

고해상도 위성영상을 이용한 대축척 수치지도 제작에 관한 연구

A Study on Large Scale Digital Mapping Using High Resolution Satellite Stereo Images

성천경¹⁾ · 윤홍식²⁾ · 조재명³⁾ · 조정호⁴⁾

Sung, Chun Kyong · Yun, Hong Sic · Cho, Jae Myoung · Cho, Jung Ho

Abstract

The subject of this study is to apply experimentally 1m resolution stereo imagery of IKONOS to producing 1:50,000 scale maps for Munsan area in Paju, being near the Military Demarcation Line, is inaccessible for aerial photography. Ground control points were acquired from GPS surveying to perform geometric corrections on images. Digital maps were produced from IKONOS stereo imagery on the digital photographic workstation. From field investigation, RMS errors of the plane and vertical positions are estimated respectively at $\pm 1.706\text{m}$ and $\pm 1.231\text{m}$, respectively. These plane and vertical accuracies are within the tolerance limits of those provided in the NGIS Digital Topographic Map Production Rules. Therefore this suggested method is recommended for producing the large scale digital maps of 'No flight' zone near the M.D.L.

Keywords : high resolution satellite stereo image, large scale mapping, digital map

요 지

본 연구는 접경지역에 인접한 지역의 특성상 항공사진 촬영이 불가능한 지역 중 파주시에 대하여 1m 고해상도 스테레오 영상을 이용하여 1/5,000 대축척 수치지도 제작에 시험 적용한 연구이다. 위성영상의 정밀기하보정을 위하여 GPS 관측에 의하여 획득된 지상기준점을 이용하였으며, IKONOS 스테레오 영상과 디지털 해석도화기를 이용하여 수치지도를 제작하였다. 제작된 수치지도에 대하여 GPS를 이용한 현지 검사점 측량을 실시한 결과 평면과 수직위치의 RMSE는 각각 $\pm 1.706\text{m}$ 와 $\pm 1.231\text{m}$ 로 관측되었다. 이 수평과 수직위치 RMSE는 NGIS 수치지도의 정확도를 만족하는 값으로써 본 연구를 통하여 제안된 새로운 방법은 군사적 원인으로 인한 비행금지구역의 대축척 수치지도 제작을 위한 좋은 기회라고 할 수 있다.

핵심용어 : 고해상도 스테레오 위성영상, 대축척지도, 수치지도

1. 서 론

1994년 미국정부의 'Open Sky' 정책으로 고해상도 위성영상의 해상도 규제가 완화된에 따라 첩보위성기술을 민간용으로 이전한 상업용 지구관측위성사업이 활성화되고, 군사적인 목적으로 사용되어왔던 지상관측용 고해상도(1m) 인공위성영상 상용화되기 시작하면서 그 활용범위가 확대되고 있는 추세에 있다. 고해상도 인공위성영

상이 상용화되기 이전의 인공위성영상은 위성영상이 지니고 있는 주기성, 광역성, 다중분광 특성을 이용하여 소축척 지형도의 수정이나 갱신, 토지피복분류도 제작 등 높은 수준의 위치정확도를 필요로 하지 않는 분야에 주로 이용되어 왔다. 이는 인공위성영상에 가지는 해상도의 한계에 기인한 것으로서 특히, 지도제작 분야에서는 항공사진에 대비한 공간해상도의 취약함으로 인해 그 활용이 매우 제한적이었다. 그러나 Alternative, IKONOS, Quick Bird 등

- 1) 연결저자 · 경기대학교 토목공학과 박사과정(E-mail:su1000k@hanmail.net)
- 2) 정희원 · 성균관대학교 토목환경공학과 조교수(E-mail:yhs@geo.skku.ac.kr)
- 3) 정희원 · 성균관대학교 토목환경공학과 박사과정(E-mail:jmcho@geo.skku.ac.kr)
- 4) 정희원 · (주)한양 지형공간정보연구소 영상정보팀 팀장(E-mail:jaycho@skku.edu)

의 고해상도 위성영상의 활용이 현실화되면서 항공사진 및 지상측량에 의존하던 대축척 지도의 제작에 위성영상을 활용하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 위성영상을 이용한 축척 1/10,000 이상의 대축척 지도제작에 관한 연구로는 이병환 등이(2000) 공간해상도 2m의 Alternative 위성영상을 이용하여 축척 1/10,000의 수치지도 제작에 관한 연구를 하였으며, 강준묵 등이(2002) IKONOS 위성영상을 이용하여 축척 1/5,000, 1/10,000의 수치지도 수정 및 갱신에 대한 연구를 하였다.

