

스페이서댐퍼 클램프의 선로방향 관절부와 서브스판진동과의 관계 실험적 고찰

논문

58P-4-14

Experimental Study on the Relation Between the Longitudinal Articulation Part of a Spacer Damper and Subspan Oscillations

이형권[†]
(Hyung-Kwon Lee)

Abstract - In order to protect conductors from oscillations or vibrations due to winds, spacer dampers are installed on overhead transmission lines. Generally the spacer damper clamp can move slightly according to oscillation directions, namely in longitudinal, vertical & horizontal directions. This is for reducing fatigue phenomena of the conductor. But the high longitudinal displacement of the clamp raises a doubt for its necessity. Then this paper carried out oscillation tests by using 4 bundle test lines, to know the relation between longitudinal displacement and oscillation. and suggests design necessity of the longitudinal articulation part for spacer damper clamps.

Key Words : Spacer Damper, Clamp Displacement, Subspan Oscillation, Transmission Line

1. 서 론

전선이 2가닥 이상인 다도체 가공송전선로에는 바람에 의한 진동으로부터 전선을 보호하고, 각 소도체 간의 간격을 일정하게 유지시키기 위해 스페이서댐퍼가 설치된다. 국내의 경우에도 다도체 가공선로에는 스페이서댐퍼가 설치되어 있는데, 이는 진동에너지 흡수기능을 갖게 하여 전선의 피로현상을 가급적 저감시키기 위한 목적이다. 스페이서댐퍼의 클램프는 전선의 진동방향에 대해 어느 정도 변위를 갖도록 설계를 하는 것이 일반적이다. 즉, 전선의 방향과 전선의 수평 및 수직 방향에 대해 각각 변위를 갖도록 함으로서 진동이 댐핑제에 의해 흡수되도록 하기 위한 것이다. 이같이 스페이서댐퍼의 클램프는 각 전선의 방향에 대해 변위를 갖도록 설계를 하고 있는데, 경우에 따라 선로방향에 대해서만은 관절부(articulation part)를 두어 큰 변위가 발생 가능하도록 설계하는 경우가 있다. 즉, 클램프가 선로방향에 대해 자유운동을 할 수 있도록 관절부를 두어 설계함으로써, 전선의 선로방향 진동시 클램프가 자유롭게 추종할 수 있도록 하여 전선의 피로현상을 줄이고자 하는 의도이다. 예로서 일본에서 사용하고 있는 스페이서댐퍼의 클램프는 대부분 관절부(articulation part)를 두어 설계하고 있으며, 미국, 유럽지역에서는 선로방향에 대해 10~20mm 정도의 변위만을 갖도록 설계하고 있다[1].

이 같은 선로변위 폭에 대한 설계 차이점이 종종 스페이서댐퍼를 설계하는데 있어 논란이 되고 있다. 따라서 본 논

문에서는 서브스판진동 발생시 스페이서댐퍼 클램프의 선로방향 변위가 어떻게 나타나는지 관찰하기 위해 실규모급 모의 시험선로를 이용하여 실험적으로 고찰하였고, 이의 결과가 향후 스페이서댐퍼 설계시 반영될 수 있도록 제안하였다.

2. 본 론

2.1 서브스판진동

4도체나 6도체 방식의 가공선로에서 바람에 의해 가장 빈번히 발생하는 진동현상은 서브스판진동현상이다. 이러한 현상은 이미 참고문헌[1]에서 조사하여 제시된 바가 있다. 서브스판진동현상이란 [그림 1]과 같이 스페이서댐퍼와 스페이서댐퍼 사이에서 전선의 수평방향으로 1~2[Hz]범위의 진동주파수로 발생하는 진동현상이다.

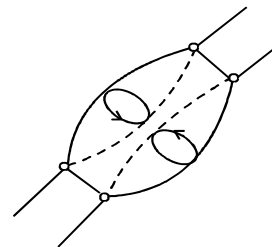


그림 1 서브스판진동

Fig. 1 Subspan oscillation

서브스판진동은 스페이서댐퍼와 스페이서댐퍼 사이의 공간에서 1~2개의 루프를 형성하면서 풍상측 도체(windward conductor)와 풍하측 도체(leeward conductor)의 위상이 서로 180° 차이를 갖고 타원궤적을 그리며 진동하는 특징이

[†] 교신저자, 정회원 : 한국전기연구원 책임연구원 · 공박

E-mail: hklee@keri.re.kr

접수일자 : 2009년 7월 22일

최종완료 : 2009년 9월 3일

있다. 서브스판진동 진폭이 클 경우에는 스페이서댐퍼 클램프 또는 현수클램프의 전선지지점에 곡응력을 발생시켜 전선의 피로현상 누적으로 전선의 수명이 단축시키거나 단선되는 사고를 일으키게 된다[2,3].

