

수평배수재의 불포화 통수특성 연구

A Study on the Characteristics of Unsaturated Discharge Capacity of Horizontal Drains

장 연 수*¹ Jang, Yeon-Soo

박 정 순*² Park, Chung-Soon

박 정 용*³ Park, Jeong-Yong

Abstract

To evaluate the effect of trapped air bubbles in horizontal drains on discharge capacity, unsaturated discharge capacity tests are carried out for four types of drains selected according to the size of section as well as the shape of core. Unsaturated discharge capacities with the elapse of time, the increase of confining pressures, and hydraulic gradients are examined and are compared with saturated discharge capacities. It is found that the unsaturated discharge capacities at a hydraulic gradient of 0.01 decreased by 17%~80% due to the remained air bubbles in the drains compared with the saturated discharge capacities. It is caused by the fact that the horizontal direction of water flow is not consistent with the direction of movement of floating air bubbles in case of horizontal drains. Especially, for the drain with filament shaped core, discharge capacities decreased significantly due to the difficulty in removing air bubbles.

요 지

수평배수재 내의 기포로 인한 불포화상태가 통수능에 미치는 영향을 평가하기 위하여 단면 크기 및 코어 형태에 따라 4종류의 배수재를 선정하여 불포화 통수능력시험을 실시하였다. 가압시간, 구속압, 동수경사 등의 변화에 따른 불포화 통수능의 변화를 분석하고 포화 통수능과 비교하였다. 분석결과, 불포화 통수능은 동수경사가 0.01인 경우, 포화 통수능에 비해 배수재 내에 적체된 잔류기포의 영향으로 인해 17%~80% 감소하였다. 이는 수평배수재의 경우, 수평으로 흐르는 물의 흐름 방향과 부양되려는 기포의 이동방향이 서로 일치하지 않기 때문으로 평가된다. 특히 배수재의 코어 형상이 필라멘트 모양인 경우 기포가 빠져나가기 어려워 불포화 통수능이 크게 저하되었다.

Keywords : Confining pressure, Horizontal drain, Hydraulic gradient, Trapped air bubbles, Unsaturated discharge capacity

1. 서 론

초기함수비가 높으며, 압축성이 큰 준설패립지반 등의 연약토를 개량하기 위해 배수재를 수직 또는 수평방향으로 타설함으로써 압밀침하를 촉진시킬 수 있다. 지반에

설치된 배수재는 토압과 수압으로 인한 구속압을 받게 되며, 이로 인해 통수단면적이 감소하므로 결국 통수능이 영향을 받게 된다. 또한 준설패립지반 내부로 배수재를 타설할 때 배수재 내부가 불포화상태이거나, 또는 배수재 설치 후 지반의 간극수가 배수재 내로 유입될 때

*1 정회원, 동국대학교 토목환경공학과 부교수 (Member, Associate Prof., Dept. of Civil & Environmental Engrg., Dongguk Univ., ysjang@dgu.edu)

*2 정회원, 미국동 공병단 설계담당관 (Member, Civil Engineer, Far East District, Corps of Engineers)

*3 테조 엔지니어링 대리 (Junior Engineer, TESO Engrg., Co.)

간극수 중에 함유된 기포의 유입으로 인해 배수재가 불포화 상태로 되는 경우가 발생할 수 있다. 이와 같은 배수재 내의 불포화상태의 정도에 따라 통수능이 영향을 받게 된다.

배수재의 통수특성에 관한 기존의 연구는 주로 수직 배수재의 변형 및 구속압에 의한 포화 통수능력의 저하에 대한 분야에서 많이 이루어져 왔다(Kremer 등, 1983; Holtz 등, 1989; Oostveen 등, 1990; Bergado 등, 1996). 지반내 배수재 타설시 발생할 수 있는 수직배수재의 불포화조건에서의 통수능에 관한 연구는 몇몇 연구자들에 의해서 수행되었다. 박(1996)은 간극수 중에 녹아있던 공기가 배수되는 과정에서 기포로 환원되어 통수능력에 상당한 영향을 미친다고 평가하였다. 이(1996)는 압밀에 따른 배수재의 자유변형, 강제절곡변형 등의 조건에서 구속압과 동수경사, 경과시간에 따른 불포화 통수능의 변화에 대한 연구를 수행하였다. 그 결과 배수재가 직선 조건일 때보다 변형이 발생되었을 경우 기포가 통수능력에 더 큰 영향을 줄을 밝혀내었다. Miura(1998)는 공기방울 생성장치를 이용하여 배수재 내부로 기포를 일정시간동안 주입후, 시험동수경사에서 안정화시킨 다음에 잔류기포가 통수능에 주는 영향성을 평가하였다. 그 결과 불포화시 잔류기포로 인하여 포화 통수능과 비교할 때 약 20% 정도의 통수능 감소가 발생한다고 하였다.

상기의 연구들은 주로 수직배수재에 대한 고찰이며, 배수재가 직선 조건일 때는 잔류기포가 통수능에 큰 영향을 주지 않는 것으로 평가하고 있다. 이는 그림 1의 (a)에 보인 바와 같이 배수재가 수직으로 타설된 경우 배수재 내부의 공기가 물의 흐름과 함께 상방향으로 잘 유출이 되

