

재난지역의 붕괴지형 3차원 형상 모델링을 위한 스테레오 비전 카메라 기반 드론 개발

김창윤*, 이우식
한국건설기술연구원 ICT융합연구소

Developing Stereo-vision based Drone for 3D Model Reconstruction of Collapsed Structures in Disaster Sites

Changyoon Kim*, Woosik Lee

Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology,
ICT Convergence and Integration Research Institute

요 약 재난 현장의 붕괴된 건물 아래의 매몰자를 탐지하기 위해서는 구조 업무를 수행하는 인력이나 관리자가 현장의 실제 붕괴 정도 및 현재 상태를 신속하게 파악하여야 구조 업무가 순조롭게 진행될 수 있다. 하지만 붕괴 현장의 경우 사람의 접근 시 추가 붕괴의 위험 등으로 사건이 발생한 부분에 접근이 어려워 현장의 정보를 쉽게 파악하기 어렵다. 또한 제한된 인원으로 인하여 붕괴 현장에 매몰된 사람들의 위치를 파악하는 일 역시 힘든 일이다. 본 연구에서는 이러한 어려움을 극복하기 위하여 스테레오 비전 카메라를 장착한 무인비행장치 혹은 드론을 활용하여 붕괴지형의 정보를 파악하고자 한다. 스테레오 비전 카메라를 장착한 무인비행장치 제작을 위한 필요 기술 도출 및 제작 방법론 설명을 통해 붕괴지형 정보 획득을 위한 하드웨어 관련 기술을 제시하고자 한다. 다음으로 무인비행장치를 활용하여 획득한 자료를 바탕으로 붕괴지형을 3차원으로 모델링하는 과정을 통하여 본 연구에서 개발한 기기의 활용 가능성을 검증하고자 한다.

Abstract Understanding of current features of collapsed buildings, terrain, and other infrastructures is a critical issue for disaster site managers. On the other hand, a comprehensive site investigation of current location of survivors buried under the remains of a building is a difficult task for disaster managers due to the difficulties in acquiring the various information on the disaster sites. To overcome these circumstances, such as large disaster sites and limited capability of rescue workers, this study makes use of a drone (unmanned aerial vehicle) to effectively obtain current image data from large disaster areas. The framework of 3D model reconstruction of disaster sites using aerial imagery acquired by drones was also presented. The proposed methodology is expected to assist fire fighters and workers on disaster sites in making a rapid and accurate identification of the survivors under collapsed buildings.

Keywords : 3D Model, 3D Reconstruction, Disaster, Drone, Topography, Unmanned Aerial Vehicle(UAV)

1. 서론

1.1 연구의 필요성

재난 현장에서 매몰자를 탐지하기 위해서는 구조 업

무를 수행하는 인력이나 관리자가 현장의 실제 붕괴 정도 및 현재 상태를 신속하게 파악하여야 구조 업무가 순조롭게 진행될 수 있다. 하지만 위험한 현장 여건 및 인력의 한계로 인하여 재난 현장의 상황을 신속하고 정확

본 연구는 한국건설기술연구원에서 수행중인 '재난지역 붕괴 형상정보 취득 및 매몰자 탐지 기술 개발' 과제의 일환으로 이루어졌습니다. 또한 이 연구는 2014년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구 (No. 2014R1A1A2056217) 입니다.

*Corresponding Author: Changyoon Kim(ICT Convergence and Integration Research Institute)

Tel: +82-31-910-0553 email: ckim@kict.re.kr

Received May 3, 2016

Revised May 25, 2016

Accepted June 2, 2016

Published June 30, 2016

하게 파악하는 일은 쉽지 않은 일이다. 실례로 붕괴 현장의 경우 사람의 접근 시 추가 붕괴의 위험 등으로 사건이 발생한 부분에 접근이 어려워 현장의 정보를 쉽게 파악하기 쉽지 않다. 또한 넓은 재난 지역의 경우 한정된 구조 인력을 활용하여 현장의 실제 붕괴 상황을 파악하기 힘들어 생존자 구조에 많은 어려움을 겪고 있는 것이 현실이다.

