

## 하천 돌망태 호안에 적용된 토목섬유보강토공법의 녹화 특성

정대영<sup>1)</sup> · 김재환<sup>2)</sup> · 심상렬<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> 청주대학교 환경조경학과 · <sup>2)</sup> 청주대학교 대학원 환경조경학과

### A Study for Characteristics of Geofiber Reinforced Soil System Practiced on Stone Gabion Bank of River

**Jeong, Dae-Young<sup>1)</sup> · Kim, Jae-hwan<sup>2)</sup> and Shim, Sang-Ryul<sup>1)</sup>**

<sup>1)</sup> Dept. of Environmental Landscape Architecture, Cheongju University,

<sup>2)</sup> Graduate School, Cheongju University.

#### ABSTRACT

Recently, geofiber(polyester) reinforced soil was added on soil-seed mixture spray to control erosion and to improve vegetation growth on rocky slope sites. This research was conducted to compare vegetation effects and soil hardness on three types of soil-seed mixture spray on stone gabion river bank [A type : soil-seed mixture spray underlying 30cm thick sand with geofiber(geofiber reinforced soil system), B type : soil-seed mixture spray underlying 30cm thick sand without geofiber, C type : soil-seed mixture spray]. Evaluation were made concerning vegetation coverage, soil hardness and moisture content.

The results of this study showed that A type system was effective for the growth of vegetation and soil hardness when compared to B type and C type. A type and B type showed higher covering rate than C type on stone gabion river bank, and especially A type showed the highest covering rate. Soil hardness and water content were high on A type vegetation system compared to B type and C type.

We noted that high soil hardness and high moisture content with geofiber(geofiber reinforced soil system) were effective both to control erosion from water current impact and to be high coverage and species of vegetation on stone gabion river bank.

*Key Words : Soil-seed mixture spray, Soil hardness, Moisture content, Vegetation coverage.*

---

**Corresponding author** : Shim, Sang-Ryul, Dept. of Environmental Landscape Architecture, Cheongju University,  
Tel : +82-43-229-8512, E-mail : srshim@cju.ac.kr

**Received** : 10 November, 2008. **Accepted** : 12 December, 2008.

## I. 서론

도시하천은 도시의 발달과 함께 다양한 형태로 변화해 왔다. 예전에는 구불구불한 모습을 지닌 사행천이 대부분이었으나 이수와 치수의 정책을 우선시 하는 하천정비사업의 결과 직강화(直江化) 형태로 바뀌었다. 최근에는 하천에 대한 생태적 측면의 중요성이 부각되고, 다양한 생물이 서식하고 있는 중요한 생태공간임을 인식하여(홍선기 등, 2004; 문석기 등, 2005) 친환경적인 하천정비사업이 진행되고 있으며(최정권, 1995; 문석기 등, 2005), 하천의 경관 특성에 관한 연구도 수행된 바 있다(김대현, 1999; 정대영 등, 2007). 우리나라의 기후 특성상 강우가 집중되는 장마철에는 급격히 불어난 수위에 제방이 무너지고 하천이 범람하는 등의 사례가 빈번히 발생되어왔다(안수환, 1995; 이상호 등, 1996). 하천의 침식과 제방붕괴는 많은 재산손실을 초래하여 이에 대한 방지책으로 하천 비탈면에 인공제방을 설치하여 구조적인 안정성을 강화하고자 하였다. 하천 제방축조에 이용되는 재료는 돌, 콘크리트, 인터로킹블럭 등 주로 강도가 우수하여 침식과 붕괴에 강한 소재들이다(이상호 등, 1996; 우보명, 2004; 홍선기 등, 2004). 그러나 이와 같은 재료에 의해 하천 제방이 조성된 결과 식물이 활착되지 못하고, 콘크리트 구조물 등이 그대로 노출되는 등 경관상으로도 좋지 못한 결과를 초래하고 있다. 특히 식물이 활착되지 못하여 하천 생태계의 기본이 되는 식물군락이 파괴되고, 주변에서 발생한 오염물질이 하천에 그대로 흘러들어 하천 오염을 증가시키는 원인이 되기도 한다.

