

연구논문

## GIS를 이용한 SCS-CN 산정에 관한 연구

### A Study on the Determination of SCS-CN Using GIS

조홍제<sup>1)</sup> · 오준호<sup>2)</sup> · 남병호<sup>3)</sup> · 정경택<sup>3)</sup>

Cho, Hong Je · O, Jun Ho · Nam, Byoung Ho · Jung, Kyoung Taek

#### 요 旨

GIS 활용을 위한 수치지도의 보급이 확대되고 위성영상분석 등 정밀한 자료의 구축이 가능해짐에 따라 하천유역의 수문해석에 대한 GIS 이용은 필수적이 되었다. SCS-CN법은 소유역 농경지를 대상으로 개발된 방법으로서 큰 유역이나 산지지역에 대한 적용에 문제점이 많은 것으로 알려져 왔다. 우리나라 자연하천유역의 산지비율이 70% 이상이고 대부분 미계측 유역임을 감안할 때, 합리적인 기준이나 보완 없이 기존의 SCS-CN법을 적용하는 것은 무리가 있다. 본 연구에서는 유역내에서 강우의 손실이나 유출에 큰 영향을 미치는 유역경사를 고려한 SCS-CN 산정방법을 개발 하는데 주안점을 두었고, 기존의 면적가중평균 방법과 GIS를 이용한 분포형 SCS-CN 산정방법 그리고 유역경사를 고려한 분포형 SCS-CN 산정방법으로 비교, 검토하였다. 건설기술연구원에서 운영중인 시험유역 설마천에 대한 적용 결과, SCS-CN법에 의한 유효강우량 산정시 유역경사가 영향을 미치는 것으로 확인하였다. 따라서 GIS 기반의 유역 경사를 고려한 분포형 SCS-CN 산정방법이 산지하천유역의 유효강우량 산정방법으로 제안되었다.

**핵심용어** : 유출곡선번호, 유역경사, 유효강우량

#### Abstract

The SCS-CN method was known to have difficulties to the applied to the mountainous area like Korean river basins. This study focused to develop a distributed SCS-CN method considering river basin slopes from GIS data. For the purpose, the method was applied to Sulma river and compared with area weighted average method and distributed SCS-CN method using GIS. According to the results, SCS-CN method considering river basin slopes provided better effects on the estimating effective rainfall on the other methods. The necessity of the generalization of the results to the other rivers was discussed.

**Keywords** : CN, Basin Slope, Effective Rainfall

## 1. 서 론

하천유역의 수문해석에 있어 유효강우량은 중요한 기초자료이다. 유효강우량 산정방법으로는 여러가지가 있으나 미 육군공병단에서 개발된 SCS-CN법(Soil Conservation Service-Curve Number)이 가장 대표적이고 널리 사용되고 있다. SCS-CN법은 소유역(2.6km<sup>2</sup> 미만) 농경지의 토지이용변화에 따른 수문학적 변화를 추정하기 위해서 개발되었다. 즉 토양도, 토지이용도, 선행함수조건 등의 자료를 이용하여 강우-유출량 자료가 없는 미계측 유역에서도 유효강우량을 산정할 수 있고, 비교적 분석자료의 획득이 용이하며 계산이 간편한 방법이다.

최근 GIS 활용이 일반화되고 국가 기본지형도에 대한 수치지도 구축이 완성되므로 보다 정밀하고 정확한 분석과 입력자료의 구축이 가능해졌다. 따라서 GIS기반에서 보다 정확한 유효강우량의 산정이 가능하게 되었으며, 이를 계기로 국내 하천유역에 적합한 유효강우량 산정방법의 개발이 필요하게 되었다.

