

송전선로의 빙설해 현상과 대책

김 우 겸, 조 성 준, 심 종 호
한국전력공사 제천전력관리처

Phenomena and countermeasures for ice and snow damage of power transmission lines

Woo kyum Kim, Cho Seong Jun, Jong Ho Shim
KEPCO Chechun Power Transmission Direct Office

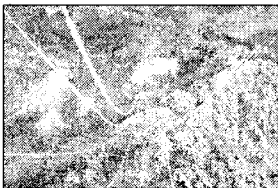
1. 서 론

강원산간 및 영동지역은 매년 폭설로 인해 많은 피해를 보고 있으며 특히, 해발 800m이상 산악지와 백두대간을 횡단하는 송전선로에는 동절기 착설현상이 빈번하고 이로 인한 송전선로 피해발생이 잦아 착설하중을 상정한 첩탑 보강, 할일첩탑 설치를 통한 경간 축소 등의 방법으로 설비를 보강하고 있으나 한계가 있고 가공지선 및 전선에 불균형 착설시 또는 착설 탈락시 이도 차이가 발생하므로 가공지선과 전선간 또는 전선과 전선간 혼촉 고장이 발생되고 있는 실정이다. 착설시 혼촉고장 방지 대책으로는 경간 축소 또는 첩탑 Off-Set 및 상간거리 증대 등의 방법이 있었으나 지형여건, 경제성 등 현실적으로 적용에 한계가 있고 운전중인 송전선로에는 적용이 어려운 문제점이 있어 불균형 착설 발생시 선간혼촉 예방을 위한 대안을 모색해 보고자 한다.

2. 본 론

2.1 착빙설 현상

2.1.1 착설



【0502 대관령 경과 송전선로 착설】

건형착설과 습형착설로 나누며, 건형착설은 수분 함유량이 적은 눈이 착설하는 것으로 미풍이나 기타 진동에 의해 쉽게 탈락하며 크게 발달하지 않는다. 습형착설은 수분함유량이 많고 부착력이 커서 10%이상의 강풍에서도 발달하며 기온이 비교적 포

근한 상태(0℃±1~2℃사이), 시기적으로 11~12월, 2~3월에 주로 발생하며 국내의 경우 과거 사고사례를 볼때 영동·태백 고산지구 및 동해안 지역에서 주로 발생한다.

2.1.2 착빙

착빙은 전선에 착설된 상태에서 기상변화등의 영향으로 눈에 함유되어 있는 수분이 2차적으로 동결하여 발생하기도 하며 공기중에 떠있는 과냉각 수분이 강한 기류를 타고 전선이나 지지물에 충돌하여 얼어붙어 발생한다.

<착설 과 착빙>

구 분	착 설		착 빙
	건 형	습 형	
발생지역	바람이 차폐 되는 곳에서 주로 발달	북해도 등 태평 양 연안	습한공기가 상승하는 응결고도 이상 지역 (동계 계절풍에 노출된 지역)

부착물질	비교적 함유량이 적음	함수량이 크고 진눈깨비에 가까움	과냉각 물방울, 눈조각에 눈입자 부착
부착현상	물의 모세관 현상 눈조각의 결합	작용	얼면서 발달
발 달 시 일기패턴	동계 계절풍에 저기압전선 등이 중첩	습한저기압의 북측 영역, 한랭전선 통과시	주로 동계 계절풍
발 달 시 기 온	-2 ~ +2℃	0 ~ +1.5℃	0℃ 이하
발 달 시 풍 속	5 % 이하	20 % 이하	강풍일수록 급속 발달
취 조 부착방향	상부, 사풍형상	바람부는방향, 사풍 형상	바람방향, 수평
밀 도	0.5 g/cm ³ 이하	0.1 ~ 0.9 g/cm ³ 이하	
회 전	눈만 회전	최초 눈만 회전 후에 전선도 회전	전선회전
바람에 의한 탈락	8 % 이하에 탈락, 일제 탈락	강풍하에서도 잔존, 일제탈락 드뭄	
겉 로 핑	발생 희박	발생원인이 됨	

