

항공라이다데이터 정표고 변환을 위한 정밀지오이드 모델 이용

Utilizing Precise Geoid Model for Conversion of Airborne LiDAR Data into Orthometric Height

이원춘¹⁾ · 위광재²⁾ · 정태준³⁾ · 권오섭⁴⁾

Lee, Won-Choon · We, Gwang-Jae · Jung, Tae-Jun · Kwon, Oh-Seob

Abstract

In this study, we have intended to analyze the possibility of using the precise geoid model and to find the best geoid model for working by the airborne LiDAR system. So we have calculated the geoid height from the precise geoid models (KGEIOD08, EGM2008, EIGEN-CG03C) and have analyzed results by comparing the geometric geoid height from surveying and geoid heights from geoid models. As a result, the KGEIOD08 that had 0.152m of RMSE was assessed the best geoid model for making DEM(DTM) by airborne LiDAR system. Also we have found the needed arrangement and numbers of reference point when the KGEIOD08 was used for conversion into orthometric height of LiDAR data.

Keywords : LiDAR, Precise geoid model, Conversion into orthometric height, KGEIOD08

초 록

본 연구에서는 라이다 데이터의 정표고 변환 작업에 있어서 정밀 지오이드 모델의 활용 가능성 및 항공라이다 측량 작업을 위한 최적 지오이드 모델을 검토하였다. 이를 위해, KGEIOD08, EGM2008, EIGEN-CG03C 모델을 대상으로 하여 여기서 산출된 지오이드고와 실측을 통해 계산된 기하학적 지오이드고를 비교·분석한 결과 0.152m의 RMSE를 나타낸 KGEIOD08 모델이 가장 적합함을 알 수 있었다. 또한 KGEIOD08 모델을 사용하여 라이다 데이터의 정표고 변환 작업을 수행할 경우, 이를 위해 필요한 기준점의 배치 및 수량 등의 기준점 선점을 위한 기준을 제시하였다.

핵심어 : 라이다, 정밀지오이드 모델, 정표고 변환, KGEIOD08

1. 서 론

라이다(Light Detection And Ranging)는 1990년대 중반부터 상용화된 장비가 출시된 이후, 정확도 향상, 자료 처리 및 활용 등의 기술개발에 의해 지형지물의 3차원 위치자료를 취득하는데 있어 기타 다른 측량기술에 비해 성과의 정확도 및 작업능률면에서 크게 각광받고 있는 기술이다. 라이다 기술을 이용한 항공레이저측량을 통해 취득되는 3차원 포인트 데이터는 수치표고모델

(DEM : Digital Elevation Model) 및 수치표면모델(DSM : Digital Surface Model)로 제작되어 지형, 복잡한 건물 및 구조물 등의 모델링이나 등고선 제작 등의 지도제작을 위한 수단으로 활용되고 있으며, 국내에서는 수치표고 모델 등의 제작을 위한 항공라이다 측량성과의 정확도 및 활용성을 확보하기 위해 “항공레이저측량 작업규정 (국토지리정보원, 2009)”을 제정하여 이를 기준으로 하여 작업을 수행하고 있다.

항공 라이다 시스템은 레이저스캐너와 GPS/INS시스

1) (주)아세아항공측 부설연구소 사업개발팀 선임연구원(E-mail:won725@gmail.com)
2) 교신저자 · 정희원 · 성균관대학교 건설환경시스템공학과 박사과정 수료 · 한진정보통신(주) 기술연구소(E-mail:gjwe@hist.co.kr)
3) 정희원 · 성균관대학교 건설환경시스템공학과 박사과정 수료(E-mail:tjun97@skku.edu)
4) 인천대학교 건설환경공학과 박사과정(E-mail:titmic77@naver.com)

템으로 구성되어 있으며, 여기서 수집된 포인트 데이터의 높이좌표는 GPS에서 사용하는 WGS84타원체 기준의 타원체고로 취득된다. 따라서 항공 라이다 측량을 통해 취득된 데이터를 활용하여 DEM 등을 제작하기 위해서는 취득된 포인트 데이터의 타원체고를 정표고로 변환해주는 과정이 필요하다.

