

# 하천의 지형학적 인자와 식생종수의 관계

## - 한강수계를 중심으로 -

이광우\* · 김태균\*\* · 심우경\*\*\*

\*고려대학교 자연환경보전연구소 선임연구원 · \*\*진주산업대학교 조경학과 · \*\*\*고려대학교 조경학연구실

# Relationship between Stream Geomorphological Factors and the Vegetation Abundance

## - With a Special Reference to the Han River System -

Lee, Kwang-Woo\* · Kim, Tae-Gyun\*\* · Sim, Woo-Kyung\*\*\*

\*Institute of Natural, Environmental and Conservation, Korea University

\*\*Dept. of Landscape Architecture, Jinju National University

\*\*\*Dept. of Landscape Architecture, Korea University

### ABSTRACT

The purpose of this study was to develop prediction models for plant species abundance by stream restoration. Generally the stream plant is affected by stream geomorphology. So in this study, the relationship between the vegetation abundance and stream geomorphology was developed by multiple regression analysis. The stream characteristics utilized in this study were longitudinal slope, transectional slope, micro-landforms through the longitudinal direction, riparian width and geometric mean diameter and biggest diameter of bed material, and cumulated coarse and fine sand weight portion.

The Pyungchang River with mountainous watershed and the Kyungan steam, and the Bokha stream in the agricultural region were selected and vegetation species abundance and stream characteristics were documented from the site at 2~3km intervals from the upper stream to the lower.

The Models for predicting the vegetation abundance were developed by multiple regression analysis using SPSS statistics package. The linear relationship between the dependant(species abundance) and independant(stream characteristics) variables was tested by a graphical method. Longitudinal and transectional slope had a nonlinear relationship with species abundance. In the next step, the independence between the independant variables was tested and the correlation between independant and dependant variables was tested by the Pearson bivariate correlation test.

The selected independent variables were transectional slope, riparian width, and cumulated fine sand weight portion.

From the multiple regression analysis, the  $R^2$  for the Pyungchang river, Kyungan stream, Bokga stream were 0.651, 0.512 and 0.240 respectively. The natural stream configuration in the Pyungchang river had the best result and the lower  $R^2$  for Kyungan and Bokha stream were due to human impact which disturbed the natural ecosystem. The lowest  $R^2$  for the Bokha stream was due to the shifting sandy bed. If the stream bed is fugitive, the prediction model may not be valid.

Using the multiple regression models, the vegetation abundance could be predicted with stream characteristics such as, transection slope, riparian width, cumulated fine sand weight portion, after stream restoration.

*Key Words : Vegetation Abundance, Stream Characteristic, Multiple Regression Model, Stream Restoration*

## 1. 서론

우리나라의 하천은 인간의 요구에 따라 다양한 모습으로 변화되어 왔다. 자연상태의 하천은 인간이 물가에 생활터전을 마련함에 따라, 치수와 이수 대상으로 여겨졌으며, 제방의 축조 및 이수를 위한 각종 횡단구조물이 설치되었다. 1917년 일제강점기에 하천에 대한 체계적인 조사가 이루어지기 시작한 이래로, 하천구역에 대한 개발은 치수와 이수에 더욱 치중하였다. 특히 하천의 지형학적 특성에 대한 변화는 1986년 완공된 한강 종합개발계획 시 절정기에 달하였으며, 하천선형의 직강화, 횡단면상의 저수로, 고수부지, 고수호안 및 각 호안에 콘크리트 블록을 설치하는 공법의 적용 등은 하천에 대한 인간의 간섭을 최대한으로 적용한 결과이다(건설교통부, 한국수자원공사, 2000).

1990년대 이후, 하천의 기능 중 하천환경에 대한 중요성이 증대되면서, 하천생태계에 대한 관심이 고조되었고, 특히 종 다양성 유지를 위하여 많은 노력을 경주하고 있으며, 이러한 시도는 하도 내 Bio-tope의 설치, 저수로의 사행, 저수로 호안의 자연형 하천공법 도입 등을 통하여 이루어지고 있다(건설기술연구원, 1997; 건설기술연구원, 1998).

일반적으로 하천식생은 하천의 수위, 하상재료, 수질 등과 밀접한 관계를 가지는 것으로 알려져 있으며(USDA, 1998), 식물을 사용함에 있어 토목학적인 시각

에서 호안, 법면 등의 안정화 공법에 식물을 이용한 사례들을 열거(Coppin, 1990)하고 있으나 지형학적 특성 및 수리·수문학적 특성을 포함하는 하천 특성과 식물종 풍부성과의 관계에 대한 자료는 비교적 부족한 편(전승훈 등, 1999)으로, 주로 이를 연구하는 각 기관에서 설정한 시험유역을 제외하고는 하천의 지형학적, 수리·수문학적 특성과 이와 관련된 식생조사는 거의 이루어지지 않고 있다(전승훈 등, 1999). 또 최근 수행되고 있는 하천환경기본계획 등에서 하천에 서식하는 식물종을 조사하고 있으나, 하천 전구간에 대한 출현 종만을 조사할 뿐, 하천의 종·횡단 경사, 폭, 경사에 따른 토사의 입자크기 등의 지형학적 특성과 식물종의 출현여부에 대한 조사는 거의 이루어지지 않고 있다. 하천의 식생에 관한 연구는 군락유형이나, 종 조성 등에 대한 식물사회학적 접근(전승훈 등, 1999)에 국한되어 있다. 따라서 기존의 이수 및 치수개념에서 벗어난 자연형 하천을 조성할 경우, 해당 하천에서 출현할 식생종수를 예측하기 어렵다.

본 연구에서는 하천의 종단경사, 횡단경사, 하천미지형, 하상재료 등의 지형학적 특성과 식물종의 출현여부에 대한 하천의 식생종수 변화와의 관계를 도출하고, 이를 근거로 개발 이후의 출현할 식생종수를 예측할 수 있는 모형을 개발하고자 한다. 식생종수 예측모형은 출현 식생종수를 종속변수로 하고, 각종 지형학적 인자를 독립변수로 하는 다중회귀분석모형을 이용하였다.

## II. 조사내용 및 방법

### 1. 하천 및 조사지점 선정

본 연구는 하천의 종단경사, 횡단경사, 수충부 및 비수충부 등 지형학적 특성과 이들 특성으로 야기되는 하상재료의 구성성분이 하천식생중수에 미치는 영향을 파악하고자 한다. 본 연구의 대상유역으로는 중부지방을 대표하는 한강유역의 제 1지류인 평창강, 북한천 및 경안천을 대상으로 하며, 각 하천의 상류부터 하구까지 본류에 국한하여 조사하였다. 각 대상하천의 하천특성 및 식생조사는 상류에서부터 2~3km 간격으로 주변지역의 식생을 대표할 수 있는 지역을 임의로 선정하였다.

