영상정합에 의한 STOP 위성영상의 3차원 위치결정에 관한 연구
A Study on Three Dimensional Positioning of SPOT Satellite Imagery by Image Matching

유 복 모* 조 기 성**
Yeu Bock-Mo Cho Gi-Sung
이 현 직*** 노 도 영****
Lee Hyun-Jik Roh Do-Young

요 지

본 연구에서는 SPOT 위성자료를 이용함에 있어 경제적 시간적 효용성을 증대시키기 위해, CCT 형태의 수치영상자료를 일반 PC 영상처리체계로 처리하여 3차원 위치를 결정하고자 하였으며, 위성영상의 상좌표취득에는 통계적 이론에 근거한 영상정합기법을 도입, 좌표취득의 신뢰도를 분석하여 수치표고모형생성, 정사사진의 작성 등에 요구되는 3차원 위치결정에 관한 새로운 알고리즘을 제시하였다.

CCT 형태의 수치위성영상을 이용한 상좌표취득에 있어서 영상정합기법을 적용한 결과, 육안관측에 의하여 상좌표를 취득하는 방법에 비하여 수평위치 및 높이결정의 정확도를 향상시킬 수 있었다. 상좌표취득을 위해 영상상관기법을 적용할 경우, 기준영역의 크기를 변화시켜 상관계수를 구한 결과, 19×19 영상소의 기준영역이 상좌표취득에 있어 가장 적합한 크기임을 알 수 있었으며, 이러한 결과를 바탕으로 SPOT 위성자료를 해석함에 있어 수치영상의 활용에 관한 알고리즘을 제시할 수 있었다.

ABSTRACT

In this study, 3D positioning of CCT digital imagery was done by using a personal computer image processing method to increase the economic and time efficiency of SPOT satellite imagery. *Image matching technique which applies statistical theories, was applied to acqusition of satellite* imagery. The reliability of these coordinates was anlysed to presente a new algorithm for three dimensional positioning necessary in digital elevation modelling and orthophoto production.

In acquiring image coordinates from CCT digital satellite imagery, accuracy of planimetric and height coordinates was improved by applying the image matching technique and it was found through analysis of correlation factors between sizes of target window that 19×19 pixels was the most suitable size for image coordinate acquisition. From these results, it was able to present an algorithm about utility of digital imagery in the analysis of SPOT satellite data.

1. 서 론

STOP 위성영상은 고해상력과 적절한 기선고도비의 영상으로 경사관측에 의한 입체 관측이 가능하여 비 접근지역 및 난접근지역의 3차원 위치결정 등에 자료를 제공하는 데 결정적인 역할을 함에 따라, 시간적·경제적 측면의 효용성을 높이기 위해 수치영상을 이용하여 대상물의 3차원 위치를 결정하는 기술의 개발이 시급히 요청되고 있다.

따라서, 본 연구에서 SPOT 위성자료를 이용함에 있어 경제적·시간적 효용성을 증대시키기 위해, CCT 형태의 수치영상자료를 일반 PC 영상처리체계로 처리하여 좌·우 두 영상의 입

* 연세대학교 토목공학과 교수
** 연세대학교 산업기술연구소 객원연구원
*** 연세대학교 대학원 토목공학과 박사과정
**** 연세대학교 대학원 토목공학과 석사과정

체모형으로부터 3차원 위치로 결정하고자 하였으며, 위성영상의 상좌표취득에는 통계적 이론에 근거한 수치영상정합기법(digital image matching technique)을 도입하여, 좌표취득의 신뢰도를 분석함으로써, SPOT CCT 위성영상을 이용한 수치표고모형생성, 정사사진의 작성 등에 요구되는 3차원 위치결정에 관한 새로운 알고리즘을 제시하고자 한다.

2. SPOT CCT 위성영상의 위치결정을 위한 영상정합 이론

SPOT CCT 위성영상에서 위치결정을 수행하기 위해서는 수치영상에서 지상기준점에 대한 좌·우 영상의 상좌표를 정확하게 획득하여야 한다.

일반적으로 수치영상을 이용하여 좌·우 영상의 상좌표를 관측하는 방법에는 원영 상상에서 육안으로 관측하는 방법과 기하보정을 실시한 영상에서 영상정합기법을 통해 결정하는 방법이 있으며, 영상정합에 의한 방법이 상좌표 관측의 신뢰도가 높은 것으로 발표되고 있다.

