

## 준설매립 점토지반의 침강·압밀거동

### Sedimentation & Consolidation Behaviour of Dredged Clay Fill

이 승 원<sup>\*1</sup> Lee, Seung-Won 지 성 현<sup>\*2</sup> Jee, Sung-Hyun  
유 석 준<sup>\*2</sup> Yoo, Seok-Joon 이 영 남<sup>\*3</sup> Lec, Young-Nam

#### Abstract

Sedimentation and self-weight consolidation tests in cylinder and large model tank and field measurements such as settlement and pore water pressure at each layer by wireless automatic instrumentation system were carried out to investigate the behaviour of dredged marine clay fill. The consolidation behaviour for each reclaimed layer was analyzed from these measured data and numerical analysis result using finite strain consolidation theory. It was found from this study that the consolidation behaviour of dredged clay fill is heavily dependent on the filling process.

#### 요 지

해성점토를 이용하여 준설매립한 부지의 장기적인 침하거동을 규명하기 위하여 실린더와 대형토조를 이용하여 침강·자중압밀시험을 수행하였으며, 준설매립단계에 자동무선계측시스템을 설치하여 매립부지의 층별침하량과 간극수압의 변화를 계측하였다. 이를 이용하여 준설매립 공정에 따른 매립지층의 침하거동을 분석하고 유한변형률 압밀이론을 이용한 수치해석 결과와 비교하였다. 침하거동 분석 결과, 불연속 준설매립공정으로 인하여 매립지층의 분리 현상이 발생하였고 지층별 침하거동이 상이하게 나타났다.

**Keywords :** Sedimentation, Self-weight consolidation, Marine clay, Reclamation, Finite strain consolidation theory

#### 1. 서론

해성점토를 준설매립하는 경우에 준설매립토의 침강, 자중압밀 거동은 매립계획 및 매립지역의 향후 활용을 고려할 때 매우 중요한 요소이다. 준설슬러리는 초기에 수백% 이상의 함수비로 투기되어 매립 초기에 단기간 동안의 침강을 거쳐 장기간 동안의 자중압밀이 진행된다. 따라서 매립부지의 최종 계획고를 얻기 위한 초기 준설매립량과 토체의 높이를 결정하고 자중압밀에 소요되는 시간을

규명하기 위해서는 준설매립지반의 침강·자중압밀 거동을 정확히 예측하는 것이 중요하다. 본 논문에서는 울춘제1 지방산단 조성공사현장에서 해성점토로 준설매립하는 과정에서 수행하였던 준설점토에 대한 침강·압밀시험과 국내에서 최초로 준설매립부지에 자동무선계측장치를 설치하여 층별침하량과 간극수압의 변화를 측정된 결과를 유한변형률 압밀이론을 이용하여 수치해석한 결과와 비교하였다.

\*1 정회원, 현대건설(주) 기술연구소 책임연구원

\*2 정회원, 현대건설(주) 기술연구소 선임연구원

\*3 정회원, 현대건설(주) 기술연구소 소장

## 2. 준설매립토의 침하 해석

### 2.1 이론적 고찰

해성점토를 준설하여 매립장에 투기할 경우, 매립토는 초기에 매우 높은 함수비의 현탁액 상태로 존재하다가 시간경과에 따라 준설매립토 상부에서는 중력에 의한 침전 현상이 그리고 하부에서는 침전물의 누적에 따른 압밀현상이 동시에 진행된다. 이러한 침전-압밀현상의 메카니즘에 관하여 Imai(1981)는 플록(floc)를 형성하는 단계(flocculation stage)와 침전물의 층을 형성하는 단계(settling stage), 그리고 자중압밀이 진행되는 단계(consolidation stage)로 구분하여 제시하였다. 그러나 이러한 각 단계에 대한 구별은 실제 거동에서 명확하게 알아내기 쉽지 않으며, 각 단계의 이동구간에는 전이영역이 존재하는 것으로 알려져 있다(Mikasa, 1963; Been et al., 1981). 특히, 자중압밀의 시작여부는 유효응력의 존재 유무로 판단할 수 있지만 실제로 이것을 측정하기는 매우 어려우므로 침강곡선에서 침강속도의 변화를 보고 이를 간접적으로 구하게 되는데, 김(1987), Lin et al.(1984), Yano(1985) 등은 침강곡선을 이용하여 자중압밀의 시점을 구하는 방법을 제시하기도 하였다.

