

말뚝박기에 대한 小考(Ⅱ)

(Pile Drivability)

趙 瑞 一*
朴 秉 燦**

3. 實 例

3.1. 概 要

본 예는 1979 년도에 시공된 서해 중부 임해 공단 중 1개 공장에서 시행된 말뚝의 설계, 시공 및 결과에 대하여 간추려서 기록하고자 한다.

말뚝의 정역학적 지지력 및 말뚝의 관입저항치를 구하고, 이들과 항타기와의 관입성 검토 및 말뚝의 재하시험에 의거 지지력을 확인하였다.

3.2. 지반조건

전체적으로 지표면에서 부터 매립층, 하성퇴적층(Aluvial Deposit), 해성퇴적층(Marine Deposit), 기반암등으로 구성되어 있고 매립층은 부지정리시 양측의 산에서 채취한 재료로서 대체로 실트질모래 또는 점토질모래로 구성되어 있다. 하성퇴적층은 층두께 및 형상등이 위치에 따라 심하게 변화하며 사력층 및 실트질 모래층으로 구성되어 있으나 점토질을 함유한 부분이 많다. 해성퇴적층은 다른 층과 구분이 되는 흑회색을 띄고 있으며 주요 성분은 점토로서 연약층이다. 그리고 기반암은 풍화암, 연암, 경암으로 구분되며 암층은 고기퇴적원 변성암으로 전반

적으로 광역변성작용(Regional Metamorphism)을 받았고 극부적으로 화성원 물질의 주입(Injection), 동화등의 변성작용을 받은후 풍화작용(Weathering)에 지배되어 중적으로나 횡적으로 암층의 연속성이 불량하고 석탄암과 흑연과 같이 비교적 응력에 약한 암층이 중간에 렌즈(Lense) 형상으로 산재해 있다. 또한 그림 3.2. 1의 시추단면도에서 보듯이 잔적토 밑의 암층이 완전풍화층과 연암층이 불규칙하게 교호되어 있으며 같은 풍화작용을 받은 층내에서도 강도상에서 변화가 크다. 경우에 따라서는 경질의 암층밑의 완전풍화층은 상부 잔적토층보다 연약한 형상도 나타난다. 위치에 따라서 경암층까지의 심도는 다양하다.

3.3. 정역학적 지지력 계산

공장의 기초처리는 경지반의 심도가 깊어 직접기초는 고려치 않고, 여기서는 항지력 계산에 대하여만 기술코자 한다. 전항에서 보는 바와 같이 지반조건이 대단히 복잡하고 동일층내에서도 경질과 연질의 교호(Alternation)정도가 크므로 지지력 계산에서 비교적 안전측으로 계산되는 항만시설 기초공사용 미석유협회(American Petroleum Institute) 설계기준(API RP2A 1977)을 적용하였다. 항지력계산식은 일반지력식과 동일하나 토질에 따르는 강도정수의 적

