

### 4도체 송전선로의 전력선 염회 분석 및 방지 방안

민병욱\* 안정식\* 남궁도\* 박재웅\*\* 김영달\*\*  
 \*한국전력공사 대전전력관리처 \*\*한밭대학교 전기공학과

### Analysis and Preventive Countermeasures of Power Line Twisting for 4-conductor bundle Transmission Line

B.W.Min\* J.S.An\* D.Nam-Kung\* J.W.Park\*\* Y.D.Kim\*\*  
 \*KEPCO \*\*Hanbat National University

**Abstract** - For 4-conductor bundle transmission line spacer damper are equipped so as to keep the spacing between sub conductors. For 4-conductor bundle the subspan spacing of a spacer damper is determined and applied in order that the bundle may get restored to a normal state when 4-conductor bundle is rolled by rigid body vibration due to wind. But 4 conductors of 345kV 4-conductor bundle transmission line were twisted by the angle of 315° for the first time korea. In this paper, we will analyze the reason of the power line twisting of 4-conductor bundle which occurred for the first time in korea and offer the preventive countermeasures for this

#### 1. 서 론

4도체 송전선로에는 전력선 소도체 상호간의 간격을 일정하게 유지하고 전선의 꼬임이나 진동을 방지하기 위하여 스페이서 댐퍼(spacer-damper)를 설치하고 있다. 4도체 송전선로의 전력선에 착설(snowy)이나 착빙(iced)이 불규칙적으로 발생하게 되면 소도체간의 하중 중심이 서로 다르게 되어 4도체가 회전하려는 염력이 발생하게 되며 또한 불규칙적인 바람으로 인하여 강체모드(rigid-body mode)의 진동이 발생하게 되면 전력선이 회전하거나 비틀림 운동을 하게 된다. 이러한 현상으로 4도체 전력선이 회전되거나 염회(twisting) 되었을 경우 자력으로 복원이 가능하도록 스페이서 댐퍼의 설치 간격을 결정하여 적용하고 있다. 그러나 국내 최초로 스페이서 가 설치된 345kV 4도체 송전선로에서 전력선이 염회되어 복원되지 않는 현상이 발생함에 따라 본 논문에서는 4도체 전력선의 염회 발생 원인을 분석하고 이에 대한 방지방안과 염회 복구방법을 제시하였다.

#### 2. 전력선의 염회 발생

1980년 1월 우리 나라에 345kV 4도체 송전선로가 최초로 건설되어 운전된 이후 현재까지 4도체 전력선이 염회되어 복원되지 않는 사례는 없었다. 그러나 2001년 7월 6일 4도체 송전선로에서 다음과 같이 전력선 소도체 4가닥이 완전히 염회되어 복원되지 않는 현상이 발생하였다.

##### 2.1 전력선 염회 발생 공간

4도체 전력선의 염회가 발생한 지점은 청양변전소와 서서울변전소간을 연결하는 2회선 송전선로중 서청#1 T/L B상 27~28호간이며, 염회는 내장-내장 애자장치간 1구간(section)내의 8개 경간(span)중 3번째 경간에서 발생하였다. 내장-내장 애자장치간 1구간에서 수평장력이 동일하게 되는 등가경간(ruling span)은 436m이며, 염회가 발생한 해당 경간의 길이는 496m이다.

##### 2.2 전력선의 배열방식 및 스페이서의 제원

전력선은 ACSR 480mm<sup>2</sup>(rail)으로 배열방식은 2회선 수직배열이며, 1상(phase)당 4도체로 소도체 간격은 40cm, 정사각형 배열이다.

설치된 스페이서는 일본 AEW(Asahi Electric Works) 제품으로 damping 기능이 없는 고정형(Rigid-Type)이며, 스페이서의 제원은 소도체 간격 400±5mm, 1개당 중량 10.2kg, Frame 직경 19mm, 조임토크 800kgf·cm 로 스페이서의 형상은 그림1과 같다.