### 2.2 유한변형을 압밀이론

일차원 압밀을 예측할 수 있는 최초의 이론은 Terzaghi (1943)에 의해 제안되었으나, 이 이론은 미소변형률(small strain) 조건에 대한 가정들로 상대적으로 깊은 곳에 위치한 단단하고 얇은 점토층에서만 유효한 한계를 가지고 있다. 즉, 간극비와 유효응력 사이의 관계식이 일정하고 투수성이 압밀층내에서 변하지 않는다는 가정은 유효응력의 변화가 선행유효응력에 비해 작을 경우에만 유효한데, 준설매립토와 같이 침하가 크게 발생하는 대변형률(large strain) 조건에서는 한계를 가진다. 이러한 제한들을 극복하기 위하여 유한변형률 압밀이론(finite strain consolidation theory)이 제안되었는데, Richart(1957)는 투수계수는 일정하고 유효응력은 간극비의 비선형 함수로 가정하였고, Mikasa(1963)는 초기간극비가 일정한 균질지반의 비선형 압밀이론을 제안하였으며, Raymond(1969)는 간극비-유효응력-투수관계 관계에 대한 경험식을 도입하기도 하였다. 그러나 이러한 이론들도 그들만의 제한성을 갖고 있는데, Gibson et al.(1967)이 모든 조건에 적용할 수 있는

일반적인 유한변형을 압밀이론의 지배방정식을 식 (1)과 같이 제시하였다.

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

여기서,

$\gamma_s$  : 토립자의 단위중량

$\gamma_w$  : 물의 단위중량

$e$  : 간극비

$k(e)$ : 간극비의 함수로 표시되는 투수계수

$z$  : 수직 좌표계

$\sigma'$  : 유효응력

$t$  : 시간

이 식은 본질적으로 자중의 영향, 간극비에 따라 변화하는 투수계수, 비선형적 간극비-유효응력의 관계식 등을 포함하는 대변형률 압밀이론식으로 침하가 크게 발생하는 두꺼운 연약점토층의 압밀거동을 해석하는데 적합한 식이다.

본 논문에서는 준설매립지반의 침하거동을 해석하기 위하여 Stark(1987)가 Gibson et al.(1981)의 유한변형률 압밀이론을 적용하여 유한차분법으로 수치해석한 PCDDF (Primary Consolidation and Dessication of Dressed Fill) 프로그램을 사용하였다. PCDDF는 준설매립후 자중압밀과 자연증발건조에 의한 준설매립토의 침하거동을 예측하는 현장 시뮬레이션 프로그램으로, 압밀시험에 의한 간극비-투수계수 관계, 간극비-유효응력 관계와 기후요소 및 준설공정 등의 현장요소들을 입력하여 준설매립후의 지반거동을 보다 정확하게 예상하도록 하였다. 특히 시간에 따른 준설매립재의 자중압밀과 표층 건조로 인한 깊이별 간극비 및 유효응력의 변화를 계산하여 자연방치 기간 동안의 지반거동을 파악할 수 있도록 하였다.

## 3. 시료 특성

본 연구에서 사용한 시료(해성점토)는 울춘 현장내 준설이 이루어질 지역중 4곳에서 바지선으로 채취하여 육상에서 혼합하여 사용하였으며, 기본물성시험 결과는 표 1

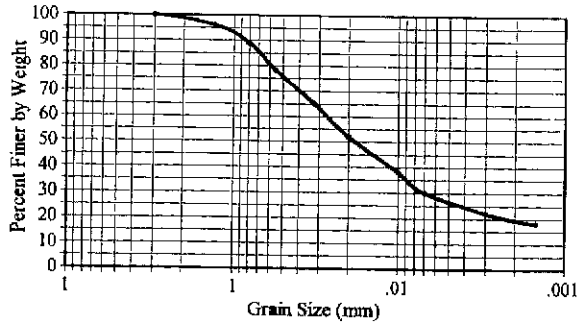


그림 1. 시료의 입도분포

과 같으며, 시료의 입도분포는 그림 1과 같다.

#### 4. 침강·자중압밀 시험

실제 준설매립시의 매립지반의 침하거동을 예측하기 위하여 실린더( $\phi 75\text{mm}$ ,  $H=570\text{mm}$ )와 대형토조( $1.1\text{m} \times 1.1\text{m} \times 3\text{m}$ )를 이용하여 해성준설점토의 침강·자중압밀 시험을 수행하였다. 두 시험은 동일한 시료로 초기함수비를 실제 준설매립 초기함수비와 비슷한 500%로 맞춰서 일시에 투기하여 하부비배수 조건으로 수행되었다. 그림 2와 그림 3은 이들 시험에 사용된 실린더와 대형토조의 구조도를 보인 것이다.

