

항공사진을 이용한 3차원 경관도 제작

Generation of 3-Dimensional Landscape Map from Aerial Photos

유복모*
Yeu, Bock-Mo

정수**
Jeong, Soo

김원대**
Kim, Won-Dae

要 旨

지형을 분석하는 데 있어서 3차원 경관도는 실제의 지형을 직접 보는 것과 같은 효과를 주므로 매우 유용한 자료로 이용된다. 일반적으로 3차원 경관도가 필요한 경우에는, 높은 지역에서 대상지역을 바라보며 촬영을 하거나, 대상지역의 범위 또는 지상촬영조건 등에 따라 항공기를 이용해 관측시점을 높여 전체 대상지를 촬영하는 등의 방법으로 경관사진을 취득하여 이용하였다. 그러나 이 방법은 다방면으로 부터 다양한 고도에서의 사진이 요구될 경우에는 많은 양의 촬영이 필요할 뿐만 아니라 추가적인 촬영을 시행하여야 하는 경우도 있을 수 있다. 또한 사진기의 중심투영원리에 의해 촬영된 사진 상의 위치관계가 실제의 위치관계와 다르게 나타나므로 정확한 위치관계를 파악하기 곤란하다.

이 연구는 항공측량용 사진기에 의해 수직촬영된 입체사진을 이용하여 실제의 지형형상과 유사한 3차원 경관도를 컴퓨터 상에서 수치사진측량기법을 적용하여 제작하는 방법을 제시하였다. 이는 지형공간정보체계의 다양한 기능 중에서 3차원 지형분석을 위한 유용한 자료를 제공해 줄 수 있을 것이다.

ABSTRACT

Three-dimensional landscape map is very useful in terrain analysis as it looks like real shape of terrain. When three-dimensional landscape map is needed, landscape photos achieved at a position of high elevation or by airplane are generally used. But, this approach can not fully satisfy the user's need to get pictures from various view points. In addition, because photos have some geometric displacement caused by the principle of central projection of camera, it is hard to get accurate locations from the photo.

This paper aims to get three-dimensional landscape map similar to real terrain feature from vertical stereo aerial photos by digital photogrammetric techniques. This approach can provide a very useful data for three-dimensional terrain analysis as a function of Geo-Spatial Information System.

1. 서 론

일반적으로 지형분석을 위한 자료로서는 지형도, 측량도, 항공사진, 정사사진지도, 수치표고모형 등이 이용되고 있다. 이중 항공사진은 사진기의 자세 및 지형의 기복 등에 의해 대상물의 위치관계가 정확하게 표현되지 못한다. 지형도, 측량도, 정사사진지도 등에는 등고선이 삽입되어 대상물의 위치관계가 정확히 표현되지만 평면적인 표현으로 인해 현실감이 없으며, 숙달되지 않으면 전체적인 지형상황을 판독하기가 다소 어렵다. 수치표고모형의 경우는 3차원적인 형태를 파악하는 데 있어서는 용이하지만 격자형 또는 불규칙 삼각형에 의한 3차원 도형의 형태로 표현되므로 실제형상과 연계

시키기 난해한 경우가 많다. 따라서 이러한 기존의 지형자료들은 실제 모습과 유사한 3차원 지형표현에 있어서 효과적이지 못한 경우가 대부분이다.

일반적으로 대상지역에 대한 전체적인 3차원 경관도가 필요한 경우에는 높은 지역에서 대상물을 바라보며 촬영을 하거나 대상지역의 범위 또는 지상촬영조건 등에 따라 항공기를 이용해 관측시점을 높여 전체 대상지를 촬영하는 등의 방법에 의해 3차원 경관사진을 취득하여 이용하였다. 그러나 이 방법에 있어서 사용자의 다양한 요구를 만족시키기 위해서는 대상지에 대해 다방면으로 부터 다양한 관측고도에서의 사진이 요구되므로 많은 양의 촬영이 요구될 뿐만 아니라 추가적인 촬영을 시행하여야 하는 경우도 발생할 수 있다. 또한,

* 연세대학교 공과대학 토목공학과 교수

** 연세대학교 대학원 토목공학과 박사과정

사진기의 중심투영원리에 의해 촬영된 사진 상의 위치 관계가 실제의 위치관계와 다르게 나타나므로 정확한 위치관계를 파악하기 곤란하다.

