

IKONOS 입체영상을 이용한 3차원 위치 결정과 DEM 생성 3-D Positioning and DEM Generation from the IKONOS Stereo Images

지학송¹⁾ · 안기원²⁾ · 박병욱³⁾ · 이건기⁴⁾ · 서두천⁵⁾

Ji, Hak Song-Ahn, Ki Won-Park, Byung Uk-Lee, Gun Ki-Seo, Doo Chun

¹⁾ 경상대학교 공과대학 토목공학과 석사(E-mail : s_hsj@gshp.gsnu.ac.kr)

²⁾ 경상대학교 공과대학 토목공학과 교수(E-mail : kwahn@nongae.gsnu.ac.kr)

³⁾ 한경대학교 토목공학과 교수(E-mail : ukpark@hnu.hankyong.ac.kr)

⁴⁾ 경상대학교 공과대학 전자공학과 교수(E-mail : gklee@nongae.gsnu.ac.kr)

⁵⁾ 한국항공우주연구원 원격탐사그룹 PD연구원(E-mail : dcivil@kari.re.kr)

Abstract

This study presents on generation coefficients of the RFM using GEO-level stereo images of the IKONOS satellite. 3-D positioning and DEM generation of this model on the test field. In result, the maximum error of image coordinates acquired by the upward transform of the RFM did not exceed 8 pixels. DEM was generated with kriging interpolation extracted three dimensional ground coordinate to rational quadratic function form, we compared it to reference digital elevation model made from 1:5,000 digital map and 1:1,000 digital map, and so, could generate digital elevation model in the accuracy as average RMSE of elevation was $\pm 3\sim 5$ m in RFM.

1. 서론

오늘날 항공사진은 지형도 제작의 중요한 수단이지만 촬영 및 도화 비용 등, 막대한 예산이 소요되므로 보다 경제적이고 효율적인 지도제작기법의 도입이 필요하게 되었다. 인공위성영상은 항공사진에 비하여 주기적이고 광범위하게 영상을 취득할 수 있으며, 활용하는 분야는 해양, 기상, 수리, 도시계획, 지질, 군사 등 다양하게 존재하며 지리정보시스템(GIS; geographic information system)의 입력 자료로도 많이 활용하고 있는 추세이다. 이 중에서도 입체 인공위성을 이용한 3차원 지형정보 추출은 영상지도(image map) 생성과 지도생성 등에 이용될 뿐만 아니라 다른 응용분야에 중요한 분석 자료로 사용되고 있어 정밀한 3차원 지형정보 추출의 중요성이 증가하고 있다.

인공위성 데이터를 사용하여 지도를 작성하는데 있어서 높은 정밀도의 기하보정이 필요하다. 이를 위해서는 위성의 궤도요소, 외부표정요소와 같은 위치추산력 데이터(ephemeris data)등의 보조데이터 필요하나 IKONOS 위성의 경우 WGS(world geodetic system)84 타원체의 측지좌표계로부터 결정된 RFM의 계수값을 사용자에게 제공함으로써 이를 우리나라 측지좌표계로 변환하여 사용하기에는 상당한 시간과 비용이 들어간다. 또한 좌표계 변환으로 인해 정확도에 직접적인 영향을 미칠 수 있으므로 제공하는 계수값을 사용하기에 어려움이 있으며, 향후 발사 예정인 상업용 고해상도 위성 대부분이 보조데이터를 제공하지 않을 계획이다. 이러한 고해상도 위성 데이터를 활용하기 위해서는 RFM(rational function model)의 특성과 모델링 기법을 연구하여 국산화할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 IKONOS 위성데이터로부터 rational function 계수를 직접 산출하여 3차원 지상좌표를 추출하고 수치표고모델을 제작하여 그 정확도를 검증하고자 한다.

2. 적용기법

2.1 RFM(Rational Function Model)

RFM은 촬영 대상공간상에 존재하는 지형지물의 3차원좌표와 이에 대응하는 영상좌표간의 기하학적인 관계를 표현하는 센서모델의 한 종류로서, 위성의 궤도정보를 얻을 수 없는 경우나 궤도에 대한 정보가 불확실하여 물리적 센서 모델로는 지형보정을 수행할 수 없는 경우에 사용 될 수 있는 추상적모델중 하나이다. 이 모델은 frame, pushbroom, whiskbroom, panoramic 및 SAR 등 다양한 센서에서 취득한 데이터의 지형보정에 적용될 수 있다. 또한 최근 발사된 고해상도의 상업용 위성인 IKONOS 위성데이터에서도 RFM형태의 위성정보를 제공하고 있기 때문에 RFM을 이용한 지형보정, 수치표고모델, 정사영상의 제작 필요성이 증가되고 있다.

