

항타 진동이 송전탑 기초에 미치는 영향 연구

박정봉¹⁾

The Influence of Ground Vibration Caused by Pile Driving on Power Line Tower Foundation

Jung-Bong Park

Abstract Ground vibrations caused by pile driving or explosive blasting can affect the stability of power line tower and its foundation. Because the characteristics of ground vibrations generally depend on the distances from the blast, the ground vibrations should be controlled by taking the distance into account. In this study, ground vibration levels were measured at the foundation of a power line tower and on ground surface adjacent to the tower. The relationships between the dominant frequencies of the ground vibrations that were measured at both locations were comparatively investigated.

Key words Pile driving, Electric transmission tower foundation, Dominant frequency

초 록 파일 항타, 발파 등의 공사시 발생하는 진동은 근거리에서 위치한 송전탑 기초 및 첩탑에 영향을 미치게 된다. 일반적으로 진동은 이격거리에 따라 전파특성이 다르게 나타나는데, 송전탑과 진동원의 이격거리에 따라 진동을 제어할 수 있는 공법으로 공사를 수행해야 한다. 본 연구에서는 송전탑 기초와 기초 주변 지반에 대하여 항타시 진동을 측정하였으며, 항타시 발생하는 진동이 기초지반과 송전탑 기초에 전파되는 특성을 지반의 탁월주파수와 송전탑 탁월주파수와의 관계를 통하여 고찰하였다.

핵심어 파일 항타, 송전탑 기초, 탁월주파수

1. 서 론

우리나라는 아직 진동이 고압전선 송전탑에 미치는 영향 및 허용기준에 대하여 법규로 제정되어 있지 않다. 이와 같이 진동이 송전탑에 미치는 영향 및 허용기준에 대한 명확한 근거는 없으나 파일 항타, 발파 등의 공사시 발생하는 진동이 송전탑 기초 및 첩탑에 영향을 미치고 있는 것이 현실이다.

그러므로 진동이 유발되는 공사가 수행되는 지점으로부터 고압전선 송전탑까지 거리에 따라 진동을 관

리해야 한다. 일반적으로 진동은 이격거리에 따라 전파특성이 다르게 나타나는데, 송전탑과 진동원의 이격거리에 따라 진동을 제어할 수 있는 공법으로 공사를 수행해야 한다.

본 연구에서는 송전탑 기초와 기초 주변 지반에 대하여 항타시의 진동을 측정하였으며, 항타시 발생하는 진동이 기초지반과 송전탑 기초에 전파되는 특성을 지반의 탁월주파수와 송전탑 탁월주파수와의 관계를 통하여 고찰하였다.

2. 송전탑의 작용 하중

일반적으로 첩탑 구조물은 풍하중, 지진하중, 설하중, 반복하중, 온도하중을 설계하중으로 적용하여 설계가 이루어진다. 이들 설계하중 중 지진시의 동적응

¹⁾ (주)덕원기술사사무소 대표이사

* 교신저자 : dukwon@paran.com

접수일 : 2009년 12월 11일

심사 완료일 : 2009년 12월 18일

계재 승인일 : 2009년 12월 21일

답을 고려하여 설계하는 지진하중의 경우 일반적인 사항은 다음과 같다.

- 1) 지진동의 동적인 영향을 고려하는 경우, 우선 구조물의 진동특성, 고유주기 및 진동모드의 평가가 기초가 된다.
- 2) 철탑구조물의 내진설계는 그 기본 고유주기나 진동모드의 진동특성을 고려하여 고층건물과 동일하게 취급하는 경우가 많다.

철탑구조물의 경우 일반적인 지진하중에 의해 조합한 응력은 풍하중에 의해 조합한 응력에 비해 작은 것이 일반적인 경우이다. 또한, 국내에서는 송전 철탑구조물의 설계와 시공에 있어서 지진하중과 반복하중에 대한 고려는 전혀 이루어지지 않고 있으며 설하중에 대한 설계기준도 미흡한 수준이다. 그 이유는 국내에서 낮은 빈도를 가지고 발생하는 지진이라고 해도 그 강도는 주요 하중인 풍하중에 의한 영향에 비해 아주 작은 정도이기 때문이라고 할 수 있다(채규중, 2006).

