

드론 라이다를 이용한 토지경계 추출 방법*

Extraction Methods of Land Boundary Using Drone LiDAR

박 종 찬** · 홍 성 언***

Park, Jong Chan · Hong, Sung Eon

요 약

본 연구에서는 드론 라이다를 이용하여 현황경계 중심의 토지경계를 추출하고, 이에 대한 정확도 분석을 통하여 지적측량에 적용 가능성을 제시해보고자 하였다. 이를 위해 실험지역을 선정하고 드론 라이다 관측을 시행하였다. 관측을 통해 취득한 라이다 데이터를 이용하여 DTM을 제작하였다. 제작한 DTM 데이터를 이용하여 관련 법률에서 규정하고 있는 지상경계 설정 기준을 적용해 토지의 현황경계를 추출하였다. 현황 경계점은 총 59점을 추출하였다. 추출된 경계점을 이용하여 결선 작업을 하고, 지적측량에 적용 가능성을 확인하기 위해 기존 지적도 경계선과 현황 경계선의 부합 여부를 분석하였다. 분석결과, 지적도 경계선과 현황경계가 부합되어 지적측량에 활용이 가능함을 제시하였다.

주요어 : 드론 라이다, 수치지형모델, 토지경계, 현황경계, 지적측량

ABSTRACT

In this study, the land boundary centered on the field boundary was extracted using drone LiDAR, and the possibility of application to cadastral surveying was proposed through the accuracy analysis. For this, a test area was selected and drone LiDAR observation was performed. A DTM was created using LiDAR data acquired through observation. Using the DTM data, the field boundary was extracted by applying the field boundary setting criteria stipulated in the relevant laws. A total of 59 points were extracted for field boundary points. Mapping was performed using the extracted boundary points. In order to confirm the applicability to cadastral surveying, we analyzed whether the boundary line of the existing cadastral map and the field boundary line match. As a result of the analysis, it was suggested that the boundary line of the cadastral map and the field boundary coincided, so that it could be used for cadastral surveying.

Keywords : Drone LiDAR, DTM, Land Boundary, Field Boundary, Cadastral Surveying

* 이 논문은 2022년도 청주대학교 연구장학 지원에 의한 것임.

** 정회원·청주대학교 대학원 석사과정(E-mail: parkjch7102@naver.com)

*** 정회원·청주대학교 지적학과 부교수, 교신(E-mail: hongsu2005@cju.ac.kr)

1. 서 론

토지경계는 경계점을 연결한 경계, 경계를 연결한 필지로 구획하여 지적공부에 등록된다. 여기서 경계점은 필지를 구획하는 선의 굴곡점으로서 지적도나 임야도에 도해(圖解) 형태로 등록하거나 경계점좌표등록부에 좌표 형태로 등록하는 점을 말한다. 경계는 필지별로 경계점들을 직선으로 연결하여 지적공부에 등록한 선을 말한다.¹⁾ 토지경계는 하나의 필지를 구성하는데 있어서 가장 중요한 성립요건이며, 필지와 필지를 구분하는 기준선으로서의 매우 중요한 역할을 하고 있다.²⁾ 토지의 지상(현황)경계 설정은 관련 법률 기준에 따라 설정되고 있다.

토지경계 설정을 위한 지적측량 방법은 관련 법규에서 다양하게 규정하고 있지만, 지적삼각점측량, 지적삼각보조점측량, 지적도근점측량은 주로 위성측량방법을, 지적세부측량은 전자평판측량방법을 이용하고 있다.³⁾ 여기에 소규모지역에서 기존 유인항공기 보다 빠르고, 정확하게 위치정보를 취득할 수 있는 장점을 가진 드론(Drone)을 지적측량에 적용하기 위한 다양한 연구들이 이루어지고 있다.⁴⁾ 드론 측량은 보편적으로 $\pm 5\text{cm}$ 이내의 정확도로 위치정보의 취득이 가능하기 때문에 지적 관련 법률에서 규정하고 있는 지적세부측량의 영역별 위치정확도의 허용범위를 만족시키고 있다.⁵⁾ 이에 따라 지적분야에 드론측량 장비가 많이

보급되어 있다. 드론 측량에 관한 다양한 활용과 함께 최근 공간정보 분야에서는 라이다(LiDAR) 기술이 주목을 받고 있다. 라이다는 수많은 레이저 펄스를 방출하여 대상물에 맞고 반사되는 시간과 강도를 측정하여 3차원의 위치정보를 취득하는 기술이다. 기존에는 항공라이다 시스템이 많이 이용되고 있지만, 최근에는 드론에도 라이다 장비를 탑재하여 촬영할 수 있는 기술이 도입되고 있다.⁶⁾ 드론 라이다는 드론 측량의 장점과 함께 정확한 표고정보를 함께 제공하고 있어 토지의 지상경계 설정과 관련해 전자평판 측량과 연계해 활용한다면 많은 효율성이 기대된다. 특히, 도해지역에서의 토지경계 설정은 지상(현황)경계를 추출하고, 이를 기존 지적도면의 경계선과 비교하여 성과를 결정하는 방식을 취하고 있어 드론 라이다의 활용이 가능하다면 많은 효율성의 확보가 가능하다.

기존 지적측량 관련 기술을 이용한 토지경계 추출 및 설정과 관련한 연구는 다음과 같다. 먼저, 항공정사영상, 연속지적도, 항공 라이다 측량 기술을 이용한 토지경계의 분석 및 조정⁷⁾, 정사영상을 기반으로 지역·지구 등 규제선 등을 분석하여 토지경계 설정의 실험적 제안⁸⁾, 고해상도 항공사진영상을 이용한 토지경계 설정시 발생하는 문제점 및 해결방안 제시⁹⁾, 3차원 지적 적용을 위한 항공 라이다의 수직 정확도 평가¹⁰⁾, 드론 라이다를 이용한 토지 및 임야지역에서의 지적측량 가능성 제시¹¹⁾ 등의 연구가 이루어졌다. 선행연구의 경우

1) 「공간정보의 구축 및 관리 등에 관한 법률」 제2조.

