

지중송전케이블계통에서 절연통 보호대책 및 과전압 해석

홍동석*, 진혜영, 정채균, 이종범, 조한구
원광대학교 한국전기연구원

Protection of Insulation Joint Box and Analysis of Overvoltage in Underground Power Cable Systems

Dong-Suk Hong, Hye-Young Jin, Che-Kyun Jung, Jong-Beom Lee Han-Ku Cho
Wonkwang University KERI

Abstract - This paper describes the protection of insulation joint box in combined transmission line which is connected with the 154kV underground power cables. An actual power cable system was selected to establish modeling and to analyze. Modeling was established in EMTP and ATPDraw. Simulation was carried out according to the buried method of cable and connection method of CCPU. Results presented in this paper will be applied to another power cable systems.

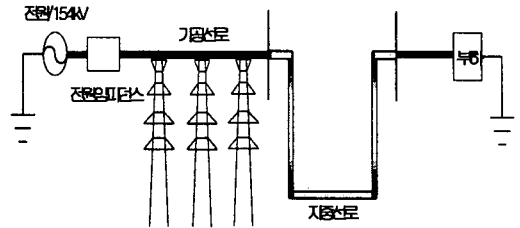


그림 1. 혼합송전선로 해석모델 계통도

1. 서 론

최근 산업경제 및 국민생활의 급격한 성장으로 전력수요는 해마다 증가하고 있으며 가공 송전선의 경우 도심지 통과나 부지확보, 잦은 민원유발 및 여러 가지 환경적인 이유로 인하여 가공송전선로 건설에 많은 어려움이 야기됨에 따라 지중송전선의 건설은 해마다 증대되고 있다. 전력케이블 선로에서 발생하는 이상전압은 지락 등에 의한 상용주파과전압, 개폐써지나 뇌써지와 같은 써지성 과전압이 있다. 이와 같은 뇌나 개폐임펄스 등 고주파 써지가 케이블에 내습할 때 케이블 시스에 고주파 써지가 발생하여 케이블의 주절연 뿐만 아니라 시스에도 고전압이 유기되어 종단접속부나 절연 접속함의 절연통에 섬락이나 절연파괴가 일어날 수 있다. 따라서 써지성 과전압이 방식층의 충격내전압치를 초과할 경우에 방식층을 보호하기 위한 대책으로 종단접속부의 절연통은 가공선과 케이블 접속점에는 피뢰기를 설치하거나 절연통 양단에 방식층 보호장치(CCPU)를 설치하여 절연통을 보호하며, 중간접속부의 경우 주로 방식층 보호장치를 이용하여 절연통을 보호하고 있다. 결선방식으로는 일반적으로 대지간 방식, 교락접지방식, 교락비접지 방식, CIRGE방식을 이용하고 있다. {1}, {2}

따라서 본 논문에서는 낙뢰 등의 외부 침입써지의 영향을 검토하기 위해 가공과 지중이 혼합된 선로를 ATPDraw를 이용하여 모델링 하였으며, 지중케이블선로에 각종 써지가 침입한 경우 시스와 절연통에 유기되는 과전압을 방식층보호장치의 결선방식과 케이블 매설방식, 그리고 케이블 경간에 따라 비교 검토하여 써지억제 방안을 제시하였다.

2. 실계통 모델링 및 모델데이터

2.1 실계통 모델링

그림 1은 본 논문에서 사용된 모델계통의 단선도로서 편단 전원에 154kV 전압이 인가되고 가공과 지중이 혼합된 송전계통 모델이다. 선로 모델링은 EMTP 및 ATPDraw를 이용하였으며 각 구간별 선로길이, 접지상태와 각 구간마다의 케이블 포설형태는 표 1과 같다.

표 1. 선로길이 및 접지상태와 매설형태

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

{직접접지:○, 크로스본드 접지:△}

2.1.1 전원 및 부하 임피던스

전원 임피던스는 정확한 데이터를 확보하기 위해 전력계통 해석용 프로그램인 PSS/E를 이용하여 한국전력공사에서 계산한 데이터를 사용하였다.

