

## GIS를 이용한 한계유량과 GcIUH 매개변수간의 상관성분석에 관한 연구

### Study of Correlation Between Flash Flood and GcIUH Parameters using GIS

양인태\* · 박 건\*\*

Yang, In Tae · Park, Kheun

#### 요 旨

최근 기상 이변에 따라 단시간에 집중되는 돌발홍수에 의해 해마다 막대한 인적, 물적 피해를 입고 있다. 이러한 국지성호우에 의한 산지하천이나 미소하천에서 첨두유출량을 예측하기 위한 도구로서 GIS를 적용하고 있는 추세이다. 하지만 수문학적 접근이 주를 이루고 있으며 GIS를 이용한 지형분석으로의 접근은 매우 미비한 실정이다. 본 연구에서는 돌발홍수를 발생시키는 강우량을 GIS기법과 GcIUH의 모형을 연계하여 산정하였고, 유역별 GcIUH 매개변수를 추출하여 한계유량에 따른 GcIUH 매개변수간의 상관관계를 분석하였다.

핵심용어 : GIS, GcIUH, 돌발홍수

#### Abstract

Concentrated localized torrential rains due to global warming and climate change have resulted in much water damage each year. GIS is used as a tool for predicting the peak-outflows caused by these regional torrential rains in mountainous rivers. However, the research of the resolution of the data is limited, and most of approaches are about hydrological geographic. This paper estimates the flood discharge needed for decision of standard rainfall of automatic rainfall warning system by using GIS with GcIUH model, and establishes the criteria of flash flood warning. It also has analyzed the terrain in river basin, extracted the morphological characteristics parameters of water shed such as stream width, channel slope, channel length, shape factor, and GcIUH parameters, and analyzed the relationship between them.

Keywords : GIS, GcIUH, Flash Flood

#### 1. 서 론

최근 지구 온난화 등 기상 이변에 따라 단시간에 집중되는 국지성 집중호우는 해마다 막대한 인적, 물적 피해를 입히고 있다. 또한 최근 집중호우로 인해 2010년의 경북고령 상류지역의 제방의 유실, 송추 및 장항 지역의 토사류 및 산사태로 인한 피해 등은 전형적인 돌발홍수(Flash Flood)의 양상을 보이고 있다(Yang, In Tae, 2007). 대하천의 경우에는 국가 또는 지방의 계획 관리하에 유지되고 있어 홍수 예·경보시스템을 통해 본 류구간에서의 인명 혹은 재산피해는 과거에 비하여 상

당히 감소하였으나, 산지하천이나 미소하천 유역은 수위나 유량자료가 없는 미계측유역으로 수공구조물 설계나 자연재해 발생 시 정확한 유출량 추정이나 홍수 피해 경감을 위한 적절한 대책수립이 어렵다(Oh, Myong Jin, 2006). 이에 기존의 홍수 예·경보시스템이 아닌 첨두유출량을 예측하여 돌발홍수에 대한 홍수 예·경보의 수립이 필요하다. 이러한 국지성호우에 의한 첨두유출량을 예측하기 위한 한 도구로서 지리정보시스템(GIS, Geographic Information System)을 적용하고 있다(Baek, Seung In, 2004). 하지만 GIS는 지형에 따라 수문학적 지형인자의 특성치가 크게 달라져 자료해상도

2013년 8월 27일 접수, 2013년 9월 26일 수정, 2013년 11월 5일 채택

\* 정희원 · 강원대학교 공과대학 토목공학과 교수(Member, Professor, Dept. of Civil Engineering, Kangwon National university, [intae@kangwon.ac.kr](mailto:intae@kangwon.ac.kr))

\*\* 교신저자 · 정희원 · 강원대학교 대학원 토목공학과 박사수료(Corresponding author, Member, Ph.D. Candidate, Dept. of Civil Engineering, Kangwon National university, [pk9275@korea.com](mailto:pk9275@korea.com))

에 있어서 연구에는 한계가 있는 실정이고, 수문학적 접근이 주를 이루고 있으며 GIS를 이용한 지형분석으로의 접근은 매우 미비한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 돌발홍수를 발생시키는 기준강우량을 GIS기법과 지형기후학적순간단위유량도(GcIUH, Geomorphoclimatic Instantaneous Unit Hydrograph)의 모형을 연계하여 산정하였다. 또한 하천유역에 대한 지형분석을 수행하고, 유역별로 하천 형태학적 특성인자인 유역면적, 하도경사, 유로연장, 형상계수, 분기율 등 그들을 이용하여 GcIUH 매개변수를 추출하고 이 특성들 간의 상관성을 구하여 그의 영향을 분석하였다.

