

## 효율적인 물관리와 생태계의 보전

### Effective Water Management and Conservation of Ecosystem

황 순 진\*

Hwang, Soon-Jin

#### 1. 서 론

물에 관한 한 21세기는 위기의 시대로 규정되고 있다. 위기의 의미는 물의 부족과 수질의 악화 현상으로 나타난다. 인구의 집중, 도시화, 산업화는 생활의 발전을 가져온 반면 그 부산물로 나타난 환경오염은 수질을 악화시키고 생태계를 파괴하고 있다. 더불어 기후변화 및 생태계의 파괴와 관련된 지구환경 변화는 대기오염, 수질오염과 같은 환경문제가 더 이상 일부 국가에 한정된 문제가 아님을 보여준다.

우리나라는 좁은 국토면적, 과밀한 인구, 강우량의 계절적 편중, 지형학적 조건 등 많은 요인들이 효율적인 수질관리, 건전한 생태계 보호, 수량확보 등에 큰 부담으로 작용하고 있다. 21세기의 우리는 이와 같은 상황 하에서 환경적으로는 수질오염을 개선하여 생태계를 보전하며, 경제적 측면으로는 맑고 풍부한 수자원을 효율적으로 이용하고 지속적인 농업생산과 경제성장을 이룩해야 할 것이며, 치수적 측면에서는 과학적이고 체계적인 수자원 관리를 통하여 수해나 가뭄으로부터 재산과 인명을 보호해야 하는 과제를 안고 있다.

21세기의 물관리는 이러한 다양한 욕구와 과제를 해결하는 차원에서 고려되어야 한다.

지난 20세기 한국의 농업생산을 위한 물 관리 목표였던 농업용수 수요량 충족 즉, 저수지의 물관리 차원을 한 단계 뛰어 넘어 이제는 저수지를 기준으로 상류 및 하류의 하천 생태계 및 저수지의 수량을 포함한 수질 및 지역 생태계 보전·관리의 관점에서 접근하지 않으면 안된다. 이러한 생태학적인 접근이 없이는 현재 우리 농촌사회에서 일반적으로 인식하고 있는 지역 환경문제를 궁극적으로 해결할 수 없게 된다. 따라서 농공학에서도 이제는 저수지 및 하천, 더 나아가 관개 용배수로에서의 생태계 유지를 위한 노력을 한 층 더 기울여야 할 것이다. 이러한 맥락에서 본 고에서는 하천 및 호소의 기본적인 생태학적 개념을 이해하고, 이를 수량·수질과 함께 다룸으로써 농업물관리 차원에서 생태계의 역할과 보전의 의미를 고찰하고 효율적인 물관리를 위한 농촌지역내 하천 및 호소생태보전의 방향을 제시하고자 한다.

#### 2. 하천생태계

##### 가. 유역의 중요성

유지 내에 위치하는 수계는 직접적이든 간

\* 건국대학교 지역생태시스템공학과

접적이든 수계를 둘러싸고 있는 주변 육지의 여러 가지 특징과 성격에 따라 영향을 받게 된다. 수계를 둘러싸고 있는 배수유역<sup>1)</sup>은 주요 수로 또는 일단의 수로들을 구성하는 수많은 지류들에 의해 배수되는 전체지역으로 규정된다.

· 보다 광의의 규모에서 본다면 수계와 육지는 수문학적 순환의 고리를 형성하고 있으며, 유역의 지질 및 지형학적 특성은 수리학적 특성과 연관되어 수계로의 유량공급을 조절하는 기초적인 요소인 동시에 수계의 수질에 큰 영향을 미치게 된다. 이와 함께 수리학적 현상은 수계<sup>2)</sup> 내의 물리·화학적 특성을 결정지어 생물의 분포 및 생태학적 현상에 큰 영향을 미치는 일차적인 요인으로 작용한다<그림-1>. 또한 수질의 관점에서 유역 내에 분포하고 있는 오염원의 종류 및 특성은 부가적인 영향을 미치게 된다. 이처럼 물의 여러 가지 작용에 대한 육지의 영향은 절대적이며 불가분의 관계를 맺고 있다. 따라서 수계의 제현상을 이해하고 문제점을 해결하기 위해서는 수계를 둘러싸고 있는 배수구역 또는 유역의 특성에 대한 이해가 필수적이다.

- 1) 집수역(Catchment area)은 작은 유역들에 주로 사용되지만, 배수유역과 집수역은 동의어이다. '유역(Watershed)'이라는 용어는 두 배수지역을 분리하는 경계로 묘사(영국에서의 사용)되고 집수역과 동일한 뜻(미국에서의 사용)이다. 배수지역은 나뭇가지 형태로 나누어지는 모양을 보여주지만, 세부적인 모양에서는 변이가 크고, 땅상의 모양을 결정하는 지역의 상대적인 특성이나 물리학적 법칙들에 대해서는 아직 잘 이해하지 못하고 있다. 그럼에도 불구하고 배수망은 여러 가지 특성들에 있어 놀라운 규칙성을 보여준다.
- 2) 유역의 개념에서 나타나는 가장 기본적인 수계는 흐름(Flow)의 특징을 가진 하천이며, 호소와 같은 정수성의 수계는 하천에 의해 영향을 받게 되어 결국 호소는 하천을 통해 간접적으로 육지의 영향을 받는다. 또한 호소와 직접 경계하고 있는 육지의 경우는 직접적인 영향도 배제할 수 없을 것이다.

