

# 홍수터 복원을 위한 침수 내성 참나무 수종 선발

한 승 주\* / 김 혜 주\*\* / 유 영 한\*\*\*

## Selection on Tolerant Oak Species to Water Flooding for Flood Plain Restoration

Han Seung Ju\* / Kim Hyea Ju\*\* / You Young Han\*\*\*

**요약** : 우리나라 하천변 홍수터의 복원수종을 선발하기 위하여 우리나라 낙엽성 참나무 주요 6종의 유식물을 일 반 토양(대조구)과 뿌리가 잠기는 침수된 토양에서 재배하여 그 생육변화의 차이를 분석하였다. 생육분석에 사용 한 항목은 잎 수, 잎 길이, 잎 폭, 잎 면적, 지상부 길이, 줄기 길이, 줄기 직경, 뿌리 길이, 식물체 길이(뿌리 길 이+줄기 길이), 잎 무게, 줄기 무게, 뿌리 무게, 식물체 무게 등 13가지 형질이다. 졸참나무는 관찰한 13가지 모 든 형질에서 침수처리구에서도 잘 자라 대조구와 생육 차이가 없었다. 갈참나무는 식물체 길이 만, 떡갈나무는 잎 길이 등 4개 형질에서, 굴참나무는 잎 수 등 6개 형질에서, 상수리나무는 뿌리 길이 등 7개 형질에서, 신갈나 무는 잎 수를 제외한 12개의 형질에서 대조구보다 침수 처리구에서 못 자랐다( $p < 0.05$ ). 전체적으로 볼 때 낙엽 성 참나무류의 침수에 대한 내성의 순서는 졸참나무>갈참나무>떡갈나무>굴참나무>상수리나무>신갈나무 순으로 감소하였다. 따라서 참나무류를 하천변의 홍수터 복원 시에는 졸참나무나 갈참나무를 식재하는 것이 바람직하다.

**핵심용어** : 낙엽성 참나무, 홍수터, 복원, 침수처리

**Abstract** : In order to select the water flooding-tolerant trees among Korean oaks, we cultivated the sapling of 6 deciduous oak species, *Quercus acutissima*, *Q. mongolica*, *Q. variabilis*, *Q. dentata*, *Q. aliena* and *Q. serrata*, under the water flooding treatment and the control, and analysed the growth difference among them. For comparing the growth between treatment and control, we measured 13 morphological and ecological traits, such as leaf number, leaf length, leaf width, leaf area, shoot length, stem length, stem diameter, root length, plant length, leaf weight, stem weight, root weight, plant weight. *Q. serrata* have no growth difference between water flooding treatment and control, but the rest 5 species showed the growth reduction in water flooding treatment. Tolerance of oak species to water flooding was risen in order of *Quercus acutissima*, *Q. mongolica*, *Q. variabilis*, *Q. dentata*, *Q. aliena* and *Q. serrata*. Thus, among Korean deciduous oaks, it is desirable to plant *Q. serrata* for flood plain restoration of river.

**Keywords** : Deciduous oak, flood plain, restoration, water flooding treatment

### 1. 서 론

하천복원은 자연성을 상실한 하천의 생태적 기 능성을 회복시키는 것을 의미한다. 하천의 생태적 기능성에는 저수로 및 물 자체는 물론 홍수터의

것도 포함되는 것이다. 그러나 지금까지 국내 하 천복원의 범위에는 자연적 홍수터를 포함시키지 못하고 주로 제방에 의하여 만들어진 인위적인 홍수터, 소위 고수부지와 저수로를 중심으로 한 하도와 하안 복원에 주력하여 왔다(김혜주 등,

+ Corresponding author : youeco21@kongju.ac.kr

\* 준회원 · 공주대학교 생명과학과

\*\* 정회원 · 김혜주자연환경계획연구소

\*\*\* 정회원 · 공주대학교 생명과학과 조교수

2008).

우리나라는 년 간 평균 강수량은 약 1200 mm 내외로 그 중 70~80 %가 5~9월 사이에 집중되고 있으며, 특히 7~8월 중에는 집중호우와 이로 인한 토사 유출과 토사 퇴적으로 인하여 하천변에 홍수터가 발생하는 조건을 기본적으로 가지고 있다(양인태 등, 2006; 김정연과 길봉섭, 2000).

