

SPOT 영상용 번들조정에서 지상기준점의 획득방법에 따른 정확도 분석

Accuracy Evaluation by GCP Acquisition Methods in Bundle Adjustment

유복모* · 이현직** · 박홍기***

Yeu, Bock Mo · Lee, Hyun Jik · Park, Hong Gi

Abstract

The 3 dimensional point positioning from SPOT imagery is performed by bundle adjustment methods of analytical and digital photogrammetry, and need the precise determination of image coordinates and accurate coordinates of ground control points.

In this study, the authors analysed the digitized planimetric accuracy and height accuracy of topographic maps in comparison with accurate coordinates by coordinates resulted by bundle adjustment in each cases between different acquisition method of ground control point coordinates and formats of SPOT imagery

요 지

SPOT 위성영상을 이용한 3차원 위치결정에는 해석적사진측량과 수치적사진 측량방법에서의 번들 조정이 적용되며, 이를 위해서는 정밀한 상좌표관측과 정확한 지상기준점좌표가 요구된다.

본 연구에서는 지상측량성과의 비교하여 축척에 따른 지형도의 디지털라이징된 평면좌표 정확도와 보간된 높이좌표 정확도를 분석하였고, 또한 지상기준점좌표의 획득방법 및 SPOT 영상자료의 형태를 조합하여 번들조정으로 결정된 3차원좌표의 정확도를 비교 분석하였다

1. 序 論

SPOT 영상은 넓은 지역을 포함하고 전 지형에 대한 최신정보를 제공하면, 번들조정시 동일지역에 필요한 지상기준점(GCP)의 수가 항공사진에 비해 약 1/10정도만 필요하므로 지상기준점 설치시간과

비용면에서 경제적이다. 따라서 SPOT 영상을 이용한 지형도제작이 오늘날 세계적인 연구과제로 대두되고 있다.⁽¹⁻³⁾

SPOT 위성영상을 이용한 위치결정에는, 첫째 위성사진을 도화기나 좌표관측기를 이용하여 상좌표 관측한 후 SPOT용 번들조정이론에 적용하는 해석적 사진측량 방법과, 둘째 CCT에 수록된 수치영상을 수치영상처리기법을 활용하여 상좌표관측한 후 SPOT용 번들조정이론에 적용하는 수치적 사진측

* 정희원 · 연세대학교 공과대학 토목공학과 교수

** 정희원 · 연세대학교 대학원 토목공학과 박사과정

*** 정희원 · 경원대학교 공과대학 토목공학과 전임강사

량방법으로 대별되며, 두가지 방법 모두 3차원 좌표의 정확도와 외부표정요소의 정확도를 향상시키기 위해서는 지상기준점의 정확한 3차원좌표를 요구하고 있다.

따라서 본 연구에서는 전처리수준과 자료형태가 다른 위성영상자료를 이용하여 위성영상의 기하학적 특성과 입력자료인 지상기준점좌표의 획득 방법에 따른 3차원 위치결정의 정확도를 분석하는데 목적을 두고 있다.

이를 위해 본 연구에서는 첫째, 지상측량성과를 최확값으로 축척에 따른 지형도의 평면좌표 디지털 이징 정확도와 보간된 높이좌표의 정확도를 분석하였고, 둘째 지상기준점의 3차원좌표 및 위성자료의 형태를 조합하여 번들조정으로 결정된 3차원좌표의 정확도를 비교분석하였다.

2. 지상기준점 획득방법

SPOT 위성영상은 항공사진에 비해 소축적이고 주사폭 대 위성고도(swath width/altitude)의 비가 약 0.074로 매우 작기 때문에 지상기준점의 오차가 위성의 동적인 외부표정요소 추정이나 3차원좌표의 결정에 과대오차로 작용하는 특성이 있다. 따라서 오차가 적게 포함되도록 지상기준점의 획득에 주의를 기울여야한다.⁽⁴⁾

위성영상의 위치결정에 이용되는 지상기준점은 좌·우 영상과 각 축척의 지형도상에서 주위의 형상과 뚜렷한 차이를 보이며 오랜기간 위치변화가 없고 선명한 특징점으로 영상에서 가장 찾기 용이한 점들을 선택한다. 기존의 연구에서 많이 이용되는 지상기준점의 형태는 1 영상소(pixel) 이상의 폭을 갖고 있는 도로의 교차점과 도로와 하천의 교차점 등이다.

