

수평방향의 위킹 배수 특성을 지닌 분리·보강용 지오텍스타일 개발을 위한 실험적 연구

Experimental Study on Development for Separation and Reinforcement Geotextiles with Horizontal Wicking Drain Property

김홍관¹, 안민수^{2*}

Hong-Kwan Kim¹, Min-Soo Ahn^{2*}

¹Member, Director, Dept. of R&D, FITI Testing & Research Institute, 79 Magokjungang 8-ro, Gangseo-gu, Seoul 07791, Republic of Korea

²Member, Researcher, Engineering, Hankook Eng. 513-15 Sandaewon-dong, Joowon-gu, Seongnam, Gyeonggi-do 13398, Republic of Korea

ABSTRACT

According to the recent civil engineering construction work site which is a complex process, development of multi-functional geotextiles is required. In this study, the characteristics of five different modified cross-section fiber yarns for the selection of wicking yarns were analyzed and yarns that can achieve target properties were selected. Experimental prototype geotextiles suitable for horizontal wicking drain property and reinforcement was developed and its tensile strength, 2% secant modulus, vertical water permeability, AOS, friction characteristics by the direct shear method, and vertical/horizontal wicking test were analyzed. These tests are conducted to verify the performance of the geotextiles with horizontal wick drain property, separation and reinforcement developed in this study. As a results of the indoor soil box test, it was confirmed that the geotextiles using the wicking yarn sufficiently exhibited the function of discharging excess pore water in the horizontal direction.

요 지

최근 복잡해지는 토목 공사 현장에서 요구되는 수요에 적합한 다기능 지오텍스타일의 개발이 요구되고 있다. 본 연구에서는 5종류의 위킹사를 섬유 특성 분석하고 요구 특성에 만족하는 위킹사를 선택하였고, 이 중에서 2종류의 위킹사를 적용하여 수평 위킹 배수 특성을 지니면서 보강에 적합한 지오텍스타일을 시제품을 개발하여 인장 강도, 2% 시컨트 모듈러스, 수직 투수율, 유효구멍크기, 직접 전단법에 의한 마찰 특성 및 수직·수평 위킹 시험을 수행하였다. 본 연구를 통해서 개발된 수평 배수 특성과 분리 및 보강 성능을 지닌 지오텍스타일을 실내 토조실험을 통하여 수평배수능력에 따른 풍화도 함수비 변화를 관찰하였으며, 개발된 지오텍스타일의 위킹성능에 의한 수평배수능력을 검증하였다. 실내 토조 실험 결과 위킹사를 적용하여 직조된 지오텍스타일은 수평방향으로의 과잉간극수를 배출하는 기능을 충분히 발휘하는 것을 확인하였다.

Keywords : Geotextiles, Horizontal drain, Wicking

1. 서 론

지오텍스타일의 주요 기능은 주로 분리, 여과, 보강, 배수 등으로 구분할 수 있다. 최근 토목건설공사는 대형화 및 복합공정으로 이루어지는 경우가 많아 지오텍스타일의

기능이 복합 다기능성을 요구하고 있는 실정이다. 특히, 수평방향으로의 잔류 간극수의 배수성능에서 요구되는 기능적인 측면에서 살펴보면, 원 지반 층과 성토 층 사이에서 발생하는 토층수의 배수를 위한 측면 배수특성이 개선된 제품의 수요와 수평 방향으로 동수구배가 없는 상태에서 자연 삼투압에 의한 배수가 가능한 기능적인 특성의 요구가 필요한 제품의 개발을 통해 새로운 시장의 창출 가능성이 있을 수 있다고 판단된다(Jeon, 1998).

Received 20 May. 2019, Revised 28 Nov. 2019, Accepted 16 Dec. 2019

*Corresponding author

Tel: +82-31-777-2375; Fax: +82-31-777-2417

E-mail address: h261@hankookeng.co.kr (M. S. Ahn)

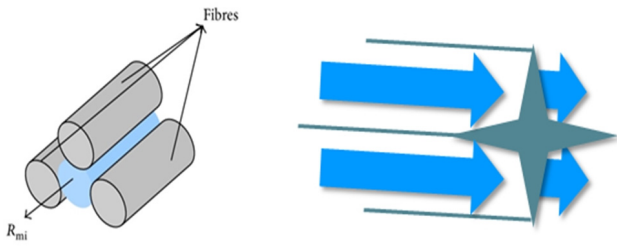


Fig. 1. Principle of capillary wicking

본 연구에서는 극한 환경에서 분리 및 보강기능을 보유하면서 동결융해 방지 기능을 동시에 만족하는 지오텍스타일을 개발하고자 한다. 극한 환경에서 도로나 구조물이 동결에 의해서 융기가 일어나는 원인은 아스팔트 또는 지반 층에 잔류된 수분에 의해서 발생하는 것으로 보고되어 있고, 이를 방지하기 위해서는 수평방향으로 미세하게 지속적으로 수분을 배수하는 기능이 요구된다. 이와 같이 수평방향으로의 위킹 특성에 의한 배수를 수평 위킹 배수 특성 (horizontal wicking drain property)이라하며, 이러한 기능을 보유한 지오텍스타일을 개발하기 위하여 이 제품에서 요구되는 수평방향의 배수기능을 가능하게 하기 위하여 위킹사를 적용하여 지오텍스타일을 개발하였다.

본 제품에서 요구되는 특성은 장기적 형태안정성, 유효구멍크기, 수평투수성의 개선 등을 확보할 수 있어야 하며, 이와 같은 성능을 만족할 수 있는 직물구조에 대한 연구와 도입이 필요하며, 이를 위해서는 서로 다른 단면을 갖는 이형의 원사를 경/위사에 복합적으로 구성한 특수 구조의 제직설계 및 기술 개발이 요구된다.