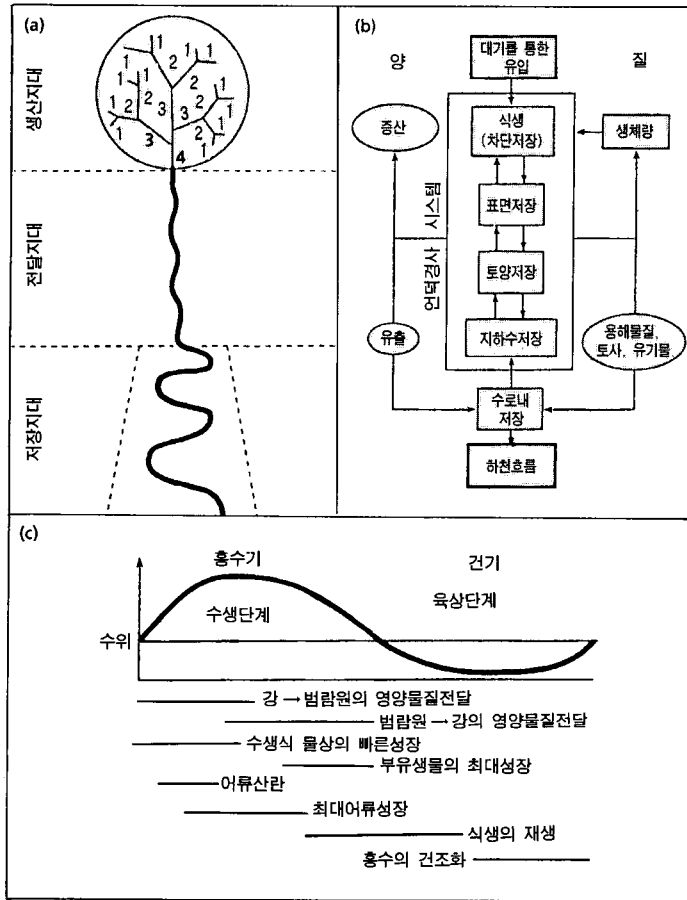
## 나. 하천 생태학의 의미

강이라는 시스템에 작용하는 물리적인 과정들은 전통적으로 수문학이나 지리학의 영역이었다. 그러나, 강의 생태학에 대한 이해가 흐름의 변이성, 수로의 구조 그리고 강 생태계의 다른 물리적인 측면에 대한 이해를 통해 도움을 받을 수 있다는 사실이 점점 확실해졌다. 흐르는 물은 매우 다양하여 작은 개천에서부터 큰 강까지 분포하며 광범위한 기후, 식생, 지형, 지리조건들에서 발견된다. 그러한 분리된 형태로부터의 생물학적 현상들을 이해하기 위해서는 역으로 강이라는 시스템의 물리적인 규모를 반영하는 골격을 고려하는 것이 중요하다.

강의 관리를 위해 과학적 원칙을 친환경적인 접근방법에 적용시키고자 하는 방향의 노력이 증대되어 왔다. 과거의 도시화, 산업 및 농업발전으로 인해 파괴된 강의 복원은 물관리라는 측면에서 그 중요성이 매우 높다. 따라서 강에 대한 친환경적인 연구를 발전시키기 위한 접근들에 있어서 공학적 방법의 보완이 필요하며 그것은 바로 생태계의 개념을 고려하는 것이다.

## 다. 하천 내의 주요한 과정들과 생물적응

퇴적되는 특성을 가지는 모든 수계에서 중요한 작용들은 육지와 물의 경계부에서 일어난다(이도원, 2001). 유기물의 유입, 영양물질의 유동, 육상의 새와 포유류에 의한 포식 등과 같은 몇 가지 현상에 있어 이 상호작용들은 아주 명확하게 나타난다. 생산이 일어나는 지역의 수로에서의 여러 가지 과정들은 수변의 경사와 매우 밀접하게 연결되어 있으며, 범람되는 강에 있어서 시스템의 생태학적 총체성(Ecological integrity)은 수로와 범람원 사이



〈그림 - 1〉 총적수계 내에서 육지와 물의 상호작용

[Schumm(1977)에 의하면 총적수계는 세 개의 지역으로 구분한다. 즉, 생산이 주로 일어나는 지역, 물질의 전달지역, 그리고 저장지역이 그것이다(그림-1, (a)) 생산지역은 보다 육상에 가까운 지역이며 저장지역은 하류 또는 제방이나 댐으로 막혀 있는 지역을 의미한다. 특히 하류로 갈수록 총적수계의 사형성이 나타나고 있다. 그림 (b)는 유량과 수질이 수계의 경사에 따라 조절되는 상류지역 하천 내의 작용을 보여주고 있다. 이 그림은 유량과 수질과의 상호관계에 대한 의미를 함축하고 있다. 그림 (c)는 저장지역 내에서 홍수기와 갈수기의 수위가 물질의 순환과 생태학적 현상에 대해 미치는 영향과 결과를 도식화하고 있다. 그림에서 보듯이 총적수계의 생태학적 현상은 수위와 같은 수리학적 요인에 크게 영향을 받음을 시사한다.]

의 연결의 세기(예를 들면, 홍수 또는 가뭄에 의한 수로와 범람원 사이의 상호작용)에 의존한다. 이러한 현상은 “범람 파동(Flood pulse) 개념”(Junk et al. 1989)으로 설명된다. 이 개념은 수생 또는 육상생물의 생태학적 상호작용과 강에서 탄소와 영양물질이 거동하는 과정에 있어 홍수의 형태나 강도의 중요성을 강조하고 있다.

강의 수로 내에서 생물의 서식지들은 수류의 깊이, 속도, 전단력의 강도와 같은 수리학적

범위와 수로의 넓이, 깊이, 경사도, 기질의 특성이나 모양과 같은 형태적인 요인들에 의해 크게 결정된다. 따라서 수로형태의 규모와 방류량의 관계는 생태학적 분석을 위한 규모적 기본틀을 제공한다. 즉, 흐르는 물은 수로의 윤곽과 수리적 조건의 횡단면적인 변이를 반영하는 넓고 다양한 생물서식지를 제공한다. 그러나 인간이 끼친 막대한 규모의 영향은 강 주변의 구조를 단순화시켰으며, 또한 이들 생물의 서식처나 숨을 곳을 제거하였다. 실제로,

강의 자연적인 모양은 수리학적으로 다양한 작은 지역들이 중요한 결정요인이다. Statzner and Higler(1986)과 Statzner 등(1988)의 연구 결과에 의하면 수로의 형태와 국지적인 수리학적 변이요인들이 하천 생물들에게는 매우 중요한 것으로 나타나고 있다.

### 3. 호소생태계

#### 가. 호소의 성격

우리나라에는 약 18,000개의 호소가 있으나 외국과는 다르게 수자원 확보, 홍수 조절 및 에너지 생산 등의 목적으로 댐 또는 방조제(둑)를 건설하여 조성된 인공호수(저수지)가 대부분이다. 인공호수는 일반적으로 유역면적이 넓고, 길쭉한 형태가 특징으로 종:횡의 비율이 대부분 50 이상이다. 국내의 경우 대형호수는 하천 중상류에 댐을 막아 건설한 인공호와, 간척사업과 연계하여 농지를 조성하고 이에 필요한 용수를 공급할 목적으로 하구나 연안에 댐이나 방조제를 건설하여 생성된 저수지 그리고 호 내의 해수를 담수로 치환하여 인공적으로 조성한 대형 담수화호가 대부분이다. 수적으로 거의 모든 호수는 대부분 농업용으로 조성된 저수지가 차지하고 있다.