3. 현장 시험

3.1 항타진동 측정방법

방진구는 가장 대표적인 방진구조물로서 지반 내에 공기라는 이질 매질층을 수직으로 설치하여 지반진동과의 수평적 전달을 차단한다(박정봉, 손기상, 2006). 이러한 방진구가 항타 지점과 송전탑 방향으로 설치되어 있는 관계로 거리별 진동의 감쇠특성을 파악하기 위하여

방진구가 설치되지 않은 방향으로 각각 3m, 5m, 8m, 10m, 그리고 15m 이격거리에서 측정을 실시하였다.

또한, 14.2m 이격된 거리에 위치한 송전탑 기초와 약 2m 상부 철탑, 그리고 송전탑 기초부 지반에서 측정을 실시하였다. 시항타 중 계측지점 이동에 따른 순서는 다음과 같다.

시항타 지점과 3m 이격지점 → 5m 이격지점 → 8m 이격지점 → 10m 이격지점 → 15m 이격지점 → 송전탑 기초 → 송전탑 철탑 → 송전탑 기초부 지반 → 시항타 지점과 3m 이격지점.

Fig. 1과 Fig. 2는 각각 항타 장비와 송전탑의 기초부 계측 장면이다.

3.2 측정 결과

항타를 실시한 전체 진동 측정자료의 각 성분별(T : 접선방향, V : 수직방향, L : 진행방향) 최대 입자속도(PPV, peak particle velocity)와 고속푸리에 변환(FFT, fast fourier transform)에 의한 탁월주파수(dominant frequency)를 요약하면 Table 1과 같다.

3.3 측정별 최대 진동 요약

Table 2는 각 측정별 최대진동이 관측된 자료를 요약정리 하였다. 시항타시 지반에서의 진동 측정결과 3m, 5m, 8m, 10m, 그리고 15m에서 최대 입자속도는 각각 14.4mm/s, 10.7mm/s, 8.86mm/s, 6.27mm/s, 그리고 3.08mm/s로 거리에 따라서 감쇠되는 특성을 나타내었다. 또한 송전탑 기초와 철탑, 그리고 기초부 지반에서의 진동 측정결과 각각 1.05mm/s, 0.968mm/s,



Fig. 1. View of pile driving.



Fig. 2. View measuring of the Power line tower base.

