

## **IKONOS Geo Imagery의 편의 보정** **Bias Compensation of IKONOS Geo Imagery**

김원만<sup>1)</sup> · 김성삼<sup>2)</sup> · 유환희<sup>3)</sup>

Kim, Won Man · Kim, Seong Sam · Yoo, Hwan Hee

<sup>1)</sup> 경상대학교 건설공학부 도시공학과 석사과정(E-mail : ok016@hotmail.com)

<sup>2)</sup> 경상대학교 건설공학부 도시공학과 박사과정(E-mail : kimss333@netian.com)

<sup>3)</sup> 경상대학교 건설공학부 도시공학과 교수(E-mail : hhyoo@nongae.gsnu.ac.kr)

### **Abstract**

Recent researches have shown that IKONOS Geo imagery is capable of pixel-level geopositioning accuracy. However, a large number of ground control points(GCPs) are required in this case. For reducing the number of GCPs, users try to use the vender-supplied RPCs with Geo imagery. But, the biases included in RPCs give rise to absolute positioning error of about 25m as well known.

In this paper, a method for the compensation of biases in rational polynomial coefficients(RPCs) for IKONOS Geo imagery is developed. the method requires provision of one or two GCPs to generate the compensated RPCs, and the analysis result of practical testing represents two or three pixels accuracy from IKONOS Geo imagery in case of using only compensated RPCs without GCPs.

## **1. 서론**

우리나라에서는 지난 1999년 12월 6.6m급 다목적 실용위성 KOMPSAT-1(Korea Multi-Purpose Satellite)을 성공적으로 발사되어, 각 분야에 다양하게 이용되어져 왔다. 또한, 1m 해상도의 고해상 영상을 제공해 줄 수 있는 KOMPSAT-2 발사를 계획하고 있다. 고해상 위성 자료는 3차원 지형정보 취득, 지도제작, GIS 기초자료로서 활용되어지고 있으며, 군사목적 이외에 공공 및 민간시장에서 새로운 활용 잠재력을 가지고 있다. 따라서, 이에 대한 다양한 기술 개발과 기 개발된 기술의 정확도 향상이 필요하다. 본 논문에서는 대전지역의 IKONOS-2호 위성영상과 함께 제공된 RPC를 이용하여 3차원 지상좌표를 결정하고 그 오차를 분석하여 절대적 위치의 편의량을 계산하고, 이 오차를 보정하기 위한 방법을 제시하고자 한다.

## **2. RPC의 편의(Bias) 보정**

### **2.1 다항식비례모형(Rational Function Model)**

위성데이터로부터 3차원 지형정보를 획득하기 위해서는 센서와 촬영대상의 기하학적인 관계를 규명하는 센서모델링이 반드시 선행되어야 한다. IKONOS 위성과 같이 궤도정보를 제공하지 않거나 불확실한 경우에는 물리적 센서모델을 적용할 수 없기 때문에 이를 해결하기 위해서 물리적 센서모델을 수학적으로 변환시켜주는 다항식비례모형을 사용한다. 다항식비례모형은 frame, pushbroom, whiskbroom, panoramic 및 SAR 등 다양한 센서에서 취득한 데이터의 지형보정에 적용될 수 있다(Tao 등, 2000a; Tao 등, 2000b). 다항식비례모형은 영상좌표와 지상좌표간의 관계를 2개의 다항식의 비례형태로 식(1)과

같다.

$$x_n = \frac{p1(X_n, Y_n, Z_n)}{p2(X_n, Y_n, Z_n)}, \quad y_n = \frac{p3(X_n, Y_n, Z_n)}{p4(X_n, Y_n, Z_n)} \quad (1)$$

