

## 관측 행렬 산출 기법 별 DGNSS-CP 성능 비교

# DGNSS-CP Performance Comparison of Each Observation Matrix Calculation Method

신동현<sup>1</sup> · 임철순<sup>1</sup> · 석효정<sup>1</sup> · 윤동환<sup>2</sup> · 박병운<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>세종대학교 항공우주공학과, <sup>2</sup>한국정보통신기술협회

Dong-hyun Shin<sup>1</sup> · Cheol-soon Lim<sup>1</sup> · Hyo-jeong Seok<sup>1</sup> · Dong-hwan Yoon<sup>2</sup> · Byungwoon Park<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Aerospace Engineering, Sejong University, Seoul 05006, Korea

<sup>2</sup>Telecommunications Technology Association, Gyeonggi-do 13591, Korea

### [요 약]

저가형 GNSS (global navigation satellite system) 수신 모듈에 DGNSS (differential GNSS) 서비스를 적용하기 위한 방안으로 거리 영역의 보정정보를 위치 영역으로 투영한 후, stand-alone으로 산출한 위치에 적용하는 DGNSS-CP 방식이 제안된 바 있다. DGNSS-CP 를 상용 수신기 또는 휴대폰에 적용하기 위해서는 항법 방정식의 관측행렬을 이용하여 위치영역 투영 방정식을 구성하므로, 각 위성의 시선벡터를 산출하여야 한다. GNSS 항법 메시지, 배치 정보 등이 시선벡터 산출을 위하여 사용되는데, 각 방법에 따라 정확도와 연산량 등의 성능에 차이가 발생한다. 본 연구에서는 제시된 두 가지 시선벡터 산출 방식에 따라 DGNSS-CP 의 성능에 어떠한 영향을 끼치는지 확인하기 위하여, Septentrio PolaRx4 Pro 수신기에서 stand-alone mode 로 저장된 데이터에 해당 알고리즘을 적용하였고, 배치 정보를 사용하는 방법이 궤도정보를 사용하는 방법에 비해 정확도 면에서는 그 성능이 RMS (root mean square) 0.1 m 가량 저하되는 반면, 연산량은 약 1/15수준으로 줄일 수 있음을 확인하였다.

### [Abstract]

Several low-cost global navigation satellite system (GNSS) receivers do not support general range-domain correction, and DGNSS-CP (differential GNSS) method had been suggested to solve this problem. It improves its position accuracy by projecting range-domain corrections to the position-domain and then differentiating the stand-alone position by the projected correction. To project the range-domain correction, line-of-sight vectors from the receiver to each satellite should be calculated. The line-of-sight vectors can be obtained from GNSS broadcast ephemeris data or satellite direction information, and this paper shows positioning performance for the two methods. Stand-alone positioning result provided from Septentrio PolaRx4 Pro receiver was used to show the difference. The satellite direction information can reduce the computing load for the DGNSS-CP by 1/15, even though its root mean square(RMS) of position error is bigger than that of ephemeris data by 0.1m.

**Key word** : Global navigation satellite system, Differential global navigation satellite system correction projection, Navigation data, National marine electronics association.

<http://dx.doi.org/10.12673/jant.2016.20.5.433>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 6 October 2016 Revised 7 October 2016

Accepted (Publication) 20 October 2016 (30 October 2016)

\*Corresponding Author; Byungwoon Park

Tel: +82-2-3408-4385

E-mail: byungwoon@sejong.ac.kr

## 1. 서론

위성항법 보정시스템 (DGNSS; differential global navigation satellite system)은 기준국에서 생성한 거리영역의 보정정보를 사용자에게 적용함으로써 정확도를 1~3 m 수준으로 향상시키는 방법이다[1]. 이러한 거리기반의 DGNSS 보정방식의 적용을 위해서는 해당 기능이 수신기 내부에 포함되어 있거나, 원시 데이터의 출력이 가능한 GNSS 수신 모듈이 필수적이므로, 장비 구축 비용이 높고 활용 분야가 다소 제한적이다. 특히 최근 카내비게이션과 스마트폰의 대중화에 따라 전체 시장을 주도하고 있는 GNSS 모듈은 대부분 저가이고, 보편적으로 해당 장비에서 제공하는 위치 정보를 그대로 활용하므로 현재의 DGNSS 방식으로는 보정정보의 적용이 불가능하다.

