아리랑 3호 스테레오 위성영상의 DEM 제작 성능 분석 A Study on DEM Generation from Kompsat-3 Stereo Images

오재홍¹⁾ · 서두천²⁾ · 이창노³⁾

Oh, Jae Hong · Seo, Doo Chun · Lee, Chang No

Abstract

Kompsat-3 is an optical high-resolution earth observation satellite launched in May 2012. In addition to its 0.7m spatial resolution, Kompsat-3 is capable of in-track stereo acquisition enabling quality Digital Elevation Model(DEM) generation. Typical DEM generation procedure requires accurate control points well-distributed over the entire image region. But we often face difficult situations especially when the area of interests is oversea or inaccessible area. One solution to this is to use existing geospatial data even though they only cover a part of the image. This paper aimed to assess accuracy of DEM from Kompsat-3 with different scenarios including no control point, Rational Polynomial Coefficients(RPC) relative adjustment, and RPC adjustment with control points. Experiments were carried out for Kompsat-3 stereo data in USA. We used Digital Orthophoto Quadrangle(DOQ) and Shuttle Radar Topography Mission(SRTM) as control points sources. The generated DEMs are compared to a LiDAR DEM for accuracy assessment. The test results showed that the relative RPC adjustment significantly improved DEM accuracy without any control point. And comparable DEM could be derived from single control point from DOQ and SRTM, showing 7 meters of mean elevation error.

Keywords : Kompsat-3, Stereo, DEM, RPC, DOQ, SRTM

초 록

2012년 5월 발사된 다목적 실용위성 아리랑 3호는 단일 패스 상에서 0.7m의 공간해상도로 스테레오 영상을 획득할 수 있어 기존의 아리랑 2호에 비해 고품질의 Digital Elevation Model(DEM) 추출이 가능하다. 통상적으로 DEM 추출을 위해서는 영상 전반에 걸쳐 골고루 취득된 정밀한 기준점을 사용하여 센서모델링을 수행하고, 스테레오 매칭을 수행해야하나, 해외 지역이나 접근이 힘든 지역 등 GPS측량이 쉽지 않은 지역의 경우에는 무기준점 또는 기준점을 최소화하거나 기 구축된 공간 데이터를 활용하는 등의 방법으로 DEM을 추출해야 한다. 따라서 본 연구에서는 아리랑 3호 데이터로부터 무기준점 기반, 상대표정 기반, 단일 기준점 등 여러 가지 Rational Polynomial Coefficients(RPC) 처리 조건에 따라 DEM을 생성하고 정확도를 평가하였다. 기 구축된 공간영상인 Digital Orthophoto Quadrangle(DOQ)와 Shuttle Radar Topography Mission(SRTM)을 기준점 자료로 활용하여 미국지역 아리랑3호 스테레오 데이터를 대상으로 DEM을 생성하였으며, LiDAR DEM을 이용하여 정확도를 평가하였다. 실험 결과 무기준점인 경우 상대표정을 통해 의미 있는 정확도 향상을 얻을 수 있었고, DOQ와 SRTM 조합의 단일 기준점으로도 영상 전반에 걸쳐 기준점을 획득한 경우에 근접하는 7m 정도의 DEM 정확도를 확보할 수 있었다.

핵심어 : 아리랑3호, 스테레오, 수치표고모델, RPC, DOQ, SRTM

1) Member, Dept. of Civil Engineering, Chonnam National University (E-mail: ojh@jnu.ac.kr)

2) Satellite Information Research Institute, KARI (E-mail: dcivil@kari.re.kr)

3) Corresponding Author, Member, Dept. of Civil Engineering, Seoul National University of Science & Technology (E-mail: changno@seoultech.ac.kr)

Received 2014. 01. 11, Revised 2014. 02. 10, Accepted 2014. 02. 28

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

2012년 5월 18일에 발사되어 10개월간의 검/보정을 거쳐 2013년 중순부터 보급되기 시작한 아리랑 3호는 기존 아리랑 2호에 비해 공간해상도 및 촬영 폭에 있어 향상된 성능인 0.7m와 16.8km를 가지며 하나의 위성 패스에서 스테레오 영상을 획득하는 성능을 보유하여 보다 고품질의 스테레오 영상을 제공할 수 있다. 아리랑 3호 단일 궤도 스테레오 영상을 활용하면 기존의 아리랑 2호의 경우 보다 향상된 Digital Elevation Model(DEM)을 생성할 수 있다. 아리랑 2호의 경우 다른 날짜 및 다른 궤도상에서 스테레오 영상을 취득해야 했으며, 방사학적으로 이질적인 영상 매칭을 통해 DEM을 추출해야 하므로 제약점이 많았다. 그러나 아리랑 3호의 경우 거의 동일한 시간대에 대상지를 중복 촬영하므로 방사학적 조건이 거의 유사하고 기하학적으로만 다른 스테레오 영상을 획득하므로 보다 고품질의 DEM 추출이 가능하다.

