

건설현장에서 발생하는 유압식 항타진동의 특성에 관한 연구

○박재영* 곽광수* 윤해동* 김재수**

A Study on the Characteristics of Piling Vibration by Oil Pressure Method in Construction Field

Jae-Young Park* Kwang-Soo Kwak* Hae-Dong Yun* Jae-Soo Kim**

ABSTRACT

Recently, in construction field, large construction equipment are used to reduce the construction schedule and labor cost. Therefore, construction vibration has caused much annoyance and that induced from operating of large construction equipment, has become a major problem for a number of dwellers in nearby construction field and it has become a very serious issue in our living environment. In this point, this study attempts to survey on the characteristics of piling vibration by oil pressure method in construction field. And this study intends to get the basic data to establish a standard about construction vibration.

I. 서론

최근들어 사회기반시설의 확충 및 도시재개발 등을 위하여 지하철, 고속전철, 아파트 등과 같은 대규모 건설공사가 급증하고 있는 실정이다. 따라서 건설현장에서는 공기단축과 인건비 절감 등을 위하여 점차 각종 대형건설장비등이 사용되고 있으며, 이로 인한 건설진동이 주위 건축물뿐만 아니라 인근 주민들에게 많은 피해를 미치고 있다. 특히 건설진동은 사람의 심리적인 불쾌감이나 불안감을 조성하기도 하며 주변 건물에 균열을 발생시키는 등 정온한 주거환경을 해치는 가장 강력한 민원의 대상으로 등장하고 있다. 따라서 외국에서는 저소음형, 저진동형 건설기계의 도입과 함께 이에 대한 법적규제를 강화하는 등 건설진동을 완화하기 위한 다각적인 노력을 하고 있으나, 국내의 경우 건설진동에 대한 심각성은 인식하고 있지만 이에 대한 정확한 실태파악과 구체적인 자료의 축적 및 연구가 이루어지지 않아 민원발생시 효율적인 대책수립이 제도적, 기술적으

로 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 현재 기초공사에 사용되고 있는 항타기계류중 직타공법인 유압식 항타작업시 발생하는 건설진동의 전달 및 감쇠특성과 주파수 변동특성을 파악해 보고자하며, 이를 토대로 향후 효율적인 방진대책 수립을 위한 기초적인 자료를 제시하고자 한다.

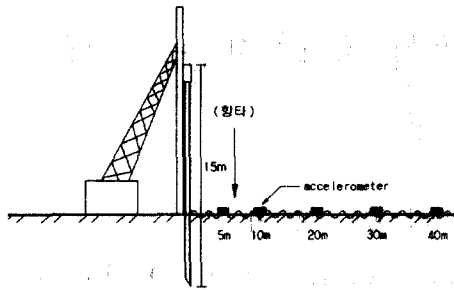
II. 측정방법 및 장비제원

유압식 항타진동의 전달 및 감쇠특성을 파악해 보기 위하여 본 연구에서는 환경오염 공정시험법에서 정하는 공해진동 측정방법과 소음진동 규제법에서 정한 진동공정시험법 및 ISO 2631 Part II (1989)에 준하여 측정을 실시하였으며, 거리에 따른 진동감쇠량을 파악하기 위한 측정지점은 <그림 1>과 같으며, 진동측정 기기구성은 <그림 2>와 같다.

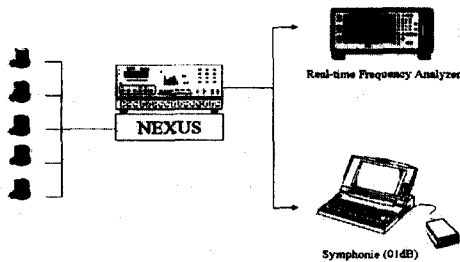
측정방법은 가속도계를 통해 진동폭업한 신호를 Nexus를 거쳐 DAT(Digital Audio Tape Recorder)로 현장에서 녹음하였으며, 이를 실험실에서 Signal Analyzer와 FFT Analyzer를 이용하

* 정회원, 원광대 건축음향연구실 박사과정

** 정회원, 원광대 건축음향연구실 부교수, 공학박사



<그림 1> 거리별 측정지점의 단면도



- Accelerometer (B&K Type 4378)
- Nexus (B&K Type 2692)
- DAT (Sony Pc216Ax)
- Calibration Exciter (B&K Type 4294)
- Real-time Frequency Analyzer (B&K Type 2144)
- Symphonie (01dB)
- Notebook Computer

