

연속섬유보강토공법의 하천구역 적용사례에 관한 연구*

고정현¹⁾ · 허영진¹⁾ · 최재용²⁾

¹⁾ 일송환경복원(주) · ²⁾ 충남대학교 산림환경자원학과

Application of Continuous Fiber Soil Reinforcement System in Riparian Slopes*

Koh, Jeung-Hyun¹⁾, Hur, Young-Jin¹⁾ and Choi, Jaeyong²⁾

¹⁾ IL Song ERT Co. Ltd.,

²⁾ Chungnam National University.

ABSTRACT

The purpose of this study is to examine the ecologically suitable restoration characteristics in riparian slopes constructed by continuous fiber soil reinforced system (Geofiber system) which does not contain the concrete materials. The findings are as follows : (1) as the tested soil was not washed away by rainfalls and floods, Geofiber could replace the concrete wall and gravity stone net bag technique from the civil engineering structural point of view; (2) after one year of the construction, it was monitored that land cover ratio was 80-90%, which indirectly shows that vegetation is safely maintained; and (3) at the same time, 5-8 flora species were found in each test grid and more importantly dominant species have been moved from alien species to native herbaceous plants.

From the above findings, Geofiber system is recommendable to restore the riparian slopes in terms of stability and natural landscape points. However, a long term monitoring is needed considering flora

* 이 논문은 산림청 ‘산림과학기술개발사업(과제번호 : S211010L010330)’의 지원에 의하여 수행된 연구결과의 일부임을 밝힙니다.

First author : Koh, Jeung-Hyun, ILSONG ERT CO. Ltd.,
Tel : +82-31-898-4971, E-mail : koh1031@hanmail.net

Corresponding author : Choi, Jaeyong, Dept. of Environment & Forest Resources, Chungnam National University,
Daejeon 305-764, Korea,
Tel : +82-42-821-5750, E-mail : jaychoi@cnu.ac.kr

Received : 27 May, 2011. **Revised** : 16 June, 2011. **Accepted** : 20 June, 2011.

succession process in a given environment as well as suitability tests should be carried out through the comparative investigations in other environments.

Key Words : *Continuous fiber soil reinforced system, Soil-seed mixture spray, Soil hardness, Vegetation coverage.*

I. 서 론

지속가능한 발전과 생물다양성의 확보, 환경여건을 고려한 생태복원이 중요시 되는 최근의 시대적 요구에 부응하여, 비탈면 녹화분야에서는 국토해양부에 의해 ‘도로비탈면 녹화공사의 설계 및 시공 지침(2009)’이 발행되어 각종 도로건설공사에 의해 발생하는 비탈면의 자연경관과 생태계를 복원함에 있어서 환경친화적인 방법을 채택하려 하는 노력이 진행되고 있다. 이러한 환경친화적인 생태복원 방법은 도로비탈면뿐만 아니라 하천의 생태환경 복원에 있어서도 같은 맥락에서 진행될 필요가 있다.

1960년대 초부터 시작된 경제적 효율만을 중시한 산업화와 도시화는 필연적으로 하천의 훼손을 가져왔으며, 하천수의 오염과 함께 토지 이용제고와 치수만을 위해 도시하천을 인공화 시켰다. 자연적으로 구부러진 하도는 직선으로 만들고, 양안에는 높은 제방을 쌓고, 그 안의 하천수는 인공적으로 만든 저수로에 국한시키고, 나무, 돌 등 홍수 소통에 지장을 줄 수 있는 것들은 모두 제거하였다. 도시화에 따른 배수 기능 이외에 하천 기능은 불필요하다고 본 것이다. 이러한 사고에 의해 도시하천은 그야말로 암거나 단순 배수로로 전락하였다(우효섭, 2000a). 그 결과 하천(河川)뿐만 아니라 하천 지역의 수변환경까지 친환경적이지 못하고 극히 부자연스러운 경관으로 각종 폐해가 나타났다. 또 하천의 수질악화를 비롯한 생태환경의 질적 저하는 직접적으로 생물의 생존에 악영향을 미치게 되어 주변의 토양오염, 대기오염에 이르기까지 광범위한 환경악화를 야기하게 되었다(조강현, 2000). 그러나 1980년대

