

# GIS를 이용한 돌발홍수의 한계유량과 유역특성인자의 적합도 분석 An Analysis for Goodness of Fit on Trigger Runoff of Flash Flood and Topographic Parameters Using GIS

오명진\* · 양인태\*\* · 박병수\*\*\*

Oh Myung-Jin · Yang, In-Tae · Park, Byung-Soo

## 要 旨

최근 홍수피해의 문제점을 분석해 보면 기상 이변으로 집중호우가 발생하고 특히, 국지적인 호우에 의한 돌발홍수(flash flood)로 인한 피해가 빈번하게 발생하고 있다. 본 연구에서는 하천 지역의 돌발홍수의 특성을 밝혀 보고자 GIS 기법을 이용하여 하천 유역의 수문학적 돌발홍수 예측모형을 지형기후학적순간단위유량도를 적용하여 구축하였다. DB는 GIS를 사용하여 구축하였으며 DEM으로부터 유역과 하천을 추출하였다. 연구지역의 하천은 소, 중, 대규모 유역을 포함하였다. 돌발홍수정보에 관한 기준설정을 위해 첨두홍수량과 한계유량을 결정하였다. 한계유량은 지형기후학적 단위유량도 모델로 계산되었고 지형인자와의 적합도를 분석하였다.

핵심용어 : 돌발홍수, 지형기후학적순간단위유량도, 한계유량, 지형인자

## Abstract

Recently, local heavy rain for a short term is caused by unusual changing in the weather. This phenomenon has, several times, caused an extensive flash flood, casualties, and material damage. This study is aimed at calculating the characteristics of flash floods in streams. For this purpose, the analysis of topographical characteristics of water basin through applying GIS techniques will be conducted. The flash flood prediction model we used is made with GCIUH (geomorphoclimatic instantaneous unit hydrograph). The database is established by the use of GIS and by the extraction of streams and watersheds from DEM. The streams studied are included small, middle and large scale watersheds. For the first, for the establishment of criteria on the flash flood warning, peak discharge and trigger runoff must be decided. This study analyzed the degree of aptitude of topographical factors to the trigger runoff calculated by GCIUH model.

Keywords : Flash flood, GCIUH, Trigger runoff, Topographical factor

## 1. 서 론

최근의 기상이변으로 홍수의 일종인 돌발홍수에 의한 피해가 빈번하게 발생하고 있다. GIS와 원격탐측(RS : Remote Sensing) 분야에서의 기술적 발전은 돌발홍수와 같은 수문학분야에서도 새로운 전망을 갖게 되었으며 많은 연구가 진행되고 있다. GIS에서의 유역면적, 유로연장, 유역경사 등의 자료는 하천 유역의 특성인자 추출방법, 지도종류, DEM 자료의 격자 크기에 따라서 서로 다른 결과값이 취득되며, 수문학적 해석에서 많은 영향을 미치는 원인이 된다. 돌발홍수의 발생과 관련하여 중요

한 요소는 지속시간과 강우 강도이며, 지형적 특징과 선형강우와 관련된 토양 및 지표면의 조건도 큰 영향을 미치게 되는데 무엇보다 유역내의 지형인자의 특성에 민감한 반응을 보이고 있다.

### 1.1 지형학적순간단위유량도의 연구동향

유역의 강우-유출에 대한 응답을 하도망의 지형학적 특성을 이용하여 해석하고자 하는 많은 시도가 있었는데 Rodriguez-Iturbe와 Valdes(1979)가 지형학적순간단위유량도(GIUH : Geomorphologic Instantaneous Unit Hydrograph)의 개념을 소개하였으며, Horton-Strahler(1957)의 하천

2006년 8월 31일 접수, 2006년 9월 15일 채택

\* 경북대학교 토목설계과 부교수 (mjoh@kyungbok.ac.kr)

\*\* 강원대학교 토목공학과 교수 (intae@kangwon.ac.kr)

\*\* 지원테크(주) 이사 (geo-group@hanmail.net)

차수법칙을 근본으로 하는 GIUH의 1차 하도평균치를 Horton의 차수법칙과 결합함으로써 지형특성을 이용하여 유도하였다. 이것은 지형학적(geomorphological) 및 지형기후학적(geomorphoclimatic) 순간단위유량도를 이론적으로 유도하여 지형학과 수문학의 연계를 도모하는 의미를 갖는다. 그 후에 Gupta(1980) 등은 물 입자가 유역에 머무는 시간인 체류시간을 확률론적으로 산정하였으며, GIUH 이론의 근거가 되는 Markov 과정의 가정을 완화 시킴으로 초기 GIUH 모형에 대한 이론적인 결과를 일반화시켰다. 아울러 Gupta(1986, 1988) 등은 하천 유역의 수리학적 반응들에 대하여 유역 범위에 의한 수계망구조와 우수 발생 사이에 중요한 물리적 관계에 관한 연구를 진행하였으며 수계망 지형학은 유역의 면적과 고도를 표현할 수 있고, 유역의 지질, 토양형태, 수목분포도 등의 자료를 제공할 수 있으므로, 이것은 유역에 있어서 수치고도모형(DEM)을 이용한 하천유역수리학에 관한 물리학에 기초를 둔 계량적인 연구를 위한 효과적인 도구라고 언급했다.

