

실트질 모래지반에서의 Plastic Drain Board를 이용한 중력식 수평배수에 관한 연구 A Study on the Gravitational Horizontal Drain Method by Plastic Drain Board in Silty Sand

김홍택¹⁾, Kim, Hong - Taek, 김석열²⁾, Kim, Seog-Yeol, 강인규³⁾, Kang, In-Kyu

¹⁾홍익대학교 토목공학과 부교수, Associate Professor, Dep't of Civil Eng., Hongik Univ.

²⁾농어촌진흥공사 과장, Section Chief, Rural Development Corporation.

³⁾(주)브니엘컨설턴트 책임, Chief Engineer, Vniel Consultant Co., Ltd.

SYNOPSIS : This paper presents results of laboratory model test for determining design parameters of gravitational horizontal drain method by plastic drain board(PDB). The test apparatus is constructed in height 2m, width 2m, and long 5m. The material used to construct the model test was silty sand at Saemangum, Buan, of which silt was composed of 37% and clay was composed of 2%. And also plastic drains used the model tests are PDB of band type and Menard drain of circular type. Through the model test, the following results were obtained ; (1) When horizontal spacing of PDB is more than 100cm, efficiency of discharge capacity is appeared to maximized. (2) In efficiency of discharge capacity, PDB of band type is superior to PVC pipe or Menard drain of circular type. (3) In comparison to installation methods of PDB, flat type that the drain is installed horizontally is measured greater amount of drainage than sharp type that the drain is installed vertically.

KEYWORDS : Plastic drain board, Gravitational horizontal drain method

1. 서론

중력식 수평배수공법은 주로 농업토목에서 수리조건은 좋으나 지하수위가 높고 수온이 낮은 용출수와 토양중에 수분이 많은 평야지의 배수 불량답에 직경 5cm 정도의 원형압거(PVC유공관)를 1/100~1/1,000 구배로 완만하게 수평으로 설치하여 수두차에 의해 중력방향으로 자연배수시키는 공법이다.

최근 간척지의 조성 및 준설 매립사업이 확대되면서 보다 효율적이고 경제적인 지반개량을 위해 수평배수공법에 대한 연구가 요구되고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 시공성을 감안하여 중력식 수평배수공법에 사용되는 기존의 수평 배수제 대신에 Plastic Drain Board(이하 PDB)를 사용한 새로운 형태의 중력식 수평배수공법을 제시하였다.

본 연구에서 제시된 중력식 배수공법의 배수성을 평가하기 위하여 실내 모형 토조(폭: 2m, 길이: 5m, 높이: 1m)를 제작하여 PDB의 설치간격에 대한 배수 영향 범위와 설치형태에 따른 배수 효과 분석 및 기존의 소구경 배수압거와의 배수성 비교분석을 수행하였다.

2. 중력식 수평배수이론

지중에서의 지하수위는 강우 등의 유입수, 증발량 등의 유출수, 토양특성, 배수거의 심도간격, 배수거의 횡단면적, 배수거의 수위 등에 따라 변화하므로 이들 인자간의 상호관계를 정확히 구명하여 지하수위 변화를 추정하는것은 복잡하다. 따라서 다음과 같은 가정하에 지하수의 흐름을 정류상태와 부정류상태로 구분하여 사용하고 있다.

(1) 지하수위의 변화는 이차원 흐름이다.

(2) 암거 구역내의 강우 또는 기타 외부유입수 등에 의한 보충수량은 균일하다.

(3) 토층내의 토질은 균질하며, 투수계수가 부분적으로 변화하지 않으면 등방성이다.

정류상태는 지하수의 유출이 원활하고 지하수가 충분한 상태로 암거 유출량과 지하수 보충량이 동일하고 지하수의 변화가 없는 상태이며, 부정류상태는 지하수 보충량이 일정하지 않아 시간에 따라 지하수위가 변화하는 상태로 정의된다.

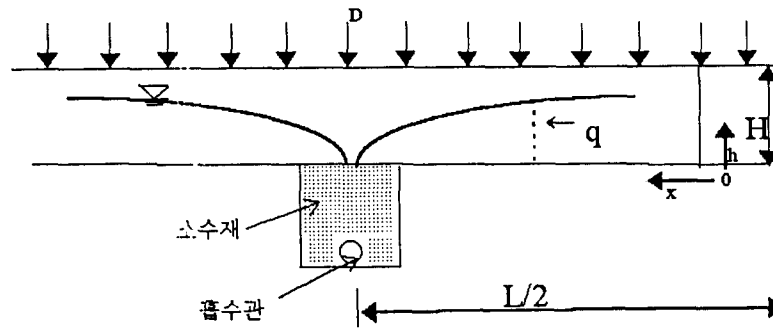


그림 1. 중력식 수평배수의 기본이론

최근에 荻野芳彦 등(1985)은 범용화 경지 조성을 위하여 일반적인 다음과 같은 암거배수 설계이론을 제시하고 있다.

