

절연내전압 증대를 통한 낙뢰고장 저감효과 분석

민병욱, 김대영, 박봉규, 최진성, 강연욱, 박광욱, 배현권
한국전력공사

Analysis on Effect of the lightning faults reduction through increase of the insulation strength

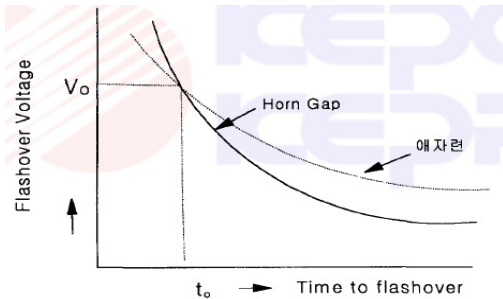
Yeon-Woog Kang, Byeong-Wook Min, Tai-Young Kim, Bong-Gyu Park, Jin-Sung Choi, Kwang-Uk Park, Hyun-Kwon Bae
Korea Electric Power Corporation

Abstract - 최근 15년간의 우리나라에 발생했던 낙뢰데이터를 분석해 보면 매년 낙뢰빈도와 낙뢰크기가 증가하고 있다. 154kV 송전선로의 경우 낙뢰고장률이 '01년도 0.93건/c·km·년에서 '10년도 2.75건/c·km·년으로 급증하였다.

이에 낙뢰고장을 저감하기 위한 다방면의 검토가 요구되고 있다. 본 논문에서는 낙뢰고장 저감 대책 중 하나로 낙뢰고장의 다수를 차지하고 있는 역섬락을 감소시키기 위하여 역섬락을 발생시키는 절연거리를 증가시키는 방안을 검토해보고자 한다. 또한 현재 운영 중인 아킹혼 설치기준 및 애자련 보호효과 등에 대해서도 체계적인 검토가 필요한 시점이다.

1. 서 론

아킹혼은 낙뢰로부터 애자를 효율적으로 보호하기 위한 장치로서 혼능률(애자련 길이와 혼간격의 비율)에 의해 성능이 좌우된다. 아킹혼은 아래의 <그림 1>과 같이 혼갭과 애자련의 서로 다른 V-t 특성에 의해 대부분의 경우 혼갭에서 애자련보다 섬락이 빠른 시점에 발생하므로 아크로부터 애자를 보호하게 된다. 그러나 급준파의 뇌격인 경우에는 아킹혼이 있어도 애자 연면에서 섬락이 발생하게 되는데 이때의 섬락전압을 임계통락전압(Critical Cascading flashover voltage)이라 한다.



<그림 1> 혼갭과 애자련의 V-t 특성

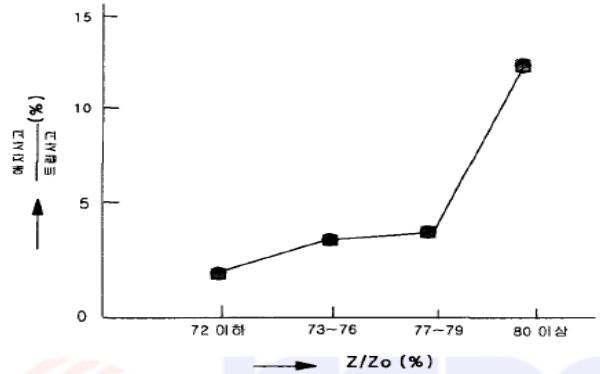
애자련 섬락을 방지하기 위해서 혼능률을 너무 낮게 적용하게 되면 낙뢰에 의한 사고율이 증가하게 되고, 너무 높게 적용하게 되면 애자련 섬락고장이 증가하게 된다. 따라서 혼능률을 적정하게 선정하는 것은 설비 보호와 낙뢰고장 감소에 상당히 중요한 요소임을 알 수 있다.

2. 본 론

2.1 애자섬락 고장통계

아킹혼의 적정 혼능률을 정하는 것은 매우 어려운 문제이며, 이와 관련된 이론이 정립되지 않았으며, “송전선로 애자련 보호대책에 관한 연구”, “154kV 송전선로 아킹혼 효과분석 및 오손지역용 아킹혼 설계” 등 아킹혼 간격 및 혼능률에 대해서는 연구가 진행되었었다.

일본의 경우에는 적절한 혼능률 결정을 위해 아킹혼 운영실적 분석자료를 활용하였는데, 일본의 동경전력, 관서전력, 중부전력에서 발생한 섬락사고를 종합분석하여 <그림 2>와 같이 혼능률에 따른 애자사고 발생 비율을 산출하였다. 그 결과에 따르면 아킹혼의 혼능률은 75~80%가 적정함을 알 수 있으며, 상기의 연구보고서에서도 이 자료를 근거로 154kV 송전선로의 적정 혼능률을 76%로 정하였고, 애자수량에 관계없이 아킹혼 간격을 1,120[mm]로 일정하게 적용하여 운영하고 있다.