육안관측에 의한 방법은 기하보정을 실시하지 않은 원 영상에서 좌우 각각의 상좌표를 독립적으로 관측하여 취득하는 방법으로 사진필름형태의 자료를 정밀좌표관측기에 의해 취득하는 것과 동일한 방법을 이용한다. 또한, 영상정합방법은 영상의 순차적 해석과 항공삼각측량 및 입체영상에 의한 3차원 기하학적 정보의 추출 등에 필요한 기법으로 좌우 두 영상사이의 계조값(grey level)을 비교하여 원영상의 계조분산과 유사한 계조분산을 나타내는 공통되는 점을 결정하는 방법이다.

영상정합방법은 영상의 각 상응점부근의 계조값에 근거한 영역적 정합(area based matching)과 점, 선, 면 등의 특징적 형태를 정합하는 특징적 정합(feature based matching)으로 나눌 수 있으며, 영역적 정합이 원 영상 그대로를 이용하는 반면, 특징적 정합은 zero-crossing 등의 개념을 도입하여 연산자로 처리한 영상을 이용한다.

영역적 정합은 몇가지 통계적 관측에 의해 한 영상내에서 결정된 기준영역을 다른 영상의 탐색영역상에서 이동추적하여 그 상관함수를 계산하는 방법으로 두 영역간의 영상소값들에 대한 통계값을 비교하여 좌·우영상의 최적상응점을 결정하며, 적용의 방법에 따라 수치영상상관(digital image correlation) 방법과 최소제곱정합(least square image matching)으로 구분할 수 있다.

본 연구에서는 SPOT CCT 위성영상 자료의 상좌표관측을 위해 영역적정합방법중 수치영상상관기법을 이용하였다.

2.1 수치영상상관정합의 통계학적 성질

영상상관정합은 영역적정합 방법중에서 가장 간단한 방법으로, 영상의 계조값을 이용하며 기준영역 및 탐색영역을 형성하여 취득한 상관계수를 정합의 기준으로 영상상의 임의의 점을 정합한다.

수치영상상관기법은 u, v 두 신호의 거동상에서 유사성을 통계적으로 관측하는 것으로, 이와 같은 유사성은 공분산 cov_{uv}에 의해 다음과 같이 표현된다.

$$cov_{uv}=\frac{\sum_{i=1}^{n} u_i v_i-\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} u_i \sum_{i=1}^{n} v_i}{n-1} \quad \cdots\cdots(1)$$

또는,

$$cov_{uv}=\frac{\sum_{i=1}^{n} (u_i-\bar{u})(v_i-\bar{v})}{n-1} \quad \cdots\cdots(2)$$

이 되며, 이를 영상상관계수 r_{uv}로 표현하면,

$$r_{uv}=\frac{cov_{uv}}{S_u \cdot S_v} \qquad -1\le r\le 1 \quad \cdots\cdots(3)$$

이 된다. 여기서, S_u, S_v는 각각 신호 u, v의 표준편차로 다음과 같이 된다.

$$S_u=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (u_i-\bar{u})^2}{n-1}}$$

$$S_v=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (v_i-\bar{v})^2}{n-1}} \quad \cdots\cdots(4)$$

따라서, 식(3)에 식(4)를 대입하면 영상상관계수는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$r_{uv}=\frac{\sum_{i=1}^{n}u_iv_i-\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}u_i\sum_{i=1}^{n}v_i}{\left[\sum_{i=1}^{n}(u_i-\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}u_i)^2\cdot\sum_{i=1}^{n}(u_i-\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}u_i)^2\right]^{1/2}} \quad \cdots\cdots(5)$$

이 되며, 이를 통하여 두 신호 u, v 사이의 상관성을 알 수 있다.

2.2 수치영상상관기법의 적용

그림 1.에서 보는 바와 같이 M1×N1인 기준영역을 W(x, y)라 하고 이에 대응하는 크기 M2×N2의 탐색영역을 S(x, y)라고 하면, 좌측영상의 기준영역을 우측영상의 탐색영역내에서 한 영상소씩 이동하면서 각각의 위치에 대해 상관계수를 구한다.

