

하천 복원을 위한 하안식생의 구조와 기능에 대한 이해

조강현 (인하대학교 이과대학 생물·해양학부 교수)

1. 서론

하안식생(riparian vegetation)은 하천에서 수체와 인접한 곳에서 주기적 혹은 연속적인 범람에 영향을 받는 식물군집으로서 육상생태계와 수중생태계의 전이대에 위치한다. 하안식생은 생육기의 일정 기간 동안 지하수에 의하여 토양이 포화되거나 얇은 물에 잠겨 있는 토양에서 생육한다. 하안식생은 하천을 따라 선형 구조를 가지며, 에너지와 물질이 식생을 통과하여 흐르는 열린 체계이고, 기능적으로 상류와 하류 및 육상과 수중생태계를 연결하는 주요한 특성을 가지고 있다(Mitsch and Gosselink, 1993).

하안식생은 생물권에서 가장 복잡한 생태계 중의 하나일 뿐만 아니라 경관과 하천의 생명력을 유지하는 중요한 기능을 수행한다(표 1). 즉 하천생태계에서 식생은 생물다양성 유지, 수문조절, 수질정화, 하안보호, 경관미 증대 등의 다양한 기능을 수행하고 있다. 그러나 지금까지 하천의 자연적 기능을 도외시하고 공학적 기능만을 강조한 하천정비와 토지이용 제고에 의하여 하안식생은 분포면적이 감소되었을 뿐만 아니라 잔존 식생의 구조와 기능도 매우 교란된 상태에 놓여 있다.

교란된 하천을 성공적으로 복원하기 위해서는 하천의 물리적, 화학적 및 생물적 과정 사이의 관계를 과학적으로 이해하는 것이 필요하다. 인간 활동이 이러한 과정의 진행속도를 가속화하거나 불안정한 방향으로 진행을 바꾸며, 하천회랑(stream corridor)의 생물적 구조와 기능을 변경시키고 있다. 특히 하천의 식물군집은 하천회랑의 복원에 대한 조건, 취약성, 잠재

력을 결정하는데 중요한 역할을 수행한다. 그러므로 하안식생의 유형, 규모, 분포, 토양 수분 선호도, 지형 높이, 종 조성, 연령, 활력, 뿌리깊이 등은 하천복원 계획을 수립하고 디자인하는데 반드시 고려되어야 한다.

본고에서는 Stream Corridor Restoration (FISRWG, 1998)을 기초로 하여, 하안식생 구조의 변화를 하천회랑의 횡단 및 종단에 따라서 고찰하고 우리나라의 하안식생의 구조를 예로서 살펴보고자 한다. 또한 하천복원에서 고려하여야 할 하안식생 구조의 동적 특성과 기능을 검토한다. 실제로 하천에 가해지는 교란의 유형에 대하여 알아보고, 교란된 하천을 복원하기 위한 원리와 방향을 식생의 관점에서 제안하고자 한다.

표 1. 자연 하천에서의 하안식생의 중요성

주요 역할	수반 기능
생물다양성 증대	소비자에게 먹이공급 하천 저서동물에게 유기 부니질 제공 동물의 생육 및 산란지 제공 생물종 분산의 공급원 동물의 이동과 이주에 영향 수운을 저하하는 그들의 제공
수문 조절	지표 유출수의 조절 지표하수(sub-surface) 흐름의 제어 물의 저장 지하수 재충전 에너지 분산
수질 정화	부착생물에 의한 유기물 분해 차광과 저해물질에 의한 식물플랑크톤 억제 N, P 흡수에 의한 식물플랑크톤 억제 부유물 침전 촉진 저토로의 산소 공급에 의한 인 흡착 유해물질 흡수
하안 보호	파람의 억제 식물 뿌리에 의한 침식방지
경관미 형성	시각적 경관미 및 쾌적성 가치 증대 위락적 가치

2. 하안식생의 구조

2.1 하천 회랑을 가로지르는 식생의 변화

2.1.1 식생 구조의 변화

교란되지 않은 자연 하천에서는 전체 회랑을 가로질러 연속적인 식물군집이 펼쳐진다. 특히 작은 하천에서는 하안식생이 수관(canopy)으로 수로를 완전히 덮는다. 하천에서 식물군집의 분포는 수문과 토양조건에 따라서 결정되는데, 이와 같은 환경요인은 대체로 하천 수로로부터 육상으로 횡 방향을 따라서 서서히 변한다. 그러므로 하안식생은 하천 회랑의 횡단 방향을 따라서 뚜렷이 구별되는 식물군집의 물리적, 생물적 구조의 대상분포(zonation)를 이루게 된다(Larson et al. 1981). 일반적으로 교란되지 않은 하천을 가로질러 지형에 따라서 식물군집은 육상수림(upland forest), 중생초원(mesic prairie), 습생초지(wet meadow), 얇은습원(shallow marsh), 관목림(shrub carr), 범람원수림(floodplain forest), 얇은

개방수면(shallow open water), 깊은습원(deep marsh) 등의 특이한 식생 유형이 나타난다(그림 1).

하안지역은 습지와 육상을 모두 포함하는데, 육상에서는 하안수림이 형성된다. 육상과 범람원수림은 수직적 복잡성을 나타내는데 계층구조(stratification)에 의하여 다층(multi-layer)을 형성한다. 수림에서는 상부의 수관을 형성하는 교목층, 그 아래에 아교목층, 관목층 및 초본층이 차례로 계층을 이루고 있다(그림 2). 수림대의 아래에는 초본식물이 우점하는 전생 혹은 습생 초지가 전개된다.

