

변곡점법에 의한 신속 압밀시험

Rapid Consolidation Test Using Inflection Point Method

민 덕 기*¹ Min, Tuk-Ki
황 광 모*² Hwang, Kwang-Mo
최 규 환*³ Choi, Gyu-Hwan

Abstract

This study presented a new method for evaluating the coefficient of consolidation by using inflection point method which was based on the fact that time factor, T corresponding to the inflection point of a semi-logarithmic plot of a time curve is fixed and equals to $T = 0.405$ at 70.03% consolidation. In the proposed method, as the next load increment is applied as soon as the inflection point is confirmed, the time required to identify the inflection point can be shortened. Thus, the coefficient of consolidation may be easily evaluated. The time required to complete the testing using this rapid consolidation method could be as low as 0.5~9 hours compared with 1 or 2 weeks in the case of the conventional consolidation test. For this study, we designed settlement equipment for normalization of test samples. In test results, the factors of consolidation agreed with undisturbed samples results.

요 지

본 연구에서는 Cour(1971)가 제안한 변곡점법(Inflection Point Method)을 이용하여 압밀계수를 예측하기 위한 새로운 방법을 소개하였다. 여기서, 변곡점은 압밀도(U)와 시간계수($\log T$) 관계곡선의 변곡점 중에서 압밀도(U_i)가 70.03% 일 때의 시간계수 $T_i=0.405$ 에 상응하는 점이다. 제안된 변곡점법에 의한 신속한 압밀시험 방법에서 각 단계별 하중 재하는 변곡점을 확인한 직후에 이루어지므로 압밀시험에 소요되는 시간을 단축시킬 수 있으며, 압밀계수를 빠른 시간 내에 쉽게 구할 수 있다. 이 신속한 압밀시험법에 소요되는 시간은 기존의 압밀시험의 경우 1주 또는, 2주의 기간이 소요되는데 비하여 0.5시간~9시간이 소요되므로 압밀시험을 보다 신속히 완료할 수 있다. 본 연구에서는 보다 정규화된 결과를 얻고자 침강장치를 고안하였으며, 그 결과의 분석에서 비 교란시료의 압밀정수들과 잘 부합하는 것으로 나타났다.

Keywords : Coefficient of consolidation, Rapid inflection point method, Settlement equipment

1. 서 론

최근에 수행되고 있는 대규모 건설공사가 해안 인접 지역과 연약지반이 폭넓게 분포하는 델타퇴적 지역에서 이루어지고 있어, 연약지반의 압축거동특성에 대한

규명이 무엇보다 중요하게 대두되고 있는 실정이다. 그러나, 압축특성을 밝히기 위하여 전통적으로 적용되고 있는 표준압밀시험은 오랜 시간을 요구하므로 많은 학자들에 의하여 보다 신속하게 압밀시험을 수행할 수 있는 방법에 대한 연구가 진행되고 있다. Newland와

*1 정회원, 울산대학교 지구환경시스템공학부 교수 (Member, Prof., Dept. of Geo-Environmental System Engrg., Univ. of Ulsan, tkmin@mail.ulsan.ac.kr)

*2 정회원, 경북전문대학 건설환경과 전임강사 (Member, Dept. Civil & Environmental Engrg, KyungBuk College)

*3 정회원, 울산대학교 지구환경시스템공학부 대학원 (Member, Dept. of Geo-Environmental System Engrg., Univ. of Ulsan)

Alley(Olson, 1986)는 어떤 하중 하에서 100%의 압밀이 되자마자 다음 단계의 하중을 적용할 것을 추천하였으며, 비슷한 방법이 Su(1958)에 의해서 제안된 바 있다. Leonards와 Ramiah(1959)는 재성형된 점토를 이용하여 재하시간을 4시간, 하루, 일주일로 다르게 적용한 시험에서 간극비-유효응력($e - \log \sigma_v$) 곡선의 관계가 동일한 경향의 기울기를 가지고 있고, 압밀계수는 다양한 값을 보임을 밝혔다. Head(1986)는 Constant Rate of Strain (CRS) 방법을 제안하여 압밀시간을 절약할 수 있었으나, 흙의 종류에 따라 적절한 변형율의 적용을 제시하였다. 최근, Sridharan 등(1994, 1999)은 압축성 점성토에 대하여 각 하중단계에서 단기 재하의 영향을 연구하여 4시간의 짧은 재하 시간을 추천하였으며, rectangular-hyperbolar 방법을 이용하여 신속히 압밀시험을 완료하는 방법을 제안하였다.

압밀계수(C_v)를 결정하기 위한 curve-fitting 과정들이 많이 있는데, 가장 일반적으로 사용되는 방법이 \sqrt{t} 방법(Taylor, 1948)과 $\log t$ 방법(Casagrande 와 Fadum, 1940)이며, inflection point method(Cour, 1971), 그리고 rectangular-hyperbola method(Sridharan과 Rao, 1981; Sridharan과 Prakash, 1985; Sridharan 등, 1987; Bowles, 1996) 등이 있다. 이들 각 과정들은 C_v 값을 결정하기 위해 요구되는 압밀도(U)를 가지고 있으며, \sqrt{t} 방법은 U가 90%가 되어야하고, $\log t$ 방법은 U가 100%이며, inflection point 방법은 U가 70.03%이고, rectangular-hyperbolar 방법은 U가 60%~90%사이어야 한다. 따라서, 신속한 압밀시험을 적용하기 위해서는 inflection point 방법이나 rectangular-hyperbolar 방법을 선택할 수 있는데, 이것은 대부분의 점토에서 압밀도 60%~70%는 압밀 초기에 발생하기 때문에 C_v 값을 신속히 결정할 수 있다.

