

# SIP공법에 의한 항타작업시 발생하는 건설기계소음의 전달 및 감쇠특성에 관한 실험적 연구

## An Experimental Study on the Characteristics of Attenuation and Propagation of Construction Equipment Noise in Piling Work by SIP Method

김재수\*                      이병윤\*\*                      박재영\*\*\*  
Kim Jae-Soo                      Lee Byeong-Yun                      Park Jae-Young  
곽광수\*\*\*\*                      윤해동\*\*\*\*                      장용채\*\*\*\*\*  
Kwak Kwang-Soo                      Yun Hae-Dong                      Chang Yong-Chai

### Abstract

Construction equipment noise has caused much annoyance for a number of dwellers in nearby construction field and it has become a very serious issue in our living environment. Therefore, in our country, a practical solution and a better method of reducing construction equipment noise are highly required in construction field. Practical solutions for the construction equipment noise, however, are very difficult to obtain, because of the lack of basic data and insufficient research works. Especially, in order to establish a successful sound isolation plan for piling work noise, which has high sound pressure level, the characteristics of the impact noise should be closely monitored and analyzed. This study attempts to survey the characteristics of attenuation and propagation of construction equipment noise in piling work by SIP(soilcement injected precast pile) method. In addition, this study intends to get the basic data to establish a standard about construction noise.

## I. 서      론

건설현장에서 사용되고 있는 각종 건설기계들은 소음과 진동 및 분진을 유발하여 이제는 도심에서 발생하는 생활환경 오염원중 가장 강력한 민원의 대상이 되고 있다. 특히 기초공사에 사용되고 있는 디젤식 항타기, 유압식항타기, 착암기, 브레이커 등은<sup>1)</sup> 대부분 음압레벨이 아주 높을 뿐만 아니라 충격적, 파열적 특성을 갖기 때문에 현장 작업자 및 인근 주민들에게 많은 영향을 주고 있다. 이중 디젤식 항타기는 소음레벨이 가장 높을 뿐만 아니라 강한 진동과 분진을 수반하며 작업시 기름이 분출되어 현장 주변에 많은 영향을 미치기 때문에 최근 도심에서는

항타작업시 거의 사용되고 있지 않은 실정이다. 따라서 도심에서 기초공사를 하기 위해서는 저소음·저진동을 목적으로 하고 있는 SIP공법에 의한 항타작업이 대부분 이루어지고 있지만 국내의 경우 정확한 실태 파악 및 항타소음의 전달특성이 파악되어 있지 않아 민원 발생시 효과적이고 체계적인 차음대책 수립이 매우 어려운 실정이다.

따라서 본 연구에서는 SIP공법을 이용한 항타작업시 발생하는 건설기계소음의 전달 및 감쇠특성과 시간에 따른 소음레벨 변동특성을 파악해 보고자 하며, 이를 토대로 향후 효율적인 차음대책 수립을 위한 기초적인 자료를 제시하고자 한다.

## II. SIP 공법의 개요

SIP(Soil-cement Injected Precast Pile) 공법은 공법 분류상 대변위 말뚝(large displacement pile) 공법인 pre-drilled 공법과 무변위 말뚝(none displacement pile) 공법인 시멘트몰탈 주입공법(cement mortar in-

\*원광대학교 건축음향연구실 조교수, 공학박사  
\*\*순천청암대 건축디자인과 전임강사, 원광대 박사과정  
\*\*\*원광대학교 건축음향연구실 박사과정  
\*\*\*\*원광대학교 건축음향연구실 석사과정  
\*\*\*\*\*한국도로공사 도로연구소 책임연구원, 공학박사  
본 연구는 1998년 원광대학교 교내연구비 지원에 의한 결과의 일부임.

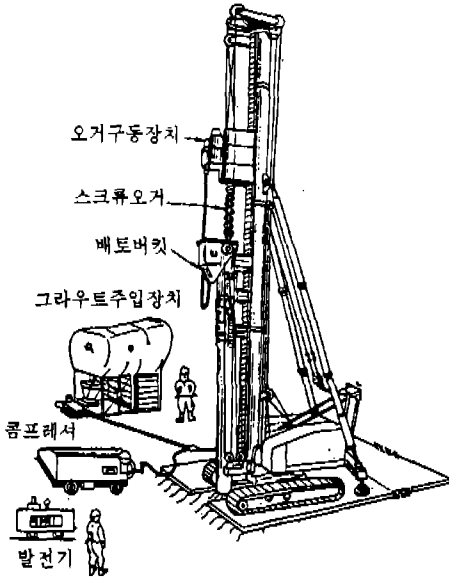


그림 1. SIP공법에 사용되는 시공기계의 배치.

jected into drilled hole)을 합한 것으로 1968년 일본의 貝戸俊一에 의해 고안된 공법이다. 이 공법은 지층을 어스오거(earth auger)로穿孔할 때 원지반에 시멘트 페이스트를 주입하여 교반하므로 양생후에는 주변 지층의 강도가 증대되어 말뚝주변의 마찰력을 크게 증대시키고 선단부에도 교반된 soilcement가 완전히 충전되어 파일의 침하량을 최소화시키는 공법으로 저소음·저진동을 목적으로 하고 있다. SIP공법은 그림 1과 같이 파일링공사에 사용되는 기계 및 발전기, 공기압축기 등과 같은 보조기계류를 주변에 배치하여 사용하고 있다.

### III. 건설소음의 발생형태별 분류

건설현장에서 발생하는 건설소음은 건설기계를 사용할 때 발생한다. 건설공사용 장비는 그 종류가 다양할 뿐만 아니라 발생소음이 같은 기계라도 그 사용 목적 및 운전조건에 따라 상이하며 공사현장의 주변상황이나 배경소음(background noise), 바람, 온도, 습도, 지형, 장애물 등에 따라 크게 영향을 받게 된다. 따라서 이러한 건설소음의 발생형태를 살펴보면 소음은 일반적으로 시간특성에 관련되어 있고, 이를 분류해 보면 표 1과 같이 정상음, 변동음, 간헐음, 충격음, 분리충격음 및 준정상충격음의 6종류로 분류할 수 있다<sup>2)</sup>.

표 1. 건설소음의 발생 특성

소음의 분류	소음변동 특성	건설기계의 종류	특 성
정상 소음		콘크리트절단기 공기압축기 발동발전기 이스팔트파니셔	레벨변동이 적고, 대부분 일정한 소음
변동 소음		굴삭기, 불도우저, 트랙터셔블, 유압셔블, 로우더, 로울러, 그레이더, 압쇄기	레벨이 불규칙하고 연속적으로 일정한 범위로 변화하며 발생하는 소음
충격 소음	연속성	진동향타함발기 착암기 브레이커 람마 콤팩터 드릴마스터 (공압식)	계속시간이 극히 짧은 소음
	반복성	항타기 · 유압식 · 디젤식 · 드롭식	
간헐 소음		콘크리트 브레이커 항타기	간헐적으로 발생하고 계속 시간이 수초 이상의 소음
분리 충격 소음		디젤파일해머 포장관파쇄기 람마	발생하는 소음이 각각 독립적으로 분리되어 있는 충격소음
준정상 충격 소음		진동파일드 라이버	대부분 일정한 레벨의 소음이 각각 극히 짧은 시간간격에 되풀이하여 발생하는 충격소음

### IV. 건설기계소음의 측정 방법

국내 소음진동 규제법에 의한 건설소음 규제기준의 측정방법을 가지고는 건설소음에 대한 전달 및 감쇠특성을 파악할 수가 없다. 따라서 본 연구에서는 일본에서 규정하고 있는 건설기계의 소음측정방법인 “建設機械の騒音・振動測定要領(案)”과 “建設機械の騒音測定法(案)” 등을 이용하여 그림 2와 같이 7 m, 15 m, 30 m에서 건설소음을 측정하였다<sup>3)</sup>.

