

준설토의 퇴적형상과 수침조건에 따른 토목섬유 튜브 내 준설토의 콘 저항치에 관한 연구

김형주* · 원명수** · 이장백*** · 김영신****

Kim, Hyeong Joo*, Won, Myoung Soo**, Lee, Jang Baek***, Kim, Young Shin****

A Study on the Shape and Cone Resistance of Dredged Fill in Geotextile Tube under Water and Drained Conditions

ABSTRACT

A series of tests were conducted to examine the filled tube shape with respect to the filling module type used and to investigate cone resistance properties of a dredged-soil-filled geotextile tube under water and drained conditions. Results based on the filling observation showed that the distribution of the accumulated fills inside the acrylic cell and vinyl tubes differs with respect to the type of filling modules. A crater formation around the inlet area was found during the test using I-type filling module and a horizontal sediment distribution was found during the test using inverse T-Type filling module. The dredged fill material was obtained from the Saemangeum area. The geotextile tube deformation of each filling stage was almost converged when the tube was fully drained. The cone resistance of the dredged fill in the geotextile tube under drained condition is large and is approximately 2~6 times that of the tube under water condition.

Key words : Geotextiles tube, Dredged soil, Filling module, Cone resistance, Saemangeum

초 록

본 연구에서는 채움모듈 형태에 따른 준설토의 퇴적분포와 튜브 형상 그리고 토목섬유 튜브의 수침조건에 따른 튜브 내 준설토의 콘 관입 저항특성을 규명하고자 일련의 시험을 수행하였다. 채움모듈 형태에 따른 아크릴 토조와 비닐 튜브 준설토의 퇴적분포를 관찰한 결과 I형 채움모듈은 분화구형상을 나타내고 역T형 채움모듈은 수평방향으로 균등하게 준설토가 퇴적되는 것으로 나타났다. 새만금 내부로부터 채취한 준설토의 채움 단계 별 튜브의 변형은 튜브로부터 배수가 종료됨과 거의 동시에 튜브의 변형이 수렴되고, 토목섬유 튜브 내 준설토의 콘 저항치는 배수의 경우 수침 보다 2~6배정도 크게 나타났다.

검색어 : 토목섬유 튜브, 준설토, 채움모듈, 콘 저항치, 새만금

* 종신회원·군산대학교 토목공학과 교수 (Kunsan National University · kimhj@kunsan.ac.kr)

** 종신회원·교신저자·군산대학교 토목공학과 조교수 (Corresponding Author · Kunsan National University · wondain@kunsan.ac.kr)

*** 정회원·군산대학교 토목환경공학과 박사과정 (Kunsan National University · leejb@kunsan.ac.kr)

**** 군산대학교 토목환경공학과 박사과정 (Kunsan National University · kys529@dbeng.co.kr)

Received June 2, 2015/ revised December 18, 2015/ accepted January 14, 2016

1. 서론

새만금 방조제가 구축되고, 핵심 기반시설인 방수제공사와 동서 2축과 남북 2축 도로 사업이 국책사업으로 진행되면서 새만금 내부 개발에 대한 기대감이 날로 커지고 있다. 새만금방조제의 연장은 33.9km, 저부 평균 폭은 290m, 평균 높이는 36m이고, 방조제의 외측은 사석으로 구축하고 내부는 준설토로 채우는 방식으로 1991년 착공하여 2010년에 완공되었다. 2010년에 착공하여 2015년에 완공될 계획인 새만금 내부개발을 위한 1단계 방수제(총 연장 54.2km, 평균 저부 폭 약 100m, 높이 10~15m) 또한 새만금방조제와 같은 방식으로 구축되면서 추가공사 시 인근 지역으로부터의 안정적인 사석공급은 어려운 실정이다. 따라서, 새만금 내부개발 촉진을 위해 기존 사석제방을 대체할 수 있는 기술로 토목섬유 튜브공법이 주목을 받고 있다.

최근 들어 토목섬유 튜브공법은 가호안은 물론 해안도로제방과 호안침식방지 구조물로 널리 적용되고 있다(Alvarez et al., 2007; Chu et al., 2012; Hornsey et al., 2011; Lee & Douglas, 2012; Lee et al., 2010; Oh et al., 2007a, 2007b; Restall et al., 2002; Saathoff et al., 2007; Sung et al., 2013; Shin & Oh, 2007; Shin et al., 2010).

Leshchinsky et al. (1996)은 문헌자료 분석을 통해 강성기초에서의 토목섬유 튜브의 2차원 형상과 응력을 계산하는 프로그램을 개발하였다. 또, 일차원 압밀로 가정하여 튜브 내 준설토의 단위중량과 함수비의 변화에 따른 튜브의 높이를 계산하는 방법을 제안하였다. Guo et al. (2011)은 변형을 허용하는 탄성기초에서 2차원 토목섬유 튜브의 거동을 해석하는 방법을 제안하였다. 해석결과 기초지반의 변형계수가 1000kPa/m미만 경우는 침하량이 커지고 지반변형의 영향이 커지나 1000kPa/m이상인 경우는 기초지반의 영향은 미미하고 강성기초와 같은 거동을 하는 것으로 나타났다. Plaut and Stephens (2012)에 의하면 토목섬유 튜브-채움 흙 경계면에서의 마찰력 영향은 미미하나, 튜브 상단에서 발생하는 최대인장력은 마찰계수가 증가함에 따라 커지는 것으로 나타났다.

Shin and Oh (2002, 2003)는 현장시험과 수리모형실험을 통해 토목섬유 튜브의 형태변화 및 거동특성에 대한 연구를 수행하였다. 또, Shin and Oh (2003a)는 GeoCoPS (version 2.0)를 이용한 평면변형해석과 ABAQUS (version 5.88)를 사용한 3차원 유한요소해석을 통해 토목섬유 튜브의 채움 과정을 시뮬레이션 하였다. 토목섬유 튜브의 형태 변화에 영향을 미치는 주요인자는 튜브 내부에 가해지는 정수압과 토목섬유 튜브의 탄성계수로 평가되었다. 또한 수차해석에 의한 응력분포는 축 방향 응력의 경우 튜브팽창에 의한 인장력이 작용하고, 축 직각방향 응력은 측면부에서의 팽창으로 인해 압축력이 발생하는 것으로 보고하고 있다(Shin and

Oh, 2003a). Shin et al. (2003b)는 수리모형실험을 통해 토목섬유 튜브가 한단 또는 다단으로 사용되었을 때 튜브구조물의 안정성을 분석하였다. 수리모형 실험결과 다단의 경우가 한단 튜브보다 쇄파에 대하여 더 안정하고, 천단고가 없는 경우가 보다 안정한 것으로 나타났다. Oh et al. (2006)은 사면안정해석을 통해 토목섬유 튜브 복합구조물의 안정성을 분석하였다. 해석결과 튜브 구조물은 안정하고, 수위조건 변화 영향은 미미한 것을 나타났다. Oh et al. (2007)와 Lee et al. (2010) 등은 토목섬유 튜브를 활용한 국내의 제방구조물 설계와 시공사례를 각각 소개하였다.

토목섬유 튜브의 채움압은 설계와 시공에 있어서 중요한 변수 중에 하나이므로 이에 대한 연구는 많으나(Guo et al., 2011; Leshchinsky et al., 1996; Shin and Oh, 2003a), 채움모듈(주입구) 형태의 영향에 대한 연구는 미미하다. 또, 토목섬유 튜브는 주로 가호안이나 해안침식방지 구조물로 수중과 수면위에 적용되고 수중과 수면 위에서 튜브 내 준설토의 전단강도 특성은 다르나 이에 대한 연구는 거의 전무한 상태이다.

