한국측량학회지, 제 29권 제 6호, 2011. 12 : pp. 677~685

단일 버퍼링 기법을 이용한 동적 버스 노선 정보의 GPS 위치 정확도 평가 방안

Evaluation Scheme of the GPS Positional Accuracy for Dynamic Bus Route Information using SMB(Single Buffering Method)

박홍기[1] · 주용진[2]

Park, Hong Gi · Joo, Yong Jin

Abstract

In order to enhance public transportation and to maintain information credibility, improvement of accuracy regarding route and positional information of public transport is very significant. There have been a variety of methods using GPS to measure accuracy of location-based services. However, the researches of evaluation regarding kinematic position of linear objects measured by vehicle/kinematic GPS are still insufficient. That's why our paper aims to suggest method of evaluation accuracy on a real-time bus route surveyed by GPS by SBM(Single Buffering Method). To make it come true, we compared the findings on the static and dynamic positioning by using PP(Point Positioning), DGPS and GPS/INS integrated systems and analyzed the accuracy and error effects among them, focusing on Anyang city. Consequently, we can find out that in case of P.P. comparing positioning accuracy between RTK DGPS and GPS/INS, both of them have survey result within a margin of error of 5m. More importantly, we can evaluate positional accuracy of each GPS system based on the work provision of a public survey such as error for P.P.(14.5m, 18.1m), DGPS(16.9m, 18.5m), and GPS/INS(18.4m, 18.5m). We are expecting that proposed method in our paper can be utilized in a wide range of categories such as feasibility testing of GPS field survey and high accuracy of positioning for Bus Information System.

Keywords : SMB(Single Buffering Method), Kinetic Positioning, GPS, BIS, LBS

초 록

대중교통 정보 시스템의 고도화와 정보 신뢰도 유지를 위해서는 대중 교통수단 노선과 운행 정보에 대한 정확도 향상은 매우 중요한 사안이다. 이러한 위치기반체계에 대한 정확도를 측정하기 위해 GPS를 활용한 매우 다양한 방법들이 존재하고 있지만 버스 노선 등과 같이 이동 차량에 탑재된 GPS를 통해 결정된 선형 객체의 동적인 위치 정확도를 평가하는 연구는 아직 미비하다. 이에 본 연구의 목적은 단일 버퍼링 기법을 이용하여 GPS에 의해 실시간 측정된 버스 노선의 정확도 평가 방안을 제시하는 것이다. 이를 위해 경기도 안양시 일대의 정류소와 버스 노선을 대상으로 단독 측위, DGPS, GPS/INS 에 따른 정적 및 동적 측위 결과를 상호 비교하고 정확도와 오차의 영향을 분석하였다. 연구 결과로서 정류소 위치에 대한 단독측위의 경우 실시간 DGPS 관측과 GPS/INS DGPS 관측과 비교하여 2개의 관측성과 모두 5m 이내 정확도 범위 내에 결과를 얻을 수 있었다. 특히, 노선의 경우 공공측량 작업 규정 세부기준의 축척별 위치 정확도에 근거하여 단독측위 14.5m의 오차는 1:20,000, 18.1m의 오차는 1:25,000 축척의 오차범위 정확도를 가지며, DGPS의 16.9m와 18.5m의 오차는 1:25,000 축척의 오차범위, GPS/INS의 18.4m와 18.5m의 오차는 1;25,000 축척의 오차 범위로 정확도를 평가할 수 있었다. 본 연구에서 제시한 방법은 버스 기반 정보 구축을 위한 GPS 현장 조사 시 동적 위치 측정 방법론의 타당성 검토와 높은 정밀도의 노선 위치 정보 구축에 활용 가능할 것이다.

