

실내모형시험을 통한 연직배수재의 통수능력 및 스미어존 영향 평가 **A Assessment of Discharge Capacity of Vertical Drains and** **Smear Zone Effect from Model Test**

천병식¹⁾, Byung-Sik Chun, 김의석²⁾, Eui-Seok Kim, 도종남³⁾, Jong-Nam Do,
국길근⁴⁾, Kil-Keun Kuk

¹⁾ 한양대학교 공과대학 토목공학과 교수, Professor, Dept. of Civil Engineering, Univ. of Hanyang

²⁾ (주)선진엔지니어링 대리, Assistant Manager, Sunjin Engineering Co., Ltd.

³⁾ 한양대학교 대학원 박사과정 토목공학과, Ph. D. Candidate, Dept. of Civil Engineering,
Univ. of Hanyang

⁴⁾ 한양대학교 대학원 석사과정 토목공학과, Graduate Student, M.S. of Civil Engineering,
Univ. of Hanyang

SYNOPSIS : The Vertical Drains(Sand Drains, Pack Drain, PBD) is used for Vertical Drains Method in domestic. Each of the drains is selected after it consider a field condition and efficiency of drain. A discharge capacity is very important factor, which to estimate a efficiency. And the smear Zone where disturbance area of in-suit by installation of Vertical Drains is important factor to select a drains.

In this study, the complex discharge capacity test was operated for discharge capacity comparison of the Wing Drain and PBD. And a model test was operated to apprehend smear zone of the Wing Drain and PBD. From these tests, it was apprehended an engineering characteristic of vertical drain.

The results of the complex discharge capacity test, a discharge capacity fell below $20\text{cm}^3/\text{sec}$ to $1\text{cm}^3/\text{sec}$ in more than overburden load $2.5\text{kg}/\text{cm}^2$. The Wing Drain maintained a over $40\text{cm}^3/\text{sec}$ in more than overburden load $2.5\text{kg}/\text{cm}^2$ and minimum discharge capacity $8\text{cm}^3/\text{sec}$.

The results of the smear zone test, a influence bounds of smear zone was more larger in case of the Wing Drain(rectangle) than the PBD. But when a discharge capacity of Wing Drain is considered, it was concluded which smear zone bounds difference was effected in comparison with PBD. I think that it minimized a mandrel section to minimize a smear zone effect range

Keywords : Wing Drain, PBD, Vertical Drains, Smear Zone, Complex Discharge Capacity

1. 서 론

연직배수공법은 점토층 내에 배수재를 설치하여 최대배수거리를 인위적으로 단축하여 압밀을 도모하는 방법이다. Terzaghi의 1차원 압밀이론에 의하면 점토층의 압밀시간은 최대 배수거리의 제곱에 비례하므로 최대배수거리를 짧게 하면 압밀시간을 크게 단축시킬 수 있다. 연직배수재와 관련된 현재까지의 이론의 흐름은 Terzaghi(1925)의 1차원 압밀이론 이후, Barron(1948), Yoshikuni(1974, 1979), Hansbo(1979) 등이 Terzaghi의 기본가정을 사용하여 연구하였다.

연직배수공법은 연직기둥에 사용하는 재료에 따라 종류가 다양하다. 페이퍼드레인은 샌드 드레인에 비해 시공능률이 크므로 공기를 단축할 수 있고, 재질이 일정하고 공급이 안정되어 있어 경제적이다 할 수 있다.

연직배수재를 이용한 연약지반개량공법에서 배수효과에 절대적인 영향을 미치는 것이 통수능(Discharge Capacity)이다. 이러한 통수능은 지반조건, 시공조건, 지반의 토질특성에 따라 그 편차가 크게 나타난다. 그래서 최적의 배수재를 선택하기 위해서는 다양한 배수재의 재료특성에 대한 시공조건을 고려한 통수능 실험을 실시함으로써 최적의 배수재를 선택하게 된다.