SCS-CN법은 소유역 농경지를 대상으로 개발된 방법이므로 농경지나 평지지역에서는 비교적 좋은 결과를 나타내지만 산지지역에서는 적용성이 낮은 것으로 알려져 있다. 더구나 SCS-CN법이 소규모 농경지에서 개발되어 면적이 큰 유역에서 발생하는 유역 및 하도의 저류효과로 인한 유출을 감소에 대한 영향은 명확히 규명되지

2004년 2월 18일 접수, 2004년 3월 10일 채택

- 1) 정회원 · 울산대학교 공과대학 건설환경공학부 교수 (E-mail: hjcho@mail.ulsan.ac.kr)
- 2) 비회원 · (주)다산컨설팅트 수자원부 (E-mail: jupiter@hanmail.net)
- 3) 비회원 · 울산대학교 대학원 건설환경공학부 석사과정 (E-mail: poohang@hanmail.net, nbh6691@mail.ulsan.ac.kr)

않고 있다.

이와 같은 관점에서, 본 연구는 하천유역에서의 유효강우량을 산정하기 위해 강우의 손실 및 유출에 큰 영향을 미치는 지형적인 요소인 유역경사를 고려하여, 산지가 70% 이상을 차지하는 국내 자연하천유역에 적용성이 높은 SCS-CN 산정방법을 개발하는데 주안점을 두었다. 이를 위해 기존의 면적가중평균에 의한 SCS-CN 산정 방법과 GIS를 이용한 분포형 SCS-CN방법 그리고 GIS 기반의 유역경사를 고려한 SCS-CN 산정방법을 비교하였다.

관련 연구로서, SCS-CN법의 지형자료조건에 관한 연구로서 조홍제와 이충희(2001)는 시험유역인 위천에 대해 개략토양도와 정밀토양도를 적용하여 실제 강우-유출자료와 비교한 결과 정밀토양도가 상대적으로 양호한 결과를 제공함을 제시한 바 있다. 윤태훈(1991)이 장기간의 강우-유출 자료로부터 CN을 산정한 결과 실측치에 비해 과소 추정되는 문제점을 지적하고, AMCⅡ조건과 AMCⅢ조건에 대한 CN을 조합하여 사용할 것을 제안하였다. 윤호중(1995)은 국내 자연하천유역의 경우 선행함수조건에 따른 CN값의 차이가 크지 않다는 연구결과를 제시한 바 있으며, 조홍제와 김정식(1997)은 산지하천유역의 CN산정에 지형학적 요소인 유역경사를 고려하고자 시도하였다. 또 이금삼과 조화룡(2000)은 본 연구에 주요 인자의 지형의 경사도 분석을 위해 DEM을 이용한 바 있고, 김윤수(2003) 등은 위성영상을 이용한 토지이용 분류방법에 대한 기준을 설정한 바 있다. 그러나 아직 GIS기반으로 자연하천에 적합한 SCS-CN 산정방법의 개발은 이루어지지 않는 상태이다.

## 2. 배경이론

### 2.1 SCS-CN법의 개요

기존의 SCS-CN법을 이용하여 하천유역에서의 유효강우량 및 직접유출량을 산정하는 방법은 식 (1)과 식 (2)와 같다.

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} \quad P \geq 0.2S \quad (1)$$

$$S = \frac{25,400}{CN} - 254 \quad (2)$$

여기서 Q는 유효강우량에 해당되는 직접유출고(mm)이며, P는 총강우량(mm)이다. S는 최대잠재저류량으로 토지이용도와 수문학적 토양군에 따라 결정되는 상수이다.

유출곡선지수 CN은 토양의 수분상태에 따라 AMC-I, AMC-II 그리고 AMC-III에 따라 조정되며, 선행강수지수 AMC(Antecedent Moisture Condition)는 표 1과 같이 5일 선행강우량 P5를 기준으로 정의된다. 일반적으로 AMC-II 조건에 대한 CN을 결정한 다음 건조상태(AMC-I)와 습윤상태(AMC-III)에 대한 CN을 식 (3)으로 결정하게 된다. CN(I) 및 CN(II) 그리고 CN(III)는 각각 AMC-I, II, III에 대한 유출곡선지수를 나타낸다. 적절한 CN값이 결정되면 식 (1)과 식 (2)에 의해 유효강우량은 쉽게 산정할 수 있다.

