

건조효과를 고려한 준설매립토의 압밀거동

Behaviour of Consolidation in Dredged and Reclaimed Soil Considering the Effect of the Desiccation

유남재* 박병수** 이명욱*** 이주원****
Yoo, Nam-Jae Park, Byung-Soo Lee, Myung-woog Lee, Joo-Won

Abstract

This research is to investigate the self-weight consolidation settlement and desiccation shrinkage settlement of soft marine dredging clay by performing numerical and experimental works. Large column test were carried out investigate the consolidation settlement considering effect of the self-weight and desiccation shrinkage, and centrifuge model test was also carried out investigate self-weight consolidation settlement. Results of centrifuge model and large column experiments about changes of settlement with time were analyzed by using the numerical technique of explicit finite difference method considering effect of the self-weight and desiccation based on the finite strain consolidation theory. Centrifuge model test results were in relatively good agreements with analyzed results in terms of self-weight consolidation settlement with time. Large column test results showed quite different values from the numerically estimated one, carried by experimental conditions.

키워드 : 준설매립토, 압밀, 건조수축

Keywords : *Dredged and Reclaimed Soil, Consolidation, Desiccation Shrinkage*

1. 서론

최근들어 인구의 증가와 산업발전에 따른 사회 간접자본시설의 확충 등으로 가용 국토의 확장 일환으로 해안 준설매립공사가 전세계적으로 활발히 진행되고 있다. 국내에서도 영종도 신공항, 아산공단, 울촌산업기지, 가덕신항만 등 대규모 산업기지 조성공사와 도시기반조성, 간척사업 등 다양한 목적으로 해안매립공사가 활발히 진행중에 있다.

해성점토를 투기하여 조성된 준설매립지반은 매립후 자중, 건조수축, 기상변화 등 복합적인 토질 특성에 의해 압밀침하 현상이 발생된다. 이러한

매립지반의 자중에 의한 압밀침하거동은 기존의 Terzaghi가 제안한 미소변형률 압밀이론[1]이나, 보다 진보된 유한변형률 압밀이론 등으로 해석과정이 정형화되어 있으나, 건조수축에 의한 침하해석은 아직 국내외적으로 연구가 미비한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 침강·압밀·건조특성에 관하여 자중압밀 침하량, 건조수축 침하량 등의 변화를 파악하기 위하여 준설매립현장에서 채취한 교란시료에 대하여 기본물성시험과, 준설매립토의 간극비-유효응력-투수계수의 구성관계를 구하기 위한 표준압밀 및 변수위 투수실험을 실시하여 기본 자료를 확보하고 Column실험 결과의 역해석을 수행하여 구성관계식을 추정하였다. 한편, 자중과 건조수축에 의한 침하량을 측정하기 위하여 직경 136cm, 높이 139cm의 대형토조시험을 실시하였으며, 순수 자중에 의한 침하량을 측정하기 위하여 대형토조시험과 동일한 제원과 조건을 모사하여

* 강원대학교 토목공학과 교수, 공학박사
** 강원도립대학 토목공학과 겸임교수, 공학박사
*** 강원대학교 대학원 토목공학과 공학박사
**** 강원대학교 대학원 토목공학과 공학석사

원심모형시험을 수행하였으며, 실험결과를 바탕으로 유한변형을 압밀이론에 의한 자중을 고려한 수치해석기법과 건조효과를 고려한 수치해석기법으로 각각 시간경과에 따른 침하량을 추정하여 비교 분석하였다.

2. 수치해석에 의한 침하량 예측방법

2.1 유한변형을 압밀지배방정식

Gibson, England and Hussey(1967)가 제안한 유한 변형을 압밀지배방정식[2]을 이용하여 무차원 축소좌표(Non-Dimensional Reduced Coordinate)를 이용한 압밀 지배방정식을 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\left[\left(\frac{\gamma_s}{\gamma_w} - 1 \right) \frac{d}{de} \left(\frac{k(e)}{1+e} - Y\gamma_z \right) \frac{\partial(e)}{\partial Y} + \frac{1}{h_z} \frac{\partial}{\partial Y} \left[- \frac{k(e)}{\gamma_w(1+e)} \frac{d\sigma}{de} \frac{\partial e}{\partial Y} \right] + \frac{1}{h_z} \frac{\partial e}{\partial t} \right] = 0 \quad (1)$$

