

Kompsat-2 영상의 DEM 생성 및 상용 소프트웨어와의 성능평가

이수암 · 정재훈 · 김태정 †

인하대학교 영상공학연구소

DEM Generation from Kompsat-2 Images and Accuracy Comparison by Using Common Software

Sooahm Rhee, Jaehoon Jeong, and Taejung Kim †

Image Engineering lab, Inha University

Abstract : Research of accurate DEM generation using images of Kompsat-2 is not enough. This paper focused on generation of accurate Kompsat-2 DEM and comparison with DEM from common software like PCI Geomatica and ENVI. For Kompsat-2 DEM generation, we applied orbit-attitude sensor modeling technique and matching method based on epipolarity and image geometry. The comparison of performance with each commercial programs made a qualitative experiment through naked eyes and a quantitative experiment with USGS DTED. The accuracy was judged by the average absolute error and RMS error with DTED. The result of comparison experiment, we could confirm that the method used in the experiment showed much better performance than DEM made from other commercial programs in most of images.

Key Words : DEM, Kompsat-2, PCI Geomatica, ENVI.

요약 : 현재 Kompsat-2 영상을 이용한 정밀 DEM 제작에 관한 연구는 미비한 실정이다. 본 논문에서는 Kompsat-2 위성영상을 이용하여 정밀 DEM을 제작하고, 이렇게 제작된 DEM을 상용 소프트웨어인 PCI Geomatica, ENVI에서 제작된 DEM과의 비교를 통해 그 성능을 분석하였다. DEM의 제작을 위해 Kompsat-2에 가장 적합하다고 보고된 궤도-자세각 모델을 사용하였으며, 에피폴라 곡선의 기하학적 요소들을 이용한 정합방식을 사용하여 Kompsat-2 DEM의 제작을 시도하였다. 각 상용프로그램과의 성능의 비교는 육안을 통한 정성적 실험과, USGS DTED를 이용한 정량적 실험으로 이루어졌다. 정확도는 DTED와의 평균절대오차, RMS 오차로 판단하였으며, 비교 실험 결과, 대부분의 영상에서 실험에 사용한 방식이 다른 상용 프로그램에서 제작된 DEM보다 더 좋은 성능을 보여줌을 확인할 수 있었다.

1. 서론

주거적인 국토 모니터링 및 도시 모델의 제작을 위해

서는 그 지역의 정확한 3차원 모델의 제작이 우선시 되어야 한다. DEM (Digital Elevation Model)은 이러한 3차원 모델의 기본이 되는 자료로 특정 지역의 높이를

격자간격으로 나타낸 자료이다. DEM의 제작을 위한 방법으로는 수치지형도, LIDAR 측량, 인공위성영상 등 많은 방법이 존재한다.

그 중 고해상도 위성영상의 보급이 확대됨에 따라 위성영상을 이용한 정밀 수치표고모델의 생성에 대한 관심이 증가하고 있다. 인공위성영상을 사용하여 제작된 DEM의 경우, 광범위한 지역에서 빠르게 자료의 획득이 가능하며, 주기적인 영상의 갱신이 가능하다는 점에서 장점이 있으며, 그 사용 또한 증가하고 있다. 위성영상을 이용한 DEM의 제작에 관련한 연구들은 이전부터 이루어져 왔으며(Baillard 외, 2000), 임용조와 김태정은 SPOT, EOC, IKONOS와 같은 위성영상을 이용한 DEM 생성 알고리즘 및 정확도 분석에 관한 연구들을 수행하였다(임용조, 김태정, 2002).

