

하천에서 식생활착 연구 문헌조사(Ⅱ)

- 화이트리버가 그린리버로 변하는 과정의 연구 -



우 효 섭 |
한국수자원학회 참여회원
hswoo@kict.re.kr

이 기사는 전 기사(Ⅰ)에 이어 '1. 현지 조사 및 시험 연구' 분야에서 Hydrochory(물에 의한 식물 씨앗의 퍼짐) 연구 소개를 하고, 다음에 '2. 기초 실험, 분석 연구', '3. 홍수터 식생모의 연구', '4. 식생과 사주 복원 연구' 등에 관한 문헌조사 결과를 소개한다. 마지막으로 '5. 식생 이입의 기본요건' 등을 설명한다. 이와 같은 문헌조사를 토대로 국내 하천을 선별적으로 조사하여 하천 식생 이입의 일반적인 유형을 분류한 연구로서 우효섭 등(2009)을 참고할 수 있다.

1. Hydrochory(물매개 종자 분산)

하천에 자생하는 식물의 종자는 보통 바람과 물을 통해 이동한다. 특히 하천수를 통해 떠내려가거나 물속에 가라앉아 소류사 형태로 이송하거나 하는 현상을 'hydrochory'라 하며, 이를 동역학적으로 모의하는 것은 식물이 종자를 퍼뜨릴 때 하천에

의한 이송 상황을 파악하는데 유효하다.

Goodson 등(2003)은 지금까지 식물 종자의 이송 문제는 주로 식물 양상과 종자 홀트림과의 관계에 초점이 맞추어졌으며, 유사의 퇴적에 의한 영향에 대해서는 거의 다루어지지 않았음을 강조하였다. 그들은 영국의 Dove 강에서 겨울을 나는 종자와 유사퇴적 등을 관찰하기 위해 3개의 조사하천 구간에서 강턱 위, 사면, 강턱 밑 등 세 곳에 각각 한 쌍씩 총 105쌍의 인조 매트를 깔고 1999~2000년 겨울 동안 매트 한 개에 퇴적되는 유사의 입도, 중앙입경, 유기물 함량 등을 조사하였다. 다른 한 개에는 퇴적된 종자의 종류와 수를 조사하였다. 그 결과 물에 잠기지 않은 매트에는 유사 퇴적과 종자가 거의 없었고, 물에 잠기는 매트에는 수위변화에 따른 유사특성 변화가 잘 관찰되었다. 회귀분석 결과 종자의 수, 유사 성질과 표고와의 관계가 분명히 나타났으며, 특히 RDA(Redundancy Analysis) 결과 종자의 종류, 풍부도, 표고, 유사 중량, 유기물 함량 등과의 관계를 보여주었다. 이러한 결과는 하천에서 유사와 종자퇴적은 밀접히 연관되었음을 보여주는 것이다.

Tabacchi 등(2005)은 한 해 동안 프랑스 Garonne강에서 물가 쪽으로 경사진 수변에 대해 씨 이입을 현지 조사하였다. 그들은 총 296종(외래종 145종 포함)에서 117,000개의 씨를 수집하였으며, 수집된 씨의 분석 결과 씨 이입은 기본 식생분

포와 전반적으로 다름을 확인하였다. 구체적으로 외래종은 고유종보다 더 먼 곳에서 오며, 씨 이입과 기존 식생의 상관성은 외래종이나 고유종 모두 높게 나타나며, 홍수는 씨 이입의 풍부도에 영향을 주며, 대부분의 외래종 씨는 고유종 이입과 시간 차가 나며, 저수 시에 이입하는 것으로 나타났다. 한편 교란된 수변은 씨 이입과 기존 식생 관점에서 가장 침입을 많이 받는 것으로 나타났다.

Chambert와 James(2007)는 수변 식생의 구조는 주로 흐름에 의한 식물 씨의 퍼짐에 의해 결정되는 점을 강조하며, hydrochory를 실험실에서 재현하였다. 그 결과 일반적으로 씨의 부력이 씨가 하천에서 퍼지는 현상에 중요한 역할을 한다고 알려졌지만, 그 외에 씨의 크기, 모양, 밀도 등도 중요한 역할을 하는 것으로 나타났다. 또한 씨는 이동 중보다는 침강 중에 씨의 크기, 형태, 밀도 등의 영향을 더 크게 받아서 분류(sorting)되는 것으로 나타났다.

