

## 다목적실용위성2호 위치정확도 특성

서두천\*, 박지용\*\*, 최혜선\*\*\*, 정재현\*\*\*\*, 홍기병\*\*\*\*\*, 이선구\*\*\*\*\*

## Characteristics of Location Accuracy in KOMPSAT-2

Doo-Chun Seo\*, Ji-Yong Park\*\*, Hea-Sun Choi\*\*\*, Jae-heon Jung\*\*\*\*, Ki-Byung Hong\*\*\*\*\*,  
Sun-Gu Lee\*\*\*\*\*

### Abstract

The KOrea Multi-Purpose SATellite-2 (KOMPSAT-2) is to provide 1.0 m Ground Sample Distance (GSD) panchromatic image and 4.0 m GSD multi-spectral image data for various applications. The KOMPSAT-2 system performs mission applications in the field of earth observations, covering land, sea, coastal zones, and Geographic Information Systems (GIS).

The purpose of this document is to compute ground coordinate using satellite position, velocity and attitude data in KOMPSAT-2 and document for work-flow of location accuracy correction in KOMPSAT-2.

### 초 록

다목적실용위성 2호(이하 KOMPSAT-2)는 고해상도 1.0m 흑백영상을 촬영할 수 있는 PAN 카메라와 4.0m 다중파장대의 칼라 영상을 수집할 수 있는 멀티스펙트럴 카메라를 탑재하고 있다. 이를 통하여 취득한 위성영상은 국토관리, 농업, 환경, 해양감시 및 GIS 등의 광범위한 분야에 활용되고 있다. 본 연구는 KOMPSAT-2 자료를 이용하여 지상좌표를 해석하는 방법과 해석된 지상좌표의 위치정확도를 KOMPSAT-2 시스템 요구사항인 위치정확도를 만족시키기 위해 현재 적용되고 있는 위치정확도 보정계수 산출절차를 정의하는 것을 목적으로 한다.

키워드 : 다목적실용위성2호(KOMPSAT-2), 위치정확도(Location Accuracy), 보정계수(Correction Coefficients)

### 1. 서 론

우리나라는 2006년 7월 다목적실용위성 2호(이하 KOMPSAT-2)를 성공적으로 발사하였다.

KOMPSAT-2는 지상해상도가 4m인 다중파장대 영상과 1m의 흑백영상을 취득할 수 있는 MSC 센서를 가지고 있으며, 인공위성자료로부터 지상 좌표를 해석하고, 위성을 제어하기 위하여 2개의

접수일(2013년 4월 1일), 수정일(1차 : 2013년 6월 9일, 게재 확정일 : 2013년 7월 1일)

\*자료처리/검보정팀/dcivi@kari.re.kr \*\* 카스타/tion419@xmail.kari.re.kr \*\*\*카스타/heasunny@xmail.kari.re.kr  
\*\*\*\*카스타/jjh583@xmail.kari.re.kr \*\*\*\*\*자료처리/검보정팀/kbhong@kari.re.kr \*\*\*\*\*자료처리/검보정팀/leesg@kari.re.kr

별관측 센서와 1개의 Gyro 센서를 가지고 있다.

인공위성에 탑재되어 있는 각종 센서에서 측정된 데이터는 우주환경, 발사환경 등에 의하여 각종 노이즈 및 발사전 센서간 정렬특성이 다른 정렬오차가 발생하게 된다. 위성이 일단 발사되면, 위성 특성 변화 추정에 어려우며, 특성값 결정 또한 많은 제약사항이 따르게 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 및 영상자료로부터 위성상태를 직·간접적으로 추정하고, 추정된 정보를 통해 가능한 범위 내에서 인공위성 및 영상자료의 품질을 향상시킬 수 있는 요소를 인공위성에 명령을 통해 조정하는 작업이다. 또한 영상자료 처리과정을 최적화하여 최상의 위성 영상자료의 품질을 확보하는 작업이라고 할 수 있다.<sup>1)</sup>

본 연구는 KOMPSAT-2 자료를 이용하여 지상좌표를 해석하는 방법과 해석된 지상좌표의 위치정확도를 KOMPSAT-2 시스템 요구사항인 위치정확도를 만족시키기 위해 현재 적용되고 있는 위치정확도 보정계수 산출절차를 정의하는 것을 목적으로 한다.

