

미국의 「수변복원 가이드라인」의 이해

우 효 섭¹⁾

요 지

「수변 복원(水邊 復元, stream restoration)」은 미 연방정부의 관련 기관들이 공동으로 참여하여 1998년 10월 발간한 하천과 그 연변의 복원을 위한 종합적인 가이드라인이다. 이 책은 “원칙, 과정, 실무”라는 부제가 붙어 있다. 이 책의 제작 취지는 연방 정부의 범 기관 차원에서 전국에 악화되가는 하천과 그 연변을 복원하는데 있어 실무자들에게 개념적, 방법적, 기술적 가이드라인을 제공하는 것이다. 이 가이드라인의 제작에 참여한 기관은 농무성, 환경청, 상무성, 국방성 (공병단), 내무성 등 15개 기관이다. 이를 위하여 각 기관에서 양해 각서를 조인하여 하천 기술자들은 물론, 생물, 생태, 조경, 하천 형태 등 관련 100명 이상의 전문가들이 ‘연방기관 수변복원 실무그룹’을 구성하여 추진하였다. 이 가이드라인 구조는 3 부와 9장, 그리고 부록으로 구성되어 있으며, 원색 사진과 그림을 강조하며 추후 수정보완을 위해 바인더로 만들어졌다. 이 가이드라인은 기본적으로 손상이 된 하천의 복원 설계보다는 손상이 안된 하천의 구조와 기능 이해에 더 중점을 두었다. 따라서 이 것 하나만으로 하천 복원에 관한 모든 기술적 지식을 얻기는 어렵다. 그럼에도 불구하고 이 가이드라인 제작팀의 규모와 노력 등을 고려할 때 당분간 미국은 물론 세계적으로 하천 복원과 자연형 하천공법 등의 실무에 상당한 기여를 할 것으로 보인다.

수변 복원의 의의와 배경

전통적으로 하천수리 전문가들은 하천에 인위적인 구조물을 축조하거나, 상태를 변경시키는 것을 주요 관심 대상으로 삼아왔다. 그러나 20세기 후반부터 환경에 대한 사회의 관심이 커지고, 특히 전세기 말부터 하천 기술자들에게 하천과 수변에 대한 환경 복원이 새로운 현안으로 등장하였다. 이는 과거에 축조된 수리 구조물이나 인위적으로 변경된 하천을 원래의 모습에 가깝게 복원하는 것을 의미한다. 또한, 하천 계획의 수립에서 “환경적으로 건전하고 지속 가능한 개발”을 추구하는 것을 망라한다.

환경 보전과 복원, 그리고 친수성 차원에서 하천 사업들이 처음으로 구체화된 곳은 유럽의 독일어권 국가들이다. 독일, 오스트리아, 스위스 등에서는 1970년대부터 이른바 근자연형(近自然型) 하천공법(Naturnaher Wasserbau) (Schiechl과 Stern, 1997) 이라 하여 기존의 콘크리트나 금속 등 전통적인 토목재료 대신에 갯버들이나 풀과 같은 살아 있는 생물 재료와 거석(巨石), 통나무 등 자연

1) 정희원. 한국건설기술연구원 수자원환경연구부 연구위원. 경기도 고양시 일산구 대화동 2311. (전화) 0433-9100-545. (팩스) 0344-9100-251. (이메일) hswoo@kict.re.kr

재료를 이용하여 하천 사업을 하기 시작하였다. 이러한 공법은 치수나 이수 사업 등 새로운 하천 사업을 계획하는 경우는 물론, 단일 목적으로 인공적으로 정비된 기존 하천의 복원, 회복 사업에 활용되었다. 여기서 ‘근(近)’이라는 접두사를 붙인 것은 한번 훼손된 생태계와 서식처 기반은 원래대로 완전히 복원시키는 것은 불가능하며 단지 원래의 모습에 가깝게 되돌릴 뿐이라는 것이다. 이러한 근자연형 하천공법 개념은 1980년대 일본으로 도입되어 ‘다자연형(多自然型) 하천공법’이라는 이름으로 소화·개량되었다.

