

지오텍스타일 튜브를 활용한 준설오니 탈수처리에 관한 연구

Dewatering of dredged sludge using geotextile tube

신 은 철^{1*} Shin, Eun-Chul 장 우 램² Jang, Woo-Lam
김 성 환³ Kim, Sung-Hwan 오 영 인⁴ Oh, Young-In

ABSTRACT

Recently, dewatering process method of high water content materials that utilize geotextile has many applications in variety fields. It is method of dewatering to solid step through self-weight consolidation process after pour sludge using filtering efficiency and dewatering efficiency. Analyzed application of domestic manufactured geotextile tube that can examine physical characteristics of geotextile tube and filling soil and achieve filtering efficiency and dewatering efficiency. Based on the various laboratory and field test results mixing proportions of water and soil is about 6:4 at least. Polypropylene geotextile is more effective for drainage and dewatering function of geotextile tube application.

요 지

지오텍스타일을 활용한 탈수처리공법은 지오텍스타일의 최신 적용분야로, 여과, 배수기능을 이용하여 기 직조한 지오텍스타일 포대 내에 산업슬러지, 하수정수장 슬러지, 특히 유수지의 준설오니슬러지 등을 주입 후 자중압밀과정을 통하여 고형물단계까지 탈수처리 하는 공법이다. 본 연구에서는 폴리프로필렌과 폴리에스터 두 종류의 지오텍튜브(지오텍스타일)의 물리적 특성을 살펴보고, 채움재 토사의 물리적 특성에 따른 탈수 효율과, 여과 및 배수기능을 원활히 수행할 수 있는 국산 고분자 토목섬유 적용성을 분석하였다. 실내시험은 지오텍스타일과 채움 토사간의 복합적 투수 특성을 규명하기 위한 실험을 수행하였다. 현장 시험은 세립질(ML-OL) 토사의 채움 시 시간에 따른 유효높이 변화를 측정하여 적절한 슬러리 비율을 도출하였다. 각종 실내 및 현장시험결과, 세립질(ML-OL) 토사의 경우 물과 토사의 혼합비율은 최소한 6:4 이상이 되어야 하며, 폴리프로필렌 재질의 지오텍스타일이 필터 및 배수기능이 우수하며, 탈수처리 공법에 더 효과적인 것으로 나타났다.

Keywords : Dewatering, Dredged sludge, Geotextile tube, Filtering efficiency, Dewatering efficiency

1. 서 론

현재 우리나라는 연간 약 3,000만 톤의 슬러지가 발생되고 있으며 슬러지의 발생량은 지속적으로 증가하는 추세이다. 가동되고 있는 하수처리장이 2000년도 기준으로 172개이며, 인구대비 하수도 보급률은 70.5%이다. 연간 15,771천 톤의 하수를 처리하고 연간 174만 톤의 하수슬러지가 발생되고 있는데, 연차별 계획에 따라 우리나라 전

역에 하수처리장이 설치되어 하수보급률이 높아짐에 따라 하수슬러지의 발생량은 더욱 증가하여 2006년에는 약 300만 톤/년 발생되고 있다. 이렇게 발생하는 슬러지의 처리비용은 대개 하수 전체 처리비용의 25~50% 정도 차지하고 있는 것으로 추정되어 슬러지 처리과정 중 탈수는 매우 중요한 과정이라 할 수 있다. 그러므로 슬러지의 효과적인 처리를 위해서는 슬러지를 탈수시켜 수분을 감소시키는 것이 우선적으로 고려되어야 한다. 특히, 인천연안에는

1* 정희원, 인천대학교 토목환경시스템공학과 교수 (Member, Professor, Civil & Environmental System Eng., University of Incheon, E-mail: ecshin@incheon.ac.kr)

2 학생회원, 인천대학교 토목환경시스템공학과 석사과정 (Member, MS Student, Civil & Environmental System Eng., University of Incheon)

3 정희원, 인천대학교 토목환경시스템공학과 박사과정 (Member, Ph.D.Student, Civil & Environmental System Eng., University of Incheon)