여기서, γ_s : 흙의 단위중량

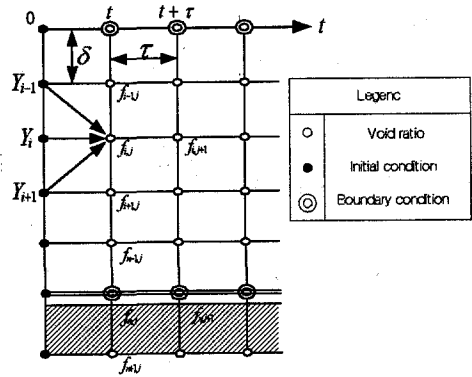
γ_w : 물의 단위중량, e : 간극비

k : 투수계수, σ' : 유효응력

Y : 무차원 축소좌표, t : 시간

자중압밀 해석에 사용된 프로그램은 상기의 지배방정식을 유한차분법을 이용하여 간극비-유효응력-투수계수의 관계를 간극비의 지수함수로 표시하고, 이동하는 경계조건문제를 무차원 축소좌표를 사용하여 고정된 경계치 문제로 변환시키는 등 현장시공 조건을 고려하여 매립체의 연속적인 투여에 따라 매립층의 두께가 시간 경과에 따라 증가하는 점진적 매립층의 압밀에 관한 프로그램이다.[3]

한편, 매개변수로 단순화시킨 압밀 방정식을 이용하여 주어진 경계치 문제의 해를 구하기 위하여 양해 유한차분법을 사용하였으며, <Fig. 1>에 나타낸 바와 같이 무차원축소좌표로 표시된 차분표에서 점토층의 두께를 등간격(δ)으로 나누고, 일정한 시간(τ)으로 구성된 격자를 형성할 경우, 간극비의 공간에 대한 일, 이차 편도함수, 간극비의 시간에 대한 일차 편도함수를 다음의 차분식으로 표시할 수 있다.



<Fig. 1> 차분격자망

$$\frac{\partial e}{\partial Y}(y_i, t) \equiv \frac{\partial f_i}{\partial y} = \frac{1}{2\delta} (f_{i+1} - f_{i-1}) \quad (2)$$

$$\frac{\partial^2 e}{\partial Y^2}(y_i, t) \equiv \frac{\partial^2 f_i}{\partial y^2} = \frac{1}{\delta^2} (f_{i+1} - 2f_i + f_{i-1}) \quad (3)$$

$$\frac{\partial e}{\partial t}(y_i, t) = \frac{1}{\tau} (e_i - f_i) \quad (4)$$

압밀지배방정식의 해를 만족시키면서 주어진 시간에 대한 간극비의 값에 따른 분포를 구하기 위하여 공간계에서는 중앙차분법을, 시간계에서는 전방차분법을 사용하여 다음과 같은 유한차분 압밀방정식으로 표시할 수 있다.

$$\left[\left(\frac{\gamma_s}{\gamma_w} - 1 \right) \frac{d}{de} \frac{k(e)}{1+e} \frac{f_{i+1} - f_{i-1}}{2\delta} + Y\gamma_z \frac{f_{i+1} - f_{i-1}}{2\delta} \right] + \frac{1}{h_z} \left[- \frac{k(e)}{\gamma_w(1+e)} \frac{d\sigma}{de} \frac{\partial e}{\partial Y} \right] \cdot \frac{f_{i+1} - 2f_i + f_{i-1}}{\delta^2} + h_z \frac{e_i - f_i}{\tau} = 0 \quad (5)$$

한편, 정규압밀상태의 연직점토층에서 자중압밀이 진행되는 경우, 압밀층의 상하부면이 간극수가 자유롭게 빠져나갈 수 있는 양면배수의 경우와 상부층은 배수층이고 하부는 불투수층의 경우인 두가지의 경계조건을 다음과 같이 고려하였다.

