

## 준설토 주입방법에 의한 비닐튜브체의 퇴적 및 변형 특성 - 크레이터 방지 기술을 중심으로 -

### A Study on the Sedimentation of Dredged Soils and Shape Changes of a Transparent Vinyl Tube by Filling Tests - Anti-Crater Formation -

김형주<sup>1\*</sup>, 성현종<sup>2</sup>, 이광형<sup>3</sup>, 이장백<sup>4</sup>

Hyeong-Joo Kim<sup>1\*</sup>, Hyun-Jong Sung<sup>2</sup>, Kwang-Hyung Lee<sup>3</sup>, Jang-Baek Lee<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Member, Professor, Dept. of Civil Engineering, Kunsan National Univ, 558 Daehangno, Gunsan 573-701, Rep. of Korea

<sup>2</sup>Member, Post Doctor, Dept. of Civil Engineering, Kunsan National Univ, 558 Daehangno, Gunsan 573-701, Rep. of Korea

<sup>3</sup>Nonmember, Graduate Student, Dept. of Civil Engineering, Kunsan National Univ, 558 Daehangno, Gunsan 573-701, Rep. of Korea

<sup>4</sup>Nonmember, Graduate Student, Dept. of Civil Engineering, Kunsan National Univ, 558 Daehangno, Gunsan 573-701, Rep. of Korea

#### ABSTRACT

In this study, two different types of dredged fill injection methods are introduced and filling experiments were conducted to analyze the impact of each technique to the distribution and deposition of dredged soil fill and how it influence the final tube shape. Two transparent plastic tubes were fabricated to observe the deposition behavior of the deposited fill material. Both tubes measured 4.0 meters in length (L) and has vinyl tube diameters (D) of 0.5m and 0.7m. T-type and I-type inlet system are also introduced in this paper. The influence of this inlet systems to the distribution and deposition behavior of dredged soil fill inside the vinyl tubes were observed during the experiment. After the sedimentation of the slurry mixture, the water on top of the soil sediments are removed and the slurry mixture was re-injected into the vinyl tube, this process was carried out repeatedly. The shape changes of the vinyl tube, e.g. the changes in both tube height and width, are constantly monitored after each slurry injection and water draining phases. Crater formation was observed in the case of I-Type inlet system and a non-uniform sediment distribution occurred. For the diffusion deposit of soil particles to long distance are minimal shape technique using the T-Type inlet system. Therefore the undrain filling height ratio ( $H/D_0$ ) was found to be around 0.54 to 0.64 and the horizontal strain ratio ( $W/D_0$ ) ranges from 1.45 to 1.54. The filling soil height is proportional to dredged-material filling phases, but, horizontal strain ratio is constant or inversely reduced so that the center of tube body is raised in the upward direction.

#### 요 지

본 연구에서는 준설토 주입 후 튜브 내부 준설토의 퇴적분포가 튜브 형상에 미치는 영향을 분석하기 위해 준설토 주입실험 결과를 바탕으로 튜브 내 준설토의 퇴적분포와 튜브 거동에 대해 소개하였다. 튜브 내 준설토의 퇴적분포를 관찰하기 위해 투명 비닐소재를 사용하여 튜브를 제작하였고, 이때 튜브의 직경(D)은 0.5m와 0.7m이고 길이(L)는 모두 4.0m이다. 주입형태에 따른 튜브 내 준설토의 퇴적분포 형태를 관찰하기 위해 준설토 주입형태는 I-Type과 T-Type을 적용하였다. 실험은 주입, 침강 및 퇴적 후에 준설토 상부의 물을 배수과정에서 제거하고 슬러리 상태의 시료를 재주입하는 과정을 반복하여 수행하였고, 주입 및 배수 단계에서 튜브 내 준설토의 퇴적분포와 튜브의 연직 및 수평 거동을 관찰하였다. 주입실험 결과 I-Type 주입의 경우 크레이터 형성에 의한 부유 및 확산퇴적이 동시에 발생하는 분리퇴적에 의해 비균질 거동을 나타내고, T-Type 주입은 확산수평퇴적으로 인하여 퇴적 튜브 내 준설토가 균등하게 분포하는 것으로 나타났으며, 비배수 초기 연직충진비( $H/D_0$ )는 0.54~0.64 정도이고 수평변형비( $W/D_0$ )는 1.45~1.54로 퇴적고는 준설토 충진에 비례하여 증가하나 수평변형비는 일정하거나 감소하면서 튜브체의 중심은 상향이동 되고 있다.

**Keywords :** Dredged soil, Filling type, Transparent geobag, Geotextile tube, Deposit segregation, Optimal shape technique

Received 24 Feb. 2014, Revised 12 May. 2014, Accepted 14 May. 2014

\*Corresponding author

Tel: +82-63-469-4760; Fax: +82-63-469-4791

E-mail address: kimhj@Kunsan.ac.kr (H. J. Kim)

## 1. 서론

과거에는 해안지역의 방조제 및 방파제와 해안 도로사면의 성토체, 방파제, 이안제 등의 축조 시 석산에서 개발된 골재 및 사석에 절대적으로 의존하여 공사가 진행되었다. 지금도 해안지역 구조물 공사 시 조위와 조류 및 설계파와 연약지반의 지지력 확보 등의 설계조건을 만족하기 위한 구조물 공사 시 소요되는 재료 공급을 위해 석산을 개발하고 있으나 환경파괴로 인한 민원발생 및 공기지연, 산림 훼손에 의한 미관 저해, 내륙 석산으로부터 장거리 운반에 의한 공사비 증가 등이 인프라시설의 확충을 더욱 더 어렵게 하고 있다(Kim, et. al., 2013). 국외에서는 해안지역 인프라 구조물 공사를 위한 석산 개발이 환경적인 제약 조건에 의해 매우 어렵기 때문에 상대적으로 내륙에서 공급되는 골재의 비용도 국내에 비해 매우 고가이다. 따라서 환경적인 규제에 의해 1990년대 초부터 해안지역에 퇴적된 준설토를 지오텍스타일 튜브에 주입한 튜브체를 이용하여 해안지역의 제방 및 사면 구조물을 시공하고 있다. 이러한 공법은 Cho(1998)와 Oh(2004)에 의해 토목섬유를 활용한 구조물을 축조하는 기술을 통해 국내에 소개 및 경향 등이 고찰 되었으며, 주요 연구로는 현장시험을 통한 사례 분석과 상용프로그램을 이용한 수치 해석 외에 소형 전단시험 및 투수시험을 통한 성능시험 등이 수행되었다. 따라서 지속적인 연구를 통해 국내의 준설 토목섬유 튜브체의 원천기술을 확보하고 상용화된 기술을 개발함으로써 국제화에 대처할 필요성이 대두되고 있다.

