

수문생태 모델의 개발을 위한 요소 검토

The parameter investigation for the development of model to predict
responses of vegetation to hydrological conditions

홍일*, 이진원**

Il Hong, Jin Won Lee

요 지

최근 국내에서는 하천변 생태계를 대상으로 생태구조 및 서식처 평가 등 많은 연구가 진행되었음에도 불구하고 생태적 변화를 예측하고 예측된 결과에 따라 생태복원 대책을 수립할 수 있는 연구는 현재까지 미흡하다고 볼 수 있으며, 이는 생태복원 연구에 있어 주요과제라고 할 수 있다.

이에 반해 유럽과 미국에서는 수문학적 서식처 조건에 따른 식생 반응 예측 등 수문생태 모형에 대한 연구가 꾸준히 이루어져 왔으며, 최근에는 습지, 홍수터 등을 대상으로 생태보전·복원 분야에 널리 응용되고 있다.

본 연구에서는 국외의 수문생태모형 적용사례를 분석하여 국내 적용가능성 및 문제점에 대한 타당성을 제시하고자 하였다. 그 대상으로는 유역 내에 홍수량 분담을 위한 천변저류지를 적용하였으며, 의미상으로 홍수터(범람원), 습지 역시 해당 범위에 포함할 수 있다. 천변저류지는 홍수기와 비홍수기에 따라 활용 측면을 구분할 수 있으며, 이런 맥락에서 천변저류지의 수위변화는 식생 변화의 중요한 요소(factor)가 될 수 있다. 그 외 범람시기, 범람일수, 건조기간 등을 포함한 수문 요소 역시 수문생태 모델의 예측 변수인 식생 성장에 영향을 미치게 된다. 이러한 수문/생태시스템의 상호관계를 활용하고 모형의 형태를 국내 식생에 대한 생리학적 특성에 맞게 변화시킬 수 있다면 국내 천변저류지에도 충분히 적용 가능할 것으로 판단된다. 또한 잠재적으로 식생 성장에 영향을 줄 수 있는 다양한 환경조건 예를 들면 영양물질, 토양구조, 토사 퇴적 등을 적용대상지 환경에 맞게 포함하거나 고려할 수 있다면 모형의 재현성을 더욱 높일 수 있을 것이다.

핵심용어 : 수문생태 모델, 홍수터, 천변저류지, 생태 복원

1. 서 론

다양한 외부영향에 의해 훼손된 생태계는 자기복원력을 통하여 평형을 이루게 된다. 특히 이러한 과정 중에 하나로써 생물상이 회복되어 가는 생태적 천이과정(ecological succession)이 진행되는데 과정과 시간을 단축하기 위하여 인위적인 복원과정을 도입하게 된다.

생태계 복원에는 훼손된 시스템을 치유할 목적에 따라 시공간적으로 매우 광범위한 과정이 요구되어지나 우선적으로 생태적 천이과정에 대한 모니터링을 통하여 생태계 구조 및 기능 평가가 고려되어야 한다. 이러한 생태계 천이과정에 대한 정보는 생태계 복원을 위한 방향을 설정하거나 생물자원의 효율적 이용 또는 관리를 위해 중요한 부분을 담당 할 수 있다. 또한 이 부분은 생태

* 정회원·한국건설기술연구원 수자원연구부 E-mail : hongil93@kict.re.kr

** 정회원·한국건설기술연구원 수자원연구부 E-mail : jwlee@kict.re.kr

계의 연속성이나 역동성을 고려할 때 천변에 조성되는 저류지, 홍수터 및 습지 복원사업에 있어서도 간과할 수 없는 문제이다. 하지만 국내 하천변 생태계를 대상으로 많은 연구가 진행되었음에도 불구하고 생태적 변화를 예측하고 예측된 결과에 따라 생태복원 대책을 수립할 수 있는 연구는 현재까지 미흡하다고 볼 수 있으며, 이는 생태복원 연구에 있어 주요과제라고 할 수 있다.

