아리랑위성 2호 입체영상을 이용한 지도제작 가능성 연구

이광재^{1*} · 김윤수¹ · 서현덕²

A Feasibility Study for Mapping Using The KOMPSAT-2 Stereo Imagery

Kwang-Jae LEE^{1*} · Youn-Soo KIM¹ · Hyun-Duck SEO²

요 약

아리랑위성 2호는 다양한 공간정보 생성 및 활용을 위해서 서로 다른 두 궤도를 이용하여 입체영상을 촬영하여 제공할 수 있다. 그러나 이와 같은 입체영상을 지도제작 등에 활용 가능한지 확인하기 위해서는 다양한 실험이 요구된다. 본 연구의 목적은 아리랑위성 2호 입체영상을 이용한 지도제작 가능성을 확인하는데 있으며, 이를 위하여 입체영상 기반의 수치도화를 수행하고 그 성과를 바탕으로 수치고도모델 및 정사영상을 제작한 후 정확도 평가를 수행하였다. RPC 기반의 모델링 결과를 GPS 측량점과 비교한 결과 수평, 수직 모두 $\pm 1.5\text{m}$ 이내의 정확도를 나타냈으며, 이를 바탕으로 실제 도화한 성과를 기존 축척 1/5,000 수치지형도와 비교한 결과 수직방향으로는 지형특성에 따라 최대 5m 이상의 차이도 존재하는 것으로 확인되었다. 한편 비록 실험에 사용된 영상자료 내에 일부 불규칙한 시차가 존재하는 것을 확인하였지만 축척 1/5,000 수치지형도에서 요구되는 레이어에 대해서 최소 70% 이상은 판독 및 도화가 가능한 것으로 확인되었다. 또한 실험을 통해 제작된 도화 DEM을 기존 라이다 DEM 등과 비교함과 동시에 이를 통해 제작된 정사영상의 위치정확도가 축척 1/5,000 정사영상지도에서 요구하는 정확도를 만족하는 것을 확인하였다.

주요어 : 아리랑위성 2호, 다중분광카메라, 센서모델링, RPC, 지도제작, 수치고도모델

ABSTRACT

The KOREA Multi-Purpose SATellite(KOMPSAT)-2 has a capability to provide a cross-track stereo imagery using two different orbits for generating various spatial information. However, in order to fully realize the potential of the KOMPSAT-2 stereo imagery in terms of mapping, various tests are necessary. The purpose of this study is

2012년 2월 1일 접수 Received on February 1, 2012 / 2012년 3월 16일 수정 Revised on March 16, 2012 /
2012년 3월 19일 심사완료 Accepted on March 19, 2012

1 한국항공우주연구원 영상활용기술팀 Satellite Data Application Department, Korea Aerospace Research Institute

2 중앙항공업(주) Chung-Ang Aerosurvey Co., Ltd.

* 연락저자 E-mail : kjlee@kari.re.kr

to evaluate the possibility of mapping using the KOMPSAT-2 stereo imagery. For this, digital plotting was conducted based on the stereoscopic images. Also the Digital Elevation Model (DEM) and an ortho-image were generated using digital plotting results. An accuracy of digital plotting, DEM, and ortho-image were evaluated by comparing with the existing data. Consequently, we found that horizontal and vertical error of the modeling results based on the Rational Polynomial Coefficient (RPC) was less than 1.5 meters compared with the Global Positioning System (GPS) survey results. The maximum difference of vertical direction between the plotted results in this study and the existing digital map on the scale of 1/5,000 was more than 5 meters according as the topographical characteristics. Although there were some irregular parallax on the images, we realized that it was possible to interpret and plot at least seventy percent of the layer which was required the digital map on the scale of 1/5,000. Also an accuracy of DEM, which was generated based on the digital plotting, was compared with the existing LiDAR DEM. We found that the ortho-images, which were generated using the extracted DEM in this study, sufficiently satisfied with the requirement of the geometric accuracy for an ortho-image map on the scale of 1/5,000.

KEYWORDS : KOMPSAT-2, Multi-Spectral Camera(MSC), Sensor Modeling, RPC, Mapping, Digital Elevation Model

서론

항공사진측량 기술은 많은 장점에도 불구하고 항공기가 접근 가능한 지역에 국한되어 활용될 수밖에 없다는 한계도 있다. 과거부터 항공기의 접근이 불가능한 지역 또는 광역지역에 대한 신속한 지리정보 획득 방안으로 위성원격탐사 기술이 많이 적용되어 왔으나 2000년도 이전까지의 중·저해상도 위성영상으로는 대축척 지도 제작이 사실상 불가능하였다. 그러나 위성개발 기술의 발달로 2000년도 초반부터 다양한 종류의 고해상도 위성영상이 민간에 공급됨에 따라 기존의 전통적인 항공사진을 대신하여 각종 주제도 제작 분야에서 많이 사용되고 있다. 수치사진측량 분야에서 각광받고 있는 위성영상 기반의 지도 제작은 1986년 SPOT-1호가 발사되면서부터 관련기술에 대한 연구가 급격하게 이루어지게 되었다(Kruck, 1988). 특히 Li(1998)

는 엄격한 사진측량기술을 적용할 경우 고해상도 입체 위성영상(In-Track 및 Cross-Track)을 이용한 미국 국가 주제도의 생성 및 갱신 가능성을 이론적 연구를 통해서 확인하였다. 이와 같은 위성기반의 사진측량기술은 IKONOS-2 발사와 함께 정밀 지리정보 추출 및 이를 통한 다양한 주제도 제작을 위하여 급격하게 발전하게 되었는데, 특히 기존에 접근이 불가능한 지역에 대한 지리정보 획득 수단으로 많이 활용되었다. 국내에서도 접근불능지역에 대한 지리정보 획득에 있어 고해상도 위성영상의 활용 가능성에 대한 평가 및 지리정보 구축 방안에 대한 연구가 수행된 바 있다(국토연구원, 2004).

