

水邊 復元の 이해와 외국의 관련 가이드라인의 검토

禹孝燮¹⁾ · 金成泰²⁾

¹⁾한국건설기술연구원 수자원환경연구부 연구위원 · ²⁾선임연구원

A Review and Understanding of Stream Corridor Restoration

Hyo-Seop Woo¹⁾ and Seong-Tae Kim²⁾

¹⁾Senior Research Fellow, Senior Researcher

²⁾Water Resources and Environment Division, Korea Institute of Construction Technology

ABSTRACT

The river environment of many streams in Korea has been deteriorated through the rapid industrialization and urbanization since the early 1960s. Deterioration includes single-purpose channel works for flood control and dense riparian land uses such even as the covering of the channel, as well as water pollution. As a result, many streams have lost their precious river environment such as ecological habitat, river friendliness and riparian scenery. In the early 1990s, however, the necessity of restoring those channelized streams was felt among the river engineers as well as environmentalists in Korea.

This article describes a summary of the literature review of the stream restoration guidelines and relevant publication including those published in Japan, Europe and USA. A special focus is on the Stream Corridor Restoration, which was recently in the USA in 1998. First, the meaning and background of stream restoration is reviewed. Last, a draft of the contents of the stream restoration guideline, which is being developed by the authors and their colleagues, is briefly introduced.

Key words : *stream restoration guideline, river environment, stream habitat*

1. 서 론

흔히 하천은 이수, 치수, 환경 등 3대 기능이 있다 한다. 이 중 이·치수 기능은 공학적 기능(engineering function)이며, 환경은 자연적 기능(natural function)이다¹⁾. 문제는 지금까지 국내

1) 엄밀한 의미에서 이수는 하천의 기능(function)이라 하기보다는 가치(value)이며, 치수는 하천관리의 대상 또는 목표이며, 환경이 순수한 의미의 하천 기능(한 시스템에서 서로의 역할을 하며 스스로 돌아가는 것)임

대부분의 하천 관리에서는 자연적 기능은 도외시하고, 공학적 기능만을 강조하여 왔다는 것이다. 구체적으로 1960~1980년대 산업화와 도시화는 토지이용의 제고와 하천의 공학적 기능만을 위해 도시 하천을 인공화 시켰다. 그림 1은 그 한 예로서, 자연적으로 구부러진 하도는 직선으로 만들고, 양안에는 높은 제방을 쌓고, 그 안의 하천 수는 인공적으로 만든 저수로(低水路)에 국한시키고, 나무, 돌 등 홍수 소통에

지장을 줄 수 있는 것들은 모두 제거하였다. 위 사진과 같은 도시 하천은 환경적으로 그래도 양호한 것이며, 도심부를 흐르는 작은 하천의 상당수는 아예 복개되어 소멸되었다. 도시화에 따른 배수 기능 이외에 하천 기능은 불필요하다고 본 것이다. 더욱이 1990년대 들어 도시교통의 수요가 폭발하여 도로 건설이 급해지자 급기야는 대부분의 도시고속화 도로는 국유지인 하천에 놓이게 되어 중랑천과 같은 고수부지 도로와 홍제천과 같은 하천 위 고가도로 건설이 유행이 되었다(그림 2).

농촌이나 전원 하천의 경우도 크게 다르지 않다. 치수 목적의 하천개수는 전국의 국가 하천(과거 직할하천)과 지방 1급 하천(과거 지방 하천)의 총 연장 4,000km의 대부분을, 지방 2급 하천(과거 준용하천) 총 연장 32,000km의 70% 가까이를 획일적인 직강화, 복단면화, 저수로 정비 등 인공화 하였다. 산지 하천의 경우도 하천을 따라가는 도로 건설의 용이성으로 상당부분의 하천변이 도로화 됨에 따라 도로 공사 시 나온 사토를 하천에 밀어 넣거나 쌓아 놓음

으로써 그나마 자연에 가까운 산지 하천도 반쯤 훼손되었다. 이제 국내에서는 자연 하천은 사실상 소멸되었고, 단지 산간 계곡에 일부 남아 있을 뿐이다.

그러나 1980년대 말부터 하천 전문가들 사이에 하천의 자연적 기능, 즉 환경 기능의 보전과 개선의 필요성에 대한 공감대가 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 도시 하천을 복개하여 하천을 소멸시키고 다른 용도로 쓰는 그 때까지 하천관리 관행에 대한 반성과 함께 훼손된 하천을 원 모습으로 되돌리는 하천 복원, 또는 하천 회복에 대한 필요성이 대두되었다. 이에 따라 1990년대 들어 자연형 하천 계획과 공법에 대한 연구가 본격적으로 시작되고(건교부/건기연, 1991~1996; 환경부 등, 1997~1999), 일부 하천에 시험 적용되었다(그림 3 참조).

실제 국내 하천 관리에서도 1990년대 초부터

그림 1. 치수 일변도의 도시하천(과천 양재천)

그림 2. 하천에 고가도로 건설(서울 홍제천)

(복원 전; 1996)

(복원사업 직후; 1997)

(성숙기; 2000. 3)

그림 3. 양재천 과천 구간의 하천 회복(환경부 등, 1997-1999)

하천환경 개선에 대해 하천관리자(지자체)의 관심이 커지면서 일부 지자체에서는 'XX 하천 살리기' 등의 운동을 비롯하여 나름대로 하천의 환경 기능을 개선하려는 노력이 시작되었다. 그러나 이러한 하천환경 개선사업들은 자연에 가까운 하천 가꾸기라는 점을 표방하고 있지만 실제적으로 자연성보다는 친수성 공간 이용의 성격이 강하다. 하천의 원 서식처 물리, 화학 조건을 조성하여 생태계 서식 환경을 되살리는 하천복원 개념과는 아직 상당한 거리가 있다. 그 이유는 국내에서 하천 실무자들 사이에 자연형 하천, 또는 하천 복원이라는 개념이 아직 분명히 정립되지 않기 때문이다. 동시에 자연형 하천을 구현하고자 하는 실무자들에게 구체적인 도움을 줄 수 있는 가이드라인이 아직 마련되어 있지 않기 때문이다.

따라서 본 고에서는 외국의 하천 복원 가이드라인과 관련 문헌을 간략히 검토하고, 최근 1998년 말 미국에서 발간된 수변복원(Stream Corridor Restoration)에 대해 구체적으로 검토한다. 이를 위하여 먼저 수변 복원의 의의와 배경에 대해 간략히 검토한다. 마지막으로 환경부 G-7 연구과제로서 필자들이 추진하고 있는 국내 여건에 맞는 하천복원 가이드라인의 목차(안)를 소개한다. 하천 복원 또는 자연형 하천 관련 외국의 기술 동향은 이 학회지의 제목에서도 시사하는 '환경복원과 녹화'에 관련된 기술의 도입과 개발이라는 면에서 도움이 될 것이다.