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

$$CN(III) = \frac{23CN(II)}{10 + 0.13CN(II)} \quad (3)$$

## 3. GIS 기반의 SCS-CN 산정방법

### 3.1 분포형 CN(CN<sub>d</sub>) 산정

CN값의 산정에 필요한 기본자료인 유역의 수치지형도와 토양도 및 토지피복도를 20m×20m의 격자망으로 구성하였으며, GIS 프로그램인 Arc/Info 및 ArcView를 이용하여 분포형 CN를 산정하였다. 각 격자에 대한 분포형 CN과 유효강우량은 식 (4)을 이용하여 산정하였으며, 식 (4)은 식 (1)과 식 (2)로부터 유도되었다.

$$CN_d = \frac{25,400}{254 + 5P + 10Q - \sqrt{Q^2 + 1.25PQ}} \quad (4)$$

### 3.2 유역경사를 고려한 CN(CN<sub>s</sub>) 산정

하천유역의 지형효과를 고려하기 위해 Maidment (1992)는 유역경사의 가중치 산정법인 식 (5)를 제안한 바 있다. 식 (5)는 유역의 평균경사를 5%로 가정하여 유도되

표 1. 선행토양함수조건

AMC	선행토양수분상태	5일 선행강우량 P5 (mm)	
		비성수기	성수기
I	토양이 건조상태로 유출률이 낮은 상태	P <sub>5</sub> < 12.70	P <sub>5</sub> < 35.56
II	토양의 수분과 유출률이 보통인 상태	12.70 < P <sub>5</sub> < 27.94	35.56 < P <sub>5</sub> < 53.34
III	선행강우로 인하여 토양이 포화 상태로 유출률이 높은 상태	P <sub>5</sub> > 27.94	P <sub>5</sub> > 53.34

있으며, 유역의 평균경사가 5% 이하 또는 이상인 경우  $CN_0$ 은 경사크기에 따라 보완이 필요하다.

$$CN_s = \frac{CN(II) - CN(III)}{3} \times [1 - 2 \times \text{Exp}(-13.86 \times slp)] + CN(II) \quad (5)$$

### 4. 적용대상유역

#### 4.1 대상유역의 지형특성

대상유역은 한국건설기술연구원에서 1995년부터 시험유역으로 운영하고 있는 설마천 유역을 선정하였으며,

설마천유역의 음영기복도 및 유역경계는 그림 1과 2와 같고 GIS를 이용해 분석한 지형특성은 표 2와 같다.

설마천 유역의 토지피복 현황은 그림 3에 나타난 바와 같고 건설기술연구원에서 Landsat TM으로부터 작성한 토지피복도를 이용하였다. 참고로 1995년 4월 15일 발사되어 지상 705km 상공을 선회하고 있는 Landsat-7 위성으로부터 획득가능한 위성영상에는 TM(Thematic Mapper Sensor), MSS(Multi-Spectral Scanner Sensor), ETM+(Enhanced Thematic Mapper Plus)등이 있으며, 토지피복분류에 많이 이용되고 있다. 토양도는 그림 4와 같이 허기술(1995)이 제안한 바 있는 수문학적 토양군

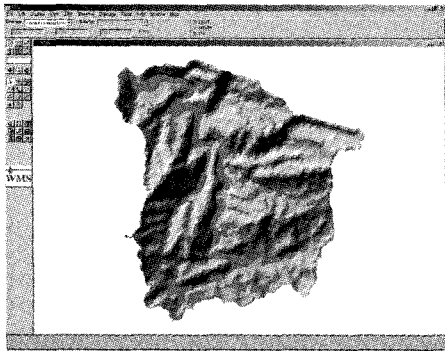


그림 1. 설마천유역 음영기복도

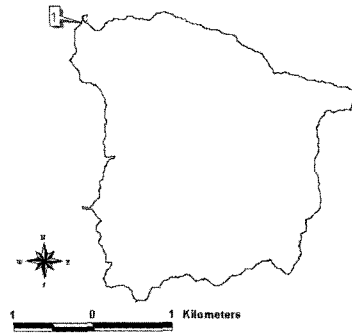


그림 2. 설마천유역 유역경계도

표 2. 설마천유역 지형특성

유역 특성	면적 ( $km^2$ )	유역 경사 (m/m)	유역 길이 (km)	둘레 (km)	유역 형상비	Sinuosity 계수	평균 고도 (m)	최대 흐름길이 (km)	최대 하도길이 (km)	중심 하천길이 (km)	중심 하천경사 (m/m)	산지 비율 (%)	평균지표 유출길이 (km)
전적 비교	8.66	0.34	4.10	23.88	1.94	1.54	246.05	6.78	6.32	3.17	0.0252	96.6	0.13

