

# 하천의 자연환경과 식물출현과의 상관성<sup>1a</sup>

- 한강 및 낙동강 지류하천의 사례 -

김혜주<sup>2\*</sup> · 신범균<sup>2</sup> · 김창완<sup>3</sup>

## Correlation Between Environmental Factors and Plant Species Spectrum of the Streams<sup>1a</sup>

- Example of Tributaries of the Han River and Nakdong River

Hyea-Ju Kim<sup>2\*</sup>, Beom-Kyun Shin<sup>2</sup>, Chang-Wan Kim<sup>3</sup>

### 요약

하천식물의 자연환경조건을 규명하기 위하여 국내 중소규모의 10개 하천(한강수계의 문산천, 곡릉천, 낙동강 수계의 미천, 쌍계천, 남천, 북한강 수계의 가평천, 조종천, 남한강 수계의 청미천, 양화천, 북하천)을 선별한 다음에 각 하천의 전 유로연장에서 가장 자연성이 높은 구간 1km를 중점조사구로 결정하였다. 그리고 그 구간에 대하여 2004~2007년 여름에 식물조사를 belt transect 방법으로 실시하였다. 그 결과 총 296종이 출현하였는데, 그 중에서 출현빈도가 높은 121종과 대상지의 환경인자(저수로 물로 부터의 거리, 하상재료의 크기, 사주의 개수, 대상지의 고도, 하상경사, 저수로의 폭, 하천수질측정값)간의 RDA (Redundancy analysis) 및 피어슨의 상관성 분석을 실시하였다. 그 결과 대입된 식물종들은 대상지의 고도, 하상경사, 사주의 개수의 인자와는 유의성이 없었으나, 하상재료의 크기, 저수로의 폭, 전기전도도와 인산염인(PO<sub>4</sub>-P)의 농도와는 상관성이 “매우 높음~보통”으로 분석되었다. 그리고 이 식물들은 현재의 그들의 수환경 조건을 그대로 반영하고 있기 때문에 분석방법의 신뢰성에 큰 무리가 없으나, 사례의 다양성 부족으로 다른 사례하천으로의 확대해석은 어려울 것이다. 그러나 본 자료는 앞으로 하천특성에 따른 식물연구나 하천식물 선정을 위한 기초 자료로는 이용할 수 있을 것이다.

주요어 : 중점조사구, 사주, 하상경사, 하상재료의 크기, 상관성 분석

### ABSTRACT

For this study, which was conducted in the summer from 2004~2007, 10 small and medium sized streams in Korea were selected(Munsan and Gokreung Stream in the Han River watershed, Mi, Ssanggye and Nam Stream in the Nakdong River watershed, Gapeong and Jojong Stream in the Bukhan River watershed, Cheongmi, Yanghwa and Bokha Stream in the Namhan River watershed), and plant surveys were performed using the belt transect method on the most natural 1km sections of each stream in order to clarify the natural environment condition of the plants in each stream. In the results of the plant survey, the total number of plant

1 접수 12월 31일 Received on Dec. 31, 2007

2 김혜주자연환경계획연구소 Institute of Landscape Planning Hyea-Ju Kim, 276-8, Gocheon-Dong, Uiwang-City, Gyeonggi-Do (437-801), Korea

3 한국건설기술연구원 Korea Institute of Construction Technology, 2311, Daehwa-Dong, Ilsan-Gu, Gyeonggi-Do (411-312), Korea

a 본 연구는 2004~2007년도 한국건설기술연구원의 ‘하천 생태구조 현장실험 및 특성 분석’의 일환으로 수행되었음

\* 교신저자 Corresponding author(hjkim@lapla.co.kr)

species recorded was 296. After selecting 121 species of those surveyed plant in order of frequency, an RDA(Redundancy Analysis) and a Pearson Correlation Analysis were performed to determine the correlation between the selected plant species and environmental factors(such as distance from channel, size of bed material, number of bars, altitude, bed slope, width of channel, and measured data of water quality) of the study sites. There was no significant correlation between the 121 plant species and altitude, bed slope, and number of bars at the research sites, but the correlation of plant species with size of bed material, width of channel, electrical conductivity, and phosphate( $PO_4$ -P) concentration was from very high to moderate. Also, the spectrum of these plant species reflects the actual environmental conditions so the method used in the study seems to be correct, but owing to the range of diversity, the results of the study seem to be difficult to extend to other streams. Nevertheless, it is expected that this data can be used as a basic material for researching plants by stream characteristics or in selecting plant species for streams.

**KEY WORD : PRIORITY INVESTIGATION SECTION, BAR, BED SLOPE, SIZE OF BED MATERIAL, CORRELATION ANALYSIS**

## 서 론

일찍부터 식물과 무생물적 환경과의 상관관계에 대한 학자들의 관심은 다양한 분석방법의 개발(Whittaker, 1973; Mueller-Dombois & Ellenberg(1974)로 이어졌는데, 가장 널리 알려진 것은 Braum-Blanquet(1928)의 식물 사회학이며, 이것은 1954년 Tuexen에 의해 더욱 발전되었고, 나아가서는 식물의 생태적 연관성을 찾기 위한 노력으로 이어졌다. 그 중에서 하천 및 습지식물과 그 서식처와의 상관성을 다룬 주요 선례연구들을 살펴보면 다음과 같다:

Jeckel(1986)은 Emstal의 고도(3.18m)에 따른 수분량-염기성-식물의 gradient로 식물의 생태적 변화의 하천 zonation을 보고하였고, Dierschke(1988)의 경우 소택지를 사례로 수분량과 식물종 단면(species spectrum)의 변화를 통하여 식물과 수분량의 상관관계를 보여주었다. Kohler *et al.*(1973)는  $NH_4$ 농도 증가에 따른 하천식물의 변화를, Niemann(1963)은 지하수위의 깊이와 지하수의 변동에 따른 야산 초지의 상관성을 연구하였다. 위와 같은 1~2개의 환경요인과 하천/습지식물과의 관계에 대한 연구는 최근에 이르러서는 여러 가지의 환경요소들을 동시에 대입하여 그 복합적인 상관성을 규명하려 노력하고 있다. 예를 들면 Zelený & Chytrý(2007)는 체코(Czech Republic)의 Bohemian Massif에 있는 2개 강(Vltava & Dyje rivers)의 하안 끝에서 계곡의 바닥까지 belt transect로 식물조사를 하고, 환경인자(고도, 방위, 경사, 일조량, pH, 토양 깊이, 범람에 의한 퇴적토, 산비탈의 암석토양 등)를 측정하여 그 상관성을 분석하였는데, 복합적 환경 구배(수분-양분-토양의 상호작용, 일조(light)-기온-대륙도(continentality): 기후의 대륙성 정도를 나타

내는 지수)가 식물의 분포에 강한 영향을 준다고 하였으며, Mirmanto *et al.*(2003)은 인도네시아 칼리만탄(Kalimantan) 중부의 고도와 위도 및 경도가 다른 3개의 습지에 14개 (50×50m) 방형구에서 생물인자로 흉고 직경 15cm이상인 목본류의 수간 밀도, 근경, 종 풍부도(S), 다양도(H), 균등도(J)등을 구하고, 환경인자로서 조사지점의 이탄층의 깊이와 강과의 거리(약 500~1000m)를 측정하여 상호연관성을 분석한 결과 식물군락의 분포형태는 이탄층의 깊이 보다는 강으로 부터의 거리와 지형적 요소가 가장 중요하게 작용하는 것으로 보고하였다.

한편 국내에서 식물의 자연적 서식에 대한 원인분석을 시작한 것은 오래되지 않았으며, 하천식물을 대상으로 한 것은 이인순 등(2001)이 남강유역의 버드나무속의 분포와 환경(토성, 함수량, 총질소량, 해발고도 및 연평균 기온 등의 11개 요소)과의 분석을 통하여 토성, 함수량, 총질소량, 해발고도 및 연평균 기온이 상관성이 높았다고 하였고, 안영희 등(2001)의 경우도 버드나무과 식물과 지형 및 토양환경과의 상관성에 대하여, 미지형과 경사, 토성 및 유기물의 영향성이 강한 환경인자라고 하였다. 김영식 등(2002)은 만경강 하천 식생과 토양환경(pH, 유기물, 물,  $P_2O_5$ , T-N, EC)에 대한 분석에서 수생식물과 pH, 교란지 식생과 T-N,  $P_2O_5$ 와의 상관성을 보고한 바 있다. 그리고 Lee *et al.* (2005)는 왕숙천과 과림저수지의 출현식물과 그 서식환경(수심, 수온, pH, 전기전도도, DO,  $NH_4$ -N,  $NO_3$ -N,  $PO_4$ -P의 농도)에 대한 상관성 분석을 통하여 수심이 대상지의 식물사회에 가장 큰 영향을 주는 요인이라고 하였다. 아울러 김혜주 등(2006)은 하천의 물리적 구조 및 수질과 생물(식물 및 저서생물)과의 상관성 분석에서 횡단사주, 하도의 사행성, 하상

재료의 다양성과 하천수의 COD 농도가 생물출현과 밀접한 연관성이 있음을 보고하였다. 이처럼 국내의 경우 하천식물과 토성 및 유기물 및 수질에 대한 상관성 분석은 있으나, 아직까지 하천의 자연(절대)조건의 일부인 하상경사, 하상재료의 크기, 사주의 개수, 저수로 폭의 크기, 또는 저수로 물로부터의 거리 등과 같은 인자와 식물과의 상관관계를 연구한 사례는 없었다. 따라서 하천식물의 여러 환경조건을 더 자세히 규명하는 것은 하천연구에서 마땅히 이루어져야만 한다고 사료된다. 이는 특히 국내에서 봄을 이루고 있는 자연형 하천조성사업에 보다 과학적이며 학술적인 근거를 제공할 수 있을 것이며, 나아가서는 지금까지의 획일화된 자연형 하천조성의 틀에서 벗어나 하천마다의 특성을 식물의 선택에 따라서 강조할 수 있는 실용적 자료축적에도 본 연구의 의의를 두고자 하였다.