이 연구는 항공측량용 사진기에 의해 수직촬영된 입체사진을 이용하여 실제의 지형형상과 유사한 3차원 경관도를 컴퓨터 상에서 수치사진측량기법²⁾을 적용하여 제작하는 방법을 연구하므로써, 지형공간정보체계 내에서의 각종 3차원 지형형상 표현에 필요한 자료를 제공할 수 있도록 하는 데 목적이 있다.

이 연구에서는 한쌍의 입체사진을 스캐너를 이용해 수치영상으로 변환시키고 중복촬영된 지역을 추출하여 연구에 이용하였다. 항공사진을 스캐너에 의해 수치화 하는 과정에서의 변환관계를 설정하기 위해서는 평면 좌표변환을 이용하였다.

이 연구에서 3차원 경관도를 수치적으로 생성하기 위해서는 수치표고모형 자료가 필수적으로 요구된다. 또한 수치표고모형 자료의 정확도가 최종적인 3 차원 경관도의 정확도를 결정하므로 정확한 수치표고모형 자료의 취득이 이 연구에 있어서 매우 중요하다. 그러나 현재 우리나라에는 상용화된 수치표고모형이 없으므로 이 연구에서는 입체영상에서 직접 수치표고모형을 생성하였는 방법을 적용하였다.

수치영상으로 부터 수치표고모형 자료를 생성하는 과정에서는 영상정합에 의한 방법을 적용하였으며 영상정합으로 계산된 지상좌표들로 부터 수치표고모형 자료를 생성하기 위해 보간법을 적용하여 격자화시키는 방법을 이용하였다.

최종적으로는 수치영상과 수치표고모형 자료 사이의 기하학적 관계를 해석하고 이를 기초로하여 영상재배열을 수행하므로써 3차원 경관도를 수치적으로 제작하였다.

2. 대상지역 및 관측자료

이 연구에서는 TM 좌표상 X 방향으로 229500 m, Y 방향으로 179500 m 부근의 하천과 도로와 산악이 적절히 배치된 지역을 선정하여, 고도 약 1170 m 상에서 촬영된 입체항공사진을 자료로 이용하였다. 선정된 지역은 행정구역상 경남 밀양지역에 해당한다. 항공사진의 축척은 약 1/7,600이며, 초점거리는 153.40 mm이고 구경이 40 mm인 광각렌즈를 사용해 Wild사의 RC10 항공용 사진기로 촬영하였다.

항공사진에 촬영된 지역의 면적은 약 1.6 km × 1.6 km이고 좌우사진에 중복촬영된 지역 중 400 m × 400 m 크기의 표본지역을 이 연구의 대상지역으로 선정하였다. 이 연구에서 이용된 항공사진에서 선정된 대상지역의 형상과 TM좌표는 그림 2.1과 같다.



그림 2.1 대상지역의 항공사진

광속조정법에 의해 항공사진의 표정요소를 해석하기 위해서는 최소한 3개의 기준점이 필요하다. 항공사진의 지상기준점은 일반적으로 지상측량방법에 의하여 결정하며 이 연구에서도 삼각측량법을 적용하여 지상기준점(ground control point)에 대한 측량을 실시하여 좌표값을 취득하였다. 이에 따라 총 11개의 지상기준점(ground control point)이 선정되었다.

지상기준점은 일반적으로 영상에서 추출하기 용이하도록 도로굴곡부 정점, 산 정상부, 도로의 교차점 및 특징적인 형상 등으로 선정하였다.

사진측량에 있어서 광속조정법을 적용하기 위해서는 지상기준점에 해당하는 사진상의 좌표를 관측하여야 한다. 사진좌표는 렌즈의 중심을 수직으로 입사한 광선이 필름 상에 맺히는 점을 원점으로 하여 정의되며 측량용 사진기의 경우 지표(fiducial mark)에 대하여 사진좌표값이 검정되어 있으므로 이를 기준으로 하여 사진상의 각 점에 대한 사진좌표를 계산할 수 있다.