Table 1. Measuring result

No.	Measure Point	Transverse		Vertical		Longitudinal		PVS (mm/s)	비고
		PPV (mm/s)	Dom. Frq.(Hz)	PPV (mm/s)	Dom. Frq.(Hz)	PPV (mm/s)	Dom. Frq.(Hz)		
1	3m	3.51	10.9	14.4	11.0	11.1	11.0	15.7	항타 개시
2	5m	4.48	11.5	10.6	12.8	10.7	12.8	11.5	
3		4.13	11.6	9.52	12.4	10.5	12.9	11.0	
4	8m	0.238	43.5	0.365	14.8	0.222	25.4	0.395	Noise
5		2.94	12.1	8.40	12.8	8.86	13.6	9.41	
6		3.24	11.8	5.92	12.3	7.83	16.6	8.56	
7	10m	2.84	12.3	5.76	12.3	6.24	16.9	6.92	
8		2.86	13.3	6.27	13.3	6.25	10.4	6.85	
9		0.143	43.5	0.238	25.1	0.413	25.1	0.430	Noise
10	15m	1.52	13.1	2.92	13.9	3.08	12.1	3.34	
11		2.67	13.4	17.5	23.0	10.1	68.8	17.7	Noise
12	14.2m base	0.540	10.5	0.175	25.3	1.05	11.1	1.07	
13		0.460	8.75	0.286	24.1	0.952	10.5	0.993	
14		0.460	8.25	0.397	23.5	0.937	10.6	0.970	
15		0.540	8.38	0.492	23.8	0.937	10.8	0.957	
16	tower	0.635	12.1	0.476	24.1	0.746	10.8	0.767	연약대관입
17		0.952	35.1	0.508	24.1	0.746	35.1	1.00	
18		0.762	24.8	0.619	24.9	0.825	9.50	0.947	
19	tower	0.968	17.1	0.587	26.3	0.857	9.13	1.24	
20		0.365	16.0	0.0952	17.1	0.286	9.25	0.374	자유진동
21	14.2m ground	1.30	26.6	1.38	25.6	0.762	11.5	1.45	
22		1.06	11.6	1.43	24.8	0.794	11.0	1.53	
23	3m ground	6.83	23.4	9.05	12.5	13.7	25.3	14.1	
24		5.24	23.8	9.79	12.3	11.9	26.6	12.1	
25		4.79	22.5	8.75	14.0	10.0	15.0	10.5	
26		4.46	23.4	8.19	13.9	10.6	14.9	11.2	
27		4.48	12.9	7.83	12.9	11.0	15.0	11.4	
28		3.94	13.0	8.24	13.0	11.5	26.0	11.7	
29		2.40	7.25	3.35	11.5	6.79	16.1	6.97	
30	3m ground	4.70	29.1	10.1	12.6	14.9	30.0	15.5	최종관입
31		4.38	12.9	10.4	11.9	14.0	24.8	14.6	
32		4.40	12.5	8.06	12.5	12.0	24.5	12.2	
33		4.84	11.1	9.38	12.0	11.9	18.9	12.2	
34		3.37	6.50	3.79	25.3	6.05	27.3	6.15	

Table 2. Summary of peak velocity on the measuring point

No.	measuring point	Transverse		Vertical		Longitudinal	
		PPV (mm/s)	Dom. Frq.(Hz)	PPV (mm/s)	Dom. Frq.(Hz)	PPV (mm/s)	Dom. Frq.(Hz)
1	3m	3.51	10.9	14.4	11.0	11.1	11.0
2	5m	4.48	11.5	10.6	12.8	10.7	12.8
3	8m	2.94	12.1	8.40	12.8	8.86	13.6
4	10m	2.86	13.3	6.27	13.3	6.25	10.4
5	15m	1.52	13.1	2.92	13.9	3.08	12.1
6	14.2m 기초	0.540	10.5	0.175	25.3	1.05	11.1
7	철탑	0.968	17.1	0.587	26.3	0.857	9.13
8	기초부 지반	1.06	11.6	1.43	24.8	0.794	11.0
9	3m 지반	4.70	29.1	10.1	12.6	14.9	30.0

그리고 1.43mm/s의 최대치를 기록하였다. 즉, 기초위에서 측정된 진동은 기초부 지반에서 측정된 진동의 약 73% 수준의 진동으로 약 27%의 진동이 감쇠된 것으로 나타났다.

한편 계측결과 중 최종관입시 3m 이격거리의 지반에서의 측정결과 14.9mm/s의 최고치를 기록하였으며, 개략적으로 상기의 감쇠정도로 추정한다면 3m 이격거리 기초위에서는 약 10.877mm/s의 진동이 발생할 것으로 추정할 수 있다.

항타시 지반에서 탁월주파수(L성분)의 범위는 최종관입 전(3m~15m 계측자료)의 경우 10.4~16.9Hz로 나타났고, 최종관입 부분(기초부 지반, 최종관입 3m 지반)에서 11.0~30.0Hz로 나타났다.

기초에서의 항타시 탁월주파수(L성분) 범위는 10.5~11.1Hz로 나타났고, 철탑에서의 항타시 탁월주파수(T성분) 범위는 16.0~35.1Hz로 나타났다. 전체적으로 항타시 최대진동이 관측된 성분의 탁월주파수는 10.4~35.1Hz 범위로 나타났다. 즉, 송전철탑의 기초와 철탑의 탁월주파수가 10.4~35.1Hz 범위 주변에 존재할 경우 항타로 발생된 진동에 의한 공진현상이 발생할 가능성이 크다.

