

# 혼합배전계통 선로구성요소 변화를 고려한 선로 서지해석

論文

56-3-5

## Surge Analysis Considering Variation of Line Configuration Factor in Combined Distribution Systems with Power Cables

金炳塾\* · 李長根\*\* · 李鍾範† · 韓秉誠\*\*\*

(Byong-Sook Kim · Jang-Geun Lee · Jong-Beom Lee · Byoung-Sung Han)

**Abstract** - This paper analyzes overvoltage on testing line for various parameter effect examination. Model systems consist of overhead line and underground cable. The model considered actual characteristic data of distribution lines, and will be constructed at testing yard. The simulations were performed under various line configuration such as cable kinds, cable length, lightning wave, lightning wave time, transformer and branch circuits. The simulation models are established by EMTP/ATPDraw and Line Constants are calculated by ATP\_LCC. When lightning surge strikes on conductor of overhead line, EMTP/ATPDraw calculates overvoltage in many cases. Simulation results will be compared with real testing results at testing yard. The compared results will be used to establish protection methods in actual underground distribution systems.

**Key Words** : Distribution, Underground, Cable, Surge, EMTP

### 1. 서론

최근 도심지에서는 인구집중화와 안전 및 미관을 이유로 가공선로의 지중화 작업이 많이 진행 중에 있다. 그러나 건설부지 확보의 어려움, 건설비의 증대 등으로 인하여 일부 중요한 구간만 지중화를 하므로 인하여 가공과 지중이 혼합된 혼합배전계통으로 운용되고 있는 사례가 많다. 혼합배전계통을 고신뢰도로 운용하기 위해서는 계통특성에 적합한 운용기술을 확보하여야 하는데 이를 위해서 가장 중요한 것 중의 하나가 과전압 억제 및 보호대책이다. 즉 외부에서 직격뇌 등 서지 침입으로 인하여 지중배전계통에 발생하는 과전압을 정확하게 파악하기 위한 과도현상해석을 수행하여 절연설계에 반영하고 이를 근거로 과전압을 억제할 수 있는 적정 보호방안을 도출하여야만 한다. 지금까지는 가공계통에 대해서는 많은 연구가 진행되어 왔다. 그러나 지중배전계통과 혼합배전계통에 대해서는 상대적으로 미약한 실정에 있다[1-4]. 혼합배전계통에서 가공선로에 침입한 뇌서지는 케이블에 과전압을 발생시키고 이것이 누적되면 열화를 촉진시키며, 경우에 따라서는 케이블의 절연체를 파괴시켜 영구고장을 일으키는 원인이 된다[5]. 따라서 고장점 탐색이 어렵고 복구에 오랜 시간이 소요되는 지중배전계통 특성상 과도현상을 면밀하게 해석하고 이를 바탕으로 배전계통의 절연설계 및 보호방안을 수립하여야 한다.

따라서 본 논문에서는 혼합배전계통에서 발생하는 과전압을 정확히 해석하고, 이에 근거하여 절연설계 및 보호방안을 수립하는데 기초자료로 활용하도록 하기 위하여 현재 국내 전력회사 실증시험장에 구축중인 혼합배전계통 실증시험장

의 실증선로 모델을 기초로 과도현상을 해석하였다. 특히 실증시험장에서 사용할 동일한 뇌격의 크기와 파형을 토대로 지중선로길이의 변화, 변압기 설치 유무, 분기선로 구성의 변화, 선로의 배열구성의 변화 등 여러 가지 선로 구성요소변화를 고려한 상태에서의 과도현상을 해석하였다. 여기서 얻어진 해석결과들은 차후 실증시험 결과들과 비교하여 혼합배전계통의 최종 보호방안을 수립할 예정에 있다.

### 2. 선로구성

국내 지중배전케이블의 선로구성요소 변화영향 검토를 위하여 그림 1과 같은 실증시험 선로를 구축 중에 있다. 시험선로에 사용될 케이블은 CNCV-W 60mm<sup>2</sup>케이블과 CNCV-W 325mm<sup>2</sup>케이블이고, 변압기를 포함한 선로에는 CNCV-W 60mm<sup>2</sup>케이블을 사용하며, 그 외의 선로에는 CNCV-W 325mm<sup>2</sup>케이블을 이용하여 선로를 구축 할 예정이다. 변압기 규격은 200kVA 22.9kV/400-230V 3상이고, 그림 1에서 보는 것과 같이 3대를 사용할 예정이다. 개폐기는 125kV의 BIL을 가지고 있는 3W-3S 수동형을 사용하고, 지중 케이블에 뇌서지가 침입 할 수 있도록 가공 전주 2개를 설치하며, 케이블 입상전주에 피뢰기는 생략되어 있다. 케이블 접속재료는 25kV 600A급 엘보 커넥터, 절연플러그, 접속단자, 케이블 어댑터 48개, 절연캡 24개 접속 플러그 24개를 사용할 예정이다.

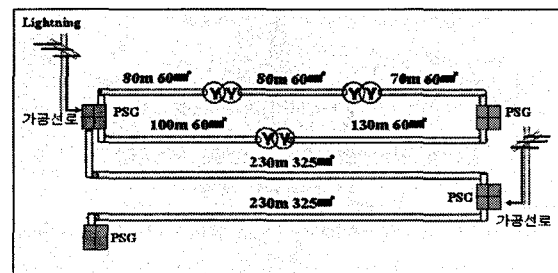


그림 1 실증시험을 위한 시험선로  
Fig. 1 Testing line for field test

† 교신저자, 正會員 : 圓光大 電氣電子및情報工學部 教授 · 工博

E-mail : ipower@wonkwang.ac.kr

\* 正會員 : 韓電 電力研究院 配電研究所 所長

\*\* 學生會員 : 圓光大 大學院 電氣工學科 碩士課程

\*\*\* 正會員 : 全北大 電子情報工學部 教授 · 工博

接受日字 : 2006年 11月 3日

最終完了 : 2007年 2月 6日

### 3. 선로모델링

#### 3.1 모의시험선로 모델링

##### 3.1.1 선로 모델링

가공선로의 선종은 가공지선 ACSR 32mm, 상도체 ACSR 160mm, 중성선 ACSR 95mm를 적용하여 가공선로 1회선 20m을 모델링하였고, 지중케이블의 선로구성요소 변화에 따른 영향을 정확히 파악하기 위하여 가공선로 말단은 정합 처리하였다. 지중케이블은 변압기 설치 유무에 따라 CNCV-W 60mm케이블과 CNCV-W 325mm케이블을 혼합하여 관로식 삼각배열을 모델링하였다. 모델링 데이터는 실제 지중배전계통과 동일한 데이터들을 적용 하였으며, 주파수 독립모델인 분포정수 모델을 이용하였다. 선로모델의 선로정수는 뇌서지 해석을 위해 500kHz 주파수를 적용하였고, 선로정수계산 프로그램인 EMTP/ATPDraw의 ATP-LCC를 사용하여 모델링하였다. 그림 2는 선로모델을 나타내었다[6-9].

