

송전용 고정형 폴리머 점퍼지지 애자장치 개발

민병욱*, 김태영*, 최진성*, **손광목***, 이철호**, 전영준**
 한국전력공사*, 화인폴리머(주)**

Development of a Polymeric jumper Support insulators for Overhead Transmission Line

Byeong-Wook Min*, Tai-Young Kim*, Jin-Sung Choi*, Kwang-Mok Son*, Chul-Ho Lee** Young-Jun Jeon**
 Korean Electric Power Corporation*, Finepolymer, Inc.**

Abstract - 온난화 등 기후변화의 영향으로 국내에 미치는 태풍의 수와 강도가 점점 증가하는 추세이며, 태풍 및 국지성 돌풍에 의한 송전선로의 과도한 점퍼선 횡진은 점퍼선과 철탁간의 공기절연거리를 감소시켜 지락사고가 발생하는 원인이다. 따라서 점퍼선의 횡진으로 인한 섬락 고장을 예방하기 위하여 세계적으로 사용량이 증가하고 있는 폴리머 재질의 애자를 적용하여 전기·기계적 특성을 분석하고 국내 최대 순간풍속 62.7%의 풍압력 조건에도 견딜 수 있는 철탁부착 고정형 폴리머 점퍼지지 애자장치를 개발하게 되었다.

1. 서 론

가공 송전선로의 내장애자장치 철탁에는 철탁에 고정된 양측의 전력선을 상호 연결하기 위하여 점퍼선(jumper wire)을 설치하고 있으나 태풍 또는 강풍 등의 바람에 의하여 점퍼선이 횡진할 경우 철탁과 점퍼선간의 공기절연간격이 부족하게 되며 이로 인해 섬락에 의한 지락고장이 발생하게 된다. 현재 순간최대풍속 50%의 풍압력에 의한 점퍼선 횡진각을 40° 이하로 억제하기 위해 점퍼선 횡진방지장치(jumper weight)를 설치하여 횡진에 따른 지락사고를 줄이기 위한 방안이 적용되고 있으나, 최근에는 기상변화에 따른 태풍의 최대순간풍속이 점점 강해지고 있어 점퍼선의 횡진으로 인한 사고를 예방하는데 부족함이 있다.

따라서 기존의 자기애자에 횡진을 줄이기 위한 장치가 아닌 수평면적이 적고 설치가 용이한 송전용 고정형 폴리머 점퍼지지애자장치를 설계·개발하여 적용함으로써 태풍 또는 강풍 내습 시 점퍼선의 횡진으로 인한 섬락고장을 근본적으로 예방하고자 한다.

2. 본 론

2.1 점퍼선 횡진으로 인한 고장사례

1904년 우리나라 기상관측 이후 최근까지 태풍은 연평균 3.1개 정도가 한반도에 영향을 미치고 있으며, 최대순간풍속도 계속 경신되고 있다. 우리나라의 최대순간풍속의 최대값은 1992년 태풍 테드(Ted)가 51.0%였으나 2000년 프라피룬(Prapiroon)이 58.3 m/s로 경신하였고 2003년 태풍 메미(Meami)가 60%로 최대순간풍속을 다시 경신하였다. 태풍으로 인하여 송전선로의 점퍼선에 높은 풍압하중이 가해지게 되면 점퍼선이 횡진하게 되며, 이때 철탁과 점퍼선과의 거리가 가까워지게 되면 공기절연간격이 부족하여 점퍼선과 철탁 본체 간에 지락이 발생하게 된다.

<표 1> 송전선로 점퍼선 횡진 섬락고장현황

구 분	2001	2002	2003	합 계	
154 kV	단도체	3	5	32	40
	복도체	1	0	13	14
345 kV	단도체	0	0	3	3
	복도체	1	5	13	19
합 계	5	10	61	76	

2.2 점퍼선의 절연간격 설계기준

2.2.1 공기절연간격

154 kV 및 345 kV 송전선설비를 설계할 경우 직접접지방식의 절연협조기준에 따라 적용하는 공기절연간격은 표준절연간격, 최소절연간격, 이상시절연간격, 상간절연간격이 있다. 표준절연간격(A)은 뇌에 의한 섬락을 아킹혼 간으로 유도하기 위하여 도체와 하단 암(arm)간에 유지하는 간격으로 다음 식에 의거 산출한다.