영어권에서 하천복원 개념이 구체화된 것은 1980년대 영국의 국립하천공사(NRA)²⁾의 역할이 크다. NRA는 세계에서 보기 드물게 하천의 이치수와 환경 기능을 종합적으로 관리하는 공공기관으로, 각종 이치수 관련 하천 사업은 물론 수로화된 기존 하천의 복원, 회복 사업에서 자연형 하천계획 개념을 도입하기 시작하였다(Brookes, 1992). 미국에서는 1980년대 말부터 연방 정부와 주정부 하천관련 기관들을 중심으로 각기 자연형 하천계획과 공법에 대한 지침서를 만들어 이용하여 왔다. 미국 공병단에서는 홍수조절 하천이나 수로에서 환경적인 요소의 고려 방법에 대해 가이드라인을 제시하였고(USACE, 1989), 그밖에 미 농무성 토양보전국, 환경청 등에서 이와 비슷한 지침서를 제공하였다. 1998년 말에는 이러한 기관들이 공동으로 참여하여 하천 복원에 관한 종합적인 지침서로서 여기서 구체적으로 설명할 「수변 복원-원리, 과정, 실무」를 발간하여 보급하였다(USDC, 1998).

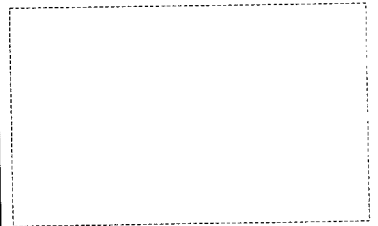
국내에서는 1980년대 말부터 하천 기술자들 사이에 하천 환경의 보전과 개선의 필요성에 대한 공감대가 서서히 형성되기 시작하였다. 이러한 변화는 그 당시 경제 개발의 진전과 국민 생활의 향상에 따라 이제는 주변을 돌아볼 필요가 있다는 환경 보전에 대한 사회적 분위기에 의한 것이다. 특히 토목 재료를 이용하여 하천을 획일적으로 인공화 하는 치수 사업에 대해 가능한 생물 재료를 이용하여 하천을 자연에 가깝게 정비하는 이른바 자연형 하천공법의 도입에 대한 공감대가 형성되기 시작하였다. 이에 따라 1990년대 들어 자연형 하천 계획과 공법에 대한 연구가 본격적으로 시작되고(건교부/건기연, 1991~1996), 양재천, 오산천 등 일부 하천에 실제 적용되었다. 1990년대 중반에는 하천 복원 측면에서 생태, 조경 전문가들에 의해 자연 상태에 가까운 하천 구간을 대상으로 하천 생태계 구조와 기능에 대한 지속적인 연구도 병행되었다(환경부/건기연, 1997~1999).



(복원 전; 1996)



(복원사업 직후; 1997)



(성숙기; 2000. 3)

그림 1. 양재천 과천 구간의 하천 복원(환경부/건기연, 1997~1999)

하천 복원은 훼손된 하천을 원래 그 하천이 가지고 있던 생태적 기능과 구조에 가능하면 가깝게 되돌리는 것이다. 반면에 하천 회복(回復, rehabilitation)은 훼손된 하천에서 자연적으로 생태계를 다시 지속시킬 수 있는 형태적, 수문적으로 안정된 지형을 만들어 주는 것이다. 하천 회복은 훼손된

2) 지금의 환경청(Environmental Agency)

서식처에서 생태계 구조와 기능을 회복시키는 것으로, 하천 복원과 달리 원 생태계의 구조와 기능에 최대한 가깝게 되돌리는 노력이 꼭 필요하지 않다. 이에 반해 하천 개척(開拓, reclamation)은 하천의 원 생태계가 가지고 있는 생물적, 물리적 능력을 변경시키는 것이다. 이는 인간을 위해 자연 자원을 이용하는 과정으로, 수변을 농경지나 기타 거주지로 바꾸는 것 등을 의미한다. 따라서 하천 복원은 그 하천의 정확한 원래 생태계 특성을 이해하고 종합적인 접근 방법이 요구되나, 회복과 개척은 특별한 인간 활동을 위해 수변 상태를 새롭게 하거나 변경시키는 것이다. 여기서 하천 복원과 회복의 구분을 다시 강조하면, 하천 복원은 훼손 전 원 생태계의 구조와 기능을 이해하는 것이 전제 조건이나, 회복은 원 생태계의 특성을 충분히 이해하지 못하고 변경된 서식처 조건에서 스스로 지속 가능한 생태 서식처를 조성하는 것이다. 또한 전자는 자연 상태에 가까운, 훼손이 덜 된 하천의 복원이 주요 대상이 되며, 후자는 자연 상태와 먼, 훼손이 많이 된 하천의 회복이 주요 대상이 될 것이다.