2.2 스페이서댐퍼 클램프의 선로방향 변위

스페이서댐퍼가 진동으로부터 전선을 보호할 수 있는 것은 적정 설치방법과 댐퍼기능 때문이다. 스페이서댐퍼가 댐퍼성능을 갖기 위해서는 진동에너지를 흡수할 수 있는 기능이 있어야 한다. 이러한 역할을 하는 것이 합성고무나 코일스프링이며, 이것이 진동에너지를 흡수하기 위해서는 클램프가 진동방향에 대해 적절하게 움직일 수 있어야 한다. 즉, 전선이 진동하면, 클램프가 전선의 진동방향으로 유격을 갖고 움직이고, 이러한 움직임이 합성고무나 코일스프링에 전달될 때, 비로소 댐핑재가 진동에너지를 흡수할 수 있게 된다. 이러한 이유로 스페이서댐퍼의 클램프는 전선의 진동방향에 대해 추종할 수 있도록, 즉 어느 정도 변위를 갖도록 설계되고 있다. 전선이 진동할 때 나타나는 진동방향은 크게 세 가지 방향인데, 선로방향(longitudinal displacement), 선로수평방향(transverse horizontal displacement) 및 수직방향(vertical displacement)이다. 전선의 진동방향 개념은 [그림 2]와 같다.

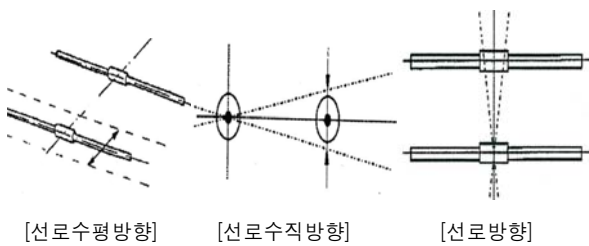


그림 2 클램프 변위방향 개념도
Fig. 2 Clamp displacement directions

2.3 스페이서댐퍼 클램프의 선로방향 관절부

[그림 2]의 진동 변위방향에 있어, 선로수평방향은 서브스판진동시 나타나는 현상으로 알려져 있고, 선로수직방향은 미풍진동(aeolian vibration)시, 선로방향은 전선의 착빙설에 의해 장력불평형이 발생하였을 때 나타나는 현상으로 알려져 있다. 클램프에 선로방향 관절을 두는 것은 전선이 선로방향으로 진동할 때, 클램프가 쉽게 움직일 수 있도록 하여 클램프에서 발생될 수 있는 전선의 응력을 줄여주기 위한 것인데, 일본의 경우 대부분 이러한 설계를 하고 있다. 그러나 다도체 송전선로에서 선로방향 진동은 잘 발생하지 않는 것으로 알려져 있다. 앞서 서술한 바와 같이 다도체 송전선로에서는 주로 서브스판진동이 발생한다. 따라서 서브스판진동 발생시 클램프에 가해지는 선로방향 진동진폭이 어느 정도인지 파악하면 클램프 선로방향 관절부 설계 필요성을 파악해 볼 수 있다. 이러한 진동방향 특성으로 인해 스페이서댐퍼는 주로 선로수직방향과 선로수평방향에 대해 변위를 갖도록 설계한다. 일본의 경우에는 유일하게 선로방향 변위를 중요시 여겨 모든 스페이서댐퍼의 클램프가 선로방향에 대해 자유운동이 가능하도록 [그림 3]과 같이 관절부(articulation part)(그림의 점선)를 두어 설계하고 있다.

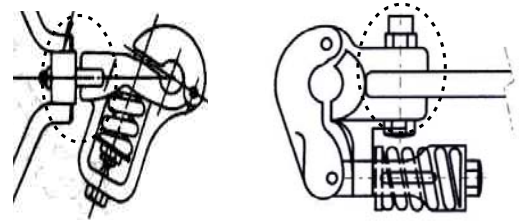


그림 3 클램프 관절부 예
Fig. 3 Articulation parts of the clamp

최근 스페이서댐퍼의 클램프가 선로방향에 대해 자유운동이 가능하도록 관절부를 가져야할 필요성에 대해 논란이 있다. 즉, 송전선로의 진동사고를 분석하는 중 클램프의 선로방향 자유운동 필요성 여부에 대해 다소 의구심을 갖는 사례가 나타나고 있다. 특히 4도체 송전선로의 경우 대부분 나타나는 진동현상이 서브스판진동임에도 불구하고 스페이서댐퍼 클램프가 선로방향으로 피로를 받는 것으로 추정되는 사례가 있다. 따라서 본 연구에서는 이러한 현상을 보다 명확하게 파악해 보고자 실규모급 선로에서 직접 실험에 의해 현상을 분석하였다.