$$q = -kh \frac{dh}{dx} = D \cdot x \quad (1)$$

여기서, q : 단위폭당유량, k : 투수계수, D : 계획일 암거배수량

식(1)을 적분하고, 경계조건($x=0$ 일 때 $h=H$)을 적용하여 정리하면 식(2)와 같다.

$$D \int_x dx = -k \int_h dh$$

$$\frac{D}{k} x^2 + h^2 = H^2 \quad (2)$$

식(2)에서 암거 직상부($x=L/2$, 여기서 L : 암거간격)에서 수면이 작토층 바닥에 일치하므로 $h=0$ 으로 하면 최대암거간격을 결정할 수 있다.

$$L = 2H \sqrt{\frac{k}{D}} \quad (3)$$

여기서, $D = 20\text{mm/day}$ (답), 40mm/day (전환답)

H : 작토층 두께(보통 0.15m)

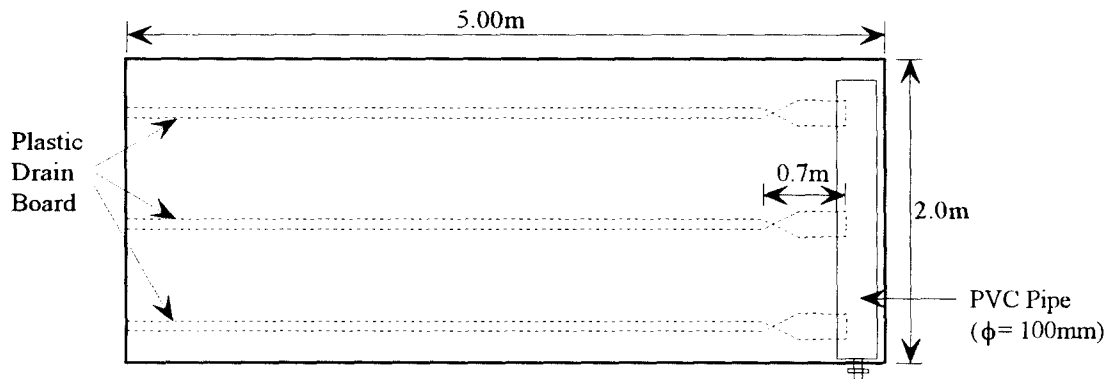
3. 실내모형시험

3.1 시험장치 및 시험방법

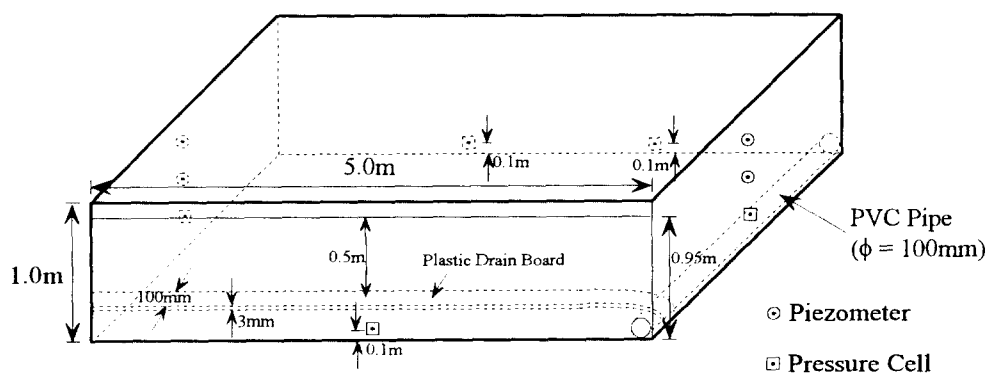
본 시험장치는 대표적인 배수 불량답의 흙을 대상으로 PDB의 필터슬리브와 코어의 복합적인 통수능력을 실내에서 직접 규명하고, PDB와 재래식 암거와의 통수능력을 비교하기 위한 시험장치로 그림 1과 같다. 본 시험장치의 계측은 그림 1과 같이 미동압력계(pressure cell)를 5개소에 설치하였고 피조미터(piezometer)는 4개소에 설치하여 간극수압의 경시변화를 측정하였으며, 측면에는 아크릴판을 부착하여 압밀 진행상태를 파악할 수 있도록 하였다.