II. 수변 복원의 의의와 배경

1. 의의

수변 복원(水邊 復元, stream corridor restoration)이란 치수나 기타 다른 목적의 하천 사업이나 불량한 유역 관리에 의해 훼손된 하천의 생물 서식처와 친수성을 되살리기 위해 하도와 하천 변을 원래의 자연 하천에 가깝게 되돌리는 것이다. 여기서 수변(水邊, stream corridor)이란 하천에서 하도, 홍수터, 강덕, 기타 경관 생태적으로 연속성이 있는 주변을 망라한 것으

로, 좁은 의미로 하천이라 할 수 있다. 따라서 수변 복원은 협의로 하천 복원이다. 구체적으로, 하천 복원이란 하천 생태계의 구조와 기능을 훼손시키는 자연적, 인위적 교란이나 훼손된 하천이 자연적으로 회복되는 것을 막는 작용 등을 인식하는 것부터 시작한다(USDC, 1998). 따라서 하천 복원은 하천 생태계의 구조와 기능을 이해하고 그 생태계를 만드는 물리적, 화학적, 생물적 과정을 이해하는 것이 중요하다. 하천의 친수성과 오염정화 기능은 이러한 생태계의 복원을 통해 얻어진다. 하천 복원은 하천에 교란을 주는 활동이나 자연적인 회복을 막는 활동 등을 가능하면 억제하는 것으로부터 시작한다. 여기서 특히 하천에 지속적인 교란 활동을 제거하거나 저감시키는 활동을 '교정(remediation)'이라 한다. 하천 복원의 다음 단계는 교란으로부터 훼손된 하천을 적극적으로 복원하는 것이다. 하천 복원의 대상은 하도를 포함한 홍수터, 강덕, 제방 등 수변이다. 하천 복원에 접근하는 기본적인 방법은 다음과 같다(USDC, 1998).

- 비간섭과 비교란적인 회복 : 수변이 급속히 회복되어 적극적인 복원 활동이 불필요하고 나아가 오히려 해가 될 수 있는 상태
- 회복 지원을 위한 부분 간섭 : 수변이 회복하려고 하고 있으나 그 정도가 느리고 불확실하여, 자연적으로 일어나는 회복을 지원하는 활동이 필요한 상태
- 회복을 관리하기 위한 적극적인 간섭 : 원하는 하천 기능의 자연적 회복이 불가능하여 적극적인 복원 활동이 필요한 상태

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 지질, 수문적으로 안정된 지형을 만들어 주는 것이다. 하천 회복은 훼손된 서식처에서 생태계 구조와 기능을 회복시키는 것으로, 하천 복원과 달리 원 생태계의 구조와 기능에 최대한 가깝게 되돌리는 노력이 반드시 필요하지 않다. 마지막

으로 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. 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 강조할 필요가 있다. 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.

2. 배경

하천의 환경 기능은 동식물 서식처 기능, 자정 기능, 경관·친수(親水) 기능 등을 말하며, 이 중 서식처 기능은 대부분의 경우 자정과 친수 기능을 자연적으로 포함한다. 따라서 하천의 환경 기능은 곧 생태 서식처로서의 역할을 의미한다. 세계적으로 18세기 산업혁명 이후 하천은 도시화와 산업화의 영향으로 환경적 기능이 점차 악화되었다. 특히 하천을 단순히 자원으로 간주하고 이수 기능을 확대하거나 홍수로부터 도시와 농경지를 보호하기 위해 치수 기능을 확대하는 과정에서 하천의 환경적 기능은 간과되고, 나아가 이러한 이치수 목적의 하천 개발과 변형에 의해 그 기능은 깊이 악화되었다.

환경 보전과 복원, 그리고 친수성 차원에서 하천복원 사업들이 처음으로 구체화된 곳은 유럽의 독일어권 국가들이다. 독일, 오스트리아, 스위스 등에서는 1970년대부터 이른바 근자연형 하천공법(近自然型 河川工法, Naturmaher Wasserbau)이라 하여 기존의 콘크리트나 금속

등 전통적인 토목재료 대신에 깃버들, 풀 등 살아있는 생물 재료와 거석(巨石), 통나무 등 자연 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. 예를 들어 1992년에 완공된 라인강, 마인강, 도나우강을 연결하는 라인-마인-도나우 운하는 1)수로 좌우안의 대칭 금지, 2)운하 곳곳에 다양한 변화 창출, 3)저지대와 습지의 보전, 4)인공섬과 삼각주 조성, 5)곳곳에 습지의 조성이라는 자연에 가까운 하천(운하) 조성을 위한 하천 계획을 기본으로 하였다. 이러한 자연형 하천계획은 자연형 하천공법보다 상위 개념으로, 하천 사업에서 자연에 가까운 하천 만들기 기본 틀을 의미한다. 근자연형 하천공법 개념은 1980년대 일본으로 도입되어 '다자연형(多自然型) 하천 공법'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 공공 기관으로, 각종 이치수 관련 하천 사업은 물론 수로화된 기존 하천의 복원, 회복 사업에서 자연형 하천계획 개념을 도입하기 시작하였다.

미국에서는 1980년대 말부터 연방 정부와 주 정부 하천관련 기관들을 중심으로 각기 자연형 하천계획과 공법에 대한 지침서를 만들어 이용하여 왔다. 미 공병단에서는 홍수조절 하천이나 수로에서 환경적인 요소의 고려 방법에 대해 지침서(USACE, 1989)를 제시하였고, 그밖에 미 농무부 토양보전국(SCS), 환경청(EPA) 등에서 이와 비슷한 지침서를 제공하였다. 1998년 말에는 이러한 기관들이 공동으로 참여하여 하천 복원에 관한 종합적인 지침을 만들었다. '수

2) 지금의 환경청(Environmental Agency)

변 복원(stream corridor restoration) - 원리, 과정, 실무'라는 이름으로 나온 이 지침서는 하천 기술자들은 물론, 생물, 생태, 조경, 하천 형태 등 관련 전문가들이 '연방기관 하천복원 실무팀(FISRWG)'을 구성하여 만든 하천 복원을 위한 종합적인 가이드라인이다. 본 고에서는 다음 IV장에서 이 자료(SCR)에 대해 구체적으로 설명한다.

Ⅲ. 외국의 수변복원 가이드라인

외국의 수변, 또는 하천 복원에 관련된 자료와 가이드라인 등에 대해서는 이미 필자들의 다른 논문(김과 우, 2000)에서 구체적으로 검토하였다. 이를 요약하면 다음과 같다.

1. 미국

1.1 수변 복원 - 원리, 과정, 실무(Stream Corridor Restoration : Principles, Processes, and Practice ; USDC, 1998)

이 가이드라인은 미 연방정부의 관련 기관들이 공동으로 참여하여 1998년 10월 발간한 하천과 그 연변의 복원을 위한 종합적인 가이드라인이다. 이 가이드라인의 제작 취지는 「맑은 물 법(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 제시되는 것은 아무 조치도 취하지 않는 것부터 시작하여 부분 간섭, 전면 간섭 등 접근 방법에도 유연성을 두고 있다. 이 가이드라인은 생태계의 구조와 기능의 이해에 상당 부분 초점을 맞추었기 때문에 하천 기술자로서 이 분야에 기초적 지식과 생물과 무생물간의 관계를 이해하는데 큰 도움이 된다. 나아가 하천의 생물 서식처를 보전하고 개선하는데 있어 하천의 흐름과 형태가 어떠한 역할을 하는가를 이해하는데 도움이 된다.

