

# 지중송전케이블계통에서 절연통의 과전압 해석 및 억제대책 검토

論 文  
51A-2-8

## Analysis of Overvoltage and Reduction Methods of Insulation Joint Box in Underground Power Cable Systems

洪 東 奭\* · 鄭 彩 均\* · 李 鍾 範\*\* · 徐 在 鎬\*\* · 趙 漢 九\*\*\*

(Dong-Suk Hong · Chae-Kyun Jung · Jong-Beom Lee · Je-Ho Seo · Han-Goo Cho)

**Abstract** - This paper describes the overvoltage analysis and reduction methods of insulation joint boxes in underground transmission power cables when direct lightning surge strikes to overhead transmission line. An actual 154kV combined transmission line with underground power cables was modelled in ATPDraw for simulation. Simulations were performed to analyze the overvoltage between insulation joint boxes, sheath-to-ground voltage according to the distance between cable conductors, cable lengths, burying types, CCPU connection types. The most effective method to reduce the induced overvoltage of insulation joint boxes was proposed. It is evaluated that the proposed reduction method given from the detailed simulations can be effectively applied to the actual underground power cable systems.

**Key Words** : Insulation Joint Box, Surge, CCPU, ATPDraw, CCPU Connection Type

### 1. 서 론

도심지의 전력수요 증대로 인하여 송전선로 건설의 필요성이 증대되고 있으나 도심지 통과, 환경적 요인등 가공선로가 갖고 있는 어려움으로 지중송전선로의 건설이 증대되고 있으며 일부는 가공과 지중이 복합된 혼합선로가 건설되기도 한다. 지중송전선로를 이루고 있는 전력케이블은 도체, 절연체, 시스, 방식층으로 구성되어 있으며, 시스는 절연층에 침입하는 습기를 방지하고 케이블을 기계적 외상으로부터 보호하며, 기계적 강도를 크게하기 위하여 사용된다. 한편 전력케이블에 전류가 흐를 경우 상호전자유도현상에 의하여 급속시스에 전압이 유기되는데 이 때 유기되는 전압은 안전을 고려하여 국내에서는 지중송전선로의 포설방식에 따라 전력구방식에서는 50V, 관로방식에서는 100V로 제한전압을 탄력적으로 적용하고 있으며 시스유기전압을 제한시키기 위해 여러 가지 접지방식중 크로스본드 접지방식을 사용하고 있다[1]-[4].

그러나 전력케이블에 직격뢰나 개폐써지 등 고주파 써지가 내습하면 크로스본드점은 써지의 전파에 대해서 변이점으로 작용하여 복잡한 투과와 반사가 발생하고 케이블 시스에도 고주파 써지가 유기되어 케이블의 주절연 뿐만 아니라 시스에도 고전압이 유기되어 종단 접속부나 절연 접속부의 절연통에 섬락이나 절연과파가 일어날 수 있다. 따라서 써

지성 과전압이 방식층의 충격내전압치를 초과할 경우 절연통 및 방식층을 보호하기 위한 대책으로 종단 접속부의 절연통은 가공선과 케이블의 접속점에 퍼피기를 설치하거나 절연통 양단에 방식층보호장치(Cable Cover Protection Unit)를 설치하고 중간접속부의 경우 주로 방식층보호장치로 보호하고 있다. 최근, 국내 154kV 선로의 경우 년 200km 정도의 지중화 계획에 따라 방식층보호장치의 수요가 확충되고 있으며, 앞으로 지중화가 서울 및 대도시 영역권과 신도시로 확대됨에 따라 방식층보호장치의 중요성이 더욱 강조되고 있는 실정이다. 방식층보호장치는 결선방식에 따라 일반적으로 대지간방식, 교락접지방식, 교락비접지방식, CIRGE 방식으로 나눌 수 있는데 국내에서는 CCPU의 결선방식을 '97년 이후부터 교락비접지방식을 적용하고 있으며 추가적으로 전원측 두 구간과 부하측 두 구간에 대지간방식을 혼용하여 사용하고 있다[1]-[6]. 그러나 이러한 방식층보호장치의 결선방식에 따른 설치효과와 설치범위 그리고 설치방법은 각국의 전력회사마다 다양하기 때문에 국내환경에 맞는 기준 확립의 측면에서도 면밀히 검토해 볼 필요가 있으며, 또한 다양한 케이블 포설조건하에서 케이블 시스의 유기전압을 해석하여 좀더 정확한 절연통 보호대책을 수립할 필요가 있다[1][2].

