

드론 라이다를 이용한 임야 경계선 추출 연구*

A Study on Forest Boundary Extraction Using Drone LiDAR

홍 성 언**

Hong, Sung Eon

요 약

본 연구에서는 드론 라이다를 이용해 임야지역의 경계선을 실험적으로 추출해보고, 이에 대한 정확도를 분석한 후 지적측량에 적용 가능성을 제시하고자 하였다. 이를 위해 실험지역을 선정하고, 드론 라이다 데이터를 구축하였다. 구축한 라이다 데이터를 이용해 임야 경계선을 추출하고, 총 20점의 검증점을 추출해 기존 임야도 경계선과 정확도를 비교 분석해 보았다. 분석 결과, 전반적인 X좌표의 RMSE는 $\pm 0.911\text{m}$, Y좌표의 RMSE는 $\pm 1.498\text{m}$, 연결오차의 RMSE는 $\pm 1.753\text{m}$ 로 산출되었다. 이는 현행 법률에서 규정하고 있는 오차 범위 이내(측척 1/6,000)의 성과로 임야지역 경계 설정에 적용 가능성이 있는 것으로 나타났다. 라이다 데이터는 수목의 영향 없이 지면의 능선이나 계곡 등의 경계를 정확하고, 효율적으로 추출이 가능하여 향후 임야지역 경계 설정에 많은 활용성이 기대된다.

주요어 : 드론 라이다, 임야지역, 경계, 지적측량

ABSTRACT

In this study, we attempted to experimentally extract the boundary of a forest area using drone LiDAR, analyze its accuracy, and suggest its applicability to cadastral surveying. For this purpose, an experimental area was selected and drone LiDAR data was constructed. We extracted the forest boundary using the constructed LiDAR data, extracted a total of 20 verification points, and compared and analyzed the accuracy with the existing forest map boundary. As a result of the analysis, the RMSE in the X coordinate was calculated as $\pm 0.911\text{m}$, the RMSE in the Y coordinate was $\pm 1.498\text{m}$, and the connection error was $\pm 1.753\text{m}$. This was found to be applicable to setting boundaries of forest areas as a result of being within the error range (scale 1/6,000) stipulated in the current law. LiDAR data can accurately and efficiently extract boundaries such as ridges and valleys on the ground without the influence of trees, so it is expected to be widely used in setting boundaries of forest areas in the future.

Keywords : Drone LiDAR, Forest Area, Boundary, Cadastral Surveying

* 이 논문은 2022학년도(2022.9.1.~2023.8.31.) 청주대학교가 지원하는 연구년으로 연구되었음.

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

1. 서 론

지적측량은 현재 지적기준점의 위치결정은 GNSS(Global Navigation Satellite System) 측량 방식을 많이 이용하고 있고, 지적세부측량은 주로 전자평판 측량을 이용하고 있다. GNSS 측량 방식도 Network-RTK(Real Time Kinematic) 방식을 이용하여 지적세부측량에 활용하고 있으나, 시가지 지역이나 임야지역 등에서 건물이나 수목의 영향으로 인한 위성정보의 수신 제약으로 폭넓은 활용은 이루어지지 않고 있다. 전자평판의 경우, 시가지나 농경지 지역에서는 정확도와 효율성 면에서 많은 강점을 보이지만, 임야지역에서는 산림지역의 특성으로 인하여 측량 작업에 효율성이 저하되는 단점이 있다.

이러한 이유로 임야지역에서 지적측량을 효율적으로 수행하기 위해 정확도와 효율성이 입증된 드론(Drone)을 이용한 지적측량 방법이 많이 연구되고 있다. 특히, 정부에서는 2023년 8월에 드론을 지적측량에 활용하기 위한 세부규정으로 「드론지적측량규정(국토교통부예규 제371호)」을 제정하고, 2023년 8월 25일부터 적용하고 있다. 이 규정은 드론을 활용하여 지적측량 및 지적재조사측량을 시행하는데 필요한 사항을 규정함을 목적으로 하고 있다.

드론 측량이 높은 해상도의 공간 위치정확도(일반적으로 5cm내)로 영상을 취득할 수 있는 것은 저고도의 근접 촬영이 이루어지기 때문이다. 이러한 촬영 특성으로 인하여 시가지나 농경지에서는 높은 위치정확도의 드론 영상을 취득하여 토지

경계 설정 등에 활용이 가능하다.