2.4 클램프의 선로방향 변위 실험 및 분석

2.4.1 실험방법 및 조건

실험은 현실성을 고려하여 고창 전력시험센터 내 진동시험선로를 이용하였다. 서브스판의 중앙에서 강제로 서브스판진동과 동일한 조건의 진동을 발생시킨 후, 전선에 설치된 스페이서댐퍼의 클램프 변위를 관찰하였다. 진동발생 위치 및 실험대상 스페이서댐퍼 위치 등은 [그림 4]의 시험선로 구성도와 같고, 실험조건 및 방법은 [표 1], [표 2]와 같다.

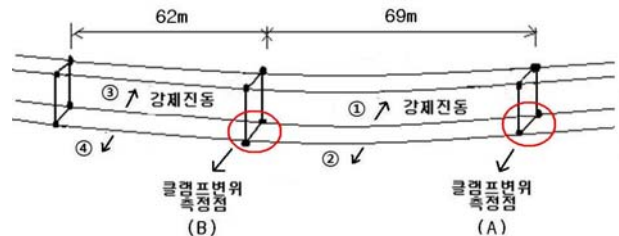


그림 4 시험선로 구성도
Fig. 4 Test line configuration

표 1 실험조건
Table 1 Test conditions

항 목	조 건
스페이서댐퍼 종류	선로방향 관절형 클램프
실험선로 구성	4도체(400mm 등간격) 방식
실험용 전선	ACSR 480mm ² Cardinal 전선
실험구간 서브스판간격	62m, 69m
클램프 변위 측정방법	그림 5와 같이 비디오카메라로 녹화한 후, 판독하여 변위측정
진동진폭	최대 발생 진폭 ±250mm
실험방법	[표 2] 참조

표 2 실험방법

Table 2 Test methods

No	진동 모의 방법	진동발생위치	클램프 변위 측정점
I	한 서브스판에서 전선 1가닥 진동	①	(A),(B)
II	한 서브스판에서 전선 2가닥 180도 위상으로 동시진동	①, ②	(A),(B)
III	양 서브스판에서 같은 전선을 같은 위상으로 동시 진동	①, ③	(B)
IV	양 서브스판에서 전선 2가닥을 180도 위상으로 동시 진동	①, ② ③, ④	(A),(B)

2.4.2 실험결과 및 분석

스페이서댐퍼 클램프의 선로방향 변위 실험을 하기 위해 [표 1]과 같이 다양한 진동조건에서 클램프의 변위를 측정하였다. 또한 실험선로를 진동시키기 위해 [그림 5]와 같이 4도체 하단 2선에 로프를 묶고 강제로 당겨 서브스판진동을 모의하였다. 이 방법은 실제 자연조건에서 발생하는 진동현상보다 매우 가혹한 상황으로서 클램프의 선로방향 변위를 확실하게 측정하기 위한 목적이다.

클램프의 선로방향 변위를 측정하기 위해 실험선로 하부에 캠코더를 고정시키고 측정대상 클램프의 움직임을 기록한 후, 초당 30프레임으로 나누어 움직이는 진폭을 분석하였다.



그림 5 실험상황 예
Fig. 5 Testing situation

(1) 실험조건(I)

[그림 4]의 ①번 전선에 대해 서브스판진동을 다양한 진폭으로 발생시켜 (A), (B)점에서 클램프 변위를 측정한 결과 변위는 [표 2]와 같고, 관측된 클램프의 상태는 [그림 6]과

