

고해상도 모의위성영상 제작에 관한 연구

윤영보* · 조우석** · 박종현* · 이종훈**

한국전자통신연구원*, 인하대학교 토목공학과**

A Study on the Generation of Simulated High-Resolution Satellite Images

Young-Bo Yun*, Woo-Sug Cho**, Jong-Hyun Park* and Jong-Hun Lee*

ETRI*, Department of Civil Engineering, Inha University**

Abstract : Ever since high resolution satellites were launched, high-resolution satellite images have been utilized in many areas. This paper proposed methods of generating simulated satellite image using DEM(Digital Elevation Model) and digital image such as aerial photograph. There are two methods proposed in the paper: one is Direct-Indirect method and the other Indirect-Indirect , method. It is assumed that satellite attitude is not changing and perspective center is moving in the direction of flight while image is captured. The proposed methods were implemented with aerial photograph, DEM data, arbitrary orbit parameters and attitude parameters of high resolution satellite image under generation. Furthermore, for the stereo viewing, different orientation parameters and perspective center were tested for generating simulated satellite image. In addition, the quality and accuracy of the simulated satellite image generated by the proposed methods were analyzed.

Key Words : Simulated Satellite Image, Differential Rectification, High Resolution, Direct Method, Indirect Method.

요약 : 다양한 분야에서 고해상도 위성영상의 활용도가 높아짐에 따라 많은 고해상도 인공위성이 발사되고 있으며 발사에정에 있다. 본 논문은 DEM과 항공사진영상을 이용하여 임의의 궤도정보와 자세정보를 가지는 인공위성에 대하여 모의위성영상을 제작할 수 있는 두 가지 방법을 제안하였다. 제작된 모의위성영상의 센서모델에서 자세는 변화가 없는 것으로 가정하였고, 투영중심의 위치는 위성의 진행방향에 따라 변화하는 모델을 사용하였다. 또한 자세와 위치에 변화를 준 모의위성영상을 제작하여 입체시 가능성을 실험하였으며, 제작된 모의위성영상의 정확도를 검증하기 위해 공간전방 교회를 이용하여 검증하였다.

1. 서론

최신의 지형정보를 획득하기 위한 다양한 기술이 활발히 연구되고 있는 상황에서 컴퓨터의 발달과 다양한 종류의 고해상도 위성 개발은 수치사진측량 및 원격 탐사 분야에 획기적인 발전을 가져왔다. 위성영상은 SPOT 위성이 1986년 처음 발사되어 높은 해상력과 적합한 기선 고도비 및 입체영상 취득 등의 장점으로 소축척 지도 제작에 이용되면서 그 활용도를 검증 받은 이래로 근래에는 IKONOS 등과 같은 1m의 해상도를 갖는 고해상도 위성이 개발되었다. 다양한 분야에서 고해상도 위성영상의 활용도가 높아짐에 따라 미국, 캐나다, 프랑스, 일본 등 인공위성 관련기술 선진국에서는 고해상도 인공위성을 발사하여 활용하고 있으며 더욱 향상된 고해상도 위성을 발사할 계획을 세우고 있다. 현재 고해상도 위성영상은 다양한 분야에서 활용되고 있으며 보다 효율적으로 활용하고자 많은 연구가 진행 중에 있다.

본 연구에서는 임의의 궤도정보와 자세정보, 항공사진, DEM 데이터 등을 이용하여 모의 위성영상을 제작하는 방법을 제시하였다. 제시된 방법을 이용하여 발사예정인 인공위성에서 제공할 위성영상의 모의영상을 제작하므로, 실제 영상을 수신하기 전에 적합한 활용분야를 예측하고 개발할 수 있으며, 효율적으로 활용할 수 있는 기반을 조성할 수 있을 것으로 판단된다.

2. 인공위성영상의 센서모델

1) Pushbroom 위성영상 센서모델

인공위성에 탑재된 센서로부터 얻어진 영상(Image Space)과 촬영 대상공간(Ground Space) 사이의 기하학적인 관계를 규명하여 필요한 정보를 획득하기 위해서는 센서모델이 반드시 필요하다. 이러한 센서모델 중 공선조건식을 이용한 위성영상 센서모델은 센서의 투영중심과 회전요소와 같은 외부표정요소를 영상의 행 또는 시간에

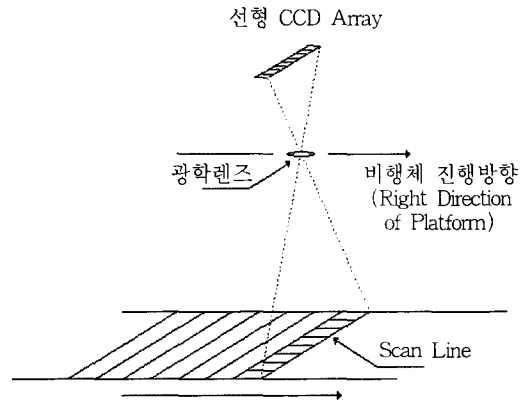


Fig. 1. Linear CCD.

