

## GIUH적용을 위한 DEM 격자크기 및 Threshold Area의 민감도분석

### Sensitivity Analysis of GIUH Model Applied to DEM Resolutions and Threshold Areas

조 효 섭\* / 정 관 수\*\* / 김 재 한\*\*\*

Cho, Hyo Seob / Jung, Kwan Sue / Kim, Jae Han

#### Abstract

Hydrologic models generally require land surface analysis to different topographic parameters defined as direct or indirect input variables to the model. Specially GIS supply the these parameters from digital data set of land surface. The sensitivity analysis to DEM(Digital Elevation Model) resolution and the threshold area are of GIS extracted digital data set applied GIUH(Geomorphological Instantaneous Unit Hydrograph)model is investigated. Also It is compared the responses of GIUH model as input data of stream networks from digital data set(blue line) of NGIS and those extracted from DEM of various grid sizes. The results shows that the GIUH model is significantly affected by the DEM resolution and threshold area. According to the results, DEM grid size is suitable from 25m to 50m. Also threshold area is in the range of 30%~50% for exceedance probability.

**Keywords :** DEM resolution, Threshold area, GIS, GIUH, Sensitivity Analysis

#### 요 지

일반적으로 수문모형은 직접 또는 간접적으로 정의되는 지형매개변수에 대한 지형학적 해석을 필요로 한다. GIS는 지형의 수치자료로부터 이러한 매개변수를 추출하여 제공할 수 있다. 따라서 본 연구는 수치지형도상의 실제 하천망 및 threshold area를 추출하고, 정방행렬의 고도수치를 표현하는 수치고도모형(Digital Elevation Model : DEM)로부터 하천망을 추출시, 실제 지형도상에서 나타나는 threshold area의 통계적 변화에 따른 변화를 검토하였다. 또한 실제 수치지형도에서 추출한 유역의 지형매개변수와 DEM으로부터 추출한 지형매개변수를 지형학적 순간단위도(Geomorphological Instantaneous Unit Hydrograph : GIUH)모형의 입력자료로 활용될 때, DEM

- \* 일신하이텍 기술연구소 소장  
Chief(Vice Director),Tech.Ins.of ILSHIN-HiTech Co.,7th. Samwon B/D,1329-8,Seocho-Dong, Seocho-Gu, Seoul 137-858, Korea  
(E-mail : Chohs@cnu.ac.kr)
- \*\* 충남대학교 토목공학과 부교수  
Associate Professor, Dept. of Civil Engrg., ChungNam National Univ. Daejeon 305-764  
(E-mail : Ksjung@cnu.ac.kr)
- \*\*\* 충남대학교 토목공학과 교수  
Professor, Dept. of Civil Engrg., ChungNam National Univ. Daejeon 305-764  
(E-mail : Kjh@cnu.ac.kr)

의 격자 크기와 하천망 추출에 필요한 threshold area의 변화에 대한 유역 특성 고유치의 민감도를 분석한 것이다. 본 연구 결과 DEM의 격자크기와 threshold area의 변화에 따라 GIUH 모형은 민감하게 변화하고 있음을 알 수 있었으며, 보청천 산성교 적용 대상지역의 경우 DEM격자크기는 25m~50m의 크기가 적당하고, 하천망을 추출할 때 사용되는 threshold area는 초과확률 30%~50%크기가 적정함을 보여줬다.

**핵심용어** : DEM격자크기, GIUH, Threshold area, GIS, Sensitivity Analysis

## 1. 서론

최근 GIS는 수문 및 수리모형에 대한 입력자료로서 유역의 지형 및 수문특성 등을 추출하는 수단으로서 많이 사용되어 지고 있다. 특히 미계측 유역에 적용 가능한 지형학적 순간단위도(GIUH)의 경우에 GIS를 이용하여 미계측 유역의 지형학적 특성을 추출함으로써 그 적용성을 극대화 할 수 있는 좋은 방법으로 대두되고 있다. 또한 유역의 지형특성에 대한 흐름방향의 해석은 분산형 수문모형의 적용에 있어 필수적인 과정이며, 이러한 유역의 공간적 흐름방향에 대한 해석이나 사면수문학(Hill-slope Hydrology)에서의 축척문제(Scale)에 대한 지형해석의 가장 유용한 도구로서 GIS는 필연적인 도구로서 자리 매김하고 있다. GIS에서 DEM해석에 사용되는 알고리즘의 대부분이 정방격자형 구조형식을 취하는 것은 컴퓨터로 구현하기가 용이할 뿐만 아니라 손쉽게 처리할 수 있다는 점 때문이다. 그러나 격자형 DEM를 사용할 경우 발생하는 두 가지 문제는 격자크기의 결정과 하천을 정의하는데 사용되는 threshold area의 결정에 대한 것이다. 격자크기와 threshold area값에 의해 DEM으로부터 추출되는 하천망의 밀도, 하천의 차수, 하천망의 길이, 하천차수별 면적 등은 달라진다. 따라서 본 연구에서는 1/5,000의 수치지형도에서 하천망과 threshold area를 추출하고, 추출된 threshold area를 통계처리 한 다음 threshold area의 초과확률과 DEM격자 크기별로 하천망 및 지형특성(Horton의 분기비, 길이비, 면적비)자료를 추출하여 GIUH의 입력 값으로 할 경우에 발생하는 민감도를 분석하였다.

DEM격자 결정과 관련한 연구로서 김상현 등(1999)은 TOPMODEL의 적용에 있어 지형지수 산정을 위하여 threshold area와 DEM격자크기별로 따른 하천수에 대한 분석을 수행하였고, 김상현 등(2001)은 TOPMODEL의 운영시 필요한 지형지수계산에 활용하기 위한 분포형 흐름 분배 알고리즘 적용에 있어 DEM의 격자크기에 따른 지형지수의 변화에 대한 분석을 수행

한 바 있다.

