JPNT 9(3), 175-182 (2020)
https://doi.org/10.11003/JPNT.2020.9.3.175

JPNT Journal of Positioning, Navigation, and Timing

A Study on Altitude Estimation using Smartphone Pressure Sensor for Emergency Positioning

Donghyun Shin[1], Jung Ho Lee[1], Beomju Shin[1], Changsu Yu[1], Hankyeol Kyung[1], Dongwook Choi[2], Yeji Kim[2], Taikjin Lee[1†]

[1]Sensor System Research Center, Korea Institute of Science and Technology, Seoul 02792, Korea
[2]Location Platform Team, Platform IT Service Unit, Korea Telecom, GyeongGi-do 13606, Korea

ABSTRACT

This paper introduces a study to estimate the user altitude in need of rescue in an emergency. The altitude is estimated by using the barometric pressure sensor embedded in the smartphone. Compared to GPS, which is degraded in urban or indoor environments, it has the advantage of not having spatial restrictions. With the endless development of smartphone hardware, it is possible to estimate the absolute altitude using the measured value if only the bias of the embedded barometric pressure sensor is applied. The altitude information of the person in need of rescue in an emergency is a great help in reducing rescue time. Since time is tight, we propose online calibration that provides the barometric pressure sensor bias used for altitude estimation through database. Furthermore, experiments were conducted to understand the characteristics of the barometric pressure sensor, which is greatly affected by wind. At the end, the altitude estimation performance was confirmed through an actual field tests in various floors in the building.

Keywords: emergency, barometric, pressure, altitude, smartphone

1. INTRODUCTION

긴급상황에서 요구조자(또는 피해자)의 위치를 조회하는 긴급측위시스템은 수평 위치를 기준으로 운영된다. 즉 요구조자의 위치 조회 요청이 올 경우, 현재의 긴급측위시스템은 요구조자의 스마트폰의 GPS, Wifi 등의 정보를 활용하여 요구조자의 수평 위치를 추정하게 된다. 소방관 혹은 경찰관 등 구조자는 해당 위치를 중심으로, 그 주변 위치에서 요구조자를 수색하게 된다. 요구조자의 수평 위치 정확도는 고려하지 않더라도, 만약 요구조자가 도심의 고층 빌딩숲에 있다면, 수평 위치 만으로는 사용자의 위치를 특정하기 매우 어렵게 된다. 빌딩에 따라 같은 수평 위치라도, 수직 위치 오차가 수십 층에 달할 수 있기 때문이다 (Torres-Sospedra & Moreira 2017). 현재의 기술로는 이러한 긴급 상황에서 요구조자를 수색하는데 불필요한 시간이 많이 소요될 수 있으며, 이에 대한 개선 요구가 끊임없이 존재한다. 만약 요구조자가 고층 건물 내에 있는 경우, 요구조자의 수평 위치는 정확하게 모르더라도 층 정보만이라도 안다면, 요구자의 위치를 특정할 수 있을 가능성이 높아지게 된다. 층 정보를 활용한다면 주변 건물 중에서 해당 층 미만의 건물은 수색하지 않는 형태로도 수색 범위를 줄일 수 있고, 이는 시간이 촉박한 상황에서 구조자와 요구조자 모두에게 큰 도움이 된다.

본 논문에서는 긴급구조 상황에서 요구조자의 수직 방향 위치를 추정하는 기술에 대해 다룬다. 일반적으로 위성항법의 경우 사용자가 수신하는 의사거리를 이용하여 위치를 계산하기 때문에, 가시위성들이 충분히 확보된 야외에서만 안정적으로 위치 정보를 제공할 수 있다. 또한 위성항법의 경우 시계오차, 신호전달 오차, 다중경로오차 등 여러 오차요인이 있어서 단독으로 사용할 경우 성능 저하가 발생할 수 있는데, 수직 위치의 경우에는 위성의 기하학적 배치의 한계 때문에 그 오차가 더욱 크게 나타난다

Received Aug 11, 2020 **Revised** Aug 25, 2020 **Accepted** Sep 02, 2020
†**Corresponding Author**
E-mail: taikjin@kist.re.kr
Tel: +82-2-958-5717 Fax: +82-2-958-5709
Donghyun Shin https://orcid.org/0000-0001-6378-7451
Jung Ho Lee https://orcid.org/0000-0002-9000-4018
Beomju Shin https://orcid.org/0000-0002-3743-9127
Changsu Yu https://orcid.org/0000-0002-0155-326X
Hankyeol Kyung https://orcid.org/0000-0002-3216-4099
Dongwook Choi https://orcid.org/0000-0003-2020-9883
Yeji Kim https://orcid.org/0000-0003-1028-1371
Taikjin Lee https://orcid.org/0000-0001-6158-0705

Copyright © The Institute of Positioning, Navigation, and Timing

(Leva 1994). 지표면에 위치한 사용자는 지구 중심부를 통해 GPS 신호를 수신할 수 없고, 수평선 위의 반구에 분포된 위성으로부터 측정치를 수집한다. 따라서 수평선 아래의 반구로부터는 수집할 수 있는 측정치가 없기 때문에 수직방향 오차가 수평방향보다 더 크게 나타난다 (Kaplan & Hegarty 2006). WiFi 등을 이용하는 경우에는, WiFi DB가 있어야 위치를 추정할 수 있다. 다시 말해 WiFi DB가 구축되어 있지 않다면, 요구조자의 위치를 추정하는 것이 불가능 해진다.

