

# GeoEye-1 위성영상을 이용한 남극의 장보고기지 건설을 위한 지형도 제작

## Generation of Topographic Map Using GeoEye-1 Satellite Imagery for Construction of the Jangbogo Antarctic Station

김의명\* · 홍창희\*\*  
Kim, Eui Myoung · Hong, Chang Hee

### 要 旨

우리나라에서 남극에 장보고기지를 건설하는 계획을 추진하고 있으며 이를 위해 기지 부근 지형에 대한 상세한 정보가 필요하다. 본 연구에서는 위성영상을 이용하여 장보고기지 건설을 위한 지형도를 제작하는 것을 목적으로 연구를 수행하였다. 이를 위해 장보고기지 주변의 현지측량 및 장비의 사전테스트를 수행하였다. 또한 GeoEye-1 위성영상의 센서모델링을 위해 RPC-편의 보정을 수행하였으며 최소 두 점의 기준점이 실질적으로 필요한 것으로 나타났다. 지형도 제작은 영상의 해상도와 현지 보완측량이 불가능한 점을 고려하여 약 1/2,500의 도화축척이 적합하였다. 장보고기지 주변의 상세한 지형정보 제공을 위하여 영상정합에 의하여 수치표고모델을 생성하였으며 현지측량한 GPS-RTK 자료와 비교하였으며 약 0.6m의 수직위치정확도를 나타내었다.

핵심용어 : 남극, 장보고기지, 위성영상, GeoEye-1, 센서모델링, 지형도, 수치표고모델

### Abstract

Construction of the Jangbogo antarctic station was planned, and it requires detailed information on topography of the area around the station. The purpose of this research is to generate the topographic map to construct the Jangbogo antarctic station using the satellite image. To do this, surveying and pre-test of equipment were conducted. In addition, for sensor modeling of the GeoEye-1 satellite image, RPC-bias correction was done, and it showed that at least two control points are required. In generating the map, a 1/2,500 scale was deemed suitable in consideration of resolution of the image and the fact that supplementary topographic surveying would be impossible. In order to provide detailed information on the topography around the Jangbogo station, the digital elevation model based on image matching was created, and compared with GPS-RTK data, accuracy of vertical location about 0.6m was exhibited.

Keywords : Antarctica, Jangbogo Station, Satellite Imagery, GeoEye-1, Sensor Modeling, Topographic Map, Digital Elevation Model

## 1. 서 론

남극은 지구의 최남단에 위치하고 있는 대륙으로 1959년 남극조약이 체결된 이래 40여개국이 대륙의 생태환경을 보존하면서 과학적 연구를 수행하고 있다. 우리나라는 한국해양연구원 부설 극지연구소에서 세종과학기지를 중심으로 남극에 대한 연구를 수행하고 있다. 세종과학기지가 위치한 킹조지섬(King George Island)

은 지역적인 특성상 남극대륙으로 향하는 관문으로 국가간 활동영역 문제로 논쟁이 되고 있다(김동욱, 1990, 윤부열 등, 2009).

최근에는 실질적인 남극에 장보고 기지를 건설하는 계획이 추진되고 있으며 이를 위해 남극지역에 대한 정확한 위치정보가 필요한 실정이다. 국내외적으로도 남극에 대한 최신자료는 존재하지 않은 경우가 많아 건설 사업 진출 초기단계에서 현지 정보가 부족하여 많은 애

2011년 11월 3일 접수, 2011년 11월 29일 채택

\* 교신저자 · 정희원 · 남서울대학교 GIS공학과 조교수(kemyoung@nsu.ac.kr)

\*\* 정희원 · 한국건설기술연구원 ICT융합연구실 수석연구원(chhong@kict.re.kr)

로가 발생하고 있다.

남극과 같은 극한지에 과학기지를 추가로 건설하기 위해서는 이 지역에 대한 지형도가 필수적으로 필요하다. 지형도의 제작방법은 현지지형측량, 항공사진측량, 위성영상 등의 다양한 방법이 존재하나 남극과 같은 환경과 기상요건에서는 위성영상을 이용하여 지형도를 제작하는 방법이 가장 효율적이다.

위성영상을 이용한 지도제작은 국내에서 1990년대에 국방과학연구소를 중심으로 SPOT 위성을 이용하여 실험적으로 수행되었다. 최근에는 IKONOS, KOMPSAT2, SPOT5, QuickBird2, GeoEye-1, WorldView-2 등 지형도 제작에 활용할 수 있는 다양한 위성영상이 존재한다.