라이다데이터의 정표고 변환 작업을 위해서는 대상지역에 고른 분포로 기준점을 선점하고, 선점된 기준점에서 GPS측량 및 수준측량을 실시하여 수평좌표와 높이좌표(타원체고 및 정표고)를 취득한 뒤, 각 기준점에 대한 정표고와 타원체고의 차이를 산출함으로써 대상지역에 대한 간이적인 지오이드 모델을 계산하여 활용하고 있으나, 이러한 직접 측량에 의한 정표고 변환 방식은 현지 측량작업에 따르는 많은 인력 및 시간적 소모를 야기하고 있다.

본 연구에서는 항공라이다 측량을 통해 DEM 등의 성과를 제작하는 과정에서 발생하는 현지 측량 작업의 번거로움을 최소화하기 위하여 라이다 데이터의 정표고 변환 작업에 있어서 정밀 지오이드 모델의 활용 가능성 및 항공라이다 측량 작업을 위한 최적 지오이드 모델을 검토하는 한편, 정표고 변환 시에 사용되는 기준점의 수량에 따른 최종 성과의 차이를 분석하였다.

연구대상지역은 한반도 내륙부에 위치한 황성지역(997.77km²)을 선정하였으며, 국토지리정보원의 항공레이저측량 작업규정을 준용한 64점의 기준점을 선점하여 GPS측량과 수준측량을 따른 위치를 결정하였다. 또한, 라이다데이터의 정표고 변환을 위해 사용할 정밀 지오이드 모델을 선정하고 기준점들에 대한 정밀 지오이드 모델별 지오이드고를 각각 산출하여 이를 실제 측량을 통해 계산된 기하학적 지오이드고와의 비교를 통해 항공라이다 측량작업에 최적합한 정밀 지오이드 모델을 산출함과 동시에, 정표고 변환 작업을 위해 사용되는 기준점의 수량에 따른 정확도 변화를 확인하기 위해 변환에 사용되는 기준점의 수량을 변화시켜 작업을 수행하고 각 경우에 대한 결과들을 비교하였다.

지오이드는 지구를 구성하는 물질의 공간적 분포, 운동 및 복잡하고 다양한 변화를 나타내는 물리적인 장(場)으로, 다년간의 위성고도계 자료 축적과 위성중력기술의 발달은 전 지구 지오이드 모델의 지속적인 개발에 질적인 발전을 가져왔으며, 이러한 고해상도, 고정밀도의 초고차항 전 지구 지오이드 모델은 현재측지학, 지구물리학 등의 다양한 과학분야의 발전에 있어 매우 중요

한 역할을 하고 있다(황학 등, 2009).

이러한 지오이드 모델을 이용하면 특정지점에서의 타원체고를 이용하여 정표고를 계산할 수 있지만, 이는 전 지구적인 수직기준을 기준으로 생성된 것으로 이를 통해 계산된 정표고는 해당 지역에서 채용하고 있는 지역적인 수직기준에 따른 실제 정표고와는 차이가 있다. 따라서 GPS/Leveling 및 중력 측량값 등을 이용하여 전 지구 지오이드 모델을 해당 지역의 수직기준으로 적합화(fitting)하는 과정을 통해 최종적인 지역적 정밀 지오이드 모델의 개발이 필요하며, 국내에서도 이를 위한 다수의 연구가 수행된 바 있다.

지역적 정밀지오이드 계산을 위한 최적의 지구 중력장모델 결정은 GPS/Leveling 자료에서 구해진 기하학적 지오이드고를 이용하고 있으며, 때로는 천문측량을 통해 얻어진 천문지오이드를 이용하여 결정하기도 한다(이석배 등, 1998). 이와 관련하여 GPS/Leveling 자료를 이용하여 한반도 지역의 다양한 지구중력장모델의 정확도를 분석한 연구가 순차적으로 진행되었는데, 1994년에는 OSU91A 중력장모델(Yun 등, 1994)이, 1999년에는 EGM96 중력장모델(Yun, 1999)이, 2005년에는 EIGENC-G03C 중력장모델(윤홍식 등, 2005)이 한반도 지역에 가장 적합한 것으로 분석되었으며, 이러한 결과를 토대로 중력측량 자료 및 GPS/Leveling 데이터를 이용하여 한반도 지역에 대해 최적합한 정밀지오이드 모델인 KGEOID08(이동하, 2008)이 제작되었다.

