Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies, 21(1) 2018, pp. 106-114 ISSN 1226-9719(Print)On
https://doi.org/10.11108/kagis.2018.21.1.106 ISSN 2287-6952(Online)

수치표고모델 해상도에 따라 도출된 춘천지역의 지형학적 매개변수 비교*

이준구[1] · 서용철[1※] · 이동하[2]

Comparison of Geomorphological Parameters Derived from Different Digital Elevation Model Resolutions in Chuncheon, South Korea*

Jun-Gu LEE[1] · Young-Cheol SUH[1※] · Dong-Ha LEE[2]

요 약

수치표고모델(DEM, Digital Elevation Model)은 원격 탐사 기술의 발전으로 제작이 용이해졌다. 최근에는 작업의 요구사항에 따라 무인항공기(UAV)를 이용해서도 고해상도의 수치표고모델을 생산할 수 있지만, 고해상도는 데이터 저장 및 처리에 대한 시간과 비용의 문제를 동반한다. 본 연구에서는 수치표고모델 해상도의 효과를 확인하기 위하여 춘천을 대상 지역으로 하여 다양한 해상도의 수치표고모델로부터 얻은 6개의 지형적 매개변수를 비교하였다. 비교 분석은 지형의 기울기, 곡률, 유수의 방향, 유수의 축적(flow accumulation), 유수의 거리 및 유역에 대한 통계 분석을 기반으로 하였다. 그 결과, 수치표고모델의 표고와 유수의 축적 영역에는 변화가 없음을 확인할 수 있었으나, 기울기, 곡률, 유수의 거리 및 유역의 수는 픽셀 크기가 증가함에 따라 감소하였다. 따라서, 수치표고모델의 해상도는 요구되는 정밀도에 따라 신중하게 선택되어야 한다.

주요어 : 지형학적 요소, 수치표고모델(DEM), 비교 분석, 춘천

ABSTRACT

DEM(Digital Elevation Model) are now easily produced with advancing remote sensing technology. Depending on desired task, UAV can produce high resolution DEM. But high resolution comes with issues of data storage and processing time and cost. To check the effect of DEM resolution, this study compares six geomorphological parameters derived

2018년 3월 11일 접수 Received on March 11, 2018 / 2018년 3월 23일 수정 Revised on March 23, 2018 / 2018년 3월 23일 심사완료 Accepted on March 23, 2018
* 이 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비(2017년)에 의하여 연구되었음
1 부경대학교 토목공학과 Dept. of Civil Engineering, Pukyong National University
2 강원대학교 토목공학과 Dept. of Civil Engineering, Kangwon National University
※ Corresponding Author E-mail : suh@pknu.ac.kr

from different resolution DEM in a test area around Chuncheon, Korea. The comparison analysis was based on statistics of each derivatives of slope, curvature, flow direction, flow accumulation, flow length and basin. As a result, it was found that DEM remained unchanged and so did the flow accumulation area. However, slope, curvature, flow length and basin numbers were decreased with the normalization of increasing pixel size. DEM resolution should be carefully selected depending on the precision of application required.

KEYWORDS : Geomorphological parameters, DEM, Comparison, Chuncheon

개 요

최근에는 지형 공간 정보 기술의 발달로 수치표고모델(DEM, Digital Elevation Model)의 제작이 용이해지고 빨라졌다. 수치표고모델은 지형도, 세오돌라이트를 이용한 현장 측량, 토털스테이션 또는 실시간 이동 GPS, 스테레오 사진 측량, LiDAR(Light Detection and Ranging) 스캐닝, 레이더 간섭계 등을 이용하여 다양한 방법으로 제작할 수 있다. 이전에는 수치표고모델 제작이 많은 비용이 드는 작업이었기 때문에 소축척 또는 넓은 간격을 띄워 대상 지역을 선택하여 제작에 많은 시간이 소요되었다. 따라서, 도심 외곽 지역보다는 도시 지역을 우선하여 제작되었다. 그러나 현재는 위성 및 무인항공기(UAV)를 이용한 원격탐사 기술의 발전으로 원하는 지역에 대한 고해상도 수치표고모델 생산이 쉬워졌다.

