

SPOT 위성영상에서의 지상기준점의 영상좌표 자동관측

Automatic Measuring of GCP's Image Coordinates from SPOT Satellite Imagery

강명호* 방수남* 이용웅**

Kang, Myung-Ho Bang, Su-Nam Lee, Yong-Woong

ABSTRACT

위성영상으로부터 위치자료가 포함된 지리 및 지형정보를 얻기 위해서는 영상획득순간의 센서 위치 및 자세와 지상좌표간의 관계를 해석하여야 한다. 위성영상에 대한 수학적 모형화를 위해서 먼저 입체영상에서 지상기준점(Ground Control Point: GCP)을 선정하고, 선정된 지상기준점에 대한 지상좌표 및 대상영상에 대한 영상좌표 관측작업을 수행 한다. 본 연구에서는 지상기준점 데이터베이스에 포함된 정보들을 이용하여 관측대상 입체영상 3차원 모형화에 필요한 지상기준점의 영상좌표를 자동으로 추출할 수 있는 기법을 개발하였다. 관측정밀도는 수작업으로 관측한 값과 자동계산된 영상좌표의 결과를 비교분석하여 평가하였으며, SPOT 위성영상의 3차원 모형화에 적용하여 정확도를 평가하므로써 유사한 해상도의 영상을 활용하는 3차원 모형화 과정에서 지상기준점의 영상좌표 관측을 자동화 할 수 있음을 입증하였다.

1. 서론

위성영상으로부터 위치자료가 포함된 지리 및 지형정보를 얻기 위해서는 영상획득순간의 센서 위치 및 자세와 지상좌표간의 관계를 해석하여야 한다. 위성영상에 대한 수학적 모형화를 위해서 먼저 입체영상에서 지상기준점(Ground Control Point : GCP)을 선정하고 선정된 지상기준점에 대한 지상좌표 및 영상좌표 관측작업이 수행되어야 한다.¹⁾²⁾³⁾

국방과학연구소에서는 SPOT영상과 측량기준점 그리고 궤도파라미터등을 이용하여 한반도전역에 대한 지상기준점 DB 개발을 완료하였다. 따라서, 위성 영상 모델링을 위한 지상 기준점에 대한 영상좌표 관측시 시간적 비용을 절약하고 구축된 지상 기준점 DB를 이용한 효율적인

영상좌표 관측에 관한 연구의 필요성이 대두되었다. 본 연구에서는 지상기준점 데이터베이스에 포함된 정보들을 이용하여 관측대상 입체영상 3차원 모형화에 필요한 지상기준점의 영상좌표를 자동으로 추출할 수 있는 기법을 개발하였다.

관측정밀도는 수작업으로 관측한 값과 자동계산된 영상좌표의 결과를 비교분석하여 평가하였으며, SPOT 위성영상의 3차원 모형화에 적용하여 정확도를 평가하므로써 유사한 해상도의 영상을 활용하는 3차원 모형화 과정에서 지상기준점의 영상좌표 관측을 자동화 할 수 있는 가능성을 입증하는 것을 목표로 하였다.

위성영상 모델링을 위한 지상기준점의 영상좌표 자동관측을 위해서 SPOT 헤더에 포함되어 있는 영상의 네 모서리 및 중심 위치좌표와 Affine 변환식을 이용하여 초기 영상좌표를 계산하는 방법과 기준점 영상과 대상영상간의 상관매칭을 통

*국방과학연구소 선임연구원

**국방과학연구소 책임연구원

한 정밀 영상좌표 계산 방법을 제안 하였다.

상관 매칭에 의해 계산된 영상좌표 중 잘못 계산된 매칭오류 점을 검출하기 위해 지상기준점의 n개의 보조점에 대한 매칭을 이용하여 매칭 오류점을 검출하는 기법과 반복적 모델링에 의해 과대오차점을 소거함으로써 검출할 수 있는 기법을 제안하고 마지막으로, SPOT 위성영상 3차원 모델링에 자동관측한 기준점에 대한 영상좌표를 적용하여 사용자의 요구정확도를 만족하는지를 검증하는 실험을 수행 하였다.

