

고해상도 위성영상을 이용한 축척 1/10,000 수치지도 제작

이병환¹ · 김정희² · 박경환¹ · 정일훈³

1/10,000 Scale Digital Mapping using High Resolution Satellite Images

Byung-Hwan Lee¹ · Jeong-Hee Kim² · Kyung-Hwan Park¹ · Il-Hoon Chung³

요 약

본 논문은 항공사진축량이 통제되고 있는 수도권 북부 지역 중 파주시 교하지역을 대상으로 러시아의 2m 급 고해상도 인공위성영상인 Alternative 위성영상을 이용하여 1:10,000 축척의 수치지도 제작을 위한 방법과 그 적용에 관한 연구이다. 주요 방법론으로는 MK-4(공간해상도 8m) 스테레오 위성영상으로 수치표고모델(DEM)을 추출하여 정사보정을 하였으며, GPS 측량을 통해 지상 기준점(GCP)을 얻어 정밀한 기하보정을 하였다. 한편, 현장 지리조사로 얻은 자료를 이용하여 각 레이아웃별 스크린 디지털라이징을 하였으며 그 정확도는 평면위치에서 평균제곱근(RMS)오차가 $\pm 4.0m$, 수직에서의 RMS 오차는 $\pm 15m$ 였다. 따라서 평면위치 오차에 대해서는 NGIS 수치지도의 정확도를 만족시키는 한편, 지리 조사를 통해 얻은 자료를 추가함으로써 도시계획을 위한 현황도 등으로 활용 가치가 충분한 것으로 판단된다.

주요어: 수치지도, Alternative, MK-4, 정사보정, GPS, 지상기준점, DEM

ABSTRACT

The subjects of this study are to examine and to apply the methods of making 1 : 10,000 scale digital maps using Russian's 2 m resolution satellite images of Alternative and 8 m resolution stereo satellite images of MK-4 for the Kyoha area of Paju-city where aerial-photo surveying is not possible. A digital elevation model (DEM) was calculated from MK-4 images. With this DEM, the Alternative images were orthorectified. Ground control points (GCP) were acquired from GPS surveyings and were used to perform geometric corrections on Alternative images. From field investigation, thematic attributes are digitized on the monitor. RMS errors of the planar and vertical positions are estimated to ± 4.0 m and ± 15 m, respectively. The planar accuracy is better than an accuracy required by NGIS (national GIS) programs. Local information from field investigation was added and the resulting maps should be good as base maps for, such as, regional and urban plannings.

2000년 6월 30일 접수 Received on June 30, 2000

1 청오지앤지(주) (velee@geo.giri.co.kr, khpark@geo.giri.co.kr) Cheong-O Geodesy & Geography Co., Ltd.

2 경남대학교 토목공학과 (geodesy@kyungnam.ac.kr) Dept. of Civil Engineering Kyungnam University

3 국토연구원 주택도시연구센터 Housing & Urban Studies Research Fellow, KRISC

KEYWORDS: *Digital Map, Alternative, MK-4, Orthorectification, GPS, Ground Control Points(GCP), DEM*

서 론

수치지도제작에 대한 경험이 축적되고 기술적 문제가 점진적으로 극복됨에 따라 연구의 관심은 제작비용 및 자료의 갱신주기를 단축시킬 수 있는 방안을 모색하는 쪽으로 이동하고 있다. 캐나다의 CTI(국가지형 데이터베이스와 지형시리즈 구축담당기구)에서는 SPOT과 KVR-1000 위성영상을 이용하여 대축척에 대한 실험이 현재 진행중에 있으며, 1:50,000 지도제작에서 고해상도의 IRS-1C 위성영상의 대한 조사를 한 결과 지형 데이터베이스를 갱신하는데 잠재력을 가지고 있는 것으로 평가하였다. 최근 군사적인 목적으로 사용되어 왔던 지상관측용 고해상도(공간해상도 1~2m) 인공위성영상이 상용화되기 시작하면서 활용 범위가 점차 확대되어 수치지도 제작분야에 수요가 크게 늘어나고 있는 실정이다. 위성영상이 지니고 있는 주기성·광역성·다중분광 특성 등의 장점에도 불구하고, 지도제작분야에의 활용 가능성이 크게 주목받지 못했던 것은 항공사진과 대비한 공간해상도의 취약함 때문이었다. 그러나 이러한 한계는 고해상도 위성영상의 취득 및 활용 계획이 현실화되면서 빠른 시간 내에 극복되고 있다. 특히 도시 개발계획을 위해 지형·지물(주요시설) 분포현황 등을 정확히 파악할 수 있는 장점을 가지고 있어 영상만으로도 그 효용성이 매우 크다고 할 수 있다. 고해상도 위성영상을 이용한 수치지도 제작 및 갱신은 종래의 지상측량 및 항공사진측량에 비해 광역지역을 빠른 시간에 효과적으로 처리할 수 있으며, 비용이 저렴하고, 주기적인 데이터 획득이 가능하여 정보갱신이 용이하다는 장점을 가지고 있다. 특히 우리나라의 경우 항공사진측량이 불가능한 군사분계선일대의 지형도 갱신이 시급한 만큼, 본

연구는 위성영상을 이용하여 수치지도를 제작함에 있어 제작단계와 방법 및 사용기기에 따른 정확도의 한계를 규명하고, 향후 수치지도 갱신 및 신규 제작시 위치정확도 향상을 위한 방안을 제시하여 신뢰성 및 활용성 증대에 기여하는데 목적을 두었다.