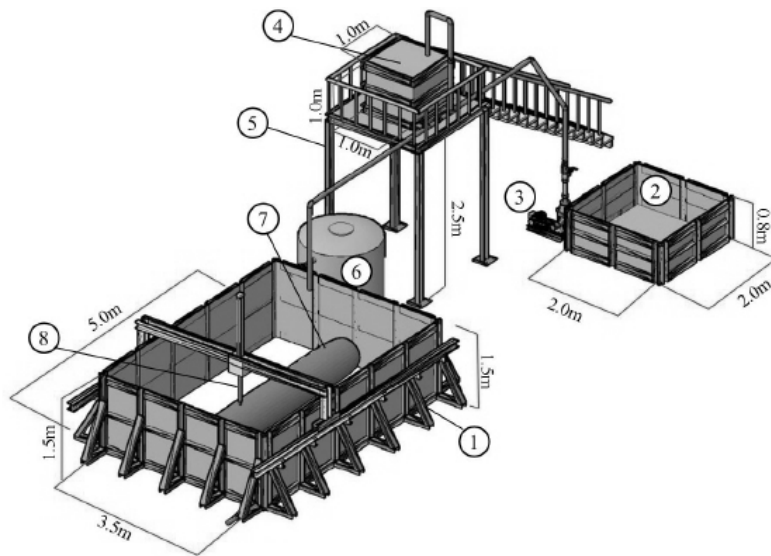
준설토 퇴적에 관한 기초적 실험연구로 Kim, et. al. (2003,2006)은 소규모 준설토 투기장 매립 시 투입되는 준설토가 일차원 및 2차원으로 퇴적될 때의 체적 변화를 예측하고 퇴적 특성을 파악하기 위해 일련의 실린더 침강시험, 침투압밀시험 및 2차원 퇴적모형시험을 수행하였다. 시험결과 1차원 침강 시는 실질토량이 증가할수록 퇴적 높이는 선형적으로 증가하고, 자중압밀 개시 및 완료 시의 계면고도 실질토량에 비례하여 증가하지만, 2차원 퇴적모형시험 결과 분리퇴적에 의해 함수비 및 입도분포, 강도가 확산거리에 따라 급격하게 변화되고 있음을 제시하고 있다.

토목섬유 튜브를 활용한 해안구조물 연구로 Heerten, G.(1980)는 해안구조물 뒤 채움재 입경이 지오텍스타일의 인장강도 및 필터 성능에 미치는 영향을 연구하였으며, Koerner, et. al.(1987)은 지오텍스타일의 설계기준 강도는 봉합강도 이상을 확보할 필요성이 있다고 주장하였다. 또

한 Liu, et. al.(1977)과 Stephenson(1982)은 수리동역학적 실험에 의해 해안구조물의 안정성 확보와 침식방지를 위한 적정사면구배를 제시하였고 Chang,et.al.(2012)은 실내 대형전단시험을 실시하여 모래와 토목섬유의 혼합 전단강도는 모래의 상대밀도가 증가함에 따라 증가하고 현장시험에 의해 탈수과정시 5~20%정도 토압이 감소하고 있음을 제시하고 있다. Leshchinsky, et. al.(1996)은 지오텍스타일 튜브체가 모래 또는 실트질 점토에 의해 충전 시 준설편하중과 상재하중을 튜브체 내의 원형 등방하중으로 환산하여 탄성 등방예측 프로그램 GeoCops에 의해 튜브의 인장력을 예측하는 상용프로그램을 개발하였고 국내에도 널리 활용되고 있다.

국내에서는 Shin, et. al.(2002)이 송도신도시 매립장 현장시험에 의해 모래 및 실트질 점토를 각각 펌핑 주입 시 지오텍스타일 튜브의 형태 및 압밀과정에 미치는 영향 요소로 준설토의 단위 중량과 초기 함수비 및 인장강도, 그리고 조립과 세립토의 분리퇴적을 들고 있다. 한편 토목섬유 재질에 의한 투수성을 분석하고자 Shin,et.al.(2008)은 실내 투수시험 및 수리모형시험을 수행하여 모든 토사에서 폴리에스터(P.E)에 비해 폴리프로필렌(P.P) 재질의 토목섬유가 투수성이 양호함을 제시하였다. 토목섬유의 활용은 매년 다양한 형태로 이루어지고 있으며, Chu, et. al.(2011)는 토목섬유를 두 가지 타입으로 분류하여 튜브체는 연직 높이가 수평 폭에 비해 크며, 반면에 매트체는 연직 높이에 비해 수평 폭이 매우 큰 경우로 직경비와 폭을 기준으로 튜브 구조체와 매트 구조체를 구분하여 불투수성의 지반 상에 시공 시 형상변화를 강성기초와 연성기초 상의 경계 조건에 의해 수치해석을 실시하였다. 따라서 이러한 일련의 연구는 튜브체의 외적형태만을 중심으로 진행되어 왔으며, 튜브체 내부를 기술적이고 안정적으로 형성하는데 필요한 충전 기술과 퇴적상상에 의해 나타나는 튜브의 거동 등에 대해서는 아직 연구가 시도되지 않고 있다.

본 연구에서는 토목섬유 튜브체에 준설토를 연직 및 수평 방향으로 주입 시 침강 및 확산 퇴적 특성이 튜브체의 형상화 과정에 미치는 영향을 실험적으로 검토하고자 투명한 연질폴리염화비닐(Soft polyvinyl chloride) 튜브체를 준설 지오시뮬레이터 토조에 설치하여 준설토의 주입-확산-퇴적-배수-주입시험을 단계적으로 실시하였다. 주입방식(Won and Kim, 2013)은 기존 (I형 타입) 주입방식과 개발된 역T형 주입방식을 사용하였고, 각 방식으로 튜브체에 주입 시 발생하는 퇴적 메카니즘을 명확히 제시하였다.



- ① Test Tank
- ② Mixing Tank
- ③ Pump
- ④ Agitation Tank
- ⑤ Tower
- ⑥ Water Tank
- ⑦ Geotextile Tube
- ⑧ CPT Device

Fig. 1. Simulation Apparatus of the Geotextile Tube Filled with Dredged soil (Auto Desk MEP.)

기존 I형 타입의 주입방식은 연직 유속으로 인한 크레이터 (Crater)가 형성되어 입자가 수리동역학적인 점핑에 의해 퇴적되는 분리퇴적 현상으로 비균질·비균등적인 튜브체가 되고 있다. 개발된 역T형 주입방식은 크레이터 현상이 억제되고 분리퇴적도 방지하게 되어 튜브체의 안정성과 시공성을 크게 확보할 수 있었다.

