

〈논 문〉

Casing 부착 SIP공법에 의해 발생하는 항타소음의 전달 및 감쇠특성에 관한 연구

A Study on the Characteristics of Propagation and Attenuation of Piling Noise by SIP Method with Casing

이병윤* · 윤해동** · 조원희** · 김재수***

Byeong-Yun Lee, Hae-Dong Yun, Won-Hee Cho and Jae-Soo Kim

(1999년 3월 2일 접수 : 1999년 8월 14일 심사완료)

Key Words : Construction Noise(건설 소음), SIP(Soil-Cement Injected Precast Pile), Piling Noise(항타 소음), Noise Rating Curves(NR곡선)

ABSTRACT

Construction equipment noise has caused much annoyance for a number of dwellers in nearby construction field and 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 because of the poorness of basic data and insufficiency of the existing research. Especially, in order to establish the sound insulation plan about piling works noise with high sound pressure level and impactive, a real situation of sound characteristics about the noise of piling works in foundation work demands more detail investigation. In this point, this study attempts to survey the characteristics of attenuation and propagation of construction equipment noise in piling work using SIP(soil-cement injected precast pile) method with casing. And this study intends to get the basic data for establishment of a standard about construction noise.

1. 서 론

최근에 도심에서 발생하는 건설공사의 경우 많은 민원이 야기되고 있으나 현행 국내의 건설소음 규제 기준의 경우 대상지역별·시간대별로 전체적인 음압 레벨만을 제시하고 있어 효율적인 대책수립이 어려운 실정이다. 따라서 건설현장소음의 주요한 발생원

및 소음원에 대한 보다 구체적이고 정확한 자료를 통한 대책마련이 시급한 실정이라고 할 수 있다.

특히 기초지정 공사시 그 사용빈도가 높은 항타기의 경우 기존의 연구결과⁽¹⁾ 가장 신경 쓰이고 시끄러운 건설기계라고 지적하고 있으며 이중 기성 콘크리트말뚝을 사용한 항타공법인 디젤항타공법의 경우 항타시 발생하는 높은 충격음과 진동의 발생으로 도심지 공사의 경우 그 사용에 많은 문제점을 안고 있어, 최근에는 이러한 문제를 해결하기 위해 저소음·저진동 항타공법인 SIP (Soil-cement Injected Precast Pile)공법을 많이 사용하고 있으나 정확한 실태조사가 되어 있지 않은 실정이다.

* 정회원, 순천청암대 건축디자인과

** 정회원, 원광대학교 대학원 건축음향연구실

*** 정회원, 원광대학교 공과대학 건축음향연구실

따라서 본 연구에서는 연약지반 기초 지정공사시 저소음·저진동 공법으로 많이 사용되는 Casing 부착 SIP공법에 의한 항타소음의 전달 및 감쇠특성을 파악하고자 하였으며, 이를 토대로 차후 건설기계소음에 대한 세부적인 기준설정을 위한 기초적인 자료를 제시하고자 한다.

2. 건설소음의 측정방법

국내 소음진동 규제법에 의한 건설소음 규제기준의 측정방법을 가지고는 건설기계소음에 대한 전달 및 감쇠특성을 파악할 수가 없다. 따라서 본 연구에서는 日本에서 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 Fig. 1과 같이 7 m, 15 m, 30 m에서 건설기계소음을 측정하였다.

