



## 2. 공법의 원리

### 2.1 개요

본 연구에서 제안하고자 하는 준설패립공법은, 그림 1과 같이 준설택토층을 인위적으로 불투수막과 수평 배수기능을 겸비한 토목섬유를 부설함으로써 자중압밀영역과 대기건조영역으로 나누는 과정을 통해, 준설택토 하부층은 자중압밀만 발생하고 상부층은 대기건조에 의한 건조수축이 빠르게 이루어져 표층의 고결을 촉진시킬 수 있는 방법이다. 본 공법의 원리는 준설패립지반의 하부층에서 발생하게 되는 자중압밀현상으로 인해 압밀배수되는 물을 기 설치된 수평배수층을 통하여 수평방향으로 배제하는 동시에 불투수막에 의하여 상부층(불투수막의 위쪽)으로 공급되지 못하도록 차수하므로 이 분리층위에 있는 준설택토층내에 있는 과잉수만 대기증발에 의해 건조시키므로 표층고결을 촉진시키는 방법이다.

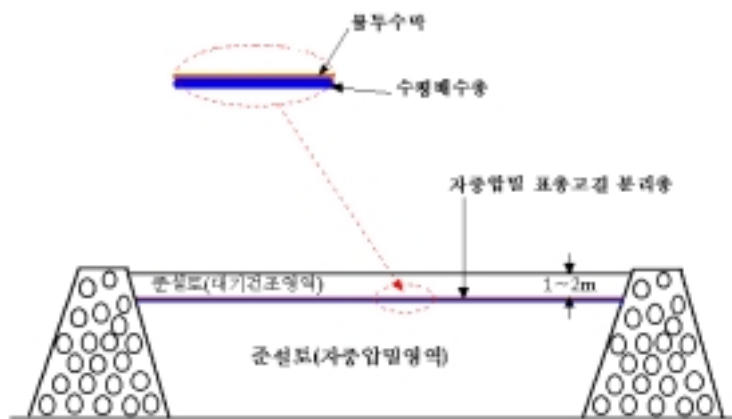


그림 1. 자중압밀과 대기건조 영역분리 개요도

### 2.2 침하영역 분리시 물의 흐름

본 공법은 그림 2에 도시한 바와 같이 계획된 준설펴이보다 1~2m정도 남은 상태에 수평(필터)투수층과 불투수막을 포설하고 그 위에 준설펴이를 계획높이까지 하면 불투수막을 경계로 상부는 대기건조가, 하부는 자중압밀이 빠르게 진행되어 대기건조에 의한 표층고결이 매우 빠르게 진행되며, 그 결과 준설펴이 표층의 전단강도가 매우 빠르게 증진되어 장비진입에 필요한 충분한 지지력을 조기에 발휘할 수 있게 된다.

준설펴이과정에서 설치되는 수평배수층 및 불투수막층의 역할은 아래층으로부터 배수되는 물을 수평방향으로 적절히 배제하고 상부층으로 올라가지 못하도록 차단하는 분리층으로써 이 분리층 위에 있는 준설펴이층의 표층고결을 촉진시키는 기능을 충분히 유지할 수 있어야 한다.

따라서, 수평배수층은 아래층으로부터 배수되는 물을 수평방향으로 배제할 수 있는 적절한 통수능을 갖고 있어야 하며, 불투수막은 아래층으로부터 상부층으로 물이 올라가지 않도록 차수막의 기능을 가지고 있어야 한다. 또한, 분리층위에 상부 준설펴이층의 두께는 장비의 주행에 필요한 지내력을 발휘할 수 있는 전단강도와 두께를 갖는 것이 필요하다.

해성점토로 준설펴이된 지반표층의 시간경과에 따른 전단강도 증가 메카니즘은 대기에 노출된 표층에서 증발이 이루어져 건조수축이 진행되면서 흙속에 과잉간극수압이 소산되고, 이로 인해 침하가 발생되고, 간극비와 함수비는 감소하며, 유효응력이 증가하면서 전단강도가 증가하는 것으로 표현할 수 있다.

