

평균근모량 채취 및 산정방법 표준화 제안



최 홍 식 |
상지대학교 건설시스템공학과 교수
hsikchoi@sangji.ac.kr



이 응 희 |
상지대학교 대학원 토목공학과 석사후 연구원
yuki68024@sangji.ac.kr

과 더불어 침식에 대한 수리적 안정성이 충분히 확보되어야 한다. 식생호안의 침식에 따른 수리적 안정성 판단을 위해서는 식생의 평균근모량에 의한 침식내력을 산정해야하고, 이를 위해서는 정확하고 통일된 식생 평균근모량 채취와 산정이 필요하다. 그러나 현재 우리나라에는 식생 평균근모량 채취와 산정에 대한 기준이 없다. 따라서 식생 평균근모량에 따른 침식내력의 산정과 더불어 식생호안에서의 침식에 따른 호안의 안정성에 대한 이론을 제시하고, 식생 평균근모량 채취 및 산정방법을 제안하고자 한다.

1. 머리말

생태성이 강조된 식생호안은 친환경적 하천관리 공법으로 생태하천 설계 시 가장 크게 고려되는 부분이다. 그러나 식생호안은 토양요소, 계절적 식생 활착 정도, 식생 밀도, 식생 뿌리의 직경과 길이 등 다양한 요소들에 의해서 안정성이 고려되어야 하기 때문에 정확한 침식내력을 계산하기란 매우 어려운 문제이다. 또한 식생호안은 다른 호안공법들과 달리 식생에 따른 유속저감 효과와 식생뿌리를 통한 토양 응집력의 증가만을 고려하여 유수에 따른 호안침식에 방어해야 한다는 단점이 있어 식생호안 안정성을 고려할 설계 및 안정성 평가 방법은 매우 중요한 요소 중 하나이다.

식생호안의 설계는 이수·치수기능 및 환경 기능

2. 평균근모량에 따른 식생호안의 침식내력과 안정성 평가

2.1 식생호안의 침식 안정성

하천 흐름으로 인한 침식에 대한 제방의 안정성은 하도의 형상(평면 및 종횡단 현상), 제방 전면의 하안(고수부)의 상황, 제방 주변의 홍수류의 수리조건, 현재의 하안 또는 제방 본체를 방호하는 구조물의 공종, 제방의 토질 조건 등에 관련이 있다. 제방의 안전으로서는 유수에 의한 것 이외에 유목이나 파랑에 의한 것도 있지만, 침식 작용이 예상되는 경우에는 별도의 검토가 필요하다. 홍수시의 제방 근

방의 유수에 의한 전단력을 외력으로 하고, 내력으로써 제방을 피복하는 식생, 고수부의 높이(저수 하안고)나 폭을 고려해서 침식에 대한 안정성, 즉 제방의 제외 비탈면이 침식되는가 또는 제외 기초부가 세굴될 가능성이 있는가를 평가한다(류권구와 이남주, 2011).

제방 비탈면 및 비탈면 끝단표면의 직접침식에 대한 안정성은 표면 침식내력이 침식외력으로 평가되는 대표유속보다 큰 경우 안정하다고 판단한다. 즉, 대표유속 및 유속 작용시간에 대한 침식외력보다 식생으로 피복된 비탈면의 표면 침식내력이 크면 안정하다고 판단하는 것이다. 지표면 근방에 식생 근모가 많이 포함 되어 있을수록 높은 내침식성이 발휘된다고 볼 수 있다. 이와 같이 제방 비탈면 및 비탈면 끝단표면의 침식에 대한 안정성 조사기준은 다음의 관계식을 이용해 평가한다(건설교통부, 2004).

- 식생의 표면 침식내력(u_*)은 다음과 같다.

$$u_* = \frac{Z_{brk}}{\sigma} \cdot \frac{1}{\log t} \quad (1)$$

여기서, u_* : 마찰속도(m/s),
 t : 전단응력이 작용하는 계속시간(분),
 Z_{brk} : 허용침식깊이(m),
 σ : 침식용이성계수(-50 σ_0 +9)
 σ_0 : 평균근모량(g/cm^3)으로 단위체적당 흙 중에 포함된 뿌리 및 지하줄기의 총중량 이다.

식 1은 시간적으로 일정한 유속이 작용하는 조건에서 적용할 수 있다.

- 대표유속(V_o)로 표현되는 침식외력(u_*')은 다음과 같다.

$$u_*' = V_o / \phi \quad (2)$$

여기서 ϕ 는 유속계수로서 식 3과 같다.

$$\phi = \frac{1}{n} \cdot \frac{H_d^{1/6}}{\sqrt{g}} \quad (3)$$

여기서, n : Manning계수,
 H_d : 수심(m),
 g : 중력가속도(m/s^2) 이다.