대한 함수로 모델링하게 된다(조기성, 1991). 위성은 궤도를 따라 움직이므로 투영중심의 이동을 영상의 행(또는 시간)에 대한 함수로 표현하며, 회전요소의 변화도 비슷한 방법으로 영상의 행에 대한 함수로 표현하거나 영상의 행에 대해 변화가 없는 것으로 표현한다.

본 연구에서는 공선조건식을 이용한 Pushbroom 위성영상 센서모델을 사용하였다. 또한 위성은 궤도를 따라 등속직선 운동을 한다고 가정하였고 투영중심의 이동은 영상의 행(또는 시간)에 대해서 1차 함수로 표현하며, 회전요소의 변화는 없는 것으로 가정하였다.

2) Pushbroom 위성영상에서의 공선조건식

Pushbroom 위성영상에서 투영중심은 영상이 촬영되는 동안 스캔라인을 따라 이동하며, 센서의 자세 또한 계속적으로 변하기 때문에 각각의 scan line 마다 6개의 외부표정요소가 존재하게 된다. 따라서 Pushbroom 위성영상에 공선조건식을 적용하기 위해서는 6개의 외부표정요소를 scan line에 대한 함수로서 구성해야 한다. 외부표정요소를 scan line에 대한 함수로 구성하면 다음 식(1)과 같다.

$$\begin{aligned}
 X_s &= f_x(L) \\
 Y_s &= f_y(L) \\
 Z_s &= f_z(L) \\
 \omega_s &= f_{\omega}(L)
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

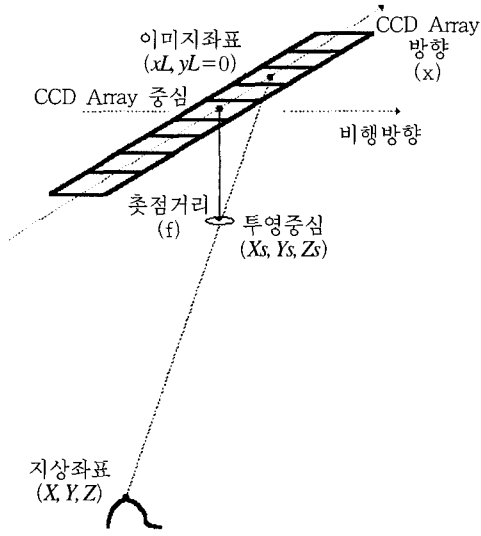


Fig. 2. Collinearity Eqn. - Pushbroom Satellite.

$$\phi_s = f_s \lambda(L)$$

$$\chi_s = f_\chi \lambda(L)$$

여기에서 L 은 임의의 행이다.

항공사진 또는 프레임 영상인 경우와는 달리 Pushbroom 위성영상에서는 각각의 scan line마다 투영중심이 존재하기 때문에 영상 좌표계의 y 축 방향이 센서의 진행방향이면, 임의의 영상 점 (xL, yL) 이 공선조건식에 대입될 때 yL 값 대신 0으로 정의된다. 공선조건식을 Pushbroom 위성영상에 맞도록 다시 표현하면 식(2)와 같다.

$$x_L = -f \frac{r_{11}(X-X_s) + r_{12}(Y-Y_s) + r_{13}(Z-Z_s)}{r_{31}(X-X_s) + r_{32}(Y-Y_s) + r_{33}(Z-Z_s)}$$

$$y_L = -f \frac{r_{21}(X-X_s) + r_{22}(Y-Y_s) + r_{23}(Z-Z_s)}{r_{31}(X-X_s) + r_{32}(Y-Y_s) + r_{33}(Z-Z_s)} \quad (2)$$

여기에서

X_s, Y_s, Z_s : 영상의 행 L 에서의 투영중심의 위치
 r_{ij} : 영상의 행 L 에서 센서의 자세가 ω_s, ϕ_s, χ_s 인 회전행렬 R_s 의 i 행, j 열 값이다. 회전행렬 R_s 는 식

$$R_s = \begin{bmatrix} \cos\phi_s \cos\chi_s & \sin\omega_s \sin\phi_s \cos\chi_s + \cos\omega_s \sin\chi_s & -\cos\omega_s \sin\phi_s \cos\chi_s + \sin\omega_s \sin\chi_s \\ -\cos\phi_s \cos\chi_s & -\sin\omega_s \sin\phi_s \sin\chi_s + \cos\omega_s \sin\chi_s & \cos\omega_s \sin\phi_s \sin\chi_s + \sin\omega_s \cos\chi_s \\ \sin\phi_s & -\sin\omega_s \cos\phi_s & \cos\omega_s \cos\phi_s \end{bmatrix} \quad (3)$$

(3)과 같이 정의된다.