4 정희원, 한국농촌공사 농어촌연구원 농촌자연환경연구소 선임연구원 (Member, Senior Researcher, Research Group on Rural natural Environment, Rural Research Institute, KRC)

홍수방지과 원활한 하천수 방류를 목적으로 많은 우수지가 설치되어 있으나, 이들 우수지는 유역으로부터 유입되는 오염물질의 축적으로 수질악화가 심각한 상태에 있으며, 악취에 의한 민원도 증가하고 있는 실정이다. 또한 우수지를 통해 저류되었던 유량이 해안으로 방류되면서 인천연안의 해양수질에 악영향을 미치게 되어 해양수질개선에 큰 장애물이 되고 있다. 이러한 우수지의 환경문제를 해결하기 위하여 해마다 막대한 예산을 투자하여 각 지역의 우수지의 하상퇴적오니를 준설하고 있으나, 준설비용에 비하여 고풍수비의 준설오니의 탈수처리 비용이 과다하여 상대적으로 충분한 준설량을 확보하지 못하고 있는 실정이다. 현재 시행되고 있는 준설오니 탈수처리공정은 일차적으로 준설오니슬러지를 임시 저류할 수 있는 침전지를 조성→준설오니슬러지에 침강제 및 고화 처리제 등 고가의 화학약품을 투입하여 슬러리 상태로 자연저류→표면배수 및 자연탈수(고형물질 함유비 150%)→추가 토사 혼합하여 함유비를 폐기물 매립장 반입기준 약 80%까지 탈수→폐기물 매립장 반입의 과정을 거치고 있다. 따라서, 우수지 하상을 준설하는 비용의 두 배 이상의 예산이 탈수처리에 사용되고 있으며, 상대적으로 한정된 예산에서 준설량을 충분히 확보하지 못하고 있다. 본 연구에서 적용한 고분자 토목섬유를 활용한 슬러지 탈수처리공법은 토목섬유의 내구성, 높은 효율, 저비용, 노동력 절감, 품질관리의 용이성, 우수한 시공성을 바탕으로 현재 미국, 영국, 네덜란드, 독일, 일본 등에서 선행 연구를 진행하였으며, 전 세계적으로 상당한 성과를 얻은바 있어, 국내 설계 및 시공조건과 환경에 맞게 연구개발함으로써, 시간과 비용을 절감하면서 당면문제 해결에 도움을 줄 수 있을 것으로 판단된다.

2. 이론적 배경

2.1 침강속도에 따른 형태변화 분석방법

채움 작업의 시공 시에는 채움 비율에 따라 튜브 최대직경의 약 70~80%의 유효높이까지 채움 작업이 가능하며, 시공완료 후에는 배수와 압밀에 의하여 높이가 감소한다. 지오텍스타일 튜브의 내부채움재가 최적의 모래 혹은 실트질 모래일 경우에는 채움 작업과 동시에 침전이 발생하여 부피-질량관계를 통하여 평균적인 예측이 가능하지만, 채움 재료가 실트질 점토 또는 슬러지 형태일 경우에는 내부 채움 재료의 침강특성을 고려하여 지오텍스타일 튜브

의 형태변화 거동을 분석하여야 한다(Sprague, 2001). 세립질 토사를 함유한 슬러리는 중력작용 및 시간경과에 따라 바닥에 흙 층을 형성하면서 침하(settlement)한다. 이렇게 형성된 퇴적층은 임의시간 경과 후부터 다시 자중압밀의 과정을 거친다. Imai(1980)는 세립질 토사를 함유한 슬러리의 침강 및 자중압밀을 다음과 같이 세 가지 형태로 분류 및 정의하였다. 첫 번째는 분리된 입자의 자유침하(free settling) 형태로 혼합물의 고체농도가 아주 낮을 때 발생한다. 모든 입자들은 입자간에 상호작용 없이 자유로이 하강하며, 침하속도는 Stokes의 법칙에 의하여 결정된다. 두 번째 침강형태는 고체의 농도가 높아짐에 따라 발생하며 침강속도가 빠른 큰 입자와 상대적으로 침강속도가 느린 작은 입자가 상호간섭을 받으며 플록(Floc)을 형성하는 간섭침하(hindered settling)의 형태와 슬러리와 맑은 물 사이에 뚜렷한 계면이 형성되며, 입자크기에 따라 침강이 발생하는 영역침강(zone settling)형태가 있다. 마지막 세 번째 침하형태는 고체의 농도가 영역침강의 경우보다 더 높을 경우 발생하는 압밀침강(compression settling)이 있다. 그림 1은 계면변화와 시간변화에 따른 일반적인 침강특성곡선을 나타낸 것이다.

