

습지 수제부에서 삽목방법에 따른 갯버들 생장율 및 토양 유실 억제 효과

이춘석¹⁾ · 류남형¹⁾

¹⁾ 진주산업대학교 조경학과

The Growth Rate of *Salix Gracilistyla* Miq. and its Effect of Protecting Soil from Dispersion Depending on the Planting Method Applied to Shore-marginal Slope.

Lee, Chun-Seok¹⁾ and Ryu, Nam-Hyung¹⁾

¹⁾ Dept. of Landscape Architecture, Jinju Nat'l Univ.

ABSTRACT

The main purpose of this study was to verify the shore margin protection effect of the root system of *Salix gracilistyla* Miq. developed from direct sticking cuttings on wetland, through the measurement of root growth and comparison of soil slaking rate depending on the planting method applied to shore-marginal slope.

Comparison of growth rate and soil dispersion rate was made between five planted slope and one naked slope. The planting methods applied to the planted slope were ㉠ horizontally layed burying of stick(45cm) bundle ㉡ horizontally layed covering the slope with sticks ㉢ horizontally fencing with normal cuttings(20cm) ㉣ elected sticking of normal cutting at equal distances ㉤ random scattering short cuttings(3-4cm).

As results, the most effective planting method was horizontally layed burying, and in order to increase its efficiency scattering the live stem chips in 2-3cm on the slope is recommended. The growth of root was negatively regressive to the distance from water floor.

Key Words : *Ecological Restoration, Bio-Engineering, Salix, Soil Protection.*

I. 서 론

훼손된 생태계 복원 및 네트워크 형성이라는 측면에서 도시지역에서도 인공적인 습지를 조성하기 위한 노력이 시도되고 있고, 기존의 치수

및 이수 기능 위주로 인공화된 수변 공간을 자연적인 습지로 복원하려는 노력들도 활발하게 진행되고 있는데, 습지 복원 및 신규 조성 공사에서 공법적으로 가장 민감한 부분 중의 하나가 수제부(水際部)의 생태적 호안(護岸) 처리이다(김

귀곤 등, 1999).

식생도입에 따른 생태 및 생물공학적(Bio-Engineering)¹⁾ 효과에 대한 다양한 연구 결과들이 제시되고 있는데, 식물의 뿌리에 의한 사면의 안정성 변화를 평가한 연구(Springer 등, 1985; Sotir 등, 1995; Simonds 등, 2001; Day, 1995; Abernethy 등, 2000)와 식물의 줄기나 잎에 의한 사면 침식억제 효과에 대한 연구(Coppin, 1990; Morgan 등, 1995; Micheli 등, 2002) 등이 주를 이루고 있는 반면에, 습지 수목의 생물공학적인 역할 특히, 식물의 수제부(水際部) 보호 효과에 관한 연구는 미미한 실정이다.(이진원 등, 1997; 이삼희, 1999).

우리나라 자연 습지의 수제부(水際部)의 비교적 안정화된 수변식생대(riparian)에 분포하는 목본식물은 버드나무류(*Salix*)가 대표적이며, 특히 모래와 자갈의 비율이 높고 물과 직접 접촉하는 수제부(水際部)에는 관목인 갯버들(*Salix gracilistyla* Miq.)이 우점을 이루고 있는 것으로 알려져 있다(전승훈 등, 1988; 신정이 등, 1999; 안영희 등, 2000; 이인순 등, 2001). 갯버들을 포함하는 버드나무과(Salicaceae) 식물은 선구식물로서 척박한 토양에서도 가지 및 뿌리의 빠른 성장속도와 손쉽게 영양번식이 가능하다는 특성이 때문에(이영노, 1996), 이미 오래 전부터 사면의 원활한 배수 및 사면지지 또는 재해복구 등에 많이 이용되어 왔으며(Coppin, 1990; Gary & Sotir, 1996), 최근 개발되고 있는 생태호안 조성 관련 공법에서도 주된 생물 소재로 이용되고 있다(최정권, 1997; 김혜주, 2000, 2001).

그러나, 이와 같은 갯버들의 소재로서의 가능성에도 불구하고 객관적인 생물공학적인 효과, 특히 생육지인 습지수제부의 호안(護岸) 효과에 대한 연구를 찾아보기 어렵고, 인공습지 조

성 시 필요한 갯버들의 적용 방법과 이에 따른 성장 특성에 관한 자료도 부족한 실정이다.

갯버들은 영양번식이 용이하여 주로 삼목(插木)을 통하여 현장에 적용되는데, 호안(護岸)이나 사방공사에 이용되는 삼목 소재의 경우, 식물 증식을 목적으로 하는 일반적인 삼목 관련 연구(김진원 등, 1993; 최병진 등, 1998)의 결과로 제시되는 토양조건, 발근촉진제, 삼수절단 방법에 관한 정보뿐만 아니라, 열악한 환경조건에서의 적응 및 성장능력과 공법으로서 적용의 용이성, 삼목 소재의 확보 및 조제의 용이성 등에 대한 정보가 필요하다. 그러나 국내에서 이와 같은 삼목 소재의 생물공학적인 가능성에 대한 연구가 시도된 것은 극히 최근의 일이다(김혜주 등, 1998).

이에 본 연구에서는 생태적 호안공사 현장에서 효율적으로 적용할 수 있는 삼목법을 중심으로 삼목방향과 수면으로부터의 거리에 따른 생장과 삼목 방법에 따른 토양 유실 특성 분석을 통하여, 수제부에서의 갯버들의 생장에 영향을 미치는 요소를 파악하였으며, 이를 바탕으로 갯버들의 호안재로서의 적용성을 고찰하였다.

II. 재료 및 방법

1. 실험재료

1) 공시 식물 재료

균일한 생육 조건과 실험의 편의를 위하여 공시체용 삼수는 경상남도 사천시와 진주시, 산청군의 경계지점인 덕천강 하류의 하상 퇴적부에 위치한 갯버들 군락지의 1년생 휴면지를 채취하여 사용하였으며, 자연적인 생장에 영향을 미칠 수 있는 일체의 화학적 처리는 배제하였다.

2) 공시 토양 재료

실험에 사용된 토양의 입도 구성을 체 가름과 비중계법으로 분석한 결과, Sand 60.36%, Silt 28%, Clay 11.64%의 사양토(Sandy Loam)로 확인되었으며, 식물의 생장과 관련이 있는 화학적 특성을 분석한 결과 식물의 생장에 장애를 초래할 정도의 요소는 없는 것으로 나타났다.