Rodriguez-Iturbe(1982a) 등은 GIUH 식에서 속도항을 제거하기 위해 Manning's 공식을 사용하였고 GIUH 매개변수와 유효우량만으로 함수를 표시하는 지형기후학적 순간단위유량도(GCIUH : GeomorphoClimatic Instantaneous Unit Hydrograph)를 유도하였다. Rodriguez-Iturbe(1982b) 등은 GCIUH의 침투유출량( $q_p$ )과 침투시간( $t_p$ )에 대해 삼각형의 순간단위유량도를 가정하고 유효강우강도( $i$ )와 지속시간( $t_c$ )의 균일한 직사각형 강우로 유량도를 근사시켜 지형기후학적 단위유량도(GCUH : Geomorphoclimatic Unit Hydrograph)를 유도하였다. Rinaldo(1992) 등은 지형특성은 Horton 차수법칙을 이용하였으나, 강우입자의 도달시간을 지수분포형태에서 Gaussian 분포로 바꾸어 해석하였다. 따라서 GIUH를 유도하기 위해서는 위에서 언급한 두 가지 요소가 필요한데 그 하나는 지형특성인자이며, 다른 하나는 강우입자의 수리학적 특성인자로 나타낼 수 있다고 하였다. 또한, 최근의 신현석 등(2004)의 연구에서는 GIUH 매개변수를 사용한 단위도인 GCUH 식을 돌발홍수 예측을 위한 기준 강우량 산정에 도입하여 적용의 타당성을 증명했는데 GIUH 매개변수와 유역의 지형특성인자인 유역면적과 유로연장의 상관성을 분석하여 실유역에 대해 검증한 것으로 예측값은 관측값과 비슷함을 알 수 있었다. 한편, GIUH 식을 이용하여 관측에 의한 결과값과 유역면적, 유로연장으로 예측한 GIUH 매개변수의 침투도달시간과 침투유출량의 산정결과를 비슷한 값으로 나타나 임의의 미관측 유역에서 GIS 작업과정으로 유역면적이나 유로연장만 관측함으로써 GIUH 매개변수를 산정할 수 있는 가능성을 제시하였다.

## 1.2 연구대상 및 내용

본 연구에서는 소하천 유역의 돌발홍수의 한계유량산정 시, 지형인자의 영향을 연구하기 위해서 경기도 북부 지역 및 강원도 영서지역의 하천유역을 선정하고 GIS를 이용하여 DEM으로부터 하천과 유역을 추출하고 자료기반(DB : Data Base)을 구축하였으며, 하천 및 유역의 형태학적 특성인자를 계산하고 GCIUH 매개변수와 상관성을 분석하였으며 구체적인 연구내용은 다음과 같다.

첫째, GIS를 이용하여 DEM으로부터 하천 및 유역을 추출하여 DB를 구축하였다. 먼저 연구대상지역을 소유역, 중유역, 대유역에 해당하는 하천을 선정하고 각 유역별로 하천 및 유역의 형태학적 특성인자를 계산하기 위한 하천 및 유역 정보를 추출하였다.

둘째, 하천 유역인자들 간의 회귀분석을 수행하여 회귀식을 산정하고 적합도를 분석하였다.

셋째, 적합도 분석결과를 토대로 하천 형태학적 특성인자가 한계유량에 미치는 영향을 분석하기 위해 한계유량 추정식을 도출하였다.

## 2. 기본이론

### 2.1 DEM

지형은 수문지형학에서 중요한 결정요소이다. 지형요소인 집수유역경계나 배수유역면적, 표면경사, 경사길이, 경사모양, 하천경사, 방향성, 수계망 등이 자연경관 속에서 어떻게 형성되는가를 정의하는 셀 단위 또는 토지단위 연결성을 정의하는데 있어서 지형에 관련된 자료를 필요로 한다. GIS의 분석체계에서는 DEM에서 어떤 함수  $F(x, y, z)$ 에 의해서 정의된 속성들을 끌어내기 위해 기본적인 기하학을 이용하여 표면에 적용시키거나 직접 DEM의 유한미분을 이용하여 일차적인 지형속성을 계산하는 것이 가능하다.

### 2.2 하천 및 분수계

하천을 추출하기 위해서는 흐름방향(flow direction)에서 형성된 흐름에 따라 각각의 격자값들을 누적시켜 나가면서 물의 이동을 계산한다. 즉, 흐름누적(flow accumulation) 함수를 사용하면 각 격자들이 흐름방향에 따라 그 값을 누적시켜 나가게 된다.

흐름 축적과정에 의해서 생성된 자료를 가지고 격자형 연산 기능으로 하천을 추출한다. 본 연구에서는 상류 부분부터 1차 하천을 처리하는 Strahler의 하천차수이론을 적용하였다. 격자형에서는 con이라는 함수에 의해 하천을 추출할 수 있다.

$$\text{con}(\text{acc} > 3, 1)$$

여기서 “acc”는 흐름축적과정 결과 생성된 격자형 자료이고, “3”이라는 것은 흐름 축적에 의해 생성된 격자값을 의미한다. 결과적으로 격자 중에서 3보다 큰 격자값을 갖는 격자들을 중심으로 하천이 형성된다. 이 과정을 그림으로 표현하면 그림 1과 같다. 여기서 진한 색의 격자들이 하천에 해당된다. DEM에서 유역을 생성하기 위해서는 추출된 수계망을 기초자료로 이용한다. 수계망에서 구하고자 하는 유역의 출구부분과 같은 좌표를 찾아 점 자료만 있는 출구자료(outlet)를 만들고 격자형 자료(outlet 격자형자료)로 변환한 후, 흐름 방향 결정에서 만들어 놓은 격자형 자료와 함께 유역추출함수에 입력하여 유역을 추출할 수 있다. 이 때 단 한 개의 대유역뿐 아니라 대유역 내에서 원하는 만큼 다수의 유역을 형성시킬 수도 있다. 그림 2는 유역추출함수를 사용하여 유역을 추출하는 과정을 나타낸 그림이다.

그림 1에서 → 부호는 하천 유수의 흐름방향을 나타낸다.

