

위성영상을 이용한 지형지물 3차원 대지좌표 측정 기법 Techniques for Measuring 3-D Positional Data of Terrain Features from Digital Satellite Imagery

조봉환* · 박완용** · 고진우***

Cho, Bong-Whan · Park, Wan-Yong, Koh, Jeenuo

要 旨

수치위성영상을 활용한 3차원 영상정보의 생성에는 수치지형표고자료, 정사영상, 그리고 지형지물의 3차원 위치자료가 필수적인 요소가 된다. 본 연구에서는 입체해석도화 방식으로 수행되던 지형지물의 3차원 위치자료 추출 과정을 수치사진측정 기술로 전환하도록 시도하였다. 이 과정을 위해 정사영상 생성에 의한 방법 및 입체영상 형성과 입체관측원리를 이용하여 스테레오 워크스테이션 상에서의 지형지물 위치자료 추출 기법을 연구하였다. 또한, 각 과정에 대한 프로그램을 개발하고, SPOT 위성영상을 기준영상으로 활용하여 실험을 수행하였다. 실험을 통하여 추출된 자료의 위치정확도를 분석하여, 수치사진측정 기술에 의해 지도제작시 위치정확도 요구조건을 만족하는 지형지물 3차원 위치자료의 추출가능성을 입증하였다.

ABSTRACT

Digital Elevation Model, Ortho-image, and 3-D positional data of terrain features are indispensable elements for producing 3-D image information. In this research, digital photogrammetric studies were conducted to measure the 3-D positional data on high performance computer systems in order to replace analytical stereo-plotter-oriented tasks with those of digital workstations. Especially, technical approaches to measure these data on stereo workstation were developed and then the results were applied on SPOT satellite images. As the result of this study, the possibilities of the proposed technologies were tested and proved based on the application of the digital photogrammetric processes to extract 3-D ground coordinates of terrain features from digital satellite imagery.

1. 서 론

고해상도의 영상획득 센서 및 컴퓨터를 이용한 영상 정보처리 기술의 발달로 인하여 인공위성에 의한 지구 관측기술의 활용에 대한 신뢰성이 점차 높아지고 있다. 또한, 최근에 획득가능한 위성영상은 높은 공간해상도 (spatial resolution)를 가지며 영상의 품질이 우수하기 때문에, 이를 활용하여 수치지형표고자료(DEM : Digital Elevation Model), 정사영상(Ortho-image), 지형 지물의 3차원 위치자료를 생성할 수 있다.^{1,2,3,4)}

3차원 영상정보를 생성하는데는 이러한 자료들이 필

수적인 요소가 되며, 이 자료에 의해 지형 형태를 복원 하여 각종 시뮬레이션에 활용이 가능하고 가시영역 판단 및 그래픽 3차원 원근도의 제작이 가능하다.⁵⁾

최근에는 수치영상으로부터 이러한 자료들을 생성 하는 과정에, 수치사진측정(Digital Photogrammetry) 기술을 적용함으로써 많은 부분을 반자동 또는 자동 화시키기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다.^{6,7)} 수치 사진측정은 아날로그 필름 대신 수치영상을 활용한다 는 점에서 아날로그 또는 해석적 사진측정과 구분되 는데, 전통적인 사진측정 과정을 완전 자동화하는 것 을 최종 목표로 하며, 이를 위해서는 인공지능, 인지 과학, 컴퓨터 비전 등의 분야와 접목되어야 할 것으로 예상된다.¹⁸⁾

한편, 국내에서도 수치영상을 활용하여 수치지형표

* 국방과학연구소 책임연구원
** 국방과학연구소 선임연구원
*** 국방과학연구소 연구원

고자료나 정사영상을 제작하는 연구가 활발히 진행되고 있다. 그러나, 지형지물의 3차원 위치자료 추출 과정은 현재까지 고도로 숙련된 도화사에 의해 입체도화 방식에 의해 수동(manual)으로 수행되고 있으며 컴퓨터를 이용한 수치적 처리기술은 낙후되어 있는 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 정사영상 및 입체영상(stereo pair) 형성에 의해 컴퓨터 상에서 지형지물의 3차원 대지좌표를 반자동(semi-automatic)으로 측정하기 위한 기법을 연구하였으며, 이를 SPOT 위성영상에 실험 적용하여 3차원 위치정확도를 평가함으로써, 이러한 일련의 과정에 대한 수치사진측정 기술의 활용가능성을 입증하고자 한다.

지형지물의 3차원 대지좌표 측정 과정을 실험하기 위해 1987년 11월에 촬영된 SPOT 위성 입체영상을 활용 하였으며, 영상의 특성은 표 1과 같다.

또한, 평가를 위하여 모든 자료의 좌표체계를 TM (Transverse Mercator)으로 통일하였으며, 실험 대상지역으로는 국가기본도 중 축척 1:50,000 대전도엽에서 약 23 km×27 km 영역을 선정하였는데, 이 지역은 중부원점을 기준으로 한 TM 좌표로 경거(Easting) 222200~244900미터, 위거(Northing) 305800~333000미터에 해당한다.

