

<https://doi.org/10.7236/JIIBC.2018.18.6.229>

JIIBC 2018-6-31

# 스마트폰 실내 위치 추적을 위한 지자기 센서 보정에 관한 연구

## A Study on magnetic sensor calibration for indoor smartphone position tracking

이동욱, 오종택\*

Dongwook Lee, and Jongtaek Oh\*

**요약** 스마트폰을 이용한 실내 위치 추적 기술에 관한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 특히 스마트폰의 이동 경로를 지도에 표시하기 위해서는 대부분의 스마트폰에 내장되어 있는 지자기 센서를 이용하여 방위각을 추정해야 하는데, 주변의 쇠구조물에 의한 자기장의 왜곡과 스마트폰의 기울어짐 때문에 방위각 추정 오차가 발생한다. 본 논문에서는 정지 상태에서의 지자기 센서의 보정 방법과 스마트폰의 기울어짐에 대한 보정 방법을 제시한다. 또한 스마트폰에서 자북과 도북의 차이에 의한 방위각 오차를 보정하는 방법을 제안한다.

**Abstract** Research on indoor location tracking technology using smart phone is actively being carried out. Especially, in order to display the movement path of the smartphone on the map, the azimuth angle should be estimated by using the geomagnetic sensor built in most smart phones. Due to the distortion of the magnetic field due to the surrounding steel structure and the inclination of the smartphone, the estimation error of azimuthal angle may be occurred. In this paper, we propose a correction method of the geomagnetic sensor at the stationary state and a correction method for the inclination of the smartphone. We also propose a method to correct the azimuth error due to the difference between the magnetic north and the grid north.

**Key Words** : geomagnetic sensor, calibration, smartphone, position tracking

### 1. 서론

최근 스마트폰에 내장된 센서를 활용하여 다양한 연구가 진행되고 있다. 그 예로 실내 위치 추적 시 스마트폰을 활용하여 위치와 보폭 및 방위각 등을 추정하는 방법이 연구되고 있다. 본 논문에서는 스마트폰에 내장된 3축 지자기 센서를 활용하여 실내에서 방위각을 찾기 위한 방법을 기술하였다.

지자기 센서는 주변의 구조물 및 지자기 분포 상황에 따라 왜곡의 영향을 받게 되는데, 주요 원인으로 주변 쇠구조물의 영향과 지자기 센서의 기울어짐에 대한 영향이 있다. 쇠 구조물은 지자기 센서가 받는 자기장의 세기에 영향을 주므로 센서로 부터 측정되는 값들의 변화가 생기게 된다. 또한 지자기 센서는 지면과 평행일 때 가장 정확한 값을 측정하지만, 사용자가 스마트폰을 쥐고 있을 때 항상 수평인 상태가 아니므로 스마트폰의 기울기

\*정회원, 한성대학교 전자정보공학과  
접수일자: 2018년 10월 8일, 수정완료: 2018년 11월 8일  
게재확정일자: 2018년 12월 7일

Received: 8 October, 2018 / Revised: 8 November, 2018 /  
Accepted: 7 December, 2018

\*Corresponding Author: jttoh@hansung.ac.kr

Dept. of Electronics Information Eng., Hansung University, Korea

에 따른 왜곡이 발생하게 된다<sup>[14]</sup>. 왜곡이 발생하게 되면 방위각 계산 시 오차가 생기므로 센서 값을 보정해주는 기술이 중요하다. 또한 스마트폰으로부터 계산되는 방위각은 자북 방위각이며 실제 지도상에서 사용하는 도북 방위각과의 차이가 있으므로 이를 보정해줘야 한다.