이 가이드라인은 기본적으로 손상이 된 하천의 복원 설계보다는 손상이 안된 하천의 구조

와 기능 이해에 비중을 많이 두고 있다. 따라서 이것 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 것이다(우, 2000. 5). 이 가이드라인은 총 3부 9장과 부록으로 구성되어 있으며, 주요 목차는 다음과 같다.

- 제1부 배경 : 수변의 개요/수변 과정 · 특성 · 기능/수변에 영향을 주는 요인
- 제2부 복원 계획의 개발 : 팀의 구성과 문제의 확인/목적/목표/대안의 설정/추진 · 모니터링 · 평가 · 적용
- 제3부 복원 원칙의 적용 : 수변 조건의 해석 (수리 · 수문, 형태, 화학, 생물 등)/복원 설계/복원 추진 · 모니터링 · 관리
- 부록, 추가 : 공법(36개), 단위 환산, 참고 문헌, 색인 등

1.2 도시하천 복원을 위한 현장 매뉴얼(Field Manual of Urban Stream Restoration ; Newbury 등, 1998)

이 매뉴얼은 주로 미국 도시 근교 하천(한국적 의미에서는 사실상 전원 하천임)의 복원을 위한 것으로, 특히 호안의 안정성과 서식처 조성 및 평가 방법을 강조하고 있다. 주요 목차는 서론/하천 지형학의 기초/하천 회복을 위한 소와 여울의 조성/lunker 호안에서 제방 안정성과 하도 내 서식처 조성/도시 하천 복원 기법/USEPA 국내 모니터링 프로그램을 이용한 Waukegan 강의 모니터링 등이다.

그밖에 미 과학재단(NSF)에서 나온 자료로 "Restoration of Aquatic Ecosystems - Science, Technology, and Public Policy(1992)"이 있다. 이 자료는 "수환경과 생태계의 복원"이라는 제목으로 일본어로 번역되어 소개되었다(大垣, 1999). 이 자료는 수 생태계의 복원을 위한 방법들을 호소, 하천, 습지로 나누어 적용 사례들을 보여주고 있으며, 계획부터 유지관리까지 체계적으로 소개하고 있다.

2. 일본

일본의 경우 하천복원의 가이드라인 성격의 본격적인 자료는 아직 발견되지 않고 있다. 다만 “고향의 강 만들기 - 고향의 강 모델사업 정비계획 사례집”이 건설성 하천국의 감수를 받아 1980년대 말부터 계속 나오고 있다. 또한 “아름다운 산하를 지키기 위한 재해복구 기본 방침”이 1998년에 하천국의 감수를 받아 전국 방재협회에서 간행되었다. 이 자료의 주요 내용을 살펴보면, 총설, 재해복구사업에 있어서 환경보전, 하천 특성의 파악, 하안의 피해원인, 호안구조물 선정의 수순, 호안 구조별 설계상/시공상 유의점(식생호안, 자연석 호안 등), 복토, 근고공과 횡단 공작물, 다양한 수재부와 저수로를 대상으로 하고 있다. 최근 2000년 1월에는 “하천환경의 보전과 복원 - 다자연형 하천 만들기”의 실제”(島谷, 2000) 라는 자료가 발간되어 1980년대 이후 일본의 다자연형 하천공법의 적용 사례를 구체적으로 소개하고 있다.

3. 독일

독일은 주로 주 정부에서 하천복원 관련 가이드라인을 제작하여 이용하고 있다. 하천 복원에 관련된 가이드라인 및 문헌을 소개하면 다음과 같다.

3.1 자연형 하천 만들기와 하천 유지관리를 위한 가이드라인(Richtlinie fuer Naturnahen Ausbau und Unterhaltung der Fließgewässer in NRW. Duesseldorf, 1989)

이 가이드라인은 1989년 뒤셀도르프 NRW주에서 발간된 것이나 독일 전체에서 많이 이용되고 있으며, 하천 복원을 위한 구체적인 공법이 17개 소개되어 있다. 이 자료의 주요 목적은 지침서의 목적/하천정비 관련법규/자연 하천의 특성/자연형 하천설계의 기초/자연형 하천 설계의 절차/하천 유형별 설계사례/자연형 하천의 유지관리 계획 등이다. 환경부 등(1997 - 1999)에서는 이 자료를 기준으로 자연형 하천공법 지침서 시안을 제시한 바 있다.

3.2 하천과 소천 - 보전, 개발, 정비(Flüsse und Bäche, 1989)

이 자료는 독일 남부 뮌헨의 바이에른 주 정부가 발행한 것으로, 일본어로 번역되어 있다(勝野, 1992). 바이에른 주는 이른바 근자연형 하천공법이 시작된 곳이다. 이 자료는 하천복원 가이드라인이라기보다는 독일 하천의 역사, 하천이 인간에 주는 경관적, 생태적 의미를 사례 하천 위주로 소개한 책자이다

3.3 자연에 적합한 공법 - 하안과 하안 사면의 보호(Naturgemäße Bauweisen, 1993)

이 자료는 바덴 뷔템베르크 주 자료를 일본에서 번역한 것으로(集文社, 1997), 하천 복원을 위한 17개 공법이 구체적으로 소개되어 있다. 이 자료의 주요 목적은 제1부 서문에서 자연에 가까운 형태의 소천과 수변, 자연에 가까운 공법을 적용하는 경우에 기본 원칙, 공법의 선택, 비용, 유지관리와 시공 후의 변화, 수목의 유지관리의 방법 등이, 제2부 공법 개론에서 '0' 공법, 수목의 식재공, 아시류의 식재공 등 17공법 등이다.

이 밖에 “수로 제방과 하안 보호를 위한 수생물공학적 기법(Handbuch für Naturnaher Wasserbau, 1994)” 자료가 영어로 번역되어 소개되고 있다(Schiechtl과 Stern, 1997). 이 자료는 하천 제방의 침식과 안정성을 확보하기 위한 생물자료를 이용하는 기법들을 그림과 함께 자세히 소개하고 있다. 또한 Kern(Calow와 Petts, 1992)는 남부 독일의 하천 복원에 대해 구체적으로 소개하고 있다.

4. 영국

영국은 과거 수운 시대에 건설한 크고 작은 수로의 복원과 하천치수 사업에서 환경을 고려한 자연형 하천계획 등이 주요 관심이 되고 있다. 그러나 아직 하천복원에 직접 관련된 가이드라인 성격의 자료는 보이지 않으며, 다만 1994년 경 국립하천공사(NRA ; 지금의 환경 공사, EA)에서 발간한 “The New Rivers & Wildlife Handbook”이 하천 복원이나 자연형 하천계

획에 관련하여 유용한 자료가 될 수 있다. 그밖에 “River Channel Restoration”(Brookes와 Shields, 1996)이라는 책이 영국과 미국의 공동 편집으로 발간되었다. 이 자료의 구성은 제1부 복원을 위한 원칙과 방법, 제2부 유역과 홍수터 범주, 제3부 사례연구 등이며, 각 부는 3~6개의 장으로 다른 저자들이 집필하였다. 또한, Petts와 Calow(1996)에 의해 “River Restoration”이라는 편집 책이 1996년에 발간되었다. 이 자료는 강의 특성, 오염, 유량 배분, 대형 무척추 동물을 이용한 수질 평가, 어군의 보호, 모니터링 등 종합적인 내용을 다루고 있으며, 특히 독일 하천의 복원 경험을 소개하고 있다.