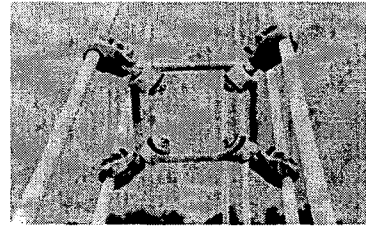


그림 1 4도체용 스페이서 (AEW 제품)  
 Fig. 1 4-conductor Bundle Spacer

##### 2.3 전력선의 염회 형태

염회가 발생한 공간에 설치된 스페이서는 9개로 1~2번과 7~8번 스페이서간의 소경간(subspan)에서 완전한 꼬인 염회가 발생하였으며, 스페이서의 설치 간격과 4도체 전력선의 염회 각도는 그림2, 그림3과 같다.

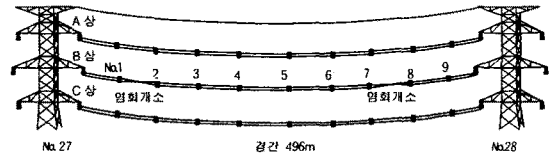


그림 2 전력선 염회개소  
 Fig. 2 Location of power line twisting

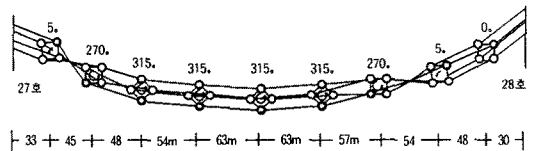


그림 3 스페이서의 설치간격 및 염회 각도  
 Fig. 3 Subspan lengths and twisted angle

### 3. 전선의 진동현상과 염회 매커니즘

#### 3.1 전선의 진동 유형

가공송전선로에서 바람에 의해 발생하는 진동현상으로는 미풍진동(aeolian vibration), 후류에 의한 진동(wake induced oscillation), 갤럽핑(galloping) 등이 있다. 미풍진동은 주로 단도체 송전선로에서 많이 발생되고 있으며 다도체 송전선로에서는 소도체수가 많아 질 수록 미풍진동은 크게 감소된다. 특히 4도체 송전선로의 경우 소도체 상호간의 간섭으로 미풍진동은 크게 발생하지 않는 것으로 알려져 있다. 후류에 의한 진동은 다도체 송전선로에서만 발생하는 현상이며, 갤럽핑은 전선에 착설(snowy) 또는 착빙(iced)이 불규칙적으로 발생하여 전선 단면의 비대칭성에 의해 빙설이 날개와 같이 작용하므로써 바람에 의한 양력과 전선 자중의 상호작용으로 전선이 진동하는 현상이다.

#### 3.2 후류에 의한 전선진동

후류에 의한 전선의 진동현상은 바람이 불어 오는 쪽에 있는 풍상측 도체(windward conductor)에 의해 바람이 불어 가는 쪽에 있는 풍하측 도체(leeward conductor)의 주위가 공기역학적으로 차폐되어 풍속이 감소하게 되고 풍상측 도체의 후류에 의해 풍하측 도체에 양력이 발생하게 되며, 이 양력에 의해 풍하측 도체가 진동하는 현상으로 일반적으로 풍속이 7~18% 범위에서 발생하는 것으로 알려져 있다.

후류에 의한 진동은 일반적으로 소경간 진동(subspan oscillation)과 강체형 진동(rigid-body oscillation)으로 구분할 수 있으며, 강체형 진동은 수직갤럽핑, 수평갤럽핑, 회전·비틀림 진동 등으로 구분되며 진동형상은 그림4와 같다. (1)(2)