기존에 고해상도 위성영상을 이용하여 DEM을 추출하는 연구는 2000년대 들어 국내외에서 많이 수행되어 왔다. Toutin(2004)는 SPOT-5, EROS-A, IKONOS, Quickbird 등의 고해상도 위성영상을 이용하여 DEM을 추출하고 정확도를 LiDAR 데이터와 비교 분석하였으며, IKONOS 및 Quickbird의 경우 약 6~7m의 평균제곱근 오차(RMSE)를 가진다고 보고하였다. Gruen *et al.*(2007)은 고해상도 영상을 이용하여 산악지형에 대한 DEM 추출을 시도하였고, Fraser *et al.*(2004), Radhika *et al.*(2007)는 SPOT-5, CARTOSAT-1 영상을 이용하여 DEM을 추출하였다. 또한 WorldView-1, 2 영상을 이용한 극지방의 DEM 추출 연구도 최근 진행되고 있다 (Porter *et al.*, 2011). 즉, 위성의 종류와 특성에 맞게 DEM을 추출하는 연구가 주로 수행되어왔다. 국내에서는 Lee and Ahn(2006)이 IKONOS 영상을 활용하여 DEM을 추출하였다. 대상지에 GPS 수신기를 이용하여 지상기준점을 다수 추출하고 이를 바탕으로 위성의 외부표정요소를 계산하여 스테레오 매칭하는 방법을 사용하였으며 DEM의 정확도는 상용 소프트웨어와의 비교로 제시하였다. 아리랑 2호 스테레오 영상을 이용하여 DEM을 추출한 연구 사례도 다수 있다. Lee *et al.*(2008)은 영상 전반에 걸친 기준점을 기반으로 Rational Polynomial Coefficients(RPC)조정 후 5m 해상도급 DEM을 생성하였으며, 1:5,000 수치지도에서 생성된 DEM과 비교했을 때 산악지형 등에서 평균 12m의 오차를 보임을 보고하였다. Rhee *et al.*(2009)는 서브픽셀급으로 센서 모델링된 아리랑 2호 영상을 기반으로 약 10m 해상도의 DEM을 생성하여 미국 USGS의 DTED 데이터와의 비교를

수행했으며 약 19~28m 가량의 RMSE를 결과로 제시했다. 또한 Rhee *et al.*(2011)은 다수의 아리랑 2호 영상을 활용하여 DEM을 제작하고 동일지역의 LiDAR데이터와의 비교를 통해 약 11~12m의 RMSE가 나타남을 보고하였다. 이는 아리랑 2호 해상도 기준 약 10픽셀에 해당하는 수치이다.

정확한 DEM을 추출하기 위한 첫 번째 단계는 정밀한 센서 모델링을 통해 높은 공간 정확도를 확보하는 것이다. 아리랑 3호 영상의 제품 설명서(KARI, 2013)에서 제시하고 있는 공간 정확도는 Table 1과 같다. 제품설명서에 따르면 아리랑 3호 설계상으로는 70m(CE90)의 공간 정확도를 목표로 했으며, 영상에 대해 실제로 테스트 해본 결과 수평으로 각각 35.1m(RMSE)와 53.2m(CE90)로 측정되었음을 보고하고 있다. 영상 전반에 걸쳐 정확히 획득된 기준점을 통하여 번들 조정을 수행한 경우에는 약 0.94m(1.34 픽셀)의 정확도를 보였다고 제시하고 있다.