## 2. 준설 지오텍스타일 튜브 시뮬레이터 장치

대형 실험장치는 현장에서 실험 시료가 덤프트럭에 의해 운반될 때 적하 및 활용이 용이한 오픈된 공간에 설치하였다. 제작된 준설 지오텍스타일 튜브 시뮬레이터 장치는 현장의 다양한 조건으로서 펌프압, 주입 방법, 튜브체의 크기, 수위 조건, 토사의 혼합비율, 준설 및 매립 조건 등을 반영한 시뮬레이션(simulation)이 가능하도록 제작되었다. 준설 지오텍스타일 튜브 시뮬레이터 설비 및 계측공간은 폭 8.0m, 길이 20m이고 장치는 ①토목섬유 튜브 거동 실험수조, ②준설토 배합토조, ③고압이송펌프, ④토사 공급토조, ⑤타워, ⑥물탱크, ⑦토목섬유 튜브 ⑧자동콘관입시험 장치로 구성되었다. 현장에서 운반된 시료는 No.100 체로 물과 함께 걸러서 배합토조에 저장하였다. 소정의 함수비로 제작된 시료는 고압펌프를 통해 타워에 위치한 토사공급 토조로 이송하여 조건에 적합하게 튜브에 주입하거나, 배합토조에서 직접 고압으로 토목섬유 튜브 거동 실험수조의 튜브에 펌핑 준설이 가능하도록 제작하였다. 또한 토목섬유 튜브 거동 실험수조의 제원은 높이 1.5m, 폭

3.5m, 길이 5.0m로 튜브체의 거치와 준설토주입 및 배수, 유량확보, 수위조절, 계측장치 등이 가능하며 지오텍스타일 튜브체의 거동을 실험실에서 규명하여 현장의 실증기술을 확보하고 수치 해석에 필요한 파라메타 연구를 수행하는데 필요한 장치이다. 시뮬레이션 외적 조건으로는 Fig. 1과 같이 준설펌프압과 시료의 주입속도 변화, 일정한 함수비로 주입, 투입 함수비의 조절, 수위 변화, 지오텍스타일 튜브체의 수중과 건조 상태 유지, 튜브체 바닥의 연성과 강성 조건 대처, 튜브체의 배수 및 비배수 거동 유지, 자동콘관입시험, 하중 재하실험 등이 가능하다.

## 3. 지오비닐튜브 제작·설치 및 주입방법

Fig. 2는 준설토 주입 후 튜브 내부에서 나타나는 준설토의 퇴적분포를 육안으로 관찰하기 위해 0.8mm 두께(t)의 투명 비닐소재 PVC(Poly-Vinyl Chloride)를 사용하여 제작된 튜브체의 제원과 도면이다. Fig. 2(c), (d)와 같이 제작된 비닐튜브 모식도에서 튜브의 직경(D)은 0.5m와 0.7m이고, 길이(L)는 모두 4.0m이다. 튜브 내부 각 지점에서 주입 시 준설토의 퇴적분포를 관찰하기 위해 주입구와 배출구 및 튜브 끝단 사이를 같은 간격으로 나누어 Case-1의 경우는 0.5m 간격으로 7개의 눈금자를 비닐튜브 표면에 부착하였고, Case-2는 비닐튜브가 설치될 토조 바닥에 0.75m 간격으로 5개의 측정 스케일(mm/눈금)을 부착하여 수평변위를 측정하였으며, 바닥으로부터는 연직스케일에 의해 퇴적 높이를 측정하였다. 또한, 준설토의 단계별 침

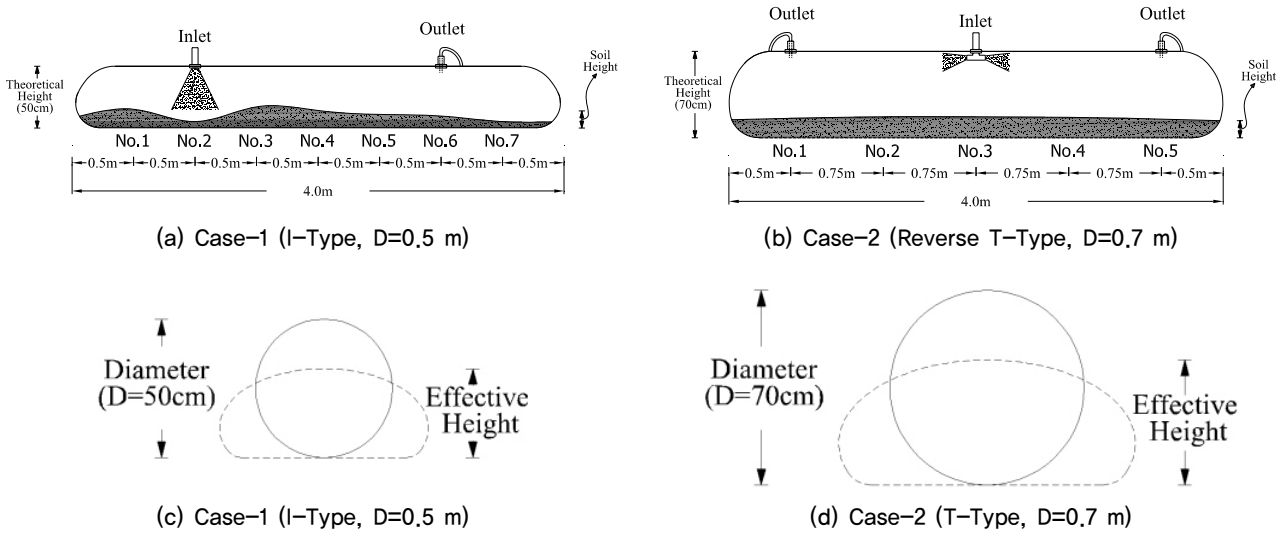


Fig. 2. Theoretical Diameter Cross-Section and side View of the Transparent Vinyl Tube

