

가공송전선로의 서브스판 진동에 대한 실험 및 실측 분석

손홍관*, 이형권*, 이동일**, 민병욱**
한국전기연구원*, 한국전력공사**

Field Observation and Analysis of Subspan Oscillation
in 4 Bundled Conductor Transmission Lines

Sohn Hong-Kwan*, Lee Hyung-Kwon*, Lee Dong-il**, Min Byoung-Wook**
KERI*, KEPCO**

Abstract - This paper presents a collection of a number of observations made on 4 bundled conductor transmission lines concerning the behaviour of conductors under the effect of natural winds. Namely in order to know the wind-induced vibration status and study, wind-induced vibrations have been recorded and analyzed from the real transmission lines. By the field observation and analysis results, subspan oscillations among the wind-induced vibrations is known to be the main type of the vibrations. And some common characteristics of the observation sites, which have had high maintenance rate, can be found from the data also. It is considered that the main results described in this paper will be useful data and be used in controlling the subspan oscillations and protecting the conductors.

1. 서 론

가공송전선로에서 발생하는 바람에 의한 진동은 도체와 관련장치에 피로, 소도체간의 충돌, 볼트이완 등을 일으키는 것으로 알려져 있으며, 미풍진동, 후류에 의한 진동, 갭립핑진동 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.[1-4]

다도체 송전선로에서 발생하는 서브스판 진동은 주로 타원형으로 운동하고 있으며, 발생풍속은 4~18(m/s) 정도로 알려져 있고, 특히 4도체 선로인 경우 서브스판 진동에 취약한 것으로 보고 되어 있다.[1]

본 연구에서는 4도체 송전선로의 진동에 대한 대책을 검토하기 위한 사전 단계로서 실선로의 스페이서샘퍼 보수실적에 대한 조사 결과를 바탕으로 보수실적이 높고, 접근이 용이한 선로를 선정하였다. 선정된 선로에 대해 진동현상을 측정하고, 진동의 종류, 진동주파수, 진동진폭, 진동형태 등을 분석하였다. 또한 측정된 결과에 대해 향후 대책 및 연구방향을 제시하였다.

2. 시험선로 구성 및 특성

2.1 시험선로의 구성

서브스판 진동을 시험하기 위한 실규모 진동시험장의 구성은 첩탑 3기로 350m의 2 경간을 구성하고 있으며, 선로는 지상 25m 지점에 4도체선로가 가선되어 있고, 해안에 위치해 상사 바람을 선로와 직각으로 받도록 구

성되어 있다. 진동시험장의 전체적인 구성은 그림 1과 같다.

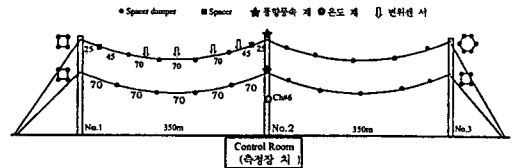


그림 1. 실규모 진동시험장의 구성
Fig.1. Configuration of test line

2.2 시험선로의 특성

시험선로는 남북방향으로 위치해 있으며, 측정에 사용된 센서는 그림1과 같다. 풍향풍속 데이터는 0.1초마다 순시치를 기록하고, 이를 1분간 평균하여 1분평균 풍속 및 풍향을 얻었다. 측정기간 중 순간최대풍속은 약 18.34 m/sec 이었으며, 전체 측정데이터 중 서브스판 진동을 발생시키는 10(m/sec) 이상의 풍속은 1.55%로 분석되었다. 풍향은 그림2와 같이 선로에 대해 ±45°의 입사각에 해당되는 풍향이 전체 데이터 중 약 70% 정도를 차지하였으며, 내륙측에서 해안측으로 부는 바람이 빈도수는 더 많지만 해안측에서 내륙측으로 부는 바람의 풍속이 더 높은 것으로 분석되었다.

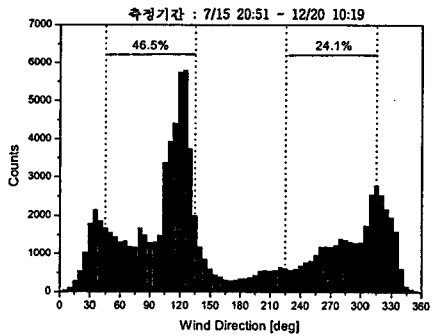


그림 2. 시험선로의 풍향 분포
Fig.2. Distribution of wind direction in test line

3. 실측대상선로의 선정 및 특성

3.1 실측대상선로의 선정

실측대상선로의 선정을 위해 스페이서샘퍼의 보수내용을 크게 볼트풀림, 클립프로부터의 전선이탈, 소선단선, 본체파손, 기타 등으로 구분하여 송전선로별 보수실적을 조사하였다. 조사 결과는 표1과 같고, 전체 보수실적 중

약 85%가 볼트풀림이었으며, 보수율은 볼트풀림을 포함한 보수율과 볼트풀림을 제외한 보수율을 검토한 결과 전체 선로에 대한 평균 보수율은 각각 3.77% 및 0.47%로 분석되었다. 따라서 스페이서덤퍼의 보수율이 다른 선로에 비해 월등히 높고, 축정이 용이한 5개 선로를 선정하였다.

