

입체시 제작방법에 따른 위성영상 3차원 정확도 평가

3-Dimension Accuracy Assessment of Satellite Image Using Stereo-Pair Image Generation Method

이호남* · 성민규**

Lee, Ho-Nam · Sung, Min-Gyu

* 중앙항공(주) 지리정보연구소 소장

** 중앙항공(주) 지리정보연구소 전임연구원

요약

고해상 입체 위성영상 엄밀 모델링(Rigorous Modeling)을 구현하고, 이를 기반으로 각 입체시 영상을 제작하여 3차원 정확도 평가를 수행하였다. 본 연구 지역으로 전주지역의 SPOT5 입체영상을 이용하였으며, 각 영상별 기준점 자료는 1/5000 수치지도를 이용하여 입체영상의 중복영역 내에 균등하게 지상기준점 40점을 추출하였다. 추출된 점을 각각 기준점과 검사점으로 구분하여 엄밀 모델링의 정확도를 분석하였다. 또한, 입체시 제작시에 기준점으로 사용된 지상좌표와 이에 대응하는 영상점을 이용하여 입체시 영상을 제작하였다. 제작된 입체시 영상에서 동일점을 획득하기 위해 영상 매칭 및 수치해석도화기(Helava System)를 이용하여 정확한 영상점을 획득하여 3차원 좌표를 계산하여 정확도 평가를 수행하였다.

keyword: 고해상 위성영상, 엄밀 모델링, 영상매칭, 정확도 평가

1. 서론

1957년 인류 최초의 인공위성인 SPUTNIK-1호가 러시아에서 발사된 이래 오늘날까지 다양한 인공위성이 발사 되었다. 초기 인공위성은 군사적인 목적으로 사용되어 일부 선진국 및 군사강국 중심으로 운용되었으나 1992년 미국이 “open skies” 정책을 발표하여 민간 부문의 위성 발사와 위성영상 획득 및 판매가 허용되면서 민간 차원의 활용도가 급증하였다. 이들 위성영상의 활용은 초기에 토지의 피복현황 파악, 환경변화분석, 식생조사, 재해조사 등과 같은 정성적인 분석이 주류를 이루었으나, 1986년 프랑스에서 입체영상 취득이 가능한 SPOT 위성을 발사함으로써 위성영상을 이용한 지형공간정보 획득이 가능해졌다.

오늘날 급속도로 발전한 컴퓨터 분야 및 수치사진측량의 발전으로 인해 대용량 고해상의 입체 위성영상을 취득함에 따라 보다

정밀한 3차원 위치정보를 추출하여 지도제작 및 수치표고 제작 등에 이용되는 실정이지만 지금까지 3차원 위치정보 획득과정에서 입체시 제작방법만 언급뿐 각 입체시 제작방식별 성능 분석을 이제껏 이루어지지 않았다. 그런 이유로 고해상 입체 위성영상의 입체시 제작 방법은 일반적으로 통용되어 있으나 정확한 3차원 위치 정보를 획득할 수 있는 방식은 알려져 있지 않다. 따라서 고해상 입체 위성영상에 알맞은 입체시 제작 방식을 선택하는 것이 중요한 문제이다.

본 연구에서는 지금까지 알려진 입체시 영상방법을 크게 두 가지로 분류하고, 각각의 방식별 입체시 알고리즘을 소개하고자 한다. 그리고 동일한 데이터를 사용하여 앞서 소개한 입체시 제작 알고리즘을 적용하여 제작된 입체시 영상상에서 동일한 영상좌표를 추출하여 3차원 정확도 평가를 수행하여 각 알고리즘별 성능을 비교하여 입체시 제작 방식에 적합한 방식을 제시하고자

한다.

2. 연구 내용 및 방법

대상지역의 SPOT5 입체 영상 및 지상기준점을 획득하고 3차원 모델링을 수행 후에 입체시 영상을 아래와 같은 방법으로 실험을 수행하였다.

(1) 고해상 입체 위성영상 모델링

1) 위성영상

본 연구에서는 다음과 같이 진주지역을 중심으로 입체로 촬영된 2개의 SPOT5 원영상을 사용하였으며, 모두 처리수준 Level 1A의 전정색(Panchromatic) 영상이다.