식(2)를 정리하면 다음 식(4)와 같다

$$x_L = -f \frac{r}{q}$$

$$y_L = -f \frac{s}{q} = 0 \quad (y_L = f_s = 0) \quad (4)$$

여기에서

$$r = r_{11}(X-X_s) + r_{12}(Y-Y_s) + r_{13}(Z-Z_s)$$

$$s = r_{21}(X-X_s) + r_{22}(Y-Y_s) + r_{23}(Z-Z_s) \quad (5)$$

$$q = r_{31}(X-X_s) + r_{32}(Y-Y_s) + r_{33}(Z-Z_s)$$

식(2)를 변환하여 Pushbroom 위성영상에서의 역변환 공선조건식을 유도하면 다음 식(6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$X-X_s = (Z-Z_s)_L \times \left[\frac{r_{11}(x-x_0) + r_{21}(y-y_0) + r_{31}(-f)}{r_{13}(x-x_0) + r_{23}(y-y_0) + r_{33}(-f)} \right]$$

$$Y-Y_s = (Z-Z_s)_L \times \left[\frac{r_{12}(x-x_0) + r_{22}(y-y_0) + r_{32}(-f)}{r_{13}(x-x_0) + r_{23}(y-y_0) + r_{33}(-f)} \right] \quad (6)$$

본 연구에서 사용한 센서모델은 투영중심의 이동을 scan line에 대한 1차 함수, 회전요소는 변하지 않는 것으로 가정하였고 이러한 센서모델의 외부표정요소에 대한 함수는 식(7)과 같다.

$$X_s = X_0 + a_1 L$$

$$Y_s = Y_0 + a_2 L$$

$$Z_s = Z_0 + a_3 L \quad (7)$$

$$\omega_s = \omega_0$$

$$\phi_s = \phi_0$$

$$\chi_s = \chi_0$$

여기에서

$X_s, Y_s, Z_s, \omega_s, \phi_s, \chi_s$: 영상의 행 L 에서의 외부표정요소
 $X_0, Y_0, Z_0, \omega_0, \phi_0, \chi_0$: 기준이 되는 행(scan line)에서의 외부표정요소
 a_1, a_2, a_3 : scan line에 대한 계수이다.

이 센서모델은 투영중심의 위치가 3차원 공간에서 각각의 축 방향에 대해 등속직선운동을 한다는 가정을 하고 있으며 위성의 자세가 영상을 촬영하는 동안 변화가 없는 것으로 가정한다(방기인, 2001).

3. 모의위성영상

모의위성영상(Simulated Satellite Image)이란 임의의 위치요소와 자세요소를 가지는 고해상도 인공위성에서 획득되어질 영상을 항공사진영상, DEM데이터와 공선조건식 등을 이용하여 모의로 제작된 영상을 말한다. 수치정사영상제작 방법 중 수치미분편위수정의 원리(이병길, 1992)를 응용하여 모의위성영상을 제작하는 두 가지 방법인 직접-간접적 방법(Direct-Indirect)과 간접-간접적 방법(Indirect-Indirect)을 제안하였다.

1) 직접-간접적 방법

직접-간접적 방법은 수치미분편위수정 원리의 직접적인 방법과 간접적인 방법을 함께 적용하여 모의위성영상을 제작하는 방법으로, 위성영상과 DEM데이터간에 직접적인 방법을 적용한 후

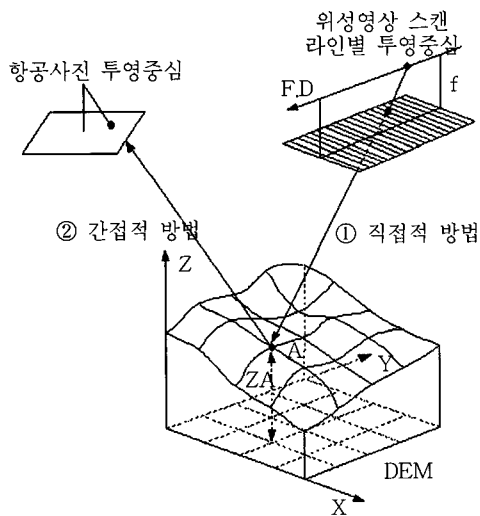


Fig. 3. DID Method.

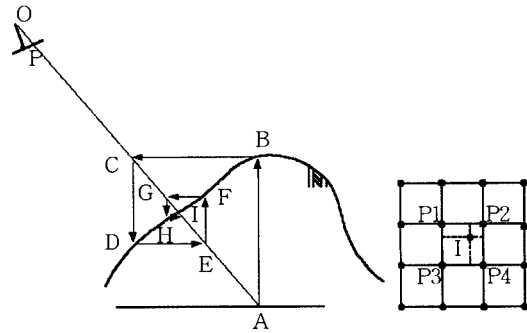


Fig. 4. Ray-Tracing Method.

DEM데이터와 항공사진 영상간에 간접적인 방법을 적용하여 모의위성영상을 제작하게 된다. 직접-간접적인 방법은 이하 DID방법이라 칭하며, 원리는 Fig. 3과 같다.

DID방법의 특징은 제작될 위성영상과 DEM 데이터 간에 직접적인 방법을 적용할 때 위성영상좌표에 해당하는 지상좌표를 계산하기 위해 광선추적방법(Ray-Tracing Method)(O'Neill and Dowman, 1988)을 이용한다. 광선추적방법의 원리는 Fig. 4와 같다.

