



## Curve Fittig에 의한 Terzaghi의 압밀계수 산정방법 연구

### The Study on Determination of the Coefficient of Terzaghi's Consolidation by Curve Fitting

김찬식\* · 임성훈\*\*†

Kim, Chan Sik · Eam, Sung Hoon

#### ABSTRACT

It has been known that Terzaghi's consolidation theory is not well consistent with the consolidation phenomenon on the soft clay ground, but this theory has still been adopted normally in practice because there is no method for estimating the consolidation settlement and rate easier than Terzaghi's theory. It is impossible to map whole part of consolidation settlement vs time curve to the curve of Terzaghi's average degree of consolidation. If the primary consolidation and the secondary compression are happened same time, it would be useless of trying to find the end of primary consolidation, but it is needed for using Terzaghi's theory that the end of consolidation is determined to the time of beginning consistency between the final settlement analyzed with curve fitting and the experimented consolidation settlement.

**Keywords:** primary consolidation; secondary compression; Terzaghi's consolidation theory; the coefficient of consolidation; curve fitting

#### 1. 서 론

압밀이론은 지반공학 분야에서 매우 고전적인 영역이지만 현재까지도 지속적으로 연구되고 있는 중요한 연구대상이기도 하다. Terzaghi가 최초의 압밀이론을 발표한 이래 이 이론의 실무 적용에 관한 많은 연구들이 수행되었다.

Terzaghi의 압밀이론을 적용하기 위해서 필요한 두 가지 정수는 압축지수 ( $C_c$ )와 압밀계수 ( $C_v$ )이다. 압축지수는 포화된 점토에 재하응력을 증가시키면서 공극비의 변화를 측정하는 단순하고 명확한 방법에 의해서 산정하므로 큰 논란이 되지 않는다. 그러나 압밀계수를 구하는 방법은 많은 연구자들에 의해서 연구되어 왔다. 포화된 점토에 재하 하였을 때 발생하는 침하량에는 압밀에 의한 침하량과 함께 즉시침하라고 알려져 있는 탄성 등에 의한 침하 및 압밀이론으로 해석되지 않는 creep 거동에 의한 2차 압축침하가 포함된다. 따라서 실제 압밀침하곡선에 Terzaghi의 압밀이론을 적용하기 위해서는 불가피하게 임의성이 요구된다.

압밀계수를 산정하는 다양한 방법들의 원리는 압밀이론의 압

밀도-시간계수의 관계곡선과 실제 흙의 압밀침하량-시간의 관계 곡선에서 의미상으로 일치하는 부분을 찾는 것이다. 곡선의 특징들을 명확하게 드러내기 위해서 그래프 축의 축척을 log 혹은 제곱근으로 나타내는 방법들이 많이 개발되었다.

시간과 침하량과의 관계에서 시간을 제곱근 축척으로 나타내는 압밀계수 산정방법은 Terzaghi가 1923년 최초의 압밀이론을 발표한 이후에 1927년 후속연구를 통해 제안하였고 1933년에 Taylor에 의해서  $\sqrt{t}$  법이라는 현재의 형태로 정리되었다 (Parkin, 1981). Casagrande 등은 1940년에 시간과 침하량과의 관계에서 시간을 log 축척으로 나타내는 log t 법을 제안하였다 (Das, 2008). Naylor 등은 1948년에 1차 압밀의 60%~80% 범위의 압밀침하량 측정값을 이용하는 방법을 제시하였다 (Leonards, 1962). Su는 1958년에 Casagrande의 log t 방법에서 기울기가 최대가 되는 접선을 찾아서 이용하는 방법을 제안하였다 (Brand and Brenner, 1981). Scott (1961)는 Terzaghi의 압밀이론이 Fick의 열확산방정식과 같은 형태라는 것과 대수층을 관통한 우물에서 통과계수와 저장계수에 관한 Jaeger (1959)의 연구 등을 응용하여 압밀계수를 구하는 방법을 제시하였다. Cour (1971)는 Casagrande의 log t 방법에서 곡선의 변곡점을 찾아서 압밀계수를 구하는 방법을 제시하였다. Sivaram and Swamee (1977)는 Terzaghi의 압밀이론을 단순한 방정식으로 근사화한 Taylor의 식 (Taylor, 1948)에 근거해서 압밀계수를 도해법을 사용하지 않고 직접 계산할 수 있는 방법을 제시하였다. Parkin (1978,

\* 공주대학교 산업과학대학원 농공학전공  
 \*\* 공주대학교 산업과학대학 지역건설공학전공 부교수  
 † Corresponding author Tel.: +82-41-330-1264  
 Fax: +82-41-330-1269  
 E-mail: geotechkor@kongju.ac.kr

