

## 갯버들 근계의 토양 입자 해리 억제효과에 관한 연구

이춘석<sup>1)</sup> · 박명안<sup>1)</sup> · 강호철<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> 진주산업대학교 조경학과

### A Study on the Reduction of Soil Particle Dissociation Rate by the Root of '*Salix Gracilistyla*'

Lee, Chun-Seok<sup>1)</sup> · Park, Myung-Ahn<sup>1)</sup> and Kang, Ho-Chul<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> 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, focusing on the effect of the root system reducing soil particle dissociation rate in water.

The soil dissociation rate was examined through slaking tests with cylindric pure soil column at maximum particle density and the same size column of root reinforced soil. The dry weight of remained soil was measured after 5, 10, 15, 30minutes and 1, 6, 12, 24, 48hours inundation.

As results, the soil particles began to dissociate severely at 10 minutes and only 10% of soil particles were left after 25minutes inundation. The stable slope angle of pure soil was 36°after 24 hours.

On the other hand, the columns of root reinforced soil were stable even after 24hours, being dissociated only 7.2% of soil particles. So, it was revealed that the root system was very effective materials protecting more than 80% of soil particle from dissociation in inundation.

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

#### I. 서 론

본 연구는 생태적 호안 공법에 적용되는 대표적인 목본식물인 갯버들(*Salix gracilistyla* Miq.)의 호안효과를 파악하기 위한 연구의 일환으로, 갯버들 근계의 토양입자 해리 억제효과를 실험을 통하여 해석하는데 주된 목적이 있었다.

토양이 물에 의해서 해리(解離)되는 현상은 적용 분야에 따라서 토양의 구조적 안정성 해석을 중심으로 한 '붕락률(崩落率, Slaking Rate)'의 개념과 농작물의 생육을 위한 공극 확보를 중심으로 한 '물에 대한 입단안정성(粒團安定性, Aggregate Stability to Water)'의 두 가지 측면에서 해석되고 있다.

전자는 연한 암석이 습윤과 건조의 반복작용에 의해 급격히 고결력을 잃고 붕괴되는 현상을 말하며, 주로 이암, 혈암, 편암 등에서 발견되며, 전중량에 대한 건습 반복 후의 5mm 또는 9.52mm 체 통과량의 백분율로 표시하는데(고문환 등, 1988; 강병욱 등, 2000), 건설을 위한 골재 재료의 침식과 유실에 대한 안정성 평가를 위해서 적용되는 개념이다. 조성민(2002)은 이를 변형시켜 점성토의 경우, 수침 전 함수비가 낮을수록 중량 감소율이 높아진다는 것을 밝힌 바 있는데, 함수비가 0%인 공시체의 경우 24시간 이내에 완전 분해됨을 제시하고 있다.

반면에 후자는 토양입자들이 주변의 다른 입자보다 강한 힘으로 결합되어 있는 입단(粒團) 상태의 안정성을 의미하며, 식물의 생육에 필요한 수분 및 공기의 이동성과 식물 뿌리의 발달 용이성 등을 평가하기 위한 개념으로 주로 농작물 생장기반으로서의 토양을 평가하기 위한 중요한 지표로 이용된다(정영상 등, 1976; 조인상 등, 1985; 정필균 등, 1985; Boix-Fayos 등, 2001; Herrick 등, 2001; Barthes 등, 2002). 입단안정성을 평가하는 방법은 일정량의 토양을 0.25~4.5 mm 체 위에 정치시켜 물에 일정시간 침수시킨 후 전중량에 대한 잔류중량의 비를 측정하는 것이다(조인상 등, 1985; Angers 등, 1993).

위의 두 개념은 모두 물에 의한 토양입자의 유실 및 해리 특성에 대한 해석을 위한 것으로 실험 방법도 비슷하다는 공통점이 있고, 특히 입단안정성은 식물 뿌리와 밀접하게 관련된 개념이다.

이와 같이 침수 시 물에 의한 토양입자의 해리 특성에 관한 이해는 습지 수제부에 식생을 도입할 경우, 적용된 식물의 생장과 이에 따른 호안의 안정성 변화 평가에 있어서 매우 중요한 요소로 판단된다.

