

무인항공기를 이용한 3차원 모델링 효율을 향상시키기 위한 사전비행 시뮬레이터 개발

김재구¹ · 김지성² · 전경미³ · 이효진^{4*}

^{1,3,4*}(주)지오맥스소프트 지리환경기술연구소

²(주)다누시스 혁신기술연구소

Development of Pre-flight Simulator to Improve The 3D Modeling Efficiency using UAV

Jae-Koo Kim¹ · Ji-Sung Kim² · Kyeong-Mi Jeon³ · Hyo-Jin Lee^{4*}

^{1,3,4*}Institute of Geographic & Environmental Technology, GEOMEXSOFT., LTD., Chunchoen 24461, Korea

²Institute of Innovate Technology, Danusys, Gwangmyeong 14322, Korea

[요 약]

무인항공기는 사람이 탑승하지 않기 때문에 다양한 분야에서 활용된다. 특히, 무인항공기를 이용한 3차원 모델링에 대한 기술들이 연구, 개발되고 있다. 이러한 무인항공기를 이용한 3차원 모델링에서, 시간과 비용을 절감하고 산출물의 품질을 향상시키기 위해서는 촬영 대상의 특성을 고려한 비행계획이 사전에 수립되어야 한다. 그러나 촬영 대상의 특성을 고려한 비행경로와 그에 따른 산출물을 사전에 파악할 수 있는 시뮬레이터는 찾아보기 힘들다. 따라서 본 연구에서는 포인트 클라우드 데이터와 LOD 기술을 적용하여 3차원 모델링 작업의 효율을 향상시키기 위한 사전비행 시뮬레이터를 개발하였다. 또한, 시뮬레이터의 성능을 확인하기 위하여 시뮬레이터의 산출물과 실제 산출물을 비교하였다.

[Abstract]

Unmanned Aerial Vehicle (UAV) is used in a variety of fields because there are no people on board. In particular, technologies for 3D modeling using UAV are being researched and developed. In 3D modeling using such an UAV, in order to save time and cost and improve the quality of output, a flight plan must be established in advance with the characteristics of the object to be model. However, it is difficult to find a simulator that can check the flight path and the product in advance with the characteristics of object. Therefore, in this study, a pre-flight simulator was developed to improve the efficiency of 3D modeling by applying point cloud data and LOD. In addition, to verify the performance of the simulator, the estimated product of the simulator and the actual product were compared.

색인어 : 무인항공기, 3차원 모델링, 점구름, LAS, 자동경로분석

Key word : UAV, 3D Modeling, Point Cloud, LAS, Buffer

<http://dx.doi.org/10.9728/dcs.2020.21.9.1705>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 06 September 2020; Revised 22 September 2020

Accepted 22 September 2020

*Corresponding Author; Hyo-Jin Lee

Tel: +82-70-7705-8978

E-mail: tallwind@geomex.com

I. 서론

무인항공기(UAV; Unmanned Aerial Vehicle)는 사람이 탑승하지 않고 원격 조종, 자동 비행, 반자동 비행, 자율 비행을 하는 비행체를 의미한다[1]. 특히 공간정보 취득 분야에서는 유인기를 이용한 공간정보 취득에 비해 시간과 비용 면에서 효율이 높다[2]. 따라서 공간정보 분야에 드론을 활용한 연구는 지속적으로 수행되고 있다. 박영진(2014)은 고정익 무인항공기를 이용해서 공간정보 구축의 활용성을 평가하였다[3]. 윤부열(2014)은 구축된 공간정보를 활용하기 위한 방안으로 통합운영 방안을 제시하였으며[4], 김덕인(2014)은 무인항공기를 이용하여 광범위한 지역의 모니터링 적용을 위한 연구를 수행하였다[5]. 임수봉(2015)은 무인항공사진측량을 이용하여 수치지도를 갱신하는 방법을 제시하고 그 정확도를 분석하였으며[2], 정상민(2016)은 무인항공사진측량에서의 농경지 필지 경계설정 정확도를 파악하였다[6].

무인항공기를 이용한 공간정보 관련 기술 중 3차원 모델링 기술은 무인항공기에 장착된 카메라, GNSS(Global Navigation Satellite System), LiDAR(Light Detection Aand Ranging), IMU(Inertial Measurement Unit) 등을 이용하여 대상체의 3차원 형상을 파악하고, 그 형상을 이용하여 3차원의 모델을 제작하는 기술이다[7]. 3차원 모델링에 필요한 시간과 비용을 절감하기 위해서는 최적의 경로가 설계되어야 하고, 모델링 산출물의 품질을 향상시키기 위해서는 사전에 결과물의 품질을 예측할 수 있어야 한다.

