

진동해머에 의해 설치되는 강널말뚝의 지지력 및 항타관입성 평가

이승현¹, 윤찬영², 김병일^{3*}

An Estimation of Bearing Capacity and Driveability of Steel Sheet Pile Installed by Vibratory Hammer

Seung-Hyun Lee¹, Chan-Young Yune² and Byoung-II Kim^{3*}

요약 점토와 모래로 구성된 두 개의 현장에 대하여 두 종류의 강널말뚝에 대한 관입시험을 수행하고 시험결과를 기존의 이론식에 적용하여 강널말뚝의 지지력과 항타관입성을 평가하였다. Davisson 방법과 Bernhard 방법을 이용하여 예측된 강널말뚝의 지지력값은 비교를 위해 계산한 정역학적 지지력값에 비해 각각 11.9배, 1.6배 크게 계산되었다. Tünkers 방법과 β 방법을 이용한 깊이별 항타관입성 검토결과 두 방법 모두 모래지반에 대해서는 관입시험결과에 부합하는 항타관입성을 보여주고 있으나 점토지반에 대해서는 그렇지 않았다. Savinov and Luskin 방법을 이용한 해머선정결과에 의하면 점토지반에 대해서 원활한 관입을 위해서는 실제 시공에 사용된 해머의 모터출력보다 더 큰 해머가 필요함을 알 수 있었으며 모래지반에 대해서는 선정된 모터출력에 부합되는 용량의 해머가 사용되었음을 알 수 있었다.

Abstract Penetration tests were performed for two types of steel sheet piles which were driven in clay deposit and sand deposit. Penetration velocity data acquired from penetration tests were used in order to estimate bearing capacity and vibro-driveability of steel sheet piles. Bearing capacity values predicted from Davisson method and Bernhard method were greater than that calculated from static bearing capacity formula by 11.9 times and 1.6 times respectively. Vibro-driveability predictions from Tünkers method and β method show correspondence to field test result for sand deposit but not for clay deposit. From motor powers estimated by Savinov and Luskin method it can be seen that larger capacities of motor powers are required for clay deposit and adequate hammer was used for sand deposit.

Key words : Steel sheet pile, Penetration test, Bearing capacity, Vibro-driveability, Motor power

1. 서론

1930년대 초반에 Barkan[1]에 의해 고안된 진동해머는 현재까지 다양한 형태의 말뚝을 시공하는데 적용되어 왔는데 특히, 널말뚝의 시공에 많이 쓰이고 있다. 진동해머를 사용하여 말뚝을 시공하는 경우 지반종류에 영향을 받기는 하지만 대체로 빠른 속도로 관입이 가능하고 소음이 적으며 말뚝에 손상을 거의 미치지 않는 장점이 있다. 진동해머에 의한 말뚝의 빠른 관입속도는 말뚝의 연직방향 진동으로 인한 지반저항력의 저하로 인해 얻어지기 때

문에 일반적으로 진동해머에 의해 시공된 말뚝의 지지력은 충격타입에 의해 시공된 말뚝의 지지력보다 작게 된다 [2]. 현재까지 국내에서 진동해머로 시공된 널말뚝의 지지력에 대한 연구나 항타관입성에 대한 연구는 거의 없는 실정이며 현장조건에 적합한 해머의 선정 또한 경험에 의존하고 있다.

본 연구에서는 점토지반과 모래지반에 설치한 강널말뚝의 관입속도 측정자료로부터 기존에 제안된 식을 이용하여 널말뚝의 지지력을 구하고 지반조사자료를 바탕으로 한 정역학적 지지력과 비교하여 보았다. 또한 기존에 제안된 해머선정방법을 이용하여 현장조건에 적합한 해머를 선정하고 실제 현장에 사용된 진동해머와 비교하였다.

¹ 선문대학교 토목공학과 부교수

² 강릉대학교 토목공학과 전임강사

³ 명지대학교 토목환경공학과 교수

*교신저자: 김병일(bikim@mju.ac.kr)

2. 진동해머에 의한 말뚝의 지지력 및 항타관입성

2.1 진동해머에 대한 기본이론

진동해머 작동시 단순화시킨 운동방정식은 다음의 식 (1)과 같다.

$$z'' = F_{dyn} \sin(\omega t) / M \quad (1)$$

z'' : 기진체(vibrator)의 순간가속도(m/sec²)