본 논문은 긴급구조 상황에서 요구조자의 수직 방향 위치를 추정하기 위해 기압센서를 사용하는 것을 제안한다. 기압센서의 경우 대기의 압력을 측정하기 때문에 위성항법과 장소의 제약이 없고, 핑거프린팅 기법이 아니기 때문에, DB 구축이 필요 없다. 또한 최근에 출시된 스마트폰들은 하드웨어의 발달로 인해 대부분 기압센서를 탑재하고 있고, 안정적인 기압센서 측정치를 제공한다. 따라서 요구조자 스마트폰에 탑재된 기압센서를 이용하여 요구조자의 수직방향 위치를 추정할 수 있다. 다만 기압은 날씨에 따라 변화하기 때문에, 단순히 기압센서 측정치 만으로 절대고도를 추정할 수 없어, 이에 대한 보정이 필요하다. 또한 기압센서 역시 정확한 고도 추정을 위해서는 센서 캘리브레이션이 필요하다.

본 논문에서는 대기압 보정을 위해 기상청의 날씨정보를 이용한다. 이를 기반으로 사용자의 절대 고도를 추정하는 기법을 소개한다. 또한 기압센서의 캘리브레이션을 위해 추가적인 작업을 하기 어려운 긴급상황의 특성을 고려한, 온라인 캘리브레이션 (Online Calibration) 개념을 소개한다. 추가적으로 창문 혹은 문의 개방이나 선풍기의 바람이 기압센서 측정치에 미치는 영향에 대하여 확인하였다.

2. ALTITUDE ESTIMATION

2.1 Altitude Model

스마트폰은 가속도 및 각속도 센서를 포함하여 다양한 센서들을 내장하고 있다 (Google Android 2020). 본 논문에서는 그 중 측정하는 고도에 따라 변화하는 대기의 압력을 측정하는 기압센서를 이용하여 식 (1)과 같이 사용자의 고도를 계산할 수 있다 (Hajiyev et al. 2019).

$$h^B = \frac{T_0}{T_{grad}}\left[1-\left(\frac{p}{p_0}\right)^{\frac{T_{grad}R}{g}}\right] \quad (1)$$

여기서 h^B는 기압고도, T_0는 해면온도, T_{grad}는 기온 감률, p_0는 해면기압, p는 h^B에서 측정한 기압, R은 기체상수, g는 중력 가속도 값을 나타낸다. 해면기압 p_0는 같은 장소에서 측정하여도 날씨에 따라 변한다. 본 논문에서는 스마트폰의 위치를 기준으로 가장 가까운 기상청으로부터 대기 정보들을 제공받아서 사용한다. 여기서 해면기압 p_0와 해면온도 T_0는 기상청의 지역별상세관측자료(AWS: Automatic Weather Station)로부터 획득하여 사용한다. 기상청은 많은 수의 AWS에서 실시간 대기 정보들을 제공하고 있다. 기상청으로부터 획득할 수 없는 기온감률 값은 표준대기 값을 사용한다. 이에 따라 식 (1)에서 측정된 기압을 고도로 변환하는 것은 표준대기와 공기가 이상기체라는 가정에 근거하며, 보다 정확하게는 식 (2-3)과 같이 정의된다 (Mises 1959).

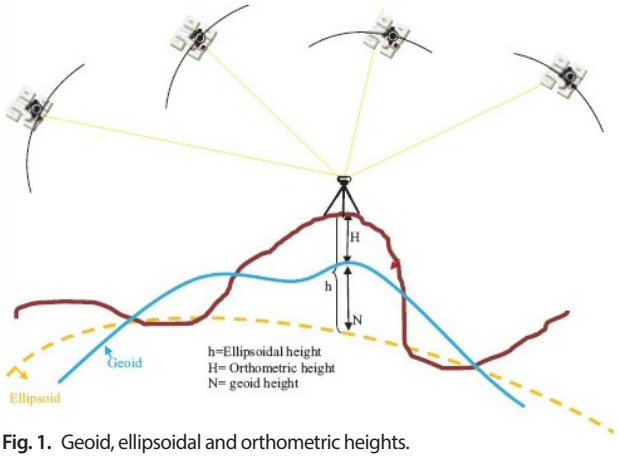


Fig. 1. Geoid, ellipsoidal and orthometric heights.

Table 1. Altitude estimation accuracy analysis at 86 points.

Obsevation time	< 1 cm (%)	< 2 cm (%)	< 3 cm (%)	< 4 cm (%)	< 5 cm (%)
4h a day for 2 days	38.7	74.4	90.7	96.5	98.8
2h a day for 2 days	29.1	65.1	82.6	96.5	98.8
4h a day	36.6	70.4	83.7	93.0	99.4
2h a day	31.1	63.0	80.0	91.9	96.1
30m a day	18.6	54.7	77.9	87.2	93.6

$$R = 287J/(Kg \cdot K) \quad (2)$$

$$T_{grad} = 0.0065°K/m \quad (3)$$

기압고도는 GPS 고도와는 다르게 고도가 결정된다. 기압고도는 지오이드를 기준으로 한 고도이다. 지구가 기하학적으로 완벽한 모양을 가지고 있지 않다는 사실은 이미 잘 알려져 있으며, 지오이드는 이러한 지구의 불규칙한 모양을 설명하는데 사용된다. GPS고도는 지구를 타원체 형태로 가정함으로써 고도를 계산한다 (Aleem 2012). Fig. 1은 두 고도의 관계를 나타낸 것이다. GPS는 지표면에 가까운 타원체의 높이 h를 사용한다. H는 지구 중력에 의해 결정되고 MSL에 의해 근사 되는 지오이드라고 하는 가상 표면 위의 높이 이다. 두 고도는 지오이드 높이 N만큼의 차이를 가진다. 한반도의 고도 변환을 위한 지오이드 높이 N 값은 국토지리정보원에서 제공하고 있다. 국토지리정보원은 2014년 국가지오이드 모델 개발 연구에서 KNGeoid13을 적용하여 관측시간에 따른 GNSS 높이 측량 오차를 점검하였다. Table 1은 그 결과를 나타낸 것으로, 1일 4시간씩 2일 관측하였을 때 대상지역 중 90.7% 자료가 3 cm 이하의 오차를 보임을 확인할 수 있다 (National Geographic Information Institute 2020).