또한 배수량의 측정을 위해 배수재의 끝단을 PVC파이프(직경 100mm)에 고정시켜 한 곳으로 배수된

물이 모이도록 하였으며, PVC파이프에 모인 물은 PVC파이프 끝단에 설치된 직경 1cm의 수도꼭을 통해 배수측정용 용기에 담아 배수량을 측정하였다. 배수량의 측정간격은 측정개시부터 2시간 30분까지는 5분 간격, 3시간까지는 10분 간격, 4시간까지는 20분 간격, 5시간까지는 30분간격, 8시간 간격까지는 1시간 간격, 그 이후는 12시간 간격으로하여 일정한 양에 수렴할 때까지 측정하였다.



(a) 평면도



(b) 측면도

그림 1 복합통수능력 시험장치

3.2 시험시료의 토질특성

본 시험에 사용한 시료는 전북 부안의 새만금 방조제 준설토를 사용하였으며, 시험시 시료는 3단계로 나누어 토조에 채웠다. 또한 각 단계마다 수도수를 주입하여 시료를 완전히 포화시킨 후 약 4일간 방치하여 자중압밀에 의한 공기제거 및 과잉간극수가 충분히 배출된 상태에서 시험을 실시하였다. 실험장치 내부의 대표적인 위치(상면에서 0.2~0.3m 깊이)에서의 토질특성은 표 1과 같다.

표 1. 복합시험장치 토조의 토질특성

입 도(%)			습윤단위 중량 (gf/cm^3)	함수비 (%)	비 중	투수계수 (cm/sec)	통 일 분 류
점 토	실 트	모 래					
2.0	37.0	61.0	1.720	34.1	2.640	1.23×10^{-4}	SM

4. 분석 및 고찰

4.1 PDB의 설치간격에 따른 영향

PDB의 타설은 토조의 상면에서 50cm 깊이에 인력으로 타설하였는데, PDB의 간격은 먼저 10cm 간격으로 9분을 수평으로 PDB면을 세워서 타설한 다음 배수시험을 실시하였으며, 같은 방법으로 시료를 다시 포화시키고 PDB의 간격을 늘리면서 배수시험을 실시하였다. 각 간격에 대한 배수시험 결과는 그림 2와 같다.

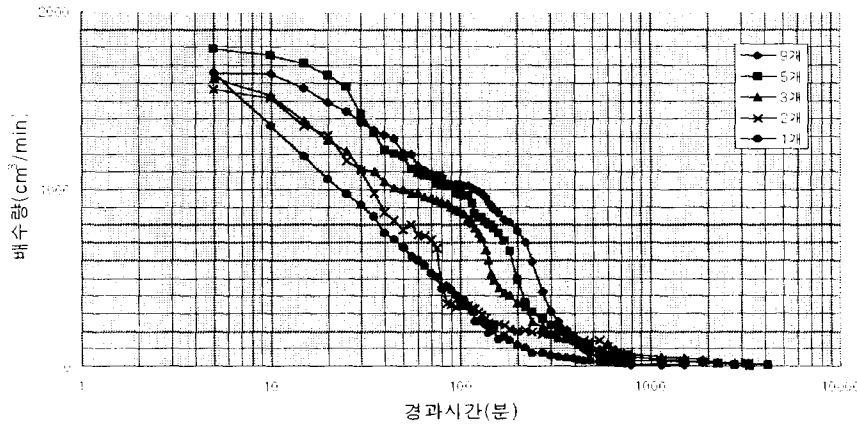


그림 2. PDB의 설치간격에 따른 배수량

간격에 대한 영향을 검토하기 위하여 각각 간격에서 수렴할 때의 시간을 총배수량으로 나누어 단위 배수량으로 환산하여 이를 종축으로 하고 타설 분수를 횡축으로 하여 도시하면 그림 3과 같다. 그림 3과 같이 타설분수가 증가함에 따라 단위배수량은 증가하나 타설분수가 2분(=배수재의 설치간격 100cm)부터는 일정한 값에 수렴하는 경향을 나타내었다. 따라서 시료의 종류에 따라 다소 차이는 있겠지만 중력식 수평배수공법에서 PD재의 타설간격은 최소 100cm 이상이 되어야 함을 알 수 있었다.

