

LIDAR DEM 및 여러가지 수치표고모델의 정확도 분석

Accuracy Evaluation of Various Digital Elevation Model including LiDAR DEM

이석배*, 김진수**, 김철영***

Lee, Suk Bae*, Kim, Jin Soo**, Kim, Cheol Young***

진주산업대학교 토목공학과 교수*(sblee@jinju.ac.kr)

진주산업대학교 건설기술연구소 연구원**(발표자, pksurveying@pknu.ac.kr)

진주산업대학교 토목공학과 석사과정***(fired2@daum.net)

요 약

지형의 표고값을 격자간격으로 표현하는 수치표고모델(DEM)은 지형분석을 위한 GIS데이터 활용과 휴대전화 중계안테나의 영향권 분석, 정밀지오이드 계산을 위한 지형효과계산 등 여러 가지 분야에 활용되고 있다. 본 연구에서는 이렇게 활용성이 증가하고 있는 수치표고모델을 수집하고 또 진주시 지역을 대상으로 LiDAR촬영을 통한 LiDAR 수치표고모델을 구축하여 그 정확도를 분석하고자 하였다. 연구에 활용된 수치표고모델은 GTOPO30, SRTM-3, 지형도(1/50,000) 독취 DEM, 환경부 DEM, 항공사진에 의해 생성된 DEM, 그리고 LiDAR DEM의 6가지이며, 정확도 분석을 위해 GPS측량과 수준측량이 동시에 실시된 409점의 진주시 3차원 도시기준점 성과를 이용하였다.

1. 서 론

수치표고모델(Digital Elevation Model)이란 수치지형모델을 표현하는 한 방법으로 위치를 알고 있는 특정지역에 대하여 일정한 격자간격으로 지형의 표고값을 표현한 모델이다. 아울러 GIS의 활용성이 증가하고 있는 요즘 수치데이터의 구축이 급격히 증가하고 있어 수치표고모델의 활용성 역시 증가하고 있는 추세이다. 수치표고모델은 GIS시스템에 의한 여러 가지 영향권 분석 등 지형시뮬레이션을 위해 필수적으로 필요하며 아울러 정밀지오이드 계산을 위한 지형효과계산 등에 활용되고 있다. 정밀지오이드 계산에 있어서 지형효과의 결정은 중요한 요소 중의 하나이며, 이를 위해서는 정밀한 중력 관측 자료뿐만 아니라 보다 정밀하고 정확한 지형자료의 취득이 뒤따라야 한다.

지오이드 결정과 같은 측지학적 분야에서는 종래에 소축척 지도의 격자별 고도자료에 의한 DEM 자료와 위성에 의해 관측된 미국 NASA의 고도자료가 주로 이용되었다. 그러나 최근 높은 수직정확도를 갖는 항공 LiDAR(Light Detection And Ranging) 측량과 같은 기술로 인해 고밀도의 위치 정보뿐만 아니라 높은 수직정확도를 만족하는 정보의 취득이 가능하게 되었다.

항공 LiDAR 측량은 레이저 스캐너(laser scanner)를 항공기에 장착하여 레이저 펄스를 지표면에 주사하고 반사된 레이저 펄스의 도달 시간을 관측함으로써 반사 지점의 공간위치 좌표를 계산해 지표면에 대한 정보를 추출하는 측량기법으로 최근 새로운 지형정보의 획득수단으로 부각되고 있다(위광재 등, 2007). LiDAR에서 자료처리 과정을 통하여 최종 생성되는 산출물로서는 레이저 펄스의 반사 지점들에 대한 다량의 공간

위치(X, Y, Z) 자료와 이로부터 임의로 추출된 공간위치 자료를 이용하여 제작된 격자 자료형식의 DEM과 DEM에서 수목과 인공물 등의 지형 피복이 추가된 DSM(Digital surface model) 및 지표면 상의 형상에 대한 정보 등이다.(심정민 등, 2006)

따라서 본 연구에서는 우리나라에서 주로 사용되어 온 지형도 독취 DEM, USGS 및 NASA의 고도자료, 항공사진에서 추출된 DEM, 그리고 항공 LiDAR측량에 의해 구축된 LiDAR DEM의 정확도를 분석하고자 하였다. 지형도 독취 DEM은 1/50,000 지형도 독취 DEM과 환경부 DEM을 사용하였으며, NASA의 고도자료는 GTOPO30과 SRTM-3을 사용하였다. 또한 진주시를 대상으로 촬영된 항공사진으로부터 추출된 DEM을 사용하였고, 정확도 분석을 위해 진주시 지역을 정확도를 평가하기 위한 Test Bed로 선정하여 진주시 UIS 구축을 위해 설치된 409점의 3차원 도시기준점을 이용하여 정확도를 평가하였다.

