

PRD Pile Driving 공법의 진동저감 평가를 위한 실험적 연구

Experimental Study on Vibration Reduction Estimation of PRD Pile Driving Method

강 성 후* · 박 선 준† · 정 석 규*

Sung-Hoo Kang, Sun-Joon Park and Seok-Gyu Jung

(2008년 5월 19일 접수 ; 2008년 7월 4일 심사완료)

Key Words : Pile Driving(파일향타), Non-vibration(무진동), Vibration Equation(진동추정식)

ABSTRACT

In this study, ground vibrations and aero space noises that is produced by the PRD(percussion rotary drill) were analyzed by work processes. Ground vibration equations were suggested by $2.798(\text{SD})^{-0.793}$, $3.485(\text{SD})^{-0.793}$, $3.705(\text{SD})^{-0.793}$, according to experiment result, and these equations have reliability of 50 %, 90 %, 95 %, respectively. Ground vibration values by the PRD method correspond to level of 5~34 % of values that are assumed by the Attewell & Farmer's equation, and these result compares in reliability 50 %. Also, those values were analyzed that correspond to level of 12~26 % of ground vibration values by the Prof. Park etc.'s equations. But, the aero space noise was evaluated that is assumed by 88.9 dB(A) at separated distance 50 m and is not satisfied even 85 dB(A) that is the most negative noise value that present in domestic noise standard. The PRD method was analyzed that noise decrease effect exists hardly comparing with general pile driving method of construction. When is based in these results, the PRD method is judged that it is desirable that classify by the Low-vibration method more than the Non-vibration · noise method.

1. 서 론

지반의 지지력을 보강하기 위한 pile 기초공사에서는 진동과 소음을 최대한 제어할 수 있는 무진동·무소음 공법의 사용이 점차 일반화되고 있다. 무진동·무소음 공법은 시공기술의 발전과 더불어 그 종류도 다양해지고 있을 뿐만 아니라 상당부분 진동과 소음을 감소시키는 효과를 발휘하고 있다⁽¹⁾. 그 대표적인 예가 이 연구의 대상인 PRD(percussion rotary drill) pile driving 공법(이하 PRD공법)이다.

PRD공법은 한 리더에 상부오거장비에는 스크류 로드를 하부 오거장비에는 케이싱로드를 장착하여 각각 독립적으로 상하 운동과 회전운동을 동시에 수행 하므로 천공속도가 빠르며, 공기가 주입되므로 슬라이임 배토가 원활한 특징을 가지고 있다. 스크류 로드를 상단으로 올린 상태에서 크레인을 회전시켜 pile 을 삽입하므로 별도의 서비스 홀이 필요하지 않게 되고 이에 따라 작업능률이 향상된다.

또한 벤토나이트모르타르(bentonite mortar)를 주입하여 pile을 삽입하므로 상대적으로 높은 지지력을 얻을 수 있는 특징을 가지고 있다. 그러나 PRD 공법을 비롯한 무진동·무소음의 기초 pile 시공법에 의해 발생되는 진동과 소음의 정도를 실험을 통해 정량적으로 계측·분석한 후 그 결과를 발표한 사례는 전무한 실정이다.

* 교신저자 : 정희원, 동신대학교 토목공학과
E-mail : parksj@dsu.ac.kr
Tel : (061)330-3136, Fax : (061)330-3136

* 동신대학교 토목공학과

이 연구에서는 무소음·무진동 공법 중 PRD공법을 대상으로 pile driving이 이루어지는 동안 발생되는 지반진동과 소음을 공정단계별로 분석하고, 그 결과로부터 진동추정식을 제시하고자 한다. 또한 PRD공법에 의해 발생되는 진동과 기존의 연구결과에 의해 제시된 타 공법과 정량적인 비교를 수행하고자 한다.

2. 이론적 고찰

2.1 항타진동 추정식

Wiss와 Attewell & Famer는 pile 항타로 인한 지반의 진동응답을 추정하기 위하여 발파로 인한 지반의 진동을 추정하는 것과 동일한 개념에서 진동을 발생시키는 해머에너지(E)의 항을 포함하도록 하여 식(1)의 형태를 제안하였다^(2,3).

$$V = K(D/E^{1/2})^n \quad (1)$$

V : 지반의 진동속도(cm/s, kine)

D : 진동 발생원으로부터 지반진동 측정 지점까지의 거리(m)

E : 진동해머의 에너지(해머무게(kN) × 낙하고(m))

K : 진동상수(절편)

n : 지반감쇠지수

D/E^{1/2} : 환산거리(scaled distance : SD)

지반의 진동속도는 측정되는 방향에 따라 3가지 성분으로 구분된다. 진동발생원과 진동측정점을 일직선으로 연결한 연장선상을 x축과 일치시키고 이를 기준으로 x, y, z의 직교좌표계를 중첩시킨다면 x축은 L(longitudinal)성분, y축은 T(transverse)성분, z 축은 V(vertical)성분으로 정의할 수 있다. 이 연구에서는 이러한 3가지 성분에 대한 벡터합을 고려한 PVS(peak vector sum=√(V²+T²+L²)) 값을 구하여 사용하였다^(2,4).

