

수질오염 방지를 위한 준설매립공법에 관한 연구
Dredging and Reclamation Technology
for Prevention of Water Pollution

신은철* · 오영인** · 이학주***

* 시립인천대학교 공과대학 토목환경시스템공학과 조교수

** 시립인천대학교 공과대학 토목환경시스템공학과 대학원 박사과정

*** 시립인천대학교 공과대학 토목환경시스템공학과 대학원 석사과정

ABSTRACT

Geotube is made of permeable but soil-tight geotextile, hydraulically filled with soil include dredged sand and mud, which has been successfully applied in hydraulic and coastal engineering projects. Geotube method is getting popular and being used a lot in many countries of the world because of the simplicity of the placement and construction, cost effectiveness and minimum impact on the environment, and enable to store & isolate contaminated materials as obtained by harbor dredging. Laboratory tests and field construction were performed to determine the design methodology and construction procedures. From the results of laboratory and field construction, the retention ratio of solid particle is a minimum 86%. The minimum permeability and the tensile strength of geotextile are $\alpha \times 10^{-4}$ cm/sec and 20t/m, respectively. Also, based on the environmental test results, it can be concluded that this method does meet the Korean EPA standards.

key word : Geotube, Geotextile, Retention Ratio, Environmental Dredging, Heavy Metal

I. 서론

지오투브는 해안이나 하천, 항만분야에서 암석이나 콘크리트 등에 의한 강성구조물을 축조하는 대신 모래주머니와 같은 지오텍스타일 포대에 토사를 넣어, 호안제방이나 방파제를 축조하는 공법이다. 선진외국에서는 시공의 용이성, 경제성 특히, 환경에 미치는 영향을 최소화할 수 있는 장점으로 광범위한 분야에서 사용량이 증가하고 있다. 지오투브공법의 적용은 크게 과도나 폭풍으로 인한 해안이나 강변제방 보호 및 비상복구작업, 해안생태계를 보호하는 제방건설, 항구외곽의 방파제건설 등 구조물을 축조하는 경우와 하상이나 항구주변 해저의 오염토사를 준설하여 지오투브에 넣어 매립하는 환경준설매립의 경우로 크게 분류할 수 있다. 따라서 해안매립공사가 활발하며, 항구주변의 오염이 심각해지고 있는 국내 현실을 고려할 때, 국내실정에 적합한 지오투브의 설계와 시공방안을 제시되어야 하며, 국내 환경기준에 적용이 가능한지에 대하여 환경적 영향 분석을 수행하여야 한다. 본 연구에서는 각종 실내시험과 현장시험시공을 통하여, 국내기술과 국내제품을 이용한 지오투브공법의 실용화 방안에 대한 연구와 오염물질을 준설하였을 경우, 장·단기적 환경

적 영향 분석을 위하여 자중압밀에 의한 Filtration 시험과 오염물질 확산시험을 실시하였다.

II. 사용재료의 특성

2.1 지오텍스타일

지오투브공법을 위한 지오텍스타일은 현장조건과 토사에 따라 많은 선택의 차이가 있으나, 미공병단에서는 지오투브에 사용되는 지오텍스타일 특성치에 대한 최소한의 시방규정을 제시하였다. 표 2.1은 미공병단에서 제시한 최소한의 시방사항과 시방조건에 유사한 국내 지오텍스타일의 특성값을 나타낸 것이다.

표 2.1 지오텍스타일의 특성치 분석

물리적 성질	시험방법	단위	미공병단 시방규정 (최소값)	K사 제품		H사 제품	
				K-1	K-2	H-1	H-2
무게	ASTM D-5261	g/m ²	-	600	700	600	700
그레브 인장강도	ASTM D-4632, 4595	lb	1000	1120	1400	1120	1400
그레브 신율	ASTM D-4632, 4595	%	10	10-50	10-50	10-30	10-30
투수계수	ASTM D-4491	cm/sec	EOS No.100	10 ⁻² ~10 ⁻⁴	10 ⁻² ~10 ⁻⁴	10 ⁻² ~10 ⁻⁴	10 ⁻³ ~10 ⁻⁴

2.2 지오투브 채움토사

이 연구에 사용된 지오투브 채움토사는 준설토, 준설퇴니 두가지 채움토사를 사용하였다. 유실을 측정하기 위한 모형시험은 송도신도시 준설퇴립현장의 준설토를 사용하였다. 또한 환경준설을 실시하였을 경우, 오염도변화 분석을 위하여, 인천 서구 생활하수 저류시설인 우수지의 준설퇴니를 사용하였다. 각각 채움토사의 기본물성시험 결과는 표 2.2에 나타낸 바와 같으며, 준설토와 우수지 오니의 입도분포곡선은 그림 2.1에 나타낸 바와 같다.

