

## 하천 내 수목의 내력 시험 Experiments on the Resistant Force of the Trees in Rivers

이진원\* · 유대영\*\*  
Lee, Jinwon · Yu, Daeyoung

---

### Abstract

This study was focused on the investigation of the distribution of trees which is an important factor for the improvement of the river environment, and the experimental examination of resistant force of trees to the external forces. The investigation of plant distribution performed in 11 major rivers in Korea showed that the willow family grows spontaneously over the whole country. The field experiments on the resistant force of trees were carried out on the 78 trees of 8 species in 3 different sites to estimate whether pulled out trees damage downstream hydraulic structure. The experiments were performed by the method that a backhoe drew trees and the forces were measured when the trees were overturned and pulled out. The analysis of the experimental results showed that there is a linear correlation between the resistant force and DHB (diameter at breast height).

---

### 요 지

하천환경의 개선을 위해서 필수적인 요소인 하천 내 수목의 분포 현황을 조사하고, 이들 수목의 외력에 저항하는 내력에 대해 현장시험을 통해 연구하였다. 하천 내 수목의 분포 현황은 전국의 11개 하천 수계의 적할하천 구간을 중심으로 조사되었다. 수목분포 조사결과 국내의 하천에 전국적으로 자생하는 수목은 버드나무과에 속하는 갯버들, 버드나무, 왕버들 등의 수목임을 확인하였다. 현장시험은 홍수시 하천 내의 수목이 물의 흐름에 의해 인발되어 하류에 있는 하천구조물에 피해를 줄 가능성을 평가하기 위해서 실시되었는데 시험 지역과 대상 수목은 하상재료와 실제 하천에서 분포하는 정도 등을 고려하여 3개 지역에서 8개 수종 78주를 선정하였다. 시험은 백호우로 수목에 인장력을 가하여 수목이 진도될 때와 인발될 때의 하중을 측정하는 방법으로 수행되었다. 시험결과와 분석으로부터 수목의 인발에 대한 저항력은 주로 수목의 흉고직경과 선형적인 상관관계가 있음을 확인하였다.

*keywords* : field experiments, resistant force, river environment, trees

---

\* 한국건설기술연구원 선임연구원

\*\* 한국건설기술연구원 연구원

## 1. 서 론

우리 나라는 경제개발을 위한 산업화 과정에서 급격한 도시화와 인구집중으로 자연환경보전에 관심을 갖지 못해 결과적으로 물오염, 대기오염 및 생태계의 황폐화를 가져왔다. 현재 우리 나라 하천은 산지하천을 제외하면 대부분의 물이 오염되었을 뿐만 아니라 설 수 있는 나무 한 그루 없는 실정이고, 치수 위주의 획일적인 하천정비로 인해 치수기능을 제외한 생태계 서식처로서의 기능, 친수성 기능 등 하천의 환경기능은 거의 기대할 수 없게 되었다. 그러나 최근에 환경에 대한 관심이 고조되고, 경제발전으로 생활의 여유가 생기면서 자연 환경에 대한 인식이 확산되어 하천환경도 주목받기 시작했다. 하천의 환경기능을 증진시키는 데 대두되는 문제는 깨끗하고 풍부한 물과 하천변 식생이다. 그렇지만 하천변의 수목은 홍수에 미칠 영향 때문에 지금까지 식수는 물론 금지되었을 뿐만 아니라 자생하는 것도 제거하게 되어 있다. 우리 나라의 하천에 관한 사항을 규정하는 하천법시행령 제 7조 3항(하천법시행규칙)에는 치수 및 이수상 지장이 있는 행위, 성목(成木)의 평균 높이가 1m 이상의 다년생 수목을 재식하는 행위, 하천 및 하천 부속물을 손괴하거나 손괴할 우려가 있는 행위를 적용 허가하지 못하도록 규정하고 있다(건설부, 1972). 이렇게 하천 내 수목의 식수를 금지하고 자생하는 수목을 제거하는 이유는 홍수 시 통수능을 감소시키는 것과 수목이 하류로 유실되어 하류 하천시설물의 기능에 지장을 줄 우려 때문이다.

그러나 최근에는 하천 내 수목에 관한 식수 및 관리 기준의 필요성이 제기되고, 수목에 대한 기초자료를 확보하기 위한 사업이 수행되고 있다(건설부, 1994). 이의 일환으로 수목이 외력에 저항하는 특성을 분석하여 홍수시 유실되어 하류 하천시설물의 기능에 지장을 줄 가능성을 평가하고 그 평가에 사용되는 인자로서 수목의 외형적 특성인 수종, 흉고직경, 수고를 이용하는 방법을 제시할 필요성이 커지고 있는데, 이는 하천관리자가 하천 내 수목의 안정성을 손쉽게 파악하여 하천관리를 하는데 유용하게 이용하도록 하기 위한 것이다.

본 연구에서는 수목의 현황을 파악하기 위해서는 전국 11개 하천수계에 대해서 현지답사로 대표적인 자생수종과 분포현황을 파악하였으며, 이 조사를 바탕으로 하천에 가장 광범위하게 분포하고 개체수가 많은 수종을 대상으로 다양한 흉고직경, 수고, 수관폭, 하천 내 위치 등을 고려하여 시험대상을 선정하

여 저항력을 측정하였으며, 이들 요소와 저항력과의 관계를 분석하였다. 여기서 흉고직경(胸高直徑)은 일반적으로 1.2 ~ 1.3m(조경협회, 1994) 정도 높이에서의 수목의 직경이나 본 논문에서는 1 m 높이의 수목직경으로 정하였으며, 수고(樹高)는 나무의 높이, 수관폭(水冠幅)은 나무의 잎이 나있는 가장 넓은 폭을 일컫는 용어이다.

## 2. 연구 동향

하천 내 수목의 외력에 대한 저항특성의 연구는 지금까지 활발하지는 않다. 국내에서는 하천 내의 수목은 통수능에 지장을 주는 것으로만 간주되어 식수와 수목의 관리는 거의 고려대상이 되지 못해 왔다. 그러므로 하천분야에서 수목에 대한 연구는 거의 이루어지지 않았으며, 임학이나 조경학 분야에서 수목의 서식특성에 대한 연구가 있었을 뿐이다. 따라서 하천의 물리적 작용에 대한 수목의 안정성보다는 수목의 성장특성이나 종의 분포를 확인하는데 주력하였다.

외국의 경우도 일본과 독일등을 제외하고는 하천 내 수목의 저항특성에 대한 연구는 거의 없다. 일본의 경우 치수상의 안전을 확보하는 제한된 범위에서지만 하천 내 식수가 가능하도록 하천 내 수목의 벌채와 식수를 위한 가이드라인(안) ((財)リバーフロント整備センター, 1994)을 제시하고 있는데, 여기서는 인장력을 전도모멘트로 환산하여 수목의 외력에 대한 저항력을 파악하였다. 즉 전도모멘트와 흉고직경과의 상관관계를 도출하여 수목의 저항력을 파악할 수 있도록 회귀식을 제시하고 있다. 그리고 영국과 같은 유럽에서는 하천 내 수목 중 통수능에 지장을 주는 최소한의 범위에서만 제거하고, 관리에 더 많은 비중을 두고(NRA, 1994) 있으며, 하천의 유황이 우리 나라에 비하여 안정되어 있어 수목의 안정성에는 비교적 관심이 적은 편이다.