본 연구에서는 항공라이다 측량에서의 정표고 변환에 가장 적합한 지오이드 모델을 산출하기 위해 가장 최근에 개발된 전 지구 중력장 모델인 EGM2008과 EIGENC-G03C모델을 비롯하여 성균관대학교에서 2008년에 개발한 한국의 고정밀 합성 지오이드모델인 KGEOID08을 활용하였다.

EGM2008은 10여년 전에 발표된 EGM96을 대신하기 위한 교체모델로 미국 국가지형정보국(NGA)에서 2008년에 발표된 초고차항 전 지구 중력장모델으로써, 2,160차의 초고차항 구면조화 계수로 이루어지며, degree(n) 2,190과 order(m) 2,160의 추가 전개계수도 포함하고 있다(Pavlis et al., 2008). 우리나라의 수준점에서 GPS측량을 실시한 464점의 GPS/Leveling 데이터를 이용하여 정확도를 평가한 결과 EGM2008(360차수)는 $-0.100 \pm 0.183\text{m}$ 로 EGM96(360차수) 결과인 $0.156 \pm 0.238\text{m}$ 에 비해 상당한 정확도의 개선을 가져왔으며, 2190차수의 고차항으로 해석한 결과 $-0.069 \pm 0.140\text{m}$ 인 것으로 계산되었다(이석

배 등, 2008).

EIGEN-CG03C는 독일의 GFZ가 2003년 2월~5월, 7월~9월 및 2004년 2월~7월 동안에 CHAMP위성으로부터 관측한 중력값과 전 지구의 표면중력값 및 표고자료 등을 합성하여 최대차수 360까지 구면조화전개하여 개발한 전 지구 중력장모델로서 지오이드고의 정밀도는 $\pm 30\text{cm}$, 중력이상의 정밀도는 $\pm 8\text{mGal}$ 로 발표되었다 (Förste et al., 2005).

KGEIOD08은 한국 일원에 대하여 360차의 최대차수로 해석된 EIGEN-CG03C 모델을 기준면으로 4밴드 구면 FFT 방법과 RTM 환산방법을 적용하여 중파장 및 단파장 성분을 계산하고 이를 합성하여 개발되었고 총 503개의 GPS/Leveling 자료를 이용한 LSC(Least Square Collocation) 방법에 의한 수직기준 적합을 수행함으로써 최종적인 합성 지오이드 모델을 결정하였으며, 그 적합도는 약 $0.001\text{m} \pm 0.054\text{m}$ 인 것으로 계산되었다(이동하, 2008).

2. 모델별 지오이드고 비교

본 연구에서는 항공라이다 측량에서의 정밀 지오이드 모델 사용의 적합성을 판단하기 위해 강원도 횡성지역을 연구대상지역으로 선정하였으며, 대상지역의 기준점들은 국토지리정보원의 항공레이저측량 작업규정을 준용하여 선점하였다.

항공레이저측량 작업규정(국토지리정보원 고시 2009-916호)은 수치표고모델 등의 제작을 위한 항공레이저측량의 작업방법 및 기준 등을 규정하여 성과의 정확도와 활용성을 확보하기 위해 제정되었으며, 항공 라이다 측량에 사용되는 장비의 성능기준, 점밀도, 측량자료를 이용한 수치표고모델 제작 작업순서, 품질관리 기준 등의 항공레이저측량 전반에 대한 작업 기준과 관련지침을 규정하고 있다. <표 1>은 작업규정에 따른 기준점 선점과 측량 기준 및 정표고변환 방법을 나타낸 것이다.

본 연구에서는 국토지리정보원의 항공레이저측량 작업 규정에 기준하여 대상지역인 횡성군 전역에 대해 64점의 기준점을 선점하고, GPS 측량 및 수준측량 작업을

표 1. 기준점 선점/측량 및 정표고변환 방법(항공레이저측량 작업규정)

