

UAV 기반 건설현장 모니터링 및 분석시스템의 설계 및 구현

윤준희

한국건설기술연구원 미래스마트건설연구본부

Design and Implementation of UAV Based Construction Site Monitoring and Analysis System

Junhee Youn

Dept. of Future and Smart Constrction Research, KICT

요 약 UAV의 기술발전과 함께 건설현장의 분석과 모니터링에 UAV를 활용하는 사례가 늘어나고 있다. 대표적인 UAV 영상 분석 산출물은 포인트클라우드와 정사영상이며 건설현장의 토공량 계산에 활용되고 있다. 포인트클라우드와 정사 영상의 제작 기능은 많은 상용소프트웨어에서 제공하고 있으나, 다른 건설공정에 UAV를 활용하기 위해서는 또 다른 소프트웨어를 활용할 수밖에 없다. 본 논문에서는 정사영상 및 포인트클라우드 제작 기능 외에, 공사 진척 가시화, DEM(Digital Elevation Model) 제작 등의 분석 모듈이 통합된 UAV(Unmanned Aerial Vehicle)기반 건설현장 모니터링 및 분석시스템의 설계 및 구현을 다룬다. 첫째, 전체적인 시스템의 개념을 제안한다. 둘째, 총 다섯 개 모니터링 및 분석모듈의 응용아키텍처 및 시스템 구조를 설계한다. 다섯 개의 분석 모듈은 프로젝트 관리모듈, 공사진척 가시화 모듈, 토공량 산출모듈, 비행계획 모듈, 그리고 DEM 제작모듈이다. 마지막으로 시스템의 구현과 현장적용 결과를 보여 준다. 본 논문에서 개발된 시스템은 프로토타입으로써, 추후 다양한 활용목적에 맞는 분석기능 추가에 대한 연구가 필요할 것이다.

Abstract With the continued technical development of UAVs, the UAV application in construction site analysis and monitoring is also increasing. Some of the representative UAV image analysis products are point cloud and orthophoto. Usually, these products are applied to earthwork calculation in construction sites. Moreover, the point cloud and orthophoto generation functions are provided by many commercial softwares. However, if we apply UAV to construction processes other than earth work calculation, the above functions are not sufficient and we need additional software. This situation is the case in this paper, which deals with the design and implementation of UAV based construction site monitoring and analysis system. This system integrates orthophoto and point cloud generation functions with the construction process visualization, DEM (Digital Elevation Model) generation functions, etc. First, we propose the system concept related to the idea. Second, the application architecture and system structure of five analysis modules are designed. The five analysis modules include project management, construction process visualization, flight planning, and DEM generation modules. Finally, we present the system implementation results. The implemented system in this paper is a prototype, and research related to adding more analysis modules is essential as a further study.

Keywords : UAV, Construction Site Analysis, System Design, System Implementation, Application Architecture

본 논문은 한국건설기술연구원 주요사업 "미래 건설산업 견인 및 신시장 창출을 위한 스마트 건설기술 연구" 과제(20210637-001)와 "무인비행체 기반 건설현장 모니터링 플랫폼 기술의 해외진출 지원"과제(20190081-001)를 통해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

*Corresponding Author : Junhee Youn(KICT)

email: younj@kict.re.kr

Received October 28, 2021

Accepted December 6, 2021

Revised November 17, 2021

Published December 31, 2021

1. 서론

UAV(Unmanned Aerial Vehicle)기술의 발전과 함께 건설현장에 UAV를 활용하는 사례가 늘어나고 있다. Allied Market Research에 따르면 세계 건설드론의 시장 규모는 2019년 48억 달러에서 2027년 120억 달러에 이를 것으로 추정되고 있다[1]. 건설 공종별로 살펴보면 현황조사, 지장물 조사, 기성측량, 공정보고, 시공검토 등에 드론이 활용 가능[2] 하며, 세부적으로는 선행결정, 토공량 산출, 비탈면 시공관리, 시공측량, 시설물 점검, 크랙탐지, 도로, 비탈면 유실 등에 활용이 가능하다[3]. 특히 인력의 접근이 어려운 현장이나 신속한 관리 및 모니터링이 필요한 소규모 현장에서 많이 활용되고 있다.