이 연구에서는 정밀좌표관측기 MK-2(Kern사)로 관측하여 얻은 기계좌표(comparator coordinate)를 부등각사상변환(affine transformation)하여 사진좌표로 변환하였다. 부등각사상변환의 6개의 매개변수는 사진상의 4개의 지표(fiducial mark)의 기계좌표와 검정된 사진좌표를 이용하여 계산하였다. 따라서 매개변수 결정의 자유도는 2가 된다.

3. 관측자료의 처리 및 해석

항공사진으로 부터 3차원 경관도를 제작하기 위해 이 연구에서 적용한 과정은 그림 3.1과 같다. 그림 3.1에 나타난 바와 같이 이 연구에서는 스캐너의 검정, 광속조정법, epipolar 기하상태의 형성, 수치영상정합, 수치표고모형 생성, 수치미분편위수정, 3차원 도화 등에 대한 처리가 필요하다.

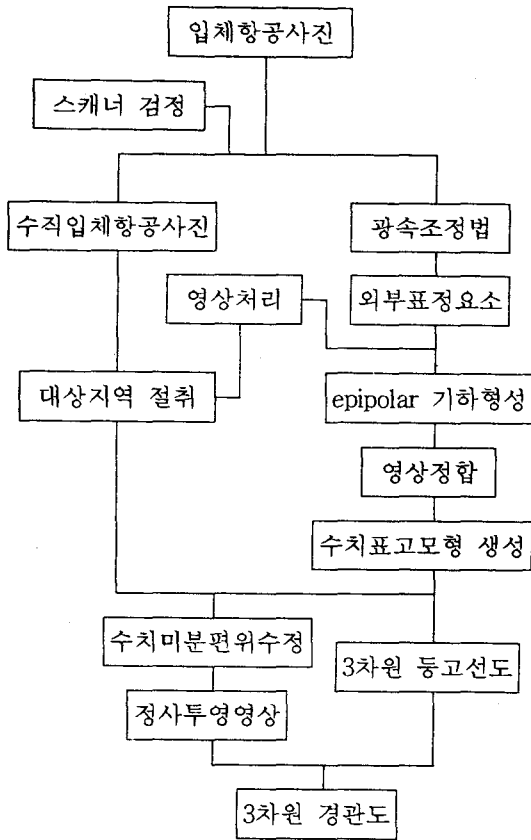


그림 3.1 항공사진으로 부터 3차원 경관도 생성과정

3.1 단사진에 대한 외부표정요소 결정

이 연구에서는 항공사진에 대해 간단하면서도 신속하게 외부표정요소를 결정하기 위하여 광속조정법에 의한 단사진의 후방교회해석 프로그램을 제작하여 입체사진의 각 외부표정요소를 결정하였다. 단사진의 후방교회해석 프로그램의 입력자료는 사진기 초점거리, 외부표정요소 초기값, 지상기준점의 3차원 좌표, 지상

기준점에 대한 사진좌표 등이고 기준점들의 공선조건에 대해 최소제곱법에 의해 외부표정요소를 조정 계산하였다¹³⁾.

3.2 항공사진의 수치화 및 스캐너 검정

항공사진을 수치영상으로 변환하는 데에는 스캐너가 이용되며 스캐너에는 드럼방식과 CCD 사진기방식이 있다. CCD 사진기에 의한 방식은 렌즈의 왜곡이나 사진기의 움직임 등에 의해 왜곡이 크므로 일반적으로 정밀한 스캐닝을 위해서는 드럼방식이 많이 이용된다. 또한 스캐너에 대한 검정도 CCD 사진기 방식의 경우는 공선조건식이나 이차원 투영변환식 등을 이용하여 검정을 수행하나 드럼방식의 경우는 이차원 부등각 사상변환이나 2차 또는 3차 다항식을 주로 이용한다¹⁴⁾.

이 연구에서는 드럼방식의 ANA Tech. Eagle Scanner(Intergraph사)를 이용하여 항공사진을 수치영상으로 변환시켰으며, 이때 이용한 software는 I/SCAN과 MGE IMAGER이다. 수치영상의 해상도는 400 DPI이며 10 " × 10 " 를 주사영역으로 설정하였으므로 각 사진의 라인 수와 영상소 수는 각각 4000 씩 된다.