Table 1. Geolocation accuracy of Kompsat-3 PAN (KARI, 2013)

Resolution	0.7m
Design specification	70m (CE90)
Typical accuracy	35.1m(RMSE), 53.2m(CE90)
Remarks	Refined attitude and ephemeris used

해의 지역의 경우나 접근이 힘든 지역 등 GPS측량이 쉽지 않은 지역의 경우에는 무기준점, 기준점을 최소화한 경우 그리고 기존의 구축된 공간 데이터를 활용하는 등 어려운 조건에서 DEM을 추출해야 하므로 통상적으로 이 보다 낮은 정도의 정확도를 확보할 수밖에 없는 경우가 많다. 또한 DEM은 건물 경계나 도로 선형 요소와 같은 식별력이 높은 지물만을 포함하는 것이 아니라 수목, 그늘 등 스테레오 매칭이 어려운 지형지물이 많아 실제 획득 가능한 DEM의 정확도는 크게 낮아진다.

따라서 본 연구에서는 미국지역에 대해 획득된 아리랑 3호 스테레오 영상과 RPC를 이용하여 스테레오 매칭을 통해 DEM을 구축하고 이를 LiDAR 데이터와의 비교를 통해 획득 가능한 정확도를 분석해 보았다. 이 때 기준점의 확보 유무가 상황에 따라 다를 수 있으므로, 무기준점, 상대표정, 최소 기준점 등 여러 경우에 따라 DEM을 생성하고 그 정확도를 비교 분석 하였다. 기준점은 USGS Digital Orthophoto Quadrangle(DOQ)와 Shuttle Radar Topography Mission(SRTM) 데이터 조합으로 획득하였으며, 생성된 DEM 정확도는 LiDAR DEM과의 비교를 통해

도출하였다.

본 논문의 구성은 아래와 같다. 2장에서는 실험 데이터인 아리랑 3호 영상 및 참조 데이터에 대한 설명을 제시하고, 여러 기준점 조건에 따른 RPC의 정확도를 제시한다. 3장에서는 여러 조건들에 따라 생성한 DEM을 LiDAR DEM에 비교하여 정확도를 평가하고 그 결과를 제시한다. 마지막으로 4장에 결론이 제시된다.

2. 실험 데이터

2.1 아리랑3호 영상 및 참조 데이터

DEM생성 실험을 위해 2013년 9월 13일 아리랑 3호의 단일 패스에서 미국 산타크루즈 지역(Fig. 1(a))의 스테레오 영상이 획득되었고, 방사학적 왜곡만 보정되었다. Fig. 1(b)에서 제시된 것과 같이 영상의 하단부에 산타크루즈 시가 있고 대부분의 영역이 산악 지형으로 이루어져 있으며 표고는 약 0~700m 차이를 보인다. 대상지는 산림이 많고 지형의 굴곡이 많아 음영이 많이 존재한다. Fig. 2에서 나타난 것과 같이 대상지 나무들은 오크나무가 주를 이루며 주택과 비교해 보아도 크기가 크고 활력도가 상당히 높아 그림자를 많이 생성한다. 아리랑 3호 스테레오 쌍의 수렴각은 약 44.64° 이며 이로부터 계산한 기선고도비(B/H) 비율은 약 1.2로서, DEM 생성에 적절하게 획득되었다. 영상은 오후 약 2시경에 취득되었으며 태양고도가 약 58° , 방위각은 219° 로서 음영을 길게 발생시키지는 않는 각도이다. 공간해상도는 칼럼 방향(가로)이 0.76m, 라인 방향(세로)이 0.82m로서 라인방향의 해상도가 칼럼 방향에 비해 약간 떨어진다. 보다 자세한 스펙은 Table 2에서 제시되어 있다.

기준점 및 검사점으로 활용하기 위해 미국 USGS로부터 동일 지역 DOQ 영상을, 표고 데이터로는 SRTM을 확보하였다. 그리고 DEM 정확도 비교 분석을 위해 LiDAR 데이터 또한 확보하였다. 이와 관련한 데이터 스펙 및 그림은 Table 3 및 Fig. 3에 제시되어 있다. 약 10장 가량의 DOQ영상이 아리랑 3호 영상 한 장의 영역을 커버한다. 사용된 DOQ는 약 20년 전에 취득된 항공사진을 기반으로 1m급 정사영상을 만든 것으로서 평면 정확도가 RMSE로 약 1.3~3.8m이므로 아리랑 3호 영상의 해상도인 0.7~0.8m를 기준으로 보았을 때 해상도나 정확도 면에서 만족스럽지 못하다 할 수 있다. 그러나 서론에서도 설명하였듯이 해외 지역, 특히 접근이 힘든 지역 등에서는 기존에 존재하는 공간 데이터를 활용해야 하는 경우가 종종 발생하므로 약 50m(CE90)에 이르는 아리랑 3호 영

