

고해상도 인공위성데이터로부터 지상좌표 결정을 위한 궤도모델링 및 RFM기법 적용

서두천*, 양지연**, 이동한***, 임효숙****

The Application of Orbital Modeling and Rational Function Model for Ground Coordinate from High Resolution Satellite Data

Doo-Chun Seo*

Abstract

Generation of accurate ground coordinates from high resolution satellite image are becoming increasingly of interest. The primary focus of this paper is to compute satellite direct sensor model (DSM) and rational function model (RFM) for accurate generation of ground coordinates from high resolution satellite images. Being based on this we presented an algorithm to be able to efficiently ground coordinates about large area with introducing RFM(rational function model) method applied to rigorous sensor modeling standing on basis of satellite orbit dynamics and collinearity equation, and sensor modeling of high-resolution satellite data like IKONOS, QuickBird, KOMPSAT-2 and others. The general high resolution satellite measures the position, velocity and attitude data of satellite using star, gyro, and GPS sensors.

초 록

고해상도의 인공위성 데이터로부터 지상좌표를 해석하는 센서모델링 기술은 위성영상자료의 활용 확대 및 신뢰성 확보에 가장 중요한 연구부분으로서 이에 대한 연구과 증가되고 있다. 본 연구는 이러한 요구조건을 기본을 하여, 고해상도 인공위성에서 기본적으로 탑재되어 있는 GPS, Star-tracker, Gyro 등의 센서로부터 측정된 위성의 위치, 속도, 자세 및 시간 정보를 이용하여 위성자료로부터 지상좌표를 해석하는 direct sensor model (DSM)과 위성의 궤도 정보를 얻을 수 없는 경우나 궤도에 대한 정보가 불확실하여 물리적 센서모델로는 지형보정을 수행할 수 없는 경우에 사용될 수 있는 rational function model (RFM)의 적용하여 지상좌표를 해석하는 방법에 대해 살펴보고자 한다.

키워드 : 궤도모델링(Orbital Modeling), RFM, 지상좌표 결정(Ground Coordinate Determination)

접수일(2007년12월14일), 수정일(1차 : 2008년 10월 23일, 2차 : 2008년 10월 27일, 게재 확정일 : 2008년 11월 1일)

* 위성정보처리그룹/dcivil@kari.re.kr

** 위성정보처리그룹/dhlee@kari.re.kr

*** 위성정보처리그룹/jyang@kari.re.kr

**** 위성정보처리그룹/hslim@kari.re.kr

1. 서 론

지표면의 3차원 위치를 측정하거나 지형도를 제작하는 방법은 일반측량, 항공사진 측량 및 인공위성측량 등의 다양한 방법이 있다. 1999년 미국의 Space Imaging사의 IKONOS 위성은 1m 해상도의 영상을 제공하면서 고해상도 인공위성 데이터를 이용한 지상 3차원 위치 결정 연구가 비약적으로 발전하게 되었다. 특히 우리나라에서도 2006년 7월 다목적실용위성 2호를 성공적으로 발사하였다. 다목적실용위성 2호는 지상해상도가 4m인 다중과장대 영상과 1m의 흑백영상을 취득할 수 있는 MSC 센서를 가지고 있으며, 인공위성자료로부터 지상좌표를 해석하고, 위성을 제어하기 위하여 2개의 별관측 센서와 1개의 Gyro 센서를 가지고 있다.

그러나 인공위성에 탑재되어 있는 각종 센서에서 측정된 데이터는 우주환경, 발사환경 등에 의하여 각종 노이즈가 존재하게 된다.

위성이 일단 발사되면, 위성의 상태가 어떻게 변화하였는지는 아무도 모르게 된다. 단지 위성 설계 시에 고려된 설계치와 인공위성의 telemetry data들에 의해서만 일부 위성 상태를 판단할 뿐이다. 검보정 작업이란 위성이 발사된 후, 각종 센서들로부터 측정된 인공위성 자료로부터 인공위성 데이터의 품질과 직간접적으로 관계가 있는 인공위성의 상태를 추출하고, 추출된 정보를 통해 가능한 범위 내에서 인공위성자료의 품질을 향상시킬 수 있는 요소를 인공위성에 명령을 통해 조정하고 위성 영상자료 처리과정을 최적화하여 최상의 위성 영상자료 품질을 확보하는 작업이라고 할 수 있다.

