

Dilatometer를 이용한 인천국제공항 지역의 지반개량효과 평가 **Evaluation to the effect of ground improvement at Incheon International Airport area using the Flat Dilatometer**

김종국 Jong-Kook, Kim,¹⁾ 김학중 Hak-Joong, Kim,²⁾ 전창대 Chang-Dae, Jun,³⁾

¹⁾ (주) 유신코퍼레이션 인천국제공항 AIRSIDE, 대리, Engineer, IIA Airside, Yoosin Engineering Corporation.

²⁾ 인천국제공항공사 건설시험소 과장, Manager, Res. & Analysis Div. IIA corp.

³⁾ 시립 인천대학교 토목공학과 석사과정, Graduate Student, Dept. of Civil Eng., Univ. of Incheon.

SYNOPSIS : When highly compressible, clayey soil layers lies at a limited depth and large consolidation settlements are expected as the result of construction, precompression of soil may be used to minimize postconstruction settlement. In this study, we tried to find the possibility about the effect of ground improvement using flat dilatometer at the Incheon International Airport where preloading was installed. Field and laboratory tests were performed for soft ground before and after preloading in order to check the effectiveness of the soft ground improvement and compared with the test results of dilatometer which obtained before and after preloading at the same location. Field tests such as flat dilatometer, vane, CPTu tests were performed before and after preloading and undisturbed samples are obtained to carry out laboratory tests. As comparing results, after preloading, unit weight, effective stress, undrained shear strength were increased and we can also check the decrease of consolidation late caused of decrease of void ratio. Furthermore, it is assumed that the possibility on the effect of ground improvement by using the flat dilatometer

Key Words ; preloading, dilatometer, CPTu, consolidation late, ground improvement

1. 서론

대부분의 건설지역에 분포하는 지반을 대상으로 지반정보를 얻기 위한 수단으로 지반조사가 수행되고 있으며, 최근 다소의 시험시간이 소요되는 실내시험결과를 분석하는 방법보다는 현장에서 직접 측정을 통해 지반정보를 추정하는 신속하고 경제적인 지반조사방법을 선호하고 있는 추세다. 국내에서도 최신 시험장비들의 도입으로 CPT, PMT, DMT 등의 다각적인 원위치 시험이 수행되고 있는 실정에 있다. 근래들어 피에조콘을 이용한 지반조사가 증가하는 추세에 있으며, 이와 병행하여 DMT에 의한 지반조사가 소규모로 이루어지고 있는 실정에 있어 많은 관심이 대두 되고 있다. DMT시험은 정적콘 관입장비를 사용하여 브레이드 관입기를 삽입한 후 질소가스 주입에 의한 멤브레인 팽창에 의한 지반내의 변형을 유발하게 되는 원리를 이용하는 방식으로 연약지반조사에 적용할수 있고, 장비자체의 경제성과 실내시험없이 토질정수를 신속히 추정할 수 있는 시험결과를 얻을 수 있는 장점이 있다.

따라서, 본 연구에서는 유도로지역의 연약지반을 대상으로 선행재하 전·후에 실내 및 현장 지반조사·시험을 수행하였다. DMT시험결과를 중심으로 물리적·역학적특성 변화를 살펴보았으며, 현장배인, CPTu 및 실내시험결과와의 비배수전단강도를 비교분석한 결과를 통해 달라토미터를 이용한 지반개량효과와의 신속한 평가 가능성을 살펴보았다.

2. 시험 개요

2.1 DMT의 개요

Flat dilatometer는 1970년 이탈리아의 Silvano Marchetti 교수에 의하여 고안된 장비로 두께 14mm, 폭 95mm의 강관에 지름 6cm인 스틸 멤브레인이 한쪽면에 부착된 blade를 사용하고 있으며, 관입시는 정적관입장치를 이용하여 자갈층 및 굳은지반 (N=40이상)을 제외한 점토 또는 모래등 거의 모든 연약지반에서 쉽게 활용할 수 있으며 특히 20cm 깊이 간격으로 연속적으로 시험이 가능하며 시험방법이 간편하여 토질정수를 추정하는데 매우 효과적이다.

