

궤도기반 모델을 이용한 SPOT-5 HGR 입체영상의 3차원 위치결정 정확도 평가

Accuracy Assessment of 3D Geo-positioning for SPOT-5 HRG Stereo Images Using Orbit-Attitude Model

위광재¹⁾ · 김덕인²⁾ · 이하준³⁾ · 장용호⁴⁾

Wie Gwang-Jae · Kim Deok-In · Lee Ha-Joon · Jang Yong-Ho

Abstract

In this study, we investigate the feasibility of modeling entire image strips that has been acquired from the same orbital segments. We tested sensor models based on satellite orbit and attitude with different sets (Type1 ~ Type4) of unknowns. We checked the accuracy of orbit modeling by establishing sensor models of one scene using control points extracted from the scene and by applying the models to adjacent scenes within the same orbital segments. Results indicated that modeling of individual scenes with 1st or 2nd order unknowns was recommended. We tested the accuracy of ground control points, digital map using the HIST-DPW (Hanjin Information Systems & Telecommunication Digital Photogrammetric Workstation) As a result, we showed that the orbit-based sensor model is a suitable sensor model for making 1/25,000 digital map.

Keywords : SPOT-5 Satellite Image, Orbit-Attitude Sensor model, DPW

초 록

위성영상은 제조사별로 해상해상력이 다르고, 위성의 특성마다 모델링하는 방법이 다르다. 또한 위성영상도 항공사진처럼 스테레오 영상 형태로 제공이 되지만, 스테레오로 입체시 했을 때 발생하는 영상상의 시차나, 모델과 모델의 인접지역에서의 위치 오차에 대한 연구는 아직 미비한 상태이다. 최근에는 SPOT-5 위성영상을 이용한 공간정보자료를 갱신하는 사례가 늘어나고 있다. SPOT-5 위성영상은 공간해상력이 2.5m로 1/5,000에서 1/20,000 수치지도 제작이 가능하다. 기존의 SPOT-5 위성영상의 정확도 해석은 대부분 단사진을 기반으로 자상기준점이나, 모델링의 방법에 따른 정확도를 분석하는 연구가 이루어졌다. 따라서 본 연구에서는 SPOT-5 스테레오 위성영상에 대한 궤도기반모델기법을 적용하여 입체시를 통한 SPOT-5 위성영상의 정확도를 검증하였다. 궤도기반모델은 여러 가지 위성영상을 처리하는 센서모델 중 가장 정확도가 높은 모델링 기법으로 위성의 궤도력과 천문력을 이용하여 지상좌표를 정확하게 추출하는 방법이다. 이를 통하여 수치도하기 상에서 입체시를 수행하고 입체시를 통하여 지상기준점, 모델과 모델의 인접 정확도, 수치지도 제작 정확도를 분석하였다.

핵심어 : SPOT-5 위성영상, 궤도기반모델, 수치도하기

1. 서 론

최근 지식정보화사회의 급속한 변화와 인터넷을 통

한 산업기반이 가속화되면서 관련분야에서 다양한 형태의 공간정보자료가 제작되고 있다. 공간정보자료를 취득하는 방법에는 항공사진측량기법이 일반적으로 적용

1) 교신저자 · 정회원 · 성균관대 사회환경시스템공학과 박사과정 · 한진정보통신(주) GIS기술연구소 차장(E-mail:gjwe@hist.co.kr)
2) 정회원 · 한진정보통신(주) GIS기술연구소 과장(E-mail:dikim@hist.co.kr)
3) 정회원 · 공학박사 · 국토지리정보원 공간영상과 사무관(E-mail:leebug@korea.kr)
4) 미도지리정보(주) 대표이사 · 서울시립대 공간정보공학과 석사과정

되고 있으나 항공사진촬영이 어려운 광범위한 지역이나 항공기의 접근이 불가능한 지역에 대한 공간정보의 구축은 위성영상과 같은 간접적인 방법이 주로 이용된다. 위성영상은 일반적으로 공간해상력이 항공사진에 비해 떨어졌으나 2000년 이후 IKONOS, QuickBird, OrbView-3, SPOT-5와 같은 위성이 개발되면서 60cm~2.5m급의 고해상도 위성영상을 취득하는 것이 가능하게 되었다. 이에 따라 위성영상을 이용하여 공간정보자료를 갱신하는 사례가 늘어나고 있으며 특히, 1/5,000~1/20,000 수치지도 제작이 가능한 SPOT-5 위성영상이 많이 이용되고 있다(유복모, 토니 쉘크, 2003 ; 국토지리정보원, 2006).