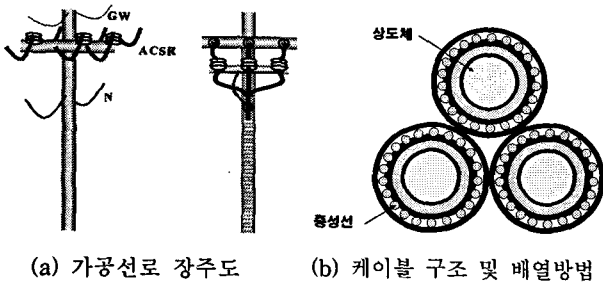


그림 2 가공선로 장주도, 케이블 구조 및 배열방법  
Fig. 2 Overhead line pole, cable structure and configuration order

##### 3.1.2 접지 모델링

가공선로와 지중선로의 접지는 설계기준-3500(접지공사)의 기준을 적용하였고, 가공지선과 중성선은 매 전주마다 접속하였다[10]. 현재 배전선로에서는 22.9kV 3상4선식 다중접지방식을 채택하고 있고, 선로용 케이블의 동심 중성선은 접지개소마다 각심 일괄하여 저항값을 실제 지중배전계통에서 적용하고 있는 10Ω을 적용하여 모델링하였다. 그림 3은 다중 접지 모델을 나타낸 것이다.

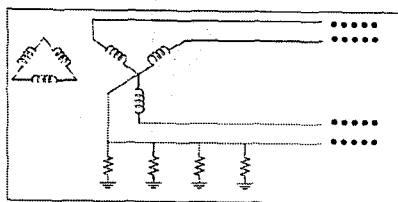


그림 3 다중 접지 모델  
Fig. 3 Model of multiple grounding

##### 3.2 변압기 모델

변압기 모델은 그림 4에서 보는 것과 같이 커패시턴스(C)로 간략화 하여 모델링 하였다.

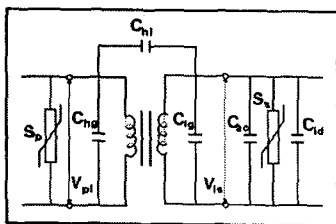


그림 4 변압기 간략화 모델  
Fig. 4 Simplification model of transformer

- Chg : 고전압 권선의 분산 커패시턴스
- Clg : 저전압 권선의 분산 커패시턴스
- Chl : 고전압 및 저전압 사이의 분산 커패시턴스
- Spp : 1차 서지 피뢰기
- Ssp : 2차 서지 피뢰기
- Cac : 가해진 서지 커패시턴스
- Cid : 부하 서지 커패시턴스

변압기에 1차(고전압) 서지 피뢰기가 설치되었다고 가정한다면 초기 서지전압은 식 1을 통해 계산할 수 있다.

$$V_{ls} = S \times p \times V_{pl} \quad (1)$$

- 여기서, Vls : 변압기 2차로 이동되는 뇌서지
- S : 변압기 권선 커패시턴스 및 저 전압측 연결 커패시턴스에 의존적인 팩터
- p : 전력 주파수 전압에 미치는 뇌서지 전압의 증폭을 허용하는 팩터로서 y-y 및 Δ-Δ 연결 변압기는 p = 1.05이고 y-Δ 연결 변압기에서는 p=1.15이다
- Vpl : 서지 피뢰기의 1차 서지 보호 레벨

무부하 변압기에서 S는 다음과 같이 주어진다.

$$S = \frac{C_{hl}}{C_{hl} + C_{lg} + C_{ext}} \times t \quad (2)$$

여기서 Cext는 2차측 즉 변압기의 2차에 연결된 케이블의 외부 커패시턴스이다.

식 2처럼 초기서지전압은 변압기의 권선비에 비 의존적이며 Chl, Clg 및 외부 커패시턴스의 단순 함수이다. 이것은 포화를 무시한 상태의 단순화된 변압기 모델이다[11].

### 4. 서지해석 및 분석

#### 4.1 뇌격특성

뇌격은 추후 실증시험 계획에 맞추어 실제 사용할 고전압 발생장치 규격에 따른 발생 가능한 파형을 선정 하였고, 선정된 뇌격의 크기 및 뇌격 파형은 표 1과 그림 5와 같다.

표 1 뇌격파형

Table 1 Model of the lightning stroke

뇌격 전압	100 V
뇌격 파형 T <sub>r</sub> × T <sub>t</sub>	0.5×4 μs
	1.2×50 μs
	4×40 μs

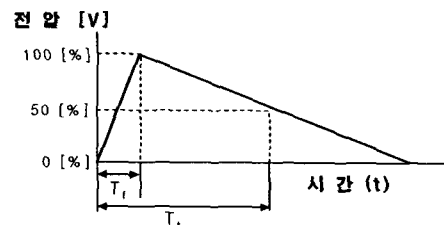


그림 5 뇌격파형  
Fig. 5 Model of the lightning stroke

#### 4.2 검토 모델

뇌격은 4.1절에서 검토한 모델과 같고, 침입점은 가장 가혹한 조건을 가정한 케이블 입상점으로부터 20m 앞단에 위치한 접지가 이루어지지 않은 전주에 상정하였으며, 검토 모

델은 지중케이블과 연계된 배전계통으로서 그림 6과 같다.

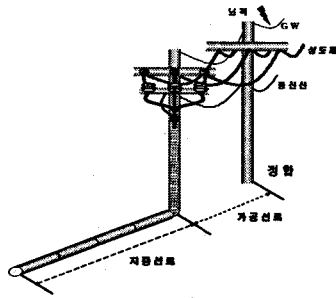


그림 6 혼합배전계통의 시험 모델  
Fig. 6 Testing mode of combined distribution system

선로 검토모델은 혼합배전계통의 다양한 상황에서 정확한 서지특성을 해석하기 위하여 여러 조건을 선정하였다. 선정 모델은 표 2와 같고 총3가지 Case로 구성하였고, 가공이 포함되어 있는 지중배전계통과 변압기의 유무에 따른 특성 비교 그리고 가공선로 후 지중케이블을 지나 또 다시 가공선로로 연결된 혼합배전계통모델을 선정하였다.