2.1.1 Rational Function

2차원 평면내에서 좌표변형에 사용되는 고차다항식을 기본방정식으로 개발된 RFM은 센서나 플랫폼 및 3차원 지상좌표를 정의하는 여러 좌표계(지심좌표계, 측지좌표계, 평면직각좌표계 등)에 대하여 독립적이다. 영상내의 임의 점과 이에 대응하는 지상좌표의 관계를 지상의 3차원좌표 X, Y, Z 로 구성되는 비례 다항식의 형태로 표현하면 식(1)과 같다.

$$x = \frac{P_1(X, Y, Z)}{P_2(X, Y, Z)}, \quad y = \frac{P_3(X, Y, Z)}{P_4(X, Y, Z)} \quad (1)$$

이들 다항식의 구성방식은 식(2) 및 식(3)과 같다.

$$P(X, Y, Z) = \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^i \sum_{k=0}^j a_n \cdot X^{i-j} Y^{j-k} Z^k \quad (2)$$

$$\begin{aligned} P(X, Y, Z) = & a_0 + a_1X + a_2Y + a_3Z + a_4X^2 + a_5XY + a_6XZ + a_7Y^2 + \\ & a_8YZ + a_9Z^2 + a_{10}X^3 + a_{11}X^2Y + a_{12}X^2Z + a_{13}XY^2 + \\ & a_{14}XYZ + a_{15}XZ^2 + a_{16}Y^3 + a_{17}Y^2Z + a_{18}YZ^2 + a_{19}Z^3 \end{aligned} \quad (3)$$

2.1.2 최소제곱법에 의한 반복해

식(1)에서 잔차항 (v_x, v_y)로 정리하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} Bv_x &= [1 \ X \ Y \ Z \ \dots \ YZ^2 \ Z^3 \ -xX \ -xY \ \dots \ -xYZ^2 \ -xZ^3] \cdot J - x \\ Dv_y &= [1 \ X \ Y \ Z \ \dots \ YZ^2 \ Z^3 \ -yX \ -yY \ \dots \ -yYZ^2 \ -yZ^3] \cdot K - y \end{aligned} \quad (4)$$

여기서,

$$\begin{aligned} B &= (1 \ X \ Y \ Z \ \dots \ YZ^2 \ Z^3) \cdot (1 \ b_1 \ \dots \ b_{19})^T, \quad J = (a_0 \ a_1 \ \dots \ a_{19} \ b_1 \ b_2 \ \dots \ b_{19})^T \\ D &= (1 \ X \ Y \ Z \ \dots \ YZ^2 \ Z^3) \cdot (1 \ d_1 \ \dots \ d_{19})^T, \quad K = (c_0 \ c_1 \ \dots \ c_{19} \ d_1 \ d_2 \ \dots \ d_{19})^T \end{aligned}$$

식(4)의 미지계수인 $a_0 \sim b_{19}$ 및 $c_0 \sim d_{19}$ 는 총 78개로서, 최소제곱법의 원리를 적용하여 미지계수를 구하기 위해서는 최소 39개의 기준점이 있어야 한다. 이들 기준점수 n 을 모두 고려하여 행렬로 나타내면 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} V_x \\ \vdots \\ V_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M & | & 0 \\ \vdots & + & \vdots \\ 0 & | & N \end{bmatrix} \begin{bmatrix} J \\ \vdots \\ K \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} R \\ \vdots \\ C \end{bmatrix} \quad (5)$$

식(5)를 n 개의 기준점과 m 개의 계수항에 대해 row와 column으로 간단히 표현하면 다음과 같은 관측방

정식이 성립한다.

$$V = \begin{matrix} T & I & - & G \\ (2n, 1) & (2n, 2m) & (2m, 1) & (2n, 1) \end{matrix} \quad (6)$$

I 항을 구하기 위하여 최소제곱법을 적용하면,

$$T^T W T I - T^T W G = 0 \quad (7)$$

로 선형화된다. 식(7)를 I 에 관하여 정리하면 rational function의 계수행렬이 구하여 진다.

여기서 W 는 경중률행렬로서 식(8)과 같다.

$$W = \begin{bmatrix} W_x & 0 \\ 0 & W_y \end{bmatrix}$$

$$W_x = \begin{bmatrix} \frac{1}{B_1^2} & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & \frac{1}{B_2^2} & 0 & \vdots \\ \vdots & 0 & \ddots & 0 \\ 0 & \cdots & 0 & \frac{1}{B_n^2} \end{bmatrix}, \quad W_y = \begin{bmatrix} \frac{1}{D_1^2} & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & \frac{1}{D_2^2} & 0 & \vdots \\ \vdots & 0 & \ddots & 0 \\ 0 & \cdots & 0 & \frac{1}{D_n^2} \end{bmatrix} \quad (8)$$

2.2 Rational Function의 공간교차이론

인공위성데이터로부터 RFM을 이용하여 3차원 지상좌표를 계산하는 방법은 선정된 기준점을 바탕으로 사용자가 직접 주변환식과 역변환식의 계수를 산출하여 지상좌표를 해석하는 방법과, IKONOS와 같은 상업용 위성처럼 영상데이터와 같이 함께 제공되는 계수를 이용하는 방법으로 나뉘어 진다.