2.2 송전선로에 적용하는 착빙설 하중

일반적으로 송전선로의 착빙설 하중은 아래표와 같이 적용하며 단, 착설이 현저히 많은 장소를 통과하는 경우 또는 응결고도(해발 800m이상)이상의 지역을 통과하며 계절풍이 심하여 전선로에 착빙이 현저히 심한 경우는 착빙조건을 별도로 고려한다.

765kV 신태백 송전선로 건설시 설비신뢰도 향상을 위하여 지형특성상 강설이 심하고, 고도(高度) 또한 응결고도(해발 800M)이상인 구간에 대하여는 과거 송전선로의 빙설해 사고자료를 분석하고 재현기간 200년을 상정하여 중다설지구로 구분하고 신태백S/S-강원도 정선군 사북면 호재리 부근까지 약 16㎞ (다설지구로 해발 800m이상 지역) 구간에 대하여는 중다설지구를 적용하였다.

따라서 영동과 영서를 구분하는 백두대간 경과 송전선로 중 해발 800M 이상 지역의 송전선로에 대하여는 중다설지구 적용 조건 정도의 착설에 대한 고려가 필요하다고 할 것이다.

<송전선로의 착빙설 적용 하중>

적용지구별	SLEET두께	적용기온	비 중	기준속도압
일반지구	6r	-5℃	0.9	38 kgf/㎡
다설지구	20r	0℃	0.6	30 kgf/㎡
중다설지구	40r	0℃	0.6	30 kgf/㎡

2.3 송전선로 가선

2.3.1 전선 가선

하중조건별 최악조건시 전선의 안전율(sf=2.5)을 만족하도록 가선하며 고려하는 하중조건은 아래와 같다.

① EDS 하중조건 (Every Day Stress Condition)

전선수명에 관계되는 하중조건으로 상시진동으로 인한 전선피로현상을 억제하기 위하여 다음의 조건을 사용한다.

- 풍압 비고려, 10℃, No Sleet
- 사용범위
 - 알루미늄 전선 : 인장하중의 25% 이하
 - 동계 전선 : 인장하중의 30% 이하

② 고온계 하중조건 (Summer Loading Condition)

하계(4-11월)에 전선에 작용하는 최대하중으로 태풍을 고려한 강풍시 조건으로 한다.

- 풍압 고려, 10℃, No Sleet

③ 저온계 하중조건 (Winter Loading Condition)

동계(12월-3월)에 전선에 작용하는 최대하중으로 아래와 같이 2개의 조건으로 한다.

- 유풍시 -5℃ (다설지역의 경우 0℃), 피빙고려
- 무풍시 -20℃, 피빙 불고려 (No Sleet)

2.3.2 가공지선 가선

가공지선의 장력은 저온계 무풍시 전력선 이도의 80%에 해당하는 장력을 표준으로 하여 최악조건시에도 안전율이 확보되도록 가선한다.

< 강심알루미늄연선 제원표 >

공칭 단면적 [mm ²]	최소인장 하중[kgf]	외경[mm]		중량 [kg/km]	탄성계수 [kgf/mm ²]	선팽창계수 [1/℃×10 ⁻⁷]
		A	St			
97	10,600	16.00	9.60	706.8	11,716	15.40
120	9,590	17.50	10.50	845.6	11,716	15.40
330	10,930	25.30	9.30	1,320	8,346	18.97
410	13,890	28.50	10.50	1,673	8,359	18.95
480R	11,800	29.61	7.41	1,599	7,253	20.84
480C	15,340	30.42	10.14	1,836	7,987	19.53

- [주]1. 이 표의 수치는 20℃에 대한 값이다.
- 2. 480R은 480R Rail, 480C는 480R Cardinal.
- 3. ACSR(Aluminum stranded Conductors Steel Reinforced)

