

수문모델의 정확성 평가를 위한 Web GIS 기반의 수문 분석 툴, WHAT의 소개

Introduction of the Web GIS-based Hydrograph Analysis Tool for Evaluation of Hydrologic Model Accuracy

임 경 재*
Lim, Kyung Jae

1. 머리말

그동안 수많은 수문/수환경 모델들이 개발되어 수계관리에 이용되어 왔다. 이러한 컴퓨터 모델들을 이용하여 수문 및 수질관련 정책을 수립하여 이행하기 위해서는 컴퓨터 모델의 수문 모의 모듈 정확성이 먼저 평가되어야 한다. 이는 수문 모의 모듈이 토양유실/유사, 농약, 영양염류 등의 거동에 영향을 미치기 때문이다. 대부분의 수문모형은 직접유출과 기저유출을 따로 모의하여 유역내 유출현상을 모의하는 경우가 많기 때문에, 실측 유량에서 직접유출과 기저유출을 따로 분리하여 모형의 평가에 이용하여야 한다.

하천유량에서 기저유출을 분리해 내는 과정을 “수문분석”이라 한다. 수문곡선의 형상은 유역의 형상 및 기상 특성에 따라 변화하기 때문에 수문분석 방법은 생각만큼 쉽지 않다. 수문 분석의 첫 단계는 수문곡선에서 직접유출이 발생하는 시점과 종점을 결정하는 것이다. 직접유출의 시점과 종점을 결정하기 위해서 지하수 감수곡선법, 수평직선 분리법, N-day 법, 수정 N-day 법, 가변 경사법 등과 같은 방법들이 제안되어 이용되어 왔다. 그러나 이러한 방법들은 장기 수문자료의 분석에 이용하기에는 그리 효

율적이지 못하고, 같은 자료를 이용하더라도 분석하는 사람에 따라서 그 결과에 많은 차이가 있을 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 “디지털 필터링 (Digital filtering)” 방법이 수문 분석에 많이 이용되어 오고 있다 (Lyne and Hollick, 1979; Arnold and Allen, 1999; Eckhardt, 2005; Lim et al., 2005). 디지털 필터링 방법이 수문 분석시 매우 유용한 것으로 판명되었지만, 수문분석을 위하여 사용자가 입력 자료를 구축하여 스프레드시트에서 운영해야 하는 단점이 있었다.

이러한 불편함을 개선하기 위하여 Lim et al. (2005)은 Web GIS 기반의 수문분석 툴인 WHAT (Web GIS-based Hydrograph Analysis Tool, <http://pasture.ecn.purdue.edu/~what>)을 개발하였다. WHAT 시스템에 사용된 디지털 필터중 유역내 대수층의 특성을 고려할 수 있는 Eckhardt 필터 (Eckhardt, 2005)는 BFI_{max} 변수값을 이용하여 수문 분석시 대수층별 특성을 반영한다. BFI_{max} 변수값에 따라서 분리된 직접유출과 기저유출값에는 상당한 차이가 발생한다. 따라서 정확한 수문분석을 위해서는 연구대상 유역내 대수층의 특성이 가장 부합되는 BFI_{max} 변수값을 구하여야 하는데, 일반 사용자가 이 변수값을 구하기는 그

* 강원대학교 농업생명과학대학 교수 (kylim@kangwon.ac.kr)

리 쉽지 않다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 감수곡선 분석방법과 최적화 기법을 이용하여 BFI_{max} 변수값을 결정해 주는 모듈이 최근 개발되어 WHAT 시스템과 연계되었다. 따라서 이 WHAT 시스템은 수문모형의 정확성 평가에 효율적으로 이용될 수 있을 것이다.

따라서 본 소강좌에서는 Web GIS 기반의 WHAT 시스템에 대해서 간략히 소개하고, Eckhardt (2005) 에 의해서 제시된 기본 BFI_{max} 변수값과 최적 BFI_{max} 변수값 사용에 따른 L-THIA 모형의 수문 및 비점오염 예측 특성에 대해서 간략히 소개하고자 한다.

