

피뢰기에 의한 지중배전계통의 써어지 보호

이용한* 정동학*
한국전기연구소*

정동원 임용혁
한전기술연구원

Surge Protection of Underground Distribution Systems by Surge Arrester Application

LEE, YONG HAN* JUNG, DONG HAK*
KERI*

JEONG, DONG WON LIM, YOUNG HYUCK
KEPCO

This paper presents results of typical study on lightning overvoltages of underground distribution systems and discusses effective insulation coordination schemes.

Typical lightning current and system parameters are used to analyze lightning overvoltage distribution on underground distribution systems by EMTP (Electro-Magnetic Transients Program).

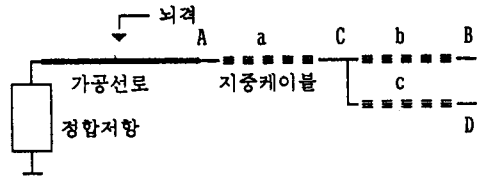


그림 1. 해석 대상 계통도

1. 서론

뇌격에 의해 지중배전계통으로 침입되는 뇌써어지는 지중배전계통의 절연파괴사고의 주된 원인이 되는데, 이를 지중배전계통의 절연강도 이하로 억제하기 위해서는 피뢰기의 적용이 필수적 요건이 된다.

그런데 지중배전계통의 임의의 지점에 발생되는 뇌과전압은 인접 가공선로에 발생된 뇌써어지 뿐만 아니라, 지중배전계통에서의 피뢰기 적용방법에 따라 서로 다르게 나타나므로, 피뢰기 적용방법에 따른 뇌과전압 분포특성 해석은 지중배전계통의 써어지 보호대책 수립에 매우 중요한 요인이 된다.

- 지중배전계통으로 침입하는 뇌써어지의 크기는
 - 뇌격의 크기 및 파형
 - 뇌격이 가해지는 위치
 - 인접 가공선로의 구성

등에 따라서 다르게 나타나나, 여기에서는 특정 뇌격이 특정 지점에 가해진 경우에 지중배전계통의 뇌과전압 분포특성을 지중배전계통의 구성상태 및 피뢰기 적용방법에 대해 검토하였다.

2. 해석 모델

해석대상계통도는 그림 1.과 같으며, 이 때 사용된 경수들은 다음과 같다.

- 가공선로의 써어지 임피던스 : 396 Ω
- 가공선로의 써어지 전파속도 : 291 m/μs
- 지중케이블의 써어지 임피던스 : 21 Ω
- 지중케이블의 써어지 전파속도 : 187 m/μs
- 피뢰기
 - 종류 : 18 kV, 금속 산화물 피뢰기
 - 특성식 :

$$i = p \left[\frac{v}{v_{ref}} \right]^q$$

$$p = 7.91$$

$$q = 18.78$$

$$v_{ref} = 36 \text{ kV}$$

- 뇌격전류 : 10 kA, 2/70 μs, ramp 파

표 1. 지중케이블 선로 구성상태의 분류

단위 : [m]

CASE	a	b	c	피뢰기설치위치
1	100	-	-	A, (C)
2	500	-	-	"
3	1,000	-	-	"
4	5,000	-	-	"
5	100	100	100	A, (B,D), (C)
6	100	1,000	100	"
7	100	1,000	1,000	"
8	1,000	100	100	"
9	1,000	1,000	100	"
10	1,000	1,000	1,000	"

3. 해석결과

표 1.에 각 CASE에 대한 지중케이블 선로 구성상태 및 피뢰기 설치위치를 도시하였으며, 해석 결과는 다음과 같다.