대표유속(V_o)은 측정된 평균유속에 만곡부 등에 따른 보정계수를 곱해 식 4와 5와 같이 산정한다.

$$V_o = \alpha \cdot V_m \quad (4)$$

$$V_m = \frac{1}{n} \cdot H_d^{2/3} \cdot I_e^{1/2} \quad (5)$$

여기서, V_o : 대표유속(m/s),
 V_m : Manning의 유속공식으로부터 구한 평균유속(m/s),
 n : Manning의 조도계수($s/m^{1/3}$),
 H_d : 설계수심(m),
 I_e : 에너지 경사,
 α : 보정계수 이다.

- 보정계수(α)

보정계수는 만곡의 영향에 따른 보정, 세굴에 의한 보정, 흐름 간섭에 의한 보정 등이 있다. 보정의 주된 항목은 표 1과 같다.

㉠ 만곡에 의한 보정

만곡에 의한 보정은 자유 소용돌이 · 강제 소용돌

표 1. 유속의 주요한 보정항목

구분	직선부	만곡부
고수부가 있는 경우	저수로의 흐름의 간섭에 따른 보정	①저수로의 흐름의 간섭에 따른 보정 ②만곡의 영향에 따른 보정
고수부가 없고, 혹은 그 폭이 고수부 수심 3배인 경우	사주발생에 따른 하상 세굴 영향에 따른 보정	①자유 소용돌이, 강제 소용돌이의 발생에 의한 유속의 보정 ②하상 세굴 영향에 의한 보정

이의 발생 경우 유속을 보정해 준다. 만곡에 의한 보정계수는 다음과 같다.

$$\alpha = 1 + \frac{B}{2r} \quad (6)$$

여기서, B : 평균 하도 폭(m),
 r : 하도중심의 곡률반경 이다.

㉞ 세굴에 의한 보정

세굴에 의한 보정은 만곡부에서 외안을 깊이 파는 것에 의해 유속이 빨라지는 경우 유속을 보정해 준다. 세굴에 의한 보정계수는 다음과 같다.

$$\alpha = 1 + \frac{\Delta Z}{2H_d} + \frac{B}{2r} \quad (7)$$

여기서, ΔZ : 세굴깊이(m),
 H_d : 설계수심(m) 이다.

㉟ 저수로와의 흐름의 간섭에 의한 보정

홍수 시 고수부상의 유속과 저수로내의 유속에는 큰 차이가 있는 경우 보정 해 준다. 고수부 폭(B_{fp})과 고수부 수심(H_{fp})의 비(B_{fp}/H_{fp})가 작은 경우, 즉 고수부 폭이 상대적으로 협소한 경우 저수로 흐름이 간섭을 강하게 받기 때문에 보정이 필요하다. 보정계수는 아래와 같다.

$$\alpha = \frac{u_w(y)}{u_{w0}} = 1 + \frac{u_b - u_{w0}}{u_{w0}} \exp \left[- \sqrt{\frac{F_w \cdot u_{w0}}{H_{fp} \cdot \epsilon}} \cdot y \right] \quad (8)$$

여기서, $u_w(y)$: 고수부상의 임의의 지점(y)의 유속(m/s)

u_{w0} : 간섭효과의 영향범위에서의 유속(m/s)

u_b : 고수부와 저수로의 경계부의 유속(m/s)

F_w : 고수부에서의 마찰손실계수

H_{fp} : 고수부 부수 깊이(m)

ϵ : 횡단방향의 간섭효과의 크기를

표 2. 식생호안의 내·외력 소류력의 사용 변수

구분	변수	단위	
내력소류력 u_*	σ	침식 용이성 매개변수	-
	q_0	평균근모량	g/cm^3
	Z_{brk}	허용침식깊이	m
	t	전단응력지속시간	min
외력소류력 (u'_*)	V_0	대표유속	m/s
	Φ	유속계수	-
	V_m	매닝 평균유속	m/s
	g	중력가속도	m/s^2
	H_d	설계수심	m
	n	조도계수	$s/m^{1/3}$
	α	유속보정계수	-

나타내는 수평 와동년(渦洞年) 점성계수

- 제방 비탈면 및 비탈면 끝단 표면의 직접 침식에 대한 안정 조건

$u_* \geq u'_*$ 이면 안정으로 판단하지만, 만약 대표 유속(V_0)이 2 m/s 이하이면 제방 비탈면 및 비탈면 끝단 표면의 내침식성은 확보되어 있는 것으로 간주한다.

식생은 내침식성을 강화시키는 중요한 부분으로 근모층이 지표부근의 유속을 느리게 하여 소류력 저감효과를 발생시킨다. 따라서 뿌리의 밀도가 작은 부분, 두더지 굴 등의 지점과 같이 침식에 취약한 부분을 없애고 내침식성에 뛰어난 식생을 균일하게 유지시키는 철저한 제방 식재관리가 필요하다(건설교통부, 2004). 식생 호안의 안정성 평가를 위한 변수를 정리하면 표 2와 같다.