가이드라인의 구성

수변 복원 가이드라인은 총 3부 9장으로 구성되어 있으며, 주요 목차는 다음과 같다.

제1부 배경

- 제1장 수변의 개요: 물리 구조와 다양한 규모에서 시간 / 수변의 횡단면 / 수변의 종단면
- 제2장 수변 과정/특성/기능: 수문, 수리 과정 / 형태 과정 / 물리, 화학 특성 / 생물 집단 특성 / 기능과 동적 평형
- 제3장 자연 교란 / 인간 유발 교란

제2부 복원계획의 개발

- 제4장 팀의 구성과 문제의 확인: 조직의 구성 / 문제와 기회의 확인
- 제5장 목적/목표/대안의 설정: 복원의 추진, 복원의 모니터링, 평가, 적응 관리

제3부 복원 원칙의 적용

- 제7장 수변 조건의 해석: 수문 과정 / 형태 과정 / 화학 특성 / 생물 특성
- 제8장 복원 설계: 하곡 형태, 연결성, 차원 / 토양 성질 / 식물 집단 / 서식처 대책 / 하도 복원 / 하안 복원 / 수중 서식처 회복 / 토지 이용 시나리오
- 제9장 복원 추진/모니터링/관리: 복원 추진, 복원 사업의 평가를 위한 모니터링 기법 / 복원 사업의 관리

부록, 추가: 공법(36개), 단위 환산, 참고 문헌, 색인 등

가이드라인의 주요 내용

(1) 수변의 특성과 교란

수변 복원 가이드라인은 우선 수변의 물리적, 화학적, 생물적 특성을 소개하고 수변의 교란에 대해 구체적으로 설명하는 것부터 시작한다. 여기서 수변이란 하천의 회랑(回廊, corridor)을 가리키며, 회랑이란 경관생태학에서 쓰이는 것으로 지배적인 경관생태(matrix) 보다는 규모가 작은 국부적이고, 띠 모양의 경관생태 부분(patch)을 말한다. 따라서 하천 회랑, 또는 간단히 수변은 하도와 주위 경관생태 부분을 연결시켜주는, 하천을 따라 형성된 긴 경관 생태 부분이다. 하천 복원에서 수변을 강조하는 것은 하천 자체만의 복원으로는 사실상 지속 가능한 생태계를 만들기

어려우며, 주변 경관 생태와 연결 통로가 되는 회랑의 복원이 병행되거나, 적어도 하천복원 계획 단계에서 고려가 되어야 하기 때문이다. 그러나 이러한 수변의 개념은 국내의 경우 대부분의 하천이 인공 제방으로 둘러 쌓였기 때문에 제방을 벗어난 부분까지 회랑으로 포함시켜 수변 복원을 고려하기에는 무리가 있다. 따라서 제방이 있는 하천에서 회랑은 하천 자체가 된다.

여기서 하천의 종단 방향으로 수변 생태계의 변화를 설명하는 개념이 그림 1과 같은 Vannote 등(1980)의 하천 연속(River Continuum) 개념이다. 하천연속 개념은 유역이나 지형 규모의 차원에서 상류에서 하류로 가면서 어떻게 생물 집단이 달라지는가를 설명하는 것으로 수변 복원의 목표를 설정할 때 좋은 참고가 된다. 이 개념에 의하면 1~3차 하천까지 상류 구역에서는 수목의 그림자 등으로 수중의 조류나 기타 수중 식물의 성장이 억제된다. 따라서 이 구역에서는 광합성이 활발하지 못하기 때문에 중요한 에너지는

