

RPC와 GCP를 이용한 IKONOS 위성영상의 기하보정

The Geometric Correction of IKONOS Image Using Rational Polynomial Coefficients and GCPs

강준묵¹⁾ · 이용욱²⁾ · 박준규³⁾

Kang, Joon Mook · Lee, Young Wook · Park, Joon Kyu

Abstract

IKONOS satellite images are particularly well suited for stereo feature extraction. But, because IKONOS doesn't offer information about the satellite ephemeris and attitude, we have to use IKONOS RPC(Rational Polynomial Coefficients) data for 3-D feature extraction. In this study, it was intended to increase the accuracy and the efficiency in application of high resolution satellite images. Therefore, this study develop the program to extract 3-D feature information and have analyzed the geometric accuracy of the IKONOS satellite images by means of the change with the number, distribution and height of GCPs. This study will provide basic information for futher studies of the accuracy correction in IKONOS and high resolution satellite images.

요 지

IKONOS 위성영상은 지형·지물의 분포 파악 및 추출에 적합하여 많은 분야에서 이를 이용한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그러나, IKONOS 위성영상은 3차원 지형정보를 추출할 수 있는 위성센서의 위치와 자세에 대한 정보를 공개하지 않고 있어 영상의 3차원 지형정보 획득을 위해서는 영상에서 제공하는 유일한 자료인 RPC(Rational Polynomial coefficients) 정보를 이용해야만 하는 실정이다. 이에 본 연구에서는 IKONOS 위성영상이 제공하는 RPC 정보를 통해 3차원 지상좌표 추출 알고리즘을 구현하여 프로그램을 개발하였으며, 이를 통한 3차원 지상좌표 추출시 발생하는 오차를 지상기준점 측량성과에 의해 보정하여 지상기준점의 수와 배치에 따른 위성영상의 기하학적 정확도 분석을 수행하므로써 고해상도 위성영상을 이용한 측정정확도 및 효율성을 향상시킬 수 있었다.

핵심용어(Keywords) : RPC(Rational Polynomial Coefficients), 지상기준점, 3차원 지상좌표

1. 서 론

최근 인공위성의 센서 개발 기술이 향상되면서 고해상도 상업용 위성의 개발이 활발히 이루어지고 있다. 미국, 캐나다, 프랑스 등 위성산업 분야의 선진국에서는 위성영상정보를 지식정보화 사회의 중요한 기반으로 인식하여 관련 분야에 대한 중점적인 투자 및 연구를 수행하고 있으며 체계적인 개발을 통하여 위성영상을 이용한 고부가가치를 창출하고 있다.

과거의 고해상도 위성영상들은 단지 비밀 군사 및 첩보의 목적 이외에는 그 이용이 제한되어 있었다. 그러나, 현

재의 고해상도 위성영상들은 상업용 목적으로 개발 및 운용되면서 민간 시장의 일반 사용자들에게 방대한 정보를 제공하고 있다. 최초의 상업용 고해상도 위성인 IKONOS 위성영상은 panchromatic 영상(1m) 및 multispectral 영상(4m)을 제공하고 있어 지상의 지형·지물 판독 및 추출에 적합하여 많은 분야에서 이를 이용한 연구들이 활발히 진행되고 있다.(안기원 등, 2002)

그러나, IKONOS 위성영상은 3차원 지상좌표를 추출할 수 있는 위성센서의 위치와 자세 및 카메라의 물리적인 구조에 대한 정보를 공개하지 않고 있어 3차원 지상좌표의 획득을 위해서는 영상에서 제공하는 유일한 자료인 RPC

1) 정회원 · 충남대학교 토목공학과 교수(E-mail:kang_jm@cnu.ac.kr)

2) 정회원 · 선문대학교 토목공학과 겸임교수(E-mail:leeyoungwook@empal.com)

3) 정회원 · 충남대학교 토목공학과 박사과정(E-mail:survey@empal.com)

(Rational Polynomial Coefficients) 정보를 이용하여 해석할 수 밖에 없는 실정이다. 그리고 IKONOS 위성 센서 기하모델은 지상기준점(Ground Control Point)을 사용하지 않고 제작되기 때문에 위치 측정시 편의(Bias)를 가지고 있으며 이 편의에 대한 오차가 RPC 정보에도 동일하게 작용하는 것으로 알려지고 있다.

이에 본 연구에서는 IKONOS 위성의 입체영상과 영상에서 제공되는 RPC 정보를 이용하여 3차원 지상좌표를 추출할 수 있는 프로그램을 구현하였으며, 이를 통해 3차원 지상좌표를 추출하고 위치 정확도를 평가하였다. 그리고, 3차원 지상좌표 추출시 발생하는 오차를 지상기준점 측량성과를 통해 보정하기 위하여 지상기준점의 수와 배치 및 표고 변화에 따른 IKONOS 위성영상의 기하학적 정확도 분석을 수행하므로써 고해상도 위성영상을 이용한 활용 분야에서의 측정 정확도 및 효율성을 향상시키고자 하였다.

2. 대상지 선정 및 지형정보 구축

본 연구의 실험을 위한 대상지는 우리나라 중심부에 위치해 있고 적정 규모의 도시, 농지 및 임야가 발달되어 있으며 기존의 지형조사가 비교적 잘되어 있을 뿐만 아니라 국립지리원의 상시관측소가 편중되어 있지 않아 접근성 및 경중률 측면에서 가장 타당하다고 판단되는 대전근교를 적지로 선정하였다(그림 1).

