뇌임펄스 전압이 입사하였을 때 나타나는 영향을 알아보기 위하여 구성되었다.

표 2.3 강심 알루미늄 선로 특성

Table 2.3 Characteristic of ACSR

선명	선종 및 공칭단면적	외경[mm]		전기저항 [Ω/km]
		알루미늄	강	
상도체	ACSR 160mm ²	18.2	7.8	0.182
중성선	ACSR 95mm ²	13.5	4.5	0.301
가공지선	ACSR 32mm ²	7.8	2.6	0.899

가공배전선로를 구성하기 위한 ACSR의 특성을 표 2.3에 나타내었다. 이러한 특성을 근거로 하여 EMTP에서 선로정수를 계산하고 모델링 하였다. 본문 2.3.1절의 결과를 적용해 선로정수 계산 주파수는 500kHz를 사용하였으며 대지고유저항율도 100Ω·m으로 계산되었다. 모의시험선로에서 사용된 가공배전선로는 IVG가 설치되어있는 시험동에서 강관주까지 인출에 사용되었고 가공선로 단상 ACSR 95mm²로 연결되었다. 따라서 이를 모델링하기 위한 파라미터로 실제 시험동에 설치된 22m의 ACSR 95mm²를 사용하였다. 2번 개폐기에 접속된 표준장주를 사용한 가공선로를 모델링하여 그림 2.7에 나타내었다.

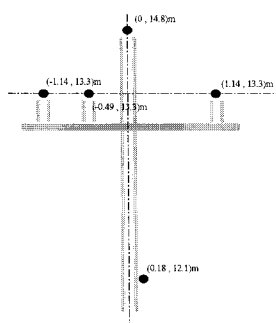


그림 2.7 입상주 가공선로 배치

Fig. 2.7 Geometry arrangement of ACSR in riser pole

지금까지 지중배전계통의 모델을 사용해서 수립된 모델링은 지중배전케이블을 통해 뇌임펄스가 입사되었을 때를 다루었다. 따라서 가공배전케이블을 통해서 뇌임펄스가 입사되는 것을 모의하여 정확도가 높은 모델링을 수립하고자하였다. 그리고 이것을 통해 실제계통에서 많이 나타나는 서지 임피던스가 다른 가공배전선로와 접속된 지중배전선로로 뇌임펄스가 입사되는 것을 시험해야 한다. 이를 통해 EMTP에서 적용된 가공배전선로정수 모델링 또한 검증이 될 수 있다.

이러한 혼합배전선로는 모의시험선로에서 가공선로를 22m로 구성하고 지중배전선로를 67.8m, 253m, 254m로 구성하여 표준 뇌임펄스 전압을 인가하여 시험하였다. 따라서 EMTP도 이와 같은 동일한 조건을 가지고 모델링을 적용하여 시뮬레이션을 실시하였다. 실측시험에 측정된 파형을 그림 2.8에 나타내었다. 초기에 임펄스 형태를 나타내는 전압은 IVG에 직접 접속된 가공선로의 영향으로 판단되며 이후 진행과는 계단형태로 상승하며 최고전압에 도달하고 이후 점차 감소하는 결과를 나타내었다. 시험을 통해 실제 측정된 최대전압은 12.46kV이고 EMTP 시뮬레이션을 통해 특정된 최대전압은 12.92kV였다. 이를 통해 가공배전선로와 지중배전선로가 혼합된 선로에서도 계산된 결과가 일치함을 확인하였다.