그러나 임야지역은 근접 촬영의 특성으로 임야 경계의 설정 기준이 되는 능선이나 계곡 등의 판별이 어려워 높은 정확도에 비해 많은 적용이 이루어지지 못하고 있다. 또한, 임야지역에서는 수풀과 수목 등의 영향으로 실제 토지경계의 기준이 되는 바닥 지형을 알 수 없는 문제점이 있다.¹⁾ 드론 측량에 관한 다양한 활용과 함께 최근 공간정보 분야에서는 라이다(LiDAR) 기술이 주목을 받고 있다. 라이다는 수많은 레이저 펄스를 방출하여 대상물에 맞고 반사되는 시간과 강도의 측정으로 3차원의 위치정보를 취득하는 기술이다. 기존에는 항공라이다 시스템이 많이 이용되고 있지만, 최근에는 드론에도 라이다 장비를 탑재하여 촬영할 수 있는 기술이 도입되고 있다.²⁾ 드론 라이다는 수풀이나 수목을 투과하여 정밀도가 높은 영상을 높은 정확도로 취득할 수 있어 토지 경계점들의 추출이 가능해지고 있다. 임야지역에서의 경계 설정 역시 드론 라이다를 이용한다면, 기존 적용 측량 방식에서 발생하고 있는 여러 한계성에 대한 극복이 가능하여 많은 효율성이 기대된다.

본 연구와 관련한 선행연구로 정밀도로지도 제작을 위한 드론 라이다의 해상도, 정확도, 캘리브레이션 등의 검증,³⁾ 하천측량을 위한 드론라이다 데이터의 정확도와 활용성에 대한 평가,⁴⁾ 드론 라이다와 영상에 의한 포장 노면의 평탄성 분석을 통한 적용 가능성 제시,⁵⁾ 건물 BIM 구축을 위한 드론 영상과 LiDAR 데이터의 정확도 분석 및 정합 연구,⁶⁾ 정밀 포인트 클라우드 취득을 위한 드론 라이다 시스템의 개발 및 적용⁷⁾ 등에 관한 연

- 1) 이재원·박치영·이석배·윤부열, “고해상도 항공영상에 의한 토지경계 설정에 관한 연구”, 「한국측량학회 학술대회 자료집」, 제4집, 2015, pp.367-369.
- 2) 박준규·이근왕, “대규모 개발지역의 공간정보 구축을 위한 드론 라이다의 특징 비교”, 「한국산학기술학회논문지」, 제21권 1호, 2020, pp.768-773.
- 3) 유진영·허민·강성학, “정밀도로지도 제작을 위한 드론라이다 데이터 성능 검증”, 「대한토목학회 학술대회논문집」, 제10집, 2019, pp.319-320.
- 4) 박준규·임대용, “하천측량을 위한 드론라이다 데이터의 활용성 평가”, 「한국산학기술학회논문지」, 제21권 5호, 2020, pp.592-597.
- 5) 정갑용·박준규, “드론 라이다와 영상에 의한 포장 노면의 평탄성 분석”, 「한국측량학회지」, 제39권 1호, 2021, pp.55-63.

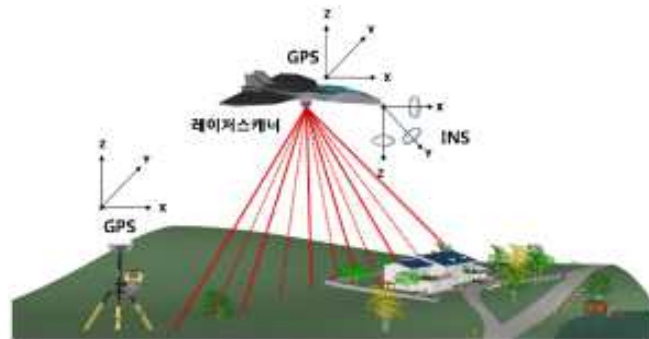
구가 있었다. 토지경계 설정과 관련해서는 드론 라이다를 이용한 건물지역, 농경지역, 임야지역에서의 지적측량 방법,⁸⁾ 드론 라이다를 이용하여 건물지역과 농경지 지역에서 현황경계 중심의 토지 경계를 추출하고, 이에 대한 정확도 분석⁹⁾ 등에 관한 연구가 수행되었다. 이상과 같이 현재 지적측량 분야 내·외적으로 드론 라이다를 이용한 연구가 많이 진행되었다. 지적측량 분야의 경우 드론 라이다를 토지경계 설정 부분에 적용하기 위한 방법론이나 실험적으로 건물지역과 농경지역에 적용한 연구가 수행되었으나, 임야지역을 대상으로 경계선의 추출에 대한 실험 연구는 다양하게 이루어지지 못하고 있다.

본 연구에서는 드론 라이다 기술을 이용해 임야 지역의 경계선을 실험적으로 추출해 보고, 이에 대한 정확도를 분석한 후 지적측량에 적용 가능성을 제시하고자 한다.

