

지오이드 모델에 따른 Boresight 검정 비교 Boresight Calibration Comparison Using Geoid Models

소재경¹⁾ · 박영수²⁾ · 원재호³⁾ · 윤희천⁴⁾

So, Jae Kyeong · Park, Young Su · Won, Jae Ho · Yun, Hee Cheon

Abstract

Direct georeferencing has become widespread in the field of digital aerial photogrammetry; as a result, the boresight calibration has become an essential component of the procedure to calculating exterior orientation parameters of aerial photographs accurately. During this procedure, a reference is used for the height of the geoid model, and the calibration results can appear different depending on the geoid model. The exterior orientation parameters calculated through direct georeferencing during boresight calibration may have varied values according to the corresponding geoid model. With that in mind, the effects of the geoid model on the boresight calibration were analyzed through three different cases. The geoid models used in the experiments were EGM96, EGM08, and KNGeoid14, and, through boresight calibration, the datum shift and boresight angle for each model was computed. After calculating the exterior orientation of each case, the GCP (Ground Control Point) was verified using the DPW (Digital Photogrammetry Workstation). In each case, results in the boresight calibration acquired through the geoid model demonstrated a difference in the Z datum, the exterior orientation heights Z, and the rotation Ω and Φ . After utilizing the DPW in each case and comparing it to the GCP, the difference in accuracy in accordance with the geoid model was found to be within 3cm, and it was concluded that the geoid model did not have a significant impact on boresight calibration.

Keywords : Direct Georeferencing, Exterior Orientation, Boresight Calibration, Geoid Model

초 록

최근 디지털 항공사진측량 분야에서 Direct Georeferencing 활용이 일반화되었으며, 이때 항공사진의 외부표정요소를 정확히 산출하기 위해 Boresight 검정이 필수적이다. 이 과정에서 높이에 대한 기준인 지오이드 모델을 사용하게 되는데, 지오이드 모델에 따라 Boresight 검정 결과가 다르게 나타날 수 있다. 본 연구에서는 Direct Georeferencing을 통한 외부표정요소 산출에 있어서 Boresight 검정시 지오이드 모델에 따라 그 값에 차이가 발생할 수 있음을 인지하고, 지오이드 모델이 Boresight 검정에 어떤 영향을 미치는지 세 가지 경우로 구분하여 실험하였다. 실험에 사용된 지오이드 모델은 EGM96, EGM08, KNGeoid14이며, 이에 따라 Boresight 검정을 통해 Datum Shift, Boresight Angle을 계산하였다. 또한 각각의 경우를 적용해 외부표정요소 산출 후 DPW (Digital Photogrammetry Workstation)를 이용해 지상기준점을 확인하였다. 본 연구를 통해 지오이드 모델에 따른 Boresight 검정 결과 Datum Shift에서 Z에서 차이가 있었으며, 외부표정요소에서 높이 Z와 회전량 Ω , Φ 에서 차이를 보였다. 각각의 경우에서 수치도화기를 이용해 지상기준점과 비교한 결과 지오이드 모델에 따른 관측정확도의 차이는 3cm 내외로, 지오이드 모델이 Boresight 검정에 큰 영향을 미치지 않음을 알 수 있었다.

핵심어 : Direct Georeferencing, 외부표정요소, Boresight 검정, 지오이드 모델

Received 2016. 04. 25, Revised 2016. 05. 02, Accepted 2016. 06. 08

1) Member, Department of Civil Engineering, Chungnam National University (E-mail: sojk0070@gmail.com)

2) Department of Civil Engineering, Chungnam National University (E-mail: pyseagle@naver.com)

3) Member, Geo-Information Research Institute, PANASIA Engineering Co., Ltd. (E-mail: aerowon@nate.com)

4) Corresponding Author, Member, Department of Civil Engineering, Chungnam National University (E-mail: hcyoon@cnu.ac.kr)

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

최근 디지털 항공사진 카메라를 이용해 Direct Georeferencing 기법을 활용하여 항공사진 측량 및 이를 활용하여 정사영상을 제작하는 방법은 보편화되었다. 이와 같이 항공사진측량에서 Direct Georeferencing의 활용은 지상기준점을 활용하여 항공삼각측량으로 항공사진의 외부표정을 구하는 기존의 방법을 보다 경제적이고 신속한 방법으로 수행할 수 있도록 변화시켰다 (Won *et al.*, 2012). 이를 통해 항공사진 각각에 대한 위치와 자세를 즉시 구할 수 있게 되었는데, 이는 항공기에 설치된 GPS(Global Positioning System)와 INS(Inertial Navigation System)시스템을 활용함으로써 가능하게 되었다.

