

BIM 적용을 위한 공간정보의 정확도 기반 활용성 평가

Accuracy-based Evaluation of the Utilization of Spatial Information for BIM Application

김두표*

Doo-Pyo Kim*

〈Abstract〉

Recently, spatial information has been applied to various fields and its usability is increasing day by day. In particular, in the field of civil engineering and construction, BIM based on spatial information is being applied to all construction industries and related research has been conducted. BIM is a technology that utilizes spatial information from the design phase and aids in the construction and maintenance of buildings, including the management of their attributes. However, to apply BIM technology to existing buildings, it takes a lot of time and money to produce models based on design drawings along with current surveying. In this study, quantitative and qualitative analysis was conducted to determine the applicability of the acquired data and the applicability of BIM by generating data and analyzing the accuracy using UAV images and ground lidar, which are representative spatial information acquisition methods. Quantitative analysis revealed that TLS (Terrestrial Laser Scanner) showed reliable accuracy in both planar and elevation measurements, whereas unmanned aerial images exhibited lower accuracy in elevation measurements, resulting in reduced reliability. Qualitative analysis indicated that neither TLS nor unmanned aerial images alone provided perfect completeness. However, the combination of both spatial information sources, tailored to specific needs, resulted in the most comprehensive completeness. Therefore, it is concluded that the appropriate utilization of spatial information acquired through unmanned aerial images and TLS holds the potential for application in the fields of BIM and reverse engineering.

Keywords : *Spatial Information, BIM, UAV, TLS*

* 주저자, 교신저자, 창원대학교 토목공학과, 시간강사
E-mail: ksosdkgk@hanmail.net

* Dept. of civil engineering, Chanwon University

1. 서론

4차산업혁명 시대에서 공간정보는 다양한 산업 전반에서 필수적 요소로 자리잡고 있다. 토목건설 분야에서도 과거 2차원 도면 및 3차원 좌표만을 이용하여 설계 및 시공, 유지 관리하던 것에 반하여 지금은 시각적 요소가 더해진 3차원 공간정보를 기반으로 이루어지고 있다. 이처럼 공간정보는 단순 수치적인 정보를 뛰어넘어 3차원 포인트클라우드(pointcloud), 모델과 같이 새로운 성과를 제공하고 이를 활용 하는데 있어 편의성이 높다는 점에서도 각광받고 있다. 이러한 공간정보의 활용성이 높아짐에 따라 토목건설 분야에서는 3차원 공간정보와 더불어 건물의 속성정보까지 제공할 수 있는 BIM(Building Information Modeling)의 필요성이 높아지고 있다.

한편, 운송, 모니터링, 방재 작업등에 활용되던 무인항공기에 센서 탑재가 가능해지고 영상처리 기법과 컴퓨터 비전 기술이 발전되면서 무인항공 사진측량이 3차원 공간정보를 생성할 수 있는 대표적인 방법이 되었다. 이에 다양한 분야에서 무인항공사진측량을 적용하고 있으며, 특히 토목건설 분야에서의 활용이 두드러지고 있다. 석산 및 광산과 같은 사람이 접근하기 힘든 현장이나, 대규모 지역에서의 물량을 산출해야 할 경우 무인항공 사진측량이 활용되고 있다[1-3]. 또한, 주기해상도를 가지는 영상을 촬영하여 공사 기간 및 안전 관리 분야에도 활용이 되고 있다[4-5].

그러나, 무인항공사진측량은 높이 값에 대한 불확실성과 3차원 공간정보 생성 시 지붕아래, 건물 하단부와 같은 폐색지역이 정상적으로 만들어지지 않아 활용에 제한적이다. 이를 보완할 수 있는 방법으로 LiDAR(Light Detection And Ranging)센서를 활용할 수 있다. LiDAR는 식물을 투과 할수 있는 특성이 있어 지형에 대한 데이터를 취득하는

데 효과적이며, 지물에 대한 데이터 취득에 장점이 있다.

특히, BIM 분야에서는 기존 설계도면을 이용하여 모델링을 하고 거기에 속성정보를 입력하게 되는데 설계도면으로 모델을 생성하는데 비용과 시간이 많이 들어가는 문제가 있다. 또한, 앞으로 새로 생기는 구조물에 대해서는 BIM을 쉽게 적용할 수 있지만 이미 만들어진 구조물에 BIM을 적용하기 위해서 기존 설계도면을 활용하는 것은 현재 실제 구조물의 상황과 맞지 않을 수 있다는 문제도 발생된다. 따라서, 현재 그대로의 구조물을 정확하게 3차원 공간정보로 생성하여 활용하는 것이 필요하다.