## 2. KOMPSAT-2 Sensor Model

KOMPSAT-2 자료로부터 지상좌표 결정은 Direct Geo-Referencing Model의 물리적 센서모델로 통해 결정한다. 일반적으로 센서모델링이란 영상데이터로부터 공선조건식을 세우고 최소제곱법에 의하여 각 영상의 외부표정요소를 산출한 후, 구하여진 외부표정요소와 공간교차이론을 적용하여 실제로 입체영상데이터로부터 획득한 동일점에 대하여 3차원 지상좌표를 획득하는 것이다 정의한다.<sup>3)</sup> KOMPSAT-2의 Direct Geo-Referencing Model은 위성궤도역학을 이용한 센서모델로서 벡터 진행 모델을 기반으로 하며, 이 모델은 먼저 위성 카메라 내부에서 주어진 검출기 소자의 위치를 벡터로 나타내고, 이

벡터를 단계적으로 그림 1과 같이 센서좌표계, 위성좌표계, 위성궤도좌표계, 지심좌표계로 변환한다. 이때 변환된 검출기 소자의 위치벡터와 지심좌표계상의 기준타원체와의 교점이 해당 검출기 소자에 나타난 촬영대상의 지상좌표로 결정한다. 이 모델은 지상기준점이 없어도 정확한 위성궤도 정보만 가지고 모델링이 가능하므로 위성영상의 전처리 과정에 일반적으로 사용되는 모델이다. KOMPSAT-2 위성자료로부터 지상좌표를 계산하는 Direct Geo-Reference Model은 그림 1과 같이 6단계의 좌표변환을 통하여 이루어지며, 각 단계의 좌표계는 다음과 같이 정의한다.

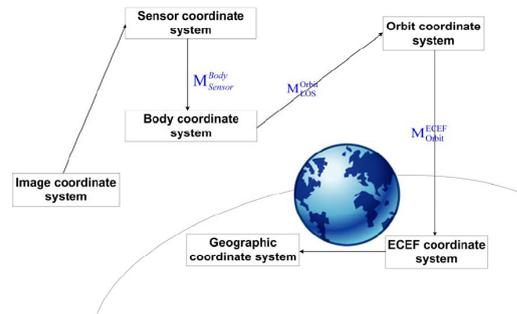


그림 1. KOMPSAT-2 Direct Geo-Reference Model

영상좌표계는 행(column)과 열(row)로 구성되며,  $u$ 축은 비행방향으로서 열의 증가방향,  $v$ 축은 비행방향에 직각인 방향으로 행의 증가방향이다. KOMPSAT-2와 같이 위성이 남에서 북으로 이동하면서 촬영되는 영상은 영상의 우측하단이 원점이다.

센서좌표계( $x_s, y_s, z_s$ )는 센서중심에서 지구바깥쪽 방향인 Z축, 위성의 진행 반대 방향(CCD Array)인 Y축, 우수 좌표계인 X축으로 구성되어 있으며, Level 1A 또는 Level 0에서 각각의 band(PAN, MS1, MS2, MS3, MS4)별로 독립된 센서좌표를 가진다.

Body좌표계( $x_b, y_b, z_b$ )는 센서중심에서 지구중심 방향인 Z축, 위성의 진행방향인 X축, Y축은 X축과 Y축의 직교방향(우수좌표계)이다.

궤도좌표계는 위성의 질량중심을 원점으로 하

여 위성진행방향인 X축, 지구중심방향(PAN 카메라의 bore-sight 방향)인 Z축, X축과 Y축의 직교방향인 Y축으로 구성된다.

지심좌표계는 지구 질량중심을 원점으로 하여 X축은 BIH(Bureau International de l'Heure)의 본초자오선과 CTP(1984.0)의 적도면이 형성하는 교차점의 방향이고, Z축은 BIH에서 결정한 CTP(Conventional Terrestrial Pole, 1984.0)방향이며, Y축은 X축과 Z축의 직교방향(우수좌표계)이다.