2) 이범관, “경계분쟁의 실태와 해결방안”, 『한국지적학회지』, 제13권 제1호, 1997, p.128.; 황보상원, “토지경계 분쟁 해소방안에 관한 연구”, 『한국지적학회지』, 제35권 제3호, 2019, p.48.

3) 「지적측량 시행규칙」 제7조.

4) 임성하·김호중·이돈선, “드론항공사진측량을 활용한 지적측량 성과결정에 관한 연구”, 『지적과 국토정보』, 제51권 제1호, 한국국토정보공사, 2021, pp.79-95.

5) 홍성연, “드론 라이다를 이용한 지적측량 방법”, 『한국사회과학연구』, 제43권 제2호, 청주대학교 사회과학연구소, 2022, pp.55-75.

6) 박준규·이근왕, “대규모 개발지역의 공간정보 구축을 위한 드론 라이다의 특징 비교”, 『한국산학기술학회 논문지』, 제21권 제1호, 2020, pp.768-773.

7) 강준목·윤희천·민관식·위광재, “지형공간정보를 이용한 토지경계분석에 관한 연구”, 2006 대한토목학회 학술대회 논문집, Vol.2006, No.10, 대한토목학회, 2006, pp.4140-4143.

8) 이영진·류수현·김호영·박정환, “정사영상을 이용한 토지경계설정 실험”, 2010 한국측량학회 학술대회자료집 Vol.2010, No.4, 한국측량학회, 2010, pp.289-290.

다양한 공간정보, 항공라이다 등을 이용한 토지경계 설정, 드론 라이다의 지적측량에 적용 가능성에 관한 연구가 많이 이루어졌다. 그러나 드론 라이다를 이용하여 토지경계를 실험적으로 추출하고 이에 대한 지적측량에 적용 가능성을 제시한 연구는 상대적으로 미흡하다고 판단된다.

본 연구에서는 드론 라이다를 이용하여 현황경계 중심의 토지경계를 추출하고자 한다. 그리고 추출 정확도 검증을 통하여 지적측량에 적용 가능성을 제시해보고자 한다. 이를 위해 실험지역을 선정하고 드론 라이다 관측을 통해 DTM을 제작한다. 제작된 DTM의 정확도를 검증한 후 토지의 현황경계 추출한다. 그리고 이를 기존 지적도 경계선과의 부합 여부를 분석하여 지적측량에 적용 가능성을 제시하고자 한다.

2. 드론 라이다

드론(drone)은 조종사 없이 무선 전파의 유도에 의해 통제되며 탑재된 센서 등을 이용하여 지정된 경로를 스스로 비행하면서 임무를 수행하는 항공기를 지칭한다. 드론은 지상통제장비 및 통신장비, 지원장비 등의 전체 시스템에 의해 통합 운용되어 UAS(Unmanned Aircraft System)이라고도 한다. 드론은 비행체 형태에 따라 비행기 형태가 날개형인 고정익, 비행체가 헬리콥터형인 회전익 무인항공기로 분류된다. 고정익 드론은 상대적으로 넓은 면적을 빠른 시간에 비행하여 영상을 취득할 수 있는 장점을 가지고 있다. 그러나 상대적으로 이

착륙에 많은 면적이 소요될 수 있기 때문에, 소규모 대상물을 촬영시에는 효과적이지 못할 수 있다. 회전익 드론은 고정익 비행체와 비교하여 이착륙이 자유롭기 때문에 드론의 운용이 편리하다는 장점을 가지고 있다. 그러나 고정익 드론과 비교하여 상대적으로 소규모의 지역만을 촬영할 수 있기 때문에 넓은 면적을 측량할 경우에는 오랜 시간이 소요될 수 있는 단점이 있다.⁹⁾

라이다(LiDAR)는 빛을 이용한 탐지와 거리측정을 목적으로 하며 일반적으로 레이저를 광원으로 이용하며, 고도 데이터 획득에 있어서 현지측량이나 사진측량의 대안으로 떠오르는 새로운 기술이다. 송신기로부터 목표물을 거쳐 수신기까지 레이저 펄스의 이동시간을 측정하는 것이 기본원리이며, 능동적 센서이므로 태양과 구름 등의 기상조건이나 그림자의 영향을 덜 받는다. 특히, 지형도 제작과 같은 표고 데이터가 요구되는 분야에 많이 이용되며 제방, 하천 퇴적물 산정, 홍수범람 지도, 연안측량 등 광범위한 분야에 이용된다.¹³⁾ 또한 정밀한 수치표고모델 생성, 수목관리, 연안측량, 도시계획, 재해방재 등에도 활용될 뿐만 아니라, 전력선의 처짐측정, 구조물의 변위측정 등 산업분야의 분야에도 활용된다.¹⁴⁾

최근에는 이러한 라이다 장비를 드론에 탑재할 수 있는 기술이 개발되었다. 드론 라이다의 데이터 취득 방식은 크게 SLAM(Simultaneous Localization And Mapping) 방식과 GNSS/IMU(Global Navigation Satellite System/Inertial Measurement Unit) 방식으로 나눌 수 있다. SLAM 방식은 센서가 특정 주변의 환경을 인식하여 해당 공

9) 이재원·박치영·이석배·윤부열, “고해상도 항공영상에 의한 토지경계 설정에 관한 연구”, 2015 한국측량학회 학술대회자료집, Vol.2015, No.4, 한국측량학회, 2015, pp.367-369.