이 연구에서는 50%, 90%, 95%의 비초과확률을 갖는 진동추정식으로 구분하여 제시하였다. 각각의 비초과확률을 갖는 진동추정식은 식(1)에서 정의된 진동상수 K에 의해 결정되며 K값은 식(2)로부터 구할 수 있다. 또한 진동치들은 가우스의 정규분포로 가정하였다.

$$K = \mu + Z\sigma \quad (2)$$

μ : 진동치의 평균

Z : 확률변수(50% : 0, 90% : 1.282, 95% : 1.64)

σ : 표준편차

2.2 진동 및 소음규준

최근에는 환경문제에 대한 기대수준이 높아지면서 과거에 비해 민원발생이 빈번해짐에 따라 진동 허용 기준치를 하향 조정하여 0.3~0.5 cm/s 범위 값을 일

Table 1 Vibration criteria

Class	I	II	III	IV	Reference
Vibration criteria (cm/s)	10~35 Hz	0.2	0.5	1.0	Physical damage standard
	> 35 Hz	0.3	0.8	1.5	
Type of structures					· Class I : Cultural asset & computer equipment surrounding · Class II : House & apartment(with small crack) · Class III : House & apartment(no crack) · Class IV : SRC Building, RC structure

Table 2 Noise criteria

Area	Morning and evening	Daytime	Evening
Within 50 m from boundary line area that residence, green belts, sightseeing place, rest, school, hospital	≤ 60dB(A)	≤ 65dB(A)	≤ 55dB(A)
Area except residential district in commerce, completion household mascot, general industrial area, settlement area	≤ 70dB(A)	≤ 75dB(A)	≤ 55dB(A)
· Division of target area depends on the country use administration law. Only, urban areas is decided according to the town planning and zoning act. Revision values : +10 dB : when noise is less than 2 hours 1 in the daytime +5 dB : when noise is below 4 hours more than 2 hours in the daytime			

반적으로 사용하고 있다. 또한 민원인들의 대부분은 정신적 피해기준을 물질적인 피해기준으로 연관지어 보상을 요구하고 있으며, 건설공사 현장에서 민원을 제기하면 보상을 받을 수 있다는 기대심리가 팽배해 있는 실정이다. Table 1과 2는⁽⁵⁾ 과거 건설교통부(현, 국토해양부) 감사관실에서 발파진동 및 항타진동 등 건설진동에 대한 구조물의 진동과 소음허용기준(2009년 시행 예정)을 제시한 것으로써 진동주파수에 따라 진동규준을 세분화한 것이 기존의 진동규준과 비교하여 개선된 사항이다.

2.3 기존의 연구

Attewell & Farmer가 제안한 진동추정식 중 PRD 공법의 헤머에너지와 비슷한 에너지를 갖는 추정식은 식(3)과 같다⁽³⁾. 식(3)은 sheet pile을 대상으로 하고 있으며, 추정된 진동치는 50%의 신뢰도와 mm/s의 단위를 갖는다.

$$V = 32.36 \left(\frac{\sqrt{E}}{D} \right)^{1.61} \quad (3)$$

Prof. Park etc 등의 연구에서는 디젤헤머를 사용하여 6본의 콘크리트 파일을 항타하는 동안 발생되는 지반진동을 실측 및 분석하여 얻은 진동추정식을 식(4)와 같이 제안하였다⁽⁶⁾. 식(4)에서 진동상수 K는 신뢰도 50%, 90%에 따라 1.865, 3.684로 각각 제시하였으며, 여기에 사용된 해머에너지는 48.1~61.8 kN·m였다.

$$V = K (D/E^{1/2})^{-1.137} \quad (4)$$

3. 현장실험

3.1 실험개요

PRD 공법에 의해 pile driving이 이루어지는 전과정을 진동 및 소음의 발생 특성을 고려하여 크게 3단계로 구분하였다. 첫 번째 단계는 auger를 이용하여 외부강관 케이싱과 함께 굴착하는 “auger 작업단계”, 두 번째는 외부강관 케이싱을 인발하는 “casing 인발 작업단계”, 마지막 세 번째 단계는 강관 pile을 케이싱에 삽입하고 pile이 최종적으로 지지암반에 근입되는 “pile 항타단계”이다. Fig. 1은 PRD 시공장비가 auger 작업단계를 진행 중에 있는 전경이다.

총 7본의 pile driving이 이루어지는 동안 각 작업단계별로 구분하여 진동과 소음을 계측하였다. 계측기중 2대에는 지반진동과 소음을 동시에 측정할 수 있도록 geo-phone과 microphone을 연결하였으며, 나머지 1대에는 geo-phone만을 연결하였다. 계측은 진동발생원(항타원)의 위치에 따라 거리감쇠를 고려하여 지반진동의 pick-up이 용이한 위치에 계측기를 설치하였다. PRD공법이 무소음·무진동 공법으로 진동과 소음의 발생량이 상당부분 감소될 것을 고려하여 보다 확실한 지반진동을 pick-up하기 위해 진동발생원으로부터 상대적으로 근거리에 계측기를 설치하였다(Fig. 2).

계측기는 발파공사 현장에서 지반의 진동과 소음을 측정할 목적으로 널리 사용되고 있는 Blastmate III(INSTANTEL Co. CANADA)를 사용하였다. 계측이 이루어지는 동안 sampling rate는 1024 Hz로 하였다.



