

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/259527374>

The Effect of Slope-based Curve Number Adjustment on Direct Runoff Estimation by L-THIA

Article · November 2007

CITATIONS

6

READS

94

8 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](#)

경사도에 따른 CN보정에 의한 L-THIA 직접유출 모의 영향 평가

김종건 · 임경재[†] · 박윤식 · 허성구 · 박준호 · 안재훈* · 김기성 · 최종대

강원대학교 농업공학부
*농업진흥청 고령지 농업연구소

The Effect of Slope-based Curve Number Adjustment on Direct Runoff Estimation by L-THIA

Jonggun Kim · Kyoung Jae Lim[†] · Younshik Park · Sunggu Heo · Joonho Park · Jaehun Ahn* ·
Ki-sung Kim · Joongdae Choi

Division of Agricultural Engineering, Kangwon University

*National Institute of Highland Agriculture, Rural Development Administration

(Received 31 May 2007, Accepted 6 November 2007)

Abstract

Approximately 70% of Korea is composed of forest areas. Especially 48% of agricultural field is practiced at highland areas over 400 m in elevation in Kangwon province. Over 90% of highland agricultural farming is located at Kangwon province. Runoff characteristics at the mountainous area such as Kangwon province are largely affected by steep slopes, thus runoff estimation considering field slopes needs to be utilized for accurate estimation of direct runoff. Although many methods for runoff estimation are available, the Soil Conservation Service (SCS), now Natural Resource Conservation Service (NRCS), Curve Number (CN)-based method is used in this study. The CN values were obtained from many plot-years dataset obtained from mid-west areas of the United States, where most of the areas have less than 5% in slopes. Thus, the CN method is not suitable for accurate runoff estimation where significant areas are over 5% in slopes. Therefore, the CN values were adjusted based on the average slopes (25.8% at Doam-dam watershed) depending on the 5-day Antecedent Moisture Condition (AMC). In this study, the CN-based Long-Term Hydrologic Impact Assessment (L-THIA) direct runoff estimation model used and the Web-based Hydrograph Analysis Tool (WHAT) was used for direct runoff separation from the stream flow data. The R^2 value was 0.65 and the Nash-Sutcliffe coefficient value was 0.60 when no slope adjustment was made in CN method. However, the R^2 value was 0.69 and the Nash-Sutcliffe value was 0.69 with slope adjustment. As shown in this study, it is strongly recommended the slope adjustment in the CN direct runoff estimation should be made for accurate direct runoff prediction using the CN-based L-THIA model when applied to steep mountainous areas.

keywords : Curve number, Long-Term Hydrologic Impact Assessment (L-THIA), Slope of watershed, Web-based Hydrograph Analysis Tool (WHAT)

1. 서론

유역으로부터 유출은 그 유역의 지형학적 인자(Physiographic factor)와 기후학적 인자(Climatic factor)의 영향을 받는다. 유역의 지형학적 인자로는 유역의 면적, 경사, 형상, 토지이용 등이 있다. 그 중 경사도는 유역의 유출특성에 많은 영향을 미치고 있다. 우리나라의 지형은 산지가 전체 지형의 70%를 차지하고 있다. 특히 강원도는 우리나라 고령지 면적의 90% 이상이 분포한 전형적인 산지 고원 지역이다. 그만큼 다양한 경사도로 인해 호우에 의한 유출 특성에 많은 영향을 미치고 있다. 호우로 인한 유역의 유

효우량을 산정하는 방법에는 ϕ -지수법, W-지수법과 같은 침투지수법을 이용하여 총우량주상도로부터 해당 직접유출량에 상응하는 초과강우량을 수평선으로 분리함으로써 유효우량의 시간적 분포를 표시하는 유효우량주상도에 의한 방법이 있다. 그러나 어떤 호우로 인한 유출량 자료가 없을 경우에는 미국 토양보존국(U.S. Soil Conservation Service: SCS), 현재 미국 자연자원보호청(Natural Resources Conservation Service: NRCS)에서 개발한 유출곡선지수(Curve Number: CN)에 의해 산정하는 방법이 널리 쓰여지고 있다. CN값은 총우량으로부터의 직접유출에 대한 잠재력을 나타낸 것으로서 침투율, 증발율, 토양수분, 지체시간, 강우 강도, 온도 등의 인자에 영향을 받으며 NRCS에서는 토지 이용상태, 수문학적 토양군, 피복밀도에 따라서 CN값을 산정할 수 있도록 제시하고 있다. 그러나 현재 사용되고 있

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

는 CN값은 미국의 중서부 지역과 같이 평균 경사도 5% 미만인 지역에서의 유출량 산정에 적합한 것이다. 이는 미국의 지형, 지질, 기후 등의 조건하에 제안된 것이기 때문에 우리나라와 같이 지형이 복잡하고 경사도가 심한 지역에 적용하기에는 문제가 있을 것이다.