##### 4.1 침강·자중압밀 침하

그림 4는 실린더 시험과 대형토조시험에서의 침강·자중압밀 침하곡선을 보인 것으로, 자중압밀의 시점을 찾기

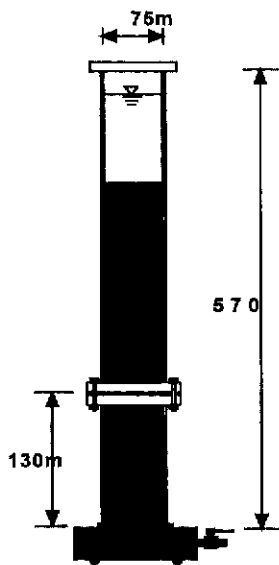


그림 2. 실린더 구조도

표 1. 기본 물성 시험 결과

Natural Water Content (%)	97
Specific Gravity	2.65
Finer than No. 200 Sieve (%)	87
Liquid Limit (%)	69
Plastic Index	33
Soil Classification(USCS)	CH

위하여 김(1987), Lin et al.(1984), Yano(1985)의 방법을 사용하였다. 김(1987)은 시간( $t$ )-침강( $H$ ) 곡선에서 상하부 곡선의 접선이 만나는 점을 자중압밀 시점으로 보았으며, Lin et al.(1984)은  $\sqrt{t}$ - $H$  곡선에서 2차 변곡이 생기는 점을 자중압밀 시점으로 보았다. 그리고 Yano(1985)는  $\log t$ - $\log H$  곡선에서 일직선이 시작되는 부분을 자중압밀 시점으로 결정하였다. 이들 방법으로 구한 자중압밀 시점은 실린더 시험에서는 0.3, 0.2, 0.2일로 큰 차이를 보이지 않았으며, 대형토조시험에서는 1.3, 0.8, 1.3일로 Lin의 방법으로 결정한 자중압밀 시점이 빠른 것으로 나타났다. 그리고 이들의 평균값으로 결정한 자중압밀 시점(실린더 시험: 0.27일, 대형토조시험: 1.13일)에서의 시료의 높이를 이용하여 계산한 평균 함수비는 실린더 시험이 301%, 대형토조시험이 284%로, 시료의 두께가 두꺼울수록 자중압밀 시점이 늦어지고 그때의 평균 함수비는 감소하는 것으로 나타났다. 자중압밀 시점이 시료가 두꺼울수록 늦어지는 것은 침강거리가 커지기 때문이며, 평균 함수비가 감소

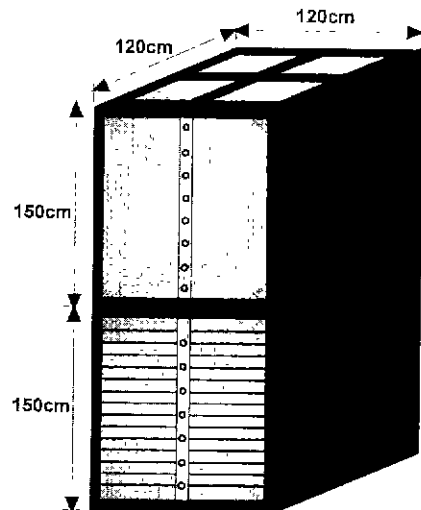
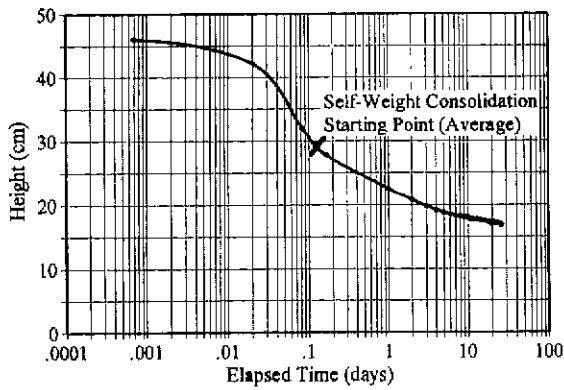
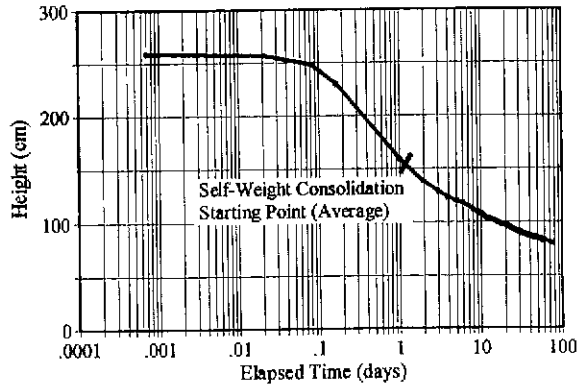


그림 3. 대형토조 구조도



a) 실린더 시험



b) 대형토조시험

그림 4. 시간에 따른 침강·압밀량

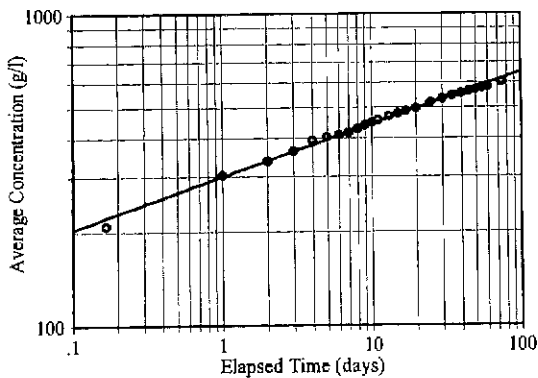


그림 5. 시간에 따른 평균 농도

하는 것은 시간이 길어질수록 하부층에서 이미 자중압밀이 시작되고 있는 범위가 커지기 때문이다.

