

복합통수능시험기를 이용한 실린더형 플라스틱 보드 드레인의 성능 평가 Capacity Evaluation of Cylindrical Plastic Board Drain with The Composite Discharge Capacity Apparatus

이찬우¹⁾, Chan-Woo Lee, 정두회²⁾, Du-Hwoe Jung, 김윤태³⁾, Yun-Tae Kim, 진규남⁴⁾, Kyu-Nam, Jin

1) 부경대학교 건설공학부 석사과정, Graduate Student, Dept. of Civil Engineering, Pukyong National University

2) 부경대학교 건설공학부 교수, Professor, Dept. of Civil Engineering, Pukyong National University

3) 부경대학교 해양공학과 부교수, Associate Professor, Dept. of Ocean Engineering, Pukyong National University

4) 한국토지공사, 연구개발처 책임연구원, Senior Researcher, Korea Land Corporation

SYNOPSIS : If a conventional type of Plastic Board Drain (PBD) is installed to the deep clay deposit, it is subjected to a high lateral earth pressure. a flow channel of PBD may be reduced by the collapse of cores and clogged by the intrusion of filter into the space between cores which are made by lateral pressure. It could decrease the ability of initial discharge capacity and the reliability of long term discharge capacity. A cylindrical plastic board drain (C-PBD) considered in this study consists of cylindrical core and several supports so that it can prevent the reduction of area of flow channel from the higher lateral earth pressure effectively.

The discharge capacity of C-PBD was compared to that of a conventional PBD through performing experiments using the composite discharge capacity apparatus which can consider in-situ condition such as penetration of drains, ground settlement and discharge capacity. As a result, C-PBD showed much better performance than PBD in the ability of discharge. It was observed that the C-PBD was folded whereas the conventional PBD was folded after the experiment.

Key words : Discharge capacity test, Cylindrical Plastic Board Drain, Cylindrical core and supports

1. 서 론

연약지반 문제를 해결하기 위한 방안으로 세계 각국에서 연약지반 개량공법의 하나인 연직배수공법이 주로 사용되고 있다. 연직배수공법은 지반 내에 투수층 재료를 연직으로 촘촘하게 타설하여 점성토층의 배수거리를 단축시킴으로서 단기간 내에 지반의 압밀침하를 촉진시키고, 그에 따른 강도증가 효과를 얻을 수 있는 공법이다. 현재 국내에서 사용되는 연직배수공법으로는 샌드드레인(Sand Drain), 팩 드레인(Pack Drain) 및 플라스틱 보드드레인(Plastic Board Drain, PBD)공법 등이 있다. 이러한 공법중 PBD에 의한 개량공법은 경제성과 시공성 등이 우수하여 널리 사용되고 있다.

연직배수재의 선정 시 통수능력이 중요한 요소이지만, 대심도 또는 대변형 등의 과업지반의 특성을 고려한 통수능력의 평가와 침하경향, 배수재의 변형특성, 축압의 영향, 배수재 관입 시 발생하는 교란효과(Smear Effect) 및 개량전후의 함수비와 전단강도의 변화 등을 종합적으로 평가하는 것이 바람직하다.

2.2 복합통수능 시험에 사용된 연직배수재

본 실험에 계획된 연직배수재의 종류는 C-PBD와 PBD(하모니카형) 2가지의 종류를 이용하였다. C-PBD는 국내에서 개발 중인 제품으로 실린더형 코어와 지지대가 다수 개 반복적으로 구성되어 있는 것이 특징이고, PBD는 일반적인 하모니카 형태의 배수재를 사용하였다. 연구에 적용된 연직배수재의 형태는 그림 2에 나타내었고, 배수재의 특성은 표 1에 나타내었다.

