

## GIS를 활용한 돌발홍수 기준우량 결정

황창섭<sup>1</sup> · 전계원<sup>2\*</sup> · 연인성<sup>1</sup>

### Determining the Flash Flood Warning Trigger Rainfall using GIS

Chang-Sup HWANG<sup>1</sup> · Kye-Won JUN<sup>2\*</sup> · In-Sung YEON<sup>1</sup>

#### 요 약

본 연구에서는 GIS기법을 활용한 산악지역의 돌발홍수 기준우량을 산정하기위해 지형기후학적 순간단위유량도(Geomorphoclimatic instantaneous unit hydrograph, GCIUH)와 연계하여 유출해석을 수행하였다. 천동계곡 유역의 평균경사, 면적, 유로특성등 지형자료 구축에 GIS기법을 적용하였으며, 특히 GCIUH의 중요 입력변수인 하천차수 결정시 GIS기법을 활용하여 차수를 선정하였다. 산악지역 유출량 산정의 적합성을 위해 천동계곡 유역(14.58km<sup>2</sup>)에 대한 확률강우량으로 GCIUH의 첨두유량과 기본 보고서의 확률홍수량 자료를 비교하여 적합성을 확인하였다. 적합성이 확인된 GCIUH를 이용하여 천동계곡 유역의 돌발홍수 기준우량을 산정한 결과 한계유출량이11.42m<sup>3</sup>/sec일 때, 최초 20분간 기준우량이 12.57mm가 발생하면 위험한 것으로 분석되었다.

주요어: 지리정보시스템, 지형기후학적 순간단위유량도, 기준우량, 하천차수

#### ABSTRACT

This paper is to apply Geographical Information System (GIS) supported Geomorphoclimatic Instantaneous Unit Hydrograph (GCIUH) approach for the calculated flash flood trigger rainfall of the mountainous area. GIS techniques was applied in geography data construction such as average slope, drainage area, channel characteristics. Especially, decided stream order using GIS at stream order decision that is important for input variable of GCIUH. We compared the GCIUH peak discharge with the existing report using the design storm at Chundong basin(14.58km<sup>2</sup>). The results showed that derived the GCIUH was a very proper method in the calculation of mountaunous discharge. At the Chundong basin, flash flood trigger rainfall was 12.57mm in the first 20 minutes when the threshold discharge was 11.42m<sup>3</sup>/sec.

**KEYWORDS:** GIS, Geomorphoclimatic Instantaneous Unit Hydrograph, Trigger Rainfall, Stream Order

2005년 11월 21일 접수 Received on November 21, 2005 / 2006년 3월 15일 심사완료 Accepted on March 15, 2006

1 충북대학교 토목공학과 Dept. of Civil Engineering, Chungbuk National University

2 강원대학교 방재기술전문대학원 Prof. Graduate School of Disasters Prevention Technology, Kangwon National University

\* 연락처 E-mail: kwjun@kangwon.ac.kr

## 서 론

최근 기상변동에 따른 여름철 집중호우에 의한 홍수피해가 빈번히 발생하고 있다. 특히, 산악지역의 경우 개릴라성 호우에 의한 돌발홍수의 발생에 따른 인명피해가 증가하고 있다. 이러한 강우-유출현상을 가능한 실제현상에 접근시키고 단순화시켜서 해석하기 위한 많은 노력이 필요하다.

기존의 유출분석을 위한 이론이나 기법이 시스템의 성능이나 자료구축의 난제로 인해 소구역 위주나 개략적인 분석만 가능했지만 최근 GIS(geographic information system)기법의 연계를 통한 치수 및 이수 측면에서의 응용도가 점차 높아지고 있다. GIS기법의 발달은 수문학 분야에서 정밀한 지형 자료의 분석을 통하여 유역의 지형학적 특성을 이용할 수 있는 모형의 발전에 상당한 기여를 하였다. 기존 지형도로부터 지형특성인자를 직접 구하는데 많은 시간과 노력이 요구되는 점을 GIS기법을 이용하여 보다 정확하고 신속하게 지형특성 인자를 구할 수 있고 하천유역의 분수계를 결정할 수 있다.

GIS를 활용한 돌발홍수 및 지형학적·지형기후학적 순간단위유량도 유도 및 한계유출량에 관한 연구를 살펴보면 Sweeney(1992)는 돌발홍수능의 표준적인 산정 알고리즘을 제시하였고 Carpenter (1999)등은 GIS와 연계하여 돌발홍수능을 산정하는데 중요한 한계유출량 산정방법에 관해 연구하였으며, Hall(2001)등은 GIS와 GIUH를 연계하여 홍수량을 산정하였다. 국내에서는 김운태(2002)등은 GIS를 이용하여 미소유역 규모의 한계유출량 산정 시스템을 개발하였으며, 허창환(2002)등은 IHP유역에서 GIS를 이용한 GIUH 모형의 적용성을 확인하였다. 또한 신현석(2004)등은 지리산의 덕천강 유역에 GIS와 GCIUH를 이용한 돌발홍수 기준수량 산정에 관한 연구를 수행하였다. 그러나 GIS와 연계한 돌발홍수시 기준수량 산정

에 관한 연구는 미비한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 산악지역의 돌발홍수 기준수량을 산정하기 위해 GIS기법을 활용하여 강우-유출해석시 GCIUH의 대개변수를 산정하고 천동계곡 유역에 적용하여 유역에 적합한 돌발홍수 기준수량을 산정하고자 한다.