1) '생물공학적인(Bio-Engineering 또는 Bio-Technical)'이란 생물적 과정의 기술적 이용으로서, 식물을 마치 토목재료처럼 이용하는 것을 말하며, 생물공학적인 소재의 구비조건으로는 물리적 상해에 대한 재생력과 저항력이 있어야 하며, 뿌리조직은 토양을 지지할 수 있어야 한다(김혜주 등, 1998; Coppin 등, 1990 : 1998; Gary, 1989).

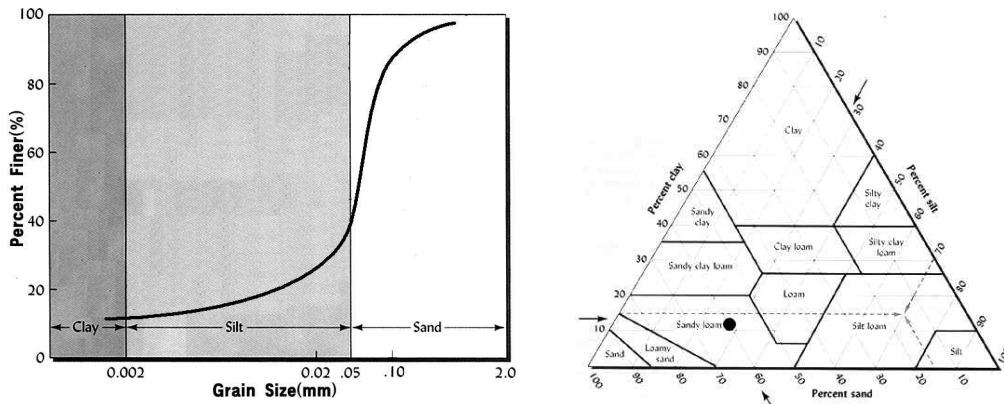


그림 1. 공시토양의 입도조성

2. 실험 및 분석 방법

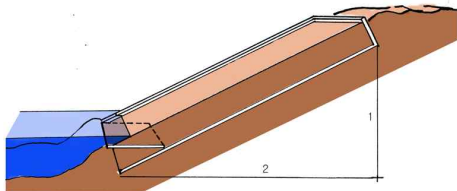
1) 실험구 조성방법

길이 200cm, 폭 50cm, 깊이 20cm의 인공 사면 6개 열을 2001년 4월 3일 진주산업대학교 종합 실습농장 내 저수지 변에 조성하였다. 각 사면의 경사는 인공 제방의 표준 경사인 50%로 통일하였으며, 일체의 인공적인 관수와 강우의 인

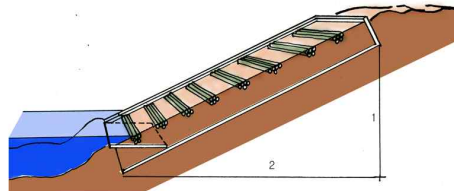
위적 차단은 없었으며, 연결한 저수지의 수위변동과 연동되도록 하였다.

2) 깃버들의 부위별 성장량 측정 및 분석
수면으로부터의 거리에 따른 성장량 분석은 2002년 7월 4일 실시하였다. 수면 위로 노출되어 있는 180cm의 사면 구간을 30cm 단위로 구분

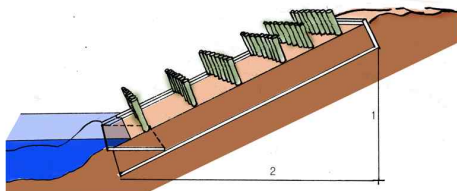
- X (대조구 : 나지)



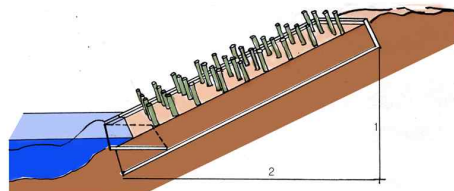
- A (삽수다발물기)



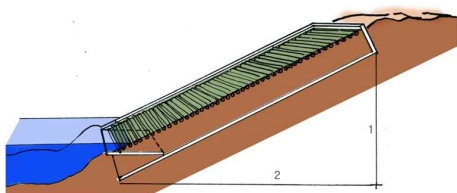
- B (삽수열식)



- C (등간격 삽목)



- D (삽수 가로물기)



- E (분쇄 포설)

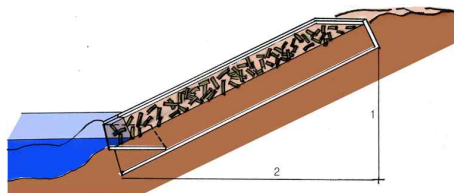


그림 2. 인공수제부 사면에 적용된 삽목방법

표 1. 식재방법별 삼수 생체량 비교

실험구	구분 기호	삼수생체량				식재방법
		길이	수량	총중량	개별중량	
나지(대조구)	X	무	무	무	무	무
삼수 다발물기	A	50cm	30본	755g	25.1g	5개씩 다발로 등간격 식재
삼수 열식	B	20cm	185본	1,955g	10.57g	25cm 간격으로 층별밀식
등간격 삼목	C	20cm	73본	710g	9.73g	10cm간격
삼수 가로물기	D	50cm	29본	655g	22.59g	3cm 간격
분쇄 포설	E	3cm	·	650g	·	3cm크기의 절단목 살포 후 복토*

* : 살포 후 삼수의 일부가 지면에 노출되는 범위
에서 1cm 두께로 복토.

하고, 지상부인 신초와 지하부인 ‘토양+뿌리’를 나누어서 채취하였다. 채취된 ‘토양+뿌리’는 1.5 mm 굵기의 그물망에 넣어 흐르는 물에서 약 20 분간 흔들어서 뿌리 주변의 토양을 수세(水洗) 하였으며, 분리된 뿌리 공시체는 실험실에서 흐르는 물에 하루(24시간) 동안 수세함으로써 뿌리에 묻혀 있는 미세한 토양입자를 제거한 후 중량을 측정하였다(W. Bohm, 1979). 지상부는 약 1시간의 풍건(風乾)을 통하여 표면의 수분을 제거한 후, 신초엽생중량(新草葉生重量), 근생중량(根生重量), 신초지중량(新草枝重量), 엽수(葉

數), 신초장(新草長)을 측정하였다.

