

공내재하시험에 의한 기초지반의 지지력 특성 연구

이용길^{*1}, 박경호^{*2}

1. 서론

근래에 와서 급속한 경제 성장으로 각종 구조물이나 공사의 규모 또한 커지고, 지반 조건이 불리한 공사 여건에서 계획되고 있는 사례가 증가하고 있어, 이에 상응하는 보다 다양하고 정확한 지반 정보를 손쉽게 얻을 수 있는 조사 방법의 개발과 보급이 절실히 요구되고 있다. 특히, 원위치시험에 의한 지반 조사는 조사의 편의성 때문에 현장 기술자들이 선호하는 조사 방법으로 공내재하시험(P.M.T)과 같은 새로운 장비의 개발 및 개량, 해석 기법 등의 조사 기술이 국내에 도입되면서 현장 기술자들의 관심이 높아지고 있다. 그러나, 국내에서는 아직 역사가 짧은 관계로 인하여 연구 결과나 국내 지반에 대한 자료의 축적이 미진하여 선진국에서 개발된 상관식들을 이용하여 추정된 지반 물성치들은 신뢰성이 떨어질 뿐만 아니라, 이론적 해석의 어려움 때문에 P.M.T의 결과는 각 지반의 종류와 지질학적 특성에 맞게 특별히 보정된 상관 관계를 이용해야 한다.

따라서, 본 논문에서는 앞으로 지반 개량 실시 예정인 울촌 복합화력발전소 부지에 대하여 여러 가지 시험 조건을 달리하면서 P.M.T를 실시하여 지반의 특성을 파악하고 지지력을 산정하였다. 즉, 각 토층의 특성을 고려하여 각각 다른 크기의 Probe와 Membrane을 사용하였으며, 굴착 방법도 각 지층에 적합하게 변경해 가면서 수행하였다. 또한, P.M.T 결과를 콘관입시험(C.P.T) 및 표준관입시험(S.P.T)

결과와 비교 및 분석하여 상관성을 고찰하였으며, 내부찰각과 극한 압력과의 상관식을 도출하였다. 마지막으로 이러한 관계를 이용하여 진동치환 다짐쇄석말뚝공법으로 개량될 지반의 예상되는 지지력을 산정해 보았다.

2. 이론적 배경

2.1 P.M.T의 개요

P.M.T는 K gler가 하나의 Cell형 측정 장치로 지반의 변형 해석을 실시한 것을 시작으로 1954년 미국의 Fang와 Menard가 서로 독자적으로 연구를 시작하여, 1955년 Menard에 의해 P.M.T 특허가 출원되었다. 그리고, 1957년 미국 Chicago에서 처음으로 P.M.T가 구조물 설계를 위한 지반 변수 산정에 사용된 후, 유럽과 북미지역에 널리 보급되어 사용되었으며, 이에 대한 연구도 활발히 진행되었다. 1978년 Baguelin은 P.M.T의 Probe를 유연한 Membrane에 유압을 통하여 공벽에 작용시키는 장치로 정의했으나, 이후 1991년 ISSMFE에서 "P.M.T는 공벽에 균일한 압력을 가할 수 있게 설계된 팽창할 수 있는 유연한 Membrane을 가진 원통형 Probe이다."라고 정의하였다. 현재, 사용되는 P.M.T는 Menard 형과 OYO 형이 대표적이다. Menard 형은 Probe가 3개의 Cell로 구성되어 있어 중간 셀은 물로서 팽창되며, 양쪽 셀은 질소 가스로 팽창되면서 중간 셀이 균등하

*1 정희원, 현대건설(주) 기술연구소 주임연구원

*2 정희원, 현대건설(주) 울촌 제1지방산단조성공사 현장소장

게 부풀어 오르게 한다. 한편, OYO LLT(Lateral Load Tester) 형은 하나의 Cell로 구성되어 있으며, 단효과를 무시할 정도로 길이가 긴 Probe에 질소 가스를 이용하여 부풀게 하고 체적 팽창은 물의 체적으로 측정한다.

1986년 Baguelin는 현장시험의 유용성 및 신뢰성을 분석한 결과, P.M.T 자료의 약 95%는 사용 가능한 분석 결과를 나타냈으며, C.P.T의 경우는 43%, 불교란 시료를 통한 실내 시험의 경우는 40%만이 유용한 결과를 도출하였다. 이처럼 P.M.T의 유용성이 큰데도 불구하고 국내에서 널리 사용되지 않는 이유는 시험공을 형성하는 천공 기술이 P.M.T 결과에 크게 영향을 주게 되므로 시험공 형성에 많은 노력과 경험이 필요하기 때문이다. 이러한 천공벽의 교란을 최소로 하기 위하여 Self Boring P.M.T가 개발되고 있으며, 최근에 들어서는 C.P.T와 P.M.T에 접합한 Cone Pressuremeter가 사용되고 있다.