#### 나. 호소환경의 복잡한 요인들과 이들의 상호작용

##### 1) 호소생태계의 복잡성

호소는 외부로부터 유입되는 물로 채워지고 이 물은 주로 육상을 통해 유입되므로 호수의 현상을 이해하기 위해서는 인접하는 유역의 육상생태계와 인접 하천과의 수리·수문·지질·화학적 관계를 이해하는 것이 중요하다. 특히, 호소는 하천과 달리 물이 정체되어 있는

시스템이며, 형태상 수심이 존재하며 이는 호소의 동태학에 매우 큰 영향을 미친다. 따라서 물의 체류시간과 수심에 따른 생물·물리·화학적 특성이 호소 내 생물 및 무생물적인 요인들 그리고 이들간의 상호작용에 중요한 영향요인이 된다.

한편 호소 내에서는 다양한 생물들이 서식하며 이들의 동태학이 생물간의 상호작용 뿐만 아니라 외부 영양물질 또는 호소 내 다양한 물질들과의 상호작용이라는 형태로 나타나므로, 수질오염 현상과 개선대책을 제시하기 위해서는 호소생태학적 이해와 함께 유역의 특성 및 오염원분포에 대한 이해가 필수적이다.

호소수질에 영향을 미치는 요인들은 크게 물리적 요인, 화학적 요인, 지질학적 요인 및 생물학적요인으로 구별된다<표-1>. 일반적으로 이들 요인들의 중요성을 순차적으로 구분할 수는 없으나, 호소 및 유역의 특성에 따라 상대적인 중요성을 파악할 수는 있다. 예를 들면, 유역으로부터의 토양침식을 통해 호소 내로 많은 입자성 고형물이 유입되는 경우 호소 내 생물생산력에 대한 평가는 영양물질보다는 빛의 이용성에 대한 문제를 우선적으로 고려해야 할 필요가 있다.

<표 - 1> 호소생태계 내 수질에 미치는 영향요인들과 요인별 주요인자들

영향 요인	요인별 주요인자
물리적 요인	온도, 색도, 탁도, 경도, 부유성 고형물질
화학적 요인	용존산소, BOD, COD, pH, 영양염류(질소, 인 등), 산화환원전위, 전기전도도, 유기물
지질학적 요인	저질토양, 기반암, 수심, 수체류시간, 표면적, 유역면적 등
생물학적 요인	플랑크톤(박테리아, 식물성 플랑크톤, 동물성 플랑크톤), 부착미생물, 원생동물, 어류, 수생식물, 저서생물 등

2) 유역특성 인자

호소 내 수질은 유역으로부터의 수리·수문 현상과 오염물질의 유입에 크게 의존한다. 즉, 유역특성 인자들은 유역면적 크기, 인구, 경사도, 토지이용형태, 토양 특성 등을 포함하며 이들은 개별적 또는 다른 요인들과 복합적으로 작용하여 호소수질에 영향을 미치게 된다. 유역면적이 클수록, 인구밀도가 높을수록, 경사가 급할수록, 토양 침식성이 클수록 수질에 미치는 영향이 크다. 호소표면적에 대한 유역면적의 비를 '유역비(유역면적/호소표면적)'로 표현하는데, 유역비가 클수록 영양염 등 오염물질 부하량이 증가하여 부영양화될 가능성이 커진다. 팔당호와 청평호는 각각 527, 598로 매우 높고, 영산호, 평택호, 삼교호는 93, 58, 81로 나타나고 있다. 이에 비해 외국의 호수인 일본의 Biwa호는 4.7, 미국의 Michigan호는 2.0으로 나타나, 국내의 호수의 유역비가 외국의 호수에 비하여 훨씬 높다.

3) 강우특성

호소 내로 물의 일차적 유입은 강우와 관련되며, 많은 경우 하천으로부터 물이 유입된다. 특히 강우 및 하천수와 관련된 수리·수문학 특성이 해당지역의 오염원 분포 및 배출특성과 연관되어 호소의 수질과 호소내 생물의 생산력을 결정하므로, 호소수질의 관리를 위하여 지역의 강우와 기후적 특성을 파악하는 일이 매우 중요하다.

점오염원과 비점오염원은 강우에 따른 유출형태가 다르게 나타난다. 가정하수와 산업폐수 등의 점오염원이 우세한 지역에서는 강우에 의해 희석효과가 나타나고 오염도가 낮아지나, 비점오염원이 우세한 지역에서는 유역의 토양에 축적되어 있던 오염물이 강우의 침식에 의해 유출되므로 오염도가 증가하게 되는 특성이 있다. 특히 몬순기후와 관련하여 우리나라

경우 그 심각성이 대두되고 있는 토사유출의 문제는 수질오염문제와 관련하여 심각한 수준이나 아직 이에 대한 원인과 메카니즘 및 생태계에 대한 영향이 제대로 인식되지 않고 있어 대책이 시급한 실정이다.

4) 수문·수리학적 인자

평균수심, 호수 내 물의 체류시간 등이 이에 속하며 수심이 얕을수록, 체류시간이 길수록 부영양화의 가능성이 높게 된다. 우리나라 호수의 평균수심은 대부분 10m 이하로서 일단 부영양화 되면 호수바닥에 쌓이는 유기물이 많아져 저질층으로부터 용출되는 영양염류(특히 인)의 영향을 많이 받을 가능성이 높다.

부영양화 조류발생과 체류시간과의 관계를 살펴보면, 평균 체류시간이 3.6일, 즉 1년간 물의 교환회수가 100회 이하인 경우에는 수중에 함유되어 있는 영양염류로 인해 부영양화가 발생할 수 있으며, 우리나라의 대부분의 하구담수호는 부영양화 발생 가능성이 높다. 팔당호, 청평호 체류시간은 5~10일이며, 영산호, 평택호, 삼교호 체류시간은 26~55일 정도이다.

