

농촌 소 하천 제방 상의 식물 근계 분포 현황에 따른 제방 지지 역할에 관한 연구

-경남 진주시 농촌 소하천 유역의 대나무와 잔디를 대상으로-

이춘석* · 김정옥**

*진주산업대학교 조경학과

**서울대학교 환경대학원 환경계획학과

A Study on the Distribution of Underground Plant Biomass and its Effect on the Stream Bank Stability

Lee Chun-Seok*, Kim Jung Uk**

* Dept. of Landscape Architecture, Chinju Nat'l. University

** Dept. of Environmental Planning, School of Environmental Studies, Seoul Nat'l. University

ABSTRACT

The purpose of this study is to find out the distribution of underground biomass and its soil stabilizing effects. Bamboo and grass were examined and compared.

1. Thirty 'soil & root' samples were collected to the depth of 30cm with Impact-corer, and then divided into three sections(0-10cm, 10-20cm, 20-30cm). Each piece had a volume of 950cm³ and the underground biomass was separated from the soil particles by washing with flowing water. The average underground biomass rates of bamboo and grass were 10.8% and 4% of each sample, respectively. The rate of grass root biomass declined with depth, but the bamboo root biomass was at peak at around 20cm depth.

2. The shear strength was measured with con-penetration tester at each sample collecting site. Three measurements were made at each depth(0-10cm, 10-20cm, 20-30cm) and were compared with the impact counts needed to insert the corer to the depth of 30cm. The shear strength has clear correlations with underground biomass.

The more underground biomass, the higher shear strength. The shear strength of bamboo was about three times larger than the grass.

I. 서론

최근 인공적으로 조성된 하천을 생태적으로 건강한 하천으로 복원하려는 시도가 많이 이루어지고 있다. 그러나, 국내의 경우 하천 복원에 사용되는 재료의 안정성에 대한 평가가 제대로 이루어지지 않고 있는 실정이며, 외국에서 개발된 기법과 소재를 주로 이용하고 있다.

한국의 하천은 하상 계수(shape factor)가 큰 특성이 있어, 홍수 시에는 엄청난 유량(流量)이 일시에 집중하여, 식물을 이용한 생태하천 복원에 많은 어려움을 주고 있다. 특히, 각 식물 소재가 지니는 사면 안정성 특히 강한 유속에 서의 토양 지지력에 대한 기초 자료마저 마련되어 있지 않아 많은 시행착오를 반복하고 있는 실정이다. 이에 생태적 하천 복원에 기초자료를 마련하기 위한 시도로서 하천변(제방)에 분포하고 있는 식물뿌리 특히 남부지방의 하천제방에 주로 식재되어 홍수시 제방 안정성 확보에 큰 공헌을 하고 있는 것으로 생각되는 대나무류 근계의 제방지지 역할을 잔디류와 비교 분석하고자 하였다.

II. 문헌 연구

2.1. 하천 안정성에 관한 연구

일반적으로 하천의 안정성은 유속과 전단응력으로 평가하고 있다.

하천 내부의 유속은 하상 경사, 수심, 물의 흐름을 방해하는 하천 구성 물질의 조도(組度, Roughness)에 의해서 영향을 받는데, 하상 경사나 동수경사 값이 커지면, 유속은 빨라지며, 하천의 조도계수가 커지면 유속은 느려지게 된다(매닝방정식). 따라서, 하천 관찰이나 수문학적인 실험에 의해서 침식이 일어나지 않는 허용 가능한 유속을 파악하여, 설계 대상 하천의 조건을 이에 맞추어 나가는 것이다(Marsh, 1997).

또한, 유수에 의한 전단응력(shear stress)을 침식을 유발하는 힘을 측정하는 수단으로 많이 사용한다(USDA, 1998). 동일한 조도계수나 하천단면 구조상에서 흐르는 물은 주변 환경에 따라서 동적 균형 상태를 유지하는데, 상류에서 흘러 내려오는 유수의 힘이 곧 바로 물의 유속을 증가시키지 못한다. 이 상태에서 흘러 내려가는 유수가 생성하는 힘과 같은 크기의 역방향 저항력이 발생하며, 이것을 하상전단

응력(Bed Shear Stress)라고 하며, 하상의 마찰에 의한 에너지 손실량을 말하며, 하상 물질의 저항력이 전단응력보다 작을 때, 하상 침식이 발생하게 된다(USDA, 1998)는 것이다.

현재 우리나라 하천정비 사업은 주로 통수능을 증가시키는 것을 절대 목표로 삼고 있는데, 최근에 와서 하천 생태의 보전 및 복원에 대한 관심이 높아지고 있다.

하천 생태복원에 필수적인 하천 부지 내 식물식재에 대해서 두 가지 상반되는 주장이 있는데, 통수능을 저하시키기 때문에 조도가 낮을수록 좋으며 식물의 식재는 방해가 된다는 주장과 하천은 대표적인 생물서식공간이며 어느 정도의 하천 식물은 하천의 통수능을 방해하지 않는다는 주장이다(정동양, 1996). 전자의 경우 하천 보호를 위해서 주로 콘크리트 옹벽이나 호안블럭, 돌망태 등의 인공적인 구조물을 주로 사용하고 있으며, 후자의 경우 야자섬유, 자연석, 갈대 등 주로 자연적 소재를 사용하고 있다. 그러나, 후자의 경우 자연적 소재의 하천 보호 기능에 대한 구체적인 데이터를 마련하지 못하고 있는 것이 현재의 실정이다.