그러나 Direct Georeferencing의 효과를 극대화하기 위해서는 항공사진 카메라와 GPS 및 INS에 대한 정확한 Boresight 검정이 중요하다(Lee and Oh, 2012). 이는 항공사진의 외부표정요소인 3차원 위치와 각 축에 대한 회전량을 항공기와 카메라에 부착된 GPS와 INS에 의존하게 되는데, 이때 GPS와 INS의 상호 위치관계가 항공사진 촬영 전에 명확하게 정의되지 않으면 기대하는 요구 정확도에 미치지 못한다.

따라서 카메라에 대한 GPS와 INS의 Boresight 검정은 항공사진의 신속한 활용뿐만 아니라, 시간과 비용의 절감 차원에서 매우 중요한 요소라고 할 수 있으며, 이에 따른 지속적인 관리는 항공사진 카메라와 그 성과에 대해 중요한 신뢰를 확보하는 것이기도 하다.

Boresight 검정은 GPS와 INS에 대해 좌표의 방향을 일치시키는 것으로, 동일한 시간에서 GPS를 통해 계산된 X, Y, Z의 위치를 동시에 INS를 통해 측정하는 회전량의 차이에 대한 이격량을 계산하는 것이다. 또한, 시간, 위치, 각도에 대한 초기 상수를 결정하는 종합적인 과정으로, 센서의 위치 변화 및 시간의 흐름에 따른 기계적 오차를 포함하는 것이며, 각 요소인 Datum Shift와 Boresight Angle(이하 Calibration Values)에 대해 이격량을 보정하는 값으로 표현된다(Yoon, 2008).

Boresight 검정에 대한 연구현황으로 Seo *et al.*(2012)은 Boresight 검정을 위한 테스트베드를 구축하고 Direct Georeferencing에 필요한 외부표정요소를 직접 결정하기 위한 효율적인 방법과 통합된 GPS/INS 센서의 정확도를 평가하였다. Yoon(2008)은 상시관측소에서 수신한 GPS 자료를 내삽하여 GPS/INS 항공삼각측량에 적용하는 방법을 제시하였는데, 이때 항공삼각측량에 의한 외부표정요소와 GPS/INS로 계산된 외부표정요소를 사용하여 Boresight 검정하

였다. Lee(2014)는 디지털 카메라를 Boresight 검정하는데 있어 지상기준점의 배치와 수를 달리하고 그에 따른 각각의 Calibration Values 및 외부표정요소의 변화를 연구하였다. Won(2013)은 지상기준점과 부가매개변수를 이용해 비측량용 카메라를 자체검정하는 방법을 제시하였는데, 내부표정요소와 부가매개변수의 조건을 달리하여 검정하고 항공사진측량용 디지털 카메라 DMC(Digital Mapping Camera)와 항공삼각측량, 수치도화 및 정사영상 결과를 비교하여 정확도를 평가하였다.

항공기의 GPS와 INS 자료의 통합 처리는 동시에 운영된 GPS 기준국 성과와 함께 WGS84 데이터로 계산되는데, 이때 타원체고를 기준으로 계산된 GPS의 높이 성과는 지오이드 모델을 사용하여 표고로 변환된다. Boresight 검정 처리 역시 이와 같은 과정을 거치는데 GPS와 INS 신호 데이터와 함께 항공삼각측량을 통해 계산된 외부표정요소와 이때 관측된 영상좌표를 이용해 GPS와 INS 상의 좌표축을 일치시키기 위한 이격량을 계산한다. 이때 처리에 사용된 성과는 모두 표고를 높이의 기준으로 하고 있으며, 이를 위한 기준으로 지오이드 모델을 사용한다.

이때, 지상기준점으로 항공사진에 대한 외부표정요소를 추출하는 과정에서 GPS와 INS의 이격량을 계산할 때 Geoid Model을 활용하여 높이에 대한 기준을 정의하게 되는데, 그 결과에 따라 Calibration Values와 외부표정요소가 다르게 나타나고, 이에 따른 항공사진 모델에서 계산되는 실제 표고 높이에 변화가 발생한다. 따라서, 지오이드에 따라 높이의 기준이 변화되면 이에 따라 Calibration Values와 EO 등이 변화한다고 볼 수 있으며, 이는 Direct Georeferencing에 큰 영향을 미칠 수 있다.