10) 최병길·나영우·이경섭·이정일, “3차원지적 적용을 위한 항공라이다의 수직 정확도 평가에 관한 연구”, 『대한공간정보학회지』, 제22권 제2호, 2014, pp.33-40.

11) 홍성언, 전계논문, pp.55-75.

12) 이상설, “드론을 활용한 지하시설물 측량 품질 평가”, 석사학위논문, 충북대학교 산업대학원, 2021, p.7.

13) 김광득·윤창열·조명희·김성재, “LiDAR Data를 이용한 태양에너지 자원도 제작”, 『한국지리정보학회지』, 제15권 제3호, 2012, pp.148-157.

14) 정재준, “라이다 데이터를 이용한 표면 모델링(수치지도 등고선과의 비교를 중심으로)”, 『국토지리학회지』, 제47권 제4호, 2013, pp.489-503.

간을 매핑하는 방법으로 자신의 위치를 파악할 수 있는 기술이다.¹⁵⁾ 이 방식은 주로 GNSS의 운영이 어려운 실내에서 위치를 추적하기 위한 방법으로 다양한 연구가 이루어지고 있다. 주로 자율주행차나 로봇 청소기 등과 같은 분야에 적용되고 있다. GNSS/IMU 방식은 위성 측위로 센서의 위치를 특정하고, IMU를 이용해 센서의 자세와 가속도 등을 측정하는 방법이다. 이 방식은 주로 항공사진측량 등 3차원 공간정보 취득 분야에 이용되고 있다.¹⁶⁾

3. 실험 및 분석

3.1 실험

3.1.1 실험 개요

본 연구는 드론 라이다를 이용한 토지경계 추출 방법의 제시를 통해 실제 지적측량에 적용 가능성을 제시하고자 하는 것이다. 이를 위해 농경지와 주거지가 혼재되어 있는 실험지역을 선정하고 대상지역에 대한 드론 라이다 관측을 통해 데이터를 취득하였다. 취득된 라이다 데이터를 이용해 데이터 처리 과정을 거쳐 DTM(수치지형모델)을 제작하고 정확도를 검증하였다. 정확도 검증은 DTM 데이터에서 선정한 검사점에 대해 GPS 및 TS 측량의 관측성과와 정확도를 비교 분석하였다. 정확도를 검증하고 DTM 데이터를 이용해 토지경계를 추출하였다. 토지경계의 추출은 「공간정보의 구축 및 관리 등에 관한 법률」 제65조 제1항의 지상경계의 구분 기준인 독, 담장이나 그 밖에 구획의 목표가 될 만한 구조물 등과 동법 시행령 제55조에서 규정하고 있는 지상경계의 결정 기준인 연결되는 토지 간에 높낮이 차이가 없는 경우에는 그 구

조물 등의 중앙, 연결되는 토지 간에 높낮이 차이가 있는 경우에는 그 구조물 등의 하단부, 도로·구거 등의 토지에 절토(땅깎기)된 부분이 있는 경우에는 그 경사면의 상단부 등의 기준을 이용하였다.

추출된 토지경계의 지적측량에 적용 가능성을 검토하기 위해 실험지역 지적도와 중첩을 통해 지상(현황)경계와의 부합 여부를 분석하였다. 이는 도해지역에서의 지적측량 성과결정은 현황경계와 도상경계가 최대한 일치되도록 하여 성과를 결정하는 현행법을 적용한 것이다. 이와 같은 실험 및 분석 작업을 통해 드론 라이다 데이터를 이용한 토지경계 추출의 가능성을 제시하고자 하였다.

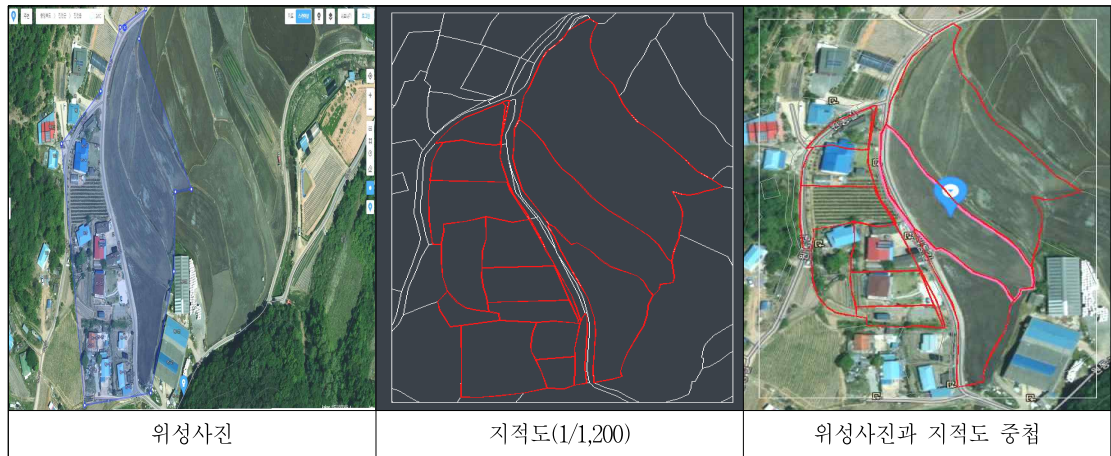
3.1.2 실험 대상지역 선정 및 관측

드론 라이다 관측을 위해 실험지역을 선정하고, 관련 자료를 수집하였다. 실험지역은 충청북도 진천시 진천읍 원덕리 일원으로 선정하였다. 이 지역은 농경지와 주거지역이 복합적으로 존재하는 도해지역으로 지상경계 설정 기준을 다양하게 적용해 볼 수 있어 선정하였다. 실험지역을 선정하고 연구에서 추출한 토지경계의 정확성을 검토하기 위해 대상지역의 지적도를 수집하였다. 대상지역의 지적도는 축척 1/1,200 도면이고, 이는 충북도청과 진천군청의 협조를 얻어 수집하였다. [그림 1]은 실험지역과 실험지역의 지적도를 나타낸 것이다.

