

## 수평배수재가 포설된 준설매립지반의 압밀해석(II) - 현장설치조건에 의한 개량효율 분석 -

### Consolidation Analysis of Dredged Fill Ground Installed with Horizontal Drains (II) - Improvement Efficiency Analysis with Field Installation Conditions -

장 연 수<sup>1</sup> Jang, Yeon-Soo  
박 정 용<sup>2</sup> Park, Chung-Yong  
김 수 삼<sup>3</sup> Kim, Soo-Sam

#### Abstract

The gravitational consolidation behavior of the dredged ground with horizontal drains is analyzed using a finite difference program developed for self-weight consolidation analysis with horizontal drains. The influence of area and direction of horizontal drains on the consolidation time and settlement is analyzed. Various field conditions such as the non-treated ground below horizontal drain installed ground, the accumulation of drained water at the end of horizontal drains, are also included in the analyses. It was found that a slight decrease of consolidation time is resulted in the twice increase of the sectional area of drains. Installing drains vertically can reduce the consolidation time more significantly than installing drains horizontally. The analyses showed quantitatively that the non-treated ground below the horizontal drain installed ground has much influence on long term consolidation settlement, and the accumulation of hydraulic head at the end of horizontal drains results in the increase of consolidation time and insufficient consolidation.

#### 요 지

수평배수재가 설치된 준설매립지반의 중력에 의한 압밀 거동을 수평배수 자중압밀해석을 위하여 개발된 유한차분 프로그램을 이용하여 해석하였다. 수평배수재 단면의 크기와 수평배수재의 설치단면의 방향(수직/수평)이 대상지반의 압밀에 미치는 영향을 분석하였다. 또한 시공된 지반에서 발생 가능한 요인들, 즉 하부 무처리층의 존재, 그리고 수평배수재 단부에서의 수두적체 등이 압밀속도와 침하량에 미치는 영향도 분석하였다. 그 결과, 수평배수재의 단면적을 2배로 증가하여도 압밀 소요시간이 미량 감소하는데 그쳤으나, 수평배수재를 수직방향으로 설치한 경우 수평방향 설치시에 비하여 압밀소요 시간이 매우 감소하는 것으로 평가되었다. 해석결과로 부터 하부 무처리층의 영향이 처리지반의 장기 침하에 미치는 영향이 크며, 배수재 단부에 발생하는 수두적체는 압밀시간 증가와 미진한 압밀효과를 초래하는 것을 정량적으로 알 수 있었다.

**Keywords :** Consolidation time, Dredged fill, Horizontal drain, Hydraulic head accumulation, Improvement efficiency, Installation direction, Settlement

1 정희원, 동국대학교 토목환경공학과 교수 (Member, Prof. of Dept. of Civil and Environmental Engr., Dongguk Univ, ysjang@dongguk.edu)

2 정희원, 삼보기술단 과장 (Member, Manager, Sam-Bo Engr.)

3 정희원, 한양대학교 토목공학과 교수 (Member, Prof. of Dept. of Civil Engr., Hanyang Univ.)

\* 본 논문에 대한 토의를 원하는 회원은 2006년 6월 30일까지 그 내용을 학회로 보내주시기 바랍니다. 저자의 검토 내용과 함께 논문집에 게재하여 드립니다.

## 1. 서론

수평배수공법은 고풍수비이고 지내력이 거의 없는 초연약 준설풍점토의 표층안정처리 대책공법으로서, 준설풍 투기된 매립지반에 배수재를 수평으로 매설하여 중력 혹은 진공압에 의해 간극수의 소산을 촉진시키며, 지반의 전단강도를 증가시키는 지반 개량공법이다. 현장에 수평배수재가 설치된 경우에는 지중 압밀뿐만 아니라, 배수재 부근에서 투수와 침투압에 의해 압밀 침하를 촉진시키게 되는데 배수재에 대한 효율적이고, 경제적인 설계를 하기 위해서 자중에 의한 압밀 거동과 배수재 설치로 인한 침투압 효과를 모두 포함할 수 있는 해석방법이 필요하다. 본 연구에서는 수평배수재를 포함한 준설풍점토층에 사용될 수 있는 유한차분 시간-침하량 해석프로그램을 이용하여(박정용, 2002) 수평배수재가 타설되는 현장에서 나타나는 다양한 조건들이 대상지반의 압밀에 미치는 영향을 파악하고자 하였다.