2.1.1 상부층 배수

상부층($Y=0$)에서 배수되는 경우, 압밀직전($t=0$) 경계면에 작용하는 연직유효응력 q_0' 와 압밀 증가해지는 상재하중 $\Delta q(t)$ 의 합에 대응하는 간극비를 \bar{e} 라고 할 때 간극비-유효응력 구성경계조건은 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$e(0, t) = \bar{e}(\sigma'(0, t)) = \bar{e}(q_0' + \Delta q(t)) \quad (6)$$

2.1.2 하부층 배수

압밀층 하부($Y=l$)가 배수상태인 경우, 전술의 경계조건에 압밀층의 자중에 의한 연직유효응력이 추가되어 식(4.21)과 같이 표시할 수 있다.

$$e(l, t) = \bar{e}(\sigma'(l, t)) \quad (7)$$

$$= \bar{e}(q_0' + \Delta q(t) + (\gamma_s - \gamma_w)l)$$

여기서, l 은 하부경계의 재료좌표로써 다음과 같다.

$$l = \int_0^{h(o)} \frac{da}{1 + e(a, 0)} \quad (8)$$

$h(o)$: Lagrangian좌표로 표시한 압밀층의

초기높이

2.1.3 하부 비배수

압밀층 하부($Y=l$)에서, 비배수 상태인 경우에는 비배수조건, 즉 토립자의 이동속도와 간극수의 이동속도가 동일한 조건과 토립자와 간극수로 형성된 혼합체의 힘의 평형관계를 무차원 축소좌표로 표시하면 다음 식과 같이 정리할 수 있다.

$$\frac{\partial e}{\partial Y}(l, t) = \frac{\partial \sigma'}{\partial y} \cdot \frac{de}{d\sigma'} = h_z(\gamma_s - \gamma_w) \frac{de}{d\sigma'} \quad (9)$$

식 (9)를 차분식으로 변환시키면 식(10)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{\partial e}{\partial Y}(l, t) = \frac{1}{2\delta}(f_{i+1} - f_{i-1}) = h_z(\gamma_s - \gamma_w) \frac{de}{d\sigma'} \quad (10)$$

식 (10)을 중앙과 우변을 정리함으로써 다음과 같은 차분식으로 표시할 수 있다.

$$f_{n+1} = f_{n-1} + 2\delta \cdot h_z(\gamma_s - \gamma_w) \left(\frac{de}{d\sigma'} \right)_{i=n} \quad (11)$$

여기서, f_{n+1} 은 경계면 $i=n$ 에서의 간극비 e_n 을 구하기 위한 가상점 $i=n+1$ 에서의 간극비이다.

따라서, 전술에서 정리·유도된 양해 유한차분식은 다음과 같다.

$$e_{n,j+1} = F_i - \tau(A_i + B_i + C_i) \quad (12)$$

여기서,

$$A_i = \gamma^* \phi_1'(F_i) \frac{\partial F_i}{\partial Y},$$

$$B_i = \frac{1}{\gamma_w} \phi_2(F_i) \frac{\partial^2 F_i}{\partial Y^2},$$

$$C_i = \frac{1}{\gamma_w} \phi_2'(F_i) \left(\frac{\partial F_i}{\partial Y} \right)^2$$

한편, 초기조건은 제한조건없이 압밀층 깊이에 따른 임의 형태의 간극비의 분포를 사용할 수 있다.

2.2 건조수축을 고려한 압밀방정식

한편, 자중 및 건조효과를 고려한 수치해석은 복잡한 이론적 모델이 아닌 단순한 경험적 모델로 건조과정을 모사하였다. 근본적으로 준설토의 건조는 표면 근처의 물을 수증기로 변화시킴으로써 물의 제거를 통해서 진행된다. 이러한 상태의 변화는 주로 증발(Evaporation)의 결과이며, 건조과정은 두 단계에 걸쳐 발생하는 것으로, 첫 단계에서는 점토층위에 표면수가 충분하여 증발이 최대속도로 진행되며, 두 번째 단계에서는 건조층이 생기기 시작하면서 증발 속도가 감소한다. 첫 단계에서의 함수비 감소는 대략 액성한계의 1.8배 함수비까지 감소하고, 두 번째 단계에서의 함수비 감소는 대략 소성한계의 1.2배 함수비까지 감소하며 건조균열의 공간을 포함한 건조층의 평균 포화도는 경험적으로 약 80%에 이르는 것으로 알려져 있다.[4]

본 수치해석에서는 축소좌표로 표시된 식(13)을 이용하여 Cargill(1985)이 제안한 건조수축 모델[5]에 근거한 수치해석기법으로 자중 및 건조효과를 고려한 압밀침하량을 추정하였다.

