

토사 주입과 배수 시 원형 아크릴 튜브 구조체의 압력 변화에 대한 실험적 연구

김형주¹ · 원명수² · 이장백³ · 박태웅⁴

군산대학교 토목공학과 교수¹, 군산대학교 토목공학과 조교수²,
군산대학교 토목공학과 박사과정³, 군산대학교 토목공학과 박사과정⁴

Experimental Study on Pressures Changes on Infilling Soil and Geotextile Drain in Circular Acrylic Tube Structure

Kim, Hyeong-Joo¹ · Won, Myoung-Soo² · Lee, Jang-Baek³ · Park, Tae-Woong⁴

¹Professor, Department of Civil Engineering, Kunsan National University. Kunsan, Korea

²Assistant-Professor, Department of Civil Engineering, Kunsan National University. Kunsan, Korea

³PhD. Candidate, Department of Civil Engineering, Kunsan National University. Kunsan, Korea

⁴PhD. Candidate, Department of Civil Engineering, Kunsan National University. Kunsan, Korea

Abstract: A series of injection and drainage test were conducted on an circular acrylic tube to investigate the pressure generated by the accumulated fill materials inside a circular acrylic tube structure. The acrylic tube was filled by means of gravity filling with a slurry material having an average water content of 700%. The water head during the filling process was 1.8m and the bottom pressure during initial filling was 20.18kPa. The recorded stress at the sides of the acrylic tube was 17.89kPa during the filling process and was reduced to 13.58kPa during the leaving process. Continuous drainage of the acrylic tube has greatly influenced the stresses around the tube structure. As the water is gradually allowed to overflow, the generated pressure at the topmost pressure sensor of the tube was reduced further to 2.17kPa. Eventually, the initially liquid state slurry material transforms into plastic state after water has dissipated and substantial soil particles are deposited in the acrylic tube. The final water content of the deposited silt inside the acrylic tube after the test was 42%. It was found that the state of stresses(geo-static earth pressures) in the acrylic tube was anisotropic rather than isotropic.

Key Words: dredged soil, circular acrylic tube, initial pressure, drain conditions, pressure in tube

1. 서 론

토목섬유 튜브(Geotextile tube) 공법은 고인장 섬유 소재에 토사를 주입하여 형성되는 토목섬유 튜브 구조체에 의해 해안 지역과 내륙의 친수 공간 사면을 친환경과 경제성을 고려하면서 안정적으로 조성하는 기술이다. 본 공법은 1990년대 이후부터 본격적으로 도입되어 유럽과 미국 외에 중동지역에서 해안 침식 방지 및 호안 구조물로 널리 활용하고 있으며, 국내에

는 1990년대 후반 소개된 이래 관련 연구가 활발히 수행되고 있다(Jo, 1998).

국내에서는 2005년 인천대교 교량공사 시 교각공사를 육상작업(Dry work)으로 하기 위한 공사용 도로 축제를 토목섬유 튜브로 시공된 이래 소규모 잠제 설치와 댐의 물막이공사 및 항로, 준설, 매립, 투기장, 호안공사 등에 적용되고 있다(Jo et al., 2008). 국외에서는 1990년대 초부터 친수 공간 조성을 위해 하천 제방과 해양 애플리케이션 분야에서 널리 활용되었으며, 특히 해안 및 유체공학 해석기술을 적용

주요어: 준설토, 원형아크릴튜브, 초기압력, 배수상태, 튜브압력

Corresponding author: Park Tae-Woong

Department of Civil Engineering, Kunsan National University, Kunsan 573-701, South Korea

Tel: +82-63-469-4760, Fax: +82-63-471-4760 E-mail: r2r3r4r5@kunsan.ac.kr

Received September 18, 2015 / Revised September 21, 2015 / Accepted September 24, 2015

한 해석과 실험적인 연구가 폭넓게 진행되었다 (Chang et al., 2012). 토목섬유 튜브 공법은 섬유와 토사를 상호 복합적으로 합성하여 구조체를 형성하는 것이므로 시공 시 주입과 방치과정에 의해 형상화되는 과정과 구조적인 원리를 파악하는 연구고찰은 매우 중요하다(Mo et al., 2002). 토목섬유 튜브 구조체는 사전에 실트와 모래 및 점토를 혼합하여 물과 함께 슬러리 상태로 토목섬유 튜브에 주입되며 짧은 기간 내에 퇴적되고 배수(Dewatering)에 의해 응집력을 확보하면서 입자 간의 구조적인 결합에 의해 적정 강도를 갖는 토목섬유 튜브 구조체가 된다. 또한 주입 시에 호퍼의 수두를 고려한 주입과 장거리 주입의 경우는 펌프 이송압에 의해 주입되기 때문에 토목섬유 튜브 구조체에 과도한 압력이 작용하게 되고 전단력을 발생시켜 토목섬유 튜브 구조체가 파손되는 경우도 많다. (Leshchinsky et al., 1996)는 토목섬유 튜브 구조체에 대한 설계기술로 토사 주입 시 침강되적으로 형성된 토체에 의한 내부 압력을 1차원적으로 고려하여 탄성 토목섬유 튜브 구조체 해석프로그램 GeoCoPS를 개발했으며, 이는 국내에서도 시판되고 있다. 본 프로그램에서는 토목섬유 튜브 구조체의 하부에서 발생하는 내부 최대 압력이 튜브 내부에 비배수 등방압력분포로 균등하게 작용된다고 가정하여 탄성 평행방정식에 의해 튜브의 인장응력을 구하며, 토체의 체적 변화도 1차원적으로 변형된다고 가정하여 형상 변화를 제시하고 있다.