초연약 준설풍매립지반 개량을 위한 수평배수공법의 실제 현장시험에 대한 연구는 주로 일본에서 많이 진행되었다. 渡義治 등(1986)은 초연약 점성토지반 내에 배수재를 수평으로 매설하고 배수재의 선단에서 진공압을 작용시킨 수평배수재공법의 초연약지반에서의 적용성을 조사하기 위하여 현장시험을 실시하였다. 新畠博 등(1988)은 준설풍 토입완료 후 약 6개월이 지난 후의 일본 大分 공항매립지에서 현장시험시공을 실시하여 수평배수재 매설에 관한 시공성과 진공압밀에 의한 개량효과를 파악하였다. 대상지반은 준설풍 토입완료 후 약 6개월이 지난 초연약지반으로 50m 길이의 배수재를 0.7m 간격으로 정방향 배치하여 40개(4단×10열)를 수평으로 매설하였으며, 최상부의 배수재는 지표로부터 1.0m 깊이에 매설되었다. 新畠博 등(1990)은 함수비 300%~600%의 슬러리 상태 폐양금 처분지에서 초연약지반의 개량으로서 수평배수공법의 적용성을 시험하여 증명하였으며 吉崎浩二 등(1991) 일본 후쿠오카시에 위치한 曲淵댐의 노후화가 진행되었고 대량의 토사가 유입되어 댐체체의 개량을 실시함과 동시에 댐의 호저에 퇴적된 연약한 점성토를 준설풍 처분할 목적으로 처리장 2개소를 축조하고 이 처리장으로 공기 압송된 댐 퇴적토에 수평배수재를 설치하여 시험을 실시하였다.

준설풍매립지반에 대한 수평배수공법의 현장 적용성에 대한 연구결과를 요약하면, 대상 토질의 대부분은 액성한계가 높은 해성점토로서 시험시공시의 초기함수비는 액성한계의 1.5~2.0배를 갖는 약 200~600%정도였고

매설간격을 70cm~150cm 정도로 매설하였을 때 개량 공사기간은 약 1~2개월 정도로서 가장 효과적인 것으로 나타났다. 이에 따라 매립처분지에 투입된 점성토를 단기간에 압밀침하시켜 처분지내에 보다 많은 준설풍을 투입하는 것이 가능하였으며, 재투입한 점성토량에 상당한 성토량을 저감하고 동시에 콘관입시험결과 소정의 강도증가효과를 보여 수평배수공법이 표층개량에 효과적이라는 것을 알 수 있었다.

본 연구에서 사용한 수평배수재가 설치된 준설풍매립지반의 압밀 거동을 예측하기 위해 수평배수공법 해석을 위한 압밀방정식은 Zhao(1989)의 3차원 유한변형률 이론을 사용하였다. 수평배수재 단면의 크기와 수평배수재의 설치단면의 방향(수직/수평)이 대상지반의 압밀에 미치는 영향을 비롯하여, 수평배수재가 시공된 현장에서 대상지반의 압밀속도와 침하량에 영향을 주는 수평배수재 하부 무처리층과 수평배수재 단부의 수두적체가 대상지반의 압밀에 주는 영향에 대한 해석을 수행하였다.

## 2. 적용 이론

자중에 의한 압밀과 수평배수재 설치로 인한 압밀촉진 효과를 모두 고려할 수 있도록 3차원 유한변형률 압밀식(식 (1), Zhao, 1989)을 지배방정식으로 사용하였다. 개발된 프로그램의 지배방정식과 경계조건에 대한 차분식의 구성은 박정용 등(2005)에 수록하였으므로 여기에서는 그 개요만을 소개한다.

$$\begin{aligned} \frac{de}{dt} = & (\gamma_s - \gamma_w) g \lambda \frac{\partial e}{\partial z} + g \frac{\partial^2 e}{\partial z^2} \\ & + \frac{(1+e_0)}{\gamma_w \lambda} \left[ \frac{1}{e-e_\infty} \frac{dk(e)}{dx} \frac{de}{dx} - \frac{k(e)}{(e-e_\infty)^2} \left( \frac{de}{dx} \right)^2 + \frac{k(e)}{(e-e_\infty)} \frac{d^2 e}{dx^2} \right] \\ & + \frac{(1+e_0)}{\gamma_w \lambda} \left[ \frac{1}{e-e_\infty} \frac{dk(e)}{dy} \frac{de}{dy} - \frac{k(e)}{(e-e_\infty)^2} \left( \frac{de}{dy} \right)^2 + \frac{k(e)}{(e-e_\infty)} \frac{d^2 e}{dy^2} \right] \end{aligned} \quad (1)$$

여기서,  $e$  : 시간  $t$  에서의 간극비

$e_0$  : 토층 깊이별 초기 간극비

$e_\infty$  : 압밀 종료시의 간극비

$z$  : 축소 좌표계,  $\gamma_s$  : 흡입자의 단위중량

$\gamma_w$  : 간극수의 단위중량,  $k$  : 투수계수

$\lambda$  : 선형상수(=  $-\frac{d}{de} \left( \frac{de}{ds'} \right)$ )

$g$ : 유한변형률 압밀계수(=  $-\frac{k(e)}{\gamma_w} \frac{1}{1+e} \frac{d\sigma'_z}{de}$ )

이다.

## 2.1 대상 단면의 초기 및 경계조건

수평배수재가 설치된 준설패립지반에 대한 초기조건과 해석대상요소의 경계부에 대한 경계조건들을 그림 1과 같이 임의의 위치에 다층으로 설치된 수평배수재에 대하여 다음과 같이 설정한다.

