

수평배수재 배열의 진공압밀효과에 대한 수치해석

Numerical Analysis on Effects of Horizontal Drain Arrangement on Vacuum Consolidation

박 병 수* 정 길 수** 이 종 호*** 유 남 재****
Park, Byung-Soo Jeong, Gil-Soo Lee, Jong-Ho Yoo, Nam-Jae

Abstract

This paper is results of numerical works of investigating effects of horizontal drain arrangements on vacuum consolidation

Extensive numerical analyses were carried out to find the appropriate arrangements of horizontal drain of vacuum consolidation. Commercially available program of CRISP, well known to be good to modelling the behavior of clay material, was used. Cam-clay model, based on the Critical State of Soil Mechanics(CSSM), was used to simulate the geotechnical engineering behavior of clay.

Model test results carried out previously in the laboratory were compared with numerically estimated results and it was found that results about consolidation settlement with times were in good agreements. Based on this confirmation, parametric numerical study was performed to investigate effects of horizontal drain arrangements on vacuum consolidation with changing the vertical and horizontal spacings between drains for the given soil properties and vacuum. The effect of distance of drain located in top layer from the surface of the ground on the settlement due to vacuum was also investigated.

As a results of numerical analyses, appropriate arrangements of horizontal drain to maximize the consolidation settlement due to vacuum were found. The mechanism of vacuum consolidation about the vacuum pressures being transferred to the effective stresses around drains was also evaluated

키워드 · 진공압밀, 수평배수재, 수정 Cam-clay 모델

Keywords Vacuum Consolidation, Horizontal Drain, Modified Cam-clay Model

1. 서 론

연약한 원지반의 개량 및 표층부의 증기 주행성 확보를 위한 대책공법으로 자연건조공법, PTM (Progressive Trenching Method), 생석회 혹은 시

멘트계 혼화재를 이용한 표층고화방법등이 있으나 시공실적등이 미약한 상태로 시공기간 및 경제성등 그 효과에 대한 규명이 명확하지 못한 것으로 지적 되고 있다.

최근, 표층처리공법의 한 방안으로서 수평배수재 및 진공압밀공법을 이용한 표층안정처리공법의 적용성에 대한 연구가 진행되고 있다. 본 공법은 포화된 초연약지반위에 수평으로 배수재를 매설하여 진공압을 가하므로써 초연약 매립지반 위에 단위면적당 작용하는 부압을 통하여 성토하중을 부여하는 동일한 효과를 발휘하게 되어 성토하중과는 달리 전단파괴없이 빠른 시간내에 소정의 압밀도를 확보

* 강원대학교 토목공학과 연구원, 공학박사

** 강원대학교 대학원 토목공학과, 박사과정

*** 경동대학교 건축환경공학부 전임강사, 공학박사

**** 강원대학교 토목공학과 교수, 공학박사

할 수 있는 공법이며 일본의 오양건설에서 최초로 개발되어 현장시험 시공을 통하여 개량효과를 확인하였다. 이러한 장점에도 불구하고 시공상의 어려움으로 국내의적으로 활발하게 적용되지는 못하였으나 최근들어 진공막 설치기술 및 강력한 진공펌프의 등장으로 시공기술이 발전되면서 일본등지에서 활용되기 시작했고, 국내에서도 연약지반 개량공법으로 적용가능하게 되었다.

국내에서는 김형주등(1997)은 Kjellman(1952)이 제안한 진공압밀공법을 슬러리 상태의 준설매립지반까지 확장 적용하면서 그 유효성을 대형압밀실험에 의해 확인하고, 그 실험결과를 선형포텐셜 압밀 이론과 비교 검토하였다.

황정규등(1998)은 수평배수 진공압밀 공법에 대한 지배방정식에 대해 Gibson등(1967)의 1차원 유헤변형압밀이론을 2차원으로 확장시킨 수평배수 압밀이론을 제안하였으며 김홍택등(2000)은 수평배수공법에 있어서 보다 효과적인 압밀배수의 유도를 위해 해석적 접근방법을 통하여 진공압밀공법을 고찰하고, 진공압에 따른 압밀효과 및 수평배수재의 배치 형태에 따른 영향을 분석하였다.

또한, 이송등(2001)은 기존의 3차원 압밀지배방정식을 확장 유도하여 3차원 배수특성과 부의 간극수압발생을 통한 유효응력의 증가를 고려한 수치해석으로 부터 수평진공배수공법에 대한 압밀효과를 확인하였고, 배수재의 수평타설간격에 따른 압밀효과를 분석하여 적정배수재 설치간격의 범위를 확인하였다.

한편, 이병곤(2002)은 단위배수재 모형실험을 통하여 배수재의 직경 및 형상이 수평진공배수공법에 의한 압밀특성과 전단강도 변화에 미치는 영향에 대해 조사하였고 배수재의 배열에 따른 압밀 및 전단강도 특성을 알아보기 위하여 실내 소형토조실험을 실시하였다.

그 외 최근 본 공법의 적용성에 대한 연구가 진행되고 있으나 실내모형실험과 달리 본 공법의 현장적용시 문제점인 배수재의 크기, 형상, 배치간격 및 막힘현상, 진공펌프의 적정용량, 최상부 밀폐(Sealing)기술등이 문제점으로 미 해결상태로 남아 있는 실정이다

따라서, 본 연구에서는 수평배수재에 대한 합리적인 설계기법의 개발을 위해 수평배수재가 설치된 매립지반의 진공압밀거동을 특성짓는 각 영향인자들중에서 배수재의 배열효과에 따라서 최적의 진공압밀을 발휘할 수 있는 조건을 파악하기 위하여 배수재 간격을 변화시킨 수치해석을 실시하고, 수치해석 기법의 타당성을 검증하기 위하여 기존에 실시된 실내 수평진공배수 모형실험의 자료를 획득하여 그 결과와 비교 분석하였다.

