

**지중송전계통에서 불평형요소에 따른 뇌과전압 해석**

강지원\*, 이동일      김재승, 김양상      정채균, 이종범  
 한국전력 전력연구원      한국전력공사      원광대

**Analysis of lightning overvoltage with unbalanced element in Underground Transmission Cable System**

J.W.Kang\*, D.I.Lee      J.S.Kim, Y.S.Kim      C.K.Jung, J.B.Lee  
 KEPRI      KEPCO      Wonkwang University

**Abstract** - This paper analyses the transient phenomena against lightning surge on underground power cable systems. For analysis, several actual underground power cable systems are modeled using ATP. In lightning surge strokes, the various unbalanced conditions including the length of crossbonded lead, the breakdown of CCPU and distance unbalance are considered. This paper is expected to contribute to the establishment of proper protection methods against transients on underground power cable systems.

**1. 서 론**

최근 도시의 인구집중현상의 심화에 따른 전력수요의 밀도가 대도시를 중심으로 급격히 높아짐에 따라 도심의 지중송전 필요성이 날이 갈수록 증대되고 있으며, 인구밀집지역내의 가공송전이 가지고 있는 한계 때문에 지중송전계통의 도입이 점차 증대되고 있는데, 이러한 추세는 앞으로 계속 확산될 전망이다[1-2]. 지중송전케이블은 여러 가지 장점을 갖고 있는 반면 초기 투자비용이 크고, 설치 및 유지보수가 어려우며, 특히 회선당 송전용량이 가공선로에 비해 현저히 저하되는 단점을 가지고 있다. 또한 지중선로는 지하 전력구 및 관로 등을 이용해 포설되므로 사고발생빈도는 가공선로에 비해 일반적으로 낮으나 과도현상이 발생하면 영구사고로 진행될 가능성이 높고 사고 복구에도 장시간이 소요되어 그 파급효과는 가공선로에 비해 크게 나타나고 있다[1-4]. 따라서 지중송전계통에서 발생하는 각종 과도현상을 고려한 합리적인 절연설계 및 신뢰도가 높은 케이블 운전을 위해서는 과도현상에 대한 적절한 보호대책을 세우는 것이 매우 중요하다 하겠다. 그러나 케이블의 여러 특성 및 각종 불평형요소 등에 따른 체계적이고 다양한 기술적 분석은 아직 미약한 실정에 있다.

따라서 본 논문에서는 지중송전케이블에서 발생할 수 있는 가공선로와 혼합된 계통에서의 뇌 썬지 유입으로 인한 과도현상 등에 대한 해석을 하였다. 뇌 썬지 영향 분석에서는 크로스본드 리드선의 길이에 의한 영향, 절연통보호장치 설비방식 및 부동작용으로 인해 계통에 미치는 영향 및 혼합포설, 거리불평형, 크로스본드 리드선과 접지선의 오결선 등과 같은 계통 불평형 구성에 따른 영향 등도 다양하게 분석하고 평가하였다.

**2. 본 론**

본 논문에서는 표 1의 크로스본드 리드선과 접지선, 절연통보호장치 리드선의 단위길이당 임피던스를 고려하여 리드선, 접지선 길이변화에 따른 뇌 썬지 영향을 다양하게 분석하였다.

표 1. 크로스본드 리드선과 접지선의 임피던스

종류	선종	R[Ω/km]	L[mH/km]
크로스본드선	IV 절연전선 250[φ]	0.0959	0.471
접지선, 보호장치 리드선	IV 절연전선 38[φ]	0.251	0.502

**2.1 해석을 위한 모델 계통도**

그림 1의 뇌 썬지 모델계통 1(LM-1)은 총 9개의 접속함간의 길이가 일정하게 300[m]인 OF 1200[φ] 지중송전계통에 10[km]의 가공선로 ACSR 410[φ]×2B가 혼합된 혼합송전계통에서 종단접속부로부터 1[km] 떨어진 지점에서 100[kA]의 뇌격이 침입하였을 때 지중송전계통의 도체 및 시스, 접속함에 미치는 썬지 영향을 검토하였다. 또한 피뢰기는 양단 인입구 및 가공선로와 지중선로가 접속되는 지점에 설치하였으며, 절연통보호장치 결선방식은 대지간접지방식과 교락비접지방식을 각각 적용하였다.