$$\left[\frac{\gamma_s}{\gamma_w} - 1 \right] \frac{d}{de} \left[\frac{k(e)}{e+1} \right] \frac{\partial(e)}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial z} \left[\frac{k(e)}{\gamma_w(1+e)} \frac{d\sigma'}{de} \frac{\partial e}{\partial z} \right] + \frac{\partial e}{\partial t} = 0 \quad (13)$$

또한, 동시에 계절별 강우량과 증발량, 배수효율을 고려함으로써 계절적으로 변화하는 표면층 내의 간극수의 감소로 발생하는 건조층의 두께 및 이에 따른 유효응력의 증가로 인한 추가 압밀침하량을 산정하였다. 수치해석에서의 강우량은 토조 상부에 충분한 공간을 두고 비닐로 막을 형성하여 빗물이 흘러들어오는 것을 방지하여 실험을 수행했기 때문에 고려하지 않았으며, 증발량은 춘천기 상대의 월별평균 증발량을 인용하였다.

즉, 건조에 대한 침하해석은 건조단계에 따라 다음과 같이 나누어 수행하였다.

2.2.1 1단계 건조 :

$$\Delta W' = CS - CE' \cdot EP + (1-CD) \cdot RF \quad (14)$$

여기서, $\Delta W'$: 1단계에서 감소한 간극수의 양
 CS : 자중압밀에 의해 하부 준설토에서 올라오는 간극수의 양,
 CE' : 최대 증발효율, EP : 증발량
 CD : 배수효율, RF : 강우량

따라서, 1단계 건조에 의한 침하량은,

$$SD' = -\Delta W' \quad (15)$$

2.2.2 2단계 건조 :

$$\Delta W'' = CS - CE'(1 - \frac{h_{wt}}{h_{2nd}}) \cdot EP + (1-CD) \cdot RF \quad (16)$$

여기서, $\Delta W''$: 2단계에서 감소한 간극수의 양
 hwt : 준설토 표면으로부터 지하수위까지의 깊이
 h2nd : 2단계 건조가 진행되는 최대 깊이

그러나, 2단계 건조가 진행되는 과정에서 건조층 부피의 약 20%에 이르는 균열공간이 발생한다고 알려져 있으므로[4] 이를 고려하면, 2단계 건조에 의한 침하량은 다음과 같이 산정된다.

$$SD'' = -\Delta W'' - (1 - PS/100) \cdot h_{wt} \quad (17)$$

여기서, PS : 균열공간을 포함하는 건조층의 평균 포화도(%).

이와 같은 함수비의 감소가 표층으로부터 차례로 진행되어 각 지점의 함수비가 한계함수비에 이를 때까지 반복 계산하므로써 건조해석을 수행하였으며, 이때 지하수위는 한계함수비에 이르는 지점까지 저하하므로, 이로 인한 유효응력의 증가를 고려하여 하부 준설토층의 자중압밀해석을 수행하였다.

3. 구성관계식 산정

3.1 기본물성실험

실험에 사용된 시료는 남해안 준설매립지역에서 채취한 교란된 해성점토를 사용하였으며, 기본물성 실험결과는 <Table 1>에 나타난 바와 같이 비중 2.78, 액성한계 62.61%, 소성한계 27.51 %로 나타났으며, <Fig. 2>의 입도분포곡선에서 볼 수 있듯이 균등입도로 통일분류법에 의한 흙의 공학적 분류는 CH임을 알 수 있다.