따라서, 본 연구는 대전지역에 대해 지상기준점을 사용

하지 않고 제작된 IKONOS 입체영상을 이용하였으며 실험을 위해 사용된 영상 및 그 제원은 다음과 같다.(표 1 및 그림 2).

대상지에 대한 지상기준점은 고해상도 위성영상의 기하학적 정확도 보정 및 수치고도모형을 제작하기 위한 기본 자료로도 사용될 수 있기 때문에 IKONOS 위성영상을 기반으로 선점하였고 기본적인 지상기준점으로 사용할 점과 검사를 하기 위한 목적으로 사용할 점을 고려한 총 52점에 대하여 GPS 정지측량을 실시하여 획득하였다.

이때 사용한 장비로는 Trimble社 4700 및 4800 이주파수신기이고 GPS 측량을 통하여 획득한 성과의 자료처리는 상용 소프트웨어인 GPSurvey 2.35를 이용하였으며 국립지리원 GPS 상시관측소중 청주와 전주지역을 연결하여 기선해석과 망의 조정을 통해 성과를 도출하였다.

본 실험을 위해 선점된 점들은 1m의 공간해상도를 가지는 IKONOS 위성영상을 기반으로 하기 때문에 대부분 영

표 1. 사용데이터의 제원

영상 특성	데이터
Project Name	Daejeon_STEREO
Sensor	IKONOS-2
Acquisition Date	2001-11-19
Image Type	PAN
Spatial Resolution	1m
Bits per Pixel per Band	11 bits per pixel
Processing Level	Radiometrically Corrected
File Format	TIFF

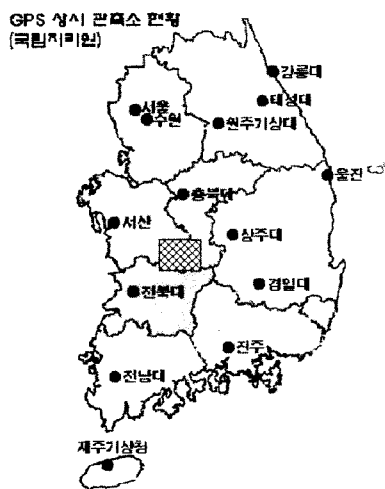


그림 1. 대상지 선정

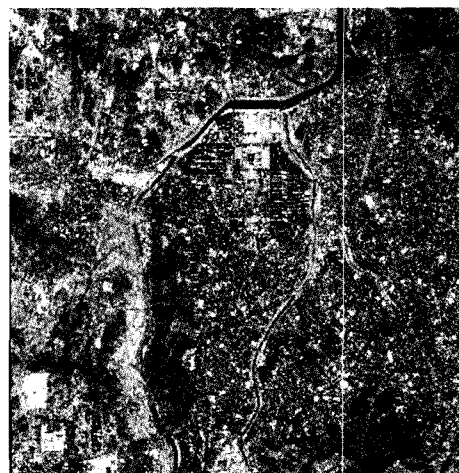


그림 2. 연구대상지 영상



그림 3. GCP 성과획득

상에서 식별이 용이한 도로 교차로, 교량 및 교통섬 등의 지형·지물을 선점하였다(그림 3).

3. 지상좌표 추출 프로그램 구현

IKONOS 위성영상은 지상기준점을 사용하지 않고도 영상에서 제공하는 RPC 정보를 이용하여 3차원 지상좌표의 추출을 가능하게 한다. 이때, 지상좌표를 추출하기 위해서는 RPC 정보의 해석 과정이 필요하며 이는 RFM(Rational Function Model)을 적용하여 해결할 수 있다.

원래 RFM은 지상좌표를 이용하여 영상좌표를 계산하는 상향식(Upward) 다항식이므로 입체영상으로부터 추출한 영상좌표를 이용하여 지상좌표를 계산하기 위해서는 하향식(Downward) 방식의 다항식이 필요하게 된다.

그러나 RFM은 이를 직접 지원해 주지 못하므로 상향식 다항식의 역함수를 이용하여 반복적인 방법으로 지상좌표를 계산해야 한다. 이 과정은 상향식 다항식에 Taylor's 이론을 적용시켜 지상좌표에 대해 편미분하여 선형화 시킨 후 지상좌표의 초기값과 함께 반복 계산을 실시하는 알고리즘으로 구성된다.

우선, 3차원 지상좌표를 계산하기 위해서는 다음의 식에 Taylor's 이론을 적용시켜 선형화된 식을 구해야 한다.

$$l = \frac{Num_l(U, V, W)}{Den_l(U, V, W)}$$

$$s = \frac{Num_s(U, V, W)}{Den_s(U, V, W)}$$

그러나 RPC 모델은 좌·우 영상에 대하여 각각 독립적으로 결정되는 식이므로 각각의 영상에 대해 적용되는 축척계수와 오프셋의 값이 다르다. 그러므로, 좌·우영상의 RPC 모델을 이용하여 3차원 지상좌표를 계산할 경우에는 정규화된 지상좌표 (U,V,W)로 구성된 RPC 모델을 (ϕ, λ, h) 좌표로 치환하여 선형이론을 적용시켜야 한다.

