

고해상도 위성영상을 이용한 정밀 DEM 생성 및 정확도 분석에 관한 연구

Research for Generation of Accurate DEM using High Resolution Satellite Image and Analysis of Accuracy

정재훈¹⁾ · 이태윤²⁾ · 김태정³⁾

Jeong, Jaehoon · Lee, Taeyoon · Kim, Taejung

Abstract

This paper focused on generation of more accurate DEM and analysis of accuracy. For this, we applied suitable sensor modeling technique for each satellite image and automatic pyramid matching using image pyramid was applied. Matching algorithm based on epipolarity and scene geometry also was applied for stereo matching. IKONOS, Quickbird, SPOT-5, Kompsat-2 were used for experiments. In particular, we applied orbit-attitude sensor modeling technique for Kompsat-2 and performed DEM generation successfully. All DEM generated show good quality. Assessment was carried out using USGS DTED and we also compared between DEM generated in this research and DEM generated from common software. All DEM had 9m~12m Mean Absolute Error and 13m~16m RMS Error. Experimental results show that the DEMs of good performance which is similar to or better than result of DEMs generated from common software.

Keywords : DEM, Stereo matching, High resolution satellite images, accuracy assessment

초 록

본 논문에서는 고해상도 위성영상을 이용한 정밀 DEM 생성과 정확도 분석에 관한 연구를 수행하였다. 각 위성 영상에 적절한 센서모델링 기법을 적용하고 자동 피라미드 방식을 이용한 정합과 에피폴라 곡선의 기하학적 특징을 이용한 영상정합방식을 적용하여 보다 정확한 DEM을 생성하고자 노력하였다. 실험영상으로는 IKONOS, SPOT-5, Quickbird, Kompsat-2 위성영상을 이용하였다. 본 연구에서는 궤도-자세각 모델 기법을 확장시켜 Kompsat-2에 적용하여 DEM 생성을 성공적으로 수행하였으며 모든 생성된 DEM은 만족할만한 결과를 보여준다. 생성된 DEM을 USGS DTED 데이터와 비교하여 정확도를 평가하였으며 또한 상용소프트웨어로 생성한 DEM 결과와 비교 분석하였다. 모든 생성된 DEM은 9m~12m의 평균절대오차와 13m~16m의 RMS 오차를 가지며 상용소프트웨어로 생성한 DEM에 비해서도 우수한 성능을 보여준다.

핵심어 : 수치표고모델, 영상정합, 고해상도위성영상, 정확도 평가

1. 서 론

최근 도심지역이 급변하고 고해상도 위성영상의 보급이 확대됨에 따라 이러한 고해상도 위성영상을 이용한 정밀 DEM(Digital Elevation Model) 생성에 관한 연구가 중요시되고 있다. DEM이란 해당 지역의 높이 정보를 일

정한 격자 간격마다 나타낸 자료이다. DEM은 수치표고 모델을 의미하며 지리정보시스템(GIS) 구축을 위해 사용되는 3차원 좌표로 나타낸 자료의 통칭으로도 사용된다. 수치표고모델은 도로나 철도 건설을 위한 기초 자료로 활용되고, 또한 임의의 위치에서 가지지역분석을 통한 전파의 중계를 위한 송신탑의 건설이나 레이더 시설물의 적정

1) 정희원 · 인하대학교 대학원 지리정보공학과 석사과정(E-mail:Jeong2174@inhaian.net)

2) 이태윤 · 인하대학교 대학원 지리정보공학과 박사과정(E-mail:LTaeYoon@inhaian.net)

3) 연결지자 · 정희원 · 인하대학교 공과대학 지리정보공학과 부교수(E-mail:tezid@inha.ac.kr)

위치 선정을 위한 적지 분석에도 사용된다.