표 2 검토 모델  
Table 2 Testing model

분류	조건
Case 1	Case 1-1: 가공(20m) + 지중 (80m, CNCV-W 60mm <sup>2</sup> )
	Case 1-2: 가공(20m) + 지중 (160m, CNCV-W 60mm <sup>2</sup> )
	Case 1-3: 가공(20m) + 지중 (230m, CNCV-W 60mm <sup>2</sup> )
	Case 1-4: 가공(20m) + 지중 (460m, CNCV-W 325mm <sup>2</sup> )
	Case 1-5: 가공(20m) + 지중 (920m, CNCV-W 60mm <sup>2</sup> , 325mm <sup>2</sup> )
Case 2	Case 2: 가공(20m) + 지중 (920m, CNCV-W 60mm <sup>2</sup> , 325mm <sup>2</sup> ) + 가공(20m)
Case 3	Case 3-1: 가공(20m) + 지중 (230m, CNCV 60mm <sup>2</sup> ) (100m지점 변압기 포함) 와 지중 (230m, CNCV 325mm <sup>2</sup> ) 분기
	Case 3-2: 가공(20m) + 지중 (230m, CNCV-W 60mm <sup>2</sup> ) 와 지중 (230m, CNCV-W 325mm <sup>2</sup> ) 분기
	Case 3-3: 가공(20m) + 지중 (230m, CNCV 60mm <sup>2</sup> ) (100m지점 변압기 포함) 와 지중 (460m, CNCV 325mm <sup>2</sup> ) 분기
	Case 3-4: 가공(20m) + 지중 (230m, CNCV-W 60mm <sup>2</sup> ) 와 지중 (460m, CNCV-W 325mm <sup>2</sup> ) 분기

- 각 Case 별 구성 조건은 다음과 같다.
- Case 1 : 가공선로와 지중선로가 연계되어 혼합된 계통에서 케이블 길이와 케이블 종류변화에 따른 서지 특성을 분석하고, 계통에 미치는 영향을 파악하였다.
  - Case 2 : 기존의 실계통에서는 Case 2와 같이 가공선로와 지중선로가 연속되는 선로도 상당수 포함되어 있으므로 이와 유사한 선로를 모델링 하여 서지특성을 해석함으로써 혼합배전선로에서의 서지특성을 파악하였다.
  - Case 3 : 지중배전계통에서는 분기회로가 상당히 많이 포함되어 있는 실정으로 분기가 되어있는 선로를 해석함으로써 분기회로에 서지 침입시의 과전압을 해석할 수 있고, 분

기선로에 변압기 모델을 추가하여 변압기 유무에 따른 과전압의 변화를 분석하였다.

### 4.3 시뮬레이션 분석결과

각 모델의 시뮬레이션은 Case 별로 실행하였으며, 4.1절의 3가지 과형을 모두 인가하여 모델별로 결과를 해석하였다.

#### 4.3.1 Case 1

Case 1은 가공선로와 지중선로를 혼합하여 모의하였고, 가공선로는 20m를 모델링하였다. 지중선로는 CNCV-W 60mm<sup>2</sup>케이블, CNCV-W325mm<sup>2</sup>케이블을 사용 80m~920m까지 케이블 길이와 종류를 변화시켜 모델링하였다. 뇌격 과형은 파고치 100V와 0.5×4μs, 1.2×50μs, 4×40μs 과형뇌격을 가하였고, 뇌격 침입시 과전압 발생양상을 파악하기 위하여 무전압 상태에서 뇌격을 가하였으며, 검토모델은 그림 7과 같다.

그림 8~12까지의 그림은 케이블의 길이를 80m~920m까지 길이 변화와 케이블 선종을 CNCV-W 60mm<sup>2</sup>케이블과, CNCV-W 325mm<sup>2</sup>케이블을 혼합한 모델에 뇌격을 인가하여 해석한 후 각 Case별, 뇌격과형별로 측정점에서 최대 발생과전압을 분류하여 나타내었다.

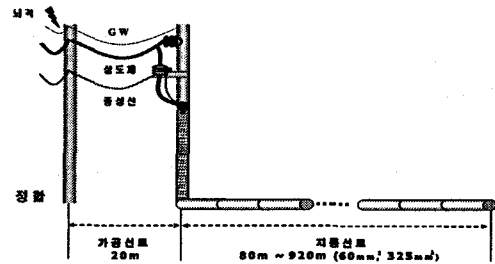


그림 7 Case 1-1~1-5 모델  
Fig. 7 Model of Case 1-1~1-5

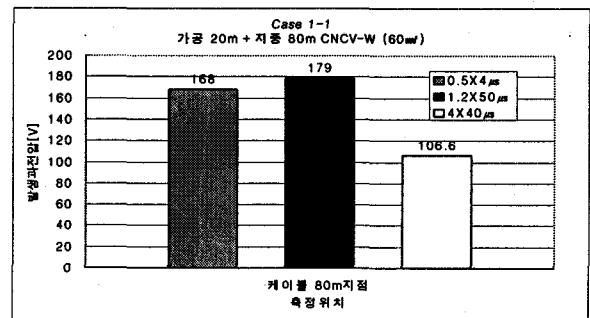


그림 8 뇌격별 측정위치에 따른 최대 발생과전압  
Fig. 8 Maximum overvoltage according to the location

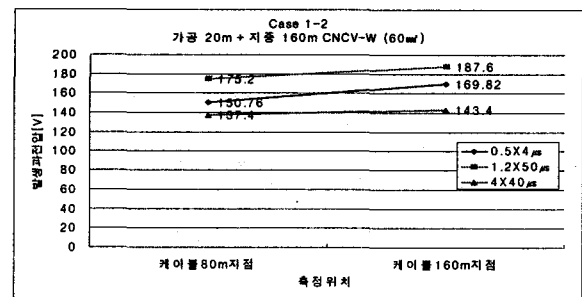


그림 9 뇌격별 측정위치에 따른 최대 발생과전압  
Fig. 9 Maximum overvoltage according to the location

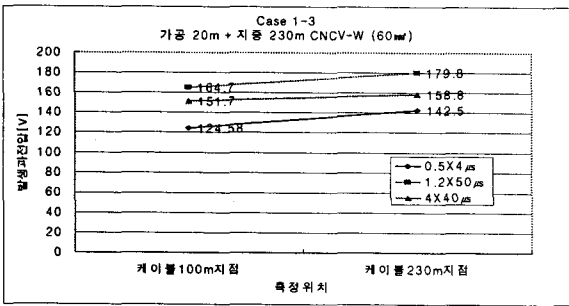


그림 10 뇌격별 측정위치에 따른 최대 발생과전압  
Fig. 10 Maximum overvoltage according to the location

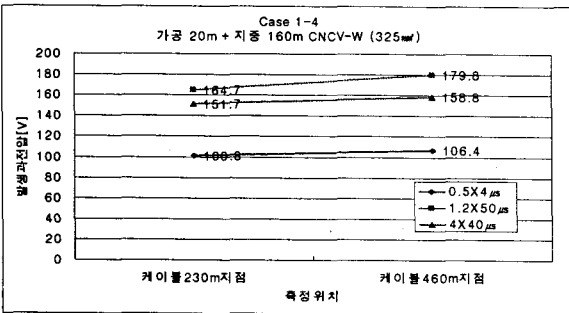


그림 11 뇌격별 측정위치에 따른 최대 발생과전압  
Fig. 11 Maximum overvoltage according to the location