김상현 등(2001)의 연구는 대부분 흐름분배 알고리즘에 의한 DEM의 격자를 결정하는 것이며, 하천망이 갖고 있는 실제 하천망과 DEM으로부터 추출된 하천망에 대한 수문학적 유사성을 고려한 것은 아니다. 또한 하천망의 프랙탈적인 성질과 관련하여 축척문제를 해결하기 위한 연구로서 전민우 등(1992)은 하천망의 하천 길이와 분류 하천길이를 Horton법칙을 적용함으로써 유역면적비만의 함수로 나타내어 하천망의 하천길이와 분류 하천길이에 관한 프랙탈 차원을 Horton의 하천길이비와 유역면적비의 함수로 나타낸 바 있다. 성기원(1994)은 지형학적 순간단위도를 이용한 강우-유출모형을 제안하면서 지형학적 순간단위도에 관련한 지형인자의 하나인 하천길이를 Fractal차원을 고려하여 해석한 바 있다. 고영찬(1998)은 국내 지형도의 축척 1/5,000, 1/25,000, 1/50,000의 3개 지형도를 이용하여 하천차수별로 서로 다른 프랙탈 차원을 갖는 것을 보인 바 있다. 그러나 이들 연구는 대부분 실제 지형도로부터 추출되는 하천망의 성격을 규명하고자 한 것이며, DEM자료를 이용하는 수문모형화에 대한 민감도 분석과는 거리가 있다. 국외 연구로서 Zhang 등(1994)은 미국 서부의 두 유역로부터의 고해상도 수치고도자료를 사용해서 지표면과 수문학적 모의에 대한 DEM의 격자크기의 효과를 검증 바 있으나, 그의 연구대상지역은 산악지역이고 매우 작은 소유역(0.3km<sup>2</sup>, 1.2km<sup>2</sup>)인 경우로서 평탄한 지역에도 그가 제시한 DEM셀의 크기가 적절한지에 대한 언급은 없다. 따라서 평탄한 지역을 포함하고 있는 지역에서의 수문학적 모의에 필요한 DEM의 격자크기에 대한 연구는 미약한 편이라고 할 수 있다. Helmlinger 등(1993)은 유역의 배수밀도, 배수흐름길이, 하천의 내부 및 외부연결성 등의 하천 형태학적 특성과 Horton법칙, 프랙탈 차원의 축척 특성에 입각하여 하천망을 해석한 바 있으며, Montgomery 등(1993)은 threshold area에 관한 연구로서 상수한계지지면적(Constant Critical support area)방법과 경사-종속한계지지면적(Slop-dependent critical support area)방

법을 사용하여 DEM격자의 크기를 결정하고자 하였다.

## 2. 연구 흐름도 및 GIUH 기본이론

### 2.1 연구 흐름도

본 연구는 NGIS 1/5,000 수치지형도의 등고선으로부터 DEM격자를 10, 20, 25, 30, 50, 60, 80, 100m 까지 작성하였으며, 실제하천의 threshold area값을 추출하여 통계분석 후 DEM로부터 하천망을 추출할 경우 threshold의 입력 값으로 사용하였다. 또한 실제 하천망의 Horton값(하천차수, 분기비, 면적비)과 DEM격자크기, threshold area의 초과확률 값으로부터 추출된 하천망의 Horton값들을 GIUH의 모형에 입력하여, 이 들로부터 산정 된 유출량의 침투치와 침투시간에 대하

여 비교 분석을 수행하였다. 이의 전과정을 흐름도로 나타낸 것이 그림 1이다.

### 2.2 GIUH모형 및 특성

GIUH모형은 Rodriguez-Iturbe와 Valdes(1979) (이하 RV라 칭함)가 유역의 평균유속과 지형학적 특성 으로부터 유출량의 침투시간( $T_p$ )과 침투유량( $Q_p$ )을 결정하기 위하여 처음으로 소개한 것으로 식 (1)과 (2)와 같다. 이 모형은 기본적으로 유역의 수문학적 응답인 순간단위도(IUH)와 지형학적 특성(Geomorphologic characteristics)을 조합하였다는 점이며, 미 계측 유역 에서도 지형학적 특성만을 추출할 수 있다면 적용 가능 하다는 것이 가장 큰 장점이다.

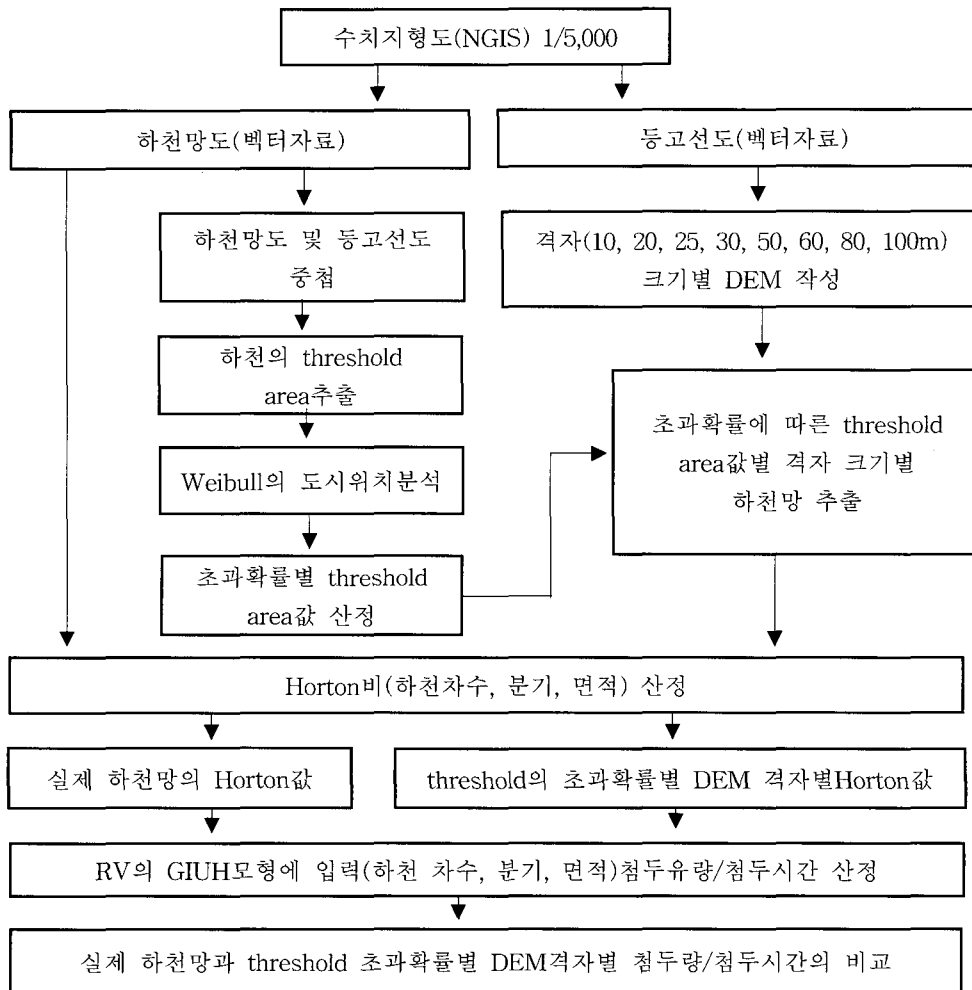


그림 1. 연구흐름도

$$T_p = 0.44 \left( \frac{R_b}{R_a} \right)^{0.55} R_l^{-0.38} \left( \frac{L_Q}{V} \right) \quad (1)$$

$$Q_p = 1.31 \left( R_l^{0.43} \right) \left( \frac{V}{L_Q} \right) \quad (2)$$

여기서, V : 유출속도, L<sub>Q</sub> : Q차수의 회전길이

RV모형에서 특이한 것은 상기 식 (1)과 (2)를 곱하면 속도(V)와 축척변수(L<sub>Q</sub>)에 독립인 다음 식 (3)을 얻을 수 있다. 식 (3)을 Rodriguez-Iturbe와 Valdes은 무차원 곱(dimensionless product : IR) 또는 비율(Ratio)라고 하였으며, 각 유역에 대하여 호우 특성에 독립인 유역 고유의 특성 상수 값이라고 하였다.