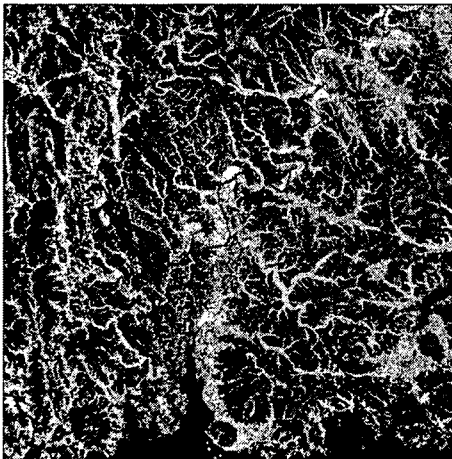


그림 2. 좌측영상

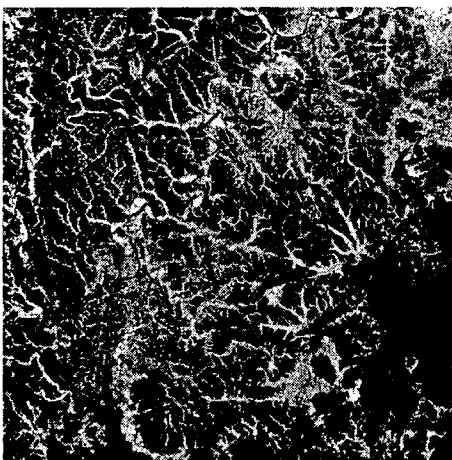


그림 3. 우측영상

표 1. 대상지역 SPOT5 위성영상 제원

대상	SPOT GRS	전처리 수준	촬영날짜	경사각	표정각
좌측 영상	K307J279	Level 1A	2003/02/12	-5.133	13.191
우측 영상	K308J279	Level 1A	2003/02/06	20.364	15.722

2) 지상기준점

본 연구에 사용한 지상기준점은 두 입체영상의 중복영역 내에서 1/5,000 수치지도를 이용하여 약 10km × 10km에 1점씩을 추출하였다. 이때 지상기준점 관측시 용이하도록 삼(사)거리 모서리, 다리 끝점 등에서 추출하였다.

다음은 본 연구에서 사용한 기준점 배치도 및 기준점 영상 위치이다.

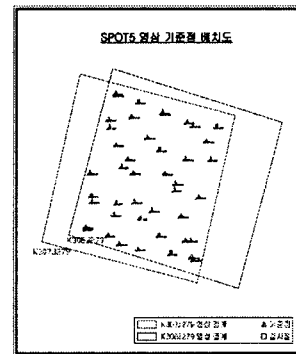


그림 4. 기준점 배치도

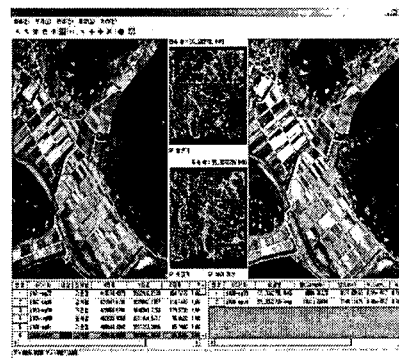


그림 5. 기준점 영상 위치

3) SPOT5 위성영상 모델링

위성의 경우 각 주사선마다 6개의 외부표정요소($X_{0i}, Y_{0i}, Z_{0i}, x_{0i}, \phi_{0i}, \omega_{0i}$)가 존재하며,

$y_i=0, z_i=-f$ 이므로 영상상에서 임의의 주사선 i 에 대한 p 점과 그에 대응하는 지상지점 P 점과의 관계를 식(3.1)으로 표현한다. 다음의 그림 5.은 위성에 탑재된 센서에서 촬영된 영상과 촬영 대상지역의 기하학적 관계를 보여주고 있다.

$$\begin{bmatrix} x_i \\ 0 \\ -f \end{bmatrix}_p = \lambda R_i \begin{bmatrix} X_i - X_{0i} \\ Y_i - Y_{0i} \\ Z_i - Z_{0i} \end{bmatrix}_L \quad (\text{식 3.1})$$

여기서, x_i 는 i 번째 주사선의 영상좌표이고, X_i, Y_i, Z_i 는 영상좌표에 대응하는 L 점의 지상기준점 좌표이다. f 는 위성의 초점거리이고, λ 는 영상과 지상에 대한 축척계수이며, R_i 는 회전행렬이다.

