한국측량학회지, 제 28권 제 5호, 2010. 10 : pp. 479~484

상시관측소를 이용한 LiDAR 데이터 정확도 비교
Comparison of LiDAR Data Accuracy Using CORS

강준묵[1] · 원재호[2] · 김태훈[3] · 홍용현[4] · 이건호[5]
Kang, Joon Mook · Won, Jae Ho · Kim, Tae Hoon · Hong Yong Hyun · Lee Gun Ho

Abstract

In the airborne laser survey with GPS/INS, based on kinematic, the installation and operation of GPS base stations is necessary to allow three-dimensional location coordinates to be obtained quickly and precisely. However, in many cases, GPS base stations operate under difficult conditions. In this paper, we investigate the substitutability of continuously operating reference stations (CORS) for base stations, and we examine the influence of the distance between aircraft GPS and CORS on the Z-value. The results of our study demonstrate that, if the performance of GPS base stations within regulation distance is replaced with that of CORS, sufficient accuracy is guaranteed. Moreover, the performance of CORS beyond regulation distance is fairly good.

Keywords : CORS, Airborne Laser Survey, GPS, GPS/INS

초 록

GPS/INS을 이용한 항공레이저측량은 GPS 이동측위를 기반으로 정밀하고 신속한 3차원 위치좌표를 취득하기 위하여 GPS 지상기준국의 설치 및 운영이 필수적 요건이지만 지상기준국의 정상적인 운영이 어려운 경우가 많다. 따라서 본 연구에서는 지상기준국의 상시관측소 대체 가능성 검토와 더불어 항공기 GPS와 상시관측소와의 기선거리에 따른 Z값에 대한 영향성을 검토하였다. 그 결과, 규정거리 이내의 상시관측소 성과를 대체하여도 충분한 정확도를 얻을 수 있어 활용 가능하다고 판단이 된다. 또한 규정거리 이상의 상시관측소도 양호한 성과를 얻을 수 있었다.

핵심어 : 상시관측소, 항공레이저측량, GPS, GPS/INS

1. 서 론

항공기에 장착된 레이저 스캐너로부터 레이저 펄스를 지상에 발사하여 지물 또는 지표면에서 반사되어 돌아오는 펄스의 시간을 관측하여 3차원 위치를 취득하는 항공 LiDAR 측량은 기존의 측량방식과는 달리 지상의 지형지물에 대한 3차원 위치정보를 신속하고 정밀하게 취득할 수 있다는 장점을 가지고 있어, 정밀 수치표고자료 구축 및 3차원 지형공간 정보 구축, 산사태 또는 하천 범람 등의 재난 관리, 도심지 모델링 등 다양한 분야에 적용되고 있다(한수희 등, 2008).

현재 항공 LiDAR 시스템과 GPS/INS를 이용하여 국내외 많은 연구가 이루어지고 있다. MBES(Multi Beam Echo Sounder)와 항공레이저스캐닝을 이용하여 하천지역에 대한 DEM(Digital Elevation Model)구축 한 후 MBES와 항공레이저측량의 정확도 평가를 연구하였으며(권오철 등, 2009), 항공레이저측량을 통해 생성된 DEM을 기준으로 특이점을 선점하여 GPS측량 후 정표고에 대한 정확도를 분석하였다(강준묵 등, 2006). 90년대 중반에 상용으로 개발한 GPS/INS장비와 항공사진을

1) 정회원 · 충남대학교 토목공학과 교수(E-mail:jmkang@cnu.ac.kr)
2) 교신저자 · 정회원 · 충남대학교 토목공학과 박사과정(E-mail:aerowon@nate.com)
3) 정회원 · 인천대학교 일반대학원 토목환경시스템공학과 박사과정(E-mail:maverick08@nate.com)
4) (주)범아엔지니어링 국토정보시스템연구소 책임연구원(E-mail:kulclick@panasia.co.kr)
5) (주)범아엔지니어링 국토정보시스템연구소 주임연구원(E-mail:lgh840@panasia.co.kr)

