

22.9kV 혼합배전선로의 뇌과전압 해석 및 중성선 유기 전압 해석

홍 동석* 이 종범
원광대학교

Analysis of Lightning Overvoltage and Induced Voltage of Neutral Line on the 22.9kV Combined Distribution Line

Dong-Suk Hong Jong-Beom Lee
Wonkwang University

Abstract - This paper describes the voltage induced at neutral line and the proper location of lightning arrester in combined 22.9 kV class distribution line jointed overhead line and cable each other. Modeling is established in ATP Draw to perform simulation. Simulated distribution line at this paper consists of distribution line 4.2km and underground distribution line 2km. Overvoltage and induced voltage are analyzed at several point of combined line. Analysis results was compared to select the best point to install arrester. Such analysis technology will be applied to obtaining capacity and location of arrester in the similar combined distribution line.

1. 서 론

인류의 생활에 위협과 공포를 주는 뇌는 다름 아닌 전기현상에 지나지 않는다는 것을 벤자민·프랭클린이 확신시켜 준 것은 240여년전의 일이었다. 지금까지 인류는 이 뇌에 대해 과학적으로 계통을 세워 해명하려는 노력을 계속해 왔지만, 현재에도 아직 수수께끼의 부분이 남아 있다. 그러나, 최근에 이르러 관측 기술 진보와 발달에 의해, 전모는 상당히 명백해졌다.[1]

전력계통에서도 뇌에 대해 많은 연구가 이루어지고 있는데, 현재까지 이러한 뇌에 대한 모의는 가공선로를 대상으로 많은 연구를 진행하여 왔다. 하지만 인구밀집도시의 전력공급의 원활화와 용지의 해결 및 도시환경의 조화 등을 충족시키기 위하여 지중선로와 가공선로가 혼합된 선로가 점차 증가하고있는 우리나라는 가공선로 뿐만 아니라 지중선로와 가공선로가 연계된 선로에서의 뇌에 의한 사고 및 보호대책에 대한 연구가 지속적으로 이루어져야 한다. 배전선의 뇌해는 일반적으로 배전선로에 낙뢰시 생기는 직격뢰와 배전선로 부근의 낙뢰에 의한 유도뢰로 분류하고 있으며 요즈음은 유도뢰에 의한 사고는 감소하고 있어 직격뢰에 대한 관심이 높아지고 있다.[2]

본 논문에서는 EMTP의 Graphical pre-processor인 ATP Draw를 이용하여 가공배전선로와 지중배전선로가 연계된 중성선을 가진 3상 4선식 배전선로인 22.9kV-Y 다중접지 혼합배전선로와 가공배전선로와 지중배전선로의 접속점에 설치하는 피뢰기를 모델링 하였다. 지중배전선로에 뇌격이 침입했을 때 피뢰기의 설치 위치와 여러 가지 뇌격 크기에 따른 이상전압을 해석하여 제시하였다. 뇌격의 침입경로는 뇌격이 직접 가공선로에 침입하는 직격뇌에 의한 사고를 모의하였고, 이때 지중배전케이블의 중성선에 유기되는 전압의 파형을 해석하여 제시하였다. 이러한 뇌격 침입시 지중배전케이블에 미치는 과도현상에 관한 해석은 가공과 지중이 연계된 혼합배전선로에서의 뇌격 침입시 그에 따른 보호대책 연구에 기여할 수 있을 것으로 사료된다.

2. 혼합선로 모델링과 입력자료 및 해석조건

2.1 모델계통

본 논문의 모델계통은 22.9kV 배전계통이며 그림 1과 같이 가공배전선로-지중배전선로-가공배전선로 계통을 기초로 하였고, 가공배전선로와 지중배전선로가 혼합된 선로의 전원측 후단에 45(MVA), 154/22.9(kV) 배전용변압기와 배전계통에 부하가 연계된 1회선 선로로 구성하였다.