총 256 가지 밝기값(gray value)으로 구분하여 수치화하였으므로 한 영상소는 1 byte의 기억용량을 차지하고 한 사진에 대한 전체 화일의 크기는 16 Mbyte 이다. 따라서 사진 2 장을 저장하기 위해서는 최소 32 Mbyte의 저장용량이 필요하다. 이때 1 영상소는 사진상 63.5 μm × 63.5 μm의 크기를 갖는다.

이 연구에서는 스캐너에 의한 왜곡을 검정하기 위해서 이차원부등각사상변환, 의사부등각사상변환, 평면투영방정식, 2차 다항식, 3차다항식을 적용하였으며, 매개변수를 결정하기 위해서 지상기준점의 사진좌표와 수치영상 상의 영상좌표를 관측값으로 이용하였다.

표 3.1은 스캐너 검정을 위해 좌우사진에 적용된 각 변환점정식의 평균제곱근오차(Root Mean Square Error:RMSE)를 나타내고 있다. 표 3.1에 의해 이 연구에서는 3차 다항식을 이용하여 스캐너 검정을 수행하였다. 이 연구에서 이용한 3차 다항식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 X &= a_1x^3 + b_1y^3 + c_1x^2y + d_1xy^2 + e_1x^2 + f_1y^2 + g_1xy + h_1x + i_1y + j_1 \\
 Y &= a_2x^3 + b_2y^3 + c_2x^2y + d_2xy^2 + e_2x^2 + f_2y^2 + g_2xy + h_2x + i_2y + j_2
 \end{aligned}
 \tag{3.1}$$

표 3.1 스캐너 검정을 위한 모형식들의 평균제곱근오차

검정모형식	좌측사진의 RMSE		우측사진의 RMSE	
	x (pixel)	y (pixel)	x (pixel)	y (pixel)
이차원 부등각 사상변환	0.43	0.66	0.44	0.53
의사부등각 사상변환	0.31	0.46	0.33	0.49
평면 투영방정식	0.21	0.24	0.21	0.25
2차 다항식	0.20	0.28	0.22	0.27
3차 다항식	0.17	0.19	0.16	0.21

3.3 Epipolar 영상 재배열

Epipolar 영상 재배열이란 두 영상의 기하학적 배열 상태를 동일하게 하는 것으로서 영상정합을 효율적으로 수행하기 위해 영상정합 전단계에서 이루어져야 한다. Epipolar 기하상태가 이루어지면 두 영상의 라인 성분이 동일하게 되므로 신속하게 공역점을 탐색할 수 있다¹⁰⁾.

스캐너에 의해 수치화된 영상을 epipolar 기하상태로 변환시키는 과정은 그림 3.2와 같은 변환을 수행하여 epipolar상의 좌표계를 결정하고, 수치영상과 epipolar 영상 사이의 변환관계를 이용하여 영상을 재배열(resampling)하였다. 이 연구에서의 영상 재배열은 공

일차보간법(bilinear interpolation)을 적용하여 수행하였다⁷⁾.

Epipolar 영상의 좌표계를 설정하기 위해서는 대상지역에 대하여 절취된 수치영상의 4개의 모서리점을 이용하여 변환을 수행하게 되는데, 우선은 가상의 epipolar 사진좌표로의 변환을 수행하고 좌우 epipolar 사진좌표계의 크기를 고려하여 이를 epipolar 상태의 영상좌표로 변환시킨다.

이 연구에서의 대상지역에 대하여 절취된 입체수치 영상은 좌우영상이 각각 1450 pixel × 1450 pixel의 크기를 가지며 그림 3.3과 같다. 그에 해당하는 epipolar 영상재배열 후의 epipolar 영상은 그림 3.4와 같으며 각각의 크기는 원래 영상과 동일한 1450 pixel × 1450 pixel이다.

