

## 1차와 2차 침하를 고려한 압밀침하량 예측

### A Consolidation Settlement Prediction Considering Primary and Secondary Consolidation

이 달 원\* · 정 성 규\*\*

Lee, Dal Won · Jeong, Seong Gyu

#### Abstract

In this study, it was proposed that an equation for predicting consolidation settlement on soft clay ground, which separate total settlement into primary and secondary consolidation settlement equation. The consolidation settlements by the proposed equation and by the measured settlements from laboratory model test were compared and verified for its application. It was appeared that the proposed equation from the laboratory model test approach to be more realistic comparing to the result of Terzaghi's equation.

From the above application, it was concluded that the final settlement prediction by the Hyperbolic, Asaoka methods is needed to the initial settlement but the proposed equation could be much applicable in the lacking condition of measured data of the initial period.

*Keywords : Primary, Secondary Settlement, Laboratory model test, Terzaghi's, Hyperbolic, Asaoka methods*

#### I. 서 론

우리나라의 경제규모 확대에 증가하는 공단, 항만, 공항, 주거단지 등 토지수요에 부응하기 위하여 지리적 입지조건 및 공학적 성질면에서 열악한 지반조건을 가진 해안지역의 개발이 요구되고 있다.

이러한 지반은 해성점토, 점토질 실트 및 유기질 토 등으로 이루어진 연약지반으로 지지력 부족이나

과대한 침하 등에 의해 구조물의 안정문제가 야기될 수 있어 토공구조물을 설치할 경우 정확한 침하량평가에 의한 설계는 필수적이다.

지반조사나 토질시험결과를 이용한 압밀침하량은 현장에서 발생한 실제침하량과 큰 차이를 나타내는 경우가 많다. 최종침하량을 정확하게 예측하기 어려운 이유는 비선형적인 거동특성과 응력수준, 그리고 시간, 공간 및 환경 등에 따른 변화성, 현장응력이력, 교란 등 현장에서 흙의 변형특성이 복잡한 데도, 조사 및 시험방법 상의 기술적 한계성 등으로 인하여 지반의 특성요소를 정확히 반영하지 못하고 부분적인 대표치를 적용하거나, 지반을 단순화하여 침하량을 산출하였기 때문이다.<sup>2),7)</sup> 이와 같

\* 충남대학교 농업생명과학대학 지역환경토목전공  
\*\* 농업기반공사 충남본부  
\* Corresponding author. Tel.: +82-42-821-5793  
Fax: +82-42-825-5791  
E-mail address: dwlee@cnu.ac.kr

이 실측치와 이론치가 서로 일치하지 않기 때문에 현장계측을 통하여 압밀침하거동을 관측한 다음 이를 이용한 침하량예측법이 여러 학자들에 의하여 제안되었다.<sup>1),9),10)</sup> 이러한 예측법에 의한 계측침하의 해석결과도 실제침하량과는 일치하지 않고, 어떤 예측법도 현장의 압밀과정에서 어느 시점, 어떤 자료를 어떻게 이용하였는가에 따라서 그 결과가 달라진다. 압밀침하량 산정방법에 포함된 문제점과 함께 이론적으로는 총침하량을 즉시침하량, 1차 압밀침하량, 2차 압밀침하량으로 구분하였으나, 실제 침하량을 산정할 때는 이를 구분하는 것이 곤란하므로 정확한 침하량의 산정이 어렵다.

근래에는 침하량 예상치와 실측치의 차이점을 극복하기 위하여 실측치와 이론적인 해석치를 비교·분석함으로써 지반의 변형을 미리 예측하고, 시공중과 시공 후에 필요한 경우 적절한 대책을 수립할 목적으로 현장계측을 실시하고 있으며, 이러한 연약지반상에 설치되는 구조물의 침하량 계측은 일반화 되어가고 있는 추세이다.<sup>4)</sup>

본 연구에서는 연약지반의 압밀침하를 예측하기 위하여 기존에 적용하였던 Terzaghi 1차원 압밀이론식을 표준압밀시험방법으로부터 1차 압밀과 2차 압밀로 구분하여, 침하량 예측을 위한 새로운 이론식을 유도하고 실내모형실험에 의하여 적용성을 검증하고자 한다.

