

# 인천지역 항로 준설토의 침강자중압밀시험에 의한 유보율 결정에 관한 연구

## Retention Ratio of Dredged Soil at Incheon Harbour Route using Self-Weight Consolidation Test

신은철<sup>1\*</sup>, 박영진<sup>2</sup>, 강정구<sup>3</sup>

Eun-Chul Shin<sup>1\*</sup>, Young-Jin Park<sup>2</sup>, Jeong-Ku Kang<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Member, Professor, Dept. of Civil and Environmental Engineering, College of Urban Science, Incheon National Univ., 119, Academy-ro, Yeonsu-gu, Incheon, 22012, Republic of Korea

<sup>2</sup>Member, Graduate Student, Dept. of Civil and Environmental Engineering, College of Urban Science, Incheon National Univ., 119, Academy-ro, Yeonsu-gu, Incheon, 22012, Republic of Korea

<sup>3</sup>Member, Research Professor, Urban Science Institute, College of Urban Science, Incheon National Univ., 119, Academy-ro, Yeonsu-gu, Incheon, 22012, Republic of Korea

### ABSTRACT

Self-weight consolidation test and soil property of dredged soil at Incheon harbour route were analyzed to determine the initial dredging reclamation amount, reclamation depth, and estimating the required time of self-weight consolidation with calculation of the final planned height of dredging reclamation site. The moisture content, void ratio and ratio of volume change with elapsed time after throwing were estimated through Yano's empirical equation. As a result, there was a less variation in elements when fine-grained soil content was low as similarly to the behavior of coefficient of sedimentation-consolidation,  $C_s$  and the highest variation was shown at the fine-grained soil content of 50%. The retention ratio according to the fine grained soil content that could reinforce the comprehensive aspect of retention ratio for each particle size presented in the standard of estimate for reclamation construction work was calculated and presented using the calculated ratio of volume change.

### 요 지

준설 매립 부지의 최종 계획고를 얻기 위한 초기 준설 매립량과 매립두께를 결정하고 자중압밀에 소요되는 시간을 예측하기 위해 인천지역 항로 준설 시료에 대한 자중압밀시험과 공학적 특성을 분석하였다. 준설투기된 시료의 시간경과에 따른 함수비, 간극비 및 체적변화비에 관한 인자를 Yano의 경험식을 이용하여 평가하였다. 세립분 함유율이 낮은 경우 침강압밀계수의 변화폭이 작게 나타났으며, 세립분 함유율 50%에서 가장 크게 나타났다. 자중압밀에 따른 체적변화비를 이용하여 준설매립공사에 제시된 입도별 유보율의 포괄적인 측면을 보완할 수 있는 세립분 함유율에 따른 유보율을 산정하여 제시하였다.

**Keywords** : Marine clay, Dredged soil, Content of fine grained soil, Volume change ratio, Retention ratio

## 1. 서 론

준설토는 육지와 인접한 해안지역에 넓게 분포되어 있어 물량확보가 용이하나 고함수비 상태로 송출되어 세립질

의 흙과 물의 혼합물인 슬러리 상태로 유입되기 때문에 바로 침강하는 것이 아니라, 부유물의 확산이동 후 침강, 퇴적하는 자중압밀 침하거동을 보인다. 이로 인해 준설투기장의 매립량을 정확하게 예측하는 것이 어려워 설계 시공상 문제가 발생하기도 한다. 한국지반공학회(2005)에 따르면 매립공사에서 준설매립토 적정량 산정이 가장 중요한 설계인자이며, 이는 매립토의 체적과 유실율로 추정하

Received 20 Nov. 2017, Revised 30 Nov. 2017, Accepted 30 Nov. 2017

\*Corresponding author

Tel: +82-32-835-8466; Fax: +82-32-835-0775

E-mail address: [ecshin@inu.ac.kr](mailto:ecshin@inu.ac.kr) (E. C. Shin)

능하다. 해양수산부(2014) 항만설계기준에 따르면 준설매립시 유실율에 대한 평가는 실험을 토대로 결정하는 것이 가장 바람직하나 그렇지 못한 경우, 입경에 따라 물량을 산출할 수 있도록 토질에 따른 유보율을 제시하고 있다. 그러나 광범위한 범위의 설정으로 정확한 준설물량을 산정하는데 한계가 있으며, 준설물량의 적정한 산정을 위한 합리적 계산 방법의 도입이 필요하다.

고함수비의 준설점토는 자중에 의해 압밀이 발생하며, 배수길이가 길어 Terzaghi(1925)의 미소변형압밀이론으로 해석하기에는 무리가 따른다. 준설토의 침강 및 자중압밀 거동은 Mikasa(1963), Gibson et al.(1967)에 의해 제시되었으며, Shin(1999)은 유한변형이론에 기초한 실험실 연구결과와 현장계측이 잘 일치한다고 보았다. Kynch(1952)는 입자의 침강현상을 수학적으로 규명하고 간섭침강과 계면침강특성을 제시하였으며, McRoverts and Nixon(1976)은 초기농도에 따른 시공간적 분포변화에 대해 연구하였다. 압밀의 시작과 관련하여 Lin and Lohnes(1981)는 침강실험에서 경계면이 생기고 흙 입자들이 3차원적인 격자를 형성함으로써, 슬러리가 한계농도에 도달했을 때 자중압밀이 시작된다고 보았다. Imai(1980)는 일본 준설점토에 대한 침강실험을 실시하여 침전과 압밀의 상호작용을 연구하였으며, Been and Sill(1981)은 일련의 실험을 통해 준설토의 초기간극비를 규명한 바 있다. 토립자의 침강 및 압밀과정에 대한 종합적 이론은 Pane and Schiffman(1985)에 의해 발전하였으며, 특히, Yano(1985)가 제시한 자중압밀에 관한 경험적 특성관계식은 국내에서도 많이 활용되고 있다. 국내에서는 Jeong and Yoo(1979)가 Mikasa이론과 실내실험을 통해 준설토의 침강압밀거동을 규명하였으며, 해성점토의 침강특성에 관한 실험적 연구가 주로 수행되었다(Kim, 1987; Song et al., 1992; Lee et al., 1994; Lee et al., 1995). Jee et al.(1997)은 토조모델 실험과 PSDDF프로그램을 이용하여 수치해석결과와 상호비교분석 하였으며, Yoo et al.(2005)은 고함수비 준설매립토를 대상으로 구성관계를 분석하고, 원심모형실험을 통해 수치해석을 수행하였다. Kim et al.(2000)은 준설토의 유실

율 정립에 관한 연구를 수행하여 준설매립량 산정방법을 제안한 바 있다. 최근 연구로는 Lee and Lee(2011), Lee and Choi(2016) 등이 서해안 매립지역 준설토를 대상으로 침강압밀 거동특성을 분석하였다.

