

한국에서의 SRTM(Ver 3.0)과 ASTER(Ver 2) 전 세계 수치표고모델 정확도 분석

박준구¹ · 김정섭^{1*} · 이기하² · 양재의³

¹인하대학교 사회인프라공학과

²경북대학교 건설방재공학부

³강원대학교 환경융합학부

Vertical Accuracy Assessment of SRTM Ver 3.0 and ASTER GDEM Ver 2 over Korea

Junku Park¹ · Jungsub Kim^{1*} · Giha Lee² · Jae E. Yang³

¹Department of Civil Engineering, Inha University

²Department of Construction and Disaster Prevention Engineering, Kyungpook National University

³School of Environment, Kangwon National University

ABSTRACT

The aim of this study is to analyze the accuracy of SRTM Ver 3.0 and ASTER GDEM Ver 2 over Korea. To enable this, accuracy analysis was performed by using precise DEM which was made with multiple aerial image matching and national base map benchmark. The result of this study identified both SRTM and ASTER have different features. The height of the SRTM was found to be higher (3.8 m on average) at lower elevation and lower (8.4 m on average) at higher elevation. In contrast, the ASTER was found to be lower than the actual height at both lower and higher elevation (2.92 m, 4.51 m on average). The cause of this height bias according to the elevation is due to the differences in data acquisition and processing methods of DEM. It was identified however that both SRTM and ASTER were within allowable limits of error. In addition, RMSE of the SRTM was smaller than the ASTER in comparison to benchmark, and also the bias trend both at higher and lower terrain were similar to the precise DEM which was made with multiple aerial image matching. Therefore, the reliability of SRTM can be considered to be higher.

Key words : SRTM Ver 3.0, ASTER GDEM Ver 2, Digital Elevation Model (DEM), Image matching, Photogrammetry, Digital map benchmark

1. 서 론

지형을 정확하게 파악하는 것은 공간상 각종 작업(토양 침식 산정, 홍수모의, 산사태위험지도 제작 등)의 기준이 되기 때문에 매우 중요하다. 인위적/자연적으로 급격하게 변화하는 3차원 지형을 결정하기 위하여 중력측량, GNSS 측량, 항공사진측량(Photogrammetry), 항공레이저측량(LiDAR) 및 간접계 합성개구 레이더측량(InSAR) 등의 기법을 적용할 수 있지만, 사용자 입장에서는 광범위한 지역에 대한 자료수집/처리 등이 어렵기 때문에 기 구축된

지형정보를 활용하게 된다. 가장 손쉽고 빠르게 지형정보를 추출하는 방법은 국가기본도 등고선을 이용하는 것이다. 도화 시 누락 및 제작자 오류 다수를 포함하고 있지만, 전 국토를 대상으로 2년 주기 수정/갱신 및 최대오차 2 m 이내로 제공하기 때문에 최신성 및 신뢰성을 만족한다고 할 수 있다. 그러나 국가기본도는 비접근 지역을 포함하고 있지 않으며, 국내라는 지역적 한계로 인하여 전 세계 많은 연구자들은 SRTM(Shuttle Radar Topography Mission)과 ASTER(Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer)와 같은 전 세계 수치

*Corresponding author : sobi.kim@gmail.com

Received : 2017. 11. 20 Reviewed : 2017. 11. 29 Accepted : 2017. 12. 30

Discussion until : 2018. 2. 28

표고모델(Digital Elevation Model)을 많이 활용하고 있다.

일본 경제산업성과 미국 항공우주국 공동으로 개발/제작한 ASTER 수치표고모델과 미국 국립지리정보국과 항공우주국 공동으로 개발/제작한 SRTM 수치표고모델은 특별한 처리과정 없이 전 세계(ASTER 83°N~83°S, SRTM 60°N~56°N)를 대상으로 바로 적용 가능하기 때문에 지형 및 표고를 활용하는 많은 연구에서 이용되고 있다. 또한 최초 공개 이후(ASTER 2009년, SRTM 2003년(Tachikawa et al., 2011a)), 현재까지도 표고의 신뢰도에 대한 비교 및 검증 연구가 활발하게 진행되고 있다. Hvidegaard et al.(2012)은 그린란드 연안에서 항공레이저측량 자료(정확도 0.2~0.3 m)를 기준으로 ASTER 수치표고모델(공간해상도 30 m)의 검증 결과, 15~65 m의 높이 차이가 발생한다고 언급하였다. 이는 계절적 요인과 기후변화에 의한 빙하의 높이변화를 고려하더라도, 제원(정확도 10~20 m)에 비해 매우 큰 차이가 발생하는 것이라고 언급하였다. Li et al.(2013)은 중국 전역(3곳의 협곡, 시안지역, 난닝지역, 광둥성 및 티베트고원)에서 GPS 기준점을 기준으로 ASTER와 SRTM(Ver.4.1) 수치표고모델의 정확도 평가를 수행하였다. 3곳의 협곡에서 ASTER 수치표고모델의 RMSE(12.1 m)는 SRTM 수치표고모델의 RMSE(24.5 m)보다 작고, 난닝지역에서는 SRTM 수치표고모델의 RMSE(7.6 m)가 ASTER 수치표고모델의 RMSE(20.0 m)보다 작으며, 광둥성과 티베트고원에서는 SRTM 수치표고모델의 정확도가 더 높다고 언급하였다. 경사도 비교에서도 두 수치표고모델 간 차이가 3.5°(광둥성)~9.6°(시안)로 지역별로 큰 차이가 발생하는 것으로 나타났다. Jing et al.(2014)은 중국 남동부 지역을 대상으로 지형도에서 추출한 20,000개의 기준점을 대상으로 SRTM(Ver.4.1)과 ASTER(Ver.2) 수치표고모델 비교 연구에서 ASTER 수치표고모델의 높이차는 -62.2~126.4 m(RMSE 12.8 m), SRTM 수치표고모델은 -321~89.4 m(RMSE 12.4 m)의 높이차가 발생하며, 경사도에 따른 정확도 비교 결과, 경사도 10° 초과 시 이하보다 2배 이상 정확도가 저하된다고 언급하였다. Hirt et al.(2010)은 서호주 서남부에서 6,392개의 수준점을 기준으로 ASTER(Ver.1)와 SRTM(Ver.4.1) 수치표고모델의 정확도 비교를 진행하였다. 비교 결과, SRTM 수치표고모델은 -23~36.9 m(RMSE 6.1 m), ASTER 수치표고모델은 -167.1~123.4 m(RMSE 15.7 m)의 높이차가 발생한다고 언급하였다. 이밖에 Santillan and Makinano (2016)는 필리핀 민다나오 지역, Chaieb et al.(2016)은 탄자니아, Gesch et al.(2016)은 미국, Patel et al.(2016)은 인도, 그리고 Elkhrachy(2017)는 사우디아라비아 지역에서