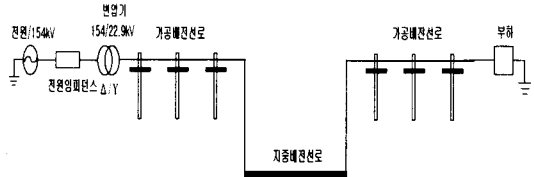


그림 1. 혼합배전선로 해석모델 단선도

2.1.1 전원 및 부하 임피던스

시뮬레이션에 필요한 전원임피던스의 값은 PSS/E로 부터 구한 값을 사용하였고 부하임피던스는 저항과 리액터스가 직렬로 연결된 직렬모델을 사용하였으며 역률은 0.95로 가정하였다.

표 1. 모델계통의 전원 임피던스

전원 임피던스	R[Ω]	X[Ω]
정상, 역상	0.60665	5.45135
영상	1.17002	7.61059

표 2. 모델계통의 부하 임피던스

부하 임피던스	R[Ω]	X[Ω]
부하	67.95	22.36

2.1.2 변압기

변압기의 용량은 45(MVA)이고, 정격전압은 154/22.9(kV)이며 Δ-Y 결선이다. 변압기의 %임피던스는 45/60(MVA)급은 약 15.5%가 되며, 실제의 값은 2차측에서 약 j1.8[Ω]으로 된다.

변압기에 입력하는 여자전류와 자속은 다음과 같다.

표 3. 변압기의 여자전류와 자속

V(%)	100	110
I(%)	0.25	0.90
i[A]	0.59647968	3.37280052
φ [Wb]	333.52986	366.88265

2.1.3 가공선로와 지중케이블의 모델 데이터

총선로의 길이는 가공선로 4.2km와 지중선로 2km이며, 선로는 K.C.LEE 모델로 모의 하였으며 선로정수는 ATPDraw의 보조프로그램인 ATP-LCC를 사용하여 구하였다.

가공배전선로의 도체배열은 수평배열이고 중성선과 가공지선을 모두 포함한 선로로 모의 하였고 상도체는 ACSR 95(mm²), 중성선은 ACSR 58(mm²)로 그리고 중성선은 300m마다 접지하였으며 접지저항은 각 개소마다 14(Ω)로 하였다. 또 가공지선의 접지는 중성선에 일괄접지 하였다. 대상선로에 대한 모델링은 그림 2와 같다. 또한 지중선로는 250m 마다 맨홀에서 접속재로 연결된 것으로 모의하였으며, 중성선의 접지저항도 250m당 각 16(Ω)로 하였다. 지중배전케이블의 종류는 22.9kV CN-CV 325(mm²)이며 케이블의 매설방식은 지표면으로부터 1m 깊이에 직매식으로 매설된 것으로 하였다. 22.9kV CN-CV 325(mm²) 전력케이블의 입력자료는 아래의 표4에 나타내었다.

표 4. 22.9kV CN-CV 325(mm²)의 입력자료

구분(외경)	도체	절연체	중성선	방식층
단위				
mm	21.7	37.7	46	52

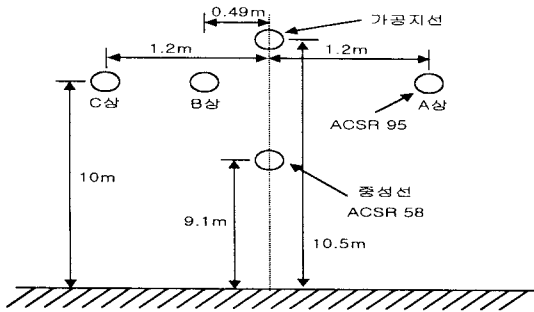


그림 2. 가공배전선로

2.1.4 뇌격

뇌격은 뇌도입피턴스와 전류원에 의해 모의할 수 있는데, 뇌도 입피턴스는 일반적으로 뇌격이 빛의 속도로 진행한다고 가정하여 계산한 써어지 임피던스를 집중저항으로 표현하는 방법이 널리 사용되고 있고, 뇌격전류의 파형을 표현하는 방법에는 RAMP파, 2개의 지수함수의 합 또는 CIGRE에서 제안한 형태 등이 있으나, 아직 이들에 대한 등가성이 확인되어 있지는 않다.[3] 본 논문에서는 뇌격전류를 RAMP파로 두었으며, 뇌도입피턴스는 집중저항으로 처리하여 그림 4와 같이 모의하였다.