본 연구에서는 Boresight 검정 시 상이한 지오이드 모델을 사용할 경우 그 영향이 Boresight 검정에 어떤 결과를 가져오는지 연구하고자 한다. 또한, 본 연구에 적용할 수 있는 지오이드 모델을 EGM96, EGM08, KNGeoid로 결정하고 이에 따라 나타나는 Boresight 검정 요소들의 변화량과 이를 통해 획득할 수 있는 EO의 차이를 알아보려 다음과 같이 세 가지 연구방향을 결정하였다. 첫 번째, 지오이드 모델에 따른 Calibration Values에 끼치는 영향 및 변화 비교, 두 번째, 지오이드 모델에 따른 외부표정요소의 변화, 세 번째, 지오이드 모델에 따른 지표면의 위치 비교를 위해 DPW를 이용한 지상기준점과의 비교이다.

이를 위해, Fig. 1과 같이 항공사진 촬영과 동시에 항공기의 GIS/INS 및 Base Station을 운영하고 지상기준점을 측량한다. 이후 항공삼각측량을 통해 항공사진의 외부표정요소

를 획득하고 이 성과를 이용해 Boresight 검정을 수행한다. 이때 지오이드 모델을 변화시켜 그에 따른 외부표정요소와 Calibration Values를 계산하고, 그 결과를 이용해 DPW로 지상기준점과 비교한다

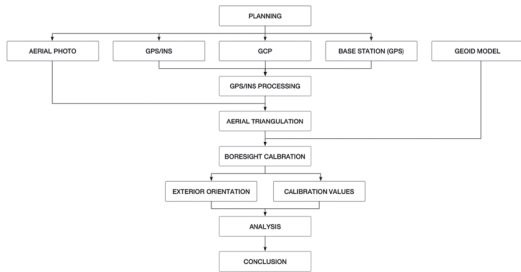


Fig. 1. Study flow

평행하지 않게 설치되므로 Boresight Angle이 존재하게 된다 (Mostafa, 2001b). 따라서 통합된 센서들의 상호 위치 및 방향에 대한 초기 이격량인 Local Shift와 Boresight Angle을 결정하여야 하는데, 이를 결정하기 위한 일련의 과정을 Boresight 검정이라고 한다(Yoon, 2008).

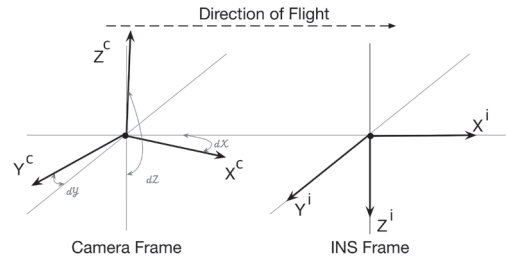


Fig. 2. Camera/INS boresight

2. Boresight 검정 및 Geoid Model

2.1 Boresight 검정

사진측량에서는 다양한 센서를 동시에 활용하는 방법으로 디지털 항공사진 카메라와 GPS 및 INS 시스템의 통합 운영이 보편화되어 있어, 이를 활용해 Direct Georeferencing 방법으로 항공사진에 대한 외부표정요소를 신속하게 획득하고 있다.

이와 같이 항공사진 카메라와 GPS 및 INS 같은 시스템을 동시에 운영하여 측량에 적합한 정확도를 확보하기 위해서는 각 시스템 간 상호 위치와 방향에 대한 초기화가 이루어져야 한다. 이를테면 항공사진 촬영시 셔터 순간의 항공기 위치를 계산하기 위해 카메라와 GPS의 시간 지연을 초기화하여 촬영된 항공사진의 3차원 위치정보에 대한 오차를 최소화하여야 한다. 또한, GPS 신호간 임의의 시간에 대한 위치는 INS를 통해 이동 방향과 위치 변화를 계산하게 되는데, 이때 위치와 방향을 결정짓는 기준축에 대해 두 시스템을 초기화하여야 한다.