그리고 측정된 대지좌표의 위치정확도 평가를 위한 기본자료로는, 현재까지의 지도제작 방법 중 항공사진의 입체해석도화에 의한 경우가 가장 정확하다고 평가되고 있음을 고려하여, 이 방식으로 기 제작된 수치지형도를 활용하였다.²⁾

표 1. 대상 SPOT 위성영상 특성

구 분	좌영상	우영상
SPOT GRS	K305-J277	K305-J277
영상	위도 36° 22' 02"	36° 22' 02"
중심좌표	경도 127° 25' 41"	127° 25' 08"
촬영경사각	L05.6°	R26.2°
촬영일자	1987.11.29	1987.11.30
센서형태	HRV-1	HRV-2
영상종류	Panchromatic	Panchromatic
Line 수	6000	6000
Pixel 수	6000	6000
전처리수준	1A	1A

2. 지형지물 3차원 대지좌표 측정

입체촬영된 SPOT 위성영상으로부터 지상의 지형지물에 대한 3차원(경거, 위거, 표고) 대지좌표를 측정하는 과정을 다음과 같은 4단계로 구분하였다(그림 1).

- (1) 3차원 기하학적 모델링
- (2) 정사영상 생성
- (3) 입체영상 형성
- (4) 정사영상/입체영상으로부터 지형지물 대지좌표 측정

위성영상의 3차원 모델링은 지상기준점의 선정 및 측정, 관측방정식의 구성, 외부표정요소(exterior orientation parameter) 결정 과정으로 수행된다. SPOT 위성영상은 라인별로 중심투영방식을 취하는 pushbroom 탐측원리에 기인하여 각 라인별로 외부표정요소를 결정해야 하지만, 이는 현실적으로 불가능하므로, 각 외부표정요소를 탐측시간의 다항식으로 구성하여 다항식의 계수를 결정하게 된다. 따라서 외부표정요소의 계산과정에 사용되는 지상 기준점의 라인 방향 영

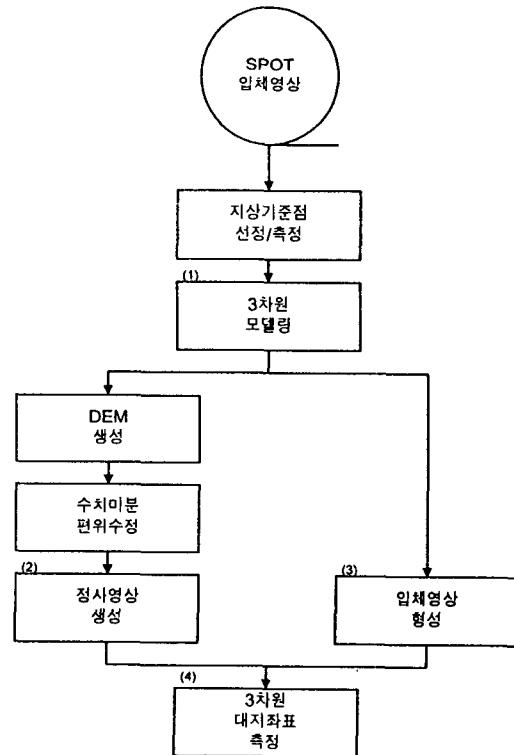


그림 1. 지형지물 3차원 대지좌표 측정 과정

표 2. 3차원 모델링 정확도

지상기준점 (RMSE)		
경거	위거	표고
7.6 m	7.3 m	3.1 m

상좌표로 탐측시간으로 표현된다. 입체영상에서 측정된 지상기준점의 공선조건에 대해 최소제곱법으로 계산된 외부표정요소는 모델링에 사용된 영상으로부터 수치지형표고모델과 정사영상을 생성할 때, 그리고 입체쌍을 형성할 때 이용된다.

표 1의 입체영상에 대한 모델링과정에는 “SPOT 3중 입체위성영상을 이용한 수치표고모형의 정확도 개선”²⁾ 연구에서 사용한 지상기준점 11점을 사용하였으며, 표 2에 모델링 정확도를 나타내었다.

2.1 정사영상을 이용한 지형지물 대지좌표 측정

정사사진(Orthophoto)은 지형기록(relief)과 촬영경사(tilt)에 의한 편위가 보정된 사진으로서, 사진상에 포함된 모든 지형지물의 상호위치관계가 지형도와 동일하다. 아날로그 방식의 정사사진을 이용한 지형지물의 좌표 획득은 2차원적으로 수행될 수밖에 없는 반면, 수치영상을 활용한 수치정사영상을 이용할 경우 지형지물의 평면좌표 획득은 물론 정사영상의 생성에 사용된 수치지형표고자료로부터 표고 정보의 추출도 가능하다.⁹⁾

정사영상의 생성에 필요한 기반자료로는 위성영상의 3차원 모델링 결과인 외부표정요소와 수치지형표고자료가 필수적으로, 이를 기반으로 수치미분편위수정 과정을 수행하여 생성하게 된다. 정사영상의 생성시 기반자료로 활용하기 위해, 수치영상정합에 의해 실험지역에 해당하는 수치지형표고자료를 생성하였다(그림 2). 정합은 2화소 간격으로 수행하였고 가중평균보간법에 의해 20m격자간격으로 보간하였다.