연구 배경 및 범위

군사분계선 지역의 경우 한국전쟁 이전에 항공사진을 이용하여 제작된 소축척(1:25,000)지형도가 전부다. 이 지역은 보안상의 이유로 항공사진측량이 불가능하여 지형·지물에 대한 정확한 정보가 부족한 실정이다. 따라서, 본 연구의 목적은 항공사진측량이 통제되고 있는 이러한 지역 중 과주시 교하지역 일원에 도시발전 계획을 종합적으로 수립하는데 필요한 최신의 현황자료를 구축하고, 개발 가능성과 보전지 등의 적지분석을 위한 1:10,000 축척의 수치지도를 제작하고 위치정확도를 규명하는데 있다. 제작범위는 교하면일대(약 10km×10km)이며, 러시아 고해상도 위성영상인 Alternative system(공간해상도 2m)과 MK-4(공간해상도 8m)를 이용, 1:10,000 축척의 수치지도를 제작하고 1:25,000 지형도를 갱신하였다. 그림 1은 본 연구의 작업 흐름도이다. GPS 측량결과를 이용하여 정밀기하보정을 하였으며 MK-4 위성영상을 이용하여 대상지역에 대해 DEM를 추출하여 정사보정을 수행하고, 현장지리조사를 거쳐 각 레이어별 스크린 디지털라이징을 수행하여 수치지도제작을 하게 된다. 이렇게 신규 제작된 1:10,000 축척의 수치지도를 이용하여 기존의 1:25,000 종이지도를 갱신하였으며, 기존의 국도의 설계도를 입수하여 중심선좌표를 비교하여 평면정확도를 평가하였다. 한편, 수직정확도는 GPS측량 고도성과를 이용, 표고점 들을 확인하

여 표고의 정확도를 평가하였다.

영상제원과 영상자료의 강조

1. Alternative 위성영상

본 연구의 핵심 영상은 러시아 SOVINFO-RMSPUTINK사의 Alternative 위성영상을 이용하였으며 제원은 표 1과 같다. 이 위성영상의 원시자료는 공간해상도가 약 30cm 이며 현재 2m의 공간해상도로 공급되고 있다. 위성체의 궤도 및 자세정보와 같은 상세정보를 공개하지 않는 위성영상을 총칭한 표현하며, 자세정보를 제공할 수 없지만 기존 위성영상과는 다른 종류임을 나타내기 위하여 ‘Alternative’라는 용어를 사용하고 있다. 이는 슬릿(slit)방식 또는 파노라마방식으로 촬영, 획득하며 장착센서는 필름카메라로서 데이터(필름)는 개별 임무가 끝난 후 작은 구형의 캡슐에 담겨져 회수된다. 디지털이 아닌 필름을 선택한 이유는 촬영범위를 넓게 하기 위한 것이며, 스캐너기술의 발달로 디지털화하는데 가격이 저렴하고 화질이 우수한 장점을 가지고 있다. Alternative 위성영상의 카메라 초점거리는 3,000mm이며, 2m의 공간해상도로 제공될 때 스캐닝 해상도는 28 μm(900 dpi)이다.

TABLE 1. Elements of Alternative images

구 분	내 용
Image Type	8-bit, Pan
Pixel size	2m
Focal length, (mm)	3,000
Data Acquired	1996. 4

2. MK-4 위성영상

MK-4 위성영상은 RESURS-F2라는 러시아 위성에 탑재된 4개의 카메라로 촬영한 입체영상으로써 DEM 추출이 가능하며 컬러영상이다. RESURS-F2위성은 평균고도 240km 상공에서 근사원형궤도를 이루어 운행되며, 2~4주 정도로 위성수명이 매우 짧아, 보통 1년에 5회 정도 발사되고 있다. 표 2는 MK-4 위성영상의 제원이다.

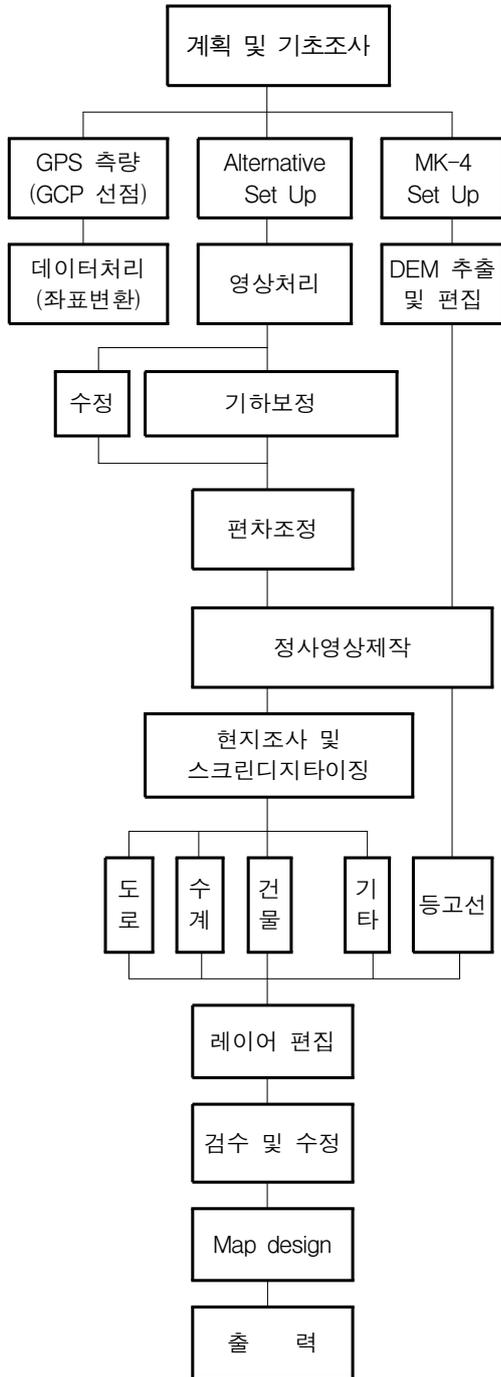


FIGURE 1. Flow chart of digital mapping

TABLE 2. Elements of MK-4 images

구분	내용
Film type	T-27
Focal length, (mm)	300
Orbit inclination, (degrees)	82.3
Contrast coefficient	1.5~2.1
Optical fog density, not more than	0.1
Resolving ability (line/mm)	195
Spectral band (nm)	635~690
Photogrammetric focal distance (mm)	299.818
Frame size (cm)	18×18
Average scale	1:900,000
Forelap, (%)	60
Data Acquired	1995. 10

3. 위성영상자료의 강조

인공위성의 광학카메라로부터 얻어진 Alternative 영상 자료는 전적으로 지표면 또는 대기에 의해 반사된 태양광선을 감지하여 그 에너지의 세기를 기록(8 bit)한 것이므로 그 밝기값이 특정한 파장대에 밀집되어 있는 경우가 많다. 특히 콘크리트피복면에는 밝고 산악지대는 어둡게 나타나는 게 특징이다. 이러한 경우 영상이 전체적으로 어둡게 보이고, 잡음이 섞여 지물을 정확히 판독하기가 어렵기 때문에 영상을 해석하는데 많은 어려움이 있게 된다. 본 연구에서는 수치영상 자료의 강조에 두 가지 방법을 사용하였는데, 영상 자료의 밝기환경을 향상시키는 영상강조(Image Enhancement)기법과 영상 내의 잡음을 제거하여 영상의 명확도를 향상시키는 공간강조(Spatial Enhancement)기법을 사용하였다. 영상강조는 ER-Mapper 상에서 이루어 졌으며 스크린 디지털 타이핑 시, 판독에 관한 부분적인 톤(Tone)조정은 Image Analyst에서 이루어 졌다.

