

DTM으로부터 지형변수의 추출 및 분석: 제주도 사례연구

김석중* · 조성현 · 김형찬

한국지질자원연구원

Extraction and Analysis of Topographic Variables from DTM: A Case Study in Jeju Island

Seok Choong Kim* · Sung Hyen Cho · Hyoung Chan Kim

Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources (KIGAM)

ABSTRACT

The topographic variables, which influence the precipitation phenomena, are classified by elevation (ELEV), slope (SLOPE), distance to sea (SEA), obstruction (OBST), barrier (BAR), roughness (SHIELD), extracted and analysed according to resolutions. This study is performed through 100 m, 200 m, 400 m, 600 m, 800 m and 1,000 m based on 50 m DTM using TOVA (Topographic Variables Extraction Program). The result of a case study on Jeju weather station says that the variance according to resolution is generally less than that according to cardinal direction, but particularly SHIELD values and some cases for 600m resolution have a significant results.

Keywords : topographic variables, DTM, resolution, cardinal directions, TOVA

요 약 문

강수현상에 영향을 주는 지형변수들을 고도(ELEV), 경사(SLOPE), 바다까지의 거리(SEA), 방해물(OBST), 방벽(BAR), 굴곡도(SHIELD)로 구분하여 해상도별로 추출하고 분석하였다. 해상도는 50 m DTM (Digital Terrain Model)을 기본으로 하여 100 m, 200 m, 400 m, 600 m, 800 m, 그리고 1,000 m로 분석하였다. 이때 해상도 분석은 TOVA (Topographic Variables Extraction Program)를 이용하였다. 제주 기상관측소를 사례로 지형변수를 분석한 결과 전반적으로 해상도에 따른 값의 변화는 8개의 주방위선에 따른 변화보다 적지만 특히 SHIELD 변수값과 해상도 600m의 경우에는 의미 있게 나타났다.

주제어 : 지형변수, DTM, 해상도, 주방위선, TOVA

1. 서 론

보통 지하수는 강수에 의해 공급되며 그러므로 강수량은 지하수함양량의 주요한 영향인자이다. 그런데 강수량은 특정 한 지점에서 측정된 것으로서 보통 넓은 범위에 걸쳐 동일한 것으로 가정하고 사용한다. 그러나 강수량은 공기흐름의 교란에 의한 재분배로 인하여 지형의 영향을 받는 것으로 알려져 있다. 따라서 일정한 면적에 내리는 강수량을 결정하기 위해서는 한 지점에서 측정한 강수량

을 지형과 관련하여 보정해야 할 필요가 있다. 이러한 측면의 연구로 Shermerhorn¹⁾은 강수량의 공간적 변화를 고도(elevation)와 방벽(barrier)으로 설명할 수 있다고 하였으며 Sharon²⁾은 사면에서는 강수량 측정기를 비스듬하게 설치하는 것이 보다 정확한 결과를 얻을 수 있다고 하였다. Singh와 Kumar³⁾는 강수량은 고도에 따라 선형으로 비례하는데 바람그늘(leeward side)쪽은 현저하게 적다고 하였다. Prudhomme과 Reed⁴⁾ 그리고 Prudhomme⁵⁾은 이들을 종합적으로 고려하여 지형변수를 14종류로 구분한 후

*Corresponding author : seok@kigam.re.kr

원고접수일 : 2004. 7. 15 게재승인일 : 2004. 8. 18

질의 및 토의 : 2004. 12. 30 까지

연최대강수량의 중위수와 다중회귀분석한 바 있다. 그는 1 km-DTM(Digital Terrain Model, 수치지형모형)을 기본으로 사용하였으며 자료의 해상도는 고려하지 않았다. 본 연구에서는 강수량과 지형의 관계를 진행할 수 있는 기초 단계로서 제주도 지역을 사례로 50m-DTM을 이용하여 그 지형변수를 추출하고 해상도에 따른 변화를 평가하였다.