따라서 본 연구의 목적은 유역의 경사도를 고려한 CN 방법 예측 직접유출량과 실측 직접유출량의 비교를 통해서 경사가 급한 지역에서 유출예측시 경사도에 따라 CN값 조정 필요성을 평가하는 것이다. 이를 위해 본 연구에서는 실측 유량으로부터 직접유출을 분리하는 Web GIS-based Hydrograph Analysis Tool (WHAT) 시스템과 CN기반 직접유출예측 모형인 Long-Term Hydrologic Impact Assessment (L-THIA) 시스템을 이용하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 연구지역 선정

연구 대상지역은 강원도 평창군 도암면에 속하는 도암댐 유역으로 도암호의 집수구역이다. 도암댐 유역은 동경 128° 37' ~ 128° 47', 북위 38° 35' ~ 38° 47'이다. 송천 본류의 길이는 약 29.5 km²이며 유역면적은 145.64 km²로 도암면 면적(221.6 km²)의 67.3%를 차지한다. 도암면 면적은 평창군 전체 면적 1463.7 km²의 15.2%에 해당되며 이 중 농경지와 초지는 각각 8.1%와 4.4%를 차지한다. 반면, 산림이 82.6%를 차지하는 전형적인 산지 고령 지역이다(허 등, 2006). Fig. 1은 평창군 도암면의 도암댐 수계를 나타내고 있다. 도암댐 수계는 상대적으로 해발고도가 높은 고산지대로서, 지세, 토질, 기후 등이 고령지 농업에 적합한 지역에 속한다.

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 기저유출 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. 디지털 필터란 Signal processing 학문분야에서 고주파와 저주파를 분리하는 데 사용되는 방식이다. 미국에서 Lyne 등(1979)이 디지털 필터링 방식을 이용하여 하천유량자료를 직접유출과 기저유출로 분리하는데 사용하였고 Soil and Water Assessment Tool (SWAT) 모형에서도 직접유출과 기저유출 분리시 이용되고 있다. 이러한 디지털 필터 기반의 BFLOW 필터(Arnold et al., 1999; Lyne et al., 1979)는 유역내 대수층 특성을 전혀 고려하지 않는 단점이 있다. 그리하여 Eckhardt(2005)는 유역내 대수층 특성을 고려하여 기저유출을 분리하는 모듈

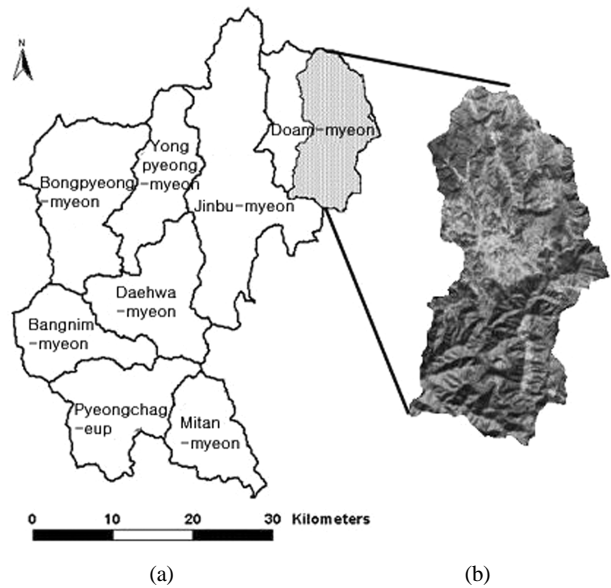


Fig. 1. (a) Pyeongchang Gun (b) Doam-dam watershed.

을 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). 그림에서 보이는 바와 같이 WHAT Web GIS 시스템은 웹브라우저만을 이용하여 손쉽게 직접유출과 기저유출을 분리할 수 있는 시스템이고, 사용자가 입력자료를 직접 준비할 필요 없이 미국 국립지리국의 유량 자료를 실시간으로 질의하여 수문분석을 수행하는 사용자 중심 시스템이다. 또한 전 세계 사용자를 위하여 유량자료를 직접 입력하거나 WHAT Web GIS 서버로 업로드를 할 수 있는 모듈을 제공하고 있다. 최근에는 Google Map 인터페이스를 활용한 프로토타입 WHAT 시스템이 개발되어 이용되고 있다(임 등, 2007).

WHAT 시스템의 Eckhardt 필터를 이용하여 기저유출 분리시 대표적인 대수층 특성에 따른 BFI_{max} 값을 사용자가 입력해야 한다. 그러나 대부분의 경우 이에 관한 자료 부족으로 인하여 기본값으로 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 도암댐 수계에 적합한 BFI_{max} 값을 산정하였고 이를 이용하여 직접유출과 기저유출을 분리하였다. 이를 위해서 도암댐 수계의 유량자료 중 감수곡선을 선택하여 WHAT 최적화 모듈을 이용하여 BFI_{max} 값을 산정하였고(Fig. 3), 이를 이용하여 실측유량에서 직접유출과 기저유출을 분리하였다. 또한 직접유출 / 기저유출 분리 시 강우 10 mm이하는 건기로 보아 직접유출이 발생하지 않는 것으로 간주하였다(정, 2002).