$$IR = 0.58 \left( \frac{R_b}{R_a} \right)^{0.55} (R_l)^{0.05} = 0.58 \left( \frac{R_b}{R_a} \right)^{0.55} \quad (3)$$

따라서 지형도로부터 Horton의 분기비, 길이비, 면적비를 얻을 수 있으면 그 유역의 고유한 특성값을 구할 수 있다. 식 (3)과 같은 유역의 고유치를 획득하기 위해서는 수치지도에서 추출한 하천망도를 이용할 수 있고, 등고선으로부터 작성된 정방형 행렬의 표고값으로 표현되는 DEM자료를 이용하여 추출된 하천망도를 이용할 수 있다.

### 2.3 GIUH모형의 입력변수 정의

GIUH 모형의 입력에 필요한 자료는 Horton차수 법칙으로 생성되는 분기비, 길이비, 면적비로서 다음과 같이 정의된다. 분기비(Bifurcation Ratio : R<sub>b</sub>)는 주어진 차수의 N<sub>0</sub> 와 다음 높은 차수의 하천수 N<sub>0+1</sub> 와의 비로 식 (4)과 같다.

$$R_b = \frac{N_\omega}{N_{\omega+1}} \quad (4)$$

하천의 길이비는 차수 ω 인 하천의 평균길이  $\bar{L}_\omega$  와 차수 ω-1 인 하천의 평균길이  $\bar{L}_{\omega-1}$  로써 다음 식 (5)와 같다.

$$R_l = \frac{\bar{L}_\omega}{\bar{L}_{\omega-1}} \quad (5)$$

하천의 면적비(R<sub>a</sub>)는 차수 ω의 평균 하천면적  $\bar{A}_\omega$  와 차수 ω-1 하천 차수의 평균면적  $\bar{A}_{\omega-1}$  의 비로써 다음 식 (6)과 같다.

$$R_a = \frac{\bar{A}_\omega}{\bar{A}_{\omega-1}} \quad (6)$$

또한 GIUH모형 중 중요한 유역평균유속은 실제 강우-유출자료로부터 산정하여 평가할 수 있다.(이정식 등, 1987) 평균유속은 유역의 경사함수와 유역의 지표면특성(조도계수, 수로의 단면형식)을 가중계수로 표현 가능한 것이다. 본 연구에서는 실측된 강우-유출자료로부터 실측 도달시간(T<sub>true</sub>)을 계산한 후 식 (7)의 Laurenson방법에 의하여 도달시간을 적용하였으며, 유역의 전체 평균유속을 식 (8)과 같이 산정 하였다.

$$T_{oi} = \sum_j^m \frac{l_j}{(S_j)^{0.5}}, T_i = \frac{T_{oi}}{T_{max}} T_{true} \quad (7)$$

$$V_i = \sum_j^m \frac{l_j}{T_i}, V_m = \frac{\sum_i^n V_i}{N} \quad (8)$$

여기서, T<sub>oi</sub> : 각 셀의 유속

l<sub>j</sub> : 각 셀에서 유역출구까지의 흐름길이

S<sub>j</sub> : 각 셀의 경사

T<sub>max</sub> : 셀의 최대 도달시간

T<sub>i</sub>, V<sub>i</sub> : 각 셀의 도달시간 및 유속

V<sub>m</sub> : 유역전체 평균 유속

## 3. 연구대상지역의 지형특성

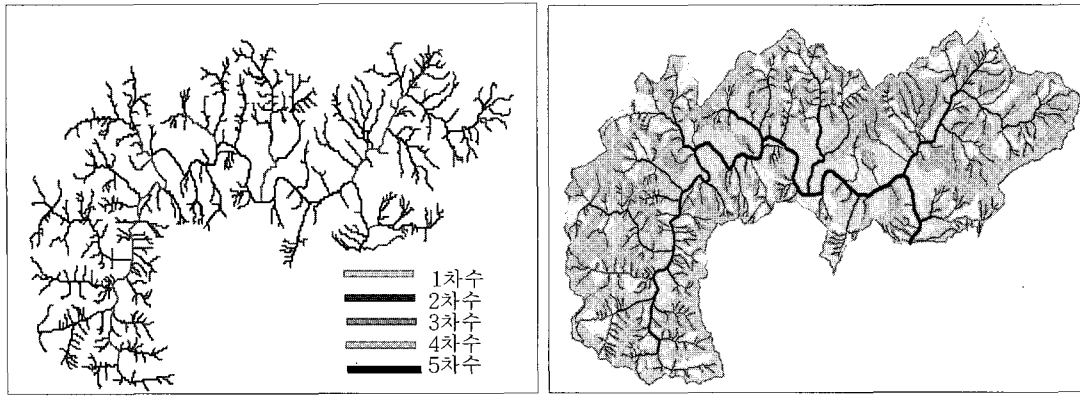
### 3.1 대상지역의 지형특성분석

#### 3.1.1 하천망 분석

보청천의 산성교(유역면적 : 49.25km<sup>2</sup>)를 유출구지점으로 하는 본 연구대상 유역의 하천망분석을 Strahler의 차수법칙에 따라 분석한 결과 그림 2와 같으며, 이들의 특성자료들은 다음 표 1과 같다. 또한 하천 총연장과 유역면적의 비인 배수밀도는 4.05 km/km<sup>2</sup>, 하천 갯수에 대한 유역면적의 비인 하천빈도는 11.33 개/km<sup>2</sup>, 주 하천의 연장길이는 16.509km이다.

