

지중송전케이블 뇌서지 유도현상 분석

정채균*, 강연욱*, 강지원*, 김두진**, 김재승**, 이동일*
KEPCO 전력연구원*, KEPCO**

Analysis of Induced Lightning Surge Phenomena on Underground Power Cables

Chae-Kyun Jung*, Yeon-Wook Kang*, Ji-Won Kang*, Doo-Jin kim**, Jae-Seung Kim**, Dong-II Lee*
KEPCO Research Institute*, KEPCO**

Abstract - This paper describes the analysis of induced lightning surge phenomena at underground power cables under construction when the lightning surge strikes at phase conductor of grounding wire of overhead line in service. Therefore, This paper proposes the optimal protection methods establishment against lightning surge induced from operating transmission.

1. 서 론

전력수요 증가와 더불어 경제성장 및 국민의식 수준의 향상으로 지중케이블의 건설은 해마다 증가하는 추세이며, 급격한 도시화, 산업화의 영향으로 기존의 가공선로의 일부 구간을 지중화 하면서 가공송전선로와 지중송전선로가 혼합된 혼합송전선로의 비중 또한 증가하고 있다[1].

이와 더불어 최근 한반도 지역에서도 기후변화의 영향으로 인한 낙뢰 발생빈도가 많아지면서 지중케이블 구간에서 발생하는 뇌서지 영향에 많은 관심을 보이고 있다. 실제로, KEPCO에서 발간한 “2010년 송전설비 고장분석 및 대책”보고서[2]에 의하면 1996년 이후 연도별 고장원인을 분석한 결과 전체 고장건수 중 낙뢰에 의한 고장이 60~80%를 차지하고 있는 것으로 나타났으며, 2009년과 2010년에는 전체 고장 중 낙뢰에 의한 고장건수가 차지하는 비중이 76.3%와 83.3%로 매우 높은 것으로 분석되었다. 또한 1996년부터 관측된 연도별 낙뢰 발생 현황도 해가 거듭할수록 증가하고 있는 것으로 나타났다[3].

이와 관련하여 지중케이블 구간에서도 피뢰기 및 절연접속함에서 접속함 및 방직층 보호를 위해 설치하는 시스전압제한기 등 다양한 뇌서지 보호방안이 적용되고 있다. 그러나, 다회선의 혼합송전선로 구간 중 신설 및 이설로 인해 작업 중인 케이블 구간에 인접선로에서 발생한 뇌서지의 영향이 유도되면서 나타나는 현상과 같은 특수한 상황을 고려한 뇌서지 연구는 현재까지 진행되지 않았다. 공사중인 케이블 구간에서는 완벽한 뇌서지 보호방안이 적용될 수 없는 한계가 있을 뿐 아니라, 현재 낙뢰에 의한 고장발생 건수 및 신규 및 이설을 위한 지중케이블 공사가 증가하고 있는 추세로 볼 때 이에 대한 검토가 필요할 것으로 사료된다.

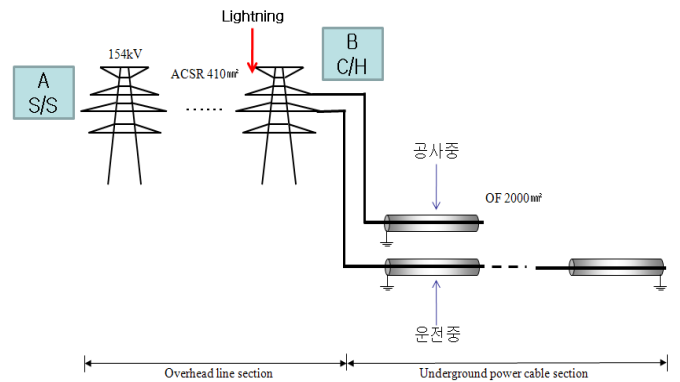
따라서 본 논문에서는 동일 첩탑 및 전력구에서 정상적으로 운전 중인 선로와 공사 중인 선로가 혼재 될 때 정상적으로 운전 중인 선로에 뇌서지 침입시 공사 중인 선로에 유도되는 뇌서지의 영향을 분석하여 시공시 뇌서지에 의한 영향을 최소화 할 수 있는 방안을 제시하고자 한다.