3) 토양의 유실량 조사

인공 사면 조성 1년 간의 토양 유실량 분석은 2002년 4월 22일 수행하였다. 분석방법으로는 인공 사면에 가로세로 10cm크기의 격자망을 설치하고, 각 교차점의 잔존 토양 깊이를 측정하는 방법을 이용하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 갯버들의 성장특성

1) 삼수 생존율

삼목된 삼수량에 대한 1년 동안 생존한 삼수량의 비를 나타내는 삼수 생존율을 분석한 결과, 50cm 삼수를 가로방향으로 피복하여 매설한 D 사면의 삼수 생존율이 가장 높은 것으로 나타났으며, 같은 길이의 삼수 다발을 매설한 A 사면의 생존율이 그 다음으로 높은 것으로 평가되었다. 특히, 가로방향으로 매설한 위의 두 사면 A와 D의 경우, 수면으로부터의 거리에 상관없이 높은 생존율을 보여, 삼수 활착에 가장 유리한 삼목방법인 것으로 평가되었다. 반면에, 20cm 삼수를 열식한 B 사면의 경우 삼목에 적용된 삼수의 양에 비해 일 년 동안 활착에 성공한 삼수의 비가 상대적으로 적은 것으로 분석되었으며,

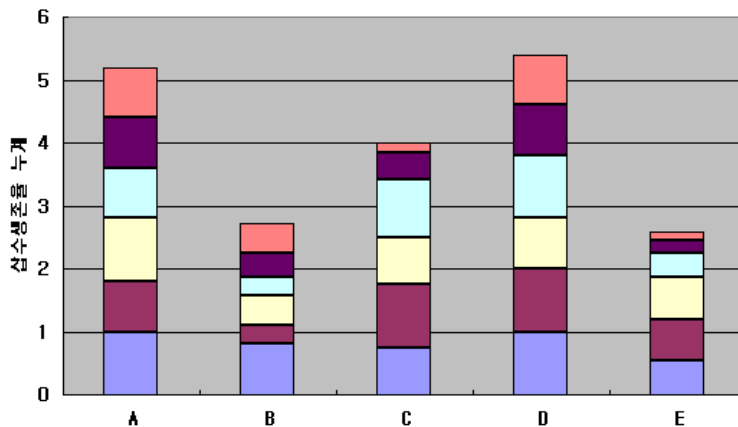


그림 3. 삼목방법과 수면으로부터의 거리에 따른 삼수 생존율
A : 50cm삼수다발가로물기, B : 20cm삼수열식, C : 20cm등간격삼목, D : 50cm삼수가로물기, E : 분쇄포설
사면거리(Cm) : ■ 0-30 ■ 30-60 □ 60-90 □ 90-120 ■ 120-150 ■ 150-180

수면으로부터의 거리에 의해서도 상대적으로 많은 영향을 받는 것으로 나타났다.

2) 연간 총생장량

본 연구를 위해 조성한 인공사면 중 나지 사면을 제외한 다섯 개 사면에 삼목된 삽수의 연간 성장량을 분석한 결과, 대체적으로 수면으로부터의 거리에 반비례하는 것으로 나타났다. 특히, 수면으로부터 사면거리 30cm(수직거리 13cm) 이내에 삼목된 삽수의 연간 성장량이 120cm(수직거리 54cm) 이상 떨어진 지점에 위치한 삽수의 약 4.4배에 달하는 것으로 분석되어, 갯버들의 활착과 생장이 토양 수분에 아주 민감한 영향을 받는 것으로 나타났다.

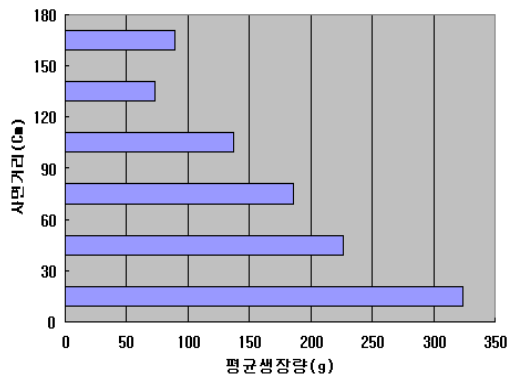


그림 4. 수면으로부터의 거리에 따른 갯버들 성장량 비교

습지수제부 조성에 적용된 삼목방법별로 살펴볼 때, 50cm 길이의 가지를 가로로 매설한 A와 D 사면의 성장량이 가장 많은 것으로 나타났으며, 수면으로부터의 거리에 따라서도 다소 완만한 감소세를 보이는 것으로 나타났다. 특히, D 사면의 경우 수면으로부터 150cm 이상 이격된 지점에서도 왕성한 성장을 한 것으로 분석되었다. 반면에, 20cm 삽수를 세워서 삼목한 B와 C 사면의 경우, 수면으로부터의 거리에 의한 영향을 많이 받는 것으로 나타났는데, 수면으로부터 거리가 90~120cm인 구간에서 성장량이 급격하게 감소하여, 120cm를 초과하는 구간의 성장량은 수면과 접하는 지점의 20% 이하 수준인 것으로 나타났다. 갯버들을 2-3cm 길이 단위로 파쇄한 칩을 살포하여 얇게 매설한 E 사면의 경우, 20cm 길이의 삽수를 세로방향으로 삼목한 B와 C 사면보다 연간 성장량이 많았으며, 수면으로부터의 거리에 대해서도 다른 사면에 비해 비교적 영향을 적게 받는 것으로 나타났다<그림 5>.

따라서, 하천 사면에 갯버들을 삼목할 경우 지속적인 토양 수분 확보가 초기활착과 성장의 가장 중요한 영향요소이며, 삽수의 규격과 중량보다는 삼목방향과 지중 매설 비율에 의해서 더 많은 영향을 받는 것으로 볼 수 있다.

수면으로부터의 거리와 성장량의 상관관계를 분석한 결과는 <표 2>와 같으며, 성장량은 사

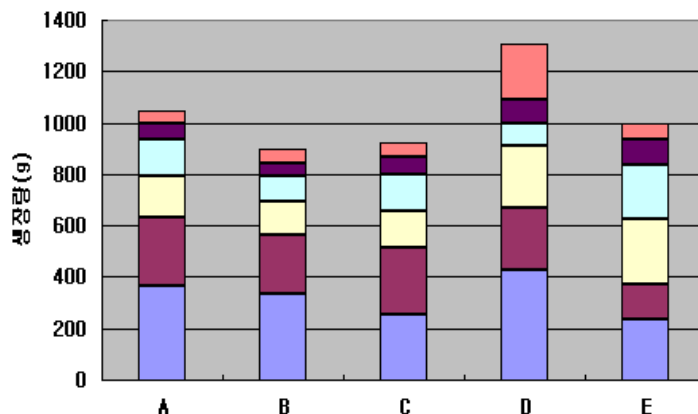


그림 5. 수면으로부터의 거리에 따른 삼목방법별 갯버들 성장량
 A : 50cm삽수다발가로묻기, B : 20cm삽수열식, C : 20cm등간격삼목, D : 50cm삽수가로묻기, E : 분쇄포설
 사면거리(Cm) : ■ 0-30 ■ 30-60 □ 60-90 □ 90-120 ■ 120-150 ■ 150-180

면거리에 반비례 관계에 있고, 상관계수도 매우 높게 나타났다. 반면, 삼수중량과 성장량의 상관관계는 낮게 분석되어, 사면에서의 갯벌 삼수의 활착과 성장에 지배적인 영향을 미치는 요소는 삼수중량 보다는 오히려 수면으로부터의 거리인 것으로 평가되었다.