핵심어 : 단일 버퍼링 기법, 동적측위, GPS, 버스정보시스템, 위치기반서비스

1) 정회원 · 가천대학교 공과대학 토목환경공학과 교수 (E-mail:hgpark@gachon.ac.kr)
2) 교신저자 · 정회원 · 서울시립대학교 도시과학연구원 융합도시연구센터 연구교수 (E-mail:yjjoo75@uos.ac.kr)

1. 서 론

대중교통 정보 시스템의 고도화와 정보 신뢰도 유지를 위해서는 대중 교통수단 노선과 운행 정보에 대한 정확도 향상은 매우 중요한 사안이다(주용진 등 2010). 버스정보 시스템(BIS)과 관련된 정보제공은 위치기반체계(LBS : Location Base System)의 정확성 측면에서 무엇보다 필요하다. 위치 측위를 위한 GPS는 다양한 원인에 의한 신호 간섭으로 다중 경로(Multi path)가 발생하여 공간적인 위치 오차를 불가피하게 수반하게 된다. 특히 노선 형상을 측점하기위해 단시간에 많은 점을 관측하게 되는 동적 관측(kinematic)의 경우 어떤 한 지점에 대한 공간적 위치 비교가 불가능하기 때문에 측정된 위치 정확도를 단순히 어떤 통계적 모형을 이용하여 분석하는 것은 상당히 어려운 일이다. 이러한 위치기반체계에 대한 정확도를 측정하기 위해서는 GPS를 활용한 매우 다양한 방법들이 존재하고 있지만 버스 노선 등과 같이 이동 차량에 탑재된 GPS의해 결정된 선형 객체의 동적인 위치 정확도를 평가하는 연구는 아직 미비한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 단일 버퍼링 기법[1](Single Buffering Method, 이하 SBM)을 이용하여 GPS에 의해 실시간 측정된 버스 노선 네트워크의 정확도 평가 방안을 제시하는 것을 목적으로 한다. 본 연구에서 사용된 SBM 기법은 비교 대상인 두 도면의 선형 자료에서 대응되는 포인트를 검색하는 과정이 필요 없이 선형 위치의 정확도를 효율적으로 관측할 수 있다는 특징을 가진다. 이는 각 지점에 대한 위치 정확도를 개별적으로 비교하는 것보다는 해당 정보에 대해 공간적인 위치 오차의 허용범위를 설정하고 각 지점의 생성에 관계없이 그 공간적인 변화가 위치오차의 허용 범위를 벗어날 경우 오차로 간주하는 것이 전체적인 위치 정확도의 유지에 타당할 것이기 때문이다(박경식 등, 2001).

연구 내용으로 우선 단독 측위(PP, Point Positioning), DGPS(Differential GPS), GPS/INS(Inertial Navigation System)장비를 이용하여 각각의 정적(정류소) 및 동적(노선) 위치 결정 결과를 상호 비교하고 정확도와 오차의 영향을 분석하였다. 위의 상호 보완적인 각각의 GPS 장비를 이동 매핑 차량[2]에 탑재하여 아래 그림 1과 같이 경기도 안양시 일대를 대상으로 정류장 및 버스 노선 형상의 위치 좌표를 관측하였다. 마지막으로 버스 기반 정보 구축을 위한 GPS 현장 조사의 위치 측정 방법론의 타당성을 검토하고 높은 정밀도의 노선 위치 정보 구축 가능성과 방안을 제시하고자 하였다.

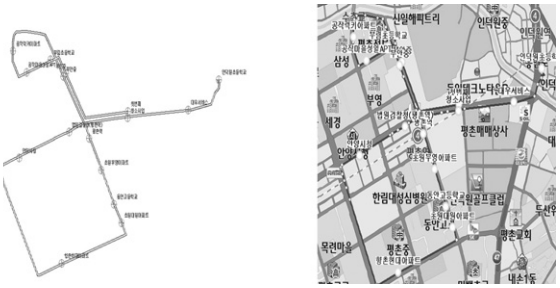

그림 1. 실험 대상지역 : 경기도 안양시 평촌역 일대

2. GPS 이동 매핑 시스템 및 장비 제원

2.1 GPS 이동 매핑 시스템

실시간 버스 노선 및 정류소의 정보를 신속하고 정확하게 직접 획득하기 위해 본 연구에서는 GPS 이동 매핑 시스템을 활용하였다. 그림 2는 차량에 위성측위시스템, 관성항법시스템, DGPS 비콘 수신기와 영상획득시스템을 탑재한 내 · 외부 인터페이스를 보여준다.