이에 본 연구에서는 무인항공사진측량과 더불어 지상라이다를 활용하여 서로의 단점을 보완할 수 있는 3차원 공간정보 데이터를 생성하고 해당 정확도를 세부적으로 분석하여 BIM의 기초 자료로서 활용이 가능한지 그 가능성을 판단하고자 하였다.

2. 배경이론 및 연구 목적

2.1 BIM

BIM은 시설물의 형상, 속성을 포함한 3차원 디지털 모형으로 최근 3D GIS(Geographic Information System) 분야에서 매우 집중 조명되고 있다[6-7]. 미국조달청에서는 BIM 설계 지침을 제공하고 설계 결과물로 디지털 자료를 제출하도록 하고 있다[8]. 싱가포르 건설청에서도 BIM 발주 가이드를 만들어 중요하고 있으며[9], 우리나라도 현재 ‘건설산업 BIM 기본지침’을 제정하여 산업 전반에 BIM을 적용하려고 하고 있다[10].

한편, BIM과 관련된 표준으로는 건설산업 표준인 IFC(Industry Foundation Classes)와 OGC(Open

Geospatial Consortium) 표준인 CityGML이 있다. 최근 연구들은 이러한 두 개의 표준을 서로 연결하는데 초점이 맞춰져 있다[11-12].

이처럼 BIM에 대한 환경이 확산 되면서 건설산업에서도 3차원 정보체계 기반의 방대한 건축 정보가 다양한 분야에 걸쳐 생성되고 있다[13]. 그러나, 각 분야별 다양한 시스템을 사용하고 있으며, 이미 건설된 구조물을 3차원 모델로 제작하고 속성정보를 구성하는데 시간 및 비용적 측면에서 문제가 있다.

2.2 LoD

BIM에서 3차원 모델의 정밀도를 단계별로 조정하는 기술로 LoD가 있다. LoD는 컴퓨터 그래픽 분야에서 필요에 따라 3차원 모델의 품질을 정함으로써 데이터 제작의 효율성을 재고하기 위하여 연구되었다.

LoD는 ISO TC 211에서 제작되어 배포된 국제 표준인 CityGML을 기준으로 구분한다. CityGML에서 제시한 LoD는 단계를 0~4 총 5개 단계로 구분하여 제시하고 있다. Fig. 1과 같이 LoD 0은 대략적인 지형모델을 나타내고 LoD 1은 실제 형태와 상관없이 박스 형태, LoD는 조금더 세밀한 외부 형태를 묘사하고 있다. LoD 3은 창문과 같은 외부 구조물을 더 자세히 나타내며, LoD 4는 내부 공간까지 묘사하고 있다[14].

한편, 우리나라에서도 국토공간정보구축을 목적으로 3차원 국토공간정보구축작업규정을 고시하여 활용하고 있다. 해당 규정에서 건물데이터의 LoD는 Table 1과 같이 4개 수준으로 나누어 제시하고 있다. Level 1은 단순 3차원 형상을, Level 2는 형상과 색상을 같이 나타내며, Level 3은 가상 영상 텍스처를 부여하여 세밀한 부분까지 나타낸다. 마지막 Level 4는 가장 높은 수준의 LoD로 실사 영상을 텍스처로 입혀 나타낸다.

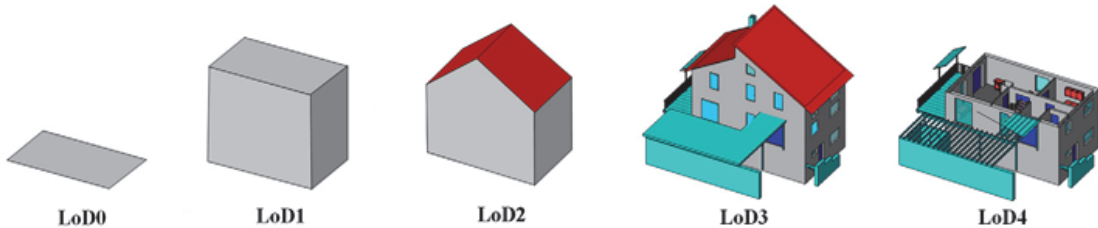


Fig. 1 LoD provided by city GML

Table 1. Building data examples of 3D model production by LODs

classification	Example			
	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4
Building data				

