

TIN을 이용한 SCS법에 의한 유효강우량 산정에 관한 연구

A Study on the Calculation of Effective Rainfall by the SCS Method Using a Triangular Irregular Network

조 홍 제 * · 김 정 식 **

Jo, Hong Je · Kim, Jung Sik

Abstract

This paper presents a methodology for the calculation of effective rainfall by the SCS method using 3-dimensional digital elevation map and a Triangular Irregular Network module. The effective rainfall is calculated by taking into the increases of the runoff curve number(2%, 3%) due to the 10% increases of the slope of hillside, and the result indicate that the effective rainfall varies 5.0%~12.0% with the storm events. It is demonstrated that in case of using the SCS method for the calculation of effective rainfall in the mountainous watershed with great elevation difference, the methodology taking into the slope of hillside is more viable.

요 지

3차원 수치고도지도 및 TIN모듈을 이용하여 SCS법에 의한 유효강우량 산정방법을 제안하였다. 유역사면경사 10° 증가에 대한 유출곡선지수의 증분치(2%, 3%)를 고려하여 유효강우량을 산정한 결과, 호우사상에 따라 약 5.0%~12.0%의 차이를 나타내었다. 따라서 우리나라 대부분의 하천유역과 같이, 고도차가 큰 일반 산지하천유역에서 SCS법에 의한 유효강우량 산정시에는 유역사면경사를 고려한 해석이 보다 합리적인 것으로 판단되었다.

Keywords : effective rainfall, 3-D digital elevation map, TIN, SCS, hillside

* 울산대학교 토목환경공학부 교수

** 울산대학교 토목환경공학부 석사 과정

1. 서 론

지리정보시스템(Geographic Information System, GIS)은 구축된 지형자료와 지형에 관련된 속성자료를 동시에 관리하는 시스템으로서 근간에 여러 분야에서 활용되고 있다. 지리정보시스템의 개발은 공간데이터를 얻고 이용하는데 획기적인 변화를 가져왔으며, 수문학적 모형에 있어서도 물리적인 특성을 고려한 유출해석 등 보다 쉽고 정확한 결과를 제공할 수 있는 기법의 개발이 가능하게 되었다. 과거에는 수문해석에 필요한 대부분의 지형자료 및 속성자료를 평면의 지형도 상에서 얻었으며, 자료추출 한계로 인해 분석범위가 극히 제한되어 있었다. 그러나 최근에는 지리정보시스템을 이용한 수치지도가 작성됨으로써 수문분석에도 다양한 지형정보 및 속성정보를 구축하고 해석할 수 있게 되었다. 수문해석에 대한 지리정보시스템의 적용은 대부분 최근에 이루어졌으며, 기존 수문모형내에 필요한 입력인자의 계산, 수문변수의 도형화 및 출력, 유역지표면 특성의 재현 및 수문응답 특성의 검정 등이 주된 내용이다. 그 적용례를 살펴보면, Johnson(1989)은 수치지도를 이용하여 단위도, 시간-면적곡선, 저수지모형 등과 같은 수문모형시스템의 입력자료를 자동적으로 만들 수 있도록 지리정보시스템 기법을 사용하였으며, Sicar 등(1991)은 시간-면적곡선 결정에 지리정보시스템을 이용하였다. Warwick와 Hanes(1994)는 HEC-1모형의 공간 및 지형인자 결정에 지리정보시스템 상용 프로그램인 Arc/Info와 TIN(Triangular Irregular Network)모듈을 적용한 바 있다. Karlinger 등(1998)과, Bhaskar(1991)등 다수는 수문응답함수의 유도를 위해 지리정보시스템을 이용한 지형학적 순간단위도(GIUH)해석을 시도하였고, Wolock와 MaCoke(1995) 등은 TOPMODEL을 이용하여 유역의 수문학적 상사성해석 등에 대한 연구를 수행한 바 있으며, 계속적인 연구가 진행되고 있다.

한편 우리나라에 지리정보시스템 기법이 도입된 것은 1980년대 후반이며, 농림수산부(1991)에서 농지관리 등을 위해 제작한 수치지도 및 지리정보시스템업무 개발지침서 등이 비교적 앞선 성과이다. 과학기술처(1993)에서 지리시스템 활용기법 등을 소개한 바 있으며, 국가 기본지형도의 수치지도화작업도 최근에 이루어지고 있다. 지리정보시스템의 수문해석모형에 대한 적용 등의 연구성과는 극히 제한적이다. 강성수 등(1995)이 합리식의 도달시간 산정을 위해 지리정보시

스템 적용방법을 개론적으로 설명한 바 있으며, 김현준(1995)은 분포형 수문모형해석을 위해서 지리정보시스템 적용의 필요성을 강조한 바 있다. 한국수자원공사(1993)의 지리정보시스템을 이용한 유효강우량 산정 등이 있다. 강창모 등(1995)은 지리정보시스템을 하천 측량 및 유지관리를 위해, 그리고 이재기와 이현직(1995)은 농업용수개발을 위해 지리정보시스템을 이용하는 방법의 연구 등 다양한 분야에서 지리정보시스템의 적용에 대한 연구가 진행되고 있으나 기초적 연구단계라 할 수 있다.

수문해석기법을 이용한 강우-유출모형해석에 있어서 유효강우량 산정은 중요한 인자가 된다. 유효강우량 산정방법으로는 경험공식, Φ -지수와 같은 평균침투능에 의한 방법, 유출곡선지수를 이용하는 SCS(미국, Soil Conservation Service)법 등이 있다. 특히, SCS법은 정밀토양도, 토지이용도 및 지형도 등과 같은 공간특성 자료를 이용하여 초과우량의 시간적 분포를 표시하는 유효우량추상도를 얻을 수 있어 계측 및 미계측유역에 자주 사용되고 있다. 정정화 등(1995)은 기존의 SCS법을 보완하기 위해 우리나라 정밀토양조사 성과를 이용하여 토양수문군의 분류를 시도하였다. 그러나 SCS법은 작업량이 많은 관계로 유역면적이 비교적 큰 경우에는 적용상의 어려움이나 오차가 누적될 수 있었으나 수치지도 및 지리정보시스템을 활용함으로써 이러한 문제를 해결할 수 있게 되었다.