말부터 하천 환경의 보전과 개선의 필요성에 대한 공감대가 형성되기 시작하였으며, 이러한 변화는 당시 경제 개발의 진전과 국민 생활의 향상에 따라 이제는 주변을 돌아볼 필요가 있다는 환경 보전에 대한 사회적 분위기에 의한 것이었다. 특히 하천을 복개하여 소멸시키고 다른 용도로 쓰는 하천관리 관행에 대한 반성과 함께 훼손된 하천을 원 모습으로 되돌리는 하천복원에 대한 필요성이 대두되었다. 하천복원이란 이·치수 위주의 하천정비나 불량한 유역 관리에 의해 훼손된 하천의 생태 서식처를 되살리기 위해 하도와 하안을 원래의 자연하천에 가깝게 되돌리는 것이다. 나아가 하천복원은 하천의 생태적 가치와 하천 환경의 잠재적 생물다양성을 향상시키기 위해 환경적으로 하천을 보호하고, 지속 가능한 방법으로 자연상태에 가깝게 되돌리는 행위이다(Klingeman, 2000). 하천복원에서 하안의 복원을 강조하는 것은 하도 자체만의 복원으로는 사실상 하천의 지속가능한 생태계를 만들기 어려우며, 주변 경관 생태와 연결통로가 되는 회랑의 복원이 병행되어야 하기 때문이다(우효섭, 2000b). 하천의 역할은 치수나 이수는 물론이거니와 윤택한 수변공간과 다양한 생물의 서식공간으로서도 중요하다. 하천의 정비나 재해복구공사에 이용되는 하천의 재료에는 석재, 목재, 콘크리트, 콘크리트 블록이 많이 사용된다. 이러한 재료가 많이 사용되게 된 이유는 신속성, 내구성, 경제성과 함께 호안의 치수기능을 충족시키기 위함이다. 한편 다수 사용되는 콘크리트 블록은 인공적이고 단조로우며 획일적인 호안이 만들어지기 때문에 자연형의 생물다양성이 확보된 호안으로는 부적절한 소재이다. 본래 윤택한 수변공간에는 식물이 무성하

고 생물이 서식 가능한 상태를 창조함과 동시에 호안으로서의 기능을 만족시키는 것이 바람직하다(하천복원연구회, 2006).

자연형 하천조성은 하천의 구조형식을 직강화된 단조로운 하천형상으로 하지 않고, 생태적으로는 하천구역에 식물이 생육해서 다양한 식물이 서식 가능한 재료를 사용하는 것이 바람직하다. 그렇게 함으로서 하천이 생물이 안전하고 설 수 있는 공간으로서 역할을 하며, 생태적으로 건전한 환경유지에 기여할 수 있는 것이다. 때문에 호안재료의 사용법을 연구하고 신재료의 활용을 도모하면서 설계·계획하는 것이 중요하다. 외국에서는 토양과 지반공학적인 보강토를 결합하여 토양침식을 방지하고 안정된 생태복원공법을 시공한 사례가 있으나 국내에서는 이러한 연구가 미진한 상태이다(Sotir et al, 2002). 본 논문에서는 하천구역에 콘크리트 재료를 사용하지 않고 하천의 원지반 토양환경과 유사한 사질토를 주재료로 사용하며 연속섬유를 혼합하여 축조하는 「연속섬유보강토」 공법으로 시공하여 생태복원을 시도한 사례를 바탕으로 하천의 생태적인 복원방안을 제시하는 데 주된 목적을 두었다.

