침식방지를 위한 토목섬유튜브의 거동 분석

Behavior of Geotextile Tube for Erosion Control

장 용 채¹ Chang, Yong-Chai

손 가 영² Son, Ka-Young

이 승 은³ Lee, Seung-Eun

김 상 진⁴ Kim, Sang-Jin

김 석 우⁵ Kim, Suk-Woo

Abstract

Geotextile tube method is the latest application process to construct a variety of civil structures such as river and coastal structures by using geotextile which is a high polymer synthetic fiber. In this paper, laboratory tests and field tests were conducted in order to identify the behavior, stability and application possibility of geotextile tube which prevents the erosion of coastal sand. As a result of large-scale direct shear test, which is one of laboratory tests, the increase in friction angle was shown as the relative density increased, and friction angle of sand/geotextile was larger than that of sand/sand. As a result of field test, the behavior and stability during construction and after construction were identified through measurement, and the effect of preventing erosion was confirmed.

요 지

토목섬유튜브공법은 고분자 합성섬유인 지오텍스타일을 활용하여 하천 및 해안구조물을 비롯하여 다양한 토목구조물을 축조할 수 있는 최신 적용공법이다. 본 논문에서는 해안가 모래의 침식을 방지하기 위해 토목섬유튜브의 거동과 안정성, 침식방지 활용 가능성을 파악하고자 실내시험과 현장시험을 실시하였다. 실내시험인 대형직접전단시험 결과에 의하면 상대밀도가 증대됨에 따라 마찰각이 증가함을 알 수 있었고, 모래/토목섬유의 마찰각이 모래/모래의 마찰각보다 더 크게 나타났다. 현장시험 결과에 의하면 계측을 통해 시공 중 및 시공 후의 거동과 안정성을 파악하였고 침식방지 효과를 확인하였다.

Keywords : Field test, Friction angle, Geotextile Tube, Large scale direct shear test

1. 서 론

토목섬유튜브공법은 고강도 토목섬유인 지오텍스타일을 이용하여 튜브형태의 긴 포대로 만들어 내부에 준설토사 및 기타 오염토사 등을 수리학적 방법으로 충전하

여 하천 및 해안구조물을 건설하는 공법이다. 본 공법은 기존의 토목공법보다 여러 가지 면에서 시공성이우수하고 경제적이며 환경 친화적인 해안구조물 축조공법이다. 토목섬유튜브공법은 1970년대 네덜란드의 Delft 수공학 연구소에서 초기 개념적 연구가 이루어 졌으며, 1980년대

1 정회원, 목포해양대학교 해양건설시스템공학과 교수 (Member, Prof., Dept. of Ocean-Plant Civil Eng., Mokpo National Maritime Univ., Tel: +82-61-240-7311, Fax: +82-61-240-7301, geo@mmu.ac.kr)

2 정회원, 목포해양대학교 해양건설시스템학과 석사 (Member, Graduate student Dept. of Ocean-Plant Civil Eng., Mokpo National Maritime Univ.)

3 정회원, 목포해양대학교 해양건설시스템공학과 박사 (Member, Graduate student Dept. of Ocean-Plant Civil Eng., Mokpo National Maritime Univ.)

4 정회원, 목포해양대학교 해양건설시스템공학과 석사과정 (Member, Graduate student Dept. of Ocean-Plant Civil Eng., Mokpo National Maritime Univ.)

5 비회원, 목포해양대학교 해양건설시스템공학과 석사과정 (Member, Graduate student Dept. of Ocean-Plant Civil Eng., Mokpo National Maritime Univ.)

* 본 논문에 대한 토의를 원하는 회원은 2012년 11월 30일까지 그 내용을 학회로 보내주시기 바랍니다. 저자의 검토 내용과 함께 논문집에 게재하여 드립니다.

초반 브라질에서 최초의 현장적용이 시도되었다. 국내에서는 한국지반공학회 학술발표회(신은철, 2000)에 소개되는 등, 일반적인 토목섬유의 활용 기술에 대한 기초적 연구가 진행된 바 있으며 강원도 강릉시 주문진의 영진항에서 해안토사 침식방지 및 토사퇴적유도를 위하여 이안제 형태의 토목섬유투브가 최초 시공되었다.

