

## 수계의 생태적 계획, 설계, 관리

■ 집필진	
<input type="checkbox"/> 하구환경의 생태적 관리 및 계획	양 흥 모 (전남대학교 조경학과)
<input type="checkbox"/> 도시 하천환경의 생태적 재생	최 정 권 (경원대학교 조경학과)
<input type="checkbox"/> 토지이용으로 인한 수질영향	이 명 우 (전북대학교 조경학과)
■ 편 집	
	양 흥 모 (전남대학교 조경학과)

수계(watershed)란 하천의 지류나 본류를 따라 선정된 공동출구(common outlet)를 향해 우수시 물, 토사, 용해물질이 흘러드는 구역 혹은 그 구역의 경계선을 지칭한다. 출구 지점을 어느 곳에 선정하느냐에 따라 연구나 관심의 대상이 되는 수계의 규모가 다양해진다. 하천의 하구를 출구로 생각하면 하천전체의 수계가 연구대상이 된다.

역사적으로 수계의 근간이 되는 하천의 지류나 본류 그리고 하구의 주변에 인간이 모여 살면서 도시와 마을이 형성되어 왔다. 인간의 정주는 정주지역뿐만 아니라 주변지역의 개발을 수반하게 되어 지류나 본류의 상류지역, 하천, 하구의 자연생태계를 훼손하고 파괴하여 왔다.

수계내 상류지역의 하천과 유역의 개발은 반드시 하류지역의 하천과 하구에 영향을 미치게 된다. 용수 공급, 점원 및 비점원 배출, 수변행락이용에 있어 상류와 하류지역사이에 분쟁이 일어나는 근본 원인이 여기에 있다.

도시, 취락, 공업단지, 축산단지 등으로 부터 배출되는 점원오염물은 하폐수처리에 의해 하천이나 하구로 유입되는 부하량을 어느정도 차단하고 있으나, 상류수역의 농업활동, 자연녹지지역의 개발, 도시개발 등 토지이용에서 발생하는 비점원오염물이 하천이나 하구에 미치는 영향에 대한 고려는 미진한 상태이다. 상류댐으로부터 가정, 농업, 공업 용수공급은 하류하천과 하구의 자연유량 감소를 가져와 하천과 하구의 자정능력을 저하시켜 이들 생태계의 훼손이 빠른 속도로 진행되고 있다. 치수나 이수목적에 치중된 도시하천정비는 하천생태계를 훼손하고, 동식물서식처를 파괴하며, 도시하천의 경관미를 저하시키고 있다. 이런 비친수적 접근과 사고를 탈피하기 위해 환경 계획, 설계, 관리에 있어 친수적, 친환경적 접근방법이 절실히 요청되고 있다.

하천과 하구의 수질오염을 줄일수 있는 토지이용 접근방법, 홍수시 통수기능을 저해하지 않는 범위내에서 도시하천을 자연생태계에 가깝도록 재생하고 정비하는 방안, 하구수역의 수질보전 및 하구저습지의 생태계 관리기법에 대한 관심과 연구에대한 조정 계획, 설계, 관리 분야의 적극적인 참여와 연구가 요청된다. 본 기획논설에서는 비점원오염을 줄일 수 있는 토지이용 관리와 접근방법, 도시하천의 생태적 재생 접근방법, 하구환경의 생태적 관리 및 계획 방법론을 소개한다.

# 하구환경의 생태적 관리 및 계획

## (Ecological Management and Planning of Estuarine Environment)

양 홍 모  
(전남대학교 조경학과)

### I. 서 론

河口(estuary)란 육지에서 흘러내려오는 陸水와 潮水의 작용으로 海水가 섞여 鹽度의 변화가 일어나는 부분적으로 圍繞된 海岸을 지칭한다. 陸地(inland)와 河口水域(estuarine water regime)의 경계를 따라 온대권에서는 河口低濕地(estuarine wetland)가 형성된다. 하구저습지를 흔히 河口濕地帶(salt marshes)라고도 부른다. 하구저습지는 육수, 해수, 침전, 식생의 상호작용으로 형성된다.

하구의 특징으로 풍부한 어족자원, 용이한 교역, 쾌적성 등으로 인간정주의 중심이 되어왔다는 점과, 내륙수계의 개발활동으로 부터 야기되는 각종 點源 및 非點源 汚染物質의 대부분이 流入되는 곳이라는 점을 들수 있다. 하구자체의 개발과 수계로부터 오염물 유입으로 수질오염과 물고기가 죽는 현상까지 일어나 하구의 保全(conservation)과 開發(development)에 대한 논란이 야기되고 있다. 하구는 가급적 자연상태로 보전되어야 하나, 수계개발로부터 배출되는 오염물을 정화하고 오염물을 해양으로 통과시키는 기능도 동시에 수행해야 한다.

하구가 인간에게 중요한 이유중 하나는 연안에서 잡히는 고기나 조개의 種중에서 2/3는 부화기나 성장기등 일생에 한번은 반드시 하구에서 살아야 하기때문이다. 하구의 수질오염과 과도한 하구저습지의 개발은 하구 및 연안 어업에 영향을 미치게 된다.

하구의 이용을 1) 물자와 사람의 수송, 2) 하구저습지와 하구수역의 어업, 3) 원유 및 광물등 해저자원 개발, 4) 도시 하수 및 폐수의 방출, 5) 하구지역을 중심으로한 도시형성, 6) 낚시, 요트등

수변행락, 7) 연구 및 교육, 8) 보전으로 대별할 수 있다. 이중 보전은 다른 이용들과 상충적 관계가 된다. 이 상충성이 하구의 開發과 保全에 관한 딜레마의 핵심이다.

하구관리의 궁극적 목표는 하구이용에서 발생하는 편익(benefit)이 사회전체적으로 최적화 되도록 하는 것이다. 구미 선진국의 과거 하구관리는 준설 및 매립을 통한 항만, 공업단지, 도시 건설등 經濟的 利用이 기본방향이였으나, 최근에는 河口水質汚染管理 및 河口低濕地保存(preservation)이 하구관리의 주요 내용이 되고있다.

### II. 河口環境 評價技法

하구관리를 위해 하구수역과 하구저습지를 평가하거나 모니터링한다. 이때 다양한 기법이 사용되나 이들을 指數(index)접근과 모델(modelling) 접근으로 분류할수 있다.

#### 1. 指數 技法

##### 1) 河口水域 指數

지수는 많은 양의 자료를 종합하고 분석하여 쉽게 이해할 수 있는 형태로 만든 것으로 흔히 수치로 표시한다. 지수의 중요한 목적은 환경관리에 필요한 정보를 제공하는데 있다. 하구수역의 질을 나타내는 여러 다양한 지수는 대부분 오염 되지않은 상태를 기준으로 설정하여 나타낸다. 하구수역을 구성하는 주요 인자는 화학적 특성과 생물학적 특성으로 대별되며, 생물학적 특성은 개체군의 반응과 개체의 생리적 반응으로 흔히 나타낸다. 하구의 오염정도를 측정하기위해

하구수역의 3가지 주요 구성요소인 水柱(water column), 生物體(organism), 沈澱物(sedimentation)을 분석한다.

(a) 수질 지수(water quality index): 하구수역수의 구성요소를 화학적, 생물학적, 미적 3그룹으로 구분하여 하구수질을 평가한다. 각 그룹의 요소들에 점수를 부여한후 합산한 최종 수치로 전체 하구 수질을 판단한다.

(b) 오염 지수(pollution load index): 육수와 해수가 만나는 조간대(intertidal)지역의 침전물분석을 기초로 하구수질을 판단한다. 이방법은 침전물과 수주 및 생물체사이에는 상호관계가 있다고 본다. 설정된 비오염수준(unpolluted baseline)과 오염수준(threshold)과의 차이를 흔히 로그스케일로 나타낸다.

(c) 생물지수 (biological quality index): 종/개체수/생체(species/abundance/biomas) 곡선을 기준으로 하구수역을 생물체가 생존불가능한 비생물 구역(abiotic), 생체량은 높지만 종의 수가 적은 기회구역(opportunistic), 정상적 안정구역(stable)으로 구분한다. 하구수역을 세 구역으로 표기한 후 각 구역의 면적을 지수계산 공식을 이용하여 생물지수로 표현한다. 이방법은 생물군집의 특성을 파악할 수 있다.

## 2) 河口低濕地 指數

저습지를 관리하는데 이용하는 저습지 평가방법을 두가지로 대별할 수 있다. 첫째, 저습지의 생태적 가치를 지수로 나타내는 기법이 있다. 문제가 되는 저습지의 질을 유사한 저습지의 질과 비교하여 지수로 나타내거나, 문제의 저습지가 야생동물 서식처로서 어느 정도 적합성이 있는나를 지수로 나타내는 기법이다. 둘째, 저습지의 생태적 가치를 화폐가치로 나타내는 방법이다. 저습지 자체가 가지고 있는 생태적 화폐가치와, 저습지 개발에 따른 경제적 가치를 비교하여 저습지 개발을 허가할 것인지의 여부를 결정하는데 이용한다. 생태적 가치의 지수화나 화폐화는 수치로 표현한다는 점에서 지수기법에 속한다.