이를 해결하기 위하여 사용자가 수신한 보정정보를 위치영역으로 투영함으로써 취득한 측위 정보를 위치 영역에서 직접 정확도를 향상시킬 수 있는 방식인 DGPS-CP (differential global positioning system by correction projection)가 최근 제안된 바 있다[2]. 기준국과 사용자의 위성 조합이 동일한 이상적인 케이스에 대해 거리 영역 DGPS 방식과 위치 영역 DGPS 방식이 등치임을 가정하여 DGPS-CP 방식을 도출할 수 있는데, 이를 통하여 거리영역 보정정보인 PRC (pseudo range correction)가 위치영역으로 투영되어 저가형 GPS 수신기에 적용이 용이하고 GPS뿐 아니라 타 GNSS로의 확장도 용이하다. 이러한 거리 영역 보정정보가 위치영역으로 투영되기 위해서는 현재 가시위성의 관측행렬의 구성이 선행되어야 하고, 따라서 각 위성의 방향 벡터의 산출이 요구된다.

위성의 방향 벡터 산출을 위해서 일반적으로 사용하는 방법은 항법데이터에 포함된 위성 궤도 정보를 이용하여 각 위성의 ECEF (earth centered earth fixed) 좌표계 상의 3차원 좌표를 산출하고, 사용자의 위치를 기준으로 관측행렬을 구성하는 방법이다. 비슷한 방식으로 항법데이터가 아닌 알마나 정보를 활용하는 방식도 유사하게 구현할 수 있으며, 사용자의 local frame 상에서의 위성의 양각 및 방위각과 같은 배치정보를 활용하는 방식도 고려할 수 있다.

이와 같이 DGNSS-CP 를 구현함에 있어 다양한 관측 행렬 구성 방안을 도입할 수 있는데, 이에 따라 위치 정확도와 연산량 등 DGNSS-CP 의 성능이 차이가 나므로, 본 논문에서는 이에 대해 분석하도록 한다.

## II. DGNSS-CP 원리 및 적용 방안

### 2-1 DGNSS-CP 원리

DGNSS는 오차 제거 방법에 따라 그림 1과 같이 위치영역 보정방식과 거리영역 위성항법 보정방식으로 나뉘는데, 위치영역 보정정보는 그 개념이 매우 직관적이고 구현이 용이하나,

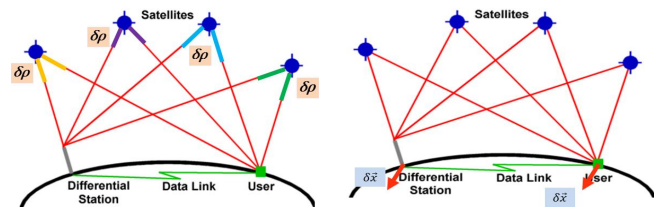


그림 1. DGPS 방식별 비교 (좌: 거리영역, 우: 위치영역) [4]  
 Fig. 1. Comparison of DGPS methods (left: range-domain, right: position-domain) [4].

사용자와 기준국의 위성 조합이 다를 경우 오히려 stand-alone 보다 오차가 커질 수 있다는 치명적인 단점이 있다[3]. 이 때문에, 사용자가 가시위성과 전송받은 보정정보를 비교하여 선별적으로 오차를 제거할 수 있는 거리기반 보정 방식이 일반적으로 사용되고 있다.

DGNSS 거리기반 보정정보는 위성궤도 및 시계, 대기권 오차 등 GNSS 공통오차를 포함하고 있으므로, 식(1)에 의해 사용자는 오차가 제거된 측정치로 DGNSS 위치해( $\vec{x}_{DGNSS}$ )를 산출한다.

$$\begin{bmatrix} \vec{x}_{DGNSS} \\ B \end{bmatrix} = (H^T H)^{-1} H^T \begin{bmatrix} \vec{e}^i \\ R^i - (\rho^i + \delta\rho^i) \\ \vdots \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서  $H$ 는 관측행렬,  $B$ 는 수신기 시계 오차,  $\vec{e}^i$ ,  $R^i$ ,  $\rho^i$ ,  $\delta\rho^i$  는 각각  $i$ -번째 위성의 시선벡터 (line-of-sight vector), 위치 벡터, 의사거리와 거리보정정보를 의미한다.