3.1 침입 써어지

그림 2.에 CASE 3에 대한 입상점의 과전압을 나타내었으며, 그림에서 첫번째 파고부의 첨두는 피뢰기 방전전압과 피뢰기 리드선의 인덕턴스에 의한 전압강하분이 중첩되어 나타나는데, 입상 피뢰기의 리드선이 길어지면 인덕턴스도 커지게 되므로 첫번째 파고치는 더욱 상승하게 된다. 따라서 침입 써어지를 억제하기 위해서는 피뢰기의 리드선을 가능한 짧게 해야함을 알 수 있다.

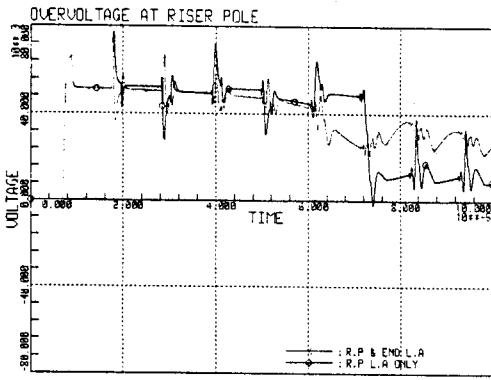


그림 2. CASE 3 에서의 입상점 과전압

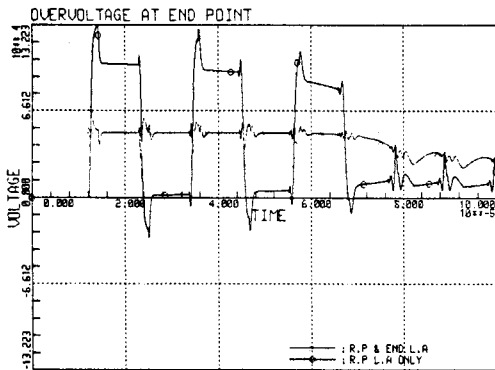


그림 3. CASE 3 에서의 말단 과전압

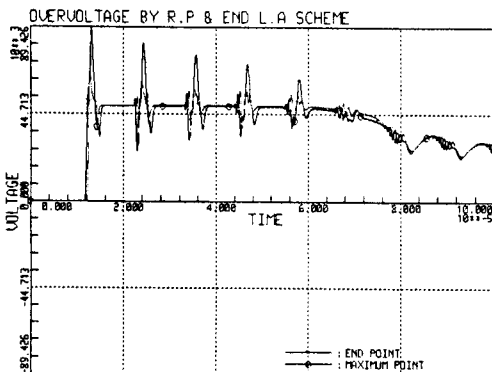


그림 4. CASE 3 에서의 최대 뇌과전압

3.2 뇌과전압 최대치 발생위치 및 원인

그림 2.에서 그림 4.까지 CASE 3에 대한 과전압 해석결과를 도시하였는데, 그림에서 알 수 있는 바와 같이 피뢰기가 설치되지 않은 케이블 말단에서는 입상 썬어지가 전반사되므로 발생 과전압은 입상 썬어지의 2배로 발생되므로, 입상점에만 피뢰기를 설치한 경우에는 케이블 말단에서 가장 높은 과전압이 발생된다. 그러나 말단에 피뢰기가 설치되면 말단의 과전압은 피뢰기의 보호레벨 이하로 억제되고 다른 지점에서 최대 과전압이 발생되는데, 이 때 최대 과전압이 발생하는 지점은 침입 썬어지의 파두장 및 케이블의 썬어지 전파속도에 따라 다르게 나타나며, 여기에서는 말단 100 m 전방 (선로를 100 m 단위로 도)에서 가장 높은 과전압이 발생되었다.

말단에 설치된 피뢰기의 썬어지 임피던스는 피뢰기 동작여부에 따라 다르게 나타나는데, 피뢰기 방전전에는 매우 높은 임피던스를 가지므로 개방점으로 간주할 수 있으며, 방전직후 부터는 매우 낮은 임피던스를 유지하므로 단락점으로 간주할 수 있다. 따라서 케이블 말단으로 입상되는 썬어지는 말단에 설치된 피뢰기 방전전까지는 전반사가 되며, 이 반사파와 입사파가 중첩된 과전압이 케이블 선로에 발생되게 되는데, 입사파의 접두부와 반사파가 중첩되는 지점에서 최대 과전압이 발생하게 된다.