Fig. 1 PRD equipment and auger working stage

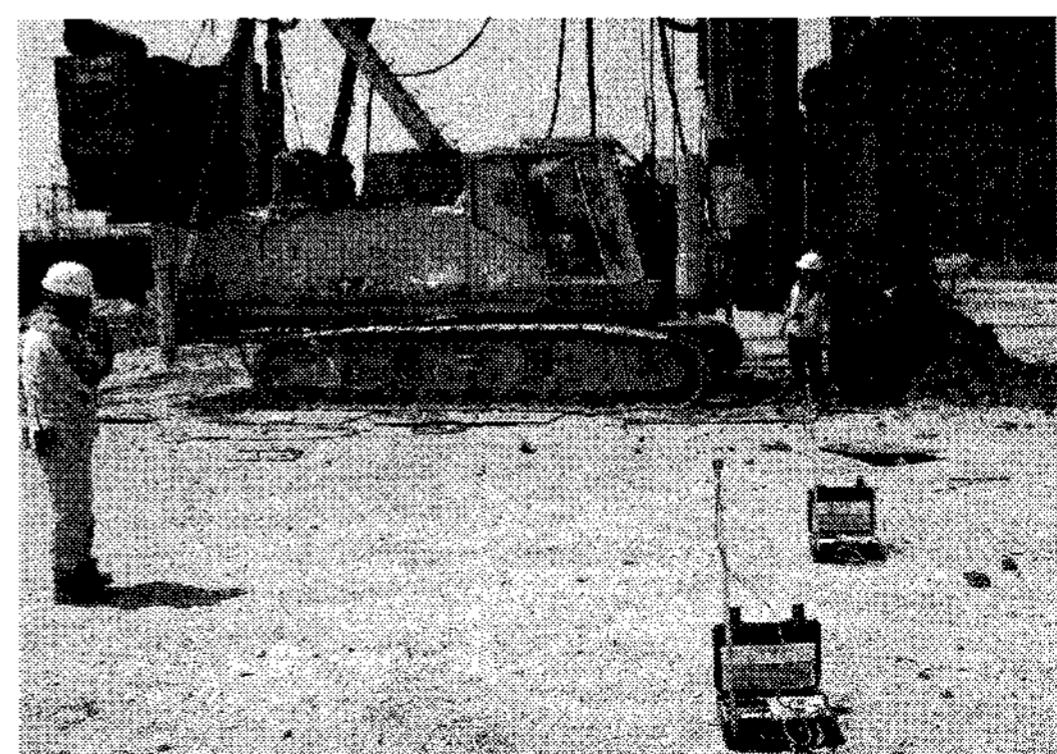


Fig. 2 Measurement of vibration and noise

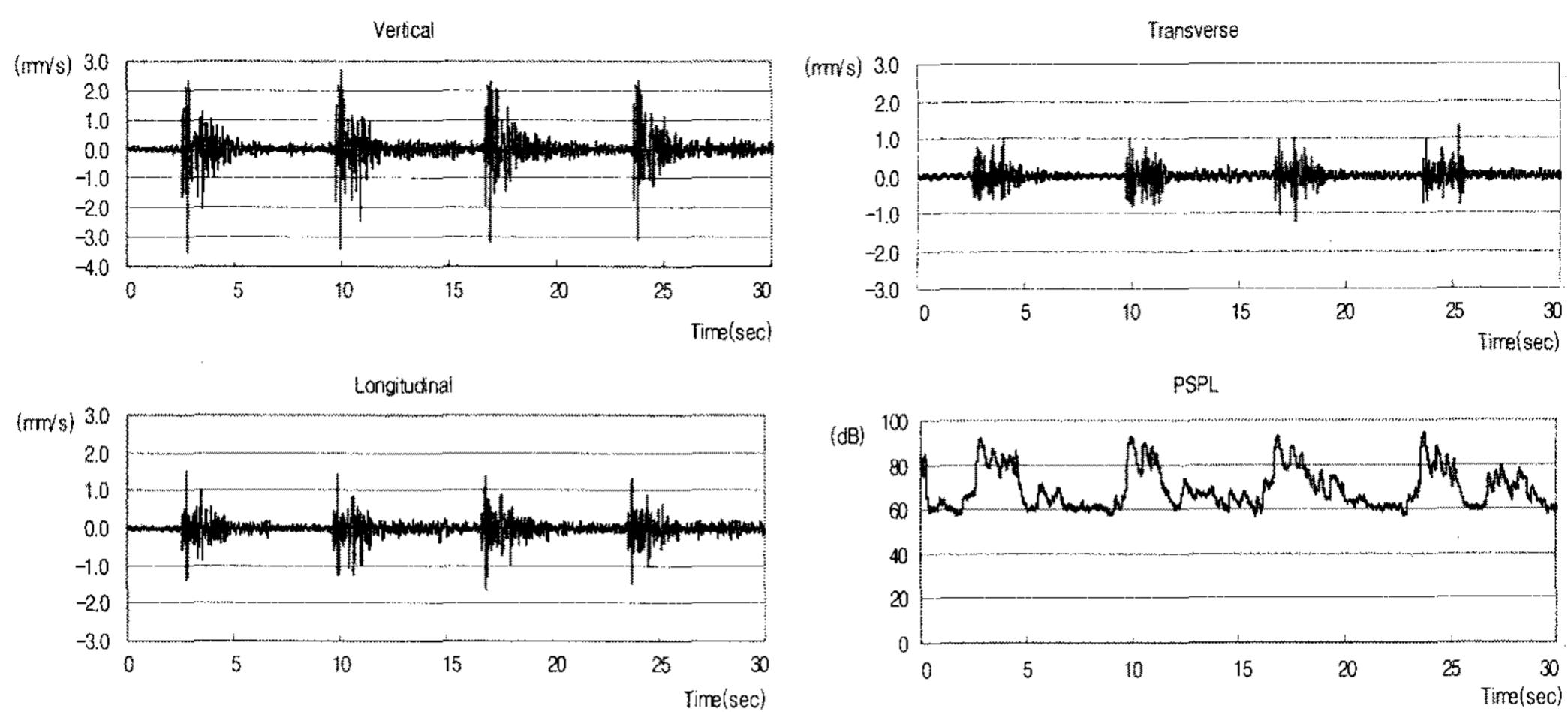


Fig. 3 Time histories for ground vibration and noise of the pile driving stage

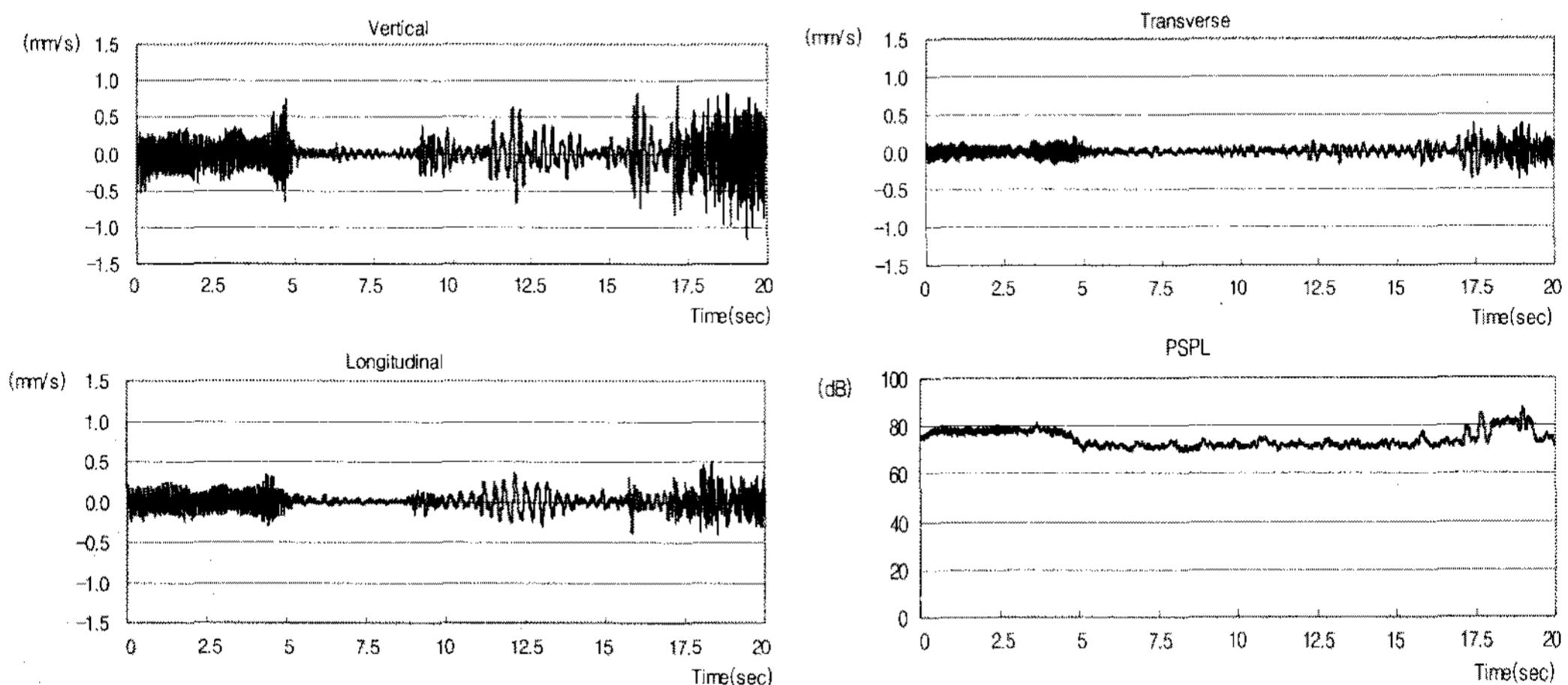


Fig. 4 Time histories for ground vibration and noise of the auger working stage

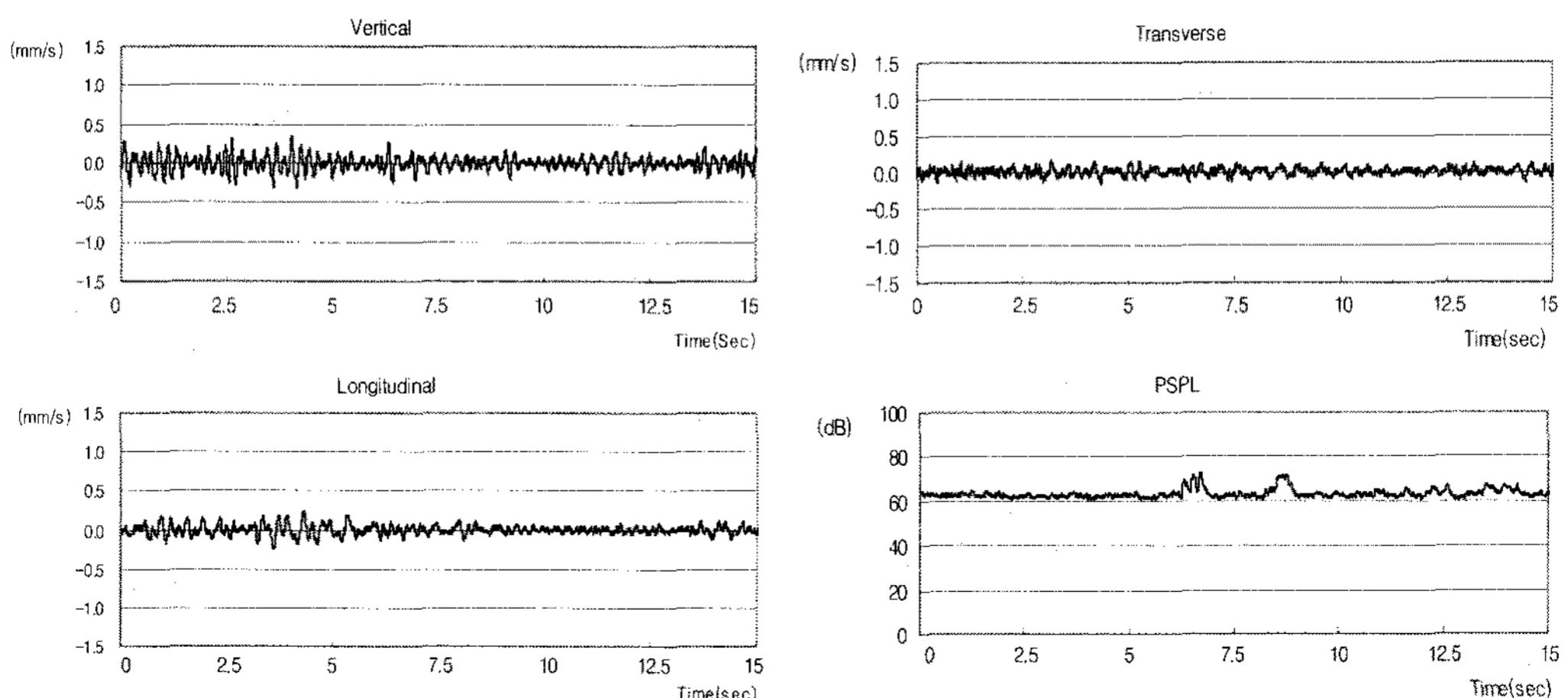


Fig. 5 Time histories for ground vibration and noise of the pull-up casing stage

Table 3 Test and analysis results for the pile driving stage

Pile No.	Dis. (m)	Weight (kN)	Height (m)	Energy (kN.m)	SD (D/E ^{1/2})	PVS (mm/s)	Velocity(mm/s) T/V/L	Freq. (Hz)	Acc.(g) T/V/L	Noise (dB(A))
1	5.80	29.4	3.0	88.2	0.618	3.95	1.98/4.14/1.87	10/9/7	0.037/0.082/0.048	97.2
	7.80	29.4	3.0	88.2	0.831	3.80	1.23/3.75/1.28	5/15/8	0.014/0.080/0.063	90.7
	14.20	29.4	3.0	88.2	1.512	2.92	1.48/2.24/2.28	8/16/11	0.025/0.067/0.024	-
2	5.80	29.4	3.0	88.2	0.618	4.04	2.27/3.70/2.16	24/64/22	0.063/0.099/0.059	95.8