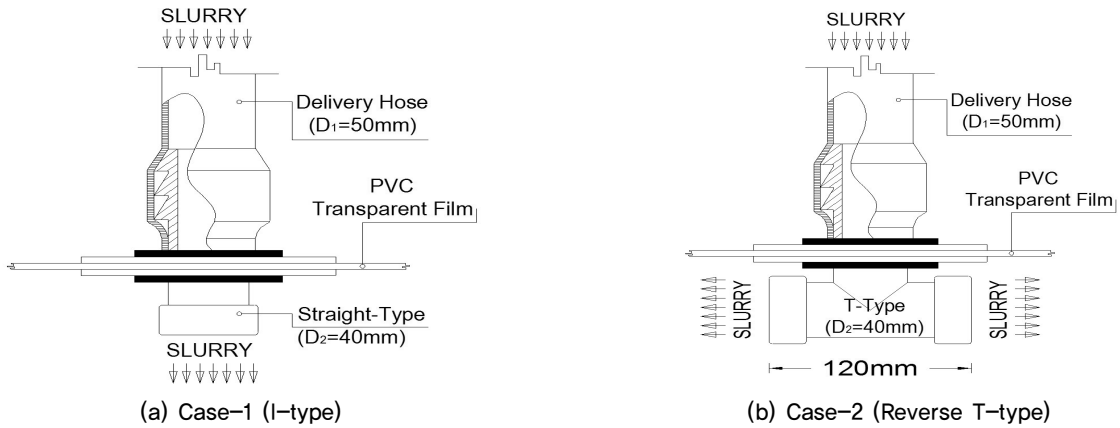


Fig. 3. Schematic Diagram of the Filling Type of the Transparent Vinyl Tube

강 후 상부 물 배수를 위해 주입구와 배출구를 각각 2.0m 와 1.5m 간격으로 배치하였다. 주입형태에 따른 튜브 내 준설토의 퇴적분포 형태를 관찰하기 위해 Fig. 3에서처럼 Case-1의 경우는 일반적인 현장의 주입방법으로 I-Type (수직)이고 Case-2는 본 연구에서 개발된 역T-Type (수평) 주입형태로 수직 투입 시 주입구 하부 퇴적층 상부에 형성 되는 분화구(Crater)를 사전에 방지하고 주입 압력에 의해 유입되는 준설토가 수리학적 점핑(Hydraulic Jumping) 형태로 월류되어 퇴적되는 분리퇴적을 미연에 방지하기 위한 주입방법이다. 개발된 역T-Type 주입장치는 직경(D) 70cm 비닐튜브에 정착하였고, Fig. 1의 토목섬유 튜브 거 동 실험수조(①)에 설치하여 소정의 함수비로 조성된 준 설토를 단계별로 주입을 하였다. 주입방법으로는 Fig.1의 토사공급토조(④)에서 자연유하식으로 물과 혼합된 시료 를 호스를 연결하여 주입구(I-Type, 역T-Type)를 통해 비 닐튜브에 충전하였다. 튜브가 충분히 부풀어져 더 이상

충진이 어려운 경우는 공급을 중단하고 방치하면서 자중 침강과정을 고찰하였다. 자중 침강과정이 종료하여 더 이 상 퇴적고 변화가 없으면 퇴적시료상부의 상등수를 Fig.2 의 배수구(Out let)에 호스를 연결하여 배출하였다.

#### 4. 실험시료 및 방법

준설토 주입실험을 위해 새만금 내부 준설-매립 현장 중 만경강 하류에서 준설토를 채취하여 실험시료로 선정하였 고(Kim,et.al, 2013), 기본 물성실험 및 입도분석실험을 수 행한 결과 Table 1과 Fig. 4에서처럼 #200체 통과율이 16.9%, 비중은 2.570, 소성지수는 N.P이다. 시료의 종류는 통일분류법상 실트질 모래인 SM으로 분류되었고, 곡률계 수(C)는 1.40으로 다소 양호한 입도이다. 또한 주입 준설 시료의 함수비는 일반 현장 준설토의 함수비 범위인 300%~1,000%로 조정하였고(Kim,et.al 2013), 소정의 합

Table 1. Physical Characteristic Value of Filled Dredged Soil

Item	Quantity
Natural water content (W <sub>n</sub> , %)	28,65
Pouring Water Content (%)	1000, 500, 300
Specific gravity of soil solids (G <sub>s</sub> )	2,570
Plasticity index (PI, %)	N,P
Coefficient of Uniformity (C <sub>u</sub> )	7.0
Coefficient of Curvature (C <sub>c</sub> )	1.40
Percent passing # 200 sieve (%)	16,9
Unified soil classification (USCS)	SM

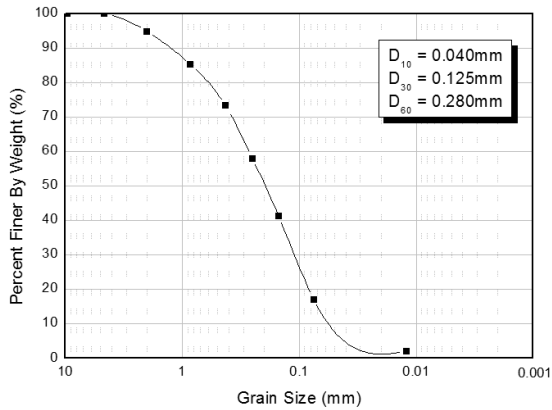
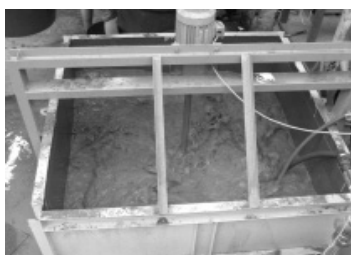


Fig. 4. Grain Size Distribution Curve

수비는 가수방식으로 교반하여 조정하였다. 지오비닐튜브 내부에서 준설토의 주입에 의한 확산되적 실험 방법은 Fig. 5의 지오비닐튜브 준설토 주입 실험 방법에서처럼 지오비닐튜브를 실험수조(④) 내부에 배치하고 준설토 배합토조(①)에서 소정의 함수비로 조정하여 고압이송펌프(③)를 통해 2.5m 높이의 타워(⑤)에 위치한 토사공급토조(④)로 이송되어 자연유하식으로 주입이 가능하다. 또한 ②의 배합토조에 설치된 고압이송펌프(③)를 통해 직접적으로 비닐튜브에 주입도 가능하다. 지오비닐튜브에 주입된 시료는 초기에는 단입자 분산상태에서 약 1시간정도



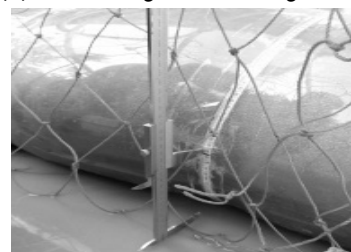
(a) Mixing of the Dredged Soil



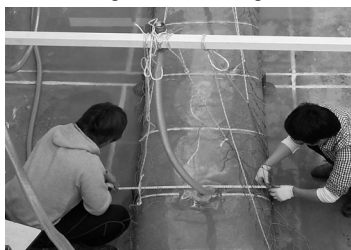
(b) Transferring of the Dredged Soil



(c) Filling of the Dredged Soil



(d) Measurement of the Sedimentation Height



(e) Measurement of the Tube Shape



(f) Dewatering

Fig. 5. Filling Experimental Procedures of the Dredged Soil in a Transparent Vinyl Tube

Table 2. Circumferential Scale Height of Dredged Soils in a Transparent Vinyl Tube each Filling Phase (I-Type)

