

수문해석을 위한 DEM에 의한 지형의 경사도분석에서 격자크기의 영향

The Effect of Grid Size in a Slope Analysis of Terrain by DEM for Hydrological Analysis

양인태* · 김연준**
Yang, In-Tae · Kim, Yeon-Jun

요 旨

수문해석에서 지형의 경사분석결과는 수질예측이나 수량예측에 매우 중요한 영향을 미친다. 최근의 경사분석은 기존의 종이지도를 이용하기 보다는 수치표고모형을 이용하는 추세이다. 그러나 수치표고모형에 의한 지형 경사 분석은 수치표고모형의 격자크기에 영향을 받는다. 따라서 격자크기에 따른 경사분석결과의 영향은 중요한 요소가 될 수 있다. 이 연구에서는 수질과 수문을 시뮬레이션하기 위해서 요구되는 수문매개변수와 지형매개변수를 결정하기 위해 소양호 유역의 면적이 640 km²인 내린천 유역과 삼척오십천의 33 km²인 무릉천 유역에 적용하였다. 격자의 크기가 유역의 경사분석에 미치는 영향을 분석하기 위해 내린천유역에 대해서는 1,000 m에서 100 m까지 100 m 격자간격으로 그리고 무릉천유역에 대해서 300 m에서 20 m까지 10 m간격으로 각각의 격자를 만들어 변화시키면서 적용하였다.

ABSTRACT

In hydrology analysis, the result of a slope analysis for terrain have an very important effect on water quality and water quantity. Recently, a slope analysis tend to use the digital elevation model rather than the traditional map sheet. But a terrain slope analysis by the digital elevation model depends on grid size of the digital elevation model. Hence the effect of a slope analysis by the digital elevation model is a important factor. In this study, therefore, in order to determine a hydrological parameter and a terrain parameter for simulation of the water quality and the hydrological property, we adapted two sample area that are the Nerin stream of the basin of the Soyang lake and a Osip stream of Samchuk, and its individual coverages are 640 km² and 33 km². Also to analyze the effect of grid size in the slope of a basin, we apply DEM changing a grid size respectively at intervals of 100 m from 100 m to 1,000m for the Nerin stream basin and at intervals of 10 m from 20 m to 300 m for the Osip stream basin.

1. 서 론

최근에 GIS는 주요한 공간자료를 취급할 수 있는 매우 유용한 도구로 이용될 수 있으며, 수문 및 수질 모델링에 관련된 광범위한 분야에 적용되어지고 있다.^{3,5)} 특히, 경사와 경사방향과 같은 수치표고자료와 지형속성의 통합은 매우 좋은 해상력으로 집수구역에서 공간적으로 변화하는 수문학적 과정의 발생을 결정하는데 있

어서 GIS 응용의 중요성이 더욱 증대되고 있다.¹⁰⁾

지형에서 추출된 수문매개변수는 경사, 흐름방향, 흐름누적, 흐름속도 그리고 화학적 수문 반응단위의 묘사 등이 포함된다. GIS는 수문모델링체계를 위한 입력매개변수를 결정하는데 이용되고, 결과물은 다양한 지도 형태로 표현될 수 있다.⁴⁾

강원대학교 공과대학 토목공학과 측량 및 지구공간 정보 연구실에서는 북한강 수계의 시범유역을 선정하여 이 유역에 포함되어 있는 부유역들에 대한 수문 및 수질모델링에 관련된 각종 매개변수를 원격탐사와

*강원대학교 토목공학과 교수
**강원대학교 토목공학과 박사과정수료

GIS를 이용하여 결정하고, 모델링하는 연구를 꾸준히 수행하고 있다.¹²⁾ 수문학적 매개변수중에서 지형의 경사도는 수문해석을 위해 매우 중요한 요소중의 하나이며, 수문해석 결과에 영향을 미친다. 수치표고모형(DEM)으로부터 지형의 경사도를 추출하기 위해서는 격자를 형성하는데 경사도는 격자의 크기에 영향을 받는다. 그러므로 격자크기는 수문해석 결과에 영향을 미친다.¹⁵⁾

이 연구는 수문해석을 위한 GIS응용의 일부로서 격자크기가 지형의 경사도분석에 미치는 영향을 분석한 것이다.

2. DEM 생성

물이나 바람은 지표면변천에 대한 주요 침식행위자와 운송수단이다. 물의 분포는 자연경관에서 식물상과 동물상의 분포와 풍부성을 결정하는 중요한 요소이다.

지형은 토양침식과 운송과정의 중요한 결정요소이다. 지표면 진화과정 모델은 일반적으로 집수구역이나 부 집수구역의 경계, 배수유역면적, 표면경사, 경사길이, 경사모양, 하천경사, 방향성, 하천망 및 물이 자연경관을 통하여 어떻게 움직이는지를 정의하는 셀단위 또는 토지단위 연결성을 정의하는데 있어서 표 1과 같이 지형에 관련된 자료를 요구한다. 예를들어 농촌유역의 수질을 예측하는데 이용되는 AGNPS 수질모델에 요구되는 입력자료의 약 3분의 1은 지형에 근거한 것이다. Panuska 등은 어떻게 수치지형모델(DTM)로부터 지형에 관련된 모델 매개변수들을 자동적으로 추출하기 위해서 AGNPS 모델과 어떻게 인터페이스 할 수 있는지를 제시하였다.¹²⁾