경위도좌표계는 WGS 84 기준계를 기반으로 위도, 경도, 표고(latitude, longitude, height)로 나타내며 표고의 기준은 WGS 84 회전타원체이다.

지상좌표는 다음의 식을 통하여 결정한다.

<주변환식>

$$\begin{bmatrix} x_b \\ y_b \\ z_b \end{bmatrix} = \frac{1}{\lambda} \cdot \begin{bmatrix} M^{Body} \\ M^{Orbit} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} M^{ECEF} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X - X_S \\ Y - Y_S \\ Z - Z_S \end{bmatrix}$$

<역변환식>

$$\begin{bmatrix} X - X_S \\ Y - Y_S \\ Z - Z_S \end{bmatrix} = \lambda \cdot \begin{bmatrix} M^{ECEF} \\ M^{Orbit} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} M^{Body} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_b \\ y_b \\ z_b \end{bmatrix}$$

여기서,

$\begin{bmatrix} x_b & y_b & z_b \end{bmatrix}^T$  : Body 좌표

$\begin{bmatrix} X_S & Y_S & Z_S \end{bmatrix}^T$  : 위성위치

$\begin{bmatrix} X & Y & Z \end{bmatrix}^T$  : 결정된 지상좌표

$\begin{bmatrix} M^{ECEF} \\ M^{Orbit} \end{bmatrix}$  : 궤도좌표계에서 지심좌표계로 변환되는 회전행렬

$\begin{bmatrix} M^{Body} \\ M^{Orbit} \end{bmatrix}$  : Body좌표계에서 궤도좌표계 변환되는 회전행렬

$\lambda$  : 축척계수

### 3. KOMPSAT-2 위치정확도 보정

#### 3.1 위치정확도 보정계수 구성

KOMPSAT-2는 크게 영상촬영과 동시에 영상정보를 지상국으로 전송하는 Realtime 방식과 영상을 촬영 후, 영상자료를 위성의 내장메모리에 저장 후 지상국으로 전송하는 Playback의 두 방식으로 영상을 취득한다.

Realtime 방식의 경우 위성 X-Band를 이용하여 취득한 데이터를 지상국으로 전송하기 때문에 그림 2와 같은 X-Band의 기동특성이 나타난다.

따라서 두 방식의 위치정확도 보정매개변수는 Playback 방식에서는 영상 경사 촬영각(Roll tilting angle), 위도(Latitude), Temporal이 있으며, Realtime 방식에서는 Playback의 방식에서 적용된 경사촬영각, 위도, Temporal 변수 외에 위성 X-Band의 Azimuth와 Elevation의 구동 속도 결정한 TPF 변수를 추가하여 보정계수를 결정하였다.

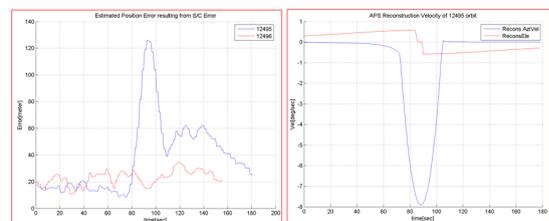


그림 2. 위성 Control accuracy 및 위성 X-Band 궤적 특성

이와 같은 위치정확도 보정매개변수는 위성조립시의 정렬오차, 우주환경, 발사환경 등의 각종 외부압력에 의해서 발생되며, 이러한 오차는 위성이 발사된 이후에는 지상기준점을 이용하여 보정한다. 즉, 위성의 Viewing angle은 위성의 Star tracker에서 측정된 자세값과, Inter-lock angle(카메라와 자세센서가 이루는 각)의 두 조합으로 구성되며, 두 측정각의 오차에 의해 다양한 형태로

구성된다.

그림 3은 현재 KOMPSAT-2에서 적용되고 있는 위치정확도 보정매개변수의 특성을 설명한 것으로 위성자료(SOH, TPF) 및 지상기준점자료를 이용하여 위성자세 오차 특성을 모델링 후 이 결과를 영상자료에 적용하여, 영상의 위치정보를 부여한다. 이때 SOH(Satellite Of Health)는 위성 상태정보자료로서 위성 Star track과 Gyro 데이터를 이용하여 산출되는 값이다.