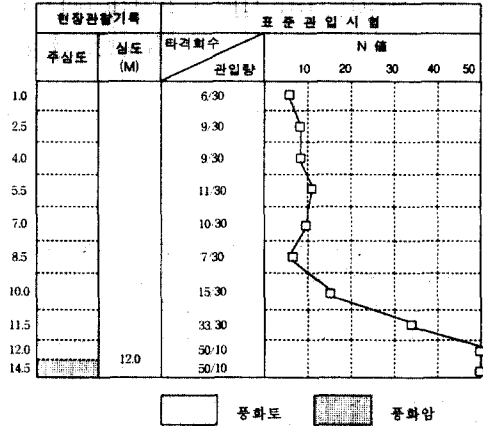
<그림 2> SIP 항타진동 측정을 위한 기기구성도

여 분석하였다. 분석 주파수 대역은 건설진동의 특성을 고려하여 1/3 Octave band인 2Hz~250Hz로 하였으며, 지반진동의 계측에 사용한 Accelerometer는 전 측정지점에 걸쳐 저주파 특성이 우수한 B&K Type 4378을 사용하였고 Reference는 ISO 기준인 $10^{-6} m/sec^2$ 을 기준으로 측정, 분석하였다.

또한 본 연구에서 측정한 장비제원은 150PS/2200 RPM(Leader=18m) High-power 직분식 엔진 탑재한 DHK-457 모델이 사용되었으며, RAM중량 7ton, PHC(Ø-400, L=15m) Pile로 깊이 13m (N=50/10) 타격하는 방법이 적용되었다.

III. 측정대상지역의 위치 및 지질현황

측정대상지역은 행정구역상 전라북도 J시 A지구에 위치한 B초등학교 공사현장이며, 항타작업 시 측정의 신뢰성을 높이기 위해 다른 장비의 사용을 제한하여 주변의 배경진동(background vibration)을 최소화하였으며, 측정지역의 토질주상도는 <그림 3>과 같다.



<그림 3> 측정대상 지역의 토질주상도

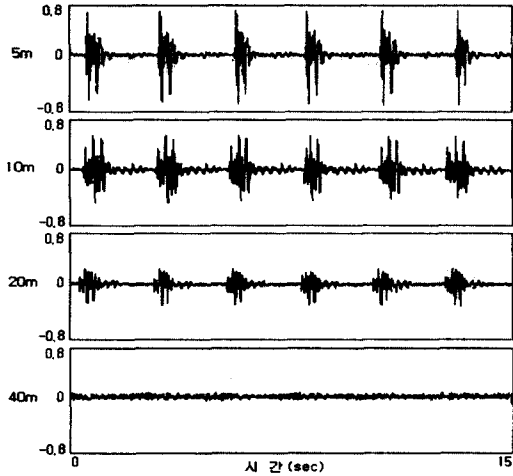
그림에서 보면 표토층에서 8.4m까지는 표준관입시험에 의한 타격회수가 6/30~13/30의 매립층으로 주변의 토사, 풍화토와 소량의 잔자갈이 매립된 느슨에서 보통 조밀한 상대밀도를 보이고 있으며, 9.8m까지는 Scandy clay로서 보통건고한 조도를 보이는 모래질 점토층이며 10.6m부터 소량의 잔자갈이 혼재된 조립질 모래층이 분포하는 갈수록 매우 조밀(Very Loose or Very Dense)한 상대밀도를 가지며, 하부풍화대인 풍화암층은 중립내지 조립질의 입도분포를 보이는 하부로 갈수록 표준관입시험에 의한 타격회수(N=50/10) 이상인 매우 조밀(Very Dense)한 상대밀도를 가지고 있다.

IV. 분석 및 고찰

4.1 유압식 항타공법의 작업진동 특성

유압식 항타공법(Oil Pressure Method)은 디젤식 항타에 비하여 기름의 비산이나 배연을 발생시키지 않는 장점으로 인하여 직항타기계류중 기초공사에서 자주 사용되는 공법으로써 램을 들어

올리는 수단으로 유압실린더를 이용해 램을 자유 낙하시켜(강제낙하하는 것도 있음) 파일을 타격하는 방법을 사용한다. 이러한 유압항타 작업시 발생하는 지반진동에 대한 시간이력곡선의 특성을 파악해 보면 <그림 4>와 같다.