식 (1)에 분배법칙을 적용하면 식 (2)와 같고,

$$\begin{bmatrix} \vec{x}_{DGNSS} \\ B \end{bmatrix} = (H^T H)^{-1} H^T \begin{bmatrix} \vec{e}^i \\ R^i - \rho^i \\ \vdots \end{bmatrix} - (H^T H)^{-1} H^T \begin{bmatrix} \delta\rho^i \\ \vdots \end{bmatrix} \quad (2)$$

이 중 첫 번째 항은 GNSS stand-alone 위치에 해당하므로 보정정보가 위치영역으로 투영된 위치영역 보정정보( $\vec{\delta x}_{DGNSS}$ )는 식 (3)과 같다.

$$\begin{bmatrix} \vec{\delta x}_{DGNSS} \\ \delta B \end{bmatrix} = (H^T H)^{-1} H^T \begin{bmatrix} \vdots \\ -\delta\rho^i \\ \vdots \end{bmatrix} = -(H^T H)^{-1} H^T (\vec{\delta\rho}) \quad (3)$$

### 2-2 DGNSS-CP 구현 방안

식 (3)에 따라 보정정보를 위치영역으로 투영하기 위해서는 관측행렬  $H$ 의 구성이 필수적이다.  $H$ 는 가시위성의 시선벡터로 구성되어 있으므로, 현재 GNSS 수신 모듈이 위치를 결정하는데 사용한 위성의 번호와 위치 정보를 획득하여야 한다. 일반적인 GNSS 모듈이 준수하는 NMEA (National Marine Electronics

Association) 0183 format의 경우 GPGSA (gnss active satellite sentence)를 통해 현재 위치 결정에 사용된 위성의 번호를 제공하고 스마트폰도 이를 준수하고 있으므로, 위성 궤도 정보와 NMEA의 GPGSA 정보를 함께 사용하면 그림 2와 같이 DGNSS-CP를 구현할 수 있다[4].

상기 방식에 따라 보정정보 맵핑 알고리즘을 구현할 경우, 항법 메시지 또는 알마낙 정보를 별도의 채널을 통해 전송하여야 하고, GPS, GLONASS (global navigation satellite system) 등 사용 위성군에 따라 그 세부 알고리즘이 달라질 뿐 아니라, 항법 메시지를 이용하는 경우에는 iteration이 포함된 연산과정을 거쳐야 한다. 이를 보완하기 위하여 그림 3과 같이 NMEA의 위성 배치 정보를 이용하여 관측행렬을 구성하고 이를 DGNSS-CP에 적용하는 방식이 제안되었다[5].

이와 같이 DGNSS-CP를 구축을 위하여 고려할 수 있는 세 가지 방식 중, 본 논문에서는 항법 메시지와 NMEA 0183 format을 사용하는 방식에 대하여 그 세부 알고리즘을 확인하고, 상용 수신기와 matlab 후처리 코드를 이용하여 각 방안의 성능을 비교 분석하도록 한다.

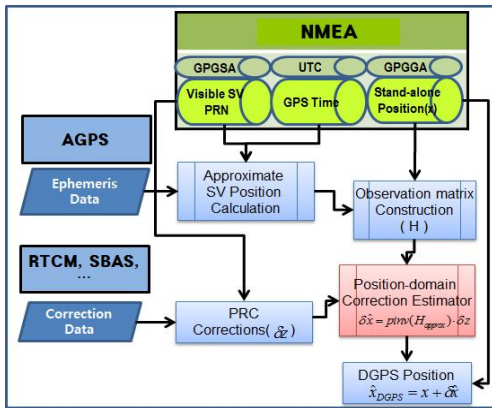


그림 2. 궤도정보를 이용한 DGPS-CP 구현 전략 [4]  
Fig. 2. DGPS-CP implementation method using ephemeris data [4].

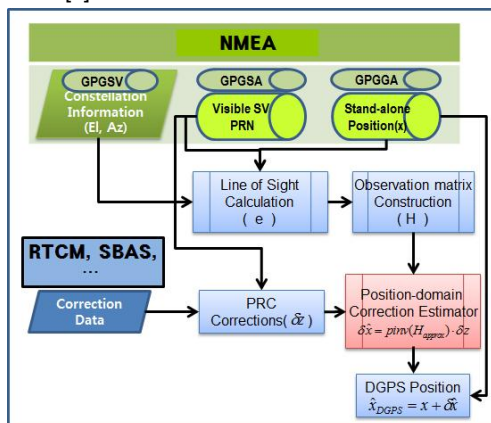


그림 3. 위성배치 정보를 이용한 DGPS-CP 구현 전략 [5]  
Fig. 3. DGPS-CP implementation method using satellite location information [5].

### III. 관측 행렬 구성 방법 별 DGNSS-CP 적용 방안

#### 3-1 방송 궤도력의 사용

방송궤도력은 각 항법 위성에서 송출된 항법메세지에 포함된 궤도정보로, 모든 위성항법 수신기 및 모듈은 방송궤도력을 수신하고 해석하여 위성의 좌표를 산출하는 과정을 위치 결정에 선행하여 수행한다.