<p>제18조 기준점 측량</p>	<p>항공레이저측량 원시자료의 점검 및 조정을 위하여 다음 각 호에 따라 기준점측량을 하여야 한다.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 기준점측량은 GPS에 의한 4급 기준점측량방법으로 실시하는 것을 원칙으로 한다. 2. 기준점은 급격한 높이 차이가 없는 지형의 모든 방향에 대해 평탄한 장소를 선정하여야 한다. 3. 기준점측량 중 평면위치는 GPS 상시관측소와 직접 연결하여 관측하여야 하며, 수직위치는 간접수준측량방법을 이용하여 1등 또는 2등 수준점과 직접 연결하여 측량하여야 한다. 이 때, 높이값은 타원체고와 정표고를 각각 산출하여야 한다.
<p>제19조 기준점 및 검사점 개수 및 배치</p>	<p>수치표면자료를 제작하기 전에 항공레이저측량 원시자료의 점검 및 조정에 필요한 기준점의 수와 배치는 다음 각 호에 따른다.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 기준점은 4~5km 간격으로 배치하고, 최소 10점 이상을 표준으로 한다. 다만, 기준점 개수가 현저히 적어 항공레이저측량 원시자료를 점검 및 조정할 수 없는 경우에는 발주처와 협의하여 결정한다. 2. 기준점은 작업지역 전역에 고르게 분포하도록 배치하고, 특히 작업지역의 각 모서리와 중앙 부분에는 기준점이 반드시 배치되도록 하여야 한다. 다만, 기준점은 교량위에 배치해서는 안 된다. 3. 측량된 기준점 중 30% 이상(최소 3점)은 점검이나 조정에 사용할 수 없으며, 정확도를 검증하기 위한 검사점으로만 사용하여야 한다. 다만, 작업지역의 각 모서리와 중앙 부분에 배치된 기준점을 검사점으로 사용하여서는 안 된다.
<p>제29조 정표고 변환</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 조정이 완료된 항공레이저측량 원시자료의 타원체고를 정표고로 변환하여야 한다. 2. 정표고 변환은 발주처와 협의하여 기준점 및 검사점 성과 또는 별도 성과를 이용하여 산출된 작업지역에 대한 지오이드 모델을 정하여 사용할 수 있다. 3. 정표고 변환한 결과를 보고서로 작성하여야 한다.

수행하였다. GPS 측량데이터는 TGO(Trimble Geomatics Office v1.6)를 이용하여 처리하였으며, 데이터 처리에 있어서 기준좌표계(ITRF2000) 상의 정밀성차가 결정되어 있는 국토지리정보원의 GPS 상시관측소(HONC, WNJU, YANP, YOWL)를 사용하여 기선해석 및 망조정을 수행하였다. <그림 1>은 연구대상지역에 선점된 기준점 분포 현황을 나타내고 있다.

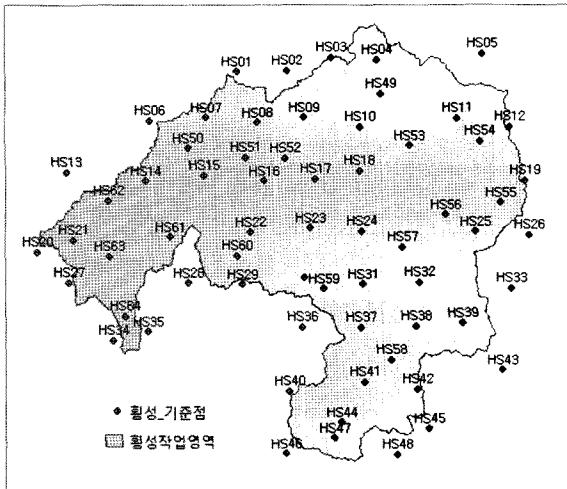


그림 1. 황성지역 기준점 분포 현황(64점)

GPS 데이터 처리를 통하여 계산된 타원체고와 수준측량으로 획득된 정표고를 이용하면 (1)에 의하여 기하학적 지오이드고를 계산할 수 있다.

$$N = h - H \quad (1)$$

여기서, N은 기하학적 지오이드고를 나타내고 h는 GPS 측량에 의한 타원체고, H는 수준측량에 의한 정표고를 의미한다.

<표 2>는 기준점들에 대한 기하학적 지오이드고(N)를 기준으로 EGM2008(N_{max} : 1,260차), Eigen-CG03C(N_{max} : 360차) 및 KGEIOD08을 이용하여 결정된 지오이드고 간의 차이통계를 나타낸 것으로, RMSE(root mean square error)를 이용하여 상대적인 정확도를 분석하였다. RMSE는 평균적인 위치측정오차를 의미하고, 동일한 지점에 좌표를 가지는 2개의 결과를 직접 비교함으로써 상대적인 정확도를 표시할 수 있는 척도이다.