2.1 지상기준점 좌표의 획득방법

지상기준점의 3차원좌표 획득방법에는 첫째 일반측량방법과 둘째 항공사진측량에 의한 방법 및 셋째 지형도를 이용하는 방법이 있다.

1) 일반측량에 의한 방법

일반지상측량방법으로 다른 방법에 비해 가장 정확도가 높으나 지상기준점의 3차원 좌표를 획득하

는데 소요되는 경비가 많으며 난접근지역이나 비접근지역에서는 이용하기 곤란한 단점이 있다. 또한 범지구적 위치결정시스템(GPS : Global Positioning System)을 이용하는 방법도 있으나, 고가의 장비가 요구되며 관측조건, 정확도 및 실용성에 대해 연구가 현재 진행되고 있다.

2) 항공사진측량에 의한 방법

SPOT 위성영상의 지상기준점을 항공사진에 의해 결정하기 위해서는 영상에 포함된 대상영역이 광범위하여 사진축척이 1/37,500인 항공사진을 이용할 경우 100장 이상의 사진이 필요하고, 블럭조정을 위한 지상기준점의 측량을 별도로 수행해야 하므로 많은 시간과 경비가 소요됨은 물론, 비접근지역에서는 이용하지 못하는 문제점이 있다.

3) 지형도를 이용한 방법

지형도를 이용한 지상기준점의 3차원좌표 획득은 기존에 제작된 국가기본도를 이용하여 디지털이징(digitizer)에 의한 평면좌표의 결정과 등고선 보간에 의한 높이결정을 통해 지상기준점의 3차원좌표를 결정하는 방법으로, 이용되는 지형도의 축척에 따른 디지털이징의 오차와 지형도의 신축 및 자체의 오차요인 등에 의해 다른 획득방법에 비해 다소 정확도는 떨어지나 접근 불가능한 지역에 대해서도 지상기준점의 3차원좌표를 획득할 수 있는 유일한 방법이다. 또한, 이 방법은 획득시 요하는 경비가 다른 방법에 비해 상당히 저렴한 장점이 있어 기존의 연구에서 가장 많이 이용되는 지상기준점의 3차원좌표 획득방법이다. 그러나, 위성영상의 공간해상력이 소축척 지형도의 정확도 한계보다 높은 경우 결정된 지상기준점의 정확도를 향상시키기 위한 방법이 필요하며, 지형도의 제작시 지형과의 변화로 인해 지상기준점을 지형도상에서 찾지 못하는 단점이 있다.

(1) 디지털이징에 의한 평면좌표의 결정

디지털이저를 사용하여 지상기준점의 평면좌표를 결정하기 위해서는 지형도 자체에 포함된 오차가 문제가 된다.

지형도에 수록되는 지형지물과 도식의 표현은 가능한 정확하고 정밀하게 표현하는 것이 바람직하지만 지도축척과 대상물의 중요도에 따라서 과장, 생략 또는 종합묘사의 방식을 취하며, 불가피한 경우에는

그 위치를 이동시켜 표현하기도 한다.

일반적으로 지형도의 위치오차는 측량, 제도 및 인쇄 등 지형도 제작시의 각 단계에서 발생하는 오차가 종합되어 나타나는 것이며, 또한 용지의 신축에 의해서도 오차가 발생할 수가 있다. 전자에 의한 오차는 허용기준을 정하여 지형도의 사용목적에 적합한 최소오차한계내에 들게 규정하며, 후자의 경우 알미늄코팅 용지 등을 사용하여 용지의 신축이 최소가 되도록 하는 방법을 적용한다. 정밀하게 제작된 지형도에서 용지의 수평 및 수직위치오차가 클 경우, 인접하는 등고선이 서로 겹치게 되므로 이를 방지하기 위하여 지도상에서 관측한 표고오차의 최대값은 등고선 간격의 1/2을 초과하지 않도록 규정하고 있다.⁽⁵⁾

또한 디지털화의 정확도는 규정된 정확도 기준이 없으며 좌표관측을 수행하는 지형도의 축척 및 정확도에 의해 좌우되나 임의의 형상의 중심선에서 digitizer 지표 두께의 1/2를 초과하지 않아야 한다.

(2) 보간방법을 이용한 높이좌표의 결정

지형도에 포함되어 있는 등고선이나 점표고를 이용하여 지상기준점의 높이를 결정하기 위해서는 지형보간을 이용하여야 하며 보간에 이용되는 자료점의 추출방법과 보간방법에 의해 결정된 높이좌표의 정확도가 좌우된다.