따라서 본 논문에서는 직격뢰 등 고주파 써지 침입시 다양한 조건에서 절연통 보호능력을 검토하여 가장 효과적인 보호대책을 수립하기 위해 우선 가공과 지중이 혼합된 실계통을 선정하여 ATPDraw에서 모델링하였다. 그리고 지중케이블선로의 시스와 절연통에 유기되는 과전압을 방식층보호장치의 결선방식에 따라 비교 검토하여 그 결과를 바탕으로 지중송전계통에 적용할 방식층보호장치의 설치효과와 범위, 방법에 대한 기준안을 제시하였으며, 여러 가지 케이블 포설조건에 따른 시뮬레이션을 통해 지중송전케이블 계통에서의

\* 準 會 員 : 圓 光 大 電 氣 工 學 科 碩 士 課 程

\*\* 正 會 員 : 圓 光 大 電 氣 電 子 및 情 報 工 學 部 教 授 · 工 博

\*\*\* 正 會 員 : 韓 國 電 氣 研 究 院 責 任 研 究 員 · 工 博

接 受 日 字 : 2001 年 11 月 15 日

最 終 完 了 : 2002 年 1 月 21 日

써지억제 방안을 제시하였다.

## 2. 계통 모델링 및 데이터

### 2.1 모델계통

그림 1은 본 논문에서 사용된 실제계통 모델의 단선도로써 편단 전원에 154kV 전압이 인가되고 가공선로와 지중선로가 혼합된 혼합송전계통 모델이다. 선로 모델링은 ATPDraw를 이용하였으며 각 구간별 선로길이, 접지상태 및 각 구간마다의 케이블 매설형태는 표 1과 같다.

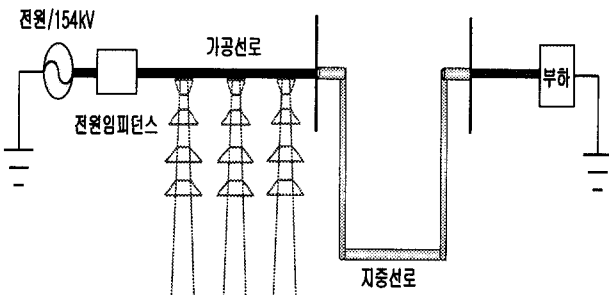


그림 1 혼합송전선의 모델 계통도  
Fig. 1 Model system of combined transmission line

표 1 선로길이 및 접지와 매설형태  
Table 1 Line length, grounding and burying type

구간	1구간	2구간	3구간	4구간	5구간	6구간
접지방식	△	△	○	△	△	○
선로길이 (m)	350	340	340	340	370	380
매설형태	전력구	전력구	전력구	전력구	전력구	전력구
구간	7구간	8구간	9구간	10구간	11구간	12구간
접지방식	△	△	○	△	△	○
선로길이 (m)	282	263	308	347	318	269
매설형태	전력구	전력구	전력구	관로	관로	관로
구간	13구간	14구간	15구간	16구간	17구간	18구간
접지방식	△	△	○	△	△	○
선로길이 (m)	340	244	300	300	260	330
매설형태	관로	관로	관로	전력구	전력구	전력구

[직접접지:○, 크로스본드 접지:△]

### 2.2 전원 및 부하 임피던스

전원 임피던스는 표 2와 같다. 한편, 부하모델에는 직렬모델, 병렬모델 및 일정전력 모델이 사용되고 있으나, 본 논문에서는 부하 모델을 수립하기 위하여 직렬모델을 사용하였고 전원단과 부하단에서의 역률, 모선전압 및 부하전력을 이용하여 부하 임피던스를 계산하였다.

$$S_L = P_L + jQ_L = V^2 \cdot Y^* P = \frac{V^2}{Z^* L} \quad (1)$$

$$Z_L = \frac{V^2}{S^*} = \frac{V^2}{P_L - jQ_L} = \frac{V^2}{S_L (\cos \theta - j \sin \theta)} \quad (2)$$

$$= \frac{V^2}{S_L} (\cos \theta + j \sin \theta) = R_L + jX_L \quad (3)$$

$$\text{단, } \theta = \tan^{-1} \frac{X_L}{R_L}$$

여기서, V는 모선전압, S<sub>L</sub>은 부하전력이며, θ는 역률로서 0.95로 가정하였다. 식 (1)~(3)은 부하전력과 모선전압으로부터 부하의 R, X값을 계산하기 위한 과정으로서 모델계통의 부하모델 수립결과를 표 3에 나타내었고, EMTP 및 ATPDraw에서 사용할 수 있도록 X[Ω]을 L[H]로 변환시켰다.

표 2 전원 임피던스  
Table 2 Source impedance

전원 임피던스(D S/S)	R[Ω]	X[Ω]
영상	1.57842	24.04128
정상(역상)	0.24174	12.12018

표 3 부하 임피던스  
Table 3 Load impedance

부하 임피던스	R[Ω]	L[H]
부하	179.24	0.1562

### 2.3 케이블 데이터

모델계통은 가공송전선로가 2.1km, 전력구식과 관로식이 병행되어 있는 지중송전선로가 총 18구간 5.681km인 모델이며, 전력구의 매설길이는 1구간~9구간, 16~18구간까지 총 3.563km이고, 관로의 매설길이는 10~15구간까지 총 1.818km이다. 선로는 K.C.LEE 모델로 모의하였으며, 전력구에 배치된 케이블에 대한 선로정수는 전력구의 바닥을 대지로 간주하고 케이블이 기중에 설치된 것으로 표현하는 방법을 사용하여 대지 저항율을 100[Ω·m]로 가정하고 ATPDraw의 보조프로그램인 ATP-LCC를 사용하여 산출하였다. 케이블 종단의 접지저항은 1[Ω], 시스의 접지저항은 10[Ω]으로 하였으며, 사용된 케이블의 종류는 154kV 2000mm<sup>2</sup> CV 케이블이다. 사용된 전력케이블의 입력자료는 표 4에 나타내었다.

