

저층건물 밀집지역에서의 GPS 정확성 분석

김유진*, 김진만**, 임좌상*

상명대학교 디지털 미디어학부*, 상명대학교 일반대학원**,

The analysis of GPS accuracy in low-rise and high-density environment.

Kim, Yoo-Jin Kim, Jin-Man Lim, Joa-Sang

SangMyung University

E-mail : myeels@gmail.com, jmkim@smu.ac.kr, jslim@smu.ac.kr

요 약

우리의 생활 속 GPS를 이용한 서비스의 활용분야는 점점 더 넓어지고 있다. 사용자들이 요구하는 GPS 서비스 품질이 높아지면서 GPS의 정확성을 저하시키는 제한적인 상황들은 정확성 제고를 위한 보정을 필요로 한다. 본 연구에서는 도심 내 단층건물 밀집지역이 GPS 정확성을 떨어뜨리는 오차 요인이라고 가정하고 실험을 수행하였다. 평균 2m 간격으로 밀집된 단층 건물들 사이에서의 GPS의 정확성을 측정하였으며 그 결과 밀집된 단층건물에서 다중경로 효과로 인한 위도 경도 상의 오차범위와 절대적 오차범위를 산출할 수 있었다. 이것을 바탕으로 단층건물의 밀집도가 관측점에 위치되어 있는 고층건물보다는 GPS 수신에 더 적은 영향을 미친다는 결론을 도출하였다. 이러한 GPS 정확성은 앞으로 밀집도가 서로 다른 지역에서의 GPS 서비스와 건물의 높이에 따른 GPS 정확성 연구에 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

1. 서론

GPS는 지구의 기준좌표계에 대해서 그 위치를 알고 있는 궤도상의 위성으로부터 지상, 바다, 하늘과 우주에 존재하는 미지의 지점까지의 거리를 포함한 위치를 측정하는 시스템이다.

GPS로 정확한 위치정보를 얻기 위해서는 여러 가지 오차 요인들을 극복하는 보정과 측위가 필요하다. 건물의 형태나 위치, 높낮이가 다른 경우에도 GPS 정확성이 달라질 수 있다. 높은 건물들이 많은 지역에서의 GPS 수신은 신호의 반사각 때문에 그 정확성이 많이 떨어진다.

본 연구에서는 이미 많이 연구되어진 고층건물이 위치한 지역이 아닌 3~4층의 단층건물들이 밀집되어 있는 공간을 GPS의 오차 요인이라고 가정하였다. 따라서 건물의 높이가 아닌 건물의 밀집도

에 영향을 받는 GPS의 정확성을 실험하였다. 또한 고층건물이 관측점에 존재할 때의 결과와 비교 해 보고 어느 쪽이 더 심각하게 GPS 수신오류에 영향을 주는 지도 비교하였다. 이러한 연구는 여러 건물들이 밀집된 지역에서의 GPS 정확성을 높이는 연구에 활용 할 수 있고 더 좋은 GPS 활용방안을 도출 할 수도 있을 것이다.

2. GPS 기본 이론과 측위 오차

정확하고 신뢰할 수 있는 측위를 위해서는 기본적으로 하나의 지점에 대한 동시 측위 가능한 위성이 4개 또는 그 이상이 확보되어야 한다. Rempel and Rodgers(1997)에 따르면 3개의 위성일 때보다 4개의 위성일 때 GPS의 오류가 65m에서 10m 보다 더 적게 줄어든다. 이것은 위성과

GPS 수신기 간의 시계오차에 따른 보정의 필요성에 의해 3개의 위치정보를 보정하도록 4개 요인의 정위가 필수적이기 때문이다. 이렇게 4개의 위성에 의해 구해진 보정된 거리 값을 의사거리라고 한다.

그러나 GPS를 통한 거리측정에는 몇 가지 계통적 오차 요인들이 존재하며 실제로 이로 인한 오차의 크기는 작게는 수 cm 에서 크게는 수백 m 에 이른다. 거리 측정 시 발생하는 계통적 오차의 종류는 (1) 위성요인 (시계편의, 궤도오차), (2) 신호전파 (전리층과 대류권 굴절) (3) 수신기 (안테나 편심 차, 시계 편의, 다중경로)와 같은 다양한 원인에 의해 발생한다.