이러한 문제를 보완하기 위해 생태천변저류지 조성기술개발¹⁾ 연구와 관련해서는 수문생태 모형의 개념을 도입하게 되었으며, 이는 최근 건설교통부(2005)의 천변저류지 기본계획 수립에 관한 연구에서도 언급된 바가 있다. 하지만 수문생태 모형에 대한 국내 적용사례가 거의 없는 실정이며, 이에 대한 자료 역시 충분치 않은 상황에 있다. 따라서 본 연구에서는 국외의 수문생태모형 적용사례를 분석하여 국내 적용가능성 및 문제점에 대한 타당성을 제시하고자 하였다.

2. 국내외 현황 및 전망

국내에서는 유역종합치수계획에서 검토된 바와 같이 홍수방어 목적을 위한 방안으로 천변저류지에 대한 연구가 진행되고 있다. 주된 관심사로는 수리·수문 분석방법을 이용하여 홍수조절기능에 초점을 맞추고 있으나 활용측면에 있어 비홍수기에는 습지로 이용하는 방안을 모색하고 있다. 천변저류지를 습지로 활용하여 다양한 종의 식생과 생물들이 서식할 수 있도록 습지생태계 서식처를 제공하는 복원방안이 필요하다. 이를 위해서 가정된 물리적 조건하에서 반응되는 생태계의 변화를 모의함으로써 나타난 예측 결과를 복원계획에 반영하는 방법도 고려할 수 있다.

이와 관련하여 한강의 밤섬 습지에 대한 연구(서울시, 2004)에서는 수위변화와 정체시간에 따른 서식종의 특성변화를 관측하였으며, 습지식물의 적정 서식환경에 대한 연구(권기진 외, 2006)에서는 습지식물의 수환경, 토양환경 등 최적 서식 조건에 대한 연구가 진행된 바가 있다. 반면에 생태계의 기반이 되는 식생의 수문학적 조건에 대한 반응 예측 결과를 이용한 연구는 천변저류지 기본계획 수립에 관한 연구(건교부, 2005)에서 생태모형 구축에 대한 외국 적용사례가 일부 제시되기는 하였으나 수문생태모형과 직접적으로 연계되어지는 연구사례는 거의 없는 것으로 조사되었다.

이에 반해 유럽과 미국에서는 하천과의 연속성과 생태학적 가치가 상대적으로 높은 습지 또는 홍수터 등을 대상으로 수문학적 요소와 생태학적 요소와의 관계 정립을 통한 모형에 대한 연구가 지속적으로 이루어져 왔으며, 최근에는 개발된 모형의 다양한 적용 사례를 통하여 생태보전·복원 분야에 응용되고 있다. 특히 홍수빈도와 수위 변화에 의한 습지식생 모의(Phipps, 1979), 습지에서 수문학적 요소와 식생의 공간 모의(Poiani, 1993), 수문학적 서식처 조건에 따른 식생 반응 예측(Harry Olde Venterink, 1997), 홍수터의 수문학적 요소 변화에 따른 식생 반응 예측(Ahn, 2004) 등의 연구에서는 시간 변화에 따른 수문/생태 시스템의 반응을 관찰하는데 중점을 두고 있다. 이 중 본고에서는 최근 Ahn 등에 의해 미국 일리노이즈 강 유역 홍수터 복원사례에서 개발, 적용된 홍수터 수문조건에 따른 기장(millet)의 성장 반응 예측모델 자료를 이용하였다.

1) 건설교통부 및 한국건설교통기술평가원 건설핵심기술연구개발사업의 일부 연구과제

3. 수문생태 모형 요소 분석

3.1 적용 대상지 특성

미국 야생동물보호청에서 작성한 습지 지도에 의하면 습지는 습지식생, 습유토양, 수문 등을 기본 요소로 하며, 그림 1에서 보듯이 수문요소는 물리화학적 환경과 생물상에 영향을 준다. 이는 수문 조건과 물리화학적 환경에 적응한 생물만이 습지에 살 수 있도록 생물종을 제한하게 된다. 습지에 서식하는 생물은 다시 물리화학적 환경과 수문학적 특성에 영향을 주게 되어 이들은 상호영향을 주고받게 된다.