#### 3.1.2 Threshold Area추출 및 통계분석

threshold area 추출은 1/5,000의 수치지도에서 등고선도와 하천망도로부터 추출하였다. threshold area는 1차수 하천이 시작되는 시점을 유역출구로 하는 소단위의 작은 배수구역으로 정의할 수 있다. 그러므로 본 연구에서는 등고선을 등수두선(equipotential line)으로 보고 이에 직각방향으로 흐르는 유선(flow line) 즉 threshold area의 유역경계를 그림 3과 같이 추출하였으



(a) Strahler하천차수 분석

(b) 하천차수별 면적분석

그림 2. 보청천 산성교 유역의 Strahler하천차수 및 면적 분석

표 1. Strahler's 하천 차수분석 결과표 (1/5,000 Scale)

하천차수	1	2	3	4	5	총 계
하천길이(m)	109216.19	45899.80	22476.99	12467.73	9134.98	199.196km
하천 수	421	101	29	6	1	558개
하천평균길이(m)	259.42	454.45	775.07	2077.96	9134.98	0.3568km
하천평균면적(km <sup>2</sup> )	0.062156	0.089844	0.203364	0.621564	4.380887	-

표 2. 수치 지형도로부터 추출된 threshold area의 빈도 및 분포분석

범위구분		2	3		5		7
면적(km <sup>2</sup> )	0.0009 ~0.0044	0.0044 ~0.0068	0.0068 ~0.0138	0.0138 ~0.0205	0.0205 ~0.0354	0.0354 ~0.0596	0.0596 ~0.1904
빈도수(개)	35	64	138	68	60	36	20
빈도율(%)	8.32	15.20	32.78	16.15	14.25	8.55	4.75



그림 3. NGIS(1/5,000)자료로부터 추출한 threshold area

며, 이들에 대한 빈도 및 분포분석은 표 2와 같다. 지형도에서 추출된 threshold area의 값은 최소 0.0009km<sup>2</sup>에서 최대 0.1904km<sup>2</sup>까지 분포되며, 총면적은 8.04 km<sup>2</sup>이다.

표 2에서 보는 바와 같이 추출된 threshold area의 빈도수는 0.0044km<sup>2</sup>에서부터 0.0205km<sup>2</sup>까지 64.13%를 차지하고 있으며, 그림 4는 threshold area의 면적에 대한 Weibull의 도시위치공식을 적용하여 초과확률별로 표시한 것이다. 표 3은 주요 초과확률별 threshold area의 면적 값을 나타낸 것이며, DEM의 격자크기별로 하천망을 추출하는데 사용하였다.

### 3.1.3 GIUH의 지형매개변수 분석

실제 수치지형도의 하천망으로부터 추출된 Horton 비를 분석하면 그림 5와 같으며, 식 (3)의 무차원 곱 (또는 비율)에 대한 값을 산정하면 0.7742로서 보정된

산성교지점 영역의 고유 특성치가 된다. 또한 표 4는 실제수치지형도로부터 산정된 지형학적 인자를 이용하여 GIUH의 침투유량 및 침투시간을 산정하기 위하여 호우사상 1992년 8월(5시간)과 1995년 8월(8.16시간)의 도달시간을 사용하였다.

## 3.2 DEM격자크기별 추출된 지형특성

### 3.2.1 DEM격자크기별 하천망의 추출비교

DEM 격자크기별로 추출된 하천망도는 그림 6과 같다. 이때 사용된 격자 크기별 threshold area(A<sub>th</sub>)별에 따라 하천의 복잡한 정도가 다름을 알 수 있다. 그림 6(b)는 그림 6(c)보다 격자가 큰 값이지만 threshold area 값을 작게 취하면 더욱 복잡한 하천망을 생성할 수 있음을 보여준다. 그림 6(a)는 그림 6(c) 보다 10배

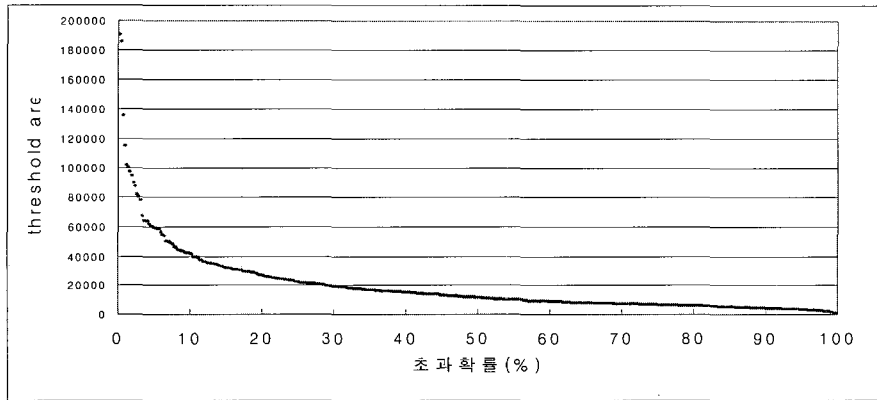


그림 4. Weibull의 도시위치공식에 따른 threshold area의 곡선

표 3. 초과확률별 threshold Area의 값

주요 초과확률(%)	threshold Area(m <sup>2</sup> )	주요 초과확률(%)	threshold Area(m <sup>2</sup> )
10	42,152	50	11,639
20	26,978	80	6,235
30	18,981	90	4,556

표 4. 수치지형도로부터 산출된 무차원 비율과 침투시간 및 침투유량 분석

Horton's Orders	Slop	Ratios	상관계수 (R2)	IR*(무차원비율: 식 3)	호우사상별 GIUH Qp, Tp			
					1992년 8월		1995년 8월	
					Qp(mm/hr)	Tp(hr)	Qp(mm/hr)	Tp(hr)
Rb	-0.6475	4.4412	0.9955	0.7742	0.1049	7.3354	0.0643	11.9689
Rl	0.3754	2.3736	0.9485					
Ra	0.4536	2.8418	0.9253					

