

수문지형인자 추출에 따른 격자크기의 결정

정인주^{1*} · 서규우¹ · 김가야²

Determination of Grid Size to Extract Hydrologic -Topographical Parameters

In-Ju JEONG^{1*} · Kyu-Woo SEO¹ · Ga-Ya KIM²

요 약

GIS를 이용하여 수문지형인자를 추출하는 경우 격자크기가 수문모형에 어떠한 영향을 미치는지를 경사도를 산정함으로써 비교 연구하였다. 격자의 크기를 여러 단계에 걸쳐 분류하여 작업을 진행하였으며, 이를 유역 전체를 하나로 취급한 경우와 각 지류를 나누어 작업을 수행한 경우로 구분하여 비교·분석하였다. 또한 유역 면적의 크기에 따라 격자크기 결정이 미치는 영향을 살펴보기 위하여 대상유역 내의 소유역을 선정하여 동일한 방법으로 격자 크기를 추출하는 작업을 수행하였다. 따라서 본 연구에서는 수문지형인자의 추출에 있어서 GIS를 이용하는 경우 효과적인 격자의 크기 적용에 대한 기준을 확립하는데 도움을 주고자 하는 것에 그 목적을 두고 있다.

주요어 : 지리정보체계, 격자크기, 수문지형인자, 수치고도모형, 평균경사

ABSTRACT

Hydrologic-topographical parameters were extracted using GIS. The use of GIS is more effective and exact than the execution by person. And the purpose of this paper is to extract more efficient size of grid for DEM analysis by applying GIS technology. As a result, when the grid size is less than 100m×100m the trend of extracted parameters is similar but when the grid size is over 100m×100m the trend of extraction parameters is dispersive. Therefore, it is appropriate to extract hydrologic-topographical parameters the grid size of 100m×100m in DEM analysis.

KEYWORDS : *GIS, Grid Size, Hydrologic-Topographical Parameters, DEM Average Slope*

2005년 5월 23일 접수 Received on May 23, 2005 / 2005년 8월 4일 심사완료 Accepted on August 4, 2005

1 동의대학교 토목공학과 Department of Civil Engineering, Dong-Eui University

2 동의대학교 도시공학과 Department of Urban Engineering, Dong-Eui University

* 연락처 E-mail : giseh@korea.com

서론

GIS의 기능은 공학적인 분야에서도 여러 지형학적 인자 혹은 수문학적인 인자를 추출하는데 있어서 객관적인 판단을 쉽게 내릴 수 없는 수문학 분야에 많은 적용을 하고 있으며 GIS 기법은 다양한 지형 관련 자료들을 저장 및 분석기능 등을 가지며 공간자료의 위상관계로 수문학분야에서 많은 적용을 하고 있다. 특히 분포형 수문모형은 특정한 유역의 공간자료들이 많이 필요하므로, GIS와 수문학이 자연스럽게 결합을 할 수 있는 것으로 알려져 있으며, 이러한 수문학과 연관성은 수문모형의 설계 및 검증 등의 작업에 도움을 주고 있다. 격자크기는 분석에 적합하도록 설정되어야 하며, 격자의 크기에 따라 데이터의 해상도가 결정된다. 격자크기가 작을수록 해상도와 정확성이 증가하며, 큰 크기의 화소를 이용하면 해상도를 잃게 된다는 단점이 있지만 분석 조작성의 속도는 증가하게 된다. 격자의 크기가 증가할수록 오류는 증가하고 정밀성은 감소하는 특성을 가진다.

본 연구에서는 GIS를 이용하여 수문지형인자를 추출하는 경우 격자크기가 수문모형에 어떠한 영향을 미치는지를 경사도를 산정함으로써 비교 연구하였다. 격자의 크기를 여러 단계에 걸쳐 분류하여 작업을 진행하였으며, 이를 유역 전체를 하나로 취급한 경우와 각 지류를 나누어 작업을 수행한 경우로 구분하여 비교·분석하였다. 또한 유역 면적의 크기에 따라 격자크기 결정이 미치는 영향을 살펴보기 위하여 대상유역 내의 소유역을 선정하여 동일한 방법으로 격자 크기를 추출하는 작업을 수행하였다. 따라서 본 연구에서는 수문지형인자의 추출에 있어서 GIS를 이용하는 경우 효과적인 격자의 크기 적용에 대한 기준을 확립하는데 도움을 주고자 하는 것에 그 목적을 두고 있다.

연구방법

본 연구는 DEM을 이용하여 수문지형분석

을 하는데 있어서 격자크기의 영향을 비교하여 수문학적분석에서 DEM 생성 시 격자크기를 규명하고자 한다. 그러나 격자크기는 유역면적이 커짐에 따라 격자크기도 커짐을 알 수 있다. 만약 유역면적이 큰 경우에 격자크기를 유역면적이 적은 경우와 같게 한다면 컴퓨터의 계산수행 능력에 크게 좌우된다. 그리고 DEM 구축시에도 많은 시간이 소요되며 오차(error)도 많이 발생함을 알 수 있다. 그래서 본 연구에서는 수문지형분석 시 유역크기에 따라 DEM을 구축하는 경우에 격자크기를 결정하는데 도움을 주고자 한다. 연구대상 유역은 부산광역시 전체유역의 50%를 훨씬 넘는 큰 유역이다. 연구대상유역에 대한 수치지도는 1:25,000 축척을 사용하였으며, 수치지도에서 등고선과 유역경계를 추출한 후 불규칙삼각망인 TIN을 구축하고 이를 기반으로 DEM을 생성하였으며, 이렇게 생성된 DEM은 ArcView의 Hydro 모듈을 사용하여 결손부분을 보완(Fill Sinks)한 후 각각의 소유역으로 분할하여 경사도를 분석하였다.