하천정비사업에 사용되는 돌망태 공법은 돌의 무거운 하중을 이용하여 하천의 침식을 막을 수 있으며, 돌쌓기 후의 공극이 매우 크기 때문에 수압에 의해 유실되거나 무너지는 경우가 적어 예로부터 하천의 치수사업에 있어 하천의 비탈면과 호안부에 많이 적용되어온 공법이다. 그러나 돌망태 쌓기 공법으로 하천 호안을 정비할 경우, 식

생이 쉽게 활착할 수 없는 문제점이 발생하게 된다. 식물이 생육하기 위해서는 최소 토심이 확보되어야 하지만, 돌망태 공법으로 처리한 구간은 토심을 확보할 수 없어 식물이 생육할 수 있는 공간 확보가 어렵기 때문이다. 최근에는 암반절개지 비탈 및 채석장장벽비탈과 같이 지반이 암반으로 되어진 곳에 전면적인 속성녹화를 목표로 시공하는 암반비탈녹화공법이 다양하게 소개되고 있다(우보명, 2004).

충청북도 진천군에 위치한 백곡천은 도시를 관통하여 흐르는 하천으로 하천정비사업을 시행한 바 있다. 그러나 일부구간에 돌망태 공법을 적용한 결과 식생이 활착되지 않아 생태적 안정성이 떨어지고 경관적으로도 매우 불량하여 돌망태 쌓기 공법을 보완하기 위한 식생녹화가 필요한 실정이었다. 따라서 본 연구에서는 돌망태 공법으로 처리된 구간의 식생녹화를 위해 토목섬유식생공법을 비롯한 호안사면 식생공법을 3가지 유형으로 구분하여 연구대상지에 직접 시공한 후, 토양의 물리적 특성과 식물의 녹화특성을 비교하여 가장 우수한 시공유형을 제시하고자 하였다

## II. 재료 및 방법

### 1. 시공방법

#### 1) 시공유형 및 시험구의 조성

본 연구에서는 하천정비사업의 일환으로 돌망태 쌓기 공법으로 조성된 충북 진천군 백곡천의 일부 구간에 대한 식생 회복과 토양의 침식방지를 위해 그림 1과 같이 돌망태 상부에 3가지 유형의 식생공을 시공한 후, 각 유형에 대한 토양의 물리성과 식물생육 특성을 분석하고자 하였다. A 유형은 사질토에 토목섬유를 혼입시켜 전단강도와 내침식성을 증가시킨 토목섬유보강토(고정현 등, 2008)를 30cm 두께로 축조한 상부에 종자가 들어있는 식생기반재를 2cm 두께로 뽑어 붙인 공법이며(토목섬유보강토공법 : Geofiber reinforced soil system), B유형은 보강토에 토목섬유

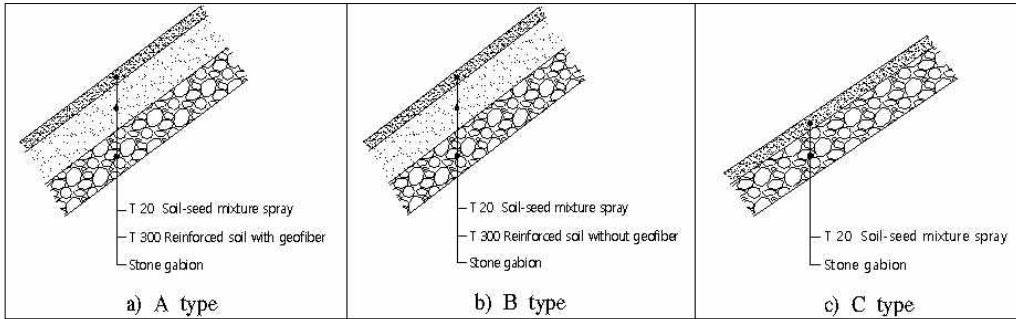


Figure 1. Three types of soil-seed mixture spray.

A type : soil-seed mixture spray underlying 30cm thick sand with geofiber(geofiber reinforced soil system),  
 B type : soil-seed mixture spray underlying 30cm thick sand without geofiber,  
 C type : soil-seed mixture spray.

를 넣지 않고 30cm 두께로 축조한 상부에 종자가 들어있는 식생기반재를 2cm 두께로 뽑어 붙인 공법이고, C유형은 보강토를 시공하지 않고 종자가 들어있는 식생기반재를 2cm 두께로 뽑어 붙인 공법이다. 식생기반재의 재료는 점토, 분비토, 돈분, 숯, 목재칩, 비료 등으로 구성되었고, 물성은 토양과 비슷하며 pH는 6.76으로 측정되었다. 시험구는 각각의 시공유형별로 27㎡씩 2007년 4월 2일 조성하였으며, 총 면적은 81㎡이었다.