다. 호소의 생물과 지역적 특성

호소 가까이에서 바로 눈에 띄는 호안 또는 연안부(Littoral zone)에는 갈대, 줄풀, 부들 등의 대형수생식물이 있다. 호소의 연안부는 육지역과 수역의 접점이 되고 환경조건도 복잡하게 변화하고 있다. 그 때문에 수생식물을 중심으로 해서 박테리아에서부터 어류와 조류에 이르기까지 상당히 많은 종류의 생물들이 서식하고 있어, 소위 생물의 다양성을 보전하기 위한 장소이다. 최근 호소주변에서의 인간활동으로 인해 연안부의 자연이 현저하게 파괴되고 있는 예가 많다. 호수의 생태계를 보전하기 위해서 연안부, 특히 수초대를 보전하는 중요

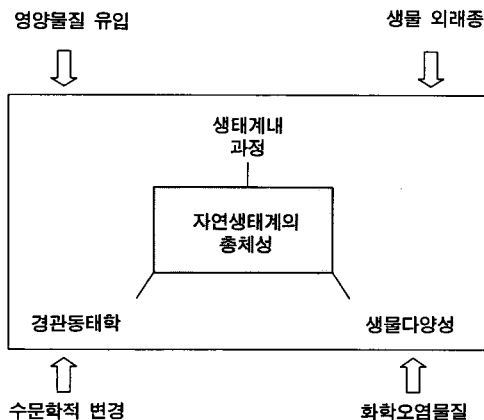
성을 재검토 해야한다.

매우 얇은 호수 등에서는 중간까지 부엽식물과 침수식물이 살고 있는 경우가 있지만, 어느 정도 이상의 깊이가 있는 호수의 중간에서 생활하고 있는 주된 생물은 플랑크톤(박테리아, 식물플랑크톤, 동물플랑크톤을 포함)과 어류이다. 우리나라 수계에는 최근 미국으로부터 어식성의 큰입우럭(Balck bass)와 파랑볼우럭(Blue gill) 등이 분별 없이 방류되어, 소형의 어류와 치어들에게 큰 피해를 내고, 호수의 어류 조성에 큰 영향을 주고 있다. 호소의 바닥층은 갈색 또는 회색의 두꺼운 저니질로 덮여있으며, 깊어서 생물이 적고, 저니 표면부근에는 용존산소가 충분하지 않으면 생활할 수 없는 저서성 무척추동물의 유충과 새우 등이 생활하고 있다.

#### 4. 물관리와 수생태계의 보전

##### 가. 자연생태계의 총체성이 나타내는 중요성

자연적이든 인위적이든 수환경에 대한 스트레스는 생태계의 구조와 기능을 교란시켜 최종적으로 물의 이용을 저해한다. 다양한 생물의 구조는 무생물적 환경요인들과 상호작용을



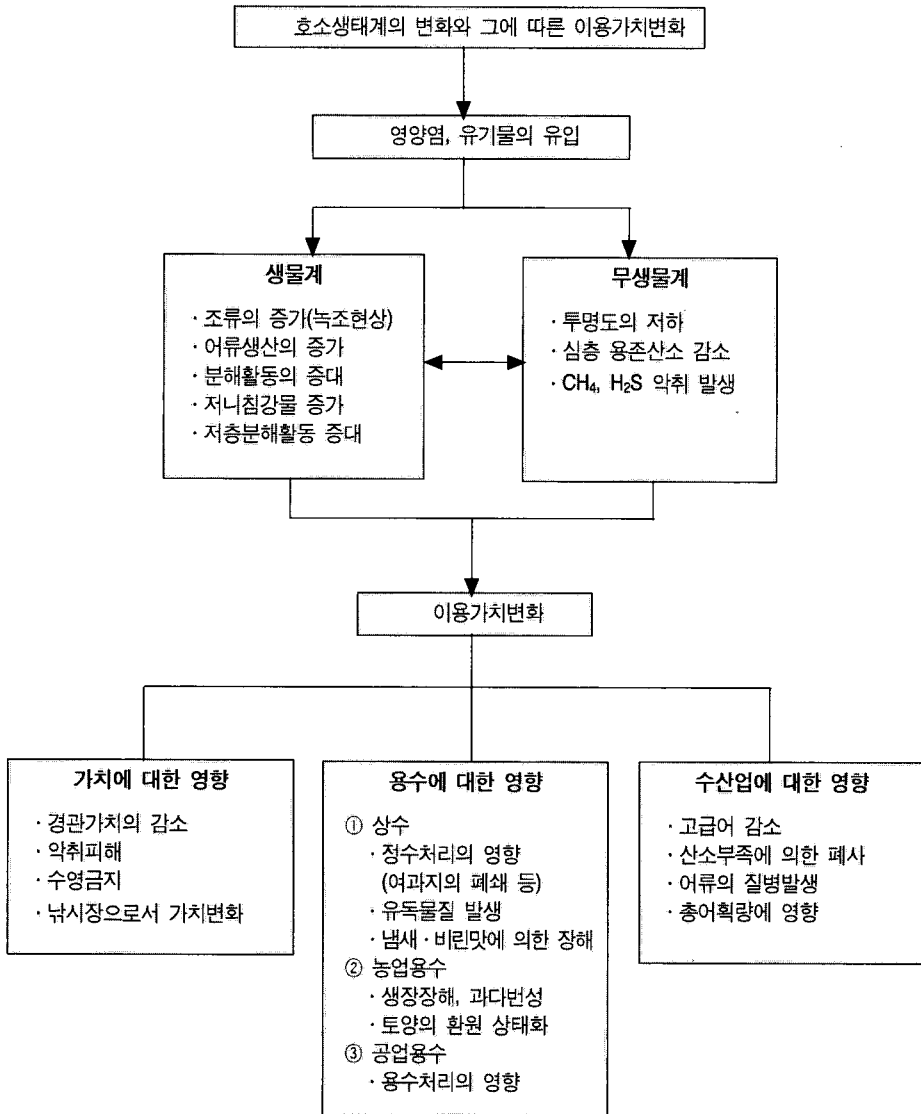
<그림 - 2> 환경 스트레스가 자연생태계의 총체성에 미치는 영향에 대한 모식도

통하여 종합적으로 생태계의 기능성을 나타내게 되므로 생태계의 건강성에 기초한 기능성은 자연생태계의 총체성(Integrity)의 관점에서 바라보아야 한다<그림-2>. 생태계의 총체성은 수리·수문학적 인자들이 자연성을 가지도록 하여 하천유지수와 생태계내 생물서식지의 다양성을 유지하게 함으로써 생태계가 가지고 있는 자정능력을 향상시키게 된다. 이와 같이 수자원의 확보와 수질환경의 개선이라는 물관리의 양 측면은 건강한 생태계의 보전이라는 의미와 직결되는 것이다.

##### 나. 환경교란 스트레스 요인들과 수생태계

수생태계 내에서 최종적으로 효율적 물 이용을 방해하는 교란요인들은 생태계의 특성에 따라 약간의 변이는 있을 수 있으나, 크게 홍수, 가뭄, 외래 침입생물종과 같은 요인들과 부영양화, 독성물질유입, 산성화, 댐건설, 하도의 구조 변경, 제방축조 등과 같은 인위적인 요인으로 구분할 수 있다.

