

# 지상에 배치된 전파항법 신호원의 거리오차 분석

임중수, 채규수, 김영호  
백석대학교 정보통신학부  
e-mail : jslim@bu.ac.kr

## Analysis of HDOP for RF navigation transmitters on the ground

Joong-Soo Lim, Gyoo-Soo Chae, Young Ho Kim  
Division of Information & Communication Eng.,  
Baekseok University

### 요 약

본 논문은 지상에 배치된 전파항법신호원의 배치에 따른 거리측정 정확도 분석에 대한 연구이다. 전파항법 신호원의 배치 형태에 따른 수신기에서의 수평 측위 정확도(HDOP, Horizontal Dilution of Precision)를 제시하였다. 본 논문에서는 다양한 배치에 따른 측위 정확도를 이론적인 연구결과를 이용하여 분석한 결과를 제시하였다. 또한 전파항법신호원의 배치를 위한 시뮬레이터를 구현하였다.

### 1. 서 론

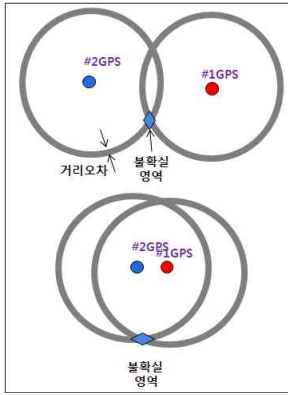
최근에 우리 생활에 위성항법장치들이 널리 사용되고 있다. 특히 최근에는 항공기 정밀이착륙시스템(Local area augmentation system)에 대한 관심이 증가하고 있다. 위성항법시스템은 지상으로부터 약 20,000km 높이에 있는 GPS 위성으로부터 송출 되는 신호를 사용하기 때문에 건물 내부와 같이 위성 신호가 도달할 수 없는 환경에서는 사용할 수 없다. 그리고 군사용의 경우에는 GPS를 이용한 위치기반 항법장치에 대한 중요성과 의존도가 급격히 증가될 것으로 예상된다. 그러나 GPS 신호체계는 공개되어 있기 때문에 전파방해에 취약하여 안정적인 항법 환경을 구축 할 필요성이 제기되고 있다.

이러한 위성항법시스템의 이용범위 제한을 지상에 배치된 전파항법신호원을 이용하여 극복할 수 있다. 전파항법신호원은 지상이나 건물 내부에 설치되어 GPS 신호를 송신하는 장치이다. 전파항법신호원 기술은 위성항법 관련 기술 중에서도 가장 난이도가 높은 기술이며, 공장 자동화 뿐만 아니라, 항공기 정밀 착륙, 선박항구 정밀 진입, 대형 구조물 안전점검, 농기계 자동화, 군수분야 등과 같이 위성항법시스템의 응용범위를 획기적으로 확장시키는 중요한 기술이므로 가까운 장래에 위성항법시장에 버금가는

규모의 시장이 형성될 잠재력이 있다고 판단된다.

### 2. 본론

GPS 위치측정 시 정확성을 감소시키는 요인으로 인공위성 시간오차, 위치오차, 전리층과 대류층의 굴절, 신호잡음, 다중경로, 인공위성의 기하학적 배치 그리고 SA(Selective Availability) 등이 있다. 이러한 요인들이 수신기 위치 측위 시 오차를 유발하는데 이것을 자승평균사용자위치오차(UERE: User Equivalent Range Error)라고 한다[1-3]. 본 연구에서는 전파항법 신호원과 수신기의 기하학적 배치에 따라 결정되는 오차를 중심으로 분석하였다. 최적의 항법정확도를 확보하기 위해서는 기하학적 배치의 척도인 DOP(Dilution Of Precision)가 최소화 되도록 전파항법 신호원의 위치를 선정하여야 한다. 이를 위해 신호원 서비스지역의 지형지물 등 전달경로를 분석하여 신호원으로부터 방사되는 전파의 분포를 계산하는 프로그램의 개발이 요구된다. 본 연구에서는 지상에 구축되는 전파항법송신기의 전파가 지형지물에 의한 영향을 최소화 하는 최적의 위치를 찾는 방법이 수행 되었다.