## 지형기후학적 순간단위유량도 이론

정량적인 하도망의 해석은 하천을 차수에 의해 분류하는 Horton(1932)의 방법에 의해 제안되었고 Stahler(1957)에 의해 개선되었으며, Horton의 하천차수 법칙에 의해 유도된 지형학적 순간 단위 유량도는 침투 유속  $V$ 에 의존해야 하는 단점이 있다. Rodriguez-Iturbe등(1982)은  $V$ 가 유효강우강도와 지속시간의 함수임을 입증하였고 결과로부터  $V$ 를 제거하려고 노력하였다. 그 결과, 간단하고 이해가 용이한 다음과 같은  $q_p$ 와  $t_p$ 으로 표현되었다.

$$q_p = \frac{0.871}{\Pi_i^{0.4}} \quad (1)$$

$$t_p = 0.585 \Pi_i^{0.4} \quad (2)$$

$$\Pi_i = \frac{L_\Omega^{2.5}}{i_r A_\Omega R_L a_\Omega^{1.5}} \quad (3)$$

$$a_\Omega = \frac{1}{nb_\Omega^{2/3}} S_\Omega^{1/2} \quad (4)$$

여기서  $q_p$ 는  $t^{-1}$ 의 단위이고  $t_p$ 는 시간의 단위,  $i_r$ 은 평균유효강우강도이고 식(4)는 폭의 직사각형 수로에 대한 Manning식이다. 식에서  $b_\Omega$ ,  $S_\Omega$ 와  $A_\Omega$ 는 유역 내의 최고차 하천의 평균 폭과 경사 그리고 면적,  $R_L$ 은 하천 연장비이며,  $n$ 은 Manning의 조도계수이다.

$q_p$ 와  $t_p$ 에 대해 삼각형의 순간 단위 유량도를 가정하고 유효강우강도  $i_r$ 과 지속시간

$t_r$ 의 특성을 가진 균일한 직사각형 강우와 회선 적분함으로써 유출 수문 곡선의 첨두량에 대한 다음과 같은 식이 유도된다.

$$\frac{Q_p}{Q_e} = t_r q_p \left(1 - \frac{t_r q_p}{4}\right) \quad t_r \leq t_c = t_B \quad (5)$$

$$Q_p = Q_e = i_r A \quad t_r = t_c \quad (6)$$

여기서,  $t_B$ 는 순간 단위 유량도의 기저시간이고 유역의 도달시간과 같다. 이전의 두 식에서 식(1)과 (2)를 이용함으로써 다음 식이 유도된다.

$$Q_p = 2.42 \frac{i_r A q_p t_r}{\Pi_i^{0.4}} \left(1 - \frac{0.218 t_r}{\Pi_i^{0.4}}\right) \quad (7)$$

첨두유량에 대한 시간은 Rodriguez-Iturbe 등(1982)에 의해 다음과 같다.

$$T_p = 0.585 \Pi_i^{0.4} + 0.75 t_r \quad (8)$$

식(7)과 (8)은 유용한 결과로서 입·출력 자료의 보정에 의존하지 않고 이론적으로 지형학적, 기후학적 자료에만 의존하는 강우-유출 관계를 의미하므로 지형기후학적 순간단위유량도(GeomorphoClimatic Instantaneous Unit

Hydrograph, GCIUH)라 한다. 실질적으로 지형기후학적 순간단위유량도가 입력  $i_r$ 에 의존하므로 지형기후학적 순간단위유량도는 전통적인 이론의 선형가정에 기초를 둔 것이다.