본 연구는 일반적으로 고해상도 인공위성에서 기본적으로 탑재되어 있는 GPS, Star-tracker, Gyro 등의 센서로부터 측정된 위성의 위치, 속도, 자세 및 시간 정보를 이용하여 위성자료로부터 지상좌표를 해석하는 direct sensor model (DSM)과 위성의 궤도 정보를 얻을 수 없는 경우나 궤도에 대한 정보가 불확실하여 물리적 센서모델로는 지형보정을 수행할 수 없는 경우에

사용될 수 있는 rational function model (RFM)의 적용하여 지상좌표를 해석하는 방법에 대해 살펴보고자 한다. 또한 고해상도 위성자료인 다목적실용위성 2호 위성보조자료만을 이용하여 지상좌표 결정정확도와 RFM의 특성에 대하여 살펴보고자 한다.

2. 센서모델링

기준점을 사용하지 않고, 위성자료로부터 지상좌표를 결정하기 위해서는, 자세데이터, 위치/속도데이터에 포함되어 있는 계통적 오차를 제거하여야 한다. 이러한 계통적 오차는 크게 위성 센서들 사이에 존재하는 mis-alignment angle, thermal 오차, time delay 오차 등이 있으며, 이러한 오차를 전처리 과정에서 제거한 후 사용자에게 제공되어야 한다. 이를 위해 일반적인 고해상도 인공위성은 GPS, Star-tracker, Gyro 등의 센서로부터 측정된 데이터를 지상에서 2차 처리하여 정밀한 인공위성의 자세, 위치, 속도 및 시간정보를 생성한다. 이를 POD (Precise Orbit Determination), PAD(Precise Attitude Determination) 데이터라 정의한다.

센서모델링은 입체영상데이터 또는 단영상으로부터 공선조건식 또는 궤도 모델링식을 수립한 후, 영상의 위치, 속도 자세등의 외부표정요소를 결정하여, 결정된 외부표정요소 또는 공간교차이론을 적용하여 실제로 입체영상데이터로부터 획득한 동일점에 대하여 3차원 지상좌표를 획득하는 것을 말한다.

인공위성데이터의 경우는 필요한 센서모델링 방식은 항공사진의 경우 보다 다소 복잡하다. 그 이유는 항공영상과 달리 푸쉬브룸 방식의 위성영상은 카메라의 위치가 촬영하는 도중에 계속 변할 뿐만 아니라 위성의 자세도 자세제어 방식에 따라 변화하기 때문이다.

위성 센서모델링은 카메라(센서) 투영중심, 사

진상의 점, 지상물체간의 기하학적인 관계를 규명하는 방법에 따라 물리적모델(physical model), 추상적모델(abstract model) 및 일반적모델(generalized model)의 세 가지로 크게 구분된다.

2.1 물리적 모델(DSM)

물리적모델은 센서와 촬영대상물간의 방향성, 위치 등의 물리적 혹은 기하학적인 관계를 모델링하여 관계식을 세우고 이 관계식의 계수를 추정하는 방식으로 센서의 모델링을 수행한다. 물리적모델의 계수는 대상물의 위치를 규정하는 좌표공간과 센서 위치와 자세 사이의 관계를 규정하는 외부표정요소, 영상에서 관측된 대상물의 좌표를 센서의 투영중심을 원점으로 하는 좌표계로 변화시키는 내부표정요소로 구분된다. 내부표정은 센서의 초점거리, 영상의 취득시간 및 영상의 크기 등과 같은 요소에 의해 일정한 값으로 고정되는 반면에 외부표정은 위성의 자세제어 방식, 영상의 취득할 당시의 위성의 자세와 위치에 따라 각각 다른 형태로 표현된다.

