

하천내 수목의 안정성에 관한 현장시험

○이진원*, 유대영**, 우효섭***

1. 서 론

우리 나라는 경제개발을 위한 산업화 과정에서 급격한 도시화와 인구집중으로 자연환경보전에 관심을 갖지 못해 결과적으로 물오염, 대기오염 및 생태계의 황폐화를 가져왔으며, 하천도 산지하천을 제외하면 치수기능을 제외한 생태계 서식처로서의 기능, 친수성 기능 등 하천의 환경기능을 거의 기대할 수 없게 되었다. 그러나 최근에 환경에 대한 관심이 고조되면서 하천환경도 주목받기 시작했으나 하천의 환경기능을 증진시키고자 할때 대두되는 문제는 깨끗하고 풍부한 물과 하천변 식생이다.

우리나라는 지금까지 하천변의 수목이 홍수에 미칠 영향 때문에 1m 이상의 다년생 수목의 식수 금지와 자생수목을 제거해 왔다. 이는 홍수 시 통수능을 감소시키고, 하류로 유실되었을 경우 하천시설물의 기능에 지장을 줄 우려 때문이었다.

본 연구에서는 수목의 현황을 파악하기 위해서는 전국 11개 하천수계에 대해서 현지답사로 대표적인 자생수종과 분포현황을 파악하였다. 이 조사를 바탕으로 하천에 가장 광범위하게 분포하고 개체수가 많은 수종을 대상으로 다양한 수령, 흉고직경, 수고, 수관폭, 하천 내 위치 등을 고려하여 시험대상을 선정하여 저항력을 측정하였으며, 이들 요소와 저항력과의 관계를 분석하여 수목의 안정성을 평가하였다.

2. 연구동향

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. 다만 임학이나 조경학 분야에서 일반적인 수목의 서식특성에 대한 연구가 있었을 뿐으로 수목의 성장특성이나 종의 분포를 확인하는데 주력하였다.

외국의 경우도 하천내 수목에 대해서 일부 연구되고 있으나 일반적인 관심사는 아니었다. 그러나 일본의 경우 치수상의 안전을 확보하는 제한된 범위에서지만 하천 내 식수가 가능하도록 식재기준(안)을 제시하고 있으며, 흉고직경과 전도모멘트에 의해 수목의 외력에 대한 저항력을 파악하는 방법을 제시하고 있다. 그리고 영국과 같은 유럽에서는 하천 내 수목 중 통수능에 지장을 주는 것만 제거하고, 관리에 더 많은 비중을 두고(NRA, 1994) 있으며, 독일에서는 제방을 제외한 대부분의 하천구역에 식수가 가능한 편이다. 이들 유럽은 우리 나라에 비하여 유황이 안정되어 있어 수목의 안정성에는 비교적 관심이 적은 편이다.

3. 하천 내 수목의 현황조사

하천 내 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 하천의 적할하천 구간이다.

* 한국건설기술연구원 수자원연구실 선임연구원

** 한국건설기술연구원 수자원연구실 연구원

*** 한국건설기술연구원 기획조정실 실장

조사결과 우리 나라 하천에는 치수위주의 하천정비와 관리로 전체적으로 수목의 개체수가 적은 편이다. 또한 하천내 자생하는 수종의 분포는 지역별 및 수계별로 커다란 특색이 보이지는 않으나 일부 남부지방에는 온대 지방에서 나타나는 수종이 분포하고 있었다. 우리나라 전국의 하천에 분포하는 자생수목은 갯버들, 버드나무, 왕버들 등의 버드나무과 수목이었으며, 식재된 것으로 보이는 이태리포플러, 소나무, 대나무, 아카시아, 족제비싸리 등도 흔히 볼 수 있는 수종이다.

4. 수목인발(引發)시험

1) 시험의 목적

하천 내 수목의 인발시험은 하천 내에 있는 수목이 물의 흐름에 의해 뽑혀 내려가 하류에 있는 하천구조물에 피해를 줄 가능성을 평가하기 위한 것이다. 즉 하도 내의 나무가 홍수 시 예견되는 유량에 견딜 수 있는지를 평가하여 하천관리에 이용하기 위한 것이다. 따라서 하천계획 당시 유수에 나무가 어떻게 거동할 것인가를 예견하여 지지력을 확보해 주던가 아니면 아예 제거하는 하천관리상의 조치를 취할 수 있도록 그 기초자료를 제공하기 위한 것이다.