F_{dyn} : 편심질량체에 의한 원심력의 최대값

$$(\quad = me\omega^2)$$

m : 편심질량체의 질량

e : 편심거리

ω : 편심질량체의 회전각속도

t : 시간

M : 기진체 질량

식 (1)의 해는 다음의 식 (2)와 같다.

$$z = me \sin(\omega t) / M \quad (2)$$

z : 기진체(vibrator)의 연직변위

식 (1)로부터 침투가속도를 증력가속도(g)로 나눈 값을 가속도비(acceleration ratio, n)로 정의하며 식 (3)과 같이 표현된다.

$$n = F_{dyn} / W_{dyn} \quad (3)$$

W_{dyn} : 기진체의 무게(= Mg)

편심질량체의 침투속도(v_{dyn})는 다음의 식 (4)에서와 같다.

$$v_{dyn} = ng / \omega \quad (4)$$

2.2 말뚝의 지지력

진동해머에 의한 말뚝지지력 예측에 고려한 방법은 Davisson 방법[3]과 Bernhard 방법[4]이다. Davisson 방법과 Bernhard 방법은 사질토 지반에 적용되는 방법이다. Davisson 방법은 동역학적지지력공식과 유사한 방법으로서 1회 타격당 지반으로 전달되는 에너지 대신에 1 사이클당 지반으로 전달되는 에너지를 고려하여 유도되었으며 다음의 식 (5)와 같이 표현된다.

$$R_u = (P_m + (W_{dyn} + F_0)v_p) / (v_p + fS_l / 1000) \quad (5)$$

R_u : 말뚝지지력(kN)

P_m : 모터출력(kW)

F_0 : 정적 상재하중(kN)

v_p : 말뚝 관입속도(m/sec)

f : 진동수(Hz)

S_l : 지반손실계수(soil loss factor, mm/cycle)

Davisson 방법에 사용되는 지반손실계수는 표 1과 같다.

표 1. 지반손실계수, S_l

말뚝선단지반	S_l (mm/cycle)	
	폐단 강관말뚝	H형 말뚝
느슨한 실트, 모래 또는 자갈	0.24	-0.21
보통밀도의 모래 또는 모래자갈	0.76	0.76
조밀한 모래 또는 모래자갈	2.44	2.13

Bernhard 방법은 모형시험결과로부터 유도된 것으로 다음의 식 (6)에서와 같이 표현된다.

$$R_u = f_l P_m l / (v_p l_{soil}) \quad (6)$$

f_l : 지반손실계수(=0.1)

l : 말뚝길이(m)

l_{soil} : 말뚝의 근입깊이(m)

2.3 항타관입성

진동해머에 의한 말뚝의 항타관입성 예측에 적용한 방법은 Tünkers 방법[5]과 β 방법[6]이다. Tünkers 방법은 변위진폭이 2.38mm 이상인 경우 적용가능하며 다음의 식 (7)과 같이 표현된다.

$$F_{dyn} \geq \sigma A_s \quad (7)$$

A_s : 말뚝주면면적(m²)(= $2.8 l_{soil} d_{inter}$)

d_{inter} : 널말뚝의 폭(m)

σ : 단위 주면마찰력(kPa)

식 (7)에서 단위 주면마찰력(σ)은 다음의 표 2에서와 같다.

표 2. 단위 주면마찰력, σ

N값		단위 주면마찰력, σ (kPa)
사질토	점성토	
0-5	0-2	9.86
5-10	2-5	11.87
10-20	5-10	12.83
20-30	10-20	14.84
30-40	20-30	15.80
>40	>30	16.76

β 방법은 다음의 식 (8)에서와 같이 표현된다.

$$F_{dyn} + W_{dyn} + F_0 \geq \beta_o R_{so} + \beta_i R_{si} + \beta_t R_t \quad (8)$$

β_o : 말뚝 외측 주면저항에 대한 계수

β_i : 말뚝 내측 주면저항에 대한 계수

β_t : 말뚝 선단저항에 대한 계수

R_{so} : 말뚝 외측 주면저항력(kN)

R_{si} : 말뚝 내측 주면저항력(kN)

R_t : 말뚝 선단저항력(kN)

식 (8)에서 계수 β 값들은 다음의 표 3에서와 같다.