또한 건설공사 종류별 소음의 변동레벨을 측정하기 위해서 그림 3과 같은 방법을 이용하여 측정하였으며, 측정된 데이터는 Precision Intergration Sound Level Meter와 dB2XL을 사용하여 노트북 컴퓨터에 저장한 뒤 Excel Program을 이용하여 도표화시켰다.

또한 각 주파수 특성을 파악하기 위해서 그림 4와

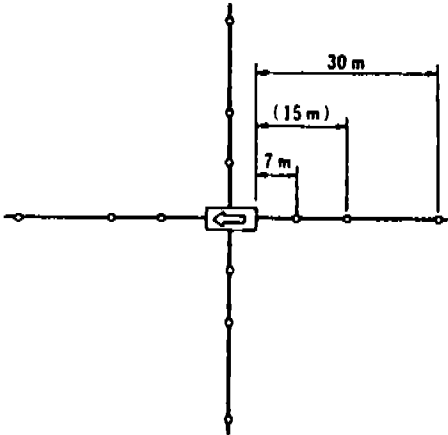


그림 2. 건설소음의 측정 위치.

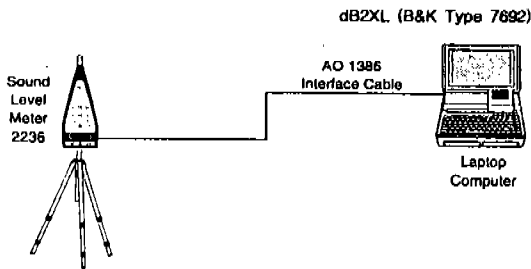


그림 3. 소음레벨 변동 측정을 위한 기기 구성도. Precision Intergration Sound Level Meter (B&K Type 2236), dB2XL (B&K Type 7692), Note Book Computer, Tripod, Wind Screen

같은 방법을 이용하여 측정하였으며, 마이크로폰은 바닥에서 1.2 m 위치에 놓고 다른 건설공사나 건설 기계들이 작동하지 않도록 주변의 배경소음을 최소화한 뒤 측정을 실시하였다. 측정주파수 범위는 NR 곡선으로 평가하기 위해 25 Hz-10 kHz까지 1/3 Octave band 중심주파수별로 10-15초간 측정하였으며 동시에 전대역 소음레벨도 dB(A)값으로 측정하였다.

## V. 분석 및 고찰

국내 건설소음의 측정방법은 피해자측 부지경계 선중 피해가 우려되는 장소에서 5분 이상 등가소음도(Leq)로 측정하도록 규정하고 있으나<sup>4)</sup>, 본 연구에서는 SIP공법에 의한 항타작업시 발생하는 건설기계소음의 전달 및 감쇠에 초점을 맞추었기 때문에 10-15초 동안의 측정 결과를 가지고 국내 건설소음 규제기준과 비교하였다. 따라서 실제 5분 이상 등가소음도로 측정한 결과에 비해서 약간 높게 평가될

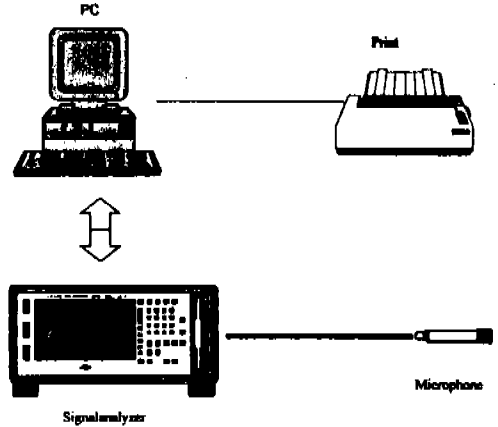


그림 4. 주파수 측정을 위한 기기 구성도. Real-time Frequency Analyzer (B&K Type 2144), Microphone (B&K Type 4165), Microphone Preamplifier (B&K Type 2669), Calibrator (B&K Type 4231), Note Book Computer, Tripod, Wind Screen

수 있다는 점을 미리 밝힌다.

### 1. 항타기의 소음특성

#### 1) 주파수별 소음레벨의 변화 및 감쇠특성

SIP공법에 사용되는 유압식 항타기의 공사진행별 소음레벨을 1/3 Octave band로 측정된 결과는 그림 5와 같고, 이를 단일화된 평가지수인 NR곡선(Noise Rating Curves)<sup>5)</sup>으로 평가해 보면 그림 6과 같다.

그림 5, 6에서 보면 먼저 오거(auger)로 지반을 천공할 경우에 발생하는 소음은 엔진음의 영향으로 125 Hz 이하의 저음역은 높고 고음역으로 갈수록 일정하게 감쇠하다가 630 Hz에서 소음레벨이 갑자기 증가하며 다시 감쇠하는 특성을 보여주고 있다. 이를 NR곡선으로 평가해 보면 고음역으로 갈수록 일정하게 감쇠하다가 630 Hz를 포함하고 있는 500 Hz 대역의 소음레벨이 높게 나타나고 있으며, 차음 등급을 결정하는 주파수 대역은 비교적 가까운 거리에 있는 7 m, 15 m에서는 500 Hz에서 결정되지만 거리가 어느 정도 떨어진 30 m에서는 비교적 저음역인 125 Hz에서 결정되고 있다.

둘째로, 파일을 들어 올릴 때 발생하는 소음은 고음역으로 갈수록 일정한 감쇠패턴을 보이다가 3150 Hz에서 소음레벨이 급격히 증가하여 다시 감쇠하는 특성을 보여주고 있는데 이러한 이유는 파일을 들어 올릴 때 발생하는 소음의 주파수가 3150 Hz 대역에 집중되어 있기 때문으로 생각된다. 이를 다시 NR곡선으로 평가해 보면 3150 Hz를 포함하고 있는 4000

