

## 유출곡선지수 회귀식을 이용한 보청천유역의 직접유출 모의연구

곽재원 · 김수전<sup>†</sup> · 윤선화 · 김형수

인하대학교 공과대학 사회기반시스템공학부 토목공학과

### Direct Runoff Simulation using CN Regression Equation for Bocheong Stream

Jae Won Kwak · Soo Jun Kim<sup>†</sup> · Shan hua Yin · Hung Soo Kim

Department of Civil Engineering, INHA University

(Received 19 January 2010, Revised 7 June 2010, Accepted 17 June 2010)

#### Abstract

NRCS Curve Number (CN) method is widely used for practical purposes in the field by engineers and researchers to calculate direct runoff from total rainfall. However, CN is obtained from antecedent moisture condition and soil characteristics and so it has some problems due to its uncertainty. Therefore this study estimated CN of a watershed using asymptotic CN method which can estimate CN by rainfall and runoff data and compared the result with representative CN given by WAMIS. And we performed runoff simulation for rainy season of Bocheong stream by CN regression equation. From the result, we showed that it could be more reasonable to simulate direct runoff using watershed CN regression equation than WAMIS CN. Furthermore, we knew that the equation is more sensitive to small rainfall event.

**keywords** : Asymptotic CN, NRCS method, Rainfall-runoff, Runoff curve number

### 1. 서론

NRCS(Natural Resources Conservation Service)의 유출곡선지수 산정법(runoff Curve Number method, CN)은 유역 내의 토지 이용 및 토지피복, 토양특성, 수문학적 조건 등을 이용하여 총 강우량으로부터 유효우량 또는 직접유출량을 계산하는 방법이다. 특히, 이론의 간편성과 적용성으로 인하여 TR-20(NRCS, 1984), TR-55(NRCS, 1986), HEC-HMS (U.S Army Corps of Engineers, 1999)등과 같은 호우사상 모의(rainfall event simulation) 뿐만 아니라 CREAMS(Kinsel, 1980), AGNPS(Young et al., 1989), SWAT(Arnold and Fohrer, 2005), SWIM(Krysanova et al., 2000)과도 같은 장기유출 연속모의(Long-term continuous simulation)에도 널리 사용되고 있다. 이렇듯 폭넓게 사용되고 있으나, 사용자와 GIS 자료에 따라서 유출곡선지수에 차이가 있고, 또한 토양특성과 토지피복으로 산정한 유출곡선지수가 과연 적합한가에 대한 문제가 발생한다.

이러한 문제를 해결하기 위하여 국내에서는 GIS를 이용한 좀 더 정확한 유출곡선지수 산정연구(김경탁, 1998; 김홍태와 신현석, 2003; 육승우 등, 2003)나, 모형을 통한 최적의 유출곡선지수의 산정(김남원 등, 2008), GIS와 다른 자료를 연계한 유출곡선지수 산정(배덕효 등, 2003; 이병주 등, 2003), 최적화 기법을 이용한 유출곡선지수의 산정(전

지홍 등, 2009), 국내에 적합한 유출곡선지수 산정방법(박정훈 등, 2005; 오경두 등, 2005; 유철상 등, 2005)등의 연구가 진행되었으며, 국외에서는 국내보다 좀 더 세부적으로 NRCS 방법의 기본 이론에 대한 개선 연구(Bondelid et al., 1982; Lim et al., 2006; Sahu et al., 2007)나, NRCS기법의 적용성 연구 및 평가(Fennessey et al., 2001; Matt et al., 1998; Moglen, 2000)연구, 다른 모형이나 기법과의 연계된 적용연구(Dahlke et al., 2009; Loucaides et al., 2007; Lyon et al., 2006; Nearing et al., 1996)등도 활발히 연구되고 있다. 이러한 연구를 통하여 강우-유출 모형에서의 모의유출량이 관측유출량에 적합할 때까지 보정과정을 거쳐 산정된 최적 유출곡선지수 산정 방법과, 빈도적합과정을 거친 관측 강우량과 유출량 자료를 이용하여 유출곡선지수를 산정하는 점근 유출곡선지수방법(asymptotic CN method)등이 제시 되었다. 그러나, 이러한 방법이 제시되었음에도 불구하고 국내에서는 대부분 National Engineering Handbook Chapter 4(SCS, 1985)에서 제시한 테이블값과 GIS 자료를 이용하여 유역의 평균 유출곡선지수를 사용하고 있는 실정이다. National Engineering Handbook Chapter 4에서 제시한 테이블과 적용 방법은 대부분 미국 내의 조사된 수문자료를 이용하여 산정하였으므로 상이한 기후, 토양특성, 유출 특성을 보이는 국내의 실정과는 동떨어져있다고 볼 수 있으나 별다른 대안이나 보완은 아직 미흡한 실정이다.

이에 대하여 본 연구에서는 국내 유역의 강우-유출 특성을 반영한 유출곡선지수를 산정하고 강우에 따른 직접 유출량을 모의하기 위한 방법을 연구하였다. 이를 위하여 보

<sup>†</sup> To whom correspondence should be addressed.  
soojuny@empal.com

청천 유역의 관측 강우-유출 자료에 Hawkins(1993)가 제시한 점근 유출곡선지수방법을 적용하고 이를 WAMIS(국가수자원관리종합정보시스템)에서 제시한 값과 비교하였으며, 유역의 대표 유출곡선지수에 대한 회귀식을 유도하고 이를 이용하여 보청천 유역의 6~9월 하절기 유출을 모의하고 그 결과를 분석 하였다.