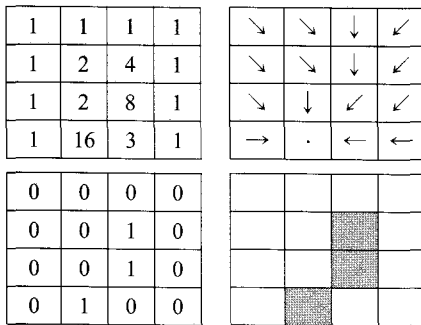


그림 1. 흐름누적함수에 의한 수계망 형성

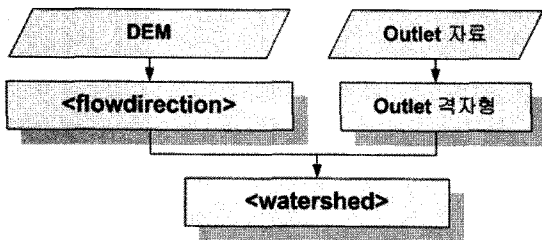


그림 2. 유역추출과정

### 2.3 GIUH, GCIUH, GCUH 및 한계유량

#### 1) GIUH

GIUH 모형은 Markov-Process를 기본형태로 하여 유역의 수문학적 응답인 순간단위유량도(IUH : Instantaneous Unit Hydrograph)와 지형학적 특성을 결합시켰으며 유역

에 내린 강우 입자들의 유역출구에서의 도달시간 분포를 추계학적으로 정의하여 제안한 것이다.

순간단위유량도의 첨두유량( $q_p$ )과 첨두유량 발생시간( $t_p$ )를 구하기 위해 경험적으로 자연유역에서 분기율( $R_B$  : bifurcation ratio)은 3~5, 면적비( $R_A$  : stream area ratio)는 3~6의 값을 갖고 길이비( $R_L$  : stream length ratio)는 1.5~3.5의 값을 가지며,  $L_\Omega$ 는 각각의 유역에 따라 다르게 나타나는 지형인자이고  $\nu$ 는 0.5~6m/sec의 범위를 가지며 각 강우사상에 따라 다르고 시간에 따라 변하는 변수다.

GIUH식의  $q_p$ ,  $t_p$ 를 정리하면 각각 식 (1), 식 (2)와 같이 된다.

$$q_p = \frac{1.31}{L_\Omega} \cdot R_L^{0.43} \cdot \nu \tag{1}$$

$$t_p = \frac{0.44L_\Omega}{\nu} \cdot \left(\frac{R_B}{R_A}\right)^{0.55} \cdot R_L^{-0.38} \tag{2}$$

여기서,  $L_\Omega$ 는 km 단위의 가장 높은 차수의 하도 길이이다.  $\nu$ 는 m/s단위의 예상되어지는 첨두속도이다. 첨두유량  $q_p$ 는  $\text{hr}^{-1}$ 의 단위를 가지고,  $t_p$ 는  $h_r$ 의 단위를 가진다.

#### 2) GCIUH

Rodriguez-Iturbe(1982)등은  $\nu$ 는 유효강우강도와 강우 지속기간의 함수로 표시된다고 정의하고, 유효강우강도  $i_r$ 만을 이용하고  $\nu$ 는 Manning's 공식을 이용하여 소거하려 시도했다.

GIUH식을 정리하면, 지형기후학적순간단위유량도(GCIUH : GeomorphoClimatic Instantaneous Unit Hydrograph)를 유도 할 수 있고 가장 유용한  $q_p$ 와  $t_p$ 는 식 (3), 식 (4)와 같이 재정립되었다.

$$q_p = \frac{1.31}{L_\Omega} \cdot R_L^{0.43} \cdot \nu = \frac{0.871}{\Pi_i^{0.4}} \tag{3}$$

$$t_p = 0.585 \Pi_i^{0.4} \tag{4}$$

여기서,  $R_L^{0.43} \approx R_L^{0.38} \approx R_L^{0.40}$ 의 관계로 근사시켰고,

$$R_B/R_A = 0.8, \Pi = \frac{L_\Omega^{2.5}}{(i_r A_\Omega R_L \alpha^{1.5})}, \alpha_\Omega = \frac{S_\Omega^{0.5}}{(nb_\Omega^{2/3})}$$

하였다.

여기서,  $i_r$ 은 평균 유효강우강도이고  $A_\Omega$ 는 마지막 차수 유역면적이며  $S_\Omega$ 와  $b_\Omega$ 는 유역에서 최고차 하천의 평균경사와 평균폭이다.  $n$ 은 Manning의 조도계수에 해당한다.

#### 3) GCUH

GCIUH 관계식을 이전에 설명한 식 (2)와 식 (4)를 이용하

여 지형기후학적 단위유량도(GCUH : Geomorphoclimatic Unit Hydrograph)를 구할 수 있는데 침투유출량과 침투 유출량 도달시간의 단위도가 되며 식 (5)가 된다.

$$Q_p = 2.42 \frac{i_r A_n t_r}{\Pi_i^{0.4}} \left(1 - \frac{0.218 t_r}{\Pi_i^{0.4}}\right) \quad (5)$$

여기서,  $t_r$ 은 지속기간이다.

Rodriguez-Iturbe(1982)등은 이 침투유량에 대한 시간을 식 (6)과 같이 나타내었다.

$$T_p = 0.585 \Pi_i^{0.4} + 0.75 t_r \quad (6)$$

식 (5)와 식 (6)은 강우와 유출관계가 입력값과 출력값을 가지고 행하는 매개변수조정(calibration)에 의존하지 않고 이론적으로 단지 지형학적 자료와 기후자료만의 함수임을 나타낸다.