2) 시험 대상 및 방법

- 시험 대상 지역의 특성

본 시험은 우리 나라의 하천에 자생하는 수목의 홍수에 대한 내력을 추정하는 것이 목적이다. 따라서 전국적인 수목 분포에 대한 조사 결과를 바탕으로 하천변에 지배적으로 서식하는 버드나무과 수종을 주 대상으로 하였으며, 시험대상 지점은 시험기기의 접근성, 수종의 다양성, 하천관리자의 시험에 대한 협조 여부, 하상재료 등을 고려하였다. 선정된 지역은 경북 구미시 고아면 낙동강변, 경북 안동시 임하면 반변천변, 경남 의령군 정곡면 남강변 등 3 개 지역으로 버드나무과 수종이 군락을 이루고 있었으며, 하상재료도 각각 모래, 자갈이 섞인 모래 및 점토지역이다.

표 1. 하천 내 수목의 인발시험 지역의 특성

지 점	수 계	하상재료	접근성	수 종
구 미	낙동강본류	砂質土	양 호	버드나무, 능수버들, 아카시아, 개수양버들, 이태리포플러, 왕버들
안 동	반변천	砂礫土	양 호	버드나무, 갯버들, 아카시아, 용버들, 개수양버들,
의 령	남 강	粘性土	보 통	버드나무, 왕버들, 개수양버들, 갯버들, 이태리포플러

- 시험 대상 수종

하천에서 현장시험 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 안동, 의령 등에서 가급적 고르게 분포하도록 고려하였으며, 수종은 다양하게 선택하려 하였으나 하천 내 수목이 제한되어 있어 그림1과 같이 8종에 불과했고, 그나마 아카시아를 제외하곤 모두 버드나무과 수목이었다. 흉고직경은 하천 내 서식하는 수목이기 때문에 30cm를 넘는 것은 드물었으며, 흉고직경이 7 ~ 25cm에 해당하는 것들이 가장 많았다. 수고와 수관폭의 측정은 시험목을 선정할 때 표척과 사진으로 판독하였다. 그러나 사진에서 수고와 수관폭을 명확히 구분하기 어려워 5m 이상 되는 수목은 개략적으로 판정하여 이용하였다. 측정결과 5m 내외의 수고를 갖는 것이 가장 많았으며, 수령은 8년이 가장 많으며, 5 ~ 11년 사이에 거의 모든 수목이 분포하고 있었다.

- 현장 인발 시험 방법

<예비조사>

- ① 시험수목 선정 : 수종 및 위치 등을 고려하여 시험 수목을 선정한다.
- ② 시험수목 외양 및 표토조사 : 수고, 수관폭, 흉고직경 등을 측정한다.

<현장시험>

- ③ 인장계 설치 : 수고 1m 지점에 철선을 묶고 인장계를 백호우와 연결한다.
- ④ 인장력 재하 : 수목이 완전히 인발될 때까지 인장력을 가하여 최대 인장력을 측정한다.
- ⑤ 시험후 상황 기록 : 수목이 완전히 뽑힌 후 뿌리, 토질, 수분, 수목을 조사한다.
- ⑥ 수목 표본 채취 : 인장 시험 후 수령을 측정한다.

3) 수목에 대한 인발시험의 결과분석

일반적으로 수목의 측정가능한 특성인자인 수령(樹齡), 수고(樹高), 수관폭(樹冠幅) 및 흉고 직경(胸高直徑) 간의 상관관계와 이들 특성인자와 인발력 간의 상관관계에 대해 분석하였다. 시험 대상 수종이 버드나무, 갯버들, 이태리포플러, 왕버들, 아카시아, 능수버들, 용버들 등 8종 78주로 아카시아를 제외하면 이들 모두 버드나무과에 속하는 수종들이다. 버드나무과 수종은 하천변에서 흔히 볼 수 있는 대표적인 자생수목이며, 이태리포플러를 제외하면 일반인을 물론 하천관리자도 구분하기 어려울 정도로 비슷하기 때문에 분석에서는 이들을 통합하여 분석하였다.

(1) 수목의 전도력과 인발력

일반적으로 하천 내 수목은 홍수의 유하력 때문에 쓰러지고 궁극적으로 인발되어 하류로 유실된다고 알려져 있다. 본 시험의 궁극적 목적은 하도 내 수목의 홍수 시 외력에 대한 저항력을 파악하는 것이다. 따라서 처음에 쓰러질 때는 전도력으로 작용하지만 나무가 기울어지고 전도모멘트의 작용길이가 작아지면 인발력이 작용하게 된다. 그리고 실험에서 최대 전도모멘트를 정확히 파악할 수 없었기 때문에 수목이 완전히 쓰러졌을 때의 힘과 쓰러져서 인발될 때의 힘을 비교하였다.