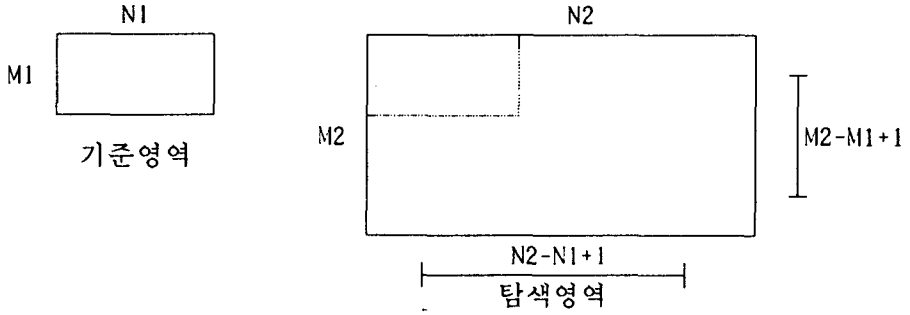


그림 1. 기준영역과 탐색영역

이 때, 식(5)의 영상상관계수계산방법을 그림 1.의 대상영역에 적용하면 다음과 같은 결과식을 얻을 수 있다.

$$r(m,n)=\frac{\sum\sum\{S(x,y)-\bar{S}(x,y)\}\cdot\{W(x,y(-\bar{W}(x,y)\}}{[\sum\sum\{S(x,y)-\bar{S}(x,y)\}\cdot\sum\sum\{W(x,y)-\bar{W}(x,y)\}]} \quad \cdots\cdots(6)$$

여기서, $-1\leq r(m,n)\leq 1$ 이며,

$$\bar{S}(x,y)=\{\sum\sum S(x,y)\}/(M1\times N1)$$

$$\bar{W}(x,y)=\{\sum\sum W(x,y)\}/(M2\times N2)$$

일반적으로 수치영상상관정합은 정합의 기준 한계값을 정하여 그 이상의 상관계수를 갖는 점만을 취급하며, 탐색영역내의 모든 영상소에 대한 상관계수를 구하여 이 중 가장 큰 값의 상관계수를 갖는 영상소의 행과 열을 좌측영상의 기준점과 정합된 점으로 결정함으로써 좌·우 영상내에서 정합된 점의 좌표를 취득한다. 이 때, 상관계수r(m, n)의 값이 1에 가까울수록 상관성이 크다.

3. 관측값해석 및 결과분석

본 연구의 해석대상지역은 CRT 모니터상에 출력할 수 있는 크기의 지역으로서 위도 N36° 18′00″~N36° 21′00″, 경도 E127° 18′00″~E127° 22′30″ 사이에 위치한 대전직할시 일대의 5.12 km×5.12 km의 지역을 포함하고 있다. 본 연구에서 사용된 SPOT 위성영상은 전처리수준이 Level 1A인 CCT 형태의 위성영상으로 6,000×6,000 영상소의 전체영상중에서 해석대상지역을 포함하고 있는 512×512 영상소 크기의 좌우영상을 절출하여 이용하였다.

SPOT 위성영상을 이용한 3차원 위치결정을 위해서는 동적인 CCD 탐측기의 외부표정요소를 결정하기 위한 기하학적 모형과 입력자료로 이용되는 지상기준점의 3차원 좌표 및 상좌표의 획득방법이 중요한 요소가 된다.

본 연구에서는 SPOT 위성영상의 외부표정요소를 추정하기 위해 주사선수의 함수로 된 다항식을 이용한 수정된 광속조정을 이용하였으며, 위성위치 및 자세에 대한 다항식의 형태는 대상지역이 작음에따라 모두 1차다항식을 이용하였다. 또한, 지상기준점의 정보는 3차원좌표를 획득하기 위해 지형도를 이용하였으며, 지상기준점에 대한 상좌표는 육안관측 및 영상정합이론을 통해 결정하였다.

3.1 지상기준점의 3차원좌표 획득 및 과대오차검출

지상기준점의 3차원좌표는 지상측량과 항공삼각측량 및 지형도를 이용하여 취득할 수 있으나, 본연구에서는 비접근지역에서도 이용할 수 있는 지형도를 통해 지상기준점의 3차원좌표를 취득하였다.