상의 위치 오차를 5m급 내로 보정하는데 활용 가치가 있다고 할 수 있다. LiDAR 데이터의 경우 표고 RMSE가 12.5cm이며 점밀도 또한 $0.7\sim1.2\text{점}/\text{m}^2$ 으로서 DEM 정확도 검사용으로 문제가 없다 할 수 있다. 또한 2010년 9월에 취득된 데이터로서 아리랑 3호와 유사한 계절에 획득됨으로서, 수목 활력도 등은 유사할 것으로 판단된다. 그러나 아리랑 3호 영상의 취득날짜와 약 3년의 차이가 존재하므로 어린 수목의 경우 성장하는 등 정확도 평가에 있어 다소 오차 요인은 존재할 수 있다. 또한 LiDAR 데이터 중간 중간에 데이터가 빈 곳이나 특이한 높이값을 가지는 곳이 있으므로 사용상에 주의를 요한다. 표고 데이터로 사용한 SRTM은 전 세계 대부분을 커버하고 무료로 배포 되는 표고 데이터로서 활용 가치가 높다. 표고 정확도의 경우 북미 지역의 경우 6.5m(LE90)으로 보고되었다 (Rodriguez *et al.*, 2005).

Fig. 1. Tested site. (a) location(Google Map) (b) Kompsat-3 image with controls(triangles) and tie points(circles)

DOQ에서 21개의 기준점을 취득하였으며 아리랑 3호 영상에서의 위치가 Fig. 1(b)에 삼각형으로 표시되어 있다. 또한 아리랑 3호 스테레오 쌍에서 26개의 공액점을 취득하였으며 원형으로 Fig. 1(b)에 그 위치를 표시하였다. 우선 21개의 기준점을 모두 검사점으로 설정(이 때 표고는 LiDAR데이터 이용)하

고 원 RPC의 정확도를 계산해보았으며 그 결과는 Table 2 마지막 라인에 제시하였다. 영상의 칼럼 방향(가로 방향)으로 평균 약 40픽셀가량의 오차를 보였고, 라인방향(세로 방향)으로는 6픽셀 이하의 오차를 보이며 앞서 Table 1에서 설명한 아리랑 3호의 통상적인 오차 범위를 보이고 있다.

Fig. 2. Trees in the test area

Table 2. Tested Kompsat-3 stereo image specification

Product level	Level 1R	
Acquisition date	2013-09-13	
	Forward Image	Backward Image
Image size [pixels]	Sample 24060 Line 19608	Sample 24060 Line 19524
Incidence/Azimuth	22.29°/169.63°	22.42°/343.97°
GSD(col/row)	0.76/0.82 m	0.76/0.82 m
Mean accuracy (col/row)	43.5/5.6 pixels	37.3/2.5 pixels

Fig. 3. Mosaicked DOQ and LiDAR data (USGS)

Table 3. DOQ, SRTM, LiDAR data specification

USGS Data	DOQ	SRTM	LiDAR
Acquisition date	1991-10-30 1993-06-14	Feb 2000	From 2010-09-01 to 2010-09-19
Spatial resolution	1m	30m (1-arcsec)	point density: 0.7~1.2 points/m2
Typical Accuracy	Horizontal RMSE ranges 1.3~3.8m	6.5m (LE90) for North America 20m (CE90) in Specification	Vertical RMSE 12.5cm

2.2 RPC 조정

본 논문에서는 스테레오 매칭을 위해 영상과 함께 제공되는 RPC 정보를 이용하였다. 기준점이 존재하는 경우에는 그 정확도를 향상시킬 수 있으며, 통상적으로 Eq. (1)과 같은 변환식을 사용한다. 영상 전체의 편위량(shift)만 고려하는 경우 A_0, B_0 두개만 사용하며, Affine 변환식(Fraser and Hanley, 2005)의 경우 A_0, A_1, A_2 와 B_0, B_1, B_2 의 6개의 파라미터를 활용한다.

$$\begin{aligned} l' &= l + A_0 + A_1 l + A_2 s \\ s' &= s + B_0 + B_1 l + B_2 s \end{aligned} \quad (1)$$

여기서, $A_0, A_1, A_2, B_0, B_1, B_2$ 는 다항식의 계수이며 원 RPC에 내재된 편위(shift), 증가량(drift) 및 기타 왜곡량(systematic error) 등을 보정한다. l, s 는 원 RPC로부터 계산되는 영상좌표이며 l', s' 는 보정된 영상 좌표이다.