2.2. 하천 생태 및 식생 복원에 관한 연구

최근 하천 생태 보전 및 복원에 관한 많은 연구들이 하천부지내의 수목 및 식물 도입 필요성 및 효과를 강조하고 있다.

정동양(1996)은 스위스 및 독일의 자연형 하천 공법을 소개하면서, 남강 수계의 죽림에 의한 하천 제방 조성을 선조들의 지혜로운 유산으로 평가하면서, 보존해야 할 대상이며, 우리나라 실정에 가장 맞는 전통적인 공법으로 평가하고 있다.

이춘석 외(1997a)는 전국 소하천 중 농촌 지역 10개 마을 구간에 대한 제방면 식생 및 제방 단면 조사를 수행하여, 주로 단년생 초본 식물이 하천내부를 피복하고 있다는 것과, 농촌마을 소하천의 평균 하폭이 약 9m이며 제방고는 1.8m, 평균 수로폭은 2.8m의 역사다리 꼴의 단면구조를 보임을 파악한 바 있다.

또한, 농촌마을 주민들을 대상으로 한 소하천 하안 재료로서 콘크리트옹벽이나 식물피복 보다는 자연석 쌓기나 돌망태를 선호한다는 결과를 도출한 바 있다(1997b). 최정권 외(1995)는 한강 본류와 지류의 생태적 특성을 분석하고 하천의 생태적 복원기법에 관한 연구를 한 바 있는데, 콘크리

트 배수로를 친환경적 생태공법으로 교체해야 함을 강조하고 있다. 또한, 우리 나라 자연형 하천의 식생 호안공법에 적절한 식물로서 갈대, 갯버들, 달뿌리풀을 들고 학여울을 대상으로 적용시험을 한 바 있는데, 여기서 유속에 의한 하안 세굴을 방지하기 위하여 자연석과 돌망태공을 이용하였다.

Coppin, N. J. and Richards, I. G. (1990)는 생태공학적으로 적합한 식물종의 선택 시 고려사항 중 기계적 손상에 대한 저항력 기준으로 강풍이나 홍수에 견딜 수 있는 줄기와 가지의 탄력성, 마찰에 의한 손상에 견딜 수 있는 뿌리와 줄기의 내성이나 갱신과 생장에 의한 빠른 회복력, 줄기의 부분적 매몰에 대한 저항성, 뿌리의 부분적 노출에 대한 저항성 등을 들고 있다(최 외, 1995 재인용).

이진동 외(1996)는 스위스와 독일등의 하천 생태 복원 기술을 바탕으로 버드나무, 갈대 군락, 암석 등을 이용한 하천 생태복원 기법을 서울의 양재천, 탄천 외 5개 지역에 적용한 연구를 수행한 바 있다.

박종화 외(1995)는 도시하천의 정비현황과 정비의 문제점 및 개선방안을 도출한 바 있는데, 이 연구에서는 도시하천의 유량확보와 이용자의 하천 접근 제한, 획적 공간배치의 문제 등을 제시하였다.

이상의 연구 결과들은 한결같이 인공적으로 개조된 하천을 생태적으로 건강하던 이전의 상태와 가장 가깝게 복구하여, 회피 대상인 하천을 인간이 친근하게 이용할 수 있고 친환경적인 대상이 되도록 해야 한다는 점을 공통적으로 주장하고는 있지만, 하천 생태 복원에 있어서 가장 기본이 되어야 할 식물소재의 구조적 측면에 대한 연구는 아직 미흡한 실정이다.

하천 주변 식생들에 관한 구조학적인 데이터가 부족하기 때문에 현재로서는 이수나 치수 위주로 설계된 기존 하천 단면을 유지하면서, 생태적 요소를 도입함으로써 식재된 식물이 홍수 시마다 계속적으로 유실되는 결과를 초래하고 있다. 하천의 생태 복원을 위해서는 하천 단면 구조부터 생태적 여건에 맞도록 설계되어야 하며, 이를 위해서는 홍수 시에도 살아남는 식물들의 구조적인 측면에 대한 데이터가 우선적으로 마련되어야 할 것으로 생각한다.

이와 같은 연구의 사례로, 이진원 외(1997)는 우리나라 10대 하천과 12개 직할하천 구간의 수목 분포 상황을 조사하고 하천변 수목의 뿌리 발달 특성을 조사하였으며, 현장에서 수목의 인발력(뿌리를 뽑아내는 시험)측정을 통하여

하천내 수목의 지지력을 평가한 바 있다. 이 연구에서 수목의 인발력은 흉고직경과 상관관계가 높다는 결과를 제시하고 있다.

