

# 數值寫眞測量技法에 의한 航空寫眞으로 부터 正射投影寫眞地圖의 製作

A Production of Orthophoto Map from Aerial Photos  
using Digital Photogrammetry Technique

유복모\*            이현직\*\*,            정수\*\*\*            조홍석\*\*\*\*  
Yeu, Bock-Mo      Lee, Hyun-Jik      Jeong, Soo          Jo, Hong-Sug

## 要 旨

일반적으로 지형정보는 지도에 의해 취득되어 왔다. 그러나 지도는 실제 지형상태를 등고선, 도형, 기호, 문자, 색 등에 의해 표시하고 있으므로 현장감이 부족하고 판독이 어렵다. 따라서 항공사진이나 지상사진을 이용하여 지형에 대한 분석을 수행하기도 한다. 그러나, 항공사진이나 지상사진의 경우는 촬영시의 사진기의 자세와 대상물의 기복에 따른 기하학적 왜곡을 포함하고 있으므로 정확한 위치를 결정하기가 곤란하다. 따라서 사진 상에서 정확한 위치를 파악할 수 있도록 하기 위해서는 편위수정기에 의해 제작된 정사투영사진지도가 이용되기도 한다. 편위수정기에 의한 정사투영사진지도의 제작은 매우 복잡하고 어려우며 필요한 자료를 신속하게 생성하기 곤란한 단점이 있어 널리 이용되지 못하였다.

본 연구에서는 전산기를 이용하여 수치사진측량기법에 의해 입체항공사진으로 부터 수치표고모형을 생성하고, 이를 이용하여 정사투영사진지도를 제작하는 방법을 연구하므로써 정사투영사진지도를 보다 정확하고 신속하게 제작하는 방법을 제시하고자 하였다.

## ABSTRACT

Most terrain information have been generally acquired by map. Because the map presents the real terrain, not by real figure but by contours, geometric figures, symbols, texts, and colors, it is not easy to interpret the real terrain by map. For this reason, aerial photos or terrestrial photos also have been used sometimes in the terrain analysis. But photos have geometrical displacement caused by the position of camera at the exposition time and the relief of the object. So, for accurate posional analysis, orthophoto maps produced by optical rectifier have been used. But, it is hard to produce orthophoto map by optical rectifier and the process is so slow.

This study aims to present an accurate and rapid method to produce orthophoto map by generating digital elevation model from stereo aerial photos on common computer using the digital photogrammetric technique and producing orthophoto map digitally using the digital elevation model.

\* 연세대학교 공과대학 토목공학과 교수

\*\* 연세대학교 산업기술연구소 선임연구원

\*\*\* 연세대학교 토목공학과 박사과정

\*\*\*\* 연세대학교 토목공학과 석사과정

# 1. 서 론

19세기 말 독일인의 Pulfrich에 의해 입체사진측량 이론이 제안된 이후, 사진측정학은 제 1 세대의 개척기(pioneering age), 제 2 세대의 기계적 사진측량(analog photogrammetry)시대, 제 3 세대의 해석사진측량(analytical photogrammetry)시대를 거쳐서 현재는 제4세대인 수치사진측량(digital photogrammetry) 시대에 돌입하고 있는 중이다.<sup>2)</sup>

사진측량 발달사의 제 4 세대인 수치사진측량은 전 산기 기술의 급격한 발전에 힘입어 그 가능성이 타진 되었으며, 현재 구미 선진국을 중심으로 이에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그러나 아직은 완전히 실용화되지는 못한 단계이며 지속적인 연구가 진행되고 있는 상태이다.

수치사진측량은 자료를 수치형태로 처리하여 사진측량을 실시하는 것으로서 컴퓨터의 처리용량과 속도가 매우 중요한 요소를 차지한다. 또한 통신망 기술이 발달하는 현대에 있어서 자료의 교환이 점점 편리해짐에 따라 그 효용성이 더욱 증대되고 있다.