생성된 수치지형표고자료의 수평 및 표고의 위치정확도 분석을 위해 항공사진 해석도화에 의해 제작한 수치지형표고자료와 상관계수에 의한 정합을 실시하였고, 이 결과에 의해 90%의 확률오차를 고려하여 계산한 수평 및 표고오차는 표 3과 같다.

수치미분편위수정 방법에는 직접법과 간접법이 있으며, 이 중 간접법은 3차원 모델링 과정에서 구성된 공선조건식에서 지상좌표로부터 영상좌표를 Newton-Raphson 방법에 의해 계산하는 방식이다. 이 방법은 직

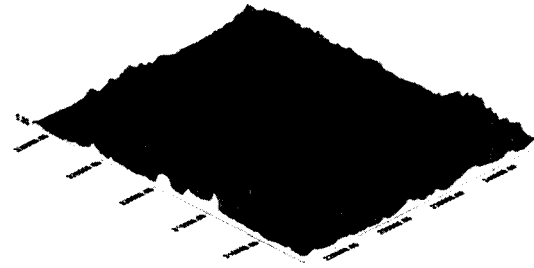


그림 2. 실험지역의 수치지형표고자료

표 3. 수치지형표고자료의 위치정확도 (단위 : m)

오차 평균		오차 평균편차		위치정확도	
경거	위거	표고	경거	위거	표고
-0.5	-11.2	0.8	16.2	13.1	6.6
35.8	11.7				

표 4. 간접법에 사용한 계산식의 오차 (단위 : 화소)

	최 대	최 소	RMSE
Line	0.26	-0.26	0.13
Pixel	0.03	-0.02	0.01

접법에 비하여 수렴과정에 필요한 반복 계산시간이 적게 소요되고 화소값의 보간(interpolation) 기준이 명확하다는 장점이 있다.¹⁰⁾

따라서 본 연구에서는 간접법에 의한 정사영상 자동 생성 프로그램을 개발하고 이를 이용하여 실험지역에 대한 정사영상을 생성하였다. 이 과정에서 간접법에 사용된 계산식의 자체오차를 분석하기 위해 모델링 과정에 사용된 11점의 지상기준점을 이용하였다(표 4).

기반 수치지형표고자료의 격자간격은 20m이나 기준영상의 공간해상도가 10m이고 좌표 측정 실험을 용이하도록 정사영상의 생성시에 입력되는 지상좌표의 간격을 10m로 하고, 이에 해당하는 표고를 공일차보간(bilinear interpolation) 방법에 의해 보간하여 사용함으로써 공간 해상도가 10m인 정사영상을 생성하였다(그림 3).

이상과 같은 생성 과정에 소요되는 기반자료를 고려하여 그림 4와 같이 좌표측정 과정에 활용될 수치정사영상의 자료 형태를 결정하였다. 자료구조에서 항목 CoordSystem은 정사영상 생성에 사용된 격자형 수치지형표고자료가 갖는 좌표체계를, xSize와 ySize는 각각 경거와 위거 방향의 격자점의 갯수를 나타낸다. 또한, xOrigin과 yOrigin은 각각 CoordSystem에 의한 정사영



그림 3. 실험지역 정사영상

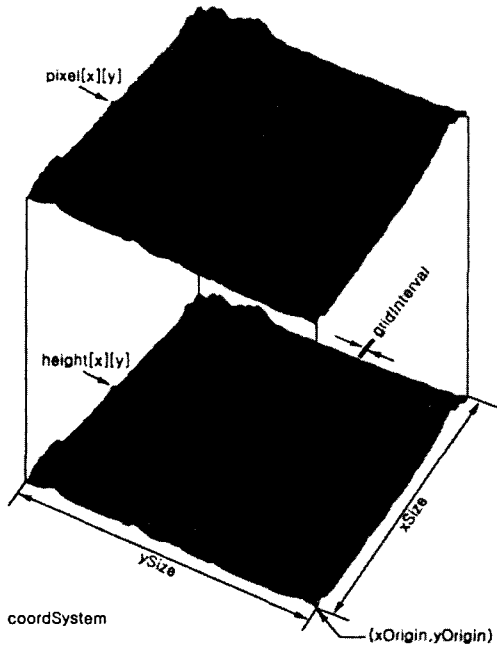


그림 4. 정사영상 자료구조 및 형태

상 좌하점의 경계 및 위거 좌표를, gridInterval은 m단위의 격자간격을 나타낸다. 이상의 항목은 수치정사영상 자료의 헤더정보에 해당하며, height와 pixel은 2차원 행렬로 각 격자점에서의 표고와 화소값을 포함한다.

이러한 자료구조를 갖는 정사영상으로부터 컴퓨터 상에서 지형지물의 3차원 대지좌표를 측정하는 과정을 기술하면 다음과 같다(그림 5).

