

실 계통의 혼합송전선로에서 CCPU파괴 원인과 그 대책

하 체 웅 · 김 정 년 · 이 수 길 · 허 회 덕  
LG 전선(주)

The Cause of CCPU's failure and Improved Configuration Method in Combined Transmission Lines

C.W. Ha · J.N. Kim · S.K. Lee · H.D. Heo  
LG Cable

**Abstract** - The protection of underground cables against transient overvoltages resulting from lightning and other causes is important in cable-line which is connected with overhead line and underground cable. This paper investigates the failure of CCPU(Cable covering Protection Unit) and presents improved configuration method of CCPU in underground cable system. EMTP(Electromagnetic Transient Program) is used in order to study the overvoltages and modeling of components of the system such as overhead lines, underground cables, CCPUs and towers in presented.

1. 서 론

최근 송전선로는 도심지 통과나 여러 가지 환경적 이유로 인하여 지중선로와 더불어 전력을 공급하고 있다. 그 결과로 송전선로는 이제 가공선로만이 존재하는 것이 아니라 가공선로와 지중 선로가 혼합된 형태로 이루어지고 있고 이러한 추세는 앞으로 더욱 증가할 수밖에 없다. 이러한 시스템에서 만일 고장이 발생하면 고장의 종류에 따라 정전의 시간과 범위가 장시간, 광역화되어 산업활동 및 국민생활에 막대한 피해를 주어 국민경제에 치명적인 피해를 주게 된다. 특히, 케이블 헤드쪽의 절연통 및 절연통 보호장치 등이 뇌격에 대하여 가장 취약한 지점이고, 실제적으로 뇌격에 의한 절연통 보호장치의 파괴 등의 사고가 빈번히 일어나고 있는 실정이다.

본 논문에서는 지중계통의 신뢰도 확보 측면에서 EMTP(Electromagnetic Transient Progeam)를 통하여 가공송전선로에 직격뇌가 침입한 경우의 송전케이블선로의 과도상태 해석과 지중 송전케이블에서의 CCPU의 동작 특성에 대하여 분석하고, 과도시 절연통 보호장치 및 방직층 보호장치의 파괴에 대처하기 위한 개선 안을 제시하였다.

따라서, 혼합선로에서 CCPU 설치 및 시스템 구성에 있어서의 뇌격에 의한 사고를 최소화시킴으로서, 지중선로의 합리적 운영에 기여할 수 있을 것으로 사료된다.

2. 모델 자료 및 혼합선로 모델링

2.1 지중케이블 모델

모델링에 사용된 선로는 실제로 우리나라에서 포설되어 운영되어지고 있는 154kV 2회선 T/L이며, 공장은 지중 3.079km~가공 9.98km로 이루어진 혼합선로이다. 케이블 종류는 2000 mm<sup>2</sup>OF 케이블이고, 포설형태는 직각배열 형태를 택하였다. 표 1은 지중케이블의 길이 및 접지방식을 나타낸 것으로 2회선 선로에 있어서, 각 케이블의 상별 기하학적 배치를 그림 1에 나타내었다. 케이블은 지표로부터 3m 지점에 포설된 것으로 가정하였다.

표 1. 지중케이블의 길이 및 접지방식

구분	A S/S	SJ	M/H #1	M/H #2	M/H #3	M/H #4	M/H #5	M/H #6	M/H #7	B C/H
TYPE	EBG	SJ	IJ	IJ	NJ	IJ	IJ	NJ	IJ	EBA
접지방식	1Ω	-	크로스 본드	크로스 본드	10Ω	크로스 본드	크로스 본드	10Ω	-	10Ω
구간길이 (m)	30	400	400	390	380	390	380	380	329	

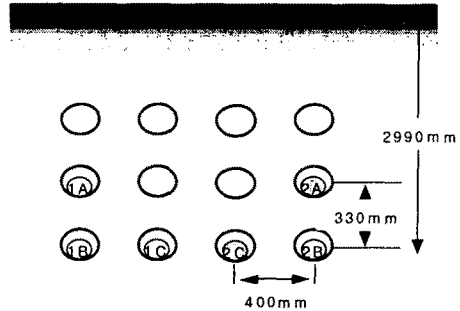


그림 1. 2회선 케이블의 기하학적 배열 형태

2.2 가공선로 및 뇌격 모델

가공선로 모의에는 154kV 철탑 모델을 사용하였다. 가공지선 접지저항이 0.5km 마다 10Ω으로 접지 되어 있는 형태를 택하였다.