Eq. (1)을 바탕으로 여러 가지 경우에 따른 RPC정확도를 확인해보았으며 그 결과는 Table 4에 제시하였다. 첫 번째로 본 논문에서는 DOQ에서 추출된 21개의 기준점을 모두 검사점으로 활용하여 원 RPC의 지상 정확도를 확인해보았다. 검사점으로 활용하기 위해 기준점의 표고 정보는 LiDAR 데이터에서 추출하였다. 원 RPC의 지상좌표 정확도 평가 결과 경위도 방향으로 각각 약 30.0m 및 8.3m의 오차를 보였고 표고방향으로는 약 8.5m의 정확도를 보였다.

두 번째로 26개의 공액점을 활용하여 상대표정으로 A_0, A_1, A_2 와 B_0, B_1, B_2 의 6개의 파라미터를 추정하였고 보정된 RPC를 생성해 내었다. 상대표정 시 공액점의 지상좌표는 원 RPC에 의해 계산된 값으로 고정하고, 원 RPC에 의해 계산되는 영상 좌표값을 취득된 공액점 위치로 보정하기 위한 파라미터를 예측하였다. 이렇게 생성된 RPC의 지상 정확도 또한 21개의 검사점을 활용하여 평가해보았으며, 경위도 방향 및 표고방향으로 각각 약 31.2m, 8.0m, 그리고 8.5m로 분석되었다. 즉, 상대표정이므로 원 RPC와 비교하였을 때 1m 가

량의 수평위치 변화 이외에는 의미 있는 지상좌표의 정확도 향상은 없었다.

세 번째로 단일 기준점을 기반으로 한 RPC조정을 위해 앞서 추출된 21개의 점 중 Fig. 4에 나타난 하나의 점만을 기준으로 선택하여 활용하였다. 이 때 기준점으로 사용된 점의 표고값은 LiDAR와 같은 정확한 DEM이 존재하지 않는다고 가정하고, 비교적 부정확하나 전 세계적으로 참조 표고값으로 활용 가능한 SRTM에서 추출하였다. 단일 기준점만을 사용하므로 RPC 편위량만을 보정하였고, 조정 이후 나머지 20개의 검사점에 대해 정확도를 체크하였다. 그 결과 경위도 및 표고 방향으로 3.3m, 1.4m, 그리고 2.6m로 정확도가 향상됨을 관측하였다. 단일 기준점 선정 시 유의해야 할 사항은 DOQ 및 아리랑3호 영상에서 공통적으로 잘 식별되는 점을 선택해야 하며, 또한 저해상도이며 상대적으로 정확도가 낮은 SRTM을 표고값으로 활용함에 따라 편평하고 높이값의 변화가 없는 큰 건물이나 테니스 코트 등과 같이 SRTM의 표고값이 오차를 적게 가질 만한 곳을 선정하는 것이 중요하다. 건물 모서리를 활용할 경우 바닥면과 접해서 높이가 급하게 변할 수 있기 때문에 높이값의 변화를 잘 관찰하여 높이값을 추출해야 한다.

마지막으로 21개의 점 중에서 14개의 점을 기준점으로 선정하여 높이값을 SRTM에서 추출하였고, Affine 변환을 통해 RPC를 보정하였다. DOQ와 LiDAR조합으로 추출된 7개의 검사점에 대한 지상 오차는 경위도, 표고 각각 2.2m, 2.8m, 2.0m로 계산되었다. 이는 아리랑 3호 해상도를 기준으로 약 3~4픽셀 가량의 오차를 보이는 것으로서, 기준점 및 검사점이 DOQ, SRTM, 그리고 LiDAR에서 추출되어 각각의 데이터에 포함된 오차의 특성이 반영됨에 따른 것으로 판단된다. 수치지도 등을 활용하여 기준점을 추출한 유사 연구에서도 기준점 잔차보다 검사점에서 2~3배 가량의 오차를 보이는 것을 확인할 수 있다 (Toutin, 2004).

