

## Developing 3D Spatial Information Analysis and Visualization Technique for Disaster Areas

Woo Sik Lee<sup>+</sup>, Hyoun Seok Moon

ICT Convergence and Integration Research Institute, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, 283, Goyangdae-ro, Ilsanseo-gu, Goyang-si, Gyeonggi-do, Korea

### Abstract

This study aims to build quickly the 3D model of disaster sites such as a facility collapse and visualize the location of the buried people based on the 3D spatial information. When a collapse occurs, it is very important for rescuers to identify the situation quickly and to rescue the buried within a golden time period. However, there is also a potential risk of secondary collapse that could endanger rescuers working on site. This study suggests the methodology to ensure immediate and safe rescue. First, we developed a module for image acquisition and transmission using a stereo camera on drone in order to easily acquire the collapse terrain information. Second, collapse shape information was modeled in 3D to enable spatial information analysis based on the acquired images. Third, the locations of the buried people were visualized by 3D modeling. Fourth, we verified the equipment and system developed through field test. The results of this study could provide rapid and safe information to rescuers when applied to actual disaster sites.

**Key words:** collapse accident, drone, stereo camera, 3D modeling, spatial information analysis, disaster management

### 1. 서론

시설물 붕괴와 같은 재난현장의 경우, 신속하게 재난 사고 현장 및 주변 상황을 파악해야 함에도 불구하고 사람이 접근하기조차 어려운 사고 현장이 많다. 최근 이와 같은 긴급한 현장의 경우 신속한 접근을 위하여 드론(Drone)을 활용한 현장 모니터링에 관한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 무인비행장치(Unmanned Aerial Vehicle: UAV)인 드론의 기술 발달에 따라 그 활용분야 또한 광범위하다. 2000년대 초 군사용으로

개발된 드론은 영상촬영 및 물류배송뿐 아니라, 안전 및 환경 감시 분야에도 활용되고 있다. 또한 최근에는 활용분야가 더욱 확대되어 시설물 관리, 산불 및 산림 감시, 야간 무인 순찰, 농약살포, 범죄 색출 및 추적, 익스트림 스포츠 촬영, 지형 및 구조물 모델링 등에 사용되고 있다. 드론을 활용하면 단시간 내에 광범위한 지역의 이미지 데이터를 수집할 수 있어 시설물 상태 및 현장 모니터링을 효율적으로 수행할 수 있다. 드론의 시장 규모는 2014년 64억 달러에서 2024년에는 지속적인 성장으로 115억 달러로 거의 두 배가 될 것으로

<sup>+</sup> Corresponding author: Woo Sik Lee, Tel. +82-31-910-0566, Fax. +82-31-910-0562, e-mail. [wslee@kict.re.kr](mailto:wslee@kict.re.kr)

전망하고 있다(Teal Group, 2014).

드론이 상황에 맞게 임무를 수행하기 위해서는 드론에 탑재되는 여러 가지 관련기술 개발 또한 필요하다. 특히 단영상 카메라의 단점을 보완하기 위한 스테레오 카메라에 관한 연구가 활발히 전개되고 있다. 국내에서는 자율주행 차량에 스테레오 카메라를 활용한 연구(Suh & Jung, 2014), 스테레오 카메라를 이용한 이동객체의 실시간 추적과 거리 측정 시스템 연구(Lee, *et. al.*, 2009), 이중 카메라를 이용한 스테레오 카메라 시스템연구에서는 이중 스테레오 영상 정합 알고리즘을 제안하고 정합 오차를 분석하였다(Shin, *et. al.*, 2011). 해외에서도 스테레오 카메라를 이용한 실시간 매핑이나 산업분야에서 활발한 연구가 진행되고 있다. 구글과 Daimler Bertha의 자율주행차에 비전센서를 탑재하여 주행시험을 수행하고 있다. 3차원 이동 객체에 대한 실시간 재구성과 3차원 비디오를 이용한 고성능 텍스처 매핑에 관한 연구를 통하여 실시간 매핑기술을 선보였다(Matsuyama, *et. al.*, 2004). 또한 점유격자와 대상물 트래킹을 이용한 스테레오 카메라 기반의 도시환경 인식에 대한 연구를 통해 스테레오 카메라를 활용한 바 있다(Nguyen, *et. al.*, 2011).

한편, 무인항공기와 관련하여 AHRS(Attitude and Heading Reference System)를 이용한 무선 선체 운동 측정 시스템에 관한 연구를 통해 MEMS(Micro Electro Mechanical System) 기반의 자세측정시스템에 관한 연구를 하였다(Kim, *et. al.*, 2013). 또한 드론 내비게이션을 위한 입체 1인칭 뷰 시스템에서는 스테레오를 활용하여 드론으로 비행시 조종사가 사물과 거리를 알기 위한 입체시를 하기 위한 연구도 진행된 바 있다(Nikolai, *et. al.*, 2017). 이와 같이 기존의 연구들은 드론에 스테레오 카메라를 활용하여 이동 객체의 추적과 거리 측정 등을 목적으로 한 연구가 많았으며, 본 연구에서는 도심지 시설물의 붕괴상황을 가정하여 재난현장의 특성을 고려하여 신속하고 안전하게 영상 취득 및 3차원 모델링을 구현하여 재난현장에 실제 활용할 수 있도록 하였다. 즉, 드론을 이용하여 재난현장 접

근을 용이하게 함과 동시에 드론에 장착 가능한 스테레오 카메라 모듈을 직접 제작하여 시설물 붕괴 현장의 상태를 판별하며, 스테레오 카메라에 의해 취득한 컬러 영상을 비교 분석함으로써, 붕괴 현장의 정확한 3차원 위치 값을 취득할 수 있도록 하였다.

이상에서 살펴본 바와 같이 드론과 스테레오 카메라의 조합은 재난현장에서 중요한 도구로 활용될 수 있다. 시설물 붕괴와 같은 재난 현장의 경우 붕괴된 건물 아래의 매몰자를 탐지하기 위해서는 구조 업무를 수행하는 인력이나 관리자가 현장의 실제 붕괴 정도 및 현재 상태를 신속하게 파악해야 구조 업무가 순조롭게 진행될 수 있다(Lee & Moon, 2016). 그러나 붕괴 현장의 경우 2차, 3차의 추가 붕괴 위험으로 인하여 사건 발생 즉시 현장 내 접근이 어려워 사고 현장과 주변 정보의 취득이 쉽지 않다(Kim & Lee, 2016). 따라서 본 연구에서는 이러한 애로사항을 극복하기 위하여 스테레오 카메라가 포함된 모듈을 제작하여 드론에 탑재함으로써, 재난 현장 및 사고 주변의 정보를 신속하고 안전하게 취득하고 구조자로부터 금 공간 분석을 보다 용이하게 하고자 한다.