국내의 경우 연약지반에 OYO LLT 형, 토사지반이나 풍화암에 OYO Elastometer 형이 사용되고 있으며, 최근에는 Menard 형이 적용되고 있다. 본 연구에서는 Menard 형을 이용하였으며, 특히 모래질 자갈층에도 적용할 수 있도록 Slotted tube와 같은 부속 기구를 이용하였다.

2.2 P.M.T에 의한 지반특성 파악

P.M.T는 말뚝의 재하나 평판재하시험과 같은 일종의 정적 재하시험방법으로 지반의 변형과 파괴에 대한 관계로부터 변형 계수(E_p)와 파괴시 극한 압력(P_L)을 산정한다. E_p 값은 얇은 기초의 침하계산 등에 이용할 수 있으며, P_L 값은 기초의 지지력, 크리프 계수, 초기 지중 응력 등에 응용할 수 있다. 또한, P.M.T의 응력-변형률 곡선 결과를 이용하여 표 1과 같이 대략적인 지층상태를 판단할 수 있다.

만약 지반이 초기상태에서 탄성적으로 거동한다고 가정하면 전단변형계수(G)를 P.M.T 결과로부터 식 (1)과 같이 구할 수 있다.

표 1. P.M.T에 의한 흙의 분류(Clarke, 1995)

지층구분	E_v/P
매우 느슨, 느슨한 모래	4 ~ 7
중간정도의 느슨한 모래	7 ~ 10
peat, 연약 ~ 경과압밀된 점토	8 ~ 10
과압밀된 점토	10 ~ 20
풍화암	8 ~ 40

$$G = V \cdot \frac{4P}{4V} \quad (1)$$

여기서, V : cell 체적

$$\frac{4P}{4V} : \text{pressuremeter 시험 곡선의 기울기}$$

탄성 계수를 얻기 위해서는 포아송비를 가정해야 하며, 탄성 계수는 변형률 배수 조건에 따라 영향을 받게 되므로 보정계수(α)인 Rheological Factor를 사용하여 식 (2)과 같이 구한다.

$$E_p = 2(1+\nu) \cdot G \quad (2)$$

여기서, ν : 포아송비

표 2. 토질별 Rheological Factor(Menard, 1975)

흙의 구분	점토	실트	모래	자갈
α	2/3	1/2	1/3	1/4

3. 공내재하시험

3.1 현장 개요

본 현장은 행정구역상 전남 순천시에 위치하는 광양만 일대로 울촌 제 1지방산단내의 복합화력발전소 건설 부지로, 본 해안선 주위는 Rias식 침강 해안으로 노년기 지형에 해당한다. 주변 지역의 지표 지질 조사 결과에 의하면, 본 부지는 유천층군의 화산암류

와 신성리층이 주로 분포하고 있다.

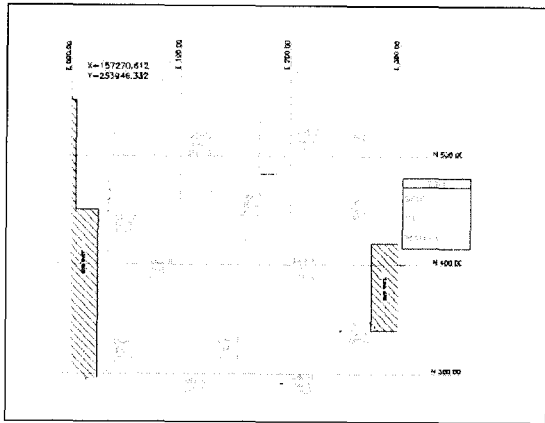


그림 1. 현장 시험 위치도

표 3. 현장 지반의 토질 정수

구분	매립층		해성점토층	
	범위	평균	범위	평균
비중	2.64~2.67	2.65	2.68~2.70	2.69
200번체 통과량(%)	-	-	3.7~19.1	10.1
유기물 함량	LL(%)	-	50.3~77.0	66.6
	PI(%)	-	28.6~46.6	38.9
자연 상태	자연함수비(%)	12.9~35.9	23.4	43.4~69.0
	간극비	-	-	1.204~1.879
	γ (t/m ³)	-	-	1.579~1.751
삼축 시험	c (kg/cm ²)	-	-	0.11~0.33
	ϕ (deg)	-	-	12.7~28.3
압밀 시험	P _c (kg/cm ²)	-	-	0.73~1.56
	m _v (*10 ² cm ² /kg)	-	-	1.34~32.6
	c _c	-	-	0.43~0.77
	c _v (*10 ³ cm ² /sec)	-	-	0.29~5.51
USCS	ML, SM		CH	
q.c(MPa)	1.5~12.0		0.5	

그림 1은 본 현장 시험의 위치도를 나타낸 것으로 P.M.T 4공과 시추 조사 8공을 포함한 총 12공에 대한 시추 조사를 시행한 결과, 지표로부터 산토매립층, 해성점토층, 모래질 자갈층, 풍화토, 풍화암의 층서 구조를 보였고, 지하수위는 G.L. (-)4.3~(-)4.5m로

서 대부분 매립층내에 분포하였으며, 산토매립층과 해성점토층의 토질 정수는 표 3과 같이 나타났다.