2. 수평진공배수공법

수평배수공법은 연약지반에 배수재를 수평으로 타설하고 배수재에 진공압을 작용시켜 지반내의 간극수를 강제적으로 배수시키는 공법으로써, 스웨덴의 Kjellman(1952)에 의해 처음 발표된 증류용력 저하 공법의 한 방법으로서 지하수의 변동없이 지반내의 간극수압을 저하시켜 압밀을 촉진시키는 공법이다. 수평진공배수 공법은 그림 1에서와 같이 준설매립된 초연약지반 표층부에 매설선을 이용하여 일정간격 수평방향으로 배수재 매설하여 배수재의 단부에 부압을 작용시켜 점토층내에 침투수압을 발생시켜 그것을 압밀압력으로 이용하여 준설 점토층을 압밀시킨다. 준설점토를 다시 투입하여 어느 정도 퇴적시킨후, 다시 배수재를 수평으로 배치하면서 작업을 반복하여 목적하는 층두께까지 매립을 하는 공법이다.

수평진공배수공법은 초연약지반내에 $-0.5 \text{ kgf/cm}^2 \sim -0.8 \text{ kgf/cm}^2$ 의 부압을 작용시키므로 압밀효과에 의해 층두께의 30~50%에 상당하는 침하를 발생시킬수 있고, 배수재를 지반 내에 여러 단 매설하므로 약 2~5개월 정도의 단기간에 초연약토의 탈수를 할 수 있다. 또한, 탈수기간은 매설하는 배수재 간격으로 조정 가능하다. 그리고 본 공법은 최대 $500\text{m} \times 500\text{m} \times$ 길이 5m 정도의 연약지반내에 초연약토를 한번에 탈수 할 수 있으므로 대량의 준설토 개량에 유리하다. 또한 지반이 연약하여 성토재하가 곤란한 경우에 부압으로서 압밀하중을 가하므로 일반적 성토에 의한 전단파괴가 발생하지 않는다.

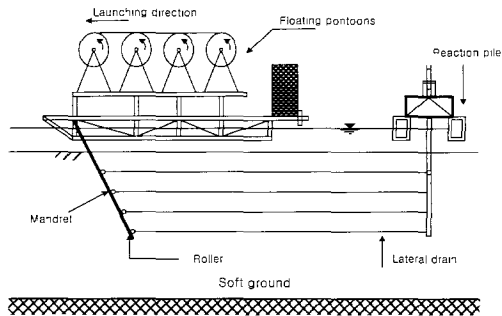


그림 1 수평진공압밀공법의 원리

이와 같은 수평진공배수공법으로 제한된 매립지의 수토용량을 조기에 준설매립토의 큰 압밀침하를 유도함으로써 지속적으로 준설토를 투기하여 그의 수토용량을 극대화할 수 있는 장점을 지니고 있다. 따라서 매립지내의 준설매립토의 실질 토량을 증대시킴으로써 Sand Mat용 피복 모래량을 감소시켜 경제성 있는 시공이 가능하다. 이와 같이 수평진공

배수공법에 의한 압밀축진된 지반은 소정의 지지력을 확보할 수 있어서 종래에는 연약지반에 상부 피복모래의 포설을 위하여 Geotextile 등의 보강재 포설이 요구되나 본 공법의 적용으로 직접 모래 포설이 가능한 것으로 알려져 있다.

준설매립지반에서 수평배수 진공압밀 공법의 적용은 그림 2에 나타난 바와 같이 플라스틱 배수재를 준설매립지반 내에 수평으로 설치하여 수평배수재의 단부에 진공압을 가하여 탈수시키는 공법이다. 수평배수 진공압밀공법의 장점은 플라스틱 배수재를 타설할 때 긴 구간을 연속된 작업에 의해 설치할 수 있으므로 배수재 타설에 소요되는 작업시간이 단축되는 효과가 있으며, 비교적 얇은 심도의 준설매립지반을 개량하는 경우와 대심도의 준설매립지에 연직배수재를 타설하기 위한 증장비 투입이 불가능한 경우에도 적용이 가능한 점등이 있다. 그림 3은 수평배수 진공압밀공법이 적용되는 지반내부의 응력변화를 도시한 것이다.