이용한 연구를 시작하여 2002년 Mader는 30초 간격으로 데이터를 수신하는 국내 상시관측소의 위성자료를 1초 간격으로 보간하여 1/10,000항공으로 수행한 연구에서 전용 지상기준국을 설치하지 않고 작업지역에서 약 50km 떨어진 상시관측소를 이용하여 외부표정요소와 지상기준점을 비교하였더니 RMSE = 40cm이내임을 발표하였다(Mader, 2002). 또한 국내에서는 항공사진측량을 위해 30초간격 상시관측소 자료를 이용하여 1초 간격으로 내삽을 통해 결정한 외부표정요소값의 정확도를 분석하였더니 표준편차는 최대10cm로 분석되었다(윤종성, 2009).

현재 항공레이저측량은 GPS/INS를 이용한 이동측위 방식으로 3차원 위치좌표를 결정하므로 GPS 지상기준국의 설치가 필수적이며, 현재 국토지리정보원에 고시된 고시번호 제2009-950호 항공레이저측량 작업규정(제2장 항공레이저측량 제 9조 ③항)에는 지상기준국과 항공기 GPS와의 기선거리가 30km 이내인 지점에 설치하도록 규정하고 있다. 그러나 현실적으로 대상 지역이 광범위하거나 여러 지역으로 나뉘어 있는 경우에는 기상조건 또는 운항 여건 등으로 인하여 지상기준국의 정상적인 운영이 어려운 상황이 발생하기도 하며, 수신기 오류와 같은 예기치 못한 상황으로 인해 데이터 상의 오류가 발생하는 등 지상기준국을 항상 정상적으로 운영하는 것이 어렵다(Mostafa, 2002).

따라서 본 연구에서는 여타의 문제들로 인하여 지상기준국의 운영이 불가능할 경우 GPS 신호를 안정적으로 수신할 수 있는 GPS 상시관측소 자료를 이용하여 GPS/INS자료를 처리하는 과정에 사용하는 방법을 검토하고자 한다. 또한 규정된 기선거리 이상의 상시관측소를 적용하여 얻어지는 항공레이저측량 관측점에 대한 타원체고 및 정표고에 대한 높이 비교를 통하여 항공GPS와 상시관측소와의 기선거리에 따른 높이성과에 대한 영향성을 검토해 보았다.

2. 연구방법

본 연구는 항공레이저측량 시 설치해야 하는 지상기준국을 대체하여 상시관측소 성과의 적용 가능성에 대한 검토와 기선거리에 따른 높이 정보의 영향성을 분석하고자 하는 것으로, 연구 대상 지역에 대한 취득 데이터의 정확도를 검증하기 위해서는 특징점(Spot Point)에 대한 절대좌표를 얻어야만 한다. 그러나, 항공레이저측량을 이용하여 취득되어지는 데이터는 무수한 점군(Point Clouds) 자료이기 때문에 특징점과 일대일로 부합되는 점 성과를 얻을 수가 없으며, 현재 항공레이저측량 작업규정에도 평면에 대해 정확도 검증에 대한 규정이 명시되어 있지 않고 표고점에 대해서만 정확도 검증을 명시하였다. 그리하여 평면에 정확도는 본 연구에서 사용되는 ALS50-II 장비 사양에 의존하였다. ALS50-II 장비의 평면에 대한 정확도 사양은 비행고도 1,000m에서 촬영을 할 경우 수평정확도는 15cm 이며, 비행고도 2,000 m에서 촬영을 할 경우 수평정확도는 24cm이다. (www.leicageosystem.com) 따라서, 현재 운영중인 항공레이저측량작업규정에 준하는 작업절차에 따라 지상기준국을 이용하여 항공레이저측량 데이터를 구축하고, 동일 작업절차를 적용하되 지상기준국을 상시관측소로 대체한 항공레이저측량 데이터를 구축한 후 항공레이저측량작업규정에 규정된 바와 같이 관측 지점의 1m 반경 이내의 관측점들로부터 타원체고 및 정표고에 대한 평균표고를 비교하는 방법을 취하였다.