그러나, 지금까지의 식생도입에 따른 습지수제부의 안정성 변화와 관련된 생태 및 생물공학적인(Bio-Engineering)<sup>1)</sup> 측면의 연구에서는 식물

뿌리에 의한 제방의 안정성 변화를 평가한 연구(Springer 등, 1985; Sotir 등, 1995; Simonds 등, 2001; Day, 1995; Abernethy 등, 2000)와 식물의 줄기나 잎에 의한 침식억제 효과에 대한 연구(Coppin, 1990; Morgan 등, 1995; Micheli 등, 2002)등에 관한 내용이 주를 이루고 있으며, 전술한 바와 같은 정수 시 식생 뿌리에 의한 토양 입자의 해리 억제 효과에 대한 연구는 미미한 실정이다.

이에 본 연구에서는 우리나라의 비교적 안정화된 수변식생대(riparian)에 분포하는 대표적인 목본식물인(전승훈 등, 1988; 신정이 등, 1999; 안영희 등, 2000; 이인순 등, 2001) 갯버들(*Salix gracilistyla* Miq.) 근계의 침수 시 토양입자 해리 억제 효과를 실험을 통하여 살펴보고자 하였다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 공시재료

#### 1) 공시토양

실험에 사용된 토양의 입도 구성을 체 가름과 비중계법으로 분석한 결과(KS F2302), Sand 60.36%, Silt 28%, Clay 11.64%의 사양토(Sandy Loam)로 확인되었다.

표 1. 공시토양의 이화학적 특성

물 성	Gs			$\gamma_{dmax}$	$W_{opt}$			
	2.57			1.59gf/cm <sup>3</sup>	13.8%			
화학적	pH 1:5with H <sub>2</sub> O	EC mS/cm	OM g/kg	Av. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> mg/kg	Ex. cation(cmol <sup>+</sup> /kg)			
					K	Ca	Mg	Na
	6.75	0.03	9.30	87.6	0.21	9.18	1.68	0.20

공시토양은 비중(Gs)이 2.57이며, 다짐시험(KSF 2302 A) 결과 최적 함수비( $W_{opt}$ )가 13.8% 일 때, 최대 건조 단위 중량( $\gamma_{dmax}$ )은 1.59gf/

체의 구비조건으로는 물리적 상해에 대한 재생력과 저항력이 있어야 하며, 뿌리조직은 토양을 지지할 수 있어야 한다(김혜주 등, 1998; Coppin 등, 1990; 1998; Gary, 1989).

1) '생물공학적인(Bio-Engineering 또는 Bio-Technical)'이란 생물적 과정의 기술적 이용으로서, 식물을 마치 토목재료처럼 이용하는 것을 말하며, 생물공학적인 소

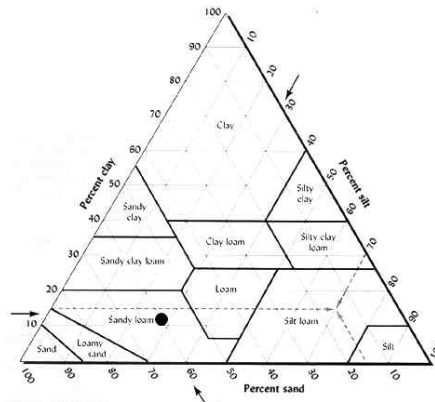
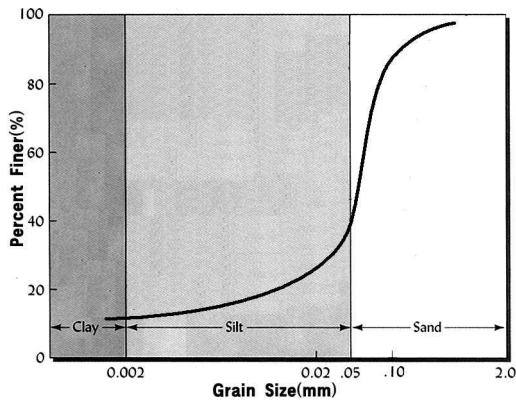


그림 1. 공시토양의 입도조성

cm<sup>3</sup>으로 분석되었다<그림 2 참조>. 식물의 생장과 관련이 있는 화학적 특성은 <표 1>과 같으며, 식물의 생장에 장애를 초래할 정도의 요소는 없는 것으로 분석되었다.

