

하천호안의 생태적 복원을 위한 식물선정모델 개발

- 한강 수계를 중심으로 -

이광우 · 심우경

고려대학교 조경학연구실

I. 연구의 배경 및 목적

하천이라고 하는 것은 바다와 함께 물을 말하는 대표적인 것이며 그 물은 인류를 포함한 모든 생명의 근원이라 할 수 있다. 이러한 하천이 산업화 도시화되면서 인간의 편협한 자의적인 판단인 홍수방지, 수력발전, 산업용수공급 등을 목적으로 자연의 수문학적 순환을 간섭하기에 이르렀다. 재산과 농토를 보호하자면 하천은 직선화 하여야하며 제방(堤防)을 쌓아야만 한다는 생각에 집착하여 접근한 결과 충적지(沖積地)의 자연스러운 물 순환을 손상시키는 결과를 가져오며, 인공적인 새로운 배수체계를 건설할 수밖에 없게 되었다(원병오, 1986). 우리나라의 하천도 예외가 아니어서 한강의 경우 서울의 규모가 커지고 산림의 황폐화로 인하여 한강으로 유입되는 수량이 증가하게 되고 도시의 불투수(不透水)층 증가로 인한 우수가 바로 하천으로 흘러 들어가는 등의 여러 요인들로 인하여 하천은 범람하게 되고 그 원인으로 인하여 하천의 정책은 신속한 홍수 배제에 초점이 맞추어져 다른 분야는 생각할 겨를이 없었다. 그러한 기형적인 개발과 발전이 지속되어 가는 과정에서 많은 문제점들이 도출되고 세계적인 경향이 자연과 환경을 중요시하고 자연과 더불어 살아가는 것이 이상적인 삶의 방향이라는 것을 깨닫게 되면서부터 생태적 보고라 할 수 있는 하천에 대한 기본적인 생각도 전환점을 맞이하게 되었다.

이러한 시점에서 외국의 선진기법을 도입하는 것도 바람직한 방법이지만 선진기법을 바탕으로 우리의 실정에 맞는 공법의 개발과 하천 식생의 조사, 하천 식생의 특징, 환경인자와 하천 식생과의 관계 등 기초적인 연구가 필요한 시점에 와있다.

이러한 필요성을 절감하는 현실에서 우리만이 가지고 있는 하천 환경을 이해하고 그 곳에 적응하고 살아가는 우리만의 식생을 파악하여 자연형 하천에서 가장 중요한 식생과 그 식생이 살아가는 환경인자와의 연관성을

하천공학적인 접근을 통해 밝히고, 그 연관성을 바탕으로 자연환경과 식생 간의 기준(L-index)을 만들어 식물종의 현장 도입시 그 식물종이 주어진 환경에 적합 또는 부적합 여부를 객관화시키 앞으로 이루어지는 자연형 하천공사의 참고자료로 활용됨을 목적으로 한다.

여기에 사용되는 L지수(L-index)라는 용어는 본 논문에서 새로이 만들어낸 용어로서 자연형하천 공사에 식물을 적용함에 있어서 적용하려고 하는 식물이 그 환경에 적합한지를 공식에 대입하여 각 식물이 주어진 L지수 범위 내에 있으면 그 식물은 주어진 환경에 적용할 가능성이 높다고 말할 수 있다. 'L'이라는 문자는 이광우(Lee Kwang Woo)의 영문 첫자를 붙여 사용한 것임을 밝혀 둔다.

II. 연구범위 및 방법

하천정비의 기본이 되는 하천정비기본계획 수립 시에는 기초조사를 수행하여 이를 계획에 반영하여야 하는데, 동·식물의 분포상태, 생태계의 구조 등과 같은 자연 생태계에 대한 조사는 거의 이루어지지 않고 있으며, 조사방법 또한 확립되어 있지 않은(이두한, 1997b) 현실에서 본 연구는 그러한 현실에 조금이나마 보탬이 되고자 1999년에 사전 답사를 통하여 대상지를 선정하고 2000년 4월부터 본 조사를 10월까지 각 지점별로 봄, 여름, 가을로 나누어 3회 57개 대상지를 대상으로 조사를 진행하였다. 조사항목으로는 현장에서 실시할 수 있는 식생조사는 출현종수, 식생분포구역, 분포밀도 등을 조사하였으며, 토양조사는 무기물분석, 용적밀도, 토성 등을 조사했으며, 지형분석으로 중·횡단경사, 입도, 하안폭 등을 조사하였다(표 1 참조). 57개 조사지점의 좌우를 별개의 지역으로 보고 조사하였기에 총 조사지점은 114개 지점이 된다.