홍수나 가뭄과 같은 직접적인 수문학적 현상들은 하천이나 호소에서 주변 경계지역과의 구조적·기능적 연결성에 피해를 주며 생물의 감소와 같은 생태학적 결과로 나타나게 된다(이도원, 2001). 또한 이들은 생태계 내의 수질 변화를 초래한다. 미국 플로리다주의 Okeechobee호에서의 수위의 변화는 호소 연안대와 호소 중심지역간의 물질교환을 조장하여 전체 호수의 수질변화를 초래하였고, 또한 이와 함께 연안부의 생물다양성에 영향을 주었다고 보고되고 있다(SFWMD, 1997). 이는 역으로 생태계의 자연성은 스트레스에 대한 저항성과 탄력성이 크기 때문에(Odum, 1967), 홍수나 가뭄과 같은 자연적인 스트레스의 피해를 줄일 수 있으며 이를 통해 물의 효율적 이용을 도모할 수 있게 된다.

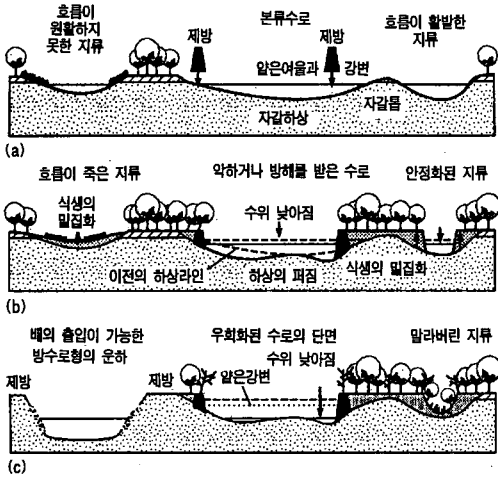


〈그림 - 3〉 호소생태계의 부영양화 원인과 그 영향

수생태계의 부영양화 현상은 비단 우리나라의 문제가 아니라 세계적으로 수환경 문제의 대표적인 것이다. <그림 - 3>에서 보여주듯이 부영양화와 같은 생태계의 교란은 생태계 자원의 이용성에 크게 영향을 미치게 되어 생태계의 가치를 저하시키게 된다. 생물의 관점에서 본다면 부영양화는 생태계의 구조를 단순화시키고 이에 따라 먹이망의 기능이 특성의 내성이 있는 종을 중심으로 편향되게 된다.

이수 및 치수적인 측면에서 하도변경이나 하천의 중간이나 하류부에서의 댐건설은 단기적 또는 국부적으로는 효율적인 물관리의 목적을 달성할 수 있을지 모르나 결국 하천의 건천화와 수질오염을 유발하게 되며, 생물의 서식지를 교란시킴으로써 생물다양성의 감소를 가져와 하천생태계의 총체성을 파괴하는 결과를 낳는다(Allan, 1995). 이미 미국이나 유럽에서 진행되고 있듯이 기존의 인공화된 하천

을 다시 자연형으로 되돌리는 작업들은 생태계의 자연성이 물의 효율적 이용과 직접적인 관계가 있음을 실제로 보여주는 예라고 하겠다.



〈그림 - 4〉 1870년 이래로 현재에 이르기까지 독일 Rhone강 하류의 변화

【(a) : 1870년도의 강은 사행하는 모양으로 연결되어 있었다. 19세기 중반에 시작된 제방의 축조와 굴착은 홍수의 방지와 항해를 용이하게 위해 강을 하나의 깊은 수로형태로 만들었다. (b) : 1971년의 수로화된 하상의 모습. 1960년 이래로 수력발전과 강의 수로화로 인해 예전의 주 수로의 물이 크게 줄었으며, 주변수로도 거의 말라버렸다. (c) : 1980년의 인위적으로 조절되는 하상의 모양.】

하천과 같은 흐르는 물은 항상 변화하지만, 이처럼 인간에 의해 만들어진 여러 가지 변화는 그 변화의 속도와 규모를 더욱 크게 하여 온 것이 사실이다. <그림 - 4>에서 보여주는 사례는 이러한 인간활동에 의한 하천생태계의 변화과정을 보여주며, 결국 이러한 생태계의 변화가 최종적으로는 원래 목적하던 바와는 다른 중대한 부작용을 낳게 됨을 시사하고 있다. 인간활동이 하천생태계의 변화에 미치는 영향의 다른 한 예는 미국 오레곤 주 Willamette 강의 역사적인 변화과정이다(Sedell and Froggat, 1984). 초기 정착민들에 의하면 하천 주변에 1.5~3km의 폭에 이르는 광대한 범람원 지역과 뾰족한 잡목림, 그리고 많은 그루터기 나무로 채워진 사행성의 수로들이 많이 있었

다. 1868년에 증기선의 운항을 위해 시작된 그루터기 나무들의 제거와 예전 범람원지역에서 농업활동의 증대, 그리고 1946년 이래로 11개의 댐의 건설은 이 강을 150년 전의 모양과는 매우 다른 형태로 바꾸었다. 이와 함께 전장 25km인 하천 본류에 유입되는 모든 지류들의 대략적인 총 하안선의 길이는 1985년의 250km → 1910년의 120km → 1946년의 82km → 1967년의 64km로 감소하였다.