본 논문에서 진행된 모든 실험은 전문적인 장비를 사용한 것이 아닌 실생활에 흔히 사용 되는 스마트폰들을 사용하여 진행되었다. 정지 상태에서 스마트폰을 쥐고 몸을 한 바퀴 혹은 두 바퀴 이상 회전하며 지자기 센서의 값을 안드로이드 애플리케이션을 통해 약 5ms 간격으로 샘플링하며 추출하였다<sup>[5]</sup>. 또한 스마트폰 주변 쇠구조물의 영향에 대한 보정 방법과 스마트폰의 기울어짐에 대한 보정 방법을 제시하고, 자북과 도북의 차이에 의한 방위각 오차를 안드로이드 API를 활용하여 보정하는 방법을 제안한다.

## II. 지자기 센서에 의한 방위각 오차

### 1. 주변의 쇠 구조물에 의한 방위각 추정 오차

일반적으로 스마트폰 내부에는 3축(x, y, z) 지자기 센서가 내장되어 있다. 주변에 쇠 구조물이 존재하면 기존의 지자기 분포에 왜곡이 발생하여 지자기 센서 값에도 오차가 발생한다. 주변 쇠 구조물이 센서에 얼마만큼의 영향을 미치는지는 자기장의 세기를 측정하여 확인할 수 있다. 자기장의 세기, A는 3축 지자기 값(각각  $m_x, m_y, m_z$ )의 제곱을 합산한 크기인 식(1)을 통해 얻을 수 있다.

$$A = \sqrt{m_x^2 + m_y^2 + m_z^2} \quad (1)$$

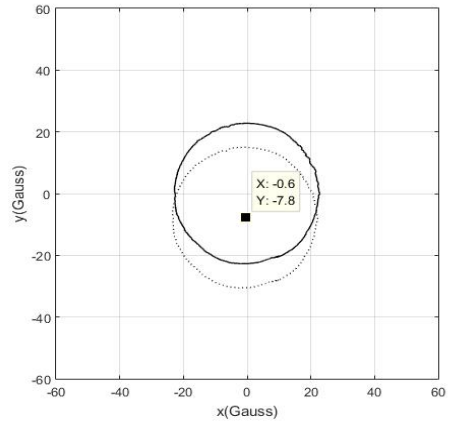
이때의 방위각,  $\Psi$ 는 식 (2)를 통해 계산할 수 있다.

$$\Psi = -\tan^{-1}\left(\frac{m_y}{m_x}\right) \quad (2)$$

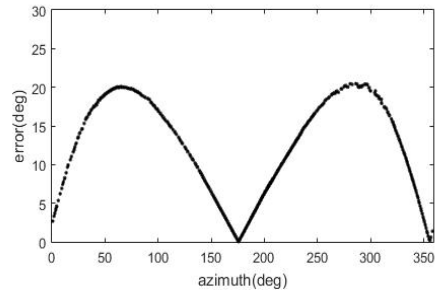
지자기 왜곡이 없을 경우에 제자리에서 한 바퀴 회전하면서 지자기 센서 값을 측정하여 2차원 평면에 방위각의 궤적을 표시하면 원의 형태가 되고 중심점은 2차원 평면 좌표의 원점 (0, 0)에 위치하게 된다. 자기장 분포의 왜곡이 커질수록 궤적 원의 중심점이 원점 (0, 0)과 멀어지게 되며 이에 따라 방위각 오차가 크게 발생하게 된다.

그림 1.(a)는 주변 자기장의 세기가  $35 \sim 40 \mu T$  범위 내에 있는 장소에서 측정된 방위각의 궤적(실선)과, 범위를 벗어난 장소에서의 궤적(점선)과 중심점의 offset을

나타낸 것이다. 그림 1.(b)는 주변 자기장의 세기가  $35 \sim 40 \mu T$  범위를 벗어난 장소에서, 제자리에서 한 바퀴 회전하면서 실제 방위각과 지자기 센서 값에 의해 측정된 방위각과의 차이(방위각 오차)이다.



