

수치지도를 이용한 IKONOS Geo-level 위성영상의 편의보정 Bias Compensation of IKONOS Geo-level Satellite Imagery Using the Digital Map

이효성¹⁾ · 신석효²⁾ · 안기원³⁾

Lee, Hyo Sung · Shin, Sok Hyo · Ahn, Ki Won

Abstract

This paper describes capability of utilizing ground control points(GCPs) obtained from 1:1,000 and 1:5,000 digital vector maps to correct image coordinates which have errors due to bias rational polynomial coefficient(RPC) of IKONOS Geo-level stereo images. The accuracy of the bias-corrected images was improved to approximately 4m and 2m in planimetry and height, respectively. The accuracy was also compared with results from using GCPs obtained by GPS surveying. In consequence, bias-compensated IKONOS stereo imagery was evaluated to satisfy generating topographic map 1:10,000.

Keywords : Ground control point, Digital vector map, IKONOS Geo-level stereo image, Rational polynomial coefficient, Bias-corrected image

요 지

본 연구에서는 IKONOS Geo-level 입체영상과 함께 제공되는 RPC에 의해 편이된 영상좌표를 보정하기 위해 1:1,000과 1:5,000 수치지도의 활용성을 평가하고자 하였다. 그 결과, 편이가 보정된 영상이 보정되지 않은 영상보다 평면위치와 고도위치 각각에 대하여 4m, 2m 정도 정확도가 향상되었으며, 수치지도 기준점으로부터 편이 보정된 입체영상은 1:10,000 정도의 수치지도 제작에 요구되는 위치정확도를 만족하였다.

핵심용어 : 지상기준점, 수치지도, IKONOS Geo-level 입체영상, RPC, 편이 보정된 영상

1. 서 론

해상도 1m 이하의 고해상도 위성영상은 접근이 불가능하거나 허락되지 않는 지역에 대하여 대축척의 지형도를 작성할 수 있다는 이점이 있으며, 기존 항공사진에 비해 광범위한 지역에 대하여 보다 주기적이고, 경제적으로 수치영상을 취득할 수 있다는 이점이 있다. 이와 관련하여 국내·외에서 대축척 수치지도 제작을 위한 연구가 활발히 진행되고 있는 상황이다(Dial, 2000; Davis 등, 2001; Fraser 등, 2002; 박병욱 등, 2002; 국토지리정보원, 2003).

그러나 최근 그 활용도가 가장 높은 IKONOS Geo-level 위성영상의 위치결정 정확도는 1:5,000 정도의 지형도를

작성하기에는 한계가 있었다(Dial, 2000).

따라서 이러한 정확도 개선을 위하여 Toutin(2003)은 IKONOS 입체영상과 함께 천체력(Ephemeris)과 자세(Attitude)자료가 제공되는 메타데이터(Meta data)와 지상 기준점으로부터 CCRS(Canada Centre for Remote Sensing)에서 자체 개발한 3D parametric model을 수행하였다. 또한 이 방법은 SAR(Synthetic Aperture RADAR) 및 광학영상을 비롯한 모든 센서형태에 적용될 수 있다고 제시하고 있다. 그러나 이 방법은 위성의 궤도요소가 제공될 경우에만 적용될 수 있는 방법으로서 궤도정보가 RPC(Rational Polynomial Coefficient) 형태로 판매되고 있는 IKONOS Geo 영상에는 현실적으로 부적합한 방법이다. 제공되는

1) 연결저자 · 정회원 · 서울대학교 지구환경과학부 Post-Doc.(E-mail:hslee@eos1.snu.ac.kr)

2) 정회원 · 경상대학교 공학연구원 연구원(E-mail:s_shshin@gshp.gsnu.ac.kr)

3) 정회원 · 경상대학교 토목공학과 교수, 경상대학교 공학연구원 책임연구원(E-mail:kwahn@nongae.gsnu.ac.kr)

RPC에 의한 정확도 개선방법으로는 Di 등(2003)이 제안한 다항식 조정방법과 Fraser 등(2003)과 Grodecki 등(2003)에 의해 소개되어진 블럭조정(Block adjustment)방법이 있다. 다항식 조정방법은 지상기준점의 측정 지상좌표, RPC로부터 획득되어지는 지상좌표간의 관계식을 다항식의 변수를 적용하여 조정하는 방법이다. RPC 블럭조정방법은 위성의 기하학적 왜곡을 포함하고 있는 위성의 궤도요소모델로부터 직접 생성된 RPC의 편의(Bias)를 보정하는 방법으로서 조정변수 2개가 적용될 경우, 최소 1개의 지상 기준점만으로 조정이 가능한 효과적인 방법이다. RPC의 다항식 조정과 블럭조정방법을 비교한 연구에 따르면 다항식 조정에 비해 블럭조정방법이 비교적 안정되고 정확한 결과를 얻을 수 있다고 전하고 있다(이효성 등, 2004). 이외에도 RPC로부터 산출되는 위치와 지상 기준점간의 편이정보를 적절히 이용하여 정확도를 향상시킨 사례(이재빈 등, 2003; 강준목 등, 2003), 제공되는 메타데이터나 RPC와는 상관없이 지상기준점만으로 IKONOS 위성의 입체영상으로부터 위치결정 정확도를 향상시킨 사례(Fraser 등, 2002; 안기원 등, 2002; 이효성 등, 2003)도 있다.