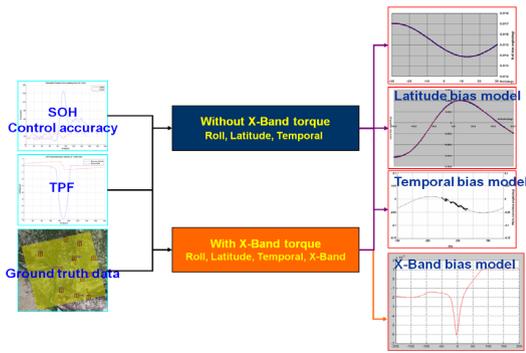


그림 3. 위치정확도 보정매개변수의 구성항목

### 3.2 위치정확도 보정계수 산출

위치정확도 보정계수 산출은 크게 분석단계(Satellite Data Analysis), 위치정확도 보정모델 수립단계(Bias Parameter Model Determination), 위치정확도 보정계수 결정단계(Bias Parameter Coefficients Determination) 3단계로 구성된다.

먼저 분석단계에서는 위성의 위치정확도 매개변수를 결정하는 단계이다. KOMPSAT-2 위성은 위성상태 모니터링, 위성자세제어, 기하학적 정보 등을 얻기 위한 Star tracker, Gyro, Earth sensor GPS 등의 다양한 센서를 탑재하고 있으며, 이들 보조센서들은 위성 기동특성 및 위치정확도에 영향을 주는 각종 외부영향 등을 측정하고 있다.

또한 Real-time의 경우에는 위성이 영상을 전송하기 위해 X-Band를 기동하여 영상 및 각종 위성 보조자료를 지상국으로 전송하게 된다. 이때 위성 X-Band 기동에 의하여 위성자세특성에 미소한 특성 변화가 발생한다. 이러한 특성변화

는 Play-Back 자료와 다른 위치정확도 특성을 나타내게 된다.

특히 위성이 지상국을 지하로 통과하는 순간에는 위성 X-Band 지향방향이 순간적으로 전환됨에 따라서 위성 특성 변화가 크게 나타난다.

그림 4는 14개 위성자료의 control accuracy 특성을 나타낸 것으로 각 최고점은 위성의 X-Band의 기동 방향이 바뀌는 점을 나타내고 있다. 즉 분석단계는 이러한 특성을 분석하여, 위치정확도 매개변수를 결정하는 단계이다.

KOMPSAT-2의 위치정확도 보정계수는 앞 절에서 언급하였듯이, 영상 경사활영각(Roll tilting angle), 위도(Latitude), Temporal의 3개의 기본변수에 Real-time의 경우에는 X-Band의 Azimuth와 Elevation 구동각으로 매개변수를 결정하였다.

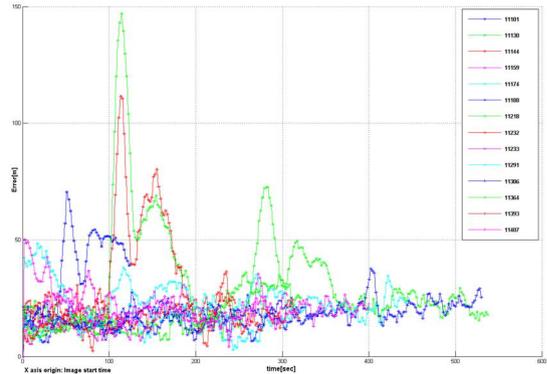


그림 4. X-Band 사용유무에 따른 Control accuracy 특성 변화

위치정확도 보정 모델 수립 단계에서는 결정된 위치보정 매개변수기반으로 다른 해외 위성에서와 같이 고차다항식 형태로 구성하였다. 기본다항식은 2차식 형태로 아래와 같이 구성하였다.

