

논문 2011-48TC-10-3

위성항법시스템기반의 도심지역 음영해소를 위한 위치오차 측정에 관한 연구

(A Study on the Location Error Measurement to Resolve the Problem
of Weak Signal Areas for Satellite Navigation System)

박 지 호*

(Chi-Ho Park)

요 약

이 논문은 위성항법시스템을 이용한 위치측위에서 지역별 특성에 따른 위치오차실험을 통하여, 음영지역 발생 원인과 해결 방법을 제안하기 위한 연구이다. 동적측위에서 이동체는 이동 위치에 따라 사용할 수 있는 위성항법시스템의 수가 변화한다. 정확한 위치측위를 위해서는 4개 이상의 위성항법시스템으로부터 위치정보데이터를 수신 받아야 한다. 하지만 급격한 산업화와 열악한 지역 환경으로 위치오차가 커지고 음영지역이 발생한다. 이러한 위치오차를 줄이고 음영지역 발생을 해소하기 위해서는 대도시의 환경과 지역 환경 특성에 따른 원인을 파악하는 것이 중요하다. 따라서 본 논문에서는 대도시, 주택 지역, 숲 지역, 바다 지역, 대지 등을 선정하여 위치오차와 음영지역 발생 원인을 실험하였다. 그리고 이 논문을 기반으로 지역 환경에 따른 적합한 고정밀 측위 알고리즘을 제안하고, 음영지역해소 알고리즘을 제안하려고 한다.

Abstract

This study is to explore the causes for weak signal areas and suggest solutions for the problem of weak signal areas through the experiments for location error of satellite navigation system depending on the characteristics of locations. For kinematic point positioning, a moving object can have different number of satellite navigation systems available depending on its location. It has to receive location data from at least four satellite navigation systems for precise point positioning. However, drastic urbanization and poor surroundings have caused greater location error and weak signal areas. To reduce location error and remove the occurrence of weak signal areas, it is necessary to verify the characteristics of metropolitan surroundings. Therefore, experiments were conducted to measure location error and discover the causes for the occurrence of weak signal areas in metropolitan area, residential area, woods, ocean area, and open ground. In addition, this study suggests a point positioning algorithm with high precision suitable for local surroundings and an algorithm to remove weak signal areas.

Keywords : Satellite Navigation System,, HDOP

I. 서 론

현재 활용되고 있는 위성항법시스템의 대부분 기술

* 정회원, 대구경북과학기술원
(Daegu Gyeongbuk Institute of Science & Technology)

※ 본 연구는 2011년 교육과학기술부에서 지원하는 대구경북과학기술원 기관고유사업에 의해 수행되었습니다. (과제번호 : 11-IT-02)

접수일자: 2011년6월13일, 수정완료일: 2011년10월17일

은 1982년 이전에 많은 논문에서 발표되었던 GPS(Global Positioning System)의 고정확도 측위기술이다. 이 후 GPS시스템 가격이 저렴해지고, GPS의 근대화 와 GPS의 보완이 추가되면서 지상, 해상, 항공 등 다양한 분야에서 새로운 활용방법이 시도되고 있다. 위성항법시스템은 관성항법시스템(INS : International Navigation System)에 비하여 위치 정확도를 획기적으로 향상시킨 전파항법의 일종으로 지구 전역을 10m 정