기존의 SCS법은 주로 농경지역의 토지이용상태, 피복처리상태 및 토양의 수문학적 조건에 따라 총강우량으로부터 직접유출량(유효우량)의 잠재력을 유출곡선지수로 표시하였다. 전술한 바와 같이 SCS법은 계측 및 미계측 유역에서 유역의 공간특성만으로 유효우량을 산정할 수 있는 장점 때문에 국내외적으로 수자원계획 등을 위한 실무 및 연구를 위해 많이 사용하고 있다. 그러나 SCS법의 분류(윤용남, 1994)에 따르면, 산지지역에 대한 유출곡선지수를 단일 값으로 부여하고 있으며 2차원 평면지형도를 이용하여 토양종류, 피복처리상태 등에 대한 상대적분포비율을 계산한다. 더구나, 유역의 토지이용도 구성에 있어 산지가 2/3 이상을 차지하고 있는 우리나라의 하천유역에 대해 농경지역의 삼림지역을 기준으로 설정된 기존의 SCS법의 분류에 의한 유출곡선지수를 이용하여 유효우량을 산정하는 것은 근본적으로 모순을 포함하고 있다. 즉 산지지역의 유역사면경사, 식생의 종류 및 밀식정도 등에 대한 효과를 고려할 수 없으므로 산지하천유역에서의 강우-유출 과정을 적절히 재현할 수 없다. 반면에, 3차원 수치고도지도는 유역사

면의 경사도에 따른 유출현상을 적절히 나타낼 수 있는 수단이 될 수 있다. 이와 같은 관점에서, 본 연구에서는 유역사면의 경사효과 즉 산지의 사면효과를 고려할 수 있도록 3차원 수치고도지도도를 이용하여 SCS법에 의한 유효강우량 산정법을 검토하였다. 3차원의 표면해석을 위해서는 Arc/Info의 모듈인 TIN을 이용하였다.

2. 목적 및 범위

기존 수문해석에 사용되는 지형자료 즉, 하천길이, 유역면적, 유역경사 등은 평면 지형도상에서 주로 추출한 관계로 이들 자료에는 적지 않은 오류가 포함될 수 있다. 산지하천유역은 고도에 따라 다양한 사면경사를 가지며, 사면경사에 따라 저장보유수량도 변하게 된다. 또한, 기존의 SCS법에 따르면, 산지지역의 유출곡선지수(runoff curve number : CN)를 단일 값으로 정의하고 있으므로 다양한 사면경사에 대한 유출곡선지수의 변화를 충분히 고려할 수 없다.

본 연구에서는 지리정보시스템 상용프로그램인 Arc/Info와 TIN모듈을 사용하여 3차원 수치고도지도를 작성한 후, 정도가 높은 지형자료 및 유역경사자료를 추출한다. 이를 SCS법에 적용하여 유역사면의 경사가 고려된 유효우량 산정법(slope runoff curve number : SLCN)을 검토하는데 주목적을 두었다.

연구대상지역은 낙동강수계의 위천대표시험유역의 고노지점을 선정하였으며, 정밀토양도 및 지형도(1:25,000, 1:50,000)를 이용하였다.

3. SCS법의 기본이론

3.1 개념

SCS법에 의한 유효강우량 산정방법은 강우-유출자료가 없는 경우, 유역의 토양의 종류, 토지이용도(식생 피복 종류), 토양의 수문학적 조건들로서 직접유출에 미치는 영향을 정량적으로 표현하는 수단이다. 강우에 대한 침투량은 토양종류, 피복종류 및 선행토양함수 조건에 따라 달라지며, SCS법은 이를 고려한 초과우량 산정방법이다. 선행토양함수조건 (antecedent soil moisture condition, AMC)은 5일선행강수량에 따라 표 1과 같이 분류된다.

SCS분류에서는 토양의 종류에 따라 토양군을 A, B, C, D로 분류하며 유출률 크기는 $A < B < C < D$ 의 순이다. 예를 들면, D에 속한 토양은 점토질로서 배수가 불량하며 거의 불투수성이다.

유출곡선지수는 잠재보유수량의 함수로써 유역의 토양

표 1. 선행토양함수조건 및 선행강수량

	AMC Group	선행토양상태	5일 선행강수량(mm)
Growing Season	I	건기상태	$P_5 < 35.56$
	II	보통상태	$35.56 < P_5 < 53.34$
	III	우기상태	$P_5 > 53.34$
Dormant Season	I	건기상태	$P_5 < 12.70$
	II	보통상태	$12.70 < P_5 < 27.94$
	III	우기상태	$P_5 > 27.94$

종류, 토지이용, 그리고 처리상태를 총괄적으로 대변하는 값으로 한 유역의 유출능력과도 밀접한 관계를 가진다. 일반적으로 최대잠재보유수량 값은 토양함수조건으로서 $AMC-I > AMC-II > AMC-III$ 의 크기를 가진다.

3.2 유효우량 산정

평균 유출곡선지수를 알면 식 (1)을 이용하여 잠재보유수량을 구할 수 있으며, 식 (2)와 같이 총우량과 직접유출량과의 관계에서 직접유출량(유효우량)을 구할 수 있다.

$$CN = \frac{25400}{S + 254} \quad \text{또는} \quad S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (1)$$

$I_a = 0.2S$ 라 가정하면 다음 식을 얻을 수 있다.

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

여기서 P 는 호우별 총우량, I_a 는 강우초기손실,

S 는 최대잠재보유수량, Q 는 직접유출량이다.