Boresight는 카메라와 INS 사이의 물리적인 마운팅 각도를 의미하는 것으로 Fig. 2와 같이 Boresight Angles은 카메라와 INS 간의 프레임 간의 차이를 나타낸다(Mostafa, 2001a). 카메라의 위치는 GPS를 통해 결정할 수 있으며, 진행방향이 X축, 그에 직각방향이 Y축, XY축 면의 천정 방향으로 Z축이고 각 축에 대한 이격량을 표현할 수 있다.

사진측량을 통해 정보를 획득하기 위해서는 각 사진에 대한 위치정보가 필요하다. Fig. 2에서 INS 좌표계는 X축이 전방, Y축이 오른쪽, Z축이 아래방향이고, 카메라 좌표체계와

이와 같이 정확한 외부표정요소 성과 획득을 위해 Boresight 검정을 수행하는데, 이때 평면과 높이는 지상기준점을 기준으로 결정하지만, 이를 통해 계산되는 외부표정요소 및 Calibration Values는 지오이드 모델을 이용해 주요변수를 산출하게 된다.

2.2 지오이드 모델

GPS/INS에 대한 Boresight 검정 시 높이에 대한 기준으로 지오이드를 사용하는데, 이때 지상기준점의 타원체고를 이용하여 지오이드와 타원체고를 이용해 항공기 카메라 축점과 각 센서에 대한 높이를 결정할 수 있다. GPS를 이용하여 측량할 경우 높이 결정을 위해서는 측정된 타원체고에서 지오이드고를 차감하여야 하며, 보다 정확한 결과를 획득하기 위해서는 GPS 처리 시 오차가 작고 분해능이 조밀한 지오이드를 사용하여야 한다.

GPS와 INS 통합처리를 위한 소프트웨어는 다양한 지오이드 모델을 포함하고 있어, 국가 및 지역에 적합한 자료를 사용하면 된다. GPS 처리시 국내에 적합하게 사용할 수 있는 지오이드는 여러 가지가 있으나, 본 연구에서 사용한 지오이드 모델은 범지구 중력장 모델인 EGM96과 이를 대체하기 위해 제작된 EGM08이며, 한국형 지오이드 모델 중 최신 성과인 KNGeoid14이다.

EGM96(Earth Gravitational Model 96) 지구중력장모델은 미국의 오하이오주립대(Ohio State University), 미국 국방성의 NIMA(National Imagery and Mapping Agency), NASA 고다드 우주비행센터(GSFC; Goddard Space Flight Center)의 공

동 연구 모델이다. 중력모델의 최저차수 0부터 최대차수 360까지 총 65,338개의 사인, 코사인함수로 이루어진 지구중력 포텐셜의 구면조화계수 모델로서, 65,338개의 레코드로 구성되어 있으며, 전세계의 지오이드 절대 정확도를 $\pm 0.5m \sim \pm 1.0m$ 의 범위 안에서 결정하는 것을 목표로 하고 있다(Lee et al., 2016).

EGM08 지구중력장 모델은 EGM96 모델을 대체하기 위하여 GRACE 위성으로부터 계산한 중력신호를 기본으로 미국 NGA(National Geospatial-Intelligence Agency)가 개발한 지구중력장 모델이다. 기존 중력장 모델들과는 다르게 아시아 지역에 대하여 15' 해상도의 중력자료와 SRTM(Shuttle Radar Topography Mission) 지형자료로부터 계산된 중력자료를 포함하고 있다(Park, 2011).

한국 지오이드 모델 KNGeoid는 GNSS를 이용한 간접수준측량의 정확도 향상을 위해 국토지리정보원이 개발한 합성지오이드 모델로 현재 KNGeoid14 모델이 최근의 성과이다. 이는 '육지·해양 지오이드 통합 모델 구축방안 연구(2011)'와 '국가 지오이드 모델 개발 연구(2013~2014)'를 통해 고정밀도 국가 지오이드 모델 개발 및 GNSS와 지오이드 기반의 높이측량 실용화 기반 마련을 위해 제작되었다(NGII, 2016).

3. 자료취득 및 Boresight 검정

3.1 자료취득

본 연구에서는 항공사진 촬영과 Boresight 검정에 적합한 세종시 테스트베드에서 실험하였다. 세종시 테스트베드는 지능형국토정보기술혁신사업에 일환으로 항공사진측량시스템의 기하학적인 검정을 위해 2011년도에 Fig. 3과 같이 세종시 주변 월산공단 부지내에 설치되었다(Seo et al., 2012).