건설현장의 분석에 UAV를 활용하기 위한 연구는 주로 정사영상과 포인트클라우드(point cloud) 제작 기술이 활용되어 왔다. UAV에서 취득되는 데이터는 EO(Electro Optical), Lidar, Hyperspectral 센서 등에서 취득되는 다양한 센싱 데이터와 데이터 취득 시간과 동기화(time-synchronized)된 센서의 위치와 자세 등이 있다. 이러한 정보를 이용하여 제작할 수 있는 대표적 산출물로는 사진측량 기법을 활용한 포인트클라우드, 정사영상 등이 있다. 포인트클라우드는 직접적으로 DSM(Digital Surface Model)으로 활용되며 다양한 기법을 활용해 DEM(Digital Elevation Model)을 추출하는데 이용된다. 건설현장에 UAV를 활용한 연구 사례로는 UAV에서 센싱된 데이터를 기반으로 만들어진 DSM과 DEM을 이용하여 토공량을 계산하는 연구[4, 5]가 시작된 이후, 이동형 스캐너 데이터와 융합하여 건설폐기물의 물량을 산출[6]하거나 딥러닝 기법으로 구별한 건설자재의 물량을 산출[7]하는 연구, 또는 비탈면 발상지점을 조사하고 이 데이터를 바탕으로 DEM을 구성하는 연구[8] 등이 진행되어 왔다.

UAV 센서데이터를 분석하는 상용 소프트웨어에는 건설현장에 특화된 기능이 부족하며 건설현장 활용을 위해서는 추가적인 소프트웨어가 필요하다. UAV의 EO센서 데이터를 분석하여 정사영상 및 포인트클라우드를 제작하는 기술은 다양한 상용 소프트웨어에 탑재되어 있다. 대표적인 해외 소프트웨어로는 Pix4Dmapper(Pix4D 사), Photoscan(Agisoft 사), UAS Master(Trimble) 등이 있다. 그러나 이러한 소프트웨어는 건설현장에 특화된 분석 솔루션이라고 볼 수 없으며 건설현장에서 취득되는 데이터를 분석하기 위해서는 또 다른 소프트웨어 또는 모듈이 필요하다. 이러한 시도는 UAV 취득 영상의 내

/외부 표정요소 계산과 함께 포인트클라우드 및 정사영상 제작, 그리고 토공량 산출모듈을 융합한 솔루션 개발[1]등이 있었다. 본 논문에서는 정사영상과 포인트 클라우드 제작 기능 외의 모니터링 및 분석기능(공사진척 가시화, 토공량 산출, DEM제작, 비행계획 등)이 통합된 UAV 기반 건설현장 모니터링 및 분석시스템의 설계와 구현을 다룬다. UAV기반 건설현장 모니터링 및 분석 시스템은 마이크로소프트 사의 MFC(Microsoft Foundation Class) 라이브러리를 이용하여 구현된다. 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 2장에서는 UAV기반 건설현장 모니터링 시스템의 개념을 설명하고 3장에서는 시스템 중 다섯 개 모듈에 대한 응용아키텍처 및 시스템의 구조 설계를 다룬다. 설계에 따라 구현된 시스템은 4장에 나타나 있으며 마지막으로 결론을 기술한다. 기존 연구와 다른 본 논문의 차별성은 첫째, 시계열 정사영상을 지오투편상하여 중첩함으로써 현장변화를 더욱 직관적으로 볼 수 있게 하였으며, 둘째, 토량환산계수와 할증요소가 적용된 토공량을 계산함으로써 실 업무에의 적용성을 높였으며, 셋째, 저밀도 포인트 클라우드를 통해 지형고도를 파악한 이후 정밀측량을 수행함으로써 적정 고도의 자의적 판단으로 인한 사고위험성을 줄였으며, 넷째, 정사지역에 대해 강인한 DEM 제작알고리즘을 활용한 것이다.

2. 시스템 개념

UAV 기반 건설현장 모니터링 및 분석시스템은 총 일곱 개의 모듈로 이루어진다. 입력 값은 UAV의 EO 센서를 통해 취득된 영상 및 GPS(Global Positioning System), IMU(Inertial Measurement Unit) 등에서 취득된 각 영상의 위치 및 자세 값이다. 시스템에서는 우선 프로젝트 관리 모듈을 통해 새로운 프로젝트를 생성/입력/저장함으로써 각 업무를 관리하게 된다. 입력된 데이터는 사진측량 기법을 활용하여 포인트클라우드를 제작하고, 이를 이용하여 정사영상과 DSM을 제작한다. 포인트클라우드 제작 모듈에서 나온 데이터는 비행계획 모듈로 전달되어 저밀도 포인트클라우드로 변환되며 저밀도 포인트클라우드의 각 구역별 최고 높이를 계산함으로써 비행계획 수립 시 고도 값을 확정하는 참고 데이터로 활용하게 된다. 정사영상과 DSM 제작모듈의 성과물은 토공량 산출모듈로 전달되어 관심 대상지역의 토공량을 토량 환산계수와 할증요소를 적용하여 계산한다. 또한 정사영상과 DSM은 공사 진척 가시화 모듈로 전달되어 도면

