Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography, Vol. 31, No. 6-1, 503-509, 2013
http://dx.doi.org/**10.7848/ksgpc.2013.31.6-1.503**

RPC 조정에 의한 KOMPSAT-3 위성영상의 위치결정 정확도 분석

Positioning Accuracy Analysis of KOMPSAT-3 Satellite Imagery by RPC Adjustment

이효성[1] · 서두천[2] · 안기원[3] · 정동장[4]
Lee, Hyoseong · Seo, Doochun · Ahn, Kiweon · Jeong, Dongjang

Abstract

The KOMPSAT-3 (Korea Multi-Purpose Satellite-3), was launched on May 18, 2012, is an optical high-resolution observation mission of the Korea Aerospace Research Institute and provides RPC(Rational Polynomial Coefficient) for ground coordinate determination. It is however need to adjust because RPC absorbs effects of interior-exterior orientation errors. In this study, to obtain the suitable adjustment parameters of the vendor-provided RPC of the KOMPSAT-3 images, six types of adjustment models were implemented. As results, the errors of two and six adjustment parameters differed approximately 0.1m. We thus propose the two parameters model, the number of control points are required the least, to adjust the KOMPSAT-3 RPC. According to the increasing the number of control points, RPC adjustment was performed. The proposed model with a control point particularly did not exceed a maximum error 3m. As demonstrated in this paper, the two parameters model can be applied in RPC adjustment of KOMPSAT-3 stereo image.

Keywords : KOMPSAT-3, Stereo Images, Adjustment Models, Rational Polynomial Coefficient

초 록

KOMPSAT-3(또는 다목적 실용위성 3호)는 한국항공우주연구원의 고해상도 광학 관측임무를 가지고 2012년 5월 18일에 발사되었으며, 지상좌표 획득을 위해 RPC를 제공하고 있다. 그러나 제공 RPC는 내·외부표정요소 오차의 영향을 가지고 있으므로 이에 대한 조정이 필요하다. 본 연구는 KOMPSAT-3 위성영상 제공 RPC의 적합한 조정모델을 찾기 위하여 6가지 유형의 조정모델을 적용하였다. 그 결과, 조정계수 2개와 6개의 결과오차 차이가 0.1m 내외로 나타났다. 따라서 KOMPSAT-3 위성영상의 RPC 조정방법은 기준점 개수가 가장 적게 소요되는 2개 조정계수로 제안하였다. 이 방법으로 기준점 개수 증가에 따른 조정 RPC의 정확도 분석결과, 한 개 기준점만을 사용하더라도 최대오차 3m를 넘지 않았다. 결과적으로 본 연구에 사용된 KOMPSAT-3 입체영상의 제공 RPC는 2개 조정계수를 적용할 수 있을 것으로 판단한다.

핵심어 : KOMPSAT-3, 입체영상, 조정모델, RPC

1. 서 론

우리나라 다목적 실용위성 KOMPSAT-2에 이어 2012년 5월 18일 발사된 KOMPSAT-3는 성능이 보다 향상된 1m 이하 급 상업용 고해상도 위성영상이다. KOMPSAT-3는 관측폭이 16km이며, Along-track에 의한 단일경로 입체영상 취

1) Regular Member, Dept. of Civil Engineering, Sunchon National Univ., Korea (E-mail: hslee@scunchon.ac.kr)
2) Regular Member, Satellite Data Cal/Val Dept., Korea Aerospace Research Institute, Korea (E-mail: dcivil@kari.re.kr)
3) Corresponding Author, Regular Member, Dept. of Civil Engineering, Gyeongsang National Univ., (Engineering Research Institute), Korea (E-mail: kwahn@gnu.ac.kr)
4) Dept. of Civil Engineering, Graduate School, Gyeongsang National Univ., Korea (E-mail: ehdehd2999@gmail.com)

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

득(Single Pass Stereo Imaging)이 가능하고, 지상해상도가 2.2m인 다중파장대 영상과 0.7m의 흑백영상을 제공하고 있다. 그리고 이 영상들은 방사왜곡과 센서왜곡이 보정된 Level 1R, 기하 보정된 Level 1G 두 종류로 제공하고 있다. 또한 인공위성자료로부터 지상의 3차원 좌표를 해석하고, 위성을 제어하기 위하여 2개의 별 관측 센서와 1개의 Gyro 센서를 탑재하고 있다(Seo and Kim, 2011). 탑재된 센서와 카메라 내부표정요소로부터 획득되어지는 RPC 평면위치 정확도(CE90; Circular Error at 90% Probability)는 대략 50m로 보고되고 있다(KOMPSAT-3 Image Data Manual, 2013). 이는 제공 RPC(Rational Polynomial Coefficient)가 위성센서와 카메라의 기하학적 왜곡을 포함하고 있는 물리적 센서모델로부터 생성된 것이기 때문이다. 이러한 오차를 최소화 하고, 대축척 지형도나 정밀 DEM 제작을 위하여 지상 기준점을 이용한 제공 RPC의 조정이 필요하다.