표 2. 모델의 전원 임피던스 및 부하 임피던스

| | | |
|----------------|---------|----------|
| 전원 임피던스(D S/S) | R[Ω] | X[Ω] |
| 영상 | 1.57842 | 24.04128 |
| 정상(역상) | 0.24174 | 12.12018 |
| 부하 임피던스 | R[Ω] | X[Ω] |
| 부하 | 143.88 | 65.15 |

2.1.2 케이블 데이터

해석 모델은 편단전원, 가공송전선로 지중선로로 구성된 혼합 1회선 선로이며 가공송전선로가 2.1km, 전력구식과 관로식이 병행되어 있는 지중송전선로가 총 18구간 5.681(km)인 실계통 모델이며, 전력구의 매설길이는 1구간~9구간, 16~18구간까지 총 3.563(km)이고, 관로의 매설길이는 10구간~15구간까지 총 1.818(km)이다. 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 가정하였으며, 사용된 케이블의 종류는 154kV CV 2000mm²이다. 사용된 전력케이블의 입력자료는 표 3에 나타내었다.

표 3. 154kV CV 2000mm² 케이블의 입력자료

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

2.2 방식층보호장치의 결선방식

케이블에 뇌찌지와 같은 고주파 찌지가 침입했을 경우 절연접속부에 방식층보호장치를 설치하여 보호하고 있으며 일반적으로 표 4와 같은 결선방법을 사용하고 있다.

표 4. 방식층보호장치의 결선법

| 절연통 교락방식 | | CIRGE방식 | 대지간방식 |
|------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------|
| 비접지 | 중간점 접지 | | |
| 절연통사이에 피뢰기 설치 | 절연통사이에 2개의피뢰기를 설치하고 중간점을 접지 | 중간접속부와 피뢰기 사이를 동심케이블로 접지 | 중간접속부와 대지간에 피뢰기 설치 |

2.3 뇌격 모델

국내의 뇌격 특성은 산간, 해안지역에서 많이 발생하며, 뇌격전류의 크기는 대부분이 35[kA]이하이나 40[kA]이상의 뇌격강도를 갖는 뇌격도 빈번히 발생하고 있으며 최대 100[kA]이상의 뇌격이 발생하기도 한다.[4]

본 논문에서는 그림 2에 나타난 뇌격전류 파형 처럼 뇌격전류 피크값(I₀)은 60[kA], 속도는 2/70[μs], 뇌찌지 임피던스는 400[Ω]으로 가정하였다. 또한 뇌격파형은 램프파를 사용하여 선형적으로 상승, 감쇠하는 것으로 근사화 하였다. 뇌격은 가공과 지중의인입점에서 70m 떨어진 가공송전선의 A상도체에 침입했다고 가정하였다.

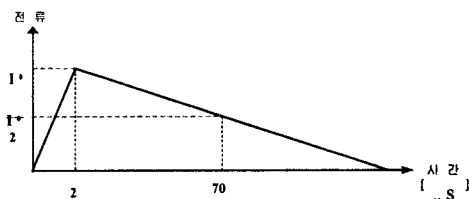


그림 2. 뇌격전류파형

3. 시뮬레이션 및 결과 고찰

3.1 정상상태시

케이블 시스유기전압은 아래의 크로스본드점에서의 시스유기전압 계산식과 같이 도체전류, 케이블의 배열방식, 케이블간 간격, 케이블 길이에 따라 증감되므로 본 논문에서는 정상상태시 케이블 매설방식을 전력구와 관로가 혼합된 경우와 관로포설 구간을 전력구로 바꾼 경우에 대해서 그리고 케이블의 길이변화에 따른 경우로 시뮬레이션을 수행하여 그 결과값을 뇌찌지 침입시 case 설정조건에 참조하였고, 정상상태이므로 CCPU결선방식에 대해서는 고려하지 않았다.

< $0 \leq x \leq l$ 구간 >

$$E(x) = \frac{\sqrt{3} \cdot X_s \cdot I}{L} \sqrt{m^2 + m \cdot n + n^2 \cdot l} \text{ [V]} \quad (1)$$

< $l \leq x \leq (l+m)$ 구간 >

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

< $(l+m) \leq x \leq (l+m+n)$ 구간 >

$$E(l+m+n) = 0 \text{ [V]} \quad (3)$$

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

X_s : 시스리액턴스[Ω/m]

I : 도체전류 [A]

L : 크로스본드 구간 길이 [m]

r_s : 시스평균반경[m]

D_0 : 등가선간거리[m]

3.1.2 시뮬레이션

그림 3과 4는 정상상태시 케이블의 매설방식에 따른 시스-대지간, 절연통간 전압파형이다. 그림에서 보는바와 같이 전력구와 관로가 혼합된 선로의 경우 관로포설 구간에 갑자기 높은 값의 전압이 측정되어, 관로포설 구간을 전력구로 바꾼경우가 보다 좋은 시스유기전압 저감 효과를 보였다.