#### 4.2 시간에 따른 평균 농도 변화

준설매립 부지의 토제 높이를 정확히 결정하고 매립부지의 장기적인 침하거동을 예측하기 위해서는 준설종료 시점에서의 준설매립토의 평균 농도를 알아야 한다. 따라서 본 연구에서는 대형토조시험에서 초기함수비를 500% (시료농도=185g/l)로 일시에 투기하여 침강·자중압밀에 따른 평균 농도의 변화를 시간별로 계산하여 그림 5와 같은 결과를 얻을 수 있다. 본 시험에서의 준설매립토의 평균 농도는 경과시간의 대수눈금에 대하여 직선적으로 증가하는 일반적인 경향과 잘 일치하는 것으로 나타났다.

### 5. 압밀 시험

준설매립토의 침하거동을 예측하기 위하여 실내에서

세가지 조건에 대한 압밀시험을 수행하였다.

첫 번째 압밀시험은 초기함수비 1000%의 시료를 그림 2의 실린더에서 침강·압밀시켜 30일이 경과한 후에 상부 실린더를 제거하고 하부실린더에서 10cm 두께의 시료로 압밀시험을 수행한 것으로, 압밀시험 시점에서의 초기함수비는 약 180%이었고 압밀하중은 0.09kg/cm<sup>2</sup>부터 단계별로 하중을 재하하였다. 두 번째 압밀시험은 대형토조시험 종료후에 직경 75mm 튜브로 불교란시료를 채취하여 그림 2의 하부실린더에서 압밀시험을 수행한 것으로, 압밀시 초기함수비는 약 100%이었고 압밀하중은 0.1kg/cm<sup>2</sup>부터 단계별로 재하하였다. 세 번째 압밀시험은 Rowe cell(직경 6.3cm, 높이 1.9cm)에 초기함수비 200%인 재성형 시료를 부어서 0.08kg/cm<sup>2</sup>의 압밀하중부터 단계별로 재하하여 시험하였다. 이상의 세가지 압밀시험을 통하여 그림 6, 그림 7과 같은 간극비-유효응력 관계 그래프와 간극비-투수계수 관계 그래프를 얻었으며, 이들의 관계식은 식 (2), 식 (3)과 같이 지수함수 형태로 나타낼 수 있다.

$$e = 1.62 \sigma'^{-0.23} \quad (2)$$

$$e = 22.09 k^{0.15} \quad (3)$$

여기에서 식 (2), 식 (3)의 관계식은 2.2절에서 설명한 유한변형을 압밀이론에 의한 침하해석시에 간극비-유효응력-투수계수의 관계식으로 사용되어 대변형을 조건에서의 자중압밀 침하해석을 수행하는데 이용되었다.

### 6. 현장 계측

준설매립후의 침강 및 자중압밀 거동, 그리고 원지반의

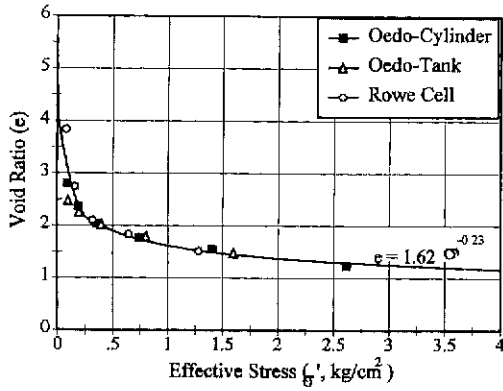


그림 6. 간극비-유효응력 관계 곡선

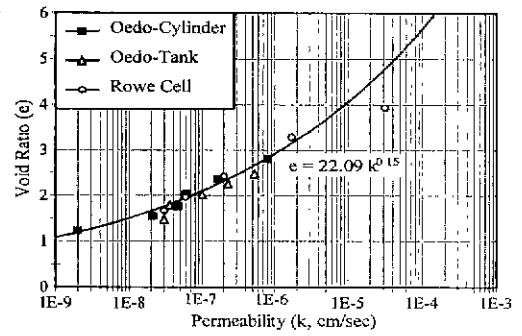


그림 7. 간극비-투수계수 관계 곡선

표 2. 위치별 계측기 설치 위치 (EL., m)

No.	Location 1 (L1)		Location 2 (L2)	
	Piezometer r	Settlement Gauge	Piezometer	Settlement Gauge
1	3.80	4.60	3.00	4.80
2	2.30	2.00	1.50	2.15
3	0.80	0.06	0.00	0.15
4	-0.70	-1.94	-1.50	-1.85
5	-3.20	-3.94	-3.50	-3.85
6	-6.20	-6.94	-6.50	-6.85