정사투영영상은 해석사진측량기에 있어서는 제작과정의 복잡함과 활용의 불편에 의해 그 효용성에 비해 크게 각광을 받지 못하였다. 그러나 최근에 와서 수치사진측량에 대한 개념이 확립되고, 이에 대한 연구가 수행되면서 수치형태의 정사투영영상을 생성할 수 있게 됨에 따라 컴퓨터 내에서 다른 자료들과 쉽게 연계하여 활용할 수 있게 되었고, 자료의 교환 및 복사가 용이함에 따라 그 활용성이 증대되었다. 또한, 지형공간정보체계(Geo-Spatial Information System; GIS)에 있어서 각종 관측 및 분석에 활용되게 됨에 따라 이에 대한 수요가 급증하고 있다.

본 연구는 항공사진을 해석 및 처리하여 수치표고모형을 제작하고 이를 이용하여 엄밀법(rigorous method)에 의해 정사투영영상을 생성하기 위한 연구로서, 범용 컴퓨터 내에서 기존 항공장비를 이용하지 않고 항공사진으로 부터 정사투영영상을 생성하는 방법을 개발하는 것을 목적으로 한다.

# 2. 연구내용

입체항공사진을 이용하여 수치사진측량기법에 의해 정사투영사진지도를 제작하기 위해 본연구에서 처리한 과정은 그림 1과 같다.

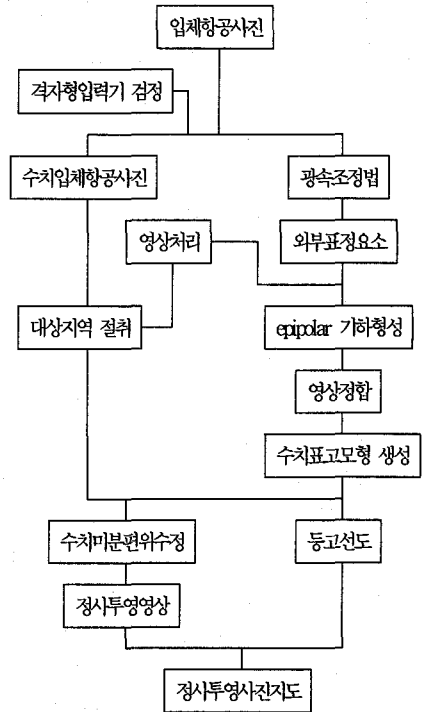


그림 1. 항공사진으로 부터 3 차원 경관도 생성 과정

따라서 그림 1에 나타난 바와 같이 격자형입력기의 검정, 광속조정법<sup>7)</sup>, epipolar기하상태의 형성<sup>2)</sup>, 수치영상정합(digital image matching)<sup>4)</sup>, 수치표고모형 생성<sup>3)</sup>, 수치미분편위수정(digital differential rectification)<sup>5)</sup> 등에 대한 이론이 정립되었으며, 관련 프로그램을 제작하였다.

## 2.1 영상재배열(resampling)

영상재배열은 수치영상의 기하학적 변환을 위해 수행된다. 이때, 원래의 수치영상과 변환된 수치영상 관계에 있어 영상소의 중심이 정확히 일치하지 않으므로 영상소는 일대일 대응관계로 재배열할 경우에는

영상의 왜곡이 발생하게 된다. 따라서 일반적인 방법에 있어서는 인접영상의 밝기값(gray level)들을 이용하여 보간에 의한 방법으로 영상을 재배열하게 된다. 이러한 보간방법으로는 최근린보간법(nearest-neighbor interpolation), 공일차 보간법(bilinear interpolation), 공이차보간법(bicubic interpolation) 등이 있다.

