

송전선로에서 Spacer-Damper 설치시공의 중요성

이 형 권
한국전기연구원

Importance of the Spacer-Damper Installation in Overhead Lines

Lee H. K.
KERI

Abstract - Wind-induced oscillations are known to cause damage to the conductors and related hardware through fatigue, clashing of the bundled conductors and bolt loosening. Wake-induced oscillations have been known since the advent of bundled conductors. they are caused by aerodynamically unstable forces acting on the leeward conductors in the wake of the windward conductors. In order to control it, spacer dampers are installed in transmission lines with bundled conductors. Spacer damper Installation is very important, it can cause damage to the conductors and spaer damper itself, This paper suggests importance of spacer damper installation in bundled conductor systems.

댐퍼가 설치되어 있으며, 현재로서 가장 많이 설치되어 있는 스페이서댐퍼의 형태는 345kV 4도체용 스페이서댐퍼이다. 따라서 스페이서댐퍼와 관련한 진동사고실적이 나 사고유형은 345kV 송전선로에서 스페이서댐퍼와 관련한 유지보수실적으로부터 유추해 볼 수 있다. 먼저 2000년도 기준으로 345kV 4도체 송전선로에서 스페이서댐퍼에 대한 보수실적의 예를 보면 표 1과 같다.

표 1. 4도체 스페이서댐퍼 선로별 보수실적 예

선로명	설치수량 [개]	스페이서댐퍼 보수수량[개]			보수율 [%]		
		볼트풀림	전선이탈	소선단선	계	전 체	3항목
양주	3,591	7		8	15	0.42	0.22
서인천	5,346	189	54	6	257	4.81	1.12
신계천	10,506	112	1	1	116	1.10	0.02
영서분기	147				0	0	0
아산	4,644	98	4	9	116	2.50	0.39
평택	2,448	27	3	1	31	1.27	0.16
인서	300		4	6	10	3.33	3.33
서청	12,324	121	7	5	133	1.08	0.10
화성	1,806	1			1	0.06	0
화진	3,517	6	6	4	16	0.45	0.28
신안성	198	6			6	3.03	0
동해	8,250	196	3	8	213	2.58	0.13
제령	6,534	162	7	2	184	2.82	0.14
울동	5,088	62			67	1.32	0
태안	3,786	101	17	10	136	3.59	0.71
신당진	2,946	27	3	8	46	1.56	0.64
청양	6,528	15		9	38	0.58	0.14
의령	7,500				0	0	0
신평주	5,055	8	13	5	26	0.51	0.36
영원	9,180		2		2	0.02	0.02
보령	3,564	320	52	5	377	10.58	1.60
청군	5,328	2,102	39	12	2,153	40.41	0.96
신보령	5,868	1,240		11	1,260	21.47	0.19
보령연락	48				0	0	0

1. 서 론

가공송전선로에서 흔히 발생하는 바람에 의한 진동으로는 미풍진동, 후류에 의한 진동, 갤핑진동 등 다양하다. 이러한 진동 중 미풍진동은 주로 단도체 선로에서 많이 발생되고, 다도체 선로일수록 크게 줄어드는 특징이 있으며 특히 4도체 선로의 경우에는 소도체간 상호 간섭에 의해 크게 발생하지 않는 것으로 알려져 있다. 그러나 미풍진동이 적게 발생하는 반면 단도체 선로에는 없는 후류에 의한 진동이 발생하는데, 주로 서브스판진동이 잘 발생한다.

일반적으로 다도체 선로에서 서브스판진동(subspan oscillation)이 발생하면 소도체간 충돌현상, 도체와 금구류의 피로현상, 스페이서댐퍼(spacer-damper)의 손상 등을 초래하게 되며, 결국에는 전선 마모현상이나 단선사고와 같은 큰 사고가 유발될 우려가 있다. 송전선로의 진동현상은 자연적인 현상으로서 진동 그 자체를 근본적으로 방지하는 것은 어려우나, 발생정도나 진동진폭을 줄이는 것은 가능하다. 후류에 의한 진동현상을 저감시키기 위한 방법으로서 소도체간 간격확대, 다도체 구성의 기울림(bundle tilt), 스페이서댐퍼 설치 및 설치간격 축소 등 다양한 방법을 적용하고 있다[1]. 스페이서댐퍼는 소도체간 간격을 유지시켜주는 역할과 동시에 진동으로부터 전선을 보호하기 위한 목적으로 설치되는데, 송전선로에서는 매우 중요한 설비중의 하나이다. 이와 같은 스페이서댐퍼의 설치시공이 잘 못 될 경우에는 전선 손상이 쉽게 발생되거나 스페이서댐퍼의 성능이 저하되어 충분한 전선보호가 이루어지지 못한다. 따라서 본 논문에서는 스페이서댐퍼의 설치시공의 중요함을 실험적으로 제시하여 보았다.

