

## 재난 환경에서 매몰자 구조를 위한 기압정보 기반 3차원 측위

강 규 식\*, 문 현 석\*, 이 우 식\*\*, 김 선 우<sup>o</sup>Barometer Information-Based 3D Localization for Rescuing  
a Buried Person in Disaster EnvironmentsKyusic Kang\*, Hyoun-Seok Moon\*, Woo-Sik Lee\*\*, Sunwoo Kim<sup>o</sup>

## 요 약

지진과 같은 재난으로 인한 건물 붕괴 사고 발생 시 건물의 잔해 아래에 매몰자가 발생하게 된다. 매몰자의 생존을 보장할 수 있는 골든 타임 내에 매몰자를 신속하게 구조하기 위해서는 매몰자의 위치를 사전에 추정하는 기술이 매우 중요하다. 주로 음향, 영상 및 전파 등을 활용한 탐지 장비 등을 이용하여 매몰자의 위치를 탐지하나 장비가 고가이고 탐지자가 가까이 접근해야 하기 때문에 2차적인 인명사고에 노출될 수 있다는 단점이 있다. 다른 방법으로는 매몰자의 휴대기에서 나오는 신호를 수집하여 측위를 하는 방법이 있으나 장애물이 많은 환경에서는 정확도가 떨어진다는 단점이 있다. 이 연구에서는 매몰자의 휴대기에서 나오는 와이파이 무선 신호와 기압센서 정보를 같이 활용하여 보다 정확한 무선신호 기반 측위가 가능함을 보였다. 이 연구결과는 향후 건물 붕괴와 같은 재난사고 발생 시 신속한 매몰자의 위치를 찾고 구조하는데 도움을 줄 수 있을 것으로 보인다.

**Key Words** : 3D positioning, Buried Person, RSSI, Least squares, Barometer

## ABSTRACT

When a building collapses due to a disaster such as an earthquake, a buried person is confined under the debris of the building. In order to quickly rescue the buried person within the golden time that can guarantee the survival of the buried person, it is very important to know the position of the buried person before rescue. Position of the buried person are usually detected by using detection equipment which mainly uses sound, image and radio waves, but such equipment is expensive and the rescuer has to approach close to the victim, therefore exposing the rescuer to the danger. Another method is to collect the signals from the portable device of the buried person and find the location, but it has the disadvantage of low accuracy in an environment with many obstacles. In this paper, it is shown that more accurate positioning can be achieved by using Wi-Fi wireless signal and barometer information from portable device. The result of this study will help to locate and rescue the buried person quickly in the event of a disaster such as building collapse.

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

\*\* 본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기술진흥센터의 대학ICT연구센터육성지원사업의 연구결과로 수행되었음. (IITP-2018-0-01637)

• First Author : (ORCID:0000-0003-0589-8596)Hanyang University Department of Electronics and Computer Engineering, stuk88@hanyang.ac.kr, 학생회원

o Corresponding Author : (ORCID:0000-0002-7055-6587)Hanyang University Department of Electronics and Computer Engineering, remero@hanyang.ac.kr, 중신회원

\* (ORCID:0000-0002-2543-4070)Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, hsmoon@kict.re.kr

\*\* (ORCID:0000-0002-8428-9600)Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, wslee@kict.re.kr

논문번호 : KICS2017-12-385, Received December 18, 2017; Revised January 24, 2018; Accepted February 13, 2018

## I. 서 론

지진이나 산사태 또는 테러와 같은 재난 사고가 발생할 경우 건물 붕괴로 인해 건물 아래 지하공간에 매몰자가 발생하는 사고가 일어난다. 이 때 지하공간의 제한적인 공기와 물, 식량 등으로 인해 생존 가능한 시간이 제한적이므로 2차적인 인명피해를 막기 위한 신속한 매몰자의 구조가 필수적이다<sup>1-3)</sup>. 따라서 신속한 매몰자 구조를 위해 매몰자의 위치를 찾는 다양한 기법들이 활용되어 왔다. 구조건을 이용한 탐지는 대형 재난 사고에 적합하지 않으며<sup>4)</sup> 주로 음향, 영상 및 전파 등을 활용한 탐지 장비 등을 활용하여 매몰자를 탐지하나 장비가 고가이고 탐지를 위해 가까이 접근해야 하기 때문에 2차적인 인명사고에 노출될 수 있다는 단점이 있다<sup>5,6)</sup>.