표 3. 계수 β 값

지반종류	β
등골고 조립질의 모래	0.10
단단한 점토(stiff clay)	0.12
등골고 보통밀도의 모래, 둥근 자갈	0.15
세립의 모난 자갈	0.18
세립의 둥근 모래	0.20
모난 모래, 조립의 자갈	0.25
모나고 건조한 세립의 모래	0.35
아주 단단한 점토(very stiff clay)	0.40

2.4 진동해머 결정방법

진동해머 결정방법으로는 Savinov and Luskin 방법 [7]을 고려하였다. Savinov and Luskin 방법에서는 해머결정을 위해 다음과 같은 단계를 밟게 된다.

가) 최소 동하중(minimum dynamic weight,

W_{dyn})의 결정

$$W_{dyn} \geq p_0 A_t \quad (9)$$

A_t : 말뚝 선단면적(m^2)

p_0 : 선단압력(kPa)

선단압력(p_0)은 다음의 표 4를 이용하여 결정할 수 있다.

표 4. 선단압력, p_0

말뚝종류	p_0 (kPa)
소구경 강관말뚝 및 여타의 말뚝($A_t < 150cm^2$)	150~300
폐단 강관말뚝($A_t < 800cm^2$)	400~500
사각형 콘크리트말뚝($A_t < 2000cm^2$)	600~800

나) 임계하중(critical force for driving, F_{cr})의 결정

일반적인 말뚝 : $F_{cr} = Z \sum_{i=1}^k s_i l_i \quad (10)$

널말뚝 : $F_{cr} = \sum_{i=1}^k s_i l_i \quad (11)$

표 5. 단위 주면마찰력, s_i

지반 및 말뚝종류	s_i	
	말뚝(kPa)	널말뚝(kN/m)
1) 포화 모래, 점소성 점토(visco-plastic clay)		
강관말뚝	6	-
콘크리트말뚝	7	-
개단 강관말뚝	5	-
널말뚝, 경량(중량)단면	-	12(14)
2) 1)항에 단단한 점토층이나 자갈층이 끼어 있는 경우		
강관말뚝	8	-
콘크리트말뚝	10	-
개단 강관말뚝	7	-
널말뚝, 경량(중량)단면	-	17(20)
3) 단단한 소성점토(stiff plastic clay)		
강관말뚝	15	-
콘크리트말뚝	18	-
개단 강관말뚝	10	-
널말뚝, 경량(중량)단면	-	20(25)
4) 약간 단단한 또는 단단한 점토(hard clay)		
강관말뚝	25	-
콘크리트말뚝	30	-
개단 강관말뚝	20	-
널말뚝, 경량(중량)단면	-	40(50)

F_{cr} : 임계하중(kN)

Z : 말뚝 주면길이(m)

s_i : 단위 주면마찰력(kPa 또는 kN/m)

l_i : 말뚝요소의 길이(m)

식 (10), (11)에서 단위 주면마찰력은 표 5를 이용하여 결정할 수 있다.

다) 편심질량에 의한 동역학적 하중의 결정

① 최대 불균형력의 결정

$$F_{dyn} \geq \chi F_{cr} / \Psi \tag{12}$$

χ : 지반 회복계수(soil resilience coefficient)로서 진동수 5Hz와 10Hz 사이에서 0.6과 0.8 사이의 값이며 그 외의 진동수에 대해서는 1

Ψ : 말뚝계수(pile factor)로서 콘크리트말뚝의 경우 0.8, 그 외의 말뚝의 경우 1

② 침두 가속도비 (F_{dyn}/W_{dyn})는 다음의 범위를 만족해야 한다.

$$n_1 \leq F_{dyn} / W_{dyn} \leq n_2 \tag{13}$$

식 (13)에서 가속도비 n_1 과 n_2 는 다음의 표 6을 이용하여 구할 수 있다.

표 6. 가속도비 n_1, n_2

말뚝종류	최소 가속도비 n_1	최대 가속도비 n_2
강널말뚝	2.00	6.67
경량말뚝	1.67	3.33
중량말뚝, 강관말뚝	1.00	2.50

위의 ①, ② 조건을 동시에 만족하지 못하는 경우에는 조건 ②를 따른다.

라) 회전 각속도(ω)의 계산

$$\omega = F_{dyn} / (v_{dyn} M) \tag{14}$$

속도 v_{dyn} 은 0.5m/sec와 0.8m/sec 사이의 값을 갖도록 한다.