* 正會員, 現代 엔지니어링 理事

** 正會員 現代 엔지니어링

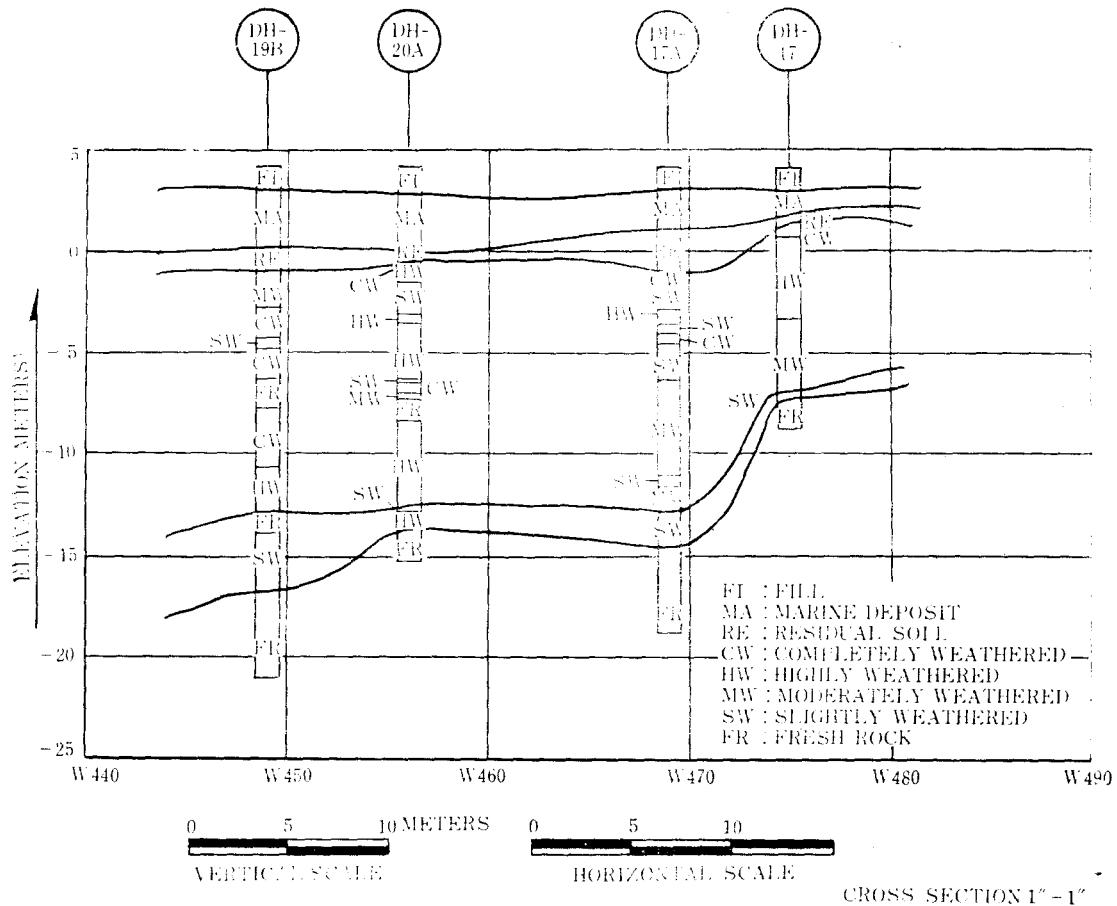


Fig. 3.2.1

용과 상재하중에 의한 토압계수를 주동토압계수로 사용하였다. 안전율은 1.5~2로 되어 있으나 지층의 불균일성을 고려하여 S.F=2 이상으로 하였다. 항지력 공식은 다음과 같다.

$$Q = Q_s + Q_p = fA_s + qA_p \quad (1)$$

식중 Q ; 극한지지력

Q_s ; 마찰력에 의한 지지력

Q_p ; 선단지지력

i) 점토지층

점토지층에 대하여는 표 3.1.1의 (2)항을 사용하여 마찰지지력을 계산하였고 선단지지력은 다음식을 사용하였다.

$$q = 9 \cdot c \quad (2)$$

식중 q ; 선단 단위지지력 (T/M^2)

ii) 사질토 지반에 대하여는 표 3.3.1의 (1)항을 다음식들에 적용 지지력을 계산하였으며 연암 및 경암지반에서는 실측치보다 안전측으로 계산되었다. 마찰지지력

$$f = K \cdot \sigma \cdot \tan \delta \quad (3)$$

식중 f ; 단위마찰력 (T/M^2)

K ; 토압계수 $K=0.7$

σ ; 유효상재압 (T/M^2)

δ ; 벽면마찰각(도) 표 3.3.1 참조.

이 식에 의하여 계산된 마찰력이 표 3.3.1 한계치 f_s (Limit Value)보다 클 경우에는 한계치를 채택하였다.

