

가공송전선로와 지중송전선로가 연계된 혼합송전선로에서  
피뢰기 적정위치 검토 및 평가

하 চে웅\* 이 증범  
원광대학교

Assessment of Lightning Arrester Location in Combined Transmission Line  
Connected with Overhead Line and Underground Cable

Che-Wung Ha Jong-Beom Lee  
Wonkwang University

**Abstract** - This paper describes the assessment of proper location of lightning arrester in combined transmission line which is connected with overhead line and underground cable. The modeling for simulation is established using the actual system in ATP Draw and EMTP. Simulation is carried out to find out the best point to install the arrester in given the model system. And also voltage and current is analyzed on cable covering protection unit(CCPU). The simulation result demonstrated the best location of arrester in the given transmission line through the detailed analysis and its assessment.

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 지중선로가 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.

지금까지 혼합선로에서의 뇌격과 피뢰기에 관한 많은 논문이 발표되었지만 실제통이 아닌 뇌격침입 구간만을 단순화 시키고 선로 종단에서 진행파의 반사를 막기 위한 정합저항을 사용하였다. 따라서 실제통과는 많은 차이가 있다. 즉 실제통은 혼합선로 양단에 전원단과 부하단이 존재하고 또 케이블에서의 시스템 크로스분당과 직접접지, 각 접속함에 CCPU(Cable Covering Protection Unit)의 설치 등 여러 가지 고려해야 될 사항이 있기 때문에 실제통을 고려해서 혼합선로 모델링을 완성하고 그 모델에서의 뇌격에 관한 연구를 할 필요가 있다.

본 논문에서는 지중계통의 신뢰도 확보측면에서 가공지선에 뇌격이 침입하여 섬락이 발생한 경우와 가공송전선로에 직격뇌가 침입한 두 경우에서의 송전케이블선로의 과도상태 해석과 지중송전케이블에서의 CCPU의 동작현상 분석, 시스템 유기전압을 해석하여 부하와 CCPU의 부담을 최소화하는 피뢰기의 적절한 설치 위치 및 기법을 제안하였다.

2. 모델자료 및 혼합선로 모델링

2.1 시뮬레이션 및 사고모의

본 논문에선 ATP Draw를 이용하여 전원단과 부하단이 존재하고 가공지선이 포함된 가공선로와 지중선로가 혼합되어있는 선로를 모델링 하였다. 모델계통은 사고1과 사고2로 나누어서 먼저 가공지선에 뇌격이 침입한후 가공선로 a상과 섬락이 일어난 경우와, 가공선로 a상에

직격뇌가 침입한 경우의 두가지로 나누어서 시뮬레이션을 하였다.

2.2 모델링 자료

2.2.1 ATP Draw를 이용한 시뮬레이션

EMTP의 graphical program인 ATPDraw를 이용하여 154kV인 송전선로에서 가공선로 12[km]와 지중선로 5.681[km]의 혼합선로를 완성하였다. 선로는 분포정수로 모의하였고 선로정수는 ATPDraw의 보조 프로그램인 ATP\_LCC를 사용하여 가공선로와 지중선로의 선로정수를 구하였다. 가공지선 접지저항은 10[Ω]으로 하였고 가공선로는 1[km]의 단위로 나누었다. 또한 지중송전선로에서의 시스템의 직접접지저항을 10[Ω]으로 하였고 시스템의 접지방식은 접속함에서의 크로스분드 접지 및 직접접지 방식을 사용하였으며 CCPU 설치에 따라서 대지간 접지방식 및 교락비접지 방식을 사용하였다. 케이블 매설방식은 전력구와 관로의 혼합의 매설방식을 택하였다.

2.2.2 Source 및 부하 임피던스

표 1. 모델의 Source 및 부하 임피던스

Source 임피던스	R[Ω]	X[Ω]
영상	0.0142	0.07251
정상	0.00634	0.04605
역상	0.00634	0.04605
부하 임피던스	R[Ω]	L[H]
부하	143.8801	0.01740

2.2.3 CCPU의 설치상태

지중케이블의 인입구 2구간 및 인출구 2구간의 4지점은 각각 대지간 접지방식을 사용하였고 다른 12지점은 교락비접지 방식을 택하였다.