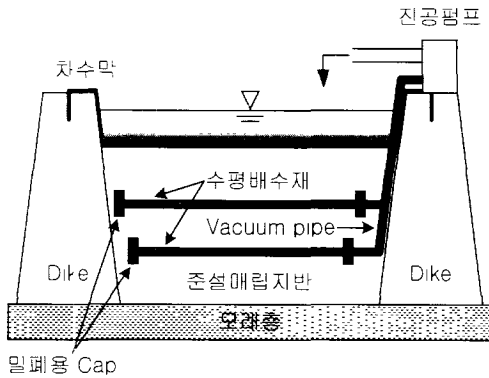


그림 2 수평진공배수공법의 개요도

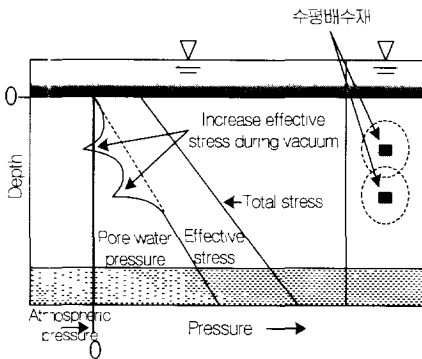


그림 3 수평진공배수공법의 응력분포도

3. 수치해석

수평배수재의 타설조건에 따른 연약지반의 진공압밀거동을 알아보고 실내모형실험결과를 비교 분석하기 위하여 수치해석을 실시하였다. 수치해석은 범용 지반해석 프로그램인 SAGE CRISP 프로그램(2000)을 이용하여 실시하였다. CRISP 프로그램은 Cambridge 대학에서 개발된 유한요소 프로그램으로 국내외에서 연약점토지반의 압밀거동 해석에 많이 사용되고 있다.

3.1 유한요소 모델링

연약지반의 수평진공압밀해석에 대한 수치해석은 총 4개의 수행단계로 나누어 실시하였다. 먼저 1단계는 해석대상지반의 범위를 설정하고 일경영역의 경계조건 및 해석에 따른 물성값과 지하수위 위치 등을 설정하여 초기지반을 구현하였다. 2단계는 수평배수재의 배치형태 및 개수에 따라 연약지반상에 수평배수재를 설치하는 단계를 구현하였고 3단계에서는 진공압을 재하하여 4단계에서 검토 지반에 발생하는 응력과 시간-침하 관계등을 경리하였다. 해석순서는 그림 4에 나타내었고 해석내용은 표 1에 나타내었다.

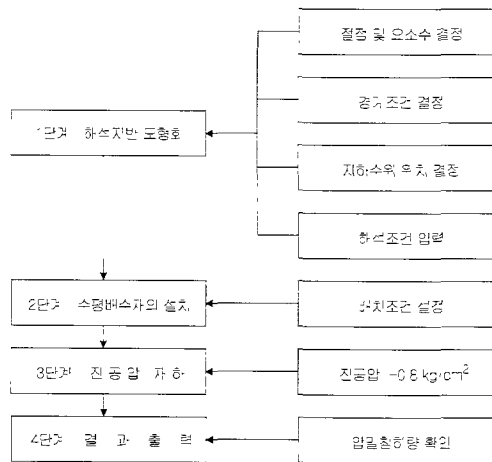


그림 4 CRISP 수치해석 수행과정

3.2 유한요소격자망

수치해석에 사용된 유한요소 격자망과 변위경계조건을 그림 5에 나타내었다. 그림에 나타난 바와 같이 수치해석은 2차원 평면변형 조건으로 해석을 수행하였으며 627절점 576요소로 격자로 구성하였다.

지반의 경계조건은 좌우측 수평변위를 구속하였고, 바닥면은 연직변위를 구속하였으며, 지반의 지

표면에 수위가 위치하는 것으로 하였다.

한편, 배수재의 설치 지점에 해당하는 절점(Node)에 진공압을 $-78.453 \text{ kN/m}^2 (= -0.8 \text{ kgf/cm}^2)$ 크기로 가하여 수평진공배수를 모사하였다.

표 1 수치해석내용

구 분	배수재의 설치조건	
매개 변수	수평간격비	0.5, 0.25, 0.125, 0.0625
	연직높이비	0.5, 0.25, 0.125
	타설 층수	1, 2, 3
실내	4x3 배치	
모형	6x3 배치	
실험	8x3 배치	

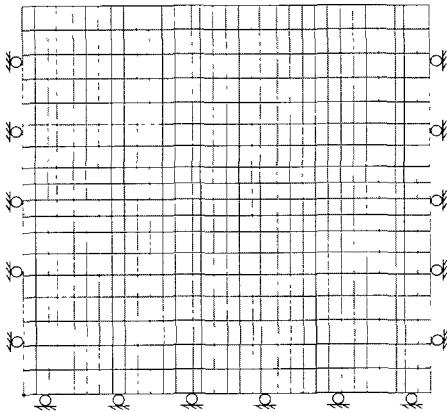


그림 5 유한요소 격자망

3.3 모델입력매개변수 산정

연약점토지반은 Roscoe와 Burland(1968)등이 제안한 수정 Cam-clay 모델을 사용하였다. 표준압밀 시험 및 압밀비배수(CU)의 삼축압축시험으로부터 구한 모델의 변수값은 표 2에 나타내었다.

4. 결과분석

4.1 실내 소형토조 모형실험에의 적용

본 절에서는 기존에 수행한 실내 수평진공배수공법에 대한 자료를 전술한 수치해석방법으로 해석하여, 수치해석의 실제문제에의 적용성을 알아보았다. 해석에 사용된 실험은 수평배수재의 배치간격을 4x3, 6x3, 8x3으로 변화시킨 것으로 수평배수재의 배치형태에 따른 해석종류를 그림 6~8에 나타내었

고 시간변화에 대한 침하량을 그림 9~11에 도시하였다. 시간-침하량을 보면 전반적으로 실험결과와 수치해석 결과가 아주 잘 일치하고 있음을 볼 수 있으며 배수재의 배치배열이 4x3에서 8x3으로 많아질수록 침하량이 커짐을 볼 수 있고, 초기부근 또한 압밀속도가 빠르게 진행되는 것으로 나타났다.