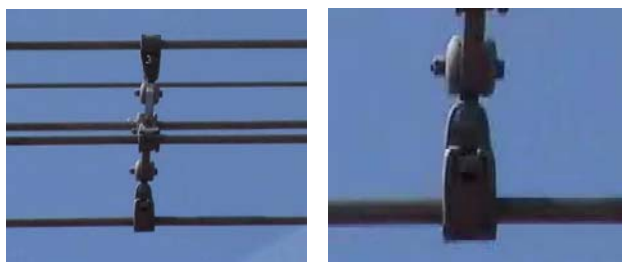
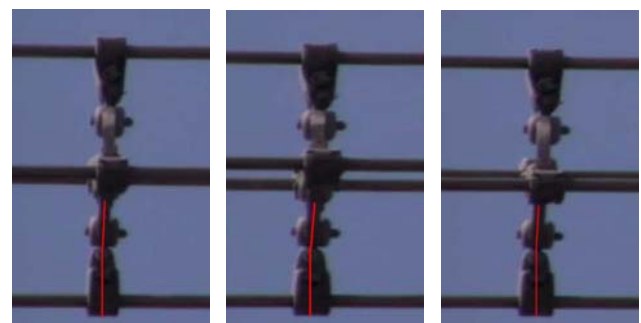


그림 6 실험조건(I)에서 클램프 상태 예
Fig. 6 clamps during oscillation in test case(I)

같다. 발생한 진동진폭은 각각 100~200mm, 350~400mm, 450~500mm 범위였으며, 100~200mm의 크기에서는 측정이 불가능 할 정도로 클램프의 선로방향에 대한 움직임이 없었고, 350~400, 450~500mm 진폭에서도 1~2mm 정도의 미세한 움직임이 발생하였다.

(2) 실험조건(II)

[그림 4]의 ①, ② 전선을 반대 위상으로 강제 진동시킴으로서 하나의 서브스판에서 하선 2선이 동시에 진동이 발생하는 것을 모의하였다. 이런 진동현상이 실제 가공선로에서 빈번히 발생되어지는 서브스판진동이다. 실험결과 [그림 7]의 표시된 부분과 같이 선로 방향의 움직임은 측정이 거의 불가능할 정도로 미세한 움직임을 보였고, 선로 수직방향 움직임은 크게 나타났다.



(a) 0:01:00 (b) 0:01:20 (c) 0:01:40

그림 7 실험(II)에서 클램프 변위 측정
Fig. 7 Clamp displacement examples in test case(II)

(3) 실험조건(III)

두 개의 서브스판에서 전선 1가닥에 대해 같은 전선을 같은 위상으로 동시에 진동시켰을 경우 선로방향 진동진폭을 (B)측정점에서 확인하였는데, 변위가 거의 발생하지 않는 것으로 나타났다. 진동발생시 실험선로 구간 전체가 수평방향으로 이동하였고, 선로를 잡고 있는 클램프 압도 전선과 같은 방향으로 움직이는 상황이 발생하였다. 실제 선로에서는 인접 서브스판에서 2개의 전선이 동일 위상으로 진동하는 것은 매우 드문 현상이다.

(4) 실험조건(IV)

가장 일반적인 서브스판진동 발생 유형으로서 두 개의 인접 서브스판에서 180° 위상의 서로 다른 반대방향 전선을 450~500mm 크기로 강제진동 모의하였을 경우, [그림 8]과 같이 스페이서 댐퍼의 몸체자체가 비틀어져 움직이며 클램프의 변위는 최대 3mm정도로 발생하였다. 그러나 400mm 이상의 진동진폭은 [그림 9]와 같이 전선이 상호 충돌하거나 교차하는 정도의 매우 가혹한 실험조건으로서 실제 선로에서는 잘 발생하지 않는 상황을 모의한 것이다.

[표 3]의 실험결과에서 보는 바와 같이 선로 수평방향인 주요 진동방향인 서브스판진동이 큰 진폭으로 진동을 하여도 실제 클램프의 움직임은 거의 없는 것으로 나타났다. 가공선로에서 서브스판진동이 발생할 때 나타나는 진동진폭은 대체적으로 200mm 이내에서 발생하는 경우가 많으며, 심한 경우 200mm를 다소 초과하여 발생하는 경우도 있다. 이러한 현상

상황을 고려할 때 서브스판진동에 의해 스페이서댐퍼의 클램프가 선로방향으로 변위가 거의 발생하지 않거나, 발생하여도 수 mm 정도 발생할 것으로 추정할 수 있다.

결론적으로 실험결과에 의해 판단해 보면 가공선로의 서브스판진동과 스페이서댐퍼 클램프의 선로방향 변위와는 관련성이 없다고 볼 수 있다. 따라서 스페이서댐퍼 설계시 선로방향에 대한 관절부를 설계할 필요성은 없는 것으로 보인다.