2) 공시초종 및 파종량

식생 복원을 위한 공법적용 대상지가 하천 호안임을 고려하여 주변의 식생과 어울릴 수 있도록

자생초본과 한지형 잔디 위주로 선정하였다. 발생기대분수를 초본류의 경우 2,000본/㎡, 한지형 잔디는 4,000본/㎡으로 하여 파종량을 결정하였다. 파종량의 계산은 순도 100%, 보정율 0.81을 적용하였으며(문석기 등, 1998), 사용된 공시초종과 파종량은 표 1에 나타내었다.

2. 분석방법

토목섬유사용 여부에 따른 각 공법의 녹화특성을 알아보기 위해 토양의 물리적 특성을 분석하였다. 표면경도는 시험구 조성 후, 지반이 어느 정도 안정화되었다고 판단되는 2007년 5월 11일부터 약 1달 간격으로 산중식(山中式)경도계를

Table 1. Plant seeding amount of each soil-seed mixture spray used in this experiment.

Plant type	Scientific name	Korean name	G.R.(%) <sup>Z</sup>	N.S <sup>y</sup>	Seeding amount(g/㎡)
Native herbaceous plant	<i>Lotus corniculatus</i>	벌노랑이	78.7	920	0.85
	<i>Aster yomena</i>	쑥부쟁이	60.0	1588	0.67
	<i>Miscanthus sacchariflours</i>	물억새	5.3	925	12.59
	<i>Dianthus sinensis</i>	패랭이	88.7	747	0.93
Cool-season turfgrass	<i>Festuca arundinacea</i>	톨웨스큐	93.7	417	2.53
	<i>Poa pratensis</i>	켄터키 블루그래스	90.0	2109	1.56
	<i>Lolium perenne</i>	퍼레니얼 라이그래스	90.7	734	1.49

<sup>Z</sup> : Germination ratio.

<sup>y</sup> : Number of seed per 1g.

이용하여 7차례에 걸쳐 조사하였다. 토심경도는 Zijkelkamp사의 토심경도계(Penetrolgger, 모델 : STS-100kg-C2)를 이용하여 각 시공유형별로 5군데씩 측정하여 평균값을 구하였다. 각 공법의 수분 함유율은 Trase사의 토양수분측정기(Time Domain Reflectometry, 모델 : 6060ED6)를 이용하여 각 시공유형에 따라 2008년 7월 1일부터 3차례에 걸쳐 5군데씩 측정하고 평균값을 구하여 각각의 시공유형과 비교하였다. 측정에 사용된 센서의 길이는 12cm 것을 이용하였다.

시공유형에 따른 식생의 녹화특성을 비교하기 위한 지면피복율 조사는 2007년 5월 11일부터 2008년 8월 11일까지 3~4주 간격으로 8회 측정하였으며 또한, 각각의 시공유형에 따른 침입종을 조사하여 식생의 변화상을 시공유형별로 비교하였다. 식물생육조사는 2m×2m 규격의 식생조사구를 돌망태비탈면의 상단, 중단, 하단으로 배치하여 조사하였다.

모든 실험의 결과는 SAS system for window V9.1 (SAS instiute Inc, 2003)을 이용하여 검증하였다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 토양의 물리적 특성

##### 1) 토양의 표면경도

각 식생공법별 토양의 표면경도를 측정한 결

과는 표 2와 같다. ‘식생기반재+토목섬유보강토’로 시공한 A유형에서는 10.7mm~14.9mm의 범위를 나타내어 뿌리생장의 한계인 25mm 이하로 측정되어(안영희 역, 1997; 건설교통부, 2005) 근계의 발달에는 문제가 없을 것으로 판단된다. ‘식생기반재+보강토’로 시공된 B유형에서는 9.7mm~14.3mm의 범위로 A유형보다 더 낮아서 역시 뿌리의 생육이 원활할 것으로 보인다. 보강토가 사용되지 않고 식생기반재로만 시공된 C유형의 경우는 23.7mm~33.5mm의 범위로 높게 측정되어 근계의 발달의 한계인 25mm 이상을 초과하는 범위에 해당되어 식물생육을 저해할 것으로 판단된다. 이는 식생기반재의 두께가 2cm로 얇게 시공되어 식생활착이 원활하게 이루어지지 못하였고, 하층에 위치한 돌망태의 영향으로 실제 토양경도보다 훨씬 높게 측정된 결과라고 생각된다.

