

수치지도를 이용한 유역특성분석

The Analysis of Basin Parameters using Digital Map

강인준* · 최현** · 형재혁*** · 장용구****

1. 서론

하천유역에 있어서 하도망은 강우-유출과정의 정확한 해석과 홍수예측 그리고 수자원의 효율적인 활용과 하천의 수질보존 및 수문해석에 있어서 중요하며 유역내에서 발생하는 수문기상학적 요소와 수문지형인자들의 정확한 상호관련성에 대한 해석이 필요하다. 현재까지 하천유역에 대한 수문지형정보를 취득하던 방법은 sampling기법이나 측지, 측량기법에 의존하였기 때문에 유역해석에 어려움이 많은 것이 사실이다. 그러나, 지형공간정보시스템의 발달로 수리수문해석에 필요한 수계망해석, 경사방향, 유역경사, 유역면적, 유역표고 등 하천에 관련된 지형정보인자의 정확한 획득이 가능하다. 수문지형학에서의 정량적·정성적 하도망해석은 하천을 차수에 의해 분류하는 Horton이론을 주로 이용한다. Strahler는 유역해석을 위한 하도망구축은 Horton이론을 적용하여 하천의 길이, 형상 및 발원 등을 추출하여 하천과 유역과의 위상관계에 관한 이론을 제시하였다¹⁾. Valdes는 Horton-Strahler의 하천차수를 기본으로 지형학적 및 지형 기후학적 순간단위도를 유도하였다²⁾. 수치표고모델은 1950년대 후반에 개발되었으나³⁾, 1980년대에 이르러 각종 건설분야 및 측량 및 지형공간정보 분야에 이용되었다. 지표면의 높이값을 표현하는 방식에는 주로 격자별로 높이값이 부여된 수치표고모델을 많이 이용하는데, 이러한 수치표고모델은 격자크기에 따라서 해상도의 값이 달라진다. 격자크기가 작은 수치표고 모델은 정밀도가 정확해지는 반면에 이를 계산하는 시간과 표현시간에는 많은 시간이 걸린다⁴⁾. 특히 수문지형학에서는 지형공간정보시스템의 발달로 인하여 하도망추출, 유역면적, 유역경사, 수문학적 모형, 유출경로등의 추출을 위해 수치표고모델이 이용되고 있으며⁵⁾⁶⁾⁷⁾⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾, 국내에서는 수치표고모델을 이용한 각종 수문지형인자의 추출을 위해 지형공간정보시스템을 적용하여 지형공간 정보를 이용한 수문지형인자의 결정 및 퇴사량에 관한 연구가 이루어졌다¹¹⁾¹²⁾¹³⁾¹⁴⁾¹⁵⁾. 수치표고모델에서의 수문지형인자추출은 기존의 전통적인 이용방식보다 경제적이고 정밀하며, 추출된 각종 수치자료들은 지형공간정보를 이용한 수문학적 분석 및 처리가 더욱 간단해졌다¹⁶⁾. 위성영상에서 수치표고모델을 추출하여 수문인자결정하는 방법이 개발되기는하였으나, 쉽게 접근할 수 있는 방법이 아니기 때문에, 수문지형인자해석을 위해서 1:50,000 일반지도(paper map)로부터 추출된 자료를 이용하여 수치표고모델을 형성하고있는 실정이다. 그러나, 이러한 방법은 등고선 및 표고인자를 추출하는 과정에서부터 오차가 발생하여 비교적 정확한 수치표고모델을 추출할 수가 없었다. 국립지리원에서 제공되는 수치지도를 이용한다면 일반지도에서 발생할 수 있는 오차를 줄일 수가 있을 것이다. 이용한 수문지형인자를 추출하기 위한 기본적인 연구는 아직까지 거의 없는 실정이나, 앞으로는 수치지도를 이용하여 수문지형인자를

* 부산대학교 공과대학 토목공학과 교수
** 부산대학교 공과대학 토목공학과 박사과정(xhyun@pusan.ac.kr)
*** 부산대학교 공과대학 토목공학과 석사과정
**** (주)세광 정보 시스템 GIS연구소장 공학박사

추출하는 연구가 많이 이루어 질 것으로 사료된다. 따라서, 본 논문에서는 1:25,000축척을 가지는 수치지도에서 추출된 등고선으로부터 추출된 수치표고모델의 격자크기를 10m~150m까지 10m간격으로 형성하여 유역면적, 하도길이, 총하도길이, 유역고도값, 유역평균경사값 등을 분석하여, 1:25,000 수치지도에서 가장 적절한 해상도를 가지는 수치표고모델의 격자크기를 제공하고자 하는데 연구목적이 있다.

