

# 도심지역에서의 연도별 다중위성항법 통합성능 예측

## Annual Prediction of Multi-GNSS Navigation Performance in Urban Canyon

석효정<sup>1)</sup> · 박병운<sup>2)</sup>

Seok, Hyo Jeong · Park, Byung Woon

### Abstract

In the paper, we predict the number of multi-GNSS satellites and visible satellites with the navigation satellite launch plans and their nominal orbit parameters. Based on the methodology, the multi-GNSS navigation performance and DOP (Dilution of Precision) variation from 2015 to 2020 were forecasted by the Matlab simulation. To calculate the position using the multi-GNSS constellation, we determined the time-offset between the two different systems. Two different algorithms were considered for the sake of time-offset determination; that of each was applied to system level and user side. Also, the results from two algorithms were compared for evaluating each performance. For the reality, we applied the 3D map information to the simulation, which is expected to contribute for predicting the future navigation performance in urban canyon.

Keywords: Satellite Navigation System, Multi-Constellation, 3D Digital Map, DOP Simulation, Visibility

### 초 록

본 논문에서는 2015년을 기준으로 GPS(Global Positioning System) 단독측위 및 통합항법 성능 현황을 분석하고, 2020년까지의 항법성능을 연도별로 예측하였다. 이러한 예측을 위하여 한반도 지역에서 관측할 수 있는 위성항법시스템의 궤도요소 및 궤도정보 설계 값을 이용하여 Matlab을 기반으로 DOP(Dilution Of Precision)관점에서 성능을 예측하였다. 통합항법의 경우, 항법시스템 간의 시계오차 추정을 위해 시각오프셋 결정 알고리즘을 고려해야 하는데, 위성항법 메시지 기반 추정방식과 사용자가 직접 추정하는 두 가지 방법으로 나누어 분석하였다. 또한 현실감 있는 시뮬레이션 수행을 위하여 3차원 지도정보를 사용하였다. 본 시뮬레이션결과는 도심지역에서의 항법성능을 예측할 수 있는 지표로 활용될 것이라 기대된다.

핵심어 : 위성항법시스템, 통합항법, 3차원 지도, DOP 시뮬레이션, 가시성

Received 2016. 01. 13, Revised 2016. 01. 25, Accepted 2016. 02. 22

1) Member, Dept. of Aerospace Engineering, Sejong University (E-mail : [hyojeongseok317@gmail.com](mailto:hyojeongseok317@gmail.com))

2) Corresponding Author, Member, Dept. of Aerospace Engineering, Sejong University (E-mail : [byungwoon@sejong.ac.kr](mailto:byungwoon@sejong.ac.kr))

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.

## 1. 서론

위성항법시스템으로 사용자의 위치를 결정할 때, 가시위성 수와 배치는 매우 중요한 요소이다. 그러나 도심지와 같이 지형지물에 의해 위성 신호가 차단 될 경우, GPS 단독측위로는 하루 중 가시위성이 확보되는 시간이 극히 제한적인 반면, 다양한 위성 군을 결합한 통합항법을 수행하는 경우, 보다 많은 가시위성 확보를 통한 가시성 및 위치 정확도 향상을 기대할 수 있다(Yoo *et al.*, 2007). 특히나 2020년까지 항법 위성 수가 137개까지 증가할 예정이라는 점에서 이러한 전망이 점차 구체화되고 있다. 현재 24기 위성을 운용중인 러시아의 GLONASS(GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEM)는 2020년에 30개의 위성을 운용할 계획이며, 유럽의 Galileo도 2020년에 30개의 위성으로 FOC(Full Operational Capability) 운용을 목표로 하고 있다. 또한 중국의 BeiDou는 2018년까지 35개의 위성을 운용하는 범지구적 항법시스템을 갖추고자 하며 IRNSS(Indian Regional Navigation Satellite System)와 QZSS(Quasi-Zenith Satellite System)는 각각 2016년, 2017년에 7기, 4기의 위성 운용을 계획하고 있다(Ha and Chun, 2010; Reshetnev, 2013; Heo, 2014; Glen, 2014; Murai, 2014). 이 때문에 아시아 지역은 'A Satellite Hotspt'이라 칭해질 정도로 항법위성 수가 급증할 예정이며, 통합항법 측위 기술의 효과가 가장 큰 지역으로 주목받고 있다.

앞서 본 논문의 배경이 되는 선행연구로 서울시 강남구 포스코 사거리 중심부에 사용자가 위치하고 있으므로 가정하고, GPS 단독측위 및 GPS, GLONASS 통합항법, GPS, GLONASS 조합에 제 3의 위성항법 시스템 추가 시 획득할 수 있는 2014년 항법성능 현황분석 및 2020년 항법성능 예측을 위한 시뮬레이션과 이에 대한 분석이 진행된 바 있다(Seok *et al.*, 2015). 그러나 해당 연구에서는 사용자의 위치를 한 지점으로 제한하고 있다는 점과 최소양각을 설정하여 주변 지형지물의 영향을 반영하지 않았다는 것, 또한 최종적으로 2020년의 항법성능만을 예측하고 있어 이에 대한 보완의 필요성이 제기되었다.