2.1 지상기준국을 이용한 항공레이저측량 데이터 구축

연구 대상지역은 경기도 남부의 일부 지역으로 면적 16.8㎢에 해당하는 비교적 평탄하고 산지와 논밭으로 구성되어 있는 곳으로 선정하였으며, 사용된 장비는 Leica Geosystem 사의 ALS50-II를 이용하였다. 안정된 데이터 취득을 목적으로 GPS 초기값 및 INS 누적오차를 제거하기 위한 등속비행 및 S선회 등을 시행하여 초기화작업을 수행하였고 대상지역에서의 데이터 취득이 끝난 이후에도 GPS 이동측위 해석을 위하여 등속비행을 유지하였다.

대상지역에 대한 촬영은 비행고도 약 2,000m, 코스간 중복도는 약 50%, 취득 점밀도는 약 2.5점/㎡로 촬영하였으며, 항공기 GPS의 데이터 취득 간격은 0.5초, 데이터 취득 시 관측된 GPS위성 수는 9개, PDOP은 1.71이었다.

지상기준국은 항공기에 탑재되어있는 GPS 수신기와 함께 정확한 항공기의 위치를 계산하기 위함이며, GPS/INS 데이터 처리를 위한 지상기준국은 작업 지역으로부터 반경 30km 이내의 위치에 설치(Trimble 5700 2주파 수신기)하였으며 인근 상시관측소(수원, 원주, 청주)와 연결하여 좌표를 산출하였다.

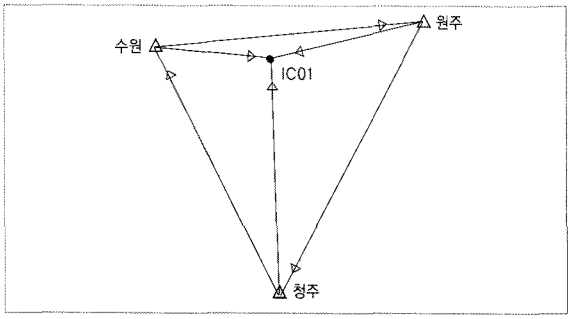

그림 1. 지상기준국 및 관측망

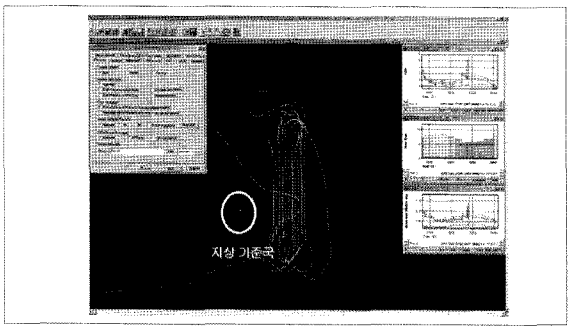

그림 2. GPS/INS Data Processing

GPS 이동측위는 항공기와 지상기준국에서 관측된 GPS자료를 처리하여 항공기에 설치된 GPS의 위치를 결정한다. 현재 항공레이저측량작업규정(제 2장 제 9조)에 준하여 규정거리 내에 지상기준국을 설치하도록 되어있다.

지상에서 관측된 GPS자료와 항공기에서 관측된 GPS자료 및 INS자료를 결합하여, 항공기의 위치좌표가 산출되며, INS자료와 레이저계측의 거리자료를 결합하여 레이저 1점마다 수평위치 및 표고값을 산출하여 점군자

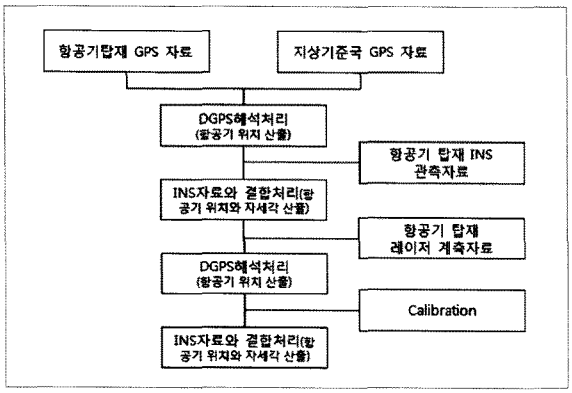

그림 3. 항공레이저측량 처리 흐름도

표 1. Calibration 조정량

	Roll	Pitch	Heading
조정량(deg)	-0.5458	0.1695	-0.0603
표준편차(deg)	±0.0018	±0.0026	±0.0110