## 2. 연구방법

### 2.1. NRCS 유출곡선지수법

NRCS 방법은 1930년대에 미국 내에서 수문자료의 중요성이 부각됨에 따라서, Soil Conservation Service가 설립되어 여러 시험유역에 대한 강우·유출 및 기타 자료를 수집하면서 시작되었다. 또한 1936년에 홍수조절을 위한 법률(Flood control act)가 발효됨에 따라서(U.S ACE, 1988) 유역에 대한 자세한 조사 연구가 수행되었으며 이러한 연구성과를 바탕으로 Andrews(1954)는 기본적인 SCS 방법의 이론을 정립하였으며, 이에 근거하여 직접 유출량  $Q$ 와 총 강우량  $P$ 의 관계를 강우의 초기손실  $I_a$ 와 최대잠재보유수량  $S$ 의 함수관계로서 제시하였다. 단위 강우량에 대한 기본적인 물수지 방정식은 다음과 같이 표현된다. 어느 유역에 내린 총 강우량(Total Rainfall)  $P$ 는 직접유출량(Direct Runoff)  $Q$ 와 초기손실량(Initial Losses)  $I_a$ , 유출시작 후에도 유출로 나타나지 않는 유역의 실제보유수량  $F$ 로 나타낼 수 있다.

$$\frac{Q}{P} = \frac{F}{S} = \frac{\text{실제손실량}}{\text{잠재손실량}} \quad (1)$$

$$Q = \frac{P \times F}{S} \quad (2)$$

유역의 실제보유수량  $F$ 는 총 강우량  $P$ 와 직접유출량  $Q$ 의 차로 나타낼수 있으므로( $F = P - Q$ ) 이를 식 (2)를 이용하여 정리하면  $Q = P^2 / (P + S)$ 의 식으로 나타낼 수 있다. 또한, 실제 시험유역의 연구결과에 따라서 유출이 시작하는데 필요한 일정량의 강우를 “초기손실량( $I_a$ )”으로 간주하여 강우량  $P$ 가 아니라  $P - I_a$ 를 사용하게 된다. 따라서, 유출관계식은 다음과 같이 표현된다.

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a + S)} \quad P \geq I_a, Q = 0 \quad (3)$$

식 (3)은  $I_a$ 와  $S$ 의 두 개의 변수들로 이루어져 있으나, SCS의 시험유역에 대한 지속적인 연구를 통해서 유역의 저류량  $S$ 와 초기손실  $I_a$  사이에 선형 가정을 통하여  $I_a = 0.2S$ 의 관계를 규정하고 이를 통하여 간단화하였다(see Fig. 1).

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{(P + 0.8S)} \quad P \geq I_a, Q = 0 \quad (4)$$

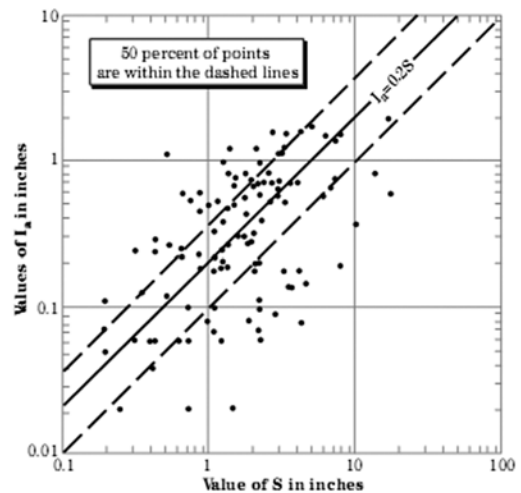


Fig. 1. Relationship of  $I_a$  and  $S$  ( $I_a = 0.2S$ ).

식 (4)는 유역의 최대 잠재 보유수량  $S$ 로부터 유출량을 쉽게 계산할 수 있도록 한다. 그러나,  $S$ 가 0에서  $\infty$ 까지 증가하므로 사용상의 편의성을 위하여  $S$ 를 임의의  $CN$ 으로 변환한다.

$$CN = 1000 / (10 + S) \quad [S = \text{inch unit}] \quad (5)$$

$$CN = 25400 / (254 + S) \quad [S = \text{metric unit}] \quad (6)$$

여기서,  $CN$ 은 토양·토지피복·토지이용에 대해서  $Q$ 와 직접적으로 연관되어 정의된 상수로서 0에서 100 사이의 수로 정의되며,  $CN=0$ 이면  $S = \infty$ 가 되어 유출량이 0이 되며  $CN=100$ 일 때는  $S=0$ 으로 잠재보유수량이 0이 되어 유효우량 전체가 유출되게 된다.

### 2.2. 점근 유출곡선지수법을 이용한 유역의 대표 CN 산정

유출곡선지수에 영향을 미치는 주요한 인자는 유역의 수문학적 토양군(Hydrologic Soil Groups, HSGs), 토지피복(Land Use), 수문학적 조건(Hydrologic condition), 선행 유출조건(Antecedent Runoff Condition, ARC) 등이 있으며 이러한 사항을 고려하여 유역의 평균적인  $CN$ 을 산정할 수 있다.

만일, 강우유출 자료가 있는 계측 유역이라면 식 (4)로부터 유도되어진 식 (7)을 이용하여 유역의 강우유출 시계열에 대한 산포도를 작성하고 유출곡선지수를 결정할 수 있으며, 각각의 강우유출 사상에 대한 유출곡선지수  $CN$ 은 식 (8)과 같이 산정된다.

$$S = 5 [P + 2Q - \sqrt{(4Q^2 + 5PQ)}] \quad (7)$$

$$CN = 25,400 / [254 + 5(P + 2Q - \sqrt{(4Q^2 + 5PQ)})] \quad (\text{in metric}) \quad (8)$$