또한, M.Scholand 외(1991)는 독일의 해안지역에서 가축 방목지역과 비 방목지역 초본류의 식물근계(地中生體量)가 침식방어능에 미치는 영향을 비교 분석한 바 있는데, 토양을 30cm 깊이로 관입하여 5cm단위로 시료를 분리하여 측정하였으며, 동시에 같은 지점에서 Vane Tester를 이용하여 토양전단강도를 측정하여 분석하고 있다. 이 연구에서 지층의 근계밀도는 연중 계절에 따라서 변화되며, 이에 따라서 토양의 전단 강도도 변화된다는 결과를 도출한 바 있다.

2. 3. 대나무에 관한 연구

대나무는 벼과에 속하는 다년생 식물로서, 분류학상으로 혼란스러운 점이 있긴 하지만, 일단 나무에 분류시킨다(임경빈, 1976).

벼과(Grass Family) 식물은 우리나라에 78속 180종 가량 생육하고 있으며, 피자 식물 중 가장 큰 과의 하나이고 1년 초 또는 다년생, 때로는 목본의 특성을 보인다. 대나무는 크게 왕대속(Phyllostachys), 해장죽속(Arundinaria), 조릿대속(Sasa)으로 분류된다(이영노, 1996).

우리나라에는 약 5속 19종의 대나무가 자생하고 있으며, 도입된 35종을 포함하면 총 5속 54종의 대나무가 생육하고 있다. 주로 전남과 경남 등 남부 지방에서 생육하고 있으며, 충남 서해안과 강원도 강릉까지 생육하고 있다. 내륙지방의 경우 전북과 경북 북측 도 경계선 즉 소백산맥 남부 지방에서 생육하고 있다. 남부지방에서 주로 재배되고 있는 죽종은 왕대, 솜대, 맹종죽 3종이며 우리 나라 죽림의 거의 대부분을 차지하고 있다(원주상, 1990). 현재 우리 나라의 하천 생태 복원에 많이 이용되고 있는 갈대, 달뿌리풀 등도 벼과에 속하는 식물로서 뿌리의 포복경 또는 지하경이 발달해 매트형의 두꺼운 뿌리층을 형성하여 침식으로부터 하상을 보호하는 대표적 식물이라 할 수 있다.

이광남(1979), 강동염(1996) 등의 여러 연구에서 대나무의 구조와 특성에 대한 연구를 수행한 바 있으나, 죽근의 토양 지지역할에 대한 연구는 찾아 보기가 어려운 실정이다.

〈표 1〉 우리나라의 대표적 죽종

속(Genus)	종(Species)
왕대속 Phyllostachys	왕대 <i>Phyllostachys bambusoides</i> Sieb. et Zucc.
	오죽 <i>Phyllostachys nigra</i> Munro
	분죽 <i>Phyllostachys nigra</i> Munro var. <i>henonis</i> (Bean) Stapf. 죽순대 <i>Phyllostachys pubescens</i> Mazel
해장죽속 Arundinaria	해장죽 <i>Arundinaria simonii</i> (Carr.) Riv.
조릿대속 Sasa	조릿대 <i>Sasa borealis</i> (Hackel) Makino
	갯대 <i>Sasa chiisanensis</i> Y. Lee comb. nov. 이대 <i>Sasa japonica</i> (Sieb. & Zucc.) Makino

註) 이영노 (1996)원색 한국식물도감 pp970-973 정리

이에 본 연구에서는, 포복경이나 지하경으로 측면 생장을 반복하여 뿌리가 군집을 형성하는 하천 내·외부의 식물이 하천 안전성에 미치는 영향 및 홍수 시 역할을 파악하기 위한 시도의 일부로서, 대표적인 벼과 식물로서 지하경이 발달하는 대나무와 잔디가 가지는 구조적 측면을 비교 분석코자 하였다.

III. 연구 방법

본 연구는 남부지방 소하천 변 죽림(해장죽: *Arundinaria simonii* (Carr.) Riv.)과 잔디(*Zoysia japonica* Steud.)의 근계 분포와 이것이 홍수 시 제방 및 주변 지역의 안전성에 미치는 영향을 파악하기 위한 연구의 일부로서 제방 표면에 분포한 '토양+뿌리' 시료 채취 및 밀도 분석, 관입시험 저항치를 측정 분석 하였다. 구체적인 실험 방법은 다음과 같다.

3. 1. 관입 시험 및 소하천 지역의 식물 근계밀도 분석

3.1.1. 시료 채취

조사 대상 하천에서 주로 곡수부의 수층부를 중심으로 대나무 분포구간 5개 지점, 들잔디 분포구간 5개 지점 등 총 10개 지점에서 '토양+뿌리' 시료를 채취하였다. 뿌리 밀도 분석을 위한 시료는 각 조사지점 제방사면의 상·중·하 3개소에서 채취되었다.

시료 채취는 KS F2317 얇은 관에 의한 흙의 시료 채취 방법(Method for Thin-walled Tube Sampling of Soils)을 이용하였다. 시료채취에 사용된 관은 바깥지름이 11.5cm이고 관의 두께가 2.5mm으로 KS 기준 내에 있는 것이다. 관을 지표면으로부터 30cm 깊이까지 침투시켜 '토양+뿌리'의 시료를 채취하였으며(1998,102~4) 채취된 시료는 10cm 단위로 절단하여 총 90개의 시료를 각각 밀봉하여 운반하였다.