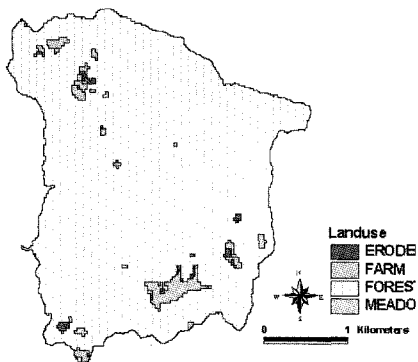


그림 3. 설마천유역 토지피복도

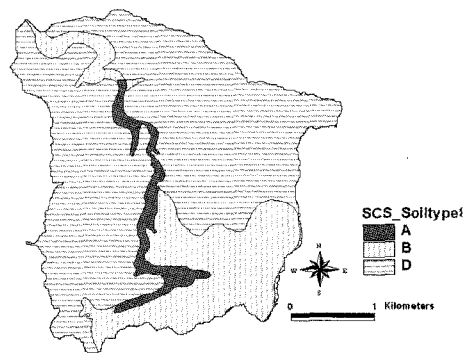


그림 4. 설마천유역 수문학적 토양군

분류방법을 사용하였다. 그림 3과 그림 4로부터 GIS를 이용해서 분석한 설마천유역의 피복조건 및 수문학적 토양군의 현황은 표 3과 같다. 표 3에 따르면 설마천 유역은 산지가 96.2%를 차지하고 있는 전형적인 산지 하천 유역이며, 수문학적 토양군은 72%가 유출율이 높은 D군으로 분류되었다.

그리고 토지피복상태 및 토양군에 대해 적용한 CN은 표 4와 같다.

**4.2 수문자료**

분석대상 유역으로 선정된 설마천유역은 건설기술연구원에서 운영하고 있는 시험유역으로서 수년간의 강우 및 유량에 대한 실측자료를 보유하고 있다. 본 연구에서는 1998~2000년에 실측된 30개의 호우사상 자료를 이용하였다.

계측된 유역에서의 CN을 산정하기 위해서는 총강우량 뿐만아니라 직접유출고 즉 유효강우량의 값이 필요하다. 이를 위해 실측된 강우-유출수문곡선으로부터 기저유량을 분리하였으며, 일반적으로 자연하천유역에 적용성이 높은 것으로 알려진 경사급변점법을 이용하였다.

**5. 결과분석**

**5.1 관측된 자료를 이용한 CN값 및 직접유출고 산정**

관측된 자료가 있는 하천유역의 CN치 산정은 관측된 총강우량과 직접유출량을 이용하여 결정할 수 있다. SCS-CN법에 의해 CN값을 산정하는 경우, 호우사상에

따라 다른 CN값이 부여되므로 유역을 대표할 수 있는 CN값을 결정할 필요가 있다.

적용대상유역에서 '98~2000년에 관측된 각 호우사상별로 산정된 CN값에 대해, 유역대표 CN값은 미 토양보존국 SCS에서 제안한 바 있는 중앙값(Median)으로 결정하였다. 즉 식 (4)를 이용하여 실측된 30개 호우사상에 대한 CN값(CNobs)을 산정하였고, 유역대표 CNobs는 82로 결정되었다. 이를 이용하여 산정한 각 호우사상별 직접유출고는 그림 5와 같다.