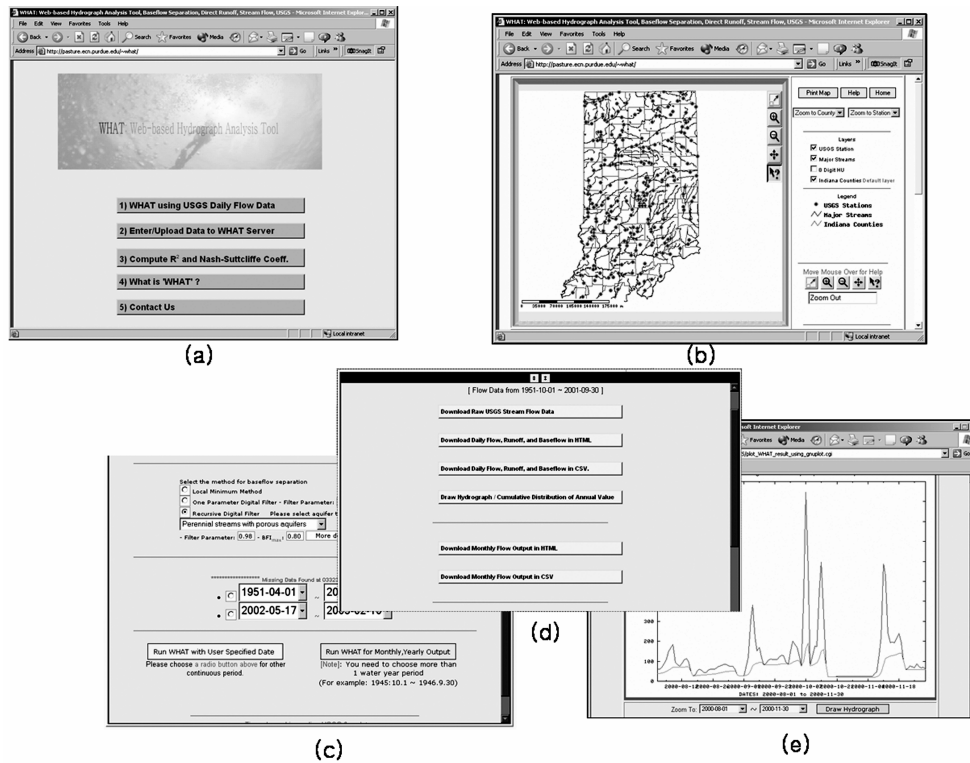


Fig. 2. WHAT Web GIS system (a) WHAT interface (b) Web GIS interface (c) Data break checking in USGS daily stream flow data (d) Daily, monthly, yearly stream flow, direct runoff, and baseflow output in tabular and spreadsheet format, and (e) Hydrograph for user specified time period (Lim et al., 2005a).

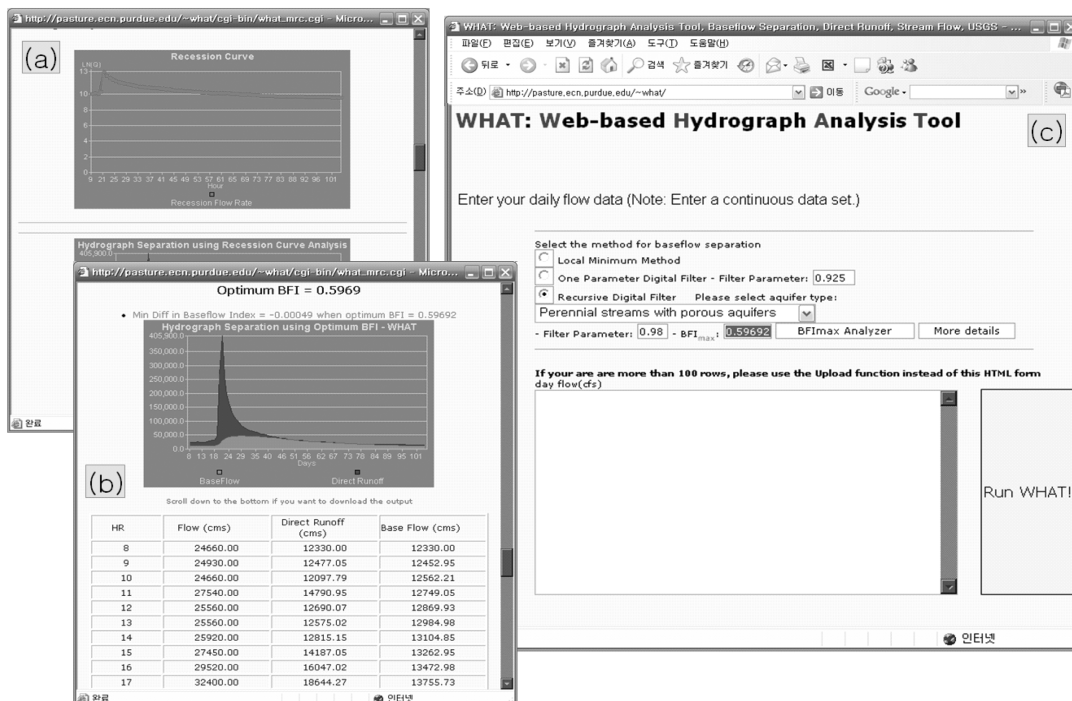


Fig. 3. (a) Automated recession curve analysis in the WHAT system (b) Optomaization module to determine BFI_{max} parameter (c) Integrated interface with automated “ BFI_{max} analyzer” in the WHAT system (임 등, 2006).