상기에서 기술한 바와 같은 어려움을 극복하기 위하여, 본 연구에서는 흔히 드론으로 알려진 무인비행장치0를 활용하여 재난 현장의 붕괴 지형의 형상을 신속히 파악하는데 활용하고자 한다. 무인비행장치란 조종사가 직접 비행체에 탑승하지 않고도 지상에서 원격조정 혹은 사전에 프로그램 된 경로에 따라 자율 비행하는 장비 일체를 일컫는 것으로, 무인비행체 날개의 형태에 따라 고정익과 회전익으로 구분될 수 있다. 이러한 무인비행체의 경우 건설 및 재난 현장에서 다양하게 활용되고 있다 [1]. 일본에서는 태풍으로 인한 제방의 피해를 복구하기 위하여, 무인비행체로 획득한 자료를 바탕으로 파괴된 제방의 3차원 모델을 구축하고, 이를 활용하여 제방 복구를 위한 필요 자재 및 인력을 파악하는데 활용하였다 [2]. 건설 현장에서도 무인비행체에 다양한 방면에 활용되었는데, 교량 점검 과정에서 무인항공기를 활용하여 교량 구조물의 사진을 취득하고 이를 분석하여 교량 유지관리 업무에 활용하였으며[3], 도로 손상에 따른 3차원 변위를 드론을 활용하여 측정하기도 하였다[4]. 토공 현장에서는 드론을 활용하여 현장의 공사 진행 현황을 파악하는데 활용하거나[5], 현장의 안전 점검을 위한 도구로 드론을 사용하였다[6].

대부분의 드론 활용 사례의 경우 건설 현장의 정보를 취득하거나 3차원 형상 모델링을 위한 적용 방안에 관련된 연구가 많았으며, 현장의 정보를 취득하기 위한 장비 개발과 관련된 연구는 미흡한 상황이었다. 기존의 드론 장비의 경우 대부분 디지털 카메라를 활용하여 영상을 취득하는데 그쳐, 현장의 3차원 형상 정보를 얻는데 한계가 있었으며, LADAR (LAsEr Detection And Ranging) 장비를 탑재한 드론의 경우 가격이 매우 높고 데이터 활용 측면에서 어려움이 많은 측면이 있다. 이에 본 연구에서는 재난 현장에서 보다 빠르고 정확하게 현장의 정보를 취득하고 3차원 형상 모델링에 필요한 영상 획득이 용이하고 활용이 쉬운 스테레오 비전 카메라 기반 드론을 개발하고자 한다.

1.2 연구의 목적

본 연구의 목적은 재난 발생시 빠르고 정확하게 정보를 취득하고 붕괴지형 3차원 형상 모델링을 수행하기 위한 스테레오 비전 카메라 기반 드론 개발에 있다. 현장에서 활용될 드론에서 요구되는 기본 기능은 다음과 같다:

- 1) 붕괴 현장의 정보 취득의 경우, 현장에 사람이 직접 접근하여 영상을 촬영할 경우 2차 붕괴의 위험 및 정확도 저하가 우려되기 때문에 현장에 빠르고 안정적으로 접근할 수 있는 기기를 활용하여야 한다.
- 2) 매몰된 생존자를 구하기 위하여 빠르고 정확한 현장 정보 취득이 필요하여 이를 위하여, 현장의 영상 정보 및 위치 정보를 빠르게 획득할 수 있어야 함
- 3) 붕괴 현장의 영상 정보 및 위치 정보 취득 후 빠르게 관련 데이터를 수집하고 분석할 수 있도록 하여야 함

이러한 요구 조건을 충족하는 기기 개발을 통해 붕괴 현장 관리자가 현장의 정보를 보다 효과적으로 취득하고 분석할 수 있도록 하여야 할 것이다. 또한 이와 같이 축적된 데이터를 기반으로 매몰자 위치 탐색 및 구조작업을 효율적으로 진행할 수 있도록 하여야 할 것이다. 본 기기 개발을 통하여 1) 재난현장의 지형 형상 3차원 모델링을 통한 매몰자의 위치 및 매몰 지형 파악; 2) 매몰 지형의 3차원 모델링을 통한 붕괴 지형 부피 측정; 3) 붕괴 구조물 제거를 위한 장비량 산정을 위한 기초 자료를 수집하는데 활용 될 수 있을 것이다. 본 연구의 목적은 붕괴지형 3차원 형상 모델링을 위한 스테레오 비전 카메라 기반 드론을 개발하는 것으로 먼저 붕괴 현장 정보 취득을 위해 활용할 스테레오 비전 카메라의 적용 가능성을 검토한 후, 본 연구에 적합한 스테레오 비전 카메라 기반 드론 개발에 대하여 논의할 계획이다. 마지막으로 개발된 기기의 현장 테스트를 통해 적용 가능성에 대하여 검토할 것이다.

