

## 급속퇴적지반의 미압밀상태 평가

### Evaluation of Under-consolidation State in the Rapidly Deposited Ground

김 현 태\*<sup>1</sup> Kim, Hyun-Tae

홍 병 만\*<sup>2</sup> Hong, Byug-Man

백 경 중\*<sup>3</sup> Baek, Kyung-Jong

김 상 규\*<sup>4</sup> Kim, Sang-Kyu

#### Abstract

A 5~12m thick tideland has been created in front of a new sea-dyke due to the rapid sedimentation occurring for 22 years. It is confirmed from theoretical analysis and soil tests that the deposit is in under-consolidation state. An analysis shows that when the average sedimentation rate is over 1-5cm/year for a soil with  $c_v = 0.0005-0.001\text{cm}^2/\text{s}$ , excess pore water pressure exists in the deposit. It is known that the lower sedimentation rate than average in the initial deposition stage results in lower dissipation of excess pore pressure and vice versa. It is emphasized that under-consolidation behavior should be taken account in settlement analysis because structures founded on such deposits give higher settlements.

#### 요 지

퇴적속도의 변화를 고려한 자중압밀해석과 토질조사시험결과와의 비교분석을 통하여 22년 동안 방조제 앞에 두께 5~12m가 급속히 퇴적된 간석지는 미압밀상태에 있음을 확인하였다. 또한 압밀계수  $c_v=0.0005\sim 0.001\text{cm}^2/\text{s}$ 인 퇴적층은 평균퇴적속도  $v_s, \phi=1\sim 5\text{cm}/\text{yr}$  이상이면 미압밀상태의 가능성이 높으며, 퇴적속도가 초기에 빠르고 후기에 느린 경우 보다 초기에 느리고 후기에 빠른 경우가 훨씬 큰 잔류 과잉간극수압이 존재한다는 것을 알 수 있었다. 그리고 미압밀상태의 간석지는 압밀침하량이 훨씬 크므로, 최근에 급속히 퇴적된 간석지를 매립하는 경우 미압밀 여부의 평가와 미압밀을 고려한 압밀해석이 필요하다는 결론을 얻었다.

**Keywords :** Excess pore pressure, Sedimentation, Self-weight consolidation, Under-consolidation

#### 1. 서 론

국내 서남해안에 건설된 방조제의 해측사면 앞부분에는 대부분 건설 후 조류속이 크게 감소하는 이유로 빠른 속도로 퇴적된 새로운 간석지가 형성된 곳이 많다. 이들 간석지는 퇴적속도가 매우 빠르기 때문에 미압밀상태에 있을 가능성이 크며, 새로 형성된 미압밀

상태의 간석지를 매립하는 경우에는 미압밀을 고려하지 않으면 실제의 침하량이 예상보다 훨씬 크게 발생되는 문제가 있다. 그러므로 최근에 급속히 퇴적된 간석지를 개발하는 경우 미압밀상태의 여부를 확인하고 이를 고려한 압밀해석이 필요하다.

본 연구에서는 퇴적속도, 지층변화 등의 실제 퇴적환경을 고려할 수 있는 자중압밀 수치해석프로그램을

\*1 정회원, 농업기반공사 농어촌연구원 수석연구원 (Member, Senior Researcher, Rural Research Institute, KARICO, htkim@karico.co.kr)

\*2 정회원, 농업기반공사 농어촌환경개선처 처장 (Member, Director-General, Office of Rural Environment Improvement, KARICO)

\*3 정회원, 다솔 컨설턴트 사장 (Member, President, Dasol-Consultant Co. Ltd.)

\*4 정회원, 동국대학교 명예교수 (Member, Earn a Position of Prof., Dept. of Civil Engrg., Univ. of Dongguk)

개발하고, 자중압밀해석을 통하여 미압밀상태에 있을 수 있는 퇴적환경을 평가하였다.

또한 실제 급속퇴적지반에 대한 자중압밀해석과 토질조사시험 결과의 비교·분석을 통하여 미압밀상태에 있음을 확인하고, 매립성토 시 미압밀 고려여부에 따른 압밀침하량의 차이를 분석하여 미압밀의 평가와 이를 고려한 압밀해석의 중요성을 확인하였다.

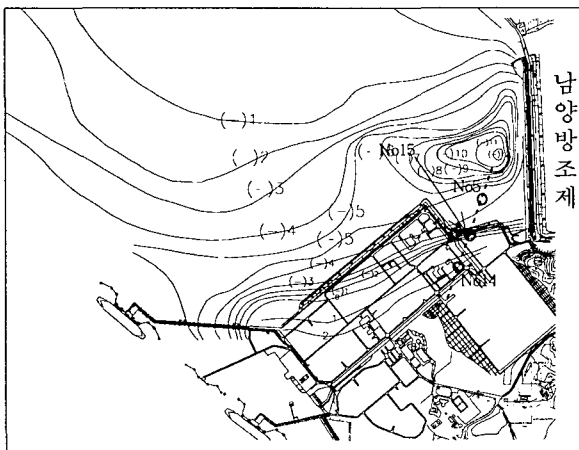
## 2. 급속퇴적환경과 공학적특성

### 2.1 퇴적속도와 압밀상태

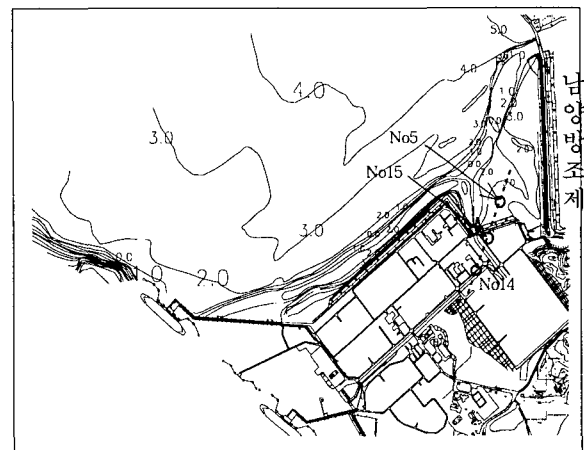
세계 중요 강의 삼각주에서 퇴적속도는 평균 30-100 mm/yr이며, Mississippi 삼각주의 퇴적속도는 150mm/yr로 매우 높게 발생하고 있다고 한다. Cox(1968)는 동남

아시아지역의 대표적인 삼각주와 해안평야의 현재 퇴적속도를 Chao Phraya(Thailand) 24~50mm/yr, Irawaddy (Burma) 100mm/yr로 보고한 바 있으며, 백경중(1998)은 점토층의  $^{14}\text{C}$ 연대측정결과와 분석으로부터 낙동강 하구의 퇴적속도는 1.9~9.1mm/yr(평균 2.9mm/yr)라고 하였다.