2. 지상기준점의 영상좌표 자동관측

지상기준점에 대한 영상좌표 자동관측을 위하여 기준점 DB에 저장되어 있는 SPOT영상에서 추출한 지상기준점 패치영상을 이용하였다. 지상기준점에 대한 패치영상은 256×256(픽셀)크기의 SPOT-PAN 전처리 수준 1A 영상에서 추출된 것이며, 기준점 패치영상 내에서의 영상좌표는 1/32픽셀의 sub-pixel 정밀도로 저장되어 있다.

2.1 위성보조자료를 이용한 초기영상좌표 계산

정밀한 상좌표 관측에 앞서 모델링 대상이 되는 SPOT영상의 헤더에 포함되어 있는 영상의 네 모서리 위치 좌표와 중심위치좌표를 이용하여 영상에서의 지상기준점의 초기영상좌표를 결정하였다. 지상기준점에 대한 초기영상좌표 계산하기 위해 아핀변환식을 이용하였으며, 아핀 변환식은 변환할 영상의 영상좌표와 변환 후 영상의 영상좌표에 대한 1차 다항식으로 이루어지며, 그 식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} x' &= ax + by + c \\ y' &= dx + ey + f \end{aligned} \quad (1)$$

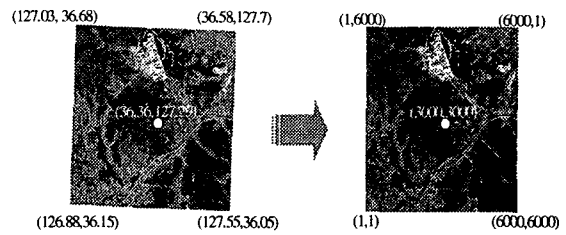
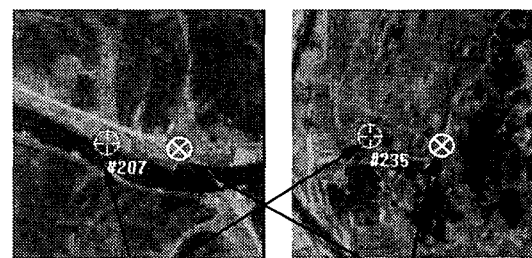


그림 1. 초기영상좌표 측정을 위한 아핀 변환

SPOT 영상의 헤더에 포함되어 있는 위치좌표는 최대 1.5Km 까지의 오차를 가지고 있다. 따라서, 그림 2에서 보는바와 같이 실제 지상기준점 위치와 아핀변환에 의해 계산된 위치가 상당한 차이가 있음을 알 수 있다. 하지만 추정된 위치를 정밀한 기준점에 대한 영상 좌표를 관측하기 위한 영상매칭의 초기 추정치로 활용함으로써 전체영상이 아닌 시작위치로부터 상하좌우 약 150픽셀(지상거리 약 1.5 Km 이상)정도의 영역만을 탐색하여 영상전 영역에 대해 매칭을 수행하는 것에 비해 시간적 비용을 줄일 수 있으며, 지상기준점에 대한 영상에서의 패턴이 반복되어 나타남으로 인해 발생할 수 있는 매칭오류를 방지할 수 있는 효과가 있다.



아핀변환에 의해 측정된 위치 실제지상기준점의 위치

그림 2. 초기 영상좌표 계산 결과 예

2.2 상관매칭에 의한 영상좌표 자동계산

지상기준점의 정확한 위치를 관측하기 위해 영상매칭분야에서 가장 널리 쓰이고 있는 영역기반 상관매칭기법을 적용하고, 생성되는 정합점의 정밀도를 개선하기 위하여 sub-pixel 정확도의 매칭점 근사식을 적용하였다. 일반적으로 상관매칭기법을

적용할 경우의 문제점(특징변화 부족한 지역, 선형경계 지역, 반복패턴 발생지역에서의 매칭오류 발생)을 해결하기 위하여 계층적 구조를 적용하였다.

2.2.1 상관매칭

영상매칭 기법에서 대표적인 상관매칭 기법은 기준이 되는 영상의 기준점의 위치로 계산된 탐색영역에 포함되는 모든 위치에 대해서 매칭 대상 영상의 기준점과의 상관계수를 계산하고, 그 중에서 가장 큰 값을 갖는 위치를 찾아내는 것이다. 그림 3에서와 같이 기준영상(지상 기준점 영상)의 화소를 중심으로 $p \times p$ 크기의 패치(patch) f 를 설정하고, 우측영상에서 $m \times n$ 크기의 검색영역(search area)을 설정한다. 검색영역의 모든 점들에 대해 기준영상패치와 같은 크기의 패치 g 를 설정하여 상관계수 r 을 계산하며, 이 중에서 가장 큰 상관계수 값을 갖는 점을 정합점으로 선택하는 방법이다. 상관계수 r 은 식 (2)에 의해 계산된다.