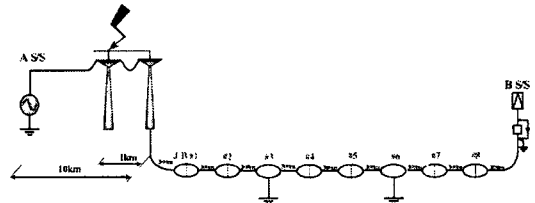


그림 1. LM-1 계통도

또한, 뇌 썬지 해석 모델계통 2(LM-2)는 그림 2와 같이 345kV 혼합송전계통의 실제계통 모델(가공 : ACSR 480[φ]×2B 및 7.193[km], 지중 : OF 2000[φ] 및 8.981[km])이며, 뇌격전류의 크기는 60[kA], 파두장과 파미장의 시간은 2/70[φ]이며 뇌 썬지 임피던스는 400[Ω]으로 하였다. 또한 뇌격은 케이블 헤드로부터 1[km] 지점에서 침입하는 것으로 하였다.

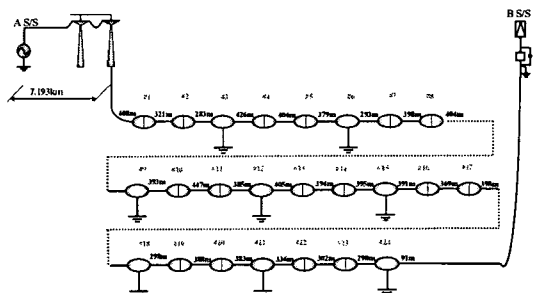


그림 2. LM-2 계통도

## 2.2 뇌 썬지 침입시 과도해석

그림 3은 LM-2 모델에서 60[kA]의 뇌 썬지 침입시 절연통 지중선로 구간의 절연통간 전압을 계산한 결과이다. 60[kA]의 경우에는 절연통의 보호레벨 50[kV]를 기준으로 많은 여유가 있었으나, 크로스본드 및 접지선이 5[m]인 경우에는 절연통간 전압이 보호레벨을 초과하는 경우도 발생함을 알 수 있다.

따라서 크로스본드 리드선의 길이가 길 경우 크로스본드 리드선 임피던스 증가에 의한 영향으로 교락비접지방식에서도 절연통 소손 가능성이 있을 수 있으므로 교락비접지방식에서도 가급적 크로스본드 리드선의 길이를 짧게 하는 것이 유리할 것으로 판단된다.

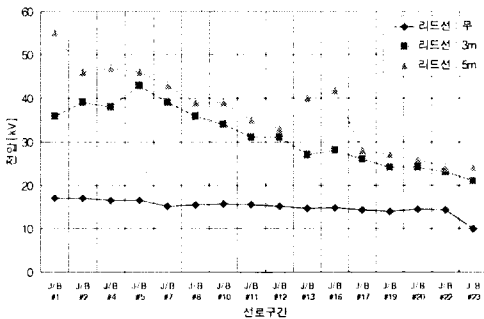


그림 3. LM-2의 절연통간 전압(뇌격전류 : 60kA)

## 2.3 계통 불평형시 뇌 썬지 분석

본 절에서는 먼저 LM-1 모델을 이용하여 아래와 같은 계통에 불평형이 발생 하였을 때 불평형상태와 정상상태의 시스의 과전압을 비교하였다.

- 정상상태(LM-1 모델)
- 크로스본드 대구간 내에 포설방식의 혼합
- 접속함간 거리불평형 존재
- 크로스본드 오결선(J/B #1, J/B #4)

여기서, 크로스본드 대구간내 포설방식의 혼합은 총 9개의 접속함에서 “전력구-전력구-관로/관로-관로-전력구/전력구-관로-전력구”의 포설형태를 고려하였으며, 접속함간의 거리불평형은 “650[m]-300[m]-300[m]/300[m]-650[m]-300[m]/300[m]-300[m]-650[m]”로 하였으며, 크로스본드 오결선은 J/B #1과 J/B #4에서 발생한 것으로 하였다.

그림 4에서는 계통 불평형시 절연통간 전압을 비교하여 나타내었다. 그림 4에서처럼 계통의 불평형으로 인한 절연통간 전압 상승요소가 발생하여도 절연통보호장치 동작에 의해 차폐되므로 모든 경우에서 차이가 발생하지 않았다.

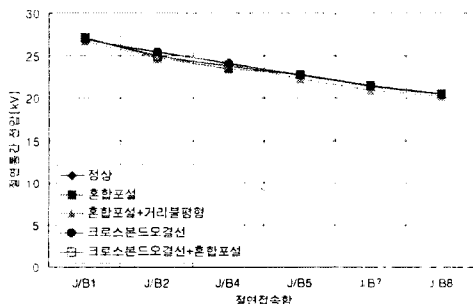


그림 4. 계통 불평형시 절연통간 전압 비교

한편, 리드선 단선과 지락시의 뇌 썬지 영향을 분석한 결과 대지간접지방식이 교락비접지방식에 비해 높은 절연통간의 전압값을 보이고 있으며 크로스본드 리드선 단선이나 크로스본드 리드선의 시스 지락시 뇌 썬지 침입으로 인해 절연통 소손의 가능성이 있으므로 상시에 크로스본드 리드선에 대한 철저한 감시 및 점검이 요구되는 것으로 검토되었다.