도의 오차 범위에서 위치정보를 제공하는 기술이다. 초기 군사용 목적으로 만들어진 미국의 GPS가 1990년대 민간에 개방되면서 차량 항법, 항공기, 통신, 과학, 농업, 탐사 등에 이르는 다양한 산업에 폭넓게 이용되고 있다, 또한 구소련의 위성항법시스템인 GLONASS도 민간에 개방되면서 그 활용도가 더욱 다양해지고 있으며, 최근에는 유럽연합의 Galileo, 중국의 Beidou/Compass, 일본의 QZSS 등과 같은 추가적인 위성항법시스템의 활용이 가능해 지고 있다. 최근에는 이러한 다양한 위성항법시스템을 통합하고, 기존 시스템을 보완한 전 지구적인 항법위성시스템(GNSS : Global Navigation Satellite System)을 연구하고 있다^[3~6]. 이 시스템의 가장 큰 장점은 항법의 정확도, 편리성, 연속성, 연속적인 사용성, 완전성 등이 총체적으로 개선되는 것이다. GNSS의 중요한 사항은 주파수 대역 할당으로, 최근 주파수 할당에 대한 협의는 세계 무선통신회의 2000(WRC2000)에서 L1-밴드는 1575.42MHz, L2-밴드는 1227.60MHz, L5-밴드는 1176.45MHz로 할당하였다. 이렇듯 위성 수의 증가와 다중 주파수 사용은 연속성과 정확도 등의 문제점을 일부 해결할 수 있게 되었다. 하지만 현재 전지구의 47%나 되는 실외 음영지역을 어느 정도 해결할 수 있는지 아직도 미지수이다^[1~2]. 물론 위성수의 증가로 실외 음영지역을 어느 정도 해결할 수 있으나, 반대로 급속도로 발전하는 산업화 속에서 실외 음영지역은 더욱 증가하게 되므로 근본적인 해결책이 될 수는 없다. 이러한 음영지역은 대도시를 중심으로 급속도로 확산되고 있는 것이 사실이다. 하지만 대도시뿐만 아니라 다른 지역도 지역 환경의 특성상 음영지역이 늘어날 수 있는 환경을 가지고 있다. 따라서 대도시 외에 다른 지역도 음영지역에 대한 특성을 정확히 파악하는 것이 중요하다. 또한, 지역 환경에 따라 음영지역 해소 방법이 다양하게 적용될 수 있기 때문이다. 본 논문에서는 도심지역에서의 신뢰성있고, 안전성이 확보되는 알고리즘을 제안하기 위하여 도심지역 환경 변화에 따른 거리오차를 측정하였다. 이와 비교하여 지역 특성이 상이한 숲 지역, 주택지역, 바다지역, 대지 등을 구분하여 거리오차를 측정하였다. 측정 방법은 지역에 따른 위성 수의 변화와 수평 정확도 저하율(HDOP)을 측정하였다. 이 실험은 차 후 고정밀 측위 알고리즘을 제안하는 기본 자료가 될 것이며, 다양한 음영지역해소 알고리즘을 제안하는 기본이 될 것이다.

II. 본 론

1. 문제점 및 연구내용

급속한 산업화의 발전으로 도심지가 확대되어 위성항법시스템을 사용할 수 있는 환경이 점점 열악해 지고 있다. 그림 2-1은 도심에서의 실외 위성항법시스템 수신 상황을 나타내고 있다.

그림 2-1과 같이 위성항법시스템은 3차원 위치측위를 하므로 항상 4개 이상의 위성항법시스템으로부터 위치정보데이터를 받아야 위치를 계산할 수 있다. 많은 위성항법시스템으로부터 위치정보데이터를 수신할 경우, 수신기는 위치 측위에 적합한 위성을 선택 및 오차요소를 제거할 수 있어 보다 정밀한 위치측위를 할 수 있다.

하지만 도심이나 숲 지역에서는 위성항법시스템으로부터 송신되는 항법정보데이터가 높은 건물이나 숲에 가려져 수신기에서 제대로 수신할 수 없는 상황이 빈번히 발생한다, 이러한 경우 위치 오차가 커지거나 실외 음영지역이 발생하게 된다. 따라서 외부 장애물에 의한 음영지역 발생을 해결하기 위해서 많은 논문에서 다양한 알고리즘을 제안하고 있다. 하지만 위성항법시스템이 갖고 있는 내재적인 특성으로 인해 해결이 쉽지 않은 것이 사실이다.

그림 2-2는 위성항법시스템을 이용한 삼각 측정법에 대한 설명이다.