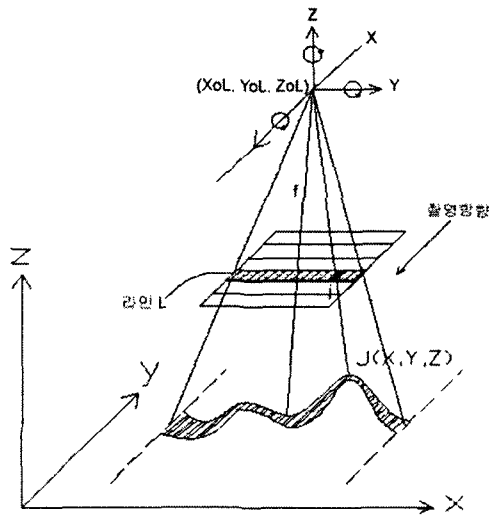


그림 5. 위성과 지상간의 기하학적 관계

위 식(3.1)를 전개하면 다음의 식(3.2a,b)과 같은 공선조건식으로 표현할 수 있다.

$$x = -f \frac{m_{11}(X_i - X_{0i}) + m_{12}(Y_i - Y_{0i}) + m_{13}(Z_i - Z_{0i})}{m_{31}(X_i - X_{0i}) + m_{32}(Y_i - Y_{0i}) + m_{33}(Z_i - Z_{0i})} \quad (3.2a)$$

$$0 = -f \frac{m_{21}(X_i - X_{0i}) + m_{22}(Y_i - Y_{0i}) + m_{23}(Z_i - Z_{0i})}{m_{31}(X_i - X_{0i}) + m_{32}(Y_i - Y_{0i}) + m_{33}(Z_i - Z_{0i})} \quad (3.2b)$$

여기서, $m_{11}, m_{12} \dots m_{33}$ 은 자세에 대한 회전행렬을 나타낸다.

한 개의 위성영상에 존재하는 외부표정

요소는 6(주사선 당 외부표정요소)×라인(한 영상을 이루기 위한 주사선 수)의 수만큼 존재한다. 따라서 많은 미지수를 풀기 위해 방정식 수가 증가하고, 그에 따른 기준점 수가 증가되는 문제가 발생함에 따라 각 주사선마다의 모든 외부표정요소를 직접 구할 수는 없다. 여기서는 위성의 촬영당시 궤도 안정성과 빠른 관측 시간 (9.024Second/Scene)을 고려하여 외부표정요소를 시간형태로 단순화하여 모형을 수행하였다.

본 연구에서 사용된 지상기준점을 기준점과 검사점으로 구분하여 SPOT5 입체영상 모델링 성과로부터 계산된 지상좌표와 원래의 지상기준점 좌표의 차이를 비교하여 RMSE(Root Mean Square Error)를 계산하였다. 계산된 모델링 정확도의 경우 약 1-2화소, 즉 2.5-5m 이내의 RMSE 오차로서 비교적 정확하게 모델링이 수행되었다고 판단할 수 있다.

표 2. SPOT5 입체영상 모델링 정확도 단위(meter)

구분	점수	X 좌표	Y 좌표	Z 좌표
기준점	32	2.8995	2.2404	1.4613
검사점	13	3.0743	3.4311	1.7820
전체	44	2.9523	2.6485	1.5629

(2) 고해상 위성영상 입체시 제작

1) 입체시 제작

고해상 위성영상의 입체시 제작방법은 영상정합과 기하변환으로 나눌 수 있으며, 특히 기하변환 방법으로는 다항식변환 및 외부표정요소로 제작할 수 있다.

본 연구에서는 영상정합방법으로 다항식 1, 2차식을 이용하였으며, 좌측영상을 기준으로 우측영상을 그림 6, 7, 8과 같이 대상영상을 기준으로 완전히 정합이 되도록 24000×24000크기로 제작하였다. 그리고, 영상 보간방법으로는 공일차 보간법을 이용하였다.

입체영상 제작시 변환오차를 최소한으로 줄이기 위해 다항식 정변환 계수에서 나온 결과치를 이용하여 다시 역변환 계수를 계산하였다.

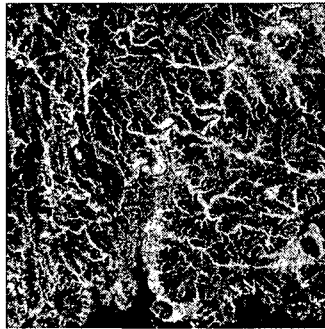


그림 6. 좌측영상(기준영상)

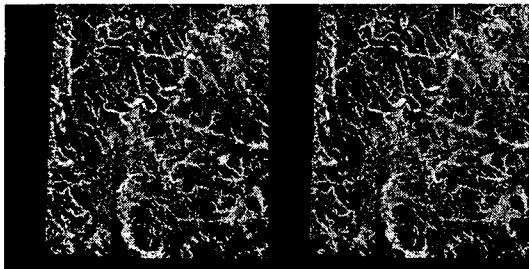


그림 7. 우측영상(다항식1차) 그림 8. 우측영상(다항식2차)