## II. 스테레오 카메라를 활용한 3차원 붕괴형상 모델링 알고리즘 개발

### 1. 스테레오 카메라 모듈 제작

일반적으로 드론에는 단영상 카메라가 장착되어 있어서, 현장의 영상을 손쉽게 취득할 수 있다. 영상에서 취득한 입체 모형을 실제 지형과 정확히 일치되도록 하기 위해서는 지상기준점(Ground Control Point: GCP)이 필요하다. 지상기준점은 지도나 실제 측량으로 구하는데, 재난현장의 경우 지형지물이 변하여 기존의 지도가 무용지물이 되며, 또한 재난 현장의 경우 추가 붕괴나 가스 노출 등의 위험으로 구조자의 안전이 담보되지 않은 재난발생 초기에는 접근이 제한된다. 따라서 신속하게 재난현장 및 주변정보를 취득하기 위해서는 단영상 카메라와는 달리 취득된 데이터의 오차 누적이 발생하지 않으며, 별도의 지상기준점 측량이 필요 없는 스



Figure 1. Manufactured stereo camera module

스테레오 카메라를 활용하여 이와 같은 문제를 해결하고자 하였다. 즉, 카메라의 절대좌표와 바라보는 각도를 알고 있고 스테레오 카메라가 보고 있는 모든 점들을 카메라 중심에서의 절대거리를 계산할 수 있기 때문에, 형성된 입체 모형의 모든 점들의 절대좌표를 지상기준점의 도움 없이 바로 구할 수 있다. 이러한 특징은 시급성을 요하는 재난 현장에서는 큰 장점이라고 말할 수 있다. 본 연구에 사용된 스테레오 카메라 모듈은 다음 <Figure 1>과 같다. 스테레오 카메라가 중심축에 가깝도록 설계를 하였으며, 안정감을 위해 기구에 최대한 가깝게 위치하도록 배치하였다. 또한, 설계에 맞추어 제작이 완료된 동기화 보드를 기체에 삽입하여 배선 및 라인 조립을 실시하였으며, 12볼트 건전지를 연결하여 전원을 공급 받도록 하였으며, 제작한 모듈이 안정적으로 전원공급을 받는지 테스트 후 최종적으로 조립을 완료하였다.

## 2. 스테레오 카메라 기반 3차원 영상정보 추출을 위한 요구조건

본 연구에서는 시간 절약과 접근성을 증대시키기 위해 카메라 위치와 자세를 하드웨어를 통해서 얻는 방식을 채택하였다. 따라서 GPS/INS(Global Positioning System/Inertial Navigation System)의 성능이 중요

한 역할을 한다. 본 연구에 사용된 장비의 성능은 <Table 1>과 같다. GPS에 의해 제공되는 위치결정 정밀도는 사용하는 신호와 자료 처리 방법에 따라 다양하며, 정밀도가 낮은 단독측위 방법은 SPS(Standard Positioning System)로 주로 항법에 쓰이며, GPS의 정확도를 좀 더 향상시킨 DGPS(Differential Global Positioning System) 실시간 이동측위 기법인 RTK(Real-time Kinematic)는 정밀도가 높아 측량 등에 주로 이용된다. INS(Inertial Navigation Sensor: 관성센서)란 운동의 관성력을 검출하여 움직이는 물체의 가속도, 속도, 방향, 거리 등 다양한 항법 관련 정보를 제공하는 센서이며, 초기 위치 정보로부터 가속도를 측정하여 항체의 속도와 위치를 추정한다. INS를 이루는 센서는 가속도계(Accelerometer)와 자이로스코프(Gyroscope)로 구성된다. 가속도계는 선방향 가속도를 측정하여 내보내주고 자이로스코프는 각속도를 측정하여 내보내주는 역할을 한다. 전 위치에서 상대적인 거리와 방향으로 현 위치를 계산하다 보니, 시간이 지나면 오차가 누적된다. 본 연구에서는 이러한 점을 절대 위치를 계산해내는 GPS로 보완하여 안정적인 값을 유지하게 하는 GPS/INS 일체형을 선택하여 사용하였다. GPS/INS 분리형의 경우, 위치 센서와 자세 센서에 대한 동기화 모듈을 추가로 개발해야 하기 때문에 일체형

Table 1. Performance spec. of GPS/INS(APX-15 UAV)

	SPS	DGPS	RTK	Post-processed
Position(m)	1.5-3.0	0.5-2.0	0.02-0.05	0.02-0.05
Velocity(m/s)	0.05	0.05	0.02	0.015
Roll & Pitch(deg)	0.04	0.03	0.03	0.025
True Heading(deg)	0.30	0.28	0.18	0.080

을 선택하였다. 본 연구에서 센서 동기화를 위해서 INS에서 나오는 PPS(Pulse Per Second) 신호와 NMEA(\$GPRMC) 신호 주기를 사용하였으며, PPS 신호는 파장대역을 알고 있지만 NMEA(National Marine Electronics Association) 메시지는 스트링으로 구현되어 있어 신호 생성 시점을 정확히 알 수 없다. 따라서 항법 장치와 센서간의 정확한 동기화를 위해서는 PPS 신호를 사용하여 동기화 장치의 고정밀 타이머에 시간을 세팅하여 센서들 간의 동기화를 수행하였다. 카메라의 경우 촬영 시 트리거의 시간을 저장하여 정밀 GPS 시간과 동기화를 수행하였다.

### 3. 붕괴 상부 및 측면 취득 영상을 활용한 3차원 모델링 알고리즘 구현

스테레오 카메라 영상으로부터 3차원 공간정보는 영상 정합 기법을 통해 획득될 수 있으며, 이는 상대표정을 통해 추정된 영상 기하구조를 바탕으로 이루어진다. 영상정합은 좌측 영상 위의 한 점에 대응되는 우측 영상의 한 점을 찾는 과정으로 추정된 기하구조로부터 에피폴라(Epipolar) 변환을 수행하게 되면 2차원의 탐색 영역을 1차원으로 축소시킬 수 있어 정확도 및 처리속도 측면에서 향상된 성능을 가질 수 있다. 즉, 스테레오 카메라 양안 영상에서 동일한 점을 찾아 이미지 상의 좌표값의 차이를 구한 다음, 이 좌표값과 이미 알고 있는 Base line, 초점 거리, 픽셀의 실제 크기 값 등을 이용해 좌측 카메라 중심점을 원점으로 해서 미터 단위의 실제 값으로 환산하게 된다. 스테레오 카메라에서 추출된 영

상을 기하 보정하고, 기하 보정된 영상을 스테레오 매칭하여 <Figure 2>, <Figure 3>과 같이 깊이지도(Depth map)를 추출하였다. 추출한 깊이지도는 좌측 카메라 기준으로 영상 좌표 정보를 갖고 있어, 내외부 표정요소를 계산하여 최종적인 대상점의 3차원 공간의 위치정보를 <Figure 4>와 같이 결정할 수 있다. 본 연구에서는 3차원 모델링 알고리즘 구현의 경우 Estimating Surface Normal을 사용하였으며, 이 Normal vector를 Mesh화하는 알고리즘을 적용하였다.