이러한 DEM 생성시 정확도를 높이기 위한 생성 알고리즘과 생성 DEM의 정확도 분석에 관한 많은 연구가 진행되어 왔다. (Baillard 등, 2000 ; 임용조 등, 2002). 본 연구에서는 고해상도 영상에 적합한 센서 모델을 적용하여 영상과 센서와의 기하학적 관계를 수립하였으며 영상 피라미드를 이용한 자동피라미드 방식과 에피폴라 기하학을 이용한 영상정합을 수행하고 보간법을 적용하여 DEM을 생성하였다. 본 연구에서는 DEM 생성을 위해 IKONOS, SPOT-5, Quickbird, Kompsat-2 위성영상을 사용하였다. 특히 2006 년에 발사된 Kompsat-2(다목적실용위성2호) 위성의 경우는 초기 데이터의 위치 정확도 분석에 관한 연구(서두천 등, 2007)는 보고된 바 있으나 이러한 정밀 센서모델링 기법과 영상정합을 적용한 DEM 생성에 관한 연구결과는 아직 보고된 바 없다. 본 연구에서는 궤도-자세각 센서모델링 기법을 확장시켜 Kompsat-2 적용하여 정밀센서모델을 수립하고 영상정합을 통해 DEM을 생성하였다.

아울러 본 연구에서는 생성된 모든 DEM의 정확도를 평가하였다. 영상별로 해당지역의 DTED (Digital Terrain Elevation Data) Level 2 데이터와 높이 값을 비교하여 오차를 산출하였으며 또한 LPS(Leica Photogrammetry suite v9.0)를 이용해 생성한 DEM 결과와 비교 분석 하였다.

2. DEM 생성 알고리즘

2.1 센서 모델링 기법

센서 모델은 영상과 지상간의 기하학적 관계를 수립하는 과정이다. 영상 정합을 통한 DEM 생성을 위해서는 우선 위성영상의 센서모델이 수립되어야 한다. 센서모델링 성능은 생성 DEM의 정확도와 연결되므로 각 위성의 물리적인 특성을 고려하여 적절한 모델이 적용되어야 한다. 실험 영상으로는 IKONO, SPOT-5, Quickbird, Kompsat-2 스테레오 고해상도 위성영상을 사용하였으며 실험에 사용된 영상의 정보는 다음 표 1과 같다.

본 연구에서 센서모델 수립을 위해 IKONOS의 경우 위성에서 궤도 정보를 제공하지 않으므로 궤도정보 없이도 센서모델 수립이 가능한 DLT모델(Gupta 등, 1997)을 적용하였으며 Quickbird, SPOT-5 경우 위성의 물리적인 특성을 반영한 궤도-자세각 모델 (김태정, 2006)을 사용

표 1. 실험에 사용된 영상의 정보

위성	촬영지역	해상도	주사폭	기준점
IKONOS	대전	1m	11km	10
SPOT-5	대전	2.5m	60km	19
Quickbird	대전	0.61m	16km	22
Kompsat-2	담양	1m	15km	16

표 2. Kompsat-2 센서모델 기법의 초기위치정확도

적용된 모델	수평 위치 (m)		수평 위치 오차
	X	Y	
RPC 계수 적용	42.89	7.40	43.52
궤도-기반 모델 적용	43.04	12.03	44.69

표 3. 영상별 센서모델오차

위성영상	센서모델오차 (단위 : pixel)	
	왼쪽 영상	오른쪽 영상
IKONOS	1.1349	1.1141
SPOT-5	0.8724	0.7929
Quickbird	1.9097	1.4203
Kompsat-2	1.5578	1.3316

하였다. Kompsat-2의 경우 서론에서 언급하였듯 기준점을 사용하지 않은 경우 센서 모델링과 기하정확도 분석에 관한 연구는 보고된 바 있으나 기준점을 사용한 정밀 센서 모델링과 DEM 생성에 관한 연구는 아직 미미하다. 본 연구에서는 GPS 측량을 통해 기준점을 획득하여 Kompsat-2 위성의 물리적인 요소를 고려한 궤도-자세각 센서모델링 기법(Kim 등, 2006)을 적용하여 정밀센서모델을 수립하였다. 본 연구에서 적용한 센서모델링 기법의 정확도를 평가하기 위해 우선 Kompsat-2 위성에서 제공되는 RPC 계수를 이용하였을 경우 산출된 초기 위치 정확도와 비교 하였다. 표 2는 기준점을 사용하지 않았을 경우 위성에서 제공되는 RPC 계수를 이용하여 산출한 위치정확도와 본 연구에서 적용한 Kompsat-2 센서모델링 기법으로부터 산출된 초기 위치정확도를 비교하여 나타낸 것이다. 수평 위치 정확도를 X, Y 방향으로 나타내었다.