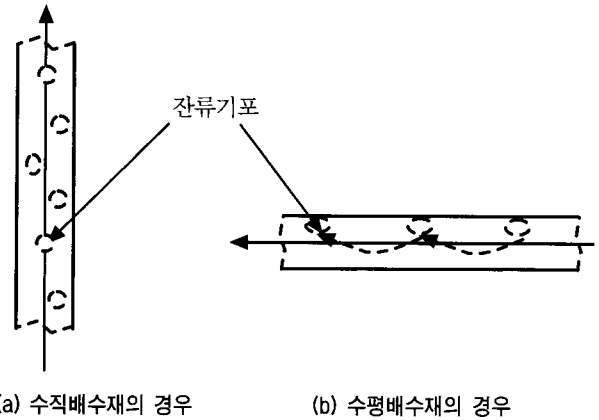


그림 1. 배수재 내부의 잔류기포의 이동경로

는 특성과 연관된 결론이다. 그러나 배수재가 수평방향으로 설치된 수평배수재의 경우에는 물의 수평 흐름과 함께 잔류기포가 이동하는 한편, 부양력으로 인해서 유출 중 이동과 정지를 반복하게 되며, 따라서 기포의 유출이 수직배수재에 비해 근본적으로 큰 제약을 받게 된다(그림 1(b) 참조). 이와 같은 수평배수재의 불포화상태가 통수능에 미치는 영향에 대한 연구는 부족한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 수평배수재 내의 기포의 영향성을 평가하기 위하여 공기생성장치와 공기량 측정장치를 갖는 시험 장치를 사용하여 불포화 통수능력시험을 실시하였다. 시간경과에 따른 수평배수재 내부의 불포화 통수능 및 포화도의 변화를 측정하였다. 또한 구속압 및 동수경사의 변화가 불포화 통수능에 주는 영향을 평가하였다. 불포화 통수능력시험 결과를 포화 시험의 경우와 비교, 분석하였다.

표 1. 선정된 배수재의 특성 및 단면형상

배수재명	단면크기 B×t (mm×mm)	단면형상		코어형태	구조적 분류
Type-E	100×20			필라멘트형	일체형
Type-P	100×10			임보싱형	분리형
Type-O	100×10			격자형	일체형
Type-V	100×3			하모니카형	분리형

2. 수평배수재의 불포화 통수능력 시험

2.1 시험배수재

본 연구에서는 준설패립지반의 압밀축진을 위해 사용될 수 있는 수평배수재 중에서 단면의 크기 및 코어의 형태 등에 따라 4종류의 배수재를 선정하였다. 본 시험에서 사용한 배수재의 단면 크기 및 형상은 표 1에 보인 바와 같다.

2.2 시험장치

배수재에 작용하는 구속압의 영향과 가압시간의 영향을 평가할 수 있도록 자체 제작한 불포화 통수능력시험 기구(그림 2 참조)를 사용하였다. 이 시험장치는 크게 원통형 압력실, 항압장치, 일정수두장치, 공기생성장치 및 공기량 측정장치로 구성된다.

원통형 압력실(그림 3(b) 참조)은 구속압을 가할 수 있

는 지름 20cm, 높이 55cm의 원통형의 플라스틱 통으로서 배수재를 멤브레인으로 싸서 장착하는 장치이다. 항압장치는 원통형 압력실에 10, 50, 100kPa의 압력을 가하여 압력의 증가에 따른 배수재의 통수능 변화를 측정할 수 있게 한다. 일정수두장치는 원통형 압력실의 배수재 내부에 물을 공급하는 장치로서 유입수조와 유출수조로서 구성되어 있다. 배수재 내부의 불포화상태로 인한 통수능의 영향을 측정하기 위한 공기주입장치 및 공기량 측정장치는 그림 3(b)와 같으며 압력기를 이용하여 공기를 발생시켜 일정 압력으로 공기를 배수재 내부로 주입하고, 공기량 측정장치를 이용하여 시간 경과에 따라 변화하는 배수재 내부의 잔류기포량을 측정한다.

2.3 시험 방법 및 조건

2.3.1 시험 방법

(1) 불포화 통수능력 시험

시험배수재를 길이 43cm로 자른 다음, 양 끝단을 각

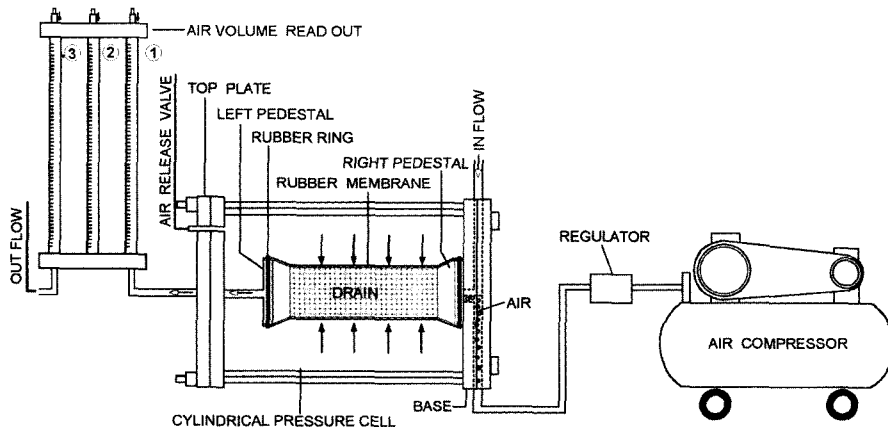
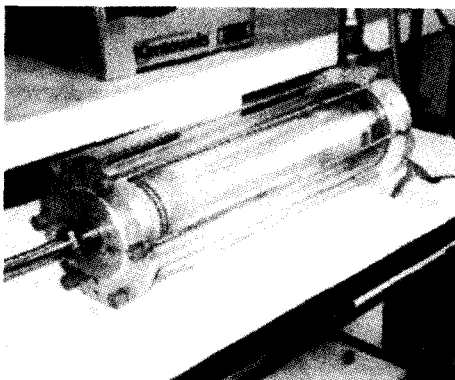
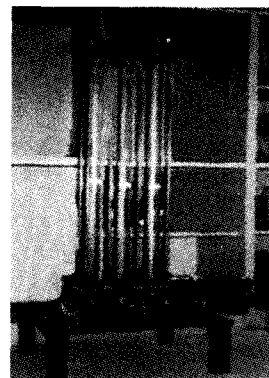


그림 2. 불포화 통수능력시험 기구



(a) 원통형 압력실



(b) 공기량 측정장치

그림 3. 불포화 통수능력시험 세부장치

각 캡에 고정시킨 후 고무멤브레인으로 피복하여 원통형 압력실에 설치하고 증류수를 채운 다음 완전히 포화시킨다. 포화가 끝난 후 원통형 압력실을 수평으로 눕히고, 구속압이 가해지지 않은 상태에서 유입밸브를 열어 통과되는 물을 메스실린더로 받아 초기 포화 통수능을 측정한다.