2.1 단독측위와 신호

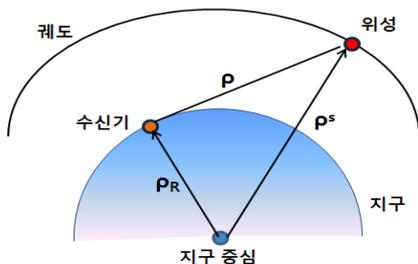


그림 1 · 위성 측위 원리
(출처: Hofmann-Wellenhof, et al., GPS 이론과 응용, p7)

GPS 위성은 본질적으로 위도, 경도, 높이와 같이 표현되는 측위 목표점의 3차원 위치를 결정하도록 구성되어 있으며, 이러한 점단위의 좌표결정을 단독측위라고 한다.

GPS 위성이 특정한 순간에 우주공간상에서 정지되어 있다고 가정하면, 지구중심에 대한 각 위성의 우주공간상의 좌표 ρ^s 는 위성의 방송 궤도력으로부터 계산될 수 있으며, 만약 지상의 수신기가 GPS 시스템의 시각과 정확히 일치하는 시계를 가지고 있다면 지구중심(지심)을 기준으로 하는 수신기의 위치벡터 ρ_R 는 코드화된 위성신호가 수신기에 도달하는 시간을 통해 정확하게 측정되는 각 위성과의 물리적인 실제거리 ρ 를 이용하여 결정할 수 있다.

2.2 다중 경로 효과(Multipath Effect)

2.2.1 일반 사항

위성에서 방출된 신호는 이론적인 단일 경로로 지상, 바다, 상공중의 GPS 수신기에 도달하기 보다는 한 개 이상의 다중경로를 통해 수신기에 도달하게 되며 이것이 다중 경로 효과를 일으켜 측위에 오류를 주게 된다. 다중 경로 효과는 주로 수신기 근처의 반사면에 의해 발생하지만, 위성신호 송신 시 일어나는 반사에 의하여 발생하는 경우도 있다. Tranquilla and Carr (1990/91)은 의사거리에 발생하는 다중 경로 오차는 다음의 3가지로 분류한다.

- (1) 광범위한 지역에서 발생하는 신호의 산란에 의한 반사(약 10m의 크기)
- (2) 안테나 주변의 물체 또는 반사면에 의한 직접적인 반사(약 2~6m)
- (3) 수면에서의 반사와 관계된 극저주파의 파동(약 10m의 크기)

코드 의사거리가 다중경로의 영향을 크게 받게 되며, 단일한 시점의 경우, 약 10~20m 정도의 크기를 가진 것으로 보고 되었다 (Wells, 1987). 또한 관측점이 근처에 빌딩이 존재하는 것과 같은 특정한 환경에 있으면, 다중경로로 인해 발생하는 오차는 약 100m 정도로 증가하게 된다(Nee, 1992). 심지어 다중경로의 영향으로 인해 위성 추적이 불가능하게 되는 경우도 발생한다.

3. 실험 및 분석

3.1 실험지역

저층건물의 밀집도가 GPS 수신에 미치는 영향을 분석하기 위해 본 실험에서는 도심 내 저층 주택밀집 대표지역을 1곳 지정하였다. 5층 이하의 저층 건물들이 밀집된 지역은 잠실본동의 주택가 밀집 지역이다. 잠실본동의 3·4층의 저층건물들은 4m의 너비의 도로 사이로 일직선으로 배열되었다. 주택간 간격은 평균 2m이다. 이 지역에서는 GPS의 정확도를 저해하는 요인이 2m 간격으로 밀집된 저층 주택가라고 판단하였다.

3.2 실험방법

본 연구에서는 건물의 밀집도로 인한 GPS 정확

성의 오류범위를 측정하기 위하여 일렬로 배치된 5층 이하의 주택가 밀집지역에서 GPS 측정을 하였다. 밀집 지역의 지형은 그림 2와 같다.



그림 2 실험 지역의 지도 (출처: 네이버 지도)

정확한 실험을 위하여 날씨와 온도가 가장 비슷한 날짜의 같은 시간대에서 피험자 2명이 같은 도로 위를 걷는 실험을 행하였다. 동일 시간대에 길이 190m, 너비 4m 의 도로 위에서 수신 갱신 주기 1Hz로 GPS 수신 값을 측정하였다. 도로의 정중앙을 같은 속도로 걸었으며 도로의 처음과 끝의 위도와 경도를 수신기에 저장하였다. 실험에 사용한 GPS 기기의 사양은 아래 표 2와 같다.

