Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers Vol. 23, No.12, pp. 162~168 December 2009 논문 23-12-19

과전압 분석 결과와 고장특성을 고려한 기설 송전선로의 절연보강 방법에 관한 연구

(A Study on Insulation Performance Enhancement of Existing Transmission Line Considering Overvoltage Analysis Result and Fault Characteristic)

곽주식* · 우정욱 · 구교선 · 김경탁 · 권동진

(Joo-Sik Kwak · Jung-Woog Woo · Kyo-Sun Koo · Kyung-Tak Kim · Dong-Jin Kweon)

요 약

본 논문은 이미 표준 절연설계 값으로 건설되어 운전중인 송전선로의 절연거리를 과전압분석결과, 뇌사고 및 오손 고장 확률과 특성을 고려하여 재설계하고 소요 애자수량을 결정하기 위하여 수행된 연구결과이다. 송전선로의 절연성능을 훼손하지 않으면서 적절한 절연거리를 확보하기 위하여 EMTP 모델을 이용하여 선로에서 발생 가능한 최대 과전압을 계산하고, 뇌 고장실적 및 뇌사고율 예측계산결과와 오손 고장 확률을 조사 분석하였다. 분석결과로부터 고장 특성을 고려한 소요 애자수량의 결정방법을 제시한다.

Abstract

This paper describes a study that is to redesign insulation of transmission lines and determine required the numbers of insulators in order to enhance the insulation performance of existing transmission lines which were constructed with standard insulation design, considering overvoltage analysis results, probabilities and characteristics of faults. To ensure proper insulation distance without deteriorating the required performance, EMTP model is established to calculate maximum overvoltage in the line. The fault records and predicted outage rates due to lightning and contamination in the line were investigated and analyzed respectively. It presents a method to determine the numbers of insulators considering the probability and the characteristic of fault.

Key Words : Insulation, TOV, Switching Overvoltage, Lightning Overvoltage, EMTP

1. 서 론

가공 송전선로는 낙뢰, 태풍, 염진해 오손, 짙은 안개, 빙설해, 지진 등 외부의 자연현상의 영향에 항시 노출되어 있다. 이러한 요인들이 송전선로의 절연성능을 일시적 혹은 영구적으로 손상시키게 되면 정상

* 주저자 : 한국전력공사 전력연구원 송배전연구소 선임연구원
Tel : 042-865-5893, Fax : 042-865-5809
E-mail : joosiki@kepco.co.kr
접수일자 : 2009년 9월 10일
1차심사 : 2009년 9월 15일, 2차심사 : 2009년 11월 11일
심사완료 : 2009년 11월 20일

적인 전력 수송에 지장이 발생한다. KEPCO의 2008년 통계에 따르면 낙뢰가 고장의 가장 큰 원인으로 송전고장의 79.6[%]를 차지하고 있다. 다음으로 염진해 고장이 1.0[%], 짙은 안개 0.8[%], 풍우가 0.5[%]를 차지하고 있다[1]. 일반적으로 송전선로는 이러한 위험 요인별로 고장발생 확률을 합리적인 수준으로 억제하도록 설계된다. 송전선로의 절연거리는 선로의 운전중 발생 가능한 여러 과전압 상황에 대하여 충분한 절연을 확보할 수 있어야 한다. 절연설계를 위해서 선로에서 발생 가능한 최대 전압과 발생확률을 예측하는 것이 필요하다. 과전압은 크게 상용주파 과전압, 개폐 과전압, 뇌 과전압으로 구분한다. 이러한 과전압의 최댓값은 접지방식, 도체의 배치, 선로길이 등에 따라 다르게 나타나지만 과전압의 평균과 표준편차의 통계 값으로부터 전압 계급별로 표준화된 과전압 배수를 사용하는 것이 일반적이다.