(a)



(b)

그림 1. (a) 자기장의 세기가  $35 \sim 40 \mu T$  인 장소(실선)와 범위 밖인 장소(점선)에서 제자리에서 한 바퀴 회전하면서 지자기 센서로 측정된 방위각의 궤적과 중심점 (b) 범위 밖인 장소에서 실제 방위각과 지자기 센서 값으로 측정된 방위각의 오차

Fig. 1. (a) Locus and center of azimuth angle measured by geomagnetic sensor, when rotating one turn in the place of the magnetic field strength of  $35 \sim 40 \mu T$  (solid line) and of outside the range (dotted line). (b) Azimuthal measurement error between the actual azimuth and the angles with geomagnetic sensor at a location outside the range.

### 2. 기울어진 스마트폰에 의한 방위각 오차

일반적으로 사용자가 항상 스마트폰을 평평한 지표면과 평행하게 들고 있지 않다. 지자기 분포 상태가 동일한 장소에서 스마트폰을 수평으로 잡은 상태를 기준으로,

스마트폰의 위와 아래를 기울이는 경우(즉, pitch 각도가 0도가 아닌 경우)와 스마트폰의 좌우를 기울이는 경우(즉, roll 각도가 0도가 아닌 경우)에 대해서는 지자기 센서로 측정된 방위각이 실제의 방위각과 달라 방위각 측정 오차가 발생하게 된다.

그림 2.(a)는 스마트폰이 수평상태로 있을 때와 각각 pitch각, roll각이 약 45도 및 45도 일 때의 측정 방위각 궤적 그래프이다. 그림 2.(b)는 이 경우의 모든 방위각에 대한 실제 방위각과의 차이 그래프이다.

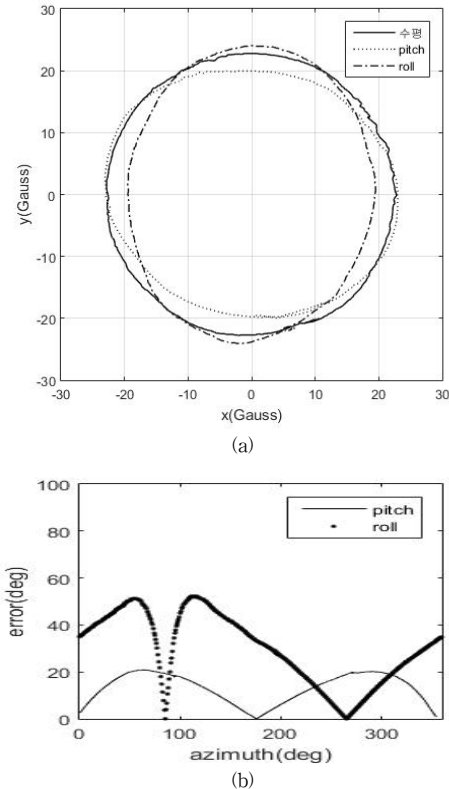


그림 2. (a) 스마트폰이 수평상태(실선) 및 pitch(점선), roll(1점쇄선)각이 각각 45도일 때의 지자기 센서 값에 의한 측정 방위각 궤적 그래프, (b) 이때의 측정 방위각 측정 오차

Fig. 2. (a) A graph of azimuthal trajectory measured by the geomagnetic sensor value when the smartphone is horizontal(solid line) and the pitch(dotted line) and roll(1 dot chain line) angles are 45 degrees, each. (b) The azimuth measurement error.

### 3. 자북과 도북의 불일치에 의한 방위각 오차

자북은 나침반의 N극이 가리키는 방향을 북쪽(north)으로 하여 방위각을 표현한 것이며, 스마트폰으로부터

계산되는 방위각이다. 기호는 반쪽 화살표(↖)이다. 도북은 지도의 세로선(경도선)의 위를 북쪽(north)로 설정하여 방위각을 표현한 것이며 실제 일상생활에 사용되는 방위각이다. 기호는 화살표(↑)이다<sup>[6,7]</sup>.

그림 3의 ①은 도북 방위각이고 ②는 자북 방위각이다. 자북과 도북 사이의 각도를 도자각이라 하며 자북 방위각에서 도자각을 빼주면 도북 방위각이 계산된다.