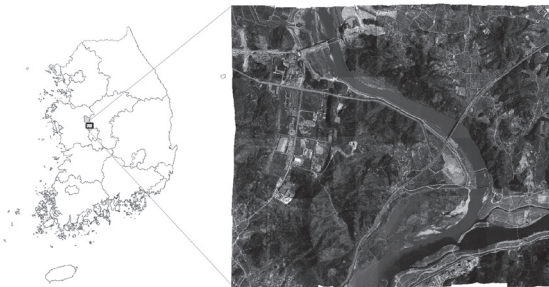


Fig. 3. Study area

이때, Frame 방식에서 Boresight 검정을 하기 위해서는 서로 이웃한 코스에서 반대 방향으로 항공사진을 촬영해야하

며, 사진 모델 당 4개의 지상기준점을 배치하여야 한다(Hahm and Chang, 2009). 또한 수평, 수직 위치를 동시에 관측할 수 있는 지상기준점을 설치하였으며, Fig. 4와 같이 코스가 중복되는 지점에 대해 2모델 마다 1개의 점이 위치하도록 5개 코스에 대해 9개씩 총 45개를 설치하였으며, 중심부분에 위치한 지상기준점에 지상기준국을 설치하고 항공사진 촬영 시 동시에 운영하였다.

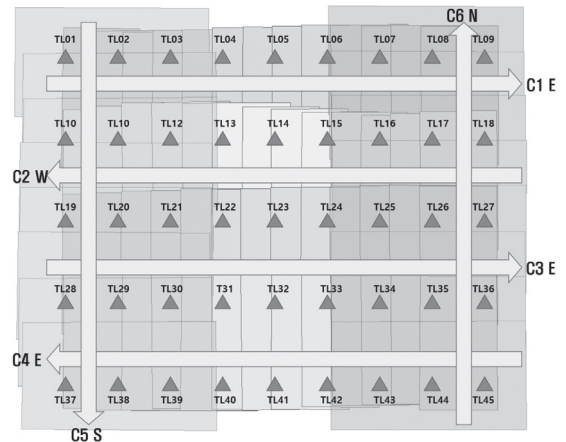


Fig. 4. Foot print of aerial photos and GCPs

연구에서 항공사진 촬영 및 Boresight 검정에 사용한 장비는 Fig. 5와 같은 Intergraph 사의 DMC로서 Applanix 사의 POS AV 510 INS를 일체형으로 포함하고 있는 통합시스템이다.

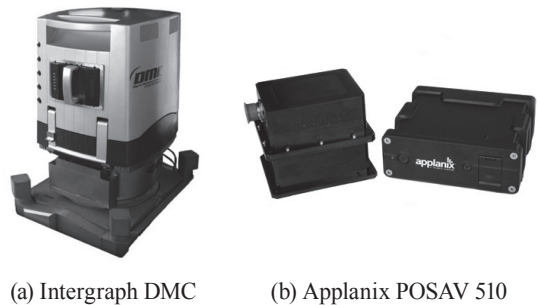


Fig. 5. Integrated inertial/camera systems

항공사진은 1,000 미터 고도에서 동-서 방향으로 4코스, 1,600 미터 고도에서 남-북 방향으로 2코스를 촬영하였으며,

이때 이웃한 코스에 대해 서로 반대 방향으로 촬영하였다. 항공사진 촬영 시 테스트베드 내의 지상기준점 상에서 1초 간격으로 GPS 기준국을 동시에 운영하였다.

연구에 사용된 지오이드 모델은 EGM96의 경우 소프트웨어에 기본적으로 포함되어 있으며, EGM08과 KNGeoid14는 국토지리정보원의 '국가수직기준연계' 사이트(www.ngii.go.kr/geoid/index.do)에서 다운로드하여 활용하였다.

3.2 Boresight 검정

지상기준점 및 GPS Base Station을 이용해 항공기의 GPS 신호를 해석하고 INS와 결합하여 항공기의 위치를 계산하였으며, 이를 활용해 각각의 항공사진에 대한 위치와 회전량에 대한 정보인 외부표정요소를 계산하였다. 이와 같은 Direct Georeferencing 방법으로 GPS/INS 신호를 처리할 때 GPS에 대한 위치와 INS 회전의 초기값인 Datum Shift와 Boresight Angle을 설정해야 하는데, 이는 항공삼각측량을 통해 계산되는 외부표정요소로 Boresight 검정을 통해 위치와 회전에 대한 초기값 계산을 위한 기준으로 사용된다. 따라서 Boresight 검정을 위해 처음 계산되는 외부표정요소는 Datum Shift와 Boresight Angle에 대한 초기값을 모두 0으로 설정하였다.