일본녹화공학회(1990)에서는 분사식뿌리기공법(種子吹付工法)의 적용에 있어 연암일 경우는 뽕기두께를 4~6cm로, 경암일 경우에는 7cm로 적용하여 시공하고 있다(우보명, 2004). 따라서 본 연구에서의 C유형과 같이 돌망태 상부에 보강토층이 없이 식생기반층을 2cm 두께로 시공한다면, 생육기반층이 얇아 파종된 식물이 발아되고 주변의 다른 종이 침입된다 하더라도 식물생육이 원활하지 않을 것이고, 돌망태 사이로 토양이 유실되어 생육기반층 자체가 유실될 가능성이

**Table 2.** Soil hardness affected by three types of soil-seed mixture spray(mm).

Soil-seed applying systems <sup>z</sup>	2007					2008	
	5/11	6/27	7/20	8/20	9/28	7/15	8/11
A type	10.7b <sup>y</sup>	13.4b	12.7b	13.7b	14.9b	14.9b	14.0b
B type	9.7b	13.0b	10.7b	11.2c	14.3b	14.1b	13.7b
C type	23.7a	33.5a	32.7a	29.1a	31.7a	24.3a	24.9a
LSD(0.05)	3.8	1.7	2.1	2.4	2.2	3.4	4.0

<sup>z</sup> A type : soil-seed mixture spray underlying 30cm thick sand with geofiber(geofiber reinforced soil system),

B type : soil-seed mixture spray underlying 30cm thick sand without geofiber, C type : soil-seed mixture spray.

<sup>y</sup> Mean values with the same letter within columns are not significantly different at  $p=0.05$  level by LSD-test.

**Table 3.** Soil penetration affected by three types of soil-seed mixture spray (MPa).

	2008년 7월 15일			2008년 8월 12일		
	A type	B type	C type	A type	B type	C type
1cm	0.99	0.51	0.40	0.24	0.20	0.17
4cm	2.19	1.93	0.59	1.05	0.82	*
8cm	*	1.98	*	*	0.88	*
12cm	*	1.55	*	*	0.88	*
16cm	*	1.55	*	*	0.88	*

\* : The depth of no longer enough to measure penetration.

A type : soil-seed mixture spray underlying 30cm thick sand with geofiber (geofiber reinforced soil system),

B type : soil-seed mixture spray underlying 30cm thick sand without geofiber,

C type : soil-seed mixture spray.

많을 것으로 판단된다.

### 2) 토양의 토심경도

시공유형별로 토심경도를 측정된 결과는 표 3에 나타난 바와 같다. 토목섬유보강토 공법으로 시공된 A 유형의 경우 토양의 깊이 1cm에서는 0.99 MPa, 4cm 깊이에서는 2.19 MPa로 다른 시공유형에 비하여 높게 측정되었으며, 4cm 이후로는 측정범위를 벗어났다. 이는 보강토속에 포함되어 있는 토목섬유와 토양이 서로 단단히 결합되어 토양경도 측정핀이 더 이상 관입되지 않았던 이유로 판단된다. Shim and Carrow(1997)의 연구를 살펴보면 토양 경작 처리 후 17개월이 경과한 다음의 토심경도를 측정된 결과 0~5cm 깊이에서 1.9~2.5 MPa로 측정되었으며, 버뮤다그래스의 생육이 우수한 것으로 측정되었다(Carrow and Shim, 1997). 따라서 토목섬유보강토 공법으로 시공된 A 유형의 토심경도가 2.19 MPa로 측정된 것으로 미루어 보아 식생의 생육도 원활하며, 토양의 안정성도 높을 것으로 판단된다.

토목섬유 없이 보강토만으로 시공된 B 유형의 토심경도는 깊이 16cm까지 측정할 수 있었으며 범위는 0.51~1.55 MPa로 나타났다. 즉, 토심경도가 토목섬유로 보강된 A 유형보다 낮아 물에 대한 내침식성이 약하다는 것을 보여주는 것으로

판단된다. ‘식생기반재’만으로 시공된 C 유형의 토심경도는 2008년 7월 15일에는 0.40~0.59MPa로 토양 4cm 깊이까지 측정되었는데 식생기반재의 두께를 2cm로 했지만, 측정핀이 돌망태 사이로 더 들어가 측정된 결과이다.

2008년 8월 12일에는 토심 1cm까지만 측정되었다. 이는 식생기반재의 두께를 2cm로 하여 시공한 결과, 일부 측정구간에서는 토양 측정핀이 하부에 있는 돌망태에 닿아 더 이상 관입되지 않은 상태였기 때문인 것으로 판단된다.

또한 2008년 8월 12일 토심 깊이가 1cm에서 측정된 것은 실험이 진행되는 동안 C 유형의 식생 피복율이 낮았으며, 식생의 뿌리가 돌망태에 닿아 생육이 원활하지 않았고 뿌리가 고사하여 식물생장이 저하되었기 때문인 것으로 판단된다. 또한 이와 같은 결과로 뿌리에 의한 토양의 결속이 약해져 강우에 의해 표면 침식이 발생되고 일부는 돌망태 밑으로 유실되었을 것으로 판단된다.