2013년 1월 31일 투고  
 2014년 1월 6일 심사완료  
 2014년 1월 17일 게재확정

1981)은 Taylor의 근사식 (Taylor, 1948)을 시간계수에 대해서 미분하여 시간계수에 따른 순간압밀속도로 표시하면 압밀시작점을 수정할 필요가 없고 2차압축의 영향을 제거할 수 있다고 하였으며 가로축과 세로축을 모두 log 축적으로 표시하면 직선성이 명확하게 나타나서 표준압밀시험결과를 이용해서 압밀계수를 산정하는 방법이 더욱 명확해진다고 하였다. Sridharan et al. (1981, 1985, 1987)은 Terzaghi의 압밀이론이 쌍곡선함수로 근사화될 수 있다고 전제하고 압밀계수를 산출하는 방법을 제시하였다. 또한 시간계수를 압밀도로 나누어 가로축에 표시하고 압밀도를 세로축에 표시하면 직선구간의 기울기를 1.33배 완화시켜서 압밀도 90 %에 도달하는 점을 찾을 수 있는 Taylor의  $\sqrt{t}$  방법과 비슷한 방법을 제시하였다 (Sridharan and Prakash, 1993). Robinson and Allam (1996)은 Casagrande의 log t 방법에서 최대기울기를 갖는 두 번째 직선구간을 위쪽으로 연장하여 압밀계수를 산정하는 방법을 제시하였다. 이 방법은 Su의 최대경사법과 비슷한 방법이다.

이상의 압밀계수 산정방법들은 Terzaghi의 압밀이론에서 시간계수 ( $T_v$ )에 따른 평균압밀도 ( $U_{avg}$ )를 나타내는 곡선에서 전반부를 실제침하곡선과 일치시키거나 중간부분을 일치시키거나 종료점을 찾는 방법들이다. 반면에 Raju et al. (1995)은 실험에 의해서 유효상재하중과 액성한계, 흙의 비중 등을 이용해서 압밀계수를 산정하는 수식에 의해서 압밀계수를 산정하는 방법을 제시하고 Casagrande의 log t 법, Taylor의  $\sqrt{t}$  법, 및 Sridharan의 쌍곡선방법 등과 비교하여 비슷한 결과를 얻었다고 하였다.

Terzaghi의 이론은 압밀이 진행되는 동안 배수거리가 단축되는 것을 무시한 미소변형 선형압밀이론이다. 이후에 Biot계열의 유한변형압밀이론과 Rendulic계열의 압밀이론들이 발표되었다. Biot 혹은 Rendulic 계열의 비선형압밀이론은 수학적 정해가 존재하지 않아서 풀이가 어렵기 때문에 일부 연구에서는 Terzaghi의 압밀이론에서 실제현상을 단순화한 부분들을 일부 보완하고자 하였다 Terzaghi의 압밀이론에서 압밀계수는 투수계수와 공극비, 공극수압의 변화에 따른 공극비의 변화율 등을 상수로 설정한 계수이다. Samarasinghe et al. (1982)은 압밀계수를 상수로 취급하지 않고 관련된 각 인자들의 변화를 고려하여 압밀계수를 평가하고자 하였다. 이 압밀이론은 비선형미분방정식이 되므로 수치해석을 하였으며 압밀계수와 유효상재응력과의 일정한 관계를 제시하였다. Terzaghi의 압밀이론으로부터 시작하였지만 오히려 Biot나 Rendulic 계열의 이론과 유사한 비선형압밀이론이 되었고 계산의 어려움에 의해서 잘 사용되지 않고 있다. Kwak et al. (2005)은 Terzaghi가 지나치게 단순화시켜 상수화한 압밀계수와 Samarasinghe 등이 제시한 복잡한 비선형방정식의 절충방안으로 현장조건에 맞는 투수계수와 체적압축계수를 개별적으로 평가한 후에 Terzaghi의 압밀계수를 산정하는 방법을 제시

하였다. 그러나 비선형압밀이론들은 미분방정식의 풀이가 번거롭고 이론을 적용하기 위한 토질정수를 얻는 간편한 방법들이 제시되지 않아서 잘 사용되지 않고 있다. 국토해양부의 구조물기초 설계기준해설 (2009)에서도 여전히 연약지반의 압밀침하를 해석하기 위해서 Terzaghi의 압밀이론을 사용할 것을 제시하고 있다.

압밀이 진행된 연약지반 시공현장에서 측정된 자료를 사용하여 압축지수, 압밀계수 등을 역산하고 표준압밀시험결과와 비교한 연구들도 있다. 그러나 실제 시공현장에서는 성토시공이 연약지반의 성토체에 대한 안정관리를 통해서 불규칙적인 단계재하로 시공되기 때문에 실제 침하량을 역해석하는 것이 쉽지 않다. 따라서 각 단계재하가 독립적으로 압밀이 진행되고 중첩이 가능하다는 전제조건 아래에서 역해석을 진행할 수 있는 소프트웨어가 개발되어 해석에 이용되어왔다 (Eam, 1999; Kang, 2008; Kang et al., 2009).