표 1. 선로별 유지보수실적

Table 1. Maintenance rate related to the oscillation

선로명	스페이서 설치수량 (SET)	스페이서덤퍼 보수수량				보수율 (%)		선정
		(a)	(b)	(c)	(d)	(all)	(b~d)	
인서	300		4	6		3.33	3.33	○
보령	3,564	320	2	5		10.58	1.60	
영포	12,178	937	93	63	30	9.47	1.53	○
신김제	4,158	46	52			2.36	1.25	○
울영	7,884	357	69	20	1	6.11	1.14	
신강진	6,648		65	11	3	1.19	1.19	
서인천	5,346	189	54	6		4.81	1.12	○
신양산	2,067	20	22	1		2.08	1.11	
영광	6,549	240	48	14		4.70	0.95	○

(a) 볼트이완, (b) 랩톱프로부터의 전선이탈, (c) 소선단선, (d) 스페이서덤퍼의 본체파손

3.2 측정대상선로의 특성

인서선로는 인천 서쪽의 해안에 남북방향으로 위치해 있어서 바람의 영향을 직접적으로 받는 구성을 하고 있다. 실시간으로 1년간 측정된 자료에 의하면 유효풍향이 그림3과 같이 전체의 약 45.5% 정도로 조사되었고, 서브스판 진동이 자주 관측되었다.

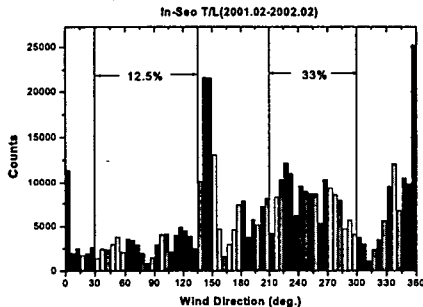


그림 3. 인서선로의 풍향분포
Fig.3. Distribution of wind directions in In-Seo T/L

영포선로의 관측 위치는 형산강 횡단구간으로서 남북방향으로 위치해 있으며, 경간길이 587m의 비교적 장경간에 해당되는 선로이다. 1년간 측정된 풍향의 86% 정도가 유효풍향으로 분석되었다.

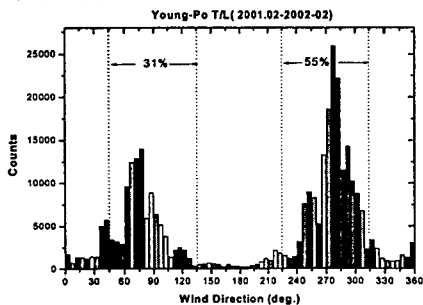


그림 4. 인서선로의 풍향분포
Fig.4. Distribution of wind directions in Young-Po T/L

한편 신김제선로의 관측장소는 평야지대로서 만경강 횡단구간이며, 754m의 장경간이고, 영광선로는 장애물이 없는 평야지대에 위치해 있다.

4. 서브스판 진동의 측정

4.1 시험선로에서의 진동측정

시험선로에서의 진동측정은 2002.7~2003.4까지 약 9개월간 측정하였으며, 초기에는 그림1의 지상 15m 선로에서 측정하였으나 방풍림에 의한 영향으로 풍속에 비해 진동이 잘 발생되지 않았다. 따라서 지상 25m 선로로 측정위치를 변경하였으며, 최대진폭은 약 44cm 정도로 측정되었다.

시험결과 10m/s 이상의 풍속에서 서브스판진동이 발생하였으며, 등간격인 경우 큰 진폭의 진동이 발생하였으나 불균등간격으로 설치한 경우에는 진동이 관측되지 않았다. 시험선로에서의 진동측정결과를 표2에 정리하였고, 진동발생파형의 한 예를 그림5에 나타낸다.