2. 지형자료 수집 및 편집

본 연구에서 수집된 6가지 DEM에 대하여 자료현황 및 특성을 정리하면 표 1과 같다. 표에서 보는 바와 같이 1/50,000 지

형도 독취 DEM은 지형도상에서 30" 간격으로 독취하여 구성한 격자 파일 형태이며, 환경부 DEM은 환경부에서 배포하고 있는 전국에 대한 1" (약 30m)간격의 DEM으로 국토지리정보원에서 제작한 수치지도(1/25,000)를 바탕으로 제작되었다. 또한 USGS(U.S. Geological Survey)에서 제공하는 GTOPO30과 SRTM-3 자료를 이용하였다. GTOPO30은 USGS에서 제공하는 30" (약 1km) 격자 간격의 수치표고모형이며, 레스터 및 벡터소스의 지형정보를 기반으로 만들어졌다. SRTM-3 자료는 미국에서 일명 SRTM(Shuttle Radar Topography Mission)이라는 프로젝트에 의해 생성된 자료로써 우주왕복선이 11일 주기로 항해하는 동안에 왕복선에 탑재한 레이더 센서를 이용하여 InSAR 방법에 의하여 데이터를 획득한 것이다. 미국 본토에 대해서는 1", 즉 30m에 수렴하게 하여 이용하며, 그 외의 지역에 대해서는 3"로 보간하여 약 90m에 수렴하게 하여 웹을 통하여 일반인에게 서비스되고 있다. SRTM-1은 1 arc-second 간격으로 초기 자료에 해당되며, SRTM-3은 3 arc-second 간격으로 SRTM-1의 자료를 3"×3" 간격으로 보간하였다. SRTM-3의 절대정확도는 평면 정확도 60m 이내이고, 수직 정확도 16m(90% 원형오차) 이내이다.

표 1. 각 기관별 지형자료 현황 및 특성

DEM Source	격자간격	파일 포맷	좌표체계	재생성 격자간격	보유기관
1/50,000 지형도 독취 DEM	30" × 30"	ASCII	Bessel 측지좌표, 표고	30" × 30"	-
환경부 DEM	30m×30m	ASCII	Bessel TM좌표, 표고	900m×900m	환경부
GTOPO30	30" × 30"	ASCII	WGS84 측지좌표, 표고	30" × 30"	USGS
SRTM-3	3" × 3"	Arc-Info ASCII, GeoTiff, Binary Data Mask File	WGS84 측지좌표, 표고	30" × 30"	NASA, NGS, USGS
Aerial photo	0.92m×0.92m	ASCII	GRS80 TM좌표, 표고	900m×900m	JNU
LiDAR DEM	1m×1m	ASCII	GRS80 TM좌표, 타원체고	900m×900m	HANJIN/ JNU

그림 1은 격자간격이 30m×30m인 환경부 DEM을 보여주고 있으며, 그림 2는 30"×30" 격자간격의 GTOPO30 자료를 이용한 한반도 일원의 DEM을, 그림 3은 SRTM 자료에 의한 DEM을 기복도 형태로 나타낸 것이다. 아울러 그림 4는 항공 LiDAR 측량에 의하여 구축된 진주시 일원의 1m×1m DEM을 10m×10m 형태로 재구축한 DEM의 컬러 음영기복도이다. 가운데를 곡선으로 관통하는 낮은 지역은 남강을 표현하고 있다.