아리랑위성 2호는 2006년 7월 발사 이후 현재까지 정상운영 중에 있으며, 공간해상도 1m의 흑백과 4m의 칼라영상을 제공함에 따라 보다 정밀한 지리정보 추출 및 활용에 이용되고 있는데, 이현직 등(2009)은 수치고도 모델(Digital Elevation Model) 등과 같은 지

형공간정보 생성에 있어 아리랑위성 2호의 활용가능성을 타진하기 위하여 영상품질 평가 등을 수행하는 한편 정밀 주제도 시범제작을 통해 그 활용 가능성을 확인하였다. 한편 아리랑위성 2호 영상자료에 대한 본격적인 상용화가 시작되면서 해외기관에서 MSC(Multi-Spectral Camera) 영상자료에 대한 다양한 정확도 평가가 이루어졌는데, Saunier *et al.*(2008)은 기준점을 사용하지 않을 경우와 한 점의 기준점을 사용할 경우의 아리랑위성 2호 표준영상의 위치정확도를 평가하였다. 또한 Nowak Da Costa and Walczynska(2010)은 JRC(Joint Research Centre) Maussane 사이트의 지상기준점과 서로 다른 2개의 영상처리 소프트웨어를 이용하여 기준점의 수량 및 분포 등에 따른 아리랑위성 2호 정사영상 정확도를 분석하였는데, 9~15개 정도의 지상기준점이 고루 분포할 경우 기준점의 수량에 따른 정확도 변화는 크지 않는 반면 촬영 각에 따른 정확도는 민감하게 변화하는 것으로 확인되었다. 한편 정재훈과 김태정(2009)은 위성체의 자세제어 방식이 다른 SPOT(Mirror Tilt)과 아리랑위성 2호(Body Tilt)에 물리적 모델(Physical Model)인 궤도 자세각(Orbit Attitude) 모델을 적용하여 미지수조합에 따른 성능변화를 비교, 분석하였으며, Oh *et al.*(2011)은 사용자에게 제공되는 RPC(Rational Polynomial Coefficient)와 위성의 위치, 속도, 자세정보 등을 포함하고 있는 Ephemeris 자료를 이용하여 아리랑위성 2호의 위치정확도를 분석하는 한편 물리적 모델과 수학적 모델(Mathematical Model)별 정확도 분석을 수행하였다. 이외에도 아리랑위성 2호 영상자료의 3차원 위치결정 정확도 평가 및 정확도 향상을 위한 다양한 연구(이진덕과 소재경, 2009; 김태정 등, 2010; 이상진 등, 2010)와 이를 기반으로 한 DEM 제작 연구(이수암 등, 2009) 등이 다수 이루어졌다. 그러나 3차원 위치정확도 평가에서 나아

가 실제 지도를 제작하거나 이에 대한 적용가능성을 체계적으로 분석한 사례는 거의 없다. 과거 IKONOS-2 위성영상을 이용하여 축척 1/5,000 수치지형도를 제작하고, 정확도 평가 등을 통하여 IKONOS-2 위성영상을 이용한 대축척 지도제작 가능성을 분석한 사례는 있으나(e-HD.com와 성균관대학교, 2002), 아리랑위성 2호 영상자료를 이용한 실질적인 지도제작 관련연구는 존재하지 않았다.

이 논문에서는 고해상도 위성영상의 가장 대표적인 활용분야인 지도제작 분야에 있어 아리랑위성 2호 입체영상(Cross-Track)의 활용 가능성을 평가하기 위하여 시범지역에 대한 위성영상 모델링 성과를 기반으로 수치도화를 수행하는 한편 도화성과를 이용하여 DEM을 제작 후 정사영상을 제작하고자 한다. 또한 각 성과물에 대한 체계적인 정확도 검증을 통하여 지도제작 가능성 및 한계점 등에 대하여 분석하고자 한다.

연구지역 및 자료

실험은 대전, 담양 및 포항지역을 대상으로 수행되었는데, 우선 대전지역은 광역시로서 도심지역을 대표하고 있으며, 담양 및 포항은 산지와 농지로 구성된 전형적인 농촌지역으로서 지형적 차이에 따른 영향을 고려하여 대상지역을 선정하였다. 한편 실험은 대전, 담양지역을 중심으로 이루어졌으며, 포항지역은 담양지역의 실험결과를 보완·검증하기 위하여 추가적으로 실시되었다.