뿐만 아니라 위성영상의 공간해상도가 증가됨에 따라 지형도 제작의 축척이 1/5,000 이상으로 높아지고 있다.

윤부열 등(2009)은 남극의 세종과학기지의 지형도제작을 위하여 군사용으로 사용되고 있는 BO105 헬리콥터에 Nikon사의 D80 사진기를 장착하여 1/5,000 지형도를 제작하는 연구를 수행하였다. 고해상도 위성영상을 이용하여 지형도를 제작하는 연구로는 Aguila 등(2011)이 1956년 제작된 정상영상과 2010년 촬영한 GeoEye-1 위성영상을 이용하여 제작한 정상영상을 이용하여 해안선의 변화를 탐지한 연구를 수행하였다. 국내에서는 국토지리정보원에서 IKONOS 위성영상을 이용하여 비접근지역에 대한 지도제작을 수행한 사례가 있다. 그러나 최근에 발사된 GeoEye-1과 같은 고해상도 위성영상과 입체 영상을 활용하여 대축척의 지도를 제작하는 연구사례는 많지 않다.

본 연구에서는 남극에 대한 상세한 지형정보를 제공하는 것을 목적으로 고해상도 위성영상의 활용법과 위성영상을 이용하여 수치표고모델(DEM : Digital Elevation Model)을 생성하였다.

고해상도 위성영상은 GeoEye-1 입체영상을 활용하고 남극의 장보고 기지 건설을 위한 기준자료로서 현지 측량은 GPS, 토탈스테이션을 이용하였다.

본 연구에서는 기존의 지형도 제작과정에서 살펴보기 힘들었던 극한 상황을 대비하여 사전 준비단계에서 유의할 점을 추가적으로 기술하였다. 또한 본 연구에서 구체적인 실험을 직접 수행하지는 않았지만 상세한 지형정보를 획득할 수 있는 지상 라이더 장비의 선정에 대한 내용을 기술하였다.

## 2. 극한지의 측량 및 사용데이터

남극과 같은 극한지의 경우 접근의 어려움, 환경보존

의 필요성 등에 따라 최소한의 개발이 이루어지고 있다. 이로 인해 지상기준점으로 활용할 수 있는 인공시설물이 거의 없는 실정이다. 또한 남극의 기후로 인하여 주로 눈으로 덮여 있어 자연지물에서도 기준점을 선점하기는 어렵다.

본 연구에서는 남극의 지형도 제작을 위하여 눈이 일부 녹은 남극의 여름 시즌에 촬영된 위성영상을 활용하였으며, 남극의 여름 시즌이 11월부터 3월까지인 만큼 2011년 3월 9일에 촬영되었고 GeoEye-1 입체 위성영상을 활용하였다.

또한, 정확도 향상을 위해 극지연구소의 “남극 제2기지의 건설후보지 적합성 평가 및 친환경 건설기본 계획구축” 연구를 통해 한국건설기술연구원과 연세대학교 측량 및 지형공간정보 연구실에서 수행한 같은 시기 즉, 2011년 2월 3일에서 15일 사이에 측량한 남극 테라노바베이 현황측량 데이터를 활용하였다.

지상기준점 측량은 GPS와 토탈스테이션을 활용하였다. 지형자료는 지상 라이더(LIDAR : Light Detection and Ranging)를 이용하여 획득이 가능하다. 특히 지상 라이더의 경우는 남극과 같은 눈이 덮인 지형에 레이저가 반사되어 되돌아 올 수 있는지 적용성을 사전에 검토해야 한다.

특히, 저온에서의 장비 작동 여부를 파악하기 위해 한국건설기술연구원에 설치된 냉동 실험실(Chamber)에서 온도를  $-5^{\circ}\text{C}$ ,  $-10^{\circ}\text{C}$ ,  $-15^{\circ}\text{C}$ 로 변경하면서 장비를 테스트하였으며, 보온덮개 등을 제작하여 저온에서의 장비 운용성을 확보하였다. 이는 남극 여름 평균 기온이 섭씨 5도씨인 점을 감안하여 최악의 경우를 충분히 검토하였다. 본 연구에서 선정된 측량장비는 표 1과 같다.

