

Flat DMT를 이용한 연약지반의 수평 압밀계수 산정

Estimation of Horizontal Coefficient of Consolidation for Soft Clay by Flat DMT

성주현¹⁾, Joo-Hyun Seong, 이승래²⁾, Seung-Rae Lee, 김영진³⁾, Young-Jin Kim,
홍성원⁴⁾, Sung-Wan Hong, 김영웅⁵⁾, Young-Ung Kim

- 1) 한국과학기술원 토목공학과 석사과정, Master's Student, Dept. of Civil Engineering, KAIST
- 2) 한국과학기술원 토목공학과 부교수, Associate Professor, Dept. of Civil Engineering, KAIST
- 3) 한국건설기술연구원 토목연구부 수석연구원, Research Fellow, Civil Engineering Division, KICT
- 4) 한국건설기술연구원 토목연구부 연구위원, Senior Researcher, Civil Engineering Division, KICT
- 5) 인천국제공항공단 건설시험소 소장, General Manager, Incheon International Airport Corp.

SYNOPSIS : The flat Dilatometer test(flat DMT) has been known as an in-situ testing method which is simple and robust to use, and reliable for site stratification and evaluation of soil properties. It was designed and proposed by Marchetti in 1975 to characterize the properties of soils. There are many researches that have been done to evaluate the horizontal coefficient of consolidation from the dissipation test results of flat DMT on normally consolidated and slightly overconsolidated clays. The representative estimation methods of estimating the horizontal consolidation coefficient are DMT-C method which uses a C-reading dissipation curve and DMT-A method which uses a A-reading dissipation curve. This paper represents a comparison analysis of those two methods in obtaining the horizontal coefficients of consolidation. The reference values are also obtained by CPTU and other laboratory tests. The applicability of using flat DMT to characterize the consolidation behavior is also reviewed for two sites. According to the results, DMT-A method is not suitable for silty clays possibly because of the compressibility characteristics. As for the normally consolidated and slightly overconsolidated clays, the results obtained from the two methods are comparable with each other as well as with the laboratory test results.

Key words : flat Dilatometer test, horizontal coefficient of consolidation, dissipation curve

1. 서론

토목공사를 위한 설계 시에는 반드시 지반조사 작업이 먼저 이루어지며 최근에는 SPT와 함께 많은 양의 피에조콘을 이용한 지반조사가 수행되고 있고 그 결과를 이용한 설계와 해석들이 이루어지고 있다. 이러한 경향은 기존의 국내 건설업체가 많은 경비를 지반조사에 지출하지 않는 관행을 탈피하여 최근에는 보다 정확한 지반조사가 추후로 이루어질 공사의 불필요한 재설계와 불의의 사고 등을 방지 할 수 있다는 점 등의 필요성을 절감하고 있는 것이라 할 수 있다. 여러 지반 조사 방법 중 flat DMT는 점토 및 모래 지반 등 자갈을 제외한 거의 모든 지반에 쉽게 적용할 수 있으며 장비의 경제성뿐만 아니라 현장 사용성에서의 장점 및 결과의 신뢰성 등 많은 장점을 가지고 있다.

특히 지반에서의 수평 압밀계수는 지반의 압밀 침하량을 예측하는데 가장 중요한 변수로 많은 학자들이 수평 압밀계수의 정확한 추정을 위한 연구를 수행하였으며 현재도 다양한 장비를 이용한 연구가 진행되고 있다. 과거에는 비교란 시료를 채취하여 실내 압밀 실험을 통하여 연직 압밀계수를 측정하고 이로부터 수평 압밀계수를 추정해 왔다. 그러나 비교란 시료 채취의 어려움과 실내 실험을 위한 이동 과

정에서 발생할 수 있는 교란, 응력 상태의 차이, 현장 지반의 불균질성으로 인한 배수 조건 변화 등에 의해 현장에서의 수평 압밀계수를 정확하게 추정하기가 매우 어려운 실정이다. 이러한 실내 실험의 문제점을 보완하기 위하여 현장에서 직접 수평 압밀계수를 측정하는 방법들이 연구되어 오고 있다.