표 2.2 채움토사의 공학적 특성

항목	특성값	항목	특성값
	준설토		준설퇴니
유효입경, D ₁₀	0.09	비중, G _s	2.29
균등계수, C _u	4.67	액성한계, LL	39.00%
곡율계수, C _c	1.06	소성한계, PL	30.25%
최대건조밀도, γ _{dmax}	1.56g/cm ³	소성지수, PI	8.75%
최적함수비, W _{opt}	16.2%	200번체 통과량	21.94%
비중, G _s	2.65	유기물함량	15.33%
USCS	SP	USCS	OL

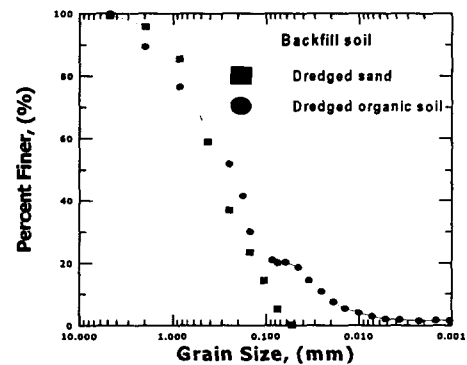


그림 2.1 채움토사의 입도분포곡선

III. 실내모형실험

3.1 지오투브의 유실을 측정시험

지오텍스타일은 토목섬유의 여러 기능 중, 필터 및 분리기능을 수행한다. 이 연구에서는 직접 소형 지오투브를 제작하여, 실내유실을 측정장치에 부착시킨 다음 실제현장조건과 유사하게 파도의 흐름과 같은 교번하중을 준 후 유실을 측정하였다. 유실 측정 실험조건은 내부채움토사로 준설토를 지오투브 부피의 80%로 채워 넣고, 유실을 실험장치에 설치한 후, 70rpm으로 10000Cycle의 교번하중을 주었다. 유실 측정의 1차적으로 유실 실험 전·후의 무게를 측정하여 결정하였으며, 2차적으로 실험 전후의 입도분포시험을 실시하여 준설토 입경에 따른 유실을 도출하였다.

3.2 오염도 확산시험

지오투브의 내부 채움재로 해안 및 항만 오염토사를 채워, 환경준설매립을 할 경우, 장·단기적 환경영향 및 오염도 변화를 측정하기 위하여 두 가지의 실험을 병행하여 실시하였다. 첫 번째 실험은 단기적인 투과수의 오염도 변화 분석으로, K사와 H사의 지오텍스타일을 폭 1m, 길이 2m 크기의 지오투브로 제작한 후, 생활하수 오니를 약 3.5m³을 투입하였다(그림 3.1참조). 오염도 측정항목은 초기 단위중량, SS, COD, TOC값을 측정하였으며, 투과채취 시간은 즉시, 15분, 20분, 30분, 1시간, 2시간, 3시간으로 약 1000ml씩 채취하였다. 두 번째 실험은 장기적인 오염도 확산시험으로, 그림 3.2에서 보는 바와 같이, 둘레 25cm, 길이 50cm의 소형 지오투브를 제작하여, 오염물질(생활하수 오니)을 채운 뒤, 약 6개월간의 측정을 위하여, 14개 소형수조에 설치하였다. 증류수는 약 20ℓ의 3차 증류수를 사용하였으며, 측정항목은 장기간의 변화에 민감하지 않은 중금속함량과 부유물질, COD변화를 측정하였다.