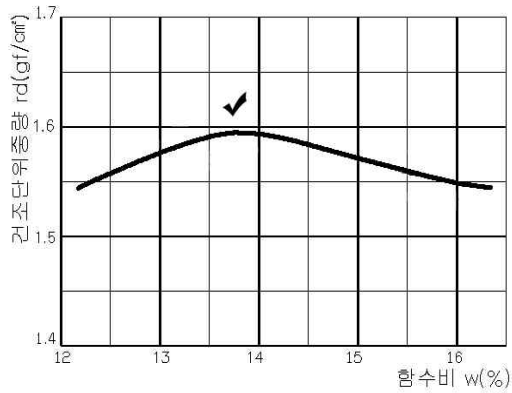


그림 2. 공시토양의 다짐시험 결과 곡선

2) 공시식물재료

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

2. 실험 방법

1) 공시체 조성

본 실험에서는 갯벌들 뿌리의 침수 시 토양 입자의 해리(解離) 억제 효과를 분석하기 위해서 내경이 132.5mm, 외경이 141.5mm인 폴리염화비닐관(PVC Ø125mm)에 갯벌들을 삼목하여 성장시킨 공시체를 이용하였다. 이는 자연상태와 비슷한 조건에서 갯벌들을 성장시키고, 교란되지 않은 상태의 뿌리분 공시체를 형성하기 위함이었다.

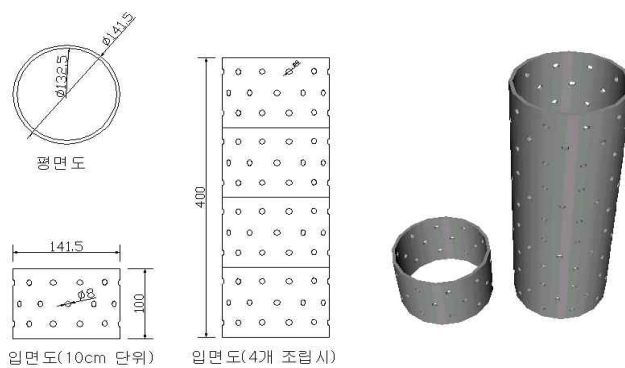


그림 3. 뿌리분 공시체 조성을 위한 PVC 식재용기

폴리염화비닐관은 10cm 길이 단위로 절단되었으며, 갯벌들 근계의 생육 토심확보를 위해 10cm 길이 단위 관을 네 개씩 결합하여 식재용기로 사용하였다. 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 충진시킨 각 식재용기에는 20cm 길이의 삽수를 삽목하여 2000년 6월부터 2년 간 동일한 토양으로 조성된 포장에 매설하여 생육시켰다. 이는 최대한 자연상태와 동일한 조건의 뿌리 분포 상태에서의 사면 토양 보강효과를 해석하기 위함이었다. 침수시험은 가는 섬유질 뿌리의 토양입자 결속효과를 살펴보는 것에 목적이 있기 때문에, 잔뿌리가 많이 집중해 있는 지표면으로부터 20cm까지를 절단하여 직경 132mm, 높이 200mm인 뿌리분 공시체로 만들어 이용하였다.



그림 4. 침수시험 및 전단강도 측정용 뿌리분 공시체

단순토양 공시체는 뿌리분 공시체와의 비교 조건을 최대한 일치시키기 위하여 최적 함수비 상태에서 표준 다짐하여, 직경 132mm, 길이 200mm인 원형의 공시체로 조성하였다.

