

## 근모량에 따른 식생호안의 침식특성 분석

## Analysis of the Erosion Characteristics with Root Fiber of a Vegetated Levee Revetment

최 흥 식\* / 이 응 희\*\*

Choi, Hueng Sik / Lee, Woong Hee

## Abstract

The sampling and measuring methods of root fiber quantity which greatly governs the stability evaluation of a vegetated levee revetment are proposed by this study and the erosion characteristics related to root fiber quantity are analysed by the experiments. The *Phragmites Japonica Steud* confirmed the dominant species in a vegetated levee revetment and the *Zoysinagrass* are selected as the experimental vegetations. The characteristics of erosion depth and erosion rate are analysed according to the root fiber quantity and their corresponding regression equations are suggested. The erosion depth and erosion rate highly decrease with root fiber quantity by experimental results which results in great increasing the erosion resistance of a vegetated levee revetment. The corresponding regression equations for both vegetations of the *Phragmites Japonica Steud* and the *Zoysinagrass* are suggested with high determination coefficients. The erosion resistance of the *Zoysinagrass* is better than that of the *Phragmites Japonica Steud*.

**Keywords** : root fiber quantity, vegetated levee revetment, stability, erosion characteristics

## 요 지

본 연구는 식생호안의 안정성 평가에 중요한 인자인 식생 근모량의 채취와 산정방법을 제시하였다. 또한 근모량에 따른 식생호안의 침식특성을 수리모형실험을 통하여 분석하였다. 수리모형실험에 사용한 식생으로는 국내 최우점종으로 확인된 달뿌리풀과 잔디이다. 유속별 근모량에 따른 침식특성으로 침식깊이와 침식률을 분석하고 그 관계식을 제시하였다. 실험결과 근모량이 증가함에 따라 침식깊이가 현저하게 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 침식률의 산정결과 근모량이 증가함에 따라 침식에 대한 저항능력이 현저하게 증가함을 알 수 있었으며, 달뿌리풀과 잔디 각각의 식생별 및 전체 cases별 관계곡선식을 도출하여 높은 결정계수를 가짐을 확인하였다. 또한 달뿌리풀보다 잔디의 침식저항능력이 더욱 뛰어남을 확인하였다.

**핵심용어** : 근모량, 식생호안, 안정성, 침식특성

## 1. 서 론

최근 들어 하천은 기존의 이수성과 치수성이 강조된 호안에서 생태성이 강조된 식생호안으로 정비·관리하도

록 여러 가지 형태의 노력을 하고 있다. 이를 위하여 하천 생태계 복원차원에서 호안에 다양한 식물을 식재하고 있는 실정이다. 생태성이 강조된 식생호안은 다양한 생물상의 유도를 위한 친자연적 하천공법으로 생태하천 복원에

\* 교신저자, 상지대학교 이공대학 건설시스템공학과 교수, 공학박사 (e-mail: hsikchoi@sangji.ac.kr)  
Corresponding Author, Professor, Dept. of Civil Engineering, Sangji Univ, Wonju 220-702, Korea

\*\* 상지대학교 대학원 토목공학과 석사후 연구원 (e-mail: yuki68024@sangji.ac.kr)  
Post-master researcher, Dept. of Civil Engineering, Sangji Univ, Wonju 220-702, Korea

선진 외국에서 가장 크게 고려하는 부분이다. 그러나 홍수에 따른 식생호안의 안정성 (safety)이 크지 않고, 이는 토질특성, 계절에 따른 식생활착 정도, 식생 밀도, 식생 뿌리의 깊이 등 다양한 요소들에 의해 고려되어야 하기 때문에 정확한 침식내력을 계산하기란 매우 어려운 문제이다. 또한 식생호안에 따른 수리적 안정성 (stability)은 식생에 따른 유속저감 효과와 더불어 식생 뿌리에 지배되는 토양응집력에 영향을 주는 근모량을 고려하여 홍수에 따른 호안침식을 방어해야 하는데 근모량 채취 및 산정에 대한 정확한 정의는 물론 근모량에 따른 침식의 관계를 분석한 사례는 거의 없는 실정이다. 따라서 근모량의 정확한 산정과 그에 따른 침식에 대한 식생호안 안정성을 고려한 설계 및 평가방법은 매우 중요한 요소 중 하나이다.