본 연구는 PBD와 Wing Drain에 대한 실내 복합통수능 시험장치를 이용하여 연약점토층의 통수능력을 파악하였다. 그리고 연직배수공법에 영향을 미치는 스미어존 효과를 파악하기 위하여 불교란 원위치 시료에 대하여 맨드렐 형상에 따른 스미어존 실험을 실시하여 배수재 타설시 맨드렐의 관입 및 인발에 따른 지반교란의 영향범위를 파악하였다.

2. 복합통수능 시험

2.1 복합통수능 시험 개요

통수능력실험 중 ASTM D 4716-87 방법은 토목섬유의 일반적인 실험방법으로 규정된 것이지만 방법이 간단하여 PBD의 통수능력 실험으로 배수재의 시공상 관리를 위하여 지금까지 사용되고 있다. 네덜란드 Delft 공대에서 개발된 통수능력 실험기는 배수재를 고무멤브레인으로 감싸고 삼축실험과 같은 방법으로 측압을 가한 후 압력의 크기를 바꾸어 가면서 배수재를 통해 흘러나오는 통수량을 측정하도록 고안되었다.

위 시험법들은 국내에서 통수능 산정에 널리 사용되고 있으나, 배수재의 통수능에 영향을 미치는 다양한 인자들을 고려하지 못하고 있다(정승용, 2005). 따라서 본 연구에서는 현장조건을 고려할 수 있는 복합통수능 시험방법을 적용하여 PBD와 Wing Drain에 대한 통수능을 산정하였다.

2.2 지반특성 및 배수재 구성

본 실험에서는 실험기의 크기를 고려시 이에 필요한 불교란 시료를 확보하는 것이 매우 어려워서 시료를 교란된 상태로 채취하여 실내실험실에서 습윤상태의 흙을 No.10번체로 체가름한 것을 사용하였다. 다음 그림 1은 대상지반의 입도 분포를 나타내고 있으며, 표 1은 대상지반의 통일분류법에 의한 지반의 분류 및 지반의 물리적 특성을 정리한 것이다.

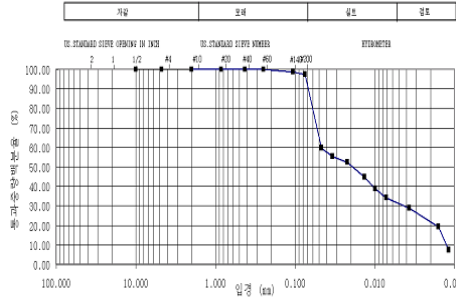


그림 1. 통수능 대상 모형지반(점토)의 입도분포곡선

표 1. 통수능 대상 모형지반(점토)의 토질특성

구분	특성	구분	특성
토질분류	CH	액성한계(LL)	63.9%
200번체 통과량	97.8%	소성한계(PL)	29.4%
비중	2.74	소성지수(PI)	34.5

복합통수능 실험에 사용된 배수재 PBD, Wing Drain의 구성은 다음과 같다. PBD는 폭 100mm(± 5mm), 두께 5.0mm(± 5mm)의 단면을 가지는 하모니카형 코어와 포켓식 필터로 구성되어 있으며, Wing Drain은 폭 80mm(± 5mm), 두께 25mm(± 5mm)이며, 양날개를 가진 주름관형태의 코어와 포켓식 필터로 구성되어 있다.

2.3 시험장치 및 조건

본 실험장치는 직경 50cm, 높이 105cm의 원통형 강재 프레임으로 제작되었으며, 압밀 진행에 따른 과잉간극수압 측정을 위해 측면에 20cm 간격으로 4개 포트와 하부에 배수재로부터 20cm 이격하여 1개 포트를 설치하여 과잉간극수압의 소산을 측정하였다. 최종 상재 압력은 2.5kgf/cm²를 목표로 하였으며, 급작스런 하중의 증가로 시료의 불안정상태가 예상되므로 하루에 0.5kgf/cm²씩 증가시켜 시료의 안정을 도모하였다. 연직배수재의 통수능 실험조건은 표 2와 같다.