4. 측정 결과 분석

4.1 지반의 고유주파수 산출

지반의 고유주파수 산출은 최종 관입시 기초부 지반에서 측정된 진동측정치 중 자유진동 상태가 관측될 수 있는 최후의 측정자료의 진행방향(Longitudinal) 자료를 사용하였다. FFT분석결과 지반의 고유주파수는 8.0 Hz로 나타났다(Fig. 3).

4.2 기초의 고유주파수 산출

송전탑 콘크리트 기초의 고유주파수 산출은 기초에서 측정된 진동측정치 중 항타가 중단되고 자유진동 상태가 관측될 수 있는 최후의 측정자료의 진행방향(Longitudinal) 자료를 사용하였다. FFT분석결과 기초의 고유주파수는 9.0Hz로 나타났다(Fig. 4).

4.3 주파수 분석 결과

Table 3의 주파수 분석결과 항타로 인해 발생된 지반의 진동에 의해 송전 철탑 기초 및 철탑구조물은 공진현상 발생이 가능한 것으로 판단할 수 있었다. 그러나 실제 진동 측정결과에서는 공진의 영향을 찾아볼 수 없었다. 그 이유는 송전탑의 기초가 지반보다 하부

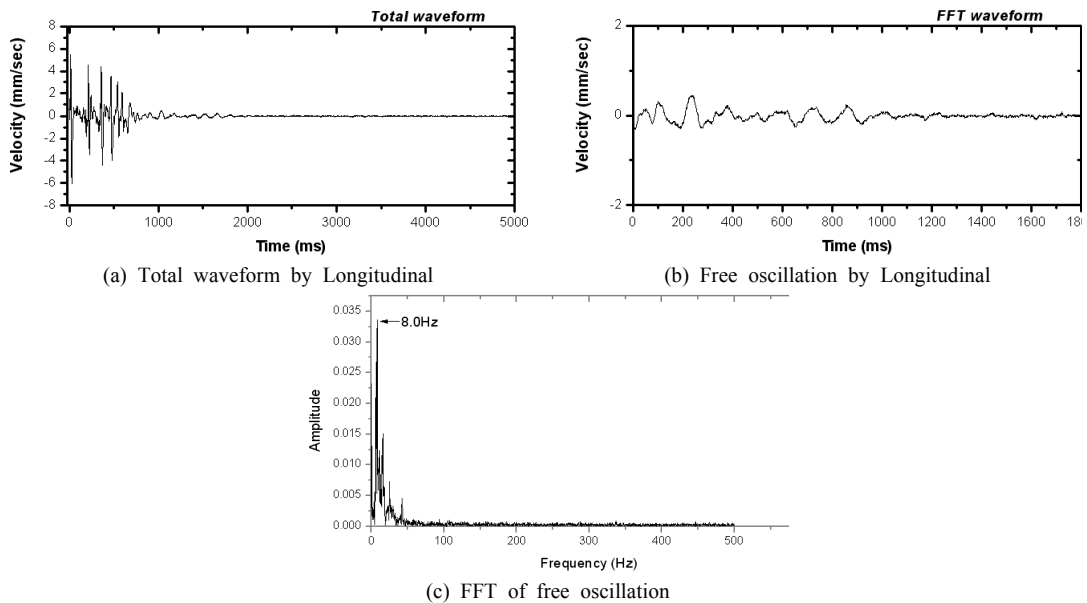


Fig. 3. Natural frequency of ground by FFT.