현재 하천 호안의 안정성을 판단하기 위한 여러 가지의 연구들이 이루어지고 있으나, 식생 근모량에 따른 흩입자의 탈락에 기인된 침식의 정도에 의한 식생호안의 안정성 평가방법에 대한 연구는 매우 부족한 현실이다. 기존 식생에 의한 호안의 안정성 증대에 대한 연구로 식생 및 근모에 의한 침식에 대한 연구로는 Wu et al. (1979)이 실험을 통한 민감도 해석에 의해 뿌리의 인장강도에 동원되는 전단비틀림각과 내부마찰각에 대한 연구를 통하여 뿌리에 의한 전단강도식을 제시하였다. Ikeda and Izumi (1990)는 식생밀도가 높아질수록 호안경사가 증가할 수 있음을 이론적으로 증명하였고, Scholand et al. (1991)은 초본류 식물의 근모에 따른 침식방어능력에 대하여 연구하였으며, Millar and Quick (1993)은 사면 안정성에 관한 식에 호안의 식생, 압밀 (consolidation), 그리고 호안재료의 고착화 (cementation)를 고려한 수정식을 제안하였으며, 기존 현장자료를 분석하여 식생에 의해 호안 안정성이 증가될 수 있다고 제안하였다. 또한 일본의 建設省 (2000)에서는 ‘河川堤防設計指針’을 통하여 호안 침식에 대하여 최근 많이 사용되어지는 돌망태공, 식생블록공, 식

생공 등에 대하여 외력·내력을 산정하여 그에 따른 안정/불안정을 판단하도록 제시하였다. Pollen et al. (2007)은 하천실험을 통하여 토양의 뿌리보강에 있어서 수분조건과 전단력과의 관계규명 및 안전율을 이용하여 식생사면과 무식생사면의 안정성을 비교하였다. 실험결과 뿌리보강에 의한 규모는 토양의 전단강도와 토양함수에 의해 결정됨을 확인하였고, 식생이 있는 경우가 식생이 없는 경우보다 안전율이 더 크게 나타남을 확인하였다.

양수룡과 이춘석 (1998)은 하천 내 식생이 토질의 밀도를 증가시켜 세굴에 대한 보호작용을 한다고 보고 식생을 통한 침식의 조절 및 호안침식에서 식생이 미치는 영향에 대한 이론과 실험을 통한 분석을 실시하였다. 조주형과 안봉원 (1998)은 식생뿌리에 의한 비탈면의 안정과 보강을 위하여 비탈면에서 생육이 가능한 참싸리 (*Lespedeza Cyrtobotrya*)와 조릿대 (*Sasamprpha Purpurascens*), 참억새 (*Miscanthus Sinensis*)를 대상으로 뿌리의 인장실험을 통하여 뿌리에 의한 전단강도의 증가를 측정하여 뿌리의 저항력은 뿌리 직경이 커짐에 따라 인장강도가 커짐을 확인하였으며, 실험을 통하여 흩의 전단강도를 보강하기 위한 식생의 선정과 식생에 따른 전단 저항력을 확인하였다. 건설교통부 (2004)에서는 하천 호안관련 선진기술 개발을 위한 연구를 진행하여 일본의 建設省에서 제시한 방법과 동일하게 호안의 안정성 판단을 하도록 제시하였다. 이를 토대로 최홍식과 김상문 (2009)은 우리나라의 대표적 호안공법인 식생호안, 돌망태공, 호안블록공의 수리적 안정성 평가를 위한 Menu-driven 방식의 안정성평가 프로그램을 개발하였다.

그러나 현재 국내에는 식생호안의 안정성 판단을 위한 중요한 요소인 근모량의 채취방법과 산정에 대한 정확한 기준이 없다. 따라서 본 연구에서는 식생호안의 안정성 판단을 위하여 사용되는 근모량 값의 중요성을 알아보고 현재 정립되어 있지 않은 근모량 측정 방법을 제시하였다.



*Phragmites Japonica Steud*



*Zoysinagrass*

Fig. 1. Selected Vegetation



Fig. 2. Sampling of Root Fiber

수리모형실험을 실시하여 근모량에 따른 침식 및 퇴적 양상을 확인하고, 근모량에 따른 침식의 특성을 제시하고자 한다. 이를 위해서 국내 하천 호안의 식생 우점종인 달뿌리풀 (*Phragmites Japonica Steud*)과 외국에서의 식생호안 안정성 증대를 위해 많이 식재되는 잔디 (*Zoysinagrass*)를 실험대상 식생으로 선정하였다 (Fig. 1).

## 2. 근모량 산정 및 수리실험

### 2.1 근모량 채취 및 산정

식생 근모량에 따른 침식특성을 분석하기 위해 호안공 설치 초기단계에 침식으로부터 토양층을 보호하고, 후속적으로 장기간에 걸쳐 호안의 식피를 이루어주는 초본류 식생을 대상으로 하였다. 초본류 식생 중 건설교통부 (1995)에서 현장조사에 의해 제시되고, 강원도 홍천강 지류의 4개 하천인 굴치천, 내촌천, 성동천, 풍천의 상·중·하류의 구간별 식생 분포도를 조사하여 구간별 식생 우점종으로 현장 확인된 달뿌리풀을 실험 식생으로 선정하였다. 아울러 일본, 독일 등에서 호안 강화용 식생으로 주로 사용하는 잔디를 선정하여 국내 호안 우점식생종인 달뿌리풀과 국외 호안 강화용 잔디에 대한 침식특성을 분석하였다.