국내의 수목에 대한 기초적 연구의 부족과 통수능에 미치는 영향을 정량적으로 파악할 수 없었던 것이 하천의 환경기능에 주요한 요소인 하천 내 수목을 외국과는 달리 엄격하게 규제한 이유이기도 하다고 판단된다.

## 3. 하천 내 수목의 현황조사

하천내 수목의 현황조사는 1996년 8월부터 1996년 10월까지 3개월에 걸쳐서 수행하였다. 조사 대상 지역은 한강, 낙동강, 금강, 영산강, 섬진강, 안성천, 만경강, 삼교천, 동진강, 형산강, 태화강 등 11개 하천 수계이다.



그림 1. 하천 내 수목 현황 조사지점그림

조사지점은 그림 1에 도시하였다. 이번에서는 대상 하천의 직할하천 전구간을 모두 조사하지는 못하였지만 대표적인 자생종은 확인할 수 있었으며(김태욱, 1996), 조사결과를 요약하면 다음과 같다.

한강 수계는 우리나라에서 가장 넓은 유역을 가지고 있으므로 수목의 분포가 간단하지는 않다. 하류구간에는 아카시 나무, 족제비싸리 등 가로변에 식재된 수목이 주로 분포하고 있었으며, 연속된 댐에 의해 하천구간이 전반적으로 호수화 되어 있는 중류 구간은 족제비싸리, 아카시 나무, 갯버들, 왕버들, 버드나무 등과 식재된 것으로 보이는 미류나무, 버즘나무 등을 확인할 수 있었다. 그 외 하안이 산으로 연결된 곳에서는 소나무 등 산악지형에서 많이 볼 수 있는 수종도 조사되었다.

낙동강 수계에서는 인공적으로 식재된 수목군락이 다소 많았는데 소나무군락, 대나무군락과 아카시 나무, 족제비싸리 등 식재된 수종과 갯버들, 왕버들, 버드나무 등이 전 수계에 걸쳐 확인되었다. 또한 금강 수계에서는 아카시 나무, 미류나무, 버즘나무 등의 식재 수종과 왕버들, 갯버들 등이 분포하고 있었으며, 영산강에서는 갯버들, 버드나무 군락이 자생하고 있었으며, 족제비싸리, 오동나무 등도 확인할 수 있었다. 섬진강의 하류인

하동에는 소나무군락과 대나무 군락이 조사되었고, 그 외에 버드나무, 갯버들, 밤나무, 대나무, 아카시 나무, 가중나무 등이 자생하고 상류에서는 소나무 등도 확인되었다. 안성천에서는 전반적으로 수목의 개체수가 적고 크기도 작은 편으로 갯버들, 족제비싸리, 아카시 나무, 미류나무, 버드나무 등이 조사되었고, 만경강에서는 갯버들, 아카시 나무 등이 분포하고, 삼교천에서는 족제비싸리, 은사시나무, 미류나무, 은행나무 등의 식재수종과 버드나무, 갯버들 등이 자생하였다. 동진강에서는 버드나무, 갯버들, 아카시 나무, 족제비싸리 등이 확인되었고, 황산강에서는 갯버들, 버드나무, 아카시 나무, 태화강에서는 대나무군락, 갯버들 등이 분포하고 있었다. 우리나라 하천에는 치수위주의 하천정비와 관리로 전체적으로 수목의 개체수가 적은 편이며 자생하는 수종도 지역별 특색이 적다. 전국적으로 분포하는 자생수목은 갯버들, 버드나무, 왕버들 등의 버드나무과에 속하는 수목이었으며, 식재된 것으로 보이는 이태리포플러, 소나무, 대나무, 아카시 나무, 족제비싸리 등도 흔히 볼 수 있는 수종이다.

## 4. 수목인발(引發)시험

### 4.1 시험의 목적

하천 내 수목의 인발시험은 홍수시 하천 내에 있는 수목이 물의 흐름에 의해 뽑혀서 하류에 있는 하천구조물에 피해를 줄 가능성을 평가하기 위한 것이다. 즉 하도 내에 나무가 있는 경우 홍수시 예견되는 유량에 견딜 수 있는지를 평가하여 하천관리에 이용하기 위한 것이다. 홍수시 유하되는 물에 의해 나무가 힘을 받아 전도되고, 계속해서 힘이 작용하면 인발되어 하류로 유하된다. 따라서 하천계획 당시 나무가 받는 힘에 수목은 어떻게 거동할 것인가를 예견하여 지지력을 확보해 주든가 아니면 이에 제거하는 하천관리상의 조치를 취할 수 있도록 하기 위해서 하천 내 수목의 외력에 대한 저항력을 추정하는 것이 본 시험의 목적이다.

### 4.2 시험 대상 및 방법

#### 4.2.1 시험 대상 지역

본 시험은 우리나라의 하천에 자생하는 대표적인 수목의 홍수에 대한 내력을 추정하는 것이 목적이다. 따라서 전국적인 수목 분포에 대한 조사 결과를 바탕으로 하천변에 지배적으로 서식하는 버드나무과 수종을 주 대상으로 하였다. 전국 11개 하천 수계에 대한 수목

표 1. 하천 내 수목의 인발시험 지역의 특성

구분	수 계	하 상 재 료	접근성	수 종
구미	낙동강변 본류	砂質土	양 호	버드나무, 능수버들, 아카시아, 개수양버들, 이태리포플러, 왕버들
안동	반변천	砂礫土	양 호	버드나무, 갯버들, 아카시아, 용버들, 개수양버들,
의령	남 강	粘性土	보 통	버드나무, 왕버들, 개수양버들, 갯버들, 이태리포플러

의 현황을 조사한 결과를 바탕으로 인발시험을 실시한 지점은 시험기기의 접근성, 수종의 다양성, 하천관리자의 시험에 대한 협조 여부, 하상재료 등을 고려하여 선정하였다. 선정된 지역은 경북 구미시 고아면 낙동강변, 경남 안동시 임하면 반변천변, 경남 의령군 정곡면 남강변 등 3 개 지역으로 버드나무와 수종이 균락을 이루고 있으며, 하상재료도 각각 모래, 자갈이 섞인 모래 및 점토지역이다. 각 지역의 대상지역의 특성은 표1과 같다.

#### 4.2.2 시험 대상 수종

하천에서 시험 대상수목을 선정하는 데는 수종의 다양성, 흉고직경의 다양성, 수고의 다양성, 하천 내 위치의 다양성을 고려하였다. 실제로 인발시험은 3개 지역에서 총 8개 수종 78주에 대해 이루어 졌다.

지역별 시험대상 수목의 수는 그림 2와 같이 가급적 고르게 분포하도록 고려하였으며, 수종은 다양하게 선택하려 하였으나 하천 내 수목이 제한되어 있어 그림 3과 같이 8종에 불과했고, 그나마 아카시 나무를 제외하곤 모두 버드나무과 수목이었다.

