

# DR 솔루션을 이용한 GNSS 신호발생기 적용효과에 관한 연구

김현수<sup>°</sup>, 권철범<sup>\*</sup>, 홍진석<sup>\*</sup>, 윤창연<sup>\*\*</sup>

## A Study on the Effects of GNSS Signal Generator Application Using DR Solution

Hyun-soo Kim<sup>°</sup>, Cheol-bum Kwon<sup>\*</sup>, Jin-seok Hong<sup>\*</sup>, Chang-yeon Yun<sup>\*\*</sup>

### 요약

본 논문은 GNSS(GPS, GLONASS, GALELEO, BEIDOU) 신호가 도달하지 않는 실내, 지하 터널과 같은 장소에서 활용 가능한 GNSS 신호 발생 기술이 일반 GNSS 수신기의 정상 동작에 효과적일 뿐만 아니라 GNSS/DR, GNSS/INS와 같이 혼합측위 또는 복합측위를 수행하는 솔루션에도 활용될 수 있음을 이론적인 접근과 실제 터널 환경에서 현장실험을 통해 성능이 개선된 결과를 입증하였다. 본 연구를 통해 GNSS 신호발생기는 GNSS 측위장치 뿐만 아니라 DR 측위장치 성능을 개선시키므로 터널 내 차량 및 스마트폰 네비게이션 성능 개선, 실내 운행 드론의 측위 성능 개선에 활용될 수 있음을 확인하였다.

**키워드** : 위성항법시스템, 신호발생기, 추측항법, 관성항법, 융합항법

**Key Words** : Globa Navigation Satellite System (GNSS), Signal Generator, Dead-Reckoning (DR), Inertial Navigation System (INS), Integrated Navigation

### ABSTRACT

In this paper, the GNSS signal generation technology that can be used in places such as indoors, underground, and tunnels where GNSS signals do not reach is not only effective for the normal operation of general GNSS receivers, but also mixed positioning or complex positioning such as GNSS/DR and GNSS/INS. The performance improvement results were demonstrated through theoretical approaches and field tests in real tunnel environments that it can be used for solutions that perform positioning. Through this study, it was confirmed that the GNSS signal generator improves the performance of not only the GNSS positioning device but also the DR positioning device, so it can be used to improve the navigation performance of vehicles and smartphones in tunnels and to improve the positioning performance of indoor drones.

※ 본 연구는 국토교통부 산하 국토교통과학기술진흥원 (KAIA)이 시행한 2021 국토교통기술사업화지원사업의 연구비 지원 (과제명: 도심지용 3G급 GNSS 신호 생성 시스템 개발, 과제번호: 22TBIP-C161315-02) 및 주관기관 지피에스패밀리의 기술연구소 관리로 수행되었습니다.

•° First and Corresponding Author : GPSFAMILY, gpsfamily@gmail.com, 중신회원

\* MICROINFINITY, cbkwon@minfinity.com; jshong@minfinity.com

\*\* Doosan Engineering & Construction, cyun@doosan.com

논문번호 : 202203-030-C-RE, Received February 28, 2022; Revised April 10, 2022; Accepted April 19, 2022

## I. 서 론

GNSS 신호가 도달하지 않는 실내, 지하, 터널 환경에서 GNSS 측위가 안되는 문제를 해결하기 위한 방법으로 자이로, 가속도센서와 같은 관성센서 기반의 보조항법을 이용하는데 시간에 따라서 오차가 누적되는 문제점이 있다.<sup>[3]</sup> GNSS 신호 발생 기술은 실내에서 GNSS 측위가 안되는 문제를 해결하는 기술로써, GNSS 수신기에 실제 GNSS 신호와 동일한 신호를 전송하여 정상적인 측위 기능을 수행하게 한다.<sup>[4]</sup>

터널과 같이 긴 구간에서는 다수의 GNSS 신호 발생기를 일정 거리 간격으로 설치해서 불연속이지만 측위하게 함으로써 터널 내 위치를 파악할 수 있다.

본 연구는 불연속 좌표를 제공하는 GNSS 환경에서도 DR(추측항법)과 같은 관성항법장치(INS)의 성능도 개선될 수 있음을 이론적 접근과 현장실험을 통해 검증하였다.