따라서, 좌·우 입체영상의 RPC 다항식을 지상좌표에 대하여 편미분을 취한 후 선형화 방정식을 구한다.

$$l^L = l_o^L + \frac{\partial l^L}{\partial \phi} \Delta\phi + \frac{\partial l^L}{\partial \lambda} \Delta\lambda + \frac{\partial l^L}{\partial h} \Delta h + \epsilon$$

$$s^L = s_o^L + \frac{\partial s^L}{\partial \phi} \Delta\phi + \frac{\partial s^L}{\partial \lambda} \Delta\lambda + \frac{\partial s^L}{\partial h} \Delta h + \epsilon$$

$$l^R = l_o^R + \frac{\partial l^R}{\partial \phi} \Delta\phi + \frac{\partial l^R}{\partial \lambda} \Delta\lambda + \frac{\partial l^R}{\partial h} \Delta h + \epsilon$$

$$s^R = s_o^R + \frac{\partial s^R}{\partial \phi} \Delta\phi + \frac{\partial s^R}{\partial \lambda} \Delta\lambda + \frac{\partial s^R}{\partial h} \Delta h + \epsilon$$

여기서, l^L, s^L 은 한 점의 지상좌표에 대한 좌영상의 정규화된 영상좌표이고 l^R, s^R 은 우영상에서의 정규화된 영상좌표이다.

위의 식들을 이용하여 관측방정식을 구성하면 다음과 같다.

$$L_L = l_o^L + \frac{\partial l^L}{\partial \phi} \Delta\phi + \frac{\partial l^L}{\partial \lambda} \Delta\lambda + \frac{\partial l^L}{\partial h} \Delta h - l^L + \nu_{l^L} = 0$$

$$S_L = s_o^L + \frac{\partial s^L}{\partial \phi} \Delta\phi + \frac{\partial s^L}{\partial \lambda} \Delta\lambda + \frac{\partial s^L}{\partial h} \Delta h - s^L + \nu_{s^L} = 0$$

$$L_R = l_o^R + \frac{\partial l^R}{\partial \phi} \Delta\phi + \frac{\partial l^R}{\partial \lambda} \Delta\lambda + \frac{\partial l^R}{\partial h} \Delta h - l^R + \nu_{l^R} = 0$$

$$S_R = s_o^R + \frac{\partial s^R}{\partial \phi} \Delta\phi + \frac{\partial s^R}{\partial \lambda} \Delta\lambda + \frac{\partial s^R}{\partial h} \Delta h - s^R + \nu_{s^R} = 0$$

여기서 RPC 모델식의 l (line)의 분자 다항식을 p_1 , 분모 다항식을 q_1 로, s (sample)의 분자 다항식을 p_2 , 분모 다항식을 q_2 로 치환하여 표기를 간단히 하고 관측 방정식의 계수들을 계산하면 다음과 같다.

$$l = \frac{Num_l(U, V, W)}{Den_l(U, V, W)} = \frac{p_1}{q_1}$$

$$s = \frac{Num_s(U, V, W)}{Den_s(U, V, W)} = \frac{p_2}{q_2}$$

line, sample에 대한 치환식을 이용한 계수 산출 과정은 다음과 같다.

$$\frac{\partial l}{\partial \phi} = \frac{\frac{\partial p_1}{\partial \phi} q_1 - p_1 \frac{\partial q_1}{\partial \phi}}{q_1^2}$$

$$\frac{\partial l}{\partial \lambda} = \frac{\frac{\partial p_1}{\partial \lambda} q_1 - p_1 \frac{\partial q_1}{\partial \lambda}}{q_1^2}$$

$$\frac{\partial l}{\partial h} = \frac{\frac{\partial p_1}{\partial h} q_1 - p_1 \frac{\partial q_1}{\partial h}}{q_1^2}$$

$$\frac{\partial s}{\partial \phi} = \frac{\frac{\partial p_2}{\partial \phi} q_2 - p_2 \frac{\partial q_2}{\partial \phi}}{q_2^2}$$

$$\frac{\partial s}{\partial \lambda} = \frac{\frac{\partial p_2}{\partial \lambda} q_2 - p_2 \frac{\partial q_2}{\partial \lambda}}{q_2^2}$$

$$\frac{\partial s}{\partial h} = \frac{\frac{\partial p_2}{\partial h} q_2 - p_2 \frac{\partial q_2}{\partial h}}{q_2^2}$$

여기서, RPC 분수식의 분모, 분자항에 대한 편미분은 다음의 과정을 통하여 계산할 수 있다.