위와 같은 배경 아래 본 연구에서는 토목섬유 튜브 공법의 새만금 내부 개발 적용을 위한 기본 자료를 제공하고, 채움모듈 형태에 따른 튜브 내 준설토의 분포와 수중과 수면 위에서 튜브 내 준설토의 전단강도 특성을 규명하고자 한다. 이를 위해 준설토의 퇴적분포 관찰을 위한 대형 이크릴 셀 토조와 실험용 준설시험장치를 제작하여 일련의 시험을 수행하였다.

2. 재료의 특성

2.1 준설토

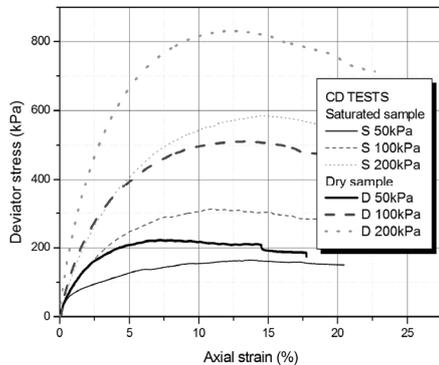
모형시험에 사용된 준설토는 새만금 내부에서 채취한 실트질 모래(SM)로, 물리적인 특성은 Table 1에 나타난 바와 같다. 물과 교반된 준설토의 함수비는 약 600%이다. Table 2와 Fig. 1은 사용된 준설토의 전단강도특성을 나타내고 있다. 준설토가 포화(수침)된 경우와 배수상태의 전단강도를 비교하고자 포화시료의

Table 1. Physical Properties of The Dredged Soil

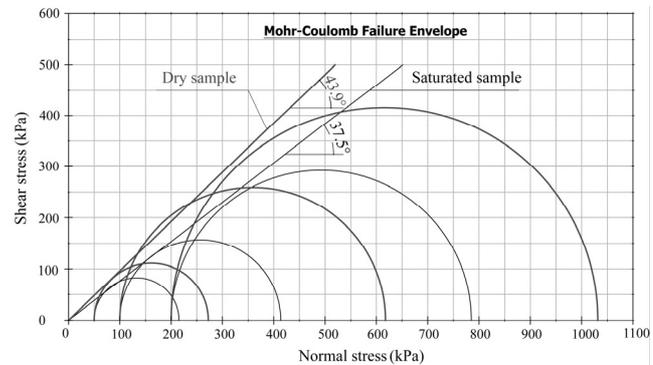
Item	Quantity
Nature Water Content (Wn, %)	15.88
Pouring Water Content (%)	600
Specific Gravity of Soil Solids (Gs)	2.687
Plasticity Index (PI, %)	N.P
Grain Size - D ₁₀ , D ₃₀ , D ₆₀ (mm)	0.027, 0.095, 0.200
Coefficient of Uniformity (Cu)	7.41
Coefficient of Curvature (Cg)	1.67
Percent Passing #200 Sieve (%)	25
Unified Soil Classification (USCS)	SM

Table 2. Shear Strength of Dredged Soil Based on CD Test

Description of parameters	Saturated Sample			Dry Sample		
	Minor principal stress, σ_3 (kPa)	50	100	200	50	100
Loading ratio (mm/minute)	1	1	1	1	1	1
Deviator stress at failure, $\Delta\sigma_f$ (kPa)	165.3	313.5	584.9	222.4	517.7	831.5
Major principal stress, σ_1 (kPa)	215.3	413.5	784.9	272.4	617.7	1031.5
Dry unit weight (kN/m^3)	13.5	14.1	14.1	14.0	13.6	14.0
Water content (%)	26.4	26.7	27.6	0.3	0.3	0.4
Cohesion (kPa)	0	0	0	0	0	0
Friction angle ($^\circ$)	38.5	37.6	36.4	43.6	45.6	42.5
Average friction angle ($^\circ$)	37.5			43.9		



(a) Deviator Stress and Axial Strain Relationship



(b) Peak Failure Envelope

Fig. 1. Results of CD Triaxial Compression Tests with Saturated and Dry Samples

경우는 압밀배수 (CD)조건으로 삼축압축시험을 수행하였다. 건조 시료는 포화시킴이 없고 건조상태로 포화시료와 같은 조건의 삼축 압축시험을 수행하였다. 삼축압축시험 후 포화시료의 평균함수비는 26.9%이고, 건조시료의 평균함수비는 0.3%이다. 건조시료의 경우가 포화시료보다 강성과 전단강도가 크고, 구속압이 증가할수록 그 차가 커지는 경향을 나타내고 있다. CD조건의 포화시료와 포화 외에는 포화시료와 같은 조건의 건조시료의 내부마찰각은 각각 37.5와 43.9로 건조시료가 포화시료보다 6.4°크게 나타났다. 따라서, 시료의 포화여부는 전단강도에 크게 영향을 미치는 것으로 판단된다.

2.2 토목섬유

토목섬유 튜브는 폴리프로필렌(Polypropylene) 재질의 직포를 사용하여 제작하였다. Table 3과 Fig. 2는 본 연구에 사용된 직포의 특성을 나타내고 있다. 광폭인장시험결과 봉합이 없는 경우 원단 주방향(MD)과 보조방향(CD)의 평균인장강도는 각각 186.1kN/m와 166.5kN/m이고 파괴시 평균신율은 각각 111.6%와 151.6%로 주방향의 강도와 강성이 보조방향보다 다소 크게 나타났다. 반복된

Table 3. Woven Geotextile Properties

Items		Quality/Quantity	
Material		Polypropylene	
Thickness (mm)		2.0	
Tensile strength (kN/m)	MD (Machine direction)	without seaming	186.1
		with seaming	166.5
	CD (Cross machine direction)	without seaming	166.5
		with seaming	74.5
Elongation (%)	MD (Machine direction)	without seaming	111.6
		with seaming	135.1
	CD (Cross machine direction)	without seaming	151.6
		with seaming	243.2

광폭인장시험결과가 유사한 거동을 나타내고 있으므로 인장시험은 적절한 것으로 판단되나, 일반적인 직포의 신율보다 10배 정도

크게 나타나고 있다. 이는 준설토 채움 시 신속한 배수를 통해 튜브에 작용하는 수압을 줄이기 위해 낄줄(주방향 섬유)과 씨줄(보조방향 섬유)이 느슨하게 직각으로 교차하여 제조된 결과에 기인된 것으로 판단된다. 이러한 토목섬유의 느슨한 구조로 인해 Figs. 5(b)와 (c)에 나타낸 바와 같이 준설토 채움 과정에서 세립토의 유실이 발생하였다.

Shin and Oh (2002)는 평면형과 J형 봉합형태 모두 95%의 봉합효율을 나타내나, J형태가 원단의 인장거동과 유사하고 균등한 거동을 하는 것으로 보고하고 있다. Won et al. (2013)은 평면봉합의 경우 6선 2열의 봉합이 효과적인 것으로 보고하고 있다. 본

연구에서는 Won et al. (2013)이 제안한 6선 2열로 평면봉합하여 봉합강도시험을 수행하고, 튜브를 제작하였다. 6선 2열 평면봉합 후 주방향과 보조방향의 평균봉합강도는 각각 166.5kN/m와 74.5kN/m이고 이는 봉합이 없는 원단 인장강도의 89.4%와 44.7%에 해당한다. 특이한 점은 보조방향의 경우 주방향보다 초기 강성이 크고 신율 50%이상부터 완만하게 인장강도가 감소하다 증가하고 파괴시의 신율이 주방향보다 2배 정도 크다는 것이다.