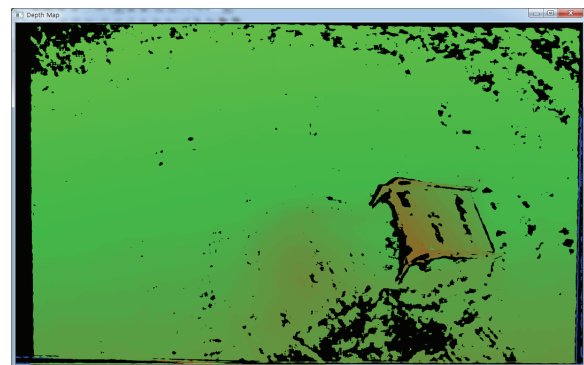


Figure 2. Color representation of left and right disparity

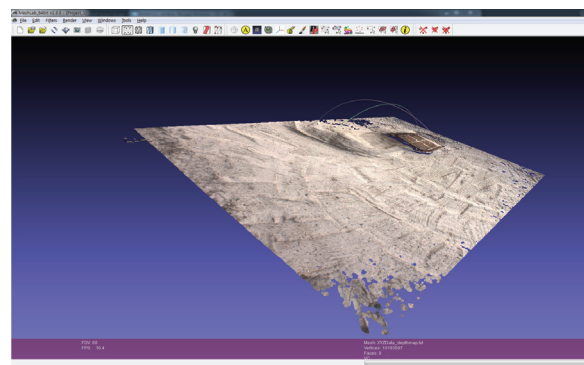


Figure 3. Image color and depthmap values

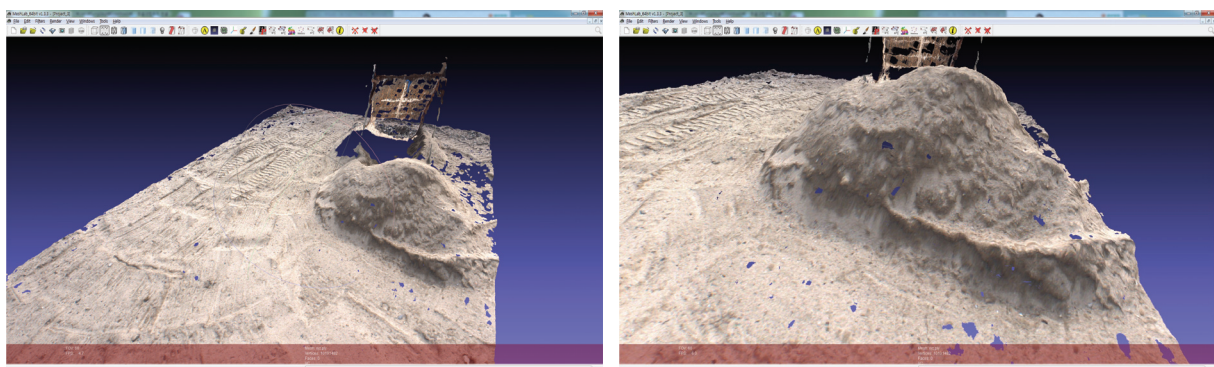


Figure 4. 3D modeling results of study area reconstructed by point clouds of the depthmap

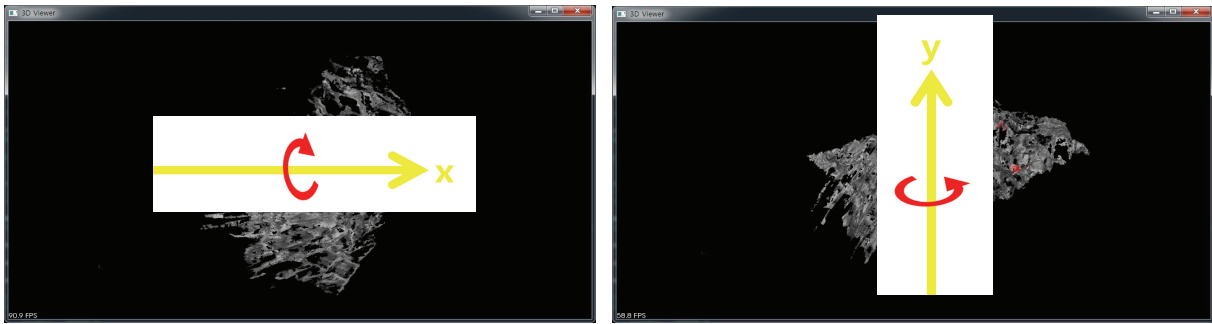


Figure 5. Function of the 3D viewer

### III. 3차원 지형 형상 모델 모델러 및 뷰어 개발

#### 1. 3차원 뷰어 기능

3D Viewer 실행 시, 객체 전체가 한 화면에 보이기 때문에 이를 확대하기 위해선 마우스 휠을 위 아래로 스크롤할 경우 확대 및 축소가 가능하도록 하였다. 모델링 된 객체를 마우스 휠로 클릭한 상태로 객체를 움직이면 사용자가 원하는 위치로 이동할 수 있으며, 모델링 된 객체를 회전하고 싶을 경우 마우스 왼쪽 버튼을 클릭한 상태에서 X축 혹은 Y축으로 드래그하면 객체가 회전하도록 하였다.

3D Viewer는 매몰자의 위치(X, Y, Z)를 표시해주는 기능을 추가하였으며, 이때 사용자가 매몰된 위치를 중심으로 빨간색에서 옅은 빨간색으로 표시하도록 하였다.

