

# 수치지도를 이용한 정사사진지도제작

## Orthophoto Image Mapping from NGI's Digital Topographic Map

김감래\* · 김옥남\*\* · 이호남\*\*\*

Kim, Kam Lae · Kim, Uk Nam · Lee, Ho Nam

### 요 지

수치정사사진지도를 제작하기 위한 기반 자료로 스캐닝한 수치항공사진영상과 항공사진의 왜곡 보정을 위한 표정, DEM의 추출과 편집 및 편위 수정에 이르기까지 다양한 처리절차가 필요하다. 또한 영상과 벡터 자료의 중첩을 통해 생산한 영상지도의 편집과 지도제작 작업에는 다양한 미적 요소가 필요하다.

본 연구에서는 수치항공사진 영상을 이용하여, 영상에 내포하는 기하학적 변위를 3차원 모델링 결과와 수치표고모델을 이용하여 소거하고, 수치정사사진을 제작한 후에, 1/5,000 수치지도에서 필요한 레이어와 중첩시킨 수치정사사진지도를 제작하여 그 정확도를 분석하였으며, 각 처리 단계별 문제점의 분석과 개선방안을 제시하였다.

### 1. 서론

항공사진 또는 위성영상정보는 도시현황 파악이나 무허가 건축물 판독 등의 정성적인 용도 뿐만 아니라 국가기본도나 각종 주제도 제작을 위한 기초자료로 정량적인 자료처리과정을 통하여 보다 정확하고 체계적인 지형자료를 제공하는 주요 정보로 인식되고 있다.

최근 지형공간정보체계의 자료구조와 자료형태가 더욱 다양하고 복잡해짐에 따라 항공사진 또는 위성영상자료를 이용하여 공간정보자료의 효율적 수집과 처리기법에 대한 연구가 활발해지고 있으며, 이와 관련되는 공간정보 관리분야에서 수치지도와 수치영상지도가 큰 관심사가 되고 있다. 수치정사사진지도란 중심투영방식으로 촬영한 항공사진에서 기하학적인 보정을 통하여 정사투영의 특성을 가지도록 제작한 수치정사영상이나 위성영상을 지도의 도곽에 맞추어 제작한 영상지도를 말한다.

수치정사사진지도를 제작하기 위한 기반 자료로는 첫째 스캐닝한 수치항공사진영상, 둘째 중심투영에 의해 촬영된 항공사진의 왜곡을 보정하기 위한 항공사진의 3차원 모델링 결과, 셋째 지형의 기복에 의한 왜곡을 보정하기 위한 수치표고모델, 넷째 수치지도 자료 등을 활용한다.

본 연구에서는 수치항공사진 영상을 이용하여, 영상에 내포하는 기하학적 변위를 3차원 모델링 결과와 수치표고모델을 이용하여 소거하고, 수치정사사진을 제작한 후에, 1/5,000 수치지도에서 필요한 레이어와 중첩시킨 수치정사사진지도를 제작하여 그 정확도를 분석하였으며, 각 처리 단계별 문제점의 분석과 개선방안을 제시하였다.

---

\* 명지대학교 토목환경공학과 교수 · 031-330-6411 (E-mail : kam@mju.ac.kr)

\*\* 신구대학 지적정보과 교수 · 031-740-1515 (E-mail : kun@ns.shingu-c.ac.kr)

\*\*\* 중앙항업(주) 수석연구원 · 031-330-6411 (E-mail : yhnhan@chollian.net)

## 2. 수치정사사진지도

수치정사사진지도는 기존 항공사진을 고정밀 항공사진 전용 스캐너로 스캐닝하여, 수치사진측량용 소프트웨어에서 영상의 기하학적 왜곡요소를 보정한다. 그리고, 수치지도 또는 영상매칭기법에 의해 생성된 수치표고자료를 이용하여 수치미분편위수정방법에 의하여 수치정사사진을 생성하며 기존의 수치지도에서 필요한 레이어를 추출한 후, 수치정사사진과 융합함으로써 수치정사사진지도를 제작하며, 기본 작업 절차는 그림 1과 같다.