GPS측량 및 지상기준점 선정

기존의 위성영상(공간해상도 30m, 10m 5m)의 기하보정은 주로 국가기본도인 종이지도

및 수치지도(1:5000, 1:25,000 축척)상에서 좌표를 획득하여 보정하였다. 하지만, 고해상도 위성영상의 기하보정을 위해서는 정밀한 지상기준점(GCP)이 필요하므로, 반드시 현지측량을 거쳐 지상기준점 좌표를 획득하는 것이 바람직하다. 본 연구에서는 이를 위하여 GPS 측량을 수행하였으며, 기하보정까지의 작업 흐름도는 그림 2와 같다. 처리 대상지역에 대하여 삼각점 6점, 수준점 2점, 상시기준점 2점, 지상기준점(GCP)를 균일한 분포로 40여 점을 GPS측량을 이용해 관측하였다.

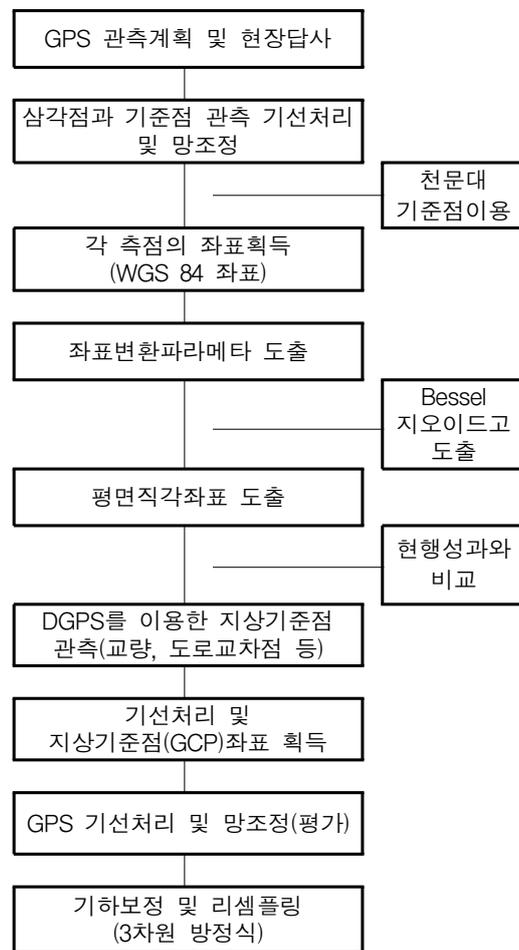


FIGURE 2. Flow chart of GPS surveying and geometric corrections

1. 삼각점 및 수준점 관측

과주 교하면을 포함하는 삼각점들로부터 측지망을 분석하고 삼각점 및 수준점에 대한 현황을 사전답사 하였다. 대상지역에 분포된 삼각점은 3, 4 등급으로 대부분 국립지리원과 육군 측지부대가 공동 매설한 것으로써 유실 및 변경된 곳이 많아 현장답사에 어려움이 있었다. 삼각점 및 수준점의 측량성과는 국립지리원에 의뢰하여 획득하였다. GPS 관측은 Geotracer 2주파 수신기 3대를 사용하였으며, 삼각점 및 수준점에서 각각 1시간씩 총 8 세션(session)으로 관측하였다. 위성의 시계확보를 위하여 고도 15°인 위성으로부터 L1/L2 송신주파수를 15초 간격으로 수신하였다.

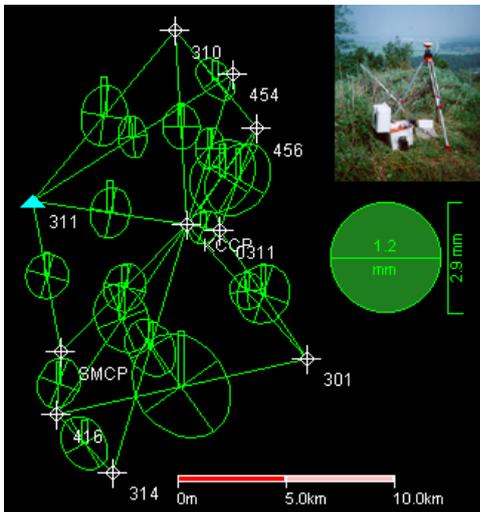


FIGURE 3. Distribution of triangular points and error ellipsoids

특히 수준점의 경우, 위성시계에 영향을 받는 환경 하에 있어 정밀레벨을 이용하여 최단거리 편심 관측을 수행하여 편심 측점으로 대체 하였다. 관측 후 기선처리를 통하여 WGS84 좌표를 획득하고 삼각망조정을 수행하였다. 또한 대상지역에 따라 서로 다른 WGS84와 벡셀타원체간의 원점 이동량은 현행 삼각점들을 기준으로 WGS84 좌표와 비교한 후 좌표변환매개변수를 도출하였다.

삼각망조정을 통하여 벡셀지오이드 상에 근거한 좌표변환 매계계수를 도출하였다. 또한, 교하면 지역에 분포하는 6개의 삼각점과 심학(SMCP) 및 금촌(KCCP)기준점을 연결하여 관측한 후 망조정을 실시하였다. 이 두점은 지상기준점 측량시 기준국으로 사용하게 된다. 각 삼각점과 기준점에 대한 망조정 후 좌표변환을 수행하고, 현행 우리나라 측지계상 위치 좌표와 비교하여 오차가 심한 2점은 삼각점을 제외하여 95% 신뢰구간 평면 및 수직에서 ± 0.11m 이내의 양호한 결과를 가져 왔다.

