

수변 복원 시 식물종 다양성 증진을 위한 β -diversity 연구

한영섭 · 김해란 · 한승주 · 정중규 · 이승혁 · 장래하 · 조규태 · 강대균* · 유영한⁺

공주대학교 생물학과

* 공주대학교 생명공학연구소

Studies on β -diversity for high plant community turnover in flood plain restoration

Young-Sub Han · Hae-Ran Kim · Seung-Ju Han · Jung-Kyu Jeong · Seung-Hyuk Lee

Rae-Ha Jang · Kyu-Tae Cho · Tay-Gyoon Kang* · Young-Han You⁺

Department of Biology, Kongju National University, Kongju City, Korea

* *Biotechnology laboratory, Kongju National University, Kongju City, Korea*

요 약

식물종 다양성이 높은 하천변 복원을 위해 8개 하천 13지점에서 자연하천변 식물군락의 이질성을 β -diversity로 조사하였다. 그 결과, 하천에서 내륙으로 들어감에 따른 이질성의 평균값은 0.32이었다(0.23~0.37범위). 이 값은 식물군락의 종 구성이 6번 완전히 바뀌는 community turnover를 나타낸다. β -diversity는 섬진강, 한강, 낙동강, 금강 수계 간에 차이가 없었고, 각 수계 안에서 하천 유역은 하류(0.23)보다 상류(0.36)에서 더 높았다(p level<0.05). 환경요인과의 관계를 알아보기 위해 다중회귀분석을 실시한 결과 β -diversity는 경사도에서 유의성이 나타났다. Belt-transect를 통해 나타난 종들과 β -diversity 값을 통해 하천변의 우점종 모식도를 그려보면 상류의 종조성은 6번 바뀌고, 하류의 종조성은 약 5번 바뀌었다. 본 연구 결과를 통해 하천 계획에 실질적으로 활용할 수 있는 식재 수종과 식재 패턴의 기초를 제시하였으며, 하천변 식물군락의 종 다양성을 높이기 위해서는 경사도를 높이는 것이 가장 중요하다.

핵심용어 : 대상법, 이질성, 자연형 하천, 하천변 식물군락

Abstract

We have researched heterogeneity of naturalized river plant community by β -diversity for restoration of river community which has high diversity plant species. As a result the average of heterogeneity was 0.32(range 0.23~0.37) from the river to the inland. This value shows community turnover of species composition of plant communities 6 times. The β -diversity was no difference among water system of Seomjin river, Han river, Nakdong river and Geum river. The upper-river valley(0.36) was higher than lower-river valley(0.23) in each water system(p level<0.05). Multiple regressing analysis was used for look the relationship with Environmental factors as a result, it shows β -diversity significant on a slope. River mimetic diagram with dominant species that appear through Belt-transect painted. Dominant plant species turned 6 time in upper-river and turned about 5 time in lower-river. The result of this study suggested practical basis of planting species and planting pattern. To improve species diversity of river plant community, slope degree raise is the most important.

Keywords : Belt-transect, Heterogeneity, Naturalized river, River vegetation, River plant community

1. 서론

일반적으로 하천은 ‘크기에 관계없이 구배를 가지고 일정한 물길을 따라 흐르는 수괴’를 의미한다(Lee et al., 1996). 하천은 연속성을 가지며(Vannote et al., 1980; Hauer and Lamberti, 1996), 임지와 같은 다른 서식지와 생태통로를 이끌어내는 필수요소로서 자연적으로 다양한 식물상과 동물상을 부양하고, 특징적인 군집과 기능

을 보유한다. 많은 종들이 다양한 서식지로 이루어진 하천에 의존한다(Van Andel and Aronson, 2006).

하천생태계에서 식물의 분포 유형은 물의 흐름에 의해 토양의 물리적, 화학적 변화에 대한 각 식물종의 전략과 다른 종과의 경쟁에 의하여 결정된다(Hupp and Ostekamp, 1996). 하천변 식생은 수체와 인접한 곳에서 주기적 혹은 영속적인 범람에 영향을 받는 식물군집으로서 수목 뿌리시스템에 의해 토양의 필터역할을 하여

⁺ Corresponding author : youeco21@kongju.ac.kr

수질오염방지와 하안침식방지 및 홍수 시 침투유량 저감 효과가 있다. 또한 그늘을 형성하여 하천수 내의 산소농도를 증가시키고, 수온상승을 방지하여 조류의 번성을 억제하고, 낙엽 및 나무등걸 등에 의한 유기물 총량을 증가시킨다. 그 외에 생물서식처 및 피난처와 산란처, 생태성 및 경관성 향상, 친수적 휴식공간 제공 등의 다양한 기능을 가진다(Kraus, 1994; Iowa State University, 1997).

우리나라의 하천은 조절강(regulated river)이며, 유로 연장이 짧고(Joo et al., 1997) 하천의 하상계수가 높으며(한국 300이상, 금강 299, 섬진강 734; cf. 템스강 8, 세느강 23, 라인강14; Korea water resources corporation, 1999), 자유로운 유로변동 및 자유곡류가 제한 받는 감입곡류되는 특성(Kwon, 1999), 여름철에 비가 많은 강수 패턴에 따른 수량의 변동이 큰 특성(Ann, 1995)을 가지고 있다.