SRTM과 ASTER 수치표고모델의 정확도 비교 분석 연구를 진행하였다.

SRTM과 ASTER 수치표고모델은 평지와 산지, 경사도 등에 따라 정확도가 상이하다. 이에 Sertel(2010)은 터키 이스탄불 지역에서 농지, 공업지대, 강변, 호수지역, 낮은 산지 및 산지로 구분하여 ASTER 수치표고모델의 정확도 분석을 수행하였으며, 산지(RMSE 15.46 m)보다 농지(RMSE 4.32 m)의 정확도가 더 높다고 언급하였으며, Tachikawa et al.(2011b)은 ASTER(Ver.2) 수치표고모델을 이용하여 일본의 산지와 개활지에 대하여 정확도 분석 결과, 개활지(RMSE 6.1 m)가 산지(RMSE 12.7 m)보다 정확하다고 언급하였다. Forkuor and Maathuis(2012)는 아프리카 가나의 대초원과 낙엽수림에서 ASTER(Ver.1)와 SRTM(Ver.4) 수치표고모델의 정확도 비교 결과, 두 수치표고모델 모두 대초원 지역(RMSE 5.46 m(ASTER), 4.95 m(SRTM))이 낙엽수림(RMSE 18.76 m(ASTER), 14.54 m(SRTM)) 지역보다 정확도가 높다고 언급하였다. 국내에서는 Choi(2013)가 국가기본도를 기준으로 ASTER 수치표고모델의 정확도 평가 결과, 9.8~36.8 m의 오차를 가지며, 전국적으로는 평균 약 20 m의 오차를 가진다고 언급하였다. 또한 대전광역시를 대상으로 경사도(평야 : 0~5°, 완경사 5~15°, 급경사 15° 이상)에 따른 분석에서 평야는 약 15 m, 완경사 약 17 m 및 급경사 약 24 m의 오차를 가진다고 언급하였다. Kang et al.(2010)은 진안, 속초 및 안양 등의 지역을 선정하여 SRTM 수치표고모델(공간해상도 90 m)과 ASTER 수치표고모델(공간해상도 30 m)을 국가기본도 등고선으로 제작한 수치표고모델과 비교를 수행하였다. 정확도 평가에서 평지는 8~10 m, 산지와 평지가 분포하는 지역은 24~32 m 그리고 산악지역에서는 31~33 m의 오차를 보인다고 언급하였으며, 평지에서는 SRTM 수치표고모델의 정확도가 더 높고, 평지와 산악지가 분포하는 지역 및 산악지역에서는 ASTER 수치표고모델의 정확도가 더 높다고 언급하였다.

기 수행된 연구들을 종합하면, 국내에서 선행된 정확도 평가 연구에 대해 다음과 같은 의문을 도출할 수 있다. 첫 번째로 지상기준점과 같은 실측값으로 정확도 분석을 수행하여야 한다. 그러나 국가기본도(National base map)로 제작한 수치표고모델을 기준으로 설정하고 있다. 국가기본도 등고선의 최대오차는 약 2 m이며, 공간해상도 30 m로 보간하여 수치표고모델을 제작하기 때문에 지도축척과 공간해상도의 관계에서 도출된 약 10 m의 오차를 가질 수 있다. 두 번째로 등고선 제작 시 제작자 오류가 상당히 많이 발견되고 있으나, 검수에 대한 내용이 누락

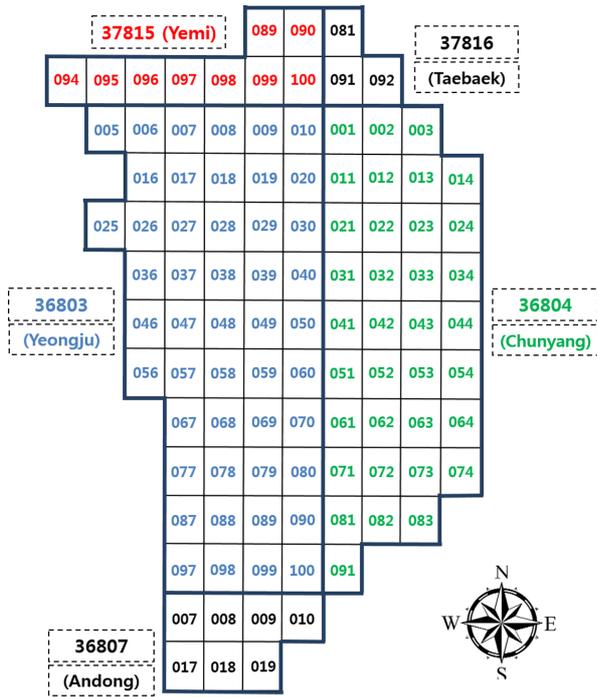


Fig. 1. National base map index of Naeseong-cheon watershed.