## 2) 침수 시험

본 연구에서는 토양에 관입된 갯벌들 뿌리의 유무가 침수 시 토양의 결속력에 영향을 미치는지 여부와 영향의 정도를 우선적으로 파악코자 하였다. 기존의 슬레이킹 테스트와 입단안정성 평가에 적용되는 침수 시험 방법은 토양속에 갯벌들 뿌리가 있는 뿌리분 공시체의 침수시험에 적용하는데 어려움이 있었다. 이에 최대 다짐 밀도의 95% 이내 수준으로 조성한 단순토양 공시체와 토양속에 갯벌들 뿌리가 있는 뿌리분 공시체를 가로, 세로, 높이가 각각 450×300×350mm인 유리 수조에 정치시킨 후 완전 침수시켜, 시간경과에 따른 공시체 변형 과정을 관찰하였다<그림 5, 6 참조>.

침수 시험 전에 뿌리분 공시체의 직경과 높이를 측정하여 부피를 계산하고, 침수 전후의 뿌리를 제외한 건조토양의 중량을 계산하여, 단순토양 공시체와 비교하였다. 단순토양 공시체의 경우, 침수 후 5분, 10분, 15분, 35분, 1시간, 6시간, 12시간, 24시간, 48시간이 경과된 시점에 펌프를 이용하여 물을 배수했을 때 잔류하는 토양이 형성하는 사면 각도를 측정하여 비교하였으며, 잔류토양을 105℃의 건조로에 24시간 이상 건조시켜 중량을 분석하였으며, 이상과 과정을 측정 시간별로 4회씩 반복 수행하였다.



그림 5. 침수 시험용 공시체 비교

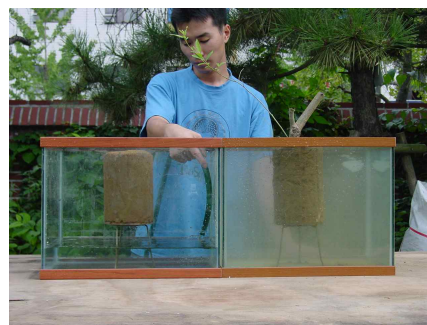


그림 6. 침수중인 공시체 비교

III. 결과 및 고찰

1. 침수 시 토양 공시체의 해리(解離) 특성

인공적으로 조성된 습지수체부(濕地水際部)에서 식생 근계의 유무에 따른 토양입자의 해리 정도를 비교하기 위해, 공시토양을 최대 입자밀도의 95% 이내 상태에서 직경 132mm, 높이 200mm의 원통형 공시체 기둥으로 조성하여 수조에 침수시킨 후, 시간경과에 따른 토양 유실 특성을 관찰한 결과, 침수 후 48시간까지의 시간별 변화 과정은 <그림 7>과 같다.

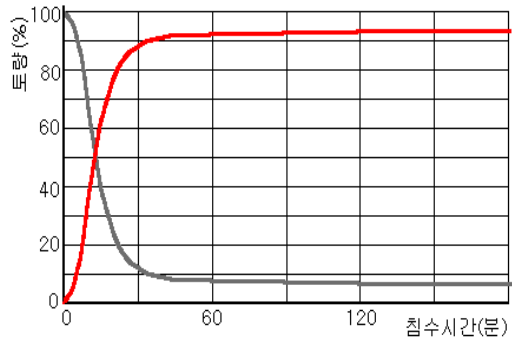


그림 8. 침수 시간별 토양 해리량 비교  
— 유실토양 — 잔류토양



그림 7. 토양 공시체의 침수시간별 잔류토양 경사각 변화

단순토양으로만 구성된 원통형 공시체를 수조에 침수시켰을 때, 물이 토양입자 사이의 공극을 포화시키는 초기 약 10분 동안은 토양 입자의 해리가 미약하게 발생하였으나, 약 10분 경과 이후에는 토양 입자의 해리 활동이 활발하게 이루어져, 공시토양의 90%가 해리되는데 소요된 시간은 약 25분이었다. 이후, 약 1시간 경과시점까지는 토양 해리가 지속되었으나, 이후 6시간, 12시간, 24시간, 48시간 등 시간의 경과에도 불구하고 비교적 일정한 잔류 토양을 유지하였다. 이와 같은 공시토양의 침수 시 토양 해리 과정을 그래프로 표현하면 <그림 8>과 같다.

