

붕괴지역의 매몰자 위치측위를 위한 모듈 개발 및 검증

문현석*, 이우식
한국건설기술연구원 ICT융합연구소

Development and Verification of A Module for Positioning Buried Persons in Collapsed Area

Hyoun-Seok Moon*, Woo-Sik Lee
ICT Convergence and Integration Research Institute,
Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

요 약 도심지에 지진, 산사태 등과 같은 재난 발생 시 건물 및 지하 구조물 붕괴로 인해 잔해 내부에 다수의 매몰자가 발생된다. 이때 인명탐지를 위해 주로 음향, 영상 및 전파 등을 활용한 탐지 장비 등이 활용되나 고가이며, 붕괴지 상부로의 직접 투입으로 인한 2차 붕괴위험 및 장비 운용 성능 저하로 인해 신속하고 높은 신뢰성을 갖는 인명탐지 기술이 활용되지 않고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위한 매몰자의 휴대 기기에서 송출하는 Wi-Fi 신호 및 기압정보를 제공받아 매몰자의 3차원 위치를 탐색하는 UAV(Unmanned Aerial Vehicle)에 탑재 가능한 무선신호 기반 인명탐지 모듈을 개발하였다. 또한 드론의 비행동안 매몰자 휴대기기 정보를 실시간으로 수집하여 해당 정보를 지상부에 전송하여 신뢰성 있는 매몰자의 3차원 위치정보를 제공하도록 하는 모듈 개발 프레임워크를 제시하였다. 이를 통해 인명탐지 모듈의 개발과 현장 테스트를 통해 적용 타당성을 검증하였다. 이러한 연구결과는 향후 대형 건물 붕괴와 같은 재난 시 매몰자에 대한 매몰 위치의 신속한 탐지 및 구조와 실종자 수색을 위한 핵심기술로 활용될 수 있을 것이다.

Abstract Due to disasters such as earthquakes and landslides in urban areas, persons have been buried inside collapsed buildings and structures. Rescuers have mainly utilized detection equipment by applying sound, video and electric waves, but these are expensive and due to the directional approaches onto the collapsed site, secondary collapse risk can arise. In addition, due to poor utilization of such equipment, new human detection technology with quick and high reliability has not been utilized. To address these issues, this study develops a wireless signal-based human detection module that can be loaded into an Unmanned Aerial Vehicle (UAV). The human detection module searches for the 3D location for buried persons by collecting Wi-Fi signal and barometer sensors data transmitted from the mobile phones. This module can gain diverse information from mobile phones for buried persons in real time. We present a development framework of the module that provides 3D location data with more reliable information by delivering the collected data into a local computer in the ground. This study verified the application feasibility of the developed module in a real collapsed area. Therefore, it is expected that these results can be used as a core technology for the quick detection of buried persons' location and for relieving them after disasters that induce building collapses.

Keywords : UAV(Unmanned Aerial Vehicle), Wi-Fi, Human Detection Module, GPS, Disaster Area

본 논문은 한국건설기술연구원의 주요사업인 “(16주요-대2-지하붕괴3) 재난지역 붕괴형상정보 취득 및 매몰자 탐지 기술 개발” 연구의 일환으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

*Corresponding Author : Hyounseok Moon (Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology)

Tel: +82-31-910-0486 email: hsmoon@kict.re.kr

Received November 7, 2016

Revised December 5, 2016

Accepted December 8, 2016

Published December 31, 2016

1. 서론

지진, 산사태 등의 재난으로 인한 시설물 붕괴 시, 현장의 재난 발생 정보 취득과 매몰자 위치 확인에 상당한 시간이 소요되어 다수의 물적, 인적 피해를 야기하고 있다. 매몰자의 구호를 위해 음향, 전파 및 영상 등의 기술을 이용한 매몰자 탐지 장비를 활용하고 있다. 그러나 이러한 장비들은 고가여서 그 수가 많지 않고 적시에 재난 현장으로의 장비 투입이 어렵다. 특히 이러한 장비들은 2인 이상이 팀을 이뤄 붕괴지형 상부지역으로 직접 투입을 수행하므로 2차 붕괴위험이 수반된다. 또한 장비의 운영이 어려우며, 탐지 성능이 높지 않아 정확한 인명을 탐지하는 것은 인력 및 시간 손실을 초래하여 구호 골든 타임인 72시간을 지키지 못하는 것이 현실이다[1].

이러한 이슈들의 해결을 위해 본 연구에서는 매몰자 인명탐지 과정에 UAV(Unmanned Aerial Vehicle) 일명 드론(Drone)을 도입하였다. 또한 매몰자의 휴대기기의 무선신호 및 센서 정보를 취득함으로써 정확한 매몰자 위치를 탐지하는 무선신호 기반 인명탐지 H/W 모듈을 개발하였다. 이는 UAV에 탑재되어 넓은 재난 붕괴지역 상부를 비행하며 신속하게 매몰자를 탐지할 수 있도록 하는 진보된 기술을 제공한다. 특히 UAV 비행 시 매몰자 휴대기기로 부터 무선신호 강도를 측정하여 가장 높은 신호강도 값의 해당 위치인 GPS (Global Positioning System) 좌표를 기록하여 매몰자의 평면위치를 추정할 수 있다. 그러나 UAV 움직임에 따른 위치 변동성과 GPS 자체의 오차(4~13m)로 인해 정확한 매몰자 위치를 탐지하는 것이 곤란하다. 이를 보완하기 위해 매몰자 탐지모듈에 RTK(Real Time Kinematic)-GPS를 탑재하여 GPS의 변동성을 최소화하고 수 cm이내의 정밀성을 확보하도록 하였다.

