

## 매개변수연구를 통한 진동타입말뚝 해석기법 평가

이승현<sup>1</sup>, 이수형<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>선문대학교 토목공학과, <sup>2</sup>한국철도기술연구원 광역도시교통연구본부

### Evaluation of Analysis Technique for Piles Driven by Vibration through Parametric Study

Seung-Hyun Lee<sup>1</sup> and Su-Hyung Lee<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Civil Engineering, Sunmoon University

<sup>2</sup>Korea Railroad Research Institute, Metropolitan Transportation Research Center

**요 약** 진동해머에 의해 시공되는 말뚝의 해석기법을 개발하고 매개변수연구를 수행하여 개발된 해석기법의 신뢰성을 평가해보았다. 편심모멘트와 진동수에 따른 매개변수해석을 통해 구한 가속도를 비교분석해 본 결과 최대가속도의 크기는 대략적으로 편심모멘트에 비례하였으며 진동수의 제곱에 비례하였다. 또한 변위진폭은 편심모멘트에 비례하는 결과를 나타내었고 진동수에는 거의 영향을 받지 않았는데 이러한 경향은 공운전선의 거동특성과 유사하다. 매개변수 해석을 통해 구한 동적 하중전이곡선을 비교해 볼 때 편심모멘트와 진동수의 크기에 관계없이 최대 동적단위선단저항력의 크기는 동일하였으며 최대 동적단위주면마찰력의 크기는 편심모멘트에 영향을 받으나 진동수와는 무관하였다. 매개변수해석결과를 종합적으로 비교분석해 볼 때 개발된 해석기법은 합리적인 해석결과를 보인다고 볼 수 있다.

**Abstract** Technique for analyzing a pile installed by vibrohammer was developed and parametric studies were executed in order to evaluate reliability of the developed technique. Comparing the accelerations obtained from parametric studies of varying eccentric moment and frequency, it can be seen that magnitude of maximum acceleration was proportional to the eccentric moment and square of frequency. It can also be seen that amplitude of displacement was roughly proportional to the eccentric moment but has nothing to do with the frequency. It can be said that all of the analysis results reflect characteristics of behavior of a pile in case of free vibration. Comparing the dynamic load transfer curves, maximum dynamic unit toe resistance was constant regardless of the eccentric moment and the frequency and it can be seen that dynamic unit skin friction was affected by the eccentric moment not by frequency. Comparing all of the analysis results, it can be said that the developed technique is reliable.

**Key Words** : Analysis technique, Parametric study, Eccentric moment, Frequency, Dynamic load transfer curve

### 1. 서론

슈트파일은 주로 구조물을 지지하거나 흙 또는 물에 대한 차단벽을 형성하는데 사용되고 있다. 슈트파일을 시공하는 기본방법으로는 타입방법, 진공관입 그리고 압입 방법을 들 수 있다. 역사적 관점에서 보면 초기에는 말뚝과 슈트파일을 설치하는데 타입해머가 사용되다가 1930년대 초반 Barkan [1]에 의해 타입해머의 대안으로 진동

해머의 사용이 고려되기 시작하였다. 1970년대 이후로 전세계적으로 진동해머의 사용이 급증하기 시작하였는데 이는 저소음과 슈트파일에 미치는 두부손상이 적다는 장점에다 시공성(vibro-driveability)이 뛰어난 점 때문이다 [2]. 진동해머에 의해 시공되는 말뚝의 양에 비해 진동시 말뚝의 거동에 대한 연구는 미진한 실정에 있는데 현재 까지 제안된 말뚝의 진동거동 해석법을 대별하면 매개변수에 의한 방법(Parametric method), 하중평형법

\*Corresponding Author : Su-Hyung Lee(Korea Railroad Research Institute)