하천의 물가에는 습지 식생이 발달하는데, 습지(wetland)는 육상과 수중생태계 사이의 전이지대로서 지하수위가 지면이나 그 근처에 있거나 얇은 물로 덮여 있는 생태계이다(Cowardin et al., 1979). 하안 습지에서는 지속적으로 혹은 주기적으로 산소가 부족한 혐기조건이 형성되는 물 속이나 다습한 토양에서 생육하는 수생식물(hydrophytes)이 생육한다. 수생식물은 생활형(life form)에 따라서 정수식물

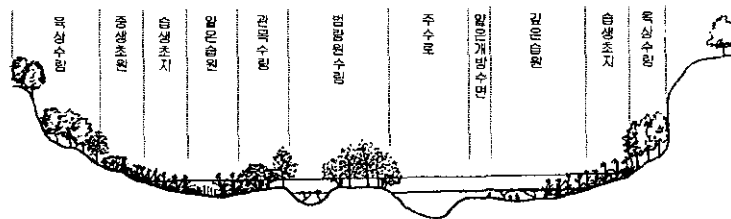


그림 1. 하천회랑의 횡단에 따른 식생의 변화(Sparks, 1995)

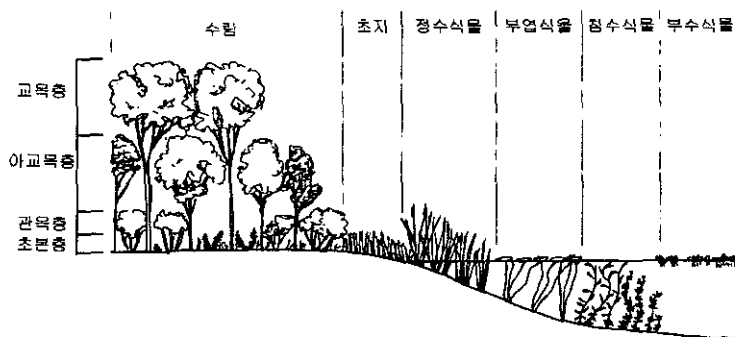


그림 2. 하안 식생의 대상분포와 수림의 계층구조

(emergent hydrophytes), 부엽식물(floating-leaved hydrophytes), 침수식물(submerged hydrophytes) 및 부수식물(free-floating hydrophytes)로 구분된다(표 2 및 그림 2).

우리나라에서는 인공제방의 축조와 무분별한 하천 정비에 의하여 일부 상류 지역을 제외하고 하안식생의 횡적 구조가 완전히 보존되어 있는 곳이 매우 드문데, 경기도 하남시 한강의 제방 안쪽에 퇴적된 사주부에 형성된 식물군집에서 자연 하천의 식생구조를 엿볼 수 있다(그림 3). 지형이 높은 곳에는 범람원 수림인 버드나무 군집이, 그 아래쪽 초지에는 물억새, 갈풀 군집과 관목림인 갯버들 군집이 발달되어 있다. 하안습지에는 정수식물인 갈대, 도루박이, 개구리자리, 질경이택사와 부엽식물인 마름, 그리고 침수식물인 나사말과 애기가래가 생육하고 있다.

2.1.2 범람과동개념과 하안식생 구조의 변화

하천에서 범람과동개념(flood pulse concept, FPC)은 하천 유량의 연변화 파동이 범람원의 식생을 포함한 생물을 조절하며 범람원과 하천 수로 사이의 물질 이동과 영양소 순환을 조절한다는 이론이다(그림 4). 하천변에서 버드나무와 같은 하안식물은 범람

주기와 이들 식물의 재생이 밀접한 관계를 갖는다. 범람은 범람원 생물에게 저토와 영양소를 공급하고 무척추동물, 양서, 파충류 및 어류의 서식처 및 산란처를 제공한다.

2.2 하천 회랑에 따른 식생의 변화

2.2.1 식생 구조의 변화

하안대는 하천의 원류(headwater)로부터 하구까지 하천계를 따라서 변화하는데, 침식(erosion), 체류와 전송(storage and transport) 및 퇴적(deposition)의 주요한 세 가지 지형대로 구분된다. 하천의 상류에 속하는 침식대에서는 범람원이 좁거나 없으며 범람에 의존적이거나 내성이 있는 식물군집만이 분포한다. 하천 중류의 체류와 전송대는 상류 침식대보다 복잡하고 큰 수로를 갖는데, 범람원의 식물군집은 지형 높이에 따른 토양형, 범람빈도, 토양수분의 차이 때문에 다양한 구조를 나타내며 더욱이 퇴적물의 침식과 퇴적에 따라서 정착한 식물군집의 복잡성과 다양성이 증가한다. 하천 하류의 퇴적대는 퇴적량이 증가하고 범람원이 넓고 수체량이 증가하는데, 평탄한 대지에 넓은 범람원 습지가 발달하고 범람원의 깊고 풍부한 축적토에 생산성이 높고 다양한 생물군집이 발달한

표 2. 수생식물의 생활형 별 특징과 예

생활형	특 징	예
정수식물	뿌리를 토양에 내리고 줄기와 잎을 물위로 내놓는 수생식물	갈대, 애기부들, 줄, 세모고랭이 등
부엽식물	뿌리를 토양에 내리고 잎을 수면에 띄우는 수생식물	수련, 어리연꽃, 개연꽃, 마름 등
침수식물	뿌리를 토양에 내리고 물속에서 생육하는 수생식물	말즘, 나사말, 검정말, 붕어마름 등
부수식물	물 위에 자유롭게 떠서 사는 수생식물	개구리밥, 생이가래, 자라풀, 네가래 등