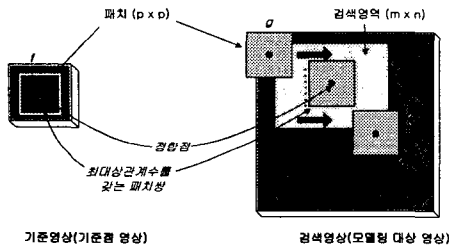


그림 3. 상관매칭에서의 패치와 검색영역

$$r = \frac{\sum_x \sum_y (f(x, y) - \mu_f)(g(x, y) - \mu_g)}{\sqrt{\sum_x \sum_y (f(x, y) - \mu_f)^2 \sum_x \sum_y (g(x, y) - \mu_g)^2}} \quad (2)$$

여기서 $f(x, y)$ 와 $g(x, y)$ 은 각각 기준영상 패치와 검색영상 패치에서 (x, y) 위치의 화소 값을 의미한다. μ_f 는 기준영상 패치의 화소평균값이고 μ_g 는 검색영역패치의 화소평균값이다. 상관계수는 $-1 \leq r \leq 1$ 의 범위의 값을 갖게 되는데, 상관계수가 큰 값을 가질수록 두 패치의 유사성이 크다는 것을 의미한다.

2.2.2 계층구조에 의한 매칭

계층구조의 영상매칭을 수행하기 위해서 입력자료인 기준점 영상 및 모델링 대상 영상을 축소하여 영상계층구조를 구성한다. 계층구조의 입체매칭에서는 상위계층에서부터 매칭을 수행하여 그 결과를 하위계층에서 적용한다. 계층적 구조의 매칭 전략은 수행시간의 단축뿐만 아니라 앞서 언급한 특징변화 부족지역, 선형경계지역, 반복패턴 발생지역에서 발생하는 매칭오류를 크게 감소 시키는 효과가 있다. 특히, 기준점은 도로교차점과 같이 매칭 오류가 발생하기 쉬운 도심지에 위치한 경우가 많으므로 매칭성공률을 높이는 데 도움을 준다.

따라서, 기준점영상 클립은 최상위계층에서 매칭이 수행될 수 있도록 충분한 크기만큼 저장될 필요가 있다. 그림 6은 영상매칭에 의해 계산된 기준점의 위치를 보여준다.

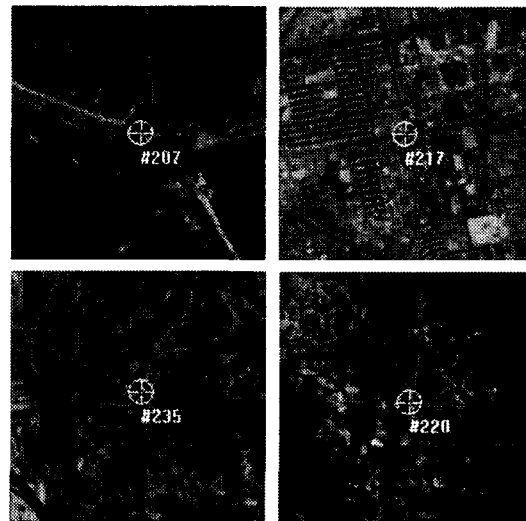


그림 4. 영상매칭에 의해 계산된 기준점의 위치

2.3 매칭 오류점 검출

지상기준점의 영상좌표 자동관측시 중요하게 요구되는 과정은 매칭오류점에 대한 검출작업이다. 기준점 영상과 모델링 대상영상간의 매칭은 두 영상, 즉 기준점 패치 영상을 생성하기 위해 사용되었던

원시영상과 대상영상에 대한 영상획득조건 및 획득 시간 등의 차이로 인해 방사 및 기하학적으로 상당한 오차를 포함하고 있으며, 특히 계절 및 날씨 차이로 인해 발생하는 요인 (눈, 구름, 안개 등)등이 매칭오류를 발생시키는 주원인이 된다. 그리고 촬영날짜의 차이가 클 경우 지형의 변화 또한 매칭오류의 한 원인이 될 수 있다. 본 논문에서는 이러한 요인으로 인해 발생하는 매칭 오류 점들을 검출하기 위해 3차원 모델링의 반복 적용 방법 및 보조점 매칭에 의한 방법을 제안하였다.