(1) 정사영상을 컴퓨터 모니터 상에 도시(display)

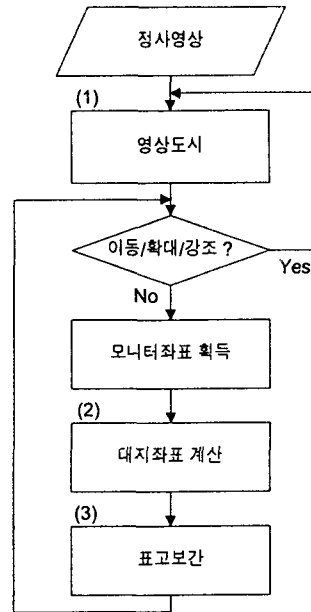


그림 5. 정사영상에 의한 측정과정

(2) 도시된 2차원의 평면 정사영상으로부터 지형지물의 경계 및 위거 좌표를 측정

(3) 과정 (2)에서 측정된 대지좌표에서의 표고를, 정사영상의 생성에 기반자료로서 이용된, 수치지형표고 자료로부터 보간하여 계산함으로써 수행된다.

과정 (1)에서는 과정 (2)에서의 측정을 용이하도록 하기 위하여 수치영상의 도시, 확대 강조(Enhancement), 이동 등의 기능을 포함한다. 과정 (2)에서는 도시된 정사영상으로부터 모니터 좌표를 득취하고 이에 해당하는 대지좌표를 계산하는 과정이 포함된다. 그리고 과정 (3)에서는 (2)에서 계산된 대지좌표에서의 표고를 격자형의 수치지형표고자료로부터 보간하여 획득하게 된다.

이상과 같은 과정으로 정사영상을 활용하여 지형지물의 3차원 대지좌표를 측정하는 과정에서, 정사영상의 생성에 기반자료로 이용되는 수치지형표고자료가 근본적으로 지형의 표고만을 포함하므로 획득된 지형지물의 표고자료가 부정확할 수 있다.” 즉, 수치지형표고자료에는 건물과 같은 비지형물(non-terrain object)에 대한 정보는 포함되지 않으므로 편위수정이 정확하게 이루어지지 않는다. 따라서, 입체쌍을 이용한 지형지물의 3차원 대지좌표 측정 방법을 사용하여 이러한 문제점을 해결하는 것이 타당하다.

2.2 입체쌍 형성에 의한 지형지물 대지좌표 측정

입체촬영된 영상으로부터 동일 지상점에 대한 영상 좌표를 획득할 수 있다면 이 지상점에 대한 지상좌표를 위성영상의 3차원 위치결정 기법에 의해 계산할 수 있다. 따라서 좌우에서 촬영된 영상으로부터 입체쌍을 형성한후, 입체관측원리에 의해 영상좌표를 측정하면 대상 지점의 대지좌표 측정이 가능하다.

좌우에서 촬영된 영상을 이용하여 입체관측을 하기 위해서는 두 영상을 epipolar 정렬(alignment)된 형태로 변환하여야 한다. Epipolar 정렬된 입체쌍은 관측 수평 방향의 시차(parallax)만이 존재하며, 입체관측시 이 시차에 의한 원근감에 기인하여 입체쌍으로부터 지상의 동일점에 대한 영상좌표 측정이 가능하며 이로부터 지상좌표를 계산하게 된다.

SPOT 위성영상의 경우에는, 노출중심이 하나인 항공사진과는 달리, 각 라인별로 노출중심이 변하기 때문에 정확한 epipolar 정렬이 불가능하고 대략적인 정렬만이 가능한 것으로 지적된 바 있다.¹¹⁾ 본 연구에서는, SPOT 위성영상의 대략적인 epipolar 정렬을 위해 Affine 변환과 외부표정요소를 이용한 변환 방법을 고려하였다.

표 5. Affine 변환식의 오차

RMSE(화소)	
Line	Pixel
0.67	9.79

2.2.1 Affine 변환에 의한 입체영상 형성

Affine 변환식은 축척, 회전, 원점이동에 의해 영상을 보정하는 것으로서 1차 다항식으로 표현되며, 식의 계수는 사용되는 기준점에 대한 최소제곱해의 결과로 계산된다.

