

# 自然形 河川計劃의 河川生態學的 基礎

朴 鍾 和\* · 趙 龍 顯\*\*

## I. 序論

우리는 1960년대 이후의 경제개발의 성과에 도취하여 소위 한강변의 기적을 자랑해 왔다. 그러나 급속한 산업화 및 도시화의 와중에 한강 본류 및 안양천, 중랑천, 양재천 등의 지천의 다양한 생태계와 평화로운 하천경관은 현재와 같은 도시하천으로 변했고, 시가지내 소하천의 대부분은 복개되어 도로 혹은 주차장으로 이용되고 있다. 도시화는 하천의 유역, 유로 및 유량의 변화를 초래하고, 이것은 다시 하천생태계에 지대한 영향을 미친다. 즉 육수생태계에 유입되는 토사는 태양광선을 차단하여 일차생산성을 저하시키고, 물고기의 호흡능력도 저하되며, 어린 물고기의 산란 및 생육공간을 축소 혹은 파괴한다. 유역의 도시화는 수질오염물질의 유입량도 급격히 증대시킨다(Schwarz 1993).

우리나라의 도시하천의 황폐화는 신규 토지수요를 충족시키기 위한 토지개발 및 하천정비사업과 밀접한 관계가 있다. 우리나라의 전통적 하천정비 기법은 가능한 최소 단면적의 유로를 이용하여 지표수를 최단시간 내에 하류로 배제시키고, 농경지 등의 상습 침수지역에 신시가지 및 간선도로망을 건설하는 것이다. 소위 하천정비사업으로 조성된 고수부지에는 주차장 혹은 쓰레기 적환장이 설치되고, 분류관거를 설치한 결과 하천의 유입수가 차단

되어 건전화된 곳이 많다. 수천억원을 투자한 한강 종합개발사업을 통하여 하수처리시설을 대폭적으로 확충했음에도 불구하고 하천생태계의 복원 혹은 친수공간으로서의 역할은 아직 미미한 실정이다 (박종화 1986).

전통적으로 하천의 이수 및 치수기능의 증진에 주력하던 수리학, 수문학 분야에서도 최근에는 하천의 자연보전기능, 친수기능 및 환경기능에도 상당한 관심을 표명하고 있으며 (건설부 1991), 고수부지 정비, 차집관거의 설치, 하상오니 준설 등의 수질개선 혹은 친수성 향상목적의 정비가 시행되고 있다. 그러나 서울시(1995c)는 아직도 하천생태계의 복원보다는 옹벽 호안에 자연석 박기를 시행하고, 수직호안에 폭포를 설치하고, 덩굴식물을 플랜트 박스 등에 식재하여 하천구조물의 미관향상에 주력하는 하천정비를 시행하고 있다. 시민의 이 분야에 대한 의식수준도 아직 낮아서 한강종합개발과 유사한 형태의 하천정비사업을 시행한 대구, 광주, 청주, 강릉 등의 지방도시민을 대상으로 하천공간정비에 관한 설문조사를 실행한 결과, 서울의 한강과 같은 대규모 시설물 위주의 개발을 하지 않는 데 대한 불만을 표시하는 응답자도 많았다 (한국건설기술연구원 1995).

그동안의 수질오염 방제노력을 시행한 결과 하천생태계는 다소 회복되고 있다. 안양천의 지류인 학의천, 양재천의 지류인 여의천, 중랑천의 지류인

\* 서울대학교 환경대학원 교수  
\*\* 서울대학교 환경대학원 박사과정 수료

## 특집 : 자연형 하천계획

우이천 등에는 하천수질 환경기준 II등급 구역이 분포하며, 이곳에는 버들치, 도롱뇽, 옆새우, 가재 등이 서식하고 있다(서울시 1995a,b). 중랑천 도처에는 왜가리가 날아들고, 아파트가 밀집된 탄천과 양재천의 합류부에도 겨울철새인 고방오리와 청둥오리가 모여들고 있다. 홍수시에는 한강 본류에서 지천으로 올라오는 다양한 물고기가 낚시꾼에 의해서 잡히고, 중랑천의 녹천교와 월릉교 일대에는 동부간선도로를 무단횡단하는 낚시꾼이 자주 목격되고 있는 실정을 감안하면 우리나라의 도시하천도 독일의 近自然型河川工法 혹은 日本의 多自然型河川工法을 도입하면 자연형 하천으로 복원될 수 있는 잠재력을 가진 것으로 판단된다.