2. 자 료

본 연구에서 사용한 DTM은 국립지리원에서 발간한 수치지형도로부터 ARCVIEW를 이용하여 등고선을 분리한 후, SURFER로 격자망 좌표를 생성하고 그 좌표에 고도를 내삽하여 만들었다. 따라서 각 좌표의 고도값은 실제의 고도값과 다를 수 있다. 본 연구에서는 해상도에 따른 지형변수의 변화에 초점을 맞추었기 때문에 각 좌표의 상대적 고도값이 오차한계값 내에 있다고 가정한다면 무시할 수 있다고 본다. 제주도의 DTM은 남서단의 x좌표 120,000, y좌표 7,800에서 시작하여 북동단 x좌표 197,500 y좌표 57,500에 이르기까지 총 1,540,700개의 좌표와 고도로 구성된다(Fig. 1).

3. 지형변수의 추출

서론에 언급한 바와 같이 Prudhomme⁵⁾은 강수량의 공간적 변화를 야기하는 지형변수를 고도(elevation), 위치(location), 경사(slope), 바다까지의 거리(distance to the

sea), 방해물(obstruction), 방벽(barrier), 곡도(SHIELD, roughness index)로 정하고 1 km-DTM을 이용하여 수치화하였다.

그는 먼저 DTM상의 강수량계의 위치를 계기격자점(gauge grid point, ggp)이라 하고 실제 위치에서 가장 가까운 격자점으로 정의하였다. 계기격자점의 고도(ELEV)는 실제 관측소의 고도와 때론 100 m 이상씩 차이가 날 수 있는데 그는 이러한 차이가 크게 중요하지 않다고 보았다.

평균고도로는 두 가지의 값을 구하였다. ELEV4는 계기격자점을 중심으로 4×4 km²에 있는 25개의 격자점 고도의 평균이고 ELEV10은 계기격자점을 중심으로 10×10 평방km²에 있는 121개의 격자점 고도의 평균이다.

경사(SLOPE_i)는 계기격자점에서 8개 주 방위(N, NE, E, SE, S, SW, W, NW)에 대하여 i km 떨어진 격자점 고도 사이의 경사이다. 평균경사에는 산술평균경사(ASLOPE)와 가중평균경사(WSLOPE)가 있으며 이들의 계산 방식은 식 (1), 식 (2)와 같다.

산술평균경사

$$ASLOPE = \frac{SLOPE2 + SLOPE5 + SLOPE10}{3} \quad (1)$$

가중평균경사

$$WSLOPE = \frac{2 \cdot SLOPE2 + 5 \cdot SLOPE5 + 10 \cdot SLOPE10}{17} \quad (2)$$

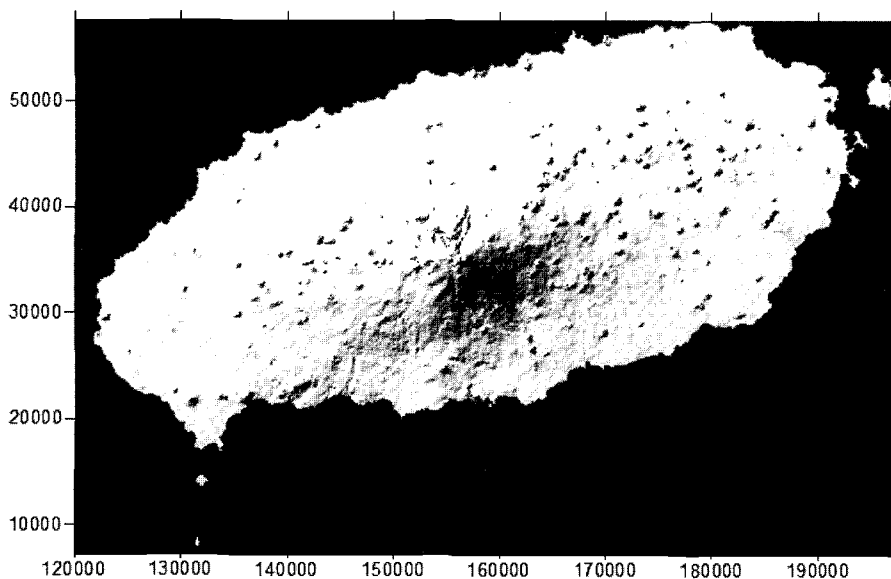


Fig. 1. Shaded relief map drawn from 50×50 m DTM of Jeju island.