2.3.1 3차원 모델링에 의한 매칭 오류점 검출

상관매칭에 의한 지상기준점의 영상좌표 자동측정 후 측정된 영상좌표 및 지상좌표를 이용하여 광속조정(bundle adjustment)을 수행하여 모델링 결과를 분석하여 잔차가 3σ 범위를 벗어나는 점들을 소거함으로써 매칭 오류점들을 검출하였으며, 여기서 3σ 범위를 벗어나는 점들을 과대 오차점이라 한다. 광속조정을 통한 과대오차점 소거 과정은 더 이상의 소거점이 발생하지 않을 때까지 반복 수행되며, 최종적으로 조정의 기준점으로 사용되었던 점들만 사용자에게 매칭 성공점으로 제공한다. 광속조정에 의한 매칭 오류점 검출은 다음과 같은 가정 하에 수행될 수 있다.

가정 1 : 정확히 관측된 영상좌표로 3차원 모델링을 수행할 경우 각기준점에 대한 잔차(residual)는 정규분포를 따른다.

가정 2 : 계산된 영상좌표를 이용하여 3차원 모델링을 수행할 경우 매칭오류점에 대한 잔차는 정규분포를 벗어날 것이다.

($|r| > 2\sigma$ 또는 $|r| > 3\sigma$, r : residual)

3차원 모델링에 의한 매칭오류 점 검출

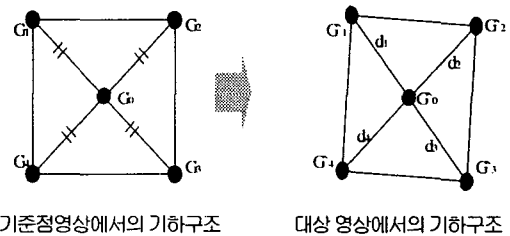
은 다음과 같은 문제가 발생할 수 있다.

- 과대오차점의 수가 많을 경우 모델링이 불가능하다
- 과대오차점의 수가 많을 경우 과대오차점이 아닌 점이 검출되어 소거되는 오류를 발생시킬 수 있다.

따라서, 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 그림 5에 나타나있는 바와 같이 보조점 매칭에 의한 매칭오류점 검출을 선행적으로 수행함으로써 위의 문제점들을 해결하고자 하였다.

2.3.2 보조점 매칭에 의한 매칭오류점 검출

앞서 언급한 바와 같이 지상 기준점의 상좌표관측을 위한 매칭수행시 매칭정확도는 촬영조건(날씨, 계절등)에 따라 민감하게 반응을 하게 된다. 이러한 원인으로 인해 발생하는 매칭 오류점들을 검출하기 위한 방법으로 기준점 영상의 여러 점들을 이용하여 매칭을 수행하여 정합된 점들의 기하관계를 이용하는 방법을 설명한다. 이 방법은 구름이나 눈, 얼음등에 의해 국부적으로 방사적 특성이 왜곡되었을 경우 기준점 위치 주변의 점들을 이용하여 매칭을 수행한 후 기준점의 영상좌표와 주변의 매칭된 점들간의 기하적인 관계를 고려하여 매칭 오류점 여부를 검출하는 방법이다. 그림 5의 왼쪽 그림은 기준점영상에서의 다중점에 대한 기하구조이며, 오른쪽 그림은 대상영상에서의 다중점에 대한 기하구조를 나타낸다.



기준점영상에서의 기하구조 대상 영상에서의 기하구조

그림 5. 지상기준점과 보조점의 기하구조

정합된 점들을 이용하여 매칭 오류점을 검출하기 위한 방법은 다음과 같은 단계로 수행된다.

단계1: 지상기준점의 영상좌표에 대한 대상영상에서의 기준점 G_0 로부터 주변 정합점 G_1, G_2, G_3, G_4 간의 거리 d_1, d_2, d_3, d_4 를 계산한다.

단계2: 지상기준점의 영상좌표에 대한 거리 d_1, d_2, d_3, d_4 와 거리들의 평균과의 오차가 임계치 (ΔD) 보다 작은 주변 점들을 검출한다.

