

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/259527267>

Evaluation of L-THIA WWW Direct Runoff Estimation with AMC Adjustment

Article · June 2007

CITATION

1

READS

76

9 authors, including:



Jonggun Kim

Texas A&M University

39 PUBLICATIONS 200 CITATIONS

SEE PROFILE



Youn Shik Park

Purdue University

62 PUBLICATIONS 275 CITATIONS

SEE PROFILE

선행토양함수조건(AMC)을 고려한 L-THIA WWW 직접유출 모의 정확성 평가

김종건 · 박윤식 · 전지홍* · Bernard A. Engel* · 안재훈** · 박영곤*** · 김기성 · 최중대 · 임경재†

강원대학교 농업공학부

*미국 퍼듀대학교 농공학과

**농업진흥청 고령지 농업연구소

***한국철도기술연구원

Evaluation of L-THIA WWW Direct Runoff Estimation with AMC Adjustment

Jonggun Kim · Younshik Park · Ji-Hong Jeon* · Bernard A. Engel* ·

Jaehun Ahn** · Young Kon Park*** · Ki-sung Kim · Joongdae Choi · Kyoung Jae Lim†

Division of Agricultural Engineering, Kangwon University

**Department of Agricultural & Biological Engineering, Purdue University*

***National Institute of Highland Agriculture, Rural Development Administration*

(Received 23 March 2007, Accepted 11 June 2007)

Abstract

With population growth, industrialization, and urbanization within the watershed, the hydrologic response changed dramatically, resulting in increases in peak flow with lesser time to peak and total runoff with shortened time of concentration. Infiltration is directly affected by initial soil moisture condition, which is a key element to determine runoff. Influence of the initial soil moisture condition on hydrograph analysis should be evaluated to assess land use change impacts on runoff and non-point source pollution characteristics. The Long-Term Hydrologic Impact Assessment (L-THIA) model has been widely used for the estimation of the direct runoff worldwide. The L-THIA model was applied to the Little Eagle Creek (LEC) watershed and its estimated direct runoff values were compared with the BFLOW filtered direct runoff values by other researchers. The R^2 value was 0.68 and the Nash-Sutcliffe coefficient value was 0.64. Also, the L-THIA estimates were compared with those separated using optimized BFI_{max} value for the Eckhardt filter. The R^2 value and the Nash-Sutcliffe coefficient value were 0.66 and 0.63, respectively. Although these higher statistics could indicate that the L-THIA model is good in estimating the direct runoff reasonably well, the Antecedent Moisture Condition (AMC) was not adjusted in that study, which might be responsible for mismatches in peak flow between the L-THIA estimated and the measured peak values. In this study, the L-THIA model was run with AMC adjustment for direct runoff estimation. The R^2 value was 0.80 and the Nash-Sutcliffe coefficient value was 0.78 for the comparison of L-THIA simulated direct runoff with the filtered direct runoff. However there was 42.44% differences in the L-THIA estimated direct runoff and filtered direct runoff. This can be explained in that about 80% of the simulation period is classified as 'AMC I' condition, which caused lower CN values and lower direct runoff estimation. Thus, the coefficients of the equation to adjust CN II to CN I and CN III depending on AMC condition were modified to minimize adjustments impacts on runoff estimation. The R^2 and the Nash-Sutcliffe coefficient values increase, 0.80 and 0.80 respectively. The difference in the estimated and filtered direct runoff decreased from 42.44% to 7.99%. The results obtained in this study indicate the AMC needs to be considered for accurate direct runoff estimation using the L-THIA model. Also, more researches are needed for realistic adjustment of the AMC in the L-THIA model.

keywords : Antecedent Moisture Condition (AMC), Baseflow separation, Curve number, Long-Term hydrologic impact assessment (L-THIA), Web-based hydrograph analysis tool (WHAT)

1. 서론

인구 증가 및 산업화와 도시화 등으로 도시화 이전의 지표면이 갖고 있었던 보수 및 우수기능 등이 현격하게 줄어들면서, 하천으로 유입되는 홍수 유출량이 이전보다 증대되

고 유역 출구 점까지의 도달시간이 단축됨으로써 침투유량이 증가하고 있다. 또한 도시화 된 유역에서 변경된 수문학적 영역은 유역 생태계의 구조 및 함수에서 변화를 초래하게 되고 오염발생 특성에도 많은 영향을 미치고 있다. 지상에 도달한 강우의 일부는 토양의 표면을 통하여 침투하고, 그 초과분은 토양의 표면을 따라 유출된다. 따라서 지표유출량의 변화는 침투량에 크게 영향을 미친다. 강우에 의한

† To whom correspondence should be addressed.
kjlim@kangwon.ac.kr

지표유출은 토양의 건조 상태에 따라 크게 달라진다. 매우 건조한 상태에서 높은 무한에 가까운 침투율을 갖고 있으나, 이미 발생한 강수의 영향으로 토양의 함수량이 커지면 같은 강수량이라고 할지라도 건조 상태의 토양보다 많은 지표유출이 일어난다. 이와 같이 토양의 초기 함수상태에 따라 침투량은 직접적으로 영향을 받기 때문에 토양의 초기 함수율은 강수로부터 발생하는 유출량을 결정하는 주요한 요인이 된다. 직접유출에 영향을 미치는 유효우량을 산정할 때에 유출곡선지수(Runoff Curve Number, CN)를 이용할 경우 선행토양함수조건(Antecedent Moisture Condition, AMC)에 따라 유출곡선지수를 변화시켜 유출을 모의한다. 지난 수 십여 년간 유출곡선지수를 이용한 많은 수문 모델이 개발되어 왔다. 그 중에서 장기 강우사상에 따른 직접유출을 모의하는데 Long-Term Hydrologic Impact Assessment(L-THIA) ArcView GIS 모델이 많이 사용되고 있다. 이 L-THIA 모델은 토지이용도, 토양도, 일강우 자료만으로 직접유출의 모의가 가능하고 높은 정확성을 보이기 때문에 전 세계적으로 널리 이용되고 있다. 그러나 기존의 L-THIA 모델을 이용한 많은 연구(Grove et al., 2001; Kim et al., 2002; Leroy, 2004; Lim et al., 2005b)에서는 선행토양 함수조건을 고려한 L-THIA 예측 직접 유출이 실측 직접 유출보다 많이 작기 때문에 선행토양함수조건을 고려하지 않고 직접 유출을 모의했다. 임 등(2006)은 L-THIA 예측 직접유출량과 Web-based Hydrograph Analysis Tool (WHAT) 시스템의 분리 실측 직접 유출량을 비교한 결과 R² 값은 0.66, 유효지수(E)값은 0.63으로 비교적 높은 정확성을 나타냈으나 AMC 조건을 고려하지 않고 직접유출량을 모의하였다. 이로 인해 강우기간 중 침투유량에 다소 차이가 나타나 유역의 유출 유형이 다르게 모의되는 현상을 보였다.