물리적모델은 위성케도역학에 기반을 둔 모델과 공선조건식을 이용한 모델로 구분된다. 위성케도역학을 이용한 센서모델로서 벡터 진행 모델이 있다. 이 모델은 먼저 위성 카메라 내부에서 주어진 검출기 소자의 위치를 벡터로 나타내고, 이 벡터를 단계적으로 그림 1과 같이 센서좌표계, 위성좌표계, 위성케도좌표계, 지심좌표계로 변환한다.

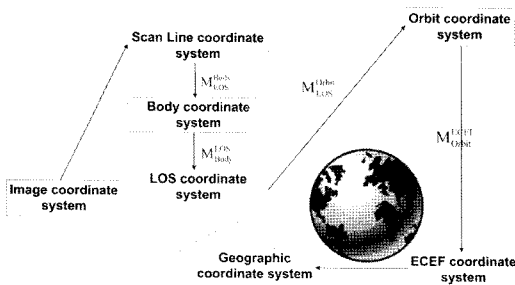


그림 1. Direct Sensor Modeling

이때 변환된 검출기 소자의 위치벡터와 지심좌표계상의 기준단원체와의 교점이 해당 검출기 소자에 나타난 촬영대상의 지상좌표값이 된다. 이 모델은 지상기준점이 없어도 정확한 위성케도 정보만 가지고 모델링이 가능하므로 위성 영상의 전처리 과정에 흔히 사용되는 방식이다.

영상좌표로부터 지상3차원 좌표를 결정하기 위해서는 총 7개의 단계의 좌표변환이 수행되며, 각 단계마다의 좌표 변환은 위치, 속도, 자세, mis-alignment angle이 적용되어야 한다. 그림 1은 이러한 좌표변화 흐름을 나타낸 것이다.

임의의 영상좌표(u,v)에서 지상좌표의 계산은 다음의 식과 같다.

$$\begin{bmatrix} X-X_s \\ Y-Y_s \\ Z-Z_s \end{bmatrix} = k \cdot M_{Orbit}^{ECEF} \cdot M_{LOS}^{Orbit} \cdot M_{Body}^{LOS} \cdot M_{AL}^{Body} \cdot M_{EOS}^{AL} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서,

M_{Orbit}^{ECEF} : from Orbit Coordinate System to ECEF

$$\bar{Z} = \frac{\bar{P}}{\|\bar{P}\|}, \quad \bar{Y} = \frac{\bar{Z} \times \bar{V}}{\|\bar{Z} \times \bar{V}\|}, \quad \bar{X} = \bar{Y} \times \bar{Z}$$

$$M_{Orbit}^{ECEF} = \begin{bmatrix} (X)_x & (Y)_x & (Z)_x \\ (X)_y & (Y)_y & (Z)_y \\ (X)_z & (Y)_z & (Z)_z \end{bmatrix}$$

M_{LOS}^{Orbit} : from LOS Coordinate System to Orbit Coordinate System

$$M_{Body}^{Orbit} = R_{Yaw} \cdot R_{Pitch} \cdot R_{Roll}$$

$$R_{roll} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \xi_r & \sin \xi_r \\ 0 & -\sin \xi_r & \cos \xi_r \end{bmatrix}$$

$$R_{Pitch} = \begin{bmatrix} \cos \xi_p & 0 & -\sin \xi_p \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \xi_p & 0 & \cos \xi_p \end{bmatrix}$$

$$R_{\text{Yaw}} = \begin{bmatrix} \cos \xi_y & \sin \xi_y & 0 \\ -\sin \xi_y & \cos \xi_y & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$M_{\text{Body}}^{\text{LOS}}$: from Body Coordinate System to LOS Coordinate System

$M_{\text{AL}}^{\text{Body}}$: from EOS cube #1 & #2 Coordinate System to Body Coordinate System

$M_{\text{EOS}}^{\text{AL}}$: from EOS Coordinate System to EOS cube #1 & #2 Coordinate System

$[x, y, z]^T$: Scan line coordinate

$[X_s, Y_s, Z_s]^T$: Satellite position

$[X, Y, Z]^T$: 3-D Ground coordinate

k : scale factor

2.2 추상적 모델(RFM)