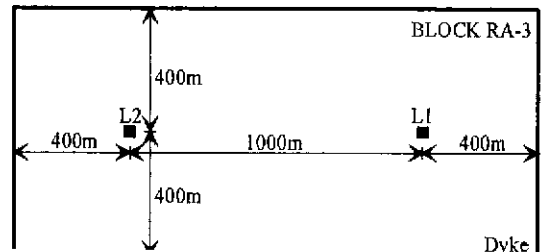


그림 8. 자동계측시스템 설치 위치도

거동을 분석하기 위하여 그림 8에서 보는 바와 같이 울촌현장의 매립블록중의 하나인 RA-3 블록내의 두 위치에서 깊이별로 간극수압계와 층별침하계를 설치하여 무선을 통한 자동계측을 수행하였으며, 원지반에 지표침하판을 설치하여 준설매립지반과 원지반의 표고 변화를 수동으로 관측하였다. 본 연구를 위해 사용된 무선 자동화 계측 시스템의 개요도는 그림 9와 같으며, 이에 장착된 계측장비

및 시설물은 진동현식 간극수압계(vibrowire type piezometer), 강선변위식 층별침하계(wire displacement type multi-settlement gauge), 구조물 경사계(tiltmeter), 데이터 로거(data logger), 무선모뎀(wireless modem), 태양열 충전기, 해상구조물 등이 있다. 그림 8의 L1, L2 지점에서의 간극수압계와 층별침하계의 설치깊이는 표 2와 같다.

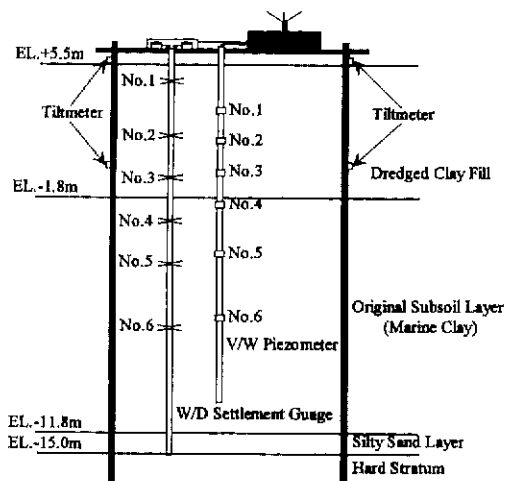


그림 9. 무선 자동화 계측 시스템 개요도

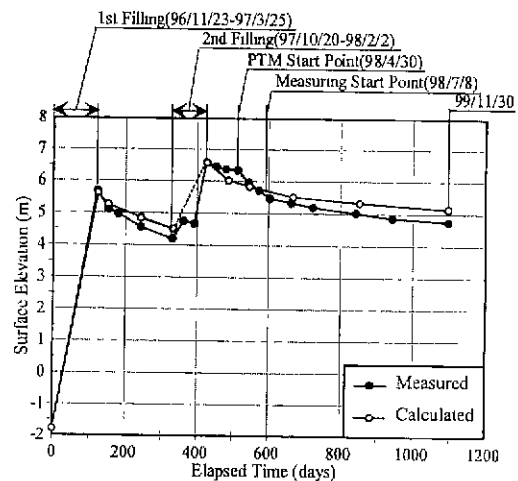


그림 10. 자중압밀에 의한 표면침하

표 3. 준설매립 공정

Step	Reclamation Period(day)	Initial EL.(m)	Final EL.(m)	Thickness(m)	Average Water Content(%)
1st	0~122	-1.8	5.69	7.49	132
2nd	1	331~362	4.19	4.75	180
	2	392~426	4.67	6.59	180

\* average water content of reclaimed layer at the end of each hydraulic pumping stage

### 6.1 자중압밀 침하 거동

#### 6.1.1 표면 침하 거동

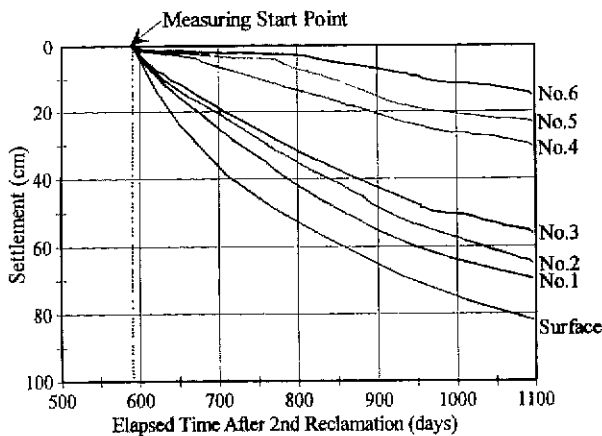
그림 10은 계측기가 설치된 매립단지에서의 표면 침하 거동을 계측한 기록과 PCDDF 프로그램으로 표면침하량을 예측한 결과를 보여주는 그림이다. 준설매립은 제체의 안정성 확보를 위하여 인접단지의 준설매립고를 고려하여 표 3과 같이 두 단계로 나누어서 실시되었다.