DMT와 CPTU는 그 중 비교적 신뢰성 있게 현장의 수평 압밀계수를 추정할 수 있는 실험법으로 세계적으로 많은 연구가 수행되어지고 있다. 특히 DMT는 80년대에 들어 활용되기 시작한 현장 실험방법으로 간단한 사용 방법, 현장 시험 도중 고장에 대한 우려가 적음, 적은 경비 등의 장점으로 인하여 점점 사용 빈도가 높아지고 있다. 따라서 본 연구에서는 국내 연약지반과 관련된 공사시 요구되는 압밀계수 추정을 위한 flat DMT 실험방법의 적용성에 대한 연구를 수행하고자 하였다.

2. Flat DMT를 이용한 수평 압밀계수(c_h) 산정 방법

현장 flat DMT 실험으로부터 얻을 수 있는 지반 물성 및 상관관계에 대한 연구가 진행되면서 최근에는 지반의 침하 및 안정성을 파악하기 위해 중요한 수평 압밀계수 산정에 대한 연구가 널리 행해지고 있다. 특히 flat DMT를 이용하여 수평 압밀계수를 산정하는 방법은 다음과 같은 장점이 있다.

- ① DMT membrane의 특성상 필터의 손상, 불포화, 막힘 등의 문제가 발생하지 않는다.
- ② 다른 현장 및 실내 시험에 비해 경제적이다.
- ③ 사용법이 간단하며 현장에서 다루기가 쉽다.
- ④ CPTU나 PMT 등의 다른 장비에 비해 현장에서의 고장 위험이 적다.
- ⑤ 전기나 수도 등 특별한 현장 부대 시설이 필요 없다.

Flat DMT를 이용한 수평 압밀계수 산정 원리는 flat DMT 등과 같은 현장 관입 실험장비들이 지반에 관입되어질 때 주변 지반에 과잉간극수압이 유발되며, 이 과잉간극수압은 시간이 경과함에 따라 주로 수평 방향으로 소산된다는 가정에 기본을 두고 있다. DMT를 이용하여 수평 압밀계수를 산정하는 방법은 Schmertmann 등(1988), Robertson 등(1988), Lutenege(1988) 및 Campanella 등(1985)이 연구 발전 시켜온 DMT-C 방법과 Marchetti와 Totani(1989)가 연구한 DMT-A 방법으로 크게 나눌 수 있다.

2.1 DMT-C 값을 이용한 수평 압밀계수(c_h) 산정법

DMT-C 방법은 C값을 보정한 P_2 값이 DMT membrane에 접하고 있는 간극 수압과 유사하다는 가정을 기본으로 한 방법이다. Lutenege와 Kabir(1988)는 간극수압계를 DMT membrane 뒷면에 설치한 특별히 고안된 piezoblade를 이용하여 여러 지반에서 flat DMT와 CPTU 소산 시험결과를 비교하였다.

그림 1과 그림 2에서 보는 바와 같이 관입 시험 뿐만 아니라 소산 시험시 flat DMT의 P_2 값과 piezoblade에서 구한 간극수압이 거의 유사함을 알 수 있으므로 P_2 값이 관입에 의해 생성되는 간극 수압과 거의 유사하다는 것을 알 수 있다. 이 연구결과로 인해 flat DMT에서도 소산 시험을 수행하여 수평 압밀계수 추정을 할 수 있는 계기가 되었다. 또한 그림에서 비교하여 볼 때 CPTU에서 얻어진 간극수압과 차이는 원인으로는 flat DMT의 평평한 blade가 CPTU의 원통형 blade와 비교해 적은 체적의 교란을 유발함으로 인한 지반 내에서의 흐름 조건 변화 때문이며, 소산 시험시 더욱 느리게 소산되는 원인으로는 유발된 간극 수압이 평면변형을 조건으로 소산되기 때문인 것으로 사료된다. C값을 이용하여 수평 압밀계수(c_h)를 구하는 방법으로는 Schmertmann 등(1988)이 제안한 보정되지 않은 C값을 이용한 $C-\sqrt{t}$ 방법과 Robertson 등(1988)이 제안한 $P_2-\log(t)$ 방법이 있으며 많은 연구에 의하면 이 방법들은 연약한 정규압밀 점토나 약간 과압밀된 점토 등에 적용이 가능하다.

