

# 재난재해 사고현장에서의 환경인지 기술 개발 Environment Recognition Technology in Disaster Site

서명국<sup>1</sup> · 윤복중<sup>1</sup> · 이길수<sup>1</sup> · 신희영<sup>1</sup>

Myoung Kook Seo, Bok Joong Yoon, Gil Soo Lee, Hee Young Shin

## 1. 서 론

전 세계적으로 생활환경 및 기후 변화로 인하여 재해의 발생 횟수와 피해 규모가 점점 증가하고 있는 가운데 국내에서도 홍수, 폭설과 같은 자연재해로 인한 피해와 건축물 및 시설물의 노후화로 인한 사회적 재난 사고가 점차 잦아지고 있는 추세이다.

각종 자연 및 사회 재난·재해 사고가 발생하면 공통적으로 건축물과 시설물의 붕괴 및 파손이 동반된다(그림 1). 현재는 붕괴사고를 동반한 재난·재해 사고가 발생하면 대부분 굴삭기 등 건설장비가 투입되어 인명구조 지원 및 복구 작업이 진행된다. 하지만 건설장비는 각종 콘크리트 및 철근 등 잔해가 혼잡한 현장에서는 이동이 힘들고 잔해를 자르고 벌리는 등 고난도 작업에 적합하지 않다. 이에 따라 초기 대응 작업이 지연되어 인적/물적 피해가 커지는 한계를 가지고 있다.



Fig. 1 Various disaster accident

최근 국내에서는 재난·재해와 같은 특수한 상황, 특히 붕괴사고 발생 시 신속한 초동 대응을 위한 특수 장비에 대한 개발 필요성이 제기되면서 험지 주행과 고난도 작업을 위해서 양팔(dual-arm) 작업기, 4개의 크롤러(crawler)로 구성된 재난·재해 초동 대응용 특수목적기계 개발이 시작되었다(그림2).

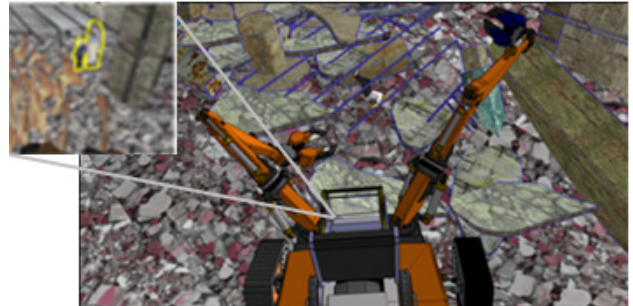


Fig. 2 Special Purpose Machinery for the Application for Disaster

개발 중인 특수목적기계는 운전자의 안전을 고려하여 탑승 및 원격 제어로 구동되며, 안전하고 신속한 작업을 위해서 주변 상황을 인지할 수 있도록 다양한 환경인지 기술이 적용된다.

## 2. 환경인지 기술

특수목적기계는 재난현장에서 신속한 구조 및 복구 작업을 수행하기 위해서 경사지 및 단차가 심한 영역을 이동해야 한다. 이러한 고도의 집중이 필요한 환경에서 운전자의 시야만으로 장시간 정확한 상황 판단을 하기는 어려움이 있다. 그리고 원격제어를 통해 작업을 수행할 경우, 영상정보만으로 현장의 거리/깊이감 정보를 인지하기 힘들어 작업 효율이 떨어지고, 이동시 전복 사고 등 안전사고 발생 위험이 높아진다. 또한 먼지, 연무, 약한 조명은 운전자의 시야와 영상 정보를 제한시켜 요구조자(사상자) 파악을 어렵게 하여, 초동 구조 실패와 2차 인명사고를 발생시킬 수 있다.

따라서 이 연구에서는 특수목적기계의 제약적인 환경인지 기능에 의한 안전사고를 방지하고, 작업 효율을 향상시키기 위해서 이동경로 및 작업 영역의 지형정보를 획득하는 지형인지 기술을 개발한다. 그리고 특수목적기계 운행 중 주변 요구조자(사상자)를 탐지할 수 있는 인명탐지 기술을 개발한다.

### 3. 지형인지 기술

#### 3.1 장치 구성

본 연구에서는 특수목적기계에 장착되는 지형인지 모듈을 통해 이동경로상의 지형 특성을 분석하고 양 팔 작업기 작업범위에서의 3차원 객체 정보를 획득하고자 한다. 이를 위해 필요한 지형인지 측정 범위를 전방 25m 이내로 설정하였다. 해당 영역의 지형 정보를 측정하기 위해서 최종 4가지 센서(Velodyne 16E, SICK LMS-151, Hokuyo (UTM-30LX), Bumblebee2)를 검토하였다. 최종적으로 표 1과 그림 3과 같이 측정 범위와 정확도가 요구사항에 적합한 Velodyne puck 제품을 선정하였다[1, 2]. Velodyne puck 은 LIDAR 센서로 최대 100m까지 측정 가능하며, 수직 측정범위가 30도(deg)이고, 16개 멀티채널이 프레임 당 3만 포인트를 측정한다.