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

L-THIA 모델은 간단한 입력 자료를 통해 장기 직접유출

모의가 가능하여 많은 사용자들이 사용하고 있다. L-THIA 모델은 토지이용도, 토양도, 일별 강우량 자료를 이용하여 NRCS의 CN방법을 이용하여 직접유출량을 산정한다. 또한

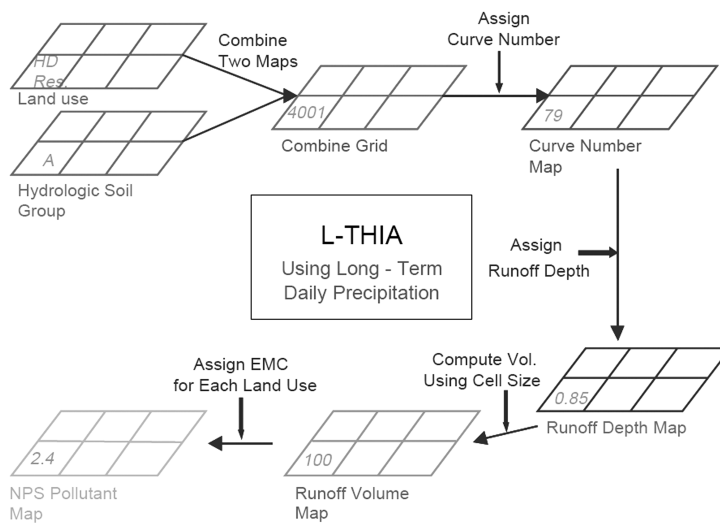
Web을 통하여 이용할 수 있도록 Web/Web GIS(<http://www.ecn.purdue.edu/runoff/>)기반의 L-THIA 시스템이 개발되어 사용자들에 의해 보다 편리하게 이용되고 있다. L-THIA 모형은 직접 유출 모의뿐만 아니라, 비점 오염 모의에도 이용될 수 있다. L-THIA 모형은 토지이용도별 Event Mean Concentration(EMC)라고 불리는 오염 부하량 원단위와 일별 직접유출량을 곱하여 Non-Point Sources(NPS) 오염 부하량을 산출한다. L-THIA 모형은 일 단위 유출 모형으로 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 모

의하기 때문에, 본 연구에서는 일 단위 모의가 가능한 L-THIA WWW 시스템(Lim et al., 1999)을 이용하여 유출량을 모의하였다.

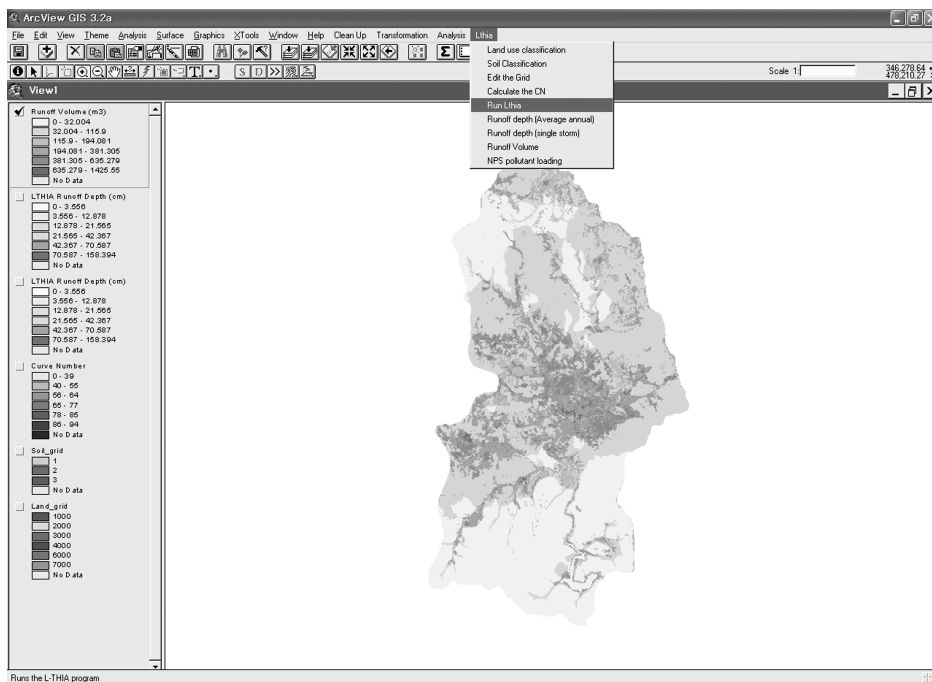
2.2.3. L-THIA 모델 입력 자료

2.2.3.1. 토양도

도암댐 수계내 토양속성은 농촌진흥청 농업과학기술원 (NIAST, 2000)에서 제공해 주는 정밀토양도(1:25,000)를 사용하였으며, 본 연구지역에는 화강암을 모재로 한 갈색산림 토양이 넓게 분포하며, 풍화 및 토양발달 정도에 따라 차향토, 오대토 및 월정토가 분포되어 있다. 이들 토양의 pH는 5.2~5.9이며 유기물 함량은 6.7~8.1%로 매우 높은 것