2. 가공선로 진동사고 분석

2.1 스페이서댐퍼의 유지보수 실적

국내 2도체 이상의 가공선로에는 스페이서나 스페이서

전체 보수내용을 조사해본 결과 약 85% 이상이 볼트풀림에 대한 재조임 작업이었고, 본체나 덮개가 파손되는 본체파손사고도 약 1%정도 차지하는 것으로 나타났다. 이같이 가공송전선로에서는 진동으로 인한 크고 작은 사고가 적지 않게 일어나고 있으며, 이를 유지보수하기 위한 비용도 적지 않은 것으로 알려지고 있다.

2.2 스페이서댐퍼 관련 진동사고 유형

2.1항의 조사내용과 같이 진동사고의 양상은 대부분 볼트풀림, 전선단선, 소선단선, 스페이서댐퍼의 파손 등으로 볼 수 있으며, 이중 볼트풀림이 가장 많은 것으로 나타났다. 사고유형을 가장 많이 발생하는 순서대로 나열해 보면 다음과 같다.

- 볼트이완 또는 탈락
- 전선단선 또는 마모
- 클램프 덮개 탈락 또는 파손
- 스페이서댐퍼의 스톱퍼 마모 또는 파손
- 스페이서댐퍼 몸체 파손

이와 같은 진동사고는 크게 2가지 사고유형으로 구분해 볼 수 있는데, 이는 표 2와 같다.

표 2. 진동사고 유형 및 주요 원인

사고유형	작용 요인	주요 추정원인
전선마모 및 단선	볼트풀림현상	시공불량 제작불량 진동현상
	피로현상	진동현상
스페이서댐퍼 변형 및 파손	충격 또는 마모	이도불평형 시공불량 진동현상

진동으로 인한 사고 중에서 무엇보다 중요한 것은 단선사고인데, 단선사고는 대형사고로 이어질 수 있는 매우 중요한 사고이며, 대부분 스페이서댐퍼의 볼트풀림에서 오는 것으로 알려지고 있다. 물론 이러한 현상은 표 2에서 언급한 바와 같이 설치시공 불량이나 제작불량에서도 올 수 있다. 그러나 양호한 제품이라 할지라도 설치시공에 문제가 있을 경우, 상기와 같은 문제점이 나타나게 된다. 결국 제품성능이나 특성도 중요하지만, 설치시공도 이에 못지않게 매우 중요함을 알 수 있다.

3. 설치시공 불량에 의한 문제점

스페이서댐퍼와 관련한 진동사고 실적을 분석해 본 결과 스페이서댐퍼 시공불량으로는 다음과 같은 현상을 유추해볼 수 있었다.

- 소도체인 이도불평형으로 인한 다도체의 비틀림 현상
 - 다도체의 비틀림에 의해 스페이서댐퍼가 회전되는 현상
 - 스페이서댐퍼가 틀어져서 설치되는 현상
 - 클램프 조임볼트의 조임불량
- 상기와 같은 시공불량에 의해 나타나는 현상으로 인한 문제점을 도출해보면 표 3과 같다.

표 3. 시공불량에 의한 문제점

현상	발생원인	진동사고측면에서 문제점
다도체와 스페이서댐퍼의 비틀림현상	소도체인 장력 불평형	·진동현상이 정상상태 때 보다 쉽게 발생할 우려가 있음 ·스페이서댐퍼의 기능상실 ·스페이서댐퍼의 몸체 및 댐퍼부 변형초래
스페이서댐퍼가 비틀려 설치됨	설치불량	·스페이서댐퍼의 기능상실 ·스페이서댐퍼 변형 초래 ·클램프파지력 저하 우려
클램프볼트 조임불량	적정도크 조임불량과 클램프 비정상 설치	·클램프파지력 저하 ·볼트풀림현상 발생 가능 ·소선마모 및 단선사고 유발

