

다중 Kompsat-2 영상으로부터 생성된 DEM 정확도 분석

이수암 · 정재훈 · 이태윤 · 김태정 †

인하대학교 영상공학연구소

DEM Generation and Accuracy Comparison from Multiple Kompsat-2 Images

Sooahm Rhee, Jaehoon Jeong, Taeyoon Lee, and Taejung Kim †

Image Engineering lab, Inha University

Abstract : Accurate DEM(Digital Elevation Model) generation using satellite images is an active research topic. This paper focuses on generation of a DEM with multiple Kompsat-2 images. For DEM generation, we applied an orbit-attitude sensor model and a RFM sensor model to stereo and multiple Kompsat-2 images respectively. For matching, we used an object-space based matching method. Through the result of this experiment, we could confirm that the sensor model from multiple images is more accurate than the model from stereo images. Also DEM from multiple images gave much better performance than DEM from stereo images.

Key Words : DEM, Multiple image matching, Kompsat-2, RFM, Rigorous Sensor Model.

요약 : 원격탐사 위성 영상의 발전으로 인해 위성에서 취득된 영상을 이용하여 DEM을 제작하는 연구가 계속 진행되고 있다. 본 논문에서는 2개 이상의 Kompsat-2 영상을 이용하여 이를 이용하여 DEM을 제작한다. DEM의 제작에 앞서 궤도-자세각 모델과 RFM 모델을 사용하여 두 장의 영상과 다중 영상에 센서모델을 수립한 경우 3차원 위치결정 정확도 비교를 수행하였다. 또한 수립된 센서모델을 이용하여 객체공간 기반의 영상정합을 수행하였으며, 제작된 DEM을 통해 사용된 영상의 개수에 따른 분석 및 센서 모델별 정확도를 판단했다. 수행결과 다중영상을 사용하여 센서모델을 한 경우 더 높은 위치 정확도가 나왔음을 확인할 수 있었다. 또한 다중영상을 사용하여 제작된 DEM이 스테레오영상을 사용한 것 보다 더 높은 정확도를 가지며, 육안으로 판단할 경우에도 큰 오차들이 줄어 더 좋은 결과를 보여줌을 확인할 수 있었다.

1. 서론

DEM(Digital Elevation Model)은 영상지도를 제작하기 위한 지형정보를 제공해 주는 기본 자료로 사용된다. 최근 인터넷의 확장 및 스마트폰의 영향으로 포털사이트 등에서 제공되는 영상지도 및 위치정보 등의 수요

및 활용이 크게 증대됨에 따라 DEM은 그 필요성이 증가하고 있다. 영상 지도의 제작 외에도 DEM은 정사영상을 제작하기 위한 위치별 높이값을 제공해 주며, 더 나아가 도시계획, 유역설정 등을 위한 기본 자료로 활용된다. DEM 제작은 일반적으로 수치지도의 등고선을 이용하는 방법, 위성영상, 항공영상과 같은 원격탐사 자료

접수일(2011년 2월 10일), 수정일(1차 : 2011년 2월 18일), 게재확정일(2011년 2월 18일).

† 교신저자: 김태정(tezid@inha.ac.kr)

의 영상 정합을 통하여 제작하는 방법, Lidar 측량 후 내삽법을 이용한 방식 등이 있다. DEM을 제작하기 위한 이런 방법 들 중 스테레오 영상 자료를 활용하는 방법은 영상의 중첩률과 해상도가 높아짐에 따라 신뢰성이 높아지고 있으며, 특히 고해상도 위성영상은 광범위한 지역의 자료를 주기적으로 획득할 수 있는 장점이 있고, 위성영상의 해상도가 증가하고 있어 관심이 높아지고 있다. 특히 자료의 획득을 위한 인공위성의 수가 늘어남에 따라 이들에게서 취득된 각각의 영상에 따른 DEM의 제작 방식에 대한 연구도 계속 이루어지고 있다.