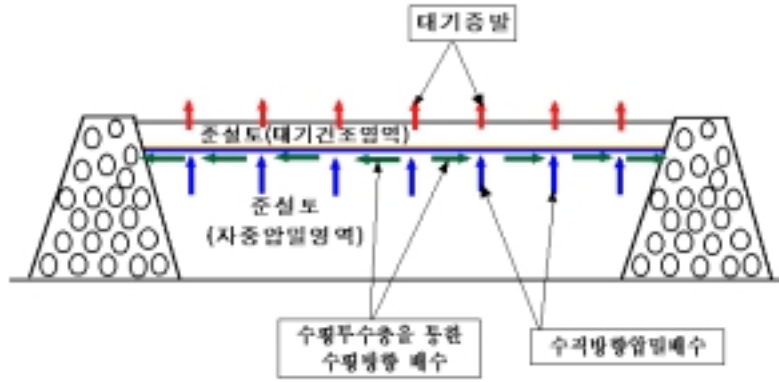


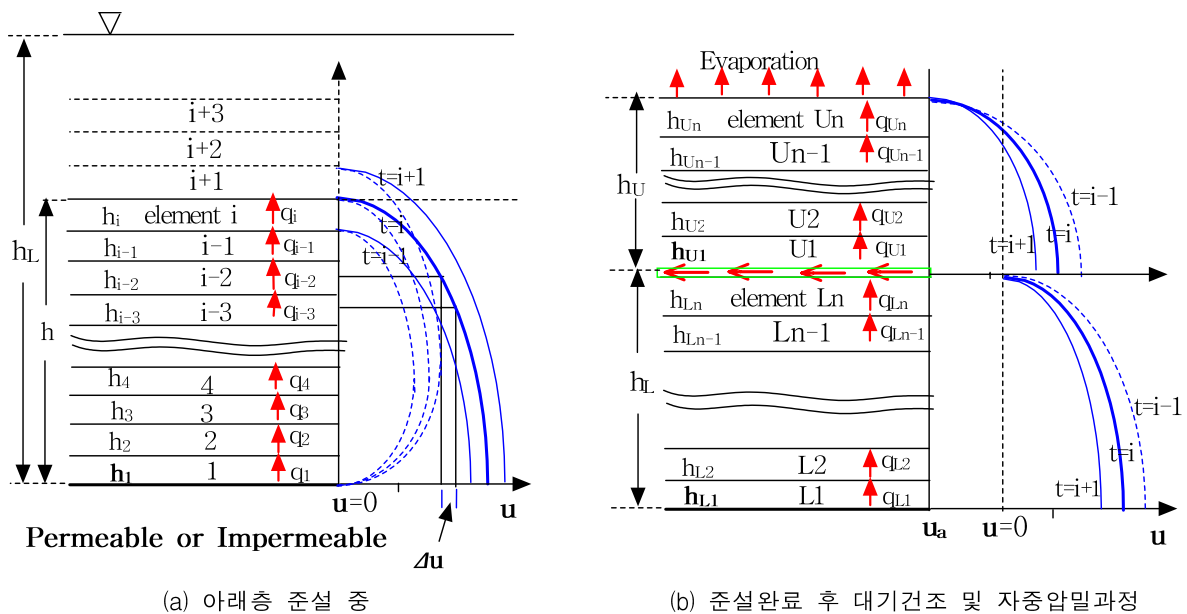
그림 2. 자중압밀과 대기건조 영역분리시 물의 흐름 개요도

### 3. 해석방법의 개발

#### 3.1 가정조건

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

프로그램 구성을 위한 자중압밀 모식도는 그림 3에 도시한 바와 같으며, 모식도에서 임의의 시점 ( $t=i$ )에  $\Delta t$  동안 퇴적도가  $\Delta h$  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, 2002).