또 다른 방법으로는 매몰자의 휴대기기에서 발생하는 무선 신호를 수집하여 무선통신 기반 측위 기법을 사용하는 방법이 있다. 건물 붕괴 상황에서 관련 인프라 손실로 인한 통신망 작동불능 환경에서도 위치를 탐색하기 위해 Bluetooth, UWB 등을 활용한 탐지방법이 있지만 Bluetooth의 경우 수많은 Beacon을 설치해야 하며 송신거리가 짧아 대형 붕괴지형 탐색에 적합하지 않으며 UWB도 추가 인프라 구축이 필요하다<sup>7)</sup>.

Wi-Fi의 경우 Bluetooth, UWB보다 정확도가 떨어지나 탐색 범위가 넓고 높은 대역폭을 갖기 때문에 투과성이 높아 붕괴된 지형 내부에서의 위치 탐색에 적합하다<sup>8)</sup>. 또한, 대부분의 사람들이 스마트폰을 소유하고 있기 때문에 추가적인 인프라 구성이 거의 필요 없다.

스위스 로잔공과대학에서는 2014년 재난 상황 시 실종자가 보유한 스마트폰의 와이파이 신호를 감지하여 실종자의 위치를 탐색할 수 있는 무선신호 기반 위치 탐지 드론을 개발한 바 있다<sup>9)</sup>. 또한, 한국건설기술연구원에서는 2015년 와이파이 무선신호의 수신신호세기 기반 2차원 평면 위치 탐지 모델을 제안하였다<sup>7)</sup>. 하지만 매몰자의 매몰 깊이는 추정할 수 없다는 단점이 있다.

본 연구는 매몰자의 휴대기기에서 발생하는 와이파이 무선 신호와 기압센서 정보를 동시에 활용하여 측위의 정확도를 높이고자 하였다. 무선신호를 수집하기 위해 UAV(Unmanned Aerial Vehicle), 일명 드론(Drone)을 활용하였다. 무선 신호 취득 가능한 모듈을 탑재한 드론이 재난 사고 발생 시 현장 상

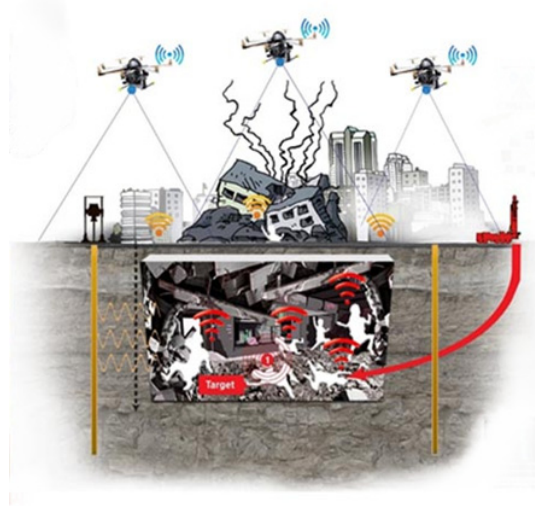


그림 1. 드론을 사용한 매몰자 탐지 개념도  
Fig. 1. Concept image of detecting buried person using drones

부를 비행하며 매몰자의 휴대기기에서 발생하는 무선 신호의 MAC주소, 수신신호세기 및 기압정보를 취득한다<sup>8)</sup>. 다수의 매몰자가 발생하였을 경우 각 매몰자의 휴대기기의 무선 신호가 서로 다른 MAC주소를 갖기 때문에 이를 이용하여 매몰자를 구분할 수 있다. 또한 동시에 해당 위치의 GPS 위치를 기록하게 된다. 드론이 수집한 GPS 좌표와 이에 대응되는 MAC주소, 수신신호세기, 기압정보를 활용하여 매몰자의 3차원 공간좌표 위치를 추정하게 된다.

II장에서는 드론을 활용하여 각 좌표에서 데이터베이스를 생성하고 수신신호세기를 이용하여 각 데이터베이스 좌표에서 매몰자까지의 거리를 추정하는 시스템 모델을 소개한다. III장에서는 수신신호세기를 이용하여 얻은 거리를 토대로 최소자승법을 이용하여 3차원 공간좌표를 추정하는 기법에 대해 논한다. IV장에서는 기압정보를 이용하여 매몰자의 고도값을 얻을 수 있으며 이를 이용하여 3차원 공간좌표 추정 성능이 개선됨을 보인다. 그리고 V장에서 다양한 시뮬레이션 결과를 통해 측위 오차 개선을 확인하고 마지막으로 VI장을 통해 결론을 맺는다.