I점의 좌표를 결정하는 절차는

- 1) 임의의 Z값을 갖는 기준면을 결정하고 OP의 연장선이 기준면과 만나는 점 A의 평면위치를 역변환된 공선조건식을 이용하여 결정한다.
- 2) 점 A의 평면위치에 대한 DEM데이터 상의 점 B를 계산한다.
- 3) 기준면을 $Z=Z_A$ 에서 $Z=Z_B$ 로 수정한다.
- 4) 1)에서 3)단계를 I점의 좌표에 수렴할 때까지 반복한다.

DID 방법의 특징은 광선추적방법을 적용하는 과정에서 임의의 Z값과 정확한 지상좌표의 Z값이 수렴할 때까지의 반복계산과정에서 다소 많은 연산이 필요하다(권오형, 2000). 그리고, DEM데이터와 항공사진 영상간에 간접적인 방법을 적용하는 경우에 지상좌표가 항공사진 영상화소의 중심점에 투영되지 않는 문제를 가지게 되는데 이러한 문제점을 해결하기 위해 밝기값에 대한 재배열과정이 필요하다. 본 연구에서는 공일차보간법

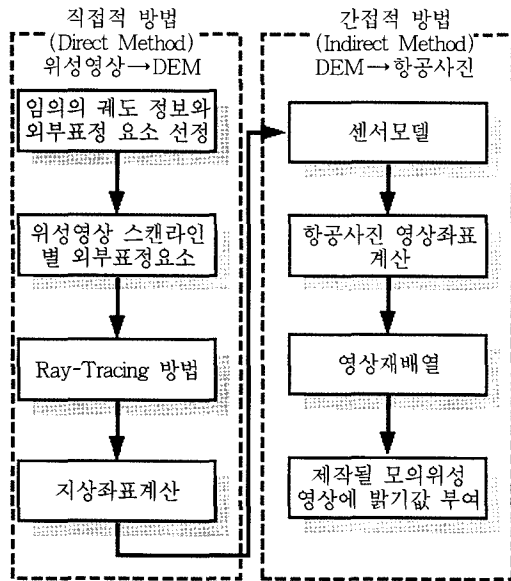


Fig. 5. DID Method Work Flow.

(Bilinear Interpolation)을 사용하여 밝기값에 대한 재배열과정을 수행하였다.

DID방법의 흐름도는 Fig. 5과 같다.

2) 간접-간접적 방법

간접-간접적 방법은 수치미분편위수정 원리의 간접적인 방법을 두 번 적용하여 모의위성영상을 제작하는 방법으로, DEM데이터와 항공사진 영상간에 간접적인 방법을 한번 적용하고 DEM데이터와 위성영상간에 간접적인 방법을 또 한번 적용하여 모의위성영상을 제작하게 된다. 간접-간접적 방법은 이하 IID방법이라 칭하며, 원리는 Fig. 6과 같다.

IID방법의 특징은 지상좌표가 포함되는 위성영상의 스캔라인을 고려하여 투영중심의 외부표정요소를 적용하게 되는데 이때 Back-Tracing 알고리즘(Kim, Shin and Lee, 2001)을 적용한다.

모의위성영상을 제작하기 위해서 Back - Tracing 알고리즘을 앞에서 가정한 센서모델에 적합한 형태로 변형하여 적용하였다.

Pushbroom 위성영상에서의 공선조건식에서 식

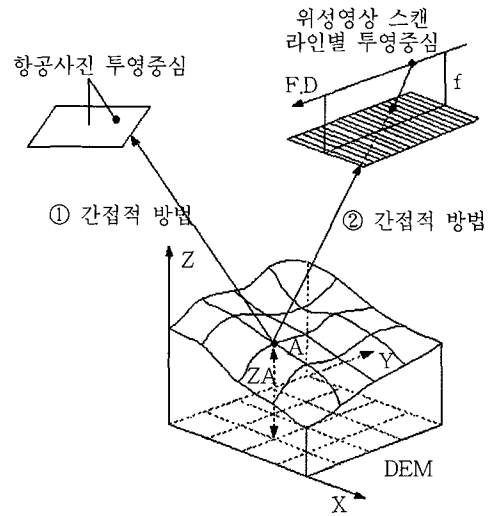


Fig. 6. Indirect-Indirect Method.

(2)와 식(3)을 이용하여 식(8)을 유도 할 수 있다.

$$r_{21}(X-X_s) + r_{22}(Y-Y_s) + r_{23}(Z-Z_s) = 0 \quad (8)$$

다시 식(8)에 식(7)을 대입하여 정리하면 식(9)로 표현 할 수 있다.

$$f(L) = -L(a_1r_{12} + a_2r_{22} + a_3r_{33}) + r_{12}(X-X_0) + r_{22}(Y-Y_0) + r_{32}(Z-Z_0) \quad (9)$$

식(9)에서 $f(L)=0$ 을 만족하는 L 을 찾는 방법으로 해당 스캔라인을 계산하게 된다. IID방법의 특징은 DEM데이터와 항공사진 영상간의 간접적인 방법을 수행하면서 밝기값에 대한 재배열과정이 한번 수행되고 Fig. 7과 같이 DEM데이터와 위성영상간의 간접적인 방법을 수행하면서 위성영상 화소의 중심점에 정확하게 지상좌표가 투영되지

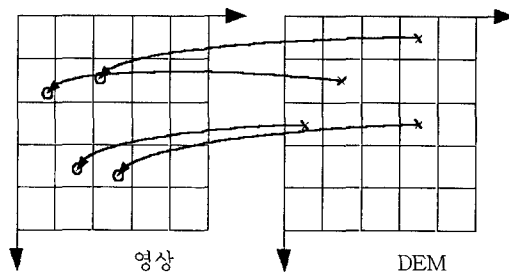


Fig. 7. Projection(DEM→Image).

