交番流에 대한 Geotextile의 濾過特性과 濾過基準

Filter Characteristics and Filter Criteria of Geotextiles Under Alternating Flow Conditions

趙 三 德*
Cho, Sam－Deok
白 承 喆**
Baek, Seung－Cheol
洪 性 完***
Hong, Sung－Wan

Abstract

Laboratory experiments are performed for staple fibre－nonwoven geotextiles which have been widely used in Korea to investigate the filter characteristics of soil / geotextile system under alternating flow conditions. It is experimentally examined the effects of various design factors such as alternating hydraulic gradient, alternating period, vertical load, gradation and density of foundation soil on the filter structure, vertical permeability and soil retention of soil / geotextile systems. Based on the experimental results, alternating flow filtration criteria－ retention criteria and permeability criteria－for staple fibre－nonwoven geotextiles made in Korea are suggested.

要 旨

국내에서 여과용도로 폭넓게 사용되고 있는 Geotextile인 단섬유부직포를 대상으로 교번류상태에서의 흙 / Geotextile 시스템에 대한 실내 여과특성실험을 수행하였다. 실험을 통하여 교번주기, 교번동수경사, 수직하중 및 지반흙의 입도와 밀도등 여러 영향인자들이 흙 / Geotextile 시스템의 여과구조, 수직투수성 및 흙 보유성에 미치는 효과를 규명하였으며, 국내생산 단섬유부직포에 대한 교번류 작용시의 보유성 기준과 투수성 기준을 제시하였다.

1. 서 론

최근 해안 · 하안 사면이나 방조제 사면등에 지반흙의 침식방지를 위한 여과재료로서 모래, 자갈등의 조립토대신 Geotextile이 많이 사용되고 있다. 이러한 목적으로 사용된 Goetextile

* 正會員, 韓國建設技術研究院 先任研究員
** 正會員, 韓國建設技術研究院 研究員(現, 安東大學 地質學科 專任講師)
*** 正會員, 韓國建設技術研究院 研究委員

은 선박주행과 프로펠러(propeller)작용, 바람, 폭풍우 등에 의한 파도와 다른 자극 등에 의해 야기되는 여러 형태의 교번류를 받게 된다. 이와 같이 교번류를 받는 구조물에서의 흙 / Geotextile 시스템은 일방향류를 받는 지반배수에서와는 다른 형태의 여과거동을 나타내는 것으로 알려져 있다.[1]

Geotextile의 여과특성을 규명하기 위한 연구는 1972년 Calhoun[2]의 실내 실험연구를 시작으로 활발히 수행되어 왔으며, 대부분 일방향류를 받는 Geotextile의 여과특성연구[3~6]에 집중되었다. 교번류 상태를 고려한 Geotextile 필터에 관한 연구는 1973년 List[7]가 교번류 작용시 세립토 유실에 미치는 Geotextile 두께의 영향을 고찰하기 위한 실험연구를 수행한 이래 교번류를 받는 Geotextile 필터의 설계기준을 제시하기 위한 현장 및 실내 실험연구가 주종을 이루고 있다.[8~13] 그러나, 이러한 연구의 대부분은 자국에서 생산되는 Geotextile 제품－주로 장섬유부직포와 직포－을 대상으로 하여, 지반흙의 입도와 밀도 및 수직하중 등의 제한된 조건만을 고려하였기 때문에 니들펀칭 단섬유부직포에 대한 교번류에서의 필터특성은 물론 교번주기, 교번동수경사 등의 교번류상태의 변화에 따른 Geotextile 의 여과특성이 평가되지 못했다.

따라서, 본 연구에서는 국내에서 여과용도로 폭넓게 사용되고 있는 Geotextile인 단섬유부직포를 대상으로, 교번주기와 교번동수경사를 포함한 여러 설계인자들을 고려한 교번류상태에서의 흙 / Geotextile 시스템의 여과거동을 규명하고, 이를 토대로 국내생산 단섬유부직포에 대한 여과기준을 제시하고자 한다.

2. 실험개요

2.1 Geotextile 및 흙시료

Geotextile시료는 국내 유수업체에서 생산되는 제품중에서 여과용도로 많이 활용되고 있는 단섬유부직포 7종을 선정하여 사용하였으며, 흙시료는 한강하류부의 실트질 모래와 경기도 평택의 남양호연안 실트질 흙을 채취하여, 균등계수 2, 5, 10, 30을 기준으로 실트함유율을 변화시켜 양입도 모래 9종, 빈입도 모래 4종, 실트질 흙 3종 등 총 16종의 시료를 상대밀도 45%와 75%인 상태로 제조하여 사용하였다. 표 1과 표 2에서는 실험에 사용된 Geotextile과 흙시료에 대한 물리적 및 역학적 특성치를 보여준다.

2.2 실험장치

해안이나 하안사면에 구성된 흙 / Geotextile 시스템에 작용하는 주기적인 파의 운동을 실내에서 단순하게 묘사하기 위해 수조통내의 물속에서 흙 / Geotextile 시료의 주기적인 상하왕복운동을 유도하는 실험장치를 그림 1과 같이 제작하였다. 이 실험장치는 1) 수조통, 2) 투수원통, 3) 왕복운동장치, 4) 조정판, 5) 지지대 등 5가지 주요부분으로 구성되어 있다.

흙 / Geotextile 시스템을 구성하는 투수원통은 내경 10cm, 높이 15cm 크기의 투명한 아크릴로 되어있고, 투수원통 상부는 흙 / Geotextile 시스템을 통과한 물의 상향흐름에 의한 세립토

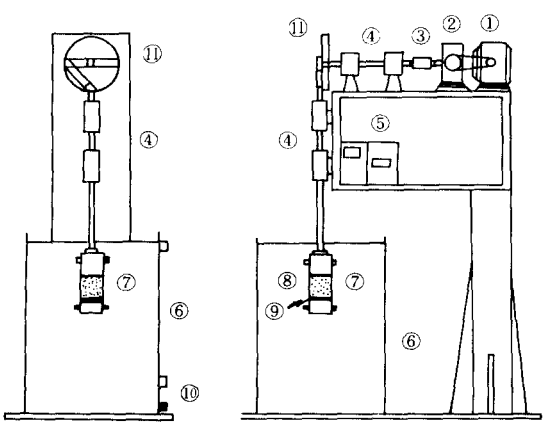
표 1. Typical properties of geotextile samples

Geotextile type	Fibre material	Structure	Weight (g/m^2)	Thickness (mm)	Effective opening size(mm)	Vertical permeability (10^{-2}cm/s)(Pv=2kPa)	Manufacturer
Fibre-Nonwoven(NW1)	P.P	Needle Punching	340~370	3.11~3.33	0.157	34.61	
" (NW2)	P.P	"	590~600	3.96~4.19	0.116	29.66	D.H.Co.
" (NW3)	P.P	"	680~700	4.81~4.88	0.102	28.04	
Fibre-Nonwoven(NW4)	P.E.T	Needle Punching	220~260	3.05~3.45	0.198	26.90	H.K.Co.
" (NW5)	P.E.T	"	370~410	4.00~4.17	0.134	23.61	
" (NW6)	P.E.T	"	600~640	5.48~5.77	0.141	23.93	
" (NW7)	P.E.T	"	700~730	5.20~5.39	0.126	18.32	

