

345kV 가공선로 진동다발 소경간에 대한 진동저감 대책(I)

김우겸

이달형
한국전력공사 대구전력관리처

신점식

이형권
한국전기연구원

A study on measures against subspan oscillation by spacers for 2 bundled conductors in 345kV overhead T/L

Kim, W.K
KEPCO

Lee, D.H
KEPCO

Shin, J.S
KEPCO

Lee, H.K
KERI

Abstract - The oscillation is very dangerous in bundled transmission lines, especially 345kV 4 bundle transmission lines are very weak for subspan oscillations. In some cases, subspan oscillations are continuously occurred in the same subspan. In order to develop the control method of the above subspan oscillation, this paper suggests a method of applying spacers for 2 bundled conductors to the subspans. In the future we will try to observe and analyze the oscillation after installing the spacers for 2 bundled conductors, and suggest the effective method for controlling subspan oscillations.

1. 서 론

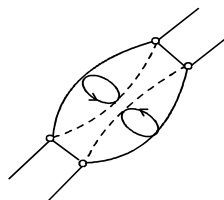
345kV 4도체 가공선로는 다른 송전선로에 비해 진동현상에 취약한 소도체 구조로서, 서브스판진동(subspan oscillation)이 잘 발생할 수 있는 조건을 갖춘 구조이다. 일반적으로 서브스판진동으로부터 전선을 보호하기 위해 스페이서댐퍼의 비대칭 간격 설치, 스페이서댐퍼 성능개선, 스페이서댐퍼 설치간격 축소 등의 방법을 적용하고 있다. 그러나 이러한 대책에도 불구하고 진동현상이 매우 복잡한 조건에서 발생함에 따라, 특정 소경간(subspan)에서만 진동현상이 계속해서 발생하여 전선과 스페이서댐퍼가 손상을 받는 사례도 있다.

따라서 본 논문의 최종 결론에서는 345kV 4도체 송전선로에서 국부적으로 특정 소경간에서만 서브스판진동이 계속 발생하는 소경간에서 진동을 저감시키기 위한 대책을 제시하고자 하며, 이의 일환으로서 먼저 본 논문(I)에서는 서브스판진동 발생 다발 소경간에 대해 제안하는 진동저감 방법의 타당성에 대해 검증해보고, 추후 논문(II)에서는 제안하는 방법에 대한 실증실험 및 분석을 통한 확대적용 방안을 제시 한다.

2. 본 론

2.1 345kV 가공선로 진동현상

일반적으로 가공선로의 소도체 구성방법으로는 2도체 수평배열, 3도체 삼각 배열, 4도체 정사각 배열, 6도체 정육각 배열 등 다양한 구성방식이 있다. 이같이 2개 이상의 소도체가 구성되는 가공선로에서 발생하는 진동현상은 몇 가지가 있으나, 국내에서는 주로 아래의 그림과 같이 스페이서댐퍼 사이에서 발생하는 진동현상인 서브스판진동(subspan oscillation)이 대부분이다.



<그림 1> 서브스판진동현상

서브스판진동은 스페이서와 스페이서 사이의 공간에서 1~2개의 루프를 형성하면서 풍상측 도체와 풍하측 도체의 위상이 서로 180° 차이를 갖고 타원궤적을 그리며 진동하는 특징이 있으며, 서브스판의 진폭이 클 경우에는 스페이서댐퍼 클램프 또는 현수클램프의 전선지지점에 곡용력에 의한 전선의 피로현상이 누적되어 전선의 수명을 단축시키거나 단선 사고를 일으키게 된다.