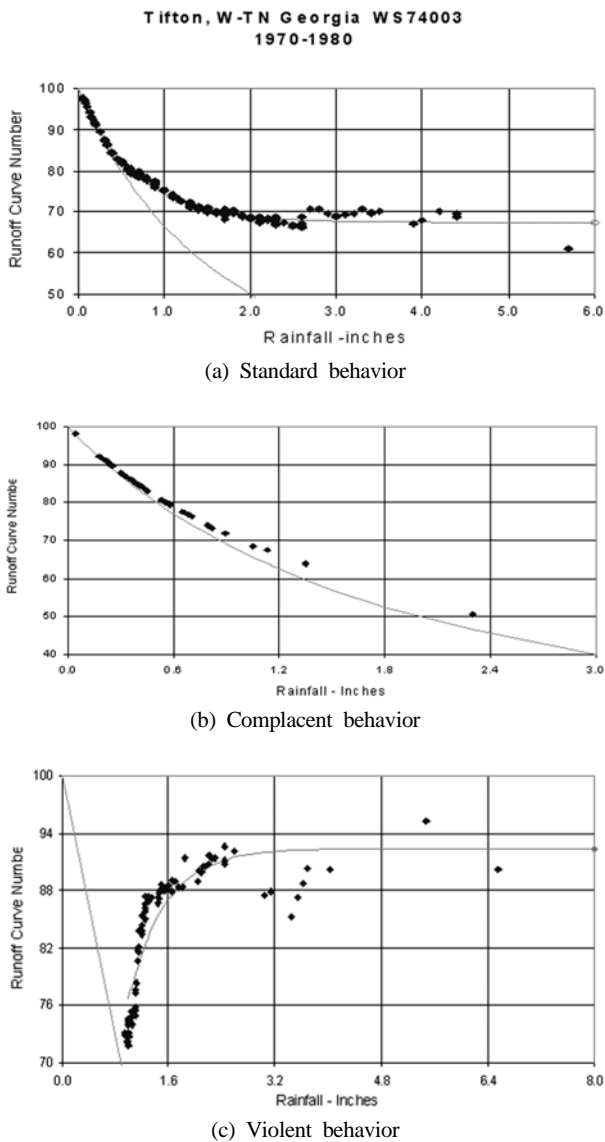


Fig. 2. Behavior of P-CN shatter diagram.

식 (8)과 강우유출 자료에 의한 CN 값은 사상에 따라서 각기 다른 값을 나타내나, 대부분의 경우 강우량이 증가할 수록 일정한 값에 근접하는 경향을 보인다. 이 경우 수렴하는 곡선이 접근하는 값이 해당 유역에 대표 유출곡선지수로 간주할 수 있다. 이 방법은 유출곡선지수 값을 기존의 그래프나 표에 의한 방법이 아니고 수학적 방법으로 결정하기 때문에 프로그램화 할 수 있으며, 산포도를 작성하면서 나타나는 유역 유출곡선지수의 변화 경향을 유역 분석 시에 유용한 자료로 사용할 수 있다.

식 (8)과 강우유출자료에 따른 유출곡선지수 산포도에서는 몇 가지 형태의 유출지수 경향성(CN Behavior)이 나타나며, Hawkins(1993)에 의하여 Complacent, Standard, Violent의 3가지로 정의되었다. 각각, 강우량의 증가에 따라서 유출곡선지수가 감소하다 일정 값이 접근하는 Standard 경향성, 강우량 증가에 따라 유출곡선지수는 감소하지만 접근하지 않는 Complacent 경향성, 마지막으로 강우량 증가에 따라 유출곡선지수가 증가하다가 일정 값에 접근해 가는

Violent 경향성으로 구분되며, 대부분의 유역이 Standard 경향성을 보임을 나타내었다.

본 연구에서는 측정된 강우사상으로부터 총 강우량  $P$ 를 구하고, 유출수문곡선으로부터 기저유출을 분리하여 직접유출량  $Q$ 를 산정한 후 식 (7)과 식 (8)을 이용하여 강우사상별 CN을 산정하였다. 이때, Hawkins(1993)의 연구와 같이, 홍수량을 산정할 때의 기본 가정인 강우와 홍수발생빈도가 같아야 한다는 점에 착안하여 강우와 유출량의 재현빈도를 같게 하였다. 이를 재현빈도 적합(frequency matching)과정이라고 하며 강우유출자료에서 강우량과 유출량을 각각 내림차순으로 재정렬하여 재현빈도가 같은 새로운 강우유출사상으로 만들어 적용하였다.

### 2.3. 유역의 대표 유출곡선지수식을 이용한 CN 산정

유출곡선지수에 대한 Hawkins(1993)의 연구에서  $P$ -CN 관계의 접근하는 형태를 Standard, Violent, Complacent 형태로 구분하였다. 이중에서 회귀식의 산정이 불가능한 Complacent형을 제외하고 Standard형과 Violent형에 대하여 다음과 같은 형태의 회귀식을 제시하였다.

$$\text{Standard 형 : } CN(P) = CN_{\infty} + (100 - CN_{\infty}) \exp(-k_1 P) \quad (9)$$

$$\text{Violent 형 : } CN(P) = CN_{\infty} [1 - \exp(-k_2 P)] \quad (10)$$

여기서  $CN_{\infty}$  :  $P \rightarrow \infty$  일 때 접근하는 일정한 값  
 $k$  : 적합상수(fitting constant)

위의 식 (9)와 유역의 강우-유출 자료를 이용하여 유역의 대표 유출곡선지수를 결정할 수 있으며 이 과정에서 나타나는 수문 반응 특성은 유역의 특성을 분석하는데 유용하게 사용될 수 있다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 대상유역 및 자료구축

본 연구에서는 대상 유역으로 유역 면적과 토지이용, 토양군 등을 고려하여 보청천 유역을 선정하였다. 보청천 유역은 충분한 강우유출 자료가 존재하며 유역의 특성이 강우유출자료를 이용한 CN 산정에 적합한 것으로 판단된다. 보청천은 금강의 제 1 지류로서 유역면적 553.56 km<sup>2</sup>, 유역평균경사 32.09%, 유로연장 68.05 km의 지방하천이다. Fig. 4는 보청천유역의 지형과 수계현황을 나타낸 것이다.

실제적으로 CN 산정에 필요한 강우유출 자료는 WAMIS의 장기유출 분석자료를 이용하였으며 강우자료는 티센 가중평균법을 이용한 유역의 평균우량을 이용하였다. 유출곡선지수를 산정하기 위한 자료로는 보청천의 1989년부터 1999년까지의 10여년의 자료를 이용하였으며, 검증 사상으로는 동일 유역의 2000, 2001, 2003, 2004년의 하절기(6~9월) 자료를 이용하였다. 강우자료 및 유출자료는 모두 일단



Fig. 3. Base map of Study Area.