Brand & Brenner(1981)는 퇴적이 진행중인 퇴적층 내에서 과잉간극수압의 발생속도가 소산속도보다 큰 퇴적속도에서는 압밀이 완료된 상태가 아닌 부분압밀상태 또는 미압밀상태가 된다고 하였으며, Gibson(1958)은 퇴적속도가 일정한 조건과 시간의 제곱근에 비례하여 빨라지는 조건에 대하여 퇴적토층내 심도별 잔류과잉간극수압 분포를 제시하였다. Sangrey(1977)는 미압밀상태에 영향을 미치는 주요 요인은 퇴적속도이며, 흙 내부의 Gas, 피압대 및 파력의 반복 등이 그 원인이 될 수 있다고 하였다(Nakase, 1984).



(a) 방조제 체절 직후(1978년 지형측량)



(b) 2001년 현재 지형측량

그림 1. 남양방조제 앞 퇴적상황

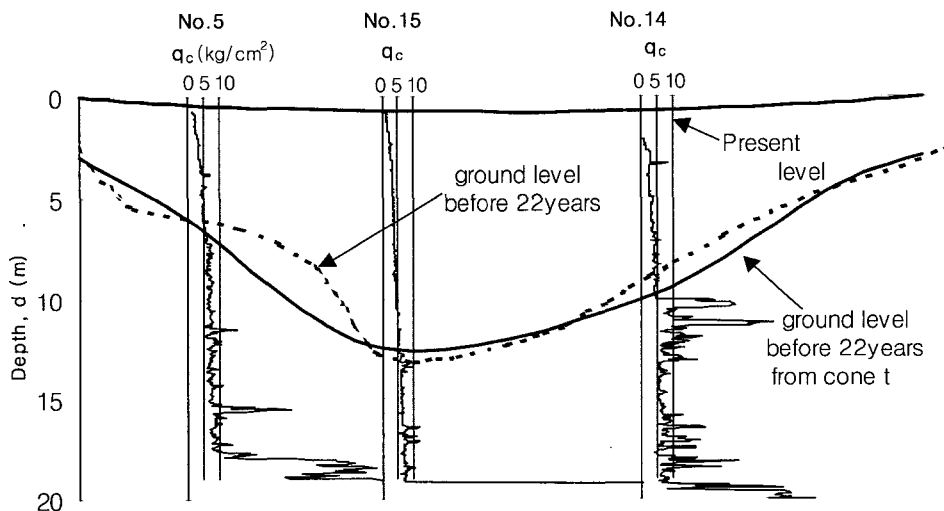


그림 2. 지형도와 피조콘관입시험결과의 간석지 표고변화 추정

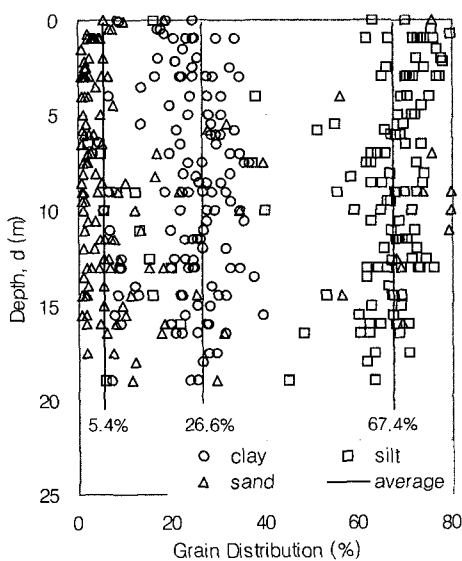
## 2.2 남양방조제 앞 퇴적환경과 퇴적속도

남양방조제 해측에 인접한 간석지를 보면 방조제의 건설 후에 매우 빠른 퇴적속도를 보이고 있다. 방조제 축조 직후인 1979년도 국립지리원 발행 지형도와 2001년 현재의 지형측량결과를 보면 그림 1에 도시한 바와 같이 22년 동안 5~12m가 급속히 퇴적되었으며, 방조제 인근지역도 3~5m 정도가 방조제 축조 후에 급속히 퇴적된 것을 알 수 있다.

또한 22년 전의 지형도와 피조콘 관입시험 결과로부터 방조제 건설 직후인 22년 전의 간석지 지표면을 추정하여 보면 그림 2에 보인 바와 같이 급속한 퇴적층의 형성이 확인되고 있다.

## 2.3 퇴적토층의 특성

방조제 건설 후 방조제 앞에 급속히 퇴적된 해성퇴적층 흙의 입도분포는 그림 3(a)와 같이 모래가 5.4%정도, 0.005mm이하의 점토는 26.6%정도, 0.005~0.047mm의 실트가 67.4%정도의 입도분포를 보이는 저소성의 해성점토로서 현장함수비는 그림 3(b)와 같이 45%정도, 단위중량은 1.528~1.760g/cm<sup>3</sup>, 압축지수  $C_c=0.32\sim0.75$  (평균 0.6), 압밀계수  $c_v=0.0004\sim0.0042$ (평균 0.001) cm<sup>2</sup>/s로 나타나고 있다.



(a) 퇴적토의 입도조성

## 3. 수치해석방법 개발 및 자중압밀해석

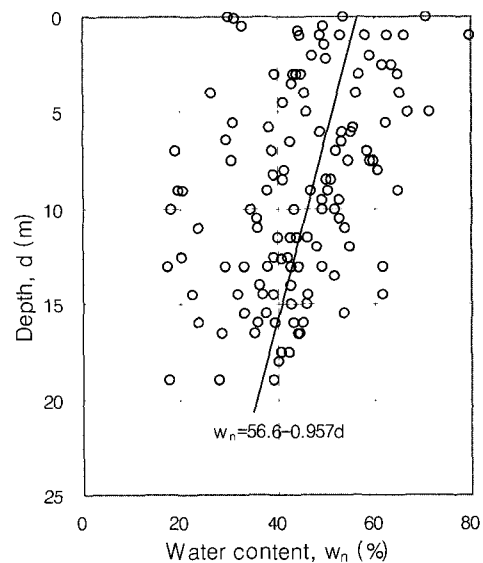
### 3.1 가정조건 및 프로그램 구성

압축지수 ( $C_c$ )와 압밀계수 ( $c_v$ )가 유효응력의 크기에 관계없이 일정한 조건으로 보고, 퇴적토층 내 투수계수 ( $k_v$ )는  $k_v \approx [0.434 \cdot C_c \cdot c_v] / [(1 + e_0) \sigma_v']$ 의 식을 사용하였으며(김현태, 1998), 물의 흐름은 Darcy의 법칙을 적용하였으며, 연직방향의 일차원 압밀배수조건으로 해석프로그램을 구성하였다.