결과에서 확인할 수 있듯이 유사한 위치정확도가 산출됨으로서 궤도-자세각 모델을 적용한 Kompsat-2 센서 모델링 기법이 만족할만한 성능을 나타내고 있음을 확인할 수 있다.

센서모델 정확도의 척도로서 센서모델오차가 산출되게 된다. 본 연구에서 영상별로 정밀센서모델 수립 후 산출한 기준점의 센서모델오차는 표 3과 같다.

결과에서 확인할 수 있듯이 모든 스테레오 영상에서 센서모델오차가 1~2 pixel 정도로 산출되었으며 Kompsat-2 역시 기준점을 사용하였을 경우 1 pixel 정도의 오차를 가짐으로써 정밀센서모델이 잘 수립되었음을 확인할 수 있다.

2.2 영상정합 알고리즘

영상별로 센서 모델을 수립한 후 스테레오 영상 정합을 수행하게 되는데 본 연구에서는 원 영상으로부터 자동으로 영상 피라미드를 추출하고 이를 이용하여 피라미드 방식을 적용한 영상정합을 수행하였다(Daniela 등, 2004). 피라미드 정합 방식을 그림 1과 같이 나타내었다. 우선 스테레오 원 영상을 1/2, 1/4, 1/8, 1/16으로 축소하여 영상 피라미드를 생성한다. 피라미드 방식의 가장 큰 특징은 하위 레벨 영상의 정합을 통해 얻어낸 정합점을 이용하여 상위레벨의 정합 후보점으로 사용한다는 점이다. 예를 들어 Level 4 영상을 정합 후 생성된 정합점을 Level 3의 정합시 정합 후보점으로 사용하고 또한 Level 3의 정합점을 Level 2의 정합 후보점으로 사용한다. 이러한 방식을 최상위 레벨 즉, 원 영상 정합까지 수행하게 되면 피라미드 방식 정합이 완료된다. 이러한 피라미드 방식을 적용하면 영상 정합의 속도를 개선할 수 있고 더욱 정확한 DEM을 생성할 수 있다. 하위 레벨의 영상은 상위 레벨보다 크기와 해상도가 작으므로 정합시 정의된 탐색 영역도 줄어든다. 따라서 정합이 더욱 빠르게 수행될 수 있으며, 이 정합결과를 상위레벨에 이용하면 영상 정합 속도의 개선을 가져올 수 있다. 또한 원 영상만을 이용할 경우 기준점외의 정합 후보점을 추출해야 하나, 피라미드 방식을 이용할 경우 하위 레벨로부터 영상 전역에 걸친 정합 후보점을 추출함으로써 영상 정합이 전체에 걸쳐 잘 이루어질 수 있다.

그러나 여기서 상위레벨로 갈수록 정합점의 수는 매우 크게 증가하므로 하위레벨의 정합점을 모두 상위레벨의 정합 후보점으로 사용하게 되면 정합속도가 매우 느려질 수가 있을 뿐 아니라 유사도가 낮은 정합점도 다수 포함될 수 있다. 따라서 본 연구에서는 생성 DEM의 성능을 유지시키며 이러한 문제를 해결하기 위해 정합 후보점 추출시 정합이 이루어진 점 중에서도 유사도가 높은 점을 선택적으로 추출하였으며 정합 후보점이 영상 전역에 고르게 분포되게 하였다.