GPS 이동 매핑 시스템　　차량 내부 : GPS 수신기

그림 2. GPS 이동 매핑 시스템: 내외부 인터페이스

1) 상대적으로 정확도가 높은 라인 형태의 기준(reference) 자료에 일정 크기의 버퍼를 생성하고 이 버퍼 내에 일치되는 관측 자료의 포함 길이의 비율을 계산하여 위치 정확도를 산정하는 기법. 모든 분석 과정을 GIS 기능을 이용하여 쉽게 구현이 가능함.

2) 이동매핑시스템 : GPS, 관성항법시스템, 비디오, 디지털 카메라 등을 통합한 차량 시스템 (최병길, 1999)

표 1. GPS 조사 장비 제원

구 분	단독측위	DGPS 비콘 수신기	GPS / INS : Trimble 5700 (Geo System)	
장비 모델	ASEN GPS 520	DGPS Receiver	Trimble 5700	OXTS INERTIAL RT 2500
주파수	L1, 1575.42MHz	283.5 kHZ- 325 KHz @ 500 Hz Step	L1/L2 Dual frequency L1 C/A code L1/L2 full cycle carrier	L1
위치정확도	10 meters, 2D RMS	10 meters, RMS DGPS : 3 meters, 2D RMS	Horizontal : 0.25mm + 1ppm Vertical : 0.50mm + 1ppm	3.0 m CEP SPS, 2.0m CeP SBAS
데이터로깅	0.1 m/sec	0.1 m/sec	0.1sec	-

기본적으로 GPS 이동 매핑 시스템을 통해 지상에서 실시간으로 다양한 정류장, 노선, 차량 등 버스 정류소 및 노선의 유형 및 기본 정보를 획득할 수 있도록 구성하였다. 또한 GPS/INS 및 차속센서는 실시간으로 차량의 위치 및 자세에 대한 정보를 제공하고, 이러한 정보는 영상획득시스템과 유기적으로 통합되며, 최종적으로 3차원 지형정보를 획득, 처리, 생성이 가능하다. 실시간으로 차량의 위치 및 자세에 대한 정보를 제공하는 기술은 최신의 다양한 지형 정보를 경제적이며 효율적으로 취득 · 생성할 수 있다.

2.2 GPS 관측 조사 장비 내역

본 연구에서는 단독 측위, DGPS(Differential GPS), INS(Inertial Navigation System)장비를 이용하였으며 관측장비의 사양 및 제원은 표 1과 같다. 개별 관측 장비가 가지는 상호 보완적 특징을 살펴보면 우선 GPS(Global Positioning System)는 지구 주위를 도는 24개의 위성 중 최소한 4개의 위성으로부터 항체까지의 거리(pseudo range)를 측정하여 항체의 위치, 속도 등을 구하는 시스템으로써 이러한 시스템은 시간이 지남에 따라서 오차가 누적이 되지 않으며 장비 가격 또한 매우 저렴하다는 장점이 있다. 하지만 다른 전파의 외란(jamming)이 심할 경우와 가시위성의 소가 4개 이상 확보되지 않을 경우에는 성능이 크게 떨어지는 단점이 있다. 대역에 따라 L1, L2로 나누어지며 일반적으로 위치 오차가 10~20미터 정도 발생하는 L1이 사용 가능한 대역이다. L2 대역은 군사 및 정밀 측위용 대역으로서 일반 사용자는 L2 대역의 위성 수신을 하지 못한다. GPS 값이 오차를 가질 수밖에 없는 이유는 GPS 위성에서 고의로 삽입한 잡음, 전리층, 구름, 등의 굴절 왜곡 현상과 지상의 조건으로 인한 신호의 반사 등이 있을 수 있다. 현재 민간이 사용할 수 있는 GPS의 표준 위치 서비스(SPS)의 위치정확도는 수평면에서 95%의 정확도로 100m 정도이지만, 이 정도의 정확도로는 다양한 응용분야에서 요구하는 위치정확도를 만족시킬 수 없다. 이에서와 같이 보다 정확한 위치정보를 얻기 위한 다양한 방법들이 개발되고 있으며 DGPS(Differential GPS)는 이중 가장 널리 쓰이는 방법이다. DGPS에서는 위치가 알려진 기준국에서, 현재 위성에서 보내오는 정보에 의한 의사거리측정값에 있는 오차 성분을 계산하여, 이를 주변의 사용자에게 알려줌으로써 보다 정확한 위치결정을 가능하게 하는 시스템이다. GPS의 반송파위상을 이용하여서도, C/A 코드를 이용한 위치결정에 비해 더 나은 cm 정도의 위치정확도를 얻을 수 있다. 관성항법시스템(INS)이란 가속도계와 자이로를 이용하여 항체의 항법 정보(위치, 속도, 자세)를 알아내는 시스템으로 외부 환경에 영향을 받지 않으며 짧은 항해 기간 동안에는 항법 데이터가 매우 정확하고 연속적인 항법 데이터를 제공하는 장점이 있다. 그러나 긴 시간을 항해 할 경우 오차가 누적 시스템이 매우 고가라는 단점이 있다.