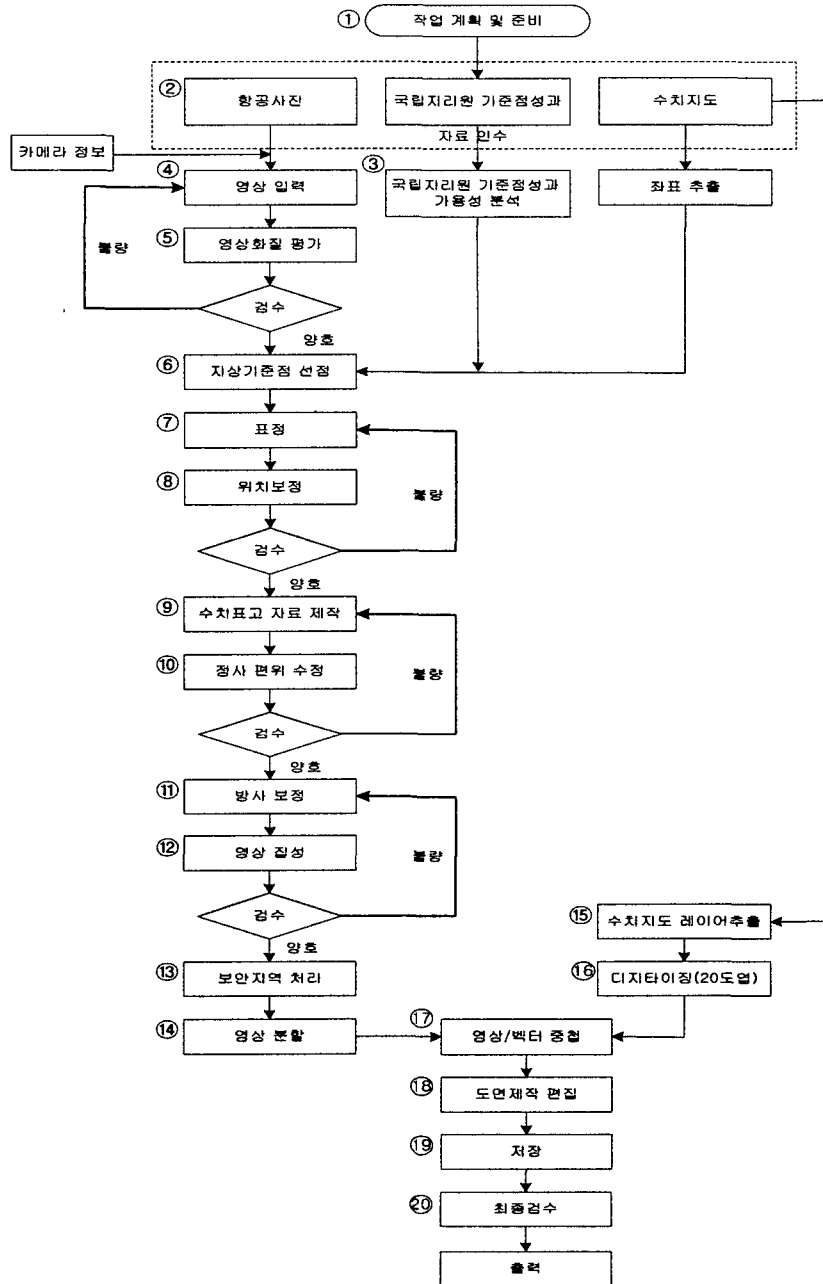


그림 1. 수치정사사진지도 자료처리 흐름도

### 3. 실험 및 분석

#### 3.1 연구 대상지역 및 사용 자료

본 연구를 위한 실험지역은 대전 및 청주권 일원으로 1999년에 촬영된 항공사진을 스캐닝한 데이터와 1/5,000 수치지도 제작시 사용한 사진기준점측량 데이터를 확보하여, 1/5,000 영상지도 160도엽과 1/50,000 영상지도 2도엽을 제작하였다.

수치정사사진지도의 기준 타원체는 벅셀 타원체를 사용하였으며, 좌표의 전개는 평면직각 좌표계인 TM(Transverse Mercator)도법을 사용하였다. 단위는 미터로 하였으며, 소수이하 둘째 자리까지 표기하였다. 좌표계의 원점은 중부원점인 127도로 하였으며, 평면좌표에, 북향가수는 500,000m, 동향가수는 200,000m로 하였고, 축척계수는 1로 하였다.

#### 3.2 수치항공사진영상과 지상기준점

수치항공사진영상은 해상도가 1200dpi로 화소수는 11,776\*12,544개 화소이며, 지상거리(GSD ; Ground Sample Distance)는 약 0.38 ~ 0.43m로 산악지, 평지 그리고 중심투영의 특성에 따라 약간의 차이를 나타내고 있다.

