

지리정보체계를 이용한 국부경사의 공간적 변동성 해석

김주철 · 최용준 · 윤여진^{1)*}

한국수자원공사 K-water 연구원, ¹⁾건양대학교 건설환경공학과
(2011년 10월 31일 접수; 2011년 12월 22일 수정; 2012년 2월 17일 채택)

Analysis of Spatial Variability of Local Slope by Means of Geographic Information System

Joo-Cheol Kim, Yong-Joon Choi, Yeo-Jin Yoon^{1)*}

Korea Institute of Water and Environment, Korea Water Resources Corporation, Daejeon 305-730, Korea

¹⁾Department of Civil & Environment Engineering, Konyang University, Nonsan 320-711, Korea

(Manuscript received 31 October, 2011; revised 22 December, 2011; accepted 17 February, 2012)

Abstract

Slope is the geographic factor reflecting the 3-dimensional features of basin and it can be considered as the important geomorphological factor which governs the morphology of basin and the dynamics of water movement. In this study the approach to the 3-dimensional structures of basin is attempted with statistical analysis of local slope which can be defined and measured in easy and objective manner by means of DEM. As a result local slope is confirmed to be a highly variable spatial factor in basin. And distribution map of local slope based on spatial autocorrelation length in this study would be a useful tool in the further research of hydrology and geomorphology.

Key Words : DEM, Local slope, Spatial variability, Distribution map

1. 서론

유역(basin)은 구릉지사면(hill-slope)에 의한 유출의 생성과 하천망(stream network)을 통한 유출의 수송에 따라 강우로 인한 유입량을 바다로 흘려보내는 복합적인 구조의 배수시스템(drainage system)이다. 또한 유역은 거시적인 규모의 지질구조학적 용기(tectonic uplift)로부터 유수(流水)에 의한 국부적인 세굴에 이르기까지 무수히 많은 작인(作因, agent)들에 의하여 끊임없이 진화해 가는 동적시스템(dynamic

system)을 구성하기도 한다. 따라서 물리적으로 기초한 강우-유출 현상에 대한 해석은 반드시 대상유역의 형태학적 혹은 지형학적 특성에 대한 객관적이고 신뢰성 있는 평가 위에서 수행되어야 함이 수문학 혹은 지형학 분야를 통하여 강조되어 왔다(Rodríguez-Iturbe 와 Valdes, 1979; Rodríguez-Iturbe와 Rinaldo, 2003).

지금까지 자연유역의 지형학적 특성에 대한 해석은 Horton(1932, 1945)의 고전적인 연구를 기원으로 하여 주로 하천망의 형상을 중심으로 수행되어 왔다(Strahler, 1964; Shreve, 1966; Smart, 1972). 특히 Horton이 제시한 바 있는 배수구성의 법칙은 비교적 최근 등장한 Fractal 이론(Mandelbrot, 1982)과의 결합을 통하여 복잡한 배수시스템에 대한 보다 체계적

*Corresponding author : Yeo-Jin Yoon, Department of Civil & Environmental Engineering, Konyang University, Nonsan 320-711, Korea
Phone: +82-41-730-5632
E-mail: yyj0806@konyang.ac.kr

인 접근 방향을 제시해 주고 있다(Tarboton 등, 1988; La Barbera와 Rosso, 1989). 여기서 한 가지 주목할 만한 사항으로서 대표적인 지형인자들 중의 하나인 경사(slope)에 대하여 고려해 볼 수 있다. 경사는 유역의 3차원적 특성을 반영하는 요소로서 유역의 형태나 혹은 물 입자의 동적특성(dynamics)을 지배하는 중요한 지형인자로서 평가할 수 있다. 하지만 지금까지 다른 지형인자들에 비하여 이론적인 발전이 상당히 미흡한 실정에 있다. Rodríguez-Iturbe와 Rinaldo(2003)는 이러한 현상의 원인으로 비교적 최근에야 DEM의 광범위한 적용이 가능해졌음을 언급한 바 있다. 이는 종이지도에 기반을 둔 전통적인 방법이 갖는 유역특성경사의 정의 및 계량의 난점을 지적하고 있다. 또한 경사는 공간적 변동성이 매우 큰 지형인자로서 일관성 있는 거동특성의 파악 역시 매우 어려운 것으로 알려져 왔다(Montgomery와 Foufoula-Georgiou, 1993; Ijjasz-Vasquez와 Bras, 1995).