3.1.2. 관입 저항 측정

아울러 시료 채취관의 삽입 시 소요되는 힘을 측정하기 위하여, 지중 30cm까지 해머(4.865Kg)로 타격한 회수를 기록하였다. 이것은 '관(Tube)'을 지중에 관입시켜 그 저항치를 기록하고 동시에 토질 분류 및 실내 시험을 위한 시료를 채취하는 대표적 방법인 KS F2307 '흙의 표준 관입 시험' 이 방법은 건축물이나 토목 구조물을 설치하기 위한 지반 조사에 사용되는 대표적인 방법이지만, 본 연구는 식물의 근계(根系)가 가지는 구조적 안전성을 평가하기 위한 것으로서, 토양 뿐만 아니라 식물도 함께 채취해야 한다는 점과, 죽림 내부 토양을 채취해야 한다는 작업의 어려움 때문에, 내경이 큰 관을 관입시키는데 소요되는 해머(4.865Kg)의 타격수를 대신 측정하였다.

또한, 토양의 전단력을 측정하는 대표적 방법인 원추 관입 시험(Cone Penetration test)²⁾을 지중 30cm 깊이까지 10cm 단위로 수행하였다.

3. 2. 근계 분리 및 분석

시료는 일차적으로 흐르는 물과 1.18mm 표준망체(16호)를 이용하여 토양과 뿌리를 분리하였으며, 분리된 뿌리에 남아 있는 미세 토양을 제거하기 위해서 흐르는 물에 24시

1) 표준 관입 시험의 KS기준은 중량 63.5±1kg의 추를 샘플러 상단 75mm 높이에서 자유 낙하시켜 관입되는 깊이 및 특정 깊이까지 관입시키는데 소요되는 타격 수를 측정하는 것이다. 샘플러의 내경은 35mm이며 외경은 51mm이고 전체 길이는 810mm이다.
2) 최대 단면적 6.45cm²인 콘을 지중으로 관입 시키는 데, 소요되는 힘이 직경 14cm의 강철링을 변형시키는 정도를 측정하는 시험이다.

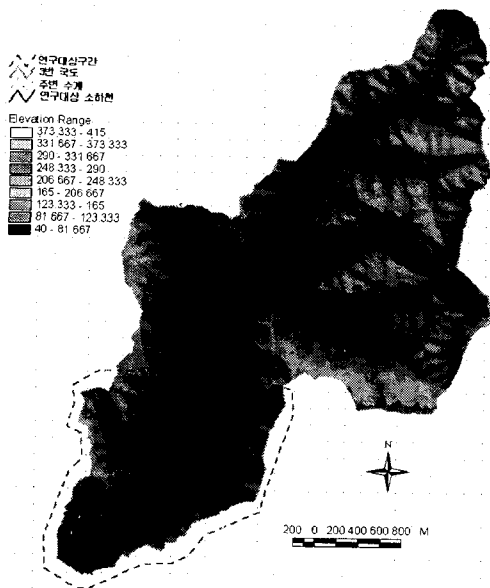
간 세척 하였다(Bohm, 1979). 분리된 각 지점의 뿌리는 '메스 실린드'에 물을 채우고 뿌리에 의한 수위 변화량으로 그 부피를 측정하였다.

IV. 결과 및 고찰

4.1. 연구 대상 하천의 식생 분포 현황과 홍수시 제방 붕괴 현황

4.1.1. 조사 대상하천의 일반적 특성과 단면 특성

연구 대상 소하천의 유역 면적은 약 10.53km²이며, 소하천 연장은 약 6km이다. 연구 대상 구간은 하천 정비가 되지 않고 자연적인 사행천의 형태를 그대로 유지하고 있는 하류 구간이다. 평균 하폭은 11.6m이고 평균 제방고는 3m, 평시 수로폭은 7.1m이다. 연구 대상하천의 평균 통수 단면적은 약 28m²이다.



〈그림 2〉 연구 대상 하천 유역 및 수로도

연구 대상 소하천 구간은 식생 분포 형태에 따라서 죽림-죽림, 죽림-잔디, 잔디-잔디의 크게 3가지로 구분 가능하다. 죽림이 분포하는 제방은 하부 식생이 거의 없는 반면 비 죽림 제방의 경우 들잔디가 거의 전구간에 걸쳐 피복되어 있으며 여뀌, 고마리, 수크령 등의 식물이 일부 분포하고 있다.

가. 대나무-대나무

하천 좌우측 제방이 모두 죽림으로 덮여 있는 구간으로 대나무 수관에 의해서 수로 상부가 차폐되어 있는 상태이며, 사람의 접근도 어려운 구간이다.