흉고직경은 하천 내 서식하는 수목이기 때문에 30cm를 넘는 것은 드물었으며, 그림 4와 같이 시험대상 중 흉고직경은 7 ~ 25cm에 해당하는 것들이 가장 많았다. 수고에 따른 시험대상 수목은 그림 5와 같으며, 5m 내외의 수고를 갖는 것이 가장 많았는데 이는 제한된 지역의 수목군락에서 시험을 한 결과로 지역마다 거의 비슷한 수고를 가지고 있었기 때문으로 판단된다. 또한 시험대상 수목의 수령은 그림 6에서 보는 바와 같이 8년이 가장 많으며, 5 ~ 11년 사이에 거의 모든 수목이 분포하고 있었다.

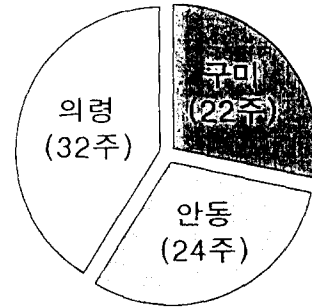


그림 2. 시험수목의 지역별 분포

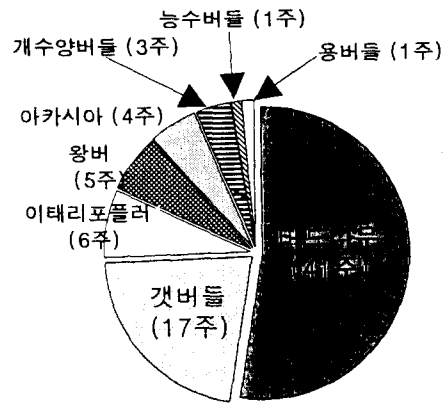


그림 3. 시험수목의 수종별 분포

#### 4.2.3 현장 인발 시험 방법

시험지역이 선정되면 하천 내 수목에 대한 현장 인발시험은 다음과 같은 절차로 이루어진다.

- ① 시험수목 선정 : 수종 및 위치 등을 고려하여 시험 수목을 선정하고 위치를 기록한다.
- ② 시험수목 표시 : 선정된 수목을 페인트로 표시하고 번호를 부여한다.
- ③ 시험수목 외양조사 : 줄자를 사용하여 흉고직경을 측정하고 스테이프를 설치하여 수고, 수관폭을 측정한다. 스테이프를 설치한 후 복측과 사진 촬영을 하여 실내에서 수고 및 수관폭을 정밀하게 측정할 수 있는 자료로 사용한다.
- ④ 표토조사 : 표토의 특성을 기록한다.  
\*이상의 단계는 예비조사에서 실시하고 실제 시험은 다음의 단계에서 실시한다.
- ⑤ 수목의 연결 : 수고 1m지점에 철선을 묶는다.

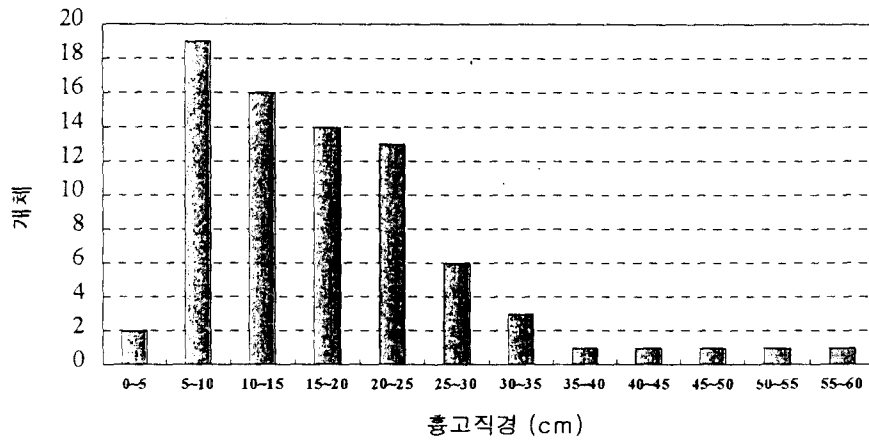


그림 4. 시험수목의 흉고직경별 분포

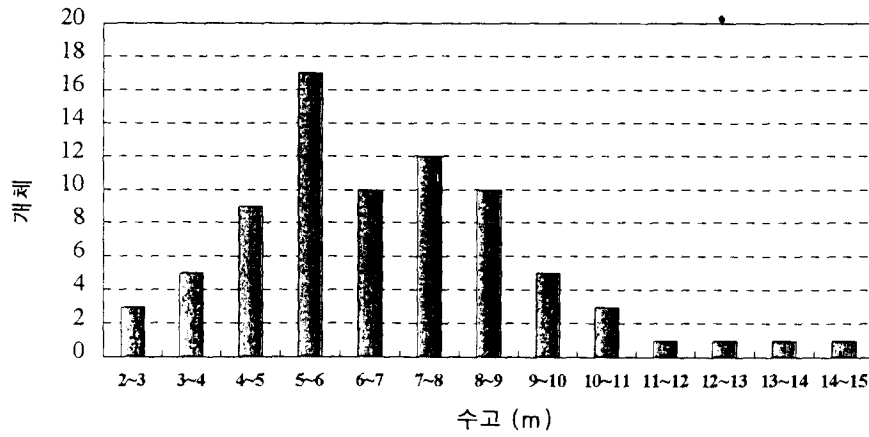


그림 5. 시험수목의 수고별 분포

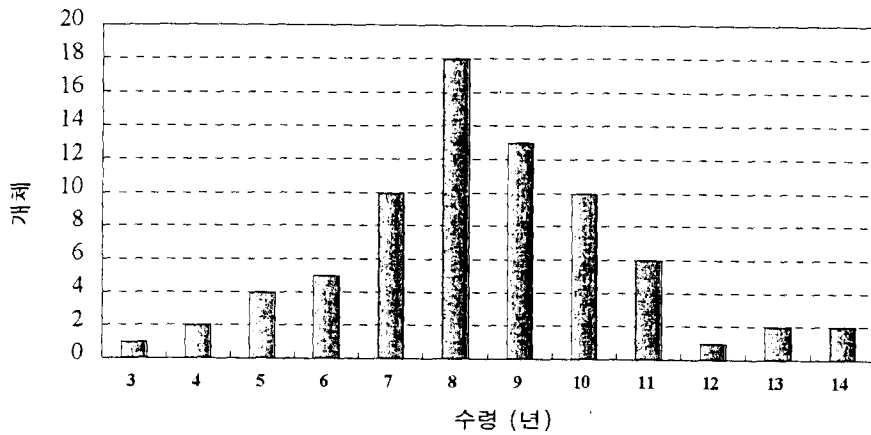


그림 6. 시험수목의 수령별 분포

수고가 작아 1m지점에 철선을 묶을 수 없는 경우에는 뿌리부근에 묶는다.

- ⑥ 인장계 한쪽 끝에 수목을 연결하고 다른 한 쪽에는 백호우와 연결하여 수목과 백호우 사이에 인장계가 설치되도록 한다.
- ⑦ 인장시험 전 수목에 양수 : 인발시험의 조건을 수목이 침수되는 상황과 비슷하게 하기 위하여 시험 대상 수목에 물을 양수하여 뿌리고 그 물이 충분히 수목 주위의 토양에 흡수 된 후에 시험을 실시한다.
- ⑧ 인장력 재하 : 수목이 완전히 인발될 때까지 백호우로 인장력을 가한다. 인장력을 가하면서 수목이 전도될 때의 하중과 인발될 때 하중을 기록하고 최대하중을 기록한다.
- ⑨ 인장력 재하 상황을 사진촬영과 비디오 촬영을 통해 상세히 기록한다.
- ⑩ 인발 후 상황 기록 : 수목이 완전히 뽑힌 후 뿌리의 형태와 토질 상태, 수분상태, 수목이 뽑힌 흔적에 대한 사진촬영 및 야장 기록을 실시한다.
- ⑪ 수목 표본 채취 : 인장 시험 후 수령의 측정을 위해 두께 약 5cm의 줄기 표본과 수종을 확인하기 위한 가지의 표본을 채취한다.