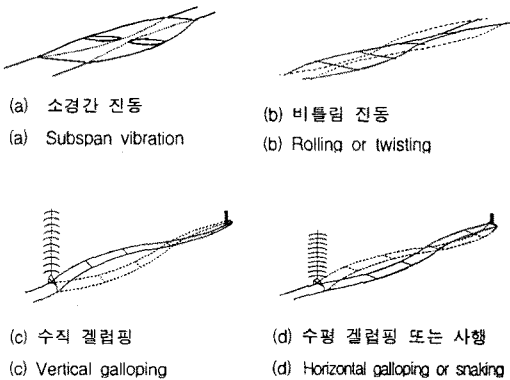


그림 4 후류에 의한 진동  
Fig. 4 Wake induced oscillation

소경간 진동은 스페이서와 스페이서 사이의 소경간에서 1~2개의 루프를 형성하면서 풍상측 도체와 풍하측 도체의 위상이 서로 180°차이를 갖는 타원 궤도를 그리며 진동한다. 강체형 진동은 경간 전체에 대해 한 개 또는 여러 개의 루프를 갖고 진동하는 데 수직 및 수평 갤럽핑은 2루프 진동이 가장 일반적이고, 비틀림 진동은 8루프까지도 관측된 예가 있다. 그러나 일반적으로 한 개의 루프를 갖는 진동현상은 드물다. 또한 한 개 이상의 루프를 갖는 진동이 발생될 때 루프간의 노드점(node point)은 스페이서가 설치된 지점에서 발생되지 않는 것으로 나타나고 있다. 수직 갤럽핑의 경우는 진동 루프가 진행파 형태로 나타나는 경우도 있으나, 수평 갤럽핑의 경우에는 진행파가 없는 것으로 보고되고 있다. (3)

### 3.3 전력선의 염회 발생 매커니즘

그림5는 Ontario Hydro에서 경간 244m, 2도체 송전선로에 토오르크를 부과하는 방법으로 전력선의 염회현상을 시험한 결과이다. (4)

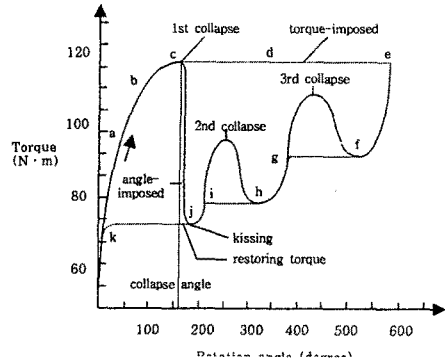


그림 5 염회에 대한 물리적 매커니즘  
Fig. 5 Physical mechanism of bundle torsional stiffness

전선의 진동으로 인해 염회 토오르크가 a-b-c와 같이 점차 증가하게 되면 한계점(c)에서 다도체는 갑자기 붕괴(collapse)하게 된다. 다도체의 붕괴는 하나 또는 몇 개의 소경간의 소도체들이 서로 단락하게 되는 것을 의미하며 이를 'kissing'이라 한다. kissing후에는 다도체 염력은 부분적으로 회복되고 몇 개의 다른 소경간이 그 다음에 붕괴하게 된다. 첫 번째 붕괴될 때 발생하는 각도를 붕괴각도(collapse angle)라고 하며, 첫 번째 붕괴각도에 도달할 때 전선운동의 불안정으로 점프가 일어나게 되고 그동안에 두 번째, 세 번째 붕괴가 연속적으로 발생한다. 그림6과 그림7은 345kV 서청T/L에서 발생한 전력선의 소경간 염회(kissing) 현상이다.

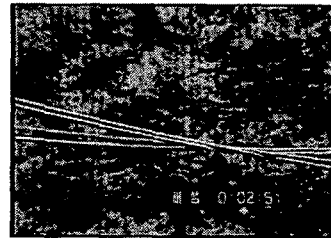


그림 6 1~2번 스페이서간의 소경간 염회  
Fig. 6 Sub-conductor kissing between spacer No1 and No2

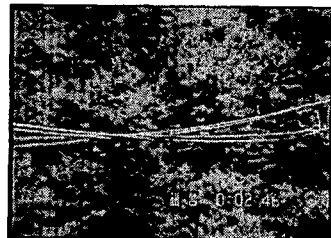


그림 7 7~8번 스페이서간의 소경간 염회  
Fig. 7 Sub-conductor kissing between spacer No7 and No8

## 4. 전력선의 염회 원인 분석

### 4.1 스페이스서 취부방식 분석

다도체 송전선로에는 전선의 진동 또는 단락전류에 의해 소도체간 흡입력 등이 발생하였을 경우 전력선이 염회되거나 소도체가 서로 충돌하여 전선의 변형이나 마모가 되지 않도록 소도체 간격을 일정하게 유지하기 위하여 스페이스나 스페이스-뎀퍼를 설치하고 있다.