프로그램 구성을 위한 자중압밀 모식도는 그림 4에 도시한 바와 같으며, 모식도에서 임의 시점 ( $t=i$ )에  $\Delta t$  동안 퇴적토가  $\Delta h$  만큼 퇴적되면 그 하중이 기 퇴적된 모든 층내 과잉간극수압의 증가량으로 작용된다. 이 때의 과잉간극수압분포(isochrone)로부터 형성되는 동수구배에 의해  $\Delta t$  동안 압밀배수가 이루어진다. 압밀배수량으로부터  $\Delta t$  동안의 각 요소의 간극비감소량 ( $\Delta e$ )과 유효응력증가량 ( $\Delta \sigma_v'$ ) 및 과잉간극수압감소량 ( $\Delta u$ )을 구한다(김현태, 1998).

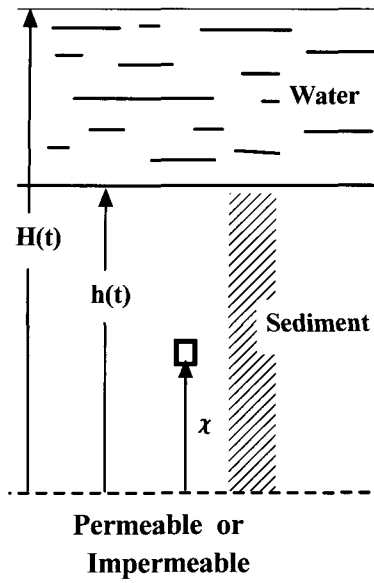
$\Delta t$  동안의 과잉간극수압감소량 ( $\Delta u$ )과 퇴적에 의한 증가과잉간극수압으로부터  $t=i+1$ 인 때의 과잉간극수압분포를 구하고 다음 단계의 압밀배수량의 계산을 반복하는 것으로 그림 4(c)와 같은 순서로 구성하였다.

그림 4에서  $h_i$ 는  $i$ 요소의 층두께,  $q_i$ 는  $i$ 요소에서  $i+1$ 요소로 흘러나가는 유량,  $t$ 는 시간,  $e$ 는 간극비,  $u$ 는 과잉간극수압이다.

