

기준국을 이용한 실내·외 절대 고도 산출 및 3D 항법

최 종 준*, 최 현 영*, 도 승 복*, 김 현 수^o

Absolute Altitude Determination for 3-D Indoor and Outdoor Positioning Using Reference Station

Jong-joon Choi*, Hyun-young Choi*, Seoung-bok Do*, Hyun-soo Kim^o

요 약

본 논문은 3D 위치 정보를 산출하기 위한 기압고도계 및 기준국을 이용한 절대 고도 측정 정확도 향상에 관한 연구이다. GPS와 같은 위성 항법 시스템이 신뢰성이 있는 절대 고도를 제공하지 못하는 점과 기압 고도계가 변화하는 대기압의 특성상 절대 고도 정보를 제공하지 못한다는 문제점을 인식하고, 이를 개선하기 위해 새로운 기법을 제안하였다. 제안된 기법을 검증하기 위해 RTK를 활용한 기준국을 지정하고 시중에 판매하는 압력 센서 및 EVK 단말기를 활용하였으며, 실내·외에서의 사람의 이동으로 인한 고도 변화 실험과 차량을 이용한 이동 실험을 통해 검증하였다. 이 논문의 결과는 기준국을 이용하는 기존의 2D 측위 시스템을 간단히 3D 측위 시스템으로 확장할 수 있는 저가 솔루션을 제공할 수 있음을 보였다.

Key Words : absolute altitude, barometric, RTK reference, 3-D positioning, differential method

ABSTRACT

The topic of this paper is the advanced absolute altitude determination for 3-D positioning using barometric altimeter and the reference station. Barometric altimeter does not provide absolute altitude because atmosphere pressure always varies over the time and geographical location. Also, since Global Navigation Satellites system such as GPS, GLONASS has geometric error, the altitude information is not available. It is the reason why we suggested the new method to improve the altitude accuracy. This paper shows 3-D positioning algorithm using absolute altitude determination method and evaluates the algorithm by real field tests. We used an accurate altitude from RTK system in Seoul as a reference data and acquired the differential value of pressure data between a reference station and a mobile station equipped in low cost barometric altimeter. In addition, the performance and advantage of the proposed method was evaluated by 3-D experiment analysis of PNS and CNS. We expect that the proposed method can expand 2-D positioning system 3-D position determination system simply and this 3-D position determination technique can be very useful for the workers in the field of fire-fighting and construction.

※ 본 연구는 한국건설교통기술평가원의 "3차원 위치인식 및 무선통신 통합기술을 활용한 친환경 지하구조물 건설현장지원 시스템개발의 연구비 지원(12 첨단도시 C01)에 의해 수행되었습니다.

♦ First Author : GNSS Department of Telit Wireless Solutions, Jongjoon.Choi@telit.com, 정희원

° Corresponding Author : GNSS Department of Telit Wireless Solutions, Hyunsoo.Kim@telit.com, 정희원

* GNSS Department of Telit Wireless Solutions, Hyunyoung.Choi@telit.com, Seoungbok.Do@telit.com

논문번호 : KICS2014-10-387, Received October 8, 2014; Revised December 30, 2014; Accepted December 30, 2014

I. 서 론

지금까지의 위치기반 서비스(LBS)는 수평 위치 정보만을 이용해 왔다. 최근에는 실내 환경에서의 위치 결정 요구가 늘면서 다층 구조의 대형 주차장 내부, 또는 건설 및 화재 현장인 빌딩 내부에서 정확한 높이를 필요로 하는 분야가 늘어가고 있다¹⁾. 그러나 일반적으로 널리 알려져 있는 위치 결정 방법인 위성 항법과 무선 항법, 관성 항법 등은 높이를 결정하는데 있어서 치명적인 단점이 있다.