제공 RPC와 기준점을 활용한 위치결정 정확도 향상관련 연구는 IKONOS-2 위성영상이 제공되기 시작한 2000년대 초기 전후에 활발히 진행되었다. 이때 제시된 방법이 다항식 조정(Di *et al*., 2003)과 RPC 블록조정(Fraser and Hanley, 2003; Grodecki and Dial, 2003)방법이다. 다항식 조정은 기준점의 지상좌표와 제공되는 RPC로부터 획득되어지는 지상좌표간 오차를 다항식으로 조정하는 방법이다. RPC 블록조정은 RPC의 영상좌표 오차 항(또는 지상좌표 오차 항)을 조정계수로 두고 전통적 사진측량에서 널리 사용된 번들블록조정을 적용하는 방법이다. 이 방법은 조정계수 2개가 적용될 경우, 최소 1개 기준점만으로 오차를 크게 줄일 수 있으며, 중복된 영상의 수가 많을 경우 효율적으로 적용되어질 수 있다.

IKONOS-2 영상을 이용한 기존 연구에 따르면 다항식 조정에 비해 블록조정방법이 더욱 안정적이다고 전한다(Lee and Ahn, 2004). 그리고 조정계수 2개만으로도 RPC 편의를 1 화소 이내로 보정할 수 있다고 전한다(Grodecki and Dial, 2003; Fraser and Hanley, 2005; Choi and Kang, 2012). 우리나라 다목적 실용위성의 경우, Oh *et al*.(2011)이 KOMPSAT-2 영상에 적합한 RPC 조정모델을 제안하였다. 그러나 지금까지 사용자들에 의한 KOMPSAT-3호 RPC 정확도는 구체적으로 보고되고 있지 않고, RPC 조정에 적합한 계수도 제시되지 않았다.

따라서 본 연구는 제공되는 KOMPSAT-3호 RPC의 위치결정 정확도를 제시하고, 기존연구에서 검증된 RPC 블록조정방법을 이용하여 KOMPSAT-3 영상에 적합한 RPC 조정계수를 제안하고자 한다. Fig. 1은 본 연구의 순서도를 나타낸 것이다.

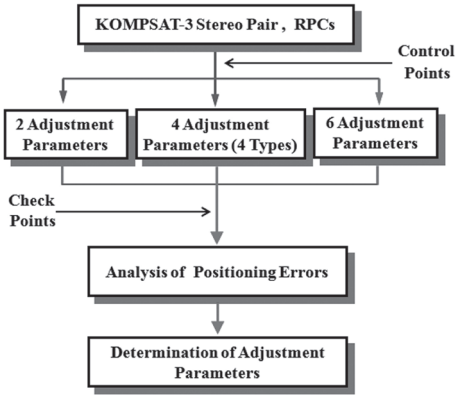


Fig. 1. Flowchart of this study

2. RPC와 조정계수

RPC 블록조정식을 한 개의 영상에 적용할 경우, 기본 Eq. (1)은 다음과 같다(Grodecki and Dial, 2003). Eq. (1)으로부터 최소제곱법과 반복계산에 의하여 중복영상들의 RPC 조정계수를 동시에 구할 수 있다.

$$L_i = \Delta L + \overline{L}_i + v_{L_i'} \quad S_i = \Delta S + \overline{S_i} + v_{S_i} \tag{1}$$

여기서, L_i, S_i 는 임의의 영상에서 i 지점을 관측한 기준점의 영상좌표 Line, Sample, ΔL와 ΔS는 영상좌표 조정 계수항이다. v_{L_i}와 v_{S_i}는 영상좌표 부정오차 벡터이다.