수치표고모델은 지표면을 표현하는 가장 유용한 디지털 자료 정보 중 하나이며 수문학 분야의 다양한 연구(Acharya *et al.*, 2016), 산사태 모델링(Hong *et al.*, 2018; Acharya *et al.*, 2017a, Yang *et al.*, 2016), 교통 계획(Yang *et al.*, 2014, Acharya *et al.*, 2017b) 등의 다양한 분야에 활용된다. 그러나 이러한 고해상도 데이터의 생성은 저장, 계산의 비용 및 시간 등에 어려움을 야기할 수 있다. 따라서 특정한 적용 분야에 어느 정도의 수치표고모델 해상도가 적합한지를 평가하여 합리적으로 선택하는 것이 필요하다.

모든 수치표고모델의 적용에서 지형학적 매개변수의 도출은 매우 중요한 작업이며, 가장 일반적인 지형학적 매개변수는 지형의 표고, 기울기, 방향, 곡률(계획 및 프로파일), 유수의 거리, 지형 습윤 지수, 하천력 지수(stream power index) 등이 있다. 이러한 매개변수는 수치표고모델의 해상도에 따라 다양한 범위로 도출될 수 있다. 수치표고모델 해상도의 변형은 추가적인 오류와 결과의 변형을 가져올 수 있다 (Goulden *et al.*, 2016; Oksanen and Sarjakoski, 2005; Gyasi-Agyei *et al.*, 1995).

수치표고모델 해상도의 효과를 이해하기 위해 본 연구는 춘천 지역을 대상으로 1m-수치표고모델로부터 보간법을 사용하여 얻어진 다양한 해상도로부터 도출된 6개의 지형학적 매개변수를 비교하였다.

상호 비교를 위하여 각 해상도의 수치표고모델에 따라 통계치와 보간법을 활용한 지형도를 작성하여 시작적으로 나타내었다.

방법론

본 연구에서는 9가지의 통계치를 개별적으로 평가하였다. 표고, 경사 및 곡률의 매개변수를 비교하기 위하여 최소값, 1/4분위수, 중앙값, 평균, 3/4분위수, 최대값, 표준편차, 왜도, 첨도를 계산하였다. 이 통계치들은 지형 공간 분야의 비교 연구에서 매우 일반적으로 사용된다(Acharya *et al.*, 2018; Dawod and Al-Ghamdi, 2017; Lee and Acharya, 2017). 본 연구의 통계치 산출에는 R 프로그램을 사용하였고, 지도를 생성하는 데는 ArcGIS를 사용하였다.

모든 자료 정보에서 최소값은 최저값, 최대값

은 최고값이다. 평균은 합계에 대한 평균값을 의미하고, 식(1)과 같이 표본에 대한 모든 관측 자료 값을 모든 자료의 수로 나누어 계산된다.

$$\text{Mean}(\bar{x}) = \frac{1}{n}\sum_{i-1}^{n} x \quad (1)$$

중앙값은 자료 정보의 중간에 위치한 값을 의미하며, 자료 값들을 오름차순으로 정렬한 후 식(2)와 같이 구한다.

$$\text{Median} = [\frac{n+1}{2}]\text{th} \quad (2)$$

여기서, "n" : 총 자료 수, "th" : 자료들의 오름차순 정렬에서 (n)번째 수

1/4분위수와 3/4분위수를 정의하기 위해서는 자료 정보의 상위와 하위에 대한 이해가 필요하다. 자료 정보의 하위는 자료를 오름차순으로 정렬하였을 때, 중앙값의 왼쪽에 위치하는 모든 자료 값의 집합이고, 상위는 같은 방식으로 중앙값의 오른쪽에 위치하는 자료 값의 집합이다. 1/4분위수와 3/4분위수는 하위와 상위에서의 중앙값을 의미한다. 즉, 모든 자료의 25%가 1/4분위수 아래에 있고, 자료의 25%가 3/4분위수보다 위에 있다는 의미이다. 표준편차는 자료 값들의 편차 또는 분산된 정도를 표시하는 값이다. 낮은 표준편차는 자료의 값들이 평균에 가깝게 위치하고, 높은 표준편차는 자료 값들이 넓은 범위에 분산되어 있음을 나타낸다. 표준편차는 식(3)과 같이 계산된다.

$$\text{Std. dev. } (\sigma) = \sqrt{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2 / n} \quad (3)$$

여기서, x_i: 자료 값, $\bar{x}$: 평균, n: 총 자료 수

왜도(skewness)는 자료들의 분포에 대한 대칭 정도로, 엄밀히 말하면 얼마나 대칭되지 않는 가의 정도를 의미한다. 중심축을 기준으로 왼쪽과 오른쪽의 분포가 같으면 대칭(왜도=0)이다.