추상적모델은 앞 절의 물리적모델과 달리 센서의 물리적인 조건인 위성의 위치, 자세 등을 고려하지 않는 모델이다. 물리적모델을 사용하기 위해서는 위성의 궤도정보 및 센서의 정보를 가지고 있어야 하며, 영상을 취득하는 센서의 종류에 따라 센서모델이 달라지는 단점도 있다. 또한 물리적모델은 일반적으로 위성궤도 역학을 고려한 매우 복잡한 과정을 거쳐야 얻을 수 있는 모델이므로 보다 단순화된 모델을 구성하여 쉽게 센서모델링을 수행하는 것이 더 나을 경우도 있다. 추상적모델은 이러한 배경에서 제안된 모델이다.

대표적인 추상적모델에는 직접선형변환과 RFM (Rational Function Model)이 있다. RFM을 이용한 센서모델링은 위성궤도정보를 제공하지 않은 고해상도 영상에서 현재 널리 사용되고 있는 센서모델링 기법이다.

RFM은 촬영 대상공간상에 존재하는 지형지물의 3차원좌표와 이에 대응하는 영상좌표간의 기하학적인 관계를 비례다항식의 형태로 표현하는 모델이다. 이 모델은 2차원 평면내에서 좌표변형

에 사용되는 고차다항식을 기본방정식으로 개발된 모델로서, 지상 3차원 좌표(X, Y, Z)와 이에 대응하는 영상좌표(r, c)를 비례다항식 형태로 표현하면 다음과 같다.

$$r_n = \frac{P1(X_n, Y_n, Z_n)}{P2(X_n, Y_n, Z_n)} \quad c_n = \frac{P3(X_n, Y_n, Z_n)}{P4(X_n, Y_n, Z_n)} \quad (2)$$

위의 식(2)에서 지상좌표와 영상좌표는 수학적 안정성을 높이기 위해 -1.0과 1.0사이의 좌표값으로 정규화 시켜 사용하며, 정규화의 방법은 식(3)과 같다.

$$r_n = \frac{r - r_o}{r_s}, \quad c_n = \frac{c - c_o}{c_s},$$

$$X_n = \frac{X - X_o}{X_s}, \quad Y_n = \frac{Y - Y_o}{Y_s}, \quad Z_n = \frac{Z - Z_o}{Z_s} \quad (3)$$

여기서, r_o, c_o, X_o, Y_o, Z_o 와 r_s, c_s, X_s, Y_s, Z_s 는 사용된 영상과 지상의 기준점 좌표로부터 계산되는 offset과 scale factor로 식(4)와 같이 계산된다.

$$r_o = \frac{r_{\max} + r_{\min}}{2} \quad r_s = \frac{r_{\max} - r_{\min}}{2}$$

$$c_o = \frac{c_{\max} + c_{\min}}{2} \quad c_s = \frac{c_{\max} - c_{\min}}{2}$$

$$X_o = \frac{X_{\max} + X_{\min}}{2} \quad X_s = \frac{X_{\max} - X_{\min}}{2}$$

$$Y_o = \frac{Y_{\max} + Y_{\min}}{2} \quad Y_s = \frac{Y_{\max} - Y_{\min}}{2}$$

$$Z_o = \frac{Z_{\max} - Z_{\min}}{2} \quad Z_s = \frac{Z_{\max} + Z_{\min}}{2} \quad (4)$$

RFM을 구성하는 다항식인 $P1, P2, P3$ 및 $P4$ 는 일반적으로 최대 3차항까지로 제한되며 이들 다항식의 구성방식은 식(5) 및 식(6)과 같다.

$$P(X, Y, Z) = \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^i \sum_{k=0}^j a_n X^{i-j} Y^{j-k} Z^k \quad (5)$$

여기서, N 은 다항식 차수, a_n 은 RPC 나타내며 아래첨자인 n 은

$$n = \frac{i \cdot (i+1) \cdot (i+2)}{6} + \frac{j \cdot (j+1)}{2} + k \text{로 정의된다.}$$

그러므로 각 다항식 계수의 총 개수는 $\frac{(N+1)(N+2) + (N+3)}{6}$ 이다. 예를 들어 N 이 3인

경우에는 3차다항식을 형성하게 되는데 이때 분자항 계수는 20개, 분모항 계수는 상수 1을 제외한 19개로 이루어지므로 총 39개의 계수가 존재하게 된다.