지상좌표를 산출하는 방법은 Taylor이론에 의해 RFM 주변환식을 선형화한 후, 최소제곱법에 의한 반복계산법을 적용함으로써 지상의 좌표를 계산할 수 있다.

$$\begin{aligned} x_L &= \frac{P_{1L}(X, Y, Z)}{P_{2L}(X, Y, Z)}, & x_R &= \frac{P_{1R}(X, Y, Z)}{P_{2R}(X, Y, Z)} \\ y_L &= \frac{P_{3L}(X, Y, Z)}{P_{4L}(X, Y, Z)}, & y_R &= \frac{P_{3R}(X, Y, Z)}{P_{4R}(X, Y, Z)} \end{aligned} \quad (9)$$

여기서, x_R, y_R ; 오른쪽 영상좌표, x_L, y_L ; 왼쪽 영상좌표

$P_{1L}, P_{2L} \sim P_{3R}, P_{4R}$; 기준점으로부터 산출된 RFM 주변환식

식(9)를 Taylor이론을 적용하여 선형화한후, Matrix 형태로 정리하면 식(10)과 같다. 지상좌표(X, Y, Z)는 최소제곱법에 의한 반복해를 적용하여 계산할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial x_L}{\partial X} & \frac{\partial x_L}{\partial Y} & \frac{\partial x_L}{\partial Z} \\ \frac{\partial y_L}{\partial X} & \frac{\partial y_L}{\partial Y} & \frac{\partial y_L}{\partial Z} \\ \frac{\partial x_R}{\partial X} & \frac{\partial x_R}{\partial Y} & \frac{\partial x_R}{\partial Z} \\ \frac{\partial y_R}{\partial X} & \frac{\partial y_R}{\partial Y} & \frac{\partial y_R}{\partial Z} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_L - (x_L) \\ y_L - (y_L) \\ x_R - (x_R) \\ y_R - (y_R) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} V_{xL} \\ V_{yL} \\ V_{xR} \\ V_{yR} \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$B \cdot \Delta = C + V \quad (11)$$

Δ 항을 구하기 위해 최소제곱법 이론을 적용하면,

$$\Delta = (B^T W B)^{-1} (B^T W C) \quad (12)$$

로서 지상좌표(X, Y, Z)를 구할 수 있다.

본 연구에서 주변환식의 초기값 설정은 단순화된 RFM을 이용하여 초기값을 취득하였다. 단순화된 RFM을 이용하는 방법은 RFM의 모든 계수항을 사용하는 것이 아니라 계수 중 비중이 높은 계수들만을 사용하는 것이다. 즉 비중이 큰 계수값 만을 사용하여 대략의 값을 추출하여 그 값을 초기값으로 사용하고자 하는 것이다.

계수는 크게 1차항 계수, 2차항 계수, 3차항 계수 나눌 수 있으며, 본 연구에서는 비중이 큰 계수값으로 1차항 계수 즉, 투영왜곡에 대하여 보정하여 초기값으로 사용하였다.

2.3 자동매칭

두 화상간의 자동매칭기법에는 여러 가지 기법이 개발되어 있으나 DEM 생성에 있어서는 일반적으로 표준상관기법이 많이 사용되고 있다. 표준상관기법은 기준영역(window area)과 검색영역(search area)의 두 영역 사이의 공분산값, 평균값과 같은 통계적인 수치를 계산하여 동일점을 구하는 기법이다. Fig. 1은 이 기

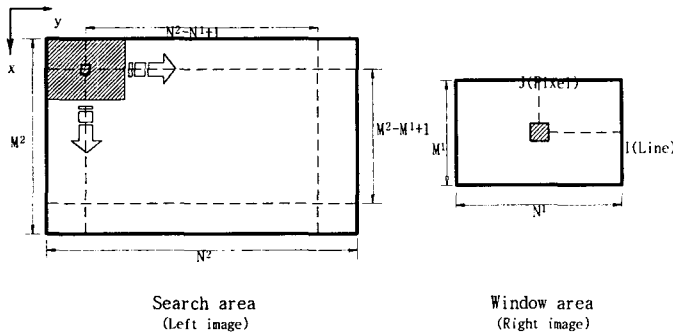


Fig. 1. Principles of the automatic matching technique.

법의 동작과정을 나타낸 것으로 $M_1 \times N_1$ 화소인 기준영역 $W(x, y)$ 와 이에 대응되는(즉, 기준영역 내에 있는 점과 동일한 점이 존재할 가능성이 있는) 크기의 $M_2 \times N_2$ 화소인 검색영역 $S(x, y)$ 를 설정한 다음, (단, $M_2 > M_1$ 및 $N_2 > N_1$) 우측화상의 기준영역을 좌측화상의 검색영역 내에서 한 화소씩 움직이면서 움직일 때마다 다음 식(13)과 같이 상관계수 $r(n, m)$ 을 계산한다. 상관계수는 $-1 \leq r(m, n) \leq 1$ 상의 값이 되며, 상관계수의 값이 1에 가까울수록 매칭의 신뢰도가

높게 된다.