2. 기초 실험, 분석

하천 식생 이입에 관한 연구는 1990년 말부터 실험실에서도 이루어졌다. 일본에서 Yuuki와 Okabe(1997)는 실험실에서 교호사주를 만들어 기준 상태로 삼고 4종류의 모의 식생을 심어 실험을 통해 상호 비교하였다. 그 결과 식생밀도가 높은 실험에서는 사주는 전진을 멈추고 고정되고, 그에 따라 수로 단면적이 줄어들어 평수시 주변 저수로 바닥의 침식을 가속화시키는 것으로 나타났다. 동시에 사주식생에 의한 부유사 퇴적으로 사주 자체는 점점 높아지는 것으로 나타났다. Tsujimoto(1999)도 실험실에서 모의 식생을 이용하여 유사의 퇴적, 세굴, 유사이송 등을 실험하였다. 이 연구는 흐름과 유사와 식생의 상호작용에 관한 고전적인 실험으로서, 실험 결과 소류사의 경우 식생에 의해 식생 전단부에서 퇴적되어 사주가 앞으로 발달하는 것으로 나타났으며, 부유사의 경우 식생에 의한 와류 형성

으로 식생 주변 및 뒤에서 퇴적하여 사주는 뒤로 발달하는 것으로 나타났다.

Richter 등(1998)은 하천에서 자연적인 수문변화도(유황)를 유지하는 것은 그 하천에 서식하는 생물과 생태시스템 보전에 필수적이며, 인위적인 유황변화는 그 하천의 생물 속성을 변화시키고, 생태시스템 연결성에 장애를 가져온다는 점을 강조하였다. 그들은 '변화도범위 접근법(Range of Variability Approach; RVA)' 개념을 소개하였다. RVA는 연최대 일유량, 연최소 일유량 등 다양한 수문 변수(33개)를 이용하여 자연상태의 유량변동범위를 백분위 등으로 구하여(RVA 목표치) 유황이 변하는 하천구간에서 해당 변수의 백분위를 매년 얼마나 만족시키는지 조사하여 그 하천구간의 인위적 유황변화도를 평가하는 방법이다. 즉, $RVA = (\text{관측치} - \text{기대치}) / \text{기대치} \times 100$ 로서, 여기서 관측치는 관측된 전체 연도(예를 들면 50년 자료) 중에서 일일 연최대유량(예)이 목표범위(예를 들면 자연상태 일일 연최대유량 변화의 25%~75% 사이)에 드는 연도의 수이며, 기대치는 관측년도 50년 중 50%에 해당하는 연도의 수, 즉 25가 된다. RVA가 양수이면 기대치 이상으로 관찰된다는 것이며, 음수이면 기대치 이하로 관찰된다는 것으로서, 음수의 경우 유황변화의 정도가 부정적으로 크다는 것이다.

Jang과 Shimizu(2007)는 실험실 실험과 수치 해석을 통해 식생이 있는 단일 하도의 형태 변화를 연구하였다. 그들은 다지하천의 침식성 강택에서 식생의 영향을 설명하기 위해 두 종류의 실험을 행하였는데, 하나는 원래 식생이 없는 직선하천이 다지하천으로 변한 것이며, 다른 하나는 알파파를 심은 다지하천이다. 실험 결과 식생에 의해 수심이 깊어지고 하폭은 줄어드는 것을 관찰하였으며, 하도 역시 만곡이 큰 하천으로 변하면서, 하류에서 하도가 2개 정도로 나누어지는 것을 관찰하였다. 이러한 현상은 식생 역에서 셋강 등이 막히거나 식생 강택 가까이 배후역의 영향으로 흐름 방향이 바뀌기

때문인 것으로 분석하였다. 그들은 식생 밀도가 커질수록 단면적 자료의 상관성이 높아지며, 이 결과는 하도 운동성이 식생 밀도 증가에 따라 감소하는 것을 보여주는 것이라 하였다.