본 연구에서는 지상기준점을 중심으로 일정한 격자를 중첩하여 8방향에 대한 지성선의 상대적인 평면좌표와 높이를 추출하여 획득된 자료점을 거리중중를 함수법(weighted average interpolation)으로 보간함으로써 지상기준점의 높이좌표를 결정하였다. 추출된 자료점의 보간은 SPOT 위성영상에서 지상기준점으로 선정가능한 형상이 주로 도로의 교차점이므로 지상기준점 주위는 대부분 평지로 되어 있다. 이와 같은 점의 보간에서 일정한 정규격자상 모든 표고자료를 이용할 경우, 보간의 특성상 실제표고보다 높거나 낮은 표고가 결정되므로 본 연구에서는 그림 1과 같은 거리중중를함수법으로 높이를 보간하였다.

그림 1에서 구하고자 하는 지상기준점에서 보간에 이용되는 점까지의 거리는

$$D_i = \frac{(X_i - X_0)}{D_x} + \frac{(Y_i - Y_0)}{D_y}, \quad i = 1, 2, \dots, 8 \quad (1)$$

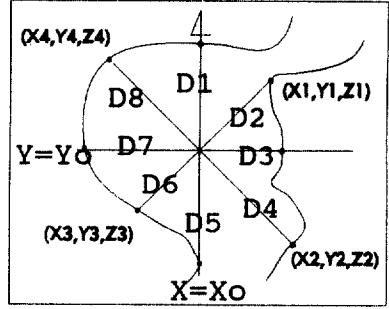


그림 1. 거리중중를 함수법에 의한 높이 보간

이 되며 여기에서 (X_0, Y_0) 는 지상기준점의 평면좌표이고 (X_i, Y_i) 는 보간에 이용된 8방향의 평면좌표, (D_x, D_y) 는 X, Y방향의 격자 간격이다.

식 (1)에서 지상기준점의 표고는 다음과 같이 결정된다.

$$h_{(X_0, Y_0)} = \frac{\sum W_i Z_i}{\sum W_i} \quad (2)$$

여기서, $W_i = 1/D_i$ 이며, Z_i 는 각 자료점의 표고이다.

2.2 지상기준점의 상좌표 결정

지상기준점에 대한 상좌표 획득시 위성사진필름형태의 자료에서는 해석도화기나 정밀좌표관측기 등과 같은 고가의 장비가 필요한 반면, 수치영상 형태의 자료에서는 영상처리의 기능이 있는 컴퓨터를 통해 상좌표를 획득할 수 있다.

(1) 위성사진필름 자료의 상좌표 관측

필름형태의 자료에 대한 상좌표의 관측은 기존의 사진측량에서 이용된 방법과 동일한 방법에 의해 입체모델을 형성하는 좌·우 사진을 해석도화기로 표정하여 동시에 결정하는 방법과 단정밀좌표관측기에 의해 한장의 사진씩 결정하는 방법이 있으며 결정된 상좌표의 정확도는 사용장비의 정밀도에 의해 좌우된다.

해석도화기나 정밀좌표관측기에 의해 결정되는 상좌표는 기계좌표이므로 조정에 직접 이용될 수 없기 때문에 영상좌표체계로 변환하여야 한다.

(2) 수치영상 자료의 상좌표 관측

SPOT 수치영상자료를 이용한 지상좌표결정에

있어, 지상기준점 및 검사점의 입력좌표 정확도는 결과값에 커다란 영향을 끼친다. CRT 상에 직접 출력되는 SPOT 원 위성 영상은 영상획득방법에 따라 선형부호화(linear coding) 형태와 DPCM(differential pulse code module) 코드형태로 나눌 수 있으나 일반적으로 전송처리시간의 단축 등의 이유로 DPCM 코드를 주로 사용하고 있다. 그러나, DPCM 코드의 형태로 획득한 위성영상은 영상의 제조값이 0에서 63사이로 존재하기 때문에 지상물체의 판별과 점위치결정에 적합하지 않으므로 상좌표획득에 어려운 점이 많다. 따라서 정확한 점좌표를 결정하기 위해서 어두운 영상인 경우에는 Histogram Equalization, Histogram Stretching 또는 Histogram Sliding, 제조차가 뚜렷하지 않은 경우 Thresholding에 의한 Contrast기법 및 경계선강조를 위한 Hi-Pass Filtering 등의 기법이 필요하다.

