

피뢰기 적용에 따른 다양한 배전계통의 뇌과전압 변화특성

김 상 국* 정 채 균 이 종 범
원광대학교

하동혁
한국전력

Lightning Overvoltage Characteristics in Distribution System with Arrester Application

Sang-kuk Kim Chae-kyun Jung Jong-beom Lee
Wonkwang University

Dong-Hyuk Ha
KEPCO

ABSTRACT- Distribution lines are spanned on a much large area as compared to transmission lines, and therefore, are more often susceptible to lightning strokes. The selection of the proper value of basic insulation level(BIL), for particular insulation components of distribution structures in specific, is very important. Lightning strikes has current risetimes ranging from 0.1 to several μs and can produce transient overvoltages substantially greater than the BIL of many distribution systems in spite of lightning arresters. This paper describes lightning overvoltage of a 22.9kV distribution system due to lightning strike. This study will provide the information on insulation coordination studies to adopt BIL.

및 계통구성의 설정을 통한 해석 모델을 이용하여 뇌과 전압에 대한 다양한 분석을 통해 피뢰기 적용 방안을 평가하였다.

2. 선로모델링 및 뇌격모의

2.1 선로모델링

본 논문에서는 22.9kV 배전 시스템에서 뇌에 대한 영향만을 고려하기 위하여 선로 말단에서 임피던스 차에 따른 반사파 영향을 배제한 대지와 평행한 무한선로로 가정하여 모의한 총 Feeder 길이는 4km의 가공선로써 1회선 모델을 사용하였으며 상도체는 ACSR 160mm², 중성선은 ACSR 95mm²로 각각 모의 하였다. 국내 배전계통은 3상 4선식 다중접지 방식을 채용하고 있으므로 접지저항은 합성 저항치를 사용하여 표현하였다.

1. 서 론

배전계통은 주로 도심지 부근에 밀집되어 있으며 가공지선의 높이를 포함해 구조물의 높이가 높지 않기 때문에, 배전계통에 뇌격이 침입하면 대부분의 뇌 썩지는 대지로 흡수되어 실제로 계통에 미치는 썩지의 영향이 약화되는 경향이 주로 나타난다. 그러나 뇌 썩 발생빈도가 도심지에 비해 매우 높은 도심지 외곽이나 산간, 해안지역에서 운용중인 배전계통은 도심지와는 달리 선로 주변에 썩지를 흡수할 수 있는 구조물이 적으므로 가공지선 및 상도체에 직격뢰가 침입할 가능성이 많이 있다. 국내에서는 배전계통에 발생하는 썩지에 대한 보호대책으로 피뢰기를 설치하여 운용하고 있지만, 직격뢰가 침입하게 되면 배전계통의 가공선로와 케이블 및 변압기와 같은 전력기기는 기준충격절연강도(BIL)를 초과하여 절연에 심각한 영향을 미칠 가능성이 있다. 실제로 최근 5년간(1995-1999) 낙뢰로 인한 고장발생은 배전선로 고장의 8%를 점유하고 있으며, 가공선로, 예자류, 피뢰기, 변압기 순으로 고장 발생율을 보이고 있다[1].

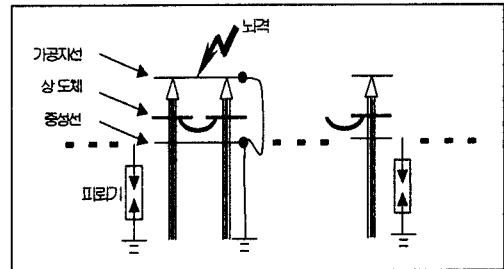


그림 1. 모의 계통도

2.2 뇌썩지 해석

국내의 낙뢰 특성은 산간, 해안 지역에서 주로 발생하며 연간 발생한 낙뢰중 7~8월에 발생하는 낙뢰가 60% 이상의 점유율을 차지하고 있다. 국내의 낙뢰 발생빈도는 연간 10만회 이상 발생하고 있으며, 뇌격전류의 크기는 60kA이하가 98%이며 20~40kA가 대부분의 비중을 차지하고 있다.

뇌격 특성은 선로상의 썩지 전압의 상승률을 결정하므로 중요한 파라미터로 다루어져야만 한다[2]. 본 논문에서 뇌격 파형은 그림 2와 같이 램프파를 사용하였으며 뇌격강도는 뇌 발생빈도가 높은 30kA와 50kA의 크기를 갖는 2/80 μs 를 사용하였다. 또한 뇌도 임피던스는 집중 저항으로 가정하여 모의하였다[3].