2.2 배수특성의 이론

지오텍스타일 튜브의 배수원리는 지오텍스타일의 필터 기능에서 비롯된다. 이 특성은 물은 배수시킴과 동시에, 흙 입자는 보유하는 기능을 말한다. 이러한 지오텍스타일의 특성으로 인해, 지오텍스타일은 모든 분야의 토목사업에서 재래식 필터를 대체하는 필터로서 사용되어져 왔다. 1972년 이후로 많은 연구자들은 지오텍스타일의 필터 디자인과 다양한 투과 기준을 연구해 왔고 일반적으로 세 가지의 중요한 배수기준이 사용되어져 왔다. 이러한 투수기준은 각각 흙 입자의 보유율, 투과성, 장기적인 클로징 현

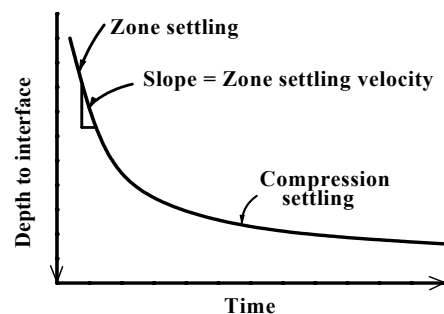


그림 1. 세립토의 침하곡선

상으로 대표될 수 있다. 여기서 보유율과 투과성은 지오텍스타일 튜브가 흙 입자의 유출을 최소화하며 물을 배출시키는 것을 말하고 클로킹 현상은 지오텍스타일 재료의 공극이 흙 입자로 막혀 물의 유동이 방해받는 현상을 말한다. 또한, 시공에서 파손에 대한 저항성이나 화학물질이나 자외선에 노출시의 저항성 또한 고려되어야 하나, 기본적으로 모든 필터 특성은 흙의 입도와 지오텍스타일 튜브의 세부적인 조직의 구조적 특성간의 상관관계에 기초를 두고 있다. 이러한 관계는 일반적으로 토립자와 필터 디자인과의 복합적인 특성으로부터 발생된다. 같은 이유로 지오텍스타일 튜브를 이용한 배수시에 흙 입자의 보유량, 투수성과 클로킹 현상에 대한 고려가 필수적으로 필요하다. 흙 입자를 보유하여 구조물을 형성하기 위한 튜브와 배수를 위한 튜브는 그 목적에서 중요한 차이점이 있다. 투수성은 반드시 관통수압이 튜브내에 슬러리의 침강이 국부적으로만 이루어지는 것을 방지하기 위하여 매우 중요한 요소이며 최대의 토사의 보유율은 토체의 안정성이 확보되는 것을 전제로 한다(Horace, 2002).

3. 시험재료 및 시험항목

3.1 지오텍스타일 튜브 재료

지오텍스타일 튜브는 일반적으로 각각의 현장조건과 토사의 종류에 따라 다소 차이가 있다. 지오텍스타일공법의 적용분야가 광범위하고 사용토사에 대한 특성이 현장조건에 따라 모두 다르기 때문에 지오텍스타일의 시방규정은 국내는 물론 선진외국에서도 정확한 규정을 정하고 있지 못

한 실정이다. 그러나, 각종 실내 및 현장실험과 실제 현장에서 성공적인 적용을 분석하여 지오텍스타일로 사용하는 지오텍스타일의 최소한의 특성치를 규정하고 있다. 표 1은 실제 적용된 국내 생산 제품인 G사의 지오텍스타일 형태와 물리적 성질을 나타낸 것이다.