지상기준점은 평면점 약 229개, 표고점 약 540개를 확보하였으며, 현지측량 시점이 70년대에 이루어진 것으로 지형변화 및 판독불가능 한 기준점이 다수 발견되었다. 확보한 측량 기준점이 70년대의 측량 기준점으로 지형변화로 미식별 점이 많을 것으로 판단되어 먼저 가용점의 수를 파악하였다. 평면점의 경우 대상지역내에 포함하는 점을 우선 선정하였고 표고점은 현지측량 조서의 주소와 인수된 항공사진의 지형을 판독하여 영역내의 표고점인지를 확인하였다. 작업대상영역내의 기준점을 선정하고 가용한 기준점은 사진기준점 측량을 수행함과 동시에 수치항공사진을 판독함으로써 가용성을 확인하였다. 지형의 변화와 판독이 불가능하여 기준점의 배치가 고르게 분포되지 않는 지역에 대하여는 1/5,000 수치지도로부터 좌표를 추출하여 기준점으로 사용하였다.

일반적으로 기준점은 도로의 교차점이나 교량, 수로 또는 도로 굴곡부 정점 및 산 정상부 등 사진상 판별이 용이한 점 중에서 선정한다. 이러한 기준점의 위치를 보다 정확히 선정하기 위해서는 기준점 부근의 영상을 확대하여 좌표결정을 수행하여야 하며, 이러한 경우 영상소 크기의 증가로 인한 지상물체 판별과 지상기준점 위치 결정이 어려워지므로 각 경우에 대해 적절한 영상처리를 실시해야 한다. 즉, 어두운 영상에 대해서 히스토그램 균등화, 히스토그램 미끌림/신장(Histogram Sliding/Stretching), 계조값이 뚜렷하지 않았을 경우 Thresholding에 의한 대비기법 및 경계선을 뚜렷이 보이도록 하는 여과처리 등의 기법이 필요하다. 본 연구에서는 수치사진 측량 전용 시스템인 DPW770에서 제공하는 자동밝기 조정기능을 이용하여 판독이 용이하도록 하였고, 기준점은 국립지리원에서 제공하는 현지 측량기준점을 최대한 활용하여 선정하고, 현지 측량점이 지형의 변화나 식별이 난해한 지역은 수치지도에서 추출하여 영상에 균등하게 분포하도록 선정하였다.

#### 3.3 표정

항공사진의 표정 중 첫째 단계인 내부표정은 사진촬영에서 발생하는 왜곡들과 스캐닝시 발생하는 왜곡들을 보정하는 것을 말하는 것으로 렌즈 제작과정과 아날로그 사진을 수치화하는 과정에서 원인을 찾을 수 있다. 렌즈는 제작 당시 계획했던 이상적인 형상으로 구현할 수 없으므로 빛이 렌즈를 통과하면서 원래 목표했던 지점과는 달리 굴절되어 영상에 왜곡이

발생한다. 또한, 항공사진을 수치화하는 과정에서 항공사진 필름의 물리적인 변화 등 다양한 요소에 의해 영상에 왜곡이 발생하며, 본 연구에서는 수치항공사진의 카메라 보정계수를 입력하여 내부표정을 실시하였다.

외부표정은 항공사진 촬영 당시의 기하를 재현하는 것을 말하는 것으로 외부표정 6요소를 결정하기 위한 방법으로는 직접선형 변환법(Direct Linear Transformation), 다항식법(Polynomial), 독립모델 조정법(Independent Model Triangulation), 광속조정법(Bundle Adjustment) 등이 있다. 블록 형태의 항공사진을 이용한 모델링 방법으로 가장 성능이 우수한 방법은 일반적으로 알려진 바와 같이 광속조정법이며, 본 연구에서는 지상기준점 좌표와 이를 화면에서 관측한 영상좌표를 입력하고 DPW770을 사용하여 광속조정법을 수행하였다. 조정결과에 대한 정확도를 평가하기 위하여 조정결과에 대한 정보를 포함한 보고서 파일을 확인하여 과대 오차를 포함한 점이 있는 경우 재 관측 하거나 삭제 후 다른 점을 관측하여 위치정확도의 평균제곱오차가 1.5m 이내가 되도록 하였다.