2.2.4 뇌격 및 섬락발생 모의

뇌격전류 파형은 그림 1에 나타내었다. 뇌격전류에서 피크값  $I_0$ 는 100[kA], 속도는 2/70[μs], 뇌격지 임피던스는 400[Ω]로 가정하였다. 그림 1에서와 같이 뇌격파형은 램프파를 사용하여 선형적으로 상승, 감쇠하는 것으로 근사화 하였다. 섬락은 리더법 즉 아크의 방전특성을 인덕턴스와 시간제어 스위치를 사용하여 모의하는 방식으로 모의하였다. 그리고 뇌격의 침입지점은 Source로부터 가공선로 11[km]지점의 가공지선(뇌격침입후 a상과 섬락발생)과, a상에 직격뇌가 침입하는 것

으로 모의하였다.

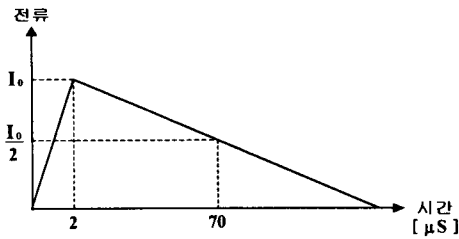


그림 1. 뇌격전류파형

### 2.2.6 지중케이블선로의 길이 및 시스 접지상태

표 2. 선로길이 및 접지상태

구 간	DS/S	1	2	3	4	5
선로길이(m)	350	340	340	340	370	380
접지상태	○	△	△	○	△	△
구 간	6	7	8	9	10	11
선로길이(m)	282	263	308	347	318	269
접지상태	○	△	△	○	△	△
구 간	12	13	14	15	16	TS/S
선로길이(m)	340	244	300	300	260	330
접지상태	○	△	△	○	△	○

[직접접지:○ 크로스본드:△]

### 2.2.7 피뢰기 및 CCPU의 V-I 특성곡선

그림 2는 가공송전선로에 설치하는 피뢰기의 V-I 특성곡선을 나타낸 것이고 그림 3은 지중송전선로의 시스 보호 목적으로 사용되는 CCPU의 V-I 특성곡선을 나타낸 것이다.

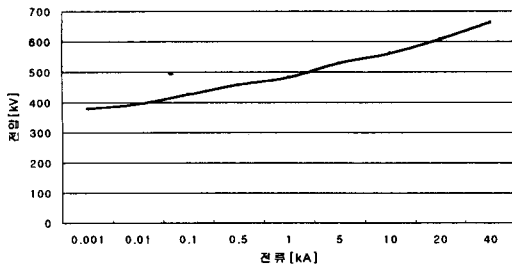


그림 2. 피뢰기의 V-I 특성곡선

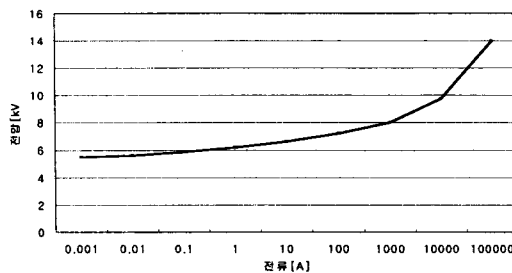


그림 3. CCPU의 V-I 특성곡선

### 2.2.8 피뢰기 설치 현황

피뢰기는 각 설치방법에 따라 case A, B, C, D로 나누어서 실험을 하였다. 자세한 내용은 표 3에 나타내었다.

표 3. 피뢰기 설치 현황

case	피뢰기의 설치 현황
A	피뢰기가 없는 경우
B	가공선로와 지중선로 접속점에 피뢰기 설치
C	지중선로의 인출구에 피뢰기 설치
D	B와 C 동시 고려

### 3. 시뮬레이션

#### 3.1 가공지선에 뇌격 침입후 섬락발생

뇌격이 가공지선에 침입하고 섬락이 발생후(앞으로 사고 1로 명한다.) 각 지점의 전압을 아래와 같이 나타내었다. 이때의 뇌격전압은 약 1,651(kV)가 된다.

그림 4는 사고 1의 경우에 케이블 인입구측의 CCPU의 유기전압을 나타낸 것이다. 이때 CCPU는 V-I 특성곡선에 따라 동작하게 된다. 따라서 시스의 유기전압을 일정한 기준치 이하로 낮추는 역할을 하게된다. 그리고 가공선로에 뇌격이 침입한 경우 case A, B, C, D 경우 중단접속함의 CCPU동작상태는 거의 같은 동작전압을 나타낸다.