단계3: 검출된 주변위치의 점이 2개 이상인 경우 그 점들을 이용하여 새로운 기준점에 대한 영상좌표 G_{img} 를 계산한다.

단계4: 계산된 G_{img} 와 G_0 와 차이가 임계치 (ΔD) 보다 클 때 매칭 오류점으로 간주한다.

위에서 G_{img} 는 정합된 보조점들을 이용하여 새로 계산된 기준점의 위치이며

G_0 는 영상매칭에 의해 계산된 기준점이다. 위 수행과정은 한 개의 기준점에 대한 검출을 수행하기 위한 과정을 나타내었으며, 위 단계를 반복 수행함으로써 모든 기준점에 대해 매칭오류여부를 판단할 수 있다. 각 기준점에 대한 매칭오류 검출작업이 끝나면 매칭성공점에 대한 목록을 생성한다. 생성된 목록은 3차원 모델링에 의한 매칭오류점 검출과정에서 초기 데이터로 활용된다.

2.3.3 ΔD 값 결정

보조점에 대한 매칭 여부를 판단하기 위한 ΔD 는 영상왜곡의 주된 요소인 위성 촬영각도에 따른 영상픽셀크기 변화에 의해 유도된다.

그림 6은 SPOT 위성의 경사 촬영시 발생하는 영상픽셀크기의 변화에 대한 현상을 그림으로 나타낸 것이며, 이 그림에 의

해 ΔD 값을 도출할 수 있는 식[9]를 얻을 수 있다.

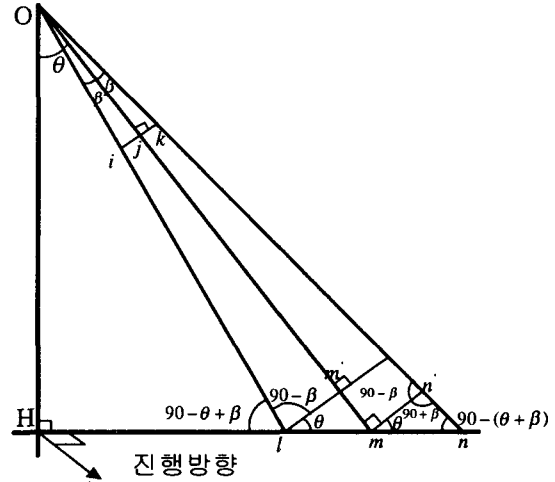


그림 6. 경사촬영시 영상 픽셀 크기 왜곡 현상

- θ : Side Looking Angle $\angle HOj$
- β : 렌즈시야각 $\angle iOj$
- $H = \overline{OH}$: 위성고도
- $f = \overline{Oj}$: 센서의 초점거리
- Δr : CCD의 크기 또는 \overline{ij}
- ΔR : Δr 에 해당하는 지상에서의 거리 \overline{ij}

$$\Delta R(\text{지상거리}) \cong \frac{H}{f} \Delta r \frac{\cos \beta}{\cos \theta \cos(\theta \pm \beta)} \quad (3)$$

위식에서 ΔR 은 렌즈시야각(FOV) β , 경사촬영각 θ , 고도 H , 초점거리 f 일때의 영상에서의 1픽셀에 대한 지상거리를 나타낸다. 본 논문에서는 ΔD 를 결정하기 위해 기준점 영상과 대상영상간의 촬영각도 차이에 따른 영상픽셀 변화정도를 계산하였다. 위 식에서, 기준점 영상에 대한 대상영상의 픽셀크기 변화를 계산해야 하므로 θ 는 두 영상의 촬영각도 차이이며, H, f, β 는 각각 위성고도, 초점거리, 렌즈 시야 각으로서 두 영상이 동일한 것으로 가정하였다.