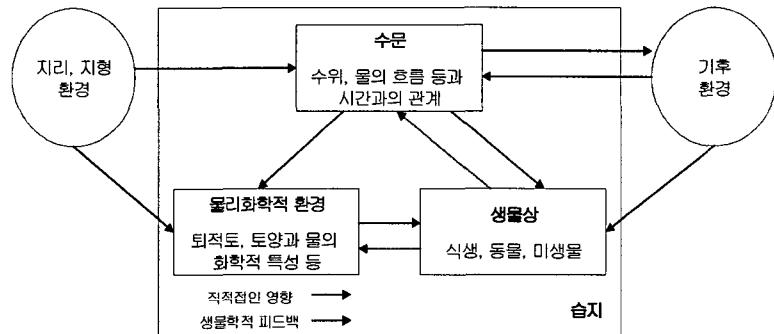


그림 1. 습지요소간 관계 개념도(김귀곤, 2003)

이러한 대상지 특성은 일리노이즈 강 유역 홍수터 복원사례에서도 잘 보여준다. 이 사례에서는 철새의 먹이원인 기장이 성장할 수 있는 환경 조성을 주목적으로 생태복원을 추진하였다. 그리고 모형의 예측결과는 하천변의 계방, 댐 등 개발로 인한 수문학적 변화 요인이 조절 및 관리가 필요하다는 점을 보여주었다. 국내 적용 가능한 천변저류지 경우에도 비홍수기에 습지환경이 조성될 수 있으며, 이는 방재조절지 역할 외에 대상지역의 생태적 특성을 고려한 수문 관리운영이 필요함을 의미한다.

3.2 모형의 개념

수문생태 모델이란 에코시스템 내부의 시간 변화에 따른 수문학적 조건에 의해 발생되는 생태학적 현상을 모의하는 것으로써 이를 통하여 생태 보전 및 복원을 위한 하나의 기준을 제시 할 수 있다. 모형은 수문학적 요소와 생태학적 요소에서 상호 작용하는 부분을 연결하여 개념적 모형을 구상하고 이에 따라 수학적 모형을 구성하게 된다. 수학적 모형은 수문·생태 현상을 개념화시켜 표현한 다양한 방정식과 함수로 이루어지며, 이에 대한 결과를 도출하기 위해 컴퓨터 모델을 구축하게 된다.

모형은 각각 수문 모델(Hydrology)과 식생성장 모델(Plant growth)로 구성되며, 두개의 모델은 STELLA 프로그램으로 통합하여 사용된다. 또한 모델은 식생예측 상황이 시간의 변화에 따라 반응하는 동적(dynamic)인 경우이며 모의 시간 간격은 1일, 1년을 모의기간으로 설정한다. 모델의 주 예측변수는 식생성장과 생산량(biomass)으로써 매개변수인 홍수터의 수위 변화와 반응한 결과를 보여준다.

3.3 수문모형 분석

수문학적 특성은 토양 및 영양물을 비롯한 많은 비생물적 환경요소에 영향을 미침으로써 습지의 구조와 기능유지에 매우 중요하며, 비생물적 환경요소는 습지에 서식하는 생물의 종류와 생태학적 특성을 결정하게 된다.

수문학적 특성은 수위, 유속, 범람빈도, 정체시간 등으로 표현되는데 그림 2²⁾에서와 같이 수문 모델에 사용된 주요 변수로는 하천의 수위와 범람원 표고의 차이로 산정된 수위와 범람일수를 비

롯한 식생성장 기간 동안의 건조기간(dry period) 등을 포함할 수 있으며, 특히 대상지역의 연중 수문현황(annual hydrograph)에 대한 예측이 가능해야 한다. 여기서 건조기간이라 함은 고여 있는 물이 없는 상태를 의미하며 토양은 물로 포화되어 있을 수 있다. 습지식물의 경우 발아하기 위해서는 토양의 습도와 온도 조건이 매우 중요하며 발아 후 건조기간 없이 침수되는 경우 사멸되는 경우도 있다(Ahn, 2004).