$$\frac{\partial p_1}{\partial \phi} = \frac{1}{S_\phi} (a_2 + a_4 V + a_6 W + 2a_8 U + a_{10} VW + 2a_{12} UV + a_{14} V^2 + 3a_{15} U^2 + a_{16} W^2 + 2a_{18} UW)$$

$$\frac{\partial p_1}{\partial \lambda} = \frac{1}{S_\lambda} (a_1 + a_4 U + a_5 W + 2a_7 V + a_{10} UW + 3a_{11} V^2 + a_{12} U^2 + a_{13} W^2 + 2a_{14} UV + 2a_{17} VW)$$

$$\frac{\partial p_1}{\partial h} = \frac{1}{S_h} (a_3 + a_5 V + a_6 U + 2a_9 W + a_{10} UV + 2a_{13} VW + 2a_{16} UW + a_{17} V^2 + a_{18} U^2 + 3a_{19} W^2)$$

$$\frac{\partial q_1}{\partial \phi} = \frac{1}{S_\phi} (b_2 + b_4 V + b_6 W + 2b_8 U + b_{10} VW + 2b_{12} UV + b_{14} V^2 + 3b_{15} U^2 + b_{16} W^2 + 2b_{18} UW)$$

$$\frac{\partial q_1}{\partial \lambda} = \frac{1}{S_\lambda} (b_1 + b_4 U + b_5 W + 2b_7 V + b_{10} UW + 3b_{11} V^2 + b_{12} U^2 + b_{13} W^2 + 2b_{14} UV + 2b_{17} VW)$$

$$\frac{\partial q_1}{\partial h} = \frac{1}{S_h} (b_3 + b_5 V + b_6 U + 2b_9 W + b_{10} UV + 2b_{13} VW + 2b_{16} UW + b_{17} V^2 + b_{18} U^2 + 3b_{19} W^2)$$

$$\frac{\partial p_2}{\partial \phi} = \frac{1}{S_\phi} (c_2 + c_4 V + c_6 W + 2c_8 U + c_{10} VW + 2c_{12} UV + c_{14} V^2 + 3c_{15} U^2 + c_{16} W^2 + 2c_{18} UW)$$

$$\frac{\partial p_2}{\partial \lambda} = \frac{1}{S_\lambda} (c_1 + c_4 U + c_5 W + 2c_7 V + c_{10} UW + 3c_{11} V^2 + c_{12} U^2 + c_{13} W^2 + 2c_{14} UV + 2c_{17} VW)$$

$$\frac{\partial p_2}{\partial h} = \frac{1}{S_h} (c_3 + c_5 V + c_6 U + 2c_9 W + c_{10} UV + 2c_{13} VW + 2c_{16} UW + c_{17} V^2 + c_{18} U^2 + 3c_{19} W^2)$$

$$\frac{\partial q_2}{\partial \phi} = \frac{1}{S_\phi} (d_2 + d_4 V + d_6 W + 2d_8 U + d_{10} VW + 2d_{12} UV + d_{14} V^2 + 3d_{15} U^2 + d_{16} W^2 + 2d_{18} UW)$$

$$\frac{\partial q_2}{\partial \lambda} = \frac{1}{S_\lambda} (d_1 + d_4 U + d_5 W + 2d_7 V + d_{10} UW + 3d_{11} V^2 + d_{12} U^2 + d_{13} W^2 + 2d_{14} UV + 2d_{17} VW)$$

$$\frac{\partial q_2}{\partial h} = \frac{1}{S_h} (d_3 + d_5 V + d_6 U + 2d_9 W + d_{10} UV + 2d_{13} VW + 2d_{16} UW + d_{17} V^2 + d_{18} U^2 + 3d_{19} W^2)$$

위의 관측방정식은 다음과 같은 행렬식으로 표현할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial l^L}{\partial \phi} & \frac{\partial l^L}{\partial \lambda} & \frac{\partial l^L}{\partial h} \\ \frac{\partial s^L}{\partial \phi} & \frac{\partial s^L}{\partial \lambda} & \frac{\partial s^L}{\partial h} \\ \frac{\partial l^R}{\partial \phi} & \frac{\partial l^R}{\partial \lambda} & \frac{\partial l^R}{\partial h} \\ \frac{\partial s^R}{\partial \phi} & \frac{\partial s^R}{\partial \lambda} & \frac{\partial s^R}{\partial h} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \phi \\ \Delta \lambda \\ \Delta h \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} l^L - l_o^L \\ s^L - s_o^L \\ l^R - l_o^R \\ s^R - s_o^R \end{bmatrix}$$

위의 식은 미지수 3개($\Delta \phi$, $\Delta \lambda$, Δh)와 관측식 4개로 구성되어 있으므로 최소제곱조정법을 이용하여 미지수를 계산할 수 있다. 위의 식은 다시 아래와 같이 구성할 수 있으며 미지수인 위도(ϕ), 경도(λ), 고도(h)의 지상좌표를 계산할 수 있다.(Jacek Grodecki, 2001 ; Open GIS Consortium, 1999 ; Vincent Tao 등, 2000 ; Kaichang Ki 등, 2001 ; 이재빈 등, 2001)

$$AX = c$$

$$X = (A^T A)^{-1} A^T c$$

본 연구에서는 객체지향프로그램인 Visual C++ 6.0을 이용하여 3차원 지상좌표 추출 프로그램을 개발하였으며 그림 4에 프로그램 대화상자를 제시하였다.

본 연구에서 개발된 프로그램은 CNU 프로그램이라 명명하였으며 대전지역의 IKONOS 입체영상에서 좌·우영상의 영상좌표 및 RPC 정보를 입력받아 3차원 지상좌표를 계산한다. 이때, 좌·우 영상에서의 영상좌표는 영상처리 소프트웨어 ENVI를 이용하여 화소(pixel) 이하의 단위로 직접 독취하였으며 영상좌표 획득 패넬은 그림 5에 제시하였다.