2.3.4 매칭 오류점 검출 결과 예

보조점 매칭에 의한 검출결과를 <표 1>에서 볼 수 있다. 'O'표시는 검출 성공한

<표 1> 보조점 매칭에 의한 매칭오류점 검출결과

GCP ID	X 오차	Y 오차	매칭상관계수	검출결과	GCP ID	X 오차	Y 오차	매칭상관계수	검출결과
201	6.071	-0.300	0.618	X	219	-0.474	-0.310	0.898	
202	-11.064	9.002	0.842	O	220	-0.112	0.185	0.667	
203	-0.242	0.376	0.777		221	0.059	-0.219	0.909	
204	0.271	-0.184	0.875		222	0.205	0.023	0.867	
205	2.309	2.524	0.825	X	223	0.004	0.032	0.802	
206	-0.179	-0.205	0.896		224	-2.571	-4.764	0.476	
207	-0.015	0.103	0.789		225	97.149	-123.955	0.577	
208	0.996	0.144	0.775		226	-0.052	0.020	0.785	
209	1.234	9.880	0.637	O	227	-20.125	16.241	0.675	O
210	-0.162	-0.097	0.931		228	-0.230	0.060	0.670	
211	0.032	0.080	0.923		229	6.313	5.438	0.791	O
212	0.120	0.044	0.877		230	-0.323	-0.078	0.780	
213	-0.118	-0.166	0.869		231	-0.011	0.091	0.917	
214	0.000	-0.125	0.686		232	22.500	25.070	0.346	O
215	0.109	-0.248	0.832		233	-61.393	-115.459	0.438	O
216	-0.352	1.158	0.882	X	234	-0.247	0.012	0.784	
217	-0.392	-0.247	0.803		235	0.135	0.228	0.655	
218	-50.253	-45.570	0.569	O					

점들이며, 'X'표시는 실패한 점들이다. <표 2>에서 'X오차' 및 'Y오차'는 영상에서 기준점을 수작업에 의해 측정한 결과와 상관매칭에 의해 계산된 좌표와의 차이 값을 나타낸다.

그림 7, 8, 9는 보조점 매칭에 의한 매칭오류점 검출작업 후 검출된 점들을 제외한 나머지 점들에 대해 광속조정을 이용하여 매칭 오류점들을 검출하는 과정을 보여주고 있다.

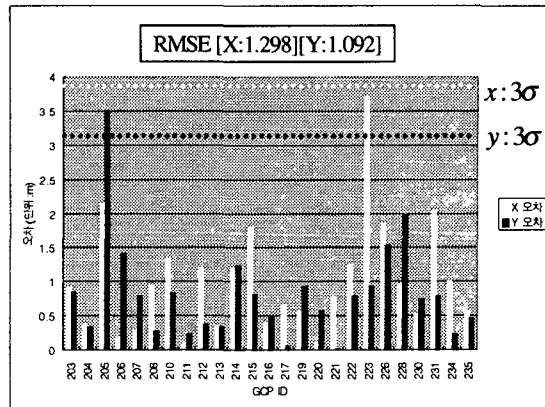


그림 8. 광속조정 2회 반복

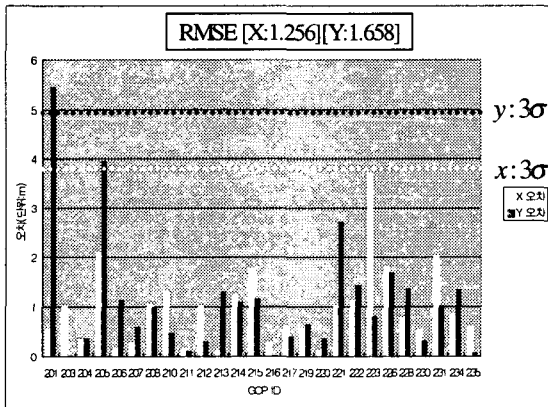


그림 7. 광속조정 1회 반복

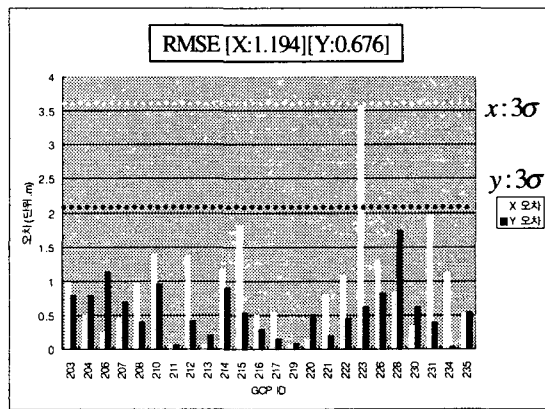


그림 9. 광속 조정 3회 반복

3. 실험 및 평가

3.1 실험 대상 영상

3.1.1 SPOT 영상

실험에 사용한 SPOT 위성영상으로는 SPOT GRS K305-J277 지역과 K300-J271 지역의 영상을 이용하였다. 영상 특성은 <표 2>와 <표 3>과 같으며, 기준영상은 기준점 DB제작시 기준점 영상 패치를 추출하는데 사용되었던 영상을 말한다.