이후 공기주입장치에서 기포를 발생시켜 직경 6mm의 호스를 통해서 20kPa의 압력으로 1시간 동안 배수재 내부로 공기를 주입한다. 이때 배수재 내부에는 준설매립지반의 현장타설조건에서 잔류가능한 기포양보다 더 많은 양이 적체되어 있을 수 있으므로, 이를 안정화시키기 위한 목적으로 공기 주입후 시험동수경사에서 물을 배수재 내부로 1시간 동안 흘려보낸 후에 초기 불포화 통수능을 측정한다.

항압장치에 의해 원통형 압력실에 10kPa의 압력을 가하고 1시간, 1일, 10일이 경과할 때마다 1분간 유과되는 불포화 통수량을 측정한다. 이때 측정횟수는 3회로 하며, 3회의 측정값을 평균하여 그 시간의 불포화 통수능으로 결정한다. 불포화 통수능 측정시 잔류기포의 변화량 측정은 공기량 측정장치를 이용하였으며, 각 배수재의 시간에 따른 불포화 통수능과 잔류기포의 변화를 동시에 측정하였다.

(2) 포화 통수능력시험

이상에서 언급한 불포화 통수능력시험 과정에서 기포의 주입과 그 측정 과정을 생략하고, 그 외에는 동일한 조건에서 시험을 수행하여 포화 통수능을 측정하였다.

2.3.2 통수능 및 포화도 산정방법

불포화 및 포화 통수능력시험을 마친 후, 통수능은 식 (1)에 의해서 산정된다.

$$Q_w = \frac{Q}{i} \quad (cm^3/sec) \quad (1)$$

여기서, Q : 통수량(cm^3/sec), i : 시험동수경사

배수재 내의 잔류기포를 고려한 포화도 S_r 은 식 (2)로 계산하게 된다.

$$S_r = \frac{Q_{unsat}}{Q_{sat}} \times 100 \quad (\%) \quad (2)$$

여기서, Q_{unsat} , Q_{sat} : 동일 조건하에서의 불포화 통수능 및 포화 통수능(cm^3/sec)

시험 중 잔류기포량의 측정은 다음과 같다. 즉 유입수조를 통해 주입된 물은 원통형 압력실을 지나면서 잔류기포와 함께 그림 2의 공기량 측정장치로 들어오게 된다. 이때 공기량 측정장치의 맨우측 ①번 실린더에서 물의 유량이 측정되고 ②번 실린더에서는 잔류기포와 유량이 함께 측정되게 된다. ②번 실린더 읽음으로부터 ①번 실린더에서 측정된 유량을 빼면 배수재 내의 잔류기포량이 산정된다.

2.3.3 시험 조건

배수재의 현장타설시 잔류기포로 인해 발생하는 불포화상태가 수평배수재의 통수능력에 주는 영향을 평가하기 위해서 표 2에 보인 바와 같이 시험동수경사 0.01과 0.05인 조건에 대해 통수능력시험을 실시하였다. 구속압은 배수재가 0.7~7m 깊이에 타설된 경우를 고려하여 10~100kPa에 대해 시험하였다. 수직배수재와는 달리 수평배수재는 굴곡되거나 부등침하되는 정도가 심하지 않은 것으로 보고 배수재를 직선상태로 하여 시험하였다.

3. 시험 결과 및 분석

3.1 수평배수재의 강도특성시험 결과

선정된 4종류의 배수재에 대해 수행한 강도시험 결과를 표 3에 정리하였다. 강도특성 분석결과, 대상 배수재들의 코어와 필터 전체의 인장강도 값은 제안기준(김, 1998)을 모두 충족하는 것으로 평가되었다. 또한 배수재 전체의 강도가 매우 크더라도 필터가 일단 파단되면 배수재로서의 기능을 수행할 수가 없게 되므로 필터의 인열강도 및 파열강도도 최적배수재 선정에 위한 중요한 요인인데, 대부분의 시험배수재의 필터가 기준 토목섬유 배수재 필터 제안기준(Christopher 등,

표 2. 불포화 통수능력시험 항목 및 조건

시험 항목	시험 조건
동수경사	0.01, 0.05
구 속 압	10, 50, 100 kPa
배수재의 굴곡형태	직선 조건

표 3. 수평배수재의 강도특성

배수재명		시험 조건	단 위	Type-E	Type-P	Type-O	Type-V	제 안 기 준
인 장 강 도	배수재	건조	kgf /전폭	213.4	242.5	715.8	388.6	한국영종도신공항(김, 1998) 102.0
		습윤		209.8	264.7	710.4	387.0	
	필터	건조	kgf	79.2	48.8	76.1	91.8	Christopher(1985) 35.6
		습윤		84.4	42.4	63.2	93.9	
	인열강도 (필터)	건조		16.1	4.6	22.7	22.9	Christopher(1985) 10.2
		습윤		27.3	4.4	24.5	17.2	
파열강도 (필터)	-	kgf/cm ²		11.6	7.0	11.0	12.4	Christopher(1985) 9.2

1985)을 만족하였으나, Type-P는 다소 미흡한 값을 나타내었다.

3.2 수평배수재의 불포화 통수능력시험 결과 및 분석

3.2.1 포화 및 불포화 통수능의 비교

각 시험 배수재의 10일 경과후의 포화 및 불포화 통수능력시험 결과를 표 4에 요약하였다. 동수경사가 0.01인 경우 불포화 통수능 값은 배수재 내에 적체된 잔류기포로 인한 영향을 받게 되므로, 포화 통수능 값에 비해 작게는 17%에서부터 크게는 80%에 이르기까지 다양하게 감소하는 경향을 보였다. 기존의 수직배수재에 대한 연구 결과에서는 적체된 잔류기포가 상방향으로 움직이려는 성향이 배수재 내의 물의 흐름방향과 일치하여 기포가 잘 제거되고, 또한 작용동수경사가 크므로 통수능에 대한 잔류기포의 영향이 적은 것으로 보고되고 있다(이, 1996; Miura, 1998). 그러나 수평배수재의 경우는

수평으로 흐르는 물의 흐름 방향과 부양되려는 기포의 이동방향이 서로 일치하지 않을 뿐만 아니라, 동수경사가 상대적으로 작으므로 수직배수재와는 달리 잔류기포가 잘 제거되지 않는 특성을 갖고 있다. 따라서 수평배수재의 경우 배수재 내부에 적체된 기포가 통수능에 주는 영향은 수직배수재의 경우보다 더 큰 것으로 판단된다.