표 2. 통수능 실험조건

실험항목	실험조건
배수재 종류	PBD, Wing Drain
초기 배수재 길이	90cm
하중	최대 2.5kgf/cm ² (0.5kgf/cm ² 부터 0.5kgf/cm ² 씩 증가시킴)
동수경사	0.5
초기 시료높이	90cm
초기 함수비	70~72%
구속조건	점토 구속

2.4 복합통수능시험 결과

압밀침하량의 변화를 살펴보면 최초 0.5kgf/cm^2 에서 0.5kgf/cm^2 씩 상재압력 2.5kgf/cm^2 까지 일정시간 간격으로 점차 가압한 결과 점진적으로 침하가 발생하였으며, 그림 2와 3은 PBD와 Wing Drain의 시간경과에 따른 압밀침하 곡선을 보여주고 있다. 그림 3은 하중재하에 따른 간극수압의 상승과 각 하중단계별 압밀진행에 따른 과잉간극수압 소산을 나타낸 것으로서, 상재압력 2.5kgf/cm^2 이후부터 과잉간극수압의 소산이 압밀침하량이 감소하는 것과 비슷한 경향을 보였다. 그림 4는 시간경과에 따른 통수능력의 변화를 나타낸 그림으로 통수능은 상재하중이 증가할수록, 또 시간이 경과함에 따라 현저히 감소함을 알 수 있다.