### 가) 초기조건

준설토의 투기 후 패립지반에서 자중압밀이 시작되기 전에 모든 토층은 동일한 간극비를 갖는 것으로 가정하여 임의지점의 초기 간극비는 다음과 같다.

$$e(x, y, z)_{t=0} = e_{00} \quad (2)$$

### 나) 경계조건

다수의 배수재가 임의의 위치에 설치된 직육면체 6개의 면에서의 경계조건은 다음과 같다.

$$\text{지표면} : e(x, y, 0) = e_{00} \quad (3)$$

전면, 측면, 후면부 : 투수가 일어나지 않는 것으로 가정

$$\text{전면} : \frac{\partial e(x, 0, z)}{\partial y} = 0 \quad (4)$$

$$\text{후면} : \frac{\partial e(x, a, z)}{\partial y} = 0 \quad (5)$$

$$\text{측면} : \frac{\partial e(0, y, z)}{\partial x} = 0 \quad (6)$$

$$\text{우측면} : \frac{\partial e(b, y, z)}{\partial x} = 0 \quad (7)$$

하부 경계면 : 흙과 간극수의 혼합물에서의 평형조건과 수정된 Darcy 법칙을 사용하여 다음과 같은 식으로 표현된다.

$$\frac{\partial e(x, y, L)}{\partial z} = -\lambda(\gamma_s - \gamma_w)(e - e_{\infty}) \quad (8)$$

## 2.2 수평배수재의 경계조건

배수재 설치후 그 단부에서 수압을 0으로 유지시키고, 수평배수재의 투수계수가 무한하다고 가정하면 수평배수재 설치후 자중에 의한 유효응력 증가량과 침투압에 의한 유효응력 증가량을 더한 유효응력 증가가 수평배수재에서 발생하게 된다. 해석 단면 내에 다수의 수평배수재가 임의의 위치에 설치된 경우의 간극비에 대한 경계조건을 다음과 같이 설정하였다.

$$e(x_n, y, z_n) = (e_{00} - e_{\infty}) \exp[-\lambda(\gamma_s + e_{00} \cdot \gamma_w) z_n] + e_{\infty} \quad (9)$$

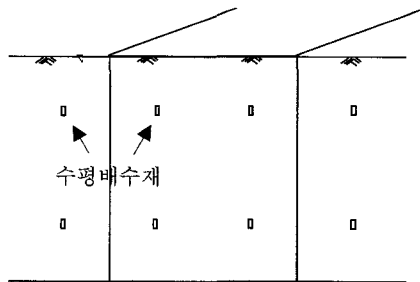
여기서,  $x_n, z_n$  : 수평배수재 각각의 설치 좌표(축소 좌표계)이다.

### 2.2.1 수평배수재가 임의의 면적을 갖는 경우

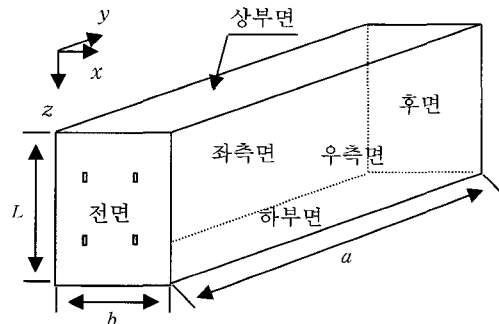
수평배수재를 선요소가 아닌 임의의 면적을 갖는 요소인 경우에는 유한차분 해석시 해석대상단면의 mesh를 잘게 나누고 각각의 배수재의 외주면에 해당되는 절점들에 대한 경계조건식과 차분식을 설정하였다.

### 2.2.2 수평배수재 단부에 수두적체가 발생할 경우

배수재 단부에서 유출수의 처리지연으로 인해 수두적체가 발생하여 간극수압이 0으로 유지되지 못하고  $h_w$ 만큼 적체된 수두가 배수재에 작용할 경우에는 이로 인해 배수재와 흙의 접촉면에서  $h_w \cdot \gamma_w$ 에 해당되는 침투압이 감소하게 된다. 따라서 이 경우 수평배수재에서의 경계조건은 식 (10)을 사용하였다.



(a) 수평배수재 설치도



(b) 해석대상 요소

그림 1. 준설패립지반에 설치된 수평배수재 개요도

$$e(x_n, y, z_n) = (e_{00} - e_{\infty}) \exp[-\lambda \{(\gamma_s + e_{00} \cdot \gamma_w) z_n - h_w \cdot \gamma_w\}] + e_{\infty} \quad (10)$$

여기서,  $h_w$  : 수평배수재 단부의 적체수두이다.

### 2.3 지반의 시간-침하량 관계 및 평균압밀도 산정

시간  $t$ 일 때 지표면의 임의 위치에서의 침하량은 다음 식과 같다.

$$S(x, y)_{t=t} = \int_0^L [e(x, y, z)_{t=0} - e(x, y, z)_{t=t}] dz \quad (11)$$

여기서,  $L$  : 압밀층의 두께(축소좌표계) 이다.