최적 위킹 기능을 위해서는 일반원사에 비하여 표면적이 큰 이형단면사를 사용하며, 기능성 의류에서 주로 사용되는 국내 원사업체에서 시판하는 흡한속건 기능을 보유한 여러종류의 이형단면사를 이용해 기초 실험을 진행하였다.

본 연구에서는 보강 및 분리기능을 가진 다양한 소재 및 형태의 원사를 이용하여 고성능의 지오텍스타일 제조를 위하여 고강도 원사(폴리프로필렌계, 플랫사 및 스플릿사, 기타 고강력 원사 등)에 위킹성을 부여하기 위한 이형단면 원사를 적용하여 지오텍스타일을 직조하였다.

고기능성(마찰 상호작용계수 향상, 투수성 개선, 인장특성 향상)의 발현을 위해 경사와 위사에 각기 다른 단면의 원사를 사용하였다(KGS, 1998).

직포의 마찰 표면 특성이 향상되고 겉보기 공극과 통수통로가 확보된 직물구조의 설계하기 위하여 경사에 모노

사 또는 플랫사를 사용하고 위사에는 스플릿사와 이형단면 원사 등을 복합적으로 사용하여 수직투수성 뿐만 아니라 CD방향으로의 위킹에 의한 수평투수성과 마찰상호 작용계수가 향상된 지오텍스타일을 개발하였다.

이런 기능의 부여를 위하여 직포 구조 설계기술을 활용하여 제직된 수평투수성을 가진 지오텍스타일을 실내실험을 통하여 기본적인 물성을 확인하고, 개발된 지오텍스타일의 수직방향과 수평방향의 흡수속도 시험을 진행하였으며, 실제 현장의 조건과 유사한 조건인 토층 내의 수평능력을 검증하기 위하여 실내 토조 실험장치를 고안하여 실험을 실시하였다.

본 연구에서 선택한 지오텍스타일은 기존의 일반 지오텍스타일과 이형단면 원사를 적용한 지오텍스타일 2 종류의 제품으로 실시하였으며, 토층 내에서의 수평투수성이 발휘되는지를 확인하기 위하여 본 연구를 진행하였다 (Kim et al., 2015).

2. 지오텍스타일의 기본 물성 평가

본 연구에서는 위킹 특성을 보유한 원사의 선정을 위해서 다양한 위킹사를 평가하였으며, 여기에서 선정된 위킹사를 이용하여 개발된 지오텍스타일 제품에 대해서 인장강도, 투수특성, 유효구멍크기 등과 같은 기본 물성을 평가하였으며, 수직방향의 흡수성능과 수평방향의 흡수성능을 평가하여 수평방향으로의 배수성능 평가를 위한 기초성능을 평가하였다(Shin et al., 1998; Koerner, 1998; Chae et al., 2007; Shin et al., 2010).

위킹사의 선정을 위하여 5 종류의 이형단면사를 선정하여 기초분석과 위킹성능과 관련된 흡수성능을 평가하였다.

각각의 재질은 폴리에스터와 나일론이며, 단면의 형태와 기본물성을 Table 1에 나타내었다.

기본적으로 위킹성능의 발현을 위해서는 제조사에서 제공된 원사의 굵기가 가늘어 지오텍스타일용으로 제조하기 위해서는 여러 가닥으로 합사하여 그 성능을 비교 평가하였다.

이형단면사의 단면형태에 따른 위킹성능의 차이는 흡수속도 분석을 통하여 확인하였으며, #1-1 과 #1-2 가 높은 결과를 나타내었다. 이들 2 종류의 위킹사를 적용하여 지오텍스타일 제품을 제직하였으며, 투수성능, 유효구멍크기, 인장강도 및 신장율 등의 물성을 보유한 제품을 제직하기 위해서 Fig. 2와 Fig. 3과 같이 위킹사를 적용하기

Table 1. Test results of wicking yarns

Wicking Yarn		#1-1	#1-2	#1-3	#1-4	#1-5	Test methods	
Material		Nylon	Polyester	Polyester	Polyester	Polyester	FT-IR	
Melting Point		220,55	252,49	252,26	251,64	251,29	DSC	
Shape	Lateral						SEM	
	Cross section							
Fiber Count	Tex	7,3	8,3	8,4	14,5	17,1	KS K 0415	
	Denier	65,7	74,7	75,6	130,5	153,9		
Absorption speed	1Yarn Soaking time (10 min)	Length (mm)	33	34	17	11(51)	ASTM C1599 applied	
		Speed (mm/s)	0,0557	0,0560	0,0280	0,0190 (0,0850)		0,0183
	5Yarns Soaking time (10 min)	Length (mm)	54	78	0	5(23)		6(28)
		Speed (mm/s)	0,0900	0,1307	0	0,0077 (0,0383)		0,0093 (0,0467)
	1Yarn Soaking time (25 min)	Length (mm)	36	38	26	18(51)*		11
		Speed (mm/s)	0,0241	0,0251	0,0175	0,0119 (0,0340)		0,0073
	5Yarns Soaking time (25 min)	Length (mm)	60	83	0	5(23)**		6(28)**
		Speed (mm/s)	0,0399	0,0551	0	0,0031 (0,0153)		0,0037 (0,0187)