여기서,  $(x_n, y_n)$ 는 영상좌표를 의미하며,  $(X_n, Y_n, Z_n)$ 는 영상좌표에 대응하는 실제 대상물의 지상좌표값이다. 일반적으로 광학투영에 의한 왜곡은 1차 항으로, 지구곡률, 대기굴절, 렌즈왜곡 등에 의한 왜곡은 2차 항으로, 이외의 임의의 왜곡은 3차 항으로 보정하게 된다.  $P$ 는 각각의 다항식 모델(polynomial model)로 식(2)로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} p = \sum_{i=0}^{m1} \sum_{j=0}^{m2} \sum_{k=0}^{m3} a_{ijk} X^i Y^j Z^k = & a_0 + a_1 X + a_2 Y + a_3 Z \\ & + a_4 XY + a_5 YZ + a_6 ZX + a_7 X^2 + a_8 Y^2 + a_9 Z^2 \\ & + a_{10} XYZ + a_{11} X^2 Y + a_{12} X^2 Z + a_{13} XY^2 + a_{14} Y^2 Z \\ & + a_{15} XZ^2 + a_{16} YZ^2 + a_{17} X^3 + a_{18} Y^3 + a_{19} Z^3 \end{aligned} \quad (2)$$

우선 영상좌표계와 지상좌표계 사이의 큰 축척차로 인한 영향을 줄이기 위해 영상좌표계와 지상좌표계를 -1과 1사이의 값을 가지도록 정규화(Normalization) 한다.

Offset과 축척계수를 적용하여 각각의 구성요소를 구하여, 입체영상 및 높이값을 알고 있는 단영상에 대하여 최소제곱조정방법으로 3차원 위치를 결정할 수 있다.

$$\begin{pmatrix} v_x \\ v_y \end{pmatrix}_{ij} = A_{ij} \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}_j + \begin{pmatrix} x_o - x \\ y_o - y \end{pmatrix}_{ij} \quad (3)$$

여기서,  $(v_x, v_y)_{ij}^T$ 는 이미지 좌표 오차이고,  $(X, Y, Z)_j^T$ 는 실제 지상좌표에 근접하는 값이다.  $(x_o, y_o)_{ij}^T$ 는 식(1)로 구해지는 근접하는 실제 지상좌표에 대응하는 영상좌표이다.

## 2.2 RPC의 편의(Bias) 보정

IKONOS 위성영상 중 가장 활용도가 높은 표준기하보정(GEO-level) 영상을 활용하여 지형도를 제작할 때 3차원 위치결정에서의 평면위치 정확도(CE90: Circular Error at 90% Probability)는 25m, 고도 위치정확도(LE90: Linear Error at 90% Probability)는 22m, 지상 기준점으로부터 생성된 정밀 영상의 RPC를 사용할 경우 평면위치와 고도위치는 각각 2m, 3m의 관측정확도를 얻을 수 있다(Jacek Grodecki, 2001). 따라서, 영상과 함께 제공되는 RPC를 이용하여 3차원 위치결정을 할 경우 약 20m 내외의 평면오차가 발생하기 때문에, 영상과 함께 제공되는 RPC를 이용하여 위치결정을 하기보다는 영상 전체에 걸쳐서 고르게 지상기준점을 추출하여 최소제곱법으로 RPC 초기값을 계산한 후, 반복법에 의해 RPC를 갱신하여 3차원 위치결정을 수행한다. 이 경우 정확도는 향상되지만 다항식의 차수에 따라 많은 수의 지상기준점이 필요하다. 최근 RPC 갱신을 위하여 국내외에서 지상기준점을 줄이기 위하여 가상기준점을 이용한 연구가 수행되었다(이재빈 2002; 방기인 등, 2002). 본 논문에서는 지상기준점을 줄이면서 정확도를 향상시키기 위하여 소수의 지상기준점만을 이용하여 영상과 함께 제공되는 RPC를 수정함으로써 3차원 위치정확도를 향상시키는 방안을 제안하였다. RPC 편의는 영상에 대한 오차로 가정하여 연구를 수행하였으며, 영상좌표마다 한 쌍의 요소로 구성되어지는 편의 보정 모델은 식(3)을 확장하여 유도할 수 있다(Fraser 등, 2002).

$$\begin{pmatrix} v_x \\ v_y \end{pmatrix}_{ij} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & 1 & 0 \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_j \\ Y_j \\ Z_j \\ \Delta x_i \\ \Delta y_i \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} x_o - x \\ y_o - y \end{pmatrix}_{ij} \quad (4)$$