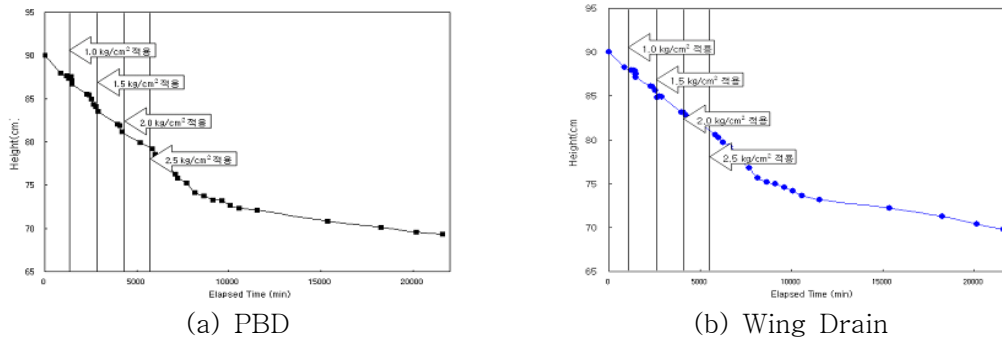


그림 2. 시간경과에 따른 압밀침하 곡선

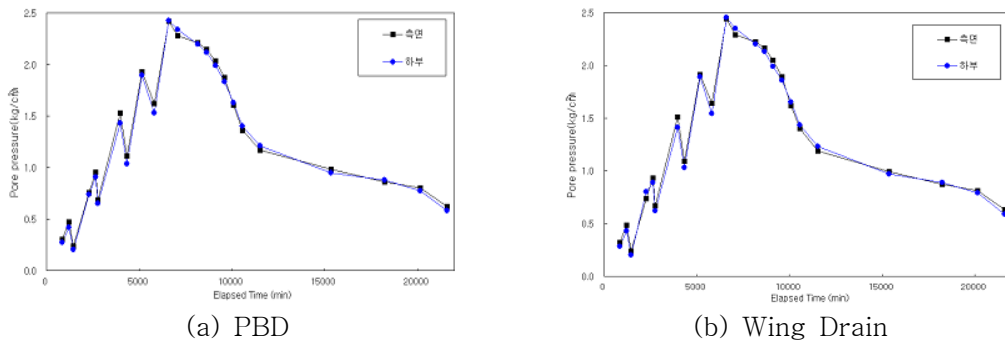


그림 3. 시간경과에 따른 간극수압변화 곡선

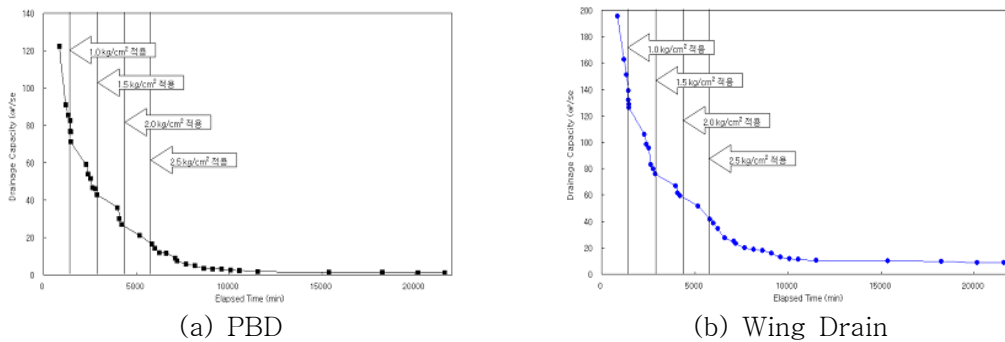


그림 4. 시간경과에 따른 통수능 변화 곡선

3. 스미어존 모형시험

3.1 시험장치 및 조건

현장에서 배수재 타입방식을 모형화하여 그림 5와 같은 스미어존 모형 실험장치를 제작하였으며, 그림 6은 실험에 사용한 맨드렐의 형상 및 규격을 나타낸 것이다.

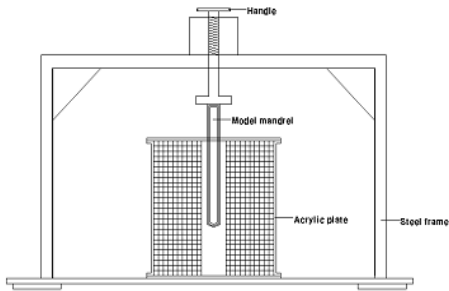


그림 5. 스미어존 측정용 실험장치

구분	P B D	Wing drain	
단면도			
형상	직사각형	직사각형	정사각형
평면도			

그림 6. 맨드렐 형상 및 규격

3.2 모형지반의 특성

본 실험에서는 스미어존의 범위 및 스미어존 내의 압밀특성을 실내에서 규명하기 위하여 현장에서 채취한 불교란 점토시료를 대상으로 실험을 실시했다. 표 3은 실험에 사용한 점토시료의 물리적 특성을 나타내고 있으며, 그림 7은 시료의 입도시험 결과이다.

표 3. 실험에 사용한 점토시료의 특성

구분	특성	구분	특성
토질분류	CH	액성한계(LL)	63.9%
200번체 통과량	97.8%	소성한계(PL)	29.4%
비중	2.74	소성지수(PI)	34.5