SCS법을 이용한 직접유출량 계산절차를 간략히 살펴보면 다음과 같다. 우선 정밀토양도에 대한 4가지(A, B, C, D)의 토양군별 분포도와 유역의 토지이용상태를 지형도와 정밀 토양도상에서 분류시킨 후 유역의 정밀 토양도와 토지이용도를 겹치고 다각형면적(polygon)에 대한 CN값을 구한다. 그리고 면적과 면적에 대한 CN값을 곱하여 면적에 대한 가중평균치 CN을 구한다. 5일 선행강수량을 계산하여 CN값을 보정한 후, 식 (1)에 대입하여 잠재보유수량을 구하고, 잠재보유수량과 총강우량을 식 (2)에 대입하여 유효강우량을 구한다.

4. 지형학적 순간단위도

자연상태의 하천유역은 형상, 크기, 지질구조, 토양 및 식물의 생장 등 모든 수문학적, 지형학적 특성을 달리한다. 유역에 대한 강우의 유출현상은 이러한 각각의

인자에 대해 다양한 응답특성을 나타내며, 식 (3)과 같은 회귀적분함수로 표현된다.

$$Q(t) = \int_0^t h(t-\tau) i(\tau) d\tau \quad (3)$$

여기서 $h(t)$ 는 핵함수로서 순간단위도, $i(t)$ 는 유효우량.

$Q(t)$ 는 직접유출량이다.

자연하천에서의 강우-유출현상 해석은 핵함수 $h(t)$ 의 적절한 표현기법이 주된 내용이 되며, 핵함수의 결정방법에는 집중정수모형 및 분포정수모형 등으로 대별된다. 가장 일반화 되어있는 방법은 식 (4)와 같은 2변수 감마분포로 정의되는 선형저수지모형(Nash 모형)이다.

$$h(t) = [1/kI(n)](t/k)^{n-1}EXP(-t/k), t \geq 0 \quad (4)$$

여기서 n 은 형상계수, k 는 저류계수이다.

한편, 하천유역의 다양한 지형학적 특성과 구성인자 등은 지형학적 법칙에 의해 설명될 수 있다. 그리고 유역에 내린 강우가 출구에 도달하는 동안 유역내에 머무르는 시간(holding time)은 강우에 대한 수문응답으로서 순간단위도를 의미한다. Rodriguez-Iturbe와 Valdes(1979)은 유역에 내린 강우입자가 출구에 도달하는 시간을 식 (5)와 같이 지형인자를 변수로 이용하여, 지형학적 순간단위도(geomorphologic unit hydrograph; GIUH)를 제안한 바 있다.

$$\begin{aligned} GIUH &= f(\text{Basin Geomorphology, Channel Dynamics}) \\ &= f(\text{Horton Order Ratio, Holding Time}) \\ &= f(R_B, R_A, R_L, v, L) \end{aligned} \quad (5)$$

여기서 Holding Time은 유역내 저류시간, R_B 는 분기비, R_A 는 유역면적비, R_L 는 하천연장비, v 는 유출속도, L 은 하천유로연장이다.

Rosso(1984)는 이와 같은 지형학적 순간단위도를 이용하여 식 (4)의 선형저수지모형의 매개변수를 식 (6) 및 식 (7)로 나타낸 바 있다. 조홍제와 이상배(1990)는 이를 우리나라 위천, 보청천, 평창강 대표 시험유역에 적용하여 그 타당성을 확인한 바 있다. 위천 고노지점에 대한 $R_B = 4.57$, $R_A = 5.39$, $R_L = 2.56$, 그리고 유로연장 $L = 18.9\text{km}$ 이다.

$$n = 3.29(R_B/R_A)^{0.78} R_L^{0.07} \quad (6)$$

$$k = 0.7[R_A/(R_B \cdot R_L)]^{0.48} v^{-1} L \quad (7)$$

본 연구에서는 SCS법에 의한 유효강우량 산정결과를 지형학적 순간단위도에 적용하여 비교하였다.

5. 수치지도 작성

5.1 기본 수치지도 작성

위천유역(고노지점)의 등고선도와 토지이용도, 정밀토양도를 수치지도화 하기 위해 스캐너를 이용하여 image format인 TIF 파일로 변환시킨 다음, vectorizing 프로그램인 Geovec으로 vector format인 DXF format으로 변환시켰다. vectorizing과정 중에 발생한 오류는 AutoCAD에서 수정하였으며, 해석에 필요한 1:50,000 지형도, 1:25,000 정밀토양도를 수치지도화 하였다.

5.2 속성 입력방법

벡터화된 수치지도를 AutoCad에서 등고선에 표고를 입력하고, 정밀토양도와 토지이용도의 각 다각형에는 속성을 정의하여 입력시킨다. 그리고 CN값을 산정하는데 필요한 지도를 DXF(digital exchange format)로 변환하고 Arc/Info에서 작업할 수 있도록 등고선도, 토양도, 토지이용도를 coverage로 만든다. AutoCAD에서 만들어진 속성은 .XCODE내에 DXF_ELEVATION, DXF_TEXT 등에 포함되어 있기 때문에 coverage의 .PAT(Polygon Attribute Table)와 결합시켜 줌으로써 자동적으로 AutoCAD에서 만들어준 속성이 입력된다. Arc/Info에서 입력해 줄 CN값은 AutoCAD에서 입력해 준 속성, 즉 토양종류(A, B, C, D)와 토지이용도(논, 산지, 과수원, 주거지)의 조합에 해당되는 CN값을 Arc/Info의 테이블 환경에서 입력하였다.