2. 드론 라이다

드론은 UAV(Unmanned Aerial Vehicle) 또는 RPA(Remotely Piloted Aircraft)로 불리며, 조종사가 탑승하지 않은 상태에서 지상의 무선전파 유도나 원격조정 또는 사전 입력된 프로그램에 따라 비행체 스스로 주위 환경을 인식·판단해 자율적으로 비행하는 비행체나, 이러한 기능의 일부나 전부를 가진 비행체계를 말한다.¹⁰⁾

라이다는 레이저스캐너, INS(Inertial Navigation System), GNSS를 탑재하여 대상물의 3차원 좌표를 직접 취득할 수 있는 시스템을 말한다. 라이다 시스템에서 사용하는 레이저스캐너는 능동형 센서(active sensor)로 주야에 관계없이 3차원 자료의 취득이 가능하다. 이는 대상물에 레이저 펄스를 발사하고, 돌아오는 시간 차이를 측정하는 원리로 위치정보를 취득한다. 항공에서 지상까지의 거리측정은 레이저의 도달시간과 스캐닝 방향의 미리각을 측정함으로써 가능해진다. 레이저 펄스의 주사 방법은 하나의 빛으로 조사되는 레이저 펄스를 회전하는 거울을 통해 광원으로부터 배분



자료 : 조두영, “항공라이다 자료를 이용한 지상 객체정보의 추출”, 석사학위논문, 남서울대학교 대학원, 2012, p.15.

〔그림 1〕 라이다 자료 취득의 개념도

- 6) 이준구, “건물 BIM 구축을 위한 드론 영상과 LiDAR 데이터의 정확도 분석 및 정합에 관한 연구”, 박사학위논문, 부경대학교 대학원, 2023.
- 7) 박동주, “정밀 포인트 클라우드 취득을 위한 드론 라이다 개발”, 박사학위논문, 군산대학교 대학원, 2023.
- 8) 홍성연, “드론 라이다를 이용한 지적측량 방법”, 『한국사회과학연구』, 제43권 2호, 2022, pp.55-75.
- 9) 박종찬·홍성연, “드론 라이다를 이용한 토지경계 추출 방법”, 『한국지적학회지』, 제38권 2호, 2022, pp.135-145.
- 10) 이원규, “드론(Drone)을 활용한 도시관리”, 『BDI 정책포커스』, 제288호, 2015, p.3.

하는 형식을 취하며, 이는 비행 방향과 직교하여 전체 유효 스캔 면적을 포괄하는 방식으로 측량이 이루어진다.¹¹⁾ 라이다의 핵심 기능은 현실 공간에 존재하는 물체(객체)에 대하여 형태 등의 자료를 수집하고, 디지털로 변환하는데 사용되고 있다. 레이저 스캐너는 가시선에 기반을 둔 장비이며, 물체 주변 여러 곳의 스캔을 실행함으로써 자료 취득의 정확도를 높이고 있다.¹²⁾

대상물에 레이저를 주사하고, 반사되어 돌아오는 정보를 측정하는 것은 1960년대부터 이용되었다. 이후 1990년대 중반부터는 공간정보를 취득하는 방안으로 이용되고 있다. GNSS 기술과 INS의 발달, 컴퓨터의 발전은 라이다의 상업화를 이끌었고, 다양한 플랫폼의 개발로 항공기와 위성에 탑재되기 시작하였으며, 최근에는 드론에 탑재가 가능한 기술이 개발되었다.¹³⁾ 드론 라이다 기술은 드론에 라이다 장비를 탑재해 라이다 측량을 할 수 있는 기술이다. 드론 라이다 기술은 DSM(Digital Surface Model)을 DTM(Digital Terrain Model)으로 정확히 분류할 수 있는 기술이다. 라이다를 통해 취득되는 데이터는 수많은 점으로 이루어진 포인트클라우드 형태의 데이터이다.¹⁴⁾