### 연구대상지의 개황

대상하천은 한강 유역 총적층 하천인 문산천과 곡릉천, 낙동강 수계의 미천, 쌍계천, 남천, 북한강 수계의 가평천, 조종천, 남한강 수계의 청미천, 양화천, 북한천(총 10개 하

천)이다. 각 하천의 중점조사구의 식생 조사, 수질측점의 위치 및 유역의 지질은 아래의 그림에서와 같은데, 각 조사지점의 지질은 한강 유역 총적층 하천인 문산천과 곡릉천은 대부분 호상편마암이며, 낙동강 수계의 하천은 대부분 퇴적암이며 상류 일부에 화강암과 화산암이 분포한다(건설교통부, 1993; 2001; 2002).

북한강 수계의 하천은 편마암, 남한강 수계의 하천은 대부분 화강암을 기저로 하여 연구대상하천의 지층에는  $S_2O_2$ 를 많이 함유한 규산염 하천유형으로 분류할 수 있다(Otto & Braukmann, 1983).

### 조사·분석방법

10개 하천의 전체 유로 연장에 대하여 LAWA(2000, 2004)에 의거한 물리적 구조조사결과에 따라서 가장 자연성이 높은 중점조사구 1km를 선정하여 belt transect 식물조사를 2004~2007년 6~8월에 1~2회 실시하였다. Belt는 저수로 물로부터 제방을 향하여 (하천의 횡단) 좌우 양안에 설치하였으며(양화천: 8개, 곡릉천, 문산천: 6개, 나머지 하천: 12의 벨트), belt의 한 개의 길이는 저수로 및 제방의

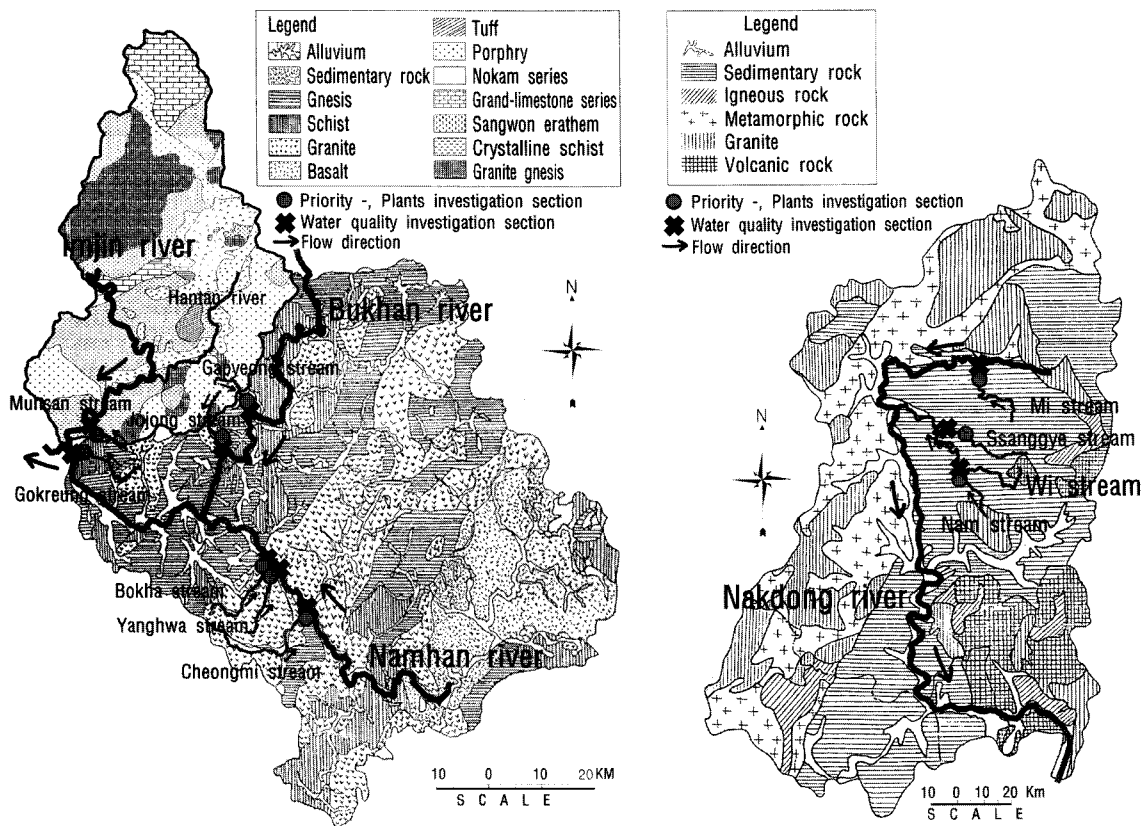


Figure 1. Location and geological feature of the study site

길이에 따라 하천마다 일정하지 않으나 belt 내의 한개 방형구의 크기는 1m<sup>2</sup>씩으로 동일하다. Belt 내에서의 식물종은 각 종의 출현성만 고려하였다.

분석에는 각 하천의 belt-transect 조사에서 관찰된 총 296종 중에서 한 개의 하천에서 5회 이상 출현한 목본류 및 10회 이상 출현한 초본류의 121종(참고: 부록)을 선발하여 그 출현빈도를 활용하였는데, 각 하천의 belt-transect 길이가 다르기 때문에 그 빈도를 log 값으로 변환하였다. 한편 각 조사구의 자연 환경인자는 하상재료의 크기, 사주의 개수, 저수로 물로부터의 거리는 현장조사에 의거하고, 고도, 하상경사, 저수로의 폭은 문헌자료에 의거하였다. 그리고 상관성 분석을 위하여 아래의 표에서와 같이 7단계의 index로 등급화하였다. 수화학적 환경요인은 환경부(2007) 실시간 수질 측정치인 수온, pH, 전기전도도, BOD, SS 등의 13개의 수질자료를 이용하였다. 수질자료의 경우 각 항목의

측정단위가 다르기 때문에 Z-score(표준 점수)로 변환하여 분석에 대입하였다.

아울러 식물과 저수로 물로부터의 거리에 따른 식물의 gradient에는 각 하천의 belt-transect(0~10m)에서 관찰된 식물의 출현빈도와 물과의 거리를 이용하여 상관성 분석을 실시하였다. 이 때에 식물조사수와 belt의 수가 10개 하천마다 다르기 때문에 최대 조사수인 12개로 각 하천마다 출현 빈도수를 환산하였다. 그리고 상관성 분석에 사용된 SPSS 13.0(2004)은 한 번에 분석 가능한 변수의 종류가 100개를 넘을 수 없기 때문에 1~10 m 사이에 출현한 총 232종 중에서 출현 빈도수가 가장 높은 순으로 99종만을 취하여 상관성 분석에 대입하였으며, 유의수준은  $P \leq 0.05$ 를 기준으로 하였고, 그 상관성 정도는 반올림한 상관계수가 0.70~0.80이면 상관관계가 높은 것으로, 반올림한 상관계수가 0.60~0.50이면 보통의 상관성, 반올림한 상관계수가 0.40~0.30

Table 1. Standard for calculating index value

variable index	Size of bed material	Elevation(m)	Bars	Riverbed slope	Width of channel (m)
1	Silt	< 50	none	< 1/3,000	< 10
2	Clay	50~100	1/2	1/3,000~1/2,000	10~20
3	Sand	100~150	1	1/2,000~1/1,500	20~30
4	Gravel(2~10 cm)	150~200	2	1/1,500~1/1,000	30~40
5	Cobble(5~10 cm)	200~250	3	1/1,000~1/500	40~50
6	Cobble(5~30 cm)	250~300	4	1/500~1/100	50~60
7	Cobble and rock(5~30 cm ≤)	≥ 300	≥ 5	≥ 1/100	≥ 60

Table 2. Environmental factors and grade of each stream

variable Stream name	Elevation		Width of channel		Riverbed slope		bed material		Bars	
	m	grade	m	grade	slope	grade	Size of bed material	grade	Number of Bars	grade
Munsan stream	3.5	1	15	2	1/1818	3	silt	1	2	4
Gokreung stream	0.5	1	80	7	1/3225	1	silt	1	0	1
Mi stream	86.4	2	30	4	1/619	5	Gravel	4	4	6
Ssanggye stream	56.5	2	38	4	1/495	6	Gravel	4	4	6
Nam stream	86.5	2	35	4	1/662	5	Gravel	4	3	5
Gapyeong stream	209.3	5	15	2	1/84	7	Cobble and rock	7	1	3
Jojong stream	71.7	2	25	3	1/311	6	Cobble (5~30cm)	6	2	4
Cheongmi stream	45	1	48	5	1/1408	4	Sand	3	4	6
Yanghwa stream	31.3	1	45	5	1/909	5	Sand	3	4	6
Bokha stream	30.5	1	40	5	1/990	5	Sand	3	3	5

이면 약한 상관성(정충영과 최이규, 2002)을 나타내는 것으로 분석하였다.