그리고 $\overline{L_i}, \overline{S_i}$은 다음 Eq. (2)과 Eq. (3)으로 표현되며, 제공되는 RPC와 기준점의 지상좌표로 산출된 영상좌표이다.

$$\overline{y_i} = \frac{RPC_1 \cdot P(\lambda_i \phi_i H_i)}{RPC_2 \cdot P(\lambda_i \phi_i H_i)}, \quad \overline{x_i} = \frac{RPC_3 \cdot P(\lambda_i \phi_i H_i)}{RPC_4 \cdot P(\lambda_i \phi_i H_i)} \tag{2}$$

여기서, $RPC_1 \cdots RPC_4$는 제공되는 RPC 계수, λ, ϕ, H는 WGS84 타원체 기준 -1과 +1사이 값이며, 다음 식으로 표현된다.

λ(경도)=(Longitude-Longitude Offset)/Longitude Scale,
ϕ(위도)=(Latitude-Latitude Offset)/Latitude Scale,
H(높이)=(Height-Height Offset)/Height Scale.

$$P(\lambda_i \phi_i H_i) = [1\ \lambda_i\ \phi_i\ H_i\ \lambda_i\phi_i\ \lambda_i H_i\ \phi_i H_i\ \lambda_i^2\ \phi_i^2\ H_i^2$$
$$\phi_i \lambda_i H_i\ \lambda_i^3\ \lambda_i \phi_i^2\ \lambda_i H_i^2\ \lambda_i^2 \phi_i\ \phi_i^3\ \phi_i H_i^2\ \lambda_i^2 H_i\ \phi_i^2 H\ H^3].$$

$\overline{y_i}, \overline{x_i}$는 -1과 +1 사이의 값이므로 기준점 영상좌표와의 비교를 위해 Eq. (3)을 이용한다.

$$\overline{L} = \overline{y} \times \textit{Line Scale} + \textit{Line Offset},$$
$$\overline{S} = \overline{x} \times \textit{Sample Scale} + \textit{Sample Offset} \quad (3)$$

본 연구는 사용된 KOMPSAT-3 영상에 적합한 RPC 조정계수를 구하기 위해, Eq. (1)에서 제시된 조정 계수항을 다음과 같이 6가지 경우로 나누어 실험하고자 한다. 이는 RPC 조정계수를 6개 까지 고려한 기존 IKONOS 선행 연구결과를 참조하였다(Lee and Ahn, 2004; Grodecki and Dial, 2003).

$$\Delta L = a_o$$
$$\Delta S = b_o \quad (4)$$

$$\Delta L = a_o + a_s \cdot S_i$$
$$\Delta S = b_o + b_s \cdot S_i \quad (5)$$

$$\Delta L = a_o + a_l \cdot L_i$$
$$\Delta S = b_o + b_l \cdot L_i \quad (6)$$

$$\Delta L = a_o + a_s \cdot S_i$$
$$\Delta S = b_o + b_l \cdot L_i \quad (7)$$

$$\Delta L = a_o + a_l \cdot L_i$$
$$\Delta S = b_o + b_s \cdot S_i \quad (8)$$

$$\Delta L = a_o + a_l \cdot L_i + a_s \cdot S_i$$
$$\Delta S = b_o + b_l \cdot L_i + b_s \cdot S_i \quad (9)$$

Eqs. (4), (5), (6), (7), (8) and (9) 에서 a_o는 위성의 In-track Ephemeris 오차, Pitch 회전의 자세오차, 주점과 센서위치의 Line 방향오차를 포함하며, b_o는 위성의 Cross-track Ephemeris 오차, Roll 회전의 자세오차, 주점과 센서위치의 Sample 방향오차를 포함한다. a_s와 b_s는 방사방향의 Ephemeris 오차, 초점거리와 렌즈왜곡과 같은 내부표정요소 오차를 포함하며, a_l와 b_l은 영상을 스캔하는 동안 발생하는 Gyro Drift에 의한 오차를 포함한다(Grodecki and Dial, 2003). IKONOS-2의 경우, a_s, b_s와 a_l, b_l은 a_o와 b_o에 비하여 그 영향이 매우 적으므로 촬영 50km 이내 또는 중복영상이 많을 경우에는 a_o와 b_o만으로도 충분한 보정이 이루어 질 수 있다고 전한다(Fraser and Hanley, 2003; Grodecki and Dial, 2003). KOMPSAT-2의 경우 Eq. (8)이 적합하다는 연구 분석결과를 제시하였다(Oh *et al*., 2011).