## 2. 연구방법

본 연구에서는 소하천 유역의 한계유량산정 시 지형인자의 일반적 영향을 연구하기 위해서 Fig.1과 같이 서부의 경기도 북부지역의 연천군 동막골계곡지구(A), 동두천 탐동계곡지구(B), 중부의 강원도 영서지역의 횡성군 병지방계곡(C), 중부의 강원도 영동지역의 삼척시 덕풍계곡지구의 하천유역(D)을 선정하였다.

GIS를 이용하여 DEM으로부터 하천과 유역을 추출하여 데이터베이스를 구축하였으며 한계유량 결정, 하천 및 유역의 형태학적 특성인자를 계산하고 GcIUH 매개변수와 상관성을 분석하였다. 연구내용은 다음과 같다.

- 1:25,000 수치지도를 이용하여 DEM을 제작하였고, DEM으로부터 하천 및 유역을 추출하여 데이터베이스를 구축하였다.
2. 먼저 연구대상지역을 각 유역별로 하천 및 유역의 형태학적 특성인자를 계산하기 위한 하천 및 유역 정보를 추출하였다. 유역별로 하천 형태학적 특성인자인 유역면적, 유역둘레, 유역경사, 유로연장, 형상계수, 유역평균폭 등과 GcIUH 매개변수를 계산하고 이 특성들 간의 상관성을 분석하였다
3. GcIUH의 매개변수를 계산하여 연구대상지역별로 한계유량을 계산하였다.



Figure 1. Research area

미계측유역에서 GcIUH를 사용함에 있어 곤란한 점은 침투속도  $V$ 에 의존해야 하는 점이다. 이것은 주관적으로 결정되는 매개변수이므로  $V$ 는 유효강우강도와 강우지속시간의 함수로 표시된다고 정의하고  $V$ 를 결과들에서 제거하였다(Rodriguez-Iturbe,1982). 가장 유용한  $q_p$ 와  $t_p$ 는 식 (1), 식 (2)와 같이 재정의되었다.

$$q_p = \frac{0.871}{\Pi_i^{0.4}}, \quad t_p = 0.585 \Pi_i^{0.4} \quad (1)$$

$$\Pi_i = \frac{L^{2.5\Omega}}{(i_r A_\Omega R_L a^{1.5\Omega})} a_\Omega = \frac{S_\Omega^{0.5}}{(n \times b_\Omega^{2/3})} \quad (2)$$

$i_r$ 은 평균 유효강우강도이다. 식 (3)은 단순한 광폭 사각형단면 하천의 Manning의 식이다. 위의 식에서  $S_\Omega$ 와  $b_\Omega$ 는 유역에서 최고차 하천의 평균경사와 평균 폭이다.  $n$ 은 Manning의 조도계수에 해당한다. 특성치  $q_p$ 와  $t_p$ 를 가지는 삼각 순간 단위 유량도를 가정하고, 이를 유효강우강도  $i_r$ 과 지속기간  $t_r$ 을 가지는 균등한 사각형의 강우를 이용해 회선적분을 실행하면 유출 수문곡선의 침투치에 대한 다음과 같은 식을 유도할 수 있다. (Beven, 1993)

$$Q_p = 2.42 \frac{i_r A_\Omega t_r}{\Pi_i^{0.4}} \left( 1 - \frac{0.218 t_r}{\Pi_i^{0.4}} \right), \quad T_p = 0.585 \Pi_i^{0.4} + 0.75 t_r \quad (3)$$

이 식들은 강우와 유출관계가 입력치와 출력치를 가지고 행하는 매개변수 조정 (Calibration)에 독립적이고 이론적으로 단지 지형학적 자료와 기후자료만의 함수임을 나타낸다. 지형·기후학적 순간단위유량도(GcIUH)는 입력치  $i_r$ 에 의존하기 때문에 전통적인 방법들에서의 선형적 가정과는 상이한 면을 나타낸다.(Gupta, 1980)

