

유역분할에 따른 유출응답에 관한 연구

A Study on Runoff Response according to Dividing Watershed.

김 경 탁* / 최 윤 석**

Kim, Kyung Tak / Choi, Yun Seok

Abstract

Many researches have been conducting on extracting geometry data and hydrologic parameters by using GIS technique. However, there is no clear standard on those methods yet. This study examines the changing pattern of runoff responses characteristics with applying lumped model on divided watershed. WMS is used in order to divide watershed and calculate hydrologic geometry data and parameters by GIS technique. HEC-1 is adopted as a hydrologic model to establish runoff responses. The basin is divided into small watersheds, which are approximately same size. This research conducted runoff response simulation of Pyoungchang River and Wichon River Basin. Especially, research was focused on what is the most appropriate level as a divided sub-basin, and tested the effect of size of sub-basin for the runoff response simulation. The results showed the size of sub-basin was not an important factor for the simulation results after a certain size. The results of this study can be applied as an appropriate guidance to select optimal simulation size of watershed for the lumped model in a specific watershed.

Keyword : GIS, Basin Area, Basin Division, WMS, HEC-1, Runoff Response

요 지

수자원 분야에서 GIS를 이용한 유역의 지형인자 추출 및 수문모형의 매개변수 추출에 대한 많은 연구가 진행되고 있다. 그러나 아직까지 이러한 방법들에 대한 명확한 기준은 정립되어 있지 않은 상태이다. 본 연구에서는 집중형 모형을 적용함에 있어서 동일 특성으로 구분되어 지는 유역분할에 따른 유출 응답특성의 변화에 대해서 검토하고자 한다. GIS를 이용한 유역의 분할과 수문학적 지형인자 및 매개변수의 계산을 위하여 WMS를 사용하였으며, 유출응답 특성의 규명을 위한 수문모형으로는 HEC-1을 사용하였다. 본 연구에서는 평창강 및 위천 유역을 대상으로 유출모의를 수행하였으며, 해당 유역의 수문현상을 가장 잘 모의할 수 있는 적정 유역분할에 관하여 연구하였다. 유역분할이 유출모의에 미치는 영향을 검토하였으며 일정 유역분할 이후에는 유역분할이 유출모의결과에 큰 영향을 미치지 않음을 알 수 있었다. 이러한 연구 결과는 특정 유역의 유출모의시 최적 모의 면적을 선정하는데 도움이 될 수 있을 것으로 판단된다.

* 한국건설기술연구원 수자원연구부 선임연구원

Senior Researcher, Korea Institute of Construction Technology, Kyonggido 411-712, Korea
(E-mail : ktkim1@kict.re.kr)

** 한국건설기술연구원 수자원연구부 연구원

Researcher, Korea Institute of Construction Technology, Kyonggido 411-712, Korea

1. 서 론

유역에서의 유출해석을 위하여 지금까지 여러 가지 유출모형과 해석방법이 적용되어 왔다. 최근 들어 GIS(Geographic Information System)를 수자원분야에 적용하는 사례가 늘어나면서 모형의 매개변수를 손쉽게 객관적인 방법으로 산정할 수 있게 되었다. 강우 유출해석에서 GIS를 이용할 경우에는 과거에 비해 많은 노력을 들이지 않고도 수치고도자료(Digital Elevation Model : DEM)을 이용하여 유역을 자유롭게 분리하고 해당 소유역의 지형인자를 산정하여 모형의 매개변수를 결정할 수 있다. 소유역 분리의 장점은 유역을 여러 개의 소유역으로 분리함으로써 유역의 공간적 변화특성을 잘 반영할 수 있다는 것과 평균강우량 산정을 분할된 소유역별로 수행함으로써 강우의 공간분포를 반영할 수 있는 점 등을 들 수 있다.

유역분할이 유출모의에 영향을 미칠 것이라는 것은 오래전부터 많은 학자들 사이에서 인식되어 오고 있으며 유역분할시 유역의 수문학적 지형특성 값의 변화에 대한 연구가 수행된 바 있다. 특히, 집중형 모형(lumped model)에 의한 강우유출해석에서 유역의 분할은 매우 중요한 부분으로 인식되고 있다. 그러나 유역의 수문학적 특성을 가장 잘 반영할 수 있는 적정 소유역 면적을 결정하기 위한 충분한 연구가 아직 이루어지지 않은 상태이다. 조홍제(1986)는 유역분할에 따른 형상계수의 변화를 비교 분석함으로써, 우리나라 유역의 형태학적 특성에 대하여 연구를 통해 유역의 형상계수는 유역분할에 따라 거의 유사한 값을 나타내었으며 이는 서로 유사한 유출특성을 가지는 것이라고 기술한 바 있다. 이종태 등(1997)은 도시 내 약 10km 이내의 면적을 가지는 유역을 대상으로 유역분할이 유출특성에 미치는 영향에 대하여 분석하였다. 이 연구에서는 유역분할이 유출해석에 미치는 영향이 유역의 지형학적 특성에 따라 다양하며, 유역경사가 완만할 경우 급경사의 유역보다 그 영향이 민감하게 나타나고 있음을 보여주고 있다. 또한 소유역의 면적비가 전체 유역의 약 35% 이내(유역분할 개수 3개 이상)가 되게 분할하는 것을 제안한 바 있다.

한편, GIS의 발달과 함께 분포형 모형(distributed model)에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며 분포형

모형의 적용에서는 유역분할보다는 유역의 지형학적 특성을 모의하기 위한 격자크기의 결정이 중요한 요소로 적용된다. Zhang과 Montgomery(1994)는 TOP-MODEL을 이용하여 토지면적을 나타내고 수문모의를 수행하기 위해 격자크기(2, 4, 10, 30, 그리고 90m)의 영향을 검토한 바 있으며 윤용남 등(1999)은 분포형 개념을 이용한 토사유출량 산정에 대한 연구에서 그리드 크기에 따른 토양침식량 추정치의 변화에 대해 분석한 바 있고, 한건연 등(2003)은 GIS 자료를 이용한 수문 모델링에서의 적정해상도 도출에 대해 연구한 바 있다.

그러나 이러한 분포형 모형은 실무에서 적용하기에는 보다 많은 연구가 선행되어야 하므로 현실적으로 집중형 모형을 이용하되 GIS를 활용하여 모형의 매개변수를 산정하는 방법이 활성화 되고 있다. 특히, 미계측 유역에서의 홍수량을 추정하기 위해서는 실측데이터에 의한 모형 매개변수의 검정이 불가하므로 분포형 모형 보다는 미계측 유역에 적용 가능한 집중형 모형이 이용되고 있는 실정이다. 그러나 집중형 모형을 적용한다고 하더라도 유역을 어떤 크기로 분할하느냐에 따라 모의 결과가 달라 질 수 있다. 따라서 본 연구에서는 미계측 유역에서 유출모의를 위한 SCS 방법을 적용할 경우에 유역분할이 모의결과에 미치는 영향에 대하여 분석하였다.

2. 유출해석 조건설정

집중형 모형에 의한 강우유출해석에서 사용되는 유역의 특성인자는 강우사상에는 무관하게 소유역별로 단일된 값을 갖게 된다. 따라서 각 사상별로 유출을 비교할 경우 많은 차이가 나게 되고 더욱이 유역면적이 큰 경우 단일 된 몇 개의 값만으로 모든 강우유출사상의 모의를 수행하는 것은 무리일 수밖에 없다. 따라서 본 연구에서는 유출모의의 영향인자로서 유역의 지형특성인자만으로 모의 가능한 SCS 방법을 선택하여 모의를 수행하고, 소유역을 구분하여 유출해석에 적용함으로써 유역분할이 유출해석 결과에 미치는 영향을 분석하였다. 즉, 유효강우량 산정방법으로 SCS 유출곡선번호(Curve Number ; CN)방법, 합성단위도법으로 SCS 무차원 단위도법을 사용하였으며, 소유역 간의 하도홍수 추적을 위하여 Muskingum-Cunge 방법을 이용하였다.