임의 시간에서의 지표면의 평균 침하량  $S_{ave}(t)$ 를 산정하기 위한 식은 식 (12)와 같으며 평균압밀도는 시간  $t$ 에서의 침하량과 최종 침하량의 비로서 식 (13)과 같이 나타내었다.

$$S_{ave}(t) = \frac{1}{a \cdot b} \int_0^L \int_0^b \int_0^a [e(x, y, z)_{t=0} - e(x, y, z)_{t=t}] dx dy dz \quad (12)$$

$$U(t) = \frac{S(x, y)_{t=t}}{S(x, y)_{t=\infty}} \quad (13)$$

여기서,  $a$  : 해석단면의  $x$  방향의 길이,  $b$  : 해석단면의  $y$  방향의 길이,  $S(x, y)_{t=\infty}$  :  $t = \infty$ 에서의 최종 침하량이다.

### 3. 수평배수공법의 압밀효과 분석

수평배수재에 의한 압밀촉진 효과를 규명하기 위하여 외재적 유한차분법인 Dufort-Fankel 방법을 적용한 수치해석 프로그램을 개발하여 해석을 실시하였다. 수치해석에 사용된 입력데이터는 표 1과 같다. 사용프로그램의 검증과 데이터 구축을 위하여 사용한 시험 및 해석과정은 박정용 등(2005)에 수록하였다.

#### 3.1 수평배수재의 단면적과 타설방향을 고려한 개량효과 분석

수평배수재의 면적을 고려한 경우, 수평배수재 단면의 설치방향 및 그 단면적이 준설매립 지반의 압밀 거동에 미치는 영향을 파악하기 위하여, 수평배수재를 그림 2에 보인 바와 같이 단면의 설치방향과 면적을 변화시켜 수치해석을 실시하였다.

수치해석시 해석 대상 단면에 대해 mesh를 잘게 나누고, 수평배수재에서 해당되는 경계부의 외주면의 각 절점들에 대해서 식 (9)와 같은 경계조건을 설정해 주었다.

배수재 설치방향과 배수재 외주면의 해석 절점수에 따른 해석을 실시하여 해석단면의 배수재 설치 상부 지표중앙에서 도출한 시간-침하 곡선을 그림 3에 도시하고, 표 2에 분석 결과를 정리하였다.

그 결과 수평배수재의 해석 절점수 즉, 단면적이 증가할수록 압밀 속도가 다소 증가하였으나 그 효과는 크지 않았다. 수평배수재의 단면을 수직방향으로 설치한 경우는 압밀도 90%에 도달하는데 소요되는 시간은 수평

표 1. 수치해석에 사용된 입력데이터

토층 초기높이 $h_0$ (m)	단위중량 $\gamma_s$ (kN/m <sup>3</sup> )	초기 함수비 $w_0$ (%)	초기 간극비 $e_{00}$	최종 간극비 $e_{\infty}$	유한변형률 압밀계수 $g$ (m <sup>2</sup> /day)	선형상수 $\lambda$ (m <sup>2</sup> /kN)
0.8	26.7	220	5.874	0.772	0.01	0.087
투수계수 $k(e) = 0.07e^3 - 0.25e^2 + 0.28e - 0.11$						

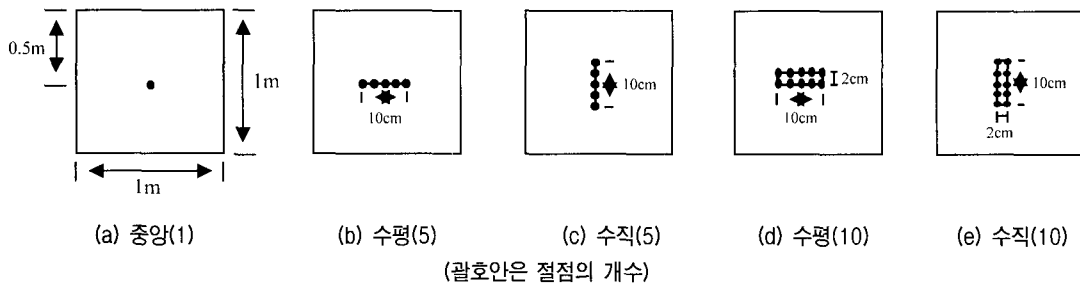


그림 2. 수평배수재의 설치방향과 해석 절점수에 따른 해석요소 단면도

표 2. 수평배수재의 설치방향과 해석 절점수에 따른 압밀도 비교

수평배수재의 단면설치방향	수평배수재의 해석 절점수	시간(일)		
		압밀도, 30%	압밀도, 60%	압밀도, 90%
수평방향	5개	14.2	43.9	122.9
	10개	11.0	36.1	113.9
수직방향	5개	7.8	29.4	101.1
	10개	7.5	28.8	99.6