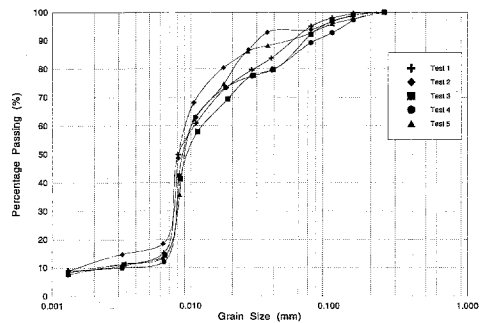
<Table 1> 기본물성실험 결과

비중 (Gs)	액성한계 (LL)	소성한계 (PL)	소성지수 (PI)	통일 분류법
2.78	47.88%	25.45%	22.43%	CL

한편, 흙 시료에 포함된 유기물은 침하량 산정에 있어서 매우 중요한 영향을 미칠 수 있으며, 유기물 함량이 많을 경우 지지력의 감소와 압축성의 증가, 또는 함수비의 증감에 매우 민감하여 팽창성(Swelling) 또는 수축성(Shrinkage)이 증가하는 요인이 될 수 있다. 따라서, 유기물질의 연소성에 착안하여 시료를 태우고 난 후 무게손실을 측정함으로써 유기물의 함량을 추정하는 방법인 강열감량측정법(Loss on Ignition)으로 총 5회에 걸쳐 실험을 실시하였으며, 실험결과 준설점토에 포함된 유기물 함량은 <Table 2>에서 보이는 바와 같이 대체로 10% 이하인 것으로 나타나 침하량 산정에 있어서 심각한 영향을 미치지 않을 것으로 판단된다.

<Table 2> 유기물함량실험 결과

실험 No.	통일분류법	유기물 함유량 (%)
1	CL	7.42
2	CL	7.31
3	CL	7.59
4	CL	7.87
5	CL	7.21



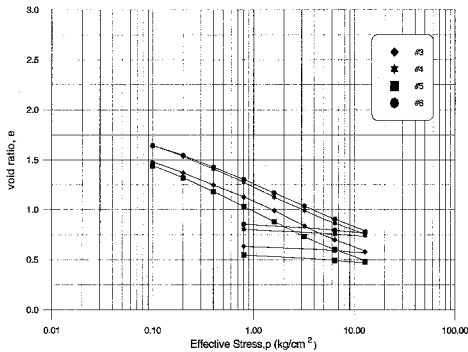
<Fig. 2> 입도분포 곡선

3.2 표준압밀실험

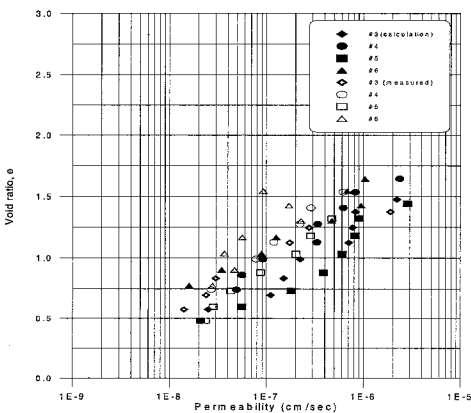
시료에 점증적으로 하중을 가하여 시료의 압밀을 유도하는 단계응력에 의한 표준압밀실험을 실시하여 간극비 - 유효응력, 간극비 - 투수계수의 구성관계의 기본자료를 확보하였다. <Fig. 3>은 현장시료를 재성형하여 시행한 표준압밀실험에서 얻은 간극비-유효응력 관계를 보여주는 결과이며,

실험은 총4회를 실시하였다. 간극비-유효응력의 곡선에서 직선의 기울기 값, 압축지수 (C_c)는 평균적으로 0.467 의 값을 구할 수 있으며, 하중제한 단계에서 구한 팽창지수 (C_s)는 평균 0.0573의 값을 보인다. 이는 일반적으로 팽창지수와 압축지수의 관계 $C_s=1/5 C_c \sim 1/10 C_c$ 의 범위에 포함됨을 알 수 있다.

<Fig. 4>는 표준압밀실험 결과 획득한 간극비-투수계수 관계를 나타내는 실험결과이다. 그림에서 Calculation의 값은 각 실험 하중단계에서 시간에 따른 침하곡선을 \sqrt{t} 법으로 분석하여 압밀계수 C_v 를 산정 후, 투수계수 $k=C_v m_v \gamma_w$ 의 관계식을 이용하여 추정한 결과이며, Measured는 Stand Pipe를 압밀시험기에 장착하여 각 하중단계 압밀 완료 후 변수위 투수시험을 수행하여 획득한 결과이다. 전반적으로 간극비 0.5~1.7의 범위에 대하여 투수계수는 $2.0 \times 10^{-8} \sim 2.5 \times 10^{-6} \text{ cm/sec}$ 의 범위에 분포함을 볼 수 있다.