2.2 서브스판진동 발생에 미치는 영향

2.2.1 소도체 수와 배열

다도체 송전선로에서 가장 많이 적용되고 있는 소도체 수는 2도체, 3도체, 4도체 이며, 최근에는 초고압 선로의 도입으로 6도체, 8도체 구성도 있다. 이러한 소도체 구성 중에서 서브스판진동에 가장 민감한 구성은 4도체 구성이고, 다음이 3도체, 2도체 순이다. 일반적으로 서브스판진동은 8m/s 이상의 풍속에서 발생하는 것으로 보고되고 있으나, 정방향 4도체 구성에서는 4m/s 정도의 낮은 풍속에서도 발생하는 것으로 보고되고 있다[2]. 3도체 구성은 후류역에 놓이는 도체가 작고, 후류역에 놓이게 되는 범위도 작아 비교적 안정한 것으로 고려된다. 이같이 서브스판진동은 소도체 수와 소도체의 배열구성과 밀접한 관계가 있다.

2.2.2 소도체 간격

소도체의 풍상측(windward)과 풍하측(leeward) 도체의 간격[a]은 도체 직경[d]에 대한 간격의 비, 즉 a/d로 나타낼 수 있는데 일반적으로 10~20 범위이다. a/d값이 어느 이상이 되면 풍하측 도체가 후류역의 범위에 놓이지 않게 되어, 후류에 의한 진동발생이 작거나 없어진다. 2도체와 3도체 구성에서는 a/d가 16~18범위에서, 4도체 구성에서는 20이상이면 안정한 것으로 보고되고 있다[3]. 이같이 소도체 간격은 서브스판진동 발생에 직접적인 영향을 미치는데, 소도체 구성 중에서 345kV 4도체의 경우가 서브스판진동 발생에 가장 취약한 구조이어서, 실제 송전선로 중에서 가장 진동이 잘 발생하는 선로이다.

소도체 간격은 코로나발생, 송전용량 등의 관점에서 결정되는데, 서브스판진동이 우려되는 특정 구간에 대해서는 소도체 간격을 전기적인 설계측면을 떠나 설계하는 것도 진동에 대한 송전선로 신뢰도 측면에서 고려할 필요가 있다.

2.2.3 다도체 구성의 비틀림 정도

풍상측 도체에 의한 공기역학적 차폐효과의 세기와 특성이 풍하측 도체에 미치는 영향은 후류역 내에 풍하측 도체의 위치에 따라 변한다. 후류의 특성은 다도체가 바람에 대해 수평일 때 진동이 약해지는 경향이 있다. 진동발생에 대해 불안정 영역이 되는 기울림 정도는 5°~15범위이다. 기울임은 풍하측 도체가 풍상측 도체의 후류 위쪽에 있으면 정방향, 낮은 쪽에 있으면 부방향이라 한다. 4도체 구성에서는 부방향, 2도체 구성에서는 정방향의 기울림에서 이런 불안정 영역이 발생하는 것으로 보고되고 있다. 이러한 현상은 송전선로의 가선조건에 따라 쉽게 나타날 수 있는 현상이기도 하다.

2.2.4 지형특성

서브스판진동 발생은 지형특성과도 밀접한 관련이 있다. 통계적인 측면에서 보면 다음과 같은 조건의 지형에서 진동이 잘 발생하는 것으로 보고되고 되고 있다.

- 매우 광활한 지역
- 바다 또는 호수에 근접된 지역
- 경과지의 지형이 심한 기복이 없고 장애물이 적은 지역
- 송전선로와 직각방향으로 흩어짐이 없이 바람이 부는 지역
- 일정한 풍속의 바람이 부는 지역

현재까지 진동발생 조사현장을 확인한 바에 따르면 상기와 같은 지형 조건에서 서브스판진동이 많이 발생되었다.

2.3 서브스판진동 발생 다발 소경간 진동저감 대책

2.3.1 서브스판진동 발생 다발 소경간(subspan)과 영향

일반적으로 철탑과 철탑사이의 한 공간을 놓고 볼 때, 서브스판진동이 발생하면, 여러 개의 소경간에서 동시에 발생하는 것이 일반적이거나 선로 구성 또는 경과지 조건에 따라서는 유독 한 공간 중에서 특정 소경간에

서만 서브스판진동이 빈번하게 자주 발생하는 경우가 있다. 이 소경간을 서브스판진동 발생 다발 소경간이라 한다.