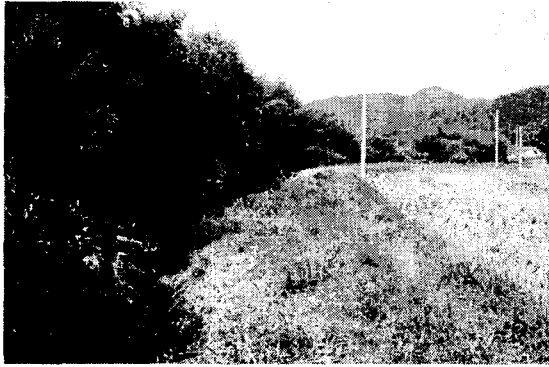
〈그림 3〉 죽림-죽림

하천쪽에 비해 깊이가 다른지역 보다 상대적으로 큰 특성이 있고, 수심도 깊은 편이다. 이는 제방면에 분포한 죽근의 저항에 의해서 측방 침식은 발생하지 않고, 하상 쇄굴만 발생했기 때문인 것으로 보이는데, 연구대상 지역의 죽림의 죽간 밀도는 몇 미터 전방의 물체도 보이지 않을 정도로 높아 홍수시에 유속 및 통수 단면을 감소시킨다. 따라서 홍수시 신속한 배수 측면에서는 하안 재료로서 불리한 점이 있다.

나. 대나무 - 잔디

하천의 한 쪽 제방은 죽림이 분포하고 반대편 제방은 키작은 초본류로 피복되어 있는 구간으로 대상 지역에서 가장 많은 부분을 차지하는 유형이다. 죽림 내부의 경우 하부 식생이 거의 존재하지 않으며, 홍수시 상류로부터 이송되어 온 토양이 퇴적되어 있다.

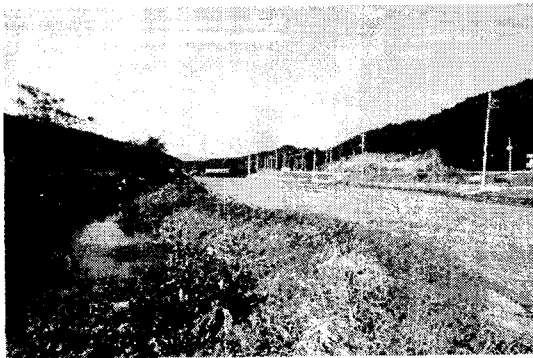
반면에 잔디 제방의 경우 홍수류가 쉽게 월류하는 구간이며, 죽림과 비교할 때 상대적으로 쉽게 붕괴된다. 또한 제방 하부의 경우 유수에 의해서 심하게 세굴되는 특성을 보이고 있다.



〈그림 4〉 죽림-잔디

다. 잔디 - 잔디

하천 좌우 제방 모두 키작은 초본류로 피복되어 있고 가끔 버드나무, 아카시 나무 등의 수목이 분포하는 구간으로, 세 가지 유형중 분포 구간이 가장 짧으며, 홍수 시 제방 붕괴가 가장 쉽게 발생하는 곳이기도 하다. 하천으로의 접근이 가장 용이하며, 제방 하부에서는 호박돌 메쌓기나 오래된 돌망태를 발견할 수 있다. 실제로 연구 대상 구간 중 제방 붕괴가 발생한 지점은 주로 키작은 초본류로 피복되어 있는 구간이다



〈그림 5〉 잔디-잔디

4.1.2. 조사대상 하천 유역의 홍수시 특성

조사 대상 하천 구간은 사행천의 형태를 그대로 유지하고 있으며, 하천 좌우변이 농경지로 이용되고 있는 대표적인 농촌 소하천이다. 하천의 좌우측은 표고 270m이하의 능선으로 이어져 있으며, 하천 좌우측 농경지는 평균 약 200m의 폭을 이루고 있다.

현장 조사 기간인 1998년 8월~10월 동안 8월 말의 집중 호우와 9월말의 태풍 등 두 번의 홍수가 대상지에 영향을 미쳤는데, 조사 대상 구간 중 4개 지점에서 제방 붕괴가 발생하여 많은 농작물 피해를 입혔다.

제방 붕괴가 일어난 지점은 주로 잔디로 피복된 구간이며, 하천 흐름 방향이 변화되는 곡수부에서 많이 발생했다. 대나무 분포 구간의 경우 제방 붕괴 현상을 발견할 수 없었다.

주민들에 의하면 예년부터 홍수 시 상습적으로 침수 피해를 받아왔으며, 이것을 피하기 위한 노력으로 하천 변에 대나무를 식재하였고, 이후로는 농경지에 침수가 일어나더라도 홍수 후 농작물 대한 피해는 비교적 적다고 한다. 즉, 홍수가 발생하였을 때, 제방이 붕괴되면 상류로부터 흘러온 자갈, 토사, 오물 등이 농경지를 덮어 버리기 때문에 농작물을 전혀 회복시킬 수 없는 반면, 죽림 이면에 위치한 농경지의 경우 대나무가 일종의 필터(Filter) 역할을 수행하여 유속을 감소시키고, 상류로부터 유입되는 각종 이물질들을 걸러 주기 때문에 농작물의 직접적인 피해는 줄일 수 있다.

실제로, 대나무 식재 구간의 경우 상당한 높이(약 4m)로 침수가 되었음에도 불구하고 이면의 농경지는 비가 도착된 점 외에는 홍수 전의 상태와 큰 차이가 없었다.

