

실내모형실험을 통한 연직배수재 타설에 의한 스미어존의 평가

An Estimation of Smear Zone Induced by Vertical Drain Construction Based on the Laboratory Model test

김홍택*, 한연진**, 김승욱***, 황정순****

Kim, Hong Taek · Han, Yeon Jin · Kim, Seong Wook · Hwang, Jeong soon

Abstract

When ground disturbance takes place due to vertical drain construction through mandrel penetration, that affects excess pore water pressure dissipation time because of soft clay coefficient of permeability decreasing. Eventually, consolidation time is influenced. In this research, we measure process of excess pore water pressure dissipation before and after each other different shape's mandrel penetration through model test, and calculates range of smear zone, coefficient of permeability and horizontal coefficient of consolidation after model test. Using of test result, we grasp a degree of drainage ability drop resulting from vertical drain construction.

Key words : Smear Zone, Coefficient of consolidation, Model test

1. 서론

본 연구에서는 연직배수공법을 시공하는데 있어서 배수재 설치를 위하여 연약지반에 맨드렐을 설치할 때 발생하는 스미어존의 범위를 알아보기 위하여 실내모형실험을 통하여 스미어존을 평가하여 보았다. 아울러 맨드렐의 형상에 따라서 발생하는 스미어존의 차이를 알아보기 위하여 원형 맨드렐과 직사각형 맨드렐을 각각 제작하여 실내모형실험을 수행하였다. 아울러 실내모형실험결과의 검증에 위한 목적으로 실험에 이용된 모형지반에서 불교란 시료를 채취하여 압밀시험을 수행하였으며, 맨드렐 관입이후 발생된 지반의 강도변화 등을 확인해 스미어존의 범위를 결정하여 실내모형실험결과와 비교하여 보았다.

2. 실험방법

2.1 모형지반

표 1. 모형지반의 물리적 특성 시험결과

구 분	심도(m)	함수비(%)	비중	#200 통과량(%)	아터버그한계			USCS
					LL	PL	PI	
대상시료	1.5~1.95	44.2~55.7	2.60~2.65	98.1~99.4	53.5~55.6	20.3~26.5	26.9~36.3	CL~CH

실내모형실험에 앞서 본 과업에서는 모형지반의 정확한 물리, 역학적 특성을 알아보기 위하여 다양한 토질 실험을 수행하였다. 토질시험은 대형 불교란시료가 채취된 위치와 동일한 위치에서 채취된 불교란시료를 이

* 정희원 · 홍익대학교 공과대학 토목공학과 교수 · 공학박사 · E-mail : htaek@hongik.ac.kr
 ** 비회원 · KER 컨설팅 그룹 · 팀장 · E-mail : polk1@naver.com
 *** 비회원 · 한국농촌공사 농어촌연구원 연구원 · 공학박사 · E-mail : yh4112@nate.com
 **** 비회원 · (주)두산산업개발 설계관리팀 과장 · 공학박사 · E-mail : jshwang1@doosan.com

용하였으며, 물리성 시험, 압밀 시험 및 삼축압축시험을 각각 2회씩 수행하였다. 모형지반에 대해서 수행된 토질시험결과는 표 1 및 표 2 에 요약, 정리 하였다.

표 2. 모형지반의 역학적 특성 결과

구 분	UU 시험		압밀 시험			비 고
	점착력, C	마찰각, ϕ	압축지수, Cc	선형압밀하중, Pc	압밀계수, Cv	
UD 1	0.19	0	0.3	0.85	4.53E-4	Cv는 평균값
UD 2	0.209	0	0.4	1.10	7.91E-4	
단 위	kgf/cm ²	°	-	kgf/cm ²	cm/sec	

2.2 모형실험

실내모형실험에 사용된 모형지반은 대형 불교란시료를 그대로 이용하였으며, 불교란 시료를 최대한 교란되지 않도록 모형토조 안에 그대로 밀어 넣어 간극수압계를 모형지반 내부 소정의 위치에 설치하여 모형지반 내에서 발생하는 간극수압의 변화를 측정하는 방식으로 진행하였다. 간극수압계는 토조의 깊이와 크기를 고려하여 설치하였으며, 맨드렐이 시공되는 곳에서 20mm(0.5D)~120mm(3D) 떨어진 곳에 다양하게 간극수압계를 설치하였으며, 맨드렐이 관입(2cm/min)하는 동안 영향을 주는 범위를 확인하였다. 또한, 모형배수재 및 맨드렐의 제원은 표 3과 같으며, 원형과 직사각형 2종류의 모형실험을 실시하였으며, 모형실험이 진행된 실험개요도와 실험전경은 그림 1 그림 2에 나타내었다.