연구의 작업 수행은 먼저 대상유역을 하나로 취급하여 DEM을 생성한 후 각 소유역으로 분할하고 경사도를 추출하여 비교·분석하였으며, 다음으로 수영강 지류인 법기천, 철마천, 석대천, 온천천, 분류 유역별로 유역을 구분하여 각각 유역에 대하여 DEM을 구축하였다. DEM 구축 시 격자크기는 10m×10m, 20m×20m, 30m×30m, 40m×40m, 50m×50m, 100m×100m, 200m×200m, 300m×300m, 400m×400m, 500m×500m, 600m×600m, 700m×700m, 800m×800m, 900m×900m, 1000m×1000m로 각각의 유역에 대하여 구축하였다. 그러나 대유역과 소유역에서 격자크기가 미치는 영향은 다르게 나타났다. 따라서 본 연구에서는 대상유역 내에 임의의 소유역을 선정하여 격자크기를 10m×10m부터 100m×100m까지 변화시키면서 경사도에 대한 분석을 실시하였다.

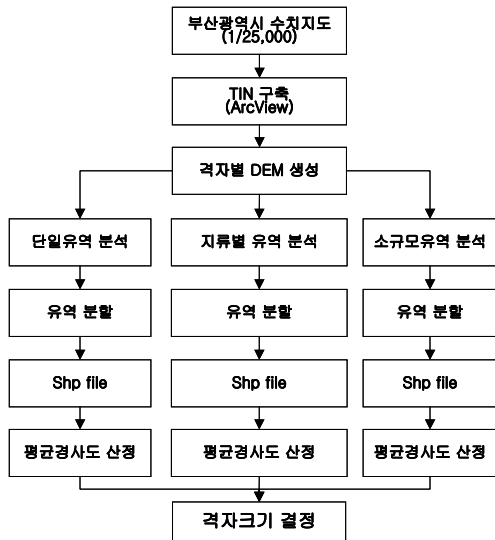


FIGURE 1. 연구방법

수치고도모형

수치고도모형(digital elevation model, DEM)은 실제의 지형을 컴퓨터를 이용하여 표현하는데 대표적인 기법이라 할 수 있다. 그러나 지형자료는 많은 인자들이 존재하므로 고도자료만을 가지고 모든 공간정보를 기술할 수가 없으므로 경우에 따라서는 위상자료와의 결합을 필요로 한다.

수문학 분야에서 대상지역의 지형을 표현하는 것은 GIS 적용의 가장 중요한 수행능력 중의 하나이다. 수문학에서 위상관계는 하천 수로망을 나타내는 선들의 집합과 유역을 나타내는 다각형들의 집합 등으로 구분할 수 있다. GIS에서는 선과 면적 등의 지형자료만을 이용한 것도 있으나, 지형학적 자료와 연결된 위상자료를 이용하여 GIS의 적용범위를 확대할 수 있는 장점을 가지기도 한다. 최근 DEM 자료를 수문학에 이용함에 있어 지형의 표현과 수문학적 과정의 모의에서 편리성을 제공하고 있다. 그러나 DEM 자료에서는 서로 다른 격자 크기가 유역면적이나 유출생성 등의 수문학적 모의에서 상이한 결과를 초래할 수 있으므로(Bruneau 등, 1995) 격자의 크기는 수문모형의 수행에 있어서 중요한 요소가 된다. 지형고도의 공간적 분포를 표현할 수 있는 DEM 자료는 유역

의 수문학적 과정을 모의하는데 사용되고 있고, 많은 수문모형의 매개변수들을 추출할 수 있다. 그리고 지형의 공간적 분산도는 수문모형의 모의에 많은 영향을 미치며, 수문모형에 고도자료를 적용할 때는 지표면을 표현하기 위해 격자기반자료, 불규칙삼각망자료, 등고선 기반 자료 등의 세 가지 방법 중 어떤 방법을 사용하는 것이 유리할 것인지 검토할 필요가 있다.

평균경사도 분석 및 고찰

1. 대상유역

본 연구대상유역은 수영강 유역으로서, 수영강은 부산광역시의 대표 하천으로 경상남도 양산시와 접하고 있다. 유역면적은 199.57km²이고, 유로연장은 28.0km에 달하는 부산 제1의 지방2급 하천이다. 또한 유역은 상류와 하류로 크게 구분할 수 있으며, 상류유역에는 상수도 전용댐인 회동댐이 있다. 하류유역은 도시하천으로 바다를 접하고 있는 감조하천이 존재하고 있다. 회동댐 상류유역은 수영강 전체유역의 약 50%에 달하고 있으며 하류유역에는 크고 작은 교량이 9개소 이상이 있다. 본 유역이 토지이용현황은 임야가 59.1%, 농경지가 12.9%, 수계가 1.9%, 초지가 1.0%, 도시지역이 25.1%로 이루어져 있다.