수치지도제작시 항공사진측량을 이용하는 경우, 항공사진의 축척과 재원별로 수치지도를 제작하는 방법이 결정되어 있고 사진의 축척별로 벡터 데이터의 정확도가 제시되어 있으나, 위성영상을 이용하는 경우에는 아직 정확한 모델링 기법이나 수치도화기 상에서의 정확도 검증이 미비한 상태이다.

따라서 본 연구에서는 SPOT-5 위성영상에 궤도기반 센서모델링을 적용하여 수치도화기상에서 스테레오 입체시를 구현하고, 이를 통하여 SPOT-5 궤도기반센서모델링의 정확도를 검증하는 것을 목적으로 한다.

이를 위해 다음과 같은 단계로 연구를 수행하였다. 먼저 실험에 사용될 데이터로 2004년부터 2006년까지 남한의 도서지역에 대한 SPOT-5 위성영상과 지상기준점, 수치지도를 수집하였다. 그리고 지상기준점을 이용한 궤도기반센서모델링을 통하여 스테레오 입체시를 수치도화기 상에서 구현하였다. 다음으로 이를 궤도기반센서모델링에 사용한 파라메타별 정확도에 대하여, 수치도화기 입체시 상에서 지상기준점의 정확도에 대하여, 모델과 모델 인접간의 인접정확도에 대하여, 수치지도와의 중첩을 통한 정확도에 대하여 궤도기반 정밀 센서모델링의 정확도를 검증하였다.

2. 선행연구 및 이론적 배경

2.1 선행연구

국외에서는 근사적 모델링 방법인 RPC(rational polynomial coefficient)를 이용한 보정방법(Fraser et al., 2002; Grodecki and Dial, 2003 ; Noguchi and Fraser, 2004), 3D 아핀 변환(Hanley et al., 2002 ; Fraser and Yamakawa, 2004) 등이 있으며, 이들 방법은 주로 관측각이 좁고 위성의

궤도가 정확한 IKONOS, QUICKBIRD 등과 같은 위성에 활용하고 있다. 또한 푸쉬부름 영상의 에피폴라 라인(epipolar line)에 대한 연구(Kim, 2000 ; Habib et al., 2005a, 2005b)와 변형된 반복 허프 변환을 이용한 자동 정합 연구(Habib et al., 2003 ; Habib and Al-Ruzoug, 2005) 등을 연구하여왔다.

국내에서도 위성영상의 센서모델링에 대한 연구가 많이 이루어지고 있다. 김태정(2006)은 궤도기반센서모델을 이용한 SPOT 위성 궤도모델링 정확도 분석에 대한 연구를 수행하였고, 또한 SPOT 위성영상에서의 위치-회전각 모델과 궤도-자세각 모델의 비교를 통하여 궤도기반모델링의 정확도를 검증하였다.

이현숙(2006)은 지상기준점 없이 영상의 위치정확도를 얻기 위하여 SPOT 영상을 물리적인 센서모델인 궤도기반모델에 적용하여 궤도모델링여부를 실험하여 단일영상에서는 내삽법과 미지수 조합에 따른 결과의 차이는 크게 나타나지 않지만, 궤도모델링 수행 시에 미지수 조합과 자세와 위치의 내삽법에 따라 다양한 결과가 나타남을 밝혔다.

장용호(2009)는 궤도기반 센서모델을 이용한 SPOT-5 HGR 입체영상의 3차원 위치결정 정확도에 대한 실험을 수행하였다.