근모량의 채취 방법은 일본 建設省 (2000)에서 제시한 근모량 채취방법으로 지름 3cm, 깊이 5cm의 채취기를 제작하여 근모를 채취하였고, 토양 및 근모만의 채취를 위하여 지표면 아래 3cm 깊이 구간은 제외하여 채취하였다 (Fig. 2). 근모량의 산정은 다음과 같은 방법을 이용할 것을 제안하였다.

- ① 현장시료 채취: 근모량 채취기를 이용하여 하천 호안 비탈면에 수직된 상태로 시료를 채취.
- ② 시료중량 및 부피 측정: 1/1,000 이상의 balance에서 채취 시료의 중량측정 및 시료부피 측정.
- ③ 건조시료 중량 및 함수량 측정: 건조기를 이용하여 채취시료를 완전건조 후 건조중량을 측정. 함수량은 현장시료 중량에서 건조시료 중량을 뺀 값.
- ④ 근모중량 측정: 굵은 근모를 제거 후 남아 있는 잔

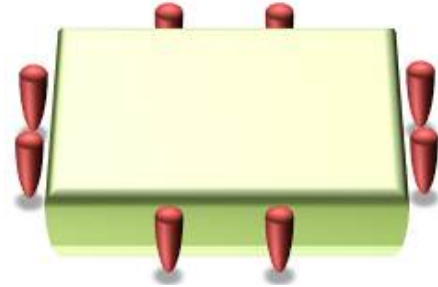


Fig. 3. Sampling Sites for Averaged Root Fiber Quantity

근모를 제거하기 위해 건조된 시료를 넓게 편 후 남은 근모를 소각, 근모를 제거한 후 흙 시료만의 중량 측정. 근모량은 건조중량에서 흙만의 중량을 뺀 값으로 근모중량 산정.

- ⑤ 근모량 산정: 측정된 근모중량을 초기시료 부피로 나누어 근모량을 측정.
- ⑥ 평균 근모량 산정: 상기 방법을 3회 이상 반복하고, 그 평균치를 조사지점의 평균 근모량으로 채택.

침식 특성분석을 위한 식생호안 실험재료는 Fig. 3에서와 같은 40×40 cm의 교란되지 않은 현장 시료를 사용하였다. 실험재료의 근모량은 채취시료의 내부에서 근모량을 측정할 경우 실험 시료 내에 손상이 생겨 그에 따른 토양침식 실험에 다른 영향을 줄 것을 고려하여 Fig. 3에서와 같이 채취 시료 외부 8개 지점에서 근모량을 채취하여 평균값을 사용하였다. 실험을 위해 채취된 시료들의 평균 근모량 값은 Table 1과 같이 달뿌리풀 식생에 대해서 각기 다른 근모량을 가진 5개의 실험재료와 잔디에 대해서는 각기 다른 근모량을 가진 4개의 실험재료를 사용하여 실험하였다. 실험에 사용된 달뿌리풀의 근모량은 0.0344, 0.0541, 0.0602, 0.0713, 0.0948 g/m<sup>3</sup>으로 나타났으며, 잔디의 근모량은 0.0383, 0.0613, 0.0755, 0.0932 g/m<sup>3</sup>이다.

### 2.2 실험수로 설계 및 계측

경사 개수로 실험 장치는 가변식으로 유량을 공급하는 고수조는 수로상부에 위치하고 있으며, 저수용량은 2m<sup>3</sup>이며, 저수조는 저수용량 6.75m<sup>3</sup>이다. 유량공급은 60 Hz,

Table 1. Averaged Root Fiber Quantity

Sample		Averaged Sample Weight (g)	Averaged Dry Weight (g)	Averaged Moisture Weight (g)	Averaged Root Fiber Weight (g)	Averaged Root Fiber Quantity (g/cm <sup>3</sup> )
<i>Phragmites Japonica Steud</i>	1	94.72	77.75	16.96	2.52	0.0713
	2	96.94	93.98	2.96	1.91	0.0541
	3	99.84	96.86	2.98	2.13	0.0601
	4	87.71	69.91	17.80	3.35	0.0948
	5	102.25	88.70	13.55	1.88	0.0344
<i>Zoysinagrass</i>	1	120.08	108.60	11.48	3.95	0.0932
	2	113.78	101.75	12.03	1.63	0.0383
	3	117.23	106.53	10.70	2.60	0.0613
	4	106.75	93.23	13.53	3.20	0.0755