Tel: +82-31-460-5399 email: geoxlee@krii.re.kr

Received October 7, 2013

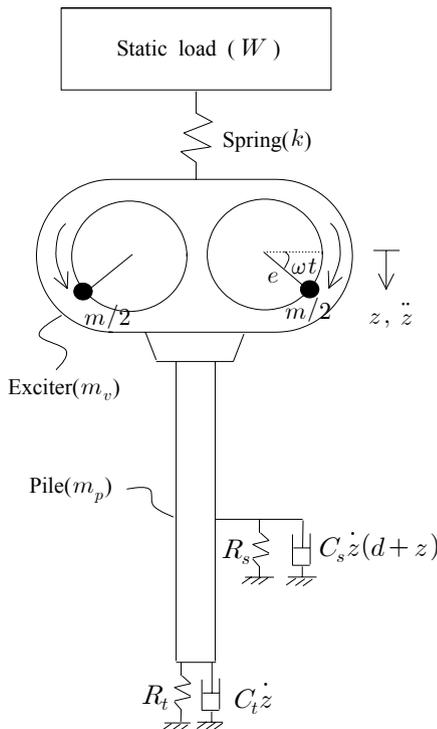
Revised December 9, 2013

Accepted March 6, 2014

(Force-balance method), 에너지평형법(Energy-balance method), 운동량보존법(Momentum-conservation method) 그리고 운동방정식에 의한 적분법(Integration of the laws of motion) 으로 나타낼 수 있다[3-6]. 이러한 기존의 해석방법들도 진동시 말뚝의 거동을 설명하기 위해 진동시스템을 너무 단순하게 묘사하거나 반경험적 내용을 포함하고 있어 말뚝의 진동거동을 설명하는데 있어서는 부족한 점이 많다. 본 연구에서는 진동해머-말뚝-지반으로 구성되는 진동시스템에 대한 해를 구하기 위해 개발된 해석기법을 이용하여 매개변수연구를 수행하여 말뚝거동을 비교분석하고 그를 통해 해석기법의 신뢰성을 검증해 보고자 하였다. 매개변수연구에서는 구체적으로 진동해머를 구성하는 편심모멘트와 진동수를 달리하여 해석을 수행하고 그 결과를 비교분석하였다.

## 2. 해석기법

진동해머와 말뚝 그리고 지반에 의해 구성되는 진동시스템을 간단하게 나타내면 Fig. 1과 같다. 그림에 나타나 있는 바와 같이 진동해머는 크게 정적하중( $W$ , Static load)과 기진기(Exciter)로 구성되어 있으며 정적하중과



[Fig. 1] Vibration system

기진기는 스프링으로 연결되어 있어 진동시 기진기의 진동이 정적하중에 전달되지 않도록 하는 역할을 하게 된다. 진동력은 서로 반대방향으로 회전하는 한 쌍의 편심 질량(Eccentric mass)의 회전에 의해 발생하게 된다. Fig. 1에는 말뚝의 주면 및 선단에 동적 지반저항력이 스프링과 대쉬팟(Dashpot)으로 묘사되어 있다.

공운전시 즉, 말뚝과 지반저항력이 없는 경우의 해( $z$ )는 식 (1)과 같이 표현된다[7].

$$z = \frac{me\omega^2}{m_v(\omega_n^2 - \omega^2)} \sin\omega t \quad (1)$$

식 (1)에서  $me$ 는 편심모멘트를 의미하고  $\omega$ 는 편심질량( $m$ )의 회전각속도를 의미하는데  $\omega = 2\pi f$ 로 표현되며  $f$ 는 진동수를 의미한다.  $\omega_n$ 은 자연진동수(Natural frequency)로서  $\sqrt{k/m_v}$ 이다. Fig. 1에 나타난 진동시스템에 대하여 식 (2)와 같은 지배방정식을 얻을 수 있다.

$$m_{v+p}\ddot{z} = me\omega^2\sin\omega t - C_s\dot{z}(d+z) - C_t\dot{z} - kz - R_s - R_t + W + m_{v+p}g - R_c \quad (2)$$

