

## 동재하시험시 Geometrical Damping으로 인한

### 말뚝 지지력의 과소평가 현상에 관하여

## Underestimation of Pile Bearing Capacity due to Geometrical Damping by Dynamic Pile Load Test

이우진<sup>1)</sup>, Woo-Jin Lee, 윤기항<sup>2)</sup>, Ki-Hang Yun, 이인모<sup>3)</sup>, In-Mo Lee, 윤성진<sup>4)</sup>, Sung-Jin Yun

<sup>1)</sup> 고려대학교 토목환경공학과 조교수, Assistant Professor, Dept. of Civil Engineering, Korea Univ.

<sup>2)</sup> 현대건설, Hyundai Construction Company

<sup>3)</sup> 고려대학교 토목환경공학과 교수, Professor, Dept. of Civil Engineering, Korea Univ.

<sup>4)</sup> 고려기초연구소 상무이사, Director of Korea Deep Foundation Institute

**SYNOPSIS** : Since the conventional methods of pile load test are not economical and time-consuming, researchers and engineers have tried to develop the better techniques for the estimation of the pile capacity. Several pile load test methods using equipments, such as Pile Driving Analyzer(PDA), STATNOMIC and Osterberg cell, have been introduced in Korea.

Since the first dynamic pile test using PDA was performed in 1994 in Korea, it becomes most popular testing method. But under the specific ground conditions, the presence of geometrical damping lessens the dynamic pile capacity of SIP's by 30~66%. All the SIP's are installed in the water borne granular ground and Sskin values of them are greater than 1.0s/m in CAPWAP results. Introducing the geometrical damping option in CAPWAP analysis gives reasonable pile capacities and lessens the Sskin value under 0.7m/s.

**Key words** : PDA, CAPWAP, geometrical damping, SIP

### 1. 개요

동재하시험 결과를 해석할때 특정지반조건하에서는 말뚝의 지지력이 실제보다 낮게 산정되는 경우가 발생할 수 있다. Linkins 등(1993)과 Thompson, Goble(1988)의 연구에 의하면 지하수위가 높게 위치한 모래지반에서 이런 현상이 발생할 가능성이 높은 것으로 밝혀졌다. 따라서 이러한 지반에 시공된 말뚝의 지지력을 산정하는데 있어서 CAPWAP(Case Pile Wave Analysis Program)을 이용할 경우 기존의 Smith(1960)가 제시한 지반모델로는 실제 지지력과 상당히 다른 값을 보일 수가 있다. Smith가 제시한 지반모델은 항타로 인한 에너지는 말뚝과 흙의 마찰에 의해서만 소산이 되는 것을 기본 가정으로 삼고 있다. 그러나 실제로는 항타로 인한 에너지는 말뚝-흙간의 마찰에 의한 것 뿐 아니라 말뚝에 흙이 부착되어 거동하면서 이때의 inertia effect에 의해서 에너지가 소산될 수가 있다. 이 부가적으로 소산되는 에너지는 지반의 종류, 말뚝의 형상 및 크기, 말뚝주면의 거칠기 등에 의해서 영향을 받는데, 이로 인해 지반의 damping 계수가 영향을 받게 된다. CAPWAP은 Smith의 모델을 기본적인 해석모델로서 채택하

고 있는데, geometrical damping이 발생한 경우 이 모델로는 말뚝의 지지력을 합리적으로 예측할 수가 없다. 따라서 이러한 damping을 고려한 지반모델이 필요하다.

그림 1과 같은 새로운 지반모델(Linkins 등, 1993)은 Smith의 모델에 mass와 damper를 추가하였는데, 이 mass와 스프링을 고려함으로써 말뚝과 일체형으로 거동하는 흙을 해석상에서 고려하여 실제 말뚝의 정적지지력을 구할 수 있다.