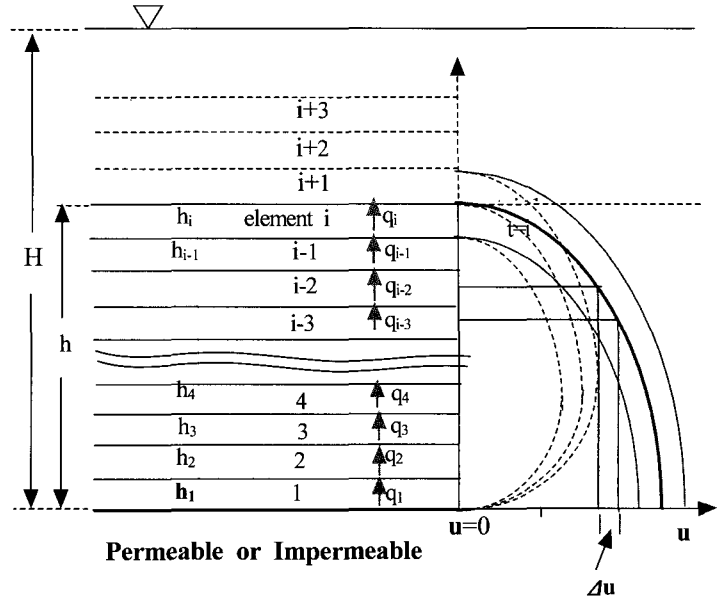


(b) 퇴적토의 함수비분포

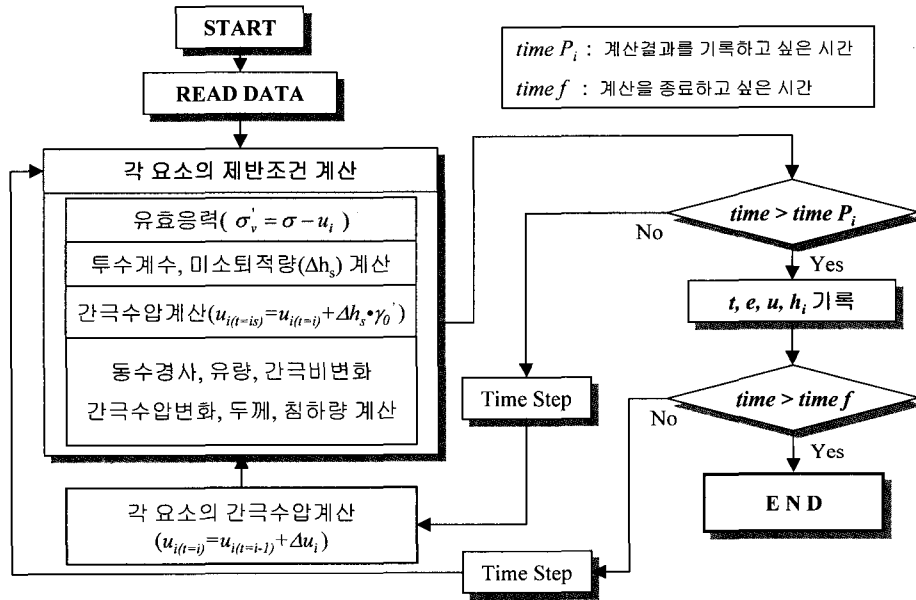
그림 3. 퇴적토층의 입도 및 현장함수비 분포



(a) 퇴적모형도



(b) 유한요소계 및 과잉간극수압 발생



(c) 해석 프로그램 흐름도

그림 4. 퇴적 중 자중압밀해석 모식도 및 흐름도

### 3.2 해석방법 검증

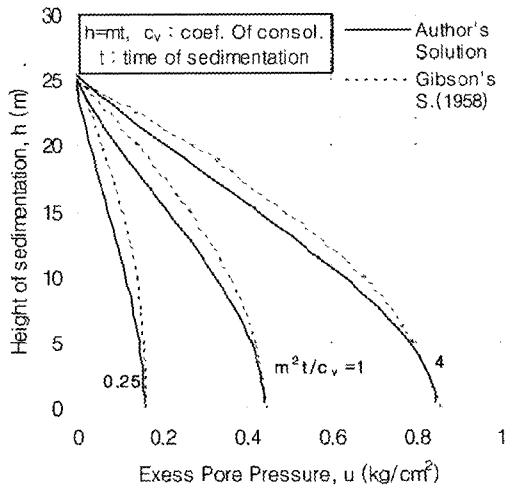
해석방법의 검증을 위하여 Gibson(1958)해로 해석이 가능한 조건 즉, 퇴적 전 기간동안 퇴적속도가 균일한 조건( $v_s=3.15, 12.6, 50.5\text{cm/yr}$ )으로 압밀계수  $c_v=0.001\text{cm}^2/\text{s}$ , 전체퇴적고  $h_s=25\text{m}$ 에 대하여 자중압밀해석을 실시하여 비교한 결과는 그림 5와 같이 Gibson(1958)해와 비교적 잘 일치하는 것으로 나타났다.

불투수성 바닥 위에 퇴적되는 조건은 그림 5(a)와 같

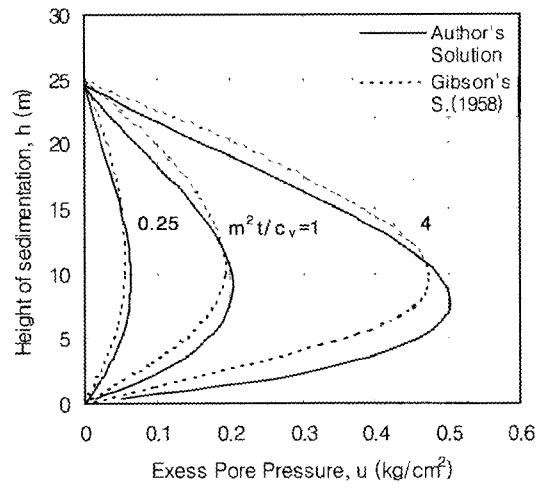
이 바닥면에 최대잔류 과잉간극수압이 발생되며, 그 값이 Gibson(1958)해와 동일하지만, 상층부는 본 해석방법이 약간 작은 값을 보인다.

또한 대수층 위에 퇴적되는 조건은 그림 5(b)와 같이 최대값은 본 해석이 약간 크며, 퇴적층 아래부분은 본 해석이 약간 크지만 상부는 Gibson(1958)해가 약간 큰 경향을 보이고 있다.

이러한 원인은 그림 6, 7에 도시한 바와 같이 간극비와 투수계수의 심도별 분포가 일정하지 않고 상부는 크



(a) 불투수성 바닥(일면배수)



(b) 투수성 바닥(양면배수)

그림 5. Gibson(1958)해와 본 해석의 잔류과잉간극수압 비교

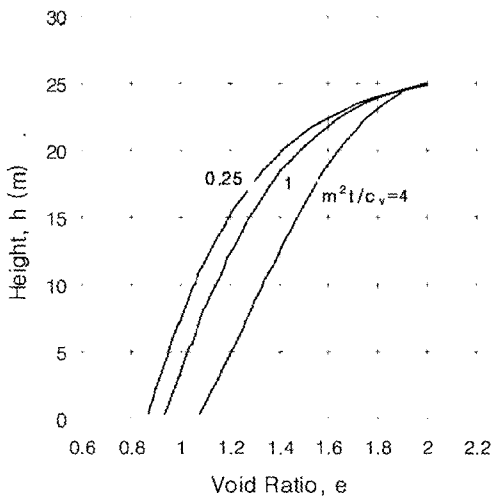


그림 6. 심도별 간극비 분포(일면배수)

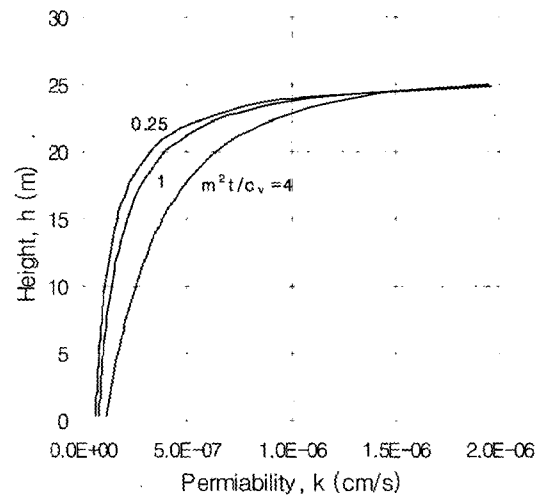


그림 7. 심도별 투수계수 분포(일면배수)

고 하부로 갈수록 작아지는 경향을 갖고 있기 때문에, 심도별 투수계수분포를 다른 것으로 고려한 본 해석방법과 일정한 것으로 가정된 Gibson(1958)해는 차이가 난다.

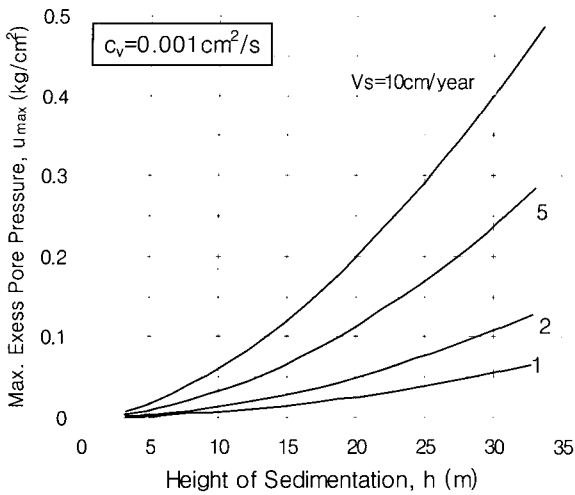
### 3.3 퇴적조건별 자중압밀해석

그림 8에는 어느 정도의 퇴적속도에서 미압밀상태가 발생하는 지를 파악하기 위하여 압밀계수  $c_v=0.0005$  및  $0.001\text{cm}^2/\text{s}$ 의 2개 조건에 대하여 퇴적속도  $v_s=0.5\sim 10\text{cm}/\text{yr}$ 의 급속퇴적조건에 대하여 자중압밀해석을 실시한 결과를 도시하였다.