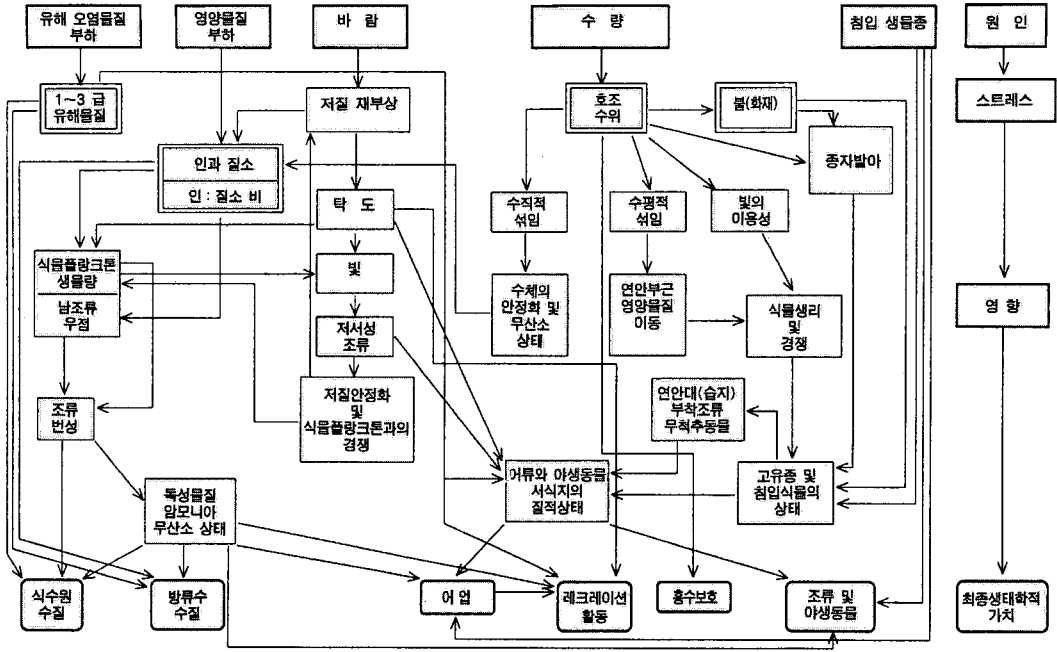
다. 수생태계의 보전 및 관리

1) 생태계 보전을 위한 기본방향

수생태계의 보전을 위한 기본방향은 문제를 발견하고 진단한 후 보전 및 관리정책의 목적에 따라 필요한 조사연구나 직접적인 사업을 시행하는 원칙 하에서 일련의 과정이 진행되어야 한다. 이러한 의미에서 해당생태계의 여러 가지 환경교란 요인을 파악하고 이들이 생태계 내에서 어떠한 요인들과 구조적·기능적으로 상호관련 되어 있는지에 대한 파악이 우선되어야 한다. 이를 위해서는 생태계내의 과정들을 각 요인들의 상호작용의 형태로 개념화시키는 모델이 필요하다.

<그림 - 5>는 미국 Okeechobee호수에서 수질개선과 생태계보전을 위한 기초단계로서 향상화된 개념적 모델이다. 이 모델은 호수의 현상에 영향을 미치는 여러 가지 원인들을 파악한 후 이들이 어떠한 현상에 스트레스를 주며 이들 스트레스가 호수 내에서 어떠한 영향을 미치는지 또한 그와 관련된 과정들이 어떠한 최종적인 생태학적 가치와 관련되는지를 일목요연하게 보여주고 있다. 이 모델은 또한 호수 내에서의 여러 가지 과정들이 악화되거나 (Positive feed back) 또는 상쇄되는 과정 (Negative feed back)으로 매우 복잡하게 얽혀 있음을 보여준다. 그러나 모델의 측면에서는 해당 호수의 여러 가지 특징과 관련된 가장





〈그림 - 5〉 호수의 관리와 보전을 위한 호수생태계의 개념적 모델의 도식화 예

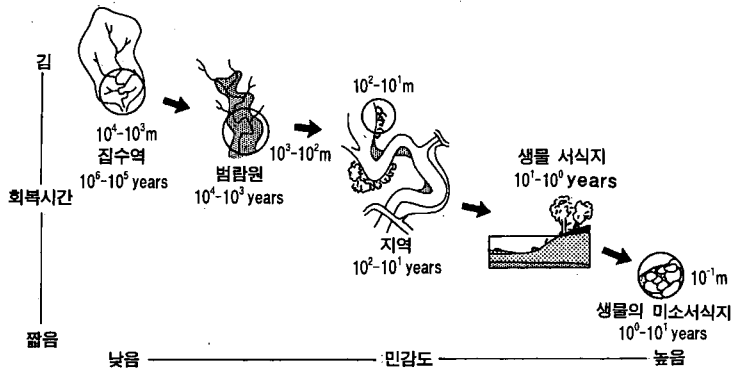
중요한 현상들을 우선적으로 표현해야 한다.

수질변화의 측면에서 본다면 Okeechobee 호수 내에서 그 원인을 크게 유해오염물질, 영양물질, 바람, 수량의 네 가지로 구분할 수 있다. 각각은 그 성격에 따라 서로 다른 작용의 과정을 거쳐 최종적으로 생태학적 가치를 보여 주게 되지만, 그 중간의 과정들은 서로 연결되어 있음을 알 수 있다. 특히 유해 조류의 발생과 관련할 때, 인과 질소와 같은 영양물질이 직접적인 요인이 되지만 바람의 영향도 이 호수의 얇은 수심을 고려할 때 상당히 큼을 알 수 있다. 따라서 얇은 호수의 관리의 수위의 조절과도 밀접한 관련성이 있음을 시사한다. 상기한 Okeechobee 호의 개념적 모델은 실제로 자연조건에서는 이 보다 더 복잡할 것이지만, 현재의 노력과 능력이 제한되기 때문에 실제 관리기법을 적용하는 차원에서는 가장 중요한 항목부터 단계적으로 시행해야 하며, 그 과정에서 다른 부분에 영향을 미칠 수 있는

요건의 불확실성을 최소화시키는 방향으로 목표가 설정되는 것이 당연할 것이다.

결론적으로, 호수의 조사와 보전정책의 수립은 호수의 특성을 이해하는 데 가장 중요하며, 그 다음으로 호수에 영향을 미치는 여러 가지 유역의 인자들을 종합적으로 연결하는 총체적 계획을 통해야 하며, 이 과정에서 세부적인 부분들이 정량화되고 예측되어야 한다. 특히 우리나라의 경우는 그 원칙이 세부적인 측면에서 종합적인 부분으로 나아가는 경향이 있으나, 이는 그 목적과 정책이 문제되는 것은 아니나 방법상의 원칙이 바뀔수록 인해 노력과 경비가 중복적으로 투자되기 쉬우며 문제의 핵심을 전체계획에서 반영하지 못하는 사례가 발생할 우려가 크다. 따라서 Okeechobee 호에서의 개념적 모델을 사례로 한 호수관리 정책의 수립을 제고할 필요가 매우 크다고 생각된다.

한편, 개개의 하천에 대한 연구의 접근법에서 유용한 방법중의 하나는 Frissel 등(1986)이



〈그림 - 6〉 교란에 대한 민감성과 회복시간에 관련된 강시스템의 체계적인 조직도

제안한 것과 같이 공간적으로 분포하는 해상도의 수준을 통합하는 체계적인 분류를 이용하는 것이다<그림 - 6>. 즉, 환경교란에 대한 민감도의 수준과 교란 후 회복에 소요되는 시간에 따라 강 시스템은 공간적 규모의 총합으로 조직화 될 수 있다. 이처럼 하나의 강은 물, 퇴적물, 유기물 및 영양물질을 받아들이고 또한 방류하는 일련의 유역 또는 범위지역으로 볼 수 있을 것이다. 따라서 개개의 지역은 지류의 합류, 계곡의 변화와 수로의 형태 또는 습지식생의 변화에 의해 정의 될 수 있다. 이들은 수문학, 수질 및 교란에 대한 정보를 제공하는 대리적인 요인이 된다.