위(daily data)를 이용하였는데, 일 단위 자료를 이용함에 따라서 개개의 강우사상별 이상치에 따른 유출곡선지수의 왜곡을 완화시킬 수 있으며, 단기간의 강우사상을 이용한 유출곡선지수 산정에서 발생할 수 있는 도달시간의 고려를 상대적으로 하지 않아도 되는 장점이 있다.

또한, 유출곡선지수 산정에 필수적인 장기유출자료의 기저유출의 분리에는 Lim 등(2005)에 의해 개발된 Web GIS-based Hydrograph Analysis Tool(WHAT)을 이용하였다. WHAT Web GIS system, <http://pasture.ecn.purdue.edu/~what> 은 웹브라우저만을 이용하여 손쉽게 직접유출과 기저유출을 분리할 수 있는 시스템이다. 기저유출 분리 시에는 유역 내 대수층의 특성을 고려할 수 있는 Eckhardt 필터(Eckhardt, 2005)를 적용하였으며, 분리 시에 필요한 대수층 특성 매개변수인  $BFL_{max}$ 는 감수곡선방법과 가장 잘 맞아

Table 1. Rainfall·Runoff data of Bocheong stream

	CN event	Verification event
Rainfall data	1989 ~ 1999 year	2000 ~ 2004 year
Runoff data	1989 ~ 1999 year (Summer season)	2000 ~ 2004 year (Summer season)

떨어지는 0.597을 이용하였다(임경재, 2006). Table 1은 사용한 보청천 유역의 자료 현황이며, Fig. 4는 보청천 유역의 1996년도 수문곡선에 대해서 WHAT Web GIS 시스템을 이용하여 기저유출을 분리한 예시이다.

### 3.2. 유역 대표 유출곡선지수 산정 및 검증

점근 유출곡선지수법을 이용하여 보청천 유역의 유역평균 유출곡선지수를 산정하였으며 산정하기 위한 강우유출

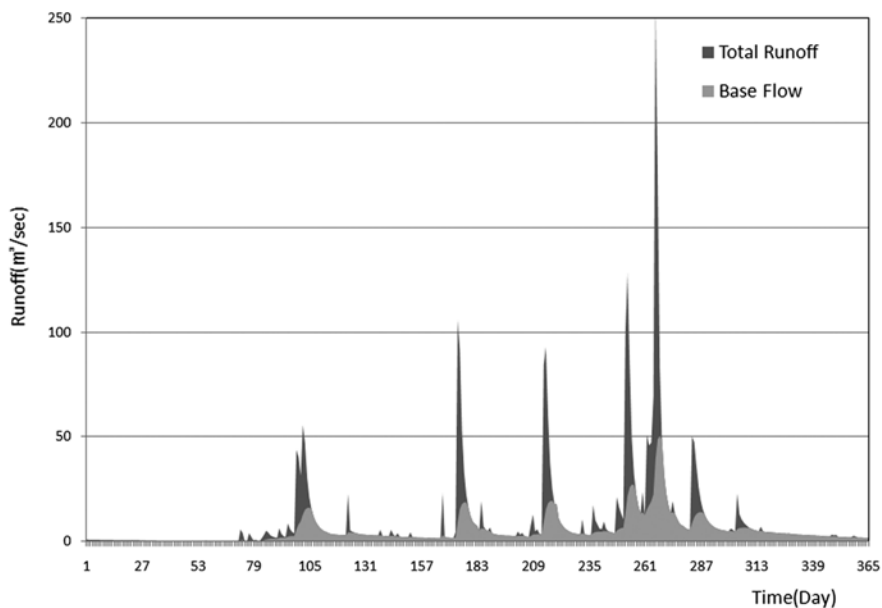
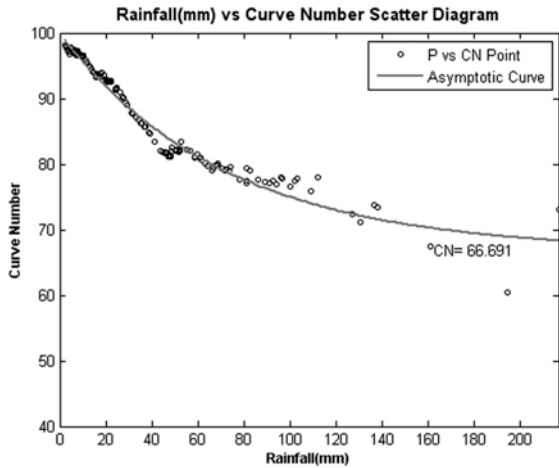


Fig. 4. Separation of baseflow for Bocheong stream (1999).

**Table 2.** CN of Bocheong stream (WAMIS)

Year	1975	1980	1985	1990	1995	2000	Applied CN
WAMIS CN	76	76	76.3	76.8	76.9	76.8	76.8



**Fig. 5.** CN estimation by asymptotic CN.

자료로는 각 유역의 1989년부터 1999년까지의 10년간의 장기유출 자료를 이용하였다. 산정된 CN 값에 대한 비교자료로는 WAMIS에서 제시된 보청천의 유출곡선지수를 선택하였다. WAMIS에서 제시한 보청천의 유출곡선지수는 Table 2와 같으며 비교 시에는 비교적 최근의 변화를 반영한 유출곡선지수라고 판단되는 76.8을 사용 하였다.

보청천에 대한 유출곡선지수 산정결과는 Fig. 5와 같으며, 66.7으로 접근하는 것으로 산정 되었다. 이러한 유출곡선지수가 강우량에 대해 비선형적으로 감소하는 것은 큰 강우량과 유출량의 발생 시에 토양수분 저류량도 커지게 되는에서 기인한다. 또한, 국가수자원관리종합정보시스템 상에서 제시된 유출곡선지수와 비교하여 보면 76.8과 66.7 로서 상당한 차이가 발생하였다. 이는 WAMIS에서 CN산정에 사용한 GIS 자료와 토양 Type 등에서 기인한 것으로 보이며, GIS 자료만을 가지고 유출곡선지수를 산정하는 것은 사용자에게 따라 차이가 크게 발생할 수 있음을 나타내는 것이다.