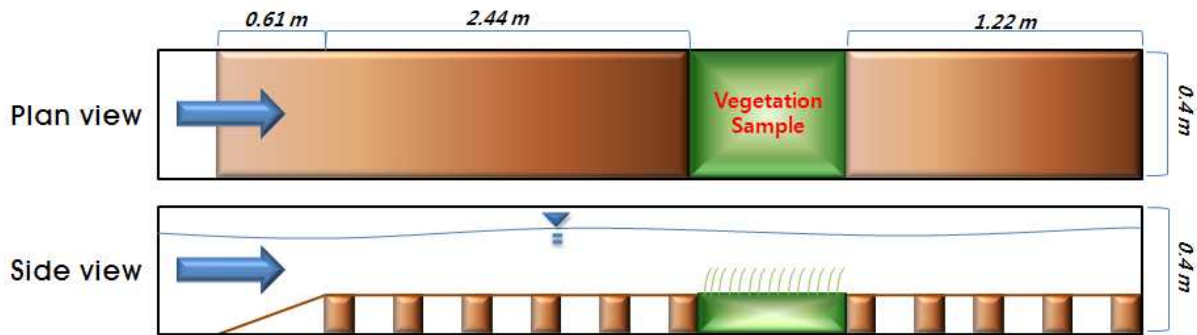


Fig. 4. Experimental Scheme at Tilting Flume

11 Kw의 원심력 펌프로 최대유량 2,800 l/min을 양수할 수 있고, 수로의 길이는 12 m, 폭 및 높이는 0.4m의 직사각형 수로로 10mm의 투명유리로 되어 실험 양상을 관찰할 수 있다. 실험재료의 설치는 수로 4~5 m 지점에 0.4 m 길이의 시료 통을 설치하였다(Fig. 4). 실험 시 정상류 상태를 유지해야 하므로 경사개수로 실험장치 바닥을 시료 통 높이와 일치 시켜 수로 바닥에 시료를 넣을 수 있도록 제작 하였다. 수심의 측정 및 침식깊이의 측정은 개수로 레일위의 이동장치에 부착된 포인트 게이지를 이용하여 측정 하였으며, 유속의 측정은 마그네틱 유속계(LP1100)로 흐름방향의 유속을 측정하였다. 유속계는 1축 1방향으로 유속측정범위는 0~2.0 m/s (LPT-200-09PS), 0~5.0 m/s (LPT-500-25F)이다. 정확도는 0.5~1 m/s ( $\pm 0.02$  m/s), 1~2 m/s ( $\pm 0.04$  m/s)이다.

### 2.3 실험재료의 특성 및 실험방법

실험은 無근모 상태 및 근모량 차이에 따른 침식특성을 분석하였고, 유속의 변화를 0.30, 0.50, 0.85 m/s로 변화를 주었으며, 그에 따른 Froude수는 0.3 m/s일 때 수심 0.215 m로 0.207, 0.5 m/s일 때 수심 0.150 m로 0.412, 0.85 m/s일 때 수심 0.097 m로 0.872이다. 실험 시 유량은 일정하게

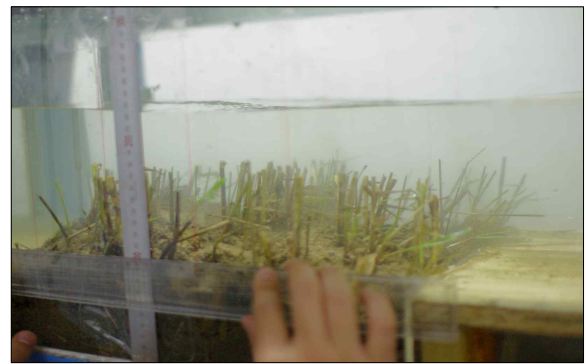


Fig. 5. Experimental Situation

고정하였으며, 하류의 수위조절 위어를 이용하여 유속 및 수심의 변화를 주었다. 바닥면 위 식생의 높이는 달뿌리 풀의 경우 0.08 m, 잔디의 경우 0.04 m로 절단하여 식생에 따른 유속저감효과를 일정하게 유지한 상태에서 각각의 침식량을 산정하였다. 침식특성에 있어 흐름시간의 영향이 있을 것으로 판단하여, 흐름지속시간을 15분으로 고정하여 침식량을 확인하였다(Table 2).

침식량의 측정 시 토양의 특성에 따른 침식량의 차이를 가져올 수 있다. 따라서 본 실험을 위해 현장에서 채취된 시료들을 KS F2324 (흙의 공학적 분류방법)에 의해 분류

Table 2. Experimental Condition

Velocity (m/s)	Depth (m)	Froude Number	Duration of Flow (min)	Height of Vegetation (m)	
0.30	0.215	0.207	15	<i>Phragmites Japonica Steud</i>	0.08
0.50	0.150	0.412		<i>Zoysinagrass</i>	0.04
0.85	0.097	0.872			

해본 결과 모든 시료는 SP-SM(입도분포가 나쁜 실트 질 모래)으로 분류되었다. 흙의 입경에 의한 분류에 따라 모래는 0.075~4.75 mm의 입경을 나타낸다. 침식특성의 경우 식생 피복도(식생 밀도)에 따른 영향이 매우 클 것으로 판단되어지나, 본 연구에서는 근모량이 증가하면 식생의 피복도도 증가한다고 보고 실험하였다. 이는 현장에서 식생과 식생간 근모량의 분포를 확인한 결과 식생 줄기와 가까운 지역에서 근모량의 값이 크게 나오는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 근모량 값이 커지면 식생 줄기가 더 가깝고 개수가 증가하여 식생 피복도가 높다고 판단한 것이다.