따라서 본 연구의 목적은 AMC 고려에 따른 L-THIA WWW 모형(<http://pasture.ecn.purdue.edu/~sprawl/>)의 직접 유출 예측성을 평가하는데 있다. 이를 위해 본 연구에서는 대상 연구지역을 선정하고 AMC 고려한 L-THIA 예측 직접유출량을 기저 유출 프로그램인 WHAT Web GIS 시스템(<http://pasture.ecn.purdue.edu/~what>, <http://www.EnvSys.co.kr/~what>)을 이용한 실측직접유출량과 비교분석 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 연구지역 선정

본 연구에서는 미국 인디애나 주에 있는 Little Eagle Creek (LEC) 수계(Fig. 1(a))를 선정하여 AMC 고려시 L-THIA 모형의 직접유출 예측성을 분석하였다. LEC 수계의 면적은 70.5 km²이고 Fig. 1(b)에서 보는 바와 같이 1991년 LEC 수계내 68% 이상지역이 도시 지역이다.

2.2. 연구 분석 방법

2.2.1. WHAT 시스템을 이용한 직접/기저 유출 분리

하천 유량자료로부터 직접유출과 기저유출을 분리하는 방법에는 많은 방법이 있다. 그 동안 많이 이용되어 오던 그래픽 방법의 주관적인 면을 배제하기 위하여 USGS(US Geological Survey) HYSEP(Sloto et al., 1996) 같은 기저 유출 분리 프로그램에 관한 많은 연구들이 수행되어 왔다. 그러나 DOS 기반의 HYSEP은 프로그램에 데이터를 입력하고 실행하는데 있어 많은 어려움이 있다. 최근에는 사용의 편리성 때문에 디지털 필터 기반의 기저유출분리 프로그램이 많이 이용되고 있다. 그 중 많이 이용되어 오던 디지털 필터 기반의 BFLOW 필터(Lyne et al., 1979; Arnold et al., 1999)는 유역내 대수층 특성을 전혀 고려 하지 않는 단점이 있다. 그리하여 Eckhardt(2005)는 유역내 대수층 특성을 고려하여 기저유출을 분리하는 모형을 제안하였다. Eckhardt 필터를 이용하여, 기저유출 분리시 이용되는 BFI_{max} (BaseFlowIndex_{max})값 선정에 있어 주관적인 요소를 최소화하기 위해 Eckhardt(2005)는 대표적 대수층 별로 BFI_{max} 대표값을 제안하였다. 이러한 BFLOW 및 Eckhardt 필터를 이용하여 손쉽게 기저유출을 분리해 내기 위하여 Lim 등 (2005a)에 의해 개발된 시스템이 Web GIS-based Hydrograph Analysis Tool(WHAT)이다. Fig. 2는 WHAT Web GIS 시스템의 여러 가지 기능을 보여준다. (WHAT Web GIS system, <http://pasture.ecn.purdue.edu/~what>). 그림에서 보이는 바와 같이 WHAT Web GIS 시스템은 웹브라우저만을 이용하여 손쉽게 직접유출과 기저유출을 분리할 수 있는 시스템이고, 사용자가 입력자료를 직접 준비할 필요 없이

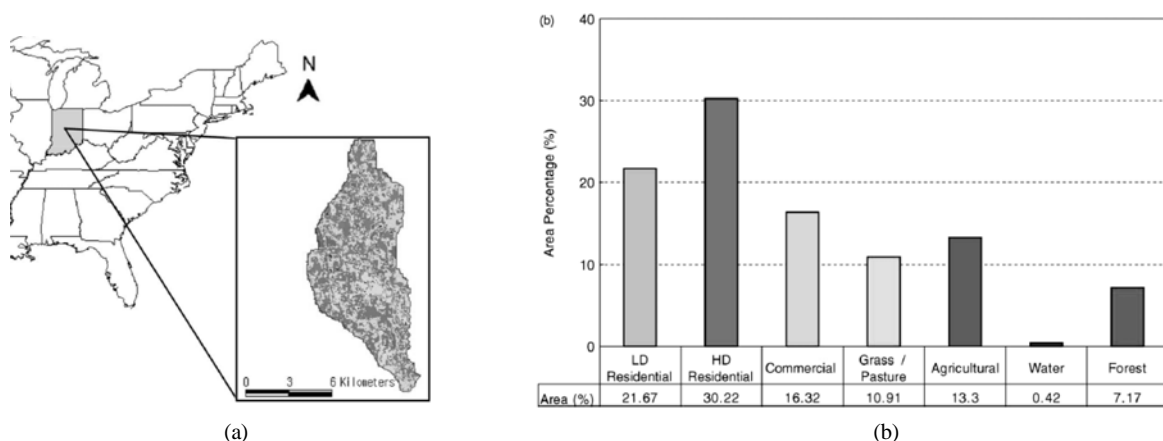


Fig. 1. (a) Location of Little Eagle Creek (LEC) watershed (b) Land uses of the LEC watershed in 1991 (Lim et al., 2006)

