

# SPOT 입체영상을 이용한 자동 수치표고모형의 생성과 평가

Generation and Evaluation of DEM Automatically using SPOT Stereo Image

연상호\*, 이진덕\*\*

세명대학교 건설공학부\*, 국립금오공과대학교\*\*

Yeon sang-ho\*, Lee young-wook\*\*

Professor, Division of Construction Eng.

Semyung Univ.\*,

Professor, Dept of Civil and Environment

Eng., Kumho Ntional Univ.\*\*

## 요약

우리가 살아가는 3차원 이상의 지형공간을 영상으로 구형하기 위하여 필수적으로 요구되는 DEM을 비교적 손쉽게 확보할 수 있는 SPOT 영상을 이용하여 자동으로 생성할 수 있는 방법을 제시하고 에 피폴라 투영법에 의한 결과영상의 평가를 통하여 몇 가지 좋은 방법을 제안하고자 한다. 현재 보유하고 우리나라 춘천시의 SPOT 위성 팬크로 영상과 수치지도의 DEM영상과의 생성결과를 비교 평가하였다.

SPOT2-3호(10m)에서 수집한 중복영상에서 자동으로 수치표고모형을 작성함으로써 다양한 영상정보의 활용이 가능해 따라 입체영상지도제작 및 분석이 가능해지고 있다. 본 연구에서는 SPOT 60km의 춘천지역을 대상으로 한눈에 영상과 영상을 재현할 수 있도록 고해상도의 인공위성 영상자료를 처리하여 영상지도를 제작하기 위한 수치표고모형을 자동으로 추출할 수 있도록 하였다.

## I. 서 론

### 1. 연구배경

원격탐사란 지상이나 항공기 및 인공위성 등의 탑재기(platform)에 설치된 센서를 이용하여 지하, 지상, 대기권 및 우주공간의 대상물에서 반사 혹은 방사되는 전자파를 탐지하고, 이들 자료로부터 얻은 정보를 해석하는 기법을 말한다.

유럽에서도 프랑스를 중심으로 여러 국가가 협력하여 SPOT위성을 발사하여 활용 중에 있으며 현재까지 3개의 위성을 발사하여 활동 중에 있다. 특히 최근에는 IKONOS와 같은 고해상도의 위성자료가 일반에게 공개되고 있어 이의 활용은 국가적으로도 매우 유용한 것으로 판단되고 있다. 위성자료를 이용하여

지도를 작성하거나 수정하는 기술의 일부는 공개되어 있고 그 소프트웨어가 일부 상품화되어 있으며, 일반적으로 수치 모델(DSM : Digital Surface Model)의 형태, 또는 이것을 지형의 특성으로 국한한 수치지형 모델(DEM : Digital Elevation Model)의 형태로 되어 있다. 그러나 이에 관한 일련의 작업이 매우 복잡하고 사람과 컴퓨터가 같이 작업을 해야 하는 등의 많은 연구의 여지를 남겨놓고 있다. 수치지형표고 모델은 무인 비행체의 지형추적 항법장치, 국토개발, 환경관리 등의 많은 분야에서 활용될 수 있으며, 기타의 여러 가지 목적으로 활용도가 높다고 할 수 있다.

본 연구에서는 고해상도 입체영상의 구입이 어려워 광학적 영상의 입체영상 도입이 가능한 SPOT위성

영상을 이용하여 정확한 3차원 위성영상 지도제작을 위한 위성영상의 처리에 관한 사항을 중심으로 다루었다.