표 4 154kV CV 2000mm<sup>2</sup> 케이블의 입력자료  
Table 4 Input data of 154kV CV 2000mm<sup>2</sup> cable

단위	구분(외경)	도체	절연체	시스	방식층
	mm	53.8	103.8	130.8	139.8

2.4 피뢰기 및 방식층 보호장치

최근에 설치되고 있는 피뢰기와 CCPU는 ZnO 성분으로 제조되는 것으로서 이는 케이블에 직격되나 개폐장치등이 침입했을 경우 방식층 및 절연접속부의 과도한 써지전압을 억제하는데 그 목적이 있다. 피뢰기는 지중송전선의 인입구와 인출구에 설치되며, CCPU는 절연통 양단에 설치된다. 그림 2와 3은 본 논문에서 사용된 CCPU 및 피뢰기의 V-I 특성곡선이다.

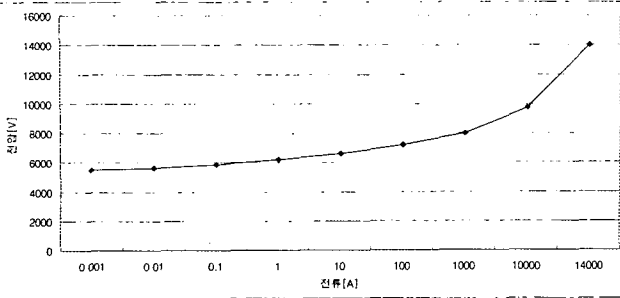


그림 2 CCPU의 V-I 특성곡선  
Fig. 2 V-I characteristic curve of CCPU

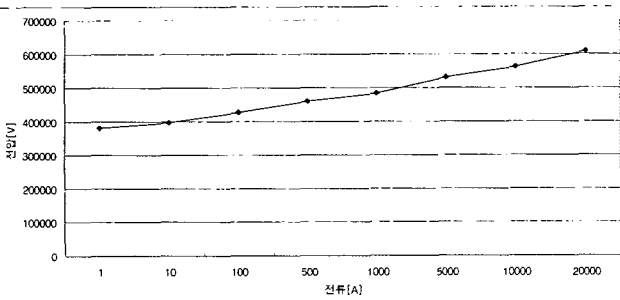


그림 3 피뢰기의 V-I 특성곡선  
Fig. 3 V-I characteristic curve of arrester

그림 4는 방식층보호장치를 실계통에서 연결한 상태를 도식적으로 나타낸 것으로서 절연접속함의 중단 연결단자에 일반적으로 표 5와 같은 결선방법을 사용하여 연결한다. 다만 여기서는 잘 사용하지 않는 CIRGE 방식은 생략하였다.

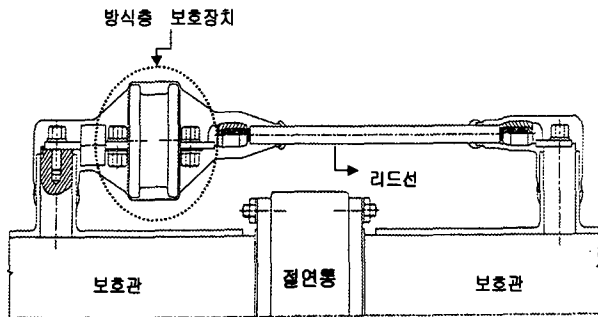


그림 4 방식층 보호장치  
Fig. 4 Cable cover protection unit

표 5 방식층보호장치의 결선법

Table 5 Connection method of CCPU

절연통 교락방식		대지간방식
비접지	접지	
절연통 사이에 피뢰기 설치	절연통 사이에 2개의 피뢰기를 설치하고 중간점을 접지	중간접속부와 대지간에 피뢰기 설치

그림 5는 대지간방식, 그림 6은 교락비접지방식, 그리고 그림 7은 교락접지방식을 도시적으로 나타낸 것이다.

