

현장삽목 갯버들 근계의 토양전단강도 보강효과

이춘석* · 임승빈**

*진주산업대학교 조경학과 · **서울대학교 조경학과

I. 서론

본 연구는 생태적 호안 공법에 적용되는 대표적이 목본식물인 갯버들(*Salix gracilistyla* Miq.)의 호안 효과를 파악하기 위한 연구의 일환으로, 현장 삽목으로 형성된 근계(根系, 뿌리)의 토양 전단강도 보강 효과를 공학적으로 검토 해석하는데 주된 목적이 있었다.

II. 재료 및 방법

실험에 사용된 공시 토양의 입도 구성은 Sand 60.36%, Silt 28%, Clay 11.64%의 사양토(Sandy Loam)였으며, 공시토양은 비중(G_s)이 2.57이며, 다짐 시험(1) 결과 최적 함수비(W_{opt})가 13.8%일 때, 최대 건조 단위 중량(γ_{dmax})은 1.59gf/cm³으로 분석되었다. 식물의 생장에 장애를 초래할 정도의 화학적 특이사항은 없는 것으로 분석되었다.

본 실험에서는 내경이 132.5mm, 외경이 141.5mm인 폴리염화비닐관(PVC ϕ 125mm)에 갯버들을 삽목하여 생장시킨 공시체를 이용하였다. 또한, 용기 식재 시 발생할 수 있는 뿌리의 집중순환현상(Circling)이나, 통기부족현상을 제거하기 위하여 각 단위길이(10cm) 당 직경 8mm의 천공 서른 개(1/13cm)를 만들었다(Appleton, 1989). 공시토양을 충전시킨 각 식재용기에 20cm 길이의 삽수를 삽목하여 2000년 6월부터 2년 간 동일한 공시 토양으로 조성된 포장에 매설하여 생육시킨 후, 2002년 7월 회수하여 직접전단실험에 이용하였다.

본 연구의 대상이 된 수제부(水際部)는 주 구성 토양이 점착력이 약한 사질토와 자갈로 구성되어 있는 것이 일반적이기 때문에, 사질토의 전단강도 측정에 적합하고 실험장치가 비교적 간단한 직접전단시험법(KS F 2343)에 의해 토양 전단강도 정수를 구하였는데(신방용

等, 1997), 토양과 뿌리가 결합된 형태의 뿌리분 공시체의 전단강도를 측정해야 하는 연구의 특성 때문에, 대직경 공시체를 전단할 수 있는 별도의 전단강도 시험기를 제작하여 실험에 이용하였다. 뿌리의 유무에 따른 토양 전단강도 변화를 명확하게 비교하기 위해 단순토양 공시체도 뿌리분 공시체와 동일한 규격으로 최적함수비 상태에서 최대 입자 밀도 95%이내로 다짐하여 조성하였으며, 배수가 전제된 조건에서 전단하였다.

기존의 식물 뿌리의 토양 전단강도 보강효과에 관한 연구에서 전단강도의 보강은 전단면 상에 분포하는 뿌리의 단면적비와 관련이 있는 것으로 알려져 있다(Waldron, 1977 ; 성상규, 1991 ; 임충모, 1997). 이에 본 연구에서는 공시체 전단면 상에 분포하는 갯버들 뿌리 단면적 계산을 위해 코어절단법(The Core-break Method)을 응용하였다(Bohm, 1979).

뿌리의 인장강도는 목재의 인장강도 측정 방법(KS F 2207)에 준하여 측정하였다. 다만, 수목의 생 뿌리는 단면 모양이 일정치 않으며, 수분함량이 높고 압축강도가 약하여 일반적인 인장강도 측정을 위한 시편 고정용척의 사용이 곤란하였기 때문에(P. Cofie 等, 2001)²⁾, 뿌리 시료의 길이를 약 30cm 길이로 조제하였으며, 시료의 고정에는 마찰력이 좋은 조정용 고무줄과 폴리아미드 편직 매듭을 뿌리의 직경에 따라 구분하여 적용하였다.