### 2. 하천의 선정 및 하천특성 조사

하천특성은 지형특성과 지형특성에 따라 결정되어지는 하상재료 특성으로 구분되어진다. 하천의 지형특성은 종단경사, 횡단경사, 사행정도, 수충부 및 비수충부의 하안쪽에 해당하는 만곡부의 특성 등이며, 하상재료의 구성은 이들 지형특성에 따라 결정되어진다. 일반적으로 하천의 종단경사와 하상재료의 크기는 밀접한 관계가 있는 것으로 알려져 있으나(USDA, 1998), 국부적으로 만곡부 및 하천의 큰 바위, 식생군락지, 교각, 취수구 등의 지장물이 있는 지역을 중심으로 washload가 퇴적되어 급경사 하천에서 모래이하의 하상재료를 가지는 지역이 발견되기도 한다. 여기서 washload는 흐름이 없는 사수역에서 발생하는 퇴적으로 큰 바위, 관목류의 배후에 유성꼬리와 같은 형태로 나타나는 작은 퇴적도를 말한다.

본 연구에서는 지형학적 특성으로는 종단경사, 횡단경사, 사행 및 만곡 정도에 따라 결정되어지는 종단미지형, 하안폭을 선정하였고, 식물성장의 근간이 되는 하상재료는 평균입경, 최대입경, 굵은 모래 누가구성비, 가는 모래 누가구성비를 선택하였으며, 각 변수의 식물 성장과의 관계는 다음과 같다.

#### 1) 종단경사

하천의 종단경사(longitudinal slope)의 완급은 하상재료의 크기와 밀접한 관계가 있으며, 이는 성장할 수 있는 식물종을 결정하는 중요한 인자이다. 같은 비과의 갈대와 달뿌리풀은 같은 수계 내에서도 서로 다른 지역에서 나타나며(이삼희, 1999), 이를 결정하는 가장 중요한 인자는 하상재료의 크기인 것으로 알려져 있다. 하천의 종단경사측정은 대상지역의 상류하류의 표고차와 거리를 광파기(SET3B, SOKKIA)에 의하여 측정하여 구하였다.

#### 2) 횡단경사

횡단경사(transsectional slope)는 후술할 종단미지형과 관계 있는 항으로 경사가 급할수록 식물의 성장여건은 불리해진다. 횡단경사의 측정은 종단경사와 같이 광파기에 의하여 측정하여 산정하였다.

#### 3) 하안폭

하안폭(reparian width)이란 저수로 수변에서부터 제방까지의 길이를 나타내며, 식물이 성장할 수 있는 하천의 횡단폭을 나타낸다. 일반적으로 하안폭은 수위에 따라 변하나, 우리나라의 홍수지속기간은 대단히 짧아 하안폭의 결정에 큰 영향을 주지 못하며, 극심한 갈수와 식물이 성장할 수 없는 11월~3월의 건기의 수위는 대단히 낮으나, 185일 지속유량인 평수량 이하에서는 그 변동폭이 대단히 작다. 하안폭의 측정은 수변과 제방을 기준으로 광파기에 의하여 측정하였다.

#### 4) 종단미지형

종단미지형(longitudinal micro-landform)이란 하천의 사행에 따라 발생하는 직류부, 직류수충부, 직류비수충부, 곡류수충부, 곡류비수충부 등을 말한다(전승훈 등, 1999). 일반적으로 하도 내의 지형적 변화는 하천의 선형에 따라 좌우되며, 비수충부의 경우는 사주부가 발달하여 식물종이 풍부할 뿐 아니라, 개체수도 많다. 반면 수충부는 홍수 시 홍수파에 의한 세굴이 활발히 일어나는 부분으로 비교적 급한 경사를 가지며, 식물이 성장할 수 있는 여지가 별로 없다.

5) 평균입경

하상재료의 입도분포는 하천의 종단경사와 깊은 관계가 있으며, 현장에서 체 분석을 실시한 후 입도분포곡선을 작성하였다. 일반적으로 입도분포곡선에서 평균입경(geometric mean diameter)은 기하평균(윤용남, 1987)을 이용하여 산출한다.

$$d_g = \sqrt{d_{15.9} + d_{84.1}} \quad (\text{식 1})$$

6) 최대입경

하상재료의 최대입자는 하천의 경사(윤용남, 1987)와 밀접한 관계가 있는 향으로 추정되며, 일반적으로 하상재료인 자갈은 불규칙한 모양을 가지므로, 최대입경(biggest sediment particle)의 크기는 하상재료의 최장축, 최단축 및 중간축의 길이를 현장에서 측정하여 산술평균을 구하였다.

$$d_b = \frac{d_{\text{최장축}} + d_{\text{중간축}} + d_{\text{최단축}}}{3} \quad (\text{식 2})$$

7) 굵은 모래 누가구성비

하상재료의 구성물질 중 식생이 비교적 잘 성장할 수 있는 모래이상의 입도 크기의 비율(모래구성비)을 산정하였으며, 미농무성의 토양분석방법 중 250 $\mu\text{m}$ 이상의 모래를 기준으로 하는 점을 고려하여, 본 연구에서도 현장에서 체 분석을 통하여 250 $\mu\text{m}$ 이상의 모래를 기준으로 굵은 모래 누가구성비(cumulated coarse sand weight portion)를 산출하였다. 굵은 모래 누가구성비가 78%이

면 하상재료 중 250 $\mu\text{m}$ 이상이 78%임을 의미한다.

8) 가는 모래 누가구성비

7)항의 모래보다 작은 모래입자로, 가는 모래 누가구성비(cumulated fine sand weight portion)의 기준은 100 $\mu\text{m}$ 미만 모래입자의 구성비를 의미한다. 100 $\mu\text{m}$ 는 현장에서 체 분석 가능한 최소의 크기이다.