3. 실험 및 분석

3.1 실험

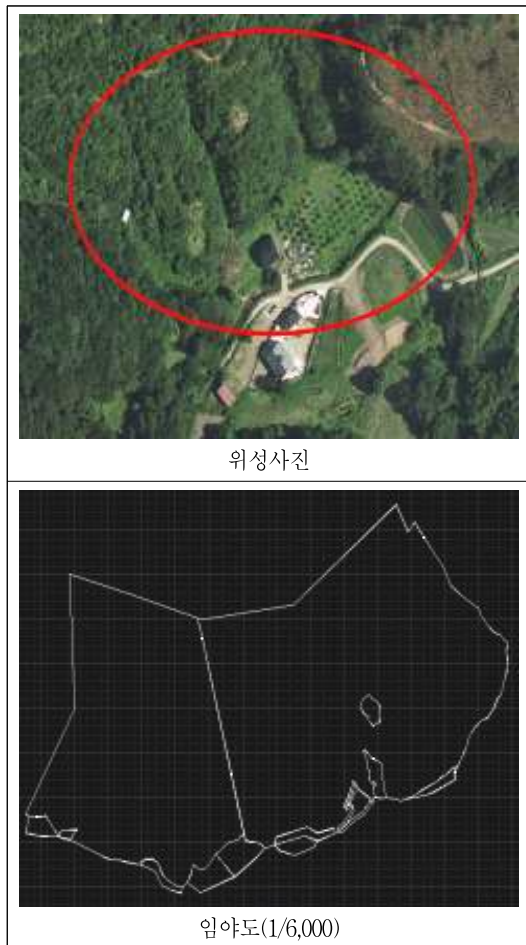
3.1.1 연구지역 선정 및 촬영

드론 라이다를 이용해 임야 경계선을 추출하고, 이에 대한 정확도를 분석하기 위해 본 연구에서는

연구지역을 선정하였다. 연구지역의 선정에 있어서는 경계선 추출의 다양성을 위해 능선이나 계곡으로 지형이 형성되어 있는 임야지역을 선정하였다. 또한, 촬영 영상의 정확도 등의 검증을 위해 명확한 검증점이 존재하는 토지 인접 지역을 포함하는 지역으로 선정하였다. 이러한 연구지역 선정요소를 고려하여 충청북도 진천군 백곡면 갈월리 산76-1 일원을 선정하였다. 연구지역을 선정하고, 추출한 임야 경계선을 기존 임야도 경계선과 비교 분석을 위해 대상지역의 임야도(축척 1/6,000)를 수집하였다. 대상지역의 임야도는 한국국토정보공사의 협조를 얻어 취득하였다.

연구지역을 선정하고, 드론 라이다 촬영 데이터를 수집하였다. 데이터 수집은 ㈜하늘숲엔지니어링의 협조를 얻어 진행하였다. 수집 데이터의 경우, 촬영은 사전 계획 수립을 바탕으로 2023년 7월 20일에 이루어졌으며, 촬영 고도는 70m로 설정되었다. 개별 고도비행은 지표면으로부터 70m를 유지하기 위해 높낮이가 다른 지표면의 경우 자동으로 고도를 조정하여 촬영되었다. 비행속도는 5m/s, 중횡중복도는 65%로 설정되었다. 촬영에 사용된 드론 장비는 DJI사의 MATRICE 300 RTK가 이용되었고, 라이다는 YellowScan 장비가 이용되었다. YellowScan 장비는 정밀도 2.5cm, 정확도 3cm로 측량이 가능하다. [그림 2]는 연구지역의 위성사진과 임야도를 나타낸 것이다.

- 11) 최병길·나영우·이경섭·이정일, “3차원지적 적용을 위한 항공라이다의 수직 정확도 평가에 관한 연구”, 『한국지형공간정보학회지』, 제22권 2호, 2014, pp.33-40.
- 12) 김의명·조두영, “라이다 자료를 이용한 가로수 정보 추출”, 『한국지적학회·한국지적정보학회 춘계학술대회 논문집』, 2011, pp.155-167; 홍성언, 전제논문, pp.55-75.
- 13) 박준규·엄대용, 전제논문, pp.592-597.
- 14) 이봉희·임은성·송승욱, “드론 라이다를 활용한 공간정보 구축 및 관리”, 『2018년 정기학술대회 및 특별세미나』, 한국재난정보학회, 2018, pp.91-92.



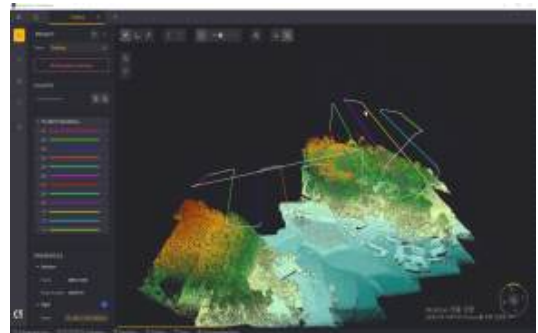
[그림 2] 연구대상지역 위성사진 및 임야도

3.1.2 포인트 클라우드 데이터 생성 및 수목 제거

수집된 드론 라이다 촬영 데이터를 이용해 포인트 클라우드 데이터 생성 및 수목 제거에 앞서 POSPAC S/W를 이용하여 라이다 데이터 보정 등의 데이터 처리를 시행하였다. 데이터 보정은 촬영 라이다 데이터와 정지측량 데이터를 이용하여 Coordinate Manager 기능으로 보정(세계측지계)하였다. 즉, GNSS-Inertial Processor를 이용하여 베이스 데이터 좌표를 기준으로 촬영한 라이다 데이터에 대한 정밀도 보정 프로세싱을 실시하여 촬영한 라이다 데이터의 정밀도를 보정하였다.

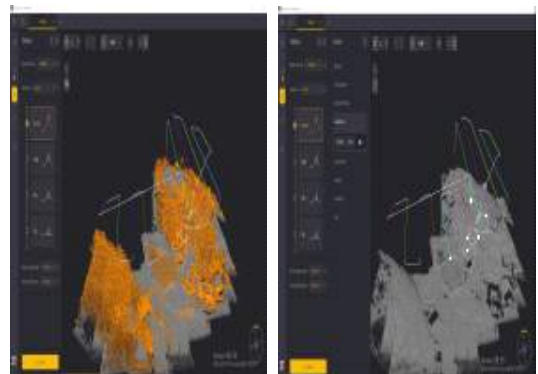
라이다 포인트 클라우드 데이터 생성은

YellowScan S/W를 활용하였다. 보정이 완료된 라이다 데이터 파일을 임포트하여 프로세싱을 진행하였다. 생성된 라이다 포인트 클라우드 데이터의 오차를 한 코스씩 각각 조정해 주기 위해 STRIP ADJUSTMENT를 실시하여 오차를 조정하였다. [그림 3]은 생성한 라이다 포인트 클라우드 데이터를 나타낸 것이다.