현 지반고에서 대략 지중 18m에 존재하는 모래질 자갈층은 두께가 2~5.9m로 때때로 자갈보다도 모래질이 더 많은 층도 존재하였고, C.P.T 콘의 관입 한계를 벗어나 선단 저항값 획득이 불가능하였다. 풍화토는 응회암으로부터 형성된 층으로 대개 표층에서 21m부터 1.3~8.7m의 두께로 분포하였다. 풍화암은 완전 풍화내지 높은 풍화상태로서 Hammer 등의 타격에 의해 실트질 모래로 파쇄되며, T.C.R은 15~100% 이고, R.Q.D는 0~60%의 범위를 보였다.

3.2 시험 장비 및 Calibration

본 연구에 사용된 P.M.T 장비는 프랑스 Apageo Segram사에서 제작된 Menard Pressuremeter로 그 구성은 그림 2와 같으며, G-type의 Three Cell Probe와 병행하여 사용하였다. 본 장비의 최대 가압 능력은 100 bar이며, 시험에 필요한 압력은 질소 가스를 사용하였고, Probe는 AX Size(외경 44mm)와 NX Size(외경 74mm) 두 가지로 시험 대상 지층의 특성에 따라 선택하였다.

현장 시험 전에 시험기의 안정성을 검토하는데 반드시 시행하는 Calibration은 Volume Loss와 Pressure Loss 두 가지가 있으며, 새로운 Membrane이나 Cover를 교체하였을 때, Probe 및 Tube 내의 공기를 제거한 후에는 반드시 수행하여야 한다.

먼저, Volume Loss에 대한 Calibration은 시험중 압력의 증가에 따라 시험 기구를 구성하는 모든 부속품의 확장성 및 신축성을 측정하여 실제로 측정 Cell(Central Cell) 내에서 주변 지반의 변위에만 반응하는 유효 체적을 환산하기 위하여 실시한다.

Calibration 과정은 먼저, Probe 및 Tube 내의 공기를 완전히 배출시킨 후 Probe를 평평한 바닥에 놓고, 수량계의 눈금을 0에 맞춘 후 측정 Cell과 가이드



그림 2. 공내재하시험기

Cell의 압력차이를 1 bar로 맞춘다. 이때, 새로운 Membrane과 Cover를 사용하는 경우에는 2~3회 충분히 팽창시킨다. 그리고, 충분한 강성을 가진 두께 8mm 이상의 철제 Casing을 준비한 후 Probe를 Casing에 삽입한 다음 압력 조절기를 사용하여 압력을 단계적으로 증가시켜 가면서 각 압력 단계에서 60초 경과후의 수량계를 측정한다. 최종 압력은 52 bar를 초과하지 않도록 하고, 주입 압력과 주입량의 그래프를 작성하여 체적과 압력의 2차 직선부를 최적화한 직선이 체적축과 만나는 점(V_c) 및 최적화 직선부의 기울기(a) 값을 구한다. 마지막으로 $a > 6$ 이 되면 Probe 및 Tube의 공기를 제거한 후, 다시 Calibration을 실시한다. 본 장비의 Volume Loss Calibration 곡선은 그림 3과 같이 나타났다.

한편, Pressure Loss Calibration은 Probe에 사용된 Membrane 및 Cover의 강성을 측정하는 것으로, 현장 시험중에 Probe에 주입되는 체적의 증가에 따른 Probe Wall(Membrane+Cover)의 저항 강도를 측정하여 압력 Gauge의 표시 압력을 실제 지반에 가해지는 유효 압력으로 환산하기 위함이다.

그림 4는 본 장비의 Pressure Loss Calibration 결과를 나타낸 것으로 그 절차는 Probe 및 Tube 내의 공기를 완전히 배출시킨 후 Probe를 평평한 바닥에 놓고 수량계의 눈금을 0에 맞춘 후 측정 Cell과 가이드 Cell의 압력차를 1 bar로 맞춘다. 그 다음, 압력