2. 모델계통

그림 1에서는 지중케이블 뇌서지 유도현상 분석을 위한 모델계통을 나타내었다. 그림에서처럼 154kV ACSR 410mm²와 OF 2000mm²가 혼합된 2회선의 혼합송전선로이며, 이 중 한 T/L은 정상적으로 운전 중인 선로이며, 나머지 한 T/L은 공사 중인 T/L이다. 가공선로의 총 길이는 2km이며, 공사 중인 T/L 지중선로구간 길이는 600m, 정상운전 중인 T/L의 지중선로구간 길이는 2.1km로 가정하였다. 공사 중인 T/L의 케이블 구간의 말단을 접속을 위해 절단해 놓은 상태이며 약 300m 지점에서 절연접속함 1개가 있는 구조이다.

뇌서지는 케이블 헤드에서 1.2km 떨어진 지점에서 차폐실패에 의해 정상적으로 운전 중인 선로의 상도체 A상에 침입한 것으로 가정하였으며, 뇌격전류는 12kA, 파형은 2/70μs를 적용하였다.

또한 OF케이블의 절연유가 없는 공사 중인 케이블 특성상 정상 운전 중인 케이블과 공사 중인 케이블의 유전율을 각각 1.6과 3.4로 다르게 적용하였으며, 유전율 변화에 따른 뇌서지 영향에 대해서도 검토하였다. 본 논문에서 분석한 모든 뇌서지 유도현상은 EMTP를 이용하였으며 모든 경우에서 피뢰기는 정상적으로 설치된 것으로 하였다.

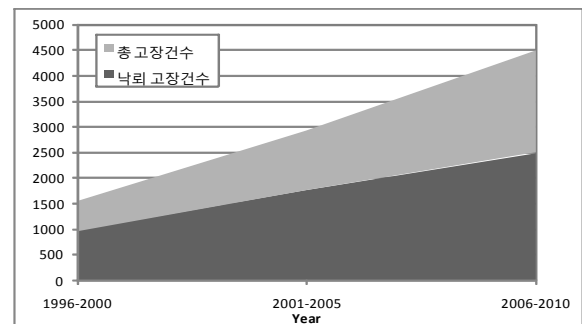


<그림 1> 모델계통

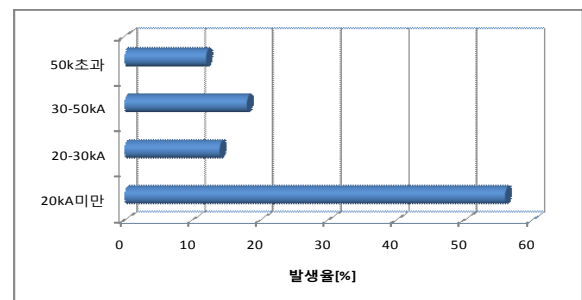
3. 국내 낙뢰고장 현황

그림 2에서는 국내 송전선로 총 고장건수 대비 낙뢰에 의한 고장비율을 나타내었다. 그림에서처럼 낙뢰에 의한 고장은 해마다 증가하는 추세이며, 낙뢰가 상도체나 가공지선, 첩탑으로 침입시 차폐실패나 역설락에 의해 트립고장이 발생하게 된다. 그림 3의 154kV 송전선로의 뇌격전류별 분석을 보면 50kA를 초과하는 비중은 약 10%로 역설락 보다는 차폐실패에 의한 고장대책이 필요하다고 판단된다.

따라서, 본 논문에서는 12kA의 낮은 뇌격전류를 가지는 차폐실패의 경우를 분석 대상으로 하였다.