료가 산출한다. 산출한 점군자료에 대하여 노이즈제거를 실시한 후 항공레이저측량의 공통 포맷인 *.LAS(Log ASCII Standard) 포맷으로 변환하여 사용하였다. LAS 데이터 처리를 위해 사용한 소프트웨어는 ALS Post Processor를 이용하였으며 포맷 변환 시, 사전에 수행한 Calibration 조정값을 적용하여 취득 데이터에 대한 정확도와 신뢰도를 확보하였다. 그림 3은 항공레이저측량 작업흐름도이며 표 1은 Calibration 조정량과 조정 후 표준편차를 나타낸다.

2.2 상시관측소를 이용한 항공레이저측량 데이터 구축

상시관측소의 지상기준국 대체 가능성을 검토하기 위하여 항공기에 탑재되어있는 GPS와의 기선거리 30km 이내 조건을 만족하는 상시관측소 2곳을 선정하였으며, 전국에 분포되어 있는 총 44개의 상시관측소를 대상으로 30km 이상의 기선거리를 갖는 상시관측소들 중에서 거리에 따른 영향성 판단하기 위해 일정 거리를 고려하여 8개의 상시관측소를 선정하였다. 국토지리정보원에서 제공하는 상시관측소 데이터 수신간격은 30초 간격이기 때문에 선정된 상시관측소 자료는 항공기 GPS와의 동일한 수신간격인 0.5초 간격으로 내삽하고 GPS/INS 데이터와 함께 처리하여 기준자료와 동일한 방법으로 항공레이저측량 데이터를 구축하였다.

표 2. 30km 이내의 상시관측소

상시관측소명	거리(km)	상시관측소명	거리(km)
수원	29.651	양평	24.127

표 3. 30km 이상의 상시관측소

상시관측소명	거리(km)	상시관측소명	거리(km)
원주	45.941	인천	69.847
서산	99.014	논산	121.174
군위	150.867	남원	201.962
창원	249.437	제주_JEJU	434.525

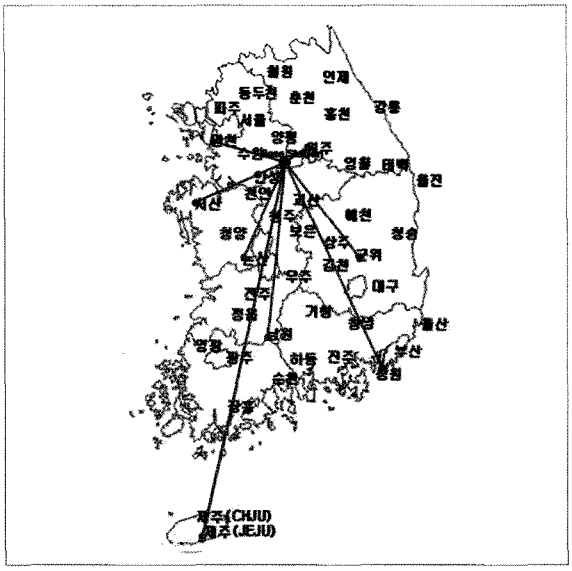

그림 4. 상시관측소 위치

2.3 측량점 선점

지상기준국 및 상시관측소 자료를 이용한 항공레이저측량 성과에 대한 높이 성과의 영향을 판단하기 위하여 동일점에서의 점 주변 평균 높이성과에 대한 절대 비교를 수행하였다.

높이(Z)의 경우 8개소의 측량점을 평탄한 도로 및 운동장 등 선점하여 관측하였으며, 실제 관측한 수준성과를 이용하여 타원체고와 정표고 성과를 취득하기 위해 GPS측량 및 직접수준측량을 수행 하였다. 그림 5는 성과 비교를 위해 선정된 수준점에 대한 배치도이며, 표 4는 수준점 성과이다.

