

가공송전선로의 서브스판 진동에 대한 주파수 특성 분석

손홍관\*, 이은웅\*\*  
한국전기연구원\*, 충남대\*\*

A Frequency Analysis of Subspan Oscillation on Overhead Transmission Lines

Sohn Hong-Kwan\*, Lee Eun-Woong\*\*  
KERI\*, Chung-Nam University\*\*

**Abstract** - This paper presents a frequency analysis of subspan oscillation on overhead transmission line. The Oscillation frequency is a natural characteristic of a subspan and can be calculated. But it is not same to calculated frequency, because it has been composed several frequencies of adjacent subspan. We were analyzed to the frequency of subspan oscillation by FFT methods. This result will use to establish of the subspan location rules.

서브스판으로부터 전달된 파형이 합성되어 나타나기 때문이며, 해당 서브스판의 고유진동주파수와 실제로 발생한 진동주파수는 일치하지 않는 것이 일반적이다. 따라서 서브스판 진동에 의해 발생된 파형의 주파수 분석을 통해서 인접 서브스판으로부터 전달되는 주파수를 구분할 수 있고, 이를 이용해 서브스판 진동의 전파 특성을 파악해 볼 수 있다.

1. 서론

가공송전선로에서 발생하는 바람에 의한 진동현상으로는 미풍진동, 후류에 의한 진동, 갠립핑진동 등이 있다. 다도체 선로에서 흔히 발생하는 후류에 의한 진동은 바람을 받는 풍상측 도체의 차폐영역 속에 풍하측 도체가 들어 있는 경우 양력이 발생되어 풍하측 도체가 진동하는 현상이다. 후류에 의한 진동은 일반적으로 서브스판 진동과 강제형 진동으로 구분되며, 강제형진동은 수직 (Vertical galloping), 수평 (Horizontal galloping), 비틀림 (Rolling or Twisting) 등으로 구분된다.[1]

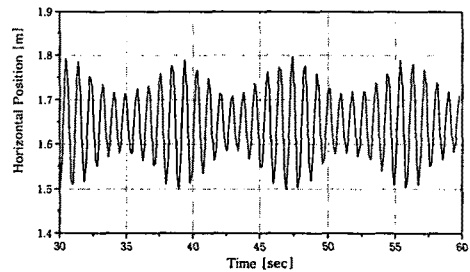


그림 1. 서브스판 진동의 일반형태  
Fig.1. General Pattern of Subspan Oscillation

다도체 가공송전선로에서 발생하는 서브스판 진동은 인접 서브스판에서 발생된 진동이 서로 중첩되어 합성된 형태의 진동현상을 나타내는 것이 일반적이고, 서브스판 간격의 배치에 따라서 공진에 의해 큰 진폭의 서브스판 진동이 발생되기도 한다.

주파수 분석에는 일반적으로 푸리에변환(Fourier Transform)기법을 사용하며, 시간영역의 불연속데이터로부터 주파수를 분석하기 위해서는 주로 FFT(Fast Fourier Transform)기법을 사용하고 있다. 본 연구에서도 FFT기법에 의한 주파수 분석을 실시하였다.

본 연구에서는 4도체 송전선로의 후류에 의한 진동 중에서 서브스판 진동의 발생형태 및 전파특성을 분석하고자 하였다. 이를 위해 서브스판 진동의 고유진동주파수 및 발생된 진동의 주파수 분석을 통해 인접 서브스판으로의 진동전달특성을 분석하였다. 이를 4도체 송전선로에 적용하여 서브스판 진동에 대한 주파수 분석 및 진동전달특성을 파악하였다.

3. 서브스판 진동의 전파특성

2. 서브스판 진동의 주파수 특성

3.1 진동전파특성의 실험

2.1 고유진동주파수

서브스판 진동의 주파수는 그 서브스판의 고유한 물리적인 특성으로서 서브스판 길이, 장력, 전선의 단위질량에 의해 다음 식(1)로 계산할 수 있다.

그림 2와 같이 110m 시험선로의 중앙에 스페이서댐퍼를 설치하여 2개의 서브스판(55m)을 만든 후 각 서브스판 중앙에 Trigger장치 및 진동측정용 전위차계(Potentiometer)를 설치하여 시험을 실시하였다.

$$f = \frac{1}{2\ell} \sqrt{\frac{T}{m}} \quad (\text{Hz}) \quad (1)$$

여기서  $\ell$ 은 서브스판 길이(m),  $T$ 는 소도체 장력(N),  $m$ 은 소도체의 단위길이당 질량(kg/m)이다.