마) 편심모멘트(me)의 계산

$$me = F_{dyn} / \omega^2 \tag{15}$$

바) 진폭의 검토

식 (16)에 따라 계산되는 진폭값(z_{max})이 표 7에 제시된 추천값의 범위내에 들어가는지를 검토한다.

$$z_{max} = me \Psi / M \tag{16}$$

표 7. 진폭의 추천값

진동수, Hz	5-12	13-17	18-25
말뚝 및 지반종류	z_{max} (mm)		
강널말뚝, 개단강관말뚝과 여타의 말뚝 ($A_t < 150cm^2$)			
모래질 지반	-	8-10	4-6
점토질 지반	-	10-12	6-8
폐단 강관말뚝($A_t < 800cm^2$)			
모래질 지반	-	10-12	6-8
점토질 지반	-	12-15	8-10
사각형 콘크리트말뚝($A_t < 2000cm^2$)			
모래질 지반	12-15	-	-
점토질 지반	15-20	-	-
대구경의 원형 콘크리트말뚝(폐색부 제거)			
모래질 지반	6-10	4-6	-
점토질 지반	8-12	6-10	-

사) 모터의 출력계산

모터의 출력은 식 (17)을 이용하여 계산한다.

$$P_m = me f^3 (3.2 \times 10^{-6} D + 0.079 me / M) \tag{17}$$

D : 말뚝의 지름(mm)

3. 현장시험

점토지반과 모래지반에 대하여 2종류의 Hat형 강널말뚝을 진동해머를 이용하여 시공하고 시공 중 널말뚝의 관입속도를 측정하였다. 점토지반의 깊이별 N값 분포 및 입도분포곡선은 각각 그림 1, 2와 같고 모래지반의 깊이별 N값 분포 및 입도분포곡선은 그림 3 및 4와 같다.

점토지반의 경우 그림 1을 통해 알 수 있듯이 비교적 N값이 크을 알 수 있으며, 그림 2의 입도분포곡선과 아터버그 한계시험결과에 의해 통일분류법으로 나타내면 CL

로 분류된다. 모래지반의 경우 그림 3을 통해 알 수 있듯이 깊이가 10m까지는 느슨한 모래층을 이루고 있으며, 그림 4의 입도분포곡선으로부터 통일분류법에 의하면 SP로 분류된다. 그림 2 및 4의 입도분포곡선은 지층의 중간에서 채취한 흙에 대하여 실시한 것이다.

현장시험에 적용한 두 종류의 강널말뚝은 800×150×8mm, 900×200×9mm 단면사양의 강널말뚝으로서 말뚝길이는 각각 12m와 10m이며 그 형상은 그림 5에서와 같다.

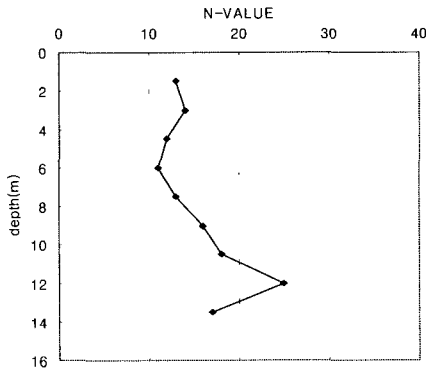


그림 1. N값(점토)

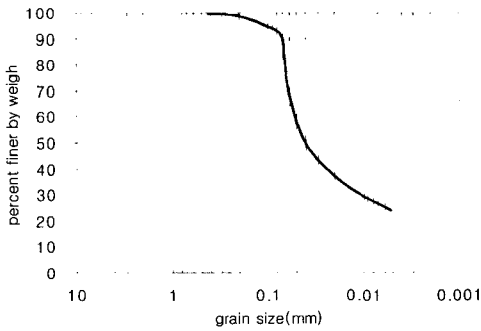


그림 2. 입도분포곡선(점토)

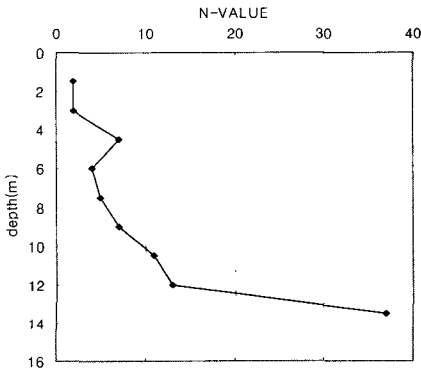


그림 3. N값(모래)