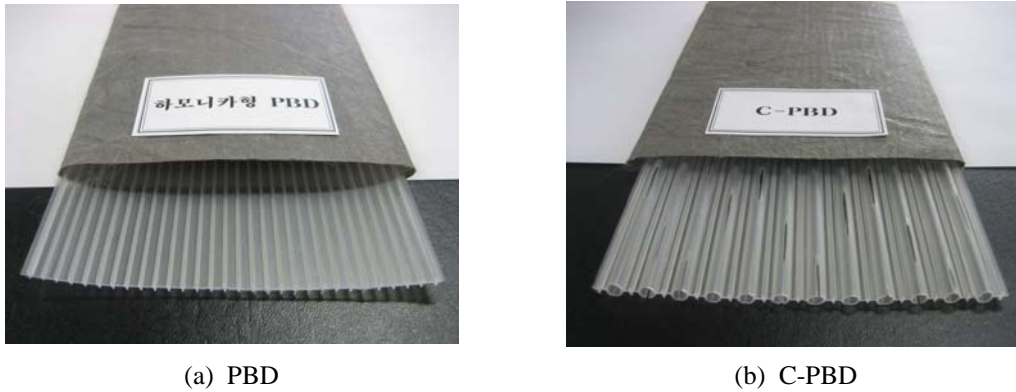


그림 2. 실험에 사용된 연직배수재 형태 및 코어형상

표 1. 배수재 형상에 의한 특성 비교

| 항목 | 시험방법 | | 단위 | PBD(하모니카형) | C-PBD(실린더형) |
|---------------------|--|----|----------------------|------------|-------------|
| 재질 | KS K 0210 | | - | PP, PE | PP, PE |
| 중량 | KS K ISO 9864 | | g/m | 105.2 | 116.3 |
| 폭 | KS K 0505 | | mm | 97.5 | 97.7 |
| 두께 | KS K ISO 9863 | | mm | 3.86 | 5.28 |
| 인장강도 | KS K ISO 10319 | | kN/(전폭) | 3.5 | 4.12 |
| 배수성능 (한국의류시험연구원) | Delft 시험법 (상재압 300 kPa, 동수경사 0.5, 가압기간 1주) | 직선 | cm ³ /sec | 47 | 138 |
| | | 굴곡 | cm ³ /sec | 36 | 90 |

2.3 시험조건 및 방법

본 시험에서 사용된 시료는 부산 신항만 준설 매립지역에서 채취한 준설매립토이고, 시료채취 후 실내시험실에서 습윤상태의 흙을 No.10체로 체가름하여 사용하였다. 이 과정 중 실험결과에 영향을 미칠 정도의 크기가 큰 입자나 조개껍데기 등의 불순물을 제거하였다. 그리고 시료를 작업의 용이성을 위하여 액성한계의 2배(110±5%)의 함수비를 갖는 고함수비 상태로 시료를 준비하였다. 표 2에서는 본 시험에 사용되어지는 점토시료의 성질에 대해서 나타내었으며, 그림 3에서는 점토시료의 입도분포곡선을 나타내고 있다.

표 2. 실험에 사용된 시료의 특성

| Water content(%) | G_s | Atterberg Limit | | | Passing ratio (#200, %) | USCS |
|------------------|-------|-----------------|-------|-------|-------------------------|------|
| | | LL(%) | PL(%) | PI(%) | | |
| 87 | 2.70 | 57.7 | 16.71 | 40.99 | 99.02 | CH |