<그림 2> 혼능률에 따른 애자 사고율 (일본)

우리나라의 경우도 일본과 같이 최근 4년간의 아킹혼 섬락 및 애자섬락 고장의 비율을 통계적으로 분석하였으며 그 결과는 <표 1>에서 보여주고 있다.

<표 1> 연도별 애자섬락 고장률

구 분	2007년	2008년	2009년	2010년	평균
아킹혼섬락(건)	292	171	214	402	270
애자 섬락(건)	16	8	12	16	13
합 계(건)	308	179	226	418	283
애자섬락 점유율	5.2%	4.5%	5.3%	3.8%	4.6%

<표 2>에서 알 수 있듯이 아킹혼에 의한 애자보호 효과는 95%정도로 적절한 애자련 보호효과를 나타내고 있다.

2.2 아킹혼 간격 운영현황

현재 우리나라에서는 154kV와 345kV의 아킹혼 설치개념이 상이하다. 154kV 송전선로 아킹혼은 애자 수량에 관계없이 1,120mm 간격을 유지하며 애자수량에 따라 아킹혼 장치를 별도로 구매하여 설치하고 있다. 이에 반해 345kV 송전선로의 아킹혼은 2,340mm를 기준으로 하나 애자수량이 늘어남에 따라 아킹혼 간격이 늘어난다. 국내의 전압별 아킹혼 설치기준은 다음 <표2>와 같다.

<표 2> 전압별 아킹혼 운영현황

○ 154kV 아킹혼 설치기준

애자수량	10개	11개	12개	13개	14개
아킹혼간격(mm)	1,120	1,120	1,120	1,120	1,120
애자련길이(mm)	1,460	1,606	1,752	1,898	2,044
혼능률(%)	76.7	69.7	63.9	59.0	54.7

○ 345kV 아킹혼 설치기준

애자수량	16개	17개	19개	22개
아킹혼간격(mm)	2,340	2,535	2,935	3,510
애자련길이(mm)	3,120	3,315	3,705	4,290
혼능률(%)	75.0	76.5	79.2	81.8

2.3 아킹혼 간격 조정 검토조건

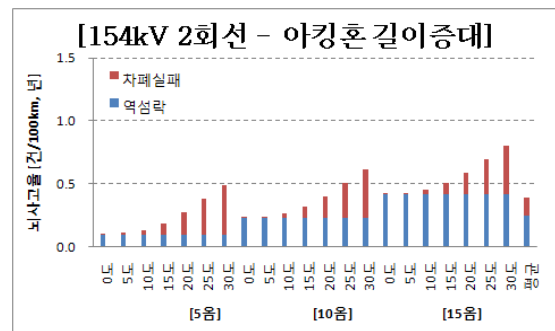
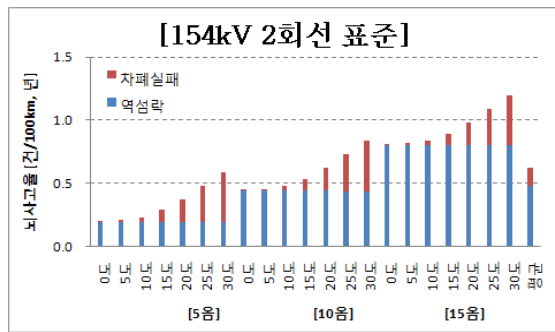
본 검토에서는 적절한 혼 높이를 유지하고, 애자수량 증가에 맞춰 아킹혼 간격을 증대함으로써 154kV 송전선로 낙뢰고장 저감효과를 분석하고자 한다. 현재 154kV 송전선로의 아킹혼 간격은 1,120[mm]로 일정하게 적용하고 있으나 절탑 모형의 변경 없이 애자증결 및 적정 혼높을 76.5%의 적용을 통해 아킹혼 간격을 증가시킴으로써 절연내력을 향상시켜 낙뢰사고를 저감할 수 있다. 검토조건은 <표 3>과 같다.

<표 3> 아킹혼 간격 조정 검토 조건

검토조건	기 준			개선(안)		
	애자 수량	혼높 (mm)	혼간격 (mm)	애자 수량	혼높 (mm)	혼간격 (mm)
Case 1	10	76.7	1,120	11	76.5	1,230
Case 2	10	76.7	1,120	12	76.5	1,340
Case 3	11	69.7	1,120	12	76.5	1,340
Case 4	12	63.9	1,120	12	76.5	1,340
Case 5	14	54.8	1,120	14	76.3	1,560
Case 6	16	47.9	1,120	16	76.2	1,780

2.4 시뮬레이션 결과

아킹혼 길이를 증가시킴에 따라 역섬락 고장은 약 50% 감소하는 특성을 보이고 있으며 그림 3은 대기경사각에 따른 차폐실패와 역섬락고장의 감소폭을 시각적으로 도식화하였다.