표 2. Typical properties of soil samples

Type	Cu	Symbol	Silt content(%)	Classification
Well-graded sand	5	WS1	13	SM
		WS2	24	SM
		WS3	38	SM
		WS4	48	SM
	10	WS5	19	SM
		WS6	35	SM
	30	WS7	18	SM
		WS8	27	SM
		WS9	36	SM
Poor-graded sand	2	PS1	0	SP
		PS2	7	SP-SM
		PS3	17	SM
		PS4	49	SM
Silty soil	2	SL1	100	ML
	5	SL2	76	ML
	10	SL3	51	ML

의 유실과 투수원통 외부로부터의 물의 유입을 방지하기 위한 높이 30cm의 수직원통과 연결되어 있으며, 투수원통 하부에는 Geotextile 고정용 칼라(collar)가 부착되어 있다. 또한, 본 실험장치는 실험시의 진동을 최소로 줄일 수 있도록



1. Motor 2. Reduction gear 3. Coupling 4. Bearing
5. Control box 6. Water tank 7. Permeability cylinder
8. Soil sample 9. Geotextile sample 10. Valve 11. Crank wheel

그림 1. Permeability test equipment of soil / geotextile system under the alternating flow conditions.

강재를 사용하여 기둥과 밑판이 일체가 되도록 구성되어 있으며, 기둥의 전·후·측면에 3개의 앵커링을 하였다.

2.3 실험방법

그림 1의 실험장치에서 흙 / Geotextile 시스템을 구성하는 투수원통은 수조내의 물속에서 주기적으로 상하 왕복운동을 함으로써 흙 / Geotextile 시료에 교번류가 작용되도록 하였으며, 교번주기는 투수원통의 1회 왕복운동에 소요되는 시간으로, 교번동수경사는 흙 / Geotextile 시료높이에 대한 왕복운동 하는 흙 / Geotextile 시료에 작용하는 최대 수위차(상향운동시는 +, 하향운동시는 −)의 비로 정의하였다.

교번류를 고려한 Geotextile의 여과특성실험은 다양한 Geotextile 시료와 흙시료에 대하여 교번동수경사를 ±0.5~±0.2의 범위에서, 교번주기를 0.45~1.35초의 범위에서 변화시켜 수행하였으며, 실험은 시료준비와 흙시료 성형, 시험기 조정(setting), 시료포화와 시험기 가동, 시료추출과 입도분석 등 4단계로 실시하였다.

시료높이별로 실험전후의 흙입자 이동상태를 평가하기 위하여 투수원통내에 흙시료를 3cm

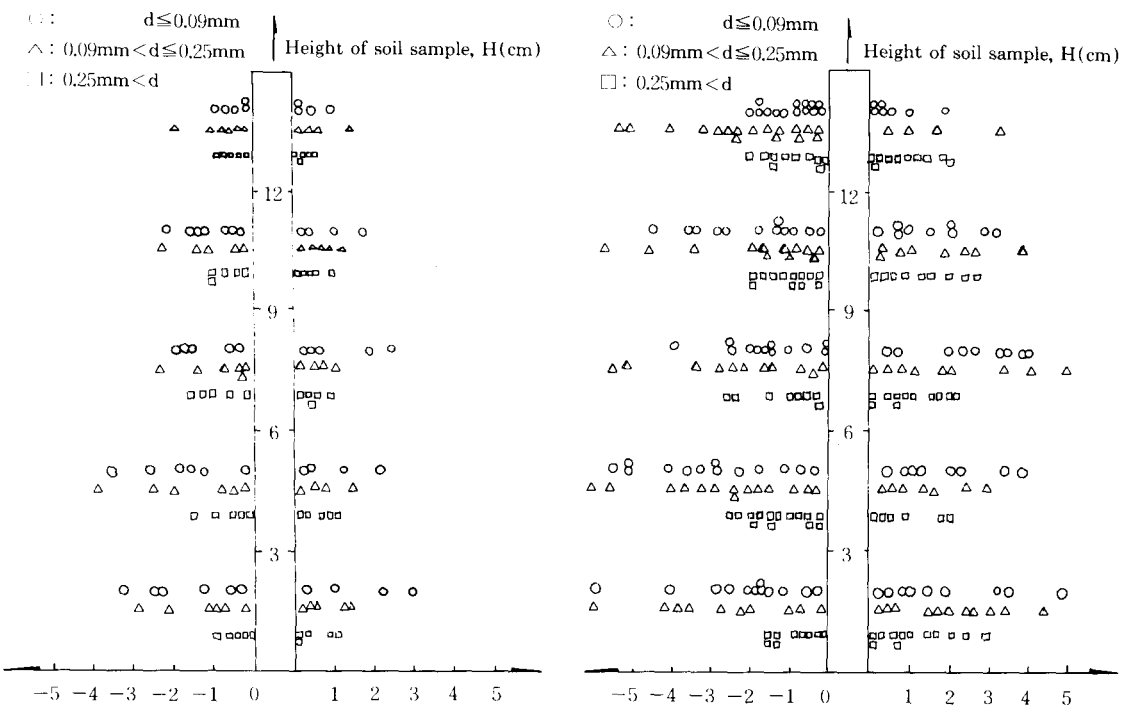
높이씩 5개층으로 나누어 다짐, 성형하고, 실험 완료후에 3cm 높이별로 추출하여 입도분석을 실시하였다. 투수원통의 하부와 상부에는 Geotextile과 흙시료를 보호하기 위한 보호망을 설치하였는데, 특히 흙시료 윗면과 상부보호망 사이에 공간이 생기지 않도록 주의하여 흙시료를 성형하였으며, 투수원통을 시험기 본체에 용이하게 결합시키기 위하여 수조통내에 설치가 능한 이동식 투수원통 선반을 제작하여 사용하였다.

실험개시전에 Geotextile과 흙시료가 완전히 포화될 수 있도록 충분한 시간동안 포화시켰으며, 1개 시료당 최대 실험시간은 18시간으로 하였다. 실험개시후 일정시간별로 수조통내 물의 혼탁도와 세립토 유실정도를 조사하였으며, 실험완료후에는 Geotextile을 통과하여 수조통내에 쌓인 세립토를 수집하여 입도분석을 실시하였다. 또한 교번류에 의해 Geotextile내에 박힌 세립토량을 평가하기 위하여 실험전후의 Geotextile의 노건조중량을 측정하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 흙 / Geotextile 시스템의 여과구조

그림 2에서는 흙 / Geotextile 시스템이 안정되었다고 평가할 수 있는, 세립토의 Geotextile 통과 유실율, R_{ps}(유실량 / 전체 흙시료중량×100, %)가 2% 이하인 실험결과들을 대상으로 하여, 3cm 간격의 흙시료 높이별로 교번주기 1.35초와 0.6초에 대한 굵은 모래, 가는 모래, 실트등 3가지 입자별 이동량비, R_{ts}(최종 흙입자중량−초기 흙입자중량) / 각 층별 총 시료중량×100, %)를 보여준다. 이 그림으로부터 교번주기의 변화에 관계없이 전반적인 흙입자 이동



(a) Alternating period, T=1.35 sec

(b) Altermating period, T=0.6 sec

그림 2. Soil particle migration ratio to heights of soil sample.