1단계는 원지반고(EL.-1.8m)에서 7.49m 높이(EL.+5.69m)로 4개월에 걸쳐 준설매립하고, 2단계는 1단계 종료후 7개월을 방치하여 매립지반 표면이 EL.+4.19m로 침하된 시점에서 3개월동안 2.4m 두께(EL.+6.59m) 만큼 준설매립하였다. 2단계 준설매립이 완료되고 22개월을 방치한 현재(1999년 11월말) 매립지반의 표면고는 EL.+4.75m로 측정되었다.

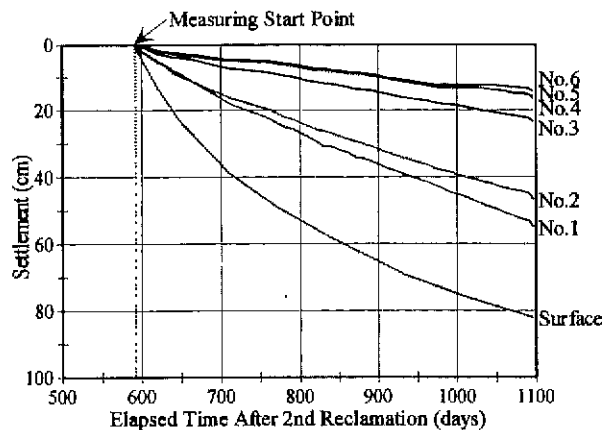
PCDDF를 이용한 수치해석을 위하여 그림 6과 그림 7의 간극비-유효응력 관계곡선과 간극비-투수계수 관계곡선을 사용하였으며, 준설매립고와 준설매립기간은 시공시 공정과 동일하게 입력하였다. 그리고 표층의 건조로 인한 침하를 고려하기 위하여 현장 인근 기상대에서 입수한

월별 강우량과 증발량 자료를 사용하였다. 준설매립 종료 후의 매립지반의 초기함수비는 각 단계별 준설기간동안의 평균함수비를 사용하였는데(US Army CoE, 1987), 이들 값은 그림 5의 대형토조시험에서 얻은 시간에 따른 시료의 평균 농도의 변화 곡선을 이용하여 표 3과 같이 구하였다. 즉, 1단계 준설매립 종료시의 매립지반의 평균 농도는 준설매립 기간인 4개월의 1/2인 2개월에서의 평균 농도인 590g/l(함수비=132%)를 사용하였고, 2-1단계와 2-2단계 준설매립 종료시에는 각각 1개월의 준설매립 기간의 1/2인 0.5개월의 평균 농도인 460g/l(함수비=180%)를 사용하였다. 그리고 원지반 해성점토층 하부 경계조건은 비압축성, 배수 조건은 모래지반으로 고려하여 해석하였다.

준설매립지반의 실제 침하량은 수치해석치 보다 다소 크게 발생하였는데, 이는 크게 세가지 요인에 기인한다. 첫 번째 요인은 현장에서 준설매립시 토출유압과 바람의 영향으로 준설매립토가 초기에 침강하는데 방해받기 때문에 대형토조시험시 보다 평균농도가 작아지게 되기 때문이다. 두 번째 요인은 울춘 현장에서 표층의 배수와 자연건조축진을 위하여 2단계 준설매립 완료 3개월 이후부터 실시한 PTM(Progressive Trenching Method)공법의 효과를 수치해석에서 제대로 반영하지 못하였기 때문이다.