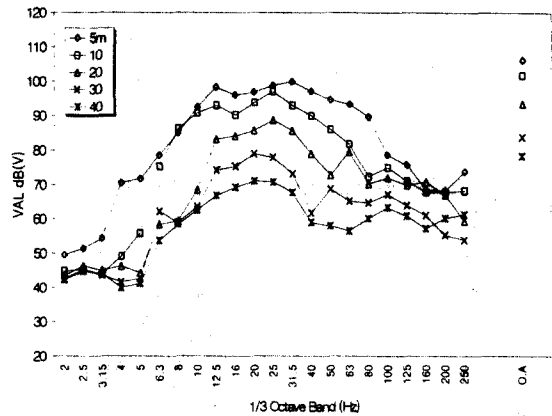
<그림 4> 유압항타 공법시 거리별 시간이력곡선

그림에서 보면 유압식 항타작업에 의해 발생하는 지반진동은 지속시간이 매우 짧고 충격하중의 형태로 발생하는 충격적 일시진동(Transient or impact vibration)임을 알 수 있으며, 거리가 멀어질수록 급격히 감소하는 양상을 보이고 있음을 알 수 있다.

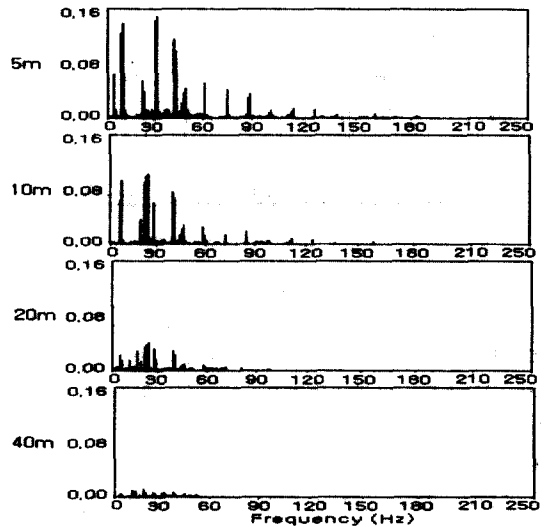
4.2 거리에 따른 주파수별 진동감쇠 특성

유압식 공법에 의한 항타작업시 발생하는 건설진동의 전달 및 주파수별 감쇠특성을 파악하기 위해 1/3 Octave Band로 측정된 결과는 <그림 5>와 같고, 이러한 진동수 특성을 좀 더 자세히 파악하기 위해 FFT(Fast Fourier Transform)분석을 해보면 <그림 6>과 같다.

그림에서 보면 항타작업시 발생하는 건설진동은 진동원으로부터 거리가 멀어질수록 4~80Hz 성분이 감쇠하는 특성을 보이고 있음을 알 수 있다. 또한 주요진동성분은 진동원으로부터 5m 이내에서는 31.5Hz에 분포하고 있으며, 10m와 20m지점에서는 25Hz를 주성분으로 하고 30m이상 멀어지면 20Hz로 주요진동성분이 이동하는 특성을 보



<그림 5> 항타시 거리에 따른 주파수별 특성



<그림 6> 유압식 항타진동에 대한 FFT 분석

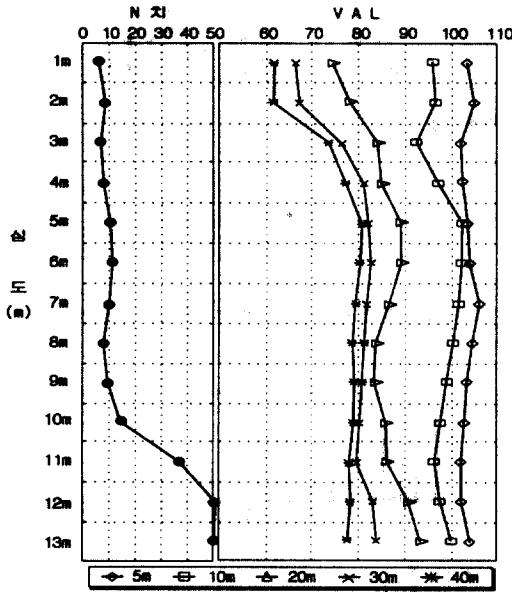
이고 있다.¹⁾ 따라서 이 주파수 대역을 제어하면 유압식 항타공법시 발생하는 건설진동을 효율적으로 저감시킬 수 있을 것으로 사료된다.