4도체 송전선로의 경우 미지역에서는 소도체에서 발생한 미풍진동과 소경간 진동을 감쇠시켜 주는 기능을 갖고 있는 스페이스-뎀퍼를 사용하고 있으나 일본의 경우에는 스페이스를 사용하고 있다.

현재 우리 나라의 345kV 4도체 송전선로에는 스페이스-뎀퍼가 약 18만 6천개, 스페이스(AEW 제품)가 약 5만 4천개로 총 24만여개가 설치되어 있으며, 전력선에 염회가 발생한 345kV 서청T/L에는 일본제품인 AEW 스페이스가 설치되어 있다. 일본의 경우 "각 도체간에 바람의 영향은 받을 수 있으나, 동일하게 미풍진동이 적용되지 않는다"는 가설하에 스페이스-뎀퍼와 스페이스를 구분하지 않고 스페이스라고 총칭하고 있다. 결론적으로 한 소도체에 미풍진동이 발생하게 되면 설치간격에 따라 설치된 스페이스에 의해 다른 소도체에 간섭현상을 일으켜 진동을 즉시 감쇠시킬 수 있다는 이론하에 스페이스 설계시 미풍진동은 배제하고 소경간 진동과 겔럼핑 진동만을 고려하고 있으며, 방진기능을 수행하는 elastomer 대신 스프링을 사용하여 전선을 파지하게 하므로써 어느 정도 진동을 방지하게 하여 전선 체결부의 취약성을 보완하고 있다. [1]

다도체 송전선로의 스페이스 취부 방식은 송전선로의 입지조건, 기상조건, 고장원인 등에 따라 다르나 일반적으로 스페이스의 설치 목적에 따라 다음과 같은 취부방식을 채택하고 있다. [5]

#### ① 염회 복원을 고려한 스페이스 취부 방식

이 방식은 송전선이 염회되는 경우에도 외력이 소실되면 자력으로 복원하는 것을 기본 이론으로 한 스페이스 취부 방식으로 우리 나라와 일본에서 주로 사용하고 있다. 이 방식은 중앙의 소경간이 제일 길고 중앙에서부터 양측으로 소경간이 짧아지면서 좌우 소경간의 길이가 대칭형이며, 대수 감쇠율이 커 소경간 진동의 억제에 효과가 있다.

#### ② 소경간 진동을 고려한 취부 방식

이 방식은 대수 감쇠율을 크게 하여 소경간 진동폭을 적게 하는 방식이며, 스페이스 성능에 의한 효과보다는 취부 간격에 의한 효과가 크다. 이 방식은 전력선이 염회되어도 자력 복원력은 없다.

#### ③ 등간격 취부 방식

이 방식은 한 경간내의 소경간 간격을 일정하게 하여 스페이스 취부를 간략화한 방식으로 유럽에서 많이 적용되고 있으며, 등간격의 결정은 소경간의 진동을 감소시키기 위하여 진동진폭을 고려하여 정하고 있다.

AEW 스페이스의 경우 ①, ②, ③ 방식의 어느 취부 방식에도 적용이 가능하다고 보고되어 있지만 [5] 이번 염회된 서청T/L의 경우 4도체 전력선이 염회되었을 때 염회 복원 기능을 우선으로 고려한 ① 방식을 적용하여 스페이스를 취부하였으므로 염회 방지를 위한 스페이스의 취부방식에는 문제점이 없는 것으로 판단된다.

### 4.2 소경간 길이 분석

4도체 전력선에 착방설이 불규칙적으로 발생하게 되면 소도체간의 하중 중심이 서로 다르게 되어 4도체가 회전하려는 염력이 발생하게 되며 또한 불규칙적인 바람에 의해서도 전력선이 회전하거나 비틀림 운동을 하게 된다. 그러나 이러한 불평형 하중이 제거된 후에 원래의 상태로 복원하려면 복원 토오크가 필요하며, 이를 염회 복원력이라 한다.