TABLE 3. Comparison of results with existing coordinates

삼각점	ΔN(m)	ΔE(m)	ΔH(m)	비고
0311	0.051	-0.003	0.055	
301	-0.086	-0.037	-0.029	
310	0.052	-0.072	-0.017	
311	-0.017	0.112	-0.010	
314	-0.731	-0.414	1.149	제외
416	0.860	-0.906	2.112	제외

2. 지상기준점 측량 및 기하보정

삼각망에 대한 GPS 측량이 끝나고 그림 4와 같이 심학과 금촌을 기준국으로 하여 DGPS를 통한 지상기준점 측량을 수행하였다.

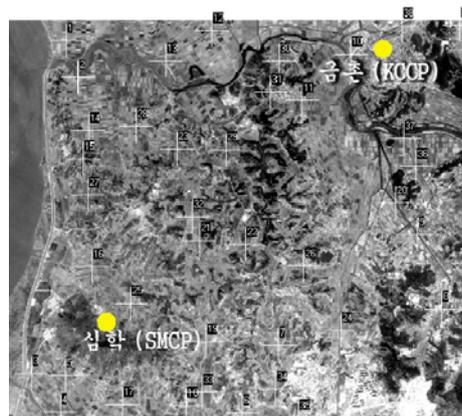


FIGURE 4. Distribution of ground control points

이때 위성영상에서 뚜렷하게 보이는 인공 구조물이나 도로교차점 등을 선택하여 지상기준점 측량을 하게 된다. 지상기준점은 영상좌표와 측량성과 좌표사이의 변환에 있어서 기준이 되는 점이므로 그 위치가 시간에 따라 항상 변함이 없어야 한다. 위성영상 촬영 당시의 현장에 존재하는 인공구조물 또는 기타 시설물의 위치를 확대 출력하여 현장에서 지상기준점으로서의 타당성을 직접 검토한 후 GPS 측량을 실시하였다.

이러한 방법으로 총 39점의 지상기준점을 대상지역 내 고른 분포로 GPS 측량을 수행하고 좌표변환을 통하여 현행 TM 좌표를 위성영상좌표에 부여하였다. 특히 포장(콘크리트)도로와 비포장도로의 태양반사값이 비슷하여 정확한 경계점을 판단할 수 없었으며, 그림 5와 같이 반사량이 확실하게 구분이 되는 수면과 콘크리트피복의 경계점들을 주로 선택하였다.

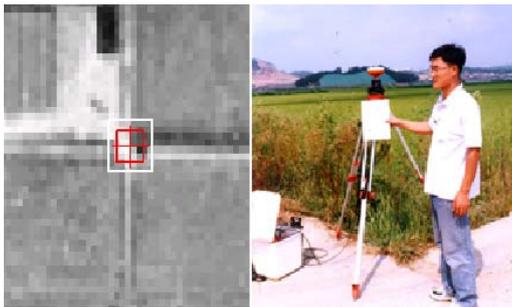


FIGURE 5. Selection of GCPs and surveying them

선정한 지상기준점이 정확한 것이라면 가능한 한 많은 지상기준점을 잡는 것이 영상보정시 발생하는 오차를 최소한으로 줄일 수 있고, 같은 수의 지상기준점이라도 보다 넓은 부분에 걸쳐 골고루 분포하게끔 하는 것이 정확한 변환을 가능하게 해준다. 그러나 지상기준점 보정의 기본 개념이 영상에 있는 기준점들을 지도상 또는 직접측량결과와의 해당 위치에 인위적으로 맞추어 주고, 그 사이의 점들에 대해서는 서로 내삽

하여 위치를 결정해 준다는 것이므로, 만약 지상기준점이 전지역에 걸쳐 골고루 분포하지 않는다면 지상기준점이 없거나 적은 지역에 있어서는 오히려 보정 전보다 왜곡이 더 크게 나타날 가능성도 배제할 수 없다. 그리고 지상기준점의 수를 무조건 많이 확보한다고 하더라도 보정 후 정확도향상과는 무관하며 되도록 변환방정식의 미지수에 따라 정확한 점을 사용하는 것이 오차를 줄이는 최대한의 방법이다. 본 연구에서는 3차원 방정식에 의해 기하보정을 하였으며, 보정 후 정확한 위치의 화소(pixel)들을 얻을 수 있었다. 변환 결과 RMSE값이 1 화소 이내로 나타났으며, 공1차 내삽법(bi-linear)을 적용하여 영상 화소값을 보정하였다.

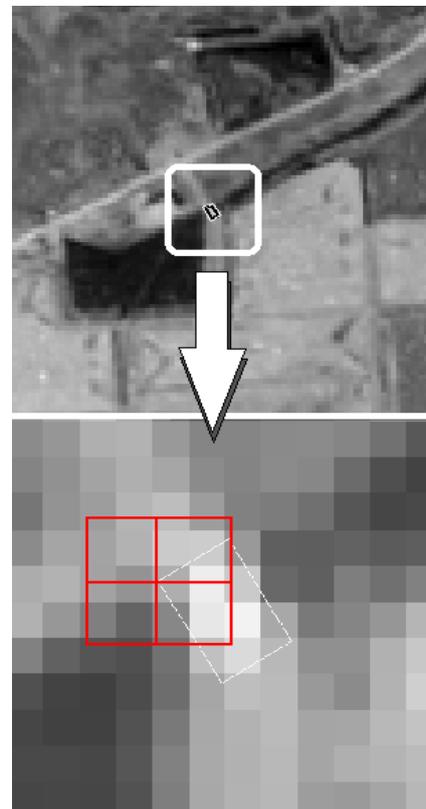


FIGURE 6. An example of image's resolution : a bridge of 4 m by 6 m

그림 6은 위성영상에서 확인할 수 있는 지상에서의 물리적인 공간해상도를 확인한 것이다. 교량의 모서리 부분을 지상기준점으로 선택하였을 경우 확대 영상에서 보듯이 교량 모서리 부분의 식별이 난해함을 볼 수 있다. 이러한 경우 지상기준점 선정시 현장에서 직접 교량의 크기와 도로와의 경계를 현장에서 측정하고 이를 영상에 적용하여 보다 정확한 특이점을 찾아 좌표를 부여하였다. 본 연구에서는 지상기준점(GCP) 선택시 인공구조물(콘크리트피복)인 교량모서리를 대부분(80% 이상) 선정하였다. 그림 7은 금촌 및 심학초등학교 옥상을 기준으로 하고 지상기준점까지의 기선처리 및 망조정의 결과이며, 평면, 수직에서 10mm 이하의 정확도를 획득하였다. GCP선정 및 기하보정은 ER-Mapper와 IA(Image Analyst)에서 각각 수행하였다.