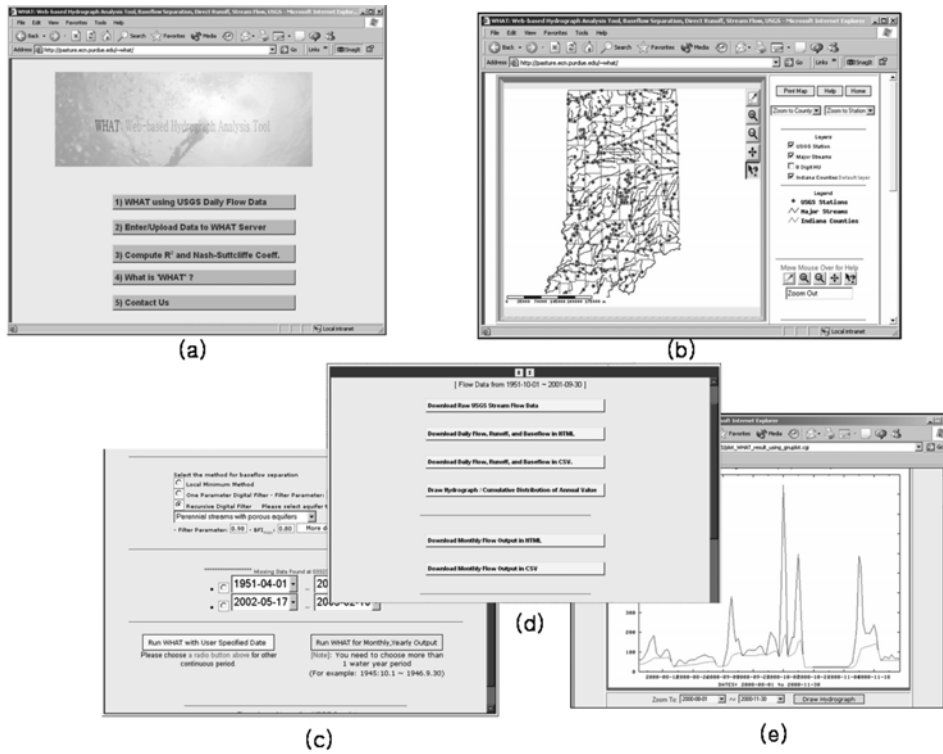


Fig. 2. WHAT Web GIS system (a) WHAT interface (b) Web GIS interface (c) Data break checking in USGS daily stream flow data (d) Daily, monthly, yearly stream flow, direct runoff, and baseflow output in tabular and spreadsheet format, and (e) Hydrograph for user specified time period (Lim et al., 2005a).

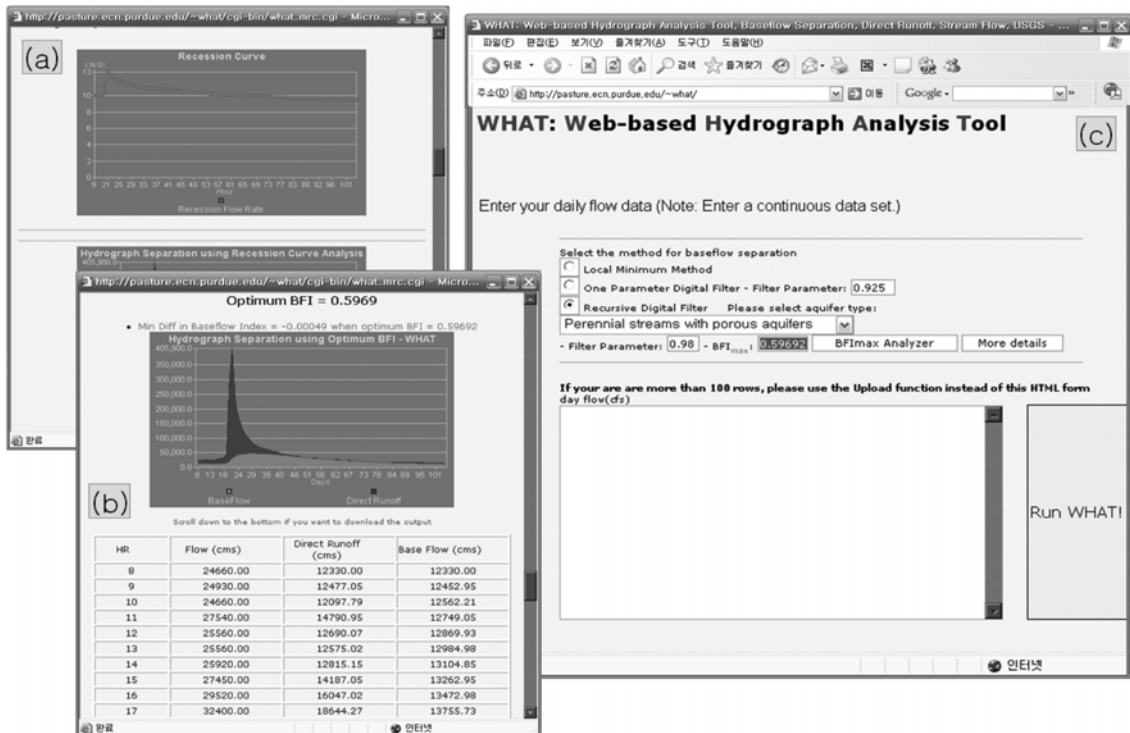


Fig. 3. Automated recession curve analysis and the optimization module to determine BFI_{max} parameter of the Eckhardt Digital Filter in the WHAT web system (Lim et al., 2006).