2. 이차원 평면 지형인자

2.1 수치표고모델로부터 유역인자 결정

수치표고모델(DEM: Digital Elevation Model)이란 실제지형에 나타나는 연속적인 기복변화를 수치적으로 표현하는 방법이다. 유역특성은 수치표고모델로부터 흐름 방향을 결정할 수가 있는데 흐름방향에는 4개의 방위에 따라 흐름방향을 결정하는 4방향 모델과 그림 1과 같이 8개의 방위에 따라 흐름방향을 결정하는 8방향 모델이 있는데 본 논문에서는 8방향모델을 적용하였다. 8방향모델은 그림 3의 b와 같이 셀 주위에 인접해 있는 8개의 격자로부터 가장 낮은 표고값을 가지는 격자방향으로 흐름방향이 정해진다.

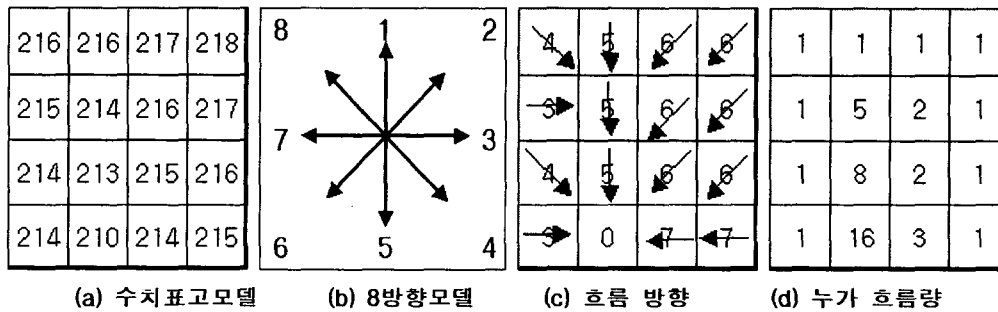


그림 1. 8방향모델

일반적으로 수치표고모델은 3차원 지형분석시에는 별다른 수정이 필요 없으나 수문해석에서 이용되는 수치표고모델은 수렴점이나 발산점에 대한 고려를 해야 한다. 수렴점이란 그림 4의 (a)와 같이 중앙으로 수로가 형성되는 지점으로서 어느 지점의 높이값이 주변의 모든값보다 작을 경우 생성되며 이로 인하여 유로가 형성되지 않는 점을 말하며 작은 웅덩이나 저수지에서 이러한 경향을 보이며 유역면적을 산출하지 못하는 경우가 발생한다. 발산점이란 그림 2의 (b)와 같이 어느 한지점이 주변의 모든 값보다 높을 경우 발생하며 이로 인하여 유로가 발산하는데 산봉우리 외에는 발생하면 안된다. 평지점이란 그림 4의 (c)와 같이 흐름방향이 발생하지 못하는 경우 발생하며 정확한 유로값을 생성 할 수가 없다. 본 논문에서의 수치표고모델 및 발산점, 수렴점, 평지점에 대한 분석 및 자료처리는 MGE 지형정보처리 프로그램을 이용하였고, PCI 영상처리 프로그램은 하도망 추출 및 자료처리에 이용하였다.