여기서,  $\Delta x$ ,  $\Delta y$ 는 영상좌표에 대한 오차로, 최소 지상기준점 1점을 이용하여 구할 수 있다. 새로운 RPC를 생성하는 것이 아니라, 소수의 기준점을 이용하여 편의 요소를 구하고, 이 편의 요소를 이용하여 원래 영상과 함께 제공되는 RPC를 수정하여 3차원 위치를 결정한다. RPC 수정 모델은 식의 간편성과 적용성에서 장점이 있다. 계산되어진 편의 요소는 영상에 대한 오차이므로 식(1)을 식(5)로 재구성할 수 있다.

$$x_{ij} + \Delta x_i = \frac{P_{i1}(X, Y, Z)_j}{P_{i2}(X, Y, Z)_j} \quad y_{ij} + \Delta y_i = \frac{P_{i3}(X, Y, Z)_j}{P_{i4}(X, Y, Z)_j} \quad (5)$$

식(5)에서 각 식의 분자식에 대해서만 RPC를 수정한다. 식(5)을 다시 쓰면 식(6)과 같이 표현되고,  $x$ 식에서 RPC  $a_k$ 는  $(a_k - b_k \Delta x_i)$ 로 대체할 수 있다.

$$x_{ij} = \frac{P_{i1}^C(X, Y, Z)_j}{P_{i2}(X, Y, Z)_j} \quad y_{ij} = \frac{P_{i3}^C(X, Y, Z)_j}{P_{i4}(X, Y, Z)_j} \quad (6)$$

여기서,

$$\begin{aligned} P_{i1}^C(X, Y, Z) &= (a_0 - b_1 \Delta x_i) + (a_1 - b_1 \Delta x_i)X + (a_2 - b_2 \Delta x_i)Y + (a_3 - b_3 \Delta x_i)Z \\ &+ \dots \dots + (a_{16} - b_{16} \Delta x_i)Y^3 + (a_{17} - b_{17} \Delta x_i)Y^2Z + (a_{18} - b_{18} \Delta x_i)YZ^2 \\ &+ (a_{19} - b_{19} \Delta x_i)Z^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{i3}^C(X, Y, Z) &= (c_0 - d_0 \Delta y_i) + (c_1 - d_1 \Delta y_i)X + (c_2 - d_2 \Delta y_i)Y + (c_3 - d_3 \Delta y_i)Z \\ &+ \dots \dots + (c_{16} - d_{16} \Delta y_i)Y^3 + (c_{17} - d_{17} \Delta y_i)Y^2Z + (c_{18} - d_{18} \Delta y_i)YZ^2 \\ &+ (c_{19} - d_{19} \Delta y_i)Z^3 \end{aligned}$$

이다.

### 3. RPC의 편의(Bias)보정을 위한 프로그램 개발

IKONOS 위성영상과 함께 제공되는 RPC의 편의요소를 보정하기 위한 모듈은 Visual C++ 6.0을 이용하여 프로그래밍 하였고, 다음과 같은 과정을 거쳐 이뤄졌다(그림 1).

첫째, 좌우영상에서 동일점을 산출하여 offset과 축척계수를 적용하여 -1.0과 1.0사이의 값으로 정규화한다.

둘째, 편의 요소를 구하기 위하여 사용될 지상기준점을 선택하여 정규화시키고, 좌·우 영상에 대한 영상 편의량을 구한다.

셋째, 이 편의량을 이용하여, 원래 제공되는 파일 포맷으로 RPC를 수정한다.

넷째, 수정된 RPC와 정규화된 좌우영상을 이용하여 X, Y, Z를 구하고, X, Y, Z가 임계치를 만족할 때까지 반복 계산하여 최종 3차원 위치를 결정한다.