Table 4. RPCs update residual and check point accuracy (RMSE)

<div>RPCs update equations</div> <div>Image</div>		No adjustment	Relative	Shift	Affine
		None	$A_0 - A_2$ $B_0 - B_2$	A_0, B_0	$A_0 - A_2$ $B_0 - B_2$
Control points (Elevation source: SRTM)		-	-	0.0m/0.0m/0.0m (1 point)	0.73m/0.87m/1.11m (14 points)
Check points (Elevation source: LiDAR)		30.0m/8.3m/8.5m (21 points)	31.2m/8.0m/8.5m (21 points)	3.3m/1.4m/2.6m (20 points)	2.2m/2.8m/2.0m (7 points)

Fig. 4. Single control point for image shift (left: DOQ, right: Komsat-3)

3. DEM 생성 및 품질 평가

3.1 DEM 정확도 분석

본 장에서는 앞장에서 생성된 여러 경우의 RPC별로 DEM을 생성하고 그 정확도를 LiDAR DEM과의 비교를 통해 분석해보았다. 각각의 실험은 Fig. 5에 제시된 흐름도에 따라 진행되었다. 이 때 편의를 위해 아래와 같이 경우별로 코드를 부여하였다. 부가적으로 참고를 위해 앞서 마지막으로 사용된 14개의 기준점의 표고값을 LiDAR 데이터에서 추출하여 보정한 RPC로 DEM을 생성하였으며, 이를 CASE-0로 코드 부여하였다.

- CASE-0: 14개의 기준점(DOQ+LiDAR)을 이용하여 Affine보정을 수행한 RPC (참고용)

- CASE-1: 원 RPC
- CASE-2: 공역점을 활용한 상대표정 RPC
- CASE-3: 하나의 기준점(DOQ+SRTM)만을 이용하여 편위량 보정한 RPC
- CASE-4: 14개의 기준점(DOQ+SRTM)을 이용하여 Affine 보정을 수행한 RPC

DEM 생성을 위한 스테레오 매칭은 모든 픽셀에 대하여 자동으로 수행되었으며, 상관계수 매칭 시 상관계수가 0.8이상인 점만을 활용하여 최종 5m격자 간격의 DEM을 생성했다. 에피폴라 라인을 따라 매칭을 수행하였으며, 피라미드 영상을 기반으로 하여 저해상도에서 매칭된 점을 활용하여 x시차를 최소화하였다.

각 경우별로 스테레오 매칭을 통해 생성한 DEM의 정확도를 계산하여 Table 5에 제시하였다. 원 RPC를 그대로 이용하는 경우 (CASE-1) 생성된 DEM의 정확도는 LiDAR DEM 대비하여 평균 19.1m의 오차를 보였다. 앞서 검사점을 이용해서 RPC의 지상 정확도를 확인했을 때 약 8m의 표고 오차를 보였으나, 생성된 DEM은 이보다 두 배 이상 낮은 정확도를 보이고 있다. 이는 부정확한 스테레오 매칭의 결과로 해석될 수 있는데, 실험 대상지가 대부분 통상적으로 스테레오 매칭 정확도가 낮아지는 산림으로 덮여 있는 것과 일맥상통한다고 볼 수 있다. 그러나 공역점을 이용하여 상대 표정을 수행한 RPC를 이용하는 경우(CASE-2)에는 DEM의 평균 표고 정확도가 12.5m를 보이며 의미 있는 향상을 보였다. 또한 표준편차 또한 13.7m에서 11.0m로 줄어드는 결과도 보였다. 즉, 2.2 절에서 검사점에 대해 분석했을 때 상대표정 RPC 정확도는 원본 RPC과 의미 있는 차이가 없었으나 종시차(y시차)를 줄여줌으로서 스테레오 매칭과정에서 탐색영역을 줄였고 이는 곧 과대오차를 줄이는 효과로 나타난 것으로 보인다. 따라서 무기준점으로 DEM을 구축해야할 경우 공역점을 통해 상대 표정을 수행하는 것이 의미가 있다 하겠다. 세 번째로 단일 기준점으로 RPC 편위량을 보정(CASE-3)하고 생성한 DEM의 정확도는 평균 7.5m로서 무기준점의 경우와 비교하여 크게 향상된 것을 볼 수 있었다. 따라서 경제적인 단일 기준점만으로도 아리랑 3호 해상도의 약 10픽셀 크기에 해당하는 표고오차를 확보할 수 있음을 실험으로 확인할 수 있었다. 마지막으로 다수의 기준점을 활용한 경우(CASE-4)에 생성한 DEM의 평균 정확도는 6.9m로서 참고용으로 제작한 CASE-0의 평균 정확도 6.3m에 근접하는 결과를 보였다. CASE-3에 비교하면 약 1픽셀크기 가량의 정확도 향상이 이루어졌다.