기존의 연구사례에서 해상도 8m의 Stereo 영상으로부터 추출된 DEM과 해상도 2m의 단영상을 정보보정하여 축척 1/10,000 수치지도를 제작한 경우의 평면좌표 RMSE는 ± 4m, 표고좌표 RMSE는 ±15m였으며(이병환 등, 2000), 1/5,000 수치지도로부터 영상의 기하보정을 위한 지상기준점과 DEM을 획득하여 단영상의 고해상도 위성영상을 정보보정하여 수치지도를 제작한 경우의 평면좌표 RMSE는 ±3.5m로써(강준묵 등, 2002) 두 경우 모두 GIS에서 요구하는 해당축척 수치지도의 정확도를 넘어서었다. 본 연구에서는 Stereo 촬영된 IKONOS 영상과 GPS 측량에 의한 지상기준점을 이용하여 항공사진을 이용한 지도제작 방식과 동일한 방법을 사용하여 수치지도를 제작함으로써 원자료의 오차로부터 발생할 수 있는 최종 성과물의 오차를 최대한 줄이도록 하였다.

2. 연구대상 지역과 위성영상의 제원

2.1 연구대상 지역

본 연구에서는 현재 군사분계선과 인접하여 보안상 및 안전상의 이유로 항공사진촬영이 불가능하고 도시 시설물, 농경지, 평지, 산지가 고루 분포하여 도화 작업 및 정확도 검



그림 1. 연구 대상 지역

중에 효과적인 파주시 문산을 일대를 그림 1과 같이 연구대상지로 선정하였다. 수치지도 제작 범위는 축척 1/5,000 수치지도 도엽번호 문산 052에 해당하는 지역으로써 그 면적은 6.17km²(남북거리 2.7km, 동서거리 2.2km)이다.

2.2 위성영상의 제원

본 연구에서 축척 1/5,000의 수치지도 제작을 위하여 해상도 1m의 IKONOS 위성영상을 사용하였다. IKONOS 위성은 1m×1m 해상도의 전정색 영상과 4m×4m 해상도의 다중분광 영상을 촬영하며, 경사관측이 가능하여 Cross-track Stereo 촬영과 위성체가 촬영 궤도상에서 자세 제어가 가능하기 때문에 In-track Stereo 촬영이 가능함으로써 입체시 작업이 가능하다. 단영상 촬영의 경우 최대 11km×1000km 까지 strip 촬영이 가능하고, Stereo 촬영의 경우는 최대 11km×250km(1pair)까지 촬영이 가능하다. 본 연구에서는 IKONOS 위성영상의 Stereo 촬영 방식 중 입체도 화가 가능한 방식 중 하나인 In-track Stereo 촬영 방식으로 획득된 영상을 사용하였으며, 이 방식은 Cross-track Stereo 촬영 방식과는 달리 수 십초 내에 두 이미지를 획득함으로써 두 이미지 사이에 동일한 밝기 조건과 좌/우측 영상이 거의 동일한 영상 상태를 유지함으로써 도화 작업에 있어서의 효율성과 정밀도를 얻을 수 있도록 하였다.