자연환경인자와 출현식물과의 상관성 분석 기법의 선택은 DCA(Detrended correspondence analysis)(by segment) 분석에 따라서 gradient length가 2.331로서 RDA(Redundancy analysis) 분석 기법이 적절한 것으로 나타났으며(Ter Braak & Šmilauer, 2002b), CANOCO 4.5(Ter Braak & Šmilauer, 2002a)의 Forward selection 옵션을 이용한 유효 환경인자의 선정은 통계적인 유의성으로 Ter Braak & Šmilauer(1998)이 제시한 Monte Carlo permutation test(Unrestricted permutation=999)를 통하여 검증하였고 유의 수준은 0.05 이하로 하였다.

RDA의 분석결과는 최종적으로 scaling focus on species correlations을 옵션으로 선택한 Ordinatoin 그래프로 표현되고, 환경요인의 방향성은 큰 화살표로 나타나며, 화살표의 길이가 길수록 대상 환경인자는 대입된 생물종의 분산에 강한 영향력을 나타낸다. 생물종의 분산은 작은 화살표로 표시되고, 그 길이가 길수록 출현빈도의 표준 편차가 크다. 그래프의 중심점에서 뻗어 나아가는 각도는 각 화살표(환경인자×환경인자, 생물종×생물종, 환경인자×생물종)간의 상관관계를 보여주며, 이 때에 각 화살표 사이의 각도가 작을수록 서로간의 상관관계는 양의 방향으로 증가하며 반대로 두 화살표의 방향이 서로 정반대의 각도를 나타낸다면 음의 방향으로 강한 상관관계가 있음을 의미한다. 또한 화살표의

각도가 직각에 가까울수록 상관성은 약한 것을 의미한다. 화살표 외의 심볼(원, 사각, 마름모, 삼각형)들은 조사된 하천(sample site)을 의미하며 심볼에서 환경인자의 화살표에 수직으로 만나는 접점은 그 심볼이 가리키는 하천의 측정된 환경자료의 값을 의미한다(Lepš and Šmilauer, 2003). 즉 그 접점이 예를 들어 수온을 나타내는 화살표의 머리쪽에 가까우면 그 하천의 수온이 높음을 의미하며 반대로 화살표 반대 방향에 위치하게 되면 그 하천의 수온이 전체 하천의 평균 수온보다 낮은 것을 뜻 한다. 또한 심볼에서 생물종 화살표에 수직으로 만나는 접점은 그 하천에서의 해당 생물종의 풍부도를 나타낸다. 예를 들어 문산천을 가리키는 심볼과 갈대를 가리키는 화살표의 접점이 그 화살표의 머리에 가까울수록 문산천에서 갈대가 높은 빈도로 출현함을 의미한다.

## 결과 및 고찰

### 1. 대상하천의 수 환경적 특징

한강 유역 총적층 하천의 문산천(유로연장: 29.2 km, 유역면적: 188.2km<sup>2</sup>), 곡릉천(유로연장: 45.7km, 유역면적: 253.1 km<sup>2</sup>)의 하상재료는 하류부의 경우 뿔로 이루어져 있고, 중상

Table 3. General description of the target stream

Variable	Stream name	Dominant bed material	Stream length (km)	National stream length (km)	Local stream length (km)	Catchment area (km <sup>2</sup> )	Sinuosity	Riverbed slope	Average basin slope (%)	Average basin elevation (m)
Alluvium-bed streams	Munsan stream	Silt	29.2	11.6	16.15	188.2	1.42	1/10~5,300	24.3	102.2
	Gokreung stream		45.7	16.06	29.65	253.1	1.75	1/67~3,500	15.4	96.42
Nakdong river watershed	Mi stream	Gravel (2~10cm)	59.1		52.50	374.82	2.03	1/208~650	29.40	287.3
	Ssanggye stream		43.8		38.40	501.83	1.29	1/80~1,570	25.00	197.2
	Nam stream		24.2		19.25	164.85	1.14	1/100~400	30.00	356.0
Bukhan river watershed	Gapyeong stream	Cobble (5~30cm)	41.8		34.82	306.6	2.07	1/26~320	46.40	479.7
	Jojong stream		39.3		39.00	260.59	1.68	1/21~206	36.90	326.0
Namhan river watershed	Cheongmi stream	Sand	60.8	25.0	35.27	595.00	1.70	1/300~1,000	16.00	147.0
	Yanghwa stream		33.2		29.81	183.82	1.27	1/55~3,500	5.46	102.8
	Bokha stream		38.5	19.8	17.30	308.50	1.54	1/151~658	34.81	134.5

류에는 자갈과 돌이 분포한다. 하상경사 1/10~5,300으로 유역의 평균고도는 EL. 96.42~102.2m인 완만한 평지형 하천이다. 낙동강 수계의 하천인 미천(유로연장: 59.1km, 유역면적: 374.82km<sup>2</sup>), 쌍계천(유로연장: 43.80km, 유역면적: 501.83km<sup>2</sup>), 남천(유로연장: 24.2km, 유역면적: 164.85km<sup>2</sup>)의 경우 하상경사가 1/80~1,570이고, 하상은 Ø 2~10cm의 자갈이 대부분이며, 유역 평균고도가 EL. 197.2~356.0m인 구릉지~산지형 하천이다. 북한강 수계의 하천인 가평천(유로연장: 41.8km, 유역면적: 306.6km<sup>2</sup>), 조종천(유로연장: 39.3km, 유역면적: 260.59km<sup>2</sup>)은 하상재료가 Ø 5~30cm의 돌(호박돌)이고, 하상경사는 1/21~320, 유역 평균고도는 EL. 326.0~479.7m로 비교적 급한 산지형 하천이다. 그리고 남한강 수계의 하천인 청미천(유로연장: 60.8km, 유역면적: 595.0km<sup>2</sup>), 양화천(유로연장: 33.2km, 유역면적: 183.82km<sup>2</sup>), 복하천(유로연장: 38.5km, 유역면적: 308.5km<sup>2</sup>)은 주요 하상재료가 모래이고, 하상경사가 1/55~1,000, 유역 평균고도는 EL. 102.8~147.0m로서 평지형 하천이다. 또한 조사 하천들의 유역은 대부분 농경지 또는 산림으로 이루어져 있다(건교부, 1997, 1999; 경기도, 1995, 2002a, 2002b, 2003a, 2003b, 2003c, 2003d; 경상북도, 1991, 1993, 2000).

## 2. 주요 출현식물과 자연 환경인자와의 상관성

하상재료의 크기, 고도, 사주, 하상경사, 저수로의 폭(5개 인자)과 식물출현과의 상관성 분석을 위한 Forward selection 결과, 하상재료의 크기와 저수로 폭만이 유의 수준( $P \leq 0.05$ )을 만족하였다. 그리고 RDA분석 결과 하상재료의 크기와 저수로의 폭에 의해 설명되는 식물종의 분산은

36.4%( $\lambda=0.364$ )이었다. 그리고 Ordination 그래프의 가로 축인 Axis 1은 전체 식물종 분산에 대하여 24.1%( $\lambda_1=0.241$ )를 설명하고, 식물출현과 환경인자(저수로 폭과 하상재료의 크기)의 관계에 대하여 66.3%를 설명하고 있다. 식물출현과 대입한 환경인자의 상관관계는  $R_1: 0.957$ 로 높았고, 2개의 환경인자 중 하상재료의 크기가  $c_1: -1.1553$ 으로 Axis 1에서 저수로 폭 보다 더 강한 영향성을 나타내었으며, Axis 1과의 상관성은  $r_1: -0.7494$ 로 높았다. Axis 2는 전체 식물종 분산에 대하여 12.3%( $\lambda=0.123$ , 36.4-24.1%)를 설명하고 식물종과 환경인자의 관계에 대하여 33.7% (100.0-66.3%)를 설명하고 있다. Axis 2의 식물종과 환경인자의 상관성은  $R_2: 0.972$ 로 매우 높았으며, Axis 2에서는 저수로 폭이 하상재료보다 식물종에 더 강한 영향성을 나타내었다( $c_2: 0.879$ ,  $r_2: -0.7494$ ).

위의 분석에 따른 Ordination 그래프는 아래에서 보이는 것 처럼 저수로의 폭과 하상재료의 크기의 환경요인이 서로 서로 음의 방향으로 약한 상관성을 나타내었다.