위성 항법 시스템의 경우, 대기권 밖에 있는 위성을 이용하는 시스템 구조상 수평보다 수직 방향 위치 오차가 매우 크다. 무선 항법 시스템은 근본적으로 고도를 결정할 수 있는 방법이 없다. 관성 항법 시스템은 3축 자이로, 3축 가속도 센서를 이용하여 INS를 구현하거나 보행자 항법을 구현할 수는 있으나 절대 고도를 결정하지 못하는 단점이 있다. 이를 보완하기 위해 별도의 압력 센서를 이용한 기압 고도계를 이용하기도 하지만 기압 고도계 단독으로는 상대적인 고도만 결정할 수 있으며, 이는 측정 순간마다 서로 다른 결과를 나타내는 문제점이 있다.

본 논문에서는 이런 기압 고도계의 단점을 보완하는 기법으로 고정밀 GPS 장비와 기압 고도계가 설치된 기준국을 활용하는 기법을 제안하였다. 기준국은 고정밀 측량 장비를 활용하여 수 cm이내의 수평 및 수직 오차 정확도를 갖고 있고 다양한 정보 공유를 위한 통신 기능도 탑재되어 있으며, 최근에는 기상 장비도 함께 설치되는 추세에 있다²⁾. 또한 위치 결정 방식에 있어서 최신 동향은 유·무선을 이용하여 외부 서버 또는 기준국과의 통신을 통한 다양한 보정 및 보완을 시도하고 있다. 본 논문은 이런 동향을 바탕으로 고도 정확도를 개선하는 새로운 기법을 제안하였다.

본 논문에서 제안한 기법의 또 다른 가점은 통상적으로 이동국과 기지국은 수 km이내에 있기 때문에 대기압의 변화 패턴이 거의 일치한다는 것이다³⁾. 이와 같은 사실은 기지국의 기압 변화에 의한 고도 변화의 원인이 이동국에서 기압 변화에 의한 고도 변화의 원

인과 거의 일치한다고 추론할 수 있다. 기지국과 이동국이 다양한 통신망을 통해 이 정보를 공유할 수 있다면 이동국에서 매우 효과적인 절대 고도를 확보할 수 있으며, 이를 시험을 통해 검증하고자 하였다. 2장 본문에서 고도 측정 시스템의 특성 및 문제점을 알아보고, 제안된 기준국을 활용한 절대 고도 산출 기법을 설명한다. 3장에서는 시험을 통해 제안된 기법을 검증하고, 4장은 그 결과에 대한 결론으로 논문의 내용을 정리한다.

II. 본 론

2.1 위성 항법시스템의 고도 결정 문제점

미국의 GPS, 러시아의 GLONASS, 중국의 BEIDOU와 같은 위성 항법 시스템은 통상적인 고도를 제공한다. 수평적 위치 결정에서는 위성이 동서남북 방향으로 고르게 분포하게 되는 경우 위치 정확도가 향상된다. 이러한 상태를 수치적으로 표현한 것을 DOP(Dilution of Precision)이라 하고, 그 수치가 작을수록 위치 좌표의 정확성은 높아진다. 하지만, 수직적 위치 결정은 머리 위의 수직 방향의 위성으로부터 송신된 전파를 활용해야 하므로 위성의 배치 상태가 양호하지 않으면 관측된 고도는 정확도가 낮다. 통상적으로 수평 위치 정확도는 10m, 수직 위치 정확도는 20m이상으로 알려져 있다. 수 m내의 고도 변화량의 높은 정확성을 요구하는 시스템에서는 성능을 보장하지 못한다²⁾.