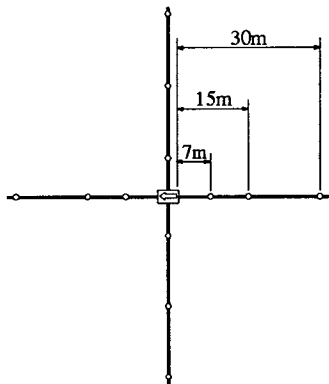


Fig. 1 Measuring point of construction equipment noise

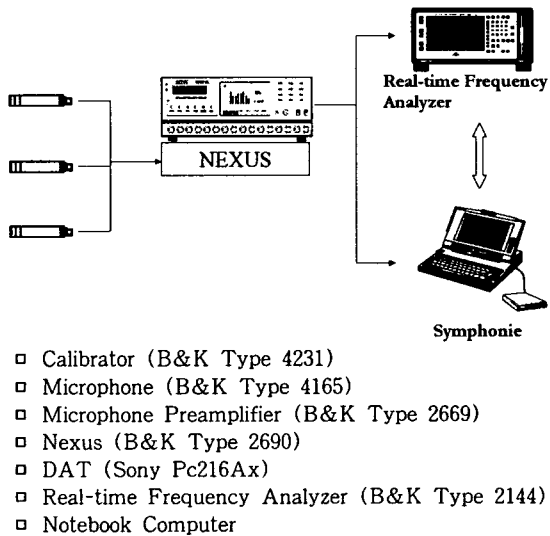


Fig. 2 Diagram of measuring system

또한 건설기계소음의 주파수 특성을 파악하기 위해서 Fig. 2와 같은 방법을 이용하여 현장에서 동시에 측정하였다. 마이크로폰은 바닥에서 1.2 m 위치에 놓고 다른 건설공사나 건설기계들이 작동하지 않도록 주변의 배경소음을 최소화한 뒤 NEXUS를 통해 DAT(Digital Audio Tape Recorder)로 녹음하여 실험실에서 분석하였다. 측정 및 분석주파수 범위는 25 Hz~8 kHz까지 1/3 Octave Band 중심주파수별로 10초간 측정하였으며 동시에 전 대역 음압레벨도 dB(A)값으로 측정 및 분석하였다.

3. 측정대상지역 위치 및 지질현황

3.1 측정대상 지역의 위치 및 현황

측정 대상지역은 행정구역상 전주시 완산구 서신동에 위치한 S택지개발지구로서 조사지역의 남측으로는 전주천이 흐르고 있고 북측으로는 6차선 도로가 놓여 있으며 주위에는 아파트공사가 진행중인 배경소음(background noise)이 낮은 D아파트 신축현장을 대상으로 Casing 부착 SIP공법에 의한 항타소음의 주파수별 음압레벨을 측정조사하였다.

3.2 측정대상 지역의 지질현황

측정대상 지역의 지층단면도는 Fig. 3과 같다.

Fig. 3에서 보면 표토(表土)에서 1.4 m까지는 매립토층이며 쉘트(silt) 및 세립(細粒)내지 중립(中粒)의 모래섞인 자갈층으로서 황갈색이고 축축하며 매우 조밀한 상태이다. 또한 1.4~2.7 m에서는 잔류토층으로서 세립(細粒)내지 조립(粗粒)의 모래섞인 쉘트층이다.

2.7~8 m까지는 풍화암층이며 기반암이 풍화되어

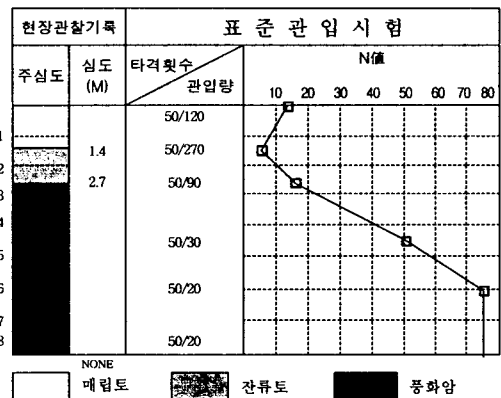


Fig. 3 Cross section of stratum

형성된 층으로서 세립(細粒)내지 조립(粗粒)의 모래 및 암편으로 분해된 상태이고 황갈색이고 매우 조밀(稠密)한 상태이다. 또한 N 값을 보면 퇴적토층에서는 12.5를 나타내고 있으나 잔류토층에서는 급격히 5.5로 감소하다가 풍화암층에서는 3m에서 16.7, 4.5 m에서 50, 6 m 이상은 75로 급격히 증가하고 있다. 본 조사지역에서는 PHC pile(400 ϕ) $L=8$ m로 시공되었다.