2014년 스위스 로잔공대 (École Polytechnique Fédérale de Lausanne; EPFL)에서는 개방형 공간에서 실종자 휴대기기 신호를 감지하여 10m 이내로 위치를 탐지하는 상용드론을 개발한바 있다[2]. 그러나 이는 2차원 평면공간만을 다루고 있고 위치오차가 10m에 달해 정확한 위치의 매몰자를 추정 하는데 한계를 갖는다. 국내에서는 숲속에서의 실종자 수색을 위한 인공지능 드론개발 연구[3], 화재, 긴급 구호물자 보급, 정찰 드론 등 재난지역 드론 활용 사례[4], 드론을 이용한 재난안전 판단 시스템 구축[5], 재난 구조대상물 탐지를 위한

드론 개발[6]등이 연구된바 있다. 이러한 연구들은 주로 실종자 수색, 드론 활용사례 및 재난 시스템 개발 등의 연구가 수행되었으나, 본 연구와 같이 매몰자를 탐지하기 위한 관련 시스템이나 모듈 개발 연구 수행사례는 미흡하다.

본 연구의 목적은 UAV에 탑재 가능한 무선신호 기반 인명탐지 모듈 제작을 통해 인명탐지의 기술적 성능을 검증할 수 있는 통합 프레임워크를 구축하는 것이다. 이를 위해 UAV와 연동 가능한 무선신호기반 인명탐지 모듈을 개발 체계를 구축하고 이를 활용하여 매몰자 휴대기기의 무선신호, 센서 및 GPS 정보 취득을 통해 매몰자의 3차원 공간 위치를 시각화 할 수 있는 시스템 구축 및 현장 검증을 수행한다.

이러한 연구는 매몰자 탐지뿐만 아니라 실종자의 추적에 활용할 수 있으며, 기존의 매몰자 탐지 기술을 대체할 수 있는 저비용, 고성능의 매몰자 구호 패키지로 적용될 수 있을 것이다. 특히 광역지역의 비행을 통해 다수의 매몰자를 신속하게 구호할 수 있는 정보를 제공하기 위한 핵심기술로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

2. 국내외 매몰자탐지 관련 기술 동향

국내외에 널리 활용되는 매몰자 탐지방법으로는 Fig. 1과 같이 영상, 음향 및 전파 등을 활용한 기기를 사용하여 구호인력이 직접 붕괴현장으로 투입되는 수동적 운용 방식을 따른다.



Fig. 1. Current technologies related to the human detection equipments in disaster area

매몰자 영상탐지 장비는 주로 내시경 카메라를 이용하여 좁은 곳에서 영상으로 매몰자 확인 및 탐색하는 장비이다. LED 조명을 활용하고, 어두운 곳에서 2m 밖의 물체 식별이 가능하며, 유-무선을 통해 휴대용 화면장치에 상황을 표시하는 방식이다. 음향을 이용한 탐지 장비는 붕괴지 내부의 진동 및 소리를 탐지하여 매몰자를 찾아내는 장비이다. 다중 센서를 선택적으로 활용하여 음향을 탐지하며, 주로 영상 탐지 장비와 함께 운영된다. 한계 탐지거리는 30m내외 이며, 외부 소음에 영향을 받는다. 마지막으로 전파탐지 장비는 붕괴지 내부에 전파를 투사하여 손가락 움직임과 같은 불규칙적 활동 및 호흡에 따른 흉부의 움직임을 감지하여 매몰자의 위치 및 생존여부를 파악하는 장비이다. UWB (Ultra Wide Band)기술을 이용하며, 움직임에 대한 최대 탐지거리는 30m, 호흡 감지거리는 10m 이내이다. 특히 다수의 안테나가 설치 활용될 수 있다.

이와 같은 탐지 방법들은 탐지 거리의 한계와 더불어 구조자가 수동적으로 임의의 위치를 찾아가 장비를 세팅해야한다는 점에서 장비 운용이 어렵고, 대형사고 현장에서는 사용되기 불가능 하다고 판단된다. 또한 현장으로 직접 장비를 투입하므로 2차 붕괴의 위험을 수반한다. 다수의 매몰자가 넓은 지역에 분포하였을 경우 탐지 거리를 벗어난 매몰자는 구조가 어렵고, 매몰자의 위치가 탐지 거리 내에 있는 경우 발견한다 할지라도 매몰자 발견 및 구호까지의 시간이 얼마나 걸릴지 알 수 가 없다. 따라서, 본 연구에서는 매몰자들이 스마트폰 등을 소지했다는 가정에서 기기들의 센서 신호정보에 따라 위치를 탐지하는 비접촉식의 UAV 탑재형 무선신호 기반 인명탐지 모듈을 개발하고 구현체계를 검증한다.

3. 인명탐지 모듈 개발 프레임워크

3.1 인명탐지 모듈 개발 조건 및 요구사항

본 연구에서는 재난현장으로 신속한 투입으로 매몰자의 생존 골든타임 내에 구호할 수 있도록 UAV를 도입하였다. 일반적인 드론은 비행을 통한 이미지 및 영상 촬영에 중점을 두고 있으나 본 연구에서 고려하는 드론은 기본적인 안정적 비행 기능과 함께 매몰자의 휴대기기 신호를 탐지하여 위치를 추위 할 수 있는 매몰자 탐지모듈을 탑재하였다.

매몰자 탐지모듈의 개발 기본 요구사항은 드론탑재 및 상호 제어가 가능한 무선신호 기반 매몰자 통신모듈을 구축해야 하는 것이다. 본 모듈에는 매몰자 휴대기기의 무선신호를 감지하기 위한 신호 스캐닝 기술이 적용된다. 이는 드론 자체가 Wi-Fi AP(Access Point) 역할을 하며, 이에 따라 스마트폰에서 송출되는 Wi-Fi 신호 강도 감지 및 기압센서로부터의 매몰 깊이 정보 추정을 통해 매몰자의 위치를 추위 할 수 있도록 한다. 이러한 정보는 지상 통제부로 실시간 전송을 통해 매몰자의 정밀 위치를 계산한다. 이렇게 분석된 위치 정보는 드론 비행동안 취득된 스테레오 비전 (Stereo Vision)에 의해 구축된 3차원 붕괴지형 모델에 시각적으로 위치가 표출된다.