표 2 점토의 수정 Cam-Clay 모델 변수값

변수	내 용	값
λ	$v-\ln p'$ 공간의 압축지수	0.342
κ	$v-\ln p'$ 공간의 팽창지수	0.0434
e_{cs}	$v-\ln p'$ 공간에서 $p'=1\text{kPa}$ 일 때 한계상태선의 간극비	6.415
M	$q-p'$ 공간에서 한계상태선의 기울기	0.772
ν	포아송비	0.3

따라서, 준설패립지반과 같이 초연약지반에 수평진공배수공법을 적용한 경우를 모사한 실험결과를 수치해석 프로그램을 이용하여 해석한 결과가 잘 일치하여 수평진공배수에 의한 점토층의 압밀거동을 수치해석에 의해 예측 가능함을 나타낸다고 할 수 있다.

한편, 그림 12, 13은 4x3 배열의 실내실험에 대한 수치해석 결과중 초기시간과 진공압력이 가해진 시간 0, 10, 40, 80, 120시간에 대한 깊이로 따른 유효응력 분포와 간극수압분포를 나타낸 것이다. 그림에서 보여진 바와같이 시간이 지남에 따라 유효응력은 증가하고 간극수압은 감소하는 것을 나타내었다. 또한, 배수재 부근에서 우선적으로 유효응력이 크게 증가하고 압밀이 진행됨에 따라 점진적으로 전 토층이 동일한 값으로 수렴해 가고 있음을 보여주었으며 간극수압은 배수재 부근이 다른곳에 비하여 매우 작은 값을 나타냄을 보여주었다. 그림 14, 15는 4x3배열에서 중간에 설치된 수평배수재층에서 시간변화에 대한 유효응력과 간극수압의 변화를 도시한 것이다. 그림에 나타난 바와같이 유효응력은 0시간에서 일정한 값을 나타내고 있으나 시간이 10, 40, 80시간으로 증가함에 따라 배수재 부근에서는 큰 폭으로 증가하였고 배수재 주변에서도 점진적으로 유효응력이 증가하는 형태를 나타내었다. 한편, 간극수압분포는 초기시간에는 수평층에 대해 일정한 값을 나타내고 있다가 진공압이 적용됨에 따라 배수재 주변으로 부의 간극수압이 크게 작용하고

시간이 경과함에 따라 수평층이 일정한 값으로 수렴해 가는 형태를 보여주었다.

이러한 결과는 압밀이 진행됨에 따라 진공압이 유효응력으로 전이되어 진토층이 동일한 값으로 수렴해 가는 경향을 나타내었는데 이는 진공압에 의한 압밀효과가 발생하는 것을 나타내는 것이기 때문이다

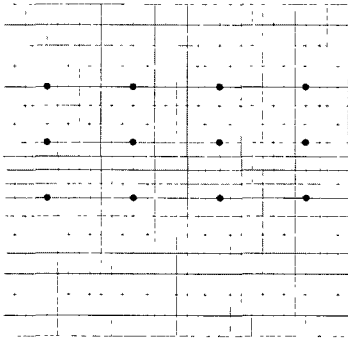


그림 6 배수재 4x3 배열

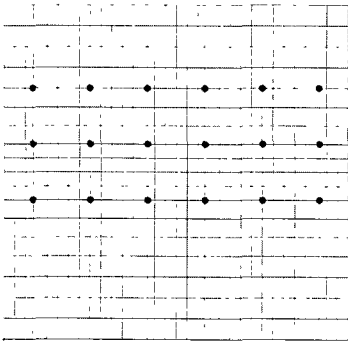


그림 7 배수재 6x3 배열

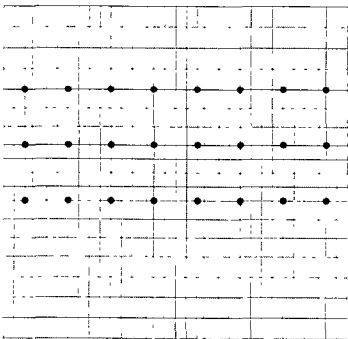


그림 8 배수재 8x3 배열

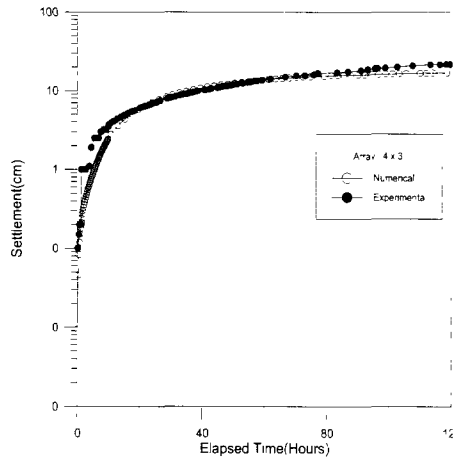


그림 9 시간-침하량(4x3배열)

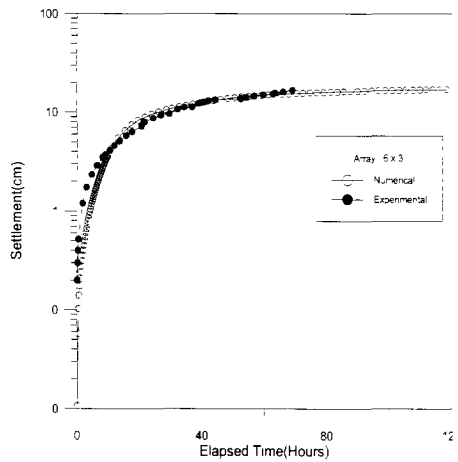


그림 10 시간-침하량(5x3배열)