국내에서는 Kompsat-2(다목적 실용위성 2호)와 같은 위성의 발사로 인해 고해상도 위성영상의 획득이 용이해졌다. 그러나 현재 Kompsat-2 영상을 이용하여 DEM을 제작하기 위한 국산 소프트웨어의 제작은 현재까지 미비한 실정이며, 상용화 된 외산 프로그램에서도 여러 종류의 위성 영상의 처리가 가능하고 그 기능도 수시로 업데이트 되고 있으나 Kompsat-2 영상에 실제로 적용하기에는 그 결과 및 처리방식이 만족스럽지 못한 현실이다. 기존에 수행되었던 Kompsat-2위성을 이용한 DEM의 생성 및 정확도에 관한 연구로 정재훈, 김태정은 Kompsat-2에 적용하기에 가장 적합한 센서모델은 궤도-자세각 모델이며, 이 모델을 적용하여 DEM을 제작할 경우 신뢰할 만한 DEM의 생성이 가능함을 보고하였다(정재훈 외, 2008).

이에 본 연구에서는 궤도 자세각 모델을 적용하여 Kompsat-2 영상의 DEM을 제작해보고, 기존에 사용되고 있는 Kompsat-2 영상의 처리가 가능한 상용프로그램에서 DEM을 제작하여 이들의 정확도를 비교 분석하고자 한다. DEM의 품질 비교를 위해서 본 연구에서는 해당지역의 DTED 데이터를 이용하여 정확도를 판단하였으며, 이를 각각의 프로그램에서 생성된 각각의 DEM결과와 비교 분석하였다.

2. 사용 자료 및 영역

실험을 위해 사용된 위성 영상은 Kompsat-2로 취

득된 담양 지역의 스트립영상 중 일부로 영상은 스테레오 영상이다. 영상에 대한 상세 자료는 Table 1과 같으며, 사용된 영상은 Fig. 1과 같다. 영상의 획득 시에는 RPC 파일 및 센서의 위치 및 자세에 관련한 자료들이 메타데이터로 제공된다.

검증을 위하여 실험에 사용한 기준 데이터는 USGS DTED 데이터이며 상세 내역은 Table 2에 나타나 있다.

Table 1. The property of image used

Sensor	Kompsat-2
촬영지역	담양
해상도	1m
영상크기	15000×15500
촬영일자(Left/Right)	2007.2.28 / 2007.2.26

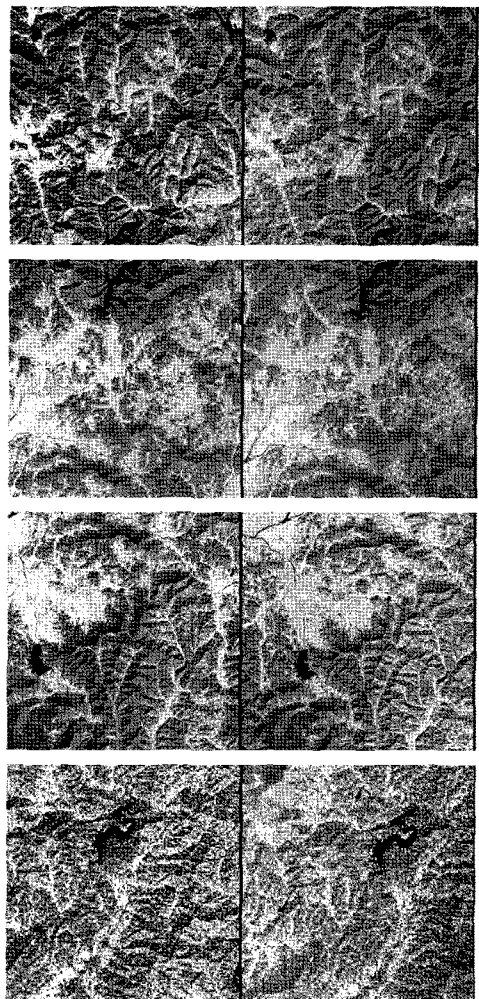


Fig. 1. Kompsat-2 strip images (Damyang).