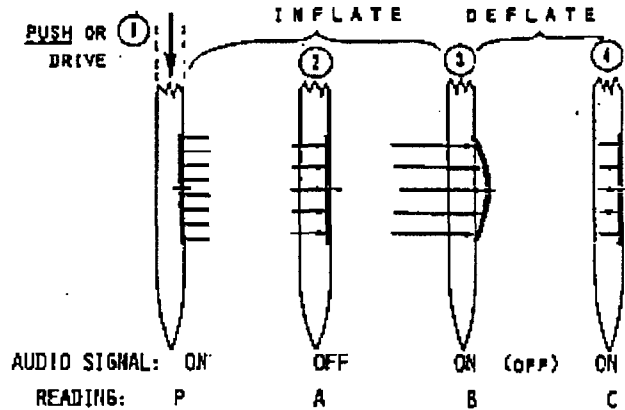


Fig 1. DMT의 멤브레인(membrane)에 의한 측정

Fig 1과 같이 blade는 케이블을 통해 압축공기를 주입하면 스틸멤브레인이 팽창되고, 그 압력으로 인하여 지반내에 변형을 발생시켜 A, B, C 값을 얻을수 있으며 아래와 같은 관계식을 얻을수 있다.

$$P_0 = 1.05(A - Z_M + \Delta A) - 0.05(B - Z_M - \Delta B) \quad \text{----- (1)}$$

$$P_1 = B - Z_M - \Delta B \quad \text{----- (2)}$$

$$P_2 = C - Z_M + \Delta A \quad \text{----- (3)}$$

여기서, A : 관입에 의하여 수축된 membrane을 0.05mm 팽창시킬때의 압력

B : membrane 중심부가 1.1mm 팽창했을 때의 압력

C : 멤브레인이 다시 원래의 위치로 되돌아 왔을 때의 측정된 압력

ΔA : membrane의 강성을 극복하기 위한 대기중에서 A값에 대한 보정

ΔB : membrane의 강성을 극복하기 위한 대기중에서 B값에 대한 보정

Z_M : 대기압으로 배출할 때의 압력값

위의 관계식을 이용하여 델라토미터 지수(E_D), 재료지수(I_D), 수평응력지수(K_D), 간극수압지수(U_D)등을 구할수 있다.

$$E_D = 34.7 (P_1 - P_0) \quad \text{----- (4)} \quad K_D = \frac{P_0 - u_0}{\sigma'_{v0}} \quad \text{----- (5)}$$

$$I_D = \frac{P_1 - P_0}{P_0 - u_0} \quad \text{----- (6)} \quad U_D = \frac{P_2 - u_0}{P_0 - u_0} \quad \text{----- (7)}$$

또한, 위의 관계식에서 얻은 E_D , I_D , K_D , U_D 등을 이용하여 대상 지반의 특성을 파악하는데 활용할 수 있다.

2.2 시험지반의 개요

인천국제공항건설은 조수간만의 차가 8~9m에 이르는 섬사이의 간석지를 매립한 부지로 연약 점성토

층은 대략 5~10m 정도 분포하고 있으며 연약지반의 압밀축진을 위하여 수직배수재와 프리로딩공법을 병행하여 설치하도록 되어있다. 본 연구에서는 이들 중 유도로의 일부 연약지반을 조사지역으로 선정하였다. 조사지역은 주행성(Trafficability) 확보를 위해 약 2m정도의 준설매립을 실시한 후 Sand Mat 포설(1.2m)과 1.8 x 1.8m 간격으로 수직배수재인 PDB(Plastic Drain Board)를 시공한 지역으로 약 4~5m의 추가성토에 의한 선행재하 공법(pre-loading)을 적용하였다. Fig 2.는 개략적인 지반개량 단면도이다.

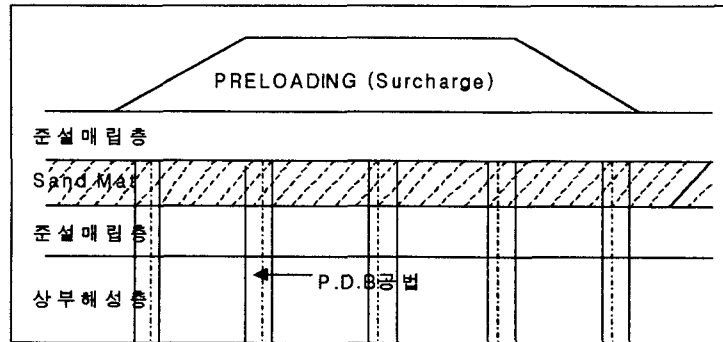


Fig 2. 연약지반 개량 단면도

이러한 연약지반을 대상으로 연약지반 개량전(pre-loading설치 전)의 지반조사 결과와 개량후(pre-loading설치 후)의 지반조사결과를 비교하기 위해 개량전의 조사와 동일지점인 BH-1~ BH-6중 4 개소를 선정하여 불교관시료 채취 및 현장배인시험, CPT_U시험, Dilatometer시험등을 수행하였다.