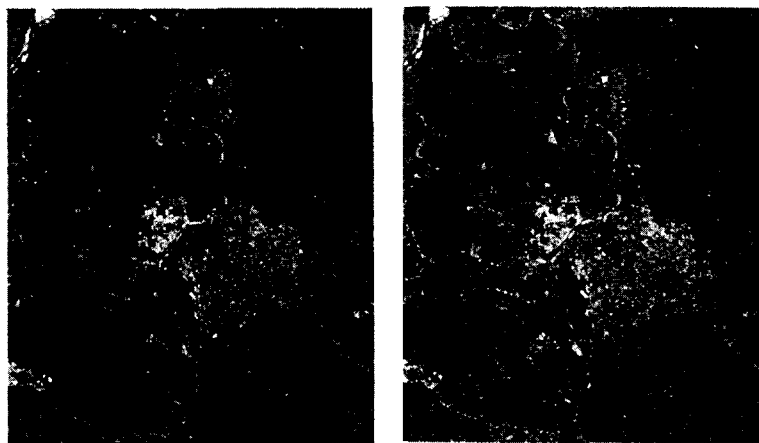
변환식의 계수를 계산하기 위한 기준점으로는 영상 좌표만을 이용하거나 지상기준점의 지상좌표와 영상좌표를 이용할 수 있다. 영상좌표만을 이용할 경우에는 3차원 모델링 과정을 수행하기 전에도 영상의 상대적인 보정이 가능하다는 장점이 있고, 변환을 위한 영상의 재배열이 한 영상에서만 수행되기 때문에 영상정합시 정합 오류의 발생가능성이 상대적으로 낮다.

반면, Affine 변환에 의해 형성된 입체쌍의 시차는 변환식의 계수를 계산하기 위해 사용한 기준점에 따라 시차가 0(zero)이 되는 표고가 결정되므로, 기준점의 선정에 따라 변환된 입체쌍의 보정정확도가 변하게 된다.

따라서, 본 연구에서는 3차원 모델링 과정에 사용된 지상기준점의 영상좌표만을 이용하여 좌영상을 기준으로 우영상을 Affine 변환하여 실험에 사용하였고, 이때 영상의 재배열은 공일차보간으로 수행하였다. 변환에 사용한 식의 평균제곱근 오차는 표 5에, 형성된 입체쌍은 그림 6에 나타내었다. 오차는 11개의 기준점들에 대한 평균시차를 의미한다.

2.2.2 외부표정요소에 의한 입체쌍 형성

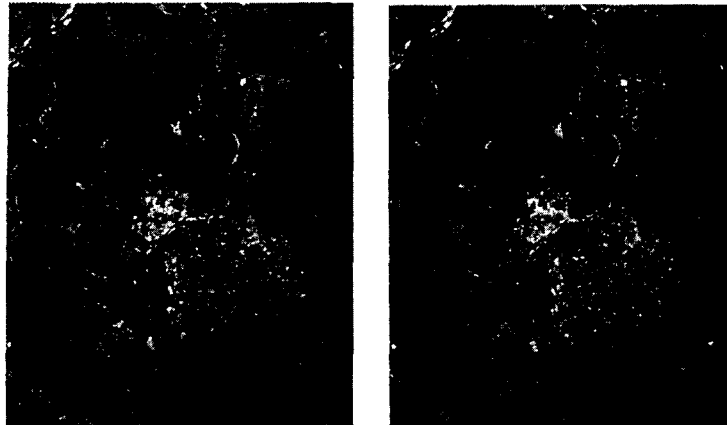
Baltsavias⁹⁾는 정사편위수정된 입체쌍(ortho-rectified stereo pair)을 이용하여, 편위수정 과정에 사용된 수치



(a) 좌영상

(b) 우영상

그림 6. Affine 변환에 의해 형성한 입체쌍



(a) 좌영상 (b) 우영상

그림 7. 외부표정요소에 의해 형성한 입체쌍

지형표고자료의 오류 검출 및 수정에 이용할 수 있고, 비지형물의 3차원 정보를 추출할 수 있으며, 정사영상의 정확도를 검증할 수 있는 검사점의 추출이 용이하다는 연구결과를 제시하였다.

이러한 개념을 바탕으로 외부표정요소에 의한 입체쌍 형성 방법을 고려하였는데, 이 방법은 정사영상을 생성하는 과정에서 수치지형표고자료를 사용하지 않고 외부표정요소와 평면 지상좌표만을 이용하는 것이다. 즉, 편평한(flat) 수치지형표고자료를 이용하여 촬영경사에 의한 편위만을 보정하여 생성한 입체쌍은 지형기복에 의한 편위만을 포함하게 된다. 따라서, 이러한 과정에 의해 형성된 입체쌍은 평균해수면에서의 시차가 0(zero)이 되며, 모든 시차는 같은 방향으로 발생한다.

3차원 모델링 과정에서 계산한 외부표정요소와 실험 지역에 해당하는 영역의 경계 및 위거 좌표를 이용하고, 정사영상 생성시와 동일한 조건을 고려하여 지상좌표 간격을 10 m로 하여 입체영상을 자동생성하였다(그림 7).

2.2.3 입체관측에 의한 지형지물 대지좌표 측정

입체도화기를 이용한 대지측정 작업은 입체시(stereoscopic viewing)에 고도로 숙련된 전문 도화사에 의해 수행되는데, 일단 입체시를 형성하고 각 축 방향으로 부점(floating mark)을 이동시켜 측정하고자 하는 지상점의 부점정위(on the ground) 상태에서 좌표를 측정하게 된다.¹²⁾

수치영상을 활용할 경우, 부점정위상태를 자동으로 유지하는 것이 가능하며, 이를 자동지형추적(automatic

terrain tracking/following)이라고도 한다.^{13,14)} 이는 부점에 해당하는 지시자(pointer)를 형성된 입체영상 각각에 대해 컴퓨터 상에 도시하고, 이를 영상의 일치점(conjugate point)에 위치하도록 도시함으로써 가능하다. 즉, 수평방향의 지시자 이동은 수동으로 하되, 일치점 추출에 의한 부점정위상태의 유지 과정을 자동으로 수행함으로써 대지좌표의 반자동 측정이 가능하다.