4. 분석 및 고찰

Casing 부착 SIP공법에 의한 항타소음의 주파수별 음압레벨 및 전달특성과 음압레벨의 변동특성을 파악하기 위하여 Fig. 1, Fig. 2와 같은 방법으로 하여 일반적으로 가장 많이 사용되는 램중량 2.5 ton, 정격출력 180 HP의 항타기를 대상으로 하여 소음을 측정하였다.

4.1 주파수별 음압레벨의 변화 및 감쇠특성

(1) 항타

항타시 소음을 측정한 결과 측정거리에 따른 주파수별 음압레벨의 특성은 Fig. 4와 같고, 이를 단일평가지수인 dB(A)와 NR곡선으로 비교해 보면 Fig. 5, Table 1과 같다.

Fig. 4에서 항타시 주파수별 특성을 살펴보면 비교적 가까운 7 m 지점의 경우 엔진음의 영향으로 저음역인 50 Hz에서 82 dB의 높은 음압레벨을 보여주고 있고 4000 Hz이하의 다른 대역에서는 70~78.8 dB정도의 비교적 일정한 음압레벨을 유지하고 있으며 그 이상의 고음역으로 갈수록 서서히 감쇠하는 특성을 보여주고 있다. 이를 Fig. 5와 같이 NR곡선으로 평가해 보면 차음등급을 결정하는 주파수 대역은 2000 Hz에서 결정되고 있으며 다른 주파수 대역에 비해 500~2000 Hz대역이 높게 나타나 이 주파수 대역이 사람에게 가장 큰 불쾌감을 일으키는 주파수임을 알 수 있다.

(2) 천공

천공시 소음을 측정한 결과 측정거리에 따른 주파

Table 1 Variation of evaluation indices

평가지수	측정거리		
	7 m	15 m	30 m
dB(A)	83.8	80.5	72.4
NR	NR-79	NR-76	NR-68

수별 음압레벨의 특성은 Fig. 6과 같고, 이를 단일평가지수인 dB(A)와 NR곡선으로 비교해 보면 Fig. 7, Table 2와 같다.