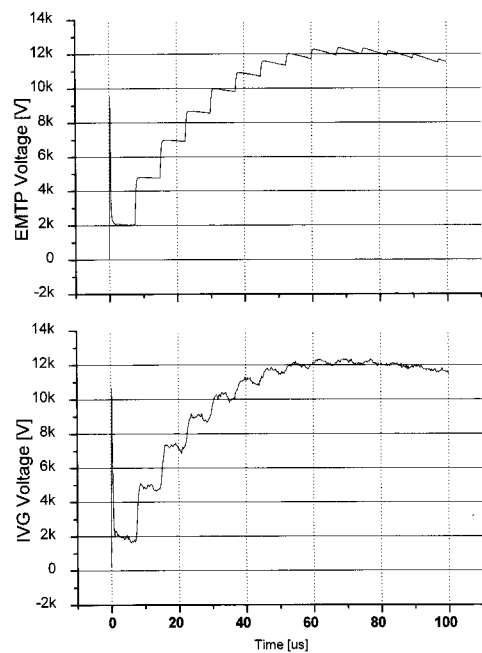


그림 2.8 혼합배전선로 측정전압

Fig. 2.8 Measured voltage of combine distribution line

2.4 측정값과 시뮬레이션의 비교

지금까지 지중배전선로의 모델에 대해 여러 가지 파라미터들을 변경해 가며 단계적으로 적합한 모델을 수립하였다. 이와 같은 모델을 사용하여 실측시험에서 측정된 데이터와 EMTP로 계산된 결과와 비교하여 모델의 정확성을 검토해야 한다. 이를 위해서 IVG가 설치되어있는 시험동에서 1번 개폐기 까지 연결되는 Cable 0 구성에서부터 1번 개폐기와 4번개폐기를 거쳐 2번 개폐기까지 접속되어있는 Cable 0-3-4의 구성까지 여러 Case를 통해 짧은 선로와 긴 선로, 변압기 선로, 분기선로 등 표 2.4와 같은 다양한 Case를 선정하였다. 각 Case의 실측 최대전압과 EMTP 시뮬레이션으로 계산된 최대전압을 비교해 봄으로써 서지해석을 위해 제안된 모델링의 적합성을 검증하고자 하였다.

표 2.4 지중케이블을 통한 뇌임펄스 인가시 최대전압

Table 2.4 Peak voltage in case of lightning impulse applied from cable

CASE	최대전압(kV)	
	IVG	EMTP
IVG-Cable 0	30.09	29.4
IVG-Cable 0-1	20.15	20.2
IVG-Cable 0-2	20.21	20.5
IVG-Cable 0-3	16.79	16.87
IVG-Cable 0-1-2	15.69	15.73
IVG-Cable 0-1//0-2	15.37	15.55
IVG-Cable 0-1//0-3	13.11	13.34
IVG-Cable 0-3-4	12.08	11.34

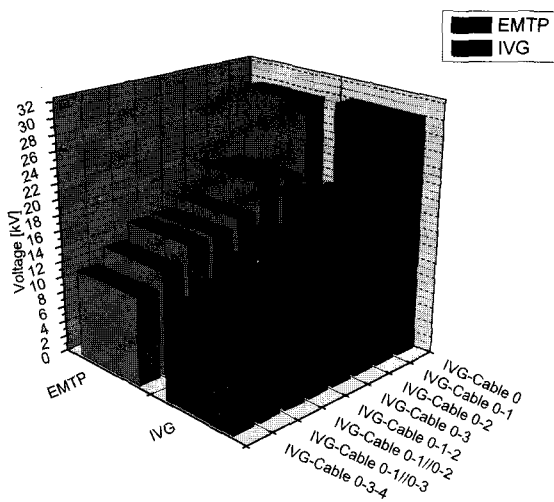


그림 2.9 지중케이블을 통한 뇌임펄스 인가시 최대전압
Fig. 2.9 Peak voltage in case of lightning impulse applied from cable

표 2.5 가공선로를 통한 뇌임펄스 인가시 최대전압

Table 2.5 Peak voltage in case of lightning impulse applied from overhead line

CASE	측정 최대전압(kV)	
	IVG	EMTP
IVG-ACSR 22m-Cable 0	33.71	32.91
IVG-ACSR 22m-Cable 0-1	21.31	20.83
IVG-ACSR 22m-Cable 0-2	21.44	20.83
IVG-ACSR 22m-Cable 0-3	17.63	17.08
IVG-ACSR 22m-Cable 0-1-2	16.21	16.04
IVG-ACSR 22m-Cable 0-1//0-2	16.08	15.62
IVG-ACSR 22m-Cable 0-1//0-3	13.95	13.54
IVG-ACSR 22m-Cable 0-3-4	12.46	12.92

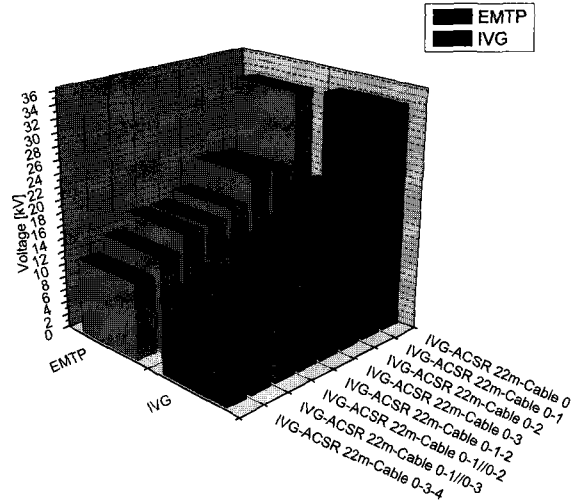


그림 2.10 가공선로를 통한 뇌임펄스 인가시 최대전압
Fig. 2.10 Peak voltage in case of lightning impulse applied from overhead line