## 2. DEM 생성의 원리

지형공간상의 연속적인 기복변화를 수치적으로 표현한 모형을 DEM 이라고 하며, 일정간격으로 지형 고도를 수치화한 모형으로 주로 고도에 대한 정보만을 다루는 것을 가리킨다. 원래 지형의 기복을 모형화하기 위해 개발되었지만 현재는 지형기복 뿐만 아니라 다른 연속적인 속성변화를 나타내는 것으로도 널리 사용되고 있다. 일반적인 DEM 구축과정은 항공사진이나, 수치지도, 원격탐사영상으로부터 추출점에 대한 x, y, z (위도, 경도, 고도)의 3차원 좌표가 입력되면 이를 통일된 기준 좌표계로 변환하여 미리 규정한 지점의 고도를 자료 추출점의 위치로부터 보간법으로 구하여 수치표고를 생성한다. 정규격자망은, 삼차원 좌표 데이터를 TIN(Triangular Irregular Network)으로 만든 후, TIN으로부터 격자망의 간격이 20m가 되도록 표고를 추출하여 구성할 수 있다. 이러한 수치표고모델은 정규격자망 데이터를 영상처리 소프트웨어를 이용하여 영상 데이터의 형태인 2진 파일(Binary file)의 형태로 변환하여 제작되었다.

최근에는 국립지리원에서 제작한 수치지도의 등고선 파일을 이용하여 TIN을 형성할 수 있으며 여기서 얻은 DEM 값을 영상과 연결하여 3차원 영상을 만들 수 있다.

본 연구에서는 인공위성에서 획득한 좌우 입체영상을 이용하여 자동으로 DEM을 추출할 수 있는 기법을 개발하여 3차원 영상을 제작할 수 있도록 하는 것을 중심으로 하여 그 결과를 얻었다. 이 방법은 지도에 의한 표현방법이라 할 수 있으며, 그 중 지형도가 지상의 지형지물을 표시하는 대표적인 방법으로서 주로 이용되고 있다. 그러나, 지형도만으로 그 지역의 형상에 대한 현장감이나 입체감을 느끼기란 매우 어렵기 때문에 이를 보완하기 위한 수단으로서 정사투

영 영상(영상)이 이용된다.

## II. 연구내용 및 범위

지표면의 정보를 표현하는 가장 일반적인

일반적으로 영상은 카메라 렌즈의 중심으로 투영되어 얻어지기 때문에 지형의 기복에 따른 변위가 포함되어 있으며, 촬영당시의 카메라 자세에 의한 피사체의 왜곡이 존재하게 된다. 또한 인공위성에 탑재되는 센서의 공간해상력이 갈수록 좋아져서, 이미 프랑스에서 쏘아올린 SPOT위성은 공간해상력이 10m까지 향상되었으며 센서의 관측 각을 조정하여 중복된 입체영상을 얻을 수 있게 되었다.

따라서 컴퓨터를 이용하여 인공위성 데이터로부터 표고추출 및 이에 의한 등고선 작성 가능성이 커졌으므로 인공위성 데이터를 이용하여 정사투영영상지도를 제작하게 될 경우 시간과 비용을 절감 할 수 있을 것이다.

따라서, 본 연구에서는 SPOT 위성의 HRV 센서에 의해 취득된 수치데이터를 이용하여 정사투영영상을 제작하는 기본과정과 관련프로그램을 개발하고자 검토되었다. 즉 SPOT 위성영상을 이용한 정사투영영상생성과 DEM의 자동추출에 의한 3차원 입체영상을 제작하여 분석하는 제반 방법을 비교검토하여 최적의 방법과 분석방안을 제시하는 것으로 하였다.

구체적으로는 SPOT 위성 데이터를 이용한 수치표고모델 제작의 기술개발을 수행하고, 이후 이때 생성된 DEM을 이용하여 정사투영영상을 생성하는 알고리즘을 개발하며, 시범적용을 통하여 그 타당성을 검증해 보았다.

## III. 연구방법

### 1. 편위 수정

연구방법은 사용데이터의 분석에 의한 수치적 미분

편위수정과 의하여 정확한 위치의 영상지도가 될 수 있도록 하였다. 본 연구에서는 정사투영영상 제작을 위해, 화상 데이터 수집 당시 SPOT 위성 위치와 자세를 나타내는 외부표정요소 함수를 입력값으로 사용하였으며 제작된 정사투영영상의 정확도 평가를 위해서 6,000화소×6,000화소의 전체 화상에서 현저한 점 20개의 동일 좌표를 찾아 지형도에서 확인 후 검사점 자료로 활용하였다.