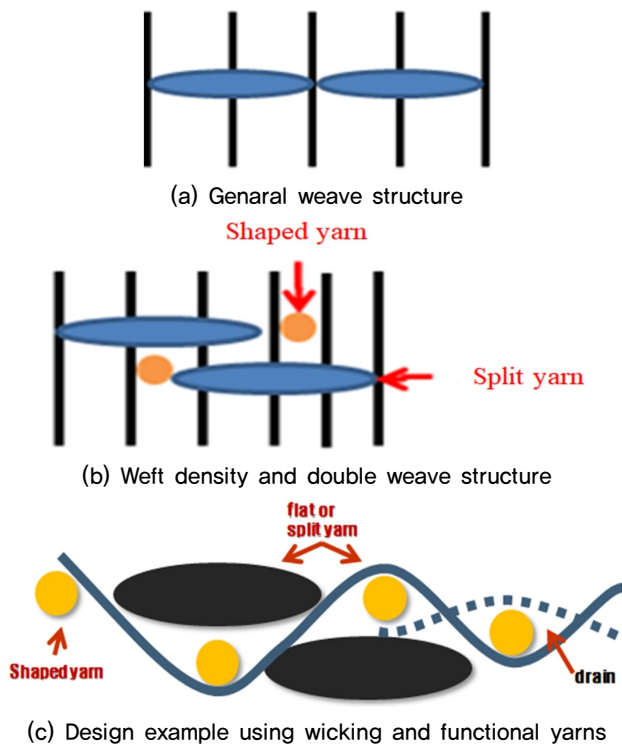


Fig. 2. Design example of geotextile structures

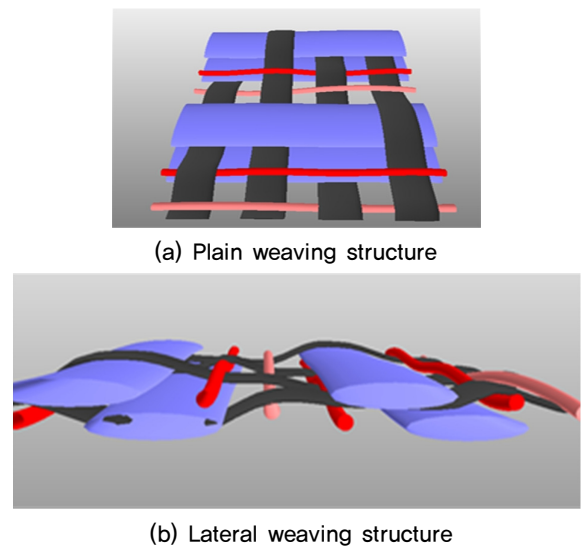


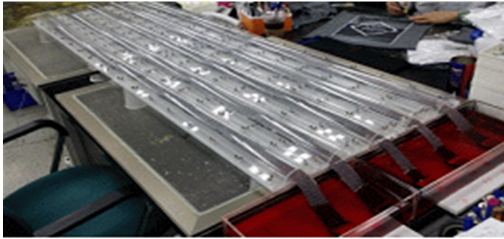
Fig. 3. Developed design example of geotextile structure by simulation

위한 기본적인 조직구조를 시뮬레이션 하여 최적의 밀도, 기능성 원사의 배열 및 공극크기를 조절 하는 등 다양한 조직 형태를 설계하였다.

시험대상 시료는 기존의 지오텍스타일 제품 1종류와 본



(a) Vertical direction wicking test



(b) Horizontal direction wicking test

Fig. 4. Vertical & horizontal wicking speed test

연구를 통해서 개발된 제품 2종류를 선택하여 실내시험을 진행하였다.

3종류의 제품 선정 시에 고려한 비슷한 수준의 인장강도를 보유한 제품을 선택한 결과로 인장강도는(89.3~98.8) kN/m의 범위로 측정되었다. 다만, 2% 신장 시 인장강도(tensile modulus @2% extension)는 PP Flat사를 사용한

#3 이 높게 측정되었다. 수직투수율(permittivity)은 개발 제품이 (0.29~0.36) s⁻¹로 기존제품 0.13 s⁻¹ 보다 높게 나타났는데 이는 개발제품의 공극이 큰 관계로 판단된다. 유효구멍크기는 기존 제품이 0.255mm 로 개발제품 제품의 (0.270mm, 0.294mm) 보다는 작게 측정되었는데 이는 공극의 크기가 제품을 구성하는 실의 형태와 직조밀도와 관계가 있는 것으로 판단된다.

수직 위킹 속도(vertical wicking speed) 결과는 기존 제품이 일반 원사로 구성되어 있어 위킹사가 적용된 개발제품들에 비해서 상당히 낮은 결과를 나타냈는데 이는 위킹 현상이 원사의 특성에 의해서 상당한 영향을 받는다는 것을 증명하는 결과로 판단된다.

또한 수평 위킹 속도(horizontal wicking speed)의 결과에서는 기존 제품과 개발제품의 위킹 성능이 더욱 큰 차이가 발생되었다.

3. 실내 실험

3.1 실내 실험 개요 및 흙의 제한

실내 실험은 일반 지오텍스타일과 본 연구에서 개발한 지오텍스타일을 풍화토에 설치하여 수평배수능력에 따른 풍화토 함수비 변화를 관찰하여 개발한 지오텍스타일의

Table 2. Test samples of geotextile

Sample	Warp	Weft
#1	PP FILAMENT	PP FILAMENT
#2	PP FILAMENT	Yarn1: PP FILAMENT Yarn2: PET (945d), PET (AC)
#3	PP FLAT	Yarn1: PP FILAMENT (Black, HJ) Yarn2: PET (900D), PET (AC:HS)

Table 3. Test results of the properties for geotextiles

Properties	Unit	#1	#2	#3	Test methods
Tensile strength	kN/m	98.8	89.3	93.8	ASTM D4595
Tensile modulus @2% extension	kN/m	607.8	610.4	799.8	ASTM D4595
Permittivity	s ⁻¹	0.13	0.29	0.36	ASTM D4491
AOS	mm	0.255	0.270	0.294	ASTM D4751
Vertical wicking speed (127mm)	min	over 10	4.95	5.56	KS K 0815 6,27,1B modified
	mm/s	-	0.428	0.381	
Horizontal Wicking speed	1hr	210	454	364	
	5hrs	256	944	847	
	15hrs	387	1505	1487	
	20hrs	425	1705	1657	