위성영상의 센서모델링에 직접적으로 사용할 수 있

표 1. 남극 자료획득을 위한 측량장비

구분	모델	목적
토탈스테이션	Trimble S6 DR Plus	기준점측량
GPS	Trimble R8 GNSS	기준점측량, 현황측량
지상라이더	Leica Scanstation C10	현황측량



(a) 가설캠프 (b) 독일기지

그림 1. 지상기준점 측량

는 지상기준점의 측량은 GPS 측량을 통해 관측하였다. 지상기준점은 그림 1과 같이 남극 장보고기지 부지에 설치된 가설캠프(a)와 독일 곤두와나 기지(b)에서 각각 10점과 8점을 관측하였다.

### 3. 위성영상을 이용한 지형도제작

#### 3.1 지형도 제작과정

위성영상을 이용하여 지형도를 제작하기 위해서는 동일 대상지역에 중복촬영된 입체영상이 필요하다. 본 연구에서는 남극지역의 지형도제작을 위해 GeoEye-1 입체영상을 취득하였다.

GeoEye-1은 상업용 위성영상중에서 전정색(panchromatic)의 공간해상도가 0.41m로 아주 높으며 평균 촬영고도는 약 684km이다.

위성영상을 이용한 지형도 제작을 위한 과정은 그림 2와 같이 작업계획을 수립하고 위성영상을 수신한 후 방사보정과 같은 위성영상처리를 수행한다(박병욱 등, 2002). 위성영상이 촬영된 대상지의 지상기준점측량을 수행하고 이를 영상에서 관측한 후 센서모델링을 수행한다. 센서모델링방법은 비례다항식모델(RFM : Rational Function Model)을 적용하여 수행한다. 수치도화를 위해서는 좌우 영상의 시차를 없앤 에피플라 영상을 생성하게 된다. 위성영상의 경우 에피플라식이 일종의 곡선 식으로 나타나기 때문에 상업용 소프트웨어에서는 에피플라 영상을 생성하지 않고 도화의 대상이 되는 부분을 실시간으로 나타내는 형식을 취하기도 한다(김의명 등, 2005). 에피플라 영상은 자동으로 정합하기 위해서 주로 사용된다.

본 연구에서 상업용 소프트웨어인 Socetset을 이용하여 자료처리를 수행하였으며 에피플라 영상을 별도로 생성하지 않고 도화지역에 대해 on-the-fly 개념으로 작업을 진행하였다.

남극과 같은 극한지의 경우 센서모델링에 필요한 지상기준점 측량은 수행할 수 있으나 수치도화된 자료를 이용하여 다시 현지조사를 수행한 후 이를 정위치편집하는 과정을 진행하기는 쉽지 않다. 정위치편집이 완료된 자료를 점, 선, 면과 같은 구조화편집을 수행하면 지형도제작이 완료된다.

그림 2의 위성영상을 이용한 지형도 제작과정에서 괄호로 표시한 에피플라 영상을 생성하는 부분과 현지보완측량 및 정위치편집 부분은 작업의 특성상 생략될 수 있는 부분이다.

위성의 센서모델은 촬영 당시 인공위성의 위치와 자세정보를 이용하는 물리적 모델을 이용하는 것이 정확

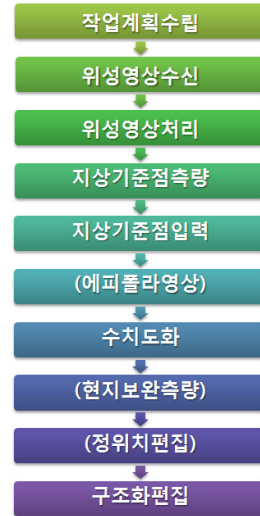


그림 2. 위성영상을 이용한 지형도제작 과정

도가 높은 방법이나 GeoEye-1 영상이 일반 사용자에게 배포될 때에는 이러한 정보 대신에 비례다항식계수(RPC : Rational Polynomial Coefficients)를 제공한다.

#### 3.2 비례다항식모델

비례다항식모델(RFM)은 위성의 고유한 정보를 일반 사용자에게 제공하지 않으면서 사용자가 쉽게 센서모델링을 수행할 수 있도록 고안된 방법이다. 뿐만 아니라 비례다항식모델은 위성의 궤도정보를 활용하는 엄밀 센서모델링방법과 거의 유사한 정확도로 지상의 3차원 좌표를 결정할 수 있기 때문에 대체모델(replacement model)로도 불린다(Dial et al., 2005; Tao et al., 2001).

비례다항식모델에서 GeoEye-1 영상과 같이 제공되고 있는 RPC를 이용하여 센서모델링을 수행하면 수평 정확도는 약 2m이고 수직정확도는 약 3m로 알려지고 있다(Fraser et al., 2009; Meguro et al., 2010). 즉 RPC 계수만을 이용하게 되면 일정한 오차가 발생하며 이를 보정하기 위해서 추가적인 지상기준점이 필요하다.

