

2도체 송전선로의 스페이서 취부방식 연구

민병욱* 김우겸* 최한열* 박기용* 김원진* 박재웅**
 한국전력공사* 한밭대학교**

A Study on the Spacer Installation Method for 2-Conductor Bundle Transmission Lines

Byeong-Wook Min* Woo-Kyum Kim* Han-Yeol Choi* Kee-Yong Park* Won-Jin Kim* Jae-Ung Park**
 Korea Electric Power Corporation* Hanbat National University**

Abstract - Overhead transmission lines are classified by the number of sub conductors per phase. Korean transmission lines use two, four, or six-conductor bundle. Bundle of conductors must have spacers or spacer dampers which keep the proper distance between sub conductors. They can prevent conductors from being vibrated or twisted due to the wind. As for the two-conductor bundle, alternating current flow generates absorption force between sub conductors which may cause a collision of sub conductors. To prevent sub conductors from being vibrated, twisted, and collided, spacer or spacer damper installation method is designed considering vibration characteristics of sub conductors. We have spacer installation method for four or six-conductor bundle lines. However, we don't have it for two-conductor bundle ones. So we have installed spacers at regular intervals in two-conductor bundle lines, and it caused rigid body oscillation of conductors due to the wind which made a flashover between conductors. This paper introduces a vibration characteristic analysis of two-conductor bundle and proposes a spacer installation method for two-conductor bundle lines.

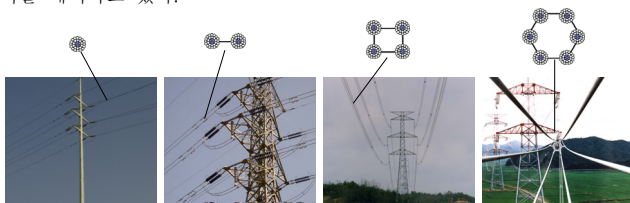
1. 서 론

가공 송전선로는 전력선 1상(phase)에 설치하는 소도체(sub-conductor)의 수량에 따라 단도체와 다도체로 구분되며 우리나라의 다도체 송전선로는 2도체(복도체), 4도체, 6도체로 구성되어 있다. 다도체 송전선로는 소도체 상호간의 간격을 일정하게 유지할 수 있도록 스페이서(또는 스페이서 댐퍼)를 설치하고 있으며, 바람에 의한 전력선의 진동과 꼬임을 방지하고 전류에 의한 전자흡입력 발생으로 소도체 상호간이 충돌하여 전선이 마모되고 손상되는 것을 방지하기 위하여 송전선로의 진동특성을 고려하여 스페이서의 취부방식과 설치간격을 규정하고 있다. 현재 4도체와 6도체 송전선로에는 전선의 진동특성을 고려하여 스페이서의 취부방식과 설치간격을 규정하고 있으나 2도체 송전선로의 경우 1969년 최초로 154kV 송전선로를 2도체로 건설한 후 현재까지 스페이서의 취부 수량만 규정되어 있고 취부방식과 설치간격은 규정되어 있지 않아 대부분 일정한 간격으로 설치하고 있어 종단소경간(end-subspan)이 길게 되므로써 전력선의 염회(비틀림)가 쉽게 발생하고 잘 복원되지 않을 뿐만 아니라 바람에 의하여 첩탑과 첩탑 사이의 전력선 전체가 상하·좌우로 횡진하는 강체형 진동(rigid-body oscillation)이 발생되어 전력선 상호간의 절연간격 부족으로 인해 섬락고장이 발생하고 있다. 따라서 본 논문에서는 전력선 진동으로 인한 고장 발생을 방지하기 위하여 2도체 송전선로의 진동특성을 분석하고 진동을 억제할 수 있는 스페이서 취부방식과 설치간격을 제시하였다.[1]

2. 송전선로의 도체방식

2.1 송전전압과 도체방식

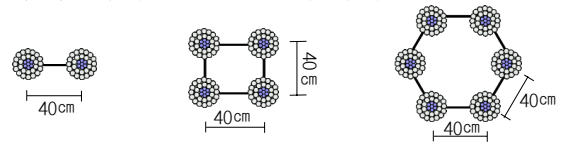
송전선로의 도체방식은 송전전압, 송전용량, 경제성, 전기적 환경장해 등에 의해 결정되며 우리나라의 경우 154kV 송전선로는 단도체와 2도체, 345kV 송전선로는 2도체와 4도체 그리고 765kV 송전선로는 6도체 방식을 채택하고 있다.