2. Web GIS 기반의 WHAT 시스템

WHAT 시스템에는 세 개의 기저유출 분리 모듈을 이용하여 기저유출을 분리할 수 있다. 첫 번째는 "Local Minimum Method" 모듈로서 수문곡선이 감소하였다가 다시 증가되는 지역적인 최소값을 연결하여 수문곡선을 분석하는 방법으로서 이는 USGS에서 개발한 HYSEP의 방법과 비슷하다. 두 번째는 디지털 필터인 BFLOW 필터를 이용하는 방

법, 세 번째는 BFLOW 필터를 수정하여 대수층의 특성을 고려할 수 있는 Eckhardt 필터를 이용하는 방법이다. 그림 1은 WHAT Local Minimum Method 방법을 이용하여 기저유출을 분리한 것이다. 그러나 그림에서처럼 경우에 따라서는 기저유출을 실제보다 많이 산정하는 단점이 있다.

그림 2는 Eckhardt 디지털 필터를 이용하여 기저유출을 분리한 그림이다. 그림 1의 WHAT Local Minimum Method 를 이용하여 분리된 결과와는 달리 기존의 수문분석 방법의 결과와 흡사한 결과를 보여주고 있다. 이 Eckhardt 디지털 필터의 경우 BFI_{max} 변수값에 따라 분리된 직접유출과 기저유출에 있어서 많은 차이를 보이기 때문에 유역의 대수층 특성을 잘 반영할 수 있는 BFI_{max} 변수 결정에 많은 주의가 필요하다.

그림 3은 Web GIS 기반의 WHAT 시스템의 주요 기능을 보여주고 있다. 그림에서 보이는 바와 같이 사용자가 Web GIS 인터페이스를 이용하여 직접 해당 유량관측소를 선택하면, WHAT 시스템은 미국 국립지리국의 일유량 자료 데이터베이스를 실시간 질의하여 유량 자료를 다운로드하여 수문분석을 실시한다. 수

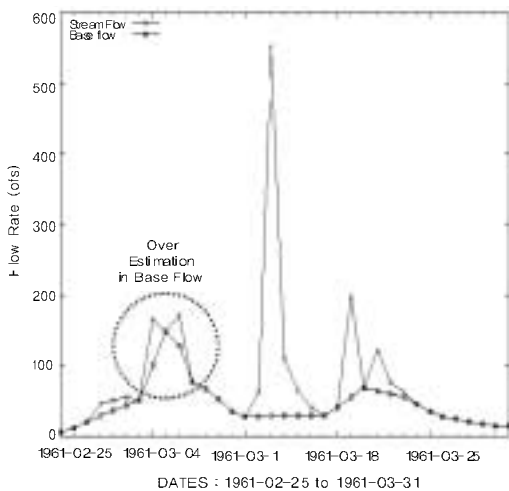


그림 1. WHAT local minimum method를 이용한 기저유출 분리

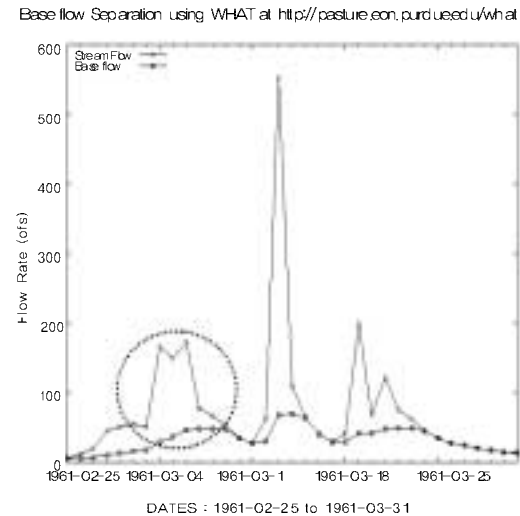


그림 2. WHAT eckhardt 필터를 이용한 기저유출 분리

문 분석 결과는 사용자가 쉽게 이해할 수 있는 형태로 제공된다.

그림 4는 WHAT 시스템이 어떻게 해당 유량관측소의 일유량자료를 미국 국립지리국 서버에서 다운로드 받아서 수문분석을 하는지 보여주고 있다. 그림에서 보이는 바와 같이 WHAT 시스템은 해당 관측소에 해당하는 정보를 미국 국립지리국 서버로 URL 질의하여 데이터를 다운로드 받은 후, 결측치 조사를 수행한다. 이 WHAT 시스템은 연속된 자료에 대해서만 수문분석을 수행한 후, 분석된 결과를 HTML 테이블이나, 엑셀과 같은 스프레드시트에서 바로 이용될 수 있는 포맷으로 제공된다. 본 WHAT 시스템은 그림 4에서 보이는 바와 같이 인터넷에 널리 분포되어 있는 자료를 실시간으로 조회하여 수문분석을 할 수 있

는 시스템으로 인터넷 기반시스템의 장점을 최대한 활용한 예라 할 수 있다.