이러한 산정결과를 가지고 유역의 강우유출 자료에 대해서 얼마나 적합하게 산정된 것인지 알아보기 위하여 동일 유역의 2000년 이후의 하절기 강우유출 자료를 이용하여 유출곡선지수에 대하여 검증을 수행하였다. 유출곡선지수를 통한 유출 모의는 WAMIS에서 제시한 CN 값과 P-CN 접근 유출곡선지수법으로 산정한 CN을 이용하여 비교하였다. 하절기의 강우유출 자료를 이용하였으므로 성수기로 간주하였으며, 동일하게 5일 선행강우량에 따라서 AMC 조건을 일별로 산정하여 유출량을 모의하였다. 이러한 연속된 유출모의에서는 단순히 수문곡선의 형태만으로 비교하기에는 어려움이 따르므로 수문곡선의 모의정도를 평가하기 위한 평가함수로서 수문모형 평가 시에 자주 사용되는 NRMSE, R<sup>2</sup>, RE를 사용하였다. NRMSE와 R<sup>2</sup>의 경우에는 전체

**Table 3.** Evaluation function of runoff simulation

Evaluation Func.	Verification (year)	Bocheong stream	
		Selection CN (WAMIS)	Asymptotic CN
NRMSE	2000	<b>0.124</b>	0.126
R <sup>2</sup>		<b>0.578</b>	0.564
RE		0.220	<b>0.020</b>
NRMSE	2001	<b>0.112</b>	0.114
R <sup>2</sup>		<b>0.355</b>	0.347
RE		0.740	<b>0.369</b>
NRMSE	2003	0.069	<b>0.060</b>
R <sup>2</sup>		0.669	<b>0.720</b>
RE		0.595	<b>0.421</b>
NRMSE	2004	0.065	<b>0.059</b>
R <sup>2</sup>		0.674	<b>0.711</b>
RE		0.322	<b>0.174</b>

적인 수문곡선의 모의정도를 나타내며, RE는 첨두치에 대한 모의 정도를 나타낸다. 평가함수를 통한 비교결과는 Table 3에 나타내었으며, 좀 더 좋은 결과를 낸 수치에 진한 글씨체로 표시하였고 수문곡선의 모의형태도 Fig. 6에 나타내었다.

Table 3의 평가함수를 통하여 판단하면 WAMIS에서 제시한 유출곡선지수인 76.8은 모의 시에 첨두치를 잘 모의하지 못하는 것으로 나타났다. Fig. 6의 수문곡선으로 판단할 경우 전체적으로 WAMIS에서 제시하고 있는 유출곡선지수는 첨두치에서 평균적으로 46% 이상 유출량을 과다하게 산정하고 있다. 이는 실제 보청천의 유출곡선지수는 이보다 작을 것임을 짐작하게 한다.

**3.3. 보청천 유역 유출곡선지수식 산정**

보청천의 CN 경향성은 Standard형에 해당하므로 2.3절에서 설명한 식 (9)와 Fig. 5의 결과를 이용하여 식 (11)과 같이 보청천의 유출곡선지수를 회귀식으로 산정할 수 있으며 보청천의 회귀식은 Table 4와 같이 산정할 수 있다.

$$CN_{\text{보청천}}(P) = CN_{\infty} + \alpha \exp(-kP) \tag{11}$$

여기서 CN<sub>∞</sub> : P → ∞ 일 때 접근하는 값

(보청천 유역의 대표 CN)

α, k : 적합상수(fitting constant)

식 (11)과 같은 유출곡선지수 회귀식을 이용할 경우 총 강우량이 점차 증가함에 따라서 유출곡선지수도 점차 일정한 값에 수렴하는 P-CN 관계와 동일하게 거동하는 유출곡선지수를 산정하게 된다. 이는 앞서 산정한 유역의 P-CN 거동과 유사하게 거동하게 되므로 유역의 강우유출 특성을 잘 반영할 수 있을 것으로 보인다. 특히, 기존의 단일한 유출곡선지수를 사용할 때의 문제점인 총 강우량이 낮은 사상에 대해서는 직접유출량을 아주 낮게 산정하거나 0으로 산정하는 문제점을 해결할 수 있을 것으로 보인다.