4. 2. 식물 근계 분포 특성 비교

4. 2. 1 근계 분포 특성

채취된 시료는 각 조사지점 당 2850cm³(ml)이며, 10cm 단위로 나눈 것은 각 950cm³(ml)이다. 대나무와 잔디의 근계 분포 특성을 뿌리 밀도를 중심으로 살펴볼 때, 잔디는 깊이 들어갈수록 뿌리가 현격하게 감소하는 경향을 보이는 반면 대나무의 경우 역 U자 형의 뿌리밀도 분포를 보이고 있다. 대나무의 경우 토심 30cm까지의 전체 뿌리 부피 평균은 309ml(10.8%)인데 반해 들잔디의 경우 113ml(4%)로서 2.5배 이상의 차이를 보이고 있다(그림 8).

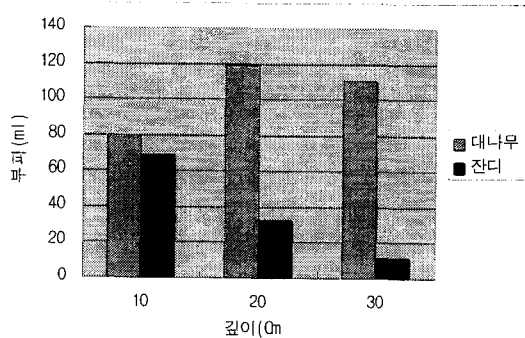
토양 깊이에 따른 뿌리 밀도 분포를 중심으로 살펴볼 때, 대나무의 경우 토심 10-20cm 구간에서 가장 높은 밀도를 보이고 있으며, 지표 부근(0-10cm)에서는 잔디와 비슷한 정도의 상대적으로 낮은 뿌리 밀도를 보이고 있다. 20-30cm 구간에서는 다소 감소하는 추세를 보이고 있다.

반면에 잔디의 경우 지표면(0-10cm)부근에서는 죽근과

많은 차이가 나지 않지만, 깊이 들어 갈수록 뿌리의 양이 현격하게 줄어들어 죽근과 상반되는 경향을 보이고 있다.(그림 7).



〈그림 6〉 죽림 분포 그산 및 제방 붕괴 지점

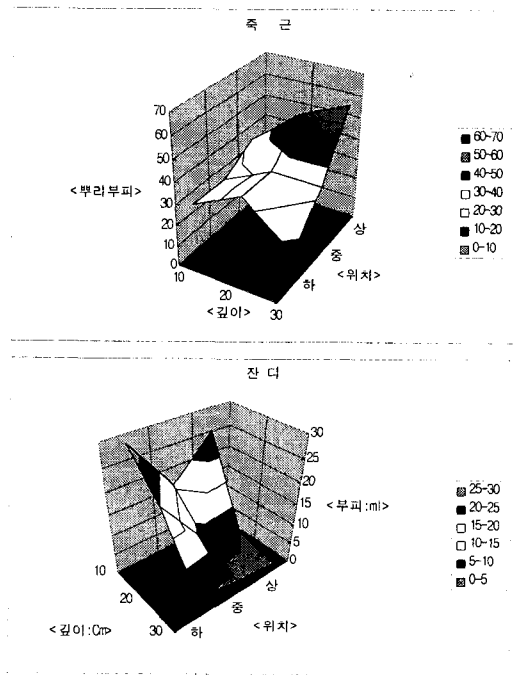


〈그림 7〉 죽림과 잔디의 깊이별 근계 밀도 비교

잔디류의 근계가 지표면에서 집중적으로 분포하는데 비해 죽근은 지중 10Cm 주변 지역에서부터 분포하는 것은 죽간(竹幹)의 저항에 의해 죽림 내부에서 일시적으로 홍수 유속 감소현상이 발생하여 상류로부터 이송된 토사가 상대적으로 많이 퇴적되었기 때문으로 생각된다.

잔디류의 경우 토심에 따른 밀도변화가 제방 단면 상의 위치에 상관없이 비교적 비슷한 감소 추세를 보이는 반면, 죽근의 경우 수면에 가까워질수록(제방 하부) 죽근의 밀도가 감소하는 경향이 있으며, 특히 제방하부 토심 20-30cm 구간에서 뿌리 밀도가 현격하게 감소하고 있다. 이는 제방

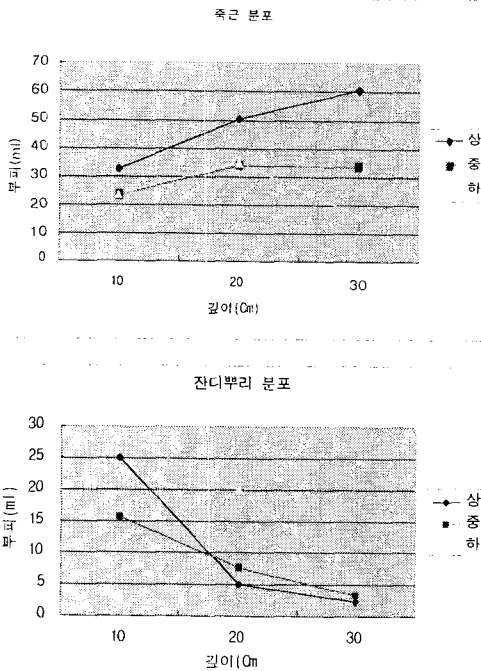
하부의 시료 채취 지점이 수면으로부터 10Cm 떨어진 지점으로 지중20-30Cm 구간은 상시 침수구간(15Cm) 깊이까지 평균 토양 함수율(43%)에 해당하기 때문이다. 반면에, 잔디류는 뿌리 분포가 지표면에 밀집되어 있기 때문에 위치에 상관없이 일정한 추세를 보이고 있다.(그림 8).