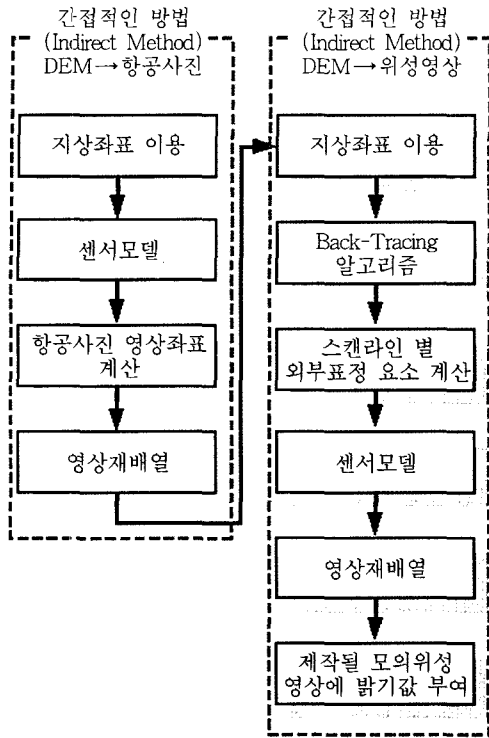


Fig. 8. IID Method Work Flow.

않기 때문에 또 한번의 밝기값에 대한 재배열과정이 수행된다. 따라서, DID 방법과는 달리 IID 방법에는 영상재배열과정을 두 번 수행하게 된다. 위성영상의 밝기값을 재배열하는 방법은 위성영상

의 화소 중심점에서 투영된 점의 거리를 계산하여 계산된 거리에 반비례하도록 경중율을 부여하는 방법을 적용하였다. 또한 IID방법은 DID방법과는 달리 지상의 좌표를 이미 알고 있기 때문에 지상 좌표의 Z값을 구하는 연산이 필요 없지만 DEM데이터와 위성영상간의 간접적인 방법을 수행하면서 Back-Tracing 알고리즘을 적용하므로 다소 많은 연산을 수행한다.

IID 방법의 흐름도는 Fig. 8과 같다.

4. 제작 및 분석

본 연구에서는 제안된 방법을 적용하여 임의의 궤도정보와 자세정보를 가지는 모의위성영상을 제작하였다. 또한, 위성의 자세와 위치를 다르게 적용하여 모의위성영상을 제작하여 입체시 가능성을 실험하였다. 본 연구에 사용된 항공사진영상 데이터는 Fig. 9, Fig. 10과 같다. 항공사진 영상 데이터는 1989년 4월 29일에 초점거리153.3mm인 RC10카메라를 이용하여 촬영한 강원도 양구 지역의 항공사진을 1,000dpi로 자동독취한 영상이다. DEM데이터는 수치사진측량용 시스템인 Intergraph사의 Imagestation SSK Pro를 이용하여 50cm 간격으로 자동제작 하였다. 제작된 DEM은 Fig.