<표 2> K305-J277에 대한 실험 대상 영상

파라미터	기준영상	대상영상1	대상영상2
GRS	K305-J277	K305-J277	K305-J277
영상 촬영 날짜	1995-04-05	1995-04-04	1995-01-28
전처리수준	1A	1A	1A
Scene Orientation(deg)	10	13.1	8.2
Incidence Angle(deg)	R 8.6	L 22.7	R 26.9
특성 비교		기준영상과 촬영각도 차이가 심한 경우	기준영상과 계절이 다른 경우

<표 3> K300-J271에 대한 실험 대상 영상

파라미터	기준영상	대상영상3
GRS	K300-J271	K300-J271
영상 촬영 날짜	1997-09-08	1996-09-21
전처리수준	1A	1A
Scene Orientation(deg)	11.5	10.9
Incidence Angle(deg)	L 01.6	R 03.9
		기준영상과 촬영시기 차이가 큰 경우

3.2 실험 결과 분석

지상기준점의 상좌표 자동관측 실험을 위해 동일한 영상에 대해 수동으로 관측한 상좌표값과 자동상관 매칭에 의해 계산된 값의 차이를 비교하고, 매칭 오류점 검출 결과를 비교 분석하였다. K305-J277지역에 대한 지상기준점의 수는 35개이며, K300-J271지역은 33개의 기준점에 대해 실험하였다.

3.2.1 기준영상에 대한 실험 결과 및 분석

<표 4>는 각각 K305-J277 및 K300-J271의 기준영상에 대한 실험결과이다. Affine 변환에 의해 계산된 상좌표의 측정 정밀도와 매칭후의 정밀도를 비교하였다. 매칭후의 최대오차가 0.5픽셀 이하로 매칭 정밀도가 매우 높음을 알 수 있다. 표에서 dW는 동서방향의 오차를 dN은 남북방향의 오차를 의미한다.

<표 4> 기준영상에 대한 관측정밀도 실험 단위(픽셀)

	K305-J277		K300-J271	
	dW	dN	dW	dN
초기상좌표 (Affine) RMSE	61.97	3.81	20.47	35.74
매칭성공점에 대한 RMSE	0.06	0.01	0.11	0.12
매칭성공율	100%		100%	

3.2.2 대상영상1에 대한 실험 결과 및 분석 <표 5>는 대상영상1에 대한 실험결과로 참조 영상좌표와의 RMSE를 나타내었으며, 기준영상과의 특성 차이는 촬영간격이 하루 정도로 비슷하지만, 촬영각이 심하게 차이나는 경우이다.

<표 5> 대상 영상1에 대한 관측정밀도 실험 단위(픽셀)

	K305-J277(대상영상 1)	
	dW	dN
초기상좌표 (Affine) RMSE	87.97	6.04
매칭성공점에 대한 RMSE	0.22	0.16
매칭성공율	100%	

기준점 35개 모두 1픽셀 이하로 관측이 되었으며 매칭에 의해 계산된 결과에 대한 RMSE가 매우 낮음을 알 수 있다. 따라서, 촬영각도차이가 심하더라도 영상매칭이 매우 만족스럽게 수행되었음을 알 수 있었다.

3.2.3 대상영상 2에 대한 실험결과

<표 6> 대상영상2에 대한 관측정밀도 실험 단위(픽셀)

	K305-J277(대상영상 2)	
	dW	dN
초기상좌표 (Affine) RMSE	59.39	23.38
매칭성공점에 대한 RMSE	0.26	0.18
매칭성공율	65%	

<표 6>는 대상영상2에 대한 실험결과로 기준영상에 대한 특성차이는 촬영당시의 계절이 상이한 경우이다. 기준영상은 4월로 봄에 촬영된 것이며, 대상영상2는 1월말로 겨울에 촬영된 것이다. 실험결과 35개중 오차가 1픽셀보다 큰 점이 11개 정도로 68%의 매칭성공율을 보였다. 매칭 오류의 주원인은 계절차이(눈,얼음등) 및 날씨차이(구름, 안개등)인 것을 알 수 있었으며, 몇몇 점에 대해서는 영상화질차이로 인해 발생한 경우도 있었다. 그러나, 매칭 오류점 검출 작업후의 매칭성공점에 대한 RMSE 결과는 관측정밀도가 매우 높음을 알 수 있다.