$$Tilt_{corr} = a_0 + a_1 \cdot Tilt_{roll/pitch/yaw} + a_2 \cdot Tilt_{roll/pitch/yaw}^2$$

$$Lat_{corr} = b_0 + b_1 \cdot Lat_{roll/pitch/yaw} + b_2 \cdot Lat_{roll/pitch/yaw}^2$$

$$Temp_{corr} = c_0 + c_1 \cdot Temp_{roll/pitch/yaw} + c_2 \cdot Temp_{roll/pitch/yaw}^2$$

$$TPF_{corr} = d_0 + d_1 \cdot TPF_{roll/pitch/yaw} + d_2 \cdot TPF_{roll/pitch/yaw}^2$$

여기서,

$a_0 \cdots a_2$ : 촬영경사각 위치정확도 보정계수

$b_0 \cdots b_2$ : 위도에 따른 위치정확도 보정계수

$c_0 \cdots c_2$ : Temporal 위치정확도 보정계수

$d_0 \cdots d_2$ : X-Band 기동에 따른 위치정확도 보정계수

$Tilt_{corr}, Lat_{corr}, Temp_{corr}, TPF_{corr}$ : 각 변수별 결정된 자세 보정량

위치정확도 보정계수 결정 단계는 위치정확도 모델식의 계수를 구하기 위하여 먼저 m개의 지상기준점 자료로부터 F행렬을 형성하고, 영상 위치정확도 보정에 해당하는 매개변수를 B행렬을 형성하며, 아래와 같은 관측행렬을 구성한다.

KOMPSAT-2 보정 매개변수는 4개의 보정변수를 기반으로 roll, pitch, yaw의 총 36개의 계수 값을 가진다. 이들 각 변수는 상관성이 크게 발생하므로, 각 변수별로 독립적으로 매개변수 행렬을 구성하여 계수를 결정한 후, 순차적으로 보정계수를 결정하였다.

### 3.3 Bundle 조정에 의한 보정계수 결정

KOMPSAT-2 위치보정계수 결정은 “2장 KOMPSAT-2 Sensor Model”에서 언급한 지상좌표에서 영상좌표를 계산하는 주변환식을 기반으로 결정하였으며, 최종 위치정확도는 영상좌표에서 지상좌표를 계산하는 역변환식을 통해서 확인하였다.

KOMPSAT-2 GPS센서의 위치정확도는 3m CE90으로 위성 위치정확도에 미치는 영향은 거의 존재하지 않을 것으로 판단되므로, 위치보정계수는 각 4개의 변수에서 대하여 roll, pitch, yaw의 위성 자세보정 계수 결정을 통하여 보정하였다. 위성 자세보정 계수 결정에 있어서 기본 다항식은 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} x_b \\ y_b \\ z_b \end{bmatrix} = \frac{1}{\lambda} \cdot M_a \cdot \begin{bmatrix} M_{Orbit}^{Body} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} M_{ECEF}^{Orbit} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X - X_s \\ Y - Y_s \\ Z - Z_s \end{bmatrix}$$

위의 식에서,  $M_a$ 는 우주환경, 위성내부 환경 내에 존재하는 각종 힘 등에 의해 발생된 편각량으로 영상 경사촬영각(Tilting angle), 위도(Latitude), Temporal 및 X-Band의 4개의 변수로 각각 구성된다. 이들 총 36개의 변수를 하나의 관측방정식으로 구성하여 최소제곱법으로 해석할 경우 각 변수간 상관성이 매우 커서 해가 구해지지 않는다. 따라서 본 연구에는 앞 절에서 언급하였듯이 각각 변수별로 순차적으로 해석하였다.<sup>1,2,7)</sup>

예를 들어 Temporal 매개변수의 경우에는 roll, pitch, yaw의,

$$Temp_{corr} = c_0 + c_1 \cdot Temp_{roll/pitch/yaw} + c_2 \cdot Temp_{roll/pitch/yaw}^2$$

앞 절의 식이 다음과 같이 roll, pitch, yaw의 2차식으로 적용된다.

$$\Delta\omega = \delta\omega_0 + \delta\omega_1\Delta t + \delta\omega_2\Delta t^2$$

$$\Delta\phi = \delta\phi_0 + \delta\phi_1\Delta t + \delta\phi_2\Delta t^2$$

$$\Delta\kappa = \delta\kappa_0 + \delta\kappa_1\Delta t + \delta\kappa_2\Delta t^2$$

