

지중배전선로용 피뢰기를 고려한 과도현상 해석

윤창섭*, 이종범*, 이재봉**
원광대학교* 한전 전력연구원**

Analysis of Transient Phenomena Considering Arrester
in Underground Distribution Line

Chang-Sub Yun*, Jong-Beom Lee*, Jae-Bong Lee**
Wonkwang University*, KEPRI**

Abstract - This paper describes the analysis to install an arrester for an underground distribution line effectively. Currently, the underground distribution cable is protected by the arrester connected with overhead distribution line. However, riser pole arrester can't protect all parts of cable like the end of the underground distribution cable. To solve this problem, we installed the arrester on each cable and have measured the overvoltage made by lightning surge in each situation. The location to get effective results has been decided from the measured voltage above.

절연파괴에 이를 가능성이 높다. 따라서 지중케이블의 말단 또는 분기점에 피뢰기를 설치함으로써 입상주 피뢰기를 통해 보호되지 못하는 케이블선로의 말단과 같은 취약부분을 보호할 수 있다.

실계통과 유사한 분기된 지중케이블선로를 선정하여 그림 2.1에 나타내었다.[4]-[11] 측정위치는 분기선로로 접속되는 분기점과 각 케이블선로의 말단 전압을 측정하여 입상주에 피뢰기를 설치하였을 때 나타나는 피뢰기의 보호효과를 해석 하였다.

1. 서 론

국내의 지중배전선로는 가공선로에 설치 되어있는 입상주 피뢰기를 통해 보호되고 있다. 입상주 피뢰기는 지중선로에 침입 하는 뇌서지와 같은 외부 고장 요인으로 부터 보호 할 수 있는 효과적인 보호설비이다. 이러한 보호설비를 통해 도심에서 증가하는 전력수요 및 도시 미관을 위해 지중배전선로는 증가하는 추세이다. 이로써 지중배전선로는 더욱 복잡해지고 있지만 가공선로에 설치되어 있는 입상주 피뢰기로 상시 개방점으로 운용되는 케이블의 말단에 발생하는 과전압을 보호하기가 어려운 실정이다. 이러한 현재 보호방안은 지중배전선로의 케이블의 수명과 절연상태를 유지하기 어려워져 지중배전계통의 신뢰도 감소에 직접적인 요인이 된다.[1]-[2] 또한 지중배전선로의 고장 발생시 가공선로와는 달리 신속한 복구가 어려우며 장시간 정전을 유발시키는 원인으로 작용된다.[3]

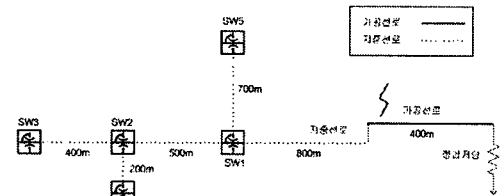


그림 2.1 해석 선로 계통도

지중선로에 입상주 피뢰기만 설치되어있을 때를 모의 하여 뇌격지점을 가혹하게 모의하여 20m로 선정하고 뇌격파형의 파두시간을 2 μ s와 1 μ s로 변화시키고 뇌격 크기를 5kA와 10kA로 나누어 해석하였다. 고려한 뇌격조건을 표 2.1에 나타내었다.

표 2.1 입상주 피뢰기 설치시 뇌격조건

	뇌격지점	뇌격파형	뇌격크기
Case 1	20m	2/70 μ s	5kA
Case 2	20m	2/70 μ s	10kA
Case 3	20m	1/70 μ s	5kA
Case 4	20m	1/70 μ s	10kA

2. 본 론

2.1 지중배전선로 해석 모델

지중선로는 실제로 매우 다양한 분기선로로 이루어져 있으며 그 길이 또한 다양하게 되어있다. 가공선로와 접속점은 입상주에 설치된 피뢰기의 효과로 인하여 보호가 이루어지지만 지중선로 케이블의 말단은 침입된 서지의 반사영향으로 높은 과전압이 발생되게 된다. 이로 인해 케이블 말단에 스트레스가 증가하게 되고 열화로 이어져

2.1.1 입상주 피뢰기 설치

각 Case는 가공선로와 지중선로가 접속되는 입상주 전방 20m에서 뇌격이 침입하고 뇌격파형과 뇌격크기가 각기 다른 조건을 선정 하였다.