Fig. 9. Left Aerial Photo Image

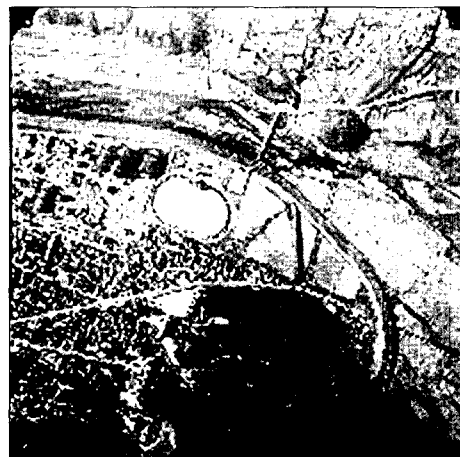


Fig. 10. Right Aerial Photo Image

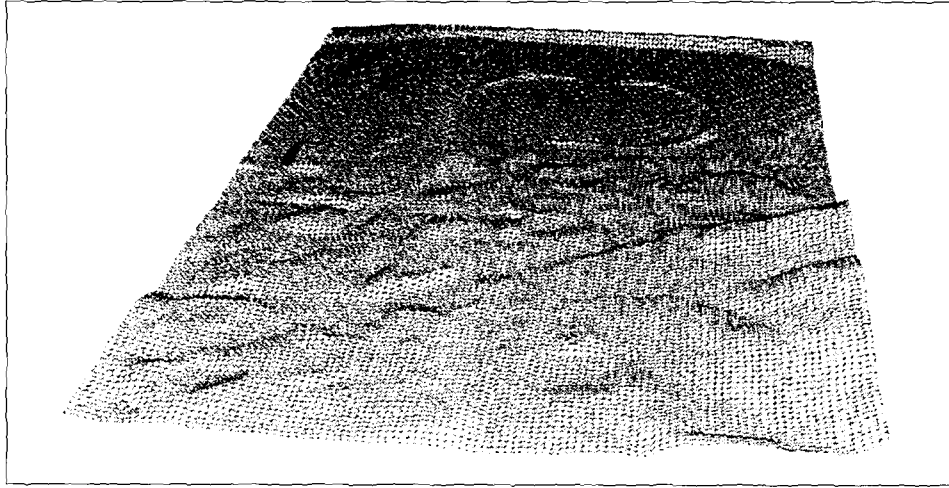


Fig. 11. DEM Data.

Table 1. GCP Coordinate.

ID	지상좌표		
	X(m)	Y(m)	Z(m)
1	286663.245	512594.957	247.708
2	286674.597	512127.382	184.884
3	285993.575	512229.810	183.390
4	286530.922	512133.676	186.471
5	286479.451	512464.318	182.873
6	286248.437	511922.153	185.406
7	286344.004	512462.109	182.062
8	286193.170	512033.557	180.869
9	285916.185	512334.860	197.911
10	286866.810	512274.978	208.217

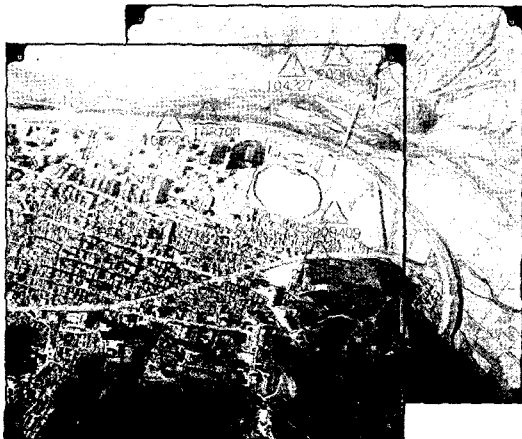


Fig. 12. GCP Position.

11과 같다.

항공사진영상의 외부표정요소는 10개의 지상기 준점을 이용하였고 Intergraph사의 Imagestation SSK Pro를 이용하여 계산하였다. 계산에 사용한 지상기 준점의 좌표와 위치는 Table 1, Fig. 12와 같다.

모의위성영상을 제작하기 위해 사용한 항공사진영상의 외부표정요소는 Table 2와 같고 모의위

Table 2. Exterior Orientation Parameters of Aerial Photo Image.

	왼쪽영상	오른쪽 영상
X(m)	286522.934	286360.860
Y(m)	512113.116	512465.159
Z(m)	953.670	956.435
ω (rad)	0.02991494338	-0.005044001538
ϕ (rad)	-0.01811651764	0.01356120829
κ (rad)	1.864674866	1.927314733

Table 3. Attitude Parameters and Orbital Information.

비행고도	681km
초점거리	10m
(rad)	0.0
(rad)	0.0
(rad)	0.0
X(m)	286468.00
Y(m)	512072.00
Z(m)	685000.00
공간해상도(m)	0.82

성영상 제작에 사용한 위성의 궤도정보와 자세정보는 Table 3과 같다.

1) 제작된 영상 비교

제작된 모의위성영상의 크기는 DID 방법과 IID방법 모두 800 800 화소로 DEM데이터 전체 지역을 포함하고 있다. 모의위성영상을 제작하는 경우 DEM데이터의 범위를 벗어나는 지역이 생기게 되는데 이러한 지역에 대하여 임의의 밝기값 0을 부여하여 영상에서 검게 나타나도록 하였다.

Fig. 13은 DEM데이터를 이용하여 DID방법으로 모의위성영상을 제작한 결과이고 Fig. 14는 IID방법으로 모의위성영상을 제작한 결과이다. 두 영상 중 IID방법으로 제작한 영상이 건물의 외곽선이나 도로의 경계선등에서 zigzag 현상이 적게 나타났고 전체적인 영상의 질이 좋게 제작되었다. 따라서 영상의 질적인 측면에서는 IID방법이 더 효과적임을 알 수 있었다.

2) 외부표정요소변화에 따른 입체영상 생성

위성의 자세와 위치를 변경하여 제작한 모의위성영상을 이용하여 입체시 가능성을 분석하기 위하여 Fig. 15와 같이 위성의 자세와 위치를 다르게 적용하여 모의위성영상을 제작하였다.