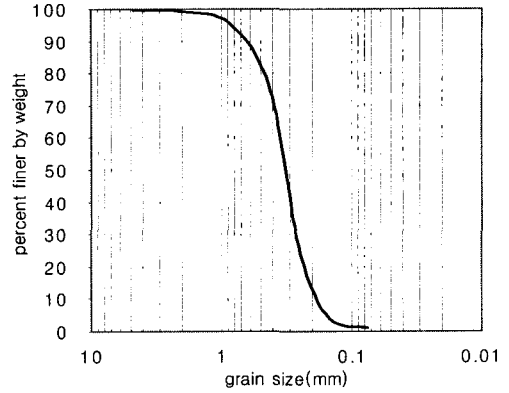
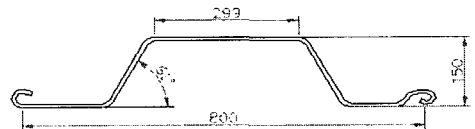
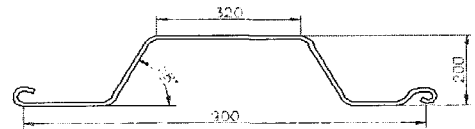


그림 4. 입도분포곡선(모래)



(a) 800×150×8mm



(b) 900×200×9mm

그림 5. Hat형 강널말뚝

이후에 편의상 800×150×8mm 단면의 강널말뚝과 900×200×9mm 단면의 강널말뚝의 표기는 각각 S800과 S900으로 하였다. 그림 5에 나타난 두 종류의 강널말뚝은 점토지반에 대한 관입시험에 사용되었으며 모래지반에 대해서는 그림 5(a)에 나타난 강널말뚝을 관입시험에 사용하였다. 그림 5에 나타난 강널말뚝의 단면성질은 다음의 표 8에서와 같다.

표 8. Hat형 강널말뚝의 단면성질

Hat형 단면	단면성질		
	단면적 (cm ²)	단면2차 모멘트 (cm ⁴)	둘레길이 (cm)
S800	88.1	3,165	222.3
S900	113.6	7,300	256.4

강널말뚝의 시공시 점토지반에 대해서는 EP-120해머를 사용하였으며 모래지반에 대해서는 FM2-80해머를 사용하였는데 각각의 해머제원은 다음의 표 9에서와 같다.

표 9. 해머제원

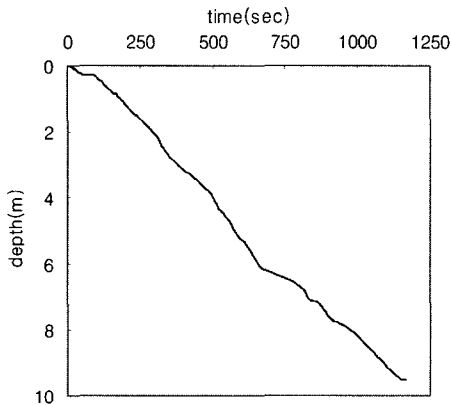
항목	값	
	EP-120	FM2-80
출력(kW)	90	60
편심모멘트(kg·m)	41.2	36.0
진동수(Hz)	18.33	18.33
기진력(ton)	55.8	48.7
전체중량(kgf)	7600	4750
진동중량(kgf)	3800	3800
공운전시 진폭(mm)	10.8	9.5
공운전시 가속도(g)	14.7	12.8

강널말뚝의 관입시험시에는 깊이측정장치(depth measuring drum)를 강널말뚝의 두부에 설치하여 시간에 따른 관입깊이를 측정하도록 하였다. 깊이 측정장치는 Celesco사 제품으로서 측정범위는 25.4m이다.