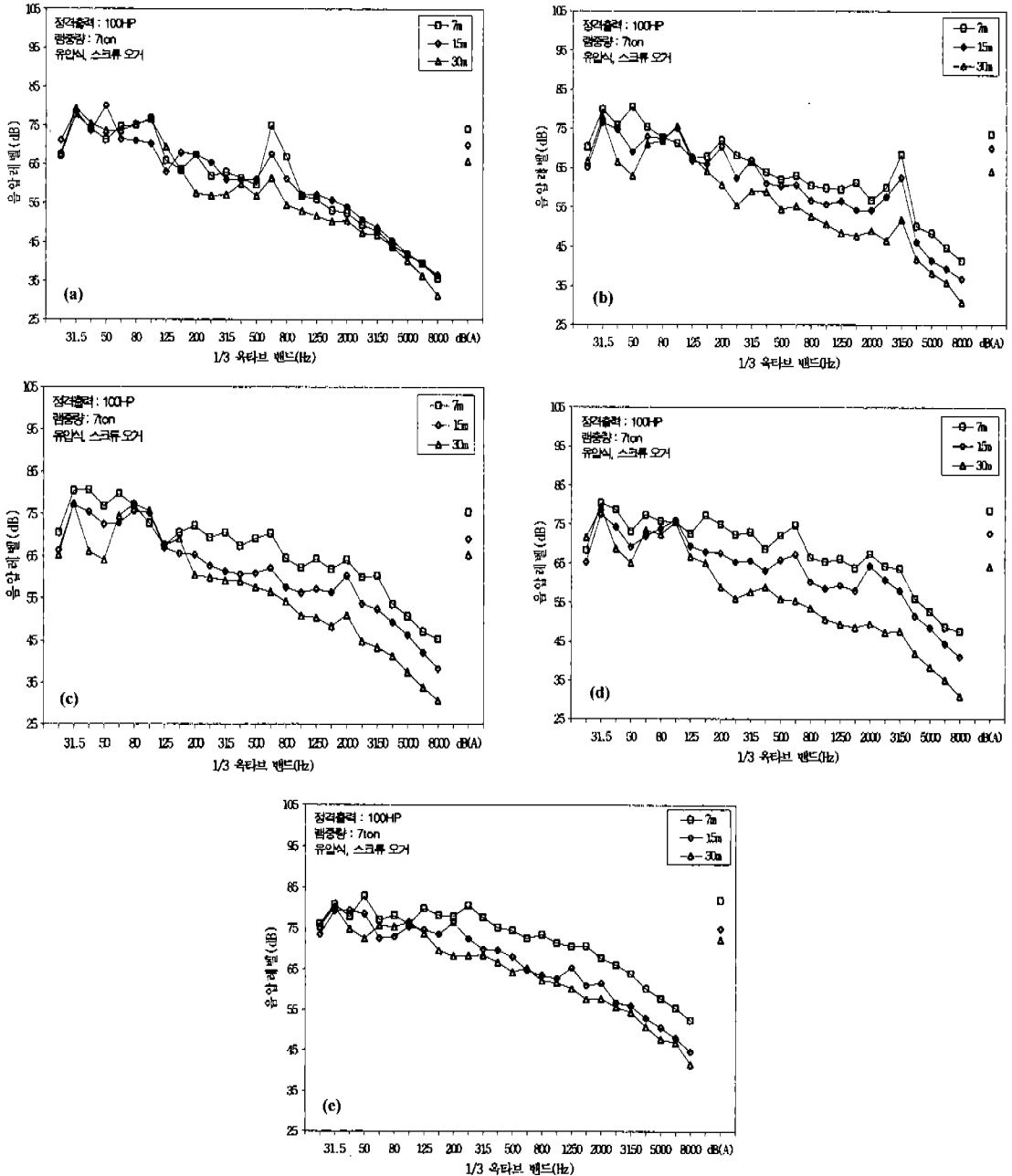


그림 5. 주파수별 음압레벨의 변화. (a) 오거로 지반을 천공하는 소리, (b) 파일 들어 올리는 소리, (c) 파일을 지반에 삽입하는 소리, (d) 램들어 올리는 소리, (e) 향타소리.

Hz 대역의 소음레벨이 높게 나타나고 있으며 이로 인해 차음등급을 결정하는 주파수 대역은 비교적 가까운 거리에 있는 7 m, 15 m에서는 4000 Hz에서 결정되지만 거리가 어느 정도 떨어진 30 m에서는 비교적 거리 감쇠가 적은 저음역인 125 Hz에서 결정

되고 있다.

셋째로, 파일을 지반에 삽입할 때 발생하는 소음과 향타를 위해 램을 들어 올릴 때 발생하는 소음은 엔진음의 영향으로 비교적 에너지가 큰 125 Hz 이하의 저음역에서는 거리에 따른 감쇠가 크게 나타나지 않

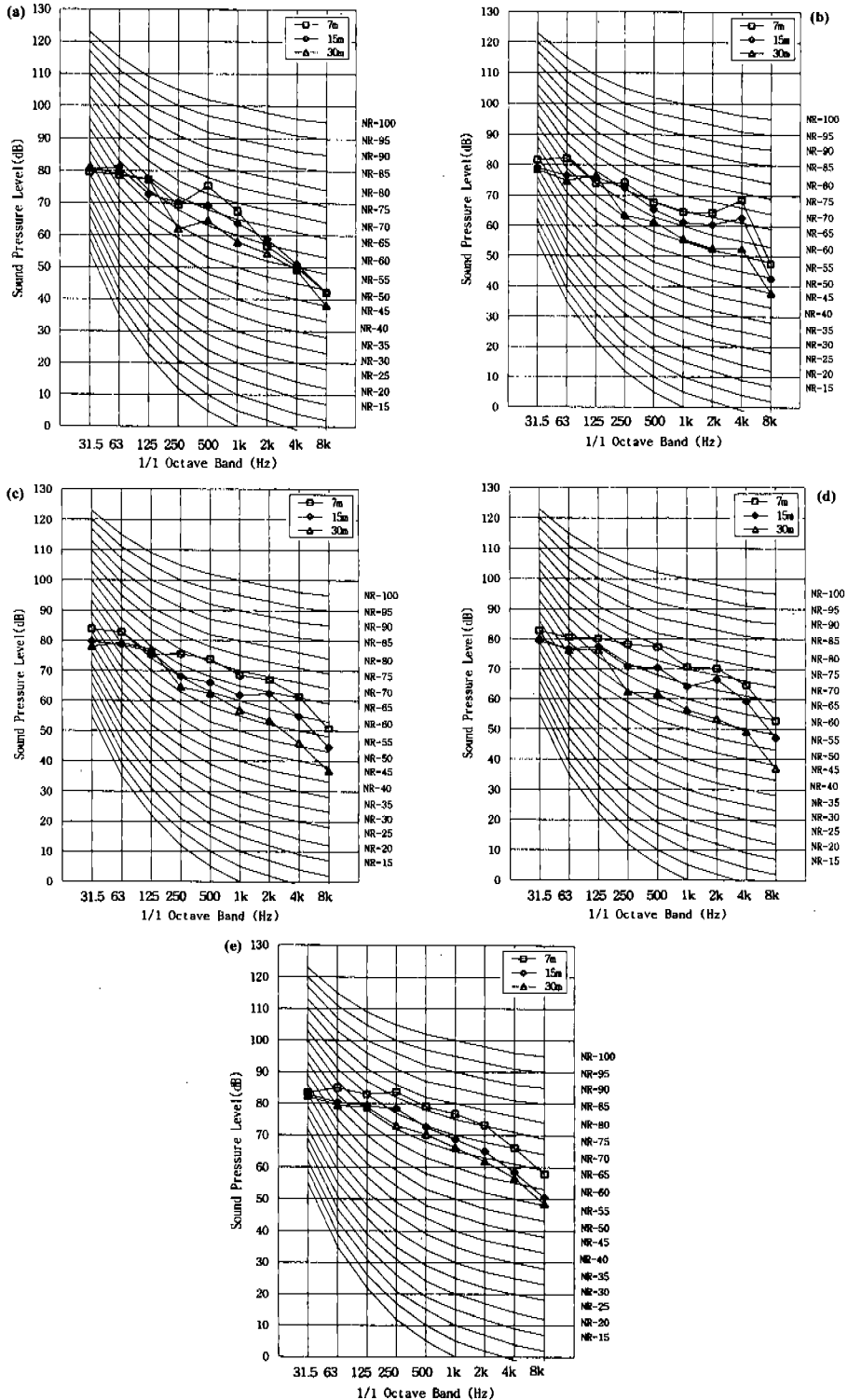


그림 6. NR 곡선에 의한 평가. (a) 오거로 지반을 천공하는 소리, (b) 파일 들어 올리는 소리, (c) 파일을 지반에 삽입하는 소리, (d) 램들어 올리는 소리, (e) 항타소리.