Table 1. Location of Naeseong-cheon watershed

| | |
|-------|----------------|
| Min X | 164,147.5070 m |
| Min Y | 455,798.2339 m |
| Max X | 186,758.2071 m |
| Max Y | 493,912.6814 m |

- ※ Ellipsoid : GRS80
- ※ Projection : Transverse Mercator
- ※ Central Meridian : 129°
- ※ False Easting = 200,000 m
- False Northing = 600,000 m

되어 있다. 마지막으로 지역별, 산지와 평지 등에 대한 정확도가 상이하다고 함에 있어 산지와 평지에 대한 구분이 불분명하며, 두 수치표고모델을 비교함에 있어 공간해상도가 상이하다(ASTER 30 m, SRTM 90 m). 본 연구는 항공사진 다중영상정합을 통해 제작한 정밀 수치표고모델을 기준으로 국가기본도 표고점의 정확도를 검증하고, 이를 통해 전 세계 수치표고모델의 정확도 분석을 수행하고자 한다.

2. 연구방법

2.1. 대상지역 및 자료

대상지역은 경상북도에 위치한 내성천 유역이다(Fig. 1, Table 1). 유역의 크기는 약 500 km²로 국가기본도 약

102장에 포함된다. 또한 산지, 나지 및 도심지가 고루 분포되어 있으며, 표고차가 최대 1,118.3 m로 피복 및 높이 변화에 따른 정확도 분석에 매우 용이하다. 대상지역의 선정 사유 및 정확도 분석에 사용된 자료별 특징은 다음과 같다.

2.1.1. 전 세계 수치표고모델

ASTER 수치표고모델은 자료취득 기간에 따라 Ver.1(2000년~2008년)과 Ver.2(2000~2010년)로 구분된다. Ver.2의 경우, 대상지역의 취득 영상 수에 따라 RMSE (6~16 m)가 상이하고, 토지피복에 따라서는도 평균 오차 (-2.27~5 m)가 상이하다(Tachikawa et al., 2011b). 내성천 유역은 표고가 121.56~1,207.64 m 범위이기 때문에 높이별 정확도 평가가 용이하다. 평가에 사용된 ASTER 수치표고모델은 Ver.2로 공간해상도 30 m이며, 5~10장의 촬영영상으로부터 제작되었기 때문에 취득 영상 수에 따른 RMSE는 10~15 m 정도일 것으로 예측할 수 있다.

2015년 공개된 SRTM(Ver.3.0) GL1 수치표고모델은 공간해상도 30 m로 서비스 중에 있다. 이전까지 90 m 공간해상도로 제공함에 따라 ASTER 수치표고모델과의 정확도 비교에서 서로 상이한 해상도로 비교한 경우가 대다수이며, 지형의 급격한 높이차와 토지이용 형태가 다양한 국내에는 적합하지 않다는 의견이 다수였으나 최근에는 그 활용도가 다시 높아지고 있다. 그러나 자료 취득시기가 2000년이기 때문에 최신성은 저하된다고 할 수 있다. 인위적/자연적 급격한 변화는 정확도 분석에 매우 큰 영향을 주기 때문에 비교 대상 간 시기의 유사성을 고려하여야 한다. 그러나 SRTM 수치표고모델과 ASTER 수치표고모델은 자료취득 시기가 상이하기 때문에 항공사진 판독을 통해 2000년 이후 상대적으로 변화가 거의 없는 내성천 지역을 대상으로 하였으며, 급격한 변화(농공단지 개발, 산사태, 유사조절지 댐 등)가 발생한 부분은 제외하였다. SRTM(Ver.3.0) GL1 수치표고모델의 체원 상 정확도는 절대 높이 약 16 m 이내, 상대 높이 약 10 m 이내이다.

2.1.2. 정밀 수치표고모델 제작

국가기본도 등고선은 다른 지도구성요소(표고점, 수계, 건물 및 도로 등)와 마찬가지로 항공사진측량으로부터 제작된다. 항공사진은 실세계 3차원 지형지물을 추출하는데 있어 필수적인 요소이다. 항공사진으로부터 지형지물 추출 원리는 서로 다른 위치에서 촬영된 대상물의 도화를 통해 이루어진다. 도화의 경우, 도화하는 대상물에 대해서만 추출이 가능하다. 그러나 디지털카메라의 등장은 2장

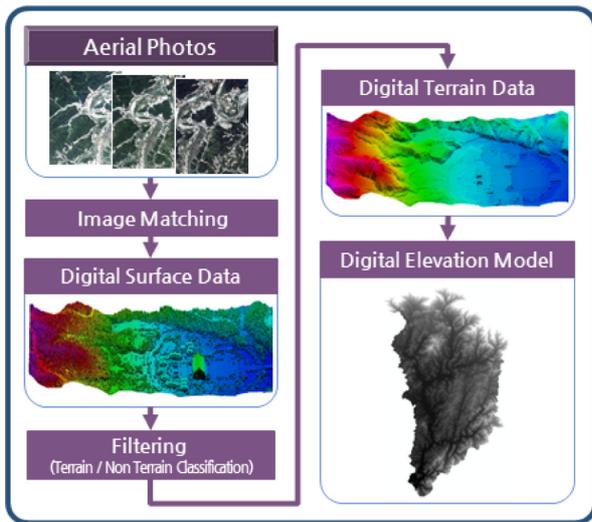


Fig. 2. Flow chart of precise DEM generation from multi-image matching using Aerial photos.

또는 다중영상에서 유사성 관측(밝기값 또는 경계)을 통해 공액점(conjugation point)을 결정하고, 공액점에 대하여 자동으로 지형지물 추출, 실세계를 완벽하게 구현할 수 있는 기술의 혁신을 가지고 왔다. 유사성 관측을 통해 공액점을 자동으로 결정하는 기술을 영상정합(image matching)이라고 하며, 영상정합은 영상 내 정합 가능한 모든 화소에서 이루어진다. Brunelli(2009)는 ‘영상정합은 2차원 영상으로부터 3차원 정보를 획득하는 가장 유용한 방법이며, 객체 인식의 핵심단계’라고 언급하였다. 또한 입체영상은 중복된 영역에서 지물의 폐색(occlusion)을 복원할 수 있으며, 3차원 투영 시에도 객체의 특징이 변하지 않기 때문에 가장 높은 정확도로 3차원 지형지물을 추출할 수 있다(Park, 2013).