## II. 본 론

### 2.1 GNSS 신호발생 기술

GNSS 신호를 발생하는 기술은 GNSS 수신기의 정상 신호처리 과정을 거꾸로 수행하는 Reverse GNSS 기술로써, 원래 GNSS 위성으로부터 신호를 받아 위치/시간을 결정하는 기술과 달리, 주어진 위치/시간/위성정보로부터 각 위성별 PRN (Pseudo-Random Noise) 코드 생성, 위성간 거리지연 생성, BPSK (Binary Phase Shift Keying) 변조 IF (Intermediate Frequency) I/Q (In-phase /Quadrature-phase) 생성, GNSS 위성 송출 RF(Radio Frequency) 신호 생성, 생성된 RF 혼합 및 송출 과정을 수행한다.<sup>[1]</sup>

그림 1은 기존 GNSS 신호처리와 Reverse GNSS

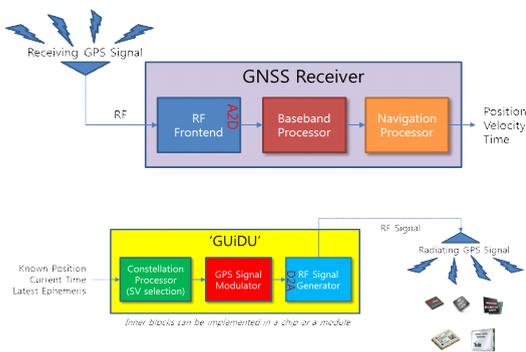


그림 1. 일반 GNSS처리 (위) vs. Reverse GNSS (아래)  
Fig. 1. Normal GNSS (up) vs. Reverse GNSS (down)

신호처리를 비교한 그림이다.

#### 2.1.1 위성별 C/A 코드 생성

Reverse GNSS는 그림2에 오른쪽 위에서 선정된 특정 장소의 위치좌표와 시간을 확정하고, 그 위치(위도,경도,고도)에서 특정 시간에 GNSS 케도력 기반의 GNSS 위성(PRN) 위치를 계산한다. 계산된 위성의 좌표와 입력된 장소의 좌표를 이용하여 그림2의 두 번째 블록에서처럼 두 지점간 거리를 각 위성별로 계산할 수 있으며, 이를 이용하여 각 위성별로 할당된 PRN의 코드에 거리에 해당하는 시간성분인 delay값을 반영함으로써 실시간 C/A 코드를 만들 수 있게 된다. 이때 그림 2의 왼쪽 위에 있는 표에 나열된 위성 케도력 정보는 ephemeris과 almanac으로써, ephemeris는 위성케도의 4시간 이내 단기간의 정밀한 위성의 케도 파라미터들이고, almanac은 장기간의 케도 주기에 대한 위성의 케도를 계산할 수 있는 정보이다. 이 정보들은 주기적으로 수신기로부터 미리 수집하거나 실시간 서버로부터 획득할 수 있다.<sup>[5]</sup>

#### GPS Navigation Information

Parameter	Explanation
$T_{oc}$	Ephemeris reference epoch in seconds within the week
$\sqrt{a}$	Semimajor axis of semi-major axis
$e$	Eccentricity
$M_0$	Mean anomaly at reference epoch
$\omega$	Argument of perigee
$\Omega_0$	Longitude at reference epoch
$\Omega_1$	Longitude of ascending node at the beginning of the week
$\Delta\Omega$	Mean motion difference
$i_0$	Rate of inclination angle
$\dot{\Omega}$	Rate of node's right ascension
$\dot{a}$	Latitude argument correction
$\dot{e}$	Orbital radius correction
$\dot{i}$	Inclination correction
$\delta f_1$	SV clock offset
$\delta f_2$	SV clock drift
$\delta f_3$	SV clock drift rate

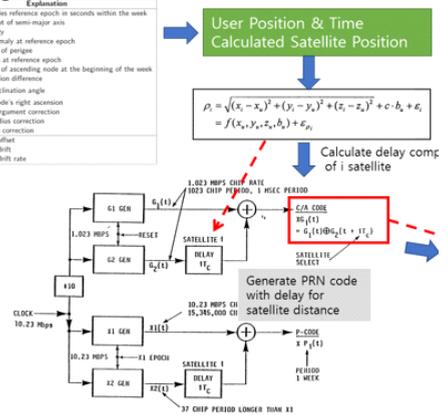


그림 2. GNSS 케도력 이용한 C/A코드 생성  
Fig. 2. C/A code generation using GNSS ephemeris and almanac

