

## 위성영상의 DEM 생성을 위한 영상분할 모델링 방법의 적합도 평가 Fit Evaluation of the Image Segmentation Modelling for DEM Generation of Satellite Image

이효성<sup>1)</sup>, Hyo-Sung Lee · 안기원<sup>2)</sup>, Ki-Won Ahn · 김용일<sup>3)</sup>, Yong-Il Kim

<sup>1)</sup> 서울대학교 공학연구소 연구원, Researcher, Research Institute of Eng., Seoul Nat' Univ.

<sup>2)</sup> 경상대학교 토목공학과 교수, Professor, Dept. of Civil Eng., Gyeongsang Nat'l Univ.

<sup>3)</sup> 서울대학교 지구환경시스템공학부 교수, Professor, School of Civil, Urban & Geosystem Eng., Seoul Nat'l Univ.

**SYNOPSIS:** In this study, for efficient replacemen of sensor modelling of high-resolution satellite imagery, image segmentation method is applied to the test area of the SPOT-3 satellite imagery. After that, a third-order polynomial model in the sectioned area is compared with the RFM which is to the entire in the test area. As results, plane error of the third-order polynomial model is lower(approximately 0.8m) than that of RFM. On the other hand, height error of RFM is lower(approximately 1.0m).

**Key Words:** image segmentation, third-order polynomial model, RFM

### 1. 서론

최근 고해상도 위성영상에 대한 수요가 증가하면서 이들의 상업적 이용을 위한 새로운 위성의 발사계획이 현실화되고 있는 실정이다. 현재 가동중인 고해상도 위성으로는 미국의 IKONOS 2호와 QuickBird 2호, OrbView-3호 위성, 이스라엘의 EROS-A1, 러시아의 RESUS-DK 위성 등이 있으며, 이 밖에 우리나라를 포함하여 여러나라에서 고해상도의 다목적 실용위성이 발사 예정되어 있다. 최근의 고해상도 위성영상의 가장 큰 특징 중 하나는 상업 및 군사보완문제 등을 이유로 위성본체의 물리적인 센서모델(위성의 위치, 자세 등)을 공개하지 않고 이로부터 결정된 대체센서모델의 정보만을 제공하고 있으며, 향후 여러나라에서 제공될 위성영상들도 이와 같은 방법을 채택하여 적용할 것으로 추정된다.

특히 세계 최초의 상업용 고해상도 위성인 IKONOS 위성영상의 경우, 대상영역의 위치정보 획득을 위한 대체 센서모델링 방법으로써 RFM(Rational Function Model) 방식을 채택하고 있으며, 이 모델의 계수가 포함된 자료만을 사용자에게 제공하고 있다. IKONOS 위성영상의 판매권을 보유하고 있는 SI(Space Imaging)사는 본 영상의 센서모델로부터 결정되어진 영상좌표와 제공되는 RFM으로부터 결정된 영상좌표와의 RMS(Root Mean Square) 오차가 0.01 화소 정도임을 제시하였으며, 지형도 제작을 위한 3차원 위치추출 정확도는 위성에 탑재된 GPS 수신기와 Star trackers 자료만으로 획득되어진 RFM을 사용할 경우, 평면 및 고도위치 정확도는 각각 25m, 22m 이며, 지상 기준점을 추가하여 생성된 정밀(Precision)레벨의 RFM을 사용할 경우, 그 정확도를 각각 2m, 3m 정도로 얻을 수 있다고 제시하였다(Gene Dial, 2000; Frank Gerlach, 2000; Jacek Grodecki, 2001). 이외에 C. Vincent TAO et al.(2001), Xinghe Yang(2000), Kaichang Di et al.(2001)에 의하여 다양한 형태의 물리적 센서모델로부터 RFM 계수를 결정된 후, 결정된 모델의 주변환과 역변환에 의하여 검사점의 영상좌표와 지상좌표

를 산출하여 RFM에 대한 센서모델과의 적합도(Fitting accuracy)를 검증하였으며, 위치결정에 있어서 정확도와 효율성을 제시하였다.