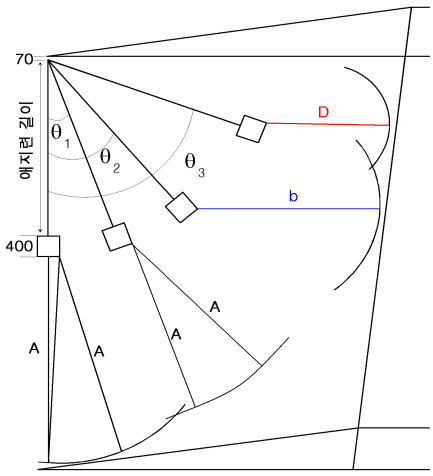
본 논문은 이미 표준 절연설계 값으로 건설되어 운전중인 송전선로의 절연거리를 과전압분석, 뇌사고율, 오손 고장 확률을 고려하여 재설계하고 소요애자수량을 결정하기 위하여 수행된 연구결과이다. 대상 송전선로들은 염해 오손고장 실적이 있는 지역에 밀집되어 있으며 대규모 발전 전력을 수송하고 있다. 이 선로들에는 염해 오손고장을 억제하는 목적으로 반도전성 애자가 사용되고 있었다. 최근 사용중인 반도전성 애자와 동일한 제작사의 애자에 균열이 생기거나 파손되는 고장사례가 외국의 전력사들에서 발생하였고 애자 제작사에서 동종애자의 결함 발생가능성을 확인하였다. 대상선로들에서 애자의 결함이나 고장이 발생하지 않았지만 고장 가능성이 예상되어 반도전성 애자를 일반 애자로 교체하게 되었다. 이 과정에서 철탑의 설계변경은 허용하지 않는 조건에서 고장발생이 최소화되는 절연성능 보강방법의 연구가 요구되었고 주요한 인자인 뇌 고장확률과 오손 고장확률을 고려한 절연설계 연구의 동기가 되었다. 송전선로의 절연성능을 훼손하지 않으면서 적절한 절연거리를 확보하기 위하여 각 선로별로 발생 가능한 최대 과전압을 계산하고, 뇌 고장실적과 뇌사고율 예측계산결과 오손 고장 확률을 고려하여 절연거리와 소요 애자수량의 결정방법을 제시하고자 한다.

2. 본 론

2.1 가공 송전선로의 절연거리

그림 1은 송전선로에서 발생할 수 있는 과전압들의 종류와 바람에 의한 도체의 횡진시 요구되는 철탑의 절연거리에 대한 사항을 보여주고 있다. 상용주파 과전압, 개폐과전압, 뇌 과전압 중에서 뇌 과전압을 고려하여 전선과 하부 철탑체와의 절연거리 A가 결정이 되며, 선로의 개폐과전압으로부터 절연거리 b, 그리고 도체 횡진이 크게 나타나는 경우를 고려한 절연거리 D는 상용주파 일시전압상승에 견딜 수 있는 값으로 결정되어진다.

그림 1에서 도체의 횡진각 Θ1=20[°], Θ2=40[°], Θ3=70[°]은 바람에 의하여 전선이 수평방향으로 움직일 수 있는 최대 허용범위이다. 횡진이 발생하면 전선은 철탑체와의 거리가 짧아지게 된다. 바람이 없는 경우 횡진각은 20[°]까지 허용될 수 있으며 풍속이 20[m/s]인 경우에는 40[°], 풍속이 36.6[m/s]인 경우 70[°]까지 횡진에 대하여 절연이 확보될 수 있



A : 뇌과전압에 대한 절연 거리
b : 개폐과전압에 대한 절연거리
D : 상용주파 과전압에 대한 절연거리
θ1=20(°), θ2=40(°), θ3=70(°) : 바람에 의한 도체 횡진각도

그림 1. 345[kV] 4도체 현수형 철탑의 Clearance diagram
Fig. 1. Clearance diagram of 345[kV] 4-bundle suspension tower

도록 전력회사의 설계기준으로 규정하고 있다[2].