본 연구에 사용된 토목섬유 튜브의 직경이 1m이므로 봉합강도는 충분한 것으로 판단된다. 본 연구에서는 보조방향의 6선 2열 평면봉합으로 길이가 4m인 튜브를 제작하여 토목섬유(직포)의 주방향이

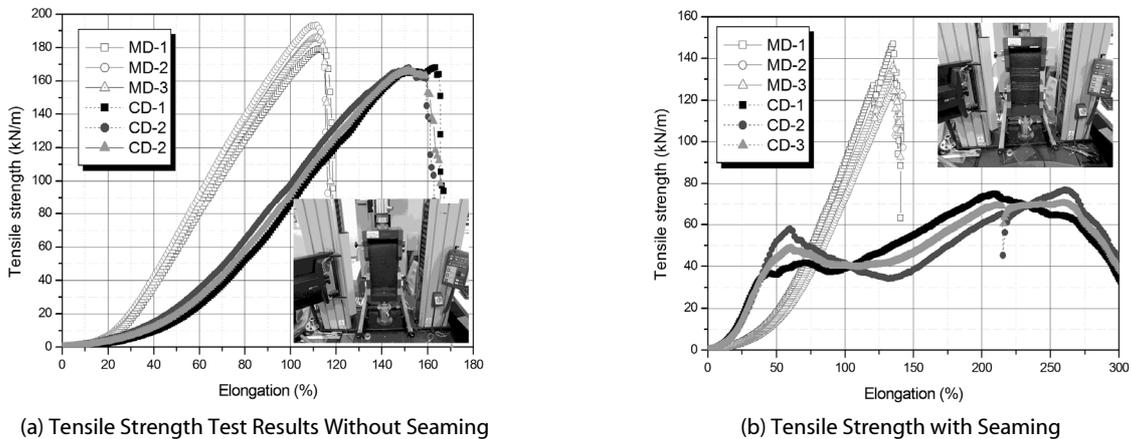


Fig. 2. Wide-Width Tensile Test Results Without and with Seaming

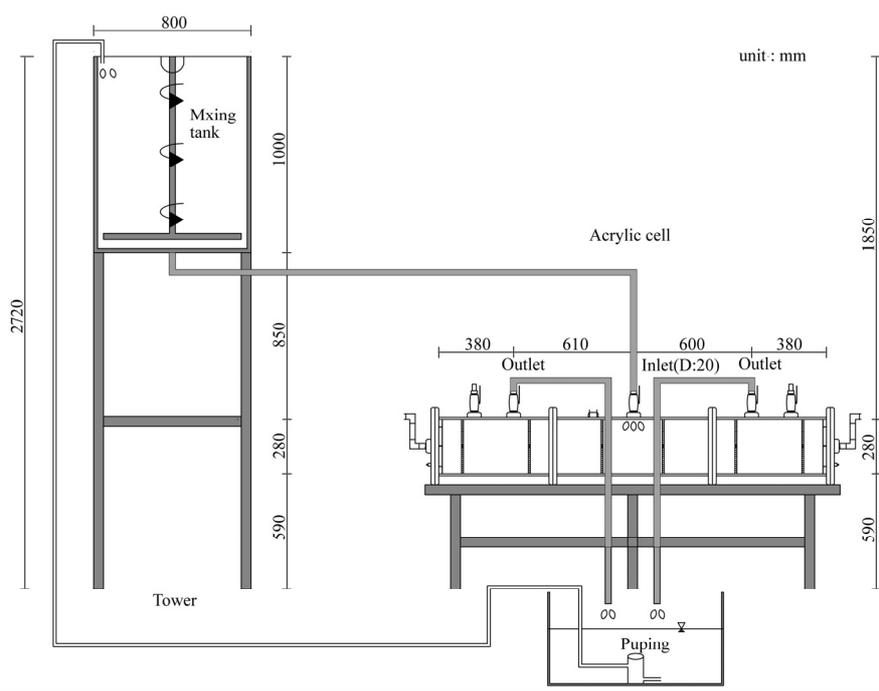


Fig. 3. Schematic Diagram of Acrylic Cell Apparatus for Filling Module Type Test

튜브의 직각방향에 위치하도록 계획하였다(Fig. 11(a) 참조).

3. 준설토의 퇴적분포

3.1 아크릴 셀 토조

Figs. 3 and 4는 모형준설 아크릴 셀 토조의 모식도와 전경 사진을 나타내고 있다. 채움방식은 전수두차에 의한 중력식 채움이 가능하도록 1.7m 높이의 타워 위에 가로×세로가 0.8m×0.8m이고 높이가 1.0m인 준설토 교반토조를 설치하였다. 교반토조에는 준설토를 교반할 수 있는 교반장치를 설치하여 시료가 일정 함수비를 유지한 채 막힘 현상이 없이 자연스럽게 투명투아크릴 셀(원통)에 공급될 수 있게 하였다. 또한, 교반토조의 한 쪽 면에는 시료의 상태를 관찰할 수 있도록 투명아크릴관과 줄자를 설치하였다.



Fig. 4. Acrylic Cell Apparatus Photo for Filling Module Type Test

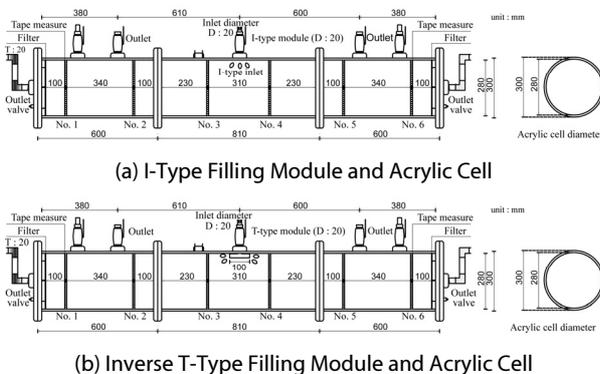


Fig. 5. Filling Module Types and Acrylic Cell Dimension

Table 4. Geotextile Tube Dimension

Diameter (m)	Length (m)
1.0	4.0

본 연구에서는 준설토 채움 중 내부를 관찰하기 위해 토목섬유 튜브 대신 투명아크릴 셀을 사용하였다. 투명아크릴 셀의 내부와 외부 직경은 각각 0.28m와 0.30m이고 두께는 0.01m이다. 직경과 두께가 같은 3 개의 원기둥 형태의 투명아크릴 셀의 길이는 각각 0.6, 0.81, 0.6m이고 이 들 좌우 측면에는 필요에 따라 서로 연결이 가능하도록 볼트체결에 의한 연결 시스템을 설치하였다. 각 아크릴 셀에는 필요에 따라 채움과 배출이 가능하고 시료 채취 및 계측기기 설치를 위한 2개의 채움 및 배출구가 있고, 셀 측면에도 필요시 채움과 배출이 가능한 밸브를 설치하였다.

본 연구에서는 토목섬유 튜브 대신 이 들 3 개의 투명아크릴 셀을 연결하여 총 길이가 2.01m인 셀을 준비하였다. 연결된 아크릴 셀 좌우측 끝단에는 배수가 가능한 강제 관에 토목섬유를 부착한 필터재가 설치되어 있다.

Plaut and Suherman (1998)은 토목섬유 튜브의 형상은 토목섬유의 율변 인장강도, 바닥으로부터 점선각과 압력, 타원형 매개변수 등을 이용하여 결정하였고, Leshchinsky et al. (1996)은 채움토의 함수비와 비중 등을 이용하여 튜브의 높이를 예측하는 방법을 제안하였다. 따라서, 준설토 채움 시 투명아크릴 셀과 토목섬유 튜브의 거동은 다르나, 본 연구에서는 채움 형태에 따른 준설토의 확산과 퇴적형태를 관찰하기 위해 투명아크릴 셀을 사용하였다.