2. 식생조사

수변에서 성장하는 식물은 크게 목본류의 교목류와 관목류 그리고 초본류로 구분할 수 있으며, 그 중 초본류는 그 생활형에 고지식물, 습지식물, 정수식물, 침수식물 그리고 부유식물 등으로 나눌 수 있는데(Burrell et al., 1997), 본 연구에서는 교목류, 관목류와 초본류 중 침수식물 및 부유식물은 제외하기로 한다. 교목류는 인공적인 정비가 시작된 이래, 상류하천의 미개수부를 제외하고는 대부분의 하천구간에서 제거되었으며, 관목류의 경우는 갯버들을 제외하고는 거의 존재하지 않는다. 또한 침수식물 및 부유식물은 흐름이 빠른 하천에서는 성장하기 어려우므로 제외하기로 하기로 한다.

식생조사방법으로 가장 일반적으로 쓰이는 Braun-Blanquet의 방형법(Quadrat Method)(김준민 등, 1987)을 응용하여 폭이 2m인 방형구를 수변식물이 자라고 있는 부분부터 수면과 직각으로 고수호안 상부까지 실시하였다(그림 1 참조).

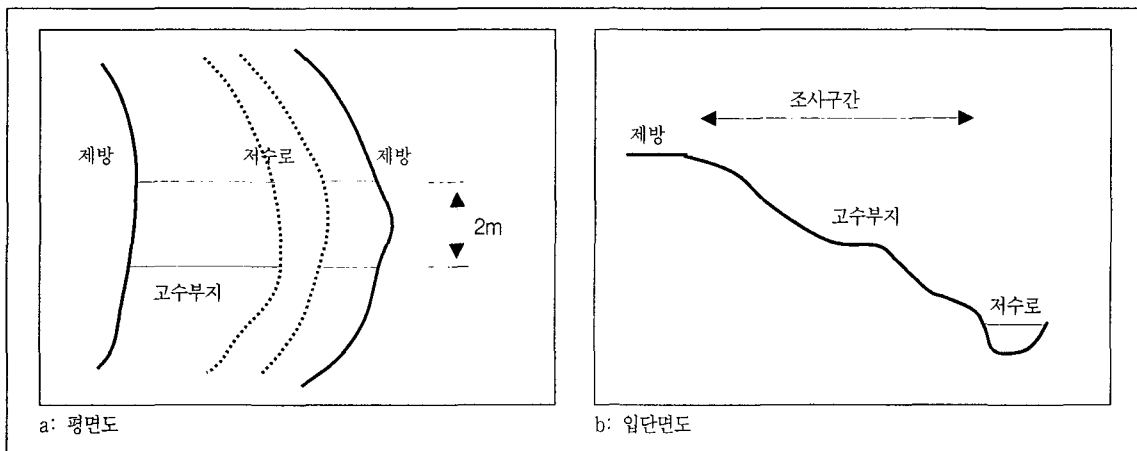


그림 1. 식생조사 조사구간

### 3. 하천의 지형학적 특성과 식생중수의 관계 도출

본 연구에서 하천의 지형학적 특성과 식생중수의 관계를 도출하기 위하여 다중회귀분석을 이용하였고, 8개의 하천특성인자와 식생중수의 상관관계 파악 및 각 변수간의 독립성 여부를 판정하기 위하여 Pearson 상관분석을 실시하였으며, 그 절차는 다음과 같다.

#### 1) 그래프에 의한 하천특성변수와 식생중수의 상관관계 판정

8개 하천특성변수와 하천식생중수의 상관관계 여부를 8개 하천특성변수를 x축으로 하고, 식생중수를 y축으로 하는 그래프를 작성하여 분석하였다. 이는 대수치에 의한 상관관계가 없더라도, log값에 의한 상관관계가 나타나는 지 여부를 판정하기 위한 것이다.

#### 2) 하천특성변수간의 독립성 여부 판정

전술한 바와 같이, 하상재료 특성 중 최대입경, 평균입경 등은 하천의 종단경사와 깊은 관계가 있는 것으로 알려져 있으며(USDA, 1998), 만약 하천특성과 식생중수의 상관관계를 다중회귀분석식에 의하여 도출할 때, 종단경사와 최대입경, 종단경사와 평균입경 또는 종단경사와 최대입경 및 평균입경 모두가 독립변수로 포함될 경우, 통계학적으로 종단경사와 하상재료의 상관관계가 반영되어 다중회귀분석식이 왜곡될 우려가 있다. 하천특성변수간의 독립성 여부는 Pearson 상관분석을 이용하였다.

#### 3) 하천특성변수와 식생중수의 상관관계 분석

1)단계에서 시행한 절차는 단순히 상관성 여부를 임의로 판정하는 기준으로, 대수상관관계이외에 log값의 상관관계 등을 파악하기 위한 것이며, Pearson 상관분석에 의하여 통계학적 상관관계를 도출할 수 있다.

#### 4) 다중회귀분석에 의한 선택된 하천특성변수와 식생중수 분석

최종적으로 선정된 하천특성변수와 식생중수의 상관관계를 식생중수를 종속변수로 하고 하천특성변수를 독립

변수로 하는 다중회귀분석을 실시하여 도출하였다.

상기 분석절차 중 그래프에 의한 상관관계 분석은 EXCEL 2000(Microsoft Corporation 1999)을 이용하였으며, 통계처리는 SPSS for Window Ver. 10.0(SPSS Inc., 2000)을 이용하였다.

## III. 결과 및 고찰

### 1. 대상 하천의 선정

본 연구에서는 우리나라의 중부지방에 위치한 한강을 대상으로 하천특성과 식생과의 관계를 도출하고자 하며, 하천의 지형학적 특성 및 하상재료 등을 고려하여 대상하천을 한강의 제 1지류인 평창강, 복하천, 경안천을 선택하였으며, 각 하천의 특성 및 조사지점은 표 1과 그림 2, 3, 4에 나타나 있다.