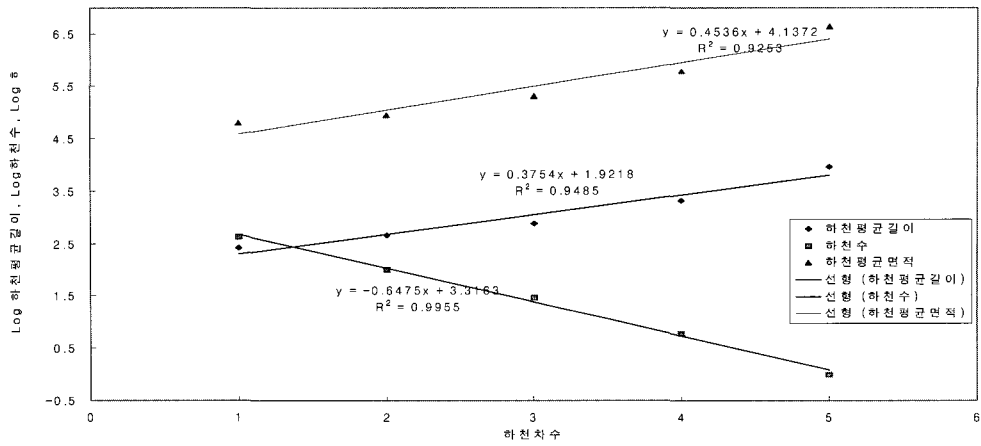


그림 5. 수치지형도로부터 산출된 Horton의 법칙

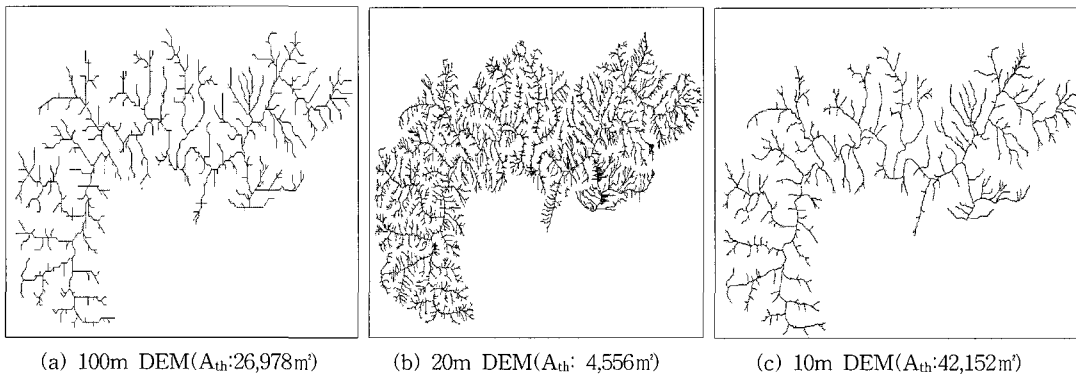


그림 6. DEM격자크기와 Threshold area값에 따른 하천망의 영향분석

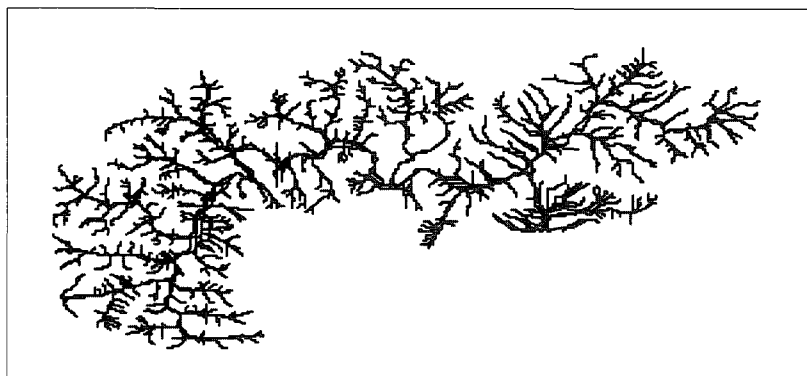


그림 7. DEM으로부터 추출된 하천망과 수치지형도 하천망의 비교

큰 격자를 사용한 경우이지만 threshold area 값은 약 1.56배 작게 취할 경우에 유사한 하천망을 생성할 수 있음을 보여준다.

### 3.2.2 DEM의 하천망과 실제 하천의 비교 분석

실제 하천망과 DEM(10m)으로부터 추출된 하천망을 비교하면 그림 7에서 보는 바와 같이 열은 회색이 실제 지형도상의 하천이며, 짙은 검은색이 DEM으로부터 추출된 하천망이다. 거의 근사하지만 1차수 하천에서 차이를 보이고 있다. 이것은 앞에서 설명한 threshold area 값과 DEM 격자크기에 따라서 변화하는 양상을 보여주고 있다.

## 4. 민감도 분석

### 4.1 민감도 분석을 위한 평가함수 설계

실제 수치지형도상에서 제시한 하천망을 이용하여 산정한 무차원비율(IR\*)과 DEM의 격자 크기 및

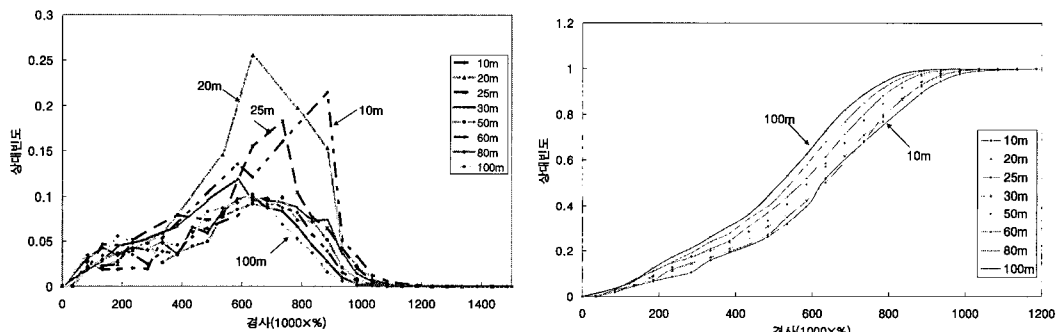
threshold area 별로부터 추출되는 하천망의 무차원비율(IR<sub>m,n</sub>)과의 값을 평방근으로 하는 식 (9)를 평가함수로 하였다.

$$F_{m,n} = \sqrt{(IR^* - IR_{m,n})^2} \quad (9)$$

여기서, 아래첨자 m과 n는 각각 격자크기, threshold area를 나타낸다.

### 4.2 경사분포 분석

평균유속인 식 (8)은 유역의 경사분포에 직접으로 영향을 받기 때문에 DEM 격자별로 경사분포를 검사하였다. 그림 8은 DEM 격자 크기별로 경사의 상대 빈도에 대한 분포양상을 비교 분석한 것이다. 그림 8(a)에서 DEM 격자의 크기가 10m~20m까지는 분산의 정도가 심하고 25m부터는 경사의 분포가 안정화되어 가며, 100m 크기에서는 경사의 분포폭이 매우 작아지며 경사



(a) 격자크기별 경사분포의 상대빈도

(b) 격자크기별 경사분포의 상대빈도누가곡선

그림 8. 격자크기별 경사분포의 분석

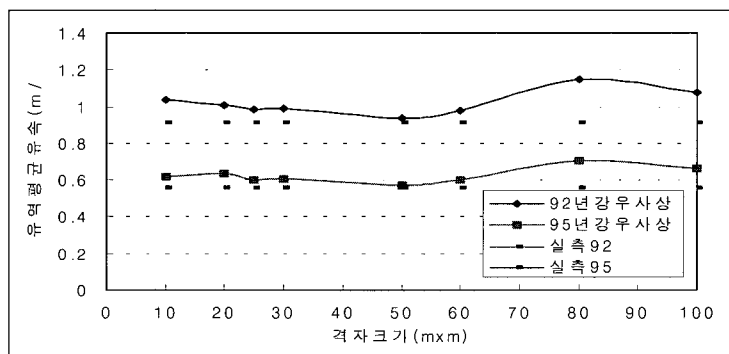


그림 9. DEM 격자크기별 유출평균유속의 비교



표 5. 호우사상별 실측 평균유속과 격자크기별 평균유속의 비교

호우사상	실측 평균유속	격자크기(m×m) 별 유역평균유속(m/sec)							
		10×10	20×20	25×25	30×30	50×50	60×60	80×80	100×100
92년 8월(5시간)	0.917	1.040	1.011	0.984	0.990	0.937	0.980	1.152	1.084
	대비(%)	13.1	10.1	7.3	8.0	2.1	6.9	25.6	18.2
95년 8월(8.16시간)	0.562	0.620	0.637	0.603	0.607	0.574	0.600	0.706	0.664
	대비(%)	10.3	13.3	7.3	8.0	2.1	6.8	25.6	18.2

값은 상대적으로 높아짐을 알 수 있다. 그림 8(b)는 그림 8(a)의 값을 누가곡선으로 표시한 것으로 100m 격자에서 10m격자로 갈수록 큰 경사 값이 나타나는 빈도가 많음을 보여주고 있다. 이는 작은 격자를 사용할수록 급경사의 경사 많이 발생되고, 큰 격자일수록 경사는 완만한 경사 값이 발생되는 것을 말한다.