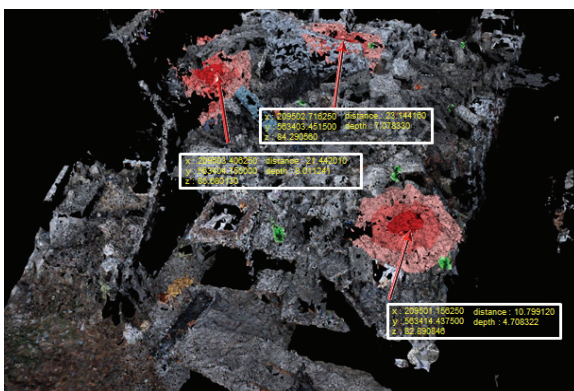


Figure 6. Display of buried people and position coordinates

#### 2. Mesh를 위한 알고리즘 구현

비슷한 위치의 점들을 모아서 연속된 다각형으로 만드는 것을 Mesh화라고 하며, 현재 사용하고 있는

PCL(Portable Class Library) 라이브러리에서는 자료 처리 부분에서 지도 좌표 TM(Transverse Mercator) 값을 쓰고 있다. TM 좌표계는 정수 6자리 소수 6자리 값을 쓰고 있어 8byte의 자료형이 필요하다. PCL 라이브러리는 4byte Float 값을 쓰고 있기 때문에 소수점 2자리로 자리수가 끊겨 중복된 포인트들이 많이 발생하여 메모리 오버플로우 문제가 발생하였으나, 포인터 클라우드의 출력 데이터들의 중앙값을 기준값으로 설정하여 메모리상의 오버플로우 문제를 해결하였다. 스테레오 카메라에서 카메라 Trigger 모듈로 한 쌍의 양안의 영상이 출력된다. 하나의 이미지의 크기는 4240×2824 크기이고, 한 쌍에서의 추출할 수 있는 위치데이터의 크기는 고도 25~30m에서 중복도 95% 했을 때 1,140만점이 생성된다. 1,140만 점의 포인트 클라우드 데이터는 겹으로는 면(Polygon)으로 구성된 것처럼 상세히 표현이 되어 면으로 구성하지 않더라도 상세한 형상이 표현 가능하다. 1,140만 포인트를 위치 x, y, z (8byte double)값과 색상 R, G, B(4byte float), Normal vector X, Y, Z(8byte double)로 한 점에 대해 60byte가 되고 1140만점은 652MB가 된다. 이 값을 4세대 Intel core를 통해 Mesh화 시킬 시 7일 이상의 시간이 필요 하게 된다. 일반적으로 옥트리 구조로 줄여야 하지만 스테레오 영상의 특성상 옥트리 구조로 처리할 필요가 없다. 재난 현장은 매몰자 구조를 위한 시간적 여유가 없기 때문에 데이터의 크기를 줄여 이미지 상의 10 pixel마다 하나의 값을 사용하면서 크기를 1/100로 처리하였으며, 따라서 시간은 1시간 5분이 소요된다.



Figure 7. 1/100 point cloud(left), 1/25 point cloud(right)

### 3. 3차원 지형 형상 모델 구현 모듈

재난현장에서 붕괴 지형 형상 모델링을 위해 필요한 주요 요소기술은 스테레오 카메라 모듈로서 여기에는 스테레오 영상 동기화, 드론에서 취득된 위치 경위도 좌표의 TM 좌표로의 변환, 스테레오 카메라의 외부표정요소 산출, 스테레오 영상에서 추출된 깊이지도 (Depth map)의 포인트 클라우드 추출기법 등으로 구성된다. 본 연구에서는 3차원 지형 형상 모델 구현을 위한 모듈 구성을 <Figure 8>과 같이 구성하였다. 즉, Input Module에서는 스테레오 카메라에서 사용하고 있는 Trigger mode를 통해 스테레오 영상을 취득하여 Local PC로 전달한다. 제어 PC에서 WIFI Module로 Local PC를 제어하고 Input Module에서 생성된 스테레오 영상과 RTK-GPS 위치 값, INS 자세 값을 APX-15의 PPS(Pulse Per Second) time tag를 이용해 동기화 하였다. 동기화된 스테레오 영상과 위치/자세 값을 이용하여 3차원 데이터를 출력하였고 3D Mesh, 3D View, 2D Map View 등 분석 뷰어(Analysis Viewer)를 통해

2차원과 3차원에서 직관적인 분석을 가능하게 하였다.

Stereo Camera 자체의 트리거 모듈을 통해 시간 동기화된 두 사진과 해당 컷에 맞는 위치/자세 값을 취득한다. <Figure 9, 10>에서와 같이 스테레오에서 출력되는 영상의 위치 값을 지도상의 위치 값으로 변환하기 위해 먼저 경위도로 나오는 카메라 중심 위치 값을 우리나라 표준 좌표계로 변환하는 작업이다.