II. 재료 및 방법

1. 연속섬유보강토공법의 개요

연속섬유보강토공법은 그림 1과 같이 노즐을 통하여 28°의 반복각도로 일정하게 분사되는 연속섬유와 고압수와 함께 뿜어 붙여지는 사질토와

의 혼합체로 연속섬유보강토를 축조하고, 그 상부에 녹화용 식생기반재를 습식으로 취부하여 식생복원을 도모하는 공법이다(그림 2). 이러한 시공과정을 통하여 연속섬유보강토 구조체는 식물생육에 필요한 유효토심을 제공하는 식생기반으로서 역할을 수행하며, 그 상부에 시공되는 녹화공은 파종공을 주체로 필요시에는 식재공을 병용하여 식생복원을 할 수 있다. 그리고 연속섬유보강토 구조체안에 식물생육에 필요한 대공극과 소공극을 적절히 갖고 있으며, 식물의 근계가 내부에 신장하는 것이 가능하다. 연속섬유보강토에 사용되는 사질토는 하천주변 토사를 활용할 수도 있어서 기존 하천본래의 생태적 환경을 지속적으로 유지할 수 있는 이점이 있다. 그리고 콘크리트 재료를 사용하지 않음에도 불구하고 설계유속은 3~7m/s이 나오며, 한계소류력은 21kg/m²인 하천호안에 적용이 가능한 토목적으로도 안정된 공법이다(Yamada et al., 2004; 日特建設株, 2001).

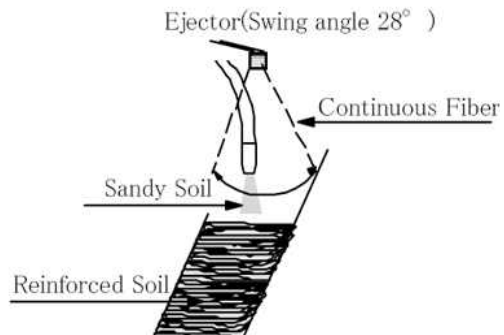


그림 1. 연속섬유보강토의 사질토와 섬유의 혼합방식 (Yamada et al., 2004).

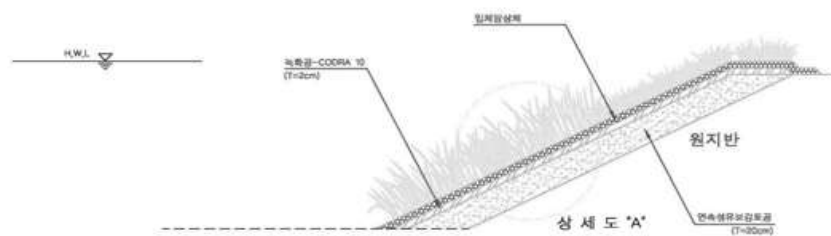


그림 2. 연속섬유보강토 표준단면도.

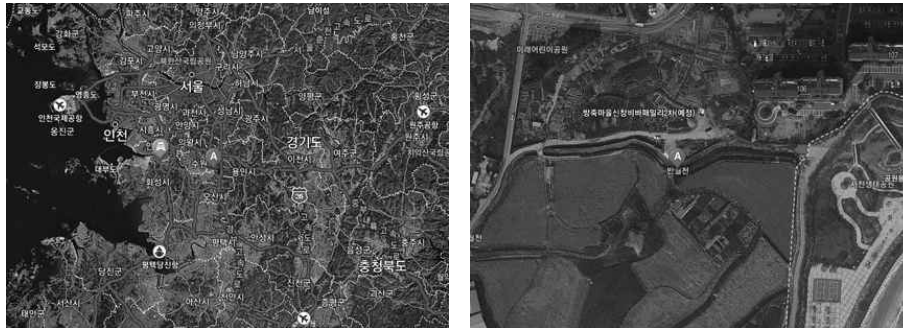


그림 3. 시공대상지.

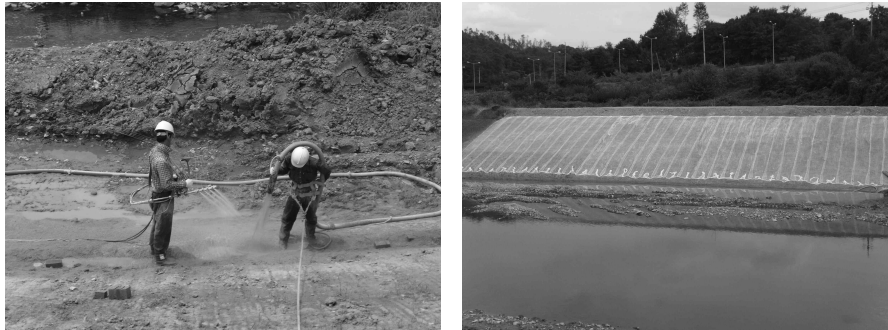


그림 4. 시공중의 상황(좌 : 연속섬유보강토 축조, 우 : 천연면네트 설치).