우리나라 하천생태계는 지난 40년간 댐, 보 건설 등으로 인한 수리·수문학적 조절과 제방에 의한 생태통로의 단절로 생물종 다양성의 감소를 가져오고, 하천식생이 갖고 있던 생태적 기능들이 사라지면서 여러 문제들이 발생되고 있다(Heo, 2010). 또한 산업화와 급격한 인구 증가에 따른 오염 물질의 증가와 부영양화로 인하여 수질오염이 가속화되었을 뿐 아니라 하천변에 생성되는 소생물권의 다양성을 파괴시키고 생태계의 단순화를 가져왔다(Joo et al., 1997). 일반식생의 분포양상과 군집구조는 동적 평형 상태에 도달하기까지 천이가 지속되나, 하천식생은 반복되는 홍수에 의하여 식생이 주기적으로 교란되어 극상으로 발전하고 않고 천이 초기와 천이 중간 단계를 반복하는 것으로 보고되고 있다(Korea institute of construction technology, 2002).

하천복원이란 인공적인 또는 기능성이 상실된 하천을 자연에 가깝게 하천 본래의 기능성과 형태를 회복시켜 주는 것을 말한다. 여기에서 본래의 기능성이란 하천 고유의 몇 천 년 또는 몇 백 년 전의 기능을 의미하는 것이 아니라 대상하천이 현재 도달할 수 있는 이상적인 상태를 말한다(Gunkel, 1996). 하천복원은 단시간에 완성되는 것이 아니라 최소 10-15년(Splett, 2000)에 걸쳐 일어나는 하나의 과정으로서 최종적으로 자연적 상태에 도달하고자 하는데 그 목표가 있다(Krause, 2000).

현재 자연형 하천복원 계획 및 설계 실무에서는 하천 설계기준(Ministry of land, transport and maritime affairs (MLTM), 2009), 조절설계기준(MLTM, 2007), 자연친화적 하천관리지침(MLTM, 2002), 하천복원 가이드라인(Ministry of Environment (MOE), 2002) 등이 사용되고 있다. 자연형 하천정비사업의 대부분은 수질개선, 생태계 복원, 홍수예방, 친수 공간 조성 등 획일적인 목표를 병렬적으로 나열하고 있어, 해당 하천에서 가장 시급히 해결해야 할 과제가 무엇인지 파악하기 어렵다. 또한 바람직한 하천의 상태에 견주어 부족하다고 판단되는 결핍요인에 대한 분석이 이루어지지 않아 사업계획의 수

립이 문제해결 위주로 이루어지지 않고 있다(Cho and Yoon, 2009).

자연형 하천복원이 제대로 이루어지기 위해서는 지역의 풍토에 적합한 식생을 조성하여야 하고, 그 특정 사이트에 적합한 식생은 어떤 것인가를 알아야 하는데, 그러기 위해서는 그 지역의 자연 및 인문사회 환경을 알아야 하고, 식물상을 제대로 파악하여야 한다(Kim et al., 2005).

선진 외국의 경우는 이미 많은 연구가 진행되어 환경에 따른 적합한 식물 군락 및 관련 종에 대한 체계가 이루어지고 있다(Kim et al., 2008). 그러나 환경 및 식물 종이 다른 선진 외국의 기준은 우리나라에 적합하지 않고, 우리보다 앞선 연구가 진행된 일본의 기준 또한 우리나라에 적합하다고 할 수 없다.

본 연구에서는 하천복원을 위한 기초자료로 사용하고 자 인간의 간섭에 의한 훼손이 없거나, 적은 자연하천을 군집생태학적 방법으로 조사하여 분석하였다. 이와 같은 연구를 통하여 식물종과 환경요인간의 관계를 이해하고, 자료를 활용하여 복원할 하천의 특성에 맞는 식물군락 및 식물종을 선택하고, 식물이 정착하여 지속가능한 환경을 조성하는데 기여하고자 한다.

2. 연구방법

2.1 조사 위치 및 정보

본 연구는 2009년 6월에서 9월까지 충청북도 단양군 영춘면의 사이곡천(1), 경상북도 영주시 문수면 내성천(2), 경상북도 문경시 마성면의 영강(3), 경상북도 봉화군

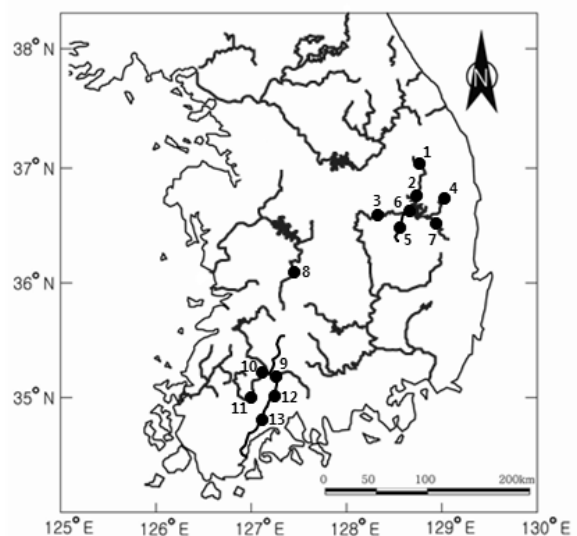


Fig. 1. Location of study sites in Korea(1, Saigok stream; 2, Naeseong stream; 3, Yeong river; 4, 5, 6, 7, Nakdong river; 8, Geum river; 9, 10, Seomjin river; 11, Dongbok stream; 12, 13, Bosung river).