이를 위하여, 촬영 수행 이전에 준비 단계에서 촬영 계획을 수립하기 위한 시뮬레이터가 연구되고 있다[8,9]. 특히 김재구(2019)는 UAV 촬영시 발생하는 음영지역을 검출할 수 있는 시뮬레이터를 개발하였다[9]. 선행 연구는 음영지역을 가시화하는 기능을 개발하여 음영지역을 최소화하여 산출물의 품질을 향상시킬 수 있도록 하였지만, 예측되는 산출물을 쉽게 확인할 수 없다는 한계가 있다. 특히, 건물을 대상으로 하는 3D 모델링은 건물의 모양과 형태, 주변 건물들의 배치, 고도 등으로 인해 산출물을 가늠하기 어렵다. 따라서 실제 3D 모델링 작업 절차와 동일한 과정으로 시뮬레이션을 진행하고, 그 산출물을 확인할 수 있는 시뮬레이터가 필요하다.

본 연구에서는 2019년에 진행된 연구[9]의 한계를 극복하기 위하여, 실제 3D 모델링 작업시 사용하는 포인트 클라우드(Point cloud)를 이용한 산출물 예측 및 가시화 기능이 탑재된 시뮬레이터를 개발하고자 하였다.

포인트 클라우드를 생성하기 위하여 Z-buffer와 폴리곤의 공간관계를 사용하였으며, 산출물의 표현을 위하여 LOD를 사용하였다. 또한 시뮬레이션을 통해 얻어진 산출물과, 실제 비행을 통해 얻어진 산출물을 비교함으로써 시뮬레이션의 성능을 가늠하였다.

II. 배경이론 및 알고리즘

사전비행 시뮬레이터를 개발하기 위해 필요한 이론 및 알고리즘을 파악하고 구현하였다. 무인항공기를 이용한 3D 모델링은 포인트 클라우드를 이용하므로, 본 연구에서 개발한 시뮬레이터도 포인트 클라우드를 사용하여 산출물을 예측한다. 표현되는 포인트 클라우드는 수 많은 점 데이터로 이루어져 있기 때문에, 효율적인 자원 사용과, 신속한 시각화를 위하여 LOD(Level Of Detail)를 적용하였다. 또한 무인항공기의 비행 경로를 자동으로 생성하기 위하여 Buffer를 이용한 자동경로분석 알고리즘을 개발하였다.

2-1 포인트 클라우드

1) 포인트 클라우드

포인트 클라우드라 함은 3차원의 x, y, z 위치정보를 포함한 점 데이터의 집합이다. 점 데이터는 형식에 따라 위치정보 뿐만 아니라 RGB 색상이나, 속성값 등을 포함할 수 있으며, LiDAR나 사진측량 등을 통해서 취득할 수 있다[10]. 포인트 클라우드는 이산적인 점의 집합이지만, 보간을 통해 면을 형성하고 이를 이용하여 3D 모델링에 활용할 수 있다[11].

2) 포인트 클라우드의 생성

포인트 클라우드를 생성하는 방법은 다양하지만 본 연구에서는 LiDAR를 이용한 포인트 클라우드의 생성과, 사진측량을 활용한 포인트 클라우드의 생성만 다룬다. 실제 비행에서의 3D 모델링 방식은 사진측량과 LiDAR중 하나 이상을 사용하여 포인트 클라우드를 생성할 수 있다. 그러나 시뮬레이션에서는 실제 환경의 조도, 재질, 음영, 주변의 지형 지물을 모두 구현하기 어렵기 때문에, 사진 측량에 의한 포인트 클라우드 생성 방식을 구현할 수 없다. 따라서 본 연구에서의 클라우드 생성은 LiDAR를 이용하나, 생성된 포인트 클라우드의 형태는 사진측량을 활용하여 생성된 포인트 클라우드의 형태와 다르지 않다고 가정한다.