표 4. 수준점 성과

No.	X(m)	Y(m)	타원체고(m)	정표고(m)
No.1	243239.773	419157.620	114.192	89.426
No.2	244176.647	419137.064	94.071	62.285
No.3	245307.547	419252.382	95.015	70.206
No.4	243250.188	418070.773	92.217	67.437
No.5	246008.296	418000.771	110.922	86.078
No.6	243225.372	415745.841	100.090	75.281
No.7	244248.174	415566.108	106.618	81.783
No.8	245215.487	415664.166	82.986	58.128

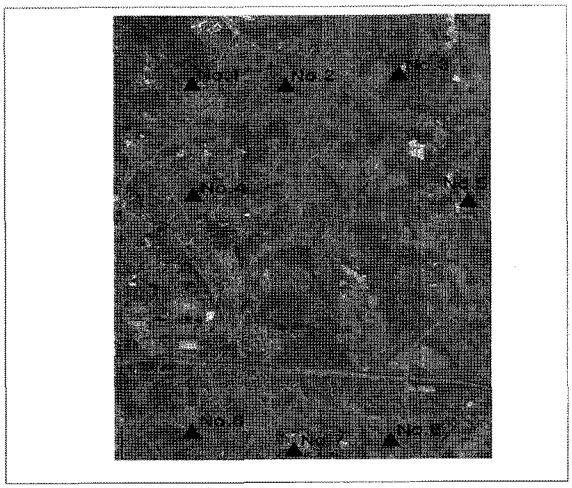

그림 5. 수준점 배치도

3. 결과분석

본 연구에서는 연구대상지 내에 8점에 대하여 타원체고와 정표고 성과를 얻기 위하여 GPS측량 및 직접수준측량을 시행하였으며, 지상기준국 및 10개의 상시관측소를 이용하여 취득 된 항공레이저측량 성과에 대하여 국토지리정보원에 고시된 항공레이저측량 작업규정에서의 점검방식(제 4장 제 25조 기준점을 이용한 점검 및 조정)과 동일한 1m 반경 이내의 관측점들의 타원체고와 정표고의 평균표고를 비교하였다.

3.1 지상기준국 비교분석

취득데이터에 대한 신뢰도와 데이터 처리 결과에 대한 정확도를 확인하기 위해 작업규정을 준수하여 지상기준국을 적용한 항공레이저측량 성과의 타원체고 및 정표고에 대하여 정확도를 분석하였다. 정표고 조정은 평탄한 지역에 대해 7점을 직접수준측량 하였고, 항공레이저측량 원시자료성과에서 각각의 7점을 비교한 뒤 타원체 높이에서 차이만큼 보정하여 정표고 조정을 실시하였다. 비교한 결과로 GPS로 취득한 측량점의 타원체고와의 비교결과 RMSE가 0.075m, 직접수준측량성과의 정표고 비교결과 0.052m로 항공레이저측량작업규정에서의 RMSE의 한계(제 4장 제 25조 ②항) 25cm 이내 안으로 높은 정확도의 성과를 얻을 수 있었다.

표 5. 지상기준국을 이용한 GPS/INS 처리 분석

베이스 명	사용된 위성번호	관측 위성 수	PDOP
지상기준국	4, 11, 17, 20, 28, 32	6개	2.58

표 6. 지상기준국 비교분석

베이스 명		최대 (m)	최소 (m)	평균 (m)	표준편차 (m)	RMSE (m)
지상기준국	타원체고	0.123	0.020	0.059	0.068	0.075
	정표고	0.085	0.007	0.040	0.048	0.052

3.2 30km이내 상시관측소 비교분석

상시관측소 자료의 지상기준국 대체 가능성을 검토하기 위하여 30km이내에 위치한 2곳의 상시관측소를 선정하였다. 선정된 상시관측소 자료를 이용한 항공레이저측량 성과를 지상기준국을 적용한 성과와 동일한 방법으로 타원체고와 정표고에 대하여 측량점을 비교하였다. 비교결과 상시관측소 2곳에서의 성과가 모두 항공레이저측량작업규정에 적합한 정확도를 보였으며, 지상기준국을 적용한 결과값과 매우 유사한 정확도를 보였다.