특히, 코어의 형태가 필라멘트 형상인 Type-E와, 엠보싱 형태의 코어를 가진 Type-P는 100kPa의 구속압하에서 10일 경과 후 불포화 통수능이 포화 통수능에 비해 각각 77%, 75%로 큰 폭의 감소를 보였다. 이러한 결과로 볼 때, 코어의 형상이 배수재 내에 적체된 잔류공기의 양에 상당히 큰 영향을 주는 것으로 판단된다.

3.2.2 가압시간의 영향

가압시간에 따른 포화 및 불포화 통수능의 변화를 그림 4와 5에 나타내었다. Type-E의 배수재의 경우, 동

표 4. 각 시험배수재의 포화 및 불포화 통수능의 비교 (10일 경과후)

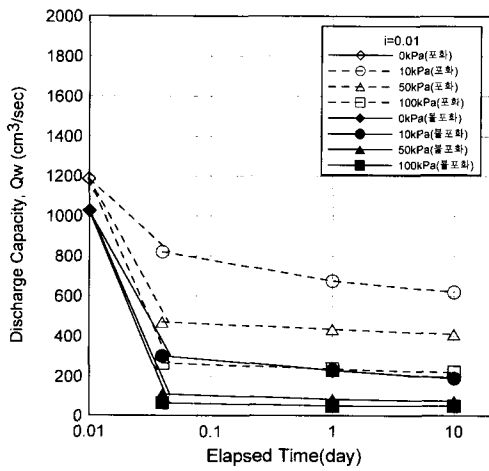
배수재	구속압	i=0.01			i=0.05		
		포화 (cm ³ /sec)	불포화 (cm ³ /sec)	통수능 감소율(%)	포화 (cm ³ /sec)	불포화 (cm ³ /sec)	통수능 감소율(%)
Type-E	10kPa	620	190	69.4	271	251	7.4
	50kPa	410	75	81.7	171	162	5.3
	100kPa	220	50	77.3	108	90	16.7
Type-P	10kPa	975	476	51.3	410	371	9.5
	50kPa	920	320	65.2	386	327	15.3
	100kPa	875	215	75.4	371	288	22.4
Type-O	10kPa	1315	895	31.9	578	480	17
	50kPa	1230	725	41.1	550	467	15.1
	100kPa	1110	585	47.3	497	441	11.3
Type-V	10kPa	277	230	17.0	206	160	22.3
	50kPa	220	177	19.5	169	141	16.6
	100kPa	193	143	25.9	137	125	8.8

수경사가 0.01이고 구속압이 10 kPa일 때 1시간 경과 후의 포화 통수능은 $820\text{cm}^3/\text{sec}$ 로서 초기 포화 통수능 $1190\text{cm}^3/\text{sec}$ 와 비교해 볼 때 약 31% 감소하였다. 이는 필라멘트 형상의 코어의 강성이 작아 가압후 큰 폭으로 통수단면적이 감소하였기 때문이다. 한편 Type-E에서 동일 구속압과 동수경사를 가했을 때, 1시간 경과후의 불포화 통수능은 $190\text{cm}^3/\text{sec}$ 이며, 이는 초기 불포화 통수능 $1020\text{cm}^3/\text{sec}$ 에 비해 약 81%가 감소한 값이다. 이처럼 1시간 경과후의 불포화 통수능의 변화가 포화시보다 훨씬 큰 주된 이유는 배수재 내부의 잔류기포 때문으로 판단된다. 즉 가압후 배수재의 통수단면이 줄어들 때 Type-E의 배수재는 코어 형상이 필라멘트 모양이기 때문에 코어재와 기포와의 부착면적이 크므로 기포가 잔류하기 쉬운 조건을 갖추고 있으며, 또한 유속 방향과 배수재 내부의 실제 유로가 일치하지 않기 때문에 기포가 빠져나가기 어려운 이유로 인해 불포화 통수능이 크

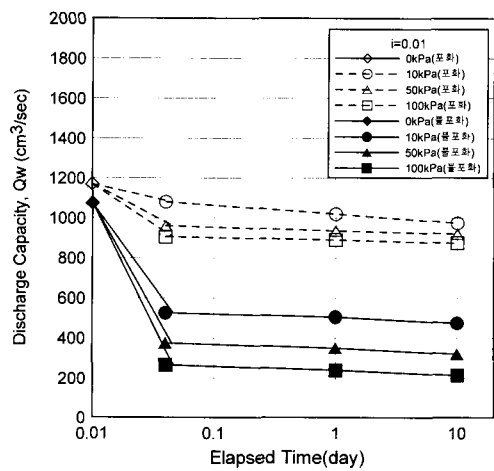
게 저하된 것으로 분석된다.

Type-P의 배수재에서도 초기 통수능에 대한 1시간 경과 후의 불포화 통수능은 $1070\text{cm}^3/\text{sec}$ 에서 $550\text{cm}^3/\text{sec}$ 로 약 49% 감소하였는데, 이는 포화시의 통수능 감소 비율보다 매우 큰 값이다. Type-P의 배수재는 코어 형태가 엠보싱 모양이므로 기포가 부착가능한 면적이 넓고 기포의 원활한 유출에 대한 저항이 커서 잔류기포가 많았던 것으로 평가된다.