지형속성은 일차적인 것과 이차적인 복합속성으로 구분할 수 있다. 일차적인 속성은 표고자료로부터 직접 계산되며, 여기에는 표고, 경사, 방향성과 같은 변수들이 포함된다. 복합속성은 일차적인 지형속성이 포함

표 1. DEM 자료로부터 지형분석에 의해서 계산될 수 있는 일차적인 지형속성^{a)}

Attribute	Definition	Significance
Altitude	Elevation	Climate, vegetation, potential energy
Upslope height	Mean height of upslope area	Potential energy
Aspect	Slope azimuth	Solar insolation, evapotranspiration, flora and fauna distribution, and abundance
Slope	Gradient	Overland and subsurface flow velocity and runoff rate, precipitation, vegetation, geomorphology, soil water content, land capability class
Upslope slope	Mean slope of upslope area	Runoff velocity
Dispersal slope	Mean slope of dispersal area	Rate of soil drainage
Catchment slope*	Average slope over the catchment	Time of concentration
Upslope area	Catchment area above a short length of contour	Runoff volume, steady-state runoff rate
Dispersal area	Area slope from a short length of contour	Soil drainage rate
Catchment area*	Area draining to catchment outlet	Runoff volume
Specific catchment area	Upslope area per unit width of contour	Runoff volume, steady-state runoff rate, soil characteristics, soil water content, geomorphology
Flow path length	Maximum distance of water flow to a point in the catchment	Erosion rates, sediment yield, time of concentration
Upslope length	Mean length of flow paths to a point in the catchment	Flow acceleration, erosion rates
Dispersal length	Distance from a point in the catchment to the outlet	Impedence of soil drainage
Catchment length*	Distance from highest point to outlet	Overland flow attenuation
Profile curvature	Slope profile curvature	Flow acceleration, erosion/deposition rate, geomorphology
Plan curvature	Contour curvature	Converging/diverging flow, soil water content, soil characteristics

되며, 자연경관에서 발생하는 특정한 과정의 공간변화성을 특성지우는 것을 나타내며, 일반적으로 물리적인 것에 근거하거나 경험적으로 얻어진다. 표 1은 지표면과 지표면하의 진행과정 모델링에서 일차적인 지형속성과 이들에 관련된 중요한 인자들의 목록이다. Moore등과 Moore 그리고 Nieber는 수문학적 변천과정, 기상학적 변천과정, 생물학적 변천과정의 공간분포의 특성에 이용되는 복합속성에 관한 것을 언급한 바 있다.⁹⁾

이들 지형속성은 다양한 지형분석 기법을 이용하여 DEM으로부터 계산할 수 있으며, GIS에서 지형속성은 DTM으로 저장된다. GIS에 아주 많은 지형 속성들을 저장하기 보다는 오히려 GIS의 분석시스템내에 지형분석 기법을 포함시켜 DEM 자료부터 지형속성을 계산하는 것이 더 효과적이다. 이것은 DEM에서 어떤 함수 $F(x,y,z)$ 에 의해서 정의되어 속성들을 끌어내기 위해 기본적인 기하학을 이용하여 표면에 적합하거나 직접 DEM에 유한차분을 이용하여 일차적인 지형속성을 계산하는 것이 가능하다.⁹⁾ 국부지역의 DEM에서 연속적인 표면에 적합시키는 방법을 국부내삽방법이라 하고 전체 DEM에서의 표면에 적합시키는 방법을 전체적 방법이라 부른다. 일반적으로 전체적 방법은 적은 지역을 제외하고는 계산적으로 처리하기 어렵다. Moore 등은 DEM 구조 영역에서 국부적 내삽방법을 이용하여

표면으로부터 경사와 방향성을 계산하는 함수를 제시하였다. 이 함수는 GIS에서 실행이 단순·간단하며, 이용되는 유한차분 모형에 따라서 유한차분법의 결과와 동일한 결과를 산출한다.^{9,10)}

DEM에 대한 개념적 구조는 자료이용의 계획에 따라 모델구조를 어떻게 연관시키느냐이다. 그림 2는 DEM 구조의 세가지 중요한 방법을 나타내고 있다.

(1) 그리드 방법은 규칙적인 공간의 삼각형, 정사각형, 직사각형격자, 미국 연방지도국에 의해서 이용되는 3초 간격의 규칙적인 각도 격자가 이용된다. 격자방법의 선택은 조사되는 지역의 크기에 주로 관련되어 있다. 자료는 다양한 방법으로 저장할 수 있다. 그러나 가장 효과적인 방법은 시작점에 대한 단면을 따라서 연속적인 점에 일치시켜 z 좌표와 격자공간을 지정하는 것이다.

(2) 불규칙삼각망(TIN)은 일반적으로 산봉우리, 산등성이나 같이 특정한 표면점이나 경사가 단절된 곳에서 표본을 추출하며, 그물모양에 인접해 있는 포인트와 더불어 x, y, z 좌표의 집합으로서 저장되는 점의 불규칙한 망의 형태이다.