**5.2 기존의 면적가중평균을 이용한 CN값 및 직접유출고 산정**

GIS를 이용하여 적용대상유역에 대해 표 3에 나타난 토지피복 및 수문학적 토양군의 면적비율을 중첩하고,

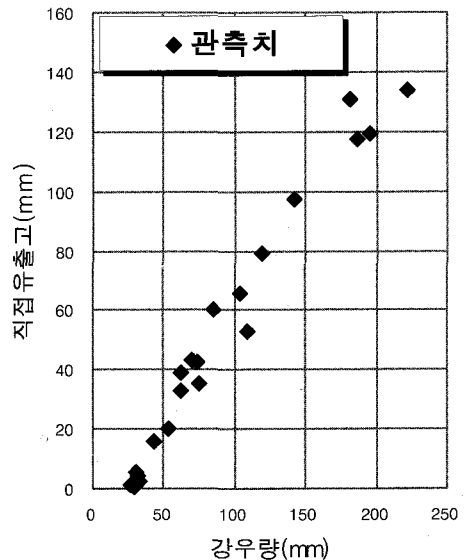


그림 5. 유역대표 CNobs를 이용한 직접유출고(관측치)

표 3. 토지피복과 수문학적 토양군의 면적비율

피복종류	면적비(%)	수문학적 토양군	면적비(%)
나 지	0.6	A	5
경작지	2.7	B	23
산 지	96.2	C	-
초 지	0.6	D	72

표 4. CN, AMC-II 조건

토양군 \ 피복종류	A	B	C	D
나 지	68	79	86	89
경작지	61	73	81	84
산 지	36	60	73	79
초 지	30	58	71	78

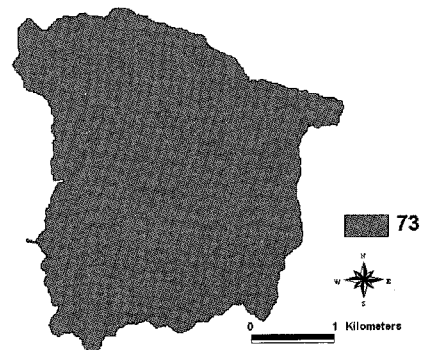


그림 6. 면적가중평균법에 의한 CN값 산정

표 3에 나타난 CN값을 부여한 후 면적가중평균을 이용하여 유역대표 CN값을 산정하였다. 그 결과는 그림 6과 같고, 산정된 유역대표 CN값은 73이다. 이를 이용하여 산정한 각 호우사상별 직접유출고는 그림 7과 같다.

관측치와 비교할 때 CN값은 약 11.3%정도 작게 산정되었고, 직접유출고도 그에 준하는 정도로 작게 나타났다.

**5.3 분포형 CN값 및 직접유출고 산정**

분포형 CN값 산정은 적용대상유역을 20m×20m 격자망으로 구성하고, 표 3과 표 4에 나타난 토지이용도 및 수문학적 토양군을 중첩시켰다. GIS기법은 Arc/Info와

ArcView를 이용하였고, 그 결과는 그림 5.4과 같다. 분포형 CN값은 기존의 면적가중평균에 의한 CN값과 동일한 73으로 결정되었고, 이를 이용하여 각 호우사상별 직접유출고를 산정하였다.

**5.4 분포형과 유역경사를 고려한 CN값과 직접유출고 산정**

우리나라와 같은 산지하천유역에 대해 적용성이 높은 SCS-CN 산정법을 개발하기 위해 유역경사를 고려하였다. 적용대상유역의 경사도를 구하기 위해 TIN 모듈을 사용하여 DEM을 구축하였고, 평균경사는 34.5%로 분