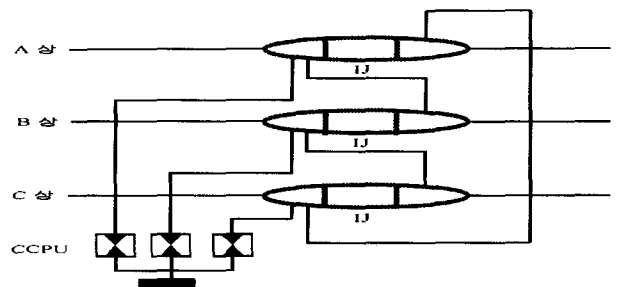


그림 5 대지간방식  
Fig. 5 Direct grounding type connected to CCPU

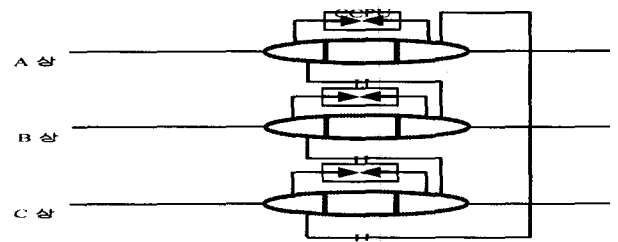


그림 6 교락비접지방식  
Fig. 6 Non-grounding type with cross-connected to CCPU

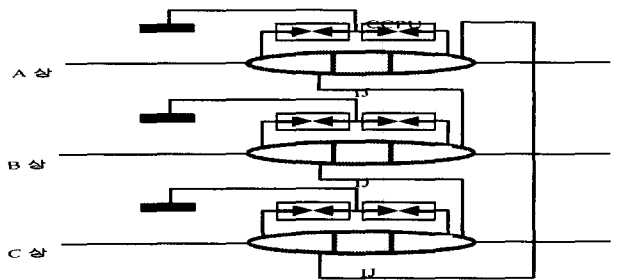


그림 7 교락접지방식  
Fig. 7 Grounding type with cross-connected to CCPU

2.5 뇌격

국내의 낙뢰 특성은 산간 및 해안지역에서 많이 발생하고 낙뢰극성은 부극성이 80%, 정극성이 15%, 뇌운간 방전이 5%의 점유율을 차지하고 있으며, 연간 발생 낙뢰 중 7~8월에 발생한 낙뢰가 60%이상의 점유율을 차지하고 있다.

뇌격 전류의 크기는 대부분이 40[kA]이하이나 그 이상의 뇌격 강도를 갖는 낙뢰도 간혹 발생하고 있으며 부극성의 경우 최대 -141[kA], 정극성의 경우 최대 195[kA]의 뇌격전류를 갖는 낙뢰가 발생하기도 한다[7].

한편, 뇌격은 뇌써지 임피던스와 전류원에 의하여 모의할 수 있는데 뇌써지 임피던스는 일반적으로 뇌격이 빛의 속도로 진행한다고 가정하여 계산한 써지 임피던스를 집중저항으로 표현하는 방법이 널리 사용되고 있고, 뇌격전류의 파형을 표현하는 방법에는 램프파, 2개의 지수함수의 합 또는 CIRGE에서 제안된 형태 등이 있다[8][9].

본 논문에서는 그림 8에서 나타낸 것처럼 뇌격전류 피크값( $I_0$ )은 60[kA], 속도는 2/70[ $\mu$ s], 뇌써지 임피던스는 400 [ $\Omega$ ]으로 가정하였으며 뇌써지 임피던스는 집중저항으로 처리하여 그림 9와 같이 모의 하였고 뇌격파형은 램프파를 사용하여 선형적으로 상승, 감쇠하는 것으로 근사화 하였다.

그리고 뇌격은 가공과 지중의 인입점에서 700m 떨어진 가공송전선의 A상도체에 침입하였다고 가정하였다.

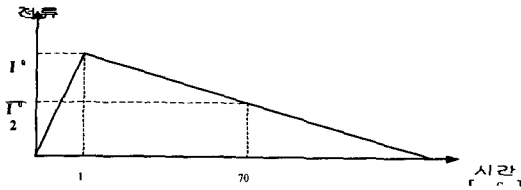


그림 8 뇌격전류파형  
Fig. 8 Wave of lightning current

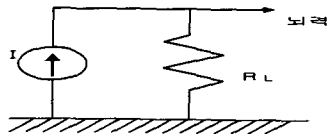


그림 9 뇌격 모델  
Fig. 9 Model of lightning

### 3. 시뮬레이션 및 결과 고찰

#### 3.1 Case 설정조건

케이블 시스유기전압은 케이블 도체와 금속시스간의 간격 및 케이블간의 등가선간거리를 고려한 상호유도리액턴스에 케이블 절연체가 허용하는 도체최대전류치를 금속시스 접지 방식에 따라 산술적으로 계산하여 적용하고 있다. 아래의 식 (4)~(6)은 크로스본딩시 케이블 시스유기전압 계산식이다. 이 식에서 보는 바와 같이 케이블 시스유기전압은 도체 전류, 케이블의 배열방식, 케이블간 간격, 케이블 길이에 따라 증감되므로 본 논문에서 정상상태시는 Case A~Case C, 그리고 가공송전선의 A상에 직격뢰가 침입했을 경우는 크게 피뢰기를 고려하지 않은 경우와 피뢰기를 고려한 경우로 나누었고, 피뢰기를 고려하지 않은 경우는 Case A~Case E, 피뢰기를 고려한 경우는 Case F~Case H로 시뮬

레이션을 수행하여 그 때의 시스-대지간 전압과 절연통간 전압을 분석하였다. 표 6은 본 논문에서 다룬 각각의 Case 이다.