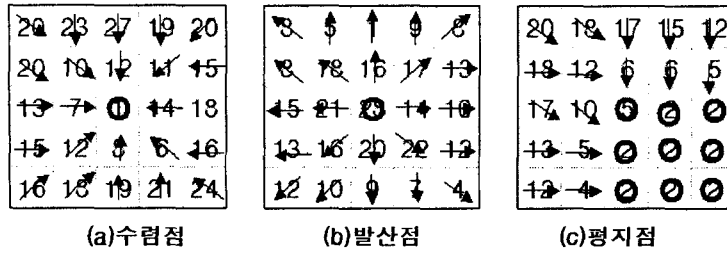


그림 2. 수치표고모델의 수문해석시 발생하는 오차

3. 하도망구축을 위한 지형분석

본 논문에서 이용된 수치지도는 국립지리원에서 제공되는 1:25,000이며, 연구대상지역은 경남 양산에 위치하고있는 양산천의 한 유역이며 그림 5와 같고 유역형상은 역삼각형의 형상을 하고 있다. 누가흐름량의 임계치 (threshold)는 유역의 생성 및 개수에 영향을 미치게 되는데 일반적으로 지수함수적으로 감소하는 경향을 보인다. 누가흐름 임계치는 유역면적을 표현하기 때문에 유역의 크기와 유역의 개수는 지수함수적으로 반비례하는 경향이 있다. 본 논문에서의 유역의 분할은 누가흐름도와 경사방향도를 이용하여 누가흐름량의 연산임계치를 변화시켜 수치표고모델의 격자크기별로 하나의 유역이 형성되도록 임계치를 설정하였다. 지형특성인자를 추출할 때 이용되는 지형도는 대규모유역이기 때문에 1:50,000 가지는 지도를 주로 이용하고 있으나, 국립지리원에서는 2001년 1월 현재까지는 1:50,000 수치지도가 공급되지 않기 때문에 1:25,000 수치지도로 분석하였다. 수치지도에서 연구대상지역을 추출하여 각종 정보를 추출한 결과값은 표 1에 나타나있는데, 연구대상지역에 대한 좌표계는 TM좌표계이며 동부원점을 사용한 좌표값과 불규칙삼각망에서 추출된 각종지형정보에 대한 값들이다. 본 연구에서는 수치지도에서 구축한 수치표고모델의 격자크기에 따른 각종 지형특성에 관한 인자값에 대한 비교분석이므로 토양도 및 토지이용도는 작성하지 않았다. 1:25,000 수치지도는 평면위치에서 5.0m, 등고선은 3.0m, 그리고 표고점은 1.5m의 표준편차를 보이며, 평면위치에서 10.0m, 등고선에서는 5.0m, 표고점에서는 1.5m의 최대오차를 포함하고 있다¹⁷⁾.

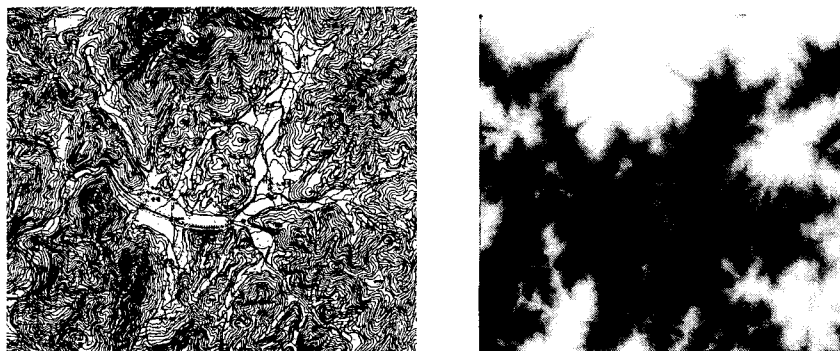


그림 3. 연구대상지역에 대한 수치지도 및 수치표고모델

표 1. 연구대상지역의 좌표값 및 각종정보값

(단위 : m)

	x	y	z
최 소 값	393,199.559	197,286.712	40.000
최 대 값	399,539.880	203,113.797	540.000
평 균	396,249.570	200,211.653	207.905
최 빈 값	393,199.559	197,286.712	150.000
중 양 값	396,089.825	200,305.910	190.000
분 산	3,542,564.793	3,091,972.042	8,241.847
표준편차	1,882.170	1,758.400	90.785

그림 4에서 A곡선은 청년기, B곡선은 장년기, 그리고 C곡선은 노년기 지형의 대표적인 곡선을 보여주고 있는데, 연구대상지역의 산악지는 장년기에서 노년기로 많이 접어들고 있는 상태로서 침식이 둔화되고 있다는 것을 알 수가 있다.