### (a) 生態 指數

하구저습지의 주요 구성요소에 점수를 부과하

여 그결과를 하구저습지의 관리에 이용한다. 미국 야생동물 보호국에서 개발한 서식처 평가기법은 서식처의 구성요소에 수치를 부여하여 합산한 후 하나의 값으로 표현한다. 이 기법은 정책결정자에게 수치화된 정보를 제공하여 서식처의 비오염상태를 목록화하고, 저습지 관리의 대안수립과 평가를 위한 판단자료를 제공한다.

### (b) 貨幣價值 指數

하구저습지 생태계가 사회에 제공하는 사회적 가치를 화폐가치로 계산하는 방법이다. 하구저습지의 사회적 가치란 하구저습지의 기능이 사회에 제공하는 시장적(tangible) 및 비시장적(intangible) 화폐가치를 의미한다. 하구저습지의 기능은 일차 생산에 의한 먹이사슬, 동식물 서식처 제공, 태풍과 해일의 완화, 수질정화, 어패류의 수확, 수변 레크레이션, 시각적 쾌적성을 들 수 있다.

Gosselink et al. (1974)는 저습지가 가지고 있는 각각의 기능들을 화폐가치로 환산하여 합산하기 보다는, 미국 국민총생산에대한 에너지소비 비율(\$1 = 10,000 Kcal)을 이용하여 저습지 생태계의 에너지흐름을 달러로 환산(\$2,000 - \$6,000/acre/year)하였다. 이 달러가치를 5% 할인율을 적용하여 훼손되지 않은 저습지의 사회적 가치를 \$50,000 - \$80,000/acre/year로 계산하였다. 미국 내 저습지의 개발과 보전에대한 정책결정에서 흔히 인용되는 수치이다.

이러한 하구저습지의 화폐가치화는 최근 환경 계획 및 관리 분야의 중심사고로 자리잡고 있는 持續可能한 開發의 핵심개념인 環境의 價値化와 유사한 개념이다. 환경의 가치화란 개발사업평가에 있어 기존에 사용해온 비용편익(cost-benefit) 분석에 환경의 화폐가치를 포함시켜 평가함으로써 환경보전에 기여하자는 개념이다. 아래식에서 0 보다 클경우 사업시행을 허가하게 된다.

$$\sum_{t=0}^{\infty} (B_t - C_t - E_t)(1+r)^{-t} > 0, \text{여기서 } B: \text{비환경 편}$$

익, C: 비환경 비용, E: 환경비용(혹은 환경손실) 혹은 환경편익(환경질향상 +로 계정), t: 시간, r: 할인율을 나타낸다.

## 2 모델 技法

모델은 기존의 정보를 관리개념의 틀과 결합시킬 수 있으며, 정책결정자가 관리전략의 파급효과를 평가하는데 이용된다. 다양한 하구관리 모델은 하구를 구성하는 요소들간에 설정된 假說을 수학적 공식으로 표현하는 數式모델(물리적 모델)과, 하구생태계의 에너지, 물질, 영양소의 흐름을 설명하는 개념모델(생태계 모델)로 구분할 수 있다.

이들 두 모델은 분리되어 연구가 수행되는 경우가 대부분이어서, 하구환경의 종합적 이해와 관리를 위해서는 두 모델의 통합이 필요하다. 수식모델은 몇가지 오염에 대한 하구환경의 반응을 비교적 쉽게 예측할 수 있지만, 하구환경의 복잡한 과정과 상호작용의 파악은 생태계모델이 더 효과적이다. 생태계모델은 하구관리 및 계획에 중요한 인자파악과 이들 인자간의 상호작용의 규명, 하구 계획 및 관리에 있어 긴급한 요구사항의 이해, 학문간 연구의 수렴을 용이하게 해주는 장점이 있다.

### 1) 수리(mathematical) 모델

(a) 실험(통계)「emperical(statistical)」 모델: 설계와 수행이 용이하며, 관리문제점에 빠른 대응을 할 수 있다. 동일 작용과 구조가 항상 유지될 것이라고 가정하며 한 지역의 결과를 타지역에 적용하는데 제약이 따른다.

(b) 역학(mechanical) 모델: 중요한 과정과 상호작용의 정의가 용이하다. 현장자료의 외삽이 가능하며 실험실에서 실험이 가능하다. 복잡성이 증가하며 독립변수와 종속변수의 인과관계를 이해해야한다. 수식과 과정이 실험결과를 미리 결정해버릴 가능성이 있다.

### 2) 개념 (conceptual) 모델

(a) 부분적 생태(partial ecosystem) 모델: 연구의 상대적 객관성이 증가한다. 중요한 상호작용이 고려되지 못할 경우가 있으며, 가정에 의존성이 증대된다.

(b) 종합적 생태(holistic ecosystem) 모델: 가능

한 모든 중요변수를 고려할 수 있는 잠재력과 종합적 영향을 연구할 수 있다. 광범위한 자료가 요구되며, 변수들간 다양한 기능적 상호관계를 정확히 이해하는데 한계가 있다.

## Ⅲ. 河口環境 管理

미국의 경우 하구환경관리는 공병(Army Corps of Engineer)의 허가과정, 해안관리법(1972)에 의한 하구보호 프로그램(National Estuarine Sanctuary Program), 수질보전법에 의한 국가하구프로그램(National Estuary Program)등에 의해 수행된다. 이 중 공병의 허가과정이 중요한 역할을 한다.

### 1. 공병허가과정

하구의 개발로부터 발생하는 이익과 하구생태계가 사회에 제공하는 이익을 비교하여 개발을 허가하고 있다. 계획안 제출, 공고, 시민공청회, 계획안평가, 최종결정의 과정을 거치고 있다.

개발계획서가 지역관할공병대에 접수되면 개발계획서를 시민에게 공고하고 개발계획서에 대한 검토가 공병, 시민, 시민단체, 지방행정 관련부서, 주정부 관련부서, 연방정부 관련부서에 의해서 진행된다. 시민 공청회를 거쳐 개발계획서를 평가하게 된다. 평가요소로 보전, 경제, 시각적 가치, 환경고려, 어획 및 야생동물 가치, 홍수 통제 기능, 일반대중 복지, 역사적 가치, 행락, 토지이용, 용수공급, 수질, 해운, 안전등이 고려된다. 평가결과를 기초로 개발계획사업을 허가하거나 취소한다.

### 2 하구보호 프로그램

주정부에 의한 하구 및 하구주변의 토지 매입을 중심으로, 환경단체의 매입, 지역적 규제, 내륙수계의 관리를 병행하고 있다. 이 프로그램은 매입을 통하여 연구 및 교육을 위해 필요한 하구들을 보전하는데 목적이 있다. 소규모 하구저습지에 적용할 수는 있으나, 하구저습지 전체의 매입은 어려워 전반적인 하구저습지 관리에 응용할수 있

는 방법은 아니다.

### 3. 국가 하구프로그램

1987년 미국 연방수질보전법에 첨가된 국가 하구 프로그램은 환경보호처 (Environment Protection Agency) 주관으로 국가적으로 중요한 하구의 선정과, 5년간의 연구기간을 통하여 종합적 하구관리계획(comprehensive management program)을 수립하도록 규정하고 있다. 여러 법규를 통한 단편적인 하구관리보다는 종합적인 하구관리의 필요성이 이 프로그램 도입의 원인이다. 11개 하구가 선정되어 연구가 진행중이거나, 관리 계획이 마련된 곳도 있다.

이 프로그램의 목적중 하나는 Chesapeake Bay 하구의 연구 및 관리방안의 경험을 11개 하구에 적용 발전시키는데 있다. Chesapeake Bay의 문제점은 1978년부터 4년에 걸쳐 조사되었으며, 1983년 관리권고안이 작성되어 1985년 Virginia, Maryland, Pennsylvania주 합동으로 점원오염통제, 비점원오염통제, 토지이용관리, 하구자원과 서식처보호 대책이 수립되었다.

국가 하구 프로그램은 하구수질 관리보다는 하구생물자원의 보호에 더 역점을 두고있다. 환경보호처는 이 프로그램이 제정될 무렵 미국내 점원오염은 2차처리수준으로 통제되고 있다고 판단하였다. 따라서 수계의 개발활동에서 발생하는 비점원오염을 규제하기위한 하구침전물의 기준 설정과, 유해물질이 야기하는 생태적 위험을 통제하기위한 규정 수립을 강조하고 있다. 하구와 수계를 한 단위로 보며, 수질뿐만아니라 생물자원에 고려하는 종합적 관리 접근방법을 도입하고 있다.