본 논문에서는 inflection point method를 이용하여 신속히 압밀계수를 구하는 방법을 연구하였으며, 이 방법으로 구한 압밀계수는 전통적인 방법인 Taylor 방법, Casagrande 방법, rectangular-hyperbolar 방법 등으로 구한 압밀계수와 비교·분석하였을 뿐만 아니라 전체적인 압축성의 재평가로 본 방법의 적용성을 밝히고자 하였다.

2. 이론적 고찰

Inflection point method는 Cour(1971)에 의해서 제안되었으나, 주목을 받지 못하였다. 그러나, Robinson(1997)에 의해서 압밀계수(C_v) 외 2차 압축계수(C_a)와 일차 압밀침하량(δ_{100})을 모두 효율적으로 산정할 수 있을 뿐만 아니라, 비 도식적 방법의 사용에 적절한 것으로 다시 제안되었다.

2.1 기본이론

2.1.1 Inflection Point Method

Terzaghi는 흙속의 물의 흐름에 있어서 3차원적 흐름을 몇 가지 가정들을 사용하여 식 (1)과 같은 일차원 압밀의 식을 산정하였다.

$$U = 1 - \sum_{N=0}^{\infty} \frac{8}{(2N+1)^2 \pi^2} \exp \left[- \frac{(2N+1)^2 \pi^2 T}{4} \right] \quad (1)$$

이 식은 압밀도 U와 시간계수 T의 관계를 나타내는 식이며, 이론적인 압밀곡선은 그림 1과 같다. 실제 흙의 압축거동은 이론적인 압밀 곡선의 경향과 일치하지 않지만, 경험적으로 차이가 크지 않아, 폭넓게 적용되고 있다.

Inflection point method는 Terzaghi의 U-logT 관계 그래프의 변곡점에서 압밀도(U)가 70.03%이고, 시간계수(T)가 0.405를 나타내는 것에 기초하고 있다. 따라서, 압밀계수는 다음 식 (2)와 같이 계산할 수 있다.

$$C_v = \frac{0.405 \cdot H_{dr}^2}{t_i} \quad (2)$$

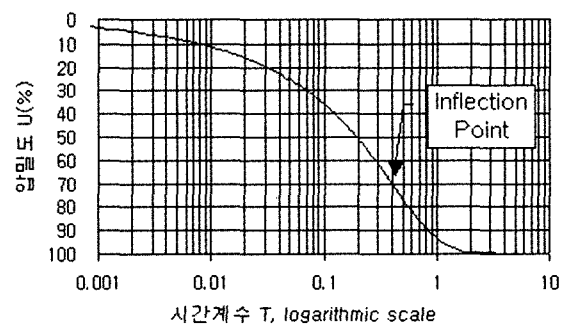


그림 1. 이론적인 U - log T 곡선

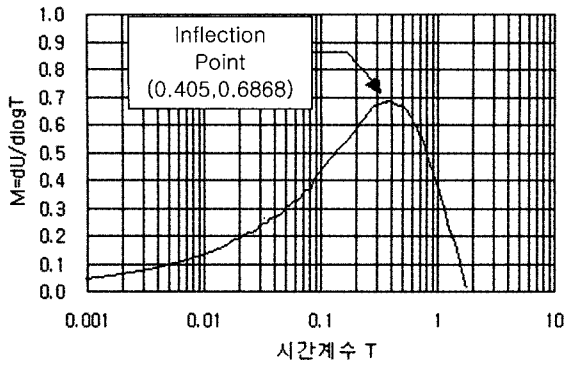


그림 2. 변곡점을 나타내는 $dU/d\log T - \log T$ 곡선

여기서, H_{dr} = 배수길이, t_i = 압축량- $\log t$ 그래프에서 변곡점이 발생하는 지점의 시간.

2.1.2 이차 압축지수와 일차 압축량 산정

Robinson(1997)은 inflection point method를 이용하여 이차 압축지수와 일차 압밀 침하량을 효율적으로 산정할 수 있다고 하였다. 그림 3은 시간에 따른 압축량 관계곡선이고, 그림 4는 곡선경사($m = \Delta \delta / \Delta \log t$)를 나타내고 있다.

그림 4에서 일정한 경사 m_a 를 가지는 선형의 2차 압축부분은 그림 4에서 Y축상의 m_a 값을 가지는 수평선이 되므로, 2차 압축지수는 시료의 두께가 H일 때, 다음 식 (3)과 같이 구할 수 있다.

$$C_a = \frac{m_a}{H} \quad (3)$$

$\delta - \log t$ 곡선의 변곡점에서 경사를 이론적인 U-log T곡선의 최대경사로 나누면, 다음 식 (4)와 같이 일차 압축량 δ_{100} 값을 나타내게 된다.