III. 결과 및 고찰

수직응력을 10N/cm², 14.41N/cm², 18.82N/cm²로 구분하여 전단강도를 측정한 결과, 갯버들 뿌리가 관입되지 않은 단순토양의 전단강도는 수직응력에 따라서 각각 5.49N/cm², 7.15N/cm², 8.82N/cm²로 수직응력에 비례하여 증가하는 것으로 나타났다. 이 값들을 이용하여 Mohr-Coulomb 파괴포락선을 작도한 결과 공시토양의

내부마찰각 ϕ 는 20.81°로 분석되었으며, 점착력 C는 1.71N/cm로 나타났다.

위의 동일한 수직응력 하에서 뿌리분 공시체의 직접 전단시험을 수행한 결과, 단순토양과는 달리 전단응력이 일정한 비율로 계속 증가하는 경향을 보였다. 이에, 일반적인 토질 시험에서 토양 전단 완료 기준으로 삼는 전단 공시체 직경의 15%에 해당되는 수평변위 19.3mm 지점의 전단저항값을 전단강도로 측정된 결과, 수직응력에 따라서 각각 10.09N/cm, 15.39N/cm, 17.15N/cm로 나타났다. 이 값을 바탕으로 작도된 'Mohr-Coulomb' 파괴포락선의 기울기 즉, 뿌리로 보강된 토양의 내부마찰각 ϕ 는 38.68°로 분석되었으며, 점착력 C는 2.68N/cm로 나타났다. 따라서, 전단면 상의 뿌리분포면적비가 평균 1.86%일 때, 본 실험에서와 동일한 조건의 토양과 갯버들 뿌리 분포 상황에서 점착력 C는 1.71N/cm에서 2.68N/cm로, 내부마찰각 ϕ 는 20.81°에서 38.68°로 각각 증가하는 것으로 해석되었다.

갯버들 뿌리의 인장강도가 토양 전단강도에 미치는 보강 정도를 파악하기 위한 분석에서 갯버들 뿌리의 인장강도는 13.72N/mm인 것으로 측정되었다. 또한, 뿌리의 단위면적 당 평균 인장강도와 토양 전단강도 보강치의 관계를 분석한 결과, 전단면 상의 분포하는 평균 뿌리 인장력의 33%가 토양 전단강도의 보강에 동원된

것으로 해석되었으며, 이를 수식으로 나타내면 다음과 같다.

$$\Delta SR \approx 0.33 \cdot Tr \cdot Ar/A \quad (\text{식 1})$$

여기서, ΔS : 토양 전단강도 보강치,

Tr : 뿌리의 평균 인장강도,

Ar/A : 전단면의 뿌리 단면적비

수목의 뿌리를 대상으로 한 토양 전단강도 보강 효과에 관한 기존연구에서 제시한 뿌리 인장강도에 의한 보강 효과와 본 연구의 보강효과를 비교할 때, 다소 차이가 발생하는데, 이는 실험 방법과 식물, 토양 및 전단 해석 기준점의 차이에서 발생하는 것으로 판단되었다(표 2 참조).

표 2. 뿌리의 인장강도와 토양 전단강도 보강 모델 비교

연구자	결과	실험방법 특징	
		실험방법	전단강도 해석방법
Gary (1989)	1.15 $Tr \cdot Ar/A$	실험 및 모델 해석	모델 해석
성상규(1991)	0.52 $Tr \cdot Ar/A$	현장 직접전단시험	밤나무 뿌리 대상 산지 토양 측정
본 연구	0.33 $Tr \cdot Ar/A$	실내 직접전단시험	갯버들 대상 하천 토양 측정

표 1. 공시토양과 뿌리분의 전단강도 비교

	파괴포락선 $c + \sigma \tan \phi$	점착력 N/cm	내부마찰각
공시토양	$S = 1.71 + 0.33\sigma$	$C = 1.71$	$\phi = 20.81^\circ$
뿌리+토양	$S = 2.68 + 0.80\sigma$	$C^* = 2.68$	$\phi^* = 38.68^\circ$