따라서 본 논문에서는 사용자의 위치에 따라 달라지는 인근 건물의 영향을 고려함으로써 보다 사실적인 항법성능 예측이 가능할 수 있도록 서울시 강남구 일대의 도로에 15m 간격으로 사용자가 위치하고 있으므로 가정 후 해당하는 모든 지점에 대하여 시뮬레이션을 수행하였으며, 2015년을 기준으로 GPS 단독 측위와 GPS, GLONASS, BeiDou, Galileo, QZSS, IRNSS 6개의 시스템으로 통합항법을 수행하는 경우에 대한 시뮬레이션을 통해 항법성능 현황을 분석하고, 2016

년부터 모든 항법시스템이 FOC에 도달할 것으로 예상되는 2020년까지의 통합항법 성능의 연도별 추이를 예측하고 분석한다.

## 2. 서울 도심지역 상공 장애도 파악

본 연구에서 사용된 건물데이터는 국토교통부가 제공하는 공간정보 오픈 플랫폼인 Vworld에서 취득한 3ds 형식의 데이터이며(Vworld, 2015), 이를 이용해 건물 3축 좌표정보 데이터 베이스를 구축하여 Matlab 시뮬레이션에 적용하였다. 아래의 Fig. 1은 Vworld에서 취득한 건물형태 간략화 과정과 이를 통해 구성한 서울 강남구 지역의 2차원 지도를 나타내고 있다.

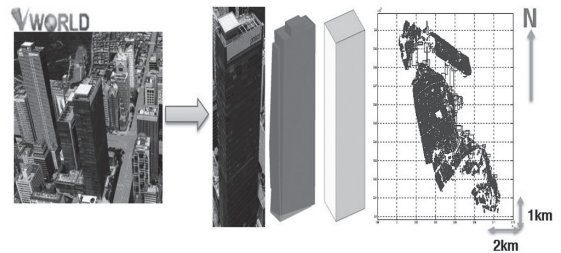


Fig. 1. Concept of understanding sky-interface (Left : Making simply process, Right : 2D-map (Gangnam-gu of Seoul)) (Seok *et al.*, 2014)

건물 최고점 좌표의 동쪽, 북쪽, 높이 방향 위치와 사용자의 동쪽, 북쪽 방향 위치를 이용하여 사용자 위치에 따른 건물의 양각, 방위각을 건물별로 색인화 하였다(Seok *et al.*, 2014). 이에 대한 개념을 도식화한 그림은 아래의 Fig. 2와 같다.

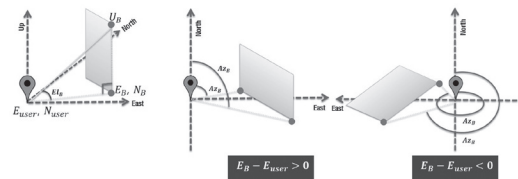


Fig. 2. Concept of building's elevation/azimuth angle calculation (Left : Elevation angle, Middle & Right : Azimuth angle)

## 3. 가시성 분석 알고리즘

위성의 위치정보는 각 항법시스템의 공식 운영기관에서 제공하는 위성궤도정보를 이용하여 도출하였으며, 발사 계획 중

인 위성에 대해서는 각 국 공식 운영기관이 설계 값으로 제시한 궤도정보를 이용하여 2015년 이후의 항법성능예측에 반영하였다(The United States Coast Guard Navigation Center, 2015; Federal Space Agency, 2015; BeiDou Navigation Satellite System, 2015; Japan Aerospace Exploration Agency, 2015; European GNSS Service Centre, 2015; Indian Space Research Organisation, 2015).

건물 별로 색인화한 양각, 방위각과 항법시스템 별 궤도정보를 이용하여 도출한 위성의 양각, 방위각을 아래의 Eq. (1)에 적용하여 위성의 가시여부를 판단하였다. 위성의 양각이 건물의 양각보다 작고, 위성의 방위각이 건물 방위각 최솟값, 최댓값 사이에 위치하는 Eq. (1)의 조건을 동시에 만족하면 해당 위성은 건물에 의해 신호가 차단되는 비 가시위성으로 판단되고, 하나라도 해당되지 않을 시에는 가시위성으로 판단된다. 아래의 Fig. 3은 가시위성 판단 알고리즘의 개념도를 나타낸다(Seok *et al.*, 2014).

$$(E_{B} > E^{S}) \ \& \ (Az_{B1} < Az^{S} < Az_{B2}) \quad (1)$$

where :