위와 같은 외국의 가이드라인이나 관련 자료의 특징과 국내 적용성에 대해서는 필자들의 다른 논문(우와 김, 2000. 10)을 참고할 수 있다. 다음은 특히 1998년 말 미국에서 발간된 SCR에 대해 구체적으로 검토한다.

IV. SCR의 소개

1. SCR의 구성

미국의 수변 복원 가이드라인은 총 3부 9장으로 구성되어 있으며, 주요 복차는 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 부록에는 간략히 소개된 자연형 하천공법에는 하천 내 공법(9개), 강터(저수로 호안 ; 15개), 물 관리(2개), 하도 재 축조(2개), 수변 대책(3개), 유역 관리(5개) 등 36개이다.

다음은 수변복원 가이드 라인의 주요 내용을 요약한 것이다(우, 2000. 6/8).

그림 4. 수변의 경관생태 모식도

2. 수변의 특성과 교란

회랑(回廊, corridor)은 경관생태학에서 이용되는 용어로서, 지배적인 경관생태(matrix) 보다 는 규모가 작은 국부적이고, 띠 모양의 경관생태 부분(patch)을 말한다. 따라서 하천 회랑, 또는 간단히 수변은 하도와 주위 경관생태 부분을 연결시켜주는, 하도를 따라 형성된 긴 경관생태 부분이다. 하천 복원에서 수변을 강조하는 것은 하도 자체만의 복원으로는 사실상 지

속 가능한 생태계를 만들기 어려우며, 주변 경관 생태와 연결 통로가 되는 회랑의 복원이 병행되거나, 적어도 하천복원 계획 단계에서 고려가 되어야 하기 때문이다. 따라서 하천 복원에서 수변의 물리적, 화학적, 생물적 특성의 고려는 복원 사업의 열쇠가 된다. 여기서 수변의 특성을 고려하기 위해서는 물과 유로를 기준으로 하는 '유역 규모'와 경관생태 측면에서 '지형 규모' 간의 차이를 강조할 필요가 있다. 유역 규모는 상대적인 개념으로 한강 유역 전체가 될 수도 있고, 한강의 2차 지류인 양재천의 또 다른 지류인 이름 없는 작은 배수 구역이 될 수도 있다. 따라서 보통의 수문 분석에서는 매우 유용한 개념이나, 수변 생태 측면에서는 특별한 의미가 없는 개념이 될 수 있다. 이 점에서 전통적인 수문, 수리 분석은 해당 유역 단위로 할 수 있으나, 생태 분석은 유역 단위보다는 토지 피복의 특성이 같은 지형 단위가 더 적절하다.

2.1 수변의 종횡단 방향의 조망

수변을 횡 방향으로 보면 하도, 홍수터, 그리고 주변 지형과 연결되는 천이 주변구역(upland fringe) 등으로 구성되어 있다. 이를 수변 생태 측면에서 보면 그림 5와 같다. 이 그림과 같이 주 하도는 거의 상시로 물이 흐르는 곳이며, 홍수터는 홍수 시에만 잠기기 때문에 수목이 자생한다. 홍수터 곳곳에는 지형에 따라 늪이나 습지가 형성된다. 따라서 수변에는 각 위치에 따른 수분의 정도(물에 잠기는 빈도와 지하수

위 변화)에 맞는 식물들이 서식하게 된다. 천이 주변구역은 고지(高地, upland)의 삼림과 능선의 풀 등을 포함한다.

수변을 최상류에서 최하류까지 종 방향으로 보면 상류의 고지에 위치한 원류 구역(headwaters), 중류의 이송 구역(transfer zone), 하류의 퇴적 구역(depositional zone) 등으로 나눌 수 있다. 이러한 하천형태 구분을 식생과 연관시키면, 원류 구역은 고지 식생에서 오는 유기물과 토양 침식에서 오는 유사를 하류로 제공한다. 특히 자연 하천에서 원류 구역에서 내려온 통나무가 중하류에 걸린 부목은 수중 생태계의 귀중한 서식 환경을 제공한다. 이송 구역은 원류 구역에 없는 넓은 홍수터를 가지고 있기 때문에 수변 식생이 다양하다. 이 구역에서는 토양과 함수(含水) 특성에 따라 여러 종류의 식물이 서식하게 된다. 퇴적 구역은 상류 두 구역보다 더 큰 홍수터를 가지게 되고 유사의 퇴적이 활발하다. 그러나 평평하고 넓은 토지는 인간의 농경과 주거 지역으로 바뀌었고, 특히 치수 차원에서 제방을 축조하여 수변을 좁혔기 때문에 수변 식물은 사실상 제방 안으로 국한되는 경우가 많다.

여기서 하천의 종단 방향으로 수변 생태계의 변화를 설명하는 개념이 그림 6과 같은 Vannotes 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 물가 나무와 풀에서 떨어진 낙엽이나 나뭇가지 등이다. 위와 같은 먹이원의 제한과 또한 비교적 낮고 계절 변화가 크지 않은 수온 등의 영향으로 생물종의 다양성은 제한된다. 그러나 하류로 가면서 4~6차 하천과 같은 중류 구역에서는 수중에 빛이 더 많이 들어오면서 광합성으로 자체 영양 공급이 가능해지고,

그림 5. 수변의 횡방향 조망(Sparks, 1995)

그림 6. 자연하천의 종 방향 생물 변화(하천 연속의 개념)

특히 상류에서 내려온 유기물 등으로 무척추 동물(graazers)들이 번성하게 된다. 이는 곧 수중 서식처의 다양성을 유지시킨다. 다음 7~12차 하천과 같은 하류 구역에서는 하천의 물리적 안정성은 커지지만 탁도의 증가 등 여러 가지 이유로 수중 서식처 상태가 중류와 달라진다. 이렇게 안정된 수역에서는 동물간의 경쟁과 포획 특성이 같이 안정되기 때문에 오히려 종의 다양성은 줄어든다. 하천연속 개념은 외부의 충격과 그에 따른 영향이 고려되지 않았기 때문에 일반성이 미흡한 면이 있지만, 복잡한 하천 생태 관계를 간단한 개념적 모형으로 제시하였다는 긍정적인 면이 있다(USDC, 1998).