식 (2)에서  $m_{v+p}$ 는 기진기와 말뚝 질량의 합을 의미한다.  $z$ ,  $\dot{z}$  그리고  $\ddot{z}$ 는 각각 기진기와 말뚝의 연직변위, 속도 그리고 가속도를 의미한다.  $d$ ,  $k$  그리고  $g$ 는 각각 말뚝의 근입깊이, 스프링상수 그리고 중력가속도를 의미한다.  $R_s$ 와  $R_t$ 는 각각 스프링으로 묘사한 동적 주면마찰력과 선단저항력을 의미한다. 식 (2)에서 말뚝 단위길이당 댐핑계수,  $C_s$ 는 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다[8,9].

$$C_s = 2\pi r_0 \sqrt{\rho_s G_s} \quad (3)$$

식 (3)에서  $r_0$ ,  $\rho_s$  그리고  $G_s$ 는 각각 말뚝 반지름, 지반의 질량밀도 그리고 지반의 전단탄성계수를 나타내는데  $\rho_s$ 는 식 (4)와 같이 표현된다.

$$\rho_s = G_s/v_s^2 \quad (4)$$

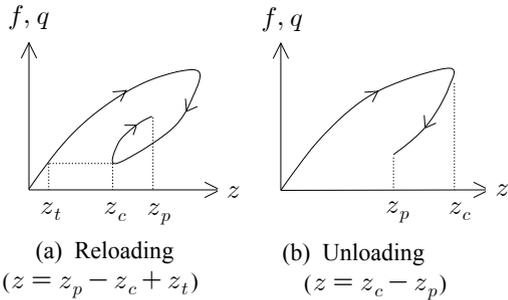
식 (4)에서  $v_s$ 는 말뚝 주변지반에서의 전단파속도를 의미한다. 식 (2)에 나타나 있는 말뚝선단에서의 댐핑계

수,  $C_t$ 는 탄성반무한지반의 지표면에 놓여 있는 강성 디스크의 연직진동해석을 통해 식 (5)와 같이 나타낼 수 있다[10].

$$C_t = \frac{3.4r_0 \sqrt{\rho_s G_s}}{(1 - \nu_s)} \quad (5)$$

식 (5)에서  $\nu_s$ 는 지반의 포아송비를 의미한다. 식 (2)의 마지막 항인  $R_c$ 는 클러치저항력(clutch friction 또는 interlock friction)을 의미하는데 인접해 있는 슈트파일에 연결하여 시공하는 경우 연결부에 발생하는 저항력을 의미한다.

식 (2)에 나타낸 미분방정식의 해는 수치해석을 통해 그 해를 구할 수 있다. 식 (2)에서 진동타입기에 의해 설치되는 말뚝의 상하진동은  $me\omega^2 \sin \omega t$ 로 표현되는 진동력에 의해 유발되는데 그에 따라 지반의 동적 저항력인  $R_s$ 와  $R_t$ 도 방향이 상하로 바뀌게 된다. 본 연구에서는 말뚝의 상하운동에 따른 지반저항력을 수정 Ramberg-Osgood 모델로 모사하였는데 말뚝의 변위에 따른 동적단위주면마찰력( $f$ )과 동적단위선단저항력( $q$ )의 재하(Reloading) 및 제하(Unloading)에 따른 변화양상은 Fig. 2와 같다.  $R_s$ 는  $f$ 에 말뚝주면의 면적을 곱하여 구할 수 있고  $R_t$ 는  $q$ 에 말뚝 단면적을 곱하여 구할 수 있다.