본 연구의 대상유역은 국제수문개발계획(IHP) 대표

유역 중 평창강 유역과 위천 유역으로 설정하였다. 각 유역에 대하여 평창강 유역은 단일유역, 6개 소유역, 12개 소유역, 24개 소유역, 66개 소유역으로 분할하여 모의를 수행하였으며 위천 유역은 단일유역, 6개 소유역, 24개 소유역, 36개 소유역으로 유역분할을 실시하였으며, 이에 따른 유출특성을 분석하였다.

GIS기법으로 산정된 지형인자를 이용하여 강우유출 모의를 수행하고 이의 적용성을 검증하기 위해서는 유역내의 수문관측 자료가 필요하다. 모의검증에 필요한 강우유출자료는 사상별 강우유출 자료로써 가능한 짧은 시간간격의 홍수 수문 자료이어야 수문관측 유역의 유출응답을 충분히 검토할 수 있다. 본 연구에서는 구축된 GIS 자료의 제작 및 관측 년도를 감안하여 1983년~1989년까지 자료를 정리해 놓은 IHP 대표유역 수문자료집(건설부, 1989)에 수록된 위천 및 평창강의 각각 2개의 강우사상을 선택하였다. 표 1은 대상유역의 수문관측시설 현황을 나타내고 표 2는 선정된 강우 유출자료 및 선행토양함수조건을 나타낸다.

3. 기본 이론

3.1 유효우량 산정

본 연구에서는 유효우량의 산정을 위하여 SCS CN 방법을 이용하였다. SCS CN 방법에서는 CN 값의 산정을 위하여 토양도, 토지피복도 및 지형자료를 이용하기 때문에 GIS를 이용하여 유효강우량을 계산할 때 용이하게 적용될 수 있다. SCS 방법을 이용해서 유효우량을 산정할 때는 유역의 CN 값과 초기손실(IA)을 두

가지 매개변수로 사용한다. HEC-1에서는 유효우량의 산정을 위해 다음의 관계식을 이용한다.

$$ACEXS = \frac{(ACRAN - IA)^2}{ACRAN - IA + S} \quad (1)$$

$$S = \frac{25400 - 254 CN}{CN} \quad (\text{Metric Units}) \quad (2)$$

여기서, ACEXS는 누가 유효우량, ACRAN은 누가 총우량, S는 토양수분미흡량 또는 잠재보유수량을 나타낸다. 이때 IA에 특정한 값을 부여하지 않을 경우 SCS에서는 다음의 경험식을 제시하고 있다.

$$IA = 0.2 S \quad (3)$$

3.2 SCS 합성단위도법 산정

SCS 방법에 의한 단위도의 합성을 위해서는 단위도의 침투유량(Q_p)과 그 발생시간(t_p)을 결정하여야 한다. 지체시간과 침투유량이 결정된 후 SCS의 무차원단위도를 사용하여 단위도를 작성하게 된다. SCS는 무차원단위도의 t_p 와 Q_p 를 산정하기 위해 다음의 공식을 추천하고 있다.

$$t_p = \frac{1}{2} t_r + t_g \quad (4)$$

$$Q_p = \frac{484A}{t_p} \quad (5)$$

표 1. 대상유역의 수문관측시설 현황

유역	자기수위계	자기우량계	지하수위계	증발계
위천	6 (무성, 효령, 병천, 미성, 고로, 동곡)	11 (군위남부, 효령, 대울, 고매, 우보, 산성, 신령서부, 의흥, 화수, 화산, 석산)	6	11
평창강	6 (방림, 하반정, 상안미, 백옥포, 장평, 이목정)	11 (방림, 가평, 수동, 계촌, 대화, 신리 유천, 등매, 용전, 계방, 흥정)	6	11

표 2. 적용 강우-유출 사상

유역	년도	구분	강우일시	유출일시	AMC
위천	1985	위천사상1	85.08.17 01:00~08.18 00:00	85.08.17 01:00~08.19 05:00	3
	1987	위천사상2	87.07.15 15:00~07.16 12:00	87.07.15 15:00~07.18 02:00	2
평창강	1987	평창사상1	87.07.21 08:00~07.23 17:00	87.07.21 08:00~07.26 01:00	2
	1989	평창사상2	89.07.24 21:00~07.27 12:00	87.07.24 21:00~07.29 09:00	3

여기서, t_p 는 유출의 시작시간으로부터 첨두유량점까지의 시간(hours), t_r 는 강우의 지속기간, t_g 는 지체시간(hours), Q_p 는 첨두유량(ft^3/sec), A 는 유역면적(mi^2)을 나타낸다. 또한 SCS는 지체시간의 계산을 위하여 다음과 같은 공식을 제안하고 있다.

$$t_g = L^{0.8} \frac{(S+1)^{0.7}}{1900\sqrt{Y}} \quad (6)$$

여기서, L 은 하천의 총연장(ft), Y 는 유역의 평균경사(%), $S=(1,000/CN)-10$ 는 최대 잠재저수량(m)을 나타낸다.

3.3 하도홍수추적

유출해석에 GIS 기법을 적용할 경우에는 기존의 방법보다 유역의 구분이 용이하다. 본 연구에는 소유역을 분할하여 유출모의를 수행할 때 하도홍수추적 방법으로 HEC-1에서 제공되고 있는 방법 중에서 가장 일반적으로 사용되고 있는 Muskingum-Cunge 방법을 선정하였다. Muskingum-Cunge 방법은 다른 수문학적 방법들에 비해 사용 매개변수가 유역의 물리적 특성에 의존하고, 완전부정류 해석과 비교하여 결과의 차이가 크게 나지 않는 것으로 알려져 있으며, 계산 시간간격의 영향을 적게 받는다는 장점이 있다. 그러나 이 방법은 배수효과가 고려되지 않으며, 완전부정류 흐름에서는 해가 수렴하지 않는 제약이 있다. Muskingum-Cunge 방법의 기본 방정식은 다음의 연속방정식과 운동량 방정식으로부터 유도된다.

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q_L \quad (7)$$

$$S_f = S_0 - \frac{\partial Y}{\partial x} \quad (8)$$

여기서, Q 는 유량, A 는 유역면적, t 는 시간, Y 는 수심, q_L 은 하도 단위길이 당 측방유입량, S_f 는 에너지경사, S_0 는 하상경사를 의미한다. 위 식을 결합하고 선형화하여 다음과 같은 이송확산방정식(convective diffusion equation)을 유도할 수 있다.

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + c \frac{\partial Q}{\partial x} = \mu \frac{\partial^2 Q}{\partial x^2} + c q_L \quad (9)$$

여기서, c 는 표면파의 전파속도(wave celerity)를 나타내고 μ 는 수리확산능(hydraulic diffusivity)을 나타내며 각각 다음과 같이 정의된다.

$$c = \frac{dQ}{dA} \Big|_x \quad (10)$$

$$\mu = \frac{Q}{2BS_0} \quad (11)$$

여기서, B 는 수면 폭을 나타내며 측방유입량을 고려한 위의 미분방정식 식 (9)를 차분화하여 미지유량 Q_{j+1}^{n+1} 에 대하여 다음과 같은 대수식 형태의 추적방정식을 얻을 수 있다.

$$Q_{j+1}^{n+1} = C_1 Q_j^n + C_2 Q_j^{n+1} + C_3 Q_{j+1}^n + C_4 Q_L \quad (12)$$

여기서, $C_1 = \frac{(\Delta t/K) + X}{(\Delta t/K) + 2(1-X)}$

$$C_2 = \frac{(\Delta t/K) - 2X}{(\Delta t/K) + 2(1-X)}$$

$$C_3 = \frac{2(1-X) - (\Delta t/K)}{(\Delta t/K) + 2(1-X)}$$

$$C_4 = \frac{2(\Delta t/K)}{(\Delta t/K) + 2(1-X)}$$

$$Q_L = q_L \Delta x$$

C_1, C_2, C_3, C_4 : 추적계수(routing coefficients)