단위선단지지력 (Unit end Bearing)은

$$q = \sigma_s \cdot N_s \quad (4)$$

〈表 3.3.1〉

DESIGN VALUE

1. Sand

SPT (BLS/FT)	Type	γ (T/m ²)	ϕ (°)	δ (°)	Limit Value of f_s (T/m ²)	N_q	Limit Value of f_b (T/m ²)	Remarks
>50/10	Soft Rock	2.4	50	45	10	100	1,000	
>50	M.W. Moderately Strong	2.2	45	40	10	80	''	
>50	Very Dense (SM, SP, GP, GW)	2.1	40	35	10	60	''	
30~50	Clean sand (SM, SC)	2.0	35	30	10	40	''	
10~30	Silty sand (SM, SC)	1.9	30	25	8.5	20	(500)	
4~10	Sandy silt (SM, SC)	1.8	25	20	7	12	300	
< 4	Silt (NP)	1.7	20	15	5	8	200	

2. Clay

SPT (BLS/FT)	Type	γ (T/m ²)	C (T/m ²)	Avg Value (Limit Value) of f_s , (T/m ²)	Remarks
>30	Very Hard				Complied with Sand Deposit for all SM SC except #6Unit
>30	Hard	2.2	20.0	8.0	
15~30	Very Stiff	2.1	15.0	6.0	
8~15	Stiff	2.0	7.5	5.0	
4~ 8	Medium	1.9	4.0	4.0	
0~ 4	Soft & very soft	1.8	1.5	1.5	