진동의 전파특성을 확인하기 위해 서브스판1에 설치된 Trigger장치만을 작동시키고, 서브스판1 및 2의 진동파형을 측정한 결과 그림 3의 결과를 얻었다.

2.2 서브스판 진동 주파수의 분석

서브스판의 어느 한 점에서 발생하는 진동의 일반적인 형태는 그림 1과 같이 비트파의 형태를 하고 있다. 이것은 해당 서브스판 내에서 진동파형의 전파속도와 인접

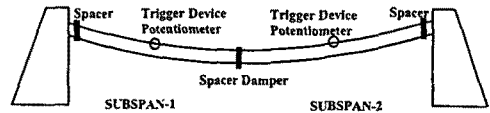


그림 2. 시험선로의 구성  
Fig.2. Configuration of test lines

서브스판-1에서 Trigger를 이용해 진동을 발생시킨 진동파형이 서브스판-2로 전파되고, 이후 서브스판-1은 서브스판-2에서 다시 전파되는 진동과 합성된 형태의 진동이 발생하게 된다.

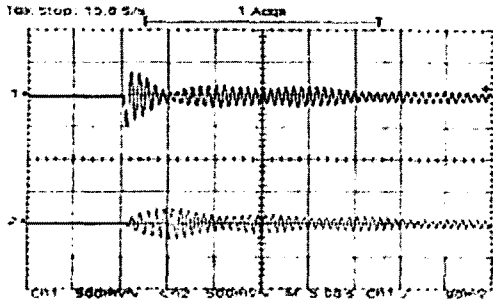


그림 3. 서브스판 진동의 전파특성  
Fig.3. Propagation of the subspan oscillation in test line

### 3.2 프로그램에 의한 진동전파특성의 의미

본 연구진이 개발한 SOAP(Subspan Oscillation Analysis Program)을 이용하여 3개의 균등한(40m) 서브스판을 갖는 송전선로 중간의 서브스판 2에서만 진동을 발생시킨 결과 그림 4와 같은 진동파형을 얻었다.

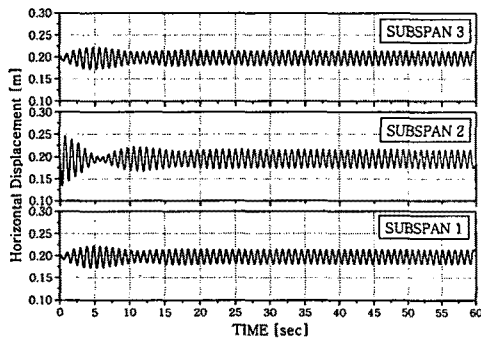


그림 4. 해석에 의한 진동의 전파특성(등간격 배치)  
Fig.4. Propagation of the subspan oscillation by SOAP (equidistant configuration)

프로그램 해석에 사용된 서브스판은 40[m]로 동일한 간격으로 적용하였으며, 풍속이 없는 경우 최대진폭은 서브스판 2에서는 65mm(0-peak), 서브스판 1,3에서 약 30mm 정도로 분석되었으며, 각 서브스판에 대한 주파수 분석결과는 표1과 같다. 이 결과로부터 서브스판 2에서 발생한 주파수 1.1119의 진동이 서브스판 1 및 3으로 약 80%정도의 진폭이 전파되고, 상호 간섭을 일으키며 진동이 발생하고 있음을 알 수 있다.

표 1. 주파수분석의 예(등간격)  
Table 1. A example of frequency analysis (equidistant configuration)

Subspan (length(m))	기본주파수 (Hz)	합성주파수 (Hz)	분석주파수 (Hz)	분석진폭 (mm)
1 (40)	1.1191	1.1186	1.1119	20.6
2 (40)	1.1191	1.1115	1.1119	26.1
3 (40)	1.1191	1.1186	1.1119	20.6

한편 120[m]의 동일한 경간에 스페이서댐퍼의 설치 간격을 불균등(38-45-37)배치에서 서브스판 2에 진동을 발생시키고 풍속이 없는 경우는 그림 5의 진동형태와 표2의 주파수 분석결과를 얻었다.