뇌격전류 파형의 피크값  $I_0$ 는 100kA(2/70μs)로 가정하였다. 뇌격 형태는 램프파를 사용하여 선형적으로 상승, 감쇠하는 것으로 근사화 하였고, 뇌격 침입지점은 지중선로의 케이블 헤드로부터 약 1km 떨어진 지점의 A상에 직격뇌 형태로 침입한 것으로 설정하고 시뮬레이션을 수행하였다. 그림 2는 뇌격전류 파형을 나타낸 것이다.

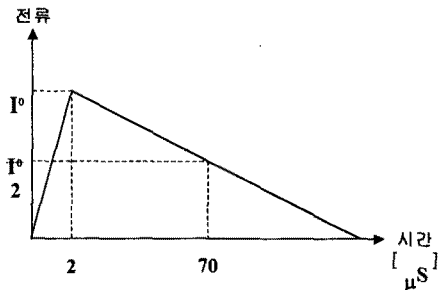


그림 2. 뇌격전류 파형

### 2.8 지중케이블 접지방식 모델

지중 케이블 모델링에 있어서 케이블의 각 회선당 인입구 2구간 및 인출구 2구간의 4지점은 각각 대지간 접지방식을 사용하였고 다른 5지점은 교락비접지 방식의 실 계통을 모델링에 사용하였다. 그림 4에 혼합송전선로 계통도를 및 CCPU설치 형태를 나타내었다.

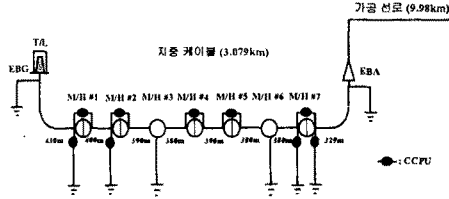


그림 3. 혼합송전선로 계통도

### 3. 시뮬레이션 결과 파형 및 대책

EMTP를 사용한 시뮬레이션의 결과를 그림 5~6에 나타내었다. 이때 가공선로와 지중선로가 연결되는 케이블 헤드 전단에는 피뢰기가 설치되어있고, 뇌격에 대하여 정동작하는 것으로 모델링을 수행하였다.

#### 3.1 #7의 절연통 보호장치의 동작 파형

가공선로측에 뇌격이 침입하였을 경우 통상 침입파의 15%~25%에 미치는 전위가 대지간 방식의 CCPU에 발생할 수 있고, 그 2배에 달하는 전압이 절연통 보호장치의 양단에 발생할 수 있다.

따라서, 그림 3과 같은 지중 케이블 선로에서 #7의 절연통 보호장치가 뇌격에 가장 취약한 지점이며, 실제 뇌격 침입시 가장 손상을 많이 받는 지점이다. 케이블에서 #7의 절연통 보호장치에 발생하는 뇌격전압 및 전류 파형을 그림 4, 5에 나타내었다.

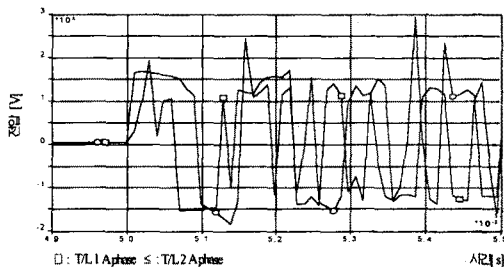


그림 4. #7의 절연통 보호장치에 발생하는 뇌격전압

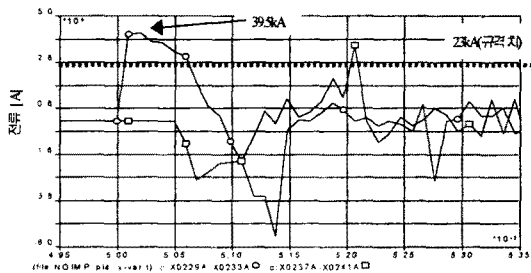


그림 5. #7의 절연통 보호장치에 흐르는 뇌격전류

그림 4, 5에 나타난 바와 같이 과도한 뇌격이 침입하였을 때 케이블의 CCPU에 흐르는 뇌격전류의 초기치가 약 39.5kA로 됨을 알 수 있다. 이는 시뮬레이션 상

에서 뇌격전류의 크기를 100kA를 설정하였고 뇌격 침입 형태도 시스템에 가장 가혹한 형태인 직격뇌를 가정하였지만, 현 시스템에 대하여 과도한 뇌격이 케이블에 침입하면 CCPU 내량을 넘게되어 CCPU 파괴가 일어날 수 있음을 보여준다. 따라서 이에 대해서 적절한 대책이 요구된다.