〈그림 1〉 송전선로의 도체방식

2.2 전력선의 소도체 간격

다도체 송전선로의 전력선이 바람에 의해 진동하거나 염회되는 것을 방지하고 전류에 의한 소도체간 전자흡입력 발생으로 소도체가 충돌하지 않도록 소도체 간격을 일정하게 유지하여야 한다. 소도체간 간격은 대체로 전선직경의 약 10~20배로 하고 있으며 우리나라의 경우 소도체간 간격은 그림2와 같이 대부분 40cm로 설치하고 있다.



〈그림 2〉 전력선의 소도체 상호간 간격

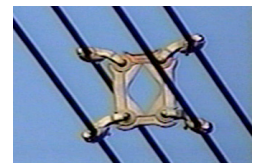
3. 송전선로용 스페이서 (spacer)

3.1 스페이서의 종류

다도체 전력선의 소도체간을 일정한 간격으로 유지하기 위하여 전선에 설치하는 금구를 스페이서(spacer)라고 하며 스페이서에 전선진동 방지 기능을 추가한 금구를 스페이서-댐퍼(spacer-damper)라고 한다. 송전선로용 스페이서와 스페이서-댐퍼는 그림3과 같다.



2도체용 Spacer



4도체용 Spacer-Damper

〈그림 3〉 송전선로용 스페이서

3.2 스페이서 취부방식

스페이서의 취부방식은 표1과 같이 스페이서의 배열방법과 설치간격에 따라 구분하며 첩탑과 첫 번째 스페이서 간의 간격, 즉 종단소경간의 길이(S₁)와 다음 스페이서와의 간격(S₂)의 비에 의해 대수감쇠율이 결정되고 대수감쇠율이 높을수록 전선진동을 빨리 억제시킬 수 있다.[1][2]

〈표 1〉 스페이서 취부방식과 진동특성

방식	스페이서 설치간격 (m)	경간비(S ₁ /S ₂)	대수감쇠율
①	30(S ₁) - 40(S ₂) - 50 - 60 - 50 - 40 - 30	0.75	0.08
②	30(S ₁) - 45(S ₂) - 50 - 60 - 50 - 45 - 30	0.67	0.11
③	46(S ₁) - 46(S ₂) - 46 - 46 - 46 - 46 - 46	1.00	0.04
④	35(S ₁) - 57(S ₂) - 51 - 60 - 52 - 59 - R	0.61	0.13

- 이간격 대칭배열 (異間隔 對稱配列 / 염회복원력 증대방식)
 전력선이 염회되어도 외력이 소실되면 자력으로 복원되는 것을 기본으로 하며 대수감쇠율이 커서 전선진동 억제 효과가 양호하다.
- 이간격 대칭배열 (異間隔 對稱配列 / 소경간 진폭 억제방식)
 대수감쇠율을 크게 하여 전선의 진폭을 적게 하는 방식으로 스페이서의 성능에 의한 효과보다는 취부 간격에 의한 효과가 크며 전력선이 염회되어도 자력 복원력이 적다.
- 등간격 배열 (等間隔 配列 / 소경간 진동 억제방식)
 소경간의 진동과 진폭의 감소를 고려하여 등간격을 결정하며 대수감쇠율이 작아 전선진동 억제효과가 낮고 염회복원력이 매우 적다.
- 이간격 비대칭배열 (異間隔 非對稱配列 / 소경간진동, 염회복원력 억제방식)
 대수감쇠율이 커서 전선진동 억제효과가 양호하며 염회복원력이 크다.