2) 생태계의 보전방안

보전에 있어 모든 단계는 관리를 필요로 한다. 이는 강 생태계에 영향을 미치는 넓은 범위의 인간활동을 규제하는 행정적인 부분도 포함하며, 이 규제는 다음과 같은 내용들을 포함한다.

- ① 점오염원 및 비점오염원의 조절 - 특히 방류수기준의 접목
- ② 토지이용의 규제 - 지하수 보전지역의 규정과 유출형태의 오염을 최소화하는 완충지역의 이용과 같은 내용을 포함
- ③ 하천 내에서 계절적으로 변화하는 요인과 습지에 필요한 물이 제공될 수 있도록 하는 물의 분배적 측면

- ④ 형태적인 다양성을 유지하기 위한 수로와 주변습지의 관리<sup>3)</sup>
- ⑤ 낚시나 레크레이션과 같은 인간이용의 조절
- ⑥ 특정종의 과도한 번성을 방지하는 생물 조절 - 의도적 또는 사교에 의한 생물의 도입이나 외래종의 침입
- ⑦ 생태계의 안정성 확보 - 기존의 공학적 기술보다는 자연생태계의 기능과 특성을 접목한 생태공학적 방법<sup>4)</sup>을 이용

3) 수생태계와 육상생태계가 만나는 가장자리, 즉 경계부는 생물의 서식지나 다양성의 관점에서 매우 중요하다. Fry & Sarlov-Herlin(1997)과 이도원(2001)은 이러한 경계부의 관리지침을 다음과 같이 제시하고 있다. ①가장자리의 모양은 복잡한 것이 좋으나 기존의 경관과 조화를 이루도록 한다 ②가장자리는 바깥쪽으로 확장되어 넓고 부드러운 모양으로 형성한다 ③ 수평적 수직적 구조가 복잡적이어야 한다 ④식재를 한다 면 토착종을 이용한다 ⑤ 생물다양성 확보 차원에서 풀과 같은 초본의 형성이 중요하다 ⑥ 여러 가지 생태적 기능에 대하여 경사방향의 중요성을 고려한다 ⑦ 흙둑, 돌그루터기, 잘라낸 나무들을 도입한다.

4) 자연생태계가 가지는 특성, 예를 들면, 복잡성, 조직성, 물질의 효율적 계순환, 유연성, 탄력성 등의 특성을 오염문제의 해결을 위해 적용하는 방법을 다루는 새로운 학문분야로서, 생태학적 이론을 기초로 공학적인 기술과 접목을 시도하며, 자연생태계와 인간생활의 조화를 목적으로 한다. 예를 들면, 인공습지, 자연형하천, 수생식물, 어패류와 이들이 포함된 생태계를 이용하여 오염문제를 해결하는 것이 핵심내용이다. 최근 들어 이러한 방법들을 통한 기술들이 계속 개발되고 있다.

이러한 관리의 선택사항들은 자원의 최대한 개발이라는 목표를 달성하는데 초점을 둔 결정체계에서 조직화될 수 있으며, 이는 또한 생태학적 보전이라는 측면을 제공하게 된다 (Petts 1989). 첫 단계로서 수생태계에서 수행되는 연구들을 계획하고 선택할 때 영향을 받은 수계의 자연구조적 그리고 생물학적 동태학을 유지·관리할 수 있도록 하는 기본적인 목적을 반드시 고려하여야 한다. 급격한 또는 광범위한 수문학적 변화는 효율적 물관리 측면에서 좋은 결과를 초래하지 못한다. 전반적으로 수질의 제어, 흐름의 조절, 그리고 수로 관리가 가장 중요한 관심의 대상이다. 일차적 관리에 대한 제안의 경제적·환경적 효율성은 생물상과 인간의 이용에 대한 직접적인 제어라는 2차적인 선택요건과 반드시 연관지어 평가되어야 한다.

## 5. 앞으로의 과제 및 전망

효율적 물관리와 관련된 지역생태계 보전은 단기적인 효과를 추구해서는 안되며 또한 단편적인 지역 또는 단절된 생태계만을 고려해서도 안된다. 상기하였듯이 물순환이라는 수문학적 관점에서 볼 때 하천이나 호소와 같은 수생태계는 유역 내에 위치하며 유역의 특성은 육상생태계와 더욱 밀접하게 관련되어 있기 때문이다.

더욱 중요한 것은 생태계의 보전을 위한 직접적인 방법이나 기술을 적용하기 전에 해당 생태계가 가지고 있는 생태자원의 가치, 생태계의 각 구성요인들의 기능 및 상호작용에 대한 구체적인 자료를 확보하는 것이 필요하다. 이렇게 함으로써 각 요인이 가지고 있는 중요성을 파악하고 개념적인 모델을 설정함으로써 보전을 위한 우선순위를 결정하고 그에 따라 필요한 방법을 적용하여야 할 것이다. 생태계

의 회복이나 복구의 목적은 생태계를 원래의 그 모습으로 되돌리자는 것이 아니라 인공적인 요소를 최소화하며 생태계가 가지고 있는 총체적인 기능을 이용하고자 하는 것임을 상기하여야 한다.

21세기의 물관리는 지금까지의 체계와는 다를 것으로 전망한다. 물론 물관리의 기본 요소인 안정적인 수자원의 확보와 깨끗한 수질의 유지라는 원칙은 달라지지 않겠지만 그 방법상의 문제는 보다 세분화되고 어려워 질 것으로 생각된다. 인간의 활동에 의한 자연생태계의 개발은 지속될 것이고 또한 지구적인 기후 변화는 수자원 확보를 더욱 어렵게 만들 것이다. 특히 우리나라의 몬순기후 특성은 그 어려움을 가중시키고 있다. 따라서 앞으로는 가능한 많은 수자원을 확보하는 방향으로 정책이 시행될 것이다. 이는 점점 댐과 저수지와 같은 호소의 역할이 증대할 것임을 반영하는 것이다. 이와 함께 정체수에서의 오염과 생태계의 교란의 강도가 높아 질 것이며, 따라서 향후 효율적인 물관리는 호소에 대한 의존도가 점점 높아질 것으로 본다.