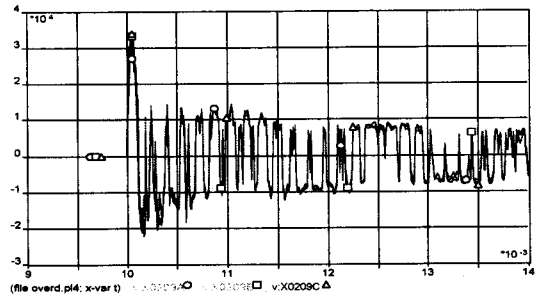


그림 4. Source측 중단접속함 CCPU의 유기전압 (a,b,c상)

그림 5에서 사고 1의 경우 케이블에서의 피뢰기 설치하는 case C의 경우 즉 케이블의 인출구쪽에 피뢰기를 설치하는 것이 오히려 case D보다 부하의 썬지전압을 낮추는 효과가 있다.

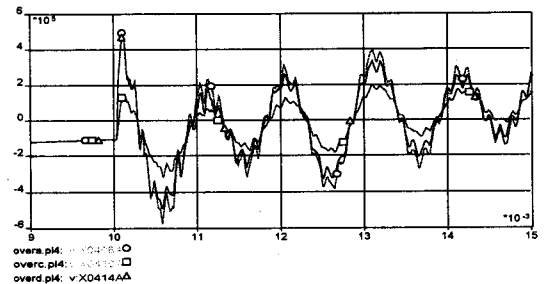


그림 5. 뇌격침입시 부하의 a상 전압 A(○), C(□), D(△) case

### 3.2 가공a상 선로에 직격뇌 침입

가공송전선로의 a상에 직격뇌가 침입했을경우의(앞으로 사고 2로 명한다.) 각 지점의 유기전압과 지중케이블에서의 CCPU 동작상태 및 시스의 유기전압을 나타내었다.

아래 그림 6에서와 같이 사고 1에 의하여 케이블에 침입한 직격뇌에 의해 케이블은 높은 써지전압이 유기된다.

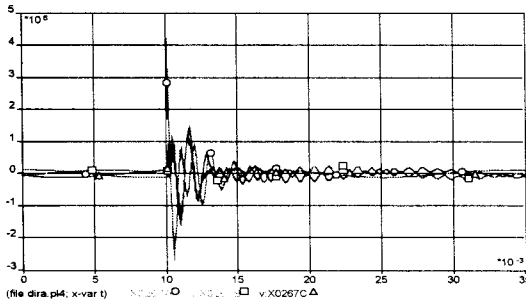


그림 6. 직격뇌 침입시 케이블 도체 중간지점의 유기전압 (a,b,c 상)

뇌격 및 각종 써지에 대한 케이블 선로의 적절한 보호장치는 파괴기인데 케이블선로와 부하의 부담 그리고 방식층 보호를 위한 CCPU의 부담을 최소화 하는 방향으로 파괴기의 설치가 이루어져야 한다.

그림 7는 파괴기의 적절한 동작에 의하여 케이블 도체 중간지점의 유기전압이 상당히 저감되어 케이블의 BIL인 750kV이하로 내려감을 알 수 있다. 이때 B의 경우보다 D 즉 케이블 양단에 파괴기를 설치하였을 때 케이블 도체의 유기전압이 가장 낮게 나타남을 알 수 있다.

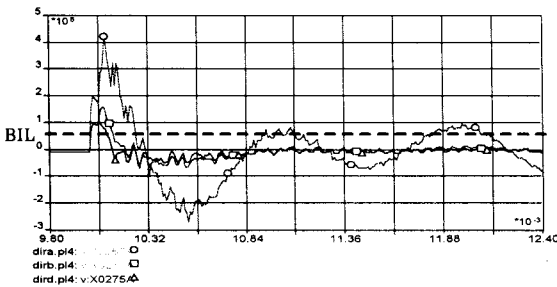


그림 7. 직격뇌 침입시 케이블 도체 중간지점의 유기전압 A(O), C(□), D(△) case

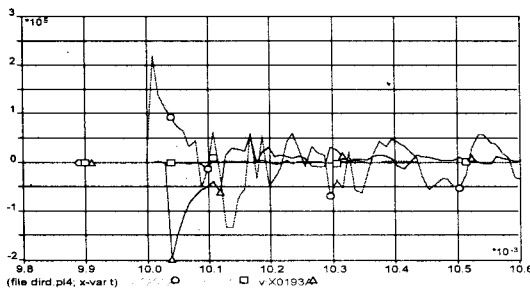


그림 8. 케이블 시스 각 지점 인입구, 중간, 인출구의 유기전압 (D case)