3.2 지오텍스타일 투수시험

투수실험은 지오텍스타일(폴리프로필렌과 폴리에스터) 자체의 투수특성을 규명하기 위한 수직 투수실험(정수두법)과 슬러지 상태에 따른 지오텍스타일과 채움 토사간의 복합적 투수 특성을 규명하기 위한 실험을 수행하였다. 또한, 주문진 표준사와 준설오니 슬러지를 비교하여 사질토와 세립분의 점토 및 유기질토의 지오텍스타일 채움 시 투수특성과 보유성에 대한 연구를 수행하였다. 수직 투수실험은 폴리프로필렌과 폴리에스터 각각 5개의 시험편의 결과를 50mm 손실 수두에서의 유속 지수를 측정하였다. 그림 2는 수직투수장비의 실험 모습을 나타내고 있다. 또한 복합투수 실험은 표준사와 준설오니슬러지를 각각 함수비 200%, 300%, 400%의 두 가지 함수비와 투수 몰드에

표 1. 실제 적용된 지오텍스타일의 물리적 성질

물리적 성질	시험방법	단 위	PP	PET
무 계	D-5261	g/m ²	907,2	340,3
두 계	D-5199	mm	3,28	0,52
그랩 인장강도	D-4632, 4595	t/m	12	10
그랩 신률	D-4632, 4595	%	17	11
투수계수	D-4491	cm/sec	1,6*10 ⁻²	2,4*10 ⁻³
유효구멍크기	D-4751	US Sieve	587	100

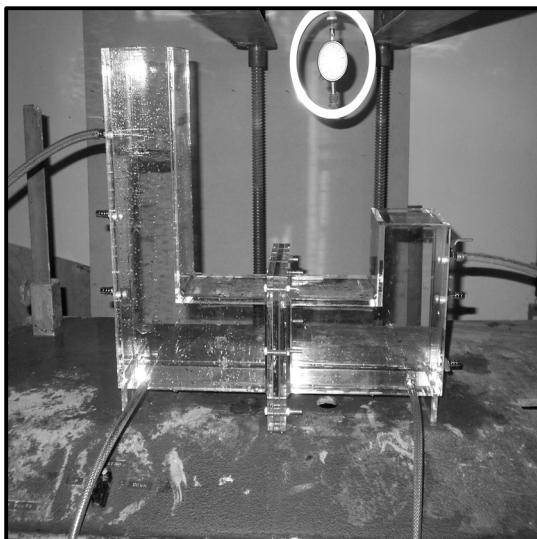


그림 2. 투수실험 장치

0.1kg/cm², 0.2kg/cm², 0.4kg/cm²의 압력을 가하여 투수특성을 비교하였다. 총 36회의 시험을 실시하였으며, 바닥면에는 두 종류의 지오텍스타일(폴리에스터와 폴리프로필렌)을 깔고 슬러리를 주입한 상태에서 시험을 실시하여 토사 종류에 따른 지오텍스타일과의 복합적인 투수특성을 비교하였다. 튜브의 투수특성은 물을 신속히 배수하는 배수효율과 채움토사를 효과적으로 보유하기 위한 보유효율의 두 가지 특성이 상호 복합적으로 나타나기 때문에 여과효과(filtering efficiency)와 배수효과(dewatering efficiency)의 계수를 도출해서 상호 비교하는 계수로 삼았다. 여과효과(filtering efficiency)와 배수효과(dewatering efficiency)의 계산식은 아래의 식 (1), (2)과 같다. 두 계수의 비교를 통해 지오텍스타일 튜브로의 사용성을 평가하였다. 투수시험은 유출구로 배출되는 누적 유량을 일정한 시간간격으로 측정해서 각 시험의 흐름률(flow rate)을 측정하였다.

$$FE = \frac{TS_{initial} - TSS_{final}}{TS_{initial}} \times 100(\%) \quad (1)$$

여기서, $TS_{initial}$ 은 초기의 단위부피 l 당 토사의 무게 mg , TSS_{final} 은 시험 후 투수물드를 통과한 슬러리의 단위부피 l 당 토사의 무게 mg 이다.

$$DE = \frac{FR_{test}}{FR_{raw}} \times 100(\%) \quad (2)$$

여기서, FR_{test} 는 시험결과 도출된 흐름율, FR_{raw} 는 물만 통과시킬 때의 흐름율이다.