3. L-THIA 시스템과 WHAT 시스템을 이용한 직접유출 비교

그동안 수많은 수문모형들이 개발되어 이용되어 왔으나, 정책집행자나 실무자가 의사결정 과정에 직접 이러한 모형들을 이용하여 의사결정에 이용하지는 못해왔다. 가장 큰 이유는 입력자료 구축의 어려움, 모델 운영상의 어려움, 그리고 모델결과의 복잡성 등이다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 개발된 모형이 L-THIA (Long-Term Hydrologic Impact Assessment) ArcView GIS 시스템 (Lim et al., 2001)이다. 이 L-THIA 모형은 토지이용,

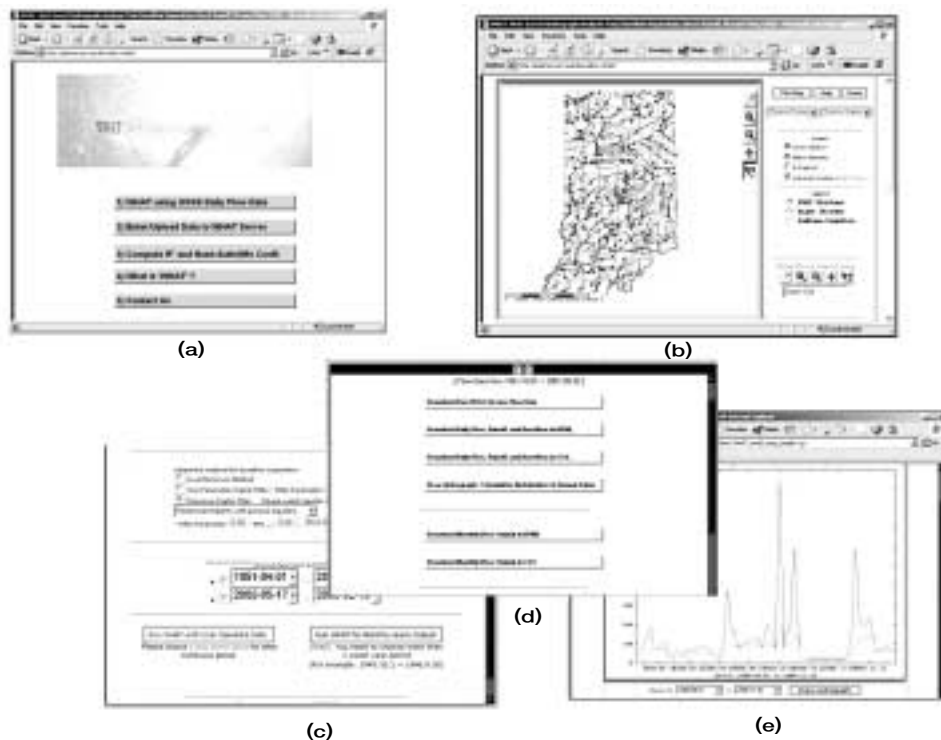


그림 3. WHAT Web GIS 시스템 (a) 인터페이스, (b) Web GIS 인터페이스, (c) 실시간 USGS 일유량자료 및 결측자료 분석, (d) 수문분석결과, (e) 수문곡선