	14.20	29.4	3.0	88.2	1.512	2.47	0.71/2.06/0.68	43/42/12	0.036/0.099/0.036	92.9
3	7.30	29.4	2.5	73.5	0.851	3.26	1.83/3.46/1.67	9/8/6	0.034/0.068/0.043	91.3
	13.25	29.4	2.5	73.5	1.546	1.88	0.81/1.54/1.08	3/12/6	0.009/0.063/0.053	88.0
	13.50	29.4	2.5	73.5	1.575	2.62	1.78/2.55/0.84	4/14/4	0.013/0.057/0.009	-
4	7.30	29.4	2.5	73.5	0.851	3.10	1.87/3.19/1.77	10/7/7	0.035/0.063/0.045	94.6
	13.25	29.4	2.5	73.5	1.546	1.75	1.13/1.19/1.71	28/46/29	0.099/0.116/0.079	93.1
	13.50	29.4	2.5	73.5	1.575	1.77	0.70/1.73/1.40	41/15/23	0.026/0.053/0.023	-
5	7.00	29.4	2.5	73.5	0.816	3.49	1.97/3.71/1.61	10/8/6	0.036/0.073/0.041	-
	10.00	29.4	2.5	73.5	1.166	2.02	1.68/2.85/1.21	7/12/5	0.020/0.061/0.059	90.9
	13.00	29.4	2.5	73.5	1.516	1.56	1.53/1.92/1.22	8/14/5	0.026/0.057/0.013	90.5
6	6.00	29.4	3.0	88.2	0.639	3.82	2.01/4.19/1.68	10/9/7	0.037/0.083/0.043	-
	9.00	29.4	3.0	88.2	0.958	3.01	1.37/2.85/1.41	6/12/9	0.016/0.061/0.069	94.4
	12.00	29.4	3.0	88.2	1.278	1.54	1.31/2.44/1.26	7/10/6	0.022/0.043/0.013	93.4