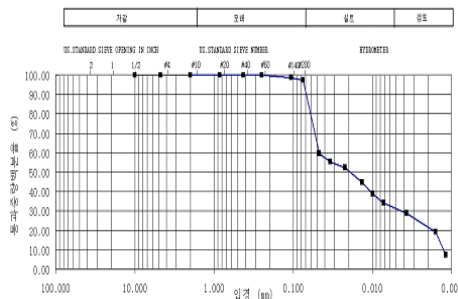


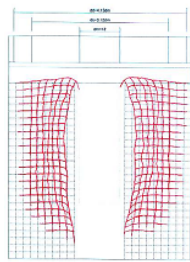
그림 7. 입도분포곡선

3.3 시험순서 및 방법

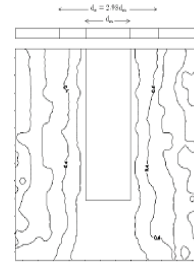
시료의 설치는 현장에서 채취한 점토시료를 적당한 크기로 자른 후 다시 실험용 몰드에 이동시키고, 점토시료의 상·하단을 와이어로 절단하여 시료의 높이가 50cm가 되게 한 후, 그 절반을 와이어로 절단한다. 시료의 절단면에 변형측정용 시편을 가로x세로=2.0cmx2.0cm의 격자형으로 부착시키고, 점토 표면의 마찰저감을 위하여 그리스를 얇게 도포한 후 아크릴판을 부착한다. 그리고 나서 몰드의 중앙에 각종 맨드렐을 50mm/sec의 속도로 정적 관입시켜, 변형측정용 시편의 변형에 의한 스미어존을 육안 관찰하여 투명필름에 스케치 하였다.

3.4 스미어존 모형시험 결과

직사각형 맨드렐과 정사각형 맨드렐의 5가지 종류를 관입하여 맨드렐 형상에 따른 스미어존의 영향을 살펴보았다. 각각의 맨드렐에 대하여 50mm/sec의 속도로 맨드렐 관입 후의 변형측정용 시편의 소성변형을 관측하였고 그 결과는 그림 8에서 그림 12와 같으며, 각 배수재에 따른 스미어존 실험결과 비교는 표 4와 같다.

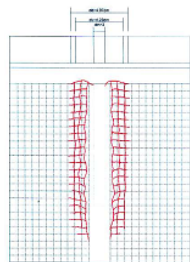


(a) 변형양상

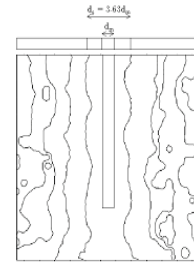


(b) 등강도 곡선

그림 8. 맨드렐 관입 전·후의 상태(PBD 직사각형 장변)

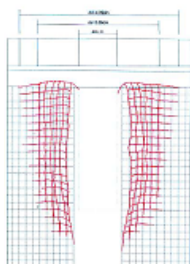


(a) 변형양상



(b) 등강도 곡선

그림 9. 맨드렐 관입 전·후의 상태(PBD 직사각형 단변)



(a) 변형양상



(b) 등강도 곡선

그림 10. 맨드렐 관입 전·후의 상태(Wing Drain 직사각형 장변)

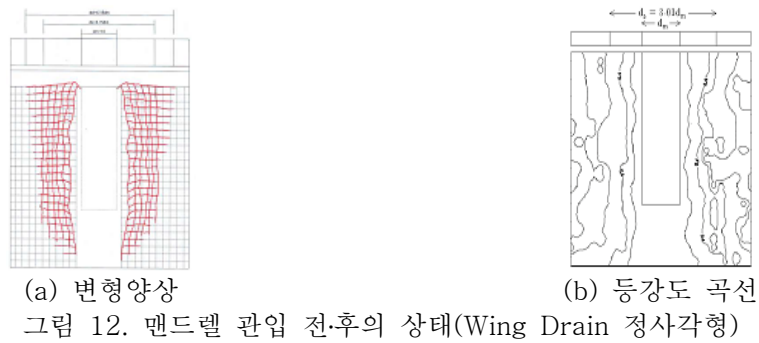
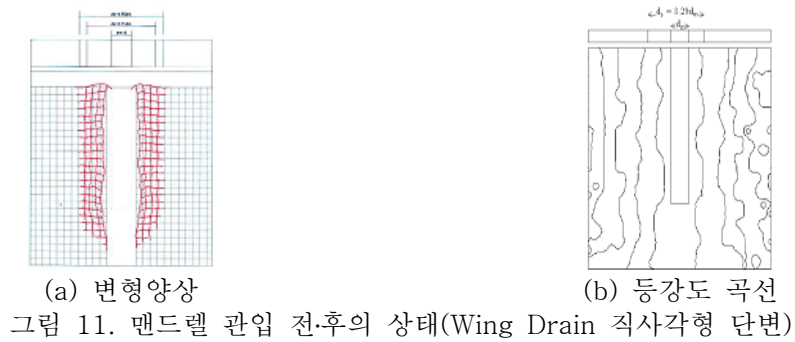