### 2.1.1 최근린보간법

최근린보간법은 입력 격자상에서 가장 가까운 영상소의 밝기값을 이용하여 출력격자로 변환시키는 방법이다. 최근린보간법의 과정은 다음과 같다.

$$G_o(m,n) = G_p(i,j) \quad (2.1)$$

$i = \text{nint}(x)$ ,  $j = \text{nint}(y)$ ,  $x = f_1(m,n)$ ,  $y = f_2(m,n)$   
 $f_1, f_2$  : 입력영상과 출력영상사이의 변환 함수  
 $x, y$  : 입력영상에서의 변환된 좌표를 나타내는 실수  
 $(m,n), (i,j)$  : 입력 및 출력 격자에서의 영상소 위치  
 $G_o(m,n)$  : 입력 격자에서  $(m,n)$  영상소의 밝기값  
 $G_p(i,j)$  : 출력 격자에서  $(i,j)$  영상소의 밝기값

최근린보간법은 다른 두가지 방법보다 빠르고 출력영상으로 밝기값을 정확히 변환시킨다는 장점이 있는 반면, 0.5 영상소 이상의 변위가 일어날 수 있고, 이로 인해 지표면에 대한 영상이 불연속적으로 나타날 수 있는 단점이 있다.

### 2.1.2 공일차보간법

공일차보간법은 선택된 점에 대해 가장 가까이 있는 4개 영상소의 평균값을 취하는 방법이다.

$$G_o(m,n) = (1-a)(1-b) G_p(i,j) + a(1-b) G_p(i+1,j) + b(1-a) G_p(i,j+1) + ab G_p(i+1,j+1) \quad (2.2)$$

공일차보간법은 출력 영상에서 나타나는 지표면이 불연속적으로 나타나는 것을 줄일 수 있다. 그러나, 이 과정은 원래의 밝기값을 변화시키는 smoothing 과

정에서 발생하는 영상 흐림을 유발할 가능성이 있다.

### 2.1.3 공이차보간법

공이차보간법은 각 결과 단위 부근의 16개 영상소를 영상소 값으로 변환하여 계산하는 방법이다. 최종 보간된 밝기값은 다음과 같이 계산된다.

$$G_o(m,n) = -b(1-b)^2 G_a(i,j-1) + (1-2b^2+b^3) G_a(i,j) + b(1+b-b^2) G_a(i,j+1) - b^2(1-b) G_a(i,j+2) \quad (2.3)$$

여기서,

$$G_a(m,k) = -a(1-a^2) G_p(j-1,k) + (1-2a^2+a^3) G_p(j,k) + a(1+a-a^2) G_p(j+1,k) - a^2(1-a) G_p(j+2,k) \quad (2.4)$$

공이차보간법은 최근린보간법에서 나타날 수 있는 지표면의 불연속표현을 줄일 수 있고, 공일차보간법보다도 더 양질의 영상을 제공한다. 그러나, 최근린보간법보다는 계산시간이 3 배이상 걸리고, 공일차보간법보다는 1.7 배이상 걸리는 단점이 있다.

## 2.2 수치 미분편위수정

수치미분편위수정(digital differential rectification)은 인공위성으로 수집되거나 항공사진을 주사하여 수집된 영상자료(raster data)와 수치표고모형자료를 이용하여 정사투영사진을 제작하는 방법으로 지상기준점(또는 수치표고모형 ; digital elevation model)의 자료가 입력용으로 사용되는 거의 구분에 의해 직접적 방법(direct method)과 간접적 방법으로 구분된다.<sup>8)</sup>

직접적 방법은 주로 인공위성 영상을 기하보정할 때 사용되는 방법으로 지상좌표를 알고 있는 현저한 지물의 영상좌표를 관측하여 식(2.5)에 의해 각 출력 영상소의 위치를 결정하는 방법이며, 영상소의 값과 위치를 결정하기 위해서는 영상재배열(resampling)을 거쳐야 하므로 비직결(off-line)방법이라고도 한다.

$$\begin{aligned} X &= F_1(X', Y') \\ Y &= F_2(X', Y') \end{aligned} \quad (2.5)$$

여기서, ( X', Y')는 출력영상의 좌표이며, ( X, Y )는 입력영상의 좌표이다.