Table 1. Information of study site

Characteristics Study sites	Water system	Altitude	Slope degree	Percentage of vegetation cover	Tree layer height	Airt	Number of appearance species	Stream structure	Stream width	Waterway width	River basin	Latitude and Longitude
Saigok stream(1)	Han river	159.6	13	70.00	12.20	3.6	25	7	10	8	upper river	N37°4'10.00" E128°26'2.00"
Naeseong stream(2)	Nakdong river	122.4	14	67.00	12.20	6	19.6	3	120	50	upper river	N36°42'48.00" E128°37'2.00"
Yeong river(3)	Nakdong river	126.8	12	84.00	15.00	4	24.2	8	50	30	upper river	N36°39'29.30" E128°6'47.00"
Nakdong river(4)	Nakdong river	236.2	12	71.25	14.00	5.6	26.4	7	65	30	down river	N36°52'35.00" E128°58'20.00"
Nakdong river(5)	Nakdong river	64.4	5	73.33	11.33	5.8	19.2	3	170	120	down river	N36°30'57.00" E128°24'23.00"
Nakdong river(6)	Nakdong river	13.4	11	20.00	8.00	4.4	12	3	230	150	down river	N36°32'45.00" E128°29'45.00"
Nakdong river(7)	Nakdong river	85.2	4	60.00	13.00	4.4	19	3	80	55	down river	N36°32'52.00" E128°39'50.00"
Geum river(8)	Geum river	90.6	15.2	78.75	13.75	6.4	21.4	4	120	100	upper river	N36°15'41.50" E127°37'47.60"
Seomjin river(9)	Seomjin river	63.4	4.2	75.00	11.33	4	13.4	7	100	60	middle river	N35°18'1.00" E127°19'42.00"
Seomjin river(10)	Seomjin river	123	5.2	70.67	13.38	2.8	11.4	2	150	100	middle river	N35°20'1.10" E127°13'41.00"
Dongbok stream(11)	Seomjin river	127.8	6	78.75	13.13	4.6	27	2	25	20	upper river	N35°4'30.00" E127°6'21.40"
Bosung river(12)	Seomjin river	57.4	12	69.00	13.60	7.8	27.6	2	55	35	middle river	N35°10'33.70" E127°21'40.40"
Bosung river(13)	Seomjin river	75.8	6	68.00	15.20	2.6	23.6	8	50	20	down river	N34°51'57.00" E127°8'46.10"

Note) Study sites of Table 1 are the same number as Fig. 1.

채선면의 낙동강(4), 경상북도 예천군 지보면의 낙동강(5), 경상북도 안동시 풍천면의 낙동강(6), 경상북도 안동시 서구동의 낙동강(7), 충청북도 옥천군 이원면에 위치한 금강(8), 전라남도 곡성군 고달면의 섬진강(9), 전라남도 곡성군 입면의 섬진강(10), 전라남도 화순군 동북면 연월리의 동북천(11), 전라남도 곡성군 죽곡면의 보성강(12), 전라남도 보성군 울어면의 보성강(13)을 조사 지역으로 정하여 수행하였다(Fig. 1 and Table 1). 총 8개 하천 13개 지점을 조사지로 선정하였고, 조사지 선정 기준은 연구목적에 맞추어 주변에 경작지와 인가가 없고, 제방으로 인한 식생의 단절이 없는 곳으로 인간의 영향이 적다고 판단되는 곳을 선정하였다. 선정 방법은 항공사진을 이용하여 1차적으로 선정한 뒤 현장을 직접 방문하여 조사지를 최종 결정 하였다.

2.2 이질성(β-diversity) 조사

β-diversity는 환경 변화에 따라 종의 다양성을 비교하는 생물 다양성의 척도이다(Magurran, 1988). 본 연구에서는 Belt-transect method를 이용하여 환경에 따라 나타난 식물의 β-diversity를 알아보았다.

1) 대상법(Belt-transect method)

하천에서 산림으로 이동함에 따라 식물종이 어떻게 변하는지 알아보기 위해서 하천으로부터 좌우 양안에 각각 20m까지 1m×1m 방형구 20개를 만들어 방형구 안에 나타나는 식물을 조사하였다. 종의 동정은 Lee(1996)와 Lee(2003) 도감에 따랐으며, 미동정 종은 채집 및 사진을 통하여 실내에서 동정하였다.

2) 이질성(β-diversity) 계산

환경구배에 따른 종조성 변화와 군락 교체 및 종에 의한 생육지 분할정도를 나타내는 척도로 사용한 β-diversity는 방형구의 크기에 영향을 받지 않는 Wilson-Shmida(1984)가 제안한 종의 유무자료로부터 다음과 같이 계산하였다.

$$\beta_t = |g(H) + l(H)| / 2\alpha$$

여기에서 g(H)는 인접 방형구에서 새로 출현한 종수, l(H)는 인접 방형구에서 사라진 종수, α는 방형구에 출현하는 평균종수이다.

2.3 통계분석

1) 다중회귀분석(Multiple regression analysis)

식물군락과 환경요인(AI: Altitude, SI: Slope degree, Pv: Percentage of vegetation cover, TI: Tree layer height, Ai: Airt, Ns: Number of appearance species, Ss: Stream structure, Sw: Stream width, Ww: Waterway width)과의 관계를 알아보기 위해 Statistica 통계패키지(Statsoft Co. 2006)의 다중회귀분석을 사용하였다.