●  $0 \leq x \leq l$  구간

$$E(l) = \frac{\sqrt{3} \cdot X_s \cdot I}{L} \sqrt{m^2 + m \cdot n + n^2} \cdot l \text{ [V]} \quad (4)$$

●  $l \leq x \leq (l+m)$  구간

$$E(l+m) = \frac{\sqrt{3} \cdot X_s \cdot I}{L} \sqrt{l^2 + l \cdot m + m^2} \cdot n \text{ [V]} \quad (5)$$

●  $(l+m) \leq x \leq (l+m+n)$  구간

$$E(l+m+n) = 0 \text{ [V]} \quad (6)$$

단,  $X_s = 2 \cdot \omega \cdot \ln\left(\frac{D_0}{r_s}\right) \times 10^{-7}$

$E(l), E(l+m), E(l+m+n)$  : 크로스본드 소구간별 시스유기전압

$l, m, n$  : 크로스본드 소구간 길이[m]

$X_s$  : 시스리액턴스 [ $\Omega$ /m]

$I$  : 도체전류 [A]

$L$  : 크로스본드 구간 길이[m]

$r_s$  : 시스평균반경[mm]

$D_0$ : 등가선간거리[mm]

표 6 시뮬레이션 종류

Table 6 Case of simulation

Case	피뢰기를 고려하지 않은 경우
A	기존선로
B	Case A의 관로구간을 전력구로 바꾼 경우
C	Case A에서 크로스본드 한 구간중 세 개의 소구간이 $l=m=n$ 일 경우
D	CCPU의 결선방식(대지간, 교락접지, 교락비접지, 대지간과 교락비접지의 혼합)
E	써지침입측 크로스본딩된 네 구간과 관로포설 구간에 대지간과 교락비접지방식을 병행한 혼합방식을 적용한 경우
Case	피뢰기를 고려한 경우
F	Case A에 피뢰기를 적용한 경우
G	Case B에 피뢰기를 적용한 경우
H	Case E에 피뢰기를 적용한 경우

#### 3.2 정상상태시 해석

그림 10과 11은 정상상태시 Case A와 Case B 즉, 전력구와 관로가 혼합된 기존선로와 기존선로의 관로포설 구간을 전력구방식으로 바꾼 경우의 시스-대지간, 절연통간 전압이다. 그림에서 보는바와 같이 전력구와 관로가 혼합된 기존선로의 경우 관로포설 구간에 갑자기 높은 값의 전압이 측정되어, 전력구로만 포설된 Case B의 경우가 보다 좋은 시스유기전압 저감효과를 보였다.

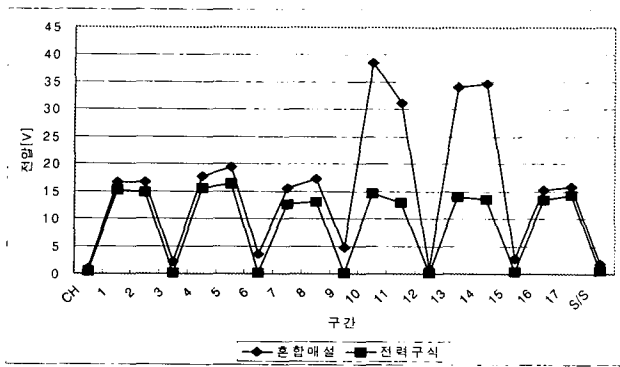


그림 10 정상상태시 케이블 매설방식에 따른 시스-대지간 전압

Fig. 10 Voltage of sheath-to-ground with burying type of cable at normal state

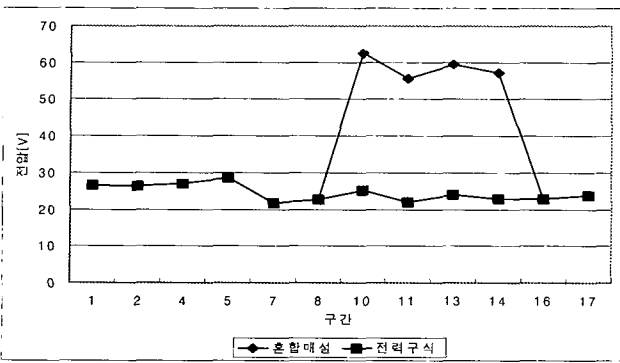


그림 11 정상상태시 케이블 매설방식에 따른 절연통간 전압

그림 12와 13은 케이블의 구간길이 변화에 따른 전압을 보이고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 시스-대지간 전압과 절연통간 전압의 변화가 거의 없어 뇌취지 침입시는 고려하지 않았으며, 또한 정상상태이므로 CCPU의 결선방식에 대해서도 고려하지 않았다.