CAD데이터를 중첩 하거나 시계열 정사영상을 비교함으로써 공사 진척 상황을 모니터링 할 수 있도록 설계한다. 정사영상과 포인트클라우드 데이터는 다시 DEM 제작에 활용되며 3.5장에서 제안한 알고리즘이 활용된다. 시스템의 개념도는 Fig. 1에 나타나 있으며 총 여섯 개의 모듈 중 포인트클라우드 제작 및 정사영상/DSM 제작 모듈은 KICT(2018)의 시스템 설계 결과[9]를 참고하면 되고, 본 논문에서 따로 기술하지 않는다. 다음 장에서는 이 두 모듈을 제외한 다섯 개 모듈에 대한 응용아키텍처 및 시스템 설계를 다룬다.

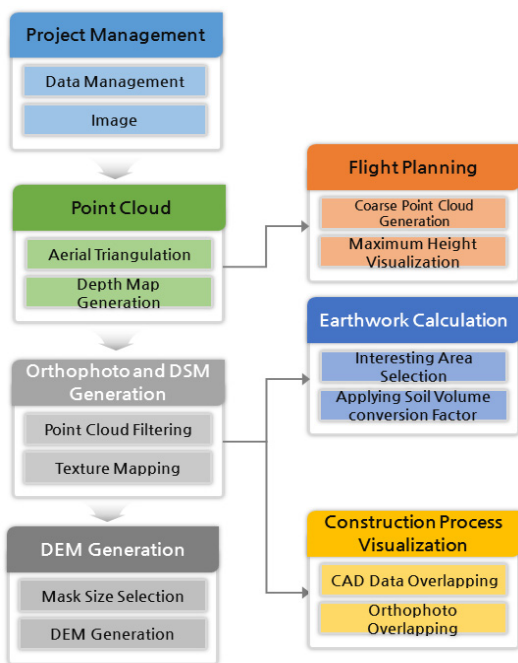


Fig. 1. The concept diagram of UAV based D texture mapped building-Daeshi

3. 응용아키텍처 및 시스템 구조설계

3.1 프로젝트 관리모듈

프로젝트 관리모듈에서는 새로운 프로젝트를 생성하고 그 하위에 새로운 작업을 생성하고 이러한 작업과 프로젝트 들을 열고 저장하고 다른 이름으로 저장하는 역할을 수행한다. 프로젝트 관리모듈의 응용 아키텍처는 다섯 개의 상위 (Level 1) 기능으로 설계하며 다른 모듈과 다르게 하위(Level 2) 기능은 존재하지 않는다. 첫째 상위 기능인 새 프로젝트는 사용자가 새로운 프로젝트를

생성 및 설정할 수 있는 화면을 가시화하고 프로젝트를 생성하는 기능이다. 둘째 상위기능인 새 작업 기능은 프로젝트 내에 새 작업을 생성하는 기능을 제공하며 프로젝트 하위에 작업을 구성한다. 이때의 입력 내용은 작업 이름, 촬영영상, 외부표정요소, 내부표정요소, 좌표계 등이다. 나머지 상위기능으로는 프로젝트 오픈, 저장, 그리고 다른 이름으로 저장 기능 등이 있다. 프로젝트 관리모듈의 응용기능 기술서는 Table 1과 같다.

Table 1. Description of application function for project management module

Level 1	Description
New project	Visualizing and generating new project
New work	Generating new work folder in project
Project save	Saving revised contents in the project management file
Project open	Reading the data in the saved project file
Project save as	Saving the opened project as different project management file

3.2 공사 진척 가시화 모듈

공사 진척 가시화 모듈에서는 공사가 진행되면서 계획했던 대로 차질 없이 진행되는지, 또는 과거와 비교해서 얼마나 진척되어 있는지를 가시화하기 위한 목적의 모듈이다. UAV를 통해 얻은 데이터로 만들어진 정사영상과 계획되었던 도면과의 비교를 통해 도로의 선형 등 현재의 시공이 계획대로 진척되고 있는지를 파악하며 과거와 현재의 정사영상을 비교하여 어떻게 변화되고 있는지를 직관적으로 파악할 수 있다.