또한, 각 침수시간대별 잔류토양이 형성하는 사면경사를 <그림 10>과 같이 측정하였을 때, 침수 후 1시간 경과시점까지 급격하게 감소하였으

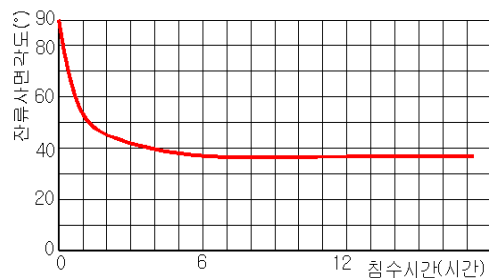


그림 9. 침수시간별 잔류토양의 경사각

며, 이후 감소세가 둔화되어 6시간 경과시점 이후에는 경사각이 약 36° (72%)를 형성하며 안정화되는 것으로 나타났다<그림 9>.

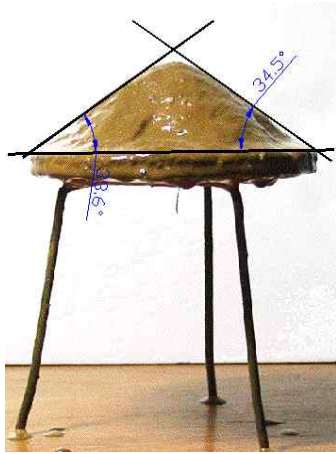


그림 10. 24시간 침수 후의 잔류토양 사면 경사각

이는 본 실험에서와 동일한 조건의 순수토양으로만 구성된 하천 사면의 경우, 침수 시 수중 경사각이 36° (72%) 정도임을 나타낸다. 그러나, 흐르는 물에서나, 토양의 조건이 다른 경우 이보다 낮아질 수 있기 때문에, 식생이나 별도의 호안 보호대책이 적용되지 않은 경우, 사면 경사각은 이것보다 훨씬 낮게 적용되어야 함을 나타내고 있다.

2. 침수 시 뿌리분 공시체의 해리 특성

단순히 토양으로만 구성된 공시체와는 달리 갯벌들 가치를 삼목하여 2년 동안 생육시킨 동

일 규격의 뿌리분 공시체의 경우, 완전 침수에도 불구하고 토양해리량과 해리속도는 현격하게 줄어들었다.

침수 후 24시간이 경과한 시점에 측정된 토양해리량은 뿌리를 제외한 토양 중량 대비 평균 7.2%에 불과한 것으로 나타나, 침수 후 한 시간 이내에 90% 이상의 토양이 유실되었던 단순토양 공시체와 현격한 대조를 보였다. 또한, 공시체의 경사각도 침수 전의 뿌리분 공시체의 형태를 큰 변화가 없이 유지하였다. 시간경과에 따른 뿌리분 공시체의 토양 해리 추이를 단순토양 공시체와 비교하면 <그림 11>과 같다. 공시체 내부의 뿌리 유무에 따라서 토양 유실량은 현격하게 차이가 났으며, 침수 시 뿌리에 의해 해리가 억제된 토양은 침수 후 24시간 기준으로 공시체 토양 건조 중량의 87%에 달하였다.

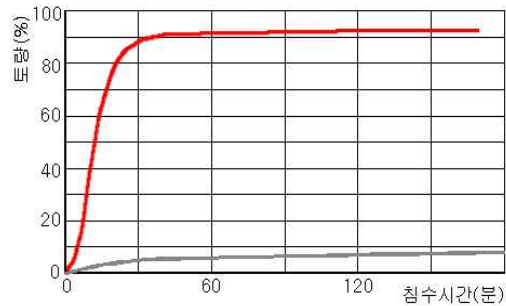


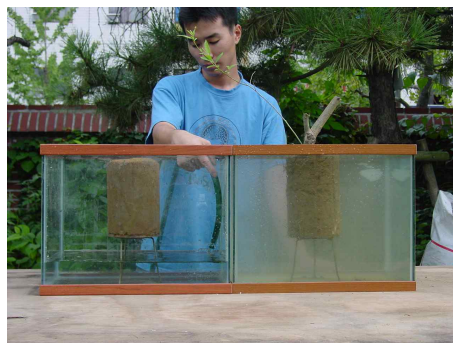
그림 11. 공시체별 토양 해리 비교

— 공시토양 — 뿌리분

<그림 12>는 단순토양 공시체와 뿌리분 공시체의 침수 시 토양 유실 과정을 정리한 것이다.