Table 1 Sensors for Terrain Recognition

구분	Velodyne puck	SICK (LMS151)	Hokuyo (UTM-30LX)	Bumblebee2
최대측정거리 (m)	100	18-50	30	-
수평측정범위 (degree)	360	270	270	97
수직측정범위 (degree)	30	-	-	97
측정속도(Hz)	5-20	25-50	25	20-48
정확도(mm)	±30	±30	±50	2.62m(at 20m)
장점	16개 측정 채널	높은 정확도	높은 정확도	정밀 측정 (648x488, 1032x776)
단점	해상도 보완 필요	낮은 해상도	낮은 해상도	거리에 따라 오차 급속 증가



Fig. 3 Test-bed for acquiring Environment Information

그림 3에서 지형인지용 센서 모듈 아래의 팬/틸트 모듈(유진시스템 EPT-5000s)은 장착 센서의 장착 높이 및 위치에 따른 센서 각도를 조정하고 팬/틸트 구동을 통해서 상하좌우 측정 범위를 넓히기 위해서 장착하였다.

#### 3.2 지형인지 알고리즘

Velodyne puck은 복수 스캐닝 채널을 제공하지만 2도 간격의 수직 채널 때문에 정확한 지형 특성을 파악하기에는 해상도가 부족하다. 본 연구에서는 센서의 부족한 측정 해상도 문제를 해결하기 위하여 데이터 누적 방법을 선택하였다. 점군 데이터 누적 방법은 특수목적기계의 이동 여부(이동, 정지)에 따라 두 가지 방식으로 하였다.

먼저, 특수목적기계가 복구현장에서 이동할 경우는 거리측정센서 및 팬틸트 모듈은 초기 설정된 자세를 유지한다. 실시간으로 거리측정센서를 통해 매 프레임에서 획득된 점군데이터는 아래 식1처럼 이전 3~5프레임에서 획득한 점군(Point cloud) 데이터와 누적된다.

$$C = \sum_{i=0}^k C_i, k = 3 \sim 5 \quad (1)$$

여기서  $C_i$ 은 각 프레임의 점군데이터,  $C$ 는 누적된 점군데이터,  $k$ 은 누적 개수를 나타낸다.

정확한 점군데이터 누적을 위해서는 각 프레임 사이의 위치 변위를 추적해야 한다. 비록 위성항법장치(GPS)를 통해 위치 정보를 획득할 수 있지만 본 연구에서는 GPS 사각지대 및 재난사고 현장의 특수성을 고려하여 가속도 센서와 자이로 센서가 내장된 RTxQ IMU센서를 활용하여 위치 변위를 추적하였다. 사용된 IMU 센서는 노이즈 및 순간 움직임에 의한 가속도 센서의 오차와 누적 오차가 발생하는 자이로 센서를 보상하기 위하여 칼만 필터링 알고리즘이 적용되어 있어 정확한 값을 제공한다.

아래 그림4는 지정된 코스를 걸으면서 위치 추적을 수행한 결과이다. 출발지점에서 도착 지점까지 약 190m이동한 결과 약 2미터 가량 누적 위치 오차를 보였다. 본 연구에서는 대략 2초 이내(이동거리 약 3m)에 측정된 점군데이터를 누적하여 전방의 지형특성을 파악한다. 따라서 IMU 센서의 누적오차는 지형 특성을 파악하는 데 크게 영향을 주지 않는다.



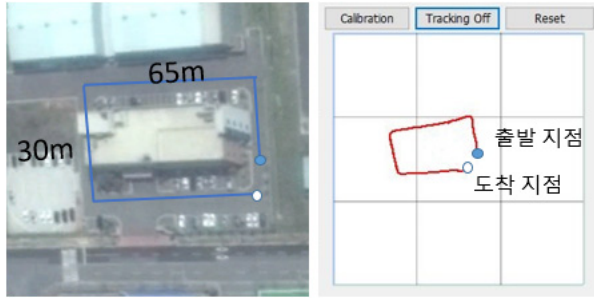


Fig. 4 Position Tracking with an IMU sensor

일반 Lidar 센서와 마찬가지로 Velodyne puck으로부터 측정된 데이터는 관심영역 이상의 데이터와 노이즈를 포함하고 있다. 본 연구에서는 센서를 기준으로 관심 범위(x, y축: 2m~25m, z축: -3m~0m) 밖의 데이터를 제거하였고, 과도하게 조밀한 데이터는 리샘플링(re-sampling)을 수행하여 약 30% 가량 축소하였다. 1차적으로 필터링된 점군 데이터는 이전 프레임에서 획득한 데이터와 누적되며, 이동경로의 지형 정보를 균일한 해상도로 모델링하기 위해 Grid 샘플링을 수행한다[2].