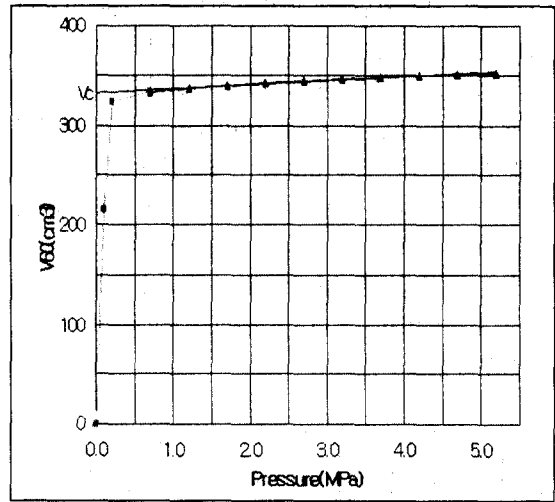


그림 3. Volume Loss Calibration 곡선

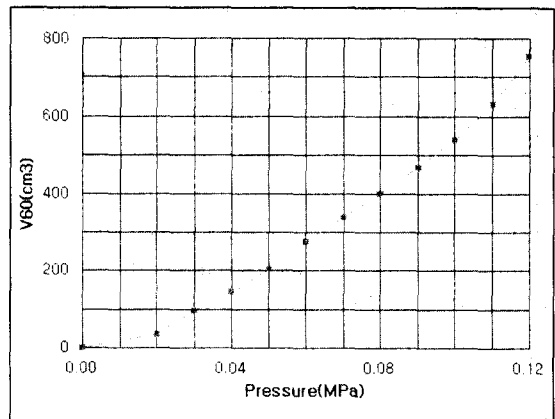


그림 4. Pressure Loss Calibration 곡선

조절기를 조작하여 측정 Cell의 압력이 0.1 bar가 되도록 맞춘 후 60초 경과시의 수량계를 읽는다. 이때, 총 주입량이 AX Probe의 경우 550cc, NX Probe의 경우 750cc를 초과하지 않게 하여 주입 압력과 주입량의 관계 곡선을 그린다.

3.3 시험 방법

표 4는 토질별 천공 방법 및 P.M.T 시험 조건을 나타낸 것으로 산토매립층에서 Membrane은 Metal

Cover를 사용하였고, 벤토나이트 니수를 이용한 Drag Bit로 천공하였다. 그리고, 모래질 자갈층은 Slotted Tube와 Metal Cover를 사용하였으며, 시험공 직경보다 작은 직경으로 예비공을 천공후 타격에 의해 원하는 심도에 Probe를 정치하였다. 한편, 풍화토층에서는 Steel Reinforced Cover를 사용하였고, 천공은 벤토나이트 니수를 이용한 Drag Bit로 굴착하였다. 풍화암층은 Metal Cover를 이용하였고 천공은 니수를 이용한 Core Barrel를 사용하여 시험공을 형성하였다.

표 4. 토질별 천공 방법 및 P.M.T 시험 조건

심도(m)	사용 Probe	천공 방법	비고
3.0	74mm metal cover	74mm drag bit with bentonite	산토 매립층
18.5	44mm metal cover	60mm pilot hole with hammering	모래질 자갈
19.5	63mm slotted tube		
20.5			풍화토
22.0	74mm steel reinforced cover	74mm drag bit with bentonite	풍화암
23.0			
24.0			
25.0		74mm core barrel with bentonite	풍화암
26.0	74mm metal cover		
28.0			
30.0			
32.0			
34.0			



그림 5. P.M.T 시험 전경

4개의 시험공 P₁, P₂, P₃ 및 P₄의 심도는 각각 34.5m, 25.5m, 29.5m 및 28m까지로 모두 53회의 P.M.T를 시행하였다. 여기서, P₁이 다른 시험공에 비하여 심도가 깊은 것은 제일 먼저 시행되었기 때문이며 P₂, P₃ 및 P₄는 암반층이어서 Creep에 무관하게 최대 측정 압력이 30 bar를 초과하는 값이 3회 이상 연속하여 산출될때면 시험을 종료하였다. 그리고, 최대 압력 30 bar는 P₁에서 3회(24, 25, 26m)의 시험 동안 Probe가 과열될 때를 기준으로 하여 경험상 산정된 값이다.

4. 시험결과 분석 및 고찰

4.1 지층별 극한압력과 변형계수

각 시험마다 측정된 주입압력은 Pressure Loss와 정수압에 대하여 보정해야 하며, 주입량은 Volume Loss에 대하여 보정한다. P_i은 Probe 체적이 원 지반공동의 2배 체적에 도달할 때의 압력으로 정의된다. 즉, P-1/V 곡선에서 소성영역의 연장선과 V_s+2V_i이 만나는 압력을 정의하는 것으로 그림 6과 같이 구해지며, E_p는 그림 7의 분석 곡선과 식(3)으로부터 산정된다.

$$E_p = 2(1 + \nu)(V_s + V_m) \Delta P / \Delta V \quad (3)$$

여기서, ν : 포아슨비(일반적으로 0.33)

V_s : 비확장된 probe의 측정구간 부피

ΔV : 탄성영역의 부피증가분 ($V_2 - V_1$)

ΔP : 탄성영역의 압력증가분 ($P_2 - P_1$)