표 1은 실험에 사용된 아리랑위성 2호 입체영상에 대하여 설명하고 있다. 아리랑위성 2호의 경우 동일 궤도(In-Track) 상에서는 입체촬영이 불가능 하지만 서로 다른 좌·우 촬영 각을 이용하여 입체영상을 생성할 수 있다. 실험에서는 가급적 좌·우 대칭각이 유사한 영상만을 선별하여 사용하였는데, 표 1에서 보듯이 대전과 담양지역 영상의 경우 경사각(Tilting Angle) 조건이 서로 유사한 반면

TABLE 1. 실험에 사용된 아리랑위성 2호 입체영상

항목	파라미터		
위성/센서	아리랑위성 2호 MSC(Multi-Spectral Camera)		
처리레벨	Level 1R		
영상사이즈	15,000 × 15,500 pixels(Column × Line)		
촬영지역	대전	담양	포항
촬영일	좌 : 2009. 04. 12	좌 : 2007. 02. 23	좌 : 2009. 01. 05
	우 : 2008. 05. 06	우 : 2007. 02. 26	우 : 2008. 11. 23
경사각(Tilting Angle)	좌 : -16.826°	좌 : -16.596°	좌 : -12.652°
	우 : 14.303°	우 : 14.911°	우 : 10.823°
브라우저 영상

포항지역 영상은 다소 낮은 경사각을 가지는 대신 해상도(Ground Sample Distance)가 가장 좋은 것으로 확인되었다. 한편 서로 다른 궤도(Cross-Track)를 통해 입체촬영을 하는 관계로 담양지역을 제외한 대전, 포항의 경우 좌·우 영상간의 시기적인 차이가 존재하였다. 한편 실험에 사용된 영상들은 모두 기본적인 방사보정(Radiometric Correction)만 수행된 Level 1R 자료로서 구름, 연무 등이 없는 맑은 날에 촬영된 영상들이다.

3차원 위치결정 및 정확도 분석에 있어 요구되는 기준점(Control Point) 및 검사점(Check Point)은 GPS(Global Positioning System) 측량을 통하여 확보하였으며, 아리랑위성 2호 영상자료에서 그 위치가 명확히 식별되는 점만을 선별하여 위성영상 모델링 및 정확도 검증에 사용하였다. 한편 포항지역의 경우 일부 부족한 기준점 및 검사점을 공간해상도 25cm급의 정밀 정사항공사진에서 추출하여 사용하였다. 또한 아리랑위성 2호 입체영상으로부터 도화한 성과에 대한 정확도를 분석하기 위하여 기존 고정밀 항공사진 기반으로 제작된 축척 1/1,000, 1/5,000 수치지형도를 이용하였으며, DEM 정확도 분석을 위하여 대전지역 LiDAR DEM을 활용하였다.

실 험

1. 위성영상 센서 모델링

일반적으로 물리적 센서모델은 수학적 센서모델에 비해 상대적으로 정확하지만 위성의 궤도 및 센서 등과 관련된 많은 정보를 필수적으로 요구한다. 반면 영상좌표와 지상좌표 간의 수학적 관계만을 고려한 수학적 센서모델은 많은 수의 기상기준점을 필요로 하지만 궤도정보를 얻을 수 없거나 불확실한 경우 쉽고 빠르게 적용할 수 있으며 무엇보다 센서모델에 대한 전문지식이 없는 사용자들도 쉽게 사용할 수 있다는 장점을 가진다(조우석과 이동구, 2002). 한편 대부분의 고해상도 위성들은 위성의 궤도정보를 대신하여 촬영 당시의 표정요소 등에 관한 정보를 RPC 파일에 담아 제공하고 있는데 아리랑위성 2호의 경우 80개의 파라미터로 구성되어 있다. 최근 가장 많이 사용하고 있는 RFM(Rational Function Model)은 지상 3차원 좌표(X, Y, Z)와 이에 대응하는 영상좌표(r, c)간의 기하학적인 관계를 비례다항식 형태로 표현한 모델로서, 식 (1)과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} r_n &= \frac{P_1(X_n, Y_n, Z_n)}{P_2(X_n, Y_n, Z_n)} \\ c_n &= \frac{P_3(X_n, Y_n, Z_n)}{P_4(X_n, Y_n, Z_n)} \end{aligned} \quad (1)$$

한편 식 (1)에서 3차원 지상좌표(X_n, Y_n, Z_n)와 2차원의 영상좌표(r_n, c_n)는 모두 -1.0과 1.0 사이의 범위로 정규화된 좌표들로서 반복 계산 시에 계수들을 안정화시키고 연산을 간단히 처리하기 위하여 식 (2)에 의해 정규화될 수 있다.

$$\begin{aligned} r_n &= \frac{r - r_o}{r_s} \quad c_n = \frac{c - c_o}{c_s} \\ X_n &= \frac{X - X_o}{X_s} \quad Y_n = \frac{Y - Y_o}{Y_s} \\ Z_n &= \frac{Z - Z_o}{Z_s} \end{aligned} \quad (2)$$