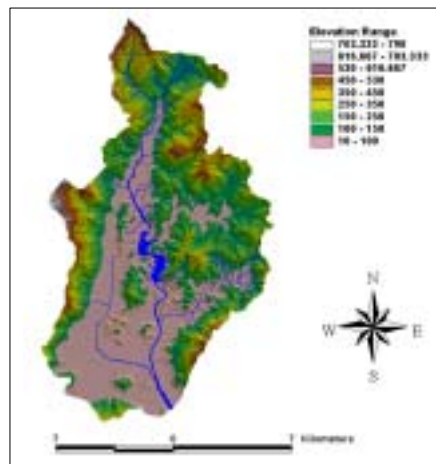


FIGURE 2. 연구대상유역

2. 경사도 분석

경사도는 격자들과 인접 격자간의 최대변화율을 계산하여 나타낸다. 생성되는 경사 Grid는 경사의 정도를 표현하는 값을 저장하게 된다. 15의 화소값은 해당 격자의 경사도가 15임을 의미한다. 경사는 경사율이나 각도로 측정될 수 있다. 경사도는 다음 식에 의해 경사율로 계산된다.

$$S = \frac{h}{L} \times 100$$

여기서, S는 평균경사도(%), L은 밑변(m), h는 표고(m)이다.

경사도로 계산하게 되면 90°가 최고값이 되지만 경사율을 계산하게 되면 무한한 값을 가질 수 있다. No Data를 저장하고 있는 격자에는 출력 격자에도 No Data를 저장한다. ArcView에서 수치표고 Grid를 선택한 다음 Surface 메뉴에서 Derive Slope를 이용하여 경사도를 생성할 수 있다.

3. 단일유역으로 취급한 경우의 경사분석

격자크기의 변화에 따른 결과의 민감도를 분석하기 위하여 경사도 분석을 지류별로 분류하여 실시하고, 또한 소유역으로 세분화하여 분석을 실시한 후 그 결과를 토대로 결론을 유도하였다. 즉 유역의 크기에 따른 결과의 비교를 위하여 연구대상 유역 내의 한 지점을 선정하여 유역의 크기에 따른 경사도 분석을 실시하였다.

연구대상유역을 하나로 취급하여 유역을 세분화하여 격자별 경사도를 산정하였으며, 유역

의 분할은 ArcView의 Hydro 모듈을 사용하여 Fill Sinks를 한 후 자동으로 유역을 분할한 결과이다(그림 3). 각 17개의 소유역을 대상으로 경사도를 추출한 결과 수영강 유역은 격자의 크기가 10m×10m에서부터 100m×100m까지의 범위에서는 평균경사도가 비슷한 양상을 보이고 있으나, 격자의 크기가 100m×100m 이상에서부터는 평균경사도가 많은 분산을 취하고 있음을 그림 4를 통하여 알 수 있다.

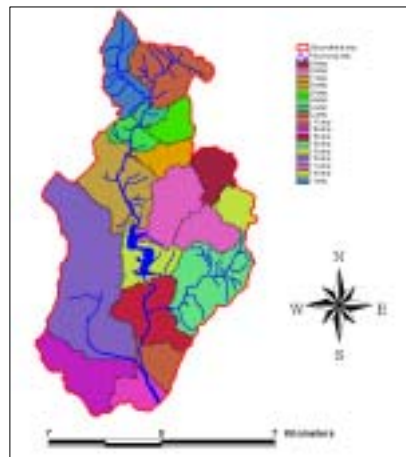


FIGURE 3. 소유역 분할

4. 지류별 소유역 분할 평균경사도

연구대상유역을 범기천, 철마천, 온천천, 석대천 및 수영강 본류의 각 지류별로 구분하여

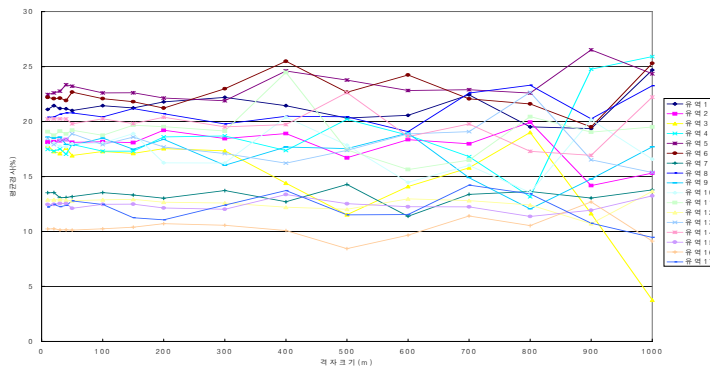


FIGURE 4. 단일유역의 평균경사도(%)

해당 지류별 평균경사도를 GIS를 이용하여 그 결과를 분석하였으며 유역의 분할은 아래의 그림 5에 나타난 것과 같다.

4.1 법기천유역의 평균경사도

법기천은 유로연장 6.31km, 하천연장 2.5km 인 낙동강 권역에 속하는 지방 2급 하천으로 유역면적이 11.11 km²으로 경남 양산시에서 발원하여 수영강으로 흘러 들어가는 하천이다. 법기천에서의 경사도 분석은 그림 7과 같으며 격자의 크기가 100m×100m에 이르는 범위까지 그 결과가 일정하게 나타남을 알 수 있다.