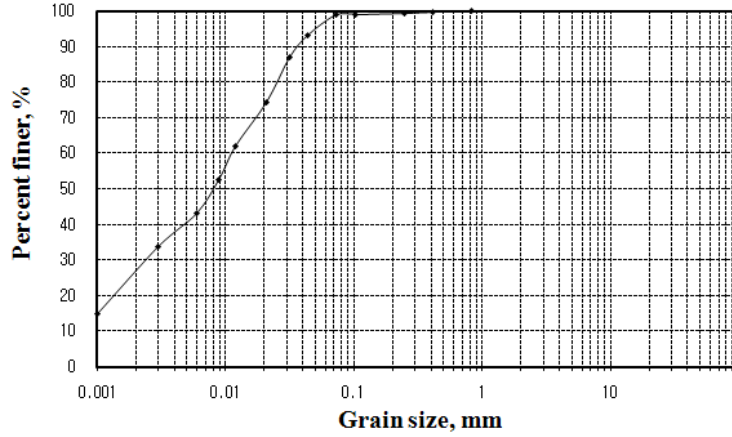


그림 3. 입도분포곡선

본 연구에서 실시한 복합통수능 시험방법은 교란된 시료를 1개월 동안 예압밀을 실시하고 배수재 타설 후 3일 간격으로 하중을 증가시키며, 하중증가 직전에 동수경사에 따른 통수능력시험을 실시하였다. 시험방법 및 절차는 그림 4와 같은 순서에 의해 진행하였고, 시험조건은 표 3과 같다.

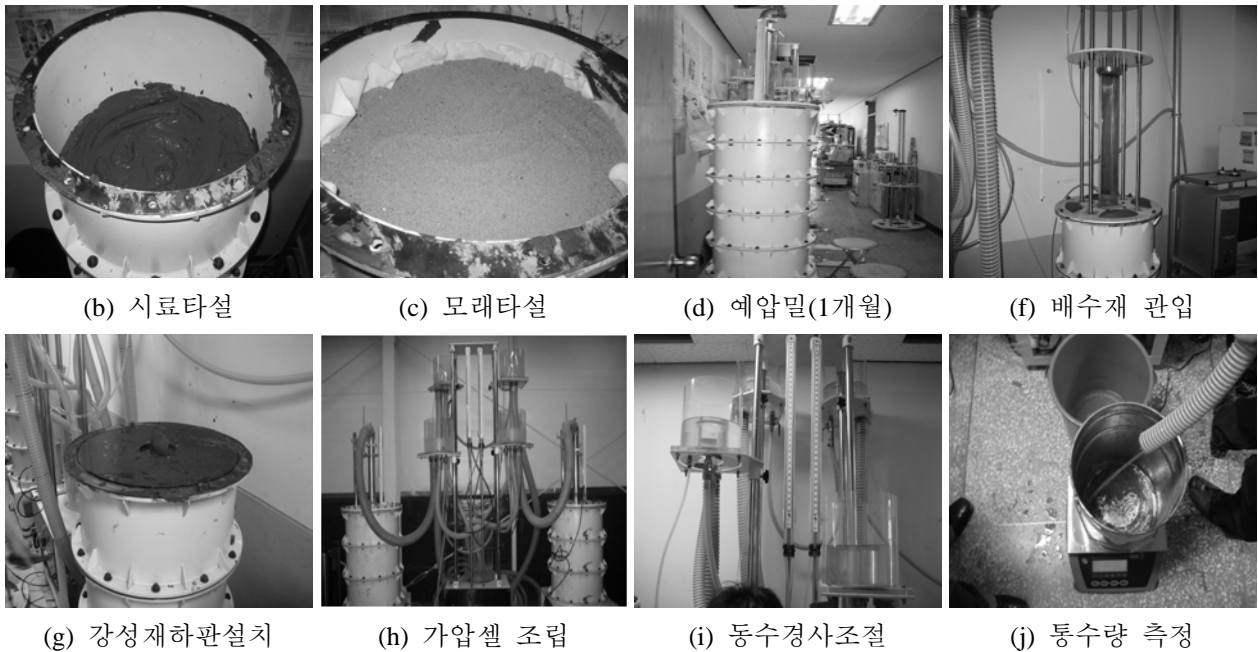


그림 4. 복합통수능시험 순서

표 3. 시험조건

| 시 험 항 목 | 실 험 조 건 |
|-------------|------------------------------|
| 배 수 재 종 류 | 하모니카형 PBD |
| | 실린더형 PBD |
| 초기배수재 길이 | 750 mm |
| 재 하 응 력 | 단계재하(50→100→200→300→400 kPa) |
| 단계별 재하응력 기간 | 3일 |
| 동 수 경 사 | $i = 0.5, 1.0$ |
| 초기 시료 높이 | 750mm |
| 액 성 한 계 | 57.7% |
| 초 기 합 수 비 | 110±5% |
| 예압밀 종료후 합수비 | 88±2% |