2.2 Online Calibration

기압센서를 이용하여 정확한 고도 값을 추정하기 위해서는 기

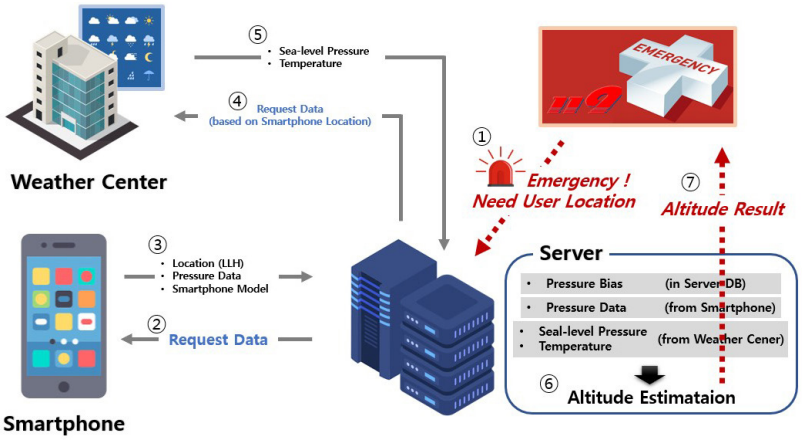


Fig. 2. Altitude estimation and transfer in emergency situation.

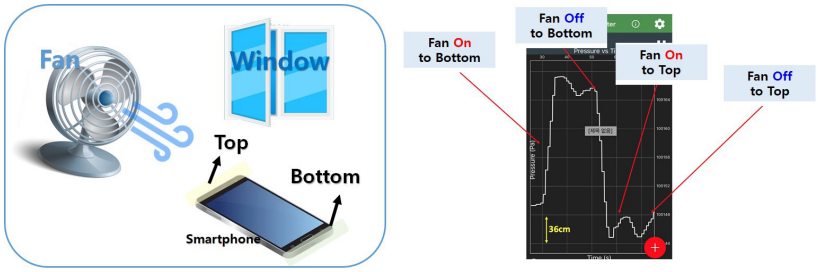


Fig. 3. Abnormal measurement detection.

압 센서의 캘리브레이션을 통해 센서 바이어스를 보정해주어야 한다. 상대고도를 계산하는 경우에는 상관이 없지만 절대고도 정보가 필요한 경우에는 바이어스 추정 및 보정 과정이 필수적이다 (Zaliva & Franchetti 2014). 센서의 캘리브레이션은 두 가지로 나뉘는데, 하나는 사전에 캘리브레이션을 수행하는 오프라인 캘리브레이션(offline Calibration)이고, 다른 하나는 센서를 사용하면서, 동시에 캘리브레이션을 수행하는 인플라잇 캘리브레이션(in-flight Calibration) 방법이다. 하지만 긴급 구조 상황과 같은 특별한 상황에서는 짧은 시간내에 기압센서 바이어스를 추정해야 하기 때문에, 인플라잇 캘리브레이션의 적용이 어렵다. 또한 사전에 기압센서를 캘리브레이션 하는 오프라인 캘리브레이션을 위해서는 별도의 기압센서 캘리브레이션 태스크를 추가해야 하는 문제가 있다.

이에 따라 본 논문에서는 사전에 스마트폰 기종 별로 캘리브레이션을 수행하고, 캘리브레이션 결과인 기종 별로 추정된 바이어스를 서버 데이터베이스에 저장해 두었다가 필요할 시에 즉각 받아서 사용하는 온라인 캘리브레이션 개념을 제안한다.

$$p_{calibrated} = p_{measured} - bias_{phoneModel} \quad (4)$$

이를 위해서는 동일 기종 혹은 동일 센서 간 유사한 기압 값을 제공한다는 점이 검증이 되어야 하기 때문에, 이를 위한 실험을 3장에서 수행하였다.

온라인 캘리브레이션은 구조자 혹은 기관 측에서 요구조자에게 요청한 정보를 서버에서 수신한 후에 수행한다. 서버에서는 스마트폰의 기종 별 기압센서의 바이어스를 모두 저장하고 있기 때문에, 요구조자가 전달하는 정보에는 반드시 스마트폰의 모델이 포함되어 있어야 한다. 스마트폰 모델에 맞춰서 기압센서 측정치에 바이어스를 반영하고, 요구조자에게 받은 위치정보는 요구조자 기준으로 가장 가까운 기상청에서 해면기압 및 온도 정보를 요청하는데 사용한다. Fig. 2는 온라인 캘리브레이션을 포함하여 긴급상황에서 고도 추정을 위한 전체 과정을 나타낸 것이다.