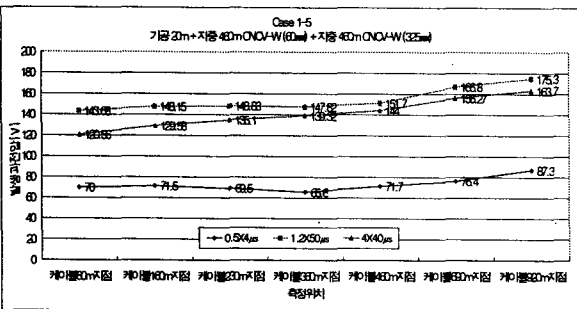


그림 12 뇌격별 측정위치에 따른 최대 발생과전압  
Fig. 12 Maximum overvoltage according to the location

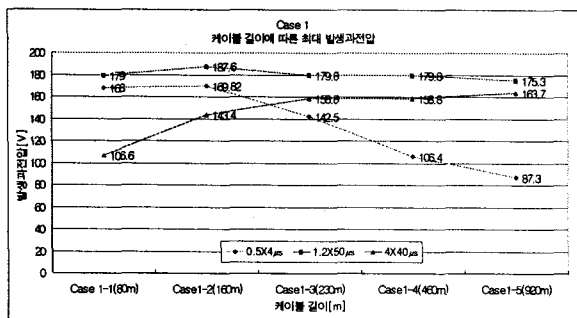


그림 13 뇌격별 측정위치에 따른 최대 발생과전압  
Fig. 13 Maximum overvoltage according to the location

Case 1-1~1-5까지의 결과를 보면 모든 Case에서 1.2x50 μs 파형 인가시 가장 큰 과전압이 발생되었고, 케이블 길이가 긴 경우보다 짧은 경우 높은 과전압이 발생되었다. 그리고 최대 발생과전압 크기는 인가 뇌격전압의 187%까지 크게 상승하였다. 0.5x4 μs 파형의 경우 짧은 케이블 길이(Case 1-1,

1-2, 1-3)의 경우 인가 뇌격 전압의 170%까지 높은 과전압이 발생되었으나 그 이상의 길이(Case 1-4, 1-5)에서는 매우 낮은 과전압이 발생되었다. 이 결과는 급준한 상승곡선을 가진 파두장과 매우 짧은 길이의 파미장 영향으로 케이블 길이가 증가함에 따라 뇌격과 반사파의 중첩이 적게 발생하여 과전압이 낮게 발생한 것으로 사료된다. 또한 4x40 μs 파형의 경우 0.5x4 μs 파형과는 반대로 완만한 파두장의 영향으로 짧은 케이블의 길이(Case 1-1, 1-2, 1-3)에서 낮은 과전압이 발생되었으나 그 이상의 길이(Case 1-4, 1-5)에서는 긴 파미장의 영향을 받아 인가 뇌격전압의 160%까지 발생시켰다.

이 두 결과로부터 급준한 파두장이 과전압 발생에 크게 영향을 주지만 파미장 또한 과전압 발생에 영향을 미치고 있음을 확인할 수 있다.

### 4.3.2 Case 2

Case 2는 가공선로 20m를 모델링 하였고, 지중선로는 CNCV-W 325mm<sup>2</sup> 케이블을 사용하여 230m 지중선로로 모델링 후 다시 가공선로를 모델링하였다. 지중케이블 후 가공선로의 길이는 무한대(∞)이다. 뇌격파형은 동일하게 100V 0.5x4 μs, 1.2x50 μs, 4x40 μs 뇌격을 가하였고, 검토모델은 그림 14와 같다.

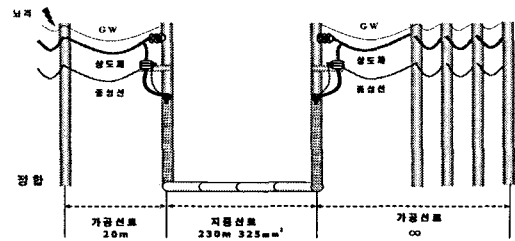


그림 14 Case 2 모델  
Fig. 14 Model of Case 2

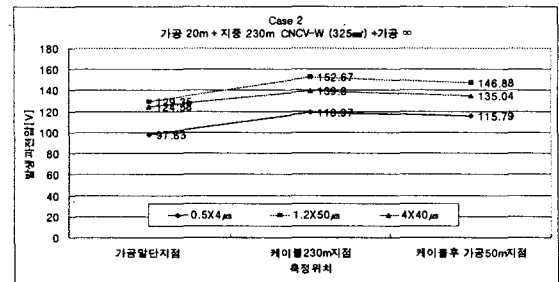


그림 15 뇌격별 측정위치에 따른 최대 발생과전압  
Fig. 15 Maximum overvoltage according to the location

그림 15는 Case 2의 뇌격 파형별 측정지점에서 발생한 과전압을 뇌격 파형별로 분류해 놓은 것이다.

그림 15에서 볼 수 있듯이 Case 2의 모든 뇌격파형에서 동일하게 케이블 말단 230m 지점에서 과전압이 가장 크게 발생되었고, 1.2x50 μs 파형에서의 발생과전압이 가장 높게 발생되었다. 0.5x4 μs 파형이 4x40 μs 파형보다 발생과전압이 낮게 발생되었는데, 그 이유는 Case 1-1과 마찬가지로 0.5x4 μs 파형의 경우 짧은 파미장의 영향을 받은 것으로 사료된다. 또한 Case 1-3과 Case 2의 케이블 길이가 같은 상황에서 Case 1-3의 발생 과전압이 더 높게 발생 했는데, 이것은 Case 2의 경우 케이블 뒤에 연결되어진 가공선로로 발생되어진 과전압의 일부가 가공선로로 투과되어 Case 1-3에 비하여 발생과전압이 낮게 나타났다.

4.3.3 Case 3

1) Case 3-1

Case에서는 가공선로와 지중선로를 혼합하여 가공선로는 20m를 모델링하였고, 지중선로는 CNCV 60mm<sup>2</sup>케이블 230m과 CNCV 325mm<sup>2</sup>케이블 230m을 분기하여 모델링하였다. 분기선로에 변압기를 추가하여 과도현상을 분석하였고, 변압기의 위치는 CNCV 60mm<sup>2</sup>케이블 지중 입상후 100m 지점에 설치하였다. 검토모델은 그림 16과 같다.