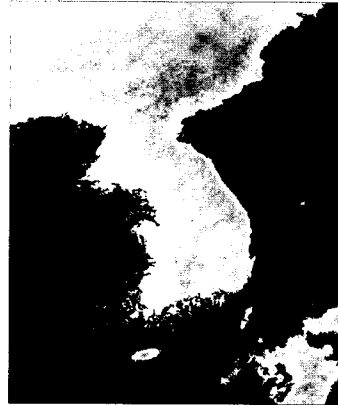


그림 3. SRTM-3 DEM (격자간격 30m)



그림 1. 환경부 DEM(격자간격 30m)

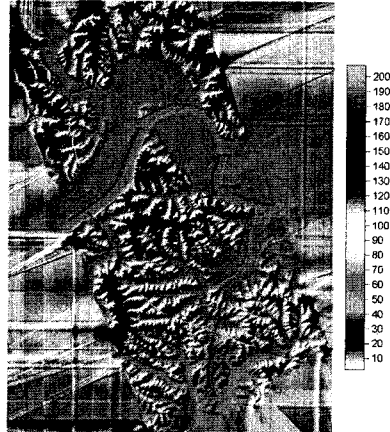


그림 4. 진주시 10m DEM 자료

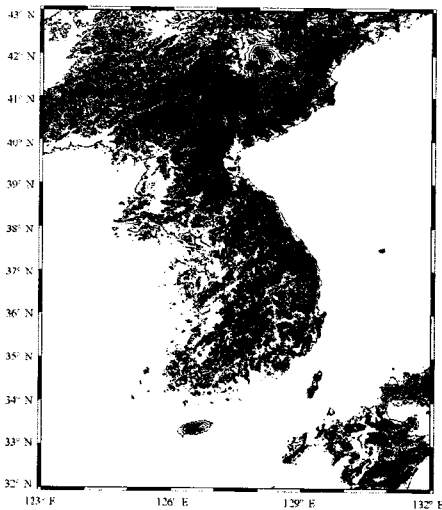


그림 2. GTOPO30 DEM (격자간격 30")

3. DEM자료의 정확도 분석

본 연구에 사용된 6가지 DEM 자료의 정확도를 분석하기 위하여 정확한 위치와 표고를 알고 있는 검사점이 필요하였다. 따라서 본 연구의 정확도 분석을 위한 검사점으로 진주시 전역의 3차원 도시기준점 정보를 이용하였다.

본 연구에 검사점으로 활용된 진주시 도시기준점은 진주시 UIS 및 도로와 지하시설물도 구축사업을 통하여 설치된 409점의 도시기준점으로, 평면좌표와 타원체고는 GPS측량을 통하여, 표고정보는 수준점과 연계한 직접수준측량을 통하여 얻어진 3차원 좌표로 공공측량성과심사를 통

과한 기준점 정보를 활용하였다. 그림 5는 진주시 도시기준점의 분포를 보여준다.

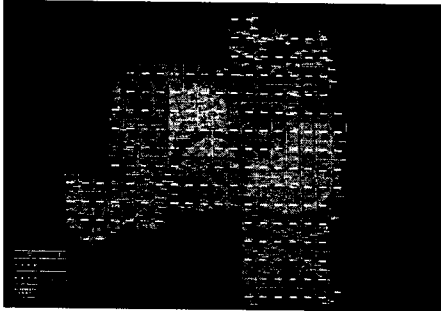


그림 5. 진주시 도시기준점 분포도

먼저 진주시 도시기준점은 성과는 Bessel 타원체 기준의 지역측지계 성과와 GRS80 타원체 기준의 세계측지계 성과로 정리하여 이를 정확한 값으로 간주하고 6가지 DEM의 원시 자료의 정확도를 분석하였고, 그 결과는 표 2와 같다.

표 2에 나타낸 바와 같이, 1/50,000 지형도 독취 DEM, 환경부 DEM, GTOPO30, 그리고 SRTM-3과 같은 고도자료는 진주시 전체 지역을 포함하므로 비교를 위한 도시기준점 수가 409개로 동일한 반면, 항공사진은 진주시 일부 지역을 촬영한 관계로 항공사진에 포함된 30개의 도시기준점 자료와 비교하였다. 또한 항공 LiDAR DEM 자료는 고도자료가 타원체고로 표현

된 것으로 역시 LiDAR 측량구역 내에 포함된 295점의 GPS/Leveling 자료를 이용하였다.

분석결과 1/50,000 지형도 독취 DEM은 교차의 평균값과 표준편차가 각각 -69.294m와 35.951m로 6가지 DEM중에서 가장 큰 차이를 나타냈고, 항공 LiDAR DEM의 경우에는 교차의 평균값이 0.229m, 표준편차가 0.105m로 가장 작은 값을 보여주었다. 또한 다른 DEM의 교차의 평균값을 살펴보면 환경부 DEM은 -2.457m로 두 번째로 좋은 결과를 보여주었고, USGS DEM의 경우 GTOPO30은 -10.286m, SRTM-3은 -5.381m의 평균값을 보였으며, 항공사진에 의한 DEM의 경우 -3.227m의 양호한 결과를 보여주었다.