위성 항법 시스템의 특성상 실내나 터널, 지하공간에서는 위성 신호를 수신하지 못하기 때문에 수평 방향 위치도 검출하지 못하거나 정확도가 크게 낮아진다. 그림 2에서 알 수 있듯이 위성 항법 시스템이

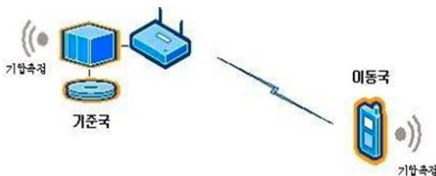


그림 1. 기준국을 활용한 절대 고도 산출
Fig. 1. Absolute altitude determination using reference station

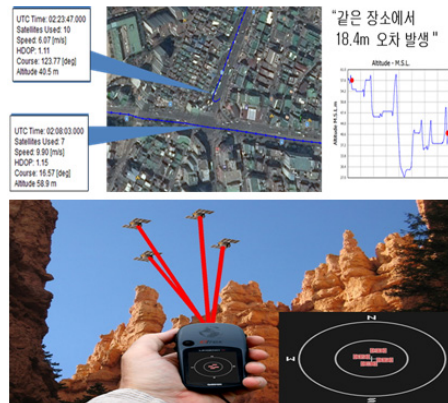


그림 2. 위성 항법 시스템의 고도 오차 및 기하학적 배치
Fig. 2. GNSS altitude error causing by satellite geometry

SBAS를 이용하더라도 같은 위치에서 고도 오차가 크게 발생함을 알 수 있다^{4,5)}. 하지만 위성의 배열이 양호할 경우 일정한 범위 내에 항법해를 제공하는 장점이 있고 위성 항법 시스템의 고도 정보가 중·단기 동안에는 정확하지 않으나 오차가 발산하지 않는다는 특성이 있으므로 고도의 장기적인 변화 측정에 적합한 방법이다.

2.2 기압 고도계를 이용한 고도 결정 문제점

고도에 따라 온도와 기압이 변하는 대기의 특성을 이용하여 고도를 계산하는 장비로서 기압 고도계가 있다. 국제 민간 항공기구(ICAO)에서 평균 해수면 상태에서의 기압과 온도 등 국제 표준 대기(ISA)를 정의하였다. 표준 대기 모델을 사용하고 고도 상승에 의해 기압이 변화하는 원리를 활용하여 압력 센서에서 측정된 기압과 측정 시점의 해면 기압을 계산하면 현재 측정 지점의 고도를 비교적 쉽게 산출할 수 있는 방법이다.

대기의 이동은 기압 변화에 의한 자연 현상으로 고정된 장소에 머물러 있지 않고 항상 움직이는 특성이 있다. 그림 3은 같은 고도의 장소에서 각각 다른 일시에 같은 압력 센서에 의해 기압을 측정된 실험이다. 그림에서 보면 측정된 기압이 같은 수치를 나타내지 않는다는 것을 알 수 있다. 이와 같은 이유로 기압 오차 성분은 고도 정보 오류에 직결될 수 있다.

압력 센서는 기압 변화에 의한 바람의 영향, 온도의 영향 등에 민감하게 반응하여 그로 인해 오차가 발생한다는 단점이 있다. 그림 4는 실외에서 건물 내의 계단을 통해 이동하고 같은 구간으로 되돌아온 실험이다. 실내 환경에서의 안정적인 측정치와 달리 매우 불안정하고 오차가 매우 크다. 이와 같은 오차 성분은 절대 고도 검출에서 큰 문제점으로 판단된다.

