

하천 흐름 분류체계에 대한 고찰



조 영 대 |

한국수자원공사 강정보건설단
choyd@kwater.or.kr

1. 목 적

수자원분야에 있어 4대강 살리기 사업은 동시대의 초미의 관심사이다. 사업시행에 따른 찬반논란도 많을 뿐만 아니라 가장 적절하게 시행하는 방안이 무엇인지에 대해서도 마찬가지이다. 사업의 정책입안 및 시행할 경우에 그 대상되는 유역이나 하천에 대해서 많은 이해가 필요로 하는데 과거 문헌이나 적절한 현지조사없이 계획수립되거나 설계되는데 아쉬움이 있다. 이를 위해 무엇보다도 필요한 것이 사업의 대상이 되는 유역이나 하천에 대한 자료 축적 및 정보관리가 절실히 요구되는데 이러한 관점에서 유역과 그 유역의 현재 상태를 평가하는 절차에 대해서 설명하고자 한다. 흐름시스템 목록 및 평가기술을 검증하고 비교할 것이다. 이러한 정보는 흐름안정성뿐만 아니라 지질학적 및 생물학적인 평가에서도 사용되어질 것이다. 지형학적인 흐름 분류시스템에 대한 적용, 장단점 등이 기술된다. 마지막으로 하천내에서의 침식작용과 지형학적인 이

수에 대하여 생태계 기능과 흐름에 연계하여 설명될 것이다.

평가항목 및 방법들은 흐름시스템에 초점을 두었다. 흐름시스템은 시스템 유출에 기여하는 유역 및 지하수 성분과 하천에 직접적으로 연결되어 홍수로 구성되어 있다. 자연환경에 있어서 하천은 자연에 의해서 규모가 결정되어지고, 고지대(하천구역 이외의 지역을 말함)로부터 흘러들어오는 유량과 퇴사에 관련이 있을 뿐만 아니라 하도내 하상재료와도 관련이 있다. 다른 고지대 영향들은 강우유출 특성에 있어 인류에 의한 변화들 가령 토지이용 변화 및 퇴사공급에 있어서 변화 등을 포함된다. 또한, 퇴사변화는 댐 건설과 같은 토지 이용 변화와 관련이 있다. 더불어, 하천시스템은 가령, 교량, 댐, 또는 다른 하천과의 합류점등의 하류요소들에 의해서도 영향을 받을 수 있다.

2. 개 요

하천 복원은 흐름시스템의 기능을 부분적으로 또는 완전하게 복원하기 위하여 자연을 돕고 과거 손상을 되돌리는데 중점을 둔 다학제간의 포괄적인 노력이다. 유역수문학, 수리학, 지형학 그리고 생태학적인 절차들이 하천에 영향을 미치며, 설계자들은 이러한 하천의 기본원리를 이해하여야 한다.

하천목록 및 평가는 과거와 현재의 유역변화를 나타내는 진행과정을 토대로한 기본체계 제공, 종합적인 해결방법 개발 그리고 복원행위에 대한 결과 및 성공을 평가하기 위해서 요구되어진다. 이러한 평가에는 일반적으로 자료 수집, 현지 조사, 그리고 일부 및 전체 하천시스템의 평형상태에 대한 결정이 포함된다. 지배 흐름 및 퇴사구간이 중장기적으로 하천단면의 침식 또는 퇴적작용이 발생하지 않았을 경우에 하천이 동적평형상태에 놓여있다고 한다. 자료 수집 및 평가는 분석과 설계의 기초를 형성하며, 또한 단일구간을 복원할 것인지 전 유역에 대한 통합적인 계획을 세울 것인가에 대한 결정에 첫 번째 필수적인 단계이다.

학제간의 조사는 이전의, 현재의 그리고 미래의 하천을 평가하기 위해서, 유역에 작용하는 지배적인 과정을 더 잘 이해하기 위해서, 필요한 정보와 가용자원을 확인하기 위해서 그리고 대안 선정 및 설계에 도움을 주기 위해서 수행된다. 항상 고려되어야 하는 핵심요소로는 관심대상의 전체 또는 단일구간 하천시스템에 대한 공간적인 시간적인 영향이다. 하천시스템을 조사하고 평가하기 위해 수많은 방법들이 사용될 수 있다. 그 어떠한 방법도 완벽하지 않으며, 제공하는 정보, 요구하는 정보, 고려하여야 하는 시공간적인 규모, 그리고 각 방법들을 사용하기 위한 요구되는 자원들에 의해 결정되어진다.

(a) 흐름시스템평가

하천프로젝트에 대한 계획에는 흐름시스템의 과거, 현재, 미래상태에 대한 체계적인 조사가 포함되어 있다. 완벽한 분석하기 위해서는 하천지형학, 지질학, 수문학, 생태학, 그리고 하천수리학에 있어 경험이 있는 팀이 요구된다. 이러한 분석의 목적은 다음과 같다.

- 하천에서의 지배적인 붕적과정 등을 규정한다.
- 대상 전체 흐름시스템 및 구간에 대한 평형상태를 규정한다.

- 문제가 있는지를 결정한다. 있다면 그 문제가 인간행위에 기인한 문제인지 흐름시스템의 평형과 관련된 문제인지, 과거, 현재, 미래의 토지 이용, 홍수시스템 또는 하천의 변화에 의한 문제인지 아니면 복합적인 문제인지를 제시한다.
- 관심 현안사항 및 잠재적인 완화전략에 영향을 주는 요소들을 찾아낸다.

지배적인 붕적 과정에 대한 이해는 제안된 사업이 하천 지형에 주는 영향, 하천시스템 평형에 있어서의 잠재적인 변화 및 자연 진행과정이 사업목적에 미치는 영향 등을 예상할 수 있도록 해준다. 다양한 하천 구간들에서의 평형상태와 흐름시스템에서 발생하는 변화 등은 정확하게 평가되어야만 한다. 이러한 평가는 하천시스템의 미래 변화 및 어떻게 대안관리, 설계, 또는 완화전략이 효과가 있는지를 이해하는데 토대가 된다. 프로젝트의 목적 및 목표에 적합하도록 해결방법들이 개발되어야 한다. 이러한 해결책들은 독립적이거나 주기적인 유지보수가 요구되는 것이며, 또는 그러한 해결책들은 단지 임시방편일 수도 있다. 어떤 경우에 있어서 최선의 해결방안은 하천이 변화를 조절하기 위한 단순히 적절한 여지를 제공하는 자연하천법칙개념일 것이다.

많이 인지되거나 실제적인 하천 문제점들은 하천시스템내 퇴사공급 변화, 퇴사 이송능력에 대한 변화, 일반적으로 식생계로 발생하는 제방침식의 변화, 또는 이러한 요소들의 조합과 관련된 것이다. 이러한 변화들의 잠재적인 원인들은 매우 많다. 이러한 원인들은 가령 새로운 암거 또는 교량횡단과 같은 국부적인 하천 변화, 홍수터 변화 또는 전반적인 시스템변화에 기인할 수 있다. 또한 이러한 원인들에는 도시화, 증가된 불투수지역, 변경된 배수구역, 증가된 강우량, 더 많은 유출량, 더 큰 침투유량 그리고 고빈도 고수흐름에 기인할 수 있다. 생물학적이고 생태학적인 영향들은 가령 물의 화학성분 변화, 저수흐름구역의 변화, 또는 제방, 홍수터, 및 하천연안구역상의 식생변화와 같은 다른 요소와 때때로 관련이 있다.

기본정보 요구사항

흐름시스템의 종합적인 평가는 다양한 학문분야에 걸친 광범위한 자원과 전문지식이 요구된다. 충분한 전문지식을 가지고 가장 중요한 문제가 무엇인지를 파악하는 것이 중요하다. 예를 들면, 평가에서는 수문학 및 수리학에 중점을 두는 것이 흔하지 않는 것은 아니다. 두 분야는 해결책에 접근하는 가장 영향력 있는 요소이지만, 가장 중요한 핵심 정보는 과거, 현재, 미래의 흐름시스템 평형상태에 대한 평가와 그 흐름시스템에 대한 직접적인 지식이다. 이것은 종종 퇴사공급과 이송 평가를 요구한다.

(b) 초기 흐름 평가 : 유향곡선

영구 및 간헐 하천형태는 강우사상기간을 초과하는 연장된 기간 동안에도 흐른다. 일반적인 여건하에서, 영구하천은 전횡적으로 항상 흐른다. 간헐하천은 일년중 일정기간중에 흐르지 않는다. 일시하천은 주로 강우사상에 반응하여 흐른다. 하지만 강우사상 종료된 이후 연장된 기간동안에는 흐르지 않는다. 유향곡선 및 흐름에 대응하는 하도의 물리적 및 생물학적 지표들은 유량 자료를 이용하지 못할 때 하천을 특성화시키는데 도움을 준다.

하천의 흐름은 하천의 흐름상태에 의거하여 분류된다(표 1, Hansen 2001). 하천에 관한 정의된 기준은 일시하천으로부터 영구하천 및 간헐하천을 구분하는데 가장 좋은 지표일 것이다.

특정 흐름패턴 및 경로는 하천종류 확인을 복잡하게 한다. 영구하천은 표면흐름이 조약한 하부층,

틈새로 또는 산사태지역의 퇴적잔해 등을 통해 지하로 흐르기 때문에 장애를 받을 수도 있다. 카르스트 지형에서 영구하천이 지하수 흐름 네트워크로 나타날 수 있으며 상당량 지면유출이 석회질의 구멍으로 직접적으로 지하수로 유입될 수 있다.

토양 형식과 식생종류는 흐름형태를 결정을 특징짓는 특별 인자는 아니지만, 습윤토양과 수생식물 중 또는 그와 관련된 수문학적 지표들의 존재는 하천형태를 결정하는데 있어 중요한 역할을 할 수 있다(USACE 1987). 하천 인근 습윤토양 지표는 회색과 반점사유(Mottling)를 포함하고 있으며, 영구 지하수위 및 포화대를 예측하기 위하여 사용할 수 있다. 다습한 상태에서 흔한 식물종 및 뿌리적응도는 부가적인 정보를 제공할 수 있다.

(c) 초기 흐름 평가 : 하천차수

하천 네트워크와 하천차수에 대한 구분(Strahler, 1957)은 1:24,000 사각형 등고선지도(Leopold, Wolman, and Miller 1964), 수치 오르토포토투라프(DOQ, 중심투영으로 인해서 비행고도에 따라 생긴 연직사진상의 왜곡을 보정하여 프린트한 사진) 또는 수치고도모형(DEM)에 의해 분석될 수 있다. 1차 하천들은 상류지역으로부터 유출되며 최상류 지형이 음푹한 곳에서 발달되는 지류가 없는 하천으로 식별된다. 이러한 1차 하천들은 작은 수로, 도랑 또는 일시도랑들이다. 같은 차수의 두개 하천 결합은 다음 차수(2차 하천)를 형성한다(그림 1). 배수규모, 지형적인 특색, 그리고 하도의

표 1. Field criteria used for characterizing streamflow conditions

Criteria	Streams classified by flow duration characteristics		
	Perennial	Intermittent	Ephemeral
Channel	Defined	Defined	Not defined
Flow duration	Almost always	Extended, but interrupted	Stormflow only
Bed water level	Above channel	Near channel surface	Below channel
Aquatic insects	Present	Few, if any	None
Material movement	Present	Present, less obvious	Lacking or limited
Channel materials	Scoured, flow sorted	Scoured, or flow sorted	Mostly soil materials
Organic material	No organic buildup	Lacks organic buildup	Organic buildup

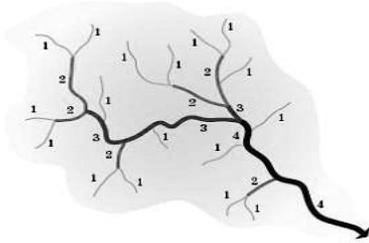


그림 1. Stream orders in a watershed may be useful in understanding flow conditions, setting goals and objectives, and provide preliminary information for design of solutions.