토목섬유투브공법은 고강도 토목섬유인 지오텍스타일을 이용하여 튜브형태의 긴 포대로 만들어 내부에 준설토사 및 기타 오염토사 등을 수리학적 방법으로 충전하여 하천 및 해안구조물을 건설하는 공법이다. 본 공법은 기존의 토목공법보다 여러 가지 면에서 시공성이 우수하고 경제적이며 환경 친화적인 해안구조물 축조공법이다.

토목섬유투브공법은 1970년대 네덜란드의 Delft 수공학 연구소에서 초기 개념적 연구가 이루어 졌으며, 1980년대 초반 브라질에서 최초의 현장적용이 시도되었다. 국내에서는 한국지반공학회 학술발표회(신은철, 2000)에 소개되는 등, 일반적인 토목섬유의 활용 기술에 대한 기초적 연구가 진행된 바 있으며 강원도 강릉시 주문진의 영진항에서 해안토사 침식방지 및 토사퇴적유도를 위하여 이안제 형태의 토목섬유투브가 최초 시공되었다. 본 연구에서는 서·남해안 해안가 모래의 침식 방지를 위하여 적용한 토목섬유투브의 거동과 활용성을 연구하는데 그 목적이 있다. 이를 위하여 토목섬유투브의 물리적·역학적 특성시험을 실시하였으며, 토목섬유와 채움모래의 상호 비교분석을 통하여 각각 재료의 특성을 파악하였다. 이와 같은 재료의 현장 적용성을 파악하기 위하여 전라남도 신안군의 해수욕장에서 해안가 침식이 진행 중인 현장을 택하여 실제 토목섬유투브를 설치하여 이들의 거동과 침식방지 효과를 분석하였다(김동주, 2009).

2. 시험재료

2.1 토목섬유

Table 1. Characteristic value of geosynthetics

Characteristic	Unit	Characteristic value	
weight	g/m ²	1,036	
thickness	mm	3.5	
wide tensile strength	KN/m	warp	183.4
		weft	188.4
tensile elongation	%	warp	9.3
		weft	16.5
permeability	cm/sec	5.8×10^{-1}	
EOS	mm	0.315

Photo 1. Cross section of geosynthetics

Table 2. Physical characteristic value of filled sand

filled sand	
Gs	2.66
Cu	2
Cg	0.971
USCS	SP
$\gamma_{d_{max}}$ (g/cm ³)	1.647
$\gamma_{d_{min}}$ (g/cm ³)	1.391

본 연구에 사용된 토목섬유투브는 국내에서 생산된 P.P.(Polypropylene)재질로 된 직포이며, 투수계수가 5.8×10^{-1} cm/sec 이상이고 인장강도가 경사 183.4KN/m, 위사 188.4KN/m 이상인 재료이며, 봉합선은 취약부로서 섬유재의 극한강도의 1/2정도의 강도를 가진다. 현장에 적용한 토목섬유의 특성 값은 Table 1과 같으며, 단면을 나타내면 Photo 1과 같다.

2.2 채움모래

본 연구에서 사용한 토목섬유투브의 채움토사는 현장시험에 사용된 해수욕장의 현지발생토인 모래를 사용하였다. 실내실험을 통해 구한 채움모래의 물리적 특성 값은 Table 2와 같다.