## II. 시스템 모델

### 2.1 드론을 활용한 데이터베이스 수집

재난 사고로 인한 건물 붕괴 시 매몰자가 발생하면 경우 드론을 활용하여 매몰자의 휴대기기에서 나오는

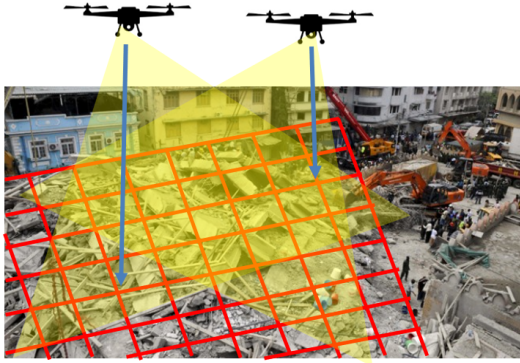


그림 2. 매몰자 휴대기기에서 발생하는 신호를 수집하는 드론  
Fig. 2. Drones that collect signals from portable devices

와이파이 무선 신호를 수집하여 각 위치에서의 MAC 주소와 수신신호세기, 기압정보의 데이터베이스를 생성한다. 드론은 GPS 신호와의 동기화를 통해 자신의 위치를 파악하여 수집, 생성한 데이터베이스에 자신의 위치좌표정보를 같이 저장한다.

다수의 매몰자가 발생한 경우 서로 다른 MAC 주소를 확인하여 각 매몰자 휴대기기의 무선신호를 구분하게 된다. 또한 수신신호세기를 이용하여 드론 데이터베이스 수집 위치와 매몰자와의 거리를 구할 수 있다. 기압정보를 이용하여 보다 정확한 매몰자의 고도를 계산할 수 있다.

### 2.2 경로감쇄모델

매몰자의 휴대기기로부터 송신되는 수신신호의 수신신호세기는 일반적으로 거리에 반비례하여 감소하게 된다. 수신신호세기로부터 거리를 구하기 위해서 경로감쇄모델을 사용하였다. 이 때 드론이 수집한 각 데이터베이스에서의 수신신호세기 모델은 다음과 같이 나타낼 수 있다<sup>10)</sup>.

$$P_{rx}(d_i) = P_{tx} - P_L(d_i) \quad (1)$$

$$P_L(d_i) = P_0 + 10\eta \log\left(\frac{d_i}{d_0}\right) + x_\sigma \quad (2)$$

드론이 수집한 여러 개의 데이터베이스에 대해 식 (1)에서  $P_{rx}(d_i)$ 는  $i$ 번째 데이터베이스에서의 수신전력,  $P_{tx}$ 는 송신전력,  $P_L(d_i)$ 는  $i$ 번째 데이터베이스의 손실전력을 나타낸다. 데이터베이스의 위치와 매몰자의 위치 사이의 거리의 함수로 나타나는 손실전력은 식 (2)와 같이 정의된다. 식 (2)에서  $P_0$ 는 기준거리  $d_0$

Environment	Path Loss Exponent, $n$
Free space	2
Urban area cellular radio	2.7 to 3.5
Shadowed urban cellular radio	3 to 5
In building line-of-sight	1.6 to 1.8
Obstructed in building	4 to 6
Obstructed in factories	2 to 3

그림 3. 신호 전파환경에 따른 경로감쇄지수  
Fig. 3. Path loss exponent of signal propagation environment

에서의 전력,  $\eta$ 는 경로 손실 지수,  $d_i$ 는  $i$ 번째 데이터베이스 위치와 매몰자 위치 사이의 거리를 나타낸다. 수신신호세기는 거리뿐만 아니라 데이터베이스 위치와 매몰자 위치 사이의 장애물로 인해 발생하는 shadow fading에도 영향을 받는다. 이  $x_\sigma$ 는 평균이 0 이고 표준편차가  $\sigma$ 인 표준분포를 따른다.

건물의 잔해 아래에 매몰된 매몰자의 휴대기기로부터 나오는 무선신호는 일반적인 무선통신 환경과 달리 수많은 장애물에 의한 페이딩을 겪게 되며 지하로부터 송신되기 때문에 매질이 공기가 아닌 토양이다. 보다 높은 밀도의 매질 내에서 전파되는 신호는 보다 짧은 파장을 갖게 되어 속도가 느려지게 되므로 거리에 따른 감쇄가 보다 크게 일어나게 된다<sup>11)</sup>. 따라서 자유공간의 신호 전파모델보다 더 큰 경로감쇄지수를 사용하게 된다. Fig. 3은 신호 전파환경에 따른 경로감쇄지수를 나타내는 그림이다.