3. 홍수터 식생모형

1990년대 말 경 이 분야 전문가들은 그 때까지 현장에서 조사, 시험한 결과를 토대로 홍수터나 사주에서 식생의 이입 과정을 모의하려는 노력을 하였다. 이는 특히 미국 중서부 댐에 의해 소멸되는 포플러 군락에 초점이 맞추어졌다.

Mahoney와 Rood(1998)는 홍수터 식생, 특히 북미산 포플러의 이입, 활착을 모의하는 'Recruitment Box Model (RBM)'을 제안하였다. 북서부 미국에서 포플러 씨의 보통 봄철에 연 최대홍수가 발생한 후 바람과 물에 의해 퍼지기 시작하여 발아는 매우 빠르게 일어나며 급속히 성장한다. 그러나 대부분의 유식물(seedling)은 홍수 후 지하수위가 급강하하고 토양습윤이 줄어들면서 말라 죽어버린다(포플러 뿌리는 첫해에 하루 0.5~1cm, 연 60~100cm 자람). 서부 준건조 지역에서 수변 지하수위는 하천 수위와 평행으로 연장된다고 볼 수 있으며, 모세관 물높이는 30~40cm 정도이나 토양 구성에 따라 5~130cm까지 가능하다. 뿌리가 밑으로 자라는 것과 모세관 높이의 합은 늦은 여름 지나서 60~200cm 까지 가능하며, 이 범위 내에서 점차적으로 감수하는 대 하천이나 하상재료가 미세입자로 구성된 하천에서 식생 종에 따라서 높은 표고에서도 자랄 수 있다. 수위 변동률 자체도 하루에 2.5cm를 초과하면 안 좋은 것으로 나타났다. 이러한 조건은 미국 북서부에서 5년에서 10년에 한번 발생하는 홍수에 의해 만족될 수 있다.

RBM은 이러한 현장 조사 결과를 토대로 개발되어 봄 철 홍수의 크기, 지속시간, 감수율 등을 고려하여 포플러의 이입 및 활착 가능성을 모의한다(그

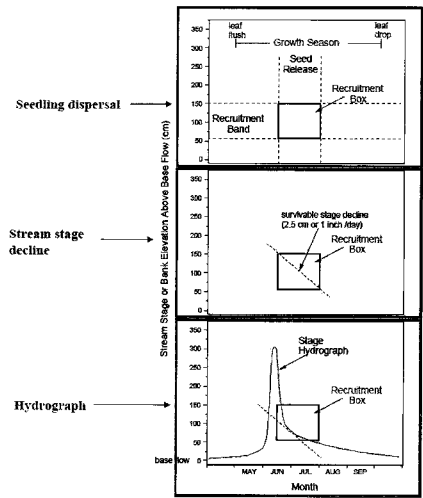


그림 1. Recruitment Box Model의 개요

림 1 참조). 이 모형은 씨의 퍼짐, 발아, 초기성장 및 겨울 철 생존 등에 미치는 영향을 모의하는 것이다. 이 모형은 수변 포플러의 복원 생태계 분석은 물론 댐이 있는 하천에서 포플러 유식물 성장에 미치는 하천수위 영향을 검토하는데 유용하다. 다만 이 모형은 하상소류력에 의한 기계적인 교란은 고려하지 않고 있다.

Dixon과 Truner(2006)는 'RBM'을 이용하여 하천 흐름이 수변 초기정착 수목의 유식물 성장에 미치는 영향을 모의하였다. 구체적으로 Wisconsin 강에서 5종류의 나무가 3개의 시나리오(역사적 흐름, 모의된 자연흐름, 모의된 조절흐름)에 대해 유식물의 성장 패턴을 모의한 것이다. 그 결과 여름철 기저흐름의 증가와 홍수의 감소 등 조절된 하천에서 유식물 성장과 겨울철 생존성이 향상된 것으로 나타났다. 그러나 이 모형에서 전단응력과 유식물 생존률과의 정량적 관계는 아직 미비하다.