국토지리정보원(2008)에서는 실제 접근불능 지역인 북한지역에 대하여 SPOT-5 위성영상을 이용한 수치지도 제작 사업을 수행하였다.

2.2 SPOT-5 궤도기반(Orbit Attitude) 센서모델링

2002년 3월에 발사된 SPOT-5는 고해상도 위성영상획득을 목적으로 하는 HRG(High Resolution Geometry) 센서 2대와 입체영상획득을 목적으로 하는 HRS(High Resolution Stereoscopic)센서, 식생에 대한 위치정확도를 향상시킨 VEGETATION-2 센서를 통해 다양하고 향상된 자료와 정보를 획득할 수 있다. SPOT-5의 공간해상도는 2.5m이고 촬영 폭이(60km) 매우 넓고 위성체를 회전하지 않고 반사경을 회전하여 촬영 각을 조절하는 것이 특징이다.

궤도기반모델은 비행체의 자세, 궤도 조정, 지상위성국의 자료를 이용한다. 궤도기반모델은 위성궤도와 위성천체력, 위치자료에 기반한 위성자세제어시스템을 통해 모델링을 수립하는 방법으로 물리적인 지형과 가장 근접하게 표현하는 기법이다. 궤도기반의 정밀센서 모

델수립을 위해서는 다양한 파라미터의 사용방식이 존재한다. 시간의 다항식 모형화 방법과 유사한 방식으로 하나의 위성영상에서 각각의 주사선에 대한 18개의 외부표정요소($\delta X_0, \delta X_1, \delta X_2, \delta Y_1, \delta Y_2, \delta Z_0, \delta Z_1, \delta Z_2, \delta \omega_0, \delta \omega_1, \delta \omega_2, \delta \phi_0, \delta \phi_1, \delta \phi_2, \delta \kappa_0, \delta \kappa_1, \delta \kappa_2$)를 구하기 위하여 다음의 공선조건식을 이용한다.

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \lambda R \begin{bmatrix} X - X_S \\ Y - Y_S \\ Z - Z_S \end{bmatrix} = \lambda R_a R_b \begin{bmatrix} X - X_S \\ Y - Y_S \\ Z - Z_S \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서, X_S, Y_S, Z_S 는 위성의 위치, x, y, z 는 SCS 좌표계에서 영상좌표, R 은 전체 회전행렬로서 행렬 R_a 와 행렬 R_b 로 구성($R=R_a R_b$)로 되며, R_a 는 위성의 자세 회전행렬, R_b 은 정방형 행렬로서 ECEF(Earth-Centered Earth-Fixed)좌표계의 X 축과 Z 축을 궤도 평면에 놓고 Y 축은 궤도 평면에 수직이며 Z 축이 위성의 공칭위치를 지나게 좌표계를 회전시키는 행렬이다.

내부표정은 영상에서 임의점에 대한 벡터의 크기와 방향을 결정하는 과정으로 투영중심, 초점거리, 영상 프레임상에서의 좌표를 이용하여 SCS 좌표계(Screen Coordinate System)의 x, y, z 를 계산하는 과정으로 그 수식은 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = R_T \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} \quad (2)$$

여기서, x, y, z 는 SCS좌표계에서 영상좌표이고 x', y', z' 는 SLCS 좌표계에서 영상좌표, R_T 는 SLCS 좌표계를 SCS 좌표계로 회전하는 행렬이다.

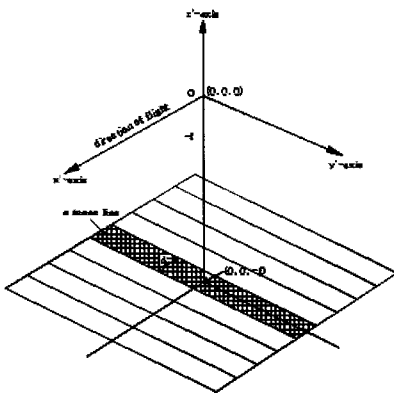


그림 1. SLCS 좌표계

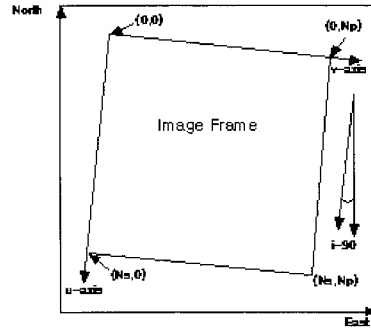


그림 2. 영상에서의 FCS 좌표계

외부표정은 위성의 위치(X_s, Y_s, Z_s)와 회전행렬 R 을 계산하는 처리 과정이다. 위성의 위치는 아래 식에 의해 계산되며, 행렬 R_b 도 함께 계산된다.