[그림 3] 라이다 포인트 클라우드 데이터 생성

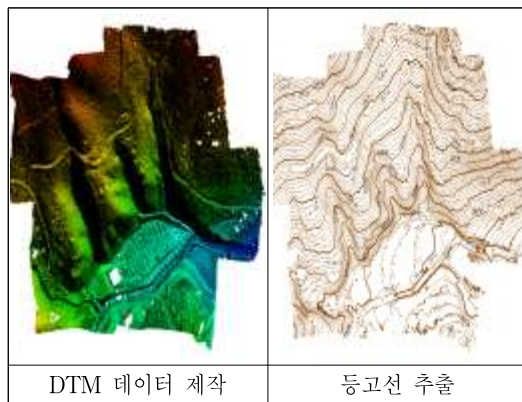
라이다 포인트 클라우드 데이터를 생성하고, 수목 제거 과정을 진행하였다. 임야지역에서의 지상 경계의 설정은 능선이나 계곡 등으로 이루어지고 있다. 지형의 능선이나 계곡을 정확히 판단하기 위해서는 수목의 제거 작업이 필요하다. 오차 보정을 마친 라이다 포인트 클라우드 데이터의 수목·주거지와 지형표면을 분리하기 위하여 Classify 기능을 이용하여 프로세싱하였다. [그림 4]는 수목이 제거된 라이다 데이터를 나타낸 것이다.



[그림 4] 라이다 데이터 수목 제거

3.1.3 DTM 및 등고선 데이터 제작

라이다 데이터의 수목을 제거하고, DTM 및 등고선 데이터를 제작하였다. 이 작업은 Global Mapper Pro S/W를 이용하였다. 먼저, Yellow-Scan에서 프로세싱한 수목·주거지가 제거된 라이다 데이터에서 세계좌표계를 설정하고, Create Elevation Grid 기능을 이용하여 DTM을 제작하였다. 이후 라이다 데이터를 활용하여 등고선을 추출하기 위해 Create Contours(등고선 추출) 기능을 선택하고, 등고선 간격을 1m로 설정한 후 등고선을 추출하였다[그림 5].



[그림 5] DTM 데이터 제작 및 등고선 추출

3.2 분석

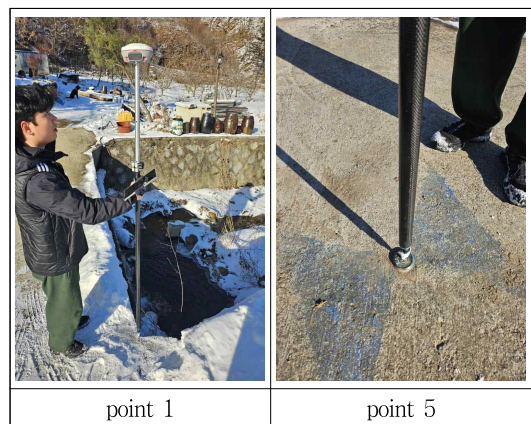
3.2.1 라이다 데이터 정확도 검증

제작한 라이다 데이터의 정확도를 검증하기 위해 본 연구에서는 연구지역을 중심으로 검증점을 배치하고, 이 점들에 대한 GPS 관측 성과와 라이다 데이터에서 추출한 좌표를 비교해 보고자 하였다. 검증점의 명확한 확인을 위해 라이다 데이터에 RGB를 입력하였다. 검증점의 배치에 있어서는 명확한 비교가 이루어질 수 있도록 임야지역과 인접한 토지에서 기존 도근 설치점과 도로의 굴곡점 등을 위주로 선정하였다. 검증점은 총 15점을 선

정하였다. [그림 6]은 연구지역의 검증점 배치도를 나타낸 것이고, [그림 7]은 검증점 1과 5 지점에 대한 GPS 관측 모습을 나타낸 것이다.



[그림 6] 검증점 배치도



[그림 7] 검증점 관측 예

<표 1>은 검증점 15점에 대한 GPS 관측 성과와 라이다 데이터 추출 좌표를 비교한 것이다. 비교 결과, X좌표의 RMSE는 $\pm 0.073\text{m}$, Y좌표의 RMSE는 $\pm 0.087\text{m}$, 연결오차의 RMSE는 $\pm 0.113\text{m}$ 로 산출되었다. 현행 「지적측량시행규칙」 제27조에서는 도해지역에서의 측척별 오차 한계를 규정하고 있다. 본 연구의 실험지역인 축척 1/6,000 지역에서 오차의 한계는 $\pm 1.8\text{m}$ 로 규정되어 있다. 이 규정을 근거해 본다면, 본 연구에서 제작한 영상은 정확도 요건을 충족하기 때문에 사용에 무리가 없다고 판단된다.