이렇게 조사분석된 자료를 가지고 L지수(L-index)를 도출하기 위하여 이용한 방법은 114개 지점을 조사

표 1. 조사항목

	조사항목	약어	조사내용
식생조사	출현종수		57개 지점의 좌우를 독립적으로 조사
	식생분포구역	Z	저수호안(Z1), 고수부지(Z2), 고수호안(Z3) 등으로 구분
		D	식물의 분포밀도
토양조사	분포밀도	BD	용적밀도
	용적밀도	ST	100 μ m 이하의 토양입자(ST1), 100-250 μ m 사이의 토양입자(ST2), 250 μ m 이상의 토양입자(ST3)로 구분
	토성		P, Na, K, Ca, MG, T-N 등
지형조사	무기물분석	LV	하천의 종단미지형
	종단미지형	LS	하천의 종단경사
	종단경사	GS	하상토양의 입도
	입도	BG	최대입자의 크기
	최대입자	CS	하천의 횡단경사
	횡단경사	RW	조사지점의 하안폭
	하안폭		

한 결과 10개 지점이상의 곳에서 출현한 식물을 대상으로 식물의 밀도를 종속변수로 두고 조사분석한 환경인자들을 독립변수로하여 SAS 8.1을 이용하여 밀도와 유의성이 90%이상인 인자들만 찾아내고 그 환경인자들이 나타내는 회귀식을 이용하여 각 식물의 L지수(L-index)를 도출하였다.

각 변수들 중 종단미지형(LV)의 값과 횡단구역(Z)의 값은 연속형 변수가 아닌 명목형 변수이므로 각 값이 하나의 변수를 나타내는 형태로 몇 개의 가변수로 표현한다. 예를 들어 Z=1, 2, 3 같은 경우 2개의 가변수로 표현하였다. 그리고 연속형 변수 값들에 대해서는 측정값의 단위가 각각 다르므로 측정값을 평균0, 분산1로 표준화시켜 사용하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 식생조사

식물종들을 현장에서 조사기록한 내용은 침수식물, 부엽식물, 정수식물 등을 포함한 초본류(草本類)와 목본류(木本類)의 교목(喬木), 관목(灌木) 그리고 만경목(蔓草木) 등을 모두 포함시켜 조사하였지만 결과를 도출할 때는 침수식물, 부엽식물, 부엽식물 및 목본류의 교목성(喬木性) 식물은 조사의 한계와 본 연구와의 연관관계가 미흡하다고 사료되어 대상에서 제외시켰으며, 본 연구에 적용된 식물은 정수식물, 습지식물 등의 초

본류와 목본으로는 관목과 만경목 만을 분석대상에 포함시켰다.

조사 대상지인 평창강, 북하천 그리고 경안천의 개략적인 식물상을 살펴보면, 조사식물종이 평창강 51과 202종, 북하천 33과 142종 그리고 경안천 42과 175종으로 하천 길이가 가장 긴 평창강이 출현식물 종수가 가장 많이 나타났으며, 출현 식물을 종합적으로 살펴보면 284종의 식생이 3개 하천에 분포하고 있는 것으로 조사되었다(표 2 참조).

성상(性狀)별 출현종을 살펴보면 관목 및 만경류가 44종, 일·이년생 초본류가 102종, 다년생 초본류가 137종으로 다년생 초본류가 풍부하게 존재하며 목본류도 많은 분포를 나타내는 것으로 조사되었다(표 2 참조).

표 2. 식물종 조사현황

	하천별 출현종수			성상별 출현종수		
	평창강 202종	북하천 142종	경안천 175종	관목 및 만경목 44종	일·이년생 초본 102종	다년생 초본 137종
종합	284종			284종		

3개 하천에 나타난 284종의 식물을 과 별로 나누어 보면 총 57과로 분류되어 있는데, 그중 가장 많은 종들을 포함하는 과는 국화과로서 43종이 포함되어 있으며, 다음은 벼과로 38종의 식물이 포함되어 있다. 그 다음은 콩과, 마디풀과, 사초과, 꿀풀과 순으로 출현 종수가 많이 나타나는 것을 볼 수 있다(표 3 참조).