표 3. 모형배수재 및 맨드렐 제원

구 분	형상	종류	크기				비 고
			길이, L	폭, B	두께, t	직경, ϕ	
배수재	직사각형	P.B.D	500mm	15mm	3 mm	-	외부:부직포 내부:코어
	원형		500mm	-	-	10 mm	
매트	Fiber mat	-	-	-	3mm	30 mm	
맨드렐	직사각형	SS 400	500mm	20mm	10mm	-	
	원형		500mm	-	-	15 mm	

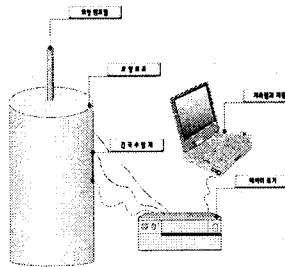
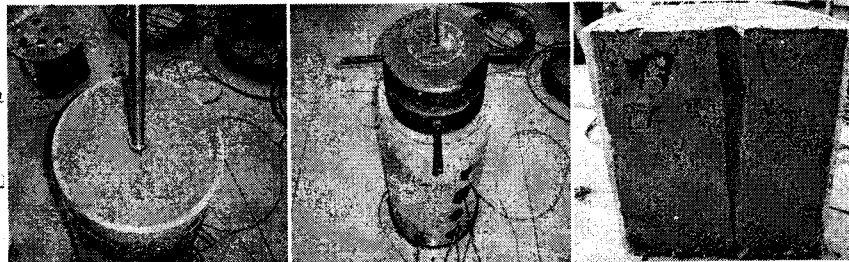


그림 1 모형실험개요도



(a) 맨드렐 관입

(b) 하중재하

(c) 시험 후 전경

그림 2 실내모형실험전경

3. 결과분석 및 고찰

3.1 과잉간극수압 변화

실내모형실험에서는 맨드렐이 관입되는 중심지점으로부터 직사각형의 경우 0.5D, 1.0D, 1.5D, 2.0D, 3.0D, 원형의 경우 0.5D, 1.0D, 1.5D, 2.0D, 2.5D, 3.0D (D : 맨드렐 직경) 떨어진 곳에서 맨드렐 관입으로 인해 발생하는 과잉간극수압이 소산되는 시점으로부터 과잉간극 수압 소산시험을 수행하였으며, 그림 3과 같다. 그 결과, 그림 3(a)의 경우 이격거리가 2.0D, 그림 3(b)의 경우 3.0D인 지점에서 모형지반의 수평투수계수가 감소하였기 때문에 과잉간극수압의 증가도 천천히 일어나고 소산되는 시간도 길어진 것으로 판단되어 실내모

형실험결과에서 스미어존에 해당되는 것으로 생각된다. 또한 정확한 스미어존의 결정을 위하여 모형지반 내에 설치된 각각의 과잉간극수압계에서 측정된 소산실험결과를 분석하여, 수평압밀계수를 산정함으로써 스미어존을 평가하여 보았다.