7	7.00	29.4	3.0	88.2	0.745	3.69	1.95/3.51/1.79	10/8/7	0.036/0.069/0.046	96.5
	11.00	29.4	3.0	88.2	1.171	2.74	1.10/2.62/1.14	4/11/7	0.013/0.056/0.023	94.5
	14.00	29.4	3.0	88.2	1.491	2.36	1.33/1.54/2.14	7/11/10	0.023/0.046/0.023	-

3.2 실험결과

실험결과 7본의 pile driving 동안 가장 큰 지반진동은 강관 pile 항타 단계에서 발생하였으며, 단순히 계측자료 중 가장 큰 지반진동은 5.8 m 떨어진 위치에서 계측된 4.04 mm/s이다. 진동발생원과 5.8~14.2 m 떨어진 곳에서 지반진동치는 auger 작업단계에서는 2.74~0.771 mm/s, casing 인발 작업 단계에서는 2.91~0.56 mm/s으로 계측되었다. 이러한 지반진동치는 동일한 거리를 기준으로 일반적인 항타 공법에 의한 10 mm/s 이상⁽⁶⁾의 진동치에 비해 우수한 진동저감 효과를 갖는 것으로 판단된다.

최대소음(Lmax)은 pile 항타단계에서 88~96.5 dB(A), auger 작업단계에서 82.6~99.8 dB(A), casing 인발단계에서 72.9~92.9 dB(A)의 범위로 나타나 소음저감 효과는 거의 없는 것으로 나타났다. 이러한 이유는 이 연구 대상이 되었던 pile driver 장비의 경우 본체에서 발생시키는 소음이외에도 전원공급을 위한 전기발전기와 강관 pile 내부 충진용 모르타르를 공급하기 위한 모르타르 믹싱 플랜트에서 발생되는 소음이 혼합되었기 때문이라 판단된다. Fig. 3~5는 PRD 공법 적용 단계별로 발생된 지반진동 시간 이력과 소음이력을 나타낸 것이다. Table 3에는 3가

지 작업단계 중 가장 큰 지반진동치를 발생시킨 pile 항타 작업단계에 대한 실험결과를 정리하였으며 Table 3의 실험결과는 추후 PRD공법에 대한 지반진동치 및 소음 추정식을 위해서 사용되었다.