본 연구는 송도 00지구 매립조성공사에 활용한 인천항로 준설토에 대해 자중압밀실험을 통해 준설매립량 산정방법 연구를 수행하였다. 항만지역 항로 준설시 발생하는 준설토의 기초물성실험을 통해 준설매립물량을 산정하였으며, 송도지역으로 펌프운송과정에서 발생하는 유실율과 준설매립량의 관계를 분석하였다.

## 2. 자중압밀을 고려한 압밀이론

### 2.1 매립토량의 산정

토사매립방법은 펌프식 준설선으로 토사를 매립지로 직접 송토하는 방법과 버킷 준설선, 디퍼·백호 준설선, 그레브 준설선 등으로 준설하여 토운선으로 운반하는 방법, 일정한 포켓을 이용하여 펌프 준설선으로 재 송토하는 방법, 그리고 육상에서 발생하는 토사로 매립하는 방법 등이 있다. 펌프 준설선으로 준설하는 경우, 준설토사를 굴착하여 배사관을 통해 매립지에 운반, 공급하는 과정에서 토사가 부유되어 계획된 매립지 외부로 일부가 유실될 수 있다. 이때 유실되지 않고 계획된 구역 내에 쌓이게 된 것을 유보량, 유보량의 백분율을 유보율이라 한다. 유보율에 근거한 준설물량 산정식은 식 (1)과 같다.

$$V = \frac{V_0}{P} \quad (1)$$

여기서,  $V$ 는 매립시공토량( $m^3$ ),  $V_0$ 는 매립전체토량( $m^3$ )으로 침하율과 수축율을 고려한 체적이며,  $P$ 는 펌프 준설선에 의한 매립토사의 평균 유보율(%)이다.

매립지반 설계 시 유보율 산정 기준은 자중압밀시험 또는 준설토의 입도와 토질에 따라 유보율을 산정한 후 산술평균으로 정하며, 토질의 종류에 따른 수축률은 Table 1과

Table 1. Shrinkage ratio with soil type

Soil type	Shrinkage ratio (% with depth of layer)
Clay soil layer	less than 20
Clay and sandy soil layer (mixed soil layer)	10~15
Granular soil layer	5

Table 2. Retention ratio with soil type

Soil type	Retention ratio (%)
Clay or Clayey silt	less than 70
Sand or Sandy silt	70~95
Gravel	95~100

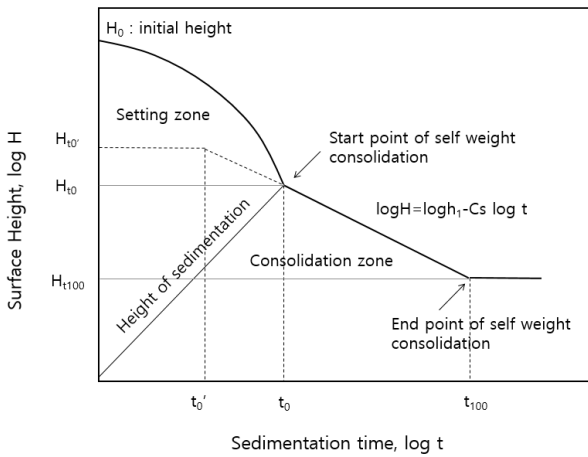


Fig. 1. Determination of the starting point of self weight consolidation

같다. 침하율은 Terzaghi의 1차원압밀 이론에 의한 침하량 값을 계산하여 원지반 두께에 대한 침하량으로 표현한다.

준설매립지역의 유보율은 준설토의 중량에 대한 매립토의 중량비를 의미한다. 매립토사의 입경, 집수정과 여수토의 위치와 높이, 배수구로부터의 거리, 매립면적 등 다양한 영향요인이 작용한다. 항만 및 어항 설계기준 해설(해양수산부, 2014)에서는 준설매립 시 유실율에 대한 평가를 실험적으로 결정하지 못하는 경우, Table 2와 같이 토질별 유보율을 적용할 수 있도록 규정하고 있으나, 적용 범위가 넓어 적절한 준설물량을 산출하는데 한계가 있다.

## 2.2 준설토의 침강압밀 특성

자중압밀 침강곡선은 흙의 응집이 이루어지는 응집침강, 침강속도가 증가하는 구간침강, 그리고 압밀침하가 시작되는 압밀침강 단계로 구분된다. 이때 압밀침하의 시작점은 일반적으로 침강속도가 느려지는 변곡점을 기준으로 한다. 자중압밀의 시점은 구간침강 및 압밀침강단계에서 접선의 교점에 해당하는 시간으로, 시간-침강높이 곡선에서 상·하부 곡선에 접선을 그어 만나는 점을 구하면, 그 점이 침강의 종료점이 되며 이 종료점을 자중압밀 시점으로 추정할 수 있다. Fig. 1은 침강단계와 압밀단계의 구분

을 통해 자중압밀의 시점을 결정하는 방법을 나타낸다.

초기함수비가 같고 세립분의 함유율이 각기 다른 시료를 침강압밀 시켰을 때, 구간침강의 형태를 지나는 준설토가 침강 및 퇴적단계를 거치면서 시간경과에 따라 자중압밀단계에 진입한다. 계면고와 침강시간과의 관계에서 식 (2)와 같이 선형관계를 얻을 수 있으며, 계면고는 식 (3)과 같이 구할 수 있다.

$$\log H = \log h_1 - C_s \log t \quad (2)$$

$$H = h_1 t^{-C_s} \quad (3)$$

여기서,  $h_1$ 은  $t=1(\text{min})$ 에서  $H=h_1$ 이 되는 높이를 나타내는 상수이며,  $C_s$ 는 침강압밀계수이다.