3. 시험결과 및 분석

본 연구에서는 연약지반 점성도에 대한 선행재하 전 조사와 선행재하 후의 실시한 확인조사를 통해 각각의 실내시험 및 현장시험을 시행하였다. 딜라토미터결과를 통해 흙의 분류와 단위중량의 변화를 살펴보고 과압밀비(OCR), 수평압밀계수(C_h)등의 변화에 따른 개량효과를 알아 보았다. 특히, DMT시험결과와 현장배인, 피에조콘 및 실내시험등으로부터 구한 비배수 강도(S_u)를 비교를 통해 지반개량효과 평가 가능성을 확인하였다. Fig 3은 이 들중 대표 지역(BH-1)의 결과를 나타내었다.

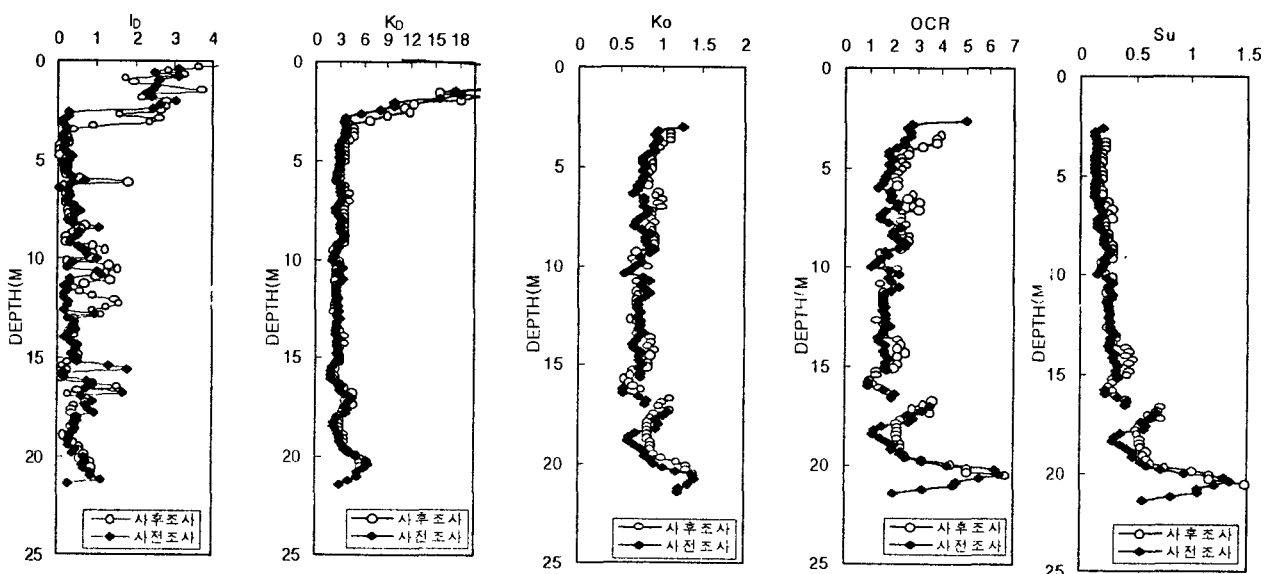


Fig 3. 선행재하 전·후의 D.M.T의 시험결과 비교 (BH-1)

3.1 흙의 분류와 단위중량

Marchetti(1980)는 단순히 물질지수(I_D)값을 사용하여 지반의 종류를 구분하는 방법을 제안하였고, 그 후 Marchetti & Crapps(1981)은 지반의 종류뿐만 아니라 단위중량을 결정하기 위하여 I_D 값과 딜레토미터 상수 (E_D)값을 이용하여 상관관계도를 제안하였다. 또한 DMT의 물질지수(I_D)와 간극수압지수(U_D)를 이용한 흙의 분류 시스템을 Campaneia & Robertson(1985)이 제안하기도 하였다.

본 연구에서는 Marchetti가 제안한 분류 도표를 이용하여 지반 개량 전·후의 심도별 흙의 거동상태를 살펴보았으며, 물질지수(I_D)를 이용하여 흙의 분류를 도시한 결과는 Fig 4.와 같다. 또한, 지반개량 전·후에 나타난 I_D 값과 E_D 을 이용하여 단위중량변화를 비교한 결과 Fig 5.와 같이 나타났다.