#### 2.1.2 C/A 코드 기반 위성 RF 생성

그림2에서 생성된 각 GNSS 위성마다 할당된 C/A (Coarse/Aquisition) 코드 생성 블록을 항법메시지와 함께 BPSK 방식으로 L1 반송파에 변조함으로써 그림3과 같은 절차대로 기본적인 RF 생성이 완료된다.

#### 2.1.3 실제 RF 신호 생성 절차

위와 같이 RF를 생성하는 과정은 이론적으로 표기된 것이며, 실제 시스템에서는 그림 4처럼 중간주파수

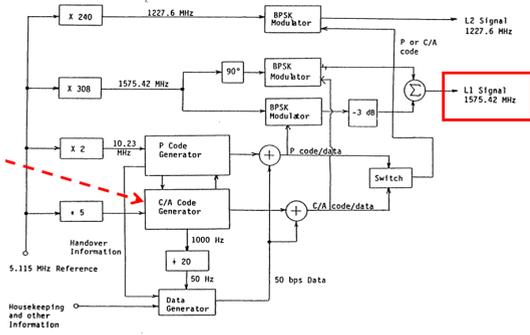


그림 3. GNSS RF신호 발생 블록도  
Fig. 3. GNSS RF signal generation block

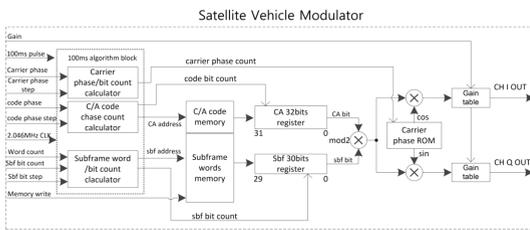


그림 4. 디지털 I/Q 데이터 생성  
Fig. 4. Digital I/Q data generation

인 I/Q 디지털 데이터 레벨까지 생성한 후 이를 RF로 변환하는 장치를 이용한다.

위 과정을 간략한 블록도로 표현하면 그림5와 같다. GNSS 수신기로부터 실시간 GNSS의 항법메시지를 수신할 경우, 이를 MCU에서 획득하여 현재 시간, 특정 위치좌표 등을 Reverse GNSS 처리부인 FPGA로 입력한다. 입력된 정보를 신속히 FPGA에서 처리한 결과물인 I/Q 데이터는 RF 생성부로 전송되어 RF로 변환 송출되는 구성을 갖고 있다.

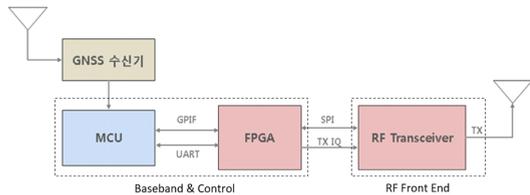


그림 5. Reverse GNSS 처리 블록도  
Fig. 5. Reverse GNSS processing block diagram

### 2.2 관성센서 기반 추측항법

차량용 DR 장치는 그림 6과 같이 GNSS와 자이로 센서, 가속도센서, 차량 속도정보를 결합하여 GNSS가 동작하지 않는 지하, 터널에서도 위치를 제공한다.<sup>[3]</sup>

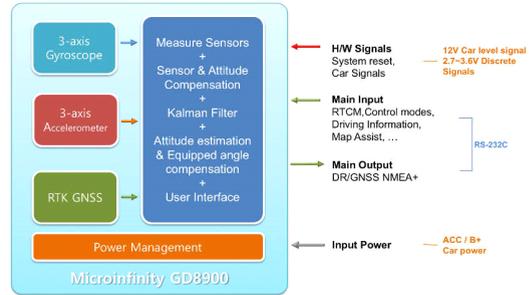


그림 6. 추측항법(DR) 처리 블록도  
Fig. 6. Dead Reckoning Block-diagram

통상적인 DR의 원리와 수식과 그림 7과 같다. 이전 위치(Pp)에서 다음 위치(Pc)를 추측할 때 차량의 이동속도와 방향 변화량을 이용하는데, 이때 사용한 이동속도와 방향 변화량에 약간의 오차라도 섞이게 되면 그 오차가 아래 수식에 의해서 시간에 따라서 계속 증가하는 단점을 갖고 있다.