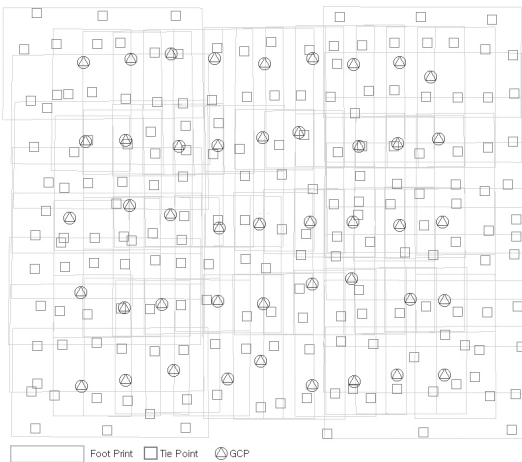


Fig. 6. Bundle adjustment

이렇게 계산된 외부표정요소와 45개의 지상기준점을 BAE System사의 Socet Set 5.4.1을 이용해 Fig. 6과 같이 번들조정하였다. 이때의 평균제곱근오차(RMSE; Root Mean Square Error)는 영상 관측정확도가 0.268 픽셀이며, 조정결과는 X, Y, Z에서 각각 0.024, 0.024, 0.023 미터였다.

Boresight 검정은 Applanix POSPac MMS CalQC를 이용하여 항공삼각측량을 통해 획득한 외부표정요소와 이미지 관측좌표, 지상기준점을 입력하여 Fig. 7과 같이 Datum Shift X, Y, Z와 Boresight Angle Tx, Ty, Tz를 각각 Meter, Arcmin 단위로 계산하였다. 이와 같은 방법으로 Geoid Model 각각의 경우에 대해 Boresight 검정을 수행한 결과 Table 1과 같은 결과를 얻었다.

Geoid Model에 따른 Boresight 검정 결과 Boresight Angle은 모두 동일한 결과로 나타났으며, Datum Shift 값에서 높이 값 Z에서만 각각 다른 결과를 보였다.

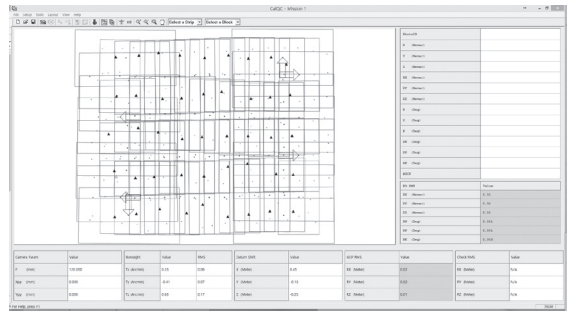


Fig. 7. Boresight calibration with CalQC (case of KNGeoid14)

Table 1. Boresight calibration result

Calibration	Factor	EGM96	EGM08	KNGeoid14
Boresight Angle	Tx(arcmin)	0.23	0.23	0.23
	Ty(arcmin)	-0.41	-0.41	-0.41
	Tz(arcmin)	0.63	0.63	0.63
Datum Shift	X(meter)	0.45	0.45	0.45
	Y(meter)	-0.13	-0.13	-0.13
	Z(meter)	-0.50	0.08	-0.25

4. 정확도 분석

계산된 Boresight 검정 결과와 이를 이용한 Direct Georeferencing 시 확인할 수 있는 정확도 분석은 수학적 분석방법과, 육안 분석방법으로 구분하였다. 수학적 방법은 각각의 Boresight 검정에 따른 외부표정요소를 항공삼각측량을 통해 계산된 외부표정요소와 비교하는 방법으로서 Direct Georeferencing에 직접 영향을 미치는 정도를 확인할 수 있다. 육안 분석방법은 DPW를 이용해 항공삼각측량에 사용된

지상기준점을 스테레오 관측하고 그에 따라 관측되는 차이를 비교하는 방법으로서 외부표정요소에 따른 지표면에서의 차이를 확인할 수 있다.