식 (2)에서 r_o, c_o 와 X_o, Y_o, Z_o 는 각각 영상좌표와 지상좌표의 offset 값이며, r_s, c_s 와 X_s, Y_s, Z_s 는 영상좌표와 지상좌표의 scale factor들이다. 한편 지상좌표 X, Y, Z 의 고차함수로 구성된 다항식 P 는 식 (3)과 같이 최대 3차항까지로 제한되며, a_0 에서 a_{19} 까지는 RPC를 나타내고 있다. 식 (3)에서 광학투영에 따른 왜곡은 1차항으로, 지구곡률, 대기굴절, 렌즈왜곡과 같은 오차는 2차항으로 보정이 가능하다. 기타 왜곡들은 3차항으로 제거될 수 있는데, RFM은 최대 3차로 제한된다.

$$\begin{aligned} P(X, Y, Z) &= a_0 + a_1X + a_2Y + a_3Z + a_4X^2 + a_5XY \\ &\quad + a_6XZ + a_7Y^2 + a_8YZ + a_{10}X^3 \\ &\quad + a_{11}X^2Y + a_{12}X^2Z + a_{13}XY^2 \\ &\quad + a_{14}XYZ + a_{15}XZ^2 + a_{16}Y^3 + a_{17}Y^2Z \\ &\quad + a_{18}YZ^2 + a_{19}Z^3 \end{aligned} \quad (3)$$

일반적으로 사용자에게 제공되는 RPC는 위

성센서를 통해 획득되는 보조자료 만을 이용하여 생성되기 때문에 위성센서 정확도와 동일한 지상좌표결정 정확도를 가진다고 볼 수 있다. 따라서 고해상도 영상자료에 적합한 3차원 위치결정 정확도를 확보하기 위해서는 RPC 개선을 위한 노력이 뒤따라야 한다. 방기인 등(2002)은 소수의 지상기준점을 이용하여 RPC를 갱신하는 방안을 제시하고 이를 통해 약 50% 정도의 개선효과를 확인하였다. 이외에도 지상기준점을 활용한 다양한 RPC 개선 연구(이효성과 안기원, 2004; 오재홍과 이효성, 2011)가 이루어졌다. 한편 Affine 기반의 Refine RPC를 통한 3차원 위치결정 정확도 검증연구도 수행되었는데(서두천과 양지연, 2009; Oh *et al.*, 2011), 본 연구는 일반적인 지도제작에 있어 아리랑위성 2호 입체영상의 활용성을 분석하는 것이 목적이기 때문에 일반 상용 DPW(Digital Photogrammetric Workstation)에서 누구나 손쉽게 적용이 가능한 Affine 기반의 RPC Refinement 방식을 통해 모델링을 수행하였다.

2. 제작실험

실험은 크게 수치도화, DEM추출, 정사영상 제작으로 구분되어 수행되었으며, 모든 실험은 국토지리정보원 작업내규를 기초로 이루어졌다. 또한 기존의 지도제작 실험(한국항공우주연구원, 2009, 이광재 등, 2010) 방법을 그대로 적용하여 추가적인 실험을 수행함으로써 보다 체계적인 평가가 이루어지도록 하였다. 그림 1은 국토지리정보원 작업내규를 바탕으로 수립된 전체 자료처리 공정으로서 본 연구에서는 그림 1의 자료처리 흐름에 따라서 시범지역에 대한 지도제작 실험을 수행하였다. 한편 지도제작 성과에 대하여 객관적이고 효율적인 비교·검증을 위하여 모든 성과는 축척 1/5,000을 기준으로 제작되었으며, 정확도 검증 등에 있어서도 축척 1/5,000에서 요구되는 기준을 그대로 적용하여 비교, 분석하였다.

FIGURE 1. 자료처리 흐름도

3차원 위치결정은 좌·우 영상 상에서 기준점과 접합점을 관측하고 블록조정에 의하여 영상의 3차원 지상좌표를 계산하는 것으로 실험에는 일반적으로 수치사진측량장비로 많이 사용되고 있는 ERDAS LPS(Leica Photogrammetry Suite)를 이용하였는데, 아리랑위성 2호 RPC가 LPS에서 인식 가능하도록 간단한 변환과정을 거친 후 적용하였다. 참고로 아리랑위성 2호 센서모듈은 LPS v10.0부터 추가되어 배포되고 있다. 한편 그림 2는 각 영상별로 모델링에 사용된 기준점 및 검사점 분포현황을 보여주고 있으며 표 2는 실제 그림 2의 기준점과 검사점을 이용하여 모델링을 수행한 결과를 나타내고 있다.

한편 수치지형도 제작은 수치도화를 시작으로 정위치편집, 구조화편집 과정을 거쳐 최종적인 도면제작 편집을 통하여 이루어졌으며 수치도화 작업은 도화경력 10년 이상의 전문가가 직접 수행하였다. 한편 정위치편집은 지리조사 및 현지보완측량을 통해 도화성과 또는 지도데이터 성과를 수정·보완하는 것을 말하는데, 본 연구는 지도제작 가능성 평가를 위한 시범적인 실험인 관계로 별도의 현지조

FIGURE 2. 기준점(△) 및 검사점(○) 분포도

TABLE 2. 위성영상 모델링 상대정확도(단위:m)

지역	기준점(RMSE)			검사점(RMSE)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
대전	0.55	0.37	0.81	0.89	0.79	1.19
담양	0.79	0.72	1.42	1.04	1.38	0.89
포항	0.17	0.04	0.85	0.26	0.20	1.25