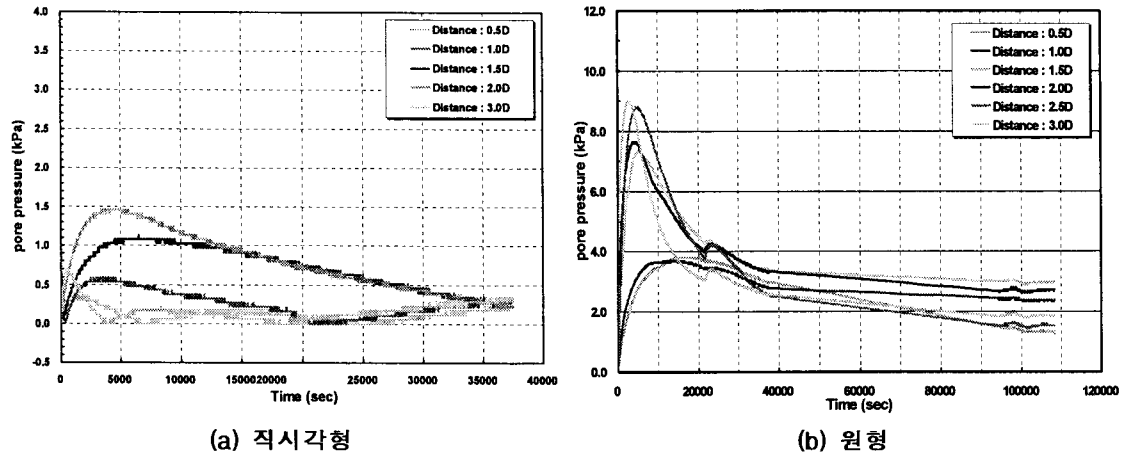


그림 3. 이격거리에 따른 과잉간극수압 변화

3.2 소산시험 결과분석

본 연구에서는 정확한 스미어존의 결정을 위하여 모형지반 내에 설치된 각각의 과잉간극수압계에서 측정된 소산실험결과를 분석하였으며, 그림 4에서 보는 것과 같이 수평압밀계수를 산정함으로써 스미어존을 평가하여 보았다.

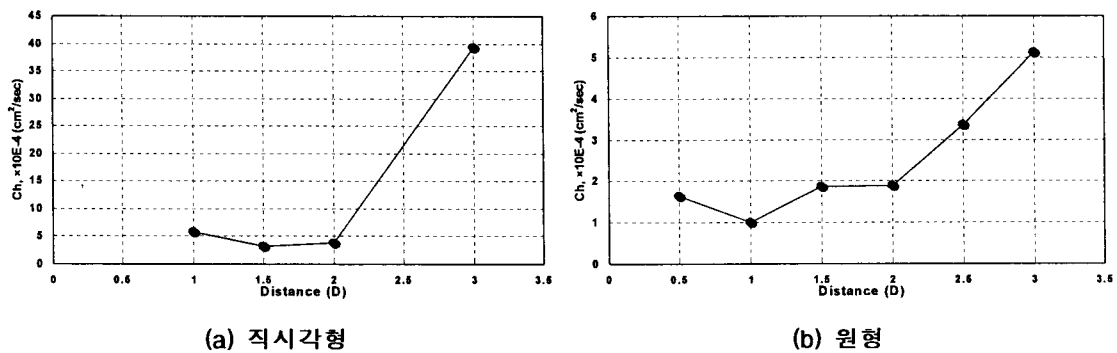


그림 4. 이격거리에 따른 수평압밀계수

그림 4(a)의 내용을 살펴보면, 맨드렐이 관입되는 거리에서 2D정도 이격된 위치까지는 수평압밀계수가 $3.18 \times 10^{-4} \sim 5.89 \times 10^{-4} \text{cm}^2/\text{sec}$ 정도로 평가되었으며, 이격거리 3D에서는 $3.93 \times 10^{-3} \text{cm}^2/\text{sec}$ 으로 평가되었다. 그림 4(b)의 내용을 살펴보면, 맨드렐이 관입되는 거리에서 이격된 위치별로 수평압밀계수가 $1.01 \times 10^{-4} \sim 5.12 \times 10^{-4} \text{cm}^2/\text{sec}$ 정도로 평가되었으며, 이격거리 2.0D인 지점까지는 수평압밀계수가 $1.01 \times 10^{-4} \sim 1.89 \times 10^{-4} \text{cm}^2/\text{sec}$ 으로 큰 차이를 보이지 않는 것으로 평가되었다.

3.3 모형실험 후 실내시험결과 분석

본 연구에서는 모형실험으로 추정된 수평압밀계수 값의 검증과 지반의 투수계수를 알아보기 위한 목적으로 압밀시험을 수행하였다. 압밀시험은 실내모형실험 후, 모형지반을 이용하였으며, 원형 맨드렐의 관입지점

으로부터 1.0D, 1.5D, 2.0D 및 2.5D 이격된 거리에서 수평방향으로 시료를 채취하였다. 압밀시험을 통해 얻어진 이격거리별 압밀계수 및 투수계수는 그림 5 그림 6 에 보는 바와 같다.