직선이 시작되는 부분을 자중압밀 시점, 직선이 끝나는 부분을 자중압밀 종점으로 정의하며, 침강자중압밀계수는 식 (4)와 같이 두 점 사이의 기울기로 나타낼 수 있다.

$$C_s = \frac{\log(H_{t_0}/H)}{\log(t/t_0)} \quad (4)$$

여기서,  $H_{t_0}$ 는 시간 $t_0$ 에서의 계면고이다.

일반적으로 실질토량고와 계면고와의 관계는 식 (5)와 같이 일정한 관계를 가진다.

$$H_s = \frac{H}{1 + G_s/G_w \bar{w}} = \frac{H}{1 + \bar{e}} \quad (5)$$

여기서,  $H_0$ 는 초기계면고,  $G_s$ 는 토립자의 비중,  $G_w$ 는 물의 비중,  $\bar{w}$ 는 준설토의 평균 함수비,  $\bar{e}$ 는 준설토의 평균 간극비이다.

초기 함수비가 같고 높이가 다른 여러 준설토를 침강시켜, 각각의 침강곡선에 나타난 압밀 침강 개시 시간을  $t_0$ , 크리프 거동에 들어갈 때의 시간을  $t_{100}$ 라 하면, 압밀침강 영역구간에서 시간( $t=t_0 \sim t_{100}$ )과 계면고(H)와의 자중압밀

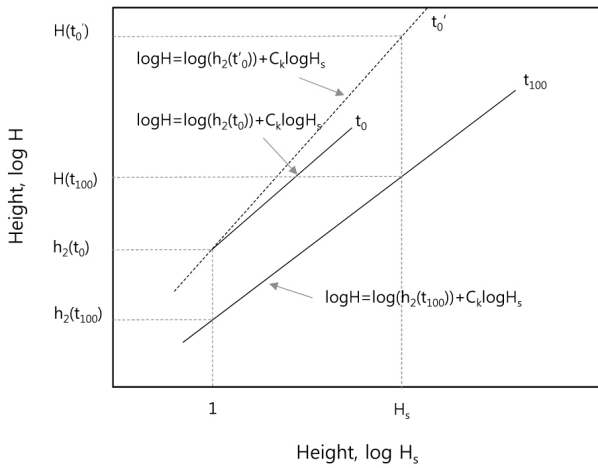


Fig. 2. Height of dredged soil with  $H_s$  at  $t=0$  and  $t=100$

산정식을 구할 수 있다. Fig. 2는 시간( $t_0$ ,  $t_{100}$ )에서의 계면고에 따른 실질토량고의 높이를 나타낸다.

각 함수비에 따른 자중압밀 시점과 종점을 대수눈금의 실질토량고로 표시하면 선형관계가 성립한다. 이로부터 매립지반의 초기 계면고에 대한 실질토량고를 구할 수 있으며 이들의 관계식은 (식) 6에 제시한 바와 같다.

$$\log H = \log h_2 + C_k \log H_s \quad (6)$$

여기서,  $h_2$ 는 계면고이며, 실질토량고  $H_s = 1$ 에서의 절편이다.  $C_k$ 는 계면고-실질토량고 그래프의 기울기를 나타낸다. 침강압밀시험으로부터 산출된 실질토량고를 이용하여 매립고를 추정하고, 간극비 및 함수비 관계를 이용하여 최

종적으로 체적변화비를 산출할 수 있다.

### 3. 실내모형실험

#### 3.1 준설토 및 원지반토의 물성시험

준설지역의 시료는 제1항로, 제3항로, 컨테이너 부두, 진입항로 확장구역에서 채취하였다. 자연함수비는 51~97%, 액성한계는 25~28%로 액성지수가 4.9 이상의 미압밀된 점토의 특성을 보인다. 입도분포는 #200체 통과 백분율이 69.3~87% 범위로 점토질 실트 또는 실트질에 속하는 세립토로 분류되었다. 각 구역에서 채취한 시료의 실험결과 Table 3과 같다.

매립지역 원지반토에 대한 물성시험은 3개 지점에서 채취한 시료를 이용하였으며, 자연함수비 31.5~36.4%, 액성한계는 31.5~36.4%, 액성지수가 0.7~1.0인 정규압밀토 특성을 보이는 것으로 나타났다. 입도분포는 #200체 통과 백분율이 95%이상이고, PI값이 소성도 A-line을 상회하므로 통일분류법상 모두 점토질(CL)로 분류되었다. 원지반토의 실험결과 Table 4와 같다.

준설된 시료의 60% 가적통과율 입경( $D_{60}$ )은 0.05, 30% 통과 입경( $D_{30}$ )은 0.015, 10% 통과입경( $D_{10}$ )은 0.002로서 균등계수가 6이상이고 곡률계수는 2.25 정도로서 입도가 비교적 양호한 실트질 토사로 구성되어 있는 것으로 나타났다. 또한, 투기지역 원지반을 구성하고 있는 흙의 입도 특성은  $D_{60}$ 이 0.02,  $D_{30}$ 이 0.004,  $D_{10}$ 이 약 0.001로서 균등

Table 3. Physical property of dredged soil

Sample No.	$w_n$ (%)	$G_s$	Atterberg Limits(%)		Grain Size Distribution %, Finer than				USCS
			LL	PI	0.002 (mm)	0.075 (mm)	0.425 (mm)	2.00 (mm)	
A	51.1	2.674	25.6	6.4	10.3	66.9	100	100	CL-ML
B	78.3	2.662	28.1	5.5	9.2	73.9	100	100	ML
C	97.9	2.664	26.4	4.1	8.3	50.85	99.4	100	ML

Table 4. Physical property of ground soil

Sample No.	$w_n$ (%)	$G_s$	Atterberg Limits(%)		Grain Size Distribution %, Finer than				USCS
			LL	PI	0.002 (mm)	0.075 (mm)	0.425 (mm)	2.00 (mm)	
1	34.3	2.68	40	20	12.3	92.4	99.3	100	CL
2	31.5	2.671	48.3	25.4	17.6	98.3	100	100	CL
3	36.4	2.681	34.5	25.2	18.3	95.8	100	100	CL