3.3 현장시험시공

현장시험시공은 인천광역시 동구 현대제철 내 우수지 준설현장에서 실시하였으며 사용된 지오텍스타일은 양방향 12tonf/m의 폴리프로필렌 지오텍스타일과 MD방향 10



(a) 폴리프로필렌(PP) 지오텍스타일 튜브 채움



(b) 폴리에스터(PET) 지오텍스타일 튜브 채움

그림 3. 지오텍스타일 튜브 시공

tonf/m, CD방향 8tonf/m의 폴리에스터 지오텍스타일을 사용하여 재봉된 제품을 제작하여 시험에 적용하였다. 본 연구에 사용된 준설선은 세립분을 많이 함유한 실트질 점토 또는, 유기질 토사에 대한 적용성을 검증하기 위하여 펌프압력 및 속도 등의 변화를 주었다. 준설선은 세척 브러시가 부착된 스크류 로다를 통하여 중앙 부분에 토사가 모아지면 유압식 펌프를 작동시켜 강력한 흡입력으로 준설작업을 할 수 있다. 또한, 하상에 퇴적된 이물질들이 펌프에 유입되는 것을 방지 할 수 있게 펌프 흡입구에 회전 칼날을 부착하여 임펠라(Impeller)를 보호하면서 준설을 할 수 있고, 수심이 얇은 지역에서의 작업도 원활히 할 수 있도록 유압장치를 설치하여 무동력으로도 준설선의 이동이 자유롭도록 제작하였다. 또한, 펌프와 배송관의 막힘을 방지하기 위하여, 특별히 고안된 스크류 로다 부분에 Water Jet 노즐 및 브러시를 부착하여 수압 및 브러시에 의하여 임펠라 세척과 준설을 동시에 실시할 수 있도록 하였다. 사용된 채움 토사는 우수지 준설공사 현장에서 준설선을 이용하여 준설중인 준설 슬러리를 사용하였다. 튜브내로의 채움 작업은 준설펌프를 사용하였으며 양수펌프를 이용하여 우수지바닥에서 파이프 내에 진공압이 발생하고 이때의 흡입력에 의해 물과 혼합된 슬러리 상태의 오토티슬러리를 준설하여 채움 작업을 실시하였다. 현장시험 시공은 지반의 평탄작업, 튜브보호용 매트 포설, 단계적 튜브 채움 및 배수 단계로 실시하였다. 그림 3은 지오텍스타일 시공을 나타낸 것이다. 튜브는 총길이 15m, 유효높이 1.5m, 폭 4m이며 채움 완료 후 지오텍스타일의 높이 변화를 측정하였다(그림 4).

4. 시험결과

4.1 마찰특성 시험결과

지오텍스타일의 소재인 토목섬유(지오텍스타일)와 채움토



그림 4. 지오텍스타일 튜브 채움 후 높이 측정

사(주문진 표준사, 준설슬러지)와의 접촉마찰특성을 규명하기 위하여 대형직접전단시험을 실시하였다. 표 2는 대형직접전단시험으로부터 도출된 접촉마찰각을 나타낸 것이며, 그림 5와 그림 6은 시험에 사용된 토목섬유(폴리프로필렌, 폴리에스터)에 따른 표준사 및 준설슬러지와 각각 직접전단시험을 실시한 결과를 나타낸 것이다. 표 2와 그림 5와 6에서 보는 바와 같이 폴리에스터 보다 폴리프로필렌이 접촉마찰각이 크게 도출되었다. 또한, 세립질의 유기질 토사(ML or OL)인 준설 슬러지보다 표준사가 접촉마찰각이 크게 도출되었다. 토목섬유의 경우 같은 종류의 채움재를 사용하면 채움 흙의 종류에 상관없이 인장강도가 크며 표면 거칠기가 거친 폴리프로필렌이 폴리에스터보다 상대적으로 접촉마찰각이 큰 것으로 판단된다.