미국 국립지리국의 유량 자료를 실시간으로 질의하여 수문 분석을 수행하는 사용자 중심 시스템이다. 또한 전 세계 사용자를 위하여 유량자료를 직접 입력하거나 WHAT Web

GIS 서버로 업로드를 할 수 있는 모듈을 제공하고 있다.

WHAT 시스템의 Eckhardt 필터를 이용하여 기저유출 분리시 대표적인 대수층 특성에 따른 BFI_{max} 값을 사용자가

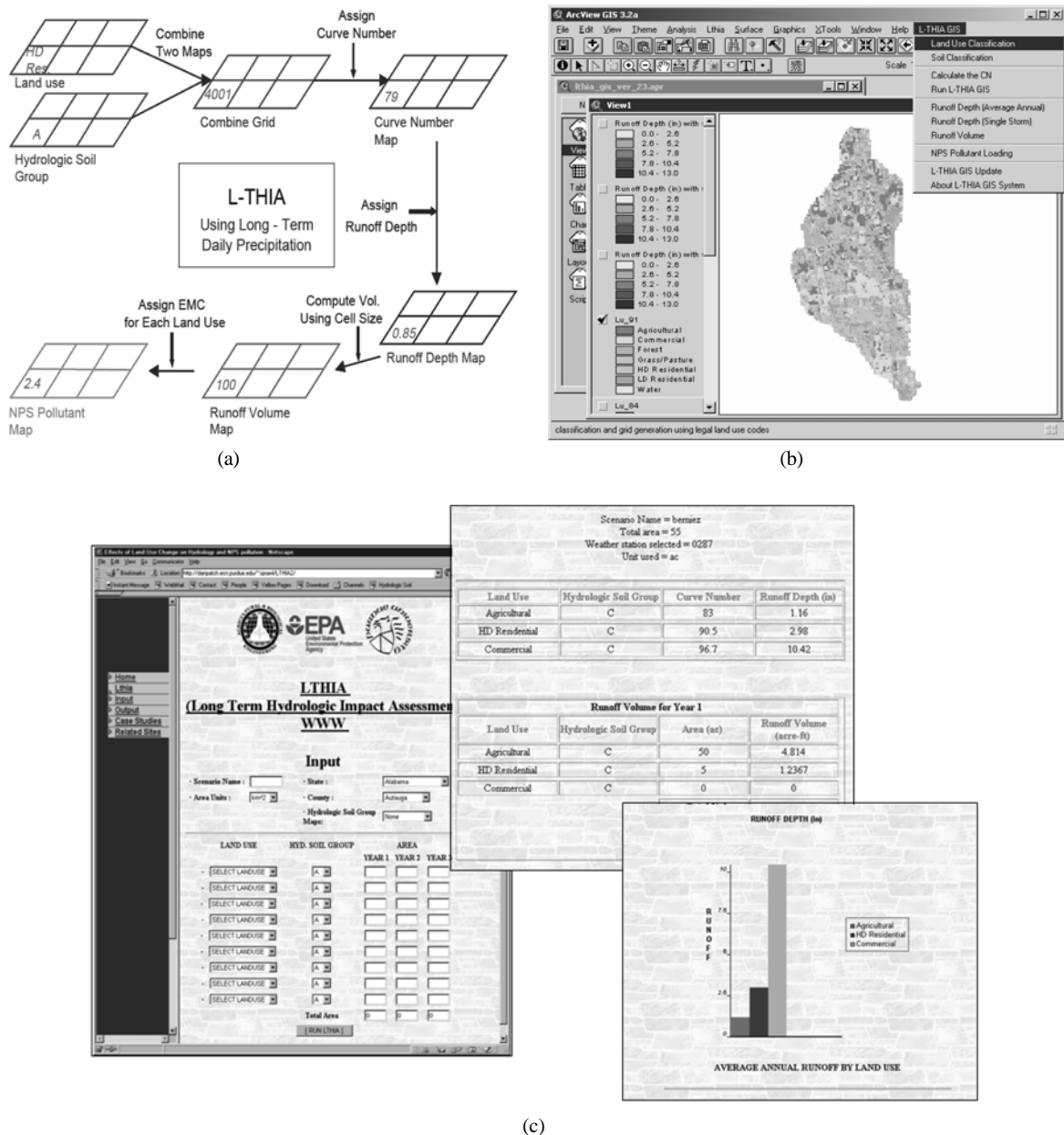


Fig. 4. L-THIA system (a) Overview of the L-THIA GIS system (b) L-THIA ArcView GIS system (c) L-THIA WWW system.

입력해야 한다. 그러나 대부분의 경우 이에 관한 자료 부족으로 인하여 기본적으로 제공되는 값을 이용하여 기저유출을 분리하는 경우가 많다. 따라서 본 연구에서는 감수곡선의 감수경향을 이용하여 BFI_{max} 값을 산정하는 WHAT 최적화 모듈(임 등, 2006)을 통해 LEC 수계에 적합한 BFI_{max} 값을 산정하였고 이를 이용하여 직접유출과 기저유출을 분리하였다. 이를 위해서 LEC 유역의 유량자료 중 감수곡선을 선택하여 WHAT 최적화 모듈을 이용하여 BFI_{max} 값을 산정하였고(Fig. 3), 이를 이용하여 실측유출에서 직접유출과 기저유출을 분리하였다.