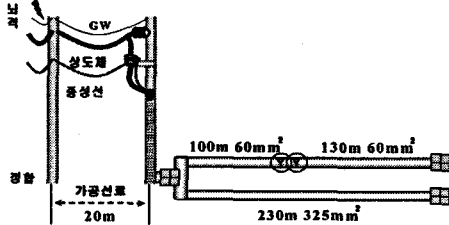


그림 16 Case 3-1 모델계통

Fig. 16 Model of Case 3-1

그림 17~19는 Case 3-1의 변압기가 포함된 상태에서 선로의 각 측정지점에서 뇌격파형별 뇌격전류와 발생과전압을 정리하여 나타내었다.

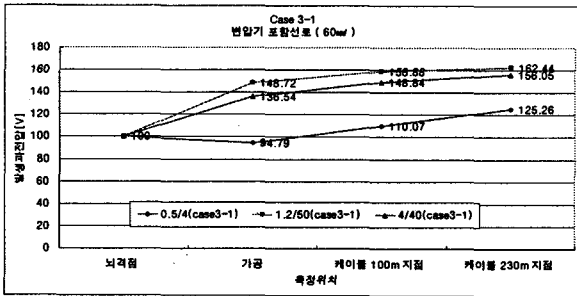


그림 17 뇌격별 측정위치에 따른 최대 발생과전압

Fig. 17 Maximum overvoltage according to the location

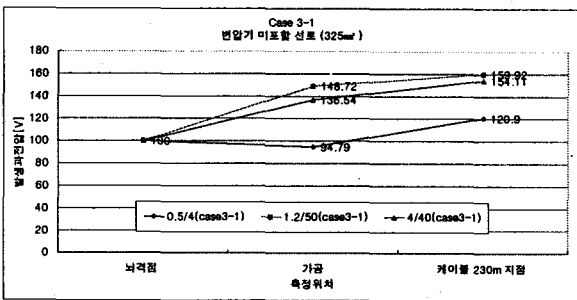


그림 18 뇌격별 측정위치에 따른 최대 발생과전압

Fig. 18 Maximum overvoltage according to the location

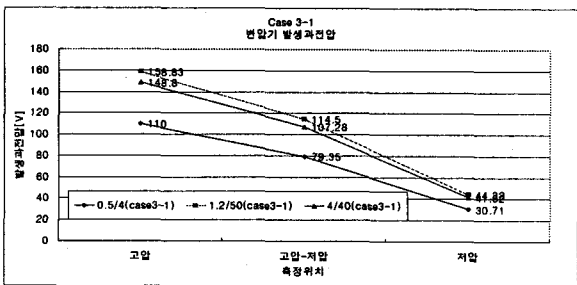


그림 19 뇌격별 측정위치에 따른 최대 발생과전압

Fig. 19 Maximum overvoltage according to the location

2) Case 3-2

Case에서는 가공선로와 지중선로를 혼합하여 가공선로는 20m를 모델링하였고, 지중선로는 CNCV 60mm<sup>2</sup>케이블과 230m과 CNCV 325mm<sup>2</sup>케이블 230m을 분기하여 모델링하였다. Case 3-1과 동일한 조건에서 변압기를 제거한 상태로 과도현상을 분석하였다. 검토모델은 그림 20과 같다.

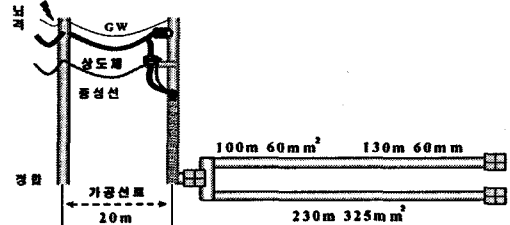


그림 20 Case 3-2 모델

Fig. 20 Model of Case 3-2

그림 21~22는 Case 3-2의 변압기가 포함되지 않은 상태에서 선로의 각 측정지점에서 뇌격파형별 뇌격전류와 발생과전압을 정리하여 나타내었다.

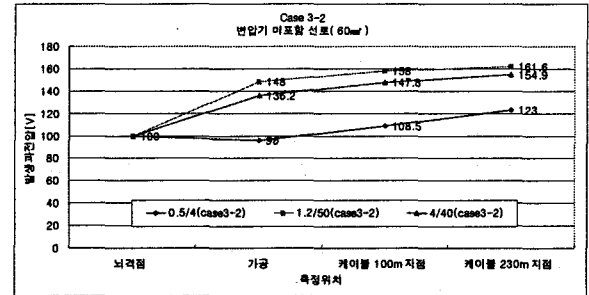


그림 21 뇌격별 측정위치에 따른 최대 발생과전압

Fig. 21 Maximum overvoltage according to the location

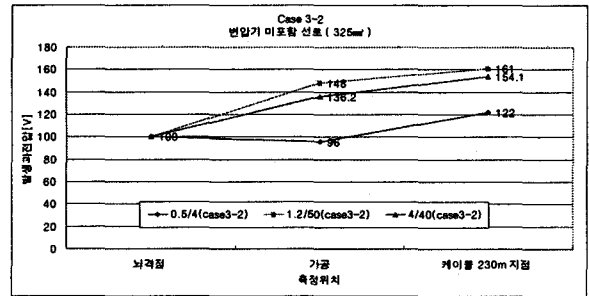


그림 22 뇌격별 측정위치에 따른 최대 발생과전압

Fig. 22 Maximum overvoltage according to the location

그림 23, 24와 표 3은 Case 3-1, Case 3-2의 측정지점에서 뇌격파형별 뇌격전류와 발생과전압을 정리하여 나타낸 것이다.

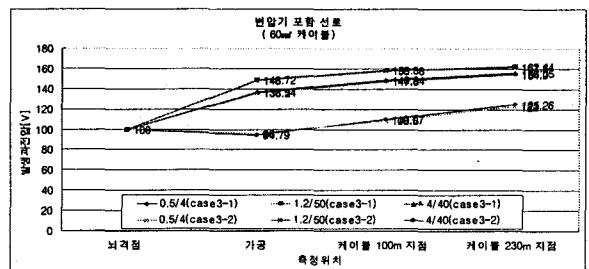


그림 23 뇌격별 측정위치에 따른 최대 발생과전압

Fig. 23 Maximum overvoltage according to the location

표 3 뇌격별 측정위치에 따른 최대 발생과전압  
Table 3 Maximum overvoltage according to the location

분류	뇌격파형 [μs]	뇌격전압 [V]	가공발단 [V]	변압기 설치 선로	
				케이블(100m) CNCV 60mm[V]	케이블(230m) CNCV 60mm[V]
Case 3-1	0.5×4	100	94.79	110.07	125.26
	1.2×50	100	148.72	158.88	162.44
	4×40	100	136.54	148.84	156.05
	뇌격파형 [μs]	뇌격전압 [V]	가공발단 [V]	변압기 미설치 선로	
	-	-	-	케이블(230m) CNCV 325mm[V]	
	0.5×4	100	94.79	-	120.9
1.2×50	100	148.72	-	159.92	
4×40	100	136.54	-	154.11	
Case 3-2	뇌격파형 [μs]	뇌격전압 [V]	가공발단 [V]	변압기 미설치 선로	
	-	-	-	케이블(230m) CNCV 325mm[V]	
	0.5×4	100	96	-	122
	1.2×50	100	148	-	161
	4×40	100	136.2	-	154.1