[그림 1] 전파항법신호원 배치와 측위오차

그림 1에서는 신호원의 배치에 따른 거리측정 정확도를 표시하고 있다. 각 신호원이 고르게 분포하는 경우 정확도가 증가하고 신호원이 너무 가까이 분포하는 경우 불확실 영역이 증가하게 된다. 거리측정 정확도에 영향을 주는 여러 가지 요인 들이 있지만 본 논문에서는 공간적인 분포만 고려하였다. 신호원의 공간적인 분포에 따른 측위 정확도는 다음과 같이 구해진다[4].

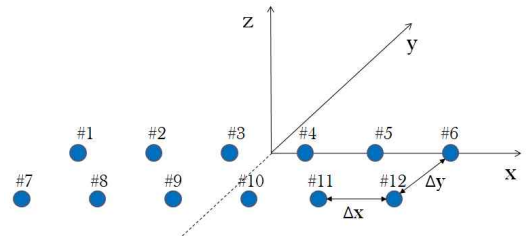
$$Q = (H^T H)^{-1} = \begin{bmatrix} d_x^2 & d_{xy}^2 & d_{xz}^2 & d_{xt}^2 \\ d_{xy}^2 & d_y^2 & d_{yz}^2 & d_{yt}^2 \\ d_{xz}^2 & d_{yz}^2 & d_z^2 & d_{zt}^2 \\ d_{xt}^2 & d_{yt}^2 & d_{zt}^2 & d_t^2 \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서, H 행렬은 다음과 같이 표현된다.

$$H = \begin{bmatrix} \frac{(x_1 - x_o)}{\rho_o^1(t)} & \frac{(y_1 - y_o)}{\rho_o^1(t)} & \frac{(z_1 - z_o)}{\rho_o^1(t)} & 1 \\ \frac{(x_2 - x_o)}{\rho_o^2(t)} & \frac{(y_2 - y_o)}{\rho_o^2(t)} & \frac{(z_2 - z_o)}{\rho_o^2(t)} & 1 \\ \frac{(x_3 - x_o)}{\rho_o^3(t)} & \frac{(y_3 - y_o)}{\rho_o^3(t)} & \frac{(z_3 - z_o)}{\rho_o^3(t)} & 1 \\ \frac{(x_4 - x_o)}{\rho_o^4(t)} & \frac{(y_4 - y_o)}{\rho_o^4(t)} & \frac{(z_4 - z_o)}{\rho_o^4(t)} & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

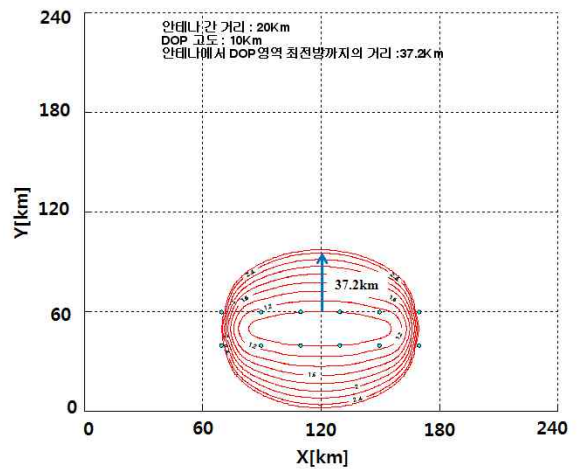
여기서,  $\rho_o^i(t)$ 는  $i$ 번째 위성으로부터 수신기의 대략적인 위치까지의 거리를 나타내며,  $(x_o, y_o, z_o)$ 는 수신기의 위치이며  $(x_i, y_i, z_i)$   $i$ 번째 위성의 위치이다.