$$\delta_{100} = \frac{m_i}{M_i} = 1.456m_i \quad (4)$$

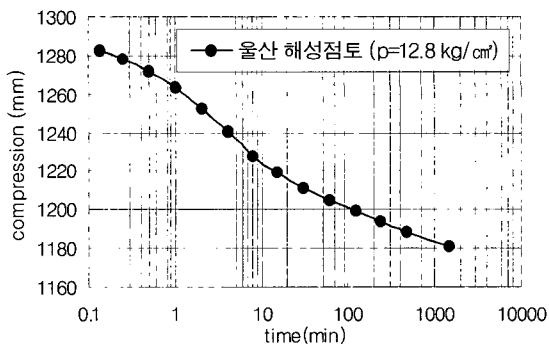


그림 3. 울산점토의 $\delta - \log t$ 곡선

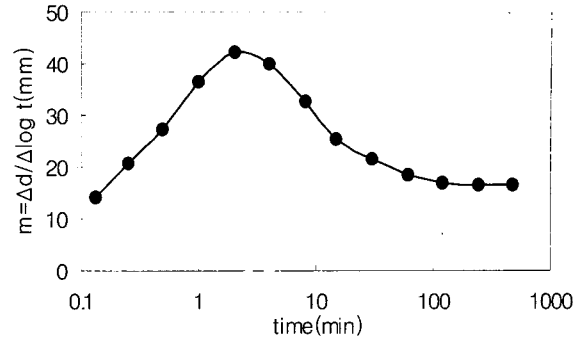


그림 4. 울산점토의 $\Delta \delta / \Delta \log t - \log t$ 곡선

2.1.3 Rapid Inflection Point Method

Inflection point method의 신속한 방법의 적용은 $\delta - \log t$ 관계에서 변곡점이 발생한 후에 시험을 멈추고, 이때 압밀도가 약 70%인 사실을 이용하여 다음 하중 증가량을 결정하여, 하중을 재하하여 시험을 진행한다. 대부분 재하 초기단계에서 70%의 압밀이 이루어지므로 많은 시간을 절약할 수 있다.

2.2 해석방법

표준 압밀시험에서 정확한 압밀도를 구할 수 있다면 하중단계를 보다 빠르게 적용할 수 있다. 따라서, 특정 상태의 압밀도를 구하기 위한 방법이 요구되며, 간극수압을 직접 측정하지 않고 다음 하중증가량을 결정하는데 사용될 수 있다. Inflection point method에서 변곡점을 정확히 찾을 수 있다면, 압밀도가 70%로 고정되어서 그 외 해석방법보다 간단하다. Sridharan 등(1999)은 rectangular-hyperbolar 방법을 이용한 신속한 압밀 시험에 관한 연구에서 직접 간극수압을 측정하지 않고, 유효응력을 산정하여 하중증가량을 결정하는 신속한 방법을 제안하였다. 압밀이 100% 완료되지 않은 상태에서 다음 단계로 넘어가면 소산되지 않은 간극수압은 다음 하중증가량에 포함되게 되어 유효응력 산정에 이용된다.

2.3 시험순서

압밀시험에서 rapid inflection point method는 각 하중단계에 적용되는 시간이 표준시험에 비해서 작은 것을 제외하고는 표준시험과 근본적으로 같다. 압밀시험 과정 동안 압밀도는 70%로 고정되고, 하중은 하중증가

표 1. 전응력 및 유효응력 증가량

전응력 (kg/cm ²)	하중 증가량 (전응력) (kg/cm ²)	실하중 증가량 $\Delta\sigma$	유효 응력 증가량 $\Delta\sigma'$	전 유효 응력 σ'	하중 증가율 LIR
0	0.05	0.05	0.05	0.05	1
0.05	0.05	0.05	0.035	0.085	0.7
0.1	0.085	0.085	0.06	0.145	0.7
0.185	0.145	0.145	0.102	0.247	0.7
0.33	0.247	0.247	0.173	0.42	0.7
0.577	0.42	0.42	0.294	0.714	0.7
0.997					

율이 0.7을 유지하면서 증가된다. 시험순서는 다음과 같으며, 표 1과 같이 유효응력 증가량이 결정된다.

- (1) 최초 하중은 seating load(0.05kg/cm²)에서 증가되는데, 증가율은 0.7이다.
- (2) 시간-압축량은 일정한 시간간격으로 읽는다.
- (3) 명확한 변곡점(최대 기울기)이 발생하면 실험을 멈춘다.
- (4) 초기 유효응력을 σ'_i 라 하고, $\Delta\sigma$ 는 응력증가량(전응력에 근거), U는 $\Delta\sigma$ 아래에서 압밀도이다. 따라서, 전체 유효응력은 $\sigma'_i + U \cdot \Delta\sigma$ 이다. U가 70%로 고정되어 다음 응력증가량은 $\sigma'_i + 0.7 \cdot \Delta\sigma$ 로 주어진다. 응력 증가율은 유효응력에 근거하여 0.7이다.
- (5) 같은 과정이 최대 예상 응력이 될 때까지 반복된다.

본 실험에서 시간간격은 1분~2분으로 일정하게 하였고, 최대 기울기가 발생한 후 확인을 위해 압밀을 조금 더 진행시킨 후에 실험을 멈추었다. 본 연구에서는 비교·분석을 위해 표준시험과 동일한 하중을 재하하였으며, 이때의 하중 증가율은 1이다.

3. 실험방법

3.1 실험개요

실트질 점토에서 고소성 점토의 범위에 속하는 다양한 점토를 선택하였고, 시료의 동일성을 위해서 사질분

을 제거하였다. 교란시료의 경우에는 두 가지 방법으로 재성형하였다. 액성한계 상태로 함수비를 조절하여 손으로 압밀링에 재성형하는 방법과 침강장치를 이용한 방법을 사용하였으며, 두 방법에 대해서 시료의 동일성은 초기 간극비가 압축지수와 건조 단위중량과의 선형적 관계를 가지는 상관성으로 판별하였다. 최종적으로 모든 시료의 압축특성을 두 시험에서 비교·분석하여 본 연구의 효율성을 증명코자 하였다.