FIGURE 3. 대전지역 수치도화, 정위치편집, 구조화편집, 도면제작편집 실험결과

FIGURE 4. 독산(담양) DEM 및 대전 정사영상지도 시범제작

사 및 보완측량을 수행하지 않고 기존 1/5,000 수치지형도 속성정보를 이용하여 편집하였다. 한편 구조화편집 과정을 통하여 기하학적인 문제점을 제거함과 동시에 위상구조를 구축하고 속성정보를 입력하였다. 마지막으로 각종 기호와 주기 등을 추가하는 도면제작 편집을 통해 최종적으로 도면을 완성하였

다. 실험을 통해 축척 1/5,000 도엽기준(도엽명 기준)으로 대전 4도엽, 독산(담양) 4도엽, 포항 1도엽을 시범적으로 제작하였으며, 그림 3은 대전지역에 대한 각 단계별 성과물을 보여주고 있다.

일반적으로 입체영상에서 DEM을 추출하기 위한 방법으로 영상매칭(Image Matching)

기법을 많이 사용하는데, 실제 영상매칭 방법만을 이용하여 DEM을 제작할 경우에는 불연속 구간 및 도심 건물의 폐색영역으로 인해 많은 문제점을 가지게 된다. 따라서 본 실험에서는 아리랑위성 2호 입체영상으로부터 수치도화를 통해서 추출한 등고선 및 표고점을 이용하여 격자간격 $5\text{m} \times 5\text{m}$ 의 DEM을 간접적으로 제작하였다(그림 4 좌측).

정사영상을 배경영상으로 하는 정사영상지도는 정사보정과 더불어 색상보정 과정을 거친 후 수치도화를 통해 추출한 정보를 중첩하고 난외주기를 삽입함으로써 완성된다. 수치도화 성과를 기반으로 제작된 DEM를 이용하여 정사보정을 행하고 흑백영상(1m)과 칼라영상(4m)을 이용하여 융합영상(1m칼라)을 생성하였다. 그림 4(우측)는 색상보정 및 난외주기 삽입을 통해 시범적으로 제작된 대전 지역 축척 1/5,000 정사영상지도 4도엽을 보여주고 있다.

결과 및 고찰

입체영상을 이용한 지도제작은 기본적으로 3차원 위치결정 성과에 대한 검증에서부터 시작된다. 본 연구에서는 위성영상 센서 모델링 성과를 평가하기 위하여 현지 GPS 측량성과를 이용하여 수치도화기 상에서 입체 관측한 좌표와 측량점 좌표를 그림 5와 같이 비교하

였다. 대전지역의 경우 수평, 수직 평균제곱근오차(Root Mean Square Error, RMSE)가 $\pm 1.47\text{m}$, $\pm 1.00\text{m}$ 로 나타났으며 담양지역의 경우 수평, 수직 RMSE가 $\pm 1.43\text{m}$, $\pm 0.73\text{m}$ 으로 확인되었다. 한편 포항지역의 경우 가용한 측량 검사점이 4점 밖에 되지 않았으며, 이를 이용하여 확인한 결과 수직오차($\pm 1.17\text{m}$ RMSE)가 수평오차($\pm 0.65\text{m}$ RMSE)보다 상대적으로 크게 나타났다.

한편 입체영상으로부터 도화한 성과에 대한 품질을 평가하기 위하여 묘사 정확도를 분석하였는데, 이는 도화성과 좌표와 실제 입체영상의 좌표를 상호 비교함으로써 이루어졌다. 그림 6은 샘플지점에 대한 도화성과와 입체영상간의 차이를 보여주고 있는데 수평, 수직방향의 차이가 최대 3.37m와 2.20m로 다소 크게 나타났으나, 평균적으로는 1.40m, 1.00m을 넘지 않는 것으로 확인되었다. 따라서 비록 일부지점에서 다소 큰 차이가 존재하였지만 실험에 사용된 아리랑위성 2호 영상자료의 공간해상도가 1m 인 것을 감안한다면 입체영상에서의 수치도화는 잘 이루어진 것으로 판단된다. 한편 그림 6에서 포항지역의 경우 대전, 담양지역 영상과 달리 수직오차가 수평오차에 비해 상대적으로 매우 작게 나타났으며 오차분포도 매우 고른 것으로 확인되었다.

FIGURE 5. GPS 측량점 좌표와 입체영상 관측좌표 간의 차이

FIGURE 6. 도화성과와 입체영상 간의 차이

FIGURE 7. 축척 1/5,000 수치지형도(Red)와 도화성과(Blue) 비교

그러나 일부지역에서 불규칙한 시차가 존재하는 것을 입체시 및 도화과정에서 확인할 수 있었는데 이와 같은 현상은 김태정 등(2010)과 이상진 등(2010)의 연구에서도 발견되었다. 이는 좌·우 영상간의 촬영시기 차이로 인한 문제일 수도 있고 영상처리 과정상에서 발생할 수도 있는 문제이기 때문에 그 원인에 대해서는 별도의 추가적인 연구를 통해 규명할 필요가 있을 것으로 판단된다. 한편 본 연구에서는 부분적으로 시차가 발생하였지만 도화가 불가능 하지는 않다는 도화사의 판단에 따라서 수치도화를 진행하였으며 그 성과를 그림 7과 같이 기존 수치지형도와 비교하였다.