본 연구에서 사용된 SPOT 화상은 전처리 수준 level 1A인 CCT 수치 데이터로서, 1995년 3월 28일에 관측 수집된 입체화상이다. 입체화상에서 구한 외부표정요소 함수를 미분 편위수정에서의 입력 값으로 활용하였으며, 우측영상을 미분 편위 수정의 입력 영상으로 사용하여 정사투영영상을 제작하였다.

## 2. 외부표정요소확인

SPOT 영상은 투영중심과 위성의 자세가 계속해서 변화하기 때문에, 항공영상과는 달리 지상좌표의 이동에 따라 외부표정요소가 변화하게 된다. 그런데, 외부표정요소 뿐만 아니라 외부표정요소의 입력값인 라인값도 지상좌표에 따라 변화하므로, 지상좌표만으로 그에 대응하는 영상좌표(라인값)와 외부표정요소를 동시에 구할 수는 없다. 따라서, 먼저 지상좌표로부터 영상좌표(라인)의 초기값을 설정하고, 그 라인값으로부터 외부표정요소를 산출한 후, 공선조건식으로부터 영상좌표를 다시 계산하여, 앞에서 설정된 영상좌표와의 차이를 비교하는 반복계산이 필요하다.

라인값의 초기값 설정에는 지상좌표와 영상좌표의 관계를 2차원적으로 고려하는 Affine변환식을 사용하였으며, 전체 영상으로부터 추출한 8개의 지상기준점을 입력값으로하여 최소제곱법에 의해 Affine변환식의 계수를 결정하였다 사용된 지상기준점의 좌표는 표들과 같으며, Affine변환식은 다음식과 같다.

$$L = 37927.10537 - 0.01388x - 0.09936y$$

외부표정요소가 결정되면, 외부표정요소 함수에 의해 지상좌표에 대응하는 영상좌표가 결정된다. 결정

된 영상좌표에 대응하는 화소 값을 산출하여 이 값을 수치표고모델의 대응위치에 기록하면 정사투영영상이 제작된다.

## 3. 화소 값 결정

본 연구에서는 원 SPOT 영상으로부터 정사투영영상의 화소 값을 추출하는 방법으로 최근린 내삽법과 이진내삽법을 사용하였다.

1:5,000 지형도를 좌표축척 하여 만들어진 등고선도를 원영상과 각각의 경우에 대하여 제작된 정사투영영상에 중첩해 봄으로써, 제작된 정사투영영상의 정확도를 시각적으로 점검하였다. 시각적인 점검 결과, 제작된 정사투영영상이 원 영상에 비해 등고선과 더욱 잘 일치함을 확인할 수 있었다. 특히, 원 영상에서는 능선 부근의 지형에서 좌측으로 상당한 정도의 변위가 발생했음을 확인할 수 있으나, 정사투영영상에서는 그와 같은 변위가 거의 사라졌음을 확인할 수 있었다.

## 4. 정확도 평가

일반적으로, 제작된 정사투영영상의 정확도는 현저한 대상물을 검사점으로 하여 이들의 평균제곱근오차를 구하여 평가한다. 이 과정은 먼저 현저한 지형지물의 영상좌표와 지상좌표를 관측하여, 두 좌표들 간의 관계식을 만들어, 이 관계식을 사용하여 영상좌표들로부터 지상좌표를 계산한다. 그리고, 계산된 지상좌표와 관측된 지상좌표를 비교하여 전체 검사점에 대한 평균제곱근오차를 구한다. 그러나 본 연구에서는 수치표고모델의 제약에 따라, 연구대상지역을 60km×60km의 산악지역으로 제한하였기 때문에, 검사점으로 사용할 수 있는 현저한 지형지물의 수가 제작된 정사투영영상의 정확도를 평가하기에 충분하지 못했다. 따라서, 기계작된 정사투영영상의 정확도를 평가하는데 대신하여, 정사투영영상 제작에 사용된 알고리즘의 정확도를 평가함으로써 본 연구의 전체적인 결과를 평가하였다. 전체 영상으로부터 추출한

