

세립분의 함유량이 Sand Column의 투수성에 미치는 영향

이진수* · 장용채**

*동신대학교 토목공학과 교수, **목포해양대학교 해양시스템공학부 조교수

The Effects of Fines on the Permeability in Sand Column

Jean-Soo Lee* · Yong-Chai Chang**

*Professor, Dept. Civil Engineering, Dongshin University, Naju, Junnam, 520-714, Korea

**Assistant Professor, Dept. Ocean Civil Engineering, Mokpo National Maritime University, Mokpo 530-729, Korea

요 약 : 세립분의 함유량, 구속압력과 건조밀도에 따른 Sand Column의 투수성에 대한 시험을 실시하였다. 삼축투수시험은 세립분의 함유량 (5, 15, 25, 35%), 구속압력 ($\sigma_3' = 0.5, 1.0, 2.0, 3.0 \text{ kg/cm}^2$)과 건조밀도 ($\gamma_d = 1.50, 1.55, 1.60, 1.65 \text{ g/cm}^3$)를 달리한 여러 종류의 시료에 대하여 수행되었다. 삼축투수시험 결과 세립분 함유량, 구속압력 및 건조밀도가 커질수록 투수계수는 작아지는 것을 알 수 있었다. 특히, 세립분의 함유량에서는 0.01mm 입경 이하의 세립분이 증가할수록 투수성이 매우 크게 감소하고, 구속압력과 건조밀도에서는 낮은 구속압력수준 ($\sigma_3' = 0.5 \sim 1.0 \text{ kg/cm}^2$)과 낮은 수준의 밀도 ($\gamma_d = 1.50 \sim 1.55 \text{ g/cm}^3$) 변화에서 투수성의 감소가 매우 크게 일어남을 알 수 있었다.

핵심용어 : 삼축투수시험, 투수성, 세립분함유량, 구속압력, 건조밀도

Abstract : Laboratory evaluation of the effect of fines, confine stress and dry density on the permeability characteristics in sand columns is presented. The triaxial permeability tests were conducted on different contents of fines (5, 15, 25, 35%), confine stress ($\sigma_3' = 0.5, 1.0, 2.0, 3.0 \text{ kg/cm}^2$), and dry density ($\gamma_d = 1.50, 1.55, 1.60, 1.65 \text{ g/cm}^3$). The results of triaxial permeability tests showed that as the contents of fines, confine stress and dry density became increase permeability became decrease. For the contents of fines, when the fines that smaller than 0.01mm increases the permeability decreases significantly. For the confine stress and the dry density, the permeability is decreased significantly at changes of the confine stress ($\sigma_3' = 0.5 \sim 1.0 \text{ kg/cm}^2$) and the dry density ($\gamma_d = 1.50 \sim 1.55 \text{ g/cm}^3$) at lower levels.

Key words : Triaxial permeability test, Permeability, Fines contents, Confine stress, Dry density

1. 서 론

최근 급속한 산업발전으로 인해 국가경제 발전의 거점이 되는 공항, 항만, 공단부지 등의 대단위 기반시설을 수용할 수 있는 토지가 부족하여 해안지역의 준설향이나 산토 매립을 통한 대규모 부지조성의 공사가 증가하고 있다.

국내에서는 산토나 모래에 의한 해안매립이 주로 이루어져 왔으나 매립대상 지역부근에서 이들 매립 재료원이 점점 고갈되면서 재료의 확보가 어려운 실정이다. 따라서, 최근에는 매립기술과 장비의 발달로 인해 인근바다에서 쉽게 구할 수 있는 해상 점토를 이용한 준설향·매립의 활용성이 중요시 되고 있다. 이러한 매립지반은 매우 불안정하여 개량이 필연적으로 이루어져야 하는데, 이중 한 개량공법으로서 여러 가지 배수재(예컨대 Sand Drain, Paper Drain)를 사용하여 개량을 실시하여 최종부지를 조성하는 과정으로 공사가 진행된다. 그러나 이와 같은 배수재는 압밀 축진을 목적으로 장시간 연약지반에 타입되어 여러 가지 요인에 의해 투수성이 저하되면 압밀은