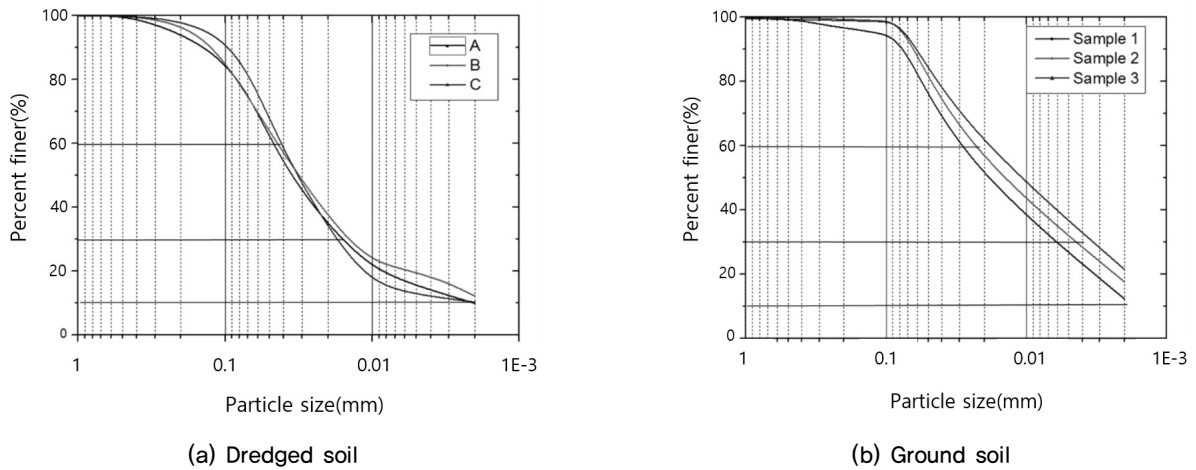


Fig. 3. Cumulative particle distribution curve

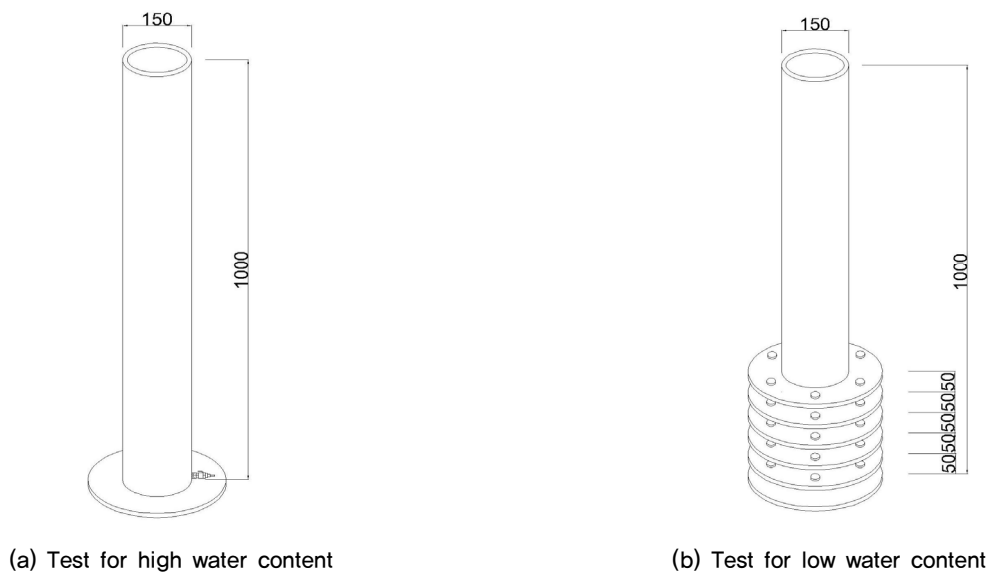


Fig. 4. Instrument for self weight consolidation test

계수 6이상, 곡률계수 1이하로서 입도가 불량한 점토질 흙으로 나타났다. 각각의 입도특성은 Fig. 3과 같다.

### 3.2 준설토의 침강 자중압밀시험

본 시험은 인천 송도 00지구 매립공사에 사용된 준설토를 대상으로 침강특성 및 자중압밀 특성을 파악하였다. 침강압밀시험을 위해 전체투기법(Yano시험법)에 의한 방법에 따라, Fig. 4와 같이 직경 150mm, 높이 1000mm의 원통형의 몰드를 제작하였다. 인천지역 항로준설을 통해 채취한 각 준설 구역별 시료에 대한 입도분석을 통해 #40번체 이상의 조립질 모래는 제외하였으며, 각각의 함수비 조건으로 몰드에 투입하였다. 몰드 하단부로부터 공기를

주입하여 충분히 교반시킨 후 침강실험을 실시하였다. 시험방법은 함수비, 세립분함유율, 투기고에 따라 침강압밀 특성을 분석하였다.

준설토의 침강자중압밀시험은 각 항로별로 채취한 시료를 대상으로 함수비 400%, 700%, 1000% 조건에서 침강분석을 수행하였다. 시료를 함수비에 맞게 조성한 후, 초기 간극비를 산정하기 위해 메스실린더를 이용하여 시료의 초기농도를 측정하였으며, 몰드에 투기된 시료의 함수비를 재측정함으로써 실험조건을 일치시켰다. 또한, 세립분 함유율에 따른 침강자중압밀 특성을 분석하기 위해 #200번체 이상의 세립토가 각각 50%, 65%, 80%인 시료를 침강시켜 압밀계수  $C_c$  값을 산정하여 비교하였다.