내성천 유역의 정밀 수치표고모델은 전 세계 수치표고모델과의 시기 유사성을 고려하여 2011년 5월 촬영된 항공사진(DMC) 631매(공간해상도 22.5 cm)의 영상정합을 통해 점 군집(point cloud) 기반의 수치지면자료(Digital Terrain Data) 추출 후, 공간해상도 2 m와 30 m로 보간하여 제작하였다(Fig. 2).

2.1.3. 표고점 정확도 분석

내성천 유역을 포함하고 있는 국가기본도(102장) 내 표고점은 총 21,628개이다(NGII(2013)의 세부도화 묘사오차의 허용범위에 따라 표준편차는 50 cm, 최대오차는 1 m)(Fig. 3). 표고점과 공간해상도 2 m로 보간한 수치표고모델 비교 결과(Fig. 4), 31.95%가 0.01~0.2 m 이내의 차

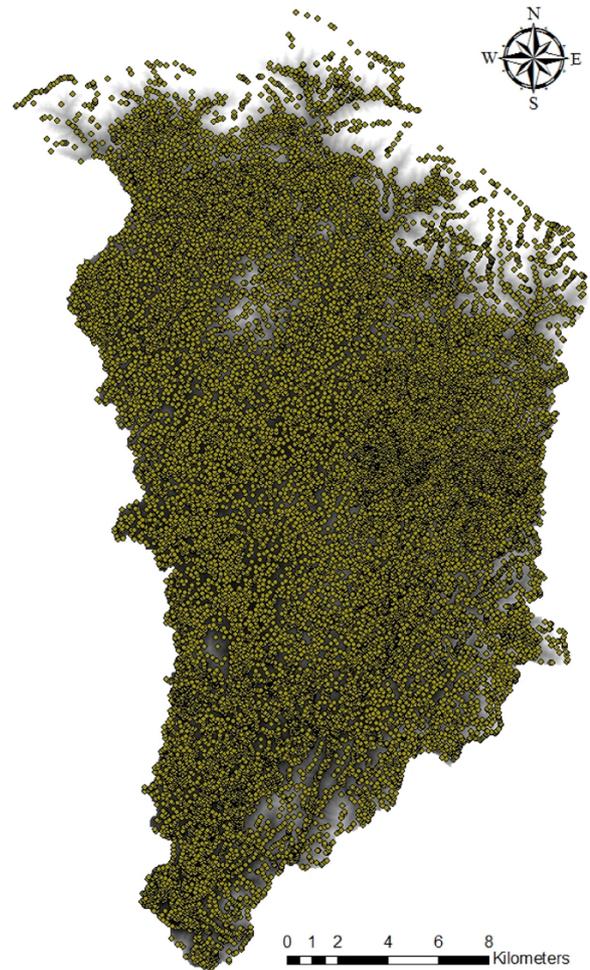


Fig. 3. Distribution of benchmark (21,628 points).

이가 나타났으며, 이 중 159개 점은 표고점과 수치표고모델 간 높이차가 0 m로 나타났다. 평균 -0.48 m, 표준편차 1.76 m로 나타났으며, 표고점의 정확도와 정밀 수치표고모델의 보간에 따른 정확도 저하 등의 사유를 고려하더라도 83.62%가 ±1 m 이내의 차이를 보이는 것으로 나타났다. 공간해상도 30 m로 보간한 수치표고모델 비교 결과(Fig. 5), 표고점의 평균 높이는 약 0.36 m 높아졌으며, 표준편차 역시 저하된 3.17 m로 나타났다. 이는 경사가 심한 산악지형의 특성으로 공간해상도가 낮아짐에 따라 발생한 현상으로 판단된다. 그러나 40개의 점에서 표고점과 일치하는 높이를 가지며, 22.19%가 ±0.5 m 이내, 61.7%가 ±2 m 이내의 차이를 보이는 것으로 나타났다. 정밀 수치표고모델의 공간해상도 별 표고점과의 높이차 분포비율은 Table 2와 같다.

국가기본도 등고선의 정확도 검증을 위하여 등고선으로 공간해상도 5 m 수치표고모델을 제작하였다(세부도화 묘

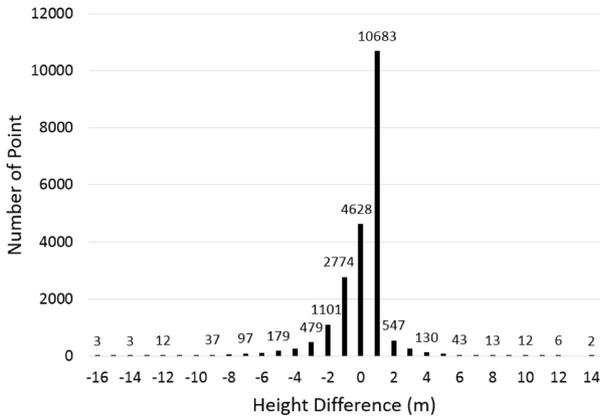


Fig. 4. Height difference between benchmark and matching DEM (GSD 2 m).

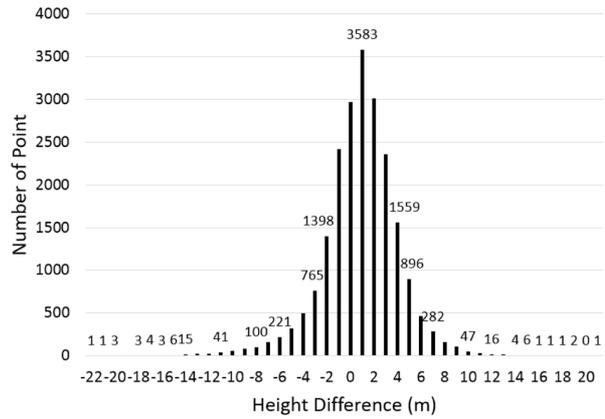


Fig. 5. Height difference between benchmark and matching DEM (GSD 30 m).