3. 복합통수능시험 결과

3.1 통수능 시험결과

본 시험은 단계하중을 3일 간격으로 증가시켰고, 단계하중증가 직전에 통수능시험을 실시 하였다. 동수경사는 0.5와 1.0일때의 통수량을 측정하였고, 연직배수재는 C-PBD과 PBD를 사용하였다.

상재하중의 증가 및 시간경과에 따른 통수능 변화에 대해 동수경사별로 통수능 시험을 수행한 결과, C-PBD은 상재하중 50kPa일 경우 초기 통수능은 동수경사 1.0일 때 $142.28\text{cm}^3/\text{sec}$, 동수경사 0.5일 때 $87.72\text{cm}^3/\text{sec}$ 로 나타났고, 상재하중 400kPa로 시험이 종료될 때까지 동수경사 1.0일 때 $66.16\text{cm}^3/\text{sec}$, 동수경사 0.5일 때 $40.50\text{cm}^3/\text{sec}$ 로 감소하였다. PBD는 상재하중 50kPa일 경우 초기 통수능은 동수경사 1.0일 때 $120.32\text{cm}^3/\text{sec}$, 동수경사 0.5일 때 $69.09\text{cm}^3/\text{sec}$ 로 나타났고, 상재하중 400kPa로 시험이 종료될 때까지 동수경사 1.0일 때 $25.00\text{cm}^3/\text{sec}$, 동수경사 0.5일 때 $13.17\text{cm}^3/\text{sec}$ 로 감소하였다.

실험에서 나타난 바와 같이 상재하중에 따라 통수능력이 감소하는 것은 상재압력에 따른 측압증가에 의해 필터가 크립 현상으로 인하여 배수재 내의 유로 단면적이 감소시키기 때문이다. 그리고 시간의 경과에 따라 침하에 의한 배수재의 굴곡 또는 절곡현상이 발생하면서 배수재의 통수 단면적을 감소시키기 때문이다.