2) ANOVA 분석(One-way ANOVA)

환경요인에 따른 식물군락의 경향성을 밝히기 위하여 Statistica 통계패키지(Statsoft Co. 2006)의 ANOVA 일원 배치 분산분석(One-way Anova)을 실시하였다. 분산분석(analysis of variance ; ANOVA)은 측정항목을 독립변수와 종속변수로 나누고 각 수준에 따라 나누어진 집단 간의 평균차를 검정하여 통계적으로 유의한지를 검정하였다(Park and Yoon, 2008). 통계 차이의 유의성은 일원 배치 분산분석에 의해 평균치의 Fisher 최소유의차 법으로 5% 유의수준에서 검정하였다(Noh and Jeong, 2002).

3. 결과 및 고찰

3.1 거리에 따른 β -diversity

인접한 방형구사이의 β -diversity(β_t)는 평균 0.32이었고, 0.23에서 0.37의 폭으로 변화하였다(Fig. 2). 전체 방형구의 β_t 의 합은 6.11로 이 값은 하천변에서 산림으로 20m 이동함에 따라 식물종 구성이 6번에서 7번 완전히 바뀌는 community turnover를 나타낸다(Shmida and Wilson, 1985). 하천변에서 산림으로 이동함에 따라 β_t 는 1-7m까지는 증가하다가 7-13m까지는 감소하였으며, 13-17m까지는 증가하다가 17-19m까지 감소하는 경향을 나타냈다. β_t 는 7m에서 0.37로 가장 높은 값을 보였으며, 1m에서 0.24로 가장 낮은 값을 보였다. 즉, 1-7m와 13-17m 구간에서는 하천과의 거리가 멀어짐에 따라 식물종이 점점 증가하지만, 7-13m와 17-19m 구간에서는 하천과의 거리가 멀어짐에 따라 식물종이 점점 감소한다는 것을 알 수 있다.

Yoo et al.(1995)의 광릉내 용암산 연구에서 β_t 는 평균 0.25이었고, 0.14에서 0.42의 넓은 폭으로 변화하였다. 이 값은 4개의 방형구마다 군집의 종조성이 완전히 바뀌는 community turnover를 나타내며, 전체 방형구의 β_t 의 합은 9.92로 약 10개의 서로 다른 군집이 존재함을 뜻하였다. 이 결과는 용암산 산림군집이 전체적으로 극상림이지만, 국지적으로 빈번하게 형성되는 숲틈과 같은 교란으로부터 재생이 다른 모자이크의 미소천이(Climax-

microsuccession)가 진행됨을 시사한다. 본 연구의 결과와 비교하여 보았을 때, 조사지소가 하천과 산림이라는 차이가 있기 때문에 β_t 값의 차이가 있었으며, β_t 의 평균이 하천에서 높은 것은 하천 식물종이 더욱 다양하다는 것을 알 수 있으며, β_t 가 산림에서 넓은 폭으로 변하고 합이 더 큰 것은 교란이나 다른 환경요인에 의해 community turnover가 높다는 것을 알 수 있다.

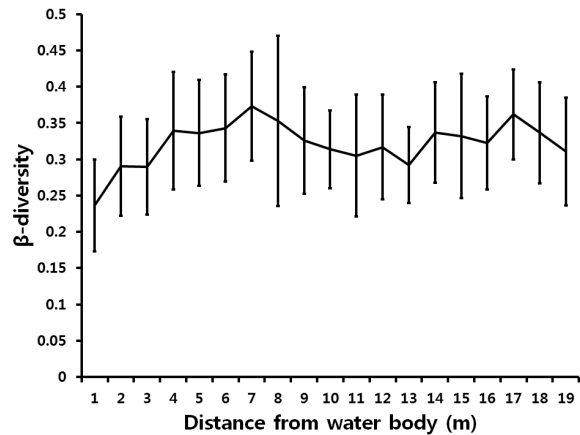


Fig. 2. Changes in β -diversity along the distance from water body. Bars is standard deviation.

3.2 하천 수계와 유역에 따른 β -diversity

Fig. 3은 하천 수계와 하천 유역에 따른 β_t 의 변화를 보여주는 그래프이다. β_t 는 한강수계 0.31, 금강수계 0.31, 낙동강수계 0.38, 섬진강수계 0.39의 순서로 높았지만 통계적으로 차이는 없었다($p < 0.05$). 하천 유역에 따른 β_t 는 상류에서 0.36으로 하류 0.23보다 더 높았다($p < 0.05$). 이는 유역이 작고, 짧은 강에서는 하류보다 상류 하천의 수질과 같은 환경조건이 양호하기 때문으로 판단된다.

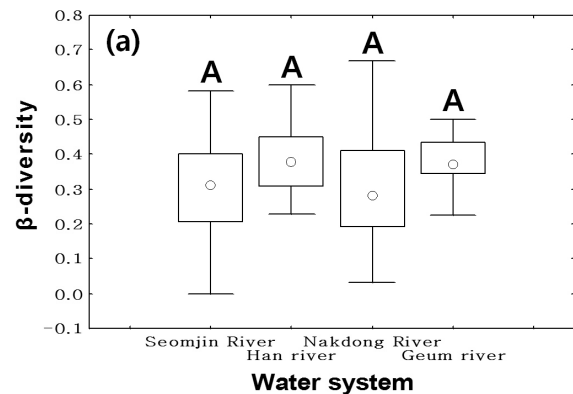


Fig. 3. β -diversity of water system(a) and river basin(b) in study site. Alphabets on the bar mean significantly different at $p < 0.05$ determined by Fisher's test(\circ : median, \square : upper-lower quartile, \lrcorner : maximum-minimum range).