2. 스테레오 비전 카메라 적용 가능성 검토

2.1 스테레오 비전 카메라

본 연구에서는 붕괴 현장의 신속하고 정확한 3차원 형상 모델링 수행을 위하여 스테레오 비전(Stereo Vision) 카메라를 드론에 장착하여 활용할 계획이다. 스테레오 비전

카메라를 활용하여 획득한 현장의 2차원 영상 데이터를 바탕으로 붕괴 현장의 3차원 포인트 클라우드(Point Cloud) 정보를 생성하고, 이를 활용하여 3차원 붕괴 형상 모델을 만들어 낼 것이다. 붕괴 현장 3차원 형상 모델링용 드론에 활용될 스테레오 비전 기술의 특징은 다음의 Table 1과 같다. 카메라의 경우 1600×1200 해상도를 가진 기기를 활용할 예정이며, 두 카메라의 베이스라인(Baseline)에 따라 달라지기는 하지만 지상에서 10m~30m 범위 내에서 촬영이 가능하도록 장비를 구성할 예정이다. 데이터 처리 속도를 빠르게 할 수 있도록 회색톤(Grey scale)의 영상을 획득하는 장비를 활용할 예정이다.

Table 1. Specification of Stereo Vision Camera

	Stereo Vision Camera	Note
Resolution	1600 × 1200	
Maximum Range	10m ~ 30m	Depends on baseline between two cameras
Output Image Data	Grey scale image data Depth map	
Characteristic	Visible light-based depth information generation	
Cost	Cheap	Using same specification camera devices

2.2 기존 카메라와의 차별성

본 연구에서 활용하는 스테레오 비전 카메라의 타 기술 대비 다음과 같은 장점을 가진다. 먼저 스테레오 비전 카메라의 경우 카메라의 위치가 고정되어 있어 스테레오 카메라 정보를 이용하여 동일한 정합 과정 적용 가능하다. 또한 매 순간이 독립촬영이고 좌·우 영상의 동기화를 통해 조명 조건이 같아 기상 및 밝기 변화에 강한 장점을 가지고 있다. 뿐만 아니라 촬영 위치 점마다 포인트 클라우드 정보를 생성 해 내기 때문에 적은 사진으로도 3차원 정보를 구성할 수 있으며, 스테레오 영상 마다 절대 표정된 포인트 클라우드 정보를 생성할 수 있기 때문에 오차의 누적이 없거나 적다는 장점을 가지고 있다.

3. 붕괴지형 3차원 형상 모델링을 위한 스테레오 비전 카메라 기반 드론 개발

3.1 스테레오 비전 카메라 기반 드론 시스템 설계

Fig. 1은 본 연구에서 개발하고자 하는 드론 시스템의

설계를 도식화 한 것이다[7]. 전체 시스템은 드론 모듈, 깊이지도 생성 모듈, 3차원 형상 시각화 모듈 등 세 가지로 이루어져 있는데, 본 연구에서는 드론 모듈, 깊이지도 생성 모듈을 다루고자 한다.

스테레오 비전 카메라를 탑재하고 있는 드론 모듈의 경우 드론의 위치 값을 획득 해 줄 GPS(Global Positioning Systems) 모듈과 이를 기준으로 상대적인 위치 값을 산정할 수 있게 해주는 AHRS(Attitude and Heading Reference System)와 IMU(Inertial Navigation System) 모듈을 장착하고자 한다. 깊이 생성 모듈의 경우 Fig. 1과 같은 과정으로 스테레오 비전 카메라로 획득한 2차원 영상 데이터를 기반으로 3차원 포인트 클라우드 데이터를 생성한다. 이를 바탕으로 현장의 3차원 형상 모델을 생성하게 된다.

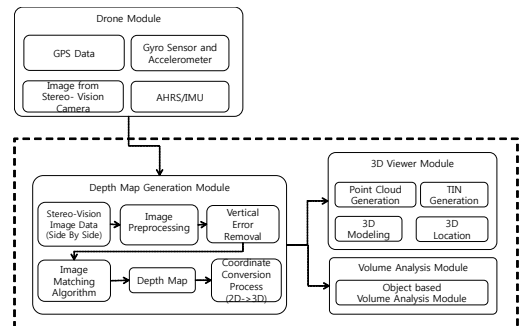


Fig. 1. System Architecture[7]