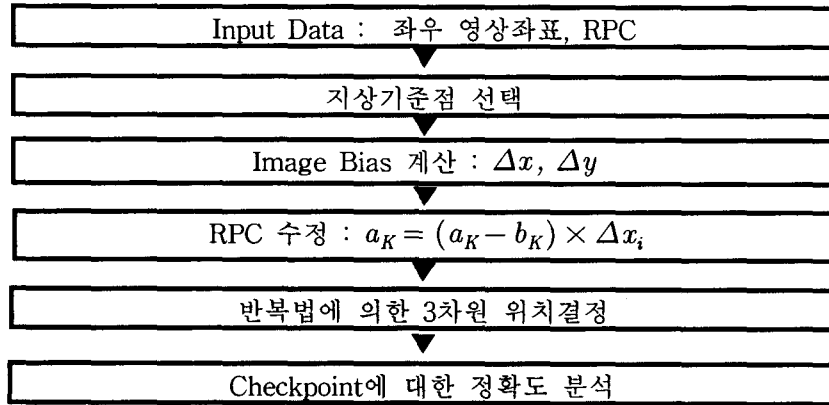


그림 1. RPC 편외 보정 과정

## 4. 결과 분석

### 4.1 연구대상지

본 연구에 사용된 대전지역 IKONOS-2 Pan. 영상은 Level 2에 속하는 영상으로, 1/1,000 수치지도에서 지상기준점을 추출하여 RPC 편외에 의한 3차원 위치결정 정확도를 평가하였다. 전체 IKONOS 영상 (9.7×9.6 km) 중 대전시 둔산동 정부청사 주위 지역을 2.5 × 2.5 km의 부분영상으로 절취하였으며, 이 부분 영상은 시가지 지역으로 표고는 대략 40~70m 정도이다. <그림 2>는 연구에 사용된 IKONOS 영상과 기준점 분포를 나타내고 있다.

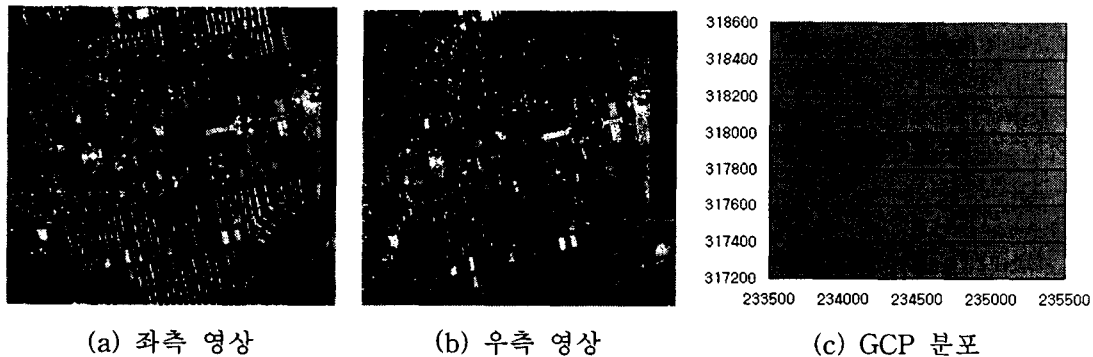


그림 2. IKONOS 입체영상과 GCP 분포

표 1. IKONOS 데이터 제원

	좌측 영상	우측 영상
Date/Time	2001-11-19 02:19	2001-11-19 02:18
Project Name	대전, Level 2 Pan.	대전, Level 2 Pan.
Datum	WGS 84	WGS 84
Resolution	1m	1m
Image Size(pixel)	9700 × 9600	9700 × 9600

### 4.2 정확도 분석

본 연구에서는 다항식비례모형을 통해 IKONOS Geo image의 정확도를 개선하기 위하여 1/1,000 수치

지도에서 15점의 GCP를 획득하였다. GCP 수에 따른 3차원 위치 정확도 검정을 위하여 1/1,000 수치지도에서 획득한 GCP 수(1점 - 5점)를 증가시키면서 좌·우측 영상의 영상 편의량을 계산하고, 계산된 좌·우 영상 편의량을 이용하여 RPC를 수정하였다. 편의 보정된 RPC를 이용하여 3차원 지상좌표를 결정하고, 검사점에 대하여 정확도 분석을 수행하였다.