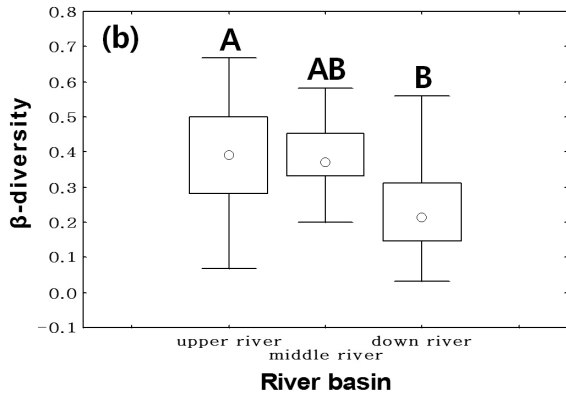


Fig. 3. β -diversity of water system(a) and river basin(b) in study site. Alphabets on the bar mean significantly different at $p < 0.05$ determined by Fisher's test (°: median, □: upper-lower quartile, ▮: maximum-minimum range). (continued)

3.3 다중회귀분석(Multiple regression analysis)

β_t 와 환경요인의 다중회귀분석 결과 β_t 는 경사도에서 유의성(p level <0.05)이 있었다(Table 2). 경사도에 대해 유의한 차이가 나타난 것은 두 가지 이유가 있다고 판

단된다. 첫째, 하천의 식물은 경사도에 따라서 침수 되는 면적이 달라지고, 이에 따라 흙속의 수분 구배가 달라진다. 식물은 각자 최적의 환경조건을 갖춘 서식처에서 생육하는데, 식물의 생존과 생장에 가장 중요한 3대 필수요소 중 하나인 수분의 구배가 달라지는 것은 서식처 환경이 달라 서식하는 식물에 차이가 나타날 수 있음을 뜻한다. 둘째, 경사도는 광의 유입과 긴밀한 연관이 있다. 생물의 서식을 고려한 구조적 패턴에서는 광의 양을 적절히 조절하는 것이 매우 중요하는데, 일련의 연구에 따르면 침엽수가 있는 하천이나, 밀도 높은 관목덩굴 등으로 그들이 있는 하천, 또는 수목이 부재하기 보다는 나무가 있어 그늘진 하천 등이 생물의 서식에 유리한 것으로 나타났다(Kim et al., 2011). 이는 관목이나 덩굴 등에 의한 광 유입량의 차이로 생물서식에 차이가 나타남을 간접적으로 보여주는 예이다. 이처럼 생물의 서식에 중요한 광의 유입은 방위에 따른 사면에 의해 차이가 날 수도 있지만, 경사도에 의해 식물에게 전달되는 광의 양이 달라질 수 있다. 이러한 이유로 β_t 는 여러 환경요인 중 경사도에서 유의성이 나타난 것으로 판단된다.

Table 2. Relationship of β -diversity and main environmental factors using stepwise multiple regression analysis

	Beta	Std.Err. OfBeta	B	Std.Err. OfB	t(2)	p-level
intercept			0.570923	0.159423	3.58118	0.069897
Al	-0.467315	0.184122	-0.000424	0.000167	-2.53807	0.126454
Sl	0.917357	0.186070	0.018103	0.003672	4.93017	0.038765
Pv	-0.618344	0.268427	-0.003090	0.001341	-2.30358	0.147785
Tl	0.719535	0.276101	0.030224	0.011597	2.60606	0.121075
Ai	-0.234102	0.267863	-0.013438	0.015376	-0.87396	0.474300
Ns	-0.629716	0.324460	-0.010096	0.005202	-1.94081	0.191802
Ss	-0.235254	0.249773	-0.007964	0.008455	-0.94187	0.445682
Sw	-0.017967	0.618309	-0.000023	0.000803	-0.02906	0.979457
Ww	-0.786216	0.520569	-0.001451	0.000961	-1.51030	0.270054

Note) Al: Altitude, Sl: Slope degree, Pv: Percentage of vegetation cover, Tl: Tree layer height, Ai: Airt, Ns: Number of appearance species, Ss: Stream structure, Sw: Stream width, Ww: Waterway width

3.4 β -diversity에 따른 하천변의 우점종 모식도

Belt-transect를 통해 나타난 종들과 β_t 값을 통해 상류와 하류 하천변의 우점종 모식도를 그려보면 Fig. 4와 같다.

하천의 상류에서 종조성은 약 6번에서 7번 바뀐다. 0-3m까지는 닭의장풀(*Commelina communis*)과 사위질빵(*Clematis apifolia*), 3-6m까지는 이삭사초(*Carex dimorpholepis*)

와 꼭두서니(*Rubia akane*), 6-9m까지는 생강나무(*Lindera obtusiloba*)와 물봉선(*Impatiens textori*), 9-12m까지는 갈참나무(*Quercus aliena*)와 가막사리(*Bidens tripartita*), 12-15m까지는 상수리나무(*Quercus acutissima*)와 주름조개풀(*Oplismenus undulatifolius*), 15-18m까지는 소나무(*Pinus densiflora*)와 청가시덩굴(*Smilax sieboldii*)이 우점하였다.