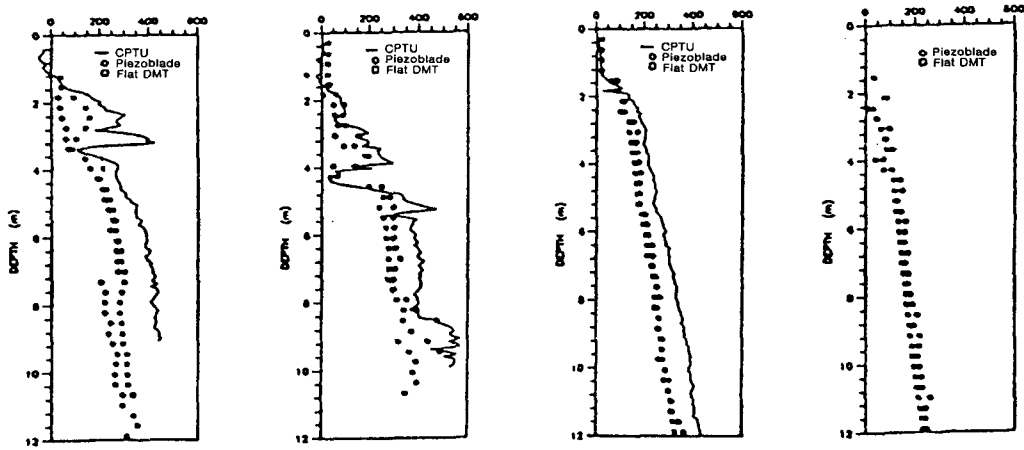


그림 1. 관입 시험시 piezocone, piezoblade 및 flat DMT의 간극수압 비교

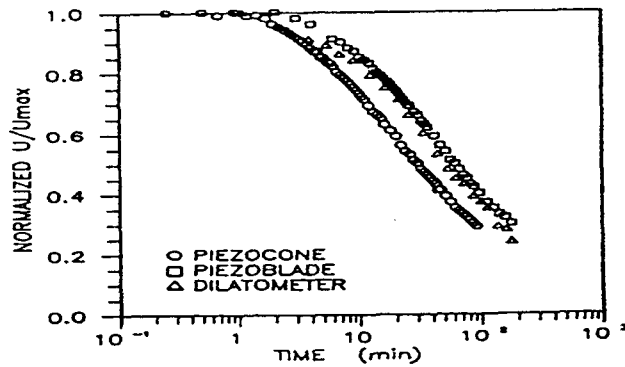


그림 2. Piezocone, piezoblade 및 flat DMT의 간극수압 소산 거동 비교

2.1.1 $P_2 - \log(t)$ 방법

이 방법은 Robertson 등(1988)이 제안한 방법으로 C값을 보정한 P_2 값이 간극수압과 유사하다는 것을 이용하여 CPTU에서 수평 압밀계수 산정하는 방법을 그대로 적용한 것이다. 본 실험 방법은 소산 시험을 수행할 깊이에서 관입을 멈추고 정해진 시간 간격으로 C값을 수렴이 될 때까지 측정한다. 이렇게 얻어진 C값들로부터 membrane 강성에 대해 보정한 P_2 값과 시간관계를 이용하여 소산 곡선을 도시하고 이로부터 수평 압밀계수를 산정한다. 이 방법에 의해 수평 압밀계수를 산정하기 위한 과정은 다음과 같다.

- ① $P_2 - \log(t)$ 상관관계 소산 곡선을 도시
- ② 50% 소산에 걸린 시간 t_{50} 을 산정
- ③ Torstensson의 이론해를 사용하여 T값을 산정
- ④ 다음 식(1)을 이용하여 수평 압밀계수(c_h)를 산정

$$c_h = \frac{R^2 T}{t_{50}} \quad (1)$$

여기서, R(20.57mm)은 DMT blade의 직사각형 단면을 CPTU의 원통형 콘 단면으로 환산한 등가 반경이고, t_{50} 은 $P_2 - \log(t)$ 소산 곡선으로부터 구할 수 있다. 그리고 이론 시간계수, T를 구하기 위해서는 강성 지수($I_R = E/s_u$)를 사용하여 Torstensson이 제안한 이론해를 이용한다.