Toutin (2004)은 SPOT-5, EROS-A, IKONOS-II, QuickBird와 같은 여러 개의 고해상도 위성영상을 이용하여 3차원 정보를 획득하고 각 위성별 정확도를 분석하였으며, 임용조와 김태정 (2002)은 SPOT, IKONOS, EOC 위성영상을 이용하여 DEM을 제작하고 그 정확도 분석에 관한 연구를 수행하였다. Zhang과 Guren (2006)은 IKONOS 위성 영상의 다중 영상 정합을 시도하여 고성능의 DEM의 제작이 가능함을 보고하였고, Kornus 등(2006)은 SPOT-5영상을 여러 가지 정합방식을 이용하여 처리하였다. Radhika 등(2007)은 CARTOSAT-1 영상을 이용하여 DEM을 제작하였다. Wolff와 Guren(2008)은 일본에서 발사된 ALOS/PRISM 탑재체에서 취득된 영상을 이용하여 DEM의 제작을 시도하였다. 이렇듯 위성의 종류에 따라 그 영상에 적합한 처리방식을 찾기 위한 노력이 있어왔다. 국내에서는 취득된 영상이 1m 급의 해상도를 가진 Kompsat-2 영상을 활용한 DEM의 제작 연구가 수행되었다. 정재훈과 김태정 (2009)은 Kompsat-2 영상에 가장 적합한 물리적 모델을 제작하고 이를 적용하여 신뢰할 만한 DEM의 생성이 가능함을 보고하였고, 이수암 등(2009)은 물리적 모델을 사용하여 제작한 Kompsat-2 DEM과 상용 프로그램에서 제작된 DEM의 성능을 비교하고, 물리적 모델을 사용한 방식이 좋은 성능을 보여줌을 확인하였다.

제작된 3차원 지형의 정확도의 분석에 관한 실험은 육안 분석을 통한 판단법 외에도, 정합성공점의 개수를 이용한 판단이 있으며(Radhika *et. al*, 2007), 가장 신뢰성 있는 판단 방식으로는 Lidar에서 취득된 DEM과의 비교를 통한 분석이 있다. 정확도의 판단 척도로는 RMSE가 가장 많이 사용되었으며, 그 외에도 표준편차

값, Mean(Average), 에러의 최대값, 최소값 등으로 분석되었다(Wolff and Guren, 2008 ; Zhang and Guren, 2006; Reinartz *et. al*, 2006; Toutin, 2006; Kornus *et al*, 2006). Kompsat-2 영상에서의 정확도를 측정하기 위한 기준 DEM으로 정재훈 (2008)과, 이수암 (2009)은 30m의 해상도를 가지는 L2 DTED를 이용하였으며 약 30m 전후의 오차가 남을 보고하였으나, 제작된 DEM에 비해 비교를 위한 기준 DTED의 해상도가 낮아 그 값을 정확한 오차로 측정하기에는 어려움이 있다. 이에 본 실험에서는 Kompsat-2 영상을 이용해 DEM을 제작하고 신뢰성 있는 정확도 검증을 위해, 육안 분석 및 동일 지점의 LIDAR 데이터를 이용하여 정확도 분석을 실시한다.

본 실험에서는 Kompsat-2 영상을 이용하여 더욱 정확한 DEM을 생성하기 위한 방법으로, 스테레오 영상이 아닌 다중영상을 이용하여 센서모델링 및 DEM의 제작을 시도해 본다. 결과의 비교를 위해 Kompsat-2 스테레오 영상과 다중 영상을 이용하여 센서모델을 수립하여 정확도를 분석한다. 그 후 영상의 개수별로 DEM을 제작하여 그 정확도를 분석한다.

2. 사용 자료 및 영역

본 연구에서는 실험을 위해 대전지역을 촬영한 4장의 Kompsat-2 영상을 이용하였다(Fig. 1). 이들 영상은 각각 다른 시기에 촬영된 영상으로 2007년도에서 2009년 사이에 취득되었다. Table 1에 각 영상의 속성을 나타내었다. 표에서 'Model GCPs'는 각 영상의 센서모델 수립을 위해 사용된 모델점의 개수를 의미하고 'Check GCPs'는 모델 수립 후 산출되는 3차원 좌표 정확도 분석을 위해 사용할 독립적인 검사점의 개수를 의미한다. 먼저 Fig. 2에 각 영상과 사용된 모델점의 위치를 표시하였다. 기준점은 정확한 센서모델링을 위해 각 영상에서 전역에 고르게 분포되도록 설계하였으며, 정밀 GPS 측정을 통해 취득되었다.