### 3. 실험 결과 및 분석

#### 3.1 침식깊이 측정 및 분석

침식깊이의 측정에 있어 측벽 부분은 수로벽에 의한 흐름변화에 따른 토양침식에 영향이 있을 것으로 판단하여 40×40 cm의 시료의 수로 측벽 부분에서 0.08 m 간격으로 측정하였으며, Fig. 6과 같이 16개 지점을 포인트 게이지를 이용하여 측정하였다.

침식 깊이를 산정한 결과 유속의 증가에 있어서 Froude 수 0.207과 0.412에서는 큰 차이를 볼 수 없었으나, Froude 수 0.872에서는 침식깊이가 크게 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 또한 근모량 값이 증가함에 따라 침식 깊이가 현저하게 적어지는 것을 확인할 수 있으나, 근모량에 따른 최대 침식깊이를 각각의 경우에 대해 분석한 결과 세 굴은 전단면에 걸쳐 국부적으로 취약한 지점에서 발생되므로 침식깊이가 발생하는 위치 및 발생 수는 근모량과의 상관성이 없을 수 있으나, 전반적인 침식의 양상은 근모량의 정도에 지배됨을 확인하였다. Fig. 7은 최대침식이 일어난 측정 지점의 발생 수를 나타낸 것이다.

Fig. 8에서 확인할 수 있듯이 유속이 증가함에 따라 최대 침식깊이는 증가함을 알 수 있으며, 근모량이 증가할수록 최대 침식깊이는 현저하게 감소하는 것을 알 수 있다. 또한 달뿌리풀과 잔디의 경우 모두 같은 양상으로 침식에 대한 특성을 나타내고 있었으나, 잔디가 달뿌리풀보다 확연히 적은 침식을 가져옴을 확인하여, 잔디가 달뿌

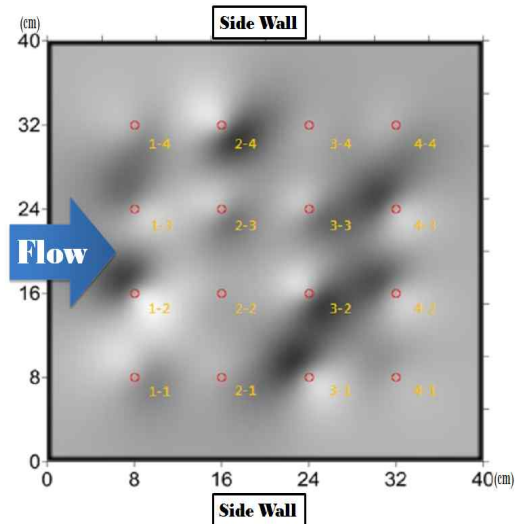


Fig. 6. Erosion Depth Measurement Points

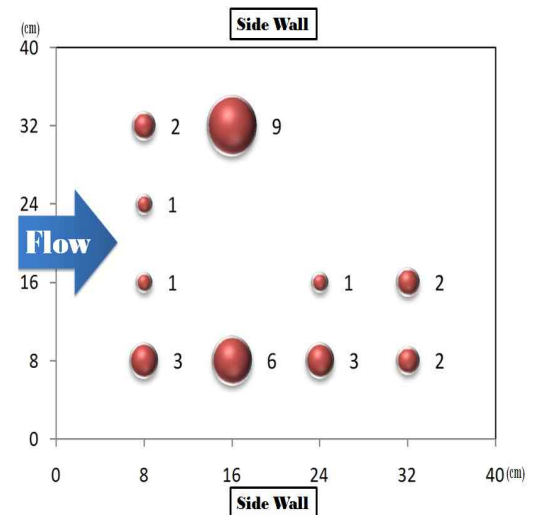
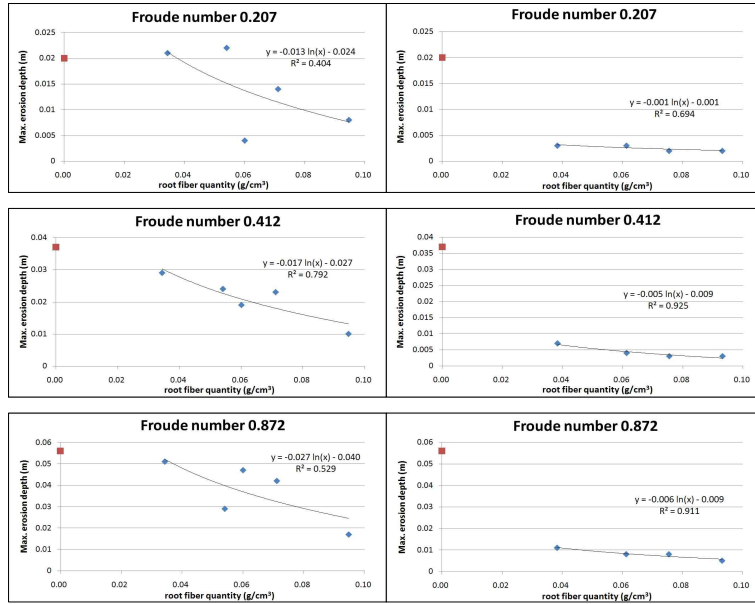