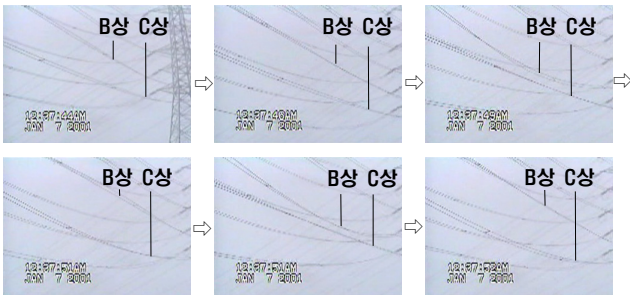
3.3 스페이스서 취부간격

2도체 송전선로의 스페이스서는 현재 경간별 취부수량만 규정되어 있고 취부간격에 대한 설계기준이 없어 설계자가 배열방식을 임의로 적용하고 있으며 대부분 등간격 배열방식으로 설치하고 있다. 6도체 송전선로는 1996년 8월에 이간격 비대칭 배열방식으로 스페이스서 취부간격 설계 기준을 제정하였고 4도체 송전선로는 1993년에 이간격 대칭배열방식으로 설계기준을 제정하였으나 소경간 진동이 계속 발생하여 2004년 2월에 6도체 송전선로와 동일하게 이간격 비대칭 배열방식으로 개정하였다.

4. 2도체 송전선로의 진동분석

4.1 강제형 진동

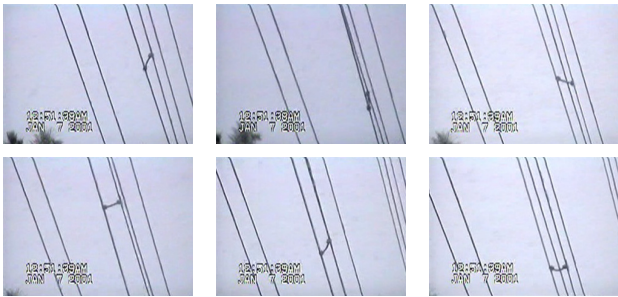
2도체 송전선로의 진동은 소도체 다발이 전선의 횡 방향으로 회전하고 비틀리며(rolling and twisting) 철탑과 철탑 사이의 전력선 전체가 매우 큰 진폭으로 상하로 운동하는 강제형 진동(rigid-body oscillation)으로 풍속이 4~18% 범위에서 주로 발생한다. 강제형 진동이 발생하게 되면 전력선 상호간이 단락되거나 절연간격이 부족하게 되어 섬락오장이 발생한다. 그림4는 2001년 1월에 발생한 154kV 사당 송전선로의 강제형 진동을 시간대별로 기록한 사진이다.



〈그림 4〉 2도체 송전선로의 강제형 진동

4.2 염회(twisting)와 꼬임(kissing)

2도체 송전선로에서 강제형 진동이 발생하게 되면 소도체 다발이 송전선로의 횡 방향으로 회전하면서 비틀리는 염회(twisting)가 발생되고 염회 복원력이 부족하게 되면 전력선이 파베기처럼 꼬이게 되는 kissing(꼬임)현상이 발생하게 되어 전선이 손상되거나 단선되기도 한다. 송전선로의 염회현상은 그림5와 같으며 꼬임현상은 그림6과 같다.



〈그림 5〉 전력선의 염회 (twisting)



〈그림 6〉 전력선의 꼬임 (kissing)

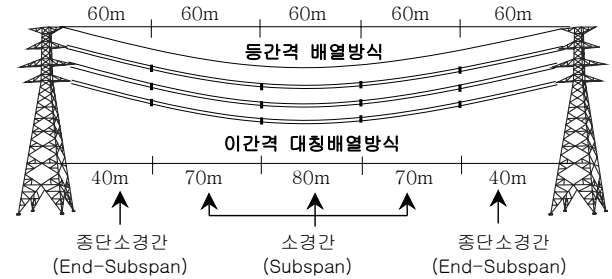
4.3 스페이스서 등간격 배열의 진동특성

전력선이 염회될 경우 자력으로 복원하려는 힘에 의해 꼬임이 회복되는 염회 복원력은 철탑의 끝단부인 중단 소경간의 길이에 의한 영향이 매우 크다. 다도체 송전선로의 경간에서 중단 소경간의 길이가 짧을수록 염회 발생 확률은 낮아지고 자력 복원력이 커지게 된다. 그러나 2도체 송전선로의 스페이스서를 그림7과 같이 등간격으로 배열할 경우 중단 소경간의 길이가 길게 되어 염회가 쉽게 발생되고 비틀림 각도가 크게 되어 꼬임이 발생하게 되면 쉽게 복원되지 않는다.[3]