그림 3. 경기도 하남시 한강에서 하안식생의 횡단구조

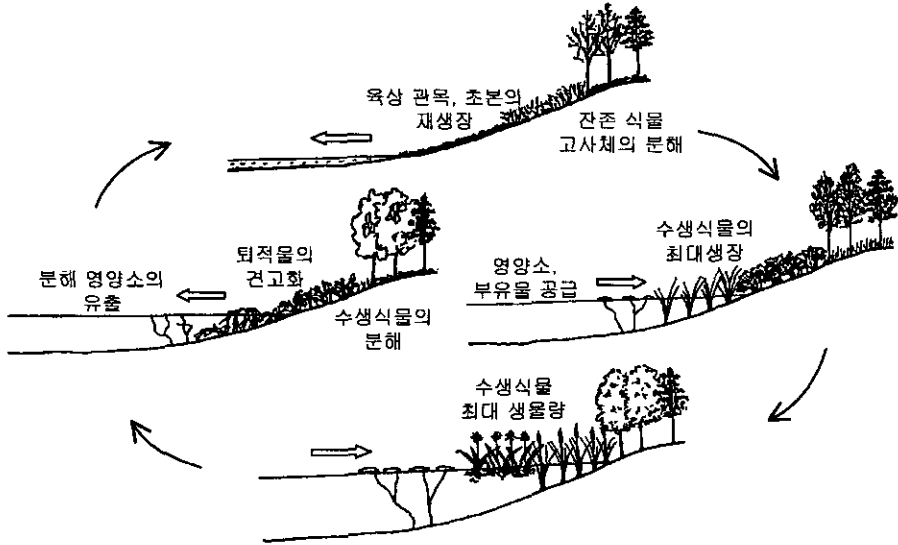


그림 4. 하천의 범람과동개념과 식생 횡단구조의 관계(Bayley, 1995)

다. 또한 유속이 느린 수로에는 정수, 부엽, 부수 및 침수 식생이 번성한다. 이처럼 상류로부터 하류로의 하천에 따른 식생의 변화는 생물다양성과 교란에 대한 안정성의 중요한 원천이 된다.

우리나라에서 하안식생의 하천 종단에 따른 변화는 표 3.과 같으며, 동해안으로 유입되는 교란이 적은 양

양의 남대천에서 식생의 변화를 그림 5.에 모식적으로 나타내었다. 남대천의 상류에는 제방 상부에서 졸참나무와 가래나무가, 물가에는 갯버들과 달뿌리풀이 우점하였다. 중류에서는 제방 사면에는 쭉, 참새귀리, 애기수영이 정착하였고 물가에는 달뿌리풀이 생육하고 있었다. 하류에서는 교란된 제방 사면에 망초, 달

표 3. 우리나라 하천의 상류로부터 하류까지의 식생의 변화(失野橋道 등(1983)을 변형)

구분	환경 특성	주요 식물	식물 특성
상류	유속이 매우 빠르며 홍수의 파괴력이 크고 범람원이 좁다.	달뿌리풀	홍수에 쓰러져도 신속히 복구되며 포복경으로 번식이 용이하다
		갯버들	빠른 유속에도 견디며 물에 잠긴 줄기에서 뿌리가 발생한다.
		오리나무, 물푸레나무, 느티나무	계곡의 평수위와 고수위 사이의 다습한 토양에 교목 수립으로 발달한다.
중류	상류보다 하천 폭이 넓고 유속도 완만하며, 사행부의 안쪽에는 모래, 자갈 등이 퇴적되어 보수력이 약하다.	달뿌리풀, 내버들	상류 쪽의 유속이 빠른 곳에 정착한다.
		여뀌, 방동사니, 여뀌바늘	하류 쪽의 유속이 느리고 진흙이 퇴적된 습윤하고 비옥한 곳에 정착하는 일년생식물이다.
		바랭이, 사철쭉	수면으로 부터 높은 지형의 자갈이 많은 곳에 생육하며 건조와 고온에 견딘다.
		물억새, 띪	사행의 안쪽에 모래가 1m 이상 퇴적된 건조한 곳에서 생육한다.
		왕버들, 갯버들	안정된 중도나 제방에서 수립을 이룬다.
		갈풀, 고마리	셋강의 물가를 따라서 분포하며 모래가 매년 퇴적되어도 적응한다.
하류	유속이 매우 느려지기 때문에 하도에 진흙이 퇴적되어 넓은 범람원이 형성되며 조류의 간만에 의하여 수위가 변동하기도 한다.	갈대	바다로 유입되는 하류의 기수역까지 분포한다.
		줄	대하천이나 호소로 유입되는 곳에서 군락을 이룬다.
		매자기, 애기부들	하류의 제방 부근에 군락으로 발달한다.
		정수식물, 부엽식물, 침수식물	유속이 매우 느린 곳에서 수생식물의 습원식생이 발달한다.
		천일사초, 산조풀 등의 염생식물	해수가 유입되는 하구에서 염해에 견딜 수 있다.

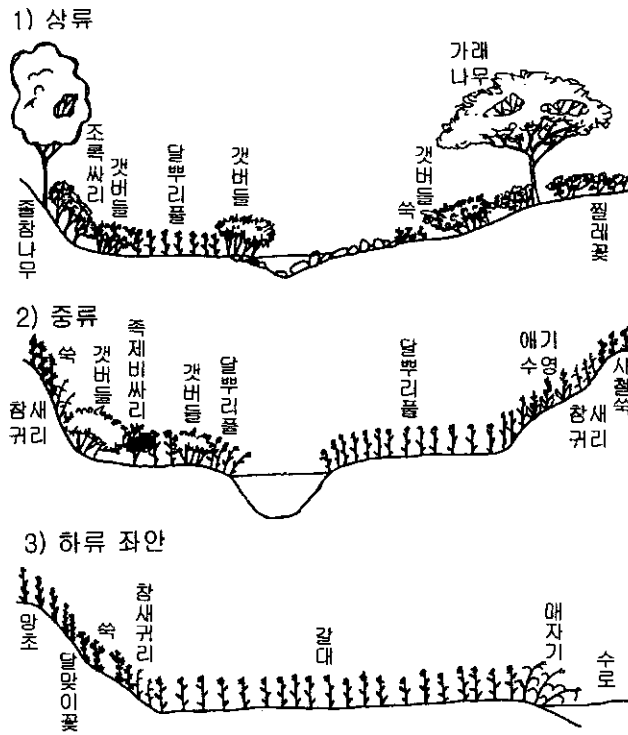


그림 5. 강원도 양양 남대천에서 하천회랑의 종단에 따른 식생의 변화(각 모식도의 축적이 같지 않음)