① 침수 전(좌 : 無根, 우 : 有根)



② 침수 중

Continued



③ 침수 후 3분 경과



④ 침수 후 10분 경과



⑤ 침수 후 24시간 경과



⑥ 24시간 침수 후 잔류토양 비교

그림 12. 뿌리분 공시체와 단순토양 공시체의 침수 시 토양입자의 해리 과정

침수 후 약 10분 경과한 시점부터 단순토양 공시체는 토양입자의 활발한 해리로 수조가 매우 혼탁해져 내부를 관측할 수 없을 정도로 달한 반면, 뿌리분 공시체는 침수 후 24시간이 경과된 후에도 수조 내부를 쉽게 관측할 수 있을 정도로 토양 해리량이 적게 나타났다.

### 3. 침수 시 갯버들 근계의 토양입자 해리(解離) 억제 효과 고찰

토양은 적절한 함수비를 가지고 있을 때, 표면 장력에 의해서 입자간에 서로 밀착시키려는 힘이 생겨 최대의 안정성과 강도를 보이는 것으로 알려져 있다. 그러나, 물 속에 완전 침수 되었을 경우, 이와 같은 표면장력은 소멸되어 토양 입자가 급격히 해리되는 현상이 발생한다. 특히, 침수 전 토양 함수비가 낮을수록 침수 시의 해리율이 높아지며, 함수비가 0%인 완전 건조 공시체의 경우 24시간 이내에 완전 해

리되는 것이 실험에 의해서 증명된 바 있다(조성민, 2002).

실험 결과, 단순토양으로 구성된 공시체의 경우 침수시간이 경과됨에 따라서 토양이 급격하게 해리되는 현상이 발생한 반면, 뿌리가 관입된 공시체의 경우, 시간경과에도 불구하고 토양입자의 해리는 극히 소량으로 발생하였다.

특이한 점은 뿌리가 포함된 공시체의 경우, Duncan 검증 고려한 토양밀도와 토양 해리량 사이에는 유의적인 상관관계가 나타나지 않았다는 점인데, 토양 입단의 안정성은 입도의 구성과, 이온, 유기물, 미생물, 무기물 등의 복합적인 작용에 의해 영향을 받는 것으로 알려져 있다(C. Boix-Fayos, 2001). 반면에, 슬레이킹은 함수비나 다짐도와 같은 입자간 물리적 결속력에 많은 영향을 받는 것으로 알려져 있다(조성민, 2002).

따라서, 동일한 조건의 토양을 대상으로 뿌리의 유무에 따른 입자 해리 특성을 비교한 본

실험에서 뿌리분 공시체의 토양 해리량이 현저하게 낮게 나타난 것은 식물 뿌리가 토양입자의 해리와 붕락을 억제하는 데 상당히 중요한 역할을 하는 인자임을 분명하게 보여주는 결과이다. 이러한 뿌리에 의한 토양입자 해리 억제 효과는 크게 두 가지 측면으로 이해될 수 있다.

첫 번째는 굵은 뿌리에 의한 지지효과 때문으로 볼 수 있는데, 목질성인 굵은 뿌리는 중력에 의한 토양 덩어리의 수직 붕괴를 막아주며, 공시체의 전도를 억제하는 역할을 하는 것으로 보인다.

두 번째로는 <그림 13>과 같이 공시체 전체에 고루 분포하는, 육안으로는 구분하기조차 어려운, 미세한 뿌리들에 의한 토양 입자 결속효과에 의한 것으로 추정된다. 침수 후 잔류토양을 수세(水洗)하는 과정에서 수세미 조직과 같이 서로 얽혀 있는 미세 뿌리에 의해서 공시토양이 덩어리를 형성하고 있는 것을 쉽게 관찰할 수 있었으나, 개별 뿌리의 직경이나 중량이 너무 미세하여 측정이 불가능하였다.