하도구간에서의 저류량은 다음과 같이 정의되는 Muskingum의 저류량 방정식으로 나타낼 수 있다.

$$S = K[XI + (1-X)O] \quad (13)$$

여기서, S 는 하도의 저류량, K 는 저류상수, X 는 가중인자, I 는 유입량 그리고 O 는 유출량을 나타낸다. 이때 저류상수 K 와 가중인자 X 는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$K = \frac{\Delta x}{c} \quad (14)$$

$$X = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{Q}{BS_0 c \Delta x} \right) \quad (15)$$

추적계수는 Courant 상수 C 와 cell Reynolds수 D 로 표현될 수 있으며 식은 다음과 같다.

$$C = c \frac{\Delta t}{\Delta x} \quad (16)$$

$$D = \frac{Q}{BS_0 c \Delta x} \quad (17)$$

여기서 C 와 D 를 식 (14)와 (15)에 대입한 후 식 (12)의 추적계수를 바꾸어 쓰면 다음과 같다.

$$C_1 = \frac{1 + C - D}{1 + C + D} \quad (18)$$

$$C_2 = \frac{-1 + C - D}{1 + C + D} \quad (19)$$

$$C_3 = \frac{1 - C + D}{1 + C + D} \quad (20)$$

$$C_4 = \frac{2C}{1 + C + D} \quad (21)$$

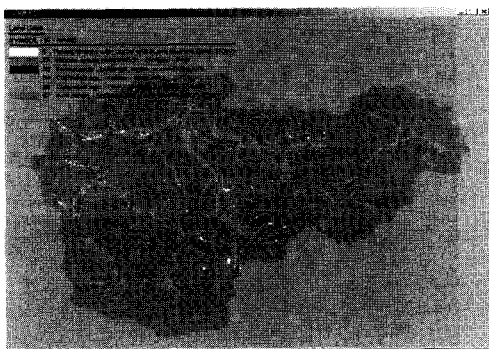
4. 매개변수 산정 및 적용

유출해석시 필요한 매개변수를 GIS를 이용하여 산정하였다. SCS CN값에 의한 유효강우량 산정을 위해서는 유역의 토지피복도와 토양도가 필요하다. 유역의 토지피복상태를 나타내는 자료로는 토지이용현황도, 환경부 토지피복도 등을 들 수 있다. 본 연구에서는 그림 1과 같이 Landsat TM 영상을 이용하여 연구대상 지역의 토지피복도를 구축하였으며 분류 기준은 환경부 토지피복도에서 제시하고 있는 대분류 기준에 따라 분류하였다.

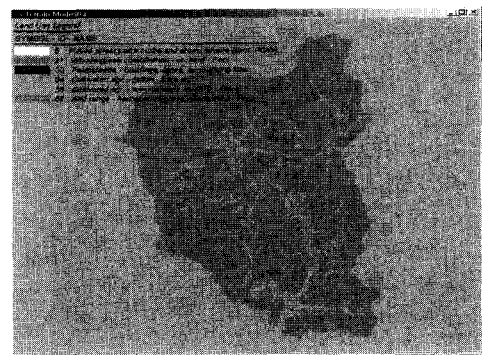
국내의 경우 토양도로는 한국개략토양도(1/250,000), 개략토양도(1/50,000), 정밀토양도(1/25,000)가 있으며 정밀토양도에 대한 수치지도화 작업은 농업과학기술원에 의해 완료된 상태이다. 본 연구에서는 연구대상지역에 해당하는 수치정밀토양도를 획득하여 사용하였다. 한

편, SCS의 수문학적 토양군별 토양배열은 미 농무성(USDA)의 토양분류기준(soil survey manual)에 근거하고 있는 것과 마찬가지로 우리나라 농촌진흥청의 토양분류기준도 미 농무성의 토양분류기준에 기초를 두고 있다. 따라서 정밀토양도상에 나타나 있는 토양통을 기준으로 SCS의 수문학적 토양군별로 재분류할 수 있다. 허기술과 정정화(1987)는 토성(soil texture), 토양심도(soil depth), 토양배수(soil drainage), 토양팽창(soil swelling), 유기물함량(organic matter content)에 대한 SCS와 농촌진흥청의 분류기준을 정량적으로 비교, 검토하여 정밀토양도상의 토양통을 SCS의 수문학적 토양군 A, B, C, D로 분류하여 제시하였다. 본 연구에서도 이를 근거로 하여 수문학적 토양군으로의 재분류를 실시하였으며 이는 그림 2와 같다.

유역분할이 유출해석에 미치는 영향을 분석하기 위하여 각 유역의 수위관측 지점을 기준으로 유역을 분할하고, 이를 더 세분하여 유출해석에 적용하였다. 유역분할의 개수는 각 대상 유역의 최하류 지점인 무성 지점과 방림 지점을 기준으로 한 1개 유역, 각 유역의 수위관측소를 기준으로 한 위천 6개 소유역과 평창강 6개 소유역을 우선적으로 유출해석에 적용하였다. 또한 이를 더 세분화 할 때는 세분화된 소유역의 면적이 서로 유사한 값을 가지는 하천상의 위치를 선택하여 유출구로 선정하였다. 그림 3은 본 연구에서 적용한 위천의 소유역 12개, 24개, 36개의 분할된 모습을 나타낸 것이고, 그림 4는 평창강의 소유역 12개, 24개, 66개의 분할된 모습을 나타낸 것이다. 분할된 각 소유역에 대하여 HEC-1 입력 매개변수를 산정하였으며 이를 적용하여 유출해석을 실시하였다.