### 2.1 DEM으로부터 하천 및 유역 추출

지표면의 형태는 물이 지표면 위를 어떻게 흐를 것인지를 결정한다. DEM을 이용하면 유역의 위치와 형상 등을 알 수 있으며, 그 유역에 해당하는 각종의 자연적 특징을 정량화 할 수 있다. 일반적으로 격자형 모형 체계들은 격자상의 임의의 위치를 선택하면 그 위치가 갖는 상향경사와 물이 흐를 때 형성되는 하향경로를 추적할 수 있다(Shin, Moon Seung, 2012).

수계와 유역은 격자를 이용한 DEM으로부터 추출할 수 있으며, 대부분의 지표 수문 모형들의 입력자료로 이용된다. 지표면에 관련된 많은 정보가 고도행렬(격자

행렬)이나 불규칙삼각망에 근거한 DEM으로부터 산출되는데, DEM으로부터 경사, 경사방향, 배수유역, 수계망을 결정하는 방법과 알고리즘에 대하여 알아야 한다. 배수유역과 수계망을 계산하는 알고리즘은 규칙적인 격자에 근거한 DEM을 이용하는 것이 편리하다.

2.2 수계망추출

격자형 자료는 ArcGIS의 격자형 모듈에서 작업을 수행하였다(Fig. 2). 격자 형태의 격자형 자료는 DEM에서 가장 일반적인 수치자료로써 지표의 지형특성을 정량화하기 위해 격자형 분석에 입력자료로 이용되며, Fig. 3과 같은 순서로 자료를 입력하여 격자형 내의 모든 셀로부터 흐름 방향을 결정한다.

또한 고도행렬에서 흐름 방향 함수를 사용하여 수행하는데, 셀에서 방향값을 갖는 유로의 방향을 8방향으로 정한다.

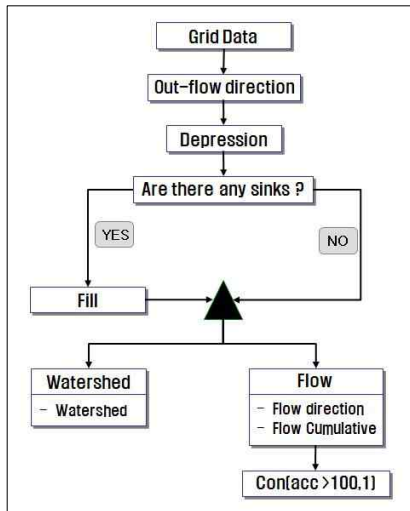


Figure 2. Extraction of river channel and basin from DEM

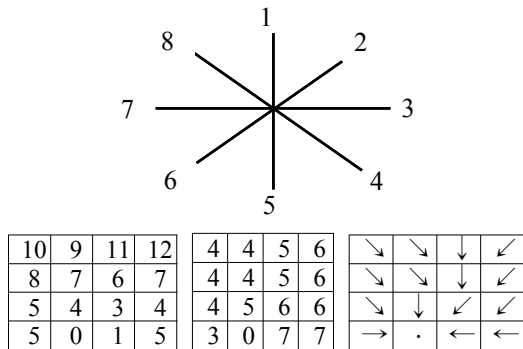


Figure 3. Extraction of river channel and basin from DEM

본 연구에서는 흐름 누적 임계값을 300~1,100 등으로 변화시켜 가면서 하천을 추출하고, 그 결과 어느 것이 지형도의 수계망과 유사한가를 확인해 보았다. DEM에서 유역을 생성하기 위해서는 추출된 수계망을 기초 자료로 이용한다. 수계망에서 구하고자 하는 유역의 출구부분과 같은 좌표를 찾아 점 자료만 있는 점 포괄영역을 만들고, 점 포괄영역을 격자형 자료로 변환한 후, 흐름 방향 결정에서 만들어 놓은 격자형 자료와 함께 유역 추출 함수에 입력하여 중첩시킨다. 유역 추출 함수를 사용하여 유역을 추출하는 과정을 나타낸 그림이다 (Fig. 4). 추출한 수계망을 벡터형의 자료로 변환하고, 원하는 유출 지점에 점을 추가하여 점만을 갖는 포괄영역을 구축한 다음 이것을 다시 격자형 분석에 사용할 수 있는 래스터형태의 격자형 자료로 변환한다. 본 연구에서는 1:25,000 수치지도는 DEM을 생성하고 이로부터 추출정도 및 하천수계 등을 눈으로 식별하기 위해 사용하였다. 정밀도 높은 DEM을 효율적으로 생성하기 위해서 각각의 수치 등고선도를 ArcGIS에서 위상을 갖는 Coverage로 변환시킨 후에 MapJoin 과정을 거쳐 하나의 수치등고선도를 생성하였다. ArcGIS에서 생성된 Coverage를 TIN을 생성하였고, 최종적으로 TIN을 기반으로 한 대상유역의 DEM자료를 생성하였다.