6. TIN을 이용한 유효강우량 산정

유역공간구조의 2차원 또는 3차원에 대한 표면처리를 할 수 있는 방법들에는 등고선, 수치고도모형(DEM), 불규칙삼각망(TIN), 표면격자망 등이 있다. 등고선은 등고선상에만 지표값을 가지므로 등고선과 등고선 사이에는 값을 가질 수 없는 결점이 있다. DEM은 일정한 간격의 격자로 표면을 나타내며 각 격자는 모두 같은 면적과 값을 가진다. Delaney Triangulation (Warwick과 Hanes, 1994)에 기본이론을 두고 있는 TIN은 등고, 하천, 표고점으로 등고선-등고선 또는 등고선-표고점 간에 표면적, 경사, 방향 등을 가진 수많은 삼각형이 형성되어 진 유역에 걸쳐 TIN을 구성하게 된다. TIN삼각형은 선과 점으로 이루어져 있는 평면으로 자연스럽게 중첩되어 공간상 연속된 고도를 가지게 되며, 이를 격자형으로 변환하는 경우 사면유출해석모형인TOPMODEL 등의 고도입력자료로도 활용할 수 있다. 3차원에 대한 기본속성으로는 표면적, 경사, 체적

등이 있으며, 표면의 경사에 대한 속성을 입력하기 위해 대상유역을 TIN으로 재구성하였다. 이를 위해서는 수치지도화된 등고선도, 표고 그리고 하천도를 coverage로 만들고, AutoCAD에서 입력해준 고도값을 속성으로써 사용하기 위해 .xcode와 .acode를 지형(topology)으로 구성된 coverage와 결합시킨 후, 이들 세 coverage를 TIN으로 재구성시킨다. 그리고 2차원에서 중첩시킨 coverage는 TIN과 직접 중첩시킬 수 없으므로 TINARC명령으로 TIN을 coverage로 변환시킨다.

SCS법(윤용남, 1994)에 따르면, 토양-피복형별 유출곡선지수(AMC-2, 0.2S조건)분류표의 산지지역에 대한 값은 표 2과 같다.

분석대상유역으로 선정된 위천대표시험유역의 고노지점(그림 1)에 대한 유역의 정밀토양도 및 토지이용도를

표 2. 산지지역 유출곡선지수(CN)

토양종류	A	B	C	D
피복상태				
산지(Forests)	56	75	86	91

WI-River (GONO : No.5)

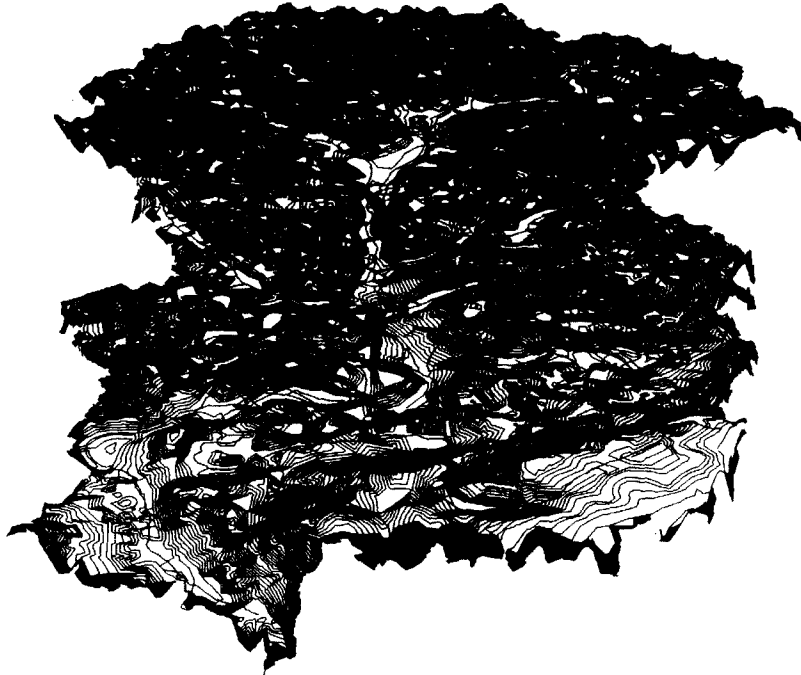


그림 1. Contour Map

이용하여 구한 토양형-토지이용상태별 분포도(2차원 평면도)는 그림 2와 같으며, 그림 2의 분석을 위해 사용한 CN값은 표 3과 같다. TIN을 이용하여 유역사면경사가 고려된 유출곡선지수 CN을 구하기 위하여 유역사면경사 10° 증가에 대해 CN값을 2% 및 3%증가시켜 보았다. 유역사면경사의 증가에 따른 CN값은 표 3의 유역사면경사가 0° 인 평면에서의 CN값으로 가정 한 것이며, 유역사면경사 10° 증가에 대한 2% 및 3%의 CN값 증가에 대한 결과를 표 4 및 표 5에 나타내었다. 유역사면경사를 고려한 유역전체의 평균유출곡선지수를 구하기 위하여, 아래의 식 (8)을 이용하였다.

$$\frac{SLCN \times AREA}{AREA} = MSLCN \quad (8)$$

여기서, $SLCN \times AREA$, $AREA$, $MSLCN$ 은 Arc/Info의 테이블 환경에서 구할 수 있다.

$SLCN \times AREA$ 는 유역사면을 고려한 유출곡선지수 \times TIN에 의한 각 면적= $(\sum (CN_i \times A_i))$, $AREA$ 는 유역의 총면적, $MSLCN$ 는 평균유출곡선지수이다.