표 5는 식 (7)과 (8)로부터 산정된 DEM격자크기, 호우사상별 유역의 평균유속과 보청천유역의 주하천 연결을 이용하여 산정된 평균 유속을 비교한 것이다. 그림 9에서 보면 50m격자의 평균유속이 타 격자에 비하여 실측된 평균유속에 가장 근접됨을 알 수 있으며, 두 개의 호우사상별로 비교하여 보면 유역의 평균유속의 크기에만 영향이 있을 뿐이며 DEM격자크기에 따른 평균유속의 변화 패턴은 거의 동일함을 알 수 있다. 이는 각 DEM격자 크기별로 동일한 도달시간을 적용하였고, 호우사상에 따라 도달시간이 다르기 때문에 발생하는 것이다.

표 5에서 격자크기가 50m~25m은 실측 평균유속의 대비로서 2.1%~8.0% 정도의 오차를 보여 주는 반면에서 나머지 격자의 크기에서는 10%~25%정도의 오차를 보여 주고 있다.

### 4.3 DEM 격자크기 및 threshold area별 GIUH 모형의 변화분석

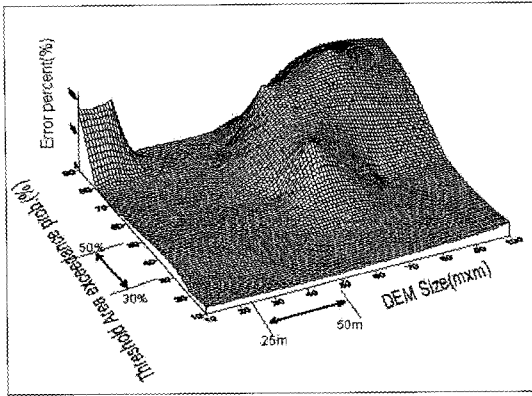
DEM격자크기, threshold area값별로 GIUH모형에 따른 변화를 계산한 것이 표 6이며, 이를 그래프로 표현한 것이 그림 10, 11이다. 그림 11은 보청천 산성교 지점의 유역특성 고유치인 IR(0.7742)와 DEM격자, threshold area의 크기에 따른 변화를 평가함수 식(9)를 적용하여 검토한 것이다. 그림 11(a)는 평가함수의 값을 z축, 격자크기 및 threshold area의 초과확률을 각각 x, y축으로 표현한 3차원 분석도이며, z축 값이 작을수록 DEM으로부터 추출한 유역의 고유치가 실제 수치지형도로부터 추출한 유역특성 고유치에 근접함을 말한다. 그림 11(b)는 평가함수 값을 x, y 평면에 투시

하고, 평가함수 값이 동일한 값을 연결한 것이다. 그림 11(b)의 평가함수 값 0.07을 경계로 DEM격자크기가 클 수록 threshold area의 초과확률이 클수록(threshold area값은 작은 값)평가함수의 값이 상당히 심하게 증가하고 있다. 그림 11(a)에서 평가함수 값이 최소가 되기 위해서는 격자가 작을수록 threshold area의 초과확률이 작아(threshold area값은 큰 값)져야 하며, 격자가 크기가 클수록 threshold area의 초과확률이 커(threshold area값은 작은 값)져야 한다.

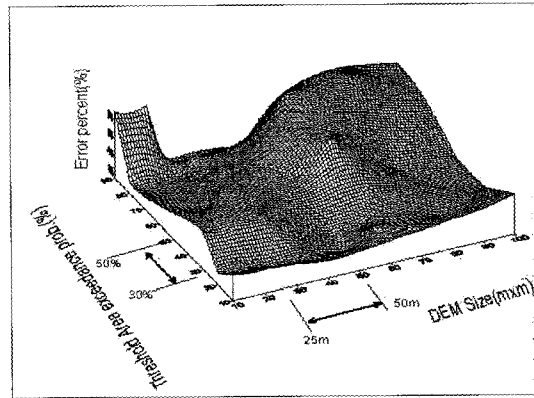
이는 격자크기가 작고 threshold area값이 작아지면 그림 6(b)에서 보는 바와 같이 1차수 하천이 많이 생성되어 전체적으로 하천망이 조밀해지고 하천의 차수가 높아지는 것을 말한다. 그 반대로 격자크기가 커지고 threshold area 값이 커지면 유역의 하천차수는 낮아지고 조밀도는 떨어진다. 따라서 격자크기의 규모와 threshold area 값이 어느 적정 크기이면 유역의 고유특성치를 갖는 하천망을 생성할 수 있음을 알 수 있다. 본 연구에서는 격자크기 25m~50m와 threshold area의 초과확률 30%~50%의 평가함수 값은 0.04~0.07 정도로서 만족할 만큼 안정된 값을 제시하고 있다. 또한 그림 10(a), (b)와 그림 10(c), (d)에서 두 개의 다른 호우사상으로부터 GIUH의 첨두 유량과 첨두 시간을 비교한 것으로서 GIUH모형의 첨두유량 및 첨두시간과 실제수치지형도의 지형학적 매개변수, 실측 수문곡선으로부터 산출된 GIUH의 첨두 유량 및 첨두시간의 차를 오차함수로 표현한 것이다. 그림 10에서도 대체적으로 격자크기 25m~50m와 threshold area의 초과확률 30%~50%가 적정하고 안정된 값을 제시하고 있다. 그림 10에서 특이한 것은 그림 9와 표 5에서 제시한 현상이 그림 10에서도 나타나고 있다. 다시 말해서 그림 10(a), (b)와 그림 10(c), (d)에서 두 개의 다른 호우사상의 첨두유량과 첨두시간에 대한 오차함수 값의 변화 양상이 격자크기, threshold area값에 대하여는 동일하게 나타나고 있으며, 단지 그 오차함수의 값만 약