Benjankar(2006)는 수리과정과 생태변화에 대한 개념적, 경험적 수치 모형을 개발하였다. 그가 개발한 "동적 홍수터 식생모형(DFVM)"은 연 단위로 수변 식생군락의 천이와 순환에 대한 기계적 교란(하상전단력)의 효과를 모의한다. 모형의 핵심 개념은 서식처 조각의 변화 분포는 특히 홍수, 세굴과

퇴적, 그리고 수변식생의 재생 등에 의해 시간적으로 공간적으로 변한다는 것이다.

위의 모형의 적용성 확인을 위해 Benjankar 등 (2007)은 북미 Kootenai 강의 댐 건설, 하천개수, 토지이용 등으로 습지는 완전히 사라지고 북미산 포플러의 신규성장이 극적으로 감소된 상태를 모의하였다. 이 모의는 물리적 과정과 생태적 기능을 연계한 개념이다. 흐름 모의는 MIKE 11을 이용하였고, GIS 도구를 이용하여 수문, 물리과정, 수변 생태 및 식생 군락과의 관계를 모의하였다. 이 모형은 하천을 수역, 하안역, 홍수터역 등으로 구분하며, 1년을 단위로 구동한다. 'Start Module'은 1차원 동수역학 모형에서 나오는 수문 자료와 LiDAR 자료에서 얻어진 지형 자료를 이용하여 GIS 환경에서 운용한다. 'Succession and Retrogression Model(천이 및 퇴화 모형)'에서는 하상전단응력이나 식생군락의 위치가 특별한 값을 초과하지 않으면 식생은 자동으로 단계적으로 성숙 단계로 천이한다는 규칙에 기초한다. 그러나 한계치를 넘으면 퇴행이나 순환이 발생하여 '다시시작'이 된다(그림 2 참조). 'Output and View Module'에서는 매년 잠재자연식생과 마지막 년도의 실제 식생(real vegetation)의 분포를 지도에 보여준다. 여기서 잠재자연식생(potential natural vegetation; PNV)은 농사나 삼림활동 등 인간교란 없이 자연적으로 식생의 천이나 퇴화에 의해 발생하는 한 지역의 식생 군락을 의미한다. 여기서 실제 식생은 농사

나 삼림활동이 포함된 경우 이므로 PNV 모형의 보정에 직접 이용되면 안 된다.

Egger 등(2007)은 위의 연구를 확장하여 Boise 강에 대해 개발된 동적 홍수터 식생 모형을 적용하였다. 이 하천은 상류 댐과 취수 등으로 유량이 감소된 하천이다. 평수위 이상 고도의 홍수터에 대해 초기 식생 조건이 입력되면 'rule-based' 동적 식생모형은 교란이 없는 경우 천이로, 한계전단응력 이상으로 교란이 있는 경우 퇴행으로 간주하고 연단위로 모의한다. 모의 결과 모래/자갈밭과 초기식생, 유년 천이과정, 성숙단계 등을 보여주었다.

4. 홍수터/사주 복원

하천에 식생 이입이 인위적인 하천교란에 의해 가속화 되거나 감속화 되어 자연 상태와 다른 식생 군락이 형성된다면 이 또한 하천 복원의 대상이 될 것이다.

Gecy와 Gecy(1998)는 하천유황의 변화에 의해 포플러 군락이 소멸된 것을 복원하려는 시도를 하였다. 그들이 연구 대상으로 잡은 하천은 미국 유타 주의 소하천 Diamond Folk River이다. 이 하천은 콜로라도 강에서 1915년부터 관개를 위해 특히 여름철 유량이 자연 상태보다 10배 이상 늘었으며, 그 결과 만곡하천이 폭이 대단히 큰 다지하천으로 변하면서 북미산 포플러가 50~90% 사라지고(2~7년생 유식물이나 8~30년생 성목), 지금은 고목만 남게 되었다. 항공사진의 경년 비교, 수문 자료 재생, 현지 조사 등을 통해 물고기 서식을 위한 목표 유량을 설정하였으나, 그 유량 자체는 수변 포플러 이입이나 하천 안정을 도모하지 못했다.