바다까지의 거리(SEA)는 해당 주방위선의 중심으로부터 좌우 45°씩 90°간격 안에 있는 바다와의 거리이며 주방위선과 이루는 각도(a)에 따라 가중치 $\cos a$ 를 부여하였다. 즉,

$$SEA = \frac{\sum_{i=1}^{11} \cos a_i \cdot sea_i}{\sum_{i=1}^{11} \cos a_i} \quad (3)$$

방해물(OBST)은 주방위선에서 좌우 45° 각도 안에 있으며 ELEV와 격자점과의 고도 차이가 200 m 이상으로 연속된 고도 가운데서 가장 높은 곳과 이루는 각도이며 그 평균은 식 (4)와 같이 계산하였다.

$$OBST = \frac{\sum_{i=1}^{11} (\cos a_i \cdot obst_i)}{\sum_{i=1}^{11} \cos a_i} \quad (4)$$

이러한 방해물은 계기격자점으로부터 150 km 이내에 있을 경우에만 적용하였다.

방벽(BAR)은 방해물까지의 거리이며 식 (4)의 형식으로 가중평균하여 구하였다.

굴곡도(SHIELD)는 한 방위선상에서 각 격자점 사이의 고도 차이를 계기격자점과의 거리로 나눈 값의 합이다. 주방위에 대한 평균도 역시 주방위선과 이루는 각도(a)에 따라 가중치를 주어 계산하였다.

$$SHIELD = \frac{\sum_{i=1}^{11} (\cos a_i \cdot shield_i)}{\sum_{i=1}^{11} \cos a_i} \quad (5)$$

이 밖의 변수로 x 좌표(EASTING)와 y좌표(NORTHING)가 있는데 이들은 한 지점에 대한 상대적인 좌표 값이다.

경사와 방해물 및 방벽의 경우 계기격자점보다 고도가 낮은 부분에 대해서는 음수값이 나오는데 이 경우에는 고도 차이를 0으로 계산하였다.

이 모든 지형변수의 값은 계기격자점으로부터 각 방위별로 바다에 이르는 곳까지의 각 격자점 좌표 및 고도를 구하면 계산할 수 있다. 이러한 격자점 좌표와 고도를 얻기 위하여 C언어로 AVL tree구조⁷⁾를 적용하여 컴퓨터 프로그램 TOVA(Topographic Variables Extraction Program)를 제작하였다. TOVA는 격자망 형식으로 된 고도자료의 한 지점에서 임의의 각도로 회전하며 각 방위별 격자점 좌표를 추출한다. 제주 기상관측소의 TM좌표는 (156,223, 52,058)이며 따라서 계기격자점의 좌표는 (156,200, 52,050)이다. Fig. 2는 이를 중심으로 TOVA를 이용하여 5° 간격으로 자료를 추출한 결과이다.

4. 결과 및 고찰

제주 기상관측소의 계기격자점을 중심으로 고도, 경사, 바다까지의 거리, 방해물, 방벽, 굴곡도를 각 해상도별로 계산하였다. 기본적으로 사용한 DTM의 해상도는 50×50 m이며 이로부터 100×100, 200×200, 400×400, 600