$E_{B}$  : Elevation angle of buildings

$E^{S}$  : Elevation angle of satellites

$Az^{S}$  : Azimuth angle of satellites

$Az_{B1}$  : Minimum azimuth angle of buildings

$Az_{B2}$  : Maximum azimuth angle of buildings

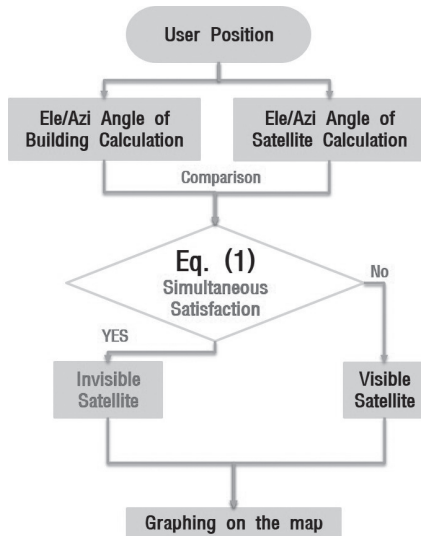


Fig. 3. Concept of visible satellite decision

가시위성 추출 후 항법방정식에 의해 사용자의 위치와 시계 오차를 산출한다. 통합항법 수행 시에는 항법시스템 별로 기준시각이 다르기 때문에, 이들의 측정치는 서로 다른 시계오차를 포함하여야 한다. 일반적으로 위성항법 메시지에서 제공하는 정보를 활용하여 그 차이를 반영하는 방법과, 수신기에서 위성항법시스템 별 시계오차를 직접 추정하는 방법이 활용되고 있다(Joo *et al.*, 2012).

첫 번째 방법은 항법 메시지 내에 포함된 GPS 시각과의 오프셋 정보를 이용하여 각 측정치를 GPS 시각에 동기화시키는 방법이며 본 논문에서는 이를 ‘저사양 측위(Coarse Positioning, CP)’ 방식으로 분류하도록 한다(Seok *et al.*, 2015). 최종적으로 저사양 측위의 관측행렬은 아래의 Eq. (2)과 같다. 여기서  $z_{cp}$ 는 GPS 시각 프레임으로 시각 동기화된 의사거리로 구성된 측정치이기 때문에 관측행렬  $H_{cp}$ 는 GPS 단독측위 수행 시와 동일한 형태로 구성될 수 있다. 따라서 통합항법을 수행하더라도, 결과적으로 최소 4개의 가시위성이 확보된다면 사용자의 3축 위치 및 시계오차 값까지 4개의 미지수를 결정할 수 있게 된다.

$$z_{cp} = H_{cp} \vec{x}_{cp} + v_{cp} \quad (2)$$

where :

$$z_{cp} : \text{Measurements} = \begin{bmatrix} \rho_{GPS.GPST}^1 \\ \vdots \\ \rho_{GPS.GPST}^n \\ \rho_{X.GPST}^n \\ \vdots \\ \rho_{X.GPST}^m \end{bmatrix}$$

$$H_{cp} : \text{Geometric matrix} = \begin{bmatrix} e_{x.GPS}^1 & e_{y.GPS}^1 & e_{z.GPS}^1 & -1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ e_{x.GPS}^n & e_{y.GPS}^n & e_{z.GPS}^n & -1 \\ e_{x.X}^1 & e_{y.X}^1 & e_{z.X}^1 & -1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ e_{x.X}^m & e_{y.X}^m & e_{z.X}^m & -1 \end{bmatrix}$$

$e$  : Direction vector

Subscript  $x, y, z$  : The ECEF coordination system

$n$  : Number of visible satellites (GPS)

$m$  : Number of visible satellites (GNSS X Systems)

$$\vec{x}_{cp} : \text{User position and clock bias} = \begin{bmatrix} x_{user} \\ y_{user} \\ z_{user} \\ B_{GPS} \end{bmatrix}$$

$x_{user}, y_{user}, z_{user}$  : User position on the ECEF coordinate

$v$  : Measurement noise

두 번째 방법으로 시스템 간 시계오차를 사용자 수신기에  
서 직접 추정하는 방법을 생각해 볼 수 있다. 이 경우 두 시스  
템 간 인위적인 시간 동기화로 인한 정확도 감소를 피할 수 있  
으므로 단일 위성항법 시스템과 동일 수준의 성능이 유지된  
다. 본 논문에서는 이를 ‘고정밀 측위(Precise Positioning, PP)’  
로 명시하였으며 최종적으로 고정밀 측위의 관측행렬은 아래  
의 Eq. (3)과 같이 구성된다. 여기서  $z_{pp}$  는 GPS 및 별도의 시  
각 동기화를 거치지 않은 GNSS X System의 의사거리로 구성  
된 측정치이다. 때문에 최종적으로 결정해야 할 미지수가 통  
합항법을 수행하는 시스템의 수에 따라서 사용자의 3축 위치  
및 GPS 시계오차, GNSS X System 시계오차까지 4개 이상이  
기 때문에 이에 따라 관측행렬  $H_{pp}$  의 크기가 달라진다.