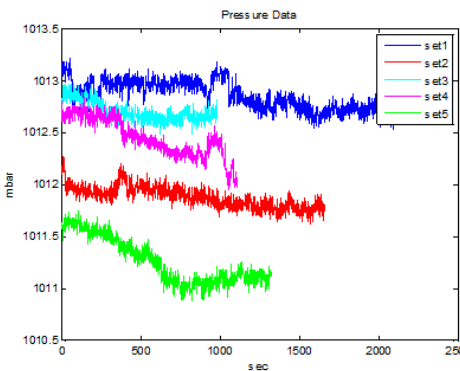


그림 3. 동일 고도의 기압 센서 측정치 오차
Fig. 3. Pressure measurement error

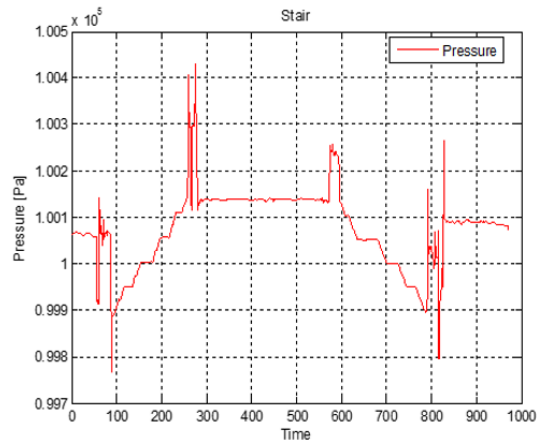


그림 4. 외부 환경에 의한 오차
Fig. 4. Outdoor environment error

기압 고도계는 외적인 요인에 의해 민감하게 반응하여 오차가 발생한다는 단점이 있지만, 장애물에 의한 영향은 많이 받지 않는다. 즉, 실내 환경 및 터널 등의 전파가 수신되지 않는 곳에서 위성 항법시스템에 비해 고도 검출 정확성이 매우 높다. 날씨나 기온의 변화가 커지는 장시간의 사용에는 부적절하지만, 급격한 기상 변화가 없는 상태에서 상대적인 고도 변화는 크지 않기 때문에 활용 가능성이 높다.

2.3 기준국을 이용한 절대 고도 검출법

본 연구에서는 RTK 측위를 활용하여 수 cm이내의 정확한 위치 정보를 갖는 장소를 기준국으로 한다. 기준국의 기압 정보를 다양한 통신망을 통해서 획득하면 실시간으로 변화하는 기압 정보를 바탕으로 효과적인 절대고도를 검출할 수 있다.

압력 센서에서 측정된 기압 측정치(P_m)와 표준 해수면 기압($P_0 = 1013.25 [hPa]$)을 사용하여 고도(H)로 환산하는 수식은 아래와 같다⁶⁾.

$$H = 44330 \times \left[1 - \left(\frac{P_m}{P_0} \right)^{0.19} \right] \quad (1)$$

기준국과 같은 장소에 압력 센서를 설치하고 기준국과 이동국에서 같은 시간에 기압(P_r , P_u)을 측정한다. 측정된 기압으로부터 기준국과 이동국의 기압 고도(A_r , A_u)를 계산한다. 기준국의 고도(H_{ack})으로 측정치의 차분 값(ΔH_r)을 계산하고, 고도 오차를 계산한다.

$$\Delta H_r = H_{ack} - RH_{cal} \quad (2)$$

기준국에서 계산된 오차 성분(ΔH_r)을 이동국으로 전송하고, 이동국은 수신된 정보를 토대로 기압 측정치를 차분하여 절대 고도(H_u)를 검출한다.

$$H_u = MH_{ol} + \Delta H_r \quad (3)$$

기준국이 고정된 장소에 설치되었으므로 기준국에 설치된 센서에서의 기압 측정치는 해수면 기압의 변화에 의한 변위이다. 통상적으로 이동국과 기준국이 수 km 이내에 존재한다면 대기압의 변화 패턴은 거의 일치한다⁷⁾. 이동국의 위치가 기준국을 중심으로 유효한 오차 범위 내에서 존재한다면 해수면 기압의 변화율(ΔH_{SL})은 같을 것이다.

$$\Delta H_{r,SL}(Reference) = \Delta H_{u,SL}(User) \quad (4)$$

즉, 이동국에서 기압 측정치에서 움직임에 의한 고도 변화를 검출할 수 있게 된다. 이와 같은 방법으로 기준국 고도를 중심으로 이동국의 절대 고도(Absolute Altitude)를 산출할 수 있다.