형태에 따라 하천 밀도와 형식은 다양화된다.

하천차수는 귀중하고 빠른 참고자료로 활용될 수 있으며, 정보를 상관시키기 위하여 사용되어 왔다. 하지만 이것은 한계가 있다. 낮은 차수 하천들의 교차점들이 하천차수를 증가시키지 못하기 때문에 길고 상대적으로 폭이 적은 유역은 넓은 유역보다 더 많은 낮은 차수의 하천으로 분류될 수 있다. 결과적으로 하천차수 비교법은 단일 배수유역내에서 이용할 때 잘 활용될 수 있다.

3. 예비조사

예비조사는 연구를 계획하기 위해, 해석 방법, 모형 및 절차를 선정하기 위하여 그리고 그 평가를 수행하기 위한 연구비를 산정하기 위한 충분한 정보를 제공하기 위하여 수행되어야만 한다고 제안했다. 사전 조사의 목적은 다음과 같다.

- 존재하는 데이터 수집 및 평가
- 필요한 만큼의 자료 수집
- 과업의 범위 결정
- 필수적인 자료, 데이터의 부족 그리고 필요한 자료 확보를 위한 비용 계산 등의 확인
- 시스템한계 및 한계조건 규정
- 물리적인 시스템에 대한 예비 Diagram 준비
- 연구를 수행하는데 있어 한계점 파악 또는 후속 연구를 위한 필요사항 파악
- 고수위 및 하천형성사상 분석에 있어 도움을

주기 위해 이용가능한 각 홍소통제소 기록자료 및 다른 기관 기록 자료 사용

- 생물학적인 그리고 생태학적인 평가 및 고려 사항들 파악

4. 현지답사

현장 답사는 항상 수행되어야 한다. 심사숙고한 계획과 사전 준비는 필수적이다. 전문가들은 보고서와 과거 문헌들을 토대로 충분한 배경지식을 얻어야만 한다. 이용가능한 지형도 및 항공사진 수집, 그리고 기후, 토양, 지질, 토지이용 정보 등을 수집하는 것이 또한 필요하다. 특히, 유역 및 하천 변화를 나타내기 위하여 같은 지점에서의 다른 연도의 지도, 항공사진 및 측정은 매우 유용하다. 그 지점에 친숙한 사람들과 이야기를 나누는 것과 그 지역에 진행중이거나 최근에 완료된 연구가 있는지에 대하여 관련기관들에게 확인하는 것도 중요하다.

현장답사 이전에 답사팀은 필요 장비와 물품에 대한 체크리스트를 작성하여야만 한다. 답사팀은 수행될 각 업무에 대하여 문서로 작성하여야만 하며, 각 팀들은 그들에게 할당된 업무뿐만 아니라 그 업무의 목표도 확실히 알고 있어야 한다. 답사 전에 답사가 잘못될 것을 대비하여 비상대책계획을 수립하여야만 한다. 전자장비가 취득한 정보에 대한 문서화 그리고 측정에 사용되어지는지가 매우 중요하다.

5. 세부현장조사

현장답사에 이어 세부현장조사는 연구 대상구간의 지형학적인 지세를 묘사하기 위한 잠재적인 불안정요소를 파악하기 위하여 수행되어진다. 이러한 노력은 종종 잠재적인 처리대책 및 사업 검증과 연계된다. 이것은 각 대상구간에 대한 침식, 퇴사저장 및 퇴적에 대한 현장에서 얻어진 증거를 토대로 된

다. 이러한 조사에는 경험 있는 전문가에 의하여 수행되는 것이 매우 중요하다.

교량단면에서의 조사는 주의를 기울여야 한다, 왜냐하면 교량은 하천의 협심부나 기반암이 노출된 곳에 위치하기 때문이다. 이러한 지역은 대체로 하천 특성을 가지지 못할 수 있다. 하지만, 흐름 안정성에 대해 귀중한 지표를 교량이나 하천을 횡단하는 다른 구조물이 있는 곳에서 나타날 수 있다. 현장평가는 제방이 식생으로 피복되지 않는 저수기 및 휴면기 동안에 수행되어야 하며, 이 때가 더 쉽게 확인할 수 있다. 하지만, 고수기에는 전혀 다른 상태라 것을 인식하는 것이 매우 중요하다. 현장에서 하천을 평가하는데 있어 하도는 전형적으로 폭, 깊이, 경사 및 평면 등의 4차 자유도를 가진다는 것을 인식하는 것이 중요하다.

흐름안정성 평가를 위한 자료수집에 관한 현장조사를 어떻게 수행하는가에 대한 기본 정보는 일반

적으로 다음과 같이 수집된다.

- 유역개발, 토지이용, 홍수터 특징, 하도형태, 하천 경사
- 역사적 상태 평가 - 이러한 정보들은 지역을 잘 아는 사람들에게 파악할 수 있음. 이러한 일화들은 역사적인 특성을 과장시킬 수 있으나, 다양한 자료들은 정확도를 높이는 자료로 활용될 수 있음
- 저수량 및 중요구간에 대한 만제수량 및 하도 경사 측정, 그리고 계단식 및 실제 홍수터에 대한 검증
- 하상 특성 - 기반암인지, 침식가능한 점성토인지, 풍화 충적토인지 결정. 하상층을 분석하고 하상층 시료 채취
- 제방의 단면, 재질, 안정성 검토
- 하도 변화 관측 및 하천회복 검증
- 하천내 토석, 목재, 하상과 제방의 식생분포

표 2. Possible field indicators of river stability/instability

Evidence of degradation	Terraces (abandoned flood plains) Perched channels or tributaries Headcuts and nickpoints Exposed pipe crossings Suspended culvert outfalls and ditches Undercut bridge piers Exposed or "air" tree roots Leaning tress (hockey stick trunks) Narrow/deep channel Banks undercut, both sides Armored bed Hydrophytic vegetation located high on bank Points of diversion for irrigation have been moved upstream Failed revetments due to undercutting
Evidence of aggradation	Buried structures such as culverts and outfalls Reduced bridge clearance Presence of midchannel bars Outlet of tributaries buried flood plain Buried vegetation Channel bed above the flood plain elevation (perched) Significant backwater in tributaries Uniform sediment deposition across the channel Hydrophobic vegetation located low on bank or dead in flood plain
Evidence of stability	Vegetated bars and banks Limited bank erosion Older Bridges, Culverts, and outfalls with bottom elevations at or near grade Mouth of tributaries at or near existing main stem stream grade No exposed pipeline crossings, bridge footings, or abutments

파악

- 예비 하천복원대안은 검증되어야만 하며 그래서 접근성, 이용성 및 예비 준비단계 등에 대한 가능 제약사항 등에 관한 정보 수집
- 주요하천 및 유역특성에 관한 사진자료

흐름시스템의 평형상태를 표현하는데에는 매우 많은 지표들이 있다. Copeland 등. (2001)이 재구성한 유역내에서의 다양한 현장 지표들을 표 2에 나타내고 있다. 이러한 지표들은 절대적인 것이 아니고, 불안정상태를 나타내는 지표로 기재된 항목들은 자연하천 또는 안정하도에서도 발생할 수 있다. 일반적으로, 단일지표로 문제원인 및 흐름시스템의 안정 상태를 명확하게 나타내는 것은 없다. 증거(인자)를 통한 접근법에 대한 가중치를 사용되어야 하며, 현장평가에 적용되는 그러한 접근법은 하천 현장답사 결과, 정확한 해석을 통한 경험으로 느끼는 것이 중요하다.

(a) 지질평가

지질 인자들은 종종 복잡할 수도 있지만 흐름시스템의 근거가 된다. 지표 및 지표하 지질 상태를 조사하는 것은 흐름형태를 완전하게 이해하는데 기본이 된다.

지질도는 하도 아래 및 하도위에 있는 유역에 대한 현재 지질상태를 나타내고 있다. 이러한 정보는 장갑화를 위한 잠재적인 지질, 이송이 가능한 퇴사의 양과 형태, 제방과 하상의 침식 그리고 공학적인 특성을 측정하는데 매우 유용하게 활용된다. 현장에서 이러한 정보를 검증하는 것은 매우 중요하다.

침식에 대한 저항과 현 지질의 공학적 특성은 흐름형태와 안정성에 중요한 영향을 끼친다. 하상이 기반암으로 일부 형성되어 있을 경우에는 퇴적물의 이송은 제한되며 하천 흐름 횡단면의 측방향 침식이 발생할 것이다. 반대로 하상의 기반암이 제방측에 이루어져 있을 경우에는 측방향 이송이 제한되고 하천흐름 단면은 하상바닥 아래방향으로 침식될

것이다.

유역내에 이송될 수 있는 퇴사량과 형태를 결정하는 것은 설계과정에 있어 매우 중요하다. 침식이 매우 잘되는 지역에서 많은 양의 퇴사량이 하천으로 이송되며, 그렇기 때문에 그 양과 이송되는 토사 입경분포를 고려되어야 한다. 예를 들면, 식생이 거의 없는 조건은 흐름이 많은 시기에 많은 퇴적을 가져올 것이다.

지질조건은 작은 하천구간들 사이에서도 상이할 수 있으며 하천의 위치에 따라 그 영향도 달라질 수 있다. 하천이 침식이 주로 발생하는 빠른 유속의 흐름에서 위치하는지 또는 흐름이 거의 없는 퇴적이 주로 발생하는 하천에 위치하는지에 따라 지질적인 특성은 달라질 수 있다.

지질학적인 시간대를 통해 하천부지에서 발생하는 변화도 고려되어야 한다. 지질구조역사, 빙하기와 같은 기후 변화, 그리고 다른 지표과정들은 하천하도의 현재 지형형태를 반영하고 있다. 예를 들어 단층들은 침식 및 하도발달에 더 민감한 다른 경암사이에 부드러운 기층을 만들 수 있다. 또한 하천 제방의 재료들은 풍경(고지대, 언덕, 선상지, 계단식, 계곡바닥, 하구)내에서 하천의 예전위치를 반영과 이전 침식 퇴적 역사를 보여줄 수 있다.

고유량 동안에 형성된 하천의 하도는 주로 조립토로 이루어져 있다. 그러한 하천들은 오늘날 저유량에 의해 퇴적된 세립토가 조립토위에 놓여있다. 이러한 상태는 침식작용에 상당히 민감하며, 옛날 환경에 대한 지식이 없이는 이해될 수 없다. 특히 세립토나 모래는 특히 바깥쪽 곡선부의 만제유량시 자갈을 제외하고는 씻겨 나갔다. 이러한 현상은 자체 무게를 견디지 못하는 돌출상태를 만들어서 하천 제방의 약화시킬 수 있다.

일부 지질상태는 더 높은 제방 안정성을 높인다. 예를 들면, 미고결 빙하퇴적층과 바람에 의해 퇴적된 황토층은 심지어 높고 수직적인 제방에서도 안정한 제방배치를 만들고 있다. 다른 토층이 중간층에 없다면 습지상태에서 형성된 토탄층은 또한 안

정하고 수직적인 하천제방을 형성할 수 있다.

일반적으로 지질상태은 하천 형태 발달에 있어 중요한 역할을 한다. 이러한 상태들은 다학제간 하천조사에서 항상 철저히 고려되어야 한다.

(b) 생물학적 평가

유역은 많은 요소들이 종합된 복잡한 시스템으로 구성된다. 이러한 이유로 엄선된 지표군은 유역의 상태를 파악하기 위해 조사된다. 예를 들면 하천내 여울과 같은 서식지의 특성들은 어류들의 번식능력을 평가하기 위하여 사용된다.