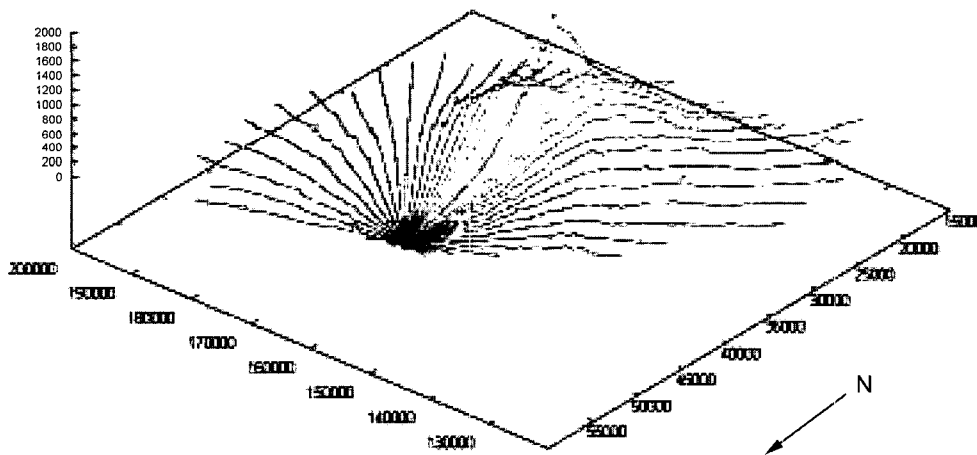


Fig. 2. 3D graph of data extracted from DTM shown in Fig.1 by TOVA. These data were made by each 5° centered on gauge grid point of Jeju weather station.

×600, 800×800, 1,000×1,000 m의 해상도로 자료를 추출한 후 재계산하여 해상도 별 지형변수를 분석하였다.

4.1. 고도(ELEV)

해상도에 따라서 계기격자점의 좌표는 동서방향으로 최대 400 m 이동할 수 있으며 남북방향으로는 200 m 이동할 수 있는데 이러한 이동은 필연적으로 고도에도 변화를 가져온다(Table 1). 해상도에 따라서 계기격자점의 고도(ELEV)는 최고 12.6 m의 차이가 발생하며 계기격자점을 중심으로 하여 4×4 km 격자망 내의 평균고도(ELEV4)와 10×10 km 격자망 내의 평균고도(ELEV10)는 공히 최고 7 m 정도 차이가 났다. 또한 전반적으로 ELEV10이 가장 높고 ELEV4가 고도(ELEV)보다 높은 것은 제주관측소가 제주도의 북쪽 바다에서 멀지 않은 곳에 위치하기 때문인 것으로 생각된다. 특히 ELEV4의

경우 해상도 800×800 m와 1,000×1,000 m는 계기격자점도 동일하고 포함하는 격자점 역시 공히 25개인데도 평균고도가 달리 나타났다. 이는 1000 m 해상도의 격자 범위가 (154,000, 50,000)에서 (158,000, 54,000)까지인데 반해 800 m의 경우는 (15,440, 50,400)에서 (157,600, 53,600)까지이기 때문이다.

4.2. 경사(SLOPE)

제주관측소는 위치가 제주도의 북부에 있는 만큼 북쪽과 북동 및 북서 방향의 고도는 계기격자점의 고도(ELEV)보다 낮거나 해면이므로 경사가 0으로 나타났다(Table 2). 다만 서쪽으로는 해상도에 따라 보다 높은 지점이 나타날 수 있다. 해상도 800×800 m와 1,000×1,000 m의 계기격자점의 위치는 동일하지만(Table 2) 각기 다른 경사도가 나타난 것은 고도에서와 마찬가지로

Table 1. Elevations (ELEV) of Jeju weather station according to the resolutions of DTM.

Resolution (m)	ggp coordinates		Average elevations (m)			numbers of grid points	
	x	y	ELEV	ELEV4	ELEV10	ELEV4	ELEV10
50	156200	52050	20.76	30.63	51.51	6561	40401
100	156200	52100	20.23	29.86	50.78	1681	10201
200	156200	52000	21.29	32.00	53.11	441	2601
400	156400	52000	28.07	34.04	53.12	121	625
600	156000	52200	15.47	26.55	48.61	49	289
800	156000	52000	16.37	30.00	53.25	25	169
1000	156000	52000	16.37	31.66	56.07	25	121

Table 2. Arithmetic and weighted average slopes (SLOPE) of Jeju weather station according to the resolutions of DTM.

Resolution	Arithmetic average slope (‰)							
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
50	0.00	0.00	5.68	8.07	3.90	4.71	0.00	0.00
100	0.00	0.00	5.67	8.22	3.97	4.79	0.00	0.00
200	0.00	0.00	5.68	7.92	3.83	4.62	0.00	0.00
400	0.00	0.00	5.23	6.89	3.76	4.41	0.00	0.00
600	0.00	0.00	6.65	10.27	4.45	5.14	0.00	0.00
800	0.00	0.00	5.46	7.82	3.50	4.15	2.27	0.00
1000	0.00	0.00	6.14	10.74	3.84	5.38	2.73	0.00