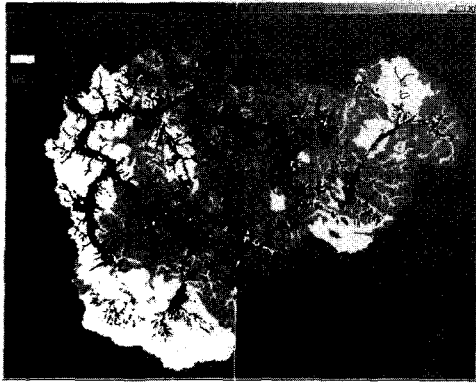


(a) 위천

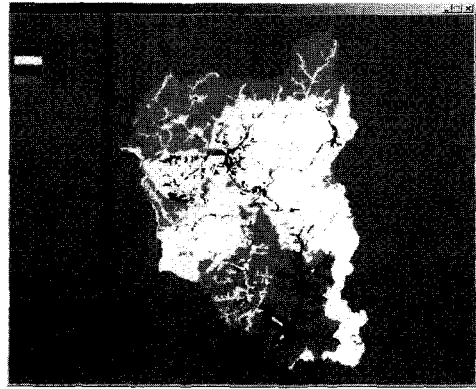


(b) 평창강

그림 1. 토지피복도

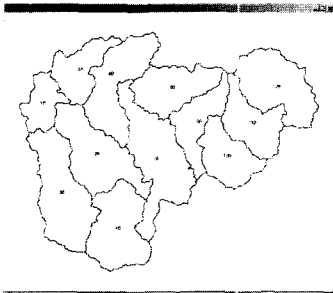


(a) 위천

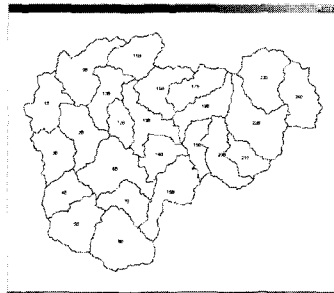


(b) 평창강

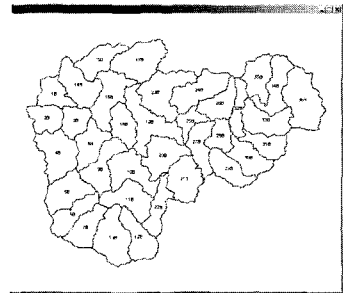
그림 2. 정밀도양도



(a) 12개 소유역

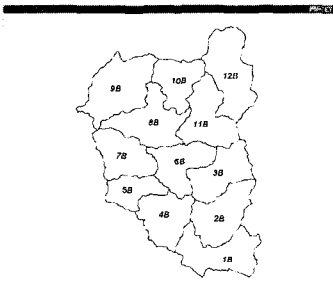


(b) 24개 소유역

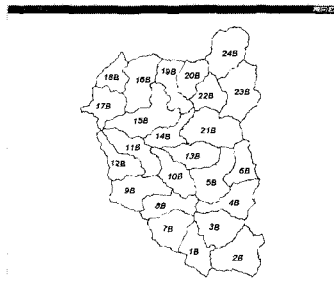


(c) 36개 소유역

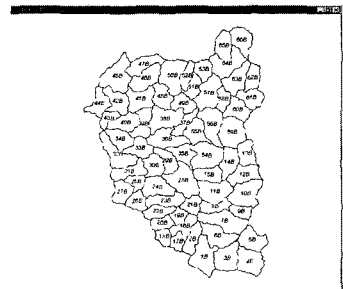
그림 3. 유역분할(위천)



(a) 12개 소유역



(b) 24개 소유역



(c) 66개 소유역

그림 4. 유역분할(평창강)

본 연구에서는 분할된 소유역별로 지형인자를 계산하기 위하여 WMS(Watershed Modeling System)의 TIN해석을 이용하였으며, 이는 HEC-1 모형에서 동일한 수문특성을 가지는 단위로 반영된다. 표 3 과 4는 대상 유역에 대하여 유역분할시 각 소유역에 해당하

는 지형특성인자를 나타낸 것이다.

분석 대상 강우사상은 선정된 호우사상을 대상으로 하였으며 홍수추적구간에 대한 평균 하도폭의 결정은 소유역 분할에 관계없이 추적구간이 동일할 경우에는 분할된 소유역 수가 적은 모의에서 사용된 값을 그대로

표 3. 소유역별 지형특성인자(위천, 36유역)

유역	A (km ²)	BS (m/m)	AOFD (m)	CSD (m)	MSL (m)	MSS (m/m)	CN	TLag (hours)	유역	A (km ²)	BS (m/m)	AOFD (m)	CSD (m)	MSL (m)	MSS (m/m)	CN	TLag (hours)
1B	9.35	0.1907	264.98	2802.45	5813.38	0.0227	77	1.81	19B	18.29	0.1516	169.17	2774.76	7015.55	0.0230	80	2.94
2B	9.55	0.2216	186.56	704.64	4163.84	0.0268	81	1.52	20B	14.64	0.1607	181.95	2550.04	6364.43	0.0196	80	1.95
3B	8.65	0.2468	230.73	1199.50	5157.43	0.0473	80	1.58	21B	14.75	0.2061	183.67	2755.17	5037.93	0.0214	81	1.80
4B	17.64	0.2223	208.31	2574.72	6500.53	0.0279	82	2.07	22B	9.91	0.2383	215.81	4233.34	7181.87	0.0557	82	2.03
5B	14.80	0.3349	185.84	3429.89	5830.89	0.0586	80	1.94	23B	19.60	0.1709	173.45	5230.07	10156.63	0.0128	83	2.50
6B	10.89	0.3245	267.56	2662.75	4901.08	0.0692	74	1.79	24B	16.17	0.1980	228.08	3917.58	6819.16	0.0269	84	2.22
7B	11.46	0.2654	379.59	2011.52	3451.34	0.0927	74	0.00	25B	5.95	0.1334	148.29	2291.91	4431.75	0.0288	82	1.56
8B	11.81	0.2541	194.74	1694.55	5473.18	0.0435	77	1.65	26B	10.93	0.2314	174.74	2855.71	5198.51	0.0511	82	1.91
9B	13.79	0.2330	177.67	1577.90	4565.72	0.0404	81	1.78	27B	11.17	0.2480	274.50	2594.62	6323.18	0.0264	80	1.87
10B	15.71	0.1824	172.58	2953.04	6876.16	0.0137	80	2.24	28B	7.58	0.3028	176.30	2712.83	4988.94	0.0445	82	1.51
11B	14.52	0.2808	259.43	3327.41	5004.73	0.0388	81	1.81	29B	10.91	0.2689	282.46	4927.31	8926.75	0.0607	82	2.38
12B	12.70	0.3127	263.45	4648.77	6676.02	0.1008	75	2.20	30B	11.66	0.2998	260.28	2934.81	5549.80	0.0324	79	1.85
13B	18.19	0.2496	398.80	3962.88	7076.61	0.0896	75	2.25	31B	9.65	0.3402	199.69	3231.74	5192.59	0.0609	78	1.71
14B	14.82	0.2481	211.24	1956.59	5964.83	0.0135	77	2.15	32B	7.65	0.3452	207.17	3417.49	6248.30	0.0506	83	2.23
15B	11.27	0.2303	166.65	2647.65	6366.23	0.0205	83	2.19	33B	14.51	0.3572	211.75	2135.39	5314.65	0.0585	81	1.90
16B	16.34	0.2224	207.26	1288.19	4987.87	0.0291	79	1.81	34B	13.34	0.3063	225.35	3832.74	7343.21	0.0507	77	2.14
17B	19.30	0.1295	176.34	3212.41	7652.43	0.0150	85	2.01	35B	11.82	0.3502	259.34	3630.20	6716.06	0.0387	82	2.21
18B	10.22	0.2314	142.39	2511.86	4911.18	0.0299	77	2.17	36B	21.74	0.3519	258.58	2138.06	5902.40	0.0379	81	2.03

주) · A : Area · AOFD : Average Overland Flow Distance · MSS : Maximum Stream Slope
 · BS : Basin Slope · CFD : Centroid Flow Distance · MSL : Maximum Stream Length
 · CN : SCS Curve Number · TLag : SCS Lag Time

표 4. 소유역별 지형특성인자(평창강, 66개 유역)