본 연구에서는 기하변환 방법으로는 다항식 1, 2차식 및 외부표정요소를 이용하였으며, 지상기준점의 기준점좌표를 이용하여 그림 9, 10, 12, 13 과 같이 좌/우측 입체영상을 제작하였다. 앞서 영상정합과 동일한 기법으로 다항식 정변환 계수와 역변환계수를 계산하였다. 또한, 외부표정요소 방법으로는 수치미분편위수정을 이용하여 입체시 영상을 제작하였으며, 이때 고도값은 100.000(m)를 기준으로 동일평면상으로 가정하여 입체영상을 제작하였다.

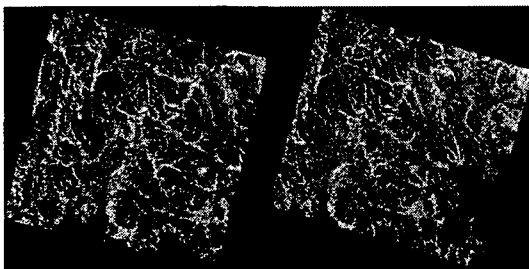


그림 9. 좌측영상(다항식1차) 그림 12. 우측영상(다항식1차)

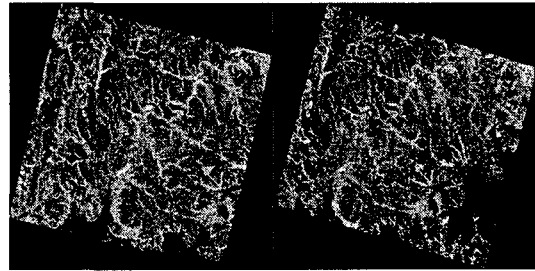


그림 10. 좌측영상(다항식2차) 그림 13. 우측영상(다항식2차)

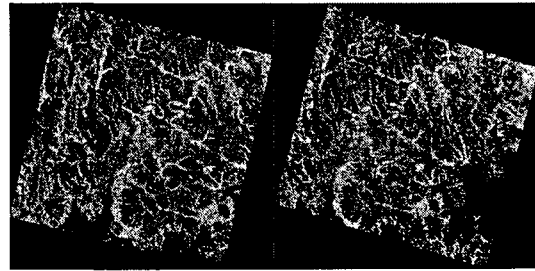


그림 11. 좌측영상(외부표정) 그림 14. 우측영상(외부표정)

(3) 입체시 영상 3차원 정확도 평가

1) 영상 판독에 의한 정확도 분석

제작한 입체영상에서 3차원 모델링에 사용한 지상기준점을 전문 도화사에 의해 입체 관측하여 지상좌표를 추출하였다. 도화사의 관측 오류를 방지코자 각 지상기준점에 대해 3회 이상 관측하여 각 점당 평균값을 취하여 지상좌표를 계산하였으며, 3차원 정확도 평가를 위해 측정된 지상좌표와 원래의 지상기준점 좌표의 차이를 비교하여 RMSE(Root Mean Square Error)를 계산하였다.

2) 정사영상 측정에 의한 정확도 분석

제작한 입체영상(영상정합, 기하변환)의 중복범위 내에서 피라미드 영상 매칭을 수행하여 수치표고자료를 제작하고 이 수치표고 자료를 이용하여 정사영상을 제작하였다. 제작된 정사영상과 수치표고 자료를 이용하여 지상기준점에 대해 육안관측을 수행하여 원래의 지상좌표와 관측된 지상좌표의 차이를 비교하여 RMSE(Root Mean Square Error)를 계산하였다.

3. 결과 및 토의

본 연구에서는 고해상 입체 위성영상 모델링에 대한 정확도 평가를 수행하고 각 입체시 영상제작방법별 3차원 정확도를 분석하였다.

영상정합의 다항식 1차 변환방법이 타 입체시 제작방법에 비해 더 나은 정확도를 향상됨을 알 수 있었다. 이러한 결과는 지도제작 및 수치표고 자료 제작시 정확도 향상에 기여 할 수 있을 것으로 판단된다. 다만, 고해상 위성영상에 대한 정확도 향상에는 영상정합의 다항식 1차가 적합하나 입체 관측시 X 및 Y시차가 큼으로 인해 작업의 효율성은 다소 떨어질 수 있으므로 이에 따른 소프트웨어 성능 및 운영이 향후 발전되어야 할 것으로 판단된다.