본 연구에서는 라이다 데이터의 정밀한 정확도

〈표 1〉 GPS 관측 성과와 라이다 데이터 추출 좌표 비교

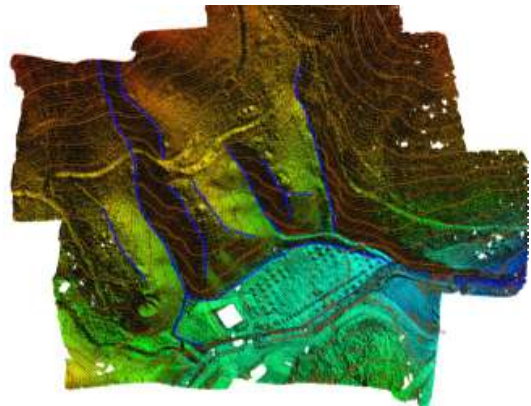
(단위 : m)

검사점	GPS 관측성과		DTM 추출 좌표		ΔX	ΔY	연결 오차
	X	Y	X	Y			
point 1	476544.28	228206.31	476544.32	228206.37	0.04	0.057	0.070
point 2	476545.02	228211.51	476545.09	228211.44	0.074	-0.074	0.105
point 3	476553.21	228206.82	476553.27	228206.7	0.06	-0.124	0.138
point 4	476553.69	228209.45	476553.63	228209.51	-0.057	0.062	0.084
point 5	476545.98	228227.39	476545.91	228227.48	-0.075	0.085	0.113
point 6	476546.76	228234.59	476546.83	228234.52	0.069	-0.069	0.098
point 7	476569.29	228267.55	476569.22	228267.64	-0.073	0.086	0.113
point 8	476559.9	228183.06	476559.98	228183.02	0.083	-0.04	0.092
point 9	476556.7	228186.62	476556.63	228186.67	-0.068	0.051	0.085
point 10	476575.37	228279.34	476575.43	228279.41	0.056	0.073	0.092
point 11	476584.01	228287.74	476584.06	228287.66	0.051	-0.079	0.094
point 12	476574.92	228200.89	476574.98	228200.96	0.058	0.066	0.088
point 13	476547.89	228240.02	476547.77	228240.11	-0.116	0.094	0.149
point 14	476540.49	228189.85	476540.43	228189.73	-0.056	-0.121	0.133
point 15	476532.91	228186.15	476532.80	228186.00	-0.112	-0.148	0.186
RMSE					0.073	0.087	0.113

분석 목적보다는 임야지역에서의 경계선 추출에 대한 가능성을 제시하기 위한 목적이다. 그렇기 때문에 표지 설치 등을 통한 촬영과 이에 대한 정확도 분석보다는 참고 수준에서의 정확도를 분석해 보았다.

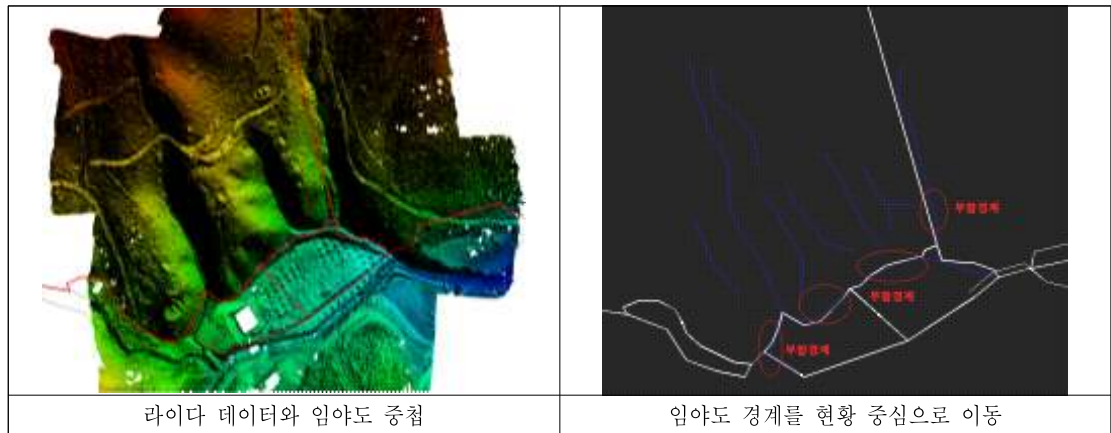
3.2.2 라이다 데이터를 활용한 임야경계 추출 및 분석

본 연구에서는 제작된 라이다 데이터(DTM+등고선)를 이용해 임야지역의 경계선 추출을 시행하고, 이에 대한 정확도를 기존 임야도 경계(점)과 비교를 통해 이용 가능성을 제시하고자 하였다. 이를 위해 구축된 라이다 데이터를 이용해 임야지역의 지상경계 경계설정 기준인 계곡과 능선, 그리고 경계로 추출 가능한 부분에 대해 경계를 추출해 보았다. [그림 8]은 라이다 데이터를 이용해 임야지역에서 경계를 추출한 것이다.