Resolution	Weighted average slope (‰)							
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
50	0.00	0.00	3.76	5.22	2.62	3.04	0.00	0.00
100	0.00	0.00	3.75	5.29	2.66	3.09	0.00	0.00
200	0.00	0.00	3.76	5.15	2.59	3.00	0.00	0.00
400	0.00	0.00	3.53	4.70	2.55	2.94	0.00	0.00
600	0.00	0.00	4.16	6.04	2.85	3.17	0.00	0.00
800	0.00	0.00	3.73	5.26	2.47	2.86	0.80	0.00
1000	0.00	0.00	3.97	6.08	2.59	3.19	0.96	0.00

각기 다른 격자점과의 경사도를 나타내기 때문이다. 전체적으로 경사는 산술평균의 경우 크게 나타난다. 해상도에 따라서 나타난 경사도의 차이는 산술평균의 경우가 3.85이지만 주방위선에 따라서는 크게는 10.74까지 나타나는 것을 확인할 수 있다.

4.3. 바다까지의 거리(SEA)

제주관측소로부터 바다까지의 거리는 해상도에 따라서 440 m부터 2.7 km까지 차이가 났다(Table 3). 그러나 주방위선에 따라서는 32.9 km나 차이가 난다. 이는 제주관측소의 위치가 섬의 북쪽에 치우쳐 있는 만큼 당연한 결과이지만 경사에서와 마찬가지로 해상도에 따라 나타나는 변수값의 차이가 상대적으로 매우 작다는 것을 확인할 수가 있다.

4.4. 방해물(OBST)

제주관측소로부터 북쪽 및 북동 북서 방향으로의 관측소의 계기격자점 고도보다 200 m 이상 높은 곳이 없는 것으로 나타났다(Table 4). 이 변수도 역시 해상도의 차이에 따른 변화보다도 주방위선에 따른 변화가 훨씬 컸다.

4.5. 방벽(BAR)

제주관측소의 계기격자점 고도보다 200 m 이상 높은 곳으로서 이 위치와 연속된 고도 가운데 가장 높은 곳까지의 거리도 방해물의 경우와 거의 흡사하다(Table 5).

4.6. 굴곡도(SHIELD)

제주관측소를 중심으로 하여 바다에 이르는 데까지 각 방위선상의 격자점 고도차를 제주관측소의 계기격자점으로

Table 3. Average distances to the SEA from Jeju weather station according to the Resolutions of DTM.

Resolution	Average Distance to the SEA (km)							
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
50	0.44	5.10	22.83	33.17	32.98	30.42	13.01	1.06
100	0.30	4.96	22.77	33.20	33.07	30.38	12.75	0.85
200	0.31	5.07	22.77	33.03	32.72	30.22	12.97	0.98
400	0.25	5.47	23.27	32.80	32.31	30.28	12.97	0.79
600	0.00	3.37	21.08	32.81	32.10	29.33	12.02	0.44
800	0.00	4.61	22.63	32.57	31.44	29.18	12.29	0.55
1000	0.00	2.95	20.57	32.48	31.07	28.86	12.31	0.61

Table 4. Obstruction values (OBST) for Jeju weather station according to the resolution of DTM.

Resolution	Obstruction (%)							
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
50	0	0	1.14	4.47	6.19	2.98	0.28	0
100	0	0	1.14	4.57	6.43	3.21	0.31	0
200	0	0	1.31	4.84	6.72	3.38	0.31	0
400	0	0	1.33	4.80	6.56	3.43	0.32	0
600	0	0	1.31	4.63	6.27	3.22	0.29	0
800	0	0	1.26	4.21	5.68	3.19	0.31	0
1000	0	0	1.27	4.67	5.88	2.92	0.31	0

Table 5. Average distances to barrier (BAR) from Jeju weather station according to the resolution of DTM.

Resolution	Average distance to barrier (km)							
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
50	0	0	4.18	10.47	11.47	6.57	1.63	0
100	0	0	4.19	10.67	12.40	7.53	1.83	0
200	0	0	4.77	11.48	14.40	9.49	1.98	0
400	0	0	4.81	12.12	15.78	10.22	1.97	0
600	0	0	5.29	12.69	15.35	9.98	2.04	0
800	0	0	5.27	12.14	15.76	11.34	2.23	0
1000	0	0	5.35	12.51	14.84	10.07	2.09	0

Table 6. SHIELD values for Jeju weather station according to the resolution of DTM.