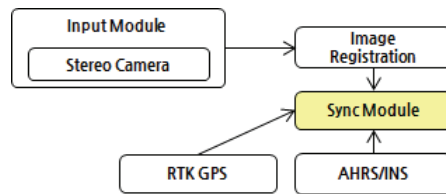


Figure 9. Diagram of image synchronization module

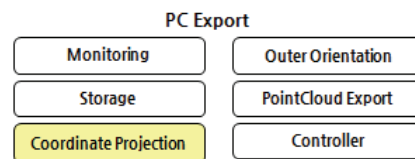


Figure 10. Diagram of coordinate transformation module

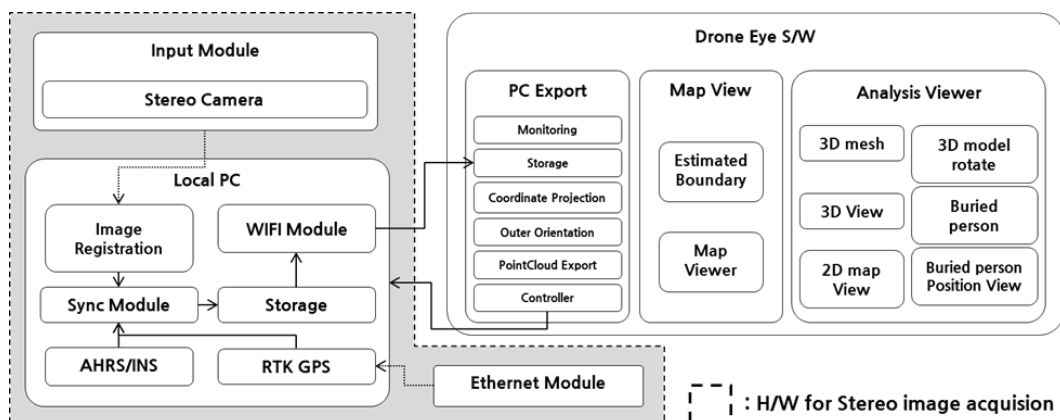


Figure 8. Diagram of 3D spatial information analysis and visualization module

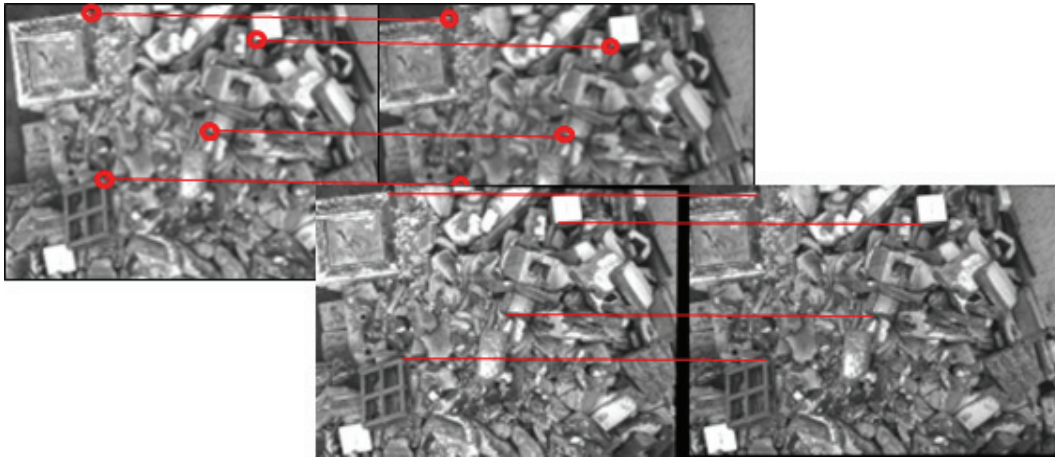


Figure 11. Image matching by feature points using epipolar line

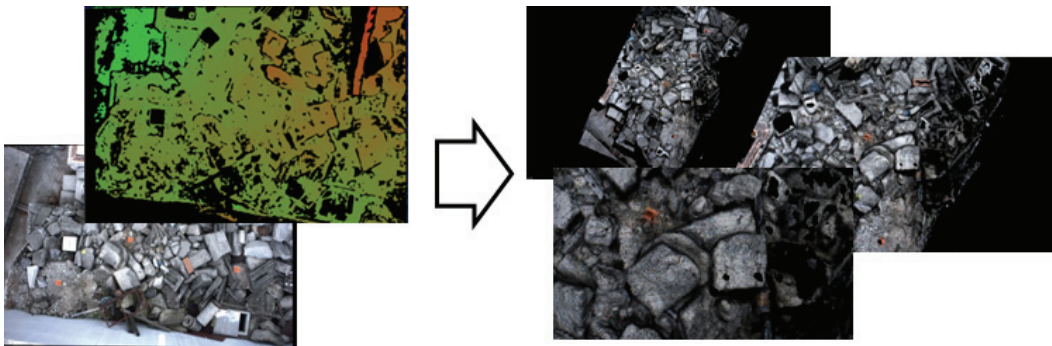


Figure 12. Output of three-dimensional values

또한, 스테레오 매칭을 하기 위해서는 우측 영상과 좌측 영상의 모든 점들이 동일한 선상에 있어서 x시차를 구할 수 있어야 한다. 두 카메라 정렬시 미세하게 라인이 맞지 않는 경우, 소프트웨어에 의한 Epipolar 라인 보정 방식이 필요하다. 즉, 양쪽의 같은 특징점들을 찾아내 동일한 선상에 정렬시키는 변환식을 계산하여 전체 영상에 적용하여 해결하였다.

스테레오 매칭으로 추출된 Disparity Map에서 좌측 카메라를 중심점을 원점으로 하는 실제 좌표로 변환하게 되면 각 Point들은 3차원 좌표를 갖게 된다. 이러한 과정을 통하여 Point Cloud를 생성하였다.

#### IV. 현장 테스트 및 분석 결과

##### 1. 현장 테스트 준비

데이터 수집 장비인 드론은 회전익을 사용하였으며, AIR Frame, F/C, Motor, Propeller 등으로 구성하였다. Stereo Camera 모듈에는 카메라 간격 40cm의 스테레오 카메라, 배터리, PC(Intel Celeron J1900), INS(Applanix-APX-15) 등의 장비를 탑재하여 드론에 장착하였다. 세부 스펙은 <Table 2>와 같다.

##### 2. 현장 테스트 수행

테스트 현장은 중앙119구조본부 수도권119특수구조대의 붕괴건물훈련장을 대상으로 하였다. 스테레오 카메라의 각도를 조절하여 건물 상부의 정보뿐 아니라 측면에 대한 정보를 취득하기 위한 촬영 동선을 계획하였다.

Table 2. Detailed specification of stereo camera module



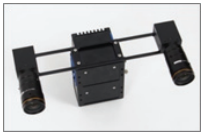

		Detailed specification	
Drone		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Speed(maximum) : 90m/sec</li> <li>- Weight : 2,590g / 6,5lbs</li> <li>- Size : 1,100mm / 43,3inch</li> <li>- Battery capacity : 16,000mAh x 2</li> </ul>	
Lens		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Seonsor size : 4/3"</li> <li>- Focal length : 16mm</li> <li>- Camera Mount : F2,0~F22 C mount</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Size : <math>\varnothing 45 \times 79,5</math>mm</li> <li>- Weight : 250g</li> </ul>
Camera		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sony ICX834 CCD, 1" 3,1<math>\mu</math>m</li> <li>- Global shutter, Progressive scan interline transfer</li> <li>- 4240 X 2848 at 7 FPS</li> <li>- USB3,0, 5Gbit/s interface</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 14-bit ADC, C-Mount, Color</li> <li>- 128MB Frame buffer, 512KB non-volatile flash memory</li> <li>- 8Pin GPIO, Opto-Isolated I/O, Bi-Directional I/O</li> </ul>
GPS/INS		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Size : 67(L) x 60(W) x 15(H) mm (nominal) Weight : 60g</li> <li>- Position(m) : 0,02 - 0,05</li> <li>- Velocity(m/s) : 0,02</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Roll &amp; Pitch(deg) : 2,00</li> <li>- True Heading(deg) : 5,00</li> </ul>



Figure 13. Image acquisition path with 50% overlapping

드론 이륙 준비를 위해 기체 전원을 켜기 전에 영상 취득 모듈의 전원을 먼저 켜서 영상 취득 모듈의 GPS/INS 장비를 캘리브레이션 한 후, RTK 모듈이 연

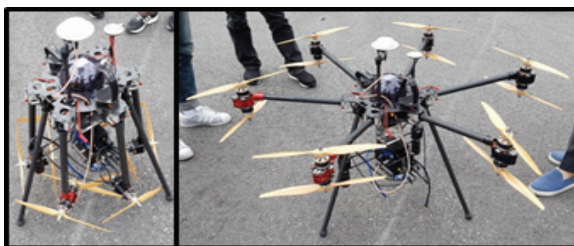


Figure 14. Setting of a drone-mounted stereo camera module

동 되는지를 확인하였다. 이 후 전원을 켜고 상공에서 계획된 경로로 비행하면서 영상을 취득하였다.