2.2.2. Long-Term Hydrologic Impact Assessment (L-THIA) 모델

L-THIA 모델은 간단한 입력 자료를 통해 장기 직접유출 모의가 가능하여 현재 전세계적으로 많은 사용자들이 사용

하고 있다. L-THIA 모델은 토지이용도, 토양도, 일별 강우량 자료를 이용하여 SCS(미국토양보전국)의 CN방법을 이용하여 직접유출량을 산정한다. 또한 Web을 통하여 이용할 수 있도록 Web/Web GIS (<http://www.ecn.purdue.edu/runoff/>) 기반의 L-THIA 시스템이 개발되어 사용자들에 의해 보다 편리하게 이용되고 있다. L-THIA 모형은 직접 유출 모의 뿐만 아니라, 비점 오염 모의에도 이용될 수 있다. L-THIA 모형은 토지이용도와 연관된 Event Mean Concentration (EMC)라고 불리는 오염 부하량 원단위와 일별 직접유출량을 곱하여 NPS(Non-Point Sources) 오염 부하량을 산출한다. L-THIA 모형은 일 단위 유출 모형으로 토지 이용 변화가 연간 직접유출량에 미치는 영향을 분석하기 위하여 사용될 수 있다. Fig. 4는 L-THIA 모형의 실행과정, ArcView GIS 및 WWW 인터페이스를 보여준 것이다. L-THIA

ArcView GIS 시스템은 연평균 유출량을 모의하기 때문에, 본 연구에서는 일 단위 모의가 가능한 L-THIA WWW 시스템 (<http://pasture.ecn.purdue.edu/~sprawl/LTHIA-COMPDAILY>; Lim et al., 1999)을 이용하여 유출량을 모의하였다.

2.2.3. L-THIA 모델 입력 자료

본 연구에 사용된 L-THIA 모델의 입력자료로 1991년 LEC수계 토지이용도, 토양도, 일 강우 자료가 이용되었다. Fig. 5의 (a)에서 보이는 바와 같이 LEC 수계의 토양 특성으로는 수문학적 토양그룹이 B에 속하는 유출이 낮은 토양 성분이 전체 수계의 55.5%를 차지하고 있고 C에 속하는 유출이 높은 토양성분은 44.3%, 나머지 D에 속하는 유출이 가장 크게 일어나는 토양성분이 0.2%를 차지하고 있다. Fig. 5의 (b)에서 보이는 바와 같이 1991년 당시 토지이용도 현황을 살펴보면 저밀도 주거지가 21.67%, 고밀도 주거지가 30.22%, 상업지구가 16.32%, 초지가 10.91%, 농업지구가 13.3%, 수역이 0.42% 그리고 나머지 산림이 7.17%를 차지하고 있다. 44.3%의 유출이 높은 토양성분과 68%의 도시화 지역이 다수를 차지하고 있는 것으로 보아 개발로 인해 불투수층이 많은 부분을 차지하고 있다는 것을 알 수

있다. 1991년 1월 1일부터 12월 31일까지 1년간의 일 강우 자료가 사용되었다.

2.2.4. 선행토양함수조건(AMC)을 고려한 L-THIA 모델 평가

수문 모의에 있어 유출량의 정확한 평가를 위해서는 적절한 CN값을 산정하여야 한다. CN값은 유역의 토양의 종류 그리고 토지이용도 및 피복 상태에 따라 차이를 보이고 있다. 또한 선행토양함수조건(AMC)에 따라 유역의 유출특성이 달라질 수 있으므로 직접유출량 산정시 AMC가 고려되어야 한다. 기존의 L-THIA 모델을 이용한 많은 연구에서는 AMC 조정에 따른 예측 유출량이 실측 유출량보다 작았기 때문에 AMCII 조건을 이용하여 직접 유출을 모의 (Grove et al., 2001; Kim et al., 2002; Leroy, 2004; Lim et al., 2005b)하였다. 이는 AMC 조건이 대부분 건조한 AMC I 조건에 해당하여 CN I 사용으로 인해 예측 유출량이 줄어들었기 때문이다(임 등, 2006). 그로 인해 Fig. 6에서 보이는 바와 같이 WHAT 시스템의 일별 실측 직접유출량과 비교분석한 결과 첨두유출량에 차이가 발생하여 모의가 부정확하다는 것을 알 수 있었다(임 등, 2006). 이는 L-THIA 모의 시 선행토양함수조건이 고려되지 않았기 때문이다.

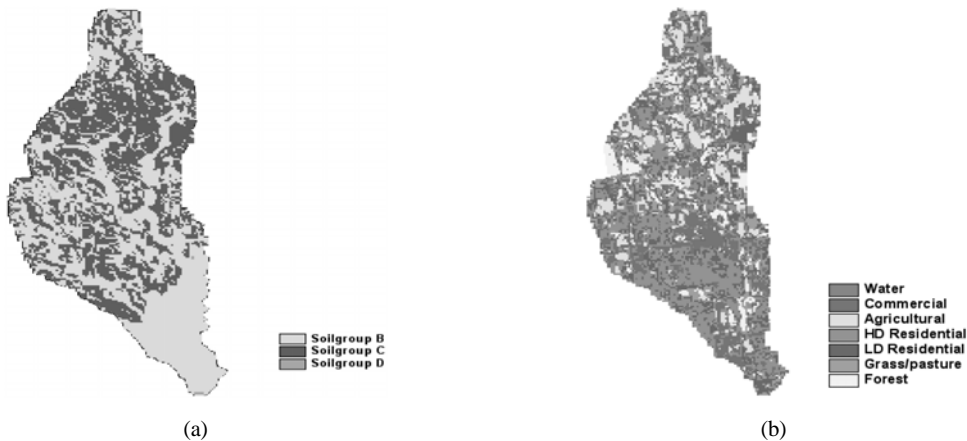


Fig. 5. LEC watershed (a) Hydrologic soil group (b) Land uses.