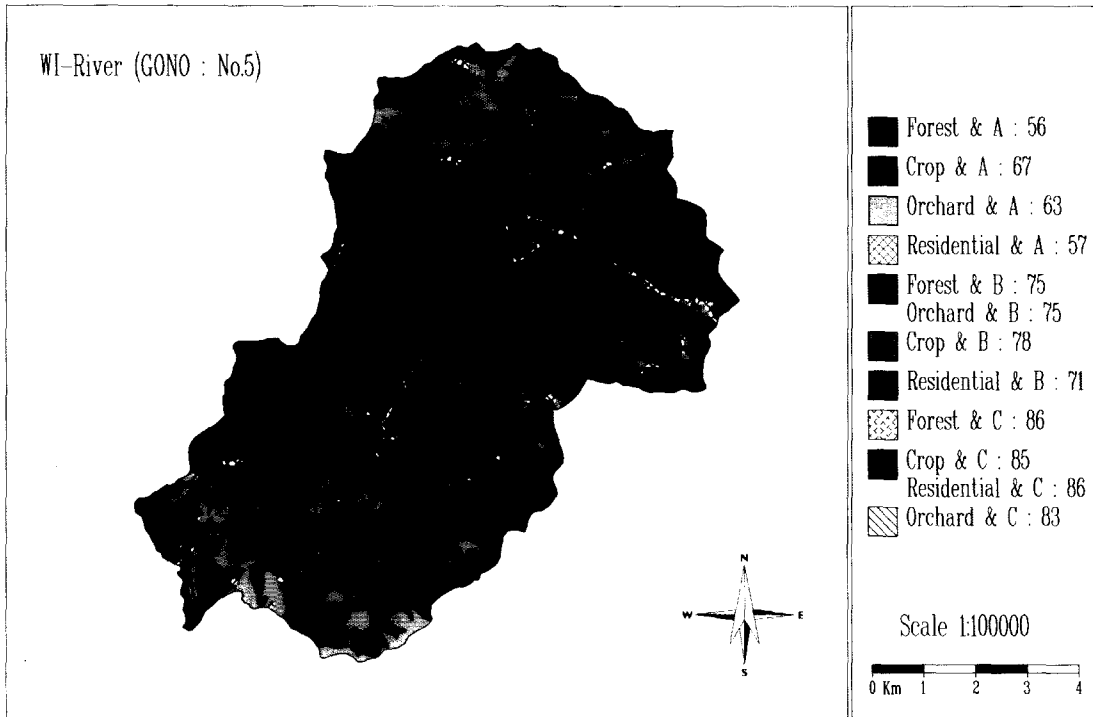


그림 2. Runoff Curve Map

표 3. CN 값(위천 : 고노지점)

토양종류 피복상태	A	B	C	D
논	67	78	85	89
산지	56	75	86	91
과수원	63	75	83	87
주거지	57	71	86	86

표 4. 사면경사 10° 증가에 대해 값을 2% 증가한 SLCN값

SLOPE CN	1~ 10	11~ 20	21~ 30	31~ 40	41~ 50	51~ 60	61~ 70	71~ 80	81~ 90
56	57	58	59	61	62	63	64	65	66
57	58	59	60	62	63	64	65	66	67
63	64	66	67	68	69	70	71	73	74
67	68	70	71	72	74	75	76	78	79
71	73	74	75	77	78	80	81	82	84
75	77	78	80	81	83	84	86	87	89
78	80	81	83	84	86	87	89	91	92
83	85	86	88	90	91	93	95	95	95
85	87	88	90	92	95	95	95	95	95
86	88	89	91	93	95	95	95	95	95

표 5. 사면경사 10° 증가에 대해 CN값을 3% 증가한 SLCN값

SLOPE CN	1~ 10	11~ 20	21~ 30	31~ 40	41~ 50	51~ 60	61~ 70	71~ 80	81~ 90
56	58	59	61	63	64	66	68	69	71
57	59	60	62	64	66	67	69	71	72
63	65	67	69	71	72	74	76	78	80
67	69	71	73	75	77	79	81	83	85
71	73	75	77	80	82	84	86	88	90
75	77	80	82	84	86	89	91	93	95
78	80	83	85	87	90	92	94	95	95
83	86	88	91	93	95	95	95	95	95
85	88	90	93	95	95	95	95	95	95
86	89	91	94	95	95	95	95	95	95

*SLCN값을 입력함에 있어 95이상 되는 값은 95로 가정

7. 적용 예

위천(고노지점)대표 시험구역의 지형도 및 정밀토양도를 이용하여 2차원 수치지도 및 3차원 수치고지도를(그림 1)를 작성하였으며, Arc/Info의 TIN모듈을 이용