지연되고 연약지반의 개량 효과는 기대이하로 이루어지는 경우가 보고되고 있다. 물론 연약지반의 전단강도의 증가는 간극수의 배제로 인한 압밀과 토립자의 재배열 등으로 인해 점차 증가하게 되는 것이 압밀의 주체이다. 그러나, 실제 현장에서 연직 배수재를 타입하고 동시에 성토하중에 의한 압밀을 단계별로 촉진하는데 지중에 타입된 배수재의 투수계수는 이와 같은 압밀과정에서 이론적으로 무한한 투수성(Barron, 1948)을 가져야 하고, 흐름의 저항 없이 Darcy 법칙이 성립되어야 한다는 것은 두 말할 필요가 없으며, 이와 더불어 압밀과 투수성은 연약지반의 강도의 증가현상에 불가결한 관계를 갖는다고 할 수 있다. 그러나 현재 여러 현장에 적용되어온 Sand Drain과 같은 배수공법은 배수재 자체의 투수성과 배수재 주변 점토지반의 국부적인 압밀에 의하여 투수계수가 급격히 감소하고 이에 따른 배수량의 감소와 성토와 같은 재하중의 전달이 저하되어 초기에 적용된 압밀효율이 시간경과에 따라 현저히 떨어지게 되는 결과를 초래하기도 한다. 또한 배수재와 배수재 사이의 미개량층이 존재하는 문제점을 갖기도 한

* 대표저자 : 이진수, js1208@dsu.ac.kr, 061)330-3134

** 종신회원, geo@mmu.ac.kr, 061)240-7218

다. 이러한 문제점과 의문의 제기에도 불구하고 이와 관련된 연구가 부족한 실정이다. 이런 점을 고려하여, 본 연구에서는 배수재 중 사질토를 이용한 Sand Mat나 연약지반에 타입된 Sand Column과 같은 연직배수재의 여러 조건에 따른 투수성을 평가하고자 하였다.

본 연구에서는 대단위 매립지반의 연약지반 개량공법으로 적용되어온 Sand Drain과 같은 배수재의 투수계수 중 배수재의 세립분 함유량을 기본으로 여기에 압밀도, 즉 구속압력과 배수재 밀도의 변화에 따른 투수특성 규명과 여러 조건에 따른 배수재의 배수능 확보에 대한 유무의 보장성에 대하여 연구하고자 하였다.

이를 위해 본 연구에서의 시험은 현장에서 채취한 연약점토에 Sand Column을 설치한 모형공시체를 제작한 후 여러 가지 시험조건을 갖고서 삼축투수시험을 실시하였다.

2. 이론적 배경

매우 연약한 점토지반에 대한 개량 공법중 압밀축진 또는, 강도증진을 목적으로 실시되는 Sand Drain 타설공법은 Kjellman(1948)에 의해 제안된 이래 지금까지 널리 이용되고 있다. 이와 관련하여 배수재 설치 지반에 대한 일차원 연직 압축과정을 표현하는 이론적 해석방법은 Barron(1948)의 자유변형률과 등변형률의 경우에 대한 해석해를 시작으로 Kjellman(1948), Hansbo(1979), Yoshikuni & Nakanodo(1974)의 제안식에 이르기까지 활발한 연구가 이루어져왔다. 그러나 이러한 제안식 등에 의한 정도 높은 결과를 얻기 위해서는 Sand Column (Juran, 1989)과 같은 연직배수재의 압밀진행 동안의 투수성변화, 배수재 입도 조성 및 여러 조건에 따른 Well 저항(김 등(1999), 吉國洋(1979)), 배수재 설치간격 및 배수재 주변 점토지반의 교란효과 등에 따른 명확한 평가가 이루어져야 한다. 이 중 본 연구는 배수재로서 Sand Column의 여러 조건에 따른 투수성의 변화에 주안점을 두고 이루어진 것이다. 배수재 설치 당시와 압밀단계 초기와 비교하여 압밀 진행동안의 투수성의 저하는 여러 가지 요인에 의해 발생될 수 있는데, 이를 살펴보면 입도의 조성에 따른 미세입자의 함유량, 구속압력과 밀도의 증가 등 물리적 작용 등이 있을 수 있다(Cedergren, 1977). 이는, 각기 유수의 흐름에 따른 배수재에 인접한 곳에서의 세립분이 퇴적되는 블라인딩(Blinding) 현상, 배수재 내부에서의 미세입자의 폐색(Clogging)현상과