2. 시공방법

1) 시공유형 및 시험구의 조성

2010년 5월 11일에 경기도 화성에 소재한 반월천에 홍수에 의해 피해를 입어서 붕괴된 하천 호안에 중력식 돌망태공법을 대신하여 하천호안의 원지반 지형을 복구하고, 장마에 의한 피해에 대처할 수 있는 공법으로 선택되어 5,000m²의 규모로 연속섬유보강토(고정현 등, 2008)를 20cm 두께로 축조한 후, 그 상부에 천연면네트를 설치하고 상부에 종자가 들어있는 식생기반재를 2cm 두께로 습식으로 뽑아 붙이는 녹화공을 시공하였다. 식생기반재의 재료는 생육보조재, 황토, 습화이버, 임목화이버, 비료 등으로 구성되었고(고정현 등, 2010), 물성은 토양과 비슷하며 pH는 6.7로 측정되었다.

2) 공시초종 및 파종량

식생 복원을 위한 공법적용 대상지가 하천 호

표 1. 하천시공에 사용된 식물의 초종과 파종량 (단위 : m²).

구분	식물명	단위	목본군락형
			2T
재래 목본	자귀나무	g	3.9
	붉나무	g	1.8
	참싸리	g	7.6
	낭아초	g	6.5
재래 초본	별노랑이	g	9.3
	패랭이	g	5.7
	자운영	g	6.2
	수레국화	g	2.8
	끈끈이대나물	g	3.4
	기생초	g	2.4
	코스모스	g	2.6
	붉은 토끼풀	g	3.9
	외래 초본	톨웨스큐	g
켄터키블루글라스		g	3.2
페레니얼라이글라스		g	2.7
계	총 15 종	g	66

안임을 고려하여 주변의 식생과 어울릴 수 있도록 도로비탈면 녹화공사의 설계 및 시공 지침(국토해양부, 2009)에서 제시하는 ‘목본군락형’을 녹화목표로 하여 선정하였다. 하천호안 녹화공에 사용된 공시초종과 파종량은 표 1에 나타내었다.

3. 조사분석 방법

1) 토양의 입지 특성조사

비탈면의 토양인자 중에서는 ‘도로비탈면 녹화공사의 설계 및 시공지침(국토해양부, 2009)’에서 정하는 조사항목인 토양경도, 토양산도와 토양습도를 측정하였다. 토양경도(mm)는 토양경도계(Soil hardness tester, yamanaka 식), 토양산도(pH)와 토양습도(%)는 토양산습도계(E. M. System Soil Tester, DEMETRA 식)를 이용하여 측정하였고, 각 실험구별로 각 5회씩 측정한 후 산술 평균치를 사용하였다.

2) 식생조사

식생조사는 조사대상 비탈면에서 1.0m×1.0m 규격의 방형구를 상단, 중단, 하단으로 배치하여 3개씩 총 18개소를 설치하였으며, 각 실험에 이용한 녹화 식물의 출현종 및 생장량은 시공 후 1년이 경과한 시점인 2011년 5월 11일에 조사하였다. 측정은 각 식물의 출현종과 피복율을 조사하였다. 출현종은 초본과 목본의 도입종과 주변으로부터의 침입종을 조사하였으며, 피복율은 각 실험구를 사진 촬영한 후 실험실에서 모눈종이에 비추어 면적을 환산하여 계산하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 토양의 물리화학적 특성

연속섬유보강토 기반위에 시공된 식생기반재의 표면경도를 시공직후 와 시공후 1년이 경과한 시점에서 측정한 결과는 표 2와 같다. 두 차례의 조사결과, 16~22mm의 범위(평균18.5mm)를 나타내어 국토해양부의 지침에서 제시하는 식물의 근계성장에 적당한 경도값인 18~23mm의 범위에 부합되고 있는 것으로 조사되었다.

두 시점간의 수치를 비교하였을 때 토양의 pH는 변화가 거의 없었으며, 토양습도는 시공 직후와 1년이 경과한 시점의 측정값의 차이가 크게 나타났으나, 1년경과 시점이 비가 내린 후의 측정값으로 높게 나타난 것으로 판단된다. 식생기반재의 습도는 비교적 높게 조사되어 파종된 식물종자가 발아 생육하는데 적절한 수분을 공급할 수 있는 양호한 값을 나타내는 것으로 분석되었다.