[Fig. 2] Loading paths for the proposed model

Fig. 2에서 변위  $z_p$ 는 현재의 변위(Present displacement)를 나타내고  $z_c$ 는 이전 계산단계에서 변위의 방향이 바뀔 때의 변위(Displacement at the last reversal)를 나타낸다.  $z_t$ 는 제하에서 재하로 바뀔 때의 저항력에 대응하는 변위(Local displacement corresponding to the stress level at the previous reserval)

를 나타낸다. Fig. 2를 참조하여 제안된 동적단위주면마찰력의 재하 및 제하시의 식은 각각 식 (6) 및 식 (7)과 같다.

$$f_{RL} = \left[ \frac{E_f z}{\left(1 + \left| \frac{E_f z}{f_0} \right|^{n_f}\right)^{1/n_f}} + E_{pf} z \right] F_f - f_n \quad (6)$$

$$f_{UL} = f_c - \frac{E_f(z_c - z_p)}{\left(1 + \left| \frac{E_f(z_c - z_p)}{f_0} \right|^{n_f}\right)^{1/n_f}} F_f + E_{pf}(z_c - z_p) F_f \quad (7)$$

Fig. 2에서 동적단위선단저항력을 재하 및 제하로 나누어 나타내면 식 (8) 및 식 (9)와 같다.

$$q_{RL} = \left[ \frac{E_q z}{\left(1 + \left| \frac{E_q z}{q_0} \right|^{n_q}\right)^{1/n_q}} \right] F_q (1 - e^{-Kz}) \quad (8)$$

$$q_{UL} = q_c - \left[ \frac{E_q(z_c - z_p)}{\left(1 + \left| \frac{E_q(z_c - z_p)}{q_0} \right|^{n_q}\right)^{1/n_q}} \right] \times F_q [1 - e^{-K(z_c - z_p)}] \quad (9)$$

식 (6)~(9)에서  $E_f$ 와  $E_q$ 는 각각  $f-z$ 곡선과  $q-z$ 곡선에서 초기부분의 경사와 소성영역에서의 경사의 차이를 의미한다.  $f_0$ 와  $q_0$ 는 참조값(Reference value)이고  $n_f$ 와  $n_q$ 는 형상계수(Shape factor)이다. 그리고  $E_{pf}$ 와  $E_{qf}$ 는 각각  $f-z$ 곡선과  $q-z$ 곡선에서 소성부분의 경사를 의미한다.  $F_f$ 와  $F_q$ 는 조정계수(Fitting factor)를 의미하고  $f_n$ 은 최대 부(-)의 단위주면마찰력(Maximum negative skin friction)을 의미한다.  $f_c$ 와  $q_c$ 는 Fig. 2(b)에서  $z_c$ 에 대응하는 저항력을 의미한다.  $K$ 는  $q-z$ 곡선의 진폭(Amplitude)을 조절하는 상수이다. 제하에서 재하로 바뀌어 저항력이 증가하는 단계에서의 저항력을 구하기 위한 변위는 Fig. 2(a)에 나타나 있는 바와 같이  $z = z_p - z_c + z_t$ 로 계산하여야 하는데 먼저 최소 저항력에 대응하는 변위,  $z_t$ 를 적절한 방법을 이용하여 계산해야 한다. 변위  $z_t$ 를 결정하기 위한 방법으로

Newton-Raphson 방법을 적용하여 비교적 빠르게 수렴하는 해를 구할 수 있다. 식 (2)에 나타난 지배방정식의 해를 구하기 위해 Runge-Kutta 방법을 적용하였다[11].

### 3. 매개변수연구

앞서 나타난 해석방법을 적용하여 진동해머에 의해 시공되는 말뚝 해석기법을 개발하였으며 매개변수연구를 통하여 해석기법의 신뢰성을 살펴보았다. 매개변수연구에서 고려한 매개변수는 진동해머의 기진력을 결정하는 편심모멘트( $me$ )와 진동수( $f$ )이다. 해석에 사용된 진동 타입기는 CM2-120로 전기에 의해 작동되는 자유매달림 형식(Free-hanging type)이다. 진동해머의 제원은 Table 1에서와 같다.