2.1.2 $C-\sqrt{t}$ 방법

본 방법은 Schmertmann 등(1988)이 제안한 방법으로 $P_2 - \log(t)$ 방법과 같은 근거를 바탕으로 하지만 P_2 값 대신 보정되지 않은 C값을 사용한다. 수평 압밀계수를 산정하기 위한 과정은 t_{50} 을 구하기 위해 $C-\sqrt{t}$ 그래프를 사용하며 이론 시간계수 T를 구하기 위해 Gupta가 제안한 이론해를 이용한다. 수평 압밀계수를 얻기 위한 식은 식(1)과 같으며 등가반경 R은 24.49mm를 이용한다.

2.2 DMT - A 를 이용한 수평 압밀계수(c_h) 산정법

이 방법은 Marchetti와 Totani(1989)가 제안한 것으로 정규압밀 점토나 적당히 과압밀된 점토에 대한 $A - \log(t)$ 소산 곡선의 변곡점에서의 시간으로부터 수평 압밀계수를 산정하는 경험적인 방법이다. 앞서 설명한 DMT-C 방법처럼 CPTU와의 상관관계를 이용한 것이 아니라 실험을 통한 경험적인 관계식을 도출하여 적용하는 방법이다. 수평 압밀계수를 산정하기 위한 방법은 다음과 같다.

- ① $A - \log(t)$ 소산 곡선을 도시
- ② 소산 곡선으로부터 변곡점에서의 시간 t_{flex} 를 구함
- ③ 다음 식(2)를 이용하여 평균 수평 압밀계수를 산정

$$c_h \approx \frac{5 \sim 10 \text{ cm}^2}{t_{flex}} \quad (2)$$

여기서 t_{flex} 는 $A - \log(t)$ 소산 곡선의 변곡점에서의 시간이다.

이 방법은 실험 시간을 절약할 수 있다는 것이 가장 큰 장점이며, 일반적으로 t_{flex} 을 지나 2점 정도만 더 측정하면 압밀 계수를 추정할 수 있기 때문에 소산시험 수행시간을 줄일 수 있다. Totani 등(1998)은 식(2)에 이용된 (5~10cm²)값을 정규 압밀 및 약간 과압밀된 점토 지반에서는 (6~7cm²)로 적용할 수 있으며, 또한 t_{flex} 는 DMT-C 방법의 t_{50} 보다 1/2 정도의 값을 가진다고 하였다.

3. 실험 결과 및 비교 고찰

국내 연약지반에서 flat DMT를 이용한 수평압밀계수 산정에 대한 적용성을 검토하기 위해서 인천 영종도 신공항 제 2단계 확장 예정지역 시험부지와 양산 신도시 건설 시험시공부지에서 CPTU 실험과 병행하여 수행하였다. 또한 현장에서 비교적 교란되지 않은 시료를 채취하여 UU실험과, 실내 압밀실험 및 여러 기본 물성 실험을 수행하였으며, 인천 영종도 지반에서는 수평압밀계수를 바로 추정할 수 있는 로셀(Rowcell)실험도 병행하였다.

3.1 인천 영종도 신공항 제 2단계 확장에정지역 결과 분석

본 연구를 위해 영종도 건설 부지를 대상으로 6개소의 현장에서 6회의 소산 시험을 수행하였다. 그림

3은 flat DMT와 CPTU 관입 실험으로부터 획득한 자료를 이용하여 흙 분류 기준에 따라 영종도 지반을 분류하여 비교한 것으로 두 시험에서 얻은 결과가 거의 일치함을 알 수 있다. CPTU에서 사용한 분류 기준은 콘관입저항치와 마찰비를 이용한 Robertson과 Campanella(1983)가 제안한 상관관계를 이용하였으며 flat DMT결과는 Marchetti와 Crapps(1981)가 제안한 상관관계를 이용하였다. 실험을 수행한 6개 현장 모두 거의 실트질 지반으로 분류되어졌으며 채취된 시료를 이용한 실내 기본 물성 시험에서도 실트질 지반으로 판명되었다.