그러나 국내에서는 배전계통 전체에 대한 종합적인 관점보다는 필요에 따라 단편적인 검토에 의해 절연강도를 선정하는 예가 많아 기자재에 따라 절연강도가 불합리하게 적용되는 사례가 많으며, 절연협조에 있어 매우 중요한 역할을 하는 피뢰기의 특성 및 성능의 향상이 적절히 반영되지 않아 전체적으로 높은 기준절연강도(BIL)가 설정된 것으로 추정된다. 그리고 배전선로 및 기자재의 기준 절연레벨의 일관성이 미흡하며 고장예방을 위한 절연강도의 상향 조정 및 해외 규격의 인용에 따른 절연협조 기준의 근거가 불명확하고 합리성이 결여되어 있다.

따라서 본 논문에서는 국내 배전계통 구성 및 낙뢰 특성 등을 검토하여 배전계통 절연 협조 체계를 재조명하기 위해 선로특성에 따른 적절한 피뢰기 설치 및 운용과 뇌 썩지에 의한 고장 예방에 따른 전체적인 배전계통을 해석하였다. 또한 국내 특성에 맞는 뇌격 조건과 선로

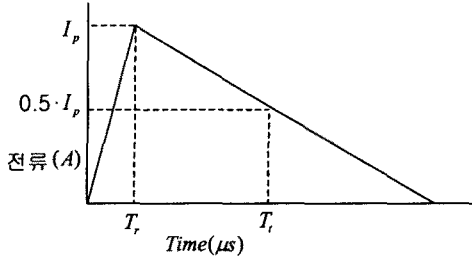


그림 2. 뇌격 전류

2.3 피뢰기

표 1. 피뢰기 특성

피뢰기	
접지 저항	15[Ω] 30[Ω]
종류	ZnO 18[kV]
접지	중성선과 공동 접지

피뢰기의 제한 전압은 피뢰기의 정격전압에 거의 비례하므로, 피뢰기 정격전압의 선정은 전력시스템의 절연설계에 매우 중요한 요소가 된다. 현재 국내 배전시스템에 적용되는 피뢰기 관련 규격으로는 KSC-4609 및 ESB-153 등이 있으며, 이러한 국내 규격에서는 배전용 피뢰기의 정격전압으로 18kV, 21kV 및 24kV에 대해 규정하고 있다. 본 논문에서는 표 1에서와 같이 정격 전압 18kV 피뢰기를 사용하였다[4].

3. 사례 연구

본 논문에서는 가공선로로만 구성된 배전계통에서 발생한 뇌 썩지를 고려하였으며, 가공지선과 중성선 접지 저항 및 피뢰기 접지저항 뿐 아니라 뇌 침입점의 변화와 피뢰기 설치 빈도에 따른 배전계통의 과도현상을 다양하게 해석하였다.

뇌격의 크기는 60kA 이하다 대부분의 비중을 차지하므로 표 2에서와 같이 30kA와 50kA의 뇌격전류를 상정하였다.

표 2. 뇌격의 크기

뇌격의 크기	30 [kA]
	50 [kA]

3.1 접지저항의 변화 요소

가공지선의 접지는 매 200m 이내 마다 중성선과 공용하여 접지저항을 50Ω 이하로 접지하였으며 매 전주마다 가공지선과 중성선을 상호 접속하였다. 또한 피뢰기를 제외한 경우 중성선 접지저항은 25Ω, 50Ω, 75Ω로 적용하였으며 피뢰기를 설치한 경우는 피뢰기에 의한 보호 효과 판명을 위해 50Ω의 일정 저항으로 접지하였다.

3.2 피뢰기 변화 요소

국내에서 적용하는 배전선로 피뢰기 설치 기준에 의하면 IKL(Iso Keraunic Level : 연간 평균 뇌 발생일수) 11일 이상인 지역에는 매 300m 이내 마다 피뢰기를 설치하도록 규정하고 있으며, 접지시스템의 선로에 시설하는

표 3. 피뢰기 설치 거리와 접지 저항

피뢰기 설치 거리[m]	피뢰기의 접지 저항값[Ω]
300	15
400	30
500	50
600	

피뢰기의 접지선은 중성선과 상호접속하도록 규정하고 있다.

따라서 본 논문에서는 이러한 피뢰기 설치 기준을 참조하여 배전계통에 뇌 썩지 침입시 피뢰기 설치 거리 및 피뢰기의 접지저항의 변화에 따른 뇌과전압에 대해 검토하였다.