RPC의 편이는 식 (1)과 같이 영상좌표에 대한 오차로 가정하여 연구가 수행되었으며 영상좌표에 대해 이동량, 다항식 또는 부등각사상변환(affine transformation) 등을 통하여 보정할 수 있다(Fraser et al., 2003; Gruen et al., 2005; Hanley et al., 2004).

$$x + \Delta x = x + a_1x + a_2y + a_3 = \frac{F_1(X, Y, Z)}{F_2(X, Y, Z)} \quad (1)$$

$$y + \Delta y = y + a_4x + a_5y + a_6 = \frac{F_3(X, Y, Z)}{F_4(X, Y, Z)}$$

여기서,  $x, y$  와  $X, Y, Z$  는 각각 영상좌표와 지상좌표를 나타낸다. 또한  $\Delta x, \Delta y$ 는 영상좌표의 왜곡보정량을 나타내며  $F_1, F_2, F_3, F_4$ 는 비례다항식계수로 구성된 3차 다항식을 나타낸다.  $a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6$ 는 영상의 왜곡보정량을 부등각사상변환(affine transformation)을 이용하여 모델링한 경우의 매개변수를 나타낸다. GeoEye-1 영상의 경우에도 IKONOS 위성영상과 마찬가지로 센서모델링을 위해서 3차 다항식 형태인 RPC를 제공하고 있다.

식 (1)에서 영상좌표에 대한 이동량만을 고려하는 경우는 이론적으로 최소 지상기준점 1점을 이용하여 구할 수 있으며 부등각사상변환을 고려할 경우는 최소 3점 이상의 지상기준점이 필요하다(김의명 등, 2006).

### 4. 사례분석

#### 4.1 연구대상지역

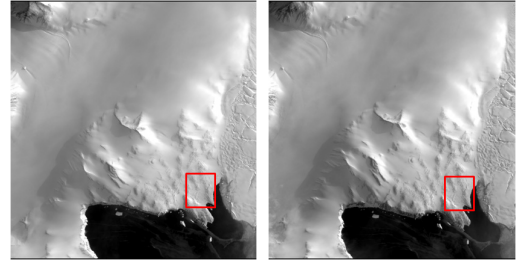
본 연구에서 지형도 제작 및 DEM을 생성하고자 하는 연구대상지역은 그림 3과 같이 남극의 장보고 기지 주변이다. 본 연구에서는 지형도 제작을 위하여 고해상도 위성영상인 GeoEye-1 위성영상을 이용하였다.

그림 4는 2011년 3월 9일 촬영된 남극지역의 GeoEye-1 입체영상을 나타내고 있으며 평균 지상해상도는 약 0.5m이다. 또한 좌우영상에서 행과 열의 픽셀 수는 각각 23,436×22,388(행×열)로 동일하다. 그림 4의 우측 하단부분에 사각형으로 표시된 부분은 1/2,500



그림 3. 연구대상지역

출처 : 극지연구소(<http://www.kopri.re.kr>)



(a) 좌측영상 (b) 우측영상

그림 4. 남극의 GeoEye-1 영상

축척의 지형도를 제작한 부분을 나타낸다. 사각형으로 표시된 부분은 1/2,500 지형도의 도곽크기와 동일하게 45"×45"로 설정하였으며 대략적인 면적(가로×세로)은 약 1.556km(≈1121.7m×1387.1m)이다.

#### 4.2 기준점 및 검사점

GPS를 이용하여 2장의 그림 1에서 언급한 것과 같이 남극 장보고기지 부근에 18점의 지상기준점을 측량하였으며 데이터는 WGS84, 좌표계는 UTM을 사용하였으며 UTM존은 58C로 설정하였다. 또한 지오이드 모델은 EGM96을 사용하였다.

GeoEye-1 영상의 센서모델링을 위해 관측된 18개의 기준점에서 RPC-편의보정을 수행하기 위해서 한 점에서 여러 점을 사용하여 모델링을 수행하였으며 모델링에 직접적으로 사용되지 않은 점을 검사점으로 활용하였다.