Table 4. Applied soil specifications

Gs	Grain size distribution (%)		U.S.C.S	Applied weights (t/m ²)
	NO.4	NO.200		
2.68	99.8	1.0	SP	1.6

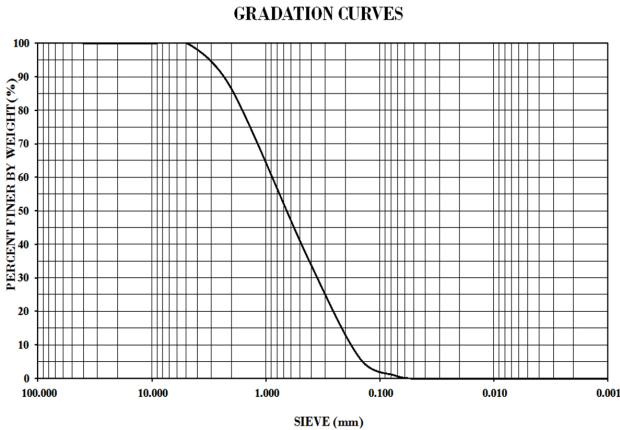


Fig. 5. Analysis of soil samples for test

수평배수능력을 검증하고자 한다.

실내시험에 사용된 풍화토는 비중 2.68로 체분석 결과 통일분류법(U.S.C.S)에 의하면 SP로 분류 되었으며, 실내 시험의 특성을 감안하여 인력다짐이 가능한 단위중량 1.6t/m³을 적용하였다.

3.2 실내 실험용 토조 설계 및 실험 순서

실내 실험용 토조는 Fig. 6와 같이 내부에 하부로 부터 급수할 수 있도록 배관을 설치하여 상향침투가 발생할 수 있도록 설계하였으며, 수조의 수위를 일정하게 유지시키기 위해 사이폰 현상을 이용하여 모형 토조 내부에 급수시킬 수 있도록 설계하였다.

수조의 수위를 일정하게 유지시키기 위해 사이폰 현상을 이용하여 모형 토조 내부에 급수시킬 수 있도록 설계하였다. 토조 안에는 하부부터 급수할 수 있도록 배관 설치하여 하부에서 상부로 상향침투가 발생할 수 있도록 설계하였다.

토조 하부에는 실험용 흙을 다짐하여 포설하고, 함수비 센서 CH11 과 CH12 사이에 물의 상향침투에 따른 지오텍스타일의 효율성을 확인하기 위해 지오텍스타일을 설치하였으며, 지오텍스타일이 토조 외부로 노출될 수 있도록 설치하였다. 함수비 센서 CH12 이후 일정간격으로 함수비 센서 CH13 과 CH14 를 설치하였으며, 함수비센서 이

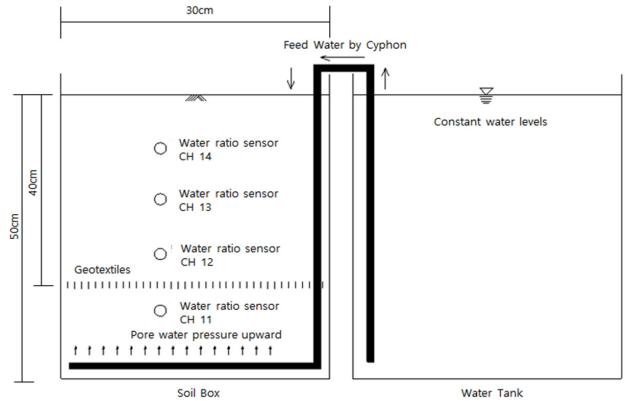


Fig. 6. Schematic diagram of laboratory soil box test

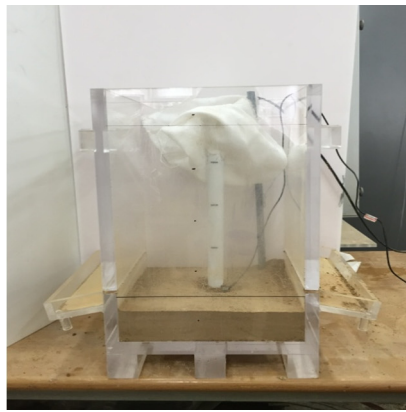
외에 간극수압계와 LVDT를 설치하여 간극수압과 간극수로 인한 토질의 팽창량을 관찰하였다. Fig. 7에서는 토조를 설치하는 과정을 순서대로 보여주고 있다.

실내실험의 순서는 시료와 각각의 센서가 셋팅이 완료된 후 수조의 수위를 토조의 다짐체의 높이로 유지하고 시료의 위킹사로 인한 상부로 침투하는 간극수의 함수비와 상향 침투하는 간극수로 인한 함수비 증가속도를 측정하였다.

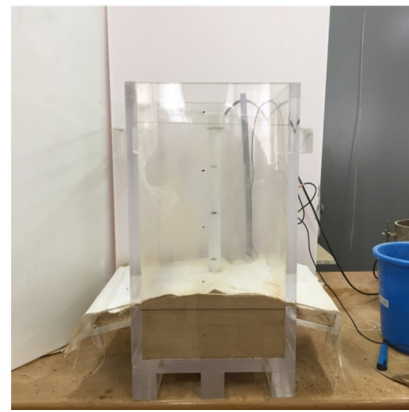
3.3 실내 토조 실험 결과

함수비 센서 CH11 과 CH12 사이에 물의 상향침투에 따른 지오텍스타일의 위킹성을 확인하기 위한 시료를 설치하였으며, 토조를 타공하여 지오텍스타일의 위킹성능에 의해서 흐르는 간극수를 배수할 수 있도록 하였다.