또한, (Plaut et al., 1998)는 토목섬유 튜브 구조체의 주입 시 내부 주입체가 액체인 점을 감안하여 수리학적 해석방법으로 수압에 의해 발생하는 압력을 등방수압으로 보고 닫힌 해(Closed equation)에 의해 해석을 수행하고 있다.

상기 기존 연구의 특징은 해석방법에서 (Leshchinsky et al., 1996)는 탄성 평행방정식을, (Plaut et al., 1998)는 적분방정식 즉 닫힌 해(Closed equation)을 사용한 점이 차이가 있으나, 튜브 구조체 내부에 발생하는 등방압력은 균등하게 작용되고 있다. 그러나 토목섬유로 제작된 토목섬유 튜브는 현장 설치 후 토사와 물이 교반되어 펌프압력에 의해 지속적으로 주입되어진다. 그로 인해 퇴적량보다 주입량이 증가되므로 토목섬유 튜브 구조체는 일시적으로 비배수 상태가 발생하여 수압이 증가되고 파손되는 경우가 자주 발생하고 있다. 따라서 일련의 주입 직후의 비배수 단계부터 배수 완료 시까지 토목섬유 튜브 구조체에 발생하는 내부 압력 변화를 실험적으로 규명하여 설계 시에 주입구 간격과 주입 기술의 개선이 필요한 실정이다.

또한, 토목섬유 튜브 구조체는 재질과 주입 방법 및 주입 토사와 같은 특성 외에도 배수(Dewatering)

에 의해 토목섬유 튜브 구조체의 형상과 인장응력은 매우 다르게 나타나며, 시간 의존적인 소성변화가 토목섬유 튜브 구조체의 내부 압력을 크게 변화시키고 있기 때문에 토목섬유 구조체의 내부 압력과 배수에 의한 소성적인 특성을 무시한 기존 설계 방법은 현장 적용 시 부정확하다(Kim et al., 2013, 2014-a, 2014-b, 2015-a, 2015-b).

따라서, 본 연구에서는 아크릴로 원형 구조체를 제작하고 양 끝단 배수관에 배수재로 토목섬유 복합포를 설치한 실험 장치를 원형 아크릴 튜브 구조체로 명명하였다. 원형 아크릴 튜브에 토사주입장치를 이용하여 주입 및 방치 시 시간적으로 변하는 내부 압력 변화를 측정하였다. 주입 방법은 물과 토사를 교반하여 원형 아크릴 튜브 내부에 T-Type의 주입구 (Won, & Kim, 2013)를 사용하였으며, 원형 아크릴 튜브 내부의 압력은 제작된 8면체에 부착된 하중계에 의해 측정하였고, 아크릴 외부에 부착된 스케일에 의해 퇴적고 등을 측정하였다.

이러한 원형 아크릴 튜브 모형실험은 복합포와 같이 배수가 낮은 토목섬유를 사용하여 현장에서 물과 토사를 혼합하여 과도하게 주입 시 나타나는 초기 비배수 거동에 의한 최대 압력상승과 압력저하과정을 파악할 수 있으므로 토목섬유 튜브 구조체의 해석기술 개발과 봉합기술을 향상시킬 수 있을 것으로 예상된다.

2. 원형 아크릴 튜브 구조체의 내부 압력과 인장력

2.1 지중응력(Geostatic earth pressure)

일반적으로 토체가 완전 포화된 상태에서 간극비(e)와 포화단위중량(γ_{sat})은 함수비(w)에 의해 아래 식과 같다.

$$e = \frac{\omega_{ave} G_s}{S} \quad (1)$$

$$\gamma_{sat} = \frac{(G_s + e)}{1 + e} \gamma_w \quad (2)$$

여기서, G_s = 흙의 비중, γ_w = 물의 단위중량으로 유효 응력은 전응력과 간극수압을 이용하여 구할 수 있으며, 전응력은 포화단위중량을 이용하여 퇴적고의 높이에 의해 다음 식으로 산정되며, 연직 지중응력(σ_v)은 아래 식과 같다.

$$\sigma_v = \gamma_{sat} h_{soil} \quad (3)$$

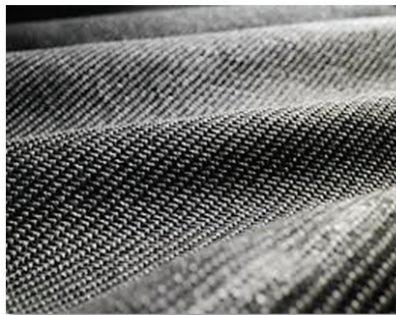
$$u = \gamma_w h_w \quad (4)$$

$$\sigma_v' = \sigma_v - u \quad (5)$$

여기서, γ_{sat} = 포화단위중량, h_{soil} = 원형 아크릴 튜브 내부의 퇴적고 높이로 본 실험에서는 하중계가 설치된 부분의 퇴적고이다.

2.2 토목섬유 특성

일반적으로 토목섬유 튜브 구조체는 연성의 토목섬유 재질로 제작되며, 토목섬유는 직포(Woven)와 부직포(Non-woven), 그리고 복합포(P.E.T-Woven(겉감) + P.E.T-Non-woven(안감))로 구성된다. Fig. 1은 국내에서 생산되는 PP-Woven Geotextile과 P.E.T-Woven Geotextile 및 P.E.T-Non-woven Geotextile을 나타내고 있다.