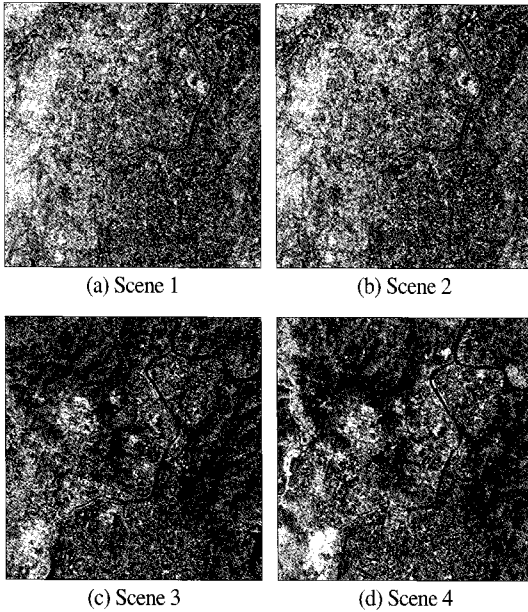


Fig. 1. Kompsat-2 Images.

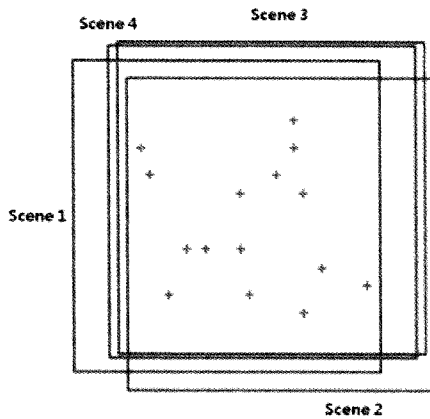


Fig. 2. Check GCPs distribution.

3. DEM 생성방법

올바른 스테레오 영상의 정합을 위해서는 정확한 센서모델이 수립되어야 하며, 이 모델을 기반으로 하여 정확한 DEM의 생성이 가능하다. 본 실험에서는 DEM 생성을 위한 센서모델로 Kompsat-2 영상의 물리적 센서모델인 OA(궤도자세각) 모델과, 영상과 함께 주어지는 RPC 계수를 이용한 수학적 모델인 RFM(Rational Function Model) 모델을 사용하여 실험을 수행하도록 한다. OA모델은 Kompsat-2 영상의 메타데이터 정보를 이용하여 수립이 가능하며, 위성의 위치 에러, 변화율, 가속도 및 자세 에러와 같은 변수들을 미지수로 조합하여 모델식을 생성한다. 이 모델식은 기존의 실험들을 통해 Kompsat-2 영상의 처리에 적합하다고 보고된 바 있다(정재훈과 김태정, 2009). RFM 모델은 모델식 수립의 간결성과 호환성으로 인해 대다수의 상용프로그램에서 채택하고 있으며, 보편적으로 사용되는 방식이다. 이 모델은 RPC 계수를 수식에 직접 입력하여 손쉽게 모델식의 구현이 가능하다. 그러나 RPC계수를 그대로 사용할 경우 모델식의 정확도는 높지 않기 때문에, 이를 보완하기 위해 GCP를 이용해 수정된 모델식을 사용한다. 각 모델식을 이용한 정확도는 다음 장에 보고하도록 한다.

영상의 정합은 다중영상 처리를 하기 위해 객체 공간 기반의 정합방식을 수행한다. 일반적인 영상 공간 기반 정합 방식은 하나의 영상을 기준으로 하고, 에피폴라 라인 상에서 상관계수가 가장 높은 지점을 찾는다. 두 개

Table 1. Properties of Kompsat-2 Images used

	Kompsat-2			
	Scene 1	Scene 2	Scene 3	Scene 4
Acquisition Date	10 May 2007	6 May 2008	3 Mar 2009	12 Apr 2009
Tilt angle	-28.407°	14.303°	-13.709°	-16.826°
Model GCPs	22	16	11	12
Check GCPs	15	15	15	15
Image resolution	1.195m	1.0275m	1.027 m	1.063 m
Image corner coordinates				
Upper Left Latitude	36.43064712°	36.43252464°	36.45614623°	36.45665164°
Upper Left Longitude	127.22868068°	127.29061339°	127.28349593°	127.27073998°
Lower Right Latitude	36.32271078°	36.32131873°	36.35058940°	36.35010926°
Lower Right Longitude	127.49713255°	127.50105382°	127.49818256°	127.49307445°

