

# 보청천 유역의 유출곡선지수 회귀식에 관한 연구

## A Study of Curve Number Regression Equation for Bocheong Stream

곽재원\*, 김수전\*\*, 주홍준\*\*\*, 김형수\*\*\*\*

Kwak, Jae Won, Kim, Soo Jun, Joo, Hong Jun, Kim, Hung Soo

### 요 지

NRCS의 유출곡선지수 산정법(CN; Runoff Curve Number method)은 유역내의 토지 이용 및 토지피복, 토양특성, 수문학적 조건 등을 이용하여 총 강우량으로부터 유효 유출량을 계산하는 방법으로서 이론의 간편성과 적용성으로 인하여 여러 분야에 적용되고 있다. 그러나, 유출곡선지수의 특성상 지역적인 특성에 따라 차이가 발생할 수 밖에 없음에도 국내에서는 대부분 미국 NEH(National Engineering Handbook)에서 제시한 기준을 이용하고 있는 실정이다. 이에 대하여 본 연구에서는 국내 유역의 강우-유출 특성을 반영한 유출곡선지수를 산정하고 강우에 따른 직접 유출량을 모의하기 위한 방법을 연구하였다. 이를 위하여 보청천 유역의 관측 강우-유출 자료에 Hawkins et al(1993)등이 제시한 점근 유출곡선지수방법을 적용하고 이를 국가수자원관리종합정보시스템(WAMIS)에서 제시한 값과 비교하였다. 또한 유역의 대표 유출곡선지수에 대한 회귀식을 유도하고 이를 이용하여 보청천 유역의 하계 유출을 모의하고 그 결과를 비교·분석 하였다. 연구결과 대표 유출곡선지수식을 이용한 유역의 직접유출 모의결과가 단일 유출곡선지수시의 모의결과보다 더 우수한 결과를 나타내었다.

**핵심용어 :** NRCS 방법, 점근유출곡선지수법, 유출곡선지수(CN)

### 1. 서 론

NRCS(Natural Resources Conservation Service)의 유출곡선지수 산정법(Runoff Curve Number method, CN)은 유역내의 토지 이용 및 토지피복, 토양특성, 수문학적 조건 등을 이용하여 총 강우량으로부터 유효 유출량을 계산하는 방법이다. 이론의 간편성과 적용성으로 인하여 폭넓게 사용되고 있으나, 사용자와 GIS 자료에 따라서 유출곡선지수에 차이가 있고, 또한 토양특성과 토지피복으로 산정한 유출곡선지수가 과연 적합한가에 대한 문제가 발생한다. 본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 국내 유역의 강우 유출 특성을 반영한 유출곡선지수를 산정하고 강우에 따른 직접 유출량을 모의하기 위한 방법을 연구하였다. 이를 위하여 보청천 유역의 관측 강우유출 자료에 Hawkins(1993)가 제시한 점근 유출곡선지수방법을 적용하고 이를 WAMIS(국가수자원관리종합정보 시스템

\* 정회원 · 인하대학교 사회기반시스템공학부 토목공학과 박사과정 · E-mail : firstsword@naver.com  
\*\* 정회원 · 인하대학교 사회기반시스템공학부 토목공학과 박사과정 · E-mail : soojuny@empal.com  
\*\*\* 비회원 · 인하대학교 사회기반시스템공학부 토목공학과 석사과정 · E-mail : engineer1026@nate.com  
\*\*\*\* 정회원 · 인하대학교 사회기반시스템공학부 토목공학과 교수 공학박사 · E-mail : sookim@inha.ac.kr

템)에서 제시한 값과 비교하였으며, 유역의 대표 유출곡선지수에 대한 회귀식을 유도하고 이를 이용하여 보청천 유역의 6~9월 하절기 유출을 모의하고 그 결과를 분석 하였다.

## 2. 이론적 배경

### 2.1 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 CN을 산정할 수 있다. 만일, 강우유출 자료가 있는 계측 유역이라면 식 (3)를 이용하여 산정한다.

$$CN = 25,400 / [254 + 5(P + 2Q - \sqrt{4Q^2 + 5PQ})] \quad (\text{in metric}) \quad (3)$$

식 (3)과 강우유출 자료에 의한 CN 값은 사상에 따라서 각기 다른 값을 나타내나, 대부분의 경우 강우량이 증가할수록 일정한 값에 근접하는 경향을 보인다. 이 경우 수렴하는 곡선이 점근하는 값이 해당 유역에 대표 유출곡선지수로 간주할 수 있다. 식 (3)과 강우유출자료에 따른 유출곡선지수 산포도에서는 몇 가지 형태의 유출지수 경향성(CN Behavior)이 나타나며, Hawkins(1993)에 의하여 Complacent, Standard, Violent 의 3가지로 정의되었다.