독일 뮌헨시의 도시하천인 Isar 강의 복원사업은 특히 유럽에서 잘 알려져 있다(Binder, 2005). 이 하천의 복원은 특히 자갈사주의 복원에 초점이 맞추어졌다. 여기서 특별히 관심을 가질 것은 그 때까지 수변 녹화가 이상적으로 생각했던 사고에서 벗

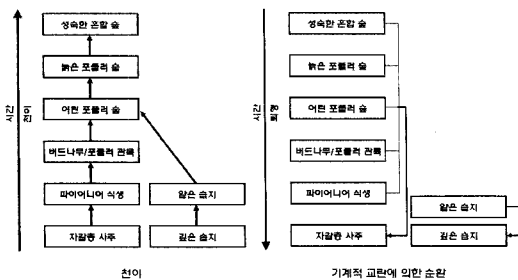


그림 2. 다른 식생종 군락에 대한 천이와 퇴행을 보여주는 흐름도 (Benjankar 등, 2007)

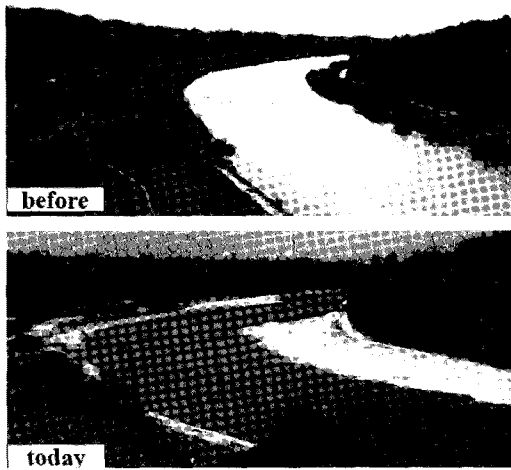


그림 3. 독일 뮌헨시의 Isar 강 복원 (정비된 저수로와 녹화된 홍수터를 원 자연상태의 자갈하상으로 돌려줌)

어나 하천이 가지고 있던 원래의 모습, 이 경우 자갈밭이 드넓은 하천으로 되돌리는 것은 인공적인 저수로와 녹화된 홍수터보다 다양한 생물 서식처를 제공하고 친수성을 높인다는 점이다.

Rood 등(2005)은 미국 네바다와 캐나다 앨버타에서 포플러와 버드나무의 대규모 이입을 위해 홍수 기간 중 하천 흐름을 원래에 가깝게 복원하려는 노력을 하였다. 이 하천들은 상류 댐으로 인해 봄철 홍수가 사라진 경우이다. 그들은 유식물의 생존을 위해 봄철 대홍수와 점차적인 감수를 모의하는 'RBM'을 이용하여 복원 흐름의 규모 등을 결정하였다. 이 연구는 하류하천의 복원을 위해 어떻게 환경유량관리가 작동하는 지를 보여주는 것이다.

일본에서 Maenor와 Watanabe(2008)는 오카야마 현 Asahi 강의 자갈사주가 지난 20년 동안 지속적으로 감소하고 동시에 그 위에 식생이 지속적으로 덮인 것을 하천복원 차원에서 자갈사주의 복원(재생)을 위해 기계적 굴착 방법으로 식생을 제거하고 자갈을 노출시켰다. 그 후 홍수가 주는 효과를 관찰하고 같은 조건을 수치모의 하였다. 수치 모의 결과 과거 규모의 홍수는 자갈이 움직일만한 충분한 전단응력을 발생시킴으로써 기계적으로 복원된

자갈밭을 보전할 것으로 모의되었으나, 실체는 복원지역의 하류부터 버드나무와 풀 등이 다시 나타나는 것으로 관찰되었다. 추가적인 모의 결과 홍수 감수기에 미립토사(모래)가 복원지역 하류 식생연결부의 와류 등으로 퇴적하여 그 위에 식생이 활착(상류에서 떠내려 온 가지나 종자의 발아)하는 것으로 나타났다. 이 결과는 자갈밭 복원 모의에서 침투 홍수에 의한 모의도 중요하지만 감수기 모의가 중요한 것임을 확인시켰다.