RFM은 영상으로부터 위치정보를 실시간으로 획득할 수 있을 뿐만 아니라 모든 센서형태의 영상에 적용될 수 있으며, 기존의 센서모델에 비해 계산이 편리하다는 장점이 있지만 최대 78개에 달하는 계수간의 높은 상관도 발생 등으로 인하여 과대오차가 발생할 수도 있으며, RFM 특징상 분모항의 계수가 영(zero)이 될 수 있다는 단점도 내재되어 있기 때문에 센서모델과의 적합도 향상을 위해선 복잡한 절차가 요구되어지기도 한다.(손흥규, 2002; Ian Dowman, 2000). 따라서 이러한 문제를 해결하기 위하여 미국의 NIMA(National Imagery and Mapping Agency)에서는 RFM의 확장모델로써 Universal Real-time Image Geometry Model을 개발하여 최초로 실행한 바 있다. 이 방법은 일명 USM(Universal Sensor Model)으로도 불리어지며, 요구되는 정확도에 따라 원 영상을 몇 단계까지 분할한 후, 각각의 분할된 영상에서 RFM의 분모항을 생략하고, X, Y차수를 최대 5차까지 적용할 수 있는 알고리즘이다(OGC, 1999). 이보다 좀 더 간단한 방법으로서 Xinghe Yang이 IKONOS와 SPOT 위성영상 및 항공사진을 이용하여 영상을 분할한 후, DLT(Direct Linear Transformation)기법을 적용하여 센서모델과의 적합도를 비교한바 있다(Xinghe Yang, 2001).

본 연구에서는 2차원 영상과 3차원 지상간의 기하학적 관계를 보다 효율적으로 표현하기 위한 대체 센서모델링의 방법을 제시하기 위하여, 현재 위성의 궤도정보를 제공하고 있는 SPOT-3호 위성영상의 물리적인 센서모델을 이용하여 USM 방법의 가장 큰 특징 중 하나인 영상분할방법 즉, 대상영역의 원 영상에서 영상분할을 실시한 후, 각각의 분할된 영상에 분모항이 생략된 RFM(3차 다항식 모델링)만을 적용하여 물리적인 센서모델과의 적합도를 제시하고자 한다. 또한 이를 영상전체에 적용한 분모항이 있는 RFM 방법의 결과 정확도와 상호 비교하여 제안한 모델링 방법의 타당성을 제시하고자 한다.

## 2. 영상분할 방법

영상분할 방법은 원래 USM의 단계별 수행과정 중 하나이며, 여기서 USM은 위성센서의 진동(Vibration)영향을 고려하기 위하여 RFM의 차수를 5차까지 적용하여 물리적 센서모델에 대한 적합도를 향상시키는데 목적을 두고 있다. USM의 특징은 요구되는 정확도에 따라 하나의 원영상은 정수형으로 행과 열방향으로 8개씩 분할 할 수 있으며, 각각의 분할된 영상에서 RFM의 X, Y차수는 최대 5차 Z차수는 최대 3차까지 적용할 수 있다. 또한 일반적으로 RFM의 분모항은 생략되어지며, 산출된 영상좌표를 보간하기 위하여 보정표를 이용한다(OGC, 1999). 본 연구에서 적용한 영상분할 방법은 먼저 해석대상영역에 대하여 위성의 물리적인 센서모델링을 실시하여 DEM(Digital Elevation Model)을 추출한 후, 이에 대한 영상과 DEM을 4개의 section으로 분할하고, 분할된 각각의 영상에 대하여 식(1)과 같은 RFM의 분모항이 생략된 3차 다항식 모델을 적용하는 것이다. 이 방법은 기존의 RFM에 비해 미지수가 적고, 분모항이 없기 때문에 계산속도가 빠르고, 편리하다는 장점이 있다.