여과(Filteration)작용이 있다. 또한, 압밀압력과 같은 정적압력과 다짐모래말뚝, Sand Mat등의 기계적 진동에 의한 동적압력에 따른 배수재의 유로단면 축소와 밀도증가 등이 투수성의 저하를 초래할 수 있다. 이럴 경우 대부분의 해석해에 적용되어온 배수재가 압밀 종료시까지 투수성의 저하없이 투수계수가 무한하다는 모순에 이르고, 그 결과로 압밀지연이나 연약지반의 개량효과는 기대이하가 될 수 있다. 한편, 연약점토지반에 설치된 Sand Column과 같은 배수재의 배수 능력과 투수계수는 다음식과 같이 표현 될 수 있다(박, 2003).

$$Q = k \cdot i \cdot A \tag{1}$$

$$Q_w = \frac{Q}{i} \tag{2}$$

$$k = \frac{Q_w}{A_w} \tag{3}$$

여기서, Q 는 배수재를 통과하는 단위시간당 평균배수량, Q_w 는 배수재의 배수능력, k 는 투수계수, i 는 동수구배이며, A_w 는 배수에 필요한 배수재의 배수 단면적이다.

3. 시 험

3.1 시료 준비 및 제작

배수재로서의 Sand Column을 설치한 복합지반의 삼축투수 시험용 공시체 제작을 위해 사용한 시료로서는 고흥만 지역에서 턴월튜브에 의해 비교란 상태로 채취한 해성 점토, 해사 및 일반토이다. 각 흙에 대한 토질특성은 Table 1에 나타난다. 점토는 No.200 체를 약 99%정도 통과하였으며, 해사와 일반흙은 2mm 체를 통과한 시료로서 No.200체 통과율은 각각 3.0%와 47.0%이다. 또한, 해성점토는 Stock's의 침강법칙에 의한 비중계분석을 실시한 결과 미세입자인 0.01mm의 입경 이하 함유량이 25% 정도로서 해사와 일반토의 0%와 4.5%에 비해 매우 크게 나타났다.

삼축투수시험용 공시체는 Fig. 1에 나타낸 바와 같이 직경이 5cm, 높이가 12.5cm인 실린더형 점토시료의 중앙에 배수재로서 직경 1cm의 Sand Column을 설치한 것이다.

Table 1 Characteristics of soil

Soil types	Specific Gravity Gs	Atterberg limit		% finer			Classification of soil USCS
		LL (%)	PI (%)	2.0mm	0.075mm (No.200 sieve)	0.01mm	
Marine Clay	2.68	32.0	10.3	100.0	99.1	24.5	CL
Marine Sand	2.65	-	-	100.0	3.0	0.0	SW
General Soil	2.66	28.4	6.7	100.0	47.0	4.5	CL

Table 2 Conditions of the testing program

Soil types		Percentage < No.200 sieve	Percentage < 0.01mm	Confining Pressure, σ_3' , (kg/cm^2)	Dry Density γ_d , (g/cm^3)
"A" (Marine Clay Marine Sand)	A1	5.0	1.3	0.5	1.50
		15.0	3.8	1.0	
		25.0	6.3	2.0	
		35.0	8.8	3.0	
	A2	15.0	3.8	1.0	1.55
		25.0	6.3		1.60
"B" (General Soil Marine Sand)	B1	5.0	0.3	0.5	1.50
		15.0	0.5	1.0	
		25.0	0.7	2.0	
		35.0	0.9	3.0	
	B2	15.0	0.5	1.0	1.55
		25.0	0.9		1.60
					1.65

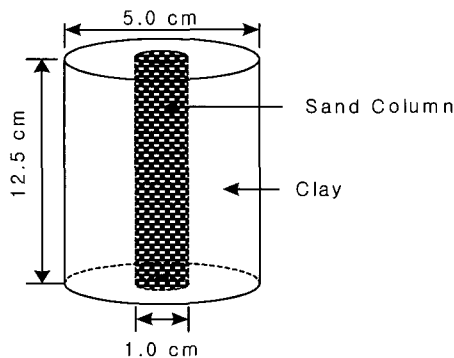


Fig. 1 Schematic picture of cylindrical clay sample with sand column

공시체 제작 중 Sand Column 형성은 점토시료에 구멍을 내고 여기에 원하는 건조밀도를 얻을 수 있도록 물과 함께 탬핑하여 설치하는 방법과 아크릴 케이싱 속에 물과 함께 모래를 탬핑하여 목표로 하는 건조밀도를 얻은 후 Sand Column을 동결한 후 설치하는 방법을 병행하였다.