3. 지상기준점 측량 및 영상의 기하보정

3.1 지상기준점 선정 및 GPS 측량

위성영상에 존재하는 기하학적 왜곡의 보정을 위해서 필요한 지상기준점은 위성영상의 표정 및 도화 결과에 직접적인 영향을 미치므로 영상 해상도에 비례하는 좌표 측정의 정밀도가 요구되어진다. 본 연구에서는 수치지도 제

표 1. 위성영상 제원

Sensor		IKONOS-2
GSD	Cross	0.84m
	Along	0.85m
Scan Azimuth		180.04 degrees
Nominal Azimuth		340.4749 degrees
Nominal Elevation		78.34719 degrees
Sun Angle Azimuth		134.3655 degrees
Sun Angle Elevation		70.89595 degrees
Acquisition Date/Time		'02.6.27 02:36 GMT

작을 위하여 해상도 1m의 위성영상을 사용하므로 매우 정밀한 지상기준점을 필요로 하기 때문에 GPS와 직접수준 측량을 이용하여 지상기준점의 좌표를 획득하였으며, 지상기준점의 선정은 영상에서 명확히 인지되며 영상의 촬영시기에 영향을 받지 않는 점을 영상 전체에 균등 분포하도록 선정하였으며, 평지는 물론 산지에서도 선정함으로써 지상기준점의 고도 값이 다양해지도록 하였다(국토연구원, 2000).

본 연구 대상지에는 국토지리정보원의 1등 및 2등 삼각점이 충분하지 않기 때문에 지상기준점 관측을 위한 적절한 삼각망 구성이 어렵다. 따라서 지상기준점 중 하나를 GPS 측량 기준점으로 사용하기 위하여 9시간 동안 관측하였다. GPS 관측 망 구성을 위해 사용된 기준점은 삼각점 4점(국토지리정보원 3점, 임시 1점), 수준점 2점이며, 지상기준점은 총 15점을 관측하였다. GPS 관측은 Trimble 2주파 수신기 2대, JAVAD 2주파 수신기 3대를 사용하였으며, 위성의 상공시계는 15° 이상을 표준으로 확보하여 L1/L2 주파수를 30초 간격으로 1시간 이상 수신하였다. 지상기준점 및 지상기준점 관측을 위한 기준점의 관측 망 구성도는 그림 3과 같다.

GPS에 의해 관측된 지상기준점의 좌표는 WGS84타원체 기준의 좌표이므로 우리나라 지도좌표계인 Bessel 타원체 기준의 좌표로 변환하여야 한다. 본 연구에서는 WGS84타원체 기준의 좌표를 이용하여 삼각망 조정을 수행한 후 지상기준점 관측 시 사용된 삼각점과 수준점으로부터 7매개변수를 계산하여 좌표변환을 하였으며, 중부원점 기준의 TM 투영을 통해 평면직각좌표를 계산하였다.

측정된 지상기준점에 대한 영상에서의 정확도는 측정된 경도, 위도, 높이를 RPC(Rational Polynomial Coefficient)

를 이용하여 일반 기하보정된 영상에서의 Line과 Sample로 해석한 후 개발된 프로그램을 이용하여 평가하였다. 측정된 지상기준점이 점 군집에서 3m를 벗어난 경우, 원 측정 결과의 RMSE가 정확하더라도 위성영상의 정밀기하보정을 위한 지상기준점으로 사용하지 않으며, 이 때의 dx , $dy(x, y$ 방향 잔차)는 평균 $\pm 10m$ 이내이고 최대 $\pm 25m$ 를 벗어나지 않아야 한다(Zhou et al., 2000). 본 연구에서 측정된 15점의 지상기준점을 RPC파일과 GCP의 상대위치를 프로그램을 이용하여 평가한 결과 dx 의 평균은 $-5.46m$, dy 의 평균은 $-1.95m$ 이고 측정된 모든 점들이 dx , dy 방향으