$$r = p1(X, Y, Z) = \sum_{i=0}^{m1} \sum_{j=0}^{m2} \sum_{k=0}^{m3} a_{ijk} X^i Y^j Z^k \quad (1)$$

$$c = p2(X, Y, Z) = \sum_{i=0}^{m1} \sum_{j=0}^{m2} \sum_{k=0}^{m3} b_{ijk} X^i Y^j Z^k$$

$$\text{여기서, } p1(X, Y, Z) = a_0 + a_1 Z + a_2 Y + a_3 X + \dots + a_{17} Z^3 + a_{18} Y^3 + a_{19} X^3$$

$$p2(X, Y, Z) = b_0 + b_1 Z + b_2 Y + b_3 X + \dots + b_{17} Z^3 + b_{18} Y^3 + b_{19} X^3$$

각각의 분할영상에서 3차 다항식 모델의 계수추출을 위해선 식(1)의 미지수가 40개이므로 기준점의 수는 최소한 20개 이상이 요구되어진다. 먼저 식(1)을 관측방정식 형태로 정리하여 식(2)과 같이 행렬로 정리한 후, 최소제곱법을 적용하면 식(3)과 같이 표현할 수 있으며, 이를 통하여 대상지역에 대한 3차 다항식 모델을 결정할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} V_{r1} \\ V_{r2} \\ \vdots \\ V_{rn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & Z_1 & \cdots & X_1^3 & 0 & \cdots & 0 \\ 1 & Z_2 & \cdots & X_2^3 & 0 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & Z_n & \cdots & X_n^3 & 0 & \cdots & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ \vdots \\ a_{19} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} r_1 \\ r_2 \\ \vdots \\ r_n \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} V_{c1} \\ V_{c2} \\ \vdots \\ V_{cn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \cdots & 0 & 1 & Z_1 & \cdots & X_1^3 \\ 0 & \cdots & 0 & 1 & Z_2 & \cdots & X_2^3 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & 0 & 1 & Z_n & \cdots & X_n^3 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} b_0 \\ b_1 \\ \vdots \\ b_{19} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ \vdots \\ c_n \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$T^T \cdot T \cdot I - T^T \cdot G = 0 \quad (3)$$

여기서,  $T$  는 관측한 지상좌표로 이루어진 행렬,  $I$  는 구하고자 하는 계수행렬,  $G$  는 영상좌표 행렬이다.

각각의 분할영상에서 3차다항식 모델을 이용하여 지상좌표를 획득하기 위해선 식(1)의 영상좌표에 관한 주변환식을 지상좌표에 관한 식의 형태로 역변환 시켜줘야 한다. 이는 대상영역에 대한 두 개 이상의 입체영상으로부터 테일러 시리즈에 의한 선형화방법을 적용하면 된다. 따라서 식(1)을 좌·우측영상에서 선형화 하면 식(4)과 같은 형태로 표현 할 수 있다.

$$\begin{aligned} r_L &= F(r_L) + \frac{\partial r_L}{\partial X} \Delta X + \frac{\partial r_L}{\partial Y} \Delta Y + \frac{\partial r_L}{\partial Z} \Delta Z \\ c_L &= F(c_L) + \frac{\partial c_L}{\partial X} \Delta X + \frac{\partial c_L}{\partial Y} \Delta Y + \frac{\partial c_L}{\partial Z} \Delta Z \\ r_R &= F(r_R) + \frac{\partial r_R}{\partial X} \Delta X + \frac{\partial r_R}{\partial Y} \Delta Y + \frac{\partial r_R}{\partial Z} \Delta Z \\ c_R &= F(c_R) + \frac{\partial c_R}{\partial X} \Delta X + \frac{\partial c_R}{\partial Y} \Delta Y + \frac{\partial c_R}{\partial Z} \Delta Z \end{aligned} \quad (4)$$

여기서,  $r_L, c_L$  및  $r_R, c_R$ 는 좌·우측영상에서 동일한 지점의 row, column이다.