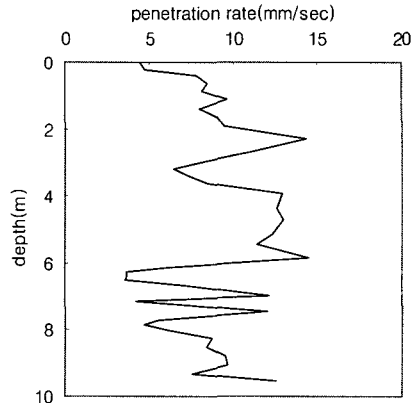
4. 시험결과 및 분석

4.1 관입시험결과

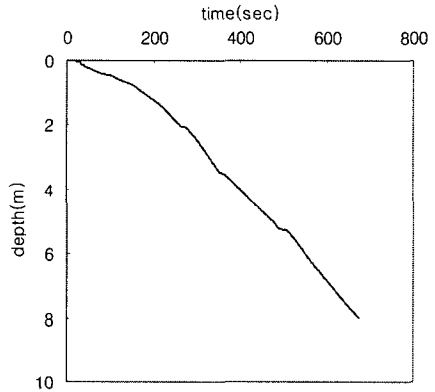
강널말뚝의 관입시험을 통하여 시간에 따른 관입깊이를 깊이측정장치를 이용하여 구했으며 시간-관입깊이관계로부터 관입속도-관입깊이관계를 구하였다. 점토지반에 대한 시간-관입깊이곡선 및 관입속도-관입깊이곡선은 그림 6에 나타내었는데 그림 6(a)와 그림 6(b)는 각각 800×150×8mm단면의 강널말뚝에 대한 시간-관입깊이관계와 관입속도-관입깊이관계를 나타내며 그림 6(c)와 그림 6(d)는 900×200×9mm단면의 강널말뚝에 대한 시간-관입깊이관계와 관입속도-관입깊이관계를 나타낸다. 모래지반에 대한 시간-관입깊이곡선 및 관입속도-관입깊이곡선은 그림 7에 나타나 있다.



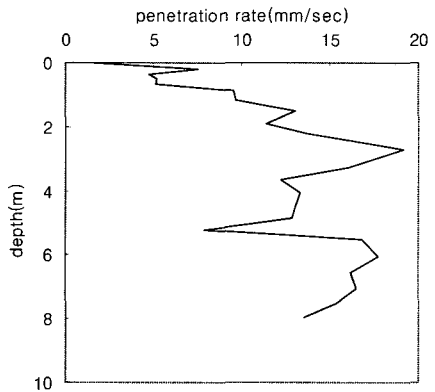
(a) time-depth(S800)



(b) penetration rate-depth(S800)



(c) time-depth(S900)



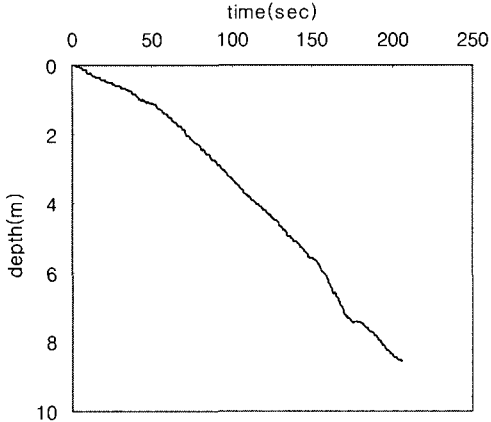
d) penetration rate-depth(S900)

그림 6. 점토지반에 대한 관입시험결과

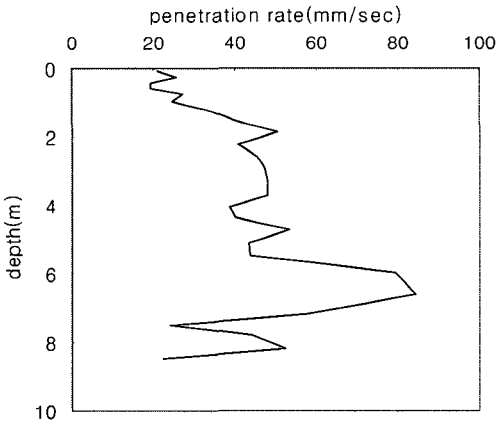
그림 6(b), (d)를 통해 볼 때 점토지반에 설치되는 두 종류의 강널말뚝의 깊이별 관입속도는 20mm/sec보다 작음을 알 수 있는데 이는 표 10에 나타난 항타관입성 기준[8]을 통해 볼 때 “관입이 어려움”에 해당한다.

표 10. 향타관입성 기준 (v_p 의 단위, mm/sec)

관입이 어려움	비교적 쉬움	쉬움
$v_p < 22$	$22 < v_p < 60$	$v_p > 60$



(a) time-depth(S800)



(b) penetration rate-depth(S800)

그림 7. 모래지반에 대한 관입시험결과

또한, S900단면의 강널말뚝의 관입속도가 대체로 S800단면의 강널말뚝의 관입속도보다 큼을 알 수 있다. 모래지반에 설치되는 강널말뚝의 경우 그림 7(b)와 표 10을 통해 알 수 있듯이 관입깊이별로 “비교적 쉽게” 관입되거나 “쉽게” 관입됨을 알 수 있다.

