

## 가공송전선로 상(相)간 혼촉으로 인한 고장 예방 대책

박윤석, 김용락, 김호기, 김원진, 최진성  
한국전력공사

### Countermeasures to prevent contact between phases on overhead lines

Yoon-seok Park, Yong-rak Kim, Ho-ki Kim, Won-jin Kim, Jin-sung Choi  
Korea Electric Power Corporation

**Abstract** - Most transmission lines pass through mountainous terrain and deep valleys, to avoid populated areas. Accordingly, the impact of climate changes, environmental conditions and system expansion have caused an increase in transmission line system fault rates. KEPCO has developed and applied phase-spacers to reduce contact faults between phases. Contact between phases represented 9% of total line faults before the devices were installed. Phase-spacers have reduced faults by up to 3.4% since the phase-spacers were installed in 2005. Also, recently developed devices provide additional economic benefits as they cost about a third of the price as similar devices introduced in foreign countries.

Phase-spacers are an effective way to prevent phase contact accidents by maintaining physical space between phases. These spacers will be implemented in areas where contacts are likely to occur. They are expected to reduce accident rates and improve power quality.

#### 1. 서 론

국내 송전계통은 주로 765kV, 345kV, 154kV 등이 사용되고 있으며, 송전선로는 발전소에서 생산된 전력을 장거리 또는 단거리에 걸쳐서 전력수요지 변전소까지 수송하는 역할을 담당하고 있다. 특히, 송전선로는 전자파 피해, 지가하락 등을 이유로 건설을 반대함에 따라 인가가 밀집된 지역을 피하여 대부분이 협곡, 산악지 등 지형적, 환경적으로 열악한 지역을 경과하고 있는 실정이다.

이에 따라 낙뢰, 강풍, 눈 등 자연현상에 의한 설비고장이 빈번히 발생되고 있다. 또한, 착빙설이 전선의 비대칭 단면에 발달한 경우나 양력이 생겨 이것으로 되풀이 되어 염회 진동이 지속하는 저 진동수로 큰진폭을 말하는 겔로핑 현상이 나타나고 있으며, 이러한 겔로핑의 발생 강도에 따라 철탑구조물과 애자장치 및 스페이서의 부속금구류에 영향을 크게 미쳐 결국 파손에 이르고, 상하 전력선간 혼촉이 발생하게 되어 설비고장으로 나타나게 된다. 산업의 고도화, 철탑화에 따라 순간 정전과 같은 설비고장과 전압강하 등 전기품질이 떨어질 경우에는 막대한 재산상의 손실뿐만 아니라 사회적 물의도 야기 될 수 있다.

전력선 상호 혼촉에 의한 설비고장을 예방하기 위한 방안으로 철탑의 설계에서 전력선 상(相)간 간격과 회선간 거리를 증가시켜 철탑을 설치하는 방법이 주를 이루고 있었으나 이는 전력선 상(相)간 혼촉 고장을 근본적으로 예방하기가 어려운 실정이므로 이에 대한 새로운 대책으로 상간 스페이서를 개발하여 적용기로 하였다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 송전선 고장원인

###### 2.1.1 외물접촉

산업의 발달과 도시의 팽창에 따라 각종 건설현장에서 사용하고 있는 중장비, 송전선로가 산림이 울창한 지역을 통과할 경우 수목, 비닐을 이용한 농작물 경작에 따른 비닐 등이 전력선과 접촉되어 고장이 발생한다.

###### 2.1.2 착빙설

이상이면 등에 따라 착빙설이 발생할 경우 전선도약(Sleet Jump), 갤러핑(Galloping)에 의해서 전력선 상호 혼촉에 의하여 고장이 발생한다.

###### 2.1.3 강풍

태풍, 국지성 강풍이 불 경우 철탑파손, 전력선 혼촉 등에 의한 설비 고장이 발생한다.

##### 2.1.4 뇌격

가공지선, 철탑 등에 낙뢰가 가해질 경우 뇌격전류에 의한 애자파손, 이킹혼 섬락과 같은 설비 고장이 발생한다.

##### 2.1.5 산불

송전선로 인근에 산불이 발생하여 진화가 되지 않고 전력선 밑을 통과 할 경우에 공기의 절연파괴를 일으켜 설비 고장이 발생한다.

#### 2.2 154kV 송전선로용 폴리머 절연 상간 스페이서 개발

송전선로의 고장원인을 다양하게 나타나고 있으며, 각 원인별로 수 많은 재발 방지대책이 수립되어 시행되고 있으나 빙설해로 인한 갤러핑현상으로 발생하는 설비고장 예방을 위한 방법으로 외국에서 사용하고 있는 154kV용으로 폴리머를 사용하여 상간스페이서를 중소기업과 협력하여 개발하게 되었다.

##### 2.2.1 연구개발 목표

연구개발 목표는 다음 <표1>과 같다.