수변식생은 하천이나 호수의 연안대에서 육지 쪽에 걸쳐 출현하고, 나무의 근계가 지하수위보다 낮은 곳에 주로 분포하는 연목대와 높은 곳에 주로 분포하는 경목대로 구별된다(이창석 등 1999). 이들 수변식생은 육지로부터 오는 토사와 오염물질의 유입을 차단하고, 밀생한 근경에 의하여 토양침식과 독방파를 막는 기능을 한다. 이외에 나무가 만드는 그림자는 물고기의 피신처가 되며, 생산되는 낙엽은 부니질의 소비자인 수서 곤충이나 저서동물에게 먹이나 미소서식처를 제공하며, 양서류와 야생조류의 먹이 획득과 보금자리가 된다. 또한 온화한 수변경관을 형성하여 사람들에게 안정감을 준다(이창석 등, 1999). 이러한 여러 가지 기능으로 볼 때 하천의 고수부지나 제방에 나무를 심는 것은 생태적인 완충기능이 높고, 경제적으로도 다른 건설공법에 비하여 매우 유리한 방법으로 평가되고 있다(Large 등, 1994; Shields 등, 1995).

한편 미국에서는 하천변의 침식과 토사유출의 방지를 위하여 수변식생의 도입과 수변식생의 구조기능적 연구를 1970년대부터 수행하고 있다(Large 등, 1991; Shields 등, 1995). 미국 농무성(USDA)내의 자연자원보존소(NRCS, Natural resource conservation services)에서는 미국에서 생육하는 거의 모든 식물에 대하여 그들의 침수에 대한 내성정도, 생활사의 특성, 번식방법 및 삽목시의 발근정도, 효과적인 식재방법 등을 구체적으로 제시하고 있다(Shields 등, 1995).

우리나라에서는 하천수목에 대한 연구뿐만 아니라 하천 변에 식재할 수 있는 나무에 대한 기초 연구도 거의 되어 있지 않은 상태이다(경원대환경 계획연구소, 1995; 김은식과 전승훈, 1997; 김종

원 등, 1998; 박재현, 2001). 더욱이 우리나라에 서는 하천 구역 내에 나무를 심을 수 있도록 하천법 시행령이 개정되어(한국건설기술연구원, 1998) 앞으로 그 수요가 증가할 것으로 예상된다.

참나무류는 한국의 활엽수종 중 분포 면적과 개체수가 가장 많은 수종으로 가구, 악기, 펄프 제지 원료, 표고 골목, 신탄재 등으로서의 물질자원, 도토리 등의 식용자원, 환경자원 등 여러 가지 측면에서 한국을 대표하는 활엽수종이다(임목 육종연구소, 1995; 임주훈, 1995). 또한 최근의 조사에서 참나무류는 우리나라의 잠재자연하천 식생의 교목층에 참나무류가 높은 빈도로 분포하고 있다(김혜주 등, 2008).

본 연구는 홍수터에 심을 나무를 선정하기 위하여, 우리나라에서 가장 넓은 서식처를 가지며 이용가치가 높은 낙엽성 참나무 6종을 대상으로, 침수에 내성을 갖는 종은 무엇인지를 밝히고자 시도하였다.

## 2. 재료 및 방법

국내에서 가장 흔하게 자생하는 낙엽성 참나무 6종-상수리나무(*Quercus. acutissima*), 신갈나무(*Q. mongolica*), 굴참나무(*Q. variabilis*), 떡갈나무(*Q. dentata*), 갈참나무(*Q. aliena*), 졸참나무(*Q. serrata*)-를 사용하였다. 이들 종의 종자를 10월에 공주시 신관동 인근 야산에서 채집하여 4℃에 냉장보관한 후 다음 해 4월에 크기가 유사한 도토리를 발아시켰다. 발아에 사용된 흙은 유기물이 첨가 안 된 모래를 사용하였다. 발아 후 본 잎이 3-4장 나온 후 유식물을 침수 처리구와 대조구에 각 종당 5개체씩 식재하였다. 실험에 사용한 통은 플라스틱 통(100×70×50 cm)으로 침수 처리구는 물을 넣어 뿌리가 완전히 잠기게 하였다. 대조구는 1주일에 1회 1000 ml를 급수하고, 침수처리구는 항상 뿌리가 잠기도록 수분을 공급하였다. 침수는 생육기 말인 10월까지 처리하였다.