실험지역을 선정하고, 실험지역에 대한 드론 라이다 관측을 시행하였다. 실험에 이용된 드론은 DJI사의 Matrice 300 RTK 회전익 드론과 YellowScan 라이다 장비를 결합해 관측하였다. 관측전에 GPS를 설치하고, 기지국을 생성한 후 라이다 장비와 연결하여 라이다의 위치보정을 해주면서 관측하였다. 관측은 2022년 6월 15일에 시행되었고, GSD는 2.099cm/px, 촬영고도는 70.0m, 중

15) H. D. Choi, "An Open-Source Benchmark for Scale-Aware Visual Odometry Algorithms, International Journal of Fuzzy and Intelligent Systems", Vol.19, No.2, 2019, pp.119-128.

16) 박준규·이근왕, 전계논문, pp.768-773.




〔그림 1〕 실험지역 위성사진 및 지적도

복도는 60%, 비행속도는 4m/s, 카메라 각도는 90°
범위는 258x318m, 면적은 8.22ha(82,200m²), 비행
점은 8x12개 이었다. <표 1>은 실험에 사용한 드

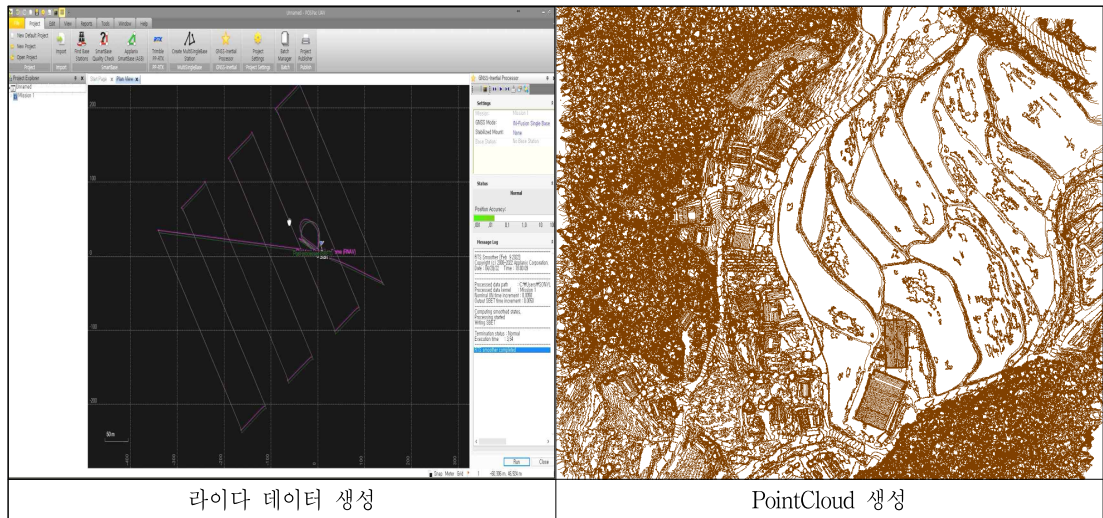
론 장비의 제원을 나타낸 것이고, <표 2>는 라이
다 장비의 제원을 나타낸 것이다.

〈표 1〉 드론 장비 제원

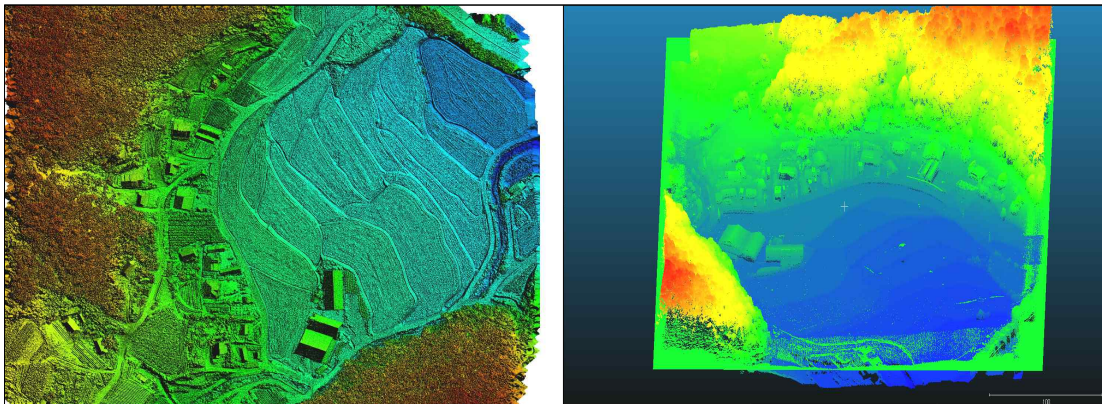
구분	회전익 드론
사진	
제조사	DJI
제품명	MATRICE 300 RTK
무게	약3.6kg(배터리 제외)
최대 비행시간	55분
최대 속도	S 모드: 23 m/s P 모드: 17 m/s
GNSS	GPS+GLONASS+BeiDou+Galileo
호버링 정확도 (P 모드, GPS)	수직: ±0.1 m (비전 시스템 사용 시) ±0.5 m (GPS 사용 시) ±0.1 m (RTK 사용 시)
RTK 포지셔닝 정확도	RTK 활성화 및 교정: 수평: 1 cm + 1 ppm 수직: 1.5 cm + 1 ppm
이·착륙	자동
해상도	960p 30fps