식(4)을 관측방정식 형태로 정리한 후, 식(5)과 같이 행렬로 정리하여 최소제곱법을 적용하면 식(6)과 같이 표현 할 수 있다. 따라서 지상좌표  $X, Y, Z$ 는 행렬  $\Delta$ 의 반복계산에 의하여 결정되어진다.

$$\begin{bmatrix} V_{r_L} \\ V_{c_L} \\ V_{r_R} \\ V_{c_R} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \\ r_{41} & r_{42} & r_{43} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F(r_L) - r_L \\ F(c_L) - c_L \\ F(r_R) - r_R \\ F(c_R) - c_R \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$\Delta = (R^t \cdot W \cdot R)^{-1} (-R^t \cdot W \cdot F) \quad (6)$$

여기서,  $W$ 는 좌·우측영상에서 RFM 계수 추출시 기준점의 영상좌표에 대한 최대오차를 고려한 경중률이다.

### 3. 적용실험

#### 3.1 사용자료 및 해석대상영역

본 연구에 사용된 인공위성 영상자료는 Table 1에서 보는바와 같이 1999년 5월 20일과 21일에 관측 수집된 진주와 합천 등을 포함한 서부경남 일대의 전정색 SPOT-3호 입체영상이며, 영상에서 포함하는 지상면적은 약 60×60km이다.

해석대상영역으로는 기준자료로 사용될 1:5,000 수치지도 100도엽과 동일한 지역인 진주시내를 대상으로 원 영상을 절출하여 사용하였으며, 이 지역의 대략적인 위치는 국가기본도상에서 X는182400m-196200m, Y는 118500m-128209m이며, 높이는 대략 10m에서 500m의 범위다. 또한 대상영역의 효율적인 자동매칭을 위하여 Fig. 1에서 보는바와 같이 영상자료를 국가기본도의 평면직각좌표계에 일치하도록 기하보정을 실시하였으며, DEM 추출을 위하여 산악지역만을 대상으로 418row×436column 화소 크기만큼 절취하여 사용하였다. 그림 1에서 사각형으로 표시한 부분이 DEM 추출영역이다.

Table 1. Basic information of SPOT satellite imagery.

	Left image	Right image
Sun azimuth	143° 55′	133° 04′
Sun elevation	71° 28′	69° 04′
Incident angle	18° 34′	13° 05′
Level	1A	
Altitude	832km	
Image size	6000×6000 pixels	
Resolution	10m	
Coordinate system	WGS84	

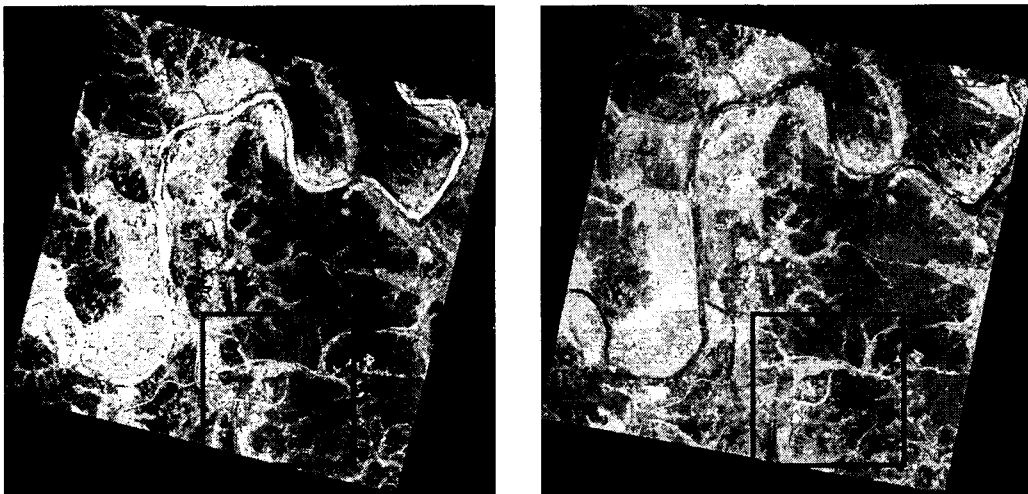


Fig. 1. Geometric correction image of the stereo pair and area for the DEM generation (Image size: 1200×1200 pixels).

#### 3.2 물리적인 센서모델링에 의한 고도정보추출

영상분할 방법의 적합도 파악을 위하여 먼저 수치지도로부터 17개의 기준점과 7개의 검사점을 선정한 후, 번들조정기법을 적용하여 위성영상의 라인별 외부표정요소를 결정하였다. Table 2은 결정된 외부표정요소에서 산출된 기준점과 검사점의 3차원 위치의 결과정확도를 나타낸 것이다.