4.2 강널말뚝의 지지력

모래지반에 설치되는 강널말뚝에 대하여 관입깊이 8m에 대하여 말뚝지지력을 Davisson 방법과 Bernhard 방법으로 산정하면 표 11과 같이 Davisson 방법은 1991

kN, Bernhard 방법은 265kN으로 계산된다. Davisson 방법의 적용에 있어서 표 1에 나타나 있는 지반손실계수 적용시 현장시험에 적용한 강널말뚝은 H형 말뚝으로 보았다. 한편 N값을 이용한 정역학적 지지력공식을 사용하면 강널말뚝의 지지력은 168kN으로 계산된다. 따라서 Davisson 방법과 Bernhard 방법을 써서 예측한 강널말뚝의 지지력값은 N값을 이용한 지지력공식에 의한 값에 비해 각각 11.9배, 1.6배 큼을 알 수 있다. Davisson 방법에 의한 지지력 예측값과 정역학적 지지력공식에 의한 값의 과도한 차이가 발생하는 원인으로서는 해머종류의 차이, 말뚝근입깊이 및 말뚝단면형상의 미고려 등을 생각해 볼 수 있다. Davisson 방법은 Bodine BRD-1000 Resonant Driver 해머에 대한 연구결과로부터 나온 것으로 모든 진동해머에 일관되게 적용할 수 있는 가에는 의문이 있다. 또한 식 (5)를 통해 알 수 있듯이 말뚝의 근입깊이 및 단면형상의 영향을 반영하는 항이 없는 것도 이 방법의 적용에 있어 한계점으로 들 수 있을 것이다. Bernhard 방법의 경우에 있어서도 말뚝의 근입깊이를 고려한 점 이외에 Davisson 방법과 같은 한계점이다.

표 11. 지지력 계산결과(사질토 지반)

지지력 산정방법	극한지지력
Davisson 방법	1991kN
Bernhard 방법	265kN
N값을 이용한 방법	168kN

4.3 강널말뚝의 향타관입성

Tünkers 방법과 β 방법에 의해 점토지반 및 모래지반에 설치되는 강널말뚝의 관입깊이별 향타관입성을 평가한 결과는 각각 표 12 및 표 13과 같다. 표 12에서는 식 (8)의 좌측항과 우측항을 각각 작용력과 저항력으로 표기하였다.

표 12. 향타관입성 계산결과(Tünkers 방법)

깊이 (m)	저항력, σA_s (kN)			작용력, F_{dyn} (kN)	
	S800		S900	점토	모래
	점토	모래	점토		
1.5	50	33	56	546	478
3.0	100	66	112		
4.5	150	99	168		
6.0	199	133	224		
7.5	249	166	280		
9.0	299	199	337		

표 13. 항타관입성 계산결과(β 방법)

깊이 (m)	지반력(kN)			작용력 (kN)	
	S800		S900	점토	모래
	점토	모래	점토		
1.5	50	7	62	622	525
3.0	109	12	126		
4.5	157	33	181		
6.0	201	41	232		
7.5	253	53	292		
9.0	318	71	367		

표 12와 표 13를 통해 알 수 있듯이 현장에 시공된 강널말뚝에 대해서 작용력이 저항력보다 커서 쉽게 관입되는 것으로 나타났는데 관입시험결과와 비교해보면 모래지반에서는 시험결과와 부합된 계산결과를 보여주고 있으나 점토지반에 대해서는 비보수적인 결과를 보임을 알 수 있다. 점토지반에 대해서는 Tünkers 방법과 β 방법에 의한 관입저항력값이 유사함을 알 수 있으며 모래지반에 대해서는 큰 차이를 보임을 알 수 있다. 한편, Savinov and Luskin 방법을 통해 현장지반에 적합한 해머용량을 결정해보았다. 9m 깊이까지 관입시키는 것으로 보았을 때 해머용량 결정결과는 표 14와 같다. 계산과정에서 식 (7)사용시 말뚝의 지름(D)은 강널말뚝의 환산지름으로 계산하였다.

표 14. 해머용량 결정(Savinov and Luskin 방법)

지반조건	점토		모래
	S800	S900	S800
F_{dyn} 의 최소값(kN)	225	225	126
F_{dyn} (kN)	350	350	150
W_{dyn} 의 최소값(kN)	1.3	1.7	1.3
W_{dyn} (kN)	52.5	52.5	22.5
f (Hz)	15.2	15.2	13.3
me (kg-m)	38.6	38.6	21.8
z_{max} (mm)	7.4	7.4	9.7
P_m (kW)	125	131	57

표 14를 통해 알 수 있듯이 Savinov and Luskin 방법에 의한 적정해머의 모터출력(P_m)은 점토지반에 대해서는 800×150×8mm단면의 강널말뚝의 경우 125kW와 900×200×9mm단면의 강널말뚝의 경우 131kW로서 실

제 시공에 사용된 해머(모터출력, 90kW)보다 더 큰 출력이 필요함을 알 수 있다. 모래지반에 대해서는 선정된 모터출력(57kW)에 부합되는 해머(모터출력, 60kW)가 실제 시공에 사용되었음을 알 수 있다.