a) Location 1에서의 층별 침하 기록



b) Location 2에서의 층별 침하 기록

그림 11. 층별침하 측정 결과

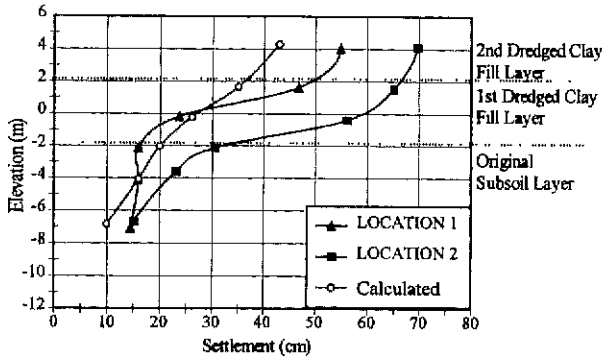


그림 12. 층별침하량의 계측치와 수치해석결과 비교

PTM공법은 매립지반 표층에 점진적으로 트렌치를 형성시켜 표층수의 배수를 원활히 하고 표층의 증발 건조 과정을 촉진시켜 건조층의 형성을 가속화시키는 효과를 가지고 있다. 상부에 형성된 건조층은 매립지반에 상재하중으로 작용하여 매립지반의 압밀을 촉진시키게 된다. 따라서 2단계 준설매립 완료 6개월 이후부터의 실제 침하량이 수치해석치보다 상당히 크게 발생한 것은 PTM공법의 적용에 기인한다고 볼 수 있다. 세 번째 요인은 1단계 준설매립 후 7개월의 방치기간동안 매립지반 표층에 투수계수가 극도로 감소한 건조층이 형성되어 2단계 준설매립시 1단계 준설매립층에 과도한 상재하중이 작용하여 침하량이 크게 발생하였기 때문이다(6.1.2절과 6.1.3절 참조).

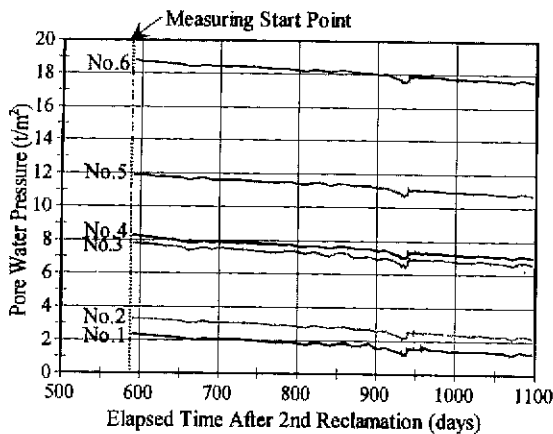
### 6.1.2 층별침하 거동

준설매립지반과 원지반의 층별침하 거동을 분석하기 위하여 강선변위식 층별침하계를 그림 9와 표 2와 같이 준

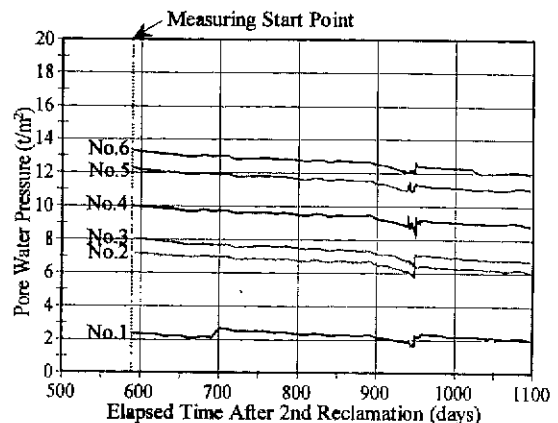
설매립지반과 원지반에 3개씩 설치하였다. 그림 9의 자동화 계측기기는 현장여건상 2단계 준설매립 종료 6개월 후에 설치되어 준설매립 완료 초기 상태의 층별침하량을 얻을 수는 없었다. 그림 11은 L1, L2 지점에서 측정된 층별침하량 곡선으로, 원지반에서는 층별로 15~30cm, 준설매립지반에서는 층별로 24~70cm의 침하량이 발생하였다. 그리고 그림 12는 계측 실시 후 16개월(준설매립 완료 후 22개월)이 경과된 시점에서의 층별침하 계측치와 PCDDF에 의한 수치해석치를 비교한 그림으로, 원지반에서 층별 침하량의 차이는 5~9cm인 반면에 준설매립지반에서는 -4~23cm의 차이를 보였다. 특히 EL.+2.0m 이하 약 4m 두께의 매립지반 하부층에서의 침하량이 다른 층에서의 침하량에 비해 상대적으로 크게 발생하였다. 여기에서 EL.+2.0m는 투수계수가 매우 작은 1차 준설매립지반의 표면 건조층이 존재하는 깊이로, 2차 준설매립시 1차 매립층에 유효자중압 보다 큰 상재하중을 유발시켜 과도한 과잉간극수압과 침하량을 유발시키게 된다.

### 6.2 간극수압 변화

간극수압계는 층별침하계와 같은 시기에 그림 8의 L1, L2 위치에서 준설지반에 4개, 원지반에 2개씩 설치되었다. 그림 13은 이들 위치에서 측정된 깊이별 간극수압의 계측치를 보인 것이다. 그리고 그림 14는 준설종료 후 22개월 경과시점에 대하여 수치해석으로 예상한 간극수압과 현장 계측값을 비교한 것이다. 여기에서 EL.+2.0m 이하 4m 두께의 1차 준설매립층에서의 간극수압이 수치해석치보다 크게 측정되었다. 이는 앞서 설명한 1차 준설매립