[Table 1] Performance data for vibrohammer

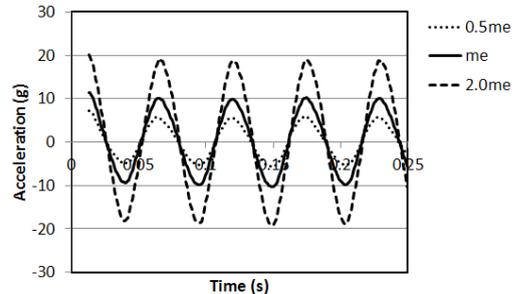
Eccentric Moment (kg·m)	40
Frequency (Hz)	18.33
Vibrational Amplitude (m)	0.0072
Motor Power (kW)	90
Total Weight of Driver (kN)	64.7
Dynamic Weight of Driver (kN)	54.4
Vibrational Acceleration (g)	9.8
Static Load (kN)	50
Spring constant (kN/m)	1394.5

해석에 사용된 말뚝은 U형 강널말뚝(SPIIIA(D))으로서 길이는 12m 이고 폭, 높이 그리고 두께는 각각 400mm, 150mm 그리고 13mm이다. 강널말뚝의 단면적, 둘레길이 그리고 단위중량은 각각  $76.4cm^2$ ,  $119.2cm$  그리고  $60kg/m$  이다. 해석에 적용한 지반자료는 Table 2에 요약하여 나타내었는데 댐핑상수 및 수정 Ramberg-Osgood 모델과 관련한 지반자료는 기존의 자료를 참고하여 결정한 것이다[12,13]. 해석에 적용한 시간 증분량,  $h$ 는  $0.0008694 s$  이다. 매개변수연구에서 고려한 편심모멘트는 Table 1에 나타난 편심모멘트( $me$ )와  $0.5me$  그리고  $2.0me$ 이다. 또한, 매개변수연구에서 고려한 진동수는 Table 1에 나타난 진동수( $f=18.33$ )와  $0.8f$  그리고  $1.2f$ 이다.

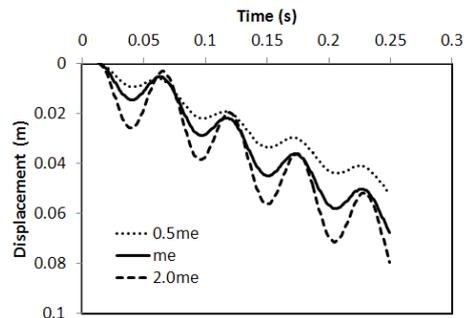
[Table 2] Soil data for analysis

Radiation damping :	
$C_s = 5.214 \frac{kN}{m/s \cdot m}$	$C_t = 4.03 \frac{kN}{m/s}$
Ramberg-Osgood model :	
$E_f = 23723kPa$	$f_0 = 32.301kPa$
$n_f = 1.188$	$E_{pf} = 176.9kPa$
$E_q = 4200000kPa$	$q_0 = 8043.503kPa$
$n_q = 4.488$	$F_f = 0.37814$
$f_n = 5.222kPa$	$F_q = 1.0, K = 500$

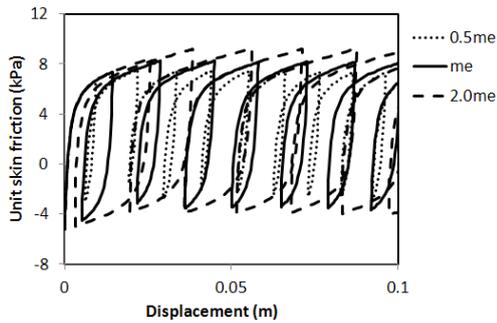
매개변수연구에서는 편심모멘트와 진동수에 따른 해석을 수행하여 가속도와 변위 그리고 동적지반저항력의 변화양상을 살펴보았다. 편심모멘트에 따른 거동특성을 살펴보기 위하여 해석을 수행하였으며 해석을 통해 구한 가속도, 변위, 동적단위주면마찰력 그리고 동적단위선단저항력은 Fig. 3과 같다.