2.3 GIS와 BIM

GIS(Geographic information System)관점에서 BIM은 설계부터 시공까지 모든 단계에서 도면을 모델링화 하여 속성정보를 부여하는 기존의 관점을 뛰어넘어 기존에 생성된 구조물에 대한 정보를 3차원으로 구현하고 유지 관리 및 활용하는데 있다고 사료된다. 따라서, 3차원 공간정보를 취득할 수 있는 방법이 다양해진만큼 3차원 모델을 형성하는데 가장 기본이 되는 포인트클라우드의 정확도를 분석하고 이를 BIM과 연계하여 활용할 수 있는지 그 가능성을 판단해야 한다. 그러나 현재는 표준화를 위한 연구 및 BIM의 시스템 개발에 대한 연구가 주를 이루고 있으며 이에 본 연구에서는 4차산업혁명 시대에 가장 화두가 되고 있는 무인항공사진측량과 지상라이다를 이용하여 각각의 포인트클라우드를 생성하고 이에 대한 정확도를 분석하여 그 활용성을 판단하고자 하였다.

3. 자료 취득 및 처리

3.1 연구방법

본 연구는 이미 지어진 건물에 대하여 3차원 공간정보를 취득하고 해당 공간정보의 정확도를 분석하여 BIM에 적용 가능한지 판단하고자 Fig. 2

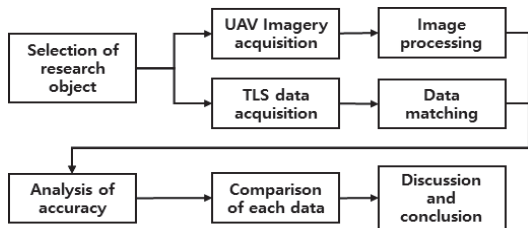


Fig. 2 Study flowchart

와 같이 연구를 수행하였다.

먼저 자료 취득 단계에서 무인항공기에 RGB센서를 탑재하여 영상을 취득하고 영상처리 과정을 거쳐 3차원 포인트클라우드를 제작하였다. 또한, 지상라이다를 이용하여 포인트클라우드를 취득하고 이를 정합하여 하나의 데이터를 생성하였다. 연구 분석 단계에서는 각각의 방법으로 취득된 공간정보에서의 정확도를 정량적 요소와 정성적 요소로 나누어 현장 성과와 비교해 활용 가능성을 판단하였다.

3.2 연구대상지

본 연구 분석을 위한 자료는 Fig. 3과 같이 경남지역의 작은 마을의 저층 건물을 대상으로 하였다. 해당 지역은 건물 옥상은 물론 층별로 외부로 뻗어있는 구조로 되어 있어 비교적 복잡한 구조물의 공간정보 생성 시 정확도를 분석할 수 있어 세부적인 정확도 분석이 가능하여 연구대상지로 선정하였다.



Fig. 3 Study area

3.3 자료 취득

BIM에 기반이 되는 3차원 공간정보를 생성하고 그 정확도를 분석하기 위하여 본 연구에서는 두

Table 2. Specifications of UAVs and TLS

				
Phantom4pro (FC6310)		RTC360		
Image resolution	5472 × 3648 pixs	Angular precision	Horizontal	18 "
Focal length	8.8 mm		Vertical	
Weight	1.38 kg	Wavelength		1550nm
Flight time	Approx. 25min	Resolution		3mm*10m

가지 자료 취득 방법을 적용하였다.

첫 번째는 무인항공기에 탑재된 카메라를 이용하여 중복 영상을 취득하고 영상처리하여 3차원 포인트클라우드를 생성하였다. 기체는 DJI Phantom4 pro를 이용하였으며, 고도 40m, 종중복도 70%, 횡중복도 80%로 수직 및 경사(45°)사진 총 299 장을 취득하여 공간정보를 제작하였다. 두 번째는 지상라이다를 이용한 공간정보 취득으로 지상과 옥상에 총 23곳의 기계점을 선점하여 자료를 취득하였다. 특히, 지상라이다의 경우 각 지점에서 취득되는 자료간 중첩도가 평균 40%이상이 되도록 간격을 고려하여 기계점을 선점하였다. Table 2는 각 장비별 세부제원을 나타낸 것이다. 한편, 각각의 자료 취득 방법 모두 정확도 향상을 위하여 정방형(50cm*50cm)의 지상기준점을 5개 설치하여 GPS(Global Positioning System)로 현장에서 좌표를 취득해 정합에 사용하였다. Fig. 4는 연구대상지의 지상기준점 설치 위치를 나타내고 있다.