<그림 2> 국내 송전선로 낙뢰고장 건수



<그림 3> 뇌격전류 분포(154kV 송전선로)

4. 뇌서지 침입에 따른 유도현상 분석

본 논문에서는 먼저 정상적으로 운전중인 케이블에 뇌서지 침입시 공사중인 케이블 말단부에서의 뇌서지 영향에 대해 분석하였다. Case 1-1은 공사중인 T/L의 A S/S 도체 말단을 접지한 경우이며, Case 1-2는 접지를 시행한 경우이며, Case 1-3과 1-4는 Case 1-1과 1-2와 동일하나 OF 케이블 절연체 비유전율을 1.6으로 변경한 경우이다. 표 1에서는 Case 1-1 ~ Case 1-4의 해석결과를 나타내었다. A S/S에서 상도체 접지 및 분리에 따른 영향은 크게 나타나고 있으나(Case 1-1, Case 1-2 참조), 접지 시행시에도 도체-시스간에 174 kV가 발생하였다. 또한 공사중인 OF케이블 감안하여 유전율을 1.6으로 변경하여 분석한 Case 1-3에서는 상도체 부분의 전압이 301kV로 크게 상승하였다. 일반적으로 비유전율이 작아지면 커패시턴스 값이 작아지면서 서지 임피던스는 커진다. 따라서, 뇌격 전류침입시 케이블에 발생하는 과전압은 증가하는 특성이 있다. 따라서, 정상적으로 운전중인 선로에 뇌서지 침입시 공사중인 선로에도 상당 부분 뇌서지가 유도되며 공사중인 선로에서도 시공시 뇌서지 차폐를 위한 대책이 필요할 것으로 사료된다.

〈표 1〉 뇌과전압 분석(Case 1-1 ~ Case 1-4)

Case	뇌과전압[kV]		
	상도체	시스	도체-시스간
Case 1-1	179	29	174
Case 1-2	326	21.7	326
Case 1-3	301	26	305
Case 1-4	332	26	331

다음으로 B C/H에서 공사중인 T/L 도체를 접지하지 않은 경우에 대해 분석하였다. 분석을 위해 설정한 Case는 다음과 같다.

- . Case 2-1 : B C/H 상도체 접지, A S/S 상도체 접지
- . Case 2-2 : B C/H 상도체 접지, A S/S 상도체 분리
- . Case 2-3, Case 2-4 : Case 2-1과 Case 2-2와 동일. 단, 유전율 1.6 적용

표 2에서는 공사중인 선로의 케이블 말단부 도체 및 시스에 대한 접지는 시행하지 않고, B C/H의 상도체부를 접지한 후 A S/S의 도체 접지를 각각 시행하거나 분리할 경우 케이블 말단부의 도체 및 알루미늄 시스에 유도되어 발생하는 과전압에 대한 분석하였다.

표에서처럼, B C/H 도체를 접지한 결과 Case 2-1과 Case 2-2에서 도체-시스간 과전압이 최대 3.23 kV로 Case 1-1과 Case 1-2에 비해 뇌과전압이 매우 감소하였으며, Case 2-3과 Case 2-4에서는 낮은 유전율(1.6)의 영향으로 과전압이 약간 상승함을 알 수 있다.

〈표 2〉 뇌과전압 분석(Case 2-1 ~ Case 2-4)

Case	뇌과전압[kV]		
	상도체	시스	도체-시스간
Case 2-1	8.2	8.4	2.2
Case 2-2	11	10.6	3.23
Case 2-3	22.3	20.4	13.8
Case 2-4	24	22.4	13.4

다음으로 공사중인 T/L 도체와 B C/H를 모두 접지한 경우에 대해 분석하였으며, 분석을 위해 설정한 Case는 다음과 같다.