상태는 거의 유사하며, 단지 교번주기가 길어짐에 따라 흙입자의 이동량이 적어지는 것을 알 수 있고, 1.35초 보다 짧은 주기를 갖는 교번류하에서는 일방향류하에서 나타날 수 있는 흙시료내의 자체적인 흙 필터층(soil filter layer) 형성이 곤란한 것으로 평가되었다.

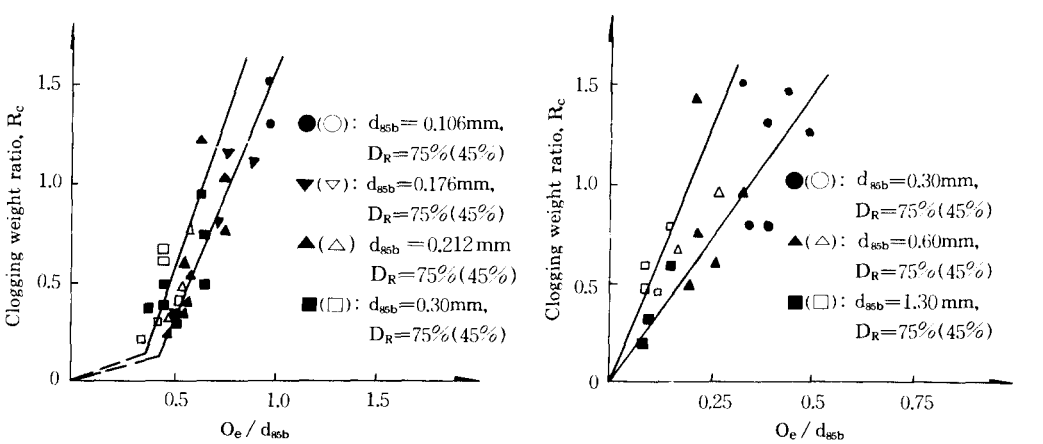
그러나 실제적으로 교번주기가 길어지면 교번류에 의해 흙시료내에 발생되는 난류의 정도가 상대적으로 감소되기 때문에, 이러한 조건하에서는 장기간 여과거동후에 어느 정도의 흙필터층 형성을 기대할 수도 있다. 따라서, 긴 교번주기를 갖는 교번류상태에서의 흙 / Geotextile 시스템의 여과 구조를 평가하기 위해서는 장기간 여과실험후에 흙입자 이동상태의 분석을 행하는 것이 바람직할 것이다.

3.2 Geotextile의 여과장애(Clogging) 현상

그림 3에서는 흙시료의 입도와 밀도변화에 따른 Geotextile의 여과장애(clogging) 효과를 분석해 보기 위해 흙시료의 입도와 밀도에 따른 Geotextile 내에 박힌 세립토중량비, R_c(Geotextile 내에 박힌 세립토의 중량 / Geotextile 시편의 중량)와 Geotextile의 유효구멍크기에 대한 85% 통과백분율에 해당하는 흙시료의 입자크기의 비 O_e / d_{85b}의 상관관계를 보여주는데, 흙시료의 입도에 관계없이 O_e / d_{85b} 값이 증가할수록 R_c 값은 비례적으로 증가하며, 양입도 모래의 경우와는 달리 빈입도 모래와 실트에서는 O_e / d_{85b} 값이 어떤 한계값에 도달하면서부터 R_c값이 급증하는 경향을 보여준다. 또한, 흙시료의 밀도가 느슨할수록 Geotextle 내에 박힌 세립토량은 더욱 증가하여 흙시료의 입도에 관계없이 상대밀도 45%인 경우의 R_c 값이 상대밀도 75%인 경우보다 약 1.5배~2.0배 정도 크게 나타남을 알 수 있다.

그림 4에서는 동일한 교번주기와 교번동수경사하에서 균등계수가 5이고 상대밀도가 75%인 양입도 모래에 포함되어 있는 실트함유율과 Geotextile내에 박힌 세립토중량비 사이의 상관관계를 보여주고 있다. 이 그림으로부터 흙시료내에 포함된 실트함유율이 증가할수록 Geotextile 내에 박힌 세립토 중량비는 거의 직선적으로 증가함을 알 수 있는데, 이러한 추세는 흙시료의 상대밀도가 45%인 경우와 균등계수가 2, 10, 30인 경우에서도 동일하게 나타났다.

그림 5와 그림 6에서는 교번동수경사와 교번주기의 변화에 따른 Geotextile내에 박힌 세립토중량비 변화를 보여주는데, 이 그림들로부터 Geotextile과 흙시료의 형태에 관계없이 교번동수경사가 크고 교번주기가 짧아짐에 따라



(a) Poor-graded sand, silty soil

(b) Well-graded sand

그림 3. $R_c - O_e / d_{85b}$ relationship to gradation and density of soil samples(i=±1.0, T=0.6sec)

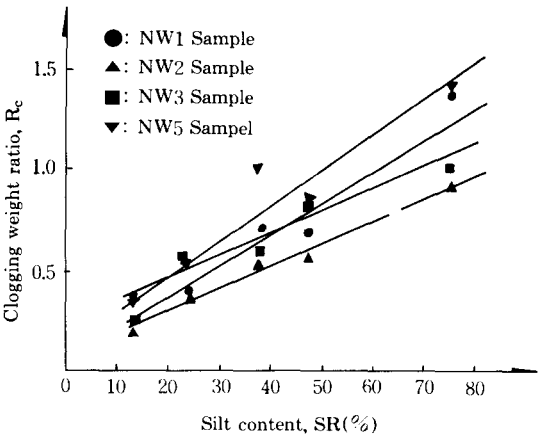


그림 4. Variation of clogging weight ratio to silt contents.
(C_u=5, D_R=75%, i=±1.0, T=0.6sec)

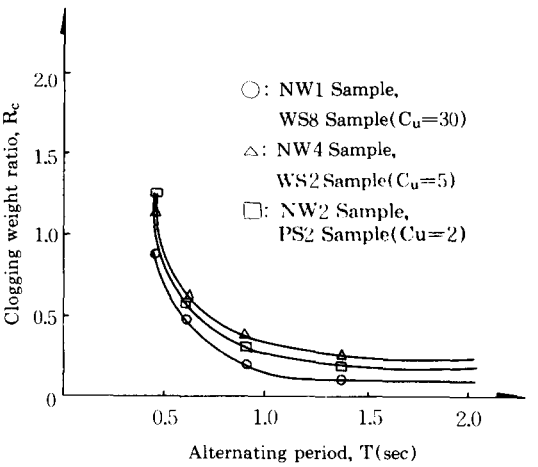


그림 6. Variation of clogging weight ratio to alternating periods(D_R=75%, i=1.0)