앞에서 언급한 바와 같이 IKONOS Geo-level 입체영상의 RPC로부터 해상력에 버금가는 위치결정을 위해선 영상의 해상력 보다 정밀한 지상기준점이 필요하다. 기준점을 획득하는 방법으로는 GPS(Global Positioning System)를 이용한 현지측량이 가장 일반적인 방법이라 할 수 있다. GPS 기준점 측정방법은 단지 한점만을 측정하더라도 기준점의 정밀한 위치결정을 위해선 기지점(삼각점과 수준점)도 동시에 측정하는 상대측위 방법을 수행하여야 한다. 따라서 짧게는 몇 시간 내지 하루정도의 시간과 3명 이상의 인력과 장비 및 이에 필요한 경비가 요구된다. 만일 IKONOS 위성영상으로 소요정확도 내에서의 위치결정이나 지형도 작성을 하고자 할 경우에는 GPS 측량 보다는 대축척의 수치지도를 활용하는게 더욱더 효율적이라 판단된다. 국토지리정보원에서 2004년 1월에 고시한 공공측량 작업규정 세부기준에 따르면 지도의 정확도 표준에 의한 1:1,000과 1:5,000 수치지도의 평면오차는 각각 0.7m, 3.5m이며, 표고오차는 각각 0.3m, 1.7m임을 제시하고 있다(국토지리정보원, 2004). 1:1,000 수치지도는 대부분 대도시의 도심지에만 제작 공급되고 있으며, 1:5,000은 우리나라 거의 모든 지역에 제작 공급 되고 있다. 그러나 수치지도를 활용할 경우, 경사가 급변하는 지역에서는 표고 값을 잘못 입력할 수 있는 단점이 있다. 또한 IKONOS 위성

영상에서 제공하는 메타데이터의 위치정보와 RPC는 모두 WGS 84 타원체를 기준으로 하기 때문에 베셀(Bessel) 타원체 기준의 우리나라 수치지도 좌표계를 광역변환계수를 이용하여 타원체 변환하기에는 다소 무리가 있다. 물론 향후 제작되어질 국내의 모든 지형도는 WGS 84 타원체를 적용할 예정이므로 이 경우에는 수치지도 활용의 의미를 부여할 수 있을 것이다.

본 연구는 정밀 DGPS(Differential GPS) 측량으로 실험 대상지역의 타원체간 변환계수를 유도함과 동시에 지상 기준점을 취득하고, 이와 동일한 지점을 대축척 수치지도에서 선점하여 RPC 블럭조정에 의한 지상좌표 추출 정확도를 비교한 후, 이로부터 수치지도 지상기준점에 의한 IKONOS Geo-level 위성영상 RPC의 영상좌표 편의보정능력을 평가하고자 한다.

2. RPC 블럭조정

RPC 블럭조정 방법은 중복된 영상의 수가 많을 경우 효율적이며, 식 (1)을 테일러 선형화와 최소제곱법 그리고 반복계산에 의하여 최확값의 조정변수를 구한 후, 제공되는 RPC의 편의를 보정하는 방법이다.

$$\begin{aligned} R_{ij} &= \Delta R_i + r_{ij} + V_{Rij} \\ C_{ij} &= \Delta C_i + c_{ij} + V_{Cij} \end{aligned} \quad (1)$$

여기서, R_{ij} 와 C_{ij} 는 i 영상의 j 지점을 관측한 영상좌표 Row와 Column이며, r_{ij} 와 c_{ij} 는 제공되는 RPC와 측정지상좌표로 산출된 j 지점의 영상좌표이다. ΔR_i 와 ΔC_i 는 i 영상에서 j 지점의 R_{ij} , C_{ij} 와 r_{ij} , c_{ij} 의 차이에 대한 조정함수이고, V_{Rij} 와 V_{Cij} 는 영상좌표에 대한 오차 벡터이다. 식 (1)을 상세하게 표현하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \Delta R_i &= a_0^{(i)} + a_C^{(i)} \cdot C_{ij} + a_R^{(i)} \cdot R_{ij} \\ \Delta C_i &= b_0^{(i)} + b_C^{(i)} \cdot C_{ij} + b_R^{(i)} \cdot R_{ij} \end{aligned} \quad (2)$$

여기서, $a_0^{(i)}$, $a_C^{(i)}$, $a_R^{(i)}$, $b_0^{(i)}$, $b_C^{(i)}$, $b_R^{(i)}$ 는 i 영상에 대한 조정변수이다.

식 (2)에서 a_0 는 위성의 In-track Ephemeris 오차, Pitch 회전의 자세오차, 주점과 센서위치의 Row 방향오차를 포함하며, b_0 는 위성의 Cross-track Ephemeris 오차, Roll 회전의 자세오차, 주점과 센서위치의 Column 방향오차를

포함한다. a_C 와 b_C 는 방사방향의 Ephemeris 오차, 초점 거리와 렌즈왜곡과 같은 내부표정요소 오차를 포함하며, a_R 과 b_R 은 영상을 스캔하는 동안 발생하는 Gyro Drift에 의한 영향과 우연오차를 포함한다. 따라서 a_C, b_C 와 a_R, b_R 은 a_O 와 b_O 에 비하여 그 영향이 적으므로 중복영상이 많은 경우에는 a_O 와 b_O 만으로도 충분한 보정이 이루어질 수 있다. 이와 같이 조정변수 두개만 적용할 경우에는 기준점 한점만으로도 충분한 위치보정이 이루어질 수 있다(Fraser 등, 2003; Grodecki 등, 2003).