$$\begin{aligned} \Delta x &= V \sin \theta_c \\ \Delta y &= V \cos \theta_c \\ \Delta \theta &: Gyro Data \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \theta_c &= \theta_p + \Delta \theta \\ \Delta P &= \sqrt{(\Delta x^2 + \Delta y^2)} \end{aligned} \quad (2)$$

$$P_c = P_p + \Delta P \quad (3)$$

즉, 센서의 오차가 매우 잘 보정되지 않으면 직선 주행을 했음에도 시간에 따라 마치 회전구간을 지나 는 것처럼 위치오차가 누적된다.

DR항법이 누적되는 오차를 제거하려면 그림8에 제시한 블록도와 같이 오차가 누적되지 않는 특성을

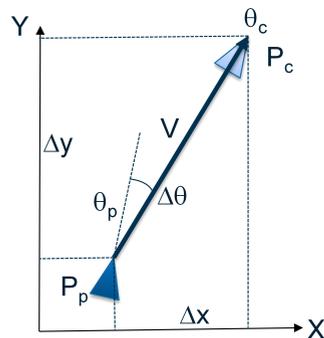


그림 7. 추측항법(DR)의 원리  
Fig. 7. Principles of Dead-Reckoning

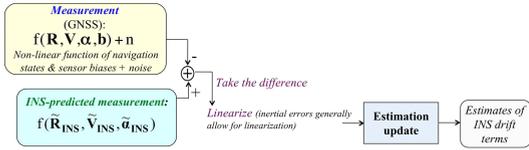


그림 8. GNSS와 INS의 오차 보정 프로세스  
Fig. 8. Error correction process of GNSS and INS

갖고 있는 GNSS로부터 최소한 거리와 방향에 대한 보정을 해야 하며, 차량의 속도정보를 이용하는 DR의 경우는 방향을 필수로 보정해야 한다.<sup>13,6)</sup>

### 2.3 터널 내 GNSS 신호 발생 장치 구성

터널에서 GNSS 신호발생 실험을 위해서는 그림9에 나열한 것처럼 신호생성 장치, 광케이블, 안테나, 거치대, 전원장치가 필요하고, 거리에 따라서 장치 개수를 늘린다. 신호생성 장치는 GNSS 시뮬레이터로써, 안테나 개수만큼 다수의 위치좌표를 입력하고, 해당 개수만큼 RF신호를 생성한다.<sup>12)</sup>

터널 현장에는 신호생성 시스템을 터널 입구에 설치하고, 100미터 간격으로 RF안테나 5개를 배치한 뒤, 각 길이별로 광케이블을 연결하였으며, 안테나 각

양목	SPG-SIM	광 cable	거치대	안테나	전원부
그림					
특징	• GNSS 시뮬레이터	• 100m, 200m, 300m, 400m, 500m	• 높이 조절 가능 (5m) • 개수: 5개	• 광 송수신기 • GNSS 안테나	• 220V 전원 • 2m 길이
설치위치	터널 외부		터널 내부		

그림 9. 신호 발생 실험 장치 구성  
Fig. 9. Signal Generation Systems for field test

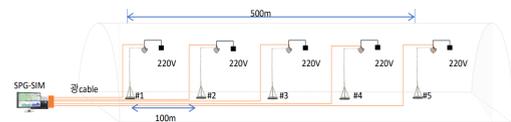


그림 10. 터널 내 실험 장치 구성  
Fig. 10. Test equipment inside the tunnel

위치의 좌표를 신출하여 GNSS 시뮬레이터를 이용하여 좌표별 RF신호를 생성한 뒤, 광케이블을 통해 RF 신호를 안테나에 전송한다.

그림 10은 맨 위에는 터널 내부에 설치된 전체 구성도, 측위용 실험차량을 터널 입구에서 출발(왼쪽 중간), 터널 내부에 진입(왼쪽 아래), 터널 내부에 설치된 각 지점별 안테나 세트(오른쪽)를 통과하는 실험 구성이다.