본 연구에서는 측정된 강우사상으로부터 총 강우량  $P$ 를 구하고, 유출수문곡선으로부터 기저유출을 분리하여 직접유출량  $Q$ 를 산정한 후 식 (5)를 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.

### 2.2 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.

실제적으로 CN산정에 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 일 단위(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.

### 3. 적용 및 검증

#### 3.1 적용 및 유역 대표 유출곡선지수 산정 및 검증

점근 유출곡선지수법을 이용하여 보청천 유역의 유역평균 유출곡선지수를 산정하였다. 산정된  $CN$  값에 대한 비교자료로는 WAMIS에서 제시된 보청천의 유출곡선지수를 선택하였다. WAMIS에서 제시한 보청천의 유출곡선지수는 비교적 최근의 변화를 반영한 유출곡선지수라고 판단되는 76.8을 사용 하였다.

보청천에 대한 유출곡선지수 산정결과는 Fig. 1 과 같으며, 66.7으로 점근하는 것으로 산정 되었다. 이러한 유출곡선지수가 강우량에 대해 비선형적으로 감소하는 것은 큰 강우량과 유출량의 발생 시에 토양수분 저류량도 커지게 되는데서 기인한다. 또한, 국가수자원 관리종합정보시스템 상에서 제시된 유출곡선지수와 비교하여 보면 76.8 과 66.7 로서 상당한 차이가 발생하였다. 이는 WAMIS에서  $CN$ 산정에 사용한 GIS 자료와 토양 Type 등에서 기인한 것으로 보이며, GIS 자료만을 가지고 유출곡선지수를 산정하는 것은 사용자에게 따라 차이가 크게 발생할 수 있음을 나타내는 것이다.

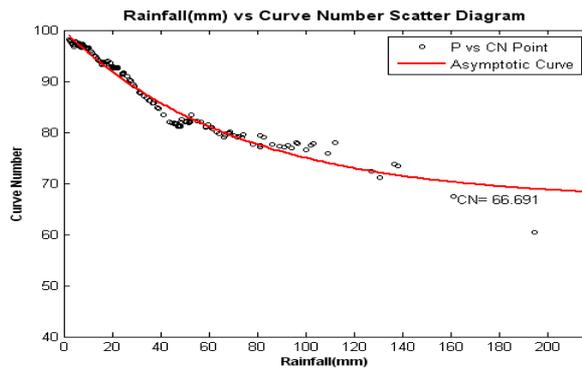


Fig. 1. CN estimation by asymptotic CN

#### 3.2 유역 대표 유출곡선지수식 산정

유출곡선지수에 대한 Hawkins(1993)의 연구에서  $P-CN$  관계의 점근하는 형태를 Standard, Violent, Complacent 형태로 구분하였다. 이중에서 회귀식의 산정이 불가능한 Complacent 형을 제외하고 Standard형과 Violent형에 대하여 회귀식을 제시하였으며, 이를 이용하여 보청천의 유출곡선지수를 회귀식으로 산정하여 보면 다음의 Table 1 과 같이 산정할 수 있다.

Table 1. Coefficients of Regression Equation for P-CN Curve

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

### 3.3 유역 대표 유출곡선지수식 검증

산정된 유역의 대표 유출곡선지수식을 이용하여 2000년 이후의 4개 사상에 대하여 WAMIS에서 제시한 CN, 점근 유출곡선지수법에 의한 CN, 유출곡선지수 회귀식을 이용하여 유출을 모의하고 그 결과를 비교하였다. 유출 모의는 NRCS 직접유출 산정공식과 보정천 자료를 사용하였으며, WAMIS에서 제시한 유출곡선지수와 점근 유출곡선지수를 성수기 및 5일 선행강우 조건에 따라 적용하였으며, 유출곡선지수 회귀식만 강우량을 이용하여 그에 따른 일별 유출곡선지수를 산정하고 유출을 모의하였다. 모의 결과는 Fig. 2와 Table 2에 나타내었다.