Table 2. The property of DTED level 2 (NIMA, 2000)

DTED level	2
수평기준계	WGS-84
수직기준계	Mean Sea Level (MSL)
격자간격	1" × 1"
공간해상도	30 m
절대수평정확도	90%원형오차 ≤23m
절대수직정확도	90%선형오차 ≤18m

DTED는 경위도가 각각 1도씩의 범위를 가지며, 평균해수면(MSL)을 사용하기 때문에 DEM의 제작을 위한 GCP의 설정 시 높이값에 동일하게 평균해수면을 지정하였다.

Kompsat-2 위성영상을 이용하여 DEM의 제작정확도를 비교하기 위해 사용된 상용 소프트웨어로 Kompsat-2 영상의 처리가 가능한 프로그램 중 널리 사용되는 PCI Geomatica 10.1.2, ENVI 6.2 를 이용하여 DEM을 제작해 보았고 이들 소프트웨어를 사용한 제작 결과와 본 연구를 통해 개발된 DEM 제작 프로그램을 사용하여 그 성능을 비교해 보았다.

3. DEM 생성방법

1) 센서 모델링

스테레오 영상에서 DEM의 제작을 위해서는 우선적으로 센서모델이 수립되어야 한다. 센서모델에는 물리적 모델과 수학적 모델이 있으며 일반적으로 실제 센서의 물리적인 움직임은 고려한 물리적인 모델이 수학적 모델보다 신뢰성이 높은 것으로 알려져 있다. 대부분의 상용소프트웨어는 수학적 모델인 Rational Function Model(이하 RFM)을 제공하며 이 모델은 영상과 함께 주어지는 RPC 계수를 수식에 입력하여 모델식을 세우는 방식으로 손쉽게 구현이 가능하지만, 이 방식의 경우 보편적이기는 하나, Kompsat-2 에 적합한 모델이라고 하기에는 무리가 따른다.

본 실험에서는 궤도 자세각 모델 중 이전의 연구에서 Kompsat-2 영상의 처리에서 우수한 성능을 보여주는 것으로 보고된 바 있는 위치 에러, 변화율, 가속도 및 자세 에러를 미지수로 조합하는 OA1 모델을 이용하여 Kompsat-2 영상에 적용하였다.

PCI Geomatica의 경우 10.1.2 버전부터 Kompsat-2의 해석모듈을 탑재하였다, 이에 본 논문에서는 제작된 DEM의 정확도의 분석을 PCI Geomatica를 기준으로 판단하도록 하며 이들을 기준으로 다른 프로그램과의 비교를 시도해 보고자 한다. PCI Geomatica에서는 DEM생성을 위하여 두 가지 방식의 센서모델링 기법을 제공한다. 하나는 RFM 모델이며, IKONOS, SPOT-5, QuickBird와 같은 대부분의 고해상도 위성영상을 처리하기 위한 센서모델로는 궤도 기반 모델의 하나인 Toutin's Model을 사용한다.

각 프로그램 별 센서모델 수립 오차는 Table 3에 정리하였다. 표시된 오차는 모델점에서의 오차를 나타낸다. 오차값은 좌우 영상의 각각의 GCP에 대한 RMSE 값이며 X는 Column, Y는 Row를 의미한다. GCP는 GPS측량을 통하여 취득하였으며, 각 영상별로 좌우 동일하게 15개, 16개, 11개, 8개의 GCP를 사용하였다. GCP는 영상의 전체영역에 골고루 분포되도록 설정하였다. 여기에서 MakeDEM은 본 실험을 위해 개발된 DEM 제작 소프트웨어의 명칭이다.

모델수립 정확도에 대한 전체 RMSE는 Table 3에서 볼 수 있듯이 궤도 모델 방식인 Toutin's Model 방식으로 수립했을 때가 RFM 방식으로 했을 때 보다 더 좋은 결과를 얻을 수 있었다. 비교 분석을 위해서 MakeDEM에서 사용하는 OA1 모델의 정확도도 이용하였으며 OA1 모델의 정확도는 Toutin's Model과 거의 유사한 결과를 보여 주었다.