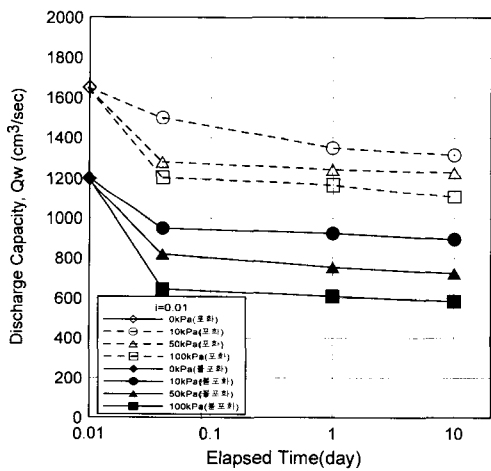
한편 그림 4의 (c)에서 보듯이 Type-O의 배수재에서는 가압후 1시간 경과시까지의 통수능 변화의 기울기가 포화시와 불포화시 서로 유사한 것을 관찰할 수 있다. 이는 이 배수재의 코어 형상이 격자형태이므로 유로의 모양이 유속 방향과 일치하기 때문에 배수재가 압력을 받아 통수단면적이 줄어들고 동시에 기포도 타 배수재에 비해 수월하게 유출되었기 때문으로 분석된다. 이와 같은 경향은 하모니카 형태의 코어를 갖는 Type-V의 경



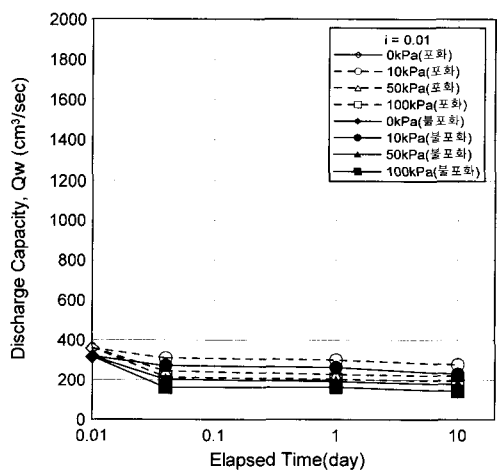
(a) Type-E



(b) Type-P

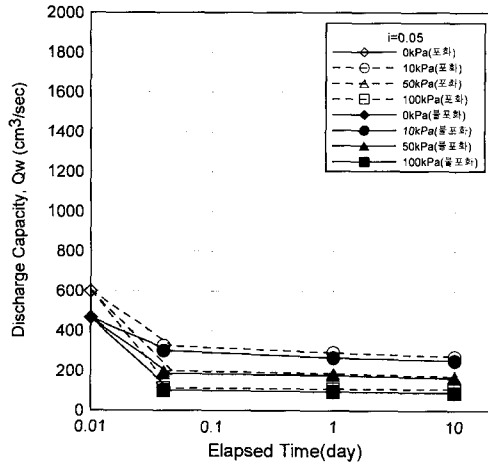


(c) Type-O

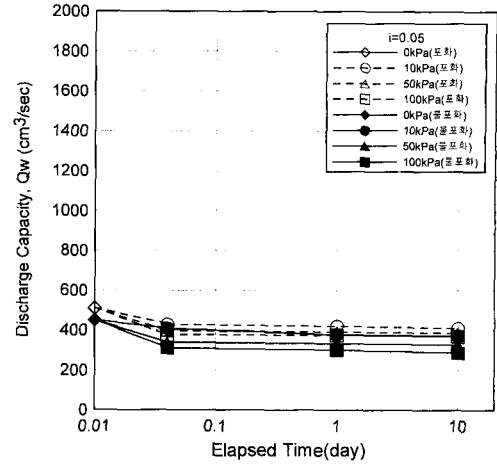


(d) Type-V

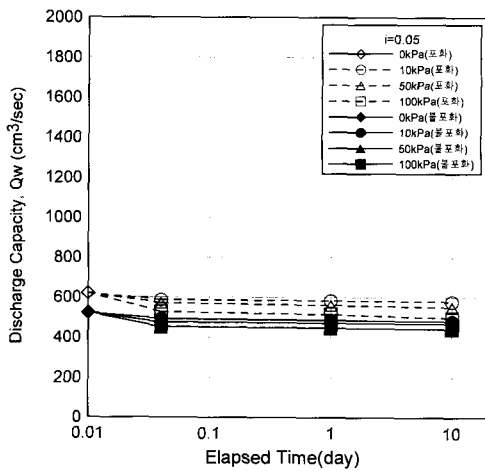
그림 4. 가압시간에 따른 포화 및 불포화 통수능의 변화 (i=0.01)



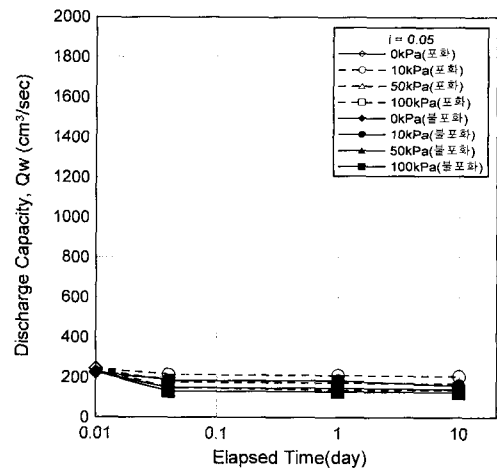
(a) Type-E



(b) Type-P



(c) Type-O



(d) Type-V

그림 5. 가압시간에 따른 포화 및 불포화 통수능의 변화 ($i=0.05$)

우에서도 관찰할 수 있다.

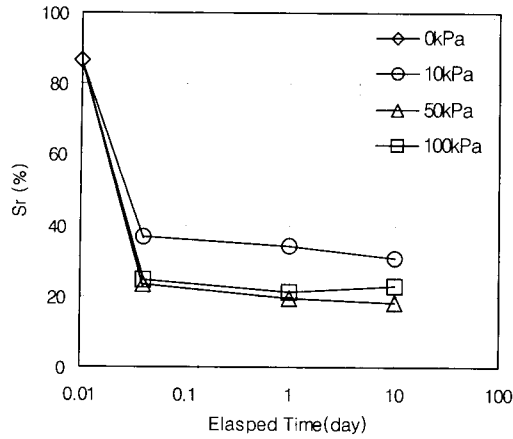
각 배수재의 동수경사가 0.01일 때, 1시간 이후부터 시간이 1일, 10일 경과할 때의 통수능 변화의 기울기는 불포화시와 포화시 서로 유사한 경향을 보이고 있다. 이는 동일 구속압 하에서 시간의 경과와 함께 흐름이 안정화될 때 배수재의 필터와 코어에 부착된 기포가 배수재 내부에 그대로 잔류하는 경향이 있기 때문으로 사료된다.