### III. 수신신호세기를 이용한 3차원 공간 측위 기법

#### 3.1 최소자승법을 이용한 3차원 공간좌표 측위

매몰자의 위치를 탐지하는 문제는 매몰자의 3차원 공간좌표를 구하는 문제이다. 미지수의 개수는 3개뿐이지만 일반적으로 수신신호세기의 데이터베이스 개수는 미지수의 개수보다 많다. 이는 미지수의 개수보다 식의 개수가 많은 과결정연립방정식으로 치환되며 해가 존재하지 않는 문제이다. 이와 같은 문제는 데이터의 잔차의 합의 제곱을 최소화하는 최소자승법으로 풀 수 있다<sup>12)</sup>.

드론이 수집한 데이터베이스의 개수를  $n$ 개라고 할 때  $i$ 번째 데이터베이스 위치와 매몰자 위치 사이의 거리는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$d_i^2 = (x_i - x_m)^2 + (y_i - y_m)^2 + (z_i - z_m)^2 \quad (3)$$

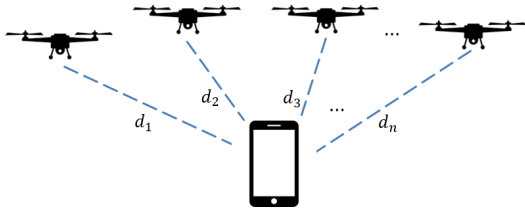


그림 4. 드론 위치와 매몰자 위치의 거리를 이용한 최소자승법  
 Fig. 4. Least squares method using distance between drone and buried person

$(x_i, y_i, z_i)$ 는  $i$ 번째 데이터베이스의 위치이며  $(x_m, y_m, z_m)$ 는 매몰자의 위치이다. 매몰자의 위치를 구하기 위해 (3)에서  $d_1^2$ 에서  $d_n^2, i=2, \dots, n$ 을 빼고 정리하면 다음과 같다.

$$2 \begin{bmatrix} x_2 - x_1 & y_2 - y_1 & z_2 - z_1 \\ x_3 - x_1 & y_3 - y_1 & z_3 - z_1 \\ \dots & \dots & \dots \\ x_n - x_1 & y_n - y_1 & z_n - z_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_m \\ y_m \\ z_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_1^2 - d_2^2 + k_2 - k_1 \\ d_1^2 - d_3^2 + k_3 - k_1 \\ \dots \\ d_1^2 - d_n^2 + k_n - k_1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

이때  $k_i = x_i^2 + y_i^2 + z_i^2, (i=1, 2, \dots, n)$ 이다. 식 (4)를 간소화시키면 식 (5)와 같다.

$$2Ax = b$$

$$A = \begin{bmatrix} x_2 - x_1 & y_2 - y_1 & z_2 - z_1 \\ x_3 - x_1 & y_3 - y_1 & z_3 - z_1 \\ \dots & \dots & \dots \\ x_n - x_1 & y_n - y_1 & z_n - z_1 \end{bmatrix}, x = \begin{bmatrix} x_m \\ y_m \\ z_m \end{bmatrix}, \quad (5)$$

$$b = \begin{bmatrix} d_1^2 - d_2^2 + k_2 - k_1 \\ d_1^2 - d_3^2 + k_3 - k_1 \\ \dots \\ d_1^2 - d_n^2 + k_n - k_1 \end{bmatrix}$$

최종적으로 최소자승법을 이용하여 최종적으로 구한 해  $x$ 는 다음과 같다.

$$x = \frac{1}{2} (A^T A)^{-1} A^T b \quad (6)$$

#### IV. 기압정보를 활용한 측위 정확도 개선 기법

##### 4.1 기압정보를 이용한 매몰자 고도 산출

기압은 고도뿐만 아니라 온도, 습도 등 다양한 변수들의 복잡한 공식에 의해 결정된다. 신속한 탐지가 중

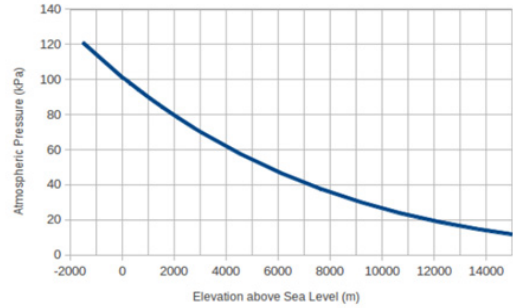


그림 5. 해발고도-대기압 관계를 나타내는 그래프  
 Fig. 5. Graph that shows relation between altitude and air pressure

요한 재난 상황의 매몰자 탐지 환경에서는 보다 단순화된 고도-기압 관계식이 요구된다. 본 논문에서는 실제 기압 데이터를 활용하여 매몰자의 고도를 추정한다. 일반적으로 재난 상황 시 매몰자의 고도는 수 m에서 수십 m 이내에 위치한다. 따라서 수십 m의 범위 내에서 기압과 고도가 근사적으로 선형 관계를 가짐을 이용할 수 있다.