지만 고음역으로 갈수록 많은 감쇠를 보이고 있음을 알 수 있다. 이를 NR곡선으로 평가해 보면 7 m, 15 m에서는 500 Hz, 2000 Hz에서 차음등급이 결정되고 있으나 30 m에서는 125 Hz의 저음역에서 차음등급이 결정되고 있다.

넷째로, 향타시 발생하는 소음은 지금까지 발생한 작업소음중 가장 소음레벨이 크게 나타나고 있으며 고음역으로 갈수록 일정한 감쇠를 보이고 있지만 다른 작업소음에 비하면 고음역이 높게 나타나고 있다. 또한 NR곡선으로 평가해 보면 차음등급을 결정하는 주파수는 250-500 Hz로서 이 주파수 대역이 사람에게 가장 큰 불쾌감을 일으키는 주파수임을 알 수 있다.

결국 SIP공법에 사용되는 유압식 향타기의 작업 진행별 발생소음의 주파수 특성은 엔진음의 영향으로 대부분의 에너지가 125 Hz 이하의 저음역에 집중되어 있으며 고음역으로 갈수록 점점 감쇠하는 특성을 가지고 있다. 따라서 향타기에서 거리가 멀어질수록 에너지가 큰 125 Hz 이하의 저음역은 멀리 전달되어 거리 감쇠가 크게 일어나지 않지만 에너지가 적은 고음역에서는 거리가 멀어질수록 많은 감쇠를 보이고 있다. 이러한 주파수별 특성 때문에 고음역에 에너지가 집중되어 있는 디젤식 향타기에<sup>6)</sup> 비해서는 소음레벨이 많이 저감될 것으로 생각된다. 또한 향타기의 작업 진행별 발생소음의 차음등급을 NR곡선으로 평가해 보면 파일 들어 올리는 작업소리를 제외하고는 대부분의 차음등급이 125-500 Hz에서 결정되고 있으므로 향타작업시 보다 효율적인 차음대책 수립을 위해서는 이 대역의 소음레벨을 저감시키는 것이 훨씬 효과적일 것으로 생각된다.

또한 위의 결과를 단일 평가지수인 dB(A)와 NR 및 우선회화방해레벨(PSIL)<sup>7)</sup>로 비교해 보면 표 2와 그림 7-9와 같다.

표 2와 그림 7에서 보면 향타작업 중 7 m 지점에서 가장 소음레벨이 높게 나타난 것은 파일 향타시 발생하는 소음이며 다음으로 램들어 올리는 소음으로 나타났다. 그러나 오거로 지반을 천공하는 소리나 파일을 들어올리는 소리 및 파일을 지반에 삽입하는 소리 등은 약 74-75 dB(A)로 거의 비슷하게 나타나고 있다. 또한 30 m 떨어진 위치에서는 향타소음만 72 dB(A) 정도 높게 나타나고 나머지 소음은 약 64-66 dB(A)로 거의 비슷한 소음레벨을 보이고 있다. 이러한 소음레벨을 국내 건설소음 규제기준과<sup>8)</sup> 비교해 보면 향타시 발생하는 모든 작업소음은

표 2. 단일 평가지수에 의한 소음레벨 변화

작업종류	평가지수	7 m	15 m	30 m
오거로 지반을 천공하는 소리	dB(A)	74.1	70.0	65.9
	NR	72	66	64
	PSIL	62 dB	61 dB	57 dB
파일을 들어 올리는 소리	dB(A)	73.6	70.0	64.1
	NR	73	66	63
	PSIL	66 dB	62 dB	56 dB
파일을 지반에 삽입하는 소리	dB(A)	75.4	69.0	65.2
	NR	71	64	63
	PSIL	66 dB	61 dB	55 dB
램 들어 올리는 소리	dB(A)	78.6	72.7	64.1
	NR	74	68	63
	PSIL	71 dB	65 dB	55 dB
향타소리	dB(A)	81.9	74.9	72.3
	NR	77	71	67
	PSIL	74 dB	66 dB	64 dB

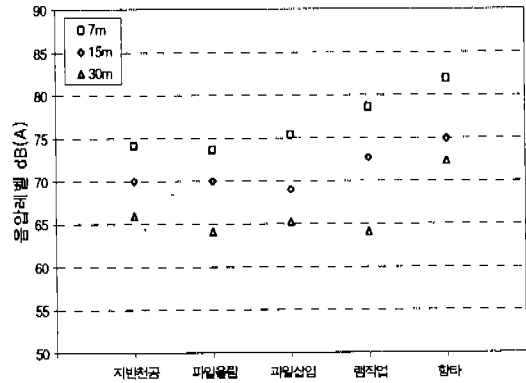


그림 7. dB(A)에 의한 작업별 소음특성 비교.

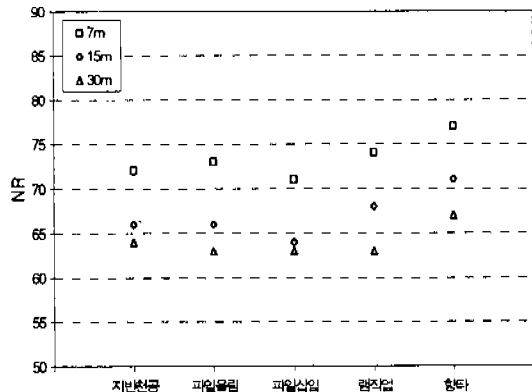


그림 8. NR값에 의한 작업별 소음특성 비교.

하루시간대 중 가장 규제기준이 완화되어 있을 뿐만 아니라 대부분의 공사가 진행되고 있는 시간대인 주

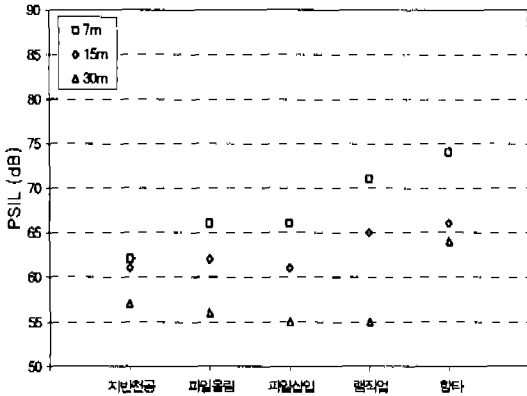


그림 9. PSIL에 의한 작업별 소음특성 비교.