(a) 아래층 준설투 중

(b) 준설투 완료 후 대기건조 및 자중압밀과정

그림 3. 준설투층지반의 자중압밀해석 모식도

### 3.2 자중압밀 해석 흐름도

본 연구에서 개발된 프로그램의 해석절차는 그림 4에 도시한 바와 같으며, 해석의 흐름도에서 심도 별로 차분화된 각 요소의 압밀관련 제반조건을 계산하기 위해 유효응력, 투수계수, 준설성토량에 따른 간극수압 등을 토대로 침하량을 반복하여 계산하는 절차를 거치게 된다. 계속해서  $\Delta t$  동안의 과잉간극수압감소량( $\Delta u$ )과 퇴적에 의한 증가과잉간극수압으로부터  $t=i+1$ 인 때의 과잉간극수압분포를 구하고 다음 단계의 압밀배수량의 계산을 반복하는 순서로 구성된다.

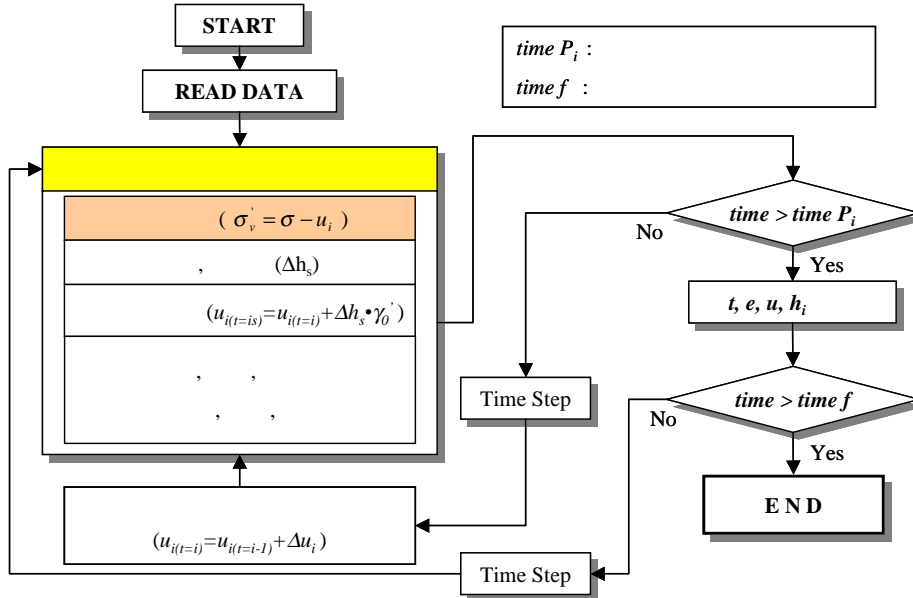


그림 4. 해석프로그램의 흐름도

## 4. 자중압밀과 대기건조 영역분리 수치해석

### 4.1 해석에 적용된 대표단면

본 연구에서 자중압밀과 대기건조 영역분리에 따른 지반 내부거동 변화를 예측하기 위해 1년 동안 14m 정도의 준설투기를 실시하는 조건으로 대표단면을 설정하였으며, 분리막을 설치하는 경우와 설치하지 않는 경우에 대해 앞서 설명한 해석프로그램을 이용하여 각각의 침하량 계산결과를 그림 5에 도시하였다.