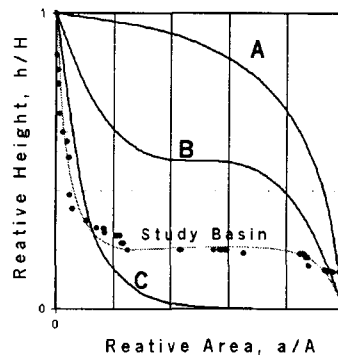


그림 4. 연구지역의 Hypsometric Curve

3.1 Horton 차수에 따른 하도망 분석

그림 5 은 100m 수치표고모델에서 추출된 하도망이며, 그림 8은 격자 크기별로 Horton 하천망을 구축하여 각 차수별 하천수와 Horton 하천차수를 그래프화 한 것이다. 150m 격자간격에서는 Horton 하도 차수가 5차수까지 형성되었으며, 140m에서부터 50m 까지는 6차수 그리고, 40m 에서는 7차수 , 30m, 20m에서는 8차 수까지 형성되었고, 10m에서는 9차수까지 형성되었으나 실제 유역해석에서 큰영향을 미치지 못하는 부분의 잔가지는 제거하여 하도망을 구축하였다. 그림 8을 보면 격자별로 하도망을 구축한 결과 상위 차수로 갈수록 지수선형으로 감소함을 나타내고 있으며, 격자크기별로 하도망의 개수에 차이가 많았다.



그림 5. 100m 격자크기로부터 추출된 Horton 차수

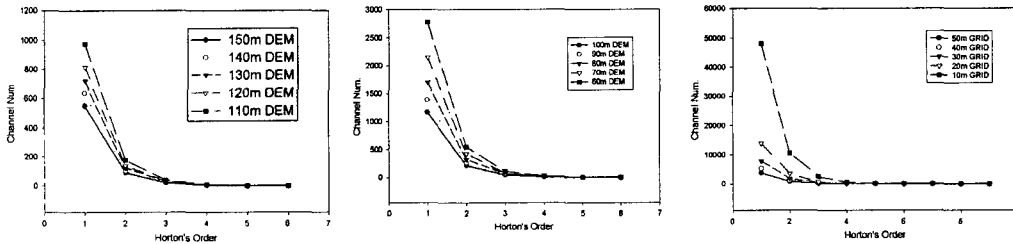


그림 6. 격자크기에 따른 하천수와 Horton 하천차수

표 3. 격자크기에 따른 Horton 하천차수개수

하천수 차수	치도	격자간격(m)														
		150	140	130	120	110	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10
1	42	90	99	123	138	39	42	47	66	74	104	148	217	365	658	507
2	12	21	20	29	31	10	11	12	19	18	26	33	47	87	142	120
3	3	6	6	7	7	2	2	3	3	5	5	8	13	19	38	34
4	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	3	5	8	9
5	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	3
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1

표 3은 격자크기에 따른 Horton 하천차수 개수를 나타내고 있는데 1: 25,000 수치지도에서 추출한 하도망이 4차수로 나타났으며, 하도망의 개수는 격자크기에 따라 상당히 많은 차이를 나타내고 있다. 1: 25,000 지도에 적절한 해상도를 가지는 하천차수를 4차수라 할 때 표 안의 굵은 실선은 유효 차수를 나타낸 것이며, 음영이 있는 부분은 수치지도와 비슷한 하천분포를 나타내고 있는 격자크기를 나타내는데, 110m, 100m, 90m, 40m 그리고 20m 격자크기에서 자연하도망과 비슷하게 형성이 되었으며, 하도망 추출을 위해서 적절한 하도망의 크기는 대략 100m 정도의 격자임을 알 수가 있었다.