이 연구에서는 Terzaghi의 압밀이론에 근거한 곡선정규법에 의한 압밀계수 산정방법의 문제점을 제시하고 표준압밀시험 결과를 역해석하여 1차 압밀 침하량과 2차 압축침하를 구분하는 보완된 압밀계수 산정방법을 제시하고자 한다.

## II. 재료 및 방법

### 1. Curve fitting에 의한 Terzaghi의 압밀계수 산정방법

#### 가. Terzaghi의 압밀이론

현재까지 제안된 압밀이론은 크게 Terzaghi계의 미소변형 압밀이론과 biot계의 유한변형 이론으로 분류할 수 있다. 또한 각각의 이론은 1차원 이론과 2차, 3차원 이론으로 다양하게 개발되어 왔다. 그러나 정밀한 이론은 그 해석자체도 복잡하고 해석에 필요한 정수를 얻기 위해서 일반적으로 실시되지 않는 특별한 토질실험들이 필요하다. 시료채취과정, 지반조사과정 등에서 발생하는 불확실성 등이 정밀한 이론의 적용에 의한 장점을 상쇄시키는 것으로 알려져 있기 때문에 범용화된 Terzaghi의 1차원 압밀이론 (Terzaghi, 1943)이 여전히 많이 사용되고 있다.

Terzaghi가 제안한 압밀이론은 식 (1)과 같다.

$$\frac{\partial u}{\partial t} = C_v \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \quad (1)$$

여기서  $t$ : 압밀경과시간  
 $u$ : 과잉공극수압  
 $C_v$ : 압밀계수

식 (1)은 시간에 따른 과잉간극수압의 소산에 관한 식이다. 이

식에 침하량에 관한 변수는 포함되어 있지 않다. Terzaghi가 제안한 최종 1차 압밀침하량 ( $S_f$ )은 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$S_f = \frac{C_c}{1+e_o} H_t \log \frac{\sigma_0 + \Delta\sigma}{\sigma_0} \quad (2)$$

여기서  $C_c$ : 압축지수  
 $e_o$ : 초기공극비  
 $\sigma_0$ : 유효상재응력  
 $\Delta\sigma$ : 재하응력

식 (1)을 표준압밀시험의 초기조건 및 경계조건에 대해서 풀고 평균압밀도를 구하면 Fig. 1과 같은 형태가 되고 식 (2)와 결합해서 식 (3)과 같은 형식으로 시간에 따른 침하곡선을 얻을 수 있다.

$$S_t = S_f \times U_{avg} \quad (3)$$

Leonards and Altschaeffl (1964)은 실제 압밀침하곡선은 재하증가율에 따라서 세 가지 형태가 있고 재하 하중증가율이 1인 경우에 Terzaghi의 이론과 유사한 형태가 된다고 하였으며, Mesri et al. (1976)은 재하증가율이 1인 경우에 경과시간에 따른 침하 거동은 Terzaghi의 평균압밀도와 비슷한 형태를 나타내지만 공극수압의 소산거동은 이론과 잘 일치하지 않는다고 하였다. 실제 지반에서는 지표면 부근에서는 하중증가율이 크게 되고 심도가 깊어질수록 지중응력의 분산에 의해서 하중증가율이 작게 된다. 압밀시험에서 하중증가율에 따라서 침하곡선의 형태가 다르게 나타남에도 불구하고 이론침하곡선의 형태가 고정되어 있다는 것은 압밀이론의 근본적인 한계를 나타내는 것이다.

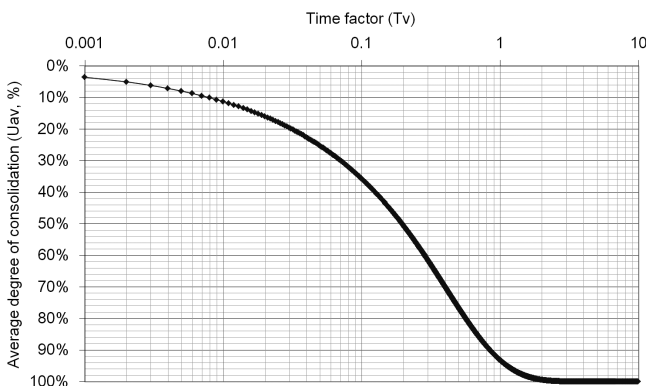


Fig. 1 The average degree of consolidation according to time factor in Terzaghi's consolidation theory

나. 연약지반 압밀 역해석 software의 확장

Kang et al.(2009)은 연직배수재가 설치된 연약지반에서 단계적인 성토가 이루어지는 경우의 압밀과정을 역해석할 수 있는 소프트웨어를 개발하여 배수재가 설치되지 않은 지반의 압밀도를 해석할 수 있도록 확장을 하였다 (Eam, S. H., 1999; Kang, M. S., 2008; Kang et al., 2009). 이 소프트웨어는 압밀실험결과에서 시간에 따른 침하량 행렬과 식 (2)에서 압축지수 ( $C_c$ )를 제외