생육항목은 생육기 말에 측정하였고, 건조생물량은 70℃에서 72시간 건조시킨 건물량으로 하였

다. 측정항목은 잎 수, 잎 길이, 잎 폭, 잎 면적 (잎 길이 × 잎 폭), 지상부 길이, 줄기 길이, 줄기 직경, 뿌리 길이, 식물체 길이(뿌리 길이+ 줄기 길이), 잎 무게, 줄기 무게, 뿌리 무게, 식물체 무게 (잎 무게 + 줄기 무게 + 뿌리 무게)등 13가지 형질이다. 길이 측정은 50 cm 막대자와 두께는 vernier calipers(CD-15CP, Mitutoyo)를 사용하였다. 건물량은 전자식시저울(HS210A, 한성기공업)을 사용하였다.

침수처리구에 따른 생육적 반응은 대조구와의 차이를 분산분석(ANOVA)으로 검증하였고, 참나무 6종의 13가지 생육항목의 전체적인 반응은 주성분분석(principal component analysis)으로 파악하였다(노형진과 정한열, 2002). 이상의 통계분석은 Statistica(Statsoft Co. 2006)를 사용하였다.

### 3. 결과 및 고찰

같은 참나무류라 할지라도 다른 종 사이에 생장은 차이가 있기 때문에 동일 종 사이에서 침수처리구와 대조구를 비교하였다. 침수처리구와 대조구에 대한 참나무 6종 유식물의 생육적 차이는 다음과 같다. 잎 수에서는 굴참나무에서 침수처리구가 대조구보다 잘 자라지 못하였고, 상수리나무, 신갈나무, 떡갈나무, 갈참나무 그리고 졸참나무에서는 차이가 없었다(Fig. 1a). 잎 길이에서는 상수리나무, 신갈나무, 굴참나무 그리고 떡갈나무에서 침수처리구가 대조구보다 잘 자라지 못했고, 갈참나무와 졸참나무에서는 차이가 없었다(Fig. 1b). 잎 폭에서는 상수리나무, 신갈나무 그리고 굴참나무에서 침수처리구가 대조구보다 잘 자라지 못했고, 떡갈나무, 갈참나무, 그리고 졸참나무에서는 차이가 없었다(Fig. 1c). 잎 면적에서는 상수리나무, 신갈나무, 갈참나무 그리고 떡갈나무에서 침수처리구가 대조구보다 잘 자라지 못했고, 갈참나무와 졸참나무에서는 차이가 없었다(Fig. 1d).