V_m : 부피증가분의 중간값 $[(V_1 + V_2)/2]$

P_1, V_1 : 탄성영역 초기의 수정체적과 압력

P_2, V_2 : 탄성영역 말기의 수정체적과 압력

각 측정공에 대하여 그림 7과 같은 분석을 수행한 후, 전 심도에 대하여 극한 압력과 변형 계수를 산정

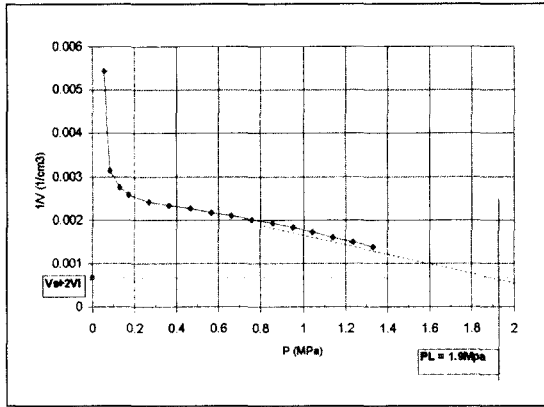


그림 6. P-1/V 관계곡선

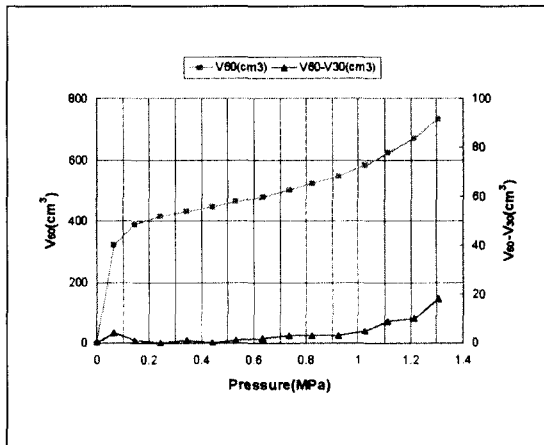


그림 7. 대표적인 P.M.T 분석 곡선

한 결과 표 5와 같이 나타났다. 여기서, 토층이 변화하는 양상을 나타내기 위하여 음영으로 표현하였다.

표 5를 토층별로 평균하면 표 6과 같이 요약될 수 있으며, 각 공별로 구해진 P_L 과 E_p 의 평균값을 구하여 일반적으로 제안된 기준으로 토층을 분류해 보면 표 7과 같이 구분된다. 즉, 산토매립층은 극한 압력이 0.8MPa 이고, 변형 계수는 9.0MPa로서 일반적인 분류법에 의하면 오래된 성토지반으로 구분되며, 모래질 자갈층은 극한 압력 3.7MPa, 변형 계수가 30.6MPa로 모래자갈로 분류된다. 한편, E_p/P_L 값은 산토 11.7, 모래자갈 8.2, 풍화대 10.5, 풍화암 30.2

로 산정되어, 산토와 모래자갈층은 보통정도의 조밀한 상태를 보이며, 풍화토는 아주 조밀한 상태로 판단되었다.

그림 8은 P_L 의 심도별 P_L 과 E_p 를 도시한 것으로 그림에서 보듯이 모래질 자갈층과 풍화암의 중간층에 해당하는 풍화토는 확연히 구분이 생기며, 풍화암인 경우는 응력의 증가에 따른 변위가 적기 때문에 변형 계수가 일반 토사나 풍화토 보다 크게 산출되어 확연히 구분되어진다.

표5.P.M.T 시험결과

공 번호 (cm)	공 별							
	P1		P2		P3		P4	
	P_L	E_p	P_L	E_p	P_L	E_p	P_L	E_p
2	-	-	1.06	11.73	0.63	6.33	0.69	5.22
3	1.13	18.07	1.23	15.95	0.68	5.55	0.63	5.53
4	-	-	0.31	1.55	0.83	5.25	0.45	2.32
5	-	-	0.42	4.70	0.49	3.36	0.71	7.70
6	-	-	0.25	4.42	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-
17	-	-	-	-	1.33	5.47	-	-
18	-	-	3.95	37.04	1.72	6.76	-	-
19	≥6.01	58.49	4.34	42.71	4.01	26.42	3.22	26.11
20	3.27	18.85	1.91	16.53	1.83	11.27	3.96	34.28
21	1.39	9.21	2.56	29.99	3.29	16.56	3.25	51.37
22	1.42	16.38	3.08	39.91	2.69	15.12	4.37	40.43
23	1.81	35.79	5.27	95.43	1.59	7.24	1.80	17.03
24	≥5.22	235.46	4.03	97.38	2.24	9.71	3.19	53.01
25	≥6.57	500.00	3.99	63.55	4.08	49.00	4.50	56.06
26	3.30	55.88	-	-	-	-	-	-
27	-	-	-	-	≥5.23	141.51	≥5.60	82.90
28	≥5.52	458.22	-	-	-	-	-	-
29	-	-	-	-	≥5.00	218.63	-	-
30	≥5.57	312.06	-	-	-	-	-	-
32	≥5.93	247.10	-	-	-	-	-	-
34	≥7.03	380.88	-	-	-	-	-	-
계	13회		13회		15회		12회	
	52회							