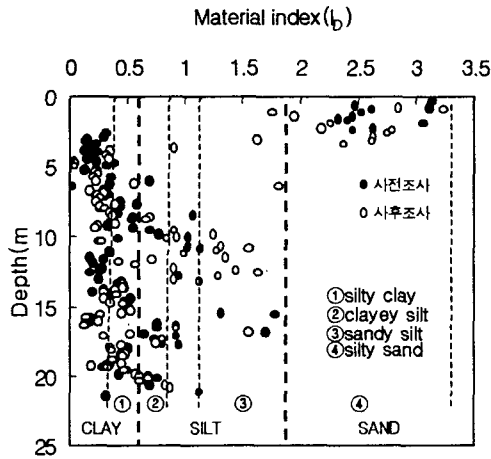


Fig 4. 물질지수 I_D 값을 이용한 흙의 분류

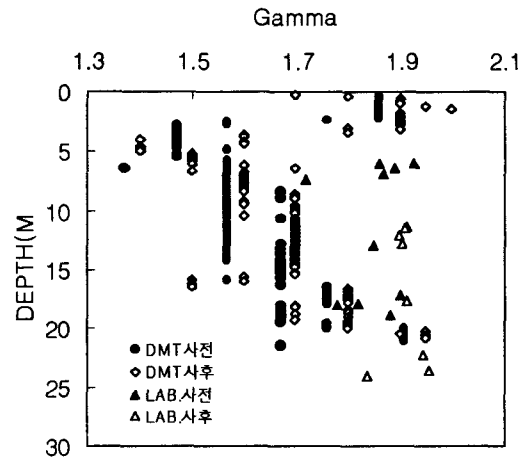


Fig 5. 선행재하 전·후의 심도별 단위중량 변화

Fig 4.에 나타난 바와 같이, 상부 심도 2m정도까지는 물질지수(I_D)가 1.6~3.3으로 모래로 구분되어 실제 지반의 준설패립지반과 같고, 이 심도 이하의 연약지반에서는 I_D 값은 대체적으로 0.1~1.2의 낮은 값으로 점토, 점토질 실트 내지 실트질 점토가 대부분이며, 상부 해성층의 일부구간에서 조립분의 함유량이 많아짐에 따라 물질지수(I_D)가 급격히 증가하는 것으로 나타났다. 또한, 물질지수(I_D)는 지층 속에 존재하는 실트나 모래층에서 보다 민감한 변화를 보이고 있어 점성토 사이에 실트와 Sand Seam의 존재를 확인할 수 있었다. 이는 통일분류법에 의해 CL, ML 및 CL-ML로 분류된 것과 일치하고 있다.

또한, Fig 5.와 같이, 연약지반 개량 후의 단위중량이 크게 증가됨을 알 수 있다. 이는 수직배수재타설 및 선행재하공법등의 지반개량을 통해 간극비 감소로 압밀침하의 수렴과 유효응력 및 밀도의 증대로 인해 비배수강도의 변화를 알 수 있었다.

3.2 압밀 특성

3.2.1 과압밀비(OCR)

Marchetti(1980)는 DMT의 수평응력지수(K_d)와 압밀시험결과로부터 과압밀비(OCR)를 비교하여 경험식을 제안하였으며, Lacasse & Lunne(1988)은 OCR값이 1.25보다 크고, I_D 가 1.2보다 작은 점토지반에 대해 수정식을 채택했다. 또한, Lunne(1989)에 의하면 생성된 점토지반의 지질학적 근거나, S_u / σ'_{vo} 를 토대로 Young Clay와 Old Clay로 분류하여 OCR 추정식을 발표한 바 있다.

본 연구에서는 압밀시험의 선행압밀하중을 이용하는 경우와 현장에서 딜라토미터로 직접 선행압밀하중을 측정하여 과압밀비(OCR)를 평가하는 경우를 통해 점토지반의 개량효과를 확인하기 위해 Fig 6, Fig 7. 과 같이 비교하였다.