RPC 블럭조정을 위한 관측방정식은 식 (1)로부터 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} F_{Rij} &= -R_{ij} + \Delta R_i + r_{ij} + V_{Rij} = 0 \\ F_{Cij} &= -C_{ij} + \Delta C_i + c_{ij} + V_{Cij} = 0 \end{aligned} \quad (3)$$

식 (3)을 테일러 선형화 방법으로 조정변수와 지상좌표에 관하여 편미분을 한 후, 영상좌표에 대한 관측방정식을 구성하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} V_{Rij} + \left(\frac{\partial F_R}{\partial a_O}\right) \Delta a_{O_i} + \left(\frac{\partial F_R}{\partial a_C}\right) \Delta a_{C_i} + \left(\frac{\partial F_R}{\partial a_R}\right) \Delta a_{R_i} \\ + \left(\frac{\partial F_R}{\partial b_O}\right) \Delta b_{O_i} + \left(\frac{\partial F_R}{\partial b_C}\right) \Delta b_{C_i} + \left(\frac{\partial F_R}{\partial b_R}\right) \Delta b_{R_i} \\ + \left(\frac{\partial F_R}{\partial \phi_j}\right) \Delta \phi_j + \left(\frac{\partial F_R}{\partial \lambda_j}\right) \Delta \lambda_j + \left(\frac{\partial F_R}{\partial h_j}\right) \Delta h_j + F_{R_i}^o = 0 \\ V_{Cij} + \left(\frac{\partial F_C}{\partial a_O}\right) \Delta a_{O_i} + \left(\frac{\partial F_C}{\partial a_C}\right) \Delta a_{C_i} + \left(\frac{\partial F_C}{\partial a_R}\right) \Delta a_{R_i} \\ + \left(\frac{\partial F_C}{\partial b_O}\right) \Delta b_{O_i} + \left(\frac{\partial F_C}{\partial b_C}\right) \Delta b_{C_i} + \left(\frac{\partial F_C}{\partial b_R}\right) \Delta b_{R_i} \\ + \left(\frac{\partial F_C}{\partial \phi_j}\right) \Delta \phi_j + \left(\frac{\partial F_C}{\partial \lambda_j}\right) \Delta \lambda_j + \left(\frac{\partial F_C}{\partial h_j}\right) \Delta h_j + F_{C_i}^o = 0(4) \end{aligned}$$

식 (4)를 행렬로 표시하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} V_{Rij} \\ V_{Cij} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{13} & b_{14} & b_{15} & b_{16} \\ b_{21} & b_{22} & b_{23} & b_{24} & b_{25} & b_{26} \end{bmatrix}_{ij} \begin{bmatrix} \Delta a_O \\ \Delta a_C \\ \Delta a_R \\ \Delta b_O \\ \Delta b_C \\ \Delta b_R \end{bmatrix}_i \\ + \begin{bmatrix} b_{17} & b_{18} & b_{19} \\ b_{27} & b_{28} & b_{29} \end{bmatrix}_{ij} \begin{bmatrix} \Delta \phi \\ \Delta \lambda \\ \Delta h \end{bmatrix}_j = \begin{bmatrix} -F_{R_i}^o \\ -F_{C_i}^o \end{bmatrix}_{ij} \end{aligned} \quad (5)$$

여기서 Δ 항들은 각각의 근사값에 대한 보정량이며, $F_{R_i}^o$, $F_{C_i}^o$ 는 식 (3)에 근사값들을 대입한 값이다. 그리고 b_{11}

$\sim b_{29}$ 계수는 식 (4)에서 조정변수와 지상좌표로 편미분하여 근사값들을 대입한 값이다.

식 (5)에서 n 개의 기준점이 m 개의 영상에서 관측된 경우에 대하여 다음과 같이 간단히 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} V_{(2mn,1)} + B'_{(2mn,6m)} \cdot \Delta'_{(6m,1)} \\ + B''_{(2mn,3n)} \cdot \Delta''_{(3n,1)} = C_{(2mn,1)} \end{aligned} \quad (6)$$

식 (6)의 해를 구하기 위하여 조정변수와 지상좌표의 관측방정식을 별도로 구성하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \text{조정변수 관측방정식} &: V' - \Delta' = C' \\ \text{기준점의 지상좌표 관측방정식} &: V'' - \Delta'' = C'' \end{aligned} \quad (7)$$

여기서 V' 는 조정변수의 미지 잔차벡터, V'' 는 기준점 지상좌표의 미지 잔차벡터, C' 는 조정변수의 근사값과 관측값의 오차벡터이며, C'' 는 기준점 지상좌표의 근사값과 관측값의 오차벡터이다. 식 (6)과 식 (7)을 조합한 전체 관측방정식은 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} V \\ V' \\ V'' \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} B' & B'' \\ -I & 0 \\ 0 & -I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta' \\ \Delta'' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C \\ C' \\ C'' \end{bmatrix} \quad (8)$$

식 (8)을 간단히 표현한 후, Δ 항을 구하기 위하여 경중률을 고려한 최소제곱법을 적용하면 다음과 같다.

$$(\overline{B}^T \overline{W} \overline{B}) \Delta = \overline{B}^T \overline{W} \overline{C} \quad (9)$$

여기서 \overline{W} 는 W (기준점의 영상좌표 경중률), W' (조정변수 경중률), W'' (기준점의 지상좌표 경중률)을 포함한 경중률 행렬이다. 결국 조정변수들은 식 (9)의 행렬 Δ 항의 반복 계산에 의하여 결정되어진다.