일반사양	
Frequency	L1.1575.42
C/A Code	1.023MHz
채널, Datum	66채널, WGS84
성능특성	
위치정확도	Without aid: 3.0m 2D-RMS
	<3m CEP(50%) without SA(Horizontal) DGPS(WAAS,EGNOS,MSAS,RTCM) 2.5m
속도정확도	Without aid: 0.1m/s
	DGPS(WAAS,EGNOS,MSAS,RTCM) 0.05m/s
가속도	Without aid: <4g
	DGPS(WAAS,EGNOS,MSAS,RTCM) <4g
시간정확도	50ns RMS
신호갱신주기	1Hz

표 2 실험에 쓰인 휴대용 GPS 단말기 사양

본 연구에서는 실제 3차원 위치에 대한 절대 좌표 정보 대신 구글 어스가 제공하는 위성 좌표상 위도와 경도 데이터를 기준 값으로 하였다. 수신기에 기록된 실험도로의 처음과 끝의 경도 위도를 직선으로 연결한 직선상의 위도 경도 값과 GPS 단말기를 통해 측정된 2개의 표본 데이터들을 기준값에 대한 상대적인 오차 분석을 실시하였으며, 추가적으로 오차의 절댓값 및 위도 오차 대비 경도 오차의 경향 분석을 시행하였다. 오차 분석에 사용된 식은 아래와 같다.

$$\text{오차} = X - X_0 \quad (1)$$

$$\text{오차 절대 값} = |X - X_0| \quad (2)$$

여기서, X_0 는 기준 데이터 값이며, X 는 측정 데이터 값이다.

3.3 실험결과



그림 3 실험 경로의 위성사진 (출처: 구글 어스)



그림 4 GPS 측위 1 결과 경로 (출처: 구글 어스)



그림 5 GPS 측위 2 결과 경로 (출처: 구글 어스)

실험이 이루어진 위성사진 경로는 그림 3과 같다. GPS 단말기를 통해 일정한 속도로 직선 두 지점을 이동하며 측정한 결과, 동일한 위성사진 상 측정 경로는 그림 4와 같이 나타났다. 그림 5의 위

성사진 상의 측위 경로를 통해 실제 실험이 이루어진 직선의 경로에 대해 두 개의 표본 데이터가 오차를 지니고 있음을 확인할 수 있다.

그림 6~9는 구글 어스 기준 위도와 경도 값에 대한 GPS 측위 실험 1과 2의 위도와 경도 오차를 이동거리(meter)에 대해 나타낸 결과이다.

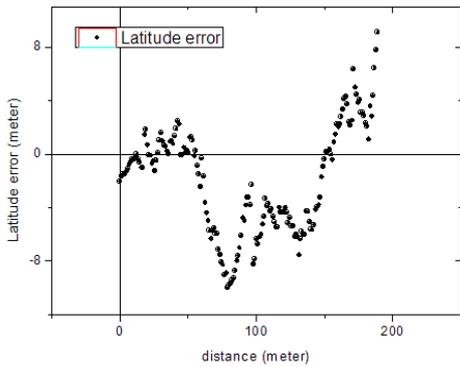


그림 6 GPS 측위실험 1의 위도 오류

그림 6에서 x-축은 실험이 이루어진 직선 경로의 시작지점을 원점으로 하여 거리(meter)를 나타낸 것이며, y-축은 직선경로를 따라가면서 측정된 GPS 데이터 값의 기준 데이터에 대한 오류 값을 미터(meter) 단위로 나타낸 것이다. 그래프는 최대 오류값 10m 내외의 결과를 보여 주며 대략 200m의 거리를 따라 측정된 위도 오류 값은 밀집된 건물 분포에 의한 다중경로 효과를 한 가지 원인으로 생각할 수 있을 것이다.