#### 4.3 수목에 대한 인발시험의 결과분석

이상과 같은 방법으로 3개 지역 8개 수종 총 78개체에 대한 인발력 시험을 실시하였다. 시험의 목적이 수목의 외형으로부터 쉽게 측정 가능한 자료로부터 인발력을 예측할 수 있는 방안을 도출하여 하천 내 수목의 관리에 이용하는 것이므로 수고, 수관폭, 흉고직경 등 측정 가능한 자료와 인발력의 관계를 분석하는 것이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 시험결과를 수목의 외형 특성인자인 수령(樹齡), 수고(樹高), 수관폭(樹冠幅) 및 흉고직경(胸高直徑) 간의 상관관계와 이들 외형 특성인자와 인발력 간의 관계에 대해 분석하였다.

시험대상 수종이 버드나무, 갯버들, 이태리포플러, 왕버들, 아카시 나무, 능수버들, 용버들 등 8종으로 아카시 나무를 제외하면 이들 모두 버드나무과에 속하는 수종들이다. 버드나무과 수종은 하천변에서 흔히 볼 수 있는 대표적인 자생수목이며, 이태리포플러를 제외하면 일반인은 물론 하천관리자도 구분하기 어려울 정도로 비슷한 형태를 가지고 있다. 따라서 시험결과와의 분석에서는 이들 수종을 통합하여 분석하였다.

#### 4.3.1 수목의 전도력과 인발력

일반적으로 하천 내 수목은 홍수시 홍수의 유하력에 의한 전도모멘트에 의하여 쓰러진 후 유하력에 의하여 인발되어 하류로 유실된다고 알려져 있다. 본 시험의 궁극적 목적은 하도 내 수목의 홍수시 외력에 대한 저항력을 파악하는 것이다. 따라서 홍수시 외력으로 간주할 수 있는 것은 계획홍수에 따른 유하력으로 이에 따른 전도모멘트가 주요 외력으로 작용하는 것으로 가정하고 시험을 하였다. 시험에서는 하중의 재하점을 높이 1m로 하여 하중을 재하하였다. 시험에서 인장력을 증가시키면 나무가 기울어지고 인장력의 작용길이가 작아지는데 연속적으로 전도모멘트를 측정할 수 없었으며, 따라서 최대 전도모멘트를 정확히 파악할 수 없었다. 그래서 수목에 힘을 가하여 완전히 쓰러졌을 때의 힘과 쓰러져서 인발될 때의 힘을 비교하였다. 총 26개 개체의 수목에 대하여 비교해 본 결과를 그림 7에 도시하였다.

시험결과 평균적으로 수목이 전도될 때 필요한힘은 인발될 때 필요한 힘의 약 63% 정도이며 거의 모든 경우 90% 미만으로 나타났다. 따라서 하천 내 수목의 내력을 측정하는 데는 전도될 때보다는 인발될 때의 힘을 측정하여야 하며, 인발력에 의하여 내력을 측정하는 것이 타당할 것이다.

#### 4.3.2 수목의 외형인자 사이의 상관관계

수목의 크기를 나타낼 수 있는 형태적 특성 중에는 수령, 수고, 수관폭, 흉고직경 등의 인자가 있다.

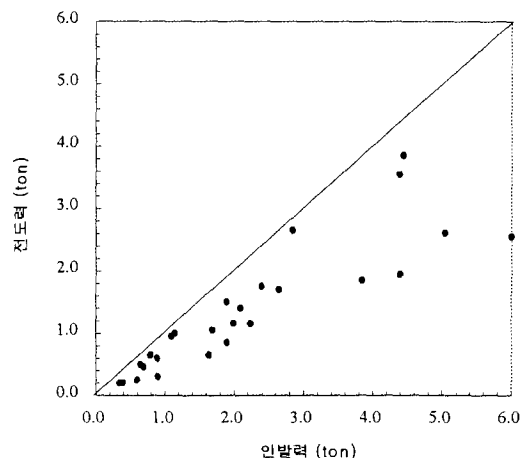


그림 7. 전도시와 인발시의 인장력

이들 인자들 간의 관계를 검토하기 위해서 인발력 시험을 실시한 수목 중에서 판별 가능한 각각의 인자를 조사하여 상관분석을 하였으며, 상관관계는 그림 8 ~ 13과 같다. 그림에서 보면 수령이 커질수록 대체로 흉고직경, 수고, 수관폭 및 흉고직경이 커지고, 수고가 커질수록 흉고직경과 수관폭도 대체로 커진다. 그러나 그림을 보면 이들 인자간에는 서로 비례하는 경향이 있지

만 분산이 커서 특정한 상관관계를 추정하는 데에는 무리가 있다. 그 중에서도 비교적 수관폭과 수고의 상관관계가 크다는 것을 알 수 있으며(그림 13), 그림 11, 12에서도 흉고직경에 대한 수고와 수관폭의 관계가 거의 비슷하게 나타나 수관폭과 수고의 상관관계가 크다는 것을 추정할 수 있다. 그리고 수목에 대한 인장시험을 실시한 흉고직경은 그림 8, 11, 12에서 보이는 것과