20개의 검사점 좌표를 기준점과 매칭점으로 설정하였다. 정확도의 평가는 본 연구에서 사용된 미분편위 수정 알고리즘을 이용하여 회부표정요소의 각 경우에 대하여 검사점의 영상좌표를 계산한 후, 계산된 영상좌표와 관측된 영상좌표를 비교하여 평균제곱근오차(RMSE)를 계산함으로써 이루어졌다. NATO A급 지도의 정확도 표준은 현저한 대상 지형지물의 90%이상이 지도 축척에서 참위치(True Position)의 0.5mm이내에 그려져야 한다고 규정된다. 이와 같은 정확도는 미국무성의 국가지도정확도표준과 캐나다의 A급 지도 등에도 채용되고 있다. 정확도 평가를 위해 선정된 조사점의 오차가 가우스 분포를 따른다고 가정하면, 이와 같은 정확도는 평균제곱근오차로 환산할 때, 1:50,000 지도에서는 지상거리 16.5m가 되고, 1:25,000지도에서는 지상거리 8.2m가 되는 것으로 발표된바 있다.

본 연구의 결과는 각각의 경우에 대해 약간씩 차이가 나기는 하지만, 모든 경우에 대해 1:50,000 지형도의 소요 정확도를 충족시키는 수준이다. 영상좌표의 관측 시에 포함되는 관측오차를 고려하더라도, 본 연구에서 사용된 미분 편위수정 알고리즘은 1:50,000 축척의 영상지도 제작에 충분한 정확도를 지니고 있다고 할 수 있다. 정사투영영상의 정확도는 입력 값인 외부표정요소와 수치표고모델의 정확도에 따라 크게 좌우된다. 그러므로, 대축척 지도의 정확도를 만족시키는 정사투영영상을 제작하기 위해서는 원영상의 해상력(화소 크기)과 입력 값의 정확도를 개선해야 할 것이다. 본 연구에서는 매우 한정된 지역을 대상으로 하여 1매의 정사투영영상을 제작하였으나 정사투영영상을 실제적으로 이용하기 위해서는 인접정사투영영상을 접합해야 하는데, 이 때 다른 시기에 상이한 방법에 의해 수집된 자료는 영상 간에 방사적 특성이 불일치하게 된다. 이러한 문제를 해결하여 현재 사용되고 있는 지형도의 크기와 일치하는 정사투영영상 지도를 제작하는 방안에 관한 연구도 계속되어야 할 것이다.

## IV. DEM 추출 및 생성실험

### 1. 자료수집 및 대상지역 분석

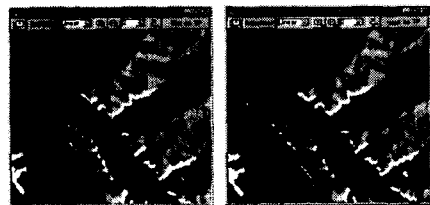
Set Projection 단계가 끝나면 메뉴서 Save를 선택해 프로젝트를 저장한다. 항상 각 단계마다 Save를 선택해 프로젝트를 저장하고, Project 단계에서 생성한 춘천Ortho.prj 파일을 사용해 모든 작업을 진행하였다.

### 2. 입체시의 GCP 및 동일점 수집

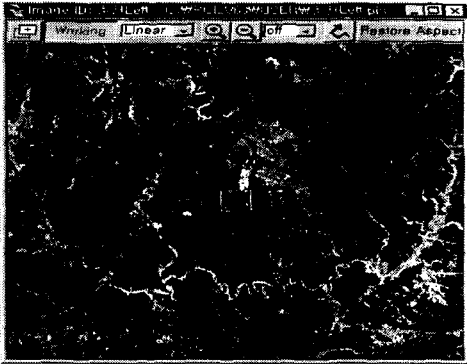
#### 2.1. Tie Point 수집하기

Tie Point는 둘 이상의 영상에서 동일한 좌표를 가지는 지점이다.