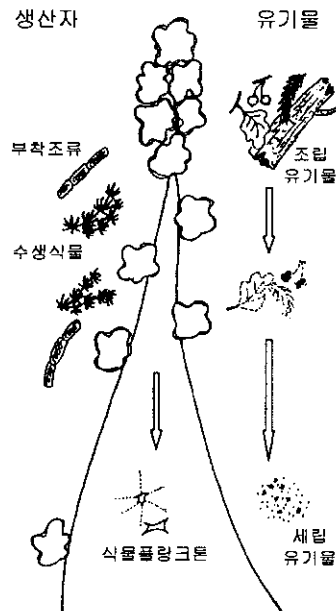


그림 6. 하천연속개념에서 생산자와 유기물의 변화(Vannote et al.(1980)을 변형)

맞이꽃, 사철쭉 등이, 고수부지에는 갈대와 매자기가 각각 분포하였다.

2.2.2. 하천연속개념과 하안식생의 종단 변화

하천 연속 개념(river continuum concept, RCC)은 원류로부터 하구까지 하천을 따라서 저서무척추동물 기능군의 상대적 중요도의 변화를 묘사한 것인데(Vannote et al. 1980), 이 개념은 하안식생과 밀접한 관련을 가지고 있다(그림 6). 하천의 상류에서는 퇴적물과 함께 식생으로부터 낙엽, 낙지(落枝) 등과 같은 조립유기물(cPOM, coarse particulate organic matter)이 제공되며 하안림의 수관에 의하여 수로가 피음되어 하천의 생산/소비 < 1인 종속영양이 된다. 특히 상류로부터 유입되는 목재와 목질 쇄설물은 하류의 먹이사슬과 서식공간을 제공하는 생태적 중요성을 지닌다. 수로가 보다 넓어진 중류에서는 수관으로 피음되지 않고 투광되는 수로부가 증가하고 상류에서 분해된 영양소가 유입되어 부착조류나 수생식물의 생산이 증가되므로 생산/소비 > 1인 독립영양이 된다. 하류에서는 상류와 범람원의 식생으로부터 유입되는 세립유기물(fPOM, fine particulate organic matter)이 유입되고 수체의 탁도가 증가되어 생산/소비 < 1인 종속영양 상태로 된다.

3. 하안식생의 동태

3.1 식생의 종 구성과 종다양성

식생은 식물종의 집합체로서 이들 종의 수와 상대적 풍부도에 의하여 생물적 구조가 결정된다. 종 구성은 기후, 수분이용도, 지형 및 토양의 물리화학적 특성과 경쟁, 초식, 기생 등과 같은 생물적 요인에 의하여 결정된다. 종 구성에 의한 식물군집의 구조적 특성은 동물 군집의 구조와 밀접히 연관되어 있다. 예를 들면, 종 구성에 의한 차이가 생기는 식생의 질과 활력은 과실, 종자, 줄기, 뿌리 및 다른 영양기관의 생산력과 연결되어 있고 이 생산력의 감소는 동물의 먹이를 제한하게 되어 부양 생물종을 감소시킨다.

식생에서 식물의 종다양성은 종수에 의하여 결정되

는 종풍부도와 각종의 상대적 풍부도에 의하여 결정되는 종균등도에 의하여 결정되는데, 종수가 많고 각종의 개체수가 고르게 있을수록 종다양성이 증가한다. 일반적으로 식생의 종다양성이 증가하면 교란에 대한 안정성이 증가한다.

3.2 식생의 수평적 다양성

하천 회랑에서 식생은 수평적으로 모자이크 모양으로 분포하며, 이러한 분포는 주로 지표수와 지하수의 이용도, 범람과 퇴적의 유형, 토양 조건 및 정착 식생의 기회성에 의하여 결정된다. 또한 부수로, 우각호 및 다른 지형적 변이는 식생의 수평적 다양성을 증가시킨다. 하천연속개념에서와 같이 하안식생은 하천의 형적 및 종적 경사에 의하여 수평적 변이를 나타낸다. 하안식생의 수평적 복잡성은 특정 동물종에게 생활사의 특정시기에 필요한 다양한 자원과 채식조건을 제공하므로 동물의 종다양성 증대에 기여한다.

육상으로부터 범람원을 거쳐 물가까지 다양한 식물 군집의 모자이크가 하천회랑 식생에 나타나는데, 특히 하천회랑에서 식생의 수평적 다양성과 함께 단편화(fragmentation)된 식생 조각(patch)의 공간적 연결성(connectivity)과 폭(width)이 중요하다. 일반적으로 회랑의 연결성과 폭이 클수록 생육지로서의 기능이 증대된다. 이러한 식생의 연결은 생물다양성의 증가와 유전자 교환이라는 측면에서 생태적으로 매우 중요하다.