III. 실험을 통한 제안 기법 검증

그림 5는 제안된 기법을 검증하기 위해 사용된 압력 센서이다. 이동국에서 다양한 모델의 센서를 활용한 이유는 다른 제조사의 센서간 정확도 차이 및 성능 비교하기 위함이다. 기준국 센서는 Bosch(BMP085)가 사용되었고, 이동국 센서는 Bosch (BMP180), STM (LPS25H), Murata(ZPA2326-0311A-R)가 사용되었다.

그림 6은 기준국으로 지정된 한국항공대학교 연구동이다. 옥상에 설치된 기준국에서 24시간 동안 수신하여 RTK 측위 결과 고도는 61.5645[m]이다. 실험



그림 5. 실험 장비
Fig. 5. Test equipment



그림 6. 기준국 정보
Fig. 6. Reference station

시 온도는 약 26°C이며, 실험 일자는 2014. 9. 16. 오후 2시부터 당일 오후 7시이다.

그림 7은 RTK 기준국과 같은 고도에 기준국 센서 및 이동국을 설치하여 동일한 장소와 같은 시간에 실험한 결과이다. 이동국의 움직임으로 인한 고도의 변화가 없기 때문에 기준국 고도에서의 고도 변화량은 센서의 측정 오차로 인한 고도 오차라고 할 수 있다. 기준국 고도를 중심으로 1[m] 이내의 기기 오차 범위의 절대 고도가 산출된 것을 알 수 있다.

그림 8은 건물 옥상에 설치된 기준국에서 시작하여 계단을 통해 지상 1층으로 이동한 후 다시 기준국으로 되돌아오는 실험이다. 기준국 센서는 고정하고 이동국 센서의 움직임으로 인한 절대 고도이다.

기준국(Reference)은 고정되었으므로 기준 고도값을 유지한다. 기준 고도를 기준으로 각 센서 간 오차가 존재한다. 이는 기준국 센서와 이동국 센서간의 기기 오차라고 할 수 있다.

제안된 방법으로 실내 환경에서의 절대 고도가 산출 가능하고 각 층간 절대 고도 오차가 1[m] 이내로 그 성능이 우수함을 알 수 있다. 이는 건물 내 층간 고

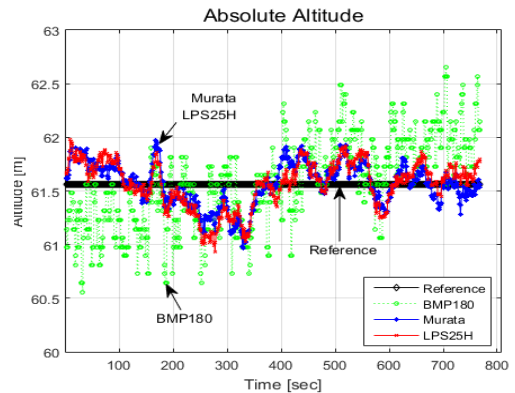


그림 7. 고정된 위치의 절대 고도 실험
Fig. 7. Absolute altitude test in static position

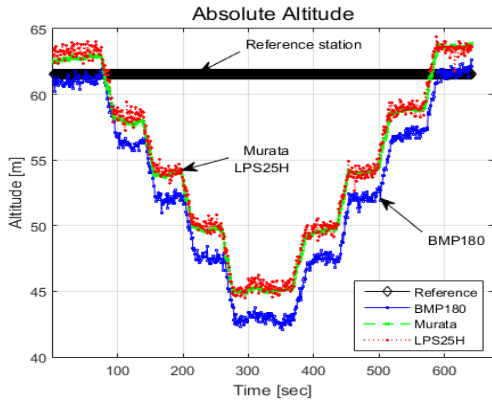


그림 8. 실내 환경의 절대 고도 실험(계단이동)
Fig 8. Indoor condition test for absolute altitude

도를 3[m] 내외라고 가정한다면 각 층의 절대 고도를 추정할 수 있는 근거가 될 수 있다.