## II. 압밀침하량 산정식의 제안

연약지반상에 구조물을 축조할 때 압밀침하량을 예측하는 것은 최종성토고의 결정과 압밀완료시간을 파악하는데 매우 중요한 일이다.

특히, 방조제의 시공은 일반도로 성토와는 달리 해상에서 이루어지기 때문에 시공과정이 어렵고 파랑 등의 자연적인 현상들을 고려해야만 한다. 따라서 계측기를 매설하고 성토시공을 하면서 현장계측을 하는 것은 상당히 어렵고, 성토완료시까지의 계측자료는 이상치가 너무 많아 적용하는 데는 무리

가 있기 때문에 성토완료후의 자료만을 이용하여 최종침하량을 예측하고 있다.

그동안 컴퓨터에 의하여 압밀구성식을 이용한 유한요소법과 같은 수치해석으로 방조제의 압밀침하량을 추정해 왔다. 또한 Terzaghi 압밀이론을 기초로 1차 압밀침하량만을 적용하기도 하고, 2차 압밀을 고려하여 최종침하량을 예측하기도 하였다.<sup>11),12)</sup>

점성토에서는 1차 압밀이 끝난 후에도 하중이 계속 유지되면 침하가 지속되며 이는 점토입자가 계속적으로 재배열되기 때문이다. 그동안 Mesri 등(1985, 1994)에 의해 점중하중에 따른 재하속도의 영향을 고려한 2차 압밀을 정성적·정량적으로 평가하기 위한 많은 연구가 수행되어 왔다.

압밀해석은 표준압밀시험 결과로부터 얻어진 압축지수, 공극비, 압밀항복압력, 압밀계수, 2차 압축지수 등을 이용하여 침하시간에 따른 침하량을 예측하고 있으나 2차 압밀을 고려한 경우는 적고, 보다 많은 토질정수가 필요한 다차원 조건하에서 개발된 탄점소성 구성식에 의한 압밀해석법을 고려한 경우에는 설계정수들을 신중하게 선정하여야 한다.<sup>3),8)</sup>

1차원 압밀에서의 구성식은 포함된 정수가 적으며, 정교한 구성식은 아니라도 그의 간편한 구성식에 의해 압밀시험거동을 충분히 설명할 수 있고, 현장 적용성이 어느 정도 재현된다면 실용적 가치는 높다고 판단된다.

따라서 표준압밀시험으로부터 구해지는 토질정수만을 이용하여 2차 압밀을 고려한 1차원 압밀해석이 가능한 구성식을 유도하고자 한다.

표준압밀시험에서 일정하중을 재하하는 경우 점토의 압밀량은 공극수압의 변화에만 관계되는 Terzaghi의 1차원 압밀에 해당되는 유효응력에 관한 부분과 시간의 영향만을 받고 공극수압과는 무관한 2차 압밀에 관한 부분으로 구분된다.

1차 압밀 후 2차 압밀이 발생한다면 1차 압밀에 의한 공극비의 변화량은 1차압밀비( $\gamma$ )로부터 계산

되고, 2차 압밀에 대한 공극비의 변화량은 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 \Delta e &= \Delta e_p + \Delta e_s \\
 e_p &= e_o - \Sigma \Delta e_p = e_o - \Sigma r \Delta e \\
 e_s &= e_o - \Sigma \Delta e_s = e_o - \Sigma (1-r) \Delta e \\
 e_o - \Sigma \Delta e &= e_o - (\Sigma \Delta e_p + \Sigma \Delta e_s) = (e_o - \Sigma \Delta e_p) + \Sigma \Delta e_s \\
 & \dots \dots \dots (1)
 \end{aligned}$$

여기서,  $\Delta e$ :  $\Delta p$  하중재하에 의한 공극비의 변화량,  $e_p, e_s$ : 1차 및 2차 압밀후 공극비,  $\Delta e_p, \Delta e_s$ : 1차 및 2차 압밀에 대한 공극비의 변화량,  $r$ : 1차 압밀비,  $e_o$ : 초기 공극비이다.