첨도(kurtosis)는 정규분포와 비교하여 분포의 형태가 긴 꼬리 형태인지 짧은 꼬리 형태인지를 나타내는 정도이다. 즉, 높은 첨도(첨도>0)를 갖는 자료 정보들은 긴 꼬리 형태 또는 특이값을 갖는 경향이 있고, 낮은 첨도(첨도<0)를 갖는 자료는 짧은 꼬리 형태 또는 뚜렷한 특이값이 없는 경향을 나타낸다. 균일분포가 낮은 첨도의 극단적인 경우이다. 단일 변수 자료에서 왜도와 첨도의 수식은 식(4), (5)와 같이 표현된다.

$$\text{Skewness} = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^3 / n}{\sigma^3} \quad (4)$$

$$\text{Kurtosis} = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^4 / n}{\sigma^4} \quad (5)$$

여기서, x_i : 자료 값, $\bar{x}$: 평균, σ : 표준편차, n : 총 자료 수

유수의 방향, 유수의 축적, 유수의 거리 및 유역에 대하여 픽셀 수 및 값을 추출하여 면적 계산을 위해 해상도에 따른 픽셀 당 면적을 곱하였다.

대상지역

본 연구를 위해 선택된 대상지역은 강원도 춘천시에 위치해 있으며, 총 면적 272.688㎢, 북위 37° 44′ 4.58″ N~37° 52′ 20.60″ N, 동경 127° 33′ 15.42″ E~127° 45′ 25.82″ E 사이에 위치한다. 대상지역은 대부분이 중앙 산악의 산림지대이고, 댐 저수지가 있는 넓은 강과 농경지가 흩어져 있다(그림 1).

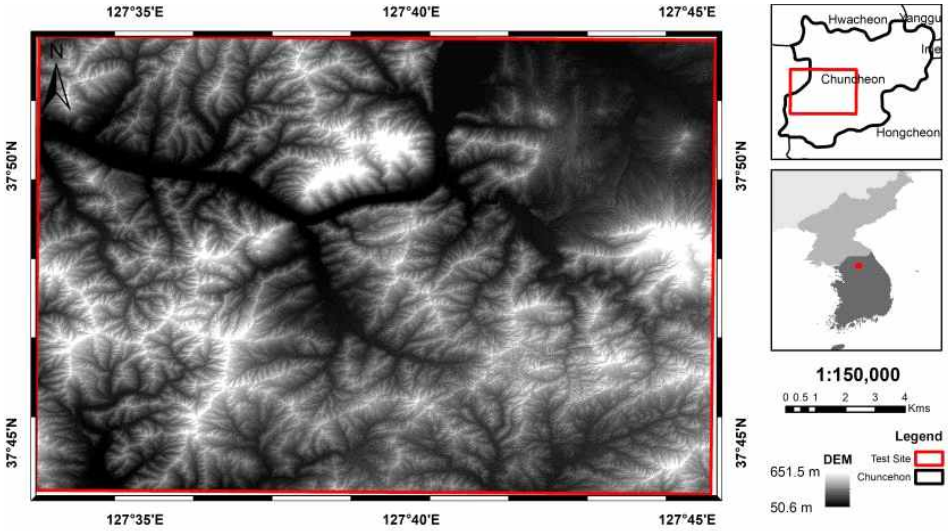


FIGURE 1. The location map with DEM in meters of test area(Chuncheon, South Korea)