$$r(n, m) = \frac{\sum_{x=1}^{N_1} \sum_{y=1}^{M_1} \{ W(x, y) - \overline{W} \} \{ S(x+n-1, y+m-1) - \overline{S} \}}{[\sum_{x=1}^{N_1} \sum_{y=1}^{M_1} \{ W(x, y) - \overline{W} \}^2 \sum_{x=1}^{N_1} \sum_{y=1}^{M_1} \{ S(x+n-1, y+m-1) - \overline{S} \}^2]^{(1/2)}} \quad (13)$$

여기서, $S(x, y)$; 검색영역내의 화소값, $W(x, y)$; 기준영역내의 화소값

$$\overline{W} = \{ \sum_{x=1}^{N_1} \sum_{y=1}^{M_1} W(x, y) \} / (N_1 \times M_1), \quad \overline{S} = \{ \sum_{x=1}^{N_1} \sum_{y=1}^{M_1} S(x+n-1, y+m-1) \} / (N_1 \times M_1)$$

3. 데이터 처리 및 결과분석

3.1 사용데이터

본 연구에서 사용된 IKONOS 인공위성 영상자료는 2001년 1월 10일에 경상남도 울산지역(지상면적 약 $7 \times 7 \text{ km}$)을 대상으로 관측 수집된 IKONOS 2호의 공간해상도(GSD)가 1 m인 Panchromatic 입체영상으로 Fig. 2와 같다.

본 연구에서 연구 대상 영역은 전체데이터 중 양산지역을 중심으로 수치지도 1:5,000 1도엽의 크기 보다 약간 더 크게 절취하여 선정하였다. 이는 전체 영역중 1:5,000 수치지도 1도엽 안에 1:1,000 수치지도 17도엽이 작성되어 있고, 산림, 평야, 시가지가 골고루 포함된 영역으로서, 가로방향 2,500, 세로방향 3,000 화소의

크기이며, 산지와 평지, 도심지역을 골고루 포함하고 있으며, Fig. 2에서 흰 선으로 표시한 두 영역이 실제 DEM을 생성한 부분으로 두 영역 모두다 500×500(columns×rows)화소 크기이다.

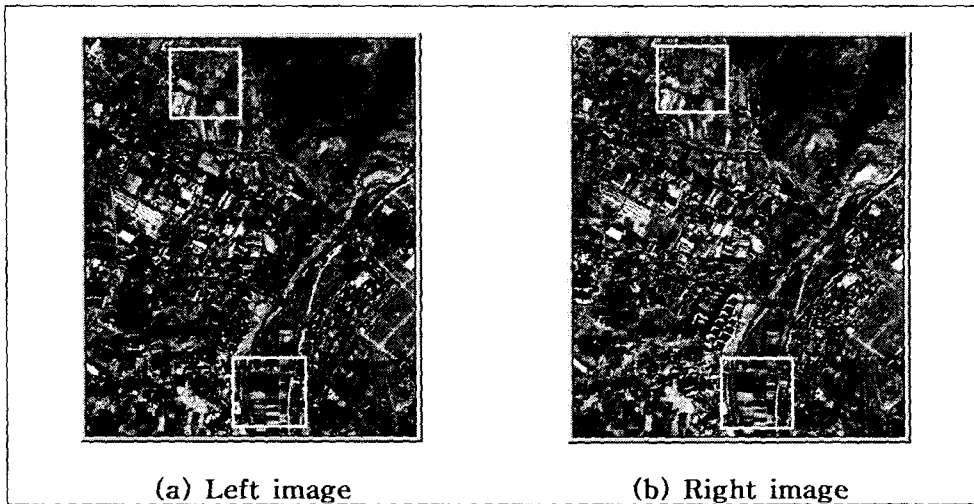


Fig. 2. The subset study area of IKONOS PAN images.

3.2 RFM에 의한 3차원 위치 추출

RFM 이론을 바탕으로 본 연구에 적용된 3차원 위치 추출의 순서는 영상 전체에 걸쳐서 고루 선정된 지상 기준점들을 사용하여 최소제곱법으로 RFCs의 초기값을 찾은 후, 반복법에 의해 최종 RFCs를 구하고, rational function 공간교차이론을 적용하여 최종 지상좌표를 추출하였다.

3.2.1 Rational Function 계수 산출

대상영역에 대한 최적의 RFM 구현을 위하여 식(1)의 3차식에서 $P_2 = P_4$, $P_2 \neq P_4$, $P_2 = P_4 \equiv 1$ 의 3가지 경우로 나누어 위치추출 정확도를 비교하였다. RFM의 1차 및 2차식 적용은 기존 연구결과에서 3차식을 적용한 경우보다 3차원 위치추출 정확도 및 센서모델에 대한 적합도가 낮은 것으로 보고됨에 따라 본 연구에서는 생략하였으며, RFM을 이용하여 RFCs를 구하는 순서는 Fig. 3과 같다.