A. T. Edwards는 430m 시험선로에서 4도체에 대한

염회복원력 시험을 하였으며 그 결론은 다음과 같다.

첫 째, 75m 이상인 종단 소경간(end subspan)에서 다도체는 종단 스페이스(dead-end spacer)의 회전각이 180°이면 불안정하다. 이 각도(180°)에서는 염회복원력이 0(negative)가 되어 경간 양측 종단 스페이스간의 전체 소경간을 대략 160°염회시키게 된다. 이 때 염회된 다도체는 다시 복원되지 않는다.

둘 째, 종단 소경간의 길이(end subspan lengths)가 대략 45m에서는 종단 스페이스에 있는 다도체가 약 200°에서 염회가 발생하기까지 불안정한 상태에 도달하지 않는다.

셋 째, 0~180°의 염회 범위에서 다도체의 복원 토오크는 종단 소경간 길이를 상당히 감소시킴으로써 증가된다. 427m 시험 경간에서, 꼬임각이 135°인 종단 스페이스에서 측정된 복원 토오크는 표1과 같다. [6]

표 1 4도체 선로의 염회복원력(A.T.Edwards 시험치)

Table 1 Restoring torque of 4-conductor bundle

End subspan lengths [m]	108	86	71	35
Restoring torque [lb-ft]	82	96	115	150

즉, 염회복원력은 철탑의 양 끝단부인 종단 소경간의 길이에 의해 크게 영향을 받는다. 4도체 경간에서 종단 소경간의 길이가 짧을수록 염회는 발생하기 어려우며, 염회 발생 확률도 종단 소경간의 길이가 짧을수록 낮아지게 된다. 또한 전력선이 염회된 경우에도 종단 소경간의 길이가 짧을수록 자력 복원력이 크다.

전력선이 염회된 345kV 서청T/L 27~28호는 현수-현수 애자장치 경간으로 AEW사에서 제시한 경간 496m에서의 스페이스 설치기준과 실제 설치된 스페이스 시공간격은 표2와 같다.

표 2 염회 경간의 스페이스 설치간격

Table 2 Subspan spacing of twisted span

구분	애자장치	취부수량	스페이스 취부간격 [m]
기준	현수-현수	7개	45-60-69-74-74-69-60-45
	내장-내장	9개	30-44-45-55-74-74-55-45-44-30
설치	현수-현수	9개	33-45-48-54-63-63-57-54-48-30

4도체 염회구간인 현수-현수 애자장치간의 스페이스 기준 설치수량은 7개이나 실제 설치된 스페이스 수량은 내장-내장 애자장치간 기준수량인 9개가 설치되어 소경간의 길이가 설치기준보다 매우 짧으며, 종단 소경간 길이도 '염회 복원을 고려한 스페이스 취부방식'에서 규정한 최단 소경간(30m)으로 설치되어 있다. 또한 그림3에서의 같이 염회구간의 종단 스페이스는 거의 회전되지 않아 종단 소경간 길이 및 스페이스 설치간격에는 문제점이 없는 것으로 판단된다.

### 4.3 전선의 swing 분석

전선의 swing 운동은 그림6과 같이 소경간 운동과 같은 local motion이 아니라 galloping motion과 같은 global 운동이다.



그림 8 전선의 swing 운동

Fig. 8 Conductor swing motion

전선의 swing 운동은 전선의 초기 처짐에 의해 발생하며 전선에 작용하는 장력이 작을수록 또는 전선의 길이가 길수록 swing 운동의 크기는 증가될 수 있다.

안정영역에서의 swing 운동은 중력 작용에 의해 그림 9(a)와 같이 타원궤도를 가지며 운동한다. swing 각이 180° 이상이 되면 그림 9(b)와 같이 불안정 상태로 진입하여 전선이 꼬이게 된다.

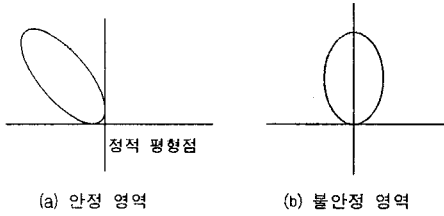


그림 9 전선의 swing 운동 영역  
Fig. 9 Swing motion sphere

전선의 swing 운동 방정식은 다음과 같다.