### 3) 토양의 수분 함유율

시공유형별로 토심경도를 측정된 결과는 표 4에 나타난 바와 같다. 토양수분은 식생기반재로만 시공된 C 유형에 비해 보강토를 혼합한 A 유형과 B 유형의 지반에서 높게 측정되었다. A 유형과 B 유형은 통계적인 유의차는 없었으나, 평균값에

**Table 4.** Moisture content affected by three types of soil-seed mixture spray(%).

soil-seed applying system <sup>z</sup>	2008		
	7/1	7/15	8/11
A type	6.1a <sup>y</sup>	2.2a	2.9a
B type	5.7a	0.9ab	2.0a
C type	0.3b	0.1b	0.1b
LSD(0.05)	1.4	1.9	1.6

<sup>z</sup>A type : soil-seed mixture spray underlying 30cm thick sand with geofiber(geofiber reinforced soil system), B type : soil-seed mixture spray underlying 30cm thick sand without geofiber, C type : soil-seed mixture spray.

<sup>y</sup>Mean values with the same letter within columns are not significantly different at  $p=0.05$  level by LSD- test.

서는 보강토에 연속장섬유를 혼합한 A유형이 약간 높았다. 7월 1일과 8월 11일의 경우는 비가 내린 후, 2일이 경과된 후의 측정값으로 A유형과 B유형은 통계적인 유의차이는 나타나지 않았으나, 평균값에서는 A유형의 수분함량이 약간 높았다. 7월 15일의 측정결과에서는 A유형과 C유형에서 차이를 보이며 수분함유율은 A유형이 가장 높았으며, B유형은 7월 1일 측정에 비하여 수분함유율이 많이 감소된 것을 알 수 있었다.

이와 같은 결과로 미루어 보아 호안 식물이 생육하기에 적정한 지반은 유효 토심이 확보된 A유형과 B유형이며, 그 중에서도 수분함량이 가장 높

은 A유형이 가장 적합한 시공방법으로 판단된다.

## 2. 시공유형에 따른 식물 생육 특성

### 1) 시공유형에 따른 지면 피복율

시공유형별로 지면피복율을 조사한 결과는 표 5에 나타내었다. 실험기간 내내 A유형과 B유형이 C유형에 비하여 높은 것으로 나타났으며, A유형과 B유형은 통계적인 유의차는 없었으나, 평균값은 A유형이 높아 가장 우수한 지면피복율을 나타내었다. 이는 식물이 생육할 수 있는 토심이 확보되고 수분함유율이 높게 측정된 A유형과 B유형에서의 식물 생육조건이 좋았기 때문인 것으로 사료되며, 특히 A유형은 보강토에 연속장섬유가 혼합되어 토양과 섬유가 뒤엉켜 높은 접착강도를 나타낼 수 있으며, 동시에 다양한 공극의 형성으로 토양구조가 우수하고 보수성이 뛰어나 식물생장에 효과적인 공법으로 판단된다.

2007년 5월 11일 측정과 6월 6일 측정에서는 A유형과 B유형에서 가장 높은 피복율을 나타내었고, C유형에서 가장 낮게 측정되었다. C유형의 경우는 돌망태 위에 식생기반재 뿔어붙이기만으로 시공하여 식물이 성장할 수 있는 최소 토심이 확보되지 않아 다른 시공유형보다 식물의 발아가 잘 이루어지지 않았으며, 발아한 식물의 경우도 대부분 고사하는 현상이 나타났는데, 이는 앞서 측정된 표면경도가 높아 근계의 발달이 좋지 못

**Table 5.** Vegetation Coverage rate affected by three types of soil-seed mixture spray(%).

soil-seed applying systems <sup>z</sup>	2007						2008	
	5/11	6/6	6/27	7/20	8/20	9/28	7/15	8/11
A type	33.3a <sup>y</sup>	62.3a	58.7a	70.3a	72.7a	86.7a	92.7a	88.3a
B type	29.7a	61.3a	39.0b	62.7a	66.7a	84.7a	92.0a	82.0a
C type	10.7b	18.3b	13.7c	29.0b	45.3b	77.0b	43.7b	38.3b
LSD(0.05)	14.4	19.1	10.6	21.5	16.3	7.2	28.8	29.7

<sup>z</sup>A type : soil-seed mixture spray underlying 30cm thick sand with geofiber (geofiber reinforced soil system), B type : soil-seed mixture spray underlying 30cm thick sand without geofiber, C type : soil-seed mixture spray.