Table 2. Error of the 3-D coordinates acquired by the physical sensor modelling(unit; m)

RMSE	X	Y	Z
Control points	10.82	10.95	13.37
Check points	9.94	10.24	10.67

또한 절취한 산악지역 영상의 전 화소에 대한 고도정보추출을 위하여 표준상관기법으로 자동매칭을 실시하였으며, 자동매칭에 사용된 기준영역의 크기는 9×9 화소, 탐색영역의 크기는 기하보정시의 정밀도와 대상 지역의 기복변위 등을 고려하여 37×19(column×row) 크기로 결정하여 사용하였다. 영상의 전 화소를 대상으로 우측영상의 각 화소에 대한 좌측영상의 대응점을 찾을 때 상관계수가 최대인 경우의 좌·우 및 전·후 상관계수에 1원 2차 방정식을 적용하여 화소이하 단위의 영상좌표를 찾았으며, 전체 평균상관계수는 0.813이었다.

동일한 지점의 좌·우 영상좌표와 외부표정요소로부터 공간교차이론을 적용하여 3차원 지상좌표를 획득할 수 있었으며, 간격이 일정하지 않은 3차원 지상좌표는 거리의 역에 따른 가중평균법을 사용한 내삽(Interpolation)기법을 통하여 수치표고모델을 작성하였다. Fig. 2는 물리적인 센서모델로부터 작성한 20m 격자간격의 고도자료와 1:5,000 수치지도를 이용하여 20m 격자간격으로 작성된 동일지역의 고도자료를 나타낸 것이다.

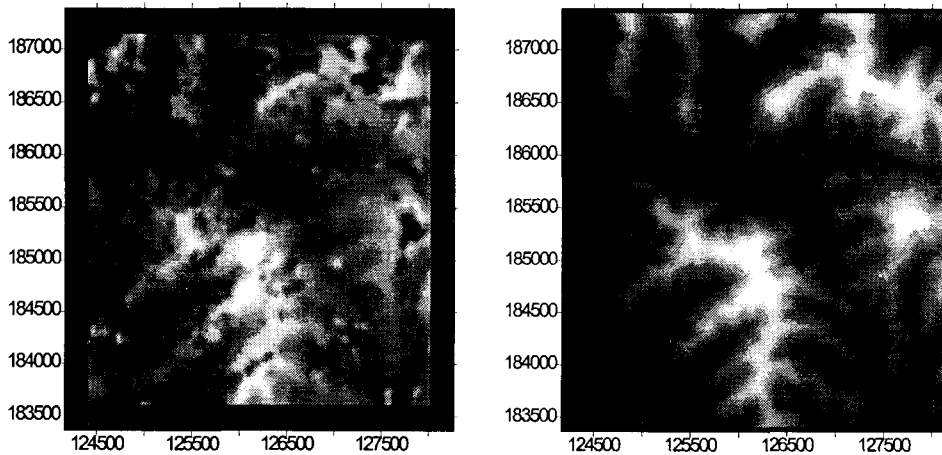


Fig. 2. DEMs acquired from the physical sensor model and the digital map.

Fig. 2에서 보는바와 같이 센서모델링에 의한 고도자료에서 여러 지점에 오차가 발생함을 파악할 수 있다. 이는 적용된 대상영역 대부분이 산림지역이므로 그림자 지역과 같은 폐색영역 및 수목, Fig. 1에서 오른쪽 영상의 옅은 구름 및 안개 등의 영향에 의해서 전체적으로 매칭에 대한 오차가 크게 나타났기 때문인 것으로 판단된다. 그러나 대상영역 전체의 형상을 기준자료와 비교해볼 때, 본 연구에서 수행한 수치표고모델의 결과가 비교적 지형의 특성을 잘 표현하는 것으로 판단된다.