유역	A (km ²)	BS (m/m)	AOFD (m)	CSD (m)	MSL (m)	MSS (m/m)	CN	TLag (hr)	유역	A (km ²)	BS (m/m)	AOFD (m)	CSD (m)	MSL (m)	MSS (m/m)	CN	TLag (hr)
1B	12.59	0.2686	274.56	2351.46	5565.19	0.0153	83	0.63	34B	7.41	0.2432	436.65	1940.27	2638.23	0.0385	76	0.66
2B	6.19	0.3421	297.05	775.2	3233.99	0.0816	84	0.37	35B	6.54	0.2841	172.2	2258.64	4305.59	0.0046	75	0.72
3B	10.56	0.3517	304.39	2800.12	4408.47	0.0704	83	0.47	36B	10.25	0.2482	237.88	3785.26	5996.58	0.0401	75	0.88
4B	10.95	0.3801	472.97	2152.94	2981.27	0.0666	76	0.53	37B	5.07	0.2190	159.99	2724.6	5168.09	0.0533	75	0.80
5B	8.34	0.4256	406.34	1247.07	2252.08	0.1248	74	0.44	38B	11.5	0.1590	242.79	1368.41	3962.26	0.0126	76	0.82
6B	9.8	0.3253	217.51	2029.44	4215.51	0.0679	84	0.48	39B	7.42	0.2383	272.1	1616.88	4016.93	0.0200	75	0.71
7B	12.85	0.3317	239.18	801.58	4025.1	0.0812	82	0.47	40B	7.84	0.2533	324.99	2207.31	3443.56	0.0470	75	0.71
8B	5.61	0.3292	216.53	1872.05	3654.77	0.0778	85	0.39	41B	9.52	0.3907	267.12	2567.78	5149.97	0.0114	73	0.64
9B	4.33	0.4427	277.7	1741.58	2172.98	0.1244	80	0.33	42B	8.36	0.4388	239.97	4714.8	5460.69	0.0229	73	0.65
10B	12.18	0.4929	228.33	2433.46	5012.85	0.1120	77	0.52	43B	3.8	0.3299	428.87	1713.26	1527.2	0.0644	73	0.51
11B	11.1	0.3463	311.52	1907.09	4657.93	0.0481	78	0.64	44B	7.29	0.4036	192.87	1628.32	4189.65	0.0573	73	0.52
12B	8.54	0.4415	192.13	2660.67	4784.77	0.1087	73	0.59	45B	13.72	0.4279	230.71	3061.49	6385.59	0.0448	73	0.76
13B	6.85	0.3944	215.15	1827.67	3226.88	0.0652	73	0.51	46B	9.67	0.3992	314.91	3068.6	4388.55	0.0457	73	0.66
14B	7.87	0.3992	184.8	3139.13	4883.39	0.0672	73	0.64	47B	7.9	0.4071	274.68	2162.13	4940.73	0.0674	73	0.65
15B	6.84	0.2386	403.76	1854.51	2981.03	0.0407	76	0.71	48B	7.31	0.2978	288.76	2832.67	3916.6	0.0460	74	0.69
16B	5.95	0.3808	303.67	5221.92	4655.79	0.0064	83	0.45	49B	6.3	0.2414	240.71	1309.8	3470.48	0.0639	74	0.59
17B	3.43	0.3536	359.29	1501.89	1861.24	0.1261	83	0.30	50B	12.29	0.3890	279.25	2866.65	4657.42	0.0649	73	0.68
18B	3.7	0.4214	203.6	1173.64	1896.51	0.1737	74	0.33	51B	5.12	0.3263	227.39	1611.24	2987.94	0.0337	73	0.59
19B	3.75	0.3888	234.59	1459.69	2866.59	0.0057	75	0.41	52B	4.66	0.3875	217.65	2308.58	4492.42	0.1400	73	0.57
20B	4.59	0.3637	252.24	1672.46	2839.39	0.1118	74	0.46	53B	5.45	0.4316	183.95	1657.99	3041.87	0.1191	73	0.44
21B	5.25	0.4490	265.01	1979.64	2869.96	0.1023	82	0.34	54B	12.83	0.2687	289.35	1801.36	3847.72	0.0051	75	0.64
22B	5.76	0.4020	217.08	2411.02	4252.48	0.0949	74	0.53	55B	7.88	0.2745	160.36	2082.14	4010.14	0.0469	74	0.62
23B	7.79	0.3775	241.86	2398.5	5138.23	0.0644	74	0.68	56B	11.48	0.2663	189.76	965.77	3955.68	0.0369	74	0.64
24B	9.1	0.3658	248.6	2345.51	4545.08	0.0284	73	0.68	57B	11.44	0.3089	130.78	2444.07	5253.05	0.0563	73	0.72
25B	4.05	0.3054	221.22	2045.72	2949.74	0.0476	74	0.49	58B	4.66	0.2869	138.84	1729.68	3220.07	0.0573	73	0.57
26B	5.54	0.3637	251.12	1767.81	2844.11	0.0906	73	0.49	59B	12.23	0.3091	255.2	2925.57	4732.51	0.0455	74	0.71
27B	6.66	0.3026	294.3	1742.47	2634.73	0.0774	74	0.55	60B	7.84	0.2870	206.72	1140.57	3311.71	0.0551	74	0.56
28B	13.47	0.4162	280.92	2151.06	5511.33	0.0060	75	0.66	61B	7.07	0.2276	252.88	1277.94	3586.21	0.0616	74	0.62
29B	6.39	0.3061	201.95	2525.73	4589.46	0.0413	75	0.65	62B	5.78	0.2996	200.06	2308.3	4214.15	0.0697	73	0.64
30B	6.91	0.2692	240.7	2487.41	3650.56	0.0432	74	0.63	63B	9.45	0.3453	156.88	2400.53	5187.83	0.0680	74	0.67
31B	7.59	0.2594	280.83	2070.8	4590.05	0.0620	74	0.73	64B	11.19	0.4037	166.11	1894.59	5211.5	0.0624	73	0.65
32B	10.51	0.2805	288.51	4364.15	6711.34	0.0445	73	1.10	65B	7.47	0.4177	172.88	2420.6	4456.26	0.0932	73	0.62
33B	7.15	0.2741	269.5	1894.41	3466.79	0.0367	75	0.65	66B	8.26	0.4370	175.68	2377.62	3718.11	0.1113	73	0.52

표 5. 홍수추적구간의 하도특성(평창강, 66개 소유역)

홍수추적구간	거리(m)	경사(m/m)	홍수추적구간	거리(m)	경사(m/m)	홍수추적구간	거리(m)	경사(m/m)
66B→64B	4362.60	0.0194	4B→3B	3189.62	0.0250	54B→35B	3192.96	0.0064
65B→64B	2706.11	0.0183	52B→51B	560.50	0.0352	36B→35B	4305.60	0.0047
64B→63B	2771.70	0.0144	53B→51B	2987.94	0.0339	30B→29B	2813.53	0.0145
63B→61B	2753.72	0.0145	50B→49B	2609.76	0.0166	35B→28B	5511.34	0.0092
62B→61B	2539.06	0.0157	51B→49B	2776.22	0.0148	29B→28B	4311.00	0.0087
61B→60B	2287.97	0.0118	49B→38B	3297.68	0.0089	27B→25B	1101.19	0.0116
60B→59B	2968.81	0.0090	48B→38B	2837.40	0.0101	26B→25B	485.97	0.0329
59B→56B	2044.92	0.0104	39B→38B	4148.22	0.0074	25B→24B	4545.08	0.0284
58B→56B	3594.72	0.0157	38B→36B	5002.43	0.0062	24B→23B	2226.82	0.0082
57B→56B	3592.47	0.0120	37B→36B	4036.72	0.0050	28B→23B	3207.33	0.0079
56B→55B	3401.98	0.0062	47B→46B	2660.55	0.0226	23B→19B	2866.59	0.0068
55B→54B	3847.72	0.0039	46B→41B	4129.08	0.0129	22B→19B	2770.42	0.0051
13B→12B	3124.91	0.0306	45B→41B	5040.44	0.0193	21B→19B	2740.90	0.0083
15B→11B	3050.19	0.0132	44B→42B	5460.69	0.0227	20B→19B	513.51	0.0255
14B→11B	3765.71	0.0160	43B→42B	3488.31	0.0225	19B→16B	4655.78	0.0064
12B→11B	3952.68	0.0152	42B→41B	5149.97	0.0181	18B→16B	2935.82	0.0091
11B→8B	1558.03	0.0163	41B→39B	1502.23	0.0042	17B→16B	1386.09	0.0145
10B→8B	2243.61	0.0203	40B→39B	1876.36	0.0213	16B→2B	2294.55	0.0058
9B→8B	2112.85	0.0252	34B→33B	2886.29	0.0235	6B→1B	4202.01	0.0049
8B→7B	2158.82	0.0030	32B→31B	973.87	0.0207	3B→1B	3991.36	0.0091
7B→6B	3443.37	0.0117	33B→30B	2486.78	0.0130	2B→1B	4933.90	0.0058
5B→4B	1228.68	0.0347	31B→30B	2847.41	0.0069			

사용하여 수로특성 변화에 의한 영향을 줄이고자 하였다. 한편, 홍수추적구간의 길이 및 하도경사는 WMS의 TIN해석을 통해 추출한 값을 사용하였으며 평창강유역을 대상으로 66개 소유역으로 분할하였을 경우의 하도특성은 표 5와 같다.