2. 시공지의 식물 생육 특성

1) 피복율 분석

연속섬유보강토공법을 시공한 후 1년이 경과된 시점의 피복율을 조사한 결과, 그림 3에서 보는 바와 같이 시험구에 따라 큰 차이를 보이지 않으며 85±5%의 피복율을 나타내었다. 이는 식물이 생육할 수 있는 토심이 확보되고 수분함유율이 높게 측정된 결과를 반증하는 것이며, 식물생육조건이 좋았기 때문인 것으로 사료되며, 특

표 2. 식생기반재의 토양이화학성(분석항목의 좌측은 시공직후, 우측은 시공후 1년경과 시점의 수치).

구 분	pH		토양경도 (mm)		토양습도 (%)	
	시공직후	시공후 1년경과	시공직후	시공후 1년경과	시공직후	시공후 1년경과
비탈면 상단	6.5	6.8	17	22	53	100
비탈면 중단	6.9	6.8	20	18	50	100
비탈면 하단	6.7	7.0	21	16	46	100
평균	6.7	6.8	19	18	49	100



그림 5. 시공 1년 경과후의 식물생육상황(좌 : 방형구사진, 우 : 시공지 전경).

히 사질토를 기반으로 한 보강토에 연속섬유가 혼합되어 토양과 섬유가 뒤엉켜 높은 접착강도를 나타낼 수 있으며, 동시에 다양한 공극의 형성으로 토양구조가 우수하고 보수성이 뛰어나 식물생장에 효과적인 것이 원인으로 판단된다.

2) 출현종 분석

연속섬유보강토공법에 파종되어 발아되거나 식물과 주변으로부터의 침입종을 포함한 방형구 내 출현종 식생현황은 다음 표 3과 같다. 시공에 도입된 식물종은 재래목본(자귀나무, 붉나무, 참싸리, 낭아초)과 재래초본(벌노랑이, 패랭이, 자운영, 수레국화, 끈끈이대나물, 기생초, 코스모스, 붉은 토끼풀), 외래초본이었으나 실제 비탈면에서 출현한 종은 파종한 종중에서 5종으로 확인되었다. 재래목본중에서는 출현종을 확인할 수 없었으며, 재래 초본류의 발아 및 생장이 확인되었고, 대부분이 외래초본인 한지형 잔디가 우점하고 있었다. 일반적으로 도입종은 자생초화류에

비해 초기 발아율이 좋아 조성 초기에는 도입종에 의한 우점이 이루어지므로(김남춘, 1997), 하천호안에 적절하고 녹화목적에 따른 초종선정 및 혼합비율에 관한 연구가 지속적으로 뒤따라야 할 것으로 판단된다.

IV. 결 론

본 연구에서는 충북 진천군 백곡천 호안에 돌망태 공법으로 시공된 일부 구간의 식생녹화를 위하여 연속섬유보강토공법을 적용하고 녹화특성을 알아보려고 한 선행연구(정대영 등, 2008)를 바탕으로 하천호안의 원지반에 동일공법을 시공하여 생태복원의 효과를 검증하였다. 콘크리트 재료를 사용하지 않고 하천의 원지반 토양환경과 유사한 사질토를 주재료로 사용하며 연속섬유를 혼합하여 축조하고 녹화공을 시공하며 시공 후, 1년이 경과한 시점에서 따른 토양의 물리적 특성과 식생녹화 특성을 분석하였으며, 측정 결과는

표 3. 시공1년 경과후의 방형구내 식생현황.