하천의 하류에서 종조성은 약 5번 바뀐다. 0-4m까지는 달뿌리풀(*Phragmites japonica*)과 고마리(*Persicaria*

thunbergii), 4-8m까지는 환삼덩굴(*Humulus japonicus*)과 쑥(*Artemisia princeps* var. *orientalis*), 8-12m까지는 키버들(*Salix purpurea* var. *japonica*)과 며느리배꼽(*Persicaria perfoliata*), 12-16m까지는 버드나무(*Salix koreensis*)와 소리쟁이(*Rumex crispus*), 16-20m까지는 애기똥풀(*Chelidonium majus* var. *asiaticum*)과 신나무(*Acer ginnala*)가 우점하였다.

Kim et al.(2010)의 물로부터 거리에 따른 식물종의 분포를 살펴본 연구에서 하천과 거리가 가까운 곳에서

달뿌리풀(*Commelina communis*), 물봉선(*Impatiens textori*), 쑥(*Artemisia princeps* var. *orientalis*), 이삭사초(*Carex dimorpholepis*)가 나타나고, 하천과 먼 곳에 소나무(*Pinus densiflora*)가 나타나는 것은 본 논문의 결과와 같았으나. 하천과의 거리가 먼 곳에 생강나무(*Lindera obtusiloba*)가 나타나고, 물과의 거리에 상관없이 또는 하천과의 거리가 보통인 곳에서 애기똥풀(*Chelidonium majus* var. *asiaticum*)과 사위질빵(*Clematis apifolia*)이 나타나는 것은 본 논문의 결과와 달랐다.

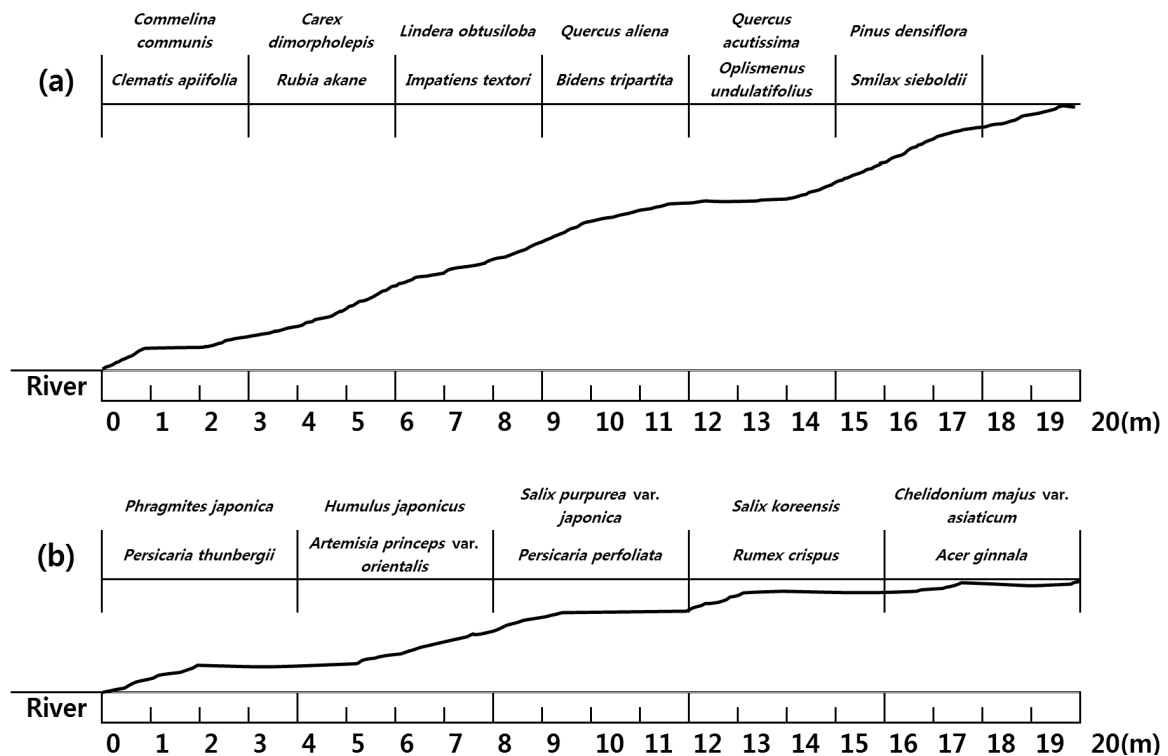


Fig. 4. Cross-section diagram of upper-river(a) and lower-river(b) using β -diversity values and dominant plant species surveyed by belt-transect method.

3.5 연구결과의 활용 방안

국내에서 2000년대 이후부터 자연형 혹은 생태하천의 개념이 도입되어 수생태계의 기능을 회복하기 위한 노력이 시작되었으나(Ann et al., 2000), 현재 도시하천은 주변 토지이용밀도가 높고, 하천 폭이 협소하며, 치수안정성 확보를 중요시하여 제방내부의 인공적 구조를 반영하고 유지하는 수준의 식생복원이 요구되어(Bae, 2008) 인공적인 요소가 상당히 가미된 형태로 자연형 이라기보다는(MOE, 2007) 친수기능이 강조된 공원하천 성격이 강하게 나타난다(Jeon et al., 2007). 그러나 하천의 환경 기능 중에서 가장 기본적인 것은 생태서식처 기능이며(MOE, 2002), 하천생태계에서 식생은 하천의 형태와 함께 생물 서식환경의 기반이 된다. 그러므로 하천복원은 하천생태계에서 가장 근본적인 역

할을 담당하고 있는 하천식생에 초점을 맞추어 하천의 특수한 환경조건에 적합한 식생을 복원하기 위해 노력해야 한다.