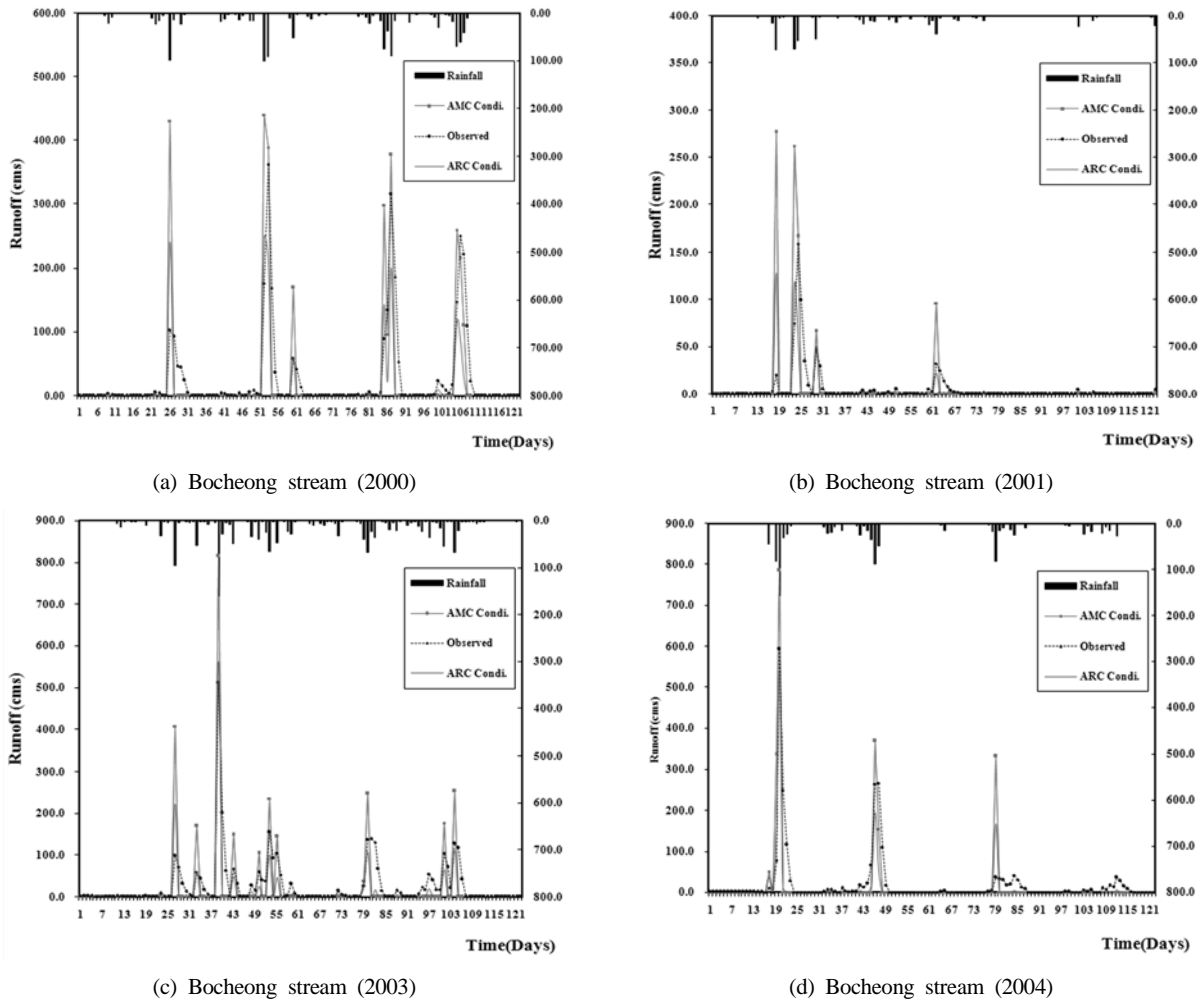


Fig. 6. Flood hydrograph simulation in Bocheong stream.

Table 4. Coefficients of regression equation for P-CN curve

Coefficient	$CN_{\infty}$	$\alpha$	$k$
Bocheong stream	66.7	33.258	0.013869
Regression eq.	$CN_{Bocheong}(P) = 66.691 + 33.258 \exp(-0.013869 P)$		

3.4. 유역 대표 유출곡선지수식 검증

산정된 유역의 대표 유출곡선지수식을 이용하여 2000년 이후의 4개 사상에 대하여 WAMIS에서 제시한 CN, 점근 유출곡선지수법에 의한 CN, 식 (11)을 이용한 유출곡선지수 회귀식을 이용하여 유출을 모의하고 그 결과를 비교하였다. 유출 모의는 동일한 NRCS 직접유출 산정공식과 보청천 자료를 사용하였으며, WAMIS와 점근 유출곡선지수는 3.1~3.2절에서 사용한 것과 동일하게 성수기 및 5일 선행강우를 적용하였으며, 유출곡선지수 회귀식만 강우량을 이용하여 그에 따른 일별 유출곡선지수를 산정하고 유출을 모의하였다. 모의 결과는 Fig. 7과 Table 3에 나타내었으며, 동일하게 좋은 결과를 나타낸 CN에 대하여 진한 글씨로 표기하였다.

Table 5의 평가함수를 통하여 판단하여 볼 때 WAMIS 상에서 제시된 유출곡선지수보다는 강우유출 자료를 이용

Table 5. Evaluation function of runoff simulation

Evaluation Func.	Verification (year)	Bocheong stream		
		Selection CN (WAMIS)	Asymptotic CN	CN Regression Eq.
NRMSE	2000	<b>0.124</b>	0.126	0.128
$R^2$		<b>0.578</b>	0.564	0.561
RE		0.220	<b>0.020</b>	0.025
NRMSE	2001	0.112	0.114	<b>0.112</b>
$R^2$		0.355	0.347	<b>0.318</b>
RE		0.740	0.369	<b>0.288</b>
NRMSE	2003	0.069	0.060	<b>0.058</b>
$R^2$		0.669	0.720	<b>0.723</b>
RE		0.595	0.421	<b>0.379</b>
NRMSE	2004	0.065	0.059	<b>0.058</b>
$R^2$		0.674	0.711	<b>0.717</b>
RE		0.322	0.174	<b>0.138</b>

하여 산정한 유출곡선지수가 좀 더 타당한 결과를 산정하는 것으로 나타났다. 또한, Fig. 7과 같이 수문곡선의 형태도 좀 더 자세하게 모의하는 것으로 나타났으며, 특히 기존의 단일 유출곡선지수를 사용하였을 때에는 유출곡선지