대상 지역은 대전 10 × 10km IKONOS Geo image에서 전체 영상의 1/16의 크기(2.5 × 2.5 km), 1/4의 크기(5 × 5km)로 절취하여 정확도 분석을 수행하였다. 표 2는 GCP 수를 변화시키면서 얻어진 3차원 지상좌표와 검사점을 비교한 결과표이다. 2.5 × 2.5km영상에서 획득한 좌·우 영상좌표와 영상과 함께 제공된 RPC만을 이용하여 3차원 위치를 결정할 경우 X, Y, Z 방향으로 5.86m, 2.64m, 4.39m의 위치 편의 오차가 발생하였다. 1/1,000 수치지도에서 획득한 GCP 1점-5점을 이용하여 편의량을 구하고, 편의 보정된 RPC를 이용하여 3차원 위치결정을 수행한 결과, 위치 오차는 X, Y, Z 방향에서 2.23 - 2.62m로 정확도가 향상된 것을 알 수 있었다. 대상지역을 5 × 5km로 확대할 경우 1/1,000수치지도로 GCP를 취득하는 것이 어려워져서 부득히 1/5,000수치지도를 이용하여 GCP좌표를 취득하였다. 1/5,000 수치지도는 약 2-3m의 위치오차를 갖고 있고 수치지도와 위성영상과를 비교하여 상호 위치를 확인할 수 있는 점을 선택하여 GCP와 검사점으로 사용하였다. 따라서 1/1,000수치지도를 이용하는 경우와 1/5,000수치지도를 사용하는 경우 GCP와 검사점이 다르게 선정될 수 밖에 없었으며, 표 2에 표시된 것과 같이 RPC만을 이용한 위치결정오차가 1/1,000과 1/5,000을 이용한 경우의 수평위치오차가 약 10m 밀려나오는 것은 아직 명확한 오차원인을 찾지 못하였다. 다만, 5 × 5km로 범위를 확대한 경우도 GCP를 1-2점 사용하면 4 - 5m의 위치오차를 갖는 3차원 위치정보를 취득할 수 있었다.

표 2. GCP 수에 따른 RMSE

구 분	1/1000(2.5 × 2.5km 영상)			1/5000(2.5 × 2.5km 영상)			1/5000(5 × 5km 영상)		
	x(m)	y(m)	z(m)	x(m)	y(m)	z(m)	x(m)	y(m)	z(m)
RPC 이용	5.86	2.64	4.39	17.91	12.36	4.05	17.99	10.82	3.86
GCP 1점	2.44	2.77	3.19	4.86	4.84	4.66	4.84	5.35	5.69
GCP 2점	2.82	3.07	2.61	4.02	4.49	4.19	4.73	4.67	4.23
GCP 3점	2.65	3.31	2.63	3.89	4.35	4.28	4.66	4.78	4.76
GCP 4점	2.67	2.63	2.60	3.96	4.34	4.19	4.31	4.16	4.29
GCP 5점	2.23	2.58	2.62	3.89	4.26	4.13	3.66	4.10	4.04

그림 3에서 그림 5는 표 3의 GCP 수에 따른 오차를 그래프로 표현한 것이다. 그림 3은 대전지역 2.5 × 2.5km 부분 영상과 1/1,000에서 획득한 GCP를 이용하여 수행한 결과이다. GCP 2점부터는 오차가 거의 유사함을 알 수 있다.

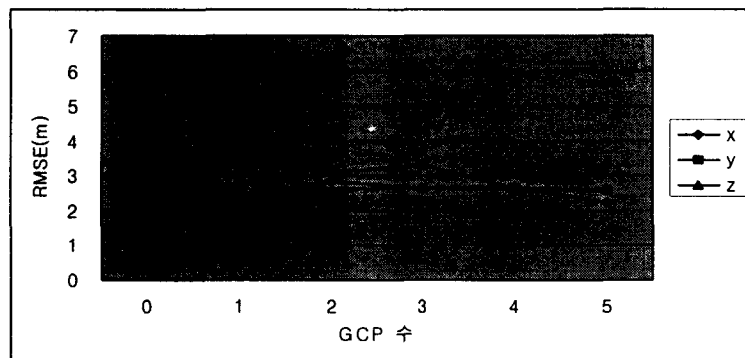


그림 3. 기준점수에 따른 정확도(2.5×2.5km, 1/1,000)

그림 4와 그림 5는 2.5km, 5km 영상과, 1/5,000에서 획득한 GCP를 이용하여 수행한 결과를 그래프로 나타낸 것이다. 그림 4에서 GCP 2점 이상은 거의 오차가 유사함을 확인할 수 있었다. 그림 5에서 대상 영역을 2.5km에서 5km로 크게 했을 경우 위치 오차가 조금 크게 나오며, GCP 2점 이상을 이용했을 때 오차의 변화는 크지 않았다.