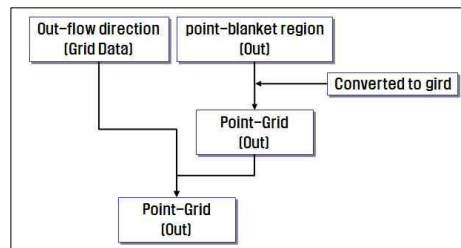


Figure 4. Extraction of Basin

2.3 유역별 GIS DB구축

다음은 격자크기 30m DEM자료와 DEM에서 추출된 유역 및 하천을 나타내고 있다(Fig. 5~Fig. 8).

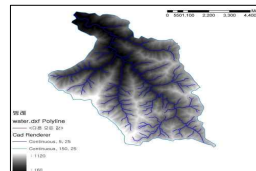


Figure 5. Catchment/basin map and DEM of Deokpung river basin

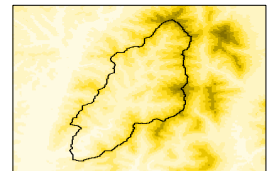


Figure 6. Catchment/basin map and DEM of Dongmakgol river basin

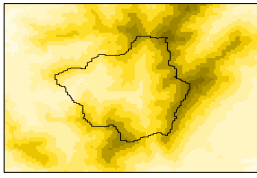


Figure 7. Catchment basin map and DEM of Tapdong river basin

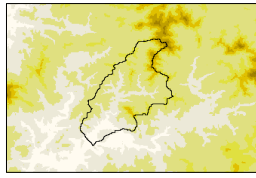


Figure 8. Catchment basin map and DEM of Byeongjibang river basin

### 3. 결과분석

#### 3.1 GcIUH적용을 위한 매개변수 산정

GcIUH를 적용하기 위해서는 유역특성과 하천차수에 따른 특성 등이 필요하다. 유역특성자료는 토지 이용별, 토양형별 CN값과 유역면적, 유로연장, 하천차수 등이 필요하다(Chun, Ki Sun, 1999). Table 1에서 제시하고 있는 값들은 수치지도를 이용하여 DEM을 생성하여 추출한 자료이며, Table 2는 DEM에서 추출된 유역별 하천차수 별 개수, 길이, 경사도를 나타내었다.

경보발령 기준에 의해 작성된 경보발령우량을 산정하기 위하여 GcIUH를 적용하였다. 여기서는 4개의 유역 중에서 삼척시 덕풍계곡지구를 선정하여 시범적으

로 유역특성, GcIUH적용을 위한 매개변수, 강우량별-지속시간별 한계유량과 강우량별-지속시간별 한계유량 발생시간을 분석한 결과를 서술하고 나머지 3개 지역은 결과만 기술하였다.

Table 3과 같이 덕풍계곡에서의 강우량-지속시간별 한계유량과 발생시간의 특성을 파악한 결과 최근 20분 동안 강우량이 19.71mm가 발생하면, 경계경보가 발생하는 수심 0.5m에 달하는 한계유량은  $28.16m^3/sec$ 가 발생하는 것으로 산정되었다. 지속시간을 고려하지 않고, 강우량만으로 경보발령기준을 제시하는 경우는 침투유량의 발생시간을 전혀 고려하지 못하는 단점이 있기 때문에 단위시간당 강우량의 고려가 필요하였다. 이에 강우의 지속시간을 10분에서 120분에 이르기 까지 10분씩 증가시켰으며, 강우량-지속시간별 한계유량을 파악하기 위하여 최악조건인 초기손실량( $l_a=0$ )을 무시하여 산정하였다. 그리고 강우강도를 고려하기 위해서는 현재의 강우가 증가추세에 있는지 혹은 감소추세에 있는가를 판단하여야 하나, 강우량이 10분당 1mm씩 증가하더라도 증가추세에 있으므로 이에 대한 기준의 설정이 중요하다. 따라서 Table 4와 같이 강우량-지속시간별 한계유량과 20분간의 누가 강우량을 기준으로 한 경계경보발령기준을 각 유역별로 산정하였다.