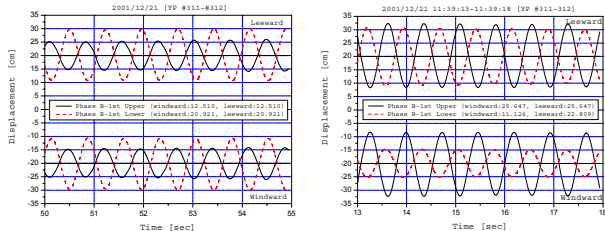
345kV 실선로에서 진동발생 현황을 조사한 바에 따르면, 이러한 소경간이 적지 않게 있는 것으로 알려지고 있다.[2]. 또한 진동발생 다발 소경간에서 발생하는 진동은 대체적으로 진동이 크고 자주 발생하기 때문에 전선에 미치는 영향도 클 것으로 짐작해 볼 수 있다. 이런 소경간에서는 스페이서덤퍼 위치에서 전선이 쉽게 단선되거나 스페이서덤퍼가 손상되는 사고가 발생하기 때문에, 가급적 빠른 시일 내에 진동저감대책을 세우는 것이 필요하다.

2.3.2 대구전력관리처 관내 진동발생 다발 소경간 조사

대구전력관리처 관내 345kV 4도체 가공선로 중에서 서브스판진동이 가장 빈번히 발생하는 선로는 영포선로이다. 특히 영포선로 308호에서 312호 구간이 가장 잘 발생하는 것으로 조사되었다. 실제 이 구간에서 발생한 진동현상의 측정결과를 보면 표1, 표2와 그림2, 그림3과 같다.

<표 1> 영포선로 311~312호 구간 진동발생 측정 예

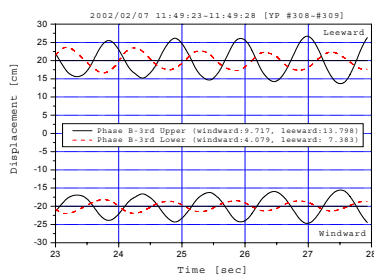
(설치제품)	C A S E	진동주파수 (상선/하선) [Hz]	위 상 차	진동최대진폭 (p-p) [cm]				진동 발생 위치
				상선		하선		
				풍상 측	풍하 측	풍상 측	풍하 측	
(세명)	1 B	1.38/1.36	165	12.51	12.51	20.92	20.92	첫 번째 소경 간
	2 B	1.36/1.36	196	25.64	25.64	11.12	22.80	



<그림 2> 영포선로 311~312호 구간 진동발생 파형 예

<표 2> 영포선로 308~309호 구간 진동발생 측정 예

(설치제품)	상	진동주파수 (상선/하선) [Hz]	위 상 차	진동최대진폭 (p-p) [cm]				진동 발생 위치
				상선		하선		
				풍상측	풍하측	풍상측	풍하측	
(세명)	B	0.952/0.952	251	9.717	13.798	4.079	7.383	59m (3th)



<그림 3> 영포선로 308~309호 구간 진동발생 파형 예

상기 측정 조사 예에서 보는 바와 같이 영포선로에서 형산강을 횡단하는 구간에서 진동이 잘 발생하고 있는 것으로 관측되었다. 이러한 구간 중에서 310~311호 구간에서는 진동다발 소경간이 관측되었다. 즉, 310호 첩탑의 첫 번째 소경간에서만 진동이 자주 발생하는 현상이 나타났고, 이에 대한 대책이 필요하였었다.

2.3.3 진동발생 다발 소경간 진동저감 방안

서브스판진동 발생 다발 소경간에 대한 진동저감대책으로는 다음과 같이 방법을 고려해 볼 수 있다.