2.2. 수변 교란

수변과 하천의 복원을 위해서는 먼저 어느 원인이 현재의 하천이나 수변 상태를 만들었는가를 확인하는 것이 순서이다. 이러한 문제의 원인을 파악하기 위해서는 수변에 가해지는 교란과 그에 의한 영향을 이해하는 것이 중요하다. 수변에 가해지는 교란은 기본적으로 자연적인 것과 인위적인 것으로 나눌 수 있다. 나아

가 시간 규모를 구분하여 검토할 필요가 있다. 지질 시간적으로 긴 시간을 요하는 지형의 변화는 사실상 우리의 관심 대상이 되기 어렵다. 그보다는 몇 백년이나 몇 천년 정도의 시간을 요하는 기후 변화나 하천형태 변화가 조금 더 현실성이 있다. 그러나 이러한 변화보다는 백년 이하의 시간대에서 변하는 하천형태 변화가 가장 관심 사항이 될 것이다. 이러한 비교적 짧은 시간대에서 변화는 기록적인 홍수, 가뭄, 산불, 지진, 화산, 곤충과 질병, 극단적인 기온 등을 제외하면 사실상 인위적인 요인이다. 그러나 일반적으로 수변 식생은 질기기 때문에 극단적인 자연 교란이 가해져도 대부분 회복된다.

♣ 인위적인 교란

인간 활동에 의한 교란은 댐이나 하천 정비와 같은 하천에 가해지는 직접적인 교란과 주변 토지이용 활동에 의한 간접적인 교란 등 크게 둘로 나눌 수 있다. 전자는 수변에 가해지는 일종의 '점교란원'이며, 후자는 '비점교란원'이다. 여기에 외래종의 도입에 의해 수변 생태계 교란이 추가된다.

규모가 매우 작은 낙차공이나 보부터 규모가 매우 큰 다목적 댐에 이르기까지 하천을 가로막는 댐은 수변에 가장 큰 직접적인 영향을 미친다. 댐에 의한 수변의 물리, 화학적 변화는 크게 하천의 연속성(흐름, 유사, 유기물 등) 차단, 저수지 수물, 하류 유량 변화, 상하류 하상 재료, 또는 기층(基層, substrates)의 변화, 그리고 수질 변화로 나누어 생각할 수 있다. 이에 따른 생태적 변화는 주로 서식처의 물리, 화학적 변화에 의한 것이다. 이치수를 위한 하천 정비는 하천의 여울과 소를 교란시키고, 유속을 증가시켜 수중 서식처의 다양성을 감소시킨다. 특히 치수 측면만을 고려하는 하천 개수는 사실상 하천의 인공화를 의미한다.

토지이용 활동에 의한 교란은 농업, 임산, 축산, 광산, 위락, 도시화 등을 생각할 수 있다. 이 중 가장 광범위한 활동은 농업으로, 이는 수변의 식생을 제거하고 농경지의 침식을 가속화시켜 하류에 퇴적되어 수변 서식처의 물리적

형태를 변화시킨다. 경작을 위한 지하수 양수나 관개배수 활동은 토양 수분과 지하수위에 영향을 주어 유역의 유출 특성을 변화시킨다. 농업 활동으로 인한 비료, 농약 등 각종 오염물은 불과 유사에 실려 수중은 물론 수변의 화학, 생물적 성질에 직접적인 영향을 준다.

임산 활동의 영향은 수목의 제거, 목재의 운반, 식목 준비를 위한 정지 작업 등으로 나눌 수 있다. 이중 가장 광범위한 영향은 수목의 제거로 인한 하류 영양물질 공급원의 감소와 하천 유황의 변화, 그리고 야생 동물의 서식처 교란 등이다. 초지에 방목하는 축산 활동은 풀의 과도한 소비(overgrazing)를 야기시켜 토양 침식을 가속화시킨다. 또한 가축의 사료나 분뇨에서 나오는 오염물은 비점 오염원의 형태로 수변에 영향을 준다. 이러한 영향은 수변 토양의 생화학 특성 변화와 수질의 악화로 나타난다.

광산 활동, 특히 노천광산 활동은 하천과 수변에 광범위한 영향을 준다. 국내에서는 드물지만 노천광은 토지의 식생을 제거하고, 토양을 교란시키며, 유역의 수문 특성을 변화시킨다. 특히 노천광에서 나오는 광산 버력이나 유사는 하류 하천에 쌓여 하천에 직접적인 영향을 준다. 이러한 물리적인 영향보다 더 심각한 것은 광산에서 나오는 오염물의 유입이다. 산성 광산 배수(acid mine drainage, AMD)는 수은 등 중금속과 같이 하천 수를 직접 오염시켜 수중 동식물은 물론 수변 식생을 죽일 수 있다.

하천이나 수변위락 활동 역시 부정적인 영향을 준다. 수변에 오솔길의 빈번한 이용부터 차량의 통행은 식생을 고사시키며, 토양을 압밀시켜 침투능을 감소시키고 그에 따라 토양 침식을 증가시킨다. 수상 보트는 프로펠러의 회전이나 물의 반동에 의해 하상을 교란시키고, 수면파는 강택을 침식시킨다. 또한 수변의 캠핑, 낚시, 수영, 보트 등 위락 활동은 수변의 새 서식처의 교란 등 수변 생태계에 크건 작건 영향을 준다.

도시화에 따른 수변에 미치는 영향은 크게 1)수문 특성의 변화, 2)하천 형태의 변화, 3)유사와 오염, 4)서식처와 수중 생태계 변화 등으

로 나눌 수 있다. 수변을 낀 도시화는 물론 하천 상류 지역의 도시화도 수변에 직접적인 영향을 준다. 하천 상류 지역이 도시화되면, 불투수층의 증대로 침투 유출량은 증가하나 연 총 유출량은 감소하는 것은 잘 알려진 사실이다. 이러한 침투 유출량의 증가는 특히 하류 하천을 침식시켜 하상을 저하시키거나 강택을 침식시킨다.

3. 수변 복원의 실무

수변복원 사업은 성격 상 많은 전문성과 단계를 거치고, 특히 지역 주민들의 관심과 참여가 필요하다. 최근에 미 연방정부에서 발간한 수변복원 매뉴얼에는 이러한 수변복원 절차와 관련 지식, 그리고 실제 설계와 시공 관련 기술들이 구체적으로 제시되어 있다. 여기서는 그 매뉴얼을 기준으로 수변 복원의 기본적 절차를 간단히 설명하고, 다음 하천 기술자로서 알아야 할 수변 복원의 원리와 주도적으로 담당하여야 할 설계, 시공, 평가 등에 대해서 검토한다.

3.1 수변 복원의 절차와 분석

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. 이러한 일반적인 절차는 사실 제 7장에서 다룬 유사에 의한 문제의 접근 절차와 기본적으로 같다.

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.

♣ 수문 분석

대상 수변과 하천에서 물의 흐름을 수문, 수리적으로 분석하는 것은 수변 복원의 필수적인 사항이다. 여기에는 유황 분석, 홍수와 가뭄의 빈도 분석, 지배유량 분석, 그리고 하천과 수변에서 수리, 유사 특성의 분석 등을 포함한다.

♣ 형태 분석

대상 하천에서 하천 형태와 변화(processes)를 분석하는 것은 대상 하천의 악화 원인을 규명하고 앞으로 변화를 예측하는 것과 복원된 하천 형태의 변화를 예측하기 위해 중요하다. 하천 형태는 흐름과 함께 생태 서식처의 기본적인 물리 특성이다. 수변 복원을 위한 하천형태 분석에는 하천 분류, 수변의 물리적 기능의 적정성 검토, 하천의 수리 기하, 하천의 불안정성 검토 등이 있다.