그림 5는 18개의 지상기준점의 분포도를 나타내는 것으로 장보고 기지주변의 가설캠프(a)와 독일 곤두와나 기지(b) 주변에 지상기준점이 위치하고 있는 것을 알 수 있다. 즉, 지상기준점의 분포가 GeoEye-1 위성영상에 전반적으로 골고루 분포되어 있지 않은 실정이다. 그림에도 불구하고 본 연구에서 실질적으로 지형도를

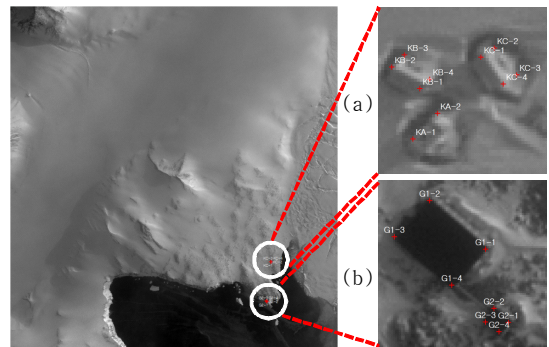


그림 5. 지상기준점의 분포도

제작하고자 하는 대상지역이 장보고 기지 주변이므로 본 연구의 목적인 지형도 제작을 위해서는 충분히 활용 가능하다.

**4.3 센서모델링**

RPC-편의보정 방법을 적용한 항공삼각측량 결과는 표 2와 그림 6과 같다. 센서모델링을 수행할 경우 지상 기준점이 1~2점일 경우에는 이동량만을 고려하였으며 3점 이상일 경우에는 식 (1)에서 기술한 것과 같이 부등각사상변환식을 이용하였다.

지상기준점의 개수를 변화시켜가며 센서모델링을 수행하였으며 기준점의 개수가 한 점일 경우에는 수평위치정확도와 수직위치의 정확도가 각각 약 0.7m와 0.5m로 나타났다. 사용한 GeoEye-1 위성영상의 평균 지상 해상도가 0.5m인 점을 감안하면 1 픽셀의 범위를 다소 벗어나는 결과이다.

이에 반해 지상기준점을 두 개 이상 사용하였을 경우에는 수평위치정확도 및 수직위치정확도가 각각 약 0.5m와 0.2m로 나타났다. 이는 GeoEye-1 위성영상의 평균 지상해상도와 같은 결과이다. 또한 지상기준점의 개수가 증가하더라도 센서모델링의 정확도에는 큰 영향을 못미치는 것을 알 수 있다.

일반적으로 입체 위성영상을 이용하여 센서모델링을 수행할 경우 수직위치정확도가 상대적으로 수평위치정

표 2. 기준점의 변화에 따른 센서모델링의 정확도 (단위 : m)

기준점수	평균제곱근오차(RMSE)		
	X(N)	Y(E)	H
1	0.591	0.410	0.527
2	0.347	0.371	0.234
3	0.396	0.383	0.235
4	0.425	0.391	0.198
5	0.319	0.407	0.193

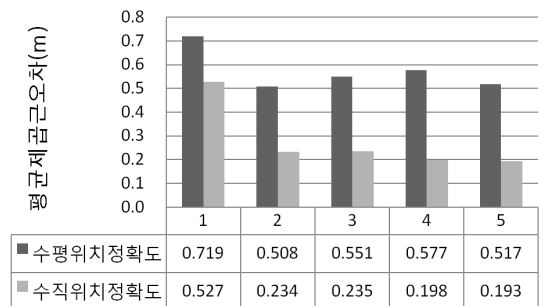


그림 6. 센서모델링의 수평 및 수직정확도

확도보다 낮은 것이 일반적이거나 본 연구대상지역에서는 수직위치정확도가 좋은 결과가 나타났다. 이러한 이유는 지상기준점을 좌우 위성영상에서 관측할 때 발생한 관측오차가 전파되었으나 수직위치에 상대적으로 좋은 결과를 미친 것으로 추정된다.

**4.4 지형도 제작**

남극현지의 장보고기지 주변에 대한 지형도를 제작하기 위하여 센서모델링은 BAE Systems사의 Socetset 소프트웨어를 이용하였다. 또한 지형도 제작을 위한 도화부분은 VrOne를 이용하였다.

GeoEye-1 영상의 공간해상도와 현지보완측량을 수행할 수 없는 측면을 고려할 경우 지형도의 축척은 1/2,500이 적합하다. 특히 연구의 대상지역은 장보고기 지 건설을 위한 가설캠프 이외에 특이한 시설물이 존재하고 있지 않다.