5. 2도체 송전선로의 스페이스서 취부방식

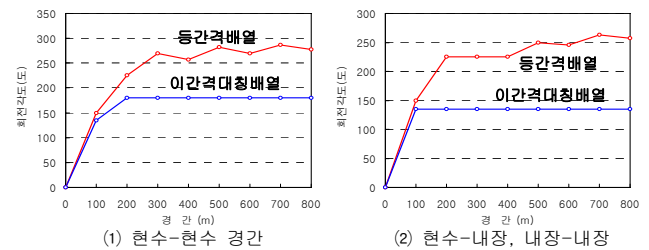
5.1 스페이스서 취부방식

2도체 송전선로의 스페이스서는 취부방식에 대한 설계기준이 없어 대부분 등간격 배열방식으로 설치하고 있으나 진동 억제효과가 낮고 염회복원력이 적다. 따라서 2도체 스페이스서의 취부방식을 그림7과 같이 이간격 대칭배열방식으로 변경하면 등간격 배열방식 보다 대수감쇠율이 커서 전선진동에 대한 억제효과가 좋고 중단 소경간의 길이가 짧아지게 되어 비틀림 진동이 억제되고 염회복원력이 증대되어 염회발생률이 적고 자력 복원력이 커지게 된다.



〈그림 7〉 스페이스서의 배열방식과 소경간

2도체 송전선로의 스페이스서 배열방식에 대한 전력선의 염회(비틀림) 각도 분석결과는 그림8과 같으며 이간격 대칭배열이 등간격배열 방식보다 염회 억제력이 매우 높다.



〈그림 8〉 2도체 스페이스서 배열방식별 염회(비틀림) 각도

5.2 스페이스서 취부간격

2도체 송전선로의 이간격 대칭배열 스페이스서 취부방식의 소경간(subspan) 길이는 전선의 전기적, 기계적 운동 메커니즘을 고려하여 결정하여야 한다. 중단소경간은 비틀림 진동 발생으로 전력선이 염회되는 것을 억제하고 염회복원력을 증대시키기 위하여 짧게 하고 있으며 국가나 전력회사별로 다소 다르게 적용하고 있다. 우리나라의 경우 4도체 및 6도체 송전선로는 45m 이하를 기준으로 하고 있으나 대부분 40m 이하로 적용하고 있다. 따라서 2도체 송전선로의 중단소경간 길이는 전선의 비틀림 강도와 염회모멘트를 고려하여 40m 이하로 결정하였다. 또한 소경간의 최대 길이는 연속허용전류에 의한 전자흡입력과 전선 진동에 의한 소도체간 충돌 방지를 고려한 최소 값에 안전율을 적용하여 80m 이하로 하였다.[4]

6. 결 론

전선의 진동을 방지하기 위하여 장력 결정과 스페이스서의 취부방식은 매우 중요하다. 따라서 2도체 송전선로의 진동으로 인한 전선손상을 방지하기 위하여 전선진동현상을 분석하고 스페이스서 취부방식을 등간격에서 이간격 대칭배열 방식으로 변경하였다. 이간격 대칭배열방식은 등간격 배열방식에 비해 대수감쇠율이 커서 진동 억제 효과가 양호하고 중단소경간의 길이가 짧아 비틀림 진동이 적을 뿐만 아니라 염회복원력이 증가하게 되어 전선의 꼬임(kissing)을 방지할 수 있다.

[참 고 문 헌]

[1] 민병욱, 박재웅, "4도체 송전선로의 전력선 염회분석 및 대책", 2001년도 대한전기학회 추계학술대회 논문집, pp.406~410, 2001.11.
 [2] "4導體スベサダンパ取付方式について", 旭電機株式會社, pp.1-9, 1992
 [3] 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
 [4] 2導體方式架空送電線のスベサおよびその取付間隔の研究, Sumitomo, 住友電氣 第73号, pp.130~131