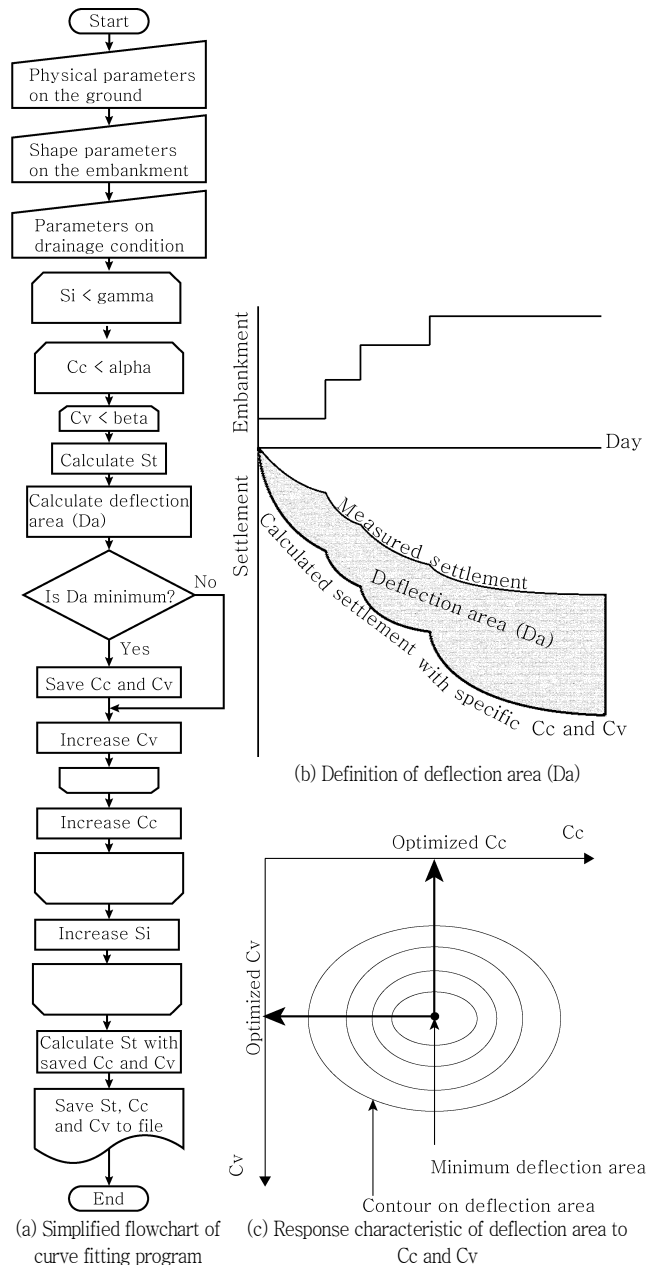


Fig. 2 The concept and schematic diagram of the improved software

한 나머지 값들을 입력받아서 역해석하고 압밀계수 ( $C_v$ ), 압축지수 ( $C_c$ ) 및 초기침하량 등과 시간에 따른 해석침하량 행렬을 출력한다. 본 연구에서는 표준압밀시험에 사용하는 시료를 두께 2 cm의 지반으로 간주하고 성토는 1단계만 재하되며 지중응력분포확산은 없는 것으로 간주하여 압밀시험결과를 해석할 수 있도록 소프트웨어를 확장하였다. 개선된 소프트웨어를 이용해서 압밀시험결과에 Terzaghi의 압밀이론을 직접 정밀하게 적용한 결과 실제의 압밀시험에서는 재하 직후의 즉시침하량이 상당량 발생한다는 것을 확인하였다. 기존의 압밀계수 산정방법들도 초기의 편차는 흙의 탄성과 재하 충격 등 시험장비의 특성에 의해서 즉시침하가 발생하기 때문에 압밀이론과 시험결과는 시작점부터 상당한 차이를 나타낸다고 생각하여 시험결과에서 즉시침하량을 제외시키는 과정들을 제시하고 있다. 해석에 사용한 소프트웨어도 압밀계수, 압축지수와 초기 즉시침하량을 동시에 탐색할 수 있도록 확장하였다. Fig. 2는 Kang et al. (2009)에 의해서 제시된 소프트웨어의 개념 및 흐름도에 즉시침하량을 탐색하는 과정을 추가하여 수정한 것이다.