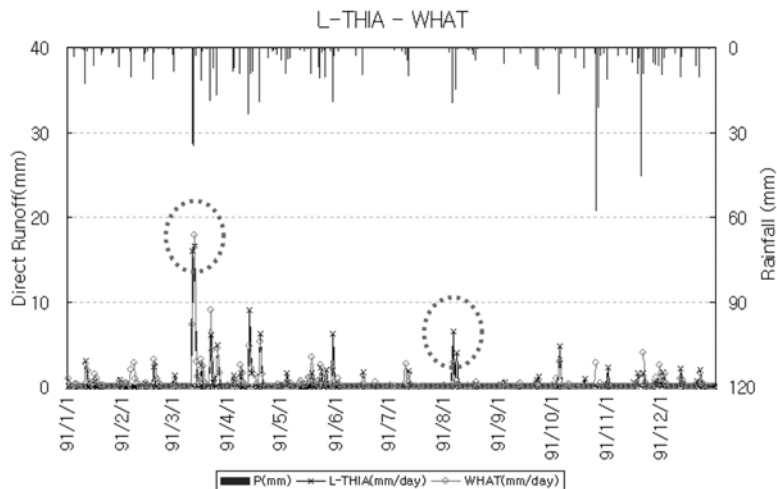


Fig. 6. Comparison of L-THIA estimated direct runoff with WHAT separated direct runoff (Lim et al., 2006).

본 연구에서는 모의기간을 성수기(4월 15일 ~ 10월 15일, growing season)와 비성수기(1월 1일 ~ 4월 14일, 10월 16일 ~ 12월 31일, dormant season)로 구분지어 Table 1과 같이 AMC의 기준을 달리 하여 5일 선행강수량에 따라 AMC I, AMC II, AMC III로 구분하여 토양도 및 토지이용도별 CN값을 산정하였다.

Table 1에서 보이는 바와 같이 선행토양함수조건은 5일 선행 강수량의 크기에 의하여 유역 내 토양수분상태를 분류하는 기준이다. 지표유출율은 토지이용도 및 피복 상태에 따라서도 영향을 받는다. 미국의 토양보전국에서는 자연 초지지역과 시가지로 크게 구분하여 식생피복상태와 토양의 종류에 따라 AMC II의 조건 하에서 CN값을 정하고 있다. CN II 값은 AMC II의 조건 하에서 식생피복 및 토지이용 상태에 따른 값을 나타내며, 강수량이 보통일 때 적용한다. 그러나 우기에는 AMC III에 해당하는 CN III을 적용하고, 건기에는 AMC I에 해당하는 CN I을 적용하여야 한다. CN II를 CN I과 CN III로 환산하기 위해서는 아래의 식 (1)과 식 (2)를 이용한다.

$$CN I = \frac{4.2 CN II}{10 - 0.058 CN II} \quad (1)$$

$$CN III = \frac{23 CN II}{10 + 0.13 CN II} \quad (2)$$

여기서 CN I, CN II, CN III는 각각 AMC I, AMC II, AMC III 조건 하에서의 유출곡선지수이다. Table 1은 5일 선행 강수량에 따른 성수기와 비성수기 때 AMC I, AMC II, AMC III의 기준을 보여준 것이다. 아래의 기준을 이용하여 일별 AMC 조건을 나누어 CN값을 산정하였다.

Table 1. Classification of antecedent moisture condition (AMC) for the SCS method of rainfall abstraction

AMC	Total 5-day antecedent rainfall (mm)	
	Growing season	Dormant season
I	Less than 35.56	Less than 12.70
II	35.56 to 53.34	12.70 to 27.94
III	Over 53.34	Over 27.94

본 연구에서는 실측 유량 측정 시 발생할 수 있는 오측이나 기타 다른 원인에 의한 오류를 제외시키기 위하여 대표적인 통계분석 패키지 프로그램인 SAS 프로그램을 이용하여 이상치를 분석하였다. SAS 프로그램은 종속변수는 강우량자료, 독립변수는 실측유량자료를 대입하여 다중회귀모형의 잔차분석을 통해 이상치를 분석한다. 그리하여 본 연구에서는 Studentized Residual 값이 절대값 4 이상인 경우를 이상치로 분류하였다. Fig. 7에서 보이는 바와 같이 총 5개의 자료(2월 6일, 4월 15일, 10월 26일, 10월 27일, 11월 20일)가 이상치로 분류되어 이를 실측 유량 측정 시 오측이나 기타 다른 원인에 의한 오류라 판단하여 제외하고 AMC를 고려한 L-THIA 모형의 정확성을 평가하였다.

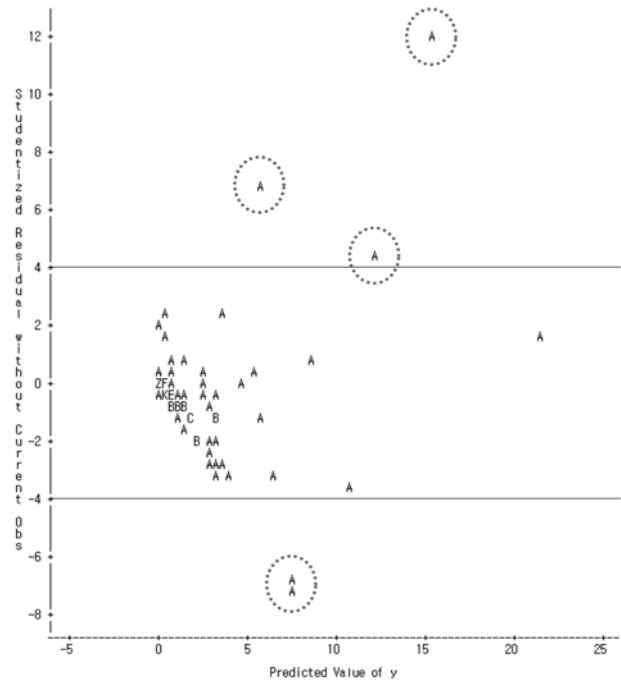


Fig. 7. Outliers detection using SAS program.