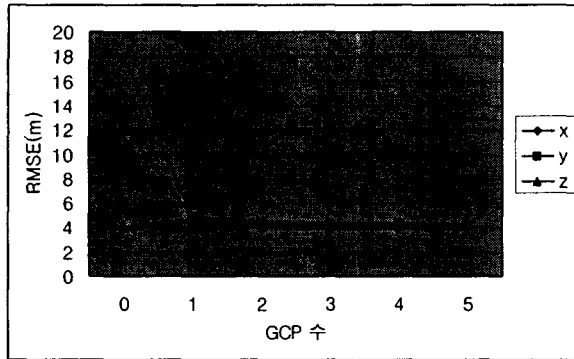


그림 4. 기준점수에 따른 정확도  
(2.5 × 2.5km 영상, 1/5,000 수치지도)

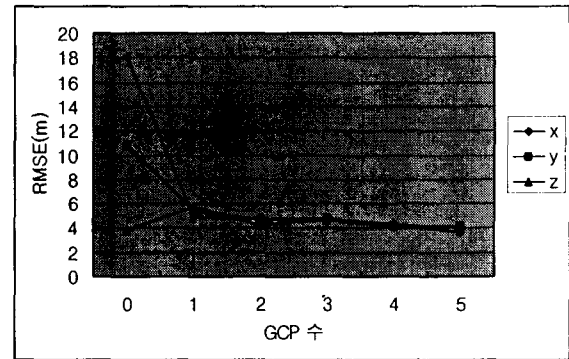


그림 5. 기준점수에 따른 정확도  
(5 × 5km 영상, 1/5,000 수치지도)

## 5. 결론

본 연구에서는 IKONOS 위성의 Geo level 입체영상과 소수의 지상기준점을 이용하여 RPC를 수정하고, 수정된 RPC를 이용하여 검사점에 대하여 3차원 위치오차를 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 제공된 RPC만을 이용하여 위치결정을 수행한 경우 평면위치오차는 6.5m, 표고 오차는 4.4m로 편이가 발생하였으며, 소수의 GCP를 이용하여 RPC의 편이를 보정한 후 3차원 위치를 결정한 경우 평면위치오차는 3.5m, 표고오차는 2.6m로 향상되었다.

둘째, 기존의 RFM에서 20-30점의 GCP가 요구되는 단점을 보완하기 위해서 1-2점의 GCP만으로 RPC 편이를 보정하여 위치정확도를 향상시킬 수 있는 방안을 제안함으로써 GCP취득에 소요되는 경비와 시간을 절약하고 신속하게 3차원 위치정보를 취득할 수 있었다.

## 참고문헌

- 방기인, 정수, 김경옥, 조우석(2002), 지상기준점 추가에 의한 IKONOS RPC 갱신. 한국지형공간정보학회지, 제10권, 제4호, pp. 41-50.
- 이재빈(2002), 고해상도 위성영상의 RPC 모델을 이용한 3차원 지형자료 추출에 관한 해석. 서울대학교, 서울대학교 석사학위논문, pp. 21-30.
- Fraser, C. S. and Hanley, H. B. (2003), Bias compensation in rational functions for Ikonos satellite imagery. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, pp. 53-57.
- Grodecki, J. (2001), IKONOS Stereo Feature Extraction-RPC Approach, *Proceedings of American Society for Photogrammetry & Remote Sensing Annual Conference*, ST. Louis, Missouri, CD-ROM.
- Tao, C. V. and Hu, Y. (2000a), Image rectification using a generic sensor model - rational function model. *IAPRS 33*, Part B3, Amsterdam, pp. 874-881.
- Tao, C. V. and Hu, Y. (2000b), Investigation on the rational function model. *2000 ASPRS Annual Conference*, Washington D. C. (On CD-ROM).