공기절연특성을 살펴보면, 아킹혼간의 공기절연특성과 절연거리 A에 해당하는 공기절연특성은 각각 봉-봉(도체-도체) 및 봉-평판(도체-철탑)의 사이의 섬락특성에 해당한다. 아킹혼간의 섬락전압이 A 사이의 섬락전압보다 높은 특성을 보이므로 뇌과전압을 아킹혼(Z)으로 유도하기 위해서는 아킹혼 간격과 A의 길이가 다음의 관계를 만족하도록 결정되어져야 하며 KEPCO의 설계기준에서 적용하고 있는 관계이다[2].

$$\text{표준절연간격}(A) \geq 1.115Z + 0.021\,[\text{m}] \quad (1)$$

대상 송전선로들에서는 철탑의 변경을 고려하지 않고 있으므로 애자를 증결할 경우 애자련 길이와 아킹혼 간격(Z)이 증가하면서 그림 1의 절연거리 A가 감소하는 것을 피할 수 없게 된다. 이로부터 A 길이의 감소분만큼 뇌 섬락 고장 가능성이 증가를 예상할 수 있다. 본 연구에서는 급속오손에 의한 섬락고장시의 계통 파급정도와 뇌 고장발생시의 파급정도를 고려하여 애자 증결시 길이 A가 감소하는 한계를 산정하였다. 그 한계 값은 개폐과전압에 견딜 수 있는 수준까지로 절연거리 b에 해당하며 이 값은 선로에서 발생 가능한 개폐과전압의 최대값으로부터 결정되어진다. 대상 선로에 적용한 절연거리는 충분한 마진을 고려한 표준 설계안에서 설정한 과전압 배수를 적용하였으므로 대상 선로들의 과전압배수의 여유 마진을 확인할 필요가 있다.

2.2 과전압 배수

표 1에 연구대상 송전선들의 길이와 과전압 계산에 필요한 정보들이 요약되어 있다. 해당 송전선로들에서 발생 가능한 최대 과전압을 계산하기 위해 전자기과도해석프로그램(EMTP)으로 선로 모델을 구성하였다. 상용주파 과전압을 계산하기 위한 선로들은 60[Hz]에서의 EMTP의 주파수 독립모델을 이용하여 표현되었으며 개폐과전압의 경우에는 해당 선로 길이에 대응하는 개폐 써지 주파수 영역에서의 임피던스로 모델링하였다.

표 1. 송전선로 파라미터
Table 1. Parameters of Transmission lines

전압	선로	회선	선로 길이[m]	전력선	번들	가공지선
345 [kV]	A	2	79,235	ACSR 480	4B	2
	B	2	23,054	ACSR 480	2B	2
	C	2	21,225	ACSR 480	4B	2
	D	1	552	ACSR/AW 480	4B	2
	E	2	52,104	ACSR 480	4B	2
154 [kV]	F	2	11,265	HSTCIR/AW 410	S	1
	G	2	4,770	ACSR 410	2B	2
	H	2	2,179	ACSR 410	2B	2

각각의 송전선로들은 전체 선로길이의 10[%]에 해당하는 위치별로 1선 지락고장이 발생시켜가면서 발생하는 과전압의 최대값을 조사하였다. 개폐과전압은 1선 지락 고장순간의 과전압 지락고장이 제거되는 순간의 과전압, 선로의 가압시의 투입과전압, 재폐로 동작시의 재투입과전압의 4가지 조건별로 각각 계산되었다. 최대 개폐과전압은 개폐동작 시점에 따라 다르게 나타나므로 각각의 계산은 100회씩 반복수행하여 얻은 평균에 표준편차의 3배를 고려하여 계산되었다.

그림 2에는 대상 선로의 구간을 각각 10등분하고 각 10[%] 위치별로 1선 지락 고장이 발생한 경우를 상정하여 그 때 발생하는 최대 과전압을 보여준다. 대체로 선로중앙부분에서 과전압이 크게 발생하고 선로 말단에서는 낮아지는 경향이 나타난다.