표 7. 30km이내 상시관측소를 이용한 GPS/INS 처리 분석

베이스 명	사용된 위성번호	관측 위성 수	PDOP
양평	4, 11, 17, 20, 28, 32	6	2.52
수원	4, 11, 17, 20, 28, 32	6	2.81

표 8. 30km이내 상시관측소 비교분석

베이스 명		최대 (m)	최소 (m)	평균 (m)	표준편차 (m)	RMSE (m)
양평	타원체고	0.140	0.010	0.057	0.072	0.078
	정표고	0.033	0.002	0.014	0.017	0.017
수원	타원체고	0.100	0.010	0.053	0.062	0.068
	정표고	0.113	0.002	0.037	0.050	0.051

3.3 30km이상 상시관측소 비교분석

항공 GPS의 기선거리에 따른 높이 정확도의 영향성을 검토하기 위하여 대상지역으로부터 30km 이상의 거리를 갖는 8곳의 상시관측소를 선정하였다. 동일 비교방법을 수행한 결과 각각의 성과에 대한 RMSE가 모두 항공레이저측량작업규정의 정확도 기준 RMSE 25cm 이내(제4장 25조 ②항)를 만족함에 따라 상시관측소의 거리차는 높이성과에 대한 영향성이 적은 것으로 판단된다. 그러나, 일부 상시관측소의 비교결과 중에서 최대편차가 0.20m 이상의 결과를 보이는 등 다소 불한정한 경향이 있었다. 30km 이상의 거리를 갖는 상시관측소 중에 400km이상 떨어진 제주 상시관측소는 지상기준국 및 9개에 대한 상시관측소들과 동일한 위성 6개를 사용하였으며 PDOP은 2.51이었다.

표 9. 30km이상 상시관측소를 이용한 GPS/INS 처리 분석

베이스 명	사용된 위성번호	관측 위성 수	PDOP
원주	4, 11, 17, 20, 28	5	2.84
인천	4, 11, 17, 20, 28, 32	6	2.60
서산	4, 11, 17, 20, 28	5	2.71
논산	4, 11, 17, 20, 28, 32	6	2.45
군위	4, 11, 17, 20, 28, 32	6	2.54
남원	4, 11, 17, 20, 28, 32	6	2.53
창원	4, 11, 17, 20, 28, 32	6	2.52
제주_JEJU	4, 11, 17, 20, 28, 32	6	2.51

표 10. 30km이상 상시관측소 비교분석

베이스 명		최대 (m)	최소 (m)	평균 (m)	표준편차 (m)	RMSE (m)
원주	타원체고	0.110	0.010	0.053	0.065	0.071
	정표고	0.055	0.005	0.020	0.025	0.026
인천	타원체고	0.210	0.000	0.063	0.094	0.103
	정표고	0.068	0.002	0.030	0.037	0.038
서산	타원체고	0.120	0.010	0.058	0.069	0.076
	정표고	0.053	0.002	0.017	0.022	0.022
논산	타원체고	0.200	0.010	0.073	0.096	0.105
	정표고	0.040	0.000	0.017	0.020	0.021
군위	타원체고	0.180	0.020	0.082	0.100	0.109
	정표고	0.108	0.002	0.046	0.054	0.055
남원	타원체고	0.160	0.000	0.075	0.093	0.102
	정표고	0.055	0.005	0.019	0.023	0.024
창원	타원체고	0.170	0.020	0.098	0.115	0.126
	정표고	0.057	0.002	0.017	0.022	0.023
제주_JEJU	타원체고	0.120	0.0120	0.057	0.073	0.080
	정표고	0.150	0.000	0.041	0.064	0.065