$$HDOP = \sqrt{d_x^2 + d_y^2} \quad (3)$$

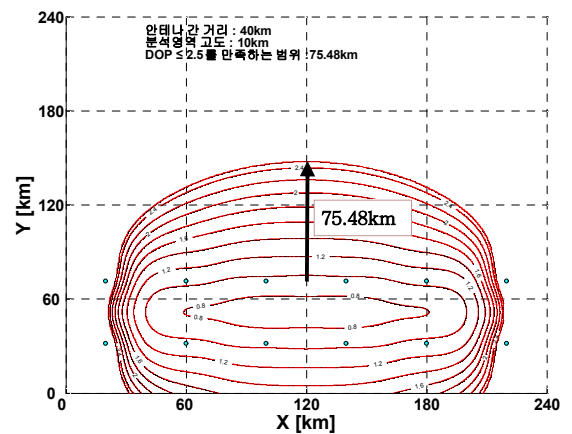


[그림 2] 제안된 전파항법신호원 배치 구조

그림 2에서는 신호원의 배치구조를 보여주고 있다. 12개의 신호원이 2열로 배치되어 있고 x, y축 방향으로 이격거리를  $\Delta x, \Delta y$ 로 하였다. 이러한 배치에서 안테나 배치영역의 상공 10km에서 거리 측위 정확도를 계산하였다. 그림 3에서는 안테나 간 이격거리가 20km인 경우에 DOP가 2.5 이하인 영역을 표시하고 있다. 안테나 기준선으로부터 37km정도 까지 범위에서 정확도를 유지하는 것으로 계산되었다.



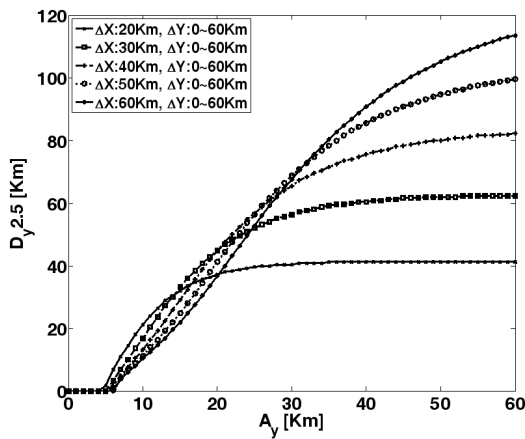
[그림 3] 신호원의 이격 거리(20km)에 따른 HDOP 분포



[그림 4] 신호원의 이격 거리(40km)에 따른 HDOP 분포

그림 4에서는 안테나 간 이격거리가 40km 인 경우에 정확도는 더 큰 범위에서 나타나고 있음을 볼 수 있다. 이것은 안테나 배치의 좌우 폭(x축 방향)이 안테나 기준선에서 일정 정확도를 만족하는 영역까지의 거리와 밀접한 관계가 있음을 보여주고 있다.

그림 5에서는 앞의 결과를 정리하여 +y축 상으로 이동하면서 DOP가 2.5이하인 지점까지의 거리를 나타내었다. 그림에서 보듯이 안테나간의 간격이 넓을수록 y축 상으로 먼 영역 까지 일정 수준의 정확도를 확보 할 수 있음을 알 수 있다.



[그림 5] 신호원의 배치에 따른 y축 상에서의 HDOP

### 3. 결론

본 논문에서는 지상에 설치된 전파항법신호원의 위치에 따른 거리측정 정확도를 분석하였다. 전파항법신호원의 배치와 그에 따른 정확도를 계산하는 프로그램을 개발하여 그 결과를 제시하였다. 신호원의 배치결과가 이론적인 결과에서 예측된 것과 유사한 특성을 얻었다. 본 연구결과를 바탕으로 신호원의 개수를 최소화 하면서 넓은 지역에서 거리 측정 정확도를 높일 수 있는 방법을 제시할 수 있을 것으로 기대된다.

### 참고문헌

[1] E. D. Kaplan and C. J. Hegarty, *Understanding GPS, Principles and Applications*, Artech House, Norwood, MA, 2006.  
 [2] Richard Curry, *Radar System Performance Modeling*, Artech Huse, Boston, 2001.

[3] B. R. Mahafza, *Radar Systems Analysis and Design Using Matlab*, Chapman and Hall/CRC, NY, 2000.  
 [4] R. O. Nielsen, "Relationship Between Dilution of Precision for Point Positioning and for Relative Positioning with GPS," *IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems*, vol. 33, no. 1, pp. 333-338, Jan., 1997