#### 3.2 대책 및 개선된 결과 파형

혼합송전선로에서 CCPU의 내량을 넘는 뇌격 침입이 있을 경우 이에 대하여 뇌격의 영향을 가장 많이 받는, #7의 교락비접지 CCPU 보호 대책으로는 다음과 같이 크게 세 가지의 방법으로 나눌 수 있다.

##### • 변경 (1)

그림 6의 (B)에서 보듯이 #6 맨홀에 IJ(Insulation Joint)를 추가하고, #6, #7번 맨홀의 IJ에서 SIDE S/S는 직접접지를 하고, SIDE C/H에는 CCPU를 사용하여, 대지간 방식으로 접지를 실시하는 방법

##### • 변경 (2)

그림 6의 (C)에서 보듯이 절연통간에 CCPU 2기를 병렬로 연결하여 써지 전류를 분담하는 방법으로, 뇌격 전류의 분담 효과가 있고, 만일 1기의 CCPU가 파손되었을 때 나머지 CCPU로써 임시 운영이 가능

##### • 변경 (3)

변경 (1) + 변경 (2)

위의 변경 (1)~변경 (3)으로 케이블 시스템을 변경시킨 후 시뮬레이션 결과 파형을 그림 7~그림 11에 나타내었다.

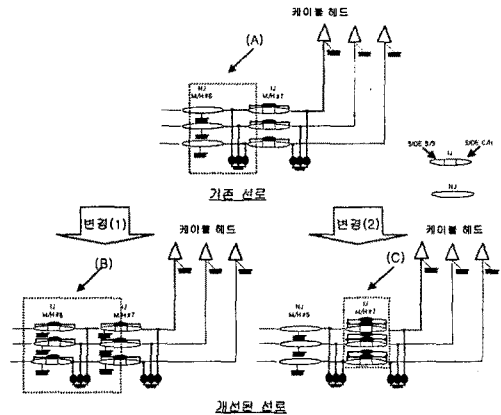


그림 6. 뇌격으로부터 절연통 보호장치를 보호하기 위해서 제안된 시스템 개선 안

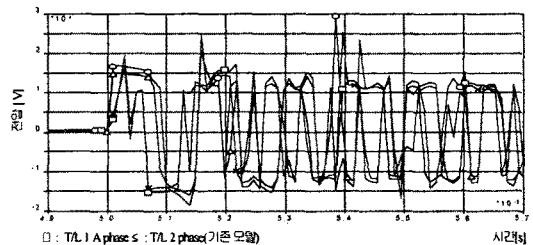


그림 7. 변경 (1)의 경우 #7의 절연통 보호장치 양단에 발생하는 뇌격전압 비교 파형

#### 4. 결 론

가공선로와 지중선로가 연계되어있는 혼합선로에서 뇌격 침입에 가장 취약한 곳에 있어서 절연통 보호장치 파손이 빈번하였다.

따라서, 뇌격침입의 영향을 최소화 하기 위한 개선안을 제시하였고, EMTP를 통한 시뮬레이션으로 검증하였다. 그 내용을 요약하면 다음과 같다.

- ▶ 시뮬레이션 결과 뇌격 침입시 케이블 헤드와 가장 가까운 쪽의 절연통 보호장치에 내량을 넘는 과도한 시스 순환전류가 발생됨을 확인하였다.
- ▶ 절연통 보호장치의 파손을 막기 위해서 본 논문에서 제시한 변경 안은 크게 3가지로 나눌 수 있는데 뇌격 전류 감소 측면에서 다음과 같은 순서로 개선 효과가 크다.
  - 1) 변경 (3) : 변경 (1) + 변경 (2)
  - 2) 변경 (1) : 그림 6의 (B)에서 보듯이 #6 맨홀에 IJ(Insulation Joint)를 추가하고, #6, #7번 맨홀의 IJ에서 SIDE S/S는 직접접지를 하고, SIDE C/H에는 CCPU를 사용하여, 대지간 방식으로 접지를 실시하는 방법
  - 3) 변경 (2) : CCPU 2기를 #7 맨홀의 절연통에 병렬로 연결하여 써지 전류를 분담하는 방법
- ▶ 특히 변경 (2) 및 변경 (3)의 경우 1기의 CCPU가 파손되었을 때, 나머지 CCPU로서 운영이 가능하여 후속 뇌격에 의하여, 방식층 및 절연통 파괴로의 고장 확대를 방지할 수 있음