2) 영상 정합

DEM의 생성을 위해 센서모델링이 완료되면 스테레오 영상의 정합을 실시하게 된다. 정합을 위해서는 영역 기반 정합 방법이 일반적으로 사용되며, 본 실험에서는 피라미드 방식을 적용하여 영상 정합을 실시하였다. 피라미드 방식은 하위레벨 영상의 정합결과가 상위 레벨 영상의 정합 후보점으로 사용되는 방식으로, 처리가 빠르고 영상 전역에 걸친 정합 후보점의 추출이 가능하여 정확한 정합을 가능하게 하는 방식이다(Daniela 외, 2004). 최하위 레벨 피라미드영상에 적용되는 정합후보점은 사용자가 설정한 동일점이며, 이들 점은 영상 전역에 고르게 분포하도록 설정하였다. 좌우영상의 정합을 위한 상관계수 계산방법으로는 변형된 Zero mean

Table 3. Sensor model accuracy of Kompsat-2 image

Scene 62	Modeling Method	Left Image		Right Image	
		X RMSE	Y RMSE	X RMSE	Y RMSE
PCI	RFM	1.85	4.98	1.10	2.70
	Toutin's Model	0.91	0.70	0.66	0.64
MakeDEM	OA1	0.95	0.74	0.73	0.70
Scene 63	Modeling Method	Left Image		Right Image	
		X RMSE	Y RMSE	X RMSE	Y RMSE
PCI	RFM	1.66	0.87	1.87	1.09
	Toutin's Model	1.24	0.83	1.29	1.12
MakeDEM	OA1	1.32	0.83	0.79	1.07
Scene 64	Modeling Method	Left Image		Right Image	
		X RMSE	Y RMSE	X RMSE	Y RMSE
PCI	RFM	1.07	5.72	0.34	3.81
	Toutin's Model	0.54	0.75	0.50	0.75
MakeDEM	OA1	0.46	0.84	0.38	0.80
Scene 65	Modeling Method	Left Image		Right Image	
		X RMSE	Y RMSE	X RMSE	Y RMSE
PCI	RFM	1.64	5.98	1.18	6.52
	Toutin's Model	0.38	0.93	0.66	0.55
MakeDEM	OA1	0.32	0.96	0.10	0.89

normalized cross-correlation 방법을 사용하였으며 (이흥규 외, 1999), 사용된 수식은 식 (1)과 같다.

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

이 수식에서 L과 R은 비교를 위한 좌우 영상의 탐색 영역을 나타내며, n은 탐색 영역 내에 존재하는 픽셀의 개수를 나타낸다. 수식을 통하여 계산된 값은 -1에서 1까지의 분포를 가지게 되며, 유사할수록 1에 가까워진다. 정합여부를 판단하는 상관계수의 임계값은 실험을 통하여 0.3으로 결정하였다.

PCI Geomatica나 ENVI와 같은 소프트웨어에서는 정합을 하기 전 먼저 에피플라 영상의 제작을 수행한다. 에피플라 영상이란 Y방향의 시차가 제거된 영상으로 에피플라 영상이 제작되면 손쉽고 빠르게 정합과정을 수행할 수 있다는 장점이 있다. PCI를 통하여 생성된 에피플라 영상은 다음의 그림과 같다.

Kompsat-2영상의 경우 선형 푸시부름 방식으로 영상 센서의 위치 및 자세가 영상의 취득 시 수시로 변화하기 때문에 에피플라 라인은 곡선으로 표현되게 되며, 이는 에피플라 영상을 제작할 때에 오차의 원인이 될 수 있다 (Kim, 2000). 이에 본 연구에서는 에피플라 영상을 제작

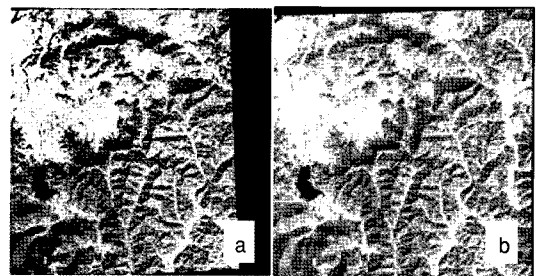


Fig. 2. Epipolar images (a: Left, b: Right).