3.2 시험 내용 및 방법

투수시험은 삼축투수시험기(이, 2004)를 사용하여 세립분의 함유량, 구속압력 및 건조밀도에 따라 실시되었으며 Table 2에 그 목록을 나타낸다. 시험은 세립분 함유량 구속압력 및 건조밀도에 따라 제작한 후 100% 포화가 이루어지고, 주어진 구속압력 하에서 압밀과정을 거친 후 투수시험이 이루어졌다.

표에 나타난 바와 같이 투수성 시험은 본 논문에서 실트 질흙의 입경범위인 0.075mm(No.200체)~0.002mm 중간정도

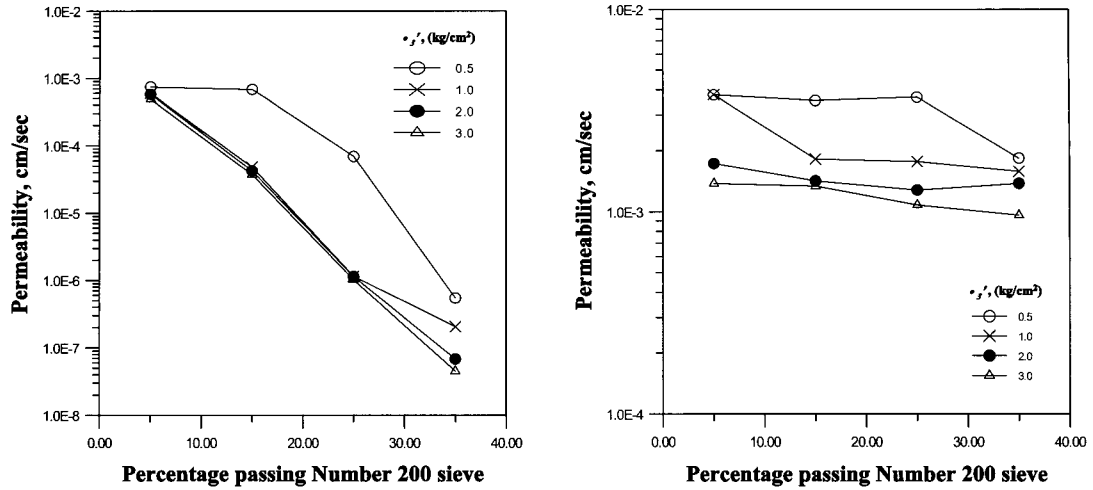
의 크기로 정의한 입경이 0.01mm 이하의 함유량(Table 1 참조)에 따라 흙“A”(해성점토+해사)와 흙“B”(일반토+해사)로 크게 구분되며, 흙“A”와 흙“B”의 각각의 시료에 대해서 No.200체 통과량(5, 15, 25, 35%)과 구속압력($\sigma_3' = 0.5, 1.0, 2.0, 3.0 kg/cm^2$)에 따라서 이루어졌다. 표2의 혼합토 “A”, “B”에서 No.200체 및 0.01mm 이하 입자의 함유량은 중량비로 산정하여 나타낸 것이다. 또한, 동적다짐에 의한 건조밀도($\gamma_d = 1.50, 1.55, 1.60, 1.65 g/cm^3$)에 따라 투수시험이 시행되었다. 여기서, 흙“A”와 흙“B”의 차이점은 No.200체 통과함유량 등 다른 시험조건은 동일하나 흙“A”가 흙“B”에 비해 입경 0.01mm 이하의 미립자 함유량이 월등하게 더 많다. 이는 입도조성에 따른 투수성의 물리적 특성 규명뿐만 아니라 슬러리 상태의 매립점토 지반상에 설치되는 Sand Column 재료의 적정성 판단기준과 압밀과정 동안 배수 재료의 미세 점토입자 이동에 따른 패쇄(Clogging), 압밀진행과 더불어 수반되는 유효압력과 밀도의 증가 등에 따른 투수성 변화에 대한 특성을 알고자 하는 목적을 갖고 있다.