사용자료

본 연구에서는 자료로 수치표고모델만을 사용하였다. 1m-라이다 수치표고모델 자료는 2009년 국토지리정보원에서 실시한 항공 라이다(Airborne LiDAR) 측량으로 제작된 것으로 수평위치는 중부원점 기준의 TM 투영좌표계, 수직위치는 인천 평균해면 기준의 KVD2002(Korean Vertical Datum 2002)이 적용되었다. 수치표고모델은 이중선형보간법을 사용하여 5m, 10m, 20m, 30m 공간해상도로 재추출(resampling) 하였다. 각각의 재추출된 수치표고모델을 이용하여 경사, 곡률, 유수의 방향, 유수의 축적, 유수의 거리 및 유역 등 6개의 지형학적 매개변수를 도출하였다. 재추출된 수치표고모델(filled DEM), 경사와 곡률을 상호 비교하기 위하여 통계적 계산을 수행하고, 유수의 축적, 유수의 거리와 유역에 대해서는 최대값을 비교하였다.

연구결과 및 고찰

상이한 해상도의 수치표고모델을 재추출하고 모든 지형학적 매개변수들을 도출하였다. 표 1은 각기 다른 해상도의 수치표고모델로부터 얻어진 지형학적 매개변수들의 통계치와 기울기, 곡률을 보여준다. 그림 2는 시험지역에 대한 경사, 곡률, 유수의 방향에 대한 결과물의 예를 나타내고 있다.

표 1은 보간법을 수행할 때, 항상 초기 데이터를 가능한 보존하기 때문에 재추출된 수치표고모델의 표고는 큰 변화가 없다는 것을 보여준다. 그러나, 픽셀의 위치와 커버리지가 변화함에 따라 곡률과 경사는 통계치에 변화를 보였다. 기울기의 통계치는 픽셀 크기가 증가함에 따라 감소한다. 이것은 보간법을 통해 픽셀의 큰 값과 작은 값이 평균처리 되기 때문일 것이다. 이와 유사하게 수치표고모델의 해상도가 증가함에 따라 곡률의 최대값과 최소값의 차이는 차츰 감소하는 것으로 보인다.

수문학에서, 유수의 방향, 유수의 축적, 유수의 거리 및 유역과 같은 지형학적 매개변수는 매우 유용하게 이용된다. 본 연구에서는 각각의 다른 해상도 수치표고모델에서 이러한 매개 변수를 도출하려고 시도하였다. 표 2와 그림 2에서, 유수 방향의 면적 범위(coverage)가 서로 다른 방향으로 교대로 감소하거나 증가하는 것을 볼 수 있다. 즉, 동서남북 방향의 면적은 증

TABLE 1. Statistics of the Elevation, Slope and Curvature of different resolution DEM

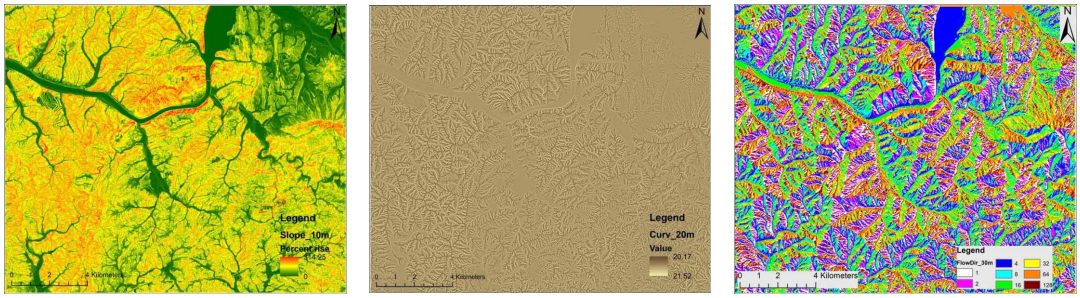
Parameter	DEM Resolution	Statistics								
		Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.	Std. Dev.	Skewness	Kurtosis
Elevation	5m	50.61	133.12	195.43	206.43	265.99	651.52	94.05	0.70	3.39
	10m	50.61	133.13	195.43	206.43	265.97	650.53	94.04	0.70	3.39
	20m	50.61	133.16	195.42	206.45	266.00	649.51	94.05	0.70	3.39
	30m	50.61	133.13	195.37	206.39	265.86	647.24	94.01	0.70	3.39
Slope	5m	0	26.68	51.00	49.07	71.12	410.37	29.09	0.12	3.02
	10m	0	25.10	47.28	46.00	66.87	314.26	26.90	0.06	2.58
	20m	0	22.57	41.63	41.30	59.45	213.40	24.14	0.13	2.47
	30m	0	20.41	37.18	37.35	53.17	179.92	21.83	0.20	2.52
Curvature	5m	−164.69	−3.74	0.00	0	4.01	194.00	7.26	−0.15	6.82
	10m	−49.65	−1.95	0.00	0	1.94	46.05	3.62	−0.01	4.61
	20m	−21.52	−1.54	−0.08	0	1.42	20.17	2.58	0.22	3.67
	30m	−10.92	−1.23	−0.10	0	1.12	10.93	1.98	0.30	3.36