그림 5에 도시된 시간-침하량 관계곡선을 살펴보면, 자중압밀과 건조수축의 영역을 분리하기 위해 최초 준설투기 시점으로부터 0.75년(약 9개월)이 경과한 시점에 준설매립고 11.5m의 위치에 차단층을 설치한 경우와 차단층을 설치하지 않고 14.5m 까지 준설을 실시한 경우에 대한 비교결과를 나타내고 있으며, 차단층을 설치한 시점으로부터 차단층의 하부지반에서는 수평배수층을 통해 하부지반에서 유발되는 자중압밀에 의한 과잉수가 상대적으로 원활하게 배제되는 현상으로 인해 차단층을 설치하지 않은 경우에 비해 침하현상이 비교적 빠르게 진행이 됨을 유추할 수 있다. 또한, 1년동안의 준설투기 종료 이후 약 1년간에 걸쳐 발생하게 되는 전체침하량의 경우를 살펴보면, 차단층이 설치된 경우에는 4.34m 정도의 침하가 발생하며, 차단층이 설치되지 않은 경우에는 같은 기간동안 3.90m 정도의 침하가 발생하는 결과를 나타내고 있다. 따라서, 시간-침하량 관계곡선을 통해 차단층의 설치효과를 분석한 결과, 차단층의 설치시점으로부터 하부지반에서의 자중압밀을 보다 신속히 유도할 수 있다는 점과 준설투기 종료 시점 이후 보다 빠른 지반의 안정을 유도할 수 있다는 점 등을 유추할 수 있다.

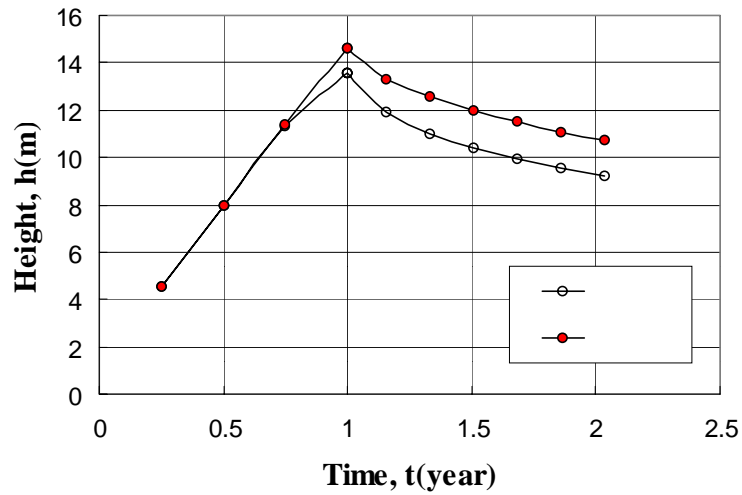


그림 5. 분리막 설치 여부에 따른 침하량 비교

## 4.2 해석결과의 비교

계속해서 본 연구에서는 앞서 분석된 대표단면에 대해 차단층의 설치여부에 따른 유효응력의 증가, 간극비 및 함수비 감소, 비배수전단강도증가 및 과잉간극수압소산 촉진효과 등을 확인하기 위하여 차단층 설치여부에 따른 수치해석 결과를 다양하게 비교, 분석하였다.

### 4.2.1 유효응력 비교

준설투기 이후 1년 정도의 기간이 경과한 시점에서 차단층 설치여부에 따른 준설매립지반의 심도별 유효응력을 비교한 결과는 그림 6에 도시한 바와 같으며, 각각의 경우에 심도별 유효응력의 분포를 살펴보면, 차단층의 설치효과가 본 연구에서 제안된 해석방법에 반영되어 차단층이 설치된 심도(7.33m) 부근에서 유효응력의 현저한 차이가 나타나고 있음을 알 수 있다.