그러나 상기와 같은 현상은 재하 초기부터 동시에 발생하게 된다. 따라서 1차 압밀과 2차 압밀을 분리하기 위하여 표준압밀시험에 의해 하중을 분할 재하 하고 각 하중에서 재하시간을 24시간 재하할 경우의 공극비-압밀하중 곡선으로부터 압밀정수를 구하여야 한다.

Fig. 1에서  $e - \log P$  곡선은 현재 KS F에서 적용하고 있는 표준압밀시험으로부터 24시간 재하 하였을 경우를 나타낸 것이고,  $e_p - \log P$  곡선은 1차 압밀종료시점을 구하기 위해서 공극비와 시간 ( $\log t$ ) 관계를 표시한 후 각 하중단계에서의 1차 압밀이 끝나는 공극비( $e_p$ )를 구한 다음 하중  $P$  에 대하여 나타낸 것이다.

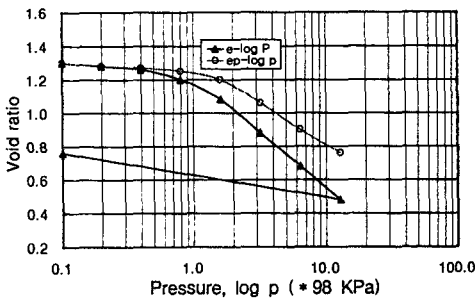


Fig. 1  $e - \log P$  and  $e_p - \log P$  curve

각 곡선으로부터 구해지는 정수는 각각 압축지수 ( $C_c$ ), 선행압밀압력( $P_c$ ) 및 1차 압밀종료시의 압축지수( $C_p$ ), 1차 압밀종료시의 선행압밀압력( $P_p$ )를 나타낸 것으로,  $e_p - \log P$  곡선은 시료교란에 대하여 변화가 작다.

그림에서 보는 바와 같이 같은 하중에서 재하시간이 증가할수록 두 곡선은 공극비가 다르게 나타나는데, 이와 같은 현상은 1차 압밀이 끝난 후에도 공극비가 감소함을 나타내며 결국은 2차 압밀량을 증가시키는 원인이 된다.

$e - \log P$  곡선에서 구한 압축지수( $C_c$ )값은  $e_p - \log P$  곡선에서 구한 압축지수( $C_p$ ) 보다 크기 때문에 압밀침하량이 크게 예측되는 원인이 된다. 특히, 현장에서의 성토시공은 점중하중형태로 이루어지기 때문에 시간이 경과함에 따라 압밀침하량의 차이는 점점 더 크게 나타난다.

따라서, 정규압밀상태에서 Terzaghi 1차 압밀침하량공식 중 압축지수는  $e_p - \log P$  곡선으로부터 다음과 같이 수정할 수 있다.

$$C_p = \Delta e_p / \log (p_2 / p_1) \dots \dots \dots (2)$$

2차 압축지수( $C_a$ )는 Mesri 등의 제안방법에 따라 표준압밀시험 자료로부터 다음과 같이 구하였다.