개발 조건 및 상세 기술적 요구사항으로는 기본적으로 자체 전원(4,200mA급)에 의해 1시간 이상 작동되어야 하고 전력이 일정수준 이하로 낮아지면 드론 및 짐벌의 배터리를 공유할 수 있도록 해야 한다. 지향성 안테나 탑재를 통해 탐지 범위를 특정화하고 오탐지를 줄여 무선신호 인식성능을 높일 수 있어야 한다. 무선신호 표준인 IEEE 802.11 b/g/n을 지원하여 전송속도 및 인식강도를 개선해야 한다. 실시간으로 수집되는 매몰자 휴대기기의 무선신호 및 센서 정보는 LTE(Long-Term Evolution)를 통해 지상부에 송출되어 위치정밀도 처리 개선과 위치 표출에 활용된다. 본 모듈은 드론에 기본적으로 탑재되도록 범용성을 갖도록 짐벌에 장착 가능한 형태의 마운팅 모듈을 탑재해야 한다. 드론에 탑재하는 경우 드론의 비행경로에 따라 매몰자 무선신호를 감지하게 되는데 감지 확률과 신뢰성 있는 데이터의 확보를 위해 강한 무선신호 값이 송출되는 지점에서 드론이 이를 인식하여 자동적으로 호버링(Hovering) 기능을 활성화할 수 있도록 해야 한다. 그리고 일정시간 동안 비행 후에는 사전 설정된 경로로 재비행하도록 한다. 특히 Wi-Fi 신호강도가 높은 지점의 위치 값을 GPS로부터 취득해야 한다. 그러나 기존 GPS가 오차가 크므로 매몰자 위치 변동성을 가질 수 있어 수 cm이내의 추위 성능을 갖는 RTK-GPS 모듈을 탑재한다. 즉 H/W를 통해 취득된 위치 데이터를 1차 제공하여 S/W 분석을 통해 정밀한 2차 위치정보를 계산한다. 또한 매몰깊이를 추정하기 위해 매몰자 휴대기기로부터 기압센서 정보를 수집할 수 있어야 한다. 기압 및 기후정보를 통해 해면기압을 기준으로 고도 값 즉 매몰 깊이 값을 추정할 수 있어야 한다.

이렇게 수집된 데이터는 무선통신망을 통해 지상부에 전송되고 분석된 매몰자의 정밀 위치 값은 3D 붕괴지형이나 오픈 맵에 시각적으로 표출되도록 해야 한다.

3.2 인명탐지 모듈에 의한 매몰자 탐지

Framework

상기의 기술적 요구사항을 바탕으로 드론기반 매몰자 탐지의 Framework는 Fig. 2와 같다.

지진에 의해 지반붕괴에 따라 건축물 또는 지하시설물이 붕괴될 경우 매몰 공동구에 다수의 매몰자가 매몰된다. 이때 매몰자가 휴대하고 있는 휴대기기가 파손없이 없이 신체 인근 또는 몸에 소지하고 있는 것으로 가정한다. 그리고 재난이 발생하면 무선신호를 강제적으로 활성화하기 위해 특정 코드를 담은 재난발생 문자를 해당 재난지역 거주자에게 전송한다. 이후 재난 발생상황을 소방서나 경찰 등의 구조인력에게 통보하고 신속한 시간 내에 재난현장에 접근할 수 있는 상황인지 파악한다. 매몰자의 생존 골든타임 내에 구호가 가능한 인접환경이라면 직접 현장에 도착하여 매몰자 탐지 드론을 운영할 수 있다. 그렇지 않을 경우 원격으로 드론을 현장에 투입하도록 자율비행을 수행할 수 있다. 현장에 드론이 도착하면 재난지역을 반경으로 Auto Pilot 기능을 활성화하고 경로 계획을 사전 설정한다. 이때 재난 구역의 규모에 따라 드론을 1대 또는 그 이상 투입할 수 있다.

드론이 경로계획에 따라 재난지역 상공을 비행하게 되고 드론에 탑재된 매몰자 탐지 모듈을 통해 실시간으로 매몰자 휴대기기의 신호를 스캐닝하고 센서 정보를 취득 하게 된다. 만약 비행동안 1개 또는 그 이상의 무선 신호가 인식될 경우 관련 탐지정보를 드론의 비행제어 모듈에 전송하고 일정시간 동안 호버링 모드로 자동 전환된다. 호버링 시간동안 매몰자가 송출하는 무선신호 정보와 기압센서 정보를 전송받아 실시간으로 내장 메모리에 저장되고 Fig. 2에 도식한 바와 같이 4G LTE 망을 통해 지상부의 데이터 수집 서버로 전송된다. 만약 통신망이 단절될 경우 휴대용 재난안전 통신망인 재난-LTE를 활용할 수 있다. 수집된 데이터는 정밀한 위치정보로 변환되고 웹 서버를 통해 해당 위치정보가 시각적 정보로 가공되어 3D 붕괴지형이나 Open Map상에 표출된다. 이때 신호강도에 따라 표출되는 위치 점의 색상이 달라진다. 이러한 과정에 따라 12시간 이내에 3D 붕괴지형 구축 및 인명탐지를 완료하여 생존 골든타임 내에 매몰자를 구호할 수 있도록 한다.