Table 1. Derived topographical properties

Basin name	Watershed area (km <sup>2</sup> )	River basin Length (km)	River basin slope (m/m)	Average width of the watershed (km)	shape factor	River Width (m)	CN	n
Deokpung	50.25	16.51	0.047	3.04	0.184	27.3	61	0.050
Byeongjibang	59.07	19.48	0.040	3.03	0.156	30.8	72	0.035
Dongmakgol	46.23	16.64	0.028	2.78	0.167	40.5	52	0.040
Tapdong	12.26	5.159	0.051	2.38	0.032	11.2	59	0.050

Table 2. Topographical properties of stream order

Basin name	Stream order						
	1	2	3	4	5	6	
Number of stream order	Deokpung	76	16	4	1	-	-
	Byeongjibang	75	20	6	2	1	-
	Dongmakgol	76	16	3	1	-	-
	Tapdong	23	5	2	1	-	-
Length of stream order (km)	Deokpung	0.513	1.498	2.900	8.960	-	-
	Byeongjibang	0.601	0.854	2.877	1.820	8.101	-
	Dongmakgol	0.497	1.192	2.387	10.435	-	-
	Tapdong	0.448	0.746	1.102	2.341	-	-
Slope of stream order(%)	Deokpung	0.350	0.222	0.110	0.730	-	-
	Byeongjibang	0.336	0.255	0.220	0.197	0.145	-
	Dongmakgol	0.349	0.221	0.210	0.823	-	-
	Tapdong	0.272	0.193	0.169	0.141	-	-

Table 3. Possible hazards rainfall on duration basis of Deokpung river basin

Time (min)	RT(mm), d=0.5m			Reff (mm)	RT(mm) d=0.7m	RT(mm) d=1.0m
	Ia=0	Ia=0.1S	Ia=0.2S		Ia=0	Ia=0
10	17.53	24.59	31.66	3.49	21.99	28.14
20	19.71	26.77	33.83	4.30	24.82	31.92
30	21.17	28.23	35.29	4.88	26.73	34.51
40	22.30	29.36	36.42	5.35	28.23	36.56
50	23.24	30.30	37.37	5.76	29.49	38.31
60	24.07	31.13	38.19	6.12	30.60	39.86
70	24.81	31.87	38.93	6.45	31.60	41.28
80	25.48	32.54	39.60	6.76	32.52	42.59
90	26.11	33.17	40.23	7.05	33.38	43.82
100	26.69	33.75	40.81	7.32	34.19	45.00
110	27.24	34.30	41.36	7.59	34.96	46.13
120	27.77	34.83	41.89	7.84	35.69	47.22
Qd	28.16				49.34	89.40

Table 4. Calculation of flash flood warning standard (mm/20min)

Basin name	Limiting flow( $m^3/sec$ )	Warning standard(mm/20min)
Deokpung	28.16	19.71
Byeongjibang	139.84	12.62
Dongmakgol	129.37	16.95
Tapdong	26.43	15.51

Table 5. Result of correlation coefficient analysis for watershed characteristics