다음은 LM-1 모델을 이용하여 보통접속함(NJ)에서의 접지시스템에 문제가 발생한 계통에 100[kA]의 뇌 썬지가 상도체로 침입했을 때의 과도해석을 실시하였다. 검토 케이스의 예는 아래와 같다.

- J/B #3(NJ) 접지저항 값 : 100[Ω]
- J/B #3(NJ) 공통 접지선 분리(그림 5 참조)
- J/B #3(NJ) C상의 접지선 분리

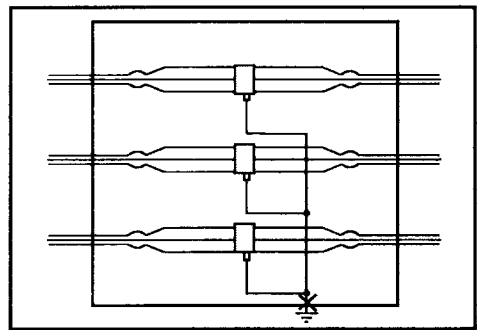


그림 5. J/B #3(NJ) 모든 상의 접지선 분리 모델

그림 6에서처럼 J/B #3(NJ)의 접지시스템 이상시 J/B #3(NJ) 부분의 시스-대지간 전압은 모든 경우에서 상승하며 공통 접지선이 분리된 경우에서 제일 높은 과전압이 발생하였다. 또한, 이는 인접 접속부인 J/B #2와 J/B #4에도 영향을 미치고 있다. 따라서 상시 점검시 접지저항 및 접지선에 대한 감시 및 점검이 필요할 것으로 사료된다.

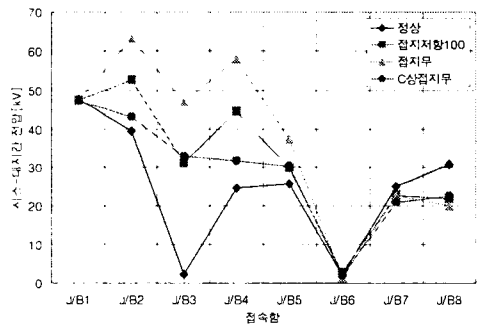


그림 6. J/B #3(NJ) 접지시스템 시스-대지간 전압

또한, 본 논문에서는 절연통보호장치가 정상적인 동작을 하지 못할 경우에 그림 1의 LM-1 모델을 이용하여 케이블 절연통에 미치는 뇌 과전압의 크기를 분석하였다. 분석에 사용된 케이스는 그림 7과 같이 A상 절연통 보호장치가 동작하지 않은 경우 및 모든 상의 절연통 보호장치가 동작하지 않은 경우로 구분하여 검토하였다. 검토 케이스를 아래와 같이 요약하였다.

- J/B #2, 절연통보호장치 A상 부동작
- J/B #2, 절연통보호장치 A, B상 부동작
- J/B #2, 절연통보호장치 A, B, C상 부동작

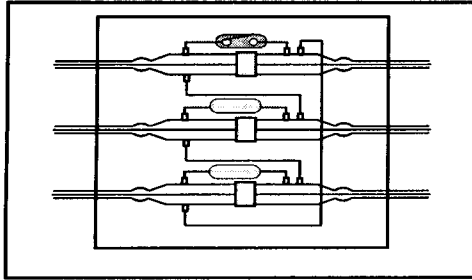
### 3. 결 론

본 논문에서는 지중송전케이블 계통에 뇌 썬지가 침입한 경우 계통 불평형시 및 크로스본드 리드선의 단선 및 지락, 접지선 이상, CCPU의 부동작 등 여러 변수를 고려하여 뇌 과전압을 다양하게 분석하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