### II. 河川生態系의 構造

물은 모든 생물의 원형질을 구성하는 필수요소이며, 인간의 물소요량은 경제가 발전할수록 급격히 증가된다. 그러나 인간이 직접 이용하는 담수는 수문학에서 가장 취약한 부분으로서 지구상 총수자원의 0.65%에 불과하며, 직접 이용가능한 호수 및 하천수는 육수의 1.5%에 불과한 126,250km<sup>3</sup>이고, 나머지는 빙산 및 지하수로 존재한다. 따라서 지역적인 수량부족과 수질오염은 인간생존의 제한인자가 될 수 있다. 식물은 연간 500mm의 수분을 증산시키기 때문에 쌀 1kg 및 우유 1ℓ를 생산하는 데 각 1,000ℓ 및 4,000ℓ의 농업용수가 소요된다(Simmons 1981). 물은 또한 편리하고 저렴한 인간의 폐기물 배출장소이며, 자정능력을 초과하는 다량의 오염물질이 배출되는 대도시 및 산업시설 주변의 하천과 호수는 인간의 남용으로 수질이 저하되어 수자원 이용을 제약하는 경우가 많다.

지표면상의 담수 분포지역을 포괄하는 생태계를 육수생태계라 하며, 이는 다시 하천생태계와 호수생태계로 구분된다. 육수생태계는 육상생태계와 다음의 두가지가 현저히 상이하다. 첫째, 기온 및 강수량이 육상생태계의 가장 중요한 제한요인이 되는 반면에 광선의 투과량이 육수생태계의 가장 중요한 제한요인이 된다. 물속의 부유물질은 광선의 투과

성을 급격히 감소시키고, 광합성을 제한하기 때문에 광합성량이 호흡에 의한 에너지 소비량과 균형을 이루는 곳, 즉 광보상점에 도달하는 수심까지만 수생식물이 분포한다. 둘째, 용존산소량이 육수생태계의 중요한 제한요인이 되고, 수질을 판정하는 주요한 항목이 된다. 대기중에는 평균 210cc/ℓ의 산소가 있어 다양한 생물이 존재할 수 있지만, 수중에는 태양광선이 투과되는 깊이에도 용존산소는 10cc/ℓ에 불과하고, 불투과지역에는 산소량이 대단히 미미하여 수중생물의 분포를 제한한다.

물속에서의 광선투과량에 따라서 육수생태계는 연안대, 중수대 및 심수대로 구분된다. 심수대는 수심이 깊은 호수생태계에 존재하며, 광선투과량이 부족하며 수생식물이 생존할 수 없는 지역이다. 따라서 용존산소량도 적으며, 침하 혹은 퇴적된 유기물을 이용하는 동물 및 분해자가 분포한다. 반면에 연안대는 수륙 경계부에 근접하여 수심이 얇고, 충분한 광선이 투과되는 지역으로서 표상식생대, 부엽식생대 및 수중식생대로 세분된다. 표상식생대는 수심이 얇아서 갈대, 부들, 큰고랭이, 창포 등과 같이 뿌리는 물속에 있지만 줄기와 잎은 대기중에 노출된 식물이 분포하는 수역이다. 부엽식생대는 연, 수련, 순채 등과 같이 뿌리와 줄기가 침수되지만 잎이 수면 위에 노출되는 식물이 분포하는 지역이다. 수중식생대는 검정말, 나사말, 나자스말 등과 같은 수중식생만이 생존할 수 있는 수심이 깊은 수역이다. 수중식생대 보다 수심이 깊은 곳으로서 식물성 프랭크톤의 광보상점까지의 수역을 중수대라 한다. 육수생태계를 구성하는 생물요소는 다음과 같이 5종류의 생활형으로 구분된다(Odum 1971).

- ① 저서생물(Benthos): 민물조개, 다슬기, 달팽이
- ② 부착생물(Periphyton): 수생식물체 및 돌출물에 부착하는 수서동물
- ③ 부유생물(Plankton): 수류에 따라 부유하는 식물성 및 동물성 프랭크톤
- ④ 유영동물(Nekton): 유영능력을 보유한 어류, 양서류, 수서곤충
- ⑤ 수상생물(Neuston): 개구리밥, 물배암이, 소금

쟁이 등 수표면에서 활동

하천은 무생물 요소인 물, 토양, 암석과 생물요소인 식물, 동물, 미생물로 구성되고, 태양열, 중력, 물의 힘에 의해서 작용하는 動的體系이다. 하천의 수량과 수질은 유역의 면적, 모암, 토양, 식생, 토지이용 및 인간활동의 영향을 받는다. 하천의 유속은 토사의 세굴 및 퇴적, 수표면을 통한 산소의 확산량을 결정하기 때문에 하천생태계에 큰 영향을 미친다.