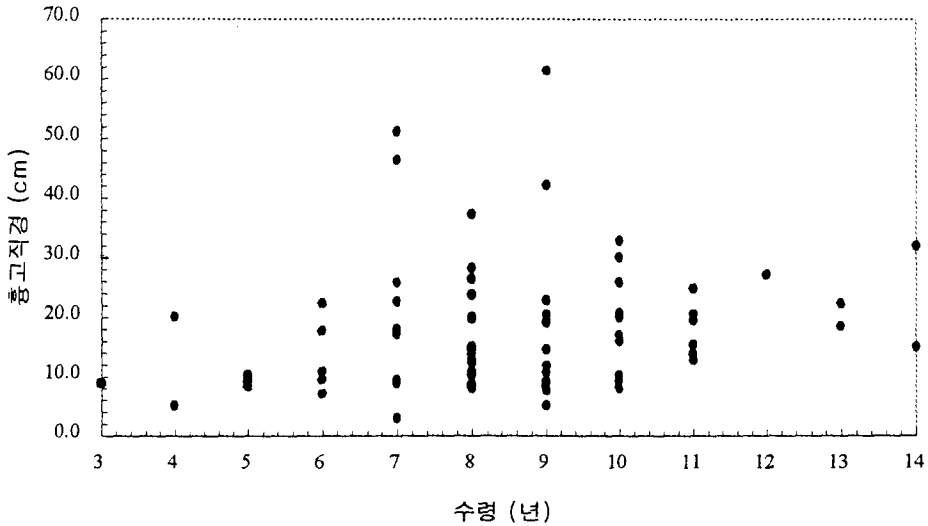


그림 8. 수령과 흉고직경 간의 관계

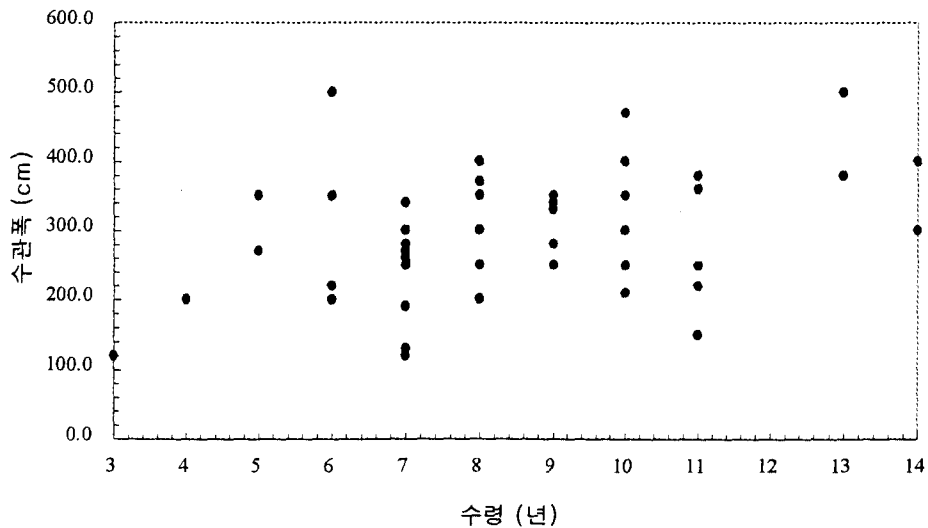


그림 9. 수령과 수관폭 간의 관계

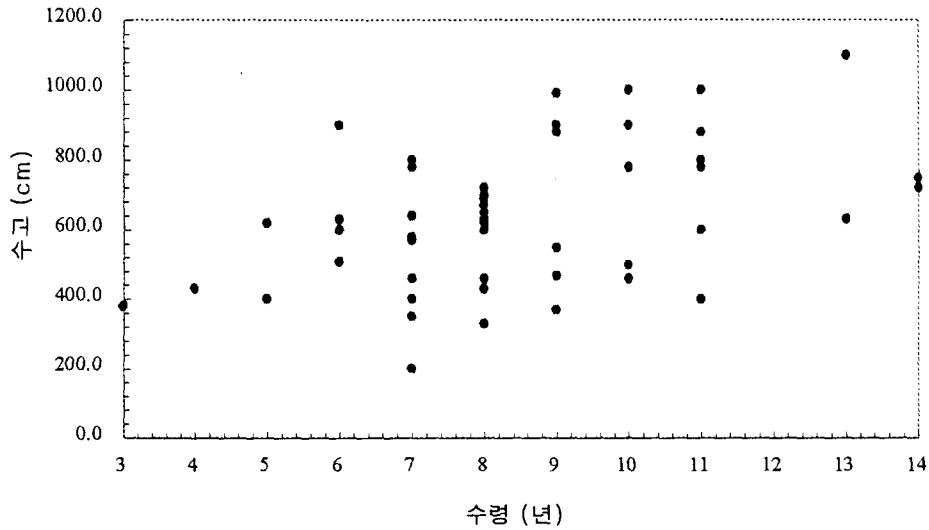


그림 10. 수령과 수고 간의 관계

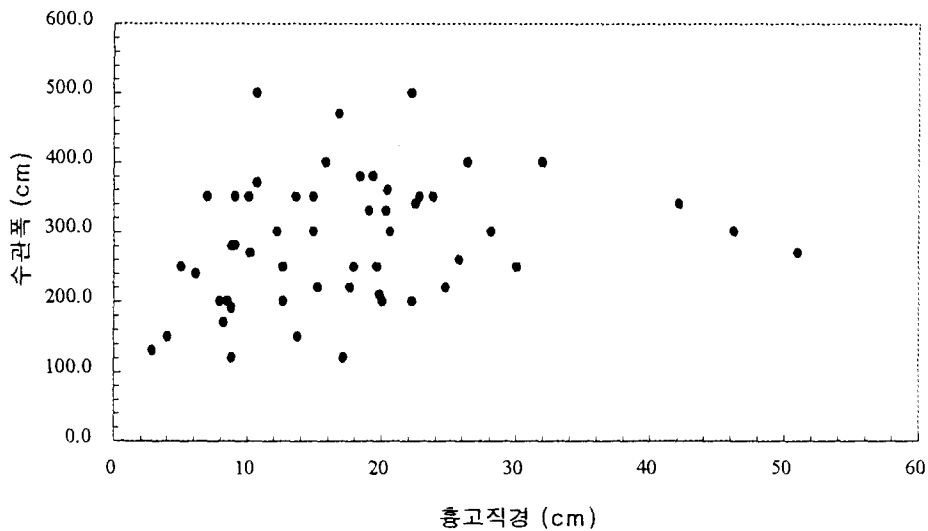


그림 11. 흉고직경과 수관폭 간의 관계

같이 수령이나 수고, 수관폭 등과 상관관계를 도출하기 어렵다는 것을 알 수 있다. 따라서 수목의 외형적 특성은 수고와 수관폭 간의 관계를 제외하면 각 인자 간에 서로 상관관계가 적다는 것을 알 수 있다.

#### 4.3.3 수목의 흉고직경과 인발력의 상관관계

수목은 토양 속에 뿌리를 뻗어 지탱하고 있으며, 인

발력으로 표현되는 수목의 지지력은 토양의 특성과 많은 관계를 가지고 있다. 수목은 인발시 굵은 뿌리가 뽑히면서 생기는 뿌리와 흙과의 마찰력, 그리고 잔뿌리가 끊어질 때의 인장력, 뿌리에 결합되어 함께 뽑히는 흙의 전단응력이 합쳐져 인발력으로 나타난다고 알려져 있다. 본 시험에서 선정된 지역은 구미, 안동, 의령으로 지역별 수목의 흉고직경과 인발력의 관계를 분석하였다.