생물학적 지표

생물학적 지표들은 하천 수질을 평가하기 위하여 널리 사용된다. 생물학적 지표들은 유역에 대한 과거 및 현재의 인간 활동들을 평가하는데 있어 효과적이다. 수많은 생물학적 지표들이 존재하지만 두 가지의 일반적인 실행을 여기서 간략하게 소개한다: IBI (Index of Biotic Integrity) 지표, EPT (Ephemeroptera, Plecoptera, and Trichoptera Index) 지표.

IBI 지표는 하천과 유역에 대한 인간영향을 평가하기 위하여 어류조사를 이용한다. EPT 지표는 유역내의 토지 이용과 수질을 평가하기 위한 지표들으로써, 관련된 인자로 강도래, 하루살이, 날도래와 같은 저서대형무척추동물들을 활용한다.

수생 대형무척추동물의 존재여부, 상대적인 풍부도 그리고 다양성은 지표수역의 직간접적인 지표들이다 (Water Quality Field Guide, SCS-TP0160; Water Quality Field Guide, SCS-TP0161). 압과 퇴적물 그리고 쌓인 나뭇잎들은 여울과 소에서 주로 관찰된다. 왜냐하면 여울과 소는 최초로 또는 마지막으로 마르게 되는 구역이기 때문이다. 강도래, 하루살이, 날도래, 딱정벌레, 각다귀들이 있다는 것은 하천이 지속적으로 흐름을 나타내준다. 간헐하천에서는 일반적으로 대형무척추 생물들이 많지 않으며 우기시에만 몇몇 종들이 나

타나게 된다. 지속적인 흐름이 있지 않은 하천에는 일반적으로 수생 곤충들이 존재하지 않는다. 민물 조개나 가재 또는 달팽이와 같은 종들이 있다는 것은 흐름형태를 결정하기 위한 중요한 단서가 된다.

하천생물군에 대한 특별한 특징, 즉 생물인자는 유역상태를 평가하기 위해서 성공리에 사용되어져 왔으며, 수질평가하기 위한 가장 오래된 접근 방식 들중 하나이다. 하지만, 생물지표는 다른 지표와 비교하는데 있어 단점을 가지고 있다. 생물 지표는 서식지 지표만큼 뚜렷하지 않다. 예를 들면, 가령 포락되는 제방 및 퇴사결과로 인한 증가 등의 하천 서식지 형태는 하천 생물사회에 퇴사가 더 민감한 효과로 알려져 있다.

IBI - IBI는 중앙 일리노이나 인디아나의 자원관리자들이 작은 온천 상태에 대한 시료채취, 평가 그리고 기술하기 위해 개발되었다 (Karr 1981). IBI는 미국 전역의 온천 하천을 평가하는데 일반적으로 활용되었다. Karr와 그의 동료들은 여러 다른 지역 및 다른 유형의 하천에서 시료채취 기준 및 효과성을 분석하였다. IBI가 널리 활용됨에 따라 다른 지역과 다른 생태계를 위해 또 다른 버전의 IBI가 개발되었다. 본래 버전은 어종 풍부성 및 구성, 종의 수 및 풍부성, 영양 조직 및 기능, 번식습성, 어류 풍부도 및 개개 어류의 상태 등을 반영하고 있는 12개의 매트릭스를 가지고 있었다. 그 매트릭스는 60(최상)점에서 12(최악)점의 범위로 점수화하여 집계된다. 최근 버전은 대부분 본래 버전의 매트릭스를 포함하고 있지만, 몇몇 매트릭스는 하천 시스템의 특정 지역 또는 형태에 있어서 환경저하에 민감도를 향상시키기 위하여 수정되어졌다. 그 IBI는 또한 한 지역내의 어종과 가령 하구, 범람지역 그리고 자연호수와 같은 생태계의 다른 형태들의 차이점을 반영하기 위한 맞춤형이다.

EPT - 하저 무척추생물은 육안으로 식별가능한 작은 하천에서 태생하는 생물이다. 그 생물들은 하

천바닥이나 하천내에서 주로 서식한다. 하저 무척추생물의 뜻은 하저에서 사는 척추가 없는 생물체를 뜻한다. 하저 무척추생물은 물고기와 같이 움직임이 많지 않기 때문에 그들이 발견된 곳에 어떤 영향이 있었는지를 보여줄 수 있다. 하저 무척추생물은 하천을 서식지로 하여 살아간다. 예를 들면 몇몇 무척추생물은 빠른 유속에 적응하여 살고 있으며 몇몇은 하천 바닥에서 기어다니며 먹을 것을 찾으며 살고 있다. 건전한 하천은 수많은 종류의 무척추생물을 살도록 해준다. EPT 지표는 세 가지의 하천생물로 명명되며, 이 생물들은 무척추 생물로 잘 알려져 있다 : 하루살이, 강도래, 날도래. EPT 지표는 수서생물들이 번식하기 최상의 조건인 수질이 매우 좋은 하천을 기반으로 하였다. 많은 하천 곤충종들은 오염에 강하지 않기 때문에 오염된 하천에서는 발견되지 않는다. 오염이 심해질수록 수서생물들의 종도 다양하지 않다. 오직 몇몇 생물들만이 오염된 하천에서 견딜 수 있다.

6. 흐름분류체계

흐름분류체계의 서술은 사용자들에게 다른 흐름시스템 및 하도안정에 대한 그 하천들의 연관에 따른 다양성, 유역 지형형태, 하천부근 및 수생 생태계, 그리고 유역상태를 이해를 도모하는데 도움을 주기 위하여 개발되었다. 흐름분류체계의 목표는 하천 전문가들이 어떻게 하천부근 복원활동의 효과성 및 지속성을 기본적인 흐름 분류기법에 관련시

키는지를 인식하는데 도움을 준다. 다른 많은 기법들이 존재하지만, 표 3과 같이 4개의 흐름분류법에 대해서 알아보기로 한다. 여기서 제공되는 서술은 기존 하천분류법의 강점, 약점 및 제한성에 대한 이해를 도모하는 것이다.

(a) 흐름 분류체계 개요

흐름분류법은 적어도 100년 동안 단순한 형태로 사용되어져 왔다 (Davis 1909). 현대 흐름분류법 기반에 대한 많은 것이 Leopold 및 Wolman (1957), Lane (1957) 및 Schumm (1963) 등의 연구에 의해 1950년대 및 1960년대에 시작했다.

강 및 하천 시스템은 역동적이며, 퇴사량, 수문 및 형태 변화에 끊임없이 적절히 대응하고 있다. 현재 상태 유역조건하에서, 흐름분류법은 흐름시스템의 현재 상태 및 예상되는 미래 상태를 이해하는데 도움을 준다. 이런 흐름분류법의 강점 및 약점이 제시되었지만, 기술된 내용은 각 기법들을 서로 비교하지는 않았다.

흐름분류법에 대한 4개의 다른 기법이 여기에서 제시한다. 각 기법들의 체계 및 개략적인 지침을 분류 그리고 맵핑 기준들의 목록들이 포함된다. 하도 진화모형(CEM, Channel Evolution Model)은 불안정한 과정들을 토대로한 흐름시스템의 예이다. Montgomery 및 Buffington 분류법은 하도형성 과정 정의를 토대로하고 있고, Rosgen 분류법은 현재 하도 상태에 대한 분류법이다. 이런 분류법의 각각은 각 개발자들에 의해 실제적이며 구체적인 일련의 필수사항들을 시사하기 위하여 개발되어졌

표 3. Stream classification systems

Stream classification	Full name	Basis
USDA Forest Service aquatic framework	Framework of Aquatic Ecological Units, and Integrated Resource Inventory Training Guide	Consistency of classification criteria
Schumm, Harvey, Watson, and Simon	Channel evolution model(CEM)	Channel response
Montgomery and Buffington	Classification of Channel Reach Morphology for Mountain Streams in the Pacific Northwest	Channel response
Rosgen classification	Classification of Natural Rivers	Current channel condition

으며, 그러므로 각 기법들은 강점 및 약점을 가지고 있으므로 적용이 있어 특정지역을 가지고 있다. 그 어느 것도 모든 사항에 적합하지 않으므로 하천복원분야에서 종사하고 있는 전문가들에게 적합한 분류법을 직접적인 문제에 연관시키기 위해서는 조건을 구하여야만 한다.

(b) USDA Forest Service: Framework of Aquatic Ecological Units and the Integrated Resource Inventory Training Guide

USDA 산림국은 수생시스템에 대한 표준용어와 분류기준 그리고 그 기법들을 모든 공간규모의 지형시스템에 대한 연계 등을 포함하는 수생체계 기본골격을 개발하였다 (Maxwell et al. 1995). 이것의 목적은 수생시스템을 분류하고 맵핑하는데 있어 일관성을 유지하기 위한 것이며, 그러므로 수생시스템의 변화된 형태 및 기능들을 반영하기 위한 수생시스템분석을 증진시켰다. USDA 산림국은 IRITG (Integrated Resource Inventory

Training Guide)를 개발하였으며, 수생시스템을 토대로한 분류기준을 표 4 및 표 5과 같이 제시하였다. 중요 흐름형태는 하도 굴입, 형태 및 만곡도 (Sinuosity)등에 의해 정의하였다.

이 체계에 대한 미국 천연자원보존국 (NRCS, Natural Resources Conservation Service)은 주로 하천구간에 대한 자료수집 및 현장맵핑에 대한 지침으로 사용한다. 이 체계는 하천의 다음 진화과정이 무엇인지를 예상하는 것이 포함되지 않고 있다. Frissell et al. (1986), Montgomery and Buffington (1993a), Paustian et al. (1992) 및 Rosgen (1994)의 하도구간 분류법은 IRITG에 포함되어 있는 일반적인 지형인자들군을 토대로하였다. 분류법 사용에 대해서는 이 체계의 가장 도움을 주는 부분은 계곡분할(Valley Segment) 및 그 세부분할, 하도구간 등이다. 하도구간은 흐름 및 흐름형태가 일정한 것으로 정의하며 수생 서식지 및 붕적과정 (Fluvial Process)의 이산형태를 가진다.