2-2 LOD (Level Of Detail)

LOD는 Level of Detail, 세밀도라고도 하며, 가까운 객체는 자세히 표현하고, 먼 객체는 세부적인 레벨을 낮추어 개략적으로 표현하는 것이다[12,13]. 본 연구에서의 LOD는 거리에 따른 클라우드 포인트의 묘사 정도를 의미한다. 즉 소축척의 화면에서는 클라우드 포인트의 묘사 정도를 개략적으로 표현하고, 대축척의 화면에서는 클라우드 포인트의 묘사 정도를 세밀하게 표현하는 것이다. 따라서 멀리 떨어져 있는 부분을 묘사하는데 필요한 자원의 낭비를 줄임으로써, 더 빠르고 쾌적한 시각화가 가능하다.

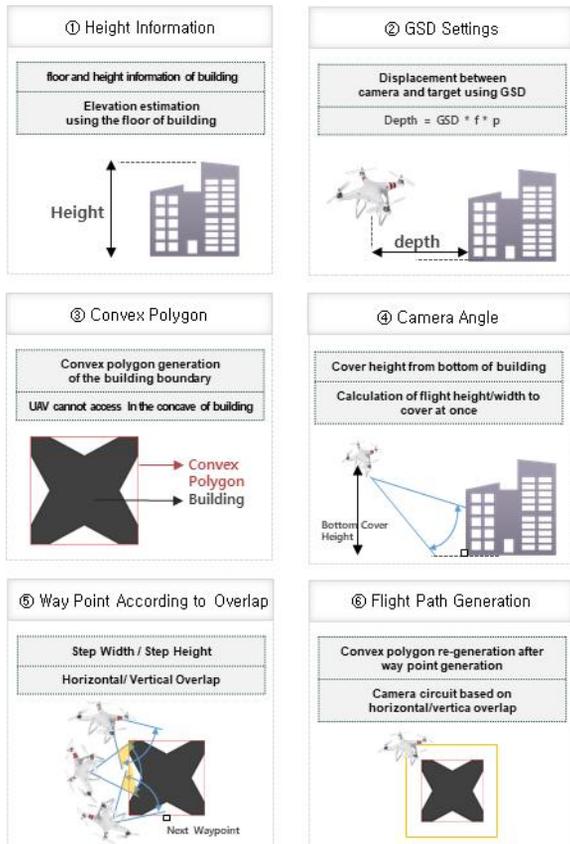


그림 1. 자동경로생성 알고리즘
Fig. 1. Algorithm of flight path algorithm

2-3 자동 경로 생성

본 연구에서 개발한 시뮬레이터는 촬영 대상의 특성을 파악하여 자동으로 경로를 생성한다. 건물을 대상으로 한 자동경로 생성 알고리즘은 그림 1과 같이 6단계로 나누어져 있다.

1) 고도 정보 사용자 입력

자동 경로를 생성하기 위한 가장 첫 단계는 촬영 대상의 높이, 지표의 표고 등을 입력하는 것이다. 건물의 경우는 층 정보를 사용하여 건물의 높이를 추정할 수 있다.

2) GSD 설정

GSD는 Ground Sample Distance의 약자이며, 촬영되는 영상의 픽셀간 실 거리 간격을 의미한다. 카메라의 화각, 화소, 초점 거리와 GSD를 이용하여 카메라와 타겟 간의 거리 H 를 산정한다. 초점거리 f , GSD와 센서당 픽셀 수 p 를 이용하여 H 를 구하는 식은 식 (1)과 같다.

$$H = GSD \cdot f \cdot p \quad (1)$$

3) Convex Polygon 생성

UAV로 촬영하고자 하는 건물의 형태는 매우 다양하다. UAV는 촬영 반경, GSD 등으로 인해 건물로부터 일정 거리 이상 떨어져 있어야 하기 때문에, 오목한 구조를 갖는 건물에 근접하여 비행하기 어렵다. 따라서 UAV가 접근 가능한 범위를 계산하기 위하여 Convex Polygon을 생성한다.

4) 카메라의 화각 정보 반영

건물로 부터의 수평 거리와, Convex Polygon을 생성한 이후에 UAV의 촬영 고도를 결정하기 위하여 카메라 화각 정보를 파악한다. 촬영 대상체의 바닥면으로부터의 높이를 산출하게 되며, 카메라의 화각을 이용하여 하나의 영상으로 획득할 수 있는 영역의 높이와 너비를 계산한다.