Fig. 7. Occurrence Numbers and Points of Maximum Erosion Depth

리풀보다 침식저하능력이 더 높음을 확인하였다. 또한 식생별, 유속에 따른 근모량과 침식깊이의 관계식은 Table 3과 같고, 높은 상관성을 보여주었다.

아울러 달뿌리풀 15개 cases와 잔디의 12개 cases의 전체 27개 cases에 대한 유속과 근모량에 따른 최대 침식깊이의 관계곡선식을 정리하면, Table 4와 같고, 높은 상관



<Phragmites Japonica Steud>

<Zoysinagrass>

Fig. 8. Maximum Erosion Depth according to the Root Fiber Quantity

Table 3. Regression Equations of Maximum Erosion Depth according to the Root Fiber Quantity

Classification	Froude Number	Regression Equation	Determination Coefficient
<i>Phragmites Japonica Steud</i>	0.207	$e_d = -0.013 \ln \sigma_0 - 0.024$	$R^2 = 0.404$
	0.412	$e_d = -0.017 \ln \sigma_0 - 0.027$	$R^2 = 0.792$
	0.872	$e_d = -0.027 \ln \sigma_0 - 0.040$	$R^2 = 0.529$
<i>Zoysinagrass</i>	0.207	$e_d = -0.001 \ln \sigma_0 - 0.001$	$R^2 = 0.694$
	0.412	$e_d = -0.005 \ln \sigma_0 - 0.009$	$R^2 = 0.925$
	0.872	$e_d = -0.006 \ln \sigma_0 - 0.009$	$R^2 = 0.911$

Where,  $e_d$  : Max. Erosion Depth(m),  $\sigma_0$  : Root Fiber Quantity( $g/cm^3$ )

Table 4. Regression Equations of Maximum Erosion Depth

Classification	Regression Equation	Determination Coefficient
<i>Phragmites Japonica Steud</i> (15)	$e_d = -0.031 Fr + 0.331 \sigma_0 - 0.028$	$R^2 = 0.781$
<i>Zoysinagrass</i> (12)	$e_d = -0.007 Fr + 0.066 \sigma_0 - 0.005$	$R^2 = 0.907$
Total Cases(27)	$e_d = -0.021 Fr + 0.258 \sigma_0 - 0.021$	$R^2 = 0.357$

성을 보여준다.

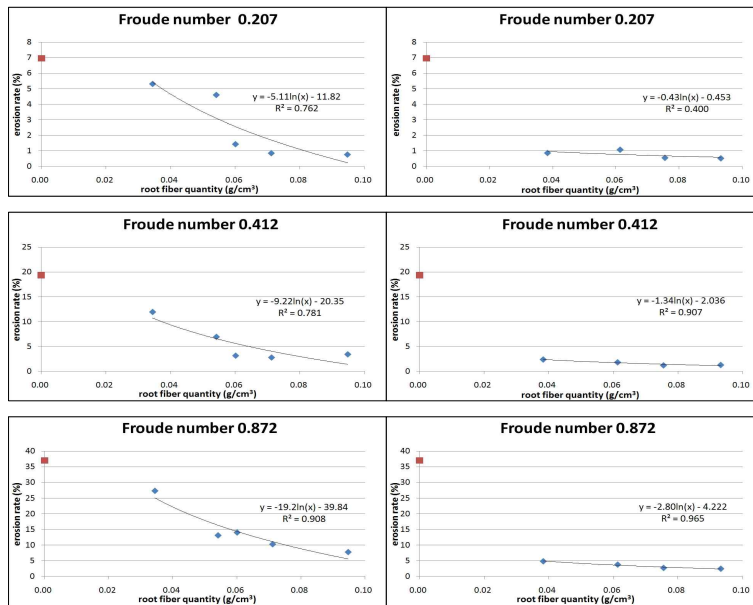
### 3.2 침식부피 및 침식률 산정

실험으로 얻어진 침식깊이 결과 값은 사각 각주법을 이용하여 시료의 초기 부피 및 침식부피를 산정하였다. 유속별 근모량에 따른 침식률( $e_r$ )의 산정결과 침식깊이와 마찬가지로 근모량이 커짐에 따라 침식률이 작아지는 것을 확인할 수 있었다. 침식률은 시간에 따른 단위면적당