Case 해석을 통해 입상주에 피뢰기가 설치 되어있고 지중배전선로에 피뢰기가 설치되어있지 않았을 때 지중배전선로의 각 개폐기에서 측정된 최대 전압을 표 2.2-2.5에 나타내었다.

1. Case 1

표 2.2 20m 2/70 - 5kA

측정 개폐기	전압 [kV]	비고
SW1	81.6	분기점
SW2	85.6	분기점
SW3	99.3	말단점
SW4	89.9	말단점
SW5	86.3	말단점

2. Case 2

표 2.3 20m 2/70 - 10kA

측정 개폐기	전압 [kV]	비고
SW1	100.3	분기점
SW2	100.0	분기점
SW3	117.1	말단점
SW4	108.8	말단점
SW5	106.5	말단점

3. Case 3

표 2.4 20m 1/70 - 5kA

측정 개폐기	전압 [kV]	비고
SW1	84.7	분기점
SW2	86.3	분기점
SW3	101.0	말단점
SW4	93.0	말단점
SW5	89.3	말단점

4. Case 4

표 2.5 20m 1/70 - 10kA

측정 개폐기	전압 [kV]	비고
SW1	100.4	분기점
SW2	100.8	분기점
SW3	118.3	말단점
SW4	110.6	말단점
SW5	107.7	말단점

2.1.2 입상주 피뢰기 설치시 지중선로 과전압 해석

입상주에 피뢰기를 설치하였을 때 지중선로에 가혹한 조건을 고려하여 뇌격침입 거리를 20m로 선정하고 뇌격파형 및 뇌격전류의 크기를 변경하여 케이블의 분기점과 말단에 발생하는 뇌과전압을 정리하여 그림 2.2에 나타내었다. 지중선로를 구성하고 있는 분기점과 말단점에 발생하는 뇌과전압을 비교 할 때 분기점인 SW1, SW2에서는 5kA의 뇌격전류에서는 최고 86.3kV의 전압이 발생하였으며 10kA의 뇌격전류인 경우에는 100.8kV가 발생하였다. 이로서 케이블의 분기점이 말단에 비해 낮은 과전압이 발생하는 것으로 미루어 볼 때 말단의 보호가 우선적으로 필요한 것으로 사료된다. 또한 보호가 필요한 케이블의 말단 중에 SW3의 말단이 가장 높은 전압을 나타낸다. 따라서 SW3과 같은 조건의 말단의 보호가 우선으로 필요한 것으로 사료된다.

10kA의 뇌격전류에서는 뇌격파형의 시간특성과 관계 없이 모든 분기점과 말단에 100kV를 초과하는 전압이 발생한다. 이를 통하여 케이블에 피뢰기 등 보호설비를 설치하지 않을 경우 각 말단에서의 과전압이 100kV 이상으로 나타내게 된다. 따라서 각 말단에 효과적인 보호 대책의 방안으로 뇌과전압을 감쇠 시킬 수 있는 최적 위치에 피뢰기 설치가 필요한 것으로 사료된다.