3.2.2 RFM의 결정

최대 3차 다항식으로 구성되어 있는 RFM으로부터 3차원 지상좌표를 결정하기 위하여는 먼저 각 위성데이터의 특성과 지형특성에 적합한 모델식을 선정하여야 한다. 본 연구에서는 3차식에서 $P_2 = P_4$, $P_2 \neq P_4$, $P_2 = P_4 \equiv 1$ 의 3가지 형태의 rational function 모델식을 설정하여 검토하였으며, 주변환식의 경우 기준점 및 검사점 I의 영상좌표를 산출한 후, 산출된 영상좌표와 기준점 및 검사점 I의 간차로부터 평균제곱근오차를 좌우 영상데이터마다 계산하여 모델식의 적합 여부를 평가하였다. 역변환식의 경우 기준점 및 검사점 I의 지상좌표를 계산하여 모델식을 평가하였다.

Fig. 4와 Fig. 5는 좌우 검사점을 주변환식과 역변환식에 대해 각 모델식에 대한 평균제곱근오차를 화소단

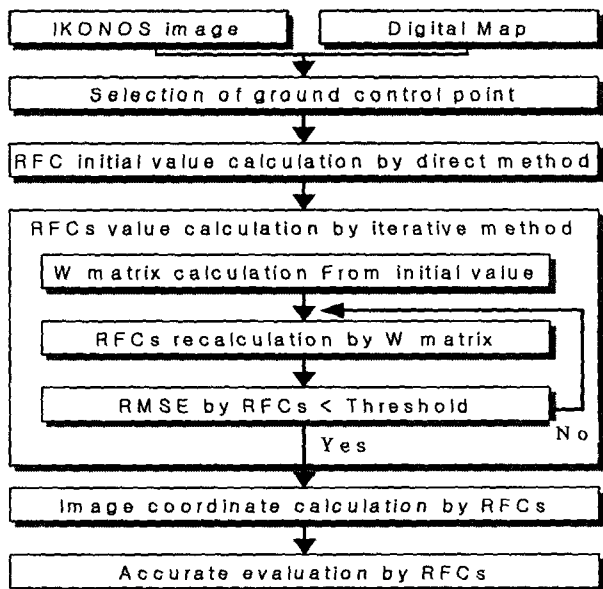


Fig. 3. The flow chart for extracting RFCs.

위로 나타낸 것이다. 이들 결과를 전체적으로 살펴보면 주변환식과 역변환식의 정확도는 거의 동일하게 나타났으며, 평균제곱근 오차는 기준점 및 검사점 I 모두가 $P_2 = P_4$ 인 경우가 가장 나타났으므로 본 연구에서는 $P_2 = P_4$ 인 모델식을 구성하여 지상좌표를 추출하였다.

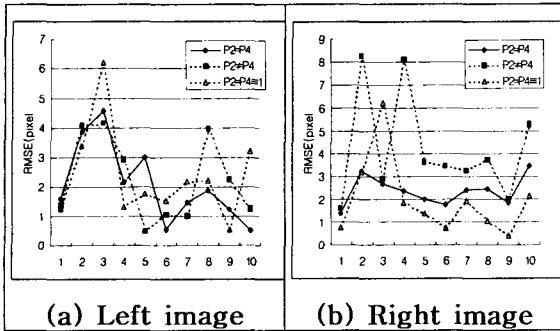


Fig. 4. RMSEs of upward check points in the RFM.

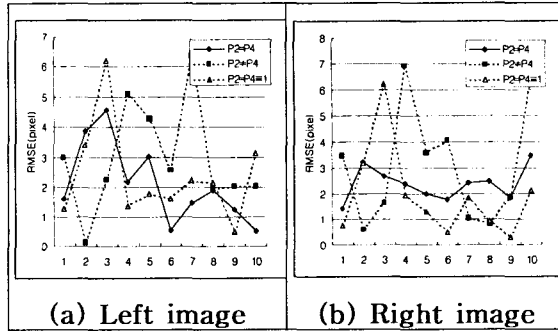


Fig. 5. RMSEs of downward check points in the RFM.

3.2.3 3차원 위치 추출

본 연구에서는 모델식 결정 평가 단계에서 주변환식과 역변환식으로부터 산출된 결과 정확도가 거의 동일하게 나타났으며, 지상좌표의 산출은 X, Y, Z 의 초기값이 필요한 주변환식에 의한 방법만을 적용하여 추출하였다. 검사점 II에 대한 평균제곱근 오차는 평면위치오차의 경우 E가 1.6968 pixel이며 N이 3.5009 pixel 이고, 표고오차는 4.0202 m이다.

주변환식으로부터 3차원 지상좌표를 결정하는 순서도는 Fig. 6과 같고 Fig. 7은 검사점 II의 평균제곱근 오차를 화소단위로 나타낸 것이며, Fig. 7에서와 같이 $P_2 = P_4$ 의 모델식을 이용하여 3차원 위치를 추출한 결과 평면과 표고값에 대한 최대오차는 각각 8 m 이내로써 IKONOS 위성의 GEO레벨 입체영상에서 제공하는 RFM의 공칭 정확도(CE 90; 25 m, LE 90; 22 m)보다 향상된 결과를 얻을 수 있었다.