3. 적용실험과 결과분석

본 연구에 사용된 인공위성 영상자료는 2013년 1월 25일에 경남 양산시 일대(지상면적 약 가로 약 20km × 세로 16km)를 대상으로 관측 수집된 KOMPSAT-3 Panchromatic 입체영상이다(Fig. 2, Table 1). 지상기준점 관측은 대상지역 주변의 통합 기준점으로부터 VRS(Virtual Reference Station) GPS 측위방식으로 이루어 졌으며, 16점의 지상좌표를 획득하였다(Fig. 1). Fig. 2에서 보는바와 같이 16개의 관측점 중, 7점은 기준점으로, 9점은 검사점으로 활용하였다. 그리고 관측점의 영상좌표는 좌·우측영상 동일 지점에 대해, ERDAS IMAGINE 소프트웨어를 사용하여 화소이하 단위로 독취 하였다.

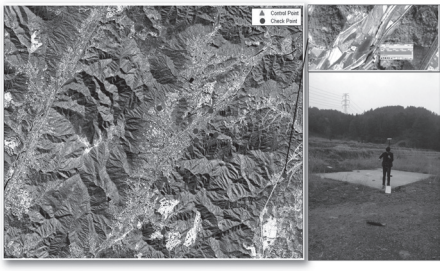


Fig. 2. First image of KOMPSAT-3 stereo-pair, ground control points and check points, VRS-GPS positioning photo in the test area

Table 1. Specification of the KOMPSAT-3 satellite image

Image	First Image	Second Image
Roll Angle	18.638°	16.503°
Pitch Angle	19.852°	-20.161°
Yaw Angle	-2.319°	-3.885°
Acquisition Date/ Time	2013-01-25/04-19-49(UTC)	2013-01-25/04-21-07(UTC)
Image Size	W=24060px.× H=18304px.	W=24060px.× H=18792px.
GSD	0.86m	0.85m
Focal Length	8.562m	
Altitude	689 kilometer	
B/H of stereo pair	0.8	
Datum/Map Projection	WGS84/UTM	
Image Level	1R	

RPC 조정에 있어서는 앞서 제시한 Eq. (4)(Case 1), Eq. (5)(Case 2), Eq. (6)(Case 3), Eq. (7)(Case 4), Eq. (8)(Case 5), Eq. (9)(Case 6) 블록조정 방법을 적용 분석하였다. 또한 선정된 방법 중에 기준점 개수를 늘려감에 따른 정확도 분석도 겸하였

다. Table 2의 왼쪽 항과 Fig. 3은 제공 RPC, 16점의 GPS 측정 지상좌표를 Eq. (2), Eq. (3)에 대입하여 구한 영상좌표와 독취한 영상좌표 차이를 이용한 오차이다. Table 2는 Fig. 3의 영상좌표 오차, 첫 번째 영상과 두 번째 영상에서 독취한 동일점의 16점 영상좌표 그리고 제공 RPC를 이용하여 구한 지심 지상좌표 오차를 나타낸 것이다. 여기서 Maximum error는 오차의 절대 값에 대한 최대오차를 나타낸 것이다.

Table 2. Image coordinate errors(unit: pixels) and ground coordinate errors(unit: meters) by the vendor-provided RPC

	First image		Second image		Ground coordinate		
	Sample	Line	Sample	Line	X	Y	Z
RMSE	16.87	3.89	32.37	4.82	11.42	16.15	2.49
Mean error	-18.06	-5.02	-33.70	-6.33	10.51	14.57	1.41
Maximum error	15.68	2.53	30.44	-3.37	12.81	16.78	3.23

Table 2와 Fig. 3에서 보는바와 같이, 첫 번째 영상보다는 두 번째 영상좌표 오차가 크게 나타났으며, 두 영상 각각에 대한 오차의 방향과 크기는 모든 점이 비슷한 패턴을 보였다. 영상좌표의 최소오차와 최대오차 차이는 2 화소 내외이고, 지상좌표 최소오차와 최대오차 차이는 2 m 내외로 나타났다. Fig. 4는 기준점 7점을 이용하여, Case별로 RPC 블록조정한 후의 검사점 영상좌표 오차벡터를 나타낸 것이다. 그리고 오차벡터들에 대한 RMSE와 최대오차를 나타냈다. 여기서, 최대오차는 절대오차의 최대치를 말한다.