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

여기서, C_i 는 기하학적 지오이드고, C_j 는 지오이드 모델에서 계산된 지오이드고이며, n은 기준점의 수이다.

<표 2>의 결과를 살펴보면, 연구대상지역에 대하여 KGEIOD08 모델이 평균 -0.059m, 표준편차 0.140m, RMSE 0.152m로서 EGM2008과 EIGEN-CG03C 모델보다 상대적으로 가장 적합한 것으로 분석되었다. EGM2008 모델의 경우에는 표준편차가 0.104m로 가장 낮은 수치를 보이고 있으나 RMSE는 0.391m로 가장 큰 수치를 보였다. EIGEN-CG03C 모델은 표준편차가 0.145cm, RMSE는 0.326cm로 계산되어 EGM2008 모델과 비슷한 정확도를 보이고 있다. 이러한 차이는 실질적인 국가 수직기준과의 적합(fitting) 여부에 따른 것으로 판단되며, 전 지구 중력장 모델인 EGM2008과 EIGEN-CG03C 모델의 경우 연구대상지역에서 우리나라의 수직기준과 약 30cm 정도의 편의(bias)가 존재하는 것으로 분석된다. 또한, EGM2008의 경우 가장 큰 평균값과 RMSE값을 보이지만 표준편차는 반대로 가장 작은 값을 나타냄으로써 사용된 3가지 모델 중에서 가장 높은 정밀도를 가지고 있음을 알 수 있었으며, 향후 통합기준점의 GPS/Leveling 성과 등을 이용하여 bias를 보정한다면 보다 좋은 결과를 기대할 수 있을 것으로 생각된다.

<그림 3>은 지오이드 모델별 기하학적 지오이드고와

표 2. 기하학적 지오이드고를 기준한 지오이드 모델별 차이통계

구분	EGM2008	EIGEN-CG03C	KGEIOD08
평균 (m)	0.375	-0.290	-0.059
표준편차 (m)	0.104	0.145	0.140
RMSE(m)	0.391	0.326	0.152

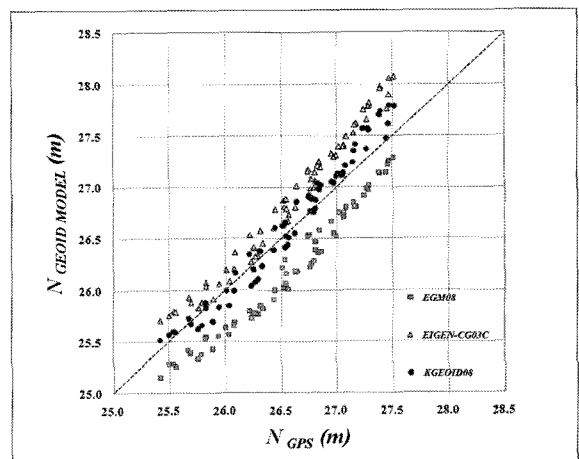


그림 3. 지오이드 모델별 기하학적 지오이드고와의 상관관계도

의 상관관계를 나타내고 있으며, KGEOID08 모델의 적합성이 가장 좋은 것을 확인할 수 있다.

항공레이저측량 작업규정(국토지리정보원, 2009)에서는 수치표고모델(DEM)의 격자구격이 1m일 경우에 RMSE와 최대오차를 0.5m 및 0.75m로 정하고 있으며, 이를 기준으로 살펴보면 항공라이다 원시데이터의 정확도가 충분히 확보된다면 정밀지오이드 모델을 활용하여 정표고 변환을 수행한 성과를 활용하여 항공라이다를 통한 DEM의 생성이 가능할 것으로 예상된다.

3. 기준점 밀도 분포에 따른 정표고 변환 결과 비교

국토지리정보원에서 제정한 항공레이저측량 작업규정에서 정표고 변환 부분을 살펴보면, 작업 대상지역에 대해 4~5km 간격으로 최소 10점 이상의 기준점을 배치하고 이를 이용하여 각각의 기준점에 대해 정표고와 타원체고를 실측하고, 이를 이용하여 기하학적 지오이드고를 산출함으로써 대상 지역에 대한 정표고 변환작업을 수행하게 된다.