3.3 피뢰기 방전전류 및 흡수에너지

그림 5. 및 그림 6.에 CASE 3에 대한 피뢰기 방전전류 및 흡수에너지를 도시하였다.

입상점에만 피뢰기를 설치한 경우에는 말단에서 반사되어 오는 썬어지를 추가로 방전하게 되므로 비교적 큰 방전전류가 흐르게 되며, 침입하는 썬어지 에너지가 전부 입상 피뢰기에 의해 방전되므로 비교적 많은 양의 에너지를 흡수하게 된다.

케이블 말단에도 피뢰기를 설치한 경우에는 침입한 썬어지의 일부를 말단 피뢰기가 분담함으로써 입상 피뢰기의 방전전류도 작아지고 각 피뢰기의 흡수에너지 양도 적어진다.

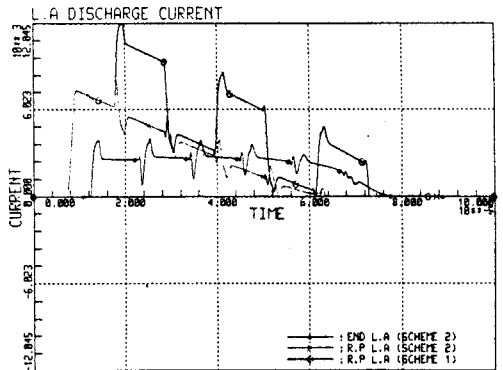


그림 5. CASE 3 에서의 피뢰기 방전전류

3.4 지중케이블 계통에서의 뇌과전압

표 2.에 각 CASE에서 피뢰기 설치위치에 따른 최대 과전압을 나타내었는데, 가장 높은 과전압은 CASE 6에서 입상점에만 피뢰기를 설치한 경우에 발생되었으며, 가장 낮은 뇌과전압은 CASE 5에서 피뢰기를 입상점, 말단 및 분기점에 설치한 경우에 발생되었다.

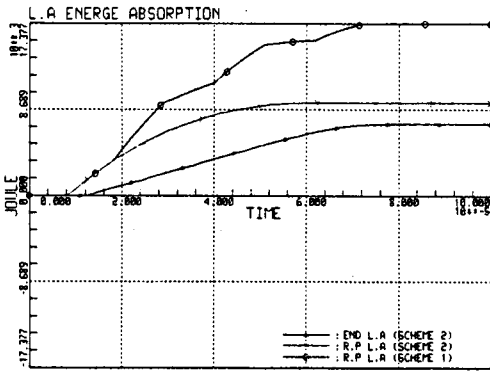


그림 6. CASE 3 에서의 피뢰기 흡수 에너지

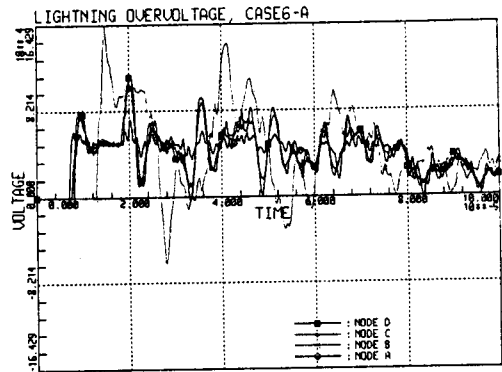


그림 7. CASE 6 에서의 최대 뇌과전압

표 2. 지중배전계통의 최대 뇌과전압

단위 : [kV]