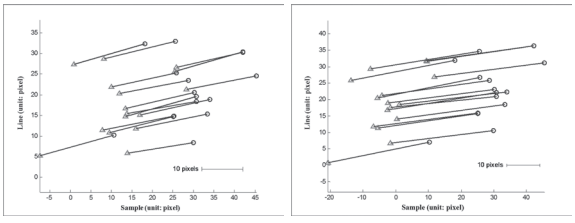
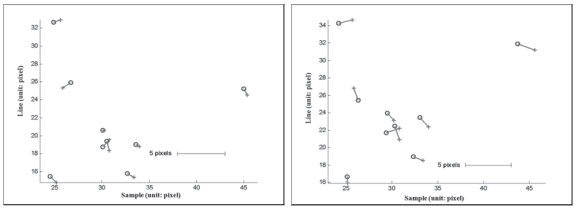
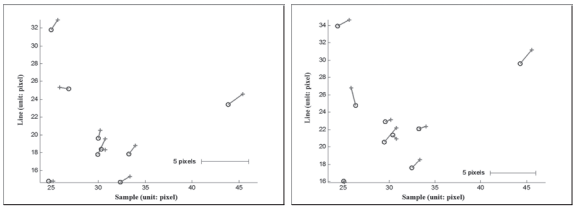


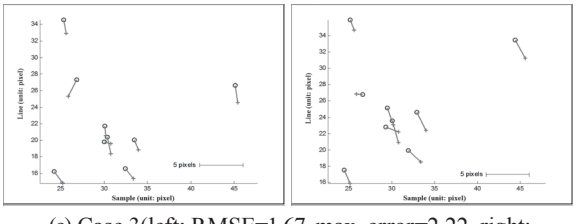
Fig. 3. Image coordinate error vectors by the vendor-provided RPC(left: first image, right: second image, circle: the measured points, triangle: the computed points)



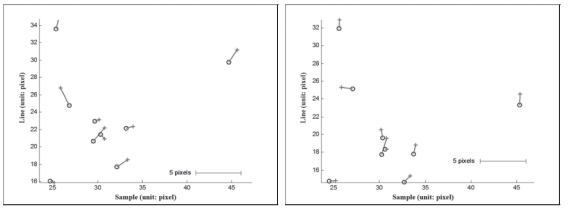
(a) Case 1(left: RMSE=0.84, max. error=1.08, right: RMSE=1.43, max. error=1.94)



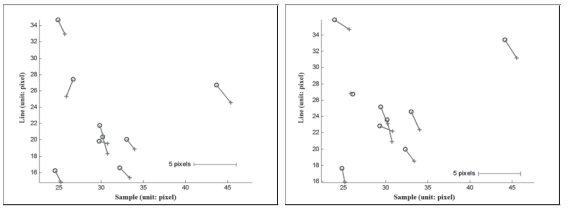
(b) Case 2(left: RMSE=1.26, max. error=1.96, right: RMSE=1.42, max. error=2.12)



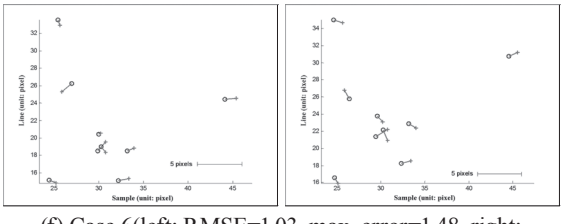
(c) Case 3(left: RMSE=1.67, max. error=2.22, right: RMSE=2.01, max. error=2.73)



(d) Case 4(left: RMSE=1.11, max. error=1.89, right: RMSE=1.38, max. error=2.30)



(e) Case 5(left: RMSE=1.87, max. error=2.74, right: RMSE=2.07, max. error=2.74)



(f) Case 6(left: RMSE=1.03, max. error=1.48, right: RMSE=1.13, max. error=1.58)

Fig. 4. Image coordinate error vectors by the each case of RPC adjustment parameters(left: first image, right: second image, circle: the measured points, triangle: the computed points)

Fig. 4에서, Case 1, 6의 경우, 각 지점의 오차벡터 방향과 크기가 불규칙한 반면 Case 2, 3, 4, 5의 경우, 두 영상 모두 라인방향으로 치우친 경향을 보이고 있다. 이는 제공 RPC 오차의 크기와 방향이 일정하고 샘플방향 오차가 극단적으로 큰 경우(Fig. 3), 이동(Shift) 조정계수 외에 라인방향 조정계수 적용은 샘플방향 조정계수 적용에 비해 안 좋은 영향을 줄 수 있음을 유추할 수 있다. 여기서, Fig. 4(b, d)의 방향과 크기가 유사하였으며, Fig. 4(c, e)는 (b, d)의 반대방향으로 크기가 유사한 결과를 보였다. Fig. 4의 (a)와 (f) 또한 오차벡터의 방향과 크기가 유사함을 알 수 있다. 이것은 4개 계수 적용으로 정확도가 떨어진 결과가 6개 계수에 의해 처음 2개 계수 결과 값으로 복구된 것처럼 보인다. Fig. 5는 Fig. 4의 결과를 히스토그램으로 나타낸 것이다.