좌·우 영상의 동일점을 찾기 위해 수치영상매칭기법이 이용된다. 영상매칭방법에는 2차원매칭과 1차원매칭방법이 있다. 또한 1영상소 이내의 단위까지 찾기 위해서는 최소 제곱매칭기법이 이용되고 있다.⁽⁶⁾

3. 연구 대상지역 및 자료

3.1 이용된 위성영상 및 대상지역

본 연구에 이용된 위성영상은 약 830 km 상공에 있는 SPOT-1 위성에 의해 영상을 획득하여 전처리를 수행한 수준 1 AP 위성사진필름과 CCT 형태의 수준 1 A 수치영상자료이며, 모든 위성자료는 지상 해상력이 10 m인 흑백 P모드자료로 좌측영상(L5° 37')과 우측영상(R26° 10')으로 입체모형을 형성하였다.

표 1. 전처리수준에 따른 위성사진의 주요제원

제 원	level 1 AP		level 1 A	
	좌	우	좌	우
가 로	173.0 mm	210.0 mm	6000 pixel	6000 pixel
세 로	171.4 mm	171.4 mm	6000 line	6000 line
축 척	1/350,000		1/766,921	
초점거리	2370.5 mm		1082 mm	
1 pixel 크기	0.0285 mm		0.013 mm	

본 연구에 이용된 입체영상은 기선고도비가 약 0.57이며, 좌표영상과 우측영상의 자료획득일이 1일 차이로 태양각의 변화가 유사한 양호한 관측조건으로 구성되었다.

본 연구의 대상지역은 위도 N36°02'~N36°41', 경도 E127°02'~E127°50' 사이의 충남북 일대지역으로 1/50,000 국가기본도로 12도엽에 해당되며 입체모델에서 중복된 면적은 지상 약 60×60 km 정도로 수직관측에 해당되는 좌측영상이 우측영상이 100% 중복된 형태를 나타낸다.

3.2 입력자료의 획득

SPOT 위성자료를 이용하여 위치결정을 수행하기 위해서는 대상지역에서 일정한 수 이상으로 균등의 광분포되어 있는 지상기준점의 상좌표와 3차원 절대좌표가 필요하게 되며, 번들조정을 통해 위치결정을 수행할 경우, 지상기준점의 3차원 절대좌표와 동일한 좌표계로 정의한 대상지역을 주사할 당시의 개략적인 위성위치(X₀, Y₀, Z₀)좌표 및 탐측기의 자세(H₀, φ₀, ω₀)를 알아야 한다.

(1) 지상기준점의 3차원좌표결정

지상기준점의 3차원 좌표결정은 상좌표관측과 마찬가지로 위치해석의 정확도 및 외부표정요소의 정확도에 큰 영향을 미치므로 최상의 관측조건과 반복관측을 통해 신뢰도를 높여야 한다.

본 연구에서 이용된 지상기준점의 3차원좌표획득 방법은 일반지상측량에 의한 방법과 지형도에 의한 방법을 이용하였다. 획득된 지상기준점의 수는 총 30점이었으며, 이 중에서 각 자료획득방법에서 동일한 난이도로 결정할 수 없거나 지형의 변화로 지형도상에서 위치선정이 곤란한 7점을 제외하고 23점이 선정되어 결과분석에 이용되었다. 선정된 지상기준점은 좌·우 영상의 중복부분에 균등하게 분포되어 있으며, 23점의 지상기준점중 13점은 기준점으로 10점은 검사점으로 이용하였다.

1) 지상측량에 의한 방법

지상측량방법으로 기준점측량을 수행하는 방법에는 수평위치결정을 위해 삼각, 다각, 삼변측정 등이 이용되며, 수직위치결정을 위해서는 직·간접 수준측량이 이용되고 있다.

본 연구에서는 선정된 지상기준점과 기준 국가기

준점을 연결하는 망을 형성한 후 각 관측기로는 0.1" 독 Wild T3, 거리측량기로는 RANGE MASTER II DI-3000 광파거리측량기를 이용하여 수평위치를 결정하였으며, 높이측량은 삼각수준측량방법을 이용하였다. 지상측량방법에 의해 획득된 지상기준점의 경위도좌표를 지도투영좌표계인 TM좌표로 변환하여 이용하였다.

2) 지형도를 이용하는 방법

기존의 지형도를 이용하여 지상기준점의 3차원좌표를 획득하는 방법은 지상측량방법에 비해 정확도가 저하되나, 전체경비의 40%를 차지하는 지상기준점 측량비용은 절감할 수 있을 뿐만 아니라 시간도 절약되며, 지상측량이나 항공사진측량이 불가능한 난접근지역 및 비접근지역에서도 이용이 가능한 방법이다.