3.2 사용 시료

본 시험의 한계성을 극복하며, 적용성을 검증하기 위해서 표 2와 같은 다양한 시료를 선택하였다. 비교란시료에는 울산 인근에서 채취된 점토 등이며, 교란시료에는

표 2. 시험에 사용된 시료의 물리적 특성

시 료	Atterberg Limit(%)			Gs	#200체 통과율 (%)	흙 의 분 류 (USCS)
	w _L	w _p	I _p			
울산 A시료	56.19	29.68	26.51	2.67	91.36	CH,OH
울산 B시료	74.65	30.12	44.53	2.68	98.10	CH
울산 C시료	68.32	27.21	41.11	2.67	99.90	CH
김해 A시료	41.98	19.80	22.18	2.69	99.19	CL
김해 B시료	46.85	20.93	25.92	2.68	97.20	CL
양산 시료	54.12	29.83	24.29	2.65	76.30	CH
육성 점토	37.46	20.45	17.01	2.75	87.84	CL
카울리나이트	24.65	18.32	6.33	2.66	99.97	CL-ML
H ₂ O ₂ 처리토	38.20	16.72	21.48	2.70	90.69	CL
350℃처리토	33.75	15.18	18.57	2.70	92.44	CL
700℃처리토	36.94	12.2	24.74	2.67	89.33	CL
Bentonite + Sand(50%)	102.0	29.00	73.00	2.60	48.0	CH

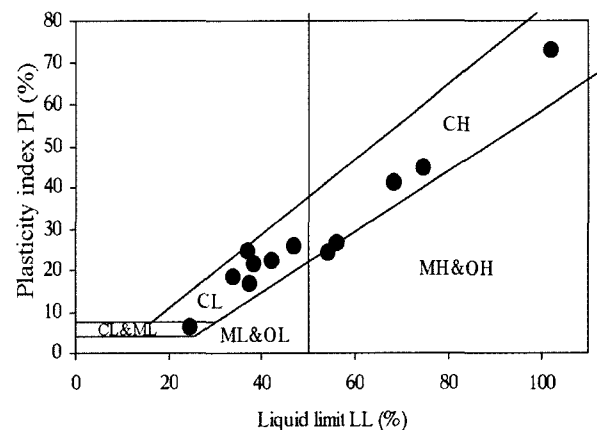


그림 5. 사용 시료의 소성도표

입도조정을 위해서 체 No.100 또는, No.200체에 통과시킨 시료로써 상업적으로 이용되는 카올리나이트와 벤토나이트를 포함하여, 유기물을 제거한 시료 등이다.

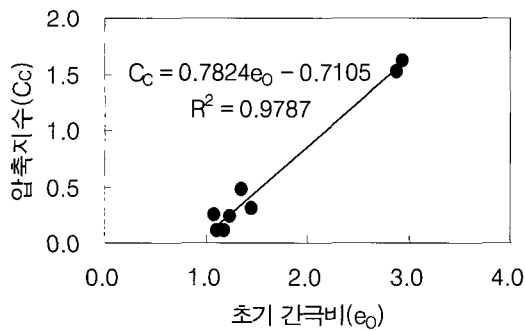
사용시료를 소성도표 상에 나타낸 것이 그림 5와 같으며, 함수비에 따라 소성지수가 광범위하게 분포하고 있음을 알 수 있다.

3.3 교란시료의 재성형

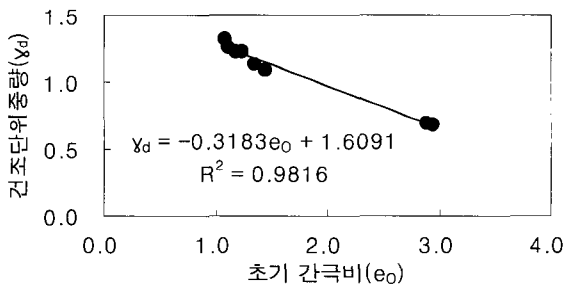
교란시료의 압밀 시험용 시료 재성형 방법으로 두 가지 방법을 사용하였다. 즉, 액성한계 상태로 함수비를 조절하여 재성형한 방법과 침강·예압밀장치를 이용한 재성형 방법을 적용하였다.

3.3.1 액성한계 상태로 재성형

액성한계 상태로 함수비를 조절하여 압밀링에 재성형한 방법에 대한 공시체의 동일성을 조사한 것이 그림 6과 같다. 그림에서 보듯이 높은 상관성을 가지고 있어, 시료의 고유특성을 확보하고 있는 것으로 판단된다.