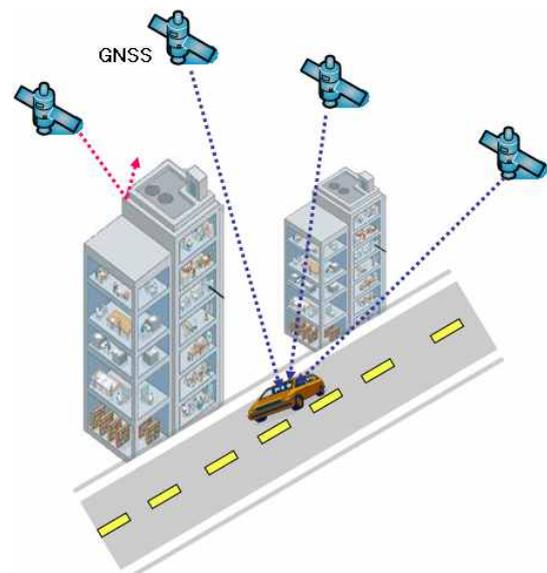


그림 2-1. 도심에서의 위성측위시스템 수신 상황
Fig. 2-1. Receive Situation of Satellite Navigation System in Metropolitan Area.

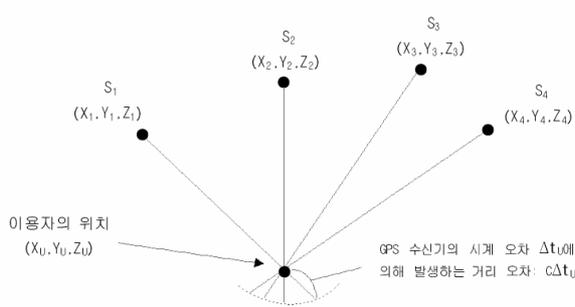


그림 2-2. 위성항법시스템의 삼각측정법
Fig. 2-2. Triangle measurement method of satellite navigation system.

$$\begin{aligned}
 (X_1 - X_u)^2 + (Y_1 - Y_u)^2 + (Z_1 - Z_u)^2 &= (C\Delta t_1 - C\Delta t_u)^2 \\
 (X_2 - X_u)^2 + (Y_2 - Y_u)^2 + (Z_2 - Z_u)^2 &= (C\Delta t_2 - C\Delta t_u)^2 \\
 (X_3 - X_u)^2 + (Y_3 - Y_u)^2 + (Z_3 - Z_u)^2 &= (C\Delta t_3 - C\Delta t_u)^2 \\
 (X_4 - X_u)^2 + (Y_4 - Y_u)^2 + (Z_4 - Z_u)^2 &= (C\Delta t_4 - C\Delta t_u)^2
 \end{aligned}
 \tag{2.1}$$

그림 2-4는 정상적인 상황에서 위성항법시스템으로부터 위치정보데이터를 받는 경우의 측정방정식 결정을 나타낸다.

그림 2-4와 같이 위성을 추적중이라면 식 (2.2)와 같은 측정 방정식을 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned}
 \sqrt{(x_1 - x_u)^2 + (y_1 - y_u)^2 + (z_1 - z_u)^2} &= \rho_1 + CB \\
 \sqrt{(x_2 - x_u)^2 + (y_2 - y_u)^2 + (z_2 - z_u)^2} &= \rho_2 + CB \\
 \sqrt{(x_3 - x_u)^2 + (y_3 - y_u)^2 + (z_3 - z_u)^2} &= \rho_3 + CB \\
 \sqrt{(x_4 - x_u)^2 + (y_4 - y_u)^2 + (z_4 - z_u)^2} &= \rho_4 + CB
 \end{aligned}
 \tag{2.2}$$

여기서 ρ 는 의사거리, (x_u, y_u, z_u) 는 수신기 위치, CB(Clock Bias)는 시계오차를 나타낸다.