(3) 벡터나 등고선 방법은 수치화된 등고선으로 구성되며, x, y좌표쌍의 형태로 지정된 고도에서 각각의 등고선에 따른 수치선그래프(DLG)로 저장된다. 이것들은 인접한 등고선과 인접한 수계선에 의해서 경계화된 불규칙한 다각형내로 면적을 분할하는데 이용할 수 있다. 이 방법은 Onstad와 Brakensiek(1968)에 의해서 처음으로 제안된 하천경로 유추법에 근거한 것이다.¹¹⁾

가장 널리 이용되는 자료구조는 정방형 격자이다. 왜냐하면 이 정방형 격자구조가 컴퓨터 실행과 계산에 효과적이기 때문이다. 그러나 이 정방형 격자구조는 몇 가지 단점을 가지고 있다. 이 구조는 표고가 갑자기 변하는 것은 쉽게 나타낼 수 없다. 격자크기는 얻어지는 결과와 계산의 효용성에 영향을 미친다. 계산된 Upslope 흐름 경로는 수문분석에서 지그재그형 경향에 이용된다. 따라서 어떤 의미에서는 실질적이지 못하다. 이것은 지정된 집수구역 면적을 부정확하게 나타낸다. 규칙적인 격자는 굴곡이 심한 지형을 조정해야만 하기 때문에 완만한 지형의 지역에는 여분의 자료가 보충되어야 한다. 불규칙삼각망은 이와같은 환경에서 더 효과적이고 융통성이 있다. 격자 DEM은 일반적으로 지형속성을 평가하는데 가장 효과적인 구조를 제공한다. 등

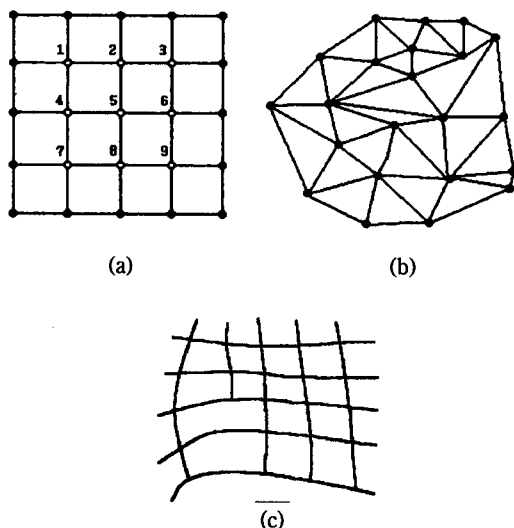


그림 1. 표고자료망을 구축하는 방법. (a) 그리드망, (b) 불규칙삼각망(TIN), (c) 벡터 또는 등고선 망

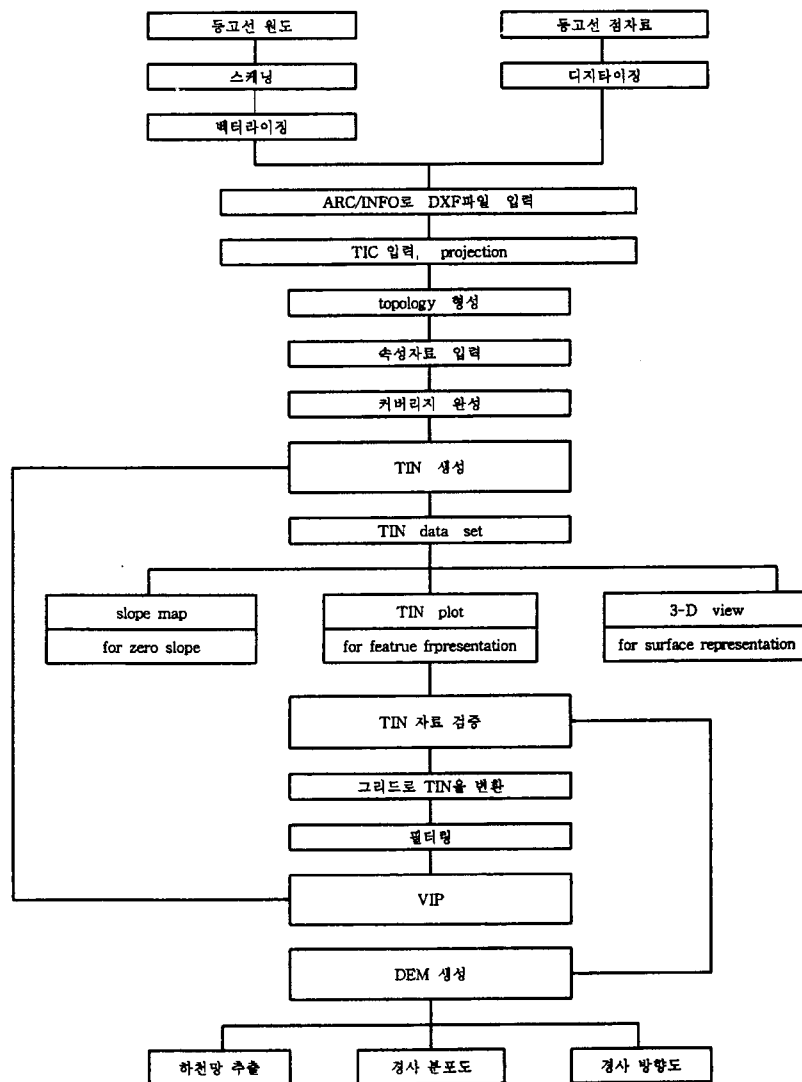


그림 2. DEM 생성과정.^{4,5)}

고선 방법은 더 많은 자료저장 크기배열을 가지며, 계산의 장점을 제공하지 않는다. TIN 구조와 더불어 이것은 Upslope 연결면을 결정하는 것을 어렵게 할 수 있다. 그러나 이것은 TIN망의 수공처리와 시각 정밀검사에 의해서 극복할 수 있다. TIN의 불규칙성은 격자방법 보다 더 어려운 속성 계산을 요구한다.