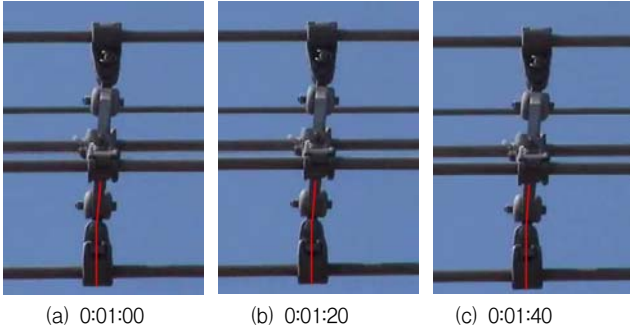
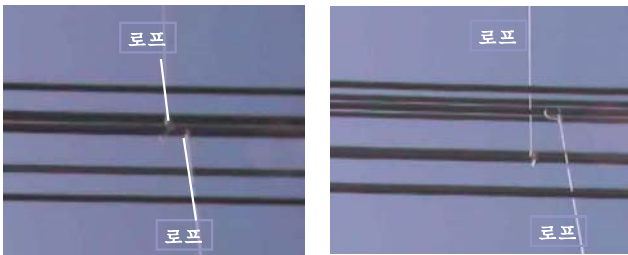


그림 8 실험(IV)의 클램프 변위 측정

Fig. 8 Clamp displacement examples in test case(IV)



(a) 전선이 충돌하는 상황 (b) 전선이 교차하는 상황

그림 9 가혹조건의 진동시 상황

Fig. 9 oscillation examples in severe conditions

표 3 진동모의 실험결과

Table 3 Oscillation test results

실험	진동진폭 (peak-peak) [mm]	클램프변위 [mm]		실험 내용
		A점	B점	
실험 I	100~200	0	0	• 1개 서브스판에서 1선 진동 발생시 상황을 모의함 • 측정이 불가할 정도로 클램프의 움직임이 전혀 없음
	350~400	1~2	1~2	전선이 상호 충돌하는 상황
	450~500	1~2	1~2	• 전선이 상호 교차하는 상태 • 실선로에서 잘 발생하지 않는 최악조건에서 나타나는 현상을 파악하고자 모의함
실험 II	100~200	0	0	1개 서브스판에서 하선 2선이 동시에 진동 발생하는 상황을 모의함
	350~400	1~2	1~2	
	450~500	2	2	
실험 III	100~200		0	양 서브스판에서 2선이 같은 위상으로 진동 발생하는 상황을 모의함
	350~400		1	
	450~500		1	
실험 IV	100~200	0	0	양 서브스판에서 2선이 180도 위상차로 진동 발생하는 상황을 모의함
	350~400	1~2	1~2	
	450~500	1~2	2~3	

3. 결 론

본 연구에서는 스페이서댐퍼의 클램프가 선로방향에 대한 관절부를 가져야할 필요성에 대해 결론을 얻고자, 실규모 시험선로를 이용하여 서브스판진동을 모의하였고, 실험결과 서브스판진동과 클램프의 선로방향 변위와는 관련성이 거의 없는 것으로 결론을 얻었다. 따라서 서브스판진동에 대한 대책으로 스페이서댐퍼의 클램프가 선로방향에 대해 자유운동을 하도록 관절부를 설계할 필요성은 없는 것으로 보인다. 그러나 보다 더 정확한 판단을 위해서는 향후 본 연구에서 수행한 실험내용을 보다 구체적이고 다양한 조건으로 실험을 하여 보다 명확한 결론을 도출하는 것도 의미가 있을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- [1] 한국전력공사, “345kV 송전선로 진동대책 연구”, 2003.
- [2] 이형권, 한형주, 박창기, “345kV 가공선로에서 진동발생 다발 소경간에 대한 진동저감 대책(II)” 대한전기학회 전기설비전문위원회 춘계학술대회 논문집, 2008. 4
- [3] 김우겸, 이달형, 이형권 “345kV 가공선로에서 진동발생 다발 소경간에 대한 진동저감 대책(I)” 대한전기학회 하계학술대회논문집, 2007. 7

저 자 소 개



이 형 권 (李亨勸)

1983년 명지대 전기공학과 졸업. 1985년 성균관대 대학원 전기공학과 졸업(공학석사), 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사), 1984년 3월-현재 한국전기연구원 전력시스템연구본부 책임연구원

Tel : 055-280-1340

E-mail : hklee@keri.re.kr