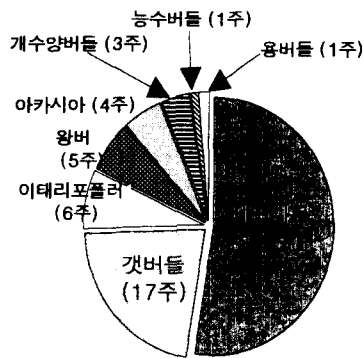


그림 2. 시험수목의 수종별 분포

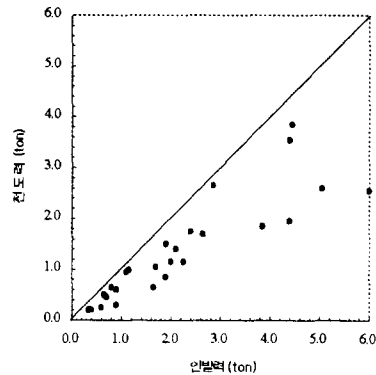


그림 3. 전도 시와 인발 시의 인장력

총 26개 개체의 수목에 대하여 비교해 본 결과를 그림 3에 도시하였으며, 평균적으로 수목이 전도될 때 필요한 힘은 인발될 때 힘의 약 63% 정도이며 거의 모든 경우 90% 미만으로 나타났다. 따라서 하천 내 수목의 내력을 측정하는 데는 전도될 때보다는 인발될 때의 힘을 측정하는 것이 수목의 안정성에 필요한 내력을 파악할 수 있다.

(2) 수목의 외형인자 사이의 상관관계

수목의 크기를 나타낼 수 있는 형태적 특성 중에는 수고, 수관폭, 흉고직경 등의 인자가 있다. 이들 인자들 간의 상관관계를 검토하기 위해서 시험대상 수목 중에서 판별 가능한 각각의 인자를 조사하였다. 각 인자간의 상관관계는 그림 4 ~ 6과 같다.

그림에서 보면 수고가 커질수록 흉고직경과 수관폭도 대체로 커지며, 이들 인자간에는 서로 비례하는 경향이 있지만 분산이 커서 특정한 상관관계를 추정하는 데에는 무리가 있다. 그 중에서도 비교적 수관폭과 수고의 상관관계가 크다는 것을 알 수 있으며(그림 6), 흉고직경에 대한 수고와 수관폭의 관계는 거의 비슷한 형태지만 상관관계는 적어 수고와 수관폭으로 흉고직경을 추정하는 것은 어렵다고 판단된다. 따라서 수목의 외형적 특성은 수고와 수관폭 간의 관계를 제외하면 각 인자 간에 상관관계가 적다는 것을 알 수 있다.

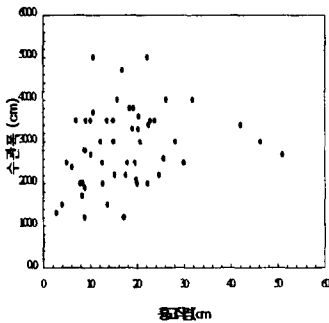


그림 4. 흉고직경과 수관폭의 상관관계

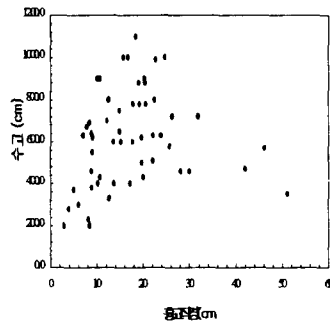


그림 5. 흉고직경과 수고의 상관관계

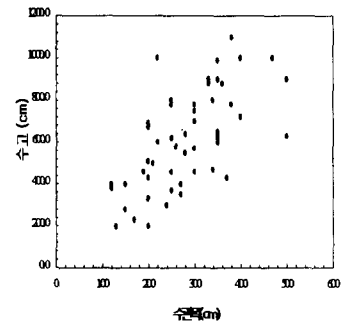


그림 7. 수관폭과 수고의 상관관계

(3) 하천의 외형적 특성과 인발력의 상관관계

인발력과 하천의 외형적 특성인 수령, 수고, 수관폭, 흉고직경과의 상관관계를 분석하였으며, 그 결과는 그림 7 ~ 12와 같다.

그림 7-9와 같이 하천 내 수목의 인발력은 대체적으로 수령이 많고, 흉고직경이 크고, 수고와 수관폭이 클수록 인발력도 커지는 경향을 나타내지만 분산이 커서 특정한 상관관계를 유도하기는 어렵다. 그러나 흉고직경과 인발력의 상관관계가 가장 높게 나타났는데 이를 지역별로 분석해 보면 그림 10 ~ 12와 같이 지역에 따라 다르게 나타난다. 이는 지역에 따라 하상재료가 다르기 때문에 발생하는 것으로 추정되는데 구미, 안동, 의령지역의 하상재료는 각각 사질토, 모래와 3 ~ 10cm 정도의 굵은 자갈이 섞인 사력토, 고운 모래와 이토가 섞인 점성토로 간주할 수 있다.

흉고직경과 인발력의 관계는 구미가 흉고직경의 증가에 따른 인발력이 가장 컸으며, 다음으로 안동, 그리고 의령의 순서로 나타났다. 즉, 같은 흉고직경이라도 인발력은 의령이 가장 적고 다음에 안동, 그리고 구미가 가장 크게 나타났다.