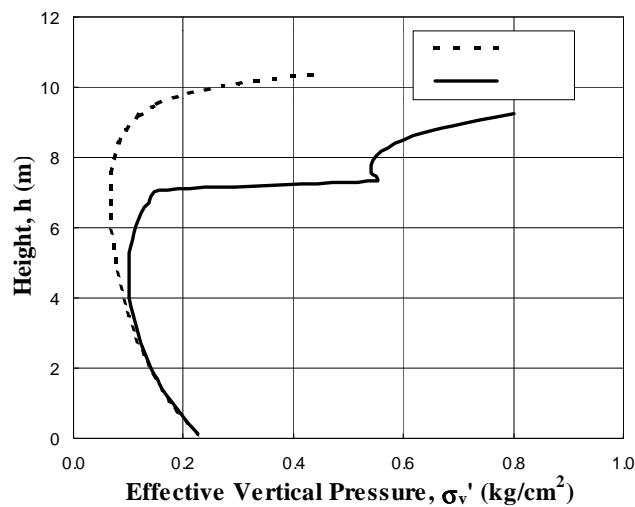


그림 6. 차단층 설치 여부에 따른 유효응력 비교

### 4.2.2 과잉간극수압 소산 비교

준설투기 이후 1년 정도의 기간이 경과한 시점에서 차단층 설치여부에 따른 준설매립지반의 심도별 과잉간극수압의 소산정도를 비교한 결과는 그림 7에 도시한 바와 같다. 심도별 유효응력 비교의 경우와 유사하게 차단층이 설치된 경우의 표층 과잉간극수압이 상대적으로 빠르게 소산됨을 알 수 있으며, 대기건조와 분리층에서의 배수로 인해 유발되는 부압의 크기 및 유효심도의 차이가 현저하게 나타나는 결과를 보여주고 있다.

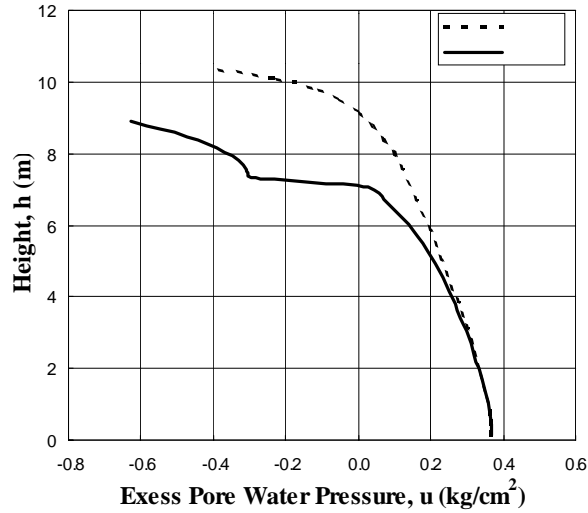


그림 7. 차단층 설치 여부에 따른 과잉간극수압 소산량 비교

계속해서, 차단층의 설치여부와 준설매립 종료후 시간의 경과에 따른 과잉간극수압의 소산정도를 비교한 결과는 그림 8에 도시한 바와 같으며, 성토직후로부터 시간이 경과함에 따라 부압의 발생크기와 심도의 차이가 점진적으로 증가하는 현상을 나타냄을 알 수 있다.