표 1. 평창강, 복하천, 경안천의 특성

하천명	유역면적	유로연장	하천유형	유역 내 시군
평창강	1,781km <sup>2</sup>	481.7km	산지하천	원주시, 횡성군, 영월군, 평창군, 체천시, 단양군
복하천	288km <sup>2</sup>	37.3km	전원하천	용인시, 이천시, 광주시
경안천	598km <sup>2</sup>	49.5km	전원하천	용인시, 광주시

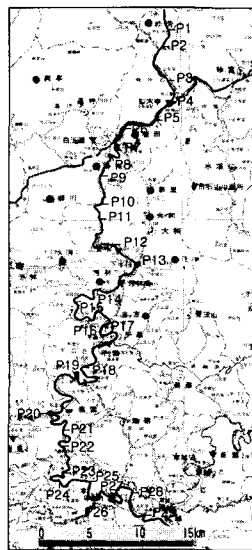


그림 2. 평창강 조사지점

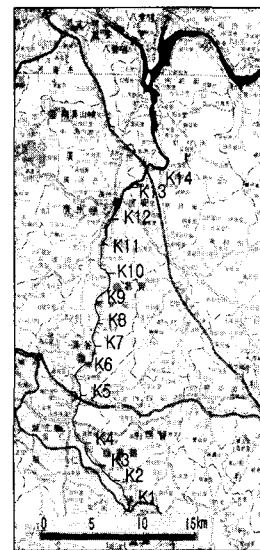


그림 3. 경안천 조사지점

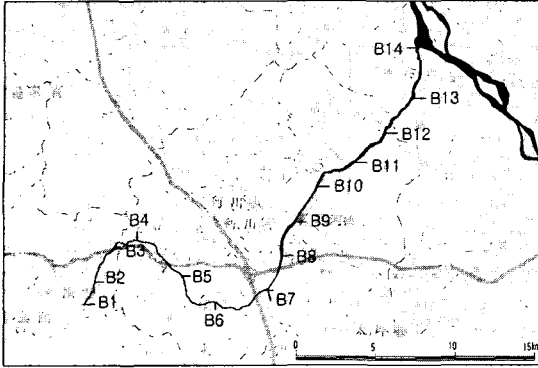


그림 4. 북하천 조사지점

평창강은 대부분의 유역이 산악지역으로 하상재료의 대부분이 자갈 또는 이보다 큰 입자로 구성되어 있다. 북하천과 경안천은 한강의 중하류에 위치한 하천으로 지형학적으로 비슷한 특성을 나타내나, 각 하천의 중하류에서 하상재료가 경안천의 경우는 모래 또는 이보다 큰 입자로 구성되어 있고, 북하천의 경우는 모래 또는 이보다 작은 입자로 구성되어 있다.

하천의 정비정도는 평창강의 경우는 하천의 선형중 일부를 제외하고는 대부분의 구간이 자연하천구간이며, 북하천과 경안천은 상류일부구간을 제외하고는 대부분이 정비된 하천이다. 북하천과 경안천은 정비 후 많은 시간이 경과함에 따라 하천의 선형에 따른 사주부가 비교적 잘 발달하였으나, 일부 구간에서는 인공적인 정비로 인한 높은 고수부지가 드러나 있기도 하다.

식생조사지점은 평창강의 경우 29개소, 북하천과 경안천은 각각 14개소를 선정하였다(그림 2, 3, 4 참조).

2. 하천특성조사

하천공학에서 하천특성은 대부분이 하천의 수리·수문학적 특성과 하천의 지형학적 특성을 의미하나, 본 연구에서는 하천의 지형학적 특성과 함께 식생과의 관계를 규명하는데 도움이 되는 하상재료를 포함하기로 하며, 조사 결과는 표 2와 같다.

표 2. 하천의 특성조사 결과 (단위 : 조사지점 수)

지형특성	구분	평창강	북하천	경안천
종단미지형	직류부	12	8	10
	직류수충부	11	6	5
	직류비수충부	11	6	5
	곡류수충부	12	4	4
종단경사	곡류비수충부	12	4	4
	0.0015(0.09°)이하	5	4	5
	0.0015~0.0175	17	9	8
	0.0175(1°)이상	7	1	1
횡단경사	0.176(10°)이하	20	11	15
	0.176~0.364(20°)	14	8	8
	0.364~0.577(30°)	13	9	3
	0.577(30°)이상	11	0	2
하안폭	10m이하	32	15	9
	10~20m	7	2	5
	20~30m	6	5	7
	30m이상	2	0	2
평균입도	10mm이하	7	11	4
	10~20mm	6	3	2
	20~30mm	8	0	7
	30mm이상	8	0	1
최대입경	0~5cm	-	7	3
	5~10cm	-	2	-
	10~20cm	2	2	9
	20~30cm	10	2	2
굵은 모래 누가구성비 (250µm이상)	30이상cm	17	1	0
	0~5%	18	3	4
	5~10%	21	10	8
	10~15%	11	6	9
가는 모래 누가구성비 (100µm미만)	15~20%	6	9	8
	~50%	8	6	5
	50~60%	8	2	6
	60~70%	16	5	6
	70~80%	12	10	6
	80~90%	9	4	4
	90%이상	3	1	1

표 2에서 종단미지형, 횡단경사, 하안폭, 모래구성비 및 세사구성비는 조사대상지점의 좌안과 우안에 대하여 각각 실시한 결과이다. 모래구성비 및 세사구성비에서 평창강의 조사대상지점의 수가 56개(좌우안 분리)인 것은 평창강의 13, 16번 지점의 좌안이 절벽으로 이루어진 수충부로 퇴적토사가 거의 없기 때문이다.

종단경사의 경우는 평창강이 0.0175(1°)이상의 경사가 7개로 타하천에 비하여 많으며, 경안천 및 북하천에 비하여 산지에 위치한 하천구간이 많음을 알 수 있다. 횡단경사는 저수로에서 제방까지의 경사로 20°이상의 급경사가 평창강의 경우 24/58, 북하천의 경우 9/28, 경



한편 하천의 중하류에서 식물종이 인접구간에 비하여 상대적으로 많이 나타나는 P7, P13, B5, B10 지점 등은 해당 조사지점에서 특정식물이 크게 우점하지 못하여 다양한 식물종이 나타나는 것이며, 반면 상대적으로 작은 값을 가지는 P5, P21, K12 지점은 갈대, 달뿌리풀 등이 수변에서 크게 우점함으로써, 다른 식생이 침입하지 못하기 때문에 판단된다.

3개 하천의 식생종수를 비교하면 전원하천인 경안천과 복하천의 식생종수가 산지하천인 평창강의 식생종수보다 풍부함을 알 수 있으며, 이는 평창강의 하상재료가 경안천과 복하천의 하상재료에 비하여 자갈이상의 큰 입도를 가지기 때문에 식물성장의 기반이 되는 토양이 부족하고, 산지하천으로 고수부지 즉, 하안폭이 좁기 때문에 판단된다.