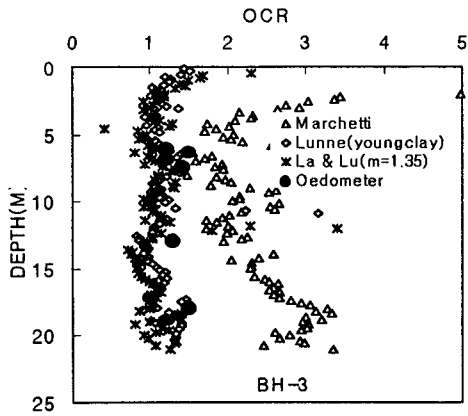


Fig 6. 압밀시험 및 각 경험식에 의한 OCR 비교

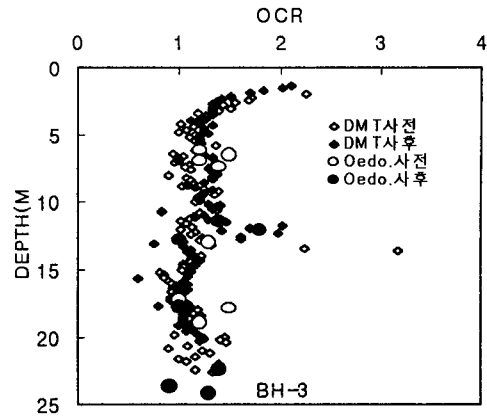


Fig 7. 선행재하 전·후의 OCR결과 비교

Fig 6.에서 압밀시험의 OCR과 Lacasse & Lunne의 수정식과 Lunne(1989)가 young clay 제안식으로 산정한 OCR 값이 비교적 근사한 경향을 보이고 있으나, Marchetti의 제안식은 OCR 결정에 있어 과대 평가되고 있는 것으로 나타났다. Fig 7의 비교결과, 지반개량 전에 Oedometer로 산정한 OCR은 1~2.5 정도로 나타났으나, 선행재하 후 압밀 침하량이 총 예상침하의 90%정도 진행된 상태에서 실시한 Oedometer의 OCR은 0.8~1.8정도의 분포범위로 선행재하 전보다는 OCR값이 1에 근접하거나 1이하의 값을 보이고 있다. 이와 같이 선행재하 후에 OCR값이 1이하의 미압밀 부분이 존재하고 침하가 최종적으로 수렴 할때의 OCR값을 정확히 알수 없어 선행압밀하중을 이용한 연약지반의 개량정도는 지반조건 및 시험방법에 따라 정성적으로 평가를 수행하는 것이 바람직할 것으로 사료된다.

3.2.2 수평압밀계수

딜라토미터의 브레이드 관입후 P_2 압력(C 압력)이 브레이드에 가해질 때 주변 지반에서는 과잉간극수압이 유발되고, 시간이 경과에 따라 주로 수평방향으로 소산되는 것을 이용한 연약지반의 압밀도를 평가 할수 할수 있다. Robertson (1988)과 Campaniella(1985)에 의해 수평압밀계수(C_h)를 산정하는 방법이 제시 되었고 Marchetti & Totani(1989), Schmertmann은 Robertson (1988) , Baligh (1986)등에 의하여 발전되었다. 이러한 압밀계수(C_h)를 산정하는 방법은 DMT-C과 DMT-A 방법이 있다.

본 연구에서는 C_h 를 비교하기 위해 피에조콘의 경우는 Baligh & Levadox (1980) Levadox & Baligh (1986), 그리고 Houlsby & Teh(1991)등의 이론 해를 바탕으로 압밀도 50%에 해당하는 소요 시간을 결정하여 C_h 를 산출하였다.

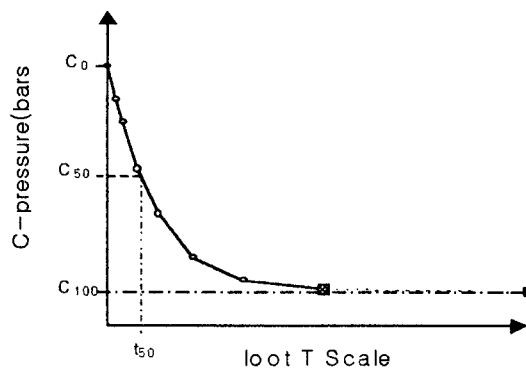


Fig 8. 딜라토미터의 소산곡선

DMT의 경우는 Fig. 8의 소산곡선을 이용하여 평형 C압력에 대한 C_{50} 에 도달시 요구되는 시간(t_{50})을 결정하였고, CPTu의 압밀계수와 비교하기 위해 Robertson(1988)의 이론해를 이용하여 C_h 를 산정하였다. 이 때, Gupta(1983)에 의한 바, 증가변경 $R(20.57\text{mm})$ 은 선단부로부터 관입기 멤브레인까지의 반경 4배

뒤에 있는 점을 고려하였으며, 강성지수(E/Su)는 일축 및 삼축시험에 의해 얻어진 값이 편차가 있어 근사치인 100을 기준으로 하였다. DMT시험시 선행재하 전에 소산시험을 수행하기 못해 선행재하 후의 압밀계수만을 토대로 산정한 압밀계수는 <표 1>과 같이 나타났다.