투명아크릴 셀에는 Fig. 5에 나타난 바와 같이 시험 중 시료의 퇴적분포 상태를 관찰할 수 있도록 6지점(No. 1~No. 6)에 줄자를 부착하였다. I형 채움모듈은 주입구에 호스를 연결하는 시스템이고, 역T형 주입모듈은 PVC 관을 이용한 역T형 형태이다. 여기서, I형과 역T형 채움모듈의 직경은 모두 20mm이다.

3.2 시험방법

교반토조에 준비된 준설토는 전수두차에 의한 중력식 방법으로 투명아크릴 셀에 채워지도록 계획하였다. 시험 시 교반토조와 투명아크릴 셀 사이의 평균전수두 차는 1.4m이다.

Table 5는 I형과 역T형 채움모듈에 의한 단계별 투명아크릴 셀에 투입된 량과 채움시간 등을 나타내고 있다. 준설토는 전수두차에 의한 중력식 방법으로 아크릴 셀에 준설 (투입 또는 채움)되었다. I형 1, 2차 채움의 경우는 아크릴 셀로부터 배수를 허용하지 않는 상태로 준설토를 셀 내에 가득 채워 준설토가 어느 정도 침전된 후 침전된 준설토 상부의 물을 배출하였다. I형의 3, 4차 채움과 역T형의 채움은 Figs. 3 and 4에 나타난 바와 같이 준설토의 채움, 배출, 펌핑이 동시에 진행되면서 아크릴 셀에 준설토가 채워지는 방법으로 수행되었다. 이 때 각 단계별 셀로부터 준설토 배출량은 일정 시간 용기에 담겨지는 량으로 산출하였다. 그리고 각 단계별 준설토가 아크릴 셀에 채워진 후에는 Fig. 5에 나타난 바와 같이 셀에 부착된 줄자를 활용하여 퇴적 분포 상태를 조사하였다.

Table 5. Acrylic Cell Filling with Dredged-Soil using I and Inverse T-Type Modules

Filling stage	Filling quantity (m^3)		Filling time (min)		Remain time (min)	
	I-Type	inverse T-Type	I-Type	inverse T-Type	I-Type	inverse T-Type
1 st filling	0.136	0.938	3	22	360	30
2 nd filling	0.077	0.362	2	20	120	30
3 rd filling	0.567	0.593	24	24	120	30
4 th filling	1.001	-	36	-	30	-
Total sum	1.781	1.893	65	66	630	90

Table 6. Sedimentation Height of Dredged Soil After Filling Cell with I-Type Module

Filling stage	Filling height from bottom of the acrylic cell (mm)						
	No.1	No.2	No.3	Inlet	No.4	No.5	No.6
1 st filling	52	61	76	82	83	62	61
2 nd filling	52	68	94	80	103	80	73
3 rd filling	80	108	209	174	197	140	114
4 th filling	164	253	237	230	227	249	126

Table 7. Sedimentation Height of Dredged Soil After Filling Cell with Inverse T-Type Module

Filling stage	Filling height from bottom of the acrylic cell (mm)						
	No.1	No.2	No.3	Inlet	No.4	No.5	No.6
1 st filling	89	93	126	125	117	107	113
2 nd filling	140	161	182	181	176	165	163
3 rd filling	223	242	249	250	254	261	238

3.3 채움모듈 형태에 따른 준설토의 퇴적분포

토목섬유 튜브의 경우는 채움 과정 중 튜브 내 준설토의 퇴적거동을 관찰하기가 곤란하므로 본 연구에서는 투명 아크릴 셀과 비닐 튜브를 제작하여 준설토의 퇴적거동을 관찰하였다. Tables 6 and 7 그리고 Figs. 6 and 7은 I형과 역T형 채움모듈에 의한 투명아크릴 셀 내 준설토의 퇴적 분포형태를 나타내고 있다. I형 채움모듈의 경우 분화구(crater) 형상이 발생하고, 분화구 영역이 확장되면서 준설토가 셀 내에 퇴적되는 것으로 나타났다. 역T형 채움모듈의 경우는 분화구 형상없이 셀 내 준설토가 균등하게 퇴적되는 경향을 나타냈다. 역T형 채움모듈은 셀 축의 직각인 수평방향으로 준설토가 확산되고, I형은 1차적으로 셀 축 방향으로 준설토가 주입된 후 셀 축에 직각인 수평방향으로 채워지기 때문에 이러한 현상이 나타난 것으로 판단된다. 본 연구는 채움모듈 형태에 따른 준설토의 퇴적분포 특성에 초점을 두고 있으므로, 분화구 현상이 토목섬유 튜브 거동에 미치는 영향은 별도의 연구를 통해 규명하고자 한다.

또한 본 연구에서는 직경이 0.5m와 0.7m 그리고 길이가 4.0m 투명비닐튜브를 제작하여 채움모듈 형태에 따른 튜브 내 준설토의 퇴적분포를 관찰하였다. 비닐소재(두께 0.8mm) 튜브는 고주파 열처리로 제작(봉합)하였다. Fig. 8에 나타난 바와 같이 관찰결과

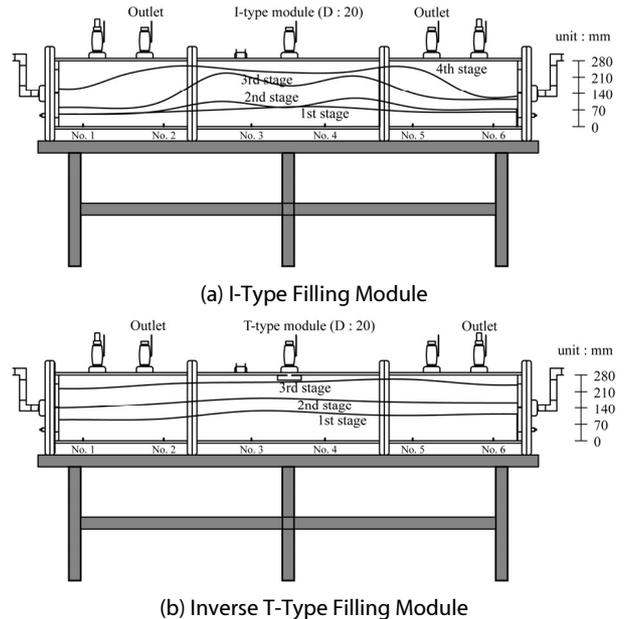
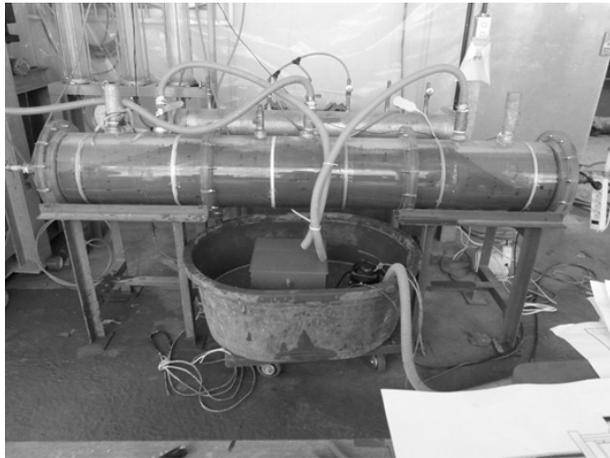
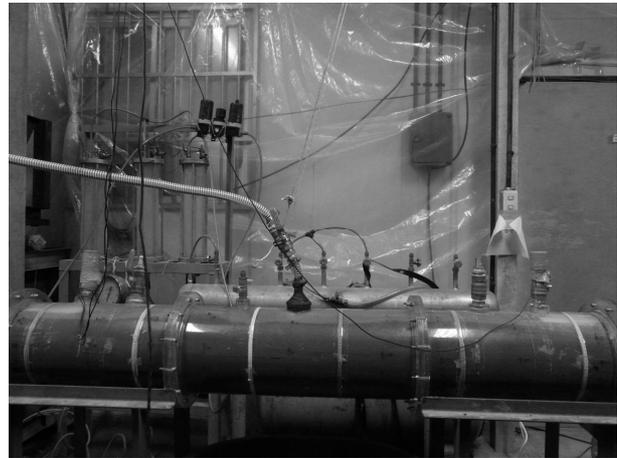