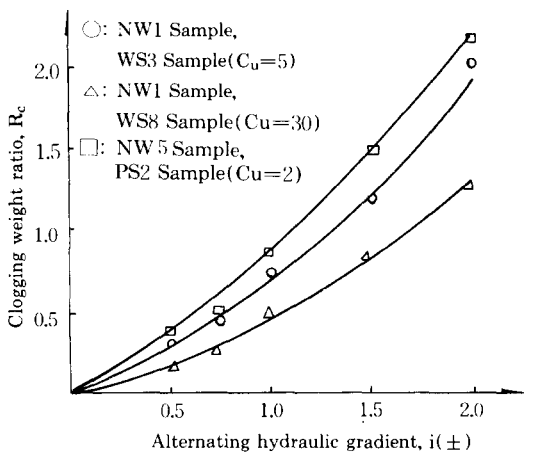


그림 5. Variation of clogging weight ratio to alternating hydraulic gradients
(D_R=75%, T=0.6sec)

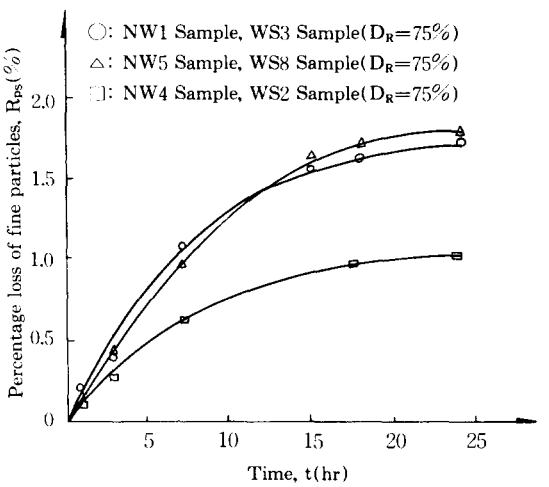


그림 7. Typical R_{ps}−relationships
(i=±1.0, T=0.6sec)

Geotextile 내에 박힌 세립토중량비가 누가적으로 증가함을 알 수 있다. 이러한 현상은 교번동수경사가 크고 교번주기가 짧을수록 흙시료내의 흙입자들이 보다 활발히 이동하여 Geotextile 내에 박히며, 한번 Geotextile내에 박힌 흙입자들은 쉽게 빠져나오지 못하기 때문인 것으로 사료된다.

3.3 흙 / Geotextile 시스템의 흙 보유성

그림 7에서는 본 실험에 사용된 Geotextile들에 대한 시간−유실율 관계곡선을 보여주는데, 실험개시후 10시간이내에 빠른 속도로 상당량의 세립토가 유실되며, 그 이후에는 유실정도가 서서히 감소하는 추세를 나타내고 있음을 알 수 있다. 따라서 본 연구에서는 1개 시료에 대한 실험시간을 18시간으로 제한하고, 각종 설계인자들의 다양한 변화를 시도해 보았다.

그림8과그림 9에서는 교번동수경사와 교번주기에 따른 Geotextile을 통한 세립토의 유실율 변화형태를 보여주는데, 이 그림들로부터

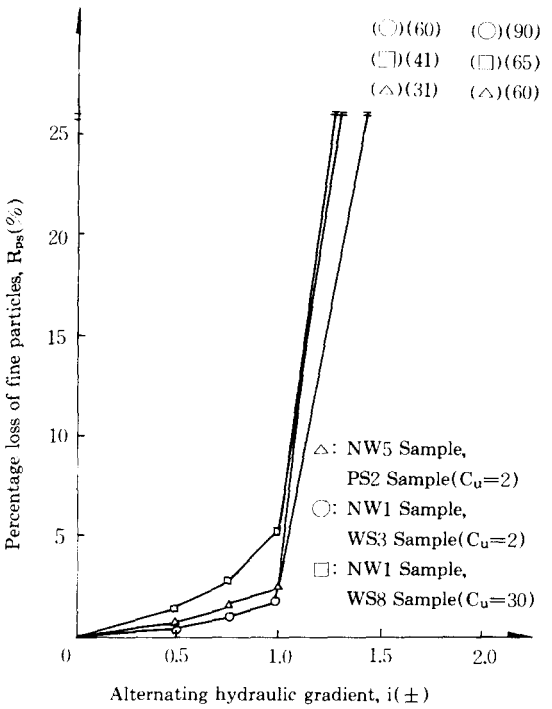


그림 8. Variation of percentage loss of fine particles to alternating hydraulic gradients (D_R=75%, T=0.6sec)

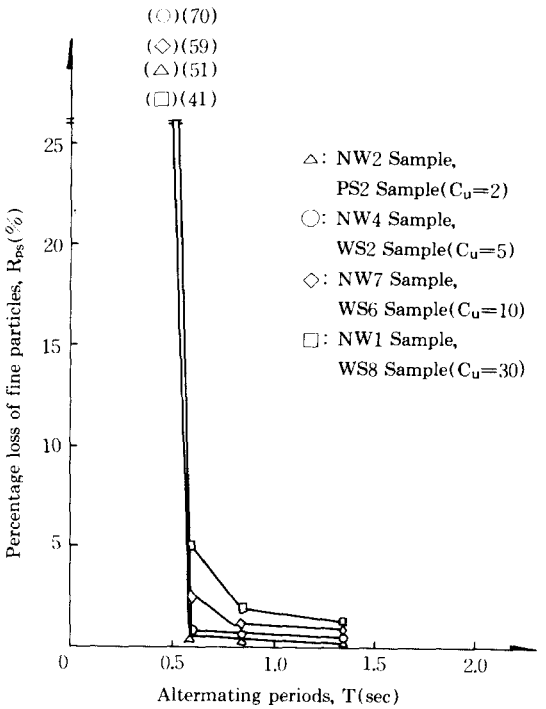


그림 9. Variation of percentage loss of fine particles to alternating periods (D_R=75%, i=±1.0)

Geotextile과 흙시료의 형태에 관계없이, 교번동수경사가 증가하고 교번주기가 짧아질수록 Geotextile 통과 유실율이 누가적으로 증가하며, 교번동수경사가 ±1.0을 넘거나 교번주기가 0.6초보다 짧을 경우에는 유실율의 급격한 증가가 나타남을 알 수 있다. 이러한 현상은 ±1.0이상의 교번동수경사와 0.6초보다 짧은 교번주기에서는 흙시료내의 물의 흐름이 상당한 크기의 난류상태로 바뀌게 되어 흙시료내의 흙입자들이 매우 불안정한 상태에서 활발하게 이동되기 때문으로 사료된다.

3.4 흙 / Geotextile 시스템의 수직투수성

그림 10에서는 수직하중 2kPa를 기준으로 하여 산출된 각 하중단계별 Geotextile의 수직투수성 감소계수를 도시하였다. 수직하중을 받는 Geotextile의 수직투수계수 측정을 위한 실험장치 및 실험방법은 참고문헌(14)에 자세히 기술되어 있다. 그림 10에서 보듯이 실험에

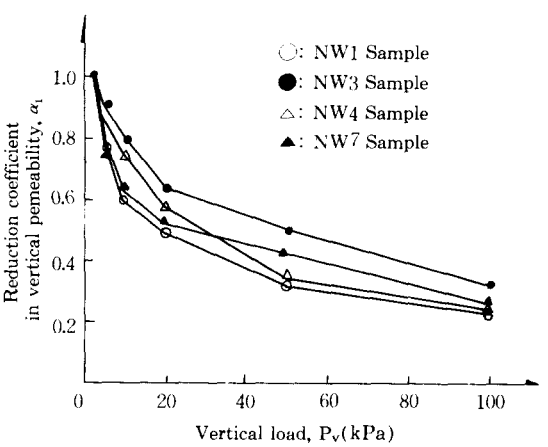


그림 10. Reduction coefficients in vertical permeability of geotextile to vertical loads.