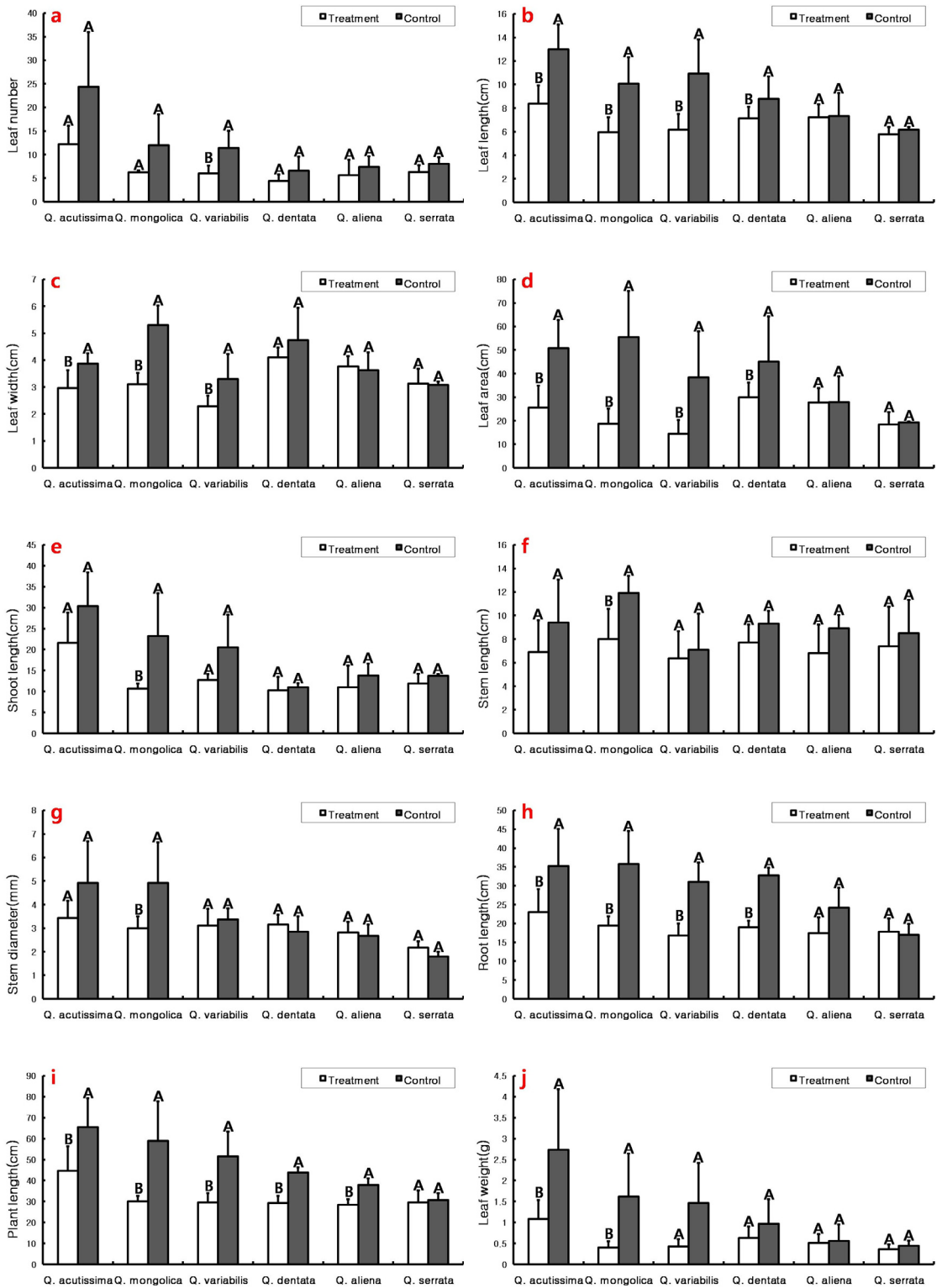
지상부 길이, 줄기 길이, 줄기 직경에서는 신갈나무는 침수처리구에서 대조구보다 잘 자라지 못하였고, 상수리나무, 굴참나무, 떡갈나무, 갈참나무

무 그리고 졸참나무는 서로 간에 차이가 없었다(Fig. 1e-g). 뿌리 길이에서는 상수리나무, 신갈나무, 굴참나무 그리고 떡갈나무에서 침수처리구가 대조구보다 잘 자라지 못했고, 갈참나무와 졸참나무에서는 서로 간 차이가 없었다(Fig. 1h). 식물체 길이에서는 졸참나무 만 차이가 없었고, 나머지 5종은 침수처리구에서 못 자랐다(Fig. 1i).

잎 무게에서는 상수리나무와 신갈나무에서 침수처리구가 대조구보다 잘 자라지 못했고, 굴참나무, 떡갈나무, 갈참나무 그리고 졸참나무에서는 서로 간 차이가 없었다(Fig. 1j). 줄기 무게와 뿌리 무게는 신갈나무에서 침수된 처리구가 대조구보다 잘 자라지 못하였고, 나머지 5종은 모두 대조구와 처리구 간 차이가 없었다(Fig. 1k-l). 식물체 무게에서는 상수리나무, 신갈나무에서 침수처리구가 대조구보다 잘 자라지 못하였고, 굴참나무, 떡갈나무, 갈참나무 그리고 졸참나무에서는 차이가 없었다(Fig. 1m).

참나무 6종이 침수되었을 때 13가지 측정 형질 중 식물체 길이에서는 상수리나무, 신갈나무, 굴참나무, 떡갈나무, 갈참나무에서 차이가 나타났고, 잎 길이, 잎 넓이, 뿌리 길이에서는 상수리나무, 신갈나무, 굴참나무, 떡갈나무에서 차이가 나타났다. 지상부 길이, 줄기 길이, 줄기 두께, 뿌리 무게에서는 신갈나무에서만 차이가 나타났고, 잎 무게, 줄기 무게, 식물체 무게에서는 상수리나무와 신갈나무에서 차이가 나타났다. 이는 참나무류가 침수 되었을 시에 뿌리 길이, 잎 길이 그리고 잎 면적의 생장에 영향을 주지만, 줄기 길이와 직경의 생장에는 영향을 적게 주는 것을 의미한다.