## IV. 결 론

국내의 경우 환경영향평가 대상사업에 포함되지 않는 하구저습지 개발은 사실상 규제가 어려운 실정이다. 경제개발의 압박으로 하구저습지의 보전보다는 개발에 우선순위가 주어지는 추세이다. 미국 San Francisco 港의 하구저습지는 92%

가 개발로 사라진후 시민과 주정부가 하구저습지의 중요성을 인식하고 막대한 비용을 들여 하구저습지 보존과 회복작업이 진행중이다. 개발이 환경에 미치는 영향뿐만 아니라 환경이 경제개발에 미치는 생태적 스트레스(ecological stress)를 인식하기 시작했기 때문이다. 국내도 하구관리에 관한 법률제정과, 하구저습지의 사회적 가치를 화폐가치로 환산하여 하구저습지개발 영향평가에 활용하는 노력이 요구된다. 연안간척사업의 경우 다음 세대도 갯벌을 이용할 권리를 가지고 있다는 점을 고려하여 장기적 관점에서 판단을 내릴 시점이 되었다고 생각된다.

## 引用文獻

1. Brower, D. J. and D. S. Carol(eds.)(1987) *Managing Land-Use Conflicts*, Duke University Press, Durham.
2. McDonald, K. L. (ed.)(1987) "Estuary and Coastal Management: Tools of the Trade", *Proceedings of Tenth National Conference*, The Coastal Society, Bethesda, Maryland
3. Fish and Wildlife Service(1970) *National Estuary Study*, Vol. 5, U.S. Fish and Wildlife Service, U.S. Department of the Interior, Washington D.C.
4. Gosselink, J. G., G. E. Odum, and R. M. Pope(1974) "The Value of the Tidal Marsh", *Center for Wetland Resources*, Louisiana State University, Baton Rouge.
5. Greeson, P., J. R. Clark, and J.E. Clark(1979) *Wetland Function and Values: the State of Our Understanding*, American Water Resources Association, Minneapolis, Minnesota
6. Sather, J.H. and Smith(1984) *Wetland Functions and Values*, U.S. Department of the Interior, Fish and Wildlife Service.
7. Turgeon, K.W.(ed.)(1983) *Marine Ecosystem Modeling*, U. S. National Oceanic and Atmospheric Administration, Washington, D.C.
8. Wilson, J.G.(1988) *The Biology of Estuarine Management*, Croom Helm, London.
9. Yang, H.(1992) *Ecological Design of Estuarine Environment for a Sustainable Urban Ecosystem*, Ph.D. Dissertation, University of California, Berkeley.

# 도시 하천환경의 생태적 재생

## Ecological Rehabilitation Programs for River Environment in Cities

— 하천의 미지형 형성과정을 중심으로 —

최 정 권

(경원대학교 조경학과)

### I. 머릿말

우리나라의 하천은 60년대 이후 지속적인 하천 개수사업으로 92년 현재 57%의 하천이 치수위주로 정비되었다. 이는 우리나라 하천의 상당구간이 자연하천에서 인공적인 하천으로 변했다는 것으로 하천 생태계에 큰 변화가 있었음을 나타낸다. 특히 도시하천에서 행해졌던 치수와 하천공간 이용 위주의 하천개수사업은 저수로 및 고수부지의 정비, 하도의 선형정비, 양안의 제방 축조 등의 토목 공사위주로 진행되어 하천 동식물 서식처를 훼손시켜 생태계에 지대한 영향을 주어왔다. 그러나 아직까지 우리나라에서는 하천개수에 따른 생태계의 영향에 대해 큰 관심을 갖고 있지 않고 구체적인 연구도 시행되지 않았다. 근년에 들어 수질과 관련한 환경문제가 부각되면서 수질개선을 위한 정책이 마련되어 구체적인 사업이 시행되고 있으나 여전히 하천생태계를 재생시키고자 하는 시도는 미미한 실정이다.

하천의 생태적 재생은 이수, 치수 기능을 저해하지 않는 범위내에서 하천환경을 자연에 가깝게 재생하여 생태계의 다양성을 이룰 수 있게 정비하는 것을 말한다. 즉 하천이 지닌 환경기능 중에서 특히 하천 동식물의 서식처 기능과 수변경관 기능에 중점을 둔 것이다. 하천의 환경적 기능을 재생시키려면 하천지형 형성과정의 이해를 통한 교란된 지형기반의 복구가 선행되어야 한다. 자연하천에 가까운 하천지형의 복구가 이루어지면 후속적으로 생태적 현상이 발생하게 되어 하천생태계가 재생되는 것이다. 이는 최근의 환경정책 수립과정에 추구하고 있는 '환경적으로

건전하며 지속가능한 개발(ESSD)'에도 부합되는 환경보전계획의 주요 과제가 될 것이다.

본고에서는 하천환경의 이해를 위해 지형 및 식생형성과정에 대해 살펴보고 외국에서 시행되고 있는 자연형 하천공법의 구체적 선례를 소개함으로써 관행적으로 행해지고 있는 하천공법에 새로운 접근방법과 가능성을 제시하고자 한다.

### II. 자연하천의 형성과정(Natural Process)과 경관특성

#### 1. 지형형성과정(Geomorphic Process)

하천의 지형형성과정은 주로 침식, 운반, 퇴적이라는 세가지 작용에 의해 일어난다. 자연상태의 하천은 하도의 형태에 따라 직류하천, 곡류하천, 망상하천으로 구분할수 있으나 직선상으로 흐르는 하천에도 곡류의 경향이 나타나며, 직류하천은 점차 곡류하천으로 변해간다. 이러한 곡류현상은 자연하천의 주요 경관특성으로 이를 통하여 침식과 퇴적이 복합적으로 이루어진다. 실제로 하도가 직선상으로 길게 연속되는 경우는 드물다. 最深河床線(thalweg)에 접해 있는 하안은 침식되고 맞은 편이 하안은 퇴적작용이 일어나게 되는데, 침식된 모래 자갈 등이 쌓여 사주(point bar)를 형성하며 하안은 전진하는 형태를 취하게 된다. 이러한 지형형성과정을 통하여 직류하천에서 곡류화 현상이 일어나며 곡류하천은 침식이 가속화되어짐에 따라 반대쪽의 사주가 성장하게 되고 그 커브가 확대되면서 하천경관이 변천해나가는 것이다.

2 하천 미지형

하천에 있어 하상의 형태는 유수체계(fluvial system)가 반영되어져 나타나므로 유수체계는 하천경관을 결정하는 중요한 영력으로 작용한다. 유수는 하천 고유의 유로(stream flow)와 범람원(floodplain)을 형성함과 동시에 하상과 하안에 변화가 있는 微地形을 형성한다. Leliavsky(1955)는 유수체계에 있어 집중류(convergent flow)와 확산류(divergent flow)로써 하상의 미지형 형성과정을 설명하였다. 유량이 많을 때는 집중류에 의해 하상세굴(scour)이 발생하며, 확산류에 의해 퇴적이 일어난다. 이 원리에 의해 하상의 형태가 결정되며 하안의 경관을 이루게 된다. 이러한 하상의 형태는 하천 흐름에 따라 연속적으로 일정하게 동적인 균형을 이루면서 웅덩이와 여울 그리고 사주(point bar)와 같은 형태로 나타나게 된다.

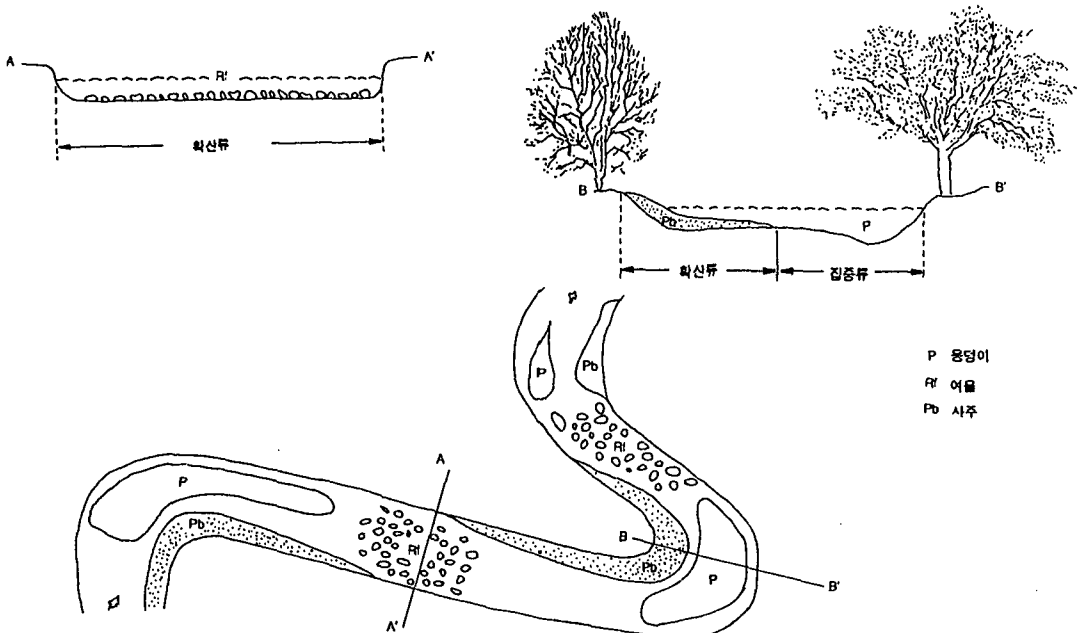
웅덩이(pool, 淵)는 지형학적으로 보면 유량이 많을 때 유속이 빠른 집중류(convergent flow)에 의해 발생하는 하상세굴(riverbed scour)로 형성되

고, 사행 벤드(meander bend)의 축으로 부터 약간 하류에 출현한다. 유량이 적을 때는 유속이 매우 느리며 바닥을 이루는 저질(substrate)은 모래일 경우가 많다. 하천 횡단면은 비대칭적(asymmetrical profile)이다.