한편 동수경사가 0.05인 경우, Type-E와 Type-P의 배수재들에서 시간경과에 따른 불포화 통수능의 변화율은 동수경사가 0.01에서 큰 폭으로 감소하였던 것과는 대조적으로 작은 비율로 감소되었다. 이는 동수경사가 커짐에 따라 배수재 내부에 유속이 증가하게 되고, 증가된 유속이 코어 형상으로 인해 배수재 내부에 적체되기 쉬웠던 잔류기포를 외부로 밀어내기에 충분한 압력이

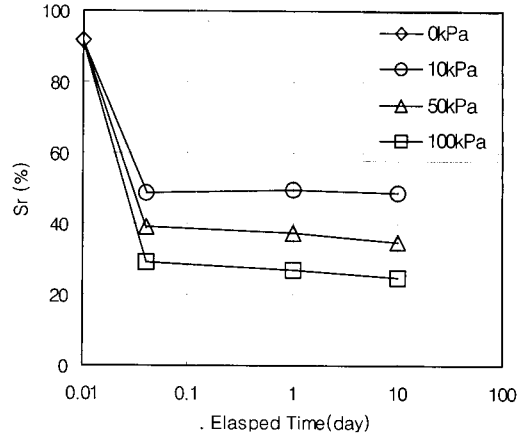
되어 적체된 기포들의 제거가 용이해진 현상에 기인한 것으로 분석된다.

식 (2)를 사용하여 계산한, 가압시간에 따른 포화도의 변화를 동수경사가 0.01인 경우에 대해 그림 6에 나타내었다. 기포가 잔류하기 쉬운 필라멘트 코어를 가진 Type-E와 엠보싱 코어를 가진 Type-P는 초기 통수능 값에 비해 시험 시작후 큰 폭으로 포화도가 감소하였다. 이 배수재들 내의 임의의 단면에 잔류한 기포량은 그 코어 형태의 특성상 큰 변화가 없는 반면, 가압으로 인해 물의 실제 통수단면이 초기보다 크게 감소하였으므로 결과적으로 포화도도 감소하였다.

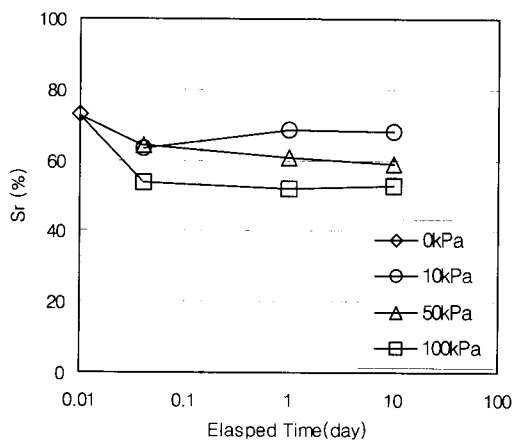
전반적으로 모든 배수재에서 시간이 1일, 10일 경과 시 포화도의 변화는 크지 않았는데, 이는 흐름이 안정상태를 이루고 있기 때문이며 배출되는 기포량도 큰 변화가 없기 때문으로 평가된다.



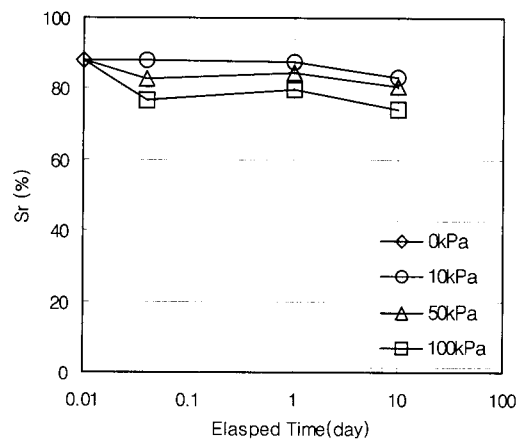
(a) Type-E



(b) Type-P



(c) Type-O



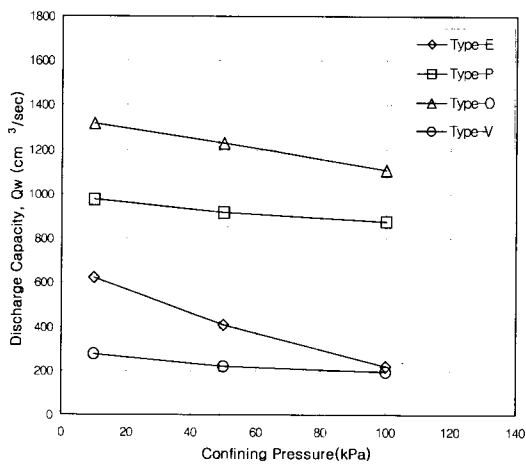
(d) Type-V

그림 6. 불포화 통수능력 시험시 가압시간에 따른 포화도의 변화 (i=0.01)

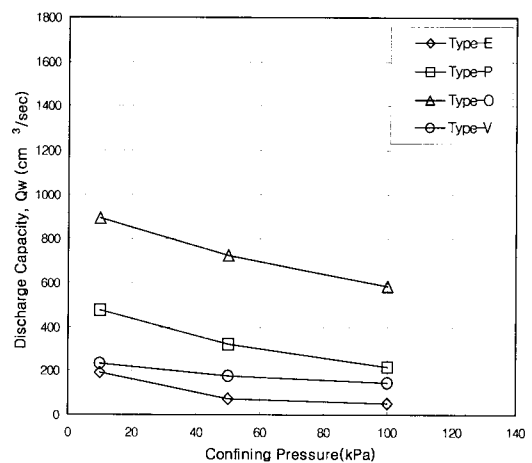
3.2.3 구속압의 영향

구속압의 증가에 따른 10일 경과시의 포화 및 불포화 통수능의 변화를 그림 7에 나타내었다. 그림 7(a)에서

알 수 있듯이 배수재 내부가 포화상태에서 모든 배수재는 구속압의 증가에 따라 포화통수능이 감소하는 경향을 관찰할 수 있다. 그 이유는 구속압이 커짐에 따라 필



(a) 포화 통수능



(b) 불포화 통수능

그림 7. 구속압의 증가에 따른 불포화 통수능의 변화 (동수경사 i=0.01)