표 2. 수면으로부터의 거리 및 삼수중량과 성장량의 상관관계

구 분		사면거리	삼수중량
생장량	Pearson Correlation	-.80**	.18
	Sig.(2-tailed)	.00	.00

註) 사면거리 : 수면으로부터의 거리, ** : $P < 0.01$

수면으로부터의 거리 및 삼수중량과 연간 성장량의 회귀관계를 분석한 결과는 <표 3>과 같다. 수면으로부터의 거리와 성장량의 회귀식은 비교적 설명력이 높고 통계적으로도 유의한 것으로 나타났다.

본 연구에 사용된 사면의 폭이 50cm이고 분석단위가 30cm인 점을 감안하면, 본 연구에서와 동일한 토양과 사면 조건으로 조성된 50% 경사의 수제부 사면에서는 수면과 접하는 부분의 연간 성장량은 $3.36\text{kg}/\text{m}^2$ 이며, 수면으로부터의 사면 거리가 1m 증가 할 때마다 $1.66\text{kg}/\text{m}^2$ 의 연간 성장량이 감소하는 것으로 나타났다.

표 3. 수면으로부터의 거리 및 삼수중량과 성장량의 회귀관계

구 분		R square	B	Std. Error	Sig.	회귀식
생장량 (kg)	상수	.69	.45	.05	.00	$-0.25X + 0.06Y + 0.45$
	사면거리(m) : X		-.25	.03	.00	
	삼수중량(Kg) : Y		.06	.03	.07	
생장량 (kg)	상수	.64	.50	.04	.00	$-0.25X + 0.50$
	사면거리(m) : X		-.25	.04	.00	

3) 지하부의 성장량

갯벌들의 성장 부위 중에서 수면으로부터의 거리와 분명한 상관관계를 보이는 것은 뿌리부분이다. <그림 6>에서와 같이 수면과 접하는 부분의 연간 뿌리 성장량이 가장 많았으며, 수면으로부터 거리가 멀어질수록 뿌리 성장량이 현격하게 감소하는 경향을 보였다.

수면에서 90cm 이상 떨어진 지점의 연간 뿌리 성장량은 수면과 접하는 구간의 연간 근계 성장량의 50%에도 미치지 못하였으며, 수면으로부터 150cm 떨어진 지점의 연간 근계 성장량은 수면부의 20% 정도에 그치는 것으로 분석되었다.

표 4. 삼목방법과 수면으로부터의 거리에 따른 뿌리 성장량 비교

구 분	A	B	C	D	E	평균
0-30	236.68	185.11	221.39	263.98	130.02	207.44
30-60	95.7	137.1	190	146.66	94.74	132.84
60-90	98.66	96.09	95.95	87.21	171.88	109.96
90-120	59.98	81.94	98.86	47.02	145.12	86.58
120-150	40.74	36.91	59.05	65.32	90.59	58.52
150-180	46.08	36.38	52.5	55.51	32.12	44.52
계	577.84	573.53	717.75	665.7	664.47	

註) A : 50cm삼수다발가로묻기, B : 20cm삼수열식, C : 20cm등간격삼목, D : 50cm삼수가로묻기, E : 분쇄포설.

표 5. 수면으로부터의 거리와 뿌리 성장량의 상관관계

구 분	피어슨 상관계수	유의도
사면거리 & 뿌리 성장량	-.83**	.00

註) 사면거리 : 수면으로부터의 거리, ** : $p < 0.01$.

삼목방법에 따라서는 C 사면의 뿌리 성장량이 가장 많은 것으로 나타났으며, B 사면이 가장 적은 것으로 나타났다. 줄기나 잎과 같은 지상부와 비교할 때, 뿌리부분의 성장량은 120cm 범위까지도 비교적 많은 성장량을 보이는 것으로

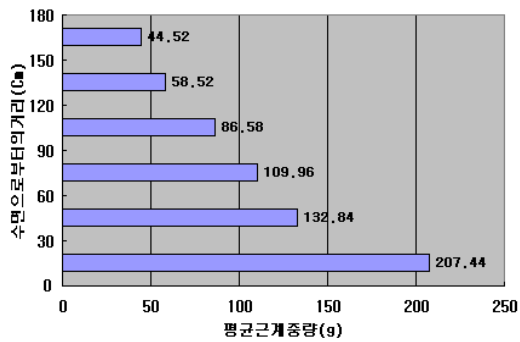


그림 6. 수면으로부터의 거리에 따른 뿌리 평균 중량

로 나타났으며, 삼목방법에 따른 차이도 작은 것으로 분석되었다.

수면과 접하는 부분에서 가장 많은 생장을 보인 사면은 삼수를 가로로 매설한 D 사면이며, 수변부에서 가장 적은 뿌리생장량을 보인 사면은 B 사면이었다.

줄기를 분쇄하여 포설한 E 사면의 경우, 150 cm 거리까지의 전 사면에서 비교적 일정한 뿌리 생장이 이루어졌는데, 수면과 접하는 부분의 뿌리 생장량은 다른 사면에 비해 상대적으로 작게 나타났다. 이는 삼수의 크기가 작아 수위 변동에 의한 유실이 발생했기 때문으로 판단되었다.

4) 신초지(新草枝) 및 신초엽(新草葉) 생장량

(1) 신초지(新草枝) 생장량

신초지의 생장도 대체적으로 수면으로부터의

사면거리에 영향을 받는 것으로 나타났는데, 전반적으로 수면으로부터 멀어질수록 감소하는 경향을 보였다. 특히, 120cm 이상 지점의 연간 평균 신초지 생장량은 9.25g으로써 수면과 접하는 지점의 생장량인 86.05g의 11% 밖에 되지 않았다.