$$z_{pp} = H_{pp} x_{pp} + v_{pp} \tag{3}$$

where :

$$z_{pp} = \begin{bmatrix} \rho_{GPS}^1 \\ \vdots \\ \rho_{GPS}^n \\ \rho_X^1 \\ \vdots \\ \rho_X^m \end{bmatrix} \rightarrow x_{pp} = \begin{bmatrix} x_{user} \\ y_{user} \\ z_{user} \\ B_{GPS} \\ B_X \end{bmatrix} H_{pp} = \begin{bmatrix} e_{x,GPS}^1 e_{y,GPS}^1 e_{z,GPS}^1 - 1 & 0 & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ e_{x,GPS}^n e_{y,GPS}^n e_{z,GPS}^n - 1 & 0 & \vdots \\ e_{x,X}^1 e_{y,X}^1 e_{z,X}^1 & 0 & -1 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ e_{x,X}^m e_{y,X}^m e_{z,X}^m & 0 & -1 \end{bmatrix}$$

상기의 관측방정식에 따르면 수신기 시계오차를 직접 구하  
기 위해서는 위성의 개수가 시스템 별로 한 개씩 더 필요하다.  
때문에 통합항법 수행에 의한 가시성 향상 효과는 저사양 측  
위에 비해서는 적으나, 측위성능 및 위치정확도 향상 효과가  
뛰어나다(Seok et al., 2015).

## 4. 시뮬레이션 결과

### 4.1 시뮬레이션 환경

통합항법 수행 조합 별 항법성능 분석 및 예측 시뮬레이션  
은 7월 16일, 24시간동안 강남구 선정릉 반경 약 2km 이내의  
지역에서 저사양, 고정밀 측위로 나누어 수행하였다.

### 4.2 항법성능 현황분석 및 성능예측

2015년까지의 각 국 항법위성 발사 경향성을 보면, 발사  
비용 절감을 위해 같은 궤도면에서 운용되는 위성 2~3기를  
함께 발사한 것을 알 수 있었다. 각 국 항법시스템의 현재 상  
태 및 예상 발사 일정을 수집, 발사 경향성 및 각 시스템 별  
FOC 목표 연도를 반영하여 연도별로 예측한 각 국 위성항  
법시스템 구축 계획을 종합하면 아래의 Table 1과 같으며 이  
를 근거로, 항법성능 현황분석 및 연도별 추이 예측 시뮬레  
이션을 진행하였다(Satellite on the Net, 2015; Spaceflight  
Now, 2015).

시뮬레이션을 통하여 산출된 HDOP(Horizontal Dilution  
Of Precision) 및 가시위성 수는 평균을 도출하였고, 24시간  
중 항법에 요구되는 최소 가시위성 수 조건을 만족하는 측위  
가능한 시간의 비율을  $VIS24h$ 로 정의하였다.

본 논문에서는 하루 24시간을 15분 간격으로 나누어 시  
뮬레이션을 진행하였고, 저사양 측위는 시스템 구별 없이 4기  
의 가시위성만으로 측위가 가능하기 때문에  $VIS24h_{ep}$  는 아  
래 Eq. (4)과 같이 전체 epoch에 대해 계산된 가시위성 수 중  
최소 4기 이상의 가시위성이 확보된 경우를 찾아 비율로 계  
산하였다.

Table 1. Assumption of GNSS launch plan (Seok et al., 2015)

		GPS	GLONASS	BeiDou	Galileo	QZSS	IRNSS	Total
2015	Current	31	24	14(16)	4	1	4	78
2016	New launch		2	10	10	1	3	104
2017	New launch			6	4	2		116
2018	New launch		2	5	4			127
2020	New launch		2		8			137

$$VIS24h_{cp}(\%) = \left( \frac{Valid\ epochs_{cp}}{Total\ epochs} \right) \times 100 \quad (4)$$

where

*Valid epoch<sub>cp</sub>* : The number of valid epochs which satisfy the cp requirement ( *No. of visible sv* ≥ 4 )

*Total epochs* : Total number of epochs(=289)

사용자 수신기가 시계오차를 직접 구하기 위해서는 Eq. (3)에 언급한 바에 따라 위성이 시스템 별로 한 기씩 더 필요하다. 즉, 가시위성 수가 통합항법을 수행하는 시스템의 개수에 3을 더한 값 이상인 epoch의 비율을 Eq. (5)와 같이 *VIS24h<sub>pp</sub>*로 산출한다.

$$VIS24h_{pp}(\%) = \left( \frac{Valid\ epochs_{pp}}{Total\ epochs} \right) \times 100 \quad (5)$$

where *Valid epoch<sub>pp</sub>* : The number of valid epochs which satisfy the pp requirements ( *No. of visible sv* ≥ *No. of systems constituting GNSSs* + 3 )

본 논문에서는 GPS 단독측위와 GPS-GLONASS-BeiDou-Galileo-QZSS-IRNSS 총 6개의 시스템으로 통합항법을 수행하였으므로 *VIS24h<sub>cp</sub>*는 모두 4기 이상의 위성이 확보되는 경우에 대해 계산되나, *VIS24h<sub>pp</sub>*는 각각 4기 및 최대 9기 이상의 가시위성이 확보되는 경우에 대해 계산된다.