Fig. 6. Sedimentation Height of Dredged Soil After Each Slurry Filling with I and Inverse T-Type Modules

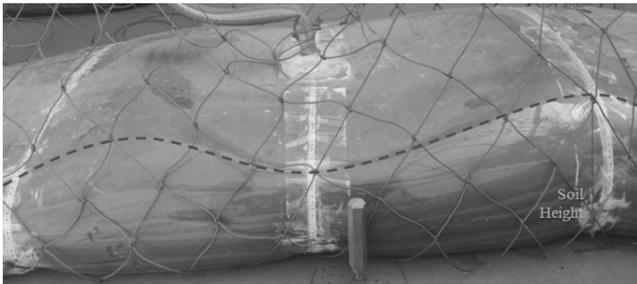


(a) I-Type Filling Module

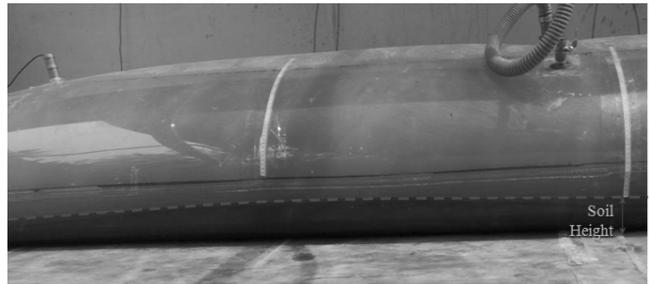


(b) Inverse T-Type Filling Module

Fig. 7. Photo of the Sedimentation of Slurry After the Last Slurry Filling with I and Inverse T-Type Modules



(a) I-Type Filling Module



(b) Inverse T-Type Filling Module

Fig. 8. Photo of the Distribution of Dredged Fill Sediments in the Transparent Vinyl During the Filling Stage

I형 채움모듈의 경우 주입구에서 뚜렷하게 분화구 현상이 관찰되었으나, 역T형 채움모듈의 경우는 상대적으로 수평방향으로 균등하게 퇴적되는 것으로 나타났다. 따라서, 준설토의 퇴적분포 형태를 고려할 경우 역T형이 I형보다 효율적으로 준설될 것으로 판단된다. 본 연구에서는 역T형 채움모듈 형태를 이용하여 토목섬유 튜브 내에 준설토를 채우고, 튜브의 형상관찰과 수침조건에 따른 준설토의 콘 관입시험을 수행하였다.

4. 토목섬유 튜브의 형상 및 콘 저항치

4.1 대형 준설시험장치

Figs. 9 and 10은 현장규모의 실험이 가능하도록 제작된 대형 준설시험장치의 모식도와 전경사진을 나타내고 있다. 시험장치의 셋팅을 위해서는 폭 5.0m, 높이 5.0m, 연장 15.0m의 최소 작업공간이 필요하다. 시험장치는 크게 ① 준설토 배합토조, ② 고압이송펌프, ③ 전환밸브(중력식 또는 압력식 채움방법 선택), ④ 준설토 공급토조, ⑤ 물 탱크, ⑥ 토목섬유 튜브, ⑦ 콘 시험기, ⑧ 토목섬유

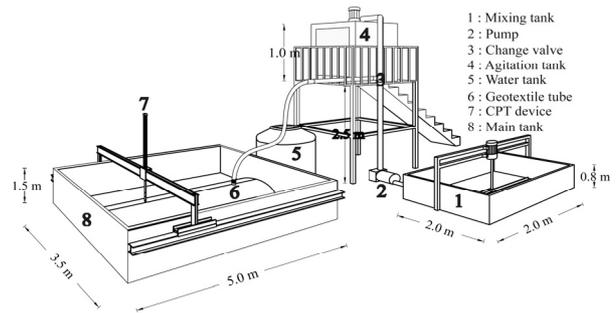


Fig. 9. Schematic Diagram for a Large-Scale Laboratory Dredging Apparatus

튜브 실험수조 등으로 구성되어 있다. 준설토는 배합토조에서 준비되어 고압이송펌프를 통해 전환밸브의 개폐 여부에 따라 공급토조로 이동되어 튜브에 중력식으로 준설되거나, 공급토조를 거치지 않고 고압으로 튜브에 직접 펌핑 준설이 가능하도록 되어 있다.

토목섬유 튜브 실험수조의 체원은 3.5m×5.0m×1.5m(폭×길이×높이)이고, 수조 강판의 두께는 6mm이다. 실험중 토조의 변형을



Fig. 10. Photo of the Large-Scale Laboratory Dredging Apparatus

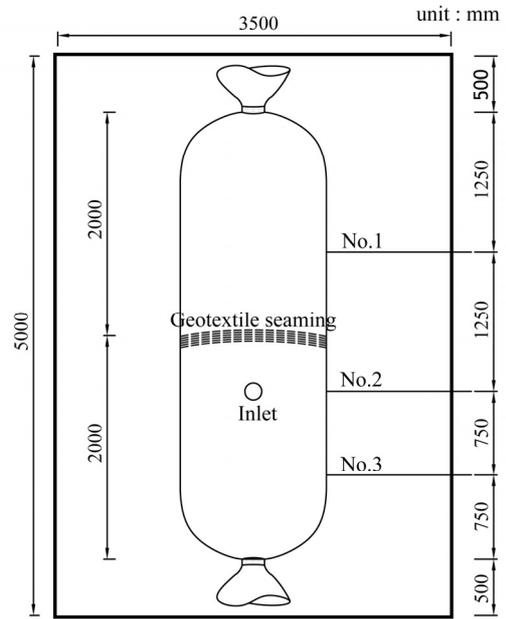
방지하기 위해 수조의 각 측면은 십자 모양의 강제 채널과 삼각형 모양의 보강재 채널을 보강하고 추가로 보조지지 볼트를 설치하였다. 그리고 상부에는 이동이 가능한 빔에 콘 시험기를 설치하였다.

준설토 배합토조의 체원은 2.0m×2.0m×0.8m이고, 공급토조의 체원은 1.0m×1.0m×1.0m이다. 배합토조와 공급토조에는 준설토가 침전 및 퇴적되어 물과 분리되는 것을 방지하고자 교반장치를 설치하였다. 본 연구에서는 여기서 소개한 대형 준설시험장치를 이용하여 직경이 1m이고, 길이가 4m인 토목섬유 튜브에 준설토 채움에 따른 튜브의 형상과 콘 시험을 수행하였다.