5) 중복도를 고려한 촬영지점 선정

카메라의 화각 정보를 토대로 하나의 영상으로부터 획득할 수 있는 영역의 높이와 너비를 계산한 이후에, 중중복도와 횡중복도 설정을 기준으로 촬영 지점(Way Point)를 선정한다. 촬영 지점은 촬영 경로상에 존재한다.

6) 최종 경로 생성

촬영 지점을 생성한 후에 촬영 대상의 Convex Polygon을 재 생성한다. 중중복도와 횡중복도를 반영하여 카메라가 순회하는 경로를 생성한다.

III. 기능 개발

3-1 개발 환경

기능 개발을 위하여 개발 환경을 구축하였다. 본 연구에서 개발한 시뮬레이터는 윈도우 운영체제 기반의 소프트웨어이기 때문에 윈도우 10에서 개발 환경을 구축하고 개발을 수행하였다.

3차원 공간객체를 표현하기 위한 도구로 Open Scene Graph를 사용하고, 포인트 클라우드를 사용하기 위한 도구로 Potree의 알고리즘을 참조하였다.

Open Scene Graph는 비주얼 시뮬레이션, 게임, 가상현실, 과학시각화 및 모델링과 같은 분야의 어플리케이션 개발자가 사용하는 오픈소스 기반의 고성능 3D 툴킷이다. 표준 C++ 및 OpenGL로 작성되었으며, 모든 Windows 플랫폼, OSX, GNU/Linux, IRIX, Solaris, HP-Ux AIX 및 FreeBSD 등의 운영체제에서 작동한다.

본 연구에서 개발된 시뮬레이터는 C++과 Delphi를 이용하여 만들었으며, 공간객체의 표현으로는 OpenGL을 사용하였다.

3-2 Potree

포인트 클라우드를 시뮬레이터에 표현하고 조작하기 위해 Potree를 참조하였다. Potree는 javascript기반으로 작성되어 있기 때문에, 본 연구에서는 동일 알고리즘을 C++로 렌더링하였다.

1) Potree

Potrees는 대형 포인트 클라우드를 표현하고 조작하기 위한 무료 오픈소스 WebGL기반 포인트 클라우드 렌더러이다. Potree 소프트웨어는 GGD Doctoreal College와 Superhumans의 Harvest 4D 및 TU Wien Scanopy 프로젝트에 기반한다. Potree의 파일 포맷은 LOD가 부여된 포인트 클라우드의 형태이며 3차원 공간에서 포인트 클라우드를 LOD 레벨에 맞추어 렌더링하는 역할을 수행한다.

2) Potree Converter

LiDAR 등을 통해 취득된 포인트 클라우드 데이터는 LAS 파일 포맷의 형태를 갖는다. LAS 데이터는 LOD 구현이 되어 있지 않기 때문에, 포인트 클라우드 데이터를 Potree 기반 시뮬레이터에 구현하기 위해서는 LOD 처리를 해 주어야 한다. 이를 위하여 LAS 데이터를 Potree 파일형식으로 변환하기 위한 Potree Converter가 사용된다. Potree Converter는 대규모 포인트 클라우드의 스트리밍 및 실시간 렌더링을 위한 octree LOD 구조를 생성한다.

3-3 시스템 구성

기능 개발을 위하여 시스템을 구성하였다. 시스템은 크게 4가지 부분으로 이루어져 있다. 시뮬레이터에 필요한 데이터를 저장하고 있는 통합 DB 서버, UAV와 카메라에 대한 정보를 저장하고 있는 UAV 라이브러리, 그리고 시뮬레이션을 수행한 GIS 엔진으로 구성된다.

통합 DB 서버는 2D/3D 지형공간정보, 촬영대상에 대한 정보를 저장하고 있어 지형지물과 촬영대상의 특성을 고려한 시뮬레이션이 가능하도록 한다. 또한 분석된 최적경로 정보를 저장하고 입출력이 가능하도록 한다. UAV 라이브러리는 UAV에 관한 정보를 포함한다.

시뮬레이션 뷰어는 시뮬레이션에 이용된 공간객체, 산출된 경로, 음영지역 등을 표현한다. 음영지역 표출 모듈에서는 z-버퍼를 통해 생성된 포인트 클라우드와 카메라 주점을 표출한다. 이 때 음영지역을 파악하는 알고리즘은 선행연구[9]와 같다.