여기서,

$\Delta t$ : 기준시간에서 임의 영상의 중심라인을 촬영까지 시간

$\Delta\omega$ :  $\Delta t$ 시간에 위성 roll축에서 발생하는 편각량

$\Delta\phi$ :  $\Delta t$ 시간에 위성 Pitch축에서 발생하는 편각량

$\Delta\kappa$ :  $\Delta t$ 시간에 위성 Yaw축에서 발생하는 편각량

$\delta\omega_i$ :  $\Delta\omega$ 다항식을 이루는 계수( $i=0,1,2$ )

$\delta\phi_i$ :  $\Delta\phi$ 다항식을 이루는 계수( $i=0,1,2$ )

$\delta\kappa_i$ :  $\Delta\kappa$ 다항식을 이루는 계수( $i=0,1,2$ )

위성의 미소 편각량을 나타내는  $M_a$ 는 다음과 같다.

$$M_a = \begin{bmatrix} \cos\Delta\phi\cos\Delta\kappa & \cos\Delta\omega\sin\Delta\kappa + \sin\Delta\omega\sin\Delta\phi\cos\Delta\kappa \\ -\cos\Delta\phi\cos\Delta\kappa & \sin\Delta\omega\sin\Delta\kappa - \cos\Delta\omega\sin\Delta\phi\cos\Delta\kappa \\ \sin\Delta\phi & \cos\Delta\omega\cos\Delta\kappa - \sin\Delta\omega\sin\Delta\phi\sin\Delta\kappa \\ & -\sin\Delta\omega\cos\Delta\phi \\ & \cos\Delta\omega\cos\Delta\phi \end{bmatrix}$$

KOMPSAT-2의 주변환식을 기반으로 변들 조정을 수행하기 위해, 주변환식에서  $[M_{Orbit}^{Body}] \cdot [M_{ECEF}^{Orbit}]$ 는 위성보정자료인 GPS 원시 자료에 결정되는 POD, KOMPSAT-2 정밀자세결정시스템(KPADS)의 PAD로서, 상수 형태이므로 상수로 취급하여도 된다. 따라서 위의 주변환식은 다음과 같은 식으로 변환된다.

$$\begin{bmatrix} x_b \\ y_b \\ z_b \end{bmatrix} = \frac{1}{\lambda} \cdot M_a \begin{bmatrix} X - X_S \\ Y - Y_S \\ Z - Z_S \end{bmatrix}$$

위의 식을 공선조건식 형태로 표현하면 다음의 식과 같다.

$$x_b = z_b \cdot \frac{m_{11}(X - X_S) + m_{12}(Y - Y_S) + m_{13}(Z - Z_S)}{m_{31}(X - X_S) + m_{32}(Y - Y_S) + m_{33}(Z - Z_S)}$$

$$y_b = z_b \cdot \frac{m_{21}(X - X_S) + m_{22}(Y - Y_S) + m_{23}(Z - Z_S)}{m_{31}(X - X_S) + m_{32}(Y - Y_S) + m_{33}(Z - Z_S)}$$

위의 식을 선형화하기 위한 방정식 형태로 정리하면 다음과 같다.

$$F_x = x_b - z_b \cdot \frac{m_{11}(X - X_S) + m_{12}(Y - Y_S) + m_{13}(Z - Z_S)}{m_{31}(X - X_S) + m_{32}(Y - Y_S) + m_{33}(Z - Z_S)}$$

$$F_y = y_b - z_b \cdot \frac{m_{21}(X - X_S) + m_{22}(Y - Y_S) + m_{23}(Z - Z_S)}{m_{31}(X - X_S) + m_{32}(Y - Y_S) + m_{33}(Z - Z_S)}$$

위의 테일러 1차 근사식으로 선형화하면 영상의 Body좌표에 대한 관측방정식이 다음과 같이 얻어진다.