평창강의 식물분포에서 그 세력이 큰 우점종과 공우점종의 특징을 살펴보면, 표 4에서 보는 바와 같이 대부분의 지역에서 달뿌리풀의 우세함이 현저하며, 다른 초종의 우세는 상대적으로 매우 미약한 것이 특징이다. 반면 경안천과 복하천의 경우는 평창강과 차이가 있어 상류에서 하류쪽으로 다양한 종의 우점종과 공우점종이 나타나고 있으며, 그 중 환삼덩굴이 많은 지역에서 그 세력이 우세하게 나타나며, 달뿌리풀은 상류에서 주로 출현하며, 하류 쪽에서는 갈대가 나타나기 시작한다. 하천에서 대표적으로 출현하는 갈대와 달뿌리풀은 출현하는 지역이 상류와 하류로 나누어져있어 두 식물이 같은 지역에서 동시에 출현하는 경우는 없는 것으로 조사되었다(표 5 참조).

표 4. 평창강의 조사지점별 우점종

지역	좌우	우점종	지역	좌우	우점종
P1	R	조릿대(4)*	P16	R	달뿌리풀(4), 쇠뜨기(2)
	L			L	
P2	R		P17	R	달뿌리풀(2)
	L			L	달뿌리풀(4), 명아주(2)
P3	R	환삼덩굴(2)	P18	R	달뿌리(2), 물억새(2)
	L	쭈(2)		L	달뿌리풀(4), 환삼덩굴(2)
P4	R	달뿌리풀(3), 환삼덩굴(2)	P19	R	
	L	달뿌리풀(3)		L	
P5	R		P20	R	달뿌리풀(3)
	L	달뿌리풀(3)		L	
P6	R	달뿌리풀(2)	P21	R	
	L			L	
P7	R	달뿌리풀(3)	P22	R	달뿌리풀(2)
	L	달뿌리풀(3)		L	달뿌리풀(3)
P8	R	달뿌리풀(3)	P23	R	
	L	달뿌리풀(4)		L	달뿌리풀(2)
P9	R	달뿌리풀(2)	P24	R	달뿌리풀(2)
	L	달뿌리풀(2), 실새풀(2), 산비늘사초(2), 물억새(2)		L	달뿌리풀(2), 비비추(2)
P10	R	달뿌리풀(3)	P25	R	
	L	비비추(2)		L	물억새(2), 원추리(2)
P11	R		P26	R	
	L			L	수크령(3), 잔디(2)
P12	R	산비늘사초(2), 달뿌리풀(2)	P27	R	
	L	달뿌리풀(4)		L	
P13	R	달뿌리풀(4)	P28	R	환삼덩굴(2), 원추리(2)
	L	달뿌리풀(2)		L	
P14	R		P29	R	
	L	달뿌리풀(4)		L	
P15	R	물억새(2)	-	-	
	L	달뿌리풀(2), 산쭈(2)	-	-	

\*: (J. Braun-Blanquet의 우점도 계급)



표 5. 복하천과 경안천의 조사지점별 우점종

지역	좌우	우점종	지역	좌우	우점종
B1	R	환삼덩굴(3)*	K1	R	
	L	환삼덩굴(4)		L	
B2	R	미나리(2), 달뿌리풀(2), 환삼덩굴(2)	K2	R	
	L	나도겨풀(2), 새콩(2)		L	달뿌리풀(3), 고마리(3), 환삼덩굴(2)
B3	R	환삼덩굴(3), 명아주(3)	K3	R	환삼덩굴(3), 달뿌리풀(2)
	L	물억새(2), 달뿌리풀(2), 쇠뜨기(2)		L	환삼덩굴(3), 쇠뜨기(2)
B4	R	나도겨풀(2), 사철쭉(2), 둥근잎매듭풀(2)	K4	R	큰개여뀌(3), 환삼덩굴(2)
	L	환삼덩굴(3), 큰개여뀌(2), 쇠별꽃(2)		L	큰개여뀌(3), 새콩(2), 환삼덩굴(2)
B5	R	쭉(2)	K5	R	갈대(3), 고마리(2), 환삼덩굴(2)
	L	매자기(3), 쭉(2)		L	갈대(3)
B6	R	달뿌리풀(3), 환삼덩굴(2)	K6	R	갈대(3), 줄(2)
	L	쭉(2), 산쭉(2)		L	줄(3), 고마리(2)
B7	R	환삼덩굴(3)	K7	R	환삼덩굴(3), 줄(2), 고마리(2)
	L	달뿌리풀(2), 환삼덩굴(2), 물억새(2)		L	환삼덩굴(3), 줄(2), 고마리(2)
B8	R	물쭉(3), 환삼덩굴(3), 쇠뜨기(2), 바랭이(2)	K8	R	환삼덩굴(3), 나도겨풀(2), 달뿌리풀(2), 산비늘사초(2)
	L	쭉(3), 물쭉(3), 산비늘사초(2), 물억새(2)		L	환삼덩굴(3), 산비늘사초(2)
B9	R	돼지풀(2), 물억새(2), 갈대(2)	K9	R	나도겨풀(2), 물억새(2), 환삼덩굴(2), 머느리베짚(2), 돼지풀(2)
	L	달뿌리풀(2), 돼지풀(2), 물억새(2), 솔새(2)		L	물억새(3), 고마리(3)
B10	R		K10	R	쭉(4), 물쭉(2), 나도겨풀(2), 바랭이(2), 둥근잎매듭풀(2)
	L	물억새(4), 갈대(2)		L	쇠별꽃(2), 갈대(2), 환삼덩굴(2), 고마리(2)
B11	R	나도겨풀(3), 물쭉(2), 환삼덩굴(2)	K11	R	나도겨풀(2), 달뿌리풀(2), 쭉(2), 바랭이(2), 산비늘사초(2)
	L	나도겨풀(2)		L	달뿌리풀(2), 나도겨풀(2), 물억새(2), 쭉(2)
B12	R		K12	R	쇠뜨기(3), 새콩(3), 미국개기장(2), 바랭이(2), 산비늘사초(2), 산꼬리사초(2)
	L	환삼덩굴(2)		L	물억새(4), 갈대(2), 환삼덩굴(2), 물쭉(2), 쇠별꽃(2)
B13	R	환삼덩굴(2), 물쭉(2)	K13	R	갈대(3), 나도겨풀(3), 물쭉(2), 쇠별꽃(2), 환삼덩굴(2)
	L	갈대(4)		L	나도겨풀(3)
B14	R	환삼덩굴(4)	K14	R	달뿌리풀(3), 환삼덩굴(2)
	L			L	나도겨풀(3), 달뿌리풀

\*: (J. Braun-Blanquet의 우점도 계급)

일반적으로 고수호안은 크게 3가지 형태로 구분되어 지는데, 산지하천에 주로 나타나는 자연적인 절벽형태의 고수호안, 자연적으로 형성된 제방과 인공적인 제방에 의한 고수호안으로 구분되어지며, 절벽형태의 고수호안의 경우 식생종은 거의 나타나지 않으며, 인공제방으로 축조된 고수호안이 돌망태로 피복되어 있는 경우, 비교적 많은 수의 식물종이 관찰되었다. 또 고수부지와 고수호안의 식생종수를 비교하면, 고수호안의 식생종수가 고수부지보다 많이 나타나는 것을 알 수 있으며, 이는 고수호안의 경우는 홍수 시에만 수위가 상승하는데 반하여 고수부지는 약간의 강우에도 수위의 영향을 받아, 육역에서 성장하는 식물은 생육하기 어렵기 때문으로 판단된다.