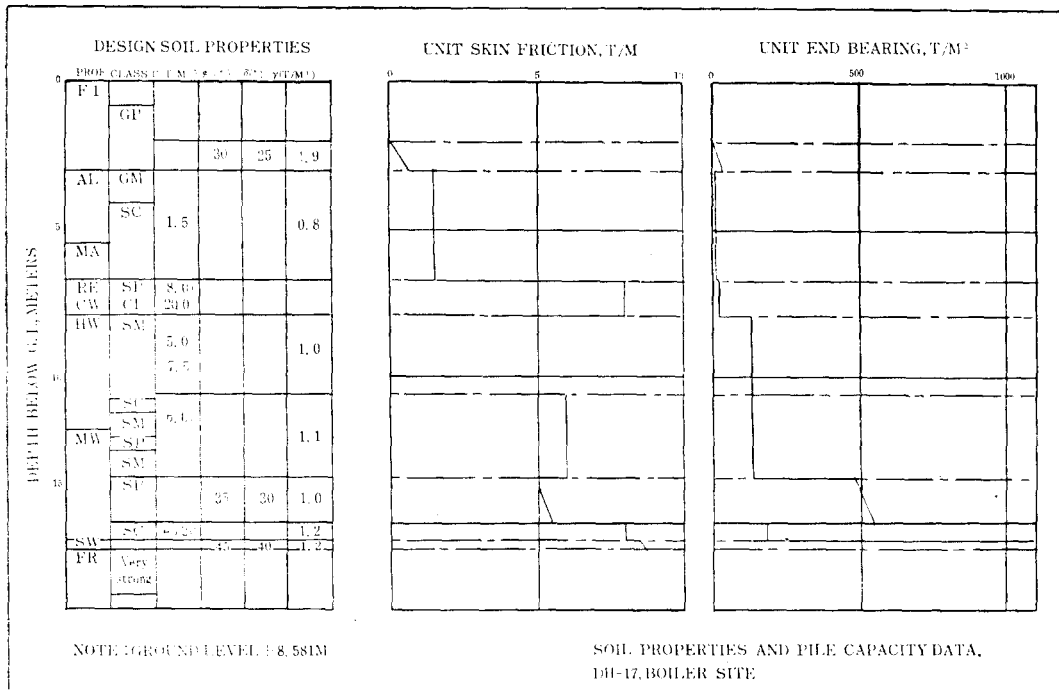


Fig.3.3.1

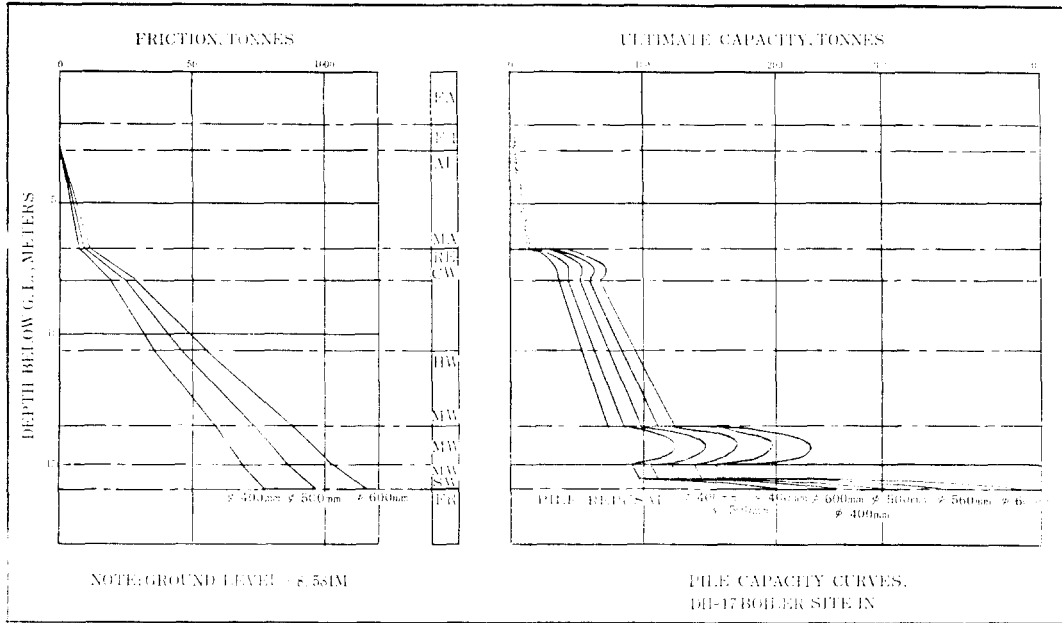


Fig. 3.3.2

식중 σ_v : 유효상재압(T/M²)

N_q : 지지력계수 표 3.3.1 참조.

이 식에 의하여 계산된 선단지지력이 표 3.3.1의 한계치 f_b (Limit Value)보다 클 경우에는 한계치를 채택하였다.

상기식들에 의하여 계산된 시추공 DH-17의 결과를 그림 3.3.1과 그림 3.3.2에 표시하였다.

3.4. 말뚝박기의 검토

말뚝의 지지력을 검토하기 위하여는

- 1) 소요의 지지력을 위하여 말뚝구경 재질등이 결정되어야 하며
- 2) 소요의 지지력을 얻을수 있는 지층까지 그 말뚝의 관입방법 검토
- 3) 소요심도까지의 관입시킬수 있는 항타기의 선정을 요한다.

상기의 계산을 위하여 파동방정식(Wave-equation)에 입력한 자료는 다음과 같다.

- 항타장비 : K-45
- 항타에너지 : 91, 100 Ft-LB
- 말뚝외경 : ϕ 500, 550, 600 (SPS 41)

—강말뚝 두께 : 10 m/m

—말뚝 길이 : 4~20 m

—Soil Quake : 0.1 in

—Soil Damp : 0.15

이 계산결과 말뚝에 발생하는 응력 및 선단저항치는 표 3.4.1과 같다.

또한 이때의 해당심도의 저항치(Ru-Total)를 항타수(Blows/Foot)와의 관계를 맺어 관입저항(Driving Resistance)와 심도와의 관계도를 작성 그림 3.4.1에 정리하였다. 말뚝절편(Pile Segment)에 유발되는 최대 압축응력을 감안하여 관입 한계치(Driving Refusal)은 100Blts/ft로 판단하였다. 말뚝의 관입한계치에 도달되는 관입깊이는 정적지지력에 의한 말뚝심도(Pile Penetration Depth)와 일치하며 말뚝의 항타응력은 36.6 ksi로 계산되었다. 이 결과에 따라 시험항타용 말뚝으로 ϕ 600(SPS41)을 K45 항타기로 심도 16m에서 최종항타수가 100 타/30cm가 되도록 항타하였다. 시험항타 말뚝에 대한 현장에서 측정된 항타기록과 파동방정식에서 산출된 심도별 예상항타수를 심도별로 정리하여 그림 3.4.2에 비교