수치지형도의 축척은 1/2,500이므로 공공측량 작업 규정의 세부기준에 따라 주곡선 간격은 2m로 설정하였으며 연구대상지역의 특성상 지형지물이 거의 없고 대부분의 지역에 눈이 쌓여 있는 관계로 영상의 입체시가 쉽지 않은 상황이 발생하였다. 따라서 이러한 문제를 해결하기 위해 부분적으로 밝기값과 명암대비를 변화

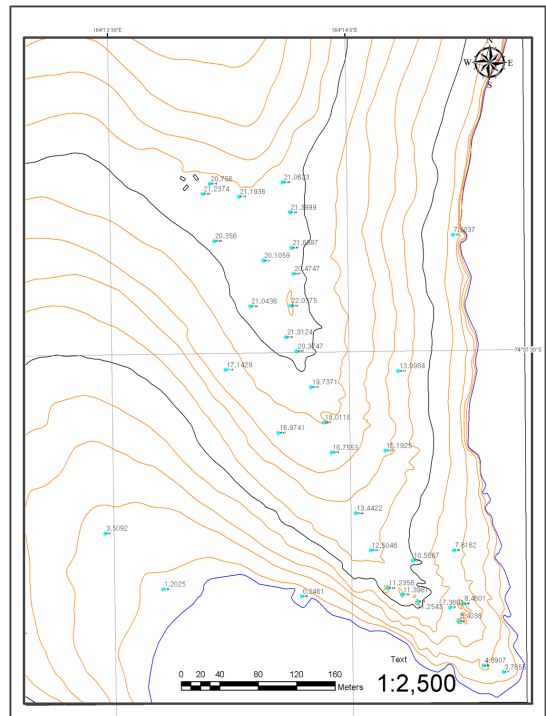


그림 7. 장보고 기지주변 지형도

시키면서 입체시가 가능하도록 한 후 도화작업을 진행하였다. 그림 7은 제작된 장보고 기지주변의 지형도를 나타낸다.

4.5 DEM 생성 및 정확도 평가

DEM은 크게 수동으로 도화한 2m 등고선을 보간하여 생성하는 방법과 입체영상에서 영상정합을 통해서 생성하는 두 가지 방법이 있다. 본 연구에서는 그림 8의 (a)와 같이 먼저 수동으로 생성된 등고선을 보간하여 생성한 5m DEM과 그림 8의 (b)와 같이 GeoEye-1 영상의 센서모델링을 수행한 후 이를 영상정합하여 5m 간격으로 생성한 DEM간의 상대적인 비교를 수행하였다. 영상정합에 의해 DEM을 생성하기 위하여 본 연구에서는 Socetset 소프트웨어의 ATE(Automatic Terrain Extraction) 기능을 수행하였다. 이 기능은 일종의 영상 피라미드를 생성한 후 상위 피라미드 영상에서 하위 피라미드 영상으로 점진적으로 정합점 간의 간격을 좁혀가면서 DEM을 생성하는 기법을 사용한다.

그림 9는 그림 8의 두 DEM간의 상대적인 비교결과를 나타낸다. 그림 9에서 가로축은 높이값의 차이에 대한 구간을 미터(m) 단위로 나타낸 것이고 세로축은 비율(%)을 나타낸다. 그림 9에서 알 수 있듯이 높이값의 상대적인 차이가  $\pm 1.0\text{m}$ 인 것이 전체의 90.3%를 차지하고 있다.

높이값의 상대적인 차이가  $\pm 1.0\text{m}$ 를 벗어나는 지역은 주로 그림 8의 (a)에서 등고선이 없어 DEM의 높이값이 가장 가까운 등고선에서 보간된 우측과 하단지역이고 그림 8의 (b)에서 우측 및 하단의 바닷가 지역이 영상정합된 지역이다.

영상정합에 의해 생성된 5m DEM의 절대적인 비교를 위하여 남극 현지에서 GPS-RTK 측량을 통해 수집한 105점의 높이값 정확도를 평가하였다. 그림 10에서

점형태로 표시된 자료는 GPS-RTK 측량점들의 분포를 나타낸다. 또한 그림 10에서 배경형태로 표시된 영상은 5m 간격으로 생성한 DEM을 나타내고 있다.

GPS-RTK 측량점과 생성된 DEM과의 정확도 평가결과 평균제곱근오차(RMSE)는 0.577m로 나타났으며 105점에 대한 각각의 오차는 그림 11과 같이 나타내었다.