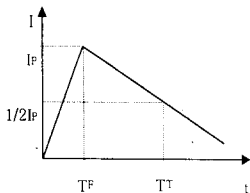


그림 3. 뇌격전류파형

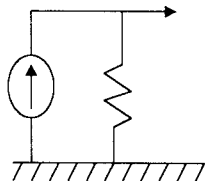


그림 4. 모의방법

2.1.5 해석조건

본 논문에서의 사고모의는 뇌격이 차폐 실패되어 상도체 a상에 직접 침입하는 경우를 모의 하였는데, 일반적으로 가공지선에 의한 완전차폐 이론에 근거하면 차폐 실패된 경우는 뇌격의 크기가 차폐 보호범위를 벗어나서

가운데로 침입할 수 있어야 하기 때문에 침입 뇌격은 2/50μsec파를 기준으로, 비교적 작은 크기의 20kA~40kA까지 침입한다고 가정하였다. 뇌격이 가공과 지중의 인입점에서 600m 떨어진 지점에 침입했음을 가정하고 모의 하였을 때 지중케이블의 인입구에 나타나는 파형을 보였다. 또 피뢰기의 설치위치는 가공과 지중의 인입구에 설치되었을 때를 case A, 인입구 인출구에 설치되었을 때를 case B 그리고 위의 경우에 더하여 인입구와 인출구에서 300m 떨어진 중성점 접지 지점에 추가적으로 설치되었을 때를 case C로 나누어 검토하였으며, 직격뢰시 지중케이블의 중성선에 유기되는 전압의 파형도 보였다.

3. 시뮬레이션 및 평가

3.1 직격뢰 침입시 뇌격전류 크기에 따른 피뢰기 설치효과

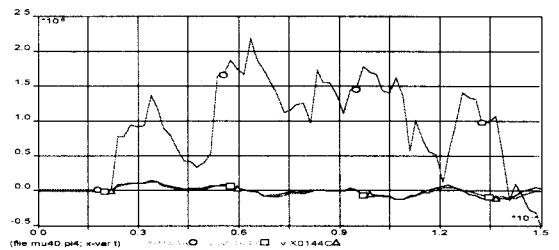


그림 5. 피뢰기가 없을 때 40kA 뇌격 침입시 발생과전압 파형

그림 5는 피뢰기가 없을 때 40kA의 뇌격이 침입하였을 경우 지중케이블의 인입구에 발생하는 과전압을 나타낸 것이다.

이 경우 가공지선에 침입하는 서지로 인해 케이블의 인입구에 상당히 큰 과전압이 발생함을 알 수 있으며, 20kA의 뇌격에도 지중케이블의 BIL인 125kV를 초과하는 큰 값을 나타내기 때문에 기기나 케이블의 절연과 파괴를 가져올 수가 있다.

그림 6과 7은 A와 B 즉 가공과 지중의 인입구에 피뢰기를 설치한 경우와 인입구, 인출구 양쪽에 설치한 경우이다. 이 경우도 20kA이상의 뇌격에 대해서는 BIL을 만족하지는 못하였다. 하지만 파형에서도 볼 수 있듯이 인입구, 인출구 양쪽에 피뢰기를 설치하는 경우가 인입구에만 피뢰기를 설치하는 경우보다 더 양호함을 알 수 있다