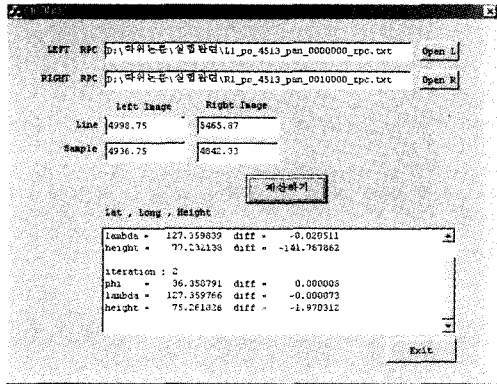


그림 4. 지상좌표 추출 프로그램 (CNU)

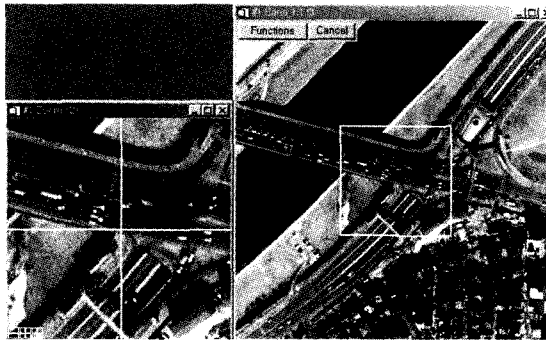


그림 5. 영상좌표 획득

본 연구를 위해 획득된 영상좌표는 좌표 취득 과정에서 객관성을 확보하기 위하여 최초 측정후 2시간 이상의 간격을 두고 일일 4회씩 총 12회를 측정하여 산술평균한 결과를 사용하였다. 이때 영상좌표로 측정된 위치들은 대부분 영상에서 비교적 명확하게 보이는 측점인 도로의 교차로, 횡단보도, 교통섬, 교량 등 총 52점에 대하여 측정하였다. 또 선정된 총 52점에 대하여 지상기준점 측량을 실시하여 본 연구의 기준성과로서 사용하였다.

본 연구를 위해 작성된 CNU 프로그램의 활용 가능성 및 수행성 평가를 위해 상용 영상처리 소프트웨어 ERDAS IMAGINE 8.5를 사용하여 획득한 결과와 비교·분석함으로써 CNU 프로그램 활용에 대한 정확도 검증을 수행하였다. CNU 프로그램의 수행성 평가를 위한 실험은 성남지역의 1m 해상도 Pan-Sharpned 입체영상을 이용하였으며 표 2는 본 실험을 위해 사용한 RPC 정보의 일부를 보여주고 있다.

본 수행성 평가 실험은 성남지역의 IKONOS 위성

표 2. 입체모형 RPC Data Format

LINE_OFF	: +006371.00 pixels
SAMP_OFF	: +004754.00 pixels
LAT_OFF	: +37.47730000 degrees
LONG_OFF	: +127.07790000 degrees
HEIGHT_OFF	: +0224.000 meters
LINE_SCALE	: +007503.00 pixels
SAMP_SCALE	: +005338.00 pixels
LAT_SCALE	: +00.05010000 degrees
LONG_SCALE	: +000.07420000 degrees
HEIGHT_SCAE	: +0193.000 meters
LINE_NUM_COEFF_1	: -9.181420973135678E-04
LINE_NUM_COEFF_2	: +8.563629658135792E-01
:	:
LINE_NUM_COEFF_19	: +3.101950615672334E-06
LINE_NUM_COEFF_20	: +1.169393162983637E-07
LINE_DEN_COEFF_1	: +1.000000000000000E+00
LINE_DEN_COEFF_2	: +5.443284467180951E-04
:	:
LINE_DEN_COEFF_19	: -4.167856560185188E-09
LINE_DEN_COEFF_20	: +1.756151151309454E-09
SAMP_NUM_COEFF_1	: +6.850379426246912E-04
SAMP_NUM_COEFF_2	: +2.526976007730419E-01
:	:
SAMP_NUM_COEFF_19	: -1.792605743665904E-05
SAMP_NUM_COEFF_20	: -2.070602881124704E-07
SAMP_DEN_COEFF_1	: +1.000000000000000E+00
SAMP_DEN_COEFF_2	: +5.443284467180951E-04
:	:
SAMP_DEN_COEFF_19	: -4.167856560185188E-09
SAMP_DEN_COEFF_20	: +1.756151151309454E-09

표 3. 성남 제1입체모형 결과 비교

점번호		1	2	3	4
좌영상	Line	619.9	5538.4	7211.1	2238.6
	Sample	6022.1	5098.3	3089.1	853.6
우영상	Line	619.7	5538.5	7211.1	2238.7
	Sample	6043.6	5089.7	3089.4	814.5
ERDAS	경도(deg)	127.016800	127.069200	127.083000	127.023000
	위도(deg)	37.444400	37.427000	37.406200	37.395500
	고도(m)	71.380500	111.940300	100.205100	154.450300
CNU	경도(deg)	127.016806	127.069180	127.082964	127.022980
	위도(deg)	37.444403	37.426989	37.406222	37.395500
	고도(m)	71.359120	112.120313	100.294475	154.707831
차이 (ERDAS -CNU)	경도(m)	-0.000006	0.000020	0.000038	0.000020
	위도(m)	-0.000003	0.000011	-0.000022	0.000000
	고도(m)	0.021380	-0.180013	-0.089375	-0.257531