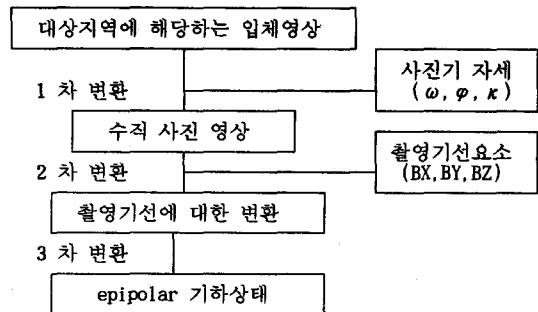


그림 3.2 수치영상좌표로부터 epipolar 영상좌표로의 변환



그림 3.3 스캐너에 의해 수치화된 대상지역의 입체수치영상



그림 3.4 대상지역의 epipolar 기하상태의 영상

3.4. 수치영상상관기법에 의한 영상정합

수치영상상관기법은 입체수치영상의 밝기값 분포를 비교하여 좌우영상의 공액점을 탐색하기 위한 것으로서 기준영역의 크기에 의해 영상정합의 정확도 및 속도가 좌우된다⁵⁾.

이 연구에서는 대상지역에 대한 epipolar 기하상태의 영상을 이용하여 영상정합을 실시하였으며, 이는 차후에 원영상의 영상좌표로 변환시키고 이를 다시 사진좌표로 역변환하는 과정을 거쳐 수치표고모형의 제작에 이용된다.

기준영역과 탐색영역의 크기를 결정하기 위한 예비 영상정합실험을 수행하고자, 이 연구에서는 좌측영상에 대해 200 pixel × 200 pixel 간격으로 기준점을 선정하고 이에 해당하는 우측영상에서의 공액점을 육안으로 판독하였다. 따라서 총 기준점의 수는 25점이 되고, 육안판독 시에는 ERDAS 사의 영상처리 패키지인 IMAGINE으로 영상을 확대하여 판독하였다.

영상정합의 속도 및 정확도를 향상시키기 위하여 이 연구에서는 횡방향에서의 정합대상점의 위치를 예측하기 위한 모형식을 3차 다항식으로 구성하여 설정하였다. 25개의 기준점 중 17개를 매개변수조정에 이용하고 8개의 점을 검사점으로 하여 3차 다항식을 적용한 결과 검사점의 잔차가 3.5 pixel 이하로 나타났으므로 안전율을 고려하여 횡방향의 탐색영역의 크기를 15로 결정하였다. 종방향서의 탐색영역의 크기는 정합할 영상이 epipolar 기하상태를 형성하고 있으므로 이론적으

로는 1 영상으로 하는 것이 가능하나 안전율을 고려하여 5로 하였다. 따라서 탐색영역의 크기는 15×5로 결정되었다.

기준영역의 크기는 3 pixel × 3 pixel에서 15 pixel × 15 pixel로 계속 증가시키며 실험을 해본 결과, 9 pixel × 9 pixel의 크기에서 상관계수가 가장 높았으므로 이를 기준영역의 크기로 결정하였다.

실제의 영상정합에 있어서는 10 pixel × 10 pixel의 간격으로 허용상관계수를 0.8 이상으로 하여 영상정합을 수행하였으며, 이에 대해 총 14,884개의 대상점 중 4,563점이 정합되었고 이때, 상관계수들의 평균값은 0.900037이었다.

3.5 수치표고모형

3.5.1 해석도화기를 이용한 수치표고모형의 생성

기존의 수치표고모형을 생성하기 위한 방법 중 가장 정확한 방법으로서 해석도화기를 이용한 방법이라고 할 수 있다. 이 연구에서는 수치표고모형을 영상정합에 의해 수치적 방법으로 생성한 이 연구의 결과를 비교 평가하기 위하여 해석도화기를 이용하여 수치표고모형을 생성하였다. 그러나 해석도화기는 고가의 장비일 뿐만 아니라 숙련된 기술자가 요구되므로 소요되는 비용이 크다.

해석도화기 P3를 이용하였으며 대상지역에 대하여 10 m × 10 m의 간격으로 표고를 추출하였다. 이 연

구에서 해석도화기에 의해 생성된 수치표고모형은 그림 3.5와 같다.