(a) Woven (PP)



(b) Woven (PET)



(c) Non-woven (PET)

Fig. 1 Locally Produced Geotextile Products

토목섬유에 의해 보강되는 토목섬유 튜브 구조체는 토사 주입 시와 퇴적 시의 봉합/인장강도에 의해

원형튜브가 형성되며, 이러한 토목섬유의 인장력 시험법으로 크게 광폭인장시험법과 그래프법이 있다. 본 실험에서는 FITI시험연구원이 보유하고 있는 Fig. 2의 광폭인장시험기를 이용하여 실험을 수행했다. 시험법의 규격은 KS(Korea Standard Information Center)와 ASTM(American Society for Testing and Materials)이 있다. 봉합강도 시험은 언급된 2가지 규격에 의해 수행하였다. 토목섬유 인장강도 시험 시 경사(Warp)와 위사(Weft)의 신율(Elongation)과 강도의 차이는 크지 않으며, 본 연구의 배수재로 사용된 복합포는 Fig. 3과 같이 인장강도가 5%의 신율까지는 위사 및 경사의 차이가 미미하지만 그 이상부터는 위사방향이 급격하게 큰 하중을 받게 되므로 최대 인장강도와 신율은 경사방향이 더 큰 것을 알 수 있다. 본 시험에 배수재로 사용된 복합포의 인장강도 시험은 위사와 경사의 방향이 같고, 실험에서 나타난 인장강도 값과 신율을 Table. 1에 나타내었다. 복합포의 폭방향(위사)은 인장강도가 177.51kN/m이고, 신율은 12.93%, 주방향(경사)는 185.48kN/m이고, 신율은 13.78%이다. 본 실험에 사용된 복합포는 국내에서 생산된 제품이다.



(a) Before



(b) After

Fig. 2 Geotextile Tensile Strength Test

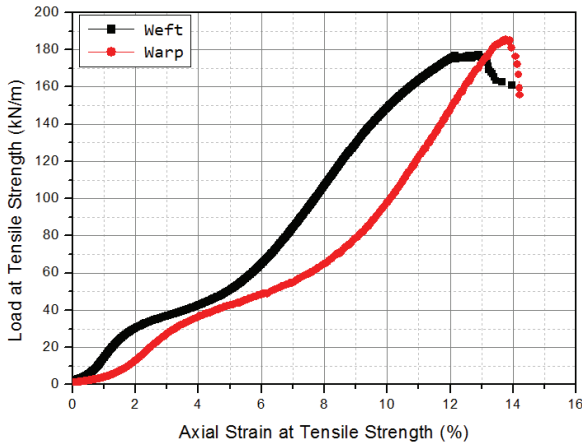


Fig. 3 Geotextile Tensile Strength

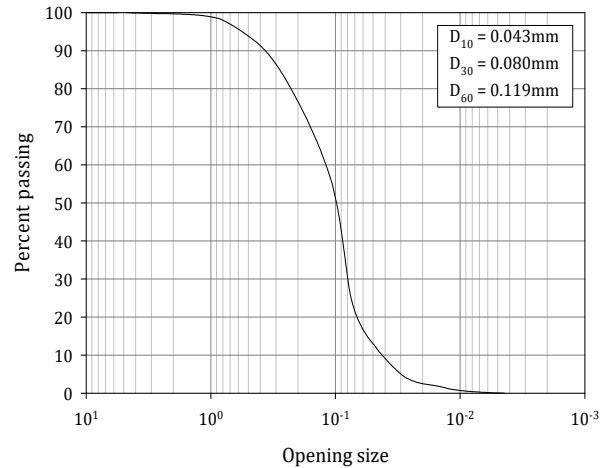


Fig. 4 Grain-size Distribution for the Dredged Soil

Table 1. Mechanical Properties of Geotextile

Properties	Test method	Quantity
Effective Opening Size	(ASTM 4751)	145 μ m
Elongation	Weft (ASTM 4595)	12.93%
	Warp (ASTM 4632)	13.78%
Tensile strength	Weft (ASTM 4595)	177.51kN/m
	Warp (ASTM 4632)	185.48kN/m

3. 원형 아크릴 튜브 구조체 실험의 주입 재료 및 배수 특성

3.1 토질특성

본 실험에 사용된 준설토 시료는 새만금 내부에서 채취한 시료이며 사용된 준설토의 물리적 특성은 Table. 2와 같다. Fig. 4는 입도분포곡선으로 200번체 통과율이 25.0%이며, 통일분류법상 실트질 모래에 해당되며 SM으로 분류되었다.

Table 2. Dredged Fill Properties

Properties	Quantity
Specific Gravity (G_s)	2.69
Percentage Passing #200 Sieve(%)	25.0
Plasticity Index	N.P
Max. Dry Unit Weight, γ_{dmax} (kN/m^3)	16.7
Optimum Moisture Content, w_{opt} (%)	17.0
U.S.C.S (Unified Soil Classification System)	SM

3.2 토목섬유의 배수성

토목섬유의 수리적 특성은 토목섬유 튜브 구조체의 내부 압력 변화에 크게 영향을 미치고 있으므로 동일한 구멍 크기와 분포를 가지지 않고 무질서한 형태이므로 적정 시험을 통해 구멍 크기를 측정하는데 이를 유효 구멍 크기라고 한다. 토목섬유는 분리, 배수 기능을 원활하게 하기 위해 물의 흐름이 양호해야 하며 세립토가 손실되지 않아야 하고 간극수압 발생 또는 세굴이 방지되어야 하므로 서로 상반된 규격을 요구하지만 유효 구멍 크기는 매우 중요하다.

따라서 규격의 사용이 중요하고 시험을 통해 규격이 결정되어야 하므로 본 원형 아크릴 튜브 양 끝단의 배수판에 부착된 복합포의 유효 구멍 크기는 Table. 3과 같이 132~ 145 μ m로 P.E.T나 P.P에 비해 가장 작은 값을 나타내고 있다. 그러나 세립분의 유실을 막을 수 있고 투수계수도 Table. 4와 같이 $5.4 \times 10^{-2} \sim 5.8 \times 10^{-2}$ cm/s로 필터 및 배수 기능으로도 우수한 성능을 가지고 있다.