Fig. 4 Arrange of GCPs in study area

3.4 공간정보 제작

무인항공영상으로 3차원 공간정보를 만들기 위해서는 영상처리과정을 거쳐야 한다. 본 연구에서

는 무인항공영상을 기반으로 3차원 공간정보 구축이 용이한 Bentley사 Contextcapture를 사용하였다. 처리 과정은 영상입력, 1차 항공삼각측량, 지상기준점 입력 및 2차 항공삼각측량, 성과물 제작 순으로 이루어 지며 Fig. 5(a)는 영상처리 후 제작된 포인트클라우드를 나타낸 것이다.

한편, 지상라이다는 취득 자료가 초기부터 포인트클라우드로 되어 있으며 각 기계점에서 취득한 포인트클라우드를 정합할 수 있는 프로그램이 필요로 하다. 본 연구에서는 RTC360 전용 정합 프로그램인 Cyclone Register 360을 이용하여 정합하였다. 정합은 프로그램에서 제공하는 비주얼 정합방식을 사용하여 첫번째 기계점 취득 자료와 두번째 기계점에서 취득한 자료를 색상 구별하여 평면 및 측면으로 회전시켜 서로 같은 위치를 정합하였다. 또한, 지상기준점 이용하여 정확한 3차원 좌표를 입력해 정확도를 향상하였다. Fig. 5(b)는 지상라이다 자료를 정합한 성과를 나타내고 있다.

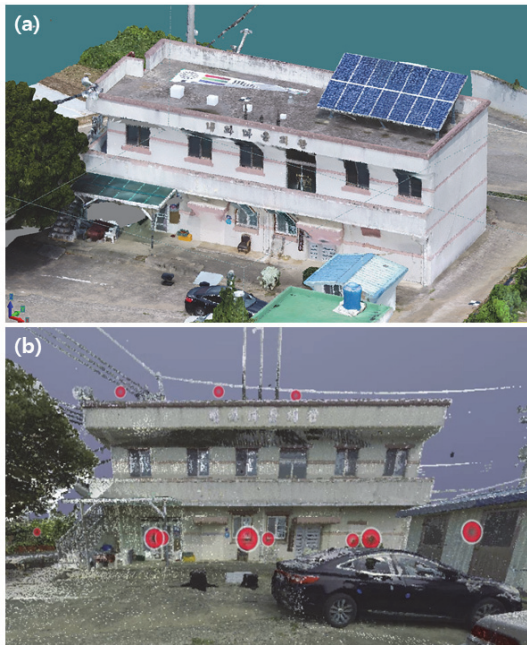


Fig. 5 Pointclouds of each acquisition method

4. 연구 분석

공간정보 자료가 BIM에 적용이 가능하기 위해서는 설계가 가능한 정도의 정확도가 필요하다. 이에 본 연구 분석은 건물에 존재하는 모서리 지점에 대한 3차원 좌표를 비교하여 RMSE(Root Mean Squared Error)값을 산출 하였으며, 해당 지점에 대한 길이 및 선형화를 분석하여 전반적인 형상이 올바르게 형성 되는지 확인하고자 하였다. 또한, 계단과 같은 부분의 비교적 작은 형태의 모서리 구분이 가능한 자료 취득이 가능한지 판단하였으며, 무인항공영상 및 지상라이다 자료 취득 시 발생하는 문제점을 파악하고 이를 해결하기 위하여 두 가지 데이터를 결합하여 정성적으로 분석해 문제점을 해결할 수 있는지 판단하였다.

4.1 현장 검사점을 이용한 정확도 분석

현장 검사점을 이용한 정확도 분석은 무인항공영상, 지상라이다로 각각 취득한 자료에서 추출한 좌표와 현장에서 GPS로 취득한 좌표를 비교하였다. Fig. 6은 정확도 분석을 위하여 좌표를 추출한 현장 검사점 총 10개소를 나타낸 것이다.