3. 실내시험 결과 및 분석

3.1 시험개요 및 재료특성

실내실험은 토목섬유와 채움모래의 공학적 특성 파

Photo 2. Large scale direct shear test machine

Table 3. Test condition of filled sand and geosynthetics

Test material	Relative Density
sand/sand	40%
	60%
	80%
sand/geosynthetics	40%
	60%
	80%

약을 위하여 물리적 시험인 체분석, 비중 등의 시험과 역학적 시험인 전단특성을 알아보기 위하여 대형직접 전단시험을 실시하였다. Photo 2는 본 연구에서 사용한 대형직접전단시험장치로 상자의 크기가 $30\text{cm} \times 30\text{cm} \times 20\text{cm}$ 이며, 전단속도 1mm/min 로 일정하게 하였으며, 수직하중은 0.5kg/cm^2 , 1.0kg/cm^2 , 1.5kg/cm^2 로 증가하면서 전단시험을 실시하였다. 재료의 역학적 시험은 채움 모래와 토목섬유의 마찰특성을 알아보기 위하여 Table 3과 같이 채움모래의 상대밀도를 40%, 60%, 80%로 변화시키면서 모래/모래, 모래/토목섬유간의 역학적 변화를 대형직접전단시험을 통하여 구득하였다(주재우 등, 2003).

3.2 채움모래와 토목섬유의 전단 특성

본 연구에서는 모래의 상대밀도 변화에 따른 재료간의 특성 파악을 위하여 전단상자에 상대밀도를 달리한 모래를 채운 뒤 모래/모래, 모래/토목섬유간의 직접전단 시험을 실시하였다. Fig. 1은 모래/모래를 전단하였을 때 결과를 나타낸 것으로 수평변위에 따른 전단강도 값을 나타낸 것이다. Fig. 1 (a)는 느슨한 상태인 모래의 상대밀도가 40%일 때 나타낸 것으로 수평변위가 증가함에 따라 전단응력은 최대전단응력을 지나면서 수렴

(a) Dr 40% of sand

(b) Dr 60% of sand

(c) Dr 80% of sand

Fig. 1. Lateral displacement-shear stress of sand/sand

하는 형태를 보이고 있다. 또한, 보통 상태인 모래의 상대밀도 60%와 조밀한 상태인 모래의 상대밀도 80%일 때 수평변위에 따른 전단강도 값은 (b), (c)에 나타난 바와 같이 수평변위가 증가함에 따라 전단응력은 명확한 최대전단응력을 나타내고 이후 감소하는 형태를 보이고 있다. 수직하중이 클수록 더 큰 전단응력을 보이며, 수평변위 5mm에서 최대전단응력 값이 나타났다.

Fig. 2는 모래/토목섬유를 전단하였을 때 수평변위에 따른 전단강도 값을 나타낸 것이며, 시험은 강도값이 상대적으로 큰 위사방향을 택하였다. Fig. 2(a)는 느슨한 상태인 모래의 상대밀도가 40%일 때 나타낸 것이다. 수평변위가 증가함에 따라 전단응력은 모래/모래에서와

Fig. 2. Lateral displacement-shear stress of sand/geosynthetics

같이 최대전단응력을 지나면서 수렴하는 형태를 보이고 있다. 또한, 보통 상태인 상대밀도 60%와 조밀한 상태인 모래의 상대밀도 80%일 때 (b), (c)에 나타난 바와 같이 수평변위가 증가함에 따라 전단응력 역시 명확한 최대전단응력을 나타내고 이후 감소하는 형태를 보이고 있다. 여기에서도 수직하중이 클수록 전단응력은 더 큰 응력 값을 최대전단응력 값은 수평변위 10mm에서 나타났다.

Fig. 3은 각 실험에 대한 파괴포락선을 나타낸 것으로 검은 표기(Black) 기호는 모래/모래의 전단 시 상대밀도에 대한 접촉면의 마찰각을 비교한 것이다. 모래의 상대밀도가 40%일 경우 전단 마찰각이 26°, 60%일 경우

Fig. 3. Failure envelope of sand/sand and sand/geosynthetics

Table 4. Results of large scale direct shear test

Test material	Relative Density	Test result	
		c(kg/cm ²)	φ(°)
sand/sand	40%	0.0024	25.9
	60%	0.0084	32.9
	80%	0.0305	36.3
sand /geosynthetics	40%	0.0156	29.3
	60%	0.0419	34.4
	80%	0.0471	38.5