공사 진척 가시화 모듈의 응용 아키텍처는 네 개의 상위기능과 총 11개의 하위 기능으로 설계한다. 첫째 상위 기능인 CAD 도면 로드(load)는 두 개의 하위기능을 갖는다. 그 하위기능은 CAD파일 로드와 레이어 조작 기능으로 구성된다. CAD파일에는 공사 중인 지형과의 비교를 통한 공사 진척 현황을 파악하는데 중요하지 않은 다양한 텍스트 들이 존재한다. 따라서 이에 대한 레이어 조작 기능이 필요하다. 둘째 상위기능인 정사영상과 CAD 비교는 CAD 도면선택, 정사영상 선택, CAD 도면과 정사영상의 매칭 등의 세 개 하위기능으로 구성된다. CAD 도면과 정사영상은 세 번째 하위기능을 통해 지오레퍼런싱(georeferencing) 되며 두 파일을 중첩 하면서 현재의 상황(정사영상)과 계획(CAD도면)을 비교한다. 셋째 상위기능인 화면조작 은 매칭된 CAD/정사영상을 확대/축소하거나 다른 관심점으로 이동하는 두 개의 하위기능

을 갖도록 설계된다.

공사가 진척되는 변화상황을 파악하기 위해서는 과거의 상태와 현재의 상태를 비교하여야 할 필요도 있을 수 있다. 넷째 상위기능인 정사영상 비교는 과거와 현재의 정사영상을 비교함으로써 변화된 상황을 직관적으로 알 수 있게 한다. 한 화면 내에서 두 개의 정사영상을 평행적으로 비교하면 자세한(detail) 변화를 알기 어려울 수 있다. 따라서 본 모듈에서는 두 개의 정사영상을 지오레퍼런싱 하여 중첩 시킨 후, 과거 사진과 현재 사진의 노출 비율을 조정함으로써 세밀한 비교가 가능하도록 설계한다. 또한 남북 방향으로 비교할지 혹은 동서 방향으로 비교할지도 결정할 수 있도록 구성한다. 정사영상 비교의 상위기능은 네 개의 하위기능으로 구성되며 각각, 정사영상 지오레퍼런싱, 비교 비율 조정, 비교 방향 조정, 그리고 정사영상 선택 해제 기능으로 설계된다. 공사 진척 가치화 모듈의 응용기능 기술서는 Table 2와 같다.

Table 2. Description of application function for construction process visualization module

Level 1	Level 2	Description
CAD load	CAD file load	Loading the CAD file in file explore
	Layer manipulation	Dividing and manipulate the CAD layer and data.
Comparing orthophoto and CAD	CAD select	Selecting the CAD file in the project file lists
	Orthophoto select	Selecting the orthophoto file in the project file lists
	CAD orthophoto matching	Georeferencing and overlapping the CAD/orthophoto file
Screen manipulation	Enlarging and reducing	Enlarging/reducing and displaying the matched orthophoto and CAD
	Moving	Moving the matched orthophoto and CAD
Orthophoto comparison	Orthophoto georeferencing	Locating to two orthophotos with coordinates
	Comparison ratio adjust	Adjusting two orthophotos comparison ratio
	Comparison direction adjust	Adjusting two orthophotos comparison direction
	Deselection	Deselect the orthophoto in the layer view

3.3 토공량 산출모듈

토공량 산출모듈은 UAV를 통해 취득된 영상데이터를 활용해 DSM을 만들고 원하는 영역의 토공량(절토 또는 성토가 필요한 부피)을 계산하는 것을 목적으로 한다. 이

러한 목적을 달성하기 위해서는 원하는 영역의 삼차원 좌표(이차원 영역 및 계획 지반고)를 도출하고 원지반과 절토지반의 차이를 고려한 토량환산계수 등을 입력하여 계산하여야 한다.

토공량 산출모듈은 총 다섯 개의 상위기능과 다섯 개의 하위기능으로 설계한다. 첫째 상위기능인 영역 편집은 영역 선택과 좌표 표출의 두 개 하위기능으로 구성된다. 영역 선택에서는 마우스를 이용하여 폴리곤을 구성하는 기능을 의미하며 좌표 표출 기능은 토공량 산출을 위한 폴리곤을 구성하는 각 점의 좌표를 표출한다. 토공량은 삼차원 볼륨으로 계산되기 때문에 기준면이 필요하다. 둘째 상위기능인 기준 설정에서는 기준면의 높이를 입력하도록 설계된다. 셋째 상위기능인 토량환산계수 입력에서는 세 개의 하위기능으로 구성된다. 지반이 절토되었을 경우, 원 지반과의 부피가 차이가 나게 마련이다. 부피 차이를 만들어 내는 주요 원인은 토질, 토양상태, 토량 변화율 등이 있다. 토량환산계수 입력 기능에서는 해당 값을 입력하는 하위기능을 갖도록 구성한다. 최종적인 토공량을 계산하기 위해서는 할증요소의 적용 또한 필요하다. 따라서 넷째 상위기능으로는 할증요소 적용기능을 추가하였으며 다섯째 상위기능인 체적 계산 기능에서 토공량을 계산하도록 배치한다. 토공량 산출 모듈의 응용기능 기술서는 Table 3과 같다.