정확도 비교는 각 도엽에서 상대적으로 비교가 용이한 도로, 건물 등 10개 지점을 선정하여 상호 비교하는 방식으로 이루어졌으며 그림 7은 대전지역 36710055 도엽에 대한 중첩비교 사례를 보여주고 있다. 실험을 통해 획득한 도화성과와 기존 1/5,000 수치지형도 레이어와는 최대 약 3.5m 정도의 편차가 존재하는 것으로 나타났는데 지역적으로는 대전이 기존 수치지형도와 잘 일치하는 것으로 확

인되었으며 담양지역 RMSE가 $\pm 2.08\text{m}$ 로 가장 크게 나타났다. 한편 산악지형에서 도화한 등고선의 경우 평지의 도로, 건물에 비해 상대적으로 높은 오차를 나타냈는데, 지형에 따라 최대 5m 이상의 차이도 존재하는 것으로 확인되었다. 또한 대전지역의 경우 1/1,000 수치지형도가 존재하기 때문에 1/1,000 수치지형도와 차이를 확인하기 위하여 10개 지점에서 추출한 좌표 값을 비교한 결과 수평방향으로 최대 약 3m까지 거리차이가 존재하는 것으로 나타났으며 전체 RMSE는 $\pm 2.30\text{m}$ 으로 나타났다.

일반적으로 축척 1/5,000 수치지형도는 공간해상도 수~수십 센티미터 급의 항공사진을 기반으로 제작되며 다양한 지형·지물을 레이어로 관리하고 있다. 따라서 1m급의 아리랑 위성 2호 영상으로부터 축척 1/5,000 수치지형도에서 요구하는 모든 레이어를 추출한다는 것은 불가능하다. Ridley *et al.*(1997)은 공간해상도 1m급의 위성영상을 이용하여 건물 추출 실험을 수행하였는데 단영상(모노)에서는 73%, 입체영상에서는 86% 정도의 건물

FIGURE 8. 아리랑위성 2호 영상과 항공사진 판독비교

추출이 가능할 것으로 평가하였는데, 실제 Fraser *et al.*(2002)의 IKONOS-2 영상자료를 이용한 연구에서도 유사한 결과를 확인할 수 있었다. 따라서 아리랑위성 2호 영상자료를 이용한 정보추출 가능 수준을 파악하기 위하여 그림 8과 같이 축척 1/5,000 수치지형도 제작에 많이 사용되고 있는 디지털항공사진을 이용하여 판독비교 실험을 수행하였다.

실험에 이용된 항공사진은 2009년 5월에 대전지역 일원을 촬영한 공간해상도 25cm급 ADS40 영상이며, 비교실험은 두 영상에서 육안판독이 가능한 축척 1/5,000 레이어 항목을 대상으로 하였는데 전체 500개 이상의 레이어 중에서 주기와 같이 묘사대상이 아닌 항목을 제외한 334개를 기준으로 도화사가 판독하였다. 그 결과 아리랑위성 2호 영상에서는 243개 레이어(72.75%)에 대해 판독·도화가 가능할 것으로 파악되었으며 ADS40 영상에서는 254개 레이어(76.04%)에 대해 판독·도화가 가능한 것으로 확인되었다. 그러나 아리랑위성 2호 영상에 비해 확보된 ADS40 영상 면적이 상대적으로 많이 협소한 것을 감안하면 실제 ADS40 영상과의 판독률 차이는 더 크게 발생할 것으로 예상되는데 실제 아리랑위성 2호의 경우 식별이 불가능한

비율이 약 9%로, ADS40 영상의 2.4%에 비해 매우 높게 나타나 이를 더욱 뒷받침하고 있다. 한편 이상의 결과는 전적으로 도화사의 주관적인 견해를 기반으로 하기 때문에 개인적인 시각차에 따른 휴먼오차는 존재할 것으로 판단된다.

DEM 정확도 평가는 우선 DEM 제작 정확도를 분석하기 위해서 DEM 제작 당시에 사용된 도화성과의 높이 값과 실제 제작된 DEM의 높이 값을 상호 비교함으로써 이루어졌는데 이를 위해서 도엽별로 40지점을 선정하여 높이 값 차이를 비교하였다. 그 결과 대전, 담양인근 총 8도엽에서 RMSE가 최대 $\pm 0.7\text{m}$ 을 넘지 않는 것으로 나타났다. 일부 산악지형이 많은 36710056(대전) 도엽의 경우 최대 2m까지 차이가 발생하는 것으로 나타났다. 그러나 대부분이 1m 이하인 것으로 확인되었다. 또한 그림 9와 같이 대전지역 축척 1/5,000 수치지형도 1개 도엽에 해당하는 LiDAR DEM(1m)과 기존 1/5,000 수치지형도를 기반으로 제작된 DEM(5m)과의 비교를 통해 보다 세부적인 정확도 분석을 수행하였다. 각 도엽별 최소, 최대 및 평균 높이 값이 유사한 것으로 나타났기 때문에 각 도엽에서 동일한 40 지점에서 높이 값을 추출하여 그

FIGURE 9. DEM 정확도 평가(좌 : 시범지역 제작 DEM, 중 : 수치지형도 DEM, 우 : 라이다 DEM)