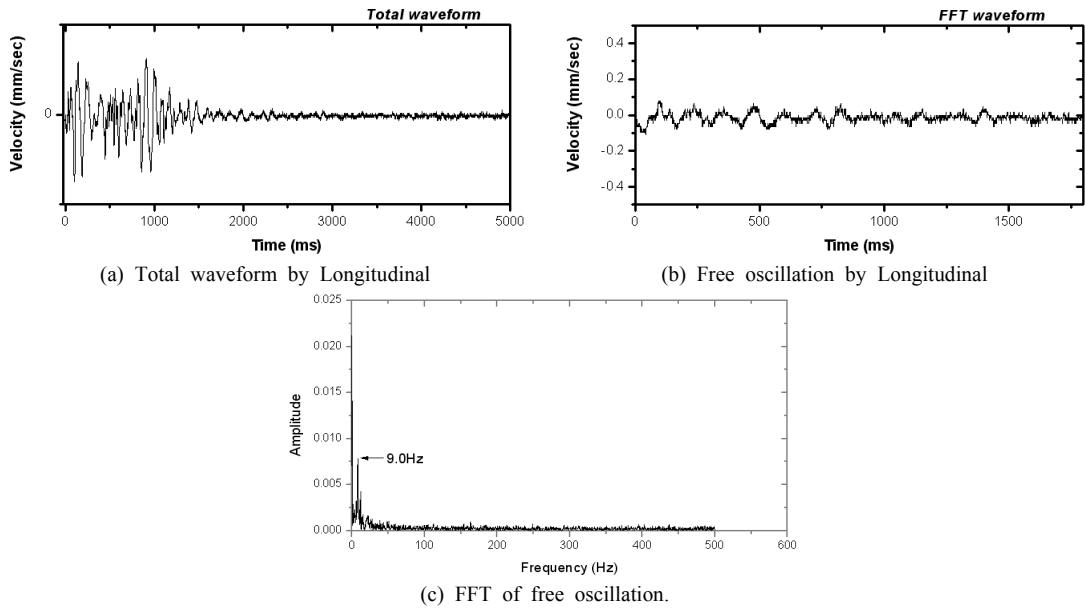


Fig. 4. Natural frequency of base by FFT.

Table 3. Results of compressive strength

추 정 식	NC-1	NC-2	NC-3
일본 재료학회	242.0	123.2	129.8
동경도 재료시험소	206.0	114.7	119.7
일본 건축학회	264.0	197.3	201.0
평균 압축강도	237.3	145.1	150.2

암반에 고착된 결과인 것으로 판단된다. 즉, 송전탑의 기초와 지반진동의 공진의 영향은 송전탑의 기초가 고착된 암반의 탁월주파수와 더 영향이 깊은 것으로 판단할 수 있었다. 그러나 지반에 발생하는 진동 역시 전혀 무시할 수는 없으므로 진동의 지속시간을 고려하여 항타 시간을 조절함으로써 공진발생에 대한 에너지원을 차단할 수 있을 것으로 판단된다.

5. 결 론

- 1) 시항타시 지반에서의 진동 측정결과 3m, 5m, 8m, 10m, 그리고 15m에서 최대 입자속도는 거리에 따

라서 감소되는 특성을 나타냈다. 또한, 송전탑 기초와 철탑, 그리고 기초부 지반에서의 진동 측정결과 기초 위에서 측정된 진동은 기초부 지반에서 측정된 진동의 약 73% 수준의 진동으로 약 27%의 진동이 감소된 것으로 나타났다.

- 2) 주파수 분석결과 항타로 인해 발생한 지반진동은 송전철탑 기초 및 철탑구조물에 대해 공진현상을 발생케 한 것으로 판단된다. 그러나 실제 진동 측정결과에서는 공진의 영향을 찾아볼 수 없었다. 그 이유는 송전탑의 기초가 지반보다 하부 암반에 더욱 고착화된 결과인 것으로 판단된다.

참고문헌

- 1. 채규중, 2006, 마이크로파일 기초를 지닌 송전 철탑구조물의 구조적 안전성에 관한 연구, 석사학위논문, 연세대학교, 서울, pp. 18-48.
- 2. 박정봉, 손기상, 2006, 건설소음진동 실무론, 기문당, 서울, pp. 260-273.



박 정 봉

(주)덕원기술사사무소 대표이사

Tel : 02)335-4242

E-mail : dukwon@paran.com