Table 3. Description of application function for earthwork volume calculation module

Level 1	Level 2	Description
Area edition	Area selection	Selecting the 2D area of calculation target
	Coordinate presentation	Presenting the coordinates of selected area
Base selection		Selecting the base level
Soil conversion factor input	Earthiness selection	Selecting the earthiness of target area
	Soil condition selection	Selecting the soil condition of target area
	Percent swell and shrinkage selection	Selecting the percent swell and shrinkage of target area
Amount surcharge rate apply		Applying the amount surcharge rate of target area
Volume calculation		Calculating the earthwork volume

3.4 비행계획 모듈

UAV를 이용한 건설현장의 측량 시 UAV 충돌에 의한 사고를 방지하기 위해서는 안전한 비행계획을 세워야 한다. 비행계획 모듈은 UAV 자율비행(auto-flight)을 위한 최적의 비행고도를 선정하는 것을 목표로 한다. 정사영상을 만들기 위한 포인트클라우드와 달리 영역내의 비행가능 최저 높이를 알기 위한 목적이므로 저밀도 포인트클라우드를 생성하여 최적고도를 계산하도록 한다.

비행계획 모듈은 총 세 개의 상위기능과 다섯 개의 하위기능으로 구성된다. 첫째 상위기능인 저밀도 포인트클라우드 생성 기능은 그 하위 기능으로 번들조절과 저밀도 데이터 추출 기능으로 설계된다. 둘째 상위기능인 저밀도 포인트클라우드 표출은 전 상위기능에서 계산한 포인트클라우드를 가시화 한다. 셋째 상위기능인 최적고도 계산은 구역 분할, 고도 계산, 그리고 고도 표출의 세 하위 기능으로 설계한다. UAV측량 시 부분적인 비행을 재수행할 수 도 있으므로 구역 분할 기능을 배치하였으며 계산된 고도가 적합한지 확인하기 위해 고도 표출 기능도 추가하였다. 비행계획 모듈의 응용기능 기술서는 Table 4와 같다.

Table 4. Description of application function for flight plan module

Level 1	Level 2	Description
Coarse point cloud generation	Bundle adjustment	Applying the bundle adjustment
	Coarse data derivation	Deriving the coarse data
Coarse point cloud presentation		Presenting the coarse point cloud data
Optimal altitude calculation	Zone division	Dividing the zone
	Altitude calculation	Calculating the maximum height for each zone
	Altitude presentation	Presenting the maximum height for each zone

3.5 DEM 제작모듈

DEM제작 모듈에서는 포인트클라우드로 만들어진 DSM으로부터 수목, 사람, 자동차, 건물 등이 제거된 수치표고모형(DEM)을 제작하는 것을 목표로 한다. DSM으로부터 DEM을 추출하는 방식은 일반적으로 수목의 높이를 일정정도 제하거나, 수동으로 사람, 자동차, 건물 등

에 해당하는 객체를 제거하는 방식으로 이루어진다. 그러나 이러한 방식은 도심지역이나 경사지에서는 그 정확도가 떨어진다[9]. 따라서 본 논문에서는 Youn(2006)이 처음 제안[10]하고 Youn and Kim(2018)이 발전[11]시킨 모폴로지컬 필터링의 연속 적용을 응용하여 마스크 내의 최소-최대필터링의 연속적 적용방법을 활용하여 DEM을 제작한다.

DEM제작 모듈은 한 개의 상위기능과 세 개의 하위기능으로 설계된다. 하위 기능으로는 마스크 사이즈의 선택, DEM 계산, 그리고 DEM 표출로 구성된다. DEM제작 모듈의 응용기능 기술서는 Table 5와 같다.