표 4. Defining criteria for classifying stream reach types

Variable	Description
Channel pattern	The plan view of the stream reach. Geomorphic controls and sediment transport regimes create straight, sinuous, meandering, tortuous, braided, and anastomosing channels. Sinuosity is used to describe the overall channel pattern. Sinuosity is the length of the active channel divided by the length of the valley. This attribute is map and photo interpreted
Channel entrenchment	The degree to which the stream is incised into the landscape. This criterion indicates how well floods are contained by a stream channel. It is the width of the flood-prone area divided by the width of the active, or bankfull, stream channel. The flood-prone area is the width of the valley floor at a level corresponding to twice the maximum bankfull depth of the channel. This attribute is field observed
Bank Stability	Can be reduced by natural events (floods, fire, landslides) or human disturbances (grazing, logging, roads) that change runoff amounts, sediment loads, and bank vegetation Vegetated -.stable. Bank is vegetated with no evidence of active erosion or sloughing and no tension fractures Vegetated -.unstable. Bank is vegetated, but tension fractures exist at the top of the bank Unvegetated -.stable. Bank is not vegetated, but is composed of bedrock or stable boulders or cobbles Unvegetated -.unstable. Bank is not vegetated and is composed of bare gravel, sand, silt, or clay, or a matrix of cobbles and these finer particles
Woody Material	Large woody material usually improves habitat complexity and quality in a stream reach, often forming pools. All pieces of large woody material that span the channel or lie totally or partially within it are counted
Temperature	Reflects both the seasonal change in net radiation and the daily changes in air temperatures. It is affected by flow velocity and depth and ground water inflow

표 5. Stream type classes, modifiers, and bed structures

Class	Channel Entrenchment	Width-to-depth Ratio	Sinuosity	Description
A	<1.4	>12	<1.2	Straight, steep, entrenched, narrow stream
B	1.4~2.2	>12	>1.2	Moderately sinuous, moderately sloped, moderately entrenched stream
C	>2.2	>40	>1.4	Meandering, low-gradient alluvial stream with broad flood plain Dn/a40n/aBraided, wide, multiple streams with many bars and eroding bank
DA	>4.0	<40	Variable	Anastomosing, flat, narrow multiple streams with stable banks
E	>2.2	<12	>1.5	Tortuous, narrow stream with broad flood plain and stable banks
F	<1.4	>12	>1.4	Meandering, low-gradient, wide, entrenched stream with eroding banks

Modifiers

Materials		Slope	
1	Bedrockh	H	Hydraulic(over 10%)
2	Boulder(over 256mm)	a	Aggressive(4.0~9.9%)
3	Cobble(64~256mm)	b	Balanced(1.5~3.9%)
4	Gravel(2~64mm)	c	Cumulative(0.5~1.4%)
5	Sand(0.062~3mm)	f	Flat(under 0.5%)
6	Silt/clay(under 0.062mm)		

Bed structure

PR	Pool-riffle (alternating pools and riffles)
PB	Plane-bed (lacking distinct bedforms)
SP	Step-pool (alternating pools and vertical steps)
C	Cascade (tumbling flow over disorganized large rocks)

강 점

수생시스템의 다양한 분류체계에서 사용되어지고 있는 맵핑 및 분류기준의 목록을 포함하고 있다. 하천속성수집과 함께 사용자들은 한 가지 흐름형태를 여러 개 흐름시스템에 존재하는 한 하도구간을 부여할 수 있다. 그 하도구간이 여러 개 흐름시스템에서 분류된다면, 이 기법은 개별 시스템의 강점들을 종합하는 유리한 점을 가지고 있다. 이 기법은 기준이 되는 건강한 하천구간에 대하여 비교대상 하천구간 상태를 진단하기 위하여 사용되어지는 일부 하천 건강 속성들을 포함하고 있다.

약 점

수생시스템 분류법은 하천구간의 각 형태들에 대한 진화 경향을 결정하는데 구체적인 권고사항들을 포함하고 있지 않다.

(c) Channel Evolution Model(CEM)

1960년대 동안, 미시시피강 북쪽에서는 여러 개 흐름하도들은 제방을 넘는 홍수를 조절하기 위하여 하천정비를 실시하였다. 하도의 중요 절개는 1960년대에서 1980년대에 걸쳐 일어났다. 후속적으로, 지형형태연구가 여러 하천에서 수행되어졌으며, 모

표 6. Characteristics of channel reaches using the CEM

Types in a downstream direction	Sediment storage	Shape	Location and stability	Width-to-depth ratio (F)
Type I	Very little or none	AU ≈ shaped	Upstream of active nickpoints, have oversteepened slopes	Highly variable 4.0-7.0
Type II	Variable	Steep vertical channel banks and increased depth	Immediately downstream of active nickpoints, degrading	30-4.0
Type III	1.5-2.0 ft	Banks failing	Active channel widening and degrading	≈5.0
Type IV	2.5-3.5 ft	Low water sinuous thalweg	Reduced rate of active channel widening, aggrading, beginning of quasi-equilibrium	≈6.0
Type V	Up to 6 ft	Alternate bars	Aggrading, quasi-equilibrium	>8

학술/기술기사

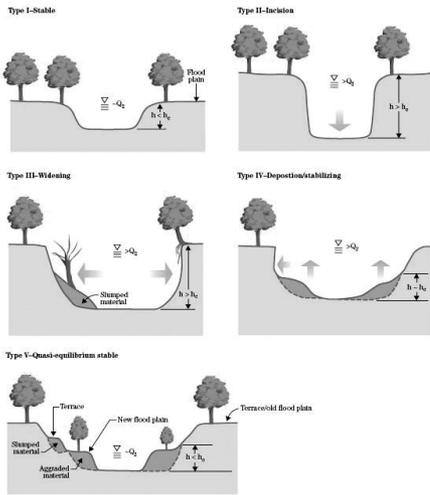


그림 2a. Schumm, Harvey, and Watson (1981) schematic cross sections and longitudinal profile of an incised stream showing features of the five classes of the CEM

든 하도가 진화하는 일련에 과정들을 검증하는 조사가 이루어졌다. 하천진화모형(CEM)은 하도 Type I에서 하도 Type V (그림 2a 및 표 6 (Schumm, Harvey, and Watson 1981))까지 변동하면서 특징화되어지는 교란된 흐름시스템에 있어서의 예상할 수 있는 연속적인 변화를 서술하고 있다.

이 모형은 미시시피강 북쪽에 있는 Pigeon Roost Creek, Oaklinter Creek, 및 Tippah River 등 불안정하고 하도화(하천정비)된 유역을 조사하기 위하여 Schumm, Harvey, 및 Watson (1981)등에 의해 개발되었다. 미시시피강 유역에 있는 하천들은 주로 점착성이 있는 제방 토양을 가지고 있다. 하도화가 완공된 후, 시공된 하도의 증가된 하상경사는 심각한 하부굴착(Down Cutting)이 진행되었다. 일반적으로 상당히 가파른 하도구간으로부터 시작하여 하류로 내려가면서 5 Type의 하도구간을 볼 수 있다. Schumm, Harvey, 및 Watson (1981)등에 있어 Oaklinter Creek에 대한 일련의 5가지 하도구간 Type를 표 6과 같이 특징화하였다.

추가적인 정보는 1987년 Hotopihia Creek 유역

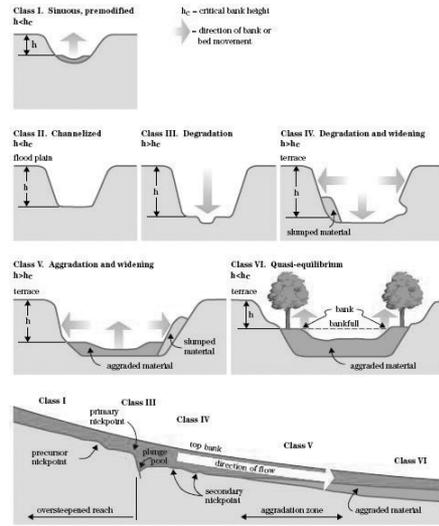


그림 2b. Simon (1989) schematic cross sections and longitudinal profile of an incised stream showing features of the five classes of the CEM

에 대한 연구에서 얻을 수 있다. 이 연구에서 각 하도형태를 기준제방높이에 관한 제방높이 비율을 도입하므로써 CEM를 재정립하였다. 제방높이 (h)가 기준제방높이 (hc)를 초과한다면 중력파괴가 임박했다는 것을 나타낸다. Type I에 대해서는 $h < hc$ 이고, Type II에 대해서는 $h > hc$ 이고, Type III에 대해서는 $h > hc$ 이고, Type IV에 대해서는 $h \sim hc$ 이고, 그리고 Type V에 대해서는 $h < hc$ 이다.

이 모형의 개선은 Simom (1989)에 의해 제안되었다. 개선모형은 가장 전형적으로 선호되어지는 CEM이다. Simom의 개선모형은 하도개선을 설명하기 위해서 추가적인 단계를 포함하고 있으며, 아마도 더 널리 인지되어지고 있다. Simon 모형은 가령 도시화가 하천을 불안정하게 만드는 영향조건 하에서 하천의 진행과정을 6단계로 정의하였다 이런 단계의 각각을 등급(Class)이라 지칭한다.

Simom 모형에 있어 Class I은 하도 개수(하도 정비 등)이전 자연하도이며, Class II는 하천 직선화 등 인간행위가 이루어진 직후에 하천하도 형태를 나타냈다. 이 등급은 Simom에 의해 새롭게 추가되었다. Class III는 하천 바닥(하상)의 하부굴착

또는 저하의 증거로써 불안정 하도 문제의 첫 번째 신호이다. Simon의 1989년 모형의 Class III는 Schumm, Harvey 및 Watson (1981) 모형의 Type II에 해당된다.

하도 바닥은 고도에 따라 변화함으로 제방에 대한 지지력이 상실되고, 하천제방이 내려앉아 넓은 하도형태를 생성한다 (Simon 1989 모형의 Class IV). 이것이 Schumm et al. 모형 (1981)의 Type III에 해당된다.

어느 시점에서 새로운 평형상태에 도달하게 된다. 내려앉은 제방으로부터의 퇴사는 낮은 지대에서 새롭게 식생화된 홍수터를 형성 (Class V) 및 새롭게 생성된 제방내에서 작은 자연하천을 형성하기 시작한다. 이것은 Schumm et al. 등에 의한 1981년 모형의 Type IV에 해당된다. 새로운 하천 평형상태 (Class VI)는 이전 홍수터를 버리고 낮은 지대에 새로운 홍수터를 생성한다. 이런 새로운 하천 평형상태는 Schumm et al. 등에 의한 1981년 모형의 Type V에 해당된다.

전형적인 하천은 상대적인 불안정정도를 하천 위치에 따라 Simon의 CEM에서 정의된 다양한 Class들로 나타난다. 그림 2b의 마지막 부분은 상류쪽으로 진행되는 하천하도에 있어 실제적인 침식 발생의 맨 윗부분으로 천이하는 점을 설명하고 있다. Class I은 불안정한 효과가 아직 나타나지 않는 천이점이전의 하천상태를 잘 묘사하고 있다. 하류쪽으로 진행하면서 이 그림은 중요한 천이점 (Class III)을 설명하고 있으며, 천이점 출현(Class IV 및 V)으로 인한 제방이 불안정상태로 변화한다. 교란이후로 충분한 시간 지난다면, 더 멀리 있는 하류쪽의 상태는 Class VI에 접근할 것이다.

강 점

CEM은 흐름하도가 두부(선단)파괴(Head Cutting)과정을 통해 진행하면서 이루어지는 변화를 예상할 수 있게 도움을 주기 위해서 개발되어졌다. CEM은 두부파괴점의 상하류에 대한 하천시스

템의 하도구간에 대한 지형측정을 토대로 하였다. 결과적으로, 교란된 하천에서 다음 단계가 무엇인지를 묘사하는데 있어 가장 정확하다. CEM은 관심 유역을 검증할 때 가장 유용하다. CEM은 계획입안자 및 기술자들에게 가장 경제적으로 효과적이며 가장 성공가능성이 있는 실행(안)을 선정하고 설계하는데 유용한 일련의 상태 및 경향 정보를 제공한다. 이 모형은 하천구간을 하천의 안정상태에 도달시키기 위하여 덜 또는 더 많은 간섭이 요구되는지를 구분하기 위한 수단이다. 예를 들면, Simon (1981) 모형 Class III(하상저하 Degradation)에서 성공적인 복원을 성취하는데 더 많은 비용이 요구될 것이다. 다른 한편, Class V (퇴적 및 하도 넓힘)에서는 단지 회복진행을 가속화하기 위해 녹화 등의 적은 노력이 요구될 것이다.

약 점

Simon 모형 (1989) 및 Schumm et al. 모형 (1981)은 흐름 하도구간의 안정성 수치를 결정하기 위한 지형연구가 요구된다. 저하되는 하도구간을 가진 유역에서 단지 적용되며, 상당히 균질한 토양 및 지질을 가진 유역에 가장 적합하다. 그러므로 상당히 변화하는 토양, 등급 그리고 평면 조절을 가진 흐름시스템에서는 그 만큼 유용하지 않다. 이 모형은 널리 적용하는데 제한적일 수 있는 3가지 가정을 가진다.