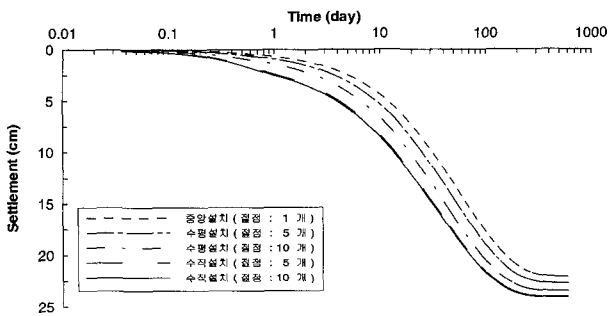


그림 3. 수평배수재의 설치방향과 해석 절점수에 따른 시간-침하 곡선

방향 설치 시와 비교하여 약 15%이상 감소하여 배수재 단면적의 증가보다 효과가 큰 것으로 나타났다. 이는 수평 배수재를 수직방향으로 설치시 수평방향 설치에 비해 침투압의 영향이 보다 더 증가하여 압밀시간을 단축시킨 것으로 평가된다. 따라서 준설패립 지반에 수평배수재의 단면을 수직방향으로 타설하는 것이 더 효율적인 설계방법으로 사료된다.

#### 4. 수평배수재의 현장설치조건을 고려한 수치해석

준설투기된 점성토 매립지반의 표층부 안정처리를 위한 수평배수공법 현장적용시, 배수재가 설치된 수평 배수층 하부에 지중압밀에만 의존하는 무처리층이 존재할 경우가 있다. 또한 수평배수재의 단부에 수압이 0이 되어야 자유배수 즉, 중력배수에 의해 배수재와 흙의 접촉면에서 설계시의 침투압이 발생할 수 있는데, 만일 단부에서 유출수의 처리 지연으로 인한 수두적체가 발생할 경우 배수재에서의 침투압을 경감시킬 수도 있다.

수평배수재가 시공된 현장의 이러한 여러 요인들이 압밀속도와 침하량에 영향을 주게 되므로, 수평배수층과 무처리층을 연계한 수치해석과 수평배수재의 단부의 수두적체 등을 고려한 수치해석을 실시하여 그 영향을 분석하였다.

##### 4.1 수평배수층과 무처리층의 상호 연계

수평배수재가 설치된 초연약 점성토 지반에 그림 4와

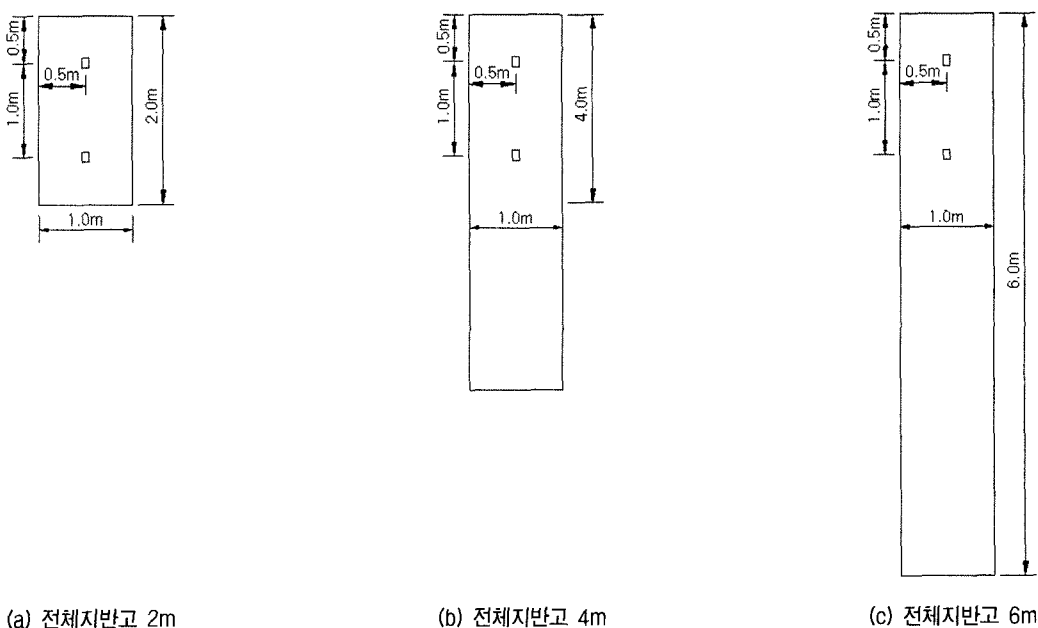


그림 4. 매립지반의 지반고의 변화에 따른 수평배수재 설치 단면도

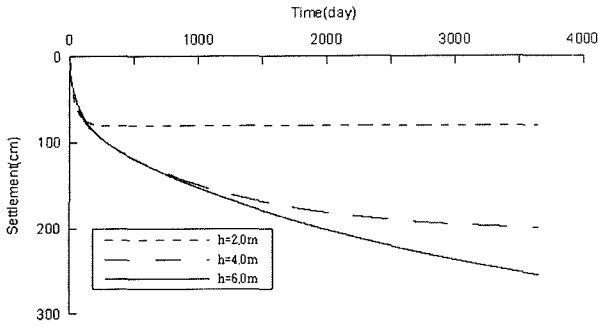


그림 5. 지반고의 변화에 따른 시간-침하 곡선

같이 수평배수재를 지표면에서 0.5m, 1.5m의 깊이에 설치하고, 무처리층을 포함한 전체 지반의 깊이를 2m, 4m, 6m로 변화시켜가며 수평배수층과 무처리층을 상호 연계한 해석을 실시하였다.