## 대상유역 및 기본자료 추출

### 1. 대상유역

본 연구의 대상유역인 천동계곡은 충청북도 단양군 단양읍 천동리에 위치하고 있으며, 충주댐 직상류의 한강으로 유입하는 솔티천의 상류에 위치하고 있다. 솔티천의 유역면적은 32.89km<sup>2</sup>, 유로연장은 11.5km이며 유역형상은 하천형태학적으로 좁은 수지상(樹枝狀)의 형상을 이루고 있다. 솔티천은 소백산 비로봉(EL. 1439.5m) 및 제2연화봉(EL. 1357.3m)에서 발원하여 북서류하다 금곡리에서 큰 주지류가 하나로 합류하여 기촌리를 지나 고수리에서 한강(국가하천)으로 유입하며 계곡이 깊어 농경지로 사용되는 물은 거의 없으며 경관이 수려하여 관광지로서의 기능을 가지는 하천이다. 그림 1은 솔티천의 유역도를 나타내고 있으며, 본 연구에서는 솔티천의 상류지역인 천동계곡의 강우-유출특성을 파악하기 위해 그림 1에서와 같이 유역면적이 14.58km<sup>2</sup>인 유역을 대상

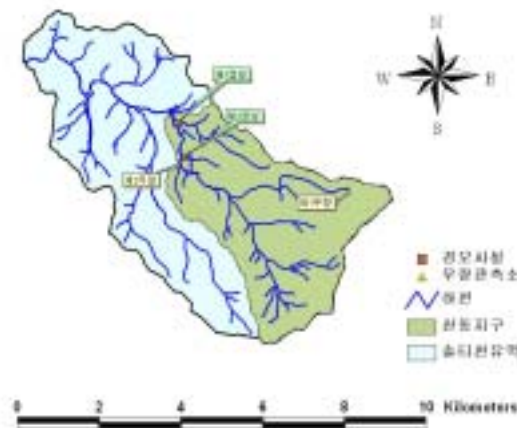


FIGURE 1. 대상유역

으로 GIS기법을 활용하여 유역특성을 파악하였다. 그림 1에서 경보시설은 계곡 및 야영장 근처에 설치되어 돌발홍수 발생시 기준수량 이상일 경우 경보를 발령하는 역할을 한다.

## 2. GIS기법을 이용한 지형자료 구축 및 자료추출

돌발 홍수의 적절한 대응을 위해서는 공간상의 한 지점의 홍수 발생의 예측뿐만 아니라 돌발홍수 발생 지역의 지형적인 특성의 공간적인 분포형의 해석이 필수적이다. 이를 위해서 본 연구에서는 유역 지형 및 수문학적 지형자료의 구축을 위해 GIS기법을 적용하였다.

### 1) 수치표고모형의 생성 및 전처리 과정

수치표고모형(digital elevation model, DEM)은 불규칙한 지표의 기복 변화를 행렬 형태의 각각의 격자에 고도를 수치로 표현하는 격자형 모형을 의미한다. 일반적으로 수치표고모형의 생성에는 몇 가지 방식이 제시되고 있는데, 본 연구에서는 수치지도로부터 고도값을 가지고 있는 등고선과 표고점을 추출한 후 이로부터 불규칙삼각망(triangular irregular network, TIN)을 형성하고 이를 GRID 형태로 변환하는

방법을 적용하였다. 이를 위하여 우선 1/5,000 축척의 수치지도로부터 등고선과 표고점 도면층을 추출하여 Arc View에서 불규칙삼각망을 형성하였고 생성된 불규칙 삼각망 및 수치표고모형(DEM)을 그림 2와 그림 3에 나타내었다.

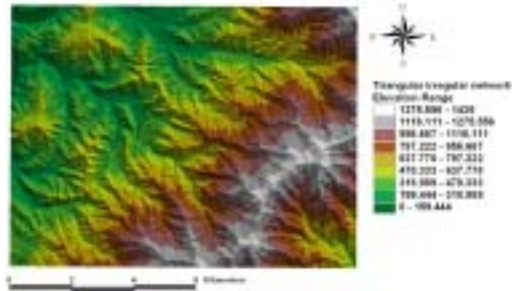


FIGURE 2. 불규칙삼각망(TIN)

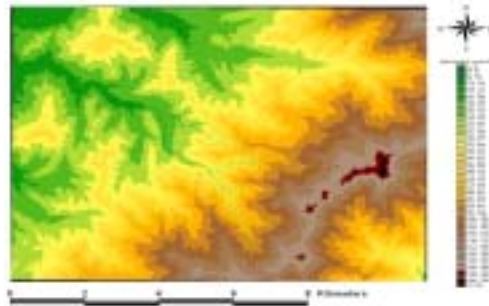


FIGURE 3. 수치표고모형(DEM)