1/50,000지형도 독취 DEM의 정확도와 정밀도가 가장 좋지 않게 나타난 것은 수작업에 의한 독취작업 자체가 정확하고 정밀하게 이루어지지 않은 것으로 판단되며, 또한 검사점으로 사용된 진주시 GPS 도시기준점의 Bessel타원체 기준의 지역측지계 성과로 좌표변환 할 때에 진주시 지역의 독자적인 좌표변환계수를 산출하지 않고 국토지리정보원에서 고시한 우리나라 전역의 세계측지계변환 7 매개변수를 사용한 것도 오차를 증가시킨 원인으로 분석된다. 그에 반해 환경부 DEM의 경우에는 비교적 좋은 결과를 나타내고 있는데 이는

표 2. 자료유형별 DEM 정확도 분석

Source		격자 간격	비 교 성과수	결 과 값 (m)			
자료유형	좌표체계			Max.	Min.	Aver.	Stdev.
1/50,000 지형도	Bessel 위도, 경도, 표고	30" × 30"	409	29.200	-156.44	-69.294	35.951
환경부 DEM	GRS80 TM (중부원점), 표고	30m×30m	409	48.432	-48.110	-2.457	13.512
GTOPO30	GRS80 위도, 경도, 표고	30" × 30"	409	19.433	-54.285	-10.286	8.415
SRTM-3	GRS80 위도, 경도, 표고	3" × 3"	409	27.334	-79.634	-5.381	8.231
Aerial photo	GRS80 TM (동부), 표고	0.92m×0.92m	30	7.159	-36.479	-3.227	8.107
LiDAR DEM	GRS80 TM (동부), 타원체고	10m×10m	295	0.500	-0.310	0.229	0.105

표 3. 자료유형별 재생성 격자 자료의 정확도 분석

Source		격자 간격	비 교 성과수	결 과 값 (m)			
자료유형	좌표체계			Max.	Min.	Aver.	Stdev.
1/50,000 지형도	Bessel 위도, 경도, 표고	30" × 30"	409	29.200	-156.44	-69.294	35.951
환경부 DEM	GRS80 TM (중부원점), 표고	900m×900m	409	52.169	-95.738	-4.522	17.299
GTOPO30	GRS80 위도, 경도, 표고	30" × 30"	409	19.433	-54.285	-10.286	8.415
SRTM-3	GRS80 위도, 경도, 표고	30" × 30"	409	54.215	-44.006	-13.776	11.850
Aerial photo	GRS80 TM (동부), 표고	900m×900m	30	7.345	-22.883	-3.635	11.152
LiDAR DEM	GRS80 TM (동부), 타원체고	900m×900m	295	9.635	-21.914	-2.941	5.577

1/50,000 지형도 독취 DEM보다 독취간격이 매우 조밀하여 지형의 기복변화를 보다 자세히 묘사하고 있는 때문으로 파악된다. 마찬가지로 미국의 USGS DEM의 경우에도 지형간격을 상세히 묘사하고 있는 SRTM-3의 경우가 GTOPO30의 경우보다 교차의 평균값이 약 절반정도로 줄어들고 있음을 알 수 있다.

이상과 같은 결과는 각 기관별 DEM이 가지고 있는 원래의 격자간격을 그대로 유지한 채 정확도를 비교한 것이다. 따라서 본 연구에서는 격자간격의 차이에 의한 영향을 없애기 위하여 6가지 DEM을 거의 비슷한 격자간격으로 재구성하였다. 1/50,000 지형도 독취 DEM과 GTOPO30, SRTM-3은 30" × 30" 간격으로 그리고 환경부 DEM, 항공사진에 의한 DEM, 항공 LiDAR DEM은 900m×900m간격으로 재구성하였고, 재구성된 DEM을 다시 도시기준점 성과와 표고를 비교하여 정확도를 분석하였으며, 그 결과는 표 3과 같다.