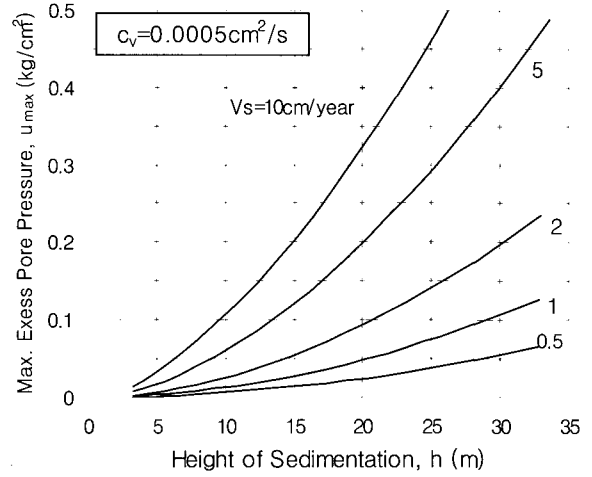
퇴적지반에 최대 잔류 과잉간극수압을 보면 흙의 압

밀계수에 반비례하고, 퇴적속도가 클수록 크며, 퇴적토층의 두께가 클수록 급격히 증가하는 특성을 보이고 있다.

낙동강 하구의 퇴적토층의 두께는 최대 30m이고 퇴적속도가  $0.29\text{cm}/\text{yr}$ 라고 보면 그림 8(b)에서 과잉간극수압이 거의 완전히 소산된 정규압밀상태에 있다고 볼 수 있다. 그러나 특수한 지역에 급속히 퇴적된 압밀계수  $0.0005\text{cm}^2/\text{s}$ 인 지반에서 퇴적토층의 두께  $h_s=10\text{m}$ 인 경우 퇴적속도가  $5\text{cm}/\text{yr}$  이상이면,  $h_s=20\text{m}$ 인 경우 퇴적속도가  $1\text{cm}/\text{yr}$  이상이면 최대 잔류 과잉간극수압이  $0.05\text{kg}/\text{cm}^2$  이상으로 미압밀상태에 있을 수 있다는 것을 알 수 있다.



(a) 압밀계수  $c_v=0.001\text{cm}^2/\text{s}$ 조건



(b) 압밀계수  $c_v=0.0005\text{cm}^2/\text{s}$ 조건

그림 8. 퇴적속도 및 퇴적높이별 자중압밀해석결과(최대 잔류 과잉간극수압)

표 1. 자중압밀해석조건 및 토질정수

항 목	퇴적기간	퇴적고(m)	압축지수, $C_c$	압밀계수, $c_v$	초기간극비, $e_0$
입력변수	22년	5~12	0.6	$1 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{s}$	2

#### 4. 실제퇴적상황의 자중압밀해석과 미압밀평가

##### 4.1 퇴적토층의 토질정수

퇴적토층의 토질정수는 표 1과 같이 5~12m 두께의 전 토층이 균일한 조건으로 보고 자중압밀해석을 실시하였다.

##### 4.2 퇴적속도 일정조건 자중압밀해석

###### 4.2.1 해석조건

22년 동안 12m가 퇴적된 현재시점을 기준으로 할 때의 퇴적속도는  $v_s' = 1,200/22 = 54.5\text{cm}/\text{yr}$  이지만 12m는 22년동안 퇴적되면서 자중압밀이 이루어진 후의 퇴적층 두께로 매년 퇴적되는 실제속도가  $v_s = 65\text{cm}/\text{yr}$ 이어야 22년 이 경과한 현시점에 퇴적층의 두께가 12m가 된다.

즉  $v_s'$ 는 자중압밀이 진행된 현 시점의 퇴적층의 두께를 퇴적기간으로 나눈 퇴적속도이고,  $v_s$ 는 매년 퇴적되는 실제 퇴적속도로 자중압밀이 이루어지지 않은 퇴적속도이다.

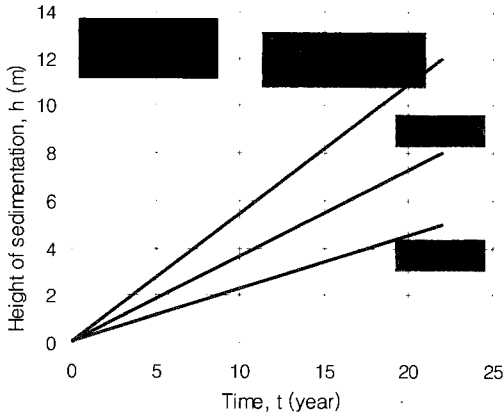
전 퇴적층의 압밀계수가  $c_v=0.001\text{cm}^2/\text{s}$ 로 동일한 가정조건에 대하여 22년 동안 ① 5m퇴적(  $v_s=28\text{cm}/\text{yr}$ ), ② 8m퇴적(  $v_s=44\text{cm}/\text{yr}$ ), ③ 12m퇴적(  $v_s=65\text{cm}/\text{yr}$ )

이 일정한 속도로 퇴적이 이루어진 조건에 대하여 자중압밀해석을 실시하였다. 퇴적토층의 두께별로 검토한 이유는 방조제 건설 후 22년 동안 급속히 퇴적된 퇴적토층의 두께는 위치별로 5~12m로 차이가 있기 때문이다.

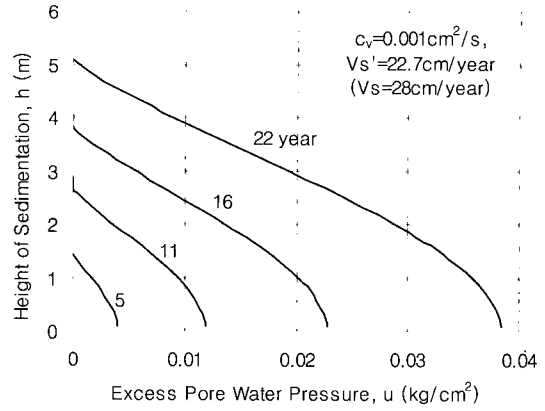
###### 4.2.2 해석결과

그림 9(a)와 같은 3가지 퇴적속도에 대한 자중압밀해석결과 퇴적진행동안의 잔류 과잉간극수압은 그림 9(b), (c) 및 (d)와 같은 분포특성을 보이고 있으며, 퇴적이 계속되어 퇴적고가 높아질수록 과잉간극수압이 급격히 증가하는 특성을 보이고 있다.