국토지리정보원의 공공측량작업규정에 따라 지형도의 신규제작시 수직위치에 대한 정확도는 표고점일 경우 주곡선간격의 1/3이내, 등고선일 경우 주곡선간격의 1/2이내로 규정하고 있다. 본 연구에서 DEM 정확도 분석결과로 나온 0.577m는 1/2,500 축척의 표고점에 대한 정확도규정을 적용하면 0.667m로 허용정확도 이내에 들어오는 결과를 나타내고 있다.

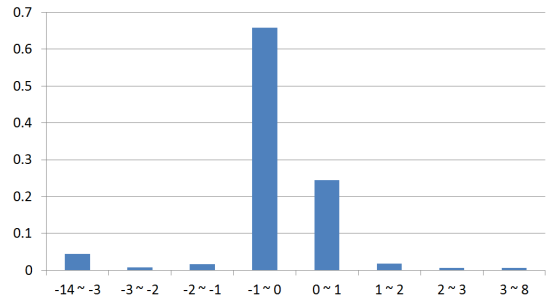
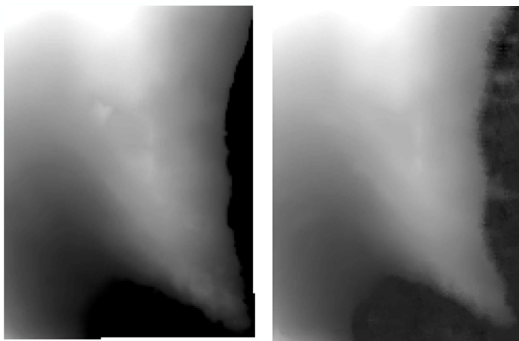


그림 9. DEM의 상대비교



(a) 지형도를 보간한 DEM (b) 영상정합에 의한 DEM  
그림 8. 장보고 기지주변의 5m DEM

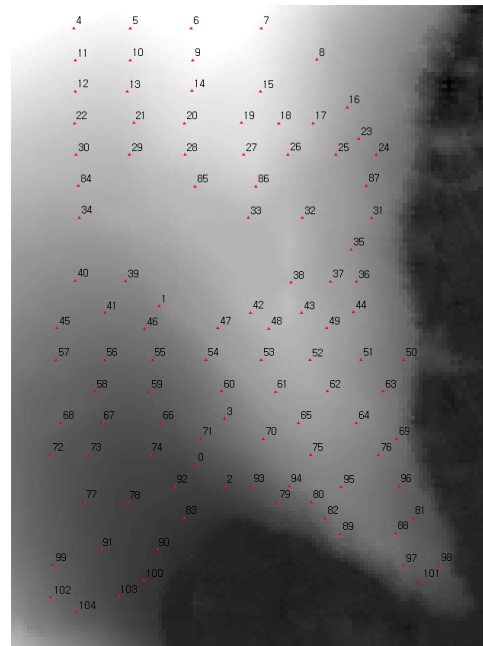


그림 10. DEM 및 측량점

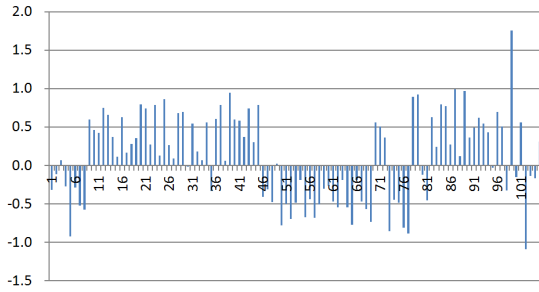


그림 11. 105점에 대한 오차

## 5. 결론

본 연구에서는 남극과 같은 극한지에서 위성영상을 이용하여 지형도를 제작하는 연구를 수행하였으며 다음과 같은 결론을 도출하였다.

첫째, 남극과 같은 극한지에서 현지측량을 수행하기 전에 반드시 지온상황을 고려하여 측량장비를 사전에 테스트하고 이에 대한 대책을 수립한 후 현지측량이 이루어져야 한다. 특히 라이더 장비의 경우 온도 뿐만 아니라 눈이 덮인 지형에서 정보를 수집할 수 있는지 테스트를 통하여 적합한 장비를 선정할 수 있었다.

둘째, RPC 편보정을 위하여 두 점 이상의 지상기준점이 활용되어야 영상해상도에 맞는 센서모델링이 이루어졌다. 이는 눈이 덮인 대상지역의 특성으로 인하여 영상좌표의 관측시 오차가 일반적인 1/2 픽셀보다 다소 높은 결과에서 기인한 것으로 판단된다.