표 2에는 EMTP를 이용한 과전압 계산결과가 정리되어 있다. 상용주파 과전압은 1선 지락 고장시 건전상의 최대 전압상승정도이다. 4개의 345[kV] 선로 중에서 가장 긴 A 선로에서 1.173[p.u.] 최대 값을 보였다. 154[kV] 선로에서는 1.161[p.u.]의 전압상승이 있는 것으로 계산되었다.

대상 345[kV] 송전선로에 발생하는 최대 개폐과전압은 1.877[p.u.]이어서 1.9[p.u.]를 과전압 배수로 선정하였다. 이 값은 KEPCO의 설계기준 적용값 2.5[p.u.] 보다 낮은 값이다. 154[kV] 송전선로의 경우도 최대 과전압은 재투입시에 2.103[p.u.] 발생하였으며 2.1[p.u.]를 과전압 배수로 선정하였다. 이 값

도 설계기준 3.3[p.u.] 보다 낮은 값이다. 따라서 대상 선로들에서 상용주파 및 개폐 과전압에 대한 절연거리는 표준 설계보다 짧게 변경이 가능할 수 있다.

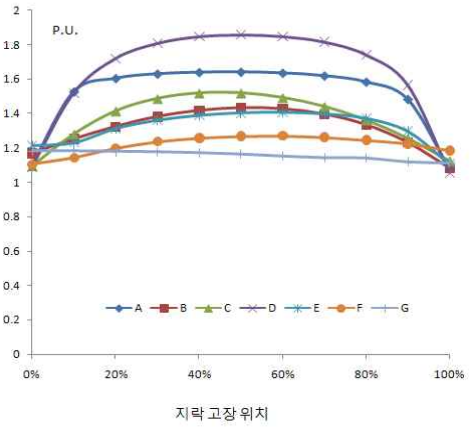


그림 2. 선로내 고장위치별 1선 지락 과전압
Fig. 2. Single line fault overvoltage in lines

표 2. 송전선로 과전압 계산결과와 과전압 배수
Table 2. Calculated overvoltage and overvoltage factor of transmission lines

〔단위 : p.u.〕

선로명		TOV	1선지락 과전압	지락 차단 과전압	투입 과전압	재투입 과전압	과전압 배수(n)
345 [kV]	A	1.173	1.753	1.64	1.179	1.162	1.9
	B	1.111	1.599	1.433	1.247	1.251	
	C	1.131	1.702	1.519	1.174	1.160	
	D	1.132	1.877	1.858	1.185	1.414	
154 [kV]	E	1.161	1.746	1.405	1.811	2.063	2.1
	F	1.112	1.403	1.269	2.100	2.103	
	G	1.052	1.566	1.183	1.570	1.570	

2.3 상용주파 일시과전압에 대한 절연거리(D)

EMTP 모델에 의한 시뮬레이션으로 확인된 과전압 배수로부터 설계기준에서 제시하는 다음의 식 (2)~식 (4)를 이용하여 상용주파 일시 과전압에 견디는 절연거리(D)를 산출할 수 있다[2-4].

$$V_{50\%} = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \times V_m \times n \times k_1 \times k_2 \quad (2)$$

여기서, V_m : 계통최고전압의 실효치 [kV]
n : 과전압배수 [p.u.]
k_1 : 1.165 기상보정계수
k_2 : 1.099 내압계수

50[%] 섬락전압 공기절연간격에 대한 관계는 식 (3)을 이용하였다.

$$V_{50\%} = 1080 \cdot k \cdot \ln(0.46 \cdot D + 1) \quad (3)$$

여기서 k : 1.26 공극계수

식 (2)와 식 (3)으로부터 공기절연간격 D를 계산할 수 있다. 위의 식 (2)에 154[kV] 선로의 경우는 $V_m = 170$, $n = 1.17$(계산결과1.161), $k_1 = 1.165$, $k_2 = 1.099$를 각각 대입하면 $V_{50\%}$는 210[kV]가 된다. 상용주파과전압에 대한 공기절연간격을 계산하면 D는 362[mm]가 된다.