표 6. DEM격자크기별 threshold area별 GIUH모형의 침투유량 및 시간

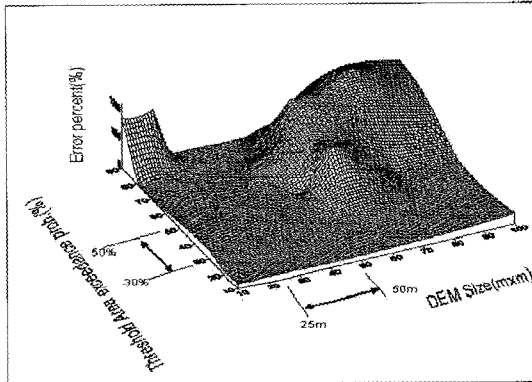
DEM 격자크 기(m)	Threshold의 초과확률 값		IR <sub>m,n</sub> 값	평가 합수값	Horton			RV-GIUH모형의 계산치			
	확률	회소수			Rl	Rb	Ra	1992년 8월		1995년 8월	
								Tp(hr)	Qp(mm/hr)	Tp(hr)	Qp(mm/hr)
10	10	422	0.825327	0.051127	2.272316	4.037687	2.290854	4.040826	0.202979	6.778160	0.121007
	20	270	0.824189	0.049989	2.506941	4.429894	2.542302	5.134560	0.159522	8.612810	0.095099
	30	190	0.803073	0.028873	1.999352	3.550961	2.092863	3.045784	0.262031	5.109057	0.156211
	50	116	0.799829	0.025629	2.147214	3.796121	2.268553	4.012513	0.198096	6.730667	0.118096
	80	62	0.818922	0.044722	2.335361	4.306207	2.484226	5.259677	0.154732	8.822684	0.092244
20	10	105	0.852575	0.078375	1.809753	3.712011	1.944639	0.820499	1.032643	1.376321	0.615614
	20	67	0.829800	0.055600	2.565733	4.486402	2.548527	5.224127	0.157854	8.291353	0.099459
	30	48	0.812687	0.038487	2.000577	3.562597	2.054893	3.141115	0.257120	4.985349	0.162003
	50	29	0.819062	0.044862	2.154977	3.858304	2.208943	4.205541	0.193549	6.674727	0.121949
	80	16	0.838118	0.063918	2.323741	4.263959	2.357309	5.506123	0.151271	8.738917	0.095311
25	10	11	0.899298	0.125098	1.813668	3.749212	1.782897	0.877747	1.018193	1.393097	0.641532
	20	67	0.833837	0.059637	2.290332	4.048198	2.255990	4.274355	0.193868	6.975068	0.118803
	30	43	0.835856	0.061656	2.505152	4.450003	2.489233	5.433674	0.152874	8.866891	0.093682
	50	30	0.818046	0.043846	1.986094	3.575566	2.036528	3.275088	0.248228	5.344423	0.152115
	80	18	0.835470	0.061270	2.124600	3.971183	2.190210	3.249274	0.255529	5.302299	0.156589
30	10	10	0.846691	0.072491	2.317011	4.246089	2.303791	5.692016	0.147827	9.288465	0.090589
	20	7	0.851509	0.077309	2.474494	4.565532	2.466381	5.564816	0.152067	9.080895	0.093187
	30	47	0.838467	0.064267	2.233047	3.999537	2.201473	4.320046	0.192883	7.045875	0.118262
	50	30	0.840561	0.066361	2.500692	4.444828	2.460698	5.440790	0.153534	8.873775	0.094136
	80	21	0.833079	0.058879	2.011436	3.699936	2.041088	3.282071	0.252252	5.352966	0.154663
50	10	13	0.839324	0.065124	2.100306	3.894810	2.127961	3.245768	0.256985	5.293756	0.157566
	20	7	0.854239	0.080039	2.266119	4.266186	2.273045	4.373576	0.194106	7.133181	0.119012
	30	5	0.862820	0.088620	2.409111	4.498693	2.366893	5.675188	0.151090	9.256073	0.092638
	50	17	0.836745	0.062545	2.218765	3.901170	2.154114	4.527834	0.183653	7.391254	0.112505
	80	11	0.840768	0.066568	2.428610	4.262988	2.352709	5.745969	0.145415	9.379744	0.089080
60	10	8	0.842016	0.067816	2.590315	4.601224	2.547425	5.597185	0.149502	9.136868	0.091584
	20	5	0.829200	0.055000	2.057139	3.703625	2.064749	3.371191	0.244440	5.503146	0.149742
	30	3	0.866178	0.091978	2.163058	4.079836	2.110640	3.446319	0.249774	5.625785	0.153010
	50	2	0.869645	0.095445	2.260619	4.244384	2.188635	6.129364	0.141001	10.005599	0.086376
	80	12	0.834998	0.060798	2.236862	3.853796	2.137633	4.241590	0.195638	6.927929	0.119778
80	10	8	0.856365	0.082165	2.293215	4.174964	2.216805	4.303837	0.197742	7.029600	0.121067
	20	5	0.862633	0.088433	2.540584	4.610865	2.438615	5.488540	0.156194	8.964615	0.095629
	30	3	0.930627	0.156427	1.803888	3.892408	1.738404	0.957763	0.965636	1.564346	0.591206
	50	2	0.952924	0.178724	1.887161	4.158758	1.786413	0.961863	0.984558	1.571043	0.602791
	80	1	0.888194	0.113994	2.174782	4.245422	2.099356	3.118197	0.283074	5.093055	0.173311
100	10	7	0.839266	0.065066	2.187530	3.781745	2.074105	3.688636	0.226115	6.018851	0.138574
	20	4	0.840295	0.066095	2.356275	4.083782	2.249922	4.673261	0.178693	7.625492	0.109511
	30	3	0.840971	0.066771	2.500491	4.308230	2.382943	4.559067	0.183316	7.439157	0.112345
	50	2	0.856166	0.081966	2.604689	4.650847	2.499303	4.560671	0.186563	7.441774	0.114335
	80	1	0.937527	0.163327	1.766694	3.900721	1.715623	0.721448	1.291442	1.177207	0.791456
100	10	4	0.849364	0.075164	2.114825	3.810550	2.038674	2.858228	0.295320	4.666143	0.180897
	20	3	0.842631	0.068431	2.173730	3.847874	2.093869	3.856812	0.217123	6.296362	0.132998
	30	2	0.839416	0.065216	2.334074	4.115236	2.269613	4.843656	0.172227	7.907414	0.105497
50	1	0.867149	0.092949	2.439343	4.497220	2.347344	4.909660	0.175525	8.015168	0.107517	