아래의 사진은 춘천 Left.pix에서 TP로 선정할 지점의 모습이다. 마우스 표시가 붉은 십자자로 표시되고 있다. 춘천 Right.pix 영상의 모습이다. 춘천 Left.pix 영상과 동일한 지점으로 마우스를 이동한후 충분히 확대해, 일치한다고 생각되는 위치에 십자가 표시를 하고 영상이 작동 상태로 변하면서 Tie Point Collection 패널의 Working Image Tie Points 부분에 춘천 Right.pix 영상의 이름과 좌표가 추가한다. 그리고 나면 새로운 Tie Point가 추가되면서 Tie Point ID가 28로 바뀌게 된다.



▶▶ 사진 1 Tie Point 28 선정



▶▶ 사진 2 춘천시시의 선정된 GCP

## 2.2. 지형도를 이용해 GCP 수집하기

춘천시 지역에 대한 1:50,000 지형도와 춘천 Left.pix 영상을 비교해 GCP(지상기준점)을 수집하였다. 춘천Left.pix에 대한 GCP 수집을 모두 끝마치면 춘천Right.pix에 대해서 같은 위치에 GCP를 설정해 DEM 자동 생성에 꼭 필요한 Stereo GCP를 만들어야 한다.

이번 연구에서는 국립지리원에서 제작한 1:50,000 지형도를 참고하여 GCP를 수집하고, 이때 GCP로 선정하기 좋은 위치는 지형도와 비교해 쉽게 위치를 구분할 수 있는 지점으로 하였다. 우선 춘천Left.pix 영상에서 한 지점을 선택한다.

그 다음은 영상에서 선택한 GCP의 위치를 1:50,000 지형도에서 읽어들여 그 지점의 위도, 경도, 고도 값을 입력한다. 1:50,000 지형도의 등고선 간격은 주곡선이 20m, 간곡선이 10m이다. 지형도에서 값을 읽어들여 GCP Collection 패널의 Georeferenced Position 부분에 입력한 후 승인버튼을 누르면 ID 번호가 G0003인 GCP가 Accepted Points 부분에 추가되면서 세 번째 GCP가 수집되게 된다. 이 때 Point ID가 G0004로 바뀌면서 다음 GCP 선택을 기다리게 된다. 작업을 끝냈으면 OrthoEngine SE\_RE 주 패널의 File 메뉴에서 Save를 선택해 프로젝트 파일을 저장한다. 만약 저장을 하지 않고 작업을 끝내면 수집된 GCP 정보가 모두 사라져버리게 되므로 주의한

다. 이와 같은 방법으로 춘천 Left.pix 영상에 대해 GCP를 20개 수집하였다.

## 2.3 번들 조정

두 영상에 대한 입체 GCP를 모두 수집한 후에 번들 조정 계산을 실시하였다.

번들 조정은 모든 프로젝트 영상의 외부 표정 계산을 수행하는데 이용되는 방법으로서, 이 단계를 실행하기 전에, 적어도 1개 이상의 GCP가 입력되어야 하며, 만약 1개의 GCP만 수집되었다면 프로젝트 축척이 주어진다. GCP 1개는 수학적으로 최소의 필요조건일 뿐이며, 보다 정확한 결과를 얻으려면 보다 많은 GCP를 수집해야 한다.

번들조정 계산이 이루어지면 GCP수집에 의한 계산후의 RMS 부분이 어떤 값으로 표시된다. RMSE(Root Mean Square Error)는 사용자가 영상 위에서 수집한 GCP의 위치와 계산된 위치와의 오차를 보여주는 값이다. RMSE 값이 작을수록 정확하다는 의미이며, 이 GCP 수정을 끝내고 동일점에 대한 RMS를 같은 방법으로 수정하게 된다.

다음은 두 영상에 대한 GCP와 TP의 RMS 오차의 내용이다.