3. 적용실험

본 연구에 사용된 인공위성 영상자료는 2001년 1월 10일에 경남 양산시 일대(지상면적 약 7×7 km)를 대상으로 관측 수집된 IKONOS 2호의 Geo 레벨 Panchromatic 입체 영상이다(그림 1). 그림 1에서 보는바와 같이 30개의 관측점은 좌·우측영상에서 동일한 지점을 대상영역 내에서 골고루 분포하게끔 선정하였다. 이 중 10점은 기준점으로, 20점은 검사점으로 활용하였다.

관측점의 지상좌표 획득에 있어서는 GPS 수신기 LEICA

SR9500, Geotracer, DSNP를 이용하여 정적현장관측방법 (Static survey)으로 한 측점당 1시간 이상 자료를 수신하였으며, 국립지리원 3, 4등 삼각점 3점과 1등 수준점 2점을 연결하여 상대측위법에 의한 삼각측량 방식으로 지상좌표를 획득하였다(그림 2).

GPS로 측정한 10개의 기준점과 동일한 지점들에 대해서 수치지도 1:1,000과 1:5,000으로부터 베셀 평면직각좌표를 독취 하였으며, 삼각점과 수준점으로부터 Bursa-Wolf 변환식을 이용하여 대상지역내의 타원체간 지심좌표 변환계수를 산출하였다. 여기서, 축척 변화량은 1.000013588, 3축의 평행 이동량은 X축=29.5548m, Y축=69.0807m, Z

축=1203.7595m, 3축의 회전 변화량은 $\omega=18.7034''$, $\phi=12.0057''$, $\kappa=3.8417''$ 이었다. 이로부터 베셀타원체 지심좌표를 WGS 84 타원체 지심좌표로 변환하였다. 또한 이 변환계수를 이용하여 삼각점과 수준점의 우리나라 국지적 좌표를 구한 결과 0.1m 이하의 차이를 보였다.

그림 3, 4는 수치지도와 GPS를 이용한 기준점과 검사점 취득모습을 나타낸 것이다. 표 1은 관측점에 대한 WGS 84 타원체의 지심좌표를 나타낸 것이다. 여기서 대상지역의 도심지는 영상취득일 당시에 신도시 개발과정 상태였기 때문에 이보다 이전에 제작된 수치지도와는 지형의 차이가 상당부분 있었다.