저수로 폭이(넓다)와 상관성이 높은 하천은 곡릉천(1)이고, 그 반대는 경우는 문산천(2)이었다. 그리고 저수로 폭(중간)에 해당하는 하천은 청미천(8), 양화천(9), 복하천(10)이었다. 한편 하상재료의 크기(크다)와 높은 상관성을 보인 하천은 가평천(6)과 조종천(7), 하상재료의 크기(중간)에 해당되는 하천은 미천(3), 쌍계천(4), 남천(5)이었으며, 하상재료의 크기(작다)와 상관성을 나타낸 하천은 그래프 영역 B'에 해당하는 종들로서 문산천(1)과 곡릉천(2)의 출현종이었다.

그래프의 각 영역에 속한 종들이 그들의 자연환경을 그대로 반영하고 있는지 알아 본 결과, 저수로 폭이(넓다)에 해

Table 4. Results of the RDA for plant species and environmental factors

Result	Axis		Axis 1	Axis 2	Total variable
Sum of all eigenvalues					1
Sum of all canonical eigenvalues					0.364
Eigen values( $\lambda$ )			0.241	0.123	1
Cumulative percentage variance					
of species data			24.1	36.4	
of species-environment relation			66.3	100.0	
Species-environment correlations(R)			0.957	0.972	
Canonical coefficients(c) and intra-set correlations(r)	$c_1$	$r_1$	$c_2$	$r_2$	
of environmental variable Width of channel	-0.7766	-0.1728	<b>0.879</b>	<b>0.985</b>	
of environmental variable Size of bed material	<b>-1.1553</b>	<b>-0.7494</b>	-0.2027	-0.6621	

당하는 영역 A에는 저수로 폭이 가장 넓었던 곡릉천과 비교적 저수로 폭이 넓었던 청미천에서 출현한 종 15(큰천일사초), 16(개밭나물), 17(소나무), 18(생강나무) 등이 속하였고, 이와 반대의 영역 A'에는 저수로 폭이 좁았던 문산천, 가평천, 조종천에서만 출현하고 있는 종 78(질경이), 79(갯버들), 80(고들빼기), 81(여뀌)의 4종으로 나타났다.

하상재료가 크기(크다)에 해당하는 영역 B에는 가평천과 조종천에서만 높은 빈도로 출현한 64(느티나무)를 비롯한 37개종이었고, 이 반대의 경우는 영역 B'의 11(뽕쑥), 12(메꽃), 13(아까시나무)으로서 문산천, 곡릉천, 청미천에서 주로 관찰되었다.

한편 영역 C는 저수로 폭이 넓고, 하상재료가 작은 것과 상관성이 높은 경우로서 종 14(갈대)이었는데, 저수로 폭이 가장 좁고 하상재료가 가장 큰 북한강 수계의 하천(가평천, 조종천)에서는 전혀 관찰되지 않았으며, 북한강 수계의 하천보다 저수로 폭이 넓고 하상재료가 작았던 다른 하천에서는 모두 높은 빈도로 출현하고 있었다. 그리고 이와 반대의 환경을 의미하는 영역 C'(저수로 폭이 좁고 하상재료가 큰

것과 상관성이 높음)에는 종 77(벼룩나물)을 포함한 13개종이었는데, 이들은 북한강 수계의 가평천에서만 주로 출현하고 있었다.

영역 D는 저수로 폭이 좁고 하상재료가 작은 것과 약한 상관성을 보이는 식물그룹으로 118(괘이사초) 등의 27개종으로 저수로 폭이 좁고 하상재료가 작았던 문산천에서 높은 빈도로 출현한 종이 대부분이었으나 115(개망초), 99(쇠뜨기), 96(망초) 등은 다른 하천에서도 자주 관찰된 종들이 포함되고 있다. 영역 D와 상반되는 환경인 영역 D'는 저수로 폭이 넓고 하상재료가 큰 것과 약한 상관성을 보이는 종의 그룹으로 22(족제비싸리), 23(버드나무), 24(강아지풀)의 3개 종으로 족제비싸리의 경우 남천에서, 버드나무는 양화천, 강아지풀은 쌍계천에서 가장 높은 출현빈도를 보여서 이들 하천의 하상재료가 자갈이었던, 즉 보통 정도의 하상재료 크기와 보통 정도의 저수로 폭을 나타낸 환경을 지시하고 있었다.

기타 하상재료의 크기와 저수로의 폭이라는 환경인자 중에서 어느 한쪽의 인자와는 상관성이 약하거나 미약함을

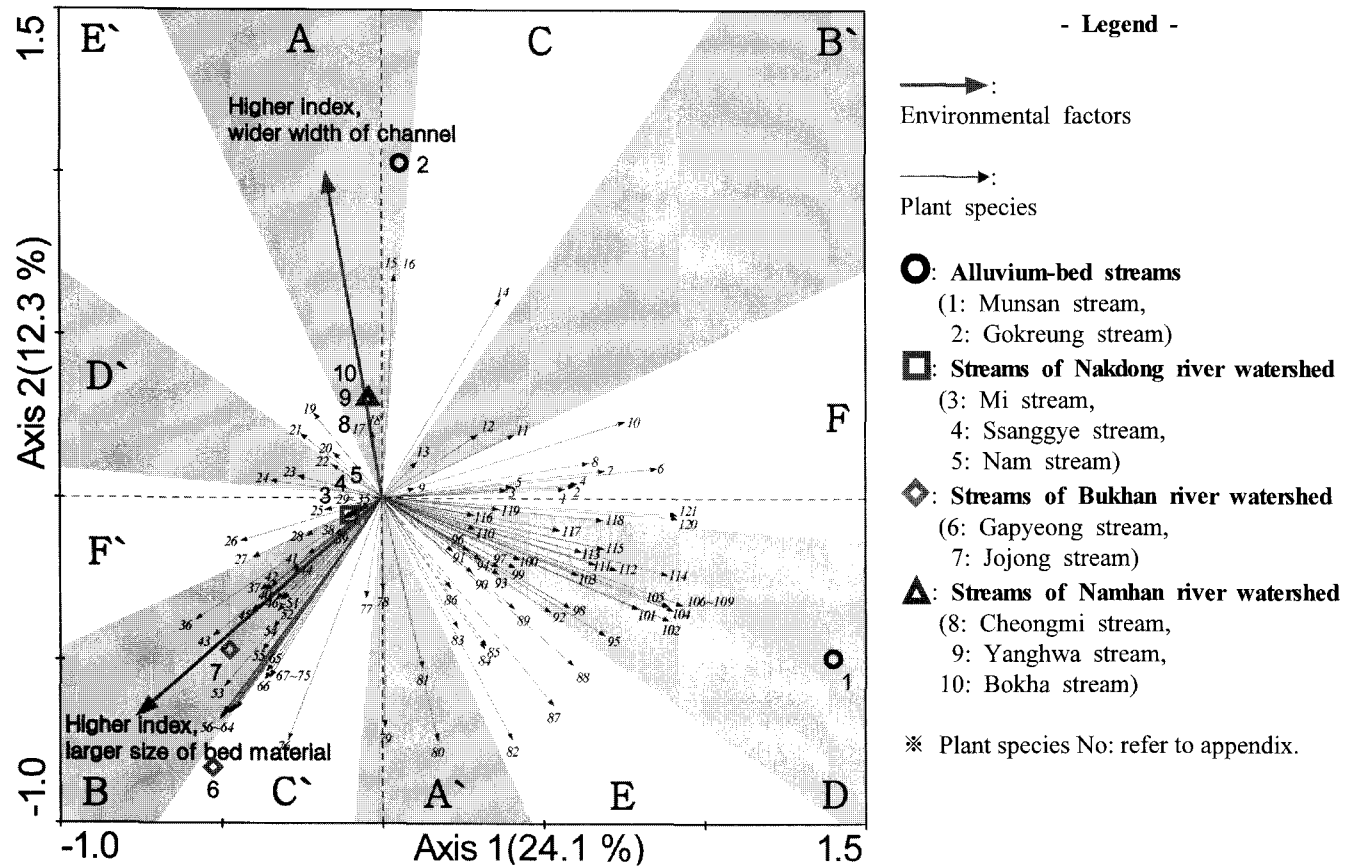


Figure 2. RDA ordination graph for main plant species and environmental factors: Focus scaling on inter-species correlation

나타낸 그룹은 영역 E-E', F-F'이었다. 먼저 저수로 폭(넓다 또는 좁다)과 상관성이 높으나, 하상재료의 크기의 인자와는 무관하거나 미약한 그룹인 E와 E'에는 흰명아주 등 10개 종(대부분 저수로 폭이 좁았던 문산천, 가평천, 조종천에서 높은 출현빈도의 종)과 종 19(돼지풀), 20(미나리), 21(썩싸리)의 3개 종(비교적 저수로 폭이 넓었던 곡릉천, 쌍계천, 남천에서 가장 높은 출현빈도를 보인 종)이다. 반면에 하상재료의 크기(크다 또는 작다)와는 상관성을 나타내었으나, 저수로 폭과는 상관성이 없거나 미약한 그룹은 영역 F와 F'이다. 이에 속한 종은 1(물억새)을 비롯한 13개 종(하상재료의 크기가 가장 작았던 문산천과 곡릉천에서의 출현종이 대부분)과 25(신갈나무), 26(소리쟁이), 27(짚레꽃)의 3개 종(하상재료가 작은 문산천과 곡릉천에서는 관찰되지 않은 종)이 이에 속하였다.