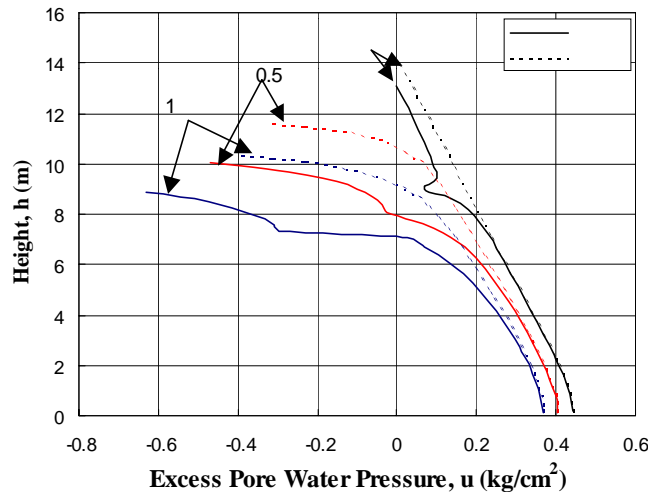
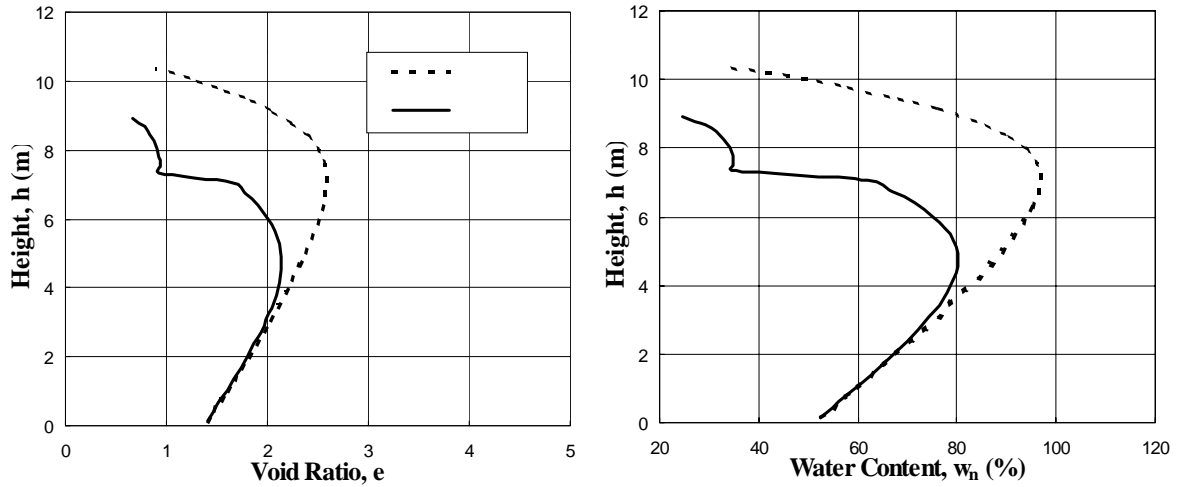


그림 8. 차단층 설치 여부와 방치기간에 따른 심도별 과잉간극수압 소산량 비교

### 4.2.3 심도별 간극비 및 함수비 비교

차단층의 설치여부에 따라 준설매립지반의 심도별 물리적특성의 변화를 파악하기 위한 분석으로써, 간극비 및 함수비의 변화를 비교한 결과는 그림 9에 도시한 바와 같다. 전반적인 간극비와 함수비의 분

포정도를 살펴보면, 전체심도에 걸쳐 차단층이 설치된 경우에는 간극비 2, 함수비 80% 이하의 분포를 나타내며, 특히 표층에서의 간극비와 함수비의 분포는 차단층이 설치되지 않은 경우에 비해 빠르게 감소함을 알 수 있다.



(a) 간극비 분포 비교

(b) 함수비 분포 비교

그림 9. 차단층 설치 여부에 따른 심도별 간극비, 함수비 비교

#### 4.2.4 심도별 비배수전단강도 비교

앞선 유효응력, 과잉간극수압의 소산정도, 간극비 및 함수비분포의 비교결과 등으로 인해 표층의 전단강도는 그림 10과 같이 차단층이 설치된 경우가 설치하지 않은 경우에 비해 크게 증가되어 두께 50~100cm의 표층의 전단강도가 0.2kg/cm<sup>2</sup> 이상임을 보여주고 있다.

한편, 장비의 주행성 판정기준을 보면 층두께 50cm이상이 콘관입저항치  $q_c=2\text{kg/cm}^2$  이상이면 습지장비의 주행이 가능한 것으로 되어 있는데, 비배수전단강도( $c_u$ )와  $q_c$  사이에는  $c_u=1/10*q_c$ 의 관계식을 보이므로  $c_u=0.2\text{kg/cm}^2$  이상이면 습지장비의 주행이 가능한 것으로 판단된다. 즉, 수평배수층 및 불투수막의 분리층을 설치하면 준설후 0.5~1년 이내에 약 50~150cm의 표층의 전단강도가 0.2kg/cm<sup>2</sup> 이상이 발휘되므로 별도의 표층처리 없이 습지장비는 충분히 주행할 수 있다는 것을 알 수 있다.