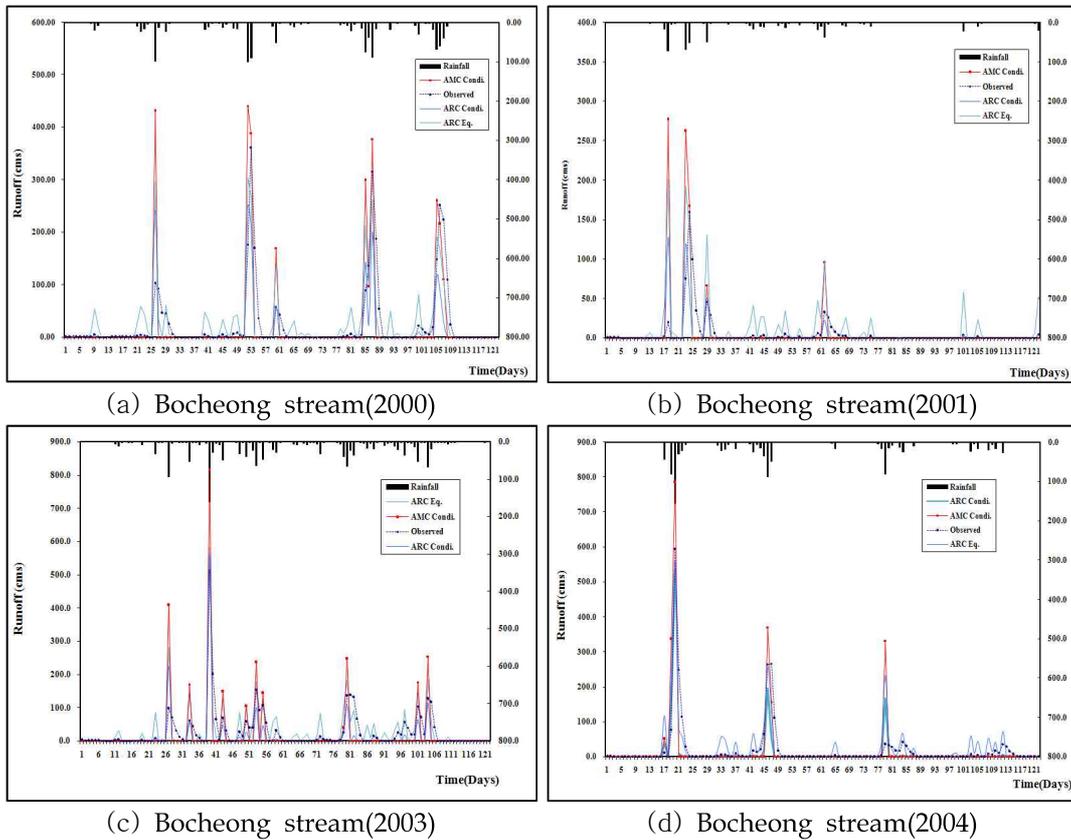


Fig. 2. Flood hydrograph simulation in Bocheong stream

Table 2. Evaluation function of runoff simulation

평가 함수	사상	보청천			사상	보청천		
		WAMIS CN	점근 CN	CN 회귀식		WAMIS CN	점근 CN	CN 회귀식
NRMSE	2000	<b>0.124</b>	0.126	0.128	2003	2003	0.069	0.060
$R^2$		<b>0.578</b>	0.564	0.561		0.669	0.720	<b>0.723</b>
RE		0.220	<b>0.020</b>	0.025		0.595	0.421	<b>0.379</b>
NRMSE	2001	0.112	0.114	<b>0.112</b>	2004	2004	0.065	0.059
$R^2$		0.355	0.347	<b>0.318</b>		0.674	0.711	<b>0.717</b>
RE		0.740	0.369	<b>0.288</b>		0.322	0.174	<b>0.138</b>

Table 2의 평가함수를 통하여 판단하여 볼 때 WAMIS 상에서 제시된 유출곡선지수보다는 강우유출 자료를 이용하여 산정한 유출곡선지수가 좀 더 타당한 결과를 산정하는 것으로 나타났다. 또한, Fig. 2과 같이 수문곡선의 형태도 좀 더 자세하게 모의하는 것으로 나타났으며, 특히 기존의 단일 유출곡선지수를 사용하였을 때에는 유출곡선지수 자체가 강우량이 큰 사상을 중점으로 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.

#### 참고문헌

- Hawkins, R. H. (1993). Asymptotic determination of runoff curve numbers from data. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, **119**(2), pp. 334-345.
- 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 Recourse Association*, **41**(6), pp. 1407-1416.