Table 3. Effective Opening Size of Geotextiles

Effective opening size (KS K ISO 12956: 2011)			
Sample area	Polyester	Poly propylene	Composite
177 cm^2	309 μ m	381 μ m	132 μ m
Effective opening size (ASTM D 4751: 2012)			
Sample area	Polyester	Poly propylene	Composite
177 cm^2	315 μ m	472 μ m	145 μ m

Table 4. Permeability of Geotextiles by Constant Head Permeability Test

Vertical permeability (KS K ISO 115058: 2011, cm/s)			
ΔH (mm)	Polyester	Poly propylene	Composite
50	8.1×10^{-3}	1.1×10^{-1}	5.4×10^{-2}
Vertical permeability (ASTM D 4491: 1999, cm/s)			
ΔH (mm)	Polyester	Poly propylene	Composite
50	8.5×10^{-3}	1.1×10^{-1}	5.8×10^{-2}

4. 원형 아크릴 튜브 구조체 주입 및 배수 실험장치

4.1 원형 아크릴 튜브 구조체

연성과 강성 재질로 구성된 토목섬유 튜브 구조체는 주입 시 변형 및 내부 압력 발생 상태가 각각 다르게 나타나며, 강성 재질의 토목섬유 튜브 구조체는 콘크리트나 강관 또는 지오그리드(Geo-grid)와 같이 변형이 미소하고 횡 방향 배수가 허용되지 않는 구속 조건을 갖고 있다. 본 연구에서는 배수 거리를 최대한 길게 하여 배수 지연 시 토목섬유 튜브 구조체에서 발생하는 최대 압력을 측정 가능한 튜브 구조체를 고려하여 원형 아크릴 튜브 모형 실험장치를

제작하였다. 그러나 연성 재질의 토목섬유 튜브 구조체는 주입 시 횡 방향 배수가 용이하여 토목섬유 튜브 구조체의 체적을 단기간에 증가시키는 이상적인 구조체이지만 내부에 퇴적되는 토량의 증가에 의한 연직 퇴적고의 상승을 위해 주입 압력을 증가시키는 시공기술 개발은 쉽지 않다. 본 강성 재질의 투명 아크릴로 제작된 원형 아크릴 튜브는 배수관을 양 끝단에 설치하여 순간적인 비배수 시 최대 압력을 발생시킬 수 있으며, 주입과 방치 및 재주입 시 튜브 구조체에 발생하는 등방압력과 퇴적 후 정지중상태와 비등방상태의 응력 변화를 파악할 수 있는 이상적인 토목섬유 튜브 구조체 실험 장치이다.

4.2 원형 아크릴 튜브 구조체 주입 및 배수장치와 내부 압력 측정

Fig. 5는 원형 아크릴 튜브 모형실험 장치로 현장에서 채취 운반한 시료를 #4체로 자갈과 조개껍질을 체가름 하여 통과한 시료를 Fig. 5(a)의 대형 교반토조에 투입한 후 물과 시료를 혼합하여 함수비 700%로 제작하였다. 대형 교반토조에서 1차 교반을 한 뒤 이송펌프를 이용해 이동식 교반토조로 이송하여 주입 시 액상 토사가 균질하게 주입되도록 2차 교반을 지속적으로 수행하면서 자연 유하 식으로 원형 아크릴 튜브에 주입하였다. 공급 토조의 수위와 원형 아크릴 튜브까지의 수두는 1.8m로 하향 침투에 의해 호스를 통하여 원형 아크릴 튜브에 침투력으로