- 하도 기준면이 변화하지 않는다.
- 하도는 다양한 하도조절이 가능한 충적물질로 이루어졌다.
- 유역의 토지이용은 급격하게 변화하지 않는다.

(d) Montgomery와 Buffington 분류 체계

Montgomery와 Buffington 분류체계 (1993a)는 삼림산지하천의 하도구역 형태를 분류한다. 저자들은 산지 하도구역들과 낮은 지대의 하도구역과는 매우 뚜렷한 차이점들이 있다고 강조한다. 이 체계를 개발하기 위하여 대부분의 현장 관측은 워싱턴,

학술/기술기사

오리건, 알래스카에서 이루어졌다. 이런 산지 하도 구간 시스템에 있어서는 상당히 많은 산림지대의 지속성은 이 분류체계의 현재 적용성을 약간 지엽적이고 독특하게 제한한다. 더 많은 실험이 다른 산악지역에 적용을 검증하기 위하여 요구된다. 저자들에게 의해 묘사된 형태학적 절차들은 다른 지역 분류체계를 개발하기 위한 견본으로 활용할 수 있다.

산악하천은 침식(퇴사 공급원), 이송 그리고 퇴적구간으로 분류할 수 있다(그림 3). Montgomery와 Buffington은 수많은 하도 형태를 3가지 지형대에 각각 포함되도록 위 과정(침식, 이송 그리고 퇴적)을 토대로한 개념을 확장했다.

순수 하도구간 반응은 하도구간의 수리학적 이송 능력에 비유되는 이송 가능한 퇴사의 크기와 양에 종속된다. 퇴사이송능력 이상의 퇴사공급을 가진 하도구간들은 침식되거나 근원 하도구간이다. 이러한 하도구간 형태는 일반적으로 산악하천의 수원부근에서 발생한다. 일정 길이의 중류 하도구간은 퇴사량과 이송능력간의 평형상태를 이루는 경향이 있다. 이러한 하도구간들은 이송하도구간으로 여겨진다. 이런 중류 이송하도구간은 일부 흐름시스템들에서는 상대적으로 짧고 다른 흐름시스템에서는 상대적으로 길며, 이송능력에 비유되는 퇴사공급 및 크기에 대한 상대적인 균형에 달려있다. 중류하도

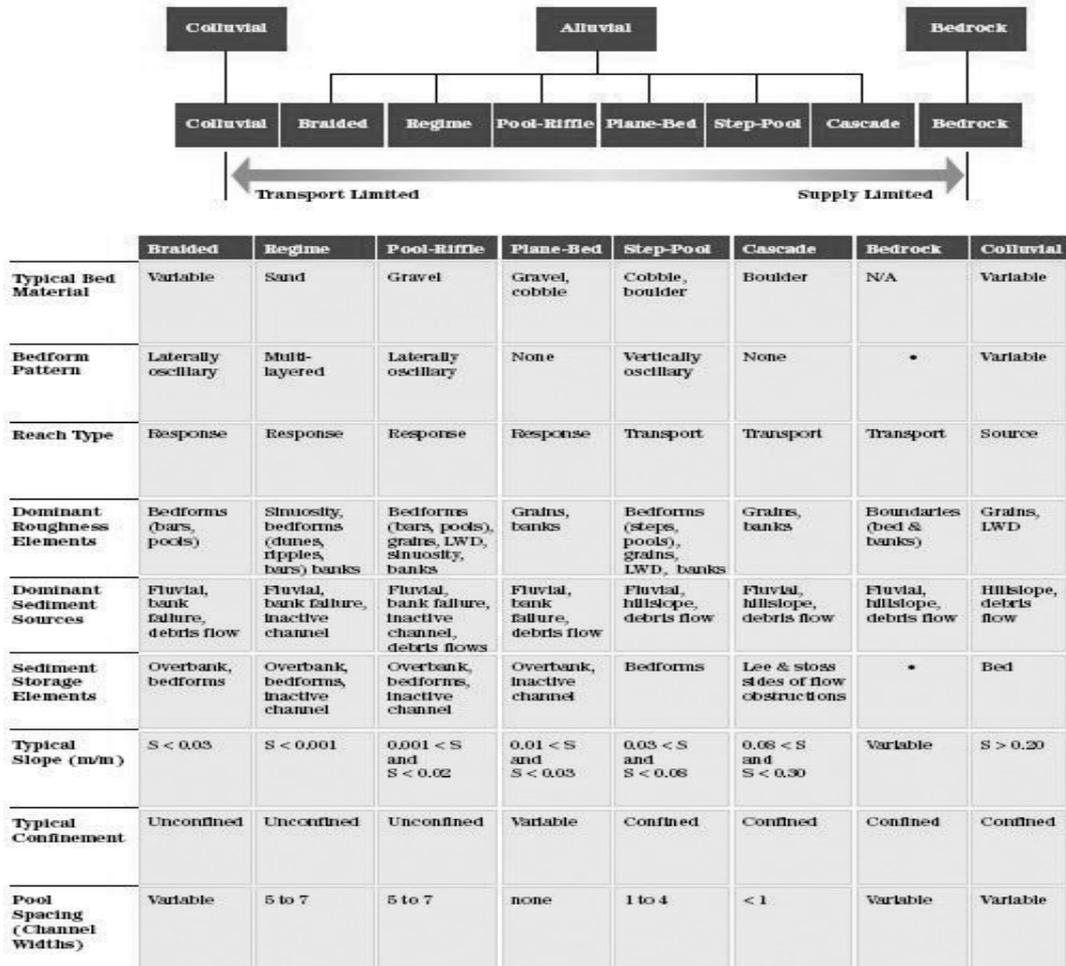


그림 3. Montgomery and Buffington stream classification system

구간은 대부분의 하도안정정의에 내재하고 하도침식 및 퇴적간의 장기간 균형을 나타내는 경향이 있다. 하천구간내의 장기간 퇴사 균형은 퇴사량의 급격한 변동 및 지속적인 하천지형변화 때문에 반드시 흐름 안정성을 의미하는 것은 아니다. 마지막으로 산악하천의 최저지대 구간은 하천경사가 감소함에 따른 이송능력의 감소로 인하여 전형적인 퇴적 하도구간이다. 이러한 퇴적 하도구역들은 또한 반응 하도구간(Response Reaches)으로 여겨진다.

퇴사공급 그리고 이송능력이외에 많은 변수들이 하상특성에 영향을 미친다. 하천하도의 중요한 기하학적 특성은 하폭, 수심 그리고 하천선 정렬 등이 포함된다. 수리학적 특성은 하도경사, 조도계수, 동수반경, 유량, 유속, 유속분포, 난류, 유체 특성 그리고 유량의 균일성 등을 포함한다. 다른 형태학 요소들은 부유사량의 입자크기 그리고 소류사, 하중도 발생빈도, 사주형태 및 수, 그리고 특히 산악하천에서 토석류 및 큰 목재 등의 영향을 포함한다.

Montgomery and Buffington 분류체계는 뚜렷한 8개 하도형태로 확인된다 (그림 3). 기반암 흐름 형태는 비록 가파른 하도경사에서 쉽게 발생할 지라도 하천 종단면의 많은 위치에서 발생할 수 있다. 봉적 및 기반암 하도구간 형태들은 일반적으로 하천 수원부근과 연관이 있지만, 형태학적인 특성에 있어서는 상당한 차이가 있다. 수원부근 하도는 언덕경사(평평한 언덕 또는 산 정상), 움푹 꺼진 곳(천이경사) 그리고 봉적(급경사) 하도구간으로 더욱 세분화될 수 있다. 수원부근 하도의 더 세분류는 주로 상류 종단면에 있어서의 하도 위치를 반영하고 있으며, 각 흐름형태로부터 예상되는 상대적인 유사량을 추측할 수 있다. 봉적 하도구간은 주로 유역 시스템에 있어 가장 높은 생산원이다. 왜냐하면, 하천이 이송할 수 있는 능력보다 상당히 많은 퇴사량을 포함하고 있다. 퇴사크기(자갈, 왕자갈)는 수원부근 상류하천에 있어 공급하도로부터 퇴사량을 제한할 수 있는 중요한 이송인자일 것이다.

특정 환경하에서는 기반암 하도구간은 또한 일시

적으로 공급하천의 역할을 할 수 있다. 기반암 하도구간은 종종 상류 하천 하도구간과 연관되지만, 유역의 낮은 경사부분에서 또한 발생 할 수 있다. 퇴사와 관련해서, 기반암 하도구간은 이송능력이 퇴사공급을 상당히 초과한다는 점에서 봉적 하도구간과 주로 반대된다. 간단히 기술하자면, 대부분 이용가능한 퇴사는 기반암 아래로 보낸다. 하지만 가령 토석류와 같은 퇴사원의 갑작스런 출현은 일시적으로 기반암 하도구간을 봉적 하도구간의 형태학적 특성을 가지도록 하는 원인이 될 수 있다. 기반암 하도구간의 일시적인 퇴사원이 제거될 때 궁극적으로 기반암 형태로 되돌아 올 것이다. 기반암 형태로 돌아가는 시간은 퇴사 작용에 대한 장애물의 체적 그리고 이송되어야 하는 입자크기에 주로 달려있다.

기반암 하도구간의 수리학적 능력은 이용가능한 퇴사공급을 초과하기 때문에 기반암 흐름 하도구간은 이송하도구간으로 분류된다. 나머지 5개 하천 분류는 충적하도구간에 대한 것이다. 그것들은 작은 폭포(Cascades), 계단-소(Step-pool), Plane-bed, 소-여울(Pool-ripple) 그리고 Dune-ripple 등급을 포함한다. 작은 폭포 하도구역에서의 퇴사는 초과 이송능력 결과로 생기는 주로 제한된 공급이다. 이러한 하도구간은 높은 에너지 소산율에 기인한 가파른 급경사하천구간에서 발생한다. 그리고 흐름은 계속적으로 사류영역에 있을려고 하는 경향이 있다. 어느 정도 세립자는 하류로 이동되어 이송되어지기 때문에 하상바닥 재료는 전형적으로 자갈 및 호박돌로 구성된다. 폭포 하도구간에서 많은 난류에너지는 큰 자갈, 다른 곳에 포획된 토석 또는 장애물의 주위에서 흐름의 합류 및 분류로 인하여 소산되어진다.

계단-소 하도구간(Step-pool channel)은 또한 이송하도구간에서 발견되어지며, 가파른 하상경사에 발생하며, 거친 하상재료를 나타내며, 적절한 하폭대비 수심비율에 대해 낮은 값을 가진다. 폭포하도구간과 마찬가지로 계단-소 하도구간(Step-pool channel)은 초과 이송능력을 가지며 한정된

학술/기술기사

퇴사공급으로 특징지어진다. 중요한 차이점은 계단-소 하도구간(Step-pool channel)의 흐름영역은 가파른 지역에서 교대로 상류 및 사류이며, 에너지 소산은 소(Pool) 지역에서 발생한다. 기반암, 폭포 그리고 계단식-소 흐름 하도구간 형태는 모든 이송하도구간에서 발견되어진다.

나머지 3개의 Montgomery와 Buffington의 하도형태(Plane-bed, pool-riffle and dune-ripple)는 또한 충적하천 하도형태이지만 응답군(Response Group)으로 나뉜다. Plane-bed 하도구간은 활공, 여울 그리고 급류로 묘사되는 하도구간이다. 이런 하도구간 형태는 계단-소 형태(Step-pool)와 소-여울 하도구간 형태(Pool-riffle)사이의 중간 하상경사에서 나타난다. Plane-bed 하도구간은 대개 장갑화된 하상표면으로 묘사된다. 장갑화하는 하상바닥은 더 큰 입자나 물질 크기에 대하여 소류사 이송능력부족을 가리키는 반면에 세립부유사는 Plane-bed 하도구간을 통해서 쉽게 이송되어진다. 퇴사크기 분포 및 유량에 따라서 Plane-bed 하도구간은 공급이나 이송에 제한된 형태를 나타낸다.