4.3 N값의 변화에 따른 거리별 진동감쇠 특성

1) 박재영, 광광수, 김재수 ; SIP공법에 의해 발생하는 항타진동의 특성에 관한 연구, 대한건축학회논문집 15권 11호, 1999.11

* SIP항타작업시 발생하는 진동의 경우도 거리의 변화에 따라 peak 주파수 대역이 이동하는 특성을 보이고 있다.

유압식 항타작업시 발생하는 지반진동의 거리별 감쇠특성을 지반조건과 비교하기 위하여 N값의 변화에 따른 거리별 진동가속도레벨(VAL)을 파악해 보면 <그림 7>과 같다.

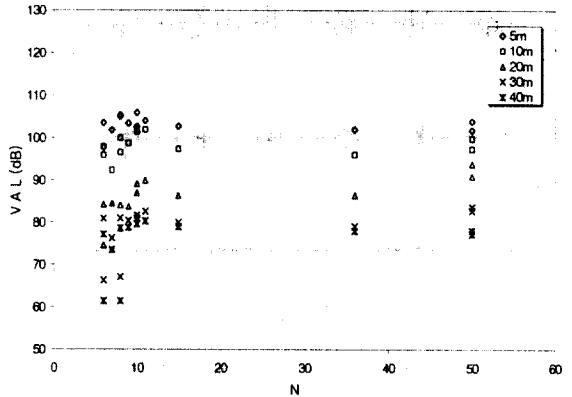


<그림 7> N값에 따른 거리별 진동감쇠특성

<그림 7>에서 파일관입 깊이가 표토에서 3~4m 지점을 살펴보면 항타지점에서 거리가 멀어질수록 VAL이 많은 감쇠를 보이고 있으며 이중 비교적 항타지점과 가까워 VAL이 매우 큰 5, 10m 지점은 파일관입 깊이가 증가하여도 VAL에 큰 변화가 없으나 20m 이상에서는 관입깊이가 증가하면 VAL이 급격히 증가하는 특성을 보이고 있다. 또한 비교적 N값이 일정한 표토에서 4~10m 지점에서는 전 지점에서 측정거리에 따른 감쇠는 나타나지만 표토에서 3~4m 지점과 같이 관입깊이의 증가에 따른 VAL의 변화는 일어나지 않고 있다. 또한 N값이 급격히 상승하는 표토에서 10m 이상 지점에서는 VAL이 약간 증가하는 경향을 보이고 있다. 이러한 이유는 파일관입 깊이가 표토층에서 3~4m의 경우 항타지점과 가까운 5, 10m는 체적파(body wave)와 표면파(surface wave)의 영향을 동시에 받기 때문에 파일관입 깊이가 증가에 따라 비교적 일정한 VAL을 보이지만 20m이상 멀어지면 체적파의 영향보다는 주로 표

면파의 영향²⁾이 크게 나타나 표토층에서는 거리 감쇠가 현저히 나타나며 관입깊이가 증가함에 따라 VAL도 급격히 증가하고 있다. 또한 파일관입 깊이가 표토층에서 3~4m이상 지점에서는 표면파의 영향보다는 체적파의 영향이³⁾ 크기 때문에 N값의 증가에 따라 VAL도 증가하는 것으로 사료된다.

위 결과를 토대로 N값과 VAL의 관계를 살펴 보면 <그림 8>과 같다.