33°, 80%일 경우 36°로 나타났다. 상대밀도가 40%에서 60%로 증가함에 따라 전단 마찰각은 7°정도 증가하였고, 상대밀도가 60%에서 80%로 증가함에 따라 전단 마찰각은 3° 증가한 것을 볼 수 있었다. 상대밀도가 40%에서 60%로 증가할 때 마찰각이 60%에서 80%로 증가할 때보다 더 크게 변화하는 것을 볼 수 있었다. 이는 상대밀도가 작은 경우 입자간의 여유가 크기 때문에 조밀한 경우보다 전단에 따른 강도변화가 큰 것으로 생각한다. 한편, 비어있는 표기(Blank) 그래프는 모래/토목섬유의 상대밀도에 대한 접촉면의 마찰각을 비교한 것이다. 전단 마찰각이 모래의 상대밀도 40%일 경우 29°, 60%일 경우 34°, 80%일 경우 38°로 나타났다. 모래의 상대밀도가 40%에서 60%로 증가할 때 전단 마찰각은 5°정도 증가하였고, 모래의 상대밀도가 60%에서 80% 증가함에 따라 전단 마찰각은 4°정도 증가하는 것을 볼 수 있었다.

본 그래프를 분석해 보면 전단마찰각은 모래/모래보다 모래/토목섬유의 경우에 있어 모래의 상대밀도가 40%일 경우 3°, 60%일 경우 1°, 80%일 경우 2°정도 더 크게 나타났다. 모래/모래와 모래/토목섬유의 전단 마찰각은 상대밀도가 40%일 경우 가장 큰 차이를 보였으며, Table 4는 이와 같은 대형직접전단시험의 결과를 나타낸 것이다.

4. 현장시험시공 결과 및 분석

4.1 시험개요 및 계측항목

현장시험시공은 전라남도 신안군 증도면 우전해수욕장에서 실시하였다. 모래언덕지역은 송림 숲으로 형성되어 있으며, 해안과 모래언덕지역 사이의 $60^{\circ} \sim 80^{\circ}$ 경사를 이루고 있다. 해수욕장 해변은 전체적으로 심각한 해안침식과 해안모래 유실로 해안의 모래언덕을 훼손시키고 있다. 모래언덕지역은 송림 숲으로 이뤄져 있어 지속적으로 송림 숲이 훼손되어지고 있다. 이와 같은 모래언덕의 침식을 방지하기 위하여 토목섬유튜브를 설

Fig. 4. Cross section of geosynthetic tube

Fig. 5. Cross section of geosynthetic tube construction

Photo 3. Process of field construction

치하여 시공 중 및 시공 후 계측관리를 통하여 토목섬유튜브의 거동을 분석하였다. 계측항목은 토압, 침하, 경사도 및 침식깊이를 측정하여 비교분석하였다(신은철 등, 2009). Fig. 4는 현장시험 개요도를 나타낸 것으로 둘레 8m, 길이 30m, 투입후 중앙부 폭 약 3.0m정도, 주입구 간격은 13.5m로 된 토목섬유튜브를 나타낸 것이다. Fig. 5는 토목섬유튜브의 설치 단면도를 나타낸 것으로, 송림쪽으로 해수욕장을 관찰할 수 있는 망루가 있으며, 망루아래에 침식을 방지하기 위하여 길이 30m, 3단을 쌓아 높이 4.5m의 토목섬유튜브를 설치하였다. 현장시험은 4단계로 수행되었으며, Photo 3은 각 단계에 따른 현장시험과정을 나타낸 것이다.

4.2 시험개요 및 계측항목

4.2.1 토압계 계측

토압계는 토목섬유튜브 하단부에 설치하여 시공 중 및 시공 후 토목섬유튜브의 거동을 분석하였다. 토압계의 위치는 주입구의 위치에 따라 설정하였으며, Fig. 6에서 보이는 바와 같이 설치하였다.