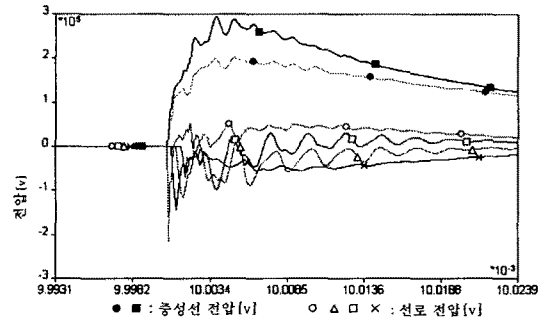


그림 3. 피뢰기 설치시 뇌침입 거리에 따른 뇌과전압

가공지선이 설치된 배전계통에서 가공지선에 뇌 썩지가 침입할 경우, 뇌 썩지는 가공지선과 접속되어 있는 중성선으로 분류되고, 접지점을 통한 대지로의 방전에 의해 가공지선에 발생하는 뇌과전압은 상대적으로 낮게 발생된다. 그러나 배전계통의 기준절연강도가 절대적으로 낮기 때문에 대부분의 뇌격은 가공지선 또는 접지도체로부터 상도체 쪽으로의 섬락(역섬락)을 발생시키는 것으로 판단된다.

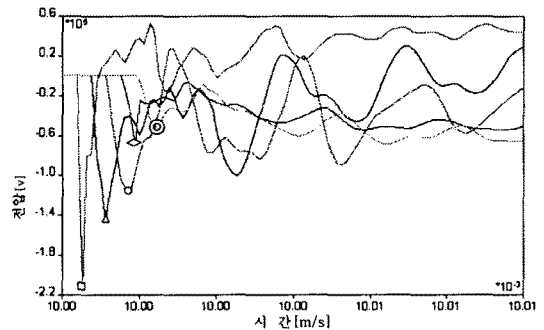


그림 4. 피뢰기 설치빈도 300m의 거리에 따른 뇌과전압

그림 4에서처럼 피뢰기와 접지저항에 의해서 뇌 썩지의 영향은 뇌격지점과 거리가 멀어질수록 감소하는 경향을 보이며 피뢰기 설치 지점에서 큰 폭으로 감소하였다.

3.3 피뢰기 미 설치시 뇌과전압

피뢰기를 설치하지 않은 경우, 뇌 침입지점에서 뇌과전압은 접지저항을 변화하여도 선로 BIL이하로 저감시킬 수 없기 때문에 뇌과전압에 대한 보호기기가 반드시

필요하다고 판단된다.

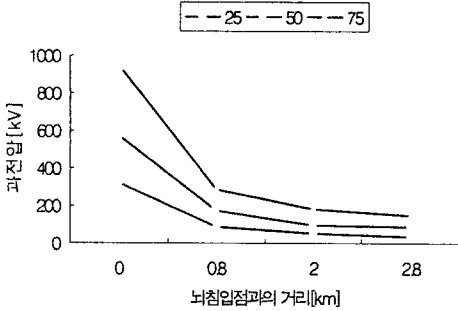


그림 5. 접지 저항 변화에 따른 뇌서지 침입점 변화

3.4 피뢰기 접지 저항의 변화에 따른 뇌과전압 변화

뇌 침입시 중요시 되는 파고 전압에 대해서는 큰 이점을 얻지 못하였으나 파고 전압 이후의 전압에 대해서는 접지 저항의 감소에 따른 이점을 얻을 수 있었다. 그러나 뇌 침입시 선로나 배전 기기들은 파고 전압에 상당한 스트레스를 받기 때문에 이후의 전압 감소의 이점은 뇌과전압을 해석함에 있어서 큰 필요성을 갖지 않는다고 판단된다.

3.5 피뢰기 설치 빈도에 따른 거리별 뇌과전압

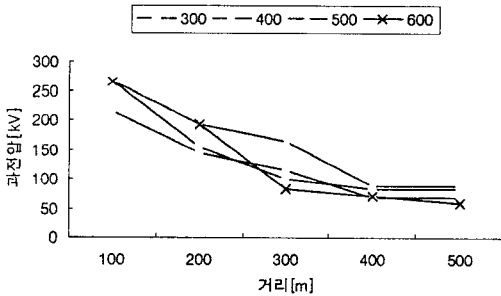


그림 6. 피뢰기 설치 빈도에 따른 거리별 뇌과전압

피뢰기 설치 빈도에 따른 뇌과전압은 그림 6에서처럼 300m마다 설치하였을 때 가장 좋은 특성을 보이고 있으나 뇌 침입지점으로부터 약 200m 이후에는 600m 설치 빈도를 제외한 모든 경우에서 큰 차이가 없었다. 따라서 중요한 보호 기기의 보호를 위해서는 300m이내 마다 피뢰기를 설치하는 것이 효과적이라고 사료된다.