지형도를 이용한 지상기준점의 3차원좌표결정은 수평위치를 결정하기 위한 디지털이징과정과 지성선 추출에 의한 표고보간으로 이루어지며, 얻어지는 결과는 지형도의 축척과 정확도에 많이 좌우된다.

본 연구에서는 현존 국가기본도중 1/50,000 지형도와 1/25,000 지형도를 이용하여 지상기준점 선정 과정에서 표시된 지상기준점에 대해 정확도 ± 0.254 mm인 Calcomp 9/480 디지털라이저(50 line/mm)로 디지털이징을 수행한 후 도곽의 4모서리좌표를 기준으로 부등각사상변환하여 수평위치를 결정하였으며, 높이좌표는 지상기준점을 기준으로 8방향으로 가장 가까운 지성선의 표고를 추출한 후 거리경중를 함수법으로 5×5 정규격자로 보간하여 획득하였다. 수평위치 디지털이징과 높이보간에 이용된 도엽은 1/50,000 10도엽과 1/25,000 28도엽이었다.

지형도를 이용한 지상기준점의 3차원좌표결정은 디지털이징에 이용되는 지형도의 정확도와 축척 및 등고선 간격에 따라 변화되며 특히, 수평위치에서는 지형도의 축척과 신축 및 디지털이징 정확도에 따라 관측값의 편차가 크므로 여러번 관측을 수행하여 최확값을 결정하였다. 또한 높이보간에서도 1/50,000 지형도와 같이 주곡선의 간격이 20 m인 소축척지형도를 이용할 경우, 8방향의 지성선 표고가 동일하여 보간에 영향이 포함되지 않고 주곡선의 한계를 극복하기 어려워 표고정확도를 저하시키는 요인이 되므로, 도상에 포함된 점표고나 수준점을 최대한

활용하여야 한다.

(2) 상좌표 결정

1) 위성사진자료의 상좌표 결정

위성사진자료인 수준 1AP의 상좌표 관측은 해상력 1 μ m를 가진 정밀해석도화기인 Zeiss P2 Planicomp를 통해 이루어졌으며, 본 연구에서 채택한 상좌표계는 영상중심을 기준으로 하는 기존사진측량에서 이용된 우수계의 사진좌표체계이므로 관측 장비에 의해 결정된 상좌표를 영상모서리의 좌표(8점의 지표)를 기준으로 2차원 선형상사변환(linear conformal transformation)을 통해 영상소/주사선수(pixel/line)좌표로 변환하여 조정에 이용하였다.

2) 수치영상자료의 상좌표 결정

수준 1A CCT 수치영상자료의 상좌표관측을 위해서는 원 영상인 DPCM 전송방식에 의해 저대비(low contrast)의 저복사(low radiance) 영상의 특징을 나타내므로 지상기준점의 형상을 육안으로 확인하기가 불가능함에 따라 영상의 히스토그램(histogram)을 분석한 후 영상강조(image enhancement) 기법 등의 수치영상처리를 선행하여야 한다.

본 연구에서 이용된 수치영상처리 및 상좌표 획득 시스템은 1024×1024 해상력의 영상처리보드가 부착된 Workstation SUN 3/60이며, 이용된 프로그램은 ERDAS 소프트웨어의 영상처리 모듈과 GCP 모듈을 이용하였다

수치영상처리과정에서 이용된 영상강조기법에는 영상에 대한 사전지식이 없어도 이용이 가능한 비선형 대비강조(nonlinear contrast enhancement) 방식이 히스토그램 equalization과 영상의 세밀한 부분을 강조하는 3×3 고역통과필터(highpass filter) 처리를 이용하였으며, 강조된 영상을 통해 ERDAS 소프트웨어의 GCP 모듈을 이용하여 상좌표를 관측하였다. ERDAS 소프트웨어의 GCP 모듈에는 대상점 주위를 cubic convolution 기법으로 확대하는 기능이 포함되며 있으며 본 연구에서는 이를 이용하여 지상기준점의 상좌표를 부영상소단위로 획득하였다.

수치영상처리 시스템에서 획득된 상좌표는 좌상단을 (1, 1)로 하여 영상소수와 주사선수를 나타낸 것으로 위성사진자료와 동일한 사진좌표체계로 통일시키기 위해 선형상사변환하였다.