비교적 최근의 연구 성과로서 김과 김(2007a, 2007b)은 DEM으로부터 신뢰성 있는 하천망을 추출하기 위하여 국부경사(local slope)의 공간분포특성을 기반으로 한 경사-면적한계기준(slope-area threshold)을 적용한 바 있다. 여기서 이들은 pixel을 기반으로 하여 정의되는 국부경사가 갖는 엄청난 규모의 공간적 변동성을 언급한 바 있는데 이는 이 지형인자에 대한 새로운 형태의 접근을 요구하고 있다. 특히 최근 DEM을 기반으로 한 지리정보처리기술의 발전은 과거 종이지도 상에서는 시도조차 할 수 없었던 다양한 지형인자들의 추출(Moussa, 2003; Tarboton, 2003)과 함께 유역의 배수구조에 대한 새로운 형태의 접근을 가능하게 하고 있다. 따라서 본 연구에서는 DEM으로부터 비교적 쉽고 객관적으로 정의와 계량이 가능한 국부경사에 대한 분석을 통하여 유역의 3차원 구조에 대한 접근을 시도해 보고자 한다. 유사한 형태의 접근법으로서 Tucker 등(2001)은 배수밀도에 대한 통계학적 접근방법을 소개한 바 있다. 여기서 ‘통계학적 접근방법’이라 함은 DEM으로부터 산정된 pixel별 지형인자를 일종의 공간무작위함수(spatial random function)로 취급함을 의미하는 것이다.

본 연구에서는 국부경사의 공간적 변동성을 통계학적으로 분석하여 분포도(distribution map)의 형

태로 도시해보고, 이러한 결과를 통해 유역규모에서 국부경사의 일관된 경향을 살펴보고자 하였다. 이를 위해 본 연구에서는 국부경사에 대한 자기상관(autocorrelation) 분석을 통하여 해당 계열자료의 공간상관 구조를 추정하고 이를 기반으로 pixel별 국부경사를 재분류하여 일관성 있는 국부경사의 공간적 변동성을 도면의 형태로 표현해보고자 한다. 이러한 시도는 중요한 지형특성인 유역의 경사를 공간적 변동성을 반영한 분포도의 형태로 제시하고자 하는 것으로 DEM을 기반으로 한 국부경사 산정 시 DEM 및 경사 산정기법에 따른 불확실성 감소 등 향후 수문학 및 지형학 분야에 의미 있는 수단을 제공할 수 있을 것으로 판단된다.

2. 재료 및 방법

2.1. 이론적 배경

일반적으로 DEM을 기반으로 한 수문분석에는 주로 연속방정식과 운동량 방정식을 이용한 운동과 방정식(최 등, 2008; 최 등, 2010)과 manning 유속공식을 이용하게 된다(최 등, 2011). 따라서 유속은 단면의 상태, 형태 및 수로의 경사에 의해 결정된다. 이렇듯 유역의 유출현상 모의에 절대적인 요소로 작용하는 독립변수들 중 본 연구에서는 비교적 다른 변수들에 비해 공간변동성이 크게 나타나는 경사에 주목하였다. 이러한 경사는 일반적으로 8방향 모형이 적용된다(김, 2004). 이에 따라 Fig. 1과 같은 8방향 pixel windows 상에서 물 입자의 흐름방향은 식 (1)로부터 산정되는 최급하향경사로부터 결정될 수 있다.

$$S_{\max} = \max \left[\frac{Z_0 - Z_i}{l} \right] \quad (1)$$

여기서 S_{\max} 는 최대경사, Z_0 는 중앙에 위치한 pixel의 고도, Z_i 는 이웃한 8개 pixel의 고도 그리고 l 은 중앙 pixel과 이웃한 pixel들의 중심 간의 거리이다. 상기한 과정에 따라 모든 pixel들에 대하여 최급하향경사가 산정되면 해당 pixel들로부터 유역출구까지의 물 입자들의 흐름경로(flow path)가 일관성 있게 결정될 수 있다. 이러한 흐름경로를 기반으로 작도되는 흐름방향도

(flow direction)와 흐름누적도(flow accumulation)는 적절한 threshold 기준과 결합하여 대상구역의 하천망 동정(identification) 및 유역경계의 추출에 이용된다. Ijjasz-Vasquez와 Bras(1995)는 식 (1)에 의하여 산정되는 pixel별 최급하향경사에 주목하여 이를 국부경사라 명명한 바 있다. 특히 이들은 해당 지형인자와 pixel별 기여면적 사이의 거동특성을 분석하여 신뢰성 있는 하천망 추출을 위한 경사-면적한계기준을 제안한 바 있다.