3. 정적 측위 : 버스 정류소 위치 정확도 평가

3.1 버스 정류소 및 노선 위치 측정 근거

가. 정류소 위치 측정

노선 형상 정보는 「버스정보시스템의 기반정보구축 및 관리요령-버스 정류장 및 노선 설정방법」[3]에 근거하여 취득하였다. 즉, 노선과 정류장의 형상 정보는 차량이 승객의 승하차를 위해 정차하는 정류소 단위로 측정된다. 정류장은 각각의 정류소 표지판을 기준으로 취득하는 것을 원칙으로 하되 표지판을 별도로 설치되어 있지 아니하고 버스 쉘터만이 설치된 경우에는 버스 쉘터의 중앙 위치를 측정하였다. 정류소 유형에 따른 위치 측정 방법은 다음과 같다 (그림3 , 그림 4, 그림 5).

(1) 정류소 표지판 또는 버스쉘터가 단독으로 존재하는 경우 개별 정류소 기준 위치 측정 (제7조 제1항 제2호 관련)

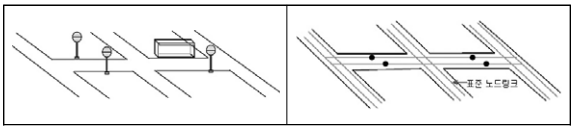

그림 3. 정류소 표지판, 버스쉘터가 단독인 경우

(2) 동일한 유형의 노선번호를 가지는 경우 버스 셀터의 중앙 위치 측정(제7조제1항 제2호 관련)

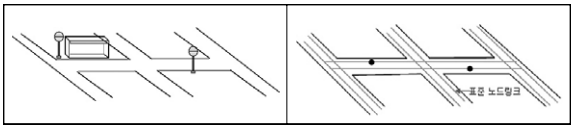

그림 4. 버스쉘터가 있는 경우

(3) 정차노선이 다른 경우 개별 정류소의 위치 측정(제7조제1항 제3호 관련)

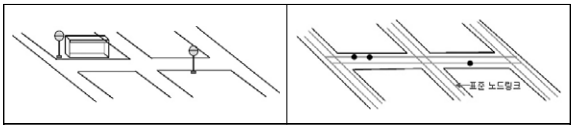

그림 5. 정차노선이 다른경우

3) 버스 노선정보에 대한 데이터 입력 및 평가 원칙을 제시함. 각 경로별로 표준 노드링크가 구축된 범위의 통과 정류장 및 노드를 연속적으로 연결하고 형상정보와 속성정보 구축 방안제시 (제8조제1항 :국토해양부)

나. 버스 노선 위치 측정

사전 정보를 바탕으로 버스 노선의 기점부터 종점까지 운행 노선을 대상으로 노선 및 정류장에 대한 정보를 조사하였다. 이때 버스가 운행되는 노선의 방향 정보를 취득하기 위해 양방향으로 운행하며 도로의 우측 끝 차로를 주행하며 정류장 유/무 및 위치 정보를 취득한다. 주행 시 현장에서 버스가 운행되어지는 도로의 실제 노선을 조사하였다. 즉, 버스가 운행되는 도로별로 제공된 입력 상의 실제 도로 폭 우측에 위치하여 측정하였다. 또한 정류장 형상의 위치는 노선의 오른편에 노선과 인접하게 적용하였다. 버스 정류장 앞 조사 위치에 GPS 이동 매핑 차량을 정차하여 GPS-LOG를 이용하여 정확한 위치를 확인하고 LOG 정보를 저장하였다. 단 버스 전용차로, 불법 주정차 차량 등 교통 혼잡으로 버스 정류장에 조사 차량의 정차가 불가능한 경우 버스 전용선과 인접한 최 외곽선을 최대한 서행(30km 이내)하여 정류소 및 노선의 위치를 취득하였다.