셋째, GeoEye-1 영상의 센서모델링이 수행된 후 지형도제작은 위성영상을 이용한 절차에 의해서 진행되었으며 센서모델링의 정확도와 현지보완측량을 수행할 수 없는 한계점 등을 고려하여 지형도제작의 축척은 1/2,500으로 선정하였다.

넷째, 장보고기지 주변의 상세한 지형을 제공하기 위하여 5m 간격의 DEM을 생성하였으며 GPS-RTK 결과와 비교하였을 때 0.577m의 평균제곱근오차가 발생하였다. 이는 1/2,500 수치지도의 표고점을 기준으로한 위치정확도를 만족하는 결과이다.

본 연구에서는 직접적으로 활용하지 않았지만 극한지에서 지상 라이더 장비를 이용하여 지형정보를 획득한다면 고해상도 위성영상을 이용하여 제작된 수치표고모델과 직접 비교할 수 있는 기준자료로 활용할 수 있을 것이다.

본 연구에서 진행된 지형도 제작을 위한 전반적인 과정은 향후 유사한 환경의 극한지에도 적용가능할 것으로 사료된다.

## 감사의 글

본 연구는 2011년도 한국건설기술연구원 주요사업, 『극한지 하부구조 급속시공 플랫폼 기술 개발』 연구로 진행되었으며, 현지측량 데이터는 극지연구소의 “남극 제2기지의 건설후보지 적합성 평가 및 친환경 건설기본 계획 구축” 연구를 통해 한국건설기술연구원과 연세대학교 사회환경시스템공학부 측량 및 지형공간정보 연구실에서 수행하였으며 자료제공에 감사를 드립니다.

## 참고문헌

1. 김동욱, 1990, “남극 세종과학기지 건설기”, 한국극지연구, 제2호, pp.51-67.
2. 김의명, 이석균, 2006, “고해상도 위성영상의 센서모형화 방법 비교”, 대한토목학회논문집, 제26권 제6D호, pp.1025-1032.
3. 김의명, 함창학, 2005, “위성영상의 에피폴라 기하특성 분석”, 대한토목학회논문집, 제25권 제2D호, pp.347-352.
4. 박병욱, 한상득, 안기원, 박희주, 김충평, 2002, “고해상도 위성영상을 이용한 지도제작 가능성 평가”, 대한토목학회논문집, 제22권 제6D호, pp.1029-1343.
5. 윤부열, 이재원, 손호웅, 2009, “경량 항공사진촬영 시스템을 이용한 남극 세종과학기지의 수치지형도 제작과 활용에 관한연구”, 대한토목학회논문집 제29권 제1D호, pp.121-128.
6. Aguilar, A., Aguilar, F., Fernández, A., Fernández, I., Saldaña, M., Lorca, A., Negreiros, J., Viciana, A., González, E., 2011, “Geometric Processing of GeoEye-1 Satellite Imagery for Coastal Mapping Applications”, Proceedings of the IMProVe 2011, International conference on Innovative Methods in Product Design, June 15th-17th, 2011, Venice, Italy, pp.938-946.
7. Dial, G., and J. Grodecki, 2005, “RPC Replacement Camera Models”, Proceedings of the ASPRS 2005 Annual Conference, Baltimore, Maryland, 07-11 March, ASPRS.
8. Fraser, C., and Hanley, H., 2003, “Bias Compensation in Rational Functions for IKONOS Satellite Imagery”, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 69(1), pp.53-57.
9. Fraser, C. S., Ravanbakhsh, M., 2009, “Georeferencing Accuracy of GeoEye-1 Imagery”. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol. 75(6), pp.634-638.

10. Gruen, A., Li, Z. and Henri, E., 2005, "3D Precision Processing of High-Resolution Satellite Imagery", ASPRS 2005 Annual Conference "Geospatial Goes Global: From Your Neighborhood to the Whole Planet" March 7-11, Baltimore, Maryland.
11. Hanley, H. B., and Fraser, C. S., 2004, "Sensor Orientation for High-Resolution Satellite Imagery: Further Insights into Bias-Compensated RPCs", The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. 35 Part B1, Istanbul, Turkey.
12. Meguro, Y., Fraser, C. S., 2010, "Georeferencing Accuracy of GeoEye-1 Stereo Imagery : Experience in a Japanese Test Field", International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science, Vol. XXXVIII, Part 8, pp.1069-1072.
13. Tao, C. V., Hu, Y., 2001, "A Comprehensive Study of the Rational Function Model for Photogrammetric Processing", Photogrammetry Engineering and Remote Sensing, Vol. 66(12), pp.1477-1485.