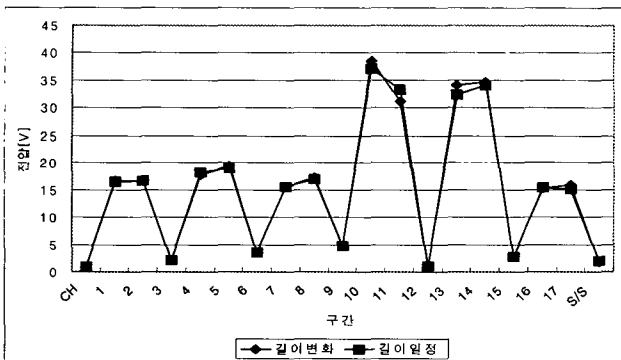


그림 12 정상상태시 케이블 간격변화에 따른 시스-대지간 전압

Fig. 12 Voltage of sheath-to-ground with change of distance between cables at normal state

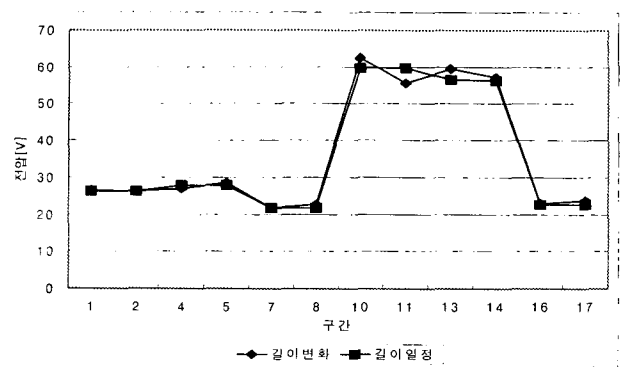


그림 13 정상상태시 케이블 간격변화에 따른 절연통간 전압

Fig. 13 Voltage of insulation joint box with change of distance between cables at normal state

### 3.3 가공송전선에 직격뢰 침입의 경우

#### 3.3.1 피뢰기를 고려하지 않은 경우

그림 14와 15는 가공송전선 A상에 직격뢰가 침입하였을 때 피뢰기를 고려하지 않은 경우 CCPU의 결선방식에 따른 시스-대지간의 전압과 절연통간 전압을 보이고 있다. 시스-대지간 전압 크기는 대지간 > 교락비접지 > Case A > 교락접지 > Case E의 순서로 나타났으며, 절연통간 전압은 대지간 > 교락접지 > 교락비접지 > Case A > Case E의 순서로 나타났다. 그림 14에서 보는 바와 같이 시스-대지간 전압은 대지간, 교락비접지, Case A의 경우가 현재 사용하고 있는 154kV 이상 송전케이블의 방식층 및 절연접속부 또는 중단부 절연통간의 임펄스 내전압 및 보호레벨인 50kV를 넘고 있어 방식층 및 절연통의 절연과괴를 가져올 수 있다고 평가된다. 또한 그림 14에서 알 수 있듯이 교락비접지방식의 경우 시스-대지간 전압이 다른 구간에 비해 뇌취지 침입측 크로스본딩된 네 구간과 관로포설 구간에 큰 값의 전압을 보이고 있어 이 네 구간과 관로포설 구간에 교락비접지방식과 대지간 방식을 병행한 혼합방식을 적용한 결과 보호레벨 이하로 전압이 저감되는 효과를 볼 수 있었다.

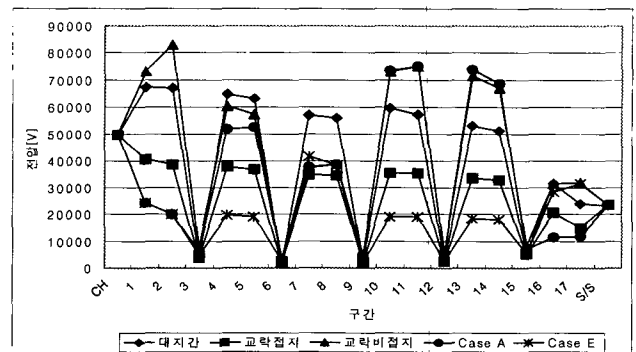


그림 14 직격뢰 침입시 CCPU 결선방식에 따른 시스-대지간 전압

Fig. 14 Voltage of sheath-to-ground with CCPU connecting type at direct lightning

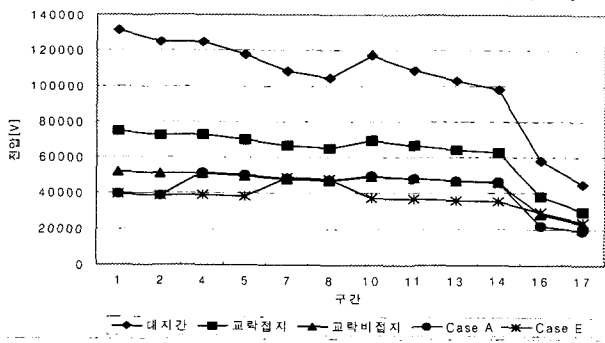


그림 15 직격뢰 침입시 CCPU 결선방식에 따른 시스-대지간 전압

Fig. 15 Voltage of insulation joint box with CCPU connecting type at direct lightning

그림 16과 17은 직격뢰 침입시 기존선로의 관로포설 구간을 전력구방식으로 바꾼 경우의 시스-대지간과 절연통간의 전압크기를 보이고 있다. 그림에서 보는바와 같이 시스-대지간 전압이 전력구와 관로가 혼합된 기존선로의 경우 관로포설 구간에 높은전압이 측정되어, 전력구로만 포설된 Case B의 경우가 가장 좋은 시스유기전압 저감효과를 보였다.