#### 참 고 문 헌

- (1) KEPRI, "지중송전체통의 접지기술 정립에 관한 연구", 1998
- (2) 정채균, 홍동석, 이종범, 조한구, "직류전차선로의 뇌과전압 해석 및 피뢰기와 가공지선 차폐효과 검토", 대한전기학회 논문지, Vol. 50A, No. 8, AUG, 2001
- (3) 우정욱, 박주식, 심용보, 허용호, 조성훈, "뇌과전압에 의한 변전설비 고장파급 가능성 예측에 관한 연구", 2001년도 대한전기학회 고전압 및 방전응용기술 연구회 춘계 학술발표대회 논문집, pp.102-104, 2001
- (4) 전력연구원, "전력계통 과도해석 프로그램의 이론 및 활용에 관한 연구", 1991
- (5) ATP, "Alternative Transient Program Rule Book", Vol I, II, 1986

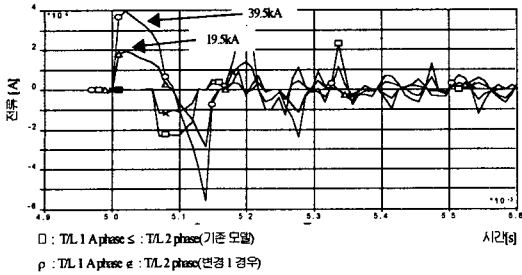


그림 8. 변경 (1)의 경우 #7의 절연통 보호장치에 흐르는 뇌격전류 비교 파형

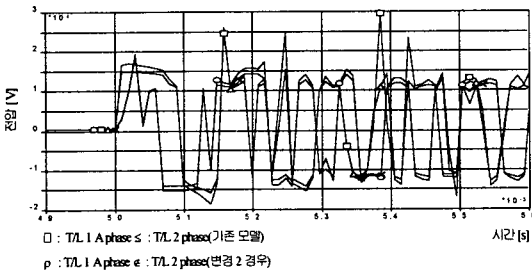


그림 9. 변경 (2)의 경우 #7의 절연통 보호장치 양단에 발생하는 뇌격전압 비교 파형

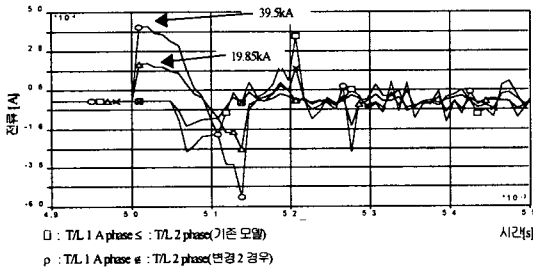


그림 10. 변경 (2)의 경우 #7의 절연통 보호장치에 흐르는 뇌격전류 비교 파형

그림 8과 그림에서 나타낸 바와 같이 변경 1과 변경 2의 경우 절연통 보호장치에 흐르는 뇌격전류의 크기는 변경전의 39.5kA에서 변경 (1)의 경우 19.5kA, 그리고 변경 (2)의 경우 19.85kA 같이 최대 1/2의 크기로 감소된다. 또한, 변경 (3)의 경우에는 그림 11에서 보듯이 약 13kA의 뇌격 전류가 흘러 변경 (3)의 방법이 가장 효과가 큰 변경 안임을 알 수 있다.

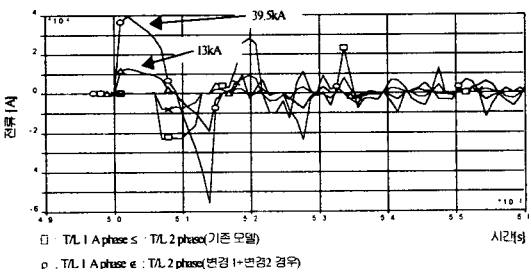


그림 11. 변경 (3)의 경우 #7의 절연통 보호장치에 흐르는 뇌격전류 비교 파형