Table 5. Description of application function for DEM generation module

Level 1	Level 2	Description
DEM Generation	Mask size selection	Selecting the mask size for filtering
	DEM calculation	Calculating DEM with consecutive maximum minimum filtering
	DEM presentation	Presenting the DEM

4. 시스템 구현 및 현장적용 결과

개발된 시스템의 현장 적용은 두 곳의 사이트를 대상으로 이루어졌다. 첫째 사이트는 D사에서 시공한 경주 일반산업단지 조성공사 현장이며, 두 번째 사이트는 D사에서 시공한 김해 에코델타시티 2단계 1공구 조성공사 현장이다. 현장에서 활용된 UAV는 DJI사의 Phantom 4 모델이다. 경주 현장에서는 286장의 드론영상, 김해 현장에서는 175장의 드론 영상을 취득하였으며 각각 10개, 7개의 GCP를 측정하여 데이터 처리에 활용하였다. 현장에서 취득한 평면도, 단면도를 이용하여 시스템을 적용하여 보았다.

공사진척 가시화 모듈의 시스템 구현 결과는 Fig. 2와 Fig. 3에 나타나 있다. Fig 2는 경주 현장데이터를 활용하여 현장 평면도 CAD파일과 정사영상의 지오레퍼런싱 및 중첩 결과를 보여주고 있다. 이러한 기능을 통하여 도면 기반으로 계획된 공사가 현재 어떠한 상태에 있는지를 육안으로 파악할 수 있다. Fig. 3은 3.2장에서 기술된 과거와 현재의 정사영상 비교기능의 사례를 나타내고 있다. Fig. 3 중간에 있는 노란 실선이 화면 좌에서 우로(서

쪽에서 동쪽)으로 이동하면서 과거의 정사영상이 현재의 정사영상으로 단계적으로 노출되도록 구현하였다. 즉, 화면 위에서 아래를 가로지르는 실선을 중심으로 좌측은 현재형상, 우측은 과거영상이며 실선이 움직이면서 점차 현재의 영상으로 바뀌도록 함으로써 공사진척 상황을 인식할 수 있도록 하였다.

토공량 산출모듈의 시스템 구현 결과는 Fig. 4에 나타나 있다. Fig. 4 우측에 가려진 화면에 있는 폴리곤 형태의 실선은 토공량 계산 대상지역을 나타내고 있으며 전장에서는 영역 선택이라 표현하였다. 볼륨설정 팝업창에서는 토량환산계수(토질, 토양상태, 토량변화율 등)와 기준면을 설정하는 다이얼로그를 나타내고 있다. 기준면은 평면일 경우와 경사면일 경우를 구별할 수 있도록 하였다. 포인트클라우드의 점 한 개는 그 점과 기준면과의 고도차이 만큼의 높이를 갖고 해당 점과 인접 점간 거리의 반에 해당하는 수평 길이를 갖는 직육면체를 형성한다고 가정하여 그 직육면체 부피들의 합을 계산함으로써 토공량을 구하였다. Fig. 4 좌측의 계산버튼을 클릭함으로써 토공량을 계산할 수 있도록 구현하였다.

비행계획 모듈의 시스템 구현 결과는 Fig. 5에 나타나 있다. 고속으로 생성된 저밀도 포인트 클라우드를 바탕으로 우선 영역을 나눈다. Fig. 5에서는 여섯 개의 영역으로 나눈 상태를 보여주고 있다. 다음으로 각 영역에서 최대 고도를 계산하여 표현해준다. 각 영역의 최대 고도를 알게 되면 사용자는 촬영 대상지 지형지물의 최고도를 감안하여 상세 촬영 시 촬영고도를 결정할 수 있는 것이다. 이러한 과정은 난 접근 지역의 안전한 UAV촬영고도를 계획하고 이를 바탕으로 원하는 지상 해상도 결정에 활용될 수 있다.

DEM 제작모듈의 시스템 구현결과는 Fig. 6에 나타나 있다. DEM 제작 모듈은 김해 현장에 적용되었다. 현장에는 자동차 등 DEM 제작을 위해 제거되어야 할 지형지물들이 존재하였다. Fig. 6의 좌측은 포인트 클라우드로부터 만들어진 DSM이며 우측은 본 논문에서 제안한 알고리즘으로 제작된 DEM이다. 좌측과 우측사진을 비교하면 자동차, 건설기계, 사람, 수목 등이 모두 제거된 지표면(bare ground)이 도출된 것을 알 수 있다.