Fig. 5를 보면 해발고도와 대기압 그래프가 완만한 곡선을 그리고 있음을 확인할 수 있다. 고도와 기압이 엄밀한 선형 관계를 가지지는 않지만 고도가 수십 m 이내일 경우 매우 작은 오차 안에서 충분히 선형관계를 가진다고 말할 수 있다. 실제 재난 상황을 가정할 경우 매몰자가 위치할 가능성이 높은 고도 범위 내에만 관심을 한정짓는다면 다음과 같은 선형식을 구할 수 있다.

$$y[m] = -10.13x[m/hPa] + 10235.67 \quad (7)$$

$n$ 개의 데이터베이스가 존재할 때 각 데이터베이스 내 동일한 MAC주소에 대한 기압정보의 평균값을 사용하여 보다 정확한 기압정보를 얻고 이를 바탕으로 보다 정확한 고도값을 얻을 수 있다.

#### V. 시뮬레이션 결과

시뮬레이션 환경은 Fig. 6과 같다. 재난 지역의 크기를  $100m \times 100m$ 로 설정하였고 데이터베이스 위치는  $xy$ 평면에서 간격이 20m인 격자무늬,  $z$ 축은 평균 10m, 표준편차가 2m인 정규분포로 임의로 생성하였다. 매몰자의 수평좌표는 재난 지역 내 임의의 생성, 수직좌표는 평균이 -10m, 표준편차가 5m인 정규분포로 임의로 생성하였다.

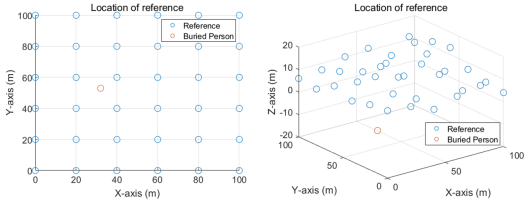


그림 6. 데이터베이스와 매몰자의 위치  
Fig. 6. Location of databases and buried person

Table. 1은 시뮬레이션에 사용된 매개변수들을 나타낸다. 시뮬레이션에서는 100m×100m 내에 36개의 데이터베이스를 가정하였다. 10,000번의 몬테카를로 시뮬레이션을 시행하였으며 shadowing component의 표준편차를 0.2m에서 2m까지 변화시키며 측위 오차를 관찰하였다. 경로감쇄모델에서 경로감쇄지수와 기준거리는 각각 2, 1m로 설정하였다.

Fig. 7은 최소자승법만을 사용했을 때와 기압정보를 이용하여 고도를 보정했을 경우의 3차원 공간좌표 측위 오차를 비교한 그래프이다. shadow fading의 영향이 클수록 수신신호세기로부터 얻은 거리의 추정값이 부정확해지기 때문에 측위 오차가 증가하게 된다. shadow fading 표준편차가 1m, 즉, 거리 추정 오차가 약 68%의 확률로 ±1m 이내, 약 95%의 확률로 ±2m 이내일 때 RMSE는 약 8m 정도임을 확인할 수 있다. 이 때 기압정보를 이용하여 고도를 보정했을 때 RMSE(Root Mean Square Error)는 약 2m 정도로 최소자승법만을 사용했을 때보다 감소함을 확인할 수 있다. 오른쪽 그래프는 기압정보의 정확도에 따른 측위 오차를 나타낸 그래프이다. 시뮬레이션에서 사용한 기압정보 오차모델은 다음과 같다.

$$\hat{z} = z + x_b, \quad x_b \sim N(0, \sigma_b^2) \quad (8)$$

표 1. 시뮬레이션 매개변수  
Table. 1. Simulation parameters

Parameter	Value
Number of Databases	36
Location of Databases (m)	(0,0),(20,0),..., (20,100), (40,0),..., (100,100)
Monte-Carlo runs	10,000
Standard Deviation of shadowing component (m)	0.2 ~ 2
Path Loss Exponent	2
Reference Distance (m)	1m