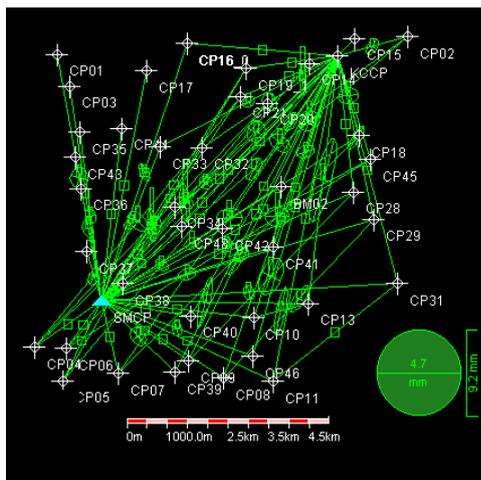


FIGURE 7. Adjustments of baselines connecting GCPs

ER-Mapper에서 보정결과 RMS가 1.6 화소가 나온 반면, IA에서 3차원방정식을 사용하여 변환한 결과 1 화소 이내의 좋은 결과를 얻을 수 있었다. 최종 위 두 가지 방법 중 IA에서 보정한 자료를 기준으로 스크린 디지털타이핑을 하였다.

벡터지도의 제작

1. 레이어 및 지형코드 설계

일반적으로 기존의 수치지도는 종이지도의 스캔 데이터 또는 항공사진 데이터를 이용하여 지도제작을 하였으나, 현재 고해상도 위성영상의 출현으로 인하여 기존의 종이지도 또는 항공사진 데이터를 대체할 수 있게 됨으로 위성영상을 일반적인 전처리과정을 거쳐 수치지도제작에 사용할 수 있게 되었다. 그러나 기존의 수치지도제작 방법으로 지도를 제작할 경우 지도 레이어 추출에 관한 표준도식코드가 규정되어 있으나, 위성영상으로부터 지도를 제작하기 위한 지도 레이어 추출에 관한 표준도식코드는 아직 기초적인 연구조차 되어 있지 않은 것이 사실이다. 본 연구에서는 「건설교통부령 제17호」 수치지도작성작업규칙중개정령(1995년)에 규정하는 1:10,000 축척 수치지도의 지형코드를 기준으로 설계하였다. 지형코드는 수치지도를 구성하는 도형의 형태·크기·선호·구조 및 방향을 정하여 도면의 통일을 기하기 위한 도식으로써 9개(철도, 하천, 도로, 건물, 지류, 시설물, 지형, 행정 및 지역경계, 주기)의 레이어코드와 부속코드인 대분류·중분류·소분류 및 세분류의 계층구조로 이루어지게 입력하게 된다.

2. 현지조사

위성영상에 나타나지 않은 지형지물이나 촬영 후 새로이 지형이 변형된 부분(경지정리지구, 단지조성, 신설도로 등), 또는 그림자에 가려져 영상판독이 불확실한 지형·지물의 경우에는 별도의 코드를 사용하여 가능한 한 위치를 묘사하되 현장지리조사를 통해 상세히 조사하여 수정·편집 후 정위치 편집을 하였다. 또한 행정지명 및 경계는 교하면사무소에 관련 담당업무자와 각 동·리장으로부터 조사하였으며, 위성영상을 확대 출력하여 그 위에 표시 및 기록하는 형식을 취하였다. 조사내용 및 방법은 국립지리원의 조사규정을 따랐으며,

행정지명일람표 및 지리조사(지명, 지형, 지물) 보고서를 작성하였다.

3. 영상판독 및 지형코드별 스크린 디지털라이징

고해상도 위성영상의 판독은 항공사진판독과 마찬가지로 피사체인 사물을 판정하는 데 있어서 상의 형상과 크기, 색조, 구성, 그림자, 배열 등의 요인을 종합적으로 이용하게 된다. 위성영상의 판독은 어떠한 목적으로 사용할 것인지에 따라 영상의 종류, 영상축척(수치지도 축척)의 결정, 촬영일시, 범위, 센서 즉 카메라, 스캐너, 필름, 필터에 따라 판독항목을 설정하였다. 위성영상의 경우 디지털 자료이므로 자유로운 영상강조와 영상처리 기법들의 적용이 가능하다. 이것은 영상의 판독이 더욱 객관화되고 용이해져서 경험과 지식에 기반한 기존의 항공사진판독에 비하여 더욱 전산화되고 체계화된 판독이 가능하다는 것이다.

판독의 순서를 보면, 가장 먼저 위성영상의 판독기준을 선정하고, 국립지리원 수치지도 제작규정의 레이어 별 지형코드 구분을 명시한 다음 광역 또는 부분적인 판독을 하게 된다. 확실치 않은 판독의 경우, 현지조사 및 문헌조사를 함께 수행하고, 현지조사를 기초로 하여 재판독하고 보다 정확하게 대상물을 판정하여 편집, 기록하게 된다. 그 외의 지도요소(행정 및 지역경계, 주기 등등)를 추가하였다.

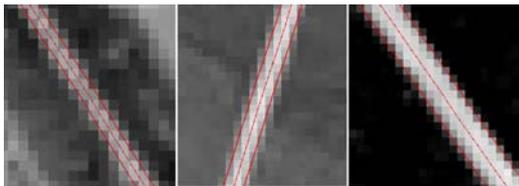


FIGURE 8. Examples of road images: 3m, 5m, 8m widths

본 연구에서는 정사투영영상으로부터 국립지리원 1:10,000 축척의 수치지도작성작업내규의 도식규정을 기준으로 스크린디지털라이징을

수행하여 각 지형코드의 대분류에서 중분류, 소분류의 설계에 따라 추출하였다. 그림 8과 같이 현장에서 직접 도로폭을 재어 위성영상에 스크린디지털라이징 한 것이다.