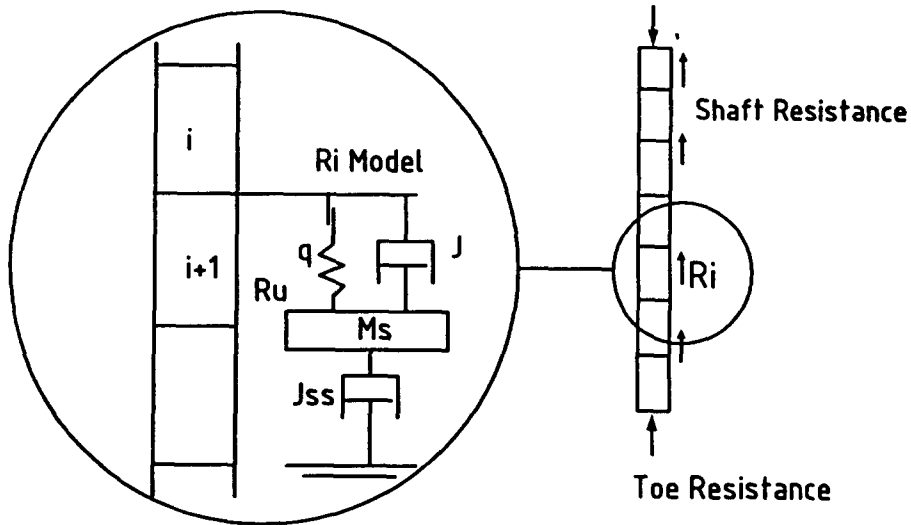


그림 1. geometrical damping을 고려한 지반모델

## 2. Geometrical Damping이 말뚝의 지지력에 미치는 영향

말뚝에 geometrical damping이 발생할 경우, PDA화면상에서 관측할 수 있는 Force과 Velocity과가 초반에 분리되는 현상을 관찰할 수 있다(그림 2). 그리고 CAPWAP에 의해 추정된 말뚝의 지지력은 Case방법과 정재하시험에 의해 추정된 값보다 상당히 과소하게 산정된다.

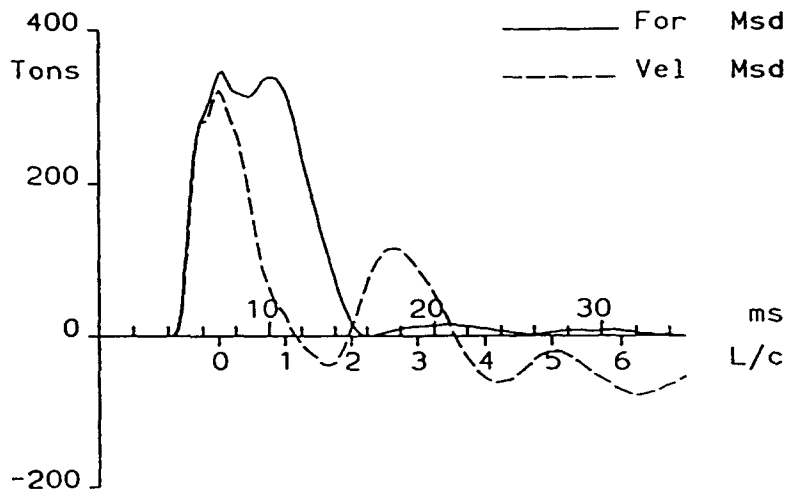


그림 2. geometrical damping이 발생한 경우의 PDA화면상에서 관측된 파형

geometrical damping이 발생할 가능성이 있는 지반에 시공된 네 본의 말뚝에 대해 CAPWAP 해석결과와 정재하시험 결과를 비교하였다(표 1, 표 2). 네 본의 말뚝 모두 SIP(Soil-cement Injected Pile)공법으로 시공된 말뚝이었으며, 현장이 강주변에 위치하여 지하수위가 높고 조립토가 주류를 이루는 지반에 시공되었다.

표 1. 정재하시험 결과

해석기준 말뚝 ID	Davisson	1" butt S	2.5%Dia.S	S-logT	logP - logS	Plunging
SIP01	170 ↑	170 ↑	170 ↑	170 ↑	170 ↑	170 ↑
SIP02	ex.280	ex.322	ex.320	270 ↑	270 ↑	270 ↑
SIP06	108	ex.160	140 ↑	140 ↑	140 ↑	140 ↑
SIP10	170	242	240 ↑	240 ↑	240 ↑	240 ↑

표 2. 동재하시험 해석 결과

말뚝 ID	Type of soil model	SSkin (s/m)	SToe (s/m)	Case방법에 의해 산정된 말뚝의 지지력 (ton)	CAPWAP에 의해 산정된 말뚝의 지지력 (ton)	Ratio**
SIP01	Smith	1.505	1.504	188	68.1	0.339
	Geometrical damping	0.662	0.142		200.6	
SIP02	Smith	0.630	0.159	282	286.5	-
SIP06	Smith	0.984	0.215	184	89.1	0.628
	Geometrical damping	0.620	0.061		141.9	
SIP10	Smith	1.240	0.641	285	113.8	0.653
	Geometrical damping	0.410	0.560		174.3	

\*\* Ratio : Geometrical damping을 고려하여 해석한 말뚝의 지지력에 대한 Geometrical damping을 고려하지 않은 말뚝의 지지력의 비

표 1과 2로부터 geometrical damping을 고려하지 않은 경우 말뚝의 지지력은 고려한 경우에 비하여 35~66%정도 과소평가 됨을 알 수 있다. 그리고, 과소평가된 지지력은 정재하시험결과나 Case 방법에 의해 산정된 지지력과 비교함으로써 더욱 뚜렷이 알 수 있다. 또한 geometrical damping이 고려되지 않은 해석의 경우, Smith shaft damping(SSkin)값이 1.0s/m보다 큰 값을 나타냈는데, geometrical damping을 고려하여 해석한 경우 이 값이 0.7s/m 미만으로 감소하였다. SIP02의 경우, 지반조건은 geometrical damping이 발생할 가능성이 있었으나, 표 2와 그림 3의 하중-침하량 곡선으로부터 실제로는 damping이 발생하지 않았음을 알 수 있다.