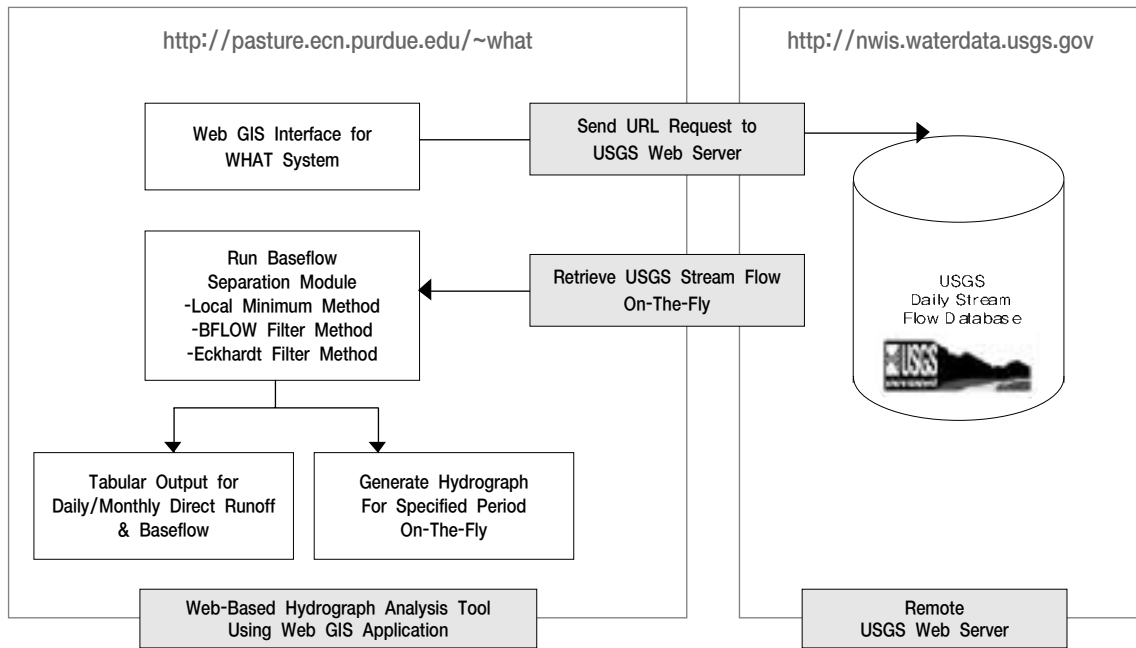


그림 4. 미국 국립지리국 일유량자료의 실시간 질의를 통한 수문분석 수행

수문학적 토양그룹, 그리고 일 강우자료만을 이용하여 일 직접유출량을 모의 한다<그림 5>.

본 소강좌에서는 이 L-THIA 모형 예측 직접유출량과 WHAT 시스템을 이용하여 분리된 직접유출량과의 비교를 통해서 BFI_{max} 변수값의 중요성에 대해서 설명하고자 한다. 이를 위해서 미국 인디애나주에 있는 Little Eagle Creek (LEC) 수계 그림 6에 L-THIA 모형을 적용하여 직접유출을 모의하였고, LEC 수계 출구에서 측정된 유량자료와 WHAT 시스템을 이용하여 직접유출을 분리하여 비교 분석하였다.

Eckhardt (2005)는 항시 흐르는 하천에 대해서는 수문분석시 0.80의 BFI_{max} 값을 이용할 것을 권장하고 있다. 따라서 0.80의 BFI_{max} 값을 이용하여 수문분석을 수행하고 L-THIA 모형을 보정한 결과 결정계수(R^2)가 0.66, 그리고 유효지수 (E)가 0.63으로 매우 높게 나왔다<그림 7>. 그러나 이 0.80이라는 BFI_{max} 값은 Eckhardt (2005)에 의해서 제

시된 값이기 때문에 LEC 유역에 적용할 때 최적의 값이라고는 할 수 없다.

따라서 수문곡선의 형상을 고려하여 직접유출을 분리하는 방법인 “감수곡선” 방법을 이용하여 수문분석을 수행하였고, 이 분리된 값과 가장 잘 일치하도록 BFI_{max} 값을 찾아내었다. 분석결과 BFI_{max} 값이 0.597일 때 감수곡선법을 이용한 결과와 가장 잘 일치하는 것으로 나타났다. 이 최적의 BFI_{max} 값을 이용하여 분리된 직접유출량값으로 L-THIA 모형을 보정한 결과 결정계수(R^2)가 0.66, 그리고 유효지수 (E)가 0.63으로 나타났다<그림 8>. 이 통계치는 기본 BFI_{max} 값을 이용했을 때와 같다. 그림 9는 기본 BFI_{max} 값과 최적 BFI_{max} 값을 이용하여 각각 L-THIA 모형을 보정하였을 경우, L-THIA 모형의 예측 직접유출량과 예측 비점오염원에 있어서 많은 차이가 날 수 있다는 것을 보여준다. 그림 9에서 보이는 바와 같이 직접유출량은 약 17.5%, 그리고 비점오염원은 20% 이상 차이가 나는 것으로 나타났다.