### 3.4 수치표고자료제작

영역기반 매칭을 통하여 항공사진 영상으로부터 10m×10m 수치표고자료를 획득하였다. 이때의 매칭영역은 작업 단위간 접합시의 오류를 제거하기 위하여, 표정 작업의 단위와 일치시켜 미원·청주, 대전의 두 개 블록으로 작업하였다.

대단위 보안지역인 경우에는 매칭이 이루어지지 않으므로, 1/5,000 수치지도에서 추출한 등고선을 활용하여 제작한 수치표고자료로 대체하여 활용하였다. 특히, 일부 오류가 많은 도심지에 대해서는 수치지도성곽을 활용하여 제작하였다. 그림 2는 대상지역 일부에 대해 구축한 수치표고자료를 음영기복도의 형태로 나타낸 것이다. 높이의 단계별로 색을 부여하여 지형의 기복을 육안으로 명확히 확인 할 수 있다. 붉은 색 원으로 표시한 부분은 보안지역으로 겹게 나타난 부분은 매칭이 실패한 것을 알 수 있다.

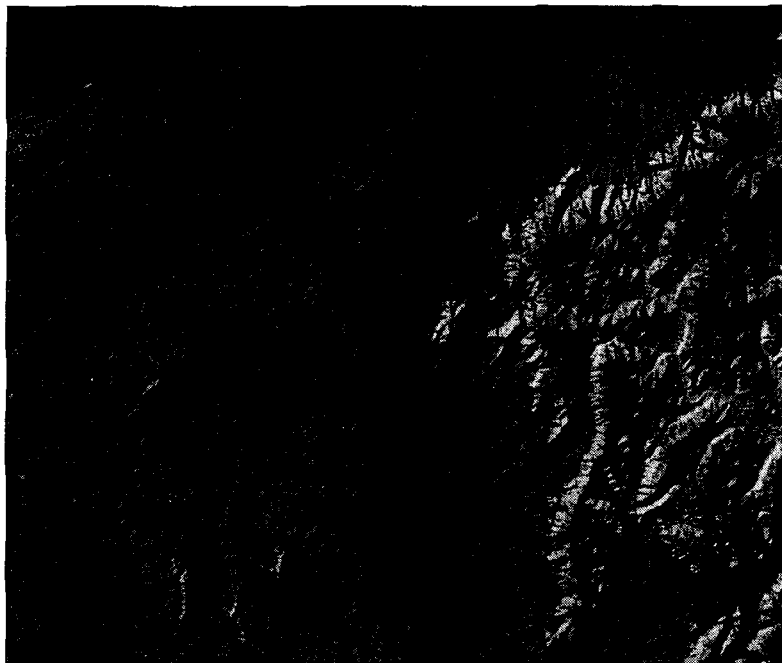


그림 2. 영상매칭에 의한 DEM 추출결과 와 수치지도를 이용한 DEM 제작 지역

### 3.5 정사편위수정

정사영상 또는 정사사진이라 함은 촬영경사에 의한 왜곡과 지형의 기복에 의한 왜곡 및 중심투영에 의한 영상의 왜곡을 보정하한 정사투영 영상을 말한다. 또한, 이러한 왜곡들을 편위라 하는데, 이러한 편위들을 보정하여 정사사진을 생성하는 과정을 정사편위수정이라 한다. 정사사진 생성에 필요한 입력자료로는 원래의 항공사진 영상, 3차원 모델링 결과, 수치표고자료가 있으며, 이를 기반으로 수치미분 편위수정과정을 수행하여 생성한다. 모델링에서 공선조건식을 사용한 경우 수치미분 편위수정에 사용하는 일반적인 수식은 공선조건식을 사용하며, 반복적인 수렴과정을 통해 왜곡된 영상점을 정사영상의 위치로 결정한다.

본 연구에서는 외부표정 결과와 수치표고자료를 이용하여 엄밀법에 의한 수치미분편위수정을 수행하였다. 이때 영상재배열 방법은 처리속도가 빠르며 처리결과도 효과적인 공일차보간법을 이용하였으며, 지상의 격자간격(GSD)은 0.42m로 지정하였다. 작업 완료 후 영상의 왜곡이 발생한 경우 수치표고자료를 편집하거나 재 제작하였으며, 결과 중 일부는 그림 3과 같다.