3.2 스테레오 비전 카메라 모듈 설계

드론에 탑재하여 붕괴 지형의 영상 정보를 취득하기 위한 목적으로 스테레오 비전 카메라 모듈을 제작하였다. Fig. 2와 Fig. 3과 같이 Solidworks를 활용하여 스테레오 비전 카메라 모듈의 2차원 도면 및 3차원 형상을 도출하였으며, 이를 통하여 드론에 거치할 짐벌의 크기, 형태에 맞으면서 카메라 운용시 균형을 맞추어 활용될 수 있도록 하였다. 드론에 탑재하여 활용될 본 기기의 경우 위치 및 드론의 비행 진행 방향 정보를 취득하고 영상 정보화 동기화 시킬 수 있는 GPS, AHRS, IMU 등이 탑재되어 있어, 기존의 스테레오 비전 카메라 만을 활용하여 특정 지역의 3차원 형상 모델링 작업을 통해 개발된 3차원 형상에 비해 보다 풍부한 현장의 정보를 포함할 수 있도록 하였다.

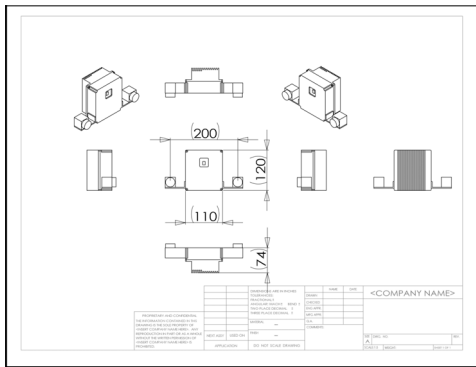


Fig. 2. 2D CAD Drawing of Stereo Vision Camera Module

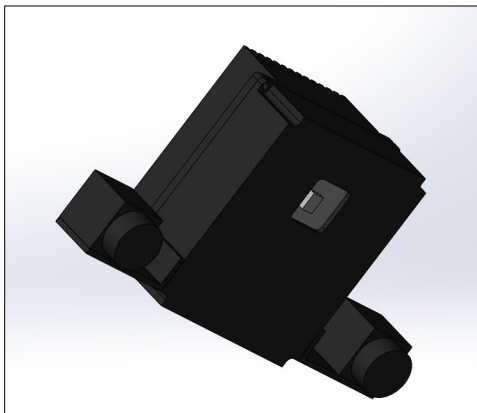


Fig. 3. 3D Model of Stereo Vision Camera Module

3.3 스테레오 비전 카메라 기반 드론 제작

앞에서 도출한 드론 시스템 설계 도식 및 요구조건을 기반으로 하여 붕괴지형 3차원 형상 모델링을 위한 스테레오 비전 카메라 기반 드론을 개발하였다.



Fig. 4. Stereo Vision-based Drone



Fig. 5. Stereo Vision Camera Module

Fig. 4는 본 연구에서 제작한 스테레오 비전 카메라를 장착한 드론을 나타낸 것이고, Fig. 5은 드론에 장착된 스테레오 비전 카메라 모듈을 보여준다. 드론 기체의 경우 Umacair-D12모델을 사용하였으며, 스테레오 비전 카메라를 고정할 짐벌(Gimbal)의 경우 DJI사의 Ronin을 사용하였다. 전원의 경우 16,000mAh 리튬이온 전지를 두 개를 활용하도록 하였으며, 카메라의 경우 Point Grey사의 카메라(1600×1200 해상도, 59FPS) 두 대를 활용하여 스테레오 비전 모듈을 구성하였다. 또한 스테레오 비전 카메라로 획득한 영상 데이터의 송수신을 위하여 Wi-Fi 무선 통신 모듈을 장착하여 노트북 등의 기기와 무선으로 데이터를 전송받을 수 있도록 하였다.

4. 현장 테스트

개발된 스테레오 비전 카메라 기반 드론의 현장 적용 가능성에 대하여 알아보기 위하여 Fig. 6과 같이 경기도 용인에 위치한 우회도로 건설 현장을 대상으로 개발 기기 테스트를 수행하였다.



Fig. 6. Testbed Construction Site



Fig. 7. Drone Setting for Test

Fig. 7과 같이 드론 비행을 위한 사전 세팅 작업을 진행 한 후, 붕괴 지형과 유사한 현장의 드론 비행 및 3차원 형상 모델링 작업을 위하여 Fig. 6과 같이 토공 작업이 이루어지고 있는 현장을 대상으로 테스트를 수행하였다. 20m 정도의 폭과 2km 정도의 연장을 가지는 도로 구간간의 토공 현장을 30m 상공에서 4회 왕복하여 4,000여장의 영상 정보를 획득하였으며, 이 영상을 바탕으로 생성한 현장의 3차원 형상은 Fig. 8과 Fig. 9와 같다.