본연구의 대상지역에 있어 지상기준점 및 검사점의 3차원 좌표취득에는 해석대상 지역을 포함하고 있는 축척 1 : 5,000의 지형도 5도엽이 이용되었다. 지상기준점의 평면좌표는 좌표관측기(digitizer)를 이용하여 획득하였으며, 표고좌표는 동일한 지형도상에서 각 관측대상점을 중심으로 8방향에 위치한 지성선의 표고값을 거리경중률법을 도입하여 각각을 보간하여 취득하였다. 본 연구에서 이용된 지상기준점의 3차원좌표 취득과정에 대한 흐름도는 그림 2.와 같다.

또한, 지상기준점의 상좌표취득과정에서 영상정합에 의한 관측에서는 기하보정된 영상으로 수행해야 하므로 원 영상과 기하보정된 영상에

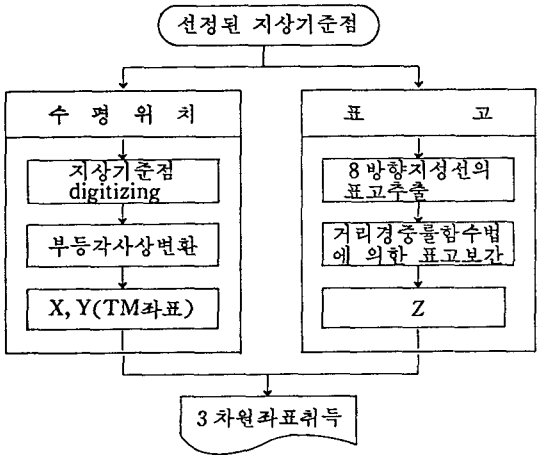


그림 2. 지형도에 의한 지상기준점의 3차원좌표 취득과정

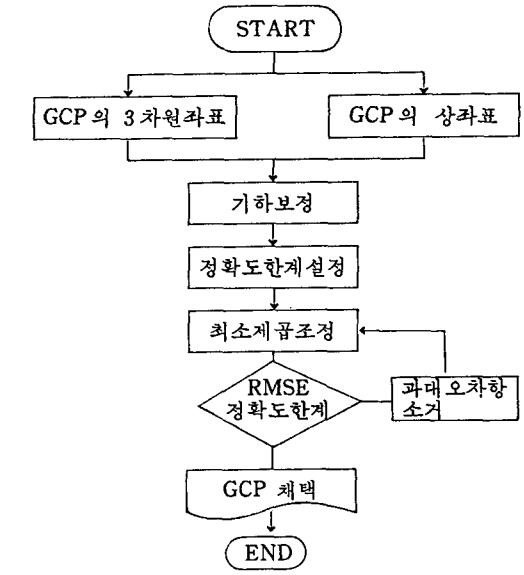


그림 3. 지상기준점의 기하보정 및 과대오차검출 흐름도

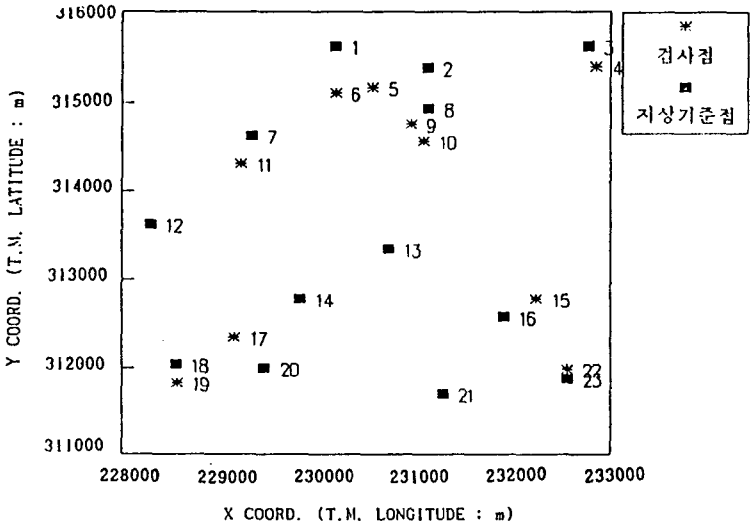


그림 4. 지상기준점 및 검사점의 배치

모두 존재하는 점을 지상기준점으로 이용하여야 한다. 본 연구에서는 지상기준점중 과대오차가 포함된 점을 소거하기 위해 위성영상좌표와 지상좌표의 변환과정에서 한계값 이상의 차이가 발생하는 4개점을 과대오차항으로 제거하고 나머지 23점을 기하보정에 이용하였으며, 위치해석에 필요한 지상기준점으로 채택하였다. 본 연구의 기하보정시 과대오차를 검출하는 과정은 그림 3.과 같으며, 이 과정에서 이용된 지상기준점의 배치는 그림 4.와 같다.