**4) 한계유량**

한계유량을 계산하는 모형은 분포형(distributed)모형과 총괄(lumped)모형으로 나눌 수 있는데, 분포형모형은 보통 물리적(physical based)인 면을 고려하며 총괄모형은 일반적으로 개념적(conceptually based)인 면이 크다고 할 수 있다. 한계유량( $Q_d$ )를 산정하기 위하여 Manning 공식을 적용하였다.

$$Q_d = \frac{1.486}{n} S_c^{0.5} B_b \left[ \frac{T_b}{m+1} \right]^{5/3} \quad (7)$$

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( $ft^3/sec$ )이다. 여기서, 한계유량이라 함은 조사유역의 경보발령시설이 위치한 하폭에서의 일정한 수심에 이르는 홍수량 즉, Manning 공식으로 구한 유출량을 말한다.

**3. 적용 및 분석**

**3.1 연구대상지역**

그림 3은 경기도 및 강원도 지역의 연구대상지역을 나타낸 것으로서 GIS를 구축하여 유역을 구분하고, 각각의 유역에 대하여 유역면적, 유로연장, 그리고 유로의 평균 경사를 구하였다.

표 1은 사용된 기초자료를 설명한 것이다.

그림 4는 조사지역 일원 중에서 경기도 포천의 백운계곡 지구에 해당하는 DMA의 DTED level 1(격자크기 약 80m)의 자료와 백운계곡의 유역을 함께 나타낸 것이다.

**3.2 유역기초인자 추출**

그림 5는 조사지역 일원 중에서 포천의 영평천지구에 대하여 DEM으로부터 하천과 유역을 추출하여 DEM과 함께 나타낸 것이다.

표 2는 조사지역 일원의 유역특성이다.

표 1. 기초 자료구축

사용자료	축척	비고
DEM	1" 3"	USGS DMA
지형도	1/25,000	국토지리정보원
경보기 위치자료	-	한성전자
하천기본계획	-	시청, 군청

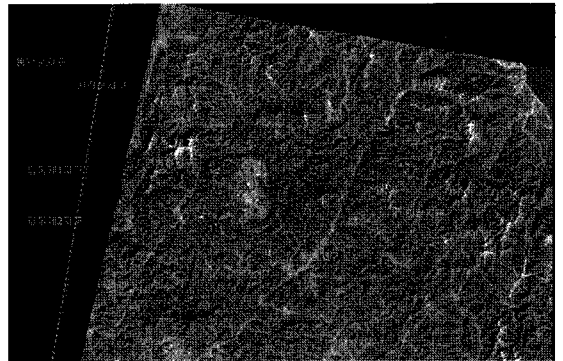


그림 3. 연구 대상 지역

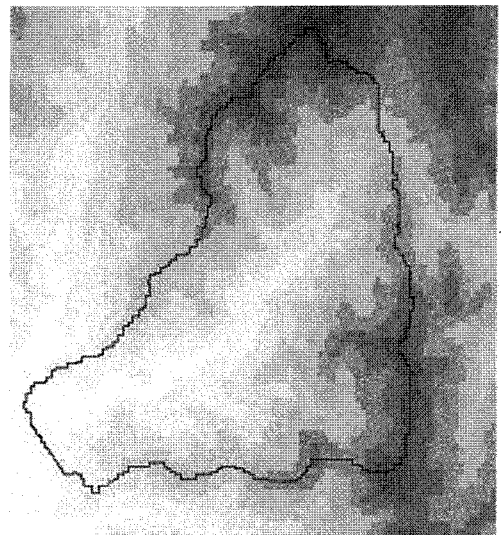


그림 4. 백운계곡 지구의 DEM

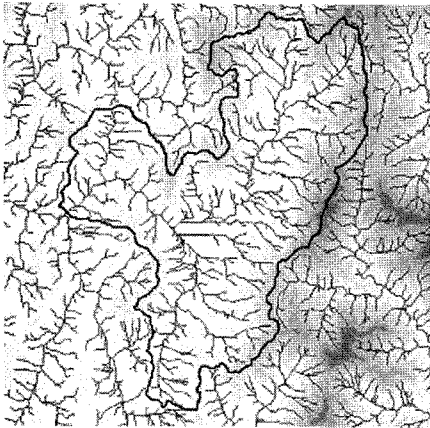


그림 5. 포천 영평천지구의 하천 및 유역 추출

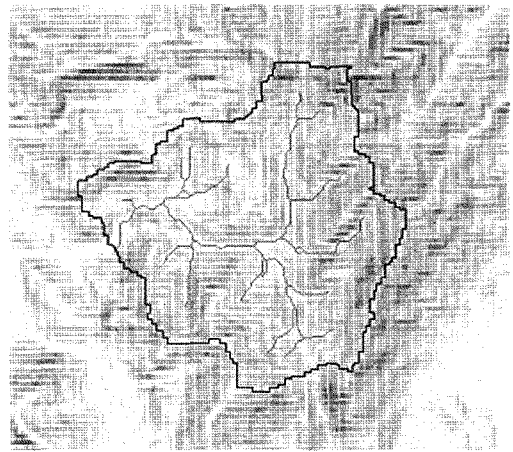


그림 6. 동두천 탐동1지구의 경사도 추출

표 2. 조사지역 일원의 유역특성

지역	유역명	유역면적 A(km <sup>2</sup> )	유로연장 L(km)	유역평균폭 A/L(km)
동두천	탐동계곡 제1지구	12.259	5.159	2.38
	탐동계곡 제2지구	4.811	2.537	2.28
연천군	동막골계곡	46.229	16.64	2.78
포천시	백운계곡 지구	20.345	8.061	2.52
	지장산계곡 지구	7.476	5.208	1.44
	영평천 지구	221.270	29.526	7.49
인제군	미시령지구	303,620	36,969	8,21
	미산지구	577,223	43,517	13,26
횡성군	병지방 지구	59.08	19.48	3.0326
홍천군	팔봉유원지 지구	1347.93	114.39	11.79
	모래소유원지 지구	302.18	22.66	13.33

3.3 하천경사의 추출

그림 6은 조사지역 일원 중 동두천 탐동1지구의 DEM 으로부터 경사도를 추출한 것이다.