자연하천의 유로는 일반적으로 굴곡이 심하고, 수심과 유속의 변이가 심한 구역, 즉 여울(riffle)과 소(pool)가 반복되는 특징을 갖는다. 여울은 수심이 얇은 급류역으로서 세굴작용이 일어나며, 자갈 혹은 호박돌 등의 입경이 큰 하상재료가 주로 분포한다. 여울의 생물상은 저서생물, 부착생물 및 어류로 구성된다. 물살이 빠른 자갈여울은 용존산소가 풍부하여 연어, 송어, 황어, 열목어 등의 산란지로서 적합하고, 호박돌 크기 이상의 하상골재 분포지역은 연어와 송어의 치어 및 피라미, 독중개, 은어 등의 피난처 겸 서식지로서 이용된다. 반면에 수심이 깊고, 유속이 느린 소에는 미사 혹은 점토 등의 퇴적물이 침전되어 저서생물은 귀하고, 프랭크톤이 풍부하다. 이곳에는 수온이 높고, 용존산소량이 부족한 환경에 잘 적응하는 잉어, 붕어, 메기 등의 어족이 분포한다(Gardiner 1991).

도시하천의 어류분포는 자연하천과 상이하다. 한강종합개발사업으로 2.5m의 수심을 유지하는 서울의 한강에 서식하는 붕어, 잉어, 누치, 미꾸라지, 뱀장어 등의 어류는 수질오염에 특히 가장 강한 종류들이다(최기철 1986). 한강의 지천은 홍수에 의하여 유해물질의 농도가 희석되고, 용존산소량이 증가되면 본류에서 이들 어족이 이동해 오며, 수질이 악화되면 다시 본류로 피신한다. 그러나 어도를 설치하지 않은 다목적 댐 혹은 취수용 보는 소하성 어류의 이동은 물론 수질변화에 따른 어족의 국지적 이동이 곤란하여 수질오염 피해 가능성이 크다.

자연하천의 저수호안, 범람원, 자연제방 및 그 인접지역은 토양수분 및 토양비옥도가 양호하고,

인접한 육상생태계와 육수생태계를 연결하는 추이대로서의 성격을 가진다. 하천연안에는 지표수로서의 하천수 이외에도 대수층이 형성되고, 부분적으로 용출되는 수문환을 관찰할 수 있다. 또한 하천은 수위변화에 따라서 수표면과 늪지의 공간적 범위가 계절적으로 변화하기 때문에 경계를 획정하는 것이 용이하지 않다. 하천은 하천변 축적지, 습지 및 하구에 지속적으로 영양물질을 공급하여 생태계 먹이사슬의 기초를 제공하고 있다. 즉 하천 축적지에는 유역에서 발생된 토사가 지속적으로 공급되어 식물생장에 필요한 각종 영양물질이 풍부하고, 일차생산성이 대단히 높다. 이와 같이 하천변 혹은 호수변에 선형으로 형성되는 식생을 수변식생대(riparian vegetation)라고 한다. 하천생태계는 침식 및 퇴적작용을 직접적으로 받는 수면에 국한시켜 협의로 정의하기도 하지만, 본고에서는 하천에 인접하는 수변식생대를 포함하여 광의의 하천생태계로 규정하고자 한다.

하천의 침수 혹은 지하수위의 상승에 따른 토양 통기성의 악화 등은 식물의 뿌리 호흡작용을 방해하여 수변식생대의 식생구성 및 분포에 지대한 영향을 미친다. 침수후 토양의 증력수가 배제되어 통기성이 회복되는 데 소요되는 시간은 토성에 따라서 상이하여 사실토는 수시간, 배수양호한 토양은 24시간, 점토질 토양은 수일간 소요된다. 따라서 수변식생대는 주변의 산림식생과는 달리 내습성이 강한 버들류, 포프라류, 아까시나무, 튼튼나무, 당느릅나무, 철쭉 등의 목본류와 토양수분에 대한 저항성이 크고, 침수피해를 받은후 단기간에 복원할 수 있는 초본류가 우점식생으로 분포한다(Smith 1993).