[그림 8] 라이다 데이터를 활용한 임야경계 추출

라이다 데이터를 이용해 임야 경계선을 추출하고, 여기에 기존 임야도를 중첩해 보았다. 중첩 결과, 기존 임야 도면과 경계선이 많이 부합하지 않았다. 이는 임야도의 경계는 현황 중심으로 설정된 경계가 아닌 도상경계 중심으로 경계가 결정되었기 때문이다. 본 연구에서는 지상경계(현황경계)로 추출한 라이다 경계선과 임야도 경계와의 부합



(그림 9) 임야도 중첩(좌) 및 임야도 경계의 현황 중심 이동(우)

도를 높여 비교하기 위해 임야경계를 현황 중심으로 이동시켜 분석하였다. [그림 9]의 좌측은 라이다 데이터와 임야도를 중첩한 것이고, 그림의 우측은 임야도 경계를 현황 중심으로 이동시킨 것이다.

이상과 같이 임야도 경계선을 현황 중심으로 이

동시키고, 연구에서 추출한 경계선과 비교 분석해 보았다. 비교를 함에 있어서는 명확한 현황 경계로 판단되는 총 20점을 추출해 이 지점에 대한 좌표를 비교해 보았다. <표 2>는 임야도 경계점과 라이다 데이터에서 추출한 현황 경계점 좌표를 비교한 것이다. 비교 결과, 전반적인 X좌표의 RMSE

<표 2> 임야도 경계점과 라이다 추출 현황 경계점 좌표 비교

(단위 : m)

검사점	임야도 경계점 좌표		현황 경계점 좌표		ΔX	ΔY	연결 오차
	X	Y	X	Y			
point 1	476686.91	228231.84	476687.25	228232.95	0.34	1.11	1.161
point 2	476679.85	228231.85	476680.17	228233.52	0.32	1.67	1.700
point 3	476654.24	228239.07	476655.31	228242.81	1.07	3.74	3.890
point 4	476628.53	228246.29	476629.16	228249.17	0.63	2.88	2.948
point 5	476617.70	228249.41	476618.41	228251.96	0.71	2.55	2.647
point 6	476608.31	228252.02	476608.32	228252.09	0.01	0.07	0.071
point 7	476543.96	228185.22	476545.58	228185.87	1.62	0.65	1.746
point 8	476553.00	228170.57	476552.47	228170.21	-0.53	-0.36	0.641
point 9	476558.36	228170.25	476557.79	228171.22	-0.57	0.97	1.125
point 10	476560.24	228171.67	476560.08	228172.15	-0.16	0.48	0.506
point 11	476562.51	228172.60	476562.39	228173.09	-0.12	0.49	0.504
point 12	476565.11	228173.73	476564.97	228174.09	-0.14	0.36	0.386
point 13	476567.63	228174.69	476567.56	228175.10	-0.07	0.41	0.416
point 14	476571.34	228182.03	476570.86	228181.85	-0.48	-0.18	0.513
point 15	476570.40	228194.79	476571.58	228191.76	1.18	-3.03	3.252
point 16	476598.44	228227.31	476595.43	228226.60	-3.01	-0.71	3.093
point 17	476599.46	228230.70	476599.74	228230.63	0.28	-0.07	0.289
point 18	476600.81	228235.68	476600.89	228235.65	0.08	-0.03	0.085
point 19	476602.12	228241.57	476601.99	228241.55	-0.13	-0.02	0.132
point 20	476600.78	228254.02	476600.27	228253.83	-0.51	-0.19	0.544
RMSE					0.911	1.498	1.753

는 $\pm 0.911\text{m}$, Y좌표의 RMSE는 $\pm 1.498\text{m}$, 연결오차의 RMSE는 $\pm 1.753\text{m}$ 로 산출되었다. 이는 현행 법률에서 규정하고 있는 오차 범위 이내의 성과이다. 구체적으로는 총 20점 중에서 5점을 제외하면, 나머지 점들은 모두 오차의 허용범위 이내의 성과를 보이는 것으로 나타나 임야지역 경계 설정에 적용 가능성이 있다고 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 드론 라이다를 이용해 임야지역의 경계선을 실험적으로 추출해 보고, 이에 대한 정확도를 분석한 후 지적측량에 적용 가능성을 제시하고자 하였다. 이를 위해 연구지역으로 충청북도 진천군 백곡면 갈월리 산76-1 일원을 선정하였다. 연구지역을 선정하고, 드론 라이다 촬영 데이터와 대상 지역 임야도(1/6,000) 데이터를 수집하였다.