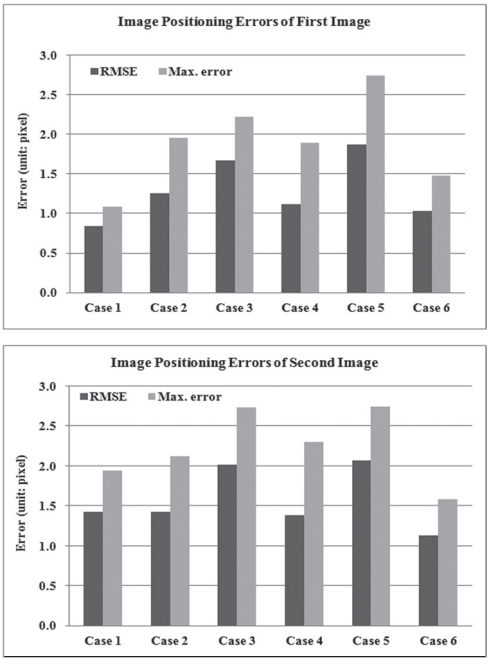


Fig. 5. Errors of the image coordinates by the each case

Fig. 5에서 첫 번째 영상의 경우, RPC 조정계수 2개(Case 1)의 오차가 가장 적게 나타난 반면 두 번째 영상의 경우, RPC 조정계수 6개(Case 6)의 오차가 가장 적게 나타났다. 이는 Fig. 3, Table 2에서 보는바와 같이, 첫 번째 영상에 비해 두 번째 영상 오차벡터 방향과 크기가 상대적으로 일정하지 않기 때문인 것으로 판단되며, 이런 형태의 오차를 소거하기 위해선 더 많은 조정계수가 필요할 것이다. 실험결과를 통해, 첫 번째 영상과 같이 거의 일정한 오차패턴을 보이는 경우, 이동 조정계수 외에는 오히려 좋지 않은 영향을 줄 수 있다고 판단되어 진다.

조정계수 4개(Case 2, Case 3, Case 4, Case 5)중에는 첫 번째 영상에서 Case 4의 오차결과가 가장 적게 나타났다. 이 결과는 기존 KOMPSAT-2 연구에서, 라인방향 오차는 컬럼방향, 컬럼방향 오차는 라인방향과 연관성이 크다는 연구결과와 유사하다(Oh *et al*., 2011). 두 번째 영상에서는 Case 2와 Case 4가 비슷한 결과를 나타냈다. Table 3, Fig. 6은 각 Case 별 조정된 RPC, 두 영상의 9개 검사점에 대한 동일 영상좌표를 이용하여 구한 Case 별 지상좌표와 현장관측 검사점의 지상좌표를 비교한 오차이다.

Table 3. Ground coordinate Errors of the check points by the RPC adjustment(unit: meters)

RPC adjustment parameters		Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 5	Case 6
Horizontal coordinate	RMSE	1.09	1.12	1.42	1.05	1.45	1.02
	Max. error	1.95	2.27	1.87	2.33	1.87	1.83
Height	RMSE	0.50	0.70	1.10	0.75	1.17	0.57
	Max. error	0.97	1.29	1.97	1.35	2.06	1.24

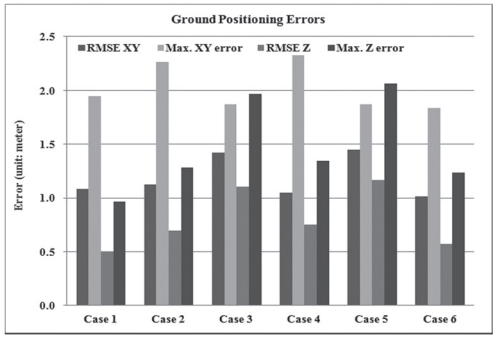


Fig. 6. Errors of the ground coordinates by the each case

Table 3과 Fig. 6에서, Case 1은 Case 6 결과와, Case 2는 Case 4 결과와, Case 3은 Case 5 결과와 비슷한 오차 값을 보인다. 이것은 앞의 영상좌표 오차벡터 분석 결과와 비슷한 경향을 보여준다. 여기서, 평면위치는 Case 6의 결과오차가 가장 적게 나타났으며, 높이는 Case1의 결과오차가 가장 적게 나타났다. 전반적으로 Case1과 Case 6의 결과 차이는 거의 없는 것으로 보여 진다. 결과적으로 기준점 개수가 더 많이 소요되는 Case 6에 비해 Case1의 적용이 더 효율적인 RPC 조정방법