$$C_a = \Delta e_s / \log (t / t_p) \dots \dots \dots (3)$$

여기서  $t$ :  $\Delta p$  재하 후부터 시간,  $t_p$ : 2차 압밀 시작시간

이상과 같은 식들을 고려하여 표준압밀시험방법으로부터 1차 압밀과 2차 압밀을 구분하여 각각 압밀정수를 구하고, 2차 압밀을 고려한 새로운 압밀침하량 이론식을 유도한 결과 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 S = & \left[ \frac{C_p}{1 + e_o} \cdot H \cdot \log \left( \frac{P_o + \Delta P}{P_o} \right) + \frac{C_a}{1 + e_p} \right. \\
 & \left. \cdot H \cdot \log \left( \frac{t}{t_p} \right) \right] \cdot U(t)
 \end{aligned} \dots (4)$$

여기서,  $U(t)$ 는 압밀도이고, 1차 압밀완료시의 공극비  $e_p$ 는 다음 식으로 계산한다.

$$e_p = e_o - \Delta e_p \dots\dots\dots (5)$$

$$\Delta e_p = C_p \log\left(\frac{p_o + \Delta p}{p_o}\right)$$

### III. 재료 및 방법

#### 1. 실험 대상 시료

실험에 사용된 재료는 연약지반 현장에서 채취한 교란시료와 불교란시료를 이용하여 물리적성질, 역학적성질, 압밀특성시험을 실시하였으며 시험결과는 Table 1과 같다.

통일분류법(U.S.C.S)에 의한 지층의 토질분류는 CL로 구성되어 있고, 자연함수비와 액성한계는 각각 45%와 33%로 나타났다. 압밀침하량을 결정하는데 중요한 상수인 압축지수는 0.419 이고, 1차 압밀완료 시에서 구한 압축지수는 0.365이며, 2차 압축지수는 0.0164로 나타났다.

#### 2. 실내 모형장치 및 방법

모형실험장치는 Fig. 2와 같이 200 cm×100 cm×76 cm 크기로 I형강(두께: 10 cm)을 사용하여 제작한 후 아크릴을 조립하였고, 상부모래층 위에는 형강을 부설하여 상부하중이 모형지반에 균등하게 전달되도록 하였다. 또한 현장에서 채취된 교란시료를 균질하게 하고 패류, 유기물질, 사력분을

제거하기 위하여 No.4 체에서 통과시켜 수증에서 약 20 cm 두께로 자중압밀시킨 후, 약 3개월 후에 같은 방법으로 40 cm를 추가로 수증에서 자중압 밀시켜 총 75 cm의 실내모형을 축조하였다.

모형지반의 상부와 하부는 모래와 부직포를 약 17 cm정도 부설하여 양면배수조건으로 하였고, 측면마찰을 감소시키기 위하여 비닐에 그리스를 바르고 모형지반이 침하되는 만큼 비닐이 내려갈수 있도록 하여 측면마찰을 경감시켰다.

모형지반을 축조한후 약 2개월후에 중앙단면에 15 cm×35 cm 간격으로 간극수압계 9개와 침하계(LVDT)를 설치하였다. 하중재하장치는 유압식 실린더, 유압펌프, 로드셀로 구성되고 자동조절장치에 의하여 인위적으로 하중을 제어할 수 있도록 제작하였다.

하중재하는 대부분 성토시공 중의 재하정도가 약 9.8 kPa 정도임을 감안하면 표준압밀시험시 최대 1255.7 kPa의 압축지수곡선에 의한 압밀침하량보

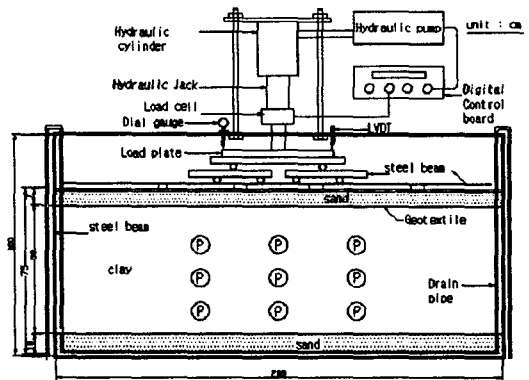


Fig. 2 Laboratory model test apparatus

Table 1 Geotechnical properties of soil used in laboratory test

Depth (m)	$W_n$ (%)	$G_s$	Atterberg limits		Shear parameters (UU)	Consolidation test							U.S.C.S
			LL	PI	$C$ (kPa)	$P_c$ (kPa)	$C_c$	$e_0$	$C_v$ (cm/s)	$C_p$	$C_a$	$e_p$	
2.0~4.0	44.8	2.720	32.89	17.14	29.43	68.7	0.419	1.184	2.33E-3	0.365	0.0164	1.087	CL