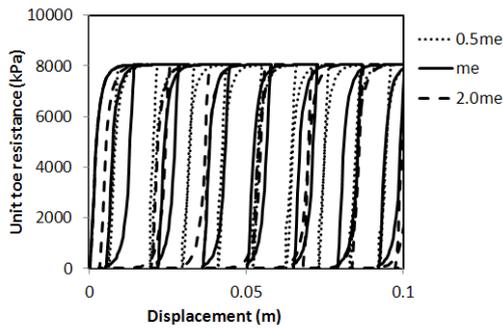
(a) Acceleration vs time



(b) Displacement vs time



(c) Dynamic skin load transfer curves



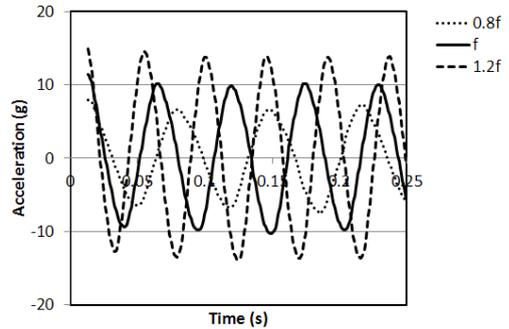
(d) Dynamic toe load transfer curves

[Fig. 3] Characteristics of behavior with eccentric moment

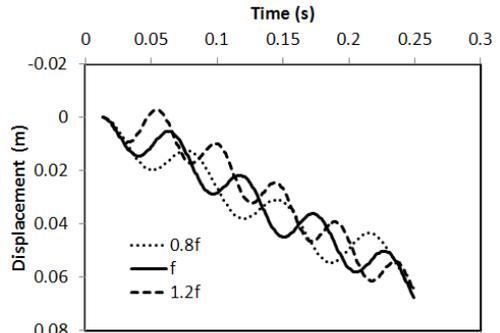
Fig. 3(a)에 나타나 있는 가속도곡선으로부터 편심모멘트의 크기에 관계없이 진동수는 일정하므로 최대가속도 발생 시간이 동일함을 알 수 있다. 가속도진폭은 편심모멘트가 클수록 커짐을 알 수 있는데 이는 기진력이 편심모멘트에 비례하기 때문으로 볼 수 있다. 편심모멘트가 0.5me 일 때와 2.0me 일 때의 최대가속도는 me 일 때의 최대가속도에 비해 각각 0.56배, 1.89배로서 편심모멘트비와 큰 차이가 없음을 알 수 있다. Fig. 3(a)를 통해 알 수 있듯이 초기시간에서의 가속도는 이후의 정상상태 (Steady state)일 때의 가속도보다 큼을 알 수 있는데 해석 결과의 신뢰성은 정상상태일 때 확보된다. 따라서 최대가속도는 정상상태 시간범위에서 결정해야 한다. Fig. 3(b)에 나타난 변위곡선으로부터 편심모멘트가 커질수록 변위진폭도 커짐을 알 수 있는데 이는 공윤전시의 진폭이 편심모멘트에 비례한다는 사실과 부합된다고 볼 수 있다. Fig. 3(c)와 Fig. 3(d)에는 각각 동적 주변하중전이곡선과 동적 선단하중전이곡선이 나타나 있는데 편심모멘트에 따른 연직변위의 크기를 반영한 하중전이곡선을 보이고 있으며 주변하중전이곡선의 경우 최대하중이 편심모멘트에 따라 다소 차이를 보인다. 즉 편심모멘트가 클수록 최

대하중이 커짐을 알 수 있다. 선단하중전이곡선의 경우 최대하중은 편심모멘트의 크기에 관계없이 일정함을 알 수 있다.

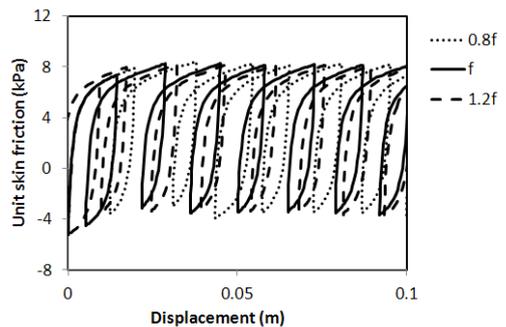
진동수에 따른 말뚝의 거동특성을 알아보기 위하여 해석을 수행하였으며 해석을 통해 구한 가속도, 변위, 동적 단위주면마찰력 그리고 동적단위선단저항력은 Fig. 4와 같다.