Section No.		1	Inlet (2)	3	4	5	6	7
Distance from the left of the Tube (cm)		50	100	150	200	250	300	350
Circumferential Scale Height (cm)	1 <sup>st</sup> Phase	38,1	35,2	33,6	32,4	31,1	31,7	31,3
	2 <sup>nd</sup> Phase	39,4	35,7	35,9	33,2	31,5	31,4	31,9
	3 <sup>rd</sup> Phase	40,8	38,4	35,9	34,0	32,45	31,4	31,8
	4 <sup>th</sup> Phase	47,3	40,9	42,8	37,0	32,7	32,2	33,4
	5 <sup>th</sup> Phase	50,6	46,4	46,1	37,5	33,7	33,1	33,0
	6 <sup>th</sup> Phase	51,8	48,6	47,1	37,2	34,9	32,8	32,4
	7 <sup>th</sup> Phase	55,5	52,0	50,7	47,7	47,4	47,8	49,5
	8 <sup>th</sup> Phase	56,8	54,3	59,8	57,3	54,8	52,9	54,8
	9 <sup>th</sup> Phase	60,7	49,1	58,5	62,5	58,9	53,3	56,3

경과시 응집에 의해 침강이 되면서 명확한 경계면이 형성되면서 침강하는 계면침강을 나타내고 있다. 침강이 완료된 후에는 비닐튜브상부에 설치한 Fig. 2의 배출구(Outlet)에 호스를 연결하여 배출하였다. 상등수를 배제한 후 주입구를 통해 2차주입을 실시하였으며 이러한 충전-침강-배수-충진 과정이 9단계로 시행되었으며 매 단계별 자중압 밀종료된 퇴적고 위치를 튜브둘레에 부착된 스케일에 의해 경계면을 측정하여 Table 2에 매 단계별 원주상의 퇴적고를 제시하였다. 여기서 Case1의 I-Type은 9단계, Case-2의 역 T-Type는 4단계 과정을 반복 하면서 비닐 튜브내부에 단계별 주입을 통해 최대한 실질 토랑고를 증가시켰다.

## 5. 실험결과 및 분석

### 5.1 주입형태에 따른 튜브 내 준설토의 퇴적 영향

주입형태에 따른 튜브 내 준설토의 퇴적분포를 관찰하기 위해 기존 I-Type 주입장치와 본 연구에서 개발한 역 T-Type 주입장치를 투명 비닐튜브에 설치하여 준설토 주입 실험을 수행하였다. Table 2와 Table 3, 그리고 Fig. 6~Fig. 8은 준설토 주입 실험을 통해 기존 I-Type 주입장치와 본 연구에서 개발한 역T-Type 주입장치에 의해 주입된 준설토가 투명 비닐튜브 내에서 퇴적에 의한 일련의 실험

결과를 나타내고 있다. I-Type 주입장치의 경우 Fig. 6과 같이 1~3단계에서 주입 함수비 1,000%로 주입 시는 주입구로부터 중단거리별로 완만한 경사로 퇴적층이 분포하고, 2단계 주입 시는 펌핑속도가 퇴적층에 침식을 발생시키면서 미소한 크레이터(Crater)가 형성되지만 3단계 주입 시는 기 형성된 크레이터 사면이 안식각을 초월하자 함몰된다. 4단계 주입에서는 실질토랑고를 증가시키기 위해서 주입 함수비를 500%로 저하시켜 주입하였고 침투력도 증가되면서 동시에 크레이터의 크기도 증가되고 있다. 5단계 주입 시에는 기 형성된 크레이터의 사면이 입자의 점

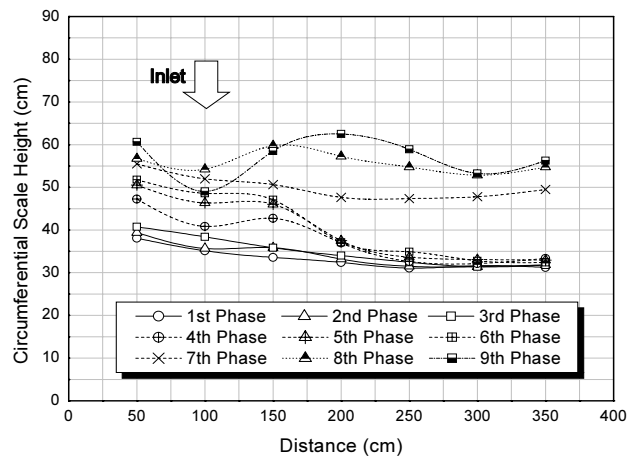


Fig. 6. The Sedimentation Distribution of Dredged Soils in a Transparent Vinyl Tube each Filling Phase (I-Type)

Table 3. Vertical Scale Height of Dredged Soils in a Transparent Vinyl Tube each Filling Phase (Reverse T-Type)

Section No.		1	2	Inlet (3)	4	5
Distance from the left of the Tube (cm)		50	125	200	275	350
Vertical Scale Height (cm)	1 <sup>st</sup> Phase	4.4	4.5	5.0	4.5	4.0
	2 <sup>nd</sup> Phase	5.3	7.5	7.4	7.9	6.0
	3 <sup>rd</sup> Phase	6.4	8.3	8.0	8.5	6.5
	4 <sup>th</sup> Phase	19.5	19.5	20.0	19.6	18.0

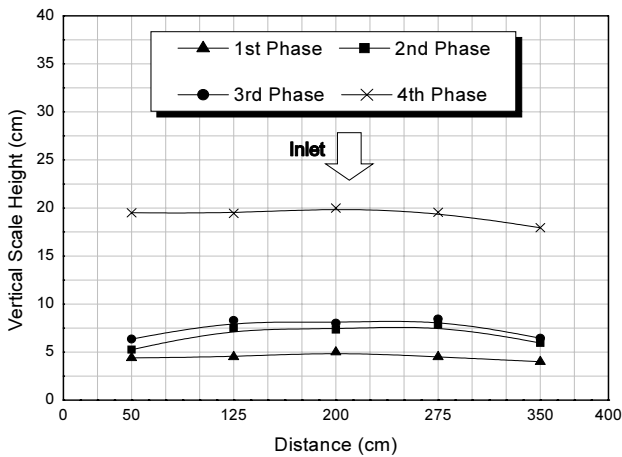
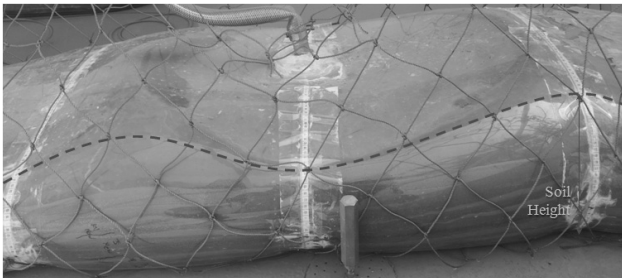
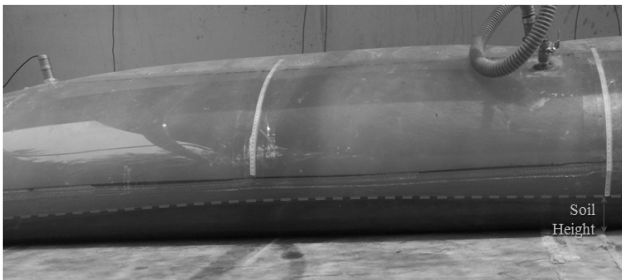