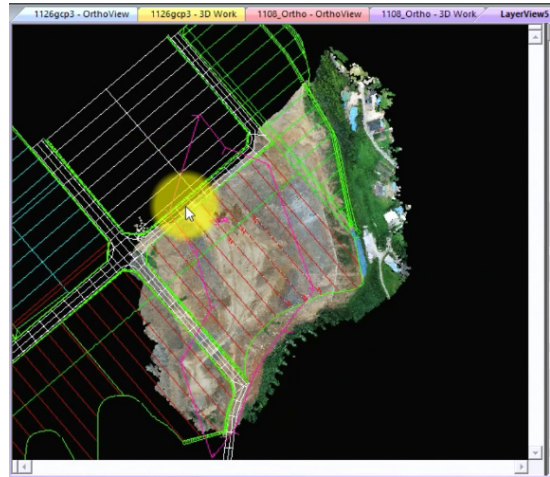


Fig. 2. System implementation result of construction process visualization module-1

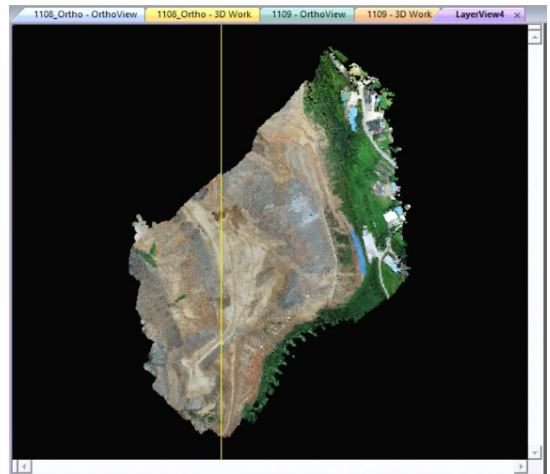


Fig. 3. System implementation result of construction process visualization module-2

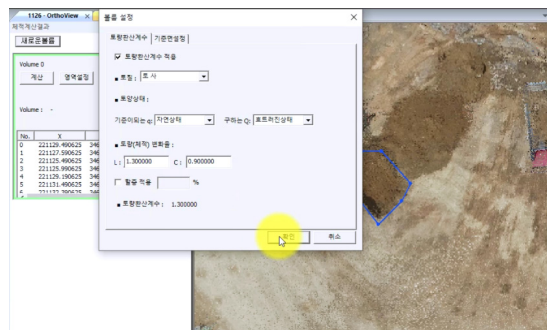


Fig. 4. System implementation result of earthwork volume calculation module

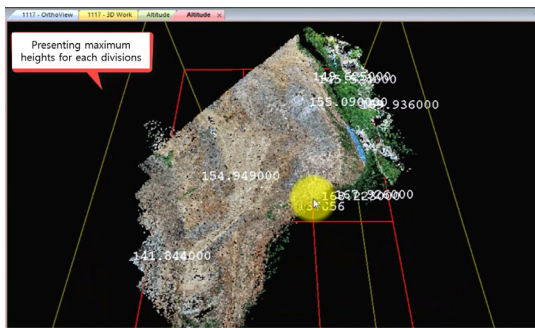


Fig. 5. System implementation result of flight plan module

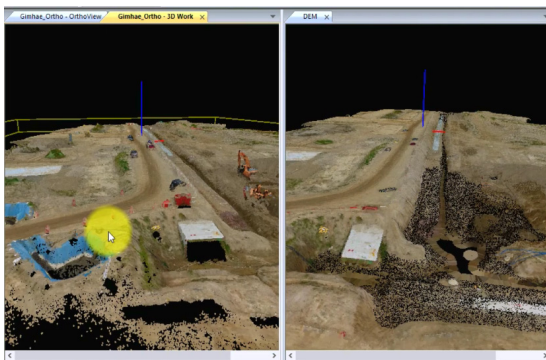


Fig. 6. System implementation result of DEM generation module

5. 결론

본 논문에서는 UAV 기반 건설현장 모니터링 및 분석 시스템의 설계 및 구현을 다루었다. 우선 UAV 영상을 분석하여 정사영상 및 포인트클라우드를 만들고 이들 데이터가 전달되어 분석하는 시스템의 개념을 설명하였다. 다음으로 프로젝트 관리모듈, 공사 진척 가시화 모듈, 토공량 산출모듈, 비행계획 모듈, 그리고 DEM 제작모듈의 응용아키텍처와 구조를 설계하였다. 응용아키텍처는 총 18개의 Level 1 기능과 28개의 Level 2 기능으로 설계하였다. 마지막으로 본 논문에서 설계된 내용을 바탕으로 구현된 시스템의 구현결과를 나타내었다. 공사진척 가시화 모듈의 경우, CAD파일의 평면도를 중첩하여 가시화하였다. CAD파일에는 숫자와 문자 등 공사진척 가시화에 필요 없는 정보도 포함하고 있으며, 전체 CAD파일에서 필요로 하는 도면의 자동추출 기술이 향후 개발되어 적용 된다면 더욱 신속한 의사결정이 가능할 것으로 판단된다. 또한 CAD평면도와 단면도 기반으로 입체 도면