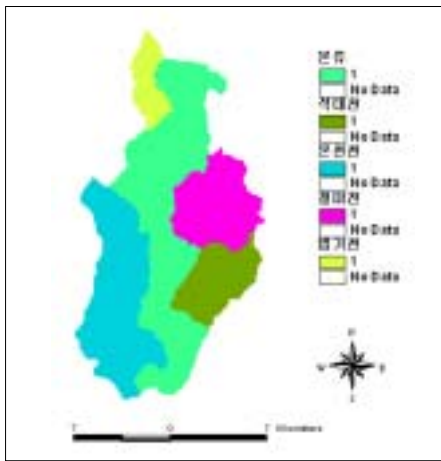


FIGURE 5. 지류별 소유역 분할

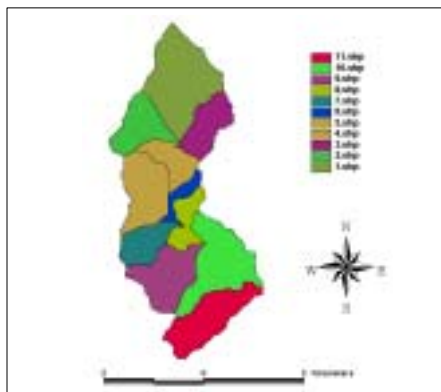


FIGURE 6. 법기천의 소유역

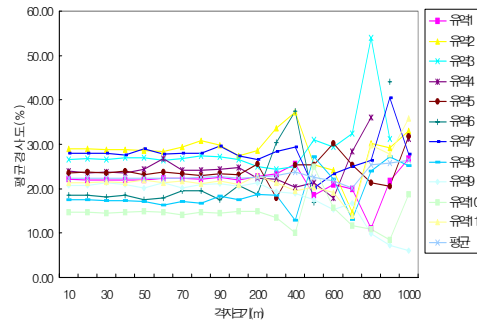


FIGURE 7. 법기천의 평균경사도(%)

4.2 철마천유역의 평균경사도

철마천은 유로연장 11.73km, 하천연장 8.5km인 낙동강 권역에 속하는 지방 2급 하천으로 유역면적이 31.11 km²으로 부산시 기장군 철마면에서 발원하여 수영강으로 흘러 들어가는 하천이다. 철마천에서의 경사도 분석은 그림 9와 같으며 격자의 크기가 100m×100m에 이르는 범위까지 그 결과가 일정하게 나타남을 알 수 있다.

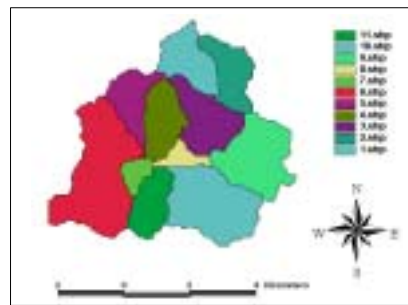


FIGURE 8. 철마천의 소유역

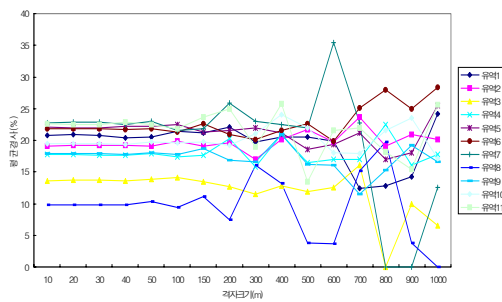


FIGURE 9. 철마천의 평균경사도(%)

4.3 온천천유역의 평균경사도

온천천은 유로연장 15.62km, 하천연장 14.13km인 낙동강 권역에 속하는 지방 2급 하천으로 유역면적이 54.19 km²으로 부산시 금정구 구서동에서 발원하여 부산시 동래구 안락동에서 수영강과 합류한다. 온천천에서의 경사도 분석은 그림 11과 같으며 격자의 크기가 100m×100m에 이르는 범위까지 그 결과가 일정하게 나타남을 알 수 있다.

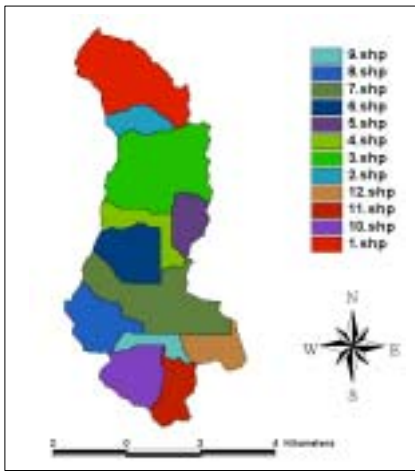


FIGURE 10. 온천천의 소유역

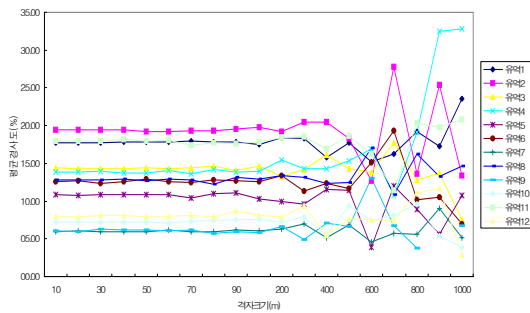


FIGURE 11. 온천천의 평균경사도(%)