각각의 지오이드 모델에 따른 Boresight 검정 후 Direct Georeferencing을 통해 외부표정요소를 계산하였으며, 항공삼각측량을 통해 획득한 외부표정요소와 각각의 사진에 대한 외부표정요소와의 차이를 계산한 후 평균제곱근오차를 계산하여 Table 2와 같은 결과를 얻었다. 계산된 외부표정요소의 차이를 평균제곱근오차로 표현하면 높이는 1cm 이내의 차이로 차이는 없다고 할 수 있으며, 회전량의 경우 각각의 항공사진에서는 미묘한 차이가 있으나 이 역시 평균제곱근오차로 표현하면 동일하다. 이는 Datum Shift의 Z에서 발행하는 높이차가 그대로 모든 사진의 외부표정요소에 반영되지 않음을 알 수 있었으며, Boresight 검정 시 지오이드 모델에 의한 Direct Georeferencing 변화량은 수학적 분석방법에서는 큰 차이를 보이지 않았다.

Table 2. RMSE compare to EO from AT ([AT]-[Geoid Model], unit meter, arcmin)

Geoid Model	X	Y	Z	Ω	Φ	K
EGM96	0.1680	0.1855	0.0546	0.0090	0.0081	0.0042
EGM08	0.1680	0.1855	0.0552	0.0084	0.0081	0.0042
KNGeoid14	0.1680	0.1855	0.0501	0.0084	0.0081	0.0042

직접 육안으로 확인할 수 있는 방법인 DPW를 이용한 스테레오 관측으로 지상기준점을 비교하였다. 이때 사용된 DPW는 DAT/EM 사의 Summit Evolution 6.8이며, 관측 시 스테레오 상에서 3차원 위치를 포인트로 찍은 후 좌표를 추출하였다. 그 결과 Fig. 8과 같이 각각의 지오이드 모델에 대한 X, Y 평면 정확도의 경우 각각 5cm, 10cm 이내로 큰 차이가 없었

고, 높이의 경우 12~15의 차이를 보였다. 특히, KNGeoid14의 경우 12로 다른 경우보다 2~3 작게 나타났고, 지상기준점과의 최대 차이는 높이에서 32~37 이내로 크게 나타나는 부분이 있었다. 그러나 각각의 지오이드 모델의 경우 서로간 차이가 3 이내로 나타났고 본 연구에 사용된 항공사진의 해상도가 10 임을 감안하면 Boresight 검정에서 지오이드 모델에 따른 차이는 크지 않음을 알 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 디지털 항공사진촬영 카메라인 DMC를 이용한 Boresight 검정 시 지오이드 모델에 따른 영향을 확인해 보았다. 이를 위해 3개의 지오이드 모델 EGM96, EGM08, KNGeoid14를 이용해 각각 Boresight 검정을 하였고, 그 결과 Direct Georeferencing으로 획득한 각각의 외부표정요소를 이용해 DPW를 이용해 지상기준점을 관측하였다. 이를 통해서 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

Boresight 검정 결과 Boresight Angle은 지오이드 모델에 상관없이 동일한 결과가 계산되었으며, Datum Shift의 경우 수직방향으로 각각 다른 값이 계산되었다. 이는 해당 연구지역에서의 Boresight 검정은 지오이드 모델에 따른 연직 방향의 기준 변화가 각 축에 대한 Boresight Angle에 영향을 미치지 않음을 알 수 있었다.

본 연구지역에서 수행되는 Boresight 검정의 경우 최신 성과의 지오이드 모델을 사용하더라도 지역 특성을 제대로 반영하고 있는지의 여부에 따라 Boresight 검정 결과가 다르게 나타나고, 이에 따라 Direct Georeferencing 결과에 영향을 미침을 알 수 있었다.

각각의 지오이드 모델에 따른 Direct Georeferencing을 통해 외부표정요소를 산출하고 DPW를 이용해 지상기준점을 비교하여 평균제곱근오차를 계산한 결과 위치정확도에서