사용한 단섬유부직포들은 수직하중의 증가에 따라 수직투수계수가 반비례적으로 감소되는데, 특히 수직하중 50kPa이하에서 급격한 감소추세를 보여주며, 100kPa의 수직하중이 작용되

면 2kPa의 수직하중 작용시보다 4배정도 수직투수계수가 감소됨을 알 수 있다.

그림 11에서는 동일한 교번주기와 교번동수경사하에서 상대밀도가 75% 이고, 균등계수가 5인 양입도 모래에 포함되어 있는 실트함유율과 Geotextile의 수직투수성 감소계수, α_2(변화된

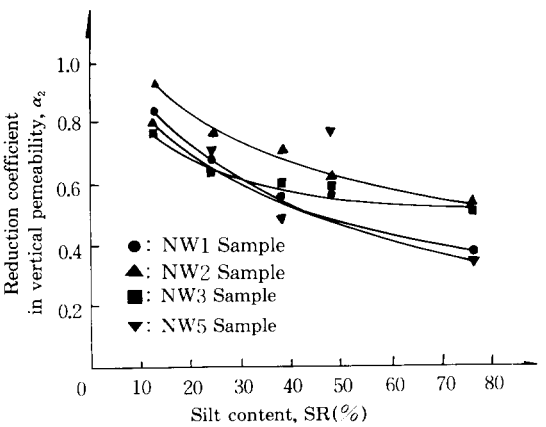


그림 11. Reduction coefficients in vertical permeability of geotextile to silt contents(C_u=5, D_R=75%, i=±1.0, T=0.6sec)

Geotextile의 수직투수계수 / 자연 Geotextile의 수직투수계수) 사이의 상관관계를 보여주고 있다. 이 그림에서 보듯이 흙시료내에 실트함유율이 증가할수록 Geotextile의 수직투수성 감소계수는 거의 반비례적으로 감소함을 알 수 있으며, 이러한 현상은 흙시료의 균등계수, Cu가 2, 10, 30인 경우에도 유사하게 나타났다.

그림 12와 그림 13에서는 교번동수경사와 교번주기의 변화에 따른 Geotextile의 수직투수성 감소계수를 보여주는데, 이 그림들로부터 Geotextile과 흙시료의 형태에 관계없이 교번동수경사가 증가할수록 Geotextile의 수직투수성 감소계수, α_2가 거의 직선적으로 감소되며, 교번주기가 짧아질수록 α_2가 누가적으로 감소됨을 알 수 있다. 또한 그림 14에서는 Geotextile내에 박힌 세립토중량비와 수직투수성 감소계수 사이의 상관곡선을 도시하였는데, Geotextile에 박힌 세립토중량비가 증가할수록 Geotextile의 수직투수성 감소계수는 거의 반비례적으로

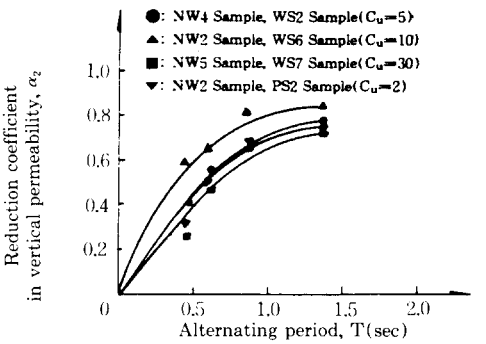


그림 12 Reduction coefficients in vertical permeability of geotextile to alternating periods(D_R=75%, i=±1.0)

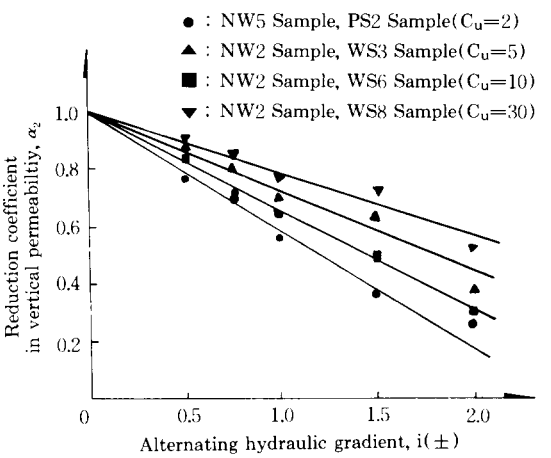


그림 13. Reduction coefficients in vertical permeability of geotextile to alternating hydraulic gradients(D_R=75%, T=0.6sec)

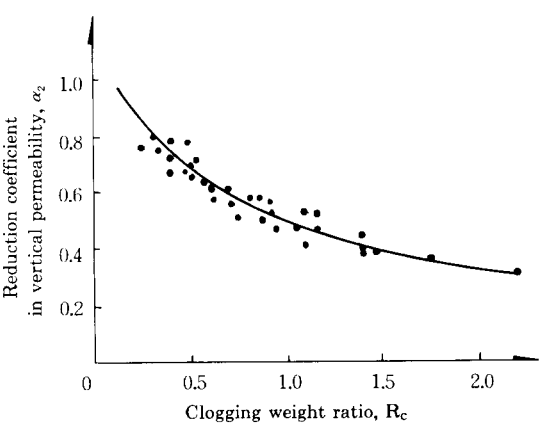


그림 14. Reduction coefficients in vertical permeability of geotextile to clogging weight ratios.

감소되었다.

4. 교번류에 대한 Geotextile의 여과기준 도출

4.1 보유성 기준

일반적으로 Geotextile 필터의 보유성 기준 설정에 있어 가장 중요한 사항은 흙 / Geotextile 시스템을 안전하게 유지할 수 있도록, Geotextile 을 통한 세립토 유실을 최소로 막을 수 있어야 한다는 것이다.

그림 15에서는 균등계수가 5인 양입도 모래에 대하여, 교번주기 0.6초, 교번동수경사 ±1.0인 경우에 나타난 O_e / d_{85b}값과 Geotextile을 통한 흙입자의 유실율, R_{ps}(유실통 / 전체 흙시료중량×100, %) 사이의 상관곡선을 보여준다. 이 그림에서 보듯이 O_e / d_{85b}값이 어느 한계치에 접근되면 유실율, R_{ps}는 급격히 증가하며, O_e / d_{85b}의 한계치는 흙시료의 밀도가 낮을수록 더욱 작게 나타남을 알 수 있다. 따라서, Geotextile을 통한 흙입자의 유실율이 급격히 증가하게 되는 O_e / d_{85b}의 한계치를 Geotextile 필터의 보유성 기준으로 채택하기로 한다. 균등계수, C_u가 2, 10, 30인 지반흙의경우에도 동일한 방법으로 Geotextile의 보유성 기준을 추출할 수 있다.