4.4 석대천유역의 평균경사도

석대천은 유로연장 12.5km, 하천연장 7.75km인 낙동강 권역에 속하는 지방 2급 하천으로 유

역면적이 22.47 km²으로 부산시 기장군 철마면 안평리에서 발원하여 부산시 해운대구 석대면에서 수영강과 합류한다. 석대천에서의 경사도 분석은 그림 13과 같으며 격자의 크기가 100m×100m에 이르는 범위까지 그 결과가 일정하게 나타남을 알 수 있다.

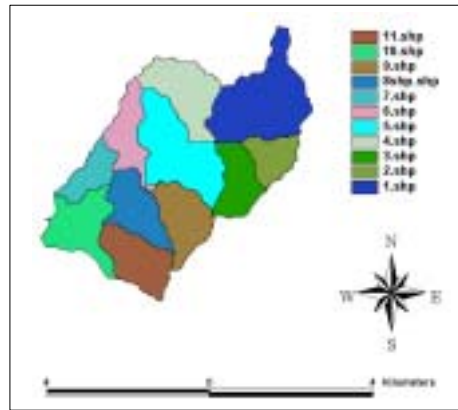


FIGURE 12. 석대천의 소유역

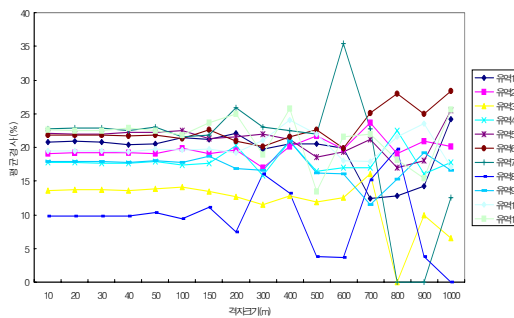


FIGURE 13. 철마천의 평균경사도(%)

4.5 수영강 본류유역의 평균경사도

수영강 본류는 유역면적 81.12 km²으로 유로연장 28.59km, 하천연장 19.2km인 낙동강 권역에 속하는 지방 2급 하천이다. 수영강 본류에서의 경사도 분석은 그림 15와 같으며 격자의 크기가 100m×100m에 이르는 범위까지 그 결과가 일정하게 나타남을 알 수 있다.

4.6 지류별 구역의 평균경사도 비교

각 지류별 평균 경사도를 구한 결과, 격자의 크기가 100m×100m인 경우까지는 경사도가 일정하게 나타났으나 그 이상의 격자의 크기에서는 경사도의 값이 많이 분산됨을 알 수 있었다. 각 지류별 경사도의 값은 법기천, 철마천, 석대천, 수영분류 그리고 온천천의 순으로 평균 경사도의 값이 나타났다. 이는 법기천의 경우 수영강의 상류부에 속하며 지역도 산지가 대부분인 유역을 가지고 있는 특성으로 인하여 평균 경사도의 값이 크게 나타났으며, 온천천의 경우는 이와는 반대로 대부분이 시가지를 관통하는 도시하천의 경우이므로 평균 경사도의 값이 대체로 작게 나타난 것으로 판단된다.

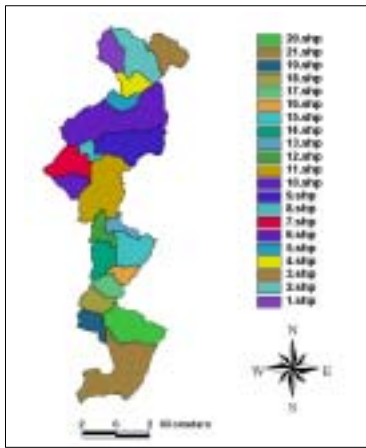


FIGURE 14. 수영강 본류의 소유역

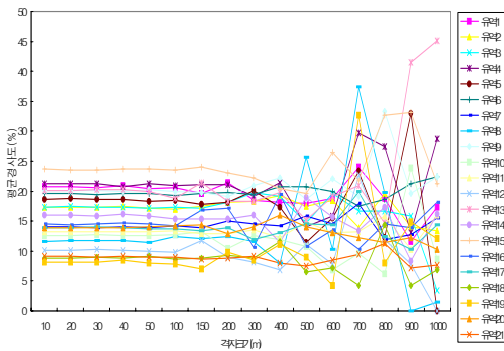


FIGURE 15. 수영강 본류의 평균경사도(%)

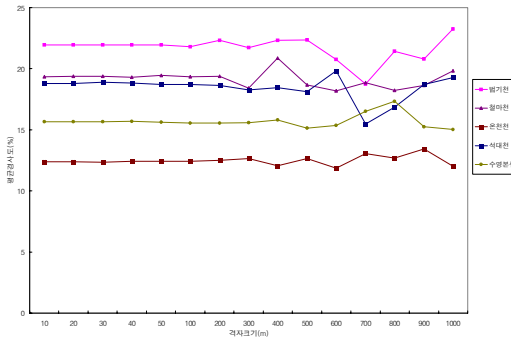


FIGURE 16. 지류별 평균 경사도(%)