#### 4. 하천의 지형학적 특성과 식생종수의 관계 도출

##### 1) 하천특성변수와 식생종수의 상관관계 검정

8가지 하천특성변수와 식생종수의 선형상관여부를 판정하기 위하여 그래프에 의한 검사를 실시하였다. 본 연구에서 8가지 하천특성과 식생종수의 관계를 3개 하천의 자료를 모두 이용하여 그래프에 의하여 분석한 결과 종단경사, 횡단경사, 하안폭, 가는 모래 누가구성비가 식생종수와 상관관계가 있는 것으로 판정되었으며, 이 중 그림 5에 나타나 있는 바와 같이 종단경사와 횡단경사의 경우는 각 log값과 식생종수의 관계가 선형인 것으로 밝혀졌다.

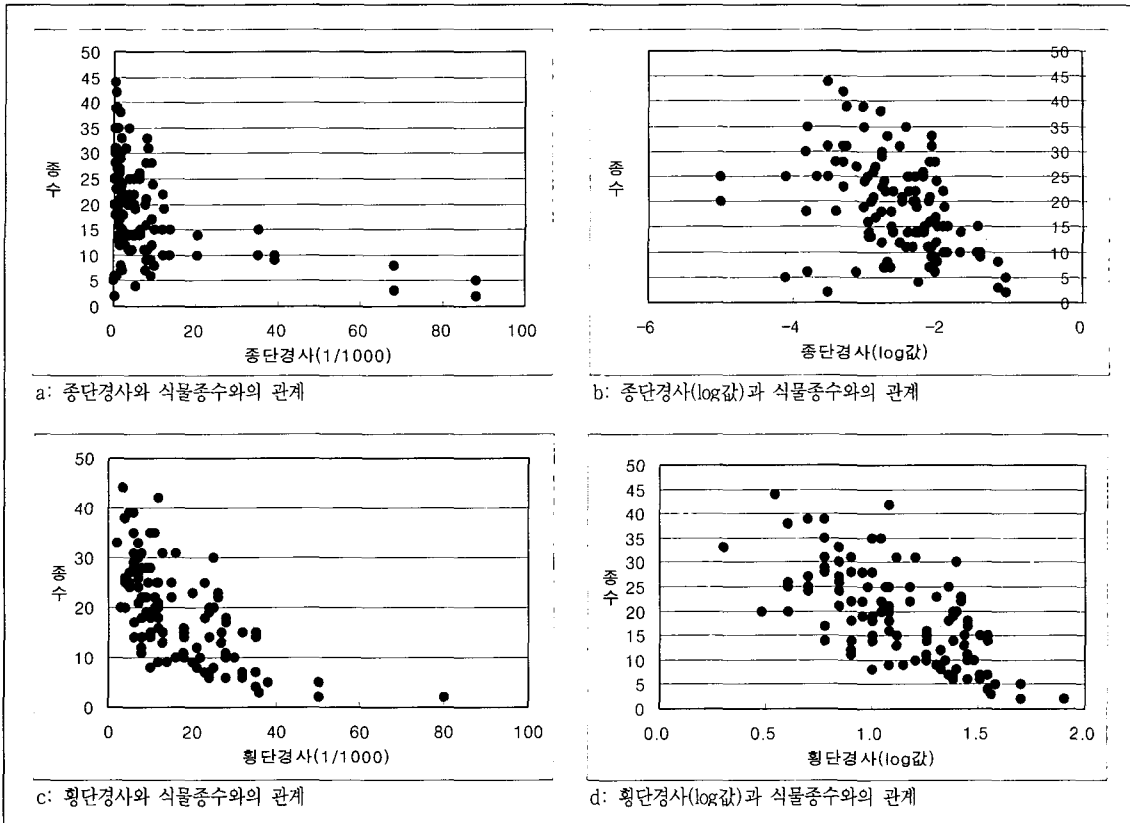


그림 5. 하천특성과 식생종 수의 상관관계

여기서 종단미지형과 식생종수와 관계는 종단미지형이 5가지로 구분되는 명목함수이므로, 다른 변수와 같은 일률적인 상관관계를 유도하기 어렵다.

## 2) 하천특성변수간의 독립성 검정

상기 결과를 이용하여 하천특성변수간의 독립성 여부를 Pearson 상관분석을 이용하여 분석하였으며, 그 결과는 표 6과 같다.

유역전체의 표고변화 및 유로연장과 같은 지형의 변화 등과 관계 있는 종단경사와 하상재료 즉, 평균입경과 최대입경은 3개 하천 모두 밀접한 관계를 가지는 것으로 나타났다(표 6 참조). 한편 굽은 모래 누가구성비 및 가는 모래 누가구성비의 구성비는 평창강을 제외하고는 종단경사와 큰 관계가 없는 것으로 나타나는데, 이는 토사유출과정에서 굽은 모래 누가구성비 및 가는 모래 누가구성비는 주로 하류에 위치하나, 상류의 경우에도 washload가 존재하기 때문으로 판단된다.

하천이 유하하는 각 지점의 지형과 관계되는 하천의 횡단경사는 북하천과 경안천의 경우 종단경사, 하안폭, 평균입경 및 최대입경과 상관관계가 있음을 알 수 있다.