따라서 농림부와 환경부와 같은 정부기관에서는 수량, 수질 및 생태계 등 다양한 측면에서 저수지 및 하구담수호에 대한 체계적인 연구를 진행시켜야하고 이를 통해 향후의 물관리에 대한 중요한 자료를 확보할 필요성이 매우 크다고 생각된다. 지금까지의 수질개선 측면의 물관리는 생태계를 크게 고려하지 못하였다. 가까운 예로서, 새만금호의 수질개선 대책에서 생태계에 대한 고려는 거의 없으며, 호수 내에서 생물의 역할과 이들이 수질에 미치는 영향 및 수질이 생태계에 미치는 영향을 고려한 대책은 누락되어 있다.

이제는 효율적 물관리를 위해 생태계를 고려하여야 하고 생태계 보전의 측면에서 생태학적 개념이 기본이 되는 기술들이 도입되어

야 한다. 마지막으로 우리나라 호소에 대한 보다 광범위하고 종합적인 연구가 이루어지기를 바라면서 몇 가지 방향을 제시한다.

1. 특성별 호소 관리의 모델정립과 관리정책 수립이 필요하다. 다양한 호소들 중에서도 예를 들면, 농업용 저수지(규모별), 하구담수호 등과 같은 특성별로 차별적인 관리정책이 수립되어야 한다. 또한 관리의 중요한 대상이 되는 호소는 해당호소의 다양한 무생물적, 생물적 요인들을 파악하고 이들의 기능적 상호 관계에 대한 개념적 모델을 정립하고 필요한 연구를 통해 기본자료를 확보하고 이에 기초한 관리방안을 수립해야 할 것이다. 또한 지금까지는 수질에 대한 모델들이 주가 되어 왔으나, 수질오염을 반영하거나 수질오염 결과 나타나는 생물상의 변화도 모델의 중요한 인자로 채택하여야 한다.

2. 우리나라 전체 호소의 정확한 인벤토리가 필요하다. 농업기반공사 자료에 따르면 우리나라에는 약 18,000 여개의 호소가 있으나, 이에 대한 정확한 자원과 현재의 관리상태 그리고 이용현황, 앞으로의 잠재적 이용가치 등에 대한 기본적인 자료는 아직 마련되어 있지 못하다. 이는 향후 호소관리의 전반적인 정책을 수립하는데 매우 중요한 자료(예를 들면 Ecoregion 즉, 생태지역의 개념)를 제공할 것이므로 이에 대한 기초조사 작업이 조속히 시행될 필요성이 크다. 이와 함께 GIS나 RS와 같은 정보체계를 이용하여 호소에 영향을 미치는 유역의 상황도 진단하여 관리정책에 포함시켜야 할 것이다.

#### 참고문헌

1. 농림부, 1997. 농업용수수질관리지침.
2. 손명원(역), 1994. 생태학적 환경관리, 도서출판 대운.
3. 이도원, 2001. 경관생태학, 서울대학교 출판부.
4. 안태영, 곽노태, 최영길, 한명수(역), 1995. 담수의 부영양화, 신광문화사.
5. 허우명, 김범철, 김윤희, 최광순. 1998. 소양호유역에서 비점오염원의 홍수유출과 오염수괴의 호수내 이동. 한국육수학회지 31: pp.1~8.
6. 환경부, 1994. 전국호소환경 현황조사
7. 황순진, 1998. 경기도 인공호의 수질개선과 효과적인 관리방안. 경기개발연구원
8. Allan, J. D, 1995. Stream Ecology. Chapman & Hall. New York. pp.388.
9. Cooke, G. D., R. T. Heath, R. H. Kennedy, and M. R. McComas. 1982. Change in lake trophic state and internal phosphorus release after aluminum sulfate application. Water Res. Bull. 18: pp.699~705.
10. Cooke, G. D., E. G. Welch, S. P Peterson, and P. R. Newroth. 1993. Restoration and management of lakes and reservoirs (2nd ed.). pp.548. Lewis. Boca Raton.
11. Dillon P. J. and F. H. Rigler, 1974. The phosphorus-chlorophyll relationship in lakes. Limnol. Oceanogr. 61: pp.453~470.
12. Frissell, I.C.A, W. J, Wiss, C. E, Warren, and M.D, Huxley, 1986. A hierarchial framework of stream classification: viewing streams in a watershed context, Environmental Management, 10: pp.199~214.
13. Frugt, J. K, 1992, Ecology of the lower Rhone River 200 years of human influence: a review, Reg. Riv. Res. Manage., 7: pp.233~246.
14. Jernelov, A. 1971. Phosphorus reduction in lakes by precipitation with aluminum sulfate, 5th International Water Pollution Research Conference, Pergamon Press, New York.
15. Junk, W. J, P. B, Barley, and R. E, Sparks, 1989. The flood pulse concept in river-floodplain systems, in Proceedings of the International Large River Symposium, (ed.

- D.P. Dodge), Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences, 106, pp.110~127.
16. Odum, E. P, 1969. The strategy of ecosystem development. *Science* 164 : pp.262~270.
  17. Petts, G, and C, Calow. (Ed.), 1996, River restoration. Oxford, Blackwell Science.
  18. Rice, S. R, R. C, Wissmar, and R. J, Naiman, 1990. Disturbance regimes, resilience, and recovery of animal communities and habitats in lotic ecosystems, *Environmental Management* 14: pp.647~660.
  19. Schumm, S. A, 1977, *The Fluvial System*, Hohn Wiley, New York, pp.338.
  20. Sedell, J. R. and Froggat, J. L, 1984. Importance of streamside forest to large rivers: The isolation of the Willamette River, Oregon, USA, from its floodplain by snagging and streamside forest removal. *Verh. Int. Ver. Theor. Ang. Limnol.*, 22 : pp.1828~1834.
  21. SFWMD, 1997. Lake Okeechobee SWIM plan, South Florida Water Management District.
  22. Stanzer, B. and B, Higler, 1986. Stream hydraulics as a major determinant of benthic invertebrates zonation patterns. *Freshwater Biology* 16 : pp.127~139.
  23. Stanzer, B, J. A, Gore, and V. H, Resh, 1988. Hydraulic stream ecology: observed pattern and potential applications. *JNAPS* 7 : pp.307~360.
  24. Strahler, A. N, 1952. Quantitative analysis of watershed geomorphology, *American Geophysical Union Transaction* 38 : pp.913~920.
  25. Vannote, R. L, G. W. Minshall, K. W, Cummins et al., 1980. The river continuum concept, *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 37 : pp.130~137.
  26. Ward, J. V, 1989, The four-dimensional nature of the lotic ecosystems, *JNAPS* 8 : pp.2~8.