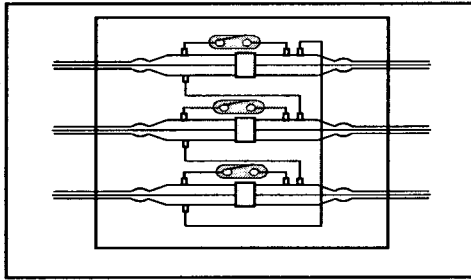
- 1) 크로스본드 리드선이 길수록 발생하는 과전압의 크기는 더욱 증가하였으며, 절연통보호장치 설치는 대지간접지방식에 비해 교락비접지방식이 더욱 유리하며 크로스본드 리드선은 짧을수록 유리한 것으로 검토되었다.
- 2) 한편, 혼합포설 및 거리불평형, 크로스본드 오결선 등의 계통 불평형이 있어도 절연통보호장치 동작에 의해 과전압이 동일하게 차폐되므로 큰 영향이 없었으나 크로스본드 리드선 단선이나 시스 지락시에는 단선 및 지락이 발생한 접속함의 전압이 매우 상승하여 절연통 소손의 가능성을 보였으므로 상시에 크로스본드 리드선 및 접지저항, 접지선에 대한 철저한 감시 및 점검이 요구된다.
- 3) 절연통보호장치가 동작하지 않을 경우 시스 과전압은 매우 상승하며 한 상의 절연통보호장치가 동작하지 않아도 절연통이 섬락될 수 있는 높은 전압이 발생할 수도 있는 것으로 검토되었으므로 향후 절연통보호장치에 대한 절연성능 시험 및 열화진단 시스템에 대한 추가 연구가 필요할 것으로 사료된다.

### [참 고 문 헌]

- [1] 전력연구원, "지중송전 케이블의 썬어지 보호 대책에 관한 연구(최종보고서)", 1993. 6
- [2] 전력연구원, "지중송전계통의 접지기술 정립에 관한 연구(최종보고서)", 1998. 1
- [3] 전력연구원, "송전용량 증대를 위한 열방산회로 개선에 관한 연구(최종보고서)", 2003. 3
- [4] 전력연구원, "송전케이블의 허용전류 산정 프로그램 개발 연구(최종보고서)", 2001. 12
- [5] IEEE Std. 634, "IEEE Standard Cable Penetration Fire Stop Qualification Test", 1978.
- [6] IEEE, "IEEE Guide for the Application of Sheath Bonding Methods for Single-conductor Cables and Calculation of induced Voltage and Current in Cable Sheaths, ANSI/IEEE Std. 575-199
- [7] W.Z.Black, Kent W.Brown, B.L.Harshe, "Ampacity of Cables in Trays Surrounded with Fire Barrier Material", IEEE Tran. on Power Delivery, Vol. 14, No. 1, Jan. 1999.
- [8] 일본전기학회 기술보고, "케이블계통에서의 썬어지 현상과 대책". 제 366호(II부), 1991. 4
- [9] 일본전기협회, "지중송전규정 JEAC 6021-2000", 2000
- [10] 이종혁 외 4, "다중 뇌중격전류에 의한 피뢰기 소자의 전기적 특성 변화", 2000년 KIEE 하계학술대회 논문집, 2000. 7



(a) A상 절연통보호장치 부동작 모델



(b) 모든 상의 절연통보호장치 부동작 모델  
그림 7. 검토를 위한 절연통보호장치 부동작 모델

그림 8과 그림 9는 위의 경우에서 분석한 시스-대지간 전압과 절연통간 전압을 나타낸 것이다. 그림에서처럼 절연통보호장치 부동작으로 인한 절연통간전압 및 시스-대지간 전압의 상승폭이 매우 크며, 한 상의 절연통보호장치가 동작하지 않아도 절연통간 전압이 71[kV]로 절연통이 섬락될 수 있는 매우 높은 전압이 발생하고 있음을 알 수 있다. 이와 같은 결과로 절연통보호장치의 중요성 및 절연통보호장치의 부동작이 계통에 미치는 심각한 영향을 다시 한번 증명해 보였다. 따라서 차후 절연통보호장치에 대한 파괴시험 및 열화진단 주기 및 진단 시스템의 강화가 반드시 필요할 것으로 사료된다.

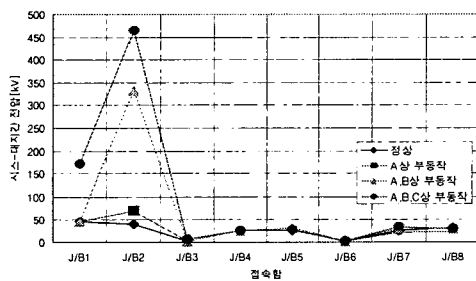


그림 8. 절연통보호장치 부동작시 시스-대지간 전압

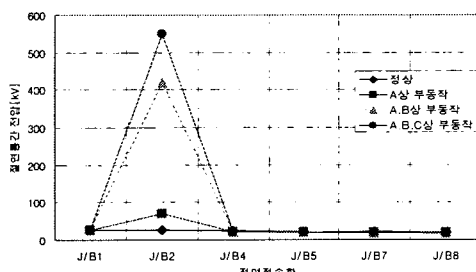


그림 9. 절연통보호장치 부동작시 절연통간 전압