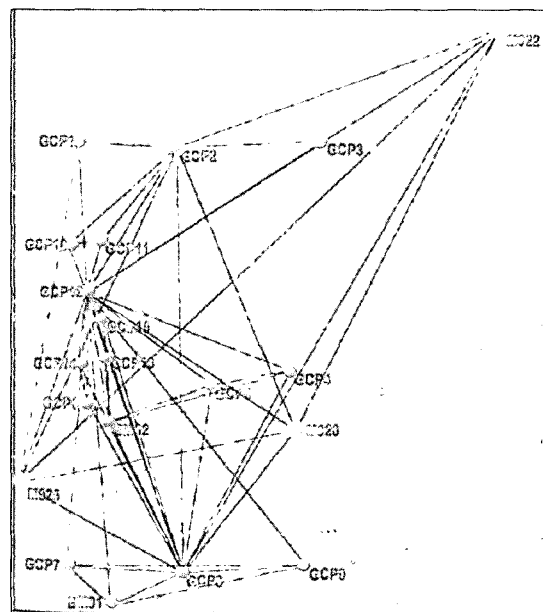


그림 3. 지상기준점 관측 망도

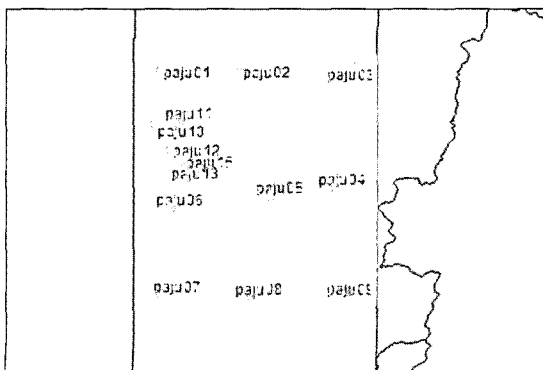


그림 2. 대상지역 지상기준점 선정 위치도

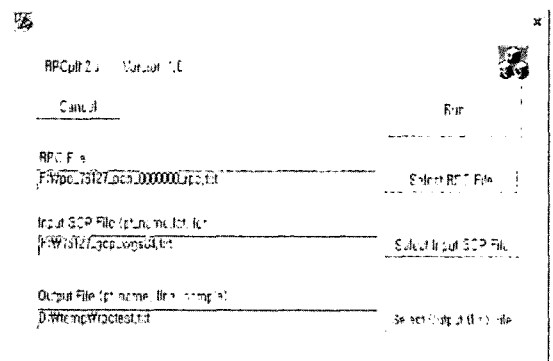


그림 4. GCP 경위도를 Line과 Sample로 변환하기 위한 프로그램

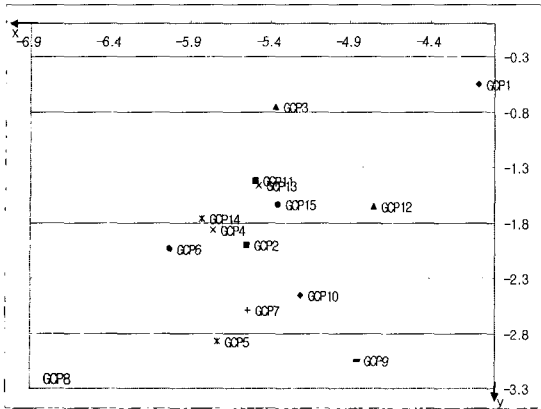


그림 5. 해당지역 GCP와 RPC 평가

로 3m 이내에서 그림 5와 같이 군집을 형성하였으므로 모두 유효한 지상기준점으로 사용되었다.

3.2 영상의 기하보정

3.2.1 계통적 방법

IKONOS 위성영상의 기하보정은 e-HD.com에서 제공한 IKONOS 영상처리 전용 소프트웨어를 사용하여 수행하였다. 계통적 방법으로써 IKONOS 센서구조에 관한 조정자료와 센서의 위치와 자세 등에 관한 계측치를 이론적인 보정식에 넣어 기하보정을 실시하였다. IKONOS 위성영상에서 기하보정을 실시하기 위해 사용되는 데이터로는 Gyro, Star-tracker 데이터로부터 획득한 PAD(Precision Attitude Data)와 IKONOS 위성체에 부착되어 있는 GPS 수신기로부터 획득한 ED(Ephemeris Data)가 있다. ED의 경우 위성의 위치를 결정하는 데이터로써 후처리 과정을 거쳐 더욱 정확한 위성의 위치를 결정하게 되는데 전세계 100여개의 GPS 상시 기준점 데이터를 NASA JPL에서 제작한 GIPSY OASIS-II 프로그램으로 후처리 하여 PED(Precision Ephemeris Data)를 획득하게 된다.