그림 3.1 자중압밀에 의한 환경실험



그림 3.2 오염도 확산분석용 소형 지오투브

3.3 Pilot scale 현장시험 시공

이 연구에서는 수질오염방지를 위한 환경적인 영향평가 부분과 함께 실제 지오투브공법의 현장 적용성과 시공성을 검토하여 위하여 Pilot scale의 현장시험을 실시하였다. 각종 영향인자를 변화시키며 시험시공을 실시하였다. 시험시공 현장은 송도 공유수면 매립공사 제 1공구 준설현장에서 실시하였다. 시험시공 개요도는 그림 3.3에서 보는 바와 같다. 현장시험시공에서의 측정항목은 내부 채움토사의 단위중량변화와 종방향·횡방향 신율을 측정하였다. 또한 그림 3.4에서 보는 바와 같이, 지오투브 하부에 4m 간격으로 토압계를 설치하여 배수상태와 자중압밀에 의한 하부토압 변화를 측정하였다. 시공 시 사용한 펌프는 펌핑압력으로 인한 지오투브의 파열을 고려하여 결정하였다.

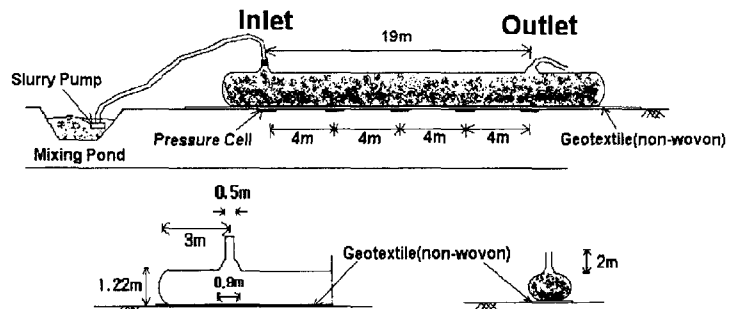


그림 3.3 지오투브 시험시공 개요도

IV. 실험결과 및 분석

4.1 유실율 시험

이 연구에서 유실율 시험은 지오투브를 해안 및 해저에 시공하였을 경우, 현장조건과 유사한 교번하중을 주고, 지오투브의 종류에 따른 채움토사의 유실량을 측정하였다. 또한, 실험 전·후에 입도분포시험을 실시하여 토사입자크기에 따른 유실율도 측정하였다. 표 4.1은 지오텍스타일 종류에 따른 유실율을 나타낸 것이다. 인장강도가 큰 제품이 유실율이 크게 측정되었다. 즉 섬유 연신량이 많기

때문에 섬유사이의 공극이 크을 알 수 있다.

표 4.1 지오텍스타일 종류에 따른 유실율

제품종류	인장강도	유실율(%)
		준설토
K사	20 t/m	5.05
	25 t/m	6.09
H사	20 t/m	4.17
	25 t/m	13.76

4.2 오염도 측정시험

환경 준설매립을 실시할 경우, 장·단기 오염도 변화를 측정하기 위하여, 자중압밀에 의한 단기 Filtration 시험과 지오투브 소형모형을 통한 장기 오염도변화를 도출하였다. 그림 4.1은 자중압밀에 의한 Filtration 시험결과에 따른 SS와 COD변화를 나타낸 것이며, 그림 4.2는 지오투브로부터 장기적으로 확산되어 나온 중금속함량의 변화를 나타낸 것이다.