### 3.3 영상분할 방법에 의한 고도정보추출

본 연구에서는 위성영상의 물리적인 센서모델을 보다 효율적으로 대체할 수 있는 모델링의 수행을 위하여 대상영역에 영상분할을 실시하고 분할된 영상으로부터 3차 다항식 모델을 적용한 후, 이를 대상영역 전체에 적용한 기존의 RFM의 결과 값과 비교하여 제안한 방법의 적합도를 제시하고자 한다.

3차 다항식모델의 계수추출을 위하여 먼저 물리적인 센서모델로부터 결정된 대상영역(400×400점)의 지상좌표와 좌·우영상좌표를 Fig. 3과 같이 4개의 영상으로 분할하였으며, 분할된 영상 각각에 대하여

기준점과 검사점의 지상좌표와 영상좌표를 행, 열 방향으로 20점 간격으로 모두 400점씩 선정하였다. 선정된 기준점과 검사점은 자동매칭의 상관계수 결과 값이 0.8이상인 점만을 선정하였으며, 이들 중 ERDAS IMAGINE 소프트웨어(ver. 8.4)의 GCP 매칭 기능으로 좌·우영상에서 동일한 지점임이 확인된 점만을 추출하여, 모두 247점의 기준점과 260점의 검사점을 사용하였다. 또한 선정된 기준점 및 검사점의 지상좌표와 영상좌표는 Offset과 Scale factor를 고려하여 입력 값이 -1.0에서 +1.0사이 범위가 되도록 정규화 시켜줬다

<b>Section 1</b> (200×200점)	<b>Section 2</b> (200×200점)
<b>Section 3</b> (200×200점)	<b>Section 4</b> (200×200점)

Fig. 3. Section of image coordinates and ground coordinates.

대상영역에서 결정된 좌·우영상의 3차 다항식모델의 주변환과 역변환식을 이용하여 기준점과 검사점에 대한 영상좌표 및 지상좌표를 산출하였으며, 이를 앞에서 선정한 영상좌표 및 지상좌표와 비교하였다(Table 3, 4). Table 3과 4의 영상좌표와 지상좌표에서 최대오차는 절대값을 나타낸 것이다.

Table 3. Fitting error of image coordinates calculated by the image segmentation(unit: pixel)

Image coordinate	Left image				Right image			
	Control point		Check point		Control point		Check point	
	RMSE	Max.	RMSE	Max.	RMSE	Max.	RMSE	Max.
Row	0.24	1.29	0.33	1.31	0.24	0.73	0.34	1.33
Column	0.06	0.31	0.08	0.32	0.05	0.27	0.07	0.26

Table 4. Fitting error of ground coordinates calculated by the image segmentation(unit: m)

Ground coordinate	Control point		Check point	
	RMSE	Max.	RMSE	Max.
X	0.03	0.19	0.05	0.21
Y	0.05	0.35	0.08	0.48
Z	1.92	10.24	2.67	10.54

영상분할기법에 의한 이상의 결과로부터 기준점에 대한 영상좌표의 오차는  $\pm 0.24$ 화소이내, 최대오차는 1.29화소 이내였으며, 검사점에 대한 영상좌표의 오차는  $\pm 0.34$ 화소 이내, 최대오차는 1.33화소 이내의 결과를 얻을 수 있었다.

또한 결정된 영상분할기법의 역변환식으로부터 검사점의 지상좌표를 획득한 결과, X, Y 평면에 대한 오차는 최대 0.21m 이내로써 1m 이내의 높은 결과 정확도를 나타낸 반면 표고오차는 최대 10m 정도로써 평면에 비해 상대적으로 큰 오차를 나타냈다. 이는 영상분할방법에서 적용한 3차 다항식 모델의 계수가 선형이기 때문에 실험대상영역에서 굴곡이 심한 산악지역의 높이를 잘 반영하지 못한 것으로 판단된다.