표 2. 시험선로의 측정결과

Table 2. Measurement results in test line

일자	경간	최대 풍속 (m/s)	설치간격	진폭 [cm]	발생위치	비고
2002 08/31	350	18.4	40-69-80-64-60-37	2.5	80m(3rd)	지상 15m 선로
10/06	350	18.1	70-70-70-70-70	5.2	70m(2nd)	
10/21	350	15.6	70-70-70-70-70	5.5	70m(2nd)	
12/16	350	13.9	70-70-70-70-70	5.0	70m(2nd)	
12/25	350	20.0	70-70-70-70-70	8.0	70m(2nd)	
12/25	300	20.0	30-80-80-80-30	44.0	80m(2nd)	
2003 01/03	300	18.4	30-80-80-80-30	26.0	80m(2nd)	지상 25m 선로
01/27	300	15.0	45-70-70-70-45	40.0	45m(5th)	
01/28	300	20.6	45-70-70-70-45	40.0	70m(2nd)	
01/29	300	20.6	45-70-70-70-45	40.0	70m(4th)	
02/19	300	13.9	35-55-62-49-59-40	4.3	59m(5th)	
03/03	300	16.2	43-54-61-53-47-42	3.0	53m(4th)	
03/27	300	14.8	43-54-61-53-47-42	5.1	53m(4th)	
04/29	300	12.8	36-53-60-51-58-42	4.0	51m(4th)	

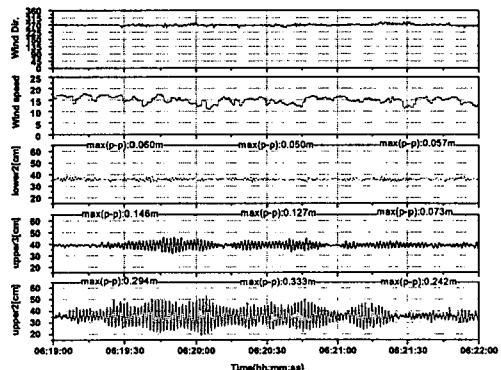


그림 5. 서브스판진동 발생파형의 예 (2002/12/25)
Fig.5. Measured subspan oscillation in test line

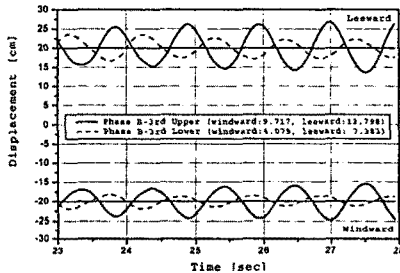
4.2 실선로에서의 진동측정

실선로에서의 측정은 2001년 2월부터 약 2년간 측정하였으며, 주요 측정결과를 표3에 나타냈으며, 측정된 파형의 예를 그림6에 나타낸다.

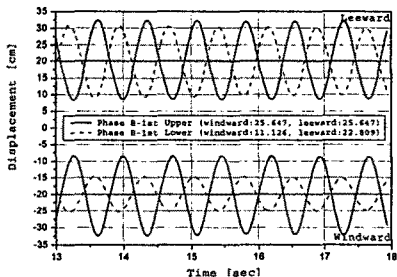
표 3. 실선로의 진동측정 분석결과

Table 2. Analysis results in real transmission lines

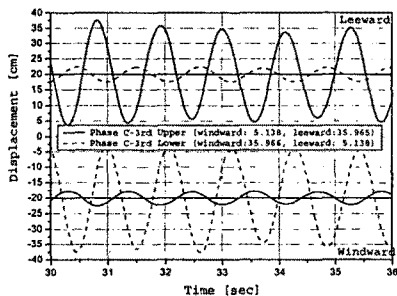
선로	Case No.	Span length (m)	풍속 (m/s)	진동수 (Hz)		진폭 (cm)(peak-peak)					
				상선		중상		중하		하선	
				상선	하선	중상	중하	중상	중하	중상	중하
영포	1	367	4	0.952	0.952	9.717	13.798	4.079	7.383		
	2-1	420	4.0	1.385	1.364	12.510	12.510	20.921	20.921		
	2-2			1.364	1.364	25.647	25.647	11.126	22.809		
	3-1	587	5~7	1.093	1.104	18.029	18.029	16.348	16.348		
	3-2			1.149	1.079	12.762	12.762	8.994	8.994		
	3-3			1.056	1.071	25.460	25.460	16.730	16.730		
	3-4	4	6~8	1.098	1.087	23.087	23.087	15.245	15.245		
4	1.025			1.042	9.456	9.456	5.659	5.659			
영광	5	363	5	0.763	0.789	13.169	36.742	26.995	11.109		
	6-1			0.896	0.913	3.049	21.340	21.841	3.120		
	6-2			0.911	0.905	5.138	35.965	35.966	5.138		
	6-3			0.938	0.909	14.675	42.411	12.124	12.124		
	7			0.909	0.909	14.756	18.888	25.350	7.545		
	8			1.395	1.438	10.646	10.646	6.595	6.595		
	9			1.389	1.415	10.537	10.537	10.444	10.444		
인서	10	444	6~7	5	0.842	0.831	12.779	38.337	28.044	9.348	
	11			5	0.825	0.807	9.398	14.096	8.141	8.141	
	12			8	0.833	0.804	3.570	27.169	23.142	41.656	
신김제	13	754	5	0.952	0.952	13.414	13.414	23.949	23.949		