Fig. 5. Flowchart of the study

Table 5. DEM error [meters]

DEM error	CASE-0	CASE-1	CASE-2	CASE-3	CASE-4
Mean [m]	6.3	19.1	12.5	7.5	6.9
Std [m]	6.9	13.7	11.0	7.4	6.8

Fig. 6는 실험에 사용된 아리랑3호 영상의 일부 지역을 보여주는 것으로서, 하얀 색으로 표시된 영역은 평균에서 1표준편차 구간 이상의 오차를 갖는 지역을 표시한 것이다. 즉 상대적으로 큰 오차를 갖는 지역이다. 대부분이 산악지역의 계곡을 따라 분포하였으며, 이는 계곡 지형을 따라 상대적으로 크게 발생한 음영으로 인해 해당 지역이 낮은 화소값을 갖는 경우가 많고 이로 인해 스테레오 매칭의 제약이 많이 발생한 것으로 판단된다.

Fig. 6. Regions with large elevation errors on the Kompsat-3 image

3.2 시각적 DEM 분석

다음으로는, 각각의 방법으로 생성된 DEM으로부터 음영도를 제작하고 시각적인 평가를 수행하였다. Fig. 7은 건물지역 및 공사 중인 지역을 포함한 영역이다. Fig. 7(a)는 LiDAR DEM이며, Fig. 7(b)는 DOQ와 LiDAR 데이터로 기준점을 추출하여 RPC를 보정하여 생성한 DEM이다(CASE-0). 전체적으로 스테레오 DEM이 LiDAR DEM에 비해 세밀하지는 못하지만 건물이나 큰 식생 등의 지형지물의 패턴을 잘 묘사하고 있음을 알 수 있다. Fig. 7(c)-(d)는 무기준점의 경우 생성된 DEM의 음영도를 나타내고 있다. 제공된 RPC를 그대로 썼을 때(Fig. 7(c))와 상대표정만을 수행한 경우(Fig. 7(d)) 모두 지형지물의 묘사도가 비교적 떨어짐을 알 수 있다. 그러나 공사장의 단면 등에서 보이다시피 Fig. 7(d)의 경우 Fig. 7(c)와 비교했을 때 상대적으로 묘사력은 향상된 것을 알 수 있다. Fig. 7(e)와 6(f)는 DOQ와 SRTM에서 추출한 기준점으로 RPC를 보정한 경우이다. Fig. 7(e)는 단일 기준점만을 사용한 경우이며, Fig. 7(f)는 다수의 기준점을 활용한 경우이다. 묘사력에 있어 큰 차이는 보이지 않는 것으로 보인다. 그러나 Fig. 7(b)와 비교했을 때 상대적으로 묘사력이 약간 떨어짐을 알 수 있으며, 이는 DEM 생성 시 기준점의 표고 정보의 정확성이 중요함을 나타낸다고 볼 수 있다. 유사한 시각적인 평가 결과를 Fig. 8에 제시된 산악지역에 대한 음영도 비교 그림에서도 도출할 수 있다. Fig. 9은 CASE-3의 방법으로 생성한 대상지 전체에 대한 DEM결과로서 음영도와 함께 나타난 결과이다.