**3. 출현식물과 수질인자와의 상관성 분석**

121개의 출현식물과 13개의 수화학적 환경인자(표 5)와의 상관성 분석을 위한 Forward selection 결과, 유의 수준( $P \leq 0.05$ )을 만족한 인자는 전기전도도와  $PO_4\text{-P}$ 이었다.

그리고 RDA분석을 실시한 결과는 표 6에서 처럼 대입된 환경인자로 설명되는 식물종 중 분산은 37%( $\lambda=0.370$ )이었다. 그리고 Axis 1은 종 분산에 대하여 22.0%( $\lambda=0.220$ )를 보이고, 식물출현과 환경인자(전기전도도와  $PO_4\text{-P}$ )의 관

계에 대하여 59.5%를 설명하고 있다. 식물출현과 대입한 환경인자의 상관관계는  $R_1: 0.904$ 로 높았고, 2개의 환경인자 중 전기전도도가  $c_1: -1.1651$ 로 Axis 1에서 더 강한 영향성을 나타내었는데, 이 항목과 Axis 1과의 상관성은  $r_1: -0.7926$ 으로 높았다. 그리고 Axis 2는 식물종 분산에 대하여 15.0%( $\lambda=0.150, 37.0\text{-}22.0\%$ )를 보이고, 식물종과 환경인자의 관계에 대하여 40.5%(100.0-59.5%)를 설명하고 있다. 식물종과 환경인자의 상관성은  $R_2: 0.910$ 로 매우 높은 것으로 나타났으며, Axis 2에서는  $PO_4\text{-P}$ (인산염인)이 전기전도도보다 식물종에 더 강한 영향성을 나타내었다.

위의 분석결과의 Ordination 그래프에는 전기전도도와  $PO_4\text{-P}$ 는 서로 양의 방향으로 약한 상관성을 나타내었으며,  $PO_4\text{-P}$ 가 전기전도도보다 전체 식물종의 분포에 다소 높은 영향력을 나타내었다.

그래프에 나타난 각 하천의  $PO_4\text{-P}$ 와 전기전도도를 살펴보면,  $PO_4\text{-P}$ 의 농도는 문산천(1)이 가장 높았으며 남천(5)의  $PO_4\text{-P}$  농도가 가장 낮았다. 전기전도도의 농도는 문산천(1)에서 가장 높았으며 다음으로 북하천(10), 곡릉천(2) 등이며, 가평천(6)의 전기전도도 농도가 가장 낮았다.

각 영역에 속한 식물 종을 살펴보면 영역 A는  $PO_4\text{-P}$ 농도(높다)와 매우 높은 상관성이 있고, 전기전도도와는 상관성이 약한 경우로서 문산천에서 높은 빈도로 출현한 110(썩부쟁이), 87(취), 103(인동), 112(개피), 92(바디나물), 95(갈퀴덩굴), 111(뽕리뱅이), 96(망초)의 8개 종이었고,  $PO_4\text{-P}$ 의

Table 5. Water chemical factors used for forward selection

variable Stream name	Water temperature (°C)	pH	DO (mg/L)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	SS (mg/L)	MPN /100ml	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)	Electrical conductivity (μmhos/cm)	NO <sub>3</sub> -N (mg/L)	NH <sub>3</sub> -N (mg/L)	PO <sub>4</sub> -P (mg/L)
Munsan stream	24.0	7.5	5.9	2.3	6.4	93.0	2250.0	2.6565	0.2465	554.0	1.8590	0.3465	0.0940
Gokreung stream	29.5	8.7	14.7	9.1	10.7	18.7	2500.0	3.2970	0.1400	350.5	1.9210	0.9710	0.0390
Mi stream	25.3	7.6	10.2	1.3	4.7	9.1	370.0	4.5157	0.0537	258.7	2.8700	0.0700	0.0190
Ssanggye stream	27.3	7.8	10.8	2.5	5.9	9.1	386.7	3.2877	0.0530	330.0	2.5483	0.0713	0.0053
Nam stream	26.7	7.9	12.1	1.5	3.7	3.3	220.0	5.7293	0.0393	237.0	4.6457	0.2743	0.0037
Gapyeong stream	24.7	7.5	8.5	0.6	1.7	0.4	423.3	2.0587	0.0400	75.3	2.0007	0.0143	0.0357
Jojong stream	25.7	7.9	8.6	1.2	2.7	1.2	566.7	2.3663	0.0683	135.0	2.1440	0.0030	0.0627
Cheongmi stream	27.0	8.0	11.6	3.5	6.8	17.8	146.7	2.8183	0.1210	211.0	2.2270	0.0897	0.0423
Yanghwa stream	27.0	8.2	8.7	2.8	6.2	64.4	673.3	3.8000	0.1923	237.7	1.8387	0.4567	0.0530
Bokha stream	27.3	7.8	9.2	2.8	6.1	13.9	140.0	4.3670	0.1803	486.7	3.7510	0.7243	0.0890



Table 6. Results of the RDA for plant species and water chemical factors

Result	Axis			
	Axis 1	Axis 2	Total variable	
Sum of all eigenvalues	1			
Sum of all canonical eigenvalues	0.370			
Eigen values( $\lambda$ )	0.220	0.150	1	
Cumulative percentage variance				
of species data	22.0	37.0		
of species-environment relation	59.5	100.0		
Species-environment correlations(R)	0.904	0.910		
Canonical coefficients(c) and intra-set correlations(r)	$c_1$	$r_1$	$c_2$	$r_2$
of environmental variable Electrical conductivity	-1.1651	-0.7926	0.1254	0.6097
of environmental variable PO <sub>4</sub> -P	0.7145	0.107	0.9289	0.9943

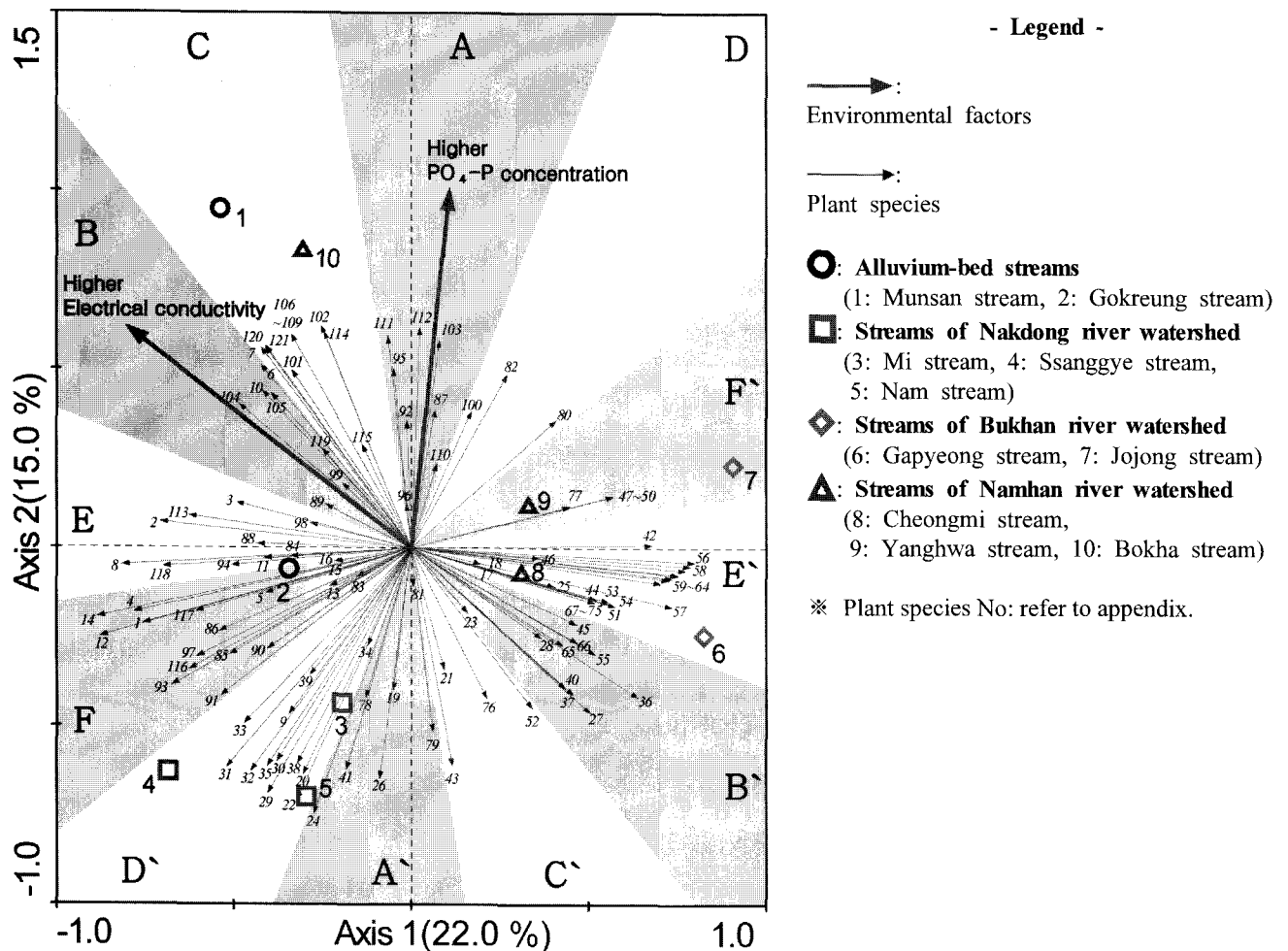


Figure 3. RDA ordination graph for main plant species and water chemical factors: Focus scaling on inter-species correlation