자연하천의 제방은 침식, 퇴적 및 수위변화에 따라서 서식지 상태가 변화되고, 하천단면은 토성, 토양수분 및 토양비옥도 등의 측면에서 급격한 환경구배를 가지며, 인접토지도 범람, 토양형, 지하수위의 변화에 따라서 복잡한 서식지의 모자이크를 형성하여 다양한 서식지 환경에 적응한 다양한 생물종이 분포한다. 예를 들면 미국 콜로라도의 경우 수변지역의 면적은 전체 면적의 2%이지만 야생동

## 특집 : 자연형 하천계획

물의 60% 이상이 분포하고 있는 것으로 조사되고 있다(Schwarz 1993).

우리나라의 자연하천에는 상당히 다양한 조류가 서식하고 있으며, 조류의 종다양성 및 밀도는 하천 생태계의 건전성 파악에 중요한 역할을 수행한다. 하천생태계를 구성하는 조류상은 수금류, 섬금류, 하천부지의 조류의 3유형으로 구분할 수 있다. 첫째, 수금류는 겨울철새인 청둥오리, 고방오리, 쇠오리 등이 우점종이다. 이들은 주로 하천 및 수변 서식지에서 먹이를 섭취하고, 둥지를 구한다. 둘째, 섬금류는 민물도요, 학도요, 꼬리도요 등이 우점종을 이루며, 하천변에서 먹이를 섭취하고, 인접하는 범람원의 초지 혹은 늪지에 둥지를 조성한다. 셋째, 하천부지에는 재개비, 찌르래기, 축새, 까치 등이 살고 있다. 서울의 한강에는 50종 내외의 조류가 확인되었다(윤무부 1986).

한강하류의 김포군 시암리지역에 천연기념물 250호로 지정된 재두루미 도래지는 서식지 환경의 변화로 도래 개체수가 급격히 감소되어 서식지 보호의 중요성을 알 수 있다. 1970년대 초반에 약 500마리 이상이 월동하였지만 80년대에는 그 1/10 미만으로 감소되었다. 조사결과 재두루미의 먹이가 되는 매자기와 칠면조 등의 키작은 초본류가 감소하고, 재두루미의 활동을 제약하는 갈대와 산조플 등의 키큰 초본으로 식생천이가 일어났기 때문으로 판명되었다(차영일 1986). 이와 같은 서식지 환경의 변화는 1972년 팔당댐 완공 이후 홍수로 인한 침식의 감소로 식생천이가 급속도로 진행되었기 때문인 것으로 추정되고 있으며, 대규모 하천정비사업은 생태계에 예기치 않은 부작용을 초래할 수 있음을 보여주는 것이다.

### III. 水邊植生帶의 機能

수변식생대는 다음의 네가지 중요한 생태적 기능을 수행한다. 첫째, 육상생태계에서 유입되는 물과 영양물질의 흐름을 조절하고, 수질을 정화한다. 영양 물질의 대량사 격인 인산염과 질산염의 대부분은 토양입자 중의 점토 입자에 흡착되어 지표유기

수에 의하여 하천 수계에 유입된다. 수변식생대가 발달된 곳에서는 침투수가 증가되고, 유거수량 및 유속이 감소되고, 유거수 중의 토양입자가 수변식생대에 퇴적되어 하천에 유입되는 영양물의 상당부분이 감소된다. 지표 유거수 혹은 토양수분에 용해된 영양염은 수변식생대 식물의 흡수 혹은 토양미생물에 의한 분해활동으로 제거될 수 있다. 즉 식생과 토양은 최고 99%의 인산염과 10~60%의 질산염을 여과할 수 있는 것으로 보고되고 있다(Karr and Schlosser 1977). 미생물에 의한 脫窒作用도 지하수중의 질산염 여과에 기여하는 것으로 알려져 있다(Lowrance 1985). 수변식생대의 목본식생의 뿌리는 얇은 지표수중의 영양물질도 제거하는 것으로 알려져 있다. 이와 같은 수질정화기능으로 인하여 수변식생대는 식생여과대(vegetation filter strip) 라고도 불린다. 수변식생대의 自靜作用은 비용상의 문제로 고도정수시설을 도입하지 못하는 우리나라 하수처리시설의 단점을 보완하고, 면오염원에서 유입되는 영양물질을 차단하여 수질을 개선시킬 수 있다.