TABLE 5. 지류별 분할 시 평균경사도(%)

격자 크기 (m)	유역 전체 (km ²)	유역별 평균	법기천	철마천	온천천	석대천	수영분류
10	14.64	15.19	18.57	16.66	10.92	16.55	13.23
20	15.03	15.22	18.61	16.65	10.92	16.58	13.33
30	15.03	15.18	18.55	16.67	10.92	16.54	13.23
40	14.94	15.22	18.51	16.71	10.97	16.60	13.31
50	14.98	15.24	18.59	16.69	10.93	16.62	13.35
60	14.89	15.26	18.77	16.70	10.97	16.59	13.27
70	14.95	15.19	18.50	16.69	10.95	16.49	13.34
80	14.96	15.24	18.86	16.80	10.86	16.43	13.24
90	15.04	15.22	18.47	16.76	10.92	16.65	13.28
100	14.95	15.27	18.80	16.73	10.94	16.66	13.22
200	15.06	15.35	18.93	16.76	10.81	16.87	13.38
300	14.94	15.39	18.95	17.38	10.93	16.61	13.08
400	15.48	15.46	18.91	17.30	10.91	16.15	14.03
500	14.36	15.07	19.02	16.30	11.23	16.13	12.65
600	15.72	15.44	19.01	16.10	11.54	16.21	14.33
700	14.95	15.93	20.32	17.32	10.45	17.65	13.89
800	16.33	16.14	17.75	18.01	12.45	18.26	14.24
900	15.01	15.27	16.32	19.36	10.16	17.26	13.26
1000	14.21	14.97	17.30	15.97	10.28	17.68	13.63

5. 유역 내 소유역의 평균경사도 분석

유역 면적에 따른 격자크기의 영향을 살펴보기 위하여 대상유역 내 한 지점을 선정하여 지류별

분석과 동일한 방법으로 분석을 실시하였다.

5.1 소유역의 선정

연구대상유역은 그림 17과 같이 부산광역시 수영강 일대에 위치한 명장동 일원으로 유역면적이 0.873km²인 대표적인 소유역이다. 본 유역의 토지이용현황은 임야 61.6%, 수계 6.1%, 도시지역 32.3%로 이루어져 있다.

5.2 연구방법

연구대상지역은 1:1,000, 1:5,000 및 1:25,000 수치지도에 각각 12, 2, 1장씩으로 나타낼 수 있으며, 이들 수치지도는 CAD를 사용하여 고도(elevation)의 결점(loss point)을 수정하였다. 벡터데이터를 레스터형식의 DEM으로 생성하기 위하여, ArcView 3.2를 이용하였다. 생성된 DEM으로 유역도를 산정하였고 유역도를 다시 소유역별로 나눠서 경사도를 추출하였다. 이를 이용하여 축척과 격자크기에 따라 경사도를 분석하였고, 소유역 분할 시 본래 유역전체의 경사도와와의 오차를 비교하였다.

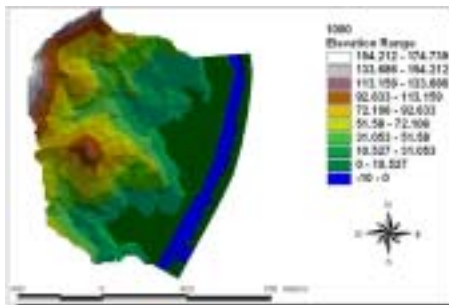


FIGURE 17. 연구대상유역

5.3 축척과 격자에 따른 경사도 변화

경사도의 추출을 위하여 대상 유역에 대하여 1:1,000, 1:5,000, 1:25,000의 수치지도와 유역경계를 이용하여 TIN을 구축하였고 DEM을 생성시켰다. ArcView Hydro 모듈을 이용하여 결손부분(fill sinks)을 보완하여 유역도를 산출하였다. 유역도를

바탕으로 그림 18과 같이 소유역별 나누었으며, 격자크기와 축척에 따라 경사도를 산정하였다.