3.2 지상기준점의 상좌표 획득

본 연구에서는 지상기준점의 상좌표를 취득하기 위해 ERDAS 영상처리시스템을 통해 육안으로 관측하는 방법과 수치영상상관기법을 적용한 영상정합을 이용하였다.

육안관측에서는 원 영상을 이용하는 반면, 영상정합에 의한 상좌표취득을 위해서는 위성영상자료와 기준좌표계가 일치하도록 기하보정을 실시하여야 하며, 영상에서의 상좌표 관측 정확도를 향상시키기 위하여 histigram equalization 및 3×3 고역통과 필터를 이용하여 영상처리를 실시하였다. 본 연구에서 이용된 상좌표 획득과정은 그림 5.와 같다.

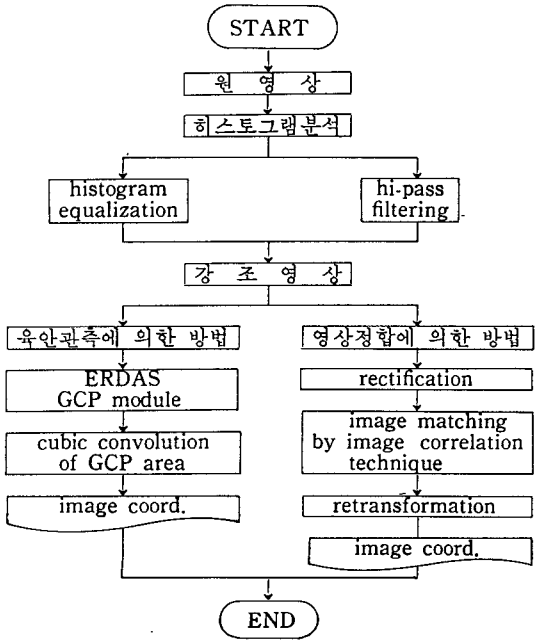


그림 5. 위성영상의 상좌표결정 흐름도

1. 육안관측에 의한 상좌표 획득

육안관측에 의한 상좌표획득은 기하보정을 거치지 않은 원 영상에서 이루어지며, 본 연구에서는 ERDAS 영상처리시스템을 이용하여 모니터상 출력된 해석대상영역 중에서 지상기준점을 포함하고 있는 부근의 지역을 cubic convolution에 의해 부분확대하여 1/8 영상소 단위로 지상기준점의 상좌표를 획득하였다.

2. 영상정합에 의한 상좌표 획득

본연구에서는 1영상소 이내의 정보를 추출하기 용이하고 정합에 있어 초기입력조건이 까다롭지 않은 영역적 정합기법을 이용하였으며, 지상기준점선정 및 과대오차 검출과정에서 언급한 바와 같이 영상정합에 앞서 좌·우영상에 대해 각각 지도좌표계에 맞도록 기하보정을 실시하였다.

(1) 기하보정

영역적 정합에서는 각 영역에 대한 영상소의 계조값을 비교하여야 하므로 1 영상소당 지상피복면적이 같아야 하며, 탐색 또한 규칙적으로 진행되어야 하기 때문에 일반적으로 정합하기 전에 기준좌표계에 맞추어 기하보정을 실시하여야 한다.