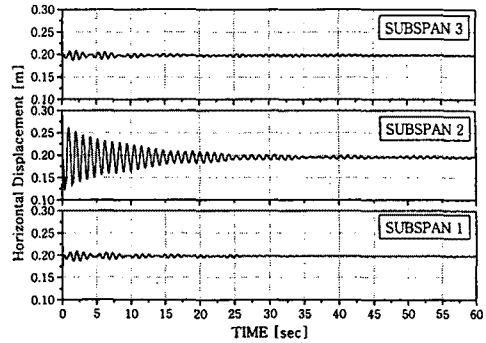


그림 5. 해석에 의한 진동의 전파특성(불균등간격)  
Fig.5. Propagation of the subspan oscillation by SOAP (non-equidistant configuration)

표 2. 주파수분석의 예(불균등간격 배치)  
Table 2. A example of frequency analysis (non-equidistant configuration)

Subspan (length(m))	기본주파수 (Hz)	합성주파수 (Hz)	분석주파수 (Hz)	분석진폭 (mm)
1 (38)	1.1780	1.1254	0.9211	1.0
			0.9378	1.7
			0.9546	1.6
			0.9713	1.0
			1.0383	0.7
2 (45)	0.9947	1.4826	0.9211	8.3
			0.9378	14.2
			0.9546	11.8
			0.9713	3.2
			1.0383	3.2
3 (37)	1.2098	1.1186	0.9211	0.9
			0.9378	1.6
			0.9546	1.4
			0.9713	0.9
			1.0383	0.7

이 경우 최대진폭은 서브스판 2에서 81mm, 서브스판 1에서 13mm, 서브스판 3에서 12mm 정도로 나타났으나 30초 이후의 진폭은 등간격에 비해 현저히 감소함을 알 수 있다. 또한 균등간격에 비해 전파되는 진동 진폭이 현저히 감소됨을 알 수 있다.

### 4. 4도체 송전선로에의 적용

이상과 같이 FFT에 의한 주파수 및 진폭의 분석을 통해서 진동의 전파특성을 파악할 수 있으며, 스페이서댐퍼를 불균등간격으로 배치할 경우 진동의 전파를 감소시킬 수 있음을 확인하였다. 이를 4도체 송전선로에 적용하여 서브스판 진동의 주파수특성과 진동전파특성을 분석함으로써 스페이서댐퍼의 설치간격 결정에 대한 기본방향을 검토해 보고자 한다.

표 3. 해석조건  
Table 3. Input data

조건명	해석에 사용된 조건
선로조건	도체수 : 4도체
	경간 : 300m
	소도체간격 : 400mm
	장력 : 2500kgf
스페이서수 : 5개	
전선조건	ACSR 480mm RAIL
풍속	12 m/sec
스페이서설치간격	(등간격) 50-50-50-50-50
	(불균등) 36-53-60-51-58-42

우선 해석에 사용된 조건으로는 표3과 같고, 300m  
경간에 스페이서댐퍼 6개를 균등간격으로 배치한 경우  
와 불균등간격으로 배치한 경우에 대해서 검토하였다.

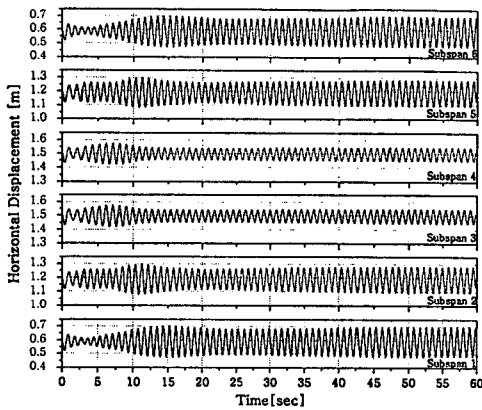


그림 6. 등간격에 대한 진동파형  
Fig.6. Subspan Oscillation for the equidistant

표 4. 주파수분석(등간격)  
Table 1. Frequency analysis for the equidistant

Subspan (length[m])	기본주파수 [Hz]	합성주파수 [Hz]	분석주파수 [Hz]	분석진폭 [mm]
1 (50)	1.1558	1.0863	1.0880 1.1047	58.9 88.9
2 (50)	1.1558	1.0930	1.0880 1.1047	49.6 75.1
3 (50)	1.1558	1.0837	1.0880 1.1047	29.0 38.8
4 (50)	1.1558	1.0837	1.0880 1.1047	29.0 38.8
5 (50)	1.1558	1.0930	1.0880 1.1047	49.6 75.1
6 (50)	1.1558	1.0863	1.0880 1.1047	58.9 88.9

그림 6 및 표4의 등간격에 대한 분석결과 진동의 전  
파특성 분석이 무의미할 정도로 모든 서브스판에서 같은  
주파수의 높은 진동진폭이 발생되었고, 따라서 스페이서  
댐퍼 설치간격을 정할 때 등간격으로 배치하는 것은 파  
해야 할 것으로 판단된다.