150cm 이상 사면 상단부의 생장량이 급격히 많이 나온 것은 삼수를 가로방향으로 매설한 사면 D의 신초 생장이 사면 거리에 영향을 적게 받았기 때문으로 보이며, 이는 신초 생장에 있어서도 삼수 전체를 가로방향으로 매설하는 것이 유리하다는 것을 보여주는 결과로 판단된다<표 6>.

표 6. 삼목방법과 수면으로부터의 거리에 따른 신초지 생장량 비교

	A	B	C	D	E	평균
0-30	97.73	114.45	22.35	123.39	72.35	86.05
30-60	135.38	62.78	46.15	72	29.4	69.14
60-90	45.69	19.17	26.29	113.7	58.8	52.73
90-120	62.98	12.03	26.07	25.89	46	34.59
120-150	8.37	10.5	6.28	15.97	5.13	9.25
150-180	4.93	9.87	2.57	110.18	22.56	30.02
계	355.08	228.8	129.71	461.13	234.24	

註) A : 50cm삼수다발가로묻기, B : 20cm삼수열식, C : 20cm등간격삼목, D : 50cm삼수가로묻기, E : 분쇄포설

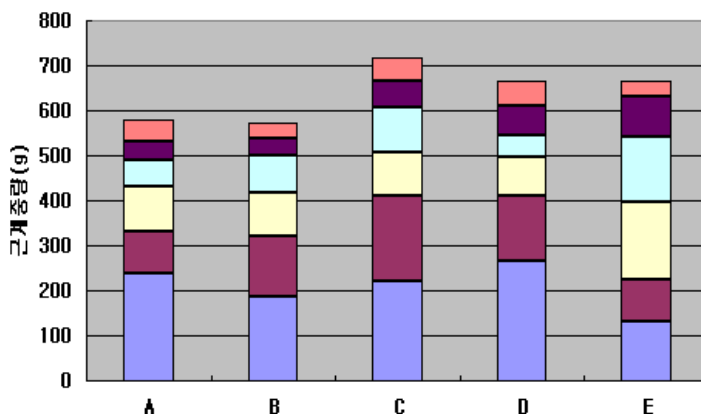


그림 7. 삼목방법과 수면으로부터의 거리에 따른 뿌리 중량

A : 50cm삼수다발가로묻기, B : 20cm삼수열식, C : 20cm등간격삼목, D : 50cm삼수가로묻기, E : 분쇄포설

사면거리(Cm) : ■ 0-30 ■ 30-60 □ 60-90 □ 90-120 ■ 120-150 ■ 150-180

50cm 길이의 삼수 다발을 가로방향으로 매설한 A 사면의 경우 수면으로부터 사면거리 120cm까지는 비교적 왕성한 신초지 생장을 보였으며, 120cm 범위를 벗어나는 구간에는 생장량이 급격히 감소하였다. 반면에, 50cm 길이 삼수를 전체 사면에 피복하여 매설한 D 사면의 경우, 120cm 이상의 지점에서도 왕성한 신초지 생장을 보였다.

20cm 길이의 삼수를 세워서 삼목한 B와 C 사면의 경우, 수면으로부터 멀어질수록 신초생장량이 감소하는 것은 다른 사면과 비슷한 경향을 보였다. 그러나, 적용된 삼수중량이 많은 삼수 열식 사면 B가 단순삼목 사면 C 보다 수면 생장량이 훨씬 많은 것으로 나타났다.

삼수를 잘게 잘라서 살포 후 복토한 사면 E의 경우, 사면 전구간에 걸쳐서 비교적 균등한 삼수 생장량을 보였다<그림 8>.

이상의 신초지 생장량 분석 결과, 세로방향 삼목보다는 가로방향으로 삼수 전체를 매설하는 것이 하천변 사면 녹화에는 유리한 것으로 나타났다. 삼수를 잘게 잘라서 포설하는 방법이 삼수를 등간격으로 삼목한 C 사면보다 삼수의 활착과 생장 측면에서 유리한 것으로 분석되었다.

(2) 신초엽(新草葉) 생장량

신초엽의 생장량 변화는 신초지와 유사한 경향을 보였으며, 가장 많은 생장량을 보인 사면

은 2002년 7월 현재 총 181g인 D 사면이며, D-A-E-B-C 순서로 많은 생장량을 보였다<그림 9>. 신초엽의 생장량에 있어서는 삼수를 절단하여 포설한 E 사면이 B와 C 사면보다 많이 나타났으며, 삼수를 가로로 매설한 D 사면의 경우 신초엽 중량이 B나 C 사면의 두 배에 이르는 것으로 분석되었다.

5) 삼목방법 및 사면 위치에 따른 상대생장률 사면 구성에 적용된 삼목방법의 효율성을 판

표 7. 삼수중량을 고려한 상대 생장률

구 분	A	B	C	D	E	평균	
삼수총량	755	1955	710	655	650		
구간별 삼수중량	125.83	325.83	118.33	109.17	108.33		
수면으로부터의 거리 (cm)	0-30	2.89	1.02	2.16	3.90	2.18	2.43
	30-60	2.14	0.71	2.19	2.21	1.22	1.69
	60-90	1.27	0.39	1.17	2.25	2.38	1.49
	90-120	1.14	0.30	1.24	0.80	1.95	1.09
	120-150	0.46	0.16	0.57	0.83	0.91	0.59
150-180	0.43	0.17	0.48	2.00	0.58	0.73	
평 균	1.39	0.46	1.30	2.00	1.54		

註) A: 50cm삼수다발가로묻기, B: 20cm삼수열식, C: 20cm등간격삼목, D: 50cm삼수가로묻기, E: 분쇄포설

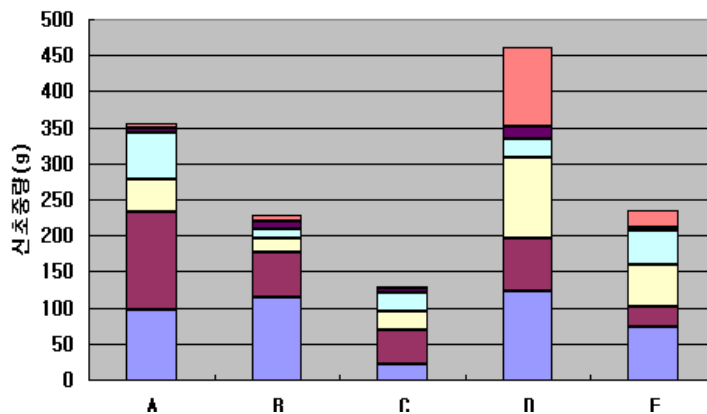


그림 8. 삼목방법과 수면으로부터의 거리에 따른 신초지 중량
 A : 50cm삼수다발가로묻기, B : 20cm삼수열식, C : 20cm등간격삼목, D : 50cm삼수가로묻기, E : 분쇄포설
 사면거리(Cm) : ■ 0-30 ■ 30-60 □ 60-90 □ 90-120 ■ 120-150 ■ 150-180