깊이 (m)	영종도 - 1		영종도 - 2		영종도 - 3		영종도 - 4		영종도 - 5		영종도 - 6	
	Flat DMT	CPTU	Flat DMT	CPTU	Flat DMT	CPTU	Flat DMT	CPTU	Flat DMT	CPTU	Flat DMT	CPTU
1	sandy silt	sandy silt	silt	silt	silt	silt	silt	sandy silt	silty sand	silty sand	silty sand	silty sand
2												
3	mud	clay	clay	silty clay	clay	clay	clay	clay	clay		mud	clay
4												
5	sandy silt	silt							silt			
6			silt	silt						silty clay	silt	
7	clay	clay	clay				clayey silt	silty clay	clay		clay	silty clay
8					clayey silt							
9	clayey silt	clayey silt	silt	clayey silt		clayey silt			silt		silt	
10												

그림 3. 영종도 지반의 flat DMT와 CPTU에 의한 흙 분류

소산 실험은 모두 동일하게 심도 10m 부근에서 수행하였다. 그 이유는 더 깊은 심도에서는 영종도 2차 확장예정 전지역에 걸쳐 모래층이 발달해 있어서 관입이 불가능하였으며, 낮은 심도에서는 과잉간극수압이 충분히 발생하지 않아 소산 실험이 불가능하였기 때문이다. 그리고 그림 3에 나타난바와 같이 소산 심도 10m 부근의 지반은 약간의 점토를 포함한 실트질의 지반이기 때문에 투수계수가 매우 커서 관입시 과잉간극수압이 크게 유발되지는 않았으며, 소산이 매우 빠르게 진행되었다.

표 1은 각 현장에서 수행되었던 실험별로 산정한 수평 압밀계수를 정리한 것이다.

표 1. 영종도 지반 각 실험위치별 수평압밀계수(c_h) 산정치 비교

(단위 : cm/sec)

실험 위치	DMT-C		CPTU	실내압밀 실험	로셀압밀 실험
	$C-\sqrt{t}$	$P_2 - \log t$			
영종도-1	0.030	0.025	0.020	0.0052	0.20
영종도-2	0.030	0.025	0.026	0.0047	0.04
영종도-3	0.033	0.027	0.010	0.0057	0.03
영종도-4	0.035	0.029	0.025	0.0027	0.03
영종도-5	0.035	0.047	0.039	0.0026	0.04
영종도-6	0.030	0.023	0.025	0.0030	-

DMT-C 방법적용시 이론 시간계수 T를 얻기 위해 요구되는 강성지수(E/s_u)는 실내실험 결과로부터 구하여 적용하였다. 실내 압밀실험에서 얻어진 값을 제외한 다른 실험값들은 거의 유사한 결과를 보여 주고 있으며 특히 $P_2 - \log(t)$ 방법은 CPTU 및 로셀 압밀시험의 결과와 더욱 근사한 값을 나타내고 있다. 실내 압밀실험에서 얻어진 수평 압밀계수는 현장 실험들과 로셀 압밀실험에서 구한 값들과 많은 오차를 보이고 있는데, 본 실험 지역 뿐만 아니라 영종도의 다른 현장에서도 위와 같은 많은 오차를 보인다고 하였다. 그 원인은 대상 지반이 실트질이기 때문에 시료 채취 과정에서 교란이 발생하였을 가능성과 영종도 지반 특성이 심도에 따라 매우 불균질하고 사용되는 시료의 크기는 작기 때문에 그 영향이 더 크게 나타난 것으로 사료된다.

DMT-A 소산 방법 또한 수행하였으나 실트질 지반인 영종도 현장에서는 소산 시험결과가 시간에 따라 수렴을 하지 않는 결과를 주었다. 그 원인을 파악하기 위해 다양한 실험 조건으로 여러번 실시해 본 결과 측정 횟수, 측정 시간 간격 및 membrane 팽창정도 등 조건에 따라 아주 다른 결과를 나타내었다. 추정되는 원인으로서는 점토질 지반에서는 시간에 따른 과잉간극수압의 소산으로 인해 흙의 연정도 차이가 시간에 따라 다르게 측정되지만, 실트질 흙에서는 흙 입자들 사이에 점성이 거의 없고 과잉간극수압의 유발 또한 크지 않으며 흙의 강성이 크므로 일단 한번 변형된 변형특성이 차후 과잉간극수압 변화에 따라 거의 변화가 나타나지 않기 때문인 것으로 사료된다.