<표 1.> DMT와 CPTu를 이용한 압밀계수 산정결과

구분		CPTu ($C_h, \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{sec}$)			DMT ($C_h, \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{sec}$)
		Baligh & Levadoux (1980)	Levadoux & Baligh (1986)	Houisby & Teh (1991)	
선행재하 전	상부해성층	14.7	9.6	2.8	-
	하부해성층	12.6	8.2	7.2	-
선행재하 후	상부해성층	11.9	7.7	1.5	10.7
	하부해성층	5.0	3.3	0.8	48

<표 1>처럼 상부해성층은 매우 높은 압밀계수를 나타낸 반면, 하부해성층은 상부보다 작은 압밀계수를 나타내고 있다. 피에조콘을 이용한 C_h 산정시 해석 방법에 따라 그 결과가 다소 다르게 산정된다. 특히, Houisby & Teh(1991)는 각각의 제안된 해석방법의 결과보다 작게 나타나고 있어 강성지수의 기준이 되는 전단변형계수와 비배수 강도의 적용방법에 따라 달라지기 때문으로 사료된다. 또, Baligh & Levadoux(1980)와 Levadoux & Baligh(1986)의 이론해로 산정한 평균값과 DMT의 Robertson(1988)제안식을 이용하는 경우의 압밀계수(C_h)와 유사한 값을 보이고 있고, 선행재하 후에 선행재하로 인해 지반의 간극비가 감소하여 압밀계수가 감소하는 것으로 선행재하 전보다 선행재하 후의 압밀속도가 감소하는 경향을 나타내고 있다. 이와 같이 선행재하전의 압밀계수를 채택한 압밀계수는 선행재하 후에 감소할수 있으므로 설계 검토시에는 이러한 경향을 고려하여야 할것으로 판단된다.

3.3 전단특성

본 조사지역의 연약지반을 대상으로 선행재하 전·후의 현장 및 실내 시험을 실시한 결과를 토대로 비배수단강도 증가율을 분석하고자 하였다.

Marchetti는 경험적인 방법으로 점토지반에서 딜라토미터를 이용하여 비배수 전단강도를 추정하는 식 $S_u = 0.22 \sigma_v' (0.5K_D)^{1.25}$ 을 제안했으며 이 관계식은 I_D 가 1.2보다 작은 점토지반에 대하여 비교적 잘 적용되며, Roque(1988)는 DMT blade의 삽입과정에서 수평적인 파괴가 일어나는 기초로 간주된다는 것을 주장한바 토질의 비배수전단강도를 측정하기 위하여 전형적인 지지력 방식을 사용하는 것을 제안하였다.

$$S_u = \frac{P_1 - \sigma_{ho}}{N_c} \quad \text{----- (8)}$$

여기서, P_1 = 초기 (최대) DMT 팽창압력, N_c = 토질에 따른 dilatometer 계수
 σ_{ho} = $K_0 \sigma'_{vo} + u_0$ 에 의하여 측정된, 총 수평응력

한편, CPTu시험을 이용하는 경우에 있어 Schmertmann(1978)은 말뚝의 관입이 콘의 관입과 같다고 생각하여 아래와 같은 S_u 를 산정하는 식 (9)을 제안하였으나, 간극수압을 측정하는 다공질 필터가 원추 바로 뒷면에 위치한 피에조콘을 이용하는 경우 간극수압의 영향을 받기 때문에 Lunne et al(1985)은 q_c 대신 q_T 를 이용하는 식(10)을 이용하였다.

$$N_{kt} = \frac{q_c - \sigma_v}{S_u} \quad \text{----- (9)}$$

$$N_{kt} = \frac{q_T - \sigma_v}{S_u} \quad \text{----- (10)}$$

여기서, N_{kt} : 콘계수, q_T : 수정 원추관입저항력 ($q_c + (1-a)*u$)
 a : 피에조콘의 형태에 따른 부등단면적비
 u : 간극수압, σ_v : 총 상재하중, S_u : 비배수 전단강도

점토질 지반에 대한 DMT를 이용한 Su 추정시 Marchetti의 경험적인 방법과 Roque의 이론적인 지지력방법에 의해 콘계수 Nc값은 실내시험을 통해 평균 Nc값이 6.34, 표준편차 $\sigma = 2.29$ 로 나타나 이를 적용하였다. 이와 CPT_U시험을 이용하여 Su 추정시는 콘계수 N_{kt}는 편차가 심하여 N_{kt}=10, 15, 18.35를 선택하여 Fig 9과 같이 비교하였고, 선행재하 전·후의 Su의 변화를 비교한 결과는 Fig10과 같다.