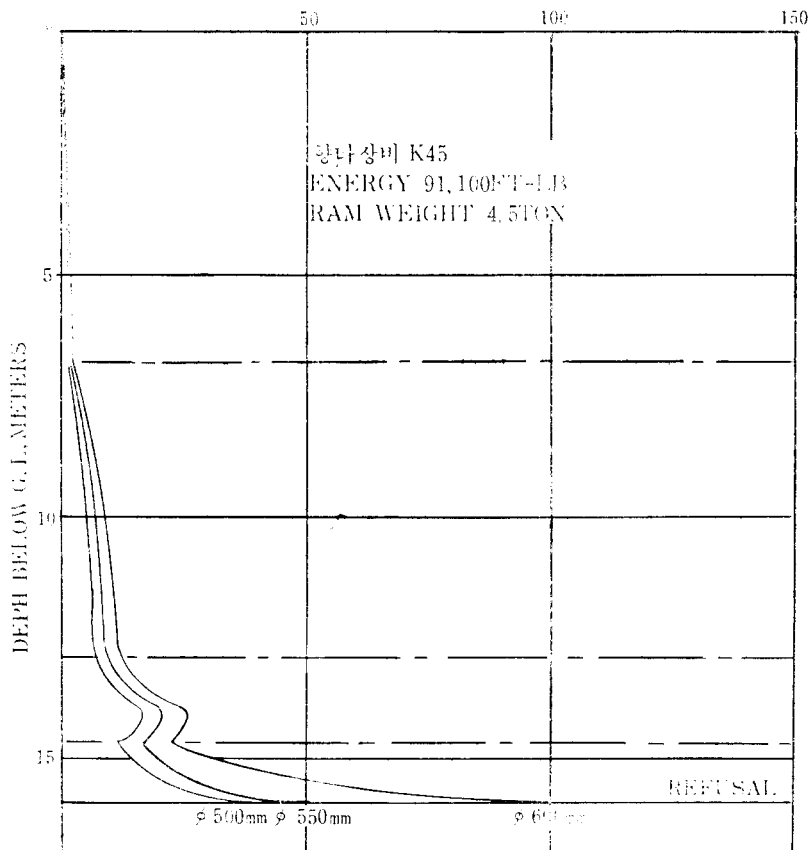
〈표 3.4.1〉

No	Bore Hole	Dia(mm)	Depth(m)	Max. C. Stress (kg/cm ²)	Rutotal (ton)	Max. C. Stress (lb/in ²)	Remarks
11	DH-17	500	14.5	2,259	172T	32,273	
			15.9	2,631	291T	37,579	
		600	14.5	2,213	230T	31,612	
			15.9	2,563	294T	36,621	

해서 표시하였다. 최종관입 항타수는 110 타/30 cm 였으며 항타종료후 15 일이 경과후 말뚝재하 시험을 실시하였다. 재하방법은 반력말뚝을 사용하지 않고 시험말뚝 주변에 재하대를 설치하여 시험하였다. 상재하중을 설계하중의 2 배인 200ton 까지 재하하였으나 항복하중이 나타나지