이상을 정리하면 졸참나무는 13개의 측정형질 모두에서 침수가 되어도 생육의 감소가 일어나지 않았고 갈참나무는 식물체 전체 길이 한 가지 항목에서만 생육의 감소가 일어나지 않았다. 그러나 떡갈나무는 13개 중 4개 형질에서, 굴참나무는 6개 형질에서, 상수리나무는 7개 형질에서, 신갈나무는 12개 형질에서 침수가 되면 대조구보다 못 자라는 생육적 감소가 일어났다.



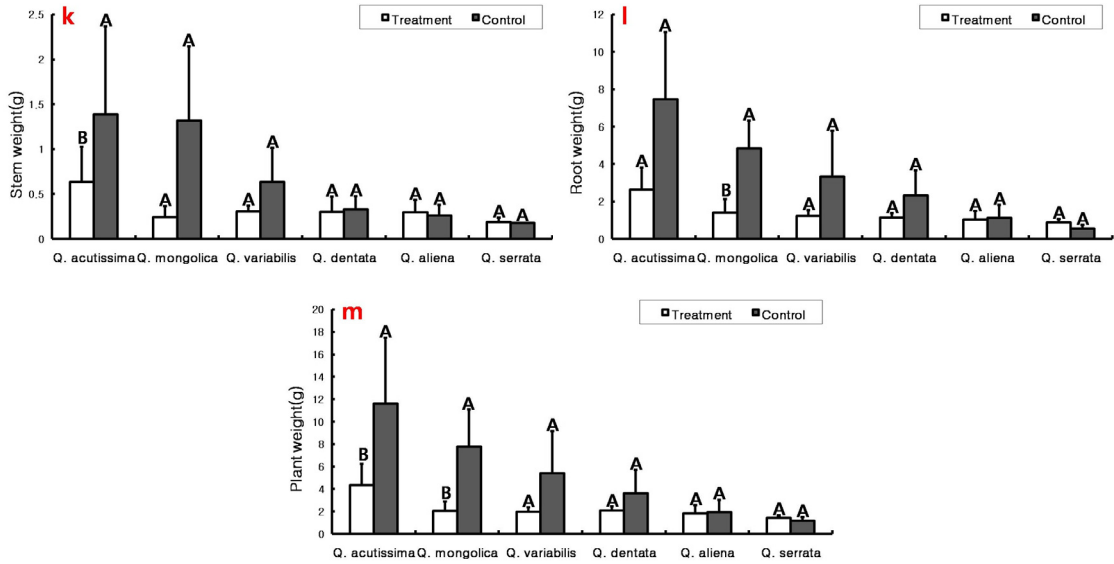


Fig. 1. Leaf number(a), leaf length(b), leaf width(c), leaf area(d), shoot length(e), stem length(f), stem diameter(g), root length(h), plant length(i), leaf weight(j), stem weight(k), root weight(l), plant weight(m) of *Q. acutissima*, *Q. mongolica*, *Q. variabilis*, *Q. dentata*, *Q. aliena* and *Q. serrata* with water flooding treatments and control. Different capital alphabets in the graph means significant difference between water treatments and control ( $p < 0.05$ ).

참나무 6종의 13가지 생육항목의 주성분분석 (principal component analysis)에서 졸참나무와 갈참나무의 침수 처리구(T)와 대조구(C)는 서로 간에 가깝게 위치하였으나, 상수리나무, 신갈나무, 굴참나무와 떡갈나무의 침수 처리구(T)와 대조구(C)는 서로 간 멀리 위치하였다(Fig 2). 이는 졸참나무와 갈참나무가 나머지 다른 4종들보다 대조구와 침수조건에 대한 생육반응의 차이가 적다는 것을 반영한다.

이러한 6종의 배열법 상의 분포유형에 미치는 식물체의 형질은 다양하다(Table 1). 이 결과는 두 종의 생태학적 반응이 어떤 핵심적인 소수의 형질에 의한 것이 아니라, 식물체의 여러 다양한 형질이 종합적으로 관여하고 있음을 의미한다. 또 이러한 배열은 줄기 길이를 제외한 12개의 측정 형질과 관련성이 높게 나타남으로써 침수가 되면 참나무류는 형질 전체에 변화가 일어남을 알 수 있었다.