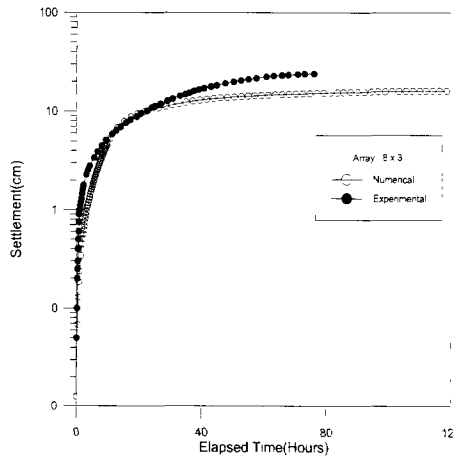


그림 11 시간-침하량(8x3배열)

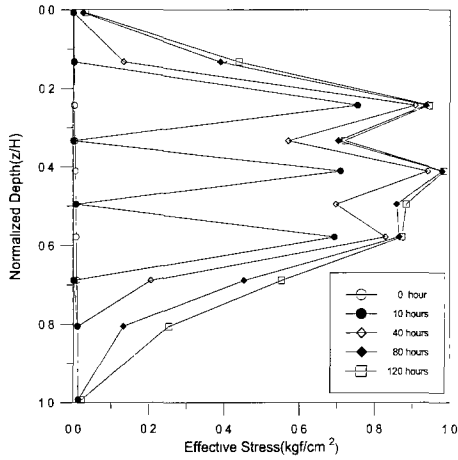


그림 12 정규화깊이-유효응력(4X3배열)

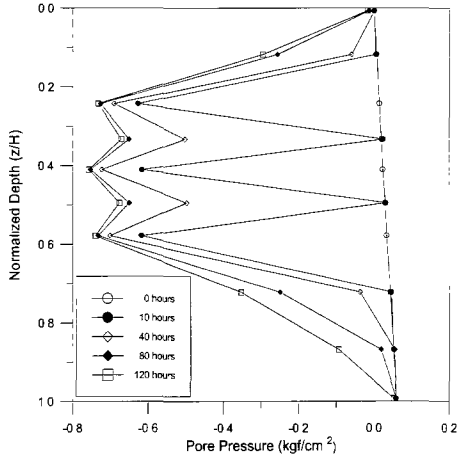


그림 13 정규화깊이-간극수압(4X3배열)

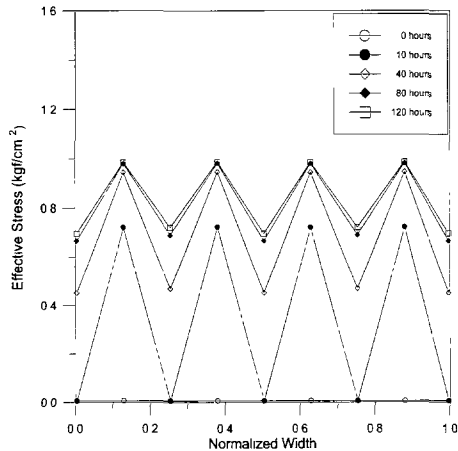


그림 14 정규화폭-유효응력(4X3배열)

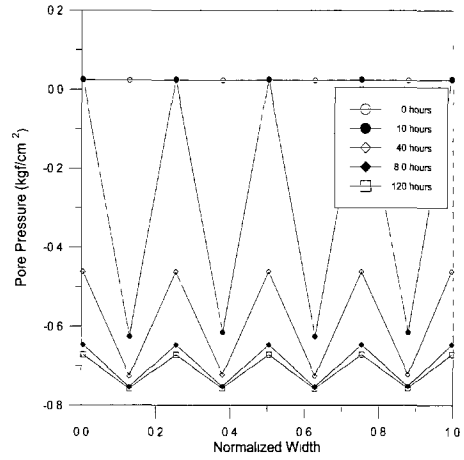


그림 15 정규화폭-간극수압(4X3배열)

4.2 배수재의 수평타설간격 변화에 대한 영향

수평배수재의 수평타설간격이 연약 점성토 지반의 압밀침하 거동에 미치는 영향을 조사하기 위하여, 표 3에 나타난 것과 같이 배수재의 수평간격을 변화시킨 수치해석을 실시하였다.

표 3 수평배수재의 수평간격 변화

배수재 수평간격(cm)	배수재 갯수	정규화 폭 (간격/토조폭 = s/B)
30 cm	1	0.5
15 cm	3	0.25
7.5 cm	7	0.125
3.75 cm	15	0.0625

그림 16에 배수재의 수평타설 간격 변화에 따른 시간-침하량 곡선을 도시하였다. 그림에서 알 수 있듯이 수평배수재의 횡방향 설치간격이 줄어들수록 동일한 침하량에 이르는 시간이 단축되어, 수평배수재의 간격이 좁아질수록 압밀촉진 효과는 증가하는 것으로 나타났다.

그러나, 배수재의 수평타설 간격이 작아짐에 따라 압밀완료시간이 단축은 되지만, 그림에 나타난 바와 같이 주어진 시간에 대하여 간격비(s/B)가 0.5, 0.25, 0.125로 증가할 때 침하량의 증가폭은 거의 일정하게 나타났으나, 간격비가 0.125에서 0.0625로 좁아졌을 때는 침하량의 증가폭이 작아졌음을 보여주었다. 이는 수평배수재 개수를 추가하여 간격을 좁힘에 따라 압밀시간은 단축할 수 있으나 간격비가 0.125에서 배수재가 충분한 투수효과를 나타내어 그 이상의 배수재 개수 증가에 따른 압밀 단축효과가 크

지 않아지는 것으로, 비경제적인 배수재 배치가 될 수 있음을 나타낸다고 할 수 있다.