한편, 교번동수경사가 Geotextile의 보유성 기준에 미치는 영향을 평가하기 위하여, 그림 16에서는 교번동수경사가 ±1.0일 때의 Geotextile 을 통한 흙입자의 유실율을 기준으로 표준화된 각 동수경사별 유실율비의 대표적인 형태를 도시하였다. 그림 16에서 보는 바와같이 흙시료의 입도에 관계없이 교번동수경사가 증가할수록 유실율은 누가적으로 증가하고, ±1.0을 초과한 교번동수경사에서는 유실율의 급격한 증가가 나타나며, 교번동수경사가 ±0.5인 경우에는 ±1.0인 경우에 비해 50% 이하의 유실율이 나타나는 것을 알 수 있다. 여러

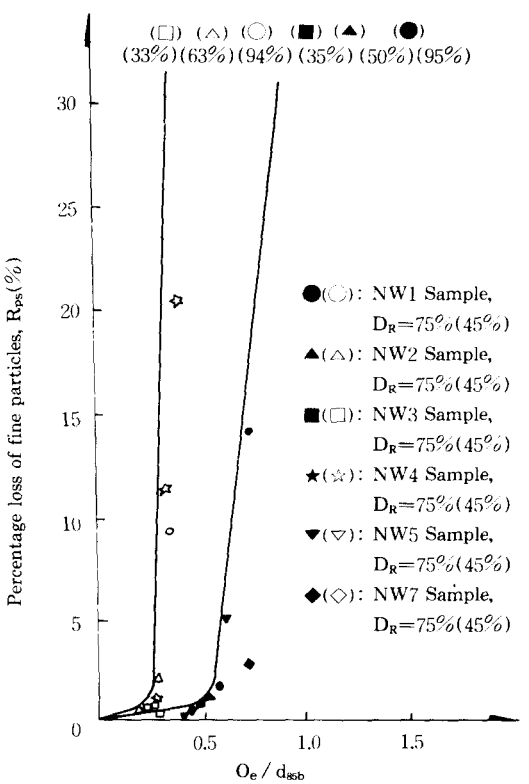


그림 15. $R_{ps}-O_e / D_{85b}$ relationships(C_u=5, i=±1.0, T=0.6sec)

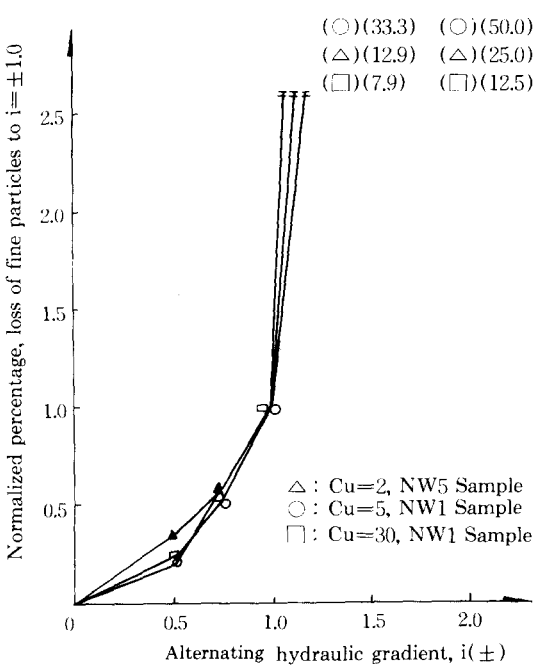


그림 16. Normalized percentage loss of fine particles to i=±1.0 for various alternating hydraulic gradients(D_R=75%, T=0.6sec)

Geotextile 시료와 흙시료에 대한 실험에서도 그림 16과 유사한 결과를 얻을 수 있기 때문에 본 연구에서는 교번동수경사가 ±0.5인 경우의 유실율을 ±1.0인 경우의 유실율의 50%로 가정하여 $O_e / d_{85b} - R_{ps}$ 상관곡선을 도시함으로써, 교번동수경사가 ±1.0인 경우와 같은 방법으로 ±0.5인 경우의 Geotextile 의 보유성 기준을 추출 하였다.

또한, 동일한 방법으로 Geotextile의 보유성 기준에 미치는 교번주기의 영향을 평가하기 위하여 그림 17에서는 교번주기가 0.6초 일때의 Geotextile을 통한 흙입자의 유실율을 기준으로 표준화된 각 교번주기별 유실율비의 대표적인 형태를 도시하였다. 이 그림에서 보는 것처럼 교번주기가 1.2초인 경우에는 0.6초인 경우에 비해 50%이하의 유실율이 나타나는 것을 알 수 있으므로, 본 연구에서는 교번주기가 1.2초인 경우의 유실율을 0.6초인 경우의 유실율의 50%로 가정하여 교번주기 1.2초인 경우의 Geotextile 의 보유성 기준을 추출하였다.

이러한 과정들을 통하여, 본 실험연구에서 사용한 국내생산 단섬유부직포들에 대한 보유성 기준을 지반흙의 밀도, 입도와 교번동수경사 및 교번주기 등의 영향을 고려하여 종합적으로 평가해 보면 그림 18과 같다. 그림 18로부터 국내생산 단섬유부직포들에 대한 보유성 기준의 범위는 개략적으로 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$O_e \leq (0.03 \sim 0.65) d_{85b} \qquad (1)$$

여기서, O_e는 Geotextile의 유효구멍크기이며, d_{85b}는 85% 통과백분율에 해당하는 지반흙의 입자크기이다. 그림 19에서는 자국에서 생산되는 부직포들을 대상으로 하여 제시된, 기존의 보유성 기준들을 $C_u - O_e / d_{85b}$ 관계로 변환시켜 도시하였다. 그림 18과 그림 19를 비교하여

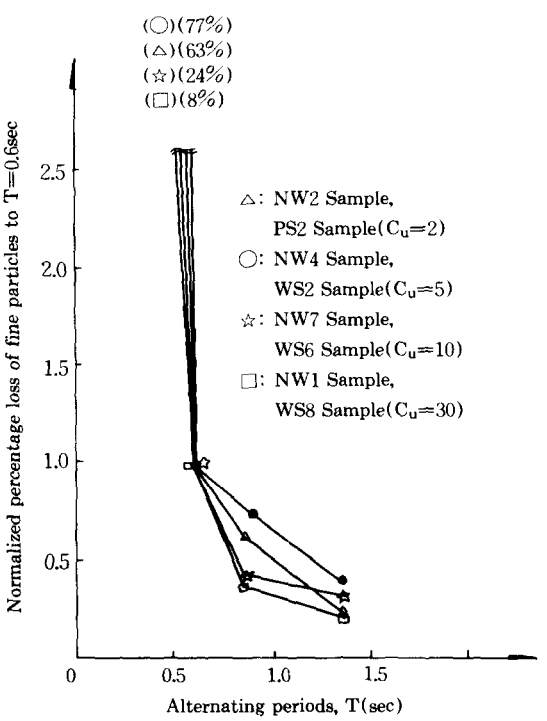


그림 17. Normalized percentage loss of fine particles to T=0.6sec for various alternating periods(D_R=75%, i=±1.0)