#### 4.2.1 현황분석

Table 1을 근거로, 시뮬레이션에 반영한 각 항법시스템 별 위성 수는 GPS 31기, GLONASS 24기, BeiDou 14기, QZSS 1기, Galileo 4기, IRNSS 4기로 총 78기이다. GPS 단독측위 및 6개의 항법시스템으로 통합항법을 수행하였을 때의 강남구 일대 사용자의 위치 별 현황과 예측치를 다음과 같이 도출하였다.

##### (1) HDOP(Horizontal Dilution Of Precision)

HDOP는 위치정확도와 직결되는 수치로써, 값이 작을수록 DOP 및 위치정확도 성능이 우수함을 의미한다. 아래의 Table 2에 나타난 바와 같이 GPS 단독측위 수행 시 모든 지점의 24시간 평균 HDOP 값이 13.2고, 6개의 시스템으로 통합항법을 수행할 경우, HDOP는 저사양 측위 1.23, 고정밀 측위 2.44이다. GPS 단독측위와 비교했을 때, 각각 약 24%, 43%의 측위 성능이 향상됨을 확인할 수 있다.

##### (2) 가시위성 수(# of SV)

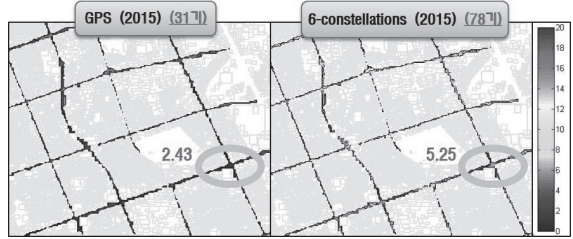


Fig. 4. Distribution of visible satellite number of each case (Left : GPS(2015), Right : 6-Constellations(2015))

위의 Fig. 4는 전체 시뮬레이션 적용 지점 별 가시위성 수의 분포이며 표시된 포스코사거리 인근 지역에 대한 결과 값을 별도로 나타내었다. GPS 단독측위 수행 시 확보되는 전 지역 평균 가시위성 수는 Table 2에 나타난 바처럼 3.80개로 저사양 측위 수행을 위한 최소 가시위성 조건조차도 만족하지 못하는 수치이다. 또한 Fig. 3에 명시한 바와 같이 특히나 고층빌딩이 밀집해 있는 포스코사거리 인근에서는 평균 2.43개의 가시위성이 확보되기 때문에 원활한 GPS단독측위 수행이 어려움을 알 수 있다. 6개의 시스템으로 통합항법을 수행하는 경우, 전 지역에서 평균 8.52개의 가시위성이 확보되고 포스코사거리에서는 평균 5.25개의 가시위성이 확보된다. 이는 GPS 단독측위 수행 시 보다 전 지역 4.72개, 포스코사거리 지역 2.82개 평균 가시위성 수가 증가한 수치이다.

##### (3) 하루 중 측위가능시간 비율(VIS24h)

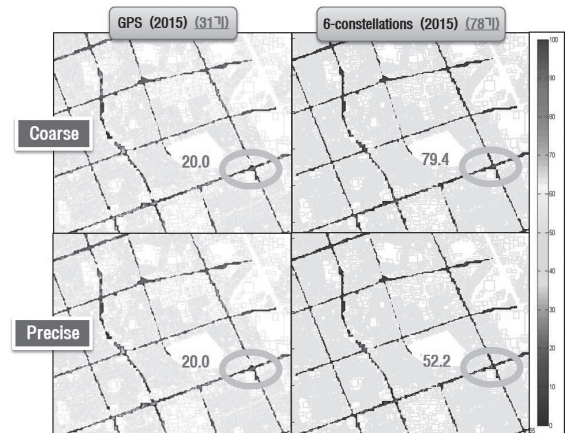


Fig. 5. Distribution of VIS24h of each case (Left : GPS(2015), Right : 6-Constellations(2015))

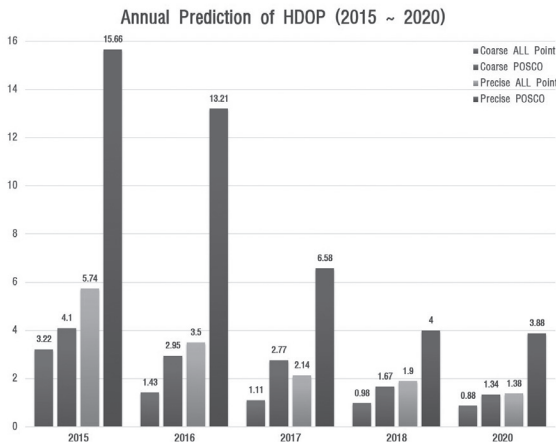
**Table 2. Navigation performance of GPS & 6-Constellations (2015)**