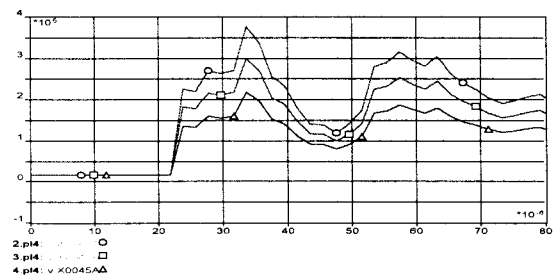


그림 6. 피뢰기가 A의 경우 일 때의 발생과전압 파형 (○:40kA뇌격침입, □:30kA뇌격침입, △:20kA뇌격침입)

이것은 일반적으로 지중선로로 들어온 서지는 선로의 중단에서 반사되어 전력케이블 및 기기에 이중의 영향을 줌으로써 케이블 및 기기에 절연 열화를 가속시키게 되는데 인출구에 피뢰기를 설치함으로써 그 서지를 흡수하게 되어 인출구보다 양호한 보호효과를 보이는 것으로 사료된다.

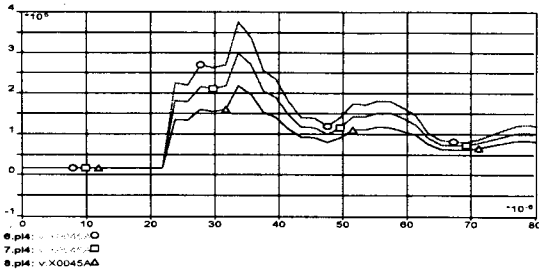


그림 7. 피로기가 B의 경우 일 때의 발생과전압 파형

(○:40kA뇌격침입, □:30kA뇌격침입, △:20kA뇌격침입)

그림 8은 피로기가 C의 경우이고 20kA~40kA인 뇌격이 차폐실패 되었을 경우에 지중케이블의 인입구에 발생하는 과전압을 나타낸 것이다. 그림에서 볼 수 있듯이 뇌격전류가 40kA일때도 지중케이블의 BIL값인 125kV 이상의 과전압이 발생하지 않았으며, 따라서 이경우가 지금까지의 경우중에서 보호효과가 가장 확실하고 양호한 것임을 확인할 수 있다.

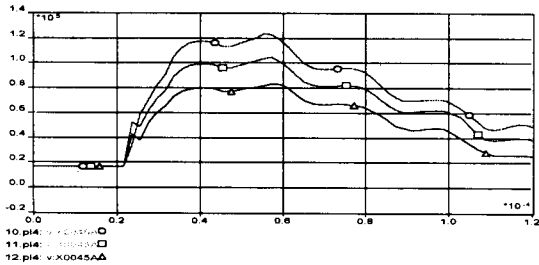


그림 8. 피로기가 C의 경우 일 때의 발생과전압 파형

(○:40kA뇌격침입, □:30kA뇌격침입, △:20kA뇌격침입)

그림 9는 뇌격전류가 30kA일 때, 각각의 피로기 설치위치에 따른 뇌과전압의 크기를 비교한 것이다. 그림 9에서도 알 수 있듯이 피로기가 C의 경우에 설치되었을 때가 가장 양호한 특성을 보였다.

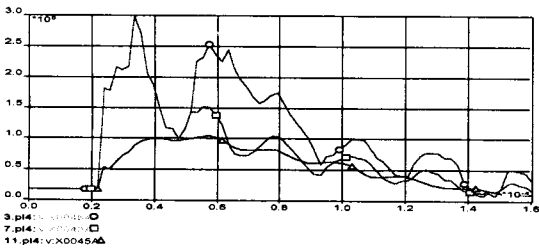


그림 9. 30kA 뇌격침입시 피로기 설치위치에 따른 발생과전압 파형 (○:A의 경우, □:B의 경우, △:C의 경우)

3.2 직격뇌 침입시 중성선 유기전압

평형 3상 시스템이 정상적으로 운전되고 있을 때 이론적으로는 중성점의 전위가 영이된다. 그러나 실제로는 각 선로의 커패시턴스에 약간의 차이가 있으므로 중성점은 다소의 전위를 가지게 된다. 이에 특히 문제가 되는 것은 이상상태에 있어서의 중성선의 전위 상승과 통신선로에 대한 전자유도장해이다. 보통 중성선에 전위상승이 발생하는 원인으로는 선로의 고장지락이라든가 직격뢰 및 유도뢰 그리고 개폐서지등을 들수 있다. 따라서 본 논문에서는 전위상승 원인중의 하나인 직격뢰 일때 피로기가 설치안된 40kA 뇌격전류시 인입구에서의 중성선에 유기되는 전압의 크기와 파형을 보였다.