표 4. 성남 제2입체모형 결과 비교

점번호		5	6	7	8
좌영상	Line	1880.9	1689.7	6003.9	5905.6
	Sample	4402.9	718.7	5693.7	396.2
우영상	Line	1880.9	1689.9	6004.0	5905.5
	Sample	4428.5	746.3	5719.9	406.2
ERDAS	경도(deg)	127.027000	127.016300	127.075600	127.062300
	위도(deg)	37.483100	37.451000	37.486900	37.440200
	고도(m)	64.633900	62.214800	64.063400	87.119400
CNU	경도(deg)	127.026995	127.016331	127.075616	127.062284
	위도(deg)	37.483098	37.450974	37.486854	37.440236
	고도(m)	64.719292	62.592373	64.196867	86.976746
차이 (ERDAS -CNU)	경도(deg)	0.000005	-0.000031	-0.000016	0.000016
	위도(deg)	0.000002	0.000026	0.000046	-0.000036
	고도(m)	-0.085392	-0.377573	-0.133467	0.142654

영상을 기반으로 측정된 총 8점의 영상좌표에 대한 CNU 프로그램을 통해 추출된 지상좌표 성과와 ERDAS IMAGINE 8.5를 통해 추출된 지상좌표 성과사이의 편차를 비교하는 방법으로 수행되었다. 검증을 통하여 얻은 RMSE 결과는 경도, 위도, 고도에서 각각 0.000021°, 0.000024°, 0.192090m이고 이러한 값들은 본 연구의 수행을 위해 필요한 정확도를 갖는다고 판단되며 추출된 지상좌표 편차 결과는 (ERDAS 결과값 - CNU 결과값)의 형태로 표 3, 표 4에 제시하였다.

4. 영상 기하보정 정확도 분석

IKONOS 입체영상들의 기하학적 정확도는 지상기준점의 가용성과 사용성에 의해 결정되는데 지상기준점이 없을 경우 정확도는 위성의 궤도와 자세 정보에 의해 결정된다. 위성의 궤도는 위성에 탑재된 GPS 수신기와 정밀한 GPS 지상자료처리 과정을 통해 결정되고 위성의 자세는 영상획득 과정에서 변화하는 상대적인 자세를 측정하는 탑재 gyros에 의해 측정된 자료와 star tracker 자료의 최적 조합에 의해 결정된다.(Gene Dial, 2000)

본 연구에서는 활용성이 검증된 CNU 프로그램에 의하여 추출된 3차원 지상좌표 성과와 동일 지점에 대한 GPS 측량 성과와의 편차를 서로 비교하므로써 지상기준점의 수량과 배치 및 표고 변화에 따른 IKONOS 위성영상의 기하학적 정확도를 분석하였다. 본 연구는 IKONOS 위성영상을 기반으로 선점된 총 52점에 대하여 기준점 20

점과 검사점 32점으로 분할 사용하였으며 지상기준점의 수량과 배치를 조정함에 따른 검사점의 정확도 변화를 파악하였다. 또한 표고 변화에 대한 특성 분석을 통하여 영상내의 지상기준점의 선점 과정에 대한 중요성을 확인하였다.

4.1 지상기준점의 수에 따른 정확도 분석

IKONOS 위성영상의 기하학적 정확도 보정을 위해 지상기준점의 수를 조정하면서, 지상기준점이 존재하지 않을 경우의 정확도와 지상기준점의 수가 증가함에 따른 정확도를 분석하였다.

IKONOS 위성영상은 지상기준점을 사용하지 않고 제작되기 때문에 영상을 통한 위치 측정시 편의(Bias)를 가지고 있으며 이 편의에 대한 오차가 위성에서 제공되는 RPC 정보에도 동일하게 작용하는 것으로 알려져 있다.

실제로, 본 연구에서는 IKONOS 위성영상을 기반으로 선점된 지상기준점 총 52점에 대하여 CNU 3차원 지상좌표 추출 프로그램을 통해 계산한 성과와 GPS 현지 측량 성과 사이에 거의 일정한 편의 양상이 있음을 확인하였다. 이는 IKONOS 위성영상이 RPC 정보에 일정한 경향의 편의를 가지고 있어 영상내의 3차원 지형정보들이 임의의 형태의 경향을 보이며 시프트(Shift) 되어 있음을 의미하는 것으로 사료된다.

이에 본 연구는 지상기준점 20점에 대한 검사점 32점의 정확도 변화를 파악하여 RMSE 성과를 도출해본 결과, 지상기준점이 존재하지 않을 경우 위도에서 0.303초, 경도에서 0.127초, 타원체고에서 7.303m의 다소 큰 오차를 보여 주었지만 지상기준점이 존재할 경우에는 위도에서 0.065초, 경도에서 0.097초, 타원체고에서 2.950m로 정확도가 크게 향상됨을 확인할 수 있었다.