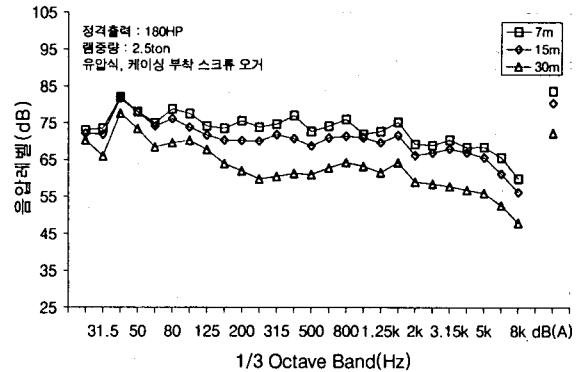


Fig. 4 Measured values of sound pressure level by pilings noise

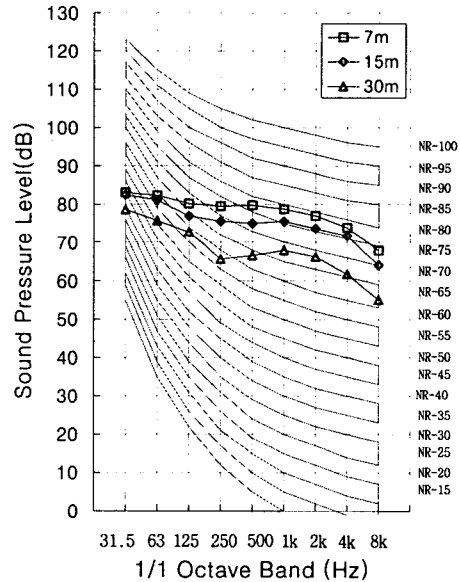


Fig. 5 Evaluation by Noise Rating curve

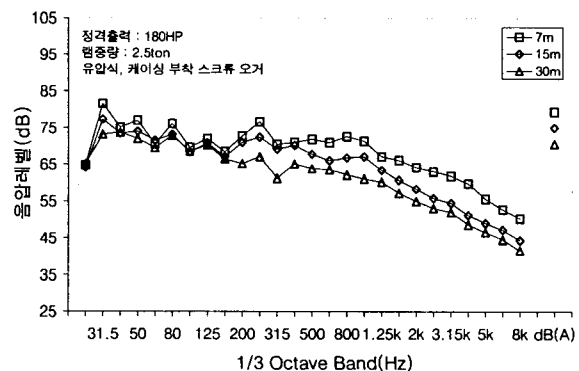


Fig. 6 Measured values of sound pressure level by boring noise

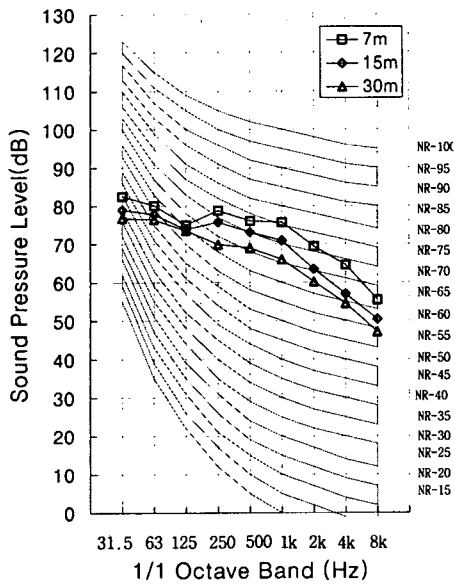


Fig. 7 Evaluation by noise rating curve

Table 2 Variation of evaluation indices

측정거리	7 m	15 m	30 m
평가지수			
dB(A)	79.4	75.1	70.7
NR	NR-76	NR-71	NR-66

Fig. 6에서 천공시 주파수별 특성을 살펴보면 오거(auger)로 지반을 천공할 경우에 발생하는 소음은 엔진음을 포함하여 Casing과 오거사이에 있는 토량 및 암석과의 마찰음등으로 구성되어 있다. 따라서 1000 Hz이하의 저중음역대역에 에너지가 집중되어 있으며, 그 이상 고음역으로 갈수록 급격히 감소하는 특성이 있다. 이를 Fig. 7과 같이 NR곡선으로 평가해 보면 차음등급을 결정하는 주파수는 1000 Hz로 이 주파수 대역이 사람에게 가장 불쾌감을 일으키는 주파수임을 알 수 있으며, 2000 Hz이상의 고음역으로 갈수록 감소하는 특성을 나타내고 있다.

(3) 인발

인발시 소음을 측정한 결과 측정거리에 따른 주파수별 음압레벨의 특성은 Fig. 8과 같고, 이를 단일평가지수인 dB(A)와 NR곡선으로 비교해 보면 Fig. 9, Table 3과 같다.

Fig. 8에서 인발시 주파수별특성을 살펴보면 인발할 경우에 발생하는 소음은 엔진음이 대부분을 차지하고 있으며 40 Hz에서 80.3 dB로 가장 높게 나타나고 있다. 따라서 1000 Hz이하의 저중음역에서 음압레벨이 높게 나타나며 고음역으로 이동할수록 급