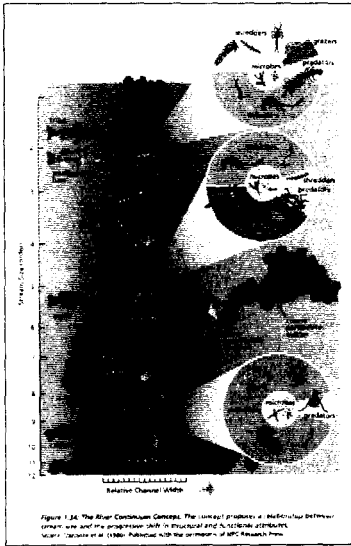


그림 2. 하천연속 개념

간접적인 교란으로 나눈다. 토지이용 활동에는 농업, 임업, 축산업, 광산, 위락, 도시화 등을 설명하고 있다.

(2) 수변 복원의 절차와 분석

다음 수변 복원의 필요성이 있으면 우선적으로 하는 것은 복원 사업을 담당할 조직과 역할을 구성하는 것이다. 국내에서 하천은 공공 기관이 관리하기 때문에 복원 사업도 공공 기관이 담당하는 것이 보통이나, 수변 복원은 다양한 전문성과 주민의 참여가 성공의 열쇠가 된다. 따라서 담당 조직에는 기술 팀은 물론 자문단의 적극적인 참여가 필수적이다. 수변복원 사업의 기본적인 순서와 절차는 위와 같은 1) 담당 조직의 구성부터 시작하여, 2) 문제와 기회의 확인, 3) 사업의 목적과 목표의 설정, 4) 대안의 설정과 평가, 5) 설계와 시공, 6) 모니터링과 평가, 적응 등이다.

수변 복원의 설계를 위해서는 해당 수변 상태의 철저한 분석이 전제되어야 한다. 수변 분석은 앞서 설명한 수변의 특성과 교란에서 제시된 일반적 지식을 바탕으로 1) 수변의 수문적, 형태적 특성 분석, 2) 물과 토양의 화학적 특성, 3) 생물적 특성 등으로 나누어 행한다.

수변과 하천에서 수문, 수리 분석에는 유황 분석, 홍수와 가뭄의 빈도 분석, 지배유량 분석, 하도 수리, 유사 특성의 분석 등을 포함한다.

하천 형태와 변화(processes)를 분석하는 것은 대상 하천의 악화 원인을 규명하고 앞으로

변화를 예측하는 것과 복원된 하천 형태의 변화를 예측하기 위해 중요하다. 수변 복원을 위한 하천형태 분석에는 하천 분류, 수변의 물리적 기능의 적정성 검토, 하천의 수리 기하, 하천의 불안정성 검토 등이 있다. 이 가이드라인에서는 하천 분류 체계로서 Rosgen(1994)의 41개 분류 체계를, 외부의 영향으로 인한 하천의 반응 과정을 검토하기 위하여 하도진화 모형(Channel Evolution Model)을, 수문/형태/토양/식생 측면에서 수변이 적정히 기능을 하고 있는가를 평가하는 모형으로 적정기능 상태(Proper Functioning Condition) 모형(Prichard 등, 1993, 1995) 등을 소개하고 있다. 마지막으로 하천 복원 설계에 직접 이용되는 하천 수리기하 특성으로 하류로 가면서 연평균 유량과 수심, 폭, 유속과의 관계나 강터 유량이나 하폭과 유역 면적과의 관계 등을 소개하고 있다. 이밖에 안정하도 단면으로 레짐 이론을, 곡류 하천의 만곡기하 특성으로 경험 공식들을 소개한다.

수변 상태의 화학적, 생물적 분석은 수변 복원의 궁극적인 목적인 생태 서식처의 복원, 회복을 평가하는데 필수적인 사항이다. 특히 생물적 특성 분석은 대상 수변 생태계의 구조와 기능을 분석하여 서식처 물리 기반과의 연결 고리를 파악하는데 필요하다. 수변의 화학적 특성 분석은 수변의 물, 기층, 토양의 질의 분석을 의미한다. 이는 분석 대상 항목의 결정, 측정 회수, 측정 장소의 결정, 측정 기법, 시료의 야외와 실험실 분석, 자료 관리, 측정의 질의 보장(QA)과 통제(QC) 등을 망라한다.