하는 대신, 위성 센서의 위치와 자세와 같은 기하학적 요소 등을 고려하여 양쪽 영상에 정확한 에피플라 곡선을 계산하여 처리하는 방식을 사용하였다. 이 방식의 경우 원시 데이터의 변형 없이 정합이 가능하고, 에피플라 영상을 제작하기 위한 시간을 단축할 수 있다는 점이 장점이다.

실험을 위해 좌측 영상의 에피플라 곡선 상에서 정합을 위한 후보점을 설정하고, 우측 영상의 에피플라 곡선 상에서 탐색영역을 설정한 후 두 영상에서 설정된 탐색 영역의 상관계수를 계산한 후, 계산된 상관계수가 사용자가 지정해놓은 임계값보다 높을 경우 정합 성공점으로 판단하는 방식을 사용하였으며, 정합이 완료된 후보 간법을 사용하여 DEM을 제작하였다.

최종적으로 DEM의 제작을 위해 사용된 파라미터는

Table 4. Number of match success points

Scene ID	Match success	Failure
62	23776136	9319384
63	40710705	4726927
64	33140942	8025843
65	46392472	4568560

탐색원도우의 크기 13 픽셀, 매칭간격 2 픽셀, 정합상관 계수 값은 0.3으로 설정하였으며 이들 값은 실험적인 방법에 의해 결정되었다.

각각의 영상에서 제작된 총 매칭점의 수는 Table 4와 같이 나타난다.

4. DEM 제작 결과 확인

각각의 프로그램을 사용하여 DEM을 제작해 보았으며, 각각의 영상을 이용하여 제작된 DEM은 Fig. 3과

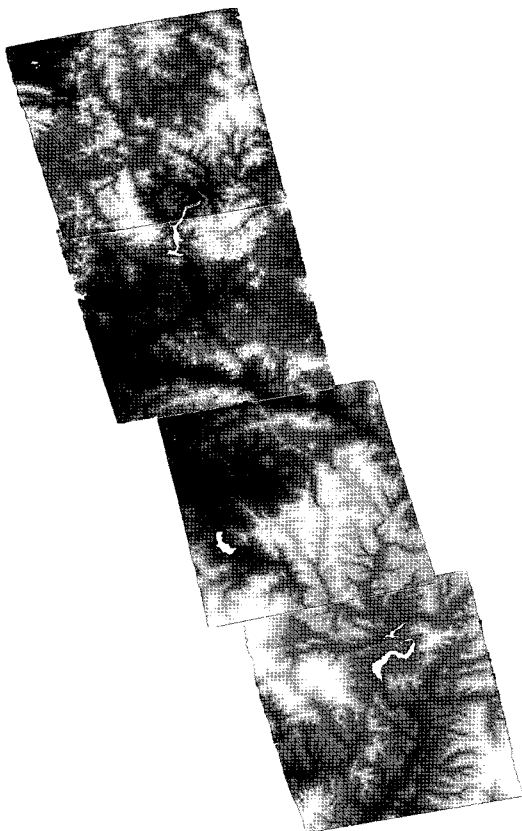


Fig. 3. Kompsat-2 DEM result (MakeDEM).

같다. DEM은 한격자당 8.7-10m 의 해상도를 가지도록 제작되었고, 지형표현의 레벨은 각 소프트웨어에서 제공하는 최고단계의 옵션으로 제작하였다. 좌표계는 경위도 좌표계, 높이값으로는 평균해수면 값을 이용하여 표현하였다(Table 5).

Fig. 4는 제작된 DEM을 나타낸 결과 영상의 일부이다. Fig. 4의 (a)는 정확도의 비교를 위한 동일한 지역의 DTED level 2 영상이다.