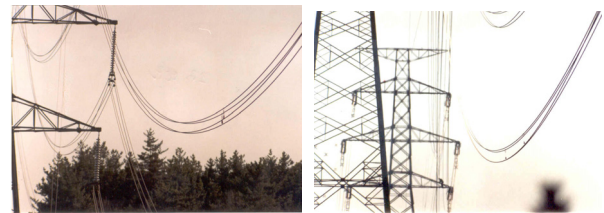
- ① 스페이서덤퍼의 설치위치를 재조정하거나 추가 설치하는 방법
- ② 해당 소경간에 복도체용 스페이서를 설치하는 방법
- ③ 특수대책(소도체 간격 확대, 마름모형상으로 소도체배열 등)을 세우는 방법

상기와 같은 방법 중에서 가장 쉽게 적용할 수 있는 방법은 두 번째 방법이다. 즉, 진동발생 다발 소경간에 대해 복도체용 스페이서를 적절하게 설치하면, 소경간의 거리가 좁아져서 서브스판진동 발생이 저감될 수 있다는 관점이다. 이 경우 복도체 스페이서를 어떻게 설치할 것인가가 논점이 된다.

두 번째 방법에 의해 진동발생이 저감될 수 있는지를 먼저 확인하기 위해 진동발생 다발 소경간이 확인된 영포선로 310호 첩탑의 첫 번째 소경간에 아래의 간격표 표3과 같이 복도체용 스페이서를 설치하였다. 표 3에서 굵은 숫자가 복도체용 스페이서 설치간격이다.

<표 3> 영포선로 첩탑 311~310호 경간의 스페이서덤퍼 및 복도체용 스페이서 설치간격

311 ~ 310 (현수 -내장구간)	경간 463	A상	46-49-52-56-57-56-52-49-46(24-22)(상)
		SD_8개	46-49-52-56-57-56-52-49-46(22-24)(하)
		B상	39-47-55-63(36-27)-55-63(33-30)-55-47-39(25-34)(상)
SD_8개	39-47-55-63-55-63-55-47-39(하)		
C상	39-47-55-63-55-63-55(25-30)-47-39(29-10)(상)		
SD_8개	39-47-55-63-55-63-55-47(20-27)-39(10-29)(하)		



<그림 4> 영포선로 구간 중 복도체용 스페이서 설치 구간

복도체용 스페이서는 4도체에서 상부 2도체와 하부 2도체에 각각 설치하였으며, 상하 소도체간에는 설치하지 않았다. 또한 실험적인 개념에서 복도체용 스페이서를 설치하였기 때문에, 1/3지점을 기준으로 비대칭 간격에 의해 설치를 하였다.

표 3과 같이 복도체용 스페이서를 설치하여 약 6개월 정도 설치하여 관측해 본 결과 서브스판진동 발생이 거의 없었으며, 발생하여도 진폭이 적어 전선에 영향을 미치지 않을 정도이었다. 이와 같이 실험적인 차원에서 이루어진 복도체용 스페이서를 이용한 진동발생 다발 소경간에 대한 진동저감 실험은 매우 효과적인 것으로 나타났다.

3. 결 론

서브스판진동 발생 다발 소경간에 대한 대책으로 복도체용 스페이서 덤퍼의 활용방안을 제시하여 보았고, 이의 타당성을 검증하기 위해 실험적인 측면에서 한 경간을 대상으로 실험하여 진동발생현상을 측정된 결과 매우 효과적인 것으로 나타남에 따라, 이의 방법을 확대 적용하는 것이 필요할 것으로 여겨져 앞으로는 보다 세부적인 연구 및 실험을 추진할 계획이다. 즉, 복도체용 스페이서의 적정설치 위치, 복도체용 스페이서 설치에 따른 인접 소경간에 미치는 영향, 복도체용 스페이서의 최대설치 경간 수 등 다양한 조건에서 실험 및 분석을 통해 서브스판진동 발생 다발 소경간에 대한 진동저감대책(안)을 제시하고자 한다.

[참 고 문 헌]

- [1] 이형권, "송전선로에서 스페이서덤퍼 적정 설치방안 연구", 전기학회 국제학술대회 논문집, 2002. 7
- [2] 이형권, 유철환, "4도체 송전선로 진동현상 조사 분석(I)", 전기학회 국제학술대회 논문집, 2001.11.16
- [3] 한국전력공사, "345kV 4도체 가공선로 진동대책 연구", 2002. 5