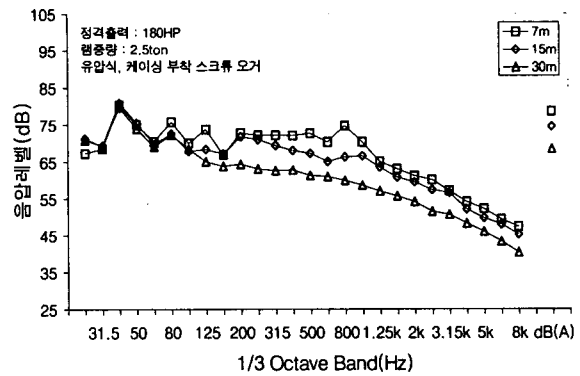


Fig. 8 Measured values of sound pressure level by pull-out noise

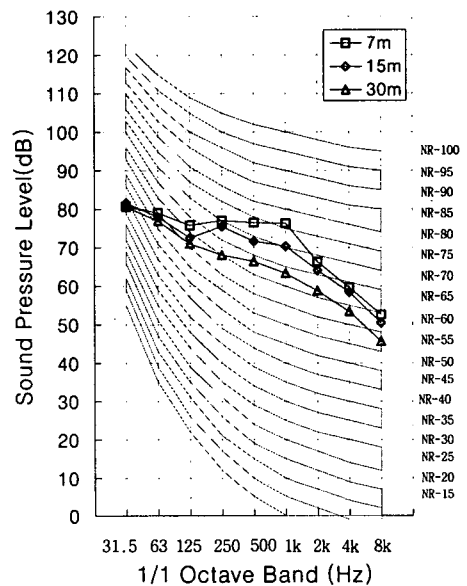


Fig. 9 Evaluation by noise rating curve

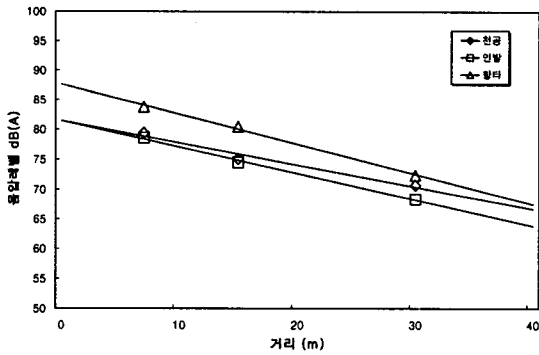
Table 3 Variation of evaluation indices

측정거리	7 m	15 m	30 m
평가지수			
dB(A)	78.6	74.5	68.4
NR	NR-77	NR-70	NR-63

격히 감소하는 특성을 가지고 있다. 이를 Fig. 9와 같이 NR곡선으로 평가해 보면 차음등급을 결정하는 주파수는 1000 Hz로 이 주파수 대역이 사람에게 가장 불쾌감을 일으키는 주파수임을 알 수 있으며, 2000 Hz이상의 고음역으로 갈수록 급격히 감소하는 특성을 나타내고 있다.

4.2 거리에 따른 예측 상관식

거리의 변화에 따른 음압레벨의 감소특성을 예측



구분	예 측 식	R2
향타	$y = -0.5013x + 88.091$	0.9958
천공	$y = -0.3674x + 81.802$	0.9723
인발	$y = -0.4388x + 81.877$	0.9963

Fig. 10 An estimated correlation equation of sound pressure level by distance

해 보면 Fig. 10과 같이 나타났다.

7 m, 15 m, 30 m에서 측정된 dB(A)값을 가지고 음원으로부터 40 m까지의 거리에 따른 음압레벨의 상관식을 나타내 보면 향타, 천공, 인발 모두 설명력이 97% 이상으로 나타나 거리에 따른 음압레벨의 변동 특성을 쉽게 예측할 수 있다.

따라서 이러한 결과를 토대로 향후 보다 많은 실험과 연구가 이루어지면 보다 정확하고 신뢰성이 있는 상관관계를 제안할 수 있을 것으로 사료된다.

4.3 국내 건설소음 규제 기준과의 비교

7 m, 15 m, 30 m 지점에서 측정된 소음레벨을 국내 건설소음 규제기준(제31조)(2)중 대부분 향타작

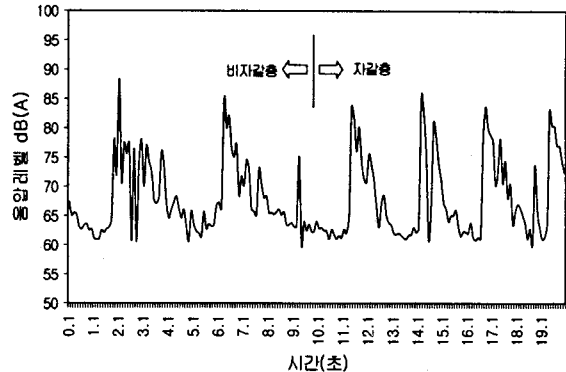
Table 5 Comparison of piling, boring, pull-out noise and domestic standard for construction noise 단위 : L_{eq} dB(A)