여울(riffle, 灘)은 유량이 많을 때 확산류(divergent flow)에 의해 형성된다. 유량이 적을 때는 유속은 빠르다. 수면 경사는 급하며 수면은 거친 형태로 형성되고 하상의 저질은 입자가 굵은 자갈로 이루어진다. 하천 횡단면은 대칭적 형상을 이룬다.

사주(point bar, 砂州)는 곡류부의 바깥쪽에 나타나는 침식지형인 웅덩이와는 반대로 곡류부의 안쪽에 형성되는 퇴적지형이다. 유량이 많을 때 웅덩이에는 유속이 빠른 집중류에 의해 침식지형이 형성되는 반면에 사주에는 분산류에 의해 퇴적물이 집적되면서 사주가 형성된다. 사주의 단면은 여울과는 달리 비대칭적 형상을 이룬다.

이러한 자연하천의 미지형이 하천환경을 재생 시키는데 발생적 기반요소로서 작용하게 된다.



(그림 1) 자연하천에 나타나는 '웅덩이와 여울'의 형태적 특징

(자료 : Brookes, 1988. Channelized Rivers)

### 3. 하천식생(Riparian Vegetation)의 구조

하천식생은 분포지의 환경조건을 나타내는 예민한 환경지표이다. 하천환경에서 식생의 분포를 결정하는 주요 환경요인은 유수, 기층토양(substrate), 광선 그리고 영양물질 등이다. Haslam(1978)은 그중에서 유수를 지배적인 요인으로 강조하였으며 Seibert(1968)는 식생의 분포역(zonation)과 식물종을 결정하는 요인으로서 유수와 수위변동 그리고 지하수위(watertable)의 수직적 변화(fluctuation)를 꼽았으며 이들 환경요인에 따라 나타나는 식생 분포역을 4구역으로 구분하였다.

Seibert는 각 구역별 식물 군락의 기능과 호안 보호에의 역할에 대해, Haslam은 특히 수생식물 구역과 갈대호안 구역의 식생구조에 대해 연구하였다. 이들의 연구 결과는 하천식생의 유용성을 밝히고 토양의 안정화와 관련된 생물공학의 발전에 중요한 기초자료를 제공하였다.

#### 1) 수생식물 구역(zone of aquatic plants) :

이 구역에 나타나는 식물 군집의 환경요구는 완만한 유수와 충분한 광량이다. 수생식물은 하상침식을 어느정도 막아주지만 지나치게 번성하게 되면 물의 흐름을 저해하게 된다.

#### 2) 갈대호안 구역(reed-bank zone) :

하천유수와 인접 육역부가 직접 맞닿아 있어 정수식물(emergent plants)이 출현하는 구간이다. 이 식물들은 분류학적으로 대형수생관속식물(macro vascularhydrophytes)로서 뿌리와 줄기의 하부는 수중의 하상에 있으나 줄기와 잎의 대부분은 수면위에 있다. 갈대, 줄풀, 부들 등의 식물이 이에 속하며 갈대가 우점종이다. 2m의 수심에도 자랄 수 있는 갈대종이 있으나 대개의 경우 0.3m 수심 이내에서 갈대 군락이 나타나게 된다. 기층부의 토양은 점질미사토(clay-silt)에서 세사토(fine sandy soil)로 이루어져 있다. 갈대호안(reed-bank)은 토양을 붙들어 매고 물에 잠긴 줄기가 유수의 운동량을 감소시켜 하안을 보호한다.

#### 3) 수림 구역(wood-land zone):

수림구역은 관목류가 주로 분포하는 구역A와 교목류가 분포하는 구역B로 나누어진다. 구역A는 평균수위보다 높을 때 침수되는 곳이며 수위가 아주 높을 때 B구역까지 침수된다. Seibert는 지하수위가 높은 구역A에는 연목림(softwood)이, 지하수위가 상대적으로 낮은 구역 B에는 경목림(hardwood)이 분포한다고 보았다. 성장이 빠른 버드나무와 오리나무가 주로 출현하며 제방사면의 안정과 하안의 보호에는 오리나무가 효과적이다. 오리나무 뿌리는 침수에 내성이 강하고 뿌리를 깊게 내려 제방을 이루는 토양층을 지지하기 때문이다.

## Ⅲ. 도시화의 영향(Urban Process)과 생태적 재생

### 1. 개발에 따른 영향

하천환경에 영향을 준 인위적 요인으로 하도조작(channel manipulation), 유역분지 특성의 변형, 도시화, 수질오염 등 여러가지를 들 수 있으나 그중 첫번째 요인이 특히 중요하다. 하도조작 방법은 다양하며, 오랜 역사를 가지고 있다. 댐을 건설하고 저수지를 축조하는 것이 가장 잘 알려진 방법이다. 하천조작의 또 다른 방법으로는 하도정비(channelization)를 들 수 있다. 홍수를 하도내에 한정시키기 위하여 제방, 뚝, 홍수방벽 등을 건설하는 것이 이에 속한다. 또한, 하도직강화, 하폭확대, 하상굴착, 하상평탄화 등으로 하도의 담수력을 증대시켜 홍수를 쉽게 유출시키기 위한 하도개수 역시 이에 해당한다.

하도개수는 의도치 않은 결과를 낳을 수도 있다. 예를 들어 개수된 하도를 따라 유수가 빨리 흐르게 되면, 하류쪽의 침투홍수량이 증대되고 침식이 활발해진다. 이와같은 하도개수로 인해 주변 시가지로부터 지나치게 배수되면 지하수위가 낮아지게 된다. 한편 하도의 직강화로 지류의 유입이 차단되어 지하수위가 상승하면 범람원의 지표면이 침수된다. 하도조작의 결과 유속이 빨라지게 되면 어류의 홍수가 줄어들어 된다. 또한



하도 주변에 있는 식생의 파괴로 영양염류의 공급이 줄어들면, 하천에 서식하는 동물에게도 역시 여러가지 악영향을 미치게 된다.

고수부지를 조성하고 하안 보호를 위해 설치된 콘크리트제방에 의해 천변식생의 구조가 교란되기도 한다. 콘크리트 제방은 직접적으로 하안에 형성되는 정수식물군락의 생육기반을 훼손시키고 간접적으로 지하수위에 영향을 미쳐 다양한 천변식생(riparian vegetation)의 발생을 저해한다.

2 하천의 생태적 재생

하천의 생태적 재생은 하천의 환경보전 기능을 강화하여 가능한 자연에 가까운 하천으로 되살리는 것이다. 그 구체적 방법은 자연하천을 본보기로 하고, 치수상의 안정성을 확보한 후에 적극적으로 자연환경의 기반을 조성해 주는 것이다. 직선화된 단조로운 하천에 대해 여울이나 웅덩이를 조성하고, 하안선을 불규칙하게 넓히거나 좁혀 굴곡을 주며, 하안은 급, 완류를 조성하여 자연상태의 생태계로 복구한다. 하천지형의 동적형성과정(침식, 쇄굴, 퇴적)은 유수기능 및 홍수 조절 기능을 확대시킬 수 있어 치수 효과를 높이고, 수질정화 측면에서도(여울이나 낙차공) 자정작용의 확대(요철부에서의 접촉산화 및 흡착), 침전 및 1차 소비자 증대 등을 기대할 수 있다.

생태적으로 재생된 자연형 하천은 동식물 서식처로서 다음과 같은 장점이 있다.