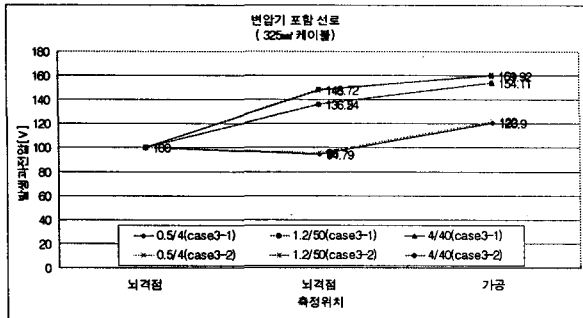


그림 24 뇌격별 측정위치에 따른 최대 발생과전압  
Fig. 24 Maximum overvoltage according to the location

표 3과 그림 23, 24에서 나타났듯이 모든 조건에서 1.2×50 μs 파형에서 최대 발생과전압이 나타났고, 최대 발생과전압 위치는 케이블의 말단에서 발생한 것을 확인할 수 있다. 같은 선로조건에서 변압기의 설치유무에 따른 발생과전압의 차이는 크지는 않으나 변압기 설치선로(CNCV 60mm 케이블)에서는 변압기가 설치된 Case 3-1에서 과전압이 약간 높게 나타났다. 그리고 변압기가 설치되어 않은(CNCV 325mm 케이블)에서는 변압기가 미설치된 Case 3-2에서 과전압이 약간 높게 발생했다. 또한 변압기가 설치된 Case 3-1과, 변압기가 설치되지 않은 Case 3-2의 결과 모두 CNCV 60mm 케이블의 선로의 발생과전압이 CNCV 325mm 케이블보다 높게 나타났다. 이는 각 선로에 발생된 과전압은 변압기의 영향보다는 케이블의 종류에 따라 발생과전압이 차이가 있음을 알 수 있다.

3) Case 3-3

Case에서는 가공선로와 지중선로를 혼합하여 가공선로는 20m를 모델링하였고, 지중선로는 CNCV 60mm 케이블 230m

과 CNCV325mm 케이블 460m을 분기하여 모델링하였다. 분기 선로에 변압기를 추가하여 과도현상을 분석하였고, 변압기의 위치는 CNCV 60mm 케이블의 지중 입상후 100m 지점에 설치하였다. 검토모델은 그림 25와 같다.

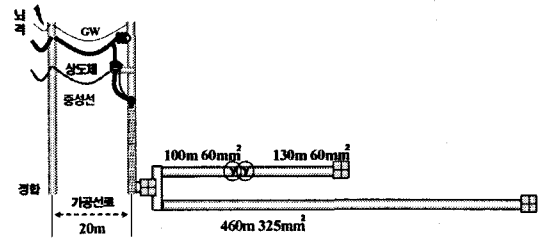


그림 25 Case 3-3 모델계통  
Fig. 25 Model system of Case 3-3

그림 26~28은 Case 3-3의 변압기가 포함된 상태에서 선로의 각 측정지점에서 뇌격파형별 뇌격전류와 발생과전압을 정리하여 나타내었다.

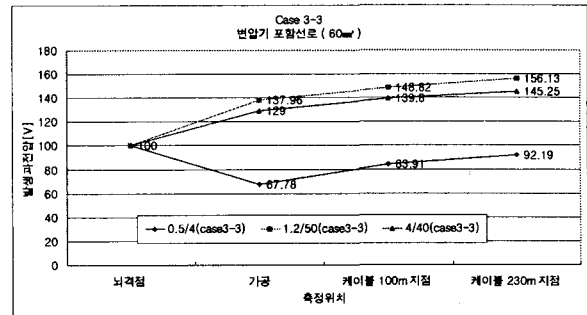


그림 26 뇌격별 측정위치에 따른 최대 발생과전압  
Fig. 26 Maximum overvoltage according to the location

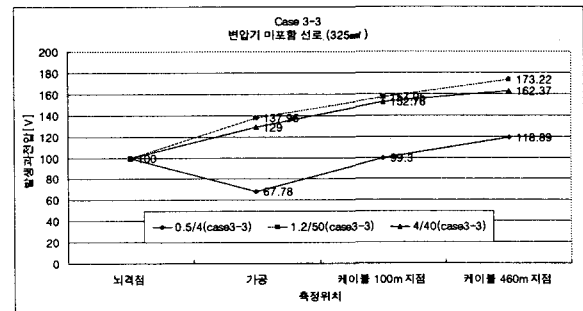


그림 27 뇌격별 측정위치에 따른 최대 발생과전압  
Fig. 27 Maximum overvoltage according to the location

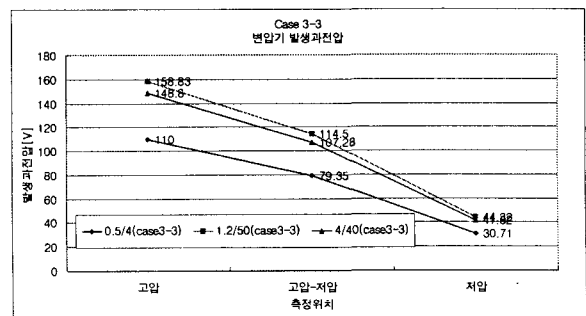


그림 28 뇌격별 측정위치에 따른 최대 발생과전압  
Fig. 28 Maximum overvoltage according to the location

4) Case 3-4

본 Case에서는 가공선로와 지중선로를 혼합하여 가공선로는 20m를 모델링하였고, 지중선로는 CNCV 60mm 케이블과 230m과 CNCV 325mm 케이블 230m을 분기하여 모델링하였다. Case 3-3과 동일한 조건에서 변압기를 제거한 상태에서 과도현상을 분석하였다. 검토모델은 그림 29와 같다.

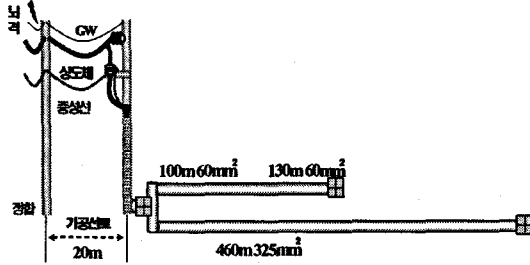


그림 29 Case 3-4 모델계통  
Fig. 29 Model system of Case 3-4

그림 30~31은 Case 3-4의 변압기가 포함되지 않은 상태에서 선로의 각 측정지점에서 뇌격파형별 뇌격전류와 발생과전압을 정리하여 나타내었다.