그림 9는 기준국을 중심으로 차량으로 이동한 실험 구간이다. 이동국 센서를 차량에 탑재하여 고도 정보를 획득하고 GPS 수신 모듈을 통해 수평 위치 정보를 수신하여 3-D 측위에 활용한다.

그림 10에서 보면 기준 고도와 이동국 사이의 절대 고도 차이는 약 20[m]이고 이것은 건물의 높이, 즉 건



그림 9. 차량 이동 실험 구간
Fig. 9. Vehicle moving test course

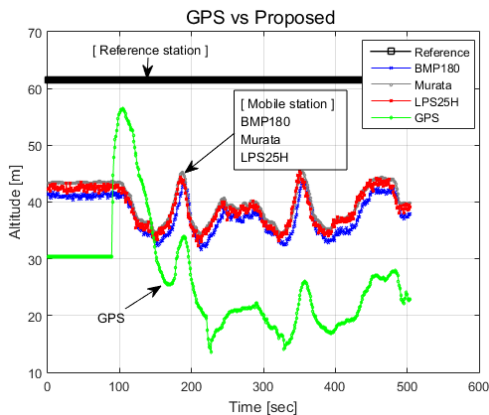


그림 10. 위성 항법 시스템과 제안된 기법의 절대 고도 비교
Fig. 10. Altitude comparison of GNSS and proposed method

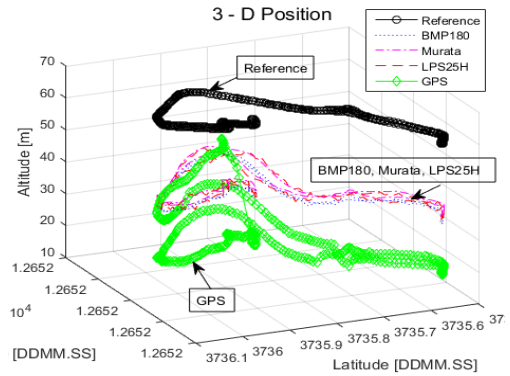


그림 11. 절대 고도가 반영된 3-D 위치
Fig. 11. 3-D position with absolute altitude

물 옥상에 설치된 기준국과 지상의 고도차라고 볼 수 있다. 실험이 지상 1층의 차량에 이동국이 설치되므로 그림 8의 1층에서의 절대 고도는 약 45[m]와 같다. 3개의 차량 이동국은 시간축 250[sec] 지점의 터널에서 U턴하고 같은 구간을 되돌아 온다. 3개의 이동국은 기기 오차를 내포하며 제안된 기법을 통한 절대 고도 검출 성능은 1[m] 내외로 약 10[m]의 오차를 갖는 위성 항법 시스템보다 그 성능이 우수함을 알 수 있다.

그림 11은 차량에 탑재한 압력 센서와 수신된 GPS 정보로 3-D 위치 측위 시스템으로 확장한 결과이다. 옥상에 설치된 기준국 고도로 가상의 이동국 기준점을 생성하였고, 이동 차량의 절대 고도 오차는 약 2[m]이내이다. 기준국 정보를 활용하여 이동 차량의 절대 고도 산출이 가능하고 성능도 우수하다는 것을 알 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서 제안한 기준국을 이용한 절대 고도 기법은 위성 항법 시스템의 수십 미터 오차를 수 미터 이내의 정확도를 갖는 절대 고도 산출에 효과적임을 실험을 통해 검증하였다. 또한 기준국이 전송할 데이터량도 매우 적음을 알 수 있다. 특히, 본 논문의 결과는 기존 2D 측위만 가능한 시스템에 저가의 압력 센서와 기준국과의 결합으로 정밀한 3D 측위 시스템으로 개선이 가능함을 제시하였다. 이것은 기준국을 이용하는 시스템 및 소방, 건설 분야의 위치 결정 기술에 적용될 수 있다. 또한, 스마트폰에 내장된 관성 센서의 결합을 통한 실내 측위 분야 및 무선 센서 네트워크 응용 기술에도 활용 가능하다고 판단된다^[6,8-9].