2.3 Abnormal Pressure Measurement

기압센서를 이용한 고도 추정은 기압센서가 측정한 기압 측정치가 고도 변화에 의한 기압변화 여부만 반영하고 있다고 가정할 때 가능하다. 하지만 기압센서는 온습도, 풍속 및 풍향과 같은 환경적 요인에 반응하기 때문에 측정치 자체가 변화될 가능성이 충분히 존재한다. 긴급상황에서 수집한 기압 측정치에 문제가 발생하였지만, 이를 인지하지 못하고 그대로 고도 추정에 사용한다면 구조자에게 잘못된 정보를 제공할 수 있다. 본 논문에서는 Fig. 3과 같은 실험 환경을 조성하여 여러 요인 중 바람이 스마트폰의 기압센서 측정치에 미치는 영향을 확인하였다.

3. TEST RESULT

3.1 Online Calibration

Table 2. Specification of test devices.

Manufacturer	Model	Processor	Sensor vender	Amount
SAMSUNG	Galaxy S20	Exynos 990	STMicroelectronics – LPS22HH	3
SAMSUNG	Galaxy S10+	Exynos 9820	STMicroelectronics – LPS22HD	3
SAMSUNG	Galaxy S10	Exynos 9820	-	3
LG	V35	Snapdragon 845	-	3

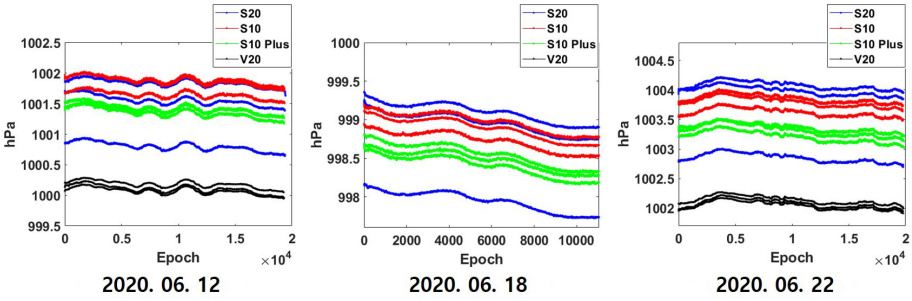


Fig. 4. Pressure sensor raw measurement.

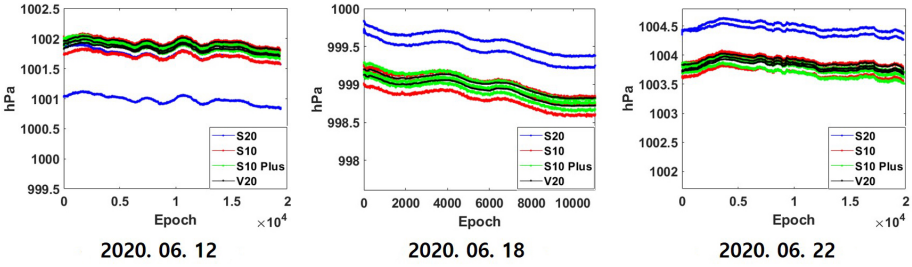


Fig. 5. Pressure sensor measurement after online calibration.

Table 2는 실험에 사용한 기기들의 스펙을 나타낸 것이다. 같은 기종별로 3대씩 수행하였고, 스마트폰에 내장된 센서들의 공급업체가 확인 가능한 경우 표기하였으며 불가능한 경우는 표기하지 않았다. 실험은 2020년 6월 12일, 18일, 22일 총 3회 수행하였다. 세 실험 모두 기압센서 측정치에 다른 영향이 가지 않도록, 실내 공간에서 에어컨과 선풍기를 꺼 두고 창문은 모두 닫은 환경에서 실험을 수행하였다. Figs. 4와 5에서는 날짜 별로 그래프의 축을 통일시켰으며, 0.5 hpa는 고도로 변환 시 약 4.5m의 값 이다. 캘리브레이션 이전의 결과인 Fig. 4를 보면, S20을 제외한 같은 기종들은 서로 1 hpa 범위 안에서 모여 있는 것을 확인할 수 있다. 갤럭시S20을 제외한 갤럭시S10, 갤럭시S10+, V35 단말의 경우, 기압센서 측정치 값이 모여 있는 반면, 갤럭시S20 기압센서 측정치의 경우 측정치가 모여 있지 않는데, 이에 대한 정확한 이유는 파악이 되지 않는다. 다만 갤럭시S20의 경우 여러 번의 측정에서 기압센서 값이 다소 불안정하게 측정되었다. 이에 대해서는 추가적인 실험이 필요하다.

Fig. 4에서 보여지는 각 모델 별 3개의 단말에 대해 바이어스를 식 (5)를 이용하여 측정하였다. 즉 3개 단말의 기압 바이어스를 평균을 내어, 기종 별 바이어스를 추정하였다.

$$bias_{phoneModel} = \frac{\sum_{t=1}^{N} p_{phoneModel(t)}}{N} - p_0 \qquad (5)$$

Fig. 5는 모델별로 공통된 바이어스를 반영한 기압 측정치 결과이다. 1차 실험인 6월 12일 실험에서 각 기종 별 평균치를 바이어스로 적용하였다. 기종 별 바이어스를 반영하기 이전에는 같은 기종들만 모여 있었지만, 반영한 후에는 이기종간 차이도 줄어든 것을 확인할 수 있다. 이는 사전에 단말별로 캘리브레이션을 수행하는 것이 아닌, 기종별로 일괄적으로 캘리브레이션 결과를 적용할 수 있는 온라인 캘리브레이션 기법이 유효할 수 있다는 가능성을 보여준다. 다만 갤럭시S20의 경우 기압센서 측정치의 불안정성으로 인해 온라인 캘리브레이션에 대한 유효성 여부를 논하기 어렵고, 또한 전반적으로 매우 적은 수의 단말로 실험을 수행했기 때문에, 제안기법인 온라인 캘리브레이션이 유효하다고 단정하기는 매우 어렵다. 다만 그 가능성에 대한 1차적인 제안은 가능할 것이다.