GIS 엔진은 시뮬레이터를 구동하는데 필요한 연산을 수행한다. 2차원 벡터, 래스터 데이터를 입출력하기도 하고, 좌표계 설정, 지도와 레이어 관리 등의 역할을 수행한다. GIS 엔진 중에서 시뮬레이션 분석 모듈은 UAV와 카메라 옵션을 통해 자동으로 음영지역을 파악하고, 최적경로를 산출하는 역할을 수행한다.

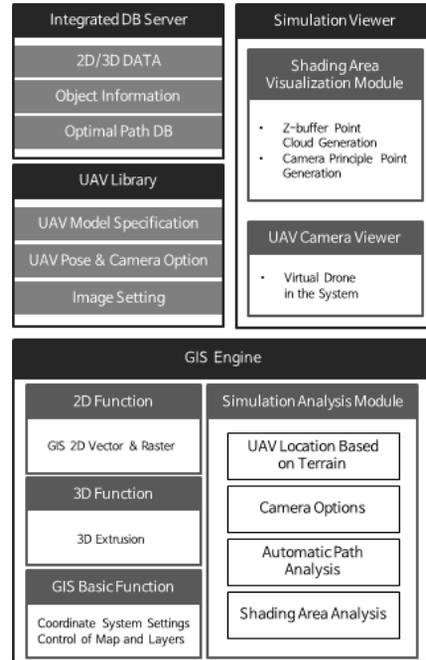


그림 2. 시뮬레이터 구성
Fig. 2. Configuration of the simulator

IV. 기능 구현 및 검증

시뮬레이터의 개발 성능을 확인하기 위하여, 기능 작동을 확인하고 실제 비행으로 취득된 3D 모델과 비교하였다. 촬영 대상 지역은 한국지역난방공사 고양지사를 선정하였다.

4-1 자동 경로 생성

본 연구에서 개발한 시뮬레이터가 건물의 모양 및 형태를 기준으로 실제 촬영 환경을 고려한 경로를 생성함을 확인하였다. 시뮬레이터는 실제 건물의 형상, GSD, 대상과의 이격거리, 대상 높이, 최저촬영 상대고도, 횡중복률, 종중복률, 카메라 틸트 등의 촬영 정보를 활용하여 3차원의 경로를 생성한다.

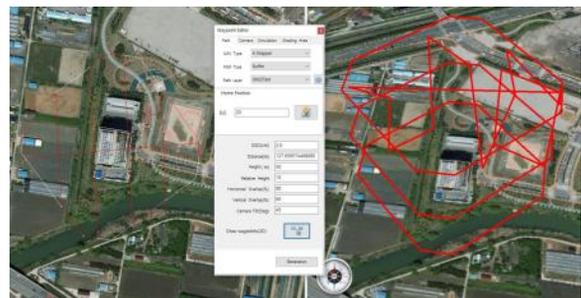


그림 3. 실제 촬영 환경을 고려한 경로 생성
Fig. 3. Automatic flying path generation considering real photo environment

건물의 벽면 뿐만 아니라 건물의 높이까지도 모두 고려하여 3차원의 경로를 생성하기 때문에 타 시뮬레이터와의 차별성을 갖는다. 그림 3은 시뮬레이터에서 경로를 생성하기 위한 창, 2차원의 경로 표현, 3차원의 경로를 표현한 것을 나타낸 것이다.

4-2 포인트 클라우드 시뮬레이션

그림 4는 시뮬레이션을 통해 경로를 따라 생성된 포인트 클라우드 데이터를 나타낸 것이다. 카메라의 화소, 화각 등에 따라 생성되는 포인트 클라우드를 3차원 공간에 표현한다.

시뮬레이터 상에 표현되는 포인트 클라우드 점 하나는 시뮬레이터에 점 하나로 표현된다. 시뮬레이터상에 표현된 점으로부터 실제 취득될 포인트 클라우드 데이터의 분포를 확인할 수 있다.

4-3 실제 결과물과 비교 분석

그림 5와 표 1은 시뮬레이션을 사용하지 않은 촬영계획과, 시뮬레이션을 사용한 촬영계획으로부터 얻어지는 산출물을 비교한 것이다. 표 1에서 보는 바와 같이, 시뮬레이션을 통해 촬영 계획을 수립하고, 계획에 따라 촬영을 수행할 경우 시뮬레이션을 적용하지 않는 방법에 비해 촬영 매수가 1/3으로 줄어든 것을 확인할 수 있다.