여러 위성군들 중 GPS, Galileo, Beidou은 케플러 궤도 요소 및 궤도 방정식을 이용하여 각 위성의 위치를 추정하는 반면, GLONASS의 경우에는 초기 위치와 속도항을 이용하여 Runge-Kutta 수치 적분을 수행하여 위치를 결정한다[6].

GPS, Galileo, Beidou 항법 메시지에 포함되어 방송되는 궤도 정보는 표1과 같고, 케플러 궤도 요소의 평균치 이외의 각종 섭동값을 함께 전송하는데, GPS의 경우 일반적으로 2시간에 한 번씩 갱신되고, 4시간 이후의 정보는 사용하지 않도록 한다 [7].

표1의 정보들을 이용하여 위성의 위치를 구하는 과정에서 아래 mean anomaly( $M_k$ )와 eccentric anomaly( $E_k$ ) 간에는 식(4)의 관계식이 성립하는데,  $E_k$ 값의 계산을 위하여 iteration의 과정을 거친다.

$$M_k = E_k - e \sin E_k \quad (4)$$

GLONASS 항법 메시지에 포함되어 방송되는 궤도 정보는 표2과 같이 ECEF 좌표계 상의 위치와 속도 성분, 태양과 달의 가속도 성분을 제공함으로써, 궤도 정보의 기준시각으로부터 약 15분 이내의 위성 위치를 산출한다. 위성의 운동 방정식은 상기 항들로 구성된 미분방정식으로 표현될 수 있는데, 이에 대한 적분을 위하여 4차 Runge-Kutta 방식을 적용한다[8][9].

표 1. GPS/Galileo/Beidou 방송궤도 및 시계 파라미터

Table 1. GPS/Galileo/Beidou broadcast ephemeris and clock parameter.

Parameter	Explanation
$t_{oe}$	Ephemerides reference epoch in seconds within the week
$\sqrt{a}$	Square root of semi-major axis
$e$	Eccentricity
$M_o$	Mean anomaly at reference epoch
$\omega$	Argument of perigee
$i_o$	Inclination at reference epoch
$\Omega_0$	Longitude of ascending node at the beginning of the week
$\Delta n$	Mean motion difference
$\dot{i}$	Rate of inclination angle
$\dot{\Omega}$	Rate of node's right ascension
$c_{uc}, c_{us}$	Latitude argument correction
$c_{rc}, c_{rs}$	Orbital radius correction
$c_{ie}, c_{is}$	Inclination correction
$a_0$	SV clock offset
$a_1$	SV clock drift
$a_2$	SV clock drift rate

**표 2.** GLONASS 방송궤도 및 시계 파라미터  
**Table 2.** GLONASS broadcast ephemeris and clock parameter.

Parameter	Explanation
$t_e$	Ephemerides reference epoch
$x(t_e)$	Coordinate at $t_e$ in PZ-90
$y(t_e)$	Coordinate at $t_e$ in PZ-90
$z(t_e)$	Coordinate at $t_e$ in PZ-90
$v_x(t_e)$	Velocity component at $t_e$ in PZ-90
$v_y(t_e)$	Velocity component at $t_e$ in PZ-90
$v_z(t_e)$	Velocity component at $t_e$ in PZ-90
$X''(t_e)$	Moon and sun acceleration at $t_e$
$Y''(t_e)$	Moon and sun acceleration at $t_e$
$Z''(t_e)$	Moon and sun acceleration at $t_e$
$\tau_n(t_e)$	SV clock offset
$\gamma_n(t_e)$	SV relative frequency offset

**3-2 위성 배치 정보의 활용**

NMEA 정보 중 GPGSV(satellite in view)와 GLGSV의 경우, 현재 위치에서 관측이 가능한 GPS 와 GLONASS 위성들의 고도각(EI; elevation angle)과 방위각(Az; azimuth angle) 등 배치 정보를 제공하므로, 각 위성의 고도각(EI)과 방위각(Az)을 이용하여 식(5)와 같이 Local frame 상의 시선벡터( $\vec{e}_{local}^i$ ) 산출이 가능하다.