4. 실험결과 분석 및 평가

4.1 진동 및 소음 추정식

PRD공법을 이용하여 pile driving하는 동안 발생되는 지반의 진동속도 추정식을 제안하기 위하여 거리와 해머에너지의 곱에 의해 산정된 환산거리와 지반진동치, 그리고 환산거리와 소음 값의 관계를 log-log축을 사용하여 회귀분석한 결과를 Fig. 6과 Fig. 7에 각각 나타내었다. 분석결과 진동추정식을 50%, 90%, 95%의 신뢰도 수준에 따라 2.798 (SD)^{-0.793}, 3.485(SD)^{-0.793}, 3.705(SD)^{-0.793}으로 각각 제안하였다. 상관계수 r은 -0.858로 상관정도가 양호한 것으로 밝혀졌으나 소음의 경우에는 상관계수 값이 -0.359로써 극히 낮은 상관정도를 보이는 것으로 나타나 일반화된 소음추정식으로 사용하기에는 부적합 할 것으로 판단되며, 추후 보다 많은 data를 축적하여 소음추정식을 재 산정하는 것이 필요함을 의미한다⁽⁷⁾. 제안된 진동추정식의 해머에너지

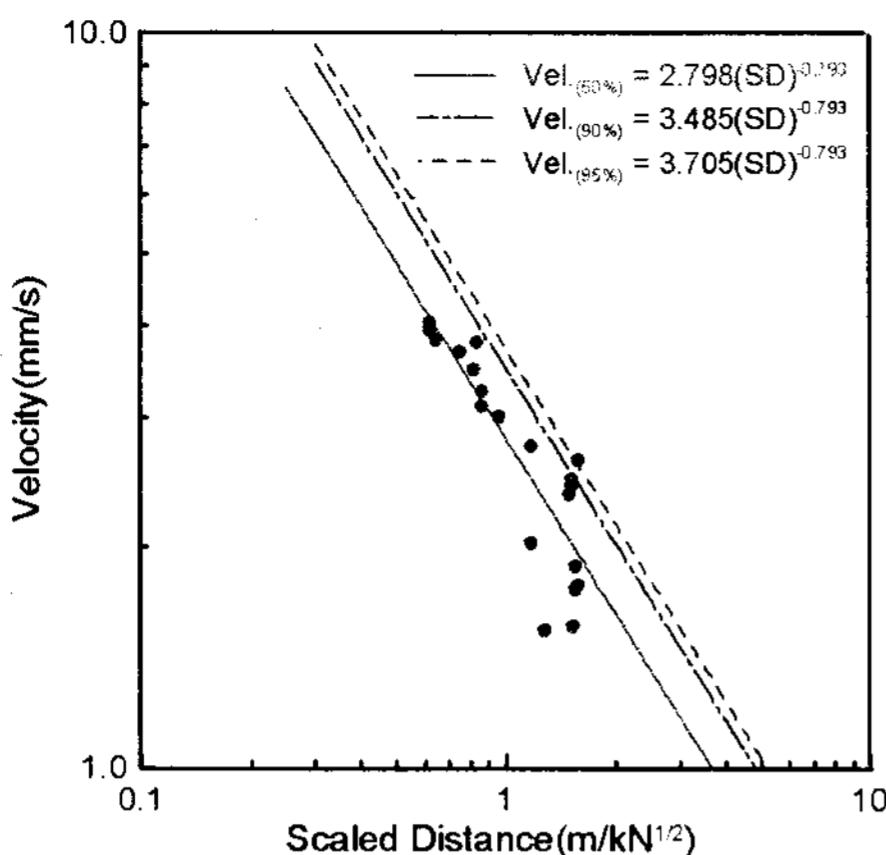


Fig. 6 Equations for velocity response

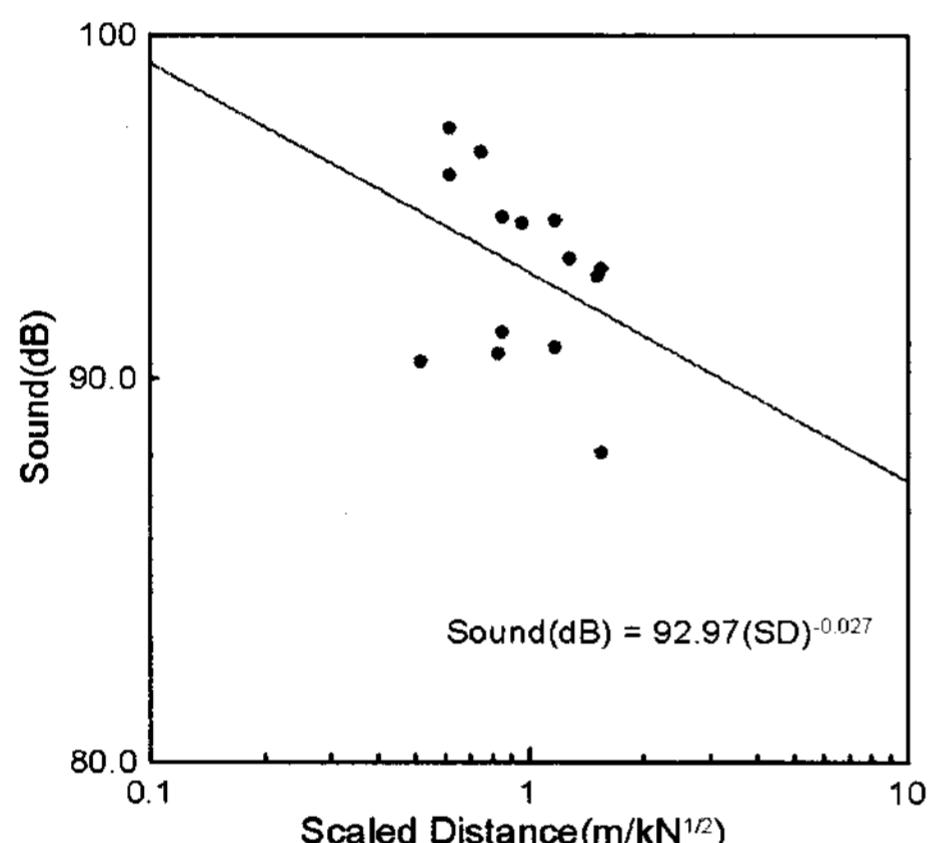


Fig. 7 Equations for noise response

는 73.5~88.2 kN·m의 범위를 갖는다.

4.2 일반 Pile 항타 공법과의 진동치 비교

Table 4에는 해머무게 29.4 kN, 낙하높이 3.0 m로 써 항타에너지 88.2 kN·m를 기준으로 이 연구에서 제안한 Table 3의 진동추정식과 sheet pile 항타를 대상으로 한 Attewell & Farmer의 추정식, 콘크리트 pile driving을 대상으로 한 Prof. Park etc.의 추정식을 비교하여 정리하였다.