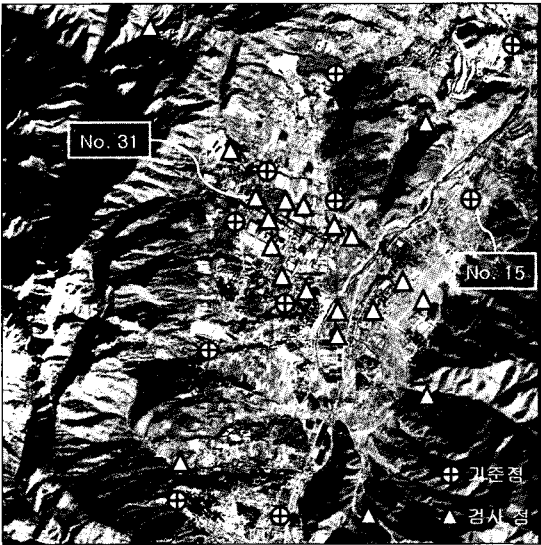


그림 1. 대상지역의 IKONOS 좌측영상

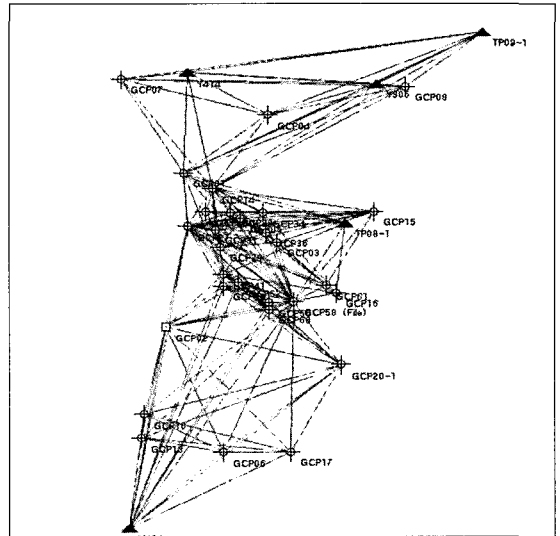


그림 2. 관측점들의 GPS 측정 삼각망도

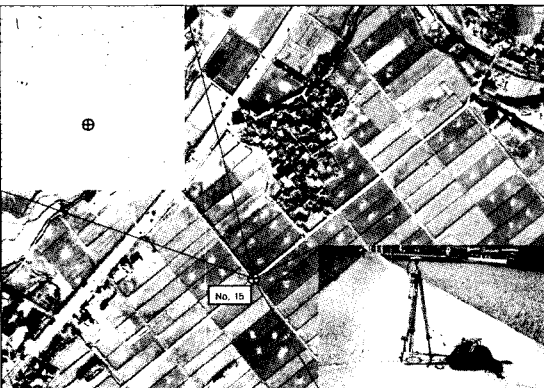


그림 3. 수치지도와 GPS 측량에 의한 15번 기준점의 지상좌표 획득모습

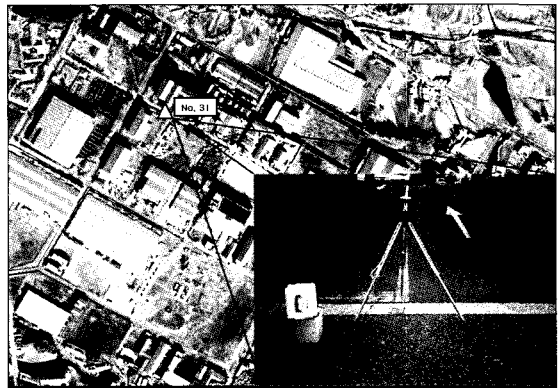


그림 4. GPS 측량에 의한 31번 검사점의 지상좌표 획득모습

따라서 수치지도로부터 획득한 기준점 중 50, 34, 6번 3점만 1:1,000으로 선정하였고, 나머지 7점은 1:5,000으로 선정하였다. 수치지도로부터 획득한 기준점을 GPS 측량에 의한 정밀 기준점의 X, Y, Z 각각에 대하여 비교한 결과, 최대오차의 절대치는 5.5m, 5.6m, 3.4m이었으며, 오차의 절대치 평균은 3.0m, 4.2m, 1.3m, 표준편차는 3.3m, 4.5m, 1.6m이었다(표 1). 그리고 관측점의 영상좌표는 ERDAS IMAGINE 소프트웨어(ver. 8.5)를 사용하여 화소이하 단위로 독취 하였다.

제공 RPC의 블럭조정에 있어서는 6개 조정변수(a_0 , a_C , a_R , b_0 , b_C , b_R) 모두 적용하였다. 이 방법은 기준점 수가 4개 이상 확보된 경우, 2개 또는 4개의 조정변수에 비해 가장 정확한 방법이라 할 수 있다(Grodecki 등, 2003). 기존연구에 따르면 입체영상의 대상영역이 50km 이내이면 2개 조정변수(a_0 , b_0)만을 적용해도 6개 조정변수를 적용한 경우와 큰 차이가 없다고 제시하고 있다(Fraser 등,

2003; Grodecki 등, 2003). 그러나 지형이 복잡하고 기록이 심한 우리나라의 경우, 입체영상의 길이가 10km 이내인 대상영역에서도 6개 조정변수를 적용한 경우가 2개 조정변수를 적용한 경우보다 결과 정확도가 비교적 양호하다고 전하고 있으며(이효성 등, 2004), 수치지도와 GPS 기준점을 이용한 RPC 조정의 정확한 비교를 위해선 6개 조정변수 모두를 고려하는 것이 적합하다고 판단한다.

따라서 본 연구에서는 수치지도와 GPS로 취득한 동일지점의 10개 기준점을 이용하여 6개 조정변수 적용에 의한 RPC 블럭조정을 수행하였으며, 이들 결과를 비교하였다. 그림 5와 표 2는 두 방법으로 취득한 기준점의 지상좌표와 제공 RPC의 조정 전·후 자료를 이용하여 영상좌표를 구한 후, 독취한 영상좌표와의 차이를 나타낸 것이다. 그림 5의 관측점 중 도넛모양이 기준점이고, 삼각형 모양이 검사점이다. 그림 6과 표 3은 RPC 블럭조정 전·후 자료에 의한 검사점의 지상좌표(지심좌표) 추출오차를 나타낸 것