- 유량이 적을 때, 느리고 깊은 웅덩이에서 부터 유속이 빠르고 얕은 여울에 이르기까지 다양한 유수환경은 먹이와, 번식, 산란(feeding, breeding) 그리고 은신처로서 조건을 제공해 준다.
- 유량이 많을 때 빠른 유속으로 부터 피난처를 제공해 준다.
- 웅덩이와 여울 그리고 하중도와 사주는 각기 다른 종류의 바닥물질로 구성되어 있어 다양한 저서생물(benthic organism) 생육환경이 되고, 저서생물들은 어류나 동물의 중요한 먹이가 된다.
- 충분한 수심은 건조기의 갈수조건에서 수생생물의 생존을 가능케 해준다.
- 제방의 수목과 수로변의 식생은 과도한 수은

변화를 막아준다.

<표 1> 하천환경의 생태적 재생에 적용된 주요개념/기법의 보기

지침 (Guidelines)	적용 지역 (Area to which applied)	근거 (Source)
Pool & Riffle	북미전지역	Keller(1975)
Rest stops	하와이	Parrish et al(1978)
Stream Restoration	브레이어 계류, 노스 캐롤리나	Keller & Hoffman(1976) Nunnally(1978)
Stream Renovation	올프강, 테네시	McConnell et al(1980)
Eco-technical engineering	바바리아, 서독	Binder et al(1979,1983)
Meander Restoration	슈트란트, 덴마크	Brookes(1984,1987)

(자료: Gandiner, J.L.(ed), 1991. River Projects and Conservation)

IV. 선례연구(Precedents study)

1. 스위스/독일의 선례

생태계를 고려한 자연스런 모습의 하천환경정비는 스위스/독일에서 처음 시도되었다. 독일에서는 자연과 경관보전을 내용으로 하는 연방자연보전법이 '76년 제정되면서 환경보전에 대한 정책변화가 이루어졌다. 또한 독일과 스위스에서는 과거부터 축적되어 온 하천복원기술을 근간으로 환경을 고려한 새로운 하천공법이라는 'Naturnaher Wasserbau(近自然河川工法, Close-to-Nature River Improvement Works)'를 적용하여 하천환경 정비사업을 지속적으로 진행시켜 왔다. 'Naturnaher Wasserbau'는 일본에 도입되어 '근자연형 하천공법'으로 소개되어 있다. 이 기법의 핵심은 호안이나 수제, 낙차공 등의 수리시설을 보다 자연스럽게 정비하는 것이다.

스위스 쥐리히주 하천 보호 건설국에서는 직강화된 하천과 복개된 소하천을 자연 상태로 되돌리기 위한 실험을 수행하였다. 1987년초 주정부에서는 하천 재생 프로그램을 마련하였다. 이 프로그램에는 토목기술자, 생물학자, 조경가로 구성되는 15개의 그룹이 조직되었으며, 복구 대상

의 하천 구간으로 628개소, 총 연장 563km가 선정되었다. 선정 기준은 생태보전적 관점과 경관을 고려한 마을의 이미지 부각, 하천범람 방지 등이었다. 1988년 전체 구간중 150개소의 하천구간에 대해 복구작업이 시행되었다.

#### ● 수로화 되었던 독일 엔쯔(Enz)강의 재생

1992년 Pforzheim 의 정원박람회(Landessgartenschau, state garden show)의 준비과정에서 자연환경 재생의 시범을 보이기 위하여 행사장에 인접한 엔쯔강의 1.8km 구간을 복구하게 되었다. 공모를 통해 채택된 계획안은 하천 유수 지형을 다양하게 하기 위해 하천의 단면을 비대칭적(asymmetric cross-section)으로 조성하고, 침식의 우려가 덜한 구간에는 식생의 재정착(recolonize)이 자연상태로 이루어지게끔 하였다. 복구를 위한 안은 1988년 부터 박람회장 조성 기본계획안과 함께 수립되었다. 그러나 하천과 관련된 여러 기관들로 부터 기술적인 문제가 지적되었다. 복구 하천구간이 상수원 보호구역 내에 위치하여 복구기간 동안의 상수오염 문제와 인접도로와의 관계 등이 주요 문제점으로 부각되어 Karlsruhe 대학에서 이에 대한 대책과 수리학적 문제를 검토하였다. 10개월간의 연구결과 시행가능한 해결책(feasible solution)이 제시되었으며 1992년의 행사시에 자연에 가깝게 복구된 하천제방을 따라 14가지의 생물공학적 하천공법을 시행하여 엔쯔강을 생태적으로 재생할 수 있었다. 엔쯔강의 생태적 재생에 적용된 주요공법은 다음과 같다.

- 나무가지 망(Branch Mattresses): 유수의 직각 방향으로 버드나무 가지망을 설치
- 갈대 두루마리(Reed Rolls): 4m 길이의 야자섬유망에 모래, 갈대 뿌리와 가지를 채워 제방을 안정화
- 암석사이에 꺾꽂이용 가지(Rip-Rap with Cuttings): 침식이 우려되는 제방보완
- 말뚝과 가지(Trunks with Branches)

#### ● 스위스 쥐리히주의 뮈리강 (유량Q=15-2m<sup>3</sup>/sec, 하상경사=1/100)

원리 및 내용: 생물학적 하천공법(Biologische Wasserbau)

물의 흐름이나 파도가 비교적 적은 곳에서는 갈대가 이용되고, 수류가 강한 곳은 버드나무를 이용한 공법이 적용되었다. 하천 경사가 1/100이상이 되는 급경사 구간에 돌을 이용하여 계단상 낙차공을 설치하였는데 유속을 1/3정도 완화시킬 수 있었다. 그 결과 홍수시 유속이 저하되고 낙차공 사이에는 식물에 의한 호안조성이 가능했다. 이 공법은 버드나무 가지를 하나로 묶은 섀단 다발을 한 그루 또는 수그루씩 모아 강가에 가로 놓혀 말뚝으로 고정시키고 그 위를 흙과 모래로 덮는 것이다. 일정 기간 경과후에 버드나무는 흙사이로 뿌리를 내리고 강변을 안정시킨다. 버드나무가 성장함에 따라 강가에는 녹음이 우거지고 수초의 번식으로 수온상승을 막을 수 있어 물고기의 서식이 가능해진다.

#### 2 영국의 자연형 하천공법

영국에서는 최근 10년전부터 하천정비시 치수 및 이수기능 뿐만 아니라 자연 생태계 보전, 친수기능 증진, 경관 확보 등 하천환경기능을 보전, 재생 및 복원시키고자 하는 하천정비사업이 활발히 진행되어 왔다. 특히 1989년에 이르러 NRA(National River Authority)가 설립되자 NRA의 8개 지역지부 주도하에 하천의 여러 기능을 개별적으로 진행시켜 나가는 것이 아니라 수자원, 수질, 홍수예방, 어류, 위락, 경관, 주운 등에 관한 여러 분야의 전문가들을 공동 참여케하면서 하천정비를 종합적이고 체계적이면서 장기적인 안목으로 일관성있게 추진해 나가고 있다. 따라서 영국의 하천정비는 치수 및 이수기능 증진과 하천환경기능을 종합적으로 다루었다는 점에서 '자연형 하천종합정비'라고 할 수 있다.

하천정비계획을 수립할 경우에 자연생태계의 현황, 하천경관, 위락시설 등 전반적인 하천환경 요소에 대한 현황조사를 면밀히 시행한다. 그리고 이와 같은 조사결과를 바탕으로 하천정비에 따른 환경영향평가를 실시하고, 자연상태를 보전하기 위한 다양한 자연형 하천공법의 적용 가능성을 검토한다. 물론 하천정비가 완료된 후에도

지속적으로 모니터링을 실시하여 사업효과에 대해 관찰하고 있다.

### ● 조사내용 및 방법

- 하천지형 조사 (River Morphology Survey)  
: Channel Discription, Bank Characteristics, Substrate Charaterter
- 하천 코리더 조사 (River Corridor Survey)  
: 식생구조에 따른 구역 구분 (수역, 수계역, 제방역, 하도주변역)

● 주요 공법 : 부분준설, 하상굴삭, 협수로 조성, 사주 및 하중도, 여울과 웅덩이, 基底와 수계부 보전, 셋강, 복단면 조성, 하도 재선형, 우회수로, 갈대호안, 홍수저류지

● 주요 사례 : Thames수계의 Lyde강, 북 아일랜드의 Blackwater강, Welsh수계의 Clwyd강

### 3. 미국의 솔트강

솔트강은 아리조나주 템파시의 시가지를 관통하는 도시하천이다. 복구의 목적은 도시 주민의 요구를 수용하면서(multiple use objectives) 역동적인 하천생태계(vital river ecosystem)를 조성하기 위한 것이었다. 유사한 환경조건의 자연하천 코리더의 경관을 본따서 복구하였다.

1년 강수량이 493mm에 불과한 건조지역에 위치하여, 상류부에 3개소의 댐·만들고 솔트강의 수로를 직강화하여 하천수의 이용율을 높혔으나 하천코리더의 식생이 수분부족으로 훼손되어 경관이 황폐화되었고, 일시적인 홍수로 하류에 위치한 시가지가 홍수 위협에 처하게 되었다. 이에 따라 아리조나 주립대학에서는 솔트강과 유허과 지형조건 그리고 교란상태가 유사한 버드(Verde)강과 솔트강 상류를 경관구조의 모형으로 삼아 복구안을 제시하였다.