최종적으로 동일한 함수비를 갖는 시료를 높이 60cm,

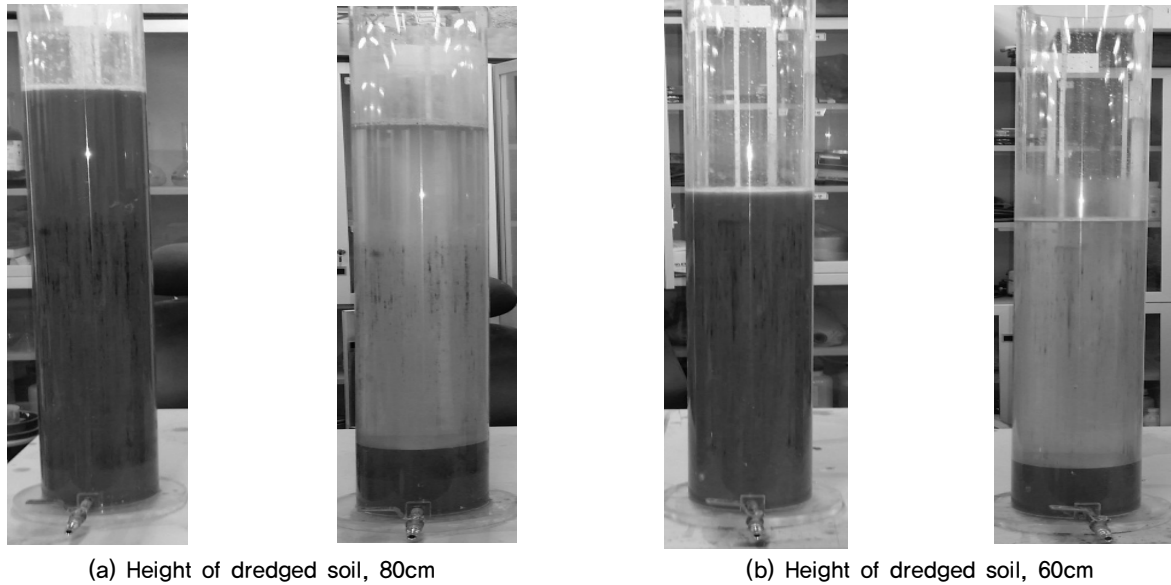


Fig. 5. Self weight consolidation test with different height

80cm에서 침강시켜 자중압밀 개시시간  $t_0$ 와 자중압밀 종료 시간  $t_{100}$ 에서의 계면고와 실질토량고 관계를 도출하였다. 이를 대수화하여 시점과 종점을 연결하는 선형관계식을 도출하였다. Fig. 5는 투기높이에 따른 침강압밀시험 과정을 나타낸다.

#### 4. 침강자중압밀시험 결과 분석

##### 4.1 침강압밀계수의 산정

투기완료 후의 자중압밀 침하량 및 체적 변화를 예측하기 위해서는 자중압밀거동의 선형구간 시점과 종점을 연결하여 기울기를 확인하여야 한다. 시작점은 일반적으로 침강·압밀 곡선에서 침강속도가 느려지는 변곡점을 기준으로 한다. Yano방법에 따라 침강압밀 곡선에서 일직선이 시작되는 부분을 시점으로 하고, 압밀이 완료된 후 끝점을 자중압밀의 종점으로 하여 기울기와 절편을 산정하였다.

인천항만 4개 지역의 항로준설토 시료를 대상으로 함수비를 400%, 700%, 1000%로 조정하여 침강시킨 결과, 세립분 함유량이 동일한 조건에서 함수비가 증가할수록 침강압밀계수 값은 감소하며, 함수비가 높을수록 자중압밀 시점이 먼저 발생하는 경향을 보인다. 함수비가 동일한 조건에서는 세립토의 함유량이 50%, 65%, 80%로 높아질수록 침강자중압밀의 시작이 늦어지는 경향을 보인다. 각각

의 구간 시료에 대해 자중압밀의 시·종점의 분석결과는 Fig. 6과 같다.

세립토의 함유율을 50%, 65%, 80%로 조정하여 침강압밀계수  $C_s$ 를 추정된 결과, 50%인 경우 침강압밀계수는 0.071~0.044, 65%인 경우 0.055~0.041, 그리고 80%인 경우 0.042~0.033로서 50%일 때 압밀계수가 가장 크게 나타났다. 400% 함수비에서 세립분이 많을수록 침강압밀계수는 선형적으로 감소하였다. 700%, 1000%의 경우, 세립토 함유율이 증가할수록 침강압밀계수는 곡선형태의 감소 경향을 보인다. Fig. 7은 각 함수비에 따른 침강압밀계수,  $C_s$  변화를 나타낸다.

##### 4.2 계면고와 실질토량고의 관계

실질토량고와 계면고의 관계( $\log H_s - \log H$ )는 선형관계로서, 실질토량고는 자중압밀시험의 시점( $t_0$ )과 종점( $t_{100}$ )의 계면고, 평균 간극비를 이용하여 산정할 수 있다. 투기 높이별 시험에서 함수비 400%인 경우 자중압밀 시점에서 A는 0.8041, B는 0.9459로 확인되었으며, 종점에서 A는 0.6884, B는 1.0026으로 나타났다. 함수비가 1000%인 경우 시점에서 A는 0.8395, B는 0.9476이며, 종점에서 A는 0.7419, B는 0.9725로 나타났다. 이 값을 Eq. 6에 적용시킴으로써 실질토량고와 계면고 간의 관계식을 도출할 수 있다. Fig. 8은 계수를 산출하기 위한 실질토량고와 계면고 사이의 관계그래프이다.