$$A = 1.115Z + 0.021 [m] \quad (Z \text{는 아킹혼 간격}) \quad (1)$$

최소절연간격은 개폐과전압에 의한 섬락을 아킹혼 간으로 유도하기 위하여 도체와 하단 암, 도체와 철탁, 도체와 상단 암 간에 유지하는 간

격으로 전력선과 상·하단 암 및 철탁간의 개폐과전압 특성으로부터 산출하며, 이상시 절연간격은 상용주파 단시간과전압에 대하여 도체와 철탁, 도체와 상단 암 간에 유지하여야 하는 간격으로 상용주파 단시간과전압에 대한 내전압 특성으로부터 산출한다. 상간절연간격은 상간 과전압에 대하여 상(phase)간에 유지하여야 하는 간격으로, 전력선 상호간의 내전압특성으로부터 산출하며, jumper, 선로수평각, 카테나리각(catenary angle) 등 기계적 사항을 감안하여야 한다.

2.2.2 허용 횡진각 및 절연간격

송전선로 점퍼선의 허용 횡진각에 대한 절연거리는 <표 2>와 같다.

<표 2> 횡진각 및 절연설계조건

전압별	점퍼선 횡진각	적용 절연간격	절연간격[mm]
154 kV	15°	표준 절연간격	1,300
		최소 절연간격	1,150
	40°	이상시 절연간격	450
345 kV	20°	표준 절연간격	2,700
		최소 절연간격	2,200
	50°	이상시 절연간격	1,000

2.2.3 지역별 기준속도압 및 애자장치의 풍압력

기준 속도압 및 최대풍속은 지상 10m에서의 값을 표준으로 하고 지역별 기준치는 <표 3>과 같다. 또한 애자장치에 가해지는 풍압력 계산 시 지역별 기준 속도압에 따라 표준풍압치(10m 기준)를 기준으로 하여 풍압산정 높이까지의 상공 체층 계수를 고려한 풍압치에 애자 장치의 수평면적을 곱하여 산출한다.

<표 3> 지역별 기준속도압, 최대풍속 및 표준풍압치

지역구분	기준속도압 (kgf/m ²)	최대풍속(m/s)		돌풍율	표준 풍압치	
		10분 평균	순 간			
고온계	I 지역	117	40.0	54.0	1.35	189
	II 지역	100	36.6	50.0	1.37	161
	III 지역	76	31.7	43.7	1.38	123
	울릉도	150	46.4	62.7	1.35	242
저온계	다설 지역	30	-	26.3	-	49
	기타 지역	38	20.2	29.5	1.46	62

2.2.4 애자장치의 풍압력 계산

가혹조건인 국내의 순간 최대풍속 62.7%기준(표준풍압치 242)으로 평균 지상고 높이를 18m로 가정하여 폴리머 점퍼지지애자 장치에 가해지는 풍압력의 계산한 결과를 <표 4>에 나타내었다.

<표 4> 폴리머 점퍼지지애자 장치의 풍압력

구 분	SRJ 154N	SRJ 154F	SRJ 345N	SRJ 345F
수평면적 (m ²)	0.078	0.105	0.190	0.251
풍 압 력 (kg)	21.9	29.4	53.3	70.4

2.3 송전용 고정형 폴리머 점퍼지지 애자장치 개발

2.3.1 설계모델 및 설계조건

현재 국내 송전선로에서는 점퍼선의 횡진방지를 위해 765 kV에는 조립식 파이프 점퍼장치를 사용하고 있으며, 154 kV 및 345 kV에는 횡진방지용 점퍼장치(jumper weight)를 적용하고 있다. 그러나 자기애자의

하단부에 설치한 점퍼장치는 무게중심을 낮추어 자기애자의 횡진폭을 줄이는 역할에 기여하는 반면 철탑의 하중을 증가시키고 절연거리를 감소시키는 단점이 있다. 또한 기 개발된 점퍼장치는 최대순간풍속 50m/s로 설계되어 향후 발생할 수 있는 초대형 태풍의 내습시 점퍼선의 횡진을 억제하기 어려운 문제점을 갖고 있다.