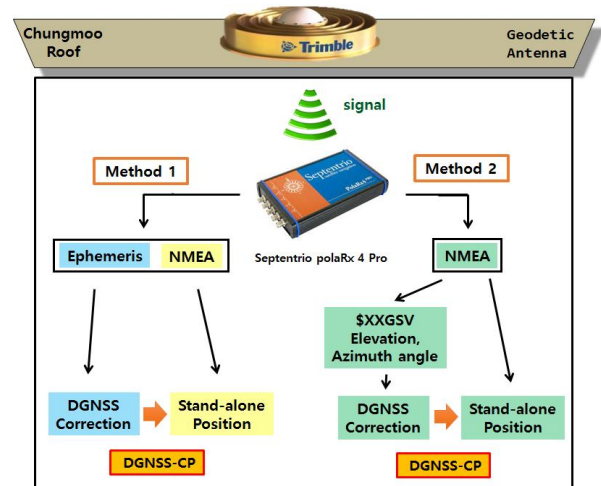
$$\vec{e}_{local}^i = \begin{bmatrix} \sin Az^i \cos El^i \\ \cos Az^i \cos El^i \\ \sin El^i \end{bmatrix} \quad (5)$$

사용자의 위도( $\phi$ )와 경도( $\lambda$ )에 따른 회전행렬( $R(\phi, \lambda)$ )을 적용하여 ECEF 상의 시선벡터( $\vec{e}_{ECEF}^i$ )를 식(6)와 같이 산출하고, 이를 이용하여 (7)의 관측행렬을 구성한다.

$$\vec{e}_{ecef}^i = R(\phi, \lambda) \cdot \vec{e}_{local}^i \quad (6)$$

$$H = \begin{bmatrix} \vec{1}^T & -1 \\ \vec{e}_{ecef}^{1T} & -1 \\ \vec{e}_{ecef}^{2T} & -1 \\ \vdots & \vdots \\ \vec{e}_{ecef}^{nT} & -1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

이후의 과정은 앞서 제시된 궤도 정보를 이용한 DGNS-CP 방식과 동일하다. 이와 같이 구성된 DGNS-CP 방식에서는 GSV의 위성 배치 정보가 위성궤도 정보를 대체하므로 기존의 DGPS 인프라만으로도 서비스의 적용이 가능하다. 그러나 GSV에서 제공하는 위성 배치 정보는 그 해상도 면에서 위성 좌표에 의해 산출한 시선 벡터 수준에는 도달하기 어렵기 때문에, 앞선 두 방식과 정확도 성능을 비교할 필요가 있다.



**그림 4.** DGNS-CP 실험 환경 구성  
**Fig. 4.** DGNS-CP test configuration.

**IV. 관측방정식 구성 방법별 DGNS-CP 성능 비교**

**4-1 실험 환경**

본 연구에서 제시된 DGNS-CP의 성능을 분석하기 위해 다음 그림 4와 같은 영기저선 (zero baseline) 실험 환경을 구성하였다. 먼저 세종대 충무관 옥상에 설치된 trimble choke ring antenna를 통해 수신된 위성항법 신호를 실험실 내에 설치된 Septentrio PolaRx 4 Pro 수신기로 송신 하였다. 실험은 한국시간 00시부터 1시간동안 수행하였다.

방송 궤도력을 사용하는 방법은 수신된 정보를 바탕으로 GPS와 GLONASS 위성군의 위성 좌표를 계산하고, 각 위성들의 좌표를 이용하여 관측행렬을 구성한다. NMEA message에서 제공하는 위성 배치 정보를 사용하는 방법, GPGSV와 GLGSV에 포함된 위성의 고도각과 방위각을 이용하여 관측행렬을 구성한다. 각각의 방법으로 구성된 관측행렬을 이용하여 보정정보를 위치영역으로 투영시킴으로써 2가지 방식으로 DGNS-CP 알고리즘을 적용할 수 있다.

**4-2 정확도 비교**

4-1에 기술한 영기저선 실험을 수행한 결과는 그림 5 및 표 3과 같다. 이상적인 영 기저선 실험과 같은 완벽한 형태의 Gaussian 분포를 제시하지는 않지만, NMEA 위성 배치 정보를 이용하는 방법과 위성 궤도 정보를 이용하는 방법 모두 수평과 수직 오차를 적절하게 제거하여 그 정확도를 향상시키는 것을 확인하였다. 약 1.0 m, 11.8 m 수준이었던 단독측위의 수평 및 수직 오차가 DGNS-CP의 적용을 통해 각각 1.5 m, 0.9~1.0 m



수준으로 변함이 확인되었다. 보정 결과를 분석하면 수평방향 성분의 정확도는 약간 저하된 반면 수직방향 성분의 정확도가 크게 향상되었는데, 이는 단순한 least-square 방식으로 보정정보를 위치영역에 투영하는 DGNS-CP 방식이 각종 필터가 적용되는 수신기 측위 알고리즘을 상세하게 반영하여 처리하기에는 어렵다는 한계는 있으나, 전반적인 bias 오차 제거에는 유효하다는 것을 보여준다.