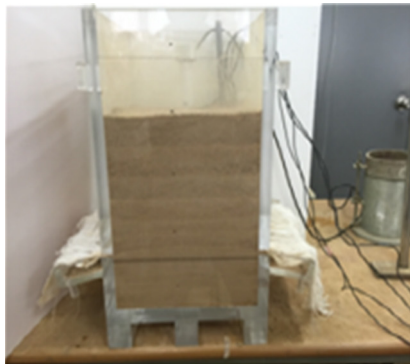
함수비 센서 CH12 이후 일정 간격으로 함수비센서 CH13과 CH14를 설치하여 이형단면 원사로 인한 위킹성 발현으로 간극수의 차단효과(함수비 저하)를 관찰하였다. 여기서 사용된 함수비센서는 TSE사에 Cube모델로 물질의 유전율의 차이를 이용하여 수분을 측정하는 원리로 수분이 포함된 토양이 수분이 제거된 토양에 비하여 매우 큰 유전율을 가지는데 이런 유전율을 측정하여 함수비를 측정한다. 이때에 측정된 측정값은 체적함수비(volumetric water contents)로 나타낸다.



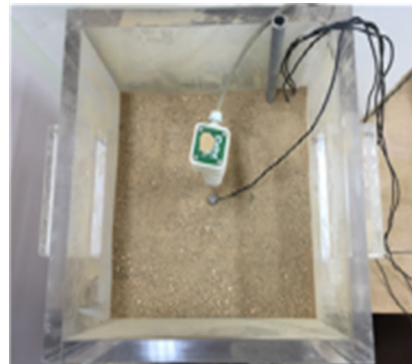
(a) Base soil installation



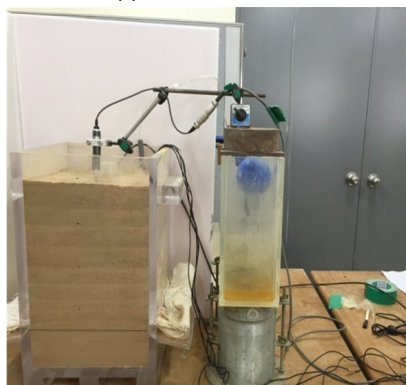
(b) Geotextile installation



(c) Upper soil installation



(d) Sensor installation



(e) Water tank connection



(f) Data logger connection

Fig. 7. Test preparation of soil box

CH 11 계측센서는 지오텍스타일 설치 위치보다 하단에 설치된 계측기로 실내시험의 신뢰도를 파악하기 위한 계측기이다. 시간당 함수비 증가속도, 그래프의 변곡부 또한 수렴함수비가 유사하게 나타나 실내시험의 신뢰도가 높은 것을 확인할 수 있었다.

#1의 결과는 초반 함수비 증가속도가 2.14%/hr이었으며 수렴함수비는 38.6%, #2는 초반 함수비 증가속도는 1.97%/hr, 수렴함수비는 37.6%, #3은 초반 함수비 증가속도는 1.94%/hr, 수렴함수비는 36.8%인 것으로 나타났다.

함수비 속도는 37% 전후로 유사하게 측정되었다. 변곡

부의 함수비 증가속도가 0.14%~0.19%로 유사한 경향을 보이는 것으로 나타났다. 이는 전반적으로 실내시험의 신뢰도가 높은 것으로 판단할 수 있으며, 이를 통하여 다른 계측센서의 결과 또한 신뢰할 수 있는 것으로 판단되었다. CH 12 계측센서의 경우 토조 바닥에서 20cm에 위치해 있어 CH 11 계측센서 보다는 10cm 상단에 설치되었다. 또한 실험대상인 지오텍스타일 바로 위에 설치되는 계측기이다.