본 연구에서는 좌·우 23개의 지상기준점을

표 1. 기하보정식 및 평균제곱근오차

좌측 영상	$X=216394.876+9.769\,x-2.445\,y+0.128\,e-4xy-0.7357\,e-6xy+0.368\,e-5\,y^2$ $Y=353315.482-1.918\,x-9.726\,y+0.858\,e-5\,x^2+0.664\,e-6\,xy+0.839\,e-6\,y^2$		
	$RMSE_x$	$RMSE_y$	$RMSE_{xy}$
	1.66	0.91	1.89
우측 영상	$X=206581.333+12.556\,x-2.004\,y-0.791\,e-4x^2-0.793\,e-6xy+0.571\,e-5\,y^2$ $Y=352936.524-1.781\,x-9.808\,y+0.135\,e-4\,x^2+0.205\,e-5\,xy+0.165\,e-5\,y^2$		
	$RMSE_x$	$RMSE_y$	$RMSE_{xy}$
	1.52	1.28	1.99

이용하여 평면직각좌표계를 따라 2차다항식을 이용하여 기하보정을 실시하여, 공일차내삽법(bilinear interpolation)을 이용하여 영상재배열을 수행하였다. 기하보정을 위해 이용된 변환식은 표 1.과 같으며, 변환시 평균제곱근오차는 2영상소 정도가 되도록 하였다.

(2) 탐색영역크기의 결정

위성영상에는 해석대상지역의 지형높이에 따라 좌우영상에서 시차가 발생하므로 시차가 발생하는 부분이 포함될 수 있는 크기의 영역을 탐색영역으로 결정하여야 한다. 따라서, 본 연구에서는 좌측영상에서 기준점부근의 가장 높은 지형을 기준으로 탐색영역의 크기를 그림 6.과 같이 12 영상소로 결정하였다.

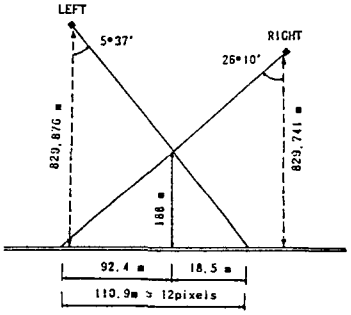


그림 6. 탐색영역크기의 결정

(3) 기준영역크기의 결정

일반적으로 기준영역은 좌측영상에서 육안으로 관측한 기준점들을 중심영상소로 하는 임의의 크기의 영역을 설정한 후 영역의 크기를 변화시켜 최적기준영역을 결정하여야 한다. 영역적 정합에 있어 기하보정후 좌우기준영역의 상관분석과정은 그림 7.과 같다.

표 2. 기준영역의 크기별 평균상관계수

기준영역 크기	평균상관계수	기준영역 크기	평균상관계수
7×7	0.8348	17×17	0.8789
9×9	0.8407	19×19	0.8805
11×11	0.8558	21×21	0.8718
13×13	0.8673	23×23	0.8701
15×15	0.8735	25×25	0.8695

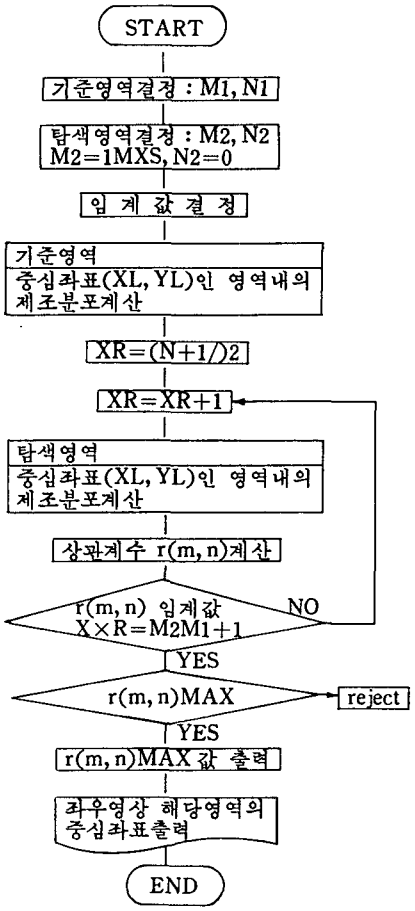


그림 7. 1차원 영상상관분석 흐름도

본연구에서는 기준영역의 크기를 7×7 영상소 크기로부터 21×21 영상소 크기까지 2 영상소씩 변화시켜 좌측영상의 기준점에 대한 우측영상의

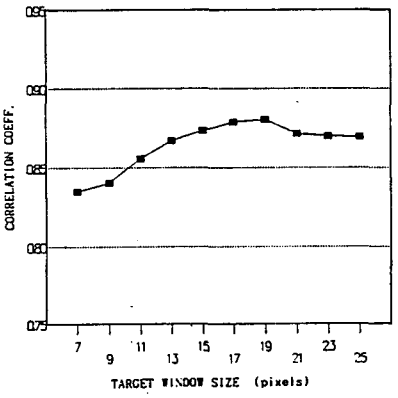


그림 8. 기준영역의 크기별 평균상관계수

대응점의 위치와 상관계수를 구하여 각 기준영역별 평균상관계수리 분석하여 최적기준영역 크기를 결정하였다. 각 기준영역별 평균상관계수는 표 2. 및 그림 8.과 같다.