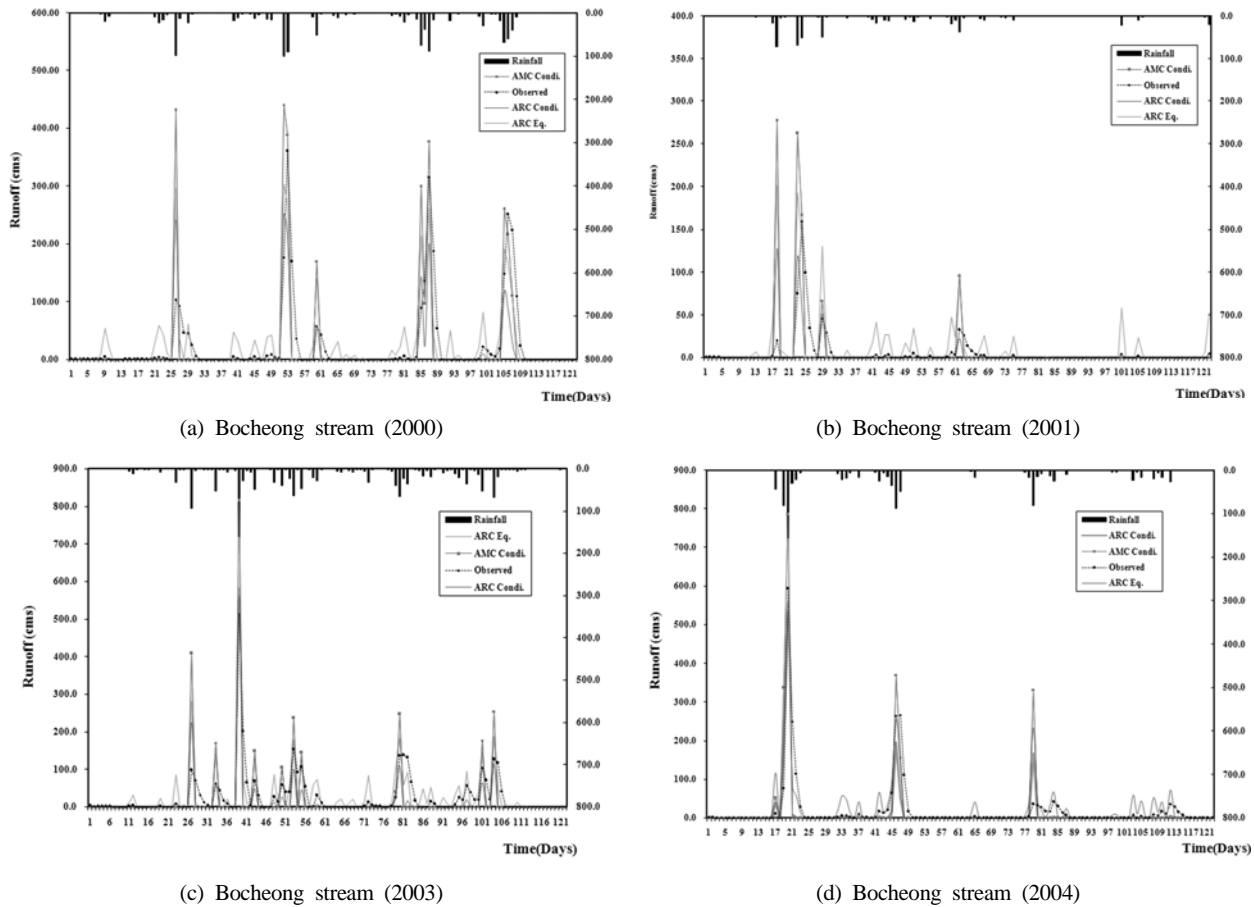


Fig. 7. Flood hydrograph simulation in Bocheong stream.

수 자체가 강우량이 큰 사상을 중심으로 두고 있어서 상대적으로 총 강우량이 적은 소규모 사상에 대해서는 유출이 적거나 아예 유출이 존재하지 않는 것으로 산정하던 것에 비하여 유출곡선지수 회귀식을 이용한 유출모의에서는 이러한 소규모 사상에 대해서도 상대적으로 합리적인 모의를 하는 것으로 보인다. 따라서, 연구결과를 가지고 판단하여 볼 때 유출곡선을 이용 시에 단일 유출곡선지수보다는 대표 유출곡선지수 회귀식을 산정하고 이를 적용하여 유출을 모의하는 것이 상대적으로 타당한 결과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구는 NRCS의 유출곡선지수법의 개념과 Hawkins (1993)의 점근 유출곡선지수산정법을 접목하여 유역의 강우유출 자료를 이용하여 유출곡선지수 산정방법을 비교·분석하고 유역의 유출곡선지수를 단일 값이 아닌 유출곡선지수식으로 사용하였을 때의 적용성을 분석하였다.

해당 방법을 보청천 유역에 적용한 결과, 보청천 유역의 유출곡선지수는 일정 값에 접근하는 특성을 나타내었으며 실제 유출수문곡선 모의를 통한 비교에서도 WAMIS에서 제시한 유출곡선지수보다 타당한 결과를 보여주었다. 특히, 기존의 단일 유출곡선지수를 적용할 경우 높은 강우량의

호우를 제외하고는 수문곡선을 잘 모의하지 못하는 단점이 있으나 대표 유출곡선지수 회귀식을 이용한 방법은 낮은 강우량의 사상에서도 상대적으로 타당하게 모의해주는 장점이 있었다. 따라서, 유출곡선지수를 사용하는 여러 모형 및 이론에서 유출곡선지수 대신에 유출곡선지수 회귀식을 사용한다면 유역의 직접유출 및 유효우량 산정에 유용하게 사용할 수 있을 것으로 보인다.

사 사

본 연구는 한국수자원공사의 물산업 핵심분야 연구개발비 지원사업의 일환으로 수행되었습니다(No. KIWE2008-0003). 연구지원에 감사드립니다.

참고문헌

김경택(1998). GIS 적용에 따른 유출응답에 관한연구. 박사 학위 논문, 인하대학교.  
 김남원, 이진원, 이정우, 이정은(2008). SWAT을 이용한 충주댐 유역의 유출곡선 지수 산정 방안. 한국수자원학회 논문집, 41(12), pp. 1231-1244.  
 김홍태, 신현석(2003). 신경망기법으로 분류한 토지피복도의 CN값 산정 적용성 검토. 한국수자원학회논문집, 36(4), pp. 633-645.