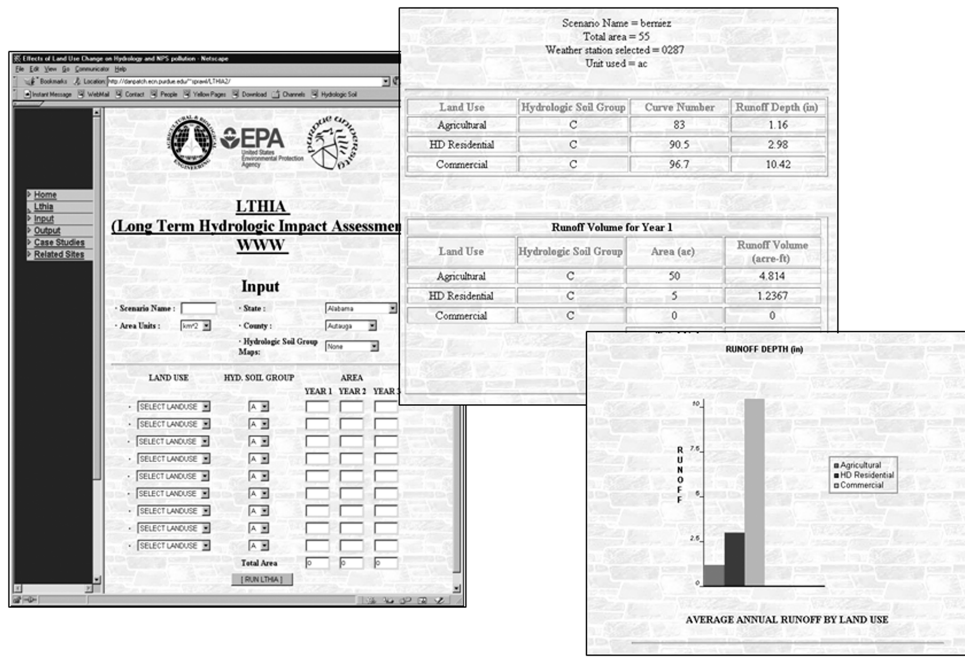


(a)



(b)

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



(c)

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

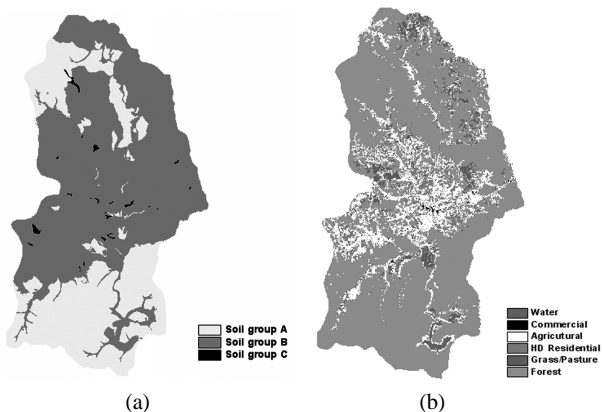


Fig. 5. Doam-dam watershed (a) Hydrologic soil group (b) Land uses.

이 특징이다. Fig. 5(a)는 도암댐 수계내 토양속성을 NRCS 분류방법으로 토양의 침투능에 따라 토양그룹 A에서 D로 구분지어 나타낸 것이다. 침투능은 토양그룹 A에서 D로 갈수록 작아지고 유출률은 커진다. 토성별로 보면 양토가 62%로 가장 많고 다음이 미사질 양토로서 17% 순이다. 심토의 경우 식양질토가 49%, 사양토가 30%를 차지한다.

2.2.3.2. 토지이용도

도암댐 수계내 토지이용현황은 환경부 환경지리정보(Environmental Geographic Information System : EGIS)에서 배포하는 2005년 1/25,000의 대분류 수치 토지피복도 자료를 이용하였다. 도암댐 유역의 토지 이용 분류는 산림(FRSD, FRSE, FRST)이 61.8%를 차지하며, 농업지역(AGRL)이 31.7%, 시가지(URLD) 1.9%, 초지(PAST) 2.3%, 습지(WETL) 0.2%,

나지(CLVA) 1.0%, 수역(WATR) 1.1% 각각 차지하고 있다. Fig. 5(b)는 도암댐 유역의 토지이용 현황도를 나타내는 것이다.

2.2.3.3. 강우자료

본 연구에서는 대관령 관측소에서 측정한 2001년 1월 1일부터 12월 31일까지의 일강우자료(mm)를 L-THIA 모형 직접유출 모의에 이용하였다. 강우자료는 7,8월에 연강우량의 약 60%가 집중되고 있다.

2.2.4. 선행토양함수조건(AMC)을 고려한 직접유출량 산정

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, AMCII, AMCIII로 구분하여 토양도 및 토지이용도별 적절한 CN값을 산정하였다.

Table 1에서 보이는 바와 같이 선행토양함수조건은 5일 선행 강수량의 크기에 의하여 유역 내 토양수분상태를 분류하는 기준이다. 지표유출율은 토지용도 및 피복 상태에 따라서도 영향을 받는다. 미국의 토양보전국에서는 자연 초지지역과 시가지로 크게 구분하여 식생피복상태와 토양의 종류에 따라 AMCII의 조건 하에서 CN값을 정하고 있다. CNII 값은 AMCII의 조건 하에서 식생피복 및 토지이용 상태에 따른 값을 나타내며, 강수량이 보통일 때 적용한다. 그러나 우기에는 AMCIII에 해당하는 CNIII을 적용하고, 건기에는 AMC I에 해당하는 CN I을 적용하여야 한다. 이로 인해 도암댐 유역의 강우자료를 바탕으로 5일선행강

Table 1. Classification of antecedent moisture condition (AMC) for the NRCS 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

수량의 크기에 의하여 CN I, CNII 그리고 CNIII를 산정하였다.