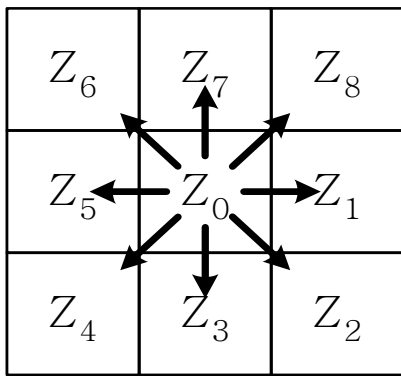


Fig. 1. 8-flow direction model.

서론에서 언급한 바와 같이 김과 김(2007a, 2007b)은 전술한 Ijjasz-Vasquez와 Bras(1995)가 제안한 경사-면적한계기준을 국내 유역에 적용하여 신뢰성 있는 하천망을 추출하고자 시도한 바 있다. Fig. 2는 이

들이 설마천 시험유역에 대하여 산정한 pixel별 국부경사와 기여면적을 양대수지 상에 도시한 결과로서, 선행 연구결과(Montgomery와 Foufoula-Georgiou, 1993; Ijjasz-Vasquez와 Bras, 1995)에서 언급된 바와 같이 엄청난 규모의 산포경향을 볼 수 있다. 이로부터 유역의 경사(본 연구의 경우, 국부경사)는 공간적으로 매우 변동성이 큰 지형인자임을 확인할 수 있다.

이와 관련하여 Tucker 등(2001)은 DEM으로부터 pixel별로 산정된 지형인자를 일종의 무작위변수(random variable)로 취급하여 이에 대한 통계학적 접근 방향을 제안한 바 있다. 본 연구에서는 이러한 개념을 국부경사로 확장하여 다음과 같은 통계학적 관계식을 수립하여 보았다.

$$E[S^R] = \int_0^\infty S^R p(S) dS \quad (2)$$

식 (2) 좌변의 $E[\cdot]$ 는 기대치 연산자이고 우변의 S 는 국부경사 그리고 $p(S)$ 는 S 에 대한 확률밀도함수이다. 이 식은 S 의 R 차 모멘트를 의미하는 것으로서 S 의 공간적 변동성에 대한 체계적인 접근을 위한 관계식을 확인할 수 있다. 여기서 만약 S 를 일종의 공간계열(spatial series)자료로 가정한다면 식 (3)과 같은 S 의 공간적 자기상관 구조를 제시할 수 있게 된다.

$$Cov(\lambda) = E[S(x)S(x+\lambda)]; \lambda = |\lambda| \quad (3)$$

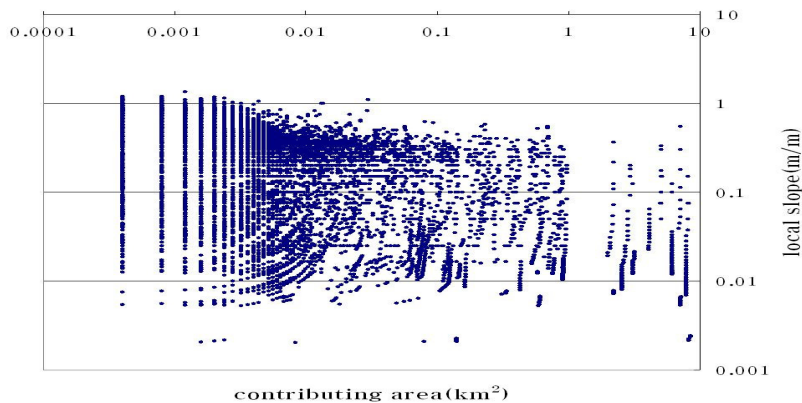


Fig. 2. slope-area diagram(Kim and Kim, 2007a).