무인항공영상 기반 포인트클라우드의 검사점 10개소에 대한 정확도 분석 결과 Table 3과 같이 RMSE가 평면에서 0.023m, 표고에서 0.127m로



Fig. 6 Check points distribution map

나타났다. 세부적으로 보면 평면 오차는 최대 0.030m 였으며, 표고 오차는 최대 0.265m로 나타났다. 특히, 표고 오차가 크게 나타난 부분을 살펴보면 옥상 벽면 하단부에서 그 오차가 크게 발생했다. 이는 하단부 모서리에 제작된 포인트클라우드에 노이즈가 발생해서 나타나 결과로 판단된다.

한편, 지상라이다로 취득한 포인트클라우드의 정확도 분석결과 Table 4와 같이 RMSE가 평면에

서 0.029m, 표고에서 0.024m로 나타났다. 무인 항공영상 기반 데이터의 분석결과와 달리 지상라이다의 경우 평면, 표고 모두 오차가 작게 나타났다. 이는 지상라이다로 취득한 데이터가 포인트간 편차가 일정하게 취득된다는 것을 나타낸다. 또한, 모서리 부분에서도 포인트클라우드가 명확하게 생성된 것을 보여주고 있다.

4.2 길이 및 선형화 분석

정확도를 자세히 분석하기 위해서 좌표를 이용한 정확도 분석과 더불어 현장에서 측정된 3차원 길이 및 모서리간 각도를 포인트클라우드에서 추출한 자료와 비교 분석하였다. 선형화 분석은 포인트클라우드를 입력할 수 있고 간편하게 각도 및 길이 측정이 가능한 Smart Construction 프로그램을 활용하여 결과값을 도출하였다. Fig. 7과 같이 길이 10개소, 각도 8개소에 대하여 자료를 취득하여 분석하였다. 각도의 경우 옥상 모서리 부

Table 3. Results of accuracy analysis using UAV data

No.	GPS - UAV		
	$\Delta X(m)$	$\Delta Y(m)$	$\Delta Z(m)$
Po. 1	0.020	0.005	-0.019
Po. 2	0.002	0.001	-0.089
Po. 3	0.018	0.017	-0.020
Po. 4	-0.007	0.016	-0.061
Po. 5	-0.016	0.009	0.046
Po. 6	0.030	-0.013	-0.229
Po. 7	0.000	0.013	0.062
Po. 8	0.015	-0.023	-0.265
Po. 9	-0.001	-0.018	-0.001
Po. 10	-0.017	0.022	-0.067
RMSE	0.023		0.127

Table 4. Results of accuracy analysis using TLS data

No.	GPS - TLS		
	$\Delta X(m)$	$\Delta Y(m)$	$\Delta Z(m)$
Po. 1	0.005	0.023	0.007
Po. 2	-0.025	-0.017	-0.013
Po. 3	0.003	0.027	-0.031
Po. 4	-0.019	0.022	-0.023
Po. 5	-0.014	0.016	0.034
Po. 6	0.012	-0.035	-0.026
Po. 7	0.009	-0.003	0.024
Po. 8	0.012	-0.020	-0.023
Po. 9	0.030	-0.031	-0.015
Po. 10	-0.015	0.007	-0.018
RMSE	0.029		0.024



Fig. 7 Length and linearization analysis location

분 중에서 왼쪽 하단부는 작은 구조물이 설치되어 있어 정확한 분석이 불가능하여 제외하였다.

길이 및 선형화 정확도 분석 결과 Table 5와 같이 길이 RMSE가 무인항공사진 기반 포인트클라우드에서 0.031m, 지상라이다 기반 포인트클라우드는 0.022m로 두 가지 방법 모두 편차가 작게 나타났음을 확인할 수 있었다. 또한 선형화는 무인항공사진 기반 포인트클라우드가 1.124°의 차이를 보였으며, 지상라이다에서 취득한 포인트클라우드는 0.745°의 편차를 나타냈다. 선형화 분석 결과를 보았을 때, 지상라이다 기반 포인트클라우드 간 편차가 작게 나타나고 있음을 보여주고 있다.