간(8:00-18:00)을 기준으로 볼 때 7 m 이내에서는 대상지역 I의 기준을 상회하고 있으며, 이 중 파일을 지반에 삽입하거나 램들어 올리는 소리, 항타소리 등은 대상지역 II의 기준을 상회하는 높은 소음임을 알 수 있다. 또한 거리가 어느정도 떨어져 있는 30 m 지점에서는 항타소리만 대상지역 I의 기준을 상회하고 있으며 나머지 소음은 대상지역 II의 기준을 충분히 만족하고 있는 것으로 나타났다.

그림 8에서 보면 7 m 지점에서 항타소음은 NR-75를 넘는 아주 높은 소음레벨을 보이고 있으나 그 외의 소음은 NR-70-NR-75 사이의 한 등급안에 대부분 분포하고 있으며, 30 m 지점에서의 항타소음은 NR-65를 넘고 있으나 그 외의 소음은 NR-60-NR-65 사이에 있다. 따라서 항타소음이 가장 높게 나타나 현장에 근무하는 근로자나 현장주변의 주민들에게 가장 많은 피해를 줄 것으로 생각된다.

그림 9를 보면 ISO에서는 만족한 이해도가 얻어지는 최대 회화방해레벨을 70 dB로 규정하고 있기 때문에 7 m 이내에서 램을 들어 올리거나 파일 항타 시에는 거의 만족할 만한 대화가 이루어질 수 없음을 알 수 있다. 또한 15 m 지점에서는 모든 작업소음의 PSIL이 61-66 dB 정도 되므로 큰 소리로 말하면 0.5-0.85 m, 보통 목소리 정도면 0.25-0.42 m 정도에서 대화가 가능하며, 30 m 지점에서는 고음역이 높은 항타소음을 제외하고는 PSIL이 55-57로 나타나 큰 소리로 말하면 1.5 m, 보통 목소리 정도면 0.75 m 정도에서 대화가 가능함을 알 수 있다. 결국 이러한 항타작업에 의한 대화방해는 작업시 서로의 의사 전달이 불분명하게 되어 안전사고의 원인이 될 수 있으며 작업의 집중력이 떨어지기 때문에 공사진행에 많은 영향을 줄 것으로 생각된다.

## 2) 시간에 따른 음압레벨의 변동특성

그림 3과 같은 방법으로 15 m 지점에서 측정한 소음레벨의 변동특성을 파악해 보면 그림 10과 같다.

그림 10에서 보면 항타소리는 72-100 dB 사이를 1-1.5초 단위로 왕복하는 극히 짧고 반복적인 충격소음의 특성을 나타내고 있다. 또한 스파이럴 오거로 지반을 천공하는 소리는 76-80 dB 사이에 있으며, 오거를 지반에서 뽑아내는 소리는 61-68 dB 사이에 있다. 또한 파일을 세워서 지반에 삽입하는 소리나 공회전소리는 5-12초를 정상상태로 볼 때 파일을 세워서 지반에 삽입하는 소리는 69-73 dB, 공회전소리는 65-67 dB 사이에 있어 비교적 레벨의 변동이 적고 일정한 정상소음의 특성을 보여주고 있다. 또한 파일을 들어 올리는 소리는 64-78 dB 사이에 있어 비교적 소음레벨이 불규칙하고 일정한 범위를 연속적으로 변화하면서 발생하는 변동소음의 특성을 보여주고 있다.

## 2. 발전기의 소음특성

### 1) 주파수별 소음레벨의 변화 및 감쇠특성

SIP공법에서 오거(auger)의 동작은 그림 1과 같이 발전기에서 공급하는 전기에너지로 이루어진다. 따라서 본 연구에서는 SIP 항타작업시 건설현장에서 가장 일반적으로 사용되고 있는 출력 250 kW를 갖는 저소음형 발전기를 대상으로 주파수별 감쇠 및 전달특성을 파악하고자 하며, 측정된 소음레벨은 그림 11과 같고, 이를 단일 평가지수인 dB(A)와 NR곡선 및 PSIL로 비교해 보면 그림 12, 표 3과 같다.

그림 11에서 보면 발전기는 엔진음의 주파수 특성 때문에 125 Hz 이하의 저음역에서는 소음레벨이 아주 높지만 고음역으로 갈수록 급격히 감쇠하는 주파수 특성을 갖고 있으며, 이를 NR곡선으로 평가해 보면 저음역인 63 Hz에서는 거리에 의한 감쇠가 거의 이루어지지 않고 있으며 차음등급 결정주파수도 63-125 Hz에서 결정되고 있다. 따라서 이 대역의 소음레벨을 줄일 수 있다면 차음등급을 향상시킬 수 있을 것으로 생각된다.

또한 15 m 지점과 7 m 지점에서 측정한 소음레벨을 비교해 보면 63 Hz를 제외한 모든 주파수에서 1.2-4.5 dB 정도의 거리 감쇠가 이루어지고 있으며 30 m 지점에서는 15 m에 비해 저주파수인 31.5-63 Hz는 거의 감쇠하지 않고 있으나 125 Hz 이상에서는 4-6.2 dB 사이로 일정한 감쇠패턴을 보여주고 있다. 또한 dB(A)에 의한 감쇠량은 15 m에서