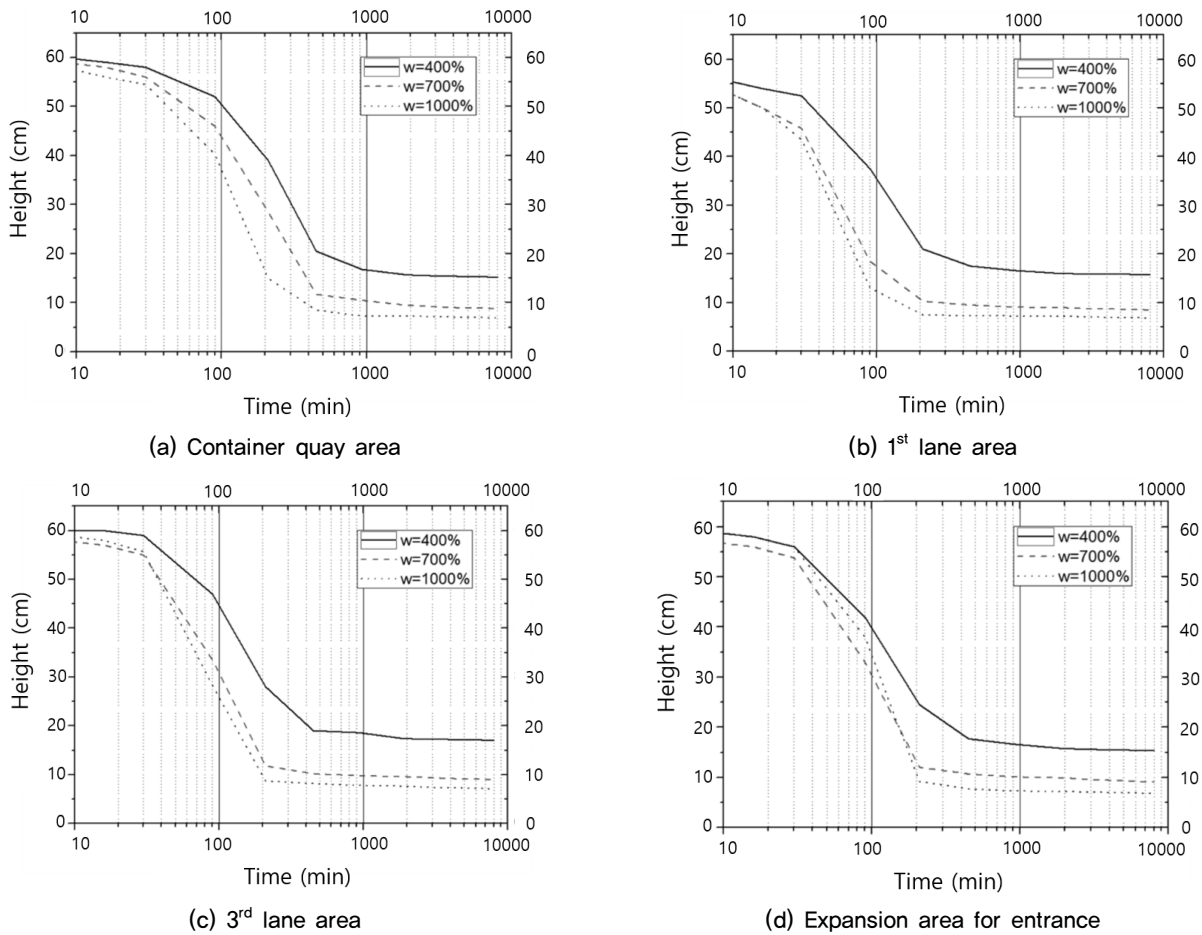


Fig. 6. Consolidation of dredged soil with water content

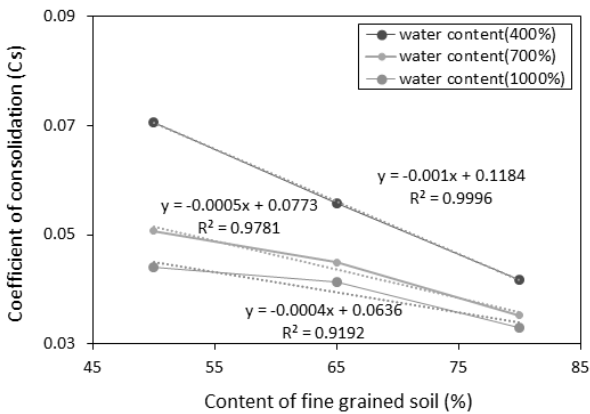


Fig. 7. Coefficient of consolidation with fine grained soil content

함수비 400%, 세립분 함유량 80%의 경우 압밀시점과 종점의 관계는 식 (7)과 같다.

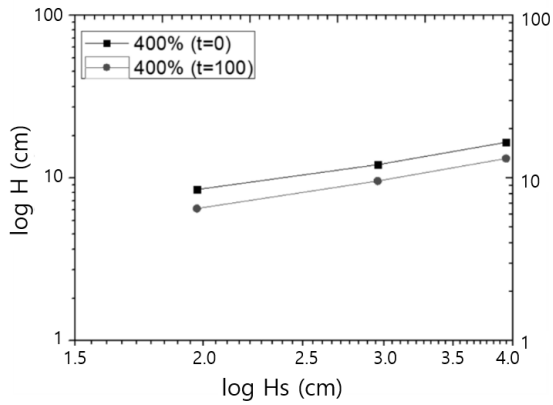
$$\begin{aligned}
 t_0 : \log H &= 0.8041 + 0.9459 \log H_s \\
 t_{100} : \log H &= 0.6884 + 1.0026 \log H_s
 \end{aligned}
 \quad (7)$$

Jang(2015)은 준설토의 함수비, 세립토 구성 비율에 따라 다양한 침강실험을 통해 계면고-실질토량과 관계를 제시한 바 있으며, 본 연구에서 실험식에 따라 실질토량고와 비교한 결과 초기함수비가 400%, 세립분 함유율 80%일 때 침강압밀 계수  $C_k$  값이 0.03297 cm/min으로 도출되었다.

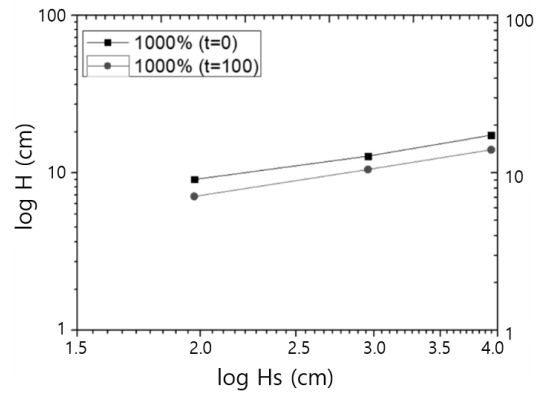
### 4.3 체적변화비 예측

계면고와 A, B계수를 이용하여 시간경과에 따른 매립고와 체적변화비를 예측하였다. 시간에 따른 준설토의 체적변화는 비중과 함수비를 이용하여 구할 수 있다. 준설토는 초기비중 2.7, 매립완료 후 초기 간극비 4.485, 초기 매립고 10.194m의 현장조건을 적용하였다. 준설토 투기가 완료된 시점( $t=1\text{min}$ )의 계면고의 초기값인  $h_1$ 은 경과시간에 따른 계면고에 관한 식 (2)를 이용하여 산출하고 준설토 매립 후 경과시간에 따른  $\log H$ 를 산정한 후, 매립고 변화를 식 (7)을 이용하여 산정하였다.