DEM 추출 및 등고선 생성

1. 제작과정 개요

MK-4 위성영상은 항공사진과 동일한 방식으로 카메라에 의한 촬영을 통해 영상을 획득되고, 인접영상 간의 중복도에 있어서도 항공사진의 거의 비슷한 60%의 중복도를 갖기 때문에 기존의 항공사진의 DEM 추출 기법을 그대로 적용할 수 있다. 그렇지만 MK-4 위성영상은 지구의 곡률을 고려해야 할 정도로 촬영지역이 매우 넓고, DEM 정확도와 밀접한 관련이 있는 기선고도비(baseline/height)가 항공사진이 거의 1에 가까운 것에 비해 MK-4는 0.6으로 상대적으로 작기 때문에 DEM 추출시 이를 고려해야 한다. MK-4 스테레오 영상을 이용해 등고선을 추출하는 과정은 크게 3가지부분으로 나눌 수 있다.

첫째, 모델생성과정으로 그 흐름은 필름의 특성과 카메라의 정보를 이용해 렌즈와 카메라 프레임간의 기하관계를 위성에서 지상을 촬영할 당시와 동일하게 설정해 주는 내부표정, 두 영상의 시차차(parallax difference)중 높이가 추출의 저해요소로 작용하는 중시차(y-parallax difference)를 제거하는 과정인 상호표정, 그리고 마지막으로 GPS 측량 및 수준 측량 성과, 기존 지형도 등을 이용해 영상 전반에 대해 선정된 지상기준점을 이용한 절대표정 순으로 이루어진다.

둘째, DEM 생성과정으로, DEM 자동 추출의 정확도 및 효율성을 위해 epipolar 영상을 제작한 후, 화소의 상관관계와 영상 피라미드를 이용한 매칭기법을 통해 DTM을 생성한다. 그런데 이러한 DTM 자동추출방식에 의해 생성된 DTM은 노이즈와 매칭실패에 의한 표고의 과

대, 과소 추출 등의 문제점을 항상 내포하고 있다. 따라서 높은 정확도의 등고선을 추출하기 위해서는 이를 수동으로 편집하는 과정이 반드시 수반되어야 한다. DTM은 (x,y,z) 좌표로 구성된 벡터데이터로 이를 일정간격의 격자 표고 모델로 재구성하기 위해서는 선행 작업으로 불규칙삼각망(TIN)을 구성하는 과정이 필요하다.

셋째, 등고선 생성과정으로 DTM으로부터 일정간격으로 등고선을 추출하게 된다. 이러한 등고선 생성은 많은 상용 GIS 소프트웨어가 기본적인 기능으로 제공하고 있으므로 자동화할 수 있다. 그렇지만 DEM 자동생성 과정에서 위상관계 모순이 발생할 수 있으므로 이를 수동으로 편집하는 과정이 연계되어야 한다.

2. MK-4 스테레오 모델 생성

MK-4 영상의 입체모델 생성 및 DEM 추출의 모든 과정은 인터그래프사의 수치사진측량시스템인 ImageStation을 이용해 이루어졌다.

1) 내부표정

내부표정이란 정밀좌표관측기에 의해 관측된 상좌표(image coordinate)로부터 사진좌표(photo coordinate)로 변환하는 작업이다. 일반적으로 상좌표를 사진좌표로 변환하기 위해서 지표(fiducial mark)를 사용하나, 본 작업에서는 25개의 레조(Reseau ; 영상에 표시된 십자선마크)를 이용하여 내부표정을 수행하였다. 이 과정에서 부등각 사상변환식(affine transformation)을 두 좌표간의 변환식으로 이용하였다. 또한 MK-4의 촬영고도 및 범위가 항공사진에 비해 매우 높고, 넓기 때문에 대기보정, 지구곡률 보정작업 등을 추가하였다.

2) 상호표정

상호표정은 외부표정 중 두 입체영상에서 중시차를 소거하는 작업을 말한다. 본 작업에서는 두 입체영상의 외부표정에 많은 어려움이 있었다. 그 이유는 그림 9의 상단부분에 볼 수 있는 것과 같이 영상의 절반 가량이 바다

로 구성되어 있어 뚜렷한 구분이 가는 점을 두 영상에서 선정하는 것이 현실적으로 어려웠기 때문이다. 따라서 이 입체모델은 불완전 모델이 되어 일부지역, 즉 과주지역 이외 지역에서는 중시차가 소거되지 않는 문제가 발생하였다. 참고로 ImageStation은 strip 형성을 좌우로 하기 때문에 영상의 상하방향이 좌우 방향으로 누워있는 형상을 띄게 된다.

3) 절대표정

절대표정은 외부표정 중에서 상호표정이 끝난 입체모형을 지상의 기준점을 이용하여 실좌표체계와 일치하도록 하는 작업으로 총 7개의 표정인자를 구하는 것이 목적이라 할 수 있다. 모델 생성을 위해서는 최소한 수평기준점 2점, 수직기준점 3점을 필요로 한다.

본 연구에서는 수평기준점 19점, 수직기준점 20점을 선정했는데, 아래 그림 9의 상단화면을 보면 알 수 있는 것처럼 대상지역인 과주 교하지역에 기준점이 집중되어 있는 것을 알 수 있다. 나머지 점들은 대상지역 이외 지역에 최대한 고루 분포하도록 선정했는데 그 이유는 모델의 안정성을 높이기 위함이다.

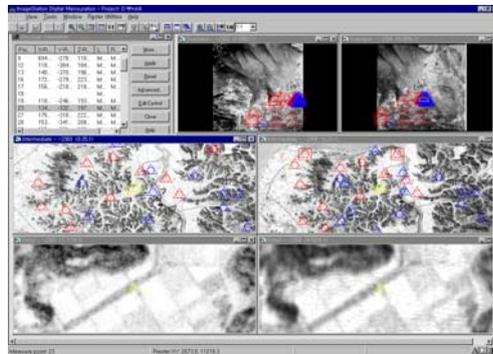


FIGURE 9. Absolute orientation

절대표정 수행 후의 결과는, 먼저 X,Y, Z의 정밀도를 살펴보면 평면정확도는 1 화소 이내로 높은 정확도를 갖는 반면, Z 방향의 정확도는 MK-4 영상의 4화소에 상응하는 정확도를 나타내고 있어 GPS측량으로 획득한 고도자료

를 10점 추가하여 2화소 이내의 정확도로 수정·편집하였다.