〈표 2〉 라이다 장비 제원

구분	라이다
사진	
Precision	2.5cm
Accuracy	3cm
스캔속도	240,000 Point/Sec
스캔범위	81.7° / 100m
IMU	Trimble Applanix APX15탑재
Roll & Pitch(deg)	0.025(post-processed)
레이저 클래스	Class 1, Eye safe in accordance with IEC EN60825
무게	1.3kg (배터리 포함)
Pospac UAV	드론 비행 궤적 처리 프로그램
Cloud Station	포인트 클라우드 생성 프로그램
Strip Adjustment Module	포인트클라우드 높이 및 위치 보정 모듈
Terra modulr	PointCloud 지면 분리 모듈



[그림 2] 라이다 데이터 및 포인트 클라우드 생성



[그림 3] DTM 제작

3.1.3 데이터 처리 및 DTM 제작

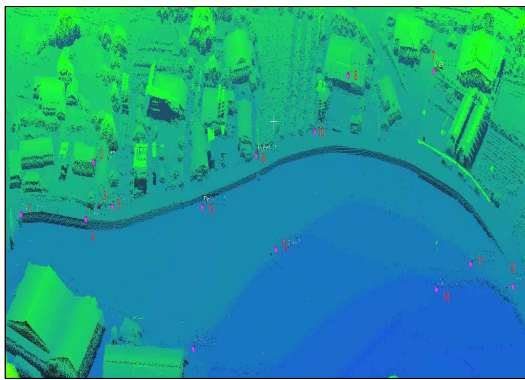
드론 라이다 관측을 통해 원시 데이터를 취득하고, 데이터 처리 과정을 통해 DTM을 제작하였다. 데이터 처리 프로그램은 YellowScan Point Station과 Pospac UAV 프로그램을 이용하였다. DTM 제작 프로그램은 Global Mapper와 Cloudcompare 프로그램을 이용하였다. 개략적인 과정은 다음과 같다. 취득된 원시 데이터에 대해 Pospac UAV 프로그램을 이용하여 드론 비행 궤적을 처리하였다. 이때 드론 라이다 관측시 기지국 좌표

(GPS)를 입력하고 좌표계(세계)를 선택하였다. 그 다음 YellowScan Point Station 프로그램을 이용하여 Pospac 결과 데이터를 로딩해 일직선으로 strip 구간을 설정한 후 PointCloud 생성하였다. 그리고 strip 조정법을 통해 오차를 조정(RMSE=0.070m)하였다. 이러한 데이터 처리 후 Global Mapper와 Cloudcompare 프로그램을 이용하여 DTM을 제작하였다. [그림 2]는 라이다 데이터 및 포인트 클라우드 생성 데이터를 나타낸 것이고, [그림 3]은 데이터 처리 과정을 통해 제작된 DTM을 나타낸 것이다.

3.2 라이다 데이터의 정확도 검증 및 토지경계 추출 분석

3.2.1 라이다 데이터의 정확도 검증

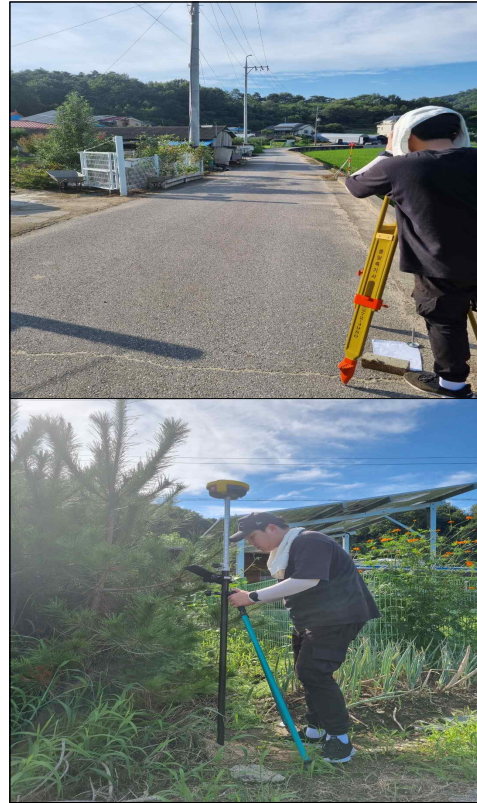
DTM을 제작하고, 토지경계 추출에 앞서 정확도를 검증하였다. 정확도의 검증은 제작한 DTM 데이터를 이용하여 영상에서 검사점을 추출하고, 이 지점에 대한 Network RTK GPS 및 TS 관측을 시행하여 두 좌표를 비교 분석하였다. 현장 관측은 위성 수신이 양호한 지역은 Network RTK GPS를 이용하였고, 수신이 양호하지 않은 지역(전신주, 건물 지붕 모서리 등)은 TS를 이용하였다. 검사점은 총 15점을 선정하였다. [그림 4]는 DTM에서 선정한 검사점의 위치를 나타낸 것이고, [그림 5]는 현장의 검사점 관측 모습을 나타낸 것이다.