등고선은 래스터 스캐닝과 벡터라이징의 과정을 이용하여 자동적으로 수치화할 수 있으며, 또한 평면베드형 디지털라이저와 소프트웨어 팩키지를 이용하여 수동으로 수치화할 수 있다.⁷⁾ 각각의 등고선은 수치화할 수 있으며 DLG로 등고선 형태를 저장하거나 규칙적인 격

자나 TIN으로 보간할 수 있다. 유사한 방법으로 특정 지점의 높이가 수치화 될 수 있고, 불규칙한 망으로 분석되거나 규칙적인 격자내로 내삽할 수 있다. Hutchinson(1989)은 등고선 자료나 산개된 특정한 표면점 표고 자료로부터 격자-DEM에서 내삽을 하는 새롭고 효과적인 유한차분방법에 대하여 언급하였다.⁸⁾ 이 방법은 오스트리아에 대한 광범한 DEM를 개발하는데 이용되었다. 등고선-TIN 변형을 실행하는데 가장 일반적인 방법은 Delaunay 삼각형이다.⁹⁾

그림 2는 지형도상에서 얻어진 자료를 이용하여 DEM를 생성하는 과정을 나타내고 있다.

3. 경사도분석

격자의 크기가 경사도에 미치는 영향을 분석하기 위하여, 두 개의 시험유역을 설정하였다. 이 연구에서 분석된 경사도 정보는 지형과 토양 그리고 토지피복 정보와 함께 GIS에 저장되어 수문모델링에 이용된다. 집수구역에서 발생하는 수문학적 변천에 대한 정확한 모델 시뮬레이션은 개념적 모델을 어떻게 물리적인 체계로 표현하느냐 이며, 이것은 이용할 수 있는 입력자료의 축척과 정확도에 따른다.

ARC/INFO는 수치표고자료를 이용하여 매개변수적인 방법을 제공한다. 일반적으로 이 방법은 최대경사법이라 불리우며, 격자셀은 8개의 인접한 셀들을 가지며, 경사는 선택된 8개중에 표고가 가장 낮은쪽으로 이루어진다고 정의되어진다.⁴⁾

ARC/INFO에서는 최대경사법으로 경사분석 결과를 얻는 반면에 GRASS에서 이용되는 방법은 근린법이라 불리우는 방법으로 결과가 얻어진다. 이들 두개의 방법을 비교해보면 최대차이는 1% 이하이고, 평균차이는 0.5% 이하로 나타나며, 이들 알고리즘을 이용하여 시험 집수구역을 선정하여 경사분석한 연구에서 경사가 잘못 표현되었다는 근거는 없다.¹⁰⁾

현재의 수문분석에서 경사도의 분석은 지형도로부터 표본지역을 선정하여 경사도를 분석하여 이용하고 있으나 이 방법은 선정된 전체유역을 고려하지 못하기 때문에 실제의 유역의 경사도와는 많은 차이가 있다. 그러나 GIS는 지형도의 등고선 자료와 DEM 자료로부터 선택된 유역에 대하여 해상력이 높게 경사도 분석을 실행할 수 있다. 또한 GIS는 이러한 자료로부터 경사도 이외에 경사방향도나 삼차원도, 흐름경로 등의 결과물을 추출할 수 있으며, 경사도에 근거한 지형분석 및 토양유실 잠재력을 예측할 수 있다.¹⁵⁾

경사는 모든 격자셀에 대해서 DEM에 의해서 모델화되는 것으로서 표면에서 평면 탄젠트로 정의되어진다. 경사기울기는 고도변화의 최대비율로 표현된다. 주어진 DEM으로부터 경사의 계산은 특히 중요한 분석이다. 왜냐하면 경사계는 지표유출, 지하수유출 방향, 지표나 지하수 흐름속도, 등시곡선, 경사길이, 흐름누적, 하계망, 표면곡률, 지형단위, 지형지표, 토양함수비지표, 잠재적인 중력에너지나 태양방사와 같은 많은 연속적인 계산에 대한 입력자료로 제공되기 때문이다.

DEM를 개발하고 연속적인 DEM를 산출하기 전에 이용되는 격자크기를 결정해야 한다. 최적의 격자크기는 표면조도와 복잡성을 고려한 주어진 실제 지형을 최대한 사실적으로 표현해야 한다. 현재 우리나라에는 이용할 수 있는 DEM 자료가 없기 때문에 지형도의 등고선 자료를 이용하여 DEM를 구축하고 있다.

이 연구에서는 선택된 두개의 시험유역이 선정되었는데, 첫째유역은 북한강 수계의 소양호유역의 부유역인 내린천 유역으로 한강유역의 제 3지류이며 이 유역 내의 부유역을 구성하는 제 4지류로는 주방천, 자운천, 조항천, 방내천, 상남천이며, 둘째 시험유역은 삼척읍 십천의 지류인 무릉천을 선정하였다. 수치표고모형에서 격자크기의 변화에 의한 경사표현의 민감도 분석을 수행하기위하여, 내린천과 무릉천 집수구역에서 경사도에 관한 지형분석을 실행하였다.