표 3. 과별 식물 현황

과 명	출현종수	과 명	출현종수	과 명	출현종수
국화과	43	콩과	19	미나리아재비과	10
벼과	38	꿀풀과	15	십자화과	8
마디풀과	19	장미과	13	산형과	8
사초과	19	백합과	11	기타	81

2. 환경인자

토양분석은 토양무기물 및 물리성으로 나누어 분석을 실시하였는데, 상류에서부터 하류로의 차이는 각 하천마다 다소 차이를 보이고 있고 그 결과는 표 4와 표 5에서 볼 수 있으며 특기 할 사항은 pH에서보면 북하천이 다른하천보다 산성을 보이는 것으로 나타났다.

지형특성이라 함은 대별하여 종단특성과 횡단특성으로 나눌 수 있는데, 종단특성이라하면 유속에 영향을 절대적으로 영향을 미친다고 할 수 있는 종단경사, 종단경사에 의해 유속이 결정되어 진다고 보면 유속의 세

표 4. 토양 무기물 분석

하천명	지역	P (mg/kg)	AP (mg/kg)	K (mg/kg)	Ca (mg/kg)	Mg (mg/kg)	Na (mg/kg)	T-N (%)	EC ds/cm	pH
평창강	평균	1797	41.15	1.44	265	7121	1185	0.03	0.10	6.98
북하천	평균	1644	37.65	1.51	326	5285	992	0.06	0.12	5.18
경안천	평균	2138	48.97	1.84	406	7206	1250	0.08	0.15	6.61

기를 가지적으로 확인할 수 있는 요소가 상류로부터 유속에 의해 굴러 내려오다가 유속이 감소함으로써 가라앉은 최대입자, 그리고 식물이 자랄 수 있는 기반이 되는 토양의 특성을 알아보기 위한 입도, 자연상태의 하천은 사행천이기 때문에 같은 조사지점이라 할지라도 좌우의 특성이 다르다고 할 수 있는데 이를 대표할 수 있는 종단미지형 등으로 나누어 설명할 수 있다.

횡단특성에는 평상수위 지점에서 고수부지 상단까지 직선상으로 연결하여 측정된 횡단경사, 식생이 분포하고 있는 저수호안, 고수부지, 고수호안의 폭을 측정된 하안폭 등으로 나누어 분석하였는데 그 결과는 표 6과 같다.

표 5. 토양 물리성 분석

하천명	지역	BD (g/cm)	ST1 (100 μ m이하)	ST2 (100-250 μ m)	ST3 (250 μ m이상)
평창강	평균	1.04	782	2451	6768
북하천	평균	1.01	1160	2150	6690
경안천	평균	1.04	1267	2196	6537

3. 통계분석 및 L지수(L-index) 산출

위의 조사항목을 이용하여 L지수를 구하기 위하여 통계분석을 실시하였는데 표 2에서 나타난 284종에 대해 모두 통계처리를 하지 않고 연구방법에서 언급했던

표 6. 하천별 지형특성

지형특성	구분	평창강	북하천	경안천
종단미지형 (LV)	LV1(직류부)	12	8	10
	LV2(직류수총부)	11	6	5
	LV3(직류사주부)	11	6	5
	LV4(곡류수총부)	12	4	4
	LV5(곡류사주부)	12	4	4
종단경사 (LS)	0.09% 이하	5	4	5
	0.1 - 0.99%	17	9	8
	1% 이상	7	1	1
입도 (GS)	9.99% 이하	7	11	4
	10 - 19.99%	6	3	2
	20 - 29.99%	8	0	7
	30%이상	8	0	1

10개 지점 이상에서 출현한 77개 종만을 가지고 분석 대상에 포함시켜 식물의 밀도를 종속변수로 놓고 조사 분석한 환경인자들을 독립변수로 보고 다중회귀 분석에 의하여 유의성을 검증하였는데 이때 유의수준 90% 이상 되는 변수들만을 선별하여 그 인자와 밀도와의 관계를 살펴보았다. 2항의 환경인자 분석에서 언급한 토양 무기물 등 20개 항목을 독립변수로 놓고 다중회귀 분석을 1차적으로 실시하여본 결과 토양무기물, EC 그리고 토양pH 등은 유의성이 낮은 수준에서 나타났기 때문에 본 통계처리시에는 제외시키고 식생분포지역(Z), 입도(GS), 최대입자(BG), 종단미지형(LV), 종단경사(LS), 횡단경사(CS), 하안폭(RW), 용적밀도(BD), 세사(細沙, ST1) 그리고 모래(ST3) 등이 10개 항목에 대해서만 통계처리 하였다. 표 7은 각 조사지점별 조사분석 자료의 일부이며 이 데이터를 바탕으로 통계 처리 되었음을 밝혀 둔다.