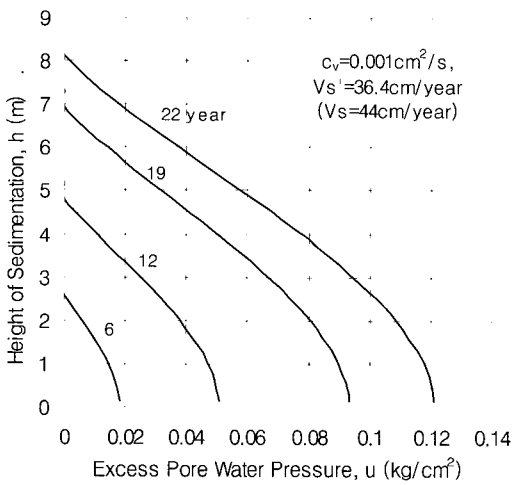
22년의 기간동안 급속퇴적층의 두께가 3~12m로 다른 경우 현재시점의 과잉간극수압분포는 그림 10(a)와 같이 퇴적층의 두께가 클수록 크며, 최대 잔류 과잉간극수압(  $u_{max}$  )은 그림 10(b)와 같이 퇴적층의 두께가 클수록 급격히 증가하며, 급속퇴적층의 두께가 5m이하인 지역은  $u_{max}=0.038\text{kg}/\text{cm}^2$ 이하로 매우 적은 값이지만, 8m는  $u_{max}=0.121\text{kg}/\text{cm}^2$ , 12m는  $u_{max}=0.287\text{kg}/\text{cm}^2$ 의 과잉간극수압이 잔류하는 미압밀상태에 있음을 알 수 있다.



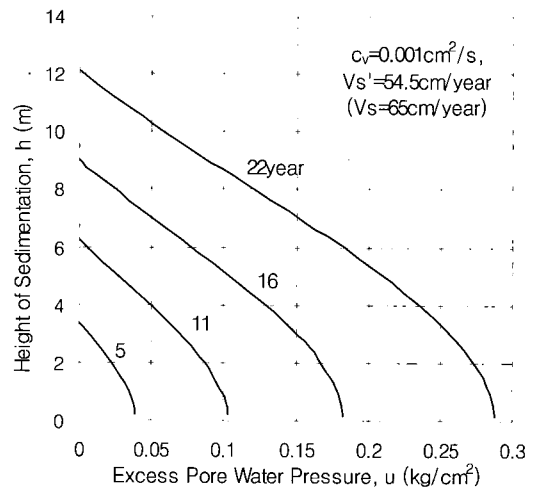
(a) 퇴적속도



(b) 과잉간극수압분포(  $v_s'=22.7\text{cm/year}$  )

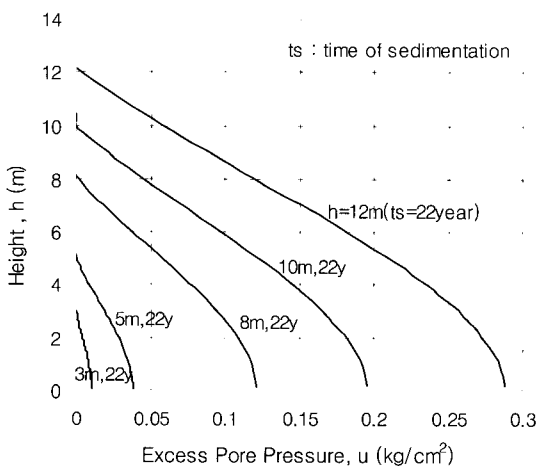


(c) 과잉간극수압분포(  $v_s'=36.4\text{cm/year}$  )

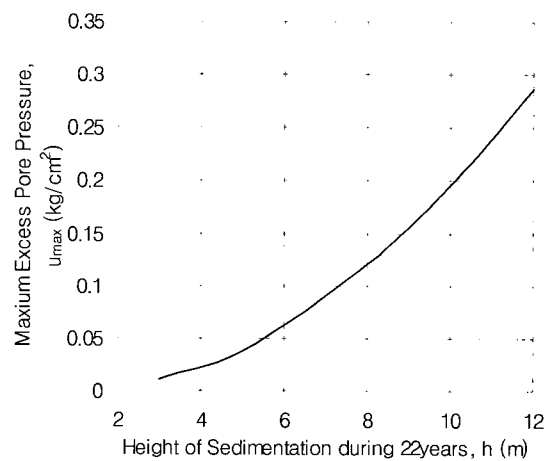


(d) 과잉간극수압분포(  $v_s'=54.5\text{cm/year}$  )

그림 9. 균질토층조건의 자중압밀해석결과



(a) 과잉간극수압분포



(b) 퇴적고별 최대 잔류 과잉간극수압관계

그림 10. 22년간 동일기간에 퇴적된 퇴적높이별 자중압밀해석결과 비교

### 4.3 퇴적속도변화조건 자중압밀해석

수집된 자료로부터 본 방조제 앞에 22년 동안 12m가 퇴적된 것만을 알고 있다. 지금까지는 22년 동안 54.5 (=1200/22)cm/yr의 매년 동일한 퇴적속도로 그림 11(a)