여기서 $Cov(\cdot)$ 는 공분산 연산자이고 $x=(x,y)$ 는 임의 지점의 좌표 그리고 λ 는 S 의 공간상관거리로서 식(3)은 S 의 자기상관성의 범위를 정의하게 된다.

식(2)와(3)은 지리정보처리기술의 발전을 토대로 하여 제시된 고전적인 지형인자들에 대한 새로운 형태의 접근방법으로 볼 수 있다. 특히 식(3)의 경우 유역규모의 지형자료들이 갖는 엄청난 규모의 공간적 변동성을 다루기 위한 이론적 혹은 실무적 배경을 제시하는 주요한 관계식임을 확인할 수 있다.

2.2. 연구방법

본 연구에서는 대상유역 내 포함되는 모든 pixel들에 대하여 식(1)로부터 S 를 산정하고 이를 식(2)에 적용하여 국부경사의 통계학적 특성을 분석하여 본다. 또한 동일한 자료를 공간계열자료로서 가정하여 식(3)에 의한 S 의 공간상관거리 λ 를 추정하여 본다. 이렇게 산정되는 λ 는 임의 지점에 대한 S 가 주변 지점의 S 와 상관성을 갖는 범위 혹은 영향반경을 정의하는 것으로 대규모의 공간적 변동성을 나타내는 지형인자들을 재분류(binning)하기 위한 일관성 있는 기준을 제시해 준다. 본 연구에서는 Arc Info의 Grid module 내에서 운용되는 λ 를 영향반경으로 한 원형 moving windows(Focal Mean operator)를 이용하여 대상유역 내 모든 pixel들에 대한 이동평균(moving average)을 산정하고 이를 도상에 도시하여 S 의 공간적 변동성 분석에 적용한다. 실제 λ 의 추정을 위한 자기상관분석에는 범용통계 package인 Minitab을 적용한다.

2.3. 대상유역

본 연구에서는 대상유역으로 금강 수계에 위치한 국제수문개발계획(IHP) 시험유역인 보청천 유역(Fig. 3)을 선정하였다. 보청천 유역은 북위 36° 5'에 위치한 우리나라 중부의 구릉지로 금강유역의 약 5%에 해당하는 중소규모의 유역이다. 대부분 산지로 형성되어 있어 유역의 평균 고도는 높은 편이며 유역의 경계부는 높고 하천을 중심으로 좌우안은 평탄하다. 현재 유역 내부에는 총 5개의 수위관측소가 운영 중에 있으며 그 위치는 Fig. 3과 같다. 이들은 상류로부터 분류를 따라 산성, 이평, 기대, 산계지점의 순으로 위치하고 있으며 이와는 개별적으로 지류 유역이 이평~기대 구간

사이에 위치한 탄부지점을 통하여 측방유입하고 있다.

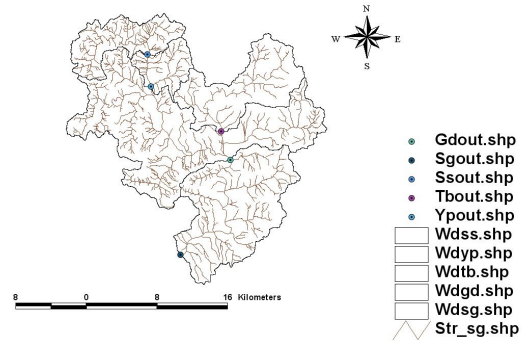


Fig. 3. Drainage map of Bocheong watershed.

3. 결과 및 고찰

3.1. 지형분석 결과

전절에서 언급한 방법론에 따라 대상유역에 대한 pixel별 국부경사 S 를 산정하기 위하여 지리정보체계를 기반으로 한 지형분석을 수행하였다. DEM의 생성에는 국립지리원에서 발행한 1/25,000 축척의 수치지도를 적용하였고 pixel의 해상도는 $20 \times 20m$ 로 하였다. 지형분석 S/W로는 Arc Info와 Arc View를 적용상의 편의에 따라 병용하였다. Fig. 4는 상기한 과정에 따라 산정된 S 를 분포도의 형태로 도시한 것으로 전술한 바와 같이 큰 규모의 공간적 변동성을 나타냄을 시각적으로 확인할 수 있다.