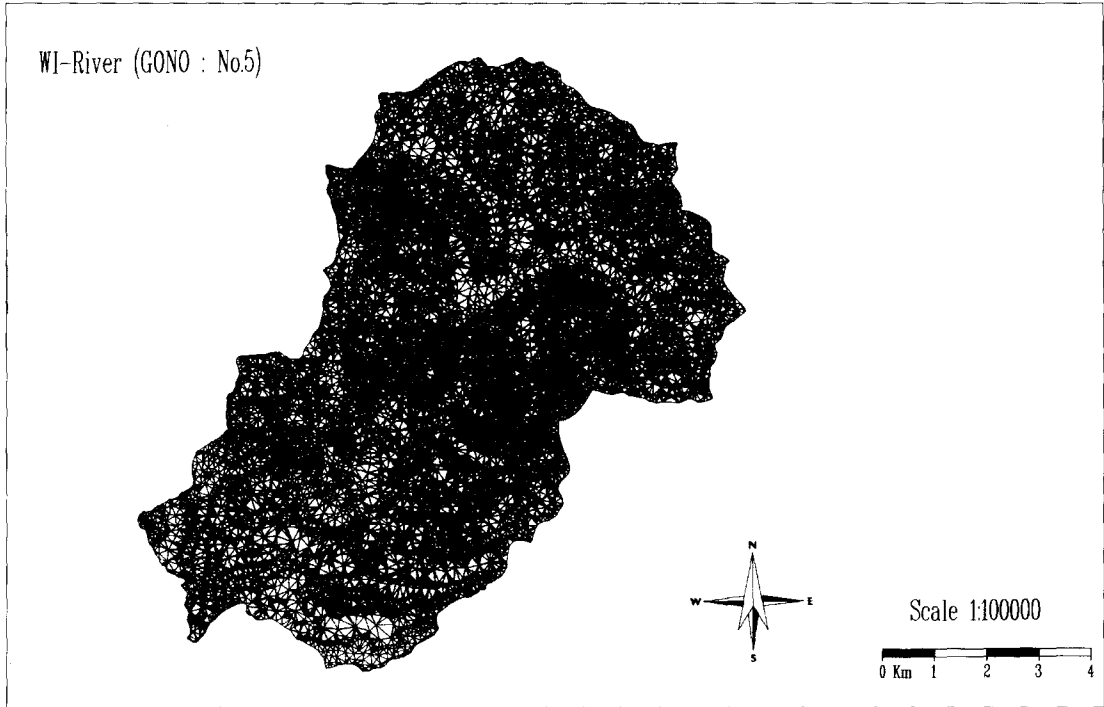


그림 3. TIN

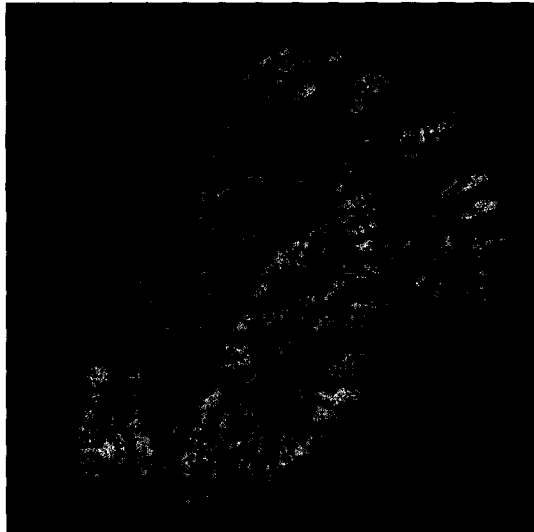


그림 4. Wi-River 3-D Modeline

하여 그림 3 및 그림 4와 같이 대상유역을 삼각망으로 재구성하였다. TIN에 의해 구해진 고노유역의 평균경사는 37.06°이며, 구축된 coverage를 통해 구해본 이 지역의 토지이용도와 SCS분류에 의한 토양별 분포비율은 표 6과 같다.

표 6. 토지이용도 및 토양도 분포비율

토지이용도		토양군	
산지	75.76%	A	80.78%
과수원	14.13%	B	19.17%
논	6.00%	C	0.05%
주거지	4.08%	D	0.00%

표 7. 평균유출곡선지수

MCN	MSLCN2	MSLCN3
60	66	68

유역사면경사 효과를 검토하기 위해 2차원 수치지도와 3차원 수치고도지도를 이용하여 산정한 유역의 평균유출곡선지수는 표 7과 같다. 2차원 수치지도를 이용하여 구한 평균유출곡선 지수는 MCN이며, MSLCN2 및 MSLCN3는 3차원 수치고도지도를 이용하여 구한 평균유출곡선지수를 나타낸다. 표 7에서 MSLCN2는 경사 10° 증가에 대해 CN값을 2%씩 증가한 경우이며, MSLCN3는 경사를 3%씩 증가한 경우이다. 표 7에 나타난 바와 같이, 유역사면경사 10° 증가에 대해 CN값을 2%씩 증가시켰을 경우 평균유출곡선지수 값은 10.0%, CN값을 3%씩 증가시켰을 경우에는 평균유출곡선지수의 값이 13.3%의 차이가 있었다.

유역사면 경사효과를 고려한 평균 유출곡선지수(MSLCN) 값이 분석대상 유역으로 선정된 위천유역(고노지점)의 유효우량 및 직접유출량 산정에 미치는 정도를 비교하였다. 이를 위해, 건설교통부(1983~1989)에서 설치운영중인 대표시험유역의 보고서중에서 관측된 시우량 및 시간유출량 자료가 제공되어 있는 IHP보고서를 이용하였다. IHP보고서에는 위천대표시험유역 6개 관측점에 대해서 1983-1989년에 관측된 주요호우사상의 시우량 및 시간유출량이 다수 수록되어 있으며, 그 중에서 고노관측지점의 단일 호우사상 4개를 선정하여 분석하였다. 위천유역(고노지점)의 시우량 및 유출량 자료를 기존의 2차원 SCS방법과 TIN을 이용한 3차원 SCS법에 적용하여 총유효우량 및 시간별 유효강우량을 산정하였으며, 그 결과는 표 8과 같다. 표 8에 나타낸 바와 같이, 강우사상 I은 총유효우량이 93.9mm 이고 최대시우량은 15.5mm이다. 2차원 SCS방법 및 3차원 SCS법을 이용해서 구한 CN값이 각각 60, 66, 68일 때, 관측된 총강우량 및 최대시우량으로부터 구한 총유효우량 비율은 16.7%, 24.6%, 27.5%이고, 최대시우량 비율은 18.6%, 27.4%, 30.5%이다. 강우사상 II는 총강우량 135.9mm, 최대시우량 20.3mm이며, 각 CN값에 대해 산정한 총유효우량 비율은 각각 28.2%, 36.9%, 39.9%이고, 최대시우량 비율은 각각 54.5%, 64.7%, 67.9%이다. 강우사상 III은 총강우량 54.5mm, 최대시우량 16.25mm이며, 각 CN값에 대해 산정한 총유효우량 비율은 각각 4.1%, 9.2%, 11.4%이고, 최대시우량 비율은 각각 6.0%, 12.4%, 14.8%이다. 그리고 강우사상 IV는 총강우량 57.0mm, 최대시우량 15.0mm이며, 각 CN값에 대해 산정한 총유효우량 비율은 각각 4.9%, 9.8%, 12.9%이고, 최대시우량은 각각 3.9%, 6.2%, 7.9%이

다. 즉 2차원 SCS(CN=60)에 의한 총유효우량 및 최대시우량보다 3차원 SCS법(CN=66, 68)에 의한 총유효우량 및 최대시우량이 약 5~12% 정도 더 크게 나타났다. 또 총강우량이 점차 증가할 때(강우사상 III, IV, I, II), 총유효우량의 비율도 증가하는 것을 알 수 있다. 따라서 SCS법에 의한 유효강우량 산정시에는 보다 정밀한 방법을 적용함으로써 실제유역에서의 강우-유출 거동을 보다 정확하게 재현 할 수 있다. 또 강우-유출 해석에 미치는 영향을 파악하기 위해 지형학적 순간단위도를 이용하여 침투유량에 대한 크기변화를 비교하였으며, 그 결과는 표 9와 같다. 표 9에 따르면, 2차원 SCS법(CN=60)을 적용하여 구한 각 강우사상별 침투유량이 관측치 보다 모두 작게 나타났으며 수문곡선에 대한 재현성도 낮게 나타났다.