	GPS			6-Constellations		
	HDOP	# of SV	VIS24h	HDOP	# of SV	VIS24h
<b>Coarse</b>	13.2	3.80	56.0	3.22	8.52	95.7
<b>Precise</b>				5.74		86.2

Fig. 5는 각 시뮬레이션 지점에서의 하루 중 측위가능시간의 비율 분포이며 그 중 포스코 사거리 인근 지역에서의 결과 값을 별도의 원에 나타내었다. Table 2에 명시한 바와 같이 2015년 GPS 단독측위 수행 시 전 지역에서 하루 평균 56%의 시간동안 측위 수행이 가능하나 포스코사거리 인근 지역에서는 전 지역 평균의 절반에도 미치지 못하는 하루 중 20%의 시간동안만 위치결정이 가능하기 때문에 안정적인 GPS단독항법 수행이 어려움을 알 수 있다. 6개의 시스템으로 통합항법을 수행할 때는, 저사양 측위 시 하루 평균 95.7%, 고정밀 측위 시 86.2%의 시간동안 위치 결정이 가능함으로서 가용성이 크게 향상됨을 확인할 수 있다. 포스코사거리에서는 하루 중 저사양 측위 79.4%, 고정밀 측위 52.2%의 시간동안 수행 가능함이 확인되었고, 저사양 측위 수행은 비교적 안정적으로 가능하나 고정밀 측위 수행 시 원활한 항법 수행이 여전히 어려움을 알 수 있다.

4.2.2 연도별 항법성능 추이 예측

(1) HDOP



**Fig. 6. Annual prediction of HDOP (2015 ~ 2020)**

Table 1을 근거로 예측한 6개 시스템 통합항법 수행 시 연도별 HDOP 성능 추이 예측 값은 Fig. 6과 같다. IRNSS가 FOC

운용을 목표로 하는 2016년, 저사양 측위, 고정밀 측위 수행 시 평균 HDOP 값은 각각 1.43, 3.5이며, 이 때 포스코사거리에서의 HDOP 값은 각각 2.95, 13.21이다. 앞서 언급한 바와 같이 HDOP 값이 작을수록 위치정확도 성능이 우수함을 의미하므로, 포스코사거리 지역에서는 고정밀 측위 수행 시 항법 해의 높은 정확도를 보장할 수 없음을 의미한다. 또한 서울지역에서 수신 가능한 총 위성 수는 증가한 반면, 위치정확도 향상 정도가 미비함을 확인할 수 있는데, 이는 FOC에 도달함에도 불구하고, 인도의 지역항법시스템인 IRNSS가 한반도 지역에서는 서쪽에 치우친 낮은 양각에서 관측되기 때문이다. QZSS의 FOC 예상연도인 2017년에는 저사양 측위, 고정밀 측위 수행 시 평균 HDOP 값이 각각 1.11, 2.14이다. 포스코사거리에서의 HDOP 값은 각각 2.77, 6.58이고, 2016년 대비, 고정밀 측위 수행 시 약 40% 정도 위치정확도가 향상될 것임을 예측할 수 있다. 이는 QZSS가 다른 항법시스템과 비교했을 때, 70도~90도의 높은 양각을 가지고, GPS와 동일한 시각 시스템을 사용해서 고층빌딩이 많은 포스코사거리에서도 가시위성으로 사용되기 때문에 고정밀 측위 수행 시의 최소위성 수 충족조건을 완화시킬 수 있기 때문이다. BeiDou가 FOC에 도달할 것으로 예상되는 2018년에 저사양 측위, 고정밀 측위 수행 시 평균 HDOP 값은 각각 0.98, 1.9이며, 이 때 포스코사거리에서의 HDOP 값은 각각 1.67, 4임을 예측할 수 있다. BeiDou는 2014년 이후부터 지역항법시스템에서 지구적 항법시스템으로 개발방향을 전환하였고, 또한 6개의 시스템 중 가장 많은 위성을 운용하기 때문에 2017년 대비, 포스코사거리에서 고정밀 측위 수행 시 약 50% 정도 위치정확도가 향상될 것임을 예상할 수 있었다. 마지막으로 6개의 모든 시스템이 FOC에 도달한 상태일 것으로 예상되는 2020년, 최종적으로 통합항법에 사용되는 총 위성 개수는 137기이다. 이 때 HDOP 값은 저사양 측위, 고정밀 측위 수행 시 각각 0.88, 1.38이며 포스코사거리에서의 HDOP 값은 각각 1.34, 3.88으로 예측된다. 포스코사거리에서 저사양, 고정밀 측위를 수행할 때 2015년과 비교하면 HDOP 감소 값은 각각 2.76, 11.78로 저사양 측위 수행 시 약 32%, 고정밀 측위 수행 시 약 24% 정도 위치정확도 향상을 보일 것으로 예상된다.