5. 식생 이입의 기본조건

문헌조사에서 나타난 하천 홍수터나 사주 상 식생 이입의 기본요건은 종자의 퍼짐(분산), 발아, 유식물의 성장 등으로 구분하여 정리할 수 있다.

봄철이나 이른 여름철 홍수터 식생의 종자는 주로 홍수에 의해 주변 홍수터, 사주로 퍼지며, 바람에 의해 퍼질 수도 있다. 이는 홍수터 식생의 다양성에 중요하다 (Nakamura, 1999; Tabacchi, 2005).

다음 봄철에 비교적 적은 규모의 홍수에 의해 홍수터가 적셔지고 신선한 토사가 공급되면 발아에 유리한 '바탕'이 형성된다(Nakamura, 1999; Fenner 등, 1985; Rood and Mahoney, 1990; Williams와 Wolman, 1984). 여기서 씨앗이 떨어진 땅이 기존 식생의 낙엽 등으로 덮이게 되면 발아는 어렵게 된다. 다만 뿌리가 옆으로 퍼져 자라는 경우(포플러, 버드나무 등에서도 가능) 위 문제는 상대적으로 중요하지 않을 것이다(Scott 등, 1996). 여름 철 큰 홍수로 발아된 유식물이 소류력에 씻겨 내려가면 생존 자체가 불가능하게 된다.

어렵게 살아남은 유식물의 생존은 여름철 적정한 토양습윤을 필요로 한다(Rood와 Mahoney, 1998; Mahoney와 Rood, 1998; Amlin과 Rood, 2002, 2003). 적정하지 못한 토양 습윤은 식생에 스트레스로 작용하여 종국적으로 고사(枯死)하게

된다. 마찬가지로 여름 철 큰 홍수로 유식물이 하상 소류력에 의해 씻겨 내려가면 생존 자체는 불가능하게 된다.

따라서 하천에서 식생 이입의 필요, 충분조건은 다음과 같이 정리될 수 있다.

(1) 하상소류력(기계적 교란)

이론적으로 무차원 하상소류력이 0.06 이상이면 하상재료가 움직이기 시작하여 하상토에 뿌리를 내린 유식물이 같이 씻겨내려 갈 것이다. 그러나 유식물이 커질수록 뿌리가 하상토를 움켜잡는 'binding force'가 커져 웬만한 소류력에 저항하게 된다. 성목이 되어 식생 군락을 형성하면 사실상 흐름 만에 의한 물리적인 세굴은 불가능하게 된다. 따라서 임계 하상소류력은 식생 종별, 생애 단계별로 달라질 것이다.

(2) 토양습윤

토양습윤은 식생 생장의 필수 요소이다. 이러한 조건은 식생종별, 생애단계별로 다를 것이다. 이는 기본적으로 홍수터나 사주 아래 지하수위와 연동되어 있으며, 지형변화 자체도 토양습윤에 영향을 준다(골재채취 등으로 지표면이 낮아지면 지하수위와 가까워지고 그에 따라 토양습윤이 커짐). 또한 토양습윤은 하상재료의 구성과도 직접적으로 연관되어 있다. 강수 자체도 토양습윤을 결정하는 중요한 요인이다.

(3) 침수기간(시기도 중요한 기준이 될 수 있음)

매년 거의 잠겨서 식생이 활착할 수 없는 하상이 인위적 유황 변화로 홍수시만 잠깐 잠기게 되면 식생 이입에 유리한 조건이 형성된다. 이러한 조건은 식생의 성장단계에 따라 변할 수 있다.

(4) 극단적인 기후

식생은 겨울에 극단적인 추위로 동사(Johnson, 1994)할 수 있고, 가뭄이 지속되어 고사할 수 있다.

(5) 하천 영양염류 농도 변화

하천수에 오염물 농도가 증가하여 영양염류 등이 많아지면 수변 식생 성장을 가속화시킬 것이다. 다만 이는 식생 이입의 1차적인 조건은 아닌 것으로 문헌조사에서 확인된다.