3.4 유역별 매개변수 및 한계유량의 계산

1) GIUH 매개변수 결정

본 연구에서는 하천정비계획에 따라 각 지구의 CN값, 하천의 조도 계수를 적용하였고 조사대상지역은 미계측 지역으로 하폭의 결정은 하천정비기본계획상의 하폭 및 현장조사를 통한 확인을 고려하여 홍수량 산정 단면의

표 3. 조사지역 일원의 경사

지역	유역명	유로경사 (m/m)
동두천	탐동계곡 제1지구	0.051
	탐동계곡 제2지구	0.058
연천군	동막골계곡	0.028
포천시	백운계곡 지구	0.073
	지장산계곡 지구	0.084
	영평천 지구	0.023
인제군	미시령지구	0.0106
	미산지구	0.0213
횡성군	병지방 지구	0.0280
홍천군	팔봉유원지	0.0075
	모래소유원지 일원	0.0331

표 4. 유역별 조도계수 n

구 분	n	
동두천시	탐동계곡 제1지구	0.05
	탐동계곡 제2지구	0.032
연천시	동막골계곡	0.04
포천시	백운계곡지구	0.045
	지장산지구	0.05
	영평천지구	0.03
인제군	미시령지구	0.035
	미산지구	0.035
횡성군	병지방 지구	0.035
홍천군	팔봉유원지 지구	0.034
	모래소유원지 지구	0.04

표 5. 조사지역일원의 유역면적 대 하폭

구 분		유역면적 A(km <sup>2</sup> )	하폭 B(m)
동두천시	탑동계곡 제1지구	12.259	11
	탑동계곡 제2지구	4.811	14
연천시	동막골계곡	46.229	40
포천시	백운계곡지구	20.35	17
	지장산지구	7.48	12
	영평천지구	221.27	108
인제군	미시령지구	303.62	100
	미산지구	577.223	100
횡성군	병지방 지구	59.075	30
홍천군	팔봉유원지 지구	1347.93	200
	모래소유원지 지구	302.18	70

하폭(B)과 해당 유역면적(A)간의 회귀식을 산출하여 사용할 수 있다. 식 (8)은 유역면적과 하폭에 대해 상관분석 결과 도출된 회귀식을 의미한다.

$$B = 1.8735 \times A^{0.7666} \quad (8)$$

여기서, 하폭 B는 m, 유역면적 A는 km<sup>2</sup> 이다. 조사지역 일원의 유역면적에 따른 하폭은 표 5와 같이 산정하였다. 이 연구에서는 실제 하폭을 관측하여 사용하였다.

2) 한계유량의 계산

(1)한계유량 추정식의 도출 및 적합도 검증

표 5은 유역별 한계유량 추정식을 도출하고 그 적합도를 분석하기 위해 사용된 유역별 한계유량과 유역의 특성인자를 정리한 것이다. 앞서 분석한 인자들 간의 상관분석 결과 상관성이 82%로 계산된 하천분기비와 하천차수법칙은 상관성이 높게 평가되었기 때문에 하천분기비를 한계유량 추정식의 도출에 사용하였다.

표 6은 한계유량과 유역인자들 간의 적합도를 분석한 결과를 나열한 것이다. 90%이상의 높은 적합도를 보이는 인자는 유로연장과 유역면적, 하천밀도 등이었으며 2차식의 경우가 1차식보다 높은 적합도를 보이는 것으로 평가되었다.

그림 7은 한계유량과 유로연장의 회귀분석 결과를 나타낸 것으로서, 추정된 관계식의 경우 1차식이 85%, 2차식이 97%의 적합도를 보이고 있다. 따라서 한계유량과 유로연장의 관계식은 2차식으로 결정하였다.

그림 8은 한계유량과 유역면적의 회귀분석 결과를 나타낸 것으로서 추정된 관계식의 경우 1차식이 98%, 2차

표 6. 한계유량과 유역인자간의 적합도 분석 결과

유역인자	적합도(R <sup>2</sup> )	
	1차식	2차식
유로연장	<b>0.85</b>	<b>0.97</b>
유역면적	<b>0.98</b>	<b>0.99</b>
유역경사	0.46	0.74
형상계수	0.12	0.28
분기비	0.04	0.09
하천빈도	0.12	0.36
하천밀도	<b>0.50</b>	<b>0.94</b>

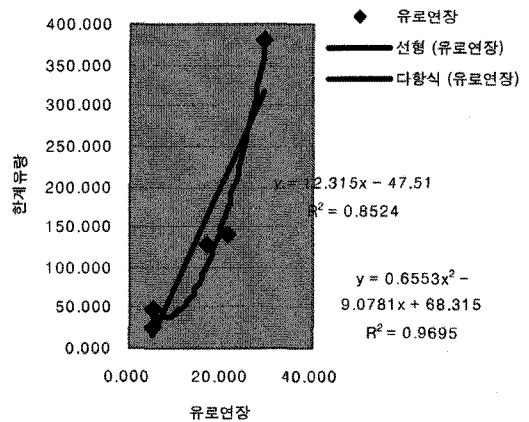


그림 7. 한계유량과 유로연장의 적합도 계산

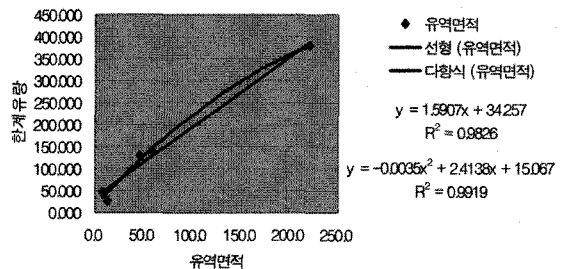


그림 8. 한계유량과 유역면적의 적합도 평가

식이 99%의 적합도를 보이고 있다. 따라서 한계유량과 유로연장의 관계식은 1차식과 2차식을 모두 선택하여 추정식을 검증한 후 사용하였다(4.5.4항). 한계유량과 유역면적의 적합도 분석결과 1차식과 2차식 모두 매우 높은 적합도를 보이고 있다.