시공 중 토압의 변화는 Fig. 7에서 보이는 바와 같이, 각각 주입구에 채움작업이 진행됨에 따라 토목섬유튜브 하부의 응력변화와 튜브높이에 따른 응력계 계측결

Fig. 6. Installation site of earth pressure gauge

Fig. 7. Earth pressure of constructing

과를 나타낸 것이다. 계측결과에서 보는 바와 같이 위치에 따른 수직응력의 변화는 채움작업 초기에 주입구 측의 수직응력이 크게 나타났으나, 채움작업이 진행됨에 따라 펌핑압에 의하여 토사가 분산되어 채워지는 것을 알 수 있다. 토목섬유튜브에 채워진 준설토의 탈수과정에 따른 압력이 주입구 측에서 최대 20%정도 감소하였고, 주입구와 주입구 사이에서 최대 7%정도 감소하였다.

장기적인 안정성을 검토하기 위하여 토목섬유튜브 시공 후 약 1년 동안의 수직응력 계측 결과는 Fig. 8과 같다. 계측결과에 따르면 시공 후 시간이 지남에 따라 토압의 변화가 거의 없는 것으로 보아 토목섬유튜브가 안정됨을 알 수 있었다.

4.2.2 수준측량

수준측량은 토목섬유튜브 시공 완료 후 각 층의 침하를 관찰하고자 실시하였다. 수준측량 위치는 주입구 위치에 따라 설정하였으며, 토목섬유튜브 각 층 상부의 세 지점에서 측정하였다. Fig. 9는 수준측량 및 경사도 측정위치를 나타낸 것이고, Fig. 10은 토목섬유튜브 시공 후 약 1년 동안 수준측량 변위를 계측한 결과이다. 계측결과를 분석해 보면 지표변화는 지형적 특성으로 여름철엔 해안가에 모래가 쌓이고, 겨울철엔 해안가의 모래가 유실되어 토목섬유튜브의 모습은 시공 직후의 모습을 유지하고 있지만 약간의 침하가 일어난 것으로 보인다. 시공 후의 토목섬유의 본래 높이와 수준측량을 실시 후 토목섬유의 침하량을 보면 전체적인 해안가의 침식작용으로 인해 토목섬유 튜브가 침하한 만큼 해안가의 모래도 유실되었을 것으로 사료된다. 파도의 영향을 가장 많이 받은 1단은 토목섬유튜브 내부에 있는 토사입자의 재배열 영향도 있었을 것으로 판단된다.

Fig. 8. Earth pressure of constructed

4.2.3 경사도 측정

경사도 측정은 토목섬유튜브의 각 층간의 경사도를 파악하여 시공 완료 후 시간에 따른 토목섬유튜브의 형태변화를 관찰하고자 실시하였다. Photo 4와 Fig. 9는 경사도 측정전경과 위치도를 나타낸 것으로 이들의 변화결과는 그림 11과 같이 시간경과에 따라 경사도가 변화한 것을 볼 수 있었다. 경사도의 변화는 해안지역의 지형적 특성으로 인해 시공 후 해안가에 모래가 깎여 토목섬유튜브의 이동이 다소 있었던 것으로 판단된다. 초기에는 파도의 영향이 토목섬유튜브의 정면으로 받게 되지만 차츰 주변의 침식으로 인하여 파도의 영향이

Fig. 9. Installation site of leveling and gradient

Fig. 10. Result of leveling

Fig. 11. Result of leveling measurement

Photo 4. View of leveling measure

Fig. 12. Result of erosion length measurement

Photo 5. Measurement of erosion length

(a) before erosion

(b) after erosion

Photo 6. View of before and after erosion

토목섬유투브의 옆쪽으로 받게 되어 토목섬유투브가 바다 쪽으로 쏠리는 현상이 발생하여 경사도가 증가한 것으로 보인다.

4.2.4 침식길이 측정

침식길이 측정은 토목섬유투브의 설치 후 시간이 지남에 따라 침식길이를 측정하여 토목섬유투브의 침식 방지 효과를 실질적으로 확인하고자 하였다. Photo 5는 침식길이 측정방법을 나타낸 것이며, Fig. 12는 토목섬유투브 주변의 침식정도를 측정한 결과이다. 본 그래프는 시간이 지남에 따라 직뚱어 다리 측과 엘도라도 리조트 측의 침식길이를 측정한 값이며, 계측결과 엘도라도 리조트 측 침식이 직뚱어 다리 측보다 평균 1.22m만큼 더 침식이 발생하는 것을 알 수 있었다.