촬영된 드론 라이다 데이터를 이용해 데이터 보정, 포인트 클라우드 데이터 생성 및 수목 제거 등의 데이터 처리와 함께 DTM 및 등고선 데이터를 제작하였다. 제작한 라이다 데이터의 정확도를 검증하기 위해 검증점 총 15점을 선정하고, 이 점들에 대한 GPS 관측 성과와 라이다 데이터 추출 좌표를 비교해 보았다. 비교 결과, X좌표의 RMSE는 $\pm 0.073\text{m}$, Y좌표의 RMSE는 $\pm 0.087\text{m}$, 연결오차의 RMSE는 $\pm 0.113\text{m}$ 로 산출되었다. 이는 현행 법률에서 규정하고 있는 오차범위 이내로 임야경계 추출 실험이 가능한 것으로 나타났다.

본 연구에서는 제작한 라이다 데이터를 이용해 임야지역의 경계선을 추출해 보았다. 경계선의 추출은 현행 임야지역의 지상경계 경계설정 기준인 계곡과 능선, 그리고 경계로 추출 가능한 부분에 대해 경계를 추출해 보았다. 추출한 임야 경계선과 기존 임야도 경계선과의 정확한 비교를 위해 임야도 경계를 현황 중심으로 이동시켜 분석하였다. 분석을 함에 있어서는 명확한 현황 경계로 판

단되는 총 20점을 추출해 이 지점에 대한 좌표를 비교해 보았다. 비교 결과, 전반적인 X좌표의 RMSE는 $\pm 0.911\text{m}$, Y좌표의 RMSE는 $\pm 1.498\text{m}$, 연결오차의 RMSE는 $\pm 1.753\text{m}$ 로 산출되었다. 이는 현행 법률에서 규정하고 있는 오차 범위 이내의 성과로 임야지역 경계 설정에 적용 가능성이 있다고 판단된다.

본 연구의 분석 결과는 임야도의 경계를 현황 중심으로 이동시켜 라이다 데이터와 비교를 한 결과이다. 이로 인하여 라이다 데이터의 추출 성과에 대한 명확한 정확도가 고려되었다고 보기에는 한계가 있다. 따라서 임야지역 경계설정의 성과 인정 범위를 고려하고, 라이다 데이터에서 지면의 능선이나 계곡, 기타 지형으로 형성된 경계의 추출이 가능하다는 것을 고려한다면, 라이다 데이터를 이용한 임야지역에서의 경계 추출과 설정은 충분히 가능성이 있다고 판단된다.

감사의 글

본 연구의 드론 라이다 관측 데이터는 (주)하늘숲 엔지니어링의 협조를 얻어 진행되었습니다. 이에 감사드립니다.

〈참고문헌〉

1. 김의명·조두영, “라이다 자료를 이용한 가로수 정보 추출”, 『한국지적학회·한국지적정보학회 춘계학술대회 논문집』, 2011.
2. 박동주, “정밀 포인트 클라우드 취득을 위한 드론 라이다 개발”, 박사학위논문, 군산대학교 대학원, 2023.
3. 박종찬·홍성언, “드론 라이다를 이용한 토지경계 추출 방법”, 『한국지적학회지』, 제38권 2호, 2022.
4. 박준규·엄대용, “하천측량을 위한 드론라이다

- 데이터의 활용성 평가”, 『한국산학기술학회논문지』, 제21권 5호, 2020.
5. 박준규·이근왕, “대규모 개발지역의 공간정보 구축을 위한 드론 라이다의 특징 비교”, 『한국산학기술학회논문지』, 제21권 1호, 2020.
 6. 유진영·허민·강성학, “정밀도로지도 제작을 위한 드론라이다 데이터 성능 검증”, 『대한토목학회 학술대회논문집』, 제10집, 2019.
 7. 이봉희·임은성·송승욱, “드론 라이다를 활용한 공간정보 구축 및 관리”, 『2018년 정기학술대회 및 특별세미나』, 한국재난정보학회, 2018.
 8. 이원규, “드론(Drone)을 활용한 도시관리”, 『BDI 정책포커스』, 제288호, 2015.
 9. 이준구, “건물 BIM 구축을 위한 드론 영상과 LiDAR 데이터의 정확도 분석 및 정합에 관한 연구”, 박사학위논문, 부경대학교 대학원, 2023.
 10. 이재원·박치영·이석배·윤부열, “고해상도 항공 영상에 의한 토지경계 설정에 관한 연구”, 『한국측량학회 학술대회자료집』, 제4집, 2015.
 11. 정갑용·박준규, “드론 라이다와 영상에 의한 포장 노면의 평탄성 분석”, 『한국측량학회지』, 제39권 1호, 2021.
 12. 조두영, “항공라이다 자료를 이용한 지상 객체 정보의 추출”, 석사학위논문, 남서울대학교 대학원, 2012.
 13. 최병길·나영우·이경섭·이정일, “3차원지적 적용을 위한 항공라이다의 수직 정확도 평가에 관한 연구”, 『한국지형공간정보학회지』, 제22권 2호, 2014.
 14. 홍성언, “드론 라이다를 이용한 지적측량 방법”, 『한국사회과학연구』, 제43권 2호, 2022.

(집수일 2024.03.10., 심사일 2024.03.12., 심사완료일 2024.03.31.)