3.3 식생의 수직적 복잡성

식물군집에서 수직구조는 식물의 크기, 분지, 잎과 같은 생활형에 의하여 결정되며, 이 수직구조는 이에 적응한 동물의 물리적 서식처를 제공하여 동물의 종다양성에 영향을 미친다. 고목층, 아고목층, 관목층 및 초본층과 같은 식생의 계층구조가 복잡하면 다양한 생육지가 제공되어 동물의 종다양성이 증가한다(그림 2). 예를 들면, 목본식물의 상층이 없는 하천변 초지나 어린 나무가 없는 하안고목림에서는 조류의 길드(guild, 생물 군집에서 비슷한 생태적 지위를 갖는 생물 집단)를 부양하는 생태적 지위(niche)가 적어

서 조류의 종수가 제한된다.

3.4 식생 전이대에서의 생태계 변화

서로 다른 생태계가 만나는 곳을 전이대(ecotone) 혹은 주변(edge)이라고 하는데, 이곳에서 토양, 지형, 미기후(microclimate) 등의 환경 조건이 급격히 변한다. 전이대에서는 접하는 두 군집의 종이 모두 생육할 수 있을 뿐만 아니라 양쪽에서 발견되지 않은 독특한 종이 함께 출현하여 생물다양성이 높아지는데 이를 주변효과라고 한다. 또한 전이대는 외부의 교란을 내부로 전달되는 것을 여과하는 완충대의 역할을 수행한다.

일반적으로 주변에 대한 생물의 반응에 따라서 변화가 심한 환경인 전이대에 적응한 종인 주변종(edge species)과 안정적이고 보호되는 환경인 주변부 안쪽에서 생육하는 내부종(interior species)으로 구분할 수 있다. 예를 들면, 미국의 산림에서 개똥지빠귀(*Dumetella carolinensis*)는 한 조각 산림의 면적이 증가할수록 출현 확률이 감소하는 주변종이고, 휘파람새(*Helminthos vermivorus*)는 지면에 둥지를 트는 내부종이다(그림 7). 일반적으로 개발에 의하여 하안식생이 단편화됨에 따라서 주변종이 증가하고 내

부종이 감소한다.

3.5 천이에 의한 식생 변화

식물군집은 시간 경과에 따라서 점진적이고 방향성이 있는 변화를 하는데 이를 천이(succession)라고 한다. 식물천이의 유형은 하천에 가해진 교란 이후에 특정 식생의 재생 전략의 차이에 의하여 특징지어 진다. 즉 천이 초기에는 나지와 높은 광도에 적응된 개척자 식물이 정착하고 천이가 진행됨에 따라서 피음되고 안정된 환경에 알맞은 수명이 긴 식물로 대체된다. 최종적으로 식물군집은 동적평형 상태인 극상(climax)에서 안정된 구조와 기능을 가지게 된다. 하천에서는 퇴적에 의하여 새롭게 형성된 사주부에서는 일차천이에 의하여 식생 변화가 이루어지거나, 교란에 의하여 기존의 식생이 파괴되면 이차천이가 일어날 수 있다. 이차천이를 유발하는 교란에는 홍수, 수로변경, 불 등의 자연적인 것과 인간에 의한 것이 있다. 일반적으로 식물 천이는 일년생초본 - 다년생초본 - 관목림 - 양수림 - 음수림의 순으로 진행되지만, 하천 주변부에서는 반복되는 홍수에 의하여 천이가 중간에서 중단되는 경우가 흔하다.

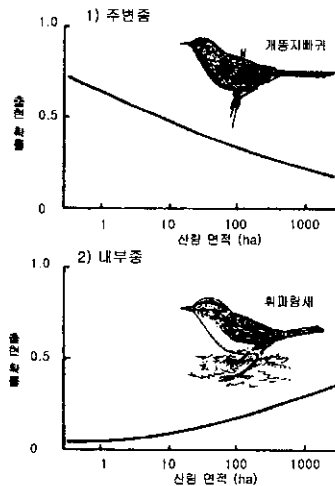


그림 7. 서식지 면적에 대한 주변종과 내부종의 반응의 차이(Smith and Smith, 1998)

4. 하안식생의 기능

하안식생은 독특한 물리환경에 의하여 많은 기능적 특징을 갖는데, 일반적으로 하안식생으로 에너지와 물질이 유입되어 생산성이 매우 높다. 특히 하안식생은 하천 수중생태계와 밀접한 관계를 가지고 있다(그림 8). 하안식생의 일반적 기능은 이미 표 1.에서 그 중요성에 의하여 설명하였으므로, 여기에서는 생태계와 경관의 측면에서 하안식생의 기능을 검토하고자 한다.

4.1 하천 생태계에서의 기능

생태계의 관점에서 하안식생의 기능은 에너지 흐름과 물질순환에서의 역할로 구분할 수 있다. 하안식생의 생산성은 일반적으로 인접한 육상생태계보다 높는데, 이는 주기적 범람이 다음 세가지 경로에 의하여 식물생산에 영향을 미치기 때문이다(Mitsch and Gosselink, 1993).

- 1) 식생에 적합한 수분 공급
- 2) 범람에 의한 영양소 공급과 토양의 화학적 특성 변화
- 3) 유수에 의한 근권에 산소 공급

결국 하천에서 생산성이 높은 하안 식물군집은 다른 생물군집의 에너지 근원이 되고, 서식처를 제공하고, 주위의 수생 및 육상 생태계로의 태양에너지 흐름

을 조절한다. 더욱이 하안식생의 목부 고사체는 물흐름을 편향시키고 부분적으로 침식과 퇴적을 유도하여 다양한 생육환경을 조성하며, 하천 생태계에 필요한 유기물과 영양소를 장기간 보유하고 수생생물의 미소생육지를 제공하는 중요한 기능을 수행한다.