침식길이 측정 결과 토목섬유투브를 설치한 곳(Photo 6(a))과 설치하지 않은 곳(Photo 6(b))의 침식 전·후의 차이가 월등히 크게 발생하여, 토목섬유투브의 침식 방지 효과를 확인할 수 있었다.

5. 결 론

본 연구는 토목섬유투브의 모래 침식방지 효과를 알아보기 위하여 실내시험, 현장시험을 통하여 거동예측을 실시하였으며, 본 연구에서 사용한 토목섬유의 경우

실내의 시험을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 실내 대형직접전단시험을 수행한 결과 모래/모래전단 시 모래의 상대밀도가 40%인 경우 마찰각은 26°, 60%인 경우 33°, 80%인 경우 36°로 나타났다. 본 연구에서 사용한 토목섬유는 모래/토목섬유 전단 시 모래의 상대밀도가 40%일 때 마찰각은 29°, 60%일 때 34°, 80%일 때 38°로 각각 나타난 것으로 보아 모래의 상대밀도가 증가함에 따라 강도 값이 증가하며, 모래/토목섬유의 전단강도 값이 모래/모래의 전단강도 값보다 더 크다는 것을 알 수 있었다. 이상의 결과로 인하여 해수욕장의 모래위에 설치되어 있는 토목섬유튜브가 상호 마찰계수에 의하여 미끄러지지 않는다고 볼 수 있다.
- (2) 현장시험 토압계측 결과 각 단의 시공완료 직후 탈수과정에 의해서 토압이 5~20%정도 위치에 따라 변화하였다. 시공완료 후 약 1년간 계측 결과를 보면 토압이 거의 일정한 것으로 보아 시간이 지남에 따라 토목섬유튜브가 안정되었다고 볼 수 있다.
- (3) 현장시험 완료 후 수준측량과 경사도 측정 결과 토목섬유튜브의 침하는 평균 23~33cm 발생하였고, 시간 경과에 따라 경사도는 평균 28°~42°정도 변화하였다. 계속적인 주변침식과 파도에 의해 토목섬유튜브 안의 모래가 바다 쪽으로 쓸리는 현상으로 인하여 토목섬유튜브의 침하와 형태가 변화한

것으로 판단된다.

- (4) 현장시험 완료 후 침식길이 측정결과 토목섬유튜브를 설치한 곳은 침식이 발생되지 않은 반면 인접지역의 주변침식은 평균 6m정도 발생하였다. 즉, 토목섬유튜브를 설치하지 않은 주변과 해안에서 전반적으로 침식이 크게 발생하였다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 한국해양과학기술지원 호남 씨그랜트사업단 지원으로 일부 수행되었으며, 이에 깊은 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

1. 김동주 (2009), 전라남도 명품해수욕장 디자인을 위한 방안, *전남발전연구원*, pp.33-36, pp.70-71.
2. 신은철, 오영인 (2000), 지오투브공법의 실용화 방안에 관한 연구, 한국지반공학회 봄학술발표회 논문집, pp.504-511.
3. 신은철, 오영인 (2002), 실험형 현장시험을 통한 지오텍스타일 튜브의 형태변화 및 거동특성, *대한토목학회 논문집*, pp.661-671.
4. 윤부문, 안현호, 서병욱, 이석원 (2006), 흙과 토목섬유와의 접촉면 전단강도 산정에 관한 연구, *한국토목섬유학회 학술발표회 논문집*, pp.145-152.
5. 주재우, 박종범, 장용채 (2003), 전단시험방법에 따른 토목섬유/모래 접촉면에서의 마찰특성, *한국토목섬유학회 학술발표회 논문집*, pp.39-45.

(접수일자 2011. 9. 7, 심사완료일 2012. 4. 26)