Rosgen(1994)은 하천 형태적으로 종합하여 매우 구체적인 하천 분류 방법을 제안하였다. 그의 하천 분류는 하천 형태와 하상 재료를 기준으로 총 92개로 분류하고 이를 다시 41개로 요약한 것으로, 그림 7과 같다. 그의 하천 분류는 하천의 형태나 하상 재료의 특성과 식생과의 관계를 기초적으로 파악하는데 도움이 된다.

그러나 그의 분류는 자연적인 강터 유량과 홍수터 등 국내에서 이미 대부분 사라진 지표를 이용하는 것으로, 국내 하천에 얼마나 적용이 가능한지는 미지수이다.

하도진화모형(channel evolution model)은 외부의 영향으로 인한 하천의 반응 과정을 정성적으로 모형화한 것으로, 하폭과 수심의 비와 홍수터의 변화, 종단 하상 형태와 경사의 변화 등을 포함한다. 이는 교란된 하천이나 불안정한 하천의 원인과 향후 반응 방향을 추정하는데 도움이 된다. 예를 들면 그림 8과 같은 Simon (1989)의 6단계 하도 진화론은 복원 대상 하천의 향후 진화 추이를 파악하는데 이용될 수 있다. 그의 모형은 하도 횡단면이나 종단면, 또는 강터 형태의 진화를 포함한다. 하도진화 모형은 그 자체가 하천의 상태적 분류이다.

적정 기능 상태 (Proper Functioning Condition)는 미 토지 관리국(USBLM)에서 개발한 모형으로, 수문, 형태, 토양, 식생 측면에서 수변이 적정히 기능을 하고 있는가를 평가하는 것이다 (Prichard 등, 1993, 1995). PFC는 수변과 습지 지역의 물리적 기능을 평가하는 것으로, 수변의 물리적 지표는 결국 수변 서식처 건강 상태의 일차적인 평가 기준이 된다. 이 모형은 대상 수변의 물리적 기능 상태를 1)적정한 기능 상태, 2)기능 위험 상태, 3)기능 정지 상태 등 셋으로 구분한다.

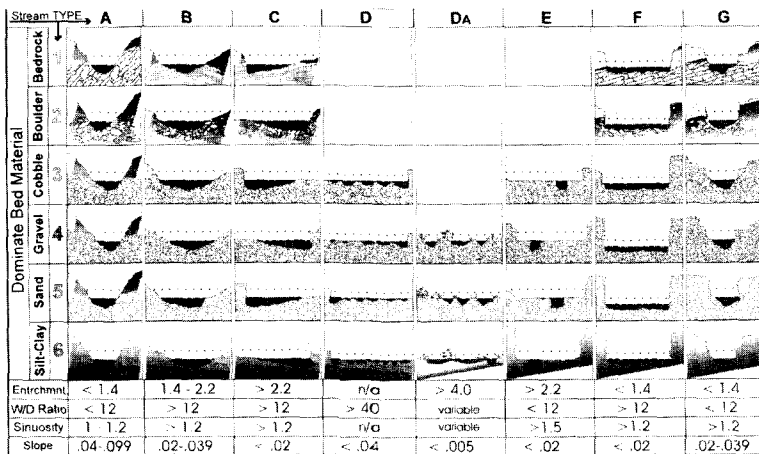


그림 7. Rosgen의 하천 분류(1994)

의 화학적 분석은 기존의 수질, 유사 분석 방법에 준할 수 있다.

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. 그러나 이러한 지표는 대상 수변의 상태 변화의 속성까지는 제공하지 못한다.

그림 8. Simon(1989)의 6단계 하도 진화론

하천의 수리기하 특성은 하천 복원을 통해 안정한 하천으로 되돌리는 기준을 파악하고 참고하는데 도움이 된다. 이는 특히 새로운 하천을 설계하는데 필수적인 분석이다. 하천의 수리기하 특성 중에서 특히 하천 복원에 관련된 것은 하류로 가면서 연평균 유량과 수심, 폭, 유속과의 관계나 강터 유량이나 하폭과 유역 면적과의 관계 등이다. 한편 안정하도 단면에 대해서는 레짐 이론을 참고할 수 있다. 또한 곡류 하천의 만곡기하 특성에 대해서는 기존의 경험 공식들을 참고할 수 있다.

♣ 화학적, 생물적 특성 분석

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

종의 다양성은 생물 시스템의 특성을 분석하는 또 다른 좋은 지표이다. 이는 단위 면적당, 또는 일정 공간당 서식하는 생물종의 수로 나타낸다. 수변 생물 특성의 평가에서 많이 이용되는 종은 조류(藻類), 물 바다에 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(그림 9 참조), 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.

때문에 바람직하지 못하다. 이러한 경우 유실 우려가 있는 곳을 야자섬유 망과 같은 자연 재료로 덮어서 식생이 활착하기 전 몇 년 동안 침식으로부터 보호할 필요가 있다. 그러나 이러한 방법보다 더 적극적인 강터 보호책은 단단한 생물 재료를 이용하는 것이다. 그 한 예는 그림 10과 같이 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 버드나무류는 특히 활착률이 높고 쉽게 얻을 수 있기 때문에 생물 재료로 적합하다. 여기서 이용되는 토목 섬유는 야자섬유와 같은 시간이 가면 스스로 썩는 재료여야

한다(Johnson과 Stypula, 1993). 한편 물가 호안은 사석 대신 통나무 뿌리와 거석을 이용하는 방법도 생각할 수 있다. 이 경우 직경 40cm 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 의미가 크다. 이밖에 가이드라인은 강터와 호안 공법으로 강터의 완경사 식생, 생나무 가지 층층 묻기, 윗가지 침상(沈床), 야자섬유 롤 묻기, 강터 삼목(挿木), 식생 돌망태, 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. 여기서는 일반적인 시공에 대해서는 생략하고 시공 후 사업의 평가를 위한 모니터링에 대해 검토한다.

♣ 수변복원 평가를 위한 모니터링

모니터링은 사업의 성과를 평가하는 유일한 수단으로 사업계획 단계부터 그 기본적인 구상

그림 10. 자연형 호안공법의 예

그림 11. 하도안정 사례(Careless Creek)

이 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 위협을 주는 요인의 평가 등이다. 모니터링 결과에 따라 미리 설정한 각종 검사점에

서 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 변수들은 다

표 1. 수변 복원의 물리적 성능 평가와 안정성 평가를 위한 모니터링 항목

평 면 형	반곡도, 폭, 사주, 여울, 소, 거석, 통나무
단 면 형(구간 별, 특별 형태 별)	단면 형태의 스케치, 강턱의 대응각 강턱(bankfull) 수심, 폭 폭/수심의 비
종 단 형	하상 재료 분포 수면 경사, 하상 경사 여울 크기/형태/종단형 소 크기/형태/종단형
하천 분류(구간 별)	분류 체계의 선정에 따라 달라짐
수문학적 유황 분석	(하상 계수) 2-, 5-, 20-년 빈도 홍수 수문 곡선 기저 유량과 유속
하도 진화 추적의 결정	유출의 감소나 증가, 돌발 홍수 하도의 횡방향, 종방향 침식 하폭의 과다 증가, 하상 상승 만곡 경향 - 진화 상태, 축방 이동 만곡도의 증가나 감소 제방 침식 양상
관련 수변 조건	수변의 포화나 지상 저류 충적 테라스와 자연 제방 산지/양호한 배수/경사가 진, 또는 테라스 지형 수변 식생 구성, 집단 양상과 연속적인 변화
관련 유역의 추이(과거 20년, 향후 20년)	토지 이용과 피복(cover) 토지 관리, 토양 종류 지형, 지역적인 기후/기상