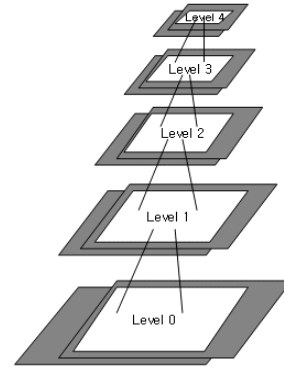


그림 1. 영상 피라미드를 이용한 정합

본 연구에서는 영상 피라미드를 추출하여 영상 정합시 에피플라 곡선의 기하학적 특징을 이용하였다(Lee 등, 2003). 먼저 정합하려는 스테레오 영상이 있다고 하면 좌측영상 에피플라 곡선상에서 정합 후보점을 찾고 우측영상의 에피플라 곡선상에서 탐색영역을 설정한 후 좌측영상의 정합 후보점과 우측영상의 탐색 영역내의 픽셀과의 상관계수 즉, 산술적 유사치를 계산한다. 이렇게 계산된 상관계수가 정합시 임의로 설정한 상관계수보다 높으면 정합 성공점으로 판단한다. 탐색영역 내에서 상관계수 계산치가 가장 높은 픽셀을 정합점으로 결정하게 된다. 이 정합된 점을 중심으로 이러한 과정을 영상 전역에 걸쳐 반복하게 된다. 산술적 유사치 계산시 zero mean normalized cross-correlation(이태운 등, 2005)을 이용하였으며 정합 여부를 결정하는 상관계수의 임계치는 실험적인 방법에 의해 0.3으로 설정하였다. 이 외에 탐색 윈도우 크기, 탐색 간격 등 여러 가지 변수들의 설정 역시 반복적인 실험을 통해 결정하였으며 영상 정합 후 최근린 보간법을 적용하여 DEM을 생성하였다.

3. DEM 생성 결과

앞서 기술된 센서모델링 기법과 DEM 생성 알고리즘을 적용하여 영상별로 DEM을 생성하였다. 실험에 사용된 영상은 IKONOS, SPOT-5, Quickbird, Kompsat-2 스테레오 영상이다. 그림 2~4는 IKONOS, SPOT-5, Quickbird 스테레오 영상으로부터 생성된 DEM 결과를 보여준다.

모든 영상에서 영상 전역에 걸쳐 정합이 잘 이루어져 만족할만한 성능의 DEM이 생성 되었음을 확인할 수 있다. 생성 DEM의 정확도 분석은 4장에 기술되었다. 다음



그림 2. IKONOS DEM

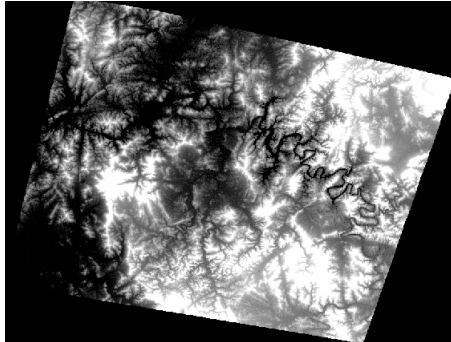


그림 3. SPOT-5 DEM



그림 4. Quickbird DEM

그림 5는 Kompsat-2 스테레오 영상으로부터 생성된 DEM 결과이다. 또한 그림 6에 생성된 Kompsat-2 DEM 을 해당지역의 기존 DTED와 비교하여 나타내었다.

Kompsat-2 스테레오 영상으로부터 생성한 DEM 역시 다른 위성영상과 마찬가지로 영상전역에 걸쳐 정확이 잘 이루어졌음을 확인하였으며 기존 DEM과 비교한 결과 해당지역의 잘 나타내고 있음을 확인할 수 있다. 4절에서 기술된 정확도 분석을 통해서도 Kompsat-2로부터 생성된 DEM의 정확도가 다른 위성영상으로부터 생성된 DEM과

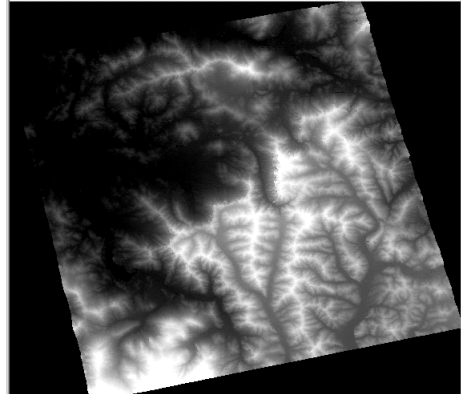
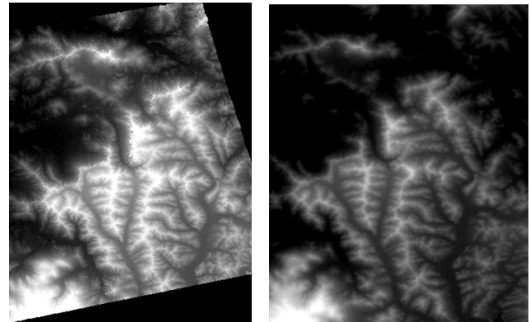


그림 5. Kompsat-2 DEM



(a) DEM

(b) DTED

그림 6. Kompsat-2 DEM 과 DTED 비교

유사한 결과를 보여주며, 이는 앞서 언급한 Kompsat-2 센서모델링 기법과 영상정합 알고리즘이 성공적으로 수행되었음과 동시에 Kompsat-2 스테레오 영상의 정밀 수치표고모델 생성을 위한 고해상도 위성영상으로서의 활용 가능성을 입증하였다고 할 수 있다.