수위와 유속은 각각 물의 유입 규모와 습지의 경사에 의해 결정되며, 습지의 식생분포와 군락 구조 형성에 많은 영향을 미치게 된다. 범람시기와 빈도는 습지의 형태에 따라 다양하게 나타날 수 있으며, 일정한 수위가 유지되는 습지에서는 연중 침수되는 부분, 습한 부분, 건조한 부분 등으로 나뉘어져 각각의 특성에 적응한 식물이 주로 순군락을 형성하게 된다.

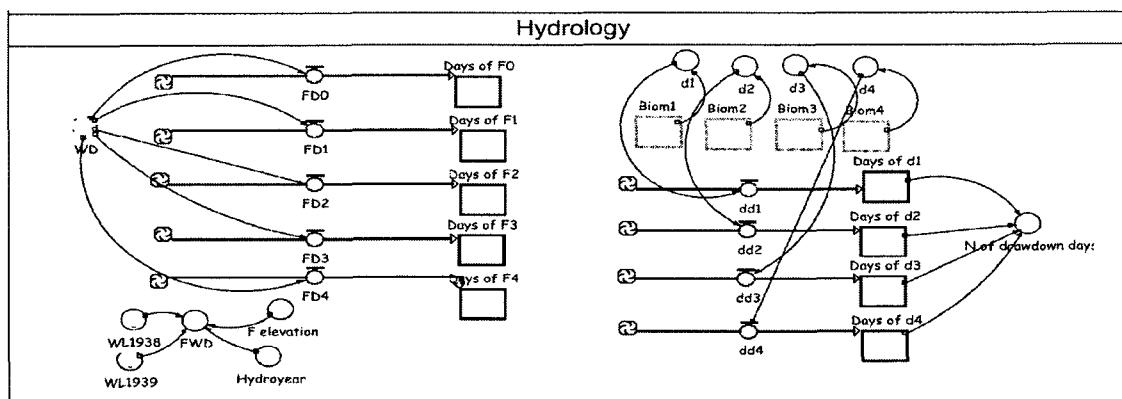


그림 2. STELLA 프로그램 상에서 수문모형의 흐름도(Ahn, 2004)

3.4 식생모형 분석

식생성장 모형에서는 그림 3³⁾에서와 같이 식생발아에서 최대성장까지 몇 개의 성장단계(growing season)로 세분화하여 식생의 성장높이와 생산량을 모의하게 된다. 모형은 성장과 성장일수의 합수로 나타낸 회귀식으로 표현되며, 이를 이용하여 각 성장단계별로 수문조건에 의한 반응 결과에 따라 식생의 성장, 저해, 중단여부를 판단하게 된다. 이 과정은 성장기간이 종료될 때까지 계속되며 이때 각 성장단계별 수문조건(홍수에 의한 침수 등)에 대한 내성은 다소 차이가 있을 수 있다(Ahn, 2004).

그리고 무엇보다 모형의 재현성을 높이기 위해서는 식생의 생리학적(physiology) 정보에 대한 세밀한 자료조사와 식생실험이 선행되어야 하며, 대상지역과 식생종의 특성에 따른 제한된 정보수준으로 인한 많은 가정(assumption)의 설정은 최소화할 필요가 있다.

모형에 적용된 식생은 일리노이 강 범람원에 주로 나타나는 일년생초본식생인 기장(millet) 종으로써 하천식생 분포역에 의하면 정수역(emergent plant zone)에서 하원역(riparian meadow zone) 범위에 속한다고 볼 수 있다. 이에 속하는 국내 식생에 대한 식생의 범람 내성 특성, 식생 성장과 수위와의 상호작용 및 물리화학적 특성과의 관계 등 생리학적 정보를 수집하여 모형의 형태를 국내 식생의 특성에 맞게 변화시킬 수 있을 것으로 판단된다.