의 영상에서 상관계수가 가장 높은 지점의 영상좌표를 획득하고, 이 두 개의 좌표를 센서모델식에 대입하여 3차원 상의 좌표를 구할 수 있으며, 이후 내삽법 등을 통해 DEM의 제작을 수행하는 방식이다. 본 과제에서 사용한 객체 공간 기반 정합 방식은 동시에 후보영역들의 상관계수를 구하여 처리하는 방식이다. 이 방식은 정합하기에 앞서 3차원 좌표상의 가상의 평면을 설정한다. 이 평면상의 한 점 (X, Y)에서의 높이값을 취득하기 위해 X, Y 값을 고정시킨 채로 Z값을 일정 간격으로 변화시켜가며, 해당하는 (X, Y, Z)에서 구해진 영상 후보영역간의 상관계수를 구한다. 이때 구해진 상관계수가 최대값일 때의 값 Z가 좌표 지상 좌표 (X, Y)에서의 높이값으로 결정된다. 이 방식은 스테레오 영상 정합 뿐 아니라 다중영상에서도 동일하게 적용이 가능하다. 다중영상일 경우에는 각각의 영상에서 계산된 상관계수들을 저장하고, 이들 상관계수의 평균값을 구한다. 다중영상 정합 기법에서는 이 상관계수의 평균값이 최대인 지점의 Z 값을 최종적인 높이값으로 결정한다. 이 방식은 일반적인 영상정합 방식과 달리, 직접적인 3차원 좌표의 획득이 가능하며, 영상정합 이후 별도의 보간법 없이 바로 DEM의 제작이 가능하다는 장점이 있다. 상관계수를 구하기 위한 수식은 변형된 Zero mean normalized cross-correlation 방법이며, (이흥규 외, 1999), 사용된 수식은 식 (1)과 같다. 이 수식에서 L, R은 비교를 위한 영역 후보점의 밝기값이며, n은 정합을 위한 영상 화소의 개수이다.

$$\frac{\sum(LR) - (\sum L \sum R)/n}{(\sum(L)^2 - (\sum L)^2/n)(\sum(R)^2 - (\sum R)^2/n)} \quad (1)$$

영상 정합의 성능을 높이기 위한 방식으로 낮은 해상도에서의 정합결과가 더 높은 해상도의 영상에서의 정합 후보 기준점으로 사용되는 피라미드 기반 정합방식을 사용하였다. 기반 방식은 지상좌표값을 가정한 후 이에 해당하는 영상좌표값을 계산하여 처리하는 방식이므로, 높이값의 탐색을 위한 범위와 탐색간격의 설정이 중요한 요소이다. 본 실험에서는 피라미드 영상의 해상도가 높아질수록 그 탐색 범위를 좁혀가며, 정확도 및 성능의 향상을 시도하였다. Kompsat-2 위성영상의 DEM의 제작을 위한 탐색간격은 1m로 설정하였으며 탐색 범위는 전단계 피라미드영상의 밝기값들의 통계를 이용하여 계산한다. 탐색범위는 최소 0m에서 시작하여 최대 300m가 넘지 않도록 설정하였다.

4. 센서모델별 실험 결과

본 연구에서는 다중 Kompsat-2 영상으로부터 DEM을 생성하기에 앞서, 다중 영상에서의 센서모델링 정확도를 확인해 보았다. Table 2는 단영상을 이용한 센서 모델 수립결과로, 대부분의 영상에서 1 pixel 정도의 위치오차가 나음을 확인할 수 있었다. OA모델과 RFM 모델의 비교결과 OA 모델이 RFM 모델에 비해 그 정확도가 높게 나음을 알 수 있었다.