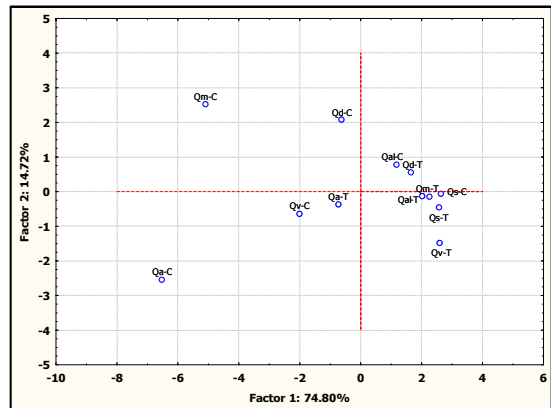


Fig. 2. PCA ordination of response of *Q. acutissima*(Qa), *Q. dentata*(Qd), *Q. mongolica*(Qm), *Q. aliena*(Qa), *Q. variabilis*(Qv) and *Q. serrata*(Qs) to water flooding(T) and control(C), using 13 variables

침수 민감성 식물은 침수 시 뿌리의 생장이 감소하고(Jackson, 1979), 침수 내성식물에서는 침수

Table 1. Correlation matrix of 13 variables with the first two principal component scores of PCA analysis

Variables	Factor	
	I	II
Leaf number	-0.86	-0.44
Leaf length	-0.95	-0.13
Leaf width	-0.56	0.71
Leaf area	-0.90	0.33
Shoot length	-0.90	-0.31
Stem length	-0.36	0.80
Stem diameter	-0.90	-0.05
Root length	-0.92	0.25
Plant length	-0.81	0.37
Leaf weight	-0.97	-0.23
Shoot weight	-0.96	-0.07
Root weight	-0.97	-0.21
Plant weight	-0.95	-0.22
Variance explained(%)	74.80%	14.72%

에 영향을 거의 받지 않으며, 일부 식물에서는 생장이 개선됨을 보고한 바 있다(Dickson and Broyer, 1972). 이번 실험에서 상수리나무, 신갈나무, 굴참나무 그리고 떡갈나무에서는 침수 시 뿌리의 길이를 포함한 다른 형질들의 생장이 줄어들어 침수 민감성 식물이고, 갈참나무와 졸참나무의 경우 대부분의 형질에서 생장의 감소가 없어 침수 내성식물이라고 판단된다. 실험 결과 침수 민감성 종과 침수 내성 종의 구별은 토양의 수분 구배에 의하여 습한 장소에서 건조한 장소로 감에 따라 갈참나무군락, 졸참나무군락, 신갈나무군락 및 굴참나무군락의 순으로 분포를 설명한 임업연구원(1988)의 결과와 유사하다. 그러나 이번 실험에서 상수리나무와 떡갈나무는 침수 민감성 식물에 가깝게 나타났지만 정현모 등(2009)과 임주훈(1995)은 상수리나무와 떡갈나무는 습윤지에 적응하며, 상수리나무를 중성생육지종으로 분류한 김종욱과 김준호(1994), 김혜란 등(2008)과 정현

모 등(2009)의 결과와는 차이가 있었다. 이러한 차이는 본 연구에서 사용한 침수조건은 전술한 이전의 다른 연구자들이 사용한 수분 구배처리와는 달리, 식물의 뿌리가 물에 4개월 이상 완전히 잠기게 되도록 처리하였기 때문이라 생각된다.

외국의 연구에서 *Q. robur*는 연수목구역에 식재 가능하며 (Baden-Wuerttemberg Umweltministerium, 1989), *Q. lyrata*, *Q. nuttallii*, *Q. phellos* 등의 참나무는 침수 시 2년에서 3년 동안 살아남았다(Crawford, 1982). 이러한 결과는 참나무의 몇몇 종은 홍수터에 복원에 적합하다고 할 수 있다. 실험에서 침수내성식물에 가까웠던 갈참나무와 졸참나무는 실제 우리나라의 중부, 남부지방 하천에서 교목층의 주요 우점종으로 조사되었다(김혜주 등, 2008), 따라서 이 두 종을 식재하여 홍수터 복원에 이용할 수 있을 것이라 생각된다.