4. 관측값 해석

본 연구에서는 동일한 관측조건에 의해 획득되고 각각 전처리수준과 자료형태가 다른 위성영상자료를 이용하여 위성영상의 기하학적 특성과 입력자료인 지상기준점좌표의 획득 방법에 따른 3차원 위치결정의 정확도를 분석하였다.

본 연구의 관측값 해석에 이용된 3차원 절대좌표체계는 중부원점을 기준으로하는 평면직각좌표체계인 T.M.좌표계를 이용하였으며, 상좌표계는 영상중심을 기준으로 하는 사진좌표체계를 이용하였다.

4.1 지상기준점의 3차원 좌표 획득방법에 따른 정확도 분석

지상기준점의 3차원 좌표 획득방법에 따른 정확도 분석에 있어서는 본 연구에 이용된 지상기준점의 3차원좌표 획득방법중 지상측량성과를 최확값으로 하여 1/25,000지형도와 1/50,000지형도를 이용하여 획득된 지상기준점의 3차원 좌표 정확도를 분석하였다.

표 2에 나타난 바와 같이 각 지형도의 축척별 지상기준점의 3차원 좌표 정확도를 분석한 결과 1/25,000 지형도에서 획득한 지상기준점의 3차원좌표가 1/50,000 지형도보다 약 2배 이상 좋았으며, 디지털이징된 평면좌표의 정확도는 모든 축척에서 X축(경도방향)의 오차가 Y축(위도방향)의 오차보다 크게

표 2. 지형도 축척별 지상기준점 좌표의 평균제곱근 오차 (단위 : m)

축 척	M_x	M_y	M_{xy}	M_z
1 : 25,000	12.62	11.78	12.21	2.67
1 : 50,000	27.81	25.79	26.82	5.64

나타났다. 또한, 거리경중를 함수법으로 보간한 높이좌표의 정확도는 각 축척별 주곡선 간격의 1/2보다 훨씬 양호하였다.

지형도 축척별 디지털이징과 보간을 이용하여 획득한 지상기준점의 3차원 좌표 정확도를 분석한 결과, 지형도를 디지털이징하여 얻은 3차원좌표의 정확도는 축척분모수의 비와 거의 비례함을 알 수 있었으며, 평면좌표는 높이좌표보다 5배이상 정확도가 떨어졌다.

평면좌표의 오차가 모든 축척에서 1 영상소이상 즉, 10 m를 초과하였으며, 1/50,000지형도를 이용할 경우 2 영상소 이상의 평면좌표 오차가 발생되므로 일정한 확률이상의 표준편차가 발생하는 점을 소거하는 과대오차소거 기법을 통해 평면좌표의 정확도를 향상시키는 방법이 요구됨을 알 수 있었다.

4.2 지상기준점 획득방법에 따른 3차원 좌표의 정확도 분석

지상기준점 획득방법에 따른 위치결정의 정확도 분석에서는 본 연구에서 이용한 지상기준점의 3차원좌표 획득방법과 SPOT 영상자료의 형태에 따른 상좌표 획득방법을 조합하여 분석 case를 형성한 후, 각 전처리 수준에 대해 번들조정을 수행하여 3차원 좌표의 기하학적 정밀도와 검사점의 정확도 및 영상좌표의 잔차를 분석하였다. 지상기준점 획득방법에 따른 3차원 좌표의 정확도 분석을 위한 분석 case는 표 3과 같았다.

표 3과 같은 분석 case에 대한 번들조정에서 외부정요소는 2차항까지의 다항식형태를 이용하였으며, 외부표정요소의 초기값과 지상기준점의 수 및 배치는 동일하게 설정하였다. 각 분석 case의 조정

표 3. 지상기준점 획득방법에 따른 3차원좌표의 정확도 분석 case

case	전처리수준	입력자료의 형성		자료형태
		3차원좌표	상좌표	
1	1AP	지상측량방법	해석도화기에 의한 방법	위성사진
2	1AP	1 : 25,000 지형도	"	"
3	1AP	1 : 50,000 지형도	"	"
4	1A	지상측량방법	수치영상처리에 의한 방법	수치영상
5	1A	1 : 25,000 지형도	"	"
6	1A	1 : 50,000 지형도	"	"