상기 표 3에서 제시하는 바와 같이 시공불량에 의해 다도체가 비틀어진 경우에는 일반적으로 서브스판진동이 더 잘 발생할 우려가 있는 것으로 알려지고 있다. 또한 시공불량에 의해 클램프의 볼트조임이 불량한 경우에는 볼트풀림현상이 발생하여 클램프의 덮개 이탈, 전선마모 현상을 일으켜 진동사고가 발생할 수 있다. 스페이서댐

퍼가 경사지게 설치되는 경우, 스페이서댐퍼가 제대로 성능을 발휘할 수 없는 상태가 되며, 전선에 국부적인 힘이 가해질 수 있는 등 바람직하지 않은 현상이 나타날 수 있다.

4. 설치시공 불량에 의한 댐핑특성 검토

4.1 시험방법 및 설비

110m의 모의시험선로를 이용하여 그림 1과 같이 스페이서댐퍼를 설치한 후 오실로스코프, 진동발생장치 등을 이용하여 시험하였다.

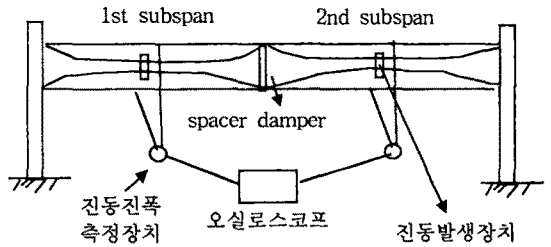


그림 1. 시험설비 구성개요

스페이서댐퍼의 댐핑성능은 대수감쇠값으로 나타낼 수 있는데, 이는 다음과 같다.

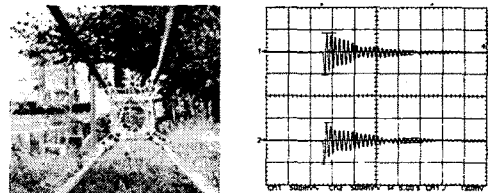
$$\delta = \frac{1}{n} \cdot \ln \frac{A_0}{A_n}$$

A_0 : 초기진폭, A_n : n Cycle후 진폭

4.2 시험 및 분석

(1) 정상상태 설치시

4개의 전선 장력이 일정하게 인가된 모의선로에 스페이서댐퍼를 선로의 중앙위치에 수평이 유지되도록 설치한 후 대수감쇠값을 측정하였는데, 설치상태 및 시험결과를 그림 2와 같다.



시험 조건	시험결과(대수감쇠값)
·전선장력 12t ·4도체 균일장력 인가 ·스페이서댐퍼 정상설치	·1st subspan : $\delta=0.116$ ·2nd subspan : $\delta=0.115$

그림 2. 스페이서댐퍼의 정상 설치상태와 댐핑그래프

(2) 불량설치시공시 댐핑특성

스페이서댐퍼의 불량설치시공을 다음과 같이 3가지 경우로 고려하였다.

- Case 1 : 소도체의 불균일 장력에 의해 스페이서댐퍼가 회전된 상태
- Case 2 : 스페이서댐퍼가 수직방향으로 기울어져 설치된 상태
- Case 3 : 스페이서댐퍼가 수평방향으로 틀어져 설치된 상태

상기 3가지 경우에 대한 시험조건 및 시험결과는 표 4

와 같고, 스페이서댐퍼 설치상태와 진동진폭을 측정 한 시험결과 그래프는 그림 3~5와 같다.

표 4. 불량설치시공 시험조건 및 시험결과

시험 항목	스페이서댐퍼 설치상태 및 조건	스페이서댐퍼 설치상태도	시험결과 (대수감쇠값)
Case 1	<ul style="list-style-type: none"> 스페이서댐퍼 회전 1개전선 : 3t 3개전선 : 2.5톤 그림 3 참조 		<ul style="list-style-type: none"> 1st : $\delta=0.08$ 2nd : $\delta=0.06$ (그림 3 참조)
Case 2	<ul style="list-style-type: none"> 스페이서댐퍼를 경사지게 설치 4도체장력 균일 전체장력 12t 그림 4 참조 		<ul style="list-style-type: none"> 1st : $\delta=0.097$ 2nd : $\delta=0.088$ (그림 4 참조)
Case 3	<ul style="list-style-type: none"> 스페이서댐퍼를 수평방향으로 틀어 설치 4도체장력 균일 전체장력 12t 그림 5 참조 		<ul style="list-style-type: none"> 1st : $\delta=0.117$ 2nd : $\delta=0.106$ (그림 5 참조)