345[kV] 선로의 경우는 같은 식 (2)에 $V_m = 362$, $n = 1.18$(계산결과1.173), $k_1 = 1.165$, $k_2 = 1.099$를 각각 대입하면 아래와 같이 $V_{50\%}$는 447[kV]가 된다. 상용주파과전압에 대한 공기절연간격 D는 844[mm]가 된다. 표준 설계에서는 과전압 배수 1.35를 적용하고 있어 대상 선로에서의 상용주파 과전압에 대한 절연 거리는 표준설계의 경우보다 단축가능한 것을 확인할 수 있다.

2.4 개폐과전압에 대한 절연거리(b)

아래의 식 (4)와 식 (5)를 이용하여 154[kV] 선로에 대하여 개폐과전압 배수 n=2.1을, 345[kV] 선로에 대하여는 n=1.9를 적용하여 해당 송전선로에서 발생가능한 최대 개폐과전압으로부터 도체-하단암, 도체-탑체, 도체-상단암간에 유지하는 간격으로, 도체와 상·하단암 및 탑체간의 개폐내전압 특성으로부터 산출할 수 있다[2,4-5].

$$V_{50\%} = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \times V_m \times n \times k_1 \times k_2 \quad (4)$$

여기서, V_m : 계통최고전압의 실효치 [kV]
n : 과전압배수 [p.u.]
k_1 : 1.18 기상보정계수
k_2 : 1.08 내압계수

$$V_{50\%} = 950 \cdot k \cdot \ln(0.57 \cdot D + 1) \quad (5)$$

여기서 k : 1.24~1.48 공극계수

표 3. 현수 애자련의 개폐과전압을 견디는 최소공기절연거리
Table 3. Minimum clearance against switching overvoltage for suspension insulators string

전압	절연의 구분	암의 종류	공극 계수 k	단위 : [mm]		
				계산 결과(A)	설계 기준(B)	여유 (B-A)
345 [kV]	도체 -하단암	3각암	1.48	1,162	1,700	538
		4각암	1.37	1,283	1,900	617
	도체-탑체		1.24	1,463	2,200	737
154 [kV]	도체 -하단암	3각암	1.48	534	950	416
		4각암	1.37	578	1,000	422
	도체-탑체		1.24	649	1,150	501

마찬가지로 식 (4)와 식 (5)로부터 개폐과전압에 대한 공기절연간격 D는 공극계수 k를 절연대상에 따라 달리 적용하면 표 3과 같이 계산할 수 있다.표 3은 개폐과전압에 대한 표준 설계값(B)과 계산된 절연거리(A)와 추가적으로 확보되는 절연거리의 여유(B-A)에 대한 내용을 정리한 것이다.

표 4는 계산된 개폐과전압에 견디는 절연거리 계산결과(b′)와 표준 설계기준(b)과의 차이와 이로부터 추가로 증결할 수 있는 애자의 수량을 345[kV]와 154[kV] 선로의 경우에 대하여 정리한 것이다. 대상 선로들에서 개폐과전압 배수가 설계표준보다 낮은 값을 적용할 수 있으므로 표준 설계에서 제시하는 도체-탑체간 절연거리(b)는 345[kV] 선로의 경우 (b′)인 1,463[mm]까지 줄일 수 있어 737[mm]의 절연 여유거리가 존재한다. 345[kV] 선로에 210[kN] 애자를 사용하는 경우에는 4개까지, 300[kN] 애자사용의 경우 3개까지 추가하는 것이 가능하다. 154[kV] 선로의 경우에서도 검토된 과전압 배수 n=2.1을 적용하면 649[mm]까지 절연거리(b)의 축소가 가능하여 추가로 501[mm]의 절연거리의 여유가 있으므로 3개의 애자까지 증결이 가능하다.