RPC를 구성하는 각 차수항중 1차항 계수는 투영왜곡, 2차항 계수는 지구곡률, 대기굴절, 렌즈왜곡 그리고 3차항 계수는 이들 이외의 나머지 왜곡들을 보정하며, 된다.

RFM의 각 계수는 최소제곱법을 통하여 결정되는데, 최소제곱법은 기준점 좌표의 (x, y) 및 (X, Y, Z) 를 사용하여 잔차의 제곱합이 최소가 될 때의 미지계수를 구하는 방법이다.

식(2)에서 잔차항 (v_x, v_y) 로 정리하면

$$v_x = \left[\frac{1}{B} \frac{X}{B} \frac{Y}{B} \frac{Z}{B} \dots - \frac{xY}{B} \dots - \frac{xYZ^2}{B} - \frac{xZ^3}{B} \right] \cdot J - \frac{x}{B}$$

$$v_y = \left[\frac{1}{D} \frac{X}{D} \frac{Y}{D} \frac{Z}{D} \dots - \frac{yY}{D} \dots - \frac{yYZ^2}{D} - \frac{yZ^3}{D} \right] \cdot K - \frac{y}{D} \quad (6)$$

또는,

$$Bv_x = [1 \ X \ Y \ Z \ \dots \ -xY \ \dots \ -xYZ^2 \ -xZ^3] \cdot J - x$$

$$Dv_y = [1 \ X \ Y \ Z \ \dots \ -yY \ \dots \ -yYZ^2 \ -yZ^3] \cdot K - y \quad (7)$$

여기서,

$$B = (1 \ X \ Y \ Z \ \dots \ YZ^2 \ Z^3) \cdot (1 \ b_1 \dots b_{19})^T$$

$$J = (a_0 a_1 \dots a_{19} \ b_1 b_2 \dots b_{19})^T$$

$$D = (1 \ X \ Y \ Z \ \dots \ YZ^2 \ Z^3) \cdot (1 \ d_1 \dots d_{19})^T$$

$$K = (c_0 c_1 \dots c_{19} \ d_1 d_2 \dots d_{19})^T \quad (8)$$

식(8)의 미지계수인 $a_0 \sim b_{19}$ 및 $c_0 \sim d_{19}$ 는 총 78개로서, 최소제곱법의 원리를 적용하여 미지계수를 구하기 위해서는 최소 39개의 기준점이 있어야 한다. 이들 기준점수(n)를 모두 고려하여 행렬로 나타내면

$$\begin{matrix} V_x & = & M & J & - & R \\ (n,1) & & (n,39) & (39,1) & & (n,1) \end{matrix}$$

$$\begin{matrix} V_y & = & N & K & - & C \\ (n,1) & & (n,39) & (39,1) & & (n,1) \end{matrix} \quad (9)$$

위의 두 행렬을 하나의 행렬로 표현하면

$$\begin{bmatrix} V_x \\ V_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M & 0 \\ \dots & \dots \\ 0 & N \end{bmatrix} \begin{bmatrix} J \\ \dots \\ K \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} R \\ \dots \\ C \end{bmatrix} \quad (10)$$

식(10)을 n 개의 기준점과 m 개의 계수항에 대해 라인과 칼럼으로 간단히 표현하면 다음과 같은 관측방정식이 성립한다.

$$\begin{matrix} V & = & T & I & - & G \\ (2n,1) & & (2n,2m) & (2m,1) & & (2n,1) \end{matrix} \quad (11)$$

I 항을 구하기 위하여 최소제곱법을 적용하면

$$T^T W T I - T^T W G = 0 \quad (12)$$

로 선형화된다. 식(12)을 I 에 관하여 정리하면 rational function의 계수행렬이 구하여 진다.