따라서, 배수재 설계시 주어진 공사기간과 침하량 등을 고려한 반복계산을 통하여 적절한 배치간격을 산정할 필요성이 있음을 알 수 있다.

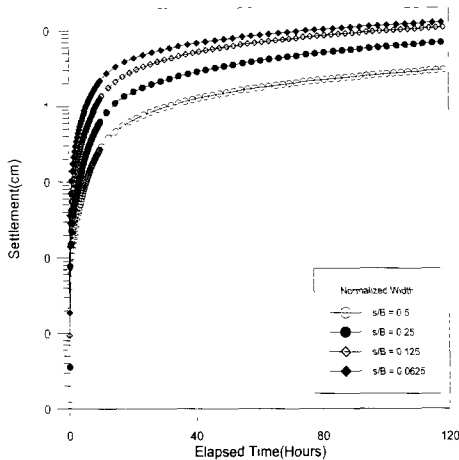


그림 16 수평간격 변화에 대한 시간-침하 곡선

한편 그림 17, 18은 배수재의 수평간격비가 0.25일 때 진공압밀 침하형태와 과잉간극수압 분포도를 도시하였다. 그림에서 보여진 바와같이 배수재 주변에 부(-)의 간극수압분포가 집중되고 배수재간의 간격이 멀어짐에 따라 간극수압값이 증가함을 볼 수 있다.

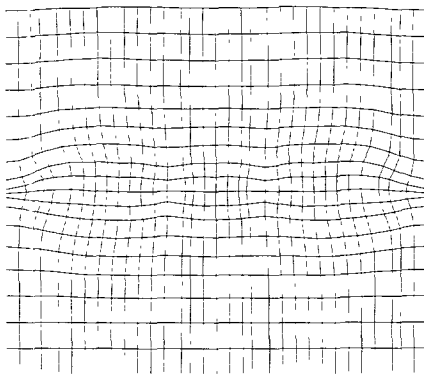


그림 17 배수재 수평간격 15cm일 때 최종변위

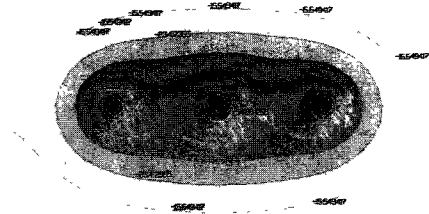


그림 18 수평간격 15cm일 때 과잉간극수압분포

또한, 변위도를 살펴보면 수평배수재 상부층에서는 진공압에 의한 침투압밀이 발생하여 압밀효과가 증가되는 경향을 나타냈으나, 수평배수재 하부층에서는 변위가 미소하거나 또는 다소 용기하는 경향을 나타내었다. 이러한 경향은 수평배수재 상부층에서는 진공압에 의한 하향침투가 발생하여 유효응력이 증가하여 압밀이 가속된 반면, 수평배수재 하부층에서는 상향침투로 인한 유효응력 감소로 압밀 효과가 저하되는 것으로 판단된다.

4.3 배수재의 타설깊이 변화에 대한 영향

수평배수재의 수평간격비의 영향을 검토한 결과, 효율적인 간격비를 나타내었던 수평간격비 0.125일 때(7.5cm간격)를 기준으로 배수재의 타설 깊이가 진공압밀에 미치는 영향을 검토하였다.

표 4에 나타낸 바와같이 수평배수재를 정규화깊이(z/H) 0.25, 0.362, 0.5, 0.638, 0.75, 0.875등 6가지로 변화시켜 해석을 수행하였다.

그림 19에 수평배수재의 수치위치 변화에 따른 시간-침하 곡선을 나타내었고, 그림 20~25에 수평배수재의 수직위치에 대한 변위도와 간극수압분포도를 도시하였다.

그림 19에서 볼 수 있듯이 수평배수재가 정규화깊이 0.362에서 최대의 압밀효과를 나타내었으며, 정규화깊이 0.25의 상부와 0.5, 0.638등의 중앙부는 유사한 결과를 나타내었고, 0.75, 0.875와 같이 수평배수재를 하부층에 위치하였을 때 압밀효과는 현저하게 감소하는 것으로 나타났다.

표 4 수평배수재의 연직 설치위치 변화

지표면으로 부터 배수재의 연직위치(cm)	배수재의 수평간격비	정규화 깊이 (깊이/토조높이 = z/H)
15 cm	0.125(7.5cm간격)	0.25
22 cm	0.125(7.5cm간격)	0.362
30 cm	0.125(7.5cm간격)	0.5
38 cm	0.125(7.5cm간격)	0.638
45 cm	0.125(7.5cm간격)	0.75
53 cm	0.125(7.5cm간격)	0.875

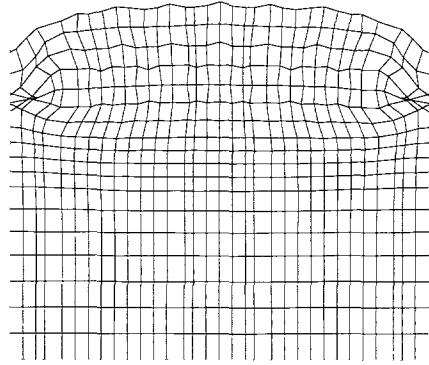


그림 20 최종변위(수직위치 z/H=0.25)