각각의 지역에서 흉고직경과 인발력의 상관계수는 각각 0.637, 0.767, 0.632 로 안동에서 가장 높고 의령에서 가장 작게 나타났다. 이러한 시험결과는 자연상태의 하천에서 직접 시험을 하였다는 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 비고차가 일정하지 않기 때문이라고 추정된다.

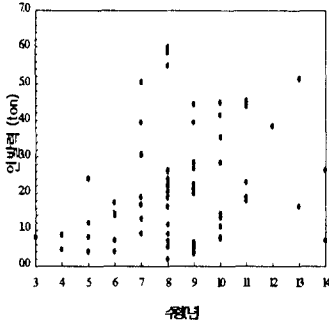


그림 7. 수령과 인발력의 상관관계

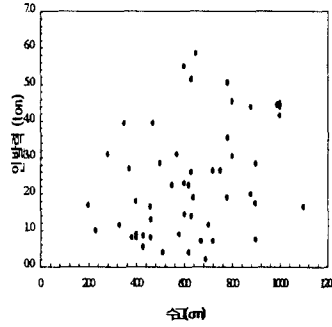


그림 8. 수고와 인발력의 상관관계

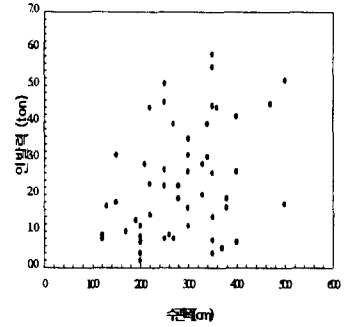


그림 9. 수관폭과 인발력의 상관관계

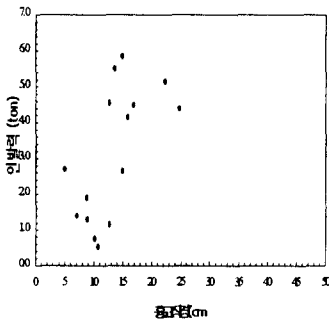


그림 10. 흉고직경과 인발력 (구미지점)

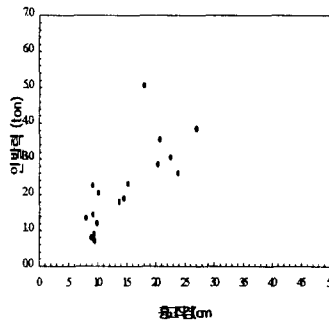


그림 11. 흉고직경과 인발력 (안동지점)

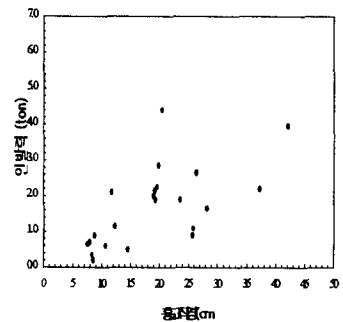


그림 12. 흉고직경과 인발력 (의령지점)

5. 결론

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

- (1) 전국의 11개 하천 수계에서 각 수계별 그리고 수종별 수목의 분포현황을 조사한 결과 하천 내 수목은 개체수는 변화가 있지만 모든 수계에서 버드나무과 수목이 주로 자생하고 있었으며, 하천 내 고수부지와 하안 사면에 주로 서식하고 있었다.
- (2) 하천 내 수목이 전도될 때와 인발될 때의 인장력을 측정된 결과 수목이 완전히 전도될 때의 인장력은 인발될 때의 0.9배 이하로 나타나 수목의 안정성을 추정하는 데에는 인발력을 이용하는 것이 좋다고 판단된다.
- (3) 3개 지역에서 실시한 수목인장 시험결과 각 지역에서의 버드나무과 수목의 흉고직경과 인발장도와의 관계식을 도출하였다. 이는 사질토, 사력토, 점성토의 순서로 같은 흉고직경이라도 인발력이 큰 것으로 나타났으며, 추후 자료의 보완된다면 홍수 시 수목의 안정성을 예측하는데 이용할 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 하천관리 시 수목의 안정성을 평가하기 위한 인자로 흉고직경을 이용하는 것이 좋을 것으로 판단된다.

수목의 안정성을 보다 신뢰성 높게 평가하기 위해서는 보다 다양한 지역과 수종에 대해 시험으로 보다 객관적인 결과를 도출하여야 할 것이다. 또한 하천 내에 분포하는 수목의 뿌리의 발달형태, 토질과의 관계 등 수목의 기초적 특성에 대한 연구와 지하수위와의 상대적 위치에 따른 뿌리의 발달특성 등도 계속 연구되어야 할 것이다.

<감사의 글>

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

참고문헌

- 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.