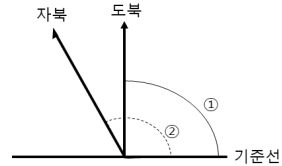


그림 3. 자북과 도북의 차이  
 Fig. 3. The difference between magnetic north and grid north

## III. 지자기 센서의 방위각 추정 보정

### 1. 주변의 쇠 구조물에 의한 방위각 오차 보정

주변 쇠 구조물에 의한 지자기 센서 값의 왜곡 보정 방식을 hard iron 보정이라 한다. hard iron 왜곡은 중심점이 이동한 offset 값을 원점 좌표인 (0, 0) 지점으로 이동시켜 보정한다. 왜곡된 offset은 식 (3)과 식 (4)를 통해 계산한다. 각각 식 (3)과 식 (4)로부터 계산된  $\alpha$ 와  $\beta$ 를 각각 x, y축의 지자기 센서 값에서 빼주면 중심점의 offset이 (0, 0)으로 이동한다. 식 (3)과 (4)에 사용된 값들은 표 (1)에 정리하였다<sup>[8]</sup>.

$$\alpha = \frac{(x_{\max} + x_{\min})}{2} \quad (3)$$

$$\beta = \frac{(y_{\max} + y_{\min})}{2} \quad (4)$$

표 1. 식 (3), (4)에서 사용된 변수들  
 Table 1. Variables used in equations (3) and (4)

변수 이름	설명
$\alpha$	x축 offset
$x_{\max}$	최대 x축 지자기센서 값
$x_{\min}$	최소 x축 지자기센서 값
$\beta$	y축 offset
$y_{\max}$	최대 y축 지자기센서 값
$y_{\min}$	최소 y축 지자기센서 값

## 2. 기울어진 스마트폰에 의한 방위각 오차

기울어진 스마트폰으로부터 측정되는 지자기 센서 값을 보정하여 방위각 오차를 보정하는 방법으로 두 가지 방식이 있다. 수평자기벡터를 구한 후 보정을 통해 방위각을 계산하는 방식과 측정된 지자기 센서 값을 보정하여 방위각을 계산하는 방식이 있다. 수평자기벡터는 식 (5)를 통해 얻을 수 있다. 식 (5)에 사용된  $\theta$ ,  $\phi$ 는 각각 pitch와 roll 각도이다<sup>[9]</sup>.

$$\begin{bmatrix} X_H \\ Y_H \\ Z_H \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & 0 & \sin\theta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\theta & 0 & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\phi & -\sin\phi \\ 0 & \sin\phi & \cos\phi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} m_x \\ m_y \\ m_z \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$X_H = m_x \cos\theta + m_y \sin\theta \sin\phi + m_z \sin\theta \cos\phi$$

$$Y_H = m_y \cos\phi - m_z \sin\phi$$

앞서 언급된 두 가지 방법 중 한 가지를 선택하여 데이터로 원의 방정식을 구하고 그래프를 그리면, 그림 4와 같이 임의의 각도만큼 회전한 타원 형태의 그래프가 그려지게 된다.

원 그래프가 아닌 타원의 그래프가 나오는 왜곡을 soft iron 왜곡이라 하며, 이를 보정하기 위해 먼저 식 (6), (7), (8)을 통해 몇 가지 변수들을 계산해야 한다.

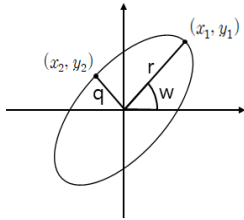


그림 4. soft iron 왜곡  
Fig. 4. soft iron distortion

$$r = \sqrt{(x_1)^2 + (y_1)^2} \quad (6)$$

$$q = \sqrt{(x_2)^2 + (y_2)^2} \quad (7)$$

$$\omega = \arcsin\left(\frac{y_1}{r}\right) \quad (8)$$

$r$ 은 타원의 장축,  $q$ 는 타원의 단축이며  $\omega$ 는 타원이 회전한 각도이다.  $\omega$ 를 사용하여 식 (9)를 통해 x 및 y축의 지자기 센서 값을 회전 변환한다.