<표 1> 연구개발 목표

구 분	내 용
제품명칭	154kV 송전선로용 폴리머 절연 상간 스페이서
용 도	154kV 송전선로 상간 간격 유지 ⇒ 빙설해로 인한 송전선 상하 횡진을 억제하여 설비 고장예방
개발내용	154kV 폴리머용 상간 스페이서 개발 ⇒ 단도체, 복도체용 규격(안) 및 적용방안 제시

##### 2.2.2 개발개요

- 개발업체 : (주)티와이테크  
⇒ 세명전기, 전기연구원, 해양대학교 참여
- 개발기간 : 2002.8.27~2004.5.26 (21개월)
- 개발방법 : 중소기업 협력연구개발 과제로 수행
- 평가결과 : 아주 우수

##### 2.2.3 개발내용

###### ○ 기술분석

미국, 일본을 비롯한 선진국에서는 10여년 전 부터 고강도 폴리머 절연 상간 스페이서를 개발하여 송전선로에 실사용하며 자기제 상간 스페이서보다 제품의 우수한 특성을 검증한 상태로서 자기제에서 폴리머 상간 스페이서로 대체하여 사용하고 있으며, 현재 국내에서는 FRP 인발(pultrusion)공법으로는 경완금(cross-arm)정도의 시제품을 제작하는 수준이며 송전용 상간 스페이스 기술은 보유하고 있지 않고 있다.

###### ○ 고강도 FRP Rod개발

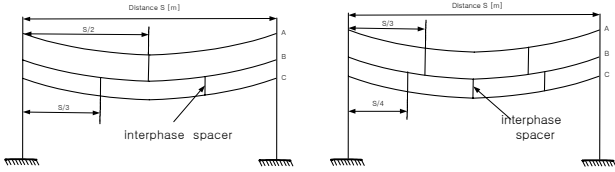
기준에 개발되어 있는  $\phi 28\text{mm}$ 보다 직경을 증가시킨  $\phi 34\text{mm}$ ,  $\phi 40\text{mm}$ 의 FRP Rod에 대하여 염색용액침투시험, 기계적강도시험(압축, 굴곡, 압착 강도 등)을 시행하여 <표 2>와 같은 우수한 결과를 얻었다

<표 2> FRP Rod 기계적강도시험 결과

Rod 직경	압축강도	굴곡강도	비틀림강도
$\phi 34\text{mm}$	645.58KN	29.46KN	1587.6N · m
$\phi 40\text{mm}$	750.548KN	43.6KN	2116.8N · m

○ 송전선로 진동해석

ACSR 330mm<sup>2</sup>, 410mm<sup>2</sup>의 단도체, 복도체 송전선로를 가정하여 컴퓨터그래픽을 이용하여 구축되어 있는 가상 시뮬레이션 시스템을 활용하여 스페이서가 설치된 송전선로 비교 모델을 제시하였다.



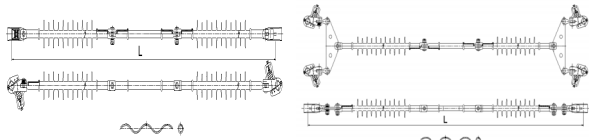
<그림 1> 시뮬레이션 결과 설치 모델

○ 금구류 형상 설계

상간 스페이서의 금구부는 전선 클램핑부, 연결금구, 아마루드로 구분되며, 클램프는 전선을 견고하면서도 안전하게 파괴하게 하고 볼트풀림현상의 근본 원인을 제거한 볼트레스형 클램프로써 코일스프링을 이용한 전선파지 클램프로 적용하였다.

연결금구는 크레비스와 아이형으로 상호 조립이 가능하게하고 FRP 코아와 결합은 압착방식으로 하였으며 연결금구간 연결회전각을 갖도록 하여 전력선 상간거리의 편차를 다소 완화 할 수 있도록 선로 도체의 직각방향으로 회전이 가능하게 설계하였다.

아마루드는 전선 종류별로 전선의 윈두를 감싸는 형태로 설계하였으며, 끝단부를 별도로 라운드 처리를 하였다.



<그림 2> 상간스페이서 형상(단도체용/복도체용)

○ 시제품 제작 및 성능시험

전계해석과 금구류 형상 설계를 토대로 하여 상간 스페이서의 시제품을 제작하여 기계적, 전기적 성능 시험을 시행하였다. 기계적 특성시험은 상간 거리를 구현한 20m 모의 시험선로를 구성하여 시행하였으며, 전기적 특성시험은 한국전기연구원에서 시행하였으며 그 결과는 <표 3>과 같다.

<표 3> 시제품 특성시험 결과

항 목		기 준	시험결과
기계적 특성	인장파괴하중(kgf)	5,000	5,870
	굽힘파괴하중(kgf·m)	133	235
	압축하중(kgf)	200	10분간 인가 이상없음
	비틀림하중(kgf·cm)	510	900
전기적 특성	상용주파 섬락전압(주수, kV)	455	694
	뇌충격 내전압(정극성, kV)	696	750kV 1분간인가 이상없음

2.3 시범사용 및 효과분석

2.3.1 시범사용 개요

개발된 제품에 대하여 전력선 상(相)간 혼촉 고장 예방효과 검증, 제품의 성능확인, 확대사용 여부를 검토하기 위하여 아래와 같이 일부 송전선로에 시범적으로 설치하여 추이를 확인하였다.