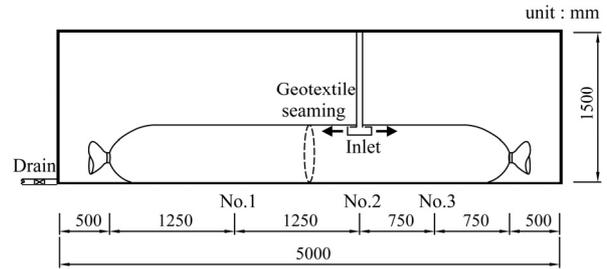
4.2 시험방법

본 연구에서는 새만금 내부 현장에서 채취한 시료 중 No. 10체 (2mm)를 통과한 시료에 대해 함수비가 600%정도 되도록 물과 교반하였다. 교반토조에서 교반된 준설토는 고압이송펌프를 통해 토목섬유 튜브로 준설되었다. 이 때 사용된 준설압은 약 30kPa이고, 채움모듈로는 역T형을 사용하였다. 토목섬유 튜브는 길이방향의 중앙에 6선 2열로 봉합하고 길이방향의 양 끝단을 묶는 방법으로 직경 1m, 길이 4m가 되도록 제작하였다. 튜브 채움부(주입구)는 중앙으로부터 0.5m이동하여 위치하고, 채움부(No. 2)와 채움부로부터 양 끝단 중앙에서(No. 1, No 3) 튜브의 폭과 높이를 관측하도록 계획하였다(Fig. 11 참조).

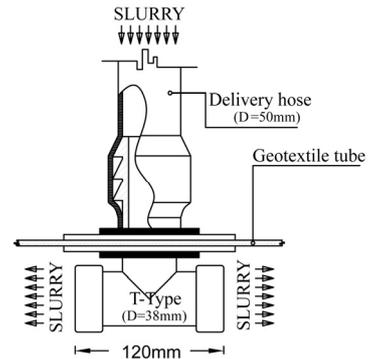
Fig. 11은 토목섬유 튜브 배치를 포함한 토목섬유 튜브 실험수조의 평면도와 횡단면도 그리고 역T형 채움모듈을 나타내고 있다. 준설토는 2일 동안 7단계로 랜덤하게 튜브로 준설되었으며, 준설된 총 시간은 35분 42초이다. 준설토 채움과정 및 시험기간 동안 실험수조의 배수는 허용하였으며, 튜브의 형상변화는 줄자와 스테프를 이용하여 측정하였다. 콘 관입시험은 준설토의 마지막 단계 채움으로부터 4일이 경과한 시점에 실험수조의 튜브를 수침(포화)



(a) Plane View of the Main Tank



(b) Cross-Sectional View of the Main Tank



(c) Inverse T-Type Filling Module

Fig. 11. Model Geotextile Placement and Details

시켜 수행하였다. 콘 관입시험은 튜브 수중(수침조건)과 배수 후 즉시, 30분, 3시간, 2달 경과 후(배수조건) No. 1, 2, 3지점에서 각각 수행하였다(Fig. 11 참조). 본 연구에서는 전기식 콘 관입시험기를 사용하여 초당 2.5±0.5cm의 일정한 속도로 콘 관입시험을 수행하였다. Fig. 12는 준설토의 교반부터 채움 및 콘 관입시험

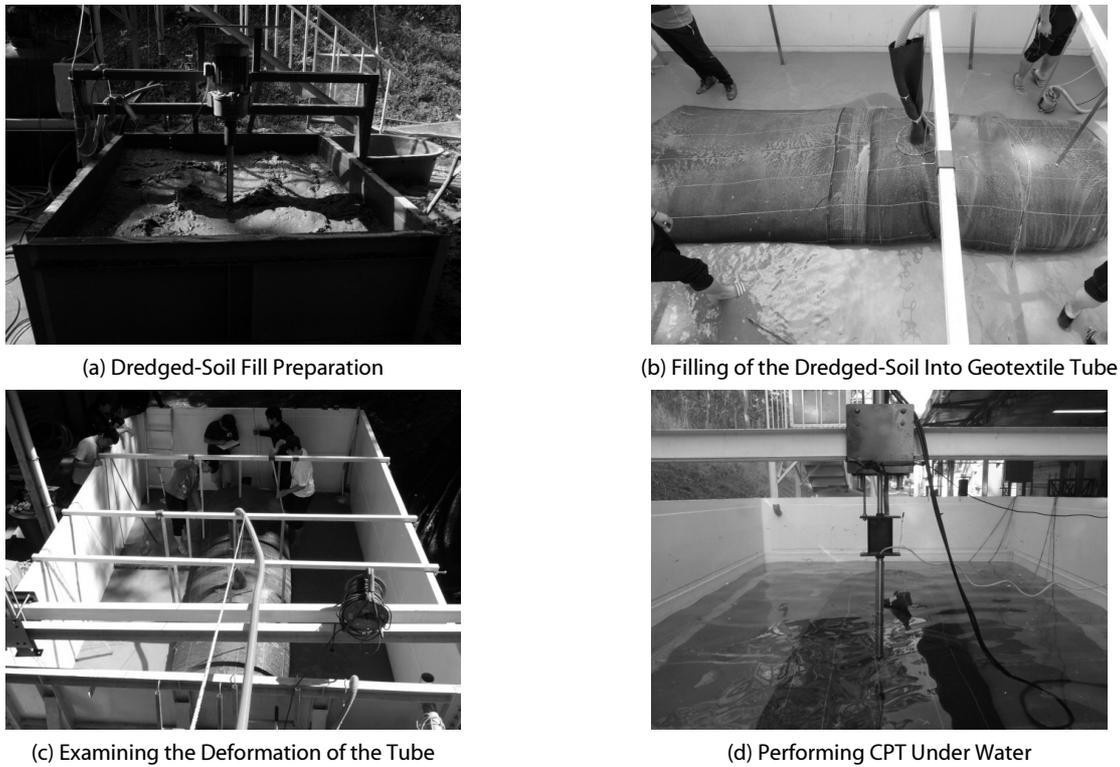


Fig. 12. Photos During the Geotextile Tube Test

등의 일련의 시험과정을 나타내고 있다.

4.3 토목섬유 튜브 형상거동

채움모듈과 채움모듈로부터 이격 거리에 따른 튜브의 형상을 관찰하기 위해 튜브 길이의 37.5%에 해당하는 곳에 채움모듈을 설치하였다. No. 2는 채움모듈이 설치된 지점이고, 채움모듈을 기점으로 No. 1은 긴 쪽으로 1.25m, No. 3은 짧은 쪽으로 0.75m이 격된 지점이다. 그리고, No. 2와 No. 1사이에는 봉합부가 위치한다.

Fig. 13은 튜브 내로 준설토 채움 단계별 채움시간과 튜브의 폭과 높이를 나타내고 있다. 준설토 채움 시작 시 튜브 내 역T형 채움모듈은 실험수조 바닥으로부터 0.4m정도 이격된 높이에 고정하고 튜브의 채움 높이를 고려하여 들어 올리도록 계획하였기 때문에 1, 2, 3단계 채움시 No. 2지점에서의 튜브 폭이 No. 2와 3지점에 비해 상대적으로 작게 나타났다. 튜브의 높이와 폭은 반비례한다. 그리고, 여유있게 재단된 봉합부가 안쪽으로 위치하도록 봉합되면서 채움 과정에서 여유가 재단된 토목섬유의 처짐으로 인해 준설토의 채움이 방해받게 되어 초기 채움단계 No. 1지점에서의 높이가 상대적으로 낮게 나타난 것으로 생각된다.