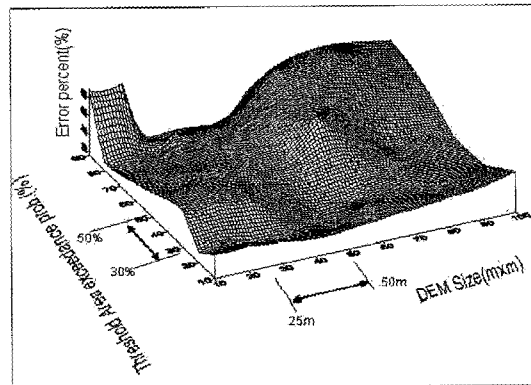
(a) 92년 호우사상의 첨두유량 변화



(b) 92년 호우사상의 첨두시간 변화

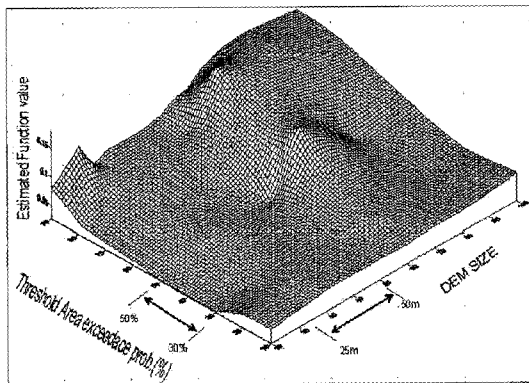


(c) 95년 호우사상의 첨두유량 변화

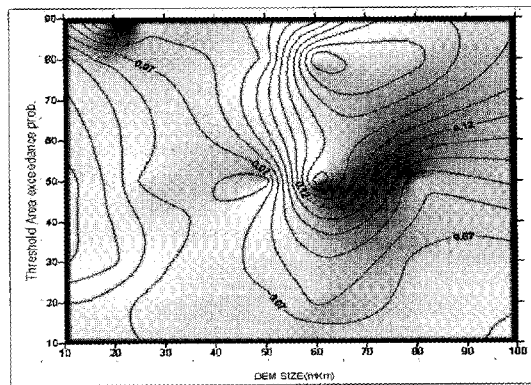


(d) 95년 호우사상의 첨두시간 변화

그림 10. DEM격자크기별 threshold area 초과확률별 Qp 및 Tp 변화분석



(a) 평가함수의 3차원분석도



(b) 평가함수의 2차원평면 투시도

그림 11. DEM격자크기별 threshold area 초과확률별 평가함수의 변화분석

간 크게 나타날 뿐이다. 이는 RV-GIUH가 도달시간 및 최고차수의 하천길이, 지형학적 매개변수의 함수로 표현되기 때문이며, 도달시간 및 최고차수의 하천길이의 영향이 RV-GIUH에 영향을 주고 있음을 알 수 있다.

## 5. 결 론

본 연구 결과 DEM의 격자크기와 threshold area의 변화에 따라서 GIUH 모형은 민감하게 변화하고 있음 알 수 있었으며, 유역의 유출평균속도를 유역의 경사 함수로 표현할 경우에 격자크기에 따른 경사 분포의 변화 양상에 따라서 GIUH모형에 심각한 영향을 주고 있음을 알 수 있었다. 따라서 본 연구의 결과로부터 도출된 결과를 정리하면 다음과 같다.

- 1) DEM를 이용하여 하천망을 추출하고, 이로부터 GIUH모형의 입력 자료를 생성할 경우에 DEM 격자크기 및 threshold area값에 따라서 유역의 경사 및 Horton의 차수법칙에 대한 분기비, 길이비, 면적비등의 변화로 인하여 유역의 고유치인 IR값의 성질을 왜곡시킬 수 있다.  
따라서 DEM격자를 이용하여 GIUH의 입력자료를 활용할 경우에는 격자크기에 세심한 배려와 threshold area값 선택 시 유역의 고유특성이 왜곡되지 않도록 선정하여야 한다.
- 2) 본 연구에서 적용한 보청천 산성교지점 유역의 경우에 유역의 고유 특성치인 0.7742를 기준으로 할 경우에 DEM격자의 크기는 25m~50m 정도의 크기가 적절한 것으로 판단되며, 적용대상지역으로 추출된 threshold area값의 초과확률의 30%~50%가 타당한 것으로 판단된다.
- 3) 유역의 평균유속을 유역의 경사함수로 표현할 경우에 격자크기에 따라서 평균유속이 심각하게 변화함을 알 수 있으며, 특히 유역의 평균유속은 GIUH모형 상당한 영향을 줄 수 있었다. 본 연구에서는 실측된 평균유속과 비교할 경우 50m~25m격자까지는 2.1%~8.0%를 보여 주었다.

## 참 고 문 헌

- 1) 김상현, 이지연(1999). "개선된 지형지수 산정 알고리즘의 적용에 관한 연구." 한국수자원학회논문집, Vol.32. No.4, pp.489-499.
- 2) 김상현, 김경현, 정선희(2001). "수치고도분석 : 분포형 흐름 분배 알고리즘." 한국수자원학회논문집, Vol.34. No.3, pp.241-251.

- 3) 조효섭(2000). 분포형 강우-유출모형의 격자 규모 결정, 박사학위논문. 충남대학교.
- 4) 전민우, 조원철(1992). "지형도 축척에 따르는 하천수로망과 본류 하천길이에 관한 Fractal Dimension.", 대한토목학회논문집, 대한토목학회, 제 12권, 제4-1호, pp. 97-106.
- 5) 성기원(1994). 유역의 자기 유사성을 이용한 수문지형학적 응답의 해석, 박사학위논문. 서울대학교.
- 5) 고영찬, 선우중호(1998). "이목정 소유역의 하천차수를 고려한 프랙탈 차원의 산정." 한국수자원학회논문집, Vol. 31. No. 5, pp. 587-597.
- 6) 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.
- 7) Helmlinger, K. R., Kumar, P. and Fouloula-Georgiou, E.(1993) "On the use of Digital elevation Model data for Hortonian and Fractal Analyses of Channel networks." Water Resources Research, Vol. 29, No. 8, pp. 2599-2613.
- 8) Montgomery, D.R. and Fourfoula-Georgiou, E. (1993) "Channel Network Sources Representation Using DEM", Water Resources Research pp. 3925-3934.
- 9) 건설교통부(1983-2000). 국제수문개발계획(IHP) 연구보고서.
- 10) 이정식, 김재한, 이원환(1987). "지형학적순간단위도에 의한 침투유량의 강우-유출해석." 대한토목학회 논문집, 대한토목학회, 제 7권, 제 1호, pp. 155-64.
- 11) Maidment D.R.(1993). "Developing a spatially distributed unit hydrograph by using GIS.", Application of Geographic information Systems in Hydrology and Water Resources Management, IAHS Publication No. 211, pp. 181-192.
- 12) Maidment D.R., Olivera,F., Calver, A.,Eatherall,A. & Fraczek,W (1996). "A Unit Hydro-graph derived from a spatially distributed velocity field.", Hydro. Processes 10.
- 13) Ignacio Rodriguez-Iturbe, Juan B. Valdes(1979). "The Geomorphologic Structure of Hydrologic Response." Water Resources Research, Vol. 15, No. 6, pp. 1409-1420.

(논문번호:03-70/접수:2003.08.16/심사완료:2003.09.08)