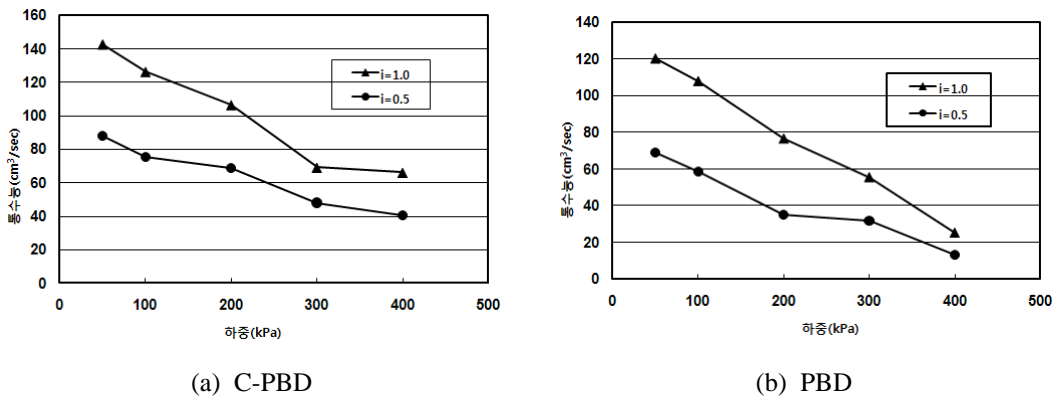


그림 5. 상재하중에 따른 통수량 변화

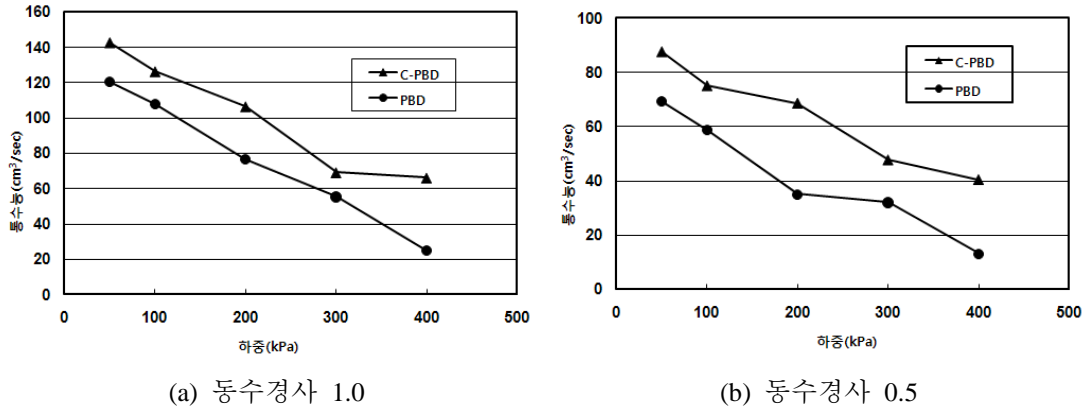


그림 6. 동수경사에 따른 통수량 변화

3.2 배수재의 변형

그림 7은 복합통수능시험 종료 후 시료 절단면으로부터 확인한 C-PBD와 PBD의 굴곡 형상을 제시한 것이다. C-PBD는 그림 7(a),(b)와 같이 실린더형 코어와 지지대의 영향으로 절곡부는 발생하지 않았고 사인(Sine)형태의 굴곡과 약간의 비틀림만 발생하였다. 그러나 PBD는 그림 7(c),(d)와 같이 침하에 따른 배수재의 변형이 크게 발생하였고, 특히 4곳의 절곡부분이 관찰되었다.

침하에 따른 배수재의 절곡현상 때문에 PBD의 경우 통수량이 급격히 감소하며, 특히 상재하중이 300kPa 이후의 통수량이 급격히 감소하는 현상을 관찰하였다.

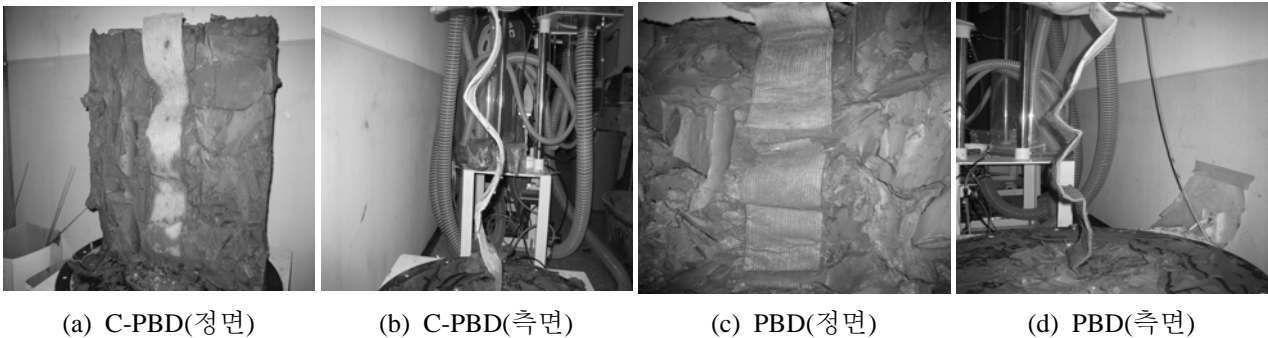


그림 7. 배수재 변형특성

4. 결론

본 연구는 복합통수능시험기를 이용하여 상재하중에 따른 C-PBD와 PBD의 통수능력을 평가하고, 시간의 경과에 따른 침하량을 측정하였다. 또한 시험종료 후 배수재의 형상 변화를 관찰하였다. 총괄 연구결과를 정리하면 다음과 같다.