3.2.2 비계통적 방법

지상기준점으로부터 획득된 좌표와 위성영상의 화상좌표계 사이의 대응관계만을 이용하여 화상좌표계와 지도좌표계 사이의 좌표 변환식을 근사적으로 결정하는 방법으로 본 연구에서는 좌표 변환식으로써 3차원 방정식을 사용하였으며, 영상 재배열 방법으로써 공삼차내삽법(Bicubic Method)을 사용하였다. 공삼차내삽법은 원래의 영상이 가

지고 있던 값들이 손상됨은 물론 smoothing 과정이 일어나지만 최근린내삽법(nearest neighbour)과 비교하여 볼 때 분해능의 감소 현상이 일어나지 않고 매우 부드러운 영상이 재현된다는 장점이 있다.

3.3 에피플라 영상 생성

IKONOS 위성영상을 이용한 입체 수치도화를 수행하기 위해서는 입체로 관측된 영상의 종시차를 제거한 입체영상을 만들어야 한다. 이러한 입체영상을 생성하는 과정을 에피플라 정렬(Epipolar alignment)이라고 하며, 에피플라 정렬이 이루어진 영상을 에피플라 영상(Epipolar Image)이라고 한다.

다음은 본 연구에서 사용된 IKONOS 위성영상을 이용하여 에피플라 영상을 생성하는 과정을 간략하게 나타낸 것이다. 그림 6에서 각각의 영상의 '+' 표시는 주점을 나타낸 것이고, 'o' 표시는 두 영상에서 동일한 지점을 표시한 것이다. 그림에서 두 영상은 a 만큼의 종시차를 가지고 있다.

좌측영상과 우측영상의 종시차를 제거하여 그림 7과 같은 종시차가 제거된 영상을 생성한 후, 그림 8과 같이 좌/우 영상의 주점을 잇는 축이 x축의 방향과 평행하도록 영

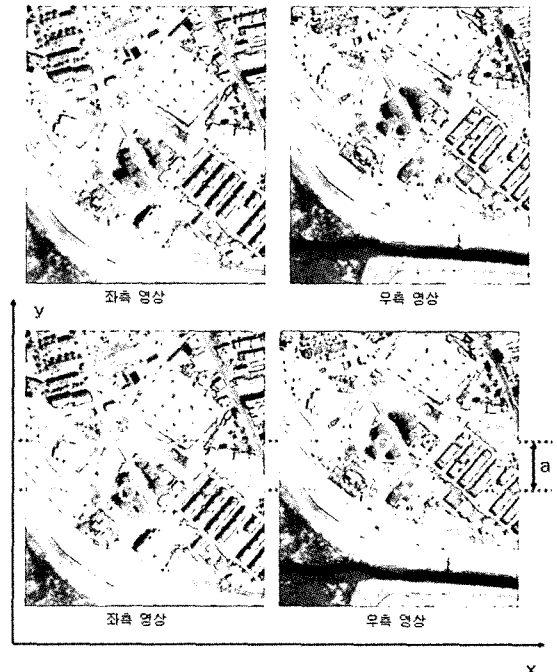


그림 6. 종시차를 가지는 좌/우 영상

상을 회전변환 하여 에피플라 영상을 획득하였다. 그림 9는 이러한 과정을 거쳐 최종 생성된 연구대상지역의 에피

플라 영상 중 일부분을 나타낸 것이다.

4. 수치지도 제작

4.1 입체 도화 작업

본 연구에서는 기하보정과 에피플라 Resampling 처리를 거친 최종 영상을 이용하여 Socet Set(LH-SYSTEM)에서 입체 도화 작업을 하였다. 도화 작업은 도화사의 경험과 능력이 최종 결과물에 미치는 영향이 매우 크므로 최종 결과물의 정확도 및 품질확보를 위하여 숙달된 전문 도화사가 작업을 하였다.

연구 대상지역의 수치지도 레이어 설계 기준은 수치지도 작성규칙(1995년, 건설교통령 제17호)을 기준으로 하여 총 9개의 대분류, 28개의 중분류, 92개의 소분류, 578개의 세분류로 레이어 및 표준코드를 구분하였으며, 1/5,000 지형도 도식적용규정을 적용하였다(국토지리정보원, 1995). 각각의 레이어 코드의 적용은 수치지도 지형코드를 적용하였으며, 영상에서 속성 확인이 불가능한 속성 입력은 현지 조사를 실시한 후 입력하였다. 적용된 레이어 코드는 도화작업 환경인 Microstation 환경에서 설정 후 도화사가 레이어 코드를 선택한 후 도화작업이 이루어지도록 하였다.