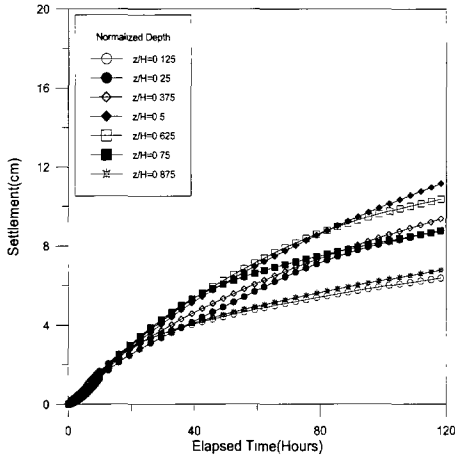


그림 19 수직위치 변화에 대한 시간-침하 곡선

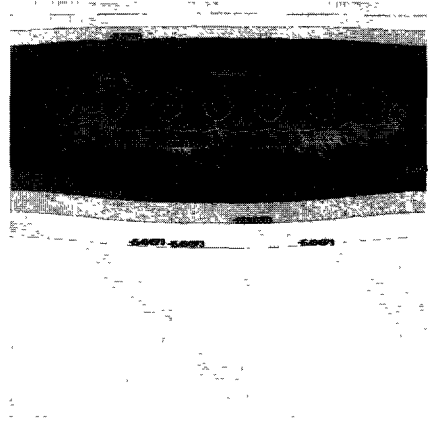


그림 21 과잉간극수압(수직위치 z/H=0.25)

따라서, 개량하고자하는 지반의 $(0.362 \sim 0.638)H$ 를 기준으로 수평배수재를 설치하면 효율적으로 지반의 침하량과 압밀속도를 증가시킬 수 있을 것으로 판단된다.

한편, 지반의 변위도를 살펴보면 배수재를 상층부에 위치하였을 때 지반의 좌우가 진공압의 영향으로 인하여 크게 수축되는 형태를 나타내었고, 하부로 갈수록 지표면의 침하는 좌우가 일정하게 침하하는 경향을 나타내었다. 이러한 이유는 간극수압의 분포도에 나타난 바와같이 수평배수재의 위치가 하부로 향할수록 진공압의 영향이 지표면에 미치는 영향은 배수재가 상부에 위치하였을 때와 비교하여 작아지기 때문인 것으로 보여진다.

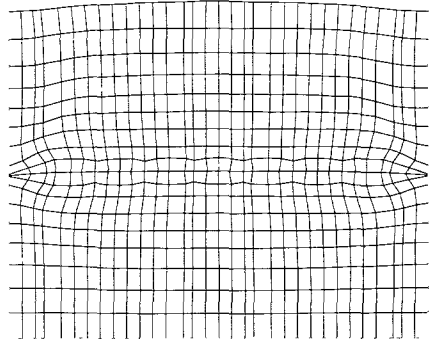


그림 22 최종변위 (수직위치 z/H=0.5)

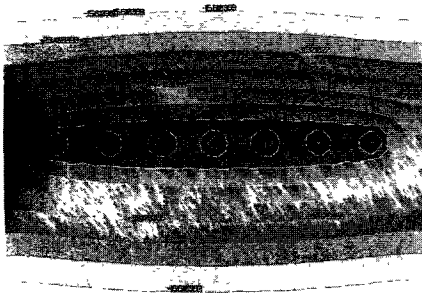


그림 23 과잉간극수압(수직위치 $z/H=0.5$)

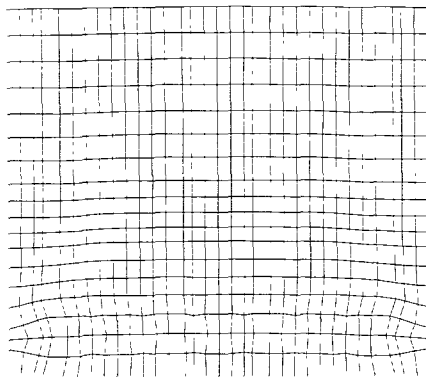


그림 24 최종변위(수직위치 $z/H=0.875$)

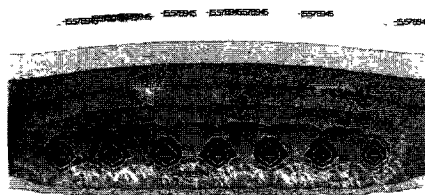


그림 25 과잉간극수압(수직위치 $z/H=0.875$)

4.4 배수재의 타설층수 변화에 대한 영향

본 절에서는 수평배수재가 1단, 2단, 3단, 4단으로 각 7개씩 타설된 경우에 대하여 시간에 따른 침하량의 변화를 고찰하였다. 표 5에 나타낸 바와같이 배수재의 수평간격이 7.5cm인 배수재를 기준으로 하여, 수직간격 30, 20, 15, 12cm 씩 1~4단으로 배치하였다

표 5 수평배수재의 타설층수 변화

타설층수	배열형태	배수재의 수직간격(cm)	배수재의 수평간격(cm)
1층	7 x 1	30	7.5
2층	7 x 2	20	7.5
3층	7 x 3	15	7.5
4층	7 x 4	12	7.5