소-여울 (Pool-riffle) 흐름 하도구간, 또한 반응 하도구간이다. 소-여울(Pool-riffle) 흐름 하도구간은 비록 하상재료가 중간 또는 큰 유량사상에 의해 이동되어질지라도 시간이 경과함에 따라 안정화하는 경향이 있다. 사주는 높은 하폭대비 수심비율을 가진 소-여울 시스템 및 하도경사가 약 0.006m/m보다도 낮은 곳에서 발달된다. Plane-bed 하도형태와 마찬가지로 퇴사이송은 다양한 유량에 대해서 한정된 공급이거나 이송이 일어날 수 있다. 퇴사사주가 소-여울시스템에서 일어났을 때 복합흐름영역은 한정된 이송을 가리키는 것이다.

Dune-ripple 하도형태는 3번째 반응 하도구간 형태이다. 심지어 저수 흐름상태에서 이동되는 하상은 Dune-ripple 하도구간이다. 이것들은 전형적으로 낮은 경사, 모래하상 하도구간이다. 하상재료는 쉽게 부유상태에 놓일 수 있지만, 복합된 퇴사

량은 이용가능한 이송능력보다 거의 항상 크다. 하상재료는 모든 흐름에 대해서 끊임없이 변화하며, 짧은 거리를 이동하지만, 총퇴사량대비 전반적인 이송능력부족은 한정된 이송능력을 가진 Dune-ripple 하도구간이 결과적으로 생긴다.

Montgomery와 Buffington 분류체계의 다른 중요한 개념은 수많은 강제 하도구간 형태들(Forced channel morphologies)에 대한 인식 및 분류화하는 것이다. 강제 하도구간 형태는 토석류, 지질학적 장벽, 기반노두암, 그리고 특히 북서 태평양 지역의 큰 목재물질(Large Woody Material, LWM)지역에서 결과적으로 생긴다. 작은 하천에서는 나무들이 쓰러진 곳에 남아있는 경향이 있다. 나무들이 하폭보다 더 긴 경향이 있는 곳에서는 LWM이 결과적으로 강제흐름형태로 발생하는 국부 흐름 형태를 갑자기 그리고 오래 지속되는 제약조건으로 생성될 수 있다. 소규모 산악하천에서는 LWM이 수십년 또는 심지어 수 세기동안 존재할 수 있는 흐름 장벽에 의해 하도형태를 지배할 수 있다.

흐름 하도구간이 우점종인 나무크기보다 넓은 대하천이 있어서는 LWM은 전형적으로 하류방향으로 이동하여 이송되어진다. 이런 대하천의 수리학적 과정에서는 하도형태가 LWM의 영향에 지배받는다. 큰 홍수기동안에는 LWM은 수문곡선 감세기 동안에 사주상단에 쌓이게 될 수 있으며, 이것은 흐름 시스템내에 LWM이 하도형태에 대해 적은 영향을 가진다는 인상을 남길 수도 있다. 그럼에도 불구하고 통나무 더미는 제방굴착 또는 보호, 하도 전구간 및 한쪽구간 발달, 그리고 홍수에 의한 토지의 전위 강요 등을 통해 큰 산림하천에 하도형태 및 홍수범람과정에 영향을 끼친다.

강 점

Montgomery와 Buffington의 하천 분류체계는 특히 북서태평양과 알라스카지역에서 산지하천에 대한 폭 넓은 경험과 심각하게 영향을 받는 지질학적 과정을 토대로한 체계이다. 이러한 분류체계

는 개발되어진 산지하천의 형태학적 차이점을 검증하기 위한 훌륭한 작업이다. 게다가 이 분류체계의 진행과정을 기반 둔 구성성분들은 다른 산지지역에도 잘 적용되리라 예상되어질 수 있다. 이 분류체계는 사용자에게 근원, 이송 그리고 반응(침식, 이송 그리고 퇴적) 하도구간을 검증하는데 도움을 준다. 이 분류체계가 가지는 지역적 변동은 특히 LWM 풍부성의 존재에 따라 결과적으로 강제흐름형태를 발생하기 쉽다. 강제흐름형태가 상당히 변화할 것을 인식하면서 다른 산악지역에 이 분류체계의 적용성을 검증하기 위해 명백한 이유이다.

약 점

충적하천에 경험이 없는 지형학자들은 처음에는 일관성있는 결과를 가진 이 분류체계를 적용하는데 어려움을 가질 수도 있다. 과거 문헌들은 과학사회 내에서 개발되어 과학사회를 위해 작성되어졌다. 다른 많은 분류체계와 마찬가지로, 수행 절차가 연구 및 훈련없이 쉽게 적용할 수 없다. 하지만 현장 경험을 가진 기술자들은 Montgomery와 Buffington에 의해 검증된 8 가지 하천 등급을 정의할 수 있다.

(e) Rosgen 분류 체계

자연하천에 대한 Rosgen 분류법은 북미지역에서 강 시스템들에 대해 30년 넘게 광범위한 현장경험과 관찰들에 의해 발달되었다.

Rosgen 분류 체계는 현장측정을 기반으로하는 매개변수에 의존하는 경향이 있으며, 위에서 기술된 일부 다른 분류체계 절차보다도 더 많은 경험에 기반을 두고 있다. Rosgen의 분류 측정은 하도형성흐름(Channel Forming Flow)으로 알려진 만제유량 또는 강터유량(Bankfull Discharge)에서 측정된 하도 제원을 근거로 이루어진다. 완전한 Rosgen의 분류체계는 흐름구간분류 및 잠재적인 복원에 대한 지침을 제공하기 위한 목적이다. 이 분류체계는 원하는 분류의 수준에 따라 하천에서 또

는 천연사진과 USGS 지형지도로부터 측정될 수 있는 수많은 실제적인 물리적 매개계수들의 추가를 포함하고 있다. 이 방법을 사용하기 위해서는 지형학적 기법을 사용하는 기본적인 훈련과 경험이 필요하다. 지형학, 수문학, 그리고 공학의 풍부한 배경 지식뿐만 아니라 현장에서의 설계 수행 능력이 요구되어진다.

Rosgen의 현 분류체계의 초판은 1985년에 출판되었다. 이 분류체계는 Rosgen (1994년)과 응용하천 형태학(Rosgen 1996)에 이르기까지 계속해서 발전되었다. Rosgen 분류체계는 전체 흐름체계보다는 개별적인 흐름구간을 범주화하고 구별하였다. 분류체계의 설명표는 그림 4에 나타나 있다. Rosgen(1994)은 적합한 하도구간 길이에 대해 다음과 같이 가장 잘 기술하였다:

지형적 변수들은 가령 지질 및 지류와 같은 변화 영향에 기인하여 흐름 하도구간에 따라 심지어 짧은 거리안에서도 변할 수 있고 변한다. 그러므로 지형학적 기술수준(Description level)은 선정된 하도구간으로부터 현장 측정값들을 포함하며, 그래서 여기서 사용되어지는 흐름하도형태는 단지 개별하도구간에 적용된다. 개별하도구간으로부터 수집된 자료들은 흐름체계를 묘사하기 위해 전체유역에 대해서 평균화 되지 않는다. 이 분류는 단지 수십 미터의 하도구간에 적용될 수 있거나 수 킬로미터의 하도구간에 적용될 수 있다.

Rosgen(1994,1996)은 흐름 분류와 평가에 관한 4가지 단계를 알아냈다. 여기에서는 주로 Level I 과 II 흐름 분류에 중점을 두고 있다. 각각 연속적인 수준은 분류되어지는 흐름하도구간의 제원, 형태 그리고 종단면 등에 대한 보다 구체적이고 세부적인 정의를 제공한다.

Level 1 흐름 분류

Level I 은 분류된 흐름하도구간에 대한 일반적인 특징이다. Level I 흐름분류는 항공사진, 지형도, 지질도, 그리고 관심대상 유역내 흐름체계와 지

형들에 대한 강한 개별적 친근감으로부터 해석되어 질 수 있는 지형학적 특징에 바탕을 둔다 (Rosgen 1996).

Level I 흐름분류는 사실상 준비를 하기 위한 목적이다. Level I 분류는 쉽게 이용 가능한 출판된 정보를 이용하며, 가능한 범위까지 경험과 판단에 의존한다. Level I 과 Level II 흐름분류에 대한 최초 4개의 기술수준은 동일하나, 필요한 자료의 강도는 아주 크게 다르다. Level I 흐름 결정에 요구되는 4개의 하도특징은 하상의 수(number of channels), 굴입비율(entrenchment ratio), 폭대비 수심비(width-to-depth ratio)와 만곡도이다. Level I 흐름결정에 대해서 4개의 하도특징은 적절한 대축적 지형도를 사용하여 종종 결정될 수 있다.

최소한으로 Level I 흐름 분류는 흐름체계에 대한 사전지식이나 시각적인 현장 관찰 경험을 바탕으로 한 굴입도 (slight, moderate, or entrenched)에 대한 판단예측이 요구한다. 하폭대 수심비율에 대한 지정 범위는 12이하, 12과 40 사이, 40이상에서 구분점을 가지며 상당히 광범위하게 나뉘어진다. Level I 흐름분류에서 하폭대비 수심비율은 기술된 흐름하도구간관점에서 좁고 깊은(narrow and deep) 또는 평평하고 넓은 (flat and wide) 것으로 간주되어진다. 최소한의 경험을 가지고, 육안관찰에 의한 하폭대비 수심비의 판단은 경계선상의 경우를 제외하고는 대부분의 경우 비교적 쉽다. Level I 흐름분류의 목적은 A, B,

C, D, DA, E, F, G의 8개의 기본 Rosgen 흐름형태를 구분하는 것이다. 이 8가지 흐름형태는 Rosgen(1996)에서 자세히 기술되어졌다.

실제적으로, Level I 분류는 하상재료(Level II 특징)에 대한 예비 시각적 현장 측정을 포함한다. 경험이 있는 실무자들은 경계선상에 있는 모래하상의 C 하도(C5)와 자갈하상의 C 하도(C4)를 시각적으로 구별할 수 있다. 만제유량 또는 강터유량 (Level II 특징)에서 하도 수면곡선 종단경사는 Level I를 분류하기 위해서 요구되지 않는다. 하지만, USGS 사각지형도(그림 4)로부터 가파른 하도경사에 쉽게 나타날 가능성이 있는 하도형태와 평평한 하도경사에서 더 쉽게 나타날 가능성이 있는 하도형태를 구분하기 위한 예비 계획에 유용할 것이다. 하도경사의 예측은 또한 일반적인 흐름과 계곡흐름형태학을 특성화하는데 있어 유용하다.

Level I 분류와 어느정도 추가적인 관측들은 Level II 분류의 실제 현장 측정들에 의해 확정되어야 하는 사전예측으로서 명확히 검증되어야만 한다. Level I 분류는 일반적인 토의목적, 광범위한 목록 그리고 개략적인 계획 응용을 위해서 유용할 수 있다. Level I 분류는 흐름 복원 활동 (stream restoration activities)의 최종 설계를 위한 목적으로는 결코 적합하지 않다.

Level II 흐름 분류

Level II 흐름 분류는 더욱 구체적이고 옹호할 수 있는 흐름체계를 설명하기 위해 실제 현장 측정값 및 고해상도의 지형맵핑이 요구된다. Level II 분류에 있어 최초 4개 기술기준은 Level I에서 사용되었던 것과 같다. 차이점은 Level II 분류에서는 하도구간 수, 굴입도비율, 하폭대비 수심비 그리고 만곡도가 실제 현장에서 정확하게 측정되어야 한다는 것이다.