3.6 피뢰기 설치 거리에 따른 보호가능 거리

피뢰기 설치 간격에 의한 선로 BIL 기준에 따른 보호 능력은 설치 빈도가 낮을수록 좋으며, 400m 설치 빈도 이하부터는 설치 빈도에 비해 큰 이점을 얻을 수 없다고 판단된다. 또한 설치 빈도 500m를 초과하면 피해 거리는 상대적으로 크게 증가하고 타 설치 빈도 차에 비해 피뢰기에 의한 보호 효과도 크게 감소한다.

이 결과는 뇌과전압에 있어서 접지 저항의 감소로 인한 보호 기대치는 미흡하며 뇌과전압에 있어서 피뢰기가 우수한 선로보호 능력을 가지고 있고 설치 빈도 500m 초과시 피해 영역은 상대적으로 더욱 커짐을 알 수 있다.

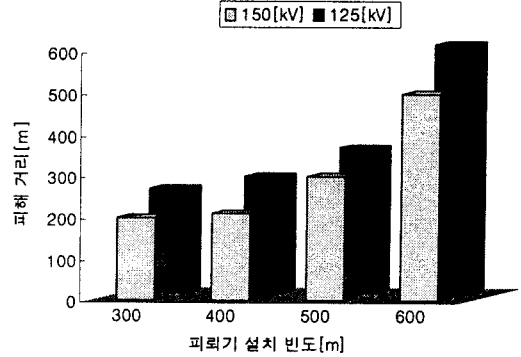


그림 7. 피뢰기 설치 거리에 따른 뇌격에 의한 피해 거리

4. 결 론

본 논문에서는 22.9kV 가공배전선로를 대상으로 모의하였으며 배전계통에서 상도체로의 직격뢰 침입의 빈도는 비교적 적기 때문에 가공선으로 침입하는 뇌 서지만을 해석하였다. 특히 본 논문에서는 선로의 중성선 접지저항과 피뢰기의 접지저항 뿐 아니라, 피뢰기의 설치 빈도에 따른 뇌과전압의 영향과 선로에 대한 BIL의 적용에 따른 보호 거리에 대해 분석하였으며, 분석내용을 정리하면 다음과 같다.

- 1) 선로에 대한 영향은 뇌의 파고 값에 크게 영향을 받는다. 상정한 뇌격은 뇌격 파주의 크기가 클수록 상승하기 때문에 가공배전선로에 미치는 영향은 더욱 커진다.
- 2) 피뢰기를 설치하지 않은 경우 접지저항변화에 따른 뇌과전압은 접지저항의 변화만으로는 선로 BIL까지 감소시킬 수 없기 때문에 보호기기가 반드시 요구된다.
- 3) 뇌과전압의 영향은 뇌격 지점과 피뢰기 설치 지점, 접지 지점이 일치할 경우 가장 좋은 보호특성을 보였으며 피뢰기 설치 지점 사이 최약의 지점에 뇌침입시 피해는 더욱 커지는 것으로 나타났다.
- 4) 피뢰기 설치 빈도와 보호거리는 서로 비례적으로 상승하며 설치빈도 400m 이하의 거리에서는 설치빈도에 대한 이점은 크지 않다. 또한 피뢰기 설치 빈도 600m 초과시 피해 영역은 상대적으로 매우 커진다.

본 논문에서는 변압기나 부하의 변이점에서의 임피던스차에 의한 반사파를 고려하였으나 변이점에서의 반사파를 고려한 지중과 혼합된 배전선로의 연구가 더욱 필요한 것으로 사료된다.

(참 고 문 헌)

- [1] Adres E. Hernandez " Insulation Coordination in Electrical Power Distribution Networks by Digital Techniques: A Real Case Study" IEEE 1995
- [2] R. E. Owen, Senior Member " Surge Protection of 35kV UD Cable systems" IEEE 1979
- [3] Luis Montanes, Miguel Garcia-Gracia "An Improvement for the Selection of the Surge Arresters Based on the Evaluation of the Failure Probability" IEEE 2002
- [4] 배전선 절연설계에 관한 연구(II) 1992.3
- [5] 배전계통 이상전압 측정 및 대책 연구 2000.8
- [6] ATP Rule book.