		River basin Length	Watershed area	River basin slope	Shape factor	Bifurcation ratio	River discharge	Stream density	Law of stream length
River basin Length	Pearson Correlation coefficient	1	.991	-.561	-.165	.082	-.352	.553	.298
	P-value(Both)		.009	.439	.835	.918	.648	.447	.702
Watershed area	Pearson Correlation coefficient	.991	1	-.487	.859	.061	-.343	.486	.247
	P-value(Both)	.009		.513	.141	.939	.657	.514	.753
River basin slope	Pearson Correlation coefficient	-.561	-.487	1	-.313	-.002	.657	-.336	-.135
	P-value(Both)	.439	.513		.687	.998	.343	.664	.865
Shape factor	Pearson Correlation coefficient	-.165	.859	-.313	1	.347	-.071	.776	.585
	P-value(Both)	.835	.141	.687		.653	.929	.224	.415
Bifurcation ratio	Pearson Correlation coefficient	.082	.061	-.002	.347	1	.259	.674	.892
	P-value(Both)	.918	.939	.998	.653		.741	.326	.108
River discharge	Pearson Correlation coefficient	-.352	-.343	.657	-.071	.259	1	-.004	.039
	P-value(Both)	.648	.657	.343	.929	.741		.996	.961
Stream density	Pearson Correlation coefficient	.553	.486	-.336	.776	.674	-.004	1	.924
	P-value(Both)	.447	.514	.664	.224	.326	.996		.076
Law of stream length	Pearson Correlation coefficient	.298	.247	-.135	.585	.892	.039	.924	1
	P-value(Both)	.702	.753	.865	.415	.108	.961	.076	



3.2 지형기복 특성인자 상관성 분석

Table 5은 상관분석에 사용된 유역인자들을 별도로 정리하여 인자별 상관분석 결과 계산된 결정계수(R<sup>2</sup>)값을 나열한 것이다. 인자별 상관분석 결과 유역면적과 유로연장, 형상계수와 유로연장, 유역면적과 형상계수, 하천길이법칙과 하천분기비, 하천밀도와 하천길이법칙이 분석결과 상관성이 높은 것으로 분석되었다. Fig. 9 ~ Fig. 12는 Table 6에서 상관성을 나타내는 결정계수

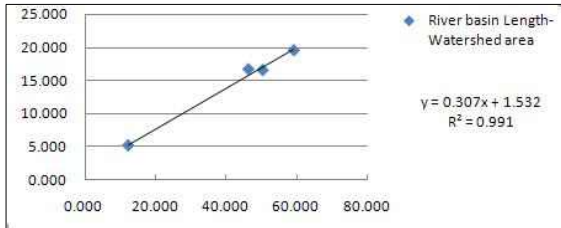


Figure 9. Correlation analysis between river basin length and watershed area

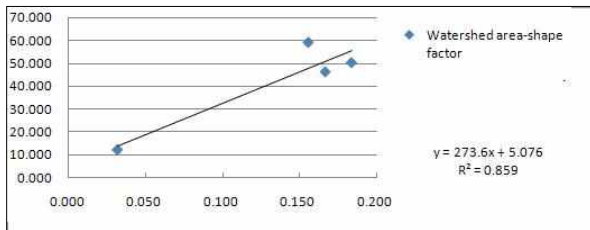


Figure 10. Correlation analysis between watershed area and shape factor

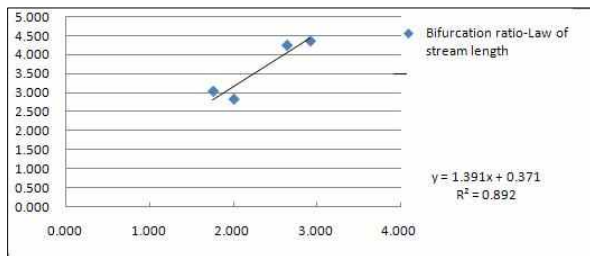


Figure 11. Correlation analysis between bifurcation ratio and law of stream length

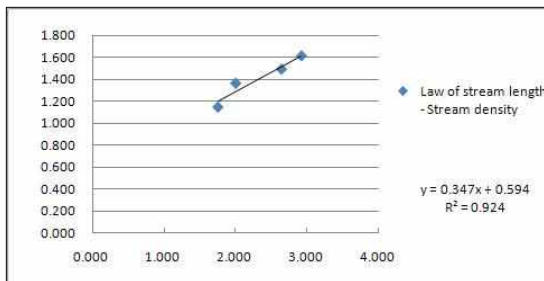


Figure 12. Correlation analysis between law of stream length and stream density

Table 6. Correlation analysis between limiting flow and watershed characteristics

Watershed characteristics	Correlation(R <sup>2</sup> )	
	1	2
River basin length	0.458	0.577
Watershed area	0.393	0.411
River basin slope	0.980	0.743
Shape factor	0.201	0.958
Bifurcation ratio	0.006	0.943
River discharge	0.745	0.955
Stream density	0.213	0.233
Law of stream length	0.057	0.057

가 80%이상인 분석결과를 도시한 것이다. 유로연장과 유역면적의 상관성이 99%, 유역면적과 형상계수의 상관성이 85%, 분기비와 하천길이의 법칙 상관성이 89%, 하천길이법칙과 하천밀도에 대한 상관성이 92%로 계산되었다.