다는 시공과정중 정확한 압밀침하량의 예측이 필요하므로 실제적인 낮은 하중단계에서 교란정도가 고려된 압축지수의 평가가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

모형지반에 가해진 하중은 1.57 KN, 1.96 KN, 2.45 KN, 2.94 KN, 3.43 KN, 3.92 KN, 4.41 KN, 4.90 KN의 8단계로 점증하중에 의하여 재하하였다.

#### IV. 결과 및 고찰

##### 1. 압밀침하량 예측

최종침하량의 예측기법은 주로 현장에서 계측한 실측침하량을 이용하여 예측하고 있지만, 현장적용 결과 예측된 침하량이 과대 및 과소평가되는 경향이 있어 현장기술자들이 후속공사 착수시기를 결정하기 위한 시공관리방안을 마련하는데 많은 문제점이 발생되고 있다. 특히, 매우 큰 함수비와 공극비를 갖고 있는 지반, 1차 압밀기간이 비교적 짧고 시공완료 후에 곧바로 2차압밀이 시작되는 연약지반에서의 소요압밀시간과 최종침하량의 예측은 대상지반의 압밀완료시점과 최종성토고를 결정하는데 현장에서 가장 중요하게 고려할 사항이다.

압밀변형이 큰 실제현장의 연약지반에서 Terzaghi 1차 압밀기본 방정식만으로 압밀거동을 해석하는 것은 이론적인 타당성이 결여되므로 현재 1차원 압밀이론의 모순을 수정, 보완하여 좀더 현실적이고 실용적인 이론의 제안이 요구되고 있다.

따라서, 이와같은 지반에서는 종래의 Terzaghi의 1차 압밀침하만을 고려하는 것보다는 2차 압밀도 고려하여 침하해석을 해야만 정확한 압밀침하량을 산정할 수 있다.

본 연구에서는, 1차적으로 실내모형실험을 통하여 제안식을 비교분석한 후 최종적으로 연약지반 상에 축조된 구조물의 최종침하량 예측방법에 적용하고자 한다.

Fig. 3은 각 하중단계별 실내모형실험에 의하여

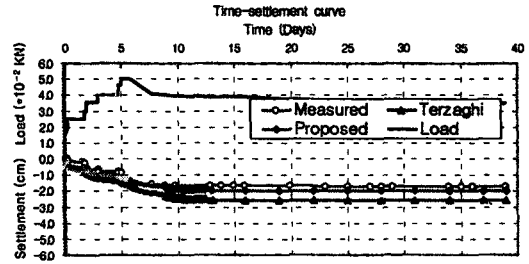


Fig. 3 Time-settlement curve by Terzaghi and proposed methods with gradual step load at laboratory test

재하하중을 변화시키면서 측정한 시간-침하량곡선을 나타낸 것이다.

재하하중은 현장시공과정을 고려하여 재하하여야 하지만 실내모형의 한계로 인하여 작은 하중단계부터 재하를 시작하여 1.57 KN, 1.96 KN, 2.45 KN, 2.94 KN, 3.43 KN, 3.92 KN, 4.41 KN, 4.90 KN의 8단계로 변화시켰고, 그 이후는 하중을 점차로 3.43 KN 까지 감소하면서 침하량을 측정하였다.