Resolution	SHIELD value							
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
50	1.920	1.506	4.645	7.136	5.507	3.869	2.805	2.241
100	1.528	1.253	3.990	6.072	4.570	3.064	2.136	1.727
200	1.287	1.052	3.488	5.343	3.985	2.604	1.764	1.429
400	1.108	0.936	3.042	4.639	3.501	2.297	1.524	1.222
600	0.000	0.000	0.013	0.046	0.063	0.032	0.003	0.000
800	0.490	0.438	2.003	3.077	2.132	1.166	0.614	0.499
1000	0.267	0.243	1.672	2.596	1.730	0.869	0.363	0.272

부터의 거리로 나눈 값을 합한 것이다(Table 6). 이 값은 다른 값들과 달리 해상도에 따른 차와 방위선에 따른 차이가 크게 다르지 않은 것으로 나타났다. 특이하게도 해상도가 600 m에서 수치가 급격히 감소하지만 800 m와 1,000 m에서는 반대로 약간 높아지는 현상도 나타난다.

서론에 언급한 바와 같이 Prudhomme⁵⁾은 이들 지형 변수들 가운데서 북서 방향의 방해물 수치와 남서방향의 굴곡도 수치, 남서와 북동 방향의 바다까지의 거리 등으로 강수량의 분산도를 53.4%까지 설명한 바 있다. 그의 연구는 규모나 기후에 있어서 본 사례연구와 큰 차이가 있으므로 반드시 그의 방법을 직접 적용할 수 없다. 비록 방위선에 따라서 상대적으로 크지는 않지만 해상도에 따른 변화도 상당히 있음을 본 연구에서 확인할 수 있었다. 특히 전반적으로 해상도 50 m와 600 m 그리고 1,000 m에서 특이한 값이 자주 나오는 것으로 보아 추후 강수량과의 관계를 연구할 경우 이를 참고할 필요가 있다.

5. 결 론

강수량은 지형과 관련이 깊다. 이에 따라 지형변수를 고도, 경사, 바다까지의 거리, 방해물, 방벽, 굴곡도 등으로 구분한 후, 각 주방위선과 DTM의 해상도에 따라서 값을 추출하고 분석하였다. 전반적으로 해상도에 따른 변수값들의 변화는 방위선에 따른 변화보다 작게 나타났으나 SHIELD 값에서는 의미 있게 나타났다. 특히 해상도 50 m 와 600 m 그리고 1,000 m에서 특이한 값이 자주

나오는 현상은 제주도라는 특이한 지형의 영향일 가능성이 크다. 이러한 현상은 추후 강수량과의 관계를 연구할 경우 이 결과를 참고해야 할 것으로 생각된다.

사 사

본 연구는 “미래제주도 청정 지하수 안정적 공급시스템 구축” 사업의 일환으로 이루어졌으며 특히 TOVA의 원시 프로그램을 작성한 김형진군에게 감사한다.

참 고 문 헌

1. Schermerhorn, P., “Relations between topography and annual precipitation in Western Oregon and Washington”, *Water Resources Research*, **3**, pp. 707-711 (1967).
2. Sharon, D., “The distribution of hydrologically effective rainfall incident on sloping ground”, *Journal of Hydrology*, **46**, pp. 165-188 (1980).
3. Singh, P., and Kumar, N., “Effect of orography on precipitation in the western Himalayan region”, *Journal of Hydrology*, **199**, pp. 183-206 (1997).
4. Prudhomme, C., and Reed, D., “Relationships between extreme daily precipitation and topography in a mountainous region: a case study in Scotland”, *International Journal of Climatology*, **18**, pp. 1439-1453 (1998).
5. Prudhomme, C., “Mapping a statistic of extreme rainfall in a mountainous region, Physics and Chemistry of the Earth(B)”, **24**, pp. 79-84 (1999).
6. 이재규, C로 배우는 알고리즘, 도서출판 세화, pp. 699 (1994).