표 6. 토층별 평균 극한 압력과 변형 계수(단위:MPa)

토층	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	P ₇
산토매립층	1.1	18.1	0.7	7.7	0.7	5.1	0.6
모래질자갈	4.6	38.7	4.2	39.9	2.5	13.6	3.6
풍화토	1.5	20.5	2.2	23.3	1.9	8.5	3.4
풍화암	≥5.6	312.8	4.1	74.1	≥4.8	136.4	≥5.6

표 7. P.M.T 결과로 의한 토층 구분

토층 구분	P(MPa)	E(MPa)	비 고
산토매립층	0.8	9.0	Old fill
해성점토층	-	-	시험 미시행
모래질자갈	3.7	30.6	Sand and Gravel
풍화토	2.3	24.0	Sedimentary Sand
풍화암	5.0	151.5	Stone

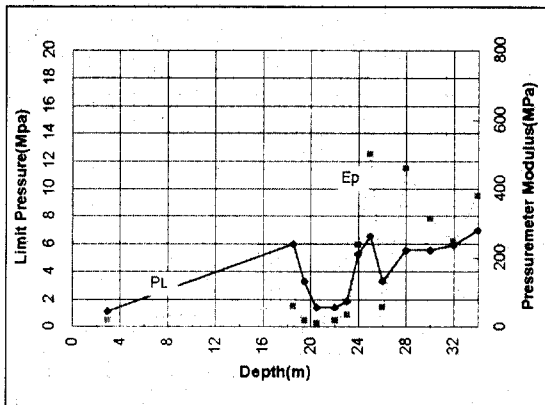


그림 8. 심도에 따른 P.M.T 특성치 변화

4.2 극한 압력과 내부 마찰각의 상관성

Menard(1975)는 P.M.T에서 산정한 극한 압력과 내부 마찰각의 상관성을 연구한 결과, 식 (4)와 같이 제안하였다. 본 연구에서는 이 상관식의 적용성을 검토하기 위하여 식 (5)와 같이 S.P.T의 N값을 이용하여 내부 마찰각을 산정하여 극한 압력값을 추정하기 위하여 식 (4)의 b값을 변화시켜 가면서 측정값(x)과 추정값(y)을 나타내는 관계식이 y=x 에 가장 근접하는 b값을 산정하였다.

$$PL = b \times 2^{(\phi' - 24)/4} \quad (4)$$

$$\phi = 0.3N + 27 \quad (5)$$

그림 9 및 표 8은 극한 압력의 실측값과 추정값의 상관성을 도시한 것으로 비록 데이터 수가 많지 않지만, 전체적으로 직선적인 관계를 나타내었다. 이러한 관계를 이용하여 상수 b 값을 산정한 결과, 극한 압력 추정식은 식 (6)와 같이 나타낼 수 있었다.

$$PL = 2.6 \times 2^{(\phi' - 24)/4} \quad (6)$$

식 (6)으로부터 실제 측정된 극한 압력값을 이용하여 내부 마찰각을 추정해 보면, 그림 10과 같이 나타났다.

또한, 이 추정된 상관식 (6)을 이용하여 극한 압력과 내부 마찰각의 상관도를 도시하면 그림 11과 같이 나타낼 수 있다. 즉, 임의의 지반에서 P.M.T을 실시하여 극한 압력을 측정하면, 대략적인 지반의 내부 마찰각 추정이 가능하게 된다.

4.3 극한 압력과 선단저항력의 상관성

P.M.T에 의해 얻어지는 토질 변수와 C.P.T에 의한 토질 변수의 상관성을 살펴보기 위해서 극한 압력에 대한 선단저항력의 비(q_u/P_L)를 상부 산토매립층에 대하여 고찰해 보았다. 그림 12는 C.P.T 시험 결과를 나타낸 것으로 선단저항력은 실선으로, 마찰율은 점선으로 심도별로 나타내었다. C.P.T의 선단저항력과 P.M.T에서 분석한 극한 압력의 값을 이용하여 표 9와 같이 q_u/P_L 를 산출하였으며, 이 결과로 토질 분류를 실시한 결과 q_u/P_L 의 값이 2.9~15.1의 분