4. 정확도 분석

본 연구에서는 생성된 DEM 의 정확도 분석에 관한 연구를 수행하였다. 생성된 DEM 의 높이 값을 비교하기 위해서 비교할 기준 데이터로 USGS DTED 데이터를 사용하였다. 기준 DTED 파일은 경도 1도 위도 1도의 크기를 가지며 30m 의 공간 해상도와 18m 이내의 수직정확도를 갖고 있다 (NIMA, 2000). 기준 DTED 영역 안에 일반적으로 생성 DEM이 포함된다고 한다면 두 데이터를 중첩할 경우 그림 7과 같이 나타난다.

그림에서 확인할 수 있듯이 생성된 DEM과 기준 DTED

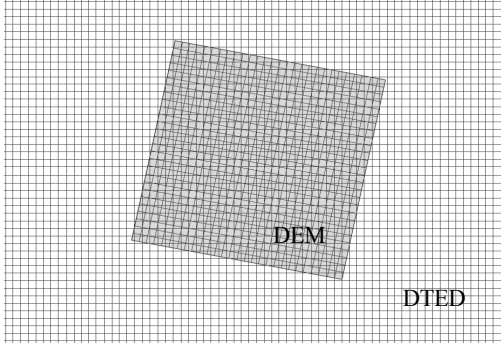


그림 7. DTED 와 생성 DEM 을 중첩한 경우

표 4. 탐색간격에 따른 정확도 평가결과 (IKONOS)

탐색간격	검사점수	평균절대오차	RMS
1	1402570	9.83m	13.69m
10	140257	9.79m	13.78m
100	14025	9.82m	13.62m
1000	1405	9.98m	13.95m

표 5. 탐색간격에 따른 오차의 분포 (IKONOS)

탐색간격	5m 이하	5m ~ 10m	10m ~ 20m	20m 이상
1	31 %	32 %	27 %	9 %
10	31 %	33 %	27 %	9 %
100	31 %	33 %	27 %	9 %
1000	31 %	32 %	28 %	9 %

표 6. 영상별 DEM의 정확도 평가 결과

위성영상	검사점수	평균절대오차	RMS
IKONOS	1405	9.98m	13.95m
SPOT-5	41982	10.77m	14.96m
Quickbird	4347	9.32m	13.38m
Kompsat-2	659	12.18m	16.30m

와 각 픽셀이 갖는 경위도 좌표는 정확하게 일치하지 않는다. 따라서 공일차 보간법(Bilinear Interpolation)을 적용하여 높이 값을 비교하였다. 우선 기존 DTED와 DEM을 입력받아 DTED의 픽셀을 탐색해가며 DEM 픽셀의 경위도 좌표와 일치하는 곳을 찾는다. 여기서 대부분의 경우는 두 픽셀의 경위도 좌표가 일치하지 않으므로 DEM 픽셀의 경위도 좌표를 포함하고 있는 DTED의 좌우 상하 4 픽셀을 찾아낸다. 그 다음 4 픽셀 범위 안의 DEM 픽셀의 경위도 좌표에 해당하는 위치를 추정하고 4 픽셀의 높이 값을 이용하여 공일차 보간 방식을 수행한

다. 이렇게 계산된 높이 값과 생성된 DEM의 높이 값을 비교하여 오차를 산출하고 평균절대오차와 RMS를 계산하였다. 그런데 여기서 생성된 DEM의 모든 픽셀에 대해 높이 값을 비교하게 되면 DEM 격자 수만큼의 픽셀에 대해 탐색하고 보간법을 적용해야 하므로 검증에 상당히 오랜 시간이 걸린다. 따라서 탐색간격(Search Interval)이란 옵션을 적용하였다. 여기서 탐색간격 옵션은 예를 들어 100으로 설정할 경우 DEM의 높이 값 비교시 100 픽셀마다 비교하는 옵션이다. 표 4는 탐색간격에 따른 IKONOS DEM의 정확도 평가결과를 나타낸 것이다.