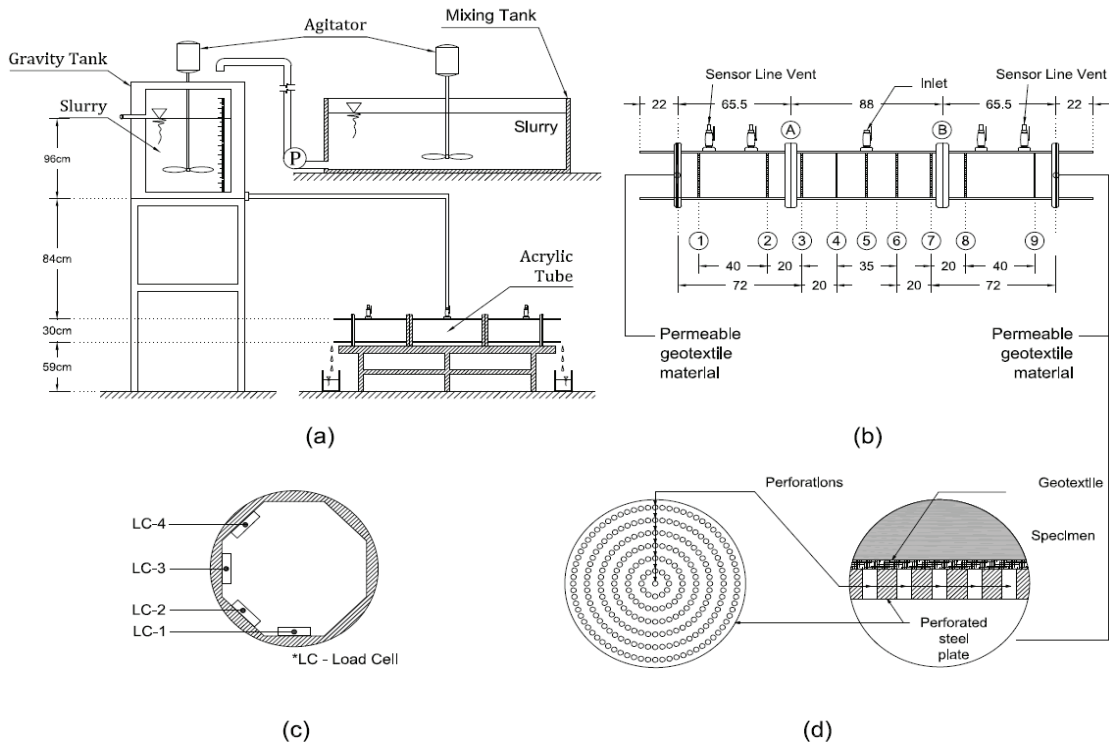


Fig. 5 Circular Acrylic Tube Infilling and Leaving Experiment Apparatus Setup

주입이 가능하다. 원형 아크릴 튜브는 투명 아크릴을 사용하여 내부의 퇴적 현상을 관찰할 수 있도록 제작되었고, 퇴적시료의 퇴적고 및 수평거리가 측정되도록 스케일을 부착하였으며, 원형 아크릴 튜브 길이 65.5cm(좌우측) 2개와 88cm(가운데) 1개를 연결하였다. Fig. 5(d)와 같이 제작된 배수관에 복합포를 부착하여 주입 시 배수가 가능하도록 Fig. 5(b)의 수평 아크릴 양 끝단에 부착하였다. 강성 재질의 원형 아크릴 튜브는 내경 280mm, 총 길이 2.19m로 Fig. 5(b)의 ㉠, ㉡ 지점에서 Fig. 5(c)와 같이 8각형 형태의 고정대의 4개면에 소형 하중계를 부착하여 원형 아크릴 튜브와 결합하였으며, 주입과 방치 시의 내부 압력을 측정하도록 제작하였다.

4.3 실험 방법

Fig. 5(a)에서 현장에서 공급된 시료를 No.4체로 체가름 한 후 교반토조에 투입하여 초기함수비 700%로 회전날개를 이용하여 제작하였고, 교반토조의 규격은(B)1.5m*(L)1.5m*(H)=0.8m이다. 교반토조에서 펌프로 이송된 시료는 이동식 배합토조에서 회전날개에 의해 시료가 상시 주입되도록 하였으며, 이동식 배합토조의 규격은 높이 (H)1.0m*폭(B)0.8m*길이(L)0.8m, 두께(T)2mm 이다. 이동식 배합토조는 하단에 시료주입호스가 연결되도록 직경 3cm 개폐식 밸브가 설치되었고, 상단은 상시 교반토조에서 이송되는 슬러리가 일정 높이를 유지하도록 상단도 소형 배수밸브가 설치되었다. Fig. 5(b)는 원형 아크릴 튜브로 시료 퇴적고를 관찰할 수 있도록 투명 아크릴을 사용하였으며, 크기는 내부 직경(D)28cm*두께(T)1cm이다. 단계별 주입 시 원형 아크릴 튜브 내부의 퇴적층의 계면고가 측정될 수 있도록 표면에 스케일을 부착하였다. 원형 아크릴 튜브는 주입밸브가 전체 5개 설치되어 주입과 배출 그리고 계측기 설치 유선이 외부의 데이터로거와 연결되도록 하였다. Fig. 5(c)는 제작된 정8면체에 하중계를 설치하여 원형 아크릴 튜브 주입 시 압력을 실시간 측정할 수 있도록 하였다. 주입시료의 수두 차는 1.8m로 18kPa의 주입 압력이고 준설토 슬러리는 중력 하향침투수압에 의해 원형 아크릴 튜브에 주입된다. 주입 시는 T형 주입구를 사용하여 원형 아크릴 튜브 내 준설토의 확산퇴적을 용이하게 하였다(Won, & Kim, 2013). Fig. 5(d)는 원형 아크릴 튜브 양 끝단에 설치되는 배수관으로 서스(sus) 원형관에 천공을 한 후 표면에 토목섬유 복합포를 부착하여 주입시료가 배수되도록 하였다. 이동식 교반 토조에서 호스를 통하여 원형 아크릴 튜브 내부에 주입되는 토사의 주입속도는 $v=0.008 \sim 0.014m/sec$ 이다. 일련의 실험에 의해 원형 아크릴 튜브 정8면체에 부착된 하중계는 데이터

로거(TDS-601)에 의해 측정하였고 실시간으로 모니터링 되었다.

5. 실험 결과 및 분석

평균 함수비 700%의 액상 시료가 원형 아크릴 튜브 내부에 주입과 방치(Leaving) 시 Fig. 5(b)의 ㉠, ㉡ 지점에서 측정된 평균 퇴적고와 시간 관계를 나타내면 Fig. 6과 같다. Fig. 6은 시료 주입 후 약 200분 동안 초기 주입-방치-최종 주입-최종 방치 과정을 거치면서 원형 아크릴 튜브 내부에서 측정된 퇴적고를 나타내고 있다. 중력수두높이 1.8m에서 원형 아크릴 튜브 내부에 토사를 주입한 후 약 1~2분 내에 원형 아크릴 튜브 내부 충진이 완료되었고, 10분 경과 후부터는 부착된 외부 배출구를 통하여 토사 및 상등수가 유출(Overflow)되고 동시에 배수관 지오텍스타일을 통하여 퇴적토사의 내부 포화수가 배수되었다. 약 80분 경과 후에 주입밸브를 잠그고 15분 동안 자연방치를 하였다. 포화간극수의 배수에 의해 체적이 크게 감소하며 재차 최종 주입을 약 65분 동안 실시한 결과 퇴적고는 지속적인 주입에 의해 증가된다. 최종적으로 주입을 중단하고 배수관에 부착된 복합포를 통하여 자연 방치 시 간극수가 배수되면서 퇴적고도 감소되며 최종적으로 약 26cm 정도의 퇴적고를 나타내고 있다.