Table 2. Distribution ratio of height difference between benchmark and matching DEM (GSD 2 m/30 m)

| Height Diff. (m) | GSD 2 m (%) | GSD 30 m (%) | Height Diff. (m) | GSD 2 m (%) | GSD 30 m (%) |
|------------------|-------------|--------------|------------------|-------------|--------------|
| -30 ~ -20 | 0.00 | 0.02 | 0~0.1 | 16.58 | 1.45 |
| -20 ~ -15 | 0.02 | 0.07 | 0.1~0.2 | 15.38 | 1.74 |
| -15 ~ -10 | 0.31 | 0.71 | 0.2~0.3 | 8.75 | 1.71 |
| -10 ~ -5 | 2.22 | 4.05 | 0.3~0.4 | 3.67 | 1.78 |
| -5 ~ -3 | 3.44 | 5.82 | 0.4~0.5 | 1.57 | 1.76 |
| -3 ~ -2 | 5.09 | 6.46 | 0.5~1 | 3.45 | 8.12 |
| -2 ~ -1 | 12.83 | 11.17 | 1~2 | 2.53 | 13.92 |
| -1 ~ -0.5 | 8.79 | 7.07 | 2~3 | 1.23 | 10.90 |
| -0.5 ~ -0.4 | 1.67 | 1.38 | 3~5 | 0.96 | 11.35 |
| -0.4 ~ -0.3 | 1.94 | 1.35 | 5~10 | 0.52 | 4.87 |
| -0.3 ~ -0.2 | 2.06 | 1.47 | 10~15 | 0.06 | 0.31 |
| -0.2 ~ -0.1 | 2.83 | 1.23 | 15~20 | 0.00 | 0.02 |
| -0.1 ~ 0 | 4.11 | 1.23 | 20~30 | 0.00 | 0.00 |

· Height Difference 0 m : GSD 2 m DEM 159 Points
 GSD 30 m DEM 40 Points
 · Total Benchmark from National base map : 21,628 Points

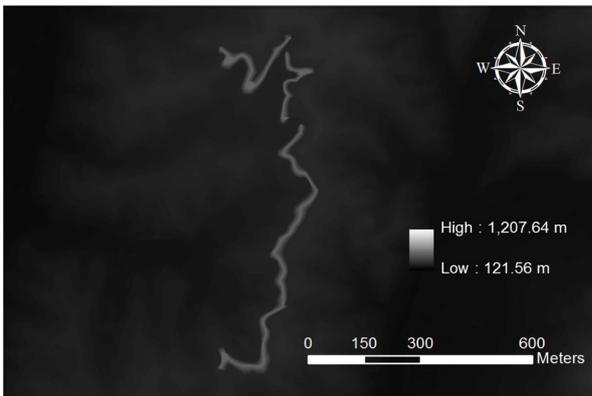


Fig. 6. Height difference of DEM caused by contour error.

사오차의 허용범위에 따라 표준편차는 1 m, 최대오차는 2 m). 정밀 수치표고모델과 비교 결과, 실제 높이에 비하

여 약 60~200 m 이상 높게 입력되어 있거나(Fig. 6), 수치 누락 및 불연속 등 사용자의 수정을 요하는 오류가 다수 발견되었다. 이에 대상지역의 등고선은 정확도 및 신뢰도가 매우 낮기 때문에 정확도 검증이 불가능하다는 결과를 도출하였다.

3. 실험 결과

3.1. 표고점과 전 세계 수치표고모델 비교

Fig. 7은 표고점과 SRTM 수치표고모델 간 비교 결과이다. 표고점은 표고가 높은 곳과 낮은 곳 모두 분포되어 있다. 만약 높이에 관계없이 수치표고모델의 정확도가 동일하다면, 높이차 분포는 (+) 방향 또는 (-) 방향으로 균등하게 분포되어야 한다. 그러나 실제 높이차가 (-)

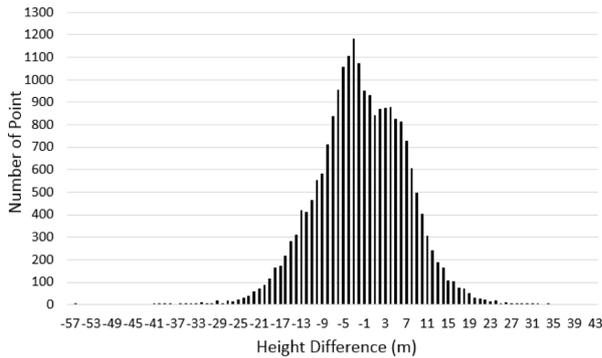


Fig. 7. Height difference between benchmark and SRTM Ver 3.0 DEM (GSD 30 m).

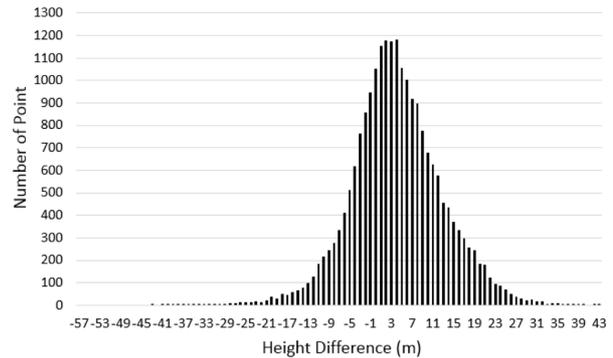


Fig. 8. Height difference between benchmark and ASTER Ver 2 GDEM (GSD 30 m).