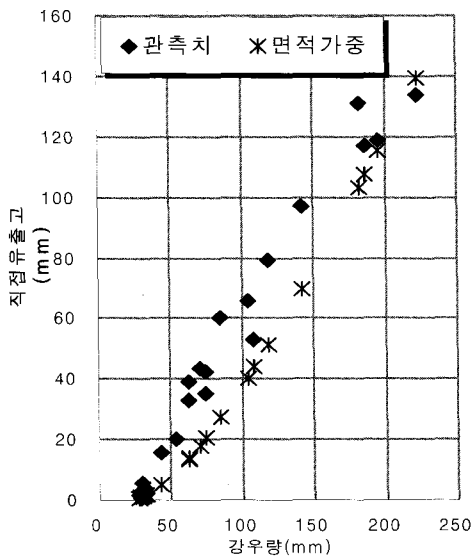


그림 7. 면적가중평균법에 의한 CN값을 이용한 직접유출고

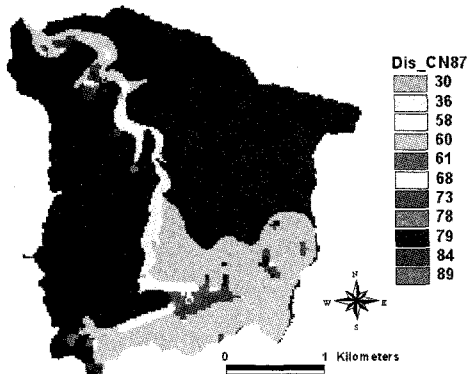


그림 8. 분포형 CN값 산정

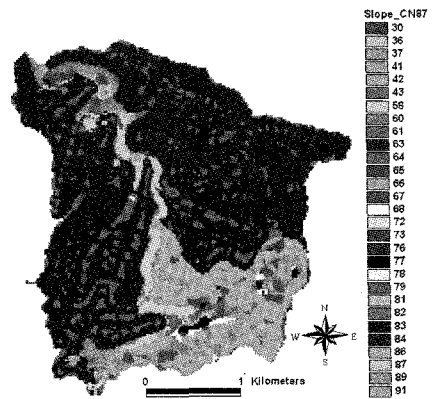


그림 9. 분포형 및 유역경사를 고려한 CN값 산정

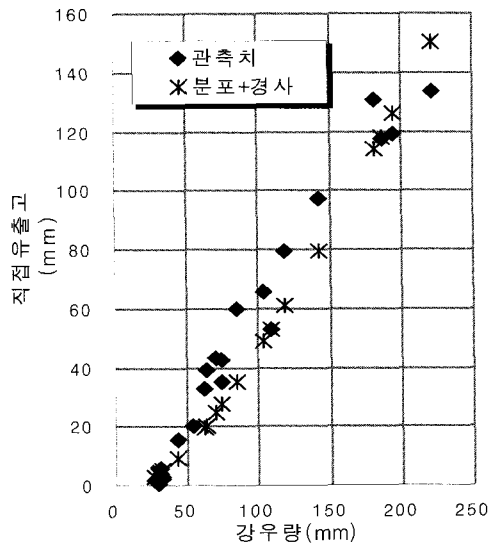


그림 10. 분포형 및 유역경사법에 의한 CN값을 이용한 직접유출고

석되었다. 분포형과 유역경사를 동시에 고려하는 CN값을 구하기 위해 5.3절의 분포형 CN값 산정법에 각 격자의 유역경사에 대한 가중치를 중첩시켰다.

그 결과는 그림 9와 같고, 식 (5)에 적용하여 산정한 CNS값은 76으로 나타났다. 관측치와 비교할 때 CNS값은 7.3% 작게 나타났으나 기존의 면적가중평균법보다 약 33% 크고, 실측치에 보다 근접한 결과를 나타내었다. 이를 이용해서 산정한 직접유출고는 그림 9와 같다. 분석된 설마천 유역을 기준으로 할때, 유역경사가 5~50% 범위에서는 CN에 영향을 미치지만 50% 이상인 경우에는 효과가 없는 것으로 확인되었다. 이는 유역경사별 전체 유역면적에 대한 비율에 좌우되는 것으로서 다수의 계측유역에 대한 추가분석이 이루어져야 최적의 유역경사 및 비율을 결정할 수 있을 것으로 판단된다.

참고로, 설마천 유역은 유역면적이 8.66km<sup>2</sup>이고 산지비율이 96%인 미개발 소유역이다. 설마천 유역을 분석대상으로 선정할 주된 이유는 신뢰할 수 있는 강우-유출 관측자료를 비교적 많이 보유하고 있기 때문이다. 본 연구에 대한 보완 연구가 진행되고 있으나, 신뢰할 수 있는 실측자료를 보유하고 있는 하천유역이 한정되어 있는 것이 문제이다.