분석 방법은 SAS(SAS 8.1)를 이용하여 다중회귀 분석을 실시하였으며, 식생분포구역(Z)과 종단미지형(LV) 등은 서열형 변수가 아니고 명목형 변수이므로 해당되면 '1', 해당되지 않으면 '0'을 대입하여 L지수(L-index), 값을 얻을 수 있다.

L지수(L-index)를 구하는 공식은 아래와 같다.

$$L = i + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + \dots + a_nx_n$$

위 식에서 i값은 절편값(intercept)을 말하며, a값은 각 유의성 인자들의 모수추정값(parameter estimate)을 나타내고 x값은 유의성 인자들의 조사분석값의 표준화 값이다.

지형특성	구분	평창강	북하천	경안천
최대입자 (BG)	0.9kg 이하	0	8	3
	1 - 9.99kg	0	2	4
	10 - 99.99kg	15	3	7
횡단경사 (CS)	100kg 이상	14	1	0
	10 이하	20	11	15
	11 - 20	14	8	8
하안폭 (RW)	21 - 30	13	9	3
	31 이상	11	0	2
	10m 이하	32	15	9
	11 - 20m	7	2	5
	21 - 30m	6	5	7
	30m 이상	2	0	2

표준화값을 구하는 식은 아래와 같다.

$$\text{표준화값} = \frac{\text{관측치} - \text{평균값}}{\text{표준편차}}$$

위의 표준화 값을 구하기 위해서는 각 환경인자들의 평균값 및 표준편차 값을 알아야 되는데 그 값은 표 8을 참고하면 된다.

이렇게 구한 77종의 식물에 대한 L지수(L-index)를 구하는 공식과 범위는 표 9에서 볼 수 있다.

본 연구에서 가장 우려되는 부분이 복잡 미묘한 환경인자들에 대한 해석을 통계분석을 통해 유의성이 있다고 해서 그 사실을 전적으로 받아들여야 할지는 어느 누구도 장담할 수 없겠지만 그렇다고 그러한 방법으로 진행되어진 연구가 틀리다고도 말할 수도 없을 것이다.

표 8. 환경인자별 평균값 및 표준편차

환경인자	GS	BG	LS	CS	RW	BD	ST1	ST3
평균값	1698	9218316	000684	1597	2394	1063	992	6675
표준편차	1461	13980328	001236	1010	2967	0224	616	1614

생물이라고 하는 것은 주어진 환경을 극복할 수 있는 적응력(適應力, suitability)을 가지고 있기 때문에 환경조건이 최적의 조건이 아닐지라도 살아갈 수 있는 능력을 가지고 있기 때문에 결과에서 주어진 지표(指標) 값이 절대적이라 할 수는 없을 것이다. 그러나 누군가 이러한 연구를 시작하고 발전시키지 않으면 그 분야의 발전은 없을 것이라는 생각으로 하천공학적 접근을 통하여 식물이 살아가기에 적합한 환경인지 아닌지를 공식(L-index)을 도출하여 검증해 보고자 하였다.

참고문헌

1. 건설부(1991) 한국의 하천. 건설부.
2. 김갑수, 박재철(1998) 한강생태계의 현황 및 보전방향. 서울시정포럼 6(4): 32-46.
3. 김준민, 김철수, 박봉규 역(1987) 식생조사법 -식물사회학적 연구법-. 서울: 일신사. pp. 7-28.
4. 김혜주(1997) 자연형 호안공법의 원리와 적용상의 문제 -양재천 학여울 구간을 예를 들어-. 한국수자원학회지 30(4): 56-67.