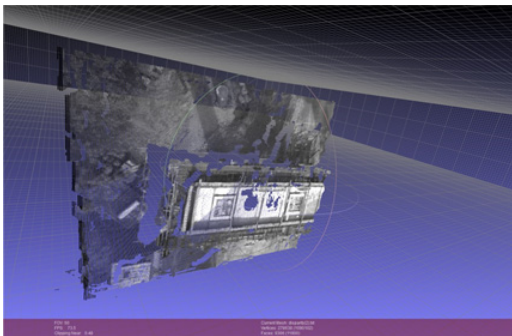


Fig. 8. 3D Model Reconstruction Test 1

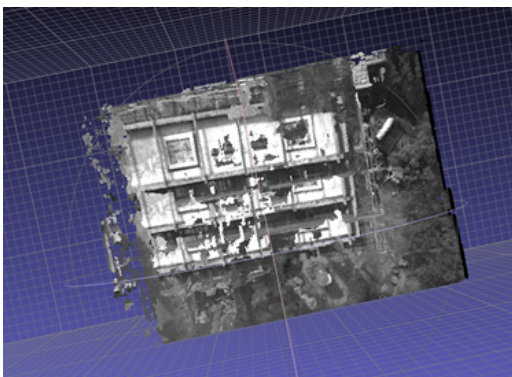


Fig. 9. 3D Model Reconstruction Test 2

Fig. 8과 Fig. 9는 토공 현장의 건물과 지형의 2차원 영상을 3차원 형상 데이터로 변환 후 MeshLab 뷰어[8]에서 시각화 한 것이다. 드론에서 획득한 영상 정보를 바탕으로 각 지점의 위치와 높이 값을 바탕으로 현장의 영상 데이터를 3차원 형상으로 생성한 것이다.

테스트 결과 드론에 장착한 스테레오 비전 카메라 및 다양한 센서를 활용하여 현장의 2차원 영상 데이터 및 위치 정보를 획득할 수 있었으며 이를 바탕으로 상기 그림과 같이 현장의 3차원 형상 모델을 생성할 수 있었다. 하지만 현장 테스트 수행 결과 여러 개선 요인들이 있어 다음 장에서 정리하고자 한다.

5. 문제점 및 개선방안 도출

개발된 스테레오 비전 카메라 기반 드론의 현장 적용성에 대하여 검증해 본 결과 아래와 같은 문제점 및 개선방안을 도출하였다.

- 1) 드론에 장착된 스테레오 비전 카메라의 경우 두 카메라 사이의 거리인 베이스라인의 길이에 따라 드론이 비행할 수 있는 높이(카메라와 물체 사이의 거리)가 제한되게 되는데, 향후 운용 할 스테레오 비전 카메라의 경우 베이스라인의 길이를 보다 길게 하여 다양한 높이에서 현장 영상 데이터를 취득할 수 있도록 하여야 할 것이다.
- 2) 스테레오 비전 카메라가 드론에 장착 된 후 지표면만을 수직으로 바라볼 수 있게 설계되어 건축물의 경우 옆모습을 촬영하지 못하는 단점이 있었다. 향후 운용될 드론의 경우 카메라가 바라보는 방향을 지표면과 각도가 있도록 장착하거나, 나아가 카메라가 바라보는 방향을 바꿀 수 있도록 설계를 수정하는 방안이 필요할 것이다.
- 3) 현재 드론 기기의 경우 조종기를 이용하여 수동적인 방법으로 비행을 하게 되는데, 비행에 익숙하지 않은 사람의 경우 현장에서 영상을 취득하는데 어려움이 있을 수 있다. 현장에 맞도록 수정이 가능하도록 자동 비행 시스템 구축을 통하여 드론 비행을 보다 손쉽게 운용 할 수 있도록 하여야 할 것이다.

향후 드론 개발 및 개선 시 앞서 도출한 문제점 및 개선방안을 반영하는 것이 필요해 보이며, 이를 통해 재난 발생 시 붕괴 현장에서 드론을 적용할 때 보다 빠르고

정확하게 현장의 2차원 영상 정보를 취득하고 3차원 영상 모델링이 구현될 수 있을 것으로 기대된다.