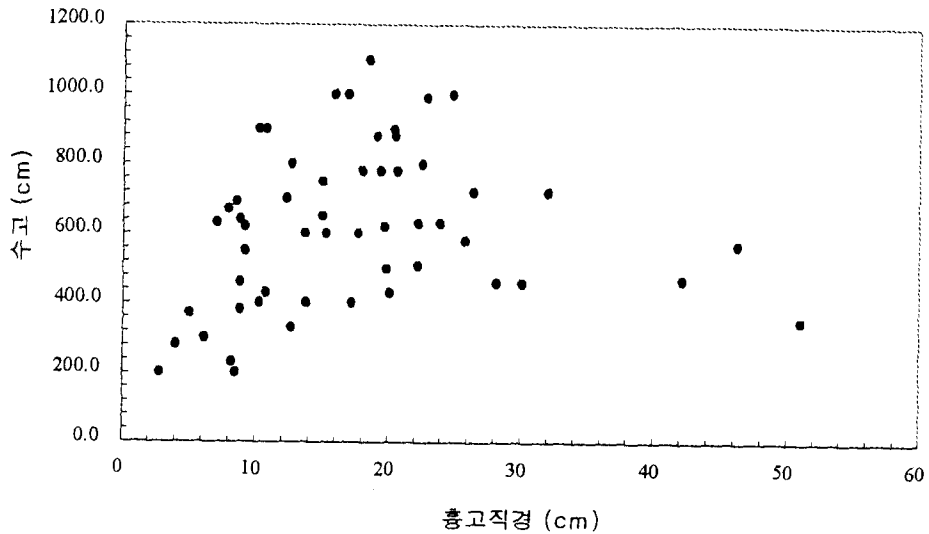


그림 12. 흉고직경과 수고간의 관계

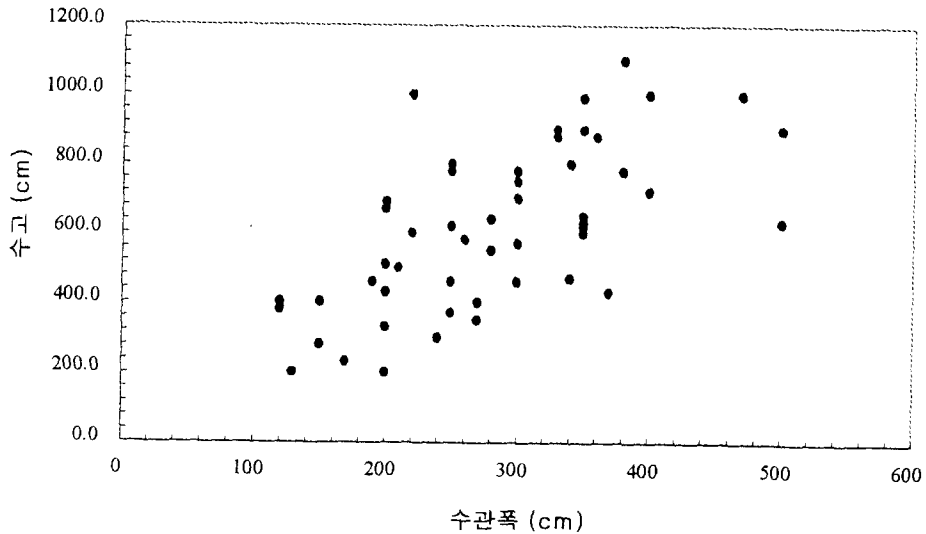


그림 13. 수관폭과 수고의 관계

이들 지역은 토양에 따른 지지력의 특성을 파악하기 위한 고려로 하상재료가 각각 다른데, 구미는 사질토, 안동은 모래와 3~10cm 정도의 굵은 자갈이 섞인 사력토, 의령은 고운 모래와 이토가 섞인 점성토이다. 인발력과 흉고직경과의 상관분석에서는 시험한 수목 중에서 안동에서 흉고직경의 산정에 문제가 있는 관목성의 갯버들을 제외하였고, 의령에서는 인발력이 다른 수종보

다 특히 크게 나타나는 이태리포플러와 개수양버들을 제외하였다. 시험결과에서 흉과 뿌리의 마찰에 의한 마찰력과 흙의 전단파괴에 의한 전단응력을 구분할 수는 없었으나 그림 14~16과 같이 지역에 따라 상당한 차이를 나타내고 있다. 사질토인 구미가 흉고직경의 증가에 따른 인발력이 가장 컸으며, 다음으로 사력토인 안동, 그리고 점성토로 간주되는 의령이 가장 적었다. 즉,

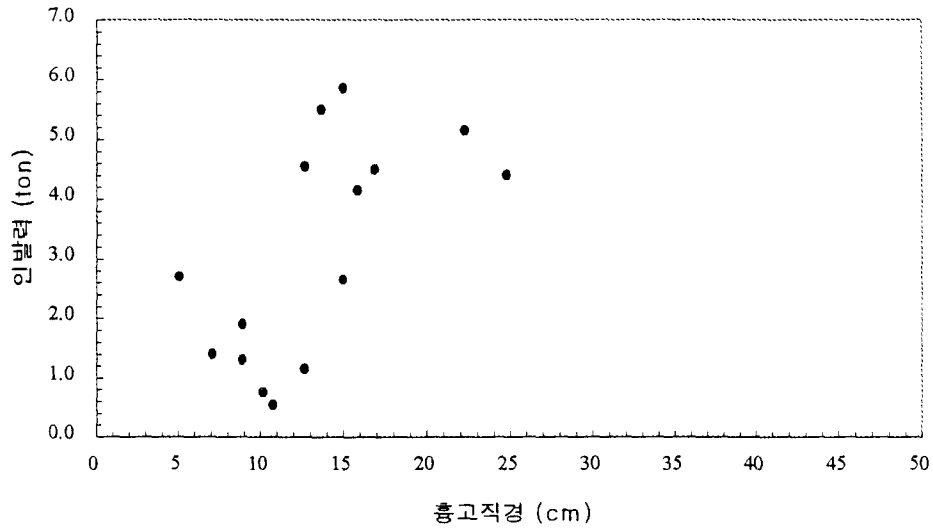


그림 14. 흙고직경과 인발력(구미지점)

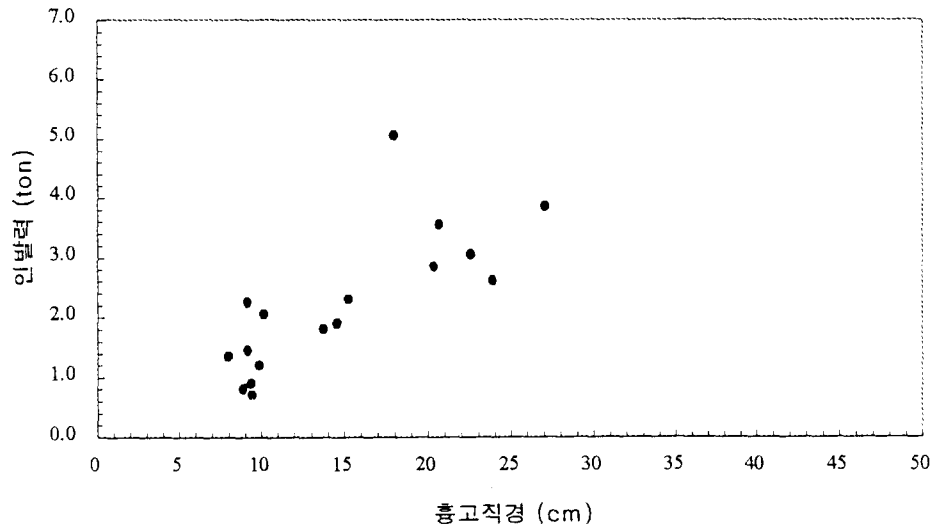


그림 15. 흙고직경과 인발력(안동지점)

같은 흙고직경이라도 인발력은 의령이 가장 적고 다음에 안동, 그리고 구미가 가장 크게 나타났다. 이렇게 토양에 따라 인발력이 다르게 나타나는 것은 토질이 뿌리의 발달에 영향을 미치는데, 점토질 토양에서는 뿌리가 잘 발달하지 못하기 때문에 인발력이 작고 사질토와 사력토에서는 뿌리가 잘 발달하여 인발력이 크게 나타나기 때문이라고 판단된다. 시험결과 흙고직경과 인발력과의 상관관계를 회귀식으로 나타내면 표 2와 같다. 표와