고해상도 위성영상에서 축척 1/5,000 수준의 수치지도를 작성하는데 있어서 결과물의 품질은 위치 정확도뿐만 아니라 지형, 지물의 속성 인식도 중요하다. 축척 1/5,000 수치지도 레이어 290개를 대상으로 본 연구 대상지역에서 인식 가능한 지형, 지물을 구분한 결과, 대상지역에 포함되지 않는 지형·지물 레이어(N/A) 68.9%, 인식 가능한 레이어(CAN) 31.1%, 인식 불가능한 레이어(CANNOT) 0%로, 대상지역에 해당되는 1/5,000 수치지도 레이어는 모두 묘사가 가능하였다(표 2).

4.2 현지조사 및 정위치 편집

정위치 편집을 위한 현지조사는 위성영상을 기초로 도면에 나타내어야 할 지형, 지물과 이와 관련된 사항을 현지에서 조사하였으며, 디지털 데이터를 도형으로 출력한 도화 출력원도(출력 축척 1/2,500)와 위성영상을 이용

표 2. IKONOS 위성영상의 레이어 인식률

	N/A	CAN	CANNOT	DRAW
290개 레이어	68.9%	31.1%	0.0%	100%

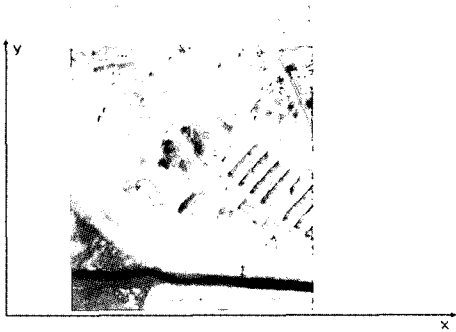


그림 7. 종시차가 제거된 영상



그림 8. 주점을 x방향으로 변환한 영상

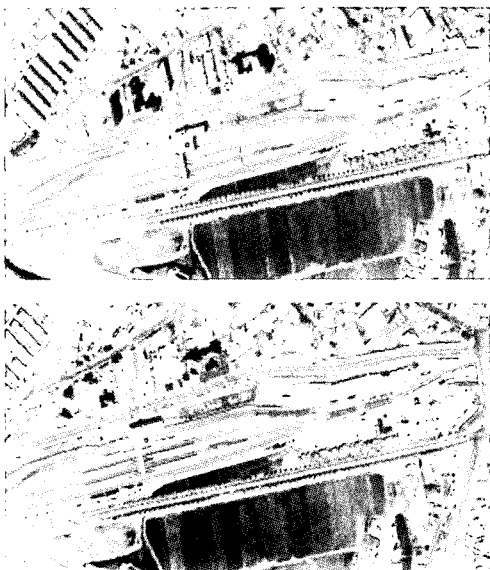


그림 9. 에피플라 Resampling된 연구대상지역 좌/우 영상(일부분)

표 3. 정위치 편집 전후 데이터 비교



도로 및 인도	정위치 편집 전	정위치 편집 후
		
	도로 및 인도 묘사 안 됨	도로 및 인도 묘사



그림 10. 고해상도 위성영상에 의해 신규 제작된 축척 1/5,000 수치지도(문산 052)

하여 법정(행정)구역 경계 및 명칭, 인공 지표물(도로, 교량, 수문, 제방 등), 자연 지표물(산, 하천, 유수방향 등), 영상촬영 이후 변화가 생긴 곳에 대한 사진촬영 등의 현지

조사를 실시하였다. 표 3은 현지조사를 통한 정위치 편집 전후의 성과물을 비교한 예이다.

현지조사내용 및 방법은 국토지리정보원의 조사규정을 따랐으며, 현지조사 원도, 행정지명일람표, 지리/지명 조사 보고서를 작성하였으며, 현지조사 및 정위치 편집 작업(국토지리정보원, 1995)을 거쳐 최종 완성된 연구대상지역의 축척 1/5,000 수치지도는 그림 10과 같다.