3.2 정류소 위치 정확도 평가

가. 위치 정확도 평가 개요

본 정류소 위치 정확도 평가에서는 나무숲과 건물 등으로 둘러싸인 도심지에서 신속정지측량(Rapid Static Survey) 실험을 수행하여 정류소 형상의 측점 위치정확도를 평가하고, 나아가 GPS 장비별(단독측위, DGPS, GPS/INS) 성과와의 비교검증을 통해 매핑 도구로서의 가능성을 확인하고자 하였다. 신속정지측량은 2주파 수신기를 이용하며, 정지측량과 같은 방식이나 관측시간을 5～10분 정도로 단축시킬 수 있고 기선벡터의 정도도 거의 동일하다. 그러나 신속정지측량이 정지측량 방법과 다른 점은 수신기가 소구점에서 머무르는 시간이 짧다는 것이며 자료처리는 후처리에 의한다. 본 실험에서는 정류소 위치 측정 시 GPS 수신기의 이용성과 위치 정확도를 평가하기 위해 상호 보완적인 각각의 GPS 장비를 이동 매핑 차량에 탑재하여 경기도 안양시 평촌역 일대의 11개 정류소를 대상으로 수행하였다.

나. 위치 취득 결과 분석

조사용 GPS 수신기의 이용성 및 매핑 정확도를 검증하기 위하여 비콘 위성항법보정 시스템 수신기를 이용한 실시간 정밀 측위와 GPS/INS 수신기에 의한 DGPS 측량을 동시에 수행하여 관측 성과의 정확도를 비교하여 보고자 하였다. 비콘 DGPS의 측점은 해수부의 DGPS 코드방식을 이용한 보정 값을 적용하고, GPS/INS에서 관측된 좌표

는 국토지리정보원의 상시 관측소 데이터를 이용하여 후처리를 수행하였다 (50km 이내 수평 위치 3 cm 정확도).

GPS/INS 사용된 GPS 장비는 L1/L2 이주파 수신기로서, 외부로부터 이벤트 마크(Event Mark)를 입력받을 수 있는 기능과 1 PPS output 기능이 포함되어 있다. 또한 GPS/INS 통합 처리에 있어 GPS 위치정보의 간격을 최소화하기 위해 1.0초 이내의 데이터 로깅(data logging) 간격을 유지할 수 있어야 한다. 실험 대상지역에 대한 단독측위와 비콘 DGPS 관측 결과는 아래 표 2와 같이 관측점에서의 장비별 측량성과와 평균제곱근 오차(Root Mean Square Error; RMSE)로 나누어 정리하였다. 과대 오차를 제거하고 분석할 경우 비교 결과 종 · 횡선오차의 RMSE는 X=5.63m, Y=4.43m로 분석되었다.

표 2. 단독측위와 비콘 DGPS 수신기 측점 정확도

ID	Nmae	GPSx	GPSy	DGPS_x	DGPS_y
1	청소사업1	308665.451	533485.983	308665.263	533482.286
2	부안중	308122.402	533782.338	308110.414	533779.141
3	부림초등학교	307991.474	533872.749	307989.738	533875.913
4	공작마을성APT	307777.848	533783.547	307775.393	533788.383
5	공작럭키아파트	307656.654	533953.207	307660.551	533945.395
6	부안중	308101.546	533764.441	308104.352	533764.595
7	동안고등학교	308549.673	532818.040	308546.813	532826.395
8	향촌현대아파트	308067.935	532373.118	308077.398	532374.679
9	안양시청	307704.630	533167.119	307711.926	533172.958
10	청소사업	308662.714	533465.112	308672.522	533457.791
11	인덕원초등학교	309464.744	533721.805	309457.468	533717.630
RMSE				5.63290972	4.43998351

실험 대상지역에 대한 단독측위와 GPS/INS를 이용한 DGPS 관측 결과는 아래 표 3과 같다. 과대 오차를 제거하고 분석할 경우 비교 결과 종 · 횡선오차의 RMSE는 X=5.16m, Y=4.58m로 분석되었다.