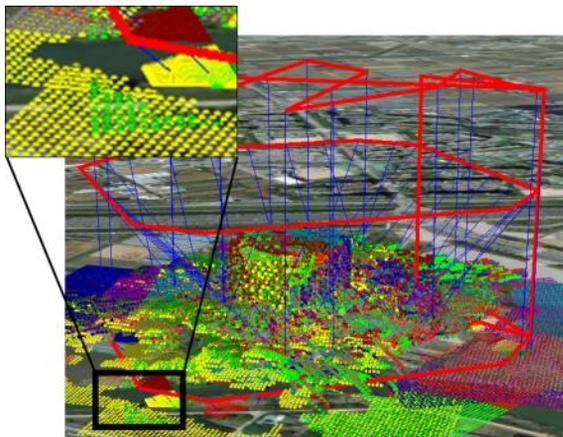


그림 4. 시뮬레이터 상에 표현되는 클라우드 포인트
 Fig. 4. Cloud point created by simulator

표 1. 시뮬레이션 분석 반영 여부에 따른 산출물 비교

Table 1. Product Comparing whether using simulation or not

	Without Simulator	Using Simulator
Date	2018.07.13.	2020.06.02.
Sheets	282	80
Duration	10 minutes	10 minuites



(a)



(b)

그림 5. UAV 3D 모델의 표출. (a) 시뮬레이션을 적용하지 않은 촬영계획으로부터 얻어진 산출물. (b) 시뮬레이션을 적용한 촬영계획으로부터 얻어진 산출물.

Fig. 5. Visualization of UAV 3D model. (a) A product from flight plan without simulation. (b) A product from flight plan using simulation.

반면 그림 5에서 보는 바와 같이, 시뮬레이션을 적용한 산출물은 촬영 매수가 더 적음에도 불구하고 품질이 더 높은 것으로 확인되었다. 이를 통하여 시뮬레이터를 사용할 경우, 적은 사진 촬영으로도 더 높은 품질의 산출물을 얻을 수 있다는 것을 확인할 수 있으며, 이는 UAV를 이용한 3차원 모델링의 효율을 향상시키는 것으로 볼 수 있다.

V. 결 론

본 연구에서는 무인항공기를 이용한 3D 모델링 작업을 효율적으로 수행하기 위하여 사전에 자동으로 경로를 생성하고, 그 경로에 따른 산출물을 확인할 수 있는 시뮬레이터를 개발하였다.

시뮬레이터를 구현하기 위하여, 대상체의 모양과 형상에 따라 자동으로 경로를 생성하고, 그 경로에 따라 포인트 클라우드를 시뮬레이터상에서 생성하고, 포인트 클라우드에 LOD를 적

용하여 표출하는 기능을 구현하였다. 또한 실제 비행을 통하여 취득된 3D 모델을 표출함으로써 계획된 산출물과 실제 산출물을 비교할 수 있다.

본 연구는 UAV를 이용한 사진측량시 음영지역 검출을 위한 시뮬레이터[9]의 한계점을 극복하여, 사전에 산출물을 확인하여 효율을 증대시키는데 의의가 있다.

그러나, 본 연구에서 개발한 시뮬레이터는 MAVLink 프로토콜이 적용되는 UAV에 한해서만 시뮬레이션이 가능하다는 한계가 있다. 향후 연구는 이러한 한계를 극복하여, MAVLink 프로토콜을 지원하지 않는 DJI 등의 다양한 기체에 적용 가능한 시뮬레이터를 개발하고자 한다.