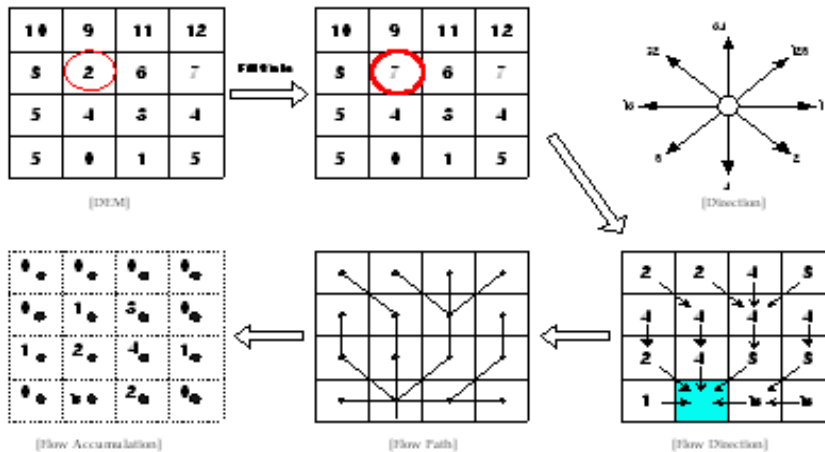


FIGURE 4. 유역의 전처리 과정 흐름도

생성된 수치표고모형은 각각 주위가 높은 고도값이나 낮은 고도값 들로 둘러싸인 격자로 정의되는 sink나 peak와 같은 오차를 포함하게 되는데, 이와 같이 주위의 고도값 보다 낮은 sink 격자가 존재하게 되면 물은 유하하지 않고 그 격자내에서 저류하게 되며, 수치표고모형을 이용한 수문분석에서 발생 가능한 오차의 대부분을 차지한다. ArcView를 이용한 유역의 전처리 과정의 흐름도를 나타내면 그림 4와 같으며, 우측상단의 표시부분이 sink를 나타내고 있다.

ArcView는 일관적인 흐름방향이 산정될 때까지 반복 연산을 통하여 이러한 sink를 채워서 자동으로 보정하는 기능을 제공한다. 기본적인 자료로부터 대상유역에 대한 수치표고모형을 추출하고 이를 보정한 것을 그림 5에 나타내었으며, 보정을 거친 수치표고모형으로부터 수로망 추출과 소유역 분할을 위하여 유수의 흐름방향을 결정하여야 하며 유수의 흐름방향을 8방향으로 구분하여 이를 2진수 형태의 숫자로 표시하거나 흐름방향을 색깔로 구분하여 나타낼 수 있다. 이를 그림 6에 나타내었다.

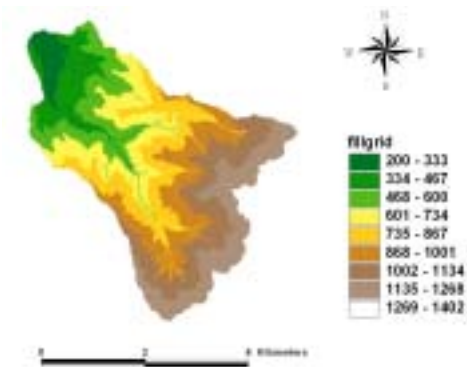


FIGURE 5. ArcView를 이용한 sink 보정

각 격자마다의 흐름방향도(flow direction map)를 결정한 후에 각 격자로 모이는 격자의 수를 계산하여 흐름누적도(flow accumulation)를 결정할 수 있다.

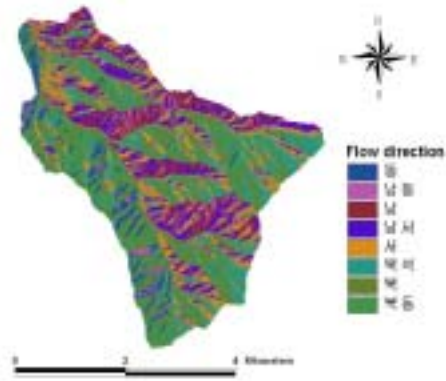


FIGURE 6. 유수의 흐름 방향도

이 흐름 누적도는 차후에 하천망도를 결정할 때 기준값으로 사용되어진다. 그림 7에 유수의 흐름누적도를 나타내었다. 그리고 유역의 하천망도(river)는 전체유역면적에 대한 면적비와 전체 격자수에 대한 격자비를 기준으로 채택할 수 있으며 본 연구에서는 면적비를 기준으로 하였고, 전체 유역면적에 대하여 0.3%인 0.0437km<sup>2</sup>이상이 합쳐지는 격자부터 하천망을 추출하였다. 추출된 하천망도로부터 소유역으로 분할할 수 있으며 분할된 소유역은 차후에 하천차수별 특성인자를 추출하기 위하여 사용되어진다. 그림 8에 유역의 하천망도와 그에 따른 유역분할도를 나타내었다.