(a) 초기 간극비-압축지수 관계



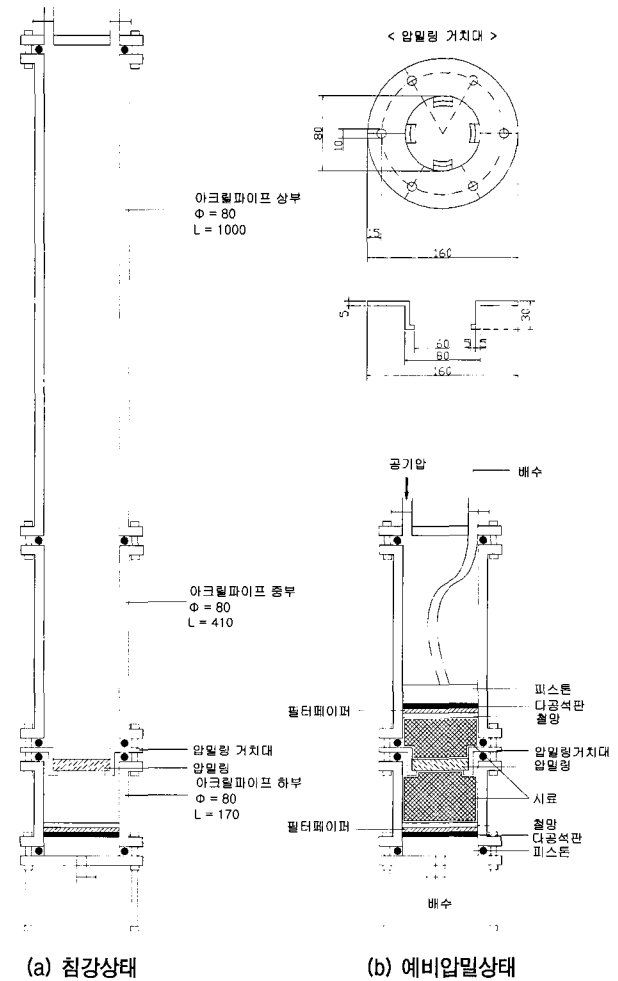
(b) 초기 간극비-건조 단위중량 관계

그림 6. 액성한계 상태의 재성형 방법에 의한 시료의 동일성 조사

3.3.2 침강·예압밀 장치를 이용한 재성형

침강·예압밀 장치는 그림 7과 같다. 함수비를 100%로 조정하여 침강시켰으며, 침강이 완료되면 상부원통을 제거한 후 가압장치를 연결하고, 예압밀을 가하였다. 침강이 완료되는 것은 그림 8과 같이 결정하였고, 그림 9와 같이 예압밀을 가하였다.

침강·예압밀 장치를 이용한 재성형방법의 시료의 동일성을 조사한 것이 그림 10과 같다. 초기 간극비와



(a) 침강상태

(b) 예비압밀상태

그림 7. 침강·예비압밀장치

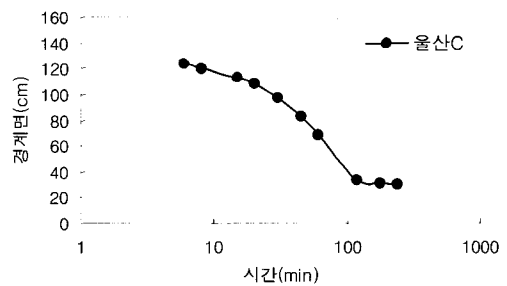


그림 8. 침강시 시간-계면고 곡선

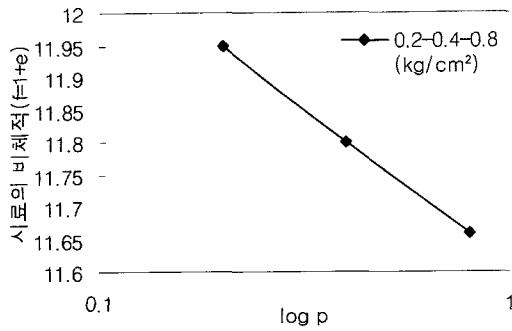
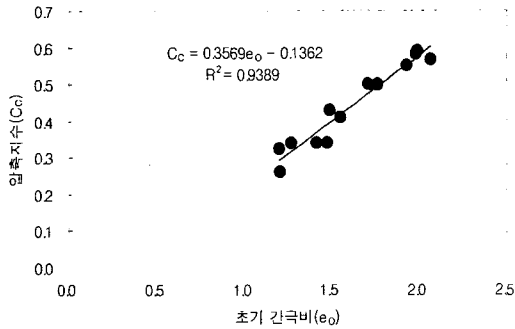
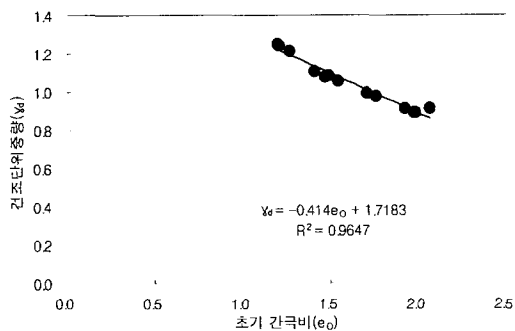


그림 9. 예압밀시 시료의 비체적-유효응력 곡선



(a) 초기 간극비-압축지수 관계



(b) 초기 간극비-건조단위중량 관계

그림 10. 침강·예비 압밀장치를 이용한 재생형 방법에서 시료의 동일성 조사

압축지수, 초기 간극비와 건조단위중량의 관계가 표준 공시체와 신속한 방법에 사용되는 공시체에서 높은 상관성을 나타내고 있다.

4. 결과 분석

각 시료에 대하여 침강장치를 이용하여 동일한 조건의 공시체를 각각 두 개씩 준비하였다. 그 중 한 시료는 표준 압밀시험을 행하고, 다른 시료에 대해서는 rapid inflection point method를 시행하여 각 시료에 대한 압축 특성을 비교·분석하였다.