<Fig. 3> 간극비 - 유효응력 곡선



<Fig. 4> 간극비-투수계수 곡선

3.3 구성관계식 추정실험

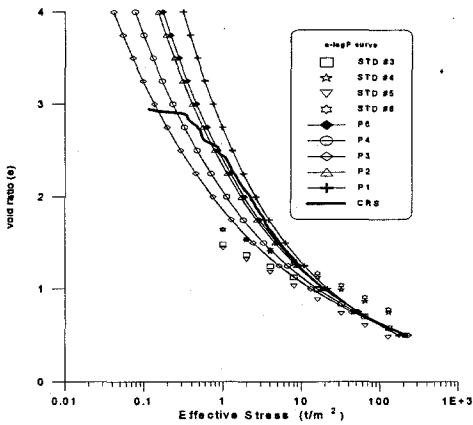
표준압밀실험과 일정변형률 압밀실험을 통하여 획득한 구성관계식의 기본자료로부터 고탄수비 상태의 구성관계식을 역해석기법으로 추정하기 위하여 직경 21cm, 높이 200cm의 Plexiglass로 제작된 Column 시험기를 이용하여 자중압밀실험을 수행하였다.

실험은 <Table 3>에 나타난 바와 같이 초기함수비 150%(간극비 4.17), 초기 시료높이 150cm, 일면배수조건으로 수행하였으며, 시간경과에 따른 계면고 변화로 침하량을 측정하고 측정결과로부터 역해석기법을 이용하여 최적의 물성치를 추정하여 구성관계식을 확보할 수 있었다.

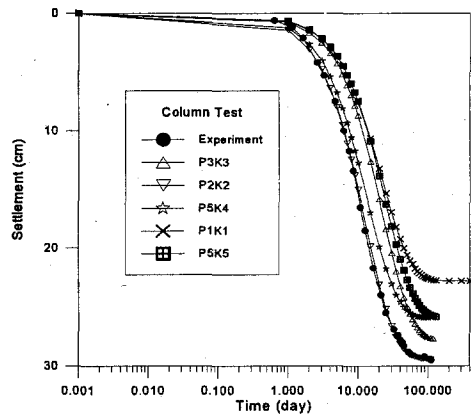
<Table 3> 구성관계식 추정실험

초기시료높이	초기함수비	초기간극비	배수조건
150cm	150%	4.17	일면배수

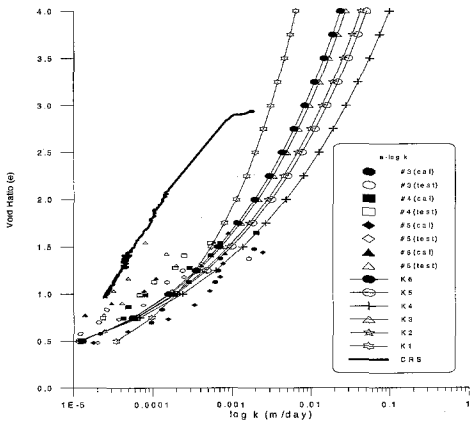
<Fig. 3>과 <Fig. 4>에 나타난 바와 같이 표준압밀실험, 변수위 투수시험 등으로 저함수비일때 간극비-유효응력-투수계수의 기본자료를 획득하는 한편, 현장 준설매립토의 상황을 가능한 실내압밀 실험에서 재현하기 위하여 슬러리 상태의 초기 함수비가 비교적 큰 상태의 시료에 대하여 일정변형률 압밀시험을 실시하여 비교적 높은 간극비에서의 간극비-유효응력-투수계수의 관계식을 구하였다. 각 실험에 대한 종합적인 자료를 바탕으로 식 (18)의 비선형 최소자승법의 구성함수를 이용하여 고탄수비(낮은 유효응력, 큰 투수계수)일때의 간극비-유효응력-투수계수 관계를 <Fig. 5>와 <Fig. 6>에 나타난 바와 같이 추정할 수 있다. 추정된 각 구성관계식을 식(19)의 지수함수식을 이용하여 유한변형률 압밀이론의 수치해석기법에 적용하여 Column실험을 해석하고, 각 구성관계식을 사용한 해석결과와 실험에서 측정된 시간경과에 따른 침하량과 최종 압축량을 비교분석하는 역해석기법을 반복수행함으로써 <Fig. 7>에 나타난 바와 같이 실험결과와 가장 일치하는 최적의 구성관계식 (P2K2)을 획득하여 해석시반의 대표적 물성값으로 활용하였다.