본 연구에서는 황성지역에 대해 GPS 및 수준측량에 의한 기하학적 지오이드고와 가장 근접한 지오이드고 차이를 보이는 KGEOID08모델을 활용하고 변환을 위한 기준점의 수량을 변화시켜 각각의 경우에 대한 지오이드고를 추출하고, 이를 사용하여 라이다 데이터의 정표고 변환을 수행하여 얻어진 변환 성과들을 비교함으로써 기준점 수에 따른 최종 성과물에 대한 변환 정확도를 살펴보았다.

이를 위해 평균 3.8km 간격으로 선점된 총 64점의 기

준점을 대상으로 기준점 간의 배치 간격을 조정하여 사용 기준점의 수량을 각각 1점, 5점, 15점 및 30점으로 변화시켜 기준점을 배치하였다. <그림 4>는 정표고 변환에 사용된 기준점 수와 분포를 나타낸 것이며, <표 3>은 그에 따른 기준점 간의 배치간격을 표시한 것이다.

표 3. 정표고 변환에 사용한 기준점 간의 배치간격

기준점 수 점 간 거리	64점	30점	15점	5점
최대(km)	6.90	8.91	12.61	26.95
최소(km)	1.66	4.79	7.25	17.64
평균(km)	3.81	6.05	9.89	21.46

기준점 수의 변화에 따른 각각의 경우에 대해 추출된 기준점들에 대해 KGEOID08에서 산출된 지오이드고를 이용하여 황성군 전 지역의 라이다데이터에 대해 정표고 변환 작업을 수행하였으며, 정확도 평가를 위해 황성군 전역에 총 73점을 선점하고, 이에 해당되는 라이다 포인트를 추출하여 검사점으로 활용하였다(그림5).

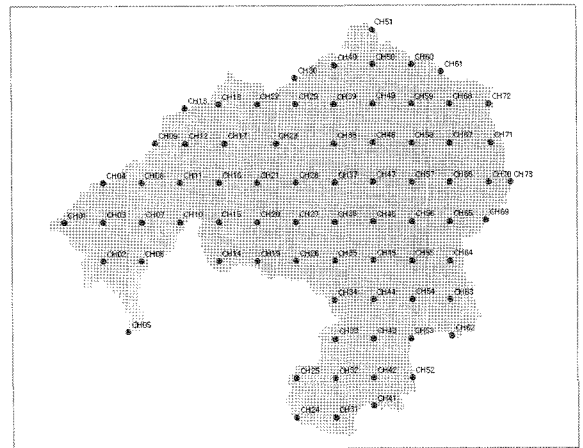


그림 5. 정표고변환 결과 검사점 분포(73점)

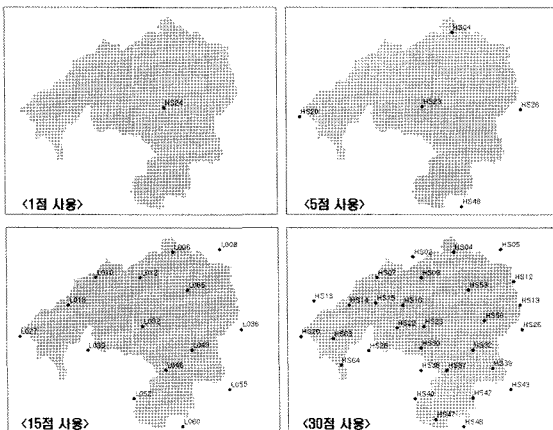


그림 4. 정표고 변환을 위한 사용 기준점 수 및 분포

정표고 변환에 있어서 사용한 기준점 수에 따른 정확도의 비교·분석을 위하여 모든 기준점(64점)을 사용하여 변환한 검사점(73점)의 정표고를 기준으로 하여, 사용된 기준점 수에 따라 변환된 정표고를 이용하여 상대적인 정확도 평가를 수행하였다. <그림 6>은 정표고 변환에 사용한 기준점 수에 따른 정표고의 편차 분포를 나타낸 것이다.