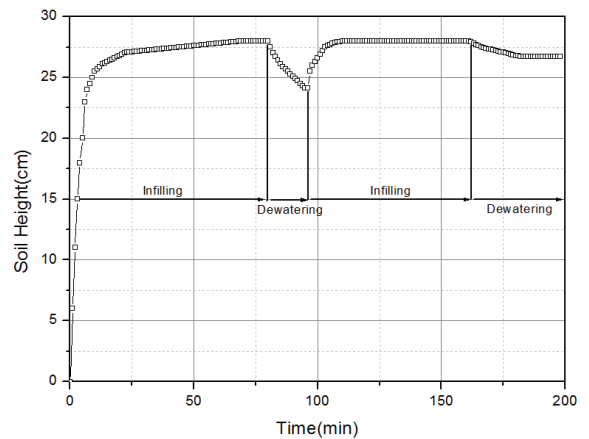


Fig. 6 Soil Height Distribution in Circular Acrylic Tube

Fig. 7은 T형 주입 시 원형 아크릴 튜브 수평거리와 원형둘레 높이를 기준으로 측정한 수평과 원형둘레의 시간별 퇴적고를 나타내고 있다. 주입과 방치에 의해 원형 아크릴 튜브 내부의 퇴적고는 증가되며 특히 T형 주입 방법은 토사의 수평퇴적확산 능력을 크게 증가시키고 있다. Fig. 7에서 원형 아크릴 튜브 주입 시 5분 경과 시에 주입토사는 계면침강에

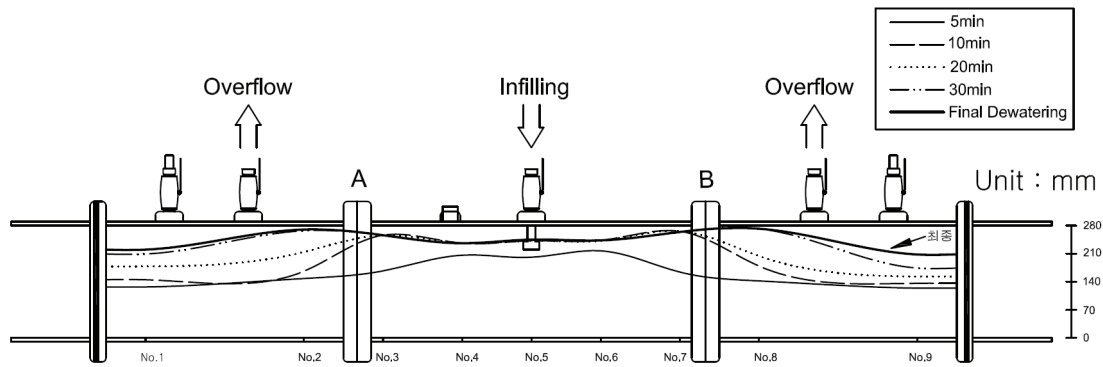


Fig. 7 Soil Height Distribution

의해 퇴적경계면이 나타나기 시작하였으며, 지속적인 주입에 의해 퇴적고는 상승되어 약 80분 경과 시에 최대 퇴적고를 나타내고 있다. 초기 주입부터 누적 경과시간 200분부터는 시험을 중단하고 원형 아크릴 튜브 내부에서 함수비를 측정된 결과 함수비는 평균 42%정도였다.

브 내부에 퇴적된 토량이 증가되면서 유출구로 통한 배출속도의 증가와 배수관에 설치한 토목섬유를 통한 배수에 의해 압력손실도 크게 발생하고 있다. 최종 주입 시는 초기 주입 시보다 원형 아크릴 튜브 내부의 압력은 감소되고 하단부터 상단에 걸쳐 압력이 주입압력 18kPa보다 감소되는 것은 원형 아크릴 튜브 내부에 퇴적된 토량의 체적 증가가 이루어지면 원형 아크릴 튜브 내부에 미치는 압력 전달이 감소되고 잔여 압력은 배수재 및 보조 토사 유출구를 통해 손실되기 때문이다.

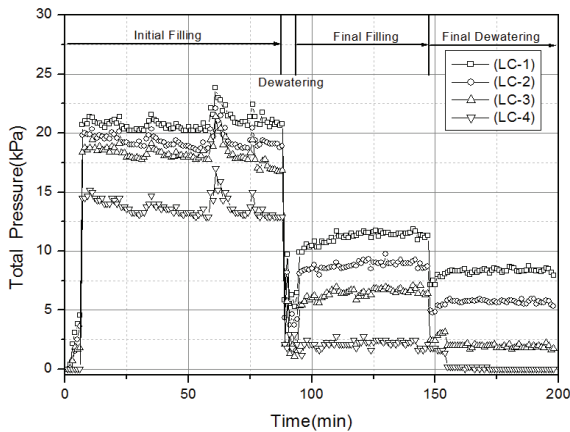


Fig. 8 Soil Pressure Distribution in Circular Acrylic Tube

Fig. 8은 일련의 시험과정을 거치면서 원형 아크릴 튜브 내부에서 측정된 압력을 나타내고 있다. 초기 주입 후 약 10분 동안 원형 아크릴 튜브 내부의 압력은 증가되고 배수관에 부착된 배수재를 통해 배수도 지속적으로 이루어지고 있다. 원형 아크릴 튜브 하단의 LC-1은 평균 20.18kPa까지 증가되고 있다(일부 노이즈 발생 값 제외). 주입 수두압력 18kPa 보다 약 2.18kPa가 증가된 것은 퇴적 토사의 상재하중 영향이며, 원형 아크릴 튜브 수평면에 설치된 LC-3는 17.89kPa로 초기 주입압력에 근접한 값을 나타내고 있는 것은 초기 주입함수비 700%의 액상 상태가 원형 아크릴 튜브 중간부에서 주입함수비와 동일한 상태를 나타내고 있기 때문이다. 한편 원형 아크릴 튜브 상단 LC-4는 주입압력보다 감소하여 13.58kPa 정도를 유지하는 것은 주입과 동시에 원형 아크릴 튜브