이라고 판단된다. 이는 KOMPSAT-3 위성 검·보정에 따른 카메라 센서의 이동왜곡을 제외한 다른 왜곡의 영향이 적기 때문인 것으로 판단되며, 기존 고해상도 위성영상 RPC 조정 선행 연구결과에 부합한다(Grodecki and Dial, 2003; Fraser and Hanley, 2005; Choi and Kang, 2012). 이 결과를 토대로 조정계수 2개만을 이용하여 기준점 개수 증가에 따른 위치결정 오차 경향성을 파악하였다. Fig. 7, Fig. 8은 RPC 2개 계수 적용 후, 기준점 개수에 따른 영상공간상의 거리오차와 지상좌표 오차를 나타낸 것이다.

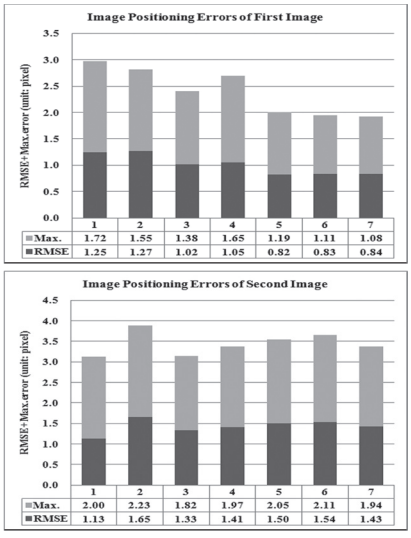


Fig. 7. Errors according to the increasing the number of control points(left: first image, right: second image)

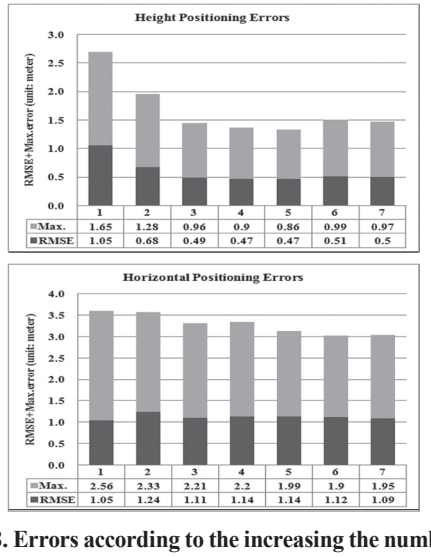


Fig. 8. Errors according to the increasing the number of control points(left: horizontal coordinate, right: height)

2개 계수를 적용한 RPC 조정의 경우, 영상좌표 오차변화는 첫 번째, 두 번째 영상에서 5개 기준점 이후는 변동이 거의 없는 것으로 나타났고, 기준점 한 개를 적용한 오차 결과와 거의 차이가 없는 것으로 나타났다(Fig. 7). 평면위치 RMSE 에서는 한 개 기준점 결과가 가장 좋았으나 최대오차 값이 가장 크게 나타났다. 높이 RMSE와 최대오차 결과는 기준점 5개의 결과가 가장 좋았다(Fig. 8). 그러나 Fig. 7, Fig. 8의 결과에서 보는바와 같이, 한 개의 기준점을 적용한 영상좌표와 지상좌표 오차 결과가 모두 1 화소 또는 1m 이내의 차이를 보이고 있다. 따라서 본 연구에 사용된 KOMPSAT-3 입체영상에는 한 개의 기준점을 이용한 2개 RPC 조정계수를 적용하더라도 요구되는 정확도를 만족한다고 볼 수 있다.

본 연구는 넓은 대상지역의 현장관측 한계로 만족할 만한 지상기준점 확보가 이루어 지지 않았으며(Fig. 2), 이로 인해 기준점과 검사점 배치 또한 영상 전반에 걸쳐 고르지 않았다. 따라서 기준점 분포에 따른 오차분석 실험을 병행하지 못했다. 그리고 최근에 제공되기 시작한 KOMPSAT-3 영상의 다량 확보가 어렵기 때문에 이 실험결과를 KOMPSAT-3 모든 영상에 일반화 할 수는 없다고 판단한다.