먼저 초반 함수비 증가속도를 비교하여 보면 #1 0.75%, #2 0.57%, #3 1.73%로 초반함수비가 증가하는 것으로 분

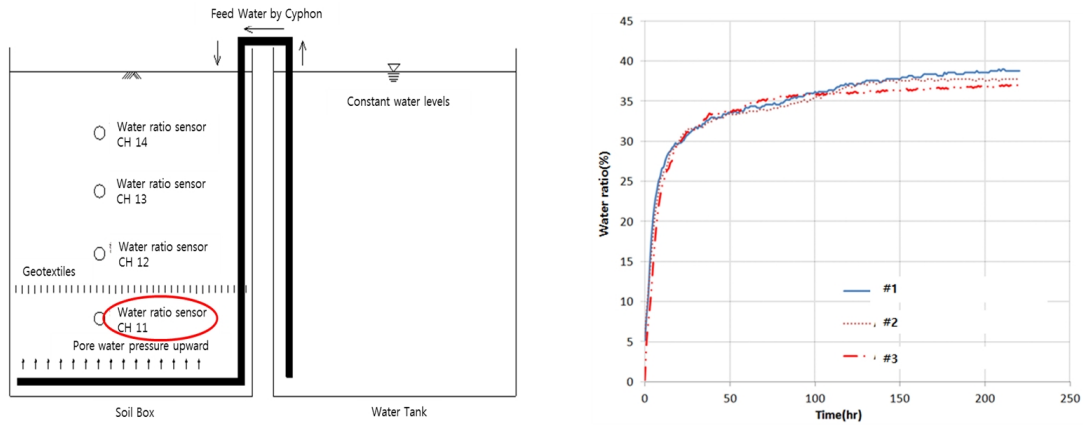


Fig. 8. CH 11 Location and water ratio curve

Table 5. The results of CH 11

Items	Increasing rate of water ratio at initial		Inflection part of increasing Rate of water ratio at initial		Convergence of water ratio (%)
	Time (hr)	Water ratio (%)	Tme (hr)	Water ratio (%)	
	Increasing speed of water ratio (%/hr)		Increasing speed of water ratio (%/hr)		
#1	0 ~ 10	5,2 ~ 26,6	12 ~ 24	27,6 ~ 32,8	38,6
	2,14		0,17		
#2	0 ~ 10	5,8 ~ 25,5	12 ~ 50	26,4 ~ 33,5	37,6
	1,97		0,19		
#3	0 ~ 10	4,98 ~ 24,38	13 ~ 69	26,4 ~ 35,2	36,8
	1,94		0,16		

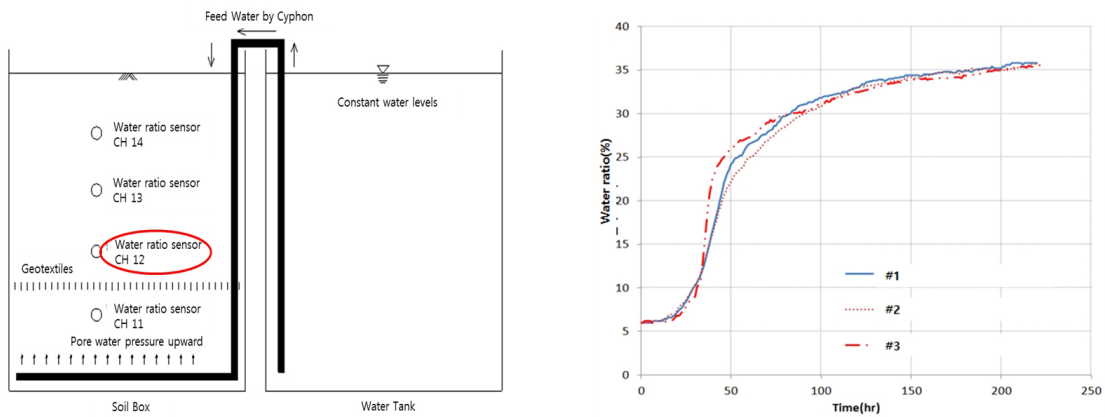


Fig. 9. CH 12 Location and water ratio curve

Table 6. The results of CH 12

Items	Increasing rate of water ratio at initial		Inflection part of increasing Rate of water ratio at initial		Convergence of water ratio (%)
	Time (hr)	Water ratio (%)	Tme (hr)	Water ratio (%)	
	Increasing speed of water ratio (%/hr)		Increasing speed of water ratio (%/hr)		
#1	33 ~ 50	11,4 ~ 24,2	50 ~ 87	24,2 ~ 30,8	35,8
	0,75		0,18		
#2	28 ~ 50	9,6 ~ 22,2	50 ~ 90	22,2 ~ 29,9	35,4
	0,57		0,19		
#3	33 ~ 40	10,8 ~ 22,92	47 ~ 78	25,3 ~ 29,8	35,2
	1,73		0,14		

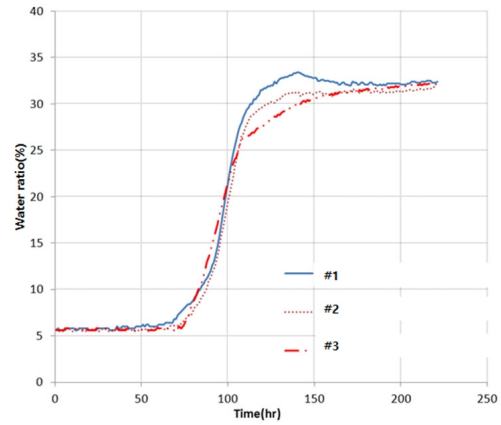
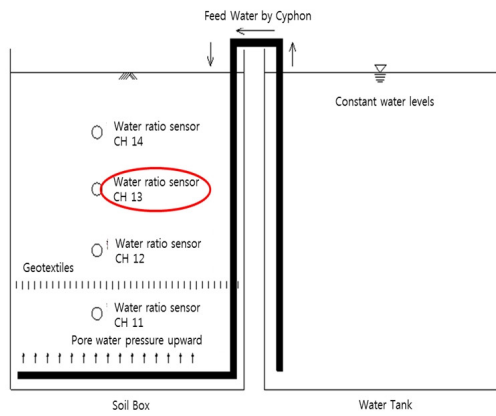


Fig. 10. CH 13 Location and water ratio curve

Table 7. The results of CH 13

Items	Increasing rate of water ratio at initial		Inflection part of increasing Rate of water ratio at initial		Convergence of water ratio (%)
	Time (hr)	Water ratio (%)	Tme (hr)	Water ratio (%)	
	Increasing speed of water ratio (%/hr)		Increasing speed of water ratio (%/hr)		
	#1	90 ~ 108	12,6 ~ 28,6	110 ~ 140	
	0,89		0,13		
#2	85 ~ 110	9,4 ~ 27,8	107 ~ 135	26,16 ~ 21,2	31,2
	0,74		0,18		
#3	74 ~ 107	6,3 ~ 26,16	107 ~ 140	26,16 ~ 30,1	31,9
	0,60		0,12		