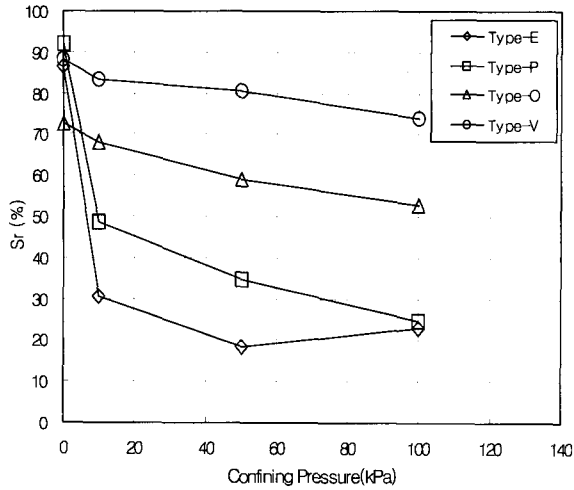


그림 8. 구속압의 변화에 따른 포화도의 변화 (동수경사 $i=0.01$)

터가 코어속으로 말려들어가서 통수단면적을 감소시키기 때문이다. 특히 Type-E의 배수재는 타 배수재보다 구속압에 따른 포화통수능 감소폭이 더 컸는데, 이는 이 배수재의 코어의 강성이 작은 원인으로 인해 각 단계의 압력 증가시 배수재가 크게 변형되었기 때문으로 평가된다.

불포화 통수능의 경우에도 구속압의 크기가 증가할 때 그 값이 점차로 감소하는 추세를 보이고 있으며(그림 7(b) 참조), 특히 압력에 대한 불포화 통수능의 변화 비율이 포화시와 유사한 양상을 나타내고 있다. 따라서 불포화 통수능력시험시, 압력의 증가에 따른 통수능의 저하현상에는 잔류기포의 영향보다는 필터가 코어속으로 말려들어가하는 현상이 더 지배적인 역할을 하는 것으로 평가된다.

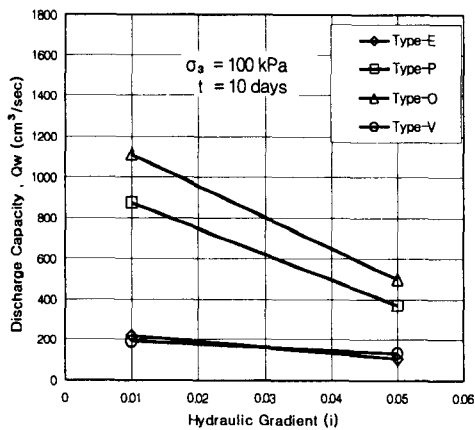
불포화 통수능력시험시 각 배수재의 구속압에 따른

포화도의 변화를 그림 8에 나타내었다. 동수경사가 0.01인 경우, 대부분의 배수재에서 구속압이 증가함과 함께 포화도가 점차 줄어드는 경향을 보였다. 이는 배수재의 임의 단면에서 압력증가에 따른 잔류기포의 면적 감소량보다 구속압 증가에 기인한 배수재 내부의 물의 실제 통수단면적이 더 큰 폭으로 감소하였기 때문으로 분석된다.

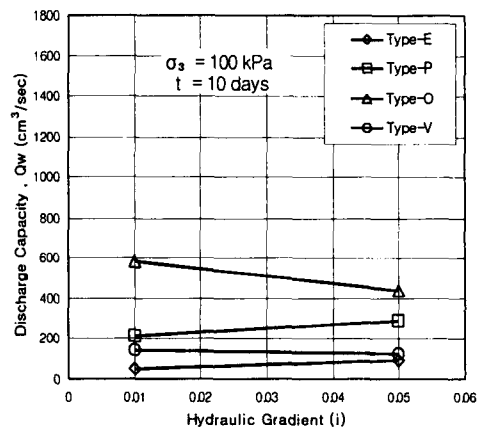
3.2.4 동수경사의 영향

동수경사의 증가에 따른 포화 및 불포화 통수능의 변화를 그림 9에 나타내었다. 이론적으로 통수능의 값은 동수경사에 대해 정규화되어 있으므로 동수경사와 관계없이 일정한 값을 나타내어야 한다. 그러나 그림 9(a)의 포화 통수능력시험 결과에서 볼 수 있듯이 각 배수재들은 100kPa의 구속압하에서 동수경사가 0.01에서 0.05로 증가할 때 10일 경과후의 최종 통수능이 급격히 감소하는 현상을 관찰할 수 있다. 이와 같은 현상은 동수경사가 증가함에 따라 배수재 내의 필터에 인접한 면과 코어의 표면에서 큰 마찰저항이 유발되어, 이 영역들 사이에서 유속이 감소되며, 결과적으로 낮은 동수경사의 경우에 비해 정상적인 흐름이 발생하는 유효단면적이 감소하기 때문으로 사료된다.

불포화 시험의 경우, 그림 9(b)에서 볼 수 있듯이 Type-O와 Type-V는 포화시처럼 동수경사가 증가함에 따라 통수능이 감소하는 경향을 보였다. 코어형태가 필라멘트 형상인 Type-E와 엠보싱 형태인 Type-P는 포화시와는 달리 동수경사가 증가함에 따라 통수능이 오히려 다소 증가하는 경향을 보였다. 그 이유는 동수경사 0.01에서는 배수재 내부의 유속이 낮고 넓은 외주면을



(a) 포화 통수능



(b) 불포화 통수능

그림 9. 동수경사에 따른 포화 및 불포화 통수능의 변화

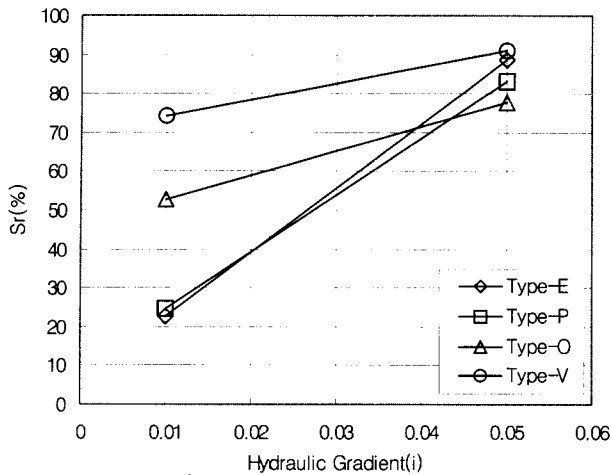


그림 10. 불포화 통수능력시험시 동수경사에 따른 포화도의 변화

갖는 코어형상으로 인해 잔류가능하던 기포가 동수경사가 0.05로 증가하여 흐름속도가 커짐에 따라 필터와 코어에 붙어있던 기포들이 떨어져나가 기포로 인해 점유된 통수단면적이 점차 실제 물의 통수단면으로 회복되었기 때문으로 분석된다.