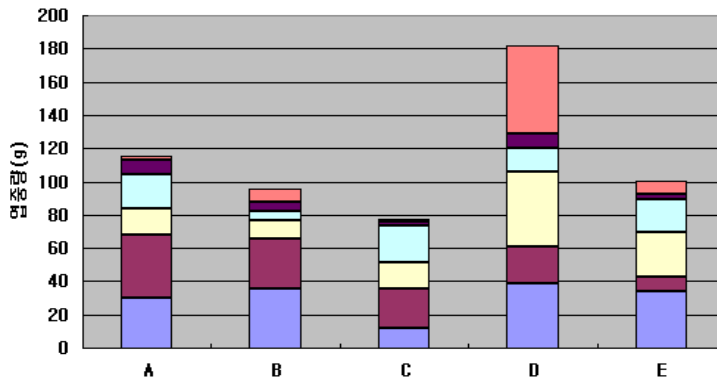


그림 9. 삼목방법과 수면으로부터의 거리에 따른 신초엽 중량
 A : 50cm삼수다발가로묻기, B : 20cm삼수열식, C : 20cm등간격삼목, D : 50cm삼수가로묻기, E : 분쇄포설
 사면거리(Cm) : ■ 0-30 ■ 30-60 □ 60-90 □ 90-120 ■ 120-150 ■ 150-180

단하기 위하여 면적당 적용된 삼수중량 대비 연간 성장량을 분석한 결과는 <표 7>과 같다. 전체적으로 수면으로부터 사면거리 30cm까지의 거리에서는 삼목된 삼수중량의 약 2.43배에 해당되는 연간 성장률을 보였으며, 120cm를 넘어가면 약 50-70%의 성장률을 보이는 것으로 나타났다.

삼목방법 별로 살펴볼 때, 삼수중량 대비 성장률이 가장 좋은 것은 50cm 길이의 삼수를 가로방향으로 전체 사면을 피복한 D 사면이며, 가장 효율이 나쁜 것은 20cm 길이의 삼수를 세워서 열식한 B 사면인 것으로 나타났다. 특이한 점은, 가지를 잘게 잘라서 살포한 E 사면의 성장률이 삼수다발을 매설한 A 사면이나 등간격

삼목으로 조성된 C 사면보다 좋게 나타난 점이다. D와 E 사면의 경우 사면조성에 사용된 삼수의 총 중량이 각각 655g과 650g으로 다른 사면에 비하여 상대적으로 적은 양이었음에도 불구하고, 성장률은 높게 나타났다.

이상의 근거로 판단할 때, 습지수제부 조성시 가장 효율적인 삼목방법은 삼수를 전체 사면에 피복하여 매설하는 것으로 분석되었으며, 다음으로 삼수를 짧은 길이로 무작위 절단하여 포설하는 방법과 삼수 다발을 가로방향으로 매설하는 방법이 높은 상대 성장률을 나타내었다. 반면에, 삼수를 세워서 밀식하는 것은 갯벌들 초기 활착과 연간 성장률의 측면에서 가장

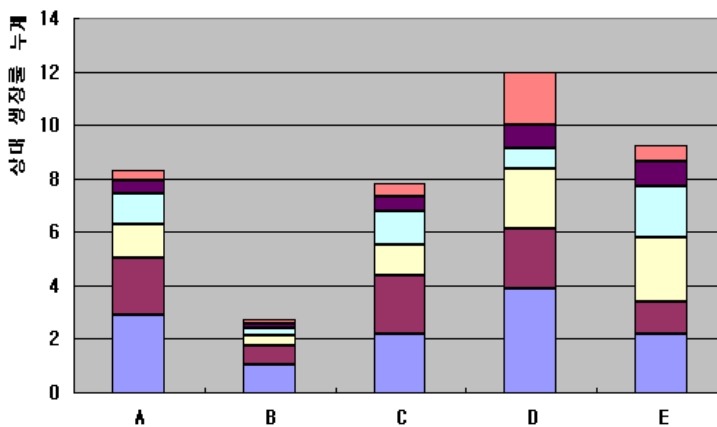


그림 10. 수면으로부터의 거리와 삼목방법에 따른 상대 성장률
 A : 50cm삼수다발가로묻기, B : 20cm삼수열식, C : 20cm등간격삼목, D : 50cm삼수가로묻기, E : 분쇄포설
 사면거리(Cm) : ■ 0-30 ■ 30-60 □ 60-90 □ 90-120 ■ 120-150 ■ 150-180

비효율적인 것으로 분석되었다.

2. 삼목방법에 따른 사면 위치별 토양 유실량

1) 사면위치별 토양 유실량

본 연구에서 조성된 여섯 개 사면의 위치별 평균 토양 침식량과 잔류량은 수면으로부터 100 cm 위치까지는 식생 유무에 상관없이 어느 정도 비슷한 토양 유실 경향을 보이는 반면, 수면으로부터 120cm 이상의 사면에 있어서는 식생이 없는 나지 사면의 경우 토양 유실량이 급격하게 증가하는 것을 볼 수 있었다. 반면, 50cm 길이의 갯버들 가지를 가로로 놓힌 공법을 적용한 A와 D 사면의 경우, 수면으로부터 거리가 멀어질수록 유실량이 감소하는 것으로 나타났다. 반면, ‘분쇄포설’ 방법을 적용한 E 사면의 경우 수면으로부터의 위치에 상관없이 비교적 일정한 토양 유실 특성을 보였다<그림 11>.

수를 가로방향으로 놓혀서 전체 사면을 피복한 D 사면의 토양 유실량은 30,291cm³로 가장 낮게 나타났다<표 8>.