평균 침식량이나, Eq. (1)과 같은 방법으로 산정되었다.

$$\text{침식율}(e_r) = \frac{\text{초기시료부피} - \text{침식후부피}}{\text{초기시료부피}} \times 100(\%) \quad (1)$$

Fig. 9는 유속별 근모량에 따른 침식률로 유속의 증가에 따라 침식률은 매우 높아짐을 확인할 수 있으며, 근모량이 증가함에 따라 침식률은 떨어지는 것을 확인할 수 있다. 또한 침식률에 있어서도 잔디의 경우 달뿌리풀 보



<Phragmites Japonica Steud>      <Zoysinagrass>

Fig. 9. Erosion Rate according to the Root Fiber Quantity

Table 5. Regression Equations of Erosion Rate according to the Root Fiber Quantity

Classification	Froude Number	Regression Equation	Determination Coefficient
<i>Phragmites Japonica Steud</i>	0.207	$e_r = -5.11\ln\sigma_0 - 11.82$	$R^2 = 0.762$
	0.412	$e_r = -9.22\ln\sigma_0 - 20.35$	$R^2 = 0.781$
	0.872	$e_r = -19.2\ln\sigma_0 - 39.84$	$R^2 = 0.908$
<i>Zoysinagrass</i>	0.207	$e_r = -0.43\ln\sigma_0 - 0.453$	$R^2 = 0.400$
	0.412	$e_r = -4.34\ln\sigma_0 - 2.036$	$R^2 = 0.907$
	0.872	$e_r = -2.80\ln\sigma_0 - 4.222$	$R^2 = 0.965$

Where,  $e_r$  : Erosion Rate(%),  $\sigma_0$  : Root Fiber Quantity( $\text{g}/\text{cm}^3$ )

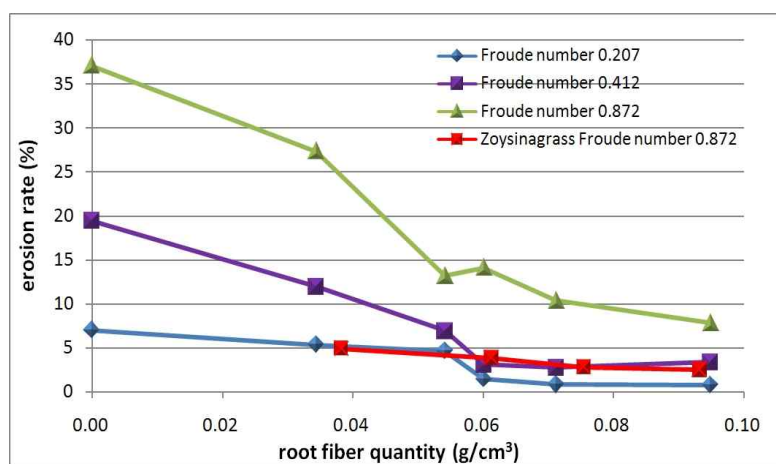


Fig. 10. Erosion Rate according to the Root Fiber Quantity

다 침식저하능력이 더 높음을 확인할 수 있다. 산정된 각각의 식생별, 유속별 근모량에 따른 관계식을 정리하면

Table 5와 같다. 각각의 식생별, 유속별 근모량에 따른 침식률의 관계식은 유속이 늘어남에 따라 더욱 높은 결정계

수를 가짐을 확인할 수 있다.

또한 Fig. 10은 달뿌리풀의 유속별 근모량에 따른 침식률과, 잔디에서의 Froude수 0.872에서의 침식률과 비교하여 보았다. 달뿌리풀과 잔디의 침식률 비교결과 잔디가 달뿌리풀보다 침식저하능력이 더욱 뛰어난 것을 확인할 수 있다. 이는 잔디의 경우 근모량 값에 비해 토양표면의 피복도가 높아 유수에 따른 침식저하능이 더 높은 것으로 판단되어지나 추가적인 실험을 통해서 확인할 필요가 있다.

침식률 관계를 위한 관계곡선식을 달뿌리풀 15개 cases, 잔디 12개 cases, 전체 27개 cases의 관계곡선식을 정리하면 Table 6과 같으며, 높은 결정계수를 확인하였다. 그러나 식생종의 분류 없이 분석한 전체 27개 cases의 관계곡선식의 결정계수는 0.494로 산정되어졌다. 근모량에 따른 침식률 관계를 위한 분석 시 식생에 따른 분류에서 차이가 있음을 확인하였다.

#### 4. 결론

본 연구는 식생호안의 수리적 안정성 판단을 위하여 사용되는 근모량의 채취 및 산정에 대한 기준을 정리하고, 국내 하천 호안의 식생 우점종인 달뿌리풀과 국외 식생호안의 안정성 증대를 위해 많이 식재되는 잔디에 대한 유속에 따른 근모량별 침식특성을 분석하였다.