가하고 그 사이의 다른 방향은 균형을 이루기 위해 감소하고 있다.

그림 3에서 보여주는 것과 같이 유수의 축적은 픽셀 크기가 클수록 더 명확히 보여지고 픽셀의 수는 감소한다. 크기가 큰 픽셀인 30m 수치표고모델의 결과물에서 다른 크기의 픽셀의 결과물에서 나타나는 강들과 비교하여 경로가 잘 보여진다. 또한, 유수의 거리는 픽셀의 크기가 증가함에 따라 점차 감소한다. 이것은 픽셀의 크기가 커질수록 포함된 픽셀 수가 감소하고 작은 픽셀보다 대각선 방향의 경로가 짧아지기 때문일 수 있으며, 크기가 작은 픽셀은 지역규

TABLE 2. Areal coverage of flow direction in sq. km.

DEM Resolution	Flow direction area (Sq. km.)							
	East 1	Southeast 2	South 4	Southwest 8	West 16	Northwest 32	North 64	Northeast 128
5m	35.57	32.11	38.64	30.42	37.73	29.97	38.19	30.05
10m	35.84	31.73	40.40	30.01	38.08	29.98	36.97	29.75
20m	37.58	29.41	42.26	27.95	40.46	28.18	39.12	27.63
30m	38.71	27.87	43.44	26.51	42.15	27.07	40.95	26.07



(a) (b) (c)

FIGURE 2. Geomorphological derivatives:
(a) Slope from 10m DEM, (b) Curvature from 20m DEM, and (c) Flow direction from 30m DEM

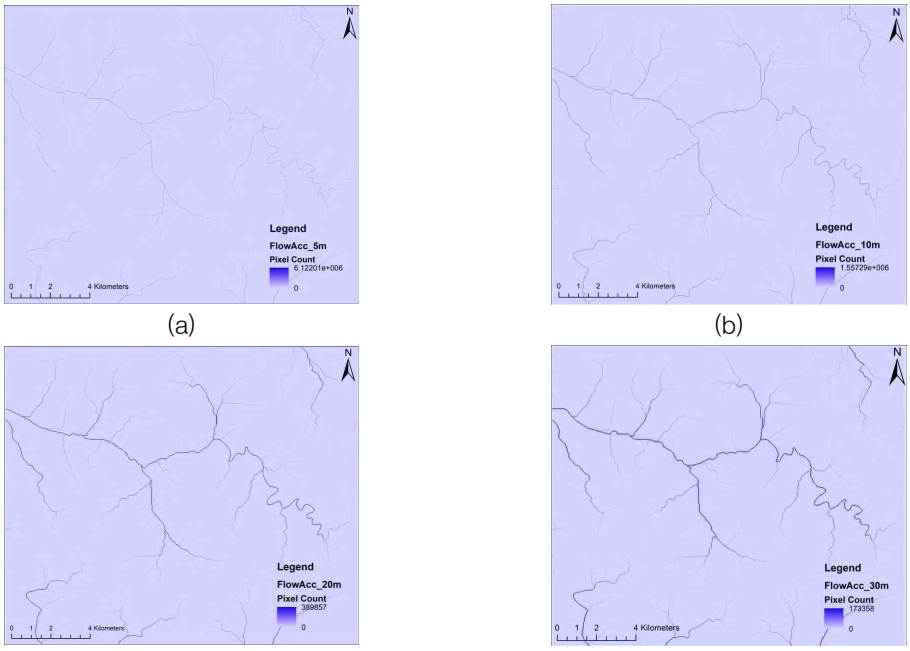


FIGURE 3. Flow accumulation derived from DEM of different spatial resolutions: (a) 5m, (b) 10m, (c) 20m, and (d) 30m