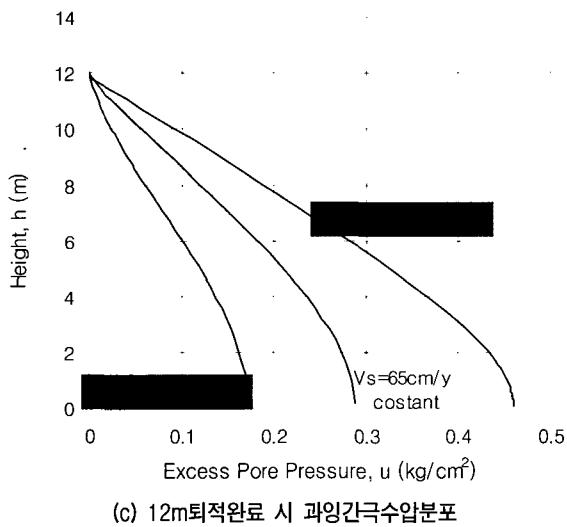
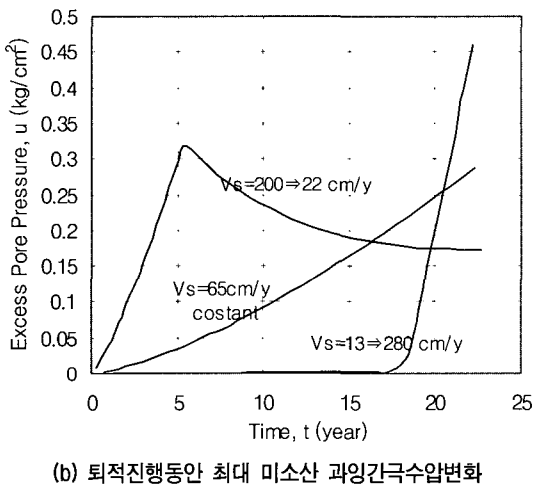
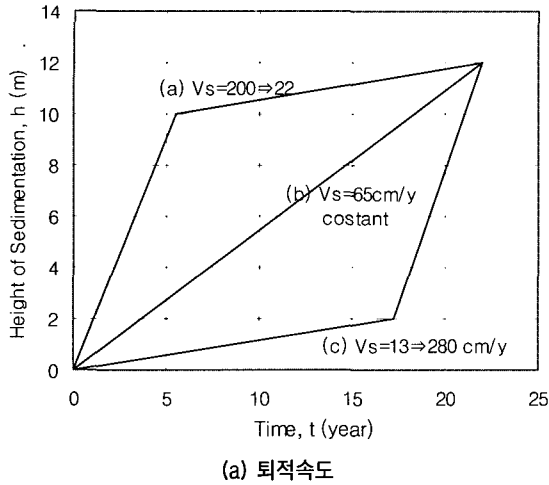


그림 11. 퇴적속도의 변화조건 별 자중압밀해석결과 비교

에서 (b)곡선으로 퇴적되었다고 가정하여 해석을 하였으나 (a)곡선과 같이 퇴적 초기에 빠르고 후기에 속도가 크게 감소한 경우와 반대로 (c)곡선과 같이 초기에 느리고 후기에 빠르게 퇴적이 이루어진 경우도 있을 수 있다. 이렇게 퇴적속도가 변화한 경우 미압밀 정도는 차이가 있을 것이다. 이를 분석하기 위하여 (a)와 (c)곡선조건에 대하여 자중압밀해석을 실시하였다.

해석결과 퇴적이 진행되는 동안의 최대과잉간극수압 ( $u_{max}$ )의 변화를 보면 그림 11(b)와 같이 퇴적속도 ( $v_s$ )가 일정한 경우(b곡선)는  $u_{max}$ 가 점진적으로 증가하지만,  $v_s$ 가 초기에 크고 후기에 작은 경우(a곡선)는  $u_{max}$ 가 급격히 발생되었다가  $v_s$ 가 느려지면  $u_{max}$ 가 감소하는 경향을 보인다. 또한  $v_s$ 가 초기에 느리고 후기에 빠른 경우(c곡선)는  $u_{max}$ 가 초기에는 매우 적게 발생되다가 후기에 급히 증가하는 특성을 보인다.

12m의 퇴적이 이루어진 현재 시점의 심도별 과잉간극수압분포를 보면 그림 11(c)와 같이 평균  $v_s$ 가 같을 지라도  $v_s$ 가 초기에 빠르고 후기에 느린 경우 보다 초기에 느리고 후기에 빠른 경우가 훨씬 더 큰 잔류 과잉간극수압이 남아있다는 것을 알 수 있다.

### 4.4 미압밀상태평가

현장에서 채취한 불교란시료에 대한 실측 간극비와 자중압밀해석으로 계산된 간극비를 비교한 결과 그림 12와 같이 유사한 관계를 보이고 있다. 또한 압밀시험의 선행 압밀압력 ( $\sigma'_c$ )과 22년동안 퇴적두께  $h_s=5, 8, 12m$ 의 자중압밀해석결과 그림 10(a)의 잔류과잉간극수압으로부터  $\sigma'_v=(\gamma'z-u)$ 식으로 구한 유효연직응력 ( $\sigma'_v$ )을

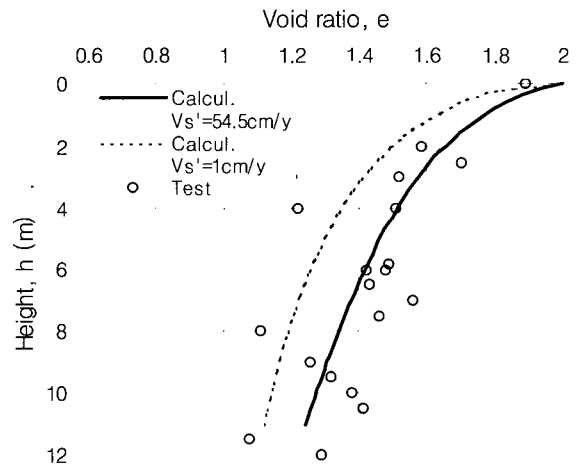


그림 12. 간극비 비교



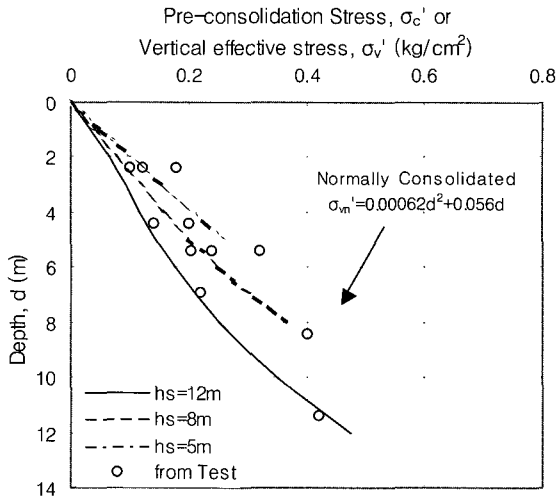


그림 13. 심도별 유효응력분포 비교

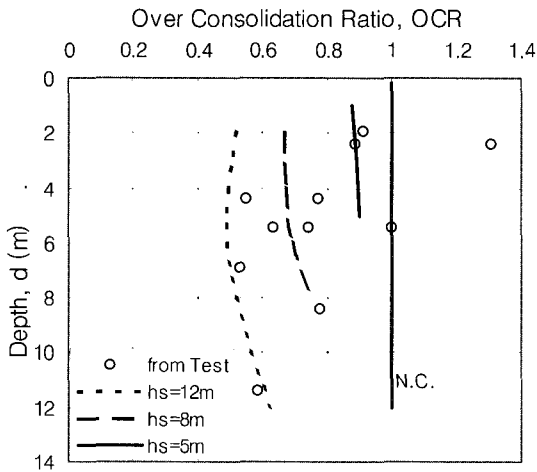


그림 14. 과압밀비 비교

비교하면 그림 13과 같다. 그림에서  $\sigma_c$ 와  $\sigma_v$ 가 정규압밀상태의 유효응력 ( $\sigma_{vm}' = \gamma' z$ )보다 적은 값을 보이고 있으며, 과압밀비 ( $OCR = \sigma_c' / \sigma_{vm}'$ )는 그림 14와 같이  $OCR=0.53 \sim 1$ 로 본 퇴적지반은 미압밀상태에 있음을 알 수 있다.