점증하중에 따른 침하량은 시간이 경과함에 따라 점차로 침하가 진행되고 있지만 실내모형실험에서 수행되었기 때문에 상대적으로 작게 나타났고, 실제 시공현장에서 발생하는 침하형태와는 다르게 하중재하 즉시 발생되고 있다.

최종침하량의 예측은 각 방법마다 가정조건들이 다르기 때문에 신뢰성 평가에 어려움이 있지만, 그 중에서 Hyperbolic, Asaoka, Terzaghi 방법으로 최종침하량을 예측하고 실측값을 제안식과 비교·분석하였다.

Fig. 4는 각 예측방법별 최종침하량을 나타낸 것으로 시간이 무한대에서 점증하중을 고려한 압밀침하량은 Terzaghi 방법은 4.35 cm, Hyperbolic 방법 4.01 cm, Asaoka 방법 3.88 cm 로 나타났고 1차 압밀과 2차 압밀을 분리한 제안식에서는 3.61 cm로 나타났다.

시간이 39일 경과하였을 경우, 침하량은 Terzaghi 방법에서는  $S_{39}=2.59$  cm, Hyperbolic 방법은  $S_{39}=2.21$  cm, Asaoka 방법  $S_{39}=2.14$  cm, 제안

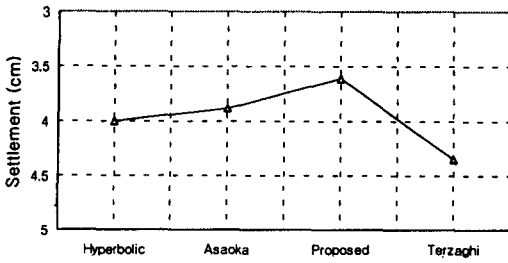


Fig. 4 Estimation of final settlements by various methods

식에서는  $S_{39}=1.99$  cm, 실측치는  $S_{39}=1.73$  cm으로 제안식은 실측치에 근접하게 나타났다.

1차와 2차 압밀침하량을 분리하고 점중하중을 고려한 제안식은 성토가 진행됨에 따라 침하량의 증가폭이 점점 작아지고 실측침하량에 근접하게 나타났다.

Terzaghi의 압밀침하량계산식은 1차와 2차 압밀침하량을 분리하지 않고 계산하였기 때문에 실측침하량보다 크게 나타나지만 본 제안식은 현장에서의 점중하중조건을 고려하여 1차 압밀과 2차 압밀을 분리하여 압밀침하량을 계산하였기 때문에 침하량이 작고 실측치에 근접된다고 판단된다.

Table 2는 최종침하량 예측치, 경과일수에 따른 실측치와 예측치 및 신뢰도를 각각의 압밀침하량 예측방법별로 비교한 것이다.

최종침하량의 추정은 시간-침하량의 관계를 이용하여 압밀침하량과 압밀도 및 시간과 시간계수는 비례관계가 있다. 최종침하량의 정확성을 검토하기 위하여 각 최종침하량 예측방법별 신뢰성해석을 상대오차개념으로 분석하였다.

신뢰도는 0%에 가까울수록 정밀도가 높음을 나타낸다. 최종침하량은 실측치가 없기 때문에 제안식을 기준으로 평가하였고, 경과시간에 따른 신뢰도는 실측치를 기준으로 평가하였다.

실측치를 기준으로 경과시간 39일에서 상대오차 개념에 의한 신뢰도를 평가하면 Terzaghi 방법 (+)50%, Hyperbolic 방법 (+)28%, Asaoka 방법 (+)24%, 제안식 (+)15%를 나타내었고, 실측치가 없는 최종침하량에 대한 신뢰도는 제안식을 기준으로 평가하면 Terzaghi 방법 (+)25%, Hyperbolic 방법 (+)11%, Asaoka 방법 (+)8%로 나타나서 Terzaghi 방법은 과대하게 나타나서 낮은 신뢰도를 보이고, Hyperbolic 방법, Asaoka 방법, 제안식은 비슷한 신뢰도를 나타냈다.