TABLE 3. 정사영상(독산도엽 : 35713012)과 수치도화 성과의 비교 (단위 : m)

관측점	정사영상		수치도화		dx	dy	RMSE
	x	y	x	y			
CHK01	202,496.36	191,930.85	202,494.29	191,931.33	2.07	-0.48	±1.70
CHK02	202,502.88	192,039.34	202,501.77	192,038.70	1.11	0.64	
CHK03	202,482.84	192,043.79	202,482.52	192,045.37	0.32	-1.59	
CHK04	202,553.14	191,981.52	202,552.35	191,980.89	0.80	0.64	
CHK05	202,496.20	191,930.53	202,493.97	191,931.65	2.23	-1.11	
CHK06	202,449.44	191,796.16	202,449.12	191,798.54	0.32	-2.38	
CHK07	203,487.29	191,034.52	203,485.63	191,033.84	1.65	0.69	
CHK08	203,718.11	191,072.05	203,716.60	191,072.18	1.51	-0.14	
CHK09	203,125.53	189,348.17	203,126.28	189,347.25	-0.74	0.93	
CHK10	235,116.95	318,680.89	235,116.85	318,680.39	0.10	0.50	

차이를 분석하였다. 우선 실험을 통해 제작된 도화 DEM의 경우 LiDAR DEM과는 최대 13.5m, 수치지형도 DEM과는 최대 12.3m 정도의 차이가 존재하는 것으로 나타났으며 전체 RMSE는 각각 $\pm 3.6\text{m}$, $\pm 3.1\text{m}$ 로 확인되었다. 한편 본 연구를 통해 제작된 DEM의 경우 평지에서는 LiDAR 및 수치지형도 DEM과 크게 차이가 없었으나 산비탈 및 산 정상 부분과 같은 산악지형에서는 LiDAR 및 수치지형도 DEM과 비교하여 상대적으로 고도가 높은 것으로 나타났는데 이는 공간해상도의 제약으로 인해 수치도화 시에 정밀하게 지표틀 기반으로 도화할 수 없었기 때문인 것으로 판단된다. 통상적으로 수~수십 센티미터 급의 항공사진을 이용하여 수치지형도를 제작할 경우에도 삼림으로 인한 오차를 최소화하기 위하여 가급적 겨울철에 촬영한 영상을 사용하나 침엽수림 등으로 인해 지표가 보이지 않을 경우에는 도화사의 오랜 경험을 기반으로 나무의 높이를 고려하여 도화할 수밖에 없기 때문에 일정부분 오차를 포함할 수밖에 없다. 따라서 항공사진에 비해 공간해상도가 낮은 위성영상의 경우 이로 인한 오차는 더 많이 포함할 수밖에 없을 것으로 판단된다.

정사영상에 대한 정확도 분석 역시 크게 두 가지 방법으로 구분되어 수행되었는데, 우선 입체영상에서 도화한 결과와 비교함으로써 도화성과와의 일치여부를 평가한 후 GPS 측량

점과의 비교를 통해 최종적인 위치 정확도를 평가하였다. 표 3은 수치도화 성과와 정사영상 간의 차이가 가장 큰 35713012(독산) 도엽의 비교 결과를 보여주고 있는데 최대 2.38m까지 차이나는 것으로 확인되었다. 전반적으로 담양지역(독산도엽) 정사영상이 도화성과와 많이 차이 나는 것으로 확인되었는데, 이는 GPS 측량점을 이용한 정확도 분석에서도 동일하게 나타났다. 측량점을 이용한 정확도 검증에서 대전지역 RMSE가 $\pm 1.51\text{m}$ 인데 반해 담양지역은 $\pm 1.98\text{m}$ 로 높게 나타났다. 그러나 축척 1/5,000 정사영상지도의 정확도 기준인 5m는 모두 만족하고 있는 것으로 확인되었다.

결론

본 연구에서는 아리랑위성 2호 입체영상을 이용한 지도제작 가능성을 평가하기 위하여 시범지역에 대한 지도제작 실험을 수행하였는데 위성영상 센서모델링 결과를 입체시를 통해 GPS 측량점과 비교한 결과 모든 영상에서 수평 $\pm 1.5\text{m}$ (RMSE), 수직 $\pm 1.2\text{m}$ (RMSE) 이내의 정확도를 확인할 수 있었다. 한편 실험을 통해 도화한 성과를 기존 축척 1/5,000 수치지형도 레이어와 비교한 결과 수평방향으로는 최대 약 3.5m 정도의 차이가 존재하는 것으로 나타났으며 수직방향으로는 지형특성