DGNS-CP 두 방식의 위치 산출 결과를 비교해보면, NMEA의 위성 배치정보를 사용하는 방식의 경우에는 수평 오차 RMS 값은 1.50 m, 수직 오차 RMS 는 0.98 m인 반면, 방송 궤도력을 사용하는 방식은 그 값이 각각 1.48 m, 0.81 m 로 방송 궤도력을 사용하는 방식이 배치 정보를 사용하는 방식에 비해 약 0.2 m 정도 향상시킬 수 있는 것으로 확인되었다. 최대 오차의 경우, 일시적이기는 하였으나 위성 배치 정보를 사용한 방식이 궤도 정보를 사용한 방식에 비하여 수직 방향으로 약 0.5 m 수준의 오차를 유발함도 확인되었다.

이론적으로는 배치 정보와 궤도 정보를 사용하는 방식은 등치가 되어야 하나, 앞서 확인한 바와 같이 평균적으로 약 0.2 m 수준, 일시적으로는 0.5m 가량의 오차를 유발시키는 것은 수신기 NMEA 정보에 포함된 앙각과 방위각의 해상도가 제한적이기 때문이다. 본 실험에 사용한 Septentrio PolaRx 4 Pro 수신기의 경우, 앙각과 방위각이 정수 단위까지만 표시가 되기 때문에 궤도 정보를 이용하는 경우에 비해 다소 부정확한 관측행렬이 구성된다.

이에 대한 명확한 비교를 위하여 NMEA의 GSV에서 제공하는 앙각과 방위각 정보와, 방송 궤도력을 이용하여 얻은 위성 좌표를 이용하여 계산한 앙각과 방위각 간의 차이를 산출하였다.

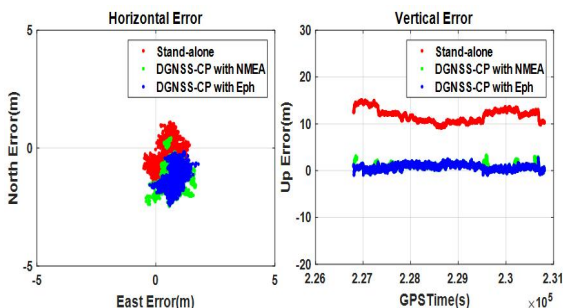


그림 5. DGNS-CP 실험 결과  
Fig. 5. DGNS-CP test result.

표 3. DGNS-CP 결과 통계치  
Table 3. DGNS-CP statistical result.

Statistical Result		Max	Mean	STD	RMS	95 %
Stand-alone	Hor	1.823	0.812	0.610	1.015	1.610
	Ver	15.08	11.807	1.385	11.807	14.398
DGNS-CP with NMEA	Hor	2.549	1.392	0.547	1.496	2.259
	Ver	3.275	0.945	0.647	0.975	2.052
DGNS-CP with Eph	Hor	2.497	1.401	0.487	1.483	2.104
	Ver	2.739	0.762	0.573	0.812	1.682

표 4. 궤도 정보와 배치 정보로 산출한 위성 앙각 차이  
Table 4. Elevation angle differences between satellite ephemeris and direction information.

Elevation angle differences							
GPS	prn	3	10	12	14	18	22
	diff	0.26	0.25	0.25	0.25	0.25	0.24
	max	0.51	0.53	0.52	0.52	0.53	0.52
GLO	prn	1	2	3	11	12	13
	diff	0.25	0.27	0.26	0.25	0.28	0.29
	max	0.54	0.52	0.52	0.53	0.51	0.54

표 5. 궤도 정보와 배치 정보로 산출한 위성 방위각 차이  
Table 5. Azimuth angle differences between satellite ephemeris and direction information.

Azimuth angle differences							
GPS	prn	3	10	12	14	18	22
	diff	0.24	0.25	0.21	0.22	0.24	0.25
	max	0.52	0.51	0.50	0.54	0.50	0.53
GLO	prn	1	2	3	11	12	13
	diff	0.21	0.25	0.25	0.25	0.25	0.28
	max	0.50	0.55	0.55	0.52	0.51	0.55

표 4와 표 5와 같이 전반적으로 0.3도 이내로 그 차이가 제한되기는 하였으나, 최대 차이를 살펴보면 0.5도 수준의 차이가 나타나기도 하였고, 이러한 차이가 두 기법 간 정확도 차이에 기인한다고 판단된다.