<그림 8> N값과 VAL과의 관계

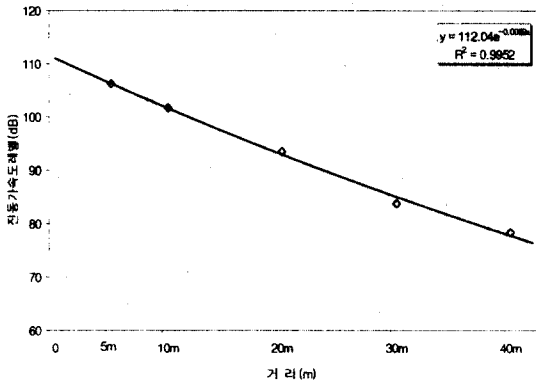
그림에서 보면 측정거리가 가까운 5m 지점은 N값이 변화하여도 VAL에는 큰 변화가 없으나 측정거리가 멀어질수록 표면파의 영향 유무로 인해 N10 근처의 VAL이 아주 불규칙하게 나타나며 N값이 증가할수록 일정한 레벨을 유지하다가 N50이 되면 약간 증가하는 패턴을 보이고 있다.

4.4 거리별 진동감쇠량 예측상관식

유압식 항타공법에 의해 발생하는 건설진동은 지반을 통해 전달되면서 진동원으로부터 거리가 멀어짐에 따라 진폭과 진동에너지가 감소하게 되는데 이러한 거리별 진동감쇠량을 예측해 보면 <그림 9>와 같다.

그림에서 보면 일반적으로 진동은 지반을 타고

- 2) 표면파(Rayleigh파)의 파동면은 원통형인 관계로 상대적으로 체적이 큰 원구형의 파동면을 갖는 체적파에 비하여 전파거리 증가에 따른 에너지 감쇠율이 적다.
- 3) 표면파 에너지의 대부분은 지표부근에 집중되어 깊이가 증가함에 따라 지수함수적으로 급격히 감소하는 에너지 특성을 갖고 있다.



<그림 9> 거리에 따른 진동가속도레벨 예측상관식

전달되는 과정에서 진동원으로부터 거리가 멀어짐에 따라 진폭이 감소하는 기하감쇠(Geometrical damping)와 지반의 특성에 의하여 진폭이 감소하는 재료감쇠(Material damping)가 복합적으로 일어나 그 에너지가 지수함수적으로 감쇠하는 특성을 감안해 볼 때 상당히 신뢰성 있는 예측치를 제안하고 있음을 알 수 있다. 따라서 향후 이러한 결과를 토대로 다양한 조건의 변화에 따른 진동 특성을 파악해 보면 보다 정확하고 신뢰성 있는 예측치를 제안할 수 있을 것으로 사료된다.

4.5 국내 건설규제기준과의 비교

유압식 항타작업시 발생하는 건설진동의 측정 자료를 주민의 정온한 생활환경 유지를 위해 소음진동규제법에서 정한 국내 건설진동규제기준과 비교⁴⁾ 해 보면 <표 1>과 같다.

<표 1>에서 보면 유압식 항타공법시 발생하는 건설진동의 대부분이 주간에 발생한다고 감안하

<표 1> 국내건설진동규제기준에 따른 비교

		주 간 dB<V> (10 ⁻⁵ m/s ²)					
		55미만	55이상 60미만	60이상 65미만	65이상 70미만	70이상 75미만	75이상
심 야 dB <V	55미만	대상지역 I ▲					
	55이상 60미만	대상지역 I ◆					
	60이상 65미만	대상지역 II ●					
	65이상 70미만						
	70이상 75미만						
	75이상						■ ▼
	구 분	5m	10m	20m	30m	40m	
항 타	▼	■	●	◆	▲		

면 항타진동은 30m 이상에서는 대상지역 I, II의 기준을 충분히 만족하고 있으나, 20m에서는 대상지역 II의 기준을 만족하고 있으나 대상지역 I의 기준은 상회하고 있다. 또한 10m 이내에서는 대상지역 I, II의 기준을 훨씬 상회하고 있는 것으로 나타났다. 이러한 결과를 토대로 살펴보면 유압식 항타작업의 경우 항타지점과 30m이상 이격되어야 건설진동으로 인한 피해를 줄일 수 있으며, 이 범위 안에 주거시설이 있을 경우 주민들에게 많은 영향을 미칠 것으로 판단되므로 작업시 방진대책에 보다 세심한 주의와 관심이 필요하리라 사료된다.

V. 결론

유압식 항타공법으로 발생하는 건설진동의 전달 및 감쇠특성을 파악해 본 결과는 다음과 같다.