투기종료 후 침하시간에 따른 실질토량고, 매립높이, 간



(a) Water content 400%



(b) Water content 1000%

Fig. 8. Relationship of H versus  $H_s$  with water content

Table 5. Height, void ratio, water content and volume change with elapsed time

Elapsed time (day)	log H	Height of Reclamation (m)	Void ratio	Water content (%)	Volume change ratio
1	1,008	10,194	4,485	168,61	1,50
30	0,995	9,883	4,318	162,33	1,45
60	0,985	9,653	4,194	157,67	1,42
90	0,976	9,472	4,097	154,02	1,39
120	0,970	9,325	4,018	151,05	1,37
150	0,964	9,201	3,951	148,53	1,35
180	0,959	9,093	3,893	146,35	1,34
210	0,954	8,999	3,842	144,44	1,32
240	0,950	8,915	3,797	142,74	1,31
365	0,936	8,639	3,649	137,18	1,27
730	0,912	8,163	3,393	127,56	1,20
1460	0,886	7,683	3,135	117,86	1,13
2920	0,858	7,216	2,883	108,38	1,06

극비, 함수비, 체적변화비율은 Table 5와 같다. 이를 통해 초기 체적변화율이 1.50인 상태에서 체적변화율이 1.0 인 원지반상태 조건으로 변화하는데 약 2,920일 이상이 소요됨을 알 수 있다. 또한, 매립 종료이후 2년이 경과한 시점에서 체적변화율은 1.2를 보이며, 이 시점에서 준설매립된 전체토사의 체적이 83%까지 감소하는 것으로 나타났다.

시간변화에 따른 함수비, 간극비, 체적 변화에 대한 거동예측은 Fig. 9에 나타낸 바와 같다. 도표에 따르면, 함수비 110%, 간극비 3.1, 체적변화율 1.1의 지반상태가 되기까지 약 3,000이상 소요된다.

## 5. 결론

이 연구에서는 인천항 준설토를 대상으로 인천 송도 00

지구 준설토 매립지의 현장 투기완료 후 체적변화를 분석하였다 이를 위해 준설지역에서 채취한 준설시료와 점토질 시료에 대한 기본 물성시험과 세립분 함유율에 따른 침강 및 자중압밀 시험을 실시하였다. 실내시험의 결과를 바탕으로 매립예정지반의 향후 압밀특성을 예측하고, 기존의 유보율 산정 기준을 수정하여 제안하였다. 이 연구의 주요 결론은 다음과 같다.

- (1) 송도 00지구 준설매립량 산정에 있어 건설공사 표준품셈에서 제시하고 있는 토질별 유보율 기준인 '모래 및 모래질 실트일 때 유보율의 범위가 70~95%로 넓게 분포하므로 적절한 준설토량 산정을 제시하지 못하는 측면이 있다. 따라서, 기존 규정의 포괄적인 범위를 매립토사의 미세한 변화에 따라 보완할 수 있도록



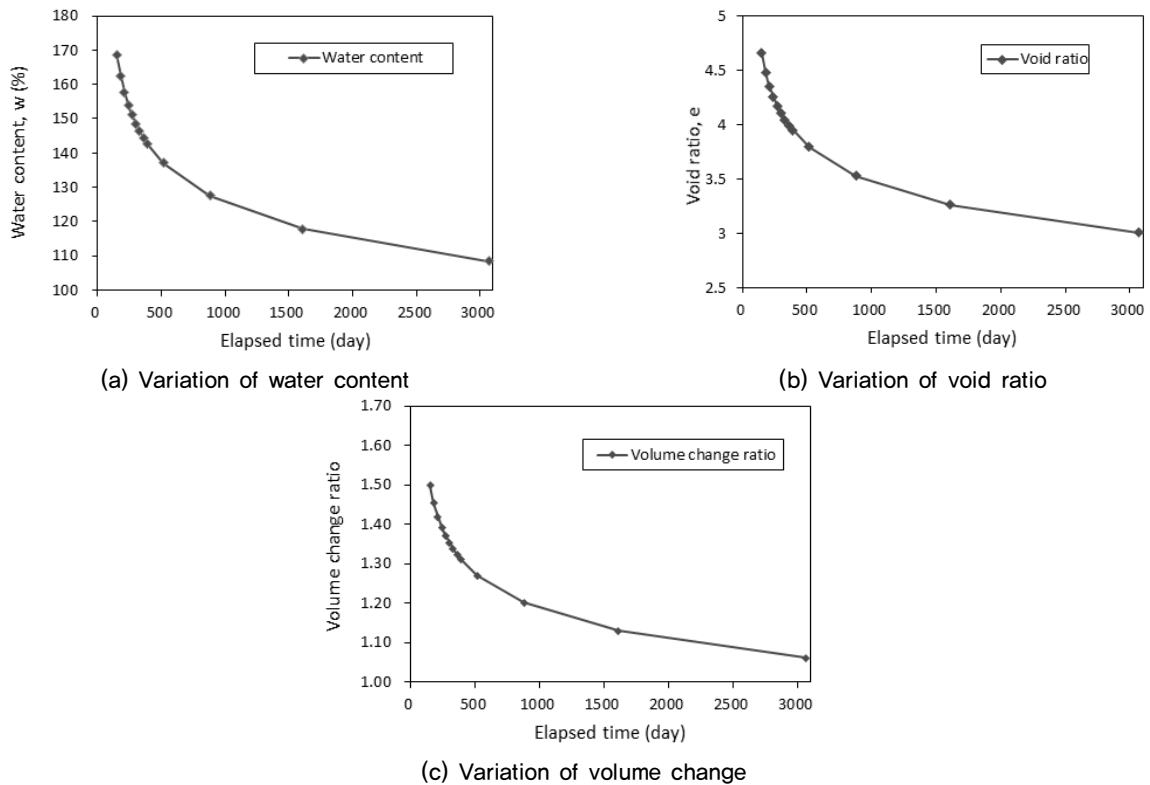


Fig. 9. Prediction of water content, void ratio and volume change with elapsed time

세립분 함유율에 따른 유보율을 산정하여 제시하였다.