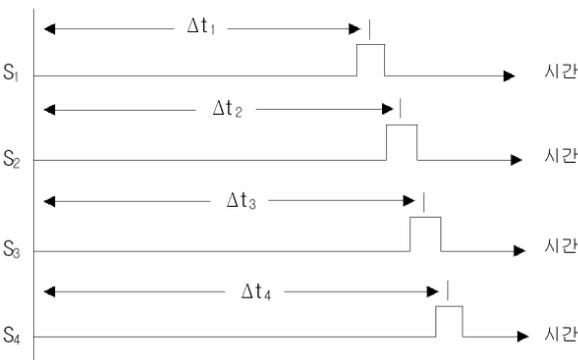


그림 2-3. 위성항법시스템의 삼각측정법에 따른 도달 시간
Fig. 2-3. Arrival time of triangle measurement method of satellite navigation system.

2. 다양한 지역 환경에서의 위치오차 측정

동적단독측위는 시간에 따라 변화되는 이동체의 3차원 궤도결정에 사용된다. 동적단독측위의 전형적인 예가 바로 이동체의 항법이다. 동적단독측위에서 이동체는 이동 위치에 따라 사용할 수 있는 위성항법시스템의 수가 변한다. 그 이유로는 이동체의 장소가 바뀌고, 높은 건물이나 장애물에 의해 위성이 가려지고, 시간이 흐름에 따라 위성의 이동 등 다양한 이유가 있을 것이다. 이러한 이유로 경우에 따라 4개 이상 또는 4개 이하의 위성항법시스템으로부터 위치정보데이터를 받는다. 이동체의 위치 정확도는 위성항법시스템의 수에 따라 계속 변하게 된다. 이러한 불확실한 위치 정확도의 문제점을 해결하기 위해서는 지역 환경에 따른 오차를 파악하는 것이 중요하다.

그림 2-4. 측정 방정식 결정
Fig. 2-4. Measurement Equation Result.

그림 2-3은 위성항법시스템의 삼각 측정법에 따른 도달 시간을 나타낸다.

식 (2.1)은 그림 2-2와 그림 2-3을 이용한 위성항법시스템의 삼각측정법에 따른 거리 계산을 위한 해를 나타낸다.

HDOP(Horizontal Dilution of Precision)는 수평좌표의 위치 정밀도를 방해하는 정도를 나타낸다. 즉, 수평 위치 정밀도 저하율로써 그 수치가 적을수록 위치 좌표의 정확성은 높아진다. 이동체의 항법에선 수평적 위치 오차가 가장 중요하다고 볼 수 있다. 위성의 수가 늘어나면 HDOP값이 내려가고 정확도도 우수해지며, HDOP의 값이 올라가면 위성 수는 줄어들고 정확도도 떨어진다. 또한 위성간 간격에 HDOP의 값도 영향을

받는다. 즉 위성간의 간격이 멀어지면 HDOP의 값이 내려가고, 위성간의 간격이 좁아지면 HDOP의 값은 올라간다. 이렇듯 HDOP값은 수평지역 정밀도 값 결정의 척도가 된다.

위의 식 (2.2)와 같이 얻은 측정 방정식을 선형화하면 식 (2.3)을 얻을 수 있고, 최소자승법을 이용하여 식 (2.4)와 같은 항법해를 구할 수 있다. 식 (2.4)에서 ω 는 가중치이다.

$$\delta\rho = \begin{pmatrix} \delta\rho_1 \\ \delta\rho_2 \\ \delta\rho_3 \\ \delta\rho_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{\partial\rho_1}{\partial x} & \frac{\partial\rho_1}{\partial y} & \frac{\partial\rho_1}{\partial z} & \frac{\partial\rho_1}{\partial cb} \\ \frac{\partial\rho_2}{\partial x} & \frac{\partial\rho_2}{\partial y} & \frac{\partial\rho_2}{\partial z} & \frac{\partial\rho_2}{\partial cb} \\ \frac{\partial\rho_3}{\partial x} & \frac{\partial\rho_3}{\partial y} & \frac{\partial\rho_3}{\partial z} & \frac{\partial\rho_3}{\partial cb} \\ \frac{\partial\rho_4}{\partial x} & \frac{\partial\rho_4}{\partial y} & \frac{\partial\rho_4}{\partial z} & \frac{\partial\rho_4}{\partial cb} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \delta x \\ \delta y \\ \delta z \\ \delta cb \end{pmatrix} = G \cdot \delta u \quad (2.3)$$