유역사면경사 10° 증가에 대해 CN값을 2% 증가시킨 값(CN=66)을 적용하여 구한 각 강우사상별 침투유량은 강우사상 IV를 제외하고는 비교적 재현성이 높은 것을 알 수 있으며, CN값을 3% 증가시킨 값(CN=68)을 적용하여 구한 결과도 비교적 양호한 것으로 판단된다.

표 9. 침투유량에 대한 관측치와 CN값의 변화에 따른 계산치의 비교

CN 침투유량 강우사상	60	66	68	침투유량 (관측치) (m ³ /sec)
	유량 (m ³ /sec)	유량 (m ³ /sec)	유량 (m ³ /sec)	
I (85.8.17)*	30.70	55.49	58.19	42.63
II (85.9.18)*	88.85	112.22	120.02	96.33
III (86.7.21)*	8.65	19.63	24.26	20.77
IV (87.7.14)*	6.87	11.02	12.65	34.46

* 강우발생 년월일

표 8. CN값에 따른 유효우량 변화

CN 강우사상	60		66		68		총강우량 (관측치) (mm)	최대시우량 (관측치) (mm)
	최대유효시 우량(mm)	총유효 우량 (mm)	최대유효시 우량(mm)	총유효 우량 (mm)	최대유효시 우량(mm)	총유효 우량 (mm)		
I (85.8.17)*	2.88 (18.6)	15.71 (16.7)	4.24 (27.4)	23.10 (24.6)	4.72 (30.5)	25.85 (27.5)	93.90	15.5
II (85.9.18)*	11.06 (54.5)	38.36 (28.2)	13.13 (64.7)	50.1 (36.9)	13.79 (67.9)	54.17 (39.9)	135.90	20.3
III (86.7.21)*	0.98 (6.0)	2.24 (4.1)	2.02 (12.4)	5.04 (9.2)	2.4 (14.8)	6.23 (11.4)	54.50	16.25
IV (87.7.14)*	0.58 (3.9)	2.78 (4.9)	0.93 (6.2)	5.58 (9.8)	1.18 (7.9)	7.18 (12.6)	57.00	15.0

* 강우발생 년월일 () 값은 실측강우에 대한 비율 %

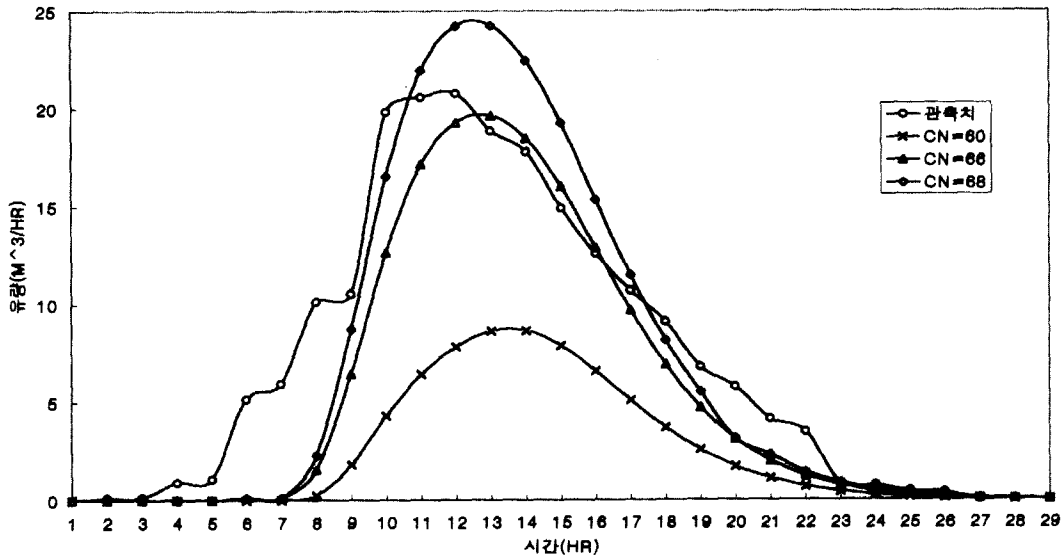


그림 5. 관측치와 계산치의 비교

참고적으로 식 (5)의 지형학적 순간단위도 모형을 이용하여 강우사상 III에 대한 수문곡선 재현성을 그림 5에 나타내었다. 그림 5에 나타낸 바와 같이 CN=66 일 때, 수문곡선의 재현성이 가장 우수한 것을 알 수 있다.

따라서 SCS법에 의해 유효강우량을 산정하는 경우, 본 연구에서 제안한 유역사면경사를 고려한 방법에 의한 평균유출곡선지수(SLCN)를 이용하여 유효강우량 및 침투유량을 산정하는 것이 보다 합리적인 것으로 판단된다.

9. 연구성파의 적합성 검토

일반적으로, 관측된 자료를 이용하여 강우-유출모형에 의한 유출수문곡선 해석을 하기 위해서는 총우량을 손실우량과 유효우량으로, 그리고 총유출량을 직접유출량과 기저유출량으로 분리한다. 유효우량 및 직접유출량 산정방법의 선택에 따라 강우-유출모형에 의한 수문곡선의 해석결과가 다르게 나타나게 된다. ϕ -지수와 같은 평균침투능에 의한 방법, 경험공식 등에 의한 유효우량 산정방법은 직접유출 분리방법과 연계되어 있어 일정한 값을 가지지 못한다. 반면에 SCS법은 분석대상 유역의 토지이용도, 정밀토양도, 및 피복식생상태 등의 실제 공간자료를 이용하므로 하나의 유출곡선지수 CN 값만을 부여하며, 각 호우사상에 대해서 일정한 유효우량을 산정할 수 있게 한다. 한편, 관측된 직접유출량에 대한 강우-유출모형의 최적화 또는 수문곡선해석결과

유효우량의 시간적 분포에 따라 좌우된다. 즉 표 7 및 표 8에 나타낸 바와 같이 작은 CN값의 차(CN=60, 66, 68)에 대해서 5~12%의 유효우량 차이와 최대 60% 정도의 침투유량 차이가 발생한다.