그림 26은 수평배수재의 설치층수에 따른 시간-침하량 관계를 도시한 것으로 그림에 보여진 바와같이 수평배수재의 층수가 증가할수록 침하 속도가 빠른 것을 알 수 있었다. 침하량 10cm에 도달하는 시간을 보면 1층배열 일 때 약 103시간, 2층은 약 30시간, 3층 19시간, 4층 13시간으로 나타나 1층 배열에 비하여 4층 배열일 때 약 8배나 빠른 압밀 속도를 나타내었다. 따라서, 준설매립지반의 표층 강도를 신속히 증가할 필요성이 있는 경우, 배수재의 층수를 조절하면 공기주행성에 요구되는 강도가 빠른 시간에 도달할 수 있을 것으로 보여진다

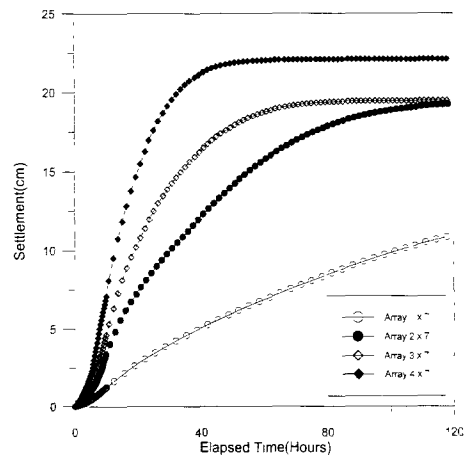


그림 26 배치층수에 대한 시간-침하 곡선

5. 결 론

본 연구에서는 준설매립지반의 표층처리공법으로 이용되는 수평진공압밀공법에서 배수재의 효율적인 설계를 위해, 수평배수재의 설치간격이 준설매립지반의 압밀거동에 미치는 영향을 수치해석적으로 알아보았으며, 기존에 수행된 수평진공압밀공법에 대한 실내실험결과와 비교 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 준설매립지반과 같이 초연약지반에 수평진공배수공법을 적용한 경우에 대한 기존의 실험과 수치해석을 수행한 결과, 간극수압이 진공압밀 시간 경과에 따라 감소하므로 압밀효과가 증가되어 수평배수공법의 유효성이 확인되었으며 점토층의 압밀거동을 수치해석에 의해 예측 가능함을 나타내었다.
- 2) 진공압밀 시간경과에 따른 깊이별 유효응력분포와 간극수압분포를 확인한 결과, 초기에는 배수재 부근에서 유효응력이 크게 증가하였으나 압밀이 진행됨에 따라 진공압이 유효응력으로 전이되어 전토층이 동일한 값으로 수렴해 가는 경향을 나타내었는데 이는 진공압에 의한 압밀효과가 발생하는 것을 나타내는 것이다.
- 3) 수평배수재의 수평간격비를 변화시킨 결과, 수평으로 배수재 갯수를 추가하여 간격을 좁힘에 따라 압밀시간은 단축할 수 있으나 수평간격비가 0.125이상에서는 배수재가 충분한 투수효과를 나타내어 배수재 갯수 증가에 따른 압밀 단축효과가 크지 않아지는 것으로 나타났다.
- 4) 수평배수재를 정규화깊이를 변화시킨 수치해석 결과, 정규화깊이 0.362에서 최대의 압밀효과를 나타내었다.
- 5) 수평배수재의 층수가 증가할수록 침하 속도가 빠른 것을 나타내었으며, 침하량 10cm에 도달하는 시간을 보면 1층배열 일 때 약 103시간, 2층은 약 30시간, 3층 19시간, 4층 13시간으로 나타나 1층배열에 비하여 4층 배열일 때 약 8배나 빠른 압밀속도를 나타내었다.

참 고 문 헌

- [1] 김홍택, 김석열, 윤창진, 강인규, 김창겸, “수평배수재를 이용한 진공압밀공법의 해석에 관한 연구”, 한국지반공학회, 봄 학술발표회 논문집, pp.520~527, 2000.
- [2] 김형주, 원명수, “수평배수공법에 의해 개량된 준설점토지반의 압밀거동에 관한 연구”, 한국지반공학회 논문집, 제 13권, 제1호, pp.137~144, 1997.
- [3] 이병곤, “연약지반개량을 위한 수평진공배수공법

에 관한 모형실험”, 강원대학교 대학원, 공학석사학위논문, 2002.

- [4] 이승, 강명찬, 김홍석, “수평진공배수공법이 적용된 준설매립지반의 압밀해석에 관한 연구”, 한국지반공학회 논문집, 제17권, 제4호, pp.209~220, 2001.
- [5] 황정규, 김홍택, 김석열, 강인규, 김승욱, “플라스틱 배수재를 이용한 수평배수공법에 관한 연구”, 한국지반공학회 논문집, 제 14권, 제6호, pp.95~117, 1998.
- [6] CRISP, CRISP User's Manual, ver 4.02, SAGE CRISP Engineering, 2000.
- [7] Gibson, R. E., England, G.L., and Hussuy, M.J.L., "The Theory of One-dimensional Consolidation of Saturated Clay I : Finite Non-linear Consolidation of Thin Homogeneous Layers", Geotechnique, Vol. 17, pp.261~273, 1967.
- [8] Kjellman, W. "Consolidation of Clay Soil by means of Atomospheric Pressure", Conference on Soil Stabilization in M.I.T., pp.1~6, 1952.
- [9] Roscoe, K. H. and Burland, J. B. "On the Generalized Stress-Strain Behavior of Wet Clays." Proceedings of Eng, Plasticity, Cambridge, Cambridge University Press, Cambridge, England, pp. 535-609, 1968.