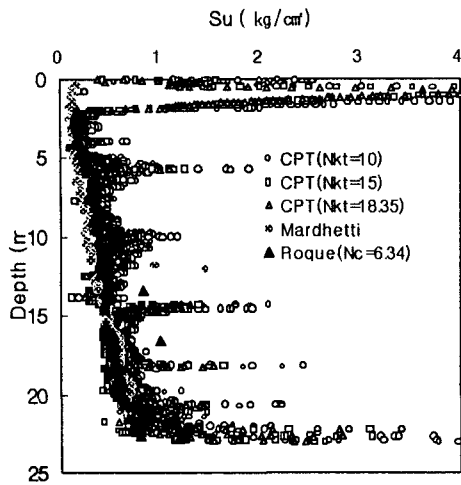


Fig 9. 콘계수 적용에 따른 심도별 Su 비교

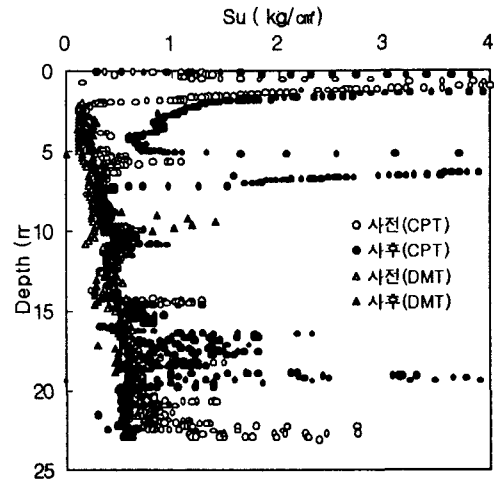


Fig 10. 재하전·후의 DMT와 CPT_u에 의한 Su 비교

또한, 현장 GEONOR베인은 베인 규격 55x110mm를 사용하여 선행재하 전·후의 비배수강도를 산정하고, Bjerrum이 제안한 보정계수에 의해 보정하였다. Fig11는 현장과 실내시험에 의한 선행재하 전·후의 각각의 비배수 강도 변화를 나타내었다.

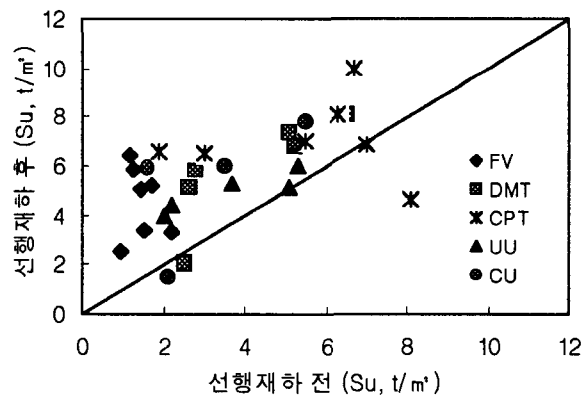


Fig 11. 현장 및 실내시험에 따른 선행재하 전·후의 Su의 변화

Fig 9.에서 콘계수에 따라 비배수강도가 매우 다르게 나타나고 있고, DMT의 경우 Nc=6.35와 CPT_u결과 N_{kt}=18.35를 적용하는 경우가 다소 유사한 값을 보이고 있다. DMT와 CPT_u 모두 상부해성층에서는 강도가 크게 증대되는 것을 알수 있고 하부의 심도가 깊어 질수록 강도 증가 현상이 둔화되거나 뚜렷하게 나타나고 있지 않다. 또한, Fig10에서의 같이 시험방법에 따라 Su값이 매우 다르게 나타나고 있으며, 강도 증가비는 <표 2.>과 같다.