그림 5는 준설패립지반의 지반고에 따른 시간-침하곡선을 나타낸 것인데, 그림에서 볼 수 있듯이 설치 후 약 130일까지는 침하속도의 차이가 거의 없었으나, 그 후에는 시간의 경과와 함께 침하량의 차이가 점차적으로 증가하는 경향을 보였다. 이는 압밀초기단계에서 수평배수재에서 발생하는 침투압이 지반의 압밀속도를 주도하기 때문에 지반고의 변화와 관계없이 압밀거동이 유사한 것으로 분석되었다. 하지만 시간이 경과할수록 수평배수층 하부에 존재하는 무처리층에서 지속적으로

발생하는 자중압밀이 지반거동에 지배적인 영향을 끼치는 것으로 평가되었다.

그림 6에서 볼 수 있듯이 지반의 깊이 2m까지는 시간에 따른 깊이별 간극비 변화가 전체지반고와 무관하게 유사한 것으로 나타났다. 따라서 수평배수재에 의한 안정 처리층의 깊이는 최하부 배수재 위치에 배수재 설치 간격의 절반만큼을 더한 깊이까지를 안정 처리층으로 추정할 수 있는 것으로 평가되었다. 그러나 지반의 장기적인 전체 침하량 산정시에는 안정 처리층에 대해서가 아니라 전체 지반고에 대하여 산정해야 함을 알 수 있었다.

#### 4.2 수평배수재 단부에 발생하는 수두적체 고려시

준설패립지반에 설치된 수평배수재의 단부에서 유출수의 처리지연으로 인한 수두적체가 발생할 경우, 지반의 압밀거동을 파악하기 위하여 그림 7과 같이 지반고를 3m로 가정하고, 수평배수재의 단부에 수두적체가  $h_w$ 만큼 발생할 경우에 대해 수치해석을 실시하였다.

수평배수재에서의 경계조건은 수두적체에 의해 배수재와 흙의 접촉면에서  $h_w \cdot \gamma_w$ 만큼의 침투압이 감소하므로 식 (10)을 적용한다.