5. 정확도 평가

본 연구에서는 위성영상으로부터 제작된 수치지도의 정확도 평가를 위하여 해당 도엽에서 평면좌표(XY) 검사점 20개, 표고좌표(Z) 검사점 20개를 선정하여 지도 좌표와 실제 GPS 측량결과를 비교하여 RMSE(Root Mean Square Error)를 계산하였다. 검사점 GPS 측량은 2주과 수신기를 이용하여 검사점 당 40분 이상의 데이터를 수신하였으며, 국토지리정보원의 GPS 상시 기준점(수원, 원주) 및 수준점을 연결하여 데이터를 처리하였다. 정확도 검사점에 대한 지도 좌표와 GPS 측량 좌표간의 차이는 표 4와 같다.

좌표를 사용하는 수치 및 종이지도, 영상지도, DEM(Digital Elevation Model) 등과 같은 성과물의 정확도는 일반적으로 검사점의 지도 좌표와 실제 측량 좌표 사이의 차이로부터 RMSE를 구하여 평가를 하게 된다. RMSE를 구하기 위한 산정식은 다음과 같다.

$$RMSE = \pm \sqrt{\frac{\sum(C_i - C_i)^2}{n-1}} \quad (1)$$

표 4. 검사점의 지도좌표와 GPS 측량 좌표의 차이

검사점	$\Delta N(m)$	$\Delta E(m)$	$\Delta H(m)$
5201	-1.096	-0.233	1.723
5202	0.149	0.634	-1.325
5203	-1.310	-0.661	1.241
5204	-3.408	-3.742	-1.320
5206	-0.010	0.900	-0.291
5007	-0.035	1.159	-1.893
5208	1.194	-0.445	-1.527
5209	-1.168	3.138	-0.312
5210	-0.213	1.252	-1.437
5212	0.056	-1.110	1.324
6201	-0.266	0.493	-1.316
6202	0.908	0.828	-0.395
6203	-0.227	0.189	-1.637
6204	0.505	-1.505	-0.474
6205	0.521	0.666	-0.016
6206	0.854	-0.088	-1.495
6207	0.699	-0.014	-0.872
6208	0.288	0.077	-0.888
6209	0.906	0.718	-1.318
6210	0.021	0.533	-0.761

표 5. 검사점 평면좌표 및 표고좌표의 RMSE

평면좌표 RMSE		표고좌표 RMSE	과대오차 수
N(m)	E(m)	H(m)	3 σ 이상
1.051	1.345	1.231	0

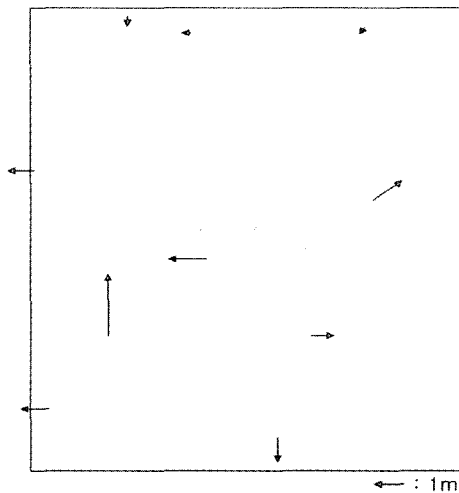


그림 11. 각 검사점의 Error Vector

앞의 식에서, C_i : 지도 좌표, C_i' : 측량 좌표, n : 검사점의 수

본 연구에서는 위성 영상으로부터 제작된 수치지도의 정확도 평가를 위해 검사점의 지도좌표와 GPS 측량 좌표의 차이로부터 RMSE를 산정하고 검사점의 과대오차를 점검하기 위하여 각 검사점의 오차가 RMSE의 3배(3σ)를 초과하는 점에 대한 점검을 하였으며, 그 결과는 표 5 및 그림 11과 같다.