이와 같은 관점에서 볼 때, 특히 우리나라와 같이 유역의 2/3가 산지지역이며 경사도 및 고저차가 큰 하천 유역에 대해서 SCS법을 적용하고자 하는 경우에, 농경 지역을 기준으로 설정된 기존의 SCS법의 분류중 산림 지역의 유출곡선지수가 표 1과 같이 하나의 값으로 부여된 것을 그대로 사용하고 있는 모순점을 개선하기 위한 본 연구의 성과에 의의가 있다고 생각된다.

10. 결 론

유역의 토지이용도 구성에 있어 산지가 2/3 이상을 차지하고 있는 우리나라의 하천유역에 대해 농경지역의 삼림지역을 기준으로 설정된 기존의 SCS법의 분류에 의한 유출곡선지수를 이용하여 유효우량을 산정하는 것은 근본적으로 모순을 포함하고 있다. 본 연구에서는 이러한 문제점을 보완할 수 있도록 유역사면의 경사효과 즉 산지의 사면효과를 고려할 수 있는 3차원 수치도 도지도도를 이용하여 SCS법에 의한 유효강우량 산정법을 검토하였다. 3차원의 표면해석을 위해서는 Arc/Info의 모듈인 TIN을 이용하였다. 본 방법의 타당성 검토를 위해 위천대표시험유역(고노지점)의 시우량 및 유출량 자료를 이용하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

(1) 3차원 수치고도지도 및 TIN모듈을 이용하여 SCS법에 의한 유효강우량 산정방법을 제안하였다.

(2) 유역사면경사 10° 증가에 대한 유출곡선지수(CN)의 증분치(2%, 3%)를 고려하여 SCS법에 의한 유효강우량 산정시 유역사면경사의 효과를 검토하였다. 대상유역에서 발생한 4개의 강우사상에 대해 적용한 결과, 유역사면의 경사효과를 고려하여 유효강우량을 산정하는 것이 보다 합리적인 것으로 판단되었다.

(3) 기존 SCS법의 분류에 따르면 숲지역에 단일의 CN값을 부여하고 있다. 우리나라의 하천유역은 대부분 산지지역(2/3 이상)인 점을 고려할 때, 본 연구에서 제안하는 유역사면경사를 고려한 해석방법이 보다 타당성이 있다고 판단된다.

(4) 수치지도 및 TIN을 이용하는 경우 토지이용도 및 정밀도양도 분석에 보다 정확한 결과치를 얻을 수 있는 것으로 판단되었다.

(5) 우리나라 기본수치지도가 완성된 후, 각 하천수계별 또는 평균고도별 산지지역에 적절한 CN값에 대한 추가적인 연구가 필요하다고 사료된다.

감사의 글

본 논문의 내용과 체계가 다듬어 질 수 있도록 조언을 해주신 심사위원 두 분께 감사드립니다.

참고 문헌

강성수, 장용구, 강인준 (1995). "GIS를 이용한 유출 해석에 관한 연구." 대한토목학회 1995년도 학술 발표회 논문집(III), pp. 109-112.

강창모, 지흥기, 조명희 (1995). "하천측량 및 유지관리를 위한 GIS의 적용." 1995 대한 토목학회 학술발표회 논문집, pp.97-100.

건설교통부 (1983~1989). 국제수문개발계획(IHP) 대표시험유역 연구조사 보고서.

과학기술처 (1993). 지리정보시스템 활용 기법.

김현준 (1995). 강우예보의 사공간특성을 고려한 홍수 예보모형의 개발. KICT/95-WR-1101-1, 한국건설기술연구원.

농림수산부 (1991). 공사 GIS 업무개발지침서.

윤용남(1994). 공업수문학. 청문각, pp. 125-137

이재기, 이현직 (1995). "농업용수개발을 위한 수치지형정보의 활용." 대한토목학회 학술발표회 논문집, pp.101-104.

정정화, 장승표, 정연태 (1995). "유출율 추정을 위한 도양 수문군의 분류." 한국농공학회지, 제37권 제 6호, pp. 12-33.

조홍제, 이상배 (1990). "수문응답의 지형학적 합성방법에 관한 연구." 대한토목학회지, 제10권, 제1호, pp. 99-108.

한국수자원공사 (1993). GIS(지리정보시스템)를 이용한 수자원 관리 및 계획에 관한 연구.

Bhaskar, N.R. (1991). "Hydrologic parameter estimation using geographic information system." *Journal of Water Resources Planning and Management*, Vol. 115, No. 5, pp. 492-512.

Johnson, L.E. (1989). "MAPHYD-a digital map-based hydrologic modeling system." *Photogrammetric Engng. and Remote sensing*, Vol. 55, No. 66, pp. 911-917.

Karlinger M.R. et al. (1988). "Regression estimation for topological-hydrograph input." *Journal of Water Resources Planning and Management*, Vol. 114, No. 4, pp. 446-455.

Roriguez-Itrube, I., Valdes, J.B. (1979). "A rainfall-runoff analysis of geomorphologic IUH." *Water Resources Research* Vol. 15, No. 6, pp. 1421-1434.

Rosso, R.L. (1984) "Nash Model Relation to Horton Order Ratio." *Water Resources Research*, Vol. 20, No. 7, pp. 914-920.

Sicar, T.k., Ragan, R.M., Engman, E.T., and Fink, R.A (1991). "A GIS based on geomorphic approach for the computation of time-area curves." *Civil Engineering, Applications of remote sensing and geographic information system*, Edited by Stefford, D.B., ASCE, New York., pp. 287-296.

Warwick, J.J. and Hanes, S.J. (1994). "Efficacy of ARC/INFO application to hydrologic modeling." *Journal of Water Resources Planning and Management*, pp. 362-380.

Wolock, D.M. McCake, G.J. (1995). "Comparison of single and multiple flow direction algorithms for computing topographic parameters in TOPMODEL." *Water Resources Research*, Vol. 31, No. 5, pp. 1315-1324.

<최종본 도착일 : 1997년 7월 16일>