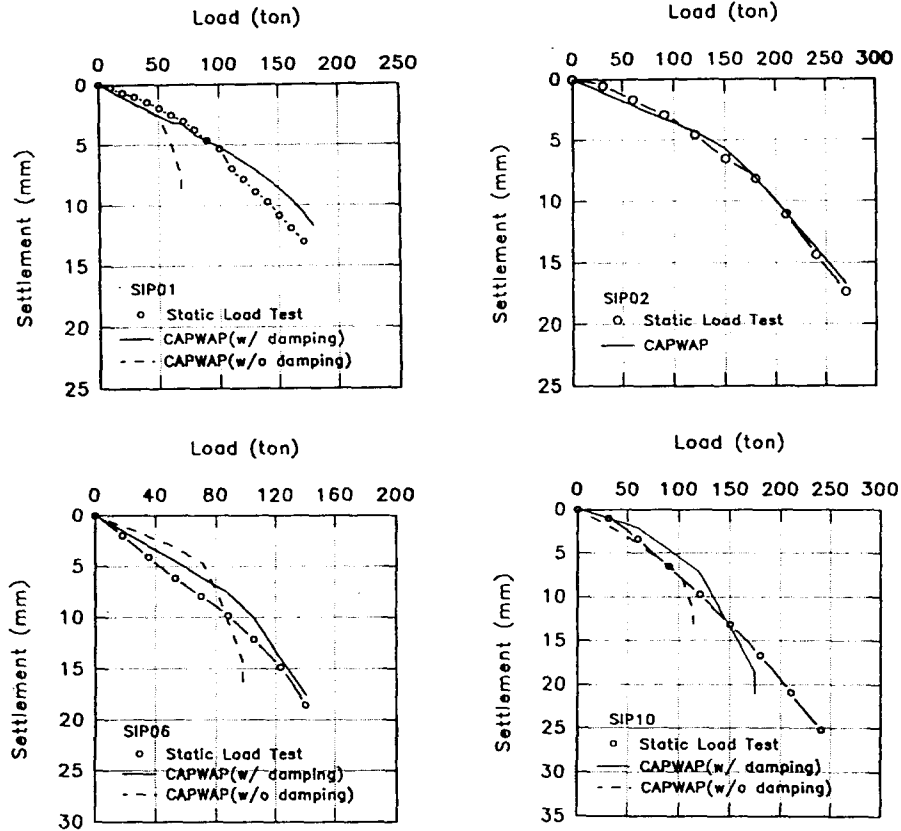


그림 3. SIP01, SIP02, SIP06, SIP10의 하중-침하량 곡선

### 3. 결론

지하수위가 높고 조립토가 지배적인 지반에 시공된 SIP의 경우 동재하시험에 의해 추정된 말뚝의 지지력이 상당히 과소평가될 수 있다. 이 경우 CAPWAP 해석시에 S<sub>skn</sub>값이 1.0s/m 이상이었으며, PDA 화면상에서 관찰할 수 있는 F파와 V파가 초반에 분리되었다. 또한 산정된 지지력이 Case 방법과 정재하시험에 의해 추정된 것에 비해 상당히 과소하였다. geometrical damping을 고려한 지반모델을 사용하면, S<sub>skn</sub>값이 0.7m/s이하로 하락하였으며, 지지력도 실제에 가까운 값을 구할 수 있었다.

#### 참고문헌

1. 건설부(1986), 구조물기초 설계기준, pp. 185~309
2. Hannigan, P. J.(1990), "Dynamic Monitoring and Analysis of Pile Foundation Installations", *Continuing Education Committee of Deep Foundation Institute*, First edition
3. Likins, G., Rausche, F., Dimaggio, J., and Teferra, W.(1992), "A Solution for High Damping Constants in Sands", *Proceedings of the Fourth International Conference on the Application of Stress-Wave Theory to Piles*, Hague, Netherlands, pp117~120
4. Thompson, C. D., and Goble, G. G.(1988), "High Case Damping Constants in Sand", *Proceedings of the Third International Conference on the Application of Stress-Wave Theory to Piles*, Ottawa, Canada: pp555~563
5. Yun, K. H.(1997), "Determination of Pile Design Load by Dynamic Load Test", Korea Univ.