<그림 3> 154kV 2회선 송전선로 아킹혼 길이에 따른 뇌사고율 비교

2.3 아킹혼 간격 조정 검토조건에서의 CASE1~CASE6의 조건에 따른 뇌사고율을 154kV의 2회선과 4회선으로 구분하여 그 결과를 산출하였고 그 결과는 <표 4>와 같다.

<표 4> 아킹혼 간격 증대에 따른 뇌사고율 저감효과

검토 조건	154kV 2회선			154kV 4회선		
	역섬락	차폐실패	사고율	역섬락	차폐실패	사고율
Case 1	26.7%	1.3%	20.2%	26.6%	0.4%	15.5%
Case 2	44.3%	2.8%	33.6%	43.3%	1.0%	25.4%
Case 3	39.8%	3.6%	31.6%	43.1%	1.2%	26.9%
Case 4	43.8%	3.0%	36.5%	47.1%	1.2%	30.6%
Case 5	65.8%	5.5%	50.7%	64.9%	2.3%	38.6%
Case 6	77.5%	9.8%	60.5%	77.1%	4.1%	46.4%
평 균	49.6%	4.3%	38.9%	50.3%	1.7%	30.6%

<표 4>의 결과와 같이 오손지구별로 1개 애자면에 설치된 애자수량에 무관하게 아킹혼 간격을 혼높을 기준으로 통일화한 결과 154kV 2회선의 경우 약 39%, 4회선의 경우 약 31%의 뇌사고율 저감효과를 나타냈다. 혼높이는 애자면 보호 효과를 보증하는 한도내에서 오손지구에 관계없이 일정하게 운영하는 것이 낙뢰고장을 최소화하는 방안임을 시뮬레이션을 통하여 알 수 있었다.

2.5 아킹혼 편회선 설치 필요성

송전설비 운영 현장에서는 아킹혼 편회선 설치를 통한 차등절연을 시행할 계획이지만, 검토결과 편회선 설치의 효과는 미비한 것으로 나타났다. 아킹혼 길이와 아킹혼이 없는 애자면의 길이와의 편차 정도로 역섬락을 현저히 줄여줄 정도의 차이는 아니며 오히려 미설치 부분에서의 애자면 탈락으로 영구고장 발생 가능성이 높아진다.

따라서 아킹혼 편회선 설치는 적용에 따른 효과가 거의 없으므로, 대안으로 한쪽은 아킹혼, 다른 한쪽은 송전선로용 피뢰기를 설치하는 방안이 최적의 방법이라 할 수 있다.

3. 결 론

본 논문에서는 낙뢰에 의해 자주 발생하는 역섬락 고장을 줄이기 위한 노력의 일환으로 절연내전압 증대를 고안하였다. 절연설계기준의 변경이 없는 조건에서 낙뢰고장을 저감하기 위한 방안으로는 애자증결을 통하여 아킹혼 간격을 조정하는 것이다.

154kV 송전선로의 경우 오손지구에 따라 아킹혼 간격을 1,120mm으로 일정하게 운영하고 있어 애자수량이 증가함에 따라 아킹혼 급구를 별도로 구매해야 번거로움뿐 아니라 오손지구별로 뇌사고율이 급격히 증가하는 문제도 있었다.

이를 혼높을 76.5%로 통일화하여 검토한 결과 뇌사고율을 30~39%까지 줄일 수 있었다. 또 아킹혼은 설치 목적인 애자면 보호를 위해 2회선 동시설치가 필요하며, 한쪽 회선에 송전용 피뢰기를 설치하면 양회선 동시고장 예방과 더불어 차등절연의 효과도 얻을 수 있다.

[참 고 문 헌]

- [1] Andrew R. Hileman, "Shielding of Transmission Lines", Chapter 7 of Insulation Coordination for Power System, Marcel Dekker, Inc, NY, 1999.
- [2] 강연욱, 박주식, "대기경사각을 고려한 차폐실패 사고율 검토", 대한전기학회 제36회 하계학술대회 논문집, A, pp. 615~617, 2005.
- [3] 강연욱, 박주식, "낙뢰에 의한 송전선로의 차폐실패 사고율 계산 알고리즘 검토", 대한전기학회 제36회 하계학술대회 논문집, A, pp. 621~623, 2005.
- [3] J.G. Anderson, "Lightning Performance of Transmission Lines", Chapter 12 of Transmission Line Reference Book 345kV and Above. Second Edition, Electric Power Research Institute, Palo Alto, CA, 1987.
- [4] P. Chowdhuri, "Direct Lightning Strokes to Overhead Lines with Shield Wires", Chapter 7 of Electromagnetic Transients in Power Systems, Research Studies Press LTD, 2004.