앞에서 기술된 바와 같이 L-THIA 모형을 이용하여 직접 유출 모의 시 AMC 조정에 따른 CN II의 CN I 조정으로 유출량이 적게 모의 되었다. 이는 Table 1의 기준을 이용하여 AMC를 조정하였을 경우 1년 중 대부분 AMC I으로 분류되었고 CN II의 CN I으로 조정시 CN 값이 상대적으로 많이 줄어들어 유출량이 적게 모의되기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 AMC 조건에 따른 CN 조정시(CN II → CN I, CN II → CN III) CN값 조정에 따른 유출량 변동폭이 상당히 크기 때문에 위 식 (1)과 식 (2)의 CN 변환 공식을 시행착오법에 의해 아래의 식 (3)과 식 (4)와 같이 범위를 조정하였다. 이를 이용하여 L-THIA 예측 유출치에 미치는 영향을 평가 하였다.

$$CN I = \frac{4.42 CN II}{5.47 - 0.011 CN II} \quad (3)$$

$$CN III = \frac{25 CN II}{21.5 + 0.03 CN II} \quad (4)$$

3. 결과 및 고찰

본 연구 결과 Fig. 8에서 보이는 바와 같이 L-THIA에서 AMC를 고려하여 일별 직접유출량을 산출한 결과 값을 WHAT 시스템에서 분리된 일별 실측 유출량 값과 비교결과 R²값은 0.80, 유효지수 (E)값은 0.78의 높은 결과 값을 얻었다.

비록 R²값과 유효지수(E)값은 비교적 높게 나왔으나 L-THIA 예측 연 직접유출량의 값과 WHAT 시스템에서 분리된 연 직접유출량의 값 비교결과 42.44%의 차이가 발생

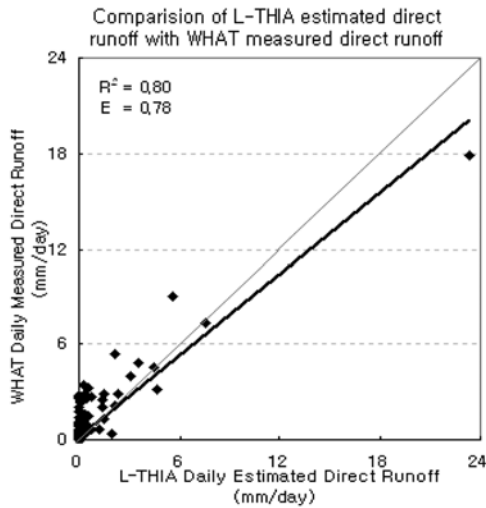


Fig. 8. Comparison of L-THIA estimated direct runoff value with direct runoff values filtered using the WHAT system.

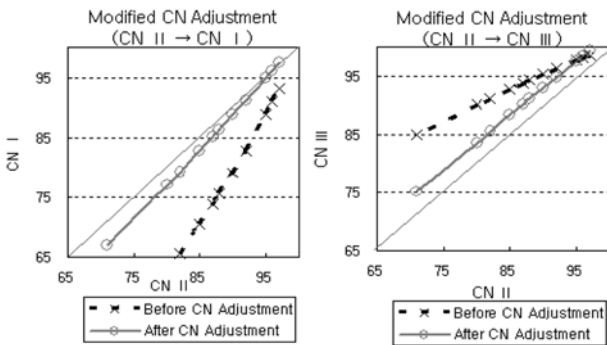


Fig. 9. Modified CN adjustment considered in this study (CN II → CN I, CN II → CN III).

했다. 이는 5일선행강수량에 따라 AMC I, AMC II, AMC III 선정시 1991년 1월부터 12월까지의 약 80% 가량이 AMC I 으로 판별되었고, CN값이 대부분 CN I 으로 산출되어 직접유출량 예측치가 실측치에 비해 낮게 모의되었기 때문이다. 그리하여 AMC 조건에 따라 CN II 값을 CN I 과 CN III를 산정하는 방법의 오류로 판단되어 본 연구에서는 위 본문의 CN II 값을 CN I 과 CN III로 변환하는 공식 식 (3), 식 (4)로 수정하여 AMC 조정에 따른 CN 변화폭을 줄여 AMC I (일년중 약 80% 해당)에 따라 유출량이 적게 모의되는 것을 수정 모의 하였다. Fig. 9는 CN II 값에 따른 CN I 과 CN III 산정하는 공식 수정 전과 후의 CN 변화폭을 비교한 그래프이다.

Fig. 9에서 보이는 바와 같이 CN값 산정 공식을 수정한 결과 Fig. 11에서와 같이 WHAT 시스템에서 분리된 일별 실측 유출량 값과 비교하였을 때 R²값은 0.80, 유효지수 (E)값은 0.80으로 보다 정확한 결과 값을 얻을 수 있었다. L-THIA 예측 연 직접유출량의 값과 WHAT 시스템에서 분리된 연 직접유출량의 값 비교결과 차이가 7.99%밖에 발생 되지 않았다. 이는 CN II를 이용한 CN I, CN III 산정공식 수정 전 예측치와 실측치 비교시 R²와 E는 비록 높았지만

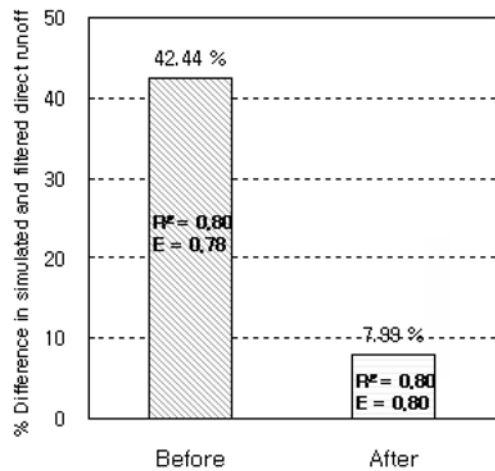


Fig. 10. Comparison of % difference in simulated and filtered direct runoff with modified CN adjustment.