스테레오 매칭을 가지고 우리가 얻고자 하는 물체의 형상 정보를 얻어내고, INS 값과 RTK GPS 값을 이용하여, 모델링된 영상 정보를 지도 위에 맵핑한다. 시차 값을 가지고 깊이지도(depthmap)을 생성하며, 스테레오의 양안에서 시간 동기화된 영상을 취득하였다.

### 3. 분석 결과

현장 테스트를 실시한 결과, 결과 값 비교를 위한 10 점의 지상기준점(GCP) 측량에 30분이 소요되었으며, 드론 이륙 준비에 1분, 통신 모듈을 세팅하는 데 5분이 소요되었다. 또한, 실시간 영상데이터 취득 및 확인에 12분이 소요되었으며, 스테레오 영상 1쌍을 처리하는데 9초의 시간이 걸리며 총 99쌍의 스테레오 영상 2차원 이미지에서 3차원 데이터를 출력하는 데 15분, 3차원으로 메쉬화 하는데 4시간 55분이 소요되었다. 이는 1장을 메쉬화 하는데 소요되는 시간이 65분이었으며, 본 현장은 총 10장으로 4시간 55분이 소요된 것이다. 따라서 본 현장은 3차원 모델링을 위해 소요된 총 시간은 5시간 58분이었다. 즉, 스테레오 영상에 대해 95% 중복했을 때 1,140만 포인트를 출력하게 된다. 여기서 매칭도 상관계수 값, 색상 값, 이상 픽셀 검증 알고리즘으로

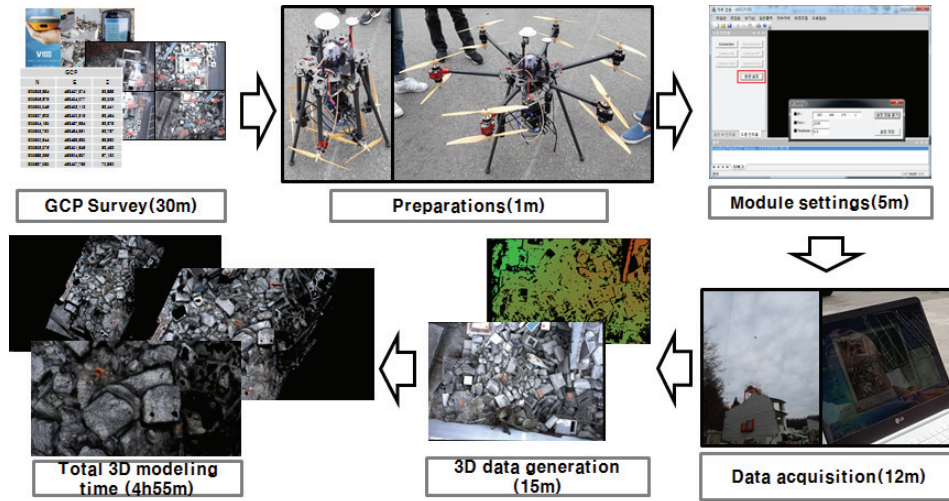


Figure 15. Field test time

이상 픽셀에 대한 값을 구하게 되면 포인트 수는 884만 점으로 줄어들게 된다. GTX 1080 Ti를 사용하여 4시간 16분만에 완성되었다. 재난현장은 속도가 중요하기 때문에 원본데이터를 줄여서 처리하는 것이 재난 현장에 적합한 처리 방법이다. 기존의 CPU를 이용한 Mesh 속도와 GPU를 이용한 Mesh 속도를 확인한 결과, 7만점에 대한 데이터 속도 차이는 882배, 25만점에 대한 속도 차이는 1,170배 데이터 처리량이 늘어날수록 CPU 처리 속도와 GPU 처리 속도 차이는 배가 됨을 알 수 있었다.

연직 방향이 아닌 45° 각도로 기울여서 붕괴현장의 측면부를 측정하여 기존 단영상에서 취득할 수 없었던 측면부 Point Cloud를 수집하였다.

다방향의 Point Cloud를 취득하여 붕괴 현장을 모델링한 후, 무선통신을 활용한 매몰자 위치탐지를 통해 전달된 매몰자의 위치 값을 3차원 붕괴 현상 모델링상에 가시화하였다. 즉, 전방위 3D mesh 알고리즘을 통해 Point Cloud 형상을 객체화 시키고 객체화된 3D model data에 매몰자의 위치를 아래 <Figure 17>과 같이 가시화 하였다. 현장 테스트를 위해 매몰자 위치를 GPS 측량 기기로 측정하였고, 측정된 GPS 결과물들은 3D 모델링 데이터와 함께 3D Viewer에 가시화하였다. 3D Viewer에 매몰자의 3차원 위치 정보 가시화, 3D Modeling Data 가시화, 3D Modeling Data 표면에 매몰자 위치를 범위 값으로 표현하여, 사용자가 매몰자 위치 확인 및 매몰자 위치와 지표면과의 거리 분석을



Figure 16. Vertical data(left) and side data(right)

할 수 있도록 하였다.

다음 <Figure 18>은 현장 테스트에서 하나의 영상내의 위치 정확도는 GCP와 비교하여 1~3cm의 오차를 나타낸 것으로 확인하였다. 즉, 측정된 위치오차는 1~3cm 이지만, 검증 장비로 사용된 VRS GNSS 측량기기

의 정확도가 ±2.5cm 이하로 검증장비의 오차율을 포함하여 위치 정확도는 5cm 이하이다.

최종적으로 현장 데이터의 위치 값을 확인하고 3D Viewer를 통해 가시화 시킨 결과는 다음 <Figure 19>와 같다.