	대 상 지 역 I			
	65초과 70이하	70초과 75이하	75초과 80이하	80초과 85이하
대 상 지 역 I	▲			
70초과 75이하		△ △ ◆		
75초과 80이하			□ ◆ ■	
대 상 지 역 II				□ ◆
80초과 85이하				□ ◆

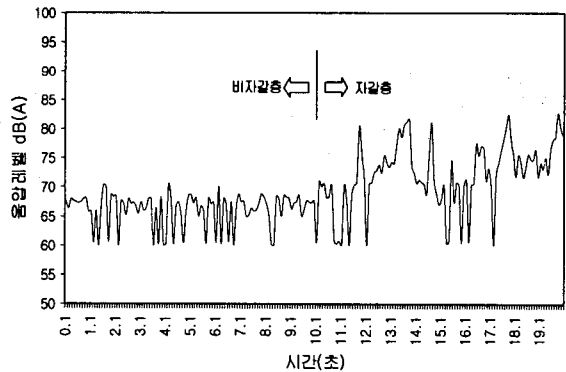
향타시 : □ : 7 m ◆ : 15 m △ : 30 m
 천공시 : □ : 7 m ◆ : 15 m △ : 30 m
 인발시 : ■ : 7 m ◆ : 15 m ▲ : 30 m

업이 이루어지는 주간(08:00~18:00)기준과 비교해 보면 Table 5와 같다.

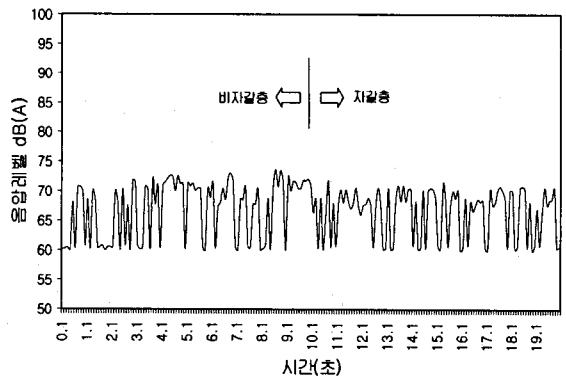
Table 5에서 보면 향타의 경우 대상지역 I의 기준은 모두 초과하고 있으나, 대상지역 II의 기준은 7 m, 15 m에서는 초과하고 30 m에서만 만족하고 있음을 알 수 있으며, 천공시의 경우에는 대상지역 I의 기준은 모두 초과하고 있으나, 대상지역 II의 기준은 7 m, 15 m에서는 초과하고 30 m에서는 만족



(a) Piling



(b) Boring



(c) Pull-out

Fig. 11 The time recordings of sound pressure level measured at 15 m

하고 있음을 알 수 있다. 또한 인발의 경우에는 보면 대상지역 I의 기준은 7 m, 15 m에서는 초과하고 30 m에서는 만족하고 있으며, 대상지역 II의 기준은 7 m에서는 초과하고 15 m, 30 m에서는 만족하고 있음을 알 수 있다. 따라서 인발시 발생하는 소음은 향타시나 천공시에 비해 영향력은 없으나 가까운 거리에 인접한 주민들에게는 피해를 줄 것으로 사료된다.

결국, Casing 부착 SIP 항타 공법의 경우 대부분 도심지인 대상지역 I에서 행해지고 있는 점을 감안하면 향타시 발생하는 소음은 상당히 거리가 떨어져 있어서 많은 영향을 줄 것으로 사료되며, 천공과 인발시 발생하는 소음도 인접한 주민들에게 많은 영향을 줄 것으로 사료된다.