4.2 지오텍스타일 투수시험결과

수직투수(정수두법)에 의한 실험결과는 폴리프로필렌은 $1.6 \times 10^{-2} \text{ cm/sec}$, 폴리에스터는 $2.4 \times 10^{-3} \text{ cm/sec}$ 로 측정되었으며 50mm 손실 수두에서의 유속 값을 나타낸다. 측정 결과 폴리프로필렌이 폴리에스터 보다 6~7배 정도 높은 투수성을 보여주었으며 결과를 정리하면 표 3과 그림 7과 같다.

슬러지 상태에 따른 지오텍스타일과 채움 토사간의 복합적 투수특성 시험 결과는 필터효과(FE)는 폴리프로필렌과 폴리에스터 모두 90% 이상의 값을 나타냈다. 폴리프로필렌은 90.25~99.4%의 값을 나타냈으며, 폴리에스터는 97.19~100%의 값을 나타내서 토사의 보유력은 폴리에스터가 폴리프로필렌에 비해서 우수함을 알 수 있었다. 일반적으로 90% 이상의 보유율을 발휘하면 지오텍스타일 튜브의 사용에 문제가 없으므로 두 시료 모두 보유특성을 만족하는 것으로 판단하였다. DE의 결과를 분석하면 폴리프로필렌 사용시는 0.31~31.14%의 결과를 나타내었고, 폴리에스터는 0.28~16.27%의 결과를 나타내어 투수효율은

표 2. 접촉마찰특성실험 결과

제품종류	인장강도(t/m)	접촉마찰각(°)	
		준설슬러지	표준사
PP	12	19.29°	36.5°
PET	10	10.87	31.38°

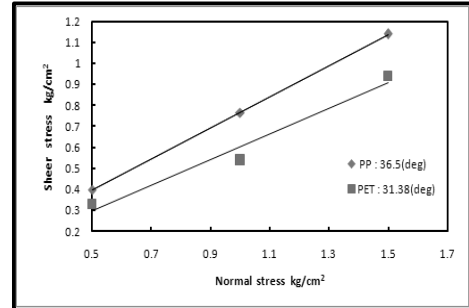


그림 5. 표준사와 섬유의 직접전단실험 결과

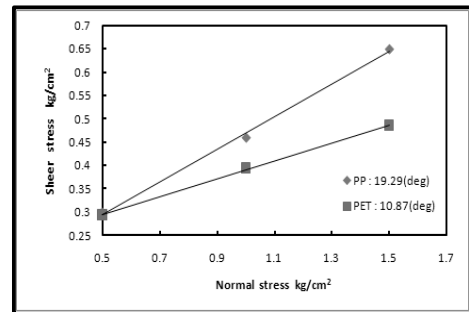


그림 6. 준설슬러지와 섬유의 직접전단실험 결과

표 3. 수직투수(정수두법)실험 결과

제품종류	투수계수(cm/s)
폴리프로필렌(PP)	1.6×10^{-2}
폴리에스터(PET)	2.4×10^{-3}

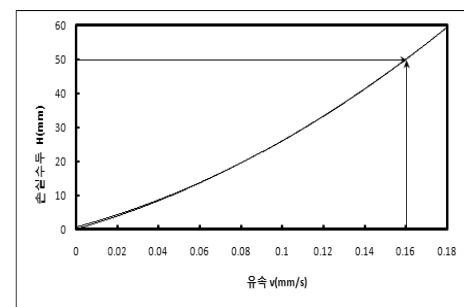


그림 7. 2차 회귀 곡선(폴리프로필렌)

사용토사에 대해 폴리프로필렌이 적게는 2배에서 5배까지의 높은 효율특성을 갖고 있음을 알 수 있었다. 배수효과(DE)와 필터효과(FE) 모두 내부 압력보다는 함수비에 더 큰 영향을 받음을 알 수 있었다. 토사의 보유율은 폴리에스터가 우수한 것으로 판명되었으나 폴리프로필렌도 90% 이상의 효율을 나타냈고 투수효율은 2~5배가 높음

표 4. 폴리프로필렌(PP) 튜브 채움 후 높이 변화

시간 (hour)	채움 완료	0.5	1	4	16	24	48	72	96	168	336	672
유효 높이 (cm)	134	129	123	99	70	49	40	31	24	19	17	16

표 5. 폴리에스터(PET) 튜브 채움 후 높이 변화

시간 (hour)	채움 완료	0.5	1	4	16	24	48	72	96	168	336	672
유효 높이 (cm)	132	126	118	94	68	46	35	28	22	18	15	14

을 시험을 통해 알 수 있었다. 실험에 사용된 표준사와 준설오니슬러지에서 탈수를 위한 지오텍스타일 튜브의 외경 재료로서 폴리프로필렌이 사용성이 우수함을 확인하였다.