Fig. 7. Visual comparison using shaded reliefs (Example 1)

Fig. 8. Visual comparison using shaded reliefs (Example 2)

Fig. 9. The entire DEM with shaded relief (CASE-3)

4. 결론

단일 패스에서 스테레오 영상이 취득 가능하도록 설계된 아리랑 3호는 기존의 아리랑 2호에 비해 보다 고품질의 DEM 추출이 가능하다. 따라서, 본 연구에서는 해외 지역 또는 비접근지역을 포함하는 대상지의 경우, 아리랑 3호 영상을 이용하여 DEM을 추출할 때 획득 가능한 정확도 및 품질을 평가해보았다. 무기준점, 상대 표정, 단일 기준점 등의 여러 경우 별로 RPC를 조정하여 DEM을 생성하고, LiDAR DEM과의 비교를 통해 표고 정확도를 분석하였다. 실험 결과 무기준점의 경우 상대표정을 통해 중시차를 최소화하여 매칭과정에서의 오류를 줄여주는 것이 효과가 있었다. 또한, 오래

된 데이터지만 수평위치 참조데이터로 DOQ, 표고 데이터로는 SRTM과 같이 활용 가능한 데이터가 있는 경우에는, 단일 기준점으로도 7m 가량의 DEM 정확도를 확보할 수 있음을 알 수 있었다. 시각적인 평가를 통해서도 DEM 품질을 평가해보았으며 DOQ와 SRTM에서 추출된 단일 기준점으로도 묘사력 있는 DEM이 생성 가능함을 알 수 있었으나, 보다 고품질의 표고 정보가 존재할 시 묘사력이 향상됨을 관찰할 수 있었다.

향후 연구로는 다양하고 세밀한 지형분류를 통해 아리랑 3호 영상의 DEM 추출 정확도에 대한 연구가 필요하며, 그림자 지역과 같은 저조도 대상지에 대한 매칭 성공률 향상 기법 등에 대한 연구가 필요한 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 2013년도 전남대학교 학술연구비 지원에 의하여 연구되었음.

References

- Fraser, C.S., Dare, P.M., and Yamakawa, T. (2004), Digital surface modeling from SPOT 5 HRS imagery using the affine projective model, *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 35 (Part B1), pp. 385–388.
- Fraser, C.S. and Hanley, H.B. (2005), Bias-compensated RPCs for sensor orientation of high-resolution satellite imagery. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 71, No. 8, pp. 909-915.
- Gruen, A., Kocaman, S., and Wolff, K. (2007), High accuracy 3D processing of stereo satellite images in mountainous areas, *In proceeding of: Dreilaendertagung*.
- Lee, H. and Ahn, K. (2006), DEM generation by the matching line using exterior orientation parameters of the IKONOS Geo imagery, *Journal of the Korean Society of Surveying Geodesy Photogrammetry and Cartography*, Vol. 24, No. 4, pp. 367-376. (in Korean with English abstract)
- Lee, H., Ru, J., Yu, Y., and Lee, K. (2008), Generation of geo-spatial information using Kompsat-2 imagery, *Proceeding in ISRS 2008*, Oct, Daejeon, unpaginated CD-ROM.
- Porter, C.C., Morin, P.J., Howat, I.M., Niebuhr, S., and Smith, B.E. (2011), DEM extraction from high-resolution stereoscopic Worldview 1 & 2 imagery of polar outlet glaciers, *American Geophysical Union*, Fall Meeting 2011, 5-9 December, San Francisco, USA.
- Radhika, V.N., Kartikeyan, B., Gopala, K.B., Chowdhury, S., and Srivastava, P.K. (2007), Robust stereo image matching for spaceborne imagery, *IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 45, No. 9, pp. 2993-3000.
- Rhee, S., Jeong, J., and Kim, T. (2009), DEM generation from Kompsat-2 images and accuracy comparison by using common software, *Korean Journal of Remote Sensing*, Vol. 25, No. 4, pp. 359-366. (in Korean with English abstract)
- Rhee, S., Jeong, J., Lee, T., and Kim, T. (2011), DEM generation and accuracy comparison from multiple Kompsat-2 images, *Korean Journal of Remote Sensing*, Vol. 27, No. 1, pp. 51-58. (in Korean with English abstract)
- Rodriguez, E., Morris, C.S. Belz, J.E., Chapin, E.C., Martin, J.M., Daffer, W., and Hensley, S. (2005), *An Assessment of the SRTM Topographic Products*, Technical Report JPL D-31639, Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, California, 143p.
- Toutin, T. (2004), Comparison of stereo-extracted DTM from different high-resolution sensors: SPOT-5, EROS-A, IKONOS-II, and Quickbird, *IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 42, No. 10, pp. 2121-2129.
- KARI. (2013), Geolocation Accuracy of Kompsat Products, http://arirang.kari.re.kr/ISIS/dwload/dwload_view.jsp?page=1&stxt=&id=11 (last date accessed: 13 February 2014).