- 시사용 기간 : '05.4~'06.11 (20개월)
- 시사용 수량 : 594Set (154kV 급포T/L 등 50개 선로)
  - '05년 371Set 설치, '06년 223Set 설치
- 대상선정
  - 클램핑 발생 실적이 있거나 발생이 우려되는 개소
  - 장경간으로 돌풍 등 유사시 상간 이격거리 부족 우려개소
  - 상간 단락고장 실적이 있거나 대책이 필요하다고 판단되는 개소
- 소요비용 : 6.2억원 (594Set × 1,050천원)

2.3.2 설치기준

송전선로의 첩탑과 첩탑사이 거리는 일정하지 않고 지형에 따라 그 편차가 크므로 동일 수량으로 모든 구간에 일정하게 설치토록 하는 것은 곤란하여 전선 종류별로 경간에 따라 설치 수량을 달리 적용하고 있으며 그 기준은 다음 <표 4>와 같다.

<표 4> 상간스페이서 선종별 설치수량

A240, A330(S, 2B)				A410(S, 2B)			
Ⅱ·Ⅲ지역		다설지역		Ⅱ·Ⅲ지역		다설지역	
경간(m)	수량	경간(m)	수량	경간(m)	수량	경간(m)	수량
180~360	2	150~300	2	200~400	2	160~320	2
~540	3	~450	3	~600	3	~480	3
~720	5	~600	5	~800	5	~640	5
~900	7	~750	7	~1000	7	~800	7
~1080	9	~900	9	~1200	9	~960	9
~1260	11	~1050	11	~1400	11	~1120	11
~1440	13	~1200	13	~1600	13	~1280	13
~1620	15	~1350	15			~1440	15
		~1500	17			~1600	17

2.3.3 설치순서

상간 스페이서의 현장 설치 순서는 <그림 3>과 같다.



<그림 3> 상간스페이서 설치 순서 및 설치전경

2.3.4 효과분석

전력선 상간 혼촉 고장예방을 위하여 2005년부터 상간 스페이서를 시범 사용한 결과 <표 5>와 같이 설치 이전에 비하여 전력선간 혼촉으로 인하여 발생한 고장이 급격히 감소하는 것으로 나타났으며, 이는 상간 스페이서의 고장 예방 효과 가 우수하다는 것이 입증 되었다.

<표 5> 상간 혼촉고장 발생 실적

연도별	'01년	'02년	'03년	'04년	'05년	'06.10	합 계
빙설해	52	7	8	43	22	0	132
풍우피해	0	5	3	0	6	2	16
<b>합 계(A)</b>	<b>52</b>	<b>12</b>	<b>11</b>	<b>43</b>	<b>28</b>	<b>2</b>	<b>148</b>
전체고장(B)	295	246	384	396	444	388	2,153
<b>비율(A/B)</b>	<b>17.6%</b>	<b>4.9%</b>	<b>2.9%</b>	<b>10.9%</b>	<b>6.3%</b>	<b>0.5%</b>	<b>6.9%</b>

3. 결 론

송전설비의 증가와 기상이변 및 열악한 환경 아래에서 송전선로의 고장은 지속적으로 발생되고 있다. 이중 전력선간 혼촉에 의해서 발생되고 있는 고장은 과거 송전선로에서 발생하는 전체 고장 중 상간 혼촉에 의한 고장으로 약 9%가 발생되고 있었으나, 상간 스페이서를 설치한 2005년 이후에는 고장 점유율이 약 3.4%로 급감하였다. 또한, 외국에서 사용되고 있는 제품과 비교하여 볼 때 상간 스페이서를 국산화에 성공함에 따라 수입제품 대비 1/3의 경제적 효과를 이루었다. 상간 스페이서는 기계적으로 전력선 간격을 유지하므로 혼촉 고장을 억제하여 설비 고장 예방효과가 우수하게 판명되었으므로 향후 전력선 혼촉에 의한 고장이 예상되는 개소에 확대 설치하여 설비고장을 획기적으로 감소시켜 전력 품질을 향상시키도록 하여야 할 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] 한국전력공사, "154kV급 송전선로용 폴리머 상간 스페이서 개발" 연구보고서, 2004, p9-29
- [2] 한국전력공사, "154kV 상간 스페이서 설치공법 설명서", 2005, p3-8
- [3] 한국전력공사, "154kV 상간스페이서 시사용 계획", 2004, p3-5
- [4] 한국전력공사, "154kV 상간스페이서 개발관련 시사용 결과 및 확대 사용 계획", 2006, p2-4
- [5] 한국전력공사, "2006년 송전설비 고장분석 및 대책", 2007.04, p19-23