홍수의 잠재적인 위협을 고려하여 제방을 안정화시키고 제방내의 수로 형태는 자연하천 지형을 본따다. 새로이 제안된 것은 홍수 빈도를 고려한 다층수로 구조로서 구간에 따라 수로폭을 달리하고 식생을 조성하였다. 제방내의 수로

폭을 확대시켜 홍수기의 유속을 감소시켰으며 좁고 긴 하중도, 사주, 여울, 웅덩이 등 자연하천의 지형기반이 형성되어 하천식생의 정착소가 될 수 있었다. 초기 정착된 식생은 주기적인 홍수에 의해 훼손되어질 수 있으나 천이 초기 식생으로 이루어져 교란에 대한 회복능력이 크고, 주기적인 교란에 의해 오히려 역동적인 식생경관을 이룰 수 있게 되었다. 홍수를 저해하여 종래에는 하도내의 식생을 제거해 왔으나 일정구간의 신속한 통수는 인접한 하류지역이나 유역의 범람을 유발하기도 한다.

하천 코리더내의 식생은 하천경관의 미적 경관, 오픈스페이스로의 이용, 동물서식처 등으로 복합적으로 이용될 수 있는 가치가 있다. 특정 하천 환경에 맞게 식생이 도입되면 침식조절로 토양을 안정화 시키고 제방침식 가능성을 줄이며, 도시 유출수를 여과하고 도시열섬(urban heat island)효과를 완화시킨다. 하천식생 군락은 지형, 토양, 지하수, 홍수 빈도에 따라 그 입지와 구조를 달리하므로, 항공사진 판독, 토양조사, 현장조사 등을 통하여 지형기반과 식생간의 관계를 일반화시켜 식생디자인의 기초 자료로 삼았다.

솔트강의 생태적 경관복구 선행은 도시와 자연체계가 결합하면 도시민에게 상당한 혜택을 주고 교란된 환경을 개선할 수 있음을 보여주고 있다. 도시 환경에서의 생태적 경관은 다용도를 지녀야 하고, 이미 조성된 경관은 생태적 기능이 촉진될 수 있도록 보완되어야 한다. 도시와 자연계의 불화합성은 자연생태계의 유연성과 도시체계의 적응 가능성에 대한 지식과 이해 부족에서 비롯되었음을 알려주고 있다.

### 4. 日本의 多自然河川工法

강우량이 많은 일본의 하천관리는 명치시대 이래로 홍수 유하능력을 최대 높이는 치수 위주로 진행되어져 오다가, 70년대 말에 이르러 다마천 정비사업과 함께 공간 이용 및 경관관리도 하천관리에 포함되어졌다.

90년대에 들어서 하천이 본래 지니고 있던 생물의 다양한 생육 환경을 배려하는 하천환경 관

리사업이 활발해졌다. 일본에서 최근 하천환경 관리가 성행하게 된 배경은 1986년 '마을조성 심포지움' 열리면서 부터이다. 스위스에서 70년대 말부터 시행되어 오던 'Naturnaher Wasserbau'가 심포지움에서 '近自然河川工法'으로 소개되면서 관심을 끌게 되었다. 1990년도에 건설성을 중심으로 한 행정부서에서 '多自然河川工法'으로 바꾸어 부르게 되었고, 그해 11월에 건설성 하천국에서 '多自然型河川造成の推進'이라는 보고서가 나오면서 일률적인 '河川標準斷面'을 배제하고, 이후 전국 각 하천에 개별 하천 특성에 맞는 하천환경 관리계획을 세우도록 권장하면서 활발하게 하천환경 정비사업이 진행되고 있다.

#### ● 요꼬하마의 이따치천

(하폭=30m, 하상경사=1/300-1/800)

- 목적 : 자연하천의 굴곡을 되살림
- 내용 : 수로의 사행(Meandering)재현, 여울과 웅덩이의 조성

이따치川은 요꼬하마 교외의 주거지에 위치한 하천이다. 저수로가 정비되고 하천양안은 축석제방으로 축조되어 직강화된 전형적인 도시하천이다. 자연형정비의 주요 내용은 다음과 같다. 자연을 본보기로 저수로를 사행 하도로 바꾸고 수제부는 갈대호안으로, 하상은 여울과 웅덩이가 반복되게 하는 것이었다. 자연형 정비사업이 완료된 후 하천의 자연성이 되살아나 야생조류와 어류, 곤충류의 서식환경으로 재생되었다.

### V. 생태적 재생의 한계 및 과제

앞에서 살펴 본 생태적 재생기법은 실제 적용되는데 있어 다음과 같은 한계가 있으며 후속적

인 연구와 실험적 시도를 통하여 보완되어야 할 것이다.

첫째, 하천 치수기능과 상충되는 문제를 어떻게 조절할 것이냐는 것이다. 생물의 생육환경에 양호한 하천환경은 기본적으로 사행하고 여울과 웅덩이가 있으며 수로변에 식생대가 조성되어 있는 상태이나 이러한 하천환경은 홍수의 통수에 있어서 지장을 초래할 수 있다는 점이다. 따라서 특정 하천구간의 수리적 특성을 감안하여 홍수통수기능에 여유가 있고, 보강된 제방으로 범람에 안전한 하천구간에 적용가능할 것이며, 제외지의 수로 단면 형태에 있어 비대칭적 단면부의 조성 등은 가능할 것이다.

둘째, 생태적 재생은 각기 다른 하천 구간의 물리적 조건을 감안하여 일률적으로 적용될 수가 없고 하천의 지역성, 개별성의 고려가 요구되어 지므로 면밀한 현황조사와 특정 환경조건에 맞는 공법을 적용해야 한다는 어려운 점이 있다. 또한 한국의 하천은 하상구배가 급하고 하상계수가 높으며 특히 홍수시 큰 돌이 쓸려 내려오므로 유럽에서 널리 적용되어지는 기법을 단순히 모방 적용하기는 곤란할 것이다.

세번째 과제는 생태적 재생이 이루어진다 하더라도 후속적인 유지관리가 뒤따라야 한다는 점이다. 따라서 그 적용에 있어서는 천변식생의 천이를 응용한 유지관리기법을 개발되어야 한다.

끝으로, 하천경관의 생태적 재생은 관행적으로 행해져 오던 치수, 이수 위주의 공학적 기법을 대체할 수 있는 기법이 아니라 공학적 기법을 보완하면서 환경 보전적 기능을 되살리기 위한 것이다. 또한 모든 하천에 두루 적용되어 질 수 있는 것이 아니라 치수에 안전한 구간에만 제한적으로 적용될 수 있을 것이다.

# 토지이용으로 인한 수질영향

## (Land Use Effects on Nonpoint Pollution)

이 명 우

(전북대학교 조경학과)

### I. 서론

계획 및 설계분야에서 사용되는 토지이용이라는 개념은 건축물의 기능과 규모 및 옥외공간 확보의 특성상 동질적인 구역을 구분하는 용도지역(Zoning)과 관련하여 사용한다. 이러한 개념의 토지이용은 복합적 특성을 갖기 때문에 수질과의 정확한 인과관계를 설명하기가 매우 어렵지만, 총량적인 측면에서는 어느정도 관계가 있다고 인정되고 있다.

근본적으로 특정한 용도로 토지를 이용하기 위한 개발이라는 행위는 개발하는 당시에 가장 큰 문제를 야기하여, 기존의 생태계를 교란시키면서, 토사유출등으로 엄청난 수질오염을 야기하게 된다. 그리고 개발후에는 불투수성지표면의 면적을 확대함으로써 토지의 자연생태적 기능을 저하시키며, 수질과 관련해서는 유량을 급속히 배출하며, 배출되는 오염을 정화할 수 있는 잠재력을 제거하게 된다. 한편 대규모의 골프장, 농장등의 관광단지등에서는 과도한 농약살포 및 시비로 인해 호수 및 하천의 부영양화등의 문제를 발생시키게 된다. 따라서 하천수질오염을 규제하는 중요한 수단으로서 녹지적 토지이용, 용도지역지구의 확보 및 조성, 특정 토지이용계획의 규제라는 방법이 사용될 수 있다.

### II. 토지이용의 유형

용도지역지구의 토지이용은 동질적인 활동특성을 갖는 지역으로 정의된다. 우리나라의 경우 이러한 토지이용의 유형은 국토이용관리법에서는 도시지역, 준도시지역, 농림지역, 준농림지역 및

자연환경지역으로 구분되며 도시계획법상에서는 주거지역, 상업지역, 공업지역 및 녹지지역의 4가지를 기본으로 하여 세분화 된 용도지역 및 용도지구의 개념을 갖게 된다. 한편 그 외의 법에서도 보전적 형태의 용도지역으로서의 자연생태계 보전지역등이 있으며 개발을 위한 관광단지등이 있어 전체적으로 보면 80여개의 용도지역지구로 구분되고 있다. 이러한 용도지역지구내에서는 건축행위나 개발행위등이 일정한 방법으로 규제되어 동질적인 토지이용으로 이용될 수 있도록 한다.