#### 다. 연구에 사용한 압밀시험자료

이 연구에서 사용한 시료는 경남 양산 택지개발지구에서 채취한 시료이며 초기공극비는 1.32이고 통일분류법에 의해서 CL로 분류되는 매우 느슨한 연약점토이다. 시료를 채취한 지역에서 시험시공을 한 결과 압밀침하량이 매우 컸기 때문에 표준압밀시험결과를 이용해서 압밀이론을 연구하기에 적합한 것으로 판단하고 분석대상 자료로 선정하였다. 한국토지공사에서는 이 현장에 대해서 지반의 압밀 및 물리 화학적 특성 등에 관한 다양한 선행연구들을 수행하였다 (Korea land corporation, 1999). 이 연구에서는 표준압밀시험결과들 중에서 Fig. 3에 나타난 것과 같이 가장 전형적인 S자 형태의 압밀침하곡선이라고 판단된 157 kPa → 313.8 kPa로 재하 하였을 때의 침하곡선을 해석하였다. 이

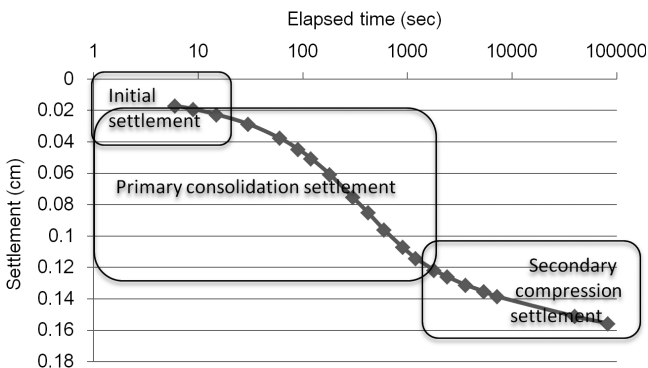


Fig. 3 The settlement curve under loading stage of 313.8 kPa from 157 kPa

연구에서 표준압밀시험에 의한 선행압밀응력과 압축지수는 각각 80 kPa와 0.67이다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 곡선정규법의 문제점

지반에 하중을 가했을 경우에 나타나는 최종적인 전체 침하량은 재하 직후에 나타나는 즉시침하와 공극수압이 소산되면서 진행되는 1차 압밀침하 그리고 마지막으로 공극수압 소산이 완료된 이후에도 계속 진행되는 2차 압축침하로 이루어져 있다. 재하응력이 313.8 kPa일 때의 침하곡선을 나타낸 Fig. 3에는 이상과 같은 3가지 종류의 침하가 모두 나타나 있다. 그러나 즉시침하량과 1차압밀침하량 및 2차압축침하량의 크기를 정확하게 구분하는 방법은 현재까지 알려져 있지 않다. Taylor (1948), Mesri (1973) 및 Mesri et al. (1997) 외 많은 연구에서 1차 압밀이 종료된 후에 2차 압밀이 시작되는 것으로 간주하고 있다. 그러나 Olson (1998)은 짧은 시간 동안 얇은 시료를 사용하는 실험실 자료에서는 1차압밀과 2차압축이 구분되는 것처럼 보이지만 실제 압밀 현장에서는 구분이 모호하며, 2차압축은 1차압밀이 진행되는 동안에 발생하고 압밀을 지연시키는 효과를 나타낸다고 하였다. Terzaghi의 압밀이론은 1차압밀침하량만을 대상으로 하므로 전체 침하곡선에서 즉시침하와 2차압축침하를 구분하여야 한다. Fig. 4는 이러한 조건을 무시하고 전체 침하곡선을 본 연구에서 개발된 소프트웨어에 입력하여 해석한 결과이다. 압축지수와 압밀계수에 대해서 최적화를 하였음에도 불구하고 해석된 결과를 나타내는 실선은 측정된 결과를 나타내는 마름모표시 선과 큰 차이를 보이고 있다.

KS F 2316에서 압밀계수산정방법으로 제시하고 있는 곡선정규법을 포함한 모든 압밀계수 산정방법은 Terzaghi의 압밀방정식으로부터 유도된 평균압밀도와 시간계수와와의 관계를 나타낸 Fig. 1의 곡선과 지반에서 압밀에 의한 실제 침하곡선의 형태가 일치한다는 전제조건 하에서 시작한다.

곡선정규법은 평균압밀도와 시간계수의 관계곡선의 세로축척을 조정하여 실제시료의 침하곡선과 가장 많이 일치하도록 축척을 조정한 후에 평균압밀도 50%와 일치하는 시료의 실제 침하곡선상의 위치를 찾도록 하고 있다. 본 연구에서 사용한 소프트웨어는 압축지수를 포함시켜서 이러한 곡선정규과정을 하는 것이라고 할 수 있다. 이 때 우선적으로 1차압밀침하가 종료되는 위치를 구분해야만 곡선정규법을 적용할 수 있다. 종료시점을 구분하지 않으면 2차 압축구간이 1차압밀해석에 포함이 되므로 잘못된 결과를 얻는다. 그러나 구분되는 위치를 알지 못하므로 끝으로부터 자료를 하나씩 배제하면서 해석을 반복하여 1차압밀침

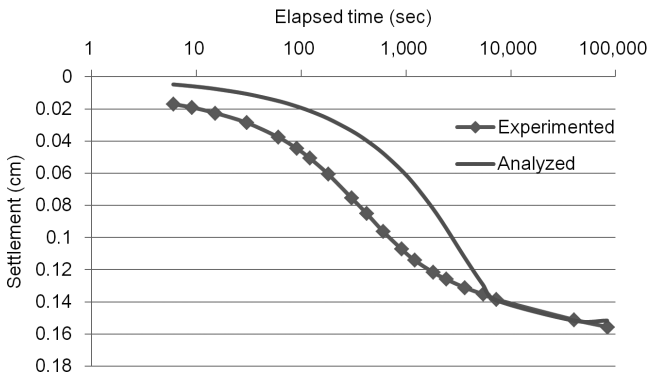


Fig. 4 Curve fitting results on the settlement data at the loading stage of 318.8 kPa with the developed software

하와 2차압축침하를 구분하고자 하였다.