5. 결론

점토와 모래로 구성된 현장지반에 대하여 두 종류의 강널말뚝에 대한 관입시험을 수행하고 시험결과를 기존의 이론식에 적용하여 강널말뚝의 지지력과 항타관입성을 평가해 보았는데 그 과정을 통해 유도된 결론은 다음과 같다.

- 1) 관입시험을 통해 측정된 강널말뚝의 관입속도를 이용하여 Davisson 방법과 Bernhard 방법을 이용하여 강널말뚝의 지지력을 예측해 보았는데 예측된 지지력값들은 비교를 위해 계산한 정역학적 지지력값에 비해 각각 11.9배, 1.6배 크게 계산되어 Davisson 방법에 의한 경우 상당히 큰 지지력이 예측되었다.
- 2) Tünkers 방법과 β 방법을 이용하여 깊이별 항타관입성을 검토해 보았는데 두 방법 모두 모래지반에 대해서는 관입시험결과에 부합하는 항타관입성을 보여주고 있으나 점토지반에 대해서는 그렇지 않았다.
- 3) Savinov and Luskin 방법을 적용하여 현장시험에 적합한 해머를 선정해 보았는데 점토지반에 대해서 원활한 관입을 위해서는 실제 시공에 사용된 해머의 모터출력보다 1.39배에서 1.46배 큰 해머가 필요함을 알 수 있었으며 모래지반에 대해서는 선정된 모터출력에 부합되는 용량의 해머가 사용되었음을 알 수 있었다.
- 4) 본 연구에서 고려한 현장 관입시험자료는 극히 제한적이며 향후 다양한 지반조건 및 말뚝종류에 대한 시험자료가 추가된다면 본 연구에서 고려한 다양한 방법들에 대한 신뢰성 검증 및 이들 방법들에 대한 수정보완이 가능하리라 판단된다.

참고문헌

[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] Warrington, D.C. (1992). "Vibratory and Impact-Vibration Pile Driving Equipment". Pile Buck, Second October Issue 1992. Pile Buck, Jupiter, FL.

[3] Davisson, M.T. (1970). "BRD Vibratory Driving Formula". Foundation Facts, Vol. VI No. 1.

[4] Bernhard, R.K. (1968). "Pile-Soil Interactions During Vibro-Pile-Driving". Journal of Materials, ASTM, Vol. 3 No. 1, March, pp.178-209.

[5] Warrington, D.C. (1989). "Driveability of piles by vibration., Paper presented at Deep Foundation Institute 14th Annual Member Conf., pp.139-154.

[6] Jonker, G., (1987). "Vibratory Pile Driving Hammers for Oil Installation and Soil Improvement Projects., Proc. of Nineteenth Annual Offshore Technology Conf., Dallas, Texas, OTC 5422, pp.549-560

[7] Savinov, O.A. (1964). "Studies on the creation of a new vibration equipment for driving piles". TsINTI AM OS-U, pp.59-65.

[8] Rao., Pramod M.,(1993), Effect of pile geometry and soil saturation in the behavior of nondisplacement piles installed by vibration., MSc thesis presented to the Faculty of the Dept. of Civil and Environmental Engineering, University of Houston, Texas.

윤 찬 영(Chan-Young Yune)

[종신회원]



- 1998년 2월 : 서울대학교 토목공학과(공학사)
- 2000년 2월 : 서울대학교 토목공학과(공학석사)
- 2005년 8월 : 서울대학교 토목공학과(공학박사)
- 2007년 3월 ~ 현재 : 강릉대학교 토목공학과 전임강사

<관심분야>
토질역학, 기초공학

김 병 일(Byoung-Il Kim)

[정회원]



- 1987년 2월 : 서울대학교 토목공학과(공학사)
- 1989년 2월 : 서울대학교 토목공학과(공학석사)
- 1994년 2월 : 서울대학교 토목공학과(공학박사)
- 1995년 3월 ~ 현재 : 명지대학교 토목환경공학과 교수

<관심분야>
토질역학, 기초공학

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 부교수

<관심분야>
토질역학, 기초공학