(a) Case No. 1



(b) Case No. 2-2



(c) Case No. 6-2

그림 6. 실선로에서 측정된 파형의 예
Fig. 6. Observed subspan oscillations in real lines

5. 측정결과와 분석

5.1 발생되는 진동형태

시험선로와 실선로에서 측정 및 관측된 후류에 의한 진동의 형태는 대부분 서브스판진동이었으며, 강제형모드의 진동은 관측되지 않았다. 따라서 4도체 송전선로에서 발생하는 진동과 관련된 문제는 서브스판 진동에 대한 대책으로 해결할 필요가 있다고 판단된다.

5.2 서브스판 진동진폭

서브스판 진동의 진폭은 장력, 서브스판 길이, 풍속 등에 따라 영향을 많이 받지만 시험선로 및 실선로에서 측정된 최대진폭은 44cm(peak-peak) 정도로 측정되었다. 그러나 풍상측 및 풍하측 도체가 동시에 같은 진폭으로 진동하지 않고 풍하측 도체의 진폭이 크게 기록된 경우가 많으므로 소도체간 충돌은 발생하지 않았다. 그러나 기록되지는 않았지만 일부 선로에서 소도체간 충돌음이 청취된 예가 있으며, 이러한 선로는 서브스판 진동 억제에 대한 대책이 필요하다고 판단된다.

5.3 서브스판 진동의 진동수

진동수는 해당 서브스판의 고유특성으로서 서브스판길이, 장력, 도체의 단위질량 등에 의해 결정된다. 그러나 인접 서브스판에서 전달되는 진동에 의해 합성된 진동수로 나타나는 경우가 많다. 관측된 진동수는 대부분 1Hz 정도이며, 계산에 의한 결과와 잘 일치하고 있다.

6. 결론

본 논문에서는 송전선로의 진동현상에 대한 관측 및 측정을 통해 진동형태, 진폭, 진동수를 분석하였으며, 다음과 같이 요약할 수 있다.

- ① 후류에 의한 진동의 형태는 주로 서브스판 진동이 발생되고 있으며, 강제형진동은 관측되지 않았다.
 - ② 서브스판 진동을 일으키는 풍속은 4 m/s까지 기록되었으며, 이것은 일반적으로 예측하는 풍속보다 훨씬 낮은 풍속에서 진동이 발생하고 있다.
 - ③ 서브스판 진동의 진폭은 풍속에 비해 매우 높게 측정되었으며, 4도체 송전선로의 진동대책 수립시 우선적으로 고려할 필요가 있다.
 - ④ 서브스판 진동이 잘 발생되는 지형적인 조건은 일반적으로 알려진 결과와 일치하고 있다. 특히 강 횡단구간, 평야지대와 같이 선로와 직각으로 바람을 받는 지형에 송전선로를 건설할 경우에는 진동대책을 고려하여 건설계획을 수립할 필요가 있다고 판단된다.
- 향후 서브스판 진동대책을 수립하기 위한 여러 가지 방안에 대한 연구와 스페이서템퍼의 설치간격에 대한 연구를 통해 4도체 송전선로의 진동대책을 수립할 필요가 있다고 판단된다.

[참고 문헌]

- [1] EPRI Report 792, "Transmission Line Reference Book : Wind-induced Conductor Motion", 1979
- [2] 전력연구원 보고서, "345kV 4도체 가공선로 진동대책 연구", 2003.5
- [3] Sohn, H.K., Lee, H.K, Chu, J.H., "Field observations on a subspan oscillation in 4 bundled conductor systems", ICEE, 2002. 7
- [4] CIGRE SC22 WG-11, "Guide to Vibration Measurements on Overhead Lines", ELECTRA No.163, Dec, 1995
- [5] C.Hardy & P.Van Dyke, "Field Observations on Wind-Induced Conductor Motions", Journal of Fluids and Structures, No.9, pp.43~60, 1995
- [6] S.J.Price and P.Piperni, "An Investigation of the Effect of Mechanical Damping to Alleviate Wake-Induced Flutter of Overhead Power Conductors", Journal of Fluids and Structures, No.2, pp.53~71, 1988