표 2. 수변 복원의 목표와 성능 평가에 관련된 생물적 속성과 지표들

생물적 속성	변 수
1차 생산자	부착 조류(periphyton) 플랑크톤 관다발(vascular) / 비관다발(nonvascular) 대형 식물
동물성 플랑크톤 / 돌말	
무척추 동물 집단	종, 수, 다양성, 생물량(biomass) 대형/소형, 수생/육생
어류 집단	회유성/상주성 종 비 집단(specific population)이나 생애 단계 바다로 나가는 연어(smolt)의 수 돌아오는 성어(成魚)의 수
수변 야생/육지 동물 집단	양서류/파충류 포유류, 조류
수변 식생	구조, 구성, 상태, 기능 시간에 따른 변화(계열, 군체의 형성, 절멸 등)

음 표 1과 같다.

한편 수변 복원의 목적에 관련된 수변 생태계의 생물적 속성은 표 2와 같다.

그림 12. 홍수터 식생 조사

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, 썩물과 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 대조

할 수 있는 수변을 의미한다. 따라서 수변복원 사업에서는 대조 하천을 설정하여 주기적인 모니터링이 필요하다. 대조, 또는 참고 하천의 선정 시 착안 사항은 다음과 같다.

- 수변 복원에 대해 무엇을 알고 싶은가?
- 대상 구역은 최소한으로 교란되었는가?
- 대상 구역은 수변 복원 구역을 생태적으로 대표할 수 있는가?
- 대조 상태를 확립하기 위해 필요한 최소한의 대상 구역 수는?
- 대조 하천을 가는데 장애물은 무엇인가?

대조 하천에서 모니터링 결과는 수변 복원에서 추구하는 상태를 결정하며, 동시에 환경 지표의 수준이 확인된다. 이러한 환경 지표는 결국 사업의 성공 여부를 평가하는 성능 기준이 된다.

V. 하천복원 가이드라인의 제작(구상)

국내에서 이용할 수 있는 하천복원 가이드라인은 하천 관리자가 하천환경정비, 또는 하천복원 사업을 추진하는데 직접 이용할 수 있는 개념적, 교육적, 기술적 참고서가 되어야 할 것이다. 동시에 정책 결정자(시장, 군수 등)와 NGO 등 관련 단체 사람들이 하천 복원의 개념과 관련 지식을 이해하는데 도움이 되어야 할 것이다. 위의 두 사항을 만족하는 가이드라인의 제작을 위해서는 현재 미국의 '수변 복원 가이드라인'이 가장 좋은 자료로 보이나, 이 자료는 앞서 언급했듯이 국내 적용에 분명한 한계가 있다.

필자들은 외국의 기존 하천복원 가이드라인을 참고하여 국내 여건에 맞는 가이드라인의 개발 방향으로 다음과 같은 점들을 고려하고 있다.

첫째, 국내의 도시하천은 대부분 크게 오염되어 있어 수질개선이 병행될 필요가 있다.

둘째, 외국의 하천 복원은 인공 제방을 넘어 과거의 수변 지역까지 고려될 수 있지만, 국내 여건상 토지 이용의 한계, 치수상의 문제 등 현실적으로 제방을 넘어 복원하기는 어려울 것이다.

셋째, 국내의 하천관리 특성상 하천복원에 의한 식생의 흐름저항 증가와 세굴 취약성 등 이른바 하천의 공학적 기능에 대하여 구체적인 검토 방법이 있어야 할 것이다.

넷째, 자연형 공법 등은 국내에 기 적용된 사례들을 중심으로 각 공법의 적용성과 한계 등을 고려하여야 할 것이다.

필자들은 위와 같은 제작 방향을 감안하여 가이드라인의 주요 구성 내용과 목차(안)을 다음과 같이 고려하고 있다.

제1부 하천과 수변

- 1장 하천의 개관 : 국토 환경과 하천, 하천의 시공간 규모, 하천의 공간적 구조
- 2장 하천의 물리적, 화학적 과정과 특성 : 유역과 하천의 수리·수문 과정, 하천의 형태과정, 화학적 특성
- 3장 하천 생태계 구조와 기능 : 하천생태계의 구조, 하천 생태계의 기능
- 4장 하천의 교란 : 자연적 교란, 인위적 교란, 하천교란 실태

제2부 하천복원 계획의 수립

- 5장 하천 복원의 배경과 목적 : 역사적 관점에서 하천의 변화, 하천 복원의 배경과 목적, 하천복원의 원리와 기본원칙, 하천복원의 한계와 잠재력
- 6장 하천복원 계획의 과정 : 조직의 구성과 문제/기회의 확인, 목적/목표와 대안의 설정, 복원 목적과 목표의 설정, 추진/모니터링/평가/적용관리 계획

제3부 하천 복원의 추진

- 7장 하천과 수변의 조사·분석 : 수문·수리 과정, 형태적 과정, 화학적 특성, 생물적 특성
- 8장 복원 설계 : 하천 유형별 복원설계의 원칙, 하도 선형/단면형/중단형의 복원, 호안/홍수터/제방의 복원, 하도 내 서식처의 복원, 하도 안정과 흐름저항 해석, 자연형 수질 개선 대책, 유역 대책, 수변의 경관생태와

연계 설계

- 9장 시공, 모니터링, 유지관리 : 복원 사업의 시공, 모니터링, 유지관리

제4부 자연형 하천공법

- 10장 공법의 원리와 적용 기준 : 자연형 하천공법의 개요, 공법 적용의 기준, 주요 재료
- 11장 유형별 공법의 예시 : 하도 내 공법, 호안 공법, 홍수터/제방 공법, 수질정화 공법, 기타 공법

VI. 맺는 말

수변 복원, 또는 하천 복원이란 치수나 기타 다른 목적의 하천 사업이나 불량한 유역 관리에 의해 훼손된 하천의 생물 서식처와 친수성을 되살리기 위해 하도와 하천 변을 원래의 자연 하천에 가깝게 되돌리는 것이다. 이러한 하천 복원은 하천이 인간 사회에 주는 실제적, 심미적 중요성 때문에 자연 생태계 복원 중에서 우선적으로 요구되고 있다. 국내에서는 1960년대 이후 급속한 산업화와 도시화에 의한 치수 일변도의 하천정비와 함께 하천수의 오염으로 하천의 환경적 기능은 지속적으로 악화되었다. 그러나 1990년대 들어 국민의 경제적 성장과 함께 주위를 돌아 볼 수 있는 여유가 생기게 됨에 따라 우선적으로 주변의 훼손된 하천에 대한 복구, 복원의 욕구가 증대되었다.