(4) 원영상으로의 역변환

지상좌표계산에 이용되는 외부표정요소의 값들은 기하보정전의 원영상에 대한 것이므로 영역적 정합으로 두 영상에서 동일점을 취득한 후 표 1. 역을 역변환하여 기하보정전의 영상소 위치를 계산하여야 한다. 본 연구의 역변환에 이용된 변환식은 표 3.과 같다.

표 3. 원영상의 역변환에 이용된 변환식

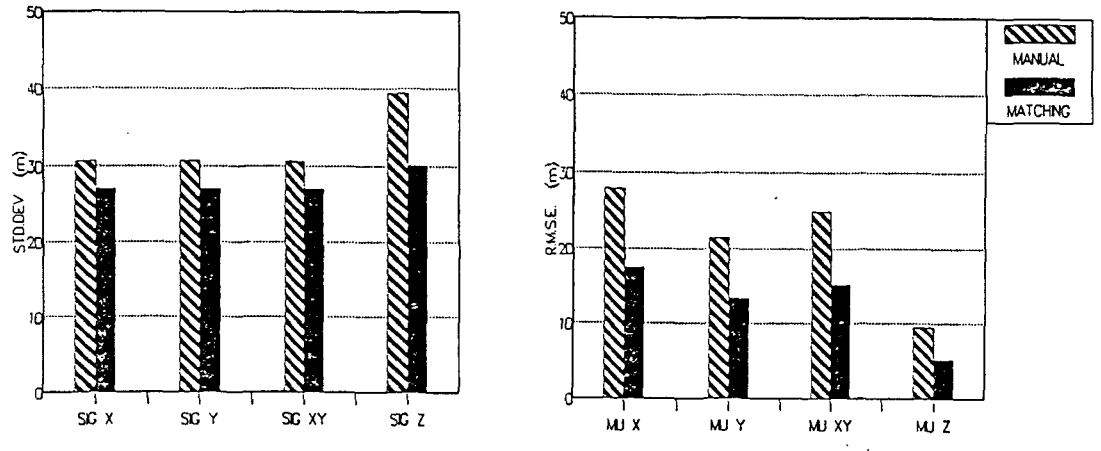
좌측 영상	$X=-12049.851+0.099x-0.028y-0.122e-7x^2+0822e-8xy+0.268e-8y^2$ $Y=38746.064-0.017x-0.098y-0.111e-8x^2-0.182e-9xy+0.240e-9x^2$
우측 영상	$X=-10287.275+0.067x-0.010y+0.425e-7xy-0.194e-7xy-0.249e-8y^2$ $Y=38173.979-0.014x-0.100y+0.143e-8x^2-0.149e-8xy+0.277e-8y^2$

3.3 상좌표취득방법에 따른 정확도분석

본연구에서는 상좌표취득방법에 따라 조정값에 미치는 영향을 분석하기 위해 광속조정과정에 있어 조정결과값의 공분산행렬로 부터 구한 모든 관측점의 기하학적 정밀도와 검사점의 정확도를 상좌표 획득방법별로 분석하였다. 표 4.에서 case 1은 육안관측에 의한 방법이며, case 2는 수치영상상관 기법에의해 상좌표를 획득한 경우로 각 case에 따른 기하학적 정밀도 및 검사점의 정확도는 표 4. 및 그림 9.와 같다.