한계유량과 유역인자들 간의 상관성을 분석하기위해 각각의 관계식을 도출하여 그래프로 나타낸 결과 중에서 상관성이 높은 것만을 그래프로 나타낸 것이 Fig. 13 ~ Fig. 16이며, 유역특성인자를 포함하여 상관계수를 정리한 결과 Table 6과 같다.

Fig. 13는 한계유량과 유역경사의 상관성분석 결과를 나타낸 것으로서, 추정된 관계식의 경우 1차식이 98%, 2차식이 74%의 상관성을 보이고 있다. Fig. 14은 한계유량과 형상계수의 상관성분석 결과를 나타낸 것으로서 추정된 관계식의 경우 1차식이 20%, 2차식이 96%의 상관성을 보이고 있다. Fig. 15은 한계유량과 분기비의 상관성분석 결과를 나타낸 것으로서 추정된 관계식의 경우 1차식이 0.6%, 2차식이 94%의 상관성을 보이고 있다. Fig. 16은 한계유량과 하천밀도의 상관성분석 결과를 나타낸 것으로서 추정된 관계식의 경우 1차식이 74%, 2차식이 96%의 상관성을 보이고 있다.

즉 유역의 형상계수, 분기율 및 유출량은 2차 다항식의 경우 0.900이상의 높은 상관도를 보이는 인자로서 정확하게 추출되어야 하며, 유역경사와의 상관도는 1차 다항식의 경우에 상관도가 0.743으로 높았으며 이 또한 정확한 유역경사 산출의 중요성을 보여주고 있다. 유역길이와 면적은 곧 유역의 형상계수의 매개변수로서 0.577과 0.411로 형상계수에 매우 크게 반영되었음을 알 수 있으나 유역길이와 면적 자체의 단독인자로서는 한계유량에 아주 크게 영향을 미치지 않는 것을 알 수 있다. 하천길이의 법칙은 한계유량과 무관하며, 하천밀도 역시 한계유량산정에는 큰 영향을 주지 않는다.