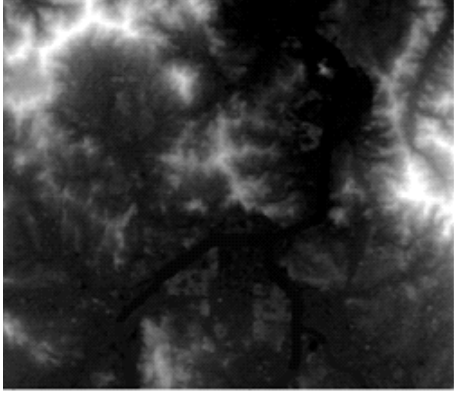
결과에서 확인할 수 있듯이 탐색간격에 따른 오차의 크기는 차이가 없음을 확인할 수 있다. 이번에는 탐색간격을 다르게 적용하였을 경우 오차의 분포를 산출하여 나타내었다.

표 5에서 확인할 수 있듯이 탐색간격에 따른 오차의 분포 또한 차이가 없음을 확인할 수 있다. 결론적으로 탐색간격에 따른 정확도 평가 결과의 차이는 거의 없으며 탐색간격을 1000으로 설정하여도 전체를 비교하여 얻은 데이터와 동일한 결과를 얻을 수 있다. 이러한 결과를 바탕으로 탐색간격을 1000으로 설정하여 SPOT-5, Quickbird, Kompsat-2로부터 생성된 DEM의 정확도 평가를 수행하였다. 표 6에 영상별로 생성된 DEM의 정확도 평가 결과를 나타내었다.

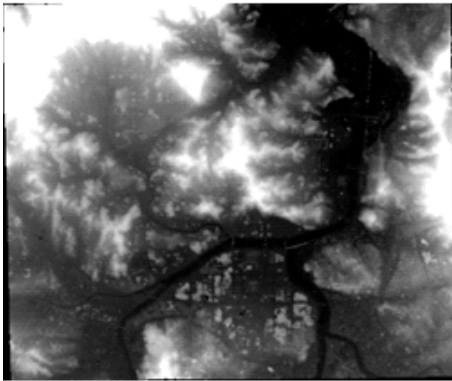
기존 DTED를 이용해 DEM 높이 값을 검증한 결과 생성된 모든 DEM에서 평균절대오차의 경우 12m RMS 오차의 경우 16m 이내의 오차가 산출되었다.

이번에는 동일한 위성영상과 기준점을 입력하여 상용 소프트웨어로 DEM을 생성한 후 정확도를 비교 분석하였다. DEM 생성을 위한 상용 소프트웨어로서 LPS(Leica Photogrammetry suite v9.0)를 사용하였다. 그림 8은 DTED와 본 연구에서 생성한 DEM 그리고 LPS를 이용하여 생성한 DEM을 비교하여 나타낸 것이다. 기존 DTED는 앞서 기술하였듯 30m 급의 해상도를 갖고 있으며, 본 연구에서 생성한 DEM은 10m 급의 해상도로 생성되었다. 본 연구에서 생성한 DEM은 기존에 구축된 DTED에 비해 해당지역을 더 자세하고 나타내고 있을 뿐 아니라 동일한 해상도로 LPS를 이용하여 생성한 DEM에 비해서 더 좋은 정합결과를 보여준다. 그림 9는 동일한 해상도로 생성된 두 DEM의 일부 지역을 확대하여 나타낸 것이다.