Level II 분류는 수리적인 특성을 포함하여 Level I에서 요구되지 않았던 수많은 관련된 매개변수들에 대한 물리적 측정이 필요하다. 자연하천

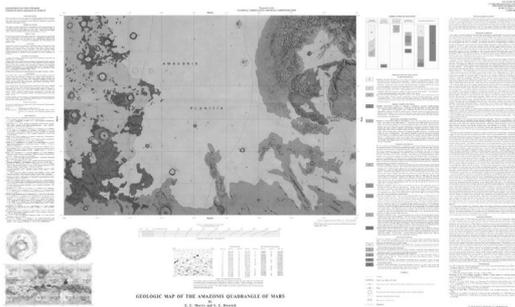


그림 4. USGS Qaudrangle map

에 대한 Rosgen 분류의 수리학적 기하학적 부분은 Leopold와 Maddock(1953)과 Leopold, Wolman, Miller(1964)의 연구에 많은 영향을 받는다. 이 연구는 흐름형태학을 특징짓는데 사용되는 8개의 상호의존적인 수리학적 변수를 규정하였다. 변수들은 유량(discharge), 유속(velocity), 하폭(channel width), 하도깊이(channel depth), 하도경사(channel slope), 퇴사 크기(sediment size), 퇴사량(sediment load), 하상재료의 조도계수(roughness of channel material) 등이다.

Leopold, Wolman, Miller(1964)는 이런 상호의존적인 변수중 어느 하나의 변화가 다른 7개 변수에서 그에 따른 결과 및 종종 보정변화를 생성할 것을 인지하였다. 보정효과는 모든 변수에 대해 일정하지 않다. 예를 들면, 하도 폭의 증가는 많은 경우에 있어 만제 하도면적이 상대적으로 항수(또는 상수)로 남아 있기 때문에 평균 하도 깊이에 반비례할 것이다. 같은 예를 들어보면 가령 유속과 유량과 같은 일치하는 변수는 크기에 있어 단지 적은 감소를 나타낼 뿐이다. Rosgen은 수많은 수리 기하학 관계를 그의 기준에 직간접적으로 포함하였다.

Level II 분류의 정확한 정보를 얻기 위해 두 가지 중대한 현장 결정사항이 중요하다. 첫 번째는 만제유량의 표고를 정확하게 결정되어야만 하는 것이다. 왜냐하면 그것이 직접적으로 다른 많은 매개변수들과 관련되어진다. Rosgen에 의해 사용되는 만제 용어는 물이 처음으로 하도 제방을 흘러 홍수터로 흐르는 지점의 표고로 만제에 대한 일반적인 정의로 추측하는 새로운 전문가에게는 매우 혼란스러울 수 있다. Rosgen은 다음과 같이 Dune and Leopold(1978)의 만제 정의를 사용한다.

만제수위(bankfull stage)는 하도유지가 가장 효율적인 유량에 일치하다; 말하지면, 퇴사를 이동시키고, 사주의 발달 및 제거시키고, 굴곡 및 사형을 형성하거나 변화시키는 그리고 결과적으로 하도의 평균 지형 특성으로 생기게 작용하는 곳에서의 유량을 말한다.

만제유량 및 그에 따른 표고는 1.2~1.8년 범위에서 발생하는 지배 값을 연간으로 환산된 빈도곡선 상에서 1.0~3.0년 범위의 전형적인 재현기간을 갖는다. 단지 약간 굴입되는 C, D, DA 그리고 E 하도형태에 대해서는 만제의 일반적인 정의와 Dune과 Leopold의 정의가 매우 유사하다. 적당히 굴입되는 하도 형태인 B 혹은 굴입되는 A, F, 그리고 G 하도형태에 대해서는 Rosgen 만제는 제방 정고 아래의 표고이다. 수많은 좋은 현장지표들은 가령 지역에 따라 변화하는 점사주의 상단표고, 제방경사의 구분점, 그리고 특정 연안 식생종의 존재여부 등과 같은 믿을만한 지표들로 이용되어질 수 있다. 지표들의 축적은 현장에서 Dune and Leopold의 만제 표고를 물리적으로 검증하는데 전문가들에게 많은 도움을 준다. 적당한 훈련과 협조된 실행으로 만제 표고에 대한 개별적인 결정이 일치하는 경향이 있다. 만제 결정은 일반적 Level I 분류에 대해서는 반드시 필요한 것은 아니나 구체적인 Level II 결정을 위해서는 중요한 요소이다.

Level II 결정하는데 있어 두 번째 중요한 개념은 굴입비율이다. 굴입 또는 하도침식은 지형학과 지질학 문헌에서는 기본이다. Rosgen은 상대적 굴입 정도를 정의하는데 도움을 주는 유용하며 실용적인 정의를 정립하였다. Rosgen은 굴입비율을 최대 만제수심에 두 배되는 표고에서 홍수발생이 빈번한 면적의 폭(홍수시 하천폭)을 만제하폭으로 나눈으로써(홍수시 하폭/만제 하폭) 굴입비율을 정의했다. Rosgen의 자료를 근거로해서 최대 만제 수심의 두 배에 해당하는 총수심은 대략 재현기간 50년에 해당하는 중요 홍수로 구성되어진다. 일부 하천 전문가들은 이 가설에 대한 유효성을 의문시한다. Rosgen은 홍수시 하폭으로써 최대 만제 수심의 두배의 전체 수심으로 정의했다. 자료가 포함되는 면적이외 구간에서는 Rosgen에 의해 정립된 홍수시 하폭 대비 만제 하폭관계으로부터 상당히 변화할 수 있다. 필요한 현장 측정을 위한 절차는 Rosgen(1996)에 기술되어 있다. 이 문헌에서 굴입

비율 및 여러 다른 매개변수들은 직접적으로 만제 표고에 관계되기 때문에 만제 표고에 대한 정확한 결정의 중요성을 강조하고 있다.

굴입비의 개념은 경험적인 관계이다. 흐름하도구간을 완전한 Level II 분류하기 위해 6가지 계층적인 매개변수의 결정이 요구되어진다.

1. 하도의 수 (Number of Channels)-외견상으로, 이것은 현장 관측이나 현재 천연사진 및 지도를 이용하여 얻을 수 있는 단순 결정인 것으로 보인다. 하지만, 정의에 의하면 다지 하도구간(여러 갈래 하도구간)을 고려하기 위해서는 만제 표고에서 3개 실제 하도구간이어야만 한다. 그러므로 만제 결정은 만제수위에서 실제적으로 3개 또는 그 이상의 실제 하도가 있다는 것을 검증하는 것이 필요하다. 존재하는 것을 검증하기 위한 곳에서 다지 실제하도구간(3개 또는 그 이상)은 흐름 하도 분류상 D 혹은 DA로 나타낼 수 있다. 모든 다른 하도는 단일 값 하도구간으로 고려되어진다.
2. 굴입비율은 최대 만제수심의 두배되는 표고에서 하폭을 만제하폭으로 나눔으로써 정의된다. 만제 표고결정은 이런 저런 매개변수에 적용되므로 만제표고에 대한 정확한 결정의 중요성은 이전에 언급한 바와 같다. 지질, 경사, 식생 그리고 다른 요소는 또한 이 변수에 영향을 미칠 수 있다.
3. 폭대 수심 비율은 만제표고에서 측정된 하폭을 만제 하도구간의 평균수심으로 나눈 것으로서 정의된다. 이 매개변수의 크기는 만제 표고의 정확한 결정에 따라 달라진다.
4. 만곡도는 만제 수위에서 흐름 길이에 대한 곡곡길이 비율로서 정의된다. 만곡도는 현장에서 가장 잘 측정될 수 있지만, 이것은 시간을 낭비하는 측정이다. 보다 작은 하도와 넓은 캐노피 피복을 가진 하천은 요구되는 정확도를 확보하기 위한 현장 측정이 필요할 것 같

다. 보다 큰 하천과 제한된 캐노피를 가진 하천의 경우, 만곡도는 또한 충분한 해상도를 가진 최근의 항공사진과 같은 대체 자료를 통해 성공적으로 측정될 수 있다. 축척 1/660이 선호되나 1/1,320의 축척도 보다 넓은 개방된 캐노피 흐름하도구간에서는 적용할 수 있는 정확도를 제공할 수 있다. 만곡도는 USGS 7 1/2분 시트로 조사될 수 있으나 이것은 Level II 분류에 적합하지는 않다. 축척 7 1/2분 사각형 시트, 사각형 사진의 연식 그리고 사각형 지형도상에서 흐름하도구간 결정하는데 사용되어지는 제한된 세부사항들은 Level II 결정을 위한 USGS 사각형 시트 사용의 유용성을 제한하는 것이 모든 관심사이다. 이 시점에서 흐름하도구간에 대한 Level II 기본분류인 A~E는 하천에서 얻어질 수 있다. Level I 과 II 분류법간의 차이점은 실제적인 현장 측정에 대한 기준을 입증하는 것이다. 실제 실행시 Level II 분류법은 드물게 이 시점에서 종결된다. 완전한 Level II 분류법에 대한 나머지 경계기준이다.

5. 하도재료는 만제 하도내 하상과 제방을 구성하는 물질의 표준 입자의 결정이다. Rosgen 분류법 절차는 표준 입자 결정을 위한 Wolman(1954)의 자갈 셈(count) 절차의 수정판을 사용한다. 분류되어야하는 하도 구간내의 여울과 소의 분포를 나타내기 위한 선정된 횡단면은 자갈 측정 절차를 사용하여 시료를 채취한다. 비록 정의된 매개변수가 하도 하상 물질일지라도 각 단면이 만제 표고까지 똑같은 공간 지점을 사용하여 측정된다. 각 자료지점은 처리과정이 있어 동등하게 계산되어지기 때문에 절차는 주로 하상 바닥 물질쪽에 특히 넓고 얇은 하천상에 상당히 가중되어진다. 비록 두개 모드(mode)을 가진 분포에 대한 예외를 언급되어질라도, 수정 Wolman 자갈측정절차를 사용하여 결정된 D50 입자크기

는 만제표고까지 하상바닥 및 제방재료 분류 하는데 사용되어진다. 현장측정을 근거로한 Rosgen의 첫번째 하도재료 등급은 기반암이다. 5가지 나머지 하상재료 등급은 자갈측정 정보로부터 결정되어지는 만제수위까지 하상 및 제방 재료의 D50 입자크기에 기반을 두고 있다. 6가지 Rosgen 입자 구분은 기반암을 포함하여 다음과 같다.

- 기반암(bedrock)
- 바위(boulder): 256mm 이상
- 왕자갈(cobble): 64~256mm
- 자갈(gravel): 2~64mm
- 모래(sand): 0.062~2mm
- 실트 및 점토(silt/clay): 0.062mm 이하

하상재료는 Rosgen 분류 구조의 왼쪽에 구성 된다. 자갈 계산은 바위, 왕자갈 그리고 자갈 바닥 하천에서 더 유용하다. 다른 기준은 세립 토 및 제방재료(모래, 실트 및 점토) 등을 채취 하기 위해서는 개발이 요구된다.

입자 크기에 따른 퇴사의 분류는 임의적이라, 빈번히 표준 체크기에 기반을 둔 등급 구분점을 사용한다. 체 크기 분류 구분점 및 Rosgen 에 의한 기술된 용어들의 대부분은 지질학자에 의해 사용되어지는 Ussen-Wentworth 분류법으로부터 유래한다.(Wentworth, 1992). 이 시스템은 다른 체 구분점을 사용하고 있으며, NRCS 기술자 (unified soil classification system, ASTM D 2487) 또는 NRCS 과학자(USDA soil texture classification)에서 사용하는 전문용어들과 약간 다르다.