표 2. 지역별 흙고직경과 인발력의 상관관계식

지역	토질	회귀식	상관계수
구미	사질토	$Y = 0.20 + 0.218 X$	0.627
안동	사력토	$Y = 0.06 + 0.146 X$	0.767
의령	점성토	$Y = 0.39 + 0.087 X$	0.632

(Y : 인발강도(ton), X : 흙고직경(cm))

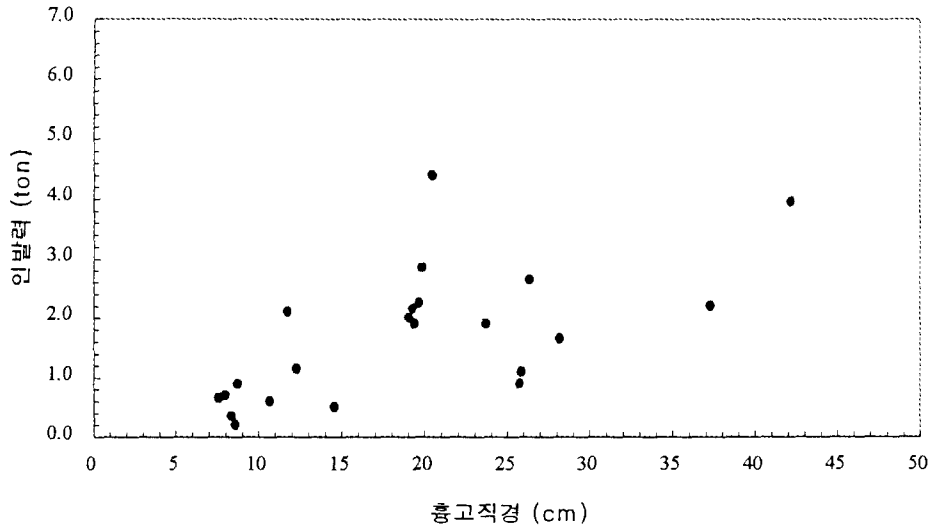


그림 16. 흉고직경과 인발력(의령지점)

같이 각각의 회귀식에 대한 상관계수는 각각 0.637, 0.767, 0.632 로 안동에서 가장 높고 의령에서 가장 작게 나타났다. 이러한 시험결과는 자연상태의 하천에서 직접 시험을 하였다든 점을 감안하면 흉고직경과 인발력 사이에는 높은 상관관계를 가지고 있다고 할 수 있다. 따라서 하천에서 수목의 안정성을 판단하는 데에는 흉고직경이 중요한 의미를 가진다고 할 수 있다. 특히 의령에서 상관관계가 작게 나타나는 것은 시험장소가 비록 고수부지라고는 하나 늪지 형태를 이루고 있는 지점들이 섞여 있어 지하수위와의 비교차가 일정하지 않기 때문이라고 추정된다.

#### 4.3.4 수령과 인발력의 상관관계

인발시험 후 인발력과 수령의 상관관계를 파악하기 위하여 시험목의 표본을 채취하여 전문가에 의뢰하여 수령을 조사하였다. 시험목의 수령은 8년생이 가장 많았고, 5 ~ 11년 사이의 수목이 시험수목의 대부분을 차지하였다. 인발력과 수령의 관계는 그림 17에 도시하였다. 그림과 같이 하천 내 수목의 인발력은 대체적으로 수령이 많을수록 인발력도 커지는 경향을 나타내지만 같은 수령이라도 인발력에 많은 차이를 나타내고 있다. 따라서 수령으로 하천 내 수목의 인발력을 추정하기는 어렵다고 판단된다.

#### 4.3.5 수고와 인발력의 상관관계

수목의 외형적 특성중 하나인 수고와 인발력과의 상관관계를 분석하기 위하여 시험목의 수고를 측정하였다. 수고의 측정은 시험목을 선정할 때 표적을 이용하여 측정하고, 사진을 촬영하여 실내에서 판독하였다. 그러나 표적이 5m 밖에 되지 않아 수고가 5m 이상 되는 수목의 수고는 정확하게 측정하지 못하였고, 대부분 균락을 이루고 있었기 때문에 특정 수목을 구분하기 어려워 사진에 의한 실내측정도 50cm 단위로 판독하였다. 수고에 따른 인발력의 상관관계는 그림 18에 나타났다. 그림에서 보는 바와 같이 대체 적으로 수고가 크면 인발력도 커지지만 같은 수고라도 인발력의 차가 매우 크게 나타남을 알 수 있다. 따라서 수고에 의한 인발력의 크기를 추정하는 것은 신뢰성이 낮아 이용할 수 없다고 판단된다.

#### 4.3.6 수관폭과 인발력의 상관관계

수목의 외형적 특성중 하나인 수관폭과 인발력의 상관관계를 조사하기 위하여 수관폭을 측정하였다. 수관폭의 측정은 현장시험시 표적을 세우고 측정된 사진을 이용하여 실내에서 측정하였다. 수고와 마찬가지로 사진에서 수관폭을 명확히 구분하기 어려워 50cm 단위로 판독하였다. 측정된 수관폭과 인발력의 상관관계를 그림 19에 도시하였다. 그림에서 보는 바와 같이 수관폭