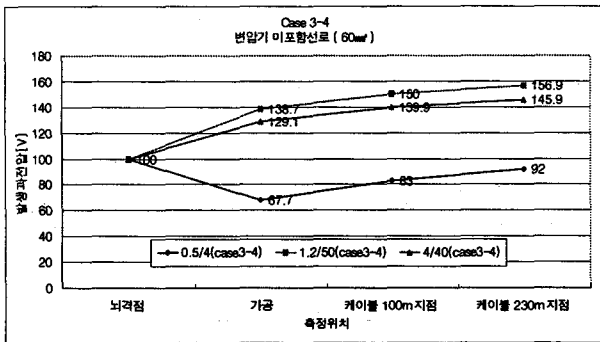


그림 30 뇌격별 측정위치에 따른 최대 발생과전압  
Fig. 30 Maximum overvoltage according to the location

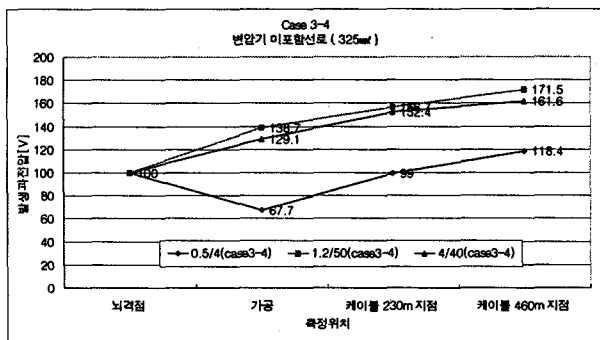


그림 31 뇌격별 측정위치에 따른 최대 발생과전압  
Fig. 31 Maximum overvoltage according to the location

표 4와 그림 32, 33은 Case 3-3, Case 3-4의 측정지점에서 뇌격파형별 뇌격전류와 발생과전압을 정리하여 나타낸 것이다.

표 4 뇌격별 측정위치에 따른 최대 발생과전압

Table 4 Maximum overvoltage according to the location

분류	뇌격파형 [μs]	뇌격점 [V]	가공 말단 [V]	변압기 설치 선로	
				케이블(100m) CNCV 60mm[V]	케이블(230m) CNCV 60mm[V]
C	0.5×4	100	67.78	83.91	92.19
	1.2×50	100	137.96	148.82	156.13
	4×40	100	129	139.8	145.25
a	뇌격파형 [μs]	뇌격점 [V]	가공 말단 [V]	변압기 미설치 선로	
				케이블(230m) CNCV 325mm[V]	케이블(460m) CNCV 325mm[V]
	e	0.5×4	100	67.78	99.3
1.2×50		100	137.96	157.05	173.22
4×40		100	129	152.76	162.37
3-3	뇌격파형 [μs]	뇌격점 [V]	가공 말단 [V]	변압기 설치 선로	
				케이블(100m) CNCV 60mm[V]	케이블(230m) CNCV 60mm[V]
	4	0.5×4	100	67.7	83
1.2×50		100	138.7	150	156.9
4×40		100	129.1	139.9	145.9
3-4	뇌격파형 [μs]	뇌격점 [V]	가공 말단 [V]	변압기 미설치 선로	
				케이블(230m) CNCV 325mm[V]	케이블(460m) CNCV 325mm[V]
	0.5×4	100	67.7	99	118.4
1.2×50	100	138.7	156.7	171.5	
4×40	100	129.1	152.4	161.6	

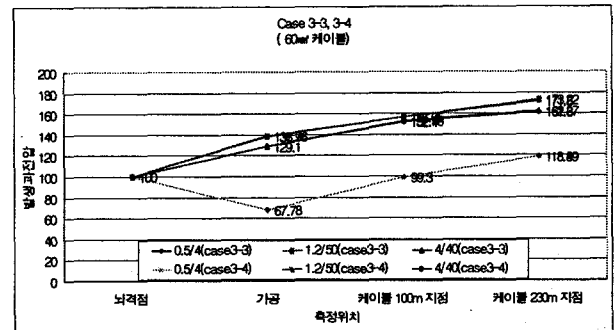


그림 32 뇌격별 측정위치에 따른 최대 발생과전압  
Fig. 32 Maximum overvoltage according to the location

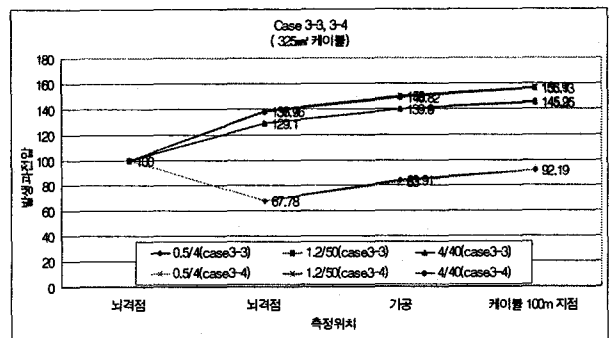


그림 33 뇌격별 측정위치에 따른 최대 발생과전압  
Fig. 33 Maximum overvoltage according to the location

표 4와 그림 32, 33에서 알 수 있듯이 모든 조건에서 1.2×50μs 파형에서 최대 발생과전압이 나타났고, 최대 발생과전압 위치는 케이블의 말단에서 발생한 것을 확인 할 수 있다. Case 3-1, 3-2와 마찬가지로 같은 선로조건에서 변압기의 설치유무에 따른 발생과전압의 차이는 크지는 않으나 케이블 길이 차이로 인하여 Case 3-1, 3-2와는 다르게 변압기 설치선로(CNCV 60mm케이블)에서는 변압기가 미설치된 Case 3-4에서 그리고 변압기가 설치되어 않은(CNCV 325mm케이블)에서는 변압기가 설치된 Case 3-3에서 과전압이 약간 높게 발생했다. 또한 케이블의 길이에 변화를 주었을 경우 짧은 선로보다 긴 선로에 발생 과전압이 크게 발생 하였으면 Case 3-3, 3-4 모두 동일한 결과를 보이고 있어 변압기의 설치에 따른 변화보다 케이블의 분기로 인한 결과로 사료된다.

표 5와 그림 34는 Case 3의 변압기에 발생한 과전압을 비교하여 결과를 요약하였다.