표 1. 수치지도와 GPS로 취득한 기준점 및 검사점의 WGS 84 타원체 지심좌표

| | 수치지도 | | | GPS | | | | |
|-----|------------|------------|-----------|-----------|------------|------------|-----------|-----------|
| | No. | X | Y | Z | No. | X | Y | Z |
| 기준점 | 50 | -3286035.6 | 4035602.5 | 3675258.3 | 50 | -3286032.5 | 4035598.6 | 3675259.5 |
| | 34 | -3286084.0 | 4034636.0 | 3676248.8 | 34 | -3286080.4 | 4034630.9 | 3676250.7 |
| | 6 | -3287065.5 | 4036896.8 | 3672938.7 | 6 | -3287062.6 | 4036891.5 | 3672940.4 |
| | 15 | -3287485.3 | 4033466.7 | 3676259.7 | 15 | -3287479.8 | 4033461.1 | 3676258.6 |
| | 27 | -3285247.8 | 4035559.1 | 3676106.7 | 27 | -3285247.2 | 4035559.4 | 3676110.1 |
| | 4 | -3285555.5 | 4033866.1 | 3677613.0 | 4 | -3285552.2 | 4033862.5 | 3677612.1 |
| | 14 | -3285306.1 | 4035000.7 | 3676603.5 | 14 | -3285303.9 | 4034996.7 | 3676605.0 |
| | 2 | -3285574.9 | 4036538.0 | 3674724.0 | 2 | -3285572.5 | 4036534.0 | 3674724.0 |
| | 8 | -3287144.2 | 4032237.5 | 3678013.5 | 8 | -3287140.0 | 4032231.8 | 3678013.2 |
| | 13 | -3285986.6 | 4037704.1 | 3673202.7 | 13 | -3285984.2 | 4037699.6 | 3673203.7 |
| 검사점 | GPS | | | | | | | |
| | No. | X | Y | Z | No. | X | Y | Z |
| | 1 | -3284869.3 | 4035211.3 | 3676858.2 | 29 | -3285675.2 | 4034979.3 | 3676269.3 |
| | 3 | -3286434.1 | 4034700.8 | 3675845.1 | 31 | -3285599.3 | 4035283.8 | 3676046.8 |
| | 5 | -3285828.5 | 4034913.9 | 3676189.7 | 36 | -3286236.6 | 4034746.8 | 3675981.1 |
| | 7 | -3283603.5 | 4035248.7 | 3678255.3 | 39 | -3285760.2 | 4035364.0 | 3675804.3 |
| | 9 | -3286688.7 | 4033401.8 | 3676992.2 | 41 | -3285960.9 | 4035511.9 | 3675410.9 |
| | 10 | -3285857.7 | 4037455.6 | 3673502.1 | 52 | -3286199.9 | 4035418.6 | 3675293.4 |
| | 16 | -3287506.2 | 4034484.5 | 3675162.3 | 55 | -3286693.2 | 4035249.2 | 3675017.2 |
| | 17 | -3287954.5 | 4036223.9 | 3672983.6 | 58 | -3287013.6 | 4034983.7 | 3675033.5 |
| 20 | -3288044.4 | 4035006.6 | 3674161.1 | 61 | -3287338.5 | 4034521.8 | 3675252.7 | |
| 25 | -3285368.5 | 4035240.2 | 3676291.5 | 68 | -3286730.5 | 4035303.2 | 3674926.5 | |

이다.

그림 5에서 보는바와 같이 제공되는 RPC의 조정 전 자료를 이용한 경우(a, c, e, g), 좌측영상에서는 두 방법 모두 거의 일정한 편의를 나타내고 있는데 반해, 우측영상의 수치지도 기준점에서는 불규칙적인 오차벡터를 나타내고 있다. 이는 GPS에 비해 수치지도의 위치정확도가 낮기 때문에 나타난 현상이라 판단된다. 그리고 좌측영상에 비해 우측영상 RPC의 편의가 적은 것을 파악 할 수 있다. 수치지

도 기준점에 의한 RPC 조정 후 자료를 이용한 경우(b, d), GPS 기준점에 의한 결과(f, g)보다 오차의 크기가 다소 크게 나타나지만 조정 전(a, c)보다 오차가 대폭 줄어들었음을 확인 할 수 있으며, 전반적으로 정확도가 향상되었음을 알 수 있다(표 2).

지상좌표 결정에 있어서는 수치지도 기준점에 의한 결과 값의 검사점 16, 17, 20번(그림 7)과 GPS 기준점에 의한 결과 값의 검사점 17, 20번(그림 8)이 오히려 조정 전(그림