Table 4의 결과를 그래프로 나타낸 것이 Fig. 8이다. PRD공법을 적용하는 경우 일반적인 공법을 사용하는 것 보다 상대적으로 낮은 수준의 진동이 발생됨을 확인 할 수 있다. Table 4와 Fig. 8에서 PRD 공법에 의한 지반진동과 Attewell과 Farmer의 제안식, Prof. Park etc.에 의한 제안식을 직접 비교하는 것은 해머에너지 적용범위, 지질조건, 진동전달 매질

Table 4 Vibration influence estimation and comparison on PRD and general methods (unit : mm/s)

Dis. (m)	Scaled Dis. ($D/E^{1/2}$)	PRD			Attewell & Farmer		Prof. Park etc.	
		50 %	90 %	95 %	50 %	50 %	90 %	90 %
5	0.532	4.61	5.75	6.11	89.28	38.19	75.44	
6	0.639	3.99	4.97	5.29	66.57	31.04	61.31	
7	0.745	3.53	4.40	4.68	51.94	26.05	51.46	
8	0.852	3.18	3.96	4.21	41.89	22.38	44.21	
9	0.958	2.89	3.60	3.83	34.66	19.58	38.67	
10	1.065	2.66	3.32	3.53	29.25	17.37	34.30	
12	1.278	2.30	2.87	3.05	21.81	14.11	27.88	
14	1.491	2.04	2.54	2.70	17.02	11.84	23.40	
16	1.704	1.83	2.28	2.43	13.72	10.18	20.10	
18	1.917	1.67	2.08	2.21	11.35	8.90	17.58	
20	2.130	1.54	1.91	2.03	9.58	7.90	15.60	
25	2.662	1.29	1.60	1.70	6.69	6.13	12.10	
30	3.194	1.11	1.39	1.48	4.99	4.98	9.84	
40	4.259	0.89	1.10	1.17	3.14	3.59	7.09	
50	5.324	0.74	0.93	0.98	2.19	2.79	5.50	

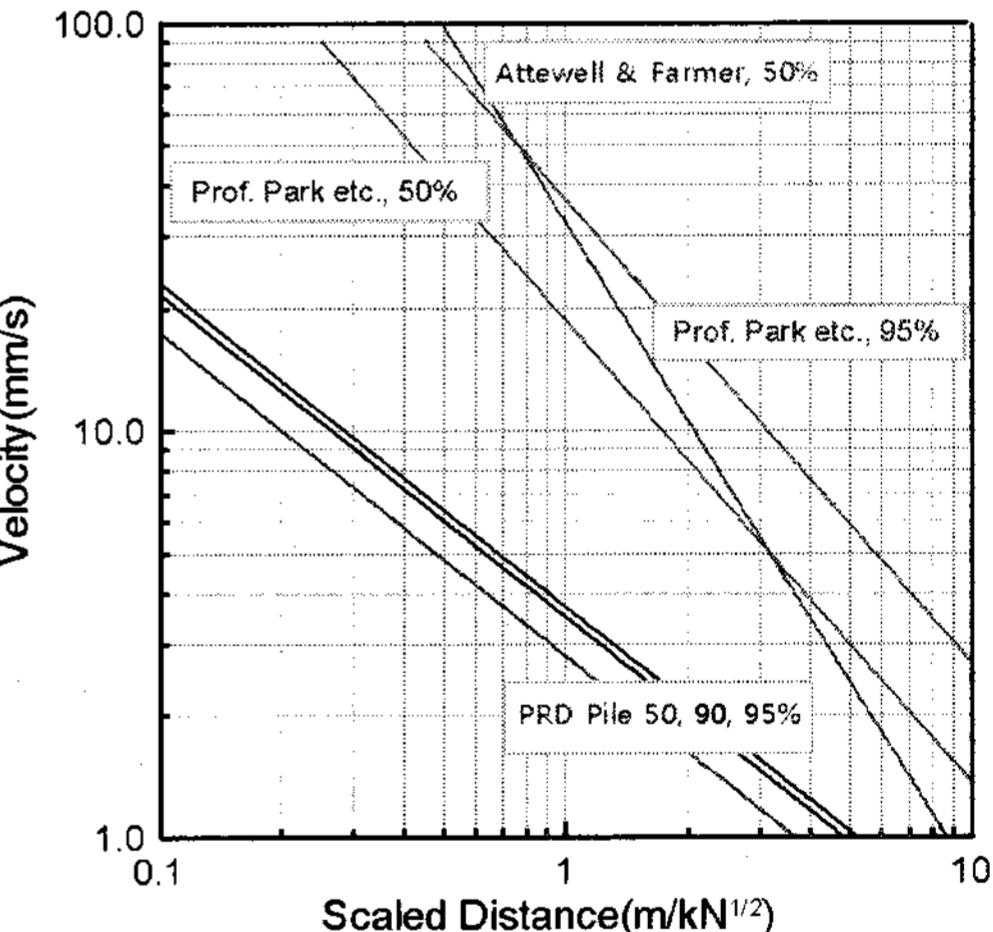


Fig. 8 Comparison on velocity responses induced by PRD and general methods

의 변화, 주변환경 등의 많은 변수들을 동일하게 만들여주는 과정이 우선되어야 하겠으나, 현 단계에서 이러한 모든 조건을 동일하게 치환하여 비교하는 것은 현실적으로 어려운 점이 많은 것이 사실이다. 우선적으로 파일의 종류와 같은 몇 가지 변수들은 동일하다는 가정 하에 거리(D)와 해머에너지(E)를 고려한 환산거리와 진동치를 비교하여 제시한 연구의 결과인 Table 4와 Fig. 8만으로도 건설현장에서

공법 선택을 위한 가이드라인으로 적용될 수 있을 것으로 판단된다.