$$\delta u = (G^T \omega G)^{-1} G^T \omega \delta \rho \quad (2.4)$$

식 (2.4)에서 구한 수신기 위치의 분산값을 구해보면 식 (2.5)와 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} cov(du) &= E(du \cdot du^T) \\ &= (G^T G)^{-1} G^T E(d\rho \cdot d\rho^T) G (G^T G)^{-1} \\ &= E(d\rho \cdot d\rho^T) \cdot (G^T G)^{-1} \cdot G^T G \cdot (G^T G)^{-1} \\ &= I_{n \times n} \cdot \sigma_{URE}^2 \cdot (G^T G)^{-1} \\ &= \begin{pmatrix} \sigma_{x_u}^2 & \sigma_{x_u y_u}^2 & \sigma_{x_u z_u}^2 & \sigma_{x_u cb}^2 \\ \sigma_{y_u x_u}^2 & \sigma_{y_u}^2 & \sigma_{y_u z_u}^2 & \sigma_{y_u cb}^2 \\ \sigma_{z_u x_u}^2 & \sigma_{z_u y_u}^2 & \sigma_{z_u}^2 & \sigma_{z_u cb}^2 \\ \sigma_{ct_u x_u}^2 & \sigma_{ct_u y_u}^2 & \sigma_{ct_u z_u}^2 & \sigma_{cb}^2 \end{pmatrix} \end{aligned} \quad (2.5)$$

식 (2.5)에서 $(G^T G)^{-1}$ 을 식 (2.6)과 같이 다시 정의할 수 있다.

$$(G^T G)^{-1} = \begin{pmatrix} D_{11} & D_{12} & D_{13} & D_{14} \\ D_{21} & D_{22} & D_{23} & D_{24} \\ D_{31} & D_{32} & D_{33} & D_{34} \\ D_{41} & D_{42} & D_{43} & D_{44} \end{pmatrix} \quad (2.6)$$

여기서 σ_{URE}^2 의 UERE는 (User Equilibrant Range Error)을 나타낸다.

위의 식을 이용하면 수평 정확도 저하율(HDOP : Horizontal Dilution of Precision)을 식 (2.7)과 같이 구할 수 있다^[7].

$$HDOP = \frac{\sqrt{\sigma_{x_u}^2 + \sigma_{y_u}^2}}{\sigma_{URE}} = \sqrt{D_{11} + D_{22}} \quad (2.7)$$

위의 식(2.7)과 같이 수학적으로 HDOP 산술식을 구하였다. 이를 바탕으로 실제 다양한 환경에서의 위치오차 실험을 실시하였다. 우리는 이러한 지역적 오차 환경 요인 및 오차 특성을 파악하기 위하여 테스트 선정 기준을 마련하였다. 우선 테스트 선정 기준으로 수치지도의 등고선이 잘 구축되어 있는 지역을 선정하였으며, 날씨, 고층 건물, 고가 도로 및 지하차도 등 위성항법시스템 정확도에 영향을 미치는 요인을 고려하여 선정하였다. 또한 날씨에 의한 오차를 줄이기 위하여 구름이 없는 맑은 날에 진행하였다.

그림 2.5는 대표적인 빌딩 밀집지역인 강남지역으로



그림 2-5. 도심 지역
Fig. 2-5. Metropolitan Area.



그림 2-6. 주택 지역
Fig. 2-6. Residential Area.

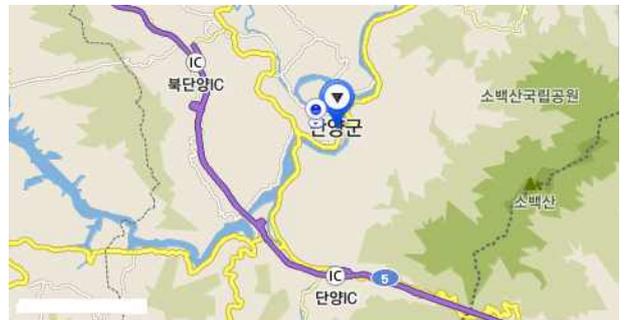


그림 2-7. 숲 지역
Fig. 2-7. Wood Area.