그림 6과 그림 7은 IKONOS 위성영상의 지상기준점의 수에 따른 3차원 지상좌표의 정확도 변화를 나타내고 있으며 지상기준점의 수를 14점까지 증가시키면서 검사점의 정확도 변화를 분석해본 결과, 지상기준점의 수를 증가시켜도 1점을 사용하였을 경우에 비해 효율성 및 경제성에 비추어볼 때 큰 효율성이 없었으며 보다 높은 정확도 향상을 기대할 수 없었다.

이로부터 IKONOS 위성영상의 기하학적 정확도 보정을 위해서는 많은 수의 지상기준점을 사용하지 않고 단 1점의 지상기준점만을 사용하여도 충분한 요구정확도를 얻어낼 수 있다는 사실을 확인하였다.

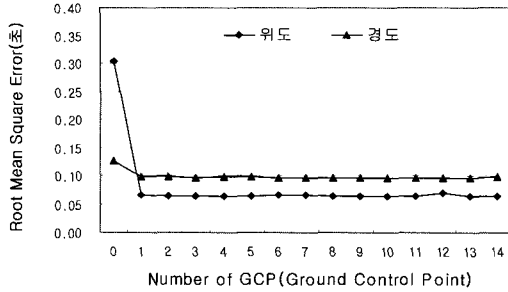


그림 6. GCP 수에 따른 위·경도 정확도 분석

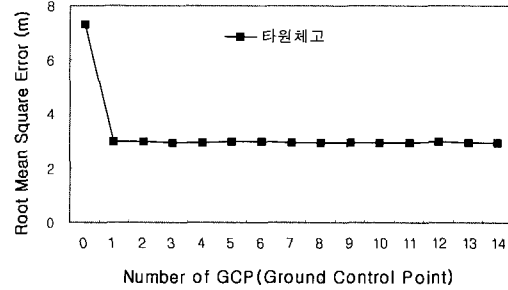


그림 7. GCP 수에 따른 타원체고 정확도 분석

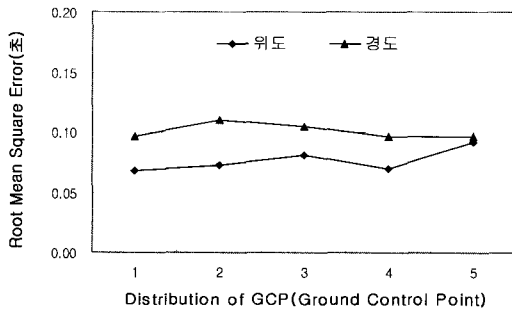


그림 8. GCP 배치에 따른 위·경도 정확도 분석

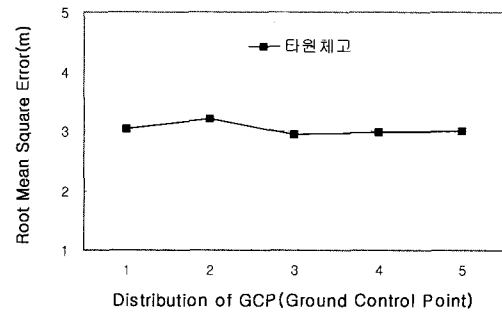


그림 9. GCP 배치에 따른 타원체고 정확도 분석

4.2 지상기준점의 배치에 따른 정확도 분석

지상기준점 배치에 따른 정확도의 변화 유무를 확인하기 위하여 지상기준점 1점을 사용하여 전체 영상내에 특징적으로 배치시킨 후 정확도를 분석하였다. 지상기준점 1점으로도 충분한 정확도 향상을 얻어낸 사실을 이용하여 전체 영상내의 중앙(배치 1), 좌측상단(배치 2), 우측상단(배치 3), 좌측하단(배치 4), 우측하단(배치 5)의 총 5곳을 선정함으로써 분석을 수행해 보았으나 정확도 향상은 기대할 수 없었으며 그 결과는 그림 8과 그림 9에 제시하였다.

이러한 결과는 IKONOS 위성영상 전체에 걸쳐 임의량의 편향의 경향을 나타내고 있는 것으로 지상기준점의 사용 유무에 따른 영향은 받지만 지상기준점의 배치 양상에 따른 정확도에는 큰 영향을 받지 않는 것으로 사료된다.

4.3 지상기준점 표고에 따른 정확도 분석

지상기준점의 선점시 지형적 특성에 대한 특징을 파악하기 위해 표고 변화가 잘 반영된 지상기준점 20점을 사용하여 검사점들의 정확도 변화량을 확인하였다. 대부분 측정점의 RMSE들이 거의 일정한 변화를 보이고 있지만 몇몇의 측정점에서 다소 큰 편차를 나타내고 있다.

도심지 평지 측정점인 8, 11, 15번은 위도, 경도에서 다소 큰 편차를 보이고 있으며, 경사가 급한 지역의 측정점 16번은 위도, 경도의 편차에 비해 타원체고에서 큰 오차를 보이는데, 이는 모두 영상점 측정오차에서 기인된 것으로 사료된다. 또 측정점 19, 20번은 대전광역시에 위치한 보문산내의 점으로 성과 관측시 어려움이 있었던 곳이다. 이러한 측정점들은 산악지형에 분포되어 있는 점들로서 영상내에서 식별이 곤란하였고 현지측량시에도 선점한 측정점들의 위치를 파악하는데 있어 오차를 포함할 것으로 판단되며 이들의 측정오차로 인해 발생한 것으로 추측된다.