3.2 Abnormal Measurement

기압센서는 기본적으로 온도, 습도 및 바람에 영향을 받는 것으로 알려져 있다. 이중 가장 크게 영향을 받는 것이 바로 바람이다. 따라서 본 논문에서는 바람이 기압센서에 미치는 영향에 대해 실험해보았다. 비정상 상황에 대한 모든 실험 결과는 3.1절에서 계산한 기종 별 바이어스로 기압센서 측정치를 보정한 결과이다.

먼저 창문 개방에 의한 기압센서 측정치의 변화를 확인하였다. 실험은 7월 17일에 한시간 동안 수행하였으며, 창문을 닫은 상

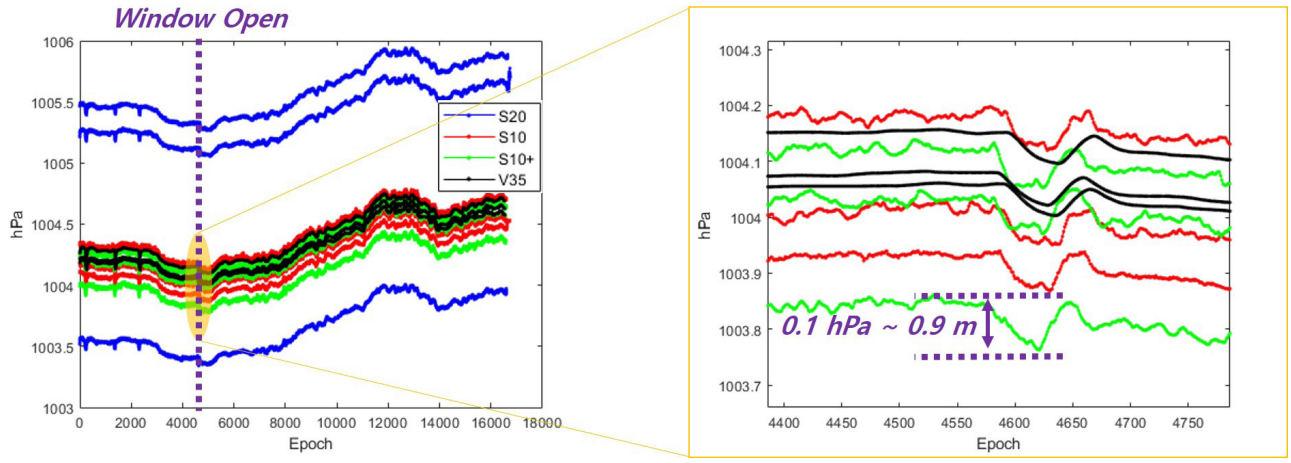


Fig. 6. Pressure sensor measurement change when window open to smartphone bottom.

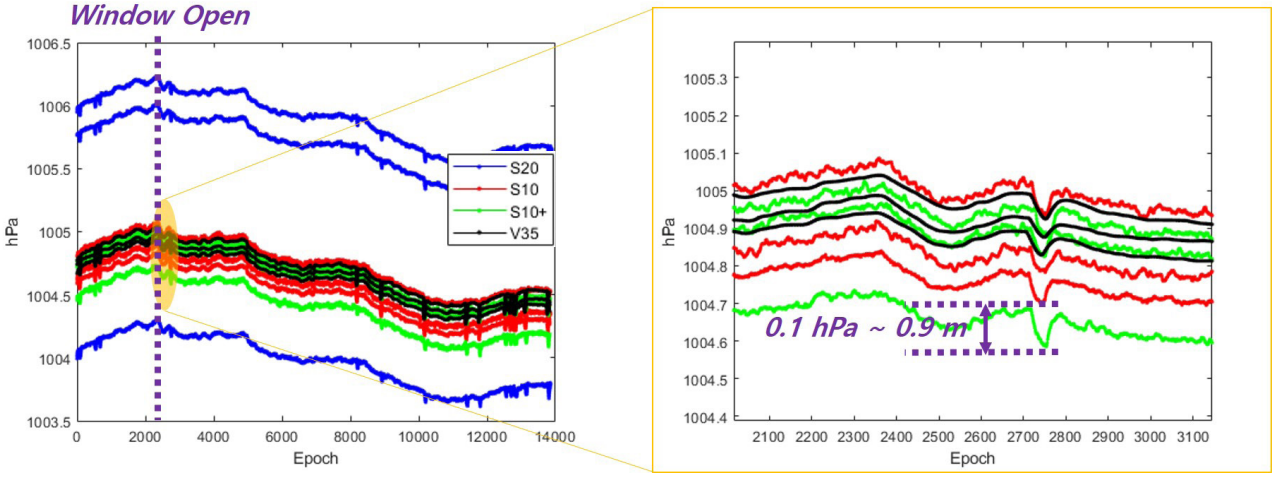


Fig. 7. Pressure sensor measurement change when fan operating to smartphone bottom.

태에서 시작하여 약 20분 뒤에 창문을 열어서 그 영향을 확인하였다. Fig. 6은 그 결과를 나타낸 것이다. 창문을 연 시점에서 모든 실험 기기에서 기압센서 값이 잠시 감소하였다가, 다시 원래의 값으로 복구되는 것을 확인할 수 있다. 대략적으로 0.1 hpa 정도의 값 변화를 보이는데 이는 약 0.9 m에 해당된다. 일반적인 건물의 한 층수가 4~7 m인 것에 비해 굉장히 작은 변화를 보일 뿐만 아니라, 짧은 시간 동안만 변했다가 원래의 값으로 돌아온다. 이는 창문을 열었을 때, 순간적으로 외기와 내기가 순환하면서, 일시적인 기압 변화가 생기기 때문이 아닐까 추정한다.