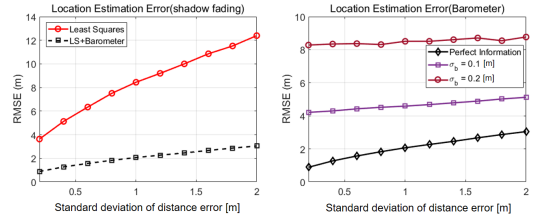


그림 7. 기압정보를 활용한 측위 정확도 개선(좌) 기압정보 정확도에 따른 측위 오차(우)  
Fig. 7. Improvement of positioning accuracy using barometer (LEFT) positioning error due to level of barometer accuracy (RIGHT)

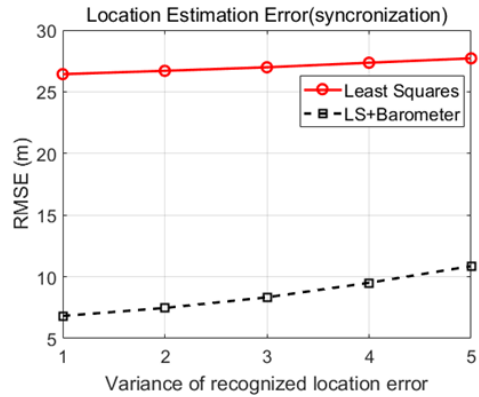


그림 8. 드론 인지위치오차에 따른 측위 오차  
Fig. 8. Positioning error due to drone recognized location error

기압정보가 부정확할 경우,  $\sigma_b^2$ 가 증가할 경우 기압정보를 통해 얻은 고도의 정확도가 감소하기 때문에 측위 오차 또한 증가하게 된다. 기압정보로 얻은 추정고도오차가 0일 때와 0.2m일 때 shadow fading 표준편차가 1m, 즉, 거리 추정 오차가 약 68%의 확률로 ±1m 이내일 때 약 2m에서 약 8m까지 증가하는 것을 확인할 수 있다.

Fig. 8은 드론의 인지 위치와 실제 위치에 차이가 존재할 때 측위 성능에 미치는 영향을 나타낸 그래프이다. 데이터베이스 수집 시 GPS 신호 동기화를 통해 드론이 자신의 위치를 인지하지만 신호의 부정확도로 인해 실제 위치와 오차가 발생하게 된다. 시뮬레이션에서는 드론의 인지 위치가 실제 위치를 중심으로 임의 분포한다고 가정하였다. 시뮬레이션에서 사용한 추정 위치 모델은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \hat{x} &= x_{real} + \sigma_{RL} \\ \hat{y} &= y_{real} + \sigma_{RL} \\ \hat{z} &= z_{real} + \sigma_{RL} \end{aligned} \quad (9)$$



$\sigma_{RL}$  은 평균이 0인 정규분포를 따르는 변수이다. 드론의 인지위치오차  $\sigma_{RL}$  의 표준편차가 증가할수록 측위 오차가 증가함을 확인할 수 있다. 또한, 기압정보를 이용하여 고도값을 보정한 경우 측위 오차가 감소함을 같이 확인할 수 있다.

알고리즘의 검증을 위해 실제 실험을 통해 수신신호세기, 위·경도, 기압정보 데이터베이스를 수집하였다. 또한 Fig. 9와 같이 드론에 탑재된 RTK-GPS 모듈을 이용하여 드론의 위치를 동시에 수집하였다. MATLAB으로 데이터를 읽어들이고 후 알고리즘을 바탕으로 매몰자 3차원 공간좌표를 도출해내었다. 장애물이 많은 매몰 추대기기의 송신 환경을 고려하여 경로감쇄지수는 4로 설정하였다. 추정된 3차원 공간좌표의 정확도는 실제 위치와 추정 위치 간의 오차(실제 대비 오차)와 모듈이 수집한 위치-모듈이 수집한 데이터 중 수신신호세기가 가장 큰 위치-추정 위치 간의 오차(모듈수집 대비 오차) 두 가지의 RMSE 비교를 통해 분석되었다. Fig. 10-13은 실측 데이터 기반 3차원 공간좌표 추정값과 실제 위치를 비교한 그