표 4. 도체-탑체간 절연거리(b)와 증결가능 애자수량
Table 4. Clearance between conductor and lower tower arm and number of additional insulators

선로 구분	과전압배수(n) 상-대지[p.u.]		절연 거리[mm]			애자 증결 가능 수량
	설계 기준	검토 결과	설계기준 (b)	계산결과 (b′)	절연여유 (Δb=b-b′)	
345 [kV]	2.5	1.9	2200	1463	+737	3~4
154 [kV]	3.3	2.1	1150	649	+501	3

2.5 뇌 과전압에 대한 절연거리 (A)

표준 절연간격은 뇌 섬락을 아킹혼간으로 유도하기 위하여 도체-하단암 간에 유지하는 간격으로, 식 (1)로부터 산출한다[3]. 154[kV] 선로의 경우, 위의 식 (1)에 아킹혼 간격 Z=1,120[mm]를 대입하면 $A = 1,269.8 \fallingdotseq 1,300$[mm]가 된다. 345[kV] 선로의 경우, 위의 식 (1)에 아킹혼 간격 Z= 2,340[mm]를 대입하면 $A = 2,630 \fallingdotseq 2,700$[mm]가 된다.

표 5는 애자 증결시 아킹혼 간격을 일정하게 유지하는 경우와 그렇지 않은 경우로 구분하여 절연거리를 계산한 결과이다. 345[kV] 선로의 경우 현재보다 애자수량이 늘어나면 아킹혼 간격이 증가된 절연거리(A′)로 유지될 필요가 있다. 그러나 철탑의 변경이 수반되지 않는 한 A는 오히려 더 짧은 값으로 줄어들게 된다. 증가된 애자련 간격(Z′)에 대응하는 A′이상의 절연거리를 유지할 수 없게 되면 아킹혼간으로 뇌 방전을 유도하는 확률이 낮아지게 된다. 따라서 애자가 현재 보다 숫자가 늘어나는 경우 감소된 A의 절연거리가 설계기준 2,700[mm]보다 더 긴 값이어야 하며 증가된 절연거리 A′이상의 값이어야 한다.

표 5. 애자 증결 수량에 따른 아킹혼 간격의 변화
Table 5. Additional insulators v.s. arcing horn gap length

전압	애자 종류	애자 증결 수량	아킹혼 간격 일정 경우[mm]		아킹혼 간격 증가 경우[mm]		설계 기준 [mm]
			Z	A	Z′	A′	
345 [kV]	300 [kN]	1	2,340	2,700	2,535	2,848	Z=2,340 A=2,700
		2	2,340	2,700	2,730	3,065	
		3	2,340	2,700	2,925	3,282	
	210 [kN]	1	2,340	2,700	2,510	2,820	
		2	2,340	2,700	2,680	3,009	
		3	2,340	2,700	2,850	3,199	
		4	2,340	2,700	3,020	3,388	
154 [kV]	120/160 [kN]	1	1,120	1,350	1,266	1,433	Z=1,120 A=1,350
		2	1,120	1,350	1,412	1,595	
		3	1,120	1,350	1,558	1,758	

2.6 송전선로 고장유형별 발생확률과 특징

송전선로의 절연거리를 결정하는 요소중 뇌과전압의 관점에서 검토를 하여보면 다음과 같다. 개폐과전압에 의한 절연거리 여유분만큼 애자를 증결하면 애자련 및 아킹혼간의 거리가 증가하나 반대로 전선과 하단암과의 절연거리가 감소하고, 애자련의 아킹혼 간격보다 짧아지게 되면 뇌격에 의한 아킹혼간의 섬락확률이 감소하고 전선과 하부 탑체 사이에 섬락할 확률이 증가하게 된다. 따라서 애자 증결에 따라 아킹혼 간격을 일정하게 유지하는 경우와 그렇지 못한 경우로 구분하고 해당 선로에서의 섬락 오손 고장확률과 낙뢰 고장확률을 고려하여 증결 수량을 결정 할 수 있을 것으로 사료된다.