2.3.3 탄성계수와 선팽창계수

① 탄성계수 (Modulus of Elasticity)

전선에 장력을 인가하고 장력을 서서히 증가시키면 장력의 크기와 전선의 신장량 사이에는 비례관계가 성립한다. 즉

$$\frac{\text{단위면적당 장력 } \left(\frac{T}{A}\right)}{\text{길이 변화율 } \left(\frac{\Delta l}{l_0}\right)} = \text{정수}$$

의 관계가 성립하고, 이 정수를 일반적으로 E로 표시하여 탄성계수라고 하며 합성연선의 탄성계수는 다음과 같이 계산한다.

$$\text{탄성계수} : E = \frac{mE_a + E_s}{m+1}$$

여기서

E_a, E_s : 알루미늄 및 강심의 탄성계수 [kgf/cm²]

A_a, A_s : 알루미늄 및 강심의 단면적 [cm²]

m : A_a/A_s

② 선팽창계수 (Coefficient of Linear Expansion)

온도의 변화에 따라 늘어난 전선의 신장 비율을 α 로 표시하여 선팽창계수라고 한다. 즉 전선온도 1℃ 변화에 대한 길이의 증감률을 표시한 것으로 소선종류별 선팽창계수는 다음과 같다.

◦ 경 동 선 : 17×10^{-6} [1/℃]

◦ 경알루미늄 : 23×10^{-6} [1/℃]

◦ 아연도금강선 : 11.5×10^{-6} [1/℃]

합성연선의 선팽창계수는 재질이 다른 알루미늄과 강선 등으로 구성되어 있으므로 연선의 구성에 따라 다른 값을 갖게 되며, 아래와 같이 계산한다.

$$\text{선팽창계수} : \alpha = \frac{m\alpha_a E_a + \alpha_s E_s}{mE_a + E_s}$$

여기서

E_a, E_s : 알루미늄 및 강심의 탄성계수 [kgf/cm²]

α_a, α_s : 알루미늄 및 강심의 선팽창계수 [1/℃]

m : A_a/A_s

A_a, A_s : 알루미늄 및 강심의 단면적 [cm²]

2.3.4 송전선로 이도 계산

전선은 주위온도의 변화에 따라 팽창과 수축을 일으키고, 또 전선에 가해지는 하중의 변화(풍압하중, 피빙하중)에 따라서도 탄성적인 신축을 일으킨다.

이들 신축으로 인하여 착설시 이도의 변화가 발생하는데 송전선로에서 전선과 가공지선은 다른 전선을 사용하므로 탄성계수의 차이로 인하여 착설시 처짐이 다르게 발생하며 이도의 계산은 아래와 같이 계산한다.

$$D = \frac{WS^2}{8T} + \frac{W^3S^4}{384T^3}$$

여기서,

T : 전선의 수평장력 [kgf]

W : 전선의 단위길이당 중량 [kg/m]

D : 전선의 이도 [m]

2.4 착설로 인한 전선 및 가공지선의 이도 변화

□ 345kV 송전선로 (ACSR 480mm Rail)

- 가공지선 ACSR120mm, 경간 350m

적용온도 (℃)	-20	0				
착설두께 (mm)	0	0	6	20	30	40
가공지선	4.61	5.27	7.58	15.64	23.81	34.19
전 선	5.76	6.71	8.09	13.17	18.46	25.21
차 인	1.15	1.44	0.51	-2.47	-5.35	-8.98

□ 345kV 송전선로 (ACSR 480mm Cardinal)

- 가공지선 ACSR120mm, 경간 350m

적용온도 (℃)	-20	0				
착설두께 (mm)	0	0	6	20	30	40
가공지선	4.09	4.70	6.84	14.22	21.56	30.80
전 선	5.11	5.97	7.09	11.09	15.19	20.40
차 인	1.02	1.27	0.25	-3.13	-6.37	-10.40