2.2.5. 경사도에 따른 CN 보정

수문 모의에 있어 유출량의 정확한 평가를 위해서는 적절한 CN값을 산정하여야 한다. 현재 많이 이용되고 있는 직접유출 모의의 CN값은 미국의 중서부 지역과 같이 경사도 5% 미만인 지역에서의 유출량 산정에 적합하다(Grove et al., 2001; Kim et al., 2002; Leroy, 2004; Lim et al., 2005b). 그리하여 Williams(1995)는 유출량 모의를 위한 Curve Number 방법을 경사가 다른 지역에 적용하기 위하여 식 (1)과 같은 관계식을 개발하였다. 식 (1)은 기존 AMC조건에 따른 CN값 산정방식(김 등, 2007)에서의 CN₂와 CN₃의 값을 이용하여 지역의 평균 경사도에 따른 CN값을 산정하는 방식이다.

$$CN_{2s} = \frac{(CN_3 - CN_2)}{3} \cdot [1 - 2 \cdot \exp(-13.86 \cdot slp)] + CN_2 \quad (1)$$

여기에서 CN_{2s}는 AMC II 조건하에서 경사도에 따라 보정된 CN값, CN₃는 경사도 5%에 대해서 AMCIII 조건하에서의 CN값, CN₂는 경사도 5%에 대해서 AMC II 조건하에서의 CN값, 그리고 slp는 지역의 평균경사도(%).

따라서 본 연구에서는 기존의 AMC조건에 따른 CN₂와 CN₃의 값을 식 (1)에 대입하여 도암댐 수계의 전체 평균경사도인 25.8%에 대한 경사도 보정된 CN값 산정하였다. 이를 이용하여 모의한 직접유출량을 기존의 경사도 5%미만인 지역에 적합한 CN값으로 모의한 직접유출량과 비교분석하였다.

2.2.6. SAS 프로그램을 이용한 보정

본 연구에서는 실측 유량 측정 시 발생할 수 있는 오측이나 기타 다른 원인에 의한 오류를 제외시키기 위하여 대표적인 통계분석 패키지 프로그램인 SAS프로그램을 이용하여 이상치를 분석하였다. 독립변수는 강우량자료, 종속변수는 실측유량자료(한국수력원자력)를 대입하여 다중회귀모형의 잔차분석을 통해 이상치를 분석하였다(최 등, 2001). 그리하여 본 연구에서는 Fig. 6에서 보이는 바와 같이 총 10개의 자료(5월 7일, 5월 16일, 7월 5일, 8월 7일, 8월 8

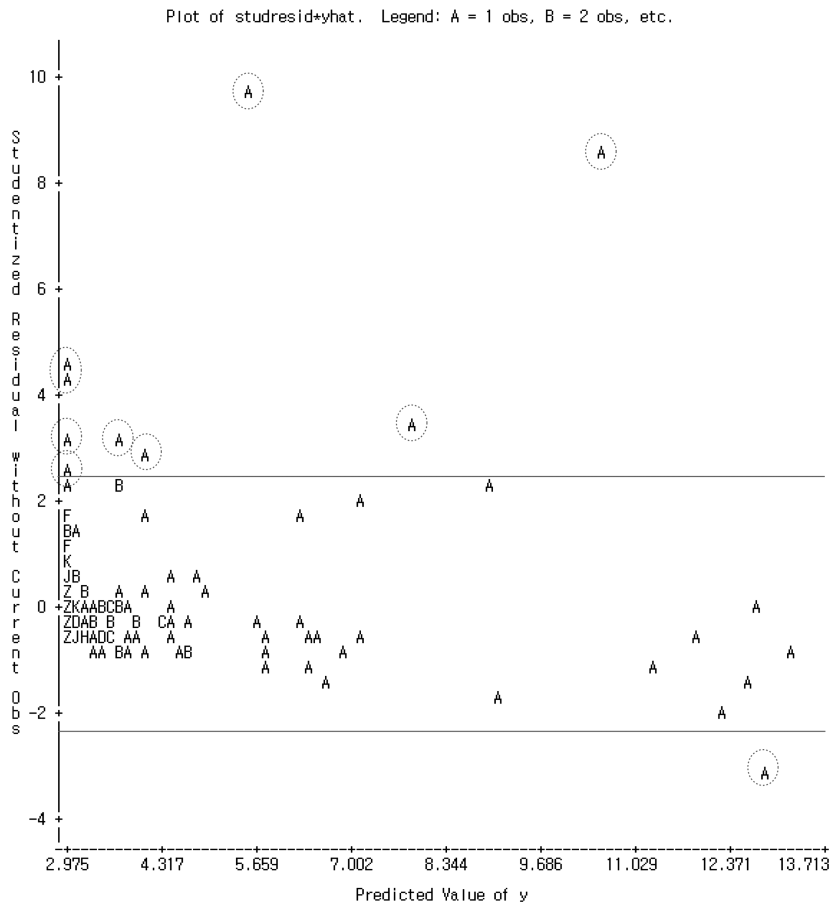


Fig. 6. Outliers detection using the SAS program.

일, 8월 11일, 9월 1일, 9월 2일, 10월 19일, 12월 8일)가 이상치로 분류되어 이를 제외하고 경사도를 고려한 L-THIA 모형의 정확성을 평가하였다.