그림 9부터 그림 11까지는 각각 한계유량과 유역경사, 형상계수, 하천분기비 등과의 회귀분석 결과와 그 적합도를 평가한 것이다. 한계유량과 유역경사의 회귀분석

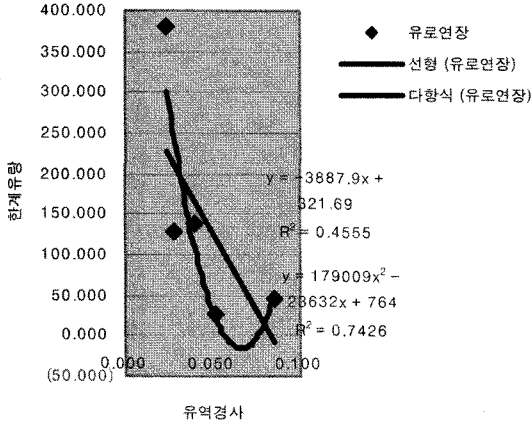


그림 9. 한계유량과 유역경사의 적합도 평가

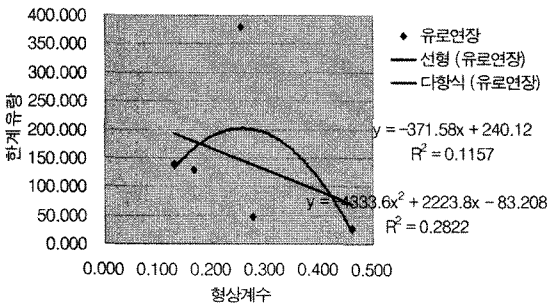


그림 10. 한계유량과 형상계수의 적합도 평가

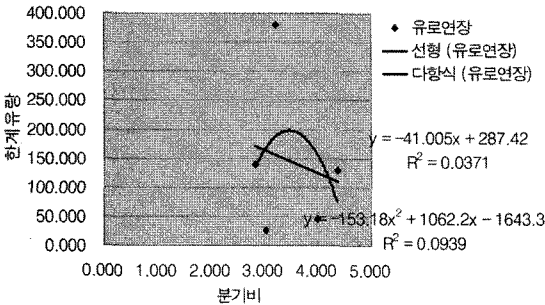


그림 11. 한계유량과 하천분기비의 적합도 평가

결과 2차식의 경우가 74%의 적합성을 보이고 있을 뿐 대부분 적합도가 낮은 것으로 평가되었다.

(2) 한계유량 추정식의 결정

표 6에서 한계유량과 유역인자들에 대한 회귀분석 결과 적합도가 90%이상의 높은 적합성을 보인 인자들로는 유로연장과 유역면적, 하천밀도 등으로 분석되었다. 특히 유역면적은 한계유량과의 적합도가 99%에 달하는 높은

표 7. 유로연장에 의한 한계유량(m³/sec) 추정값과 오차

유역명	한계유량(m³/sec)		오차 (잔차)
	계산값	추정값(2차식)	
내면	154.254	231.152	76.898
미시령	411.439	727.899	316.460
미산	272.323	1137.001	864.678
백운	64.380	37.716	-26.664
탐동2지구	41.560	49.484	7.924
표준오차			462.196

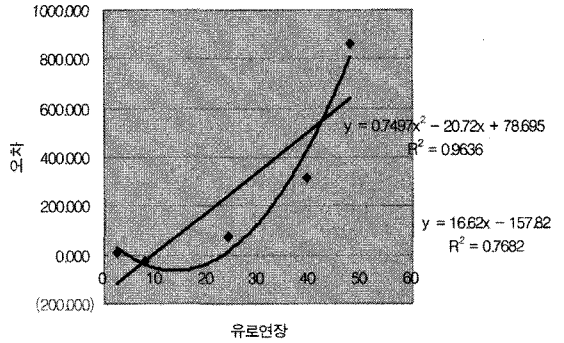


그림 12. 유로연장에 따른 한계유량(2차식) 추정식과 오차 분포

적합성을 보이고 있었다. 따라서 한계유량 추정식은 위 3가지 항목에 대해서 도출하였다.

표 7은 각각 유로연장과 한계유량과의 적합도가 90% 이상인 한계유량 계산값과 추정값 및 오차를 계산하여 나열한 것이다. 여기서 한계유량 계산값은 식 (5)의 한계유량식을 이용하여 계산하였으며, 한계유량 추정값은 (2)항에서 도출된 한계유량 추정식에 의해 계산된 값이다. 잔차는 한계유량 계산값과 추정값의 차를 나타낸다.

그림 12는 유로연장과 오차(한계유량)에 대한 회귀분석 결과로서 2차식의 결정계수(R²)가 99%로 1차식의 86%보다 적합도 높은 것으로 분석되었다. 따라서 2차식을 이용하여 한계유량의 추정식을 도출하였다.