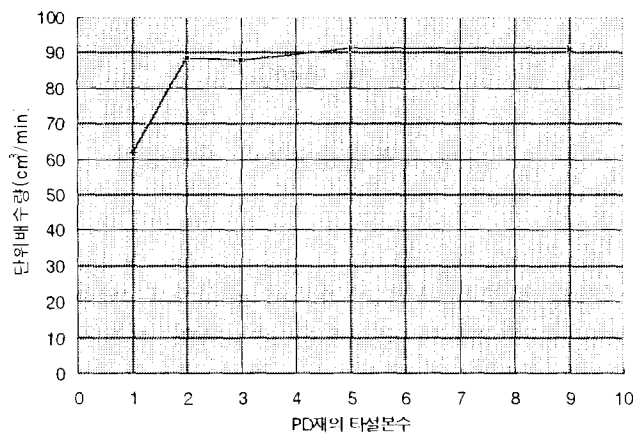


그림 3. PD재의 타설분수에 따른 단위배수량

4.2 기존 배수암거와의 비교

기존의 배수암거로 사용하고 있는 PVC 유공관과 비교하기 위하여 PD재(밴드형(PDB) 및 원형(Menard))와 같은 조건으로 토조 폭의 중앙에 1분을 수평으로 설치하여 배수시험을 실시하였으며, 그 결과는 그림 4와 같다.

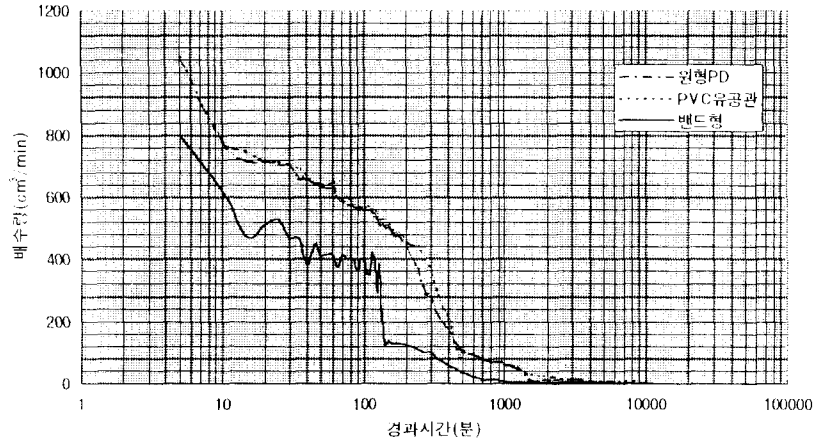


그림 4. PD재와 재래식 유공관과의 비교

그림 4로 부터 원형PD재와 PVC유공관은 배수량에서 거의 비슷하고, 밴드형 PD재와는 상당한 차이를 나타내고 있다. 이는 비표면적에서는 밴드형인 PDB가 원형 PD나 PVC유공관 보다 커서 집수능력은 뛰어나지만 체적과 관련된 통수능력이 작기 때문이지만 PDB의 배수량이 계획배수량을 상회한다면 기존의 배수암거 보다 시공성이 용이하여 경제적이다.

4.3 축압 및 동수구배에 따른 PDB의 통수능력

김¹⁾등이 실시한 축압 및 동수구배에 따른 PDB의 통수능력에 대한 실험결과를 요약하면 그림 5와 같다. 그림 5는 PDB의 길이 10m에 대하여 축압이 0.2~1.0kgf/cm²인 경우 동수구배의 변화에 따른 통수능력의 변화상태를 나타낸 것이다. 여기서 통수능력(Q_w)은 배수량(Q)을 동수구배(i)로 나눈 값으로 정의하며, 시험결과 동수구배 0.02이하에서는 통수능력이 현저하게 변화하고, 그 이상에서는 일정값에 수렴하는 경향을 나타내고 있다.

따라서 PDB를 배수 불량답에 설치할 경우 동수구배는 0.02 이하(= 2% 경사)이며, 축압은 일반적으로 0.2kgf/cm² 이하의 범위에 있고 통수능력은 150~210cm³/sec의 범위이므로 배수재를 기존의 배수암거 대신에 PDB를 사용하여도 배수성능에는 문제가 없을 것으로 사료된다.