<sup>y</sup>Mean values with the same letter within columns are not significantly different at  $p=0.05$  level by LSD-test.

하였고, 식물생육에 필요한 토심이 확보되지 않는 등 식물 생육조건이 불량한 결과라고 판단된다.

6월 27일 측정 결과에서는 모든 시공유형에서 피복율이 감소하였는데 이는 피복율에 큰 영향을 미친 한지형 잔디류가 수분부족에 의해 고사한 결과라고 판단되면, 4번째 측정인 7월 20일 측정 결과에서의 피복율 증가는 강우 이후 발아증가와 생육회복에 의한 것으로 사료된다. A유형과 B유형의 경우는 파종 종자인 한지형 잔디류의 생육이 회복하여 피복율에 영향을 준 반면 C유형의 경우는 파종종자의 생육보다 주변 침입식물이 피복율에 큰 영향을 주었고, 이와 같은 결과는 9월 28일까지 이어졌다.

2008년 7월 15일과 8월 11일 2차례의 측정결과에서도 A유형과 B유형에서 가장 높은 지면피복율을 나타냈으며 C유형에서 가장 낮았다. 또한 C유형의 경우는 2007년 9월과 비교하여 2008년

에는 피복율의 감소가 급격히 이루어졌는데, 이는 C유형의 지반이 돌망태로 이루어져 있기 때문에 식생기반재가 정착하지 못하고 시간이 지나면서 침식에 의해 유실된 부분이 많이 발생하면서 나타난 결과로 판단된다.

2) 시공유형에 따른 출현종

토목섬유식생공법에 적용한 식물은 초본류의 경우 벌노랑이, 쭉부쟁이, 물억새, 패랭이, 한지형 잔디에는 톨웨스큐, 켄터키 블루그래스, 퍼레니얼 라이그래스 등이었다. 시간이 경과함에 따라 각 시공유형에 따라 초기에 파종되어 발아되거나 외부에서 침입한 식물종의 변화에 대한 관찰 결과는 표 6과 같다.

2007년 측정결과, A유형으로 시공한 시험구에서는 벌노랑이, 쭉부쟁이, 패랭이, 한지형 잔디류가, B유형에는 벌노랑이, 쭉부쟁이, 패랭이, 한지

**Table 6.** The list of seeding and emerging species occurred in a river bank constructed by three types of soil-seed mixture spray.

Species	2007			2008			
	A type	B type	C type	A type	B type	C type	
Seeding species	<i>Lotus corniculatus var. japonicus</i>	●	●	●	●	-	●
	<i>Aster yomena Makino</i>	●	●	●	●	●	●
	<i>Miscanthus sacchariflorus</i>	-	-	-	●	●	●
	<i>Dianthus sinensis L.</i>	●	●	●	-	-	-
	<i>Poa pratensis</i>	●	●	●	●	●	●
Emerging species	<i>Digitaria sanguinalis</i>	●	●	●	●	●	●
	<i>Setaria viridis</i>	●	●	-	●	-	●
	<i>Equisetum arvense L.</i>	●	●	-	●	●	-
	<i>Panicum bisulcatum Thunb.</i>	●	●	●	-	-	-
	<i>Chenopodium album var. centrorubrum</i>	-	●	●	-	-	-
	<i>Mimosa pudica</i>	-	●	-	-	-	-
	<i>Phragmites japonica</i>	-	-	●	●	●	●
	<i>Oenothera odorata</i>	-	-	●	-	-	-
	<i>Lycopus ramosissimus var. japonicus</i>	-	-	●	-	-	-
	<i>Amaranthus mangostanus</i>	-	-	●	-	-	-
	<i>Calamagrostis arundinacea</i>	-	-	●	-	-	-
	<i>Cyperus amuricus</i>	-	-	●	-	-	-
	<i>Commelina communis</i>	-	-	●	-	-	-
	<i>Bidens frondosa</i>	-	-	●	-	-	-
<i>Oplismenus undulatifolius</i>	-	-	●	-	-	-	
Total	8	10	16	8	6	7	