<표 4>는 연구대상지역의 검사점 73점에 대하여 기준

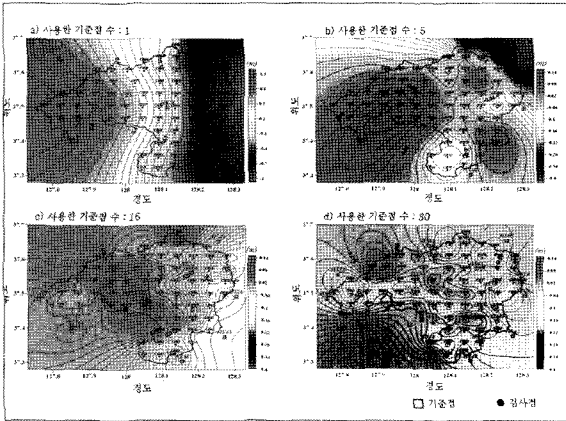


그림 6. 사용한 기준점 수에 따른 정표고의 편차 분포

표 4. 기준점 수에 따른 정표고 변환 결과 비교

구 분	정표고 변환을 위해 사용한 기준점 수			
	1점	5점	15점	30점
평균(m)	0.043	0.004	0.003	0.003
표준편차(m)	0.612	0.095	0.038	0.017
RMSE(m)	0.613	0.095	0.038	0.017

점 수에 따른 정표고 변환의 정확도 비교 결과이다. <그림6>과 <표4>의 결과를 살펴보면, 정표고 변환을 위하여 1점의 기준점을 사용한 경우에는 RMSE가 0.613m로 나타났으며, 기준점에서 멀어질수록 편차의 크기가 증가하는 경향을 확인할 수 있다. 하지만 공간적 분포를 고려하여 대상지역에 고르게 기준점을 배치한 5점, 15점, 30점의 기준점을 사용한 경우는 RMSE가 각각 0.095m, 0.038m, 0.017m로 모두 10cm 이내의 차이를 보였다.

정표고 변환에 사용된 KGEOID08의 격자간격(약 1.4km × 1.5km)을 기준으로 살펴보면, 기준점간의 최대거리가 격자간격보다 작은 15점의 기준점을 사용한 경우의 RMSE가 기준점간의 최소거리가 격자간격보다 크게 배치된 5점의 기준점을 사용한 경우의 RMSE에 비해 약 6cm의 정확도가 개선된 반면, 30점의 기준점을 사용한 경우의 RMSE와 15점의 기준점을 사용한 경우의 RMSE는 약 2cm의 다소 근소한 차이를 보였다.

4. 결 론

본 연구에서는 항공라이다 측량으로 획득된 라이다 데이터의 정표고 변환 작업에 있어서 정밀 지오이드 모

델의 활용 가능성에 대하여 분석하였다. 이를 위하여 강원도 횡성군 지역을 연구대상지역으로 선정하고 정표고 변환 작업을 위한 64점의 기준점에 대하여 GPS측량과 수준측량을 수행하였으며, 현장 측량을 통한 기하학적 지오이드고와 지오이드 모델로부터 계산된 지오이드고를 이용하여 항공라이다 측량 작업을 위한 최적 지오이드 모델을 검토하였다. 그리고 정밀지오이드 모델인 KGEOID08을 사용한 라이다 데이터의 정표고 변환 과정에서 기준점의 수량에 따른 최종 성과의 차이를 비교·분석하였으며, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) KGEOID08, EGM2008 및 EIGEN-CG03C 지오이드 모델로부터 계산된 지오이드고와 실측을 통한 기하학적 지오이드고를 비교·분석한 결과, KGEOID08 모델의 RMSE가 0.152m로서 EGM2008과 EIGEN-CG03C 모델보다 약 20cm 정도 높은 정확도를 보였다. 또한 지오이드 모델별 기하학적 지오이드고와의 상관관계에 있어서도 KGEOID08 모델의 적합성이 가장 좋은 것으로 나타났으며, 국토지리정보원에서 규정한 수치표고모델의 규격에 따른 수직위치 정확도를 고려하면 항공라이다 원시자료의 정확도가 충분히 확보된 경우 KGEOID08을 활용한 정표고 변환 방법의 이용이 가능할 것으로 예상된다.
- 2) 라이다데이터의 정표고 변환을 위해 KGEOID08을 사용하고, 이때 사용되는 기준점의 수량에 따른 정표고 변환성과를 비교한 결과, 대상 지역에 대해 고르게 분포하도록 기준점을 배치하면 5점의 기준점을 이용하더라도 작업규정에 의해 선정된 64점 기준점들을 이용한 변환 성과와 비교하여 약 10cm 이내의 차이를 나타내었다. 이는 대상 지역에 대한 기준점의 밀도분포만 고르게 한다면 요구되는 정확도에 따라 적은 개수의 기준점을 활용하여 최종 성과를 얻을 수 있음을 의미한다.
- 3) 정표고 변환에 사용된 KGEOID08의 격자간격(약 1.4km × 1.5km)을 기준으로 살펴보면, 기준점간의 최소거리가 격자간격보다 크게 배치된 기준점을 사용한 경우(5점)와 기준점간의 최대거리가 격자간격보다 작도록 배치된 기준점을 사용한 경우(15점)의 RMSE 변화는 0.095m에서 0.038m의 변화를 보인