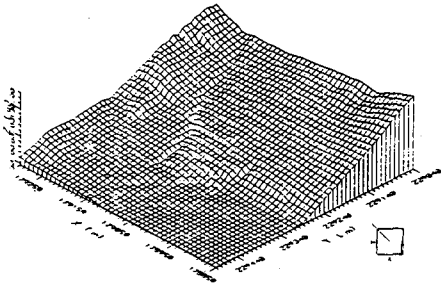


그림 3.5 해석도화기에 의해 생성된 수치표고모형

3.5.2 영상정합에 의한 수치표고모형의 생성

영상정합에 의해 epipolar 기하상태를 이룬 좌우영상의 공액점이 결정되면 이를 본래의 수치영상의 좌표로 역변환하고 다시 사진좌표로 역변환시킬 수 있다.

이 연구에서는 영상정합이 수행되어 좌우 공액점의 사진좌표가 결정되면 이에 대하여 벡터해석에 의한 선형해법으로 3 차원 지상좌표가 계산되도록 프로그램을 구성하였다. 이러한 방법에 의해 계산된 3 차원 지상좌표값은 대상지역에 대하여 무작위로 분포하게 되므로 격자형태 수치표고모형을 생성하기 위해서는 이들 계산된 결과를 이용하여 격자형태로의 보간을 실시하여야 한다. 본 연구에서는 KRIGING보간방법을 적용하고 Octant Searching 방법으로 보간을 실시하여 10 m×10 m 간격의 수치표고모형을 생성하였다. KRIGING 보간식은 식의 형태가 간단하며 수행속도가 빠르고 정확도가 양호한 것으로 알려져 있으며 다음과 같은 형태의 식으로 나타낼 수 있다.

$$Z = \sum_i \lambda_i Z_i(D_i), \quad \sum_i \lambda_i = 1 \quad (2)$$

여기서, Z_i 는 보간대상점의 표고, D_i 는 보간대상점간의 거리, λ_i 는 경중률이다.

보간을 통하여 격자형태의 수치표고모형을 생성한 이후에 수치표고모형 내에 존재하는 이상표고를 소거하므로써 수치표고모형의 정확도를 향상시킬 수 있다. 이상표고는 영상정합의 오차에 의하여 발생하는 것으로서 이에 대한 소거 방법은 아직까지는 정확히 규명되어있지 않다. 이 연구에서는 평균경사도의 개념을 도입하여 이상표고를 탐색 및 소거하기 위한 연구를 수행하였다. 즉 대상지 전체에 대해 각 격자점에서의 높이와 그 주변 8 개 격자점에서의 높이의 평균값과의 차를 계산하고 이를 평균하여 평균기울기로 가정한다. 그리고 그 평균기울기 값을 기준으로 한계값을 정하고 한계값 이상의 경사도를 갖는 격자점들을 탐색하여 이를 주변 격자점들의 평균값으로 대체하는 방법을 적용하였다.

이 연구에서 생성된 이상표고소거 후의 수치표고모형은 그림 3.6과 같다.

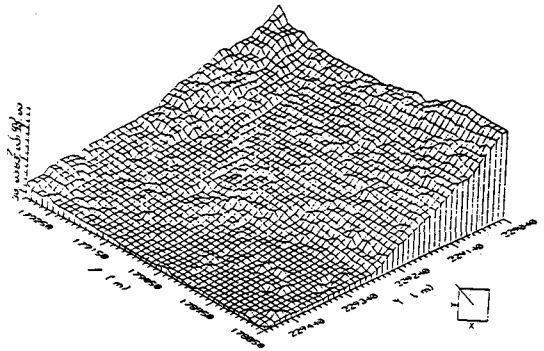


그림 3.6 대상지역에 대해 생성된 수치표고모형

3.5.3 수치표고모형의 정확도 분석

이 연구의 결과로 수치환경에 의해 생성된 수치표고모형이 정확도는 기존의 방법인 해석도화기에 의해 생성된 수치표고모형과의 비교를 통해 평가할 수 있다. 즉, 수치표고모형상의 각 격자점에서의 표고차에 대한 평균제곱근 오차를 계산하므로써 이 연구에 의해 생성된 수치표고모형의 정확도를 평가할 수 있다. 그 평가결과와 정확도의 향상에 대한 내용은 표 3.2와 같다. 표 3.2에 나타난 바와 같이 초기에 이상표고를 포함하고 있는 상태에서의 평균제곱근 오차는 4.9024 m이었

으며, 이상표고를 소거하기 위한 이 연구에서의 알고리즘을 적용한 결과, 평균제곱근오차 3.3455 m의 수치표고모형을 생성할 수 있었다.