□ 154kV 송전선로 (ACSR 410mm)

- 가공지선 ACSR97mm, 경간 300m

적용온도 (℃)	-20	0				
착설두께 (mm)	0	0	6	20	30	40
가공지선	3.01	3.51	5.33	11.67	17.98	25.93
전 선	3.76	4.49	5.36	8.48	11.71	15.82
차 인	0.75	0.98	0.03	-3.19	-6.27	-10.11

□ 154kV 송전선로 (ACSR 330m)
- 가공지선 ACSR97m, 경간 300m

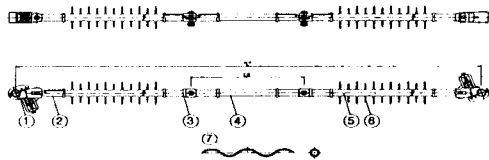
적용온도 (T)	-20		0			
착설두께 (m)	0	0	6	20	30	40
가공지선	3.00	3.50	5.13	11.00	17.00	24.66
전 선	3.76	4.48	5.48	9.20	13.14	18.20
차 인	0.76	0.98	0.35	-1.80	-3.86	-6.46

2.5 착설시 선간이격거리 유지를 위한 상간스페이샤 설치

송전선로에서의 착설발생시 선간흔축을 예방하기 위한 방법으로는 철탑 암간 거리 및 Off-Set 증대, 이도 증가 억제 등을 위한 경간 축소 등 여러 가지 방법이 있겠으나 현지 지형여건, 경제적인 한계 등 문제점이 있고 또한 운전중인 송전선로에는 적용에 한계가 있으므로 착설로 가공지선 및 전선처짐시 선간간격을 확보하는 방안으로 154kV 송전선로에 상간스페이샤 설치를 검토하여 본 결과 다음과 같다.

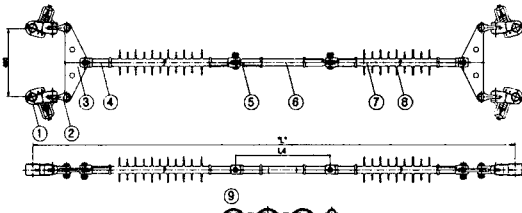
2.5.1 154kV용 상간스페이샤의 형상 및 제원

□ 154kV 단도체용 (인장하중 5,000kgf, 압축하중 200kgf)



Type "L"	3,960	4,460	4,960	5,460
도체 및 단수	단도체2단	단도체3단	단도체4단	단도체5단

□ 154kV 복도체용 (인장하중 5,000kgf, 압축하중 200kgf)



Type "L"	4,180	4,680	5,180	5,680
도체 및 단수	복도체 2단	복도체 3단	복도체 4단	복도체 5단

2.5.2 상간스페이샤 설치 수량

착설로 인하여 가공지선 또는 전선이 처질 경우 상간스페이샤에서는 이를 억제하여야 하므로 압축력을 받게 된다. 따라서 상간스페이샤 설치수량은 상간스페이샤 설계하중 200kgf/개, 금구류 부위 설계를 2.5이므로 최악조건 시 안전을 1.5를 반영하여 설치 수량을 산정한다.

$$200\text{kgf} \times 2.5 \div 1.5 = 333\text{kgf/개}$$

2.5.3 상간스페이샤 설치 수량의 제한

상간 스페이샤 설치로 인한 전선장력 변화와 풍압 변화는 미미할 것으로 예상되나 저온계 착빙설 상태에서의 수직하중은 상간스페이샤 설치수량이 많을 경우 철탑에 영향을 미칠 수 있으므로 검토가 필요하다.