표 4. 지상기준점 획득방법에 따른 3차원 좌표의 정확도

전처리 수 준	분석 case	외부표정 요소	기하학적 정밀도				검사점 정확도				영상좌표잔차		반복계산 횟 수
			σ_x (m)	σ_y (m)	σ_{xy} (m)	σ_z (m)	Mx (m)	My (m)	Mxy (m)	Mz (m)	Vx(mm) (pixel)	Vy(mm) (pixel)	
1AP	C1	12	7.18	6.97	7.08	12.02	11.18	8.91	10.11	11.30	0.0217 0.7610	0.0181 0.6340	8
	C2	12	15.30	14.68	15.00	23.09	26.17	19.53	23.09	14.83	0.0520 1.8220	0.0308 1.0790	16
	C3	12	19.04	18.09	18.57	33.57	42.31	32.39	37.68	20.81	0.0758 2.6570	0.0299 1.0480	24
1A	C4	12	10.49	10.17	10.33	15.00	13.31	7.44	10.79	6.42	0.0153 1.1770	0.0163 1.2540	16
	C5	12	14.27	13.52	13.90	25.37	26.85	23.63	24.02	13.20	0.0191 1.4690	0.0231 1.7770	23
	C6	12	17.21	16.02	16.63	36.14	43.37	32.44	38.29	26.09	0.0259 1.9920	0.0212 1.6310	24

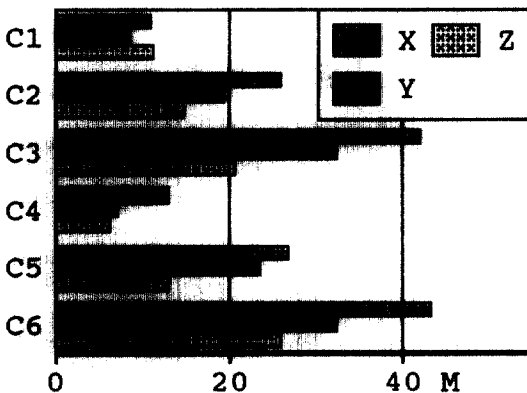


그림 2. 지상기준점 획득방법에 따른 3차원 좌표의 정확도

결과는 표 4 및 그림 2와 같았다. 조정결과중 기하학적 정밀도는 각 분석 case에서 이용한 지상기준점의 획득자료에 의해 결정된 결과이며, 검사점의 정확도는 본 연구에서 지상기준점 3차원 좌표의 정확도로 설정한 지상측량결과와의 편차이다. 또한, 영상좌표잔차는 각 case의 조정결과와 조정결과를 각 자료형태의 축척에 의해 결정되는 1 영상소의 크기로 나누어 영상소 단위로 환산한 값이다.

표 4 및 그림 2에 나타난 바와 같이 지상기준점의 3차원 좌표 획득방법에 대해 번들조정을 수행하여

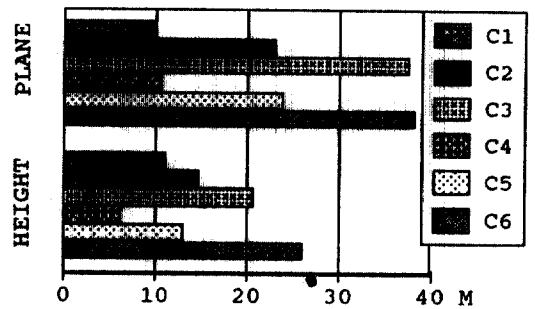


그림 3. 지상기준점 획득방법 및 전처리수준에 따른 검사점의 정확도

얻어진 3차원 좌표의 기하학적 정밀도를 분석한 결과, 지상측량방법이 지형도에 의한 방법에 비해 정밀도가 높았으며 지형도를 이용한 경우에는 수평 위치보다 높이좌표의 정밀도가 더 크게 낮아졌다. 또한, 지상측량성과와의 편차를 나타내는 검사점의 정확도에서는 평면좌표의 정확도에 비해 높이좌표의 정확도가 좋았으며, 특히 지형도에 의한 방법(C2, C3, C5, C6)에서는 지형도상에서 획득한 지성선을 보간하여 얻은 높이좌표의 오차가 평면좌표의 오차에 비해 훨씬 작음에 따라 지상측량방법을 이용한 경우(C1, C4)보다도 높이좌표와 평면좌표 정확도의 차이가 더욱 크게 나타났다. 지상기준점 획득방법에

따른 영상좌표의 잔차분석에서는 기하학적 보정이 수행된 자료((C1, C2, C3)에서는 x좌표의 잔차가 y좌표의 잔차보다 큰 반면, 복사보정만이 수행된 경우(C4, C5, C6)에서는 x, y의 상좌표 잔차가 유사하였으며, 지형도에 의한 방법을 이용할 경우, 지상기준점 3차원 좌표의 정확도저하로 영상좌표의 잔차가 커져 더욱 많은 반복계산이 필요하였다.