수변 상태의 생물특성 분석은 대상 수변의 어느 장소에서 어느 시간에 생물 지표(bio-indicator)를 측정하는 것부터 시작한다. 생물 지표는 생물 특성이 변하는 곳에서 다른 방법으로 원인을 규명하기는 너무 어렵고, 불편하고, 비싼 경우 어느 종의 특성을 가지고 그 생물 시스템의 상태를 판단하는 기준이다. 여기서 특성은 그 종의 유무, 서식 밀도, 분산, 번식률 등이다. 이러한 생물 지표는 다른 수변의 지표나, 대상 수변이 악화되기 전 지표, 또는 '참고' 수변의 지표와 비교함으로써 대상 수변의 생물 특성을 판단할 수 있다. 종의 다양성은 생물 시스템의 특성을 분석하는 또 다른 좋은 지표이다. 이는 단위 면적 당, 또는 일정 공간 당 서식하는 생물 종의 수로 나타낸다. 수변 생물 특성의 평가에서 많이 이용되는 종은 조류(藻類), 물 바닥에 서식하는 대형 무척추 동물(macro invertebrates), 물고기 등이다. 이 중 물고기가 자주 이용된다.

수변 서식처 영향의 평가, 완화책, 관리 등을 위해 유용한 평가 방법으로 서식처 평가 절차(Habitat Evaluation Procedure, HEP)가 있다. 이 모형은 서식처는 야생 동식물을 지속적으로 유지시킬 수 있는 능력, 즉 적합도(suitability)가 있으며, 어느 한 종에 적합한 서식처는 식생, 물리적/화학적 서식처 특징을 이용하여 추정될 수 있다는 생태 원리에 입각한다. HEP는 미 어류와 야생국(USFWS, 1981)에서 개발된 것으로, 이 모형에서는 어느 한 종을 위한 서식처 적합도는 0(부적합)에서 1(적합)까지 변한다. 여기서 서식처 단위(habitat unit, HU)는 적합도에 서식처 면적을 곱한 값으로, 서식처의 질과 양을 통합적으로 나타낸다. 이러한 서식처 적합도 모형을 확대하여 물고기 서식처 적합성 평가하는 컴퓨터 모형으로 유지유량 증분법(IFIM)의 물리적 서식처 모형(PHABSIM)이 있다.

(3) 수변 복원의 설계와 시공

수변 복원의 설계는 아직 실험적 단계이며, 또한 대상 수변 특성 별로 설계의 기준, 표준, 시방 등이 다르다. 이 가이드라인에서 제시된 수변복원 설계의 고려 사항은 1) 수변 주위 계곡의 형태, 연결성 등 거시적인 차원에서 구조적인 특성의 복원, 2) 수변 구조와 기능에 중요한 토양 특성의 복원, 3) 수변 기능의 중요 요소인 식생 군란의 복원, 4) 수변 구조와 기능에 긴요한 서식처 대책, 5) 하도의 구조와 기능의 복원, 6) 강터의 안정책, 7) 수중 서식처 구조와 기능의 복원, 8) 주요 토지

이용 시나리오 등이다. 여기서 하천 수리에 직접 관련된 분야는 하도복원과 강터(bank) 복원 등이다.