표 3. 단독측위와 GPS / INS 수신기 측점 정확도

ID	Nmae	GPSx	GPSy	INS_x	INS_y
1	청소사업1	308665.451	533485.983	308662.558	533484.165
2	부안중	308122.402	533782.338	308116.775	533780.551
3	부림초등학교	307991.474	533872.749	307987.931	533872.603
4	공작마을APT	307777.848	533783.547	307771.532	533786.206
5	공작럭키아파트	307656.654	533953.207	307656.727	533946.547
6	부안중	308101.546	533764.441	308113.621	533762.089
7	동안고등학교	308549.673	532818.040	308543.110	532825.140
8	향촌현대아파트	308067.935	532373.118	308070.239	532367.914
9	안양시청	307704.630	533167.119	307711.609	533170.927
10	청소사업2	308662.714	533465.112	308669.514	533452.644
11	인덕원초등학교	309464.744	533721.805	309460.441	533719.632
RMSE				5.16482895	4.58725064

결론적으로 단독측위의 경우 실시간 DGPS 관측과 GPS/INS DGPS 관측과 비교하여 2개의 관측성과 모두 5m 이내 정확도 범위 내에 결과를 얻을 수 있었다.

4. 동적 측위 : 버스 노선 위치 정확도 평가

4.1 단일 버퍼링 기법 (SBM)

GPS 위치 정확도 측정을 위한 SBM 기법은 상대적으로 정확도가 높은 라인 형태의 기준(reference) 자료에 일정 크기의 버퍼를 생성하고 이 버퍼 내에 일치되는 관측(measurement) 자료의 포함 길이의 비율을 계산하여 위치 정확도를 산정하는 기법이다(Goodchild and Hunter 1997; Park and Kim, 2001).

이 기법을 선택한 이유는 우선 다량의 기존 자료에 대해서 즉, 비용 경제적인 정확도 관측이 요구되는 곳에서 선형 자료의 위치 정확도를 효율적으로 관측할 수 있다는 것이다. 또한 모든 과정을 GIS 기능을 이용하여 쉽게 구현이 가능하며 비교대상인 두 도면의 선형 자료에서 대응되는 포인트를 검색하는 과정이 필요 없다는 특징을 가지고 있다.

그림 6은 SBM 기법의 관측 방법을 나타낸 것으로 기준 자료 객체 주변에 x크기 만큼의 버퍼를 생성하고, 버퍼내부에 포함되는 관측 자료의 비율 p(matching ratio)를 산출한다. 여기서, 함수$p(x)$는 최확값에 대한 기댓값을 의미한다.

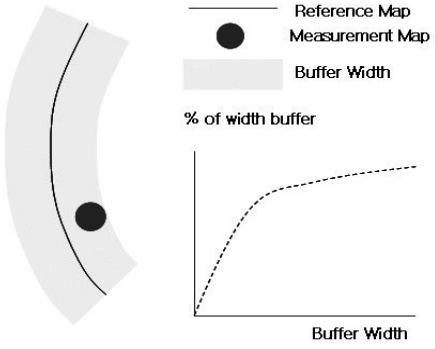

그림 6. SBM 관측 방법

이 기법은 포인트 형태의 위치 정확도 관측에서 발생할 수 있는 극단치(outliers)에 대한 영향을 최소화할 수 있고 관측하고자 하는 자료의 길이와 무관하며, 좌표계의 회전, 이동, 확대 · 축소에 영향을 받지 않고 관측이 가능하다. 또한 $p(x)$를 누적확률분포로 가정할 경우 $p(0)=0$이고 $p(\infty)=1$이 되며, x의 값을 해당되는 백분위 수로 간주할 수 있다. 예를 들어 관측하고자 하는 사상의 버퍼 내에 속하는 비율이 95%일 때 버퍼의 길이

(x)를 95번째 백분위 수로 해석할 수 있다. 이 기법에서 가장 중요한 부분인 버퍼크기(x)의 결정은 관측하고자 하는 대상 도면의 정확도에 따라 임의적으로 설정할 수 있으며, 또한 목표 백분위 수(y)를 설정하고(예를 들어 90 혹은 95) 다음과 같은 절차에 의한 반복 연산을 실행하여 버퍼크기(x)를 구할 수 있다. 이 경우 $p(x)=y$가 되며 x의 값을 아래의 절차에 의해 구할 수 있다.