표 5 뇌격별 변압기 측정위치에 따른 발생 과전압  
Table 5 Maximum overvoltage according to the location

분류	뇌격파형 [μs]	변압기 고압단 [V]	변압기 고압단-저압단 [V]	변압기 저압단 [V]
Case3-1	0.5×4	110	79.35	30.71
	1.2×50	158.83	114.5	44.32
	4×40	148.8	107.28	41.52
Case3-3	0.5×4	83.93	60.51	23.42
	1.2×50	148.78	107.26	41.59
	4×40	139.78	100.77	39

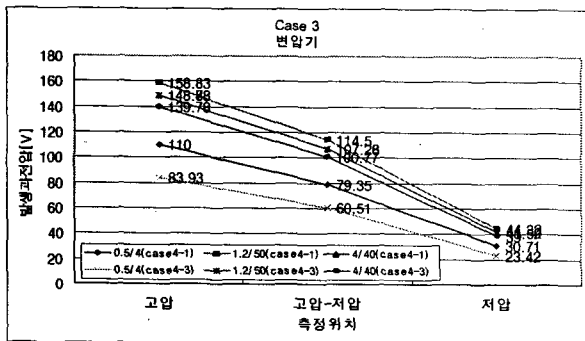


그림 34 뇌격별 변압기 측정위치에 따른 발생 과전압  
Fig. 34 Maximum overvoltage according to the location

표 5와 그림 34에서 볼 수 있듯이 1.2×50μs 파형의 과전압이 가장 높게 발생 하였고, Case 3-3보다 Case3-1의 경우에서 더 크게 발생하였다. 이는 변압기의 영향 보다는 변압기가 포함된 선로에 나타나는 과전압의 영향이라 사료된다.

5. 결론

본 논문에서는 실증시험 계획을 토대로 수립된 모의시험 선로를 기초로 3가지 Case를 선정하여 실제 시험에서 사용할 뇌격을 인가하여 시뮬레이션을 수행하여 분석하였다. 본 연구에서 분석한 결론을 요약하면 다음과 같다.

(1) 모든 Case에서 동일하게 1.2×50μs 파형의 과전압이 가장 크게 발생되었으며, 동일한 뇌격조건인 경우 케이블의 길이가 긴 선로에 비하여 짧은 선로에서 더 큰 과전압이 발생되었다.

(2) 0.5×4μs 파형의 경우 급준한 파두를 가지고 있지만 매우 짧은 파미장의 영향으로 케이블 길이가 긴 선로에서 매우 낮은 과전압이 발생되었다. 또한 4×40μs 파형의 뇌격조건에서 0.5×4μs 파형과는 반대로 완만한 파두와 긴 파미장의 영향으로 짧은 케이블 길이의 선로보다 케이블 길이가 긴 선로에서 더 큰 과전압이 발생되었다.

(3) 지중케이블에 이어 가공선로가 연결된 선로의 경우 케이블 말단에서 가장 큰 과전압이 발생되었다.

(4) 케이블 길이 조건이 동일한 경우 변압기 설치 유무에 따른 과전압의 차이는 크지 않으나, 변압기가 설치되어있는 선로(CNCV 60mm케이블)에서는 변압기가 설치되어있는 경우 과전압이 크게 발생되었고, 변압기가 설치되어 않은선로(CNCV 325mm케이블)에서는 변압기가 미설치된 경우에서 과전압이 약간 높게 발생되었다.

(5) 발생과전압은 CNCV 60mm케이블이 CNCV 325mm케이블보다 높게 나타났다.

(6) 케이블 길이 조건이 다른 경우 변압기 설치 유무에 따른 과전압의 차이는 크지 않으나, 변압기가 설치되어있는 선로(CNCV 60mm케이블)에서는 변압기가 미설치되어있는 경우 과전압이 크게 발생되었고, 변압기가 설치되어 않은선로(CNCV 325mm케이블)에서는 변압기가 설치된 경우에서 과전압이 약간 높게 발생되었다.

본 연구를 통해 얻은 결과는 실증시험 선로구성 및 실증 시험 선로를 구성하는데 기초 자료로 사용될 예정이다. 실증시험 데이터와 비교 및 검토를 통하여 최적 모델링 기법과 시뮬레이션 환경을 도출하고, 이를 토대로 모델링과 실증시험 선로 등을 수정 및 보완하여 최적시험조건을 확립할 예정이다. 본 연구의 연구결과는 시뮬레이션의 이론적 해석과 실측 결과를 비교 분석하고, 지중배전계통에서 발생되어지는 이상전압 메커니즘 및 다양한 과도현상을 해석함으로써 지중배전계통의 서지 보호대책을 수립하고, 더 나아가 지중배전계통의 절연협조 기준 재정립에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부 지원으로 전력산업연구개발사업(R-2005-0-030)의 한국전력공사 주관으로 수행중인 과제임.

참고 문헌

- [1] 한국전력공사, “배전계통 절연협조 기준 정립에 관한 연구” 한국전력공사 배전처, 2003
- [2] 한국전력공사, “배전선 절연설계에 관한 연구(I)” 한국전력공사 기술연구원, 1989
- [3] 한국전력공사, “배전선 절연설계에 관한 연구(II)” 한국전력공사 기술연구원, 1992
- [4] 한국전력공사, “배전계통 이상전압 측정 및 대책 연구” 2000
- [5] M.H. Shwehdi A.S.,Farag, C. Belhadj, M.A. Aburaida “LONG AND SHORT HIGH VOLTAGE CABLES EFFECTS ON TRANSIENT OVER VOLTAGES” Conference Record of the 1998 IEEE International



Symposium on Electrical Insulation, Arlington, Virginia, USA, 1998

- [6] 한국전력공사, “표준 구매시방서(2000-0133 단45 ES 100~130)”, 2000
- [7] 한국전력공사, “표준 구매시방서(2000-0133 단45 ES 140~900)”, 2000
- [8] 한국전력공사, “지중실무 I” 한국전력공사 중앙교육원, 2005
- [9] 한국전력공사, “지중실무 II” 한국전력공사 중앙교육원, 2005
- [10] 한국전력공사, “배전분야 설계기준-3500(접지공사)” 1999
- [11] J.C. DAS “Surge transference through transformers”  
IEEE INDUSTRY APPLICATION MAGAZINE  
SEPT/OCT 2003



**한 병 성 (韓 秉 誠)**

1951년 12월 22일생. 1975년 전북대 공대 전기공학과 졸업. 1981년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사) 1988년 프랑스 루이 파스퇴르대학 졸업(공학). 1988년 프랑스 CNRS(프랑스 국립과학연구소) 연구원. 2002년 9월 - 2004년 8월 전북대 공대 학장. 현재 전북대 공대 전자정보공학과 교수.

Tel : (063)270-2396

E-Mail : hbs@moak.chonbuk.ac.kr

지 자 소 개



**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). 현재 한전 전력연구원(KEPRI) 배전연구소장

Tel : (042)865-5900

E-Mail : kbsook@kepri.co.kr



**이 장 근 (李 長 根)**

1979년 5월 10일생. 2004년 원광대 공대 전기전자및정보공학부 졸업. 2005년~ 현재 동 대학원 전기공학과 석사과정

Tel : (063)850-6735

E-mail : jjang3506@hanmail.net



**이 종 범 (李 鍾 範)**

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

Tel : (063)850-6735

E-mail : ipower@wonkwang.ac.kr