수평배수재 단부의 적체수두에 따른 시간-침하 곡선을 그림 8에 나타내었는데 압밀도 90%에 도달하는 시

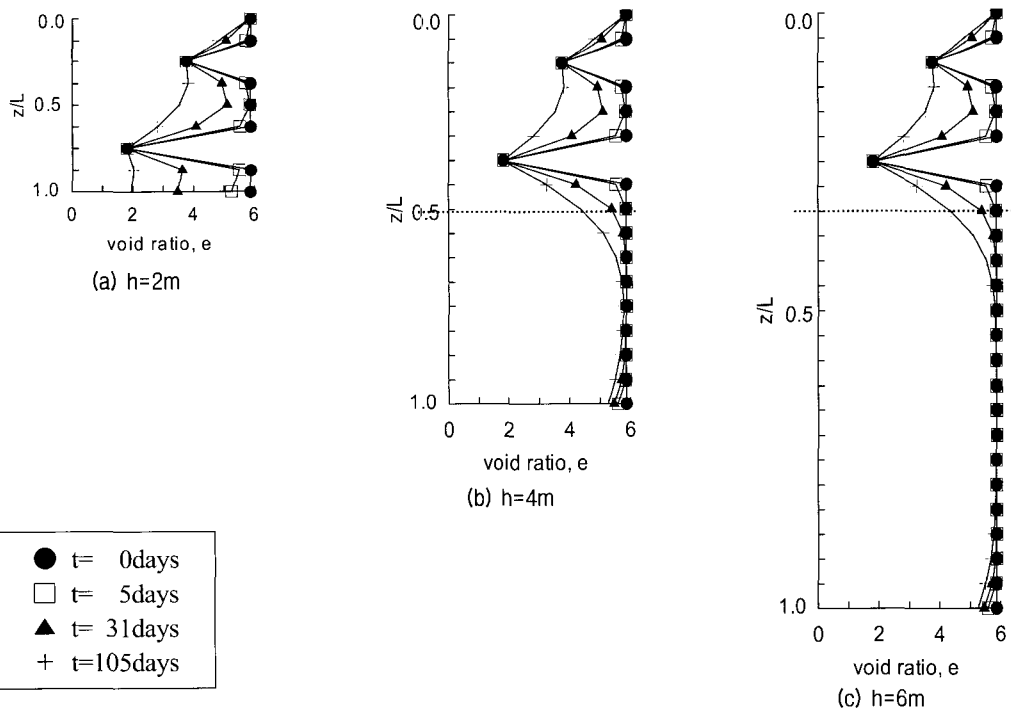


그림 6. 지반고의 변화에 따른 깊이별 간극비 분포

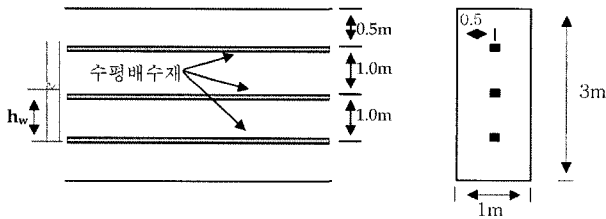


그림 7. 수평배수재 단부에 수두적체가 발생한 경우의 단면도

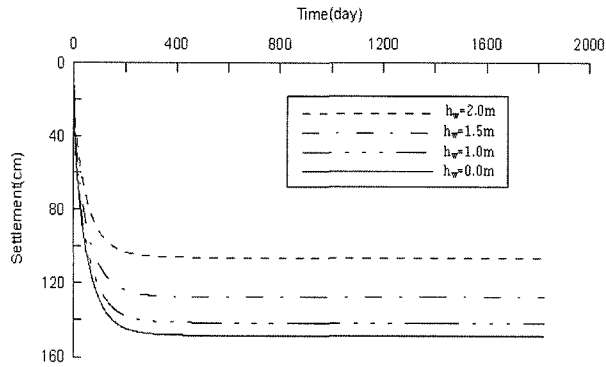


그림 8. 수평배수재 설치깊이 2.5m에서의 수두적체( $h_w$ )에 따른 시간-침하 곡선

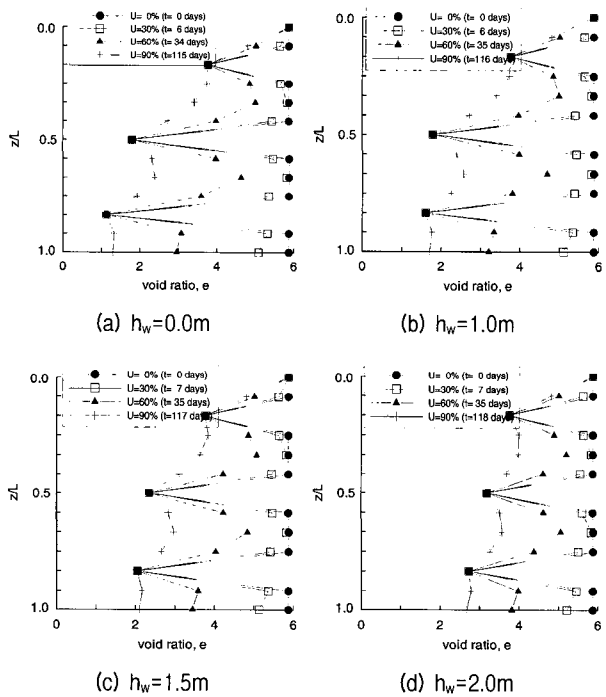


그림 9. 수평배수재 단부의 적체수두에 따른 깊이별 간극비 변화

간은 수두적체 발생여부와 큰 상관성이 없었으나, 배수재 내의 간극수압이 증가함으로 인하여 배수로인한 유효응력증가가 줄어들음으로 인하여 최종침하량에 있어서는 수두적체가 1.0m, 2.0m 발생한 경우는 수두적체가 없는 경우에 비해 각각 5%, 28% 감소하였다.

그림 9는 수평배수재 단부에서의 적체수두에 따른,

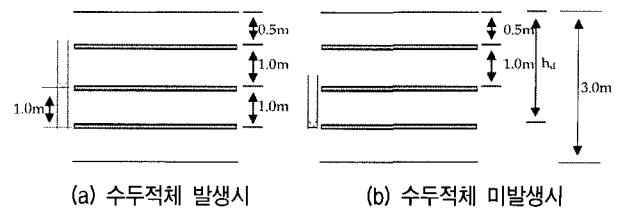


그림 10. 수두적체 발생시와 유사한 수두적체 미발생시의 배수재 설치 깊이 추정

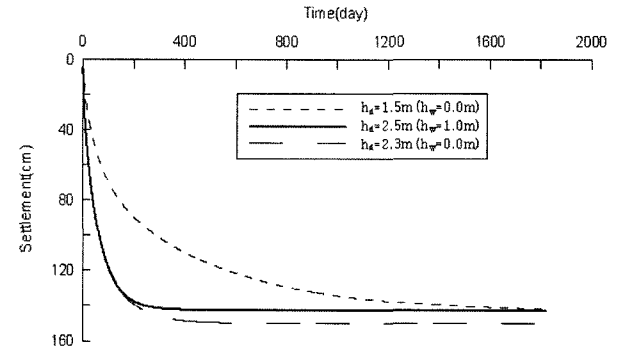


그림 11. 수평배수재 설치깊이와 수두적체에 따른 시간-침하 곡선

$x=0.5m$ 에서의 깊이별 간극비 변화를 나타낸 것이다. 수두적체가 1.0m, 2.0m 발생한 경우는 수두적체가 발생하지 않은 경우에 비해 배수재 근방에서의 간극비가 각각 1.4배, 2.4배 큰 것으로 나타나 배수재에서의 침투압효과를 매우 저하시킨 것으로 평가되었다.