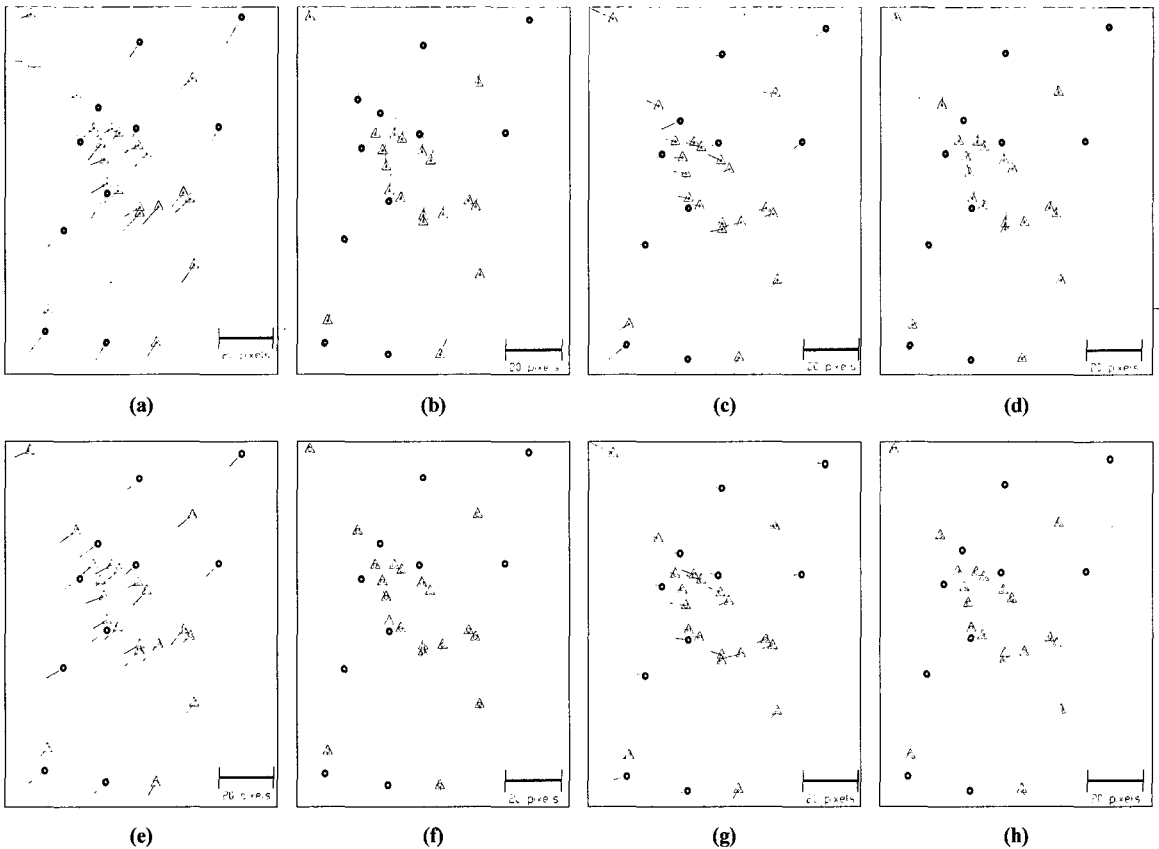


그림 5. (a) 수치지도에 의한 RPC 조정 전 좌측영상좌표 오차 (b) 수치지도에 의한 RPC 조정 후 좌측영상좌표 오차 (c) 수치지도에 의한 RPC 조정 전 우측영상좌표 오차 (d) 수치지도에 의한 RPC 조정 후 우측영상좌표 오차 (e) GPS에 의한 RPC 조정 전 좌측영상좌표 오차 (f) GPS에 의한 RPC 조정 후 좌측영상좌표 오차 (g) GPS에 의한 RPC 조정 전 우측영상좌표 오차 (h) GPS에 의한 RPC 조정 후 우측영상좌표 오차

표 2. 조정 전·후 RPC로 산출한 검사점의 영상좌표 오차(단위 : pixel)

| | 조정 전 | | 조정 후 | | | |
|-------|------|------|------|------|------|------|
| | | | 수치지도 | | GPS | |
| | 좌 | 우 | 좌 | 우 | 좌 | 우 |
| RMS오차 | 7.33 | 4.90 | 5.08 | 2.85 | 1.35 | 1.33 |
| 최대오차 | 8.59 | 8.75 | 6.43 | 4.10 | 2.19 | 2.21 |

표 3. 조정 전 · 후 RPC로 산출한 검사점의 지상좌표 오차(단위 : meter)

| | 조정 전 | | 조정 후 | | | |
|------|-------|------|-------|------|-------|------|
| | RMS오차 | 최대오차 | 수치지도 | | GPS | |
| | | | RMS오차 | 최대오차 | RMS오차 | 최대오차 |
| 평면위치 | 9.0 | 10.9 | 5.7 | 8.2 | 1.4 | 3.0 |
| 고도위치 | 3.7 | 6.5 | 1.3 | 2.3 | 0.9 | 1.7 |