<Fig. 5> 간극비-유효응력 관계



<Fig. 7> 구성식 변화에 따른 시간-침하곡선



<Fig. 6> 간극비-투수계수 관계

$$\begin{cases} e = A(\sigma')^{-B(\log \sigma')} \\ k = C(e)^{d(f)/day} \end{cases} \quad (18)$$

$$e = \frac{A + B \times \text{LN}(\sigma')}{1 + C \times \text{LN}(\sigma') + D \times (\text{LN} \sigma')^2} \quad (19)$$

$$e = \frac{E + F \times \text{LN}(K)}{1 + G \times \text{LN}(K) + H \times (\text{LN} K)^2}$$

여기서, e : 간극비, k : 투수계수,
σ' : 유효응력, A~H : 구성식 상수

4. 건조실험 및 원심모형실험

4.1 건조실험

건조실험은 현장의 준설매립지반이 매립이후 자연방치에 따른 자중압밀 상태에서 압밀진행 및 지하수위 저하로 인한 지반표층의 건조현상으로 지표의 수축이 추가되어 지반의 침하를 가속시키는 건조수축 효과를 모델링하기 위한 실험이다. 실험은 일사량과 증발량 등 가능한 현장조건과 접근하기 위하여 실외에서 실시하였으며, 실험조건은 <Table 4>에 나타난 바와 같이 직경 136cm, 높이 139cm의 대형토조에 초기함수비 133.5%, 초기간극비 3.71, 초기시료높이 102cm로 균질하게 시료를 생성하여 수행하였다. 대형토조(Column)의 양쪽 측면에 스케일을 부착하여 시간경과에 따른 침하량을 계측하였으며, 순수 자중에 의한 압밀침하량 산정을 위한 원심모형실험은 건조실험과 비교하기 위하여 동일한 조건으로 실험을 수행하였다.

<Table 4> 대형토조를 이용한 건조실험

초기시료높이	초기함수비	초기간극비	배수조건
102cm	133.5%	3.71	일면배수

4.2 원심모형실험

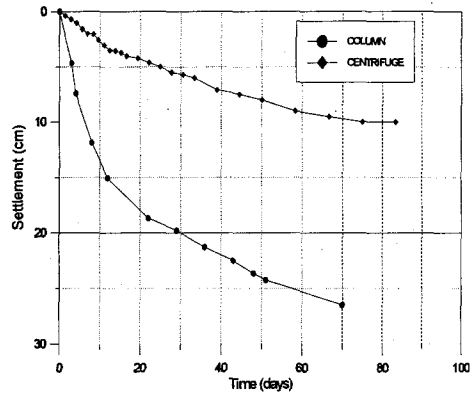
원심모형 실험은 실내에서 축소된 모형을 사용하여 인위적으로 모형을 가속시킴에 따라 토립자의 자중을 증가시켜 현장상태의 응력을 재현시킴으로써, 현장 응력상태에서 경제적으로 실험을 수행할 수 있는 효율적인 실험기법으로 전세계적으로 그의 효율성이 입증되어 현재 국외에서는 대부분

본의 실험적 접근법이 실험크기와 같은 원형실험 및 원심모형실험을 수행하고 있으나, 국내에서는 최근들어 강원대학교 충북대학에서 설치 운영하여 실험을 실시함으로써 점차 관심이 고조되고 있다. 실험은 강원대학교 지반공학연구소에 설치되어 있는 원심모형시험기를 이용하여 실험조건은 <Table 4>에 나타난 바와 같이 초기함수비 133.5%, 중력 가속도 20G-Level, 초기시료높이 5.1cm로, 이는 상사법칙에 따라(원형의 1/n의 축척이므로 102cm / 20G=5.1cm) 건조실험과 동일한 제원과 조건으로 수행하였다.