Fig. 4의 해석결과에서 압밀 시작 구간에서는 해석된 곡선이 실제 침하곡선보다 위쪽에 있다. 해석된 곡선들은 주어진 조건에 최적화되어 실제 침하곡선에 가능한 한 가장 근접한 곡선이므로 이러한 차이는 압밀침하만으로는 설명되지 않는다는 것을 나타낸다. 따라서 재하 직후에 무시할 수 없는 정도의 즉시침하가 발생한 것으로 판단된다.

## 2. 초기침하량을 고려한 역해석에 의한 압밀계수 산정

앞에서 표준압밀시험의 압밀침하곡선을 해석하기 위해서는 재하직후에 발생하는 즉시침하량을 포함하는 것이 적합할 것으로 판단되어 해석소프트웨어에 이러한 기능을 추가하고 다시 해석하였다. Fig. 5는 해석에 사용된 경과시간별로 해석한 곡선들을 중첩하여 표시한 것이다. 압밀경과시간이 180초~1200초까지는 초기 직선구간부터 입력시간구간의 후반부까지 비교적 고르게 일치하였다. 1800초 이후는 입력 자료의 시간범위가 넓어질수록 압밀초기의 편차도 더 커졌다.

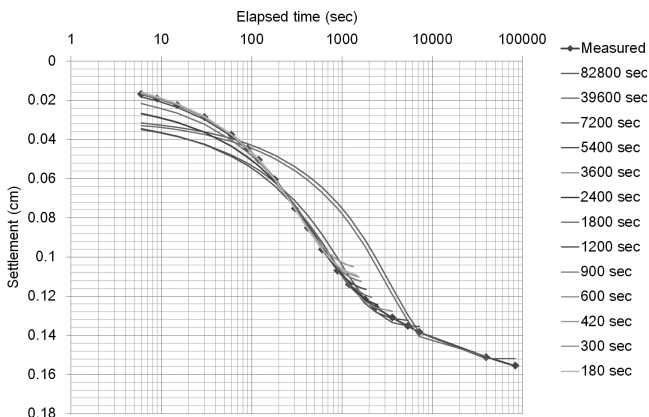


Fig. 5 Curve fitting results on the settlement data at the loading stage of 318.8 kPa with the developed software

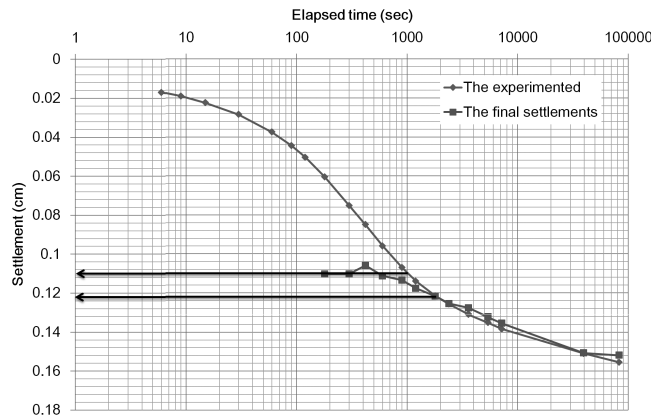


Fig. 6 The final settlements on curve fitting analysis considering initial settlements

Fig. 6은 입력시간범위에 따른 최종침하량을 실제침하곡선과 함께 나타낸 것이다. 900초~1800초 까지는 0.11~0.12 cm의 범위에서 유지되고 1800초 이후부터는 해석된 최종침하량과 실제 침하량이 일치한다. 따라서 초기침하량을 포함시켜서 curve fitting해석을 할 경우에는 해석 대상 자료의 경과시간이 짧은 경우에도 비교적 정확하게 최종침하량을 예측할 수 있으나 해석된 최종침하량과 실제침하량이 일치하기 시작하면 이후에 입력한 침하량은 해석이 왜곡되도록 하여 최종침하량이 증가하므로 이 부분은 2차 압밀에 의한 침하량이라고 판단할 수 있다.