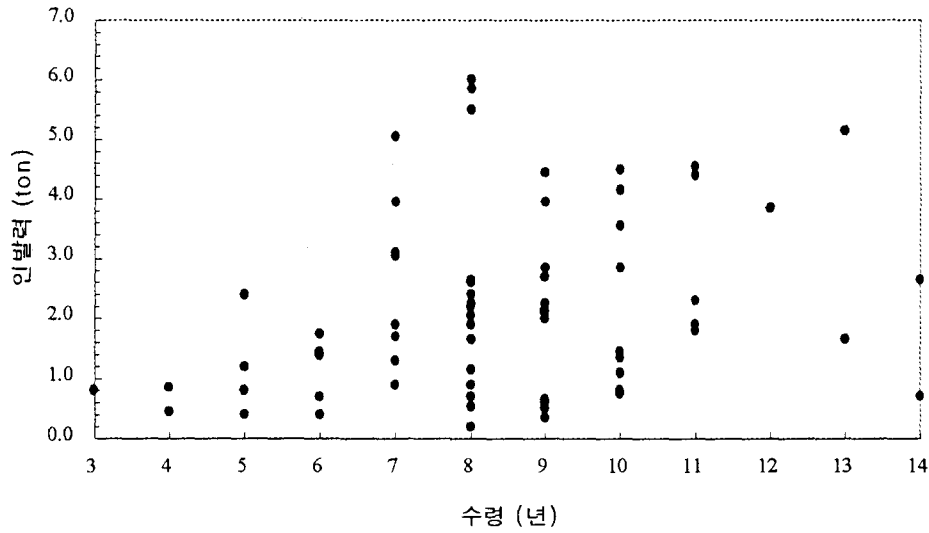


그림 17. 수경과 인발력의 상관관계

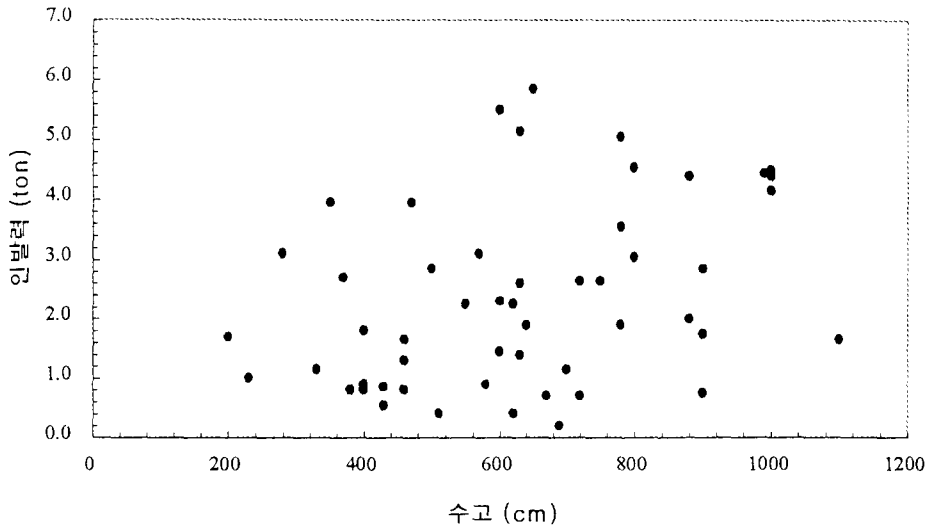


그림 18. 수고와 인발력의 관계

이 크면 클수록 인발력은 대체적으로 커지는 경향을 나타내지만 특정 수관폭에서 인발력의 차이가 매우 큰 것을 알 수 있다. 따라서 수관폭으로 인발력을 추정하는 것은 신뢰성이 낮아 이용할 수 없다고 판단된다.

### 5. 결 론

전국 하천의 수목 조사와 인발 시험을 통하여 얻은 결론을 정리하면 다음과 같다.

(1) 전국의 11개 하천 수계에서 각 수계별 그리고 수종별 수목의 분포현황을 조사하였다. 조사결과 하천 내 수목의 개체수는 변화가 있지만 모든 수계에서 버드나무, 갯버들 등의 버드나무과 수목이 주로 자생하고 있음을 확인하였다. 수목은 하천 내 고수부지와 하안 사면에 주로 서식하고 있었으며, 유량이 적은 하천에서는 수로에도 분포하는 경우도 있었다.

(2) 하천 내 수목의 현장 시험결과 전도될 때와 인발

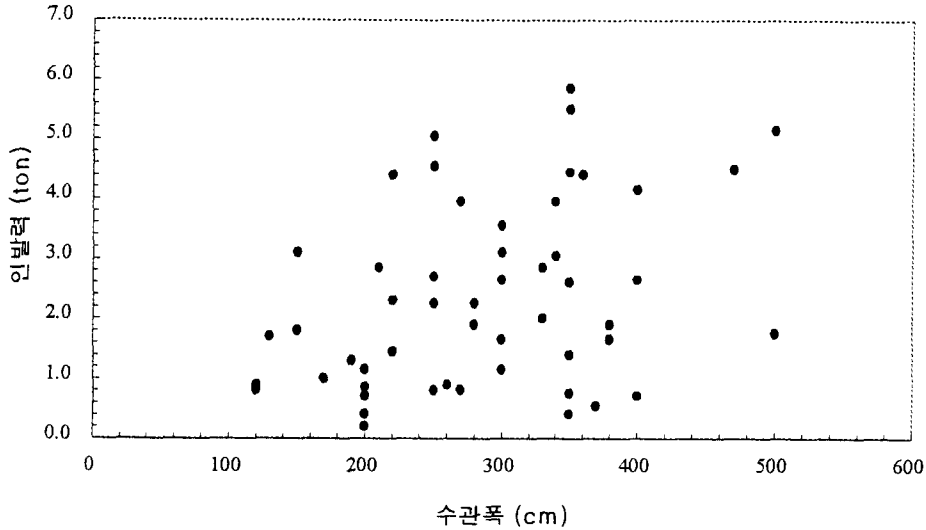


그림 19. 수관폭과 인발력의 관계

될 때의 인장력을 측정된 결과 수목이 완전히 전도될 때의 인장력이 인발될 때의 인장력의 0.9배 이하로 나타나 수목의 안정성을 추정하는 데에는 인발력을 기준으로 하는 것이 필요하다고 판단된다.

(3) 3개 지역에서 실시한 수목인장 시험결과와 각 지역에서의 버드나무과 수목의 흉고직경과 인발강도와의 관계식을 도출하였다. 구미, 안동, 그리고 의령에서의 시험결과는 각각 사질토, 사력토, 그리고 점성토에서의 수목의 인발력과 흉고직경과의 관계를 대표하는 결과로서 사질토, 사력토, 점성토의 순서로 같은 흉고직경에서 인발력이 큰 것으로 나타났다. 이러한 관계는 홍수시 유수에 의한 수목의 안정성 예측에 이용될 수 있을 것으로 판단된다.

(4) 수목의 외형적 특성인자인 수령, 수고, 수관폭 및 흉고직경 등은 수고와 수관폭의 관계를 제외하면 각각의 인자간에 특정한 상관관계를 유도할 수 없었다.

(5) 수목의 외형적 특성인자인 수령, 수고, 수관폭과 인발력과의 관계는 상관성이 낮았으나 흉고직경과의 상관성은 지역에 따라 상당히 높게 나타났다. 따라서 하천관리시 수목의 안정성을 평가하기 위한 인자로 흉고직경을 이용하는 것이 좋을 것으로 판단된다.

수목의 안정성을 보다 신뢰성 높게 평가하기 위해서는 이와 같은 시험을 보다 다양한 지역과 수종에 대해 시험이 이루어진다면 보다 객관적인 결과를 도출할 수 있을 것이다. 또한 하천 내에 분포하는 수목의 뿌리의

발달형태, 토질과의 관계 등 수목의 기초적 특성에 대한 연구와 지하수위와의 상대적 위치에 따른 뿌리의 발달특성 등에 대한 추가적인 조사·연구가 필요하다.

#### 감사의 글

본 연구는 건설교통부의 의뢰로 한국건설기술연구원에서 수행한 하천환경관리기법의 일환으로 수행되었으며, 현장시험에는 건설교통부 하천계획과, 의령군청, 안동시청, 구미시청선산출장소, 수자원공사 구미 취수장 등의 협조를 받았습니다. 또한 수자원공사 배기용 과장 관남의 도움과 국민대학교 김은식 교수님의 자문을 받았습니다. 지면을 통해 진심으로 감사를 드립니다.

#### 참고 문헌

- 김태욱 (1996). 원색도감 한국의 수목. 교학사.
  - 건설부 (1972). 하천법시행령 하천법시행규칙.
  - 건설부 (1994). 자연형 하천계획기법 및 하천유량과 수질의 상관성 조사·연구.
  - 조경협회 (1994). 조경수목학. 문운당.
  - (財)リバーフロント整備センター(1994). 河道内の樹木の伐採・植樹のためのガイドライン(案).山海堂,日本.
  - National River Authority (1994). *The new rivers & wildlife handbook*.
- 〈최종본 도착일 : 1997년 5월 24일〉