그림 5 ~ 8은 유역분할에 따른 유출해석 결과를 나타낸 것이고, 그림 9 ~ 11은 유역분할에 따른 침투유량, 침투시간 및 총유출량의 변화를 나타낸 것이다. 유역에 관계없이 모든 호우사상에 대하여 소유역 분할을 많이 한 경우가 적게 한 경우에 비하여 침투유량이 커지고 침투시간이 빨라지는 경향을 보이고 있으나, 특정 개수 이상으로 유역이 세분된 경우 침투유량과 침투시간의 변화는 거의 없는 것으로 나타났다.

유역을 12개의 소유역으로 분할한 경우까지는 침투유량의 증가와 침투시간의 감소 경향이 급하게 나타나지만, 12개 소유역에서 24개, 36개, 66개로 분할 개수

가 증가함에 따라 그 변화 경향이 완만해 지는 것으로 나타났다. 그림 5 ~ 8에서 실측 유량과 가장 유사한 값을 나타내는 유역분할 개수는 강우 사상별로 다소 차이를 보이나 대체로 6개와 12개인 것으로 나타났다. 이는 유역 면적비로 볼 때 전체 면적의 약 10%(약 40km)를 나타내며, 12개 이상의 유역분할은 그림 9와 10에서 알 수 있듯이 침투유량과 침투시간의 변화가 작으므로 면적비 10% 보다 작은 유역의 분할은 유출해석 결과에 큰 영향이 없다는 것을 알 수 있다. 그림 11은 유역분할에 따른 총유출량의 변화를 나타낸 것이다. 그림 11에서 총유출량은 평창강의 경우 단일유역으로 모의한 결과와 소유역으로 분할한 경우의 모의 결과는 다소 차이가 있으나(약 1 ~ 5%) 유역분할 개수가 증가할 경우에는 총유출량의 변화가 거의 없는 것으로 나타났으며, 위천은 유역분할에 따른 총유출량의 변화가 거의 없는 것으로 나타났다. 본 연구에서 대상으로 선정하

유역은 우리나라의 대부분의 지형을 차지하는 전형적인 산지 유역이므로, 유역 경사가 보다 완만한 평지유역과 도시유역에서의 유역분할이 유출특성에 미치는 영향은

본 연구에서 도출된 결과와는 다소 차이가 있을 것으로 사료된다.

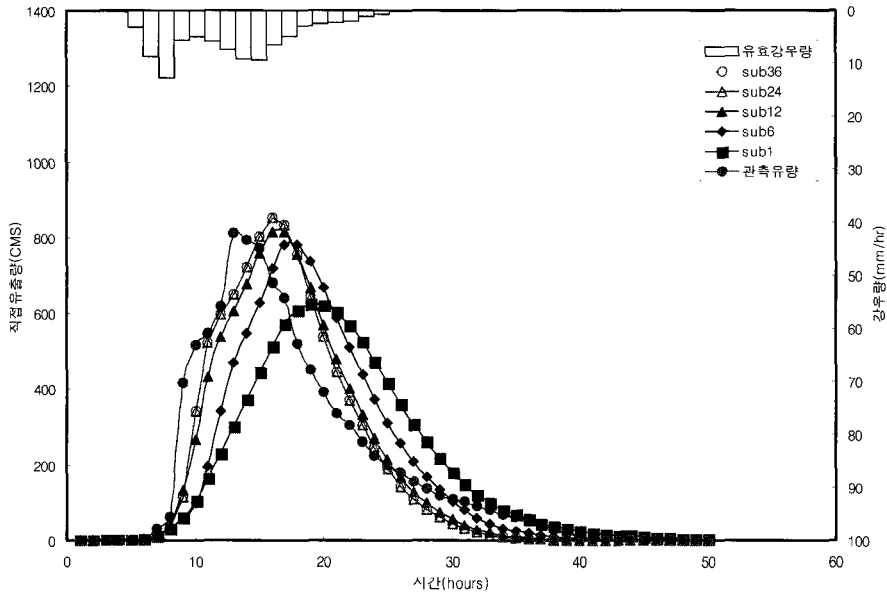


그림 5. 유역분할에 따른 결과 비교(위천사상1)

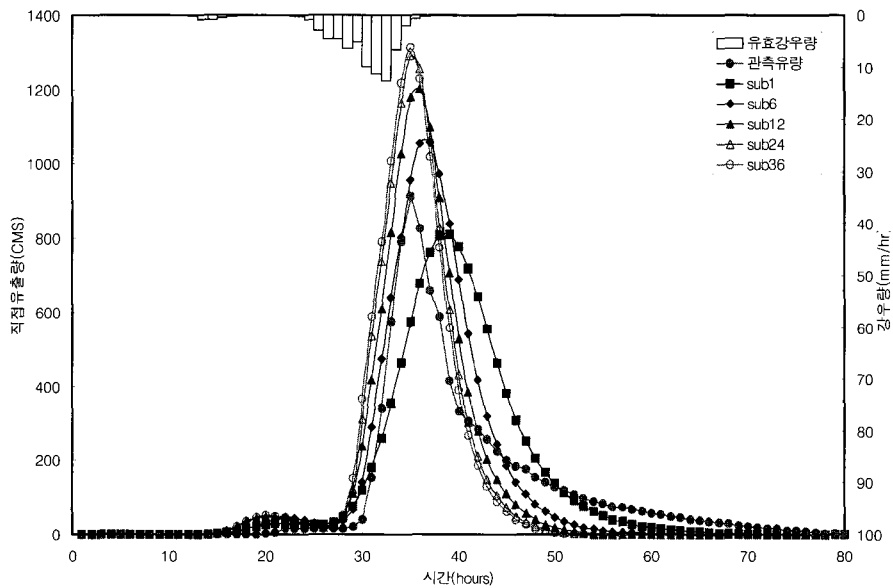


그림 6. 유역분할에 따른 결과 비교(위천사상2)

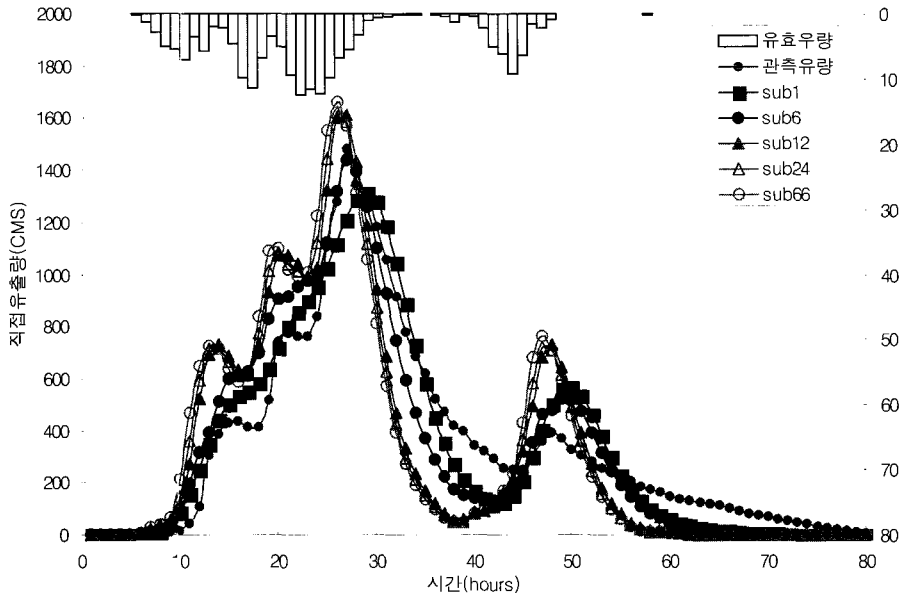


그림 7. 유역분할에 따른 유출해석 결과(평창사상1)