센서모델을 이용하여 계산된 3차원 공간좌표의 정확도를 분석하기 위해서 2장, 3장, 4장의 영상을 이용한 각 경우에 대해서 OA와 RFM 모델을 각각 적용하여 실험하였다. 실험은 각 영상별로 동일한 지점을 가리키는

Table 2. Single Sensor model accuracy

Image ID	Scene 1		Scene 2		Scene 3		Scene 4	
	OA	RFM	OA	RFM	OA	RFM	OA	RFM
Col RMSE (Pixel)	1.080	0.985	0.956	1.194	1.066	1.167	0.723	0.912
Row RMSE (Pixel)	1.036	1.177	0.805	0.832	0.654	0.817	1.251	1.425
Magnitude (Pixel)	1.497	1.535	1.250	1.455	1.251	1.425	1.301	1.496

Table 3. Multiple sensor model accuracy (based model : Scene 1 +Scene 2)

Image ID (Num. of Images)	Scene 1+Scene 2 (2)		Scene 1+Scene 2+Scene 3 (3)		Scene 1+Scene 2+Scene 3+Scene 4 (4)	
	OA	RFM	OA	RFM	OA	RFM
Horizontal RMSE (m)	1.83	1.73	1.40	1.34	1.39	1.29
Vertical RMSE (m)	1.33	1.71	1.38	1.55	1.41	1.57

Table 4. Multiple sensor model accuracy (based model : Scene 3 +Scene 4)

Image ID (Num. of Images)	Scene 4 + Scene 3(2)		Scene 4+Scene 3+Scene 2 (3)		Scene 4+Scene 3+Scene 2+Scene 1 (4)	
	OA	RFM	OA	RFM	OA	RFM
Horizontal RMSE (m)	5.33	3.80	1.30	1.25	1.39	1.29
Vertical RMSE (m)	16.57	12.31	2.36	2.26	1.41	1.57

15개의 Tie-points를 추출하여 이루어 졌으며, 각 Tie-point에 대한 3차원 공간좌표를 추정하고, 이를 지상기준점과 비교하였다. 이때 지상기준점은 GPS 측량 장비를 이용하여 실제로 측량한 데이터이다. 다음 Table 3과 Table 4는 실험 결과를 보여준다.

Table 3은 Scene 1과 Scene 2 두 장을 이용한 경우, Scene 1, Scene 2와 Scene 3의 세 장을 이용한 경우, Scene 1, Scene 2, Scene 3 그리고 Scene 4의 네 장을 이용한 경우에 대해서 추정된 3차원 공간좌표의 RMSE를 보여준다. 결과를 통하여 볼 수 있듯이, 영상이 두 장에서 네 장으로 늘어날수록 RMSE가 작아지는 것을 확인할 수 있으며, OA와 RFM을 이용한 각 경우에 대한 RMSE는 유사하게 나타났다. Table 4은 Scene 3과 Scene 4의 두 영상을 이용한 경우를 시작으로 Scene 2와 Scene 1의 각 영상을 추가하면서 모델링을 수행한 경우이다. 표 Table 4에서 보면, Scene 3과 Scene 4 두 영상에서 추출한 3차원 공간좌표 RMSE가 수직은 12 m 초과, 수평은 3 m 초과를 보여주었다. 이렇게 오차가 큰 이유는 Scene 3과 Scene 4 사이의 수렴각이 매우 작기 때문인 것으로 판단된다. 두 개의 영상 Scene 3과 Scene 4의 수렴각은 3.48° 이고, Scene 1과 Scene 2 두 영상 사이의 수렴각은 47.80° 이다. 하지만, 이 결과에서도 영상의 개수가 늘어날수록 Table 3과 같이 RMSE가 낮아지는 것을 확인할 수 있다. 또한 이 경우에도 OA와 RFM 각각에 대한 모델링 결과는 유사한 것으로 판단된다.

이와 같은 결과를 통해서 세 장 이상의 Kompsat-2 영상을 이용한 경우가 두 장을 이용한 경우 보다 더 정확한 3차원 공간좌표를 추정할 수 있음을 확인할 수 있었다.

5. DEM 제작 결과

각 모델식을 이용하여 제작된 DEM은 다음과 같다. DEM은 Kompsat-2 영상의 해상도와 품질을 고려하여 10m의 공간해상도를 가지도록 제작되었다. 본 연구에서는 다중 KOMPSAT-2 영상으로부터 생성된 DEM의 정확도를 평가하기 위해서, 대전 지역을 촬영한 LiDAR 자료로부터 생성한 DEM을 기준자료로 사용하였다. 기준 DEM은 1 m의 공간해상도를 갖는다. 처리 지역은 영상이 교차하는 지역들 중 $6\text{Km} \times 6\text{Km}$ 지역을 대상으로 하여 처리하였다. Fig. 3은 각 센서 모델과 영상의 개수를 변화시켜가며 제작한 대상지역의 DEM이다.