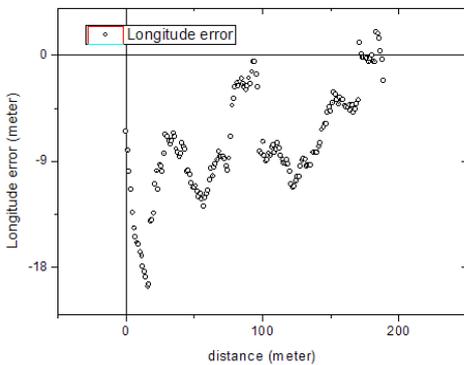


그림 7 GPS 측위실험 1의 경도 오류

그림 7은 동일 측정에서 발생한 경도오류를 보여준다. 위도 오류에 비해 한 쪽으로 다소 편향되고, 수치적으로 더 큰 오류 경향을 보여준다.

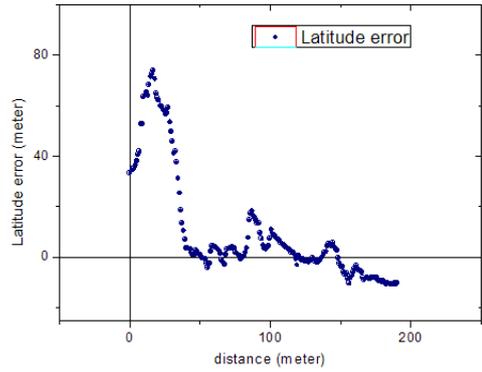


그림 8 GPS 측위실험 2의 위도 오류

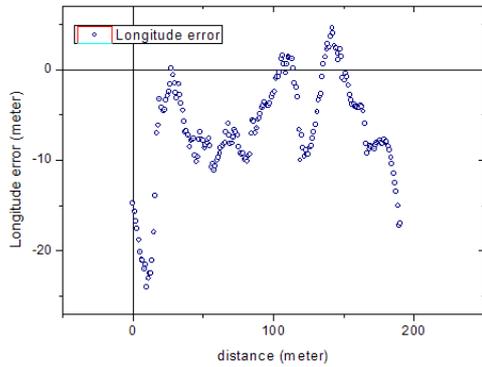


그림 9 GPS 측위실험 2의 경도 오류

그림 8~9는 측위실험 2의 위경도 오류이다. 그림 8은 30~40m 부근부터 작은 오류 분포를 보이는 반면 0~30m 사이에 큰 오류를 보인다. 이것은 궤도상 위성 분포 및 GPS 단말기의 위성 확보의 문제에서 기인된 것으로 판단된다.