3. DEM 사용가능성 평가

표정과정의 모든 단계 후에는 자동정합의 정확도 및 속도를 향상시키기 위해 epipolar 영상 재배열 과정을 수행해야 한다. epipolar 영상은 종시차가 모두 소거된 상태의 영상으로 두 epipolar 영상에서 동일한 점을 정합을 통해 찾게 되면, 표정 과정에서 구한 파라미터를 이용해 시차차를 계산하고, 이 시차차에 의해 기준면으로부터 표고를 구할 수 있게 된다.

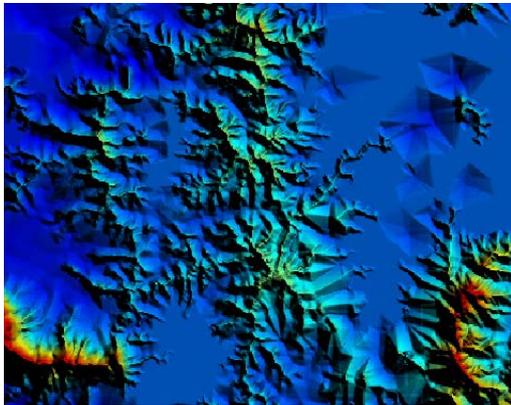


FIGURE 10. Terrain of the area

본 연구에서 사용한 MK-4 영상은 해상도가 약 8m 정도이므로 DEM 추출의 정확도가 8m 보다 좋을 수는 없다. 그리고 사용된 영상의 분광특성이 전정색이 영역이 아닌 붉은색에 해당하는 단일 밴드만을 정합에 사용함으로써 정합의 정확도를 떨어뜨릴 수 있는 요인으로 작용하였다. 그리고 수치적으로 비교했을 때에도, 평균오차가 $\pm 15\text{m}$ 정도 발생함을 확인할 수 있었다. 특히 본 작업의 대상지역은 표고가 낮으면서 변화도 심하지 않은 지역임을 감안할 때 이 오차는 산악지역에서 보다 더 큰 의미를 갖는다고 할 수 있다. 1:10,000 지형도의 등고선(주곡선 5m)을 추출하기에는 그

오차한계를 벗어나고 있어 추출한 DEM을 이용한다는 것은 불가능하다고 평가되었다. 하지만 GPS측량으로 얻은 고도자료를 최대한 사용하고 1:25,000 수치지도와 비교후 각 지형에 대한 수정작업을 하였다. 이 작업을 통해 등고선간격은 10m로 추출하고 보간법을 적용하여 최종 5m의 등고선을 생성하였다. 그림 10은 과주교하지역의 지형에 대한 음영기복도를 나타낸 것이다.

수치지도 정확도 평가

종이지도 또는 수치지도를 막론하고 대상물의 위치정확도는 지도가 갖추어야 할 가장 기본적인 요소이므로 지도를 제작하기 시작하던 때부터 위치는 지도의 정확도 평가에서 가장 중요하다. 위치정확도(positional accuracy)는 실제 위치와 자료의 위치가 일치하는가를 나타내는 것이다. 위치정확도를 나타내는 요소로는 편의(bias)와 정밀도(precision)가 있다. 보통, 편의량은 오차의 평균으로 나타내며, 정밀도는 평균제곱근 오차로 나타낸다. 위치정확도를 평가하는 방법은 보다 더 정확한 자료 및 원시자료와 비교하는 방법이 있는데 과주교하지역의 경우 현재 소축적인 1:25,000 지형도 밖에 없는 실정이다. 따라서 종래의 측량이나 위성측량을 이용해 대상지역에 광범위한 검사점을 잡고 이를 신규 제작한 수치지도와 비교, 평가하는 방법이 최선이지만, 본 연구에서는 당초 GPS측량을 통한 지상기준점을 선정시 정확도 평가점을 추가로 관측하였으므로 그 점들을 이용하는 방법을 최대한 활용하였다. 과거 종래의 측량방법으로 신설된 도로중심선 설계도를 입수하여 상호간 좌표를 비교하였다. 그림 11은 신설도로인 310번 국도의 중심선 좌표와 기하보정된 위성영상지도상에 중첩한 것으로 평면위치정확도를 평가한 것이다. 그림 11의 확대 그림을 보면 중점에서 평면위치오차는 1.5 화소 이내에 있음을 보여주

고 있다. 시점에서는 기존 도로의 확장으로 인해 정확한 시점을 알 수 없었으며, 도로교차점에서 2 화소 이하의 위치오차가 발생하였다.

따라서 $\pm 4m$ 이하의 평면위치정확도로 수치지도를 제작할 수 있었다. 수직위치오차는 GPS 측량성과와 비교 평가한 결과 $\pm 15m$ 의 오차를 내포하는 것으로 나타났다. 수직위치의 기대정확도는 주곡선 간격 5m의 1/3임을 감안한다면 1:10,000 축척의 지형도 제작에 어려움이 있었으며, 지도에서 건물 및 기타 시설물의 기호위치 오차는 도상 0.5mm 이하로 제작할 수 있었다.

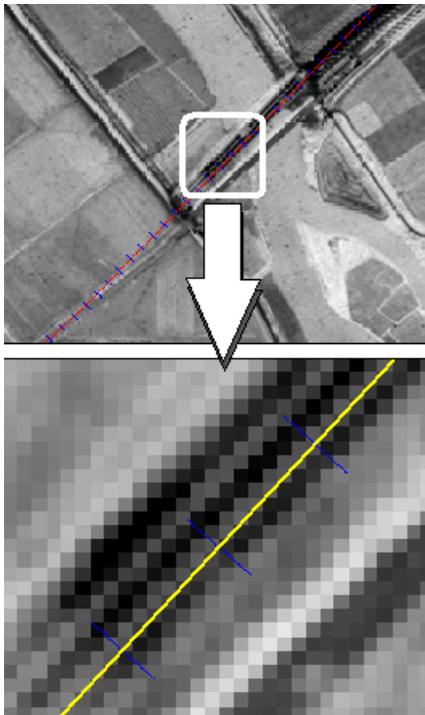


FIGURE 11. Overlay of a road design map and an alternative image

그림 12는 위성영상으로부터 신규 제작된 1:10,000 축척의 수치지도의 일부분이다. 그림 13은 1:25,000 종이지도상에 신규 제작한 수치지도를 중첩하여 갱신한 것으로 지형·지물의 변화를 쉽게 볼 수 있다. 국가기본도의 주기적인 수정 및 갱

신에 있어서 광범위한 지역의 고해상도위성영상을 이용하여 지형·지물의 변화를 눈으로 직접 확인해 가면서 수정해 감으로써 데이터 전체에 대한 객관성과 정확성을 향상할 수 있었다.