$$\begin{bmatrix} X_s \\ Y_s \\ Z_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_f \\ Y_f \\ Z_f \end{bmatrix} + \Delta S = R_b^T \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ D_s \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} \quad (3)$$

여기서, x_s, y_s, z_s 는 정확한 위성의 위치 좌표, x_f, y_f, z_f 는 위성의 궤도매개변수를 이용하여 계산된 위성의 위치, ΔS 는 위성의 위치 편위($[\Delta X, \Delta Y, \Delta Z]^T$), R_b 는 회전행렬이고 D_s 는 지구중심에서 위성의 공칭위치(S)까지의 거리이다.

3. 실험 데이터 구축

3.1. 실험데이터와 장비

본 연구를 수행하기 위하여 SPOT-5 위성영상, 지상기준점, 수치지도, HIST-DPW를 사용하였다. 먼저, SPOT-5 위성영상은 궤도기반센서모델링 검수를 위하여 8매(4 모델)를 사용하였으며, 지상기준점과 수치지도 중첩, 모델과 모델 인접간의 정확도 검수를 위해서는 궤도기반센서모델링 검수한 모델에 한 모델을 추가하여 총 10매(5모델)를 사용하였다. 각 모델은 상하로 인접부분이 존재하고 스트립간 모델인접이 존재하는 영상이다. 아래 표 1은 연구에 사용된 SPOT-5 위성영상의 재원이다.

3차원 위치결정을 위한 지상기준점은 모델 당 30~40여점을 선정하였다. 본 논문에서 사용한 지상기준점은 국토지리정보원에서 제공받은 자료를 이용하였으며, 정확도 비교를 위하여 사용한 수치지도는 2006년에 제작된

표 1. SPOT-5 위성영상 재원

구분	세부내용
공간해상도	2.5m
분광대역	흑백
촬영폭	12km×12km
촬영고도	약 800km
방사해상도	8bits
촬영지역	남한 서해안 지역
촬영시기	2004년~2006년



1/25,000축척 수치지도이다.

SPOT-5 궤도기반센서모델링의 정확도를 검증하기 위하여 HIST-DPW 수치사진측량시스템을 사용하였다. HIST-DPW는 한진정보통신(주)에서 2006년부터 개발을 시작하여 2007년 말 국토지리정보원의 수치사진측량시스템으로 인증 받은 국산장비로서 궤도기반센서모델링을 제공하는데, 지상기준점과 지상기준점의 영상좌표를 이용하여 SPOT-5영상을 입체시하여 수치도화 및 수치지도 정확도를 검증하는 것이 가능하다.

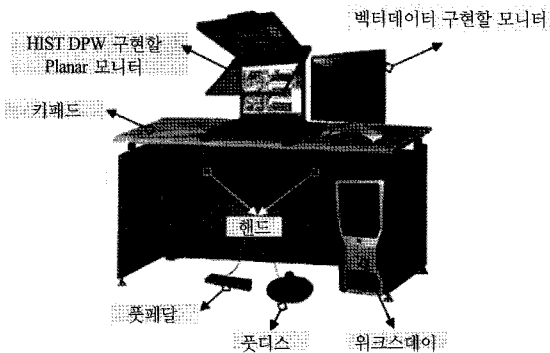


그림 3. HIST-DPW 수치사진측량시스템

3.2. 스테레오 입체시

스테레오 입체시를 수행하기 위하여 영상과, 기준점과 같은 데이터가 필요하며 표 2와 같다.