Fig. 7. Sedimentation Distribution of Dredged Soils in a Transparent Vinyl Tube each Filling Phase (Reverse T-Type)



(a) Case 1 (I-Type)



(b) Case 2 (Reverse T-Type)

Fig. 8. Sedimentation Distribution Photos of Dredged Soils in a Transparent Vinyl Tube in the Filling Phase

핑(Jumping)을 방해하는 사면구배가 한계값에 이르자 퇴적사면은 함몰되고 지속적인 주입에 의해 퇴적 높이가 상승되면서 반복적으로 침식에 의해 크레이터는 형성되어 가며, 주입 함수비를 300%로 감소시켜 추가적으로 실질 토량을 더욱 증가시켜 최종 9단계 주입에서는 침식에 의해 크레이터가 증가되고 동시에 사면구배도 증가되는 비등방하중상태의 튜브체가 형성된다. 따라서 충분히 확산퇴적을 발생시킬 수 있는 주입구간 거리를 결정하는 데 큰 어려움이 있다. 이러한 문제점을 해결하고자 Fig. 2(d)와 같이 직경(D) 70cm의 비닐튜브를 제작하여 Fig. 3(b)

와 같이 제안된 역T-Type 주입장치를 사용하여 단계별 주입시험을 실시하였다. Fig. 7은 1단계로부터 최종 4단계까지 주입을 진행하는 동안 튜브체에서 준설토가 튜브 종단 방향으로 퇴적되는 상태를 나타내고 있다. 그림에서 I-Type 주입구 직하부에서 발생하는 크레이터는 발생되지 않고 있다. 초기투입시는 균질하게 튜브종단방향으로 퇴적되나 2,3단 투입시는 튜브 끝단(주입지점에서 2.0m거리)에서 준설토가 확산시 역류(Back Water)하여 세립부유물질이 다소 이격된 내측에서 침강퇴적 되므로 실질 퇴적고가 다소 작게 나타나고 있지만 튜브체가 충전 되면서 그 영향은 감소하고 있다. 따라서 확산범위가 종단방향으로 증가되고 있어 주입구 간격을 크게 할 수 있고, 주입시간 단축 및 균등한 튜브체의 형성이 가능하다. Fig. 5는 상기 결과를 도출하기 위해 수행된 실험과정을 제시하고 있다.

Fig. 8(a)는 I-Type (튜브직경 D=0.5m) 주입장치에 의한 최종 9단계까지 주입 시 발생한 주입구 하단 원추형 크레이터(점선)와 퇴적고를 나타내었다. 주입시 유속에 의한 침식으로 형성된 크레이터에 의해 주변의 퇴적고는 상대적으로 증가되지만 지속적인 주입토량은 월류에 의한 분리퇴적으로 매우 입경이 작은 세립토가 먼 거리에 퇴적층이 형성되면서 경사지게 분포되고 있다. 따라서 주입효율이 낮다보니 9단계까지 단계적인 투입에 의해 실질 토량을 증가시켰다. Fig. 8(b)는 역T-Type(튜브직경 D=0.7m) 주입장치로 4단계 주입과 배수만으로도 비닐튜브는 균등하게 충전되나 상대적으로 연직 및 수평팽창량의 증가속도가 크다. 그러므로 지속적으로 투입하는 경우는 비닐튜브의 인장력의 한계를 초과할 가능성이 있어 4단계까지 투입을 시행후 중지하였다. 따라서 역T-Type 주입장치는 크레이터 형성이 방지되므로 튜브 종단상의 분리퇴적 영향에 의해 지체되는 주입시간을 단축할 수 있고 균등한 튜브체가 형성되므로 매우 경제적이고 실용적이며 안정적인 주입방법이다(Won and Kim,2013).

## 5.2 주입 함수비(w)와 퇴적 속도( $\frac{\Delta h}{\Delta t}$ )관계

주입 함수비(w)에 따른 튜브 내 준설토의 퇴적 속도( $\frac{\Delta h}{\Delta t}$ )를 파악하기 위해 주입 함수비(w) 1,000%, 500%, 300%를 각각 적용하여 기존 I-Type 주입장치 준설토 주입 실험을 수행하였다. Table 4와 Fig. 9는 준설토 주입 실험을 통해 주입 함수비(w) 1,000%, 500%, 300%에 따른 튜

Table 4. Increasing Rate of the Sedimentation Height of Dredged Soils in the Tube according to the Filling Water Content (I-Type)

Section No.		1	Inlet (2)	3	4	5	6	7
Distance from the left of the Tube (cm)		50	100	150	200	250	300	350
Increasing Rate of the Sedimentation Height ( $\frac{\Delta h}{\Delta t}$ ) (cm/min)	w=1000%	0,16	0,07	0,28	0,1	0,05	-0,03	0,08
	w=500%	0,81	0,31	0,86	0,37	0,03	0,09	0,19
	w=300%	0,98	-1,3	-0,31	1,31	1,04	0,1	0,38

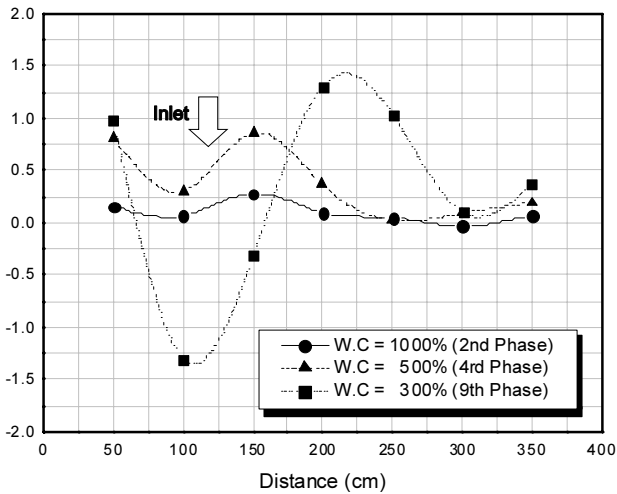


Fig. 9. Distribution of the Increasing Rate of the Sedimentation Height of Dredged Soils in the Tube according to the Filling Water Content (I-Type)