Table 5. The property of DEM (MakeDEM)

Datum	WGS-84
Projection	Geographic Lat/Lon
Pixel Size	8.7 - 10m
Image Size (Scene 62,63,64,65)	1607 × 1497
	1723 × 1519
	1839 × 1547
	1894 × 1559

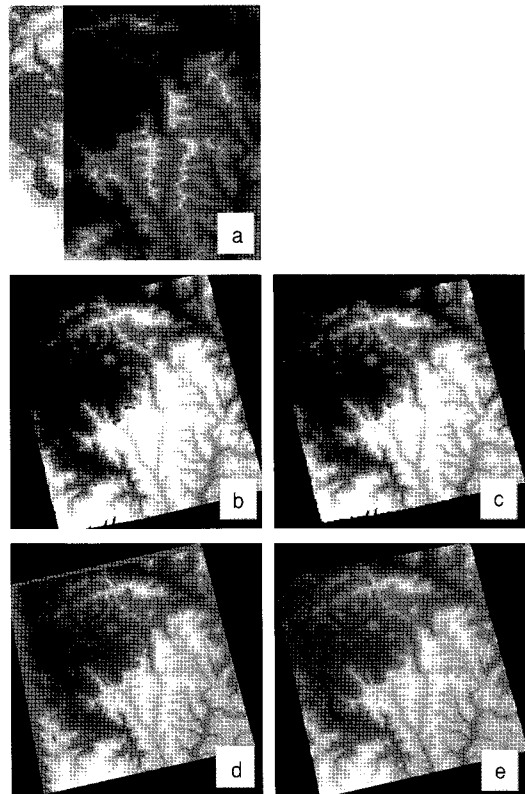


Fig. 4. (a) DTED, (b) PCI-RFM, (c) PCI-Toutin's Model, (d) ENVI, (e) MakeDEM.

1) 생성된 DEM 정확도에 대한 육안 분석

생성된 DEM 정확도를 비교하기 위해 위도 127 경도 35와 위도 126 경도 35에 해당하는 DTED와 비교해보았다. Fig. 4와 같이 전체적으로 봤을 때 DTED와 달리 PCI를 이용하여 생성한 DEM에서는 곳곳에서 Hole이 발생하는 것을 발견할 수 있었다. 이 현상은 PCI의 Toutin's 방식과 RFM 방식에서 동일하게 나타나는 현상으로 영상의 정합 처리 시에 정합이 제대로 이루어지지 않아서 발생하는 오류들로 판단되며, 특히 산악지역의 능선 부분에서 많이 발생하였다.

각각의 프로그램으로 제작된 DEM을 육안으로 보았을 때에는 Fig. 5의 (d)와 같이 MakeDEM으로 생성한 DEM이 가장 세밀하게 지형을 표현하고 있었다. 또한 상대적으로 ENVI로 생성한 DEM (c)가 (a)와 (b)같이 PCI로 생성한 DEM보다 지형을 더 세밀하게 표현하고 있음을 확인할 수 있었다. ENVI로 생성된 DEM의 경우 MakeDEM과 육안 상 큰 차이는 나타나지 않았으나, 능선 곳곳에서 MakeDEM에서는 발견되지 않았던 Peak과 Sink와 같은 현상이 발생하는 것을 확인할 수 있었으며, 평지지역에서도 MakeDEM에 비해 노이즈가 많이 발생하였다. 즉, 상세한 지형표현에 있어서는 MakeDEM, ENVI, PCI순으로 나타내어짐을 확인할 수 있었다.