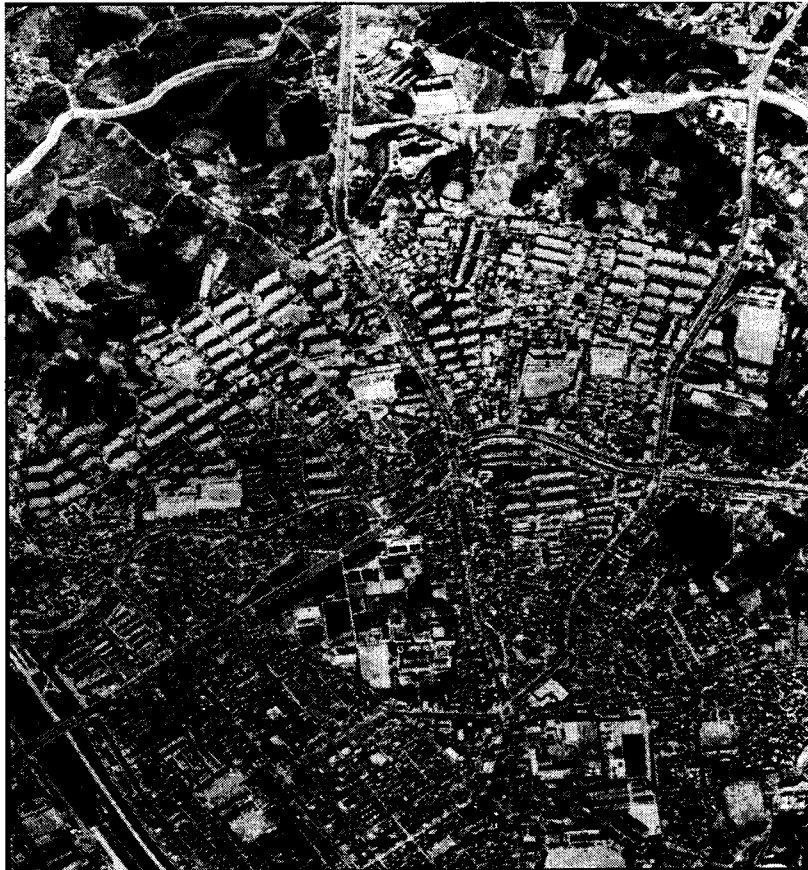


그림 3. 연구대상지역 정사영상 예

서로 다른 사진은 조도(illumination) 조건이 변화함으로써 사진 인화나 영상의 스캐닝 과정에서 일정한 조건을 얻기 어렵기 때문에 색조(Contrast)와 휘도(Brightness)가 달라질 수 있다. 예를 들어서, 한 사진에서는 햇빛에 반사된 호수는 흰색으로 나타나는데 반하여 다른 사진에서는 반사가 없어서 검게 나타나게 된다. 이러한 현상은 방사보정 과정에서 처리되어

야 한다. 이러한 색조 정합은 비행경로에 따라 다르게 나타나며, 같은 비행경로에 있다해도 사진마다 서로 다르게 나타나기 때문에 항공사진의 색조를 맞추는 것은 복잡한 문제이다. 특히, 항공사진은 중심투영으로 촬영되기 때문에 사진의 중심으로부터 멀어지는 곳에서는 어둡게 나타나게 된다. 한 장의 사진을 넘어서는 인접한 지역의 지형, 지물은 영상의 색상이 연속적인 형태로 나타나야 하며, 방사보정은 스캐닝된 항공사진 영상의 중복 내지는 중첩지역에 대한 방사값을 가능한한 유사하게 변환하여야 한다. 따라서 하나의 영상을 기준으로 다른 영상의 방사값을 변환시키는 방법을 적용하였으며, 기준이 되는 영상은 방사해상도가 상대적으로 높은 것을 선택하였다.

정사화된 항공사진영상의 영상집성(Image Mosaic)을 수행하는데 있어서, 대상지역의 규모에 따라 여러 장의 정사사진을 조합하여야 하는 경우가 많이 발생된다. 이 과정에서 Edge Matching과 색조 정합의 문제점이 발생된다. 최근 소프트웨어의 개발 추세에 있어서는 이러한 문제의 해결을 위하여 자동으로 자연 경계선 등을 추출하고 이를 기준으로 영상조합을 실시함으로써 표시가 덜 나타나게 하고, 색조 정합을 간단히 수행할 수 있도록 하는 기법들이 제시되고 있다. 본 연구에서 실시한 영상집성은 수치사진측량시스템인 DPW770을 이용하여 자동화된 기능을 사용하여 대부분 인위적인 간섭이 없이 수행하였다. 집성된 항공사진 영상은 공간적으로 연속성을 가지고 있어야 하며, 인접한 영상의 경계부분에서는 색상이 일치하여야 한다. 예를 들어, 도로나 하천과 같이 선형적인 특징을 나타내는 곳에서는 연속적인 선상에 있어야 하며, 영상이 이어지는 지점에서 뛰어 넘는 현상이 발생하지 말아야 한다.