3.3 매몰자 휴대기기 무선신호 스캐닝 기술

매몰자 탐지 모듈은 기본적으로 무선 AP의 역할을 함과 동시에 신호정보를 취득하여 높은 신호강도를 갖는 매몰자 지점의 위치를 기록하여 지상부에 실시간으로 전송하는 역할을 한다. 여기에는 무선신호 스캐닝 기술을 적용하였다. 본 기술은 매몰자 탐지모듈에 탑재한 지향



Fig. 2. An overall framework of burial location representation by a wireless communication-based human detection module with UAV

성 안테나를 통해 일정 범위내의 휴대기로부터 송출되는 무선신호 세기 즉 RSSI(Received Signal Strength Indication)를 측정한다. 이때 해당 기기의 Mac Address 값을 취득하게 되어 어떠한 기기로부터 신호가 송출되는지 확인 가능하다. 이는 재난문자에 포함된 특정 SSID(Service Set Identifier)가 인식되면 Wi-Fi 신호를 강제로 활성화하여 해당 무선신호 정보를 송출할 수 있도록 백그라운드 앱(Background Application)을 설치하여 정보를 전송하도록 설계 하였다. 이에 따라 Wi-Fi 신호의 감지와 함께 휴대기에서 송출되는 기압센서 정보 값을 수신하여 저장할 수 있다. 이러한 모든 과정은 매몰자 탐지모듈의 CPU에 구현되는 펌웨어 알고리즘을 통해 일괄 처리된다.

무선신호는 스캐닝 시간과 드론 비행의 변동성에 따라 일정한 신호강도를 수집하기 어렵다. 따라서 일정시간동안 정지비행을 수행하게 되고 단일의 Mac Address 즉 1개의 기기로부터 다수의 신호 정보 수집을 통해 측정된 신호강도에 따라 GPS 위치 값을 기록하게 된다. 즉 단일의 기기에 대한 다수의 GPS 값을 가지게 되므로 정확한 위치점을 특정하기 어렵다. 이를 위해 위치보정 알고리즘을 적용하게 되고 다수의 위치 값에서 높은 신호강도 값을 갖는 좌표 값으로 추정하도록 알고리즘을 내장하였다. 이때 수집되는 정보로는 Mac Address, Channel, SSID, RSSI, 매몰자의 X, Y, Z 위치 값을 표출하게 된다.

이러한 기술적 요구사항을 기반으로 드론에 탑재 가능한 매몰자 탐지 모듈을 개발하였다.

4. 매몰자 탐지 모듈 H/W 및 S/W 개발

4.1 매몰자 탐지모듈 H/W Architecture 설계

본 연구에서는 상기에 제시된 매몰자 위치를 확인하기 위한 기술 및 기능 요구사항을 기반으로 매몰자 탐지 모듈 H/W를 개발하였다. 기본적인 Wi-Fi AP역할을 통한 신호감지 및 감도 측정, 매몰자 휴대기기의 신호 데이터 수신 및 지상부로의 데이터 송신, 신호강도별 위치 저장을 위한 기본 프레임워크를 토대로 요구되는 부품 BOM(Bill Of Materials)을 구성하였다. 매몰자 탐지 H/W 모듈의 설계를 위해 OrCAD Ver.16.6을 활용하였으며, 기본적인 전체 운영 전력은 배터리 사용량을 최소

화하기 위해 Total Operating Voltage는 5V로 설계하였다. 이의 전력은 본 모듈의 내장배터리로 작동되도록 설계하였다.

실제 회로 설계전의 기본 개념설계 단계로 부품들 간의 기능적 연관관계에 따라 인접하여 설계하고 전체적인 회로의 흐름을 확인하기 위해 Fig. 3의 H/W 블록 다이어그램을 작성하였다. 만약 기능의 추가나 수정이 있을 경우 본 다이어그램을 바탕으로 요구 기능과 비교하여 누락된 기능 부분을 수정할 수 있다.

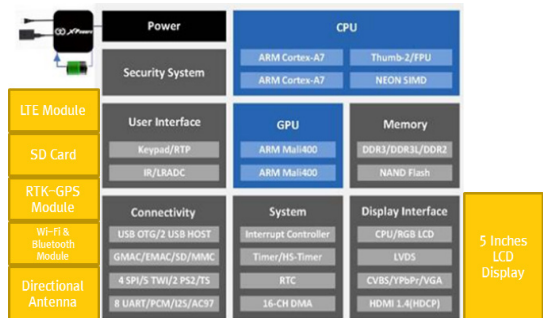


Fig. 3. A block diagram for designing H/W module circuit of a human detection module

Fig. 3의 블록다이어그램은 각 장치 간의 Data 전송을 고려한 부품간의 상관관계를 도식화 한 것이다. 각 장치는 실제 부품을 제작하는 것이 아닌 기능적 구성에 따라 기성부품을 조합하여 구성하였다. 이를 운영하기 위한 각각의 디바이스 드라이버들은 안드로이드 OS에 맞게 리눅스 커널을 개발하여 호환성을 확보 하였다.

DDR3 Memory는 CPU의 연산처리와 Display의 Cache 역할을 하며, Nand Flash Memory는 CPU 연산 처리 결과 값을 저장 하는 역할을 한다. 여기서 말하는 연산처리는 각 장치 Wi-Fi, Bluetooth, GPS, LTE 및 USB 등에서 송수신하는 Data를 말하며, 각 장치들의 Data 처리 우선순위는 Interface를 통해 이루어진다. Interface에 들어가는 명령어를 리눅스로 코딩하며, 이것을 임베디드 S/W라고 한다.