4. 시험 결과 및 분석

Table 2의 시험 항목에 따른 투수시험 결과를 Table 3, Fig. 2~4 a), b)와 Fig. 5에 투수성에 대하여 세립분 함유량, 구속압력, 건조밀도 관계곡선으로 정리하여 나타낸다.

Fig. 2~4 a), b)는 해사에 해성점토를 혼합한 흙“A”와 해사에 일반토를 혼합한 흙“B”에 대한 투수성을 No.200체 통과함유량, 구속압력과 건조밀도에 따라 각각 나타낸 것이다. Fig. 5는 흙“A”와 흙“B”의 건조밀도에 따른 투수성을 같이 나타낸

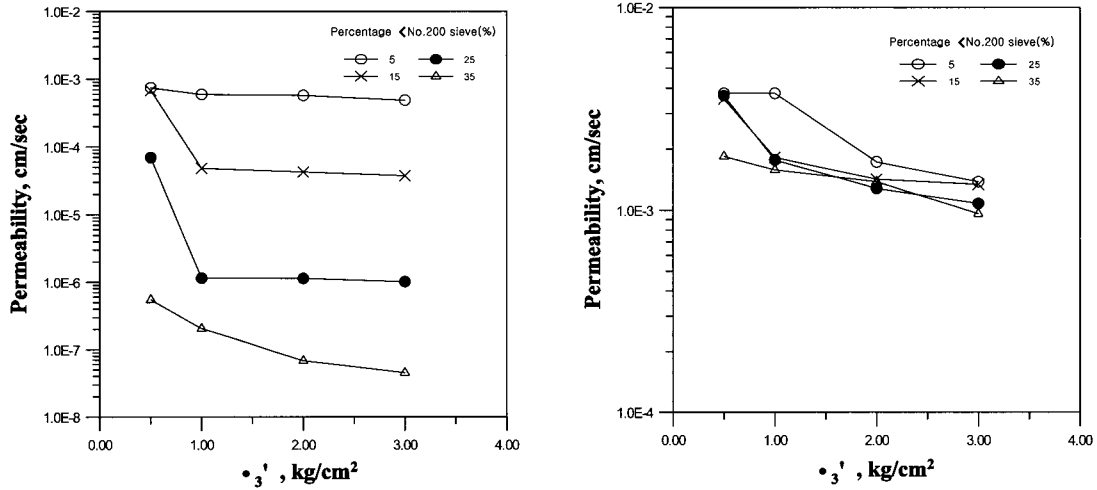
세립분의 함유량이 Sand Column의 투수성에 미치는 영향



a) Soil type "A"

b) Soil type "B"

Fig. 2 Permeability versus percentage passing No.200 sieve



a) Soil type "A"

b) Soil type "B"

Fig. 3 Permeability versus confining pressure

것이다. Fig. 2 a), b)에 나타난 바와 같이 No.200체 함유량이 증가함에 따라서 투수성은 대략 선형적으로 감소하는 경향을 보여주고 있다. 그러나, 동일한 No.200체 함유량 가운데에서도 미세입자(0.01mm)를 많이 함유한 흙 "A"가 흙 "B"에 비해 투수성에 매우 큰 영향을 보이는 것을 알 수 있다. 본 시료에서 미세입자(0.01mm) 함유량이 거의 없는 흙 "B"에서는 No.200체 함유량에 따라 투수성 감소가 크지 않는 반면에 원시료의 미세입자(0.01mm) 함유량이 24.5%인 흙 "A"는 세립분 함유량의 증가에 따라서 투수성 감소가 매우 큼을 알 수 있다.

Fig. 3 a), b)는 구속압력에 따른 투수성을 나타낸 것으로 흙 "A"와 흙 "B" 모두 구속압력의 증가에 따라 투수성의 감소 양상은 비슷하다. 다만, 낮은 압력($\sigma_3 < 1.0 \text{ kg/cm}^2$)에서의 구속압력 증가에 따라서 투수성의 감소가 예민하게 나타나고 있으며, 흙 "B"는 구속압력의 증가에 따라 투수성의 감소가 작은 반면 흙 "A"는 평균적으로 10배까지의 감소를 보이고 있다.