## 감사의 글

본 논문은 환경부의 장기생태연구(2006-2008), 한국학술진흥재단의 2008년도 신진교수연구(기초과학분야 과제번호 C00269), 2006-2008년도 국토해양부의 Ecoriver21 자연과 함께하는 하천 복원 기술개발 사업의 일환으로 수행되었음.

## 참고 문헌

- 경원대 환경계획연구소, 1995. 수변 식생조사와 실험하천에서의 식생호안재 선정 및 적용, 한국건설기술연구원 용역보고서.
- 김은식, 전승훈, 1997. 하천 내 자생수목의 특성 및 분포도 작성, 한국건설기술연구원 용역보고서.
- 김정연, 길봉섭, 2000. 한국의 신갈나무 숲, 원광대학교 출판국.
- 김종욱, 김준호, 1994. 수종 참나무속 유식물의 건조스트레스에 대한 기공저항의 조절과 전략의

- 분화, 한국생태학회지, 19, pp. 241-249.
- 김종원 등, 1998. 생물과 어우러진 도시하천 복원을 위한 식생자원 발굴, 환경부.
- 김해란, 정현모, 김혜주, 유영한, 2008. 상수리나무와 굴참나무의 생태적 지위에 관한 연구, 환경생물학회지, 26(4), pp. 385-391.
- 김혜주, 신범균, 유영한, 김창환, 2008. 홍수터복원을 위한 국내 현재잠재자연하천 식생에 대한 연구, 한국환경생태학회지, 22, pp. 564-594.
- 노형진, 정한열, 2002. STATISTICA에 의한 알기 쉬운 통계분석, 형설출판사.
- 박재현, 2001. 수변구역 산림에 의한 수질정화능력 증진에 관한 고찰, 환경복원녹화기술, 4, pp. 2-81.
- 양인태, 김동문, 천기선, 2006. 인공위성영상을 이용한 하천의 퇴적/침식 분석, 한국측량학회지, 22, pp. 7-46.
- 이창석, 홍선기, 조현재, 오종민, 1999. 자연환경복원의 기술, 동화기술.
- 임목육종연구소, 1995. 참나무.
- 임업연구원, 1988. 참나무자원의 종합이용개발에 관한 연구, p. 226.
- 임주훈, 1995. 참나무와 우리문화, 수문출판사.
- 정현모, 김해란, 유영한, 2009. 환경구배처리에 따른 상수리나무, 굴참나무와 신갈나무의 생육 차이, 환경생물학회지, 27(1), pp. 82-87.
- 한국건설기술연구원, 1998. 하천구역 내 나무심기 기준 및 관리에 관한 기준.
- Baden-Wuerttemberg Umweltministerium, 1989. Handbuch Wasserbau, Gehoelze an Fliessgewaessern, H. 6.
- Carwford, R. M. M., 1982. Physiological responses to flooding. In O. L. Lange, P. S., Novel, C. B., Osmond, H., Ziegler, eds., Physiological Plant Ecology II, Water Relations and Carbon Assimilation. Encyclopedic Plant Physiology, Vol 12B, Springer-Verlag, New York, pp. 453-477.
- Dickson, R. E., Broyer. T. C., 1972. Effect of aeration, water supply and nitrogen source on growth and development of tupelo gum and bald cypress, Ecology 53, pp. 626-634.
- Jackson, M.B., 1979. Rapid injury to peas by soil waterlogging, J. Sci. Food Agri, 30, pp. 143-152.
- Large, A. R. G., Petts, G. E., 1992. Buffer zones for conservation of rivers and bankside habitat. R & I project record 340/5y, National rivers authority, Loughborough.
- Large, A. R. G., Prach, K., Bickerton, M. A., & Wade, P. M., 1994. Alteration of patch boundaries on the floodplain of the regulated River Trent, UK. Regulated Rivers: Research and Management 9, pp. 71-78.
- Shields, F. D., Jr., Bowie, A. J., Cooper, C.M., 1995. Control of streambank erosion due to bed degradation with vegetation and structure, Water resource bulletin 31, pp. 75-488.
- Welsch, D. J., 1991. Riparian forest buffers. Function and design for protection and enhancement of water resource, USDA forest service. Northeast area, Report NA-PR-07-01, Radnor, Pennsylvania.

- 논문접수일 : 09년 04월 20일
- 심사의뢰일 : 09년 04월 21일
- 심사완료일 : 09년 05월 08일