영상집성과정은 DPW770에서 영상의 정사화와 영상집성을 동시에 수행하였고, 생성된 집성영상은 그림 4와 같으며 결과 영상을 검토하여 음영의 대조나 선형부분에서 끊어짐이 발생할 경우 위의 과정을 반복하여 만족하는 결과를 얻도록 하였다.

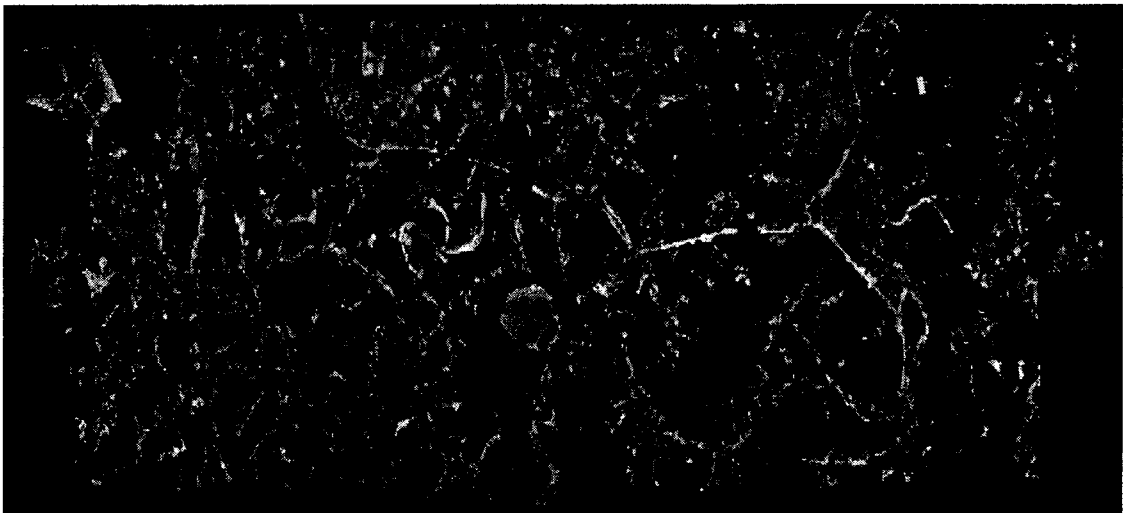


그림 4. 영상집성 결과

### 3.5 후 처리

위성영상과는 달리 축척 1/20,000으로 촬영된 항공사진은 지상의 모든 지형지물을 표현하게 된다. 특히 촬영된 항공사진 원판 필름은 주요 공공시설이나 군사 시설 및 지역뿐만 아니라 지상에 나타나는 모든 것을 나타낸다. 이 원판 필름은 촬영이 완료된 후 주요 시설물 및 지역에 대해서는 삭제를 하게 된다. 이러한 삭제된 부분은 스캐닝 된 수치항공사진 영상에서도 그대로 입력되므로 수치정사사진지도를 제작하는 과정에서 주위의 지형과 유사하게 영상을 대체하여 처리 하였으며, 결과는 그림 5와 같다,