### GCP Residual Error Report

Residual Units: Image Pixels

Residual Info for 2 Images

GCPs: 40 X RMS=0.26, Y RMS=0.26

Check Points : 0 X RMS Y RMS

Tie Points : 28 X RMS=0.05, Y RMS=0.32

## V. 입체영상을 이용한 자동 DEM 생성

### 1. 에피폴라 영상생성

입체영상을 이용해 자동으로 DEM을 생성하는 첫 번째 과정은 에피폴라 영상을 만드는 것이다. DEM From Stereo Processing Step 단계의 첫 번째 아이

콘을 눌러 Create 에피폴라 Image 패널을 열고, 에피폴라 영상 생성이 끝났으면 프로젝트를 저장한 다음 실제 DEM 생성하게 된다.

## 2. Automatic DEM extraction methods

자동 DEM Extraction 패널을 이용하여 Stereo Pair Selection 부분을 보면 앞부분에서 생성된 에피폴라 영상이 등록돼 있는 것을 볼 수 있다. 자동 DEM 추출패널의 매개변수를 다음과 같이 설정하고 DEM 실행버튼을 눌러 DEM을 생성한다.

Minimum Elevation : -10  
 Maximum Elevation : 1500  
 Failure Value : -100  
 Background Value : -150  
 DEM Resolution: Full DEM  
 Detail :High

최소, 최대 고도는 지형도에서 조사해 설정한 후에 정사보정할 영상을 이용하여, 춘천 Left.pix에 대해서는,

Upper Left Corner X : 2400,  
 Upper Left Corner Y : 800  
 X Size : 3200, Y Size : 3200

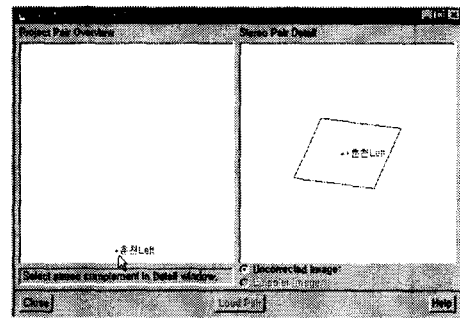
춘천Right.pix에 대해서는,

Upper Left Corner X : 2000,  
 Upper Left Corner Y : 900  
 X Size : 3200, Y Size : 3200

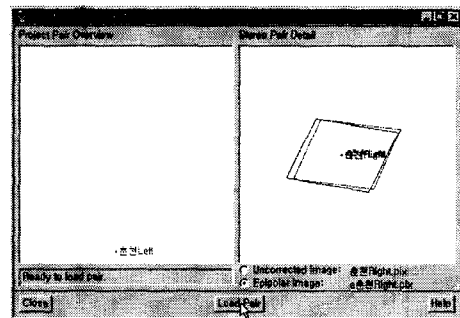
로 설정했다. 그다음 전체영상에 대하여 정사보정범위를 정하여 실행하면 작업이 완료된다. 그 다음에 정사영상생성을 실행하여 완료하였다.(그림1, 그림2, 사진3, 사진4)