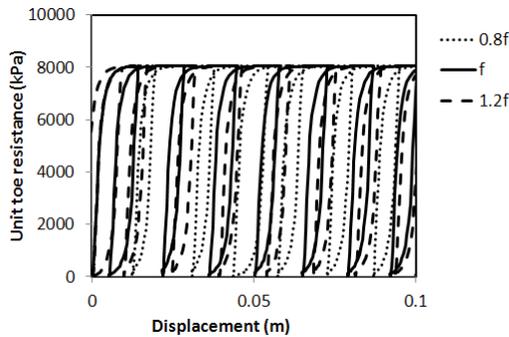
(a) Acceleration vs time



(b) Displacement vs time



(c) Dynamic skin load transfer curves



(d) Dynamic toe load transfer curves

[Fig. 4] Characteristics of behavior with frequency

Fig. 4(a)에 나타난 가속도곡선에서 고려한 진동수가 다르므로 최대가속도가 발생하는 시간이 다를 수 있다. 진동수가  $0.8f$  그리고  $1.2f$ 인 경우의 최대가속도는  $f$ 인 경우에 비해 각각  $0.67$ 배 그리고  $1.41$ 배 인데 공운전시의 가속도가 대략적으로 진동수의 제곱에 비례한다는 사실과 유사한 결과를 보여준다고 볼 수 있다. Fig. 4(b)에 나타난 변위곡선으로부터 진동수에 따른 변위진폭의 크기에 뚜렷한 차이가 없음을 알 수 있는데 이는 공운전시의 진폭이 진동수의 영향을 적게 받는다는 사실과 유사한 결과로 여겨진다. Fig. 4(c)와 Fig. 4(d)에는 각각 동적 주면하중전이곡선과 동적 선단하중전이곡선이 나타나 있는데 진동수에 따른 연직변위의 크기를 반영한 하중전이곡선을 보이고 있으며 선단하중전이곡선과 주면하중전이곡선에 있어 최대하중의 크기는 진동수의 영향을 거의 받지 않음을 알 수 있다. 이상에서 살펴본 바와 같이 편심모멘트와 진동수에 따른 매개변수 연구결과를 종합적으로 고려해 볼 때 개발된 해석기법은 대체로 합리적인 결과를 보임을 알 수 있다.

#### 4. 결론

진동해머에 의해 시공되는 말뚝의 해석을 위한 해석기법을 개발하였다. 개발된 해석기법을 평가해보기 위해 매개변수연구를 수행하였으며 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 편심모멘트와 진동수에 따른 매개변수해석을 통해 구한 가속도를 비교분석해 본 결과 최대가속도의 크기는 대략적으로 편심모멘트에 비례하였고 진동수의 제곱에 비례하는 결과를 보여주었는데 이는 공운전시의 가속도에 미치는 편심모멘트와 진동수

의 영향과 유사함을 알 수 있었다.

- 2) 편심모멘트와 진동수에 따른 매개변수해석을 통해 구한 말뚝의 연직변위를 비교분석해 볼 때 변위진폭은 대략적으로 편심모멘트에 비례하였고 진동수의 영향을 크게 받지 않음을 알 수 있었는데 이러한 결과는 공운전시의 변위진폭에 미치는 편심모멘트와 진동수의 영향을 반영한 결과로 보인다.
- 3) 매개변수해석을 통해 구한 동적 하중전이곡선을 비교해 볼 때 편심모멘트와 진동수의 크기에 관계없이 최대 동적단위선단저항력의 크기는 동일하였으며 최대 동적단위주면마찰력의 크기는 편심모멘트에 영향을 받으며 진동수와는 무관하였다.
- 4) 매개변수해석결과를 종합적으로 비교분석해 볼 때 개발된 해석기법은 대체적으로 합리적인 해석결과를 보임을 알 수 있으나 향후 현장시험결과와의 접목 등을 통해 해석기법의 신뢰성을 증대시킬 수 있는 다양한 인자를 정확하게 결정할 필요가 있다.