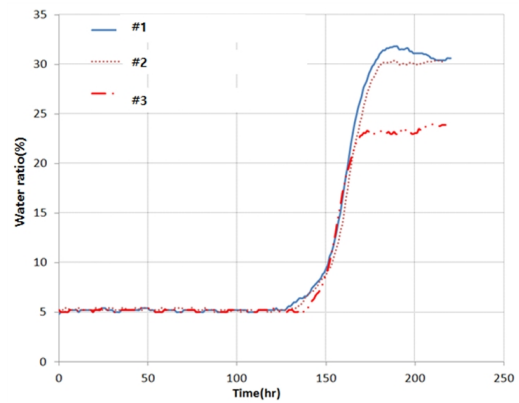
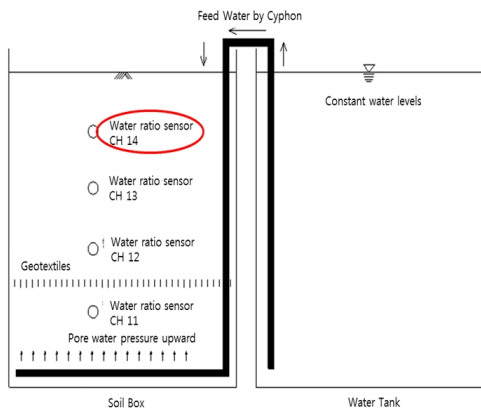


Fig. 11. CH 14 Location and water ratio curve

Table 8. The results of CH 14

Items	Increasing rate of water ratio at initial		Convergence of water ratio (%)
	Time (hr)	Water ratio (%)	
	Increasing speed (%/hr)		
#1	150 ~ 174	9,4 ~ 29,0	30,8
	0,82		
#2	149 ~ 175	8,6 ~ 28,2	30,3
	0,75		
#3	150 ~ 167	8,9 ~ 22,14	23,0
	0,78		

석되었다. 대체적으로 개발된 제품에서 함수비증가속도가 줄어드는 경향을 보였다.

변곡부 함수비 증가속도를 비교하면 #1 0.18%, #2 0.19%, #3 0.14%로 변곡부 함수비가 증가하는 것으로 분석되었다.

CH 12 계측센서의 경우 시험시간 50 시간이 지난 이후 함수비 증가속도가 일반 PP 지오텍스타일의 경우 0.18%, 위킹성 지오텍스타일의 경우 0.14%로 미미한 함수비증가속도의 차이가 나타나는 것으로 관찰되어졌다.

CH 13 계측센서는 토조 바닥에서 30cm에 위치한 센서로 초반 함수비 증가속도는 #1 0.89%, #2 0.74%, #3 0.60%로 초반함수비가 증가하는 것으로 분석되었다. 개발된 지오텍스타일이 함수비증가속도가 줄어들었다.

변곡부 함수비 증가속도는 #1 0.13%, #2 0.18%, #3 0.12%로 변곡부 함수비가 증가하는 것으로 분석되었다.

수렴함수비는 #1 32.1%, #2 31.2%, #3 31.9%에서 함수비가 수렴하는 것으로 관찰되었다. 또한 #1, #2, #3 순으로 함수비 증가속도는 선형적으로 줄어드는 것으로 관찰되었다.

CH 13 계측 센서의 경우 일반 PP 지오텍스타일은 시험시간 135 시간 일 때 함수비가 최고점인 33.1%로 나타났으며 동일 시간에서의 위킹성 지오텍스타일의 경우 함수비가 29.5%로 뚜렷하게 줄어드는 경향을 관찰 할 수 있었다.

CH 14 계측센서의 경우 토조 바닥에서 40cm에 위치한 계측센서로서 설치된 지오텍스타일에서 제일 멀리 떨어진 계측기이다.

초반 함수비 증가속도를 비교하여 보면 #1 0.82%, #2 0.75%, #3 0.78%로 초반함수비가 증가하는 것으로 분석되어졌다.

수렴함수비 #1 30.8%, #2 30.3%, #3 23.0% 에서 함수비가 수렴하는 것으로 관찰되었다. 위킹사의 굵기가 증가할수록 수렴함수비가 줄어드는 것으로 관찰되었으나 #3의 경우 수렴함수비가 약 23 % 지점에서 수렴하는 것으로 관찰되어졌다.

CH14 계측 센서의 경우 187시간 이후에 함수비가 수렴하는 것으로 관찰되었는데 일반 지오텍스타일의 경우 30.8%, 위킹성 지오텍스타일의 경우 23.0%로 뚜렷한 차이가 나는 것으로 관찰되어졌다.

위와 같은 시험결과를 토대로 이형단면사를 적용한 위킹성 지오텍스타일이 토층 내에 시공시 상부로 이동하는 간극수를 수평방향으로 이동시켜 상부로 가는 간극수를 줄여주는데 효과가 있는 것으로 확인하였으며 이는 토층 내에서의 위킹성 지오텍스타일의 기능이 문제없이 발휘되

는 것으로 검증되었다. 이는 지중 내에 존재하는 간극수를 도로의 상부로 전달되지 못하도록 막거나, 도로상부에 내리는 우수를 도로내부로 유입되지 못하도록 막을수 있다고 판단된다. 향후 지오텍스타일의 강도를 저하시키지 않으면서 효율적인 수평배수능력을 확보할 수 있도록 이형단면원사의 적정두께와 직조방법을 확보하는 방향으로 현장 적용성 연구가 필요한 것으로 판단된다.

4. 결과 분석

4.1 원사 및 시제품 물성 실험 결과 분석

3종류 제품을 평가한 결과 위킹 원사를 적용한 제품이 물성 평가 결과에서도 우수하며, 이형단면사 형상에 의한 모세관(capillary) 효과가 실험 결과로 검증되었다. 개발 제품에 적용된 원사의 인장강도 및 모듈러스 성능이 기대 수준 이상이며, 원사 및 시제품의 수직 및 수평 위킹 성능이 우수한 특성을 나타내었다.