다음은 공조 및 냉난방시스템에 의한 영향을 알아보기 위한 실험으로, 바람을 쉽게 제어하기 위해 선풍기에 의한 기압센서 측정치의 변화를 확인하였다. 실험은 7월 17일과 21일에 수행하였다. 17일 실험의 경우 1시간 동안 수행하였으며 약 20분 뒤에 선풍기를 켜서 그 영향을 확인하였고, 21일 실험의 경우 20분 동안 수행하였으며 실험 시작 5분 후 선풍기를 키고 실험 종료 5분 전에 선풍기를 꺼서 그 영향을 확인하였다. Fig. 7은 17일 실험 결과를 나타낸 것이다. 창문 개방 실험과 비슷하게 선풍기를 켠 시점에서 모든 실험 기기에서 기압센서 값이 잠시 감소하였다가 정상값으로 복구되는 것을 알 수 있다. 대략적으로 0.13 hpa 정도, 즉 1.17 m의 변화를 보이는데 마찬가지로 건물 층간 높이 차이에 비해 작은 값이다. Figs. 8과 9는 21일 실험 결과를 나타낸 것이다. 선풍기의 영향을 받지 않도록 비교군을 두어서 그 영향을 더욱 확실하게 확인하고자 하였다. 17일 실험과는 다르게 선풍기의 작동 여부가 실험기기에 미치는 영향을 확인할 수 없다. 이는 선풍기의 바람이 불어오는 방향과 스마트폰의 위치가 서로 연관이 있기 때문이다. Fig. 3과 같이 스마트폰의 윗부분이 선풍기를 향해서 위치하면 그 영향이 거의 없고, 아랫부분이 선풍기를 향해서 위치하면 측정치의 변화를 확인할 수 있다. 이는 단말의 위쪽은 막혀 있는데 반해, 단말의 아래쪽은 스피커와 마이크가 위치하여, 외부의 영향을 받기 때문으로 추정된다. 따라서 단말 내 위치한 마이크의 소음 등을 측정하여, 바람의 영향을 제거하는 것도 가능할 것으로 예상된다. 다만 본 논문에서는 다루지 않았다.

3.3 Field Test

제안한 고도 추정 알고리즘을 이용하여 실제로 실내 고도 추

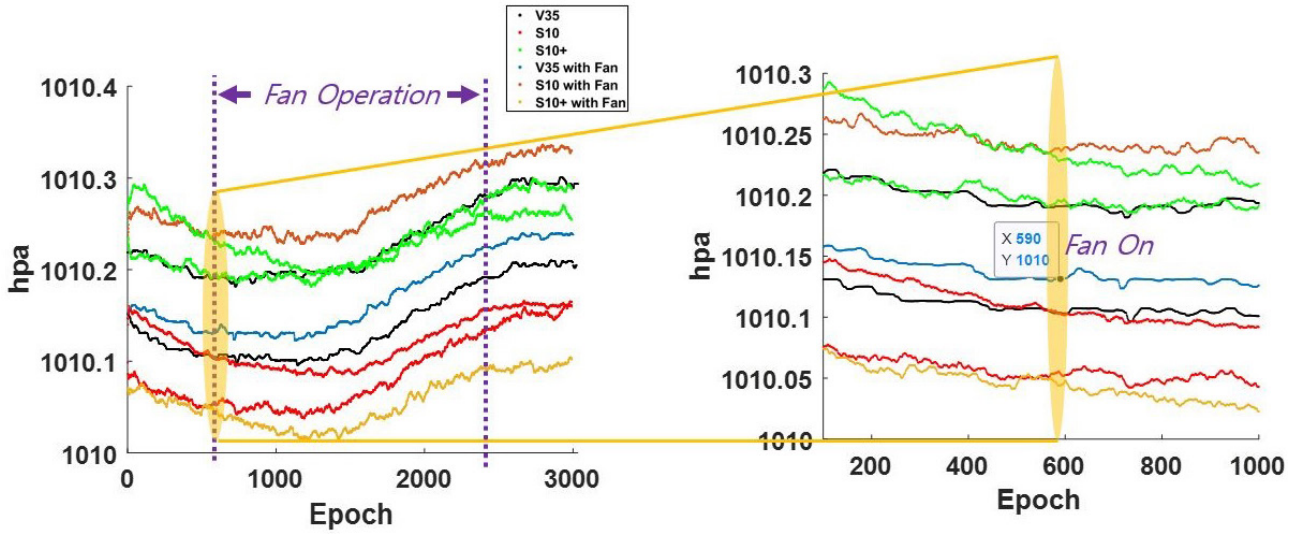


Fig. 8. Pressure sensor measurement change when fan on to smartphone top.