#### References

- [1] Barkan, D. D. (1957). "Foundation engineering and drilling by vibration method". Proc., Fourth Int. Conf. on Soil Mech. and Found. Engrg., 2, pp. 3-7.
- [2] Viking, K. (2002). Vibro-driveability, "A field study of vibratory driven sheet piles in non-cohesive soils", Doctorial thesis, Div. of Soil and Rock Mechanics, Royal Inst. of Technology, Stockholm, Sweden.
- [3] Holeyman, A.,(1993). HYPERVIB1, An analytical model-based computer program to evaluate the penetration speed of vibratory driven sheet piles., Research report prepared for BBRI, June-93, 23pp.
- [4] Meirovitch, L. (1975). Elements of Vibration Analysis. New York : McGraw-Hill.
- [5] Warrington, D.C. (1989). "Driveability of piles by vibration., Paper presented at Deep Foundation Institute 14th Annual Member Conf., pp. 139-154.
- [6] Vanden Berghe, J-F. and Holeyman, A.(1997), "Comparison of two models to evaluate the behavior of a vibratory driven sheet pile", XIth Young Geotechnical Engineers Conference and Computers, September 24-27, 1997, Madrid, Spain, pp. 60-72.
- [7] D. Wong, Michael W. O'Neill and C. Vipulanandan (1992). "Modelling of vibratory pile driving in sand", International Journal for numerical and analytical methods in geomechanics, Vol. 16, pp.189-210.

DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/nag.1610160303>

[8] S. L. Lee, Y. K. Chow, G. P. Karunaratne and K. Y. Wong (1988). "Rational wave equation model for pile-driving analysis", J. Geotech. Eng., ASCE, 114, (3), pp. 306-325.

DOI: [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9410\(1988\)114:3\(306\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9410(1988)114:3(306))

[9] M. F. Randolph and H. A. Simon (1986). "An improved soil model for one-dimensional pile driving analysis", Proc. Numer. Meth. Offshore Piling, 3rd Int. Conf., Nantes, France, May 21, 22, pp. 3-17.

[10] J. Lysmer and F. E. Richart (1966). "Dynamic response of footing to vertical loading", J. Soil Mech. Found. Eng., ASCE, 92, pp. 65-91.

[11] Kreyszig, E. (1984). Advanced Engineering Mathematics, John Wiley & Son, Inc., pp. 830-838.

[12] Bowles, J. E. (1988). Foundation analysis and design, McGraw-Hill, Inc., pp. 266.

[13] S. H. Lee, B. I. Kim and J. T. Han (2012). "Prediction of penetration rate of sheet pile installed in sand by vibratory pile driver", KSCE Journal of Civil Engineering, 16(3), pp. 316-324.

DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s12205-012-1317-y>

**이 수 형(Su-Hyung Lee)**

[정회원]



- 1994년 8월 : 서울대학교 토목공학과 (공학사)
- 1996년 2월 : 서울대학교 토목공학과 (공학석사)
- 2002년 2월 : 서울대학교 지구환경시스템공학부 (공학박사)
- 2003년 12월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 선임연구원

<관심분야>  
지반공학, 철도공학

**이 승 현(Seung-Hyun Lee)**

[정회원]



- 1988년 8월 : 서울대학교 토목공학과 (공학사)
- 1991년 2월 : 서울대학교 토목공학과 (공학석사)
- 1997년 2월 : 서울대학교 토목공학과 (공학박사)
- 2000년 3월 ~ 현재 : 선문대학교 토목공학과 교수

<관심분야>  
토질역학, 기초공학