Grid 샘플링은 그림 5처럼 일정 영역을 가상의 셀(cell) 단위로 나누어 점군 데이터를 모델링하는 것으로 지형의 특성에 따라 그리드 간격은 자유롭게 조정할 수 있으며, 데이터가 채워지지 않은 빈 그리드 데이터는 보간(Interpolation)을 통해 데이터를 생성할 수 있다.

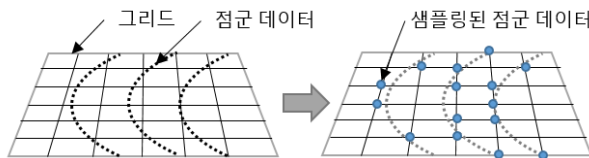


Fig. 5 Grid sampling

그림 6의 결과는 Velodyne社에서 제공하고 있는 점군 데이터 샘플을 이용하여 10m이내 국부 지형을 모델링한 결과[4]이다. 이 실험에서는 그리드 간격을 균일하게 50cm로 설정하였는데, 데이터 누적, Grid 샘플링, 메쉬(mesh) 모델링이 실시간(초당 25 프레임 이상)으로 처리되었다.

특수목적기계가 정지 상황에서 이동 경로 및 작업 영역의 정밀한 지형 특성을 파악하고자 할 경우는 이동할 때와는 다르게 팬틸트 모듈을 구동하여 거리 측정센서를 위아래로 회전시킨다. 이렇게 틸팅 구동을 통해서 획득한 점군 데이터를 누적하여 조밀한 지형 데이터를 획득하였다.

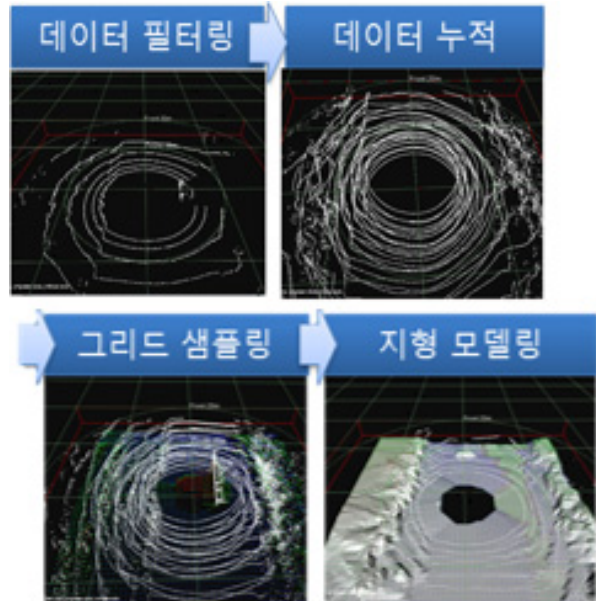


Fig. 6 Point Cloud Modeling Process

그림 7은 센서 모듈을 8도 가량 회전시켜 획득한 점군 데이터이다. 이 결과에서는 폭을 제외한 지형의 단차만을 고려한 특수목적기계의 이동가능 여부를 가시적으로 표시하기 위하여 높이에 따라 색상을 부여하였다. 파란색 계열은 이동이 가능한 영역이며 녹색 및 붉은색 계열은 이동이 불가능한 영역을 의미한다.