### III. 실험

GNSS 측위장치는 uBlox F9P, DR 측위장치는 GD8900을 사용했고, 그림 11과 같이 차량으로 터널 밖에서 안쪽 600미터 지점까지 정속으로 주행후 U턴 하여 출발장소로 되돌아오는 실험을 반복하였다.

그림 12는 그 결과로써 GNSS 신호발생기 5개가 설치되었지만 4번째 장치는 전원 이상으로 RF생성부가 동작하지않은 것으로 확인되어 4번째를 제외한 1,2,3,5의 위치만 검출되었다.

DR 실험시 GNSS 신호발생기를 끄고 그림13의 오른쪽 아래의 터널 입구에서 출발하여 왼쪽 위의 터널 내 600미터 지점까지 반복 주행하면 그림13과 같이 터널 내에서 주행을 할 때마다 방향 누적오차 및 수십 미터의 위치 오차가 반복적으로 발생하였다.

그림 13 왼쪽 위에서 발생한 오차는 두 번의 U턴

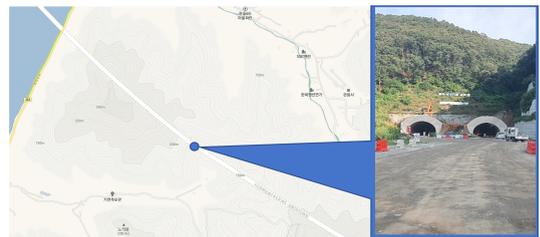


그림 11. 터널 실험 구간 및 입구  
Fig. 11. Tunnel test site and the entrance

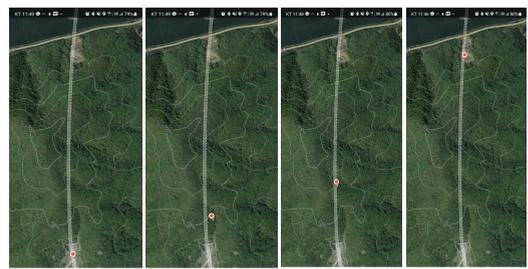


그림 12. GNSS 실험: 맨 아래부터 4개 측위 성공  
Fig. 12. GNSS Test: success 4 points positioning

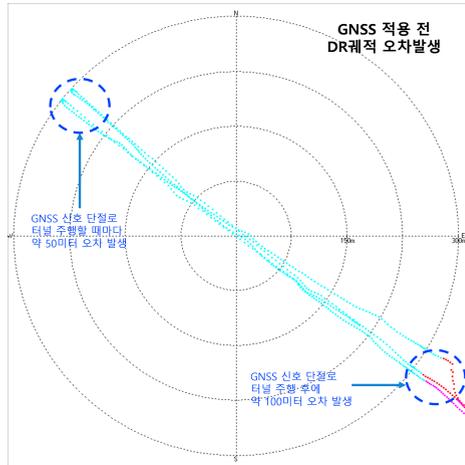


그림 13. DR 실험: 터널 주행시 위치 오차 커짐  
Fig. 13. DR Test: increasing the position error

궤적이 같은 장소임에도 약 50미터의 위치오차를 보이고 있다. 그림13 오른쪽 아래 터널 출입구에서 발생한 오차는 터널 내부에 들어갔다가 나오면서 누적된 방향오차로 인해 들어갈 때 실제 주행경로보다 약 100미터 위로 벌어진 것으로 GNSS가 보이는 외부에 나온 직후에 위치가 점프하면서 보정되는 현상이 목격된다. 이때 터널 내부 주행에 대한 기준 궤적은 없으나 기준 궤적을 확인하는 방법은 다음과 같다. 즉, 터널 내부 주행 후 GNSS가 다시 잡히는 환경으로 되돌아 나왔을 때 GNSS에 궤적으로 복귀되는 보정의 크기가 오차 크기인 것으로 파악한다.