자동화 기술이 향후 개발되어 적용된다면 토공량 계산 시 더욱 효율적일 것이라고 판단된다. UAV는 비가시 지역에 대한 저렴한 현실 미리링이 가능한 특성을 가지고 있으며, 본 연구결과를 바탕으로 다양한 분석모듈이 추가 된다면 건설현장의 UAV활용성이 높아질 것이다.

References

- [1] KICT, "Smart Construction Report", Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Vol. 7, pp. 1-21, 2020.
<https://www.kict.re.kr/periodicalWeb/getPeriodicalList.es?mid=a10105020000>
- [2] J. Ryu, S. Lee, J. Nam, "Drone Application for Smart-Construction in Construction Sites", *Building Construction*, Vol. 19, No. 2, pp. 9-20, 2020.
<https://kiss.kstudy.com/thesis/thesis-view.asp?key=3684491>
- [3] S. Sung, B. Yun, M. Song, J. Cho, "Drone Operation Plan at Road Construction Site", *JKSIC*, Vol. 23, No. 5, pp. 709-716, 2020.
DOI:<https://dx.doi.org/10.21289/KSIC.2020.23.5.709>
- [4] S. Siebert, J. Teizer, "Mobile 3D mapping for surveying earthwork projects using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) system", *Automation in Construction*, Vol. 31, pp. 1-14, 2014.
DOI:<http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2014.01.004>
- [5] I. Choi, M. Kim, "Availability Evaluation of UAV for Construction of Geospatial Information about Quantity", *Korea Association of Cadastre Information*, Vol. 16, No. 2, pp. 149-156, 2014.
https://www.dbpia.co.kr/pdf/pdfView.do?nodeId=NO_DE02469311&mark=0&useDate=&bookmarkCnt=1&ipRange=N&accessgl=Y&language=ko_KR
- [6] J. Park, K. Lee, "DEM Construction and Spatial Analysis of the Planned Construction Site for Establishment of Housing Construction Planning", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol. 22, No. 1, pp. 621-626, 2021.
DOI:<http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2021.22.1.621>
- [7] J. Moon, N. Song, J. Choi, J. Park, G. Kim, "Measurement of Construction Material Quantity through Analyzing Images Acquired by Drone And Data Augmentation", *KTSDE*, Vol. 9, No. 1, pp. 33-38, 2020.
DOI:<http://dx.doi.org/10.3745/KTSDE.2020.9.1.33>
- [8] T. Kim, S. Hong, H. Choi, K. Lee, "Efficient Extraction of Road Cross Section Using a UAV", *Journal of the Korean Society for Geospatial Information Science*, Vol. 26, No. 1, pp. 69-75, 2018.
DOI:<http://dx.doi.org/10.7319/kogsis.2018.26.1.069>
- [9] KICT, "Supporting Overseas Expansion for UAV-based

- Construction Site Monitoring Platform Technology”, Annual Report, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Korea, pp. 39-44, 2018.
<https://scienceon.kisti.re.kr/srch/selectPORSrchReport.do?cn=TRKO201900017752&dbt=TRKO>
- [10] J. Youn, “Urban Area Road Extraction from Aerial Imagery and LIDAR”, Ph.D dissertation, Purdue University, US, pp. 124-129, 2006.
<https://docs.lib.purdue.edu/dissertations/AAI3239781/>
- [11] J. Youn, T. Kim, “Automatic Extracting DEM from DSM with Consecutive Morphological Filtering”, *G/ESR*, Vol. 5, No. 11, 2018.
<http://www.giesr.com/Issues%20PDF/Archive-2018/November-2018/19.pdf>

윤 준 희(Junhee Youn)

[종신회원]



- 1998년 8월 : 연세대학교 토목공학(공학석사)
- 2006년 8월 : Purdue University, Dept of Civil Eng. (Engineering Ph.D)
- 2007년 5월 ~ 2012년 1월 : 삼성 SDS 수석컨설턴트
- 2012년 2월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 연구위원

〈관심분야〉

GIS, Feature Extraction, Computer Vision