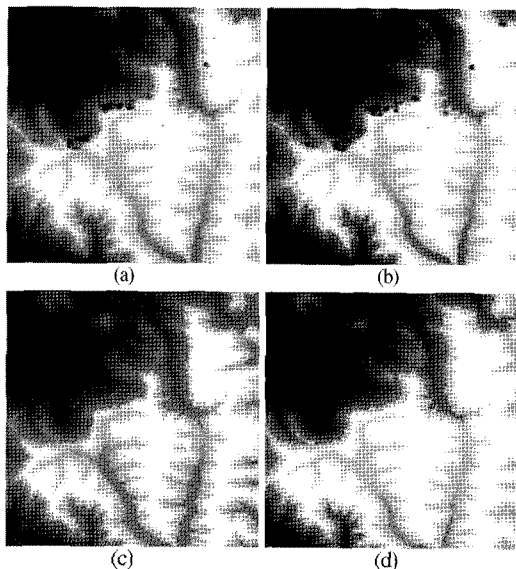


Fig. 5. (a) PCI RFM, (b) PCI Toutin's Model, (c) ENVI, (d) MakeDEM.

2) 생성된 DEM 정확도 분석

본 연구에서는 각 프로그램으로 생성한 DEM을 해당 지역을 포함하는 USGS DTED와 비교하여 정확도 분석을 실시하였다. 픽셀 간격은 1000으로 하여 비교하였으며 실험에 사용된 Kompsat-2 영상은 e126n35지역과 e127n35지역 사이에 놓여있어서 두 개의 DTED를 이용하여 수행하였다. 정확도 분석을 위한 척도로는 DTED와 DEM의 높이값의 평균 절대오차, RMS 오차값을 이용하였으며 그 결과는 Table 6에 나타나 있다. 음영지역은 영상에서 가장 좋은 정확도를 나타낸 방식을 나타낸다. DTED와 DEM사이의 정확한 좌표의 탐색을 위하여 공일차 보간법(bilinear Interpolation)을 적용하여 높이값을 비교하였다.

Table 6에서처럼 실험결과는 MakeDEM으로 생성한 DEM의 정확도가 가장 우수하게 나왔으며 그 다음으로 PCI에서 Toutin's Model을 사용한 DEM이 MakeDEM으로 생성한 것과 거의 유사한 정도의 정확도를 보여줌을 확인할 수 있었다. PCI에서 RFM을 이용한 방식과 ENVI로 생성한 DEM은 위에 언급한 두 DEM에 비해 낮은 정확도를 보여주고 있으며 오차의 폭도 매우 크게 나왔음을 확인할 수 있었다. Scene 64의 경우 RFM 방식을 사용한 ENVI에서 가장 높은 정확도를 보여주었으나, 다른 영상에서의 오차는 크게 나타났으므로, 영상에 따라 DEM 정확도의 기복이 있음을 판단할 수 있었다.

프로그램 내에서 동일한 스테레오 정합 방식을 사용하는 PCI에서 RFM과 쾨도 모델(Toutin's Model)의 선택에 따라 DEM의 정확도 크게 차이가 나는 것으로 보아, 정확한 센서모델의 선택이 DEM의 정확도에 큰 영향을 미친다는 것을 확인할 수 있었으며, 유사한 정확도의 센서모델을 사용하는 PCI와 본 연구에서 생성한 제작된 DEM의 정확도 검증결과 본 연구에서 생성한 DEM이 더 좋은 결과를 보여주는 것을 확인할 수 있었다. 이는 영상의 정합기법에서 오는 차이로 판단할 수 있다.

이와 같은 결과들로 확인할 수 있듯이 본 연구에서 제작된 DEM이 상용 소프트웨어에서 제작된 DEM보다 더 세밀한 지표면의 묘사가 가능하였고 정량적인 정확도 검증 결과 역시 더 좋은 성능을 보여줌을 확인할 수 있었다.