4. 결 론

본 연구에서는 여타의 문제들로 인하여 정상적으로 지상기준국의 운영이 불가능할 경우에 대한 문제를 해결하기 위하여 상시관측소를 대체 적용하는 방안에 대한 가능성 여부와 더불어 규정된 기선거리 이상의 상시관측소를 적용하여 기선거리에 따른 높이성과의 영향성에 대하여 검토해 보고자 하였다. 이를 위해 항공레이저측량작업규정에 근거하고 규정 성과를 만족하는 지상기준국을 이용한 항공레이저측량 성과와 동일방법에 따른 상시관측소를 이용한 항공레이저측량 성과에 대한 타원체고 및 정표고 비교분석을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 규정거리(30km)이내의 상시관측소(양평, 수원) 자료를 적용한 성과와 측량점과의 타원체고 및 정표고 비교결과, 타원체고의 RMSE가 0.078m, 0.068m 정표고의 RMSE는 0.017m, 0.051m로 항공레이저측량작업규정의 정확도 규정에 적합한 결과를 얻었으며, 지상기준국 성과와도 매우 유사한 정확도의 성과를 얻었다.

둘째, 규정거리 이상의 상시관측소 자료를 적용한 성과에 대한 비교결과 타원체고에 대한 RMSE는 7~12cm, 정표고에 대한 RMSE는 2~7cm로 항공레이저측량작업규정 정확도 규정을 만족하는 결과를 얻었다.

결과에 따라 지상기준국의 정상적인 운영이 불가능한 경우에는 규정거리 이내의 상시관측소 자료를 활용하는 방안도 가능하다고 판단되어지며, 상시관측소와의 기선거리는 높이 방향의 오차에 대한 영향성이 상대적으로 적은 것으로 판단된다. 그러나 본 연구내용에서 규정거리 이상의 상시관측소 자료를 적용한 성과가 작업규정의 정확도를 만족하기는 하지만 일부 비교결과 중에서 최대값이 0.20m 이상의 결과를 보이는 등 높이성과에 대한 불규칙한 영향을 보이기도 하였다.

따라서, 데이터 취득의 안정성과 균질한 정확도의 항공레이저측량 성과의 제작을 위해서 가급적 지상기준국을 설치 운영하고 부득이 상시관측소 자료를 적용할 경우 규정거리 이내의 상시관측소 자료를 적용이 가능 할 것으로 판단된다. 향후에는 장거리 상시관측소를 이용했을 경우 대기조건 및 여러 가지 변수조건에 대한 영향을 자세하게 분석하여 항공레이저측량에 대한 사용여부를 판단할 필요가 있다고 사료된다.

참고문헌

국토지리정보원, 2009, 항공레이저측량작업규정, **국토지리정보원 고시** 제2009-950호.

윤종성, 김병국, 이창노 (2009), 상시관측소 자료를 이용한 GPS/INS 항공삼각측량, **한국지형공간정보학회지**, 제 17권, 제 1호, pp. 71-78.

강준묵, 윤희천, 이창복, 박준규, (2006) GPS에 의한 LiDAR DEM의 정확도 평가, **한국측량학회지**, 제 24권, 제 5호, pp. 443-451.

한수희, 허준, 김성훈 (2008), 대용량 항공 레이저 측량 데이터의 병렬처리 기법, **한국측량학회 춘계학술발표회 논문집**, 한국측량학회, pp. 111-116.

권오철, 권재현, 이지선 (2009), ALS와 MBES를 이용한 하천지역 DEM 구축의 정확도 평가, **한국측량학회지**, 제 27권, 제 4호, pp. 421-428.

John R and Jensen (2006), *Remote Sensing of the Environment: an earth resource.*

Mostafa, M. R., 2002, *Precision Aircraft GPS Positioning Using CORS, Direct Georeferencing*, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, ASPRS, Vol. 68, No. 11, pp. 1125-1126.

Gerrald L. Mader and Michael L. Morrison, 2002, *Using Interpolation and Extrapolation Techniques to Yield high Data Rates and Ionosphere Delay Estimates from Continuously Operating GPS Networks*, Proceedings of the 15th International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation ION GPS, pp. 2342-2348.

(접수일 2010. 07. 15, 심사일 2010. 08. 13, 심사완료일 2010. 10. 04)