	식물명	초장(cm)	초폭(cm)	개체수	비고
식생현황	벌노랑이	13±2	8±2	10±3	파종
	붉은토끼풀	10±2	10±3	7±4	
	외래초본	7±2	8±2	85±10	
	수레국화	7±1	6±1	1	
	끈끈이대나물	6	4	1	
	쭈	6	5	1	침입

다음과 같다. 1) 실험에 적용한 연속섬유보강토 기반은 강우 및 홍수에 의한 유실이 발견되지 않아 토목구조적으로는 콘크리트 주체의 옹벽이나 중력식 돌방태공법을 대체할 수 있을 것으로 판단된다. 2) 식생피복율의 경우 시공 후 1년이 경과한 시점에서 85±5%의 피복율을 보여 식생활착 및 생장이 안정적으로 유지되는 것으로 확인되었다. 3) 시공 후 1년이 경과한 시점의 출현종은 각 실험구별로 5~8종이 나타났으며, 외래초본류 우점에서 자생초본류에 이동이 이루어지는 것이 확인되었다. 이상의 결과를 종합해 보면 하천호안의 생태복원을 위한 방법으로 시공된 연속섬유보강토공법은 토목적인 안정성과 하천의 생태적 환경조성에 바람직한 방법이 될 수 있다고 하겠다. 그러나 식생의 변화는 천이과정을 고려하여 중장기적으로 모니터링하는 것이 필요하겠으며 앞으로 자연여건이 다른 시공장소에 대하여 추가적인 시공 및 조사를 통한 비교검토가 수반되어 본 공법의 적절성에 대한 검증이 이루어져야 할 것으로 판단된다.

연속섬유보강토공법은 식생환경을 배려한 공법으로 육지의 절·성토비탈면에의 적용은 물론이고 하천호안 등 수변환경에까지 실적이 증가하고 있다(日本全國防災協會, 2007). 하천호안 등의 수변비탈면에의 적용은 일차적으로 고수호안에 실시하고 상시 수리작용이 가해지는 저수호안에서는 사석쌓기 등과 같은 다른 방법과의 조합을 통해 하천환경을 안정적으로 유지하는 것이 바람직하다.

인 용 문 헌

- 고정현 · 허영진 · 이용구 · 김남춘. 2010. 임목폐기물 파쇄칩을 활용한 녹화기술의 비탈면 적용성에 관한 연구. 한국환경복원기술학회지 13(1) : 1-10.
- 국토해양부. 2009. 도로비탈면 녹화공사의 설계 및 시공 지침. 149pp.
- 김남춘. 1997. 사면녹화용 자생목본류의 파종적기에 관한 연구. 한국조경학회지 25(1) : 73-81.
- 정대영 · 김재환 · 심상렬. 2008. 하천 돌방태 호안에 적용된 토목섬유보강토공법의 녹화 특성. 한국환경복원녹화기술학회지 11(6) : 81-90
- 조강현. 2000. 하천 복원을 위한 하안식생의 구조와 기능에 대한 이해. 한국수자원학회지 33(3) : 29-40.
- 우효섭. 2000a. 수변 복원의 이해(I) -미국의 수변복원 가이드라인을 중심으로-. 대한토목학회지 48(8) : 66-71.
- 우효섭. 2000b. 수변 복원의 이해(II) -미국의 수변복원 가이드라인을 중심으로-. 대한토목학회지 48(8) : 54-60.
- 하천복원연구회(2006). 하천복원사례집, 227pp.
- 日本全國防災協會.2007. 「美しい山河を守る災害復旧基本方針における實施工法事例集」. 107pp.
- 日特建設(株). 2001. 「連續纖維補強土の耐流速性試驗技術研究開發報告書」. 56pp.
- Klingeman, P. C. 2000. River Restoration Design and Stability, Short Course 4, Proceedings of 2000 Joint Conference on Water and Water Resources Planning and Management ASCE. Minneapolis.
- Sotir, R. B., Christopher, B. R., and Cowland, J. W. 2002. Vegetated reinforced soil slopes. In : Gourc and Girard (eds), Geosynthetics-7thICG., pp.635-640
- Yamada, H., Horie, N., Okuzono, S., and Hazarika, H. 2004. The resistance characteristics of the
- 고정현 · 허영진 · 모리모토 유키히로 · 박종식. 2008. An Experimental Study Using the Soil Seed Bank for Ecological Restoration in a Constructed Area, Proceedings of the 8th Japan-Korea-France joint seminar on geoenvironmental Engineering, pp.93-99.

Geofiber method against water flow and its application for protection of waterside slope surfaces. Proceedings of the 4th Asian

symposium on Engineering Geology and the Environment Hong Kong, 325-329.