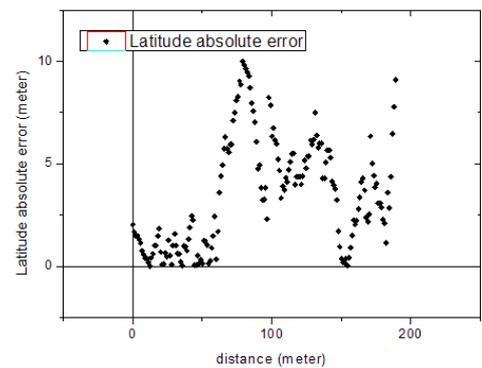


그림 10 GPS 측위실험 1의 위도 오류의 절대치

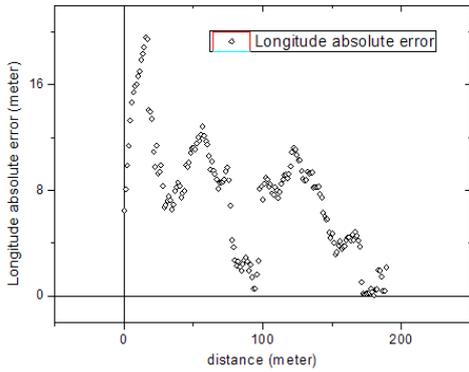


그림 11 GPS 측위실험 1의 경도 오류의 절대치

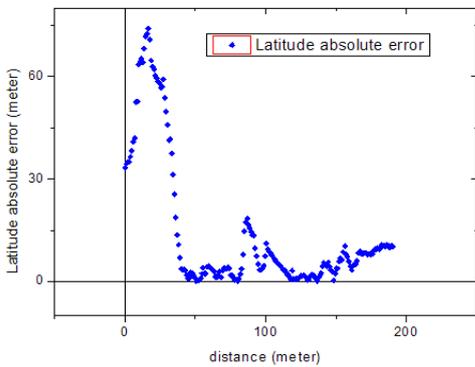


그림 12 GPS 측위실험 2의 위도 오류의 절대치

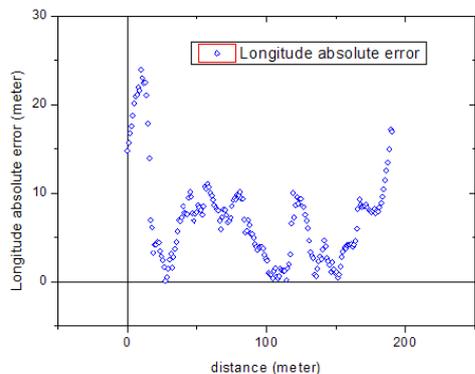


그림 13 GPS 측위실험 2의 경도 오류의 절대치

그림 10~13은 실험 1과 2의 위도 및 경도 오류의 절대치를 이동거리(meter)에 대해서 나타낸 것이다. 그림 14는 GPS 측위 실험 1과 2에 있어서 위도오류와 경도오류를 각각 x축과 y축으로 하여 2차원 상에서 위도, 경도 오류를 그래프로 나타내었다. 전체적으로 20m 오류 범위 내에서 균일한 오류 분포를 보여준다. 평균적인 분포에서 크게 벗어나는 데이터가 적은 것으로 보아 GPS 단말기

측위 안정성과 GPS위성의 궤도 분포는 측정 중 큰 변화를 보이지 않은 것으로 생각될 수 있겠으며, 따라서 최대 오류 약 20m 근사적으로 GPS 단말기의 측정 정확 범위로 판단할 수 있다.

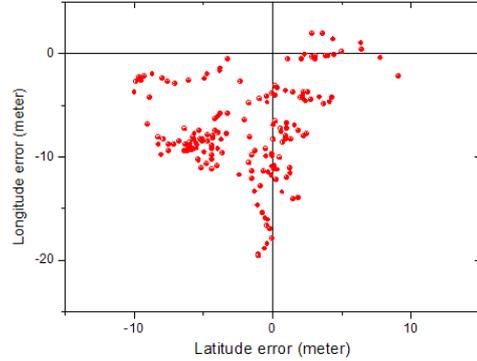


그림 14 GPS 측위실험 1 위도오류 vs 경도오류

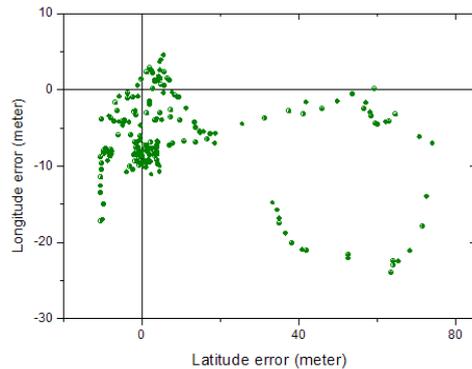


그림 15 GPS 측위실험 2 위도오류 vs 경도오류

그림 15와 같이 전체적인 오류 분포는 오류 크기 20m내로 밀집되어 있으며, 최대 80m 크기의 비정상적인 일부 오류가 나타나며 이는 GPS단말기나 주변 건물 분포에 따른 다중경로 효과의 평균적인 오류발생에 의한 것이기 보다 위성분포 등의 특정 오류 발생 요인에 의한 일시적인 것으로 분석될 수 있을 것이다. 비정상적인 이들 일부 분포를 제외하면 측위실험 1과 유사한 결과를 나타낼 수 있으며, 두 실험에서 공통으로 발견된 특이한 사항은 위도오류의 경우 좌우 대칭적인 오류 분포를 보이는 반면, 경도 오류의 경우 하향 편중적인 오류를 보인다는 것이다. 이에 대한 정확한 분석을 위해서는 지구 자전, 위성과 지구의 상대적인 운동 및 이에 대한 상대론적 요인 판단이 필요할 것으로 예상된다.

3.4 통계 분석

본 연구에서 수행된 GPS 측위실험은 크게 두 개의 표본 데이터를 기준으로 분석되었다. 이들 데이터의 평균(mean), 표준편차(standard deviation) 값을 구해 봄으로서 GPS 측위결과에 대한 개괄적인 오차 판단력을 높이고 나아가 데이터 신뢰도에 대한 고찰을 할 수 있을 것으로 기대된다. 표 3은 앞에서 살펴본 측위실험 결과들에 대한 통계적 분석의 결과이다.