### 4-3 연산량 비교

서로 다른 방식으로 관측행렬을 구성하므로, 두 방법 간의 정확도 성능 차이 뿐 아니라, 연산량은 차이가 존재한다. 궤도 정보와 배치 정보를 이용하는 두 방식은 그 구현하는 방법에서 관측행렬을 구성하는 알고리즘을 제외한 나머지 알고리즘은 동일하므로, 전체 DGNS-CP 연산의 수행 시간 외에도 관측행렬을 구성하는 과정, 그리고 GPS와 GLONASS의 구성하는 과정에 대해서 별도로 연산속도를 비교하였다. 그림 6에서 제시된 바와 같이 인텔 i7 쿼드 코어 CPU가 탑재된 랩탑을 이용하고, Matlab R2015b 소프트웨어를 사용하여 4-2에서 처리한 1시간 가량의 GNSS 데이터로 두 알고리즘의 연산속도를 확인하였다. 전체 실험 구간에서 사용된 위성 개수와 연산 소요 시간의 평균값과 최대값은 표 6과 7에 정리된 바와 같다.

배치정보를 이용한 경우에는 1시간의 누적된 위성행법 데이터의 처리에 총 2.9330 초의 연산시간이 소요되었다. 배치정보를 이용하는 방법을 적용할 경우, 관측행렬 산출을 위하여 위성 좌표를 산출하는 과정이 불필요하기 때문에 많은 연산 시간이 소요되지 않는다. 특히 단순히 앙각과 방위각 정보만 입력하기 때문에, GPS와 GLONASS간 연산량의 차이가 존재하지 않고, 위성별 소요 시간은 0.0006 초임을 확인하였다.

다음으로 방송 궤도력을 사용한 방법의 경우 배치 정보를 이용한 시간에 비해 약 15배인 총 46.7971 초의 연산시간이 소요

되었다. 이는 방송 궤도력을 사용할 경우 관측행렬 구성을 위해 3-1에 언급된 위성 위치 산출 과정이 필수적이기 때문이다. GPS는 케플러 궤도 요소 및 궤도 방정식을 이용하여 각 위성의 위치를 추정하고 특히 식(4)의 과정에 iteration이 포함되어 많은 시간이 소요되고, GLONASS의 경우에는 초기 위치와 속도 향을 이용한 Runge-Kutta 수치 적분과정에 대부분의 시간이 소요된다. 표 7에서 확인할 수 있듯이 GLONASS 위성군의 위치 산출에 소요되는 연산시간이 GPS 위성군과 비교하여 약 2배 이상의 차이를 보이는데, 이는 GLONASS 위성군에서 속도가 속도향을 이용하여 위성위치를 추정하기 위한 iteration 횟수가 GPS 위성군에서 eccentric anomaly( $E_k$ )를 계산하기 위한 iteration 횟수에 비해 높기 때문에 평균적으로 위성당 약 0.004 초 정도의 연산속도 차이가 발생함을 확인하였다.

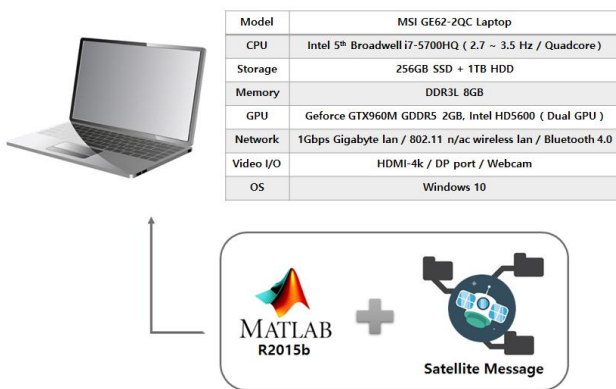


그림 6. 연산량 비교를 위한 환경 구성  
 Fig. 6. Test configuration to compare computing power.

표 6. 배치 정보 기반 DGNSS-CP 방식의 연산량 결과  
 Table 6. Computing power for satellite direction-based DGNSS-CP.

		Total
Average	Numbers of Satellites	16.2439
	Calculation time	0.00064

표 7. 방송 궤도력 기반 DGNSS-CP 방식의 연산량 결과  
 Table 7. Computing power for satellite ephemeris-based DGNSS-CP.