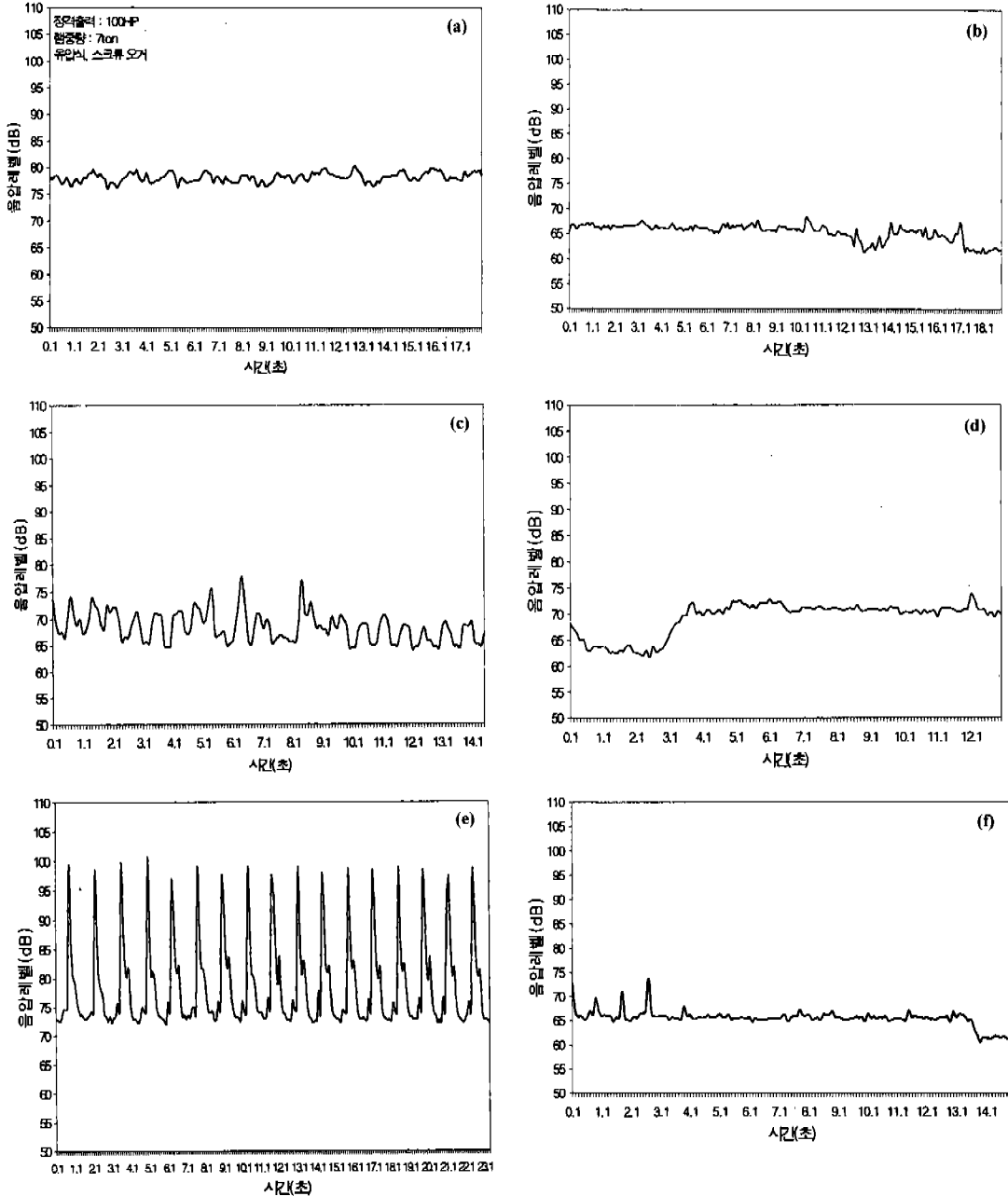


그림 10. 각 작업별 소음레벨의 변동특성. (a) 오거로 지반을 천공하는 소리, (b) 오거를 지반에서 뽑아내는 소리, (c) 파일 들어 올리는 소리, (d) 파일을 지반에 삽입하는 소리, (e) 향타소리, (f) 공회전 소리.

는 2.4 dB(A), 30 m에서는 6.8 dB(A)로 나타나고 있으며, 산술평균에 의한 감쇠량은 15 m에서는 약 2.5 dB, 30 m 지점에서는 약 6.4 dB 정도 감쇠하고 있다.

또한 7 m 위치에서 측정된 소음레벨이 67.8 dB(A), NR-63이며, 30 m 떨어진 위치에서는 61.0 dB

(A), NR-54로 나타나 국내 건설소음 규제기준상 주간에 대상지역 I과 대상지역 II의 기준을 모두 만족하고 있음을 알 수 있다. 또한 PSIL로 평가해 보면 7 m 지점에서는 59 dB로 큰 소리로 이야기할 경우 0.85 m 이내에서는 만족할만한 대화가 가능함을 알 수



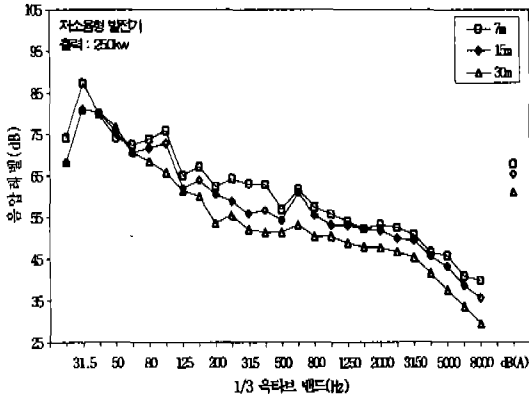


그림 11. 발동발전기의 주파수별 특성.

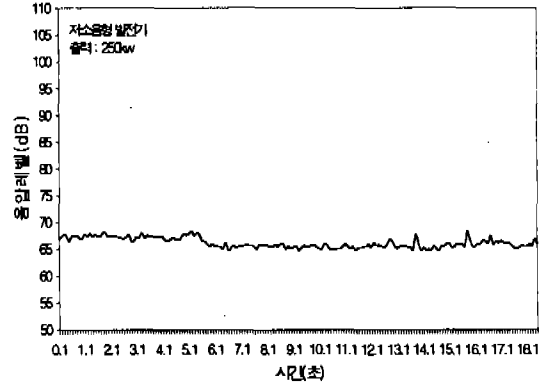


그림 13. 발전기의 소음레벨 변동특성.

음레벨의 변동특성을 파악해 보면 그림 13과 같다.

그림에서 보면 발전기 소리는 64.7-68.5 dB 사이에 있어 비교적 레벨의 변동이 적고 일정한 정상소음의 특성을 보여주고 있다.

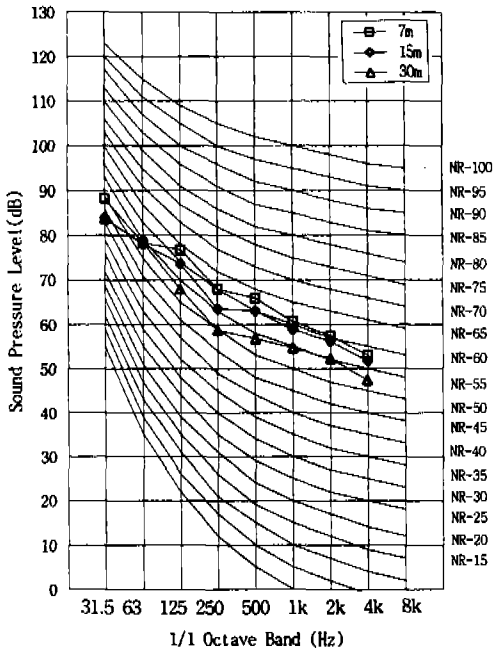


그림 12. NR곡선에 의한 평가.

표 3. 단일 평가지수에 의한 소음레벨 변화

측정위치	7 m	15 m	30 m
평가지수			
dB(A)	67.8	65.4	61.0
NR	NR-63	NR-60	NR-54
PSIL	59 dB	57 dB	53 dB

있으며, 30 m에서는 53 dB로 나타나 약 1.5 m에서도 충분한 대화가 가능함을 보여주고 있다.

2) 시간에 따른 음압레벨의 변동특성

그림 3과 같은 방법으로 15 m 지점에서 측정한 소

3. 공기압축기의 소음특성

1) 주파수별 소음레벨의 변화 및 감쇠특성

SIP공법에서는 오거(auger)를 통해 soilcement를 천공된 지반안에 삽입하게 되는데 이때 오거안에 soilcement가 달라 붙거나 겨울철에는 얼어 붙기 때문에 공기 압축기를 통해 나온 공기로 오거안을 깨끗하게 불어내게 된다. 따라서 본 연구에서는 건설 현장에서 가장 일반적으로 사용되고 있는 토출량이 10.5 m<sup>3</sup>/min인 저소음형 공기압축기를 대상으로 주파수별 감쇠 및 전달특성을 파악하고자 하였으며 그 결과는 그림 14와 같고, 이를 단일 평가지수인 dB(A)와 NR곡선 및 PSIL로 비교해 보면 그림 15, 표 4와 같다.