한편, Yoshikuni(1974) 등에 의하면 투수계수, $k=10^{-3} \sim 10^{-4} \text{ cm/sec}$ 정도인 경우 배수체로서 Sand Column의 Well Resistance 영향을 무시할 수 있다는 연구결과를 기준으로 볼 때, 본 연구 시험 결과인 Fig. 3 a)에서 No.200체 통과율이 15% 이하에서는 구속압력에 상관없이 Well Resistance의 영향을 무시할 수 있으나 No.200체 통과율이 20% 이상에서는 구속압력, 밀도 등의 영향이 클 것으로 판단된다.

Fig. 4 a), b)와 Fig. 5는 흙 "A"와 흙 "B"의 건조밀도에 따른 투수성을 나타낸 것이다. 그림에 보인 바와 같이 흙 "B"는 건조밀도의 증가에 따라서 거의 선형적으로 투수성이 감소하여 약 10배 가까이 차이를 보인다. 반면에, 흙 "A"는 그림에 나타난 바와 같이 상대적으로 건조밀도가 작은 $1.50 \sim 1.55 \text{ g/cm}^3$ 범위인 초기 부분의 변화에서 매우 큰 투수성의 감소성을 보이다가 그 이상에서는 둔화되는 경향이다. 흙 "A"는 건조밀도의 증가에 따라서 투수성이 약 100배까지도 감소하는 것을