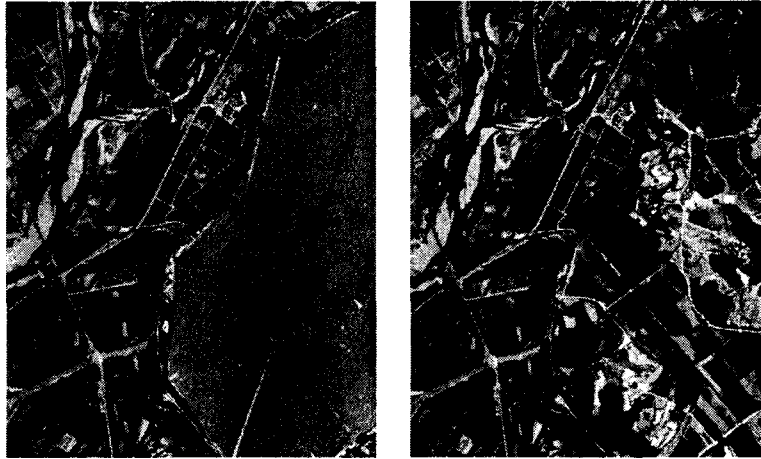


그림 5. 보안지역 처리의 예

### 3.5 영상 분할 및 지도작성

영상집성이 완료된 영상은 GeoTiff 형태로 데이터의 크기가 방대하므로 사용의 편의성, 유통의 편리성 및 각종 자료와의 호환성 등을 고려하여 적절한 크기로 분할할 필요가 있다.

본 연구에서 분할 영상의 크기는 1/5,000의 경우 국립지리원 지형도 제작규정 상의 도곽 크기를 기준으로 하였고 상하좌우에 약간의 여분을 두었다. 국립지리원 도곽크기의 단위는 각도 단위인 반면, 본 제작은 미터 단위를 사용하기 때문에 일정한 각도로 분할하면 영상은 사변형 형상이 된다. 그러나 영상은 래스터 구조로써 그 형태가 직사각형이므로 국립지리원 규정에 동일한 형태로 영상 분할은 불가능하다. 따라서 국립지리원 규정의 도곽을 모두 포함할 수 있도록 영상 분할시 영상의 상하좌우에 도곽좌표로부터 30m의 여유폭으로 영상을 분할 하였다.

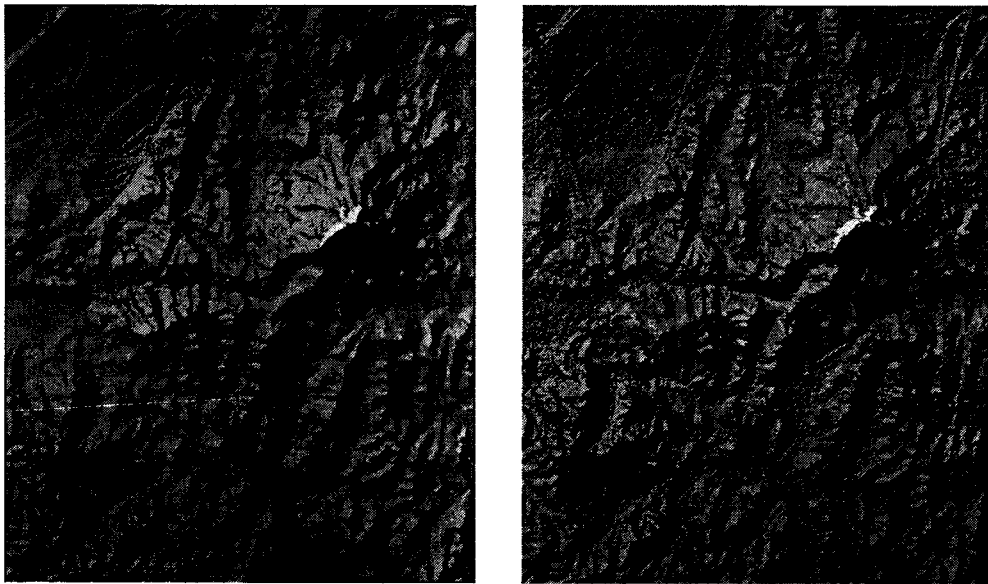
영상지도의 특성을 살리기 위한 최소한의 주기는 수치지도의 편집단계와 목적에 따라 원본 수치지도 자체에서 수치정사사진지도 제작에 필요한 일부 정보들이 누락되는 경우가 있을 수 있다. 누락된 정보의 파악과 보완을 위해서 해당지역의 종이지도를 사용하였다.

최종 목적의 지도제작을 위해 벡터자료와 정사영상을 혼합하여 결과를 도출하였으며, 영상자료와 벡터자료를 EPS 파일로 변환하여 중첩한 후 축척 1/5,000 도식규정에 맞도록 내도곽 및 외도곽을 구성하고 도엽별 난의주기를 제작하였으며, 최종 결과는 그림 6과 같다.





비교 결과는 그림 6 및 표 1, 2와 같다.