#### 4.5 매립성토 시 미압밀을 고려한 압밀침하예측

그림 10(a)의 퇴적고 12m조건인 과잉간극수압이 존재하는 미압밀상태의 급속퇴적지반위에 5m의 매립성토를 할 경우 압밀침하량을 계산한 결과 그림 15와 같이 미압밀을 고려하지 않을 경우에는 199.2cm의 침하가 발생하는 것으로 예측되는데 비해 미압밀을 고려하는 경우에는 260.8cm의 침하량이 발생하는 것으로 예측되었다. 이러한 차이는 도로공사시설기준의 허용잔류침하량 (10cm)을 훨씬 초과하는 것으로 미압밀을 고려하지 않

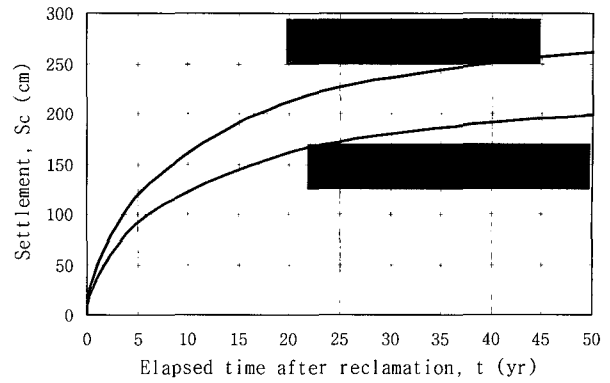


그림 15. 미압밀 고려 여부 압밀해석결과 비교

을 경우 실제 시공에 있어서 공사관리에 큰 차질을 가져올 뿐만 아니라 완공 후 추가 침하량에 의한 시설물의 파손 등이 발생하는 문제가 있다.

그러므로 최근에 퇴적환경변화에 의하여 급속히 퇴적된 간사지를 매립 개발하는 경우 미압밀의 평가와 이를 고려한 압밀해석이 필요하다는 것을 알 수 있다.

### 5. 결론

퇴적속도변화, 지층변화 등의 퇴적환경을 고려할 수 있는 자중압밀해석방법을 개발하고, 자중압밀해석을 통하여 퇴적환경이 미압밀상태에 미치는 영향을 분석하였다. 또한 방조제 앞에 급속히 형성된 간사지의 지형측량자료 및 토질조사시험과 자중압밀해석을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 우리나라 서남해안의 평균퇴적속도는  $v_s' = 1\text{cm/yr}$  미만인 것으로 보면, 대부분의 해성퇴적토층은 정규압밀상태에 있다. 그러나 퇴적토층의 두께가  $h_s = 10\text{m}$ 와  $h_s = 20\text{m}$ 일 때, 각각  $v_s' = 5\text{cm/yr}$  이상 및  $v_s' = 1\text{cm/yr}$  이상이면 미압밀상태의 가능성이 높다는 것을 알 수 있었다.
- (2) 전 퇴적기간동안 퇴적두께가 같을지라도 퇴적속도가 초기에 빠르고 후기에 느린 경우 보다 초기에 느리고 후기에 빠른 경우가 더 큰 미소산 과잉간극수압이 존재하며, 그 차이가 매우 크므로, 미압밀 정도를 정확히 평가하기 위하여 전 퇴적기간동안 퇴적속도의 변화를 정확히 아는 것이 필요하다.
- (3) 남양방조제 건설 후 22년 동안 방조제 앞에 두께 5~12m가 급속히 퇴적되었으며, 자중압밀해석결과 퇴적두께가 5m이하인 경우  $u_{\max} = 0.038\text{kg/cm}^2$  이하이

지만, 8m는  $u_{max}=0.121\text{kg/cm}^2$ , 12m는  $u_{max}=0.287\text{kg/cm}^2$ 이 잔류하는 것으로 해석되었으며, 비교란시료에 대한 압밀시험의 과압밀비가 0.53~1로 본 급속퇴적지반은 미압밀상태에 있음을 확인하였다.

- (4) 미압밀상태의 간석지의 압밀침하량은 매우 크므로, 남양방조제 앞 간석지와 같이 최근에 빠른 속도로 새롭게 형성된 간석지를 매립하는 경우 미압밀 여부의 평가와 미압밀을 고려한 압밀해석이 필요하다는 결론을 얻었다.

## 참 고 문 헌

1. 김현태(1998), “스미어존내 투수성변화와 웰지향을 고려한 연직 배수공법의 압밀해석”, 박사학위논문, 동국대학교, pp.8-50.
2. 백경중(1998), “낙동강하구 및 인접해안의 퇴적환경이 해성퇴적층의 공학적특성에 미치는 영향”, 박사학위논문, 동국대학교, pp.120-124.
3. Brand, E.W. and Brenner, R.P.(1981), “Soft Clay Engineering”, *Elsevier Scientific Publishing Company*, pps.159-238, 311-317, 537-544.
4. Cox, J.B.(1968), “A Review of the Engineering Characteristics of the Recent Marine Clays in South East Asia”, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand, Research Report NO.6, pp.20-146.
5. Gibson, R.E.(1958), “The Progress of Consolidation in a Clay Layer Increasing in Thickness with Time”, *Geotechnique*, Vol.8, pp.171-182.
6. Sangrey, D.A.(1977), “Marine Geotechnology State of the Art, Marine Geotechnology”, Vol.2, Marine Slope Stability Volume, pp.45-80.
7. Nakase, A.(1984), “해양土質”, 日本土木學會, pps.11-12, 119-142.

(접수일자 2003. 2. 18, 심사완료일 2003. 9. 15)