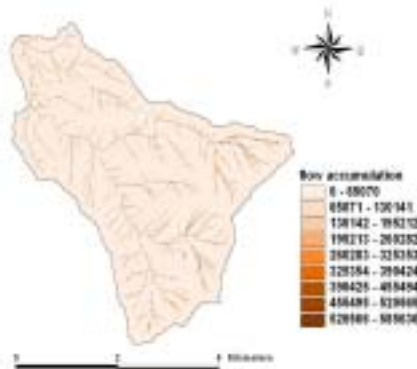


FIGURE 7. 유수의 흐름누적도



FIGURE 8. 유역의 하천망도

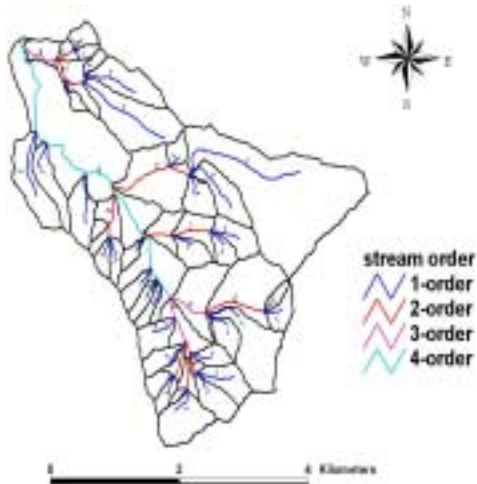


FIGURE 9 하천 차수산정 및 차수별 유역경계

2) 하천차수 산정 및 유역특성인자 추출

전처리 과정을 거쳐 추출한 하천망과 분할된 유역도로부터 연구에 필요한 하천차수의 산정 및 유역특성인자를 추출하였다. 하천차수의 산정을 위해서 "Create strahler stream order" ArcView extension을 이용하였다. 전처리 과정에서 추출한 하도망은 실제 하천과 다소 상

이하게 나타났으나 이는 ArcView의 편집기능을 이용하여 실제 하천과 가장 유사하게 하도망을 구축하였고, 이로부터 하천차수를 산정하였으며, 산정된 하천 차수 및 차수별 유역경계를 그림 9에 나타내었다.

각각의 하천차수별 수로망과 분할된 유역을 그림 10~13에 나타내었다.

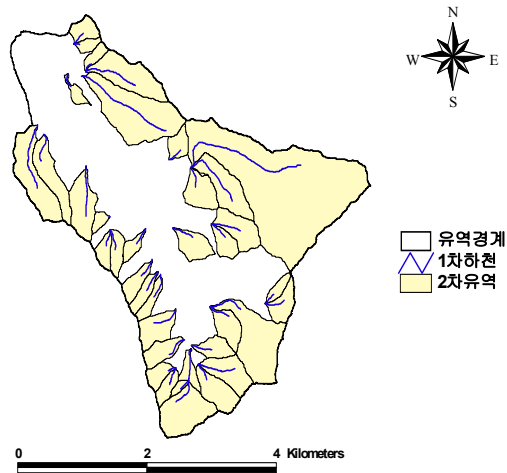


FIGURE 10. 1차 하천 유역 형상

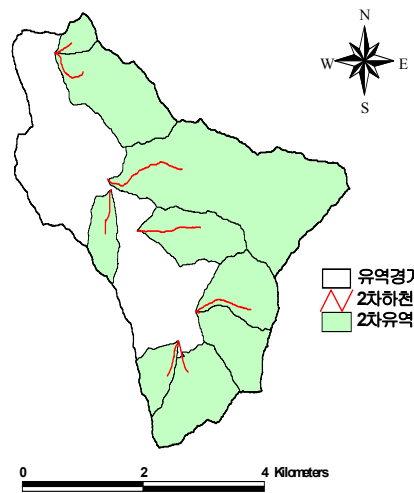


FIGURE 11. 2차 하천 유역 형상



FIGURE 12. 3차 하천 유역 형상



FIGURE 13. 4차 하천 유역 형상

### 3) GCIUH 매개변수 및 하천특성 자료

GIS기법의 적용 결과를 통하여 산정된 천동계곡 유역 특성은 표 1과 같으며 하천차수별 특성은 표 2에 나타내었다.

TABLE 1. 천동 지구의 유역 특성

유역면적 (km <sup>2</sup> )	유로연장 (km)	경사 (m/m)	단면폭 (m)	고도차 (m)	우량곡 (개소)
14.58	6.94	0.031	23	1,202	2

TABLE 2. 천동 지구의 하천차수별 특성

차수	하천수 NW	하천평균 길이 LW(km)	하천평균 경사Sw(%)	유출에 기여면적 AO(km <sup>2</sup> )
1	36	0.46	46.41	0.25
2	7	0.89	34.95	1.61
3	3	0.69	18.43	4.02
4	1	4.96	9.25	14.58

GIS기법과 솔티천 하천정비기본계획(2004)에서 결정된 GCIUH 유출모형에 입력치인 천동지구의 매개변수는 표 3과 같다.

### 3. 홍수량 산정을 위한 매개변수 산정

GCIUH를 적용하기 위해서는 유역특성과 하천차수에 따른 특성 등이 필요하다. 유역특성 자료는 토지 이용별, 토양형별 CN값과 유역면적, 유로연장 등이 필요하며, 하천차수에 따른 특성은 GIS를 이용하여 산정하였다.