그러나 이때의 동질성(Homogeneity)이라는 개념은 수질관리의 개념은 아니다. 수질관리와 관련하여 보자면

단순한 하나의 용도지역지구라 할 지라도 지형, 식생, 토양, 경사등 수질에 미치는 영향이 매우 다양하므로 이를 가지고 인과 관계를 설명하기는 어렵다. 따라서 수질과 관련하여 이 토지이용을 보자면 별도의 분류체계를 가질 필요가 있다.

기본적으로 수질과 관련되어 토지이용을 분류하자면 크게 지표면의 투수성 상태(Surface Permeability)에 따라 도시형 토지이용과 농촌형 토지이용으로 구분하게 된다.

#### 1. 농촌형 토지이용

- 1) 경작지: 대개 1년생 작물 키우는 농경지, 과수 생산을 위한 과수원지역 등
- 2) 목초지: 목초를 생산하여 가축을 방목하기 위한 지역
- 3) 슬러지처리지역 및 스프레이 관개지역
- 4) 묘목장 및 조림지

5) 복합적 농경지: 위의 토지이용의 특성이 복합적으로 나타나는 지역

6) 기타 녹지지역: 관리를 하지 않는 지역(호수, 강, 습지, 황폐나지, 다년생 야생초화지역 등이 포함됨).

## 2 도시형 토지이용

1) 주거지역: 주택의 형태에 따라 농촌주거지, 단독주택지, 연립주택지, 아파트로 구분되며, 밀도에 따라 저밀, 중밀, 고밀등으로 구분되기도 함.

2) 상업지역: 업무 및 상업적 기능의 건축물을 갖는 지역

3) 공업지역: 제조업중등의 공장지역 과 광산등의 지역

4) 도로 및 철도 지역: 대규모의 도로 및 철도 부지를 가지고 있는 지역

5) 개발진행지역: 현재 위의 용도로 개발이 진행되고 있는 지역

6) 복합적 도시지역: 위의 토지이용이 복합적으로 나타나는 지역

## III. 토지이용과 수질

### 1. 수질오염의 성격

우수에서 시작되는 물은 생물체에 흡수되거나, 외부에서 흘러가면서 토양등에 포함되어 있는 물질을 용해하고 운반하는 속성을 갖는다. 따라서 자연상태에서도 지역적으로 나타나는 산성우, 지질 및 토양구성 물질의 특성등에 의해 침식, 유기물질, 특정 영양물질등이 발생된다. 이렇게 발생된 물질은 토양을 지나고 하천 및 호수등 수계에 이르기 까지 자정작용이라는 기작에 의해 자체적으로 정화되기 때문에 문제가 되지 않는다. 그러나 각종개발로 인해 생태계가 교란되면서 일시에 많은 토사 및 영양물질이 일부는 용해된 상태로 일부는 토사와 함께 유해되고, 불투수성 표면이 확대되면서 토양의 자정능력을 이용하지 못하게 되고, 공장등에서 배출되는 유독성물질의

배출은 물론 도시의 대규모 가정하수, 농촌지역의 축산폐수 및 기타 지역의 과도한 농약 및 비료등의 살포로 인해 수계에서의 자정능력 이상의 오염물질이 배출되는 상황이 발생하는 것이다. 이러한 문제는 하천에서의 홍수방지효율을 높이기 위해 하도 주변을 불투수성 재료로 함으로서 더욱 가속화 된다. 그리고 이러한 오염현상은 상류에서 부터 누적되어 하천의 하류 및 하구언 부분에 와서는 그 누적효과로 인해 엄청난 오염의 문제가 발생하게 된다. 이를 나타내는 수질오염지표는 침식량을 나타내는 부유물질과 영양요소인 질소(Nitrogen), 인(Phosphorus) 과 BOD등이 있다. 우리나라에서는 환경영향평가법에서 물의 용도와 오염물질에 따른 배출허용기준이 환경기준으로서 제시되어 있다.

이러한 수질문제는 근본적으로 환경용량등 생태적 요인을 충분히 고려한 계획을 통해 적합한 입지, 적절한 규모 및 밀도등이 가능하도록 하여야 한다. 그리고 현재 오염현상이 나타나고 있는 지역에 대해서는 무엇보다도 먼저 수질오염의 현재 상태를 알고, 그 원인 및 요인을 밝혀서 문제가 되는 토지이용지역 및 그 정도를 확인하는 것이 필요하다. 이를 위해서 수치적인 또는 통계적인 모델링이 필요하다. 이러한 수질오염을 방지하기 위해서는 기계적 기술적처리를 통해서 오염원자체를 규제하는 방법(정화조 및 폐기물처리장의 설치등)과 오염원의 배출과정에서 토양과 하도에서의 흡착력을 증대시키는 방법(침사지, 수림지, 정화용 초지, 하도의 식생도입등)이 이용되면서 상대적으로 적은 비용으로 오염을 방지할 수 있는 방법이 강구되어야 할 것이다.

### 2 수질에 영향을 주는 토지이용요소

개발에 따른 토지이용의 침식량과 수질오염량은 자연상태에서 배출되는 그것과 합쳐져서 수계에 영향을 미치게 된다. 단위용도지역안에서 수계에 영향을 미치는 토지이용의 요소는 아래와 같이 3가지로 구분된다.

1) 용도지역 특성과 직접 관련된 요소: 인구밀

도, 대기오염과 분진, 인구특성과 관련된 불투수성지역 밀도, 식생, 가로변 분진 및 쓰레기 집적율, 교통량 및 도로율, 배수로 연석길이 밀도와 높이, 가로청소율, 오염물질 처리체계 등

2) 용도지역 특성과 간접적으로 관련된 요소: 도로표면의 상태, 하천 수로와 관련된 불투수성지역의 정도, 운반율, 표면 저류상태, 토양내 유기물질 및 영양요소 함유량 등

3) 용도지역 특성과 관련되지 않은 요소: 기후적 요소, 토양의 성격과 구성, 투수성(Permeability), 경사, 지리적 특성 등

이러한 요소들은 용도지역안에서 수질과 상호인과관계를 갖고 영향을 미치게 된다. 용도지역과 관련되지 않는 요소로서 경사, 토양특성, 자연배수로 밀도, 식생밀도등은 주로 농촌형 토지이용에서 영향을 미치며 적용하기가 용이하다. 이 토지이용유형에 따라 부하되는 수질영향(Land Use/Pollutant Loading)이라는 개념은 그 정확성이 떨어지기는 하지만 수질과 관련된 연구나 계획에서의 그 활용될 수 있는 잠재력이 매우 높다. 왜냐하면 넓은 지역에서의 오염현상을 간단하고 빠르게 설명할 수 있기 때문이다.

### 3. 단위 지역 부하(Unit Area Loads)

토지이용과 관련된 수질의 분석 및 평가에서 사용하는 주요 개념이 단위부하의 개념이다. 이 단위부하량이란 단위지역에 단위시간에 대한 오염물질산출을 나타낸다. 이는 통상 kg/ha/year의 단위로 나타난다. 이 단위에서 보이는 바와 같이 이러한 단위오염부하모형은 광역지역에 장기간의 오염상태를 추정하는데 사용되는데 유용하나 세밀한 추정을 하기에는 정확성이 매우 떨어진다. 왜냐하면 실제 수질오염물질은 유하과정의 변이성, 계절적, 지질적, 기후적, 토양상태, 오염물질의 분석방법등에 따라 실제 하나의 토지이용상태에서도 차이가 크기 때문이다. 우리나라에서는 아직 연구된 바가 없지만 미국의 경우 Great Lakes 유역에서 측정된 바로는 한 산림지역의 경우 부유물질의 양이 2-1000kg/ha/yr의 변이를 갖게 된다. 따라서 단위오염부하량은 소유역의 단위

강위 강우사상(Event Storm)에 적용하기에는 무리가 따른다. 그리고 모형적용의 정확성을 높이기 위해서는 가급적 작은 동질적 유역으로 구분하는 것이 필요하며, 계절적요인에 따른 구분이 필요하다. 우리나라의 경우는 7, 8, 9월과 같은 풍수기인 여름과 침식가능성이 높은 식재시기인 4, 5, 6, 10, 11월, 거의 침식등의 영향이 없는 겨울을 구분하여 모형을 적용할 필요가 있다.