3.2.4 대상영상 3에 대한 실험결과

<표 7>은 대상영상3에 대한 실험결과로 기준영상과의 차이는 촬영 계절은 비슷하나 촬영 연도가 틀린 경우이다. 매칭에 쓰인 점 25개중 20개정도 매칭이 되어 80%의 성공율을 보였으며, 매칭오류점에 대한 검출작업은 정확히 수행되어 매칭성공점에 대한 RMSE가 매우 낮음을 알 수 있다.

<표 7> 대상준영상3에 대한 관측정밀도 실험 단위(픽셀)

	K300-J271(대상영상 3)	
	dW	dN
초기상좌표 RMSE	30.08	17.75
매칭성공점에 대한 RMSE	0.26	0.18
매칭성공율	80%	

3.2.5 SPOT 위성영상 모델링 적용 결과

<표 8> 대상영상에 대한 모델링 결과 (단위:m)

	기준점수	검사점수	RMSE	
			dW	dN
대상영상1	16	16	7.2	6.6
대상영상2	13	10	6.2	5.0
대상영상3	12	8	6.5	8.9

<표 8>는 대상영상 1,2,3에 대해 자동으로 관측된 점만을 이용하여 모델링을 수행했을 경우 결과이다. 기준점 및 검사점은 배치도를 고려하여 선정하였다. 실험결과에 의하면 자동관측에 의해 획득한 영상좌표를 이용하여 모델링을 수행하더라도 모델링 정확도측면에서 사용자 요구 정확도를 만족시켜줄 수 있음을 알 수 있으며, 이것은 SPOT 영상 모델링 작업시 영상좌표 자동관측의 자동화가 가능함을 입증하는 것이다.

4. 결론

본 연구에서는 위성영상의 3차원 모델링을 위한 지상 기준점의 상좌표 자동관측 기법을 연구하였으며, 다음과 같은 연구성과를 얻었다.

- 기준점 영상패치 및 위치정보를 이용하여 모델링 대상 영상에서의 지상기준점에 대한 영상좌표를 자동관측할 수 있는 기법을 개발하였고,
- 반복적 모델링 및 보조점 매칭을 이용한 매칭오류점 검출 기법을 제안하였다.
- SPOT 위성영상의 3차원 모델링에 적용하여 모델링 정확도를 분석한 결과 모델링 작업과정에 필요한 지상 기준점에 대한 상좌표를 자동 관측하여 제공할 수 있음을 검증하였다.

향후 연구과제로는, 다양한 환경(계절별, 날씨별 등)에서 촬영한 여러 개의 기준점 영상을 생성, 또는 매칭시 방사적 특성뿐만 아니라 기하적 특성까지 고려한

매칭 방법 등을 통하여 모델링 대상영상에 대한 매칭 성공률을 최대한 높일 수 있는 방법의 연구가 필요하다.

참고문헌

1. 조봉환, 방수남, "지형식별정보를 이용한 입체위성영상 매칭", 한국지형공간정보학회 논문집, 제4권, 제1호, 1996.
2. 조봉환, 이용웅, 신대식, "SPOT 3중 입체위성영상을 이용한 수치표고모형의 정확도 개선", 한국지형공간정보학회 논문집, 제3권, 제1호, 1995, pp.55-66.
3. 유복모 외 9인, "위성영상을 이용한 3차원 정사투영영상 생성법에 관한 연구", 국방과학연구소(ATRC-417-93776), 1994.
4. 조봉환, 신대식, 박완용, "SPOT 위성영상을 이용한 수치지형표고모델 자동 생성 및 응용", 국방과학연구소(MSDC-408-92492), 1992
5. G.P. Otto, "Rectification of SPOT Data for Stereo Image Matching", ISPRS 13. Keith 14. G. P. Otto, "Rectification of SPOT Data for Stereo Image Matching,", International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 27, Part B3, pp 635-645
6. Tang Liang, "Automatic Relative Orientation of Aerial Images", PE&RS, Vol.62, No. 1 Jan 1996, pp 47-55
7. Peggy Agouris, "Automated Aerotriangulation Using Multiple Image Multipoint Matching", PE&RS, Vol.62, No. 6 June 1996.