3.2 수치표고모델 격자 크기에 따른 하천인자 분석

그림 7는 최대폭합수와 격자간격간의 상관관계를 나타내고 있는데 전부 지수함수적인 경향을 보이고있다. 그림 8은 연구대상지역에 대한 격자간격별 최대하도길이의 관계를 나타내고 있으며, 0m~ 80m에서는 선형적으로 감소되고, 80m~ 150m에서는 하도길이가 불규칙하게 나타났다. 격자별 최대하도길이는 10m 격자간격에서 11.143km이었으며, 최소하도길이는 120m 격자 간격에서 9.505km로 나타났다. 또한 격자크기별로 하

도길을 보면 선형적으로 감소하는 경향이 있으나 반드시 격자크기에 따라서 하도길이 감소하는 것은 아니라는 것을 알 수가 있다. 여기서, $F(x)$ 는 하도길이이며, x 는 격자간격을 나타내고 있다. 1:25,000 수치지도에서 측정된 최대하도길이의 길이는 10.364 km이다. 여기에서 하도길이의 측정은 래스터 GIS로 구성된 하도망을 벡터화를 실시하여 하도길을 측정하였다. 최대하도길이에 따른 적절한 값을 선형식에 적용시켜보면 격자거리가 60m에서 가장 적절한 것으로 나타났으며, 본 논문에서는 40m ~ 80m에서는 비교적 하도길이 균일하게 분포되었다.

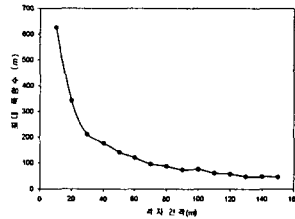


그림 7. 최대폭함수와 격자크기별 상관관계

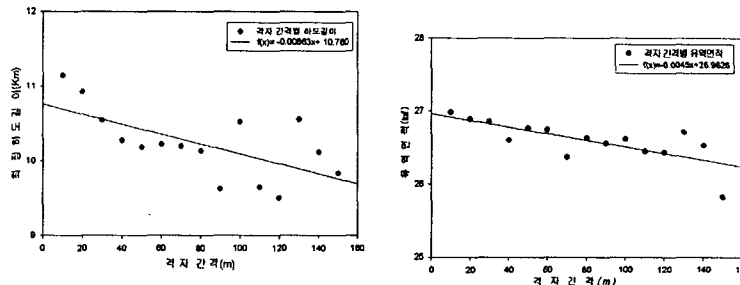


그림 8. 격자크기별 최대하도길이 그림 9. 격자크기별 유역면적

그림 9는 격자크기에 따른 유역면적을 나타낸 것이다. 수치지도에서 측정된 유역면적은 26.607km²로 나타났으며, 수치표고모델을 이용한 유역면적은 최소 25.828km²에서 최대 26.984km²로 나타났으며, 선형적으로 감소함을 알 수가 있었으나 격자크기는 유역면적에 커다란 영향을 미치지 않음을 알 수가 있다. 본 연구에서의 유역면적에 가장 적절한 격자간격은 50m일 때 수치지도에서 측정된 유역면적과 비슷하게 나타났다.

4. 결론

본 연구는 1:25,000 수치지도에서 추출된 수치표고모델의 다양한 격자크기에 따른 유역특성인자의 분석으로서 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 1: 25,000 수치지도에서 추출한 하도망이 4차수로 나타났으며 본 연구지역에서 수치지도와 가장 유사한 하천이 형성되는 수치표고모델의 격자크기는 100m 정도로 나타났다.

둘째, 격자크기에 따라서 Horton 하도망 최대 차수가 다르게 나타났으며, 상위 차수로 갈수록 지수선형으

로 감소함을 알 수가 있었으며, 격자크기별로 하도망의 개수가 상당히 많은 차이를 보이고 있었다.

셋째, 격자크기별로 하도길이를 보면 선형적으로 감소하는 경향이 있으나 반드시 격자크기에 따라서 하도길이가 감소하는 것은 아니며, 하도길이에 대한 적절한 격자크기는 50m정도이며, 40m ~ 80m에서는 비교적 하도길이가 균일하게 분포됨을 알 수가 있었다.

넷째, 유역면적은 격자 크기에 따라서 큰 차이가 보이지 않았으며, 격자 크기가 클수록 수치 표고모델의 격자 크기가 클수록 선형적으로 감소함을 알 수가 있었으며, 본 연구에서는 50m정도의 격자크기가 유역면적 측정에 적절하였다.