4.4 시간에 따른 음압레벨의 변동특성

Fig. 2와 같은 방법으로 15 m지점에서 측정한 Casing 부착 SIP공법 음압레벨 변동특성을 파악해보면 Fig. 11과 같다.

Fig. 11(a)에서 보면 향타시 소음은 비자갈층과 자갈층이 비슷한 특성을 보여주고 있으며, 61~86 dB사이를 1.5~2초 단위로 왕복하는 극히 짧고 반복적인 충격적 소음의 특성을 나타내고 있다.

또한 Fig. 11(b)에서 보면 천공시 소음은 비자갈층에서는 60~70 dB사이를 왕복하고 있고, 자갈층은 60~88 dB사이를 왕복하는 레벨이 불규칙하고 연속적으로 일정한 범위로 변화하며 발생하는 변동소음의 특성을 나타내고 있으며 Fig. 11(c)의 인발시 소음은 비자갈층과 자갈층이 비슷한 특성을 보여주고 있으며, 60~75 dB사이를 왕복하는 레벨이 불규칙하고 연속적으로 일정한 범위로 변화하며 발생하는 변동소음의 특성을 나타내고 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 건설현장에서 연약지반 기초 지정 공사시 저소음·저진동 공법으로 많이 사용되는 Casing 부착 SIP공법의 음압레벨 및 주파수 특성을 조사·분석하였으며, 이를 토대로 차후 효율적인 건설소음 대책수립 및 건설기계소음에 대한 세부적인 기준설정을 위한 기초적인 자료를 제시하고자 하였다.

본 연구를 통해 분석된 결과를 종합하여 정리하면 다음과 같다.

(1) 주파수별 특성을 보면 향타시는 엔진음의 영향으로 저음역이 높게 나타나고 4000 Hz이하의 대역에서는 일정한 음압레벨을 유지하고 있으며 그 이

상 고음역으로 갈수록 서서히 감소하는 특성이 있다. 또한 천공시는 125 Hz이하의 저음역에 에너지가 집중되어 있고 그 이상 고음역으로 갈수록 음압레벨이 급격히 감소하고 있으며, 인발시는 1000 Hz이하의 저중음역에서 음압레벨이 높게 나타나며 고음역으로 갈수록 급격히 감소하고 있다.

(2) Casing 부착 SIP공법의 경우 대부분 대상지역 I의 주간에 행해지므로 이를 국내 건설소음 규제기준과 비교해보면 향타시나 천공시의 경우 7 m, 15 m, 30 m 모두 이 기준을 상회하고 있으며, 인발시는 30 m에서는 만족하지만 7 m, 15 m는 상회하고 있어서 적절한 차음대책이 요구된다.

(3) NR곡선으로 평가해 보면 차음등급을 결정하는 주파수 대역은 향타시는 2000 Hz이고 천공시와 인발시는 1000 Hz로서 주로 고음역에서 사람에게 가장 큰 불편감을 일으키고 있다.

(4) 시간에 따른 변동특성을 살펴보면 향타시 소음은 비자갈층과 자갈층이 비슷한 특성을 보여주고 있으며, 61~86 dB사이를 1.5~2초 단위로 왕복하는 극히 짧고 반복적인 충격적 소음의 특성을 나타내고 있다.

이상의 연구는 건설현장에서 연약지반 기초 지정 공사시 저소음·저진동 공법으로 많이 사용되는 Casing 부착 SIP공법에 의한 음압레벨 및 주파수 특성을 조사·분석하여 NR곡선으로 평가한 결과이며, 향후 소음이 문제시되는 기타 건설기계에 대한 지속적인 연구가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

(1) 김재수, 양극영, 1996, "건설현장에서 발생하는 건설기계소음에 대한 현장직원의 주관적 반응에 관한 연구", 한국주거학회지, 제 7 권, 제 2 호, pp. 99~107.