Table 6. Accuracy of DEM from Kompsat-2 image

Scene 62	Modeling Method		e126n35	e127n35
PCI	RFM	Abs Average Error	-	40.9119
		RMS	-	67.9350
	Toutin's Model	Abs Average Error	-	20.2818
		RMS	-	39.6900
MakeDEM	OA1	Abs Average Error	-	18.6026
		RMS	-	28.0851
ENVI	RFM	Abs Average Error	-	32.4774
		RMS	-	74.0879
Scene 63	Modeling Method		e126n35	e127n35
PCI	RFM	Abs Average Error	32.7734	37.7544
		RMS	34.1814	39.4907
	Toutin's Model	Abs Average Error	12.5041	14.1154
		RMS	17.5302	18.3776
MakeDEM	OA1	Abs Average Error	11.8406	15.0917
		RMS	15.8505	19.1800
ENVI	RFM	Abs Average Error	22.9548	18.5828
		RMS	45.1748	30.7129
Scene 64	Modeling Method		e126n35	e127n35
PCI	RFM	Abs Average Error	38.5330	39.8355
		RMS	39.4184	40.6411
	Toutin's Model	Abs Average Error	20.9955	23.3902
		RMS	29.3424	29.7297
MakeDEM	OA1	Abs Average Error	20.0090	21.8695
		RMS	24.7133	27.3031
ENVI	RFM	Abs Average Error	17.1956	20.8914
		RMS	20.5411	32.3621
Scene 65	Modeling Method		e126n35	e127n35
PCI	RFM	Abs Average Error	44.1497	-
		RMS	80.4604	-
	Toutin's Model	Abs Average Error	16.2179	-
		RMS	41.5717	-
MakeDEM	OA1	Abs Average Error	13.2951	-
		RMS	17.2332	-
ENVI	RFM	Abs Average Error	36.9972	-
		RMS	79.4912	-

5. 결론

본 연구에서는 Kompsat-2 영상을 이용한 DEM 제작을 위해 최적화된 궤도 자세각 모델식인 OA1 모델과 에피플라 곡선과 위성의 기하학적 정보를 이용한 영상 정합기법을 사용하였으며, 이렇게 제작된 DEM의 정확

도를 육안 분석과 DTED와의 비교를 통한 정량적 분석으로 판단하였다. 이 연구 결과를 통해 다른 고해상도 위성영상과 마찬가지로 Kompsat-2 영상을 이용한 정밀 지형 생성이 가능함을 확인할 수 있었으며, 실험 결과 제작된 DEM이 PCI Geomatica, ENVI와 같은 상용 프로그램을 이용한 DEM보다 더욱 세밀하게 지형의 표

현이 이루어짐을 확인할 수 있었다. 정량적인 정확도의 비교 결과 또한 안정적이고 우수한 결과를 보여주었다.

이 연구 결과를 통하여 기존에 획득되었던 IKONOS, Spot-5와 같은 고해상도 위성영상을 이용한 응용분야와 마찬가지로 Kompsat-2 영상을 이용한 지형, 지물 추출 및 지형정보 갱신과 같은 연구 및 기타 응용 분야에 큰 기여를 할 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 첨단도시기술개발사업 - 지능형국토정보기술혁신 사업과제의 연구비지원(07국토정보C03)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- 이흥규 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.
- 정재훈, 이태운, 김태정, 2008. 고해상도 위성영상을 이용한 정밀 DEM 생성 및 정확도 분석에 관한 연구, 한국측량학회지, 26(4): 359-365.
- Baillard, C. and O. Dissard, 2000. A stereo matching algorithm for urban digital elevation model, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, American Society of Photogrammetry*, 66(9): 1119-1128.
- Daniela, P., L. Zhang, and G. Armin, 2004. Spot-5/Hrs stereo images orientation and automated DSM generation, *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, The International Society for Photogrammetry and Remote Sensing and the Remote Sensing society*, 35(1): 421-432.
- Kim, T., 2000. A study on the epipolarity of linear pushbroom images. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 62(8): 961-966.
- NIMA (National Imagery and Mapping Agency), 2000. Performance Specification Digital Terrain Elevation Data (DTED), MIL-PRF-89020B, <http://www.nga.mil/ast/fm/acq/8902-0B.pdf>