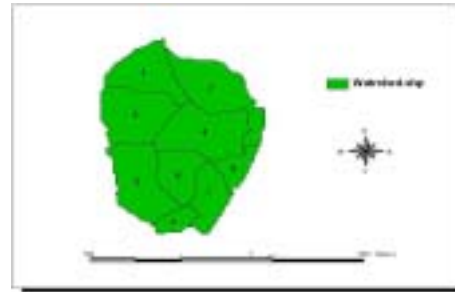


FIGURE 18. 소유역 분할

축척이 1:1,000인 경우의 소유역별 격자 크기에 따른 경사도의 변화는 그림 19에 나타내었고, 1:5,000, 1:25,000의 경우는 각각 그림 20과 21에 나타내었다. 그리고 격자별 축척에 따른 평균경사도의 변화를 그림 22에서 나타내었다. 각 축척별로 격자의 크기는 10m×10m부터 100m×100m까지 증가시키면서 경사도를 산출하였다. 그림에서 보는 바와 같이 각 축척별로 격자크기에 따른 경사도의 변화는 격자가 커질수록 경사도가 일정하게 작아지는 것을 알 수 있었다. 이는 격자의 크기가 커질수록 주위의 고도값을 보정하기에 고도값이 둔화되어 경사가 일정하게 작아지는 것이다. 이러한 현상은 산지 지역에서 두드러지며 평지지역에서는 오히려 값이 약간 상승하거나 경사도의 변화가 크게 없는 것을 알 수 있었다. 또한, 경사도는 소축척일수록 작아졌다. 그러나 격자의 크기가 커질수록 축척과는 상관없이 격자에 대한 경사도 값의 차이가 줄어들어 가는 것을 알 수 있었다. 이는 격자크기에 대한 경사도 값의 보정이 어느 정도 범위에 이르면 일정하기 때문이다. 유역의 크기에 따라 격자의 크기를 조정해야 할 필요가 있지만 대상 유역에 따라 격자크기를 어떻게 결정할 것인지는 아직 확실하게 규명되지 않았다.

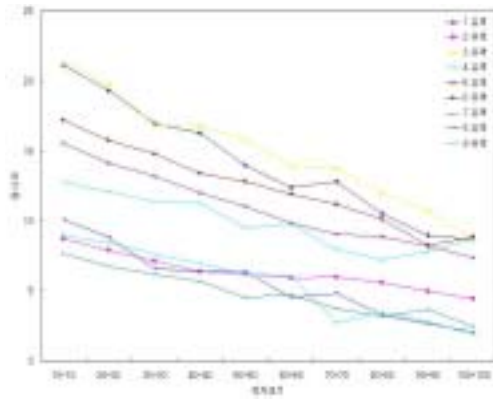


FIGURE 19. 1:1,000 축척에 따른 경사도

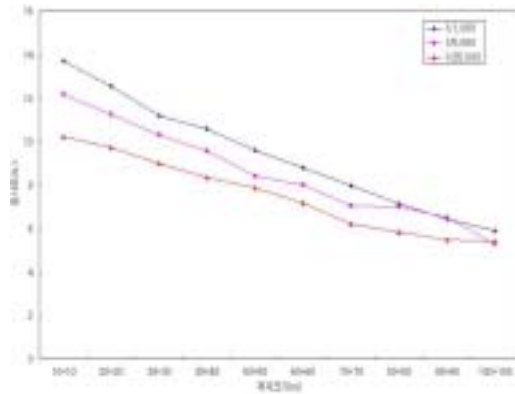


FIGURE 22. 축척에 따른 경사도 변화

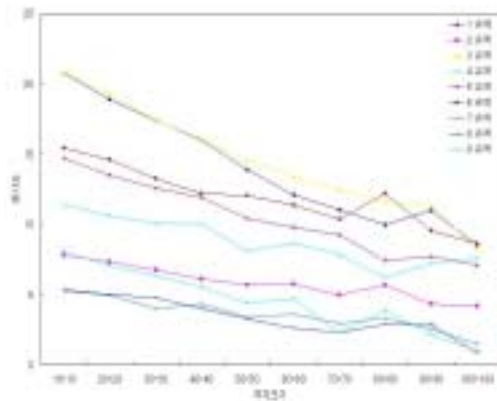


FIGURE 20. 1:5,000 축척에 따른 경사도

5.4 소유역 분할 시 경사도의 변화

경사도 분석을 보다 정확하게 하기 위하여 소유역 별로 분할하여 경사도를 적용한 결과 평균경사 값이 그림 23과 같이 차이가 나타났다. 그 이유는 소유역으로 분할하여 그리드 (grid)의 생성 시 격자의 크기에 영향을 받아 각각의 소유역의 면적과 높이 값에 오차가 발생하였고 이는 경사도의 오차 발생 원인이 되기 때문이다. 따라서 보다 정확한 분석을 위하여 유역을 소유역으로 분할하는 것은 타당하나 무리한 유역의 분할은 유역전체의 경사도 값에 영향을 미치지므로 인자값의 획득은 이를 고려하여야 한다.