위성의 자세와 위치를 다르게 적용하기 위해 Y

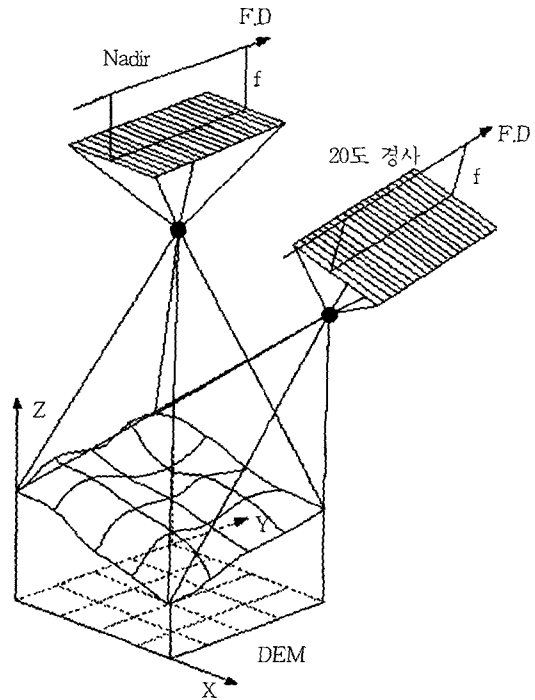


Fig. 15. Changed Orientation Parameters to generate stereo images.

축 방향의 회전각인 ϕ 각에 20° 의 변화를 주었다. 이러한 자세 변화에 따라 제작된 모의위성영상은 Fig. 16과 같은 결과를 보였다.

위성의 자세 변화 없이 제작한 모의위성영상과 위성의 자세에 20° 변화를 주고, 위성의 위치에 X

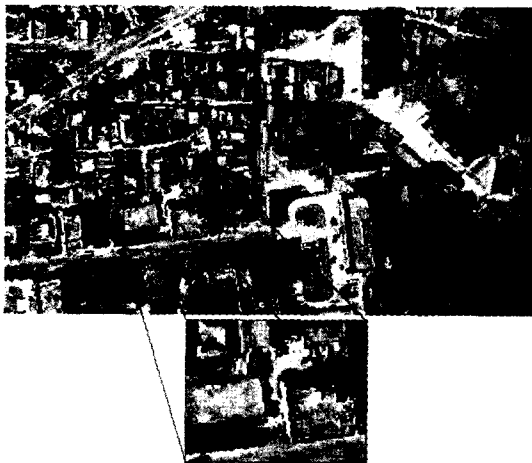


Fig. 13. DID Method Image.

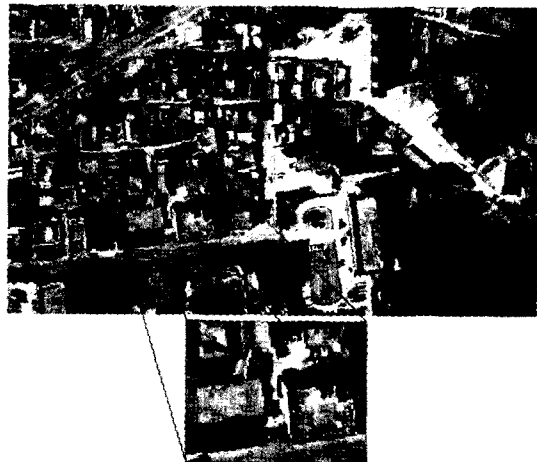


Fig. 14. IID Method Image.

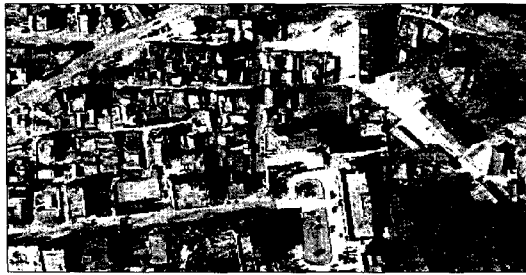


Fig. 16. 20° Rotated Simulated Image.

축 방향으로 ϕ 각 20° 변화에 해당하는 양만큼 이동시켜 제작한 모의위성영상을 이용하여 입체시가 가능함을 알 수 있었다.

3) 지상기준점을 이용한 제작영상의 정확도 분석

자세의 변화가 없는 영상과 Y축 방향의 회전각인 ϕ 각에 20° 자세변화와 위치변화가 있는 영상을 DID방법과 IID방법을 이용하여 각각 제작하였고, 지상기준점과 공간전방교회(Space Intersection)를 통하여 제작된 모의위성영상의 정확도를 검사하였다. 사용한 지상기준점의 위치는 Fig. 17과 같고 지상기준점의 좌표는 Table 4와 같다.

공간전방교회(Space Intersection)를 수행하였을 때 Table 5, Table 6과 Fig. 18의 결과를 보였다. 결과에 대한 분석을 통해서 DID 방법과 IID 방법에 대한 정확도를 비교하면 X축 방향으로의 정확도는 DID 방법이 좋았지만 Y축 방향과 Z값에 대한 정확도에 있어서는 IID 방법이 더 좋게 나타나는 것을 알 수 있었다. 또한 전체 RMSE 역시 DID방법보다 IID 방법이 더 적은 값을 보여 IID 방법으

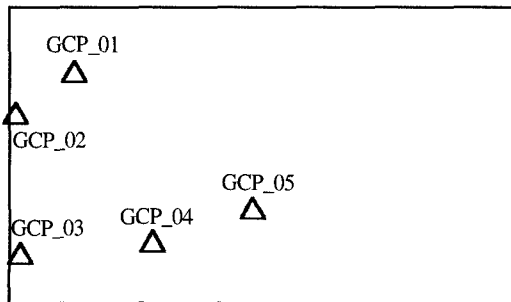


Fig. 17. Position of GCPs.