형 잔디류가 나타났으며 C유형에서도 벌노랑이, 쭉부쟁이, 패랭이, 한지형 잔디류가 나타났다. 그러나 재래 초본류의 개체수는 매우 적었으며 대부분이 한지형 잔디가 우점하였으며, 발생한 초본류 중에서는 쭉부쟁이가 가장 많았다. 일반적으로 도입종은 자생초화류에 비해 초기 발아율이 좋아 조성 초기에는 도입종에 의한 우점이 이루어지므로(김남춘, 1997; 한국도로공사, 1998; 진기성·우보명, 1999), 녹화목적에 따른 초종선정 및 혼합비율에 관한 연구가 지속적으로 뒤따라야 할 것으로 판단된다. C유형의 경우 하고현상으로 인해 발생한 출현종 대부분이 고사하였으며 한지형 잔디류가 가장 큰 피해를 보았다. 그로 인해 C유형에서는 주변종의 침입이 다른 유형보다 빨리 진행되었으며 개체수도 현저히 증가하는 추세였다. C유형의 침입종을 살펴보면 달맞이꽃, 습사리, 바랭이, 달뿌리풀, 비름, 실새풀, 방도사니, 닭의장풀, 미국가막사리, 개기장, 주름조개풀, 명아주 등 12종의 식물이 나타났다. A유형에서는 바랭이, 강아지풀, 쇠뜨기, 개기장 등 4종의 식물이 침입종으로 나타났고, B유형에서는 강아지풀, 쇠뜨기, 명아주, 바랭이, 개기장, 미모사 등 6종의 식물이 나타났다. 이와 같이 A유형과 B유형에 비해 C유형에서 침입종의 개체수가 상대적으로 매우 높게 나타나 실험설계와는 다른 식물에 의해 피복되는 결과를 초래하였다.

2008년 측정결과, A유형의 경우 벌노랑이, 쭉부쟁이, 물억새, 한지형 잔디가 나타났고 B유형에서는 쭉부쟁이, 물억새, 한지형 잔디가 나타났으며 C유형에서는 벌노랑이, 쭉부쟁이, 물억새, 한지형 잔디가 나타났다. 2007년과 비교하여 모든 유형의 파종종자 중에서 패랭이가 출현되지 않은 반면 물억새가 새로이 출현하였으며, 3가지 유형 중 B유형에서만 파종종자 중 벌노랑이가 출현하지 않았다. 각 유형별 침입종을 살펴보면 A유형에서는 바랭이, 강아지풀, 쇠뜨기, 달뿌리풀 등 4종이 나타났으며 B유형에서는 바랭이, 쇠뜨기, 달뿌리풀 등 3종이 나타났고 C유형에서는

바랭이, 강아지풀, 달뿌리풀 등 3종이 나타났다. 2007년과 2008년의 침입종 수의 차이를 비교하여 살펴보면 C유형에서는 9종이 감소하여 가장 큰 차이를 보였으며 B유형에서는 3종이 감소하였고 A유형에서는 동일한 종수를 나타내었다. A유형과 B유형의 경우 식물이 생육할 수 있는 토심이 조성되어 있어 파종식물 생육기간이 장기화될 것으로 보이며, 주변식물의 침입현상도 서서히 이루어져 전형적인 천이과정이 이루어질 것으로 판단된다. 그러나 C유형의 경우 주변종의 침입은 빠르게 진행되었지만, 생육환경이 열악하여 식생이 소멸함에 따라 식생기반재가 차츰 유실될 수 있다는 점을 감안한다면(김남춘 등, 2007), 결국에는 돌망태가 그대로 노출될 수 있으며 이는 식물 종수의 감소로 이어질 것으로 사료된다.

#### IV. 결 론

본 연구에서는 충북 진천군 백곡천 호안에 돌망태 공법으로 시공된 일부 구간의 식생녹화를 위하여 토목섬유식생공법(Geofiber vegetation system)을 적용하고 녹화특성을 알아보고자 하였다. 시공유형은 ‘식생기반재+토목섬유보강토(A유형)’, ‘식생기반재+보강토(B유형)’, 그리고 ‘식생기반재(C유형)’ 등으로 구분하여 시공한 후, 각 시공방법에 따른 토양의 물리적 특성과 식생녹화 특성을 분석하였으며, 실험의 결과는 다음과 같다.

1. 토양의 물리성 분석 중, 표면경도의 측정결과 토목섬유보강토 공법으로 시공된 A유형과 토목섬유를 사용하지 않은 보강토공법으로 시공된 B유형에서는 식물 근계의 발달에 영향을 주지 않는 범위에 있는 것으로 측정되었다.