농도가 매우 낮은 낙동강 수계하천(미천, 쌍계천, 남천)에서는 출현 빈도가 매우 낮았다. 반면에 영역 A'는 PO<sub>4</sub>-P농도(낮다)와 매우 높은 상관성을 보인 그룹이다. 이에 속한 종은 낙동강 수계의 하천에서 높은 빈도로 출현한 24(강아지풀), 78(질경이), 41(미국가막사리), 26(소리쟁이), 19(돼지풀), 81(여뀌), 79(갯버들)의 7종으로 PO<sub>4</sub>-P의 농도가 비교적 높았던 문산천, 곡릉천에서는 그 출현 빈도가 낮았다.

영역 B는 전기전도도(높다)와 매우 높은 상관성이 있는 그룹이다. 이에 속한 종은 6(참소리쟁이), 119(쇠별꽃), 105(재쑥), 10(옹굿나물), 99(쇠뜨기), 104(새), 89(갈풀)의 7종으로 전기전도도가 높은 문산천에서, 이와 상반되는 영역 B'는 전기전도도(낮다)와 매우 높은 상관성을 보이는 그룹으로 23(버드나무), 27(짚레꽃), 40(마), 37(사위질빵), 28(갈참나무), 36(삿갓사초), 65(산뽕나무), 55(산딸기), 66(좁개잎나무), 45(억새)의 10개종으로 전기전도도가 가장 낮았던 가평천에서의 출현종들로서 전기전도도가 높은 문산천, 곡릉천 등의 하천에서는 드물게 출현하였다.

영역 C는 PO<sub>4</sub>-P농도(높다), 전기전도도(높다)와 높은 상관성을 나타낸 그룹이다. 이에 대부분 문산천에서만 출현했던 물쑥 등 11종이었으며, 이와 반대의 그룹 C'에는 43(닭의장풀), 21(쉽사리), 76(달뿌리풀), 52(조팝나무)의 4개 종으로 낮은 PO<sub>4</sub>-P농도와 낮은 전기전도도를 보인 낙동강 수계(미천, 쌍계천, 남천)의 하천과 북한강수계(가평천, 조종천)의 하천에서 높은 빈도로 출현한 종들이었다.

기타 두 개의 수질환경요인 중에서 어느 한쪽의 인자와는 상관성이 없거나 미약한 경우로서 D-D', 영역 E-E'이다. 영역 D, D'는 PO<sub>4</sub>-P 농도(높다 또는 낮다)와는 높은 상관성이

있으나, 전기전도도와는 상관성이 없거나 미약한 경우로서 이에 속한 종들은 80(고들빼기), 82(김의털), 100(새콩)의 3개종(문산천, 가평천, 조종천에서 높은 빈도로 출현)과 33(왕버들) 등 12개종(미천, 쌍계천, 남천에서 높은 빈도로 출현)이었다. 한편 PO<sub>4</sub>-P와는 상관성이 미약하나 전기전도도(높다 또는 낮다)와 높은 상관성을 보인 그룹으로 영역 E의 94(머느리배꼽) 등 10개종(문산천, 미천, 쌍계천에서 출현)과 영역 E'의 42(뽕나무)를 비롯한 27개종(가평천, 조종천, 청미천에서 높은 출현빈도 보임)이다.

영역 F-F'는 두 개의 환경인자와 모두 약한 상관성을 나타낸 그룹이다. 이에 속한 종은 91(흰명아주) 등 17개종(문산천, 곡릉천, 미천, 쌍계천, 남천에서 주로 출현)과 47(노랑물봉선), 48(물오리나무), 49(명석딸기), 50(은사시나무), 77(벼룩나물)의 5개종(조종천에서 출현)이다.

#### 4. 저수로 물로 부터의 거리에 따른 식물의 gradient

Belt transect 1~10m 사이에 출현한 총 232종 중에서 출현 빈도수가 가장 높은 순으로 99종만을 취하여 상관성 분석을 실시한 결과 38종은 상관성이 있는 것으로 나타났으며, 나머지 61종은 상관성이 없는 것으로 분석되었다. 그리고 저수로 물로 부터의 거리가 가까운 경우와 상관성을 보인 종은 13종뿐이었으며, 그 중에서 높은 상관성을 보인 종은 아래의 표에서 처럼 갈풀, 갯버들, 줄, 고마리와 달뿌리풀의 5종이었다. 반면에 저수로 물로 부터의 거리(멀다)와 가장 높은 상관성을 보인 종은 물억새, 쇠뜨기, 쇠물푸레나무, 생강나무, 담쟁이덩굴, 쑥, 다닥냉이와 명아주의 8종이었다.

Table 7. Result of correlation analysis between plant frequency and distance from water channel

species name	correlation coefficient(r)	Plot with maximum frequency									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>Phalaris arundinacea</i>	-0.957	■									
<i>Salix gracilistyla</i>	-0.929		■								
<i>Zizania latifolia</i>	-0.904	■									
<i>Persicaria thunbergii</i>	-0.891		■								
<i>Phragmites japonica</i>	-0.885				■						
<i>Potentilla paradoxa</i>	-0.821		■			■					
<i>Phragmites communis</i>	-0.816			■							
<i>Rubia cordifolia</i> var. <i>pratensis</i>	-0.757		■								
<i>Carex rugulosa</i>	-0.696	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
<i>Viola verecunda</i>	-0.687			■							
<i>Persicaria hydropiper</i>	-0.670	■									
<i>Oenanthe javanica</i>	-0.641			■				■			
<i>Paspalum thunbergii</i>	-0.638	■							■		■

Table 7. (Continued)

species name	correlation coefficient(r)	Plot with maximum frequency									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>Humulus japonicus</i>	0.667				■	■	■				■
<i>Chelidonium majus</i> var. <i>asiaticum</i>	0.674								■		
<i>Echinochloa crus-galli</i>	0.680										■
<i>Lactuca indica</i> var. <i>laciniata</i>	0.690							■	■	■	
<i>Trifolium repens</i>	0.734					■				■	■
<i>Bromus japonicus</i>	0.740									■	■
<i>Aster fastigiatus</i>	0.740							■			
<i>Ambrosia trifida</i>	0.751									■	■
<i>Amorpha fruticosa</i>	0.761										■
<i>Impatiens noli-langere</i>	0.774									■	■
<i>Bromus tectorum</i>	0.793							■	■	■	■
<i>Commelina communis</i>	0.805								■	■	■
<i>Ambrosia artemisiifolia</i> var. <i>elatior</i>	0.808									■	■
<i>Impatiens textori</i>	0.812							■			
<i>Erigeron annuus</i>	0.823								■		
<i>Aster yomena</i>	0.831							■			
<i>Setaria viridis</i>	0.839										■
<i>Chenopodium album</i> var. <i>centrorubrum</i>	0.859									■	■
<i>Lepidium apetalum</i>	0.866							■		■	
<i>Artemisia princeps</i> var. <i>orientalis</i>	0.869										
<i>Parthenocissus tricuspidata</i>	0.870							■	■	■	■
<i>Lindera obtusiloba</i>	0.904							■	■	■	■
<i>Fraxinus sieboldiana</i>	0.919								■	■	■
<i>Equisetum arvense</i>	0.928									■	■
<i>Miscanthus sacchariflorus</i>	0.938										■

### 5. 결론

Belt transect 에서의 높은 출현빈도의 식물종(121종)과 그들의 서식환경(하상재료의 크기, 고도, 사주, 하상경사, 저수로의 폭, 저수로 물로부터의 거리 그리고 13개의 수화학적 인자)간의 상관관계를 분석한 결과 사례하천의 식물들은 대상지의 고도, 사주, 하상경사 및 대개의 수화학적 특성은 유의성을 보이지 않았으나, 하상재료의 크기, 저수로의 폭, 저수로 물로부터의 거리, 전기전도도, 인산염 인과 아주 높은~보통의 상관성을 나타내었다. 즉 천일사초를 비롯한 48종은 한 개의 환경요소(저수로 폭, 또는 하상재료의 크기)에서만 상관성을 보였고(그래프 2의 영역 A-A', B-B'), 갈대 외 43종은 두 개의(저수로 폭과 하상재료의 크기)환경요소에서 상관성을(그래프 2의 영역 C-C', D-D'), 그 외의 식물종(29종)들은 한 개의 환경요소와는 상관성이 미약하거나 없는 종류(그래프 2의 영역 E-E', F-F')로 구별되었다. 이러한 경향은 수화학적 환경요소인 전기전도도와 인산염 인