- (1) 각 하중단계별 통수능시험을 실시한 결과 통수능력을 PBD를 기준으로 살펴보면 C-PBD의 초기통수능력은 동수경사 1.0일 때 18%, 동수경사 0.5일 때 30% 증가하였고, 최종통수능력은 동수경사 1.0일 때 164.64%, 동수경사 0.5일 때 207.5% 증가하였다.
- (2) 시험종료 후 배수재의 형상변화를 살펴보면 C-PBD의 경우 압밀에 따른 배수재의 형상변화가 완만한 곡선형태인 사인(Sine)형태의 굴곡과 약간의 비틀림만 발생하였으나, PBD의 경우 압밀에 따른 배수

재의 형상변화는 4곳의 절곡현상이 발생하였다.

- (3) PBD는 상재하중 증가 및 지반의 압밀에 의해 통수단면적의 감소와 절곡현상의 발달로 인하여 통수량의 감소폭이 크게 발생하였다. 특히 상재하중이 300kPa 이후 통수량이 급격히 감소하는 것을 관찰하였는데, 이는 상재하중 300kPa 이후 배수재의 절곡부가 크게 발달한 것으로 판단된다.
- (4) C-PBD는 상재하중 증가 및 지반의 압밀이 발생하여도 실린더형 코어와 일자형 지지대 형상 때문에 배수재의 통수단면적의 확보가 유리하고, 배수재의 강성이 커서 절곡현상은 발생하지 않은 것으로 판단된다.
- (5) C-PBD는 장기 시공 및 대심도 연약지반 현장에 적용할 경우 측압이나 압밀에 의한 배수재의 성능저하가 크게 발생하지 않고, 공기단축 및 배수재의 성능유지에 유리할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 논문은 한국토지공사가 출연하고 부경대학교에서 위탁시행한 중소기업 기술개발사업 (과제명 : 원통유공관이 구비된 플라스틱 보드 드레인재 생산기술)에 의한 것임을 밝히며 지면을 통해 감사의 말씀을 드립니다.

참고문헌

1. 사단법인 한국지반공학회(1998), “지반공학 시리즈 9, 토목섬유, 제11장” 구미서관, pp. 362~424.
2. 김수삼, 강민수, 이진태(1999), “밴드형 플라스틱 배수재(PBD)의 통수능력 특성과 Well Resistance의 영향”, 대한토목학회 논문집, 제 19권, 제 3-6호, pp. 151~1164
3. 박영목(1996), “현장조건을 고려한 플라스틱 보드 드레인의 성능평가” 96 Geosynthetics Conference, Seoul, Korea, pp. 89~100.
4. 신은철, 박정준, 김종인(2005), “영향인자를 고려한 연직배수재의 통수능 평가”, 한국지반공학회논문집, 제 21권, 제 9호, pp.13~23.
5. 양상호(2003), “연직배수재의 현장조건을 고려한 통수능력 실험기의 개발과 적용”, 석사학위논문, 한양대학교 대학원
6. Bergado, R. Manivannan., Balaubramaniam, A. S.(1996), "Proposed Criteria for discharge capacity of prefabricated vertical drains".*Geotextiles and Geomembrains*, Vol. 14, pp.481~505
7. Bergado, D. T., Asakami, H., Alafaro, M. C., and Balasubramaniam, A.S.(1991), “Smear effect of vertical drains on soft Bangkok clay”, *J. Soil Mech. Found. Engrg., ASCE*, Vol. 117, No. 10, pp. 1509~1529.