(i) 뇌 섬락 고장확률 > 오손 섬락 고장확률 경우
- 애자증결가능 조건 : $A > 1.115Z + 21$[mm]

(ii) 뇌 섬락 고장확률 < 오손 섬락 고장확률 경우
- 애자증결가능 조건 : $A > b$[mm]

(i)의 경우 도체와 하부 철탑체간의 절연간격(A)이 아킹혼 간격(Z) 보다 큰 조건이 성립하는 범위에서 애자 증결을 고려할 수 있다. (ii)의 경우, 도체와 하부 철탑체간의 절연간격(A)이 개폐내전압에 해당하는 절연간격(b) 이상이 되는 조건까지 애자증결을 고려할 수 있다.

154[kV]와 345[kV] 송전선로의 뇌사고율 허용 설계값은 각각 연간 2.0건/100[km]와 1.0건/100[km]이지만 KEPCO의 전체 송전선로의 운전 기간중 발생한 고장률의 평균값은 설계값의 50[%]수준으로 각각 연간 1.0건/100[km]와 0.5건/100[km]으로 확인되고 있다[6]. 표 6에는 해당 선로별로 반도전성애자의 설치구간별로 낙뢰고장실적을 분석하여 1년 평균 낙뢰고장 발생확률을 계산하고 이로부터 50년간의 뇌고장 발생확률로 환산한 값이 정리되어 있다. 345[kV] 선로중 뇌고장률이 가장 높은 B선로는 50년간 0.45건(설계기준 환산값 : 0.899건)의 뇌고장 확률을 예측할 수 있다. 154[kV] 선로의 경우 F선로에서 가장 높은 50년간 1.107건(설계기준 환산 뇌고장 확률 : 2.213건/50년)의 뇌사고율을 예측할 수 있다.

표 6. 대상 선로 구간의 뇌 고장 발생 확률
Table 6. Lightning outage rate of lines

선로명		선로 길이 (A) [km]	애자교체구간 (B)	1년 뇌사고 확률 [건/1년]		50년 뇌사고 확률 [건/50년]	
				실적 평균	설계 기준	실적 평균	설계 기준
345 [kV]	A	79.235	1.258	0.006	0.013	0.315	0.629
	B	23.033	1.798	0.009	0.018	0.450	0.899
	C	21.225	1.525	0.008	0.015	0.381	0.763
	D	0.552	0.552	0.003	0.006	0.138	0.276
	E	52.104	0.731	0.004	0.007	0.183	0.366
154 [kV]	F	11.265	2.213	0.022	0.044	1.107	2.213
	G	4.770	0.368	0.004	0.007	0.184	0.368
	H	2.179	0.203	0.002	0.004	0.102	0.203

대상 선로에서 급속 오손 고장발생 기록을 조사하여보면 50년간 1건이 발생하였다. 이 확률을 50년간의 뇌 고장 확률과 비교하여 보면 154[kV] F 선로를 제외하고는 급속 오손 고장확률이 높은 분석결과를 보인다. 참고로 송전선로의 뇌 고장실적은 성공적인

재폐로 동작도 포함하고 있다. 뇌 고장은 전선의 단선이나 애자의 심각한 파손의 경우가 아니라면 고장은 일시적이며 고장범위도 철탑 1~2 경간정도의 좁은 영역으로 국한되는 특징을 보인다. 반면 급속 오손의 경우 상대적으로 넓은 선로 영역에 걸쳐 동시에 고장이 발생하며 재폐로 동작으로 송전능력이 회복되지 않을 확률이 높다. 주어진 제한조건하에서 발생 확률이 더 높은 고장에 대응할 수 있는 절연거리 최적화 방법이 필요하다.