간접적 방법은 지상기준점 좌표에 의해 출력영상소의 위치가 이미 결정되어 있으므로 입력 영상에서 관측된 좌표로 식(2.6)를 이용하여 출력 영상소 값을 구하기 위한 입력 영상소의 위치를 결정하는데 사용되므로 직결(on-line)방법이라고도 한다.

$$\begin{aligned} X' &= F_1( X, Y ) \\ Y' &= F_2( X, Y ) \end{aligned} \quad (2.6)$$

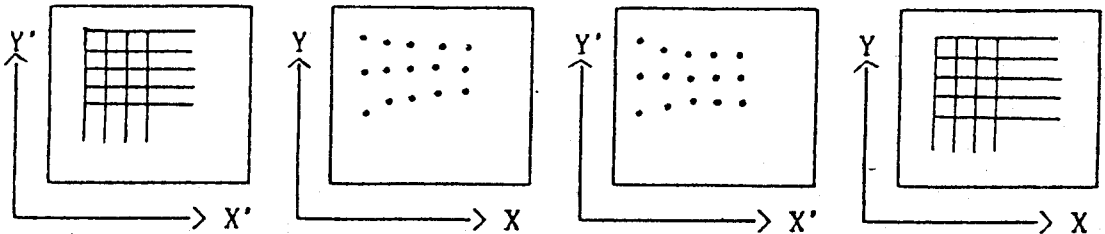
항공사진에서는 지형기복에 의한 변위가 기선고도비 (base/height ratio ; B/H)가 클에 따라 인공위성 영상보다 훨씬 심하게 생긴다. 따라서, 직접적 방법을 항공사진에 적용하기 위해서는 식(2.7), (2.8)의 방정식을

$$Y = (Z-Z_0) \frac{M_2(X-X_0) + M_2(Y-Y_0) - M_2C}{M_3(X-X_0) + M_3(Y-Y_0) - M_3C} + Y_0 \quad (2.8)$$

따라서, 항공사진을 이용한 수치 미분편위수정에는 주로 식 (2.9), (2.10)을 이용한 간접적 방법을 적용하며, 이에 사용될 격자 형태의 수치표고모형 자료의 간격은 1 차 다항식으로 중간 지점의 높이를 보간할 수 있을 정도로 조밀해야 한다.

$$X = -C \frac{M_1(X-X_0) + M_2(Y-Y_0) + M_3(Z-Z_0)}{M_1(X-X_0) + M_2(Y-Y_0) + M_3C(Z-Z_0)} + X_c \quad (2.9)$$

$$Y = -C \frac{M_2(X-X_0) + M_2(Y-Y_0) + M_3(Z-Z_0)}{M_1(X-X_0) + M_2(Y-Y_0) + M_3C(Z-Z_0)} + Y_c \quad (2.10)$$



입력영상 → 출력영상

(a) 직접적 방법

입력영상 ← 출력영상

(b) 간접적 방법

그림 2.1 수치미분편위수정 방법

적용하여야 하는데, 이에는 각 입력 영상소에 대한 높이가 필요하다. 그러나, 각 입력 영상소의 높이를 구하기란 거의 불가능하며, DEM data 로 계산하더라도 많은 시간과 자료저장 용량이 필요하다.

$$X = (Z-Z_0) \frac{M_1(X-X_0) + M_2(Y-Y_0) - M_1C}{M_3(X-X_0) + M_3(Y-Y_0) - M_3C} + X_0 \quad (2.7)$$

### 3. 사용자료 및 대상지역

본 연구에서는 TM 좌표상 X 방향으로 179400 m, Y 방향으로 229500 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 1/7,600 이며 초점거리는 153.40

mm 이고 구경이 40 mm 인 광각렌즈를 사용해 Wild 사의 RC10 항공용 사진기로 촬영하였다.

항공사진에 촬영된 지역의 면적은 약 1.6 km × 1.6 km이고 좌우사진의 중복촬영된 지역중 400 m × 400 m 크기의 표본지역을 본 연구의 대상지역으로 선정하였다.