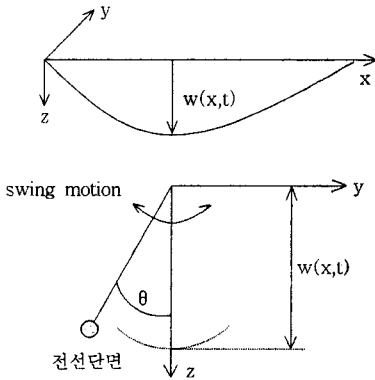


그림 10 전선의 swing 운동 방정식  
Fig. 10 Motional equation of swing

그림 10을 창조하면 초기 정적 처짐( $t=0$ 에서  $w(x,t)$ )은

$$w = \frac{\rho g}{2T_0}(lx - x^2) \quad (1)$$

이므로

$$\int_0^l \rho w^2(x) \ddot{\theta} dx + \int_0^l \rho g l \sin \theta dx = F \quad (2)$$

가 되며, 이를 정리하면

$$\frac{\rho^3 g^2 l^5}{120 T_0^2} \ddot{\theta} + \rho g l^2 \sin \theta = F \quad (3)$$

또는

$$\ddot{\theta} + \frac{120 T_0^2}{\rho^3 g^2 l^5} \sin \theta = \frac{120 T_0^2}{\rho^3 g^2 l^5} F \quad (4)$$

가 되며,  $F = \frac{1}{2} \rho l V^2$  이므로

$$\ddot{\theta} + \frac{120 T_0^2}{\rho^2 g l^3} \sin \theta = \frac{60 T_0^2}{(\rho g l^2)^2} V^2 \quad (5)$$

여기서,

$$X = \frac{120 T_0^2}{\rho^2 g l^3}, \quad Y = \frac{60 T_0^2}{(\rho g l^2)^2} V^2 \quad (6)$$

이라 하고 식(6)을 식(5)에 대입하고 이를 정리하면 식(7)과 같이 풍속에 대한 전선의 최대 회전각(Maximum swing angle)을 구하는 미분방정식이 성립된다.

$$\ddot{\theta} + X \cdot \theta = Y \cdot V^2 \quad (7)$$

여기서,  $T_0$  : 전선장력(N)  
 $\rho$  : 전선의 단위길이당 질량(kg)  
 $l$  : 경간(m)  
 $g$  : 중력가속도(9.81m/s<sup>2</sup>)  
 $V$  : 풍속(m/s)

ACSR 480mm<sup>2</sup>(rail), 4도체 송전선로인 서청T/L의 경우, 온도 20(°C), 풍속 20(m/s)에서 장력  $T_0=23,130$  [N], 전선의 단위길이당 질량  $\rho=1.599$  [kg/m], 경간  $l=496$  [m]를 적용하고 스페이서 질량은 전선질량의 약 6%)로 매우 적어 생략하면 전선의 운동방정식은 식(8)과 같다.

$$\ddot{\theta} + 20.1\theta = 0.0022V^2 \quad (8)$$

식(8)을 이용하여 전력선이 염회된 서청T/L 27~28호간의 풍속에 대한 전선의 최대 회전각을 계산하면 표 3과 같으며, 계산 결과 일반 강풍으로는 불안정 영역에 도달하지 않는다.

표 3 풍속에 대한 전선의 최대 회전각  
Table 3 Maximum twist angle for wind speed

풍속(m/s)	20	40	50	60	70	80	85	90이상
회전각	4	18	28	41	59	84	106	불안정

그러나 이 swing mode의 고유 진동수는 다음과 같다.

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{20.1} \approx 0.7 [\text{Hz}] \quad (9)$$

즉, 강풍에 의해서 전선의 운동은 안정하나, 약 1.4초의 주기로 바람이 부는 경우에는 낮은 속도의 바람으로도 공진에 의하여 불안정 영역으로 진입이 가능하게 된다.