일반적으로 토양에 적절한 수준의 수분이 포함되어 있을 때, 토양 입자를 둘러싼 수분에 의해서 토양 입자끼리의 모관 인장력이 발생한다.



그림 13. 뿌리분 공시체의 표면  
(24hr 침수 후 공시체 표면)

반면에, 토양이 완전 침수되었을 경우에는, 토양 간극에 존재하는 인장력이 소멸되기 때문에 토양입자가 쉽게 해리되는 현상이 발생한다(김상규, 1991).

그러나, 이와 같은 토양 해리 현상도 토양의 입도구성, 미생물, 유기물 등에 의해서 억제될 수 있는 것으로 알려져 있는데(C. Boix-Fayos, 2001), 뿌리의 유무에 따라서 동일 조건의 토양 공시체의 침수 시 입자 해리율이 달리 나타난 본 실험의 결과를 근거로 판단할 때, 미세한 갯버들의 뿌리 조직에 의해서 해리될 토양입자의 80% 이상이 결속된 것으로 평가할 수 있었다.

## V. 결론 및 요약

갯버들 뿌리가 습지수계부의 토양입자를 결속하는 효과를 분석하기 위하여, 최대 다짐밀도 상태의 단순토양 공시체와 2년 생 갯버들 뿌리분 공시체를 물 속에 침수시킨 후, 토양 해리량을 측정하여 비교한 결과는 다음과 같이 요약된다.

① 최대다짐밀도 상태로 조성된 단순토양 공시체의 경우, 침수 후 약 15분만에 공시체 중량의 50% 이상이 유실되었으며, 한 시간만에 공시체 토양 중량의 90% 이상이 유실되었다. 1시간 이후에는 토양 유실 속도가 현저하게 떨어져 24시간, 48시간이 경과한 시점에도 잔류토양의 양은 비교적 일정하게 유지되었다.

② 침수 시 단순토양 공시체의 잔류토양이 형성하는 사면각도도 시간경과에 따라서 급격하게 변화되었는데, 침수 후 한 시간만에 경사각은 50°로 감소하였으며, 시간 경과에도 불구하고 경사각 감소가 진행되지 않는 공시토양의 수중안식각은 약 36°로 분석되었다.

③ 반면에, 뿌리분 공시체의 경우 24시간이 경과한 시점까지의 토양 해리량이 침수 전 공시체 토양중량의 7.2%에 지나지 않아, 단순토양 공시체와 크게 대비되었다. 또한, 침수 전후의 공시체 형태에 있어서의 변화도 극히 적은 것으로 나타났다.

④ 토양 밀도, 함수비, 뿌리부피 등의 변수와



토양 해리량 간에 유의적인 상관관계가 나타나지 않음을 근거로 판단할 때, 단순토양 공시체와 뿌리분 공시체의 침수 시 해리량이 현격하게 차이나는 이유는 목질성 중심 뿌리의 지지 역할과 미세한 뿌리의 토양입자 결속효과와 같은 갯버들 뿌리의 두 가지 기능의 복합적 작용에 의한 것으로 해석되었다.

식물의 생물공학적 특성과 역할에 관한 실증적 연구가 부족한 상황에서 생태복원의 주된 관심 대상이 되고 있는 습지(濕地)의 수계부(水際部)에 분포하고 있는 대표적인 목본 수목인 갯버들을 이용한 침수시험을 통하여 그 동안 관심을 갖지 않았던 수변 식물의 세근 및 뿌리털이 침수 시 토양의 해리를 억제하는 힘을 비교 해석한 점이 본 연구의 의의라 할 수 있다.