Table 4. Image Coordinates and Ground Coordinates of GCPs.

	자세변화없는 영상		20 회전된 영상	
	X(pixel)	Y(pixel)	X(pixel)	Y(pixel)
GCP_01	57.2323	327.3214	58.2474	410.3780
GCP_02	5.7540	364.9376	5.7434	442.6163
GCP_03	8.0388	489.8326	7.6986	554.0673
GCP_04	126.7977	479.5211	126.7493	544.5162
GCP_05	217.2119	453.3736	217.5804	521.6008
	지상기준점			
	X(m)	Y(m)	Z(m)	
GCP_01	286674.57092	512127.39399	184.77774	
GCP_02	286642.33945	512170.90401	184.84625	
GCP_03	286776.85363	512130.17181	187.19428	
GCP_04	286767.55215	512226.96917	187.73188	
GCP_05	286745.48766	512300.14653	189.07568	

로 제작한 모의위성영상의 정확도가 좋았다.

전체적인 모의위성영상에 대한 정확도는 X,Y방향으로는 1 픽셀 이하의 정확도를 보였지만 Z값에 대한 정확도는 다소 좋지 않게 나타났다. 이러한 Z값에 대한 결과는 DEM데이터를 자동으로 제작하면서 Z값에 대해 다소 부정확한 값이 추출된 것으로 판단된다.

Table 5. Space Intersection Result(DID).

	DID 방법(DEM)		
	X(m)	Y(m)	Z(m)
GCP_01	286674.0668	512127.9052	187.0335
GCP_02	286643.3355	512170.5118	189.5161
GCP_03	286776.1027	512129.6520	190.0208
GCP_04	286767.6786	512227.1465	188.8847
GCP_05	286746.3167	512301.4464	189.3187
RMSE	0.792721	0.775659	3.01141

Table 6. Space Intersection Result(IID).

	IID방법(DEM)		
	X(m)	Y(m)	Z(m)
GCP_01	286673.2335	512127.4452	187.4047
GCP_02	286642.9593	512171.0442	187.9782
GCP_03	286775.9679	512129.5160	187.8448
GCP_04	286766.8473	512226.8158	188.4431
GCP_05	286745.5572	512300.5519	188.2026
RMSE	0.929919	0.400047	2.14487

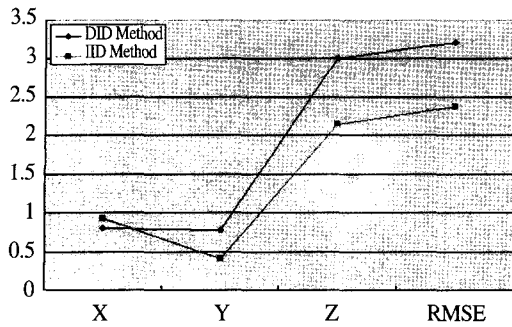


Fig. 18. Space Intersection Results.

5. 결론

정사투영영상을 제작하는 방법 중의 하나인 수치미분편위수정 방법을 응용하여 모의위성영상 제작을 위해 적용 가능한 두 가지 방법을 제안하였고, 이를 이용하여 모의위성영상을 제작하였다. 그 결과 제안한 방법 중 영상의 질적인 면과 정확도 면에서는 IID방법이 효율적임을 알 수 있었다. 또한, 서로 다른 자세와 위치를 가지는 모의위성영상을 제작하여 모의위성영상을 이용한 입체시가 가능하다는 결론을 얻었다. 제작된 모의위성영상의 정확도 측면에서 X,Y방향보다는 Z값에 대한 오차가 크게 나타났다. 이러한 문제는 보다 정확한 DEM 데이터를 이용하면 어느정도 해결 가능하다고 판단된다.

향후 보다 효율적이고, 효과적인 인공위성 모의위성영상제작 방법에 관한 연구가 수행되어야 할 것이다.

참고문헌

- 권오형, 2000. 수치정사투영영상 제작을 위한 폐색 지역의 탐지와 복원, 석사학위논문, 서울대학교, pp. 7-12.
- 방기인, 2001. 비접근 지역에 대한 위성영상의 Pseudo 영상 구성 및 센서모델 분석, 석사학위논문, 인하대학교, pp. 4-25.
- 이병길, 1992. 인공위성 데이터를 이용한 정사투영 사진 제작에 관한 연구, 석사학위 논문, 서울대학교, pp. 7-39.
- 조기성, 1991. SPOT 위성영상의 외부표정요소 결정에 관한 연구, 박사학위논문, 연세대학교, pp. 7-48.
- O'Neill, M. A. and I. J. Dowman, 1988. The Generation of Epipolar Synthetic Stereo Mates for SPOT Images using a DEM, *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 27(B3): 587-598.
- Kim, T., D. Shin and Y. R. Lee, 2001. Development of a Robust Algorithm for Transformation of a 3D Object Point onto a 2D Image Point for Linear Pushbroom Imagery, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 67(4): 449-452.