TABLE 3. 천동 지구의 GCIUH 매개변수

분기율 RB	연장비 RL	면적비 RA	평균연장 LO(km)	평균경사 SO	유역면적 AO(km <sup>2</sup> )	조도계수 n	평균폭 BO(m)	CN
3.49	3.30	3.91	6.94	0.0925	14.58	0.055	13.70	82

1) 유효수량 산정을 위한 CN값 산정

SCS의 CN 방법에서는 유효강우량의 크기에 직접적으로 영향을 미치는 인자로서 유역을 형성하고 있는 토양의 종류, 토지이용상태, 식생피복의 처리상태 및 토양의 수문학적 조건 등을 들고 있다. SCS CN 방법은 이들 인자들이 직접유출에 미치는 복합적인 영향을 양적으로 표시하고자 한 것으로 강우가 발생하기 이전의 선행토양함수조건을 고려하여 유효강우량을 산정하고 있다.

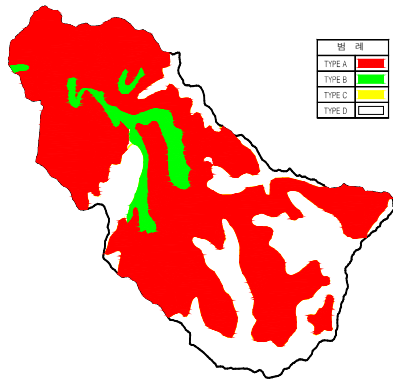


FIGURE 14. 솔티천 유역의 토양도

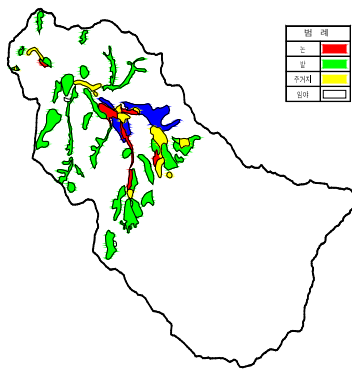


FIGURE 15. 솔티천 유역의 토지이용도

본 연구의 대상구간인 천동계곡 유역의 토양형은 대부분 A와 D로 분석되었고 임야면적이 전체면적의 95%를 차지하고 있다. 따라서 단양군 솔티천 일원의 토지이용도와 농업과학기술원의 개략토양도 및 솔티천 하천정비기본계획(2004)에서 제시한 값을 분석하였으며 근래의 이상홍수나 치수안전등을 감안 CN값을 82로 산정하였다. 그림 14와 그림 15에는 솔티천 유역의 토양도와 토지이용도를 나타내었다.

2) 하폭 산정 및 Qd 산정

GCIUH 적용시 하천의 단면폭을 입력하여야 하며, 단면폭은 홍수량 산정에 많은 영향을 미치게 된다. 그러나, 각 지구내 홍수량 산정단면의 하폭은 자연하천으로 하천의 구분이 애매모호한 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 솔티천하천정비기본계획(2004)에 수록된 보고서상의 단면과 계획 하폭(현장조사를 통한 확인)을 고려하여 산정하였다.

$$B = 2.7637 \times A^{0.5974} \tag{9}$$

여기서 B: 하폭(m), A: 유역면적(km<sup>2</sup>). 위 식을 이용하여 솔티천 일원의 유역면적에 따른 평균적 의미의 하폭은 표 4와 같다.

3) 한계유량(Q<sub>d</sub>)의 산정

한계유량(Q<sub>d</sub>)를 산정하기 위하여 식(10)의 Manning 공식을 적용하였다. 하천의 조도계수는 대부분의 지역이 산지 지역임을 고려하여 솔티천 하천정비기본계획에서 제시한 0.055를 적용하였다.

TABLE 4. 유역면적별 하폭관계

면적(km <sup>2</sup> )	30	25	20	15	13	11	9	7	5
하폭(m)	21.08	18.91	16.55	13.93	12.79	11.58	10.27	8.84	7.23



$$Q_d = \frac{1.486}{n} S_c^{0.5} B_b \left[ \frac{Y_b}{m+1} \right]^{0.38} \quad (10)$$

여기서  $S_c$  는 유역 하도 경사(ft/ft),  $B_b$ 는 최대 하폭(ft),  $Y_b$ 는 최대 수심(ft),  $n$ 은 Manning 조도계수이며,  $Q_d$  는 한계유량( $\text{ft}^3/\text{sec}$ )이다.

#### 4. GIS기법을 활용한 GCIUH의 적합성 검증

본 연구에서 GIS기법과 연계하여 산정된 GCIUH의 매개변수들의 적합성을 검증하기 위해 천동계곡 유역을 포함하는 솔티천 하천정비기본계획(충청북도, 2004)에서 산정된 빈도별 확률홍수량에 의한 첨두유량과 GIS기법과 연계하여 산정된 GCIUH의 첨두유량을 비교하여 표 5에 나타내었다.