브 내 준설토의 퇴적 속도( $\frac{\Delta h}{\Delta t}$ )를 나타내고 있다. Table 4와 Fig. 9에 나타난 바와 같이 주입 함수비(w)에 따른 튜브 내 준설토의 퇴적 속도( $\frac{\Delta h}{\Delta t}$ )는 주입 함수비(w)가 감소하면서 크게 증가되지만 침식 깊이도 상대적으로 깊다. 주입 시 퇴적 높이 증가 속도는 주입 함수비가 큰 1,000%에서

-0.03~0.28cm/min이고 튜브 종단방향에서도 균등한 분포를 나타내지만, 주입 함수비가 낮은 300%에서는 주입구 직하의 크레이터 지역에서 퇴적속도 변화가 가장 크며 전반적으로 -1.30~1.31cm/min으로 변화하고 있다. 여기서 침식은 (-)이고 퇴적은 (+)이다. 주입 함수비가 낮을수록 퇴적 높이가 증가 속도는 주입구 좌우 부근에서 최고치를 나타내고 있다. 크레이터 외측 사면의 선단 부분인 종단방향 거리 d=200cm 지점은 수리동역학적인 점핑에 의해 토사가 퇴적되면서 퇴적 높이가 매우 크게 나타나고 있다. 주입구(d=100cm) 지점은 주입 속도에 의해 침식되면서 크레이터가 형성되어 침식 영향을 가장 크게 받고 있다. 주입 함수비(w)가 300%, 500%의 경우 주입지점에서 크레이터가 형성되면서 사면 정상부에서는 퇴적 높이가 최대를 나타내고 있다. 또한 수리학적으로 점핑되는 토사 중 가벼운 세립토는 먼 거리까지 분리·확산·퇴적되어 주입 함수비의 영향과 관계없이 일정한 퇴적 높이를 형성하고 있다.

### 5.3 주입 및 배수 단계 튜브의 형상거동

Fig. 10은 역T-Type 준설토 주입 방법에 의해 튜브의

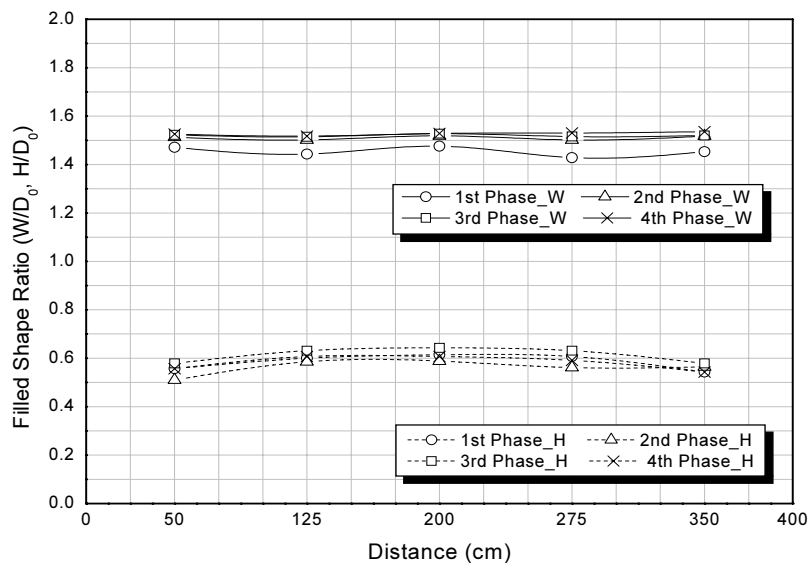
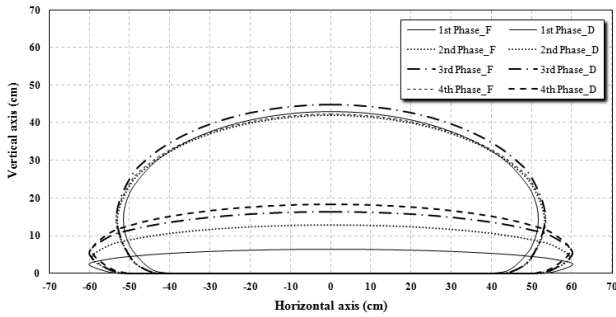
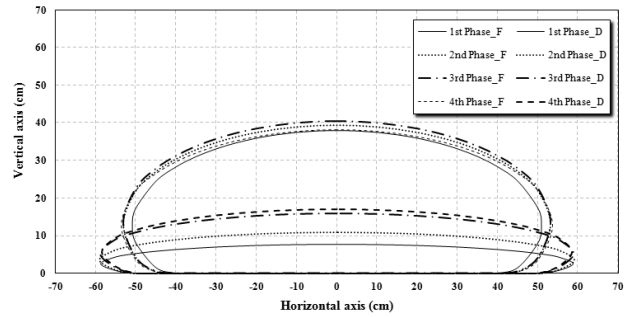


Fig. 10. Distribution of the Filled Tube Shape Ratio by diffusion distance according to each phase (Reverse T-type)





(a) No.3



(b) No.5

Fig. 11. The Shape Variation of the Tube in the Filling and Drainage Phase (Reverse T-type)

형상거동을 파악하고자 300% 주입 함수비에 대한 단계별 주입 시 시간 경과에 따른 튜브의 연직 높이(H)와 수평 폭(W)의 변화 비율을 각각 나타내고 있다. 그림에서 수평으로 확산되적 시 원형튜브의 직경( $D_0$ )을 기준으로 단계별 주입 시 초기 튜브 높이(H)비로 계산한 튜브 초기 연직 충전비( $H/D_0$ )는 0.54~0.64 정도이고, 종단방향으로 확산 거리가 먼 지역은 백워터에 의해 세립토의 퇴적 영향으로 최소 0.54 정도로 작게 나타나지만 전반적으로 균등하고 균질한 퇴적고를 형성하고 있음을 알 수 있다. 또한 단계별 주입 시 측정된 튜브 수평변형량(W)을 이론적 직경( $D_0$ )에 대한 비율로 계산한 수평변형비( $W/D_0$ )는 1.45~1.54로 변화폭이 작고 등방적으로 균등한 튜브체가 형성되고 있다. 전반적으로 수평변형비는 초기투입을 제외하고는 일정한 수평변형상태에서 퇴적고가 연직으로 이동된다.

Fig. 11은 튜브 주입구 부근의 No.3 지점과 끝단 부분의 No.5 지점에서 준설토의 퇴적 형태를 주입 직후의 초기 형상(F)과 배수 후의 퇴적상태(D)를 나타내고 있다. 주입 직후의 튜브체의 형태와 침강완료 후에 측정된 퇴적 형태를 비교하면 주입구 부근인 No.2 지점은 2단계 주입부터 다소 실질토량의 증가로 연직 퇴적 높이는 미소하게 증가하고 수평 폭은 역으로 감소하고 있다. No.5 지점은 확산 퇴적 시 백워터 영향으로 부유물질이 No.2 지점보다 다소 많이 퇴적되어 실질토량과 증가가 작다. 전반적으로 크레이터 형성에 의한 분리퇴적과는 다소 다르게 확산에 의한 퇴적 형태를 나타내고 있다. 전반적으로 주입 단계가 진행됨에 따라 각 침강완료 시점에서 튜브 연직 높이는 점점 증가하고 동시에 튜브 수평 폭은 주입과 동시에 감소하면서 튜브 수평 폭의 선단은 퇴적과 함께 상향 이동되고 있다.