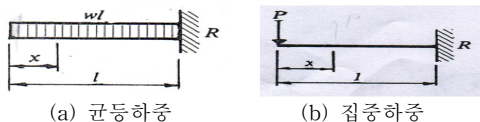
본 개발품은 154kV, 345kV의 점퍼선 횡진방지용으로 가볍고 설치가 용이한 폴리머애자를 사용하여 일반지역과 염해지역에 적용할 수 있도록 4 종류로 개발되었으며, 최대순간풍속 62.7%를 기준으로 설계하였다.



〈그림 1〉 자기제 점퍼지지 애자장치

2.3.2 풍압력 검토

풍압력은 점퍼지지 애자장치의 전 표면에 걸쳐 일정하게 가해지는 압력으로 폴리머애자의 기계적 하중을 담당하는 심재의 선택 및 평가에 불편함이 있다. 따라서 풍압력을 고정된 점퍼지지애자의 끝단에 걸리는 집중하중으로 변환하는데 빔의 공식을 적용할 수 있다.



〈그림 2〉 빔의 공식 원리

그림 2의 (a)와 같이 전 길이에 일정한 하중 인 경우(한쪽이 고정된 Cantilever) 식 (2)와 같다. $R = V = W \ell$ (2)

외팔보 끝단에서 최대 휨 Δ_{max} 는 $W \ell^4 \div 8EI$ (3)

그림 2의 (b)와 같이 외팔보 끝의 집중 하중 인 경우(한쪽이 고정된 Cantilever) 식 (4)와 같다. $R = V = P$ (4)

외팔보 끝단에서 최대 휨 Δ_{max} 는 $P \ell^3 \div 3EI$

따라서 최대 휨 조건에서 집중하중(P)값은 탄성계수(E)와 관성모멘트(I)와 상관없이 식 (5)로 간략화 될 수 있다.

$$P = 3W \ell \div 8 = 3V \div 8 \quad (5)$$

여기서, P : 집중하중, W : 균등하게 배분된 하중
 ℓ : 길이, V : 총전단력(풍압력)

순간최대풍속 62.7%, 평균지상고 18m를 기준으로 폴리머 점퍼지지 애자장치에 가해지는 풍압력을 식(7)을 활용하여 폴리머애자 끝단에 걸리는 집중하중(Cantilever)으로 변환한 값을 <표 5>에 나타내었다.

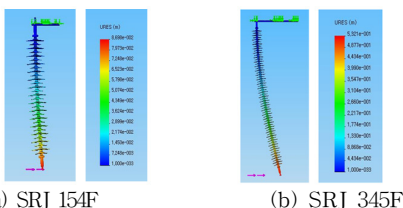
〈표 5〉 폴리머 점퍼지지애자 장치의 Cantilever 하중

구 분	SRJ 154N	SRJ 154F	SRJ 345N	SRJ 345F
Cantilever (kg)	8.2	11.0	20.0	26.4

2.3.3 FRP 코아 선정

폴리머애자의 심재로 적용되는 FRP 코아는 에폭시 수지에 유리섬유를 함침하여 인발 성형한 제품을 사용하며, 폴리머애자에 있어 기계적 특성을 결정하는 중요한 부분이다. 고정형 점퍼지지애자의 경우 철탑에 한쪽 끝에 고정되어 있으므로 풍압력에 의한 Cantilever 하중을 받게 된다. 따라서 설계조건에서 계산된 Cantilever 하중에 안전율을 고려하여 154 kV의 경우 $\phi 24\text{mm}$, 345 kV의 경우 $\phi 32\text{mm}$ 의 코아 지름이 최적임을 해석 및 시험을 통하여 확인하였다.

상기 코아를 적용한 폴리머 점퍼지지 애자장치를 최대순간풍속 62.7 m/s의 기준으로 집중하중을 인가하였을 때 지지애자의 변위량 및 최대 횡진각을 확인한 결과 <표 6>과 같으며, 기존의 점퍼장치(jumper weight)와 비교해 우수한 특성을 확인할 수 있었다.