그림 10에는 불포화 통수능력시험시 동수경사의 증가에 따른 포화도의 변화를 나타내었다. 분석결과, 각 배수재에서 동수경사가 증가할 때 포화도도 크게 증가하였다. 특히 Type-E와 Type-P의 배수재는 그 코어가 각각 필라멘트와 엠보싱 형태로서 낮은 동수경사 0.01에서 기포를 다량으로 잔류시킬 수 있었으나, 동수경사가 증가할 때 유속에 의해 기포들이 밀려나가는 양이 많아져서 포화도가 크게 증가하는 경향을 보이고 있다. 또한 동수경사 0.05에서는 각 배수재의 포화도가 75%~90%의 분포로 서로 수렴하는 경향을 보이고 있었는데, 이를 볼 때 동수경사가 증가함에 따라 배수재 내부에 적체되었던 잔류기포가 원활히 제거되며, 따라서 기포가 통수능에 미치는 영향도 감소하는 것으로 평가된다.

4. 결론

수평배수재의 불포화상태가 통수능에 미치는 영향을 평가하기 위하여 불포화 통수능력시험을 실시하였다. 시간경과, 구속압, 동수경사 등의 변화에 따른 불포화 통수능의 변화를 분석한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 불포화 통수능 값은 동수경사가 0.01인 경우 포화

통수능에 비해 배수재 내에 적체된 잔류기포로 인해 17%~80% 감소하였다. 이는 수평배수재의 경우, 물의 흐름 방향과 부양되려는 기포의 이동방향이 서로 일치하지 않기 때문에 기포가 잘 제거되지 않는 특성을 갖고 있기 때문으로 평가된다.

- (2) 1일, 10일 경과시의 시간에 대한 통수능의 변화 비율은 불포화시와 포화시 서로 유사한 경향을 보이고 있다. 이와 같은 현상은 동일 구속압 하에서 시간의 경과와 함께 흐름이 안정화될 때, 배수재의 필터와 코어에 부착된 기포가 배수재 내부에 그대로 잔류하는 경향이 있기 때문으로 사료된다.
- (3) 구속압의 증가에 따른 불포화 통수능 값은 점차로 감소하는 추세를 보이고 있다. 또한 그 감소 비율이 포화시와 유사한 양상을 나타내고 있다. 따라서 불포화시, 압력 증가에 따른 통수능의 저하현상에는 잔류기포의 영향보다는 필터가 코어속으로 말려들어가는 현상이 더 지배적인 역할을 하는 것으로 평가된다.
- (4) 불포화 시험의 경우, 동수경사가 증가함에 따라 격자형 또는 하모니카형 코어를 갖는 배수재들은 포화시처럼 통수능이 감소하는 경향을 보였다. 그러나 필라멘트형 또는 엠보싱형 코어를 갖는 배수재들은 동수경사가 증가함에 따라 통수능이 다소 증가하는 경향을 보였는데, 그 이유는 낮은 동수경사시 배수재 내부의 유속이 낮아서 잔류가능하던 기포가 동수경사의 증가로 흐름속도가 커짐에 따라 필터와 코어에 붙어있던 기포들이 떨어져나가는 양이 증가하였기 때문으로 분석된다.

감사의 글

이 연구는 2002학년도 동국대학교 연구년 지원에 의하여 이루어졌습니다.

참고 문헌

1. 김수삼, 장연수, 박영목(1998), 수직배수재의 적정단면 산출 및 개발에 관한 연구, 해안매립과 연약지반 개량을 위한 신기술 개발 연구보고서, 삼성중공업, p.360.
2. 박영목(1996), 현장조건을 고려한 플라스틱 보드 드레인의 성능평가, 토목섬유학술발표회 논문집, pp.91-99.
3. 이용호(1996), 공기량에 따른 밴드드레인 통수능력의 변화, 동국대학교 석사학위논문, p.88
4. Bergado, D.T., Manivannan, R. and Balasubramaniam, A.S.(1996),

- “Proposed Criteria for Discharge Capacity of Prefabricated Vertical Drains”, *Geotextiles and Geomembranes*, Vol.14, pp.481-505.
5. Christopher, B.R. and Holtz., R.D.(1985), *Geotextile Engineering Manual*, U.S. Federal Highway Administration, Washington, DC., p.1044.
 6. Holtz, R.D., Jamiolkowski, M., Lancellota, R. and Pedroni, S.(1989), “Behavior of Bent Prefabricated Vertical Drains”, *Proc. of the 12th ICSMFE*, Vol.3, Rio de Janeiro, pp.1657-1660.
 7. Kremer, R.H.J., Oostveen, J.P., Van Weele, A.F., De Jager, W.F.J. and Meyvogel, I.J.(1983), “The Quality of Vertical Drainage”, *Proc. of the 8th ECSMFE*, Vol.2, pp.1235-1237.
 8. Miura, N.(1998), “Ground Improvement of a Highly Compressive Clay by Prefabricated Vertical Drain”, *A Short Course on Ground Improvement Using Prefabricated Vertical Drains*, Seoul, pp.291-339.
 9. Oostveen, J.P. and Troost, G.H.(1990), “Discharge Index Tests on Vertical Drains”, *Proc., 4th Int. Conference on Geotextiles, Geomembranes and Related Products*, Vol.1, Hague, the Netherlands, pp.345-350.

(접수일자 2002. 5. 17, 심사완료일 2003. 4. 12)