Table 3. Distribution ratio of height difference between benchmark and SRTM Ver 3.0/ASTER Ver 2

| Height Diff. (m) | SRTM (%) | ASTER (%) | Height Diff. (m) | SRTM (%) | ASTER (%) |
|------------------|----------|-----------|------------------|----------|-----------|
| -60 ~ -50 | 0.00 | 0.00 | 0~5 | 19.81 | 26.51 |
| -50 ~ -40 | 0.01 | 0.01 | 5~10 | 14.07 | 19.71 |
| -40 ~ -30 | 0.13 | 0.13 | 10~15 | 4.63 | 11.35 |
| -30 ~ -20 | 1.65 | 0.67 | 15~20 | 1.50 | 6.06 |
| -20 ~ -15 | 4.36 | 1.09 | 20~30 | 0.48 | 3.22 |
| -15 ~ -10 | 9.97 | 3.22 | 30~40 | 0.03 | 0.29 |
| -10 ~ -5 | 19.12 | 8.18 | 40~50 | 0.00 | 0.01 |
| -5 ~ 0 | 24.24 | 19.54 | - | - | - |

인 화소는 59.48%, (+)인 화소는 40.52%이다. 이는 SRTM 수치표고모델의 높이가 실제 표고보다 높게 결정되어 있다는 것을 의미한다. 평균 높이차는 -1.96 m로, 제원 상 절대 높이 정확도 평균 약 16 m보다는 높다고 할 수 있다. 그러나 표준편차는 약 8.38 m(RMSE 8.61 m)로 크게 나타났으며, 높이차 범위 역시 -53.31~33.32 m로 매우 넓게 분포하고 있다. 이는 실제 표고점 높이의 높고 낮음에 따라 (+) 또는 (-)로의 편향된 높이 차이가 발생하기 때문이다.

Fig. 8은 표고점과 ASTER 수치표고모델 간 비교 결과이다. 평균 높이차는 3.58 m로, 높이차가 (-)인 화소는 32.85%, (+)인 화소는 67.15%로 ASTER 수치표고모델은 실제 표고보다 낮게 높이가 결정된 것으로 나타났다. 높이차 분포는 -43~42 m로 ASTER 수치표고모델 역시 (+), (-) 방향에서 모두 넓게 분포하는 것으로 나타났다. 표준편차는 8.69 m로 SRTM과 마찬가지로 큰 것으로 나타났으며, 실제 표고점 높이의 높고 낮음에 따라 (+) 또는 (-)로의 편향된 차이가 발생하였다. RMSE는 9.40 m로 제원 상 정확도를 만족하는 것으로 나타났다. Table 3은 표고점을 기준으로 전 세계 수치표고모델의 높이차 분포 비율이다.

3.2. 표고별 높이특성 비교

내성천 유역의 표고는 121.56~1,207.64 m이다. 표고점과 비교 결과, 모두 제원 상 정확도를 만족하지만, 표고의 높고 낮음에 따라 편향된 높이차가 발생하는 것으로 나타났다. SRTM 수치표고모델은 표고가 낮은 곳에서 더 높게, 높은 곳에서 더 낮게 나타났다. 또한 ASTER 수치표고모델은 표고가 낮은 곳과 높은 곳 모두 더 낮게 나타났다. 이는 수치표고모델 자체의 오차 또는 낮은 공간해상도가 원인일 수도 있다. 원인 파악을 위하여 표고점 중 가장 낮은 점과 가장 높은 점을 기준으로 각각 150점씩 추출 후, 영상정합으로 제작한 수치표고모델(공간해상도 30 m), SRTM과 ASTER 수치표고모델을 대상으로 높이별 특성을 비교하였다.

Fig. 9는 표고점 중 가장 낮은 150점을 기준으로 영상정합으로 제작한 수치표고모델, ASTER 및 SRTM 수치표고모델을 비교한 결과이다. 비교 결과, 영상정합으로 제작한 수치표고모델의 평균오차는 0.13 m(표준편차 2.16 m)로 실제 표고점 높이와 매우 유사한 것으로 나타났다. 반면 SRTM 수치표고모델은 실제보다 평균 3.8 m 높은 것으로 나타났다(표준편차 4.9 m). 반면 ASTER 수치표고모델은 실제보다 2.92 m 낮게 나타났다(표준편차 6.82 m).

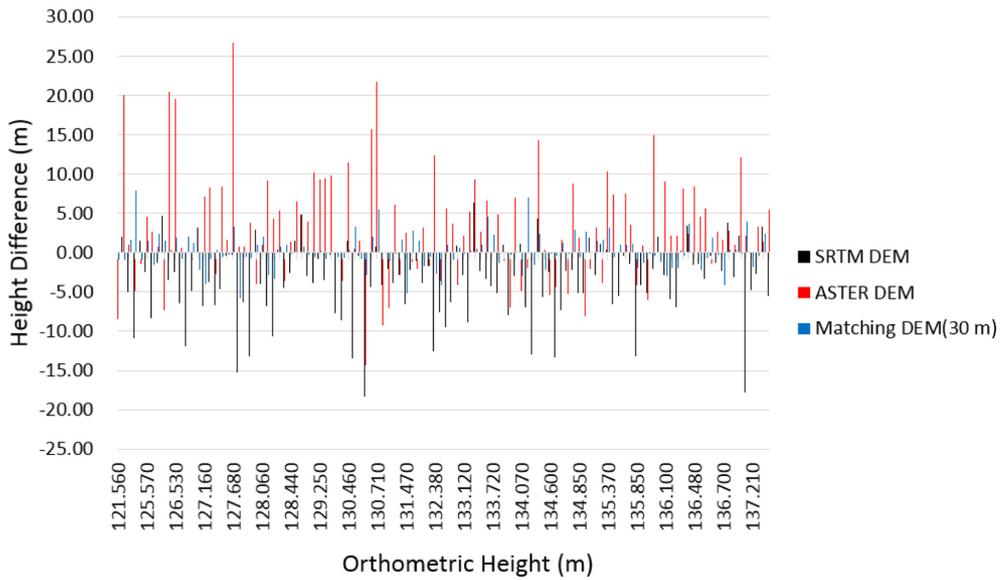


Fig. 9. Height difference between benchmark(lowest 150 points) and matching DEM(GSD 30 m)/SRTM Ver 3.0/ASTER Ver 2.