#### 4. 비교평가

본 연구에서 제시한 영상분할 방법의 타당성을 제시하기 위하여 대상영역 전체를 반영하는 분모항이 있는 RFM을 결정하였다. RFM의 계수추출을 위한 기준점의 지상좌표와 영상좌표는 대상영역내의 좌우 영상에서 행, 열 방향으로 20점 간격으로 모두 400점씩 선정하였으며, 신뢰할 수 있는 RFM의 계수추출을 위하여 자동매칭의 상관계수 결과 값이 0.8이상인 점들 중 ERDAS IMAGINE 소프트웨어(ver. 8.4)의 GCP 매칭 기능으로 좌·우영상에서 동일한 지점임이 확인된 점만을 추출하여, 모두 223점의 기준점만을 사용하였다. 물리적인 센서모델과의 적합도 파악을 위한 검사점은 영상분할방법에서 적용한 동일한 지점을 대상으로 영상좌표와 지상좌표를 산출하였으며, 그 결과를 상호 비교 분석하였다.(Table 5)

Table 5. Fitting error of image and ground coordinates calculated from the RFM.

Image coordinate (unit: pixel)	Left image		Right image	
	RMSE	Max.	RMSE	Max.
Row	0.30	2.52	0.32	2.16
Column	0.11	0.64	0.08	0.47
Ground coordinate (unit: m)	RMSE		Max.	
	X	0.52	Y	1.99
	Y	0.69	Z	3.80
	Z	1.95		9.87

동일한 검사점에 대하여 RFM을 적용한 결과, 영상좌표 오차는 영상분할기법에 의한 결과보다 0.2화소 정도 낮게 나타났으며(Table 3, 5), 지상좌표의 경우, 평면의 최대오차는 영상분할방법보다 0.8m 정도 크게 나타난 반면, 표고의 최대오차는 2m 정도로 낮게 산출되었다(Table 4, 5). 이는 RFM이 3차다항식 모델에 비해 고도값에 대한 정보를 더욱더 잘 반영하는 것으로 판단되며, 평면에 대한 정보는 오히려 3차다항식에 의한 모델링이 더욱더 안정적임을 확인할 수 있다.

또한 실험대상 영역에서 RFM과 영상분할방법으로부터 획득한 3차원 위치정보를 이용하여 약 4000×4000m의 DEM을 작성하였다(Fig. 4).

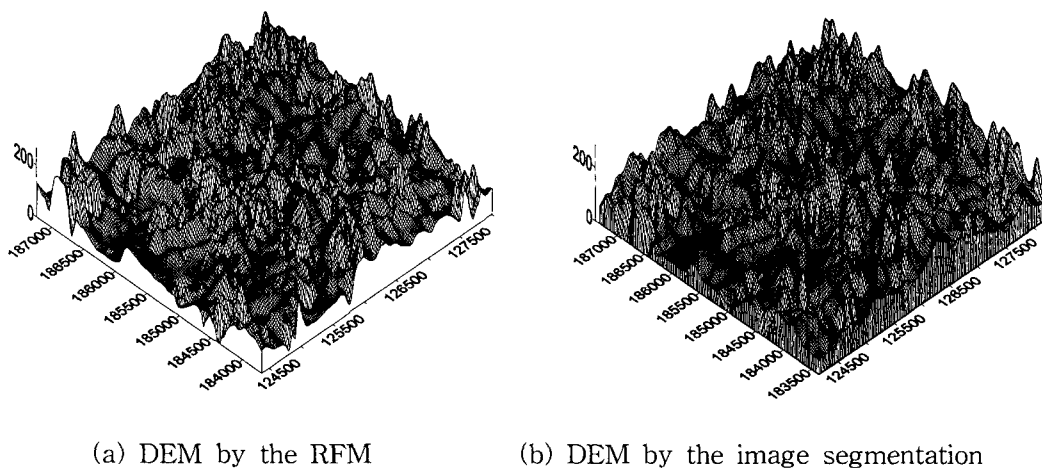


Fig 4. DEMs obtained by geometry sensor models.

Fig 4에서 보는바와 같이 물리적인 센서모델에 의한 수치표고모델을 기준자료로 하여 RFM방법과 영상분할방법을 시각적으로 적합도를 비교하면 일부지역에서 조금씩 차이는 존재하지만 전반적으로 두 방법 모두 실험대상 지역의 특성을 잘 반영하는 것으로 판단되어진다.