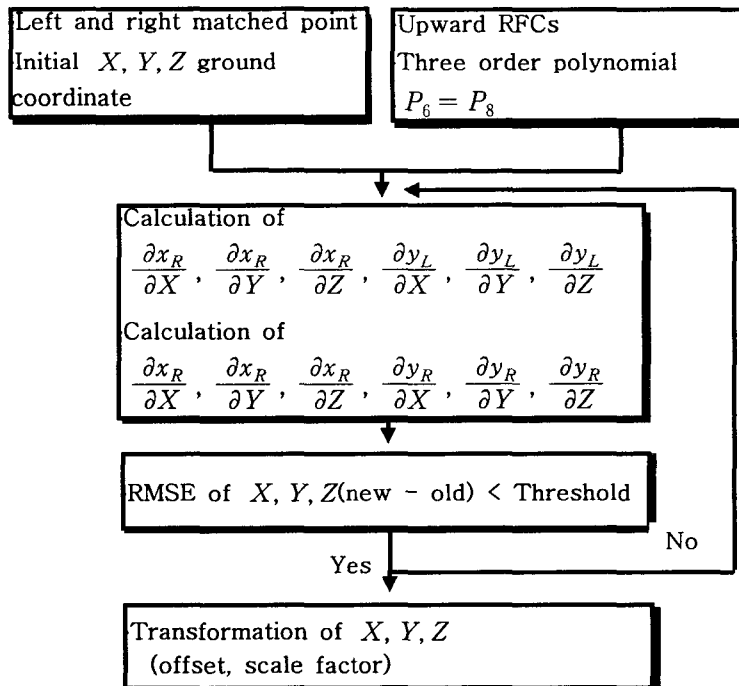


Fig. 6. The flowchart of extraction the ground coordinates in the RFM.

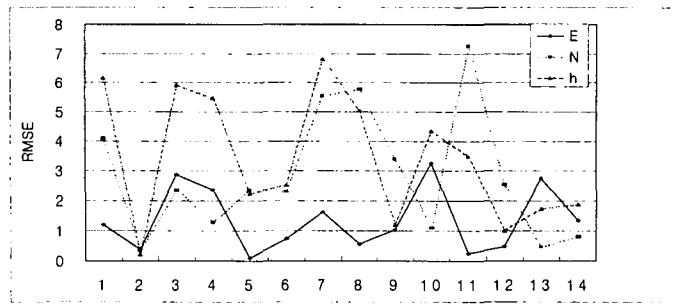


Fig. 7. RMSEs of 3-D coordinates for the check points in the RFM.

3.3 RFM에 의한 DEM 생성

RFM의 공간교차이론의 주변환식에 의해서 최종적으로 산출된 각 점의 3차원 지상좌표들은 불규칙한 공간을 형성하므로 이를 규칙적인 격자행렬(grided matrix) 간격으로 위치와 표고를 표현하기 위해서 보간 기법을 적용하여야 하는데, 본 논문에서는 관측점이 불규칙한 자료에서 등고선 또는 곡면 형태로 자료를 보간할 때 유용한 크리깅기법을 적용하여 불규칙한 표고값을 일정한 격자형태의 수치표고모델을 생성하였다.

자동매칭에 있어서 sample I 영역과 sample II 영역에 적용된 기준영역과 검사영역의 크기는 Table 1에서와 같이 평균 RMSE와 상관계수의 평균값을 비교해 볼 때 기준영역은 51 pixel, 검사영역은 71×91 pixel의 크기로 결정하였다. 결정된 크기에서 자동매칭 수행결과 sample I 영역의 표준상관계수

Table 1. Matching results of each window sizes

Window size	Search size		Average RMSE		Average correlation	
	Column	row	Column	row		
Sample I	11	31	51	1.346	1.557	0.777
	21	41	61	1.004	1.041	0.817
	31	51	71	0.963	0.958	0.830
	41	61	81	0.863	0.978	0.832
	51	71	91	0.925	0.952	0.832
	61	81	101	0.835	1.029	0.829
Sample II	11	31	51	2.199	3.113	0.771
	21	41	61	1.086	0.732	0.821
	31	51	71	1.018	0.670	0.851
	41	61	81	1.043	0.652	0.862
	51	71	91	1.014	0.649	0.870
	61	81	101	0.951	0.679	0.870

는 0.832이며, 검사점 15점에 대한 평균제곱근오차는 column 방향 오차가 0.925 pixel, row 방향 오차가 0.952 pixel이고, sample II 영역의 표준상관계수는 0.870이며, 검사점 15점에 대한 평균제곱근오차는 column 방향 오차가 1.014 pixel, row 방향 오차가 0.649 pixel이다. Fig. 8이 대상영역의 생성된 DEM이다. 본 연구에서 sample I, sample II 영역에서 생성한 DEM을 비교 평가하기 위해 기준 DEM을 생성하였다. 기준 DEM은 sample I 지역의 경우 축척 1:1,000 수치지도가 아직 작성되어 있지 않았으므로 축척 1:5,000 수치지도를 연구대상영역만을 절출한 후, 표고와 관련된 레이어만을 다시 추출하여 일정한 격자간격으로 보간후 DEM을 생성하였고, sample II 지역의 경우는 1:1,000 수치지도를 sample I 지역과 같은 방법으로 수치표고모델을 생성하였으며 Fig. 9와 같으며, Table 2는 생성한 DEM과 기준 DEM의 표고차의 평균제곱근오차이다.