#### 4.4 내장-내장 애자장치 1구간내 경간 수의 영향

장력의 차이는 내장-내장 애자장치 1구간(section) 내의 경간 수에 따라 달라진다. 경간의 수가 많을수록 염력강도(torsional stiffness)는 낮아진다. 경간수가 많은 1구간에서 한 경간의 다도체 염력강도는 종단 경간(end-span) 보다 작다. 1구간 내에서 전선은 자유롭게 움직일 수 있으므로 현수클램프 위치에서 선로방향으로 독립적으로 움직일 수 있기 때문에 장력이 한 경간에서 다른 경간으로 잘 보상된다. 현수-현수 애자장치 경간의 경우 전선 진동시 현수애자장치는 스페이서와 유사한 운동을 하게 되어 염회 토오르가 작아도 쉽게 전력선이 염회될 수 있다.

서청T/L 염회개소의 1구간 내의 경간수는 8개 경간으로 3번 째 경간에서 염회가 발생하였다. 따라서 1구간내의 경간수가 많은 것이 염회 발생의 원인이 될 수도 있다.

#### 4.5 전력선의 염회 원인분석 결과

345kV 서청T/L에 대한 선로순시 및 점검은 2001년1월부터 4월까지 3차례에 걸쳐 시행되었으며, 전력선이 염회된 것을 발견한 것은 2001년 7월이었다. 따라서 전력선의 염회 원인은 착빙설에 의한 불평형 하중의 발생으로 인한 강제진동은 아니며, 스페이스의 설치방식과 설치간격, 그리고 종단 소경간의 길이에 대하여 검토·분석 결과도 문제점이 없는 것으로 판단되었다. 또한 강풍에 의한 전선의 swing도 풍속이 90%이상일 경우에만 불안정 영역으로 진입하게 되나 우리 나라에서는 1904년 기상관측이 시작된 이후 순간최대풍속이 60%이상 기록된 바가 없다. 따라서 전력선의 염회 원인으로는 약 1.4초 주기의 단속적인 바람(fitful wind)이나 돌풍(squall)에 의한 전선의 swing으로 인하여 전선의 진동이 불안정한 영역으로 진입하게 되어 염회된 것으로 추정된다.

#### 5. 전력선의 염회 방지대책 및 복구 방법

전력선의 염회 원인 분석 결과에 대한 4도체 송전선로의 염회 복구방법과 염회 방지 대책은 다음과 같다.

##### 5.1 전력선 염회 복구방법

4도체 전력선이 염회되었을 경우 염회복원력은 종단 소경간 길이의 영향이 크다. 종단 소경간의 길이가 짧을수록 염회 발생 확률도 낮으며 또한 자력 복원력도 크다. 345kV 서청T/L 전력선 염회구간의 복구방법도 전선장력을 미세하게 변화시키면서 염회 소경간의 자력 복원력으로 원상 복구되도록 하였다. 즉, 4도체 전력선의 염회 복구방법은 현수애자장치의 경우 현수크랩프 4개 중 한 개를 현수애자련에서 분리하여 전력선을 미세하게 상하로 이동시키면 쉽게 염회상태를 복구할 수 있으며, 내장애자장치의 경우 4개의 소도체중 한 개의 소도체 장력을 미세하게 변화시키면 염회가 쉽게 복구된다.

##### 5.2 전력선의 염회 방지대책

4체 전력선의 염회 방지를 위해서는 다음 사항을 고려하여야 한다.

① 4도체 전력선의 스페이스 취부 방식은 송전선이 염회되는 경우에도 외력이 소실되면 자력으로 복원될 수 있도록 중앙의 소경간이 제일 길고 중앙에서부터 양측으로 소경간이 짧아지면서 좌우 소경간의 길이가 대칭형인 '염회복원을 고려한 스페이스 취부방식'이 유리하다. 또한 이 방식은 등간격 취부방식에 비해 대수 감쇠율 커서 전선 진동의 억제에도 효과가 있다.