<표 2> 비배수 강도증가률($\Delta S_u / \Delta \sigma'_c$)를 추정 결과

구분	FV	DMT	CPT _u	UU	CU
$\Delta S_u / \Delta \sigma'_c$	0.16~0.53	0.16~0.44	0.15~0.47	0.19~0.28	0.17~0.43

위 <표 2.>의 베인시험에 의한 강도증가률($\Delta S_u / \Delta \sigma'_c$)을 기준으로 했을 때 CPT_u와 DMT는 삼축압축의

CU시험과 유사한 경향으로 나타났으며, DMT에 의한 $\Delta S_u / \Delta \sigma'_c$ 는 현장베인과 삼축의 UU시험의 중간정도의 값을 가진 것으로 나타났다. 이와같이 DMT를 이용한 S_u 추정시 Roque가 제안한 방법에 의해 강도증가를 추정이 용이한 것으로 나타나 연약지반개량효과를 확인 할수 있을 것으로 사료된다. 다만, 비배수 강도 추정시 신중한 콘계수 결정이 중요할 것으로 판단되며, 점성토의 비배수 전단강도는 경계조건, 하중재하속도와 방향, 구속응력, 초기응력, 그외 다른 변수들에 영향을 받기 때문에 다소간의 차이가 있는 점을 감안하여야 할것이다.

4. 결 론

본 연구의 연약지반에서 선행재하 전·후에 실시한 현장 및 실내시험결과 비교한 결과를 토대로, 아래와 같이 딜라토미터를 이용한 연약지반개량평가의 가능성을 추정 할수 있었다.

1. 딜라토미터를 이용한 경우 물질지수(I_p)의 변화에 따라 점성토 사이에 실트와 Sand Seam층의 존재를 확인할수 있었고 통일분류법을 이용하는 경우와 비교적 일치하는 것을 알수 있었다. 또한, 선행재하 후의 단위중량이 크게 증가한 것으로 나타나 수직배수재타설 및 선행재하공법등의 위해 간극비 감소로 인한 압밀침하의 수렴과 유효응력 및 밀도의 증대로 지반강도증가를 확인 할수 있었다.
2. DMT를 이용한 과압밀비 산정시 Lacasse & Lunne의 수정식과 Lunne(1989)의 young clay 적용한 값이 실내시험의 OCR값과 비교적으로 근사한 경향을 보이고 있고, Marchetti의 제안식은 과대평가 되고 있는 것을 알수 있었다. 이러한 선행압밀하중을 이용한 연약지반의 개량정도는 지반조건, 시험 방법에 따라 정성적으로 평가를 수행하는 것이 바람직 할 것으로 사료된다.
3. DMT의 Robertson(1988)의 제안식에 의해 산정한 C_h 는 피에조콘의 Baligh & Levadoux(1980)이론해와 Levadoux & Baligh(1986)해의 평균 C_h 값과 유사한 값을 보이고 있고, 선행재하 전 후의 비교결과, 선행재하로 인해 지반의 간극비가 감소하여 압밀계수가 감소하는 것으로 재하 전보다 선행재하 후의 압밀속도가 감소하는 경향을 나타내고 있어 선행재하전의 압밀계수를 채택한 압밀계수는 선행재하 후에 감소할수 있으므로 설계 검토시에는 이러한 경향을 고려하여야 할것으로 판단된다.
4. DMT를 이용한 강도증가를 추정시 Marchetti의 방법보다 Roque에 의한 방법이 CPTu의 q_t 를 이용한 경우와 삼축의 CU결과와 유사한 값을 나타내고 있으며, 현장베인과 삼축의 UU시험의 중간정도의 값을 가진 것으로 나타났다.

5. 참고문헌

1. 신공항건설공단, “연약지반 침하특성평가” 인천국제공항 지반조사용역 종합보고서, 1998
2. 전창대, 김종국 “Flat Dilatometer 시험을 이용한 인천국제공항 점성토의 비배수 전단강도 추정”, 대한토목학회 1998 학술발표회 논문집(II) pp. 151-154
3. 김영상, 이승래, 김동수 “피에조콘과 딜라토메타 시험을 이용한 연약지반의 현장특성비교” 한국지반공학회지, 1998
4. 전창대, 김종국 “Flat Dilatometer 시험을 이용한 인천국제공항 점성토의 공학적 특성 추정”, 한국지반공학회, 1999, 지반조사 위원회 세미나.
5. Silvano Marchetti (1980). In Situ Tests by Flat Dilatometer, pp. 299-321
6. G.Tonani, M.Calabrese & P.Monaco (1998), In Situ Determination of C_h by Flat Dilatometer, pp. 883-888
7. Schmertmann, J. H. (1986) " Suggested Method for Performing the Flat Dilatometer Test ", ASTM Geotech. Testing Jour Vol 9, pp. 93-101
8. Applicability of the Marchetti Dilatometer test to Soft Ground in Japan “ GEO-COAST ’ 91.3-6, Sept., 1991, Yokohama
9. P.K.Robertson, R.G.Campanella.(1989). Guidelines For Geotechnical Design using the Cone Penetrometer test and Pore pressure measurement