- (2) 현장에서 채취한 준설토와 원지반 점토시료의 기본 물성시험 결과, 준설토는 대부분 ML로 분류되었다. 세립토가 50%, 65%, 80% 함유된 준설토를 함수비 400%, 700%, 1000%와 조합하여 침강된 준설토의 시간에 따른 체적변화를 분석하였다. 매립된 준설토의 실질 토량고는 준설토매립 후 2년이 경과된 현시점에서 유보율이 기존의 토질별 유보율보다 더 낮아지는 것으로 나타났다.
- (3) 인천 항만지역 항로 준설토를 이용한 침강시험에서 함수비가 낮을수록 침강압밀계수 값이 크게 나타났으며, 함수비가 높을수록 침강압밀시점이 빨리 나타나는 경향을 보였다. 이에 비해 함수비가 동일한 조건에서는 세립토의 함유량이 50%, 65%, 80%로 높아질수록 침강자중압밀의 시작점이 늦게 나타나는 경향을 보였다. 이는 조립질의 준설토가 많을수록 조기에 압밀침강이 종료되며 세립토가 증가 할수록 부유현상으로 인해 침강압밀계수  $C_s$ 가 작아지기 때문인 것으로 판단된다.
- (4) 추정된 자중압밀시의 침강자중압밀계수  $C_s$  및 계면고와 실질토량고의 관계로부터 전체투기방식에 의한 계

수 A와 B값을 산출하였으며, 도출된 식으로 투기완료 후의 시간경과에 따른 함수비, 간극비 및 체적변화비를 예측하였다. 다양한 조건에서의 세립분 함유율에 따른 유보율 적용으로 합리적인 준설토량 산정이 가능할 것으로 판단된다.

침강자중압밀 시험방법에 의한 합리적인 유보율 산정방법이 이미 제시되어 있음에도 유보율 산정방법에 대한 다양한 적용사례가 부족하여 현재까지도 기존의 적용방식에 의존하고 있는 실정이다. 이를 개선하기 위해서는 함수비와 세립분 함유율에 대한 추가적인 실험연구를 통해 신뢰성 있는 자료축적이 지속되어야 할 것으로 판단된다.

## References

1. 한국지반공학회 (2005), *준설토매립: 제4장 준설토매립공사*, 구미서관, 서울, pp.186-295.
2. 해양수산부 (2014), *항만 및 여항 설계기준 해설(상권)*, 11-1192000-000184-14, pp. 725-752.
3. Been, K. and Sills, G. C. (1981), "Self-weight Consolidation of Soft Soil: An Experimental and Theoretical Study", *Geotechnique*, Vol. 31, No. 4, pp.519-535.

4. Gibson, R. E., England, G. L. and Hussey, M. J. L. (1967), "The Theory of One-dimensional Consolidation of Saturated Clays, I: Finite Non-linear Consolidation of Thin Homo-geneous Layers", *Geotechnique*, Vol.17, pp.261-273.
5. Imai, G. (1980), "Setting Behaviour of Clay Suspension", *Soil & Foundation*, Vol.20, No.2, pp.7-20.
6. Jang, S. M. (2015), *A Study on the Determination of Retention Ratio of Dredged Soil using the Result of Sedimentation and Self-Weight Consolidation Test*, Master's thesis, Incheon National University, pp.35-56.
7. Jee, S. H., Lee, S. W. and Lee, Y. N (1996), "A Study on Sedimentation & Consolidation Properties of Dredged Soil in Yulchon Industrial Complex", *Proc. of Korean Geotechnical Society Fall '96 National Conference*, pp.111-122.
8. Jeong, I. J. and Yoo, K. S. (1979), "A Fundamental Study of Dredged Soils", *KSCE*, Vol.27, No.5, pp.55-64.
9. Kim, H. T, Kim, S. Y, Kang, I. K. and Park. J. E. (2000), A Study on the Estimation Method of Loss Ratio in Dredged Fills, *Journal of the Korean Geoenvironmental Society*, Vol.1, No.1, pp.57-63.
10. Kim, S. S. (1987), "An Experimental Study on the Settling Behavior of Marine Fluid Mud in the West Seaside of Korea (Banweol area)", *Geotechnical Engineering*, Vol.3, No.3, pp.49-61.
11. Kynch, G. J. (1952), "A Theory of Sedimentation" *Transaction Faraday Society*, Vol.48, pp.166-176.
12. Lee, C. W. and Choi, H. S. (2016), "Experimental and Numerical Studies for Sedimentation and Consolidation Characteristics of Dredged Soil in Songdo Area, Incheon", *Journal of the Korean Geoenvironmental Society*, Vol.17, No.2, pp.13-22.
13. Lee, K. H., Hwang, K. H. and Lee, S. (1995), "A Study on Consolidation Characteristics of Dredged-Reclaimed Ground using Seepage-Induced Forces", *Proc. of Korean Geotechnical Society Spring '95 National Conference*, pp.181-190.
14. Lee, S. H. and Lee, J. H. (2011), "An Experimental Research About Setting and Consolidation Characteristic of Dredged Soil in West Coast", *Journal of the Korean Geoenvironmental Society*, Vol.12, No.5, pp.29-26.
15. Lee, S., Yang, T. S. and Hwang, K. H. (1994), "A Study on Self-Weight Consolidation Characteristics Dredged and Reclaimed Clay", *KSCE Journal of Civil Engineering*, Vol.14, No.4, pp.427-430.
16. Lin, T. W. and Lohnes, R. A. (1981), "Sedimentation and Self Weight Consolidation of Dredged Spoil", *Proc. of ASCE Conference*, pp.464-480.
17. McRovert, E. C. and Nixon, J. F. (1976), "A Theory of Soil Sedimentation", *Canadian Geotechnical Journal*, Vol.13, pp.294-310.
18. MiKasa, M. (1963), *The Consolidation of Soft Clay - A New Consolidation Theory and Its Application*, Kajima Institution Publishing, pp.21-26.
19. Pane, V. and Schiffman, R. L. (1985), "A Note on Sedimentation and Consolidation", *Geotechnique*, Vol.35, No.1, pp.69-72.
20. Shin, E. C. (2009), *Consolidation of Soft Clay - A New Theory and Application*, Future Technology, Seoul, pp.55-67.
21. Song, J. R., Baek, S. H. and Yeo, Y. H (1992), "Consolidation Properties of Hydraulic Fill Materials of Yecheon Industrial Complex", *Proc. of Korean Geotechnical Society Fall '92 National Conference*, pp.55-60.
22. Terzaghi, K. (1925), *Erdbaumechanik auf Bodenphysikalischer Grundlage*, Deuticke, Vienna.
23. Yano, K. (1985), "Properties of Very Soft Ground Reclaimed by Dredged Marine Clay and Their Prediction", *JSCE*, Vol. 364, No.3-4, pp.1-13.
24. Yoo, N. J., Lee, J. H, Jeong, G. S. and Park, B. S. (2005), "Centrifuge Model Experiments and Numerical Analysis Consolidation Behaviour of Dredged and Reclaimed Ground", *KSCE Journal of Civil Engineering*, Vol.25, No.4-C, pp.241-247.