〈그림 3〉 Solid Works 기계해석

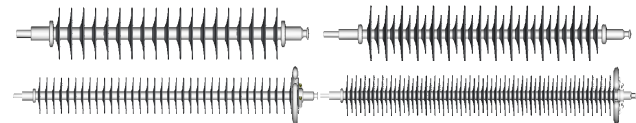
〈표 6〉 폴리머 점퍼지지애자 장치의 최대 횡진각

구 분	$\phi 24*1606(L)$		$\phi 32*3060(L)$	
	SRJ 154N	SRJ 154F	SRJ 345N	SRJ 345F
변위량(mm)	85	111	500	580
횡진각	3°	4°	9°	11°

2.3.4 고정형 폴리머 점퍼지지 애자장치 설계

고정형 폴리머 점퍼지지 애자장치를 기존의 철탑에 고정하기 위해서는 철탑과 암플레이트(arm plate)를 고정하기 위해 결합된 볼트를 제거한 후에 점퍼지지 애자장치를 조립해야만 하며, 기존에 결합된 볼트와 간섭이 없어야 한다. 따라서 철탑에 고정시킬 금구류의 형태는 단순하면서 기계적 강도를 충분히 견딜 수 있는 구조로 시공이 편리하여야 한다.

본 개발품은 철탑 암플레이트(arm plate)의 볼트 구멍 1개를 사용하여 직접 고정할 수 있도록 부품을 최소화 하였으며, 국내 사용 환경에 맞도록 오손 등급별로 2종(일반형 N type, 내염형 F type)과 사용 전압별로 2종(154kV, 345kV) 총 4종을 개발하였다.



〈그림 4〉 154/345 kV 고정형 폴리머 점퍼지지 애자장치(4종)

2.3.5 고정형 폴리머 점퍼지지 애자장치 성능시험

한전표준규격 “송전선로용 폴리머애자 ES-5970-0014(2009.02)”을 기반으로 IEC 61109(2008), IEC 62217(2005), CEA LWIWG -01(2006), CEA LWIWG-02 (1996)을 고찰하여 송전용 고정형 폴리머 점퍼지지 애자장치 규격(안)을 작성하였다.

성능확인 시험을 위하여 규격(안)의 전 시험항목에 대하여 진행하였으며, 그 결과 <표 7>의 성능을 만족함을 확인하였다.

〈표 7〉 폴리머 점퍼지지애자 장치의 특성

항 목	특 성 치			
	154 kV		345 kV	
	SRJ154N	SRJ154F	SRJ345N	SRJ345F
규정인장하중(SML)(kgf)	12,000	12,000	12,000	12,000
굽힘파괴하중(SCL)(kgf)	30	30	68	68
굽힘내하중(WCL)(kgf)	15	15	34	34
연결길이 (mm)	1,606	1,606	3,060	3,060
최소누설거리 (mm)	3,080	5,184	7,820	12,100
최소간조설락거리 (mm)	1,250	1,250	2,600	2,600
상용주파수내전압(kV)	409	409	747	747
뇌충격내전압 (kV)	정	675	675	1,390
	부	675	675	1,390
전파장해전압	상용주파대지간 (rms kV)	105	105	220
	최대전파장해전압(μV at 1000kHz)	40	40	40
소켓계이지	ANSI Class52-5		IEC 120Size 20	

3. 결 론

태풍 및 국지성 돌풍에 의해 발생하는 점퍼선 횡진으로 인한 송전선로 섬락고장을 예방하고자 고안한 철탑 고정형 폴리머 점퍼지지 애자장치를 개발하여 전기·기계적 성능시험을 성공적으로 완료하였다. 고정형 폴리머 점퍼지지 애자장치의 개발로 순간최대풍속 62.7 m/s의 풍압하중에서도 점퍼선의 횡진각을 최소화함으로써 횡진에 의한 섬락고장을 획기적으로 예방할 수 있게 되었으며 부가적으로 금구류의 경량화 및 콤팩트화가 가능하여 자재비 및 노무비를 절감할 수 있게 되었다.

[참 고 문 헌]

- [1] 한국전력, 송전설비 고장분석 및 대책, pp. 3-16, 2005
- [2] 한국전력, 직접접지방식 송변전설비 절연협조기준, pp. 1-13, 2003
- [3] 한국전력, 가공송전용 철탑설계기준, pp. 1-13, 2003
- [4] James M Gere, 재료역학 6판, pp. 264-292, 2009