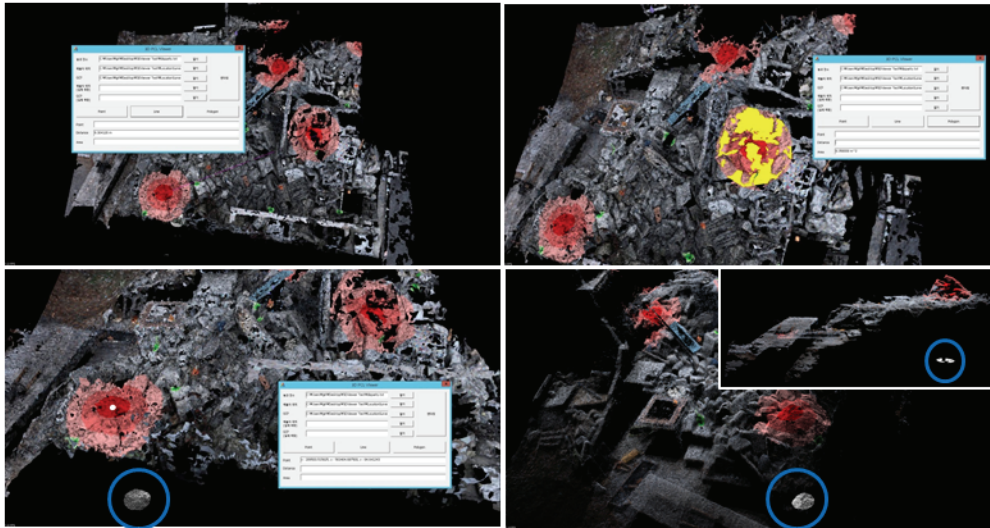


Figure 17. Visualization of the location information for the buried people

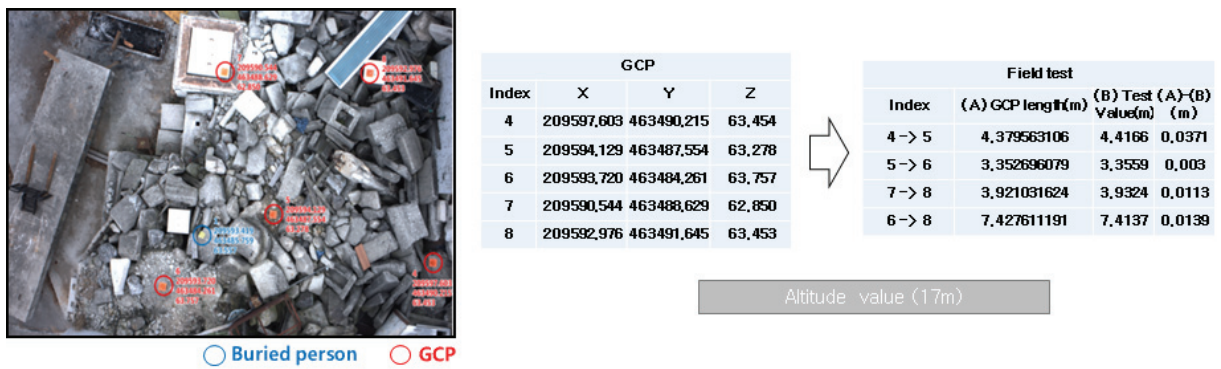


Figure 18. Result of position accuracy

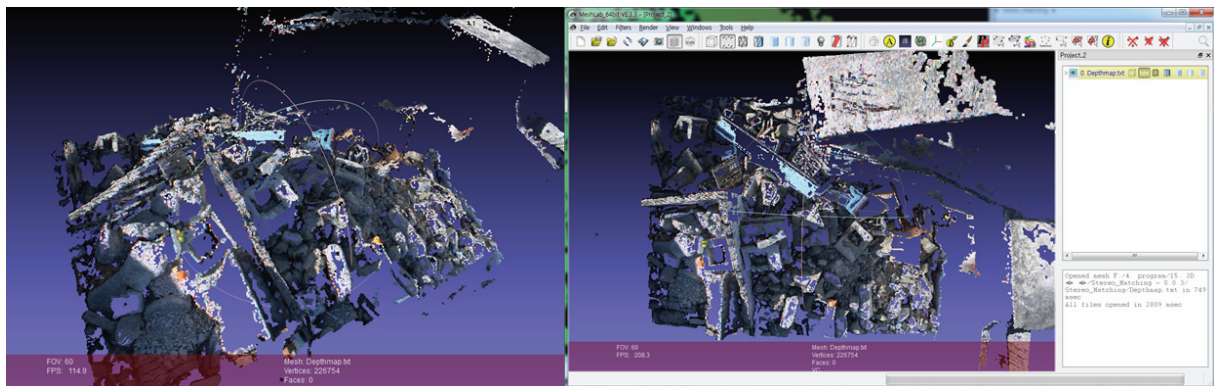


Figure 19. 3D visualization of field data

## V. 결론

본 연구에서는 시설물 붕괴사고와 같은 재난 발생시, 신속하고 안전하게 재난지역의 현장 및 주변 정보 취득은 물론 공간정보의 분석, 3차원 모델링을 통한 구조자의 효율적인 구조업무를 지원할 수 있는 기술을 개발하였다. 우선, 형상정보 및 3차원 붕괴지형 모델링을 구축하기 위하여 단영상 카메라를 대신하여 스테레오 카메라를 기반으로 한 드론 탑재형 모듈을 제작하였다. 또한, 붕괴지형 상부와 측면부를 동시에 취득할 수 있도록 드론에 탑재할 카메라 마운트를 설계 및 제작하였으며, 취득 영상을 활용한 포인트 클라우드 추출과 3차원 모델링이 가능하도록 알고리즘과 모델러 및 뷰어를 개발하였다. 본 연구에서 개발한 기술들을 실제 붕괴지형과 유사한 현장에 테스트 해 본 결과, GPS/INS 장비에서 얻어진 카메라 위치 값과 자세 값을 바탕으로 스테레오 카메라에서 얻어진 영상을 처리하여 실세계의 절대좌표를 계산할 수 있었으며, 드론과 장비 일체의 준비에서부터 3차원 모델링을 하는데 총 5시간 58분이 소요되었다. 또한, 드론에서 취득한 영상의 데이터와 GCP 데이터 값을 비교하여 정확도를 분석한 결과 1~3cm내의 오차 값을 나타내는 것으로 확인하였다. 따라서 본 연구 결과를 도심지에서 지진, 테러 등 각종 요인 으로 인한 시설물의 붕괴사고가 발생하였을 경우, 구조 대의 신속한 출동은 물론 현장 및 주변정보를 신속하고 안전하게 취득하고 공간 분석이 가능한 3차원 붕괴형상 모델링을 제공함으로써, 구조자들이 재난현장에서 과학적이고 체계적으로 의사결정을 내릴 수 있는 기초자료로 활용 될 수 있다. 향후 본 연구에서 개발한 스테레오 카메라 모듈기반 3차원 붕괴형상 모델링 기술을 더욱 발전시켜, 매몰자의 위치정보와 상태정보를 가시화하여 표현함으로써, 긴급구조가 필요한 재난현장에 효율적으로 활용될 수 있도록 할 예정이다. 본 연구결과는 재난현장뿐 아니라, 근로자의 안전이 요구되는 건설 현장 및 다양한 산업현장에서도 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

## 감사의 글

이 논문은 한국건설기술연구원의 주요사업인 “(17주요-대2-융합) 도심지 지하붕괴 매몰지역 인명탐지 및 긴급구조 기술개발” 연구의 일환으로 수행되었음.