구분	위경도	절대평균 (meter)	절대 표준편차 (meter)
GPS 측위실험 1	위도	3.5185	2.6772
	경도	7.5342	4.3643
GPS 측위실험 2	위도	14.1392	19.7924
	경도	7.0425	5.2043

표 3 GPS 측위결과에 대한 통계 분석

표 3을 통해 측위실험 1이 2에 비해 측위 안정성이 높은 것을 알 수 있다. 그러나 실험결과에서 이미 언급했듯이, 측위실험 2의 일부 data들이 비정상적인 오류를 발생시킴으로써 나타난 결과로 볼 수 있다. 평균적인 측위 오류는, 측위실험 2의 불확정 요인의 배제를 고려하여 측위실험 1에 근거하여 판단하면, 위도의 경우 약 3.5m 정도이며 경도의 경우 약 7.5m 정도인 것을 알 수 있다.

4. 결론

사용자 위치를 기반으로 하는 서비스는 현대에 와서 그 활용도가 점점 더 넓어지고 있다. 그에 따라 위치 서비스의 정확성에 대한 사용자들의 기대 효과가 높아지면서 GPS의 오차를 보정하는 안테나와 수신기 기술 개선, 자료처리 등의 방법들이 제시되고 있다. 본 논문에서는 고층건물과 지형에 따른 오차 외에 건물의 밀집도가 GPS 정확성에 영향을 주는 요인이 결과로서 나타나고 있다.

실험 결과를 분석하면, GPS 수신기가 위성의 위치를 파악한 후에 처음으로 수신되는 데이터의 정확도가 평균적으로 더 많이 떨어졌다. GPS 수신이 정확하게 안정되어진 30m 이후부터는 최대오류 범위 약 20meter 의 오차범위를 보여준다. 특히 측위 실험 2에서는 더 큰 폭의 위도 오차가 발생하여 정확성이 더욱 떨어졌다.

GPS 오차는 위성의 기하학적 구조, 단말기 시계의 오차, 전리층과 대기층의 상태변화에 따른 오차를 감안해야한다. Tranquilla JM, Carr JP(1990/91)가 분류한 다중경로 오차 중 신호의 산란에 대한 반사를 감안한다 하더라도 빌딩이 존재하는 특정 환경에 있으면, 다중경로로 인해 발생하는 오차가 약 100m 정도로 증가하게 된다는 Nee(1992)의 연구결과와 비교 해 볼 때, 저층건물의 밀집도는 특정 고층건물로 인한 오류보다는 적게 나타났다.

본 연구를 바탕으로 밀집도의 차이에 따른 실험과 건물의 수직적 차이에 따른 실험을 진행하여 GPS의 정확성을 제고 시키는데 주요한 연구로서 자리매김 하겠다.

[참고문헌]

- [1]Ahmed El-Rabbany, GPS 측량의 이해, 차득기 역음, 서울, 성림출판사, 2007.
- [2]Hofmann-Wellenhof, Collins and Lichtenegger, GPS 이론과 응용 : Global positioning system, 서용철 옮김, 시그마프레스, 2009.
- [3]Marko Modsching, Ronny Kramer and Klaus ten Hagen : Field trial on GPS Accuracy in a medium size city: The influence of built up, 3rd Workshop on Positioning, Navigation and Communication 2006, Hannover, March, 2006.
- [4]Masashi Yonekawal, Toshiyuki Tanaka : Relations between positioning result and each error factor in GPS, SICE-ICASE International Joint Conference, Oct, 18-21 in Bexco, Busan, Korea, 2006.
- [5]Nee RDJ van : Multipath effects on GPS code phase measurements. Navigation, 177-190, 1992.
- [6]Rempel, RS, Rodgers, AR m.: "Effects of differential correction on accuracy of a GPS animal location system", Journal of Wildlife Management [J. WILDL, MANAGE}. Vol. 61, no.2, pp.525-530. Apr 1997
- [7]Tranquilla JM, Carr JP : GPS multipath field observations at land and water site, Navigation, 393-414, 1990.