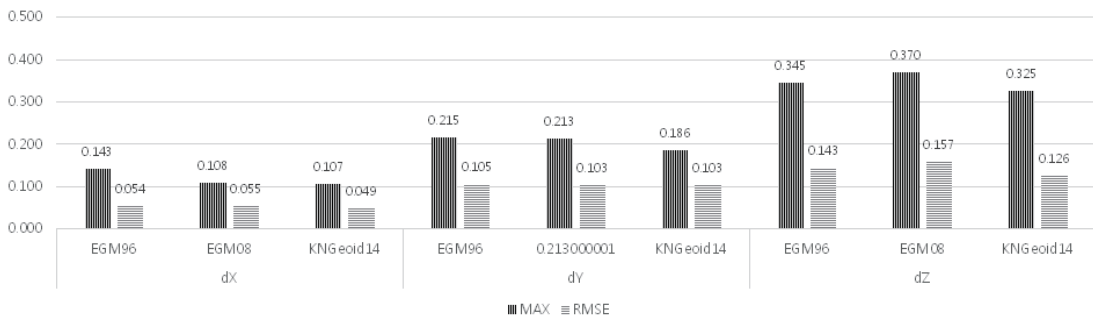


Fig. 8. Result of GCP check using DPW (unit meter)

는 큰 차이를 보이지 않았는데, 이는 지오이드 모델에 따른 Datum Shift의 Z값 이격량 차이는 외부표정요소의 높이와 회전량이 미세하게 조정되는 정도로 그 영향이 작음을 알 수 있었다.

본 연구에서 수행한 Boresight 검정은 지리학적으로 국토의 중심부에 위치한 세종시 부근에서 수행하였으며, 지오이드 모델에 따른 Boresight 검정 결과를 비교하였다. 향후 이 결과를 기준으로 해안가 및 산악지 등 Boresight 검정 지역과 지리적, 지형학적 차이가 있는 지역에 대해 효율적인 Direct Georeferencing을 수행할 수 있도록 외부표정요소에 즉시 적용할 수 있는 보정량을 계산할 수 있는 연구가 수행된다면 활용성의 증대와 비용효율성을 극대화시킬 것으로 사료된다.

감사의 글

이 논문은 충남대학교 학술연구비에 의해 지원되었음.

References

- Hahm, C. H. and Chang, H. J. (2009), 3D positioning accuracy estimation of DMC in compliance with introducing high resolution digital aerial camera, *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol. 27, No. 1, pp. 743–750. (In Korean with English abstract)
- Lee, C. N. and Oh, J. H. (2012), A study on efficient self-calibration of a non-metric camera for close-range photogrammetry, *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol. 30, No. 6, pp. 511–518. (In Korean with English abstract)
- Lee, S. B., Kim, J. S., and Kim, C. Y. (2016), Evaluation of EGM2008 earth geopotential model using GPS/leveling data, *Journal of Korean Spatial Information Society*, Vol. 16, No. 3, pp. 117–126. (In Korean with English abstract)
- Lee, Y. W. (2014), Digital photogrammetry camera boresight calibration using ground control points, *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol. 32, No. 4, pp. 293–298. (In Korean with English abstract)
- Mostafa, M.M.R. (2001a), Boresight calibration of integrated inertial/camera systems, *Proceeding of Int. Symposium on Kinematic Systems in Geodesy, Geomatics and Navigation – KIS 2001*, June 5-8, Banff, Canada, pp. 440-445.
- Mostafa, M.M.R. (2001b), Digital multi-sensor systems – calibration and performance analysis, *Proceeding of OEEPE Workshop, Integrated Sensor Orientation*, Sept 17-18, Hannover, Germany.
- NGII (2016), Current geoid models of Korea, National Geographic Information Institute, Suwon, Korea, http://ngii.go.kr/geoid/intro/geoid_condition.do (last date accessed: 25 May 2016). (in Korean)
- Park, B. K. (2011), *An Analysis on EGM2008 Accuracy with GPS/Leveling*, Master's thesis, Chungnam National University, Daejeon, Korea, 75p. (In Korean with English abstract)
- Seo, S. I., Won, J. H., Lee, J. O., and Park, B. U. (2012), Geometric calibration of digital photogrammetric camera in Sejong test-bed, *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol. 30, No. 2, pp. 181–188. (In Korean with English abstract)
- Won, J. H. (2013), *Self-Calibration of Non-Metric Digital Camera Using Ground Control Points and Additional Parameters*, Ph.D. dissertation, Chungnam National University, Daejeon, Korea, 101p. (In Korean with English abstract)
- Won, J. H., So, J. K., and Yun, H. C. (2012), Non-metric digital camera lens calibration using ground control points, *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol. 30, No. 2, pp. 173–180. (In Korean with English abstract)
- Yoon, J. S. (2008), *GPS/INS Aerotriangulation Using Interpolated CORS Observations*, Ph.D. dissertation, Inha University, Incheon, Korea, 185p. (In Korean with English abstract)