그리고 그림 8은 가공선로에 침입한 직격뇌에 의하여 시스의 각 지점 인입구, 중간, 인출구의 유기전압을 나타낸 것이다. (D case)

아래 그림 8의 경우처럼 중단점속함 CCPU의 유기전압을 살펴보면 B나 D의 case에서 CCPU의 유기전압이 C의 방식에 비해 낮게 나타남을 알 수 있다. 그림 8에서 보듯이 B의 방식이 D의 방식보다 미약하나마 더욱 CCPU의 부담을 적게 주는 것으로 나타났다.

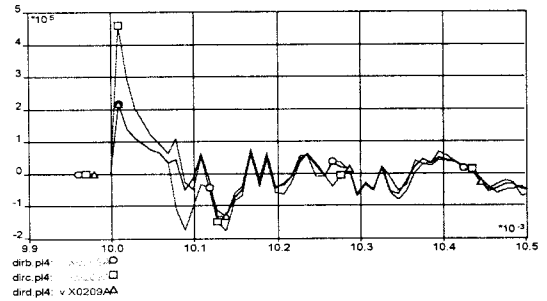


그림 9. Source측 중단점속함 CCPU의 유기전압 B(O), C(□), D(△) case

## 4. 결 론

본 논문에서는 가공송전선로와 지중송전 케이블선로를 EMTP와 ATPDraw를 사용하여 송전선로의 양단에 전원단과 부하단을 포함시켰고 각 시스의 크로스본드접지 및 직접접지 그리고 CCPU에 접지방식에 따른 교류비점지방식과 대지간 접지방식을 사용하여 실제동과 가까운 모델을 완성한 후 시뮬레이션 하였다. 그리고 사고형태를 가공지선에 뇌격이 침입하여 섬락이 일어나는 경우와 가공선로 a상에 직격뇌가 침입한 경우로 나누어서 그에 따른 각 지점에서의 전압을 해석하여서 파괴기 설치를 위한 적정위치를 부하단과 케이블선로 그리고 CCPU동작을 고려하여 가장 부담을 적게주는 방법을 제안하였다. 즉 가장 적당한 방법은 케이블의 인입구와 인출구 양단에 파괴기를 설치하는 방법(D case)이 가장 적당한 방법이 되겠지만 경제성 및 관리의 여건상 가공선로와 지중선로가 연결되는 지점에서의 파괴기 설치방법(B case)도 또한 송전계통의 부담을 적게 하는데 큰 효과가 있다. 심지어 그림 9에서 처럼 B의 방식이 D의 방식보다 CCPU 부담 측면에선 권할만한 방법임을 알 수 있다. 본 논문에서 제시한 모델과 적절한 파괴기 설치위치는 지중송전케이블선로와 혼합선로가 증가하는 우리나라의 특수한 현실에 대한 과도해석 및 파괴기 관련 연구에 많이 기여 할 것으로 사료된다.

### (참 고 문 헌)

- [1] B. Gustavsen, J. Sletbak, "Transient Sheath Over-voltage in Armoured Power Cable", IEEE Trans. Power Delivery, Vol. 11, No. 3, pp 1594-1600 July 1996.
- [2] 윤재영 외, "154kV 지중송전계통 파괴기 적용을 위한 과전압 해석", 대한전기학회지, Vol. 43, No. 11, Nov.. 1994
- [3] 하체용, 이종범 "ATP Draw를 이용한 전력계통 설비의 모의 및 특성분석", 대한전기학회 하계학술대회 pp. 1227-1229, 1999. 7
- [4] IEEE Working Group, "Modelling of current-limiting surge arresters", IEEE Trans. Power App. Syst., Vol. PAS-100, pp. 4055-4040, aug. 1981