(PO<sub>4</sub>-P) 에서도 볼 수 있는데, 그래프 3의 영역 A-A'에 속한 쭉뚝쟁이를 비롯한 15종은 인산염 인의 농도(높다-낮다)와 상관성이 높았으며, 그래프 3의 영역 B-B'에 속한 갈풀을 포함한 17종은 전기전도도 농도(높다-낮다)와 상관성을, 그래프 3의 영역 C-C'의 애기메꽃을 포함한 15종은 위의 두 개의 수질환경요소와 상관성을 보였으나, 영역 D-D', E-E'에 속한 식물 종(52종)은 두 개의 요소 중 한 개의 요소에서만 상관성을 나타내었고, 위의 수질환경요소와 상관성이 미약한 그룹은 F-F'(22종)로 분류되었다. 그리고 저수로 물로부터의 거리(가깝다-멀다)와의 상관성에서는 대입한 99종 중에서 38종만이 상관성을 보였고, 61종(전체의 62%)은 물로부터의 거리와 무관한 것으로 분석되었다. 즉 많은 종들은 “물로부터의 거리”(멀다-가깝다)라는 환경인자에 민감하지 않다는 의미로서, 아무 곳에서나 서식할 수 있는 종(ubiquists)들로 해석할 수 있을 것이다. 이처럼 어떤 종들은 특정 환경조건과 상관성을 보이고 있으나, 또 다른 종들은 특정의 환경요인과 상관성이 미약하거나 없는 종

(indifferent species) 들임을 알 수 있다.

결론적으로 본 연구결과를 근거로 앞으로의 연구방향을 정리해 보면 다음과 같다:

-본 연구에서 환경인자로 이용한 하상경사, 대상지의 고도, 사주의 개수 등의 경우 유의수준을 만족하지 못하여 상관성이 없는 인자로 분석되었는데, 그 가장 중요한 이유의 하나는 대상하천의 위의 환경인자 간에 큰 차별성이 없었기 때문으로 판단된다. 따라서 자연환경이 다양한 사례하천에 대한 선별이 우선되어야 할 것으로 사료되며, 그 경우 다른 상관성을 보여줄 수 있을 것으로 예상된다.

- 한편 수화학적 인자의 경우 하천간의 차별성은 있었으나, 출현빈도가 높은 것을 기준으로 선택된 121종은 BOD를 비롯한 11개 수질인자와 두드러진 상관성을 보이지 않았다. 따라서 저서생물이나 어류에서 처럼 수질에 종속적인 식물에 대하여 차후 더 많은 연구가 진행되어야 한다고 생각한다.

- 본 연구의 상관성 분석에 이용된 식물들은 실제의 하천 환경조건을 그대로 반영하는 것으로 분석되었으나, 특정 하천의 사례이기 때문에 다른 하천식물들의 확대 해석은 어려울 것이다. 따라서 앞으로 더 많은 사례하천의 연구가 이어져야 할 것이다.

- 특히 생태적 서식범위가 불분명한 종에 대하여도 하천 계획이나 관리를 위하여 우선되어 연구해야 할 것이다.

- 출현빈도가 낮아서 통계에서 누락된 종 중에서 하천을 서식처로 하는 일부 종에 대하여는 분석 방법의 차별화를 통하여 그 서식처와의 상관성을 찾아야 한다고 생각한다.

## 인용문헌

- 건설교통부(1993) 낙동강 하천정비기본계획(보완). pp. 3-3~3-6.
- 건설교통부(1997) 문산천 하천정비기본계획. pp. 13-29.
- 건설교통부(1999) 곡릉천 하천정비기본계획(보완). pp. 3-1~3-17.
- 건설교통부(2001) 임진강 하천정비기본계획(보완). pp. 3-24~3-28.
- 건설교통부(2002) 한강 하천정비기본계획(보완). pp. 34-36.
- 경기도(1995) 가평천 수계 하천정비기본계획. pp. 23-38.
- 경기도(2002a) 곡릉천 수계 하천정비기본계획. pp. 3-1~3-28.
- 경기도(2002b) 문산천 수계 하천정비기본계획. pp. 21-44.
- 경기도(2003a) 북하천 수계 하천정비기본계획. pp. 3-3~3-18.
- 경기도(2003b) 양화천 수계 하천정비기본계획. pp. 3-1~3-59.
- 경기도(2003c) 조종천 수계 하천정비기본계획. pp. 3-1~3-29.
- 경기도(2003d) 청미천 수계 하천정비기본계획. pp. III-1~III-34.
- 경상북도(1991) 미천 하천정비기본계획. pp. 17-32.
- 경상북도(1993) 남천 하천정비기본계획. pp. 15-28.
- 경상북도(2000) 쌍계천 하천정비기본계획. pp. 15-24.
- 김영식, 김창완, 이경보(2002) 서열법에 의한 만경강 하천식생의 분석. 한국환경생태학회지 11(10): 1031-1037.
- 김혜주, 김송이, 김창완(2006) 하천에서의 무생물적 환경인자와 생물과의 상관성-경기지방의 하천사례를 중심으로. 한국환경생태학회지 20(4): 374-390.
- 안영희, 양영철, 전승훈(2001) 안성천 수계의 버드나무과 식물분포 특성에 관한 연구-월동천, 옥정천, 조령천, 기술천을 중심으로-. 한국환경생태학회지 15(3): 231-223.
- 이인순, 이팔홍, 손성근, 김철수, 오경환(2001) 남강 유역에서 환경구배에 따른 버드나무속의 분포와 생태적 지위. 한국생태학회지 24(5): 289-276.
- 정충영, 최이규(2002) 한글용 SPSS 10.0 SPSSWIN을 이용한 통계분석(4판). 무역경영사.
- 환경부(2007) 수질측정망 측정자료. 물환경 정보 시스템.
- Braun-Blanquet, J.(1928) Pflanzensoziologie. Grundzuege der Vegetationskunde. In: Schoenichen, W. (Hrsg.): Biologische Studienbuecher 7. Springer. Berlin.
- Dierschke, H.(1988) Methodische und syntaxonomische Probleme bei der Untersuchung und Bewertung nasser Mikrostandorte in Laubwaeldern. In: Barkman, J.J. & Sykora, K.V.: Dependent plant communities: 43-57.
- Jeckel, G.(1986) Kleinraeumige Vegetationstransekte im Extensivgruenland alter Duenengebiete in nordwestdeutschen Flusstaelern. Coll. Phytosoc. 8: 431-445. Vaduz.
- Kohler, A., H. Vollrath and E. Beisl(1973) Zur Verbreitung. Vergesellschaftung und Oekologie der Gefaess-Makrophyten im Fliesswassersystem Moosach. In: Arch. Hydrobiol. 69(3): 333-365.
- LAWA(=Laenderarbeitsgemeinschaft Wasser)(2000) Gewaesser strukturguetekartierung in der BRD. 1. Auf. Schwerin.
- LAWA(=Laenderarbeitsgemeinschaft Wasser)(2004) Gewaesser strukturguetekartierung in der BRD. Uebersichtsverfahren. Berlin.
- Lee, B. A., G. J. Kwon and J. G. Kim(2005) The relationship of Vegetation and Environmental Factors in Wangsuk Stream and Gwarim Reservoir: I. Water Environments. Korean J. Ecol. 28(6): 365-373.
- Lepš, J. and P. Šmilauer(2003) Multivariate analysis of ecological data using CANOCO. Cambridge university press.
- Mirmanto, E., S. Tsuyuzaki and T. Kohyama(2003) Investigation of the Effects of Distance from River and Peat Depth on Tropical Wetland Forest Communities. TROPICS Vol. 12(4).
- Mueller-Dombois, D. & H. Ellenberg(1974) Aims and methods of vegetation ecology. Wiley & Sons. New York etc. 547.
- Niemann, E.(1963) Beziehungen zwischen Vegetation und Grundwasser. Ein Beitrag zur Praezisierung des oekologischen Zeigerwertes von Pflanzen und Pflanzengesellschaften. In:

- Arch. Naturschutz 3(1): 3-36.
- Otto, A. & U. Braukmann(1983) Gewässertypologie im ländlichen Raum. Schriftenreihe des Bundesministers f. Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Reihe A: Angewandte Wissenschaft. H. 288. Muenster.
- SPSS Inc.(2004) SPSS 13.0 for Windows Release 13.0.
- Ter Braak, C. J. F. and P. Šmilauer(1998) CANOCO reference manual and user's guide to canoco for windows: Software for canonical community ordination (Version 4.). Ithaca, NY, Microcomputer power.
- Ter Braak, C. J. F. and P. Šmilauer(2002a) CANOCO for Windows Version 4.5.
- Ter Braak, C. J. F. and P. Šmilauer(2002b) CANOCO reference manual and CanoDraw for windows user's guide: Software for canonical community ordination(version 4.5). Ithaca, NY, Microcomputer Power.
- Whittaker, R. H.(1973) Ordination and classification of communities.-Handb.Veg. Sci. 5: 1-737.
- Zelený, D. & M. Chytrý(2007) Environmental control of the vegetation pattern in deep river valleys of the Bohemian Massif. Preslia 79: 205-222.