본 연구의 통계분석에서 종단경사와 횡단경사의 상관관계가 있는 것으로 나타나 있으며, 이는 일반적으로 상류하천은 하폭이 좁고 급경사이고, 하류로 갈수록 하폭이 넓어지고 횡단경사가 완만해지므로, 상관관계가 있는 것처럼 보이나, 이는 하천유역의 유출현상을 분석하면, 종단경사와 횡단경사의 관계가 항상 상관성이 있는 것이 아님을 알 수 있다. 즉 우리나라 하천의 상류지역은 대부분이 산지이며, 상류하천으로 유하하는 유량은 하류에 비하여 상대적으로 작은 유역으로부터 유출이 일어나므로, 유량은 작으나, 유속은 대단히 빨라, 좁고 깊은 하도를 형성하고 하류로 갈수록 넓고 얕은 하도를 형성한다. 반면 하천의 사행정도는 하안폭의 크기에 영향을 미친다. 즉 사행구간에서 종단경사는 일정하나, 수충부에서는 고수부지가 거의 없고 횡단경사가 급

표 6. 하천특성변수와 종다양성의 변수간 상관관계

구분		종단경사	횡단경사	하안폭	종단미지형	평균입경	최대입경	넓은모래	가는모래	종수
종단경사	P	1.000*								
	B	1.000								
	K	1.000								
횡단경사	P	0.000	1.000							
	B	0.561	1.000							
	K	0.603	1.000							
하안폭	P	-0.148	-0.602	1.000						
	B	-0.347	-0.801	1.000						
	K	-0.398	-0.542	1.000						
종단미지형	P	-0.451	-0.248	0.260	1.000					
	B	-0.549	-0.147	0.333	1.000					
	K	-0.051	-0.306	0.181	1.000					
평균입경	P	-0.477	-0.013	0.140	0.195	1.000				
	B	0.641	0.383	-0.264	-0.136	1.000				
	K	0.684	0.477	-0.144	-0.008	1.000				
최대입경	P	0.706	0.085	-0.156	-0.262	-0.461	1.000			
	B	0.684	0.380	-0.263	-0.362	0.646	1.000			
	K	0.524	0.436	-0.108	-0.156	0.826	1.000			
넓은모래 누가구성비	P	-0.306	-0.135	0.420	0.067	0.297	-0.266	1.000		
	B	-0.260	-0.507	0.415	0.108	-0.223	-0.194	1.000		
	K	-0.408	-0.122	0.055	-0.105	-0.385	-0.364	1.000		
가는모래 누가구성비	P	0.537	0.046	-0.342	-0.253	-0.239	0.324	-0.689	1.000	
	B	0.090	0.314	-0.177	-0.036	0.109	0.096	-0.870	1.000	
	K	-0.279	0.047	-0.094	0.131	0.127	0.103	-0.816	1.000	
종수	P	-0.216	-0.746	0.636	0.358	0.120	-0.172	0.391	-0.430	1.000
	B	-0.362	-0.414	0.396	0.192	-0.357	-0.388	0.418	-0.333	1.000
	K	-0.625	-0.691	0.513	0.271	-0.389	-0.338	0.170	0.064	1.000

\*:  $\alpha=5\%$  유의수준일 때  $P_n=55 < (\pm 0.2616, P_n=112 < (\pm 0.1946$

한 반면 비수충부에서는 넓은 고수부지와 완만한 횡단 경사를 가진다. 즉 상류하천이라도 사행정도가 심한 경우, 넓은 하안폭과 횡단경사를 가질 수 있다. 따라서 종단경사와 횡단경사의 상관관계는 하천의 유출특성과 하천의 사행정도에 따라 결정되는 것으로 판단된다.

3) 하천특성변수와 식생중수의 상관관계 분석

1) 절에서 그래프에 의한 하천특성변수와 식생중수관계를 객관화하기 위하여 Pearson 상관분석을 이용하여 상관여부를 판정한 결과, 횡단경사와 하안폭은 3개 하천 공히 상관관계가 있는 것으로 나타났으며, 모래의 경우는 평창강과 복하천에서 상관관계가 있는 것으로 나타났다.

본 연구에서는 하천의 식생중수를 예측을 위한 일반적인 예측모형을 도출코자하나, 상기 결과와 같이 각 하천별로 다양한 인자가 예측모형에 포함될 경우, 각

표 7. 상관분석에 의해 채택된 독립변수와 종속변수

하천명	종속변수	독립변수				비고
		횡단경사*	하안폭*	종단미지형	가는 모래 누가구성비*	
평창강	식생중수	횡단경사*	하안폭*	종단미지형	가는 모래 누가구성비*	
복하천	식생중수	횡단경사*	하안폭*	최대입경	가는 모래 누가구성비*	
경안천	식생중수	횡단경사*	하안폭*	종단경사	평균입경	가는 모래 누가구성비*

\*: 채택된 독립변수

하천별로 각기 다른 변수를 이용한 예측모형을 도출하여야 하는 번거로움이 있으므로, 독립변수 중 횡단경사, 하안폭, 가는 모래 누가구성비만을 독립변수로 하여 다중회귀분석을 실시한다. 경안천의 경우 모래구성비의 상관성이 없는 것으로 나타났으나, 전술한 바와 같이 모든 하천에 적용할 수 있는 일반적인 모형도출을 위하여 종단경사 및 평균입경을 독립변수에서 제외하고, 가

는 모래 누가구성비를 도입키로 한다(표 7 참조). 이 경우, 다중회귀식의 회귀계수가 나빠질 수 있으나, 종단경사 또는 평균입경에 비하여 회귀계수가 크게 나빠지지 않음을 확인하였다.

#### 4) 다중회귀분석에 의한 하천특성변수와 식생종수 분석

채택된 독립변수를 이용하여 각 하천의 식물종 다양성 예측을 위한 다중회귀모형을 도출하였다. 여기서 일반적으로 구분되는 산지하천, 전원하천, 도시하천의 경우, 하천정비정도가 다르므로, 모든 하천을 대상으로 1개의 예측모형을 도출하기는 어려울 것으로 판단되어, 3개 하천 중 회귀계수( $R^2$ )가 0.651로 가장 큰 평창강에 대한 식은 아래와 같다.

$$Y = 32.123 - 17.613X_1 + 0.049X_2 + 0.442X_3 \quad (\text{식 } 3)$$

여기서, Y=예측식생수

X1=log(횡단경사)

X2=하안폭

X3=가는 모래 누가구성비

도출된 다중회귀모형식에서 산지하천인 평창강의 회귀계수( $R^2$ )가 가장 크며, 경안천, 복하천순으로 나타났으며, 복하천의 경우는 하천의 지형학적 특성과 식물종 다양성은 무관한 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 평창강의 경우는 인위적인 정비가 거의 이루어지지 않아, 하천의 지형학적 특성이 잘 보존되었기 때문으로 판단되며, 경안천의 경우는 인공적인 정비에도 불구하고 수충부와 퇴적부가 하천의 역동성에 의하여 비교적 잘 유지되었기 때문으로 판단된다. 반면 복하천의 경우는 경안천과 비슷한 전원하천이나, 다중회귀모형의 결과가 나쁜 이유는 하상재료에서 찾을 수 있다. 복하천의 하상재료는 상류부를 제외하고는 대부분이 모래하상으로 홍수시 토사의 이동이 심하기 때문이다. 즉 모래하상의 경우, 홍수 시 토사이동이 활발하며, 봄과 여름에 걸쳐 식생종이 도입되더라도, 6월~9월의 우기에 홍수가 발생하면 하상의 세굴로 인하여 식생이 활착하여 성장하기 어려운 것으로 알려져 있다(이삼희, 1999).