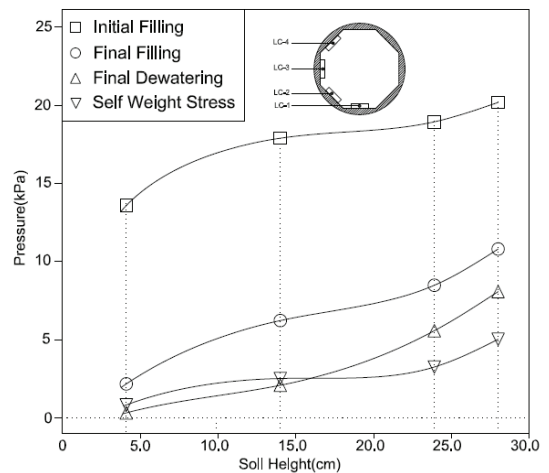


Fig. 9 Pressure Distribution by Filling and Leaving in the Circular Acrylic Tube

Fig. 9는 원형 아크릴 튜브 내부의 각각의 위치에서 단계별 측정된 압력의 평균치를 초기 주입-방치-최종 주입-최종 방치-퇴적중(평균함수비 42%)로 나뉘어 내부 압력을 연직 심도별로 표시하였다. 측정된 튜브 구조체 내부의 압력 변화는 ①초기 주입 시는 하단에서 최대 20.18kPa이고 중하단에서 18.94kPa, 중단에서 17.89kPa, 상단에서는 13.58kPa이다. 원형 아크릴 튜브 수평면 이하에서는 주입 압력에 의한 영향을 크게 받지만 전체적으로 원형 아크릴 튜브

내부는 퇴적층이 증가되면서 상단부에서는 압력이 감소되고 있다. ②주입구의 밸브를 닫고 원형 아크릴 튜브 내부의 주입토사가 배수재를 통해 방치 단계를 거친 후에 최종 주입 시 퇴적고가 증가되며 주입압력의 영향은 크게 감소하고 있다. 최종 주입 시 원형아크릴 튜브 하단은 10.80kPa로 감소하며 수평면이상부터는 크게 감소하고 있는 원인은 원형 아크릴 튜브 양 끝단에 설치된 배수재의 투수성에 의해 주입압력이 감소되고 있기 때문이다. ③최종 방치 시는 잔류간극수압의 영향을 받아 내부 퇴적시료의 평균 함수비 42%에 의해 구한 지중정지 압력보다 다소 크게 나타나고 있다.

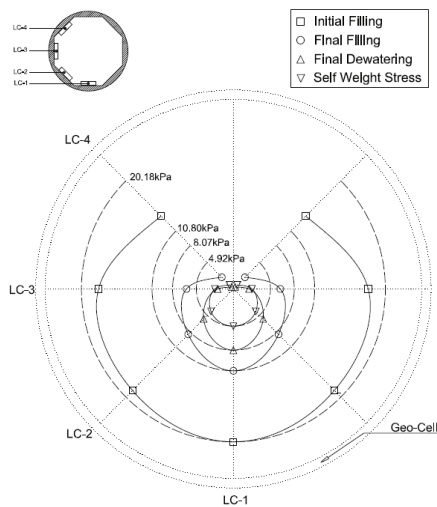


Fig. 10 Non Uniform Pressure Distribution in the Circular Acrylic Tube

Fig. 10은 실험을 통해 발생하는 원형 아크릴 튜브의 압력원으로 원형 아크릴 튜브 하단에서 측정된 최대 압력(LC-1)과 위치별 측정된(LC-2, 3, 4) 압력을 곡선으로 연결하여 표시하였다. Fig. 10에서 점선은 주입과 방치과정을 거치면서 측정된 하단 LC-1의 최대값을 기준으로 점선원호를 나타내고 상단으로 진행될수록 측정된 원호 압력은 중간부까지 미소하게 감소하는 등방성에 근접하나 상단부는 원호 압력이 크게 감소하는 비등방성을 나타내고 있다. 원형 아크릴 튜브 내부에 퇴적된 토량이 증가되면서 액상 퇴적고는 상승되지만 압력원의 중심은 원형 아크릴 튜브 중하단부에서 형성되고 최종 정지지중압력상태에 근접되고 있다. 따라서 배수가 지연되고 횡 변형이 억제되는 원형 아크릴 튜브 구조체는 초기 주입압력이 감소하면서 배수재의 배수 속도와 배수비(직경, D/수평거리, L)에 영향을 받는 소성 상태의 구조체로 형성되고 잔류간극수압이 감소되면서 정지상태의 지중압력(Geo-static earth pressure, K_o)에 근접하

고 있다.

6. 결론

본 연구에서는 원형 아크릴 튜브 구조체 내부의 압력 발생 메커니즘을 파악하고자 실험적 연구를 수행하였으며, 실험 방법으로는 초기함수비 700%의 액상 토사를 토목섬유 배수재가 부착된 원형 아크릴 튜브 모형 실험장치에 주입-방치-최종 주입-최종 방치 시 내부 압력과 퇴적고를 측정하였다. 연구결과는 다음과 같이 요약할 수 있다.