그리고 유역의 형상에는 직사각형, 반원형, 그리고 역삼각형 등이 있는데 본 연구에서는 역삼각형을 기준으로 연구를 실시하였다. 앞으로는 직사각형유역, 반원형 유역에 관한 유역특성인자 및 청년기 지형과, 중년기 지형에서도 지속적인 연구를 실시하여 우리나라에 맞는 수치표고모델의 격자값을 제시하는 지속적 연구가 필요할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(과제번호:2000-1-31100-008-3)의 연구비 지원으로 수행된 연구의 일부로서 동재단에 감사드립니다.

참고문헌

- 1) Strahler, A.N.(1950) Equilibrium Theory of Erosional Slopes Approached by Frequency Distribution Analysis. *Am. J. sci* NO. 248, pp. 673-695.
- 2) Valdes, J.B., Y Fiallo and I. Rodriguez-Iturbe(1979) A Rainfall-runoff analysis of the geomorphologic IUH, *Water Resour. Res.*, No.15, pp. 1412-1434.
- 3) Miller, G.I., Lafamme, R.A.(1958) The digital terrain model - theory and application, *Photogrammetric Engineering*, No. 24, pp. 433-442
- 4) Strahler, A.N.(1950) Equilibrium Theory of Erosional Slopes Approached by Frequency Distribution Analysis. *Am. J. sci* NO. 248, pp. 673-695.
- 5) Moore, I. D.(1996) *Hydrologic modeling and GIS*. In Goodchild, M. F., Stevaert, J. T., and Parks, B. O. (eds.), *GIS and Environmental Modeling: Progress and research issues*. Fort Collins, CO.: GIS World Books, pp. 143-148.
- 6) Quinn, P., Beven, K., Chevallier, P. and Planchon, O. (1991) The prediction of hillslope flow paths for distributed hydrological modelling using digital terrain models, *Hydrological Processes*, No 5, pp. 59-79.
- 7) Hoo, J., J. E. McCormack, S. A. Roberts, M. N. Gahegan, and B. S. Hovle (1993) *Automated derivation of stream-channel networks and selected catchment characteristics from digital elevation models*. In Mather, P.M. (ed.) *Geographic Information Handling - Research and Applications*. John Wiley and Sons, New York. pp. 207-235.
- 8) R. I. Bras and Garrote I (1995) A distributed model for real-time flood forecasting using digital elevation models. *Journal of Hydrology*, v. 167, 279-306, 1995.
- 9) Moussa, R. (1997) Geomorphological transfer function calculated from digital elevation models for distributed hydrological modelling, *hydrological Processes*, No. 11, pp. 429-229.
- 10) McCormack, J. F. and Hogg, J.(1997) Virtual memory tiling for spatial data handling in GIS. *Computers & Geosciences*, vol.23, pp. 659-669.
- 11) 강인주, 최희, 최철욱 (1999) 지형공간정보 데이터를 이용한 퇴사량 예측기법. 1999년도 학술발표회 논문집(IV), 대한토목학회, pp.597-599.

- 12) 각인주, 최현, 최철웅 (1998) 수문학용 지형공간정보의 하도망 구축. **1998년도 학술발표회 논문집(IV)**, 대한토목학회, pp.497-500.
- 13) 각인주, 최현, 이병걸, 김홍태(1998) 함천댐 유역의 Horton 수계망 형성과 지형적 특성에 관한 연구. **1998년도 학술발표회 논문집(IV)**, 대한토목학회, pp.505-508.
- 14) 전민우 (1999) Horton 법칙을 적용한 Fractal 차원의 유도. **충북대건설기술논문집**, No. 18, pp.225-233.
- 15) 정휘철 (1999) **지형공간정보 시스템의 하천지형학에 대한 적용**. 석사학위논문, 부산대학교.
- 16) Xinhao Wang and Zhi-Yong Yin (1998) A comparison of drainage networks derived from digital elevation models at two scales, *Journal of Hydrology*, No. 210, pp. 221-241.
- 17) 국립지리원 (1995) 수치지도 작업 내규. 국립지리원.