Table 5. Results of accuracy analysis at length and linearization

Method	RMSE	
	UAV	TLS
Length(m)	0.031	0.022
Linearization(°)	1.124	0.745

4.3 정성적 분석

BIM의 적용에 있어서 LoD와 같이 정서적인 부

분도 판단이 필요하다. 이에 본 연구에서는 무인항공사진기반 데이터와 지상라이다의 문제점을 파악하고 해당 부분을 면밀히 분석하여 정성적 완성도를 판단하고자 하였다. 그 결과 무인항공사진기반 포인트클라우드는 Fig. 8(a)와 같이 건물 하단부에 영상에 나타나지 않거나 중첩되는 부분이 적어서 아예 데이터가 생성되지 않는 부분이 나타났다. 반면 Fig. 8(b)와 같이 지상라이다는 하단부 데이터가 생성되었으며 Fig. 9와 같이 계단 모서리가 구분 가능할 정도로 뚜렷하게 나타나 충분한 정성적 완성도가 높은 것으로 판단된다. 한편, 무인항공사진기반 데이터와 지상라이다 데이터 모두 실감영상으로 제작되어 국토지리정보원에서 제공

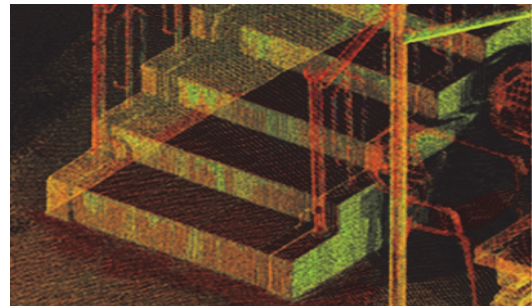


Fig. 9 Stairs pointcloud created by TLS



Fig. 8 Pointcloud generation error part by data acquisition method

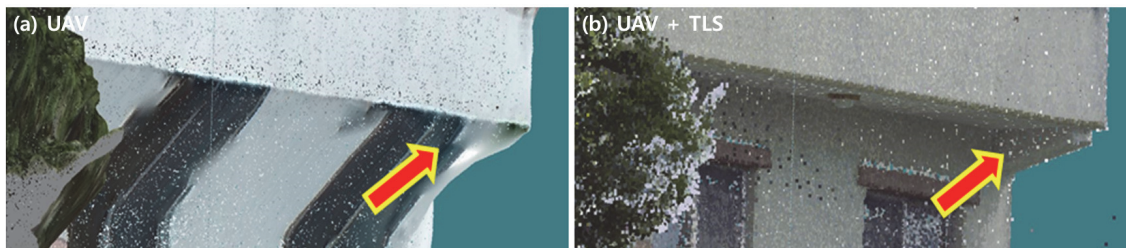


Fig. 10 Combining the two data to improve the completeness of spatial information

하고 있는 규정에 따른 LoD로 구분하면 Level 4를 나타내고 있지만 전체 데이터의 완전성 면에서는 만족하고 있지 못하고 있다.

한편, 지상라이더 데이터 또한 Fig. 8(b)의 건물 중간에 나타난 것과 같이 라이더 센서의 특성상 레이저가 직접 대상체에 도달했다가 돌아와야 하므로 포인트클라우드가 생성되지 않는 부분이 발생할 수 있다. 이처럼 무인항공영상 및 지상라이더 모두 공간정보 생성시 문제점이 발생할 수 있다. 이에 본 연구에서는 두 가지 방법으로 취득된 포인트 클라우드를 결합하여 최종 포인트클라우드를 생성하고 각 방법별 완성도가 떨어지거나 정확도가 낮은 부분을 보완할 수 있는지 판단하였다. Fig. 10은 두 가지 방법으로 취득된 데이터를 결합한 모습이다. Fig. 10(a)는 무인항공사진으로 제작된 포인트클라우드의 문제점을 나타낸 것이며, Fig. 10(b)는 이를 보완하기 위하여 지상라이더 데이터를 결합한 것으로 포인트클라우드의 세밀한 표현이 가능해서 공간정보의 완성도를 높이고 있다.

5. 결론

본 연구는 무인항공영상 및 지상라이더로 취득된 공간정보가 BIM 및 역설계와 같은 분야에 활용이 가능한지 판단하기 위하여 정확도와 완성도를 분석하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

첫 번째, 실제 건물의 모서리에 대한 3차원 좌표를 취득하여 공간정보에서 추출한 성과와 비교 분석한 결과 지상라이더로 취득된 공간정보는 평면, 표고 모두 RMSE값이 작게 나타나 높은 정확도를 보였다. 반면, 무인항공영상 기반 공간정보는 표고 RMSE값이 과대하게 나타난 지점들이 존재하여 표고에 대한 신뢰도가 낮게 나타났다.