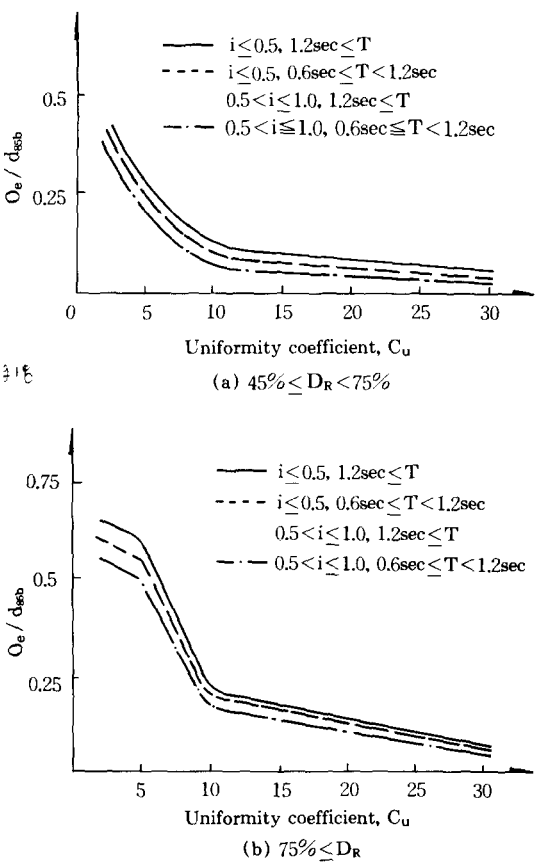


그림 18. Proposed retention criteria of geotextiles

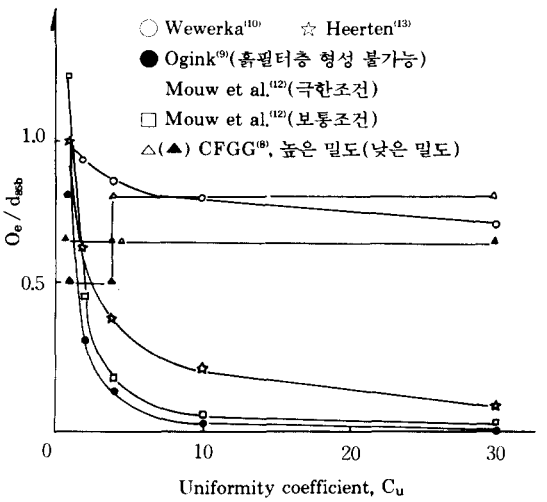


그림 19. Various retention criteria of geotextiles.

보면 본 연구에서 제안된 보유성 기준은 지반흙의 밀도가 높을 경우에는 Heerten의 기준과 유사하며, 지반흙의 밀도가 낮은 경우에는 Ogink 의 기준, Mouw et al.의 기준 등과 유사하게 나타남을 알 수 있다.

4.2 투수성 기준

일반적으로 Geotextile 필터의 투수성 기준 설정에 있어 가장 중요한 사항은 흙 / Geotextile 시스템내에 과잉간극수압이 발생하지 않도록, 현장에 장기간 설치된 Geotextile의 투수성이 원지반의 투수성보다 높아야 한다는 것이다. 따라서, 이러한 이론에 입각하여 Geotextile의 투수성 기준은 다음 식과 같이 간단히 표현할 수 있다.

$$\begin{cases} kg' > ks \\ \alpha \cdot kg > ks \end{cases} \qquad (2)$$

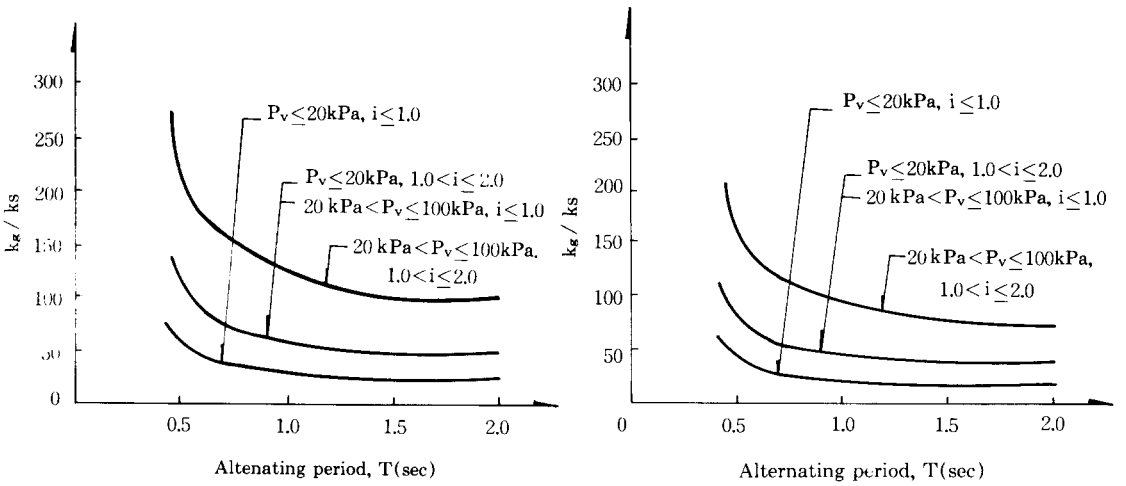
여기서 kg′, kg 및 ks는 각각 현장에 장기간 설치된 Geotextile의 수직투수계수와 자연 Geotextile 의 수직투수계수 및 원지반 흙의 수직투수계수를 나타낸다. α는 현장에 장기간 설치된 Geotextile의 수직투수성 감소계수를 나타내는데, 이 α를 추출하기 위해서는 수직하중으로 인한 Getextile의 압축현상과 장기간의 여과장애(clogging)현상에 의한 수직투수성 감소효과가 평가되어야 한다.

표 3. Reduction coefficients on vertical permeability of geotextile to design factors

α	Factors	Range	Reductinn coefficients
α_1	Vertical load (P_v, kPa)	$P_v \leqq 20$	0.50
		$20 < P_v \leqq 100$	0.25
α_2	Alternating hydraulic gradient (i, ±)	$i \leqq 0.5$	0.83
		$0.5 < i \leqq 1.0$	0.67
		$1.0 < i \leqq 2.0$	0.33
	Alternating period (T, sec)	$1.2 \leqq T$	1.59
		$0.6 \leqq T < 1.2$	1.0
		$0.45 \leqq T < 0.6$	0.64
	Relative density of base soil (D_R, %)	$45 \leqq D_R < 75$	0.67
		$75 \leqq D_R$	1.0
	Silt content of base soil (SR, %)	$SR \leqq 20$	1.0
		$20 < SR \leqq 50$	0.74
		$50 < SR \leqq 100$	0.51
	Gradation of base soil (C_u)	$2 \leqq C_u \leqq 5$	0.69
		$5 < C_u \leqq 10$	1.0
		$10 < C_u \leqq 30$	0.90

*Basic Condition: $i = \pm 1.0$, $T = 0.6$sec / $D_R = 75\%$, $SR = 20\%$, $Cu = 5$