3. 결 론

본 연구에서는 이미 표준 절연설계 값으로 건설되어 운전중인 송전선로의 절연거리를 과전압 분석결과, 뇌 고장확률, 오손 고장 확률을 고려하여 재설계하는 방법을 제시하였다. 이 방법은 기 설계된 송전선로의 절연성능을 훼손하지 않으면서 적절한 절연거리를 추가 확보하기 위해서 선로에 발생 가능한 최대 과전압을 분석하고, 뇌 고장실적 및 예측계산 결과와 오손 고장 확률을 고려하여 절연거리를 산정하고 소요 애자수량을 결정한다.

특히, 애자 오손고장가능성이 높은 기설 송전선로에 절연성능을 보강하고자 하는 경우 과전압분석 결과와 뇌사고 확률, 염해오손에 의한 섬락고장 확률은 물론 동시에 고장유형에 따른 파급정도를 고려할 필요가 있다. 이러한 경우 철탑의 구조변경이 허용되지 않아 내뢰성능과 내오손성능을 동시에 강화하는 것이 불가능하므로 고장의 발생 실적이나 예측계산 자료에 근거하여 발생확률이 높은 고장에 대응가능한 절연 보강법을 선택하는 것이 요구된다.

연구대상 선로들은 뇌고장 발생확률이 기존 설계값보다 낮고 염해오손 고장확률이 뇌 고장 확률보다 높은 특징을 보였다. 따라서 제시된 방법으로부터 내뢰성능의 설계여유를 확인하였고 이에 해당하는 애자 증결방법으로 내오손 성능을 보강하는 방법이 도출되었다. 345[kV] 선로에 210[kN] 애자를 사용하는 경우에는 4개 까지, 300[kN] 애자사용의 경우 3개까지 추가하는 것이 가능하며 154[kV] 선로의 3개의 애자까지 증결하여 내오손 측면의 절연성능 보강할 수 있다.

References

[1] KEPCO, "Fault Analysis of Transmission Facility and Countermeasure in 2008", KEPCO Report, 2009.
[2] KEPCO, "Design Standard and Handbook of Transmission" KEPCO Standard, pp.7~35, 2001.
[3] Central Research Institute of Electrical Power Industry in JAPAN, "Electrical Design Handbook of 187[kV]~1000[kV] AC Transmission Line".
[4] E.B. Shim et al, "Insulation Coordination Study of 765[kV] Transmission System", KEPRI Report of KEPCO, pp 104~105, 1995.
[5] J.W. Shim et al, "Field Study on Air Clearance of 765[kV] Transmission Line", KEPRI Report of KEPCO, pp 152~152, 1996.
[6] Y.W. Kang et al, "Development of Lightning Outage Calculation Program", KEPRI Report of KEPCO, 2007.

◇ 저자소개 ◇

곽주식 (郭周植)
1972년 1월 10일생. 1994년 충북대학교 전기공학과 졸업. 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 한국전력공사 전력연구원 송배전연구소 선임연구원.
Tel : (042)865-5893
E-mail : joosiki@kepco.co.kr

우정욱 (禹貞旭)
1968년 9월 19일생. 1992년 경북대학교 전기공학과 졸업. 1994년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2007년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 한국전력공사 전력연구원 송배전연구소 선임연구원.
Tel : (042)865-5892
E-mail : jwwoo@kepri.re.kr

구교선 (具敎善)
1974년 9월 27일생. 2001년 숭실대학교 전기공학과 졸업. 2003년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 한국전력공사 전력연구원 송배전연구소 선임보연구원.
Tel : (042)865-5894
E-mail : kskoo@kepri.re.kr

김경탁 (金慶鐸)
1978년 10월 1일생. 2005년 경북대학교 전기전자공학부 졸업. 현재 한국전력공사 전력연구원 송배전연구소 일반연구원.
Tel : (042)865-5895
E-mail : eifff@kepco.co.kr

권동진 (權東震)
1963년 1월 20일생. 1986년 서울산업대학교 전기공학과 졸업. 1992년 숭실대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1995년 숭실대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 한국전력공사 전력연구원 송배전연구소책임연구원.
Tel : (042)865-5890
E-mail : djkweon@kepri.re.kr