사용된 영상의 개수에 따라 제작된 결과를 육안으로 분석해 보면, 두 개의 영상만을 이용하여 정합했을 때 발생된 오차들이 영상의 개수가 늘어남에 따라 감소함을 확인할 수 있다. 특히 산악지역에서 발생된 에러들이 다수 감소되는 효과를 확인할 수 있었다. Scene 1, Scene 2와 Scene 3 을 조합한 경우에 비해 Scene 4를 조합했을 경우 오정합이 더 줄어들는 것을 육안으로 확인이 가능했으며, 이 결과는 총 네 개의 영상을 조합한 결과와 비슷한 결과를 보여주었다. OA, RFM 두 개의 모델식으로 제작된 DEM은 육안분석 결과 큰 차이는 보이지 않았다.

Kompsat-2 위성영상을 이용하여 제작된 DEM과 동일지역의 Lidar데이터의 비교를 통한 정확도 분석은 Table 5와 Table 6과 같다. 정확도 비교를 위해 총 36120개의 점을 사용했으며 정확도 판단의 척도는 RMSE를 사용하였다.

실험 결과 OA 모델과 RFM 모델에서 정확도가 유사하게 나옴을 확인할 수 있었다. 영상의 개수에 따른 정확도를 보면, 2개의 영상을 사용하는 것에 비해 다중으로 영상을 사용할 경우 그 정확도가 향상되었다. 사용된 영상의 개수가 늘어날수록 정합 성공수는 줄어들었으나, RMSE 는 더 정확해 진 것을 확인할 수 있었으며,







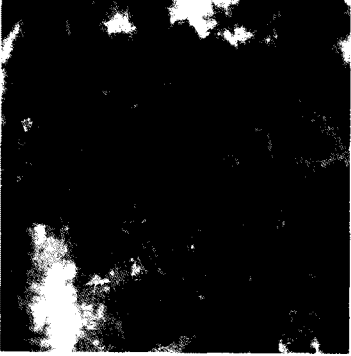
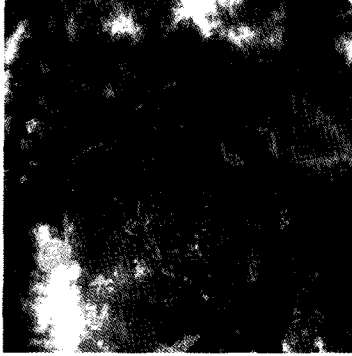
Image used for matching	OA	RFM
Scene 1 + Scene 2		
Scene 1 + Scene 2 + Scene 3		
Scene 1 + Scene 2 + Scene 4		
Scene 1 + Scene 2 + Scene 3 + Scene 4		

Fig. 3. DEMs extracted from Kompsat-2 images.

Table 5. DEM accuracy comparison on the number of images (OA)

Num. of Image (Image ID)	Match	Fail	Max err(+)	Max err(-)	RMSE(m)
2 (Scene 1,2)	318702	40201	54.1058	-100.2815	12.0105
3 (Scene 1,2,3)	300514	60837	58.7246	-95.9578	11.2352
3 (Scene 1,2,4)	313922	47279	50.3564	-92.2815	11.0366
4 (Scene 1,2,3,4)	306845	54356	58.4226	-95.0036	11.0190

Table 6. DEM accuracy comparison on the number of images (RFM)

Num. of Image (Image ID)	Match	Fail	Max err(+)	Max err(-)	RMSE(m)
2 (Scene 1,2)	318023	43178	56.9300	-96.2815	12.3540
3 (Scene 1,2,3)	298763	62438	57.7265	-96.2058	11.3479
3 (Scene 1,2,4)	312977	48224	56.8421	-94.2685	11.0940
4 (Scene 1,2,3,4)	305702	55499	58.1818	-95.0036	10.9547

이는 다중 영상의 사용으로 인해 오차에 강인한 정합이 가능해진 것으로 해석할 수 있다. 사용되는 영상에 따른 결과를 보면, 육안 분석 결과와 마찬가지로 Scene 3을 조합한 경우보다 Scene 4를 조합했을 경우 더 정확한 정합이 이루어졌다. 정합 성공점의 개수는 다른 경우들에 비해 Scene 3 영상을 사용할 경우 가장 수가 적었다. 정확도 측정 결과에서 Scene 3을 사용한 결과가 더 좋지 않은 이유는 Scene 3이 Scene 4에 비해 영상이 선명하지 못하여 영상 정합 시 특징점이 제대로 추출되지 않아 발생한 문제로 분석되며, 이 결과를 통해 영상의 품질이 정합 성능에 영향을 미친다는 것을 확인 할 수 있다. 이 결과는 RFM, OA 두 개의 센서 모델을 이용한 결과 모두에서 동일하게 확인할 수 있었다.