이는 1:5,000 지형도의 주곡선 간격이 5 m임을 고려해 볼 때, 지형도상에서의 표고의 허용오차를 주곡선 거리의 반으로 가정하는 관계에 따라 허용오차 2.5 m 내의 오차를 만족시키지는 못하지만 그에 상응할 수 있다는 것을 보여준다. 따라서, 계속적인 연구가 수행된다면 1:5,000 지형도에 상응하는 수치표고모형을 컴퓨터를 이용하여 생성하는 것이 가능할 것으로 사료된다.

표 3.2 이 연구에 의해 생성된 수치표고모형의 정확도 및 정확도 향상

구 분	RMSE (m)	정확도 향상	비 고
이상표고 포함	4.9024	-	1:25,000 지형도에 상응
이상표고 소거 후	3.3455	31.75 %	1:5,000 지형도에 상응

3.6 수치정사투영영상의 생성

3차원 경관도의 제작에는 수치표고모형과 그 지역의 수치정사투영영상이 필요하다. 이 연구에서는 수치환경에 의해 생성된 수치표고모형을 자료로 하여 수치정사투영영상을 제작하였다. 이 연구에서의 수치정사투영영상은 그림 3.7과 같은 수치미분편위수정 과정을 통하여 제작되었다⁴⁾.

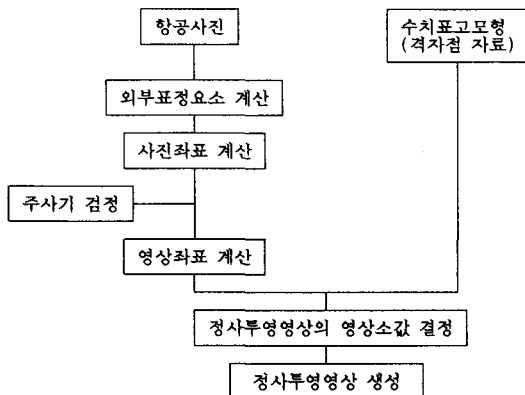


그림 3.7 수치미분편위수정 과정

생성된 정사투영은 대상지역의 크기가 450 m x 450 m로서 영상의 크기는 1126 pixel x 1126 pixel 이며 그림 3.8에 이 연구에 의해 제작된 수치정사투영영상이 나타나 있다.



그림 3.8 이 연구의 대상지역에 대한 수치정사투영영상

3.7 3차원 경관도의 제작

이 연구에서는 그림 7의 수치표고모형과 그림 9의 수치정사투영영상에 대하여 수치표고모형과 수치정사투영영상과의 각각의 위치관계에 따라 수치정사투영영상의 영상소들을 수치표고모형 상에 재배열하므로써 3차원 경관도를 수치적으로 제작하였다. 이 연구에서 제작한 3차원 경관도는 그림 3.9와 같으며 이는 관측방향이나 관측고도에 따른 다양한 시점(view points)에 의한 표현이 가능하다.