$$R = \begin{bmatrix} \cos\omega & \sin\omega \\ -\sin\omega & \cos\omega \end{bmatrix} \quad (9)$$

회전변환 후 식 (10)을 통해 타원의 방정식을 원의 방정식으로 보정하기 위해 사용되는 비율을 계산하고, y축 지자기 센서 값에만 나눠주면 원에 가까운 형태의 방정식이 구해진다<sup>[10,11]</sup>.

$$\sigma = \frac{y_{\max} - y_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (10)$$

1차적으로 보정이 된 타원의 방정식을 식 (11)을 통해 역회전 변환하고, 식 (10)을 다시 사용하여 비율을 구한다. 다시 계산된 비율을 y축 지자기 센서 값에만 나눠주면 정확한 형태의 원의 방정식을 얻을 수 있다.

$$R' = \begin{bmatrix} \cos\omega & -\sin\omega \\ \sin\omega & \cos\omega \end{bmatrix} \quad (11)$$

식 (12)와 식 (13)을 통해 soft iron 보정이 된 수평자기벡터와 x 및 y축의 지자기 센서 값으로 방위각을 계산할 수 있다.

$$\psi = -\tan^{-1}\left(\frac{Y'_H}{X'_H}\right) \quad (12)$$

$$\psi = -\tan^{-1}\left(\frac{m'_y}{m'_x}\right) \quad (13)$$

## 3. 주변 쇠구조물과 스마트폰의 기울어짐에 대한 보정 모의실험 결과

일반적인 경우, 스마트폰의 지자기 센서가 주변 쇠구조물에 대한 영향과 자체적인 기울어짐에 대한 영향을 동시에 받게 된다. hard iron 왜곡과 soft iron 왜곡은 따로따로 나타나는 것이 아니며 동시에 발생하게 된다. 실험은 자기장의 세기가 다른 두 곳의 장소를 채택하여 진행하였으며, 두 장소에서의 상세한 실험 조건은 표 2에 기술하였다. 장소 1에서는 soft iron 보정 시 수평 자기 벡터를 사용하였으며 장소 2에서는 지자기 센서 값을 사용하였고, 실제 방위각과 왜곡을 보정한 방위각이 일치하는지 확인하였다. 회전 시 기준이 되는 지점(동, 서, 남, 북)에서 잠시 멈춰 실제로 방위각이 보정이 되는지 확인하였다.

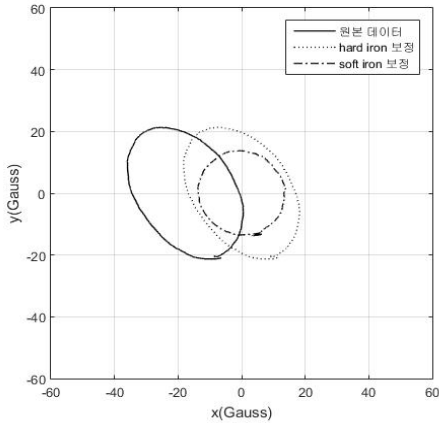
표 2. 각각의 실험에 대한 조건들

Table 2. Conditions for each experiment

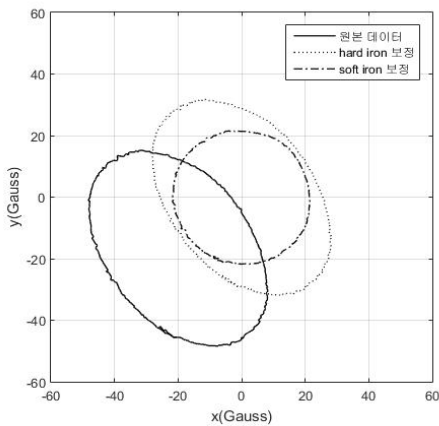
조건	장소 1	장소2
자기장의 세기( $\mu T$ )	40~45	60~65
pitch(degree)	약 45°	약 45°
roll(degree)	약 30°	약 45°