CASE	피뢰기 설치위치		
	A	A, B, D	A, B, C, D
1	134 (B)	85 (A)	-
2	132 (B)	89 (B-)	-
3	132 (B)	89 (B-)	-
4	132 (B)	76 (*B-)	-
5	138 (B)	78 (C)	66 (A)
6	164 (B)	85 (B-)	79 (B-)
7	131 (B)	80 (C)	71 (B-)
8	131 (B)	74 (C)	69 (C-)
9	142 (B)	81 (B-)	76 (B-)
10	125 (B)	83 (C-)	77 (C-)

- 주 1. () 내는 최대 과전압 발생지점
 2. X- : X NODE의 100 m 전방
 3. (*X-) : X NODE의 500 m 전방 (500 m 단위로 도의)

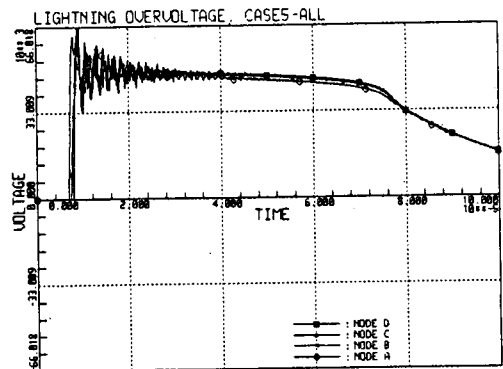


그림 8. CASE 5 에서의 최대 뇌과전압

가장 높은 뇌과전압 발생요인을 추적해보면, 먼저 이방점을 거친 싸여지가 분기 케이블의 말단에서 전파되어 케이블 분기점의 싸여지는 입사파와 분기 케이블 말단에서의 반사파가 중첩되게 된다. 이렇게 중첩된 싸여지가 주 케이블 선로의 말단에서 다시 전파되어 매우 높은 과전압을 발생시키게 된다.

한편 가장 낮은 과전압이 발생된 경우에는 3.2에서 기술한 피뢰기의 동작 여부에 따른 싸여지 임피던스 변화에 의한 중첩효과가 분기점에 설치된 피뢰기에 의해 억제됨으로써 전체 케이블 선로의 뇌과전압은 입상 피뢰기의 보호레벨 이하로 나타난다.

4. 결론

현재 국내 22.9 kV 배전계통의 기준절연강도는 125 kV를 채택하여 운용하고 있으며, 이에 대한 상기 해석 결과에 의한 절연내력 평가는 표 3.과 같다.

표 3.에 나타난 절연내력 평가와 지중배전계통의 뇌과전압 발생 양상을 종합하여 검토한 결과, 지중배전계통의 효과적인 싸여지 보호를 위해서는 다음과 같은 절연협조 체계를 구축하는 것이 바람직하다.

표 3. 지중배전계통의 보호여유

피뢰기 설치위치	보호레벨 [kV]	보호여유 [%]
입상점	164	-24
입상점, 말단	89	40
입상점, 말단, 기기	66	89

- 피뢰기는 입상점 뿐 아니라 케이블 개방점 (변압기가 설치된 말단 포함)에도 설치한다.
- 지중계통으로 인입하는 뇌싸여지를 억제하기 위해 케이블 인접 가공선로에 가공지선을 설치한다.
- 입상 피뢰기의 리드선 길이를 약 2.5 m 이하가 되도록 취부한다.
- 피뢰기 접지저항의 영향을 받지 않도록 피뢰기를 중성선 (또는 중성점)과 공동으로 접지한다.

<참고문헌>

1. Electromagnetic Transients Program Rule Book, Bonneville Power Administration, 1982
2. Application Guide for Surge Arresters on Distribution Systems, Ontario Hydro, 1988
3. H. Hu, M. S. Mashikian, "Modeling of Lightning Surge Protection in Branched cable Distribution Network", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 5, 1990
4. 배전선 절연설계에 관한 연구(I), 한국전력공사 기술연구원, 1990
5. 배전선 절연설계에 관한 연구(II), 한국전력공사 기술연구원, 1992