물질순환의 관점에서 하안식생의 기능은 다음 사항이 매우 중요하다(Mitsch and Gosselink, 1993).

- 1) 하안식생을 포함하는 하천생태계는 하천수와 육상산림으로부터의 지표유출수가 우점하는 열린 물질순환계를 가진다.
- 2) 영양소의 생태계 내부순환에서 식생에 의한 생물적 조절력이 매우 크며 성장과 분해의 계절적 변화를 나타낸다.
- 3) 하안식생의 토양과 낙엽에서 영양소 전환이 이루어지므로 식생이 영양소의 수용부(sink) 역할을 수행한다.
- 4) 하안식생은 무기 영양소를 유기물로 바꾸는 영양소 전환체의 역할을 수행한다.

이러한 식생의 기능에 의하여 하천 수중생태계의 기능이 식생의 직·간접적인 영향을 받게 된다.

4.2 하천 경관에서의 기능

하천 회랑의 기능을 경관생태학적 측면에서 고려할 때 서식지, 장벽, 통로, 여과지, 공급원 및 수용부의 6가지 기능으로 분류할 수 있다(표 4).

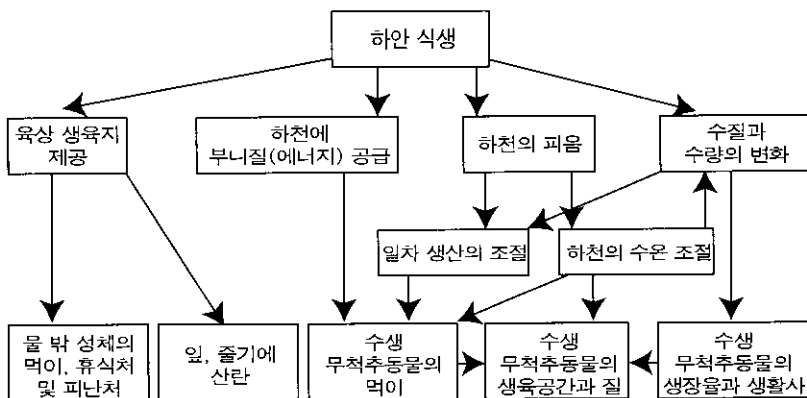


그림 8. 서울시 불광천의 교란된 식생 구조

표 4. 경관적 측면에서 하천식생의 주요 기능(FISRWG, 1998)

구 분	기 능
서식지(Habitat)	생물종이 생활, 생식, 부양 및 이동할 수 있는 환경의 공간 구조
장벽(Barrier)	물질, 에너지 및 생물의 장벽
통로(Conduit)	물질, 에너지 및 생물 이동하는 생태계의 능력
여과지(Filter)	물질, 에너지 및 생물의 선택적 통과
공급원(source)	물질, 에너지 및 생물의 유출이 유입보다 큰 경우
수용부(Sink)	물질, 에너지 및 생물의 유입이 유출보다 큰 경우

5. 하안식생의 교란

교란(disturbance)은 자연적 혹은 인공적으로 하천회랑과 주변생태계에 변화를 초래하는 요인으로서 빈도, 기간 및 강도에 의하여 생태계에 미치는 영향이 달라진다. 하안식생에 가해지는 다양한 교란은 표 5.에 정리하였다. 하천 복원 과정에서 현재 하천에 가해진 교란 요인을 밝히는 것이 매우 중요하다. 하안식생의 안정성(stability)은 어떤 범위 내의 교란에 대해서는 저항력(resistance)과 복원력(resilience)에 의하여 원래 상태로 회복되는 동적 평형상태를 유지하게 한다. 그러나 하천에 가해진 과도한 교란이 식생의 안정성 범위를 초과하게 되면 회복이 불가능해지거나 안정화되는데 오랜 시간이 필요하게 된다.

5.1 자연 교란

하천에서 홍수, 태풍, 병충, 사태, 극한 온도, 가뭄 등의 자연적 스트레스는 하안식생의 구조와 기능을 교란시키는 요인이다. 그러나 자연 교란 후에 하안식생은 안정성, 저항력, 복원력에 의하여 부가적인 인위

적 복원 작업을 도입하지 않아도 회복될 뿐만 아니라, 때때로 자연 교란은 식생의 복원 혹은 재생을 위하여 원동력으로 이용되기도 한다. 예를 들면, 하안식생의 특정 식물종은 홍수 혹은 가뭄과 같은 교란에 적응되어 재생하므로 이들 식물의 정착에 자연 교란을 이용할 수 있다.

5.2 인위 교란

인간에 의한 교란은 하천의 생태적 구조와 기능을 변화시킬 수 있는 커다란 잠재력을 가지고 있다. 하천의 교란은 댐, 하천정비(channelization), 외래종 이입과 같은 공통적 교란과 농경, 임업, 가축 채식, 위락, 도시화와 같은 특이적 토지이용 활동과 관련된 교란으로 구별할 수 있다. 특히 하천의 수로화는 수로의 직강화, 제방축조, 인공소재 호안에 의하여 하안식생의 구조와 기능을 파괴하는 대표적인 교란이다. 교란의 잠재적 영향력은 누적적이거나 상승적이다. 하천에 가해진 모든 교란 요인을 제거할 수 없는 경우가 많은데, 이 경우 한 두개의 주요한 교란 요인을 제거함으로써 교란의 영향을 최소화시킬 수 있다.