$$V_x + b_{11}\Delta\omega_0 + b_{12}\Delta\phi_0 + b_{13}\Delta\kappa_0 + b_{11}T\Delta\omega_1 + b_{12}T\Delta\phi_1 + b_{13}T\Delta\kappa_1 + b_{11}T^2\Delta\omega_2 + b_{12}T^2\Delta\phi_2 + b_{13}T^2\Delta\kappa_2 - F_x = 0$$

$$V_y + b_{21}\Delta\omega_0 + b_{22}\Delta\phi_0 + b_{23}\Delta\kappa_0 + b_{21}T\Delta\omega_1 + b_{22}T\Delta\phi_1 + b_{23}T\Delta\kappa_1 + b_{21}T^2\Delta\omega_2 + b_{22}T^2\Delta\phi_2 + b_{23}T^2\Delta\kappa_2 - F_y = 0$$

위의 식을 행렬형태로 표현하면

$$V + B \Delta = f$$

여기서,

$$V = [V_x \ V_y]^T : \text{영상의 Body좌표의 잔차}$$

$$\Delta = [\Delta\omega_0, \Delta\phi_0 \cdots \Delta\kappa_2]^T : \text{보정계수}$$

$B = [b_{11}, b_{12}, b_{13}]^T$  : 보정계수를 편비문하여 근사값으로 대입한 값

$f = [F_x \ F_y]^T$  : 각 근사값을 대입하여 결정되는 값

위의 식에서  $\Delta$ 항을 구하기 위하여 최소제곱법을 적용하면 다음과 같다.

$$\Delta = (B^T \cdot B)^{-1} (B^T \cdot f)$$

### 3.4 위치정확도 특성

결정된 위치보정변수를 바탕으로 위치정확도를 확인하기 위해 그림 5와 같이 전 세계를 대상으로 촬영된 영상을 이용하여 정확도를 평가하였다.

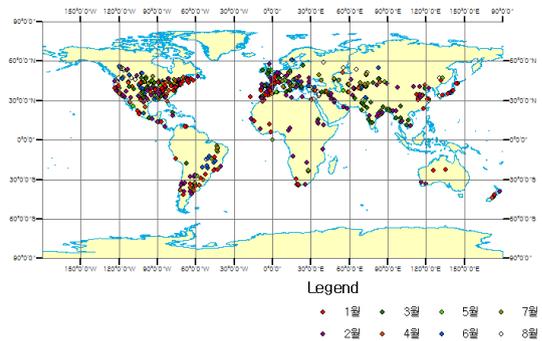


그림 5. KOMPSAT-2 위치정확도 평가 지역

위치정확도 특성 확인을 위해 사용된 영상데이터는 2012년 1월부터 2012년 8월까지 획득된 총 200여장의 KOMPSAT-2 영상으로 매월 사용된 영상의 수는 20 ~ 30장 정도이다.

위치정확도 확인 및 신뢰도는 기준이 되는 지상좌표(ground reference coordinate)의 정확도에

따라 특성이 크게 변한다. 또한 KOMPSAT-2 위성은 다양한 촬영각으로 영상 촬영을 수행하며, 이때 지상표고 분포 특성에 따라 위치정확도 특성이 한 영상 내에서 다르게 해석된다.

따라서, 본 연구에서는 지상표고 특성을 보정하여 위치정확도 결정하였으며, 이때 사용된 지상표고는 전 세계적으로 90m 해상도로 제공되는 SRTM 수치표고모델을 적용하였다. SRTM의 표고는 해수면으로부터 표고값이므로 이를 타원체 표고 모델로 변환하여 사용하였다.

지상기준점의 평면좌표는 현재 KOMPSAT-2 위치정확도 평가를 위해 구입한 해외 고해상도 정사영상과 구글어스 자료를 사용하였다. 구입된 고해상도 정사영상의 기하정확도는 약 10m 정도이며, 구글어스 자료는 25~35m의 정확도를 가지고 있다. 따라서 본 연구의 위치정확도의 신뢰도 범위 10m ~ 35m 범위에 존재한다. 구글어스 자료 중 아래의 그림과 같이 영상촬영시기, 해상도가 각기 다른 자료 등의 경우에는 위치정확도 평가에서 제외하였다.