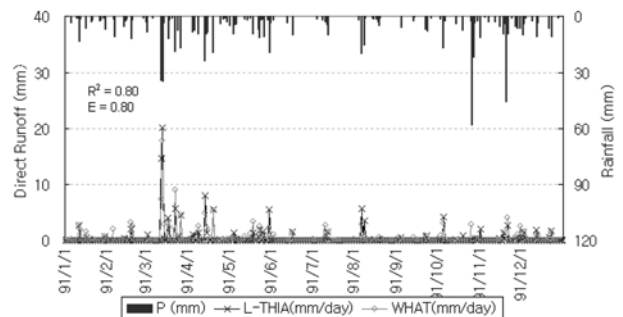


Fig. 11. Comparison of L-THIA estimated daily direct runoff with WHAT system filtered daily direct runoff.

총 유출량에 있어서 42.44% 차이가 나는 것과 비교하면 공식 수정 후 AMC를 고려한 L-THIA 모형이 실측치를 더 잘 모의한다고 할 수 있다. Fig. 10에서 보이는 바와 같이 CN산정 공식 수정 전과 후의 값에는 큰 차이가 있다. 또한 Fig. 11을 보면 기존 연구에서 발생한 침투유량의 차이에 대한 문제점이 보완된 것을 알 수 있다. 본 연구에서는 단순히 기존의 CN값 자체의 조정만으로 직접유출 모의에는 침투유량의 큰 차이가 발생하는 것을 알고(임 등, 2006) AMC를 고려하였으며 현재 사용되고 있는 CN산정 공식을 수정하여 본 결과 현재 사용되고 있는 공식이 틀릴 수 있다는 것을 제시하여 주고 있다.

4. 결론

최근 도시화 과정으로 인해 불투수성의 지형 특성으로 점점 변화 되어가면서 유역의 유출 유형이 크게 변해가고 있다. 그로 인해 정확한 직접유출의 모의가 이루어져야 한다. 토양의 함수조건에 따라 유역의 직접유출량이 달라지기 때문에 직접유출 모의에 있어 지형의 특성이나 토양의 함수조건은 큰 영향을 미친다. 본 연구의 결과에서 나타났던 바와 같이 선형토양함수조건에 따라 유역의 유출 유형이 달라지게 된다. AMC를 고려하고 AMC에 따른 CN 조정

공식 수정으로 L-THIA 일별 예측치와 WHAT 시스템의 일별 실측치와 비교한 결과 R²값은 0.80, 유효지수 (E)값은 0.80으로 상당히 정확한 모의 결과가 나왔으며, L-THIA 연 직접유출량과 WHAT 시스템에서 분리된 연 실측 직접 유출량의 오차 비교에 있어서도 7.99%의 근접한 결과가 나왔다. 또한 L-THIA 일별 예측치의 침투유량에 따른 유출 유형이 실측치와 근사하게 모의되었다. 본 연구의 결과에서 나타났던 바와 같이 수문 모형을 이용하여 유출량을 예측하기 위해서는 선행 토양함수 조건이 고려되어야 하며 차 후 AMC 조건에 따라 CN I 과 CN III 값으로 산정하는 방법에 대한 추가적인 연구가 요구되는 바이다.

사 사

이 논문은 2006년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국 학술진흥재단의 지원(KRF-2006-214- D00213)과 국가교통핵심기술 개발사업의 지원을 받아 수행된 연구로 지원에 감사드립니다.

참고문헌

임경재, 김중건, 김기성, 최중대, 신용철, Web GIS기반의 WHAT 시스템을 이용한 직접유출 모의 정확성 평가, 한국정보학술발표대회, pp. 12-13 (2006).

Arnold, J. G. and Allen, P. M., 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 (1999).

Eckhardt, K., How to Construct Recursive Digital Filters for Baseflow Separation, *Hydrological Processes*, **19**(2), pp. 507-515 (2005).

Grove, M., Harbor, J., Engel, B. A. and Muthukrinan, S.,

Impacts of Urbanization on Surface Hydrology. Little Eagle Creek, Indiana, and Analysis of L-THIA Model Sensitivity to Data Resolution, *Physical Geography*, **22**, pp. 135-153 (2001).

Kim, Y., Engel, B. A., Lim, K. J., Larson, V. and Duncan, B., Runoff Impacts of Land-Use Change in Indian River Lagoon Watershed, *Journal of Hydrologic Engineering*, **7**(3), pp. 245-251 (2002).

Leroy, J. D., Modeling Lake Level Variations Using L-THIA in the Lake Maxinkuckee Watershed. M.S. Thesis, Department of Agricultural and Biological Engineering. Purdue University, West Lafayette, Indiana (2004).

Lim, K. J. and Engel, B. A., Development of Daily/Yearly L-THIA WWW System (<http://pasture.ecn.purdue.edu/~sprawl/LTHIA-COMPDAIly> and <http://pasture.ecn.purdue.edu/~sprawl/LTHIAYEARLY>), Agricultural and Biological Engineering Department Report, Purdue University (1999).

Lim, K. J., Engel, B. A., Tang, Z., Choi, J., Kim, K., Muthukrishnan, S. and Tripathy, D., Automated Web GIS-based Hydrograph Analysis Tool, WHAT, *Journal of the American Water Recourse Association*, **41**(6), pp. 1407-1416 (2005a).

Lim, K. J., Engel, B. A., Tang, Z., Muthukrishnan, S., Choi, J. and Kim, K., Effects of calibration on L-THIA GIS runoff and pollutant estimation, *Journal of Environmental Management*, **78**, pp. 35-43 (2005b).

Lyne, Y. D. and Hollick, M., Stochastic Time-Variable Rainfall-Runoff modeling, In: Hydro. and Water Resour. Symp, Institution of Engineers Australia, Perth, Australia, pp. 89-92 (1979).

Sloto, R. A. and Crouse, M. Y., HYSEP: A computer program for streamflow hydrograph separation and analysis. US Geol. Survey Water Resources Investigations Report 96-4040 (1996).