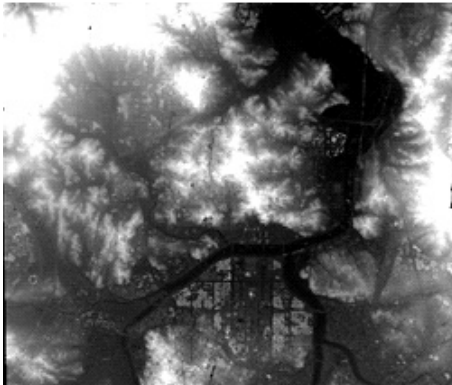
그림 9에서 확인할 수 있듯이 도심지역을 확대한 결과 본 연구에서 생성한 DEM이 더 우수한 정합결과를 보이



(a) DTED



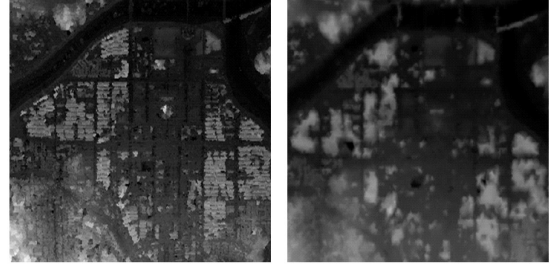
(b) LPS 를 이용하여 생성한 DEM



(c) 본 연구에서 생성한 DEM

그림 8. DTED 와 생성된 DEM 과의 비교

고 있음을 확인할 수 있다. 또한 추가적으로 정량적인 평가를 수행하기 위해 LPS를 이용하여 생성한 DEM의 정확도를 분석해 보았다. 동일한 방법으로 DTED와 높이 값을 비교하여 오차를 산출하였다. 표 7은 LPS를 이용하여 생성한 DEM의 정확도 평가결과를 나타낸 것이다.



(a) 본 연구에서 생성한 DEM (b) LPS를 이용하여 생성한 DEM

그림 9. 생성된 DEM의 확대지역 비교

표 7. LPS를 이용하여 생성한 DEM의 정확도 평가결과

위성영상	검사점수	평균절대오차	RMS
IKONOS	967	7.53m	9.78m
SPOT-5	4381	14.29m	23.96m
Quickbird	4742	16.27m	29.27m
Komsat-2	389	22.95m	45.17m

표 8. PCI로부터 생성한 Komsat-2 DEM 정확도

위성영상	검사점수	평균절대오차	RMS
Komsat-2	222	23.61 m	34.82 m

결과를 토대로 본 연구에서 생성한 DEM과 LPS를 이용하여 생성한 DEM을 비교해보면 IKONOS의 경우 LPS를 이용하여 생성한 DEM의 오차가 다소 작으나 그 외에 모든 위성영상에 본 연구에서 생성한 DEM이 더 좋은 결과를 보이고 있다. Komsat-2의 경우 LPS에서는 아직 Komsat-2에 적합한 모델을 지원하지 않아 IKONOS와 동일한 방식으로 RPC 계수를 이용하여 DEM을 생성하였다. 따라서 이 경우는 직접적인 비교는 무리가 있을 수 있다. 대표적 상용 프로그램의 하나인 PCI Geomatica 10.1.2 버전의 경우 Komsat-2 해석모듈이 탑재되어 DEM 생성이 가능하다. 따라서 이번에는 PCI 프로그램을 이용하여 동일한 기준으로 RPC 업데이트 후 DEM을 생성하였다. 표 8은 PCI 를 이용하여 생성한 Komsat- 2 DEM의 정확도 평가결과이다.

결과를 통해 확인할 수 있듯이 Komsat-2의 경우 해당 위성의 모듈을 탑재한 PCI로 생성시 LPS를 이용하여 생성한 경우에 비해 다소 오차가 줄어들었으나 본 연구에서 생성한 DEM에 비해 여전히 큰 오차를 보이고 있다.

육안으로 확인한 모든 DEM 결과와 정확도 분석을 통한 결과를 미루어 볼 때 본 연구에서 생성한 DEM 결과

는 고해상도 위성영상을 이용하여 기존 DEM을 업데이트 하기에 충분한 가치를 지닌다고 결론 지을 수 있다. 또한 상용 소프트웨어로부터 생성한 DEM과 비교한 실험 결과에서도 확인할 수 있듯이 해당지역의 지표면을 더 자세히 묘사하고 있으며 정량적인 실험결과 역시 본 연구에서 생성한 DEM의 정합결과가 더 좋은 성능을 나타내고 있음을 보여준다.

5. 결 론

본 연구에서는 고해상도 위성영상으로부터 자동으로 DEM을 생성하고 생성 DEM의 정확도를 분석하였다. 각 위성에 적절한 센서모델링 기법을 적용하여 센서모델 수립 후 자동 피라미드 방식과 에피폴라 곡선의 기하학적 특징을 이용한 알고리즘을 이용하여 영상정합을 수행하였다. 생성된 DEM은 만족할만한 성능을 보여주며 Kompsat-2 역시 본 연구에서 적용한 센서모델링 기법과 영상정합을 통해 성공적으로 DEM을 생성하였다.