철탑은 작업자 하중(상당 200kg) 정도의 설계여유가 있으

므로 저온계 착빙설 상태에서 최악조건이 발생하는 경우에 상간스페이샤의 자중과 부착된 피빙중량이 회선당 600kg을 초과하지 않도록 하여 설치되어야 하고 실제 송전철탑은 수직하중경간에서 여유가 있으므로 경간내 최대설치 가능수량은 이를 고려하여 제한한다.

복도체와 단도체는 작업자 하중 상정치가 동일(상당 200kg) 하나 상간스페이샤의 중량은 복도체가 단도체에 비해 훨씬 크므로 복도체에 대하여 이를 검토하여 보면 복도체용 상간스페이샤 5단, 5.7m 기준시 자중 78kg, 로드 최대직경 41φ 이므로 설계기준상의 중다설치역 조건을 고려하여 착빙설 중량을 계산하면

$$W_i = 0.6 \cdot \pi \cdot 40(40+41) \times 10^3 (\text{kg/m}) = 6.1 (\text{kg/m})$$

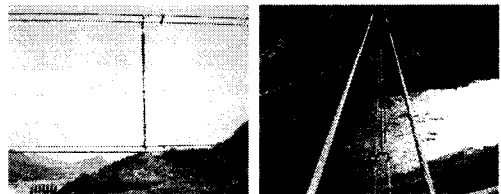
이므로 상간스페이샤 착빙설 중량은

$$W_{is} = 6.1 (\text{kg/m}) \times 5.7\text{m} = 34.77 (\text{kg}) \text{ 이 된다.}$$

상간스페이샤의 총중량은 자중+착빙설 중량이므로

$$\text{자중 } 78\text{kg} + \text{착빙설 중량 } 34.77\text{kg} = 112.8\text{kg} \text{ 이 된다.}$$

따라서 상간스페이샤 회선당 설치수량은, $600(\text{kg}) / 112.8(\text{kg}) \approx 5$ 개 이내로 회선당 설치수량이 제한되어야 하며 단도체는 이보다 훨씬 여유가 있으나 철탑별 설계조건, 경간별 수직하중경간이 모두 같지 않으므로 개소별 설치수량 제한에 대하여는 별도로 검토되어야 한다.



상간스페이샤 설치 전경

3. 결 론

송전선로의 빙설해 예방방법은 여러 가지 방법이 이미 연구중에 있으며 또한 일부는 시행되었으나 가장 경제적인 방안을 찾는 것은 그리 쉽지 않을 것으로 판단된다. 송전선로에서 발생하는 빙설해 피해는 대부분이 설비손괴를 수반하여 영구고장으로 발전이 되고 기후조건이 열악할 경우에 발생이 되므로 폭설로 인한 교통두절 등 고장 순시 및 복구자재 장비 운반이 어려워 복구에 장기간이 소요되는 실정이다.

송전선로에서 착설시 가공지선과 전선간의 특성차이로 가공지선의 이도가 상대적으로 크게 진행되고 이로인하여 가공지선과 전선간 흔축이 유발될 수 있다는 점에 유의하여 사전에 보강 대책을 강구하여야 하며 백두대간을 동서로 횡단하는 송전선로중 고장발생 이력구간, 기후 및 지형여건상 착설 발생이 예상되는 구간에 대하여는 특성을 충분히 고려하여야 할 것이다. 끝.

[참 고 문 헌]

1. 한전 설계기준
2. 영동지역 송전선의 착빙설 하중상징에 대한 연구 (1988.12 한전 기술연구원)
3. 한전 제천전력관리처 빙설해방지TF 활동 보고, 1994-1996
4. 한전 공무국보고서('03.05 제천전력관리처 송전운영부)
5. 빙설현황 조사보고 ('90.3.15 태백전력소)
6. 154kV 황지T/L 착빙에 의한 철탑Arm 절손 고장 조사보고서 ('90.3. 제천전력관리처)
7. 154kV급 송전선로용 폴리머 상간스페이샤 개발 최종 보고서 ('04.06.22 한국전력공사)