항공사진의 지상기준점은 일반적으로 지상측량방법에 의하여 결정하며 본 연구에서도 삼각측량법을 적용하여 지상기준점(ground control point)에 대한 측량을 실시하여 좌표값을 취득하였다. 이에 따라 총 11 개의 지상기준점(ground control point)이 선정되었다.

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

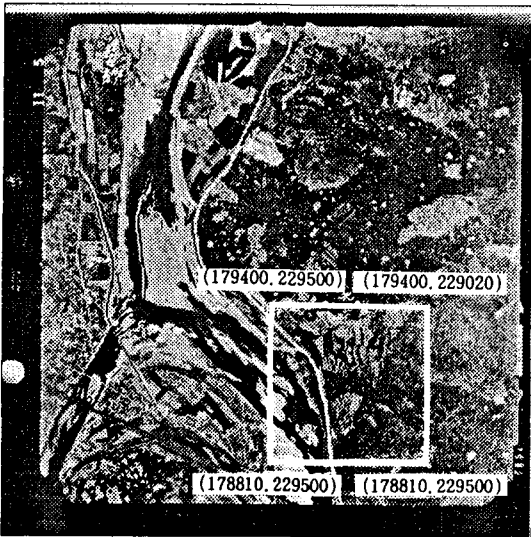


그림 3.1 대상지역의 항공사진

## 4. 관측자료의 처리 및 해석

### 4.1 외부표정요소의 결정

좌우 각 사진의 외부표정요소를 결정하기 위해 단

사진에 대한 후방교선법을 적용하므로써 표 1과 같은 결과를 얻었다.

표 4.1 좌우사진에 대한 단사진 후방교선해석 결과

사 진	$\omega(\text{rad})$	$\varphi(\text{rad})$	$\kappa(\text{rad})$	$X_0(\text{m})$	$Y_0(\text{m})$	$Z_0(\text{m})$
좌측사진	-0.018153	0.015649	1.506878	179403.12	229427.47	1174.77
우측사진	-0.012578	0.005513	1.568188	179358.85	228813.45	1174.12

### 4.2 항공사진의 수치화 및 스캐너(scanner) 검정

본 연구에 사용한 스캐너는 Intergraph사의 ANA Tech. Eagle Scanner로서 400 DPI의 해상도로 주사하였다. 이때 한 영상소의 크기는 사진 상에 있어 63.5  $\mu\text{m}$  × 63.5  $\mu\text{m}$ 에 해당한다. 한 영상소당 밝기값 분포는 256 단계에 해당하며 따라서 한 영상소당 1 byte의 용량을 차지한다. 스캐너에 의한 수치영상의 왜곡을 검정하기 위해 이차원 부등각 사상변환, 의사부등각 사상변환, 평면투영방정식, 2차 다항식, 3차 다항식 등을 적용한 결과 3차 다항식을 검정모형식으로 선택하였다.

### 4.3 Epipolar 영상재배열

수치영상으로 부터 공액점을 결정하기 위해서는 수치영상정합방법이 이용된다. 수치영상정합방법은 좌우영상의 밝기값의 분포를 비교하여 정합점을 결정하므로 좌우영상의 횡방향에 대한 배열요소가 가급적 동일한 분포를 이루는 것이 좋다. 따라서, 본 연구에서는 좌우영상에 대해 epipolar 기하상태를 형성하기 위한 영상정합을 수행하였다. Epipolar 기하상태의 형성방법은 좌우사진의 외부표정요소를 이용하여 수직영상 상태로 영상재배열을 실시하고 각 영상의 네 모서리를 동일한 좌표계로 일치시키는 과정을 수행하므로써 이루어졌다.

본 연구에 사용된 입체영상에 대한 epipolar 기하상태의 영상은 그림 4.1과 같다.