(그림 4) DTM 영상에서 선정한 검사점의 위치

총 15점의 검사점에 대한 DTM 추출 좌표와 GPS/TS 관측 성과를 비교 분석하여 보았다. 분석 결과, RMSE는 $X=\pm 0.084\text{m}$, $Y=\pm 0.110\text{m}$ 로 산출되었고, 연결오차의 RMSE는 $\pm 0.138\text{m}$ 로 산출되었다 <표 3>. 실험지역은 축척 1/1,200 도해지역으로 이 지역의 경계점 성과의 오차 허용범위는 「지적측량시행규칙」 제27조의 규정에 의하여 연결오차 $\pm 36\text{cm}$ 이내로 규정되어 있다. 따라서 DTM 데이터

는 오차 허용범위 이내로 나타나 이 데이터를 이용해 토지경계를 추출이 가능한 것으로 나타났다.



(그림 5) 검사점의 현장 관측

본 연구에서는 DTM 데이터에서 직접 확인 가능한 검사점을 추출하여 정확도를 검증하였다. 그러나 라이다 데이터의 정확도를 검증함에 있어 보다 정확하게 대공표지를 검사점으로 설치하고, 이의 정확도를 분석한 선행연구에 따르면 연결오차의 RMSE는 대략 $\pm 10\text{cm}$ 이내를 보이는 것으로 나타났다.¹⁷⁾ 따라서 본 연구와 선행연구의 성과를 종합적으로 고찰한다면 라이다 데이터는 도해지역 뿐만 아니라 경계점좌표등록부 시행지역(경계점 오차의 허용범위 $\pm 10\text{cm}$ 이내)에서도 적용이 가능할 것으로 판단된다.

17) 박준규·이근왕, 전계논문, pp.768-773.

〈표 3〉 DTM 추출 좌표와 GPS/TS 관측 성과 비교

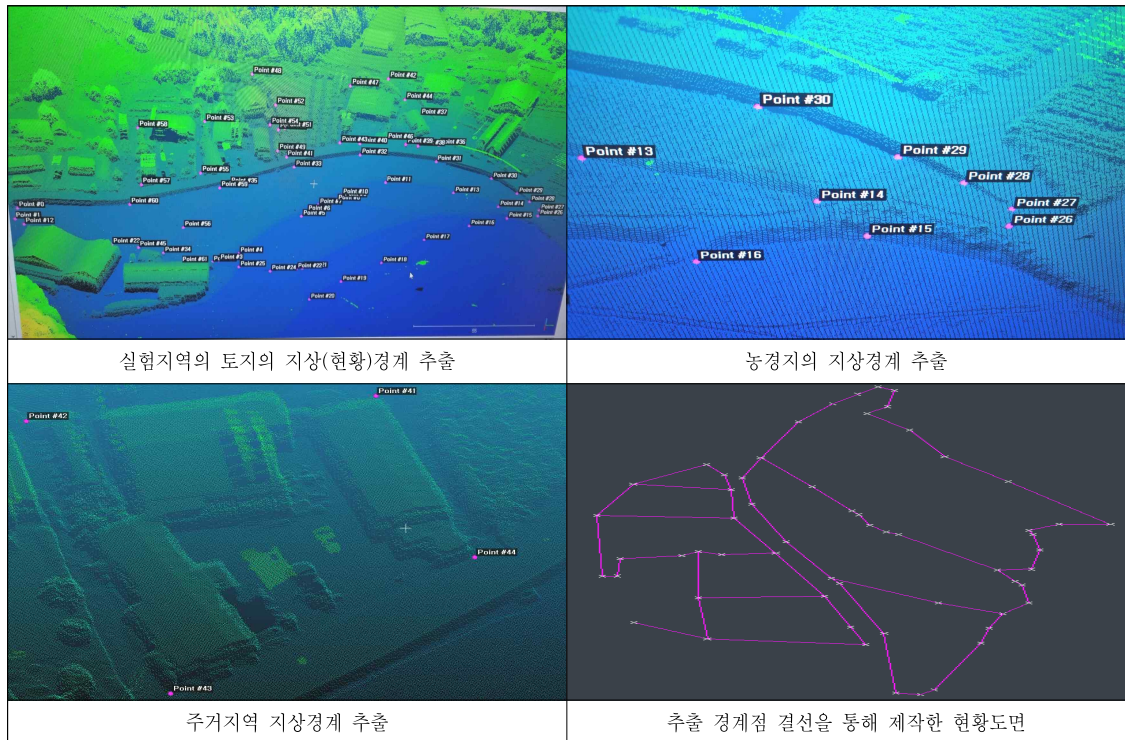
(단위 : m)

검사점	DTM 추출 좌표		GPS/TS 관측 성과		ΔX	ΔY	연결오차
	X	Y	X	Y			
1	470774.42	238663.00	470774.41	238662.93	-0.01	-0.07	0.071
2	470802.32	238649.20	470802.33	238649.16	0.01	-0.04	0.041
3	470806.12	238658.00	470806.11	238658.10	-0.01	0.10	0.100
4	470800.92	238662.80	470800.84	238662.76	-0.08	-0.04	0.089
5	470819.72	238653.40	470819.61	238653.43	-0.11	0.03	0.114
6	470869.72	238640.30	470869.77	238640.16	0.05	-0.14	0.149
7	470939.22	238603.80	470939.16	238603.80	-0.06	0.00	0.060
8	470904.42	238609.80	470904.31	238609.87	-0.11	0.07	0.130
9	470979.72	238664.30	470979.61	238664.38	-0.11	0.08	0.136
10	470891.82	238624.50	470891.75	238624.45	-0.07	-0.05	0.086
11	470947.02	238664.20	470947.12	238664.09	0.10	-0.11	0.149
12	470881.02	238660.70	470881.11	238660.60	0.09	-0.10	0.135
13	470847.72	238649.80	470847.83	238649.71	0.11	-0.09	0.142
14	470960.82	238659.40	470960.77	238659.33	-0.05	-0.07	0.086
15	470849.42	238695.30	470849.56	238695.24	0.14	-0.06	0.152
RMSE					0.084	0.110	0.138