TABLE 5. 첨두유량의 비교

빈도	GCIUH ( $\text{m}^3/\text{sec}$ )	하천정비기본계획 ( $\text{m}^3/\text{sec}$ )	비교 (%)
30년	166	150	10
50년	178	165	7
80년	188	179	5
100년	192	185	3
200년	202	206	-2

GCIUH에 의해 산정된 첨두유량은 솔티천 하천정비기본계획의 첨두유량과 비교시 -2~10%로 유출량 비율로는 0.98~1.11의 비율로 유사성을 나타내었으며 산악지역인 점을 고려시 미계측지점의 기준강우량 산정을 위한 기본모형으로 사용이 가능하다고 판단된다.

### 돌발홍수 기준강우량 산정

#### 1. 한계수심의 결정

천동계곡 유역내 하천은 전체적으로 북서쪽으로 흐르고 있다. 유역면적은  $14.58\text{km}^2$ 이며 고도차는 1,202m, 유역경사는 0.0925로 상당히

급한 편이다. 한계 유출고는 일반적인 의미로는 하천 범람을 발생시키는 유출량을 의미하므로 강우의 시공간적 특성과 유역의 하천의 지형학적 특성에 따라 결정된다. 그러나, 본 연구에서는 계곡에서 인명의 안전확보를 위해 적정 피난수심을 하천의 수심이 0.5m이상으로 증가하게 될 때로 규정(이영우, 2003)하고 그때의 유량을 돌발홍수 기준강우량 산정을 위한 한계유량( $Q_d$ )으로 정의하였다. 천동지구는 대부분 지역에서 하천측량성고가 없으므로 대안으로 대표 단면을 이용하여 한계수심 0.5m가 되는 경우의 홍수량을 Manning 공식을 이용하여 한계유량( $Q_d$ )을 산정하였다.

#### 2. 지속시간에 따른 돌발홍수 기준우량 산정

3장에서 GIS기법을 통해 산출된 GCIUH의 매개변수들을 이용하여 지속시간을 10~120분으로 증가시키면서 강우량의 변동성향을 분석하였다. 또한 강우에 의한 계곡의 수위가 안전성을 위협하는 한계수심 0.5m이상으로 증가하게 될 경우의 기준우량을 지속시간별로 산정하였다. 강우지속시간을 고려하여 각 지속시간에서 한계유량( $Q_d$ )을 초과하게 되는 강우량을 결정할 수 있으며 이때의 강우량이 돌발홍수 기준우량(trigger rainfall)으로 정의될 수 있다.

한편, 여기서 한가지 고려해야 될 사항은 시간 동안 경보가 명령될 기준우량 조건이 만족되지 않는 경우에는 초기상태로 돌아가는데 돌발홍수기준을 위해서는 무강우에 대한 고려가 필요하다. 즉, 강우사상이 10분 이상 무강우가 지속되는 경우에는 기준강우량이 지속시간별로 증가하게 되나 실제 누가강우량은 작아짐에 따라 돌발홍수의 가능성은 작아지게 된다. 그러나, 이때는 SCS의 유효우량 산정시 차단, 침투, 지면저류를 고려하는 초기손실  $I_a$ 의 규모가 급격하게 감소하게 되며 이를 고려하기 위하여  $I_a$ 의 규모를 일반적으로 적용되

는 0.2S와 초기손실이 적은 0.1S 그리고 초기 손실이 없는 경우(0.0S)를 고려하여 기준강우량을 산정하였다. 최종적으로 초기손실이 없는 조건으로 유효우량을 사용하여 홍수량에 대한 안전한 결과를 도출할 수 있도록 하였다. 표 6은 한계우량을 고려한 천동계곡 유역의 지속시간별 돌발홍수 기준우량( $R_T$ )과 유효우량( $R_e$ )을 나타내고 있다.

TABLE 6. 지속시간에 따른 유효우량과 기준우량( $Y_b=0.5m$ ,  $Q_d=11.42m^3/sec$ )

시간 (분)	$R_T(mm)$			$R_e$ (mm)
	$I_a=0.0S$	$I_a=0.1S$	$I_a=0.2S$	
10	11.52	14.42	17.32	3.17
20	12.57	15.88	18.80	4.00
30	13.95	16.86	19.77	4.52
40	14.70	17.60	20.51	4.93
50	15.32	18.22	21.13	5.28
60	15.85	18.76	21.67	5.59
70	16.33	19.23	22.13	5.87
80	16.76	19.66	22.57	6.12
90	17.15	20.05	22.96	6.36
100	17.51	20.42	23.33	6.58
110	17.86	20.76	23.67	6.79
120	18.17	21.08	23.99	6.99

표 5에서 알 수 있듯이 한계수심 0.5m의 한계유출량은  $11.42m^3/sec$ 이고 이때의 돌발홍수 기준우량은 초기손실을 고려하지 않는다면 지속시간 10분 동안에 11.52mm, 20분 동안에 12.57mm가 발생하면 위험한 것으로 분석되었다.