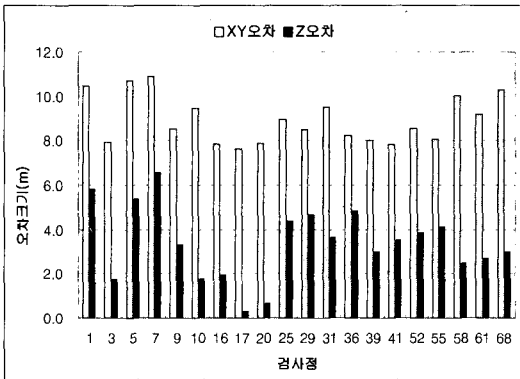


그림 6. RPC 조정전 지상좌표 오차

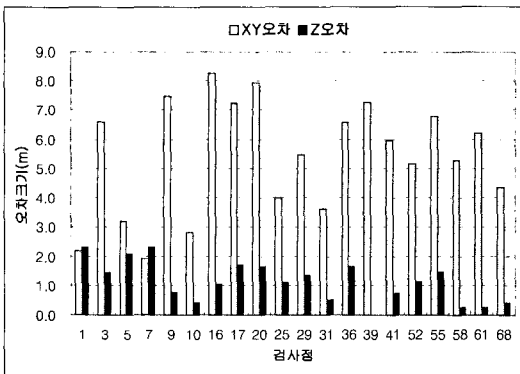


그림 7. 수치지도에 의한 조정 후의 지상좌표 오차

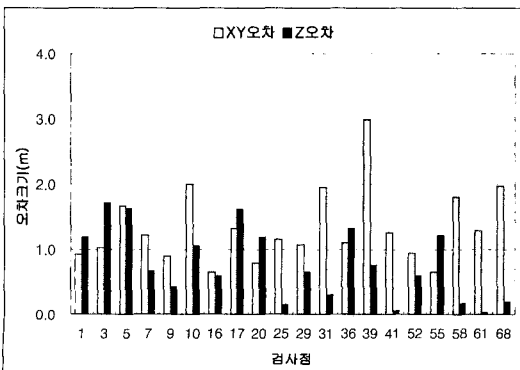


그림 8. GPS 의한 조정 후의 지상좌표 오차

6)보다 오차가 약간 크게 나타났다. 이는 본 연구에서 적용한 RPC 블럭조정 방식이 초기 제공되는 RPC의 영상좌표 편의를 거의 같은 방향과 크기로 일정하게 조정함으로써 제공 RPC로 구한 양호한 결과 값도 동시에 조정하기 때문이라 판단된다. 그러나 전반적으로 RPC 조정 전(그림 6) 보다는 조정 후(그림 7, 8)의 정확도가 대체적으로 향상되었음을 알 수 있다. 또한 수치지도 기준점을 이용한 경우, 조정 전 보다 평면위치의 RMS오차는 4m, 고도위치의 RMS오차는 2m 정도 줄어들었으며, GPS 기준점을 이용한 경우에 비해 평면오차가 다소 크게 나타났다(표 3). 따라서 검사점의 결과를 토대로 수치지도 기준점에 의한 RPC 조정 후 자료는 1:10,000 정도의 수치지도 작성에 요구되는 정확도를 만족하며, GPS 기준점에 의한 RPC 조정 후 자료는 1:5,000 정도의 수치지도 작성에 요구되는 정확도를 만족한다고 볼 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 IKONOS 위성의 GEO레벨 입체영상으로부터 대축척의 수치지도 기준점을 이용하여 6개 변수 블럭 조정으로 RPC를 조정하고, 조정 RPC를 이용하여 검사점의 지상좌표를 획득한 결과 조정 전 보다 평면위치의 RMS 오차는 4m, 고도위치의 RMS오차는 2m 정도 줄어들었다. 또한 GPS 기준점에 의한 조정 후 결과 값에 비해 평면위치 RMS오차는 4m, 고도위치 RMS오차는 1m 이하의 차이를 보였다.

따라서 실험결과를 토대로 수치지도 기준점에 의한 RPC 조정 후 자료는 1:10,000 정도의 수치지도 작성에 필요한 위치결정 정확도는 만족하리라 판단되며, GPS 기준점에 의한 RPC 조정 후 자료는 1:5,000 정도의 수치지도 작성에 요구되는 위치결정 정확도를 만족할 것이라 판단된다.

참고문헌

강준복, 이용욱, 박준규 (2003), RPC와 GCP를 이용한 IKONOS

- 위성영상의 기하보정, 한국측량학회지, 한국측량학회, 제 21권, 제 2호, pp. 165-172.
- 국토지리정보원 (2003), 국토지리정보원 고시 제 2003-60호, 국토지리정보원, http://www.ngii.go.kr/sub06/view06_10.jsp
- 국토지리정보원 (2004), 공공측량 작업규정 세부기준[2004. 1. 2 고시(건설교통부고시 제2003-326호)], 국토지리정보원, http://www.ngi.go.kr/sub06/sub06_01_law.jsp
- 박병욱, 한상득, 안기원, 박희주, 김충평 (2002), 고해상도 위성영상을 이요한 지도제작 가능성 평가, 대한토목학회논문집, 대한토목학회, 제 22권, 제 6-D호, pp. 1305-1315.
- 안기원, 임환철, 서두천 (2002), 고해상도 인공위성 영상데이터의 기하보정을 위한 RFM의 적용, 한국측량학회지, 한국측량학회, 제 20권, 제 2호, pp. 51-60.
- 이재빈, 광태석, 김용일 (2003), IKONOS 영상으로부터 추출되는 3차원 지형자료의 정확도 향상에 관한 연구-RPC 모델의 위치 정확도 보정을 통하여, 한국측량학회지, 한국측량학회, 제 21권, 제 4호, pp. 301-308.
- 이효성, 이재빈, 김용일, 유기윤 (2003), IKONOS 위성영상의 Rational Function Model 계수 직접추출에 의한 3차원 위치결정, 대한토목학회논문집, 대한토목학회, 제 23권, 제 1D호, pp. 115-121.
- 이효성, 안기원, 신석효 (2004), IKONOS 위성영상 RPC 자료의 수정보원에 의한 3차원 위치 결정, 한국측량학회 춘계학술발표회 논문집, 한국측량학회, pp. 279-284.
- Fraser, C. S., Baltasvias, E. and Gruen, A. (2002), Processing of Ikonos imagery for submetre 3D positioning and building extraction, *ISPRS Photogrammetry and Remote Sensing*, ISPRS, Vol. 56, pp. 177-194.
- Fraser, C. S. and Hanley, H. B. (2003), Bias Compensation in Rational Functions for Ikonos Satellite Imagery, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, ASPRS, Vol. 69, No.1, pp. 53-57.
- Davis, C. H. and Wang, X. (2001), Planimetric Accuracy of IKONOS 1-m Panchromatic Image Products, *Proceedings of American Society for Photogrammetry & Remote Sensing Annual Conference*, ASPRS, St. Louis, Missouri, CD-ROM.
- Dial, G. (2000), IKONOS Satellite Mapping Accuracy, *Proceedings of American Society for Photogrammetry & Remote Sensing Annual Conference*, ASPRS, Washington D. C., CD-ROM.
- Grodecki, J. and Dial, G. (2003), Block Adjustment of high-Resolution Satellite Images Described by Rational Polynomials, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, ASPRS, Vol. 69, No. 1, pp. 59-68.
- Di, K., Ma, R. and Li, R. X. (2003), Rational Functions and potential for Rigorous Sensor Model Recovery, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, ASPRS, Vol. 69, No. 1, pp. 33-41.
- Toutin, T.(2003), Error Tracking in Ikonos Geometric Processing Using a 3D Parametric Model, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, ASPRS, Vol. 69, No. 1, pp. 43-51.

(접수일 2004. 10. 20, 심사일 2004. 12. 2, 심사완료일 2004. 12. 14)