2.2 식생호안의 침식 안정성 평가 적용사례

· 흥천내촌천

흥천내촌천 No.192+10 좌안 지점의 식생호안 지점에 대하여 내·외력을 산정하여 안정성을 검토하였다. 표 3은 안정성 평가결과를 나타내고 있다.

이 지점의 식생호안 안정성 평가결과 내력소류력이 외력소류력보다 큰 안정된 상태를 나타내고 있

표 3. 흥천내촌천의 식생호안 안정성 평가결과

구분	변수	단위	변수값	계산된 내·외력	평가결과 (현장상황)
내력소류력 (u_*)	σ	침식 용이성 매개변수	-	10.625	0.443
	σ_0	평균근모량	g/cm ³	0.0325	
	Z_{brk}	허용침식깊이	m	5.4	
	t	전단응력지속시간	min	45	
외력소류력 (u_*')	V_0	대표유속	m/s	3.01	0.229
	Φ	유속계수	-	13.16	
	V_m	매닝 평균유속	m/s	3.01	
	g	중력가속도	m/s ²	9.8	
	H_d	설계수심	m	4.31	
	n	조도계수	s/m ^{1/3}	0.03	
	α	유속보정계수	-	1	

었으며, 조사당시 2009년도 우기가 지난 후 식생호안의 침식은 어느 정도 발생이 되었으나, 크게 제방 파괴나 붕괴 등은 일어나지 않은 안정된 상태를 나타내고 있어 평가결과와 현장상황이 잘 맞는 것을 확인하였다.

· 강릉남대천

강릉남대천 No.38 좌안지점의 식생호안 지점에 대하여 내·외력을 산정하여 안정성을 검토하였다. 조사지점은 2002년 홍수 당시 침식이 발생하여 제방이 파괴되었으나 제방의 기능은 유지되고 있었다. 표 4는 안정성 평가결과를 나타내고 있다.

이 지점의 식생호안에 대한 안정성 평가결과 불안정하다고 평가되었다. 하지만 조사지점은 2002년 홍수 당시 침식이 발생하였으나 제방의 기능이 유지되고 있는 안정 상태였는데 안정성 평가결과 내력과 외력의 크기가 거의 유사한 값을 나타내는 한계상태인 것으로 파악되었다. 즉, 현장 제방이 제방의 기능을 유지하고 있는 안정 상태라 판단되었지만 제방 붕괴가 발생할 수 있는 한계상태였다는 점을 고려해 볼 때, 안정성 평가 결과가 한계상태의 현장 상황을 잘 반영하는 것으로 판단된다(건설교통부, 2004).

표 4. 강릉남대천의 식생호안 안정성 평가결과

구분	변수	단위	변수값	계산된 내·외력	평가결과 (현장상황)
내력소류력 (u_*)	σ	침식 용이성 매개변수	-	9.37	0.300
	σ_0	평균근모량	g/cm ³	0.0074	
	Z_{brk}	허용침식깊이	m	5	
	t	전단응력지속시간	min	60	
외력소류력 (u_*')	V_0	대표유속	m/s	3.76	0.307
	Φ	유속계수	-	12.24	
	V_m	매닝 평균유속	m/s	3.76	
	g	중력가속도	m/s ²	9.8	
	H_d	설계수심	m	4.08	
	n	조도계수	s/m ^{1/3}	0.033	
	α	유속보정계수	-	1	

3. 평균 근모량 채취 및 산정방법 표준화

3.1 시험용구

- ① 근모량 채취기 : 지름 3cm , 깊이 5cm 의 시료 채취를 위한 기구로 앞부분에서 토양 위 3cm 를 제외하고 근모를 채취 할 수 있도록 제작되어진 도구이다.
- ② 건조로 : 정확한 근모량 측정을 위해 수분중량 측정을 위한 시료의 건조에사용(온도 100 ℃ 이상을 유지 할 수 있는 것)한다.
- ③ balance : 1/1000 이상 측정 가능한 기구를 사용한다.
- ④ 토치 및 용기 : 근모의 소각을 위하여 사용, 용기는 시료의 흠어짐을 막을 수 있는 것을 사용한다.
- ⑤ 핀셋 : 근모의 소각 전 · 후 부피가 큰 근모 및 근모의 잔해를 추출할 때 사용한다.
- ⑥ 용기 : 채취된 시료의 보관 및 건조시 사용(부피측정이 원활하도록 같은 크기의 용기를 사용하도록 함)한다.