4.3 진동 및 소음 평가

PRD공법에 의해 발생될 것으로 추정되는 지반진동치를 국내 건설공사 현장에서 널리 적용되고 있는 Table 1의 진동허용기준과 비교하여 Table 4에 음영으로 표시하였다. 분석된 항타진동의 탁월진동수가 대부분 35 Hz 이하라는 점을 고려하여 35 Hz 이하의 진동규준을 적용하였다⁽⁵⁾.

Class 구분은 문화재 또는 보존이 필요한 역사적 시설물을 의미하는 Class I(2.0 mm/s 이하)과 작은 균열이 있는 주택, 아파트 또는 상가건물을 의미하는 Class II(5.0 mm/s 이하)를 대상으로 진동규준 만족여부를 검토하여 PRD공법의 경우 시공이 가능한 범위를 예시하였다. 굵은 실선이 둘러싸고 있는 영역은 Class I을 만족하는 범위이며, 굵은 점선이 둘러싸고 있는 영역은 Class II를 만족하는 작업범위를 의미한다. Attewell & Farmer의 제안식이나 Prof. Park etc.에 의한 제안식에 의한 값들을 비교할 때 진동저감 효과는 탁월한 것을 알 수 있다.

신뢰도 50 % 진동식을 기준으로 할 때 이격거리 5~50 m의 범위 내에서 PRD 공법에 의한 지반진동치는 Attewell & Farmer의 제안식에 의한 지반진동치의 5~34 %의 수준에 해당하며, Prof. Park etc.의 제안식에 의한 지반진동치의 12~26 %의 수준에 해당하는 것으로 밝혀졌다.

진동에 비해 최대소음(Lmax)의 경우에는 50 m 이격거리가 확보된 상태에서도 소음이 88.9 dB(A)로 추정되어 건설소음규제기준에서 제시하는 가장 소극적인 소음규준인 85 dB(A)도 만족하지 못하는 것으로 평가되었다⁽⁵⁾. 그러나 소음의 경우 4.1절에서도 언급했던 것처럼 상관계수 값이 너무 낮아 소음 저감 정도를 어떠한 수치나 %를 사용하여 평가하기에는 무리가 있으며, 일반적인 경향을 파악할 수 있는 정도에서 만족해야 할 것으로 판단된다.

결과적으로 진동에 대해서는 상당부분 저감효과가 입증되었으나 소음은 일반적인 타 공법과 비교하여 저감효과가 거의 없는 것으로 분석되었다. 이러한 결과에 근거할 때 흔히 사용되는 무진동·무소음 공법이라는 용어보다는 저진동 공법으로 호칭하는 것이 보다 바람직할 것으로 판단되며, 향후 다양한 무진동·무소음 공법을 대상으로 진동 및 소음 저감 효과에 대한 정량적인 검증이 계속되어야 할 것으로 판단된다.

5. 결 론

PRD공법의 pile driving 시 발생되는 진동과 소음을 정량적으로 계측·분석하여 진동 및 소음 추정식을 제안하고 이를 바탕으로 진동·소음 평가를 수행한 이 연구의 결과는 다음과 같다.

(1) PRD공법에 의해 pile driving이 이루어지는 과정을 “auger 작업단계”, “casing 인발 작업단계”, “pile 항타단계”로 구분하여 진동 및 소음을 측정한 결과 최대지반 진동은 pile 항타단계에서 측정되었으며, 최대 소음은 auger 작업단계에서 측정되었다.

(2) 계측 및 분석결과를 기준으로 50 %, 90 %, 95 %의 신뢰도 수준에 따라 진동추정식을 $2.798(SD)^{-0.793}$, $3.485(SD)^{-0.793}$, $3.705(SD)^{-0.793}$ 으로 각각 제안하였다. 신뢰도 50 % 진동식을 기준으로 할 때 이격거리 5~50 m의 범위 내에서 PRD공법에 의한 지반진동치는 Attewell & Farmer의 제안식에 의한 지반진동치의 5~34 %의 수준에 해당하며, Prof. Park etc.의 제안식에 의한 지반진동치의 12~26 %의 수준에 해당하는 것으로 분석되어 지반진동의 저감효과는 우수한 수준임을 입증하였다.

(3) 소음의 경우에는 50 m 이격거리가 확보된 상태에서도 88.9 dB(A)로 추정되어 국내의 건설소음규제기준에서 제시하는 가장 소극적인 소음규준인 85 dB(A)도 만족하지 못하는 것으로 평가되어 일반적인 타 항타공법과 비교하여 소음저감효과는 거의 없는 것으로 분석되었다.

(4) 이러한 결과에 근거할 때 흔히 사용되는 무진동·무소음 공법이라는 용어보다는 저진동 공법으로 호칭하는 것이 보다 바람직할 것으로 판단되며, 향후 다양한 무진동·무소음 공법을 대상으로 진동 및 소음 저감 효과에 대한 정량적인 검증이 계속되어야 할 것으로 판단된다.

참 고 문 현

- Lee, H. Y., Yoon, H. D., Jo, W. H. and Kim, J. S., 1999, "A Study on the Characteristics of Propagation and Attenuation of Piling Noise by SIP Method with Casing", Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 9,

No. 5, pp. 899~905.

(2) Dowling, C. H., 1996, "Construction Vibrations", Prentice Hall.

(3) Park, Y. S., Lee, D. Y. and Jun, J. S., 1989, "A Study on Influence Evaluation and Counter-measure of Construction Vibration(I, II)", Daewoo Engineering Technical Research Institute.

(4) Chopra, A. K., 1995, "Dynamics of Structures", Prentice Hall.

(5) Ministry of Construction and Transportation,

2002, "Allowable Standard Examination for Noise and Vibration by Blasting(Suggestion)", Audit and Inspection Office.

(6) Park, S. J., Park, Y. S., et al, 2002, "Suggestion of Vibration Criteria for Fresh Concrete Considering Early Strength Increase", Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 12, No. 6., pp. 453~460.

(7) Park, J. S. and Yoon, Y. S., 1997, "Modern Statistics", Dasan Press.