나지 사면의 연간 침식량을 100%로 설정했을 때, 본 연구에서 조성한 5가지의 갯버들 삼목 사면의 상대적인 침식량은 삼목방법에 따라서 최저 57%에서 최대 68%로 나타났다. 따라서, 50cm 삼수 피복 사면의 경우 나지 사면과 비교할 때, 연간 43%의 토양 유실을 억제시키는 효과가 있는 것으로 분석되었다. 마찬가지로, 50cm 삼목 다발 매설 사면의 경우 41%, 20cm 삼수 밀식 사면의 경우 37%, 20cm 삼수의 등간격 삼목은 42%, 갯버들 파쇄목을 무작위로 살포한 사면은 나지 사면에 비해 연간 32%의 토양 유실이 억제되는 것으로 분석되었다. 특히, 적용된 방법 중 삼수를 다발 또는 개별로 놓혀서 매설하는 것이 세워서 삼목하는 것보다 토양 유실을 억제

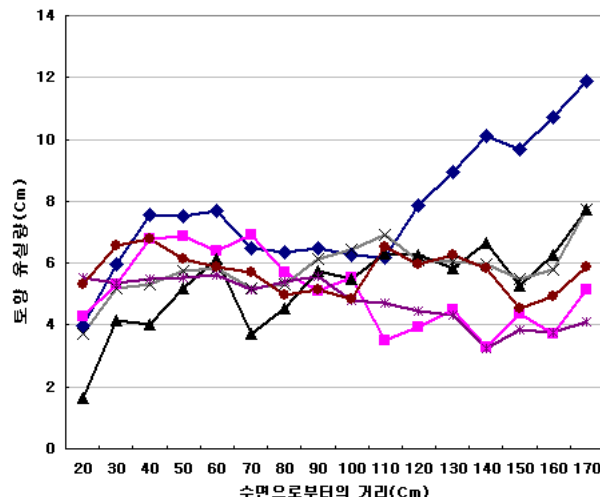


그림 11. 삼목방법에 따른 사면위치별 토양 유실량

X : 나지 A : 50cm삼수다발가로물기, B : 20cm삼수열식, C : 20cm등간격삼목, D : 50cm삼수가로물기, E : 분쇄포설

—●— X —■— A —▲— B —×— C —◇— D —○— E

2) 삼목방법 별 사면의 연간 토양 유실 방어능
인공사면 조성 후 1년 간의 토양 유실량을 조사한 결과, 50% 경사로 조성된 사면 면적 8,000 cm²을 기준으로 볼 때, 아무것도 식재되지 않은 나지 사면 X의 토양 유실량은 53,532cm³으로 6개 사면 중 가장 높게 나타났으며, 50cm 길이의 삼

하는 데는 상대적으로 유리한 것으로 나타났다.

동일한 눕혀심기의 경우에도 몇 개씩을 다발로 묶어서 매설하는 것보다 개별 삼수를 빈틈없이 피복하여 매설하는 것이 토양 유실 방어 측면에서는 유리한 것으로 나타났다. 또한, 일반적인 방법으로 세워서 삼목하는 경우에는 사

면의 가로방향으로 밀식하는 것이 등간격으로 삼목하는 것보다 토양 유실 억제에 유리한 것으로 분석되었다.

표 8. 삼목방법별 연간 토양 유실량 비교

	X	A	B	C	D	E
연간유실량(cm ³)	53,532	31,560	33,400	36,305	30,291	36,463
단위면적 당 유실깊이(cm)	6.69	3.95	4.18	4.54	3.79	4.56
나지사면 기준 상대비교치	1	0.59	0.63	0.68	0.57	0.68

註 1) X : 나지 A : 50cm삼수다발묻기, B : 20cm삼수 열식, C : 20cm등간격삼목, D : 50cm삼수가로 피복, E : 분쇄포설.

註 2) 사면당 면적 : 8000 cm².

이상의 결과는 소요된 삼수의 생체량을 고려하지 않고 삼목방법별로 단순 비교한 값이다. 그러나, 삼수자체의 생체량과 작업성 등의 경제적 효율성도 조정공사에 있어서는 중요한 공법 평가기준이라고 생각된다.

이에, 각 사면별 침식 억제 효율을 평가하기 위해 각각의 사면에 적용된 갯버들 삼수의 중량에 대한 토양 침식 방어력을 계산한 결과<그림 12>, 갯버들 가지를 아주 짧은 길이(2~3cm)로 절단한 갯버들 칩을 무작위로 얇게 매설한 ‘분

쇄포설’사면이 토양 침식 억제에 가장 효율적인 것으로 분석되었다. 이는 갯버들을 이용한 생태적 호안 공사를 할 경우, 일정 규격 이상의 삼수나 헛가지를 엄격하게 적용하는 대신에 아주 작은 크기로 불규칙하게 절단한 갯버들 조각들을 사면에 일정하게 뿌려주는 것도 사면의 침식 억제와 식생 활착에 효과적이라는 것을 나타내며, 대규모 생태 하안 조성 시 고려할 수 있는 방법으로 판단되었다.

IV. 결론 및 요약

습지수제부 상의 삼목방법에 따른 생체량 변화를 파악하기 위해서 ‘50cm 삼수 다발 묻기’, ‘50cm 삼수 가로 피복’, ‘20cm 삼수 세로 등간격 식재’, ‘20cm 삼수 열식’, ‘갯버들 파쇄목 살포’ 등의 삼목방법에 따른 다섯 개 사면을 조성하여 수행한 2001년 4월에서 2002년 7월까지의 갯버들 생육실험 결과는 다음과 같다.

① 연간 성장량은 수면으로부터의 거리와 반비례하는 것으로 나타났다. 수면과 접하는 부분의 연간 성장량은 약 3.36 kg/m²이며, 수면으로부터의 사면 거리가 1m 증가할 때마다 1.66 kg/m²의 연간 성장량이 감소하였다.

② 수면으로부터 20cm 이내에 식재된 삼수의 연간 성장량이 120cm 이상 떨어진 지점에 식재

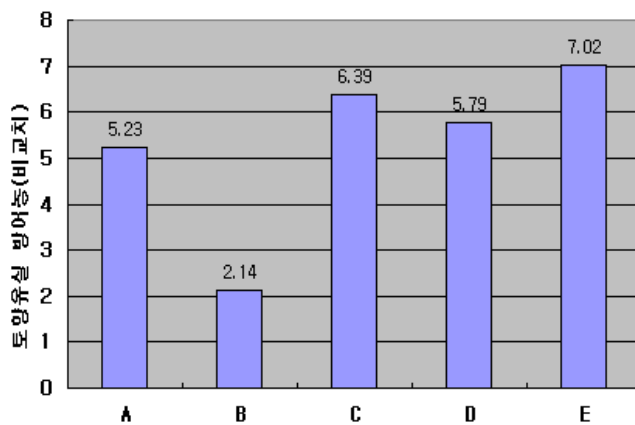


그림 12. 삼목방법별 삼수단위중량에 대한 토양유실방어능
A : 50cm삼수다발가로묻기, B : 20cm삼수열식, C : 20cm등간격삼목, D : 50cm삼수가로묻기, E : 분쇄포설

註) 유실방어력 = (단위면적당 잔류토량÷삼수중량)×1000

된 삼수의 연간 생장량보다 약 4.4배 이상 많은 것으로 분석되어, 갯버들의 활착과 생장이 토양수분에 아주 민감한 영향을 받는 것으로 나타났다. 삼수의 규격이나 중량보다 삼목방향과 지중 매설 비율에 의해서 초기 활착과 생장이 결정되는 것으로 나타났다.