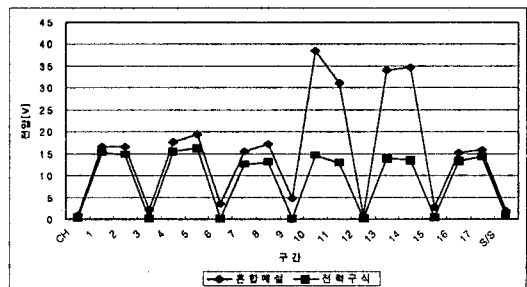


그림 3. 정상상태시 케이블 매설방식에 따른 시스-대지간 전압

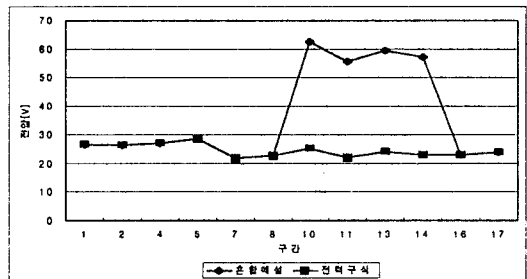


그림 4. 정상상태시 케이블 매설방식에 따른 절연통간 전압

그림 5와 6은 케이블의 간격변화에 따른 전압파형이다. 그림에서 보는 바와 같이 시스-대지간 전압 파형과 절연통간 전압 파형의 변화가 거의 없었다. 따라서 뇌찌지 침입시 case를 설정할 때는 고려하지 않았다.

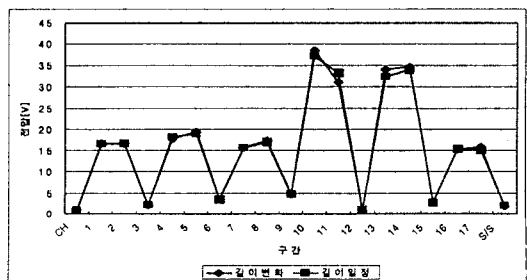


그림 5. 정상상태시 케이블 길이 변화에 따른 시스-대지간 전압

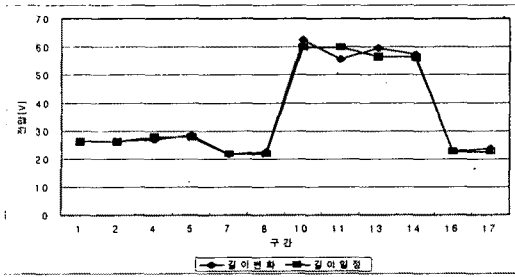


그림 6. 정상상태시 케이블 길이 변화에 따른 절연통간 전압

3.2 가공송전선의 A상에 직격뢰가 침입했을 경우

앞에서 언급한 바와 같이 직격뢰가 침입했을 경우 방식층 및 절연통을 보호하기 위해 설치되는 방식층보호장치를 대지간 방식과 교락접지, 교락비접지, 대지간과 교락비접지를 혼합한 방식에 대하여 각각 시뮬레이션을 수행하였으며, 정상상태시 고려했던 케이블 매설방법에도 변화를 주어 시뮬레이션을 수행하였다.

3.2.1 시뮬레이션

그림 7과 8은 가공송전선 A상에 직격뢰 침입시 CCPU의 결선방식에 따른 시스-대지간 전압파형과 절연통간 전압파형이다. 그림에서 보는 바와 같이 시스-대지간 전압 크기는 대지간<교락비접지> <교락접지> 혼합접지 방식의 순서로 나타났으며 시스-대지간 전압은 대지간, 교락비접지, 절연통간 전압은 대지간, 교락접지, 교락비접지의 경우가 현재 사용하고 있는 154[kV] 이상 송전케이블의 방식층 및 절연접속부 또는 중단부의 절연통간의 임펄스 내전압 및 보호레벨인 약 50[kV]를 넘고 있어 절연통의 절연파괴를 가져올 수 있다. 하지만 그림 7에서 알 수 있듯이 시스-대지간 전압의 경우 다른 구간에 비해 뇌써지 침입측 네구간과 관로포설 구간에 큰값의 전압을 보이고 있어 이 구간에 교락비접지 방식과 대지간 방식을 혼용한 결과 보호레벨 이하로 전압을 줄이는 효과를 볼 수 있었다.