지상기준점 획득방법 및 SPOT 영상의 전처리 수준에 따른 검사점의 평면 및 높이 정확도는 그림 3과 같았다. 검사점의 정확도에서는 모든 전처리 수준에서 수평위치의 정확도 변화가 높이좌표의 정확도 변화보다 크게 나타났으며, 지도제작시 높이 정확도는 등고선간격의 1/2을 기준으로 평가하므로 SPOT 위성을 이용하여 1/50,000 지형도(등고선 간격 20 m)의 정확도를 얻고자하면 적어도 1/25,000 이상의 대축척 지형도로부터 지상기준점좌표를 획득하여야함을 알 수 있다. 1/25,000 지형도에 의한 방법인 case C2(수준 1AP)와 C5(수준 1A)의 검사점 정확도는 거의 유사한 경향을 나타내어 지형도에 의해 지상기준점의 3차원 좌표를 획득하여야 하는 경우에는, 입력자료의 획득경비와 수치표고 모형이나 정사사진지도제작 등의 활용면에서 수준 1A의 자료가 더욱 경제적인 자료형태임을 알 수 있었다.

따라서 지형도를 이용하여 지상기준점의 3차원좌표를 얻는 방법은 지상측량에 의한 방법에 비해 3차원 위치결정의 정확도는 낮으나, 지상기준점의 3차원 좌표결정에 소요되는 시간이나 비용면에서 경제적이며 접근하기 어려운 지역에서도 이용가능한 방법이므로, 대축척 지형도를 이용하고 부가매개변수 및 과대오차 소거이론을 도입하여 3차원 위치결정의 정확도를 향상시키는 방법에 대한 지속적인 연구가 요망된다.

5. 결 론

본 연구에서 SPOT 위성영상 수준 1A의 자료형태와 지상기준점좌표의 획득 방법에 따른 3차원 위치결정의 정확도를 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 지형도를 디지털화하여 얻은 3차원좌표의 정확도는 축척분모수의 비와 거의 비례함을 알 수

있었으며, 평면좌표는 높이좌표보다 5배 이상 정확도가 떨어졌다.

2) 지형도를 이용하는 경우 번들조정된 3차원 좌표의 정확도는 수평위치보다 높이좌표의 정밀도 저하가 더 뚜렷하게 발생하였으며, 지형도로부터 지상기준점좌표를 획득하고자하는 경우에는 1/25,000 이상의 대축척을 이용하여야 한다.

3) 지상기준점 좌표의 정확도 저하는 영상좌표의 전차를 크게하여 더 많은 반복계산을 필요로 하였다.

4) 수준 1AP 위성사진자료와 수준 1A 수치영상의 정확도를 비교할 때, 상좌표 획득에 요하는 경비나 영상자료의 활용면에서 수준 1A 수치영상자료가 더욱 경제적임을 알 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 1991년도 국방과학연구소 위탁연구(UD 9000130 ED)로 이루어진 것의 일부임.

참 고 문 헌

1. Lee, L.-H. and Chen, L.-C., "Bundle Adjustment with Additional Parameter for SPOT Stereopairs", *ISPRS, Comm. III*, Vol. 27, 1988, pp. III/1-10.
2. Uchida, O. and Biseshisin, S., "Comparisons of Orientation Accuracy between Types of Control Data for SPOT Imagery", *ISPRS, Comm. III*, Vol. 27, 1988, pp. III/227-236.
3. Gagan, D.J. and Downman, I.J., "Accuracy Completeness of Topographic Mapping from SPOT Imagery", *Photogrammetric Record*, 12(72), 1988, 787-796.
4. CNES & SPOT IMAGE, "SPOT User's Handbook", Vol. I, II Reference Manual, 1987, France.
5. Rhind, D. and Clark, P., "Cartographic Data Inputs to Global Databases", *Building Databases for Global Science* ed. by H. Mounsey, Taylor & Francis, 1988, pp. 79-104.
6. Lemmens, M.J.P.M., "A Survey on Stereo Matching Techniques", *ISPRS, Comm. V*, Vol. 27, 1988, pp. V/11-23.
7. UNIRAS, "AGL/Interpolation manual", UNIRAS Inc., 1989.
8. ERDAS, "ERDAS Field Guide," Ver 7.4, ERDAS Inc., 1990.

(接受 : 1991. 10. 29)