## References

- Kim, Chang Yoon and Woo Sik Lee. 2016. Developing Stereo-vision Based Drone for 3D Model Reconstruction of Collapsed Structures in Disaster Sites. *Journal of Academia-industrial Technology*. 17(6): 33-38.
- Kim, Dae Hae, Sang Min Lee, and Gil Young Kong. 2009. A Study on the Wireless Ship Motion Measurement System Using AHRS. *Journal of Navigation and Port Research*. 37(6): 575-580.
- Lee, Dong Seok, Dong Wook Lee, Su Dong Kim, Tae June Kim, and Ji Sang Yoo. 2009. Real-time Moving Object Tracking and Distance Measurement System using Stereo Camera. *Journal of Broadcast Engineering*. 14(3): 366-377.
- Lee, Woo Sik and Hyoun Seok Moon. 2016. Location Detection and Visualization for Buried Victims Using Wireless Communication Technology in Disaster Area. *Crisisonomy*. 12(12): 47-58.
- Market Profile and Forecast. <http://www.tealgroup.com/index.php/about-teal-group-corporation/press-releases/118-2014-uav-press-release>.
- Matsuyama, T., X. Wu, T. Takai, and T. Wada. 2004. Real-Time Dynamic 3-D Object Shape Reconstruction and High-Fidelity Texture Mapping for 3-D Video. *IEEE Trans. Circuits and System for Video Technol.* 14(3): 357-369.
- Nguyen, T. N., B. Michaelis, A. Al-Hamadi, M. Tornow, and M. Meinecke. 2011. Stereo-Camera-Based Urban Environment Perception Using Occupancy Grid and Object Tracking. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*. 13(1): 154-165.
- Nikolai, Smolyanskiy and Gonzalez-Franco Mar. 2017. Stereoscopic First Person View System for Drone Navigation. *Frontiers in Robotics and AI*. 4(11): 1-10.

Shin, Hyoung Chul, Sang Hoon Kim, and Kwang Hoon Sohn. 2011. Hybrid Stereoscopic Camera System. *Journal of Broadcast Engineering*. 16(4): 602-613.

Suh, Jae Kyu and Ho Gi Jung. 2014. Stereo Vision Systems for Automotive Applications. *Auto Journal*. 36(8): 31-38.

Teal Group. 2014. Teal Group Predicts Worldwide UAV Market Will Total \$89 Billion in Its 2013 UAV.

*Korean References Translated from the English*

김대해, 이상민, 공길영. 2013. AHRS를 이용한 무선 선체 운동 측정 시스템에 관한 연구. *한국항해항만학회지*. 37(6): 575-580.

김창윤, 이우식. 2016. 재난지역의 붕괴지형 3차원 형상 모델링

을 위한 스테레오 비전 카메라 기반 드론 개발. *한국산학기술학회 논문집*. 17(6): 33-38.

서재규, 정호기. 2014. 자동차용 스테레오 비전 개발동향. *오토저널*. 36(8): 31-38.

신형철, 김상훈, 손광훈. 2011. 이중 카메라를 이용한 스테레오 카메라 시스템. *방송공학회논문지*. 16(4): 602-613.

이동석, 이동욱, 김수동, 김태준, 유지상. 2009. 스테레오 카메라를 이용한 이동객체의 실시간 추적과 거리 측정 시스템. *방송공학회논문지*. 14(3): 366-377.

이우식, 문현석. 2016. 무선통신기술을 활용한 재난지역 매물자 위치탐지 및 가시화 방법. *Crisisonomy*. 12(12): 47-58.

---

Received: Jul. 31, 2017 / Revised: Oct. 19, 2017 / Accepted: Oct. 26, 2017

## 재난현장 모델링을 통한 3D 공간정보 분석 및 시각화 기술 개발

국문초록 이 연구는 시설물 붕괴사고와 같은 재난현장을 신속하게 모델링하여 3차원 공간정보 분석과 함께 붕괴지 하부에 매몰된 요구조자의 위치정보를 가시화하는데 목적이 있다. 붕괴사고가 발생하게 되면, 구조자가 현장 상황을 신속히 파악하여 골든타임 내에 인명을 구조하는 것이 매우 중요하다. 또한, 붕괴사고 현장은 추가 붕괴 우려로 인하여 구조자가 쉽게 접근할 수 없다는 점이 장애요인으로 작용한다. 따라서 이 연구에서는 붕괴사고 발생 시, 구조자가 신속하고 안전하게 구조활동을 수행할 수 있도록 다음과 같은 방법론을 제시하였다. 첫째, 붕괴지형 정보를 보다 손쉽게 취득하기 위하여 드론탑재형 스테레오 카메라 기반의 영상 취득 및 송신용 모듈을 개발하였다. 둘째, 취득된 영상을 바탕으로 공간정보 분석이 가능하도록 붕괴형상정보를 3차원으로 모델링하였다. 셋째, 매몰자의 위치정보를 3차원 모델상에 가시화하였다. 넷째, 현장테스트를 통하여 개발된 장비 및 시스템에 대하여 검증하였다. 본 연구 결과를 실제 재난현장에 적용할 경우, 구조자로 하여금 보다 신속하고 안전한 구조업무 지원을 할 수 있을 것으로 판단된다.

주제어 : 붕괴사고, 드론, 스테레오 카메라, 3차원 모델링, 공간정보 분석, 재난 관리

- 
- Profiles **Woo Sik Lee** : He received his B.A., M.A., Ph.D. from Gyeongsang National University, Korea in 2002. He is a research fellow of the ICT Convergence and Integration Research Institute at Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology. His interesting subject and area of research is IT & construction technology(wslee@kict.re.kr).
- Hyoun Seok Moon** : He received his B.A., M.A., Ph.D. from Gyeongsang National University, Korea in 2009. He is a senior researcher of the ICT Convergence and Integration Research Institute at Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology. His interesting subjects and areas is about BIM(Building Information Modeling) for infrastructure, UAV, artificial intelligence, optimization(hsmoon@kict.re.kr).