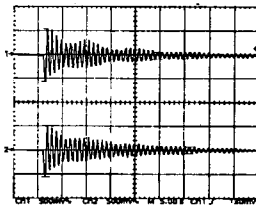


그림 3. 스페이서댐퍼 회전상태 및 대수감쇠그래프

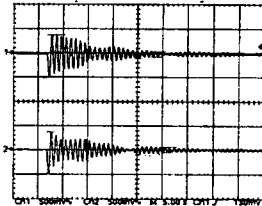
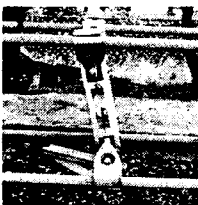


그림 4. 스페이서댐퍼가 경사진 상태 및 대수감쇠그래프

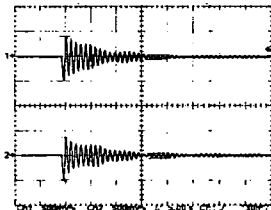
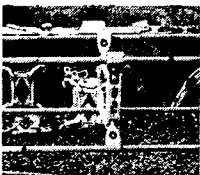


그림 5. 스페이서댐퍼가 수평방향으로 틀어진 상태 및 대수감쇠그래프

표 4의 시험결과에서 볼 때 스페이서댐퍼가 회전된 Case1은 댐핑성능에 차이가 있는 것으로 나타났으며, Case2 및 Case3의 경우는 정상 설치상태와 크게 차이가

없는 것으로 나타났다. 특히 Case3의 경우는 정상상태와 동일한 성능을 갖는 것으로 나타났는데, 이는 스페이서댐퍼가 수평방향으로 틀어져 설치되어도 선로 수평방향으로 스페이서댐퍼 암이 움직이는데 있어서 크게 영향을 받지 않기 때문인 것으로 여겨진다.

시험결과를 통해 다음과 같은 결론을 내릴 수 있다.

① 소도체간 장력차이로 인해 스페이서댐퍼가 회전되어 설치되는 경우 댐핑성능이 저하될 수 있다.

② 스페이서댐퍼가 선로방향에 대해 경사지게 설치(Case2)되거나 수평방향에 대해 틀어져서 설치(Case3)되는 경우에 댐핑성능에는 큰 차이가 없었다.

③ 스페이서댐퍼가 Case2 또는 Case3 상태로 설치되는 경우 댐핑성능에는 차이가 없었지만 장기적으로는 스페이서댐퍼에 불균형 하중이 인가되어 제품의 성능이 저하 및 전선 손상을 초래할 수 있다.

④ 스페이서댐퍼가 회전되어 설치되는 상황은 4개의 도체 중에서 장력이 가장 큰 도체를 기준으로 회전되기 때문에 댐핑성능이 저하됨과 동시에 장력이 크게 걸린 부분의 클램프와 댐핑부는 다른 클램프와 댐핑부에 비해 하중을 크게 받기 때문에 장기적으로 볼 때 바람직하지 않는 설치상태이다.

3. 결 론

다도체방식 송전선로에서 스페이서댐퍼의 설치시공과 관련한 문제점을 도출하여 보았다. 스페이서댐퍼의 불량 설치시공으로부터 나타날 수 있는 문제점과 문제점에 대한 실험적 검토를 하였다. 송전선로에서 스페이서댐퍼 관련 사고실적을 조사 분석한 결과 스페이서댐퍼의 성능도 중요하지만, 설치시공 또한 매우 중요함을 알 수 있었다. 따라서 앞으로 송전선로에서 스페이서댐퍼의 설치시공 시에는 매우 주의를 요할 필요가 있다.

[참 고 문 헌]

- [1] EPRI, "Transmission Line Reference Book - Wind induced conductor motion,"
- [2] "345kV 4도체 가공선로 진동대책 연구", 한국전력공사 전력연구원, 2001.5
- [3] 이형권, "송전선로 스페이서댐퍼 적정설치방안 연구", 대한전기학회 하계학술대회 논문집 2003. 7