6. 결론

본 연구에서는 Kompsat-2 영상을 이용한 DEM 제작을 위해 스테레오 영상만을 사용하지 않고, 여러 개의 영상을 이용하여 센서모델링을 하고, 객체공간 기반의 정합방식을 사용하여 정합을 실시하였다. 제작 결과 영상의 개수가 늘어날수록 더 좋은 DEM의 제작이 가능함을 확인할 수 있었으며, Kompsat-2 영상에서는 OA 모델과 RFM 모델에서 유사한 성능의 DEM이 제작됨을 확인할 수 있었다. RFM과 OA 모델과의 비교를 통해, 제작된 DEM의 정확도는 센서모델의 정확도의 영향을 받음을 다시 한 번 확인할 수 있었다. 센서 모델의 정확

도 외에도 사용되는 영상에 따른 정확도의 변화도 확인할 수 있었으며, 이 후 영상의 메타정보 외의 영상의 해상도 및 품질 등의 분석 등을 통한 더 심층적인 분석이 이루어져야 할 것이다. 제작된 DEM과 Lidar 데이터와의 비교 정확도는 11m 정도의 RMSE를 보여주었으며, 이는 10m의 공간해상도를 가지고 제작된 DEM의 해상도와, 사용된 Kompsat-2영상의 품질을 고려할 때 좋은 결과라고 판단된다. 이 연구 결과는 기존에 사용되는 IKONOS, QuickBird와 같은 고해상도 영상을 사용할 경우에도 동일하게 적용이 가능할 것으로 판단되며, 이후 더욱 정확한 정합을 위한 추가 방안이 고려된다면, 더욱 상세한 DEM의 제작이 가능할 것이다.

감사의 글

이 논문은 공간정보 전문인력 양성사업의 지원을 받아 수행된 연구임.

참고문헌

- 이수암, 정재훈, 김태정, 2009. Kompsat-2 영상의 DEM 생성 및 상용 소프트웨어와의 성능평가, 대한원격탐사학회지, 25(4): 359-366.
- 이흥구 외, 1999. EOC 영상 자료 처리 및 활용 기술 개발 보고서, 한국과학기술원 인공위성연구센터.

- 임용조, 김태정, 2002. SPOT, EOC, IKONOS 스테레오 영상으로부터 생성된 도심지역 DEM의 정확도 및 성능 비교분석, 대한원격탐사학회지, 18(4): 221-231.
- 정재훈, 김태정, 2009. Spot 영상과 Kompsat-2 영상에서의 궤도 자세각 모델의 성능 비교, 대한원격탐사학회지, 25(2): 133-143.
- Kornus W., Alamus R., Ruiz A., and Talaya J., 2006. DEM generation from SPOT-5 3-fold along track stereoscopic imagery using autocalibration, *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 60(2006): 147-159.
- Radhika V. N., Kartikeyan B., Gopala K. B., Chowdhury S., and Srivastava P. K., 2007. Robust Stereo Image Matching for Spaceborne Imagery, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 45(9): 2993-3000.
- Reinartz P., Muller R., Lehner M., and Schroeder M., 2006. Accuracy analysis for DSM and orthoimages derived from SPOT HRS stereo data using direct georeferencing, *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 60(2006): 160-169.
- Toutin T., 2006. Generation of DSMs from SPOT-5 in-track HRS and across-track HRG stereo data using spatiotriangulation and autocalibration, *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 60(2006): 170-181.
- Wolff K. and Gruen A., 2008. Up to date DSM generation using high resolution satellite image, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 37(PartB1), Beijing.
- Zhang L. and Gruen A., 2006. Multi-image matching for DSM generation from IKONOS imagery, *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 60(2006): 195-211.