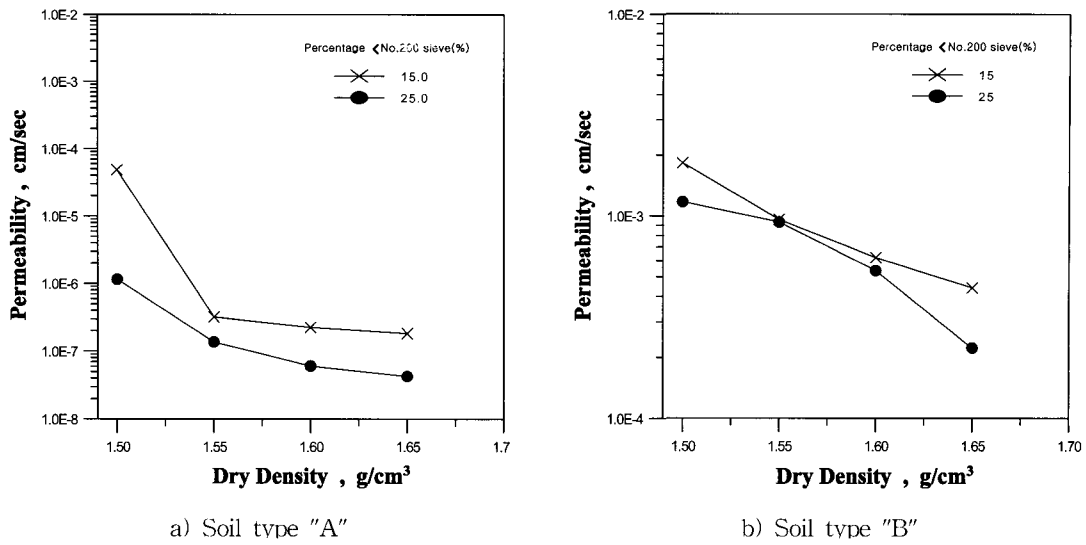


Fig. 4 Permeability versus dry density at $\sigma_3 = 1.0 \text{ kg/cm}^2$

Table 3 Summary of test results

Soil types		Percentage < No.200 sieve	Percentage < 0.01mm	Confining Pressure $\sigma_3, (\text{kg/cm}^2)$	Dry Density $\gamma_d, (\text{g/cm}^3)$	Permeability $k_{20}, (\text{cm/sec})$
"A" (Marine Clay + Marine Sand)	A1	5.0	1.3	0.5	1.50	$7.45 \times 10^{-4}, 5.95 \times 10^{-4}, 5.75 \times 10^{-4}, 4.87 \times 10^{-4}$
		15.0	3.8	1.0		$6.81 \times 10^{-4}, 4.82 \times 10^{-5}, 4.25 \times 10^{-5}, 3.74 \times 10^{-5}$
		25.0	6.3	2.0		$6.95 \times 10^{-5}, 1.15 \times 10^{-6}, 1.14 \times 10^{-6}, 1.02 \times 10^{-6}$
		35.0	8.8	3.0		$5.47 \times 10^{-7}, 2.06 \times 10^{-7}, 6.82 \times 10^{-8}, 4.50 \times 10^{-8}$
	A2	15.0	3.8	1.0	1.55	$3.20 \times 10^{-7}, 2.24 \times 10^{-7}, 1.83 \times 10^{-7}$
		25.0	6.3		1.60	$1.37 \times 10^{-7}, 6.06 \times 10^{-8}, 4.25 \times 10^{-8}$
					1.65	
"B" (General Soil + Marine Sand)	B1	5.0	0.2	0.5	1.50	$3.77 \times 10^{-3}, 3.77 \times 10^{-3}, 1.73 \times 10^{-3}, 1.38 \times 10^{-3}$
		15.0	0.5	1.0		$3.53 \times 10^{-3}, 1.82 \times 10^{-3}, 1.42 \times 10^{-3}, 1.34 \times 10^{-3}$
		25.0	0.8	2.0		$3.67 \times 10^{-3}, 1.77 \times 10^{-3}, 1.28 \times 10^{-3}, 1.08 \times 10^{-3}$
		35.0	1.1	3.0		$1.84 \times 10^{-3}, 1.58 \times 10^{-3}, 1.38 \times 10^{-3}, 9.62 \times 10^{-4}$
	B2	15.0	0.5	1.0	1.55	$9.57 \times 10^{-4}, 6.20 \times 10^{-4}, 4.40 \times 10^{-4}$
		25.0	0.8		1.60	
					1.65	
						$9.30 \times 10^{-4}, 5.35 \times 10^{-4}, 2.22 \times 10^{-4}$

알 수 있다. 이는, 배수재로서의 Sand Column이나 Sand Mat 의 투수성이 입도조성에 따라서는 밀도의 변화와 더불어 매우 큰 투수성의 감소가 일어날 수 있다는 사실을 보여 준다.

또한, 이러한 결과는 Fig. 2 a)와 Fig. 3에 나타난 결과와도 일맥상통하는 점이 있다. 낮은 구속압력 상태에서의 압력 증가에는 밀도의 변화가 예민하게 작용하여 투수계수의 감소 정도가 크다. 즉, 모래질흙에서 구속압력과 같은 정적인 압력 증가에서는 밀도의 감소에 한계가 있으나 동적하중에 의해서는 밀도의 증가가 더 크게 일어나 투수계수의 감소도 그만큼 더 크게 일어나는 사실을 알 수 있다.

또한, Fig. 5의 흙 "A"와 흙 "B"의 결과에 나타난 바와 같이 미세입자 크기의 함유량에 따라서 밀도증가에 따른 투수성의 감소정도가 매우 크다는 것을 알 수 있다.

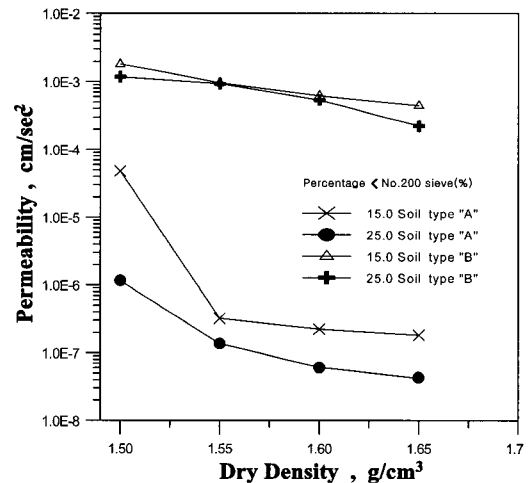


Fig. 5 Permeability versus dry density of soil type "A" and "B" at $\sigma_3' = 1.0 \text{ kg/cm}^2$

5. 결 론

지금까지 세립분의 함유량에 따른 Sand Column의 삼축투수시험 결과로부터 얻은 결론을 정리하면 다음과 같다.