따라서, 입체쌍으로부터 일치점을 추출하기 위한 방법이 필수적으로 사용되어야 하며, 이를 위해 본 연구에서는 수치영상의 정합(matching) 방법을 사용하였다. 정합방법으로는 영역기반(area-based)의 표준상관계수에 의한 방법을 적용하였으며, 화소 단위 정합 후에 상관계수값에 대한 2차식에 의해 화소 이하 단위의 영상좌표를 결정하도록 하였다. 또한, 영상을 확대 관측할 경우 보다 정밀한 영상좌표 추출을 위해 확대 영상에서의 정합이 가능토록 하였다.

그리고, 시차예측치를 초기에 자동으로 설정한 후 지형의 연속성에 근거하여 시차예측치를 유지시킴으로써 지시자의 이동에 따른 영상정합시 효율적인 검색영역(search area) 선정이 가능하도록 하였다. 즉, 시차예측치의 초기 설정시 일치점의 영상좌표를 각각 (x, y) , $(x+d_x, y+d_y)$ 라고 하면 초기의 횡시차 및 종시차는 각각 d_x , d_y 이다. 이후의 지시자의 이동량을 Δx , Δy 라고 하면, $(x+\Delta x, y+\Delta y)$ 에 해당하는 일치점을 찾기위한 검색영역의 중심점을 $(x+\Delta x+d_x, y+\Delta y+d_y)$ 로 선정하는 것이다.

수치영상정합에 의한 일치점 추출 과정에서 정합 오

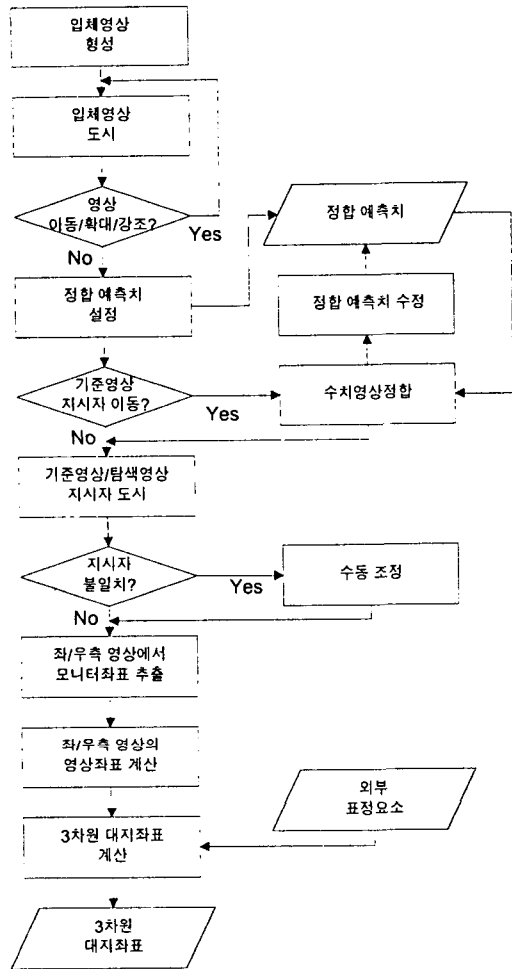


그림 8. 입체쌍을 이용한 좌표 측정

류에 의해 부정상위 또는 부정하위로 관측될 수 있으며, 이를 보정하기 위해서 사용자에게 의한 수동조정이 필요하다.

이상과 같은 입체쌍에 의해 지형지물의 3차원 대지좌표를 측정하는 과정을 요약하여 그림 8에 나타내었다. 그림 8에서 대지좌표를 계산하는 과정은, 좌/우 영상에서 모니터 좌표를 추출하고 이로부터 경거 및 위거 좌표를 계산한 후, 표고를 0으로 하여 간접법에 의한 영상좌표 계산 방법과 마찬가지로 이에 해당하는 좌/우 영상좌표를 계산하는 과정으로 구성된다.