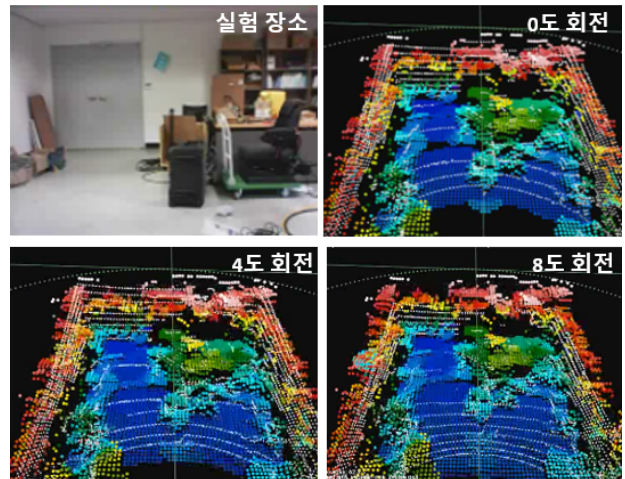


Fig. 7 Point Cloud Modeling

#### 4. 인명탐지 기술

##### 4.1 하드웨어 구성

붕괴사고 발생 시 사상자는 건물 잔해와 뒤섞여 있어, 조명이 약할 경우 육안과 영상으로 탐지하기 힘들다. 본 연구에서는 인체의 열 정보를 이용하여

사고 현장에 노출된 사상자를 탐지하기 위해서 우선적으로 열화상 센서를 활용한다[3]. 표 2와 그림 3과 같이 검토한 열화상 센서 중에서 324 x 256 영상 해상도를 가진 FLIR A35(9mm)을 최종 선정하였다.

Table 2 Sensors for human detection

구분	FLIR A35	S30W (AVIO-주원)	Thermal Expert (I3system)	FLIR one
해상도	324 × 256	160 × 120	384 × 288	
플 프레임 레이트	30 Hz	60Hz	9Hz	
측정 온도 범위	-25°C ~ +135°C	-20 ~ 350 °C	-10°C ~ +150°C	-20°C ~ +120°C
측정 거리	25m 이상	25m 이상	50m 이내	
장점	고해상도	저가	고해상도	저가, 휴대성
단점	고가	저해상도	고가	모바일 전용

#### 4.2 인명탐지 알고리즘

기존 열화상 센서는 사용환경에 적합한 열/온도 분포를 확인할 수 있도록 흑백(gray), 아이언(Iron), 레인보우(rainbow)와 같은 다양한 영상표시모드와 온도범위 설정 기능 등을 제공한다. 본 연구에서는 운전자가 탐지 대상을 쉽게 인지할 수 있도록 기존 열화상 센서에서 제공하는 기능 외에 탐지 대상에 외곽선(contour)을 표시하였다.

관심 객체(영역)에 외곽선을 표시하기 위하여 잡음에 강인한 캐니(Canny) 에지 검출 알고리즘을 열화상 영상에 적용하였다. 캐니 알고리즘의 최대/최저 임계값의 경우, 본 연구에서는 최저 임계값은 영상의 중간(mean)으로, 최대 임계값은 최저 임계값의 2-3배값으로 설정하였다. 그리고 과도한 외곽선 표시를 방지하기 위해서 외곽선 표시는 인체 온도에 해당하는 온도 영역(예, 20-35도)으로 제한하였다.

실내 모사 환경에서 인명 탐지 모듈의 성능을 시험하기 위하여 다음과 같이 시험을 수행하였다. 먼저 3~25미터 전방에 사람을 임의 위치에 배치하고, 팔, 다리 등 일부 노출에서 전신 노출까지 탐지 대상을 설정하였다. 거리와 노출 대상을 달리하여 시험을 5번 이상 수행하였고, 전체 탐지 대상 개수에 탐지한 대상 개수로 정확도를 계산하였다. 인명탐지 여부는 탐지 대상(신체 일부~전신)영상에 50% 이상 외곽선을 표시할 때 탐지되었다고 결정하였다. 실내 실험에서는 대상의 자세 및 노출 범위에 상관없이 평균적으로 80% 이상 인명 탐지율을 보였다.

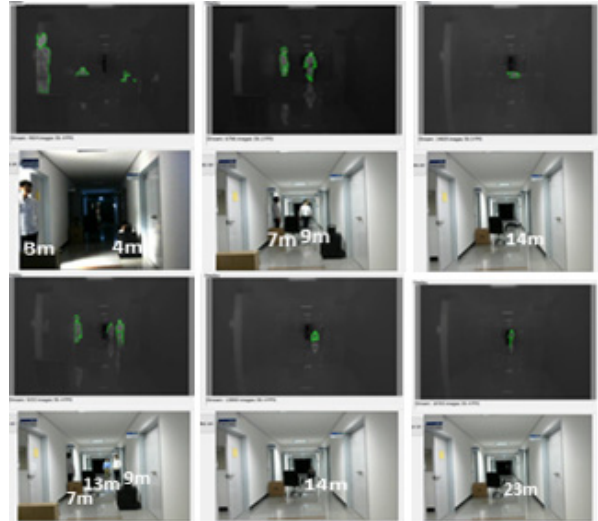


Fig. 8 Indoor Test Result of Life Detection

한편, 그림9처럼 실외에서는 팔과 얼굴 부위 영역은 정확하게 탐지하지만, 아스팔트 지면과 온도 분포가 유사한 다른 부분은 탐지 정확성이 떨어지는 것을 확인할 수 있었다. 이는 옷이 인체 온도를 상쇄시킨 결과로 두꺼운 복장을 착용하는 가을이나 겨울의 경우 열화상 센서를 통한 인명 탐지가 제한 받을 수 있음을 알 수 있다.