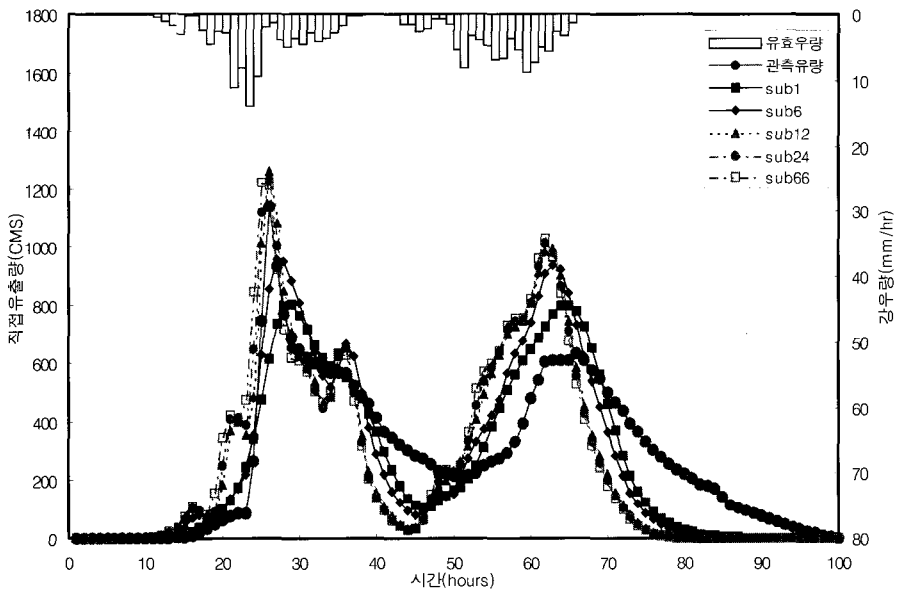


그림 8. 유역분할에 따른 유출해석 결과(평창사상2)

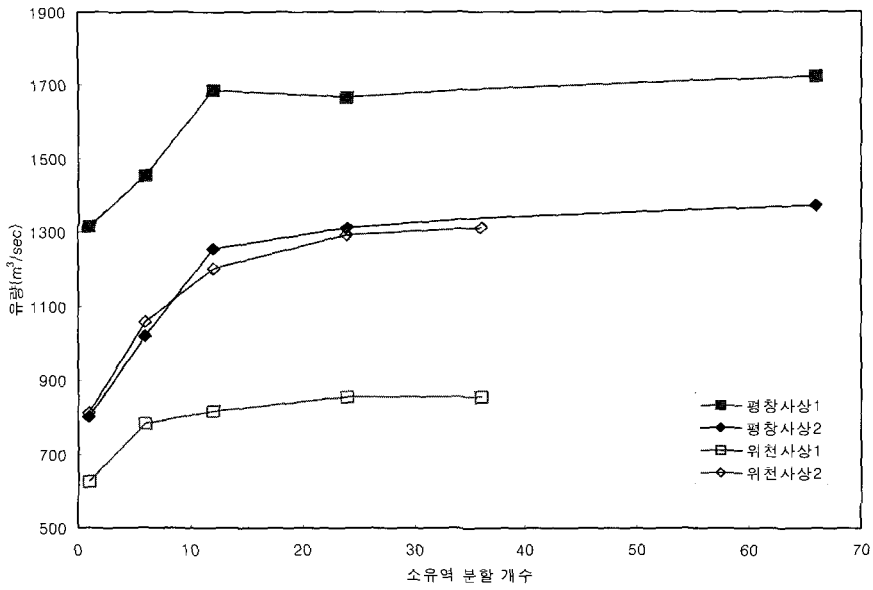


그림 9. 유역분할에 따른 침투유량의 변화

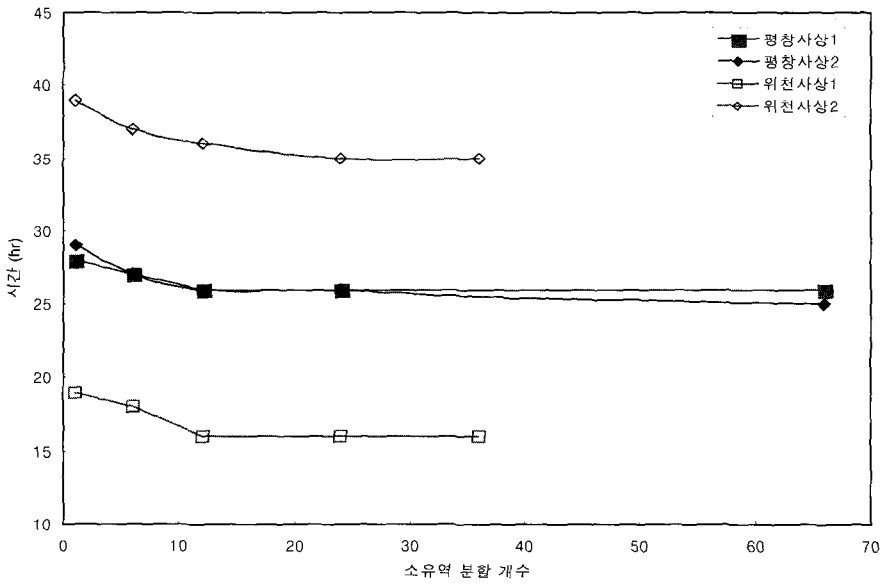


그림 10. 유역분할에 따른 침투시간의 변화

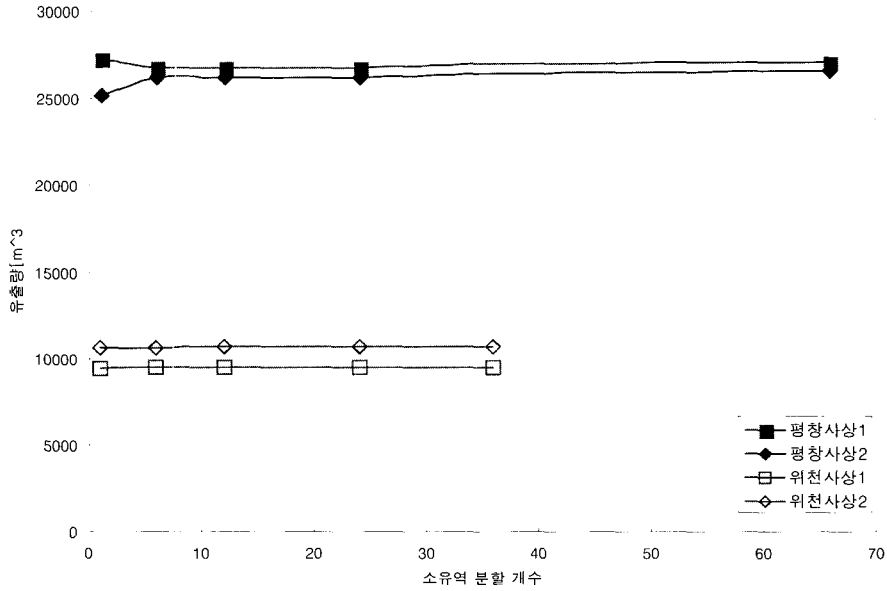


그림 11. 유역분할에 따른 총유출량의 변화

5. 민감도 분석

수자원분야에서의 GIS는 집중형 모형에 의한 강우유출 모의측면에서 고찰한다면, 결국 모의하고자하는 적용 대상유역에 대해 GIS기법을 이용하여 보다 손쉽고 정

확하게 원하는 지형특성인자를 추출하여 이를 수문모형의 입력매개변수로 사용함으로써 최적의 유출모의를 수행하고자 하는 것이라 할 수 있다.