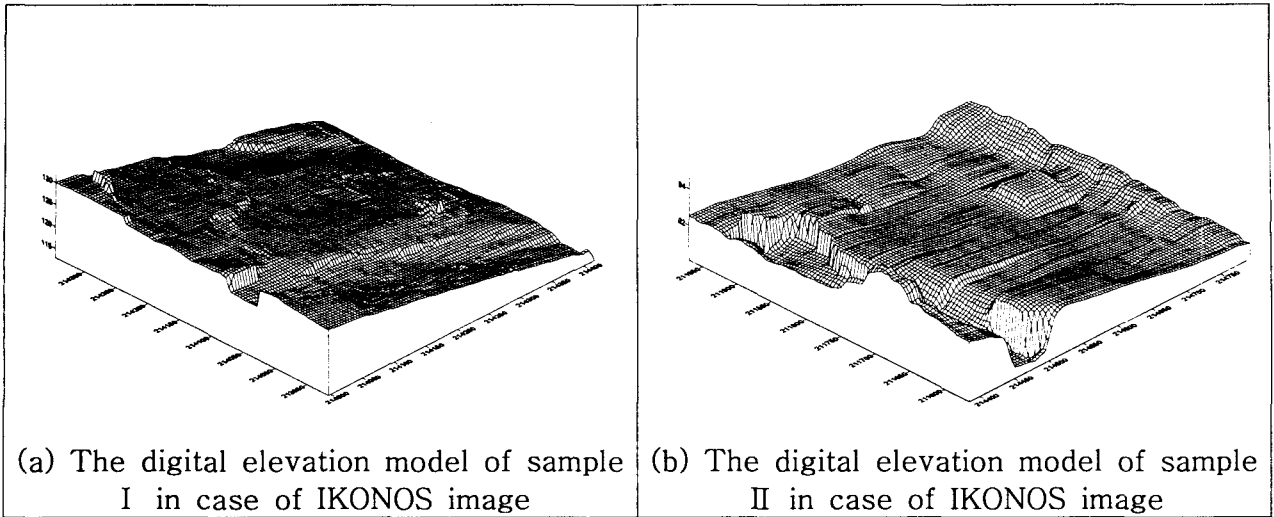


Fig. 8. The digital elevation model of study area.

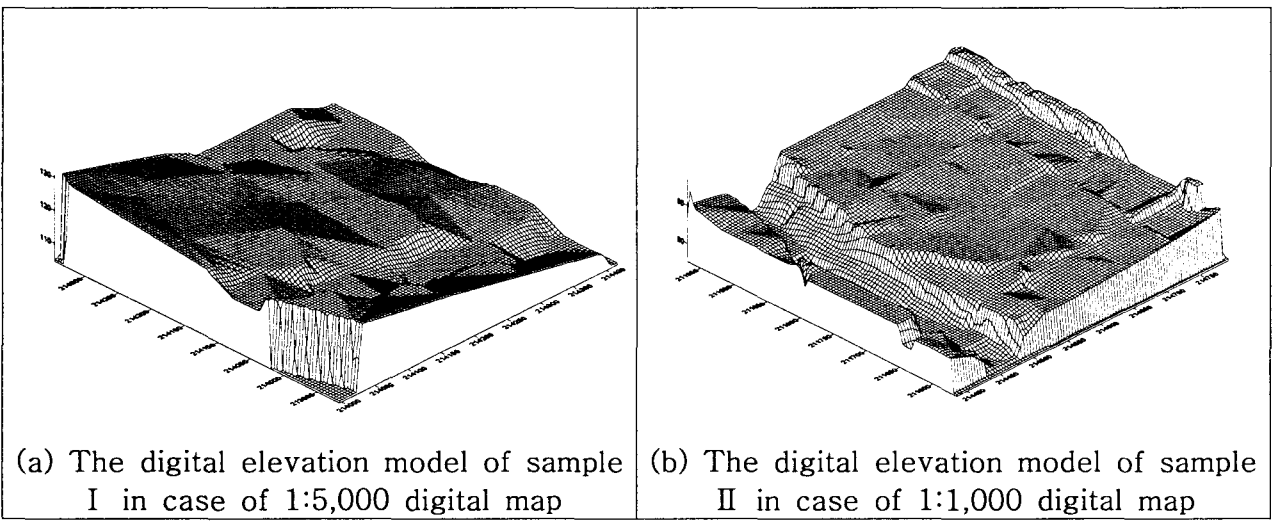


Fig. 9. The digital elevation model of study area.