- 1) 근모량 채취 및 산정방법을 제시하였고, 고정된 실험조건에서 근모량 값에 따른 최대침식깊이 발생 지점을 분석한 결과 최대침식깊이의 발생 지점 및 발생 수는 일정한 패턴이 없이 전단면에 걸쳐 국부적으로 취약한 지점에서 발생되어 짐을 확인하였다. 전반적인 침식의 양상은 근모량이 증가함에 따라 침식깊이가 현저하게 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 여기서 국부적으로 취약한 지점은 동일한 평균 근모량 값을 가지는 시료에서 토양 표면의 식생 밀집도 차이에서 오는 결과라고 판단된다.
- 2) 유속별 근모량에 따른 침식률의 산정 결과 근모량이 증가함에 따라 침식에 대한 저항능력이 현저하게 증가함을 알 수 있었으며, 높은 결정계수를 가진 관계식을 제시하였다.
- 3) 침식깊이에 따른 침식부피, 침식률을 유속별 근모량에 따른 각각의 식생별 및 전체 cases별 관계곡선식의 도출 결과 전체적으로 매우 높은 결정계수를 보였다.
- 4) 국내 하천의 최우점 식생종인 달뿌리풀과 잔디의 근모량에 따른 침식률 산정 결과 비슷한 평균 근모량 범위에서 달뿌리풀보다 잔디 시료의 침식률이 현저히 적은 것을 알 수 있었다. 따라서 식생호안의 안정

을 위해 호안에 잔디를 식재하는 것이 호안 안정성 증대에 더 좋은 효과가 있음을 확인하였다. 이는 달뿌리풀보다 잔디의 토양 표면의 식생 밀집도 차이에서 오는 결과라고 판단되어 진다. 이는 추가적인 실험을 통해서 확인할 필요가 있다.

본 연구를 통하여 식생호안의 안정성에 있어 식생 근모량 값이 매우 중요하다는 것을 확인할 수 있었으며, 현재 국내에 정확한 지표가 없는 근모량 측정 방법에 대하여 사용성 높은 근모량 측정방법을 제시하였다. 하지만 식생호안의 안정에 있어 식생의 밀도에 따른 유속저감 효과에서 가져오는 침식저하 능력에 대한 내용의 보완이 필요할 것으로 보이며, 추후 연구 및 식생 밀도 분포의 조사 방법 및 밀도 차에 따른 침식특성 변화에 대한 내용의 보완이 필요하다. 또한 토양전단특성과 근모량에 따른 침식률 및 침식률과의 상관성에 대한 연구가 필요하다.

#### 감사의 글

본 연구는 건설교통부 및 한국건설교통기술평가원 건설핵심연구개발사업의 연구비지원 (자연과 함께하는 하천복원기술개발 ECORIVER21; 과제번호06건설핵심B01)에 의해 수행되었다.

#### 참고문헌

- 건설교통부 (1995). 도시하천의 하천환경 정비기법 개발 보고서.
- 건설교통부 (2004). 하천제방 관련 선진기술 개발 최종보고서.
- 양수용, 이춘석 (1998). “제방안전에 미치는 식생의 영향에 관한 이론적 검토.” **건설기술연구소보**, 제1집, 제1호, pp. 231-241.
- 조주형, 안봉원 (1998). “식생뿌리에 의한 비탈면 안정과 보강에 관한 실험적 연구.” **환경복원녹화기술학회지**, 제1권, 제1호, pp. 54-62.
- 최홍식, 김상문 (2009). “호안 안정성 평가 프로그램 개발 및 매뉴얼 소개.” **물과 미래**, Vol. 42, No. 9, pp. 52-58.
- 建設省 (2000). 河川堤防設計指針.
- Ikeda, S., and Izumi, N. (1990). “Width and depth of self-formed straight gravel rivers with bank vegetation.” *Water Resources Research*, Vol. 26, No. 10, pp. 2353-2364.
- Millar, R.G., and Quick, M.C. (1993). “Effect of bank stability on geometry of gravel rivers.” *J. of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 119, No. 12, pp. 1343-1363.



Pollen, N., Simon, A., and Langendoen, E. (2007). "Enhancements of a bank-stability and toe-erosion model and the addition of improved mechanical root-reinforcement algorithms." *World Environmental and Water Resources Congress 2007: Restoring Our Natural Habitat*, pp. 1-11.

Scholand, M., Austenfeld, F.A., and Willert, D.J. (1991). "Underground biomass and its influence on soil shear strength in a grazed and ungrazed German

coastal marsh." *Plant Root Growth: an Ecological Perspective*, pp. 341-348.

Wu, T.H., McKinnell, W.P., and Swanston, D.N. (1979). "Strength of tree roots and slides on Prince of Wales Island." *Canadian Geotechnical J.*, Vol. 16, pp. 19-33.

논문번호: 11-015	접수: 2011.02.10
수정일자: 2011.05.31/06.08	심사완료: 2011.06.08