3.2.2 라이다 데이터를 이용한 토지경계 추출

DTM을 제작 및 정확도를 검증하고, 이 데이터를 이용하여 토지의 지상경계를 추출하였다. 지상

경계의 추출은 「공간정보의 구축 및 관리 등에 관한 법률」에서 규정하고 있는 토지의 지상경계 구분 및 설정 기준을 적용하여 추출하였다. 먼저 농경지의 경우 높낮이가 존재하고 있는 경우에는 하

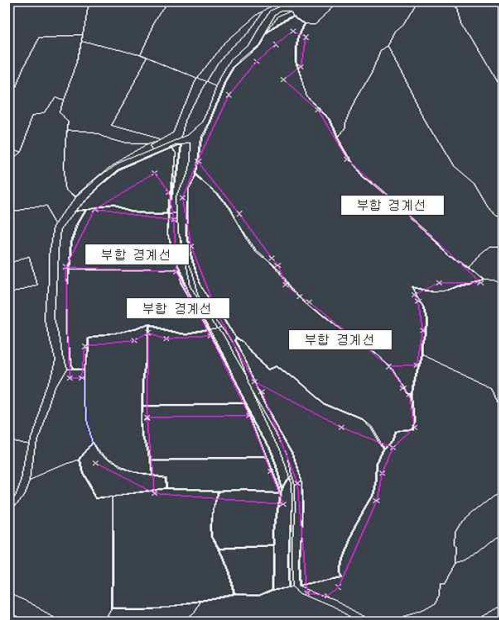


(그림 6) 실험지역 토지경계 추출 및 도면 제작

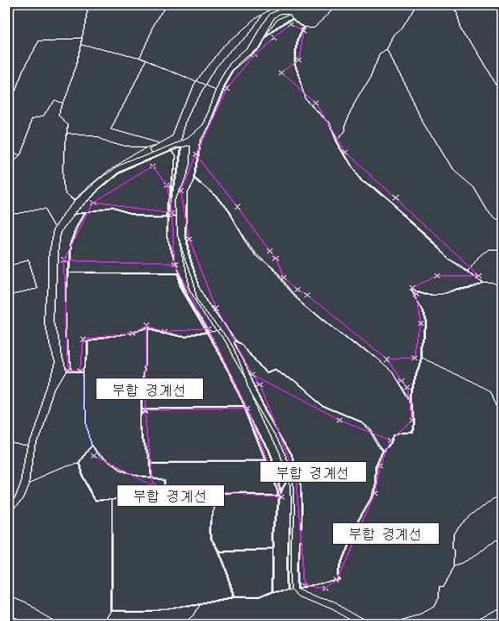
단부의 굴곡점을 기준으로 경계점을 추출하였고, 높낮이가 없는 경우에는 중앙을 경계점으로 추출하였다. 건물이 존재하고 있는 주거지역은 담장의 중앙을 경계점으로 추출하였고, 그 외 지역에 대해서는 구조물로서 확인이 가능한 경계의 굴곡점을 추출하였다. 토지의 현황경계로 추출한 점은 총 59점 이었다. 추출된 경계점은 성필이 가능한 필지는 성필이 되도록 결선을 하였고, 그렇지 않은 경우에는 선형으로 결선하였다. [그림 6]은 지역별 토지의 현황경계점을 추출하고, 추출한 경계점들을 결선하여 만든 현황 도면을 나타낸 것이다.

3.2.3 지적도 경계선과 부합도 분석

토지의 지상경계를 추출하고 현황도면을 제작하였다. 연구에서는 추출한 토지경계의 지적측량 적용 가능성을 확인하기 위해 기존 지적도 경계선과 현황경계선의 부합도를 검토하였다. 실험지역은 도해지역으로 도해지역에서의 지적측량 및 성과결정은 주로 현형법을 이용하여 이루어지고 있다. 즉, 대상 필지를 측량하고 성과를 결정하기 위해 우선적으로 대상 필지 주변에 대한 지상(현실) 경계를 기준으로 현황경계를 관측한다. 그리고 관측된 현황경계와 지적도의 경계선을 최대한 부합시킨 후 성과를 결정한다. 이 과정에서 토지조사사업 당시부터 필지의 변동이 없는 사정필지나 건물이 존재하는 토지의 명확한 경계로 볼 수 있는 담장 등의 경계를 기준으로 지적도 경계선과의 부합 여부를 확인한다. 따라서 연구에서는 농경지 부분의 사정필지나 담장 경계선을 기준으로 추출한 현황경계의 부합 여부를 분석하고자 한다. [그림 7]은 실험지역 지적도의 상단 부분 필지를 중심으로 농경지의 사정필지나 건물의 담장경계를 중심으로 지적도를 이동시켜 부합여부를 확인한 것이다. 그림과 같이 농경지나 건물의 담장 경계로 이동을 하였을 경우 현황경계와 지적도의 경계가 일치하는 것을 확인할 수 있다.