둘째, 수면에 떨어지는 낙엽은 각종 수서 무척추동물 및 분해자의 생육에 필요한 영양물질을 공급하여 생태계 먹이사슬의 기초를 제공하며, 하상에 유입 혹은 낙하된 큰 가지와 고목은 수계의 역할을 하므로써 유로의 방향을 변화시키고, 여울과 소를 조성함으로써 수중생물의 다양한 서식지 환경을 조성한다.

셋째, 수변식생대는 수면에 그늘을 드리워 수온을 저하시키고, 일조를 차단하여 갈대, 부들, 수련 등의 수생식물이 과도하게 번성하여 과도한 유기물이 퇴적되는 것을 방지하고, 침투수 및 용출수를 증가시켜 수온 및 용존산소의 측면에서 다양한 서식지환경을 조성한다. 예를 들면 캐나다 온타리오 호에 유입되는 하천의 길이 3km, 폭 10m의 수변식생대는 여름철 수온을 22℃ 이하로 유지하여 송어류의 서식에 적합한 조건을 조성하는 것으로 보고되고 있다(Barton 1985).

넷째, 하천생태계는 어류, 조류, 양서류 등의 야생동물 및 식물중의 이동통로로서 활용되어 유역내

의 다양한 경관생태학적 요소를 연결시키는 기능을 갖는다. 우리나라 대부분의 도시하천은 하천정비사업의 시행으로 원형이 훼손된 실정에서 자연 혹은 반자연 상태가 보존되고 있는 하천구간에는 장기간 그 환경에 적응된 생물종을 포함하고 있으며, 인간에 의해서 변형된 서식지에서 발견되지 않는 생물종이 분포하여 야생동물 서식지로서의 가치가 큰 경우가 많다. 도시지역을 관통하는 자연형 혹은 반자연형 하천은 토지이용밀도의 증가에 따라서 단편화된 서식지에 고립된 생물군집을 연결시키는 역할을 할 수 있다. 환경부(1995)에서 추진하는 전국 그린 네트워크화 구상은 도로건설 등으로 단절된 생태계를 연결시키는 생태통로의 조성에 역점을 두고 있으며, 환경부가 시행하는 하천환경 관련 G7 과제에는 하천을 이용한 생태통로의 조성을 포함하고 있다.

#### IV. 河川生態系와 自然形 河川整備

경제적 효율성을 최우선으로 고려하는 전통적 하천정비기법은 하천의 유속에 영향을 주는 퇴적물과 하상 장애물을 제거하고, 선형을 최대한 직선화시켜서 유속과 수심을 일정화 시키고, 최단시간내에 홍수를 배제시키는 것이다. 이와 같은 하천단면의 단순화는 필연적으로 하천생태계의 구조와 기능에 중대한 장애를 초래하고, 서식지의 다양성을 감소시켜 하천생태계의 자연성을 상실하게 된다. 따라서 향후 우리나라 도시의 중소하천정비는 지난 20여년 전부터 구미 각국과 일본등지에서 활용되고 있는 자연형 하천정비공법을 채택하여 하천생태계를 복원할 수 있도록 하여야 할 것이다.

하천정비사업의 시행에 의하여 소를 수심이 얇은 수역으로 변화시키는 하상의 단순화는 저서생물의 서식지를 파괴하고, 하상재료를 균일하게 하여 수생생물상을 단순화시킨다. 각종 어류는 그들에게 적합한 서식처를 필요로 하기 때문에 부분적으로 모래, 진흙, 자갈이 있고, 수중 및 수변식물들이 자라는 다양한 조건을 구비하도록 하여야 한다. 따라서 저수로의 호안 및 수심은 부분적으로 자연상태

를 유지하도록 남겨두고, 필요한 곳에는 수제 혹은 큰 자연석을 하상에 배치하여 유속과 수심의 변화를 초래하여 소와 여울이 조성되어 다양한 생물상이 분포할 수 있는 환경을 조성하여야 한다. 가능하다면 유로의 선형을 자연하천과 유사한 형태로 곡선화시키고, 자연하천과 마찬가지로 유로폭의 5-7배 거리에서 여울과 소가 반복되도록 조성하는 것이다(Swales and O'Hara 1980).