하지만 GNSS 신호발생기를 순차적으로 하나씩 켜



그림 14. GUIDU이용한 DR 실험: 오차없이 주행 완료  
Fig. 14. DR Test using GUIDU: success without error

때마다 DR 성능이 조금씩 향상되었으며, 2개 이상 켜를 때부터 DR주행 시 방향오차와 위치오차가 거의 보이지 않는 결과를 확인하였다.

그림 14의 주행 실험 4회의 결과는 GUIDU의 동작 개수를 늘릴 때마다 DR 주행 궤적이 더 곧고 일정하게 보이기 때문에 DR 주행 성능이 개선됨을 확인하였다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 GNSS 신호발생기가 터널에서 점 좌표만을 제공하지만, 다수의 GNSS 신호발생기로 긴 터널에서의 DR 주행 성능도 상당히 개선된 결과를 획득하였으며, GNSS 측위장치의 성능뿐만 아니라 차량의 DR 네비게이션 성능도 향상됨을 입증하였다. 본 연구 결과는 터널에서의 차량 네비게이션, 스마트폰 네비게이션 성능 개선 및 드론의 실내 운행 시 GNSS/관성센서 기반 융합항법 성능 개선 등에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

#### References

- [1] B. W. Parkinson and J. J. Spilker Jr., *Global positioning system: Theory and applications*, American Institute of Aeronautics and Astronautics, vol. II, pp. 51-78, 1996.
- [2] G. Xu, *GPS theory, algorithms and applications*, 2<sup>nd</sup> Ed., Springer, pp. 17-30, 2010.
- [3] Paul D. Groves, *Principles of GNSS, inertial, and multisensor integrated navigation systems*, Artech House, pp. 321-334, 2008.
- [4] B.-Y. Chung, et al., "Performance analysis of an all-digital BPSK direct-sequence spread-spectrum IF receiver architecture," *IEEE J. Sel. Areas in Commun.*, vol. 11, no. 7, Sep. 1993.
- [5] A. Flores, et al., "NAVSTAR GPS space segment/navigation user interfaces: IS-GPS-200," *GPS SE&I*, Rev. M, Apr. 2021.
- [6] S. B. Do, et al., "A study on the real-time estimation of MEMS INS bias errors according to the change of temperature using GNSS," *2012 KICS Summer Conf.*, Jeju Island, Korea, Jun. 2012.

**김 현 수 (Hyun-soo Kim)**



1994년 2월 : 건국대학교 전자  
공학과 졸업  
1996년 2월 : 건국대학교 전자  
공학과 석사  
2004년 2월 : 건국대학교 전자정  
보통신공학과 박사  
1996년 1월~2001년 4월 : 대우  
고등기술연구원

2004년 4월~2006년 3월 : (주)네비웨어  
2006년 4월~2010년 12월 : MI, S&T대우(주)  
2011년 1월~2011년 11월 : 한국항공우주연구원  
2011년 12월~2017년 12월 : MAT, 텔릿와이어리스솔  
루션즈  
2019년 3월~현재 : 지피에스패밀리 대표  
<관심분야> 위성항법시스템, 관성항법시스템, 복합항  
법시스템, 스마트보안안전시스템  
[ORCID:0000-0002-9302-3097]

**권 철 범 (Cheol-bum Kwon)**



2004년 2월 : 건국대학교 항공우  
주 공학과 졸업  
2006년 2월 : 건국대학교 항공우  
주 공학과 석사  
2006년 3월~현재 : (주)마이크로  
인피니티 근무

<관심분야> 위성항법시스템, 관성항법시스템, 추측항  
법시스템

**홍 진 석 (Jin-seok Hong)**



1994년 2월 : 건국대학교 전자  
공학과 졸업  
1996년 8월 : 건국대학교 전자  
공학과 석사  
2001년 8월 : 건국대학교 전자  
공학과 박사  
2001년 3월~현재 : (주)마이크로  
인피니티 근무

<관심분야> 위성항법시스템, 관성항법시스템, 복합항  
법시스템

**윤 창 연 (Chang-yeon Yoon)**



1995년 2월 : 한양대학교 건축학  
과 졸업  
1997년 2월 : 한양대학교 건축공  
학과 석사  
2015년 2월 : 서울시립대학교 건  
축공학과 박사  
2005년 12월~현재 : 두산건설(주)  
근무

<관심분야> 스마트보안안전시스템, 위성항법시스템