표 5. 하천식생에 영향을 미치는 교란 요인(FISRWG, 1998)

교란의 유형		내 용	
자연 교란		홍수, 태풍, 병충, 사태, 극한 온도, 가뭄 등	
공통	댐	방류에 의한 하류 제방 침식, 용수로에 의한 하천 수량의 감소, 정체수에 의한 수질오염, 퇴적물 및 유기물의 흐름 억제	
	하천정비	하천의 생육지 다양성 감소, 하안 식물서식 공간의 감소	
	외래종 이입	미국개기장, 돼지풀, 미국가막사리 등의 외래식물에 의한 식생 교란	
인위 교란	농경	하천식생의 제거, 범람 방지와 농업시설 보호를 위한 하천내 변경, 토양의 노출과 견밀화, 관개와 배수, 퇴적물과 비점오염물 발생	
	토지이용 활동	임업	별목, 임산물의 수송, 임지 조성
		가축 채식	식피의 제거, 답압과 같은 가축의 물리적 영향
		위락	답압과 차량에 의한 식생과 토양의 피해, 야영, 어획, 선박에 의한 교란
		도시화	수문 변경, 수로 변경, 퇴적과 오염, 서식처 변화

서울시 불광천은 직강화되고 콘크리트 블록으로 호안 처리가 된 도시하천으로서 여러 교란이 복합적으로 작용하여 교란된 식생 구조를 나타내고 있다(그림 9). 하천 제방의 콘크리트 블록 틈새에는 돌피가 드물게 발생하였고, 도로와 농경지로 일부 면적이 이용되고 있는 고수부지에는 돌피, 강아지풀, 환삼덩굴 등의 교란지 식물과 미국개기장, 미국쑥부쟁이, 망초 등의 왜래식물이 정착하고 있다.

6. 식생의 측면에서 하천 복원의 방향

식생은 하천회랑 기능의 기본적인 조절 인자로서, 연결된 하천회랑으로 회복하기 위하여 잔존 자연식생을 보존하고 교란된 식생구조를 복원하는 것이 필요하다. 식생의 구조와 기능의 회복이라는 관점에서 하천복원의 생태적 원리와 방향을 다음과 같이 제안한다.

6.1 참조 자연식물군집의 도출

하천복원의 목표 중 하나는 하천회랑에서 식물군집의 구조와 분포에 대한 자연 유형을 복원하는 것이다. 식생의 자연 유형은 지리적 조건, 유속, 토양에 따른 식생 구조와 분포를 연구한 문헌을 참고하거나, 참조 하천회랑을 조사하는 것이 식물군집 조성과 분포에 대한 정보를 획득하는 가장 좋은 방법이다. 일단 참조 식물군집의 특징이 밝혀지면 식생 복원대책을 세밀히

설계하여야 한다. 하안식생 복원에 있어서 참조 식물군집에 의거하여 특정 지소에 적합한 군집의 모든 종을 식재하는 것은 매우 어려우며 바람직하지도 않다. 일반적으로 우점종이나 자연적인 유입이 어려운 종을 중심으로 식재하되 식재종은 자생종을 원칙으로 하며 미소 생육지를 고려하여 식재한다.

6.2 현존 식생의 유지 및 보존

복원대상지에 현존하는 자생 식생, 목부 고사체, 그루터기 및 암석더미를 가능하면 남긴다. 이들은 동물의 생육지로서 이용될 수 있고, 침식과 퇴적을 조절하고, 종자 공급원과 미생물 잠복원 등의 중요한 기능을 수행한다. 하안식생 복원은 원래 식생이 갖고 있는 생태계 회복력을 최대한 활용하는 것을 원칙으로 하여야 하며, 이러한 관점에서 자연 식생자원을 유지하는 것이 바람직하다.

6.3 식물종이 아닌 식물군집으로의 복원

하안식생에서 갯버들, 갈대 등과 같은 식물이 경우에 따라서 하천 복원의 목표종(target species)으로서 선택될 수 있으며, 특정 동물종의 생육지를 제공하기 위한 특정 식물종의 식재가 요구되기도 한다. 그러나 원칙적으로 하안식생의 복원은 특정 식물종의 복원에서 벗어나 여러 종으로 구성된 식물군집 혹은 생태계의 복원이어야 한다.

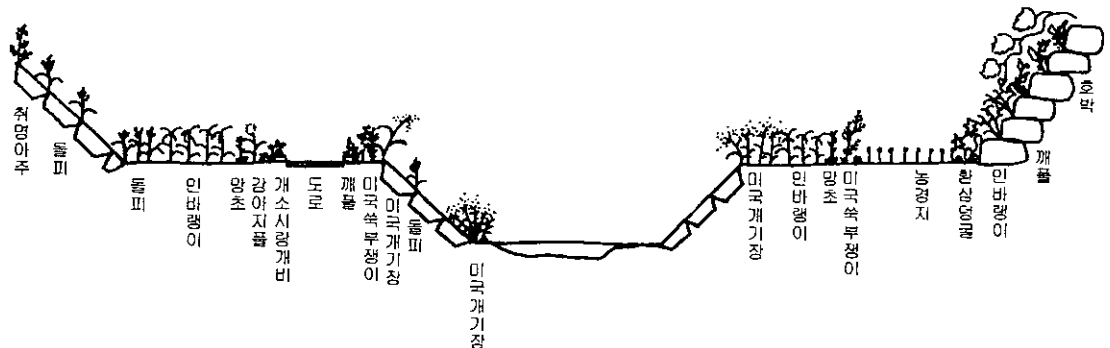


그림 9. 서울시 불광천의 교란된 식생 구조

6.4 하천회랑의 연결성 유도

하천에서 연결성은 생육지, 통로 및 여과지/장벽의 과정을 촉진하는 하천회랑 기능의 중요한 평가 지표이다. 그러므로 하천복원은 이러한 하천 기능의 연결성을 최대로 확보하여야 하며, 이러한 관점에서 식생이 연속적으로 피복된 길고 폭이 넓은 하천회랑이 좋다. 현실적으로는 하안식생의 연결성을 방해하는 틈이 많이 존재하므로, 허용할 수 있는 틈의 크기와 수를 결정하고 필요에 따라서 동물 이동을 허용하는 생태통로가 설계되어야 한다.