표 4. 상좌표 획득방법에 따른 기하학적 정밀도 및검사점의 정확도 (단위 : m)

case	σ_x	σ_y	σ_{xy}	σ_z
case 1	30.61	30.67	30.64	39.36
case 2	27.09	27.10	27.10	30.13
case	μ_x	μ_y	μ_{xy}	μ_z
case 1	27.94	21.48	24.92	9.56
case 2	17.45	18.38	15.23	5.24



(a) 기하학적 정밀도 (b) 검사점의 정확도

그림 9. 상좌표획득방법에 따른 기하학적 정밀도 및 검사점의 정확도

표 4. 및 그림 9.에서 나타난바와같이 상좌표획득방법에 따라 지상기준점의 기하학적 정밀도를 분석한 결과, 수평위치에 대한 표준편차는 case 1에 비하여 case 2가 약 12% 향상되었으며, 높이에 대한 표준편차는 case 1에 비하여 case 2가 23% 향상되어 상좌표취득에 있어 영상정합에 의한 방법이 기하학적 정밀도 측면에 있어서 신뢰도가 높은 상좌표 취득방법임을 입증할 수 있다.

또한, 검사점의 정확도에서는 case 2가 case 1에 비해 수평위치 정확도에서 약 39% 향상되었으며, 높이정확도는 case 1에 비하여 case 2

가 약 45% 향상되어 정밀도분석의 결과와 마찬가지로 정확도 측면에서도 영상정합에 의하여 취득한방법이 육안관측의 경우보다 더욱 양호한 위치결정 정확도를 나타내었다.

본 연구 결과, 수치영상을 이용하여 대상점의 상좌표를 취득시, 육안관측에 의한 경우에는 좌표관측시 개인차이에 의한 오차가 포함될 수 있으므로 광속조정에 의한 위치결정의 정확도가 저하된다고 판단되며, 영상정합에 의한 경우에는 기준영역 및 탐색영역을 수치적으로 정확히 결정하여 각각의 영역내에서 상관분석을 실시함에 따라 관측된 상좌표의 신뢰성이 향상되어 광속조정에 의한 위치결정의 정확도가 향상 된다고 사료된다.

4. 결 론

본 연구에서는 SPOT 위성영상을 이용한 3차원위치결정에 있어서 CCT 형태의 수치 영상자료를 활용하는 새로운 알고리즘을 개발하였으며, 수치영상상에서의 상좌표취득에 적합한 영상정합기법을 적용한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, CCT 형태의 수치위성영상을 이용한 상좌표취득에 있어서는 영상정합기법을 적용하였으며, 통계적이론에 근거한 영상상관기법이 육안관측에 의한 방법에 비하여 수평위치 및 높이 결정의 정확도를 향상됨을 알 수 있었다.

둘째, 상좌표취득에 있어 영상상관기법을 적용할 경우, 기준영역의 크기를 7×7 영상소크기로부터 25×25 영상소크기까지 변화시켜 상관계수를 구한 결과 19×19 영상소크기의 기준영역이 상좌표취득에 있어 가장 적합한 크기임을 알 수 있었다.

세째, SPOT 위성자료를 해석함에 있어 수치영상의 활용에 관한 알고리즘을 제시하였으며, 수치영상을 활용함으로써 3차원 위치결정의 경제적·시간적 효용성을 증대시킬 수 있었다.

참고문헌

1. Rodriguez, V., P. Gigord, A. C. de Gaujae and P. Munier, "Evaluation des Performance de restitution planimetrigues et altimetrigues de SPOT1", *CNES/IGN(Internal Report)*, 1986.
2. CNES, SPOT IMAGE, *SPOT User's handbook*, Vol Ⅰ, Ⅱ, reference manual, 1987, France.
3. Dowman, I. J., D. J. Gugan. "Application Potential of SPOT Imagery for Topographical Mapping", *Advanced Space Research*, 5(5), 1988, pp. 73—78.
4. Masry, S. E., "Digital Correlation Principles", *Presented at the XII Congress of the ISP, Comm II, Ottawa*, 1972, pp. 303—308.
5. Keating, T. J., P. R. Wole, "An Improved Method of Digital Image Correlation", *Presented at Annual Convention of the ASP*, Washington, DC., 1975, pp. 993—1002.
6. Konecny, G., Pope, "Correlation Techniques and Devices", P. E. & R. S., Vol. 47, No. 3, 1981, pp. 323—333.
7. Mori, C., S. Hattori, "Automatical Countour Production using Image Correlation of Aerial Stereo Photographs Processing & Automatic Orietation", Vol. 20, No. 4, 1981, pp. 4—13.