## N. 결론

최근 하천정비방법은 과거의 획일적인 하천정비에서 벗어나, 지속적인 개발과 환경적으로 건전한 하천을 조성하기 위하여 자연형 하천공법을 도입하고 있다. 이와 같은 노력은 하천환경 중 풍부한 하천생태계를 보전하고, 창출하기 위한 것이며, 종다양성을 확보하기 위한 노력이라 하겠다. 그러나 하천생태계 중 식생에 대한 조사는 빈약하여, 하천에 서식하는 종 또는 일부 종들의 성장조건이나, 우점여부를 판정하는데 집중되어 있으며, 자연형 하천을 도입하므로 예측되는 식생종수 증가에 대한 조사는 거의 없는 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 하천의 지형학적 인자와 식생종수의 관계를 도출하였으며, 그 결론은 다음과 같다.

하천의 식생종수는 하천이 유하하는 지역의 하도 특성에 따라 달리 나타난다. 즉 하천의 경사가 완만하고, 하폭이 넓은 하천이 급경사의 좁은 하천보다 식생출현종이 많다. 즉 산지 하천에 위치한 평창강의 식물종 출현수가 경안천 및 복하천에 비하여 상대적으로 작은 것은 하천의 지형학적 특성이 좁고, 급경사의 하도를 가지기 때문으로 판단된다.

하천특성 중 종단경사와 평균입경, 최대입경 등의 하상재료는 높은 상관관계를 가지며, 횡단경사는 하안폭, 평균입경, 최대입경과 높은 상관관계를 가짐을 Pearson 상관분석에 의하여 알 수 있다. 또 종단경사와 횡단경사는 log값이 식생종수와 관계 있는 것으로 나타났다. 본 연구의 주요관심사인 식생종수의 풍부성은 횡단경사, 하안폭, 모래구성비 등과 관계 있다.

하천의 종단경사와 횡단경사의 상관관계가 대단히 높게 나타나는데, 이는 우리나라의 지형이 대부분이 산지하천이기 때문으로, 산지하천은 작은 유역면적으로 유출량이 작고, 급경사로 인하여 좁고, 경사가 급한 하천이 형성되기 때문이다. 그러나 사행이 심한 하천구간에서는 종단경사와 횡단경사 중 수충부의 경사는 상관관계가 상대적으로 작다. 따라서 자연형 하천공사를 행할 때 현행의 단편적인 식재 패턴을 벗어나 지형학적 인자 등 환경요인을 고려하여 다양한 식생을 식재하여

준다면 보다 빠르게 자연그대로의 모습에 가까운 경관을 창출할 수 있을 것으로 판단된다.

산지형 하천인 평창강에서는 달뿌리풀이 대부분의 지역에서 우세하며, 경안천과 복하천에서는 여러 종의 우점종이 나타나지만 환삼덩굴의 출현이 눈에 띠며, 갈대와 달뿌리풀은 같은 지역에서 출현하지 않고 있다.

인공적인 하천정비시, 기존의 하천정비와 달리 자연형 하천으로 정비할 경우, 하천의 지형학적 인자와 하상재료에 따라 출현할 식생종수를 어느 정도 예측할 수 있으며, 이는 주로 하천의 횡단경사, 하안폭, 하상재료 중 모래구성비를 통하여 구할 수 있으나, 산지하천과 전원하천이 달리 적용되어지며, 이는 하상재료의 차이로 인식된다.

전원하천에서 하상재료가 모래인 경우, 홍수 시 잦은 하상변동으로 인하여 식물이 성장하기 어려워, 식생종수를 예측하는 데는 어려움이 있다.

자연형 하천으로의 복원에 있어서 주어진 환경에 생육할 수 있는 종수와 그 곳에 적용 가능한 식물이 무엇인지를 예측해보는 것이 본 연구의 궁극적인 목적이며, 본 연구에서는 궁극적인 목적을 해결하기 위한 과정의 논문임을 밝혀둔다. 아울러 본 연구는 한강수계를 중심으로 연구된 것이기 때문에 기후적 특성 등을 달리하는

타 지역에서는 다른 양상을 보일 수 있을 것이므로 앞으로 여러 지역의 데이터를 확보하여 지속적인 연구가 필요하다고 하겠다.

## 인용문헌

1. 건설교통부, 한국수자원공사(2000) 수자원장기종합계획-하천환경계획, 서울: 건설교통부.
2. 건설기술연구원(1997) 국내여건에 맞는 자연형 하천공법의 개발Ⅱ, 환경부.
3. 건설기술연구원(1998) 국내여건에 맞는 자연형 하천공법의 개발Ⅲ, 환경부.
4. 김준민, 김철수, 박봉규 역(1987) 식생조사법-식물사회학적 연구법-, 伊藤秀三 外, 植生調査法-植物社會學的 研究法-, 서울: 일신사, pp. 7-28.
5. 윤용남(1987) 수리학 -기초와 응용, 서울: 청문각.
6. 이삼희(1999) 扁狀地 礫床河道における安定植物域の形成機構に関する研究, 筑波大學 박사학위논문.
7. 전승훈, 현진이, 최정권(1999) 하천 미지형 및 하상저질에 따른 갯버들과 달뿌리풀군락의 분포특성에 관한 연구, 한국조경학회지 27(2): 58-68.
12. Burrell, C. C. and Guest Editor(1997) The Natural Water Garden, New York: Mack Printing Grop, pp. 9-12.
15. Coppin N. J.(1990) Use of Vegetation in Civil Engineering, Butter worths.
16. USDA(1998) Stream Corridor Restoration, Principles, Practices, and Processes, USDA.

원고접수: 2002년 2월 21일

최종수정본 접수: 2002년 7월 30일

3인익명 심사필