안정 하도의 설계 개념을 이용한 새로운 하도의 설계 절차는 1) 대상 하도 유역과 수문 특성의 분석, 2) 대상 하도 구간에서 수변 복원에 이용할 수 있는 구역과 계곡의 길이, 경사 등의 기초적 검토, 3) 새로운 하도의 하상재료 분포의 개략적 설정, 4) 수문, 수리 분석을 통한 설계 유량이나 그 범위 등의 설정, 5) 안정된 하도의 평면형 예측, 6) 구체적인 하도기하 설계 등이다. 여기서 정량적인 설계가 필요한 하도 기하는 1) 만곡 기하와 선형, 2) 만곡도, 하도 길이, 경사, 3) 설계 유량 시 하폭과 수심, 4) 자갈 하천의 경우 여울의 간격 등이며, 마지막으로 하도의 안정성 검토가 필요하다. 위와 같은 하도 기하의 결정은 레짐 이론, 수리기하 경험 공식, 해석적 방법, 하천 모형 등을 이용한다. 이러한 방법들을 이용하여 하도의 기하 특성이 기본적으로 결정되면, 실제 하도 형태는 위치에 따라 위에서 결정된 평균치를 기준으로 조금씩 변하게 한다. 예를 들면 하도 선형은 자연스럽게 구부러지고 하도 단면은 좌우가 비대칭이 되게 한다. 자연 하천 여울의 종 방향 간격은 하도 폭의 3~10배 정도, 만곡 길이의 반 정도로 알려져 있다. 하도의 안정성은 하상에 대해 수리적으로, 강터에 대해 수리적, 토질적으로 검토한다. 하도 전반에 대해서는 하용 유속, 허용 소류력 등에 대해 검토한다. 하도의 선형과 기하 특성이 모두 결정되면 하도 내(instream)의 수중 서식처를 개량하는 다양한 방법을 검토할 수 있다. 이러한 방법들은 모두 자연형 하천공법의 일종으로, 거석 군집(群集, clusters), 거석 위어와 보, 어도(魚道), 통나무/잠목/바위 피난처, 통나무 하안 어소(魚巢), 물고기 이주 장애물, 쓰러진 나무 물가 고정, 거석 수제(水制), 거석/통나무 낙차공 등이 있다.

하도가 복원되어도 강터는 식생이 활착 되기 전까지 상당기간 동안 침식으로부터 보호할 필요가 있다. 이를 위해서는 토질생물공학(soil bioengineering)적인 접근이 바람직하다. 이른바 자연형 하천공법의 상당 부분은 생물 재료를 이용하여 강터와 물가를 자연에 가깝게 만드는 것이다. 그러나 단순히 강터에 씨를 뿌리거나 묘목을 심는 것은 홍수 시 유실될 우려가 있기 때문에 바람직하지 못하다. 이러한 경우 유실 우려가 있는 곳을 야자섬유 망과 같은 자연 재료로 덮어서 식생이 활착하기 전 몇년 동안 침식으로부터 보호할 필요가 있다. 그러나 이러한 방법보다 더 적극적인 강터 보호책은 단단한 생물 재료를 이용하는 것이다. 예를 들면 사석, 갯버들, 통나무, 토목 섬유 등을 이용하여 강터 경사면에 꺾꽂이하거나, 잔가지로 얇고 넓게 덮거나, 다발(fascine)로 길이 방향으로 묻거나, 강터 끝에 쌓아 놓는 것이다. 갯버들과 같은 버드나무는 특히 활착률이 높고 쉽게 얻을 수 있기 때문에 생물 재료로 적합하다. 여기서 이용되는 토목 섬유는 야자 섬유와 같은 시간이 가면 스스로 썩는 재료여야 한다. 한편 물가 호안은 사석 대신 통나무 뿌리와 거석을 이용하는 방법도 생각할 수 있다. 이 경우 직경 40 cm 이상의 통나무 뿌리를 물가에 나란히 묻고(줄기는 육지 방향) 앵커로 고정시킨 후 주위에 거석을 놓아 호안을 고정시킨다. 이 방법은 물가 서식처 구조를 다양하게 만들어 무척추 동물이나 물고기의 좋은 서식처가 된다는 점에서 의의가 크다. 이밖에 이 가이드라인은 강터와 호안 공법으로 강터의 환경사 식생, 생나무 가지 층층 묻기, 윗가지 침상(沈床), 야자섬유 롤 묻기, 강터 삽목(插木), 식생 돌망테, 식생 사석, 통나무 틀 호안, 생나무 꺾꽂이, 생나무 다발 묻기, 사석 호안, 사석 강터 끝(toe) 보호, 쓰러진 나무 호안, 식생 지오그리드 등을 소개하고 있다.