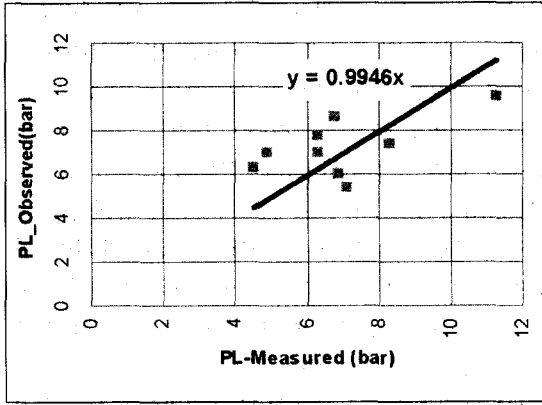


그림 9. 극한 압력의 측정값과 추정값 상관도

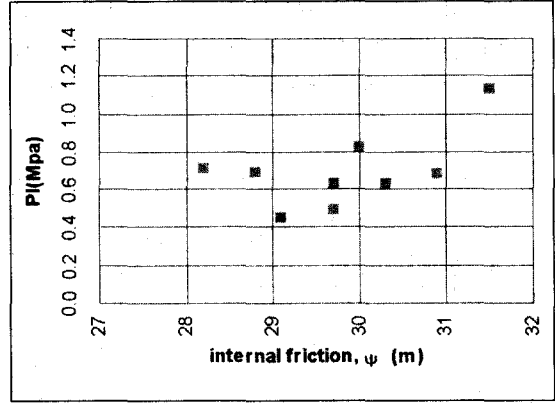


그림 10. 실제 측정된 PL과 추정된 ϕ 의 관계

표 8. 극한 압력과 내부 마찰각의 상관성 분석

P (bar)	PL (t/m ²)	내부마찰각	PL (MPa)
11.3	15	31.5	9.5
6.3	9	29.7	7.0
6.8	13	30.9	8.6
8.3	10	30.0	7.4
4.9	9	29.7	7.0
6.9	6	28.8	6.0
6.3	11	30.3	7.7
4.5	7	29.1	6.3
7.1	4	28.2	5.4

※ 추정값(단, b=2.6)

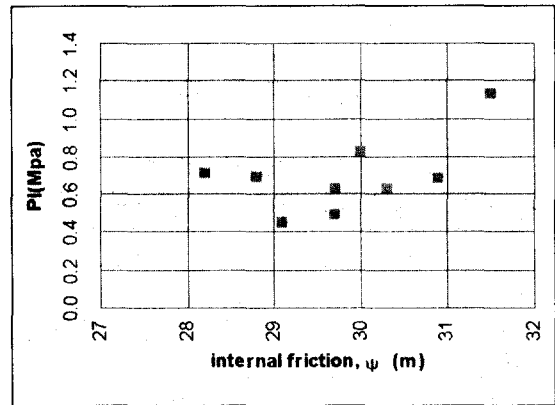


그림 11. P.M.T의 PL을 이용한 ϕ 추정

포로 평균 8.5 정도로 나타났다. 이는 1982년 Van Wambeke 분류에 의하면 실트쉬인 모래로 판명되었다.

4.4 다짐쇄석말뚝의 극한 지지력 산정

본 현장은 진동치환 다짐쇄석말뚝공법으로 지반 보강될 예정이다. 진동치환 다짐쇄석말뚝공법은 진동을 이용하여 연약토층을 쇄석으로 치환하면서 말뚝 기둥을 형성함으로써 지반 개량, 배수 및 지지력 보강의 효과를 얻기 위한 방법으로 기초 침하 억제, 사면 활동 방지, 매립토상에 구조물 축조 등의 목적

으로 적용된다. 이 공법의 적용에 따른 단일 말뚝의 극한 지지력은 쇄석의 내부 마찰각과 극한 압력을 이용하여 식 (7)과 같이 구할 수 있다(Menard, 1975).

$$q_{ult} = \tan^2 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi_b}{2} \right) P_L \quad (7)$$

여기서, P_L 은 P.M.T에서 구한 극한 압력이며, ϕ_b 는 다짐쇄석의 내부마찰각이다.

본 연구에서는 쇄석의 내부 마찰각을 45°로 가정하고 식 (7)을 적용하여 P.M.T가 수행된 P₁공에 대하여 극한 지지력과 안전율 3을 이용하여 허용 지지력을 산정한 결과 심도 20m인 경우에 극한 지지력은 8100 KPa, 허용 지지력은 2700 KPa로 산정되었다.

그러나, 이 값은 개략적인 설계값으로 사용될 수 있는 값이므로 추후 실제 시험 시공을 통한 정제하 시험 및 동재하 시험의 결과와 비교 분석이 필요한 것으로 판단된다.

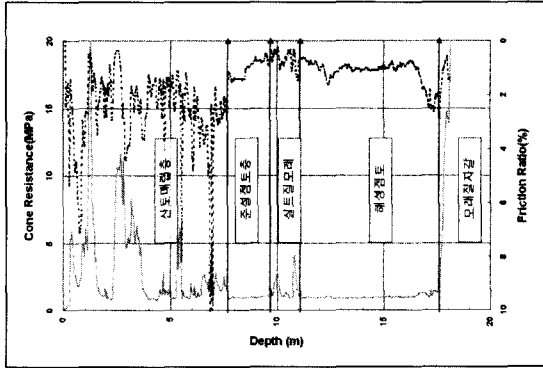


그림 12. C.P.T 시험 결과

표 9. 극한 압력에 대한 선단저항력비

P.(MPa)	q _c (MPa)	q _v /P.	토질 분류
1.13	3.28	2.9	clay
0.63	3.89	6.2	silt~sand
0.68	10.26	15.1	dense sand and gravel
0.83	9.87	11.9	sand
0.49	1.77	3.6	clay~silt
0.69	8.22	11.9	sand
0.63	11.15	17.7*	dense sand and gravel
0.45	2.17	4.8	clay ~silt
0.71	1.69	2.4*	clay
평균		8.5	silty sand

※ 최고, 최저값은 평균값 산정에서 제외함.