(2) 생활소음원중 건설소음 규제기준(제31조)

단위 : L_{eq} dB(A)

시간별	조 식	주 간	야 간
	(05:00~08:00 18:00~22:00)	(08:00~18:00)	(22:00~05:00)
대상지역 I	65이하	70이하	55이하
대상지역 II	70이하	75이하	55이하

○ 대상지역 I : 주거지역, 녹지지역, 준도시지역 중 취락지구 및 운동휴양지구, 자연환경보존지역, 학교, 병원, 공공도서관의 부지경계선으로부터 50 m이내지역.

- 대상지역 II : 상업지역, 공업지역, 농림지역, 준농림지역, 준도시지역중 취락지구의외의 지구, 미고시지역.
- (3) 이병윤, 윤여완, 김재수, 양극영, 1997, "건설 현장에서 발생하는 항타소음의 전달 및 감쇠특성에 관한 실험적 연구", 대한건축학회 춘계학술발표대회 논문집, 제 17 권, 제 1 호, pp. 303~310.
- (4) 이병윤외 5인, 1998, "건설현장에서 발생하는 유압식 항타소음의 전달 및 감쇠특성에 관한 실험적 연구", 대한건축학회 추계학술발표대회논문집, 제 18 권, 제 2 호, pp. 943~948.
- (5) 김재수의 5인, 1998, "SIP공법에 의한 항타작업시 발생하는 건설기계소음의 전달 및 감쇠 특성에 관한 실험적 연구", 한국주거학회지, 제 9 권, 제 2 호, pp. 67~78.
- (6) 김재수의 5인, 1998, "건설현장에서 발생하는 건설공사소음의 전달 및 감쇠 특성에 관한 실험적 연구", 한국음향학회지, 제 17 권, 제 3 호, pp. 78~89.
- (7) 이병윤, 김재수, 1997, "건설현장에서 발생하는 건설기계소음의 주관적반응 평가에 관한 연구", 대한건설기계협회지(건설기계정보), 제 100 호, pp. 47~51.
- (8) 김재수, 1997, "건설소음·진동의 기초이론과 영향", 한국소음진동공학회 건설공사장 소음·진동 저감 방안 세미나, pp. 3~31.
- (9) 김재수, 1997, "건설현장에서 발생하는 건설기계소음의 전달 및 감쇠특성에 관한 실험적 연구", 대한건축학회논문집, 제 13 권, 제 6 호, pp. 405~417.
- (10) 이병윤, 김병주, 김재수, 1997, "건설현장에서 발생하는 브레이크소음의 전달 및 감쇠특성에 관한

실험적 연구", 한국음향학회 하계학술발표대회 논문집, 제 16 권, 제 1(s) 호, pp. 439~445.

(11) 김재수, 1997, "건설소음의 영향 및 규제기준", 원광대학교 건축음향연구실 제 1 회 건축음향 Workshop, pp. 1~19.

(12) 이병윤, 김재수, 1997, "항타소음 및 브레이크소음의 전달 특성에 관한 실험적 연구", 원광대학교 건축음향연구실 제 1 회 건축음향 Workshop, pp. 34~58

(13) 김재수, 1995, "건설소음 실태와 대책", 대한건축학회 & 한국음향학회 제3회건축음향 Workshop, pp. 131~164.

(14) 동아건설산업주식회사, 1993, 현장기술지도서(건설환경관리-소음.진동), 동아건설산업주식회사 기술연구소.

(15) 두성건설, 1987, SIP 기초공법, 두성건설주식회사.

(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) 建設機械研究會, 1992, 建設機械ハンドブック, 鹿島出版社.

(18) Theodore J. Schultz, 1982, Community Noise Rating, 2nd Edition.

(19) Petruszewicz, S. A. and Longmore, D. K., 1974, Noise and Vibration Control for Industrialists, Elek Science.

(20) Michael Rettinger, 1988, Handbook of Architectural Acoustics and Noise Control, TAB.

(21) Maekawa, Z., 1994, Environmental and Architectural Acoustics, E&FN Spon.