두 번째, 길이 및 선형화 분석 결과 길이는 지상라이더와 무인항공영상으로 제작된 공간정보 모두 편차가 작게 나타났다. 반면 선형화 분석 결과 지상라이더가 무인항공영상으로 제작된 공간정보보다 편차가 작게 나타나 더 세밀하고 정확한 포인트클라우드를 생성하고 있음을 입증하였다.

세 번째, 정성적 분석 결과 두 가지 방법 모두 공간정보의 완성도에서는 완벽하지 못하였으며, 이를 보완하기 위하여 서로 취득한 공간정보를 필요에 따라 적절하게 결합하면 해당 완성도가 매우 높아지는 것을 확인하였다.

따라서, BIM에 활용 가능할 정도의 높은 정확도와 완성도를 만족하는 공간정보를 생성하기 위하여 생성된 3차원 모델의 정확도를 분석할 필요가 있으며, 지상라이더와 무인항공영상으로 제작된 성과 결합 시 세부적 작업 방안에 대하여 연구가 이루어진다면 문화재와 같은 역설계 및 BIM기술의 적용이 필요한 분야에 활용성을 높여줄 것으로 판단된다.

참고문헌

- [1] J. W. Lee, D. P. Kim, "Accuracy assessment of feature collection method with unmanned aerial vehicle images using stereo plotting program StereoCAD," *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, vol. 40, no. 2, pp. 257-264, (2020).
- [2] J. W. Lee, S. B. Lee, S. G. Kim, K. H. Lee, "Development of standard work type in construction field to utilize unmanned aerial vehicle," *The Korea Society For Geospatial Information System*, vol. 26, no. 3, pp. 69-76, (2018).
- [3] D. P. Kim, J. W. Lee, "Positional accuracy analysis according to the exterior orientation parameters of a low-cost drone," *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, vol. 42, no. 2, pp. 291-298, (2022).
- [4] S. B. Kim, D. P. Kim, K. S. Back, "A Study on the Development Site of an Open-pit Mine Using Unmanned Aerial Vehicle," *Journal of Convergence for Information Technology*, vol. 11, no. 1, pp. 136-142, (2021).
- [5] D. P. Kim, K. S. Back, S. B. Kim, "Production and Accuracy Analysis of Topographic Status Map Using Drone Images," *Korean Geo-Environmental Society*, vol. 22, no. 2, pp. 35-39, (2021).
- [6] L. Zhao, Z. Liu, J. Mbachu, "Highway Alignment Optimization: An Integrated BIM and GIS Approach," *ISPRS International Journal of Geo-Information*, vol. 8, no. 4, pp. 172, (2019).
- [7] H. Wang, Y. Pan, X. Luo, "Integration of BIM and GIS in sustainable built environment: A review and bibliometric analysis," *Automation in Construction*, vol. 103, pp. 41-52, (2019).
- [8] R. Sacks, C. Eastman, G. Lee, P. Teicholz, *BIM Handbook (3rd ed.)*, John Wiley & Sons, New Jersey, pp. 325-326, (2018).
- [9] B. S. Koo, H. Ok, Y. S. Yu, R. K. Jung, "Analysis of Singapore's BIM tender documents for the development of infrastructure BIM guidelines in Korea," *Journal of KIBIM*, vol. 8, no. 2, pp. 19-28, (2018).
- [10] J. S. Shin, S. K. An, J. W. Song, "Development of an augmented reality based underground facility management system using BIM information," *Journal of Korean Tunnelling and Underground Space Association*, vol. 24, no. 6, pp. 525-538, (2022).
- [11] G. S. Floros, C. Ellui, E. Dimopoulou, "Investigating interoperability capabilities between IFC and CityGML LOD 4-retaining semantic information," *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, vol. 42, no. 10, pp. 33-40, (2018).
- [12] R. Stouffs, H. Tauscher, F. Bijecki, "Achieving Complete and Near-Lossless Conversion from IFC to CityGML," *ISPRS International Journal of Geo-Information*, vol. 7, no. 9, pp. 355, (2018).
- [13] J. R. Ryu, S. K. Mun, S. Y. Choo, "A study on the development and utilization of indoor spatial information visualization tool using the open BIM based IFC model," *Journal of Korea Spatial Information Society*, vol. 23, no. 5, pp. 41-52, (2015).
- [14] J. W. Kim, D. P. Kim, S. M. Sung, "Assessment of LODs and Positional Accuracy for 3D Model based on UAV Images," *Journal of Korea Academia Industrial cooperation Society*, vol. 21, no. 10, pp. 197-205, (2020).