6. 맺는 말

하천식생 이입에 관련하여 지금까지 문헌조사 결과 이 분야 연구는 멀리는 미국에서 1960~70년대 까지 거슬러 올라가지만, 본격적인 연구는 1980년대 중반부터로 보인다. 특히 하천/지질/지형 전문가가 아닌 식물학자들에 의한 하천 식생이입 연구는 1990년대 들어와서다. 일본에서 이 분야 연구 시작은 1990년대 중반부터로 보이며, 반면에 국내에서는 2000년 초중반부터이다. 따라서 이 분야 연구 시작은 미국, 일본, 한국으로 가면서 10년 정도의 시간차를 두고 있는 듯 하다.

인위적이든 자연적이든 하천에서 모래밭, 자갈밭이 식생으로 덮이는 것은 자연 보전 차원에서 서식처 변화에 따른 서식종의 변화 문제와 심미적 차원에서 경관, 하천 접근성에 문제를 야기한다. 나아가 공학적인 문제에서 하천의 홍수 위험을 가중시킬 수 있다. 따라서 이러한 현실적인 문제는 앞으로 하천기술자들이 반드시 풀어야 할 것이다. 하천관리자들도 관심을 가져야 할 것이다.

위와 같은 환경적, 공학적 문제에 대처하고 이 분야 연구의 촉진을 위해 지금까지 문헌조사 결과를 토대로 다음과 같이 정성적, 정량적 연구조사를 제안 한다.

우선 정성적 연구로서 인위적 교란이 있는 하천과 교란이 없는 자연상태 하천(예를 들면 댐 상하류, 또는 댐이 있는 하천과 댐이 없는 인접/지류 하천)을 대대적으로 비교 조사한다. 또한 한 하천 구간에서 교란 전 하천과 교란 후 하천을 비교하는 것도 필요하다. 이러한 시공간적 한 쌍의 비교 연구는

이 분야에서 보편적이다. 이를 위해 과거 항공사진, 지형도, 현장 나이트 조사 등이 필요할 것이다.

다음 정량적 연구로서 우선 잘 선정된 현지에서 다년간 조사가 필요하다. 현지 하천에서 조사구(quadrats; transects)를 만들어 수년간 식생 이입, 정착, 성장, 천이, 퇴행을 관찰하고 그 결과를 토대로 식생 종 조성, 분포, 밀도 등과 수문, 지형 변수와 상관 분석을 하여 관련된 인자를 도출한다. 나아가 종자 분산과 이송, 정착 등을 현지 조사하고, 필요시 실험실에서 재현하는 것이 필요하다. 특히 토양습윤과 식생생장과의 관계 조사는 현지 밖에 가능하지 않다.

세 번째는 하천식생모형의 개발이다. 즉 식생 종자 분산, 발아, 유식물 정착, 성장, 천이, 퇴행(순환) 등을 모의하는 모형 개발이 필수다. 1998년에 Mahoney와 Rood가 개발된 'RBM 모형'이 미국

등에서 이용되고 있으며, 최근 Idaho 대학에서 Jorde 박사 팀이 하상소류력을 고려하여 개발한 수변식생모형(Riparian Vegetation Model)도 문헌에 소개되고 있다. 국내의 하천 조건을 보면 많은 하천에서 RBM에서 강조한 토양습윤 저하율보다는 하상소류력 증가가 더 지배적인 변수가 될 것이다.

필자가 주도하는 이코리버21 연구단에서는 지난 2007년부터 Jorde, Egger 박사 팀과 같이 우리 하천 여건에 맞는 하천식생모형 개발을 위해 공동 노력하고 있다. 2011년을 목표로 모형 개발을 위해 우리의 하천여건(초본 및 버드나무류(salix) 우세, 여름 철 유식물 성장기에 비가 많이 와서 토양습윤이 비교적 양호한 반면에, 홍수시 하상소류력이 과다한 것 등)에 맞도록 기존 모형을 보완, 확충하고 있다. 이 분야 연구에 관심 있는 독자들의 동참을 기대한다. ☺