## 3. 최종입체영상 생성 및 분석

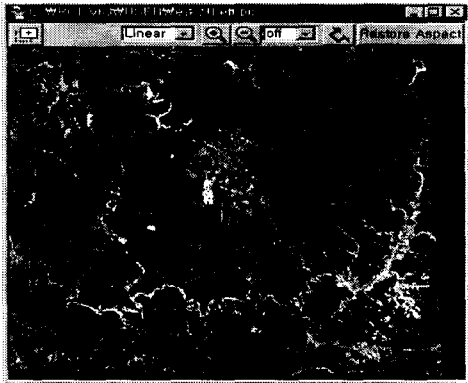
3-D 작업을 하기 위해서는 에피폴라 영상이 필요하며, 이 에피폴라 영상은 DEM 생성 작업에서도 필요한데, 그 이유는 스테레오 영상 사이의 y-방향 오차를 줄여주기 때문이다. 이번 3-D 작업에서도 DEM 생성 작업에서 만든 에피폴라 영상을 이용하였다. 그다음에는 3-D 보기작업을 실행한다. 그러면 3-D 입체쌍 패널을 이용하고, 투영쌍 보기와 입체쌍 보기에서 사용자는 3-D Window에 표시될 왼쪽, 오른쪽 영상을 선택한다. 투영쌍 보기 창은 프로젝트에 들어있는 모든 영상의 중심 위치를 보여준다. 이 창에서 청색 십자(춘천Left.pix)로 표시된 부분을 마우스로 선택하면 적색의 사각형이 오른쪽 입체쌍창에 표시된다. 왼쪽 창에서 춘천Left.pix를 선택했으면, 오른쪽 Stereo Pair Detail 창에서 청색 십자 표시를 선택하고 입체쌍 상세창의 아래 부분에 있는 에피폴라 영상을 선택한다.(사진5, 사진6)



▶▶ 그림 1. 3-D stereo pair left



▶▶ 그림 2. Eipolar image for 3-D stereo



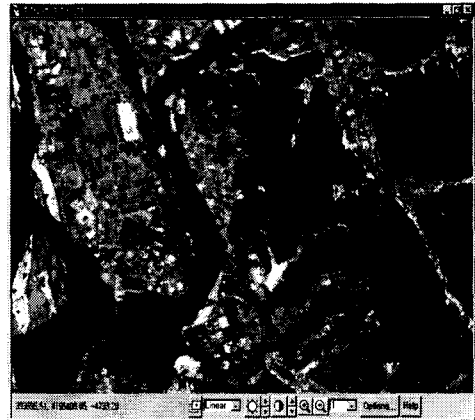
▶▶ 사진 3. 왼쪽 에피플라 영상 : e춘천Left.pix



▶▶ 사진 4. 오른쪽 에피플라 영상 : e춘천Right.pix



▶▶ 사진5 3-D 영상으로 표시한 춘천시의 전체 모습



▶▶ 사진 6. 최종결과-일부분을 확대한 모습

## VI. 결론

1. 인공위성 입체영상에서의 DEM 자동추출은 미분편위수정에 의한 외부표정요소를 결정한 다음 6개의 인자가 정확하게 보정된후에 GCP와 TP를 설정하는 것이 최우선적으로 선행되어야 한다. 입체화상에서 구한 외부표정요소 함수를 미분 편위수정에서의 입력 값으로 활용하였으며, 우측영상을 미분 편위수정의 입력영상으로 사용하여 정사투영영상을 제작하였다.
2. 입체영상에서의 에피플라형성에 의한 자동추출은 지형도에서의 최소치와 표고의 최대치를 사진에 조사하여 기본값으로 설정되어야 한다.
3. 정사투영영상의 형성은 추출된 DEM의 매칭지역을 정확히 두 개의 영상이 일치할 수 있도록 공간을 충분히 확보해야 하며, 관측자 시점이 지면과 수직이 될 수 있는 조건을 사전에 검토해 두는 것이 좋다.
4. SPOT영상을 이용한 DEM 추출과 정사투영영상의 생성은 아직 그 정확도에서 많은 문제점을 가지고 있으나 대체적으로 1/50,000의 영상지도 제작에서는 많은 효율성을 얻어낼 수 있었다.

**■ 참고문헌 ■**

- [1] SPOT image inc, 1998, SPOT to Direct Receiving Station Interface Document
- [2] Robert A. Schowengerdt, 1983, Techniques for Image Processing, London, Academic Press, pp.83-86
- [3] Seungbum KIM, 1999, Intelligent interpolation methods for a full-scale SPOT-DEM, International Symposium on Remote Sensing, pp.171-175
- [4] asprs, 2001, Digital Elevation Model Technologies and Applications: the DEM users manual, 395-413
- [5] Jun Ji, 1999, DEM interpolation using spectral information, Proceedings of International Symposium on Remote Sensing, pp.299-301