Table 2. RMSE computed from the difference between the digital map DEM and the generalized DEM (unit: m)

	Sample I	Sample II
RMSE	5.045	3.095

각 영역에서 생성된 DEM과 기준 DEM을 비교한 결과 Fig. 8, Fig. 9에서와 같이 1:5,000 수치지도에서 생성한 DEM보다 지형 지물을 잘 묘사하며, 1:1,000 수치지도에서 생성한 DEM과는 거의 유사하게 지형 지물을 묘사하였다. 평균제곱근오차에서도 1:5,000 수치지도와 비교한 sample I 영역이 1:1,000 수치지도와 비교한 sample II 영역보다 다소 오차가 많음을 알 수 있다. 또한, 생성된 DEM에서와 같이 하천, 논 경계, 도로 경계 등의 부분들을 잘 묘사하므로, 향후 생성된 DEM을 이용하여 도로, 하천, 건물 등의 지형지물 추출이 가능할 것으로 사료된다.

4. 결론

본 연구는 공간해상도가 1 m인 IKONOS 영상데이터를 Rational Function 공간교차 이론에 적용하여 3차

원 위치와 DEM을 생성하고 평가해본 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

위성데이터 제공시 WGS84 경위도 좌표계로 제공되는 RFM 계수를 사용하지 않고 직접 그 계수를 산출하여 적용함으로써 좌표변환 과정없이 보정할 수 있었으며, 모델식중 $P_2 = P_4$ 의 경우가 실험대상영역에서 가장 나은 결과를 나타내었다.

자동매칭에 있어서 기준영역이 51×51 화소 크기일 때 검사점에 대한 매칭된 영상좌표의 RMSE와 평균 상관계수의 값이 가장 나은 결과를 나타내었다.

Rational function 공간교차 이론을 적용하여 3차원 지상 좌표(E, N, H)의 RMSE는 약 ±1.7 m, ±3.5 m 및 ±4.0 m의 정확도와 DEM은 ±3~5 m의 정확도로 생성할 수 있었다.

위성데이터 판매시 WGS84 경위도 좌표계로 제공되는 RFM의 계수를 사용하지 않고 직접 그 계수를 산출·적용함으로써 좌표변환과정없이 DEM을 생성할 수 있었다.

본 연구에서는 건물의 고도정보와 산악지역의 고도정보까지 포함한 RFM을 획득할 수 없었다. 이는 수치 지도로부터 건물에 대한 고도 값을 취득할 수 없고 산악지역의 기준점의 선정이 거의 불가능하기 때문이다. 따라서 제공되는 RFM을 활용하여 수정 및 보완하는 연구도 병행되어야 할 것이며, 산악지역의 기준점 선정에 있어서의 연구도 수반되어야 할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 2000년도 한국과학재단 특정기초 연구(연구책임자 : 안기원, 과제명 : 국토기본도 제작을 위한 고해상도 인공위성데이터의 활용방안 연구, 과제번호 : R01-2000-000-00370-0)에 수행된 연구의 일부로서 연구비로 지원해 주신 한국과학재단에 감사드립니다.

참고문헌

- 안기원, 임환철, 서두천. 2002. 고해상도 인공위성 영상데이터의 기하보정을 위한 RFM의 적용. 한국측량학회지. 20(2) : 51-60.
- 서두천. 2002. 입체위성영상으로부터 DEM생성을 위한 엄밀 센서모델링 및 RFM 방법의 적용. 경상대학교. 경상대학교 박사학위논문.
- 임용조, 김태정. 2002. SPOT, EOC, IKONOS 스테레오 영상으로부터 생성된 도심지역 DEM의 정확도 및 성능 비교분석. 대한원격탐사학회지. 18(4) : 221-231.
- Tao, C. V. and Hu, Y. 2000. Image rectification using a generic sensor model - rational function model. IAPRS. 33(B3) : 359-366.
- Yang, X. 2000. Accuracy of rational function approximation in photogrammetry. 2000 ASPRS Annual Conference, Washington D. C. : 12 pages(On CD-ROM)
- Young Hu and C. Vincent Tao. 2002. Updating Solution of the Rational Function Model Using Additional Control Information. PE&RS. 68(7) : 715-723.
- Tao, C. V. and Hu, Y. 2000. Investigation on the rational function model. 2000 ASPRS Annual Conference, Washington D. C. : 10 pages(On CD-ROM)
- Hu, Y. and Tao, C. V. 2000. An improved solution to the Rational Function Model using additional control information. 2000 ASPRS Annual conference. Washington, D.C. : 4 pages(CD-ROM)
- Tao, C. V., Y. Hu, B. Mercer and Y. Zhang. 2000. Image rectification using a generic sensor model-Rational function model, IAPRS. 33(Part B3) : 874-881.
- Zhang, Y., Tao, C. V. and Mercer, B. 2000. Accuracy assessment of DEM with respect to high resolution satellite imagery. 2000 ASPRS Annual conference. Washington, D.C. : 8 pages(CD-ROM)