Appendix 1. Woody plants that appear more than 5 times and herbs that appear more than 10 times in belt-transect research of each streams

sp. no.	name		alluvium-bed streams			Nakdong river watershed		Bukhan river watershed		Namhan river watershed			Total frequency
	family	species	Mun-san	Gok-reung	Mi	Ssang-gye	Nam	Gap-yeong	Jo-jong	Cheon-g-mi	Yang-hwa	Bok-ha	
1	Gramineae	<i>Miscanthus sacchariflorus</i>	114	22	93	35	28						292
2	Cannabinaceae	<i>Humulus japonicus</i>	184	32	60	99	191	8	43	30	45	56	748
3	Chenopodiaceae	<i>Chenopodium album</i> var. <i>centrorubrum</i>	12	10	4	1	22	2	2			7	60
4	Cruciferae	<i>Lepidium apetalum</i>	34	10	3	18	21						86
5	Cruciferae	<i>Rorippa islandica</i>	4	2			20						26
6	Polygonaceae	<i>Rumex japonicus</i>	32	8									40
7	Compositae	<i>Artemisia selengensis</i>	112	2		7	14		2	3	49.5	23	212.5
8	Gramineae	<i>Agropyron tsukushiense</i> var. <i>transiens</i>	228	30	77	94	71		7	3	6.75	7	523.75
9	Compositae	<i>Hemistepta lyrata</i>	2	2	8	2	12		2		2.25		30.25
10	Compositae	<i>Aster fastigiatus</i>	38	28									66
11	Compositae	<i>Artemisia feddei</i>	6	16		2	4	1	1				30
12	Convolvulaceae	<i>Calystegia japonica</i>	6	6	15	18	18					7	70
13	Leguminosae	<i>Robinia pseudo-acacia</i>	2		19		14			23		6	64
14	Gramineae	<i>Phragmites communis</i>	22	62	52	49	117			17	11.25	38	368.25
15	Cyperaceae	<i>Carex rugulosa</i>		16									16
16	Umbelliferae	<i>Cium suave</i>		10									10
17	Pinaceae	<i>Pinus densiflora</i>								9			9
18	Lauraceae	<i>Lindera obtusiloba</i>								8			8
19	Compositae	<i>Ambrosia artemisiifolia</i> var. <i>elatior</i>		26	7		40		11				84
20	Umbelliferae	<i>Oenanthe javanica</i>			5	26	6			3	11.25		51.25
21	Labiatae	<i>Lycopus ramosissimus</i> var. <i>japonicus</i>		28			9	8	1				46
22	Leguminosae	<i>Amorpha fruticosa</i>			10	25	43			3	13.5		94.5
23	Salicaceae	<i>Salix koreensis</i>			5	6		4		3	42.75	2	62.75
24	Gramineae	<i>Setaria viridis</i>		16	9	48	16	3	6				98
25	Fagaceae	<i>Quercus mongolica</i>						2		11			13
26	Polygonaceae	<i>Rumex crispus</i>			54	92	51	2	15	3	18	4	239
27	Rosaceae	<i>Rosa multiflora</i>			41		10	18	2	26	18		115
28	Fagaceae	<i>Quercus aliena</i>			3			3		10			16
29	Polygonaceae	<i>Persicaria nodosa</i>			3	3	20						26
30	Gramineae	<i>Paspalum thunbergii</i>				3	14						17
31	Leguminosae	<i>Vicia villosa</i>			2	48	3						53
32	Compositae	<i>Tagetes minuta</i>				14	19						33
33	Salicaceae	<i>Salix glandulosa</i>				21	1						22
34	Ulmaceae	<i>Hemiptelea davidii</i>			7								7
35	Gramineae	<i>Setaria glauca</i>				7	27						34
36	Cyperaceae	<i>Carex dispalata</i>			26	11	1	13	44	17	11.25		123.25
37	Ranunculaceae	<i>Clematis apiifolia</i>	2	10	19	1	28	29	25		18		132
38	Cyperaceae	<i>Digitaria sanguinalis</i>			2	35	5		3				45
39	Compositae	<i>Xanthium strumarium</i>				15			1				16
40	Dioscoreaceae	<i>Dioscorea batatas</i>			11		1	6	1	9			28
41	Compositae	<i>Bidens frondosa</i>			3	17	28		8				56
42	Moraceae	<i>Morus alba</i>						10	2		22.5		34.5
43	Commelinaceae	<i>Commelina communis</i>			4	18	15	4	12		2.25	1	56.25
44	Oleaceae	<i>Fraxinus rhynchophylla</i>						10		13			23

## Appendix 1. (Continued)

sp. no.	family	name species	alluvium-bed streams			Nakdong river watershed		Bukhan river watershed		Namhan river watershed			Total frequency
			Mun-san	Gok-reung	Mi	Ssang-gye	Nam	Gap-yeong	Jo-jong	Cheon-g-mi	Yang-hwa	Bok-ha	
45	Gramineae	<i>Miscanthus sinensis</i> var. <i>purpurascens</i>				5		9	2		11.25		27.25
46	Borraginaceae	<i>Trigonotis peduncularis</i>				2			11				13
47	Balsaminaceae	<i>Impatiens noli-langere</i>							43				43
48	Betulaceae	<i>Alnus hirsuta</i>							8				8
49	Rosaceae	<i>Rubus parvifolius</i>							7				7
50	Salicaceae	<i>Populus tomentiglandulosa</i>							6				6
51	Rosaceae	<i>Crataegus pinnatifida</i>						6		4			10
52	Rosaceae	<i>Spiraea prunifolia</i> for. <i>Simpliciflora</i>					13	15		4			32
53	Violaceae	<i>Viola mandshurica</i>				4		5	16				25
54	Aceraceae	<i>Acer ginnala</i>						23		5			28
55	Rosaceae	<i>Rubus crataegifolius</i>					2	34		3			39
56	Leguminosae	<i>Lespedeza maximowiczii</i>						8	4				12
57	Euphorbiaceae	<i>Securinega suffruticosa</i>					1	16	4				21
58	Rosaceae	<i>Stephanandra incisa</i>						23	7				30
59	Liliaceae	<i>Hosta longipes</i>						15	4				19
60	Actinidiaceae	<i>Actinidia arguta</i>						8	2				10
61	Primulaceae	<i>Lysimachia vulgaris</i> var. <i>davurica</i>						16	3				19
62	Caprifoliaceae	<i>Weigela subsessilis</i>						11	2				13
63	Aspidiaceae	<i>Woodsia manchuriensis</i>						13	2				15
64	Ulmaceae	<i>Želkova serrata</i>						6	1				7
65	Moraceae	<i>Morus bombycis</i>			2			8					10
66	Urticaceae	<i>Boehmeria spicata</i>					1	14					15
67	Balsaminaceae	<i>mpatiens textori</i>						36					36
68	Cyperaceae	<i>Carex lanceolata</i>						26					26
69	Vitaceae	<i>Parthenocissus tricuspidata</i>						24					24
70	Staphyleaceae	<i>Staphylea bumalda</i>						14					14
71	Ericaceae	<i>Rhododendron yedoense</i> var. <i>poukhanense</i>						14					14
72	Rutaceae	<i>Zanthoxylum schinifolium</i>						8					8
73	Celastraceae	<i>Euonymus alatus</i> for. <i>ciliato-dentatus</i>						8					8
74	Leguminosae	<i>Maackia amurensis</i>						6					6
75	Leguminosae	<i>Gleditsia japonica</i> var. <i>koraiensis</i>						6					6
76	Gramineae	<i>Phragmites japonica</i>	18		111	87	155	62	129	12	13.5	10	597.5
77	Caryophyllaceae	<i>Stellaria alsine</i> var. <i>undulata</i>	2				5		24	1	2.25		34.25
78	Plantaginaceae	<i>Plantago asiatica</i>	2	2	12	1	4	2	2				25
79	Salicaceae	<i>Salix gracilistyla</i>	36		54	56	118	50	17	8	13.5		352.5
80	Compositae	<i>Youngia sonchifolia</i>	10			1		5	18				34
81	Polygonaceae	<i>Persicaria hydropiper</i>	8		5	2	23	1	16	2		1	58
82	Gramineae	<i>Festuca ovina</i>	18		2			10	3	1		1	35
83	Compositae	<i>Artemisia princeps</i> var. <i>orientalis</i>	120	84	32	86	54	70	91	13	11.25	16	577.25
84	Papaveraceae	<i>Chelidonium majus</i> var. <i>asiaticum</i>	32		12	18	36	1	17	5		6	127
85	Leguminosae	<i>Glycine soja</i>	14		7	54	4	2	1				82
86	Onagraceae	<i>Oenothera odorata</i>	12	2	11	27	26	2	6		4.5	5	95.5
87	Leguminosae	<i>Pueraria thunbergiana</i>	14					8					22