식 (9)는 앞서 5개의 유역에 대하여 계산된 한계유량과 유로연장의 회귀분석 결과 도출된 관계식이다. 여기서 Y항은 한계유량을 의미하며, X항은 유로연장에 해당한다.

$$Y_1 = 0.6553X^2 - 9.0781X + 68.315 \quad (9)$$

식 (10)은 검증용을 위한 유역(내면지구, 미시령지구, 미산지구, 백운지구, 탐동2지구)을 대상으로 식 (7)에 의해 계산된 한계유량과 유로연장의 회귀분석 결과 도출된 판

계식 (9)에 의해 계산된 한계유량 사이의 오차를 Y축으로 놓고 X축을 유로연장으로 하여 도출한 관계식이다. 따라서 식 (9)에서  $Y_1 - Y_2$ 는 오차이며, X항은 유로연장에 해당한다.

$$Y_1 - Y_2 = 0.7497X^2 - 20.72X + 78.695 \quad (10)$$

식 (11)은 식 (9)식을 (10)식에 대입하여 계산된 식으로 서 유로연장에 따른 한계유량의 추정식에 해당한다.

$$Y_2 = -0.0944X^2 + 11.6419X - 10.38 \quad (11)$$

여기서,  $Y_2$ 는 한계유량, X는 유로연장에 해당한다.

표 8은 유역면적과 한계유량의 분석결과 적합도가 90% 이상인 인자들에 대하여 한계유량 계산값과 추정값 및 오차를 계산하여 나열한 것이다. 여기서 한계유량 계산 값은 제3장의 식 3.5.2의 한계유량식을 이용하여 계산하였으며, 한계유량 추정값은 4.5.4항에서 도출된 한계유량

추정식에 의해 계산하였다. 잔차는 한계유량 계산값과 추정값의 차를 나타낸다.

그림 13은 유역면적과 오차(한계유량)에 대한 회귀분석 결과(2차식)로서 2차식의 결정계수( $R^2$ )가 48%, 1차식이 0.8%로서 적합도가 매우 낮은 것으로 분석되었다. 따라서 이러한 결과는 한계유량 추정식을 도출하기에는 적합하지 않다고 판단된다.

그림 14는 유역면적과 오차(한계유량)에 대한 회귀분석 결과(1차식)로서 그 오차분포를 살펴보면 2차식의 결정계수( $R^2$ )가 90%, 1차식이 85%로서 적합도가 비교적 높은 것으로 분석되었으며, 2차식이 1차식보다 다소 높은 수치로 계산되었다. 따라서 오차를 고려한 추정식에는 2차식을 사용하였다.

식 (12)는 앞서 5개의 유역에 대하여 계산된 한계유량과 유역면적의 회귀분석 결과 도출된 관계식(1차식)이다. 여기서 Y항은 한계유량을 의미하며, X항은 유역면적에 해당한다.

$$Y_1 = 1.5907X + 34.257 \quad (12)$$

식 (13)은 검증을 위한 유역(내면지구, 미시령지구, 미산지구, 백운지구, 탐동2지구)을 대상으로 식 (7)에 의해 계산된 한계유량과 유역면적의 회귀분석 결과 도출된 관계식 12에 의해 계산된 한계유량 사이의 오차를 Y축으로 놓고 X축을 유역면적으로 하여 도출한 관계식이다. 따라서 식 (13)에서  $Y_1 - Y_2$ 는 오차이며, X항은 유역면적에 해당한다.

$$Y_1 - Y_2 = 0.0015X^2 + 0.3367X - 2.9317 \quad (13)$$

식 (14)는 (12)식을 (13)식에 대입하여 계산된 식으로 서 유역면적에 따른 한계유량의 추정식에 해당한다.

$$Y_2 = -0.0015X^2 + 1.254X + 37.1887 \quad (14)$$

표 8. 유역6면적에 의한 한계유량( $m^3/sec$ )의 추정값과 오차

유역명	한계유량		오차(잔차)		
	계산값	추정값 (2차식)	추정값 (1차식)	2차식	1차식
내면	154.254	424.990349	515.555099	270.737	361.301
미시령	411.439	425.65779	519.245523	14.218	107.806
미산	272.323	241.813483	952.838529	-30.509	680.516
백운	64.380	62.7384013	66.627745	-1.642	2.248
탐동 2지구	41.560	26.5964017	41.908267	-14.964	0.348
표준오차				136.618	388.995

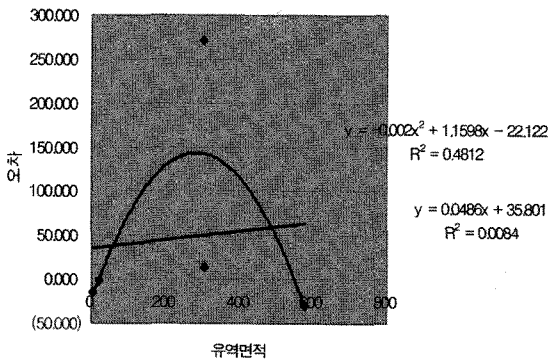


그림 13. 유역면적에 따른 한계유량(2차식) 추정식과 오차 분포

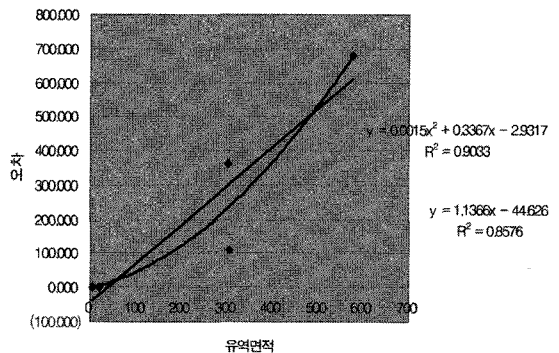


그림 14. 유역면적에 따른 한계유량(1차식) 추정식과 오차 분포



표 9. 하천밀도에 의한 한계유량( $m^3/sec$ )의 추정값과 오차

유역명	한계유량		오차 (잔차)
	계산값	추정값	
내면	154.254	198.060	43.807
미시령	411.439	49.260	-362.179
미산	272.323	171.660	-100.662
백운	64.380	191.383	127.003
탑동2지구	41.560	99.962	58.402
표준오차			245.794