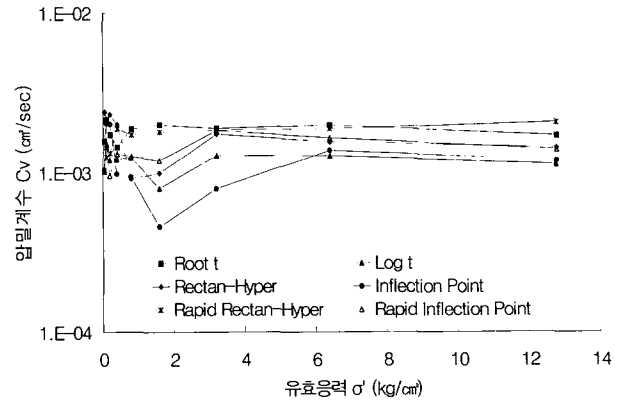


그림 11. 울산 B시료의 해석방법별 압밀계수

4.1 압밀계수에 미치는 영향

울산시료에 대한 각 해석방법별 압밀계수가 그림 11과 같다. 그림에서 보듯이, 본 신속한 압밀시험에 의해서 결정된 압밀계수가 일반적으로 사용되는 \sqrt{t} 방법과 log t 방법으로 결정된 값의 사이에 존재하고 있다. 모든 시료에서 같은 경향을 나타내었다.

4.2 간극비-유효응력에 미치는 영향

동일 공시체에 대한 표준 압밀시험과 rapid inflection point method에 의한 간극비-유효응력관계가 그림 12와

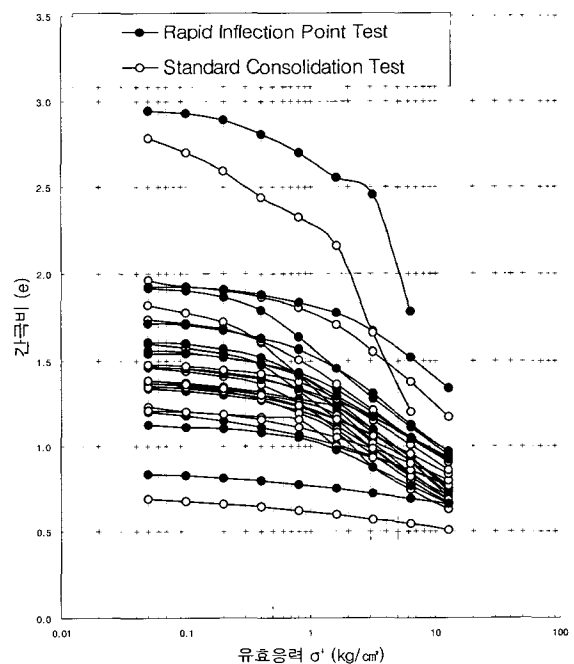


그림 12. 사용 시료의 간극비-유효응력 관계

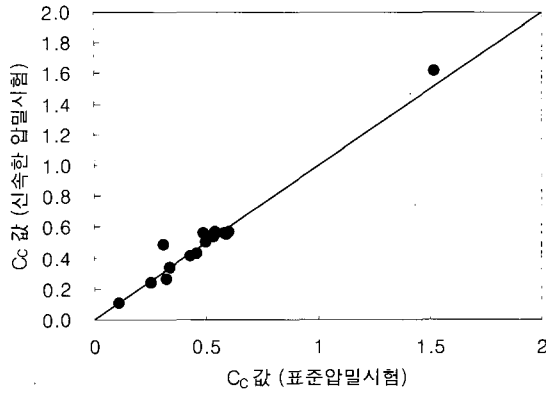


그림 13. 표준 압밀시험과 rapid inflection point method에서 산정한 압축지수의 비교

같다. 그림에서 상위 두 곡선은 벤토나이트와 모래의 혼합시료의 압축곡선이고, 하위 두 곡선은 카올리나이트의 압축곡선을 나타낸다. 이 두 시료에 대한 초기 간극비의 차이가 나타나는 반면, 그 외의 시료에 대한 압축곡선은 거의 동일하게 나타났다.

그림 13에서는 비교란 시료와 교란된 시료의 압밀시험에서 표준 압밀시험과 rapid inflection point method에서 산정한 압축지수를 비교한 것이다. 그림 13에서 직선은 1:1기울기를 표시한 것으로 높은 상관관계($R^2 = 0.97$)를 보여주고 있으며, 상관관계식을 식 (5)로 나타낼 수 있다.

$$C_{CR} = 1.0556(C_{CS} - 0.0149) \quad (5)$$

4.3 선행압밀하중과 팽창특성

표준 압밀시험과 신속 압밀시험에서의 선행압밀하중의 차이는 일반적으로 신속 압밀시험의 값이 크게 나타난다. 이것은 일차 압밀이 완료되기 전에 다음 하중단계를 재하하기 때문에 충분한 재하시간을 주는 표준 압밀시험보다 압축량이 작기 때문이다. 그림 14는 사용시료의 표준 압밀시험과 신속한 압밀시험에서 선행압밀하중의 관계를 나타낸 것으로 그림 14의 중앙선의 상부에 분포하여 신속한 압밀시험에 의한 선행압밀하중이 대체적으로 크게 나타났다.