6.5 수직적 다양성의 확보

하안식생을 복원할 때 식물군집의 종조성에서 종수도 중요하지만 초본, 관목 및 목본과 같은 식물 생장형을 증가시켜서 계층구조의 다양성을 유도하는 것이 필요하다. 계층구조가 복잡해지면 동물의 길드(guild)를 증가하여 동물 종수가 늘고, 엽량이 증가하여 식물 생물량이 증가한다.

6.6 식물 천이의 고려

하천복원을 시도할 때 자연 천이를 이해하는 것이 매우 중요하다. 예를 들면 심하게 침식된 제방에 장기적으로 수명이 긴 천이후기종을 정착시키기 위하여 일단 제방을 안정화시킬 수 있는 환경에 강한 천이초기종을 식재하는 것이 유리할 수 있다.

6.7 하안 완충대의 조성

하천에서 다양한 기능을 수행하는 식생 완충대의 조성이 잘 알려져 있지만 그 크기에 대한 기준은 확실하지 않다. 도시 하천에서 교란으로부터 하천 수로를 보호하기 위하여 폭이 넓은 식생완충대가 요구되지만 경제적인 측면과 조화되어야 한다. 미국에서는 정상

적인 완충기능을 수행하기 위하여 30 m 폭의 완충대가 제안되는가 하면(USACE 1991), 조류에 따라서 12m~210m 폭의 완충대가 필요하다(Stauffer and Best 1980).

6.8 주변부를 고려한 복원

하안식생이 제한되어 있는 경우에는 생물종, 길드(guild) 혹은 군집이 요구하는 최소면적이 중요하다. 하천회랑은 주변과 내부 생육지를 모두 포함하며 이 양쪽 생육지가 포함되면 생육지 다양성이 증가하지만 실제로는 내부환경이 부족하여 내부종의 서식이 어렵게 된다. 우리나라에서는 하안식생의 단편화로 내부종이 감소되어 하천복원시 이들 내부종이 주로 목표종으로 선정되고 있다. 그러므로 식생의 면적을 최대로 확보하여 주변효과와 함께 내부종의 생육지를 조성하여야 한다. 또한 주변부에서는 점진적으로 식생구조가 변하도록 하여 외부 교란을 완화하고 물과 에너지의 흐름을 효과적으로 완충하도록 한다.

6.9 인접 생태계와의 연결

하천복원에서 하안식생 뿐만 아니라 인접 생태계도 함께 고려하여야 한다. 예를 들면, 일부 하안의 조류는 정상적으로 성장하기 위하여 하안식생이 아닌 식생대를 이용하여야 하고, 반대로 하안식생의 주변을 다른 인접 생태계에서 서식하는 조류가 이용하기도 한다. 그러므로 하천회랑과 인접 경관사이의 관계를 고려한 복원이 필요하다.

7. 시사

이 논문은 환경부 G-7 연구과제 “국내 여건에 맞는 자연형 하천공법의 개발” 연구와 인하대학교 서해연안환경연구소 연구과제 “승기천 인공습지 조성 기술 개발” 연구의 일환으로 수행되었습니다. ●●

〈참고문헌〉

- Bayley, P. B. *Understanding large river floodplain ecosystems*, *BioScience*, vol 45, p. 154.
- Cowardin, L. M., V. Carter, F. C. Golet, and E. T. LaRoe, (1979), *Classification of Wetlands and Deepwater Habitats of the United States*, U.S. Fish and Wildlife Service Pub. FWS/OBS-79/31, Washington, D. C., p. 103.
- Federal Interagency Stream Restoration Working Group (FISRWG), (1998), *Stream Corridor Restoration - Principles, Processes, and Practices*,.
- Knight, A. W. and R. L. Bottorff. *The importance of riparian vegetation to stream ecosystems*, In. R. F. Warner and K. M. Hendrix (eds.), *California Riparian Sytems: Ecology, Conservation, and Productive Management*, Univ. California Press, Berkeley, pp. 160-167.
- Larson, J. S., M. S. Bedinger, C. F. Bryan, S. Brown, R. T. Huffman, E. L. Miller, D. G. Rhodes, and B. A. Toucher, (1981), *Transition from wetlands to uplands in southeastern hardwood forests*, In. J. R. Clark and J. Benforado(eds.), *Wetlands of Bottomland Hardwood Forest*. Elsevier, Amsterdam. pp. 225-273.
- Mitsch, W. J. and J. G. Gosselink, (1993) *Wetlands*, Van Nostrand Reinhold, New York. p. 22.
- Smith, R. L. and T. M. Smith, (1998), *Elements of Ecology*, Benjamin/Cummings, Menlo Park, CA, p. 555.
- Sparks, R., (1995) *Need for ecosystem management of large rivers and their floodplains*, *BioScience* 45, p. 170.
- Stauffer, D. F. and L. B. Best, (1980), "Habitat selection by birds of riparian communities evaluating effects of habitat alterations", *Journal of Wildlife Management* 44, pp. 1-15.
- United States Army Corps of Engineers(USACE) (1991), *Hydraulic Design of Flood Control Channels*, USACE Headquarter, EM1110-2-1601, Washington, D.C.
- Vannote, R. L., G. W. Minshall, K. W. Cummins, J. R. Sedell, and C. E. Cushing, (1980), "The river continuum concept", *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 37, pp. 130-137.
- 失野悟道, 波田善夫, 竹中則夫, 大川徹, *日本の植生圖鑑* (II) 人里・草原, 保育社, 1983.