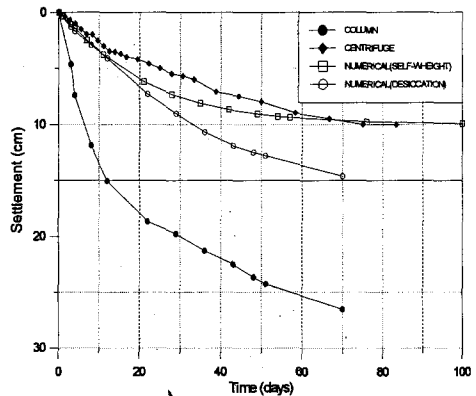
5. 결과분석

<Fig. 8>에 나타난 바와 같이 실외에서 일사조건 및 증발조건인 건조효과로 자중압밀시킨 대형토조의 시료는 약 26.5cm의 침하량을 나타내는 반면, 동일한 제원으로 실시한 원심모형실험의 순수 자중압밀에 의한 압밀침하량은 약 10cm정도로 건조효과에 대한 침하량이 150%이상 발생함을 알 수 있었다. 그러나, 이러한 결과는 실험상의 오류를 포함하는 것으로 판단되며 그 원인은, 토조내의 시료가 건조될 때 시료와 벽면 사이에 공간이 발생하여 증발이 점토층의 표면만을 통해서 이루어지지 않고 측면을 통해서 3차원적으로 발생하여 침하가 더욱 발생했을 가능성과, 실외 실험장소가 건물 옥상의 콘크리트 바닥으로 복사열이 야간에도 존재하여 증발량이 많았을 가능성, 그리고 대형토조의 얇은 Column벽면에 온도가 상승하여 건조수축이 가속되었을 가능성 등이 침하를 가속시켰을 것으로 추정된다. 따라서 건조실험과 건조효과를 고려한 수치해석 결과와는 <Fig. 8>에서 볼 수 있듯이 차이가 많이 발생했음을 알 수 있으며, 이는 전술한 실험상의 오류를 제거함으로써 극복할 수 있으리라 판단된다.

한편, <Fig. 9>에서 자중압밀 수치해석기법으로 분석한 결과와 원심모형실험 결과는 비교적 유사한 경향을 나타냄을 볼 수 있으며, 수치해석 결과로 볼 때 건조수축으로 인한 침하량은 약 5cm 정도 발생하였음을 알 수 있다.



<Fig. 8> 시간-침하곡선 1



<Fig. 9> 시간-침하곡선 2

6. 결론

(1) 역해석기법으로 준설토의 고함수비 상태에서의 간극비-유효응력, 간극비-투수계수의 구성관계를 비교적 정확하게 추정할 수 있었으며, 최적화된 불성값을 사용하여 장래의 신뢰성 있는 압밀거동을 예측할 수 있을 것으로 판단된다.

(2) 건조수축실험은 수치해석과 실험결과를 분석한 결과 실험에 많은 오류가 포함되었음을 알 수 있었으며, 실외에서의 일사조건 및 증발조건, 강우조건등의 기상조건을 적정의 모델링으로 해석하기 위해서는 정교하고 광범위한 실험장치의 고안과 제작, 그리고 현장상태의 기상조건 재현등이 반드시 선행되어야 함을 알 수 있었다.

3) 자중압밀 수치해석기법으로 분석한 결과와 원심모형실험 결과는 비교적 유사한 경향을 나타

념을 알 수 있었으며, 수치해석 결과만으로 판단할 때 건조수축으로 인한 침하량은 70일 경과시 약 5cm 정도 발생함을 추정할 수 있었다.

참고문헌

- [1] Terzaghi, K. (1923), "Die berechnung der durchlässigkeit des tones aus dem verlauf der hydro-dynamischen spannungserscheinungen", Ak-ademie der wissenschaften, Wien, Sitzung-sberichte, Mathema-tisch Naturwissenschaf-tliche Klasse, Parta, Vol.132(3-4), pp.125-138
- [2] Gibson, R. E., England, G. L. and Hussey, M. J. L.(1967)." The Theory of One Dimen-sional Consolidation of Saturated Clay 1. Finite Non-Linear Consolidation of Thin Homogeneous layers", Geotechnique, 17, pp.261-273.
- [3] (주)삼성중공업 (1996), "해안매립과 연약지반 개량을 위한 신기술 개발에 관한 연구"
- [4] Haliburton, T. A. (1978). "Guidelines for Dewatering/Densifying Confined Dredged Mat-erial." Technical Report DS-78-41, US Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, Miss.
- [5] Cargill, K. W. (1985). "Mathematical Model of the Consolidation/Desiccation Processes in Dredged Material" Technical Report D-85-4, US Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, Miss.