수평배수재 단부에 수두적체가 발생한 경우와 유사한 시간-침하량 곡선을 보이는 수두적체 미발생시의 배수재 설치깊이를 추정하기 위하여 그림 10에 보인 바와 같은 두 경우에 대해 해석을 실시하였다.

그림 11에서 볼 수 있듯이 수평배수재가 2.5m 깊이까지 설치되고 그 단부에서 수두적체가 1.0m 발생한 경우는 173일이 경과한 시점까지는, 최하부에 설치된 배수재 설치깊이가 2.3m이고 수두적체가 없는 경우와 비슷하였으며, 최종침하량에 있어서는 설치깊이 1.5m이며 수두적체가 없는 경우와 유사하였다. 그러므로 3층으로 설치한 수평배수재 단부에 수두적체가 발생한 경우는 초기설치 심도보다 더 얇게 시공한 결과를 초래하므로 비효율적인 것으로 평가되며, 따라서 이를 방지하기 위해서는 수평배수재 단부의 적체수두가 발생하지 않도록 하여야 함을 알 수 있다.

## 5. 결론

수평배수재가 설치된 초연약 준설 매립 지반의 압밀

거동을 해석하기 위하여 1차원 자중압밀 이론을 3차원으로 확장시킨 Zhao(1989)의 3차원 유한 변형 압밀이론을 사용하여 수평배수재의 단면적의 크기와 방향, 수평배수층과 무처리층을 상호 연계한 경우, 그리고 수평배수재 단부에 수두적체가 발생한 경우에 대해 해석을 실시하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 수평배수재의 단면적을 고려하여 수치해석을 실시한 결과, 수평배수재의 단면적이 증가하면 압밀속도가 다소 증가하나 그 효과는 크지 않은 것으로 나타났다. 수평배수재의 단면을 수직방향으로 설치한 경우 압밀도 90%에 도달하는데 소요되는 시간은 수평방향 설치시와 비교하여 약 15% 감소하였다. 이는 수평배수재를 수직방향으로 설치시 수평방향 설치에 비해 침투압의 영향이 보다 더 증가하여 압밀 시간을 단축시키기 때문으로 평가된다. 따라서 준설매립 지반에 수평배수재 설치시 그 단면을 수직방향으로 설치하는 것이 합리적인 설계방법으로 나타났다.
- (2) 수평배수층과 무처리층을 상호 연계하여 해석한 결과, 수평배수재에 의한 안정 처리층의 깊이는 최하부 배수재 위치에 배수재 설치 간격의 절반 만큼을 더한 깊이까지를 표층의 안정 처리층으로 추정할 수 있는 것으로 평가된다. 그러나 지반의 장기적인 침하량 산정시에는 안정 처리층에 대해서가 아니라 자중압밀이 발생하는 무처리층을 포함한 전체 지반

고에 대하여 산정해야 할 것이다.

- (3) 수평배수재 단부의 적체수두를 고려한 수치해석 결과, 수두적체가 1.0m, 2.0m 발생한 경우는 수두적체가 존재하지 않는 경우에 비해 침투압의 감소와 배수재내의 간극수압증가로 인한 유효응력의 감소로 인하여 배수재 근처에서 간극비가 각각 1.4배, 2.4배 큰 것으로 나타났으며, 최종침하량은 각각 5%, 28% 감소하였다. 따라서 수평배수재 단부에 발생한 수두적체는 지반의 표층안정처리에 비효율적 결과를 초래하므로 수평배수재 시공 후 그 단부의 수두를 0으로 유지시켜야 하는 것으로 나타났다.

## 참 고 문 헌

1. 박정용 (2002), 수평배수재의 통수특성과 압밀해석에 관한 연구, 동국대학교 박사학위논문, 176p.
2. 박정용, 장연수, 박정순 (2005), "수평배수재가 포설된 준설매립지반의 압밀해석(I) - 프로그램 개발 및 검증 -", 한국지반공학회논문집, 제21권, 제10호, pp.27-39.
3. 渡義治, 新舍博, 林健太郎 (1985), "水平ドレーン材を利用した真空壓密工法に關する基礎 實驗", 五洋建設(株), Vol.14, pp.137-142.
4. 新舍博, 松長作馬, 渡義治, 佐勝秀鍾 (1988), "水平ドレーンを利用した真空壓密工法の開發に關する研究(その3)-大分空港埋立地における現場實驗-", 土質工學研究發表會講演集, 第23回, pp.2129-2132.
5. 新舍博, 高野泰, 谷雄一, 嵐義文 (1990), "水平ドレーン壓密工法による廢埠軟弱地盤の改良", 土質工學研究發表會講演集, 第25回, pp.1865-1868.
6. 吉崎浩二, 新舍博, 谷雄一, 山口了地 (1991), "ラテラルドレーン工法によるダム堆積土の脫水處分", 五洋建設技術研究所年報, Vol.20, pp.63-68.
7. Zhao, P. (1989), *Analysis of Prefabricated Wick Drains by Uncoupled Finite Strain Consolidation Theory*, M. S. Thesis, South Dakota School of Mines and Technology, Rapid City, South Dakota.

(접수일자 2005. 4. 25, 심사완료일 2005. 12. 29)