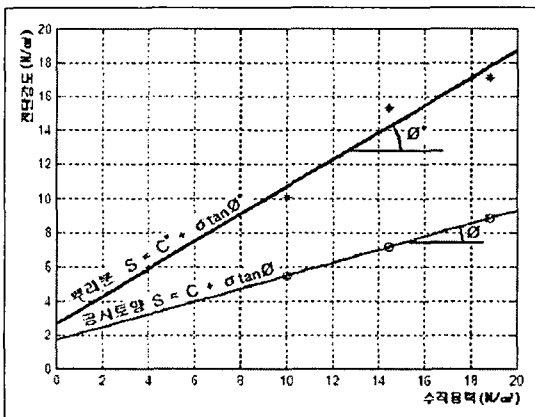


그림 1. 공시토양과 뿌리분의 파괴포락선 비교

Gary 등(1989)의 연구결과는 뿌리 인장강도와 토양 전단강도의 이론적 보강 모델에 실험으로 측정된 전단시의 뿌리 변형각을 대입하여 도출한 값이다. 또한, 성상규(1991)의 연구결과는 현장에서 유압 기구를 이용해서 측정한 전단응력의 최대치(Peak)값을 분석한 결과이다. 반면에, 본 연구의 결과는 2년 생 삼삼묘의 뿌리로 구성된 뿌리분 공시체를 실내 직접전단시험으로 측정된 것이며, 공시체 직경의 15%가 전단되었을 때의 값을 비교한 것이다. 따라서, 실험에 사용된 토양과 식물의 차이 등을 고려할 때, 본 연구의 측정 결과는 타당성이 있는 것으로 판단되었다.

IV. 결론

이상을 정리할 때, 2년 생 갯버들 삼삼묘 근계는 토양 전단강도 보강 측면에서 점착력 C와 내부마찰각 ϕ 를 각각 두 배씩 증가시키는 효과가 있음을 확인할 수 있었다. 실제 습지수제부(濕地水際部)에 분포하는 갯버

들은 본 실험에서 사용된 삼수에 비해 훨씬 성숙된 개체들이라는 점을 고려할 때, 갯버들 근계의 실질적 호안 효과는 본 실험의 결과보다 뛰어날 것이다. 다만, 본 실험의 결과만으로 국한해서 살펴볼 때, 현장에서 직접 삼목된 2년 생 갯버들 삼생묘 근계에 의해서도 분명한 호안 효과가 있음을 확인할 수 있었다.

-
- 주 1. 다짐시험은 KS F 2312에 지정되어 있는 표준 다짐시험 A 법을 적용하였다.
- 주 2. Cofie 等(2001)은 토양의 보강효과 해석에 이용되는 뿌리의 인장강도와 전단강도의 측정방법에 대한 연구에서 목재 크랩프를 고안하여 적용하였으나, 아직 표준화된 방법이 아니고, 본 실험의 대상 뿌리의 직경이 비교적 작은 것으로 구성되어 있어 적용에 어려움이 있었다.

1. 정상규(1991) 뿌리의 강도가 자연사면 안정에 미치는 영향에 관한 연구, 고려대학교 석사학위 논문 : 5-14.
2. 신방웅, 김홍용, 최기봉, 이준대, 신진환, 김주섭(1997) 건설재료 시험, 구미서관 : 198-229
3. 임충모(1997) 뿌리의 강도와 지하수위 변동을 고려한 산 침식 위험도 연구, 고려대학교 박사학위 논문 : 13-52.
4. Appleton, B. L.(1989) Evaluation of nursery container designs for minimization or prevention of root circling, Journal of Environmental Horticulture 7(2) : 59-61.
5. Cofie, P., Koolen, A.J.(2001) Test speed and other factors affecting the measurements of tree root properties used in soil reinforcement models, Soil & Tillage Research 63(2001) : 51-56.
6. Gray, D. H., Leser, A. T.(1989) Role of vegetation in the stability and protection of slopes, Biotechnical slope protection and erosion control, Krieger Publishing Company : 37-43.
7. Waldron, L.J.(1977) Shear Resistance Root Permeated Homogeneous and Stratified Soi, Soil Science, Vol 41 : 843-849.