4.3 현장시험시공결과

이 시험은 지오투브를 활용한 고함수비 옹니슬러지의 탈수 적용 가능성을 검증하기 위하여 인천광역시 동구 현대제철 내 인천교 우수지 준설현장에서 실시하였다. 시험 시공에 사용한 지오텍스타일은 국내 생산된 G사의 제품으로 인장강도는 폴리프로필렌 12t/m, 폴리에스터 10t/m의 제품을 사용하였으며, 지오투브를 활용한 고함수비 옹니슬러지의 탈수시 중요 인자인 펌핑압과, 슬러리 비율 등을 도출하기 위해 실험을 실시하였다. 현장 시험시공을 통해 몇 가지 문제점들이 발생하였는데 낮은 슬러리 비율, 그로 인한 유효높이, 유효입경에 따른 침강속도 등이다. 구체적으로 펌핑 압력이 낮으면 슬러리 비율도 낮아지고 배수가 끝나도 소요 유효높이에 도달하지 할 수 없었다. 또한 우수지 내 준설 슬러지는 유효입경이 작은 토사로 침강속도가 느리고 유효높이에 도달에도 영향을 주었다. 시공완료 직후부터 배수와 자중압밀이 진행되어, 약 24시간 까지 배수와 함께 급격한 자중압밀이 진행된 반면, 24시간 이후부터는 완만하게 감소하는 경향을 나타내었다. 표 4, 표 5와 그림 8은 시공 후 시간경과에 따른 지오투브의 유효높이 변화를 나타낸 것이다. 지오투브 내부 채움 작업 시 2시간 간격으로 채움과 배수를 반복하였으나, 펌핑으로 적절한 슬러리 비율을 맞추기 불가능하였으며, 낮은 슬러리 비율과 세립질의 유효입경에 따른 토사 입자의 침강장기화로 인하여 내부 채움재를 지오투브 유효높이의 70~80%까지 채울 수가 없었다. 그림 9에서 보는 바와 같이, 시공후 약 24 시간까지는 배수와 자중에 의한 압밀침

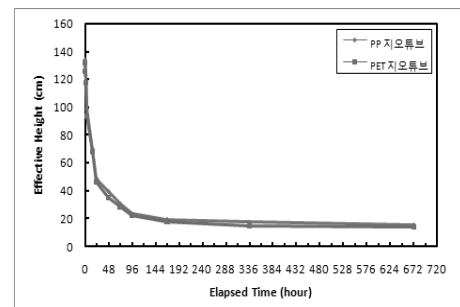


그림 8. 시간에 따른 지오투브 높이 변화

하가 발생하면서 유효높이가 급격히 감소하다가 168 시간 후부터는 감소속도가 둔화됨을 알 수 있었다. 현장 시험시공결과 슬러리 비율은 유효입경이 작은 본 실험에 사용된 세립질(ML-OL) 토사의 경우 6:4(물:슬러리) 이상이 되어야 할 것으로 판단된다.