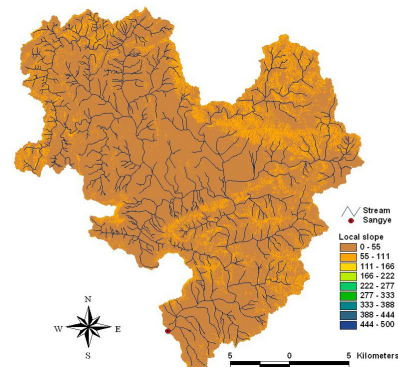


Fig. 4. Local Slope Distribution of Bocheong watershed.

Table 1은 Fig. 4에 도시된 pixel별 S 의 통계학적 특성을 소유역별로 산정해 본 결과로서 우선 2열의 평균에 대한 산정결과가 주목된다. 일반적으로 하천의 경사는 유역면적에 대하여 멱수법칙 형태의 감소경향을 나타내는 것으로 알려져 있다(Flint, 1974; Tarboton 등, 1992). Table 1의 결과에서도 면적에 따른 일관성 있는 감소 경향을 확인할 수 있다. 하지만 감소의 폭이 전술한 선행연구결과에 비하여 작은 것은 Fig. 4의 국부경사들 속에는 지표면과 하천성분들이 뒤섞여 존재하기 때문인 것으로 판단된다. 향후 이들을 성분별로 구분하여 자연유역에 대한 정밀한 측량성과와 비교분석할 경우 기존의 고전적인 유역특성경사를 대체할 수 있는 지리정보체계를 기반으로 한 새로운 형태의 경사를 정의할 수 있을 것으로 기대된다.

Table 1의 3열과 4열은 각각 S 의 표준편차와 변동계수에 대한 산정결과로서 역시 상당한 규모의 공간적 변동성을 확인할 수 있다(유역 평균 변동계수 : 0.76, 0.65 ~ 0.85). 이로부터 유역의 국부경사는 공간적 변동성을 결코 무시할 수 없는 지형특성 중의 하나인 것으로 판단된다. 이는 자연유역의 표면은 매우 불규칙한 곡면으로 구성됨을 의미하는 것으로 본 연구에서 제시한 Fig. 4와 같은 형태의 지형정보는 이에 대한 체계적인 접근수단을 제시할 수 있을 것으로 판단된다. Table 1의 5열과 6열의 최소, 최대값에 대한 산정결과에서 상기한 바를 확인할 수 있다.

3.2. 국부경사의 공간분포도 작성

Fig. 4에 도시된 pixel별 S 에 대하여 자기상관분석을 수행하여 보았다. Fig. 5는 범용 통계 package인 Minitab을 이용하여 해당 계열자료의 자기상관함수를 산정해 본 결과로서 유의한 공간상관거리 λ 는 7km 인 것으로 나타났다.

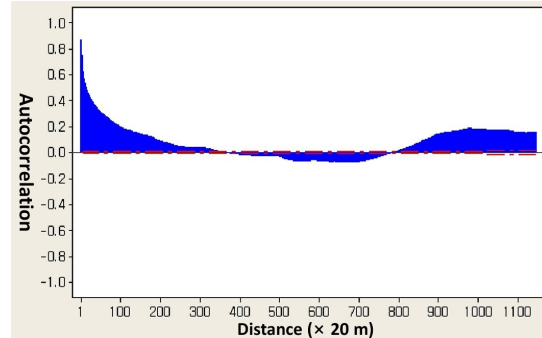


Fig. 5. Autocorrelation of Local Slope(by Minitab program).

Fig. 5에서 산정된 λ 를 영향반경으로 하는 원형 moving windows를 이용하여 대상유역 내 모든 pixel들에 대한 이동평균을 산정하여 보았다. Fig. 6은 이를 도상에 도시해본 결과로서 Fig. 4와는 달리 유역 전반에 걸쳐 일관성 있는 S 의 변동성을 시각적으로 확인할 수 있다. 특히 Fig. 6의 우측 상부, 즉 탄부지점을 출구로 하는 지류유역에 해당하는 부분의 국부경사의 이질적인 거동으로부터 해당유역이 본류구간 내에 위치한 다른 유역들과는 상이한 지형 및 수문학적 특성을 보여줄 것이 예상된다. 향후 본 연구의 결과를 바탕으로 상기한 소유역들에 대하여 미시적인 분석을 수행할 경우 유역의 지형학적 특성과 수문학적 응답특성 사이의 관계를 명시적으로 규명할 수 있는 주요한 수단들의 제시가 가능할 것으로 판단된다. 또한 본 연구에서 제시하는 Figs. 5, 6과 같은 분포도 형태의 국부경사는 향후 수문학 및 지형학 분야에 있어 유용한 분석도구가 될 수 있을 것으로 사료된다.