수변 복원의 시공은 기본적으로 하천 공사의 성격을 가지나, 계획, 설계, 시공, 유지 관리 등 전반적인 사업 진행에서 생물, 생태, 조경 등 관련 전문가들이 참여한다는 점에서 일반 공사와 그 특성을 달리한다. 수변복원 사업의 시공은 1) 사업 계획의 재검토, 2) 현장 준비, 3) 현장 정지, 4) 설치와 건설, 5) 현장 복구와 청소, 6) 검사, 7) 유지 관리 등 일반적인 절차에 준할 수 있다.

(4) 모니터링과 평가

모니터링은 사업의 성과를 평가하는 유일한 수단으로 사업계획 단계부터 그 기본적인 구상이 준비되어야 한다. 모니터링의 목적은 구체적으로 1) 이치수, 환경(생태) 등 모든 측면에서 사업의 성능 평가, 2) 공간적, 시간적 추이변화 평가, 3) 이치수, 환경(생태) 등 모든 측면에서 사업에 위험을 주는 요인의 평가 등이다. 모니터링 결과에 따라 미리 설정한 각종 검사점에서 위와 같은 평가를 하여 사업의 효율성을 재검토하여 필요시 수정하는 이른바 적응 관리(adaptive management)가 가능해진다. 수변복원 사업의 모니터링 대상은 물리적, 생물적, 화학적 변수들로 나누어 생각할 수 있다. 수변 복원의 모니터링에서 고려하는 물리적 변수들로 평면형 등 8개 항목과 20개 이상의 인자를 추천하고 있다. 한편 수변 복원의 목적에 관련된 수변 생태계의 생물적 속성으로 1차 생산자 등 6개 속성에 20개 이상의 변수를 추천하고 있다.

화학적 변수는 주로 수질에 관련된 것으로, 이는 특히 복원의 목적이 수질 개선도 포함하는 경우 의미가 크다. 화학과 생물 모니터링을 같이 하게 되면 여러 이점이 있다. 특히 생물 모니터링은 여러 화학적 변수들을 종합하여 나타나는 특성이 있다. 그러나 때로 생물은 수질의 점차적인 변화를 늦게 감지할 수 있으므로, 이 경우 화학적 모니터링이 우선적으로 필요하다. 수변복원 측면에서 생물 시스템에 영향을 주는 중요한 화학 변수로는 수온, 탁도, 용존 산소, pH, 자연 독성(수은)과 인공 독성, 영양 염류, 유기물(BOD, TOC 등), 알카리도/산도, 경도, 용존 이온과 부유사 등이다. 한편 위와 같은 화학적 속성의 모니터링과 함께 흐름, 하도 특성, 산란용 자갈, 수중 피난처나 휴식처(cover), 그늘, 여울과 소의 비율, 샘물과 지하수 침투, 하상토 유사량, 대형 통나무 부목의 양과 크기 분포 등 물리적 속성의 모니터링도 같이 하는 것이 바람직하다.

마지막으로, 수변 복원과 같은 그 목표나 달성도가 조금은 불확실한 사업에서는 참고가 되는 자연 상태나 자연 상태에 가까운 수변 구역의 설정이 필요하다. 이를 참고 하천, 또는 대조 하천(對照 河川, reference streams)라 한다. 이는 수변 복원의 성과를 평가하기 위해 대조할 수 있는 수변을 의미한다. 따라서 수변복원 사업에서는 대조 하천을 설정하여 주기적인 모니터링이 필요하다. 대조 하천에서 모니터링 결과는 수변 복원에서 추구하는 상태를 결정하며, 동시에 환경 지표의 수준이 확인된다.

맺는 말

수변복원 가이드라인은 미 연방정부의 관련 기관들이 공동으로 참여하여 1998년 10월 발간한 하천과 그 연변의 복원을 위한 종합적인 가이드라인이다. 이 가이드라인의 제작 취지는 「맑은 물법(Clean Water Act)」 25주년을 기념으로 연방 정부의 범 기관 차원에서 전국에 악화 되가는 하천과 그 연변을 복원하는데 있어 실무자들에게 개념적, 방법적, 기술적 가이드라인을 제공하는 것이다. 이 가이드라인에 나와 있는 내용은 어느 한 방법을 우선적으로 추천하는 것도 아니고, 어느 기관의 정책 자료도 아닌, 수변 복원에 관해 실무자들이 참고할 수 있는 것이다. 따라서 이 가이드라인에 제시되는 것은 아무 조치도 취하지 않는 것부터 시작하여 부분 간섭, 전면 간섭 등 접근 방법에도 유연성을 두고 있다.