부품의 각 회로도 구성을 위해 다음의 성능을 고려한 부품별 회로설계를 진행하였다. Wi-Fi 및 Bluetooth의 경우 고성능 모듈을 사용하였으며, Wi-Fi의 경우 듀얼 밴드를 사용하도록 하였다. 운영 전력은 3V로서 저전력 설계를 수행하였으며, 공급저항과 부하저항을 같게 하는 안테나 임피던스 매칭에 주의하여 최대 수신 감도를 유

지할 수 있도록 설계하였다. 데이터 실시간 전송을 담당하는 LTE 모듈의 경우 초기 USB 타입을 고려하였으나 전송속도 및 모듈 크기의 제약으로 Mini PCI 인터페이스의 범용 인터페이스를 사용하여 소형화 설계를 수행하였다. 통신 제어 정보를 담당하는 LCD 모듈의 경우 회로보드의 호환성을 위해 5인치의 LCD를 채용하였다. 양산시 자재비 절감을 위해 저전압 신호를 사용한 LDVS((Low-Voltage Differential Signaling) 인터페이스[7]를 채용하였다. 이는 고속 데이터 전송 속도를 위해 낮은 소비 및 뛰어난 노이즈 내성의 특징을 갖는다. LCD 파워 부분에 대한 노이즈 대책을 위한 필터 및 스위치를 추가하여 설계하였다. USB의 경우 USB OTG 인터페이스의 외부 커넥터 접속부의 정전기로 인한 보드 데미지에 대비하여 써지필터를 적용하여 설계 하였다. 또한, USB 확장 인터페이스를 위한 USB HUB를 적용하여 시작품의 확장성을 고려하였다. CPU 보드는 제품 크기와 핀맵 매칭에 맞는 상용 CPU 보드를 사용하여 제작 공수를 줄이며, 제품의 품질을 확보하여 CPU 설계를 수행하였다. 마지막으로 Debug 회로도를 위해 비디오-오디오-지자기센서 등의 동작확인용 회로 설계 및 실제 드론 비행 중에 데이터 핸들링 관련 디버깅용 회로를 설계하여 데이터로그 저장용, 동작관련 소리 등으로 확인하는 기능을 추가 하였다.

4.2 RTK-GPS 모듈 탑재

본 매몰자 탐지 H/W 모듈은 매몰자의 위치를 정확하게 추정하기 위해 활용된다. 이를 위해 기존의 D-GPS 방식이 아닌 오차를 수 cm 수준으로 개선하는 RTK-GPS를 탑재한다. RTK-GPS는 제작된 모듈에 탑재해야 하므로 모바일 전용의 소형 부품을 선정하였다. 해당 RTK-GPS는 SwiftNav사의 Piksi 모듈을 적용하였다. 이는 데이터 통신을 위해 제공하고 있는 UARTB 포트를 사용하고 있다. 추가적인 상황에 대비하여 UARTA 포트를 탑재하고 있다. 본 모듈은 GPS데이터 전송을 위해 915MHz나 433MHz 등의 송수신 모듈이 필요 없이 자체 설계를 통해 무선 다이렉트 접속방식을 채용하고 있다.

4.3 매몰자 탐지모듈 처리 메카니즘

Fig. 4는 매몰자 탐지모듈을 통한 무선신호 스캐닝, 데이터 수집, 전송 및 표출 과정을 포함하는 시스템 처리

메카니즘을 구성한 것이다.

우선 붕괴현장에서 매몰자 스마트폰으로부터의 Wi-Fi 신호는 드론에 탑재된 매몰자 탐지모듈의 신호 스캐닝 기술을 통해 감지한다. 그리고 내부 어플리케이션을 통한 신호, 센서 및 위치 데이터를 저장한다. 이때 위치데이터는 RTK-GPS와 연동한다. 그런 다음, LTE 모듈을 통해 실시간으로 인명탐지 시스템 미들웨어 서버로 관련 데이터를 전송하고, 에이전트 프로그램에서 수집한 Data를 분석하여 DB(Database)서버에 저장한 다음 웹 지도나 3D 붕괴지형 모델에서 시각적으로 구현된다.

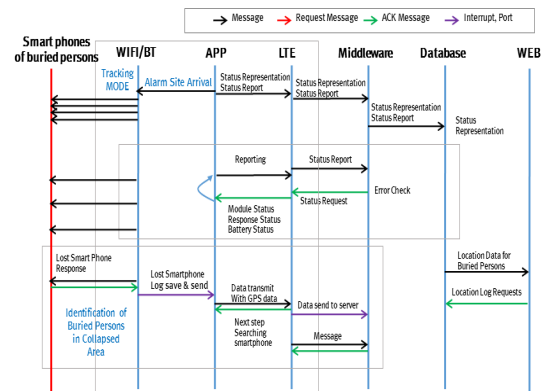


Fig. 4. Data processing mechanism of a detection module for buried persons

4.4 인명 탐지모듈 H/W 제작

매몰자 탐지모듈의 H/W를 제작하기 위해서는 다음의 Circuit Design, Artwork 및 PCB(Printed Circuit Boards) SMT(Surface Mount Technology)를 수행(Fig. 5)하여 최종 인명탐지 모듈 H/W Board를 제작(Fig. 7)하였다.

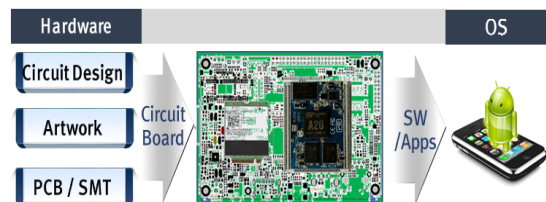


Fig. 5. Manufacturing process for circuit board

회로 설계 후 Artwork에 앞서 실부품의 배치에 따른 최적 설계를 구성하도록 Fig. 6과 같이 Reference Board를 제작하였다. 이를 통해 부품 간 간섭, 배치, 부품의 호

환성 및 설계의 효율성을 확보하기 위해 최적 부품 배치를 구성하여 작동 테스트를 수행하였다. 부품의 호환성에 따라 LTE 모듈 변경과 Wi-Fi 모듈의 안드로이드 디바이스 드라이버 불안정으로 최종 설계를 변경하여 Artwork를 진행하였다.