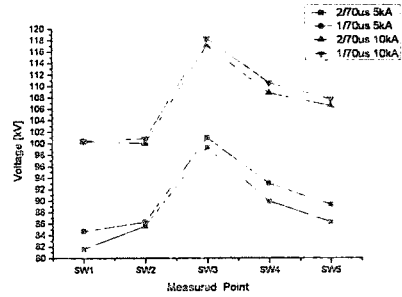


그림 2.2 입상주 피뢰기 설치시 SW 최대전압

2.2 입상주와 지중선로용 피뢰기 설치

2.1.1의 검토내용을 통해 케이블의 보호를 위해 지중선로의 말단 및 분기점에 대한 보호대책으로 최적위치에 피뢰기의 설치가 요구되는 것을 확인 하였다. 분기선로에서 가공선로의 접속점에서 가장 멀리 떨어진 SW3에서 다양한 조건에도 가장 높은 전압이 발생하였다. 따라서 가장 높이 상승되는 말단의 뇌과전압 감소를 위해 각 케이블의 말단과 분기점에 피뢰기를 설치하여 검토함으로써 선로의 모든 측정위치에서 가장 낮은 과전압이 발생하는 최적의 피뢰기 설치 위치를 선정할 필요가 있다.[12]

2.2.1 지중케이블 보호를 위한 피뢰기 설치 효과

가. 피뢰기를 말단에 설치한 후 과전압 분석

표 2.6 설치지점 SW3

측정 개폐기	전압 [kV]		비고
	5kA	10kA	
SW1	61.8	70.9	분기점
SW2	64.9	74.2	분기점
SW3	53.2	54.0	말단점
SW4	68.5	79.3	말단점
SW5	74.5	88.7	말단점

표 2.7 설치지점 SW4

측정 개폐기	전압 [kV]		비고
	5kA	10kA	
SW1	63.4	70.5	분기점
SW2	61.1	68.2	분기점
SW3	68.9	78.9	말단점
SW4	53.1	54.6	말단점
SW5	69.3	83.1	말단점

표 2.8 설치지점 SW5

측정 개폐기	전압 [kV]		비고
	5kA	10kA	
SW1	64.2	74.1	분기점
SW2	73.4	84.8	분기점
SW3	85.6	97.8	말단점
SW4	80.8	94.8	말단점
SW5	52.9	54.0	말단점

3. 결 론

나. 피뢰기를 분기점에 설치한 경우 과전압 분석

표 2.9 분기점 설치지점 SW1

측정 개폐기	전압 [kV]		비고
	5kA	10kA	
SW1	54.5	56.6	분기점
SW2	70.2	75.6	분기점
SW3	87.4	93.6	말단점
SW4	75.4	79.9	말단점
SW5	65.0	67.2	말단점

표 2.10 분기점 설치지점 SW2

측정 개폐기	전압 [kV]		비고
	5kA	10kA	
SW1	60.0	67.8	분기점
SW2	53.6	55.1	분기점
SW3	62.7	64.8	말단점
SW4	58.4	60.2	말단점
SW5	63.3	72.4	말단점

입상주 피뢰기에 가까운 케이블 말단에 피뢰기를 설치할 경우 가장 멀리 떨어진 케이블 말단의 과전압 감소를 위한 보호 효과가 부족하다. 또한 말단에 피뢰기를 설치해 측정된 표 2.6~2.8의 결과를 통해 가장 멀리 떨어진 SW3의 케이블 말단에 피뢰기를 설치하였을 경우 전체적인 과전압감소 효과는 향상되어 절연여유 확보에는 유효하다. 한편 SW5의 전압은 다소 높게 나타난다. 그러므로 지중선로에 동일한 피뢰기를 한 곳에 설치하였을 경우 효과가 높은 곳을 선택하여 설치하는 것이 필요하다.

전체적인 선로 과전압 감소와 케이블 스트레스 감소에 유리한 조건을 만족하기 위해 취약한 케이블 말단 두 곳을 동시에 수렴할 수 있는 지점에 피뢰기를 설치함으로써 높은 과전압 감쇠 효과를 얻을 수 있었다. 표 2.9~2.10은 분기점에 피뢰기를 설치하였을 때 측정된 전압이다. 계통도에서 높은 과전압이 발생되어 절연여유에 취약한 케이블 말단 SW3과 근접한 짧은 분기선로인 SW4가 연결된 SW2의 분기점에 피뢰기를 설치하였을 경우 케이블 말단을 비롯한 분기점과 같은 모든 측정점의 전압이 그림 2.3에서 나타낸 것과 같이 72kV 이하로 발생하여 보호효과가 가장 우수한 것으로 사료된다.