Fig. 9 Outdoor Test Result of Life Detection

### 5. 결 론

본 연구는 재난·재해 현장에서 특수목적기계가 안전하고 신속하게 작업할 수 있도록 특수목적기계 주변의 지반과 객체 정보를 운전자에게 제공할 수 있는 국부 지형 인지 기술을 개발하였다. 또한 재난·재해 현장에서 특수목적기계에 주변 인명 유무 정보를 제공하는 열화상센서기반 인명탐지 기술을 개발하였다. 향후 연구에서는 이중 센서의 융합을 통해서 지



형인지 모듈의 성능을 향상한다. 그리고 근접 전방 지형의 경사를 분석하여 운전 가이드를 제공하고자 한다. 인명 탐지 기술에서는 재난현장에서 누워있는 대상을 정확하게 탐지할 수 있는 영상기반 탐지 기술을 개발하고자 한다. 마지막으로 지형인지 영상은 인명 탐지 영상과 융합하여 통합영상을 생성하고자 한다.

후 기

이 연구는 2016년도 산업통상자원부의 재원으로 산업핵심기술개발사업의 지원을 받아 수행 되었습니다 (과제번호 : 10052967, 재난·재해 대응용 특수목적 기계 통합제어시스템 개발)

References

[1] J. Kim, K.-K. Kim, and S.-I. Lee, "Trends and Applications on Lidar Sensor Technology", Electronics and Telecommunications Trends, pp.134~143, 2012.

[2] H.-T. Kim, Y.-S. Kim, and K.-J. We, "Basic Concepts and Geological Applications of LiDAR", The Journal of Engineering Geology, Vol.24, No.1, pp.123-135, 2014,

[3] B.-J. Jeong and S.-W. Jang, "Image Processing using Thermal Infrared Image", Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society, Vol. 10, No7, pp. 1503~1508, 2009.

[4] Velodyne website, <http://velodynelidar.com>

[5] P. Viola and M. Jones, "Rapid Object Detection using a Boosted Cascade of Simple Features", COMPUTER VISION AND PATTERN RECOGNITION, 2001.

[저자 소개]



서명국

E-mail : seomk@koceti.re.kr

Tel : 063-447-2588

2006년 한국항공대학교 기계공학과 학사

2008년 광주과학기술원 기전공학과 석사

2013년 광주과학기술원 기전공학과 박사

2013년~2014년 광주과학기술원 실감콘

텐츠연구센터 Post-Doc, 2014년~현재 건설기계부품연구원 선임연구원, 건설기계의 환경인지 시스템, 영상처리, 3D 모델링&렌더링, 연구개발에 종사, 공학박사



윤복중

E-mail : bjyoon@koceti.re.kr

Tel : 063-447-2576

2006년 국민대학교 기계공학과 학사

2008년 국민대학교 자동차공학 석사

2013년 국민대학교 자동차공학 박사

2010년~2014년 언택트솔루션 선임연구

원, 2014년~현재 건설기계부품연구원 선임연구원, 무인자율주행자동차, 항법 및 경로추종, 건설기계 전자제어시스템, 지능형 건설기계 연구개발에 종사, 공학박사



이길수

E-mail : kslee@koceti.re.kr

Tel : 063-447-2577

2005년 신라대학교 자동차공학과 학사

2007년 부산대학교 지능기계공학과 석사

2013년 부산대학교 기계공학부(제어자동

화시스템 전공) 박사 졸업, 2013~2014년

부산대학교 조선해양플랜트글로벌핵심연구센터(GCRC-SOP) Post-Doc., 2014년~현재 건설기계부품연구원 선임연구원, 건설기계의 무인 자동화 및 지능형 제어 시스템, IoT, 네트워크 시스템에 관한 연구 개발 수행



신희영

E-mail : hyshin@koceti.re.kr

Tel : 063-447-2579

2012년 한국해양대학교 기계공학과 졸업

2014년 한국해양대학교 기계공학과 석사

과정 졸업, 2014년~현재 건설기계부품

연구원 전임연구원, 자동제어, 자동화 굴

삭기 개발 연구에 종사, KSME, 등 회원, 공학석사