그림 15는 사용시료의 팽창지수 값을 나타낸 것으로서 두 시험에 대한 $C_s(\text{신속})/C_s(\text{표준})$ 값의 비는 약 0.88~1.1정도이며, 시료의 상태나 하중 재하시간의 영향이 미소한 것으로 나타났다. 이는 간극수압이 완전히 소산되지 않은 상태에서 하중제하(unloading)를 하더라도 팽창

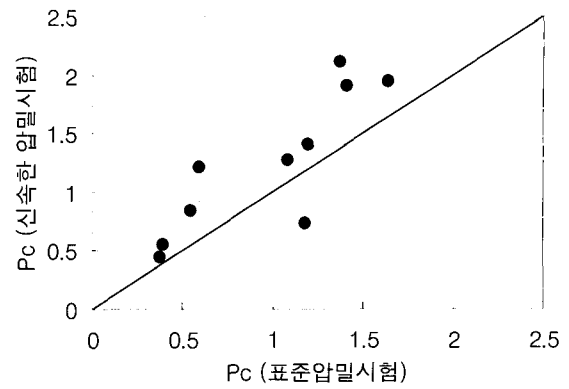


그림 14. 표준 압밀시험과 rapid inflection point method에서 산정한 선행압밀하중의 비교

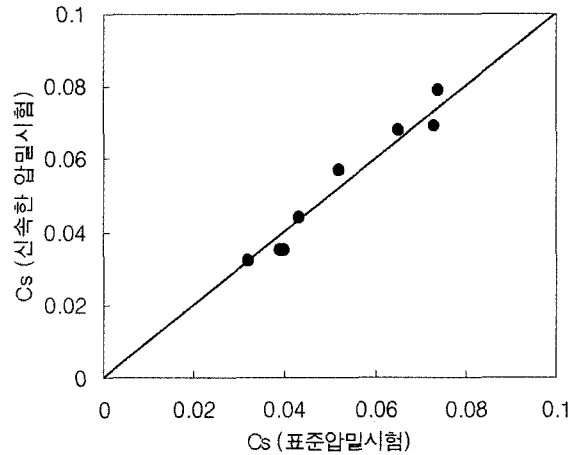
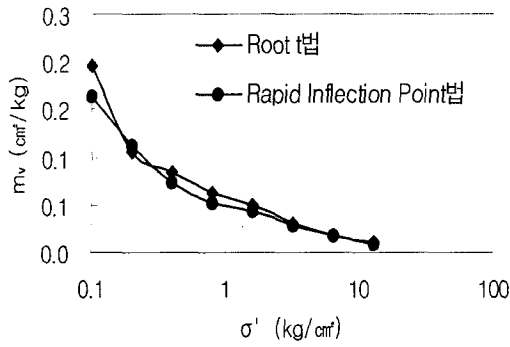


그림 15. 표준 압밀시험과 rapid inflection point method에서 산정한 팽창지수의 비교

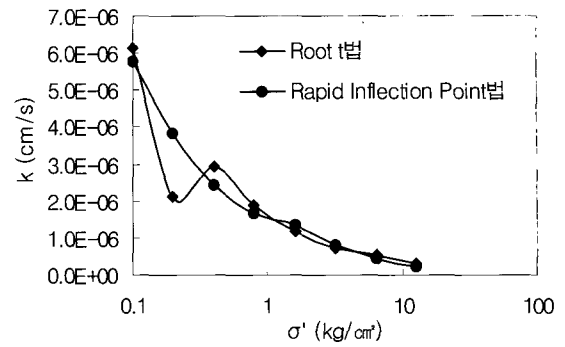
성의 크기에는 큰 차이가 나지 않음을 나타낸다. 따라서, 재하시간이 팽창성에 미치는 영향은 미소한 것으로 나타났다.

4.4 체적변화계수와 투수계수

하중의 증가율에 대한 체적의 변화율을 체적변화계수라고 하며, 압밀시험을 통한 압축성의 객관적 비교의 정수로 이용된다. 그림 16은 카올리나이트 시료의 체적변화계수와 투수계수의 유효응력에 따른 변화를 보여주고 있다. 그림 16에서 나타낸 바와 같이 체적변화의 특성과 투수성이 표준시험과 신속한 시험에서 차이가 크지 않다. 모든 시료에서 약간의 차이는 있지만 유사한 경향을 보여주고 있는 것으로 보아 하중 재하시간이 시료의 체적변화특성에 미치는 영향은 일차압밀 범위 내에서 아주 미소한 것으로 나타났다.



(a) 유효응력에 따른 체적변화계수의 변화



(b) 유효응력에 따른 투수성의 변화

그림 16. 카올리나이트 시료의 체적변화계수와 투수계수의 비교

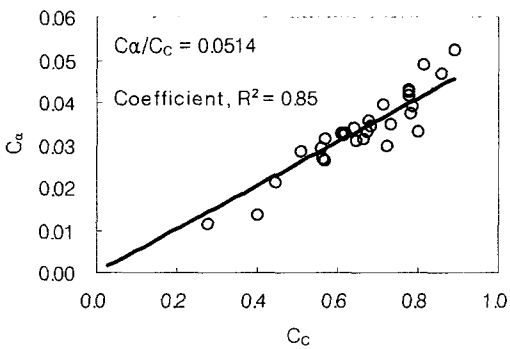


그림 17. 울산점토의 $C_c - C_a$ 관계

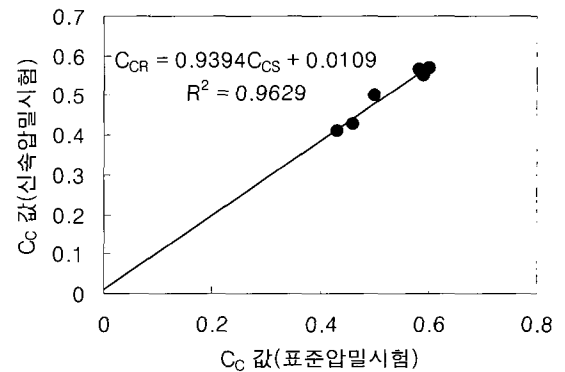


그림 18. 울산 삼산지역 점토의 표준 압밀시험과 rapid inflection point method에 의해서 산정된 압축지수(C_c)값의 관계