2. 토심경도의 측정결과 보강토에 토목섬유를 혼합하여 시공한 A유형과 보강토만으로 시공된 B유형은 식물생육에 충분한 토심을 확보할 수 있는 것으로 나타났다. 특히 A유형은 B유형에 비해 토심경도가 높아 물에 대한 내침식성이 클



것으로 사료되어 호안의 돌망태위에 적용할 경우 효과적인 공법인 것으로 판단되었다. 돌망태 위에 식생기반재를 2cm로 시공한 C유형은 토심이 얇고 시간이 경과할수록 돌망태 위에 시공된 식생기반재의 유실이 차츰 진행되는 것을 알 수 있었다. 또한 수위변동에 따른 식생기반재의 유실에 대한 연구가 뒤따르는 것이 표면유실에 대한 구체적인 측정이 가능할 것으로 판단된다. 토양의 수분측정 결과에서도 토심이 두꺼웠던 A유형과 B유형으로 시공된 시험구의 수분함유량이 높게 측정되었으며, 식생기반재로만 시공된 C유형에서 가장 낮게 나타났다.

3. 식생의 지면피복을 측정에서는 A유형과 B유형이 C유형에 비하여 우수한 것으로 나타났다. 보강토에 섬유가 혼합된 A유형은 보강토만 사용된 B유형에 비해 통계적인 유의차이는 없었지만, 평균값은 다소 높게 나타났다.

4. 시공유형별로 조성된 시험구의 초기 조성년도의 식물종수는 A유형에서 8종, B유형에서 10종, C유형에서 16종으로 C유형에서 가장 많은 종이 생육하였다. 시험구 조성 후 약 1년이 경과한 후의 식물상은 A유형에서 8종, B유형에서 6종, C유형에서 7종으로 A유형에서 가장 많은 종수가 나타났다. C유형의 경우 조성 초기에 파종된 종자가 발아되지 않아 주변의 식물종이 가장 많이 침입하는 경향을 타나냈었고, 1년이 경과된 후에는 생육기반이 취약하여 침입했던 식물종들이 급격하게 감소하였기 때문이다.

## 인 용 문 헌

- 김경훈. 1999. 산림표층토를 이용한 중비토뿔어붙이기공법용 녹화토의 조제와 시공효과. 서울대학교 박사학위논문.
- 김남준. 1997. 사면녹화용 자생목본류의 파종적기에 관한 연구. 한국조경학회지 25(1) : 73-81.
- 김남준 등. 2007. 고속도로 절·성토 비탈면 녹화공법의 적용 실태 연구. 한국환경복원녹화기술학회지 10(2) : 1-15.
- 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 geo-environmental Engineering, pp.93-99
- 김대현·김대수. 1999. 도시 소하천 경관의 시각적 선호 이미지와 영향요인. 한국환경복원녹화기술학회지 2(4) : 9-15.
- 문석기 외 5인. 1998. 조경설계요람. 서울 : 도서출판 조경. pp.446-454.
- 문석기 외 11인. 2005. 환경계획학. 서울 : 보문당. pp.345-358.
- 안수한. 1995. 한국의 하천. 서울 : 민음사. pp.82-120.
- 안영희 역. 1997. 환경녹화공학. 서울 : 태림문화사. pp.39-41.
- 이상호·이상희·이상현·정순우. 1996. 자연형 하천으로의 정비방안 연구. 서울시정개발연구원. pp.85-95.
- 우보명. 2004. 훼손지 환경녹화 공학. 서울 : 서울대학교출판부. pp.281-288.
- 전기성·우보명. 1999. 사면녹화용 외래초종과 재래목·초본 식물의 적정파종 및 혼파 비에 관한 연구(I). 한국환경복원녹화기술학회지 2(3) : 33-42.
- 정대영·허성수·신연동. 2007. 도시하천의 시각적 특성 및 선호요인 분석. 한국환경복원녹화기술학회지 10(3) : 14~24.
- 최정권. 1995. 도시 하천 환경의 생태적 재생. 한국조경학회지 22(4) : 191-197.
- 한국도로공사. 1997. 도입초종이 주변식생에 미치는 영향에 관한 연구. 임업과학연구소.
- 한국도로공사. 1998. 고속도로 암절토부 녹화 및 방음수립대 조성에 관한 세미나. 한국도로공사 도로연구소.
- 홍선기 외 11인. 2004. 생태복원공학. 서울 : 라이

- 프사이언스. pp.127-154.
- Carrow, R. N., and Shim, S. R. 1997. Cultivation and chemical injection : Influence on shoot, root, and water, relationships. International Turfgrass Society Research Journal, 8 : 629-638.
- Horst Marschner. 1995. Mineral Nutrition of higher plant. Academic Press. pp.247-255.
- SAS Institute Inc. 2003. The SAS system for window Release 9.1
- Shim, S. R., and Carrow, R. N. 1997. Cultivation and chemical injection : Influence on soil physical and chemical properties. International Turfgrass Society Research Journal, 8 : 533-540.