표 9. 식물종별 L지수 산출공식 및 적정범위

가락지나물	유의성인자	Z1	Z2	GS	LV1	CS	ST1	절편값 3.02 L지수 범위 0 - 3
	모수추정값	-3.05	-2.89	0.06	0.13	-0.08	-0.07	
L=3.02+(-3.05Z1)+(-2.89Z2)+(0.06GS)+90.13LV1+(-0.08CS)+(-0.07ST1)								
갈대	유의성인자	RW		BD	ST1	ST3	절편값 1.08 L지수 범위 1 - 6	
	모수추정값	1.00		-0.52	2.11	1.24		
L=1.08+(1.00RW)+(-0.52BD)+(2.11ST1)+(1.24ST3)								
갈퀴나물	유의성인자	Z1	Z2	GS		절편값 2.23 L지수 범위 2 - 2.5		
	모수추정값	-2.23	-2.17	-0.06				
L=2.23+(-2.23Z1)+(-2.17Z2)+(-0.06GS)								
갈퀴덩굴	유의성인자	Z1	Z2	GS	CS	RW	절편값 1.54 L지수 범위 1.4 - 1.8	
	모수추정값	-1.54	-1.53	-0.02	0.02	0.05		
L=1.54+(-1.54Z1)+(-1.53Z2)+(-0.02GS)+(0.02CS)+(0.05RW)								
강아지풀	유의성인자	Z1	Z2	BG		절편값 2.61 L지수 범위 2 - 3		
	모수추정값	-2.62	-2.40	-0.11				
L=2.61+(-2.62Z1)+(-2.40Z2)+(-0.11BG)								
계기장	유의성인자	Z1	Z2	ST1	ST3	절편값 2.71 L지수 범위 0 - 3		
	모수추정값	-2.71	2.46	0.17	0.10			
L=2.71+(-2.62Z1)+(-2.40Z2)+(-0.11BG)								
개망초	유의성인자	Z1	Z2	ST1	ST3	절편값 1.60 L지수 범위 1.4 - 1.8		
	모수추정값	-1.60	1.58	0.08	0.07			
L=1.60+(-1.60Z1)+(-1.58Z2)+(-0.08ST1)+(0.10ST3)								
개여뀌	유의성인자	Z1	Z2	BG	CS	ST1	절편값 1.87 L지수 범위 0.5 - 2.0	
	모수추정값	-1.77	-1.12	-0.13	-0.16	0.28		
L=1.87+(-1.77Z1)+(-1.12Z2)+(-0.13BG)+(-0.16CS)+(-0.28ST1)								

5. 심우경, 안봉원, 송태갑, 김은일, 최용순 역(1998) 생태환경 계획·설계론 -자연환경복원기술 -. 서울: 누리에. pp. 98-105.
6. 안영희 역(2000) 녹지생태학. 서울: 태림문화사. pp. 97-105.
7. 원병오(1986) 한강 생태계의 변화와 앞으로의 이용관리 -철새를 중심으로-. 자연보존 56: 12-17.
8. 윤용남(1984) 수문학 -기초와 응용-. 서울: 청문각. pp. 141-176
9. 이광우(1993) 인공호수 경계부의 녹화를 위한 식생조사 연구 - 의암호와 팔당호를 중심으로 -. 고려대학교 자연자원 대학원 석사학위논문.
10. 이기철, 김동필 역(1992) 최첨단의 녹화기술. 서울: 명보문화사. pp. 11-17.
11. 이두한(1997b) 자연형 저수로 호안의 적용 및 문제점. 건설 기술정보162: 15-23.
12. 전승훈, 현진이, 최정권(1999) 하천 미지형 및 하상저질에 따른 갯버들과 달뿌리풀 군락의 분포특성에 관한 연구. 한국조경학회지 27(2): 58-68.
13. Cooke, G. D. and Robert E. Carlson(1989) Reservoir Management for Water Quality and THM Precursor Control. AWWA Research Foundation. pp. 257-272.
14. Coppin, N. J.(1990) Use of Vegetation in Civil Engineering. UK: Cambridge. pp. 1-12, 199-218.
15. Haslam, S. M.(1981) River vegetation : its identification, assessment and management. London: Cambridge University Press. pp. 1-21.
16. Mitsch, W. J.(1989) Ecological Engineering. John Wiley & Sons, Inc. pp. 129-132.
17. Rene, D.(1998) Stream Corridor Restoration -Principles, Practices, and Processes-. pp. 24-42.
18. Thompson, G. F.(1997) Ecological Design and Planning. Kansas: John Wiley & Sons, Inc. pp. 81-85.
19. 龜山章, 三澤彰, 近藤三雄, 興水肇(1989) 最先端の緑化技術. 東京: Soft Science, INC. pp. 188-196.
19. 福留脩文 and Christian Goldi(1994) 近自然河川工法の研究. 東京: 信山社. pp. 6-17.
20. 建設省 土木研究所 環境部 緑化生態研究室(1995) 水邊自然植生創出のための工法開発調査. 東京: (財)日本造園修景協會. pp. 35-38.
21. 中村俊彦 編(1994) 都市につくる自然. 東京: 信山社. pp. 11-16.