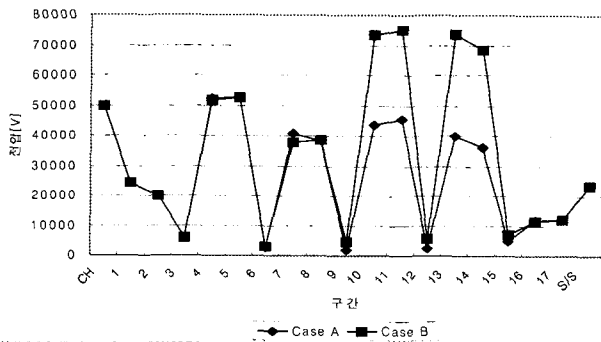


그림 16 직격뢰 침입시 케이블 매설방식에 따른 시스-대지간 전압

Fig. 16 Voltage of sheath-to-ground with burying type of cable at direct lightning

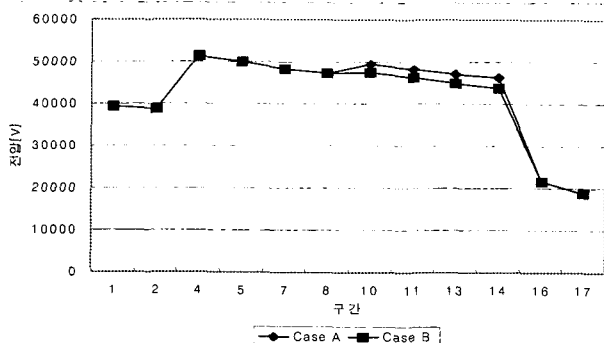


그림 17 직격뢰 침입시 케이블 매설방식에 따른 절연통간 전압

Fig. 17 Voltage of insulation joint box with burying type of cable at direct lightning

### 3.3.2 피뢰기를 고려한 경우

그림 18과 19는 가공송전선 A상에 직격뢰 침입시 피뢰기를 고려한 경우 Case F, Case G, Case H에 따른 시스-대지간 전압과 절연통간 전압을 보이고 있다. 시스-대지간 전압과 절연통간 전압의 크기는 Case F > Case G > Case H의 순서로 나타났다. 그림에서 보는 바와 같이 세 가지 경우 모두 양호한 써지 억제 효과를 볼 수 있었지만 기존선로에 피뢰기를 적용한 Case F의 경우 관로포설 구간에 시스-대지간 전압의 크기가 절연레벨을 넘는 값이 측정되어 기존의 CCPU의 설치방법으로는 절연통의 확실한 보호를 장담할 수 없으므로 이에 대한 좀더 체계적인 검토가 필요할 것으로 사료된다.

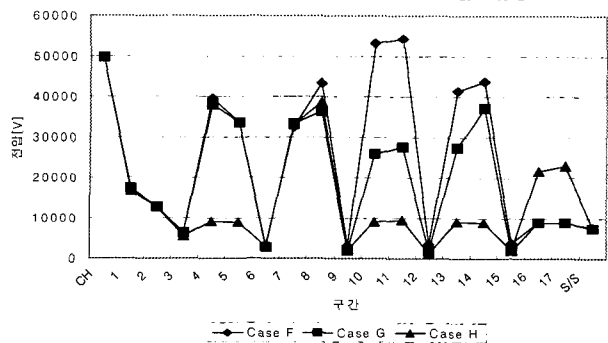


그림 18 직격뢰 침입시 피뢰기 적용에 따른 시스-대지간 전압

Fig. 18 Voltage of sheath-to-ground with application of arrester at direct lightning

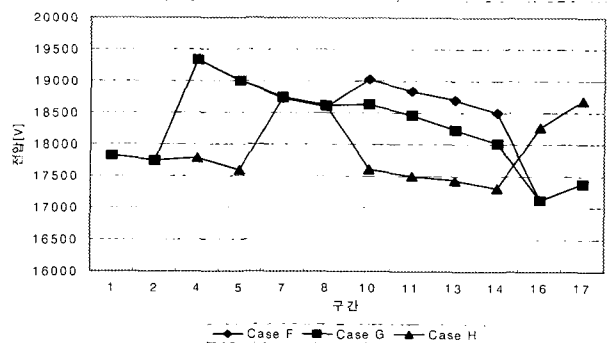


그림 19 직격뢰 침입시 피뢰기 적용에 따른 절연통간 전압

Fig. 19 Voltage of insulation joint box with application of arrester at direct lightning

## 4. 결론

본 논문에서는 방식층 보호장치와 함께 운전되고 있는 지중송전케이블 계통에서 뇌써지 침입시 케이블 절연통의 효과적인 보호대책을 수립하기 위하여 154kV 혼합송전선로를 ATPDraw를 이용하여 모델링하였으며, CCPU의 결선방식과 여러 가지 케이블포설 조건에 따른 시스-대지간 전압과 절

연통간 전압을 상세히 해석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 케이블의 매설방식에 따른 시스-대지간 전압과 절연통간 전압은 관로포설 구간을 전력구로 교체한 경우가 보다 좋은 써지 억제 효과를 나타내었다.