3. 결과

본 연구 결과 도암댐 유역에서 평균 경사도를 고려하여 보정된 CN값을 산출한 결과 Fig. 7에서 보이는 바와 같이 수문학적 반응단위(Hydrologic Response Unit: HRU)별 경사도 5%미만에 적합한 CN I, CN II, CNIII와 비교하였을 때 많은 차이가 생기는 것을 알 수 있다. 또한 AMC 조건에 따라 CN값 산정시 CN I, CNII, CNIII로 산정될 수 있기 때문에 그에 해당되는 CN값을 경사도 보정한 후의 CN값과 비교 분석한 결과이다. 이로 인해 경사도에 따른 CN

값 보정 전과 후의 직접유출량에 큰 차이가 발생할 수 있다고 판단된다.

본 연구 지역에서 경사도 5%미만인 지역에 적합한 CN값을 적용하여 L-THIA 모형으로 직접유출량을 산출한 결과 값을 WHAT 시스템에서 분리된 실측 유출량값과 비교 결과 R²값은 0.65, 유효지수 (E)값은 0.60의 값을 얻었다. 이에 비해 유역의 평균 경사도(25.8%)를 고려하여 CN값 보정 후 L-THIA 모형에서 직접유출량을 산출한 결과값을 WHAT 시스템에서 분리된 실측 유출량값과 비교결과 R²값은 0.69, 유효지수 (E)값은 0.69의 결과 값으로 경사도를 고려하지 않은 결과보다 좋은 모의 결과를 얻었다. Fig. 8에서 보이는 바와 같이 저유량 부분에서는 경사도를 고려한 CN값을 적용하여 모의한 결과가 상당부 실측자료와 유사하게 나타난 것을 볼 수 있다. Ramanarayanan 등(1997)

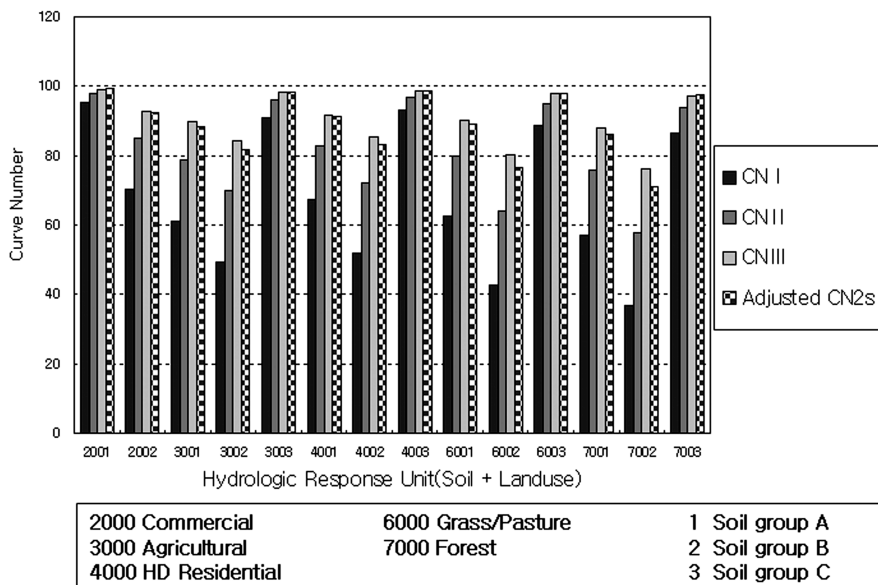


Fig. 7. Comparison of CN I, CN II, CNIII and Adjusted CN_{2s}.

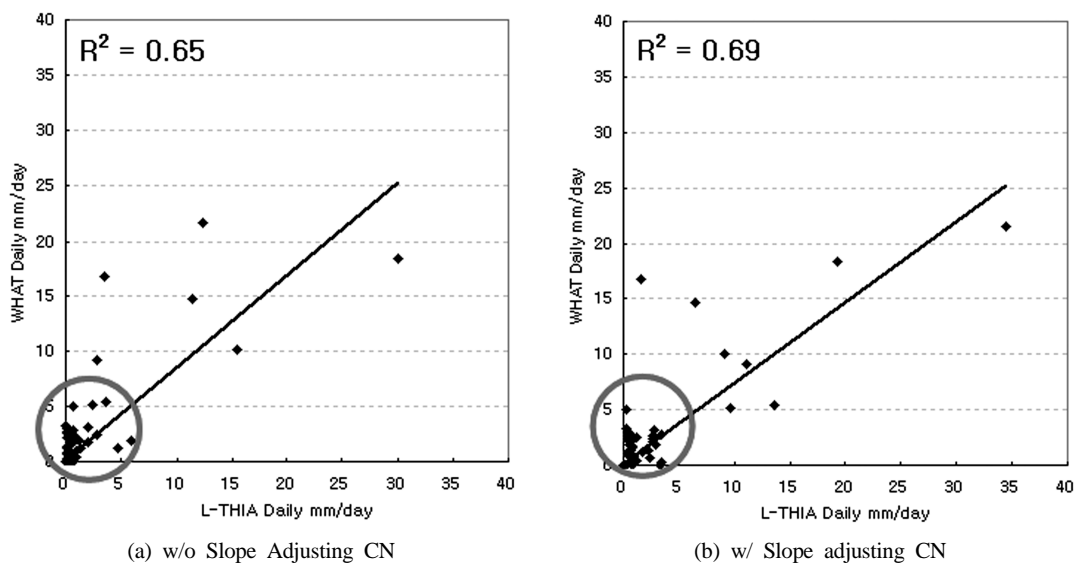


Fig. 8. Comparison of L-THIA estimated daily direct runoff with WHAT measured daily direct runoff.