내린천 집수구역의 DEM은 1:50,000 축척 지형도로 부터 수계망도와 주곡선인 100 m 간격의 등고선을 스케닝한 다음 벡터라이징한 선에 의해서 만들어졌으며, 이것들은 ARC/INFO 환경에서 TIN을 만드는데 적당하였다. TIN으로부터 표고자료를 갖는 정방형 격자가 만들어졌다. 무릉천 집수구역에 대한 두 번째 DEM은 축척 1:50,000 지형도에서 20 m 등고선 간격으로 만들었다. 또한 이들 지형도의 등고선을 이용하여 만들어진 DEM자료의 정확도를 향상시키기 위해서 내린천유역은 약 500개 그리고 무릉천유역은 약 300개의 산봉우리나 산등성이의 표고점자료를 추출하여 내삽시켜 DEM자료를 보간하였다. 축척 1:50,000 지형도상에서 100 m 등고선 간격은 최소 격자 크기를 100 m로 하고, 20 m 등고선 간격은 20 m로 하였다.

내린천 집수구역에 대해서 격자크기를 100 m, 200 m, 300 m, 400 m, 500 m, 600 m, 700 m, 800 m, 900 m, 1000 m로 변화시켰으며, 무릉천 집수구역에 대한 격자 크기는 20 m, 30 m, 40 m, 50 m, 60 m, 70 m, 80 m, 90 m, 100 m, 150 m, 200 m로 변화시켰는데, 이들 DEM은 연속적인 분석을 위한 주요한 자료형태이다. 각각의 격자크기로 생성된 DEM에 대한 경사도분석은 ARC/INFO SLOPE 명령어를 이용하여 계산하였다.

4. 결과분석

구축된 연구대상지역의 DEM자료를 이용하여 격자

표 2. 내린천 집수구역의 경사분석 결과

[면적비율(%)]

경사도 \ 격자크기	100 m	200 m	300 m	400 m	500 m	600 m	700 m	800 m	900 m	1000 m
0	3.46	0.29	0.02							
0.1~ 3.0	7.25	6.63	6.79	7.54	10.15	11.79	13.88	16.56	19.63	24.06
3.1~ 6.0	8.55	9.73	13.08	17.24	21.27	26.79	31.09	34.75	36.64	36.66
6.1~ 9.0	9.63	12.33	18.60	24.27	27.09	28.16	28.32	29.34	27.00	25.37
9.1~12.0	9.75	16.75	21.81	22.43	22.87	20.54	18.33	13.81	12.74	10.98
12.1~15.0	10.40	20.80	18.55	17.32	13.09	9.81	7.20	4.78	3.61	2.62
15.1~18.0	11.80	15.24	12.85	8.10	4.28	2.46	1.10	0.76	0.25	0.31
18.1~21.0	13.31	10.11	6.23	2.50	1.09	0.45	0.08		0.13	
21.1~24.0	13.19	5.57	1.70	0.50	0.16					
24.1~27.0	8.09	1.95	0.33	0.10						
27.1~30.0	2.97	0.47	0.04							
30.1~33.0	1.11	0.11								
33.1~36.0	0.41	0.02								
36.1~39.0	0.07									
39.1 이상	0.01									
합 계	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

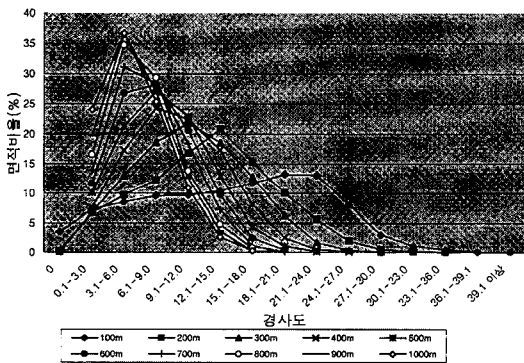


그림 3. 내린천 집수구역의 경사분석 그래프.

크기가 경사에 미치는 영향을 분석하기 위하여 격자크기의 민감도분석을 수행한 결과 내린천유역의 경사별 면적분포는 표 2와 같으며, 이 분석결과를 그래프로 나타내면 그림 3과 같다. 또한 무릉천유역의 경사별 면적분포는 표 3과 같으며 이것을 그래프로 나타낸 것이 그림 4이다.

내린천유역의 면적은 통계자료에 의하면 635.13 km² 이나 GIS에 의해서 추출된 정확한 면적은 640.99 km² 이다. 또한 무릉천유역 통계자료 면적은 32.00 km² 이나 GIS에 의한 면적은 33.84 km² 이다.

표 2와 그림 3에서와 같이 내린천 유역에서 지형경사는 격자크기가 1000 m 일 때 최고 면적비율이 경사

3.1도에서 6.0도사이에 36.66%로 나타났으며, 100 m일 때는 18도에서 21도사이에서 13.31%로 이 두 격자크기의 차이가 23.35%의 최대 면적비율 차이를 나타낼 뿐 만 아니라 평균경사는 격자크기가 1000 m일 때 5.15도이고, 100 m일 때 14.52도로 9.38도 차이가 발생하였다. 또한 내린천 집수구역의 경사분포 도표에서 보는 바와같이 100 m의 격자크기는 경사도 1도와 27도 사이에서 완만한 면적비율을 가지는 반면에 격자의 크기가 증가하면 지형의 고경사지역의 면적비율이 감소하였으며, 면적비율 도표의 침두값은 저경사쪽으로 이동한다. 따라서 격자메쉬크기가 작을수록 지형경사도를 잘 나타내는 반면에 격자메쉬 크기가 증가하면 고경사지역을 분석하지 못하였다.