(2) CCPU의 결선방식에 따른 시스-대지간 전압과 절연통간 전압은 뇌써지 침입측의 크로스 본딩된 네 구간과 관로포설 구간에 교락비접지와 대지간방식을 병행한 혼합방식을 적용한 경우에 보호레벨 이하로 전압이 억제되는 효과를 볼 수 있었다.

(3) 피뢰기를 적용한 경우의 시스-대지간 전압과 절연통간 전압 또한 뇌써지 침입측의 크로스 본딩된 네 구간과 관로포설 구간에 혼합방식을 적용한 경우가 가장 좋은 써지 억제 효과를 나타내었다.

따라서 본 논문의 해석결과를 종합하여 볼 때 지중송전케이블 계통에서 써지를 억제하기 위한 방법으로는 지중송전케이블의 인입구와 인출구에 피뢰기가 설치된 상태에서 써지 침입측의 크로스 본딩된 네 구간과 관로로 포설된 구간에 CCPU를 혼합방식으로 설치하는 것이 가장 효과적이라 평가된다. 한편, 더 상세한 검토 및 평가를 위해서는 더욱 다양한 케이블 계통 조건을 고려한 연구가 수행되어야 할 것이다.

**감사의 글**

본 논문은 2000년도 원광대학교의 교비지원에 의해서 수행됨.

**참 고 문 헌**

[1] 한국전력공사, "지중송전실무 I", 1996  
 [2] 한국전력연구원, "지중송전계통의 접지기술 정립에 관한 연구", 1998  
 [3] 김석수, 조한구, 박태근, "지중송전케이블의 절연통 보호 대책 및 방식증보호장치의 특성", 한국전기전자재료학회, pp. 72~75, 2001  
 [4] N. Nagaoka, A. Ametani, "Transient Calculations on Crossbonded Cables", IEEE. Trans. PAS. No. 4, pp. 779~787 April 1983  
 [5] B. Gustavsen, J. Sletbak, "Transient Sheath Overvoltage in Armoured Power Cable", IEEE Trans. Power Delivery, Vol. 11, No. 3, pp. 1594~1600, July, 1996  
 [6] 이준성, 이종범, 김 영, "방식증보호장치의 설치에 따른 지중송전케이블 시스유기전압 해석", 대한전기학회지, Vol. 49, No. 1, 2000  
 [7] 기상청, "낙뢰연보", 1999  
 [8] M.A.Uman, "Lightning", Dover Pub. Inc, N.Y, 1969  
 [9] 전력연구원, "전력계통 과도해석 프로그램의 이론 및 활용", 전력연구원, I, II, III  
 [10] ATP Rule Book, ATP Salford version of EMTP Vol. I, II

**저 자 소 개**



**홍 동 석 (洪 東 奭)**

1974년 1월 1일 생. 2000년 원광대 공대 전기공학과 졸업. 2000년~현재 동 대학원 전기공학과 석사과정  
 Tel : (063)850-6735  
 E-mail : halubang@shinbiro.com



**정 체 균 (鄭 彩 均)**

1973년 7월 14일 생. 1999년 원광대 공대 전기공학과 졸업. 2000년~현재 동 대학원 전기공학과 석사과정  
 Tel : (063)850-6735  
 E-mail : chekyun@wonkwang.ac.kr



**이 종 범 (李 鍾 範)**

1955년 7월 12일 생. 1981년 한양대 공대 전기공학과 졸업. 1983년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1986년 동 대학원 전기공학과 졸업(공박). 1987~1990년 한국전기연구소 지중송전연구실 실장. 1997~1998년 미국 Texas A&M University 객원교수. 현재 원광대 공대 전기전자및정보공학부 교수  
 Tel : (063)850-6735, Fax : 063-850-6735  
 E-mail : ipower@wonkwang.ac.kr



**서 재 호 (徐 在 鎬)**

1948년 8월 6일 생. 1973년 명지대 공대 전기공학과 졸업, 1977년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사), 1989년 동 대학원 전기공학과 졸업(공박), 1977년-1979년 대전공업전문대학 조교수, 1980~현재 원광대 공대 전기전자및정보공학부 교수  
 Tel : (063)850-6733  
 E-mail : jehoso@wonkwang.ac.kr



**조 한 구 (趙 漢 九)**

1959년 4월 14일 생. 1984년 성균관대 공대 전기공학과 졸업, 1987년 동대학원 전기공학과 졸업(석사), 1992년 전기기기 기술사, 1996년 동대학원 전기공학과 졸업(공박), 1999년~2000년 동서대학교 전자기계공학부 겸임교수, 현재 한국전기연구원 책임연구원  
 E-mail : hgcho@keri.re.kr