(그림 7) 도곽 상단을 기준으로 한 추출 경계선 분석



(그림 8) 도곽 하단을 기준으로 한 추출 경계선 분석

[그림 8]은 지적도 도곽의 하단 필지를 기준으로 지적도를 이동시켜 현황경계와 부합여부를 확인한 것이다. 하단의 필지들 역시 담장이나 도로 경계선을 중심으로 현황경계와 지적도의 경계가

부합하는 것을 알 수 있다. 대상지역은 현재 실무에서 도곽 상단과 하단을 기준으로 성과결정을 위한 가감량이 서로 다른 지역이다. 따라서 연구에서 추출·적용한 현황 경계선을 활용하여 지적측량 및 성과결정에 적용할 경우 이용의 가능성이 있다고 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 드론 라이다를 이용하여 현황경계 중심의 토지경계를 추출하고, 이에 대한 정확도 분석을 통하여 지적측량에 적용 가능성을 제시해보고자 하였다. 이를 위해 실험지역을 선정하고 드론 라이다 관측을 시행하였다. 실험지역은 농경지와 주거지역이 복합적으로 존재하는 지역으로 지상경계 설정 기준을 다양하게 적용해 볼 수 있는 충청북도 진천시 진천읍 원덕리 일원으로 선정하였다. 실험지역에 대하여 드론 라이다 관측을 시행하고 관련 소프트웨어를 이용하여 데이터 처리 및 DTM을 제작하였다.

제작한 DTM 데이터의 정확도를 검증하고 (RMSE $X=\pm 0.084m$, $Y=\pm 0.110m$, 연결오차 $\pm 0.138m$), 「공간정보의 구축 및 관리 등에 관한 법률」 및 동법 시행령에서 규정하고 있는 지상(현황)경계 설정 기준을 적용해 토지의 현황경계를 추출하였다. 현황경계의 추출은 농경지는 고저차가 존재하는 곳, 고저차가 없는 곳을 중심으로 추출하였고, 주거지역은 건물의 담장이나 경계로 설정할 수 있는 구조물을 이용하여 추출하였다. 현황 경계점은 총 59점을 추출하였다. 추출된 경계점을 이용하여 결선 작업을 통해 현황 도면을 제작하였다.

추출한 토지경계의 지적측량 적용 가능성을 확인하기 위해 기존 지적도 경계선과 현황경계선과의 부합도를 검토하였다. 지적도 경계선과 현황경계선과의 부합도를 판단하기 위해 대상지역 지적도 도곽의 상단과 하단을 기준으로 현황경계선과

부합작업을 진행하였다. 부합은 현황경계를 기준으로 지적도를 이동시켜 일치 시키는 형태로 진행하였다. 이 방법은 현재 도해지역에서 이루어지고 있는 지적측량 과정과 동일하게 진행하였다. 그 결과 DTM을 이용해 추출한 토지경계선과 지적도 경계선과의 부합도가 높음을 확인할 수 있었고, 이의 성과는 현재 실무에서 적용하고 있는 성과결정 방법과 유사함을 확인하였다. 따라서 드론 라이다를 이용한 토지의 현황경계 추출이 가능하여 이를 도해지역 지적측량 및 성과결정에 활용이 가능할 것으로 판단된다.

본 연구에서는 소규모 지역을 대상으로 드론 라이다 데이터의 지적측량에 적용 가능성을 제시하였다. 향후 실제 지적측량 현장에 적용을 위해서는 좀 더 광범위한 지역을 대상으로 실험 및 분석을 진행하여 적용의 타당성 확보가 필요하다고 판단된다.

〈감사의 글〉

본 연구의 드론 라이다 관측은 (주)하늘숲엔지니어링의 협조로 진행되었습니다. 이에 감사드립니다.

〈참고문헌〉

1. 강준묵·윤희천·민관식·위광재, “지형공간정보를 이용한 토지경계분석에 관한 연구”, 2006 대한토목학회 학술대회 논문집, Vol.2006, No.10, 대한토목학회, 2006.
2. 김광득·윤창열·조명희·김성재, “LiDAR Data를 이용한 태양에너지 자원도 제작”, 「한국지리정보학회지」, 제15권 제3호, 2012.
3. 박준규·이근왕, “대규모 개발지역의 공간정보 구축을 위한 드론 라이다의 특징 비교”, 「한국산학기술학회 논문지」, 제21권 제1호, 2020.

4. 이범관, “경계분쟁의 실태와 해결방안”, 『한국 지적학회지』, 제13권 제1호, 1997.
5. 이상설, “드론을 활용한 지하시설물 측량 품질 평가”, 석사학위논문, 충북대학교 산업대학원, 2021.
6. 이영진·류수현·김호영·박정환, “정사영상을 이용한 토지경계설정 실험”, 2010 한국측량학회 학술대회자료집 Vol.2010, No.4, 한국측량학회, 2010.
7. 이재원·박치영·이석배·윤부열, “고해상도 항공 영상에 의한 토지경계 설정에 관한 연구”, 2015 한국측량학회 학술대회자료집, Vol.2015, No.4, 한국측량학회, 2015.
8. 임성하·김호중·이돈선, “드론항공사진측량을 활용한 지적측량 성과결정에 관한 연구”, 『지적 과 국토정보』, 제51권 제1호, 한국국토정보공사, 2021.
9. 정재준, “라이다 데이터를 이용한 표면 모델링 (수치지도 등고선과의 비교를 중심으로)”, 『국 토지리학회지』, 제47권 제4호, 2013.
10. 최병길·나영우·이경섭·이정일, “3차원지적 적 용을 위한 항공라이다의 수직 정확도 평가에 관한 연구”, 『대한공간정보학회지』, 제22권 제2 호, 2014.
11. 홍성언, “드론 라이다를 이용한 지적측량 방 법”, 『한국사회과학연구』, 제43권 제2호, 청주 대학교 사회과학연구소, 2022.
12. 황보상원, “토지경계 분쟁 해소방안에 관한 연 구”, 『한국지적학회지』, 제35권 제3호, 2019.
13. Choi, H. D., “An Open-Source Benchmark for Scale-Aware Visual Odometry Algorithms, International Journal of Fuzzy and Intelligent Systems”, Vol.19, No.2, 2019.

(접수일 2022.07.10., 심사일 2022.07.13., 심사완료일 2022.7.29.)