6. 하도경사는 분류되고 있는 하천구간내 만제 수면의 국부적인 경사이다. 수면 경사는 전형적으로 20개 만제 하폭 또는 두개 사행파장 길이 중 대응하는 최소길이에 대해서 측정되어진다. Level II 혹은 그 이상 적용에 대해

서는 여울과 소 단면상에서 실제 하천 수면의 측정은 또한 필수사항이다. 일시하천은 여울-소 연속성을 규정하기 위한 충분한 횡단면자료를 가진 계산된 종단 수면곡선 사용이 요구 되어질 것이다.

규정된 것처럼 하상재료의 현장 결정은 가령 A3와 같이 완전한 Level II 결정하기 위한 기준을 제공하며, 이것은 왕자갈 하상재료과 가진 A 하도구간이다. 만약 국부적인 종단곡선의 경사가 A3 하도구간(0.04~0.099)에 대하여 평균 경사범위를 벗어난다면, 하도구간은 경사 첨자를 근거로하여 더 많이 기술될 수 있다. 다음 예, A3a+ 하도구간은 자갈바닥 재료 경사가 10%보다 크다는 것을 의미이다. 가령 B 그리고 C 하도구간과 같은 일부 하도형태는 평균보다 크거나(+) 혹은 평균보다 작은(-) 경사변동을 가질 것이다.

Level III 및 IV 평가

Level I 및 II 는 흐름형태를 특징짓거나 묘사 하는 분류수준이다. 비록 Level III 평가 및 IV 검증에 대한 세부적 기술은 여기에 포함되어 있지 않을 지라도, 그들의 범위를 이해하는 것은 유용하다. Level I 및 II는 자료수집에 대해 분명한 두개 단계를 토대로하여 흐름하도구간의 현재 상태에 대한 분류이다. Level III 평가는 흐름조건과 흐름의 최적 또는 잠재적 조건으로부터 벗어남을 평가하기 위해 사용되어진다. Level III 자료는 현재 흐름상태의 경향 및 예상되는 장기간 변화를 더 명확하게 규정하기 위해 수많은 매개변수들(퇴사량, 소류사량, 제방침식 등)을 계량화하기 위해 반드시 필요하다. Level III 자료는 하천 복원 설계와 설치에 대한 기본으로 중요하다. Level IV는 흐름방정식의 매개변수가 흐름상태 및 복원행위의 성공을 검증하기 위해 시간에 따라 모니터링 되어지는 곳에서 검증 단계이다.

관리설명

Rosgen(1996)은 흐름 분류가 수많은 NRCS 행위에 어떻게 관련되어 질 수 있는지에 대한 예를 제공했다. 흐름형태는 교란, 복원잠재력, 퇴사 공급, 제방침식잠재력, 지배적인 하도구간 영향을 조절하기 위한 식생의 잠재력 등에 기인하여 예상되어지는 영향에 관련되어 질 수 있다. Rosgen의 데이터베이스는 모든 지역을 완전히 대표하는 것은 아니고, 모든 최종 판단은 현장 평가에 의한 뒷받침되어진다. 이 방법은 국부적인 흐름형태를 나타내기 위해 현장 자료가 필요하다.

강점

Rosgen 분류체계는 여기에서 시사한 4가지 시스템중 현재 가장 널리 사용되어 지고 있는 분류법이다. 초기에 지역적으로 적용되어 왔지만 그 방법은 미국뿐만 아니라 세계적으로 사용되어지고 있다. Level I과 II 흐름분류는 다양한 분야에서 수용되어 왔다. Rosgen 분류체계의 최대값은 관련된 흐름분야에서 소통을 위한 공통언어로 정립되었다. 예를 들면, 알래스카의 지질학자는 하천형태(C5)에 관해서 플로리다의 생물학자에게 이야기 할 수 있고, 둘다 기준에 대해 공통체계를 가질 것이다.

Rosgen의 절차는 Level I과 II의 흐름분류를 초월한다. 그들은 전 범위 하천복원 행위에 대한 설계절차 및 기준에 연결되어 있다. Rosgen의 Level III과 IV 절차는 유체역학과 지형형태학에 전문적 지식이 없는 분야에 흥미를 느끼게 하지만, 하천복원 행위를 더 잘하기 위한 강한 바램을 담겨져 있다. 이것은 이 절차를 적용하는 개개인의 능력에 따라 강함과 약함으로 여겨질 수 있다.

약점

비슷한 하상물질로서 실트/점토 혼합물은 일반적인 침식, 안정과 두가지 물질의 구조적 결합 특징에 불일치한다. 전 지역에 걸쳐 얻어지는 실트와 점토 하도구간에 대한 추가적인 자료를 통해 이 문제는

해결할 수 있다. B 형태 흐름 분류는 모든 문제점을 분류할 때 논란이 되어졌다. 이것은 약간 침식되어진 그리고 침식되어진 사이에 단지 흐름형태를 나타낸다. 그것은 0.020~0.099 경사범위를 가진 흐름형태의 일부에 대해서는 최대 경사범위를 가지고 있다. 추가적인 자료가 B 흐름형태의 추가적인 구분점을 보정할 것이다.

다른 약점들은 C 흐름형태의 하폭-수심비의 상한선이 부족한 것과 D 흐름 형태 분류에 대한 만제시 3가지 활동하천의 필수사항에 부족하다는 점이다.

Level I과 II 분류는 흐름하도구간에 대한 현재 상태를 기술하나 가령 굴입비 및 측방이동율과 같이 시간변동성 문제점을 시사하지 못한다. 가령 퇴적물 또는 침식을 그리고 측방이동율과 같은 시간변동성 문제점은 Level III 평가 및 Level IV 검증에서 시사되어진다.

Level I 및 II 흐름분류 범위를 초월하는 경우, 지형학자와 하천공학 기술자사이에서 종종 표현되는 관심사는 하천복원에 대한 과도한 열정을 가진 초보자들이 그들의 기술적인 능력을 벗어나는 프로젝트를 시도하는 것이다.

7. 결론

여기서 유역평가와 현장 조사에 대한 절차를 간단히 제시하였다. 흐름시스템 목록과 평가기법을 제시하였다. 흐름안정뿐만 아니라 지질학적 생물학적인 평가에 대한 정보를 제공하고 있다. 다양한 지형학적 흐름분류시스템의 이용, 장점 그리고 단점을 또한 기술하였다. 여기서 총적과정을 시사하였고, 더 광범위한 지질문제점을 생태학적 기능뿐만 아니라 하천설계 및 거동에 연관시켰다.

아무쪼록 많은 하천관련 정보가 축적되어 향후 유지관리측면이나 복원측면에서 이런 하천 정보들이 유용하게 사용되어지길 기원한다.

〈알림〉 국내하천의 적절한 관리를 위하여 반드시 부분 인용 및 번역한 내용임을 밝혀두는 바이다. ☞ 필요한 사항 및 기법이라고 판단되어 영문본의 많은

● 참고문헌

1. 우효섭. 2002. 하천수리학
2. 우효섭. 2009. 유사이송 실무와 이론
3. Copeland, R.R., D.N. McComas, C.R. Thorne, P.J. Soar, M.M. Jonas, and J.B. Fripp. 2001. Hydraulic design of stream restoration projects. Technical report ERDC/CHL TR-01-28. U.S. Army Corps of Engineers, Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS.
4. Hansen, W.F. 2001. Identifying stream types and management implications. *Forest Ecology and Manage.* Vol. 143. pp. 39-46.
5. Lane, E.W. 1957. A study of the shape of channels formed by natural streams flowing in erodible material. Missouri River Division Sediment Series no. 9, U.S. Army Corps of Engineers, Omaha, NE.
6. Leopold, L.B., and M.G. Wolman. 1957. River channel patterns—braided, meandering, and straight. U.S. Geological Survey professional paper 282B. Washington, DC.
7. Leopold, L.B., M.G. Wolman, and J.P. Miller. 1964. Fluvial processes in geomorphology. W.H. Freeman and Co. San Francisco, CA.
8. Maxwell, J.R., C.E. Edwards, M.E. Jensen, S.J. Paustian, H. Parrot, and D.M. Hill. 1995. A hierarchical framework of aquatic ecological units in North America. U.S. Dept. of Agric., Forest Service.
9. Reid, L.M., and T. Dunne. 1996. Rapid evaluation of sediment budgets. Catena Verlag, Reiskirchen, Germany. 164 p.
10. Rosgen, D.L. 1988. Conversion of a braided river pattern to meandering: a landmark restoration project. Presented at California Riparian Systems Conference. Davis, CA.
11. Rosgen, D.L. 1992. A stream classification system. In *Applied Geomorphology workshop notebook*, Pagosa Springs, CO. pp. C1-C50
12. Rosgen, D.L. 1994. A classification of natural rivers. In *Catena* 22:169-199.
13. Rosgen, D.L. 1996. Applied river morphology. *Wildland Hydrology*. Pagosa Springs, CO.
14. Rosgen, D.L. 1997a. A geomorphological approach to restoration of incised rivers. Proc. of the Conference on management of landscapes disturbed by channel incision. Oxford, United Kingdom.
15. Rosgen D.L. 1997b. Personal communication. Rosgen, D.L. 1998. The reference reach—a blueprint for natural channel design. Proc. of Wetlands and restoration conference, Amer. Soc. of Civil Eng. Denver, CO.
16. Rosgen, D.L. 1999. Development of a river stability index for clean sediment TMDL's. In Proc. of Wildland Hydrology, D.S. Olsen, and J.P. Potyondy, eds., Amer. Water Resour. Assoc. Bozeman, MT. pp. 25-6.
17. Rosgen, D.L. 2001a. A hierarchical river stability watershed-based sediment assessment methodology. Seventh Federal Interagency Sedimentation Conference. Reno, NV.
18. Rosgen, D.L. 2001b. A practical method of computing streambank erosion rate. Seventh Federal Interagency Sediment Conference. Reno, NV.

19. Rosgen, D.L. 2001c. A practical method of computing streambank erosion rate. Wildland Hydrology. Pagosa Springs, CO.
20. Rosgen, D.L. 2001d. A stream channel stability assessment methodology. 7th Federal Interagency Sediment Conference. Reno, NV.
21. Schumm, S.A. 1963. A tentative classification of alluvial river channels. U.S. Geological Survey. Circular 477. Washington, DC.
22. Strahler, A.N. 1957. Quantitative analysis of watershed geomorphology. Trans. Amer. Geophysical Union 38:913-920.
23. U.S. Natural Resources Conservation Service. 2007. Part Stream Restoration Design National Engineering Handbook. USDA, Office of Civil Rights, 1400 Independence Avenue SW., Washington, DC.
24. U.S. Environmental Protection Agency. 1997. Volunteer stream monitoring: A methods manual EPA 841-B-97-003. Washington, DC.
25. U.S. Environmental Protection Agency. 1998. National water quality inventory report to Congress. 305b report. Washington, DC.
26. U.S. Environmental Protection Agency. 1999b. Rapid bioassessment protocols for use in streams and wadeable rivers: periphyton, benthic macroinvertebrates and fish. M.T. Barbour, J. Gerritsen, B.D. Snyder, and J.B. Stribling. 2nd edition. Office of Water. Washington, DC. EPA 841-B-002.
27. U.S. Environmental Protection Agency. 2000. Water quality conditions in the United States: The 1998 National Water Quality Inventory Report to Congress. Report No. EPA841-R-00-001. Washington, DC.
28. U.S. Environmental Protection Agency. 2004. Physical stream assessment: a review of selected protocols. No. 3W-0503-NATX. Washington, DC. 207 pp.
29. Wohl, E. 2000. Mountain rivers. Water Resour. Mono. 14, American Geophysical Union. Washington, DC. 320 pp.