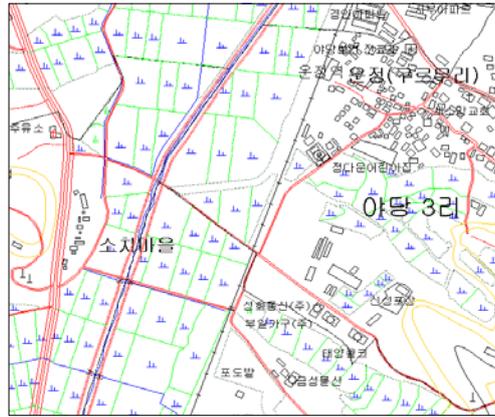


FIGURE 12. A part of 1/10,000 map produced from satellite images



FIGURE 13. Update of an existing map by overlaying the newly produced digital map

결론 및 향후 연구과제

고해상도 위성영상을 이용하여 대축척 1:10,000 수치지형도제작에 새로운 신기술 방법론은 기존의 수치지도제작 및 갱신에 있어서 발생되어 온 고비용, 저효율 구조를 지양하는데 좋은 결과를 가져왔다. 제작된 수치지도의 평면 및 수직위치 정확도를 분석한 결과 각각 $\pm 4m$, $\pm 15m$

의 결과를 가져 왔다. 이는 동일 축척 수치지도의 평면위치정확도에 비해 양호하게 나타났지만 지형을 나타내는 수직위치 기대정확도 범위에 미흡하다는 결론을 얻었다. 고해상도위성영상을 이용함으로써 기존의 항공사진측량에 의한 지도제작에 비해 70%까지 비용을 절감할 수 있었으며, 갱신에 따르는 비용 등을 고려할 때에 가장 효과적인 방법이란 결론을 얻었다. 특히, 효율적인 국토관리의 지원과 보다 정확하고 다양한 형태의 국토지형정보를 수요자에게 신속하게 제공할 수 있는 장점을 가지고 있었다.

Alternative 위성영상은 카메라 정보 및 매개변수를 얻을 수 없어 영상의 왜곡이 생겨 지도제작용으로는 다소 어려움이 있었으며 다량의 지상기준점을 확보하여야 정확한 지도를 제작할 수 있다는 결론을 얻었다. 지형의 경우 산악지역에 GPS측량으로 다량의 고도기준점을 잡아 두는 것이 정확도를 높일 수 있다. 영상판독에 있어서는 지상시설물의 크기가 4m×4m의 크기를 판독할 수 있었으며, 묘지의 경우 약 70%가 판독이 가능하였다.

표준도식코드는 건설교통부에서 정한 코드를 사용하였지만, 축척별로 상이하기 때문에 이것을 아무런 여과과정 없이 그대로 적용하는 것은 불가능하였다. 향후 위성영상에서 추출이 가능한 코드를 국가기본도 코드와 조합하는 작업이 필요하며, 표준도식코드와 그 범위에 관한 규정을 정립해야 할 것이다. 따라서 국가차원에서 위성영상을 이용한 수치지도 및 주제도 제작시 축척별 정확도 및 현실성을 고려할 수 있는 작업규정이 하루 빨리 만들어 져야 할 것이다. 정부에서 전국적인 규모의 수치지도 제작사업을 펼쳐 나갈 때 지도의 정확도 측면과 경제적 측면을 모두 고려해야 하지만, 수치지도제작이 실시간 개념을 도입하여 대민 서비스의 질을 한층 더 향상시킬 수 있다는 관점에서 빠른 갱신과 정확도 측면에 비중을 두고 위성영상 지도제작에 대한 과감한 투자가 필요하다고 본다. 1m 공간해상도의 위성영상을 이용한다면 1:5,000 축척의 수치

지도를 제작 및 갱신할 수 있으며, 지형을 나타내는 수치표고모델(DEM) 또한 기대에 부응하는 정확도로 추출이 가능하리라 본다. **KAGIS**

참고문헌

- 건설교통부. 1996. 수치지도 자료형식 변환에 관한 연구.
- 권동희. 1998. 지형도 읽기. 한울아카데미.
- 국립지리원. 1998. 사진측량에 의한 수치지도의 수정.
- 국립지리원. 1994. 수치지도 작성작업내규.
- 대한측량학회. 1998. 측량관계법령집.
- 박병욱. 1991. SPOT 위성데이터를 이용한 수치표고모델 생성에 관한 연구. 서울대학교 대학원 박사학위논문.
- 이병환, 김정희, 박경환. 1999. 고해상도 단일 위성영상으로부터 건물높이값 추출. 한국 GIS 학회지 7(1):89-101.
- 이현직. 1998. 수치지도 위치정확도. 한국측지학회.
- 최병길, 이창경. 1997. 수치지도의 정확도 향상 방안 연구. 국토연구원.
- ASPRS. 1997. Digital orthophoto specification Guidelines. 1997 ACSM/ ASPRS Annual Convention & Exposition 3:571-580.
- Ferguson, K.P.P., M.P. Norris and V.N. Lavrov. 1998. The spin-2 satellite : a unique mapping system. International Astronautical Federation / the International Academy of Astronautics.
- Kardoulas, N.G., Bird, A.C., and A.I. Lawman. 1996. Geometric correction of SPOT and Landsat imagery : A comparison of map and GPS-derived control points. PE&RS 62(10):
- Lavrov, V.N. 1996. Space survey photocameras for cartographic purposes. IAPRS 26:105.

Muller, F. J.P. Donnay and R. Kaczynski.
1994. Evaluation of high resolution russian
satellite photographs for map revision up
to the scale 1:25,000. ISPRS 30:304-310.

Paulsson, B. 1992. SPOT data for urban
land-cover mapping and road map revision.
ISPRS 29:352-357.

Warner, W.S., R.W. Graham and R.E.
Read. 1997. Aerial Photography. American
Society for Photogrammetry and Remote
Sensing. **KAGIS**