그림 10과 그림 11은 지상기준점의 표고 변화에 따른 정확도를 나타낸 것으로 위도, 경도, 타원체고에 대한 변화량을 RMSE로 나타내었다.

이러한 결과는 IKONOS 위성영상의 기하보정에 있어 표고에 따라서는 큰 영향이 없었으며 지상기준점을 선점하는데 있어서의 중요성을 확인시켜주었다. 즉, 영상내 식별이 어려운 복잡한 도심이나 산악지형보다는 시야가 좋고 위치 식별이 용이한 측정점들을 사용하는 것이 정확도 향상에 도움이 될 것으로 판단된다.

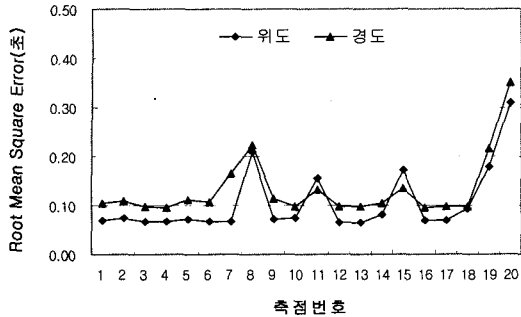


그림 10. 표고 변화에 따른 위·경도 정확도 분석

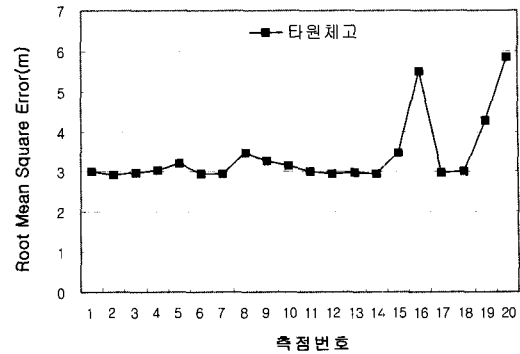


그림 11. 표고 변화에 따른 타원체고 정확도 분석

5. 결 론

본 연구는 3차원 지상좌표 추출 프로그램을 구현하고 이를 통한 3차원 지상좌표 추출시 발생하는 오차를 지상기준점에 의한 보정을 위하여 지상기준점의 수와 배치 및 표고 변화에 따른 위성영상의 기하학적 정확도 분석을 수행하므로써 고해상도 위성영상을 이용한 측정정확도 및 효율성을 향상시키고자 한 것으로 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. IKONOS 위성이 제공하는 RPC(Rational Polynomial Coefficients) 정보를 이용하여 상용 영상처리 프로그램보다 사용이 용이한 3차원 지형정보 추출 프로그램을 구현하였으며 이에 대한 정확도 검증을 실시하여 IKONOS 영상에 의한 지형의 3차원 모델링을 위해 충분한 측정정확도를 확보할 수 있었다.

2. IKONOS 위성영상의 기하학적 정확도를 보정하기 위하여 많은 수의 지상기준점을 사용하지 않고 단 1점의 지상기준점 사용으로도 충분히 정확도를 향상시킬 수 있으며 그 배치 양상에는 큰 영향을 받지 않고 있음을 확인할 수 있었다.

3. 지상기준점을 통한 IKONOS 위성영상의 정확도 보정시 표고에 따른 영향은 거의 받고 있지 않으며 지상기준점 선점에 대한 중요성을 확인하였다. 즉, 지상기준점 선점시 영상내 식별이 어려운 산악지형보다는 시야가 좋고 영상내 식별이 확실한 측점의 지상기준점을 선점하는 것이 정확도 향상에 기여한다고 판단된다.

4. 고해상도 위성영상을 이용한 응용연구에 기초자료를 제시할 수 있을 것이며, 향후 영상좌표 및 지상좌표 관측시

보다 정밀한 측정이 선행된다면 더욱 향상된 결과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

5. 본 연구의 결과로부터 획득된 성과는 대상지역인 대전지역의 특성을 반영하는 것이며, 향후 더 다양한 지역에 대한 특성 분석을 통하여 지상기준점을 이용한 정확도 향상에 대한 연구를 수행해야 될 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구의 수행에 필요한 영상(IKONOS)데이터 자료 제공에 협조하여 주신 e-HD.com에 감사드립니다.

참고문헌

- 안기원 외 2인 (2002), 고해상도 인공위성 영상데이터의 기하보정을 위한 RFM의 적용, 한국측량학회지, 제 20권 제 2호.
- Jacek Grodecki (2001), IKONOS Stereo Feature Extraction-RPC Approach, *ASPRS*.
- Open GIS Consortium (1999), Topic 7 : The Earth Imagery Case, pp. 99-107.
- C. Vincent Tao, Yong Hu (2000), Investigation On The Rational Function Model, *ASPRS*.
- Kaichang Di, Ruijin Ma, Ron Li (2001), Deriving 3-D Shorelines From High Resolution IKONOS Satellite Images With Rational Functions, *ASPRS*.
- 이재빈 외 3인 (2001), IKONOS 위성영상의 RFM을 이용한 3차원 지형자료의 구축에 관한 연구, 대한토목학회학술발표논문집, CD-ROM.
- Gene Dial(2000), IKONOS Satellite Mapping Accuracy, *ASPRS*.

(2003년 5월 17일 원고접수)