그림 14에서 보면 공기압축기는 250 Hz 이하의 저음역에서 높은 소음레벨을 보이고 있는데 이는 공기압축기의 엔진음과 냉각팬음에 의한 것으로 생각된다. 또한 고음역으로 갈수록 급격히 감쇠하는 발전기와는 달리 공기압축기는 압축기의 소음으로 인해 1000 Hz 대역의 소음레벨이 높게 나타나는 것으로 생각되며 이러한 특성 때문에 NR곡선에 의한 평가시 차음등급을 결정하는 주파수는 소음레벨이 높은 저주파수 보다는 오히려 고주파수 대역인 1000 Hz에서 결정되고 있음을 알 수 있다. 따라서 공기압축기의 경우는 압축기의 소음을 줄일 수 있다면 차음등급을 향상시킬 수 있을 것으로 생각된다.

또한 15 m 지점과 7 m 지점에서 측정한 소음레벨을 비교해 보면 다른 주파수대역에 비해 31.5 Hz에

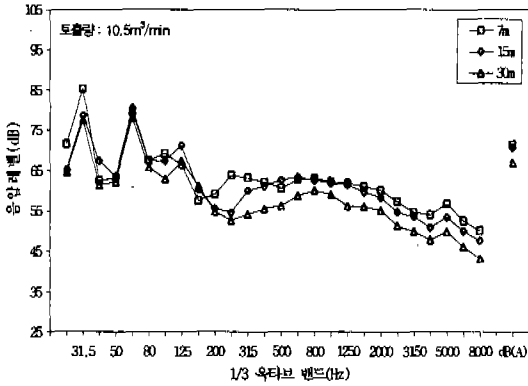


그림 14. 공기압축기의 주파수별 특성.

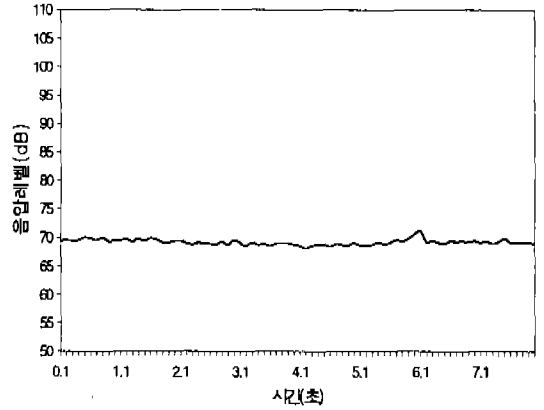


그림 16. 공기압축기의 소음레벨 변동특성.

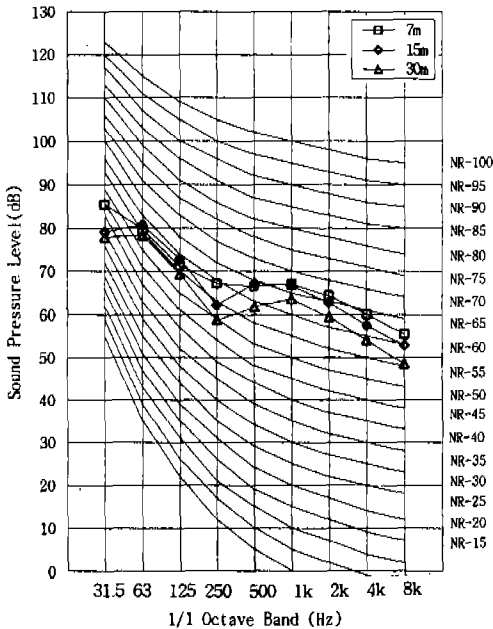


그림 15. NR곡선에 의한 평가.

표 4. 단일 평가지수에 의한 소음레벨 변화

측정위치	7 m	15 m	30 m
평가지수			
dB(A)	71.4	70.7	67.0
NR	NR-67	NR-67	NR-63
PSIL	65 dB	64 dB	60 dB

서 6.4 dB, 250 Hz에서 5.1 dB 정도 많은 감쇠를 보이고 있으며 30 m 지점에서는 15 m에 비해 1.3-5.4 dB 범위에서 거의 비슷한 패턴으로 감쇠하고 있음을 보여주고 있다. 또한 dB(A)에 의한 감쇠량은 15 m에서는 0.7 dB(A), 30 m에서는 4.4 dB(A)로 나타나

고 있으며, 산술평균에 의한 감쇠량은 15 m에서는 약 1.7 dB, 30 m 지점에서는 약 5.1 dB 정도 감쇠하고 있다.

또한 7 m 위치에서 측정된 소음레벨이 71.4 dB (A), NR-67이며, 30 m 떨어진 위치에서는 67.0 dB (A), NR-63로 나타나 국내 건설소음 규제기준상 주간에 대상지역 I의 기준은 15 m 이내에서는 상회하고 있지만 대상지역 II의 기준은 모두 만족하고 있음을 알 수 있다. 또한 PSIL로 평가해 보면 7 m 지점에서는 약 65 dB로 큰 소리로 이야기할 경우 0.5 m 이내에서는 대화가 가능함을 알 수 있으며, 30 m에서는 60 dB로 나타나 약 0.85 m에서도 충분한 대화가 가능함을 보여주고 있다.

2) 시간에 따른 음압레벨의 변동특성

그림 3과 같은 방법으로 15 m 지점에서 측정된 소음레벨의 변동특성을 파악해 보면 그림 16과 같다.

그림에서 보면 공기압축기 소리는 68.1-71.2 dB 사이에 있어 비교적 레벨의 변동이 적고 일정한 정상소음의 특성을 보여주고 있다.

VI. 결 론

도실에서 최근 사용이 급증하고 있는 SIP공법을 이용한 파일 항타시 발생하는 건설기계소음의 전달 및 감쇠특성을 파악해 본 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. SIP공법에 사용되는 항타기의 작업 진행별 발생소음과 발전기 및 공기압축기의 주파수 특성은 엔진음의 영향으로 대부분의 소음레벨이 125 Hz 이하의 저음역에 집중되어 있으며 고음역으로 갈수록 점점 감쇠하는 특성을 가지고 있다.

2. SIP공법에 사용되는 항타기의 작업 진행별 발생소음의 차음등급을 NR곡선으로 평가해 보면 차음등급 결정주파수는 대부분 125-500 Hz에서 결정되고 있으며 발전기는 63-125 Hz, 공기압축기는 고주파수 대역인 1000 Hz에서 결정되고 있음을 알 수 있다. 따라서 이 주파수 대역이 근로자나 인근주민들에게 가장 큰 불편감을 유발할 것으로 생각된다.

3. 항타기에서 항타작업 중 발생하는 소음중 가장 소음레벨이 높게 나타난 것은 파일 항타시 발생하는 소음이며 다음으로 램들어 올리는 소음으로 나타났으며 그 외의 작업소음은 거의 비슷한 것으로 나타났다.

4. ISO에서는 만족한 이해도가 얻어지는 최대 회화방해레벨을 70 dB로 규정하고 있기 때문에 7 m 이내에서 램을 들어 올리거나 파일 항타시에는 거의 만족할 만한 대화가 이루어질 수 없음을 알 수 있다. 또한 발전기는 7 m에서 PSIL이 59 dB, 공기압축기는 65 dB로 나타나 아주 가까운 거리에서는 큰 소리로 이야기할 경우 만족할 만한 대화가 가능함을 알 수 있다.