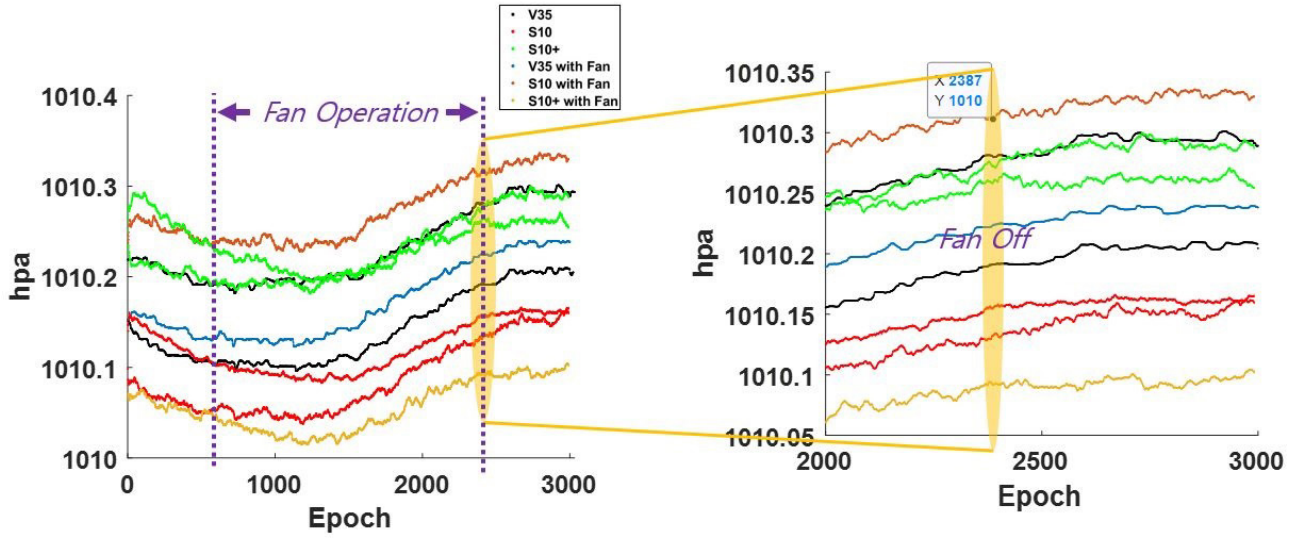


Fig. 9. Pressure sensor measurement change when fan off to smartphone top.

Table 3. Field test place and time.

Place	Floor	Indoor/Outdoor	Time (UTC)
Dong-A Villat 2	In front of	Outdoor	01:33
	1F	Indoor	01:38
	3F	Indoor	01:46
Dong-A Tower	In front of	Outdoor	02:14
	1F	Indoor	02:22
	6F	Indoor	02:27
	B5	Indoor	02:34
Leaders Building	In front of	Outdoor	03:13
	1F	Indoor	03:21
	6F	Indoor	03:27
Diplomatic Center Building	In front of	Outdoor	04:02
	1F	Indoor	04:07
	12F	Indoor	04:15
	B2	Indoor	04:25

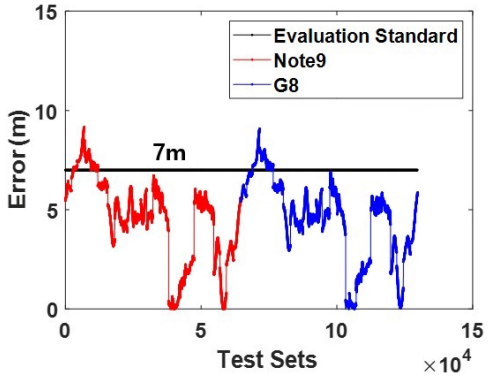


Fig. 10. Altitude estimation field test result.

정 실험을 수행하였다. 실험은 서울시 서초구에 위치한 동아빌라트2, 동아타워, 리더스빌딩, 외교센터빌딩에서 수행하였으며 실험 스마트폰은 LG G8과 Galaxy Note9으로 선정하였다. Table 3과 같이 각각의 빌딩에서 지하층부터 지상층까지 층수를 달리하며 실험하였다. 그 결과는 Fig. 10에 도시하였으며, 통계치 결과는 Table 4와 같다. 긴급 측위에서 요구하는 20 m 정확도는 전체 129762개의 고도 데이터 모두 만족하였으며, 기종과 무관하게 CEP 기준 약 5.5 m의 오차를 달성하였다. 일반적인 건물 한 층의

Table 4. Altitude estimation statistical result.

	CEP (meter)	< 7 m success rate (%)
LG G8	6.0015	86.4833
Galaxy Note9	4.9132	88.4054
Total	5.5258	87.4486

높이가 약 7 m인 것을 고려하면 약 87.5% 성공률의 한 층 이내 추정이 가능하며, 실내에서 요구조자가 위치한 층수를 특정하는데 효과적일 것으로 예상된다.

4. CONCLUSIONS

본 논문에서는 긴급상황에서 스마트폰의 기압센서를 이용하여 요구조자의 고도를 추정하는 기술을 제안하였다. 긴급상황의 특수성을 고려하여 단말 기종별로 기압센서의 바이어스를 추정하는 방식인 온라인 캘리브레이션 방식을 제안하였다. 이는 단말 기종별로 기압센서의 바이어스가 군집화 되어 있다는 것을 가정한다. 일부 단말을 제외하고, 그 가능성을 확인하였으나, 추가적인 실험이 필요한 상황이다. 수행한 실험에서는 온라인 캘리브레이션을 통해 단말의 캘리브레이션 오차를 3 m 이내로 추정 및 보정이 가능했다. 이는 한 층 높이 이내 값으로, 온라인 캘리브레이션이 가능할 경우, 활용 가능성이 높다는 것을 의미한다. 본 논문에서는 또한 기압센서가 민감한 환경 특성인 바람의 영향을 보기 위해 창문의 영향과 바람의 영향에 대한 실험을 수행하였다. 주로 단말의 통화부분으로 바람이 불어올 때, 기압센서가 영향을 받는 것을 확인하였다. 다만 그 영향은 약 1 m 내외로, 요구조자의 층 구분에 크게 영향을 미친다고 하기는 어려웠다.