그림 2-8. 바다 지역
Fig. 2-8. Ocean Area.



그림 2-9. 대지 지역
Fig. 2-9. Open Ground.

넓은 대로와 좁은 길이 공존하는 지역에서 실험하였다. 그림 2.6은 저층의 주택가와 아파트단지가 공존하는 면목동 지역에서 실험하였다.

그림 2.7은 숲이 많고 산이 높은 단양지역에서 실험하였다.

그림 2.8은 대표적인 바다 주변인 포항 주변을 나타낸다.

그림 2.9는 대표적인 평야지역인 논산 지역을 나타낸다.

III. 실험

지역 환경별 시간 변화에 따른 위성수의 변화와 수평 정확도를 검출하기 위하여 수평 정확도 저하율(HDOP : Horizontal Dilution of Precision)을 구하였다.장비로는 노트북 LG XNOTE C1과 글로벌셋의 BU-353 GPS 수신기를 사용하였다. 테스트 환경은 위성항법시스템의 특성을 고려하여 도심 지역, 주택 지역, 숲 지역, 대지 그리고 바다 지역 등으로 선정하여 실험하였다.

그림 3-1은 도심 지역에서의 시간에 따른 위성항법시스템 수 변화와 HDOP를 나타내고 있다. 그림 3-2는

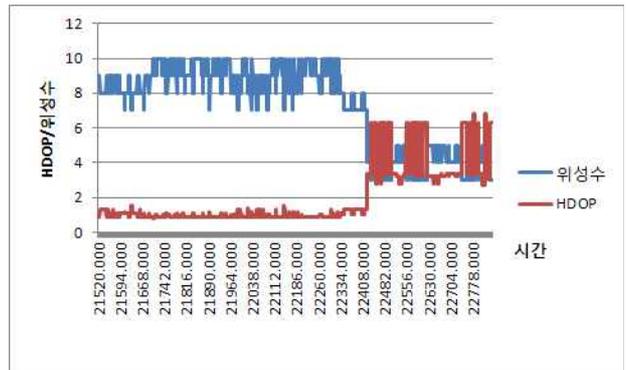


그림 3-1. 도심 지역에서의 HDOP와 위성항법 시스템 수
Fig. 3-1. HDOP and Satellite Navigation System numbers on Metropolitan Area.

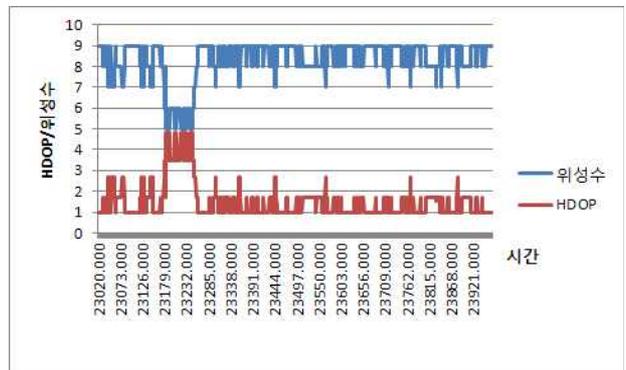


그림 3-2. 주택 지역에서의 HDOP와 위성항법시스템 수
Fig. 3-2. HDOP and Satellite Navigation System numbers on Residential Area.