이 가이드라인의 제작에는 연방 정부 기관 중에서 물과 하천에 관련된 모든 기관이 망라되었다. 특히 미 내무성의 물관련 주요 기관인 개척국, 토지관리국, 어류야생국, 국립공원국, 지질조사국 등이 제작에 참여하였다. 이 가이드라인은 생태계의 구조와 기능의 이해에 상당 부분 초점을 맞추었기 때문에 하천 기술자로서 이 분야에 기초적 지식과 생물과 무생물간의 관계를 이해하는데 도움이

된다. 나아가 하천의 생물 서식처를 보전하고 개선하는데 있어 하천의 흐름과 형태가 어떠한 역할을 하는가를 이해하는데 도움이 된다. 이중 하천수리 기술에 직접적으로 관련된 분야는 주로 7, 8장이다. 부록에 소개된 자연형 하천공법에는 하천 내 공법(9개), 강턱(저수로 호안; 15개), 물 관리(2개), 하도 재 축조(2개), 수변 대책(3개), 유역 관리(5개) 등 36개가 간략히 소개되고 있다.

이 가이드라인은 기본적으로 손상이 된 하천의 복원 설계보다는 손상이 안된 하천의 구조와 기능 이해에 비중을 많이 두고 있다. 따라서 이 것 하나만으로 하천 복원에 관한 모든 기술적 지식을 얻기는 어렵다(Shields, 1999). 더욱이 미국과 하천의 경제, 사회, 자연 여건이 상당히 다른 국내에 그대로 적용하기에는 무리가 있을 것이며, 우리 여건에 맞는 가이드라인의 개발이 요구된다. 저자의 연구팀은 2001년을 목표로 현재 국내 여건에 맞는 수변복원 가이드라인 제작을 하고 있다.

참고 자료

- 건교부/건기연, **하천환경관리기법 연구·조사**, 1991~1996.
- 환경부/건기연, **국내여건에 맞는 자연형 하천공법의 개발**, 제 1, 2, 3 차년도 연차 보고서, 1997~1999.
- Brookes, A., "Ch. 21: Recovery and Restoration of Some Engineered British River Channels", *River Conservation and Management*, Boon, P. J., Calow, P., and Petts, G. E., eds., John Wiley and Sons, Chichester, England, 1992.
- Prichard, et al., "Process for Assessing Proper Conditions", Technical Reference 1737-9, US Department of the Interior, Bureau of Land Management Service Center, Denver, Colo., USA, 1993, rev. 1995.
- Rosgen, D. L., "A Classification Natural Rivers", *Catena*, vol. 22, 1994.
- Shields, Jr., "Stream Corridor Restoration: Principles, Processes, and Practice (New Federal Interagency Guidance Document)", Forum Article, *J. of Hydraulic Engineering*, ASCE, May, 1999.
- Schiechtl, H. M. and Stern, R., *Water Bioengineering Techniques for watercourse, Bank and Shoreline Protection*, Translated by L. Jaklitsch and edited by D. H. Barker, Blackwell Science, 1997.
- US Army Corps of Engineers, *Environmental Engineering for Local Flood Control Channels*, Nov., 1989.
- US Department of Commerce, *Stream Corridor Restoration-Principles, Processes, and Practices*, Federal Interagency Stream Restoration Working Group, National Technical Information Service, Springfield, VA, USA, Oct., 1998.
- US Fish and Wildlife Service, *Standards for the Development of Habitat Suitability Index Models(ESM 103)*, US Department of Interior, Fish and Wildlife Service, Washington, D. C., USA, 1981.
- Vannotes, R. L., Minshall, G. W., Cummins, K. W., Sedell, J. R., and Cushing, C. E., "The River Continuum Concept", *Canadian J. of Fisheries and Aquatic Sciences*, vol. 37, no. 1, 1980.