그림 6. 기준자료에서 제외(예)

최종적으로 위치정확도 결정 및 정확도 평가는 다음의 그림과 같이 수행하였다. 각 영상마다 사용된 지상기준점 수는 6점에서 9점 정도이다. 기준점은 주로 영상과 지상기준점이 명확히 확인이 되는 도로교차점을 영상 전역에 균등하게 분포되도록 선정하였다. 표고에 대한 영향을 보정하기 위해서 앞 절에서 언급하였듯이 SRTM 정보를 이용하였으며, 표고 보정은 Ray-Following 기법을 적용하여 보정하였다.

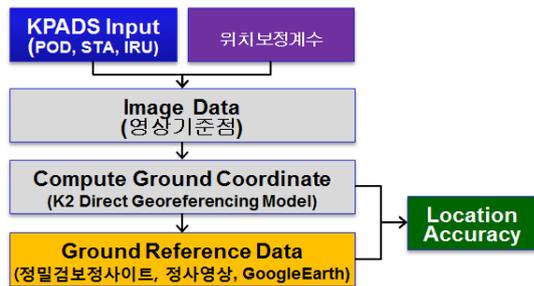


그림 7. 위치정확도 결정 순서도

표 1. KOMPSAT-2 위치 정확도(m)

	RMS X	RMS Y	RMSE	CE90
2012.01	13.7	22.2	28.3	45.9
2012.02	19.1	22.1	32.5	49.4
2012.03	17.2	35.2	40.6	61.6
2012.04	7.4	13.9	16.6	25.2
2012.05	7.3	14.5	16.8	25.5
2012.06	9.5	12.0	16.5	25.1
2012.07	11.0	50.2	52.4	79.5
2012.08	10.0	49.3	51.1	77.5

표 1의 위치정확도는 KOMPSAT-2의 센서모델을 기반으로 위성의 GPS, Star-tracker, Gyro 센서에 측정된 위성 위치, 자세, 속도 및 시간 정보와 위치보정계수를 이용하여 지상좌표를 결정한 후, 각 영상마다 결정된 좌표와 지상기준점(ground reference coordinate) 좌표의 차이를 계산하여, 이를 다시 CE90으로 변환하여 지상좌표의 위치정확도를 나타낸 것이다.

위의 표에서처럼 현재 KOMPSAT-2의 위치정확도 요구사항인 80m(CE90)을 만족시키고 있다.

그러나 위의 표에서 보면 위치정확도가 시간에 따라 변화하는 것을 알 수 있다. 현재 KOMPSAT-2의 위치 보정계수는 3~5개월 주기로 보정계수를 갱신하고 있다. 즉, 2012. 4월의 경우 위치정확도가 다른 달에 비해서 우수한 이유는 보정계수가 새롭게 산출되어 보정되었기 때문이다.

이러한 보정계수의 주기적인 갱신은 초기 KOMPSAT-2 기하 검보정 단계에서 센서간 오정렬 오차가 명확히 규명되지 않았기 때문이다. 또한 이러한 오차가 시간이 경과함에 따라서 누적되어 오차의 증가 등 다양한 원인이 존재하며, 이러한 센서간 오정렬 오차를 보정하는 단계가 필요할 것으로 판단된다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 KOMPSAT-2 자료를 이용하여 지상좌표를 해석하는 방법과 해석된 지상좌표의 위치정확도를 KOMPSAT-2 시스템 요구사항에 충족시키기 위해 현재 적용되고 있는 위치정확도 보정계수 산출절차 및 정확도를 나타내었다. 그 결과 사용된 데이터의 위치정확도는 KOMPSAT-2의 요구사항인 80m(CE90)을 만족하고 있음을 알 수 있다.

#### 참 고 문 헌

1. Jacobsen, K. (1997), Joint Workshop "Sensors and Mapping from Space", Hannover, Calibration of IRS-1C PAN-camera.
2. Jacobsen, K. (1980/1982), ISP Hamburg 1980 and Photogrammetry 1982, Attempt at Obtaining the Best Possible Accuracy in Bundle Block Adjustment, p 219 - 235
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.
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.