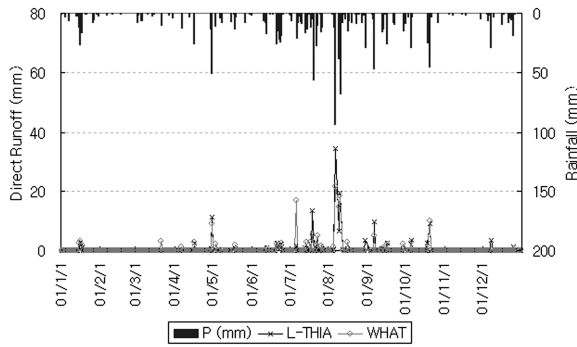


Fig. 9. Comparison of L-THIA estimated daily direct runoff with WHAT filtered daily direct runoff.

은 결정계수(R^2)가 0.5 이상이고 모형효율지수(EI)가 0.4 이상이면 모형이 자연현상을 잘 모의하는 것으로 제안하였다. 또한 Fig. 9에서 보이는 바와 같이 L-THIA 모형으로 산출한 일별 직접유출과 WHAT 시스템에서 분리된 일별 직접유출이 유사하게 모의된 것을 볼 수 있다. 이는 경우에 의한 직접유출 모의에 있어 경사도가 고려된 L-THIA 모형의 적용성이 높다는 것을 알 수 있다.

4. 결론

현재 우리나라에서 사용되는 강우-유출 해석 방법들은 대부분 외국에서 개발되어 들어온 방법들로서 국내에서의 정확한 강우-유출 해석에 사용되기에는 부적합하다. 강우에 의한 유효우량 산정에 있어 주로 사용되고 있는 CN값 또한 미국 중서부 지역과 같이 경사 5%미만인 지역에 적합한 것이다. 이러한 CN값을 우리나라와 같이 산지가 대부분이고 경사가 심한 지역에 적용하는 데에는 많은 문제가 있다. 그리하여 본 연구의 결과에서 나타난 바와 같이 미국 지형에 맞는 CN값을 적용하였을 때보다 경사도를 고려한 CN값을 적용하였을 때 R^2 값은 0.69, 유효지수 (E)값은 0.69로 높게 나타났다. 이로 인해 정확한 유출특성을 CN방법을 이용하여 모의하기 위해서는 해당 유역의 경사도가 반드시 고려되어야 한다는 것을 알 수 있다. 본 연구에서는 연구지역 내 전체 평균 경사도를 이용하여 CN값을 조정하였으나, 차후 평균 경사도가 아닌 구체적인 지형 인자가 반영될 수 있도록 소유역별 경사도를 이용하여 CN값을 조정하여 직접유출을 모의하면 정확성이 향상될 것이라 판단된다.

사 사

본 연구는 농촌진흥청과 강원대학교 농업과학연구소의 지원을 받아 수행된 연구입니다.

참고문헌

김종건, 박윤식, 전지홍, Bernard A. Engel, 안재훈, 박영근, 김기성, 최중대, 임경재, 선행 토양함수조건(AMC)을 고려

한 L-THIA WWW 직접유출 모의 정확성 평가, *한국물환경학회지*, **23**(4), pp. 474-481 (2007).

농업진흥청 농업과학기술원, <http://asis.rda.go.kr>, 농업토양정보시스템 (2000).

임경재, 김종건, 김기성, 최중대, 신용철, Web GIS기반의 WHAT 시스템을 이용한 직접유출 모의 정확성 평가, *추계 GIS 워크샵 및 학술대회 논문집*, pp. 12-13 (2006).

임경재, 박윤식, 김종건, 허성구, 신용철, 유동선, 김기성, 최중대, Google Map과 WAMIS 자료를 이용한 직접유출/기저유출 분리 시스템의 개발, *추계 GIS 워크샵 및 학술대회 논문집*, pp. 5-9 (2007).

정세용, *오염총량관리제도 II(수계오염총량관리기술지침)*, 국립환경연구원 (2002).

최용석, 김종건, 강명래, 다변량 정규성과 이상치 검정을 위한 통계 시스템 개발, *응용통계연구*, **14**(2), pp. 223-231 (2001).

허성구, 김재영, 유동선, 김기성, 안재훈, 윤정숙, 임경재, 객토를 고려한 도암댐 유역에서의 수문 및 유사 거동 모의, *한국농공학회 발표 논문집*, pp. 3-4 (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 Muthukrishnan, 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-COMPDAI> 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(<http://pasture.ecn.purdue.edu/~what>, <http://www.EnvSys.co.kr/~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(<http://pasture.ecn.purdue.edu/~sprawl/>) 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).
- Ramanarayanan, T. S., Williams, J. R., Dugas, W. A., Hauck, L. M. and McFarland, A. M. S., *Using APEX to identify alternative practices for animal waste management*, Minneapolis, MN. Paper No. 97-2209 (1997).
- 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).
- Williams, J. R., Chapter 25. The EPIC Model. In *Computer Models of Watershed Hydrology*, *Water Resources Publications*, Highlands Ranch, CO. pp. 909-1000 (1995).