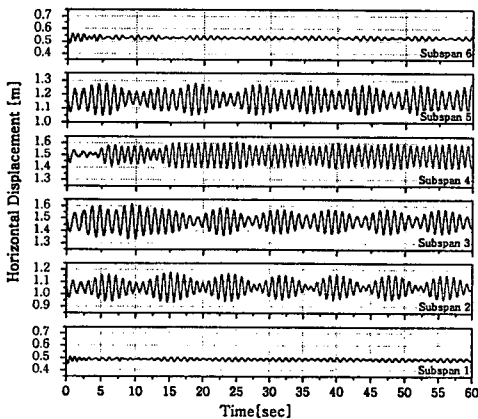


그림 7 불균등간격에 대한 진동파형  
Fig.7. Subspan Oscillation for the non-equidistant

표 5. 주파수분석(불균등간격)  
Table 1. Frequency analysis for the non-equidistant

Subspan (length[m])	기본주파수 [Hz]	합성주파수 [Hz]	분석주파수 [Hz]	분석진폭 [mm]
1 (36)	1.6052	1.1150	0.9206(3) 1.0378(2) 1.0545(2) 1.6069	3.8 8.2 8.5 2.6
2 (53)	1.0903	1.0305	0.9206(3) 1.0210(-) 1.0378 1.0545	38.5 26.6 44.4 42.3
3 (60)	0.9631	0.9123	0.9206 0.8369(-) 1.0545(4)	21.8 69.9 22.1
4 (51)	1.1331	1.0305	0.9206(3) 0.9876(-) 1.0378 1.0545	7.8 12.3 52.5 75.0
5 (58)	0.9964	0.9208	0.9206 0.8536(-) 1.0545(4)	15.4 80.1 19.1
6 (42)	1.3760	0.9867	0.9206(5) 1.0378(4) 1.2888	11.7 4.3 3.8

(주) 밑줄친 주파수는 해당경간에 대해 추정되는 기본주파수  
( )안의 숫자는 진동이 전파되어온 서브스판의 추정번호

또한 동일한 경간에 동일한 스페이서댐퍼로 불균등하  
게 설치한 경우 그림 7 및 표5와 같이 진동이 인접한 2  
개의 서브스판까지 전파되면서 전체적으로 진동이 감소  
하는 형태로 나타났다.

따라서 서브스판진동의 주파수 및 진폭의 분석에 의해  
진동의 전파특성을 파악할 수 있으며, 스페이서댐퍼의  
설치간격 선정에 대한 기준 검토에 활용할 수 있다고 판  
단된다.

## 5. 결 론

① 각 서브스판에서 발생하는 진동의 주파수 및 진폭  
을 분석함으로써 진동의 전파특성을 확인할 수 있었으  
며, 어느 한 서브스판에서 발생한 진동은 주로 인접서브  
스판에만 영향을 미치는 것으로 분석되었다.

② 주파수 및 진폭의 분석결과 스페이서댐퍼를 불균등  
간격으로 설치한 경우가 균등간격으로 설치한 경우보다  
인접서브스판으로 전파되는 진동진폭이 현저히 감소됨을  
확인하였다.

③ 이 결과로부터 4도체 송전선로의 스페이서댐퍼 설  
치간격을 정할 때 등간격 배치는 바람직하지 않으며, 불  
균등간격으로 배치할 필요가 있다.

④ 향후 스페이서댐퍼의 설치간격 검토시 불균등간격  
의 정도에 따른 진동전파특성에 대한 연구를 통해 설치  
간격의 선정기준을 마련할 필요가 있다고 판단된다.

## (참 고 문 헌)

- [1] EPRI Report 792, "Transmission Line Reference Book :  
Wind-induced Conductor Motion", 1979
- [2] 전력연구원 보고서, "345KV 4도체 가공선로 진동대책  
연구", 2003.5
- [3] Canadian Electricity Association Report, "State of the art  
report on spacer-damper", CEA 480 T 1048, 1997
- [4] Rolf Ruritz, Kjell Ruritz, "Subspan Oscillation on overhead  
lines", The Swedish state power board, 1981.9