Step 1. $x_0=0,\quad p_0=0$ 그리고 목표 백분위 수(target percentile) y 를 결정한다. 그리고 x_1의 값을 관측하고자 하는 도면 자료의 위치 정확도 혹은 오차의 한계로 설정한다.$(i=1)$

Step 2. 상대적으로 정확한 기준 도면 주위에 x_1 크기 만큼의 버퍼를 생성하고 관측하고자 하는 관측 자료의 라인이 이 버퍼 내 속하는 길이의 비율 p_i를 구한다. 만일 $|\ p_i-\ y|$이 0.001보다 작은 경우에는 iteration을 중지한다.

Step 3. step 2에서 계산된 값이 목표 백분위 수에 도달하지 않으면 아래의 선형근사식을 이용하여 새로운 x의 값을 구하고 i 값을 1씩 증가시켜 두 번째 단계의 과정을 반복한다.

$$x_{i+1}=\frac{(y-p_{i-1})(x_i-x_{i-1})}{(p_i-p_{i-1})}+x_{i-1}$$

4.2 버스 노선 위치 정확도 평가

GPS 측점 사상의 위치 정확도 측정방법은 전처리 과정과 분석과정의 두 부분으로 나누어진다. 버퍼를 통해 측정 데이터를 매칭 시키는 방법은 인접하는 다른 버퍼에 도로가 포함되는 문제가 발생하는 문제가 있으므로 첫 번째 과정인 전처리 과정에서 주요한 부분은 대상지역의 동일한 선형사상 즉, 도로 중심선과 해당 도로상에서 관측된 개체를 매칭 하는 과정이다. 전처리 과정에서 점 사상이 매칭 되면 정확도 분석 단계로 진행되며, 여기에서는 대축척의 베이스 네트워크 사상에 일정한 크기의 버퍼를 생성하고 여기에 GPS 측점 사상을 중첩하여 포함되는 비율로써 정확도를 측정한다. 정확도는 기준 도로에 일정 크기의 버퍼를 형성하여 각 측정 장비 별로 위치가 결정된 점 사상을 중첩하여 버퍼 내 속한 GPS 측점 비율(p)로 측정하였다. 측정 장비에 따른 버퍼의 크기별 측점 비율의 결과는 아래와 같다 (표 4, 표 5, 표 6).

표 4. 버퍼의 크기(x) 별 측점 비율(p) – 단독측위

버퍼 크기 (m)	버퍼 내부에 포함된 GPS 측점수	버퍼 내부에 포함된 GPS 측점 누적 (p)
0	0	0.00%
1	541	10.08%
2	616	21.55%
3	571	32.19%
4	541	42.27%
5	272	47.34%
6	314	53.19%
7	309	58.94%
8	355	65.56%
9	378	72.60%
10	138	75.17%
11	160	78.15%
12	176	81.43%
13	111	83.49%
14	227	87.72%
15	149	90.50%
16	48	91.39%
17	131	93.83%
18	57	94.90%
19	139	97.49%
20	48	98.38%
21	22	98.79%
22	41	99.55%
23	6	99.66%
24	2	99.70%
25	5	99.80%
26	3	99.85%
27	2	99.89%
28	2	99.93%
29	1	99.94%
30	0	99.94%
31	3	100.00%

표 5. 버퍼의 크기(x) 별 측점 비율(p) – DGPS

버퍼 크기(m)	버퍼 내부에 포함된 GPS 측점수	버퍼 내부에 포함된 GPS 측점 누적 (p)
0	0	0.00%
1	566	10.54%
2	574	21.23%
3	563	31.72%
4	521	41.42%
5	448	49.77%
6	313	55.60%
7	196	59.25%
8	205	63.07%
9	181	66.44%
10	197	70.11%
11	195	73.74%
12	146	76.46%
13	147	79.20%
14	119	81.41%
15	137	83.96%
16	125	86.29%
17	215	90.30%
18	185	93.74%
19	166	96.83%
20	19	97.19%
21	25	97.65%
22	15	97.93%
23	4	98.01%
24	4	98.08%
25	6	98.19%
26	7	98.32%
27	3	98.38%
28	1	98.40%
29	5	98.49%
30	4	98.57%
31	9	98.73%
32	4	98.81%
33	4	98.88%
34	5	98.98%
35	7	99.11%
36	15	99.39%
37	8	99.53%
38	7	99.66%
39	6	99.78%
40	4	99.85%
41	2	99.89%
42	4	99.96%
43	2	100.00%