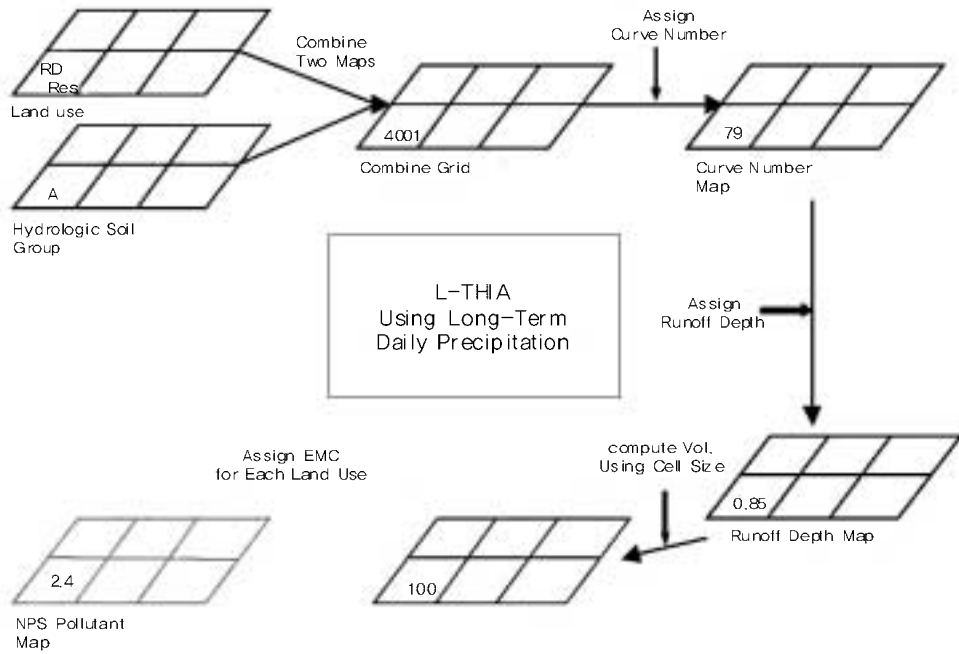


그림 5. L-THIA ArcView GIS 시스템의 개요 (Lim et al., 2001)

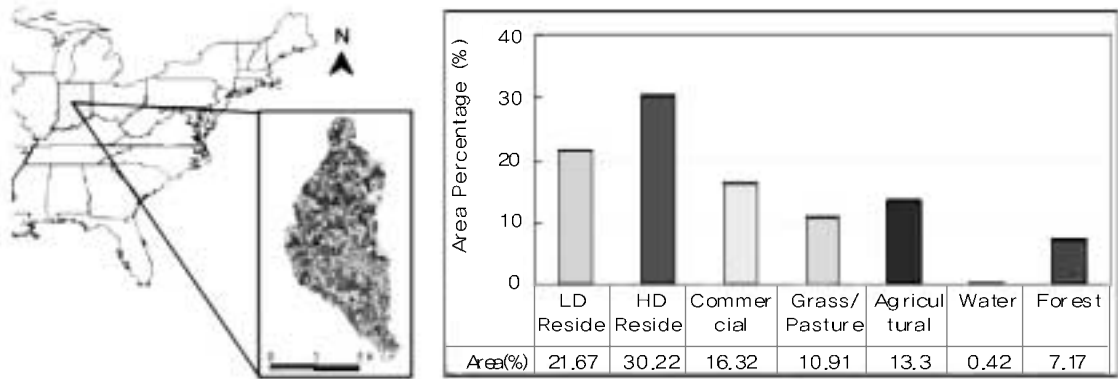


그림 6. Little eagle creek (LEC) 수계와 토지이용 현황

4. 맺는말

본 소강좌에서 소개된 바와 같이 수문모형의 정확성은 수문분석의 정확성을 전제로 한다. 본 강좌에서 소개된 WHAT 은 이러한 수문모

형의 수문분석 정확도 평가를 위한 도구로 사용된다. 많은 모델 사용자들이 WHAT 시스템을 이용하여 수문 분석시 기본적으로 주어지는 BFI_{max} 값 (= 0.80)을 이용하여 수문분석을 수행한다. 이 기본 BFI_{max} 값을 이용하여 분리