③ 이는 습지수제부 사면에 갯버들을 식재할 경우 지속적인 토양 수분 확보가 초기 활착 및 생장의 가장 중요한 영향 요소이며, 본 연구의 실험 결과를 근거로 볼 때, 수면으로부터의 사면거리가 2m(수직거리 0.9m)를 초과하는 수제부 사면에 갯버들을 삼목할 경우에는 토양 수분 관리를 통하여 원활한 초기 활착과 생장을 도모할 필요가 있는 것으로 판단되었다.

④ 생육을 위한 수분 확보 측면에서 가장 효율적인 삼목방법은 삼수를 가로방향으로 놓아서 사면전체를 피복하여 매설하는 방법이며, 삼수를 짧은 길이로 무작위 절단하여 살포하는 것도 상당한 효과가 있는 것으로 분석되었다. 이러한 삼목 방법들은 토양 유실억제 측면에서도 가장 효과적인 것으로 나타났다. 반면에, 가장 비효율적인 방법은 삼수를 세로방향으로 세워 삼목하는 것으로 나타났다. 특히, 삼수를 세워서 밀식하는 경우 삼수량 대비 생존율의 측면에서 가장 불리한 것으로 나타났으며, 토양 유실량도 상대적으로 높게 나타났다.

식물의 생물공학적인 특성과 역할에 관한 실증적 연구가 부족한 상황에서 생태복원의 주된 관심 대상이 되고 있는 습지(濕地)의 수제부(水際部)에 분포하고 있는 대표적인 목본 수목인 갯버들을 다양한 삼목 방법으로 수제부 사면에 직접 적용하여 생장량 변화와 사면에서의 토양 유실 억제효과를 직접 비교함으로써, 갯버들의 생물공학적인 적용가능성에 대한 실증적인 분석과 해석을 시도한 점이 본 연구의 의의라 할 수 있다.

그러나, 하천형 습지에서 기본적인 작용 중의 하나인 흐르는 물에 의한 침식 방어능력에 대한 해석이 부족한 것이 본 연구의 한계점이다. 그러나, 식생이 도입된 사면에서의 흐르는 물에 의한 유실 특성을 분석하는데는 현실적으로 많은 어려움이 있어서, 이삼희(1999) 등

의 기존 연구에서도 실제 식물을 사용하는 대신 모형을 이용하고 있다. 따라서 흐르는 물에 의한 침식을 방어하는 능력을 해석하기 위해서는 보다 장기적인 관점에서 실험 방법과 공시체 조성 방법 등에 관한 후속 연구가 이루어져야 할 것으로 생각된다.

인 용 문 헌

- 김귀곤 · 조동길. 1999. 인공습지 조성후 생물다양성 증진 효과에 관한 연구. 한국조경학회지 27(3) : 1-17.
- 김진원 · 김기선 · 유용권. 1993. 미선나무의 삼목번식에 관한 연구. 한국원예학회 논문발표요지 11(2) : 100-101.
- 김혜주 · 이준현. 1998. Salix 종의 생물공학적인 이용성에 관한 연구. 한국조경학회지 26(3) : 143-151.
- 김혜주. 2000. 생물공학적인 하안 시공공법, 대한민국특허청공개특허공보, 특2000-0004831.
- 신정아 · 차영일. 1999. 갯버들(Salix gracilistyla Miq.)의 질소와 인 제거능력. 한국환경생물학회지 17(4) : 449-457.
- 이영노. 1996. 원색 한국 식물도감. 교학사 970-973.
- 이삼희 · 이진원 · 옥기영. 1999. 하천 식생에 의한 수리특성 예측모형 개발. 한국건설기술연구원 보고서 29-86.
- 이진원 · 유대영. 1997. 하천 내 수목의 내력시험. 한국수자원학회 논문집 30(3) : 211-223.
- 전승훈 · 현진이 · 최정권. 1998. 하천 미지형 및 하상 저질에 따른 갯버들과 달뿌리풀 군락의 분포특성에 관한 연구. 한국조경학회지 27(2) : 58-69.
- 안영희 · 양영철 · 전승훈. 2001. 안성천 수계의 버드나무과 식물의 분포특성에 관한 연구. 한국환경생태학회지 15(3) : 213-223.
- 최병진 · 송은정. 1998. 무궁화의 삼목발근에 관한 연구 : 삼수 채취시기가 발근과 체내 동화산물의 변화에 미치는 영향. 대구효성가톨릭대학교 논문집 57 : 181-188.

- 최정권. 1997. 하천저수로의 수충부 자연형 호안공법. 대한민국특허청공개특허공보 특 1997-0027534.
- Abernethy, B. and I. D. Rutherford. 2000. The effect of riparian tree roots on the mass-stability of riverbanks. *Earth Surface Processes and Landforms* 25 : 921-937.
- Bohm, W. 1979. *Methods of studying root systems*. Springer-Verlag Berlin 88.
- Coppin, N. J. 1990. Use of vegetation in civil engineering. Butterworths 199-229.
- Day, R. W. 1995. Root reinforcement and waterway embankment stability. *Environmental & Engineering Geoscience* 11(1) : 85-88.
- Gray, D. H. and R. B. Sotir. 1996. *Biotechnical and soil bioengineering Slope Stabilization*, A Wiley-Interscience Publication 87-88.
- Micheli E. R and W. Kirchner. 2002. Effects of wet meadow riparian vegetation on streambank erosion 1. remote sensing measurement of streambank migration and erodibility. *Earth Surf. Process. Landforms* 27 : 627-639.
- Morgan R. P. C and R. J. Rickson. 1995. Water erosion control. Slope stabilization and erosion control : A bioengineering approach. E&FN spon : 133-190.
- Simonds, A and A. Collinson. 2001. Scientific basis for streambank stabilization using riparian vegetation. Seventh federal interagency Sedimentation Conference, March 25-29th. NV.
- Sotir, R. B. and N. R. Nunnally. 1995. Riprap in Soil Bioengineering Streambank protection. River, Coastal and Shoreline Protection, JOHN WILEY & SONS : 578-589.
- Springer, F. M., C. R. Ullrich and D. J. Hagerty. 1995. Streambank stability. *Journal of Geotechnical Engineering* 111(5) : 624-640.

接受 2003年 5月 3日