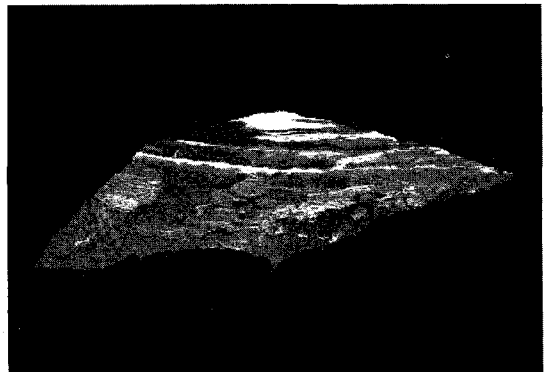


그림 3.9 이 연구에서 생성한 3차원 경관도

4. 결 론

이 연구에서는 입체항공사진을 스캐너에 의해 수치 영상으로 변환시키고, 사진의 외부표정요소를 결정한 후, 대상지역을 절출하여 대상지역에 대한 epipolar 기하상태의 영상을 생성하였다. 생성된 epipolar 영상에 대해서 영상정합을 수행하여 벡터해석에 의해 지상좌표를 계산하고 수치표고모형을 생성하였다. 수치표고모형과 원영상의 기하학적 관계를 이용하여 수치미분편위수정에 의해 정사투영영상을 생성하였으며, 생성된 정사투영영상으로 부터 3차원 경관도를 제작하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 영상정합의 효율성과 정확도를 높이기 위한 방법으로서 epipolar 영상재배열을 수행하였고 이에 따라 정합의 속도 및 정확도가 향상되었다. 또한, 영상정합을 위한 정합예측모형식을 평면좌표변환식에 의해 모형화함으로써 영상정합의 속도 및 정확도를 향상시킬 수 있었다.
- (2) 영상정합에 의해 수치표고모형을 제작함에 있어서 영상정합의 오차에 의해 발생된 이상표고를 소거하기 위하여 평균경사도의 개념을 도입한 결과 전체 수치표고모형의 정확도를 향상시킬 수 있었다.
- (3) 항공사진을 이용하여 수치환경에서 정사투영영상을 생성하는 방법을 확립하고 이를 적용하여 정사투영영상을 생성하였다.
- (4) 수치정사투영영상을 수치표고모형과의 기하학적 관계에 의해 영상재배열함으로써 지형공간정보체에 유용하게 이용될 수 있는 3차원 경관도를 제작할 수 있었다.

감사의 글

이 논문은 "1994 년도 연세대학교 학술연구비 지원 과제"에 의한 연구의 일부로 연세대학교에 깊이 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 유복모, 사진측정학, 문운당, 1991, pp3-5.
2. Schenk, T., *Digital Photogrammetry*, The Ohio State Univ. Lecture Note, 1990, pp.1-2.
3. Konecny, G., "Method and Possibilities for Digital Differential Rectification", *P.E. & R.S.*, Vol 45, No. 6, 1979, pp.727-734.
4. Wiesel, J., "Digital Image Processing for Orthophoto Generation", *Photogrammetria*, Vol. 40, No. 2, 1985, pp. 69-76.
5. Lemmens, M. J., "A Survey on Stereo Matching Techniques", *ISPRS Commission V*, Vol. 27, 1988, pp.11-23.
6. Greenfeld, J. S. and A. F. Schenk, "Experiments with Edge-Based Stereo Matching", *P.E. & R.S.*, Vol. 55, No. 12, 1989, pp.1771-1777.
7. Cho, W., T. Schenk, "Resampling Digital Imagery to Epipolar Geometry", *17th ISPRS Commission IV*, Washington, D.C., USA, 1992.
8. 국방과학연구소, 위성영상을 이용한 3차원 정사투영영상 생성법에 관한 연구, 1993.
9. Horton, J., "The PDS Differential Rectification : An Economic Approach to Digital Orthophotos", *Proceeding of American society of photogrammetry*, Fallm Convention, Albuquerque, NM, October, 1978.
10. Schenk, T., "Computation of Epipolar Geometry", *Technical Notes in Photogrammetry*, NO.5., The Ohio Stste UNIV., 1990.
11. Li, J., T. Schenk, "An accurate camera calibration for the aerial image analysis", *Proc. 10th International conference on Pattern recognition*, Vol 1., NJ, USA., 1990.
12. Hood, J., Champion, R., Lander, L., "Digital Rectification of Aerial Photographs", *ACSM/ASPRS*, Vol. 3, 1988, pp. 35-44.
13. Paul, R. Wolf, *Element of Photogrammetry*, MacGraw-Hill, 2nd Ed., 1983.
14. Francis H. Moffitt and Edward M. Mickhail, *Photogrammetry*, Happer and Row, New York,

- 3rd Ed., 1980, pp. 460-482.
15. Bake, A. E., "Determination of Optimum Sampling Interval in Grid Digital Elevation Model(DEM) Data Acquisition", *P.E. & R.S.*, 1987, Vol. 53, No.3, pp.323-330.
16. Keating, T. J. and P. R. Wole, "An Improved Method of Digital Image Correlation", *Presented at Annual Convention of the ASP, 1975*, pp.993-1002.