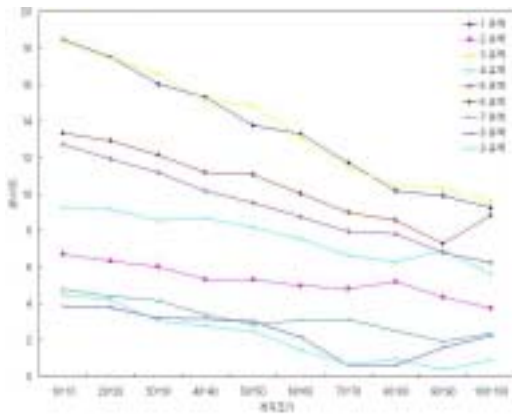


FIGURE 21. 1:25,000 축척에 따른 경사도

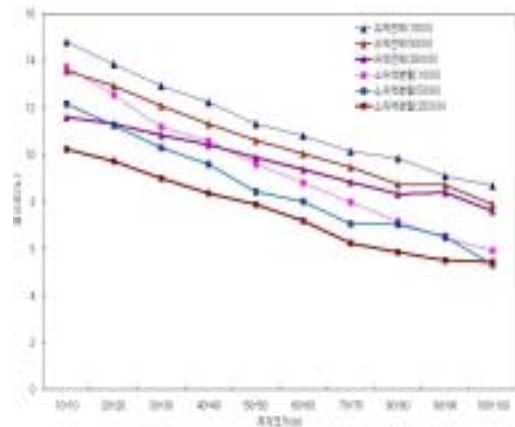


FIGURE 23. 소유역 분할에 따른 경사도

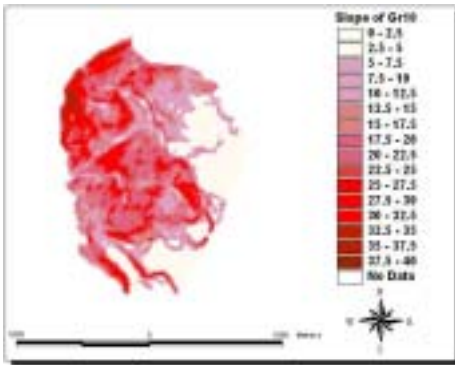


FIGURE 24. 전체유역(1:1,000)의 경사도

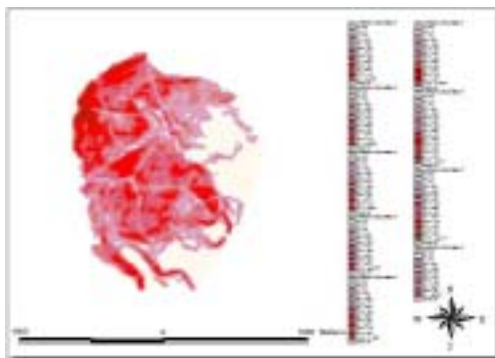


FIGURE 25. 소유역 분할에 따른 경사도

결론

연구대상유역의 수치지형도를 이용하여 격자의 크기가 수문지형인자에 미치는 영향을 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다. 첫째, 수영강 전체 유역에서 평균경사도를 산정할 경우에 격자의 크기가 100m×100m인 경우가 최적인 것으로 분석되었다. 둘째, 격자의 크기가 100m×100m 이상인 경우에는 평균경사도가 분산되는 양상을 보였으며, 산지인 경우가 평지에서보다 분산의 폭이 크게 나타났다. 셋째, 수영강 유역과 같은 유역면적이 큰 지역에서는 격자의 크기가 100m×100m 이하에서는 평균경사도가 일정한 값을 나타내었으나, 소유역(0.873km²)에서의 평균경사도는 격자의 크기가

증가함에 따라 일정하게 감소하는 경향을 보였다. 따라서 평균경사도를 산정할 경우에 유역면적의 크기를 고려해서 결정해야 할 것으로 판단된다. **TABLE**

참고문헌

- 김연준, 신계중, 2002. DTED와 1:50,000 수치지형도에 의한 격자 DEM의 지형 매개변수 비교. 한국지리정보학회지. 5(3):19-32.
- 박영일, 1995. 수치지형모형으로부터 유역의 하천형태학적 특성인자 추출에 관한 연구. 강원대학교 석사학위논문. 23~45쪽
- 박진형, 이관수, 이삼노, 2004. DEM의 정확도 분석에 의한 도시 소유역의 유출해석. 한국지리정보학회. 7(1):28-38.
- 박진혁, 황의호, 이근상, 채효석, 2004. 분포 증발산량 산정 결과의 격자형 GIS 표현. 한국지리정보학회지. 7(4):88-97.
- 손차범, 2004. GIS를 이용한 수문지형인자추출에 따른 격자크기의 결정에 관한 연구. 부경대학교 산업대학원 석사학위논문. 1~46쪽.
- 양인태, 1997. 수문해석을 위한 DEM에 의한 지형의 경사도 분석에서 격자크기의 영향. 한국측지학회지. 15(2):234~241.
- 이금삼, 조화룡, 2000. DEM을 이용한 한반도 지형의 경사도 분석. 한국지리정보학회. 3(1):35-43.
- 정인주, 이정민, 김상용, 이종출, 2002. DEM에 의한 지형인자 추출에 따른 격자크기의 영향에 관한 연구. 한국지형공간정보학회논문집. 10(2):67-75.
- 최철웅, 1999. 지형공간정보체계를 이용한 수문지형인자 결정에 관한 연구. 부산대학교 대학원 박사학위논문. 5~145쪽.
- M. G. F. Werner, 2001. Impact of Grid Size in GIS Based Flood Extent Mapping Using a 1D Flow Model. Journal of Phys. Chem. Earth, Vol. 26, pp.517~522.

- David F. Maune, 2001. Digital Elevation Model Technologies and Applications. The DEM User Manual. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing.
- G.A.Artan, et. al, 2000. Characteristic length scale of input data in distributed models: implications for modeling grid size. *Journal of Hydrology*. pp.128~139.
- Hickey, R, A. Smith, and P. Jankowski, 1994. Slope length calculations from a DEM within ARC/INFO GRID, *Journal of Computers, Environment and Urban Systems*. Vol. 18, no. 5, pp.365~380.
- Mark, D. M., 1984. Automated detection of drainage network from digital elevation. *Cartographica*.21, pp.168-178.
- Quinn, Boven, 1991 The prediction of hillslope flow paths for distributed hydrological modelling using Digital Terrain Models. *Journal of Hydrological processes*. Vol. 5, pp.59-79. 