무릉천 집수구역의 경사분포 도표에서 보는 바와같이 무릉천 유역에서는 20 m에서 100 m 격자크기는 비슷하게 경사의 면적비율을 나타내고 있으며, 도표상의 면적비율 침두값 경사의 분포가 27도와 33도 사이에 나타나는 반면에 100 m이상의 격자크기는 경사의 면적비율 침두값이 15도에서 20도사이에 분포하는 형태를 나타내었으며, 100 m이하의 격자크기 도표 모양과 상당한 차이가 있다. 또한 평균경사는 격자크기 100 m와 20 m를 비교하면 5.97도 차이가 난다.

표 4는 각각의 격자크기로 내린천과 무릉천유역의 최소·최대경사 및 평균경사를 산출한 것이다. 그림

표 3. 무릉천 집수구역의 경사분석 결과

[면적비율(%)]

경사도	격자크기											
	20 m	30 m	40 m	50 m	60 m	70 m	80 m	90 m	100 m	150 m	200 m	
0	0.20	0.04	0.01									
0.1~ 3.0	1.04	0.78	0.82	0.81	0.74	0.85	0.66	0.64	0.75	0.90	1.79	
3.1~ 6.0	1.45	1.50	1.44	1.51	1.57	1.50	1.64	2.20	2.22	2.82	4.69	
6.1~ 9.0	1.95	1.72	1.68	1.90	2.29	2.48	2.89	2.86	3.23	4.68	6.46	
9.1~12.0	2.24	2.44	2.64	2.69	2.99	3.49	4.01	4.45	4.88	7.30	9.59	
12.1~15.0	2.59	2.95	3.13	3.74	4.26	4.59	5.12	5.30	6.10	8.13	9.72	
15.1~18.0	3.59	4.06	4.55	5.06	5.20	6.20	7.07	7.37	7.80	10.01	11.84	
18.1~21.0	5.16	5.82	6.44	6.88	8.00	8.68	8.52	9.76	9.91	13.74	15.13	
21.1~24.0	7.45	7.76	8.50	9.49	10.55	10.24	11.59	11.93	12.65	13.52	12.17	
24.1~27.0	9.78	10.28	11.00	11.36	11.35	12.38	12.98	13.12	12.78	12.77	12.52	
27.1~30.0	12.29	12.99	13.44	13.73	13.62	14.22	13.63	13.44	13.55	10.84	7.33	
30.1~33.0	13.44	13.71	13.99	14.01	13.99	13.05	12.53	11.31	11.00	7.71	4.26	
33.1~36.0	12.46	12.64	12.34	11.94	11.03	10.25	9.26	9.43	8.07	4.85	3.43	
36.1~39.0	9.91	10.08	9.57	8.81	7.93	6.79	6.07	4.98	4.28	1.73	0.95	
39.1~42.0	7.30	6.74	5.92	4.77	4.06	3.49	2.51	2.11	2.28	0.93	0.12	
42.1~45.0	4.50	3.80	2.74	2.14	1.62	1.27	1.08	0.81	0.41	0.07		
45.1 이상	4.65	2.69	1.79	1.16	0.80	0.52	0.44	0.29	0.09			
합 계	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	

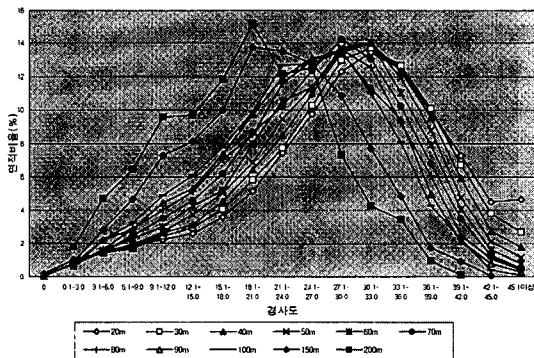


그림 4. 무릉천 집수구역의 경사분석 그래프.

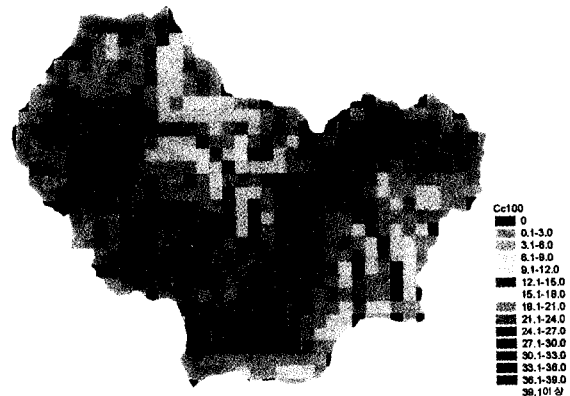


그림 6. 내린천 1000 m격자 경사분포도

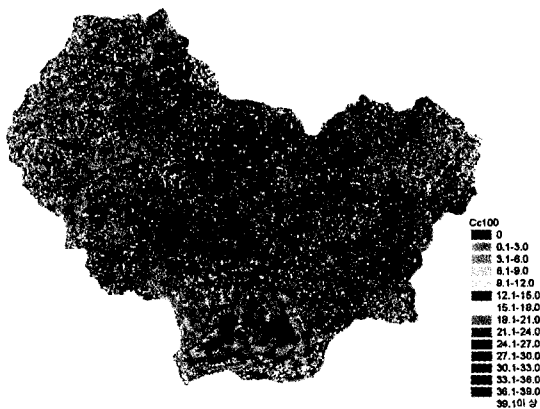


그림 5. 내린천 100 m격자 경사분포도

9와 그림 10은 내린천과 무릉천 유역의 격자크기에 따른 평균경사를 이용하여 회귀분석을 실행한 그래프이다.