그림 5.(a)와 그림 5.(b)는 각각 수평자기벡터와 센서 값이 보정되면서 원 그래프의 형태가 어떻게 변화하는지 보여주는 그림이다. 실선으로 표시된 지자기 센서 보정전의 방위각 궤적 그래프는 왜곡이 심하지만, hard iron 보정(점선)과 soft iron 보정(1점 쇄선)을 거치면 원형 그

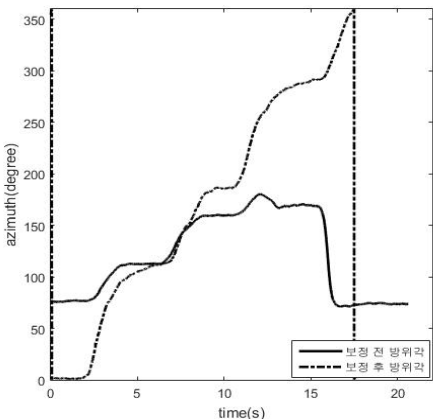
래프로 보정되는 것을 확인할 수 있다. 그림 5.(c)와 5.(d)는 각각 수평자기벡터와 센서 값을 사용하였을 때 왜곡 보정 전의 방위각(실선)과 왜곡 보정 후의 방위각(점선)을 나타낸 그림이다.



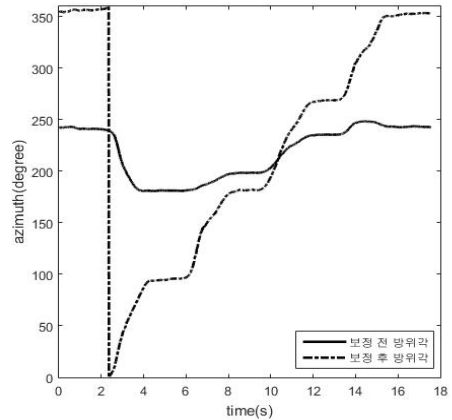
(a)



(b)



(c)



(d)

그림 5. (a) 수평자기벡터 왜곡 보정, (b) 센서 데이터 왜곡 보정, (c) 수평자기벡터 왜곡 보정 전/후의 방위각 비교, (d) 센서 데이터 왜곡 보정 전/후의 방위각 비교.

Fig. 5. (a) Horizontal magnetic vector distortion correction, (b) Sensor data distortion correction, (c) Comparison of azimuth angle before and after horizontal magnetic vector distortion correction, (d) Comparison of azimuth angle before and after sensor data distortion correction.

#### 4. 자북과 도북의 불일치에 의한 방위각 오차 보정

자북과 도북의 불일치는 아래의 안드로이드 API에서 제공되는 함수를 사용하여 보정할 수 있다. 현재 좌표의 위도 (lat), 경도 (lng), 고도 (alt), 시스템시간 (time)에 대해 다음과 같이 자북과 도북의 차이각을 얻을 수 있다.

```
double declination = new GeomagneticField (lat, lng, alt, time).getDeclination ();
```

이를 이용하여 스마트폰에서 실시간으로 자북과 도북에 대한 방위각 오차를 보정할 수 있다. 예를 들어 서울의 위도, 경도를 입력하면 도자각이 약  $-7^\circ$ 가 나오므로 이를 지자기센서로 계산된 자북 방위각에 더해주면 도북 방위각이 계산된다.

## IV. 결론

본 논문에서는 스마트폰의 3축 지자기 센서로 방위각을 계산 시 주변 쇠구조물에 대한 왜곡과 스마트폰의 기

울어짐으로 인한 지자기 센서 값의 왜곡을 보정하는 알고리즘을 기술하였다. 또한 자북 방위각을 실제로 지도에 표시되는 도북 방위각으로 보정하는 방법을 기술하였다.