지중배전케이블과 가공배전케이블을 통해 뇌임펄스가 인가되었을 때 측정된 최대전압과 EMTP 시뮬레이션을 통해 측정된 최대전압을 표 2.4, 2.5와 그림 2.9, 2.10을 통해 나타내었다. 측정된 최대전압을 비교하여 보면 지중배전케이블의 길이가 짧을수록 높은 전압이 측정되었으며 선로가 길어질수록 낮은 전압이 발생하였다. 또한 실제 측정된 전압과 시뮬레이션에서 측정된 전압의 편차가 1kV 미만으로 나타나 시뮬레이션에서 뇌임펄스에 대한 응답특성이 실측값과 매우 동일한 것을 확인하였다. 따라서 제안된 모델링 기법을 통하여 서지해석을 할 경우 신뢰성이 높을 것으로 사료된다.

3. 결론

본 논문에서는 보다 정확하고 실용적인 지중배전계통의 과도현상해석을 위해 실측시험 결과에 근거한 시뮬레이션을 통해 수립된 해석모델을 제안하였다. 본 논문의 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 뇌임펄스 모델은 이상적인 Slope-RAMP모델보다 자연계 현상과 가까운 비선형특성을 갖는 Heidler모델이 실측과정과 가장 일치되는 것으로 나타났다.
- (2) 선로정수계산 주파수는 100kHz~600kHz의 주파수를 비교 적용해 계산한 결과 500kHz를 사용하는 것이 실측 과정과 가장 일치되는 결과를 나타냈다.
- (3) 배전케이블의 절연체의 비유전율은 통상 서지해석에서 2.4~2.8로 사용되고 있으나 실측시험을 근거로 한 진행과속도를 수식으로 계산한 결과 3.4를 입력하였을 때 정확도가 높아졌다.

(4) 선로구성의 조건에 따라 지중배전케이블로 너임필스가 입사되었을 때 보다 가공배전선로를 통해 너임필스가 입사되었을 때 더 높은 전압이 발생하였다.

이러한 결과를 통해 본 논문에서 제안하고 있는 모델로 과도현상을 해석 하였을 때, 높은 신뢰성을 가질 수 있는 것으로 사료되며 차후 피뢰기를 고려한 상태에서 배전급 피뢰기의 보호효과에 대한 과도현상 해석연구를 수행하고자 한다.

감사의 글

본 논문은 산업자원부에서 시행한 전력산업 연구개발 사업(R-2005-0-030)으로 수행 되었습니다.

참 고 문 헌

- [1] 한국전력, “지중배전과도현상해석 및 보호대책 연구” 진도보고서 2007. 1
- [2] EPRI, “Surge Behavior of UD Cable Systems”, 1978. 4
- [3] 한국전력, 2000-0133-단45 ES 100~130 “標準 購買示方書” 2000
- [4] 한국전력, 2000-0133-단45 ES 140~900 “標準 購買示方書(II)” 2000
- [5] 한국전력, “지중송전 케이블의 썬어지 보호대책에 관한 연구” 1993. 6

저 자 소 개



윤 창 섭 (尹 昶 燮)

1980년 12월 8일생. 2006년 원광대 공대 전기전자정보공학부 졸업. 2006년~현재 동 대학원 전기공학과 석사과정.

Tel : (063)850-6735

E-mail : ziben@hanmail.net



이 중 범 (李 鍾 範)

1955년 7월 12일생. 1981년 한양대 공대 전기공학과 졸업. 1983년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1986년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1987~1990년 한국전기연구원 지중송전연구실 실장. 1997~1998년 미국 Texas A&M University 객원교수. 현재 원광대 공대 전기전자정보공학부 교수.

Tel : (063)850-6735

E-mail : ipower@wonkwang.ac.kr



이 재 봉 (李 載 奉)

1971년 1월 17일생. 1993년 전남대학교 전기공학과 졸업. 1995년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1995~현재 한전 전력연구원 선임연구원.

Tel : (042)865-5914

E-Mail : kbsook@kepri.co.kr



김 병 숙 (金 炳 塾)

1958년 3월 15일생. 1980년 전북대 공대 전기공학과 졸업. 1983년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2000년 핀란드 헬싱키 경영대학원 졸업(석사). 전력연구원 배전연구소장. 현재 한전 배전운영처 부처장.

Tel : (02)3456-4801

E-Mail : kbsook@kepeco.co.kr