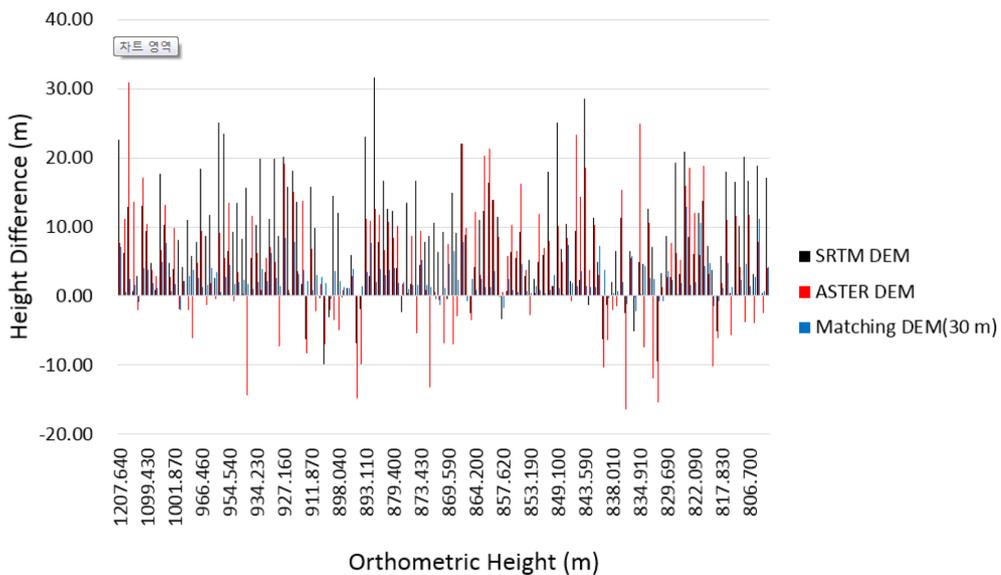


Fig. 10. Height difference between benchmark(highest 150 points) and matching DEM(GSD 30 m)/SRTM Ver 3.0/ASTER Ver 2.

Fig. 10은 표고점 중 가장 높은 150점을 기준으로 비교한 결과이다. 영상정합으로 제작한 수치표고모델의 평균 오차는 2.46 m(표준편차 2.5 m)로 낮은 점과의 비교 결과 보다 오차가 크게 발생한 것으로 나타났다. 이는 표고가 높아질수록 경사가 급해지는 산악지형의 특성 상 공간해상도 30m로 보간함에 있어 경사가 뚱개지며 발생하는 현상으로 설명할 수 있다. ASTER 수치표고모델은 실제보다 4.51 m(표준편차 8.72 m) 낮게 나타났으며, SRTM 수치표고모델은 이보다 큰 8.40 m(표준편차 7.85) 정도 낮

게 나타난 것을 확인할 수 있다. 그러나 전체적인 그래프 추세는 영상정합으로 제작한 수치표고모델과 SRTM 수치표고모델이 유사한 것으로 나타났다.

영상정합으로 제작한 수치표고모델의 평균오차 분석 결과, 낮은 공간해상도(30 m)의 영향으로 표고가 높아질수록 정확도 저하는 발생하지만, 표준편차는 최대 2.5 m 이 내인 것을 확인할 수 있다. 이는 SRTM과 ASTER 수치표고모델의 높이차 편향 발생 원인이 낮은 공간해상도 때문이 아님을 의미한다. 또한 SRTM과 ASTER 수치표고

모델 모두 낮은 곳에서 상이한 특징을 가지는 것도 이를 뒷받침할 수 있다. 따라서 SRTM과 ASTER 수치표고모델의 높이차 편향 발생 원인은 각 수치표고모델의 자료 취득 및 처리 방법의 차이로 인해 발생하는 특징이라고 할 수 있다. 이와 같은 결론은 두 수치표고모델 모두 높은 곳에서 실제 지형보다 낮게 높이가 결정된 것에서도 확인할 수 있다. 과거 SRTM 수치표고모델의 경우, 산등성이나 협곡 지역에 void(또는 hole)라고 불리는 오차가 존재하여 자료를 활용하기 위해서는 void의 보간 및 제거 과정이 필요하였다. 그러나 SRTM Ver 3.0은 ASTER GDEM Ver 2를 이용하여 대부분의 void를 메웠으며, 이에 편향이 유사한 것이라고 할 수 있다.

4. 결 론

토양침식 산정, 홍수모의 등 지형을 이용한 연구에서 수치표고모델의 정확도는 결과에 영향을 주는 결정적인 요소이기 때문에 매우 중요하다. 국가기본도 등고선을 이용하여 수치표고모델을 제작하는 것은 매우 손쉽고 빠르나, 항공사진의 도화 시 발생할 수 있는 제작자 오류로 인하여 반드시 검수가 필요하다. 그러나 실제 높이입력 오류 등은 실측자료가 없으면 탐지할 수 없다는 문제점이 있다. 반면 SRTM과 ASTER 전 세계 수치표고모델은 특별한 처리과정 없이 전 세계를 대상으로 이용 가능하기 때문에 그 활용도가 매우 높다. 그러나 자료취득 센서, 취득 영상 수, 토지피복 및 지형 등에 따른 정확도가 상이하기 때문에 전 세계에서 정확도 분석 연구가 활발하게 진행되고 있다.

본 연구는 내성천 유역을 대상으로 전 세계 수치표고모델의 정확도 분석을 수행하였다. 신뢰도 높은 분석을 위하여 전 세계 수치표고모델과 유사시기에 촬영된 항공사진의 영상정합으로 제작한 정밀 수치표고모델(공간해상도 2 m 및 30 m)과 국가기본도 표고점의 정확도 분석 결과를 바탕으로 SRTM과 ASTER 전 세계 수치표고모델의 정확도 분석을 수행하였다.