감사의 글

본 연구는 2020년도 국토교통부 실감형 3D 도시모델 제작 및 제공 기술 개발사업의 연구비지원 (20DRMS-B147287-02)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] J. H. Park, UAV market opening prospection due to removal the embargo of drone in 2015, National IT Industry Promotion Agency, 2015.
- [2] S. B. Lim, C. W. Seo, H. C. Yun, "Digital Map Updates with UAV Photogrammetric Methods," *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol. 33, No. 5, pp. 397-405, Oct 2015.
- [3] Y. J. Park, K. Y. Jung, "Availability Evaluation for Generation of Geospatial Information using Fixed Wing UAV," *Journal of the Korean Society for Geospatial Information System*, Vol. 22, No. 4, pp. 159-164, Dec 2014.
- [4] B. Y. Yun, J. O. Lee, "A Study on Application of the UAV in Korea for Integrated Operation with Spatial Information," *Journal of the Korean Society for Geospatial Information System*, Vol.22, No. 2, pp. 3-9, Mar 2014.
- [5] D. I. Kim, Y. S. Song, G. H. Kim, C. W. Kim, "A Study on the Application of UAV for Korean Land Monitoring," *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol. 32, No. 1, pp. 29-38, Feb 2014.
- [6] S. M. Sung, J. O. Lee, "Accuracy of Parcel Boundary Demarcation in Agricultural Area Using UAV-Photogrammetry," *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol. 34, No. 1, pp. 53-62, Feb 2016.
- [7] F. Remondino, L. Barazzetti, F. Nex, M. Scaioni, D. Sarazzi, "UAV PHOTOGRAMMETRY FOR MAPPING AND 3D MODELING -CURRENT STATUS AND FUTURE PERSPECTIVES -," in *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XXXVIII-1/C22, 2011 ISPRS Zurich, Switzerland, pp. 14-16. Sep 2011.
- [8] H. I. Moud, "A Flight Simulator for Unmanned Aerial Vehicle Flights Over Construction Job Sites," in *Proceedings of the 35th CIB W78 2018 Conference: IT in Design, Construction, and Management*, Chicago, pp. 609-616, 2018
- [9] J. K. Kim, J. S. Kim, K. M. Jeon, H. J. Lee, "Development of Simulator for Shading Area Detecting in UAV Photogrammetry," *Journal of Digital Contents Society*, Vol. 20, No. 10, pp. 1917-1923, Oct 2019
- [10] M. Ahmed, A. Guilemet, A. Shahi, "Comparison of Point-Cloud Acquisition from Laser-Scanning and Photogrammetry Based on Field Experimentation", *Conference: 3rd International/9th Construction Specialty Conference*At: Ottawa, Ontario. Jun 2011
- [11] S. Rushinkiewicz, M. Levoy, "QSplat: a multiresolution point rendering system for large meshes," *SIGGRAPH '00: Proceedings of the 27th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, pp. 343-352, Jul 2000.
- [12] R. Cura, J. Perret, N. Paparoditis, "Implicit LOD for Processing, Visualisation and Classification in Point Cloud Servers," Feb. 2016, 10.13140/RG.2.1.1457.6400. [Online] https://www.researchgate.net/publication/296702210_Implicit_LOD_for_Processing_Visualisation_and_Classification_in_Point_Cloud_Servers?channel=doi&linkId=56d971ad08aebabdb40f710f&showFulltext=true
- [13] Y. D. Jung, C. S. Oh, J. N. Park, J. W. Go, G. J. Jo, S. K. Park, S. B. Lim, C. K. Kang, *Surveying Geo-Spatial Information Glossography*, Yemoonsa, p. 151. 2012,



김재구(Jae-Koo Kim)

1996년 : 강원대학교 행정학과 (학사)

2009년~현 재: ㈜지오맥스소프트 지리환경기술연구소
※ 관심분야 : 지리정보시스템(GIS), 무인항공기(UAV), 원격탐사(RS) 등



김지성(Ji-Sung Kim)

2015년 : 성균관대학교 대학원 (공학석사)

2015년~2017년: 성균관대학교 대학원 박사과정
2017년~2018년: ㈜지오맥스소프트 지리환경기술연구소
2018년~현 재: ㈜다누시스 혁신기술연구소
※ 관심분야 : 지리정보시스템(GIS), 위성항법시스템(GNSS), 원격탐사(RS) 등



전경미(Kyeong-Mi Jeon)

2006년 : 강원대학교 지질지구물리학과 (이학학사)

2006년~2008년: ㈜티지더블유
2008년~2008년: ㈜아인젠트
2008년~2012년: ㈜알앤지월드
2012년~현 재: ㈜지오맥스소프트 지리환경기술연구소
※ 관심분야 : 지리정보시스템(GIS), 무인항공기(UAV), 원격탐사(RS) 등



이호진(Hyo-Jin Lee)

2006년 : 히로시마 대학원 (석사)
2011년 : 히로시마 대학원 (박사)

2011년~2013년: 히로시마대학 Assistant Professor
2013년~2014년: 성균관대학교 건설환경연구소 연구원
2015년~현 재: ㈜지오맥스소프트 지리환경기술연구소 소장
※ 관심분야 : 지리정보시스템(GIS), 증강현실(AR), 위치기반서비스(LBS) 등