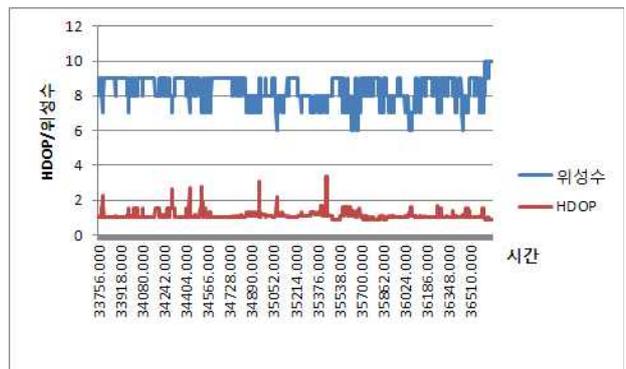


그림 3-3. 숲 지역에서의 HDOP와 위성항법시스템 수
Fig. 3-3. HDOP and Satellite Navigation System numbers on Wood Area.

주택 지역에서의 시간에 따른 위성항법시스템 수 변화와 HDOP를 나타내고 있다. 그림 3-3은 숲 지역에서의 시간에 따른 위성항법시스템 수 변화와 HDOP를 나타내고 있다.

그림 3-4는 대지에서서의 시간에 따른 위성항법시스템 수 변화와 HDOP를 나타내고 있다. 그림 3-5는 바다

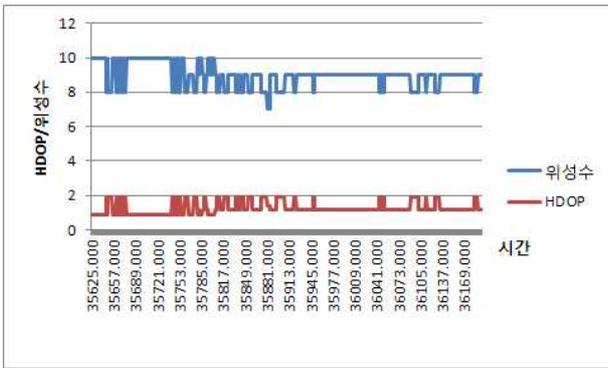


그림 3-4. 대지에서의 HDOP와 위성항법시스템 수
Fig. 3-4. HDOP and Satellite Navigation System numbers on Open Ground.

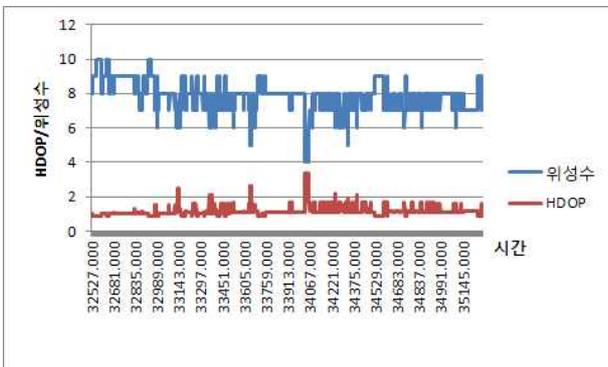


그림 3-5. 바다 지역에서의 HDOP와 위성항법시스템 수
Fig. 3-5. HDOP and Satellite Navigation System numbers on Ocean Area.

지역에서의 시간에 따른 위성항법시스템 수 변화와 HDOP를 나타내고 있다.

IV. 결 론

위의 실험 결과에서 알 수 있듯이 지역 환경별 시간 변화에 따른 위성항법시스템 수가 변화하고, HDOP의 변동폭을 알 수 있다. 이 실험을 통해 위성수와 HDOP 값의 관계를 표 4-1과 같이 알 수 있었다.

물론 지역 및 사용하는 위성의 위치에 따라 조금의 편차는 있을 수 있으나 대략 표 4-1과 같은 범위에서 위치오차가 발생한다. 지역별 상황에 따른 오차로는 빌딩 밀집 지역은 강남대로의 특성상 왕복 10차선이 넘는 도로이다. 따라서 특별한 장애물이 없어 위성항법시스템으로부터 위치정보데이터를 수신 받는데 큰 문제가 없었다. 하지만 좁은 골목길로 이동하면서 건물들에 의한 장애가 발생하여 위성항법시스템의 수가 급격히 줄어들고, HDOP의 값이 높아지는 것을 알 수 있다. 주택

표 4-1. 위성 수와 HDOP의 값
Table 4-1. Satellite numbers and HDOP.