하천복원을 시행하는데 인간을 제외한 환경의 보전 및 복원은 있을 수 없다. 따라서 하천을 복원할 때 최대한 자연적인 상태로 복원하면서 인간과 공존할 수 있는 공간을 만들어주는 것이 필요하다. 하천 제방은 이러한 공간으로 활용하기에 적합하다. 반면, 현재의 제방은 대부분 제초관리가 행해지고 있고, 목본식물보다는 초본식물이 우점하고 있어 햇볕에 노출되어 있다. 이러한 제방에 목본식물군락이 형성되면 자연적으로 그들이 생겨 산책로와 자전거도로 등으로 활용하기에 적합하며, 목본식물군락이나 초본식물군락과 같은 단순한 패턴보다 목본과 초본이 어우러진 복잡한 패턴으로 갈수록 생물종 다양성이 높아지고, 보다 많은 생태적

역할을 수행할 수 있다. 하천의 고수부지나 제방에 나무를 심는 것은 생태적인 완충기능을 높이고, 경제적으로도 다른 건설공법에 비하여 매우 유리한 방법으로 평가되고 있다(Large et al., 1994; Shields et al., 1995).

최근의 생태하천 조성사업은 공사 후에 외래종 및 교란종의 침입 및 잡식으로 의도되지 않은 식생군락이 발생하는 경우가 많은데 이는 식재기반과 하천식생에 대한 연구가 부족하고, 식물종과 식재 밀도에 대한 방향성이 확립되어 있지 않기 때문이다(Park, 2011).

하천복원에 대한 기존의 연구에서는 식물종과 식재 밀도, 목표군락 등의 정보를 제시하고, 생태계 안정성(Stability)과 생산성(Productivity)을 설명하기 위해 다양도(Diversity index)와 우점도(Dominance value), 풍부도(Richness)를 알아보고 생물다양성(Biodiversity)의 중요성을 언급하여 목표와 방향에 맞는 복원을 유도하는데 초점이 맞추어져 있었다. 생물다양성에 초점이 맞추어진 연구는 간단히 말하면 ‘하천복원 시 식물의 다양성이 높게 많은 식물을 식재하면 좋다’라는 결과를 가져올 수 있다.

본 연구는 하천과의 거리, 하천유역 및 하천수계에 따른 β를 구하여, 다중회귀분석을 통해 식물의 분포에 영향을 미치는 환경요인에 대해 알아보아 기존의 연구와는 다른 이질성(Heterogeneous)이라는 초점으로 식물의 분포 패턴을 연구하였다. 이는 무작위 적으로 생물 다양성을 높이기보다, 환경구배에 따른 군락의 종 조성 변화를 파악하고, 목본식물과 초본식물의 조합과 배열을 적용함으로써 하천복원 시 적합한 군락을 제시할 수 있다. 이를 통해 하천복원을 위한 효율적인 식재 수종을 제안하고, 하천으로부터의 거리에 따른 식생 출현 특성과 그 동반종을 고려하여 하천의 생태계 기능을 최대화 할 수 있는 적절한 식생복원 모델을 성립하는데 식재 패턴의 기초로 이용할 수 있으며, 복원 시 종 다양성을 높이기 위해서 경사도를 높이는 방안에 대해 고려해야 함을 알 수 있다.

감사의 글

본 연구는 환경부의 2010-2013 장기생태연구사업에 의하여 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

References

Ann, GY and Lee, EH (2000). A study on the plan of plant state for improvement of stream-ecosystem-in case of chungrang stream, *Journal of Korean Environmental Restoration & Revegetation Technology*, 3(2), pp. 35-46. [Korean Literature]

Ann, SH (1995). *River of South Korea*, Minumsa, pp. 36-62. [Korean Literature]

Bae, JH, Lee, KJ and Han, BH (2008). Research on characteristics of vegetation subsequent to crossing structure of the urban streams, *Korean Journal of Environment and Ecology*, 22(3), pp. 268-279. [Korean Literature]

Cho, HJ and Yoon, JC (2009). Research on the method used to select an adequate rehabilitation plan for natural river based on the river's degree of naturalness, *Journal of Wetlands Research*, 11(3), pp. 71-80. [Korean Literature]

Gunkel, G (1996). *Renaturierung Kleiner Fließgewässer*, Gustav Fischer Verlag Jena, Stuttgart.

Hauer, FR and Lamberti, GA (1996). *Methods in Stream Ecology*, Academic Press, pp. 579-589.

Heo, EB (2010). *Studies on the Woody Vegetation in the edge of Natural River for Ecological Restoration in Korea*, Master's Thesis, Kongju University. [Korean Literature]

Hupp, CR and Osterkamp, WR (1996). Riparian vegetation and fluvial geomorphic processes, *Geomorphology*, Vol. 14, pp. 277-295.

Iowa State University (1997). *Stewards of our Streams: Buffer Strips Design, Establishment and Maintenance*, Leopold Center.