표 4. 스미어존 실험결과 비교

배수재의 종류	맨드렐 형상		관입속도 (mm/sec)	dm(cm)	ds/dm	As(cm ²)
PBD	직사각형	장변	50	12	3.12	373.15
		단변	50	3	4.23	
Wing Drain	직사각형	장변	50	10	3.15	458.93
		단변	50	5	3.71	
	정사각형		50	11	3.08	901.52

각 맨드렐의 장변과 단변에 따른 스미어존 직경비를 바탕으로 교란된 영역을 도시하여 보면 그림 13과 같다.

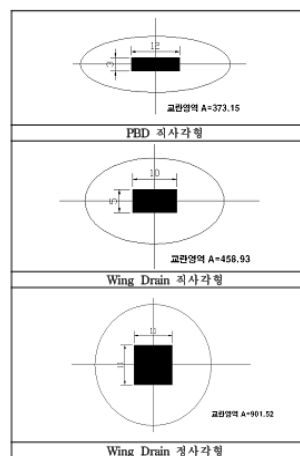


그림 13. 맨드렐 관입 후 교란범위 환산결과

4. 결 론

본 연구는 PBD와 Wing Drain에 대한 복합통수능시험을 통한 두 연직배수공법의 비교·분석과 맨드렐 모형실험을 통하여 PBD와 Wing Drain의 교란영역을 평가하였으며 그 결과는 다음과 같다.

- (1) 두 연직배수재에 대한 복합통수능 실험결과, 배수재의 최소 통수능은 PBD의 경우 상재 하중 2.5kgf/cm^2 이상에서 통수능이 $20\text{cm}^3/\text{sec}$ 이하로 떨어졌으며 이후 $1\text{cm}^3/\text{sec}$ 까지 떨어졌다. Wing Drain의 경우는 상재하중 2.5kgf/cm^2 이상에서도 $40\text{cm}^3/\text{sec}$ 이상을 유지하다가 최소 통수능 $8\text{cm}^3/\text{sec}$ 을 유지하였다. 이는 Wing Drain이 PBD에 비하여 8배에 가까운 통수능을 가지고 있음을 알 수 있었다.
- (2) 스미어존의 범위를 파악한 결과, PBD에 비하여 Wing Drain(직사각형)의 경우 스미어존의 영향범위가 약 1.2배 정도 크게 나타났으나, Wing Drain의 통수능력 고려시 PBD와의 스미어존 영역 차이는 거의 영향을 미치지 않을 것으로 판단된다. 다만 시공시 스미어존의 영향범위를 최소화하기 위해서 맨드렐 단면을 더욱 최소화시켜야 할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 정승용, 한상재, 신현영, 김수삼(2005), “현장조건을 고려한 연직배수재의 통수능 시험”, **대한토목학회논문집** 제 24권 제 5C호, pp.313~321
2. 천병식(2005), “광양항 동측배후단지(2단계) 조성공사 배수재 특성 시험 및 시험시공 최종 보고서”, **한양대학교 토질 및 기초공학 연구실**, pp.1-39.
3. Barron R. A.(1948), "Consolidation of fine-grained soils by drain wells", *Trans. ASCE*, No.113, pp.718~742.
4. Yoshikuni, H.(1979), "Design and Consolidation Control of Vertical Drain Methods", *Gihodo, Tokyo, Foundation Engineering Series*.
5. Hansbo, S.(1979), "Consolidation of clay by band-shaped prefabricated vertical drains", *Ground Engineering*, Vol.12, No.5, pp.21~25