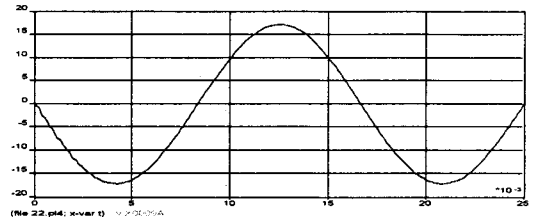


그림 10. 정상상태에서의 케이블의 중성선 유기전압

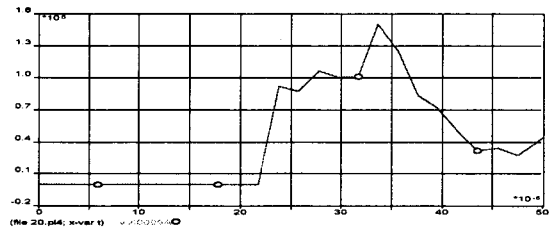


그림 11. 40kA 뇌격침입시 인입구의 중성선 유기전압 파형

4. 결론

본 논문에서는 ATPDraw를 이용하여 22.9(kV) 3상4선식 혼합 배전선로의 계통에서 직격뢰시 지중배전케이블에 발생하는 뇌과전압을 뇌격전류의 크기에 따른 피로기 설치효과와 관점에서 해석하였으며, 또한 같은 사고시 지중배전 케이블의 중성선에 유기되는 전압을 보였다. 피로기 설치여부에 따른 케이블의 뇌과전압 분포는 다음과 같다.

- (1) 피로기를 설치하지 않은 경우에는 지중케이블에 가해지는 뇌과전압은 기기와 케이블의 절연파괴가 발생할 정도로 나타났다.
- (2) A와 B의 경우에는 (1)의 경우보다 지중케이블에 가해지는 뇌과전압이 많이 낮아지긴 하지만 아직도 그 크기는 기기 및 케이블의 절연파괴가 발생할 정도로 나타났다. 그중에서도 B의 경우 즉, 인입구와 인출구에 피로기를 설치하는 경우가 전체적인 면에서 A보다 양호한 특성을 보였다.
- (3) C의 경우는 약 40kA의 뇌격전류에도 뇌과전압이 BIL(125kV)을 넘어서지 않는 적정수준으로 억제 되었다.

그리고, 중성선에 유기되는 전압은 정상상태에서는 평균 약 16V정도를 나타내었으며 직격뢰 침입시 상당히 큰 크기의 전압이 발생했다. 결론적으로 비록 발생확률은 극히 드물지만 뇌격이 차폐실패에 의해 상도체에 직접 떨어지는 경우는 실계통에 실제적으로 쓰이는 B의 경우만으로는 보호가 되지 않았으므로 본 논문에서 가장 양호하게 보호특성이 나타난 C의 경우에 대해 타당성 및 실계통 적용을 위해 지속적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

[참고 문헌]

- [1] 조규심, "뇌방전 현상과 전력용 피로기의 최근 동향", 전기학회지, 제45권 9호, pp 24-30, 1996. 9
- [2] 정현수, 정창호, 김진오, 송일근, 장완성, "배전선 1상의 피로기 및 가공지선 생략 방안 연구", 대한전기학회 전력계통연구회, pp 134-135, 2000. 5
- [3] 전력연구원, "전력계통 과도해석 프로그램의 이론 및 활용에 관한 연구", 전력연구원, I, II, III