2) 기호설명 "FD0-FD4 : 홍수일수, Days of F0-FD4 : 각 성장단계에서 누적 홍수일수, FDW : 홍수터 수위, WL : 평균수위, F elevation : 홍수터 표고, dd1-4 : 수위하락 일수, Biom1-4 : 성장단계별 생체량"

3) 기호설명 "Stemp : 토양온도, Se-Se4 : 성장단계별 조도효율, R : 생체량에 대한 식생에너지 비율, trans1-4 : 단계별 Pulse function, GS1-4 : 성장단계별 일수, H1-5 : 단계별 식생높이, Mort1-4 : 단계별 수문조건에 의한 고사량"

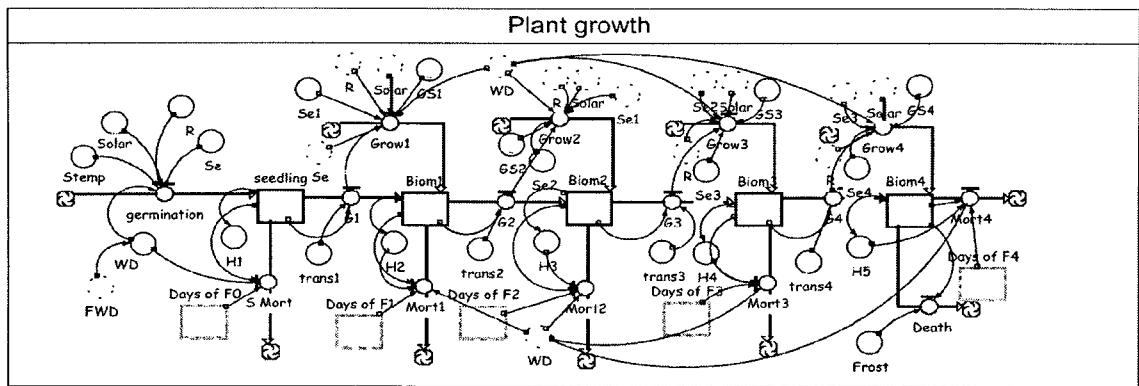


그림 3. STELLA 프로그램 상에서 식생모형의 흐름도(Ahn, 2004)

4. 결 론

수문생태 모형 적용 시 강우패턴과 범람시기, 범람정도, 범람일수 등 수문 요소는 국내 천연저류지의 측정 및 과거 자료 분석을 통하여 충족할 수 있을 것이다. 반면 식생 요소의 경우 식생의 범람 내성 특성, 식생성장과 수위와의 상호작용 및 물리화학적 특성과의 관계 등 생리학적 정보를 수집하여 모형의 형태를 국내 식생의 특성에 맞게 변화시킬 수 있다면 충분히 적용 가능할 것으로 판단된다.

또한 모형에 고려되지 않은 부분(모형의 가정 부분)인 잠재적으로 식생 성장에 영향을 줄 수 있는 다양한 환경조건 예를 들면 영양물질, 토양구조, 토사 퇴적 등을 적용대상지 환경에 맞게 포함하거나 고려해야 할 것이다. 나아가 수문생태모형에 의해 모의된 결과는 GIS 기술과의 결합으로 수문조건별 식생분포 현황을 도식화함으로써 생태분야의 정보화에도 기여할 수 있을 것이다.

감 사 의 글

본 연구는 건설교통부 및 한국건설교통기술평가원 건설핵심기술연구개발사업의 연구비지원(06 건설핵심B01)에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- 서울특별시(2004), 밤섬생태계보전지역의 생태변화관찰 및 관리계획
- 건설교통부(2005), 천연저류지 기본계획 수립에 관한 연구, pp. 170-180
- 권기진 외(2006), 습지식물의 적정서식환경, 한국환경복원녹화 기술학회지, 제9권, 제1호, pp. 72-88
- 김귀곤(2003), 습지와 환경, 아카데미서적
- Phipps, R. L.(1979), Simulation of wetlands forest vegetation dynamics, Ecological Modelling, Vol.7, No.4, pp. 257-288
- Poiani, K. A., Johnson, W. C.(1993), A spatial simulation model of hydrology and vegetation dynamics in semi-permanent prairie wetlands, Ecological Applications, Vol.3, No.2, pp. 279-293
- Harry Olde Venterink, Martin J. Wassen(1997), A comparison of six models predicting vegetation response to hydrological habitat change, Ecological Modelling, Vol.101 pp. 347-361
- Ahn, C., Sparks, R.E. and White, D.C.(2004), A dynamic model to predict responses of millets to different hydrologic conditions for the illinois floodplain-river, River Res. Applic., Vol.20, 485-498