3.2 양산 신도시 건설지역 시험시공부지 결과 분석

본 양산 지역에서는 총 3개소의 현장에서 6회의 소산 실험을 수행하였다. 양산 현장 지반은 연약점토층이 실험을 수행한 모든 심도에서 거의 균일하게 분포가 되어 있음을 flat DMT 관입 실험과 실내 물성 실험을 통해 알 수 있었다. Flat DMT 소산 실험은 각 현장에서 심도가 다른 2곳을 선정하여 6회를 실시하였으며, 모든 위치에서 비교란 시료를 채취하여 실내 실험을 병행하였으며, CPTU 소산 실험은 비교분석을 위해 4곳을 선정하여 수행하였다.

표 2는 양산지역 각 현장에서 수행되었던 실험 위치별로 산정한 수평압밀계수를 정리하여 나타낸 것이다.

표 2. 양산 지반 각 실험 위치별 수평 압밀계수(C_h) 산정치 비교

(단위 : cm/sec)

실험 위치	DMT-C		DMT-A	CPTU	실내압밀 실험
	$C-\sqrt{t}$	$P_2 - \log t$			
양산-1 (15m)	0.0020	0.0013	0.0020	0.0020	0.0023
양산-1 (18m)	0.0020	0.0013	0.0018	-	0.0015
양산-2 (12m)	0.0021	0.0014	0.0016	-	0.0012
양산-2 (15m)	0.0020	0.0015	0.0017	0.0022	0.0014
양산-3 (19m)	0.0040	0.0022	0.0067	0.0020	0.0015
양산-3 (24m)	0.0047	0.0032	0.0067	0.0025	0.0046

전형적인 해안 점토질 지반이라 flat DMT 및 CPTU의 과잉 간극수압 소산이 영종도 지반에 비해 오

랜 시간에 걸쳐 수행되었다. 그리고 비교적 균질한 점토로 형성되어 있어 각 심도와 위치가 다름에도 불구하고 이론 시간계수 T 와 t_{50} 은 비슷하게 산정되었다. 또한 DMT-C 뿐만 아니라 DMT-A 소산 실험 결과도 비교적 좋은 결과를 나타내고 있다. 특히 실트질 지반에서도 비교적 합리적인 결과를 보여준 $P_2 - \log(t)$ 방법에 의한 결과는 국외 점토질 지반에서의 많은 연구를 통해 알 수 있듯이 실내 압밀 실험 및 CPTU의 결과와 거의 일치하는 결과를 나타내고 있다. 위의 결과가 보여 주듯이 국내 점토질 지반에서의 flat DMT 소산 실험을 통한 수평 압밀계수의 추정은 어느정도 적용성이 있는 것을 알 수 있지만 앞으로도 많은 연구 결과가 보완되어야 할 것이다.

5. 결론

영종도 및 양산 지역에서 수행된 본 연구를 통하여 얻어진 결론은 다음과 같다.