생성된 DEM의 정확도를 평가하기 USGS DTED 데이터와 비교하여 오차를 산출한 결과 생성된 모든 DEM은 약 9~12m의 평균절대오차와 13~16m의 RMS 높이가 오차를 가진다. 이는 기존 DTED의 구축시기와 실험에 사용한 위성영상의 획득시기가 달라 다소간의 오차가 생길 수 있으며 또한 잘못된 정합 결과에서 발생하는 오차로서 추후 연구하여 해결해야 할 부분이라고 할 수 있다. 그러나 앞서 기술한 DTED의 공간해상도와 수직정확도를 감안할 때 비교적 높은 정확도로 판단되며 또한 생성된 모든 DEM은 해당지표면을 잘 나타냄으로서 좋은 정합 결과를 보여준다. 생성된 DEM은 10m급의 해상도로서 고해상도 위성영상을 이용하여 기존에 구축된 DEM을 갱신할 수 있는 데이터로서 충분한 가치를 지닌다. 또한 본 연구에서 생성한 DEM은 상용 소프트웨어로 생성한 DEM에 비해서도 정성적, 정량적으로 우수한 성능을 보여준다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 첨단도시기술개발사업 - 지능형 국토정보기술혁신 사업과제의 연구비지원 (07국토정보 C03)에 의해 수행되었습니다. 정확도 분석을 위해 자료를 협조해 주신 상지대학교 이현직 교수님께 감사 드립니다.

참고문헌

- 김태정 (2006), SPOT 위성 영상에서의 위치-회전각 모델과 궤도-자세각 모델의 비교, 한국측량학회지, 한국측량학회, 제 24권, 제 1호, pp. 47-55.
- 서두천, 김문규, 이동한, 송정현, 박수영, 임효숙, 안기원, 이효성 (2007), 다목적실용위성2호 센서모델링 및 기하정확도 분석, *춘계학술발표회 논문집*, 한국측량학회, pp. 149-152.
- 이태운, 김태정, 최해진 (2005), 정합과 강인추정 기법에 기반한 정지궤도 기상위성 영상에서의 자동랜드마크 추출기법 연구, 대한원격탐사학회지, 대한원격탐사학회, 제 21권, 제 6호, pp. 505-516.
- 임용조, 김태정 (2002), SPOT, EOC, IKONOS, 스테레오 영상으로부터 생성된 도심지역 DEM의 정확도 및 성능 비교분석, 대한원격탐사학회지, 대한원격탐사학회, 제 18권, 제 4호, pp. 221-231.
- Baillard, C. and Dissard, O. (2000), A stereo matching algorithm for urban digital elevation model, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, American Society of Photogrammetry, Vol. 66, No. 9, pp. 1119-1128.
- Daniela, P., Zhang, L. and Armin, G. (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, Vol. 35, No. 1, pp. 421-432.
- Gupta, R. G. and Hartley, R. I. (1997), Linear pushbroom cameras, *IEEE transaction on pattern analysis and machine intelligence*, IEEE Computer Society, Vol. 19, No. 9, pp. 963-975.
- Kim, T. J. and Dowman, I. (2006), Comparison of two physical sensor models for satellite images: position-rotation model and orbit-attitude model, *The Photogrammetric record*, Photogrammetric Society, Vol. 21, No. 114, pp. 110-123.
- Lee, H. Y., Kim, T. J., Park, W. K. and Lee, H. K. (2003), Extraction of digital models from satellite stereo images through stereo matching based on epipolarity and scene geometry, *Image and Vision Computing*, Butterworths, Vol. 21, No. 9, pp. 789-796.
- NIMA(National Imagery and Mapping Agency) (2000), Performance Specification Digital Terrain Elevation Data (DTED), *National Geospatial-Intelligence Agency*, <http://www.nga.mil/ast/fm/acq/8902-0B.pdf>

(접수일 2008. 6. 24, 심사일 2008. 7. 17, 심사완료일 2008. 8. 11)