Table 1. Statistical Properties of Local Slope of 5 Sub-basins

Watershed	Mean	St. Dev.	Coe. of Variation	Min.	Max.
Sanseong	0.358	0.233	0.65	0.000	2.000
Ipyeong	0.309	0.244	0.79	0.000	2.200
Tanbu	0.388	0.264	0.68	0.000	2.450
Gidae	0.291	0.247	0.85	0.000	5.000
Sangye	0.297	0.241	0.81	0.000	5.000

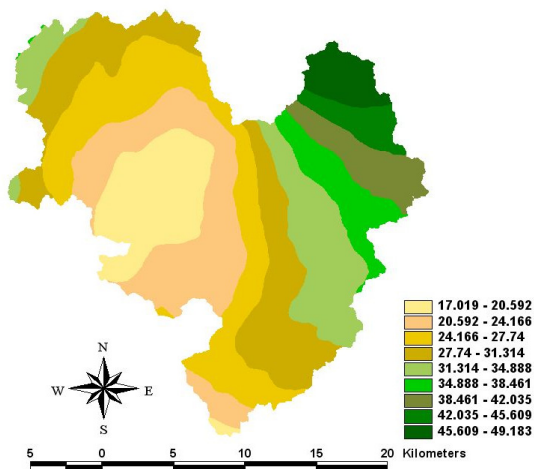


Fig. 6. Distribution Map of Local Slope.

4. 결론

본 연구에서는 지리정보체계를 이용하여 산정된 pixel별 국부경사의 거동특성을 통계학적 접근법에 따라 분석하여 보았다. 또한 동일한 자료를 공간계열 자료로 가정하여 공간상관거리를 추정하고 이를 기반으로 pixel별 국부경사를 재분류(자기상관거리 내 pixel의 moving average를 이용한 재분류)하여 해당 지형인자의 일관성 있는 공간적 변동성을 반영한 국부경사 분포도를 작성하여 보았다. 이상으로부터 얻어진 주요한 결론을 요약해 보면 다음과 같다.

- 1) pixel별 국부경사를 지리정보체계를 기반으로 산정해 본 결과 큰 규모의 공간적 변동성을 시각적으로 확인할 수 있다.
- 2) 국부경사의 통계학적 특성에 대한 분석결과로부터 유역면적에 따른 일관성 있는 감소 경향을 확인할 수 있었다. 향후 이들을 지표면과 하천으로 대별되는 유역 구성 성분별 구분으로 자연유역에 대한 정밀한 측량성과와 비교분석할 경우 기존의 고전적인 유역특성경사를 대체할 수 있는 지리정보체계를 기반으로 한 새로운 형태의 경사를 정의할 수 있을 것으로 기대된다.
- 3) 또한 표준편차와 변동계수에 대한 산정결과로서

유역 평균 변동계수는 0.76(0.65 ~ 0.85)로 상당한 규모의 공간적 변동성을 확인할 수 있었다. 이로부터 유역의 국부경사는 공간적 변동성을 결코 무시할 수 없는 지형특성 중의 하나인 것으로 판단된다. 이는 자연 유역의 표면은 매우 불규칙한 곡면으로 구성됨을 의미하는 것으로 본 연구에서 제시한 지형정보는 이에 대한 체계적인 접근수단을 제시할 수 있을 것으로 판단된다.