6. 결 론

본 연구는 1m 해상도의 고해상도 위성영상을 이용하여 축척 1/5,000 수치지도를 제작함으로써 그 제작방법에 대한 분석과 결과의 정확도에 대한 평가를 하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 고해상도 위성영상을 이용한 도화작업시 축척 1/5,000 수치지도에 필요한 지형/지물의 판독은 본 연구의 대상 지역에 대하여 100% 가능 하였다. 이는 대상지역에 포함되지 않는 지형/지물이 비교적 많아 축척 1/5,000 수치지도에 사용되는 모든 레이어에 대한 인식과 묘사가 가능하다고 판단하기는 힘들나 본 연구에 적용된 레이어들이 소분류 레이어들을 골고루 포함하고 있고 대상지역에 포함되지 않아 본 연구에 적용되지 않은 레이어의 대부분이 현지 조사를 통한 속성입력이 필요한 레이어 이므로 고해상도 위성영상을 이용한 대축척 수치지도 제작시 지형/지물의 판독에 무리가 없을 것으로 판단된다.

2. 제작된 축척 1/5,000 수치지도의 위치정확도는 GPS를 이용한 검사점 측량 결과, 평면위치(XY)의 RMSE는 $\pm 1.706m$ (N : $\pm 1.051m$, E : $\pm 1.345m$), 표고위치(Z)의 RMSE는 $\pm 1.231m$ 으로 나타났다. 이는 공공측량 작업규정의 기준 정확도 「공공측량의 작업규정 세부 기준(건설교통부고시 제2002-17호), 제47조(지도의 정확도)」를 벗어나지 않는 크기로서 1m 해상도 위성영상을 이용한 축척 1/5,000 수치지도의 제작이 가능하며, 기존의 연구에서 사용한 위성영상을 이용한 수치지도 제작 방법보다 본 연구에서 사용한 수치지도 제작 방법이 높은 정밀도와 정확도를 가지는 것으로 판단된다.

3. 본 연구 결과 1m 해상도 영상을 이용한 축척 1/5,000 수치지도의 제작이 가능하다고 판단됨에 따라 현재 항공사진 측량이 불가능한 지역의 대축척 수치지도 제작의 대안 방법 및 위성영상과 항공사진의 장단점에 기준하여 상

호 보완적인 방법으로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

4. 위성영상의 해상도가 지속적으로 높아지고 있으며, 이를 이용한 수치지도 제작에 관한 연구가 활발히 진행되고 있으므로 위성영상을 이용한 수치지도 제작에 관한 국가적 차원의 제 규정 확립이 있어야 할 것이다.

참고문헌

강준목, 이철희, 이형석 (2002), 수치지도의 수정 및 갱신을 위한 고해상도 위성영상의 적용 가능성 평가, 한국측량학회지, 제20권, 제3호, pp. 313-321.

강준목, 이용욱, 박준규 (2003), RPC와 GCP를 이용한 IKONOS 위성영상의 기하보정, 한국측량학회지, 제21권, 제2호, pp. 165-172.

국토지리정보원 (2003), 공공측량의 작업규정 세부 기준, 건설교

통부고시 제2003-326호.

국토지리정보원 (2001), 위성 영상을 이용한 지도제작 시험연구, pp. 193-196.

국토지리정보원 (1995), 수치지도 작성 작업내규.

국토연구원 (2000), 공간영상정보 구축시범 사업 완료 보고서, pp. 24-35.

김감래, 김재연 (2003), 항공사진 영상과 위성 영상간의 지형지물 비교·분석, 한국측량학회지, 제21권, 제1호, pp. 1-7.

이병환, 김정희, 박경환, 정일훈 (2000), 고해상도 위성영상을 이용한 축척 1/10,000 수치지도제작, 한국지리정보학회지, 제3권, 제2호, pp. 11-23.

Paul R.wolf and A.Dewitt (2000), *Elements of Photogrammetry with Application in GIS*. McGraw-Hill, New York, N.Y. pp. 289-290.

USGS (1998), Standard for Digital Elevation Models - Part 2.

Zhou, G. and Li, Ron (2000), *Accuracy Evaluation of Ground Points from IKONOS High-Resolution Satellite Imagery*. PE & RS, Vol. 66, No. 9, pp. 20-21.

(접수일 2004. 9. 10, 심사일 2004. 9. 16, 심사완료일 2004. 9. 24)