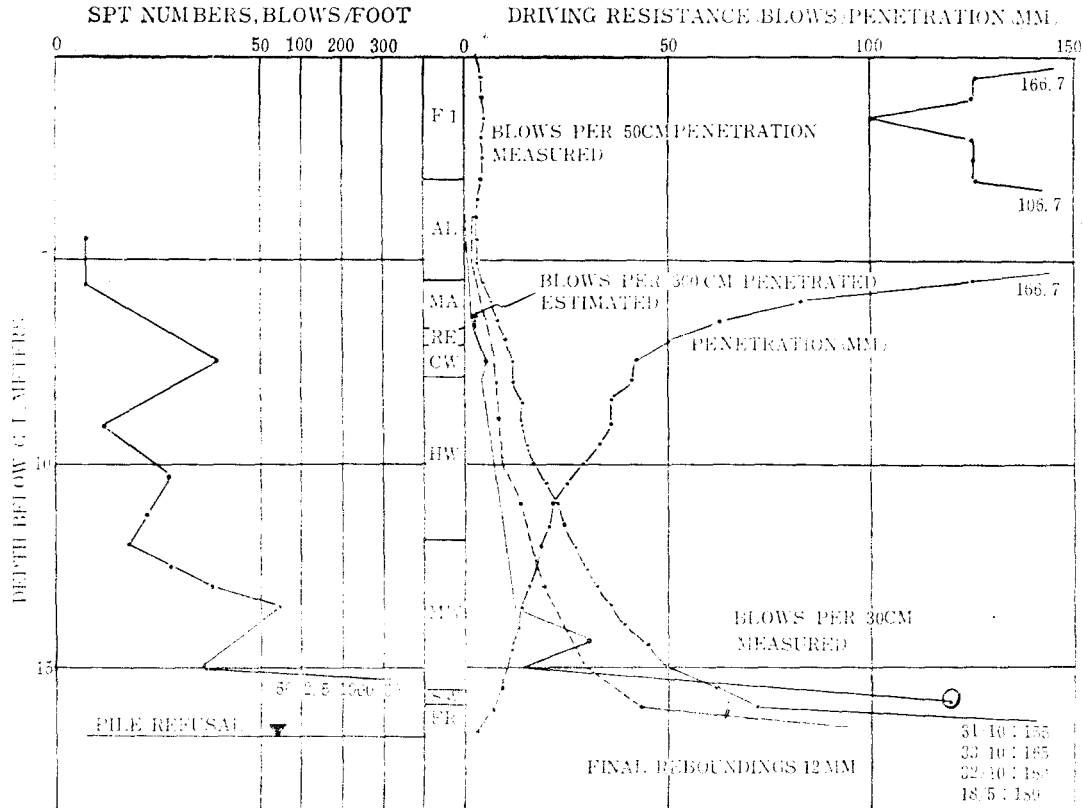
않았다. 파동방정식(Wave equation)에 의한 계산결과에 의하면 항타수가 110 cm/30cm 일때 말뚝의 극한지지력(Ultimate Soil Resistance)은 300ton 으로 계산되었다. 참고로 항타기록을 하일리(Hiley)의 동력학 지지력 공식에 대입하였을때 극한하중은 600 ton 으로 계산되었다.

DRIVING RESISTANCE, BLOWS/FOOT



NOTE : GROUND LEVEL. +8.581M

Fig. 3.4.1 Driving Resistance VS Penetration Curve, DH-17, Boiler Site



NOTE: GROUND LEVEL = 8.581M

Fig. 3.4.2 Pile Driving Record, DH-17, Boiler Site

3.5. 결론

본에는 1개지점을 선정하여 파동방정식 결과와 저항력에 대하여 언급하였다. 부근에서 측정된 재하시험의 값이 200T에서도 탄성한계내에 들므로 설계하중은 100T보다 크나 지층의 복잡성, 관입심도의 불규칙성으로 설계하중은 100T으로 계획하였으며 최종관입량과 예상심도에 따라 현장항타관리를 하였다.

참고 문헌

1. Smith, E.A.L. (1962), "Pile-Driving Analysis by the Wave Equation", ASCE, Vol.127, Part1, pp.1145~1193.
2. Forehand, P.W. and Reese, J.L. Jr. (1964), "Prediction of Pile Capacity by the Wave Equation", ASCE Vol.90 SM2 March, pp.1~25.
3. Pile Analysis-Wave Equation Computer Program User's Manual, TT I, Program.
4. Bowles, J.E. "Foundation Analysis and Design", 3rd Edition
5. Poulos, H.G. and Davis, E.H. "Pile Foundation Analysis and Design".
6. Peck, R.B. Hanson, W.E. and Thornburn, T.H. "Foundation Engineering", 2nd Edition.
7. Weap-Wave Equation Analysis of Piles, User's Manual, Office of Research and Development, Federal Highway Administration, US Department of Transportation, Washington D.C.