격자크기에 대한 평균경사의 변화도를 산출하기 위하여 각각의 격자크기에 대한 평균경사도를 이용하여 회귀분석을 수행하였다.

격자크기가 100 m 간격인 내린천유역의 경우 격자크기에 따른 평균경사를 나타내는 회귀방정식은 $Y = -4.24163 \cdot \text{LOG}(X) + 34.4172$ 이며, 이 회귀방정식에 대한 R제곱 결정계수는 0.995이고, 잔차평균제곱은 0.048

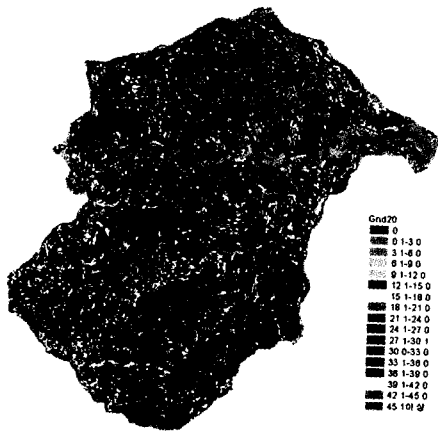


그림 7. 무릉천 20 m격자 경사분포도

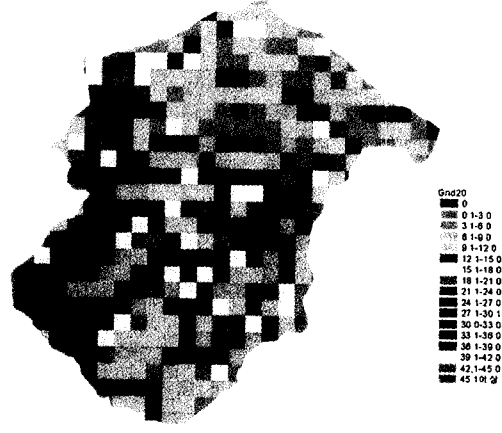


그림 8. 무릉천 300 m격자 경사분포도

표 4. 유역의 격자크기별 최소·최대경사 및 평균경사

하천명	격자크기	최소경사	최대경사	평균경사	표준편차
내린천	100 m	0.00	39.65	14.52	8.21
	200 m	0.00	34.21	12.28	5.98
	300 m	0.00	29.14	10.50	5.04
	400 m	0.00	25.41	9.12	4.44
	500 m	0.15	22.76	8.03	3.98
	600 m	0.11	19.21	7.21	3.62
	700 m	0.15	18.32	6.45	3.34
	800 m	0.26	17.80	5.97	3.15
	900 m	0.35	18.35	5.55	3.06
	1000 m	0.15	17.07	5.14	2.93
무릉천	20 m	0.00	78.44	29.46	10.28
	30 m	0.00	70.78	28.81	9.74
	40 m	0.00	62.87	28.04	9.44
	50 m	0.28	57.79	27.22	9.25
	60 m	0.14	54.97	26.44	9.12
	70 m	0.12	52.66	25.65	9.01
	80 m	0.59	51.38	24.91	8.91
	90 m	0.37	49.56	24.21	8.84
	100 m	0.18	46.80	23.49	8.81
	150 m	1.09	43.02	20.64	8.36
200 m	0.89	40.39	18.35	8.07	

이고 격자크기가 20 m 간격인 무릉천의 경우는 $Y = \text{EXP}(-0.00250482 \cdot X) \cdot 30.6084$ 이며, 이 회귀방정식에 대한 R제곱 결정계수는 0.995이고, 잔차평균제곱은 0.0002였다. 여기서 Y는 격자크기에 따른 평균경사이고, X는 격자크기이므로 격자크기 X를 대입하면 그 유역의 평균경사 Y를 알 수 있다. 이 두 개의 회귀방정식을 이용하여 각각의 유역에 대한 DEM 격자크기에 따른 평균경사의 변화도를 예측할 수 있다.

4. 결 론

이 연구에는 선정된 두 개의 시험유역에 대해서 축척 1:50,000 지형도의 등고선자료와 표고점자료를 이용하여 하나의 유역에 대해서는 계곡선 간격인 100 m와 다른 또 하나의 유역은 주곡선인 20 m 간격의 등고선을 이용하여 격자크기가 경사도에 미치는 영향을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

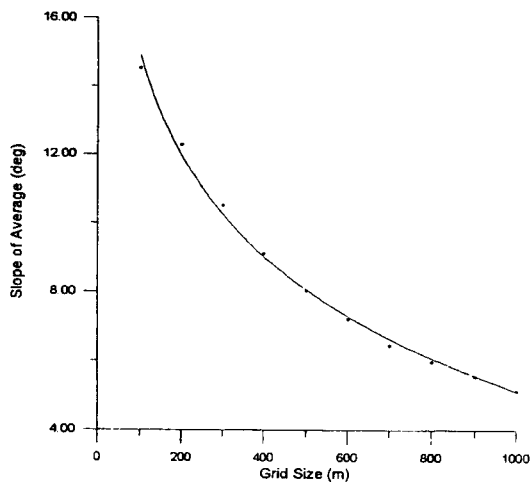


그림 9. 내린천유역 회귀분석 그래프.