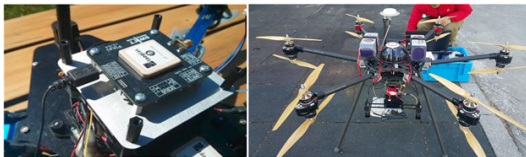


그림 9. RTK-GPS 모듈을 탑재한 드론  
Fig. 9. Drone loaded RTK-GPS module

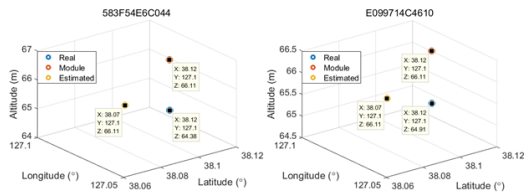


그림 10. 실측 데이터 기반 추정위치와 실제위치와의 비교 (1)  
Fig. 10. Comparison of Estimated location based on measured data and real location (1)

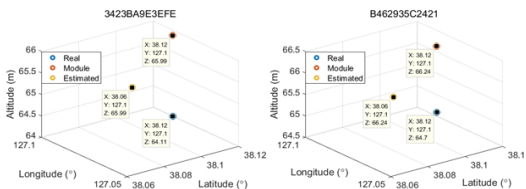


그림 11. 실측 데이터 기반 추정위치와 실제위치와의 비교 (2)  
Fig. 11. Comparison of Estimated location based on measured data and real location (2)

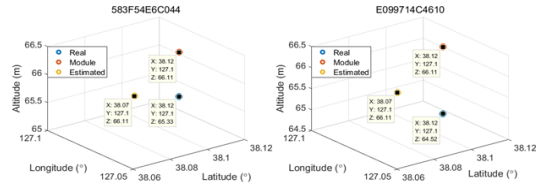


그림 12. 실측 데이터 기반 추정위치와 실제위치와의 비교 (3)  
Fig. 12. Comparison of Estimated location based on measured data and real location (3)

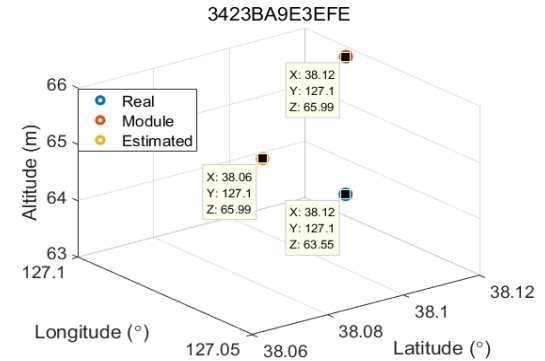


그림 13. 실측 데이터 기반 추정위치와 실제위치와의 비교 (4)  
Fig. 13. Comparison of Estimated location based on measured data and real location (4)

표 2. MAC Address에 따른 추정좌표의 실제 위치와의 오차  
Table 2. Estimation error of localization each MAC address

MAC Address	실제 대비 오차 (m)	모듈수집 대비 오차 (m)
583F54E6C044	2.3232	2.3288
E099714C4610	2.4184	2.419
3423BA9E3EFE	2.6084	2.6099
B462935C2421	2.5743	2.5739
583F54E6C044	2.3143	2.3177
E099714C4610	2.4099	2.4121
3423BA9E3EFE	2.6014	2.6035

림이다. RMSE로 나타낸 측위 오차는 Table. 2와 같다.

## VI. 결론

지진과 같은 재난 상황 시 건물 붕괴로 인해 잔해 아래에 매몰자가 발생한 경우 인명 구조를 위한 신속한 탐지가 중요하다. 음향, 영상 및 전파 등을 이용한

기존의 탐지 방법은 사용이 제한적이고 2차적인 사고 가능성이 있다는 한계가 있었다. 본 연구에서는 매몰자의 휴대기기에서 발생하는 무선신호를 드론을 통해 수집하여 3차원 공간좌표 측위를 수행하였다. 드론이 재난 현장 상부를 비행하며 수집한 수신신호세기를 경로감쇄모델을 이용하여 거리로 변환 후 최소자승법을 이용하여 3차원 공간좌표를 추정하였고 기압정보를 이용하여 보다 정확한 고도값을 구하였다. 시뮬레이션 수행 결과 기압정보를 이용하여 3차원 공간좌표 측위의 성능을 향상시킬 수 있음을 확인하였다. 앞으로 본 연구가 추후 촌각을 다투는 매몰자 탐지 및 구조 상황에 기여할 수 있을 것으로 보인다.