5. 항타작업시 발생하는 소음레벨 변동특성을 파악해 보면 파일 항타시 발생하는 소리는 72-100 dB 사이를 1-1.5초 단위로 왕복하는 극히 짧고 반복적인 충격소음의 특성을 나타내고 있다. 또한 스파이럴 오거로 지반을 천공하는 소리, 오거를 지반에서 뽑아내는 소리, 파일을 세워서 지반에 삽입하는 소리, 공회전소리등은 비교적 레벨의 변동이 적고 일정한 정상소음의 특성을 보여주고 있으며, 파일을 들어올리는 소리는 비교적 소음레벨이 불규칙하고 일정한 범위를 연속적으로 변화하면서 발생하는 변동소음의 특성을 보여주고 있다. 또한 발전기와 공기압축기는 정상소음의 특성을 보여주고 있다.

이상의 연구결과를 토대로 향후 보다 많은 실험과 자료의 축적이 이루어지면 건설기계소음에 대한 보다 구체적인 차음대책 수립이 가능할 것으로 판단되며, 이러한 결과들은 차후 국내 건설소음에 대한 기준설정 및 평가시 기초적인 자료로 활용될 수 있을 것으로 생각된다.

### 주

- 1) 1992년 국립환경연구원에서 국내에서 사용되고 있는 건설기계 211대를 샘플링하여 소음도(dB(A))를 측정된 결과 소음 레벨이 가장 높은 건설

기계는 항타기, 착암기, 브레이커 순으로 나타났다.

- 2) JIS Z 8731-1983에 의한 소음의 분류.
- 3) 건설소음의 측정점은 기계를 점음원으로 보고 기계에서 떨어진 위치에서 측정하는 것이 바람직하다. 건설기계소음을 측정하기 위한 基點은 기계에서 주로 발생하는 음원으로 하는 것이 좋고 대부분 기계의 표면이나 엔진실 측판을 기점으로 하는 것이 일반적이다.
- 4) 환경부고시 제 1995-10호; 소음공정 시험방법.
- 5) 1959년 ISO/TC 43에서 제안된 NR곡선은 실내소음을 주로 평가하는 NC(Noise Criteria)곡선을 기본으로 하고 청력보호, 회화방해, 시끄러움의 3가지 관점을 중심으로 다른 제안곡선들과 절충하여 만든 평가곡선이다.
- 6) 김재수; "건설현장에서 발생하는 건설기계소음의 전달 및 감쇠특성에 관한 실험적연구(I)", 대한건축학회논문집 13권 6호, pp. 405-417.
- 7) 우선회화방해레벨(Preferred Speech Interference Level)은 Klumpp와 Webster가 제안한 회화방해에 관한 평가법으로 1974년 ISO/TC 43(ISO Technical Report 3352)에서는 500, 1000, 2000, 4000 Hz의 4개 밴드 산술평균치를 다음과 같이 권장하고 있다.

PSIL (dB)	만족한 이해도가 얻어지는 최대거리(m)	
	보통의 소리	큰 소리
35	7.5	15
40	4.2	8.4
45	2.3	4.6
50	1.3	2.6
55	0.75	1.5
60	0.42	0.85
65	0.25	0.50
70	0.13	0.26

\*95% 이상의 이해도를 말한다.

- 8) 생활소음중 건설소음 규제기준안 단위(Leq dB(A))

대상지역	시간별	조식 (05:00-08:00) (18:00-22:00)	주간 (08:00-18:00)	심야 (22:00-05:00)
	대상지역(I)		65 이하	70 이하
대상지역(II)		70 이하	75 이하	55 이하

\*대상지역 I: 주거지역, 녹지지역, 준도시지역중 취락지구 및 운동휴양지구, 자연환경보존지역, 학교·병원·공공도서관의 부지경계선으로부터 50 m 이내 지역.

대상지역 II: 상업지역, 공업지역, 농림지역, 준농림지역, 준도시지역 중 취락지구 외의 지구, 미고시지역.

**참고문헌**

1. 김병주 외 7인 (1998). “건설현장에서 발생하는 건설진동의 영향에 관한 연구”, 대한건축학회추계 학술발표대회 논문집 18권 1호, pp. 1063-1068.
2. 이병윤, 김병주, 박재영, 김재수 (1997). “SIP공법에 의한 향타소음의 전달 및 감쇠특성에 관한 실험적 연구”, 한국소음진동공학회 추계 학술발표대회 논문집, pp. 227-236.
3. 김재수 (1997). “건설소음의 규제기준과 소음표시제도”, 대한건축학회지(건축) 41권 9호, pp. 76-80.
4. 이병윤, 김병주, 김재수 (1997). “건설현장에서 발생하는 브레이크소음의 전달 및 감쇠특성에 관한 실험적 연구”, 한국음향학회 하계 학술발표대회 논문집 16권 1(s)호, pp. 439-445.
5. 김재수 (1997). “건설소음 진동의 기초이론과 영향”, 한국소음진동공학회 -건설공사장 소음 진동 저감방안 세미나-, pp. 3-31.
6. 김재수 (1997). “건설현장에서 발생하는 건설기계소음의 전달 및 감쇠특성에 관한 실험적 연구”, 대한건축학회 논문집 13권 6호, pp. 405-417.
7. 김재수, 양극영 (1997). “건설공사소음에 대한 현장직원의 주관적 반응 평가에 관한 연구”, 대한건축학회 논문집 13권 5호, pp. 209-217.
8. 김재수 (1997). “건설소음의 영향 및 규제기준”, 원광대학교 건축음향연구실 제 1회 건축음향 Workshop, pp. 1-19
9. 이병윤, 윤여완, 김재수, 양극영 (1997). “건설현장에서 발생하는 향타소음의 전달 및 감쇠특성에 관한 실험적 연구”, 대한건축학회추계 학술발표대회 논문집 제 17권 1호, pp. 303-310.
10. 김재수, 양극영 (1996). “건설현장에서 발생하는 건설기계소음에 대한 현장직원의 주관적 반응에 관한 연구”, 한국주거학회지 7권 2호, pp. 99-107.
11. 최동락, 윤여완, 김재수, 양극영 (1996). “건설현장에서 발생하는 건설기계소음의 영향에 관한 연구”, 대한건축학회추계 학술발표대회 논문집 제 16권 2호, pp. 331-334.
12. 김재수 (1995). “건설소음 실태와 대책”, 대한건축학회 & 한국음향학회 제 3회 건축음향 Workshop, pp. 133-164.
13. 한국소음진동공학회 (1995). 소음진동편람.
14. 한국소음진동공학회 (1994). 건설공사장 환경관리 강습회.
15. 동아건설산업주식회사 (1993). 현장기술지도서(건설환경관리-소음진동), 동아건설산업주식회사 기술연구소.
16. 太田 宏, 境 友昭 (1983). 建設騒音の測定と豫測, 森北出版株式會社.
17. 日本建築學會編 (1979). 建築物の遮音性能基準と設計指針, 技報堂.
18. Petruszewicz, S.A. and Longmore, D.K. (1974). Noise and Vibration Control for Industrialists, Elek Science.
19. Rettinger, Michael (1988). Handbook of Architectural Acoustics and Noise Control, TAB.