반면, 기준점 간의 최대거리가 지오이드 모델의 격자간격보다 작은 상황에서 기준점 수의 증가(15점에서 30점으로 증가)에 따른 RMSE변화는 0.038m에서 0.017m로 그리 큰 변화를 보이지 않았다. 이는 정밀 지오이드 모델을 활용한 정표고 변환작업에서 기준점 수를 결정하기 위한 기준으로 지오이드고 추출에 활용되는 정밀지오이드 모델의 격자 간격이 기준점의 수량을 결정하기 위한 기준으로 사용될 수 있음을 나타낸다.

참고문헌

- 국토지리정보원 (2009), 항공레이저측량작업규정
 황학, 윤홍식, 이동하. 정태준 (2009), 남한지역에서의
 초고차항 중력장모델 EGM2008의 정확도 분석, 대한
 토목학회논문집, 대한토목학회, 제 29권 제 1D호, pp.
 161-166.
- 이석배 (1998), 베셀타원체상에서의 한반도 지오이드 모
 델의 개발, 한국측량학회지, 한국측량학회, 제 16권,
 제 2호, pp. 213-223.
- 윤홍식, 조재명 (2005), GPS/Leveling데이터를 사용한 새
 로운 지구중력장모델의 정확도 분석, 한국측량학회지,
 한국측량학회, 제 23권 4호, pp. 353-358.
- 이동하 (2008), 한국의 고정밀 합성 지오이드모델 개발,
 박사학위논문, 성균관대학교.
- 이석배, 김진수, 김철영 (2008), GPS/leveling 데이터에
 의한 EGM2008 지구중력장모델의 평가, 한국지형공간
 정보학회지, 한국지형공간정보학회, 제 16권 제 3호,
 pp. 117-126.
- 위광재, 양인태, 서용운, 심정민 (2006), 현지 측량점을 이
 용한 LiDAR 데이터의 정확도 검증, 한국지형공간정보
 학회지, 제14권 제4호, pp. 1-8
- Yun, H. S. and Adam, J. (1994) The global geopotential mod-
 els in region of the Korean peninsula, 한국측량학회지, 한
 국측량학회, 제 12권, 제 1호, pp. 95-106.
- Yun, H. S. (1999), Precision geoid determination by spherical
 FFT in and around the Korean peninsula, *Earth Planets
 Space*, 51, pp. 13-18.
- Pavlis. N.K., Holmes, S.A., Kenyon, S.C., and Factor, J.K.
 (2008) An Earth Gravitational Model to Degree 2160:
 EGM2008, presented at the 2008 General Assembly of the
 European Geosciences Union, Vienna, Austria, pp. 13-18.
- Förste C., F. Flechtner, R. Schmidt, U. Meyer, R. Stubenvoll,
 F. Barthelmes, R. König, K.H. Neumayer, M. Rothacher,
 Ch. Reigber, R. Biancale, S. Brinsma, J.M. and Lemoine,
 J.C. Raimondo (2005), A New High Resolution Global
 Gravity Field Model Derived From Combination of
 GRACE and CHAMP Mission and Altimetry/Gravimetry
 Surface Gravity Data, *EGU General Assembly 2005*,
 Vienna, Austria, pp. 24-29

(접수일 2011. 06. 01, 심사일 2011. 07. 30, 심사완료일 2011. 08. 16)