a) Location 1에서의 간극수압 기록



b) Location 2에서의 간극수압 기록

그림 13. 간극수압 측정 결과

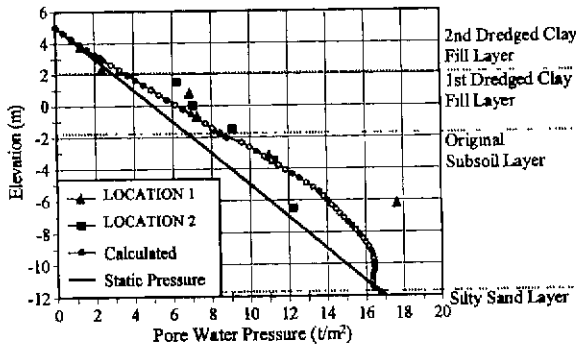


그림 14. 깊이별 간극수압의 계측치와 수치해석 결과 비교

표층의 투수계수가 작은 건조층이 과잉간극수압의 소산을 억제하기 때문이다. 따라서 1차 준설매립층은 장기적으로 계속해서 침하가 발생할 것으로 예상된다.

## 7. 결론

준설매립지반에서의 침하거동을 분석하기 위하여 현장계측치와 수치해석 결과를 비교 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 대상현장에서의 자중압밀거동을 예측하기 위하여 유한변형을 압밀이론을 이용한 수치해석을 수행하였는데, 침하량과 간극수압에서 실측치 보다 다소 작게 예측되었다.
- (2) 이는 준설매립 완료후의 초기 평균 농도를 예측하기 위하여 실시된 대형토조시험 결과가 실제 현장에서의 평균 농도보다 크고, 대상 현장에서 실시한 PTM공법으로 형성된 상부 건조층의 추가하중 효과가 수치해석상에 제대로 반영되지 못하였기 때문이다.
- (3) 또한 1단계 준설매립후 7개월의 방치기간동안 투수계수가 급격히 감소된 불포화 건조층이 표층에 형성되어 2단계 준설매립으로 인한 상재하중이 유효하중 이상으로 하부층에 작용하여 1단계 준설매립층에 많은 침하가 발생하였다.
- (4) 그리고 이때 형성된 건조층으로 인하여 하부층에서의 과잉간극수압의 소산이 지연되는 경향을 보여, 하부층에는 장기적으로 지속적인 침하가 발생할 것으로 예상된다.

- (5) 따라서 준설매립을 불연속적으로 수행하여 단계별 매립층을 분리할 수 있는 건조층이 형성된 경우에는 이에 대한 충분한 고려가 있어야 매립지반의 침하거동을 정확히 예측할 수 있다.

## 참고문헌

1. 김수삼(1987), "반월지역 해성점토의 침강특성에 관한 실험적 연구", 대한토질공학회지, 제3권, 제3호, pp. 49~61
2. Been, K. & Sills, G.C.(1981), "Self-weight Consolidation of Soft Soil: An Experimental and Theoretical Study", Geotechnique, Vol. 31, No. 4, pp. 519~535
3. Gibson, R.E., Schiffman, R.L. & Cargill, K.W.(1981). "The Theory of One-dimensional Consolidation of Saturated Clay II: Finite Non-linear Consolidation of Thick Homogeneous Layers", Journal of Canadian Geotechnical Engineering, Vol. 18, pp. 280~293
4. Gibson, R.E., England, G.L. & Hussey, M.J (1967), "The Theory of One-dimensional Consolidation of Saturated Clay I: Finite Non-linear Consolidation of Thin Homogeneous Layers", Geotechnique, Vol. 17, pp. 261~273
5. Imai, G.(1981), "Experimental Studies on Sedimentation Mechanism and Sediment Formation of Clay Materials", Soil and Foundations, Vol. 21, No. 1, pp. 7~20
6. Liu, T.W. & Lohnes, R.A.(1984), "Sedimentation and Self Weight Consolidation of Dredge Soil", Conference Proceeding, ASCE, pp. 464~480
7. Mikasa, M.(1963), The Consolidation of Soft Clay - A New Consolidation Theory and Its Application, Kajima Institution Publishing Co., Ltd., pp.21~26
8. Raymond, G P (1969). "Consolidation of Deep Deposits of Homogeneous Clay", Geotechnique, Vol. 19, pp. 478~494
9. Richart, F.E (1957), "A Review of the Theories for Sand Drains", ASCE, SM3, No. 1301
10. Stark, T.D.(1991), Program Documentation and User's Guide: PCDDF 89. Primary Consolidation and Dessication of Dredged Fill, Instruction Report, D-91-1, US Army Corps of Engineers, Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.
11. Terzaghi, K. & Peck, R.B.(1943), Soil Mechanics in Engineering Practices. John Wiley and Sons, New York
12. US Army Corps of Engineers(1987), Confined Disposal of Dredged Material, Engineering Manual, No. 11110-2-5027, Washington D.C.
13. Yano, K.(1985), "Properties of Very Soft Ground Reclaimed by Dredged Marine Clay and Their Prediction", JSCE, Vol. 364, No. III-4, pp. 1~13

(접수일자 2000. 3. 15)