에 따라 최대 5m 이상의 차이도 존재하는 것으로 확인되었다. 비록 좌·우 입체영상 간의 서로 다른 촬영시기로 인하여 밝기 값이 동일하지는 못하였지만 축척 1/5,000 수치지형도에서 요구되는 지형·지물에 대해서 최소 70% 이상은 판독 및 도화가 가능한 것으로 항공사진과의 비교실험을 통해 확인할 수 있었다. 수치도화 성과를 기반으로 생성된 DEM을 LiDAR 및 수치지형도 DEM과 비교한 결과 평지에서는 매우 높은 정확도를 가지는 것으로 나타났으나, 산악지형에서는 나무 등의 간섭으로 인해 평지보다 많은 오차를 가지는 것으로 확인되었다. 한편 정사영상의 경우 수치도화 성과 및 GPS 측량점과의 비교에서 평균 $\pm 2\text{m}$ (RMSE) 이내의 높은 위치정확도를 나타냈다. 이와 같은 결과를 미뤄볼 때에 고정밀의 항공사진과 비교하여 많은 제약을 가지는 아리랑위성 2호를 이용하여 완벽한 대축척의 수치지형도 등을 제작할 수는 없겠지만 기존 지도의 보완이나 접근불능지역에 대한 신규 지도제작 등에는 충분히 활용할 수 있을 것으로 판단된다. 한편 아리랑위성 3호부터는 동일 궤도상에서 입체촬영이 가능할 것으로 예상되기 때문에 지도제작 분야에 있어 아리랑위성 영상자료가 더욱 다양하게 활용될 수 있을 것으로 기대된다. **KAGIS**

참고문헌

- 국토연구원. 2004. 접근불능지역의 지리정보 구축방법 연구. 국토연 2004-33. 168쪽.
- 김태정, 정재훈, 김택인. 2010. KOMPSAT-2 영상 PAN밴드의 내부표정 정확도 분석 및 개선방안 연구. 대한원격탐사학회지 26(4):439-449.
- 방기인, 정수, 김경욱, 조우석. 2002. 지상기준점 추가에 의한 IKONOS RPC 갱신. 한국지형공간정보학회지 10(4):41-50.
- 서두천, 양지연. 2009. 상용S/W를 이용한 KOMPSAT-2 자료의 센서모델링. KARI-SDT-TM-2009-001. 18쪽.
- 이광재, 김윤수, 서현덕. 2010. 아리랑위성 2호 영상자료를 이용한 주제도 제작 실험. 한국지리정보학회 춘계학술대회 논문집. 120-121쪽.
- 이상진, 김정욱, 최윤수, 정승균. 2010. KOMPSAT-2 영상의 정밀궤도기반모델을 이용한 3차원 위치결정 정확도 평가. 한국지형공간정보학회지 18(4):3-10.
- 이수암, 정재훈, 김태정. 2009. Kompsat-2 영상의 DEM 생성 및 상용 소프트웨어와의 성능 평가. 대한원격탐사학회지 25(4):359-366.
- 이진덕, 소재경. 2009. 고해상도 위성영상의 RF모델 기반 지상위치의 정확도 개선 알고리즘 개발. 한국지리정보학회지 12(1):106-118.
- 오재홍, 이효성. 2011. RPC를 기반으로 한 아리랑 2호 에피폴라 영상제작. 한국측량학회지 29(2):157-164.
- 이현직, 유지호, 고영창. 2009. 지형공간정보 생성을 위한 KOMPSAT-2 영상의 활용성 분석. 한국지형공간정보학회지 17(1):21-35.
- 이효성, 안기원. 2004. IKONOS Geo레벨 위성영상의 위치결정 정확도 향상을 위한 RPC 조정. 대한토목학회논문집 24(6D):971-977.
- 정재훈, 김태정. 2009. Spot 영상과 Kompsat-2 영상에서의 궤도 자세각 모델의 성능 비교. 대한원격탐사학회지 25(2):133-143.
- 조우석, 이동구. 2002. RFM을 이용한 고해상도 인공위성 센서모델링. 대한원격탐사학회지 18(6):337-344.
- 한국항공우주연구원. 2009. 위성영상을 이용한 시범지역 지도제작. 119쪽.
- e-HD.com, 성관균대학교. 2002. IKONOS

- 위성영상을 이용한 1/5,000 수치지도 제작 연구. 107쪽.
- Fraser, C.S., E. Baltsavias and A. Gruen. 2002. Processing of IKONOS imagery for submetre 3D positioning and building extraction. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing* 56:117-194.
- Kruck, E. 1988. Photogrammetric mapping of SPOT images with BINGO in the PHOCUS system. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing (Commission III)* 27(B3):405-414.
- Li, R. 1998. Potential of high-resolution satellite imagery for national mapping products. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 64(12):1165-1170.
- Nowak Da Costa, J.K. and A. Walczynska. 2010. Geometric quality testing of the KOMPSAT-2 image data acquired over the JRC Maussane Test Site using ERDAS LPS and PCI GEOMATICS remote sensing software. JRC Scientific and Technical Reports No. JRC60285. 37pp.
- Oh, J., C. Lee and D. Seo. 2011. A test result on positional accuracy of KOMPSAT-2 pan imagery. *Proceedings ASPRS Annual Conference*. Milwaukee, Wisconsin, May 1-5, 2011, 9pp.(on CD ROM).
- Ridley, H.M., P.M. Atkinson, P. Aplin, J.P. Muller and I. Dowman, 1997. Evaluating the potential of the forthcoming commercial US high-resolution satellite sensor imagery at the ordinance survey. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 63(8):997-1005.
- Saunier, S., B. Coolet and A. Mambimba. 2008. New third party mission, quality assessment. KOMPSAT-2 mission. GAEL Consultant Ref No. GAEL-P232-DOC-005. **KAGIS**