표 3에서는 앞의 3. 4절에서와 같은 흙 / Geotextile 시스템의 수직투수성 분석을 통하여 추출한 수직하중, 교번동수경사, 교번주기, 지반흙의 입도와 밀도 등의 설계인자별 Geotextile의 수직투수성 감소계수, α_1를 보여준다. 그러나 표 3에서 보여주는 세립토 박힘에 의한 Geotextile 의 수직투수성 감소계수, α_2는 18시간동안의 실내실험으로부터 얻어진 값으로서, 장기간 현장에 포설된 Geotextile의 수직투수성 감소계수로 대체될 수는 없다. 실제로 1982년 Heerten[13]의 연구에서 하안과 해안사면에 10년동안 설치된 현장 Geotextile(니들펀칭 부직포)내에 박힌 세립토중량비, R_c가 (5.6~10.8)의 범위까지 나타나는 것이 관찰된 반면 본 실내실험에서는 R_c값이 대부분 (0.3~2.0) 범위에서 나타났기 때문에, 3장 그림 14의 Geotextile 내에 박힌 세립토 중량비와 수직투수성 감소계수 관계곡선으로부터, 현장에 포설된 Geotextile의 장기적인 여과장애 현상 등과



(a) Poor-graded(2≦Cu<5)
45%≦D_R<75%

(b) Well-graded(5≦Cu≦30)
45%≦D_R<75%

그림 20. Proposed permeability criteria of geotextiles (sandy soil)

같은 불확실성을 보완하기 위한 안전율로 5.0을 고려하였다.

그림 20에서는 표 3의 수직투수성 감소계수들과 안전율을 고려하여 제안된 국내생산 단섬유부직포들에 대한 투수성 기준의 일부를 보여준다. 분석결과, 국내의 단섬유부직포들에 대한 투수성 기준의 범위는 개략적으로 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{cases} \text{조립토}: k_g > (10\sim280)k_s \\ \text{세립토}: k_g > (20\sim420)k_s \end{cases} \quad (3)$$

제안된 투수성 기준은 1982년 Heerten[13]이 제안된 기준, $\{k_g > (5-100)k_s\}$과 1984년 Abromeit et al.[11]이 제안된 기준, $\{k_g > (10\sim100)k_s\}$ 보다 약간 높게 나타났으며, 여러 설계인자들의 영향이 세분하여 평가되었다.

5. 결 론

본 연구는 교번류 상태를 고려한 흙 / Geotextile 시스템의 실내 여과특성 실험을 수행함으로써 교번류에 대한 Geotextile의 여과특성을 규명하고, 이를 토대로 국내 Geotextile 필터의 설계기준을 제시하고자 하는 실험연구로 연구결과를 종합하면 다음과 같다.

1) 국내생산 단섬유부직포들에 대하여 교번주기, 교번동수경사, 지반흙의 입도와 밀도 등 여러 설계인자들을 고려한 교번류 작용시의 보유성 기준과 투수성 기준을 제시하였다.
2) 지반흙의 입도에 관계없이 지반흙의 밀도가 느슨하고 실트함유율이 증가할수록, O_e / d_{85b} 값이 증가할수록 Geotextile내에 박힌 세립토중량비는 직선적으로 증가하며, 양입도 모래와는 달리 빈입도 모래와 실트에서는 Geotextile내에 박힌 세립토중량비가 급증하는 한계 O_e / d_{85b} 값이 존재하였다.
3) 교번동수경사가 증가하고 교번주기가 짧아질수록 Geotextile 통과 유실율이 누가적으로 증가하며, 교번동수경사가 ±1.0을 넘거나 교번주기가 0.6초보다 짧은 경우에는 유실율의 급격한 증가가 나타난다.
4) 수직투수성 감소계수는 교번동수경사가 증가할수록 거의 직선적으로 감소되는 반면, 교번주기가 짧아질수록 누가적으로 감소되었다.
5) 교번류를 받는 흙 / Geotextile 시스템에서의 Geotextile을 통한 세립토 유실은 실험개시 후 10시간 이내에 급격한 증가를 보여주며,

21 이후에는 유실정도가 서서히 감소하는 추세를 보여준다.

(5) 교번주기가 길어짐에 따라 흙/Geotextile 시스템내의 흙입자 이동량이 작아지며, 교번주기가 1.35초보다 짧은 교번류하에서는 지반흙내의 자체적인 흙필터층(soil filter layer) 형성이 곤란한 것으로 평가되었다.

감사의 말

본 논문은 1989년도 한국부직포공업협동조합의 연구비 지원에 의해 수행된 연구결과의 일부로서 재정적 지원에 심심한 사의를 표합니다.

참고문헌

1. Hoare, D.J., "Geotextiles as Filters", Ground Engineering, Vol. 17, No.2, 1984, pp. 29~44.
2. Calhoun, C.O., Development of Design Criteria and Acceptance Specifications for Plastic Filter Cloths, Tech. Report S-72-7 USWES, Vicksburg, 1972.
3. Marks, B. D., The Behaviour of Aggregate and Fabric Filters in Subsurface Applications, Univ. of Tennessee Report., Feb., 1975, p.444.
4. Giroud, J. P., "Filter Criteria for Geotextiles", Proc. 2nd Int. Conf. on Geotextiles, Vol. 1, 1982, pp.105~108.
5. Lawson, C. R., "Filter Criteria for Geotextiles : Relevance and Use", Jour. of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, Vol. 108, No. GT10, 1982, pp.1300~1317.
6. Loudiere, D., Fayoux, D., Houis, J., Perfetti, J. and Sotton, M., "The Use of Geotextiles in French Earth Dams", Water Power and Dam Construction, No.1, 1983, pp.19~21.
7. List, H.J., Untersuchungen von Instationar Belasteten Kunstoffe-Filtern für den Wasserbau, Mitteilungsblatt der Bundesanstalf für Wasserbau, No.35, Oct., 1973.
8. Comite Francais des Geotextiles, Recommendations Pour l'utilization des Geotextiles en Filtration et Drainage, Brochure CFG., 1986.
9. Ogink, H.J.M., Investigations on the Hydraulics Characteristics of Synthetic Fabrics, Delft Hydraulic Laboratory, Pub. No.146, 1975.
10. Wewerka, M.,"Theoretical Basis and Practical Experience-Geotextiles in Hydraulic Engineering", Proc. Int. Conf. on Flexible Armoured Revetments Incorporating Geotextiles, Vol. 1, 1984, pp.265~275.
11. Abromeit, H.U., "Bidding Procedure and Placing Operation of Geotextile Filter Layers," Proc. Int. Conf. on Flexible Armoured Revetments Incorporating Geotextiles, Vol. 1, 1984, pp.277~284.
12. Mouw, K.A.G., Nederlof, K.D.C., Stuip, J. and Veldhuijzen Van Zanten, R., "Geotextiles in Shore and Bottom Protection Works", Proc. 3rd Int. Conf. on Geotextiles, Vol. 2, 1986, pp.349~354.
13. Heerten, G., "Dimensioning the Filtration Properties of Geotextiles Considering Long-Term Conditions", Proc. 2nd Int. Conf. on Geotextiles, Vol. 1, 1982, pp.115~120.
14. 홍성완, 조삼덕, 조중각, Geotextile 종류별 효용성의 비교연구, 한국건설기술연구원, 1986, p.95.

(접수일자 1990. 2. 6)