## 6. 결 론

본 연구는 산지가 70% 이상을 차지하고 있는 우리나라 하천유역의 수문해석에 필요한 유효강우량 산정방법을 개발하였다. 이를 위해 소유역 농경지의 유효강우량 산정방법으로 개발되었으나, 유역면적이나 유역특성 등 제약조건에 관계없이 가장 보편적으로 사용되고 있는 SCS-CN법을 이용하여 우리나라 산지하천유역에 적합한 방법을 제안하였다. 적용대상유역은 비교적 신뢰성 있는 강우-유량에 대한 관측자료를 많이 보유하고 있는 건설기술연구원에서 운영하고 있는 시험유역 설마천을 선택하였고, 지형자료 등의 분석은 GIS 프로그램중 Arc/Info 및 ArcView를 이용하였다.

1. 70% 이상이 산지인 우리나라 하천유역에 대한 적용성이 높은 유효강우량 산정방법은 GIS기법의 도입으로 유역경사를 고려한 분포형 SCS-CN방법의 개발이 가능하게 되었다.
2. GIS를 이용한 단순한 분포형 SCS-CN방법은 기존의 면적가중 평균방법과 적용성이 유사한 것으로 나타났다.
3. 산지하천유역에 대한 유효강우량 산정은 기존의 면적가중 평균방법이나 GIS를 이용한 단순한 분포형방법보다 유역경사를 고려한 분포형 SCS-CN방법이 가장 적용성이 높은 것으로 나타났다.
4. 산지하천유역에서 유효강우량을 산정하는 경우, 유역경사는 5~50% 범위에서 CN에 영향을 미치지만 50% 이상인 경우에는 효과가 없는 것으로 확인되었다.
5. GIS는 유역경사 등 지형요소를 고려한 수문해석을 가능하게 하고, 유역내 국부적인 토지이용도 변화 등을 정밀분석하는데 유용한 수단이 되었다.
6. 본 연구성과에 대한 객관성 확보를 위해서는 다수의 계측된 유역에 대한 추가 분석과 정밀토양도 분류방법에 따른 변화의 검토도 필요하며, 이에 대한 연구가 현재 진행중에 있다.

## 참고문헌

1. 김운수, 이광재, 류지원, 김정환, 2003, "도시확장 분석을 위한 위성영상 토지이용 분류기준 설정에 관한 연구", *지형공간정보학회*, 제6권, 제3호, pp. 177-185.
2. 건설기술연구원, 1998~2000, "시험유역의 운영 및 수문특성 조사·연구".
3. 윤태훈, 1991, "유효우량 산정을 위한 곡선번호방법의 적용성", *한국수문학회지*, 제24권, 제2호, pp. 97-108.
4. 윤호중, 1995, "산림 소유역에서의 유출 특성과 단위유량도에 관한 연구", 박사학위논문, 서울대학교.
5. 이금삼, 조화룡, 2000, "DEM을 이용한 한반도 지형의 경사도 분석", *지형공간정보학회*, 제 3권, 제 1호, pp. 35-43.
6. 조홍제, 김정식, 1997, "TIN을 이용한 SCS법에 의한 유효강우량 산정에 관한 연구", *한국수자원학회논문집*, 제 30권, 제4호, pp. 357-366.
7. 조홍제, 이충희, 2001, "LANDSAT 영상을 이용한 CN 산정에 관한 연구", *한국수자원학회논문집*, 제 34권, 제 6호, pp. 735-743.
8. 정정화, 장승표, 김호일, 정연태, 허기술, 박호, 1995, "출을 추정을 위한 토양 수문군의 분류", *한국 농공학회지*, 제 37권, 제6호, pp. 12-33.
9. 허기술, 1987, "한국토양의 수문학적 분류 및 그 응용", *농공기술*, 제4권, 제4호, pp. 47-61.
10. David R. Maidment, 1992, "Handbook of Hydrology", McGraw-Hill, WC.
11. Grove, M., Harbor, J. and Engle, B, 1998, "Composite vs. Distributed Curve Numbers: Effects on Estimates of Storm Runoff Depths", *Journal of the American Water Resources Association*, vol. 34, no. 5.
12. Vijay P. Singh, 1995, "Computer Models of Watershed Hydrology", *A Water Resources Publications Book littleton, COLORADO*, p. 847-908.