연구 결과, SRTM Ver 3.0과 ASTER Ver 2 전 세계 수치표고모델은 표고의 높고 낮음에 따라 높이차가 편향되는 것을 확인하였다. SRTM 수치표고모델은 표고가 낮은 곳에서 실제보다 더 높게(평균 3.8 m), 높은 곳에서 실제보다 더 낮게(평균 8.4 m) 높이가 결정되어 있는 것으로 나타났다. 반면 ASTER 수치표고모델은 표고가 낮은 곳과 높은 곳 모두 실제 표고보다 더 낮게(낮은 곳 : 평균 2.92 m, 높은 곳 : 평균 4.51 m) 결정되어 있다. 이

와 같이 표고의 높고 낮음에 따른 절대 높이의 편향 발생 원인은 각 수치표고모델의 자료 취득 및 처리 방법의 차이 때문이다. 그러나 두 수치표고모델은 모두 제원 상 정확도를 만족하고 있다. 다만 SRTM 수치표고모델의 경우, 표고점(21,628개)과 비교 시, RMSE가 ASTER 수치표고모델보다 더 작으며, 표고별 높이특성 비교에서도 높은 곳/낮은 곳 모두 편향의 추세가 영상정합으로 제작한 정밀 수치표고모델과 유사하기 때문에 SRTM Ver 3.0 수치표고모델의 신뢰도가 더 높다고 할 수 있다.

사 사

본 연구는 환경부의 토양지하수 오염방지 기술 개발사업(과제번호 : GAIA-2014000540005)에서 지원 받았습니다.

References

- Brunelli, R., 2009, *Template Matching Techniques in Computer Vision: Theory and Practice*, 1st edition, John Wiley & Sons.
- Chaieb, A., Rebai, N., and Bouaziz, S., 2016, Vertical Accuracy Assessment of SRTM Ver 4.1 and ASTER GDEM Ver 2 Using GPS Measurements in Central West of Tunisia, *J. Geographic Information System*, **8**(01), 57-64.
- Choi, J. M., 2013, Spatial Accuracy of Medium Resolution ASTER GDEM data, *The Geographical Journal of Korea*, **47**(1), 61-69.
- Elkhrachy, I., 2017, Vertical accuracy assessment for SRTM and ASTER Digital Elevation Models: A case study of Najran city, Saudi Arabia. *Ain Shams Engineering Journal*, 1-11.
- Forkuor, G. and Maathuis, B., 2012, Comparison of SRTM and ASTER derived digital elevation models over two regions in Ghana-Implications for hydrological and environmental modeling. *In Studies on Environmental and Applied Geomorphology*, InTech, 219-239.
- Gesch, D., Oimoen, M., Danielson, J., and Meyer, D., 2016. VALIDATION OF THE ASTER GLOBAL DIGITAL ELEVATION MODEL VERSION 3 OVER THE CONTERMINOUS UNITED STATES, *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, Volume XLI-B4, 2016 XXIII ISPRS Congress, 12-19 July 2016, Prague, Czech Republic, p.143-148.
- Hirt, C., Filmer, M. S., and Featherstone, W. E., 2010, Comparison and validation of the recent freely available ASTER-GDEM ver1, SRTM ver4. 1 and GEODATA DEM-9S ver3 digital elevation models over Australia, *Australian Journal of Earth Sciences*, **57**(3), 337-347.

- Hvidegaard, S. M., Sandberg Sørensen, L., and Forsberg, R., 2012, ASTER GDEM validation using LiDAR data over coastal regions of Greenland, *Remote sensing letters*, **3**(1), 85-91.
- Jing, C., Shortridge, A., Lin, S., and Wu, J., 2014. Comparison and validation of SRTM and ASTER GDEM for a subtropical landscape in Southeastern China, *International Journal of Digital Earth*, **7**(12), 969-992.
- Kang, K. H., Kim, C. J., Sohn, H. G., and Lee, W. H., 2010, Accuracy Evaluation of ASTER DEM, SRTM DEM using Digital Topographic Map, *J. THE KOREAN SOCIETY OF SURVEY, GEODESY, PHOTOGRAMMETRY, AND CARTOGRAPHY*, **28**(1), 169-178.
- Li, P., Shi, C., Li, Z., Muller, J. P., Drummond, J., Li, X., Li, T., Li, Y., and Liu, J., 2013, Evaluation of ASTER GDEM using GPS benchmarks and SRTM in China, *International Journal of Remote Sensing*, **34**(5), 1744-1771.
- National Geographic Information Institute(NGII), 2013, Administrative rule(Public notices) on Photogrammetry.
- Park, J. K., 2013, 3D Automatic Extraction of Building Models Using Aerial Images and Digital Maps, INHA University, Korea, p.46.
- Patel, A., Katiyar, S. K., and Prasad, V., 2016, Performances evaluation of different open source DEM using Differential Global Positioning System (DGPS). *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, **19**(1), 7-16.
- Santillan, J. R., and Makinano-Santillan, M., 2016, VERTICAL ACCURACY ASSESSMENT OF 30-M RESOLUTION ALOS, ASTER, AND SRTM GLOBAL DEMS OVER NORTHEASTERN MINDANAO, PHILIPPINES, *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, Volume XLI-B4, 2016 XXIII ISPRS Congress, 12-19 July 2016, Prague, Czech Republic, p.149-156.
- Sertel, E., 2010, Accuracy assessment of ASTER global DEM over Turkey. *In Proceedings of the ASPRS/CaGIS 2010 Fall Specialty Conference*, 15-19 November 2010, Orlando, Florida.
- Tachikawa, T., Hato, M., Kaku, M., and Iwasaki, A., 2011a, Characteristics of ASTER GDEM version 2, *In Geoscience and remote sensing symposium (IGARSS)*, 2011 IEEE international, p.3657-3660.
- Tachikawa, T., Kaku, M., Iwasaki, A., Gesch, D. B., Oimoen, M. J., Zhang, Z., Danielson J., Krieger, T., Curtis, B., Haase, J., Abrams, M., Crippen, R., and Carabajal, C., 2011b, ASTER global digital elevation model version 2-summary of validation results, NASA. p.1-26.