SPOT-5 위성영상을 스테레오 입체시하기 위해서는 경사각에 대한 축척고려와 Roll, Pitch, Yaw에 해당하는 각도만큼 영상을 회전시켜주어야 한다. SPOT-5 위성영상은 항공사진과 달리 연직방향이 아니고 경사촬영이다. 또한 경사촬영의 각도가 좌, 우측 영상이 각각 다르

표 2. 스테레오 입체시 데이터

입체시 데이터		내용
영상	좌측영상	TIF 원본 영상
	우측영상	영상에 해당하는 메타파일
지상기준점		X, Y, Z 좌표를 가진 지상기준점
영상좌표		기준점에 해당하는 영상상의 좌표

기 때문에, 실제 영상이 포함하고 있는 지상의 면적은 동일하지 않다. 이는 곧 경사촬영의 각도 차이에 의해 영상의 축척이 달라지게 된다. 따라서 영상의 축척은 X방향과 Y방향에 각각 생기게 되므로 입체시를 수행할 때 축척에 대하여 각각의 영상에 적용하였으며 또한, 회전각에 대한 고려를 통해서 좌, 우측 영상의 시차를 제거하였다.

4. SPOT-5 궤도기반 센서모델링 정확도 평가

4.1 파라미터별 궤도기반 센서모델링 정확도

궤도기반 센서모델링은 18개의 파라미터로 구성되어 있으며 파라미터 변수는 상관관계를 통하여 정확도에 영향을 미치게 된다. 따라서 파라미터별 지상기준점의 정확도를 검증하였다. 파라미터는 표 3과 같은 4가지 Type으로 조합하였다.

표 3. Type별 매개변수표

타입	매개변수
<Type 1>	Position bias, drift, acceleration : attitude bias $X_0, a_1, b_1, Y_0, a_2, b_2, Z_0, a_3, b_3, R_0, P_0, \psi_0$
<Type 2>	Position bias, drift, acceleration : Yaw bias, drift, acceleration $X_0, a_1, b_1, Y_0, a_2, b_2, Z_0, a_3, b_3, \psi_0, a_9, b_9$
<Type 3>	Position bias, drift, acceleration $X_0, a_1, b_1, Y_0, a_2, b_2, Z_0, a_3, b_3$
<Type 4>	Position bias, Attitude bias $X_0, Y_0, Z_0, R_0, P_0, \psi_0$

<타입1>은 시간에 따라 위성의 자세와 회전각을 변수로 설정한 것이고, <타입2>는 시간에 따라 위성의 자세와, Yaw 회전각을 변수로 설정한 것이다. <타입3>는 회전각은 상수로 놓고, 시간에 따른 위성의 자세만 변수로

설정한 것이고, <타입4>는 시간과 상관없이 위성의 자세와 회전각을 변수로 설정한 것이다. 4가지 타입에 대하여 8장의 SPOT-5 위성영상에 대한 궤도기반 센서모델링을 파라미터 Type별로 수행하였으며, 표 4는 Type별 정확도를 나타낸다.

표 4. 타입별 궤도기반센서모델링 정확도(단위:m)

Type	<Type 1>		<Type 2>		<Type 3>		<Type 4>	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
잔차평균	0.53	0.96	0.59	0.98	0.62	6.41	0.89	0.97
RMSE	0.76	1.20	0.81	1.20	0.82	7.20	1.14	1.22

<Type 1>이 4개의 타입 중 가장 높은 정확도를 나타냈으며 <Type 2>와 <Type 4>의 경우도 양호한 결과를 나타냈으나, <Type 3>은 Y방향으로 큰 오차를 가지고 있음을 알 수 있다.

4.2 수치도화기 지상기준점 정확도

수치도화기상에서 스테레오 입체시를 수행하고, 입체시상태에서 지상기준점에 대한 3차원 좌표를 도화기에서 추출하여 그 정확도를 검수하였다. 본 연구에서는 기준점 중 비교적 관측이 용이한 점을 추출하여 정확도 검수에 사용하였다. 그림 5는 지상기준점을 DPW와 중첩하고 이를 통한 영상과 지상기준점 오차검수과정을 나타낸 것이다.