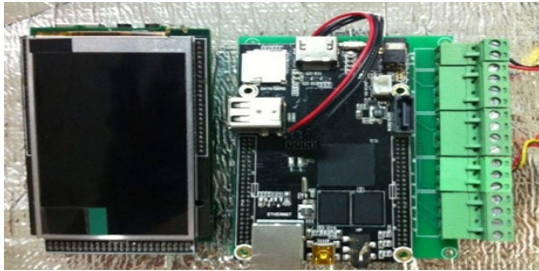


Fig. 6. A reference board for a circuit layout

이러한 과정을 통해 도출된 부품의 배치 및 회로 Board의 최적 크기를 고려하여 최종 Artwork를 수행하였다. 이를 위해 PDAS 9.5 툴을 이용하여 10개의 Layer를 갖는 PCB Artwork을 제작 하였다. 그리고 임피던스 매칭과 Land 및 비어홀 사이즈에 주의하였으며, 파워부에 노이즈 필터를 적용하였다.

최종 변경된 Artwork을 바탕으로 부품을 회로에 실장하는 SMT를 수행하여 최종 Board를 Fig. 7과 같이 제작하였다. 그림의 오른쪽은 LCD 모듈과 Board를 연결한 제작 결과를 보여주고 있다.

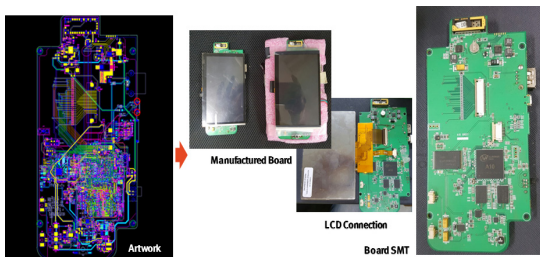


Fig. 7. A built H/W module

4.5 매몰자 탐지 정보처리를 위한 미들웨어 및 웹 뷰어 개발

제작된 인명탐지 모듈을 통해 신호가 측정 되면 내부 메모리나 4G 통신을 통해 높은 신호강도의 위치 값을 저장 및 전송하게 된다. 이러한 위치를 표출하기 위해서는 웹(Web) 기반의 신호강도별 위치 표출 프로그램이 필요하며, 이의 데이터 전송 처리를 위한 미들웨어를 구

축해야 한다(Fig. 8).

본 미들웨어는 드론으로부터 실시간 전송된 무선신호의 신호강도, 위치, 센서 및 측정시간 정보를 저장하여 처리하고 이를 웹 뷰어에 시각적으로 표출하는 기능을 담당한다.

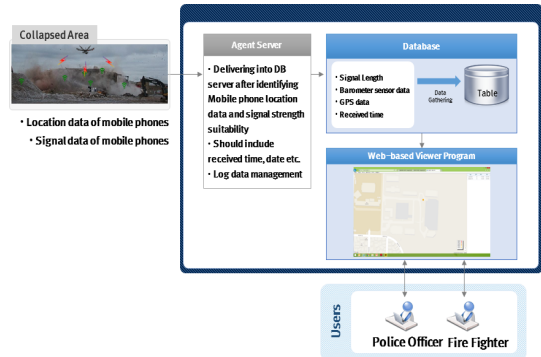


Fig. 8. A middleware processing mechanism for sending the location of mobile phones

처리 방법은 Fig. 8과 같이 개발된 미들웨어에서 인명탐지 모듈로부터 감지한 매몰자 휴대기기 Wi-Fi 신호 강도 및 휴대기기로부터 전송된 기압센서 정보와 인명탐지 모듈의 현재 GPS 좌표 패킷을 실시간으로 받아 데이터 베이스 서버로 전송한다.

이렇게 전송된 Data는 위치정보 오류 개선 및 보정 알고리즘을 통해 최적의 위치 값이 산정되고 이 정보는 DB 테이블을 통해 기록된다. 이들 정보의 위치를 시각적으로 확인하기 위해 Fig. 9과 같이 웹 지도기반의 위치 표시 프로그램을 개발하였다.

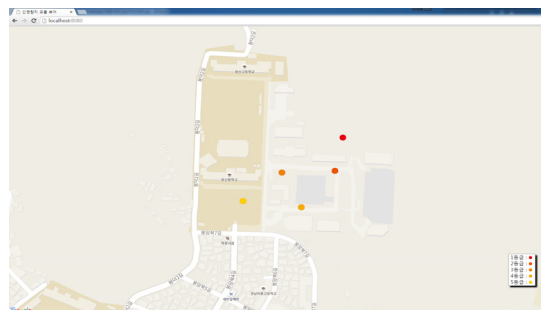


Fig. 9. A screen of location visualization program

본 프로그램은 우선적으로 구글 Open API를 적용하였다. 이와 함께 수집 및 분석된 위치정보 DB를 연동하여 오픈 맵 화면에 강도별 위치를 시각적으로 표시한다.

여기서의 위치 값은 개발된 모듈을 통해 측정된 가장 높은 강도 값을 갖는 위치를 나타낸다.

현재 프로그램은 개발된 인명탐지 모듈의 성능 검증을 위해 개발되었다. 그러나 향후 스테레오 카메라를 통해 구성된 3D 붕괴지형 모델을 통해 3차원 가상공간에서의 매몰자 위치를 확인할 수 있도록 위치 시각화 프로그램으로 변경될 것이다.

또한 매몰자 휴대기기의 Wi-Fi 및 센서 기능을 활성화하기 위해 백그라운드 앱을 개발하였다. 이는 재난문자 전송 시 해당문자에 특정 코드를 입력하고 이 문자를 수신한 휴대기기는 해당 코드를 인식함으로써 Wi-Fi 및 센서 데이터 전송 기능 활성화를 강제로 수행하도록 백그라운드 앱이 자동 설치된다.