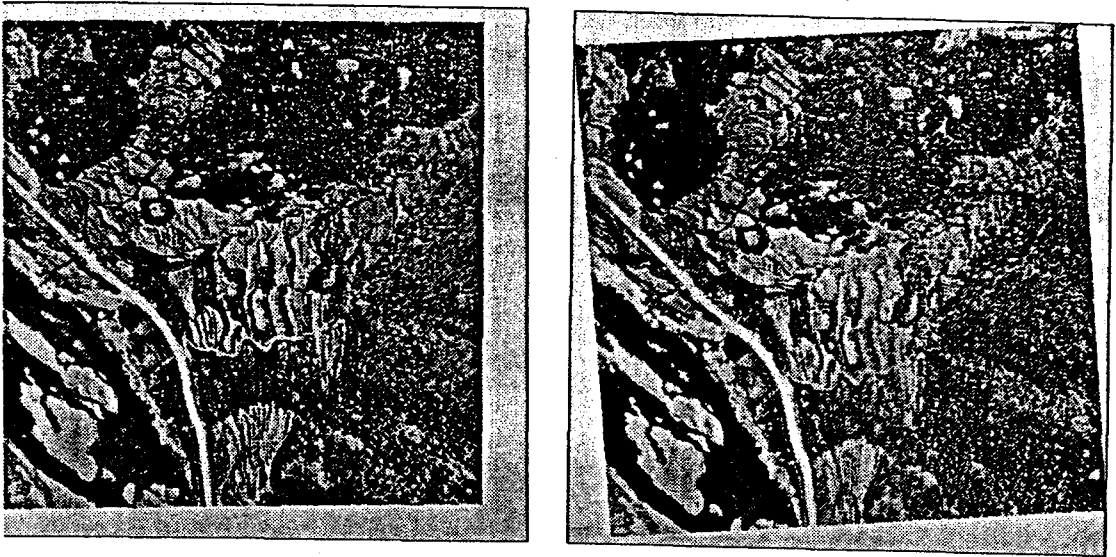


그림 4.1 좌우 입체영상에 대한 epipolar 기하 형성

#### 4.4 수치영상정합

수치영상정합은 영역을 기반으로 하는 수치영상상관기법을 적용하여 수행하였다. 영상정합의 효율성을 향상시키기 위하여 본 연구에서는 좌측영상에 대한 우측영상의 공액점의 위치를 예측하기 위해 3차 다항식을 적용하는 방법을 적용하였다. 영상정합을 수행하기 전 예비 실험을 수행하여 기준영역의 크기는 9 pixel x 9 pixel로 결정하였으며, 탐색영역의 크기는 15 pixel x 15 pixel로 하였다. 상관계수의 허용값을 0.8로 정하였으며 자료의 양을 고려하여 좌측영상에 대해 상하좌우로 10 pixel씩의 간격을 두고 영상정합을 수행하였다. 그 결과 총 14,884 개의 대상점 중 4,563 점이 영상정합되었다.

#### 4.5 수치표고모형의 생성

영상정합된 공액점들에 대해 공간교선이론에 따라 벡터해석을 수행하므로써 지상좌표를 계산하고 이를 보간하여 격자형의 수치표고모형을 생성하였다. 이때 보간방법은 Kriging 보간법을 적용하였다. 이렇게 구한 수치표고모형에 대해 영상정합의 오차로 발생된 이상표고를 소거하고자 평균경사도 개념을 도입하여 이상표고를 제거하는 과정을 적용하였다. 그 결과를 해석도화기에 의해 취득한 수치표고모형과 비교한 결과, 이상표고를 소거하기 전에는 4.90 m의 평균계급근 오차를 나타내었으며, 이상표고의 소거 후에는 3.35 m의 평균계급근 오차를 나타내었다. 이는 1:5,000 지도상의 등고선 간격이 5 m 임을 고려해 볼 때 그에 상응하는 정확도를 나타낸다고 평가할 수 있다. 본 연구에서 해석도화기를 이용하여 생성한 수치표고모형과 영상정합에 의해 생성한 수치표고모형은 그림 4.2와 그림 4.3에 나타나 있다.