## 6. 결론

본 연구는 준설토 주입 방법에 따른 튜브 내부의 퇴적분포가 튜브체의 형상화에 미치는 영향을 분석하기 위해 준설 지오텍스타일 튜브 시뮬레이터를 제작하여 단계별 준설토 주입-확산-퇴적-배수-주입실험을 실시하였다. 일련의 실험에 의해 주입단계별 튜브 내 준설토의 퇴적분포와 튜브체의 연직 및 수평 거동을 측정하여 분석한 주요 연구 결과는 다음과 같이 요약된다.

- (1) 기존 I-Type의 주입시 함수비(w)가 낮고(500%이하) 투입량이 증가하는 경우 튜브체의 퇴적 및 침식속도는 크게 변화(-0.03~0.28cm/min)하면서 크레이터(Crater)가 형성되며 지속적으로 주입되는 준설토를 분리퇴적시키고 있다. 또한 비교적 주입 함수비 큰 1,000%에서 퇴적속도는 0.05~0.28 cm/min으로 크레이터는 미소하게 형성되기 시작하며 전체적으로 퇴적층은 주입지점을 기준으로 하향 경사 분포를 나타내고 있다.
- (2) 개발된 역T-Type의 300% 주입 함수비에 대한 단계별 주입 시 시간 경과에 따른 튜브의 연직 높이(H)와 수평 폭(W), 직경( $D_0$ )을 기준으로 연직충진비( $H/D_0$ )는 0.54~0.64 정도이고, 수평변형비( $W/D_0$ )는 1.45~1.54로 균등한 확산 퇴적 튜브체를 형성하고 있다. 전반적으로 단계별 주입 시 침강완료 시점에서 퇴적고는 증가하고 동시에 수평변형량은 일정하거나 감소하면서 튜브체의 중심을 상향이동시키고 있다.
- (3) 주입 방법에 따른 튜브 내 준설토의 퇴적분포를 관찰한 결과 기존 I-Type 주입의 경우 주입분사압에 의해 크레이터(Crater)가 형성되고, 주입되는 토사는 수리학적으로 점핑되어 수평으로 부유 및 확산 형태로 분

리되적 되면서 비균질·비등방적인 튜브체를 형성하며, 개발된 역T-Type 주입은 크레이터가 사전에 제어되는 확산되적으로 균질 및 등방적인 튜브체 형성이 가능한 것으로 제안 되었다.

- (4) 본 연구는 주입방법에 따른 투명 비닐지오 튜브체 내부의 확산과 퇴적상태를 중심으로 연구되어 현장에서 적용되는 지오텍스타일의 강도 및 배수조건에 따라 퇴적상태가 다소 상이한 부분이 있을 수 있다.

## Acknowledgement

This research was supported by a grant (CODE:12TRPI-C064124-01) from Infrastructure Technology Advancement Research Program funded by Ministry of Land, Infrastructure and Transport.

## References

1. Chang, Y. C., Lee, S. E., Kim, S. W., Son, K. Y. (2012), "Behavior of Geotextile Tube for Erosion Control", *Journal of the Korean Geotechnical Society*, Vol.28, No.5, pp.5-12.
2. Cho, S.D (1998), "Applied techniques by New Geosynthetics", '98 Geosynthetics Seminar, pp.269-295.
3. Chu, J., Guo, W., Yan, S. W. (2011), "Geosynthetic Tubes and Geosynthetic Mats: Analyses and Applications", *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, SEAGS and AGSSEA, Vol.42, No.1, pp.56-65.
4. Heerten, G. (1980), "Long-Term experience with the use of synthetic filter fabrics in coastal engineering", *Coastal Structures '80*, ASCE, Vol.2, pp.2174-2193.
5. Kim, H. J., Jamin, J., Won, M. S., Sung, H. J., and Lee, J. B. (2013), "A Study on the Behaviour of Dredged Soil Stratified In a Transparent Geobag", The 2013 World Congress on Advances in Structural Engineering and Mechanics (ASEM13), jeju, Korea, pp.2980-2987.
6. Kim, H. J., Lee, M. S., Lee, Y. J., Kim, D. W. (2003), "A Study on the Sediment Volume Change and Two-dimensional Deposited Characteristics of Pumping-dredged Soil", *Journal of Korean Geotechnical Society*, Vol.19, No.4, pp.155-165.
7. Kim, H. J., Shim, M. B., Jeon, H. S., Lee, M. S., Paek, P. S., Choi, D. I. (2006), "A Study on the Property of Dredging Soils Stratified by Two dimensional Segregating Sedimentation", *KGS Fall Conference 2006*, pp.481-489.
8. Kim, H. J., Sung, H. J. (2013), "A Study on the Influencing Factor for the Decision of the Embankment Construction Method using Geotextile tube Filled with Dredged soil", *Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, Vol.14, No.10, pp.5230-5236.
9. Koerner, R. M., Hwu, B. L., Wayne, M. L. (1987), "Soft soil stabilization designs using geosynthetics", *Journal of Geotextiles and Geomembranes* 6, pp.33-52.
10. Leshchinsky, B., Leshchinsky, O., Ling, H. I., Gilbert, P. A. (1996), "Geosynthetic Tubes for Confining Pressurized Slurry : Some Design Aspects", *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE, Vol.122, No.8, pp.682-690.
11. Liu, G. S., Silverster, R. (1977), "Sand Sausages for Beach Defence Work", *6th Australasian Hydraulics and Fluid Mechanics Conference*, Adelaide, Australia, pp.340-343.
12. Oh, Y. I. (2004), "The Research trends of Geotextile tubes", *Korean Geosynthetics Society*, Vol.3, No.2, pp.24-29.
13. Shin, E. C., Oh, Y. I. (2002), "Behavior and Shape Variation of Geotextile Tube by Pilot Scale Field Tests", *Korean Society of Civil Engineers*, KSCE, Vol.22, No.6, pp.661-671.
14. Shin, E. C., Jang, W. L., Kim, S. H., Oh, Y. I. (2008), "Dewatering of dredged sludge using geotextile tube", *J. Korean Geosynthetics Society* Vol.7, No.1 March. 2008 pp.23-29.
15. Stephenson, R. W. (1982), "A Study of soil-filled synthetic fabric "Pillows" for erosion protection", 2nd Inter. conf. on Geotextiles, Las Vegas, U.S.A.
16. 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.