최소제곱법에 의한 반복해를 구하는 방법은 다음과 같다. 먼저 W_x, W_y 를 단위행렬(identity matrix)로 가정하여, 식(12)와 같은 행렬을 구성한다. 다음으로 $I = (T^T W T)^{-1} (T^T W G)$ 와 W 를 구한 후, $G = T I$ 일 때까지 반복 계산하여, I 의 계수행렬을 구한다.

3. 실험 및 평가

3.1 DSM

본 연구에 사용된 데이터는 다목적실용위성 2호 영상으로서 2007년 2월 17일부터 2008년 2월 9까지의 총 121개 영상에 대하여 지상좌표의 결정정확도를 살펴보았다. 아래의 그림은 본 연구에 사용된 영상데이터의 위치를 나타낸 것으로 빨간색 원이 실제 사용된 영상의 위치를 나타낸 것이다.

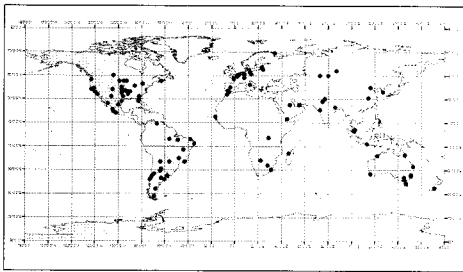


그림 2. 테스터 위성자료

영상의 기하학적인 정확도를 평가하기 위해서는 영상기준점과 이에 대응하는 지상기준점이 있어야 한다. 영상기준점은 지형지물의 반사특성이 대조를 이루는 지형지물의 위치를 선택하여, 픽셀 이하 단위로 읽었다. 영상기준점에 대응하는 지상기준점은 GoogleEarth로부터 획득하였으며, 각 영상마다 약 16여점 정도이다.



그림 3. 지상기준점 분포도(샘플)
(노랑색: 영상경계 영역)

그림 4는 사용된 자료의 지상좌표 결정 정확도를 종합적으로 나타낸 것이다. 지상좌표는 "2.1 물리적 모델(DSM)"와 같이 위성의 GPS, Star-tracker, Gyro 센서에 측정된 위성 위치, 자세, 속도 및 시간 정보만을 이용하여 지상좌표를 결정한 후, 결정된 좌표와 reference 좌표 차이를 각 영상마다 구하였다. 이를 다시 CE90으로 변환하여 지상좌표 결정오차를 50미터에서 120미터까지 도수분포도 형태로 나타낸 것이다. 사용된 데이터의 평균 지상좌표 결정 정확도 51.65미터(CE90)로 비교적 우수하게 나타났다.

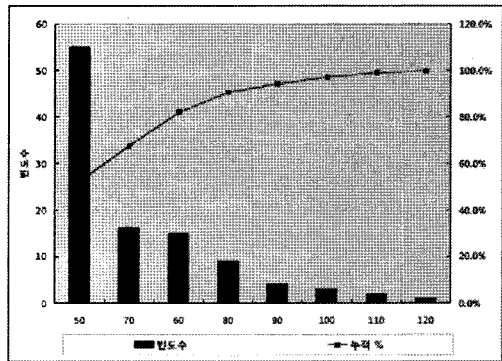


그림 4. 위성보조데이터만을 이용한 지상좌표 결정 정확도(CE90)

3.2 RFM

다목적실용위성 2호 영상은 위치추산력 데이터 뿐 만 아니라, 촬영 대상공간상에 존재하는 지형지물의 3차원좌표와 이에 대응하는 영상좌표 간의 기하학적인 관계를 비례다항식의 형태로 표현하는 RPC도 제공한다. 제공된 RPC의 표고에 따른 특성을 살펴보기 위해, RPC에 표고를 변화시키면서 그 변화 특성을 살펴보았다.