〈그림 8〉 죽림과 잔디의 근계 밀도 비교 I

깊이 별 근계 밀도를 기준으로 판단할 때, 잔디의 경우 지표면 부근에서만 침식에 대한 저항력을 가지는 반면, 죽근의 경우 상당한 깊이에 이르는 범위에 대해서 침식 저항력을 가지고 있다는 것을 알 수 있다.

또한, 죽근의 분포 범위를 최소깊이 10Cm에서 최대 50Cm이상의 깊이로 생각할 때, 폭 2m정도의 소하천 제방은 죽근에 의해서 완전하게 결속되어 있다는 것을 쉽게 짐작할 수 있다(그림 9). 특히, 토양 중 죽근은 철근콘크리트 구조물의 이형철근과 같은 형태로 되어 있기 때문에, 토양의 철근의 역할을 수행하여 홍수 시에도 제방을 더욱 튼튼하게 결속하며, 또한 죽근 마디별로 발달한 세근이 미세한 토양까지도 결속해 웬만한 토목 구조물이 구형하지 못하는 토양 안정역할을 완벽하게 수행하고 있다고 할 수 있다.



〈그림 9〉 죽림과 잔디의 뿌리 밀도 비교 II

4. 2. 2. 죽림과 잔디뿌리의 관입 저항 비교

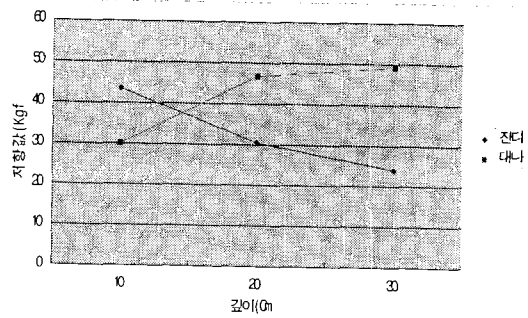
토양 깊이 30cm까지 '토양+뿌리' 시료 채취용 관을 삽입하는데 소요되는 해머(4.865Kg)의 타격수를 측정 비교한 결과, 죽림 구간은 평균 21회 잔디구간의 경우 평균 8회의 타격이 필요했다. 기계 장치가 아닌 사람의 힘에 의존한 관입 시험이었기 때문에 실험자에 따라서 수치는 다소 차이가 날 수 있으나, 대나무와 잔디 뿌리의 절단에 대한 저항력 또는 외력에 대한 토양 관입 저항력을 상대적으로 비교할 수는 있을 것이다. 위의 수치로 판단할 때, 대나무의 관입저항 보강치는 잔디의 약 세 배 이상임을 알 수 있다.

토양 깊이 별 식물 근계가 토양 안정성에 미치는 효과를 파악하기 위해서 '콘관입시험(Cone Penetration Test)'를 수행한 결과는 〈그림 10〉과 같다.

잔디가 분포하고 있는 지역은 지표면(0-10cm)에서 가장 높은 저항력(43kgf)을 보이고 10-20cm구간 및 20-30cm 깊이에서의 저항력은 각각 30kgf와 24kgf로 나타나 토심이 깊어질수록 저항력이 떨어지는 경향을 보인다.

반면에 죽림 지역은 지표면(0-10cm)에서 가장 낮은 저항력(29kgf)을 보이고 10-20cm구간 및 20-30cm 깊이에서 저항력은 각각 46kgf와 49kgf로 증가되고 있다. 특히, 죽림 구

간의 시험에서 관입추가 죽근(지하경)과 만났을 때는 더 이상 진행이 되질 않았다. 본 시험 결과는 이러한 경우를 제외한 것이기 때문에, 대나무의 지하경을 고려한다면, 실제로는 이보다 훨씬 높은 저항치를 보일 것으로 생각된다.



〈그림 10〉 죽림과 잔디뿌리의 관입 저항 비교

앞 서 분석되었던 토양 중 뿌리 밀도와 비교할 때 잔디의 경우 깊이에 따른 뿌리 밀도 감소 경향과 비슷한 추세로 토심에 따라서 저항치가 줄어들고 있는 반면, 대나무의 경우 관입 깊이에 따른 뿌리 분포 밀도와 관입저항이 비슷한 추세로 증가하고 있다.

토심 20-30cm 깊이의 잔디 뿌리는 평균 4ml의 부피를 보이는데 이 때의 관입저항(24kgf)을 뿌리가 거의 분포하지 않는 상태의 저항치라고 가정할 때, 죽림의 최대 분포깊이인 20-30cm 구간의 경우 평균 49kgf 또, 10-20cm깊이의 잔디뿌리 분포구간의 경우 평균 43kgf의 저항을 보임으로서 식물 뿌리가 토양의 관입 저항력을 2배 이상 증가시키는 것으로 보인다. 그러나, 이것은 대나무의 지하경이 제외된 상태의 결과이기 때문에 지하경의 인장력과 강도를 고려한다면 죽림의 토양 결속력 보강은 이것 보다 훨씬 높을 것으로 예상된다.