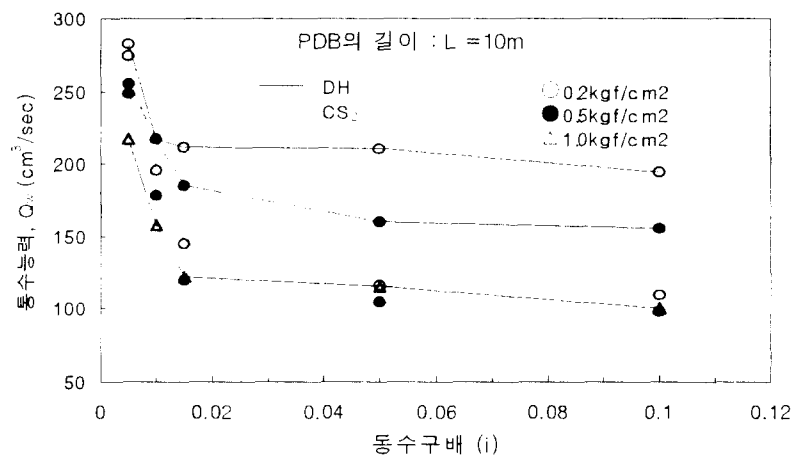


그림 5. 축압 및 동수구배에 따른 통수능력의 변화

4.4 설치형태에 따른 배수효과

PDB를 수평으로 설치하는데 있어서 면을 세워서 설치하는 경우와 눕어서 설치하는 경우를 상호 비교하였는데, 그 결과는 그림 6과 같다.

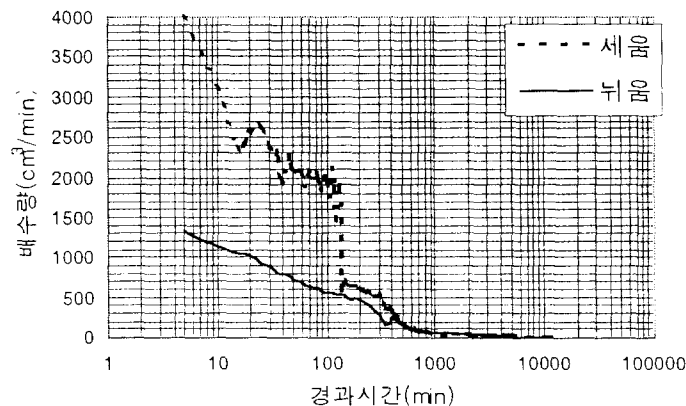


그림 6. 타설면에 따른 배수 영향

그림 6의 결과로 볼 때 PDB의 면을 세운 경우가 면을 누운 경우보다 배수효과가 우수한 것으로 나타났는데 이러한 경향은 수평방향의 투수계수가 연직방향의 투수계수보다 크고, 수평토압이 연직토압보다도 작기 때문에 PDB에 미치는 구속압력이 면을 세웠을 때가 작기 때문인 것으로 판단된다.

5. 결론

본 연구를 통해 얻어진 주요 결과를 정리하면 다음과 같다.

- (1) 실내모형시험으로부터 PDB의 간격에 대한 영향을 검토해 본 결과 PDB의 설치간격은 최소 100cm 이상이 되어야 할 것으로 판단된다.
- (2) 기존의 배수암거와의 비교결과 배수량은 기존의 배수암거인 PVC유공관과 원형PD재는 거의 비슷한 경향을 나타내었으며, 밴드형 PD재와는 상당한 차이를 나타내었다. 이는 비표면적에서는 밴드형인 PDB가 원형 PD나 PVC유공관 보다 커서 집수능력은 뛰어나지만 체적과 관련된 통수능력이 작기 때문으로 판단된다.
- (3) PDB의 설치형태에 따른 배수영향을 실내실험을 통하여 검토해 본 결과 PDB의 면을 세운 경우가 면을 누운 경우보다 배수효과가 크게 나타났는데 이는 수평방향의 투수계수가 연직 방향의 투수계수보다 크고, 수평토압이 연직토압보다도 작기 때문에 PDB에 미치는 압력이 면을 세웠을 때가 작아 통수능력이 크기 때문으로 판단된다.

아울러 앞으로의 연구과제로 본 연구에서 제시한 중력식 수평배수공법을 연약한 해성점토를 준설 매립한 지반에 확대 적용하고, 이에 대한 실험적인 연구와 유한 변형 압밀이론을 이용한 연구가 진행되고 있다.

6. 참고문헌

- (1) 김석열, 박영목, 김호일, 홍병만(1997), “플라스틱드레인재를 이용한 저습답의 배수개선에 관한 연구”, 최종보고서(요약), 농림부
- (2) 농림수산부(1983), 농지개량사업계획설계기준(계획, 배수편), pp.208~209.
- (3) 吉國 洋, 廣兼修治, 森脇武夫, 日下部 治(1994), “ホリゾンタルドレン工法の有効性に関する研究”, 土木學會論文集, No.499/III-28, pp.87~96.
- (4) 荻野芳彦, 村島和男(1985), “暗渠排水計劃の理論的檢討-汎用化耕地のための暗渠排水設計(I)”, 農業土木學會論文集, 119號, pp.1-6.