1) 유압식 항타작업에 의해 발생하는 지반진동은 지속시간이 매우 짧고 충격하중의 형태로 발생하는 충격적 일시진동임을 알 수 있으며, 거리가 멀어질수록 급격히 감쇠하는 양상을 보이고 있다.

2) 항타작업의 경우 주요진동성분은 진동원로부터 5m이내에서는 31.5Hz에 분포하고 있으며, 10m와 20m지점에서는 25Hz를 주성분으로 하고 30m이상 멀어지면 20Hz로 주요진동성분이 이동

4) 소음진동규제법중 건설진동규제기준 dB(V)

시간별 대상지역	주 간 (06~22시)	심 야 (22~06시)
대상지역 I	65 이하	60 이하
대상지역 II	70 이하	65 이하

- 대상지역 I: 주거·농지지역, 운동·휴양지구, 자연환경보전지역, 학교·병원·공공도서관의 부지경계선에서 50m 이내의 지역 등
- 대상지역 II: 기타지역
- 본 연구에서 측정된 데이터는 reference가 ISO 기준인 10⁻⁶ m/s²인데 반해 국내의 건설진동규제기준은 10⁻⁵ m/s²으로 규정하고 있기 때문에 이 기준에 맞춰 자료를 변환하였다.

하는 특성을 보이고 있다.

3) N값과 VAL의 관계를 살펴보면 파일관입 깊이가 표토층에서 3~4m의 경우 항타지점과 가까운 거리에서는 체적파와 표면파의 영향을 동시에 받기 때문에 파일관입 깊이가 증가하여도 비교적 일정한 VAL을 보이지만 20m 이상 떨어지면 체적파의 영향보다는 주로 표면파의 영향이 크게 나타나 표토층에서는 거리감쇠가 현저히 나타나지만 관입깊이가 증가하면 VAL도 급격히 증가하는 특성을 보인다. 또한 관입깊이가 3~4m 이상 지점에서는 표면파의 에너지는 거의 사라지고 체적파만 남게 되기 때문에 N값의 증가에 따라 VAL도 증가하는 것으로 사료된다.

4) 유압식 항타공법에 의한 작업시 법적규제기준을 만족하기 위해서는 30m 이상 이격되어야 하며, 이 범위 안에 주거시설이 있을 경우 주민들에게 많은 영향을 미칠 것으로 판단되므로 작업시 방진대책에 보다 세심한 주의와 관심이 필요하다.

이러한 연구결과를 토대로 향후 다양한 지반조건에 대한 실험이 이루어지면 유압식 항타진동의 특성을 보다 정확히 파악할 수 있을 것으로 생각되며 이를 토대로 보다 효율적인 항타진동 저감대책 수립이 가능하리라 사료된다.

참고문헌

1. 박재영, 박광수, 김재수, 「SIP공법에 의한 발생하는 항타진동의 특성에 관한 연구」, 대한건축학회논문집 제 15권 11호, 1999.11
2. 한국건설기술연구소, 「항타진동과 말뚝 - 흙의 상호작용」, 1991.12
3. 김재수, 「건설소음·진동의 기초이론과 영향」, 한국소음진동공학회 - 건설공사장 소음·진동 저감방안 세미나, 1997.6
4. 대한주택공사 주택연구소, 「말뚝의 저소음·저진동 시공법에 관한 연구」, 1996.5
5. (주)대우 건설기술연구소, 「건설진동의 영향 평가 및 대책에 관한 연구」, 1988
6. (주)대우 건설기술연구소, 「건설진동의 영향 평가 및 대책에 관한 연구(II)」, 1989

7. 한국소음진동공학회, 「소음진동 편람」, 1995
8. 토질공학회 편집부, 「건설공사에 수반되는 공해와 그 대책」, 과학기술, 1998
9. 천병식의 1인, 「건설기술자를 위한 지반진동 영향과 대책」, 1993.3
10. 이진선, 「진동원에 따른 지반진동의 감쇠특성」, 한국과학기술원 석사학위논문, 1996
9. 정일록, 「소음·진동 이론과 실무」, 신평문화사, 1995
11. Richart, F.E., Woods and Hall, J.R., 「Vibrations of Soils and Foundations」, Prentice Hall, 1969

<http://sound.wonkwang.ac.kr>
vibpro@hanmail.net