구체적으로, 하천환경 개선에 대해 하천관리자(지자체)의 관심이 커지면서 일부 지자체에서 나름대로 하천의 환경 기능을 개선하려는 노력이 시작되었다. 그러나 이러한 하천환경 개선사업들은 자연에 가까운 하천 가꾸기라는 점을 표방하고 있지만 하천의 원 서식처 물리, 화학 조건을 조성하여 생태계 서식 환경을 되살리는 하천복원 개념과는 아직 상당한 거리가 있다. 이러한 점에서 하천 복원을 계획하는 사람들을 위해 구체적인 방법론이 체계적으로 설명되어 있는 가이드라인의 개발이 시급하다.

미국, 일본, 유럽 등 선진 외국에서는 다양한 하천복원 가이드라인이나 관련 자료집을 제작

하여 보급하고 있다. 그 중 미 연방정부의 관련 기관들이 공동으로 참여하여 1998년 10월 발간한 하천과 그 연변의 복원을 위한 가이드라인이 가장 돋보인다. 이 가이드라인의 제작 취지는 「맑은 물 법(Clean Water Act)」 25주년을 기념으로 연방 정부의 범 기관 차원에서 전국에 약화 되가는 하천과 그 연변을 복원하는데 있어 실무자들에게 개념적, 방법적, 기술적 가이드라인을 제공하는 것이다. 그러나 이 가이드라인은 기본적으로 손상이 된 하천의 복원 설계보다는 손상이 안된 하천의 구조와 기능 이해에 비중을 많이 두고 있다. 따라서 이것 하나만으로 하천 복원에 관한 모든 기술적 지식을 얻기는 어렵다. 더욱이 미국과 하천의 경제, 사회, 자연 여건이 상당히 다른 국내에 그대로 적용하기에는 무리가 있다. 이 점에서 국내 여건에 맞는 하천 복원 가이드라인의 개발이 시급하다.

여기서 국내 하천환경 여건은 구체적으로 1) 국내의 도시하천은 대부분 크게 오염되어 있기 때문에 수질개선이 병행될 필요가 있다는 점, 2)외국의 하천 복원은 인공 제방을 넘어 과거의 수변 지역까지 고려될 수 있지만, 국내 여건상 토지 이용의 한계, 치수상의 문제 등 현실적으로 제방을 넘어 복원하기는 어렵다는 점, 3) 국내의 하천관리 특성상 하천복원에 의한 식생의 흐름저항 증가와 세굴 취약성 등 이른바 하천의 공학적 기능에 대하여 구체적인 검토 방법이 필요하다는 점, 4)자연형 공법 등은 국내에 기 적용된 사례들을 중심으로 적용성과 한계 등 평가를 하여 선별적으로 추천하여야 한다는 점 등이다. 현재 필자들은 다른 공동 연구자들과 같이 국내 여건에 맞는 하천복원 가이드라인의 개발을 추진하고 있다.

알 림

이 기사는 1996년부터 지금까지 환경부에서 지원하여 건기연과 서울대 환경계획연구소가 같이 수행하고 있는 G-7 연구 과제 “국내 여건에 맞는 자연형 하천공법의 개발” 연구의 일환

으로 필자들이 작성한 관련 논문 중에서 정리한 것임을 밝혀 둡니다.

참 고 문 헌

- 건교부/건기연, 하천환경관리기법 연구·조사, 1991~1996.
- 김성태·우효섭, “외국의 하천복원 가이드라인의 검토”, 한국환경복원녹화기술학회 학술발표회, 2000. 9.
- 우효섭, “미국의 수변복원 가이드라인의 이해”, 한국수자원학회 학술발표회 논문집, 명지대학교, 2000. 5.
- 우효섭, “수변복원의 이해(I,II) - 미국의 수변복원 가이드라인을 중심으로”, 대한토목학회지, 2000, 6/8.
- 우효섭·김성태, “외국의 하천복원 가이드라인의 검토와 국내 제작 방향”, 대한토목학회 학술발표회, 2000. 10.
- 환경부/건기연/서울대 환경계획연구소, 공학연구소, 국내여건에 맞는 자연형 하천공법의 개발, 제 1, 2, 3차년도 연차 보고서, 1997~1999.
- 建設省 河川局 防災・海岸課, 美しい山河お守る 災害復舊 基本方針, 全国防災協會, 1998.
- (財)リバーフロント整備センター(監譯), 自然に適合した工法(河岸及び河岸斜面の保護), Baden-Württemberg州, 集文社, 1997.
- 勝野武彦 外, 河川と小川(保全, 開發, 整備), バイエルン州 内務省 建設局, バイエルン州 水利廳, 1992.
- 大垣眞一郎 外, 水環境と生態系の復元, 技報堂, 1999.
- 島谷幸宏, 河川環境の保全と復元, 鹿島出版社, 2000. 1.
- Brookes, A. and Shields, F.D., *River Channel Restoration Guiding Principles for Sustainable Projects*, John Wiley & Sons, New York, 1996.
- Johnson, A.W. and Stypula, J.M., eds., *Guidelines for Bank Stabilization Projects in Riverine*

- Environments of King County*, King County of Public Works, Surface Water Management Division, Seattle, Washington, USA, 1993.
- Kern, K., "Ch. 20: Rehabilitation of Streams in South-West Germany", *River Conservation and Management*, Boon, P.J., Calow, P., and Petts, G.E., eds., John Wiley and Sons, Inc., Chichester, England, 1992.
- Landesamt fuer Wasser und Abfall NRW, *Richtlinie fuer Naturnahen Ausbau und Unterhaltung der Fließgewässer in NRW. Duesseldorf*, 1989.
- Newbury, R. et al., *Field Manual of Urban Stream Restoration*, USEPA, 1998.
- NRA, *The New River and Wildlife Handbook*, edited by Diana Ward et al., 1994.
- Petts, G. and Calow, P., *River Restoration*, Blackwell Science, 1996.
- 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.
- Schiechl, H.M. and Stern, R., *Water Bioengineering Techniques for Watercourse Bank and Shoreline Protection*, Blackwell Science, 1997.
- Shields, Jr., "Stream Corridor Restoration: Principles, Processes, and Practice (New Federal Interagency Guidance Document)", Forum Article, *J. of Hydraulic Engineering*, ASCE, May, 1999.
- Simon, A., "A Model of Channel Response in Distributed Alluvial Channels", *Earth Surface Processes and Landforms*, vol. 14, no. 1, 1989.
- Spark, R., "Need for Ecosystem Management of Large Rivers and Their Floodplains", *Bio-science*, vol. 45, no. 3, 1995, p.170.
- US Army Corps of Engineers, *Environmental Engineering for Local Flood Control Channels*, Nov., 1989.
- US Department of Commerce(USDC), *Stream Corridor Restoration-Principles, Processes, and Practices*, Federal Interagency Stream Restoration Working Group, NTIS, Springfield, VA, USA, Oct., 1998.
- US Environmental Protection Agency, "Field Manual of Urban Stream Restoration", Prepared by Marc Gaboury, Robert Newbury and Chester Watson, Prepared for Illinois Environmental Protection Agency, 199?.
- 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.

接受 2000年 9月 11日