### References

- [1] G. Grazzini, M. Pieraccini, F. Parrini, A. Spinetti, G. Macaluso, D. Dei, and C. Atzeni, "An ultra-wideband high-dynamic range GPR for detecting buried people after collapse of building," *13th Int. Ground Penetrating Radar Conf.*, pp. 1-6, Lecce, Italy, Jun. 2010.
- [2] L. Crocco and V. Ferrara, "A review on ground penetrating radar technology for the detection of buried or trapped victims," in *Proc. 2nd Int. Wksp. Collaborations in Emergency Response and Disaster Management*, pp. 535-540, Minneapolis, USA, May 2014.
- [3] M. Loschonsky, C. Feige, O. Rogall, S. Fisun, and L. M. Reindl, "Detection technology for trapped and buried people," *IEEE MTT-S Int. Microwave Wksp. Wireless Sensing Local Positioning and RFID*, pp. 1-6, Cavtat, Croatia, Sept. 2009.
- [4] J. Niessen, E. Kliem, E. Poehlking, and K. Nick, "The use of ground penetrating radar to search for persons buried by avalanches," in *Proc. 5th Int. Conf. Ground Penetrating Radar*, pp. 507-517, Kitchener, Canada, Jun. 1994.
- [5] H. S. Moon, C. Y. Kim, and W. S. Lee, "Wireless communication-based buried person detection considering characteristics of collapsed surface in disaster area," in *Proc. 2015 Civil Expo & Conf.*, pp. 135-136, Gunsan, Korea, Nov. 2015.
- [6] A. Heilig, M. Schneebeli, and W. Fellin, "Feasibility study of a system for airborne detection of avalanche victims with ground penetrating radar and a possible automatic location algorithm," *Cold Regions Sci. Technol.*, vol. 51, no. 2/3, pp. 178-190, Feb. 2008.
- [7] H. S. Moon, W. S. Lee, G. W. Lee, and D. S. Han, "A 2-D location determination model of buried persons in collapsed shape using optimal wireless communication technology," *J. Korea Academia-Ind. Cooperation Soc.*, vol. 16, no. 12, pp. 8879-8888, 2015.
- [8] H. Moon, C. Kim, and W. Lee, "A uav based 3-D positioning framework for detecting locations of buried persons in collapsed disaster area," *Int. Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Inf. Sci.* 41, pp. 121-124, Prague, Czech Republic, Jul. 2016.
- [9] S. Rosati, K. Kruzelecki, L. Traynard, and B. Rimoldi, "Speed-aware routing for uav ad-hoc networks," *IEEE GLOBECOM 2013, 4th Int. IEEE Wksp. Wireless Networking & Control for Unmanned Autonomous Vehicles: Architectures, Protocols and Appl.*, pp. 1367-1373, Atlanta, USA, Dec. 2013.
- [10] G. Wang and K. Yang, "A new approach to sensor node localization using RSS measurements in wireless sensor networks," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 10, no. 5, pp. 1389-1395, May 2011.
- [11] I. F. Akyildiz, Z. Sun, and M. C. Vuran, "Signal propagation techniques for wireless underground communication networks," *Physical Commun. J. (Elsevier)*, vol. 2, no. 3, pp. 167-183, Sept. 2009.
- [12] G. Shen, R. Zetik, and R. S. Thoma, "Performance comparison of TOA and TDOA based location estimation algorithms in LOS environment," in *IEEE WPNC*, pp. 71 - 78, Hannover, Germany, Mar. 2008.

**강 규 식 (Kyusic Kang)**



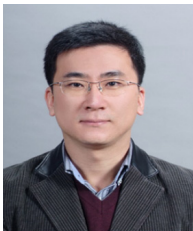
2016년 2월 : 한양대학교 수학과 학사  
2016년 9월~현재 : 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과 석사과정  
<관심분야> Localization, Machine Learning, Wireless Communication

**이 우 식 (Woo-Sik Lee)**



1997년 2월 : 경상대학교 토목공학과 (공학석사)  
2002년 2월 : 경상대학교 토목공학과 (공학박사)  
2002년 8월~현재 : 한국건설기술연구원 연구위원  
<관심분야> 건설관리, GIS, 건설IT 융복합

**문 현 석 (Hyoun-Seok Moon)**



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.  
1996년 3월~현재 : 한국건설기술연구원 ICT융합연구소 수석연구원  
<관심분야> BIM, 건설관리, 인공지능, 최적화, nD CAD, 드론

**김 선 우 (Sunwoo Kim)**



1999년 : 한양대학교 전파공학, 학사  
2002년 : 미국 University of California, Santa Barbara, 전기컴퓨터공학, 석사  
2005년 : 미국 University of California, Santa Barbara, 전기컴퓨터공학, 박사

2005년~현재 : 한양대학교 융합전자공학부 부교수  
<관심분야> Wireless Positioning System, GNSS System, 5G Communication System.