참고문헌

1. Benjankar(2006), Quantification of reservoir operation-based losses to floodplain physical processes and impact on floodplain vegetation at Kootenai River, USA, Research proposal towards fulfillment requirements for Doctoral degree, Univ. of Idaho, Boise, Idaho.
2. Benjankar, R., Egger, G., Yi Xie, and Jorde, K. (2007), "Reservoir operations and ecosystem losses: concept and application of a dynamic floodplain vegetation model at the Kootenai River, USA", Proceedings of the 6th International Symposium on Ecohydraulics, Christchurch, New Zealand.
3. Binder, W. (2005), "The Rehabilitation of the Isar in Munich: A channelized river back to nature", in J. T. Toubier and J. Schanze (eds.), Urban river rehabilitation: proceedings of the international conference on urban river rehabilitation, Leibnitz Institute of Ecological and Regional Development, Dresden, Germany, 290-295.
4. Chambert, S. and James, C. (2007). "Sorting of Buoyant Seeds by Hydrochory", Proceedings of the 6th International Symposium of Ecohydraulics, Christchurch, New Zealand.
5. Dixson, M. D. and Turner, M. G. (2006). "Regulated Flow Regimes on the Wisconsin River, USA", River Research and Application, 22(10): 1057-1083.
6. Egger, G., Benjankar, R., Davis, L. and Jorde, K. (2007). "Simulated effects of dam operation and water diversion on riparian vegetation of the Lower Boise River, Idaho,

- USA", Proceedings of the IAHR Biennial Congress, Venice, Italy.
7. Gecy, L. and Gecy, R. (2004). "Use of riparian-geomorphic relationship to evaluate flows necessary for riparian restoration: A case study of the Diamond Fork River, Utah", Proceedings of Wetland engineering and river restoration conference.
 8. Goodson, J. M., Gurnell, A. M., Angold, P.G., and Morrissey, I. P.(2003). "Evidence for hydrochory and the deposition of viable seeds within winter flow-deposited sediments: The River Dove, Derbyshire, UK", *River Research and Applications*, 19:317-334
 9. Jang, C.-L. and Shimizu, Y. (2007). "Vegetation effects on the morphological behavior of alluvial channels", *J. of Hydraulic Research*, 45(6): 763-772.
 10. Johnson, W. C. (1994). "Woodland expansions in the Platte River, Nebraska: patterns and causes", *Ecological Monographs*, 64: 45-84
 11. Maenor, S. and Watanabe, S. (2008). "Field experiment to restore a gravel bar and control growth of trees in the Asahi River", *J. of River Basin Management*, 6(3), 225-232.
 12. Mahoney, J. M. and Rood, S. B. (1998). "Stream flow requirements for cottonwood seedling recruitment in integrative model", *Wetlands*, 18(4): 634
 13. Richter, B. D, Baumgartner, J. V., Braun, D. P., and Powell, J. (1998)., "A spatial assessment of hydrologic alteration within a river network", *Regulated Rivers: Research and Management*. 14: 329-340.
 14. Rood, S. B., Samuelson, G. M., Braatne, J. H., Gourley, C. R., Hughes, F. MR, and Mahoney, J. M. (2005). "Managing river flows to restore floodplain forests", *Frontiers in Ecology and the Environment*, May.
 15. Rood, S. B. and Mahoney, J. M. (1990). "Collapse of riparian poplar forests downstream from dams in Western Prairies: Probable causes and prospects for mitigation", *Environmental Management*, 14(4): 451-464.
 16. Tabacchi, E., Planty-Tabacchi, A.-M., Roques, L, and Nadal, E. (2005). "Seed inputs in riparian zones: Implications for plant invasion", *River Research and Applications*, 21: 299-313
 17. Tsujimoto, T. (1999). "Fluvial processes in streams with vegetation", *J. Hydraulic Research, IAHR*, 37.
 18. Yuuki, T. and Okabe, T. (1997). "Influence of vegetation on hydrogeomorphic process of alternating bars", Proceedings of the IAHR Biennial Congress, San Francisco.
 19. 우효섭, 박문형, 정상준 (2009). "하천식생 활착 유형과 사례의 기초 조사연구", 한국수자원학회 학술 발표회 초록집, 용평. p. 108.