- 박정훈, 유철상, 김중훈(2005). SCS 방법 적용을 위한 선행 토양함수조건의 재설정: 1. SCS 방법 검토 및 적용상 문제점. *한국수자원학회논문집*, **38**(11), pp. 955-962.
- 배덕효, 이병주, 정일원(2003). 위성영상 피복분류에 대한 CN값 산정(I) -CN값 산정-. *한국수자원학회논문집*, **36**(6), pp. 985-997.
- 오경두, 전병호, 한형근, 정성원, 조영호, 박수연(2005). 산지 소유역 유출곡선지수. *한국수자원학회논문집*, **38**(8), pp. 605-616.
- 유철상, 박정훈, 김중훈(2005). SCS 방법 적용을 위한 선행 토양함수조건의 재설정: 2. 선행토양함수조건의 재설정. *한국수자원학회논문집*, **38**(11), pp. 963-972.
- 육승우, 조용재, 김재호, 김상용(2003). CN값 산정시 GIS 활용에 관한 연구. *학술발표회논문집*, 한국수자원학회, pp. 963-966.
- 이병주, 배덕효, 정창삼(2003). 위성영상 피복분류에 대한 CN 값 산정(II)-적용 및 검증-. *한국수자원학회논문집*, **36**(6), pp. 999-101.
- 임경재(2006). 수문모델의 정확성 평가를 위한 Web GIS 기반의 수문분석 툴, WHAT의 소개. *한국관개배수지*, **13**(2), pp. 303-309
- 전지홍, 최동혁, 김정진, 김태동(2009). SCE-UA 최적화기법에 의한 낙동강 유역의 CN값 도출. *수질보전 한국물환경학회지*, **25**(2), pp. 245-255.
- Andrews, R. G. (1954). *The Use of Relative Infiltration Indices in Computing Runoff*, Soil Conservation Service, Fort Worth, Texas.
- Arnold, J. G. and Fohrer, N. (2005). SWAT2000: current capabilities and research opportunities in applied watershed modeling. *Hydrological Processes*, **19**(3), pp. 563-572.
- Bondelid, T. R., McCuen, R. H., and Jackson, T. J. (1982). Sensitivity of SCS models to curve number variation. *Journal of the American Water Resources Association*, **18**(1), pp. 111-116.
- Dahlke, H. E., Easton, Z. M., Fuka, D. R., Lyon, S. W., and Steenhuis, T. S. (2009). Modelling variable source area dynamics in a CEAP watershed. *Ecohydrology*, **2**(3), pp. 337-349.
- Eckhardt, K. (2005). How to construct recursive digital filters for baseflow separation. *Hydrological Processes*, **19**(2), pp. 507-515.
- Fennessey, L. A. J., Miller, A. C., and Hamlett, J. M. (2001). Accuracy and precision of NRCS models for small watersheds. *Journal of the American Water Resources Association*, **37**(4), pp. 899-912.
- Hawkins, R. H. (1993). Asymptotic determination of runoff curve numbers from data. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, **119**(2), pp. 334-345.
- Kinsel, W. G. (1980). *CREAMS: A Field Scale Model for Chemicals, Runoff, and Erosion from Agricultural Management Systems*, USDA Conservation Research Report, Texas.
- Krysanova, V., Wechsung, F., and Arnold, J. G. (2000). *SWIM User Manual*, Potsdam Institute for Climate Impact Research, Potsdam, Germany.
- Lim, K. J., Bernard, A., Engel, B. A., Muthukrishnan, S., and Harbor, J. (2006). Effects of initial abstraction and urbanization on estimated runoff using CN technology. *Journal of the American Water Resources Association*, **42**(3), pp. 629-643.
- Lim, K. J., Engel, B. A., Tang, Z., Choi, J., Kim, K., Muthukrishnan, S., and Tripathy, D. (2005). Automated web GIS based hydrograph analysis tool, WHAT. *Journal of the American Water Resources Association*, **41**(6), pp. 1407-1416.
- Loucaides, S., Cahoon, L. B., and Henry, E. J. (2007). Effects of watershed impervious cover on dissolved silica loading in storm flow. *Journal of the American Water Resources Association*, **43**(4), pp. 841-849.
- Lyon, S. W., McHale, M. R., Walter, T. M., and Steenhuis, T. S. (2006). The impact of runoff generation mechanisms on the location of critical source areas. *Journal of the American Water Resources Association*, **42**(3), pp. 793-804.
- Matt, G., Harbor, J., and Engel, B. (1998). Composite VS. distributed curve numbers: Effects on estimates of storm runoff depths. *Journal of the American Water Resources Association*, **34**(5), pp. 1015-1023.
- Moglen, G. E. (2000). Effect of orientation of spatially distributed curve numbers in runoff calculations. *Journal of the American Water Resources Association*, **36**(6), pp. 1391-1400.
- Natural Resources Conservation Service (1984). *Computer Program for Project Formulation-hydrology*, Technical Release, No. 20, Washington, D. C.
- Natural Resources Conservation Service (1986). *Urban Hydrology for Small Watersheds*, Technical Release No. 55, Washington, D. C.
- Nearing, M. A., Liu, B. Y., Risse, L. M., and Zhang, X. (1996). Curve numbers and GREEN-AMPT effective hydraulic conductivities. *Journal of the American Water Resources Association*, **32**(1), pp. 125-136.
- Sahu, R. K., Mishra, S. K., Eldho, T. I., and Jain, M. K. (2007). An advanced soil moisture accounting procedure for SCS curve number method. *Hydrological Processes*, **21**(21), pp. 2872-2881.
- Soil Conservation Service (1985). *National Engineering Handbook, Supplement A, Section 4, Chapter 10*, Soil Conservation Service, USDA, Washington, D. C.
- U. S. Army Corps of Engineers (1988). *The Evolution of the Flood Control Act of 1936*, U. S. ACE, Washington, D. C.
- U. S. Army Corps of Engineers (1999). *HEC-HMS Hydrologic Modeling System User's Manual*, U.S. ACE, Washington, D. C.
- Young, R. A., Onstad, C. A., Bosch, D. D., and Anderson, W. P. (1989). AGNPS: a nonpoint source pollution model for evaluating agricultural watersheds. *Journal of Soil and Water Conservation*, **44**(2), pp. 168-173.