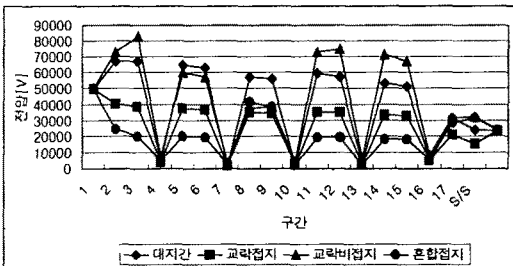


그림 7. 직격뢰 침입시 CCPU 결선방식에 따른 시스-대지간 전압

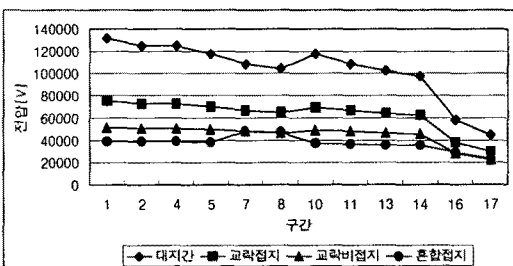


그림 8. 직격뢰 침입시 CCPU 결선방식에 따른 절연통간 전압

그림 9는 관로포설 구간을 전력구방식으로 바꾼 경우의 시스-대지간 전압의 크기를 보이고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 혼합포설의 경우 관로포설 구간에 높은 전압이 측정되어, 전력구로만 포설된 경우가 가장 좋은 시스유기전압 저감효과를 보였다.

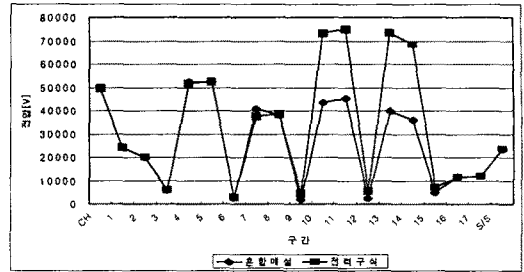


그림 9. 직격뢰 침입시 케이블 매설방식에 따른 절연통간 전압

4. 결론

본 논문에서는 154kV 혼합송전선로를 ATPDrwa를 이용하여 모델링하였으며, 정상상태시 케이블 매설방식 및 길이에 따른 경우, 그리고 가공선의 A상에 직격뢰가 침입했을 때 CCPU의 결선방식과 케이블 매설방식에 따른 시스-대지간 전압 및 절연통간 전압을 비교분석하여 써지억제 방안을 제시하였다. 시뮬레이션을 통하여 얻어진 결과를 정리하면 다음과 같다.

- (1) 케이블 매설방식에 따른 시스-대지간 전압과 절연통간 전압은 관로포설 구간을 전력구로 교체한 경우가 보다 좋은 써지 억제 효과를 나타내었다.
- (2) CCPU 결선방식에 따른 시스-대지간 전압과 절연통간 전압은 뇌써지 침입측의 크로스 본딩된 네 구간과 관로포설 구간에 교락비접지와 대지간 방식을 병행한 혼합방식을 적용한 경우에 보호레벨 이하로 전압이 억제되는 효과를 볼 수 있었다.

따라서 본 논문의 해석결과를 종합하여 볼 때 지중송전 케이블 계통에서 써지를 억제하기 위한 방법으로는 써지 침입측의 크로스 본딩된 네 구간과 관로로 포설된 구간에 CCPU를 혼합방식으로 설치하는 것이 가장 효과적으로 평가된다. 한편, 더 상세한 검토 및 평가를 위해서는 더욱 다양한 케이블 계통 조건을 고려한 연구가 수행되어야 할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부의 산업기반기술개발사업과 2001년도 원광대학교 교비연구비에 의하여 수행되었음

[참고 문헌]

- (1) 한국전력공사, "지중송전설비 I", 1996년
- (2) 김석수, 조한구, 박대곤, "지중케이블의 절연통 보호 대책 및 방식층보호장치의 특성", 한국전기전자재료학회, pp.72-75, 2001년
- (3) 기상청, "낙뢰연보", 1999년
- (4) 한국전기연구소, "전기 계통의 과도전압 연구", 1991
- (5) ATP Rule Book, ATP Salford version of EMTP Vol. I, II