1. 국내 해안 점토 지역에서의 flat DMT 소산을 통한 수평 압밀계수의 추정은 실내 압밀 실험 및 CPTU에서 산정한 결과와 비교적 잘 일치하는 결과를 준다. 특히 DMT-C 소산 방법은 충분한 과잉간극수압이 발생 가능한 점토질 지반뿐만 아니라 실트질 지반에서도 비교적 신뢰성이 있는 결과를 제공한다.
2. 제한된 자료이지만, 실트질 지반에서는 DMT-A 소산 방법의 적용에 어려움이 있는 것으로 나타났다. 그 원인으로는 실트질 지반에서의 변형 특성 때문인 것으로 사료된다.
3. 대상 지역의 경우, $P_2 - \log(t)$ 방법이 다른 방법에 비해 CPTU 및 실내 압밀실험 결과와 비교적 잘 일치함을 보여준다. 그 원인으로는 DMT-A 방법은 주로 이탈리아 점토에 적용하여 구해진 경험식이므로 다른 지반에서는 보다 많은 검증을 통해 새로운 상수값의 제안이 필요하고, $C - \sqrt{t}$ 방법은 membrane의 보정 및 등가반경 적용이 수평 압밀계수를 다소 과대평가하게 된다고 사료된다.
4. Flat DMT로부터 추정된 지반의 분류와 특성은 실내 실험 및 CPTU의 결과와 비교적 잘 일치한다.
5. Flat DMT에 의한 현장 지반의 수평 압밀계수 산정방법은 경제적이며 신속하고 간단하면서도 신뢰할 만한 결과를 줄 수 있다. 또한 그외 많은 지반정수값들의 추정이 가능하므로 지반공학 관련 문제에 그 적용성이 크다고 하겠다. 특히 CPTU나 몇몇 실내 실험과 병행할 때 더 좋은 결과를 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 김영상(1999), "피에조 콘 소산시험을 이용한 연약지반의 신뢰성 있는 압밀특성 추정" 박사학위논문, 한국과학기술원
2. 김운태(1991), "Flat Dilatometer 현장시험을 통한 점토지반의 공학적 성질 추정에 관한 연구" 석사학위논문, 한국과학기술원
3. Campanella, R. Robertson, P., Gillespie, D., and Grieg, J.(1985), "Recent Developments in In-Situ Testing of Soils," Proceedings, 11th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol. 2, San Francisco, pp. 849-854
4. Fabius, M.(1984), "Experience with the Dilatometer in Routine Geotechnical Design." Proceedings 37th Canadian Geotechnical Conference, Tononto
5. Kulhawy, F. H. and Mayne, P. W.(1990), "Manual on Estimating Soil Properties for Foundation Design." Report EL-6800, Electric Power Research Institute, Palo Alto, CA.
6. Lacasse, S. and Lunne, T.(1983), "Dilatometer Tests in Soft Clays," Report No. 146, Norwegian

Geotechnical Institute, Oslo pp. 1-8

7. Lacasse, S. and Lunne, T.(1988), "Calibration or Dilatometer Correlations," Penetration Testing 1988. (Proceedings, ISOPT-1, Orlando), Vol. 1, Balkema, Rotterdam, pp. 539-548
8. Lutenegger, A. J. and Kabir, M. G.(1988), "Dilatometer C-Reading to Help Determine Stratigraphy," Penetration Testing 1988, Proceedings, ISOPT-1, Orlando, Vol. 1, Balkema Potterdam, pp. 549-554
9. Lutenegger, A. J.(1988), "Current status of the Marchetti Dilatometer test," Proc. ISOPT-1, Orlando, FL(USA), Vol. 1, pp. 137-155
10. Marchetti, S.(1975), "A New In-Situ Test for the Measurement of Horizontal Soil Deformability," In-Situ Measurement of Soil Properties, Vol. II ASCE, New York, pp. 255-259
11. Marchetti, S.(1980), "In-Situ Tests by Flat Dilatometer." Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, VOL. 107, No. 3, pp. 832-837
12. Marchetti, S. and Totani, G.(1989), " c_h Evaluations from DMTA Dissipation Curves," Proceedings, 12th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol. 1, Rio de Janeiro, pp. 281-286
13. Marchetti, S.(1997), "The Flat Dilatometer: Design Applications," Proceedings, Third Geotechnical Engineering Conference, Cairo University, Egypt, pp. 1-25
14. Mayne, P. W. and Martin, G. K.(1998), "Commentary on Marchetti Flat Dilatometer Correlations in Soils," Geotechnical Testing Journal, GTJODJ, Vol. 21, No. 3, pp. 222-239
15. Robertson, P. K., Campanella, R. G., Gillespie, D., and By, T.(1988), "Excess Pore Pressure and the Flat Dilatometer Test," Penetration Testing 1988, Proceedings, ISOPT-1, Orlando, Vol. 1, Balkema, Rotterdam, pp. 567-576
16. Totani, G., Calabrese, M., and Monaco, P.(1998), "In situ determination of c_h by flat dilatometer(DMT)" Geotechnical Site Characterization, Balkema, Rotterdam pp. 883-888