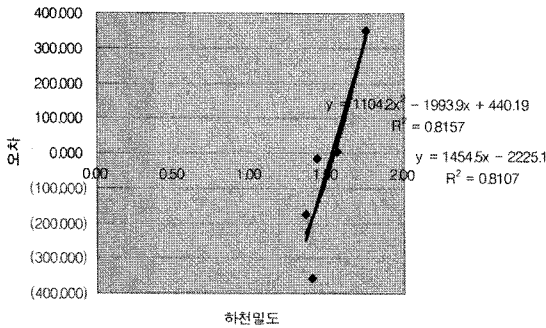


그림 15. 하천밀도에 따른 한계유량(2차식) 추정식과 오차 분포

여기서,  $Y_2$ 는 한계유량,  $X$ 는 유역면적에 해당한다.

표 9는 하천밀도와 한계유량의 분석결과 적합도가 90% 이상인 인자들에 대하여 한계유량 계산값과 추정값 및 오차를 계산하여 나열한 것이다.

그림 15는 하천밀도 오차(한계유량)에 대한 회귀분석 결과(2차식,  $R^2=94%$ )로서, 오차분포에 대한 2차식의 결정계수( $R^2$ )가 82%, 1차식이 81%로서 적합도가 비교적 낮은 것으로 분석되었다. 따라서 이러한 결과는 한계유량 추정식을 도출하기에는 부적합하다고 판단된다.

#### 4. 결 론

이 연구에서는 소하천 유역의 돌발홍수 특성을 연구하기 위하여 GIS를 이용하여 DEM으로부터 하천 및 유역의 형태학적 특성인자를 추출하고 GIUH 매개변수와 상관성을 분석하였고 돌발홍수를 예측한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 한계유량과 유로연장, 유역면적 및 하천밀도의 경우에 각각 높은 적합도를 갖는 것으로 분석되었다.

둘째, 적합도 분석결과를 토대로 하천 형태학적 특성인자가 한계유량에 미치는 영향을 분석하기 위해 한계유량

추정식을 도출하였으며 향후에 대·중·소유역에 해당하는 사례를 추가로 수집하여 보다 일반적인 추정식을 도출하는데 도움이 될 것으로 판단된다.

#### 참고문헌

1. 박인찬, 조원철, 2000, 지형학적 순간단위유량도를 이용한 미계측 유역에서의 유출에 관한 연구, *한국수자원학회 학술발표회 논문집*, pp. 185-190.
2. 신현석, 김홍태, 박무중, 2004, GIUH매개변수와 지형특성인자의 상관성 검토에 관한 연구, *대한토목학회 논문집*, Vol. 24, No. 1B, pp. 55-62.
3. 심재현 외 3인, 2004, 자동우량경보시스템 개선방안에 관한 연구, *방재연구 논문집*, 제 6권 제 2호.
4. 양인태, 최영재, 1999, GIS의 그리드 분석 기법에 의한 수문 지형인자 추출, *한국측량학회지*, 제 17권 제 4호, pp. 349-357.
5. 오명진, 2005, *돌발홍수의 한계유량산정에 관한 지형인자의 영향*, 강원대학교, 박사학위논문.
6. 유복모, 2004, *지형공간정보학*, 동명사.
7. 이순탁, 1987, 하천 유출량 산정을 위한 GIUH모델, *한국수문학회지*, 제 20권, 제 4호, pp. 267-278.
8. 최철용, 1999, *지형공간정보체계를 이용한 수문지형인자 결정에 관한 연구*, 부산대학교 박사학위논문.
9. 국립공원 설악산 관리사업소, 2002, 자동우량 경보시설 기준설정.
10. Gupta, V. K., E. Waymire and c. t. Wang., 1980, Representation of an Instantaneous unit hydrograph from Geomorphology, *Water Resource Research* 16(5), pp. 855-862.
11. Gupta, V. K., Waymire, E. & Rodriguez-Iturbe, I., 1986, On scales, gravity and network structure in basin runoff, In : *Scale Problems in Hydrology* (ed. by V. K. Gupta, I. Rodriguez-Iturbe & E. F. Wood), D. Reidel, Norwell, Massachusetts, pp. 159-184.
12. Gupta, V. K. & Mesa, O. J., 1988, Runoff generation and hydrologic response via channel network geomorphology-recent progress and open problems, *J. Hydrol.* 102, pp. 3-28.
13. Rinaldo, A., Rodriguez-Iturbe, I., Rigon, R., Bras, R. L., Ijjasz-Vasquez, E. & Marani, A., 1992, Minimum energy and fractal structures of drainage networks, *Wat. Resour. Res.* 28, pp. 2183-2195.
14. Rodriguez-Iturbe, I., Devoto, G. and Valdes, J. B., 1979, Discharge Response Analysis and Hydrologic Similarity : The Geomorphological Structure of Hydrologic Response, *WRR*, No. 150, pp. 1409-1420.
15. Rodriguez-Iturbe, I., M. G. Sanabria, and R. L. Bras., 1982(a), A Geomorphoclimatic Theory of the Instantaneous Unit Hydrograph, *Water Resources Research*, Vol. 18, No. 4, pp. 887-886.
16. Rodriguez-Iturbe, I., Rinaldo, A., Rigon, R., Bras, R. L. & Ijjasz-Vasquez, E., 1992, Energy dissipation, runoff production, and the three-dimensional structure of channel networks, *Wat. Resour. Res.* 28, pp. 1095-1103.