3. 대지좌표 측정 시스템 구현

정사영상 및 입체쌍으로부터 지형지물의 3차원 대지

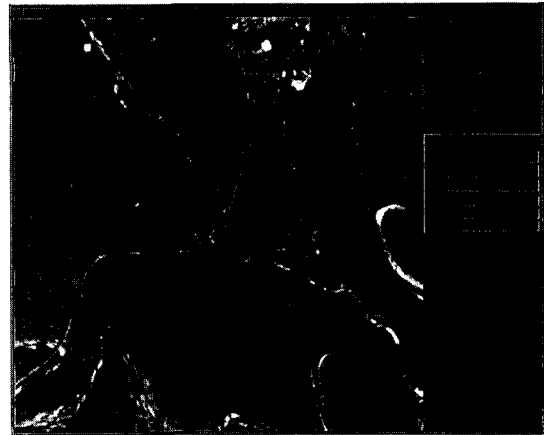


그림 9. 정사영상을 이용한 측정 실험 예

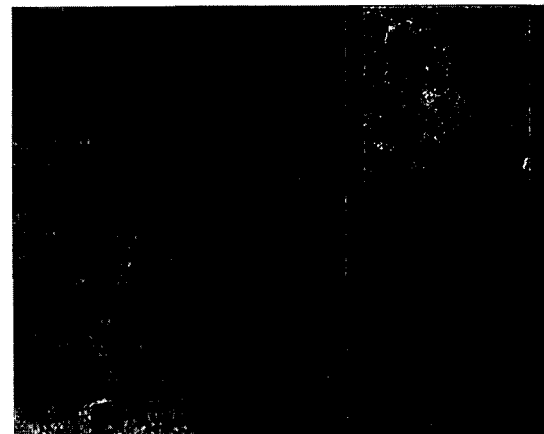


그림 10. 입체영상을 이용한 측정 실험 예

좌표 측정 실험을 위한 프로그램을 개발하고 시스템을 SGI사의 Indigo2에 구축하였다. 이 시스템에는 입체관측 기능을 위해 스테레오 모니터(60 Hz×2)와 LCS (Liquid Crystal Shutter), 그리고 이들을 동기화하여 입체시를 가능하게 하는 stereo synchronization emitter가 부착되어 있다.

프로그램의 구현에 사용한 프로그래밍 언어로는 C를 사용하였고, 사용자 인터페이스를 위해 X와 OSF/Motif를, 그리고 영상의 도시를 위한 그래픽 라이브러리는 현재 그래픽 분야의 표준으로 정착되고 있는 OpenGL을 사용하였다.

좌표 측정시 지시자의 이동을 위하여 수평방향으로는 마우스와 키보드를 입력장치로 이용하였고, 수동 입체관측시의 표고(시차)방향 지시자 이동을 위하여 키보

표 6. 실험에 사용한 정사영상 및 입체쌍

구분	영상
경우1	편위수정후 생성한 SPOT 위성 정사영상 (기반 DEM: SPOT 위성입체영상의 수치영상정합에 의해 생성)
경우2	아핀변환에 의해 형성된 SPOT 입체영상
경우3	외부표정요소를 이용하여 형성한 SPOT 입체영상

드를 이용하였다.

그림 9에는 정사영상을 이용한 측정 프로그램의 실행화면을, 그림 10에는 입체쌍을 이용한 측정 프로그램의 실행 화면을 나타내었다.

4. 실험 및 평가

정사영상 및 입체쌍에 의한 지형지물의 3차원 대지좌표 측정 실험을 표 6과 같은 3가지 경우에 대하여 수행하였다.

실험 및 분석을 위해 도로의 교차점이나 다리의 중간점 등에서 27점을 선정하였고, 이에 대한 좌표측정을 위해 경우1에서는 영상을 4배 확대 관측하였고, 경우2와 경우3에서는 2배 혹은 4배로 확대하여 자동지형추적 방식으로 관측하였다.

측정된 좌표의 위치정확도를 분석하기 위하여, 수평(경거, 위거)오차의 평균 $\mu_{\Delta E}$, $\mu_{\Delta N}$ 과 표준편차 $\sigma_{\Delta E}$, $\sigma_{\Delta N}$, 그리고 표고오차의 평균 $\mu_{\Delta H}$ 와 표준편차 $\sigma_{\Delta H}$ 를 계산하였고 90%의 확률오차를 고려한 수평 및 표고오차를 분석하여 표 7에 나타내었다.

표 7에서의 수평위치정확도는 원형공산오차(CEP: Circular Error Probable) 개념에 의해 90%의 확률이 포함되는 원의 반경을 의미한다.

실험결과를 분석해 볼 때, 경우1의 결과도 경우2나 경우3과 비슷한 정확도를 나타내고 있는데, 이는 사용된 기반 수치지형표고자료에 도로나 다리의 표고가 반영되어 있고, 측정 자료의 오차에 비하여 주변 지형과의 표고차가 상대적으로 낮기 때문이다.

경우3을 이용한 측정실험 결과가 다른 경우보다 정확할 것으로 예상하였으나, 입체쌍 형성과정에서 영상의 재배열이 좌/우영상에서 모두 수행되었기 때문에, 이에 의한 효과가 크게 작용한 것으로 판단된다. 즉, 자동지형추적 기법에 의한 측정을 위해서 사용한 수치영

표 7. 위치정확도 분석 (단위 : m)

구분	오차평균			오차 표준편차			위치정확도 (90%)	
	$\mu_{\Delta X}$	$\mu_{\Delta Y}$	$\mu_{\Delta H}$	$\sigma_{\Delta X}$	$\sigma_{\Delta Y}$	$\sigma_{\Delta H}$	수평	표고
경우1	2.39	1.84	-1.50	9.46	9.80	4.21	24.58	8.42
경우2	0.69	10.20	-1.33	8.61	12.90	4.13	27.99	8.12
경우3	4.24	3.46	-3.40	10.56	9.32	4.28	25.42	10.44