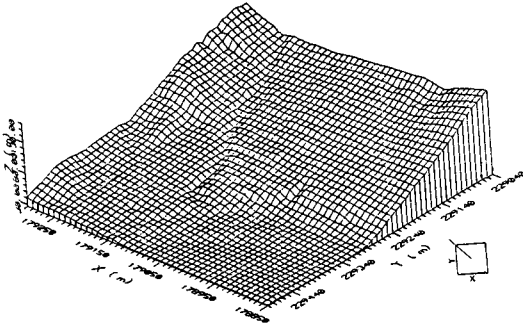


그림 4.2 해석도화기에 의한 수치표고모형

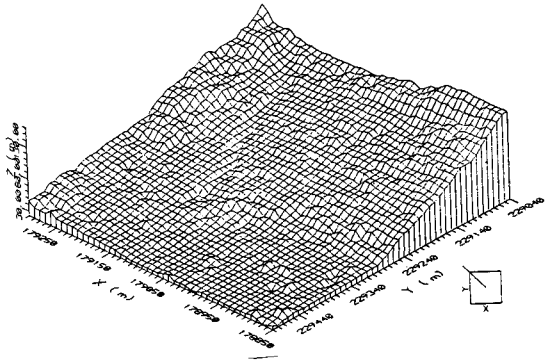


그림 4.3 영상정합에 의한 수치표고모형

#### 4.6 정사투영사진지도의 제작

수치표고모형과 해당지역에 대해 절취된 영상을 이용하여 수치미분편위수정법을 적용한 결과 정사투영 영상을 생성할 수 있었다. 수치미분편위수정법은 수치표고모형과 원영상 간의 기하학적 관계를 이용하여

수치표고모형을 기준으로 하여 영상을 재배열하는 것이다. 이렇게 생성된 정사투영영상에 수치표고모형으로부터 생성된 등고선도와 기준좌표값들을 중첩시키므로서 정사투영사진지도를 제작할 수 있다. 본 연구에서 제작된 정사투영사진지도는 그림 4.4와 같다.



그림 4.4 본 연구에서 제작한 정사투영사진지도

## 5. 결 론

본 연구에서는 수치사진측량기법을 이용하여 항공 사진으로 부터 수치표고모형을 생성하는 방법을 개발 하였으며 이를 이용하여 정사투영사진지도를 제작하는 과정을 연구하였다. 그 결과 기존의 항측장비를 이용하지 않고서도 입체항공사진으로 부터 정사투영상을 생성할 수 있는 방법을 제시하였으며 그 정확도는 수치표고모형의 정확도를 기준으로 하여 축척 1:5,000의 지형도에 상응하는 것으로 평가된다.

향후 이를 실용화시키기 위해서는 정확도 및 수행 속도의 향상에 대한 지속적인 연구가 요망된다.

## 참고문헌

1. 유복모, 사진측정학, 문운당, 1991.
2. Schenk, T., Digital Photogrammetry, The Ohio State Univ. Lecture Note, 1990.

3. Day, T. and J. P. Muller, "Quality Assessment of Digital Elevation Models Produced by Automatic Stereo Matchers from SPOT Image Pairs", ISPRS, Vol. 27, Part B3, 1988. pp. 148-159.
4. 국방과학연구소, 위성영상을 이용한 3 차원 정사투영영상 생성법에 관한 연구, 1993.
5. Konecny, G., "Method and Possibilities for Digital Differential Rectification", P.E. & R.S., Vol 45, No. 6, 1979, pp.727-734.
6. Wiesel,J., "Digital Image Processing for Orthophoto Generation", Photogrammetria, Vol. 40, No. 2, 1985.
7. Chester C Slama, C. Theurer, S. W. Henkixsen, Manual of Photogrammetry, American Society of Photogrammetry, 1980
8. Hood, J., Champion, R., Lander, L., "Digital Rectification of Aerial Photographs", ACSM/ASPRS, Vol. 3, 1988, pp. 35-44.