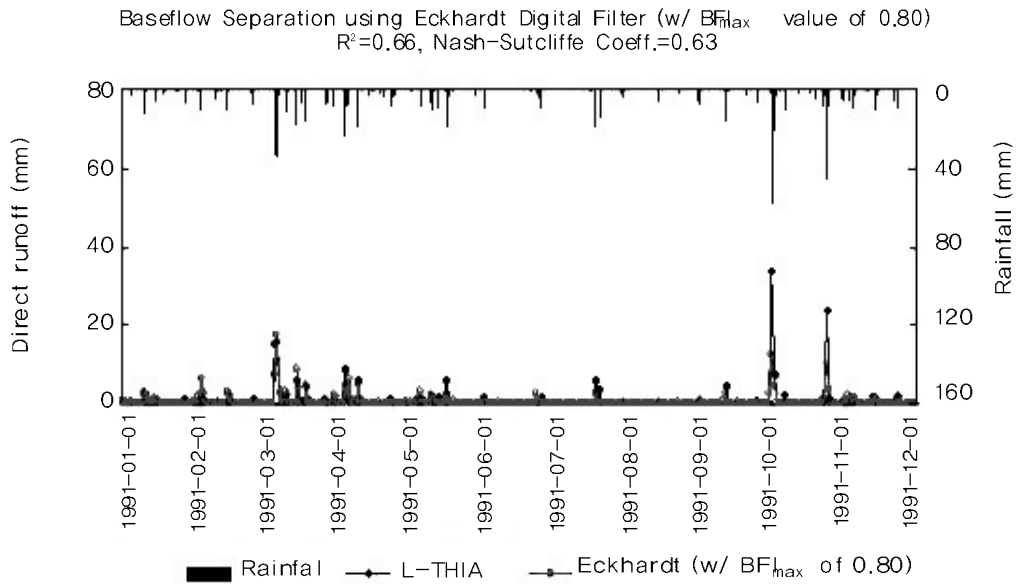


그림 7. Eckhardt 필터 기본 BFI_{max} 값을 이용하여 분리된 직접유출과 L-THIA 모의 직접유출과의 비교

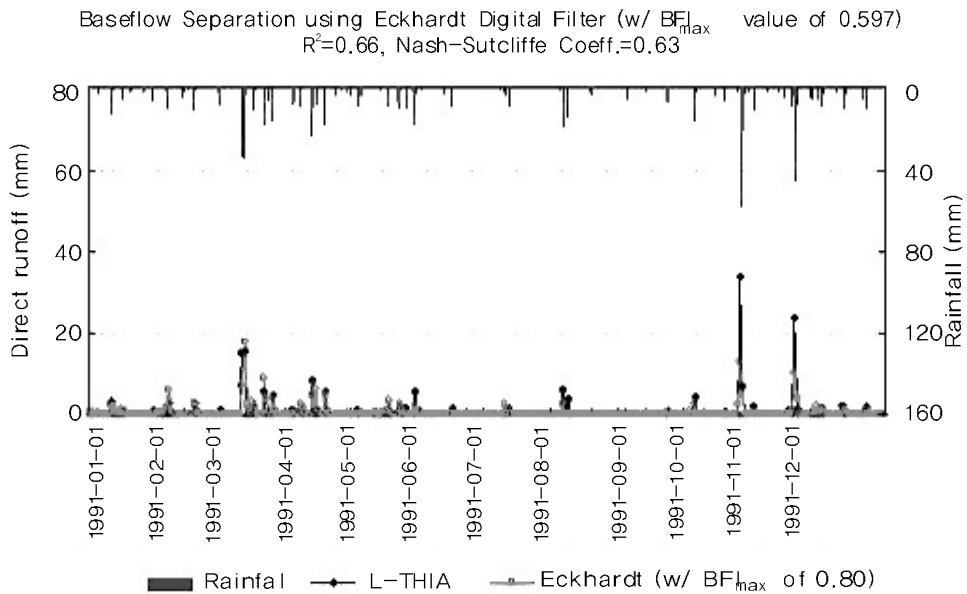


그림 8. Eckhardt 필터 최적 BFI_{max} 값을 이용하여 분리된 직접유출과 L-THIA 모의 직접유출과의 비교

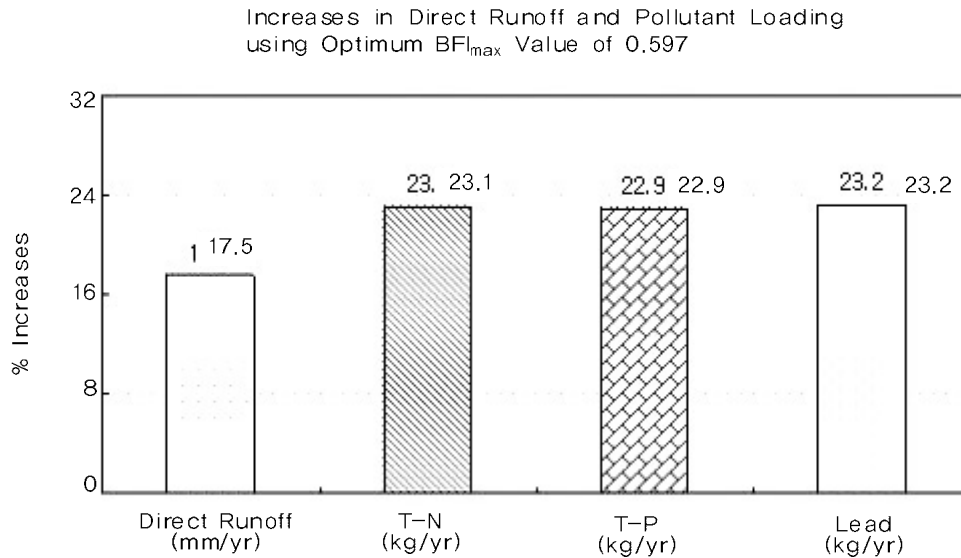


그림 9. 최적 BFI_{max} 값과 기본 BFI_{max} 값 (=0.80)을 이용하여 L-THIA 모델을 보정시 예측 직접유출량과 비점오염원의 차이

된 직접 유출량값을 이용하여 L-THIA 모델을 보정한 후 결정계수(R^2)가 0.66, 그리고 유효지수 (E)가 0.63 정도 나오면 L-THIA 모델이 잘 맞는다고 결론짓고 토지이용변화에 따른 수문 및 수환경 영향평가를 실시할 것이다. 그러나, 본 소강좌에서 소개된 바와 같이 감수 곡선 분석결과를 이용하여 산정된 최적 BFI_{max} 값 (= 0.597 for LEC 수계)을 이용하여 L-THIA 모델을 보정하였을 경우, 결정계수(R^2)가 0.66, 그리고 유효지수 (E)가 0.63로 기본 BFI_{max} 값 이용하였을 때와 똑같은 정확도를 나타낸다. 그러나 L-THIA 예측 직접유출량과 비점오염원은 각각 17%, 20% 이상 차이가 나타나는 것으로 분석되었다. 이는 수문/수환경 모형의 정확성 평가시 정확한 수문분석이 선행되어야 정확한 모형의 평가가 이루어질 수 있다는 것을 보여준다. 본 소강좌에서 제시된 예에서 보이는 바와 같이 L-THIA 모형뿐만 아니라, SWAT 이나 HSPF 와 같은 유역단위 수문모형의 정확성 평가시 본 소강좌에서 소개된 WHAT 시스템은 매우 유용하게 사용될 수 있을 것이라 판단된다.

참고문헌

1. Arnold, J. G., and P. M. Allen, 1999, Validation of Automated Methods for Estimating Baseflow and Groundwater Recharge From Stream Flow Records, Journal of American Water Resources Association 35(2): pp.411-424.
2. Eckhardt, K., 2005, How to Construct Recursive Digital Filters for Baseflow Separation, Hydrological Processes 19(2): pp.507-515.
3. Lim, K. J., Engel, B. A., Kim, Y., Harbor, J., 2001, Development of the Long-Term Hydrologic Impact Assessment (L-THIA) WWW Systems. In: D.E. Stott, R.H. Mohtar, and G. C. Steinhardt, (eds.), Sustaining the Global Farm - Selected papers from the 10th International Soil Conservation Organization Meeting, May 24-29, 1999, West Lafayette, Indiana, International Soil Conservation Organization in Cooperation with the USDA and Purdue University, West Lafayette, Indiana, pp.1018-1023.
4. Lim, K. J., Engel, B. A., Tang, Z., Choi, J., Kim, K., Muthukrishnan, S., Tripathy, D., 2005, Automated Web GIS-based Hydrograph Analysis Tool, WHAT. Journal of the American Water Resources Association 41(6): pp.1407-1416.
5. Lyne, Y. D., Hollick, M., 1979, Stochastic Time-VARIABLE Rainfall-Runoff modeling. In: Hydro. and Water Resour. Symp. Institution of Engineers Australia, Perth, Australia, pp.89-92.