TABLE 3. Statistics of the difference between DEMs in meters

DEM Resolution	Flow accumulation		Flow Length (m)	Basin Count
	Pixels	Area (sq.km.)		
5m	6122010	153.0503	33932	1428
10m	1557292	155.7292	33113	697
20m	389857	155.9428	32752	401
30m	173358	156.0222	32236	278

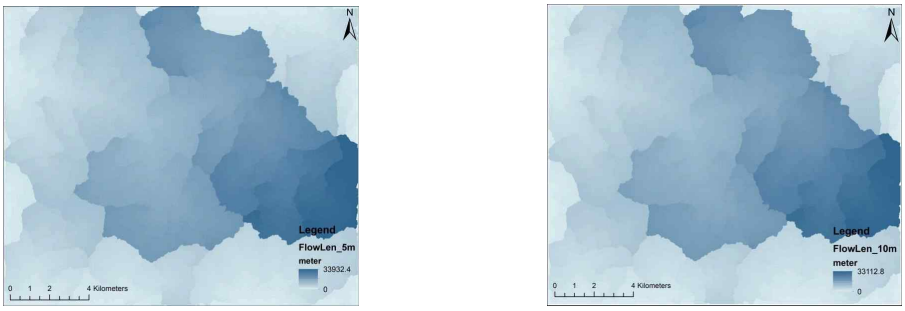
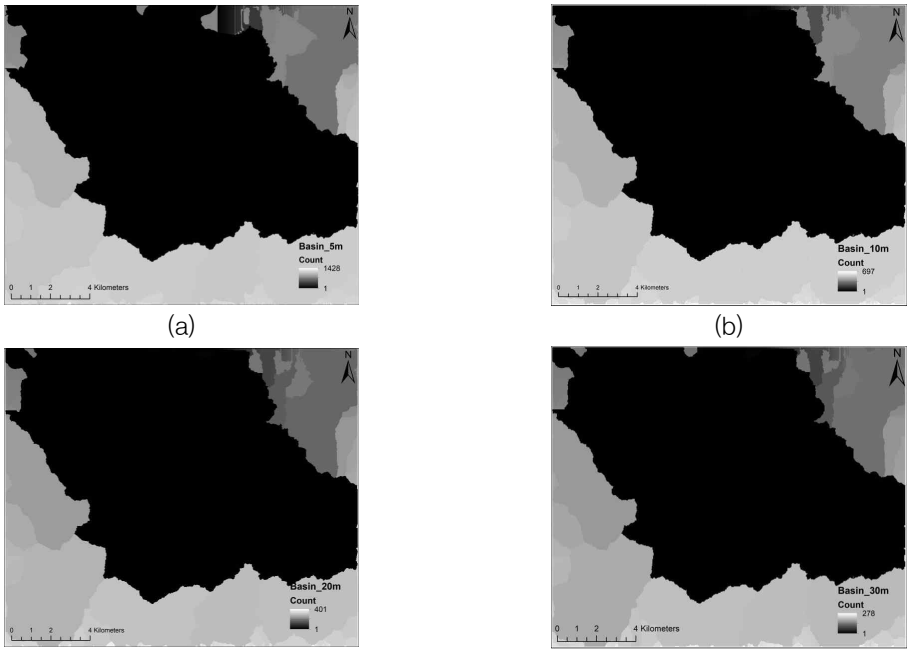


FIGURE 4. Flow length derived from DEM of different resolutions in meters: (a) 5m, (b) 10m, (c) 20m, and (d)

(c) (d)

FIGURE 4. Continued



(a) (b)

(c) (d)

FIGURE 5. Basin derived from DEM of different spatial resolutions: (a) 5m, (b) 10m, (c) 20m, and (d) 30m

모의 현상을 정확하게 시각화할 수 없을 가능성이 있다. 이와 같은 이유는 유역의 수(basin count)가 줄어드는 원인이 될 수 있다. 픽셀의 크기가 작으면 지형의 변형이 심할 수 있으므로 유역 도구(basin tool)는 다수의 소유역(sub-basin)을 만들었다. 그림 3, 4, 5는 다양한 해상도의 수치표고모델로부터 취득된 조사지역의 유수의 축적, 유역의 거리와 유역의 변화를 보여준다.