References

- [1] J. Y. Han, J. M. Jang, and J. H. Han, "On-time internal pedestrian localization algorithm based on ad-hoc networks," *J. KICS*, vol. 39C, no. 11, pp. 1000-1008, Nov. 2014.
- [2] N. H. Kim and C. H. Park, "A study on the advanced altitude accuracy of GPS with barometric altitude sensor," *J. IEIE*, vol. 49, no. 10, pp. 18-22, Dec. 2012.
- [3] E. D. Kaplan and C. J. Hegarty, *Understanding GPS principles and applications*, 2nd Ed., Artech House, pp. 384-390, 2006.
- [4] S. B. Do, "A study of differential method for absolute altitude calculation in construction field," in *Proc. KGS 2012*, pp. 96, Jeju Island, Korea, Nov. 2012.
- [5] H. S. Kim, J. H. Shin and Y. G. Jang, "A study of the position tracking of vehicles in construction field based on the virtual gateway," in *Proc. KICS Int. Conf. Commun. 2013 (KICS ICC 2013)*, pp. 413- 414, Jeju Island, Korea, Nov. 2013.
- [6] Y. G. Jang, S. B. Do, H. S. Jeon and H. S. Kim, " Research of MEMS INS based 3D positioning technologies for workers in construction field," *J. KGES*, vol. 14, no. 3, pp. 51-60, Mar. 2013.
- [7] H. Yoo, S. B. Chun, H. S. Jun and J. M. Joo, "Altitude estimation improvement in DGPS using barometric altitude sensors," *J. KSAS*, vol. 34, no. 1, pp. 51-56, Jan. 2005.
- [8] J. S. Shim, J. S. Park, and Y. J. Lim, "Approximate 3D localization mechanism in wireless sensor networks," *J. KICS*, vol. 39, no. 9, pp. 614-619, Sept. 2014.
- [9] J. H. Kim and S. Y. Kang, "Hybrid Algorithmic Framework Using IMU and WPS for Smart Phone Positioning Systems," *J. KICS*, vol. 38 no. 8, pp. 663-673, Aug. 2013.

최 종 준 (Jong-joon Choi)



2009년 2월 : 한국항공대학교 항공 전자 공학과 졸업
 2013년 2월 : 한국항공대학교 항공 전자 공학과 석사
 2014년 5월~현재 : Telit Wireless Solutions
 <관심분야> GNSS, INS, 전자공학, 센서네트워크

최 현 영 (Hyun-young Choi)



2000년 2월 : 서일대학교 컴퓨터 응용전자과 졸업
 2009년~2010년 : 인성인터넷서널
 2010년~2013년 : 마이크로어드벤처
 2013년~현재 : Telit Wireless Solutions

<관심분야> GNSS, PDR, 복합항법

도 승 복 (Seoung-bok Do)



2000년 2월 : 안양과학대학교 전기 제어과 졸업
 2013년 2월 : 한국방송통신대학교 컴퓨터 과학 학과 졸업
 2001년~2004년 : 스팅스컴
 2004년~2006년 : 유리더
 2006년~2010년 : 디지털오토모빌

2010년~2013년 : 마이크로어드벤처
 2013년~현재 : Telit Wireless Solutions

<관심분야> GNSS, DR, 무선통신,

김 현 수 (Hyun-soo Kim)



1994년 2월 : 건국대학교 전자공학과 졸업
 1996년 2월 : 건국대학교 전자공학과 석사
 2004년 2월 : 건국대학교 전자정보통신공학 박사
 1996년~2000년 : 고등기술연구원

2006년~2007년 : 마이크로인피니티
 2007년~2010년 : S&T대우 전자사업부

2010년~2013년 : 마이크로어드벤처
 2013년~현재 : Telit Wireless Solutions

<관심분야> GNSS/INS/WLS 복합항법, 무선통신