위성 수	HDOP	비고
10	0.9 ~ 1.0	
9	0.9 ~ 1.0	위성수가 9개 이상 부터는 HDOP의 값에 변화가 없음
8	1.0 ~ 1.5	
7	1.1 ~ 1.7	
6	1.4 ~ 2.2	
5	1.5 ~ 3.2	급격하게 HDOP의 값이 높아짐
4	2.8 ~ 3.4	
3	6.3 ~ 9.7	변동이 심함

지역은 낮은 빌라지역이라 위성항법시스템으로부터 위치정보데이터를 수신 받는데 아무 문제가 없었다. 하지만 고층 아파트 단지로 접어들면서 약간의 장애가 생겨 위성수의 감소와 HDOP의 값이 높아짐을 알 수 있다. 숲 지역은 나무나 숲 또는 높은 산으로 인해 가끔 HDOP의 값이 올라가나 이동체의 특성상 그 지역을 벗어나 대체적으로 안정적으로 데이터를 수신 받는 것을 알 수 있다. 하지만 산악지역의 경우 위성 수가 6개를 못 넘는 곳이 많았다. 대지는 장애물의 영향을 거의 받지 않으므로 안정적으로 데이터를 수신함을 알 수 있다. 바다지역은 대지와 마찬가지로 주변 장애물의 영향을 받는 곳이 없어 수신율이 좋았다. 실험 전 바다라는 특성으로 반사파의 영향을 예측하였으나 반사파의 영향은 크지 않았다. 또한 위의 실험은 실험 시간이 일정하지 않고 동일 시간에 측정 한 것이 아니므로 모든 지역이 같은 조건이라고 판단 할 수 없다. 그리고 위성의 간격 및 사용 위성도 일정 부분 영향을 주었을 것으로 판단된다. 위의 실험으로 파악한 지역별 거리 오차와 실외 음영지역 발생률은 대도시 주변이 가장 심각함을 알 수 있었다. 따라서 대도시를 중심으로 음영지역을 해소한다면 많은 부분의 음영지역이 해소될 거라 판단된다. 다음 논문에서 제안하게 될 위성항법시스템과 비전시스템을 융합한 실외 음영지역 해소 알고리즘은 도심 지역을 기준으로 알고리즘을 제안하려고 한다. 특정 건물을 대상으로 비전시스템을 적용하게 되므로 도심지역의 인프라를 최대한 활용하려고 한다.

참 고 문 헌

- [1] Elliott D. Kaplan, Understanding GPS : Principles and Applications, Artech House, 1996
- [2] Bradford W. Parkinson, James J. Spiker Jr., et al., Global Positioning System : Theory and Applications, Volume I and Volume II, American Institute of Aeronautics and Astronautics. 1996.
- [3] Pratap Mitra, Per Enge, Global Positioning System : Signals, Measurements and Performance, Ganga-Jamuna Press, 2001.
- [4] James Bao-yen Tsui, Fundamentals of Global System Receivers A Software Approach, John Wiley & Sons, Inc. 2000.
- [5] Kai Borre, Dennis M. Akos, Nicolaj Bertelsen, Peter Rinder, Soren Holdt Jensen, A Software-defined GPS and Galileo Receiver, Birkhauser, 2000.
- [6] Ramjee Prasad, Marina Ruggieri, Applied Satellite Navigation Using GPS, Galileo, and Augmentation Systems, Artech House, 2005.
- [7] B.Hofmann-Wellenhof, H.Lichtenegger, J.Collins, 서용철 옮김, GPS 이론과 응용, 시그마프레스.

저 자 소 개



박 지 호(정회원)

1998년 남서울대학교 정보통신
공학과 학사 졸업.

2001년 광운대학교 전자통신
공학과 석사 졸업.

2008년 광운대학교 전자통신
공학과 박사 졸업.

현재 대구경북과학기술연구원 선임연구원
<주관심분야 : 스테레오 비전, 스테레오 매칭,
HW 아키텍처>