② 염회복원력은 철탑의 양 끝단부인 종단 소경간의 길이에 의해 크게 영향을 받는다. 즉, 1경간 내에서 종단 소경간의 길이가 짧을수록 염회는 발생하기 어렵고, 염회 발생 확률도 종단 소경간의 길이가 짧을수록 낮으며 또한 전력선이 염회된 경우에도 종단 소경간의 길이가 짧을수록 자력 복원력이 크게 되므로 장경간(long span)에서는 종단 소경간의 길이를 짧게 하여야 한다.

③ 전선의 swing은 전선의 기선장력(wiring tension)이 작을수록, 경간의 길이가 길수록 크게 된다. 따라서 전력선의 염회가 예상되는 개소는 경간의 보다는 길이를 짧게 하여 적정 장력이 유지되도록 하여야 한다.

④ 현수-현수 애자장치 경간의 경우 전선 진동시 현수 애자장치는 스페이스와 유사한 운동을 하게 되어 염회도 크기가 작아도 쉽게 전력선이 염회될 수 있으므로 내장-내장 애자장치간 1구간(section)내의 경간수를 최대한 적게 하는 것이 바람직하다.

⑤ 바람에 의하여 전선이 진동을 할 경우 공진으로 인하여 불안정 영역에 진입할 수 없도록 전선의 상하운동을 억제하기 위하여 진동 루프의 중앙에 그림11과 같은 염력댐퍼(torsional damper)를 취부하거나 스페이스의 한 측면의 파지부를 회전할 수 있도록 하여 강풍이나 착빙 상태에서 저주파 진동이 일어나지 않도록 그림12와 같은

루즈 스페이스(loose spacer) 등의 취부를 고려한다.

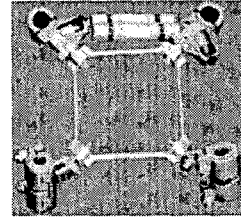


그림 11 루즈 스페이스  
Fig. 11 Loose spacer

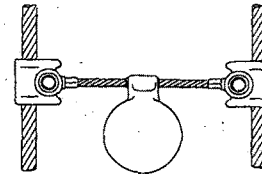


그림 12 염력 댐퍼  
Fig. 12 Torsional damper

#### 6. 결 론

본 논문에서는 우리 나라에서 처음으로 발생한 4도체 송전선로의 전력선 염회현상을 중심으로 전력선의 염회 발생 원인을 분석하고 전력선의 염회 방지 방안으로 스페이스 취부방식과 종단 소경간 및 경간 길이, 내장-내장 애자장치 구간내의 경간수와 전선 진동시 공진 방지 방안 등을 제시하였으며, 또한 이번에 발생한 4도체 전력선의 염회 복구 시공경험을 토대로 전력선 염회복구 방법을 제시하였다.

현재까지는 전선의 미동진동을 중심으로 한 연구가 활발하게 수행되어 왔으나 다도체 송전선로의 경우 미동진동에 대한 영향보다는 소경간 진동, 회전·비틀림 진동, 겹침핀 진동 등 주로 후류에 의한 강제진동으로 설비피해가 많이 발생되고 있으므로 다도체 송전선로에 대한 강제진동 방지방안에 대한 연구가 수행되어야 할 것이다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] 조성배, 김태진, "송전선로용 자동클램핑장치형 Spacer Damper 개발", 전력연구원, pp.10~11, pp31-37, 2000.9.
- [2] 심재명, 류봉조, 김영달, "4도체 Spacer Damper의 설치간격 검증 및 소프트웨어 개발", 한밭대학교, pp6-10, 2001.7.
- [3] 이동일, 추장희, 이형권, 손홍관, "345kV 4도체 가공선로 진동대책 연구", 전력연구원, pp76-77, 2001.5.
- [4] Jianwei Wang, Jean-Louis Lilien, "A new theory for torsional stiffness of multi-span bundle overhead transmission lines", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.13, No.4, pp1405-1411, October 1998
- [5] "4導體スペサダンパ取付方式について", 旭電機株式会社, pp.1-9, 1992
- [6] A. T. Edwards, J. M. Boyd, "Bundle-Conductor Spacer Design Requirements and Development of "Spacer-Vibration Damper", IEEE Transactions on Power Apparatus and System, Vol. PAS-84, No.10, pp 924-932, October 1985