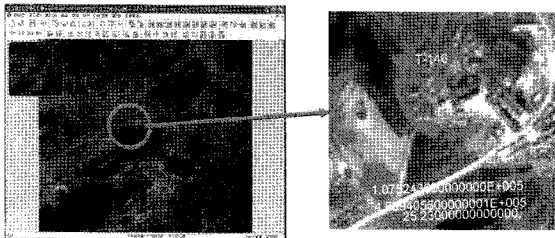


그림 4. 지상기준점 정확도 체크

총 4개 모델에서 육안으로 도화기의 부점(flotting Mark)을 지면에 일치화 시키는 작업(on the ground)을 하기 쉬운 90개 검사점에 대한 검수를 수행한 결과 표 5와 같이 최대오차는 4.9m, 표준편차는 2.13m로 나타났으며

표 5. 지상기준점 검수 결과(표고오차)

모델수	검사기 준점(점)	최소잔 차(m)	최대잔 차(m)	잔차평 균(m)	RMSE (m)
8	90	0.0	4.90	1.78	2.13

이는 1/25,000 축척 수치지도 제작기준에 적합한 결과를 나타내었다(표 6 참조).

표 6. 1/25,000 수치지도 제작기준

묘사오차	표준편차	평 면 :	5.0m
		표고점 : 3.0m	등고선 : 1.5m
최대오차	평 면 :	10.0m	
	표고점 :	5.0m	
	등고선 :	2.5m	

4.3 입체시 모델과 모델 인접 정확도

센서모델링 결과, 지상기준점의 오차량이 사진의 중심보다 사진의 외곽으로 갈수록 커지는 현상이 발생하였다. 모델 내에서는 오차가 허용오차 내에 들어 올 수 있으나, 인접과 인접부분은 오차가 누적되는 곳이기 때문에 모델과 모델 사이의 인접오차를 조사하여 정확도를 검수하고자 하였다.

5가지 모델의 인접 대상지역에 대하여 건물이나 도로와 같이 육안으로 확인이 구별이 가능한 158개 검사점에 대하여 인접과의 입체시를 중첩하였다. 정확도 검수 결과 표 7과 같이 나타났으며, 최대잔차는 평면으로 1m이 내, 높이오차는 1.23m 이내로 들어왔다. 한 픽셀의 지상 해상력이 2.5m인 것을 감안하면 이는 매우 높은 정확도로 인접이 일치함을 나타낸다고 할 수 있다.

표 7. 모델과 모델 인접 정확도

모델 수	검사기준점 (건물, 도로) 기준점 수	좌표	잔차 최소값 (m)	잔차 최대값 (m)	잔차 평균 (m)	RMSE (m)
			X	0.94	0.98	
5	158	Y	0.73	0.99	0.27	0.33
		Z	1.23	3.01	0.30	0.48

4.4 수치지도 중첩 정확도

1/25,000 수치지도를 이용하여 SPOT-5 궤도기반 센서 모델링의 정확도를 검수하였다. 5개의 모델에서 육안으로 검수가 용이한 건물과 도로의 257개점에 대해서 모델별로 수치지도를 중첩하여 정확도를 검수하였다.

표 8은 수치지도를 입체시 영상과 중첩하여 정확도를 검수한 결과이다. 평면오차는 최대 3m이내, 표고오차는

표 8. 수치지도 중첩 정확도

모델 수	검사기준점 (건물, 도로)		잔차 최소값 (m)	잔차 최대값 (m)	잔차 평균 (m)	RMSE (m)
	기준점 수	좌표				
5	257	X	3.06	3.12	0.61	0.86
		Y	2.64	3.25	0.68	0.89
		Z	3.06	3.87	0.65	0.95

최대 3.87m 이내, 표준편차는 평면, 표고 모두 1m 이내로 매우 양호하게 나타났다.