- 1) 세립분의 함유량이 증가하고, 구속압력과 밀도가 커질수록 투수성은 감소하는 일반적인 경향을 보이나, 동일한 No.200 체 함유량 가운데에서도 미세입자(0.01mm)를 많이 함유한 흙일수록 투수성의 감소가 매우 크다. 이는 No.200체를 통과하는 세립분을 많이 함유하고 있는 모래 혼합토 일지라도 매우 작은 미세입자 함유량이 적다면 세립분의 함유량이 증가해도 투수성에 미치는 영향은 작다고 생각된다.
- 2) 구속압력과 밀도에 따른 투수성 감소는 낮은 압력부근(본 논문의 실험에서는, $\sigma_3 = 0.5 \sim 1.0 \text{ kg/cm}^2$)과 작은 밀도부근(본 논문의 실험에서는, $\gamma_d = 1.50 \sim 1.55 \text{ g/cm}^3$)의 변화에서 매우 민감한 감소를 보였으며, 전체 감소량의 약 50% 이상을 나타내었다.
- 3) No.200체 통과율이 15% 이하에서는 구속압력에 상관없이 투수계수 $k=10^{-3} \sim 10^{-4} \text{ cm/sec}$ 으로서 Well Resistance의 영향을 무시할 수 있으나 No.200체 통과율이 15% 이상이고 미세입자(0.01mm 이하)의 함유량에 따라서는 구속압력, 밀도 등의 증가와 함께 투수성의 감소가 커서 배수재의 Well Resistance에 매우 큰 영향을 미칠 것으로 판단된다.

이상의 시험결과를 기준으로 볼 때 각종 설계나 시공에 있어서 배수재로서의 Sand Mat나 연약점토지반의 압밀축진을 목적으로 설치되는 Sand Column의 투수성 평가에 있어 입도 특히, 0.01mm 이하의 입자 함유량, 압밀진행 동안의 유효구속압력의 증가와 이에 수반하여 밀도증가에 따른 Sand Column의 투수성 감소에 대한 평가가 신중히 이루어지고 반영될 필요성이 있다고 생각된다.

참 고 문 헌

- [1] 김수삼, 장민수, 이진태, (1999), "밴드형 플라스틱 배수재(PBD)의 투수능력 특성과 Well Resistance의 영향", 대한토목학회논문집, 제19권, 제 3-6호, pp.151~1164.
- [2] 박만규, (2003), "연직배수재의 투수특성에 관한 연구, 대전대학교 대학원 석사학위논문.
- [3] 이승철, (2004), "여러조건에 따른 인공점토재의 투수특성 검토", 동신대학교 대학원 석사학위 논문.
- [4] 한국지반공학회, (1999), "연약지반처리공".
- [5] 吉國洋, (1979), "연직배수공법의 설계와 시공관리" 기보당.
- [6] Akagi, T., (1994), "Hydraulic Applications of Geosynthetics to Filtration and Drainage Problems with Special Reference to Prefabricated Band Shaped Drains", Proceedings of 5th International Conference on Geotextiles, Geomembranes, and Related Products, Singapore, pp. 99~119
- [7] Barron, R. A., (1948), "Consolidation of Fine-Grained by Drain Wells", Transaction ASCE, Vol.113, Paper No.2346, pp. 718~742.
- [8] Cedergren, H. R., (1977), "Seepage, Drainage and Flow Nets" wiley & Sons, Inc.
- [9] Hansbo, S., (1979), "Consolidation of Clay by Band-Shaped Prefabricated Drains, Ground Engineering", Vol.12, No.5, pp. 21~ 25.
- [10] Juran, I., Guermazi, A., (1989), "Settlement Response of Soft Soils Reinforced by Compacted Sand Columns", pp. 930-949.
- [11] Kjellman, W., Discussion, (1948), "Consolidation of Fine-Grained Soils by Drain wells", Transaction ASCE, Vol. 113, pp.748~751.
- [12] Yoshikuni, H., H. Nakanodo., (1974), "Consolidation of Soils by Vertical Drain well Finite Permeability", Soil and Foundations 14, No.2, pp. 35~46.

원고접수일 : 2004년 8월 31일

원고채택일 : 2005년 3월 29일