Terzaghi 방법은 실제 현장에서 시공하고 있는 것과 같은 점중하중형태로 하중이 재하되면 침하량 값이 점점 크게 예측되는 반면에 제안식은 침하량이 상대적으로 작게 증가된다. 이것은 Terzaghi 방법에서는 압축지수( $C_c$ )를 적용하고, 제안식에서는 1차 압밀종료시의 압축지수( $C_c$ )를 산출하여 적용하였기 때문으로 판단된다.

전체적으로 Terzaghi 방법으로 예측한 최종침하량은 상당히 크게 나타났고, Hyperbolic 방법, Asaoka 방법, 제안식에 의한 방법 등은 유사하게 나타나 이 방법을 기준으로 최종침하량을 적용하는 것이 합리적이라고 판단된다. 특히, Hyperbolic 방법이나 Asaoka 방법은 공사가 진행되면서 측정된 실측치를 이용해서 최종침하량을 예측하는데 비하여, 제안식은 계측자료가 없는 상태에서 최종침하

Table 2 Comparison of measured and estimated settlement by various methods

Method		Measured	Terzaghi	Hyperbolic	Asaoka	Proposed
Settlement	$S_f$ (cm)	-	4.35	4.01	3.88	3.61
	$S_f(39day)$ (cm)	1.73	2.59	2.21	2.14	1.99
Reliability	$S_f$ (%)	-	+25	+11	+8	0
	$S_f(39day)$ (%)	0	+50	+28	+24	+15

량을 예측하므로 적용성이 높은 것으로 평가되었다.

## 2. 압밀도의 분석

Table 3은 경과시간에 따른 실측치를 기준으로 한 압밀도와 제안식을 기준으로 압밀도를 나타낸 것이다.

실측치를 기준으로 경과시간 39일에서의 압밀도는 Terzaghi 방법은 40%로 낮게 나타났고, Hyperbolic 방법 43%, Asaoka 방법 45%, 제안식 48%의 순으로 나타났으며, 제안식을 기준으로 한 최종압밀도 평가에서도 Terzaghi 방법 83%, Hyperbolic 방법 90%, Asaoka 방법 93%으로 평가되었다.

Fig. 5는 시간에 따른 압밀도를 예측방법별로 나타낸 것이다.

압밀도에 의해 제안식의 신뢰도를 평가하여 보면 제안식은 실측치를 적용하여 예측된 Hyperbolic 방법과 Asaoka 방법으로 예측된 압밀도에 근접하는 것으로 나타났다.

Table 3 Comparison of degree of consolidation by various method

Method		Terzaghi	Hyperbolic	Asaoka	Proposed
Degree of consolidation	$U_f$ (%)	83	90	93	100
	$U_t$ (39day) (%)	40	43	45	48

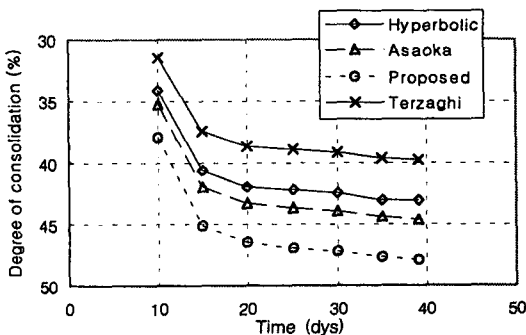


Fig. 5 Variation of degree of consolidation with time

Hyperbolic 방법, Asaoka 방법은 성토를 시공 한 후 장기간 방치한 시점의 침하량을 사용하는 경우 예측침하량의 신뢰도가 높은 것으로 알려져 있어, 방조제와 같이 초기계측자료의 오차가 많은 상태에서는 제안식으로 추정된 압밀도는 높은 신뢰성을 입증하고 있다.