준설토는 랜덤하게 7단계로 나누어 튜브에 채워졌다. 1단계에서 5단계 준설토 채움은 시험당일 시료의 준비상태에 따라 랜덤하게 진행되었고, 6단계와 7단계는 최초 채움으로부터 약 48시간 경과한

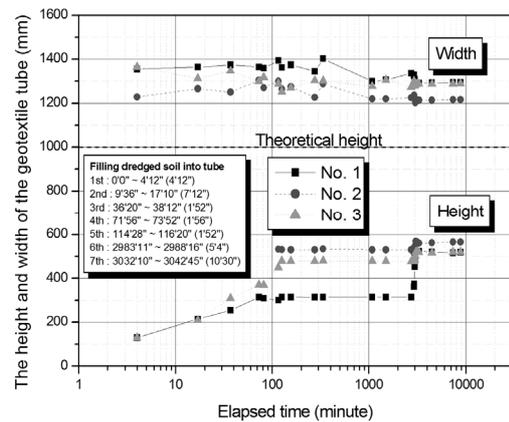


Fig. 13. Deformation Behavior of Geotextile Tube

후 채움이 진행되었다.

5단계 채움 후 No. 1, No. 2, No. 3 지점에서 토목섬유의 높이와 폭은 각각 31.5, 53.1, 47.9cm와 136.3, 126.4, 125.1cm이고, 최종 7단계 채움 후 No. 1, No. 2, No. 3 지점에서 토목섬유의 높이는 각각 52.0, 56.9, 51.9cm이고, 이때의 폭은 각각 128.9, 121.2, 128.7cm로 관찰되었다. 최종 7단계 채움 후로부터 4일 경과한 후 No. 1, No. 2, No. 3 지점에서 토목섬유의 높이는 각각 51.9, 56.6, 51.9cm이고, 이때의 폭은 각각 129.4, 121.6,

128.9cm로 조사되었다. 새만금 내부로부터 채취한 준설토의 채움 단계 별 튜브의 형태변화는 튜브로부터 배수가 종료됨과 거의 동시에 튜브의 변형은 수렴되는 경향을 나타내었다.

4.4 콘 저항치

수중과 수면 위에 위치한 튜브 내 준설토의 전단강도특성을 규명하기 위해 수중과 배수 후 즉시, 30분, 3시간, 그리고 2달 경과 후 콘 관입시험을 수행하였다. 여기서, 2달 경과는 건조상태의 토목섬유 튜브 실험수조에 준설토가 채워진 토목섬유 튜브를 2달간 방치하고 실험한 경우이다. Fig. 14는 시험결과를 나타내고 있다.

높이 45mm의 콘 선단부가 관입되는 초기에는 콘 저항치가 작고 선단부가 관입된 후부터는 깊이에 비례하여 증가하는 경향을 나타내고 있다. No. 1지점의 경우 수중 시 콘 저항치는 0.2~0.4MPa 정도이고, 배수 직후, 30분, 3시간, 2달 경과 후 콘 저항치는 0.5~0.7MPa로 배수 후 수침시보다 2배정도 크게 나타났다. No. 2와 No. 3지점의 경우는 수중 시 콘 저항치는 0.1~0.4MPa 정도이고, 배수 후의 경우는 0.4~0.7MPa정도를 나타내고 있다. No. 1과

No. 2지점의 경우는 배수 후로부터 시간이 경과함에 따라 콘 저항치가 증가하고, No. 3지점의 경우는 콘 저항치가 감소하는 경향을 나타내고 있다. 콘 저항치는 배수 후가 수중 시 보다 2~6배정도 크게 나타나고 있다. 배수가 콘 저항치에 현저하게 영향을 미치나, 배수 후 경과시간이 콘 저항치 증가에 미치는 영향은 미미한 것으로 나타났다.

Fig. 14(d)는 수중 아래(수침)와 배수 후로부터 3시간 경과 후 토목섬유 튜브 내 준설토의 콘 관입 저항치를 나타내고 있다. 수침조건과 배수 후로부터 3시간 경과 후 전반적인 콘 관입 저항치는 각각 0.3MPa와 0.6MPa로, 배수로부터 3시간 경과 후의 경우가 수침조건보다 2배정도 크게 나타났다. No. 1, 2, 3지점에서의 심도 별 콘 관입 저항치는 배수로부터 3시간 경과 후의 경우는 위치에 관계없이 일정한 경향을 나타내나, 수침조건에서는 변화의 폭이 상대적으로 크게 나타났다. 배수로부터 3시간 경과 후의 경우는 0.2m와 0.3m심도에서 전반적인 저항치는 0.6MPa이고, 0.25m 심도에서 급격하게 감소하여 0.3MPa정도를 나타내고 있다. 이는 배수가 진행되면서 이 부분에 얇게 점토가 협재된 결과로 추정된다.

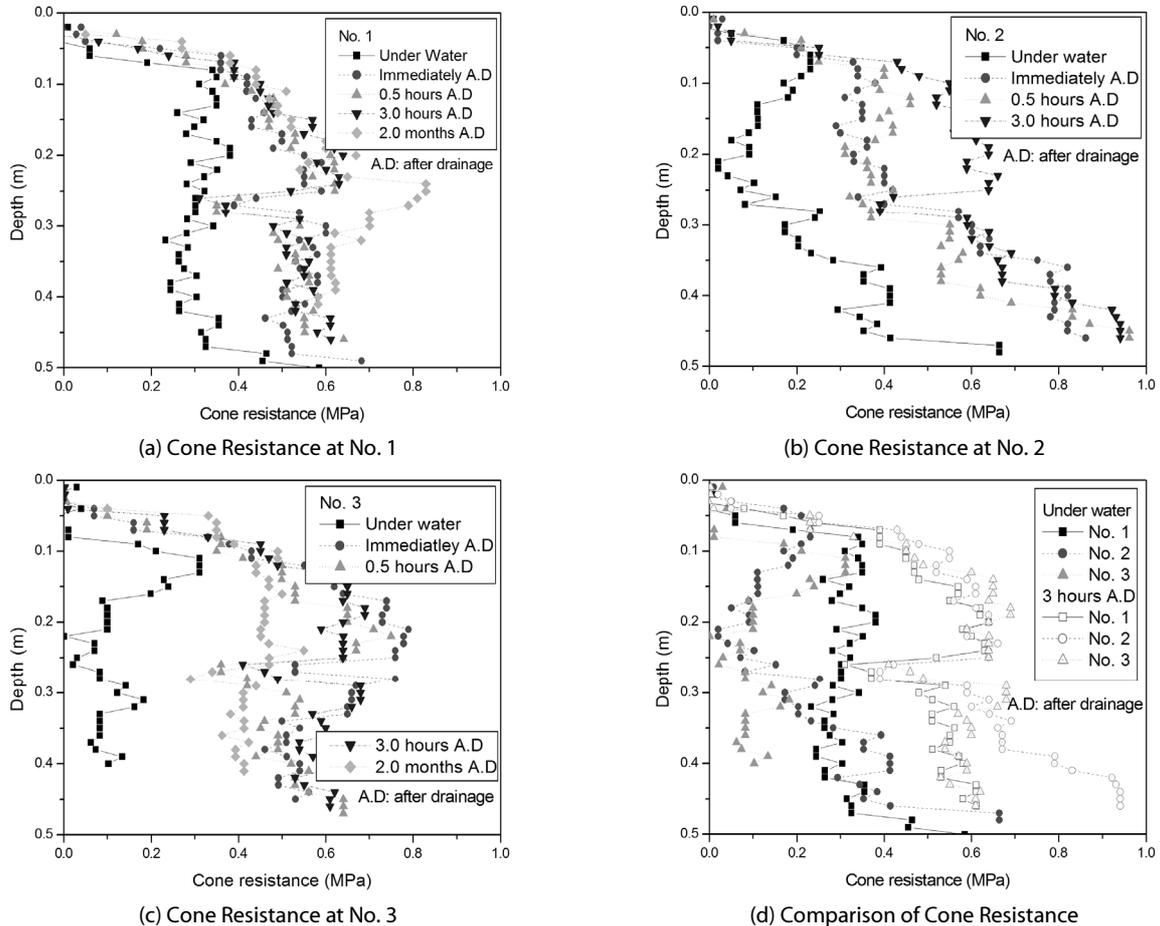


Fig. 14. Cone Resistance by Piezocone Penetration Test (CPT)

큰 관입 저항치 만 고려할 경우 배수 후 튜브 내 준설토의 전단강도는 수중 보다 2배 이상 크고, 이는 배수로 인한 물다짐 효과와 그에 따른 마찰력 증가에 의한 것으로 생각된다.