4) 국부경사의 공간상관거리를 기반으로 해당 지형인자의 변동성을 도시하여 결과로서 Fig. 6과 같이 비교적 유역 전반에 걸쳐 일관성 있는 거동특성을 시각적으로 확인할 수 있다. 향후 본 연구의 결과를 바탕으로 유역의 배수구조에 대한 유역 규모별 및 유역의 nested structure에 따른 분석 등의 미시적인 분석을 수행할 경우 유역의 지형학적 특성과 수문학적 응답 특성 사이의 관계를 명시적으로 규명할 수 있는 주요한 수단들의 제시가 가능할 것으로 판단된다. 또한 앞에서 언급한 바와 같이 본 연구에서 제시하는 재분류된 국부경사에 대해 자연유역에 대한 정밀한 측량성과에 대한 검증 및 수문모형의 적용성 검토를 통해 신뢰성 검증이 이루어진다면 향후 수문학 및 지형학 분야에 있어 유용한 분석도구가 될 수 있을 것으로 사료된다.

참고 문헌

- 김주철, 2004, 선형계로 간주한 강우-유출 수문계 대표순간단위도의 추정, 박사학위논문, 충남대학교.
- 김주철, 김재한, 2007a, DEM을 이용한 수로망의 형태학적 표현, 한국수자원학회논문집, 40(4), 287-297.
- 김주철, 김재한, 2007b, 배수밀도와 수원유역의 기하학적 특성을 기반으로 한 배수구조에 대한 해석, 한국수자원학회논문집, 40(5), 373-382.
- 최용준, 김연수, 이기하, 김주철, 2010, 결측강우보완방법에 따른 분포형 유출모형의 적용성 검증, 한국환경과학회지, 19(12), 1375-1384.
- 최윤석, 김경탁, 이진희, 2008, 유한체적법을 이용한 격자기반의 분포형 강우-유출 모형 개발, 한국수자원학회지, 41(9), 895-905.
- 최윤호, 최용준, 김주철, 정관수, 2011, 유역의 동수역학적 특성을 고려한 직접유출수문곡선 산정, 한국방재학회논문집, 11(3), 157-163.

- Flint, J. J., 1974, Stream gradient as a function of order, magnitude and discharge, *Water Resour. Res.*, 10(5), 969-973.
- Horton, R. E., 1932, Drainage basin characteristics, *Transactions of American Geophysical Union*, 13, 348-352.
- Horton, R. E., 1945, Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology, *Geological Society of America Bull.*, 56, 275-370.
- Ijjasz-Vasquez, E. J., Bras, R. L., 1995, Scaling regimes of local slope versus contributing area in digital elevation models, *Geomorphology*, 12, 299-311.
- La Barbera, P., Rosso, R., 1989, On the Fractal dimension of stream networks, *Water Resour. Res.*, 25(4), 735-741.
- Mandelbrot, B. B., 1982, "The Fractal geometry of nature", W. H. Freeman, New York.
- Montgomery, D. R., Foufoula-Georgiou, E., 1993, Channel network source representation using digital elevation models, *Water Resour. Res.*, 29(12), 3925-3934.
- Moussa, R., 2003, On morphometric properties of basins, scale effects and hydrological response, *Hydrological Processes*, 17, 33-58.
- Rodríguez-Iturbe, I., Valdes, J. B., 1979, The geomorphologic structure of hydrologic response, *Water Resour. Res.*, 15(6), 1409-1420.
- Rodríguez-Iturbe, I., Rinaldo, A., 2003, "Fractal river basins, Chance and self-organization", Cambridge.
- Shreve, R. L., 1966, Statistical law of stream numbers, *J. Geology*, 74, 17-37.
- Smart, J. S., 1972, Channel Networks, *Advances in Hydroscience*, 8, 305-346.
- Strahler, A. N., 1964, "Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks", 4.39-4.76, In: *Handbook of Applied Hydrology*. McGraw-Hill.
- Tarboton, D. G., 2003, "Terrain Analysis Using Digital Elevation Models in Hydrology", 23rd ESRI International Users Conference, San Diego, California.
- Tarboton, D. G., Bras, R. L., Rodríguez-Iturbe, I., 1988, The Fractal nature of river networks, *Water Resour. Res.*, 24(8), 1317-1322.
- Tarboton, D. G., Bras, R. L., Rodríguez-Iturbe, I., 1992, A physical basis for drainage density, *Geomorphology*, 5, 59-76.
- Tucker, G. E., Catani, F., Rinaldo, A., Bras, R. L., 2001, Statistical analysis of drainage density from digital terrain data, *Geomorphology*, 36, 187-202.