5. 결론

본 연구에서는 지반 특성을 파악하는 현장 지반조사 방법중의 하나이지만, S.P.T나 C.P.T에 비하여 현재까지 국내에서는 상대적으로 사용 빈도가 적은 P.M.T를 서로 다른 지층별로 부착 기구를 달리하고, 굴착 방법도 각 지층에 적합하게 변경해 가면서 수행

하여 토질 변수를 산정하였다. 그리고 산토매립층에 대하여 S.P.T 및 C.P.T 결과와 비교 및 분석하여 상관성을 고찰한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

각 지층별로 특성을 고려하여 부착 기구를 달리하면서 P.M.T을 실시한 결과, 심도별로 극한 압력과 Menard 변형 계수가 모래질 자갈층과 풍화암의 중간층에 해당하는 풍화토는 확연히 구분이 생기며, 풍화암인 경우는 응력의 증가에 따른 변위가 적기 때문에 변형 계수가 일반 토사나 풍화대 보다 크게 산출되어 확연히 구분되어진다.

산토매립층에서 실시한 P.M.T 결과와 C.P.T의 결과를 고찰한 결과, 극한 압력에 대한 콘관입선단저항력의 비가 8 정도로 나타났으며, 내부 마찰각과 극한 압력과의 상관성을 나타내는 Menard의 관계식에서 상수의 값이 약 2.6으로 산정되었다. 또한, 이러한 관계를 이용하여 진동치환 다짐쇄석말뚝공법을 계획할 때 예상되는 지지력을 산정할 수 있었다.

향후에는 보다 많은 P.M.T를 실시하여 현장시험 상호간의 상관성에 대한 많은 연구가 수행되어야 하며 기초의 지지력 산정, 수평 토압 구조물 설계, 도로 포장 및 말뚝의 지지력 산정 등에 관한 많은 연구가 추가적으로 필요하다.

참고문헌

1. 박동찬, 박경호(1997), "울춘 제1 지방공단 조성공사", 대한토목학회지, 제45권, 제7호, pp.50~61.
2. 이용길, 윤길림, 이영남(1998), "지반특성파악과 지지력 산정을 위한 현장사운딩 시스템연구", 96GE O04, 현대건설기술연구소
3. Amar, S., Clarke, B., Gambin, M. and Orr, T.(1991), "The application of pressuremeter test results to foundation design in Europe : A state of the art report by the ISSMFE European Technical Committee on pressure- meters", pp.1~23.
4. Baguelin, F., Bustamante, M., and Frank, R.

- (1986), "The pressuremeter for foundations", Proc. Int. Symp. on the use of In Situ tests, 'In Situ 86', ASCE, GSP, No.6, New York.
5. Briaud, J. L.(1992), "The Pressuremeter ", A.A. Balkema, Rotterdam.
6. Clarke, B.(1995), "Pressuremeters in Geotechnical design", B.A.P.(Chapman & Hall Group), London.
7. Gambin, M. and Frank, R.(1995), "The present design rules for foundations based on menard PMT results", Proc. I.S.P. 4 at Sherbrooke, A.A. Balkema, Rotterdam.
8. HYUNDAI Engineering and Construction Co. Ltd., "Geotechnical Investigation report on YULCHON combined cycle power plant", 2000. 6.
9. Menard, L.(1975), "The Menard pressuremeter : interpretation and application of the pressuremeter test results to foundations design", Sols Soils, No.26, pp.5~44.

한국지반공학회 논문집 정기구독 신청 안내

회원 여러분의 안위를 기원합니다.

1999년 1월부터 우리학회의 간행물이 학회지와 논문집으로 분리 발간되었습니다. 학회지는 매월 무가로 회원들께 배포되며, 논문집은 유가로 1년에 20,000원의 구독료를 납부하고 받아 보실 수 있습니다. 필요하신 회원은 다음 사항을 참고하셔서 논문집 구독 신청을 하시기 바랍니다.

다음

- 구 독 료 : 1년 6회, 20,000원
- 신청기한 : 수시(단, 신청시점이 구독료 납부 회계시점임)
- 입 금 처 : 한국주택은행 (예금주: 한국지반공학회) 534637-01-002333
- * 입금 후 반드시 학회 사무국(02-3474-4428, 7865)으로 연락하여 확인하시기 바랍니다.