(2) 가시위성 수(# of SV)

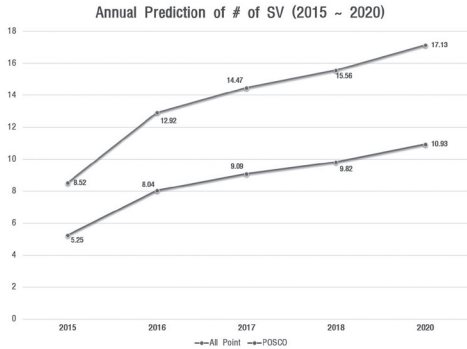


Fig. 7. Annual prediction of number of visible satellites (2015 ~ 2020)

가시위성 수의 변화 양상 결과는 위의 Fig. 7과 같다. 2016년 평균 가시위성 수는 전 지역 12.92개, 포스코사거리 8.04개이며, 2017년에는 전 지역에서 평균 14.47개, 포스코사거리에서 9.09개의 가시위성이 확보될 것임을 예측할 수 있다. 2018년에는 전 지역 평균 15.56개, 포스코사거리에서 9.82개의 가시위성이 확보될 것으로 예상되며, 시뮬레이션에 적용한 6개의 항법시스템이 모두 FOC에 도달할 것으로 예상되는 2020년에는 전 지역 평균 17.13개, 포스코사거리 10.93개의 가시위성이 확보될 것으로 예상된다. 앞서 언급한 바와 같이 6개의 시스템이 모두 관측가능 할 경우, 최소 9기 이상의 가시위성이 확보되어야 고정밀 측위 수행 시 위치결정이 가능한데 포스코사거리 지역에서 확보되는 평균 가시위성 수가 이 조건을 웃도는 수치인 것으로 확인됨에 따라 하루 전체에 대해 안정적인 저사양, 고정밀 측위 수행이 가능할 것으로 예상된다.

(3) 하루 중 측위가능시간 비율(VIS24h)

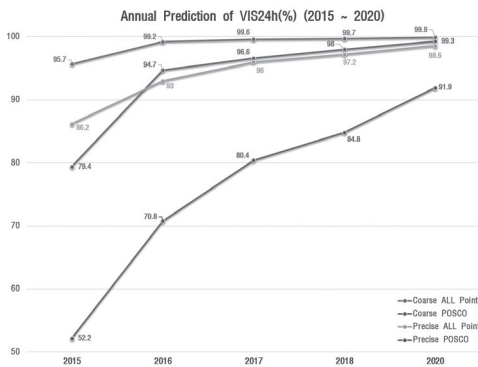


Fig. 8. Annual prediction of VIS24h(%) (2015 ~ 2020)

6개의 항법시스템으로 통합항법 수행 시 하루 중 측위가 능시간 비율의 연도별 추이는 위의 Fig. 8과 같다. 2016년에는 전 지역에서 저사양 측위, 고정밀 측위 수행 시 하루 중 각각 99.2%, 93% 측위가 가능하며, 포스코사거리 지역에서는 각각 하루 중 94.7%, 70.8%의 시간동안 측위가 가능하다. 2017년에 저사양 측위, 고정밀 측위 수행 시 하루 중 각각 99.6%, 98%의 시간동안 전 지역에서 위치결정이 가능하며 포스코사거리 지역에서는 각각 96.6%, 80.4%의 시간동안 위치결정이 가능하다. 2018년에는 전 지역에서 하루 중 각각 99.7%, 97.2%의 시간동안 저사양, 고정밀 측위 수행이 가능하며 이때 포스코사거리 지역에서의 측위가능시간의 비율은 각각 98%, 84.8%이다. 마지막으로 모든 항법시스템이 FOC에 도달하여 총 137기의 위성이 운용될 것으로 예상되는 2020년의 경우, 전 지역에서 하루 평균 99.9%, 98.6% 저사양, 고정밀 측위 수행이 가능하며 포스코사거리 지역에서도 99.3%, 91.9%의 시간동안 위치결정이 가능함을 확인할 수 있다. 포스코사거리 지역에서도 하루 중 90% 이상의 시간동안 고정밀 측위 수행이 가능할 것으로 예상됨에 따라 2020년에는 대부분의 지역에서, 대부분의 시간동안 안정적인 저사양, 고정밀 측위 수행이 가능할 것으로 예상된다.

5. 결론

본 논문에서는 국토교통부 Vworld의 3차원 지도 정보로 서울 강남지역의 건물별 양각과 방위각을 도출하고, 위성의 양각, 방위각과 비교하여 위성 가시성을 시뮬레이션 하였다. 이를 통하여 GPS 단독측위 보다 6개의 항법시스템으로 통합항법을 수행할 때, DOP 성능 및 위치정확도가 좋아지고, 가시위성 수가 많이 확보되며 하루 중 측위가능시간의 비율이 증가하는 연도별 추이를 확인할 수 있었다.