수직 수평 투수성 발현을 위한 복합 제직 기술 개발에서는 분리 보강 기능을 유지하면서 수직 및 수평 투수성을 보유한 조직의 개발을 위하여 적용한 원사의 섬도, 밀도 조합, 경·위사 배치 기술 개발을 통하여 최적의 성능을 발현할 수 있는 가능성을 확인하였다.

시제품 일반 지오텍스타일 분석한 결과 인장강도, 모듈러스 성능이 우수하고 유효구멍크기, 수직투수계수 및 마찰 전단계수 등이 기대 수준 이상이며, 수직 및 수평 위킹 성능 또한 우수한 것으로 평가 되었다.

4.2 실내 토조 실험 결과 분석

CH11은 3 가지 지오텍스타일 제품 모두 유사한 결과가 관찰되어 실내시험에 대한 신뢰도가 높은 것을 확인하였다.

CH13의 경우 그래프 정점이 #1, #2, #3 순으로 함수비가 높았으며, 시험초기 함수비 증가 속도 또한 지오텍스타일의 원사 조건을 변경함에 따라서 느려짐을 확인하였다.

CH14에서는 수렴함수비가 #1은 30.8%, #2는 30.3%, #3은 23.0% 순으로 함수비가 낮게 수렴하는 것으로 관찰되어, 위킹사의 효과와 직조방법이 개선됨에 따라 확실한 수평배수능력을 발휘하는 것을 확인 할 수 있었다.

본 연구를 통하여 3 가지 시료에 대해서 토사 팽창량을 분석한 결과 #1 $y=0.0162x - 1.5062$ 추세를 보이는 것으

로 분석되어졌으며 수렴 팽창량은 1.6mm인 것으로 나타났으며, #2의 토사팽창속도는 $y=0.0139x - 1.2755$ 추세를 보이며 수렴 팽창량은 1.6mm인 것으로 나타났다.

#3의 토사 팽창속도는 $y=0.0076x - 0.4797$ 추세를 보이며, 수렴팽창량은 1.5mm인 것으로 나타났다.

토사팽창량 회귀분석식 $y=ax+b$ 에서 기울기가 증가속도를 나타내는 a 값이 0.0162~0.0076으로 줄어드는 것으로 나타났다. 수렴 팽창량은 1.5mm~1.6mm로 비슷하게 나타났으나 증가속도가 줄어드는 경향이 나타났다.

5. 결론

위킹성능을 보유한 원사를 적용하여 개발된 지오텍스타일 제품에 대하여 기본물성, 역학특성, 수리특성 및 실내 토조 배수 실험을 수행하였다. 이를 통하여 위킹성능이 수평배수성능에 영향을 주는 요소에 대해 분석하였으며, 이에 대한 결론은 다음과 같다.

- (1) 위킹사의 단면형태에 따른 위킹성능은 차이가 분명하게 나타났으며, 제조되는 원사의 굵기가 굵지 않으므로 지오텍스타일용으로 활용하기 위해서는 합사공정을 거쳐야 하며, 이를 통하여 용도에 적합한 밀도를 유지하면서 인장강도를 발현할 수 있는 것으로 확인되었다.
- (2) 위킹사의 굵기를 높혀 제작한 지오텍스타일의 조직 구조를 다양한 형태로 시뮬레이션을 한 결과 기본적으로 밀도를 인장강도를 유지하면서 공극의 크기를 조절하여 수직투수율과 유효구멍크기를 조절할 수 있도록 설계하여 적용하였으며, 공극의 크기를 조절함으로써 원 지반층과 성토층의 세립토의 보유율을 유지할 수 있도록 설계할 수 있다.
- (3) 실내 토조 실험을 통하여 직조된 지오텍스타일의 수평배수능력을 확인하기 위하여 수행한 실험결과를 통

하여 위킹 성능을 보유한 지오텍스타일이 간극수의 배수에 효과적으로 기능을 한다는 것을 확인 할 수 있었으며, 이를 통하여 과잉간극수의 수평방향으로의 배수기능을 적용할 수 있다는 결론을 얻었다.

- (4) 본 연구에서의 실내 토조 실험에서는 성토하중으로 인하여 발생하는 과잉간극수 소산이 아닌 상향 침투하는 간극수를 배출하는 효과를 검증하는 개념으로 수행한 결과이므로 향후에 현장에서 나타나는 하향침투에 의한 간극수의 배수효과를 검증하는 연구가 추가적으로 수행될 필요가 있다고 판단된다.

Acknowledgement

This research was supported by a grant from Technology Innovation Development Project funded by Small and Medium Business Administration of Korean government.

References

1. Chae, Y. S. et al. (2007). Characteristic evaluation and utilization technique of Geosynthetics, Korea Geosynthetics Society, Korea, pp.42-102.
2. Jeon, H. Y. (1998), *Polymers for Geosynthetics*, 1st Edition, Cheonnam Univ. Publish Div., Korea, pp.24-33.
3. Kim, H. K., Lee, E. M., Ryu, J. J., Kim, J. G. and Kim, H. K. (2015), *Fall conference of Korean Geosynthetics Society*, Seoul, Korea.
4. Koerner, R. M. (1998), *Designing with Geosynthetics*, 5th Edition, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, pp.81-162.
5. Korean Geotechnical Society (1998), *Geotextile Design and Construction Guide*, pp.18-19.
6. Shin, E. C. et al. (1998), *Geotextile Design and Construction*, 1st Edition, Korean Geotechnical Society, Korea, pp.58-88.
7. Shin, E. C. et al. (2010), *Reinforcement Construction Practice*, Korea Geosynthetics Society, Korea, pp.377-399.