Jeon, YH, Kim, JK and Kim, CG (2007). Future prospects of aquatic ecosystem restoration project in korea, *Journal of Environmental Research*, 4, pp. 27-34. [Korean Literature]

Joo, GJ, Kim, HW and Ha, K (1997). The development of stream ecology and current status in korea, *The Korean Journal of Ecology*, 20(1), pp. 69-78. [Korean Literature]

Kim, HJ, Shin, BK, You, YH and Kim, CH (2008). A study on the vegetation of the present-day potential natural state of water for flood plain restoration in south korea, *Korean Journal of Environment and Ecology*, 22(5), pp. 564-594. [Korean Literature]

Kim, HJ, Shin, BK and You, YH (2011). A study on the planning of riparian forest in flood plain, korea, *Korean Journal of Environment and Ecology*, 25(2), pp. 189-210. [Korean Literature]

Kim, JH, Koh, SD, Lee, HS, Oh, KH, Ihm, BS, Cho, KJ, Cho, DS, Min, BM, Seo, GH, Lee, JS, Jeong, YS, Lee, CS, Cho, KH, Ryu, TC, Lee, KS, You, YH and Kim, JY (2005). *Modern-Ecology Experimental*, Kyomunsa, pp. 29-31. [Korean Literature]

- Korea Institute of Construction Technology (KICT) (2002). *River Restoration Guideline*, Ministry of Environment, pp. 255. [Korean Literature]
- Korea Water Resources Corporation (KWRC) (1999). *Water Resources Information of new Millennium*, Korea Water Resources Corporation, pp. 1-28. [Korean Literature]
- Kraus, W (1994). *Uferstreifen-Unverzichtbare Bestandteile von Tallandschaften*. In: *Zeitschrift Fuer Kulturtechnik und Land-Entwicklung*, Literaturangaben, 35(3), pp. 130-139.
- Krause, A (2000). *Über Motive für die ökologische Verbesserung von Wasserläufen*, Angewandte Landschaftsoekologie, pp. 9-11.
- Kwon, HJ (1999). *Geomorphology*, Bobmunsa, pp. 90-94. [Korean Literature]
- Large, ARG, Prach, K, Bickerton, MA and Wade, PM (1994). *Alteration of Patch Boundaries on the Floodplain of the Regulated River Trent*, UK. *Regulated Rivers: Research and Management*, 9(1), pp. 71-78.
- Lee, CB (2003). *Coloured Flora of Korea*, Hyangmunsa. [Korean Literature]
- Lee, HH, Han, Y, Kim, DI, Jeong, SJ and Kim, YS (1996). *Geoenvironmental System I: Topography-Meteorological Phenomena*, Kyohaksa. [Korean Literature]
- Lee, KS and Cho, DS (1999). Spatial distribution of herbal vegetation along microtopographic formed by disturbance in a temperate deciduous hardwood forest, *Journal of Ecology and Field Biology*, 22(4), pp. 211-217. [Korean Literature]
- Lee, WC (1996). *Coloured Standard Illustrations of Korean Plants*, Academybook. [Korean Literature]
- Magurran, AE (1988). *Ecological Diversity and Its Measurement*, Princeton University, New Jersey.
- Ministry of Environment (MOE). (2002). *Stream Restoration Guideline*, Seoul City. [Korean Literature]
- Ministry of Environment (MOE). (2007). *Ministry of Environment Report*, Seoul City. [Korean Literature]
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (MLTM) (2002). *Nature-Friendly River Management Guideline*, Ministry of Construction & Transportation. [Korean Literature]
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (MLTM) (2007). *Landscape Design Standard*, The Korean Institute of Landscape Architecture. [Korean Literature]
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (MLTM) (2009). *River Design Standard*, Korea Water Resources Corporation. [Korean Literature]
- Noh, HJ and Jeong, HY (2002). *Understanding of Statistical Analysis by STATISTICA*, Hyungseul Publishing, p. 535-544. [Korean Literature]
- Park, BK (2011). *A Study on the Vegetation Restoration Model Depending on the Planting Foundation of Low-Water Revetment in Ecological River*, Doctoral Dissertation, Dankook University, pp. 1-4. [Korean Literature]
- Park, JS and Yoon, YS (2008). *Modern-Statistics*, Dasanbooks, p. 526. [Korean Literature]
- Shields, FD, Bowie, AJ and Cooper, CM (1995). Control of streambank erosion due to bed degradation with vegetation and structure, *Water Resource Bulletin*, 31(3), pp. 75-488.
- Splett, G (2000). *Einfluss von Strukturverbesserungen auf Selbstreinigungskraft und Gütezustand von Fließgewässern - Eine Übersicht*, WASSERWIRTSCHAFT, 90(7-8), pp. 380-383.
- Vannote, RL, Minshall, GW, Cummins, KW, Sedell, JR and Cushing, CE (1980). The River Continuum Concept, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 37(1), pp. 130-137.
- Van Andel, J and Aronson, J (2006). *Restoration Ecology*, Blackwell Publishing, pp. 141-157.
- Wilson, MV and Shmida, A (1984). Measuring beta diversity with presence-absence data, *Journal of Ecology*, 72(3), pp. 1056-1061.
- Wilson, MV and Shmida, A (1985). Biological determination of species diversity, *Journal of Biogeography*, 12(1), pp. 3-12.
- Yoo, YH, Gi., KJ, Han, DY, Kwak, YS and Kim, JH (1995). Succession and heterogeneity of plant community in Mt. yongam, kwangnung experimental forest, *The Korean Journal of Ecology*, 18(1), pp. 89-97. [Korean Literature]

- 논문접수일 : 2013년 05월 16일
- 심사회의일 : 2013년 05월 29일
- 심사완료일 : 2013년 06월 24일