		Total	GPS	GLONASS
Average	Numbers of Satellites	16.249	9.287	6.963
	Calculation time(s) per satellite		0.003	0.006

## V. 결 론

본 논문에서는 관측행렬을 구성하는 과정에 위성 궤도 정보와 배치 정보를 적용하는 방식을 DGNSS-CP에 적용하고, 그 성능 간 차이를 확인하였다. 방송 궤도력을 사용하는 방식은 정확하게 계산된 위성 좌표를 사용함으로써, NMEA를 이용하는 방법에 비하여 향상된 위치 정확도 성능을 보였다. NMEA 정보를 사용하는 방식이 일시적으로 오차를 완벽히 제거하지 못하는 경우가 발생하기는 하나, 전반적으로 두 방법 간 정확도 차이가 수평·수직 모두 0.1 m 내외로 큰 차이가 나지 않았다. 반면 연산량의 면에서는, NMEA를 이용하는 방법이 기존 방식에 비하여 약 1/15 수준으로 줄일 수 있다는 강점을 지니고 있다. 따라서, 단시간 동안 안정적인 수준의 정확도가 요구되는 작업에는 궤도정보를 이용하는 DGNSS-CP 알고리즘이 적절하고, 장시간 작업을 하거나 스마트폰 등과 같이 배터리의 사용량이 중요한 어플리케이션에 DGNSS-CP 알고리즘을 적용하는 경우에는 NMEA에서 제공하는 위성배치정보를 이용하는 방법을 사용하는 것이 실용적일 것으로 예측된다.

## 감사의 글

본 연구는 국토교통부 국토교통기술촉진연구사업의 연구비 지원 (15TBIP-C094424-01)에 의해 수행되었습니다.

## 참고 문헌

- [1] E. D. Kaplan, *Understanding GPS: Principles and Application*, Boston, MT: Artech house publishers. 1996.
- [2] B. W. Park. et al, "Algorithm development of position-domain DGPS by correction projection and its performance", in *Proceeding of the 18th GNSS Workshop*, Jeju: Korea, pp Nov. 2011.
- [3] C. Rizos, How good is GPS?, [Internet]. Available: [http://www.gmat.unsw.edu.au/snap/gps/gps\\_survey/chap2/244dgps.htm](http://www.gmat.unsw.edu.au/snap/gps/gps_survey/chap2/244dgps.htm).
- [4] B. W. Park. et al, "DGPS enhancement to GPS NMEA output data: DGPS by correction projection to position-domain," *Journal of Navigation*, Vol. 66, No.2, pp. 249-264, 2013.
- [5] B. W. Park and D. H. Yoon, "A study on the DGPS service utilization for the low-cost GPS receiver module based on the correction projection algorithm," *Journal of Navigation and Port Research*, Vol. 38, No. 2, pp. 121-126, April 2014.
- [6] H. I. Kim. et al, "Orbit prediction using Almanac for

GLONASS satellite visibility analysis,” *Journal of the Korean Society of Survey, Geodesy, Photogrammetry, and Cartography*, Vol. 27, No. 6, pp. 659-667, 2009.

- [7] Navstar GPS Space Segment/Navigation User Segment Interface, GPS Interface Specification IS-GPS-200, Revision H, Global positioning system directorate, 2013.

- [8] GLONASS ICD, version 5.0, Coordination scientific information center, Moscow, 2002, [Internet]. Available: <https://www.glonass-iac.ru/>

- [9] U. Roßbach, Positioning and Navigation Using the Russian Satellite System GLONASS, Ph. D Dissertation, University of Munich, Germany, 2001.



**신 동 현 (Dong-hyun Shin)**

2011년 3월 ~ 현재 : 세종대학교 대학원 항공우주공학과 학사과정  
※ 관심분야 : GNSS, DGPS



**임 철 순 (Cheol-soon Lim)**

2015년 2월 : 세종대학교 항공우주공학과 (공학사)  
2015년 3월 ~ 현재 : 세종대학교 대학원 항공우주공학과  
※ 관심분야 : GNSS, SBAS, PPP



**석 효 정 (Hyo-jeong Seok)**

2014년 8월 : 세종대학교 항공우주공학과 (공학사)  
2016년 8월 : 세종대학교 항공우주공학과 (공학석사)  
※ 관심분야 : GNSS, SBAS, Integrity



**윤 동 환 (Dong-hwan Yoon)**

2014년 8월 : 세종대학교 항공우주공학과 (공학사)  
2016년 8월 : 세종대학교 항공우주공학과 (공학석사)  
※ 관심분야 : GNSS, SBAS, DGPS, RTK, Network RTK



**박 병 운 (Byungwoon Park)**

2008년 2월 : 서울대학교 항공우주공학과 (공학박사)  
2012년 9월 ~ 현재 : 세종대학교 항공우주공학과 조교수  
※ 관심분야 : DGPS, WADGPS, RTK, Network RTK, GPS