1/50,000 지형도 독취 DEM과 GTOPO-30의 경우 원시 DEM과 동일한 격자간격이므로 동일한 결과값을 나타내었다. 또한 SRTM-3과 항공 LiDAR DEM의 경우 평균값과 표준편차가 매우 크게 증가함을 알 수 있었고, 이는 원시자료의 격자간격에 비해 다소 큰 격자간격으로 재생성하

는 과정에서 격자점과 격자점 사이의 표고가 보간을 통해 선형변환으로 인식됨으로 격자점 사이의 고도정보가 지형의 실제 고도정보를 잘 수반하지 못한 것으로 판단된다.

격자간격을 비슷한 크기로 재생성한 결과도 역시 항공 LiDAR DEM의 경우가 가장 작은 교차평균값을 보여주어 제일 정확한 것으로 나타났으나, 항공사진 DEM이 비교 검사점 수가 적은 관계로 두 번째로 작은 교차평균값을 보여주었고, 환경부 DEM, GTOPO30, SRTM-3, 1/50,000지형도 독취 DEM의 순서로 교차평균값이 작게 나타났다. 그러나 이 결과는 단순히 평지가 대부분인 시가지 지역을 대상으로 평가한 것이어서 원시자료의 정확도 평가와 아울러 대상지역을 산악지의 경우와 평지와 산악지가 합성되어 있는 경우 등으로 나누어서 보다 세밀하게 정확도를 분석할 필요가 제기되었다.

4. 결 론

본 연구는 오늘날 여러 가지 목적으로 활용되고 있는 수치표고모델의 정확도를 분석하기 위한 연구로, 현재 많이 사용되고 있는 지형도 독취 DEM과 USGS의 범용 DEM인 GTOPO30과 SRTM-3, 항공사진에 의해 생성된 DEM, 그리고 항공

LiDAR측량에 의해 구축된 DEM의 6가지 DEM에 대하여 진주시의 도시기준점 정보를 활용하여 교차를 분석하였다. 먼저, 원시자료의 DEM의 정확도를 분석한 결과, 지형이 가장 고밀도로 표현된 항공 LiDAR DEM 정확도가 가장 우수한 것을 알 수 있었다. 또한 항공사진 DEM과 환경부 DEM, 그리고 USGS의 SRTM-3가 교차의 평균값이 10m 이내로 나타났으며, 원시자료의 격자간격이 가장 크게 나타난 GTOPO30과 1/50,000지형도 독취 DEM의 경우에는 교차의 평균값이 10m를 넘는 것으로 나타났다. 또한 격자간격의 영향을 없애기 위하여 6가지 DEM을 거의 비슷한 격자간격으로 재구성하고, 재구성된 DEM의 정확도를 분석한 결과, 비교대상점 수가 적었던 항공사진 DEM의 경우가 환경부 DEM보다 교차값이 작게 나타나고 또 GTOPO30이 SRTM-3보다 교차값이 작게 나타나는 등의 변화를 보였다.

이상의 결과와 같이, 항공 LiDAR DEM은 향후 정확한 고도정보를 필요로 하는 GIS 데이터베이스 구축이나 정밀지오이드 계산을 위한 지형효과 계산 등에 매우 유용하게 활용될 수 있을 것으로 기대되며, LiDAR DEM 구축에 따른 경제성 확보전략과 함께 격자간격별 LiDAR DEM의 오차영향 및 정확도 분석, 정밀지오이드 산정에 있어서 격자간격에 따른 지형효과영향 등에 관련한 연구가 함께 수반되어야 할 것으로 판단된다.

참고문헌

위광재, 조재명, 이입평, 강인구 2007, LiDAR데이터를 이용한 등고선제작의 효율성 평가, 한국지형공간정보학회지, 한국지형공간정보학회, 제15권, 제2호, pp.59-66.

심정민, 이석배, 2006, LiDAR 자료를 이용한 홍수시물레이션에 관한 연구, 한국지형공간정보학회지, 한국지형공간정보학

회, 제14권, 제4호, pp.53-60.

Bernhard Rabus, Michael Eineder, Achim Roth, and Richard Bamler, 2003, The shuttle radar topography mission-a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar, *ISPRS Journal of Photogrammetric and Remote Sensing*, Vol.57, pp.241-262.

Suna, G., Ransonb, K.J., Kharukc, V.I., and Kovacsd, K., 2003, Validation of surface height from shuttle radar topography mission using shuttle laser altimeter, *Remote Sens. Env.*, Vol.88, pp.401-411.

<http://srtm.csi.cgiar.org> - The CGIAR Consortium for Spatial Information.

<http://edc.usgs.gov> - U.S. Geological Survey