결 론

본 연구에서 다양한 해상도의 수치표고모델들로부터 얻어낸 지형학적 요소의 비교분석은 다

양한 해상도에서 얻은 결과물에 대한 통계치를 기반으로 수행되었다. 수치표고모델의 표고는 보간을 하는 동안 변경되지 않음이 확인되었다. 그러나, 도출된 경사와 곡률은 픽셀 크기가 증가됨에 따라 감소되고, 유수의 방향에 대한 면적 범위(coverage)는 동서남북 방향으로는 증가하였지만, 나머지 방향에서는 감소하였다. 유수의 축적 지역은 거의 유사했지만, 유수의 거리와 유역의 수는 픽셀 크기의 증가에 따라 감소하였다.

수치표고모델은 다양한 분석에 사용되는 매우 중요한 지형 공간 자료이다. 그러나, 수치표고모델을 사용하기 전에 적용하고자 하는 연구의 종류에 따라 유의 깊게 검토되어야 하며, 적절한 규모(scale)의 선정은 분석 정밀도를 제공할 뿐만 아니라 비용과 시간을 절약할 수 있다. KAGIS

REFERENCES

Acharya, T.D., I.T. Yang, and D.H. Lee. 2018. Comparative analysis of Digital Elevation Models between AW3D30, SRTM30 and airborne LiDAR: a case of Chuncheon, South Korea. Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography 36(1): 17-24.

Acharya, T.D., I.T. Yang, and D.H. Lee. 2017a. GIS-based landslide susceptibility mapping of Bhotang, Nepal using frequency ratio and statistical index methods. Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography 35(5): 357-364.

Acharya, T.D., I.T. Yang, and D.H. Lee. 2017b. GIS-based preliminary feasibility study for the optimal route selection for China-India railway through Nepal." Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography 35(4): 281-289.

Acharya, T.D., I.T. Yang, and D.H. Lee. 2016. Surface water area delineation in Landsat OLI Image using reflectance and SRTM DEM derivatives. 2016 Conference on Geo-Spatial Information, The Korean Society for Geospatial Information Science, Gunsan, pp.233-234.

Dawod, G. and K Al-Ghamdi. 2017. Reliability of recent global digital elevation models for geomatics applications in Egypt and Saudi Arabia. Journal of Geographic Information System 9(6):685- 698.

Goulden, T., C. Hopkinson, R. Jamieson and S. Sterling. 2016. Sensitivity of DEM, slope, aspect and watershed attributes to LiDAR measurement uncertainty. Remote Sensing of Environment 179:23-35.

Gyasi-Agyei, Y., G. Willgoose, and F.P. De Troch. 1995. Effects of vertical resolution and map scale of digital elevation models on geomorphological parameters used in hydrology. Hydrological Processes 9(3-4):363-382.

Hong, H., J. Liu, D.T. Bui, B. Pradhan, T.D. Acharya, B.T. Pham, A. Zhu, W. Chen, and B.B. Ahmad. 2018. Landslide susceptibility mapping using J48 Decision Tree with AdaBoost, Bagging and Rotation Forest ensembles in the Guangchang area (China). Catena 163:399-413.

Lee, D.H. and T.D. Acharya. 2017. Comparison of complete bouguer anomalies from satellite marine gravity models with shipborne gravity data in

East sea, Korea. Journal of Marine Science and Technology 25(6):625-632.

Oksanen, J. and T. Sarjakoski. 2005. Error propagation of DEM-based surface derivatives. Computers & Geosciences 31(8):1015-1027.

Yang, I.T., T.D. Acharya, and D.H. Lee. 2016. Landslide susceptibility mapping for 2015 earthquake region of Sindhupalchowk, Nepal using frequency ratio." Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography, 34(4):443-451.

Yang, I.T., T.D. Acharya, and M.S. Shin. 2014. Cycling: an efficient solution to rising transportation problems in Kathmandu. Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography 32(6): 617-623.