이러한 단위지역 모형을 농촌지역과 같은 투수성 토지이용에 적용할 경우에는 USLE(Universal Soil Loss Equation)공식을 이용하여 침식발생량과 이동율을 추정하여 여기에 부하되는 오염량을 산정하게 된다.

$$A=(R)(K)(LS)(C)(P)$$

A=발생토사량 (Ton/Ha/Time Periods)

R=강우에너지 인자

K=토양침식력 인자

LS=경사 및 경사장 인자

C=식생지표인자

P=토양보존인자

이때 식생지표계수는 대단히 중요하다. 대상지역 수림을 조성할 경우 수관면적 대 지표면적 비가 60%정도이면 전체 침식발생 추정량이 1/3000로 줄어들고, 잔디나 야생초화류가 60% 정도 피복한 상태이면 1/30로 줄며, 발작물에서는 대개 1/5정도로 줄어드는 효과를 갖는다. 따라서 나지인 경우는 수림지역에 비해 3000배라는 엄청난 양의 침식과 오염이 발생될 수 있다.

### 4. 토지이용별 BMPs

BMPs(Best Management Practices)란 비점오염원방지를 위해서 강구해야 할 방법으로서 사용되고 있는 개념이다. 이 BMPs는 토지이용에서 발생하는 활동, 유역의 자연환경적 조건, 규제하고자 하는 오염물질의 종류, 대상지역의 투수조건등을 고려하여 적용된다. 그리고 이 BMPs에 의해 시행되는 방안들은 비점오염원을 통제하며, 목표수질을 달성해야 하며, 상대적으로 효율적이어야 하며 실천적이어야 한다.

이 BMPs는 토지이용 특성별로 유사한 성격을 갖는다. 예를 들면 노천광산지역, 개발중인 지역 등은 환경훼손이라는 측면에서 유사한 특성을 갖기 때문에 유사한 방식의 BMPs를 취하게 된다. 아울러 공원, 관광지, 목초지 및 저밀 주거지등도 같은 형태의 BMPs를 적용할 수 있다. 모든 오염물질을 완전히 제거할 수 없기 때문에 BMPs에서는 가장 문제가 되는 지역을 확인하여, 대상하천 등의 목표수질을 달성하는 정도까지 적용하게 된다. 기본적으로 오염이 발생된 오염원 주변에서 고농도의 오염물을 처리하는 비용은 이 오염이 유하되면서 나타나는 오염을 처리하는 비용보다 매우 경제적이며 효율적이라는 개념하에서 BMPs가 제시된다. 이 BMPs는 성격에 따라 3가지로 구분된다. 1) 위험지역이나 특정 토지이용의 규제 2) 수집을 통한 관리와 이동의 감소를 통한 규제 3) 유출수의 처리, 침사지, 저류지등의 설치와 같은 구조적인 것과 경작방법, 시기, 대기오염규제등과 같은 비구조적인 것으로 구분하기도 한다.

1) 위험지역이나 특정 토지이용의 규제: 용도지역지구 지정을 통한 규제, 침식발생량의 규제(식생대의 도입, 투수성 표면으로의 변환 및 경사지의 조정등)

2) 수집을 통한 관리와 이동을 감소를 통한 규제: (1. 식생을 도입한 하도의 조성, 하천내의 침식의 방지, 하저의 잡석의 도입, 침사지의 설치와 같이 유출과정의 침식을 규제하는 방법과 2. 토양의 침투력과 증발산량을 증가 시키는 방법, 3. 준설, 하수체계의 정비등과 같은 처리체계내의 오염물질을 제거하는 방법등)

3) 유출수의 처리(하수 종말처리장등의 설치를 통해 사용되는 물리화학적 방법과 생물학적 방법)

### III. 결 론

우리나라에서는 이 수자원문제와 관련하여 초기에는 대규모 다목적댐등의 건설을 통한 수자원의 이용과 홍수조절등의 유량에 대한 것이 주된 관심사였다. 그러나 80년대 부터 부각되기 시작

했던 수질오염의 문제는 대하천 상류의 축산단지, 골프장, 스키장과 같은 대규모 관광단지 및 체육시설등으로 인한 상수원과 지하수의 오염문제, 임해공단으로 인한 해양오염, 간척지로 인한 생태계파괴, 도시확산 및 개발로 인한 중소하천의 오염과 복개 등 근본적으로 수중생태계와 육상생태계를 파괴하므로서 이제는 우리나라에서도 그 문제의 심각성을 피부로 느끼는 상태가 되어 버렸다. 이러한 수질오염의 문제는 계속되는 개발로 인해 더욱 심각해 질 것으로 예상되고 있다.

따라서 90년대에 들어 환경성검토 및 환경영향평가법 등 환경관계법을 강화하여 대규모 개발이전에 그 영향을 최소화시키기 위해 사전 심의와 사후관리등의 요건을 강화하고 있다. 그러나 이러한 환경영향평가라는 수단만으로는 이 엄청난 문제를 해결하기는 어렵다. 왜냐하면 기존의 개발은 개발비용을 줄이기 위해 기존에 남아있는 산림지역등을 개발대상지로 선정하므로 근본적으로 그 개발의 방향을 바꾸기가 어렵고, 개발 방식, 규모, 입지등을 고려하지 않은채, 그 악영향을 최소화하는 방안만을 강구하며, 그렇게 강구되는 방안도 우리나라에 적합한 적절한 자료가 미비하여 외국의 자료를 그대로 원용하기 때문에 그 영향평가의 실효성과 신뢰성이 떨어질 뿐 만 아니라 그 실천과 관리도 실제 기대하기 어렵기 때문에, 환경에의 파괴를 근본적으로 해결하는데는 어려움이 있다.

따라서 근본적으로 현재 개발, 파괴 그리고 부분적인 보완이라는 악순환을 계속하고 있는 도시계획, 단지계획 및 조경계획에서는 근본적으로 최대의 경제적 효율성과 단기 이익추구를 위한 수요량(Quantity of Demand)의 충족이라는 개념에서 탈피하여 생태적 지속성과 장기적 개발 잠재력을 제공하기 위한 공급의 한계(Limits of Supply)라는 개념으로의 전환이 요구되고 있다. 이러한 개념은 환경적으로 지속가능한 개발(Environmentally Sound and Sustainable Development), 환경용량(Environmental Carrying Capacity)을 고려한 친환경적 생태도시등의 개념과 동일하다. 이를 바탕으로 한 적지분석과 입지분석과 같



은 환경적합성분석기법 및 토지이용계획 관련기법, 식생 하천대조성, 침사지 조성, 수림지 조성 과 같은 생태적 최적관리수법 (Best Management Practices)에 관한 기초연구가 지속적으로 수행되어야 할 것이다. 특히 녹지대의 조성 과 산림과 관련되는 연구는 가장 핵심적인 연구이다. 왜냐하면 어떠한 형태이든 산림의 보존, 수림지의 조성, 하천식생의 조성등을 통해서 형성되는 녹지는 거대한 저수조와 여과지로서 작용하므로 침식을 방지하며 하천과 호수에 풍부한 수량과 깨끗한 수질을 공급하는데 근본적이며 직접적으로 영향을 미치게 되기 때문이다.

### 引用文獻

1. 구분경(1988) 「유역내 토지이용상태가 수질에 미치는 영향에 관한 연구」, 서울대 환경대 석사논문.
2. 이명우(1987) “하천식물의 생태”, 「환경과 조경」, 19호, pp. 65-72.
3. 이명우(1989) 「토지이용을 고려한 소유역의 수질에 측도형에 관한 연구」, 서울대 박사학위논문.
4. 건설엔지니어링(1991) 「국토이용계획변경에 따른 환경영향검토서」, (평창종합휴양지 개발사업), 평창군.
5. 건설종합기술공사(1993) 「평창 종합휴양지 개발사업 환경영향평가서」, 보광주식회사.
6. 양병이(1993) “지속가능한 개발을 위한 환경적합성 평가”, 「환경논총」, 31권 pp. 245-281.
7. 서울대 임업과학연구소(1993) 「다목적 산림경영시험단지 조성사업 타당성 조사- 사전 환경성검토」, 산림청.
8. Alderfer, R. G., E. Lovelace(1977) “Relationships between Water Quality Mangement Planning and Land Use Planning”, J. L. Pavoni(Ed), *Handbook of Water Quality Management Planning*, VNR, pp. 47-81.
9. Brown, G. W.(1980) *Forestry and Water Quality*, OSU Book Stores, Inc.
10. Novotny, V., G. Chesters(1981) *Handbook of Nonpoint Pollution-Sources and Management*, VNR, pp. 391-436.
11. Parker, F. H., D. R. Godschalk(1975) “Carrying Capacity- A Key to Environmental Planning?”, *J. of Soil and Water Conservation*, July-Aug., pp. 160-165.
12. Schneider D. M., D. R. Godschalk, and A. Norman(1978) “The Carrying Capacity Concept as a Planning Tool”, *Planning Advisory Service Report*, No.338,APA.