5. 결 론

본 연구에서는 SPOT-5 위성영상에 대하여 궤도기반 센서모델링을 적용하여 스테레오 입체시를 구현하였으며, 궤도기반모델에 사용한 파라메타별 정확도 검수, 수치도화기 입체시 상에서 지상기준점에 대한 정확도 검수, 모델과 모델 인접간의 인접정확도 검수 그리고 수치지도 중첩을 통한 정확도 검수의 4가지 방법으로 궤도기반센서모델링의 정확도를 검증해 보았다. 그리고 이를 통해 다음과 같은 결과를 도출할 수 있었다.

첫째, 궤도기반센서모델링은 4가지 타입의 파라메타 중 <Type 1> 또는 <Type 2>를 이용할 경우 평면오차 1m 이내로(X=0.76m, Y=1.20m) 가장 높은 정확도를 나타내었다. 둘째, 수치도화기상에서 지상기준점의 표고오차 2.13m이내이고, 수치지도와의 위치오차는 평면 0.87m, 표고 0.95m로 1/25,000축척 수치지도 제작기준의 허용오차 이내에 들어오며, 도화기상에서 입체시 어떤 모델에서도 시차가 발생하지 않는다는 것을 통해 SPOT-5 궤도기반센서모델을 이용하여 1/25,000축척의 수치지도 제작이 가능함을 알 수 있었다. 셋째, 모델과 모델의 인접오차는 X=0.33m, Y=0.35m, Z=0.45m로 인접오차는 거의 발생하지 않았다.

따라서 궤도기반센서모델링을 사용할 때의 파라메타는 <Type 1>이나 <Type 2>를 사용할 경우 양호한 결과를 얻을 수 있으며, 궤도기반 센서모델링과 스테레오 입체시를 통하여 1/25,000축척의 수치지도 제작이 가능함을 알 수 있다. 또 모델과 모델의 인접에서 오차가 발생하지 않기 때문에 항공사진을 이용한 항공삼각측량과 같이 최소한의 지상기준점만을 이용하여 여러 위성영상을 한꺼번에 모델링하는 것도 가능하리라 사료된다.

향후 다양한 센서모델링을 통한 정확도 비교분석과 위성별 센서모델링 결과를 비교분석하여 위성마다 사용 가능한 센서모델링과 제작가능한 수치지도의 축척을 조사하는 연구가 이루어져야 하겠다.

참고문헌

국토지리정보원 (2006), 접근불능지역 지리정보구축사업 결과보고서

국토지리정보원 (2008), 접근불능지역 지리정보구축 정확도 향상방안 및 표준화 연구보고서

국토지리정보원 (2006), 수치지도작성 작업내규

김태정 (2006), SPOT 위성영상에서의 위치-회전각 모델과 궤도-자세각 모델의 비교, 한국측량학회지, 한국측량학회, 제 24권, 제 1호, pp. 47-55.

김현숙 (2006), 궤도기반모델을 이용한 SPOT 위성 궤도모델링 정확도 분석, 한국지형공간정보학회지, 한국지형공간정보학회, 제 14권, 제 4호, pp. 27-36.

장용호 (2009), 궤도기반 모델을 이용한 SPOT-5 HGR 입체영상의 3차원 위치결정 정확도 평가, 석사학위논문, 서울시립대학교.

유복모, 토니 쉥크 (2003), 현대 디지털 사진측량학, 피어슨 에듀케이션 코리아, pp. 187-199.

Fraser, C. S., H. B. Hanley and T. Yamakawa (2002), Three-dimensional geopositioning accuracy of IKONOS imagery, *photogrammetric record*, Vol. 17, pp. 465-479.

Grodecki, J. and G. Dial (2003), Block adjustment of high-resolution satellite images described by rational polynomials, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 69, pp.59-68.

Fraser, C. S. and T. Yamakawa (2004), Insights into the affine model for high-resolution satellite sensor orientation, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 58, pp. 275-288.

Hanley, H. B., T. Yamakawa and C. S. Fraser (2002), Sensor orientation for high-resolution satellite imagery, *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 34, pp. 69-75.

Habib, A., H. Lin, and M. Morgan (2003), Line-based modified iterated Hough transform for automatic single photo resection, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 69, pp. 1351-1357.