표 8. 위치정확도 평가

구분	수평 위치정확도	표고 위치정확도
경우1	A급과 B급 경계	A급
경우2	B급	A급
경우3	A급과 B급 경계	A급과 B급 경계

상정합 과정에서 영상의 재배열과 영상의 확대관측에 기인하여 화소이하 단위의 영상정합이 엄밀하게 수행되지 않은 것으로 판단되었다. 경우2의 실험결과에서는 경우3에 비하여 표고의 위치정확도가 조금 더 정확하게 나타나고 있는데, 이는 경우2에서 좌영상을 기준으로 우영상만을 변환하였기 때문이다. 따라서, 입체영상의 형성과정을 엄밀하게 수행할 필요가 있다.

지도정확도 평가기준^{2,15,16,17}에 의거하여 측척 1:50,000지도의 위치정확도를 기준으로 실험결과를 평가해 보면 표 8과 같다.

이상과 같은 실험 및 평가 결과를 볼 때, 정사영상 및 입체쌍으로부터 측정된 지형지물의 3차원 위치자료의 위치정확도는 측척 1:50,000 기본지도를 기준으로 할 때 B급 이상에 속한다. 따라서, SPOT 위성영상을 이용하여 컴퓨터 상에서 생성한 정사영상 및 입체쌍을 이용하여 신규지도제작, 기존 지형도의 갱신, 수치지형표고 모델의 생성 및 수정, 그리고 3차원 그래픽 자료를 B급 이상으로 생성 가능할 것으로 판단된다.

5. 결 론

본 연구에서는 SPOT 위성영상을 활용한 지형지물의 3차원 대지좌표 측정 기법을 연구하고, 이를 컴퓨터 상에 구현, 실험 및 평가를 수행하여 다음과 같은 연구성적을 얻었다.

1. 외부표정요소와 수치지형표고자료 및 표준영상자료(Level 1A)로부터 정사영상을 자동 생성하는 소프트

웨어를 개발하고, 컴퓨터 상에서 정사영상으로부터 지형지물의 3차원 대지좌표 측정을 가능토록 하였고

2. 컴퓨터 상에서 입체영상을 형성하여 지형지물의 3차원 위치자료를 반자동으로 측정하는 기법을 개발하고, SPOT 위성영상을 이용하여 실험 및 분석하였다.

3. 연구분석결과 수치위성영상을 활용하여 위치정확도 B급 이상의 3차원 지형지물 위치자료의 생성이 수치적 사진측정 기법에 의해 가능함을 입증하였다.

향후 연구과제로는, 입체쌍으로부터 측정되는 영상 좌표의 정확도와 수치영상정합의 정확도 향상에 관한 심층적인 연구 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 정사투영 영상 생성법에 관한 연구", 국방과학연구소(ATRC-417-93776), 1994.
4. 조봉환, 신대식, 박완용, "SPOT 위성영상을 이용한 수치 지형표고모델 자동생성 및 응용", 국방과학연구소(MSDC-408-92492), 1992.
5. 조봉환, 이용웅, 박완용, "SPOT 위성영상을 이용한 3차원 그래픽 파일 생성 연구", 한국지형공간정보학회 논문집, 제3권, 제1호, 1995, pp.79-89.
6. Franz Leberl, "The Promise of Softcopy Photogrammetry", ISPRS Workshop in Boulder on Design Issues of Softcopy Photogrammetric Workstations, Mar., 1991.
7. Ian Dowmann, "Design of Digital Photogrammetric Workstations", ISPRS Workshop in London on Hardware and Software for Fast Image Data Processing, Feb., 1990.
8. 조규전, 조우석, "Digital Photogrammetry and Its Role in GIS", 한국측지학회지, 제14권, 제1호, 1996, pp.1-7.
9. Emmanuel P. Baltsavias, "Digital Ortho-Images-A Powerful Tool for the Extraction of Spatial and Geo-Information", ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, Vol.51, 1996, pp.63-77.
10. Liang-Chien Chen, Liang-Hwei Lee, "Rigorous Generation of Digital Orthophotos from SPOT Images", PE&RS, Vol.59, No.5, pp.655-661, May, 1993.
11. G.P. Otto, "Rectification of SPOT Data for Stereo Image Matching", ISPRS Workshop Commission III.
12. 유복모, 사진측정학, 문운당, 1995.
13. , "SOCET SET User's Manual", GDE Systems Inc., 1995.
14. , "IMAGINE OrthoMAX USER'S GUIDE", ERDAS, Inc., 1994.
15. American Society of Photogrammetry, Manual of Photogrammetry, 1980.
16. Department of U.S. Army, TM 5-44-1, Geodetic and Topographic Surveying, 1970, pp.D-1~D-3.
17. Department of U.S. Army, TM 21-26, Map Reading, 1969, pp.1-6~1-7.