6. 결론

본 연구에서는 재난 발생이 발생하였을 때, 빠르고 정확하게 현장의 정보를 취득하고, 붕괴 지형의 3차원 영상 모델링을 수행하기 위한 스테레오 비전 카메라 기반 드론 개발 관련 연구를 진행하였다. 드론에 장착될 스테레오 비전 카메라와 기존의 영상 장비와의 차이점을 분석하여, 활용 기기의 특징에 대하여 알아보았다. 또한 붕괴 현장의 영상 정보 취득을 위하여 드론 설계 및 제작을 통하여 실제 활용 기기에 실제 활용 기기와 적용성에 대한 분석을 수행하였다. 마지막으로 실제 도로 건설 프로젝트의 토공 현장에 제작한 스테레오 비전 카메라 기반 드론을 활용하여 3차원 지형을 생성해 봄으로써, 기기의 활용 가능성에 대한 검증 및 문제점에 대한 분석을 진행하였다.

향후 연구에서는 드론에 장착이 가능한 매물자 위치 탐색 기술 및 시각화 기술 개발을 통하여, 본 연구에서 형상화한 3차원 정보와 연계할 수 있는 기술을 개발할 계획이다. 본 연구를 통하여 건축물 붕괴 현장을 비롯한, 다양한 재난 현장에서 빠르고 정확하게 현장의 3차원 정보를 취득 및 구현할 수 있도록 함으로써, 매몰된 인명 구조를 위하여 실질적 활용이 가능하도록 지속적으로 연구 개발을 진행할 계획이다.

References

- [1] P. Liu, A. Y. Chen, Y.-N. Huang, J.-Y. Han, J.-S. Lai, S.-C. Kang, T.-H. Wu, M.-C. Wen, and M.-H. Tsai, "A Review of Rotorcraft Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Developments and Applications in Civil Engineering", *Smart Structures and Systems*, vol. 13, no. 6, pp. 1065-1094, 2014.
DOI: <http://dx.doi.org/10.12989/sss.2014.13.6.1065>
- [2] T. Yamamoto, K., Kusumoto, and Banjo, "Data Collection System for a Rapid Recovery Work: Using a Digital Photogrammetry and a Small Unmanned Aerial Vehicle(UAV)." *Computing in Civil and Building Engineering*, pp. 875-882, 2014.
- [3] N. Menti and T. Hamel, "A UAV for Bridge Inspection: Visual Servoing Control Law with Orientation Limits", *Automation in Construction*, vol. 17, no. 1, pp. 3-10, 2007.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2006.12.010>

- [4] C. Zhang and A. Elaksher, "An Unmanned Aerial Vehicle-Based Imaging System for 3D Measurement of Unpaved Road Surface Distresses", *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, vol. 27, no. 2, pp. 118-129, 2012.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1467-8667.2011.00727.x>
- [5] S. Siebert and J. Teizer, "Mobile 3D mapping for surveying earthwork projects using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) system", *Automation in Construction*, vol. 41, pp. 1-14, 2014.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2014.01.004>
- [6] J. Irizarry, M. Gheisari, and B. N. Walker, "Usability Assessment of Drone Technology as Safety Inspection Tools", *ITcon*, vol. 17, pp. 194-212, 2012.
- [7] C.Kim, H. Moon, and W. Lee, "Automated 3D Model Reconstruction of Disaster Site Using Aerial Imagery Acquired By Drones", *The 6th International Conference on Construction Engineering and Project Management (ICCEPM2015)*, Busan, Korea, 2015.
- [8] Institute of Information Science and Technologies - Consiglio Nazionale delle Ricerche, <http://meshlab.sourceforge.net/>, 2015.11.15.

김 창 윤(Changyoon Kim)

[종신회원]



- 2006년 8월 : 연세대학교 토목환경 공학과 (공학사)
- 2011년 2월 : 연세대학교 토목환경 공학과 (공학박사)
- 2013년 7월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 ICT융합연구실 전임연구원

<관심분야>

BIM, 인공지능, 모바일컴퓨팅, 영상처리, 건설관리, 드론

이 우 식(Woo-sik Lee)

[정회원]



- 1997년 2월 : 경상대학교 대학원 토목공학과 (공학석사)
- 2002년 2월 : 경상대학교 대학원 토목공학과 (공학박사)
- 2002년 8월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 연구위원

<관심분야>

건설관리, GIS, 건설IT 융복합