(a) 수치지도로부터 추출한 DEM (b) 영상매칭에 대한 DEM

그림 6. 수치지도 DEM과 영상매칭 DEM의 비교

표 1. 영상매칭 DEM과 수치지도 DEM 고도 오차

비교항목	비교방법	영상 매칭 DEM - 수치지도 DEM	비교
STD		2.4666	
BIAS		-1.7172	

표 2. 수준점과 영상매칭 DEM 비교

비교항목	비교방법	매칭 DEM : 수준점	비교
높이		0.9368	95점 사용

#### 4.2 정사영상 정확도 평가

정사영상 정확도 평가를 위하여 상용소프트웨어인 Erdas의 Viewer에 정사영상과 지상기준점을 이용하여 지상기준점 위치를 판독하고, 화면에 나타난 정사영상에서 지상기준점의 위치를 측정하여 결과를 텍스트 파일로 기록 저장하였다. 정사영상에서 지상기준점을 측정할 때에는 각 측정마다 3회 이상 독립하여 평균값을 측정치로 하였다. 지상기준점의 지상좌표와 측정좌표를 비교하여 잔차를 구하였으며, 각기 x, y의 평균제곱근오차를 구하였으며

그 결과는 표 3과 같다.

표 3 정상영상 정확도 평가

비교항목 \ 비교방법	정사영상 : 기준점	비고
X	1.7m	22점 사용
Y	1.8m	

#### 4. 결 론

수치항공사진을 이용하여 정사영상을 제작 후 영상지도를 제작하는 실험 연구 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 정사편위 수정을 위해 사용하는 수치표고모델은 1/5,000 수치지도를 이용할 경우에 비해 영상매칭에 의한 DEM 결과 값이 0.94m 이하의 오차로 정확도가 향상하는 것으로 나타났다. 특히 도심지에서는 수치지도의 사용 보다 영상매칭 또는 더욱 개선된 DEM 추출 방법을 활용하는 것이 바람직하다.
- 2) 항공사진의 특성상 주요 보안 목표물과 위장처리에 대한 영상처리의 자동화가 필요하며, 가공 처리 후의 관련 근거 유지를 통한 사용자의 편의성 도모는 물론 관리방법의 개선이 필요하다.
- 3) 1/5,000 수준의 대축척 수치정사사진에 있어서 기존의 지형도에서 미진한 직관적인 시각 정보를 동시에 제공할 수 있다는 장점과 더불어 주기의 배치와 기준에 대한 작업 규정의 도출과 더불어 시각적 완성도를 향상시키기 위한 설문 조사를 실시하여 미적 요소와 판독과 분석에 효율적인 방안의 도출이 필요하다.

또한, 현재까지 1/5,000 수치지도가 일부 미 제작된 지역이 있고, 보안지역에 대한 정보가 수치지도의 고도값과 일치하지 않아 수작업으로 보완하는 작업이 남아 있으며, 일반적인 영상처리 소프트웨어가 수치지도에서 활용하고 있는 폰트 등을 지원하지 않아 변환처리가 불가피한 점 등은 향후 해결해야 할 과제가 될 것으로 판단한다.

#### 참고문헌

- 1) 유복모, "사진측량학 개론", 사이텍미디어, 2001, p85
- 2) 사공호상·박성미·김영표, "인공위성 영상자료를 이용한 국토자원 분석방법에 관한 연구", 국토개발원, 2000, p28
- 3) 건설교통부 국립지리원, "항공사진측량 작업내규"
- 4) 김원대, "수치사진 측량에 의한 정사투영영상 생성 자동화", 연세대학교 박사학위 논문, 1996, p1~9

- 5) 박희주, "사진측량의 표정을 위한 스테레오 매칭 기법에 대한 연구", 성균관대학교 박사 학위 논문, 1995, p161
- 6) Thomas M. Killesand and Ralph W. Kieffer, "Remote Sensing and Image Interpretation", New York, John Wiley & Sons, 1999, p470~473
- 7) Baltsavias, E. P, "Digital Ortho Images - a Powerful Tool for The Extraction of Spatial - and Geo-Information", ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, Vol. 51(1996), p63~77
- 8) Bookstein, F.L. , "How to Produce a Landmark Point : the Statistical Geomtry of Incompletely Registered Images.", Vision Geometry IV, SPIE, Vol. 2573(1995), p266~277
- 9) Brown, L.G. , "A Survey of Image Registration Techniques.", ACM Computing Surveys, 1992, p325~376
- 10) Ducher, G, "Test on Orthophoto and Stereo-Orthophoto Accuracy", OEEPE Official Publication No. 25(1991), p229