이와 같이 붕괴지역에서의 인명탐지는 개발된 H/W 모듈, 데이터 전송 및 처리를 위한 DB를 포함한 미들웨어와 웹 뷰어 프로그램 및 데이터 수집을 위한 백그라운드 앱을 패키지로 구성함으로써 운영 가능하다.

5. 현장 테스트 및 검증

5.1 현장 테스트 시나리오 구축

본 연구에서는 개발된 인명탐지 모듈의 작동 테스트 및 검증을 위해 Fig. 10의 현장 적용 시나리오를 구성하였다.

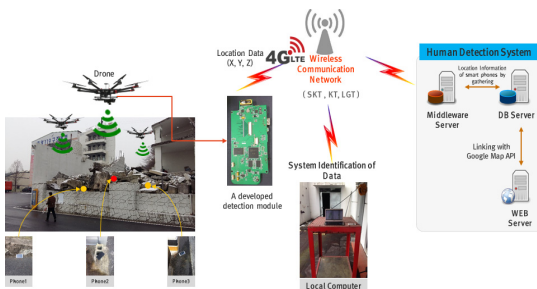


Fig. 10. A detection scenario for real site test

우선 실제 재난 붕괴현장과 유사한 장소로서 경기도 남양주시에 소재한 수도권 119특수구조대 붕괴건물훈련장이 선정되었다. 드론에 개발된 모듈을 탑재하고 붕괴지형의 범위를 고려하여 매몰자 탐지를 위해 비행계획을 수립한다. 자동화된 경로에 따라 드론 비행동안 인명탐지 모듈이 매몰자 휴대기기에서 송출하는 Wi-Fi 신호와 기압센서 정보를 감지하여 높은 신호강도를 갖는 위치에

서의 GPS 측정 정보를 저장한다. 수집된 데이터는 탐지 모듈 메모리에 실시간으로 기록 된다. 이때 수집된 데이터는 4G 망을 통해 위치를 시각화하기 위해 데이터를 탐지모듈로부터 지상부 미들웨어로 전송되고 데이터의 수집과 매몰자 위치 측위 분석을 통해 웹 뷰어로 최종 시각화 된다.

5.2 개발 모듈의 현장 테스트 및 결과 검증

매몰자 휴대기기 위치정보 취득을 위해 휴대폰 Wi-Fi 신호를 인명탐지 모듈이 감지하여 측정된 위치의 GPS 좌표와 함께 4G 통신망을 통하여 인명탐지 시스템 에이전트 서버로 전송한다. 수집된 전송결과는 DB로부터 테이블 구성을 통해 확인된다. 여기서, 인명탐지 모듈에는 자체 전원을 공급하도록 4,200mA 용량의 배터리를 내장하였다. 이를 현장에서 운영한 결과 날씨 등의 환경에 영향이 있으나 평균적으로 약 1시간 내외로 작동된다. Fig. 11은 드론에 탑재된 인명 탐지모듈로부터 전송받은 매몰자 위치정보 결과를 나타낸 것이다.

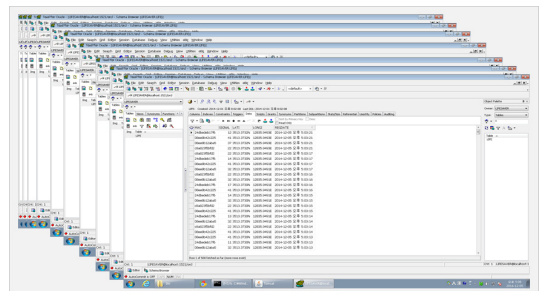


Fig. 11. Agent DB for checking location data

이와 같이 전송된 데이터는 구글맵과 연동되어 휴대폰 위치 및 감도를 시각적으로 확인할 수 있다.

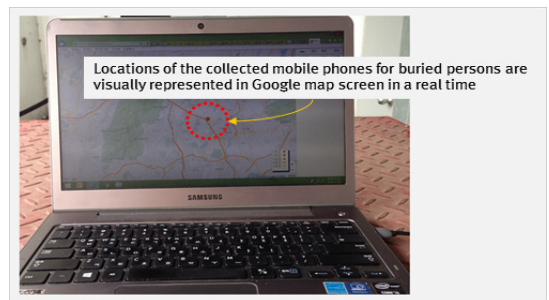


Fig. 12. Test results for viewing the locations

Fig. 12에서 지상부 컴퓨터의 웹 뷰어를 통해 실시간으로 측정된 매몰자 위치를 확인할 수 있다. 가장 강한 신호를 갖는 매몰자 위치의 경우 적색으로 표시되며, 신호세기가 약할수록 색상이 밝게 표시된다. 또한 해당 위치 오차는 드론에 탑재된 GPS 모듈에 의해 결정된다. 일반적으로 GPS는 측정된 시간에 따라 위치 변동성이 발생하여 이를 통계적으로 위치 오차를 보정하는 알고리즘이 반영될 필요가 있다. 현재 개발된 모듈을 기준으로 테스트 할 경우 위치 오차는 개략적으로 5~8 m 이내 수준의 범위에서 측정된다. 그러나 매몰자는 최대 3m 이내에서 위치오차를 측정하여야만 확실적으로 좀 더 정확한 위치를 추정할 수 있다. 이는 드론의 자세정보, RTK-GPS 위치 값 및 위치보정 알고리즘을 퓨전(Fusion)함으로써 개선될 수 있다. 본 테스트에서는 제공되는 맵이 2차원이므로 매몰자의 깊이는 측정하지 못하였다. 현재 붕괴지형을 3차원으로 재구성할 수 있는 스테레오 카메라 기반 붕괴지형 매핑 기술을 구축 중이므로 향후 시각적으로 매몰자의 깊이를 위치정보 뿐만 아니라 시각적 정보로 제공할 수 있도록 개선할 수 있다. 마지막으로 적용된 모듈에서는 무지향성 안테나를 적용하여 개발된 모듈에 의한 탐지 범위가 넓어 해당 지점이 아닌 인근 매몰자까지 탐지되어 위치 측위오류를 다수 발생시켜 이상점을 제거하는 추가 노력이 필요하였다. 이를 개선하기 위해 지향성 안테나로 대체하고 수신률을 높일 수 있는 방안을 도입할 계획이다.