## 결론


본 연구에서는 산악지역의 돌발홍수 기준우량을 산정하기 위해 GIS기법을 활용한 GCIUH를 천동계곡 유역내에 적용하여 그 적합성을 검증하고 다음과 같은 결과를 얻었다.

(1) GIS 기법을 이용한 공간지형자료인 유역면적, 유로연장, 하천경사 등을 정량적으로 산출함으로써 유역특성자료에 대한 불확실성을 감소시킬 수 있었다.

(2) GCIUH의 매개변수 산정시 GIS 기법과 연계하여 강우-유출 모형을 구축하고 천동계곡에 적용하였다. 천동계곡의 경우 4차하천을 이루며 분기율( $R_B$ )은 3.49, 연장비( $R_L$ )는 3.30, 면적비( $R_A$ )는 3.91로 분석되었다.

(3) GCIUH 모형의 적합성 검증결과 빈도별 강우량에 의한 침투유량 비교시 0.98~1.11의 비율로 산악지역 유출량 산정에 적합한 모형임을 확인하였다.

(4) 지속시간에 따른 돌발홍수 기준우량 산정시 초기손실을 증가시키며 유효우량에 따른 변화를 분석한후 최종적으로 초기손실이 없는 조건으로 유효우량을 사용하여 홍수량에 대한 안전한 결과를 도출하였으며, 기준우량은 한계수심 0.5m에서 한계유출량  $11.42m^3/sec$ 이고 이때의 돌발홍수 기준우량은 초기강우 지속시간 10분 동안에 11.52mm, 20분 동안에 12.57mm가 발생하면 위험한 것으로 분석되었다.

본 연구는 천동계곡 유역을 대상으로 적용한 것으로서 차후 국내의 다양한 조건을 갖는 산악 지역에 적용, 검증 및 검토를 통해 GIS를 활용한 돌발홍수 기준우량 산정방법의 보다 합리적이고 정확한 기법개발에 계속적인 노력이 요구된다. 

## 참고 문헌

- 김양수, 박무중, 최우정. 2000. 산악지형의 돌발홍수 예경보시스템. 제5회 방재행정 세미나. 국립방재연구소:75-101.
- 김운태, 배덕효, 조천호. 돌발홍수예보를 위한 미소유역의 한계유출량 산정. 한국수자원학

- 회논문집 35(5):553-561.
- 신현석, 김홍태, 박무중. 2004. GIS와 GCUH를 이용한 돌발홍수 기준우량 산정의 타당성 검토 연구. 한국수자원학회논문집 37(5):407-424.
- 이영우. 침수지역 주민의 피난행동의 평가와 적정 피난수심의 유도에 관한 연구. 화재소방학회논문집 17(4):92-97.
- 충청북도. 2004. 솔티천 하천정비기본 계획.
- 허창환, 이순탁. 2002 하천유역에서 GIS를 이용한 GIUH 모형의 해석. 한국수자원학회논문집 35(3):321-330.
- Carpenter, T.M. and K.P. Georgakakos. 1999. GIS-Based Procedure In Support of Flash Flood Guidance. NOAA/NWS/IIHR, Report No. 366.
- Gupta, V.K, Waymire, E and Wang, C.T. 1980. Representation of an instantaneous unit hydrograph from geomorphology. Water Resour. Res. Vol. 16(5):855-862.
- Hall, M. J. A. F. Zaki and M.M.A. Shahin, 2001. Regional analysis using the Geomorphoclimatic Instantaneous Unit Hydrograph. Hydrology and Earth System Sciences 5(1):93-102.
- Horton, R.E. 1932. Drainage Basin Characteristics. Transactions in American Geophysical Union Vol.13:350-361.
- Rodriguez-Iturbe and J.B. Valdes. 1979. The Geomorphologic Structure of Hydrologic Response. WRR 15(6):1409-1419.
- Rodriguez-Iturbe, I., Gonzalez-Sanabia, M., and Bras, R.L. 1982. A Geomorphoclimatic Theory of the Instantaneous Unit Hydrograph. Water Resources Research. Vol.18(4):877-886.
- Rosso, R. 1984. Nash model relation to Horton order ratios. Water Resources Res. Vol. 20(7):914-920.
- Strahler, A.N. 1957. Quantitative Analysis of Watershed Geomorphology. Transactions in American Geophysical Union Vol.38(6): 913-920.
- Sweeney, T.L. 1992. Mordernized Areal Flash Flood Guidance. NOAA Technical Report NWS HYDRO 44. 