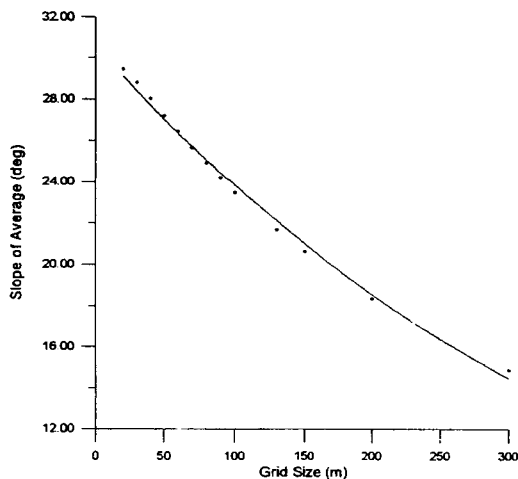


그림 10. 무릉천유역 회귀분석 그래프.

100 m의 등고선 간격을 이용하는 경우에는 선정된 격자크기 중에서 가장 작은 것이 물론 경사도를 잘 나타내었다. 그러나 격자의 크기를 지나치게 작게 하는 것은 컴퓨터의 연산시간이 기하급수적으로 증가하여 효과적이지 못하다. 이 연구에서는 격자크기가 100 m~300 m까지는 평균경사가 약 2도정도 차이가 발생하였고, 400 m~600 m는 1도정도이며, 700 m 이상은 0.5도 정도 평균경사도 차이가 발생되었다. 따라서 격자크기가 커지면 커질수록 평균경도의 차이가 둔화되는 것을 알 수 있었다.

20 m의 등고선 간격을 이용하는 경우에는 각각의 격자크기를 10 m씩 증가시키면 약 1도 미만의 평균경사

도 차이가 발생한다는 것을 알 수 있었다.

내린천유역에서 등고선 간격 100 m을 이용하여 격자크기를 100 m 크기로 증가시켜 DEM을 구축하여 경사분석을 실행결과 평균경사에 대한 회귀방정식 $Y = -4.24163 \cdot \text{LOG}(X) + 34.4172$ 알 수 있었으며, 무릉천유역에서 등고선 간격 20 m을 이용하여 격자크기를 10 m 크기로 증가시키고 격자크기가 100 m 이상인 경우는 일정하크기로 격자크기를 증가시켜 경사분석을 실행한 결과 평균경사에 대한 회귀방정식 $Y = \text{EXP}(-0.00250482 \cdot X) \cdot 30.6084$ 를 알 수 있었다.

참고문헌

1. 박영일, 수치지형모형으로부터 유역의 하천형태학적 특성인자 추출에 관한 연구, 강원대 학교 석사학위논문, 1995.
2. 양인태, 전병덕, "수문해석을 위한 지표정보추출의 광학 이미지에 관한 연구," 대한토목학회 논문집, 제 10권, 제 3호, 1990, pp.77~85.
3. 유복모, 지형공간정보론, 동명사, 1996
4. ESRI ARC/INFO User's Guide, What's new in GRID at Rev 6.1, Environmental Systems Research Institute, Redlands, 1992.
5. ESRI ARC/INFO User's Guide, Surface Modeling with TIN, Environmental Systems Research Institute, Redlands, 1992
6. Hutchinson, M.F., "A new procedure for gridding elevation and stream line data with automatic removal of spurious," Journal of Hydrology 106, 1989, pp. 211~232.
7. Leberl, F.W., and Olson, W, "Raster canning for operational digitizing of graphical data," Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 48, 1982, pp.615~627.
8. McLain, D.H., "Two dimensional interpolation from random data," The Computer Journal 19, 1976, pp.178~181.
9. Moore, I.D., Grayson, R.B., and Ladson, A.R., "Digital terrain modeling : a review of hydrological, geomorphological, and biological applications," Hydrological Processes 5, 1991, pp.3~30.
10. MOORE, I.D., "Digital terrain modeling in hydrology," Hydrol., Processes 5(1), 1991.
11. Onstad, C.A, and Brakensiek, D.L, "Watershed simulation by stream path analysis," Water Resources Research 4, 1968, pp.965~971.
12. Panuska, J.C., Moore, I.D. and Kramer, L.A., "Terrain analysis: integration into the agricultural nonpoint source (AGNPS) pollution model," Journal of Soil and Water Con-

- ervation 46 , 1991, pp59~64.
13. STEFAN W.KIENZIE, "Using DTMs and GIS to define input variables for hydrological and geomorphological analysis," Application of Geographic Information Systems in Hydrology and Water Resources Management, 1996, pp. 183~190.
 14. Young, R.A., Onstad, C.A., Bosch, D.D. and Anderson, W.P., "AGNPS: a nonpoint source pollution model for evaluating agricultural watersheds," Journal of Soil and Water Conservation 44, 1989, pp.168~173.
 15. Zhang. W & Montgomery D. R., "Digital elevation model grid size, landscape representation and hydrologic simulations," Wat. Resour. Res. 30(4), 1994, pp.1019~1028.