이 연구에서는 1차압밀과 2차압축을 구분하는 방법을 한 가지 실험결과에만 적용하였다. 실제의 실험결과에서는 다양한 형태의 압밀침하곡선이 있으나 Terzaghi의 압밀이론을 적용하기 위해서는 이론에 가장 근접한 침하곡선을 선정해야 한다. 해석에 적용한 곡선은 이러한 기준에 따라서 선정되었으므로 이론과 유사한 형태의 다른 압밀침하곡선을 선정해도 적용방법상의 큰 변화는 없을 것으로 판단된다. 이론과 잘 일치하지 않는 실제의 압밀곡선에 이론을 적용하려고 시도하는 것은 적합하지 않은 것으로 생각되어서 다양한 형태의 곡선에 대한 적용은 시도하지 않았다.

Fig. 7은 입력자료의 시간범위에 따른 압밀계수의 변화를 나타낸 것이다. 압밀계수의 변화 범위는 대략  $1.0 \times 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{s} \sim 9.0 \times 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{s}$ 이다. 이 관계에서도 뚜렷한 변곡점은 나타나지 않고 입력된 경과시간이 길어질수록 압밀계수는 점차로 감소하였다. 최종침하량이 일치하기 시작하는 1800초까지 입력한 경우에는 압밀계수는  $5.8 \times 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{s}$ 이었다.

Fig. 8은 입력 자료의 시간 범위에 따른 압축지수의 변화를 나타낸 것이다. Fig. 6과 연관되어 있는 그래프이지만 경향이 일치하지 않고 있다. 이러한 원인은 초기침하량과 압축지수를 모두 변화시키면서 최적의 값을 찾으므로 초기 침하량의 증가에 의해서 압축지수가 영향을 받기 때문으로 생각된다. 다변수에 대한

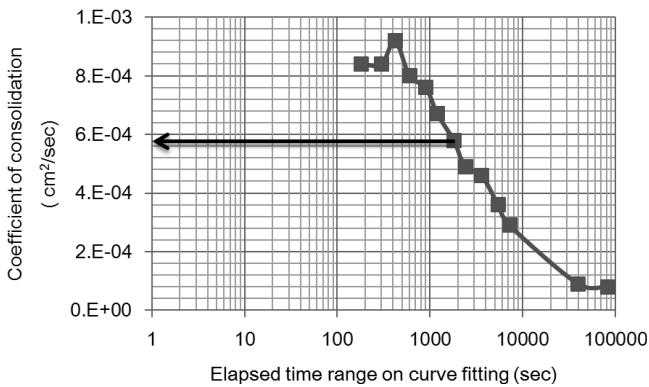


Fig. 7 The relationship between the elapsed time included in curve fitting and the coefficient of consolidation

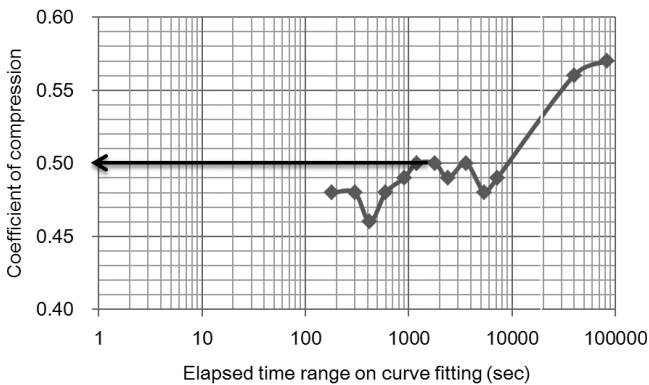


Fig. 8 The relationship between the elapsed time included in curve fitting and the coefficient of compression

최적화에 의한 이러한 근본적인 한계는 있지만 그 변화 폭은 크지 않으며 0.47~0.5의 범위 내에 있다.

#### IV. 결 론

Terzaghi의 압밀이론이 실제압밀현상과 잘 일치하지 않는다는 것이 알려져 있지만, 근사적이거나 Terzaghi의 이론만큼 압밀침하량과 침하속도를 추정할 수 있는 간편한 방법이 개발되지 못하고 있기 때문에 Terzaghi의 압밀이론은 실무에 여전히 폭넓게 적용되고 있다. Terzaghi의 압밀이론을 실제 침하곡선에 정밀하게 일치시키려 하면 이론 자체의 한계에 의해서 여러 가지 곤란한 점이 나타난다. 1차압밀과 2차압축이 함께 진행되는 현상이 라면 압밀종료시점을 탐색하는 방법은 적절하지 않은 것으로 생각할 수도 있다. 그러나 현재 실무에서 적용하고 있는 Terzaghi의 압밀이론을 직접 사용하기 위해서는 이 연구에서 개발된 해석된 최종침하량과 실제침하곡선이 일치하기 시작하는 위치를 압밀종료시점으로 결정하는 방법이 적합할 것으로 판단된다. 압축지수, 압밀계수, 즉시침하량과 더불어 입력자료의 시간범위를

변경하면서 해석된 최종침하량을 입력된 침하량과 비교 분석하는 과정은 많은 계산부하가 발생하지만 전산소프트웨어를 개발하여 적절하게 활용하고 약간의 인내심을 갖는다면 충분히 활용 가능한 방법이다.