스마트폰을 사용하여 실내에서 사용자의 위치를 인식할 때 지자기의 왜란에도 불구하고 스마트폰이 지향하는 방위각을 정확히 보정하는 것은 매우 중요하며, 본 논문에서 그 개선 결과를 확인할 수 있다.

## References

- [1] Jae Young Choi and Sung Gaun Kim, "Study on the Localization Improvement of the Dead Reckoning using the INS Calibrated by the Fusion Sensor Network Information," Journal of Institute of Control, Robotics and Systems, Vol. 18, No. 8, pp. 744-749, 2012.
- [2] Dae Hae Kim, Sang Min Lee, and Gil Young Kong, "A Study on the Wireless Ship Motion Measurement System Using AHRS," Journal of navigation and port research, Vol. 37, No. 6, pp. 575-580, 2013.
- [3] Elena Bergamini, and et al., "Estimating Orientation using Magnetic and Inertial Sensors and Different Sensor Fusion Approaches: Accuracy Assessment in Manual and Locomotion Tasks," Sensors, Vol. 14, No. 10, pp. 18625-18649, 2014.
- [4] Jung Moon Hwang and Jung Han Kim, "Development of the Calibration Algorithm of 3 Axis Vector Sensor using Ellipsoid," Journal of the Korean Society for Precision Engineering, Vol. 32, No. 7, pp. 643-651, 2015.
- [5] Won Jae Yi, Weidi Jia, and Jafar Saniie, "Mobile Sensor Data Collector using Android Smartphone," IEEE 55th International Midwest Symposium on Circuits and Systems(MWSCAS), pp. 956-959, 2012.
- [6] Alexandre Gonsette, and et al., "Fog-based Automatic True North Detection for Absolute Magnetic Declination Measurement," Geoscientific Instrumentation, Method and Data Systems, Vol. 6, No. 2, pp. 439-446, 2017.
- [7] Jae Geol Yim, Jae Hun Joo, and Gye Young Lee, "Smart Phone Picture Recognition Algorithm using Electronic Maps of Architecture Configuration," Journal of Society for e-Business Studies, Vol. 17, No. 3, 2014.
- [8] Christopher Konvalin, "Compensating for Tilt, Hard-iron, and Soft-iron Effects," Sensors Online, Dec. 2009:  
<https://www.sensormag.com/components/compensating-for-tilt-hard-iron-and-soft-iron-effects>.
- [9] Tae Yeon Kim, Chang Ju So, and Joon Lyou, "On-line Magnetic Distortion Calibration Method for a Magnetometer," Journal of Institute of Control, Robotics and Systems, Vol. 18, No. 9, pp. 819-822, 2012.
- [10] Gye Do Park and Jang Myung Lee, "Inclination and Non-horizontal Error Correction of Magnetic Compass by the Law of Gravity," Transactions of The Korean Institute of Electrical Engineers, Vol. 60, No. 3, pp. 606-611, 2011.
- [10] Jongtaek Oh, "A Study on Global Positioning System of Smart Phone in Indoor," Journal of the Institute of Internet, Broadcasting, and Communication, Vol. 15, No. 2, pp. 151-156, April 2015.

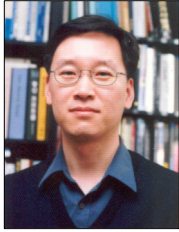
## 저자 소개

### 이 동 욱(준회원)



- 2014.3. ~ 한성대학교 전자정보공학과 학부과정

오 종 택(정회원)



- 2000.3. ~ 현재 한성대학교 전자정보 공학과 교수
  - 1993.12. ~ 2000.2. 한국통신 무선통신 연구소 선임연구원
  - 1989.3. ~1993.2. 한국과학기술원 전기 및전자공학과 박사 졸업
- <관심 분야 : 무선통신 네트워크, 기계 학습을 적용한 실내위치인식>

※ This research was financially supported by Hansung University for Jongtaek Oh. Also, this work was supported by the 2018 Research Fund of the NRF (No. 2017R 1D 1A 1B03031244) for Dongwook Lee.