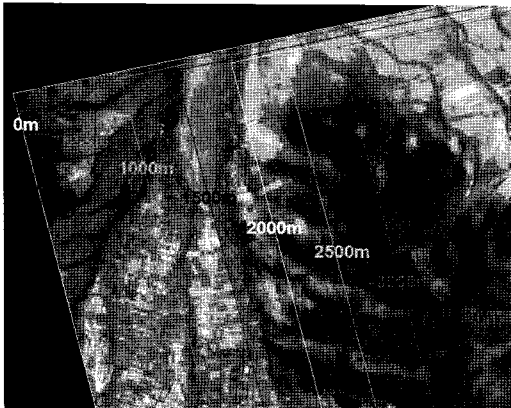


그림 5. 표고에 따른 RPC 특성

그림 5는 표고 변화에 따른 RPC의 특성을 나타낸 것으로 표고의 정보에 따라 생성되는 영상의 위치가 이동되는 현상이 관찰된다. 즉 위성영상은 지형의 표고와 경사관측각에 따라 지형기복 변위가 존재하며, 이를 보정하기 위해서는 사용자가 입력한 표고 정보에 따라 영상좌표 해석이 달라져야 한다. 즉 사용자에게 제공되는 RPC는 이러한 특성을 가지고 있어야 하며, 그 특성을 간접적으로 나타내는 것이 그림 5이다.

RPC의 실제 정확도를 살펴보기 위해 RPC, DEM, GCP를 사용하여 정사영상을 생성하였다.

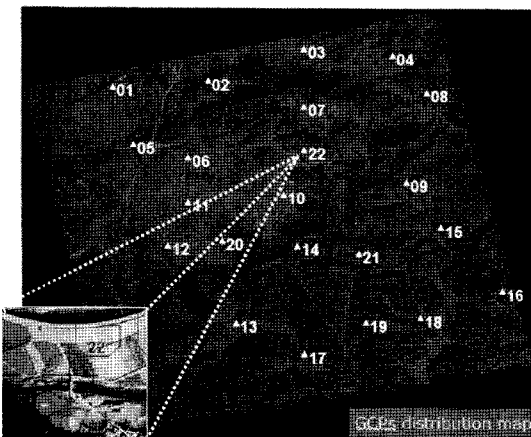


그림 6 생성된 정사영상 및 지상기준점

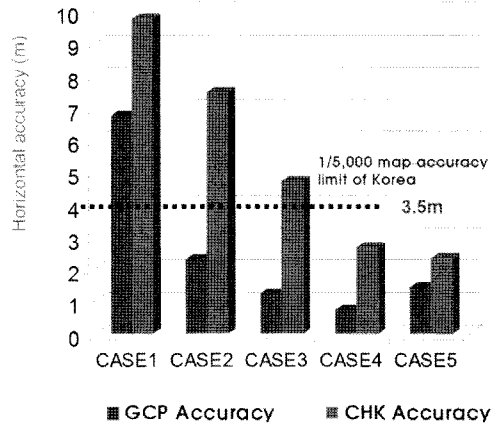


그림 7. RPC를 이용한 정사영상의 정확도

표 3 지상기준점 수에 따른 정사영상의 정확도

CASE	NO of point	Horizontal Accuracy		RM SE (m)	Refine RPC Order
		X	Y		
1	GCP 1	6.33	2.41	6.77	0
	CHK 21	7.09	6.77	9.80	
2	GCP 3	0.77	2.20	2.33	1
	CHK 19	3.06	6.85	7.50	
3	GCP 5	0.59	1.09	1.24	1
	CHK 17	2.58	3.97	4.74	
4	GCP 8	0.54	0.50	0.74	2
	CHK 14	1.75	2.03	2.68	
5	GCP 15	1.06	0.99	1.45	2
	CHK 7	1.47	1.86	2.37	

RPC를 이용한 정사영상에 사용된 지상기준점과 DEM은 1:5000 수치지도로부터 생성하였다. 우리나라에서 제작되고 있는 1:5,000 수치지도의 정확도는 약 3.5미터 정도이다. 그림 7과 표 3을 보면 KOMPSAT-2를 이용하여 1:5,000 수치지도의 정확도를 확보하기 위하여 필요한 최소 기준점으로 약 8점 정도이면 되는 것을 알 수 있으며, KOMPSAT-2를 이용하여 수치영상지도를 제작할 수 있는 가능성을 알 수 있다.