4.5 2차 압축특성의 추정

일반적으로 신속한 압밀시험에서는 각 하중단계에서 일차 압밀이 완료되기 전에 다음 단계 하중이 재하되기 때문에 2차 압축특성을 직접적으로 산정할 수 없다. 따라서 기존의 자료를 이용하여 2차 압축특성을 추정하고자 하였다. 민 등(1999)은 울산 삼산지역의 점토에 대하여 압밀시험 결과로 얻은 1차 압축지수와 2차 압축지수의 관계를 나타내었으며, 그림 17과 같다. $C_a - C_c$ 의 관계는 식 (6)과 같으며, 비교적 높은 상관성 ($R^2 = 0.85$)을 보였다.

$$C_a = 0.0514 C_c \quad (6)$$

그림 18은 울산 삼산지역 점토의 표준 압밀시험과 신속한 inflection point 시험에 의해서 산정된 압축지수 (C_c)값의 관계이다. rapid inflection point method 압밀시험을 통해서 2차 압축지수 (C_a)를 간접적으로 추정할 수 있으며, 식 (7)과 같다.

$$C_a = 0.0647 \times C_{CR} - 0.0053 \quad (7)$$

5. 결론

본 연구에서는 변곡점에 의한 신속 압밀시험 방법을 소개하였으며, 이 방법을 압밀시험을 수행하여 압밀정수를 예측하고자 하였다. 연구결과를 분석, 요약하면 다음과 같다.

- (1) 시험에 사용된 대부분의 점토에 대하여 rapid inflection point method에 의한 압축특성이 표준 압밀 시험에 의한 압축특성과 잘 부합하고 있어 본 방법이 유효할 것으로 판단된다.
- (2) 본 방법의 시험시간은 최대 9시간정도 소요되므로 현장에서 빠르게 압밀특성을 파악할 수 있을 것으로 판단된다.
- (3) 2차 압축특성과 같은 신속한 압밀시험으로 직접적으로 결정할 수 없는 압밀정수는 많은 시험을 통해서 얻어지는 압밀정수들의 상관관계를 이용하여 역

해석기법으로 추정하여 신속 압밀시험의 단점을 보완할 수 있다.

참 고 문 헌

1. 민덕기, 황광모(1999), "점토의 이차압축특성에 관한 연구 -울산 삼산지역 해성퇴적토를 대상으로-" *Journal of Engineering Research* Vol.30, No.2, pp.45-57, University of Ulsan
2. Francis. R. Cour.(1971), "Inflection point method for computing c_v ". *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, ASCE, 97(5): pp.827-831
3. Head, K. H.(1986), *Manual of soil laboratory testing* Vol.3. Effective stress tests. 1st ed. Pench Press, London, pp.1208-1213
4. Leonard, G. A., Ramiah, B. K.(1959), "Time effects in the consolidation of clays", *Symposium on Time Rates of Loading in Soil Testing*, American Society for Testing and Materials, Special Technical Publication STP 254, pp.116-130
5. Mesri, G., Castro.(1987), " C_e/C_c and K_o during secondary compression", *Journal of Geotechnical Engineering*, Vol.113, No.3, ASCE, pp.230-247
6. Olson, R. E.(1986), "State of the art:consolidation testing", *Symposium on Consolidation of Soils: Testing and Evaluation*, Edited by R.N. Yong and F.C. Townsend, American Society for Testing and Materials, Special Technical Publication STP 892, pp.7-70
7. Robinson, R. G.(1997), "Consolidation analysis by an inflection point method", *Geotechnique* Vol.47, No.1, pp.199-200
8. Sridharan, A., Murthy, N. S., Prakash, K.(1987), "Rectangular Hyperbolar Method of Consolidation Analysis", *Geotechnique*, Vol.37, pp.355-368
9. Sridharan, A., Nagaraj, H. B., Srinivas, N.(1999), "Rapid method of consolidation testing", *Canadian Geotechnical Journal*, Vol.36, pp.392-400
10. Sridharan, A., Prakash, K.(1997), "The $\log \delta$ - $\log t$ method for determination of the coefficient of consolidation", *Proceedings of the Institution of the Civil Engineers*, Geotechnical Engineering, 125(1), pp.27-32
11. Sridharan, A., Sivapullaiah, P. V., Ramesh, H. N.(1995), "Consolidation behaviour of lime treated sulphatic soils", *Compression and Consolidation of Clayey Soils*, Yoshikuni & Kusakabe(eds), Balkema, Rotterdam, ISBN 90 5410 537 2
12. Su, H. L.(1958), "Procedure for rapid consolidation test". *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, ASCE, 84(3), pp.1-13

(접수일자 2002. 1. 23, 심사완료일 2002. 6. 3)