6. 결론 및 논의

본 연구에서는 매몰자의 휴대기기 신호를 탐지하여 매몰위치를 3차원 측위하고 해당 정보의 전송을 통해 위치를 시각화 할 수 있는 매몰자 탐지모듈 개발을 위한 프레임워크 모델을 구축하였다. 이에 따라 매몰자 휴대기기의 Mac Address, GPS 위치, 센서 및 신호강도 정보 수집을 통해 매몰자 위치를 추정할 수 있는 무선신호 기반 인명탐지 모듈을 개발하였다. 또한 이와 연동되어 매몰자 위치정보를 시각화 할 수 있는 웹 기반 뷰어 프로그램 개발을 통해 현장 테스트를 수행하였다.

개발된 모듈을 통한 위치추위는 실시간으로 송출되는 Wi-Fi 신호강도에 따라 1초 단위로 GPS 정보가 기록되므로 이는 GPS자체의 기술적 한계를 갖는다. 또한 붕괴

지형 자체가 불규칙적이므로 규칙적 패턴으로 신호를 감지하기 위해서는 붕괴지형의 형태를 고려한 최적 비행경로 계획 수립이 필요하다. 특히 한 번에 다중 위치를 동시에 표시하여 다수의 매몰자가 매몰된 위치를 분석할 수 있는 시스템 개발되어야 할 것이다. 현재 10m 내외의 위치 오차 수준을 3m 이내로 줄일 수 있는 위치보정 알고리즘이 탑재되어야 한다. 또한, 다양한 매몰 환경에서 매몰자 탐지모듈의 성능을 확보할 수 있도록 콘크리트, 흙, 유리 및 철근 등의 다양한 매질과 매몰 깊이 별로 테스트되어야 한다.

이러한 연구를 통해 도심지 대형 건물 붕괴사고나 지하 구조물 붕괴 현장에 신속하고 정확한 매몰자 인명구조에 기여 할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 붕괴사고 지역 매몰인원 규모 및 위치 파악으로 효율적인 구조 계획 수립 효과를 기대할 수 있으며, 개인정보보호법으로 인한 휴대폰 위치정보의 소극적인 서비스 활용에서 재난 분야로의 인명보호를 위한 다각적인 활용 가치 확대에 기여할 수 있다.

본 연구에서 개발된 인명탐지 모듈의 재난 현장 적용성을 검증하기 위하여 연구 종료 이후 지속적인 시스템 개선 및 위치 오차 보정 등 운용 중 발생하는 버그 수정을 통하여 성능을 개선하여 높은 신뢰도를 갖는 모듈을 개발할 것이다. 또한 본 모듈의 슬림화와 다중 센서의 탑재를 통해 매몰자의 생존여부도 확인할 수 있는 모듈도 개발할 계획이며, 시스템 신뢰성 확보를 통해 재난현장에 적용될 수 있도록 할 것이다.

References

- [1] H. S. Moon, C. Y. Kim, W. S. Lee, "Wireless Communication-based Buried Person Detection Considering Characteristics of Collapsed Surface in Disaster Area", Proc. of 2015 Civil Expo & Conference, pp. 00-00, nov. 2015.
- [2] S. Rosati, K. Kruzelecki, L. Traynard, B. Rimoldi, "Speed-aware routing for uav ad-hoc networks," IEEE GLOBECOM 2013, 4th International IEEE Workshop on Wireless Networking & Control for Unmanned Autonomous Vehicles: Architectures, Protocols and Applications, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1109/glocomw.2013.6825185>
- [3] H. C. Kwon, K. C. Jeong, "A Study of Artificial Intelligent Drone to search for Missing at Forest trail", Proceedings of Korea Institute of Information and Telecommunication Facilities Engineering, pp. 219-222, 2016.

- [4] S. Y., Lim, "Drone Utilization in Disaster Safety Site", Science Technology Strategy, 203, pp. 16-19, 2015.
- [5] Y. S. Hong, K. K. Seo, S. C. Kim, Y. S. Choi, H. S. An, K. D. Lee, "Disaster Safety Decision system using Drones", Proceedings of The Institute of Electronics and Information Engineers(Summer Conference), pp. 1424-1425, 2015.
- [6] D. H. Lee, B. J. Kang, E. Y. Jang, "The Study of Drone Configuration for Detection Objects of Rescuer in Disaster Areas", Proceedings of Korean Institute Of Information Technology, pp. 281-282, 2016.6
- [7] Understanding LVDS for Digital Test Systems, National Instrument Co. Ltd, <http://www.ni.com/white-paper/4441/en/>, 2016

문 현 석(Hyoun-Seok Moon)

[정회원]



- 2006년 2월 : 경상대학교 토목공학과 (공학석사)
- 2009년 8월 : 경상대학교 토목공학과 (공학박사)
- 2009년 8월 ~ 2011년 1월 : Teesside University (UK), CCIR 센터 방문연구원
- 2012년 2월 ~ 2013년 1월 : University of Michigan, Post-Doc.
- 2013년 1월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 ICT융합연구소 수석연구원

<관심분야>

BIM, 건설관리, 인공지능, 최적화, nD CAD, 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