#### REFERENCES

1. Brand, E. W., and R. P. Brenner, 1981. *Soft Clay Engineering*, Elsevier.
2. Cour, F. R., 1971. Inflection point method for computing Cv. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE* 97(SM5): 827-831.
3. Das, B. M., 2008. *Advanced Soil Mechanics*, 3rd edition, Taylor & Francis.
4. Eam, S. H., 1999. Final settlement prediction methods of embankment on soft clay by back analysis. The thesis for the degree of master of agriculture, Graduate school of Chungnam National University.
5. Jaeger, J. C., 1959. The analysis of aquifer test data on thermal conductivity measurements which use a line source. *Journal of Geophysical Research* 64(5): 561-564.
6. Kang, M. S., 2008. The estimation of settlement caused by shear strain from the difference between consolidation theory and field measured settlement. The thesis for the degree of master of engineering, Graduate school of Kongju National University.
7. Kang, M. S., S. O. Jeon, and S. H. Eam, 2009. Estimation of settlement caused by lateral displacement by means of the differences of settlements from consolidation theory and field measurement. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 51(5): 59-68.
8. Korea Land Corporation, 1999. The study on consolidation properties of soft ground.
9. Korean Geotechnical Society, 2009. The commentary on the design code for foundation of structure. The Ministry of Land Transport and Maritime Affairs.
10. Korean Standard Association, 2002. KS F 2316: 2002 Test method for one-dimensional consolidation properties of soils using incremental loading.
11. Kwak, C. M., Y. H. Jung, C. Y. Kim, and C. K. Chung, 2005. A new method for estimating the coefficient of consolidation in various stress conditions. *Journal of*

- the Korean Geotechnical Society* 21(5): 25-32.
12. Leonards, G. A., 1962. Engineering properties of soils, Ch. 2. in *Foundation Engineering*, ed. G. A. Leonards, 169-171. McGraw-Hill.
  13. Leonards, F. and M. Altschaeffle, 1964. Compressibility of clay. *Journal of the soil mechanics and foundations division, ASCE* 90(SM5): 133-155.
  14. Mesri, G. 1973. Coefficient of secondary compression. *Journal of the soil mechanics and foundations division ASCE* 99(SM1): 123-137.
  15. Mesri, G., K. Adachi, and C. R. Ullrich, 1976. Pore-pressure response in rock to undrained change in all-round stress. *Géotechnique*, ICE 26(2): 317-330.
  16. Mesri, G., T. D. Stark, M. A. Ajlouni, and C. S. Chen, 1997. Secondary compression of peat with or without surcharging. *Journal of the geotechnical and Geoenvironmental Engineering ASCE* 123(5): 411-421.
  17. Olson, R. E., 1998. The thirty-first Terzaghi lecture settlement of embankments on soft clays. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering. ASCE* 124(8): 659-669.
  18. Parkin, A. K., 1978. Coefficient of consolidation by the velocity method. *Géotechnique* 28(4): 472-474.
  19. Parkin, A. K., 1981. Consolidation analysis by the velocity method. *Proceedings of the tenth international conference on soil mechanics and foundations engineering, stockholm 1*: 723-726.
  20. Raju, P. S. R., N. S. Pandian, and T. S. Nagaraj, 1995. Analysis and estimation of coefficient of consolidation. *Geotechnical Testing Journal* 18(2): 252-258.
  21. Robinson, R. G. and M. M. Allam, 1996. Determination of coefficient of consolidation from early stage of log  $t$  plot. *Geotechnical Testing Journal* 19(3): 316-320.
  22. Samarasinghe, A. M., Y. H. Huang, and V. P. Drnevich, 1982. Permeability and consolidation of normally consolidated soils. *Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE* 108(GT6): 835-850.
  23. Scott, R. F., 1961. New method of consolidation coefficient evaluation. *Journal of soil mechanics and foundations division, ASCE* 87(SM1): 29-39.
  24. Sivaram, B., and P.K. Swamee, 1977. A computational method for consolidation coefficient. *Soils and Foundations* 17(2): 48-52.
  25. Sridharan, A. and A. Sreepada Rao, 1981. Rectangular hyperbola fitting method for one dimensional consolidation. *Geotechnical Testing Journal* 4(4): 161-168.
  26. Sridharan, A. and K. Prakash, 1993.  $\delta-t/\delta$  method for the determination of coefficient of consolidation. *Geotechnical Testing Journal* 16(1): 131-134.
  27. Sridharan, A., and K. Prakash, 1985. Improved rectangular hyperbola method for the determination of coefficient of consolidation. *Geotechnical Testing Journal*, 3(1): 37-40.
  28. Sridharan, A., N. S. Murthy, and K. Prakash, 1987. Rectangular hyperbola method of consolidation analysis. *Géotechnique* 37(3): 355-368.
  29. Taylor, D. W., 1948. *Fundamentals of Soil Mechanics*, Wiley, New York.
  30. Terzaghi, K., 1943. *Theoretical Soil Mechanics*, John Wiley & Sons.