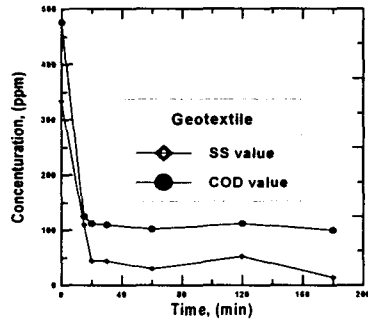


그림 4.1 단기오염도 변화

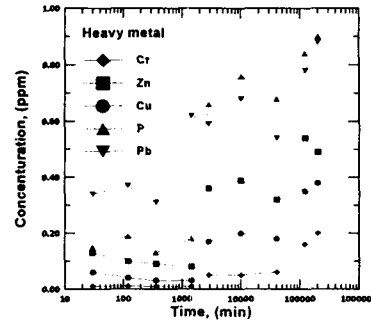


그림 4.2 중금속변화곡선

단기 오염도 변화는 그림 4.1에서 보는 바와 같이, 오투입 30분 후 급격히 감소하여 30분 이후의 부유물질 및 COD값에 큰 변화가 없는 것을 알 수 있다. 그러나, 그림 4.2에 나타난 바와 같이 장기적인 증류수의 오염도 변화를 살펴보면, 계속적으로 변화가 발생되고 있지만, 전체적으로 해양오염방지법의 중금속함량 기준을 만족하고 있다. 이러한 결과는 단기적으로 지오텍스타일의 섬유 사이에 클로킹현상 발생이전까지 급격한 변화를 보이지만, 장기적으로 클로킹으로 인하여 오염물질의 이동이 완만해짐을 의미한다. 상기의 시험결과에 따른 COD와 SS변화는 수질규제기준에 명시된 배출허용기준을 만족하여, 지오투브를 활용하여 환경준설매립을 실시할 경우, 오염도 확산 및 장기적 환경오염에 대하여 큰 문제가 없을 것으로 판단된다.

4.3 현장시험결과 분석

그림 4.3은 지오투브의 유효높이와 단위중량의 변화를 나타낸 것이다. 펌핑 종료 시점까지 약 1시간 40분 동안 튜브내의 유효높이는 계속 증가하였으며, 시공완료 직후부터 배수와 압밀이 진행되어, 약 24시간까지 배수와 함께 급격한 압밀이 진행되었으며, 24시간 이후부터 완만한 감소를 보였다. 단위중량의 변화는 슬러리 상태에서 초기의 급격한 배수로 약 3시간 이후부터 겔상태를 보였으며, 점진적으로 계속 증가하였다.

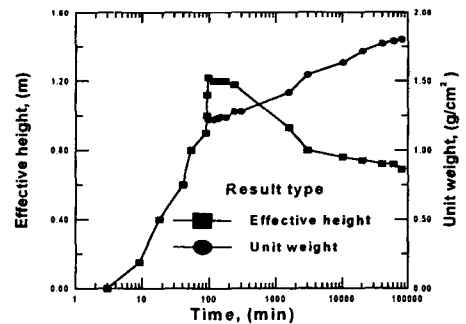


그림 4.3 유효높이 및 단위중량 변화

V. 결론

지오투브공법의 실용화와 수질오염방지 공법적용을 위한 상기의 시험결과를 바탕으로 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 지오투브공법의 국내 적용 시, 지오텍스타일의 투수계수는 $\alpha \times 10^4 \text{ cm/sec}$ 이상, 유실율이 10% 미만인 제품을 사용하여야 할 것으로 판단되며, 현장시험시공 결과, 슬러리 비율을 6:4(물:토사) 이상이 되어야 할 것으로 판단된다. 또한, 지오투브의 유효높이의 80% 이상 충전되었을 경우, 지오텍스타일의 붕합부위가 파손되어 펌핑압을 견디지 못함을 알 수 있었다
2. 수질오염 방지를 위하여 지오투브공법의 적용성을 검토하기 위한 장·단기 오염도 변화시험결과, 오염도

사의 투입 후 30분 이후부터 지오텍스타일의 클로킹 현상으로 인하여, 부유물질의 유출입은 급격히 감소하였으나, 장기적인 오염물질의 확산은 장시간 지속되지만, 환경부 배출허용기준을 모두 만족하여 환경적인 영향이 거의 없을 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 1998년 과학재단 핵심전문연구과제(981-1203-007-2)의 일환으로 연구되었으며, 당재단의 연구비 지원에 감사드립니다.

참고문헌

1. Charlton, F.G. (1984), *Geotextiles for bank protection in relation to causes of erosion, Flexible Armoured Revetments*, Thomas Telford Ltd., London, pp. 165~177.
2. Pilarczyk, K.W. (1997), "Application and Design Aspects of Geocontainers", *Geosynthetics '97*, pp 147~160.
3. Hausemann, M.T. (1990), *Engineering Principles of Ground Modification*, McGraw-Hill, pp. 573~578.