본 연구에서는 연구범위를 유역분할에 따른 유출특성의 변화를 검토하는 것으로 제한하였으므로 가능하면

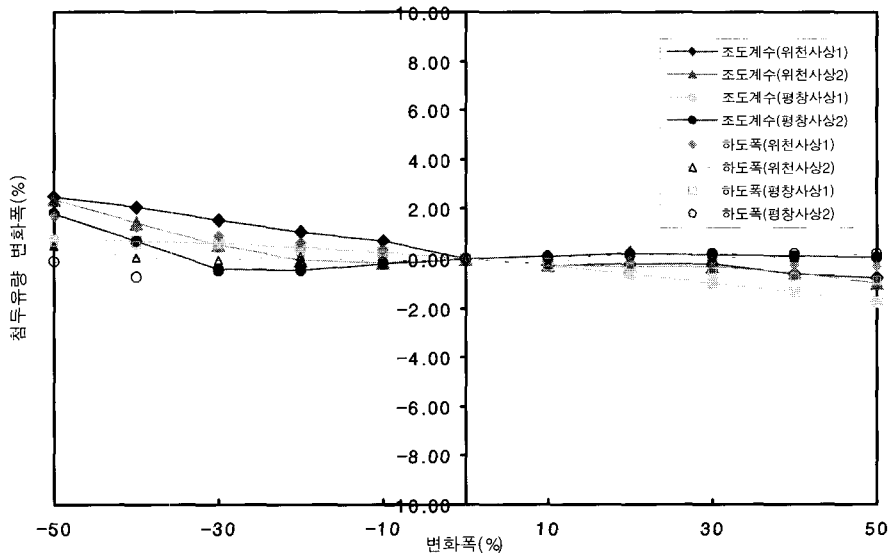


그림 12. 민감도 분석

수문기상학적 인자를 배제한 상황에서 유출모의가 가능한 즉, 미계측 유역에서 적용 가능한 수문모형을 선정하여 GIS를 이용한 유출모의를 수행하였다. 따라서 본 연구에서 선정된 수문모형의 입력매개변수인 SCS CN값, 유역면적, 지체시간, 하도홍수추적구간에 대한 거리 및 경사 등을 GIS기법을 이용하여 추출하였으며 이들을 이용한 유출모의를 수행하였다. 다만 유출모의에서 사용된 입력변수인 홍수추적구간에 대한 조도계수 및 하도폭은 GIS 기법을 이용하여 산정할 수 없는 매개변수이다.

따라서 본 연구에서는 골재와 호박돌로 이루어진 하상을 가지는 산지하천에 적용 가능한 조도계수의 범위 (0.03~0.05, 건설교통부, 2000)를 감안하여 홍수추적 구간 전체에 대하여 0.045의 조도계수를 일률적으로 적용하였으며, 하도의 평균단면 자료로 수위관측소 지점별 단면자료와 지형도를 참조하여 결정하였다. 따라서 GIS 기법으로 산정되지 않은 매개변수인 조도계수와 하도폭에 대한 민감도분석을 실시하여 이들이 앞에서 모의한 호우사상들에 대한 모의과정에서 미치는 영향을 분석하였다.

하도 평균단면 자료와 조도계수의 변화에 따른 침투 유량의 민감도를 분석한 것으로 대상 유역을 6개, 12개, 24개 등의 소유역으로 분할하였을 때의 민감도를 분석하였다. 그림 12는 6개 소유역으로 분할하였을 때의 결과로 조도계수와 하도 평균단면의 변화에 따라서 침투 유량은 3% 이내의 변화를 보이며 따라서 조도계수와 하도 평균단면 값의 선정에 따른 오차는 낮은 것으로 판단된다.

5. 결 론

본 연구에서는 집중형 모형에 의한 강우유출해석에서 유역분할에 따른 유출해석 결과의 변화를 분석하였다. 분석결과 유역분할에 따른 침투유량과 침투시간의 변화 경향을 알 수 있었으며, 대부분이 산지로 이루어진 유역에서의 적정 유역분할 면적의 결정에 대하여 검토되었다.

유역분할에 따른 유출모의 시 분할된 유역의 개수가 많아질수록 침투유량은 증가하고, 침투시간은 짧아지는 것을 알 수 있었다. 평창강 및 위천유역의 경우에는 1개, 6개, 12개의 소유역까지는 침투유량의 증가와 침투시간의 감소 경향이 급하게 나타나지만, 12개 소유역에서 24개, 36개, 66개로 분할 개수가 증가함에 따라 그 변화 경향이 완만해 지는 것으로 나타났다. 실측 유량

과 가장 유사한 값을 나타내는 유역분할 개수는 강우 사상별로 다소 차이를 보이나 대체로 6개와 12개인 것으로 나타났다. 이는 유역 면적비로 볼 때 전체 면적의 약 10%(약 40km²)를 나타냈으며, 12개 이상의 유역분할은 침투유량과 침투시간의 변화가 작으므로 보다 작은 유역의 분할은 유출해석 결과에 큰 영향을 미치지 않는다는 것을 알 수 있다. 본 연구의 결과는 GIS를 이용한 유출모의시 적정 유역분할 개수를 결정하는 데 도움이 되리라 사료된다.

한편, 연구대상으로 선정한 유역은 우리나라의 대부분의 지형을 차지하는 전형적인 산지 유역이므로, 유역 경사가 보다 완만한 평지유역과 도시유역에서의 유역분할이 유출특성에 미치는 영향에 관해서는 추가적인 연구가 필요하다. 또한 SCS 방법에 의한 유출모의 결과를 바탕으로 도출된 연구결과이므로 유출모의에 사용되는 수문모형에 따른 영향도 함께 평가되어야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발 사업단의 연구비지원(과제번호: 1-2-1)에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- 건설교통부(1983-2002). **국제수문개발계획(IHP) 연구 보고서**.
- 건설교통부(2000). **하천설계기준**.
- 김경탁(1998). GIS 적용에 따른 유출응답에 관한 연구. 박사학위논문. 인하대학교.
- 조홍제(1986). "소유역의 홍수도달시간과 사면길이의 분포특성을 고려한 홍수유출해석." **한국수문학회지**, 제19권 제2호, 한국수자원학회, pp. 139~148.
- 이종태, 이상태. (1997). "도시유역에서의 강우 공간분포 및 소유역분할이 유출특성에 미치는 영향." **한국수자원학회논문집**, 제30권 제2호, 한국수자원학회, pp. 177~191.
- 윤용남, 김웅태, 박무중, 김재형(1999). "분포형 개념을 이용한 토사유출량 산정에 관한 연구." **'99년 한국수자원학회 학술발표회 논문집**, 한국수자원학회, pp. 3-8.
- 최윤석(1999). GIS를 응용한 홍수유출해석에 관한 연구.

- 석사학위논문. 인하대학교.
- 한건연, 이수현, 이창희(2003). "GIS를 이용한 수문모델링에서의 적정해상도 도출." **2003년도 한국수자원학회 학술발표회 논문집(II)**, 한국수자원학회, pp. 971-974.
- 허기술, 정정화(1987). "한국토양의 수문학적 분류 및 그 응용." **농공기술**, 제4권 제4호. pp. 47-61.
- 행정자치부(1998). **위성자료를 이용한 미계측 특정지역의 하천재해 분석을 위한 기초연구**. NIDP-97-07, 연구보고서
- Bedient, P.B., and Huber, W.C.(1988). *Hydrology and Floodplain Analysis*. Addison-Wesley Publishing Company.
- Brigham Young University - Engineering Computer Graphics Laboratory(1997). *WMS v5.0 Reference Manual & Tutorials*.
- Hoggan, D.H.(1989). *Computer-Assisted Floodplain Hydrology and Hydraulics*. McGraw-Hill, Inc.
- Cunge, J.A., Holly, F.M., and Verwey, A.(1980). *Practical Aspect of Computational River Hydraulics*. Pitman Publishing Inc.
- Martz, L.W., and Garbrecht, J.(1993). "Automated extraction of drainage network and watershed data from digital elevation models." *Water Resources Bulletin*, 27(6), pp. 901-908.
- Singh, P.V.(1996). *Kinematic Wave Modeling in Water Resources : Surface-Water Hydrology*. John Wiley & Sons, Inc.
- Zhang, W., and Montgomery, D.R.(1994). "Digital elevation model grid size, landscape representation and hydrologic simulations." *Water Resources Research*, Vol. 30, No. 4, pp. 1019-1028.

(논문번호:03-23/접수:2003.03.05/심사완료:2003.10.16)