시공현장에서 점중하중을 고려하여 Terzaghi 방법에 의한 계산된 압밀침하량은 성토가 진행됨에 따라 점차적으로 더 커지게 된다. 그 동안 설계시 적용되었던 Terzaghi 방법은 Hyperbolic 방법이나 Asaoka 방법으로 추정된 값보다 크게 나타났고, 결국은 압밀도가 과소평가 되었기 때문에 단면이 커지는 문제점이 있어 왔다.

따라서 제안식을 도로 및 방조제 현장에 적용할 경우 경제적인 설계단면을 축조할 수 있을 것으로 판단된다.

## VI. 결 론

본 연구에서는 연약지반의 압밀침하량을 예측하는데 1차 압밀과 2차 압밀을 구분한 새로운 압밀침하량 이론식을 유도하여, 실측 침하량과 비교·분석하고 실내모형실험을 통하여 그의 적용성을 검증한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 연약지반의 압밀침하량을 산정하기 위하여 Terzaghi의 1차 압밀이론식을 1차압밀과 2차압밀로 구분한 새로운 압밀침하량 이론식을 제안하였다.
2. 실내모형실험으로 실측한 결과와 Terzaghi 및 제안식으로 예측한 침하량 계산결과 Terzaghi 방법에 의한 것보다 제안식이 실측치에 더 근접하는 것으로 나타났다.
3. 압밀침하량은 Terzaghi 방법에서 가장 컸으며, Hyperbolic 및 Asaoka 방법과는 유사하게 예측되었고, 상대오차개념에 의한 분석결과 제안식의 신뢰도는 높은 것으로 평가되었다.
4. Hyperbolic 및 Asaoka 방법의 최종침하량에 측은 압밀초기의 실측자료를 필요로 하므로 본 제

안식은 초기실측자료가 없는 방조제 등의 최종침하량을 예측하는데 적용성이 더욱 높을 것으로 판단된다.

## References

1. Asaoka, A., 1978. Observational procedure of settlement prediction. *Soils and Foundations*. 18(4): 87~101
2. Kabbaj, M., F. Tavenas and S. Leroueil, 1988. In situ and laboratory stress-strain relationship. *Geotechnique*. 38: 83~100
3. Lee K. and G. C. Sills, 1981. The consolidation of a soil stratum, Including self-weight effects and large strains, *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*, 5: 405~428.
4. Matyas, E. L. and L. Rothenburg, 1996. Estimation of total settlement of embankments by field measurements, *Can. Geotech. J.* 33: 834~841.
5. Mesri, G. and Y. K. Choi, 1985. Settlement analysis of embankments on soft clays, *ASCE Journal of Geotechnical Engineering*. 111: 441~464.
6. Mesri, G. and T. W. Feng, S. Ali and T.M. Hayat, 1994. Permeability characteristics of soft clays, *XIII ICSMFE*, New Delhi, India, pp.187~192.
7. Mitchell, L. K., 1976. Fundamentals of soil behavior, John Wiley & Sons, New York, NY. pp.293~333
8. Schiffman, R. L., V. Pane and R. E. Gibson, 1984. The theory of one-dimensional consolidation of saturated clays: IV. An Overview of Nonlinear Finite Strain Sedimentation and Consolidation, *Proceeding of a Symposium of Sedimentation / Consolidation Models ASCE*. pp.1~29.
9. Sridharan, A., N. S. Murthy and K. Prakash, 1987. Rectangular hyperbola method of consolidation analysis, *Geotechnique*. 37(3): 355~368.
10. Tan, S. A. and S. H. Chew, 1996. Comparison of the hyperbolic and Asaoka observational method of monitoring consolidation with vertical drains, *Soils and Foundations*, 36(3): 31~42.
11. Terzaghi, K., 1968. Theoretical soil mechanics, John Willy and Sons, pp.265~296
12. Wahls, H. E., 1962. Analysis of primary and secondary consolidation, *J. of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE* 88(SM6): 207~231.