V. 적 요

본 연구에서는 남부 지방 농촌 소하천 제방 지역에 분포하는 죽림의 제방 보강역할을 파악하기 위해서 경남 진주시에 위치한 소하천 제방에 분포하는 죽림(분죽)과 잔디의 지중 뿌리 밀도 및 각 제방 토양의 관입 저항을 측정하였다. 연구 결과는 다음과 같다.

1. 대나무의 경우 토양 깊이가 깊어질수록 뿌리 분포량

이 증가하는 경향을 보이는 반면 잔디는 감소하는 경향을 보여 지중 20-30cm 구간에서 가장 높고 지표면(0-10cm)에서 가장 낮게 나타났다. 반면에, 잔디는 지표면(0-10cm)에서 가장 높은 뿌리 밀도를 보였으며, 지중 20-30cm 구간에서 가장 낮은 뿌리 밀도를 보였다. 또한, 지중 30cm까지의 전체 뿌리 분포량은 대나무가 잔디의 약 2.5배에 이른다. 죽근의 경우 지중 50cm 이상까지 분포함을 고려할 때, 실제로는 이보다 차이가 많을 것으로 예상된다.

2. 시료채취를 위한 관 삽입 시 소요되는 타격수는 지중 뿌리의 밀도에 따라서 현격하게 차이가 나는데 죽근의 관입 저항치(평균 21회)가 잔디(평균 8회)의 3배 정도인 것으로 나타났다.

3. 큰 관입시험 결과 죽근의 경우는 지중 뿌리 분포와

비슷한 경향으로 저항치가 증가하며, 잔디류의 경우 지표면(0-10cm)가장 높았으며(평균 46kgf), 20-30cm 깊이에서 가장 낮게(24kgf) 나타났다.

이상의 결과를 종합할 때, 토양 중 뿌리의 분포 형태 및 밀도는 식물에 따라서 다양하게 나타나며, 하천제방의 안정성도 분포하는 식물이 가지는 뿌리 특성에 영향을 받는 것으로 보인다. 그러나, 토양중 근계 분포에 따른 토양 안정성 변화를 분석할 수 있는 표준적인 방법이 마련되어 있지 않은 상태이기 때문에 이상의 결과는 하나의 실험적 시도에 불과하며, 식물뿌리의 구조역학적 역할을 규명하기 위해서는 앞으로 보다 다양한 방법의 연구를 통해서 가장 합리적이고 객관적인 측정법이 향후 우선적으로 마련되어야 할 것으로 생각된다.

參 考 文 獻

- 임경빈(1976), 나무백과, 일지사, 76-96.
- 이춘석 外a(1997), 농촌마을 소하천의 구간별 특성에 관한 연구, 한국농촌 계획학회지, 제 3권 1호, 23-32.
- _____ b(1997), 농촌마을 내부 소하천의 하안재료에 대한 주민 선호도에 관한 연구, 한국 농촌 계획학회지, 제 3권 2호, 81-89.
- 조용현(1997), 생태적 복원을 위한 중소하천 자연도 평가방법 개발, 서울대학교 박사학위 논문, 164-189.
- 원주상(1990) 대나무 재배기술, 2-15.
- 최정권 외(1995), 수변 식생조사와 실험하천에서의 식생호안재 선정 및 적용, 경원대학교 환경계획연구소, 89-92.
- 강동엽(1996), 강풍에 견디는 대나무 구조에 대한 연구, 부산대학교 석사학위 논문, 35-36.
- 이승호(1985), 우리나라 죽림 분포 및 입지 환경과 생장에 관한 연구, 서울대학교 석사학위 논문, pp37-38.
- 이재동(1995), 수문수리학, 구미서관, 58.
- 이광남(1979), 죽림 구성요소에 관한 해석적 연구, 전남대학교 박사학위 논문, p 45.
- 정동양(1996), 독일/스위스의 근자연형 하천공법, 하천환경 심포지움 자료, pp 82-83.
- 이진동 外(1996), 도시하천의 생태환경 조성기법에 관한 연구, 서영기술단 부설 기술 연구소 보고서, pp 69-79.
- 이진원 외(1997), 하천내 수목의 내력시험, 한국수자원학회 논문집 30(3).
- 박종화 外(1995), 하천공간 정비 실태 조사, 한국건설기술연구원, pp 184-195.
- 최송현 外(1995), 한강지천의 생태계 구조와 원리, 한국조경학회지, 23(3), pp132-143.
- 이영노(1996), 원색 한국 식물도감, 교학사, pp970-973.
- USDA(1998), "Restoration Design", Stream Corridor Restoration, USDA, p51.
- Wolfgang Bohm(1979), Methods of Studying Root Systems, Springer-Verlag Berlin, p88.
- Willam M. Marsh(1997), Landscape Planning, pp 245-247.
- M. Scholand 외(1991) Underground biomass and its influence on soil shear strength in a grazed and ungrazed German coastal marsh, Plant Root Growth, Oxford Blandckwell scientific publications, pp 343-348.
- 한국표준협회(1996), 한국산업규격 : KS F 2310, KS F 2317.