(1) 평균 함수비 700%로 액상 시료를 단계별 주입과 방치(Leaving)과정을 거치면서 원형 아크릴 튜브 내부의 퇴적고는 초기 주입-방치-최종 주입-최종 방치 과정에 의해 퇴적고가 증가되고 있으며, 배수재로 사용된 복합포는 배수가 지연되지만 토사 저장효과는 우수하다.

(2) 원형 아크릴 튜브 내부는 초기 주입-방치-최종 주입-최종 방치 시 내부 압력은 주입 직후 주입압과 원형 아크릴 튜브 내부에 퇴적된 토량의 증가에 따라 원형 아크릴 튜브 하부에서는 증가되는 반면에 상단부에서는 배수에 의해 감소되고 있다. 원형 아크릴 튜브 내부의 퇴적된 토량이 증가되면서 배수재의 투수성에 의해 퇴적층 함수비가 감소하는 소성 상태의 퇴적층을 형성하고 있다.

(3) 횡 방향 배수 및 변위를 억제하는 원형 아크릴 튜브 구조체의 일환으로 원형 아크릴 튜브는 주입과 방치에 의해 압력 영향은 크게 감소하며 원형 아크릴 튜브 내부에서 발생하는 압력원은 상부단면에서 비등방성 압력원을, 중간하단부 아래에서는 등방성 압력원을 나타내고 있으므로 원형 아크릴 튜브에서 발생하는 압력원의 무게중심도 하부로 이동되고 최종적으로 간극수압의 배수되면서 정지상태의 지중압력(Geo-static earth pressure, K_o)에 근접하고 있다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 국토교통기술촉진연구사업의 연구비 지원(과제번호 : 14TRPI-C064124-03)에 의해 수행되었으며, 이에 깊은 감사를 드립니다.

References

- Chang, Y. C., Lee, S. E., Kim, S. E., Son, K. Y., and Kim, S. W. (2012), Behavior of Geotextile Tube for Erosion Control" J. of the Korean Geotechnical Society, Vol. 28, No. 5, pp. 5-12.
- Cho, S. D. (1998), "Applied Techniques by New Geosynthetics." '98 Geosynthetics Seminar.
- Cho, S. M., Kwon, J. B., and Park, S. I. (2008), "Geosynthetics for the Incheon Bridge Construction, The Spring 2008 Geosynthetics Conference." Vol. 2008, No. 4, pp. 39-54
- Craig, R. E. (2004), "Craig's Soil Mechanics, 7th Edition." Spon Press, NY, USA.
- Kim, H. J., Jamin, J. C., Won, M. S., Sung, H. J., and Lee, J. B. (2013), "A Study on the Behavior of Dredged Soil Stratified in a Transparent Geobag." Proc. Advances in Structural Engineering and Mechanics (ASEM13), Jeju, Korea, pp. 2980-2987.
- Kim, H. J., Lee, K. W., Jo, S. K., Park, T. W., and Jamin, J. C. (2014-a), "The Influence of Filling Port System to the Accretion and Pressure Distribution of Dredged Soil Fill in Acrylic Tubes." Proc. Advances in Civil, Environmental and Materials Research (ACEM14), Busan, Korea, CD-ROM. (in Korea).
- Kim, H. J., Won, M. S., Kim, Y. B., Choi, M. J., and Jamin, J. C. (2014-b). "Experimental Analysis on Composite Geotextile Tubes Hydraulically Filled Underwater Condition." Proc. Advances in Civil, Environmental and Materials Research (ACEM14), Busan, Korea, CD-ROM.
- Kim, H. J., Won, M. S., Lee, K. H., Jamin, Jay. C., and Choi, M. J. (2015-a), "An Experimental Study of Strain Generation on Flexible Geotextile Tube by Scale-Model Test" Korean Society for Advanced Composite Structures Conference, pp. 47-50
- Kim, H. J., Won, M. S., Joo, J. H., and Park, T. W. (2015-b), "Strees Generation in Rigid Geocontainer Tube During Dredged Soil Filling" Korean Society for Advanced Composite Structures Conference, pp. 12-15
- Koerner, R. M., Hwu, B. L., and Wayne, M. L. (1987), "Soft Soil Stabilization Designs Using Geosynthetics." Journal of Geotextiles and Geomembranes 6, pp. 33-52.
- Lee, J. B., Sung, H. J., Lee, K. H., and Kim, H. J. (2013), "A Study on the Sedimentation Properties of Dredged Soils in the Model Tube." Geo-Enviornmental Society Conference, pp. 86-89.
- Leshchinsky, B., Leshchinsky, O., Ling, H. I., and Gilbert, P. A. (1996), "Geosynthetic Tubes for Confining Pressurized Slurry : Some Design Aspects." Journal of Geotechnical Engineering, ASCE.
- Liu, G. S., and Silverster, R. (1977), "Sand Sausages for Beach Defence Work." 6th Australasian Hydraulics and Fluid Mechanics Conference, Adelaide, Australia, pp. 340-343.
- Mo, X., Kim, T. H., Moo-Young, H. K. (2002), "Laboratory Assessment of Geotextile Tube for Dewatering High Water Content Material" J. of the Korean Geotechnical Society, Vol. 18, No. 5, pp. 261-269.
- Oh, Y. I. (2004), "The Research Trends of Geotextile Tubes", Korean Geosynthetics Society, Vol. 3, No. 2, pp. 24-29.
- Plaut, R. H., and Suherman, S. (1998), "Two-dimensional Analysis of Geosynthetic Tubes." Acta Mechanica.
- Won, M. S., and Kim, H. J. (2013), "The Horse Connecting Module for Filling Tube and Dredge Soils Injection Device with the Same." Korea Patent Application No. 10-2013-0078353.