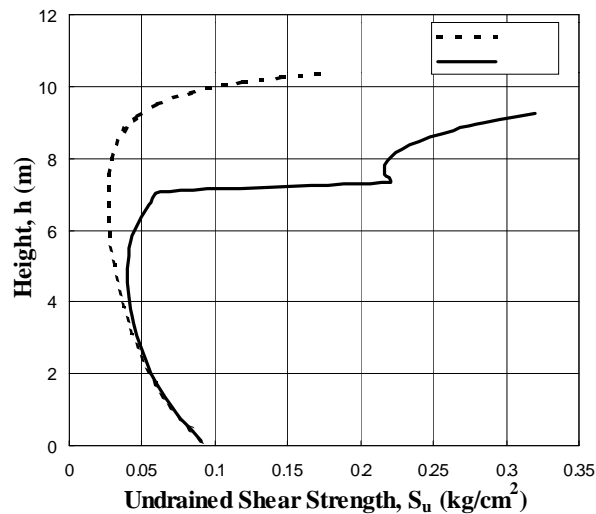


그림 10. 차단층 설치 여부에 따른 비배수전단강도 비교

## 5. 결 론

본 연구에서는 해성점토로 준설되는 매립지반의 표층개량 소요시간 및 공사비용 절감 등에 착안하여, 준설매립과정에서 자중압밀과 대기건조영역으로 구분하여 시공하는 방안을 제시하였으며, 제안된 공법에 대한 해석방법을 개발하고 그 해석을 통하여 공법의 적용 가능성을 평가하였다. 본 연구에서 개발된 해석방법을 토대로 설계 및 시공관리에 필요한 침하량 및 소요시간을 예측할 수 있는 방법이 제시되었으며, 제안된 시공방법의 타당성을 확인할 수 있었다.

점성토 준설성토 이후 1~2년 이상 방치기간이 경과하여도 장비의 진입이 불가능하여 어려움을 겪고 있는 실정에서, 본 연구에서 제안된 준설매립공법을 통해 준설성토층내 수평배수층 및 불투수막의 재료비와 간단한 설치비용으로 분리층을 설치하면 점성토 준설성토 후 0.5~1년 이내에 표층의 전단강도가  $0.2\text{kg}/\text{cm}^2$  이상이 발휘되어 장비진입이 가능하므로 인근에서 토석채취장개발이 어렵고 인근바다에서 준설모래를 얻을 수 없는 해안매립현장에서 해성점성토를 준설성토재료로 활용이 충분할 것으로 판단되며, 추후 본 공법에 대한 대형모형시험 또는 시험시공 등을 통해 시공과정에서 발생가능한 문제점 등을 최소화한다면 실제 시공에서도 적극적인 활용이 가능할 것으로 판단된다.

## 참고문헌

1. 김상규, 김현태, 공길용(2001), “수평배수층의 소요통수능”, 한국지반공학회지, 제17권, 제5호, pp.83~96.
2. 김현태(1998), “스미어존내 투수성변화와 웰저항을 고려한 연직배수공법의 압밀해석”, 박사학위논문, 동국대학교, pp.8~38.
3. 김현태, 김상규, 공길용(2002), “연직배수공법에서 수평배수층의 소요통수능”, 한국지반공학회지, 제18권, 제1호, pp.59~70.
4. 김형주, 원명수(1997), “수평배수공법에 의해 개량된 준설점토지반의 압밀거동에 관한 연구”, 한국지반공학회지, 제13권, 제1호, pp.137~145.
5. 남현우, 한창연, 양기석, 강명찬(2003), “연약기초지반의 변형감소를 위한 대나무 매트공법 설계적용사례 연구”, 2003년 한국지반환경공학회 학술발표회논문집, pp.249~258.
6. 이영남, 이승원, 지성현(1999), “준설점토지반의 표층안정처리기술”, 해안공간 개발을 위한 연약지반처리기술 심포지움, pp.89~146.