5. 결론

본 연구에서는 기존의 해상 또는, 하상의 오염물질 처리의 비용, 시간, 환경에 미치는 영향 등 각종 효율을 높이기 위해 지오텍스타일 튜브를 활용하여 바다뿐 아니라 하천, 호수 등의 오염 퇴적물인 고함수비 옹니 슬러지 탈수처리의 적용성 여부와 옹니 슬러지 탈수에 효과적인 지오투브 개발을 위해 각종 실내실험과 대형 현장시험시공의 결과를 바탕으로 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 지오텍스타일 튜브의 재질, 인장강도, 연신량의 크기, 그리고 내부 채움재의 종류에 따라 채움 토사와의 내부 마찰각에 영향을 주었으며 인장강도와 연신량이 크고 내부 채움재의 입경이 크며, 비압축성이면 내부 마찰각 또한 크게 도출되었다.
- (2) 두 종류의 지오텍스타일과 슬러리의 특성에 따른 투

수 특성을 규명하기 위하여 투수시험을 실시하였다. 지오텍스타일 종류에 따른 투수 계수를 측정하였으며, 복합적인 투수 특성을 규명하기 위하여 함수비와 내부압력을 변화시키며 시험을 실시하였는데, 내부의 펌핑 압력 보다는 함수비가 투수에 큰 영향을 끼쳤다. 투수계수는 폴리프로필렌은 $1.6 \times 10^{-2} \text{cm/s}$, 폴리에스터는 $2.4 \times 10^{-3} \text{cm/s}$ 으로 측정되었으며, 투수계수와 실험에 사용된 토사에 대해서 폴리프로필렌 재질의 지오텍스타일이 투수성이 우수하였다. 또한, 두 종류의 지오텍스타일 모두 투수계수 $1 \times 10^{-4} \text{cm/s}$ 이상, 토사의 보유율 90% 이상을 나타내어 사용 시 문제가 없는 것으로 판명되었다.

- (3) 복합 투수특성 실험에서 지오투브 채움재로 표준사와 오니슬러지를 비교한 결과 지오텍스타일 튜브 재질에 상관없이 표준사가 탈수와 토사 보유율에서 효과적으로 측정되었다. 따라서, 준설 슬러지가 사질토인 경우 슬러지 비율과 지오텍스타일의 재질에 상관없이 현장 적용이 가능할 것으로 판단된다.
- (4) 소형 지오 백 제작을 통한 실내 모형 탈수실험은 폴리프로필렌이 폴리에스터 보다 슬러지 탈수 소요시간이 짧았으며, 초기 함수비 246.5% 일 때 폴리프로필렌은 약 12.5일, 폴리에스터는 약 14일이 소요되었으며, 초기 함수비 300%일 때 폴리프로필렌은 약 21일, 폴리에스터는 약 24일이 소요되었다. 이러한 결과를 바탕으로 실내 투수실험을 통한 지오텍스타일의 투수계수와 복합적 투수특성의 결과와 같이 탈수 능력은 폴리

프로필렌이 우수한 것으로 판단된다.

- (5) 현장 시험시공 시 2시간 간격으로 채움과 배수를 반복 하였으나, 지오투브 유효높이의 80% 까지 내부 채움재인 오니 슬러지를 채울 수 없었다. 그 원인은 준설 펌핑 시 지오투브 내부 채움 작업에 적합한 함수비에 도달할 수 없었던 점과, 세립질 토사(인천광역시 동구 인천교 유수지 준설 현장)의 침강속도에 있다고 사료되며, 별도의 처리 없이 채움 작업 수행 시에는 사질토가 적합할 것으로 판단된다. 세립분의 실트질 점토나 유기토인 경우, 슬러지 펌핑 후 폰드 내 혼합 과정을 거치거나 별도의 함수비 저하장치, 또는 석회나 고화제 투입을 통한 1차 탈수 과정을 통해 슬러리 비율(물:토사)을 6:4이상으로 처리한 후 지오투브의 채움과 탈수가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. Horace, K., Douglas, A., Xinghua, M. (2002), "Testing procedures to assess the viability of dewatering with geotextile tubes", *Geotestiles and Geomembranes*, Special Issue on Geosynthetic Containers, pp.289-303.
2. Imai, G. (1980), "Settling Behavior of Clay Suspension", *Soils and Foundation*, JSSMFE, Vol.20, No.2, pp.61-77.
3. Sptague, C. J. (2001), *Dredged Material-filled Geotextile Tubes : Design and Construction*, Geotechnical Fabrics Report, Industrial Fabrics Association International, ST Paul, MN, Vol.19, No.3, pp.46-51.

(논문접수일 2008. 2. 18, 심사완료일 2008. 3. 7)