- . Case 3-1 : B C/H 상도체 접지, A S/S 상도체 접지
- . Case 3-2 : B C/H 상도체 접지, A S/S 상도체 분리
- . Case 3-3, Case 3-4 : Case 3-1과 Case 3-2와 동일. 단, 유전율 1.6 적용

표 3에서는 공사중인 선로의 케이블 말단부 도체 및 시스에 대한 접지를 시행하고, B C/H의 상도체부를 접지한 후 A S/S의 도체 접지를 각각 시행하거나 분리할 경우 케이블 말단부의 도체 및 알루미늄 시스

에 유도되어 발생하는 과전압에 대한 분석하였다.

표에서처럼, 절단면 말단 도체 및 시스를 접지한 결과 Case 3-1 ~ Case 3-4에서 도체-시스간 과전압은 접지로 인한 도체-시스간 동전위 형성으로 과전압이 발생하지 않는 것으로 나타났다.

〈표 3〉 뇌과전압 분석(Case 3-1 ~ Case 3-4)

Case	뇌과전압[kV]		
	상도체	시스	도체-시스간
Case 3-1	11.7	11.7	0
Case 3-2	11.5	11.5	0
Case 3-3	11.7	11.7	0
Case 3-4	11.7	11.7	0

표에서처럼, 공사중인 케이블의 절단면의 도체 및 시스를 공동접지할 경우 모든 Case에서 A S/S 도체부 접지 여부에 관계 없이 11.5kV와 11.7kV로 일정한 값을 보이고 있음을 알 수 있다.

따라서 뇌서지 침입에 따라 케이블 절단면 말단에서 발생하는 과전압을 억제하기 위해서는 절단면 도체 및 시스에 대한 접지를 시행하는 것이 차폐효과를 극대화 할 수 있는 것으로 사료된다.

5. 결 론

본 논문에서는 동일 철탑 및 지하 전력구에서 정상적으로 운전 중인 선로와 공사중인 선로가 혼재 될 때 정상적으로 운전중인 선로에 뇌서지 침입시 공사중인 선로에 유도되는 뇌서지의 영향을 분석하여 시공시 뇌서지에 의한 영향을 최소화 할 수 있는 방안을 제시하고자 하였으며, 본 논문의 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 정상적으로 운전중인 송전선로 상도체 A상에 뇌서지 침입시, A S/S 부분에서만 접지를 시행한 경우 최대 174 kV의 과전압이 발생함에 따라 절단면 말단부에서 도체-시스간 아크 발생 가능성도 있을 것으로 판단되며, OF 케이블이 공사중인 것을 감안해 유전율의 변경도 고려할 경우 절단면에서 발생하는 과전압의 크기는 배가되어 아크발생 및 이에 따른 도체 용융 가능성이 커질 것으로 판단된다. (Case 1-1 ~ Case 1-4 참조)
- 2) B C/H 도체를 접지한 결과 Case 2-1과 Case 2-2에서 도체-시스간 과전압이 최대 3.23 kV로 Case 1-1과 Case 1-2에 비해 뇌과전압이 매우 감소하였으며, 유전율이 1.6인 Case 2-3과 Case 2-4에서는 낮은 유전율의 영향으로 과전압이 약간 상승함을 알 수 있다.
- 3) 이에 대한 대책방안으로는 따라서 뇌서지 침입에 따라 케이블 절단면 말단에서 유도되어 발생하는 과전압을 억제하기 위해서는 절단면 도체 및 시스에 대한 접지를 시행하는 것이 뇌서지 차폐효과를 극대화 할 수 있는 것으로 판단된다.

[참 고 문 헌]

- [1] KEPCO 송변전건설처, “지중송전케이블시스템”, 2002. 12
- [2] 광주식, 우정욱, 김경탁, 구교선, 권동진, “2010년도 낙뢰 관측 데이터 분석” 2011년 대한전기학회 고전압 및 방전응용 기술연구회 춘계학술대회 논문집, 2011.5
- [3] 강연욱, 양병모, 장태인, 강지원, 김경호, 김호기, “국내 송전선로 낙뢰고장 분석 및 내뢰대책 검토”, 2011년 대한전기학회 고전압 및 방전응용 기술연구회 춘계학술대회 논문집, 2011.5