3.2 시료 채취

하천 호안 비탈면에 수직된 상태로 채취기의 앞



그림 1. 평균근모량 산정을 위해 사용되는 시험용구

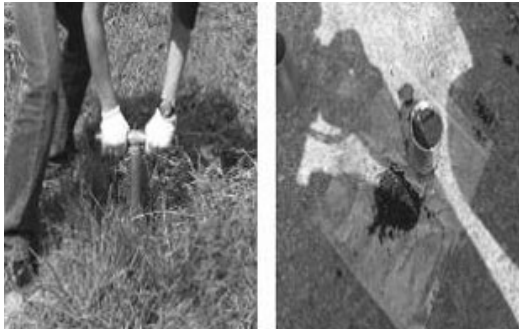


그림 2. 근모량 채취 및 채취된 시료

부분(시료채취 부분)을 토양에 관입 시킨다. 이때 시료가 충분히 채취될 수 있도록 머리 부분 위 3 cm 정도 까지 관입한다. 관입 후 채취기의 머리 부분을 분리하여 채취된 시료를 용기에 옮겨 담는다. 평균근모량 측정을 위하여 측정하고자 하는 지역의 시료를 3개 이상 채취한다.

3.3 평균근모량 측정

3.3.1 시료중량 측정

채취된 시료의 중량을 1/1000 이상의 balance 에서 측정하며, 초기 시료의 부피를 측정한다.

3.3.2 수분량 측정 및 건조시료 중량 측정

건조로를 이용하여 채취된 시료를 완전 건조한 후 시료의 건조중량을 측정한다. 시료의 건조시 보통 24시간 이상을 건조 하도록 한다(함수량 시험 KSF 2306 참조).

3.3.3 근모의 제거 및 근모량 측정

시료를 넓게 편 후 핀셋을 이용하여 굵은 근모를 제거 한다. 이때 근모와 함께 붙어 있는 흙이 함께 제거 되지 않도록 한다. 굵은 근모의 제거 후 잔 근모를 제거하기 위해 남은 근모를 토치 등을 이용하여 소각 한다. 잔 근모 소각 후 남아 있는 흙 시료만의 중량을 측정하고 제거된 근모만의 중량을 산정한다.

3.3.4 평균근모량 산정

측정된 근모 중량을 초기시료의 부피로 나누어 평균근모량을 측정한다. 평균근모량은 측정하고자 하는 지점의 3가지 이상의 시료의 평균값을 사용 한다.

$$\frac{\text{근모중량}(g)}{\text{초기시료의부피}(cm^3)} = \text{평균근모량}(g/cm^3) \quad (9)$$

표 5. 산정된 평균근모량

시료	평균시료중량(g)	평균건조중량(g)	평균수분중량(g)	평균근모중량(g)	평균근모량(g/cm ³)
case 1-1	94.72	77.75	16.96	2.52	0.0713
case 1-2	96.94	93.98	2.96	1.91	0.0541
case 1-3	99.84	96.86	2.98	2.13	0.0601
case 1-4	87.71	69.91	17.80	3.35	0.0948
case 1-5	102.25	88.7	13.55	1.88	0.0344
case 2-1	120.08	108.6	11.48	3.95	0.0932
case 2-2	113.78	101.75	12.03	1.63	0.0383
case 2-3	117.23	106.53	10.7	2.6	0.0613
case 2-4	106.75	93.23	13.53	3.2	0.0755

3.4 결과의 정리

표 5는 산정된 평균근모량 값의 예를 나타내고 있으며, 제시된 방법으로 실제 하천 호안에서 측정한 평균근모량 값이다.

4. 맺음말

식생호안의 안정성은 유수에 의한 침식이 지배적이다. 침식에 대한 식생호안의 침식내력의 산정에는 전단응력이 작용하는 계속시간, 허용 침식깊이와 침식용이성 계수인 식생호안의 평균근모량과 상관인 계수이다. 그러나 평균근모량에 대한 채취 및 산정에 대한 기준이 없는 실정이다. 제시한 평균근모량의 채취 및 산정을 통해서 실제 현장에서의 적

용을 통해 식생호안의 안정성 평가를 실시하여 제안한 평균근모량의 채취 및 산정방법의 타당성을 제시하였다. 따라서 식생호안의 침식내력평가에 의한 식생호안의 안정성 판단을 위한 평균근모량의 채취 및 산정에 대한 표준화가 가능할 것으로 평가된다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부 및 한국건설교통기술평가원 건설핵심기술연구개발사업의 연구비지원(06건설핵심B01), 자연과 함께하는 하천복원기술연구단의 지원에 의해 수행되었습니다. 🍵

참고문헌

1. 건설교통부(2004) 하천제방 관련 선진기술 개발 최종보고서.
2. 류권구, 이남주(2011) 침식에 대한 일본의 제방 안전성 평가방법, 물과 미래, 한국수자원학회지, Vol.44, No.1, pp.79-84, 2011.
3. 國土技術研究センター (1999) 護岸の力學設計法.