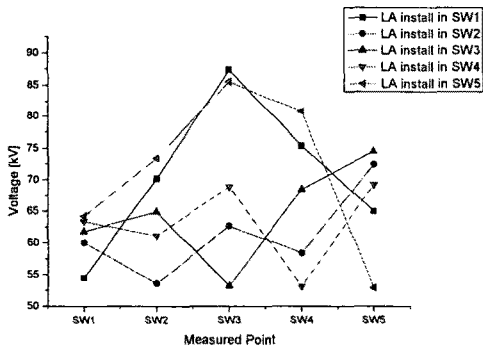


그림 2.3 피뢰기 설치에 따른 최대 발생전압 - 5kA

본 연구논문에서는 지중배전선로용 피뢰기를 사용해서 선로에 발생하는 과전압을 효과적으로 감소시키기 위한 방안으로 기존 입상주 피뢰기로 보호되는 지중배전선로에서 발생하는 과전압을 해석하였다. 또한 지중배전선로용 피뢰기를 각 말단과 분기점에 설치하였을 때를 해석하여 지중배전선로 보호를 위해 가장 효과적인 피뢰기 설치 위치를 비교, 검토 하였다. 검토결과를 정리 하면 아래와 같다.

(1) 입상주 피뢰기로 보호되는 지중배전케이블계통에서 뇌격시간의 조건이 1/70 μ s 일 때 케이블 말단에 BIL에 근접하는 118.3kV의 과전압이 발생하였다.

(2) 가장 멀리 떨어진 케이블 말단에 높은 과전압이 발생하므로 지중배전선로용 피뢰기를 케이블의 가장 원거리에 있는 말단에 설치하여 지중배전선로에 과전압 발생을 크게 감소 시켰다.

(3) 지중배전케이블이 분기되는 분기점 개폐기에는 지중배전용 피뢰기를 설치 할 경우 여유 공간이 부족할 가능성이 있다. 따라서 피뢰기설치를 위한 기기개발 등을 통해 분기점에 지중배전용 피뢰기를 설치할 조건이 갖추어진다면 가공선로 접속점에서 가장 원거리에 위치하는 케이블 말단과 동시에 또 다른 말단으로 연결되는 SW2와 같은 분기점에 피뢰기를 설치하는 것이 지중케이블 과전압 감소에 효과적이다.

본 논문은 산업자원부에서 시행한 전력산업 연구개발 사업 (R-2005-0-030)으로 수행 되었습니다.

[참 고 문 헌]

- [1] KEPCO, "배전계통 절연협조에 관한 연구", 2003
- [2] IEEE Std 1299/C62.221 Guide for the Connection of Surge Arresters to Protect Insulated, Shielded Electric Power Cable Systems , 1996
- [3] 기술연구원 "지중배전선 절연설계에 관한 연구" 1992.3
- [4] KEPCO, "설계기준 - 4906",1999
- [5] KEPCO, "설계기준 - 3500 (접지공사)", 1999
- [6] KEPCO, "설계기준 - 5300(지중구조물)",1999
- [7] KEPCO, "설계기준 - 5100(접지저항)", 1999
- [8] Electromagnetic Transient Program work book . EPRI EL-4651, pp 2149-6, 1986
- [9] Electromagnetic Transient Program Rule book vol 1 (1-11), 9-16
- [10] KEPCO, "설계기준 - 5001 총칙", 1999
- [11] KEPCO, "설계기준 - 5902 부록2", 1999
- [12] Cooper Power Systems "Surge Arrester" ,235-65