## 5. 결론

본 연구에서는 향후 지속적으로 제공되어질 고해상도 위성영상의 대체 센서모델링을 위하여 SPOT-3호의 위성영상으로부터 대상영역에 영상분할을 실시하고 분할된 영상으로부터 3차 다항식 모델을 적용한 후, 이를 기존 RFM의 적합도와 비교한 결과, 평면의 적합도는 영상분할기법이 높게 나타난 반면 표고에 대한 적합도는 RFM이 높게 나타났다. 또한 두 방법에 의한 평면 및 표고에 대한 적합도가 1m 내외의 미소한 차이를 나타냄으로써 지형에 대한 영상의 모델구현에 있어서 전체영상에 RFM을 적용하는 것 보다 영상분할에 의한 3차 다항식 모델의 적용이 더욱더 안정적이며, 효율적인 방법이 될 수 있을 것으로 판단되며, 지형의 3차원 위치정보를 획득하기 위한 엄밀 센서모델링의 대체모델로써 RFM기법과 영상분할기법을 대상영역의 특성(평지, 산악지역, 도심지 등)에 따라 적절하게 구현할 수 있도록 여러 실험을 반복적으로 실시할 필요가 있겠다. 또한 이를 토대로 향후 2004년에 발사될 아리랑위성 2호의 영상자료에 대한 대체센서모델 개발에 응용이 가능할 것으로 사료된다.

## 참고문헌

- Gene Dial, 2000. IKONOS Satellite Mapping Accuracy, Proceedings of American Society for Photogrammetry & Remote Sensing Annual Conference, Washington D. C., CD-ROM.
- Frank Gerlach, 2000. Characteristics of Space Imaging's One-meter Resolution Satellite Imagery Products, Proceedings of International Archives of Photogrammetry & Remote Sensing, Amsterdam, B1: 128-135.
- Jacek Grodecki, 2001. IKONOS Stereo Feature Extraction-RPC Approach, Proceedings of American Society for Photogrammetry & Remote Sensing Annual Conference, St. Louis, Missouri, CD-ROM.
- C. Vincent Tao and Young Hu, 2001. A Comprehensive Study of the Rational Function Model for Photogrammetric Processing, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 67(12): 1347-1357.
- Xinghe Yang, 2000. Accuracy of Rational Function Approximation in Photogrammetry, Proceedings of American Society for Photogrammetry & Remote Sensing Annual Conference, Washington D. C., CD-ROM.
- Kaichang Di, Ruijin Ma and Ron Li, 2001. Deriving 3-D Shorelines from High Resolution IKONOS Satellite Images with Rational Functions, Proceedings of American Society for Photogrammetry & Remote Sensing Annual Conference, St. Louis, Missouri, CD-ROM.
- 손흥규, 손덕재, 박정환, 유형욱, 피문희, 2002. 상관도 분석을 통한 RFM의 위치 정확도 분석 및 수치표고모형의 제작, 2002 공동춘계 학술대회 논문집, 3II-A: 27-33.
- Ian Dowman and John T. Dolloff, 2000. An Evaluation of Rational Functions for Photogrammetric Restitution, Proceedings of International Archives of Photogrammetry & Remote Sensing, Amsterdam. B3: 254-266.
- OGC(OpenGIS Consortium), 1999. The OpenGIS Specification Model-Topic: The Earth Imagery Case, URL: <http://www.opengis.org/techno/abstract/99-107.pdf>.
- Xinghe Yang, 2001. Piece-Wise Linear Rational Function Approximation in Digital Photogrammetry, Proceedings of American Society for Photogrammetry & Remote Sensing Annual Conference, St. Louis, Missouri, CD-ROM.
- 안기원, 임환철, 서두천, 2002. 고해상도 인공위성 영상데이터의 기하보정을 위한 RFM의 적용, 한국측량학회지, 20(2): 51-60.
- 이효성, 김혜진, 유기윤, 김용일, 2001. IKONOS 위성영상의 Rational Function 계수추출에 관한 연구, 대한토목학회 학술발표회 논문집, 대한토목학회, CD-ROM.