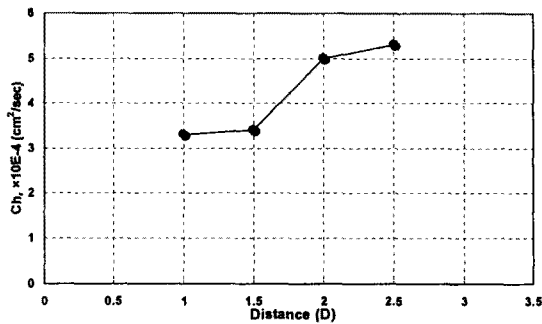


그림 5 이격거리별 압밀계수

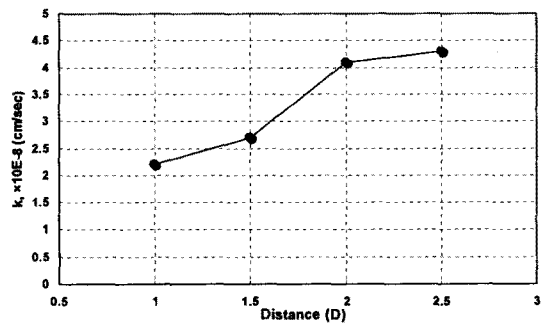


그림 6 이격거리별 수평계수

그림 5 및 그림 6의 내용을 살펴보면, 수평압밀계수는 $3.30 \times 10^{-4} \sim 5.30 \times 10^{-4}$ cm²/sec의 범위로 나타났다. 이격거리에 따라서 큰 차이는 나타나지 않았으나, 이격거리가 2D인 지점까지는 비교적 수평압밀계수가 작게 평가되었다. 또한, 투수계수는 $2.20 \times 10^{-8} \sim 4.30 \times 10^{-8}$ cm/sec의 범위로 평가되어 투수계수의 결과도 수평압밀계수와 동일하게 이격거리가 2D인 지점을 경계로 작은 차이를 보이는 것으로 나타났다. 모형실험전의 압밀시험에 의한 투수계수 $4.30 \times 10^{-8} \sim 7.20 \times 10^{-8}$ cm/sec의 결과와 비교하여 볼 때, 모형실험 후의 지반은 연직배수재 설치에 의한 영향으로 투수계수가 저하된 것으로 판단된다. 그 결과, 실내모형실험 후 수평압밀계수와 투수계수 감소되는 범위는 2.0D 지점으로 나타난 것으로 보아 2.0D 이상이 스미어존에 해당될 것으로 판단된다.

4. 결론 및 제언

- (1) 맨드렐의 관입으로 인해 발생하는 과잉간극수압의 시간에 따른 변화양상을 살펴본 결과, 이격거리가 1.0D에서 2.0D로 증가함에 따라서 발생된 과잉간극수압이 소산되기까지는 많은 시간이 걸리는 것으로 나타났다.
- (2) 맨드렐 관입지점으로부터 충분한 이격거리가 확보되면 과잉간극수압은 빠르게 소산되는 것으로 나타나는데, 이는 맨드렐 관입으로 인한 영향을 받지 않았기 때문인 것으로 생각된다.
- (3) 실내모형실험 결과를 종합하여 분석해 본 결과, 스미어존은 맨드렐 크기의 2D에서 2.5D정도가 되는 것으로 평가되어 경험적인 방법의 결과와 동일하게 평가되었다.

참고문헌

1. 김현태(1998), "스미어존내 투수성변화와 웰저항을 고려한 연직배수공법의 압밀해석", 동국대학교 박사학위 논문.
2. 강윤(2006), 연직배수재의 교란영역특성을 고려한 압밀지연특성 분석, 박사학위논문, 홍익대학교.
3. Akagi, T.(1977) Effect of displacement type Sand Drains on strength and compressibility of soft clay, Dr. Engrg. Dissert., Univ. of Tokyo.
4. Barron, D. T., Asakami, H., Alfaro, M. C., and Balasubramamiam ,A.S.(1991) "Smear effects of vertical drains on soft Bangkok clay". J. Geotech. Engrg., ASCE 117(10), 1509~1530