5. 결론

본 연구에서는 채움모듈 형태에 따른 준설토의 퇴적분포와 토목 섬유 튜브의 형상과 튜브 내 준설토의 전단강도 특성을 규명하고자 대형 아크릴 셀 토조와 실대형 준설시험장치를 제작하여 일련의 시험을 수행하였다. 이로부터 도출한 주요 결론은 다음과 같다.

- (1) 삼축압축시험 결과 새만금 내 실트질 모래의 포화 시와 건조 시의 내부마찰각은 각각 37.5°와 43.9°이고, 건조시료의 경우가 포화시료보다 강성과 전단강도가 크게 나타났다.
- (2) 투명 아크릴 셀 토조와 비닐 튜브를 이용하여 채움모듈 형태에 따른 준설토의 퇴적분포를 관찰한 결과 I형 채움모듈은 분화구 형상을 나타내고 역T형 채움모듈은 수평방향으로 균등하게 준설토가 퇴적되는 경향을 나타내었다. 준설토의 퇴적분포를 고려할 경우 역T형 채움모듈이 I형보다 효율적인 것으로 판단 된다.
- (3) 새만금 내부로부터 채취한 준설토의 채움 단계 별 튜브의 형상변형은 튜브로부터 배수가 종료됨과 거의 동시에 튜브의 변형이 수렴되고 최종단계에서 튜브의 유효높이는 50%정도로 나타났다.
- (4) 토목섬유 튜브 내 준설토의 큰 관입 저항치는 배수(수면 위)의 경우가 수중 보다 2~6배정도 크게 나타났다. 따라서, 수면 위에 위치한 튜브 내 준설토의 전단강도가 수침조건 보다 최소 2배 이상 크고, 수침여부가 준설토의 전단강도에 크게 영향을 미치는 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 “준설토를 활용한 지오투브 도로 성토체 최적 설계기법 연구”라는 2012년도 국토해양부 R&D 정책인프라사업의 연구비 지원(과제번호 : 12TRPI-C064124-01)에 의해 수행되었으며, 이에 깊은 감사를 드립니다.

References

Alvarez, Ing E., Rubio, Ramiro, Ricalde, Herbert (2007). “Beach restoration with geotextile tubes as submerged breakwaters in Yucatan, Mexico.” *Geotextiles and Geomembranes*, Vol. 25, pp. 233-241.

Chu, J., Yan, S. W. and Li, W. (2012). “Innovative methods for dike

construction – An Overview.” *Geotextiles and Geomembranes*, Vol. 30, pp. 35-42.

Guo, W., Chu, J. and Yan, S. (2011). “Effect of subgrade soil stiffness on the design of geosynthetic tube.” *Geotextiles and Geomembranes*, Vol. 29, pp. 277-284.

Hornsey, W. P., Carley, J. T., Coglean, I. R. and Cox, R. J. (2011). “Geotextile sand container shoreline protection systems: Design and Application.” *Geotextiles and Geomembranes*, Vol. 29, pp. 425-439.

Lee, E. C. and Douglas, R. S. (2012). “Geotextile tubes as submerged dykes for shoreline management in Malaysia.” *Geotextiles and Geomembranes*, Vol. 30, pp. 8-15.

Lee, S.-W., Sim, D. H. and Lee, Y. S. (2010). “Application of geotextile tube to construct temporary dike for dredging at Busan new port south container terminal.” *The fall Korean Geosynthetics Society*, pp. 169-180 (in Korean).

Leshchinsky, Dov, Leshchinsky, Ora, Ling, Hoe I., Gilbert, Paul A. (1996). “Geosynthetic tubes for confining pressurized slurry: some design aspects.” *Journal of Geotechnical Engineering*, Vol. 122, No. 8, pp. 682-690.

Oh, Y. I., Gim, J. H., Kang, J. G. and Jee, S. H. (2007a). “Case history of temporary embankment design using geotextile container and tube (Pasir Panjang Terminal Reclamation Project, Singapore).” *The Fall Korean Geosynthetics Society Conference*, pp. 211-220 (in Korean).

Oh, Y. I., Shin, E. C. and Kang, J. G. (2006). “Stability behavior of geotextile tube composite structure by slope stability and 2-D limit equilibrium analysis.” *Journal of the Korean Geosynthetics Society*, Vol. 5, No. 4, pp. 11-18.

Oh, Y. I., Yoo, J. Y. and Kim, H. T. (2007b). “Case history of sea dyke filter construction using geotextile tube mattress.” *Journal of the Korean Geosynthetics Society*, Vol. 6, No. 1, pp. 9-16.

Plaut, R. H. and Suherman, S. (1998). “Two-dimensional analysis of geosynthetic tubes.” *Acta Mechanica*, Vol. 129, No. 3-4, pp. 207-218.

Plaut, R. H. and Stephens, T. C. (2012). “Analysis of geotextile tubes containing slurry and consolidated material with frictional interface.” *Geotextiles and Geomembranes*, Vol. 32, pp. 38-43.

Restall, S. J., Jackson, L. A., Heerten, G. and Hornsey, W. P. (2002). “Case studies showing the growth and development of geotextile sand containers: An Australian Perspective.” *Geotextiles and Geomembranes*, Vol. 20, pp. 321-342.

Saathoff, F., Oumeraci, H. and Restall, S. (2007). “Australian and German experiences on the use of geotextile containers.” *Geotextiles and Geomembranes*, Vol. 25, pp. 251-263.

Shin, E. C. and Oh, Y. I. (2007). “Costal erosion prevention by geotextile tube technology.” *Geotextiles and Geomembranes*, Vol. 25, pp. 264-277.

Shin, E. C., Kim, S. H. and Oh, J. Y. (2010). “Case history of construction geotextile tube method in Korea – the problem and solution.” *The fall Korean Geosynthetics Society Conference*, pp. 135-147 (in Korean).

Shin, E. C. and Oh, Y. I. (2002). “Behavior and shape variation of

- geotextile tube by pilot scale field tests.” *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 22, No. 6-C, pp. 661-671 (in Korean).
- Shin, E. C. and Oh, Y. I. (2003a). “Behavior of geotextile tube by plane strain analysis and 3-dimension finite element method.” *Journal of the Korean Geotechnical Society*, Vol. 19, No. 5, pp. 233-241 (in Korean).
- Shin, E. C. and Oh, Y. I. (2003b). “Characteristic analysis of detached breakwater type geotextile tube by hydraulic model tests.” *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 23, No. 1C, pp. 23-33 (in Korean).
- Sung, H. J., Kim, H. J. and Ko, J. H. (2013). “Analysis on geotextile tube construction cases in the domestic and international for the development of road embankment technology utilizing dredged soil.” *The Spring Korean Geosynthetics Society Conference*, pp. 13-16 (in Korean).
- Won, M. S., Lee, J. B., Kim, K. J. and Kim, H. J. (2013). “A study of geotextile seam strength.” *The Fall Korean Geosynthetics Society Conference*, pp. 53-56 (in Korean).