하천정비에 의하여 수변식생대가 제거되면 녹음효과가 제거되어 수면에 도달하는 일조량이 증가되어 초여름의 수온이 상승하고, 용존산소의 농도를 저하시킨다. 이 경우에 특히 버들치, 열목어, 산천어 등의 어족은 서식할 수 없게 되고, 수초류가 번성하여 잉어, 붕어, 농어 등의 치어류의 생육에도 불리한 환경이 형성된다. 따라서 하천단면을 결정할 때에는 초본 및 관목상 수변식생대에 의한 조도계수의 증가를 반영하고, 하천변 지형과 육상식생군집을 활용하여 수면의 남쪽 혹은 서쪽 제외지에 교목을 열식 혹은 군식하여 수면에 대한 녹음효과를 극대화시키도록 한다. 한강종합개발사업(서울시 1983b)과 같은 복단면을 조성하는 방식의 하천정비는 하천변의 백사장, 자갈밭, 초지에 고수부지를 조성하여 주차장 혹은 잔디밭으로 조성하게 된다. 이 방식은 섬급류의 채식 및 번식공간을 대폭 감소시키고, 저수로의 호반화에 의해서 잠수성 오리류의 밀도를 현저히 증가시킨다. 따라서 조류 서식지환경을 개선시키기 위해서는 밤섬 철새도래지와 같이 모래톱, 자갈밭 및 초지가 분포하고, 사람의 통행을 제한시키는 것이 필요하다. 또한 잔디보다는 자연초지를 조성하는 편이 육상조류의 다양성 및 밀도를 증가시키는 데 유리하다.

#### 참 고 문 헌

- 건설부(1991). 『하천환경관리 기본 조사 연구』.
- 박종화(1986). “한강종합개발이 서울의 환경에 미치는 영향”. 『건축문화』 64: 84-89.
- 서울시(1983a). 『수도권 한강 종합개발사업 환경영향 평가서』.

## 특집 : 자연형 하천계획.....

- 서울시(1983b). 『한강종합개발 기본계획』.
- 서울시(1995a). 『양재천 종합정비 기본 및 실시설계 보고서』.
- 서울시(1995b). 『우이천 종합정비 기본 및 실시설계 보고서』.
- 서울시(1995c). 『중랑천 수계 고수부지 시민휴식공간 조성 기본 및 실시설계 보고서』.
- 윤무부(1986). “한강종합개발과 생태계 변화: 한강의 조류”. 『한강종합개발 준공기념 환경분야 학술대회』, pp.61-98.
- 차영일(1986). “한강하류 재두루미 월동지의 식생”. 『한강하류 재두루미 도래지 조사보고서』, 한국자연보존협회, pp.79-88.
- 최기철(1986). “한강종합개발과 생태계 변화: 한강의 담수어”. 『한강종합개발 준공기념 환경분야 학술대회』, pp.49-57.
- 한국건설기술연구원(1995). 『하천공간정비 실태조사』.
- 환경부(1995). 『전국 그린네트워크화 구상: 사람과 생물이 어우러지는 자연 만들기』.
- Barton, D. R., W. D. Taylor, and R. M. Biette (1985). “Dimensions of riparian buffer strips required to maintain trout habitat in southern Ontario streams”. *North American J. of Fisheries Mgmt.* 5:364-78.
- Gardiner, John L. ed.(1991). *River Projects and Conservation: A Manual for Holistic Appraisal*. New York: John Wiley.
- Karr, J. R. and I. J. Schlosser(1977). *Impact of Near Stream Vegetation and Stream Morphology on Water Quality and Stream Biota*. US EPA, Ecological Research Series. EPA-600/3-77-097.
- Lowrance, R., R. Leonard, and J. Sheridan (1985). “Managing riparian ecosystems to control nonpoint pollution”. *J. of Soil and Water Conserv.* 40:87-92.
- Odum, Eugene P.(1971). *Fundamental of Ecology*, 3rd ed. Philadelphia: Saunders.
- Schwarz, Loring LaB, ed.(1993). *Greenways: A Guide to Planning, Design, and Development*. Washington, D.C.: Conservation Fund.
- Simmons, I. G.(1981). *The Ecology of Natural Resources*, 2nd ed. New York: Halsted.
- Smith, Daniel S. Smith and P.C. Hellmund eds. (1993). *Ecology of Greenways*. Minneapolis: U. of Minnesota Press.
- Swales, S. and O'Hara K.(1980) “Instream habitat improvement devices and their use in freshwater fisheries management”. *J. Environmental Management*, 10:167-179.