고층건물이 많은 도심환경에서 긴급구조 상황에 있는 요구조자의 고도정보를 인식하는 것은 매우 중요하다. 고도 정보를 통해 층을 정확히 알면, 수평 위치 정확도가 다소 떨어지더라도 요구조자를 찾기가 용이 해지며, 수평 위치의 모호성을 고도정보를 통해 보완 가능하다고 판단된다. 제안 기술에 대한 추가적인 연구와 실험을 통해 현 긴급구조측위시스템의 개선이 가능할 것이다.

ACKNOWLEDGMENTS

This work was supported by Institute for Information & communications Technology Promotion (IITP) grant funded by the Korea government (MSIT) (No. 2019-0-01401, Multi-source-based 3D Emergency LOCalization using machine learning techniques (MELOC)).

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Donghyun Shin contributed to the investigation, analysis experiments result and writing original draft. Jungho Lee contributed to the methodology. Beomju Shin contributed to the validation. Chang Su You and Hankyeol Kyung contributed to the investigation and data acquisition. Taikjin Lee contributed to the conceptualization of the idea, supervised the research and reviewed the manuscript as a project administrator. All authors discussed the proposed results.

CONFLICTS OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

REFERENCES

Aleem, K. F. 2012, Geoid modeling [Internet], cited 2012 Aug 10, available from: https://mycoordinates.org/geoid-modelling

Google Android, Android Sensors API [Internet], cited 2020 Aug 10, available from: https://developer.android.com/reference/android/hardware/Sensor

Hajiyev, C., Hacizade, U., & Cilden-Guler, D. 2019, Data Fusion for Integrated Baro/GPS Altimeter, in 2019 9th International Conference on Recent Advances in Space Technologies (RAST), 11-14 June 2019, Istanbul, Turkey, pp.881-885. https://doi.org/10.1109/RAST.2019.8767791

Kaplan, E. D. & Hegarty, C. J. 2006, Understanding GPS: Principles and Applications, 2nd ed. (Boston: Artech House Inc.)

Leva, J. L. 1994, Relationship Between Navigation Vertical Error, VDOP, and Pseudo-range Error in GPS, IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 30, 1138-1142. https://doi.org/10.1109/7.328790

Mises, R. V. 1959, Theory of Flight (New York: Dover Publications.)

National Geographic Information Institute, Geoid Service [Internet], cited 2020 Aug 10, available from: https://map.ngii.go.kr/ms/mesrInfo/geoidIntro.do

Torres-Sospedra, J. & Moreira, A. 2017, Analysis of Sources of Large Positioning Errors in Deterministic Fingerprinting, Sensors, 17, 2736. https://doi.org/10.3390/s17122736

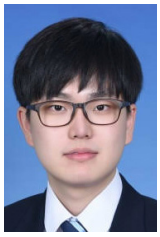
Zaliva, V. & Franchetti, F. 2014, Barometric and GPS altitude sensor fusion, in 2014 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), 4-9 May 2014, Florence, Italy, pp.7525-7529. https://doi.org/10.1109/ICASSP.2014.6855063

Donghyun Shin received the B.S. and the M.S degree in the Aerospace Engineering from Sejong University, Seoul, South Korea, in 2017 and 2019. He is working in the Korea Institute of Science and Technology as a navigation engineer, since 2019. His research interests are GPS, IMU, navigation using the smartphone and MEMS-based pedestrian dead reckoning.

Jung Ho Lee received B.S. degree in Hongik University and M.S. degree in Korea University, in 2010 and 2012, respectively. Also, he is Ph.D. candidate in Korea University, Seoul, Korea. He has been with Korea Institute of Science and Technology in Sensor System Research Center since 2012. His area of interests are wireless communication, indoor navigation.

Beomju Shin received the B.S. and M.S. degrees in information and communication engineering from Sejong University, Seoul, South Korea, in 2010 and 2012, respectively. From 2012 to 2014, he was a researcher with the Sensor System Research Center, Korea Institute of Science and Technology, Seoul. In 2020, he received Ph.D. degrees in School of Mechanical and Aerospace Engineering in Seoul National University. He has been working as a postdoctoral research at Korea Institute of Science and Technology. His current interests include pattern recognition, machine learning, and indoor navigation system.

Changsu Yu received his B.S in the Mechanical Engineering from Seoul National University of Science and Technology, Seoul, South Korea in 2019. He is working in the Korea Institute of Science and Technology in Sensor System Research Center since 2019. His area of interests are indoor navigation, IMU and pedestrian dead reckoning.



Hankyeol Kyung received B.S. degree in SEOULTECH, in 2019. Also, he is M.S. candidate in Korea University. His research interests are indoor navigation, reinforcement learning.

Dongwook Choi received B.S. and M.S. degrees in telecommunication engineering from Pukyoung National University in 2005 and 2012, and Ph.D. degree in electronic engineering from Hankyoung National University in 2018. He has been working as an engineer at Korea Telecom since 2005. His research and development interests are areas of positioning techniques and location based services.

Yeji Kim received B.S. degree in information system and computer science from Hanyang University in 2018. He has been working as an engineer at Korea Telecom since 2018. His research and development interests are areas of positioning techniques and location based services.

Taikjin Lee received the B.S. and Ph.D. degrees in School of Mechanical and Aerospace Engineering in Seoul National University, Seoul, Korea in 2001 and 2008, respectively. In 2008, he was with the School of Mechanical and Aerospace Engineering, Seoul National University where he was a postdoctoral fellow. Since 2010, he has been with Korea Institute of Science and Technology as a senior researcher. The areas of interests are indoor navigation system, pattern recognition, and sensor network.

https://doi.org/10.11003/JPNT.2020.9.3.175