4. 결 론

본 연구에서는 KOMPSAT-3 위성의 입체영상으로부터 지상 기준점을 이용하여 제공 RPC의 위치결정 오차 패턴을 파악한 후, RPC 블록조정을 수행하였다. RPC 블록조정은 사용 입체영상의 적합한 계수를 제시하기 위해 조정계수 2개, 4개, 6개로 나누어 적용하였다.

그 결과, 조정계수 2개, 4개, 6개 각각에 대한 평면위치 오차는 1.09m, 1.05m, 1.02m, 높이 오차는 0.50m, 0.70m, 0.57m의 결과를 보였다. 평면위치오차는 6개 조정계수의 결과가 가장 적었으며, 높이오차는 2개 조정계수의 결과가 가장 적었다. 특히, 조정계수 2개와 6개의 경우 결과오차 차이가 0.1m 내외였다. 따라서 본 연구에서 사용한 KOMPSAT-3 위성영상의 RPC 조정방법은 기준점 개수가 가장 적게 소요되는 2개 조정계수가 가장 효율적일 것으로 판단되며, 이 방법을 블록조정 방법으로 제안한다.

선택한 조정방법으로 기준점 개수 증가에 따른 조정 RPC의 정확도 분석결과, 한 개 기준점을 적용한 결과가 가장 적은 오차의 적용 기준점 개수와 비교하여 1 화소 또는 1m 이내의 차이를 얻었다. 따라서 본 연구에 사용된 KOMPSAT-3 입체영상에는 한 개의 기준점을 이용한 2개

RPC 조정계수를 적용하더라도 요구되는 정확도를 만족한다고 볼 수 있다.

향후 항공 라이다 또는 기존 DEM 등의 기준자료를 이용한 RPC 조정 정확도 분석을 수행해보고, 추가적으로 한 개 기준점의 배치에 따른 정확도 분석도 수행할 것이다.

감사의 글

이 논문은 2013년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(No. 2011-0014182)과 2012년-2013년도 순천대학교 공과대학학술재단 연구비 사업에 의하여 연구되었으며 논문작성을 위해 자료를 제공해주신 한국항공우주연구원에 감사드립니다.

References

Seo, D. and Kim, H. (2011), Characterizing Overlap Area of KOMPSAT-3, *Aerospace Engineering and Technology,* Vol. 10, No. 2, pp. 154-162. (in Korean with English abstract)

Oh, K. Y., Jung, H. S., Lee, W. J. and Lee, D. T. (2011), 3D Geopositioning Accuracy Assessment Using KOMPSAT-2 RPC, *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography,* Vol. 29, No. 1, pp. 1-9. (in Korean with English abstract)

Lee, H. and Ahn, K. (2004), RPC Adjustments for Improving Geopositioning with IKONOS GEO Imagery, *KSCE Journal of Civil Engineering,* Vol. 24, No. 6D, pp. 971-977. (in Korean with English abstract)

Choi, S. and Kang, J. (2012), Accuracy Investigation of RPC-based Block Adjustment Using High Resolution Satellite Images GeoEye-1 and WorldView-2, *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography,* Vol. 30, No. 2, pp. 107-116. (in Korean with English abstract)

Di, K., Ma R. and Li, R. X. (2003) Rational Functions and potential for Rigorous Sensor Model Recovery, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing,* Vol. 69, No. 1, pp. 33-41.

Fraser, C. S. and Hanley, H. B. (2003) Bias Compensation in Rational Functions for Ikonos Satellite Imagery, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing,* Vol. 69, No.1, pp. 53-57.

Fraser, C.S., and Hanley, H.B. (2005), Bias-compensated RPCs for Sensor Orientatin of High-resolution Satellite Imagery, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing,* Vol.71, No. 8, pp. 909-915

Grodecki, J. and Dial, G. (2003) Block Adjustment of high-Resolution Satellite Images Described by Rational Polynomials, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing,* Vol. 69, No 1, pp. 59-68.

Korea Aerospace Research Institute (2013), KOMPSAT-3 Image Data Manual, Korea Aerospace Research Institute, Daejeon, http://kompsat.satreci.com(last date accessed: 25 November 2013).

(Received 2013. 12. 03, Revised 2013. 12. 16, Accepted 2013. 12. 24)