4. 결 론

본 연구는 일반적으로 고해상도 인공위성에서 기본적으로 탑재되어 있는 GPS, Star-tracker, Gyro 등의 센서로부터 측정된 위성의 위치, 속도, 자세 및 시간 정보를 이용하여 위성자료로부터 지상좌표를 해석하는 direct sensor model (DSM)과 위성의 궤도 정보를 얻을 수 없는 경우나 궤도에 대한 정보가 불확실하여 물리적 센서 모델로는 지형보정을 수행할 수 없는 경우에 사용될 수 있는 rational function model (RFM)의 수치해석을 통하여 지상좌표를 결정하는 방법에 대해 살펴보았다. 이러한 결과를 바탕으로, 고해상도 인공위성자료인 다목적실용위성 2호의 위성 보조자료만을 이용한 DSM의 지상좌표 결정 정확도가 51.65미터(CE90)로 비교적 우수하게 나타났다. 또한 RPC, GCP 및 DEM을 이용하여 1:5,000 정확도를 가지는 정사영상지도 생성하였으며, 이때 필요한 최소 기준점은 8점 정도였다.

이와 같은 결과는 다목적실용위성 2호를 이용하여 국토관리, 도시계획, 각종 주제도 제작 등의 2차적인 위성자료 활용에 있어서 다목적실용위성 2호가 충분한 정확도로 정보를 획득 할 수 있음을 나타내는 것이다.

참 고 문 헌

1. Baltasvias, E., M. Pateraki, and L. Zhang, 2001. Radiometric and geometric evaluation of IKONOS GEO images and their use for 3-D building modeling, Proceedings of ISPRS Joint Workshop "High Resolution Mapping from Space" 2001, 19-21 September, Hanover, Germany.
2. Chen, L., Lee, L. 1993, Rigorous generation of digital orthophotos from SPOT images. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 59(5): 655-61.
3. Davis, C. H., and X. Wang, 2001. Planimetric Accuracy of IKONOS 1-m Panchromatic Image Products, Proceedings of ASPRS Annual Convention 2001 (CD-ROM), 25-27 April, 2001, St. Louis, MO, American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Bethesda, Maryland, unpaginated.
4. Grodecki, J., 2001. IKONOS stereo feature extraction-RPC approach, Proceedings of ASPRS 2001, St.Louis, April 23-27, 2001.
5. Grodecki, J., Dial, G., 2003. Block adjustment of high-resolution satellite images described by rational functions, PE&RS,69(1),pp.59-69.
6. Grodecki, J., G. Dial, and J. Lutes, 2004. Mathematical model for 3D feature extraction from multiple satellite images described by RPCs, Proceedings of ASPRS 2004, Denver,May23-28,2004.
7. Gupta, R. and R. I. Hartley, 1997. Linear Pushbroom Cameras, IEEE Transactions on Pattern Analysis And Machine Intelligence, 19(9): 963-975.
8. Ji, M. and J. R. Jensen, 2000. Continuous Piecewise Geometric Rectification for Airborne Multispectral Scanner Imagery, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 66(2): 163-171.
9. Lee, C., H. J. Theiss, J. S. Bethel and E. M. Mikhail, 2000. Rigorous Mathematical Modeling of Airborne Pushbroom Imaging System, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 66(4): 385-392.
10. Li, R., 1998. Potential of High-Resolution Satellite Imagery for National Mapping Products, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 64(2): 1165-1169.

11. OpenGIS Consortium 1999, The OpenGIS Abstract Specification - Topic 7: The Earth Imagery Case,
<http://www.opengis.org/public/abstract/99-107.pdf>.
12. Tao, V., Hu, Y., 2001a. A comprehensive study on the rational function model for photogrammetric processing,
 PE&RS,67(12),pp.1347-1357.
13. Yang, X., 2000. Accuracy of rational function approximation in photogrammetry,
 ASPRSAnnualConference,22-26May,11p.