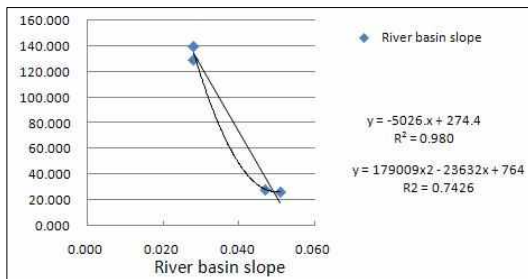


Figure 13. Correlation analysis between limiting flow rate and river basin slope

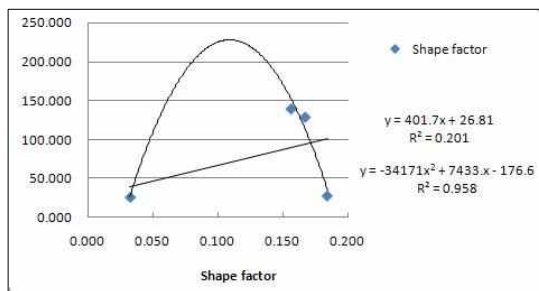


Figure 14. Correlation analysis between limiting flow rate and shape factor

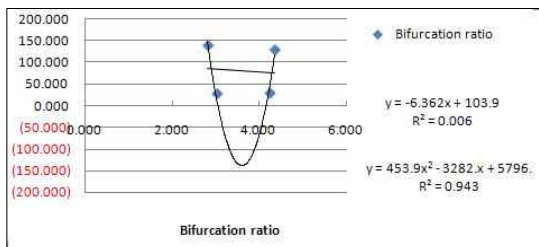


Figure 15. Correlation analysis between limiting flow rate and bifurcation ratio

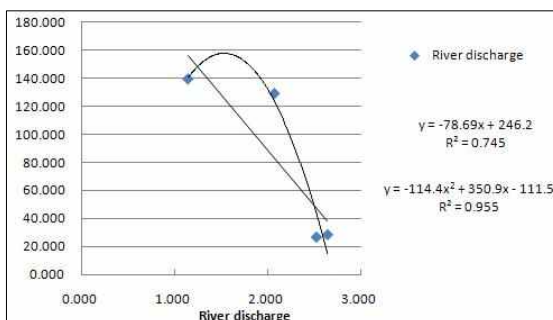


Figure 16. Correlation analysis between limiting flow rate and river discharge

#### 4. 결 론

이 연구에서는 소하천 유역의 돌발홍수 특성을 연구하기 위하여 GIS를 이용하여 DEM으로부터 하천 및

유역의 형태학적 특성인자를 추출하고 GcIUH 매개변수와 상관성을 분석하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 강우량별-지속시간별 한계유량과 발생시간을 기준으로 한 유역별 경계경보발령 기준을 제시할 수 있었다.

둘째, 한계유량 결정시의 유역인자특성의 적용은 형상계수, 분기율, 유출량의 경우 2차 다항식을 적용하고, 유역의 경사는 1차 다항식을 분석해야할 필요가 있다.

셋째, GIS를 이용할 경우 GcIUH 모델의 매개변수를 효과적으로 추출할 수 있었다.

#### References

1. Baek, Seung In, 2004, Effect of watershed characteristics on the criteria of Flash Flood warning, master's thesis, Kangwon National Univ. p. 12.
2. Beven, K. & Wood, E. F., 1993, Flow routing and the hydrological response of channel network, In : Channel network Hydrology(ed. by K. Beven & M. Kirby), Wiley, New York, pp. 99-128.
3. Chun, Ki Sun, 1999, Analysis of A tershed Terrain Factors using Digital Elevation Mode, master's thesis, Kangwon National Univ. pp. 20-23.
4. Dongducheon Ctiy Hall, 2004, A Study on Wanning Criteria Investigation of Automated Rainfall Warning System.
5. Dongducheon Ctiy Hall, 2009, Fundamental Planning Report for River Improvement Works.
6. Gupta, V. K., E. Waymire and c. t. Wang. 1980, Representation of an Instantaneous unit hydrograph from Geomorphology, Water Resource Research 16, pp 855-862.
7. Hoengseong County Office, 2004, A Study on Wanning Criteria Investigation of Automated Rainfall Warning System.
8. Hoengseong County Office, 1999, Fundamental Planning Report for River Improvement Works.
9. Oh, Myoung Jin, Yang, In Tae, Park, Byung su, 2006, An Analysis for Goodness of Fit on Trigger Runoff of Flssh Flood and Topographic Parameters Using GIS, The Korean Society for GeoSpatial Information System, pp. 87-95.
10. Rodriguez-Iturbe, I., Gonzalez-Sanabia, M., and Bras, R. L., 1982, A Geomorphoclimatic Theory of the Instantaneous Unit Hydrograph, Water Resources

- Research, Vol. 18, No. 4, pp. 877-886.
11. Samcheok City Hall, 2008, Fundamental Planning Report for River Improvement Works.
  12. Samcheok City Hall, 2010, A Study on Warning Criteria Investigation of Automated Rainfall Warning System.
  13. Shin, Moon Seung, 2012, Research on Peak Discharge in the Vicinity of Mountain District River Basin of Resorts and Attractions with Comparative Analysis Utilizing GIS and GCIUH Parameters, master's thesis, Kangwon National Univ.
  14. Yang, In Tae, Park Jae Kook, Jun, woo Hyen, 2007, An assessment for effect of landslide on Maximum Continuous Rainfall using GIS, The Korean Society for GeoSpatial Information System, pp 413-423.
  15. Yeoncheon County Office, 2004, A Study on Warning Criteria Investigation of Automated Rainfall Warning System.
  16. Yeoncheon County Office, 1999, "Fundamental Planning Report for River Improvement Works.
  17. Yeoncheon County Office, 1999, "Fundamental Planning Report for River Improvement Works.