본 논문에서는 선행연구에서 진행한 바 있는 시뮬레이션에 사용자 위치에 따라 달라지는 인근 건물의 영향을 반영하여 보다 현실감 있는 성능예측 결과를 도출할 수 있었으며, 연도별 추이 예측을 통해 도출 결과 값의 활용성을 높일 수 있을 것으로 예상된다. 또한 동일한 알고리즘을 실시간, 위치 별, 위성 시스템 조합별로 선택적으로 적용한다면, 도심지역 측량에 앞서 가시위성 개수 및 하루 중 측위가능 시간, 위치정확도를 예측할 수 있는 지표로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

## 감사의 글

본 연구는 국토교통부 국토교통기술촉진연구사업의 연구비지원(15CTAP-C097385-01)에 의해 수행되었습니다.

## References

- BeiDou Navigation Satellite System (2015), BeiDou navigation satellite system, *Navigation Center*, China, <http://en.beidou.gov.cn/index.html> (last date accessed: 16 December 2015).
- European GNSS Service Centre (2015), European global navigation satellite systems agency, *GNSS Service Centre*, Spain, <http://www.gsc-europa.eu/> (last date accessed: 16 December 2015).
- Federal Space Agency (2015), Information-analytical centre, *Information-analytical Centre*, Korolyov, <https://www.glonass-iac.ru/en/> (last date accessed: 16 December 2015).
- Glen, G. (2014), Ghina plans to complete beidou ahead of schedule, *Inside GNSS*, Oregon, <http://www.insidegnss.com/node/4040> (last date accessed: 15 December 2015).
- Ha, J. and Chun, S. (2010), Current status and development plan of global navigation satellite system, *Current Industrial and Technological Trends in Aerospace*, Vol. 8, No. 2, pp. 46-53. (in Korean with English abstract)
- Heo, M. (2014), GNSS build international situation and our correspondence - we need to build independent satellite navigation system, *The science & Technology*, Vol. 536, No. 1, pp. 52-56. (in Korean)
- ISRO (2015), Indian space research organisation, *Satellite Navigation Programme*, India, <http://isro.gov.in/> (last date accessed: 16 December 2015).
- Joo, J., Cho, J., and Heo, M. (2012), Analysis of GPS-Galileo time offset effects on positioning, *The Journal of the Korean Institute of Communication Sciences(KICS)*, Vol. 37, No. 12, pp. 1310-1317. (in Korean with English abstract)
- JAXA (2015), Japan aerospace exploration agency, *Satellites and Spacecraft*, Japan, <http://global.jaxa.jp/> (last date accessed: 16 December 2015).
- Murai, Y. (2014), Project overview: Quasi-zenith satellite system, *Proceedings of the 27th International Technical Meeting of The Satellite Division of the Institute of Navigation (ION GNSS+ 2014)*, 8-12 September, Tampa, Florida, USA, Vol. 27, pp. 2974-3008.
- Reshetnev, M.F. (2013), Prospects for status and development of GLONASS system space complex, *ICG Annual Meeting*, United Nations Office for Outer Space Affairs, 9-14 November, Dubai, UAE, unpaginated CD-ROM.
- Satellite on the Net (2015), Information on all aspects of the commercial exploitation of space, *Satellite on the Net*, Nairn, <http://www.satelliteonthenet.co.uk/index.php/> (last date accessed: 25 November 2015).
- Seok, H., Lim, C., Yoon, D., and Park, B. (2014), Annual prediction of multi-GNSS navigation performance in urban canyon, *Proceedings of ISGNSS 2014 in Conjunction with KGS Conference*, The Korean GNSS Society, 21-24 October, Jeju, Korea, unpaginated CD-ROM.
- Seok, H., Yoon, D., Lim, C., Park, B., Seo, S., and Park, J. (2015), Study on GNSS constellation combination to improve the current and future multi-GNSS navigation performance, *Journal of Positioning, Navigation, and Timing*, Vol. 4, No. 2, pp 43-55.
- Spaceflight Now (2015), Launch schedule, *Spaceflight Now*, USA, <http://www.spaceflightnow.com/> (last date accessed: 25 November 2015).
- United States Coast Guard Navigation Center (2015), GPS nanus, almanacs, & ops advisories, *Navigation center*, Alexandria, <http://navcen.uscg.gov/> (last date accessed: 10 November 2015).
- Vworld (2015), Information open platform, *Vworld*, Sejong Metropolitan Autonomous City, [http://www.vworld.kr/po\\_main.do/](http://www.vworld.kr/po_main.do/) (last date accessed: 13 November 2015).
- Yoo, K., Kang, T., Sung, S., Lee, E., Jeong, S., Sin, C., Lee, S., and Lee, Y. (2007), Analysis of 3D GIS-based GNSS visibility at urban area, *The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences*, Vol. 35, No. 12, pp. 1095-1100. (in Korean with English abstract)