그러나, 실험의 주된 재료가 되었던 갯버들의 생육특성 상, 다양한 규격을 고려하지 못한 것은 본 연구의 한계로 지적될 수 있다. 실제로 습지에 분포하는 갯버들의 경우 이것보다는 훨씬 성숙한 개체들로 구성되어 있어 일 반적이다. 따라서 보다 정확한 토양 해리 억제 효과 해석을 위해서는 습지에 실제로 분포하는 다양한 규격의 갯버들을 이용한 후속 연구들이 진행되어야 할 것으로 판단된다.

또한, 하천형 습지에서의 기본적인 작용 중의 하나인 흐르는 물을 고려하지 못한 것도 본 연구의 또 다른 한계점이다. 침수 실험을 통하여 침수 시 토양입자의 해리 억제 효과는 명확하게 밝힐 수 있었으나, 유수실험을 위한 뿌리분 공시체를 조성하는 것에는 많은 제약과 한계가 있었다. 따라서, 향후 흐르는 물에 의한 침식을 방어하는 능력을 해석하기 위한 공시체 준비와 측정 방법 등에 관한 후속 연구가 이루어져야 할 것으로 생각된다.

## 인 용 문 헌

강병욱 · 이진수 · 이광찬. 2000. Slaking 재료의 공학적 성질-내구성과 강도를 중심으로. 대한토목학회 학술발표회 논문집 : 391-394.

고문환 · 오세진 · 김영천 · 정필균. 1988. 토양수 식성을 나타내는 지표로서 Slaking Ratio (분락률)에 관하여. 한국 토양비료학회 춘계학술발표회 14.

김상규. 1999. 토질역학. 청문각 76, 147-155.

신정미 · 차영일. 1999. 갯버들(*Salix gracilistyla* Miq.)의 질소와 인 제거능력. 한국환경생물학회지 17(4) : 449-457.

안영희 · 양영철 · 전승훈. 2001. 안성천 수계의 버드나무과 식물의 분포특성에 관한 연구. 한국환경생태학회지 15(3) : 213-223.

이인순 · 이팔용 · 손성곤 · 김철수 · 오경환. 2001. 남강 유역에서 환경 구배에 따른 버드나무속의 분포와 생태적 지위. 한국생태학회지 24(5) : 289-296.

전승훈 · 현진이 · 최정권. 1998. 하천 미지형 및 하상 저질에 따른 갯버들과 달뿌리풀 군락의 분포특성에 관한 연구. 한국조경학회지 27(2) : 58-69.

정영상 · 신제성 · 신용화. 1976. 경사지 토양의 침식성 인자에 관하여. 한국토양비료학회지 9(2) : 107-113.

정필균 · 고문환 · 엄기태. 1985. 토양유실량 예측을 위한 작부인자 검사. 한국토양비료학회지 18(1) : 7-13.

조성민. 2002. 전담용 유기질 세립토의 슬레이킹 내구성 및 분쇄 특성. 한국 환경복원녹화학회지 5(3) : 1-8.

조인상 · 조성진 · H. Verplanke., R. Hartman and M. D. Boodt. 1985. 토양 입단의 안정성과 친수성이 수분 침투 및 증발에 미치는 영향. 한국토양비료학회지 18(2) : 121-127.

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.

Anger, D. A and G. R. Mehuys. 1993. Aggregate stability to water. Soil Sampling and Methods of Analysis, Canadian Society of Soil Science 651-657.

Barthes, B and E. Roose. 2002. Aggregate stability

- as and indicator of soil susceptibility to runoff and erosion; validation at several levels. CATENA 47 : 133-149.
- Biox-Fayos, C., A. Calvo-Cases., A. C. Imeson and M. D. Soriano-Soto. 2001. Influence of soil properties on the aggregation of some mediterranean soils and the use of aggregate size and stability as land degradation indicators. CATENA 44 : 47-67.
- Day, R. W. 1995. Root reinforcement and waterway embankment stability. Environmental & Engineering Geoscience 11(1) : 85-88.
- Herrick, J. E., W. G. Whitford., A. G. Soyza., J. W. Zee., K. M. Havstad., C. A. Seybold and M. Walton. 2001. Field soil aggregate stability kit for soil quality and rangeland health evaluations. CATENA 44 : 27-35.
- 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 9日