표 6. 버퍼의 크기(x) 별 측점 비율(p) – INS

버퍼 크기(m)	버퍼 내부에 포함된 GPS 측점수	버퍼 내부에 포함된 GPS 측점 누적 (p)
0	0	0.00%
1	418	7.79%
2	533	17.71%
3	555	28.05%
4	605	39.32%
5	1042	58.73%
6	395	66.08%
7	506	75.51%
8	115	77.65%
9	105	79.61%
10	82	81.13%
11	81	82.64%
12	83	84.19%
13	58	85.27%
14	24	85.71%
15	9	85.88%
16	17	86.20%
17	34	86.83%
18	44	87.65%
19	566	98.19%
20	22	98.60%
21	17	98.92%
22	15	99.20%
23	31	99.78%
24	2	99.81%
25	4	99.89%
26	2	99.93%
27	2	99.96%
28	1	99.98%
29	0	99.98%
30	0	99.98%
31	1	100.00%

4.3 노선 위치 정확도 평가 결과 분석

아래 그림 7은 SBM을 이용하여 버퍼의 크기가 증가함에 따른 버퍼 내에 속하는 측점의 비율 변화 결과의 통계량을 나타내고 있다. 버퍼의 크기는 1m 간격으로 최소 1m에서 최대 50m까지 설정하였다.

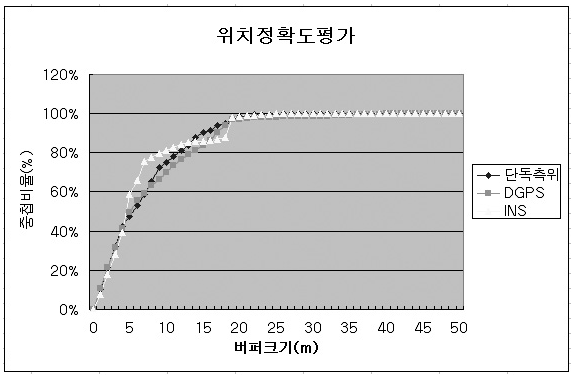

그림 7. 버퍼의 크기에 따른 측점 중첩 비율 변화

각각의 곡선은 단독측위, DGPS, GPS/INS의 정확도를 나타내고 있으며 1m에서 6m사이에서 중첩 비율이 급증하며 점차 완만한 형태를 보여주고 있다. 버퍼의 크기별 일치율을 분석해 보면, 단독측위의 경우 버퍼 크기 1m에서는 일치율이 10.08%, 5m에서 47.34%, 10m에서 75.17%, 15m에서 90.50%이다. DGPS의 경우 버퍼 크기 1m 에서는 일치율이 10.54%, 5m에서 49.77%, 10m에서 70.11%, 15m에서 83.96%이다. GPS/INS의 경우 버퍼 크기 1m에서는 일치율이 7.79%, 5m에서 58.73%, 10m에서 81.13%, 15m에서 85.88%이다. 이러한 일치율은 버퍼의 크기가 증가할수록 지속적인 증가 추세를 보이다가 대략 15m에서 부터는 변화량이 거의 일정해지는 것으로 나타났다. 장비의 성능의 차이에 따라 10m 내외에서는 GPS/INS, DGPS, 단독측위 순으로 상대적으로 높은 비율을 나타냄을 알 수 있다. 이 기법은 일치율에 따라 그 도면이 가지고 있는 오차 수준을 파악할 수 있다. 즉 기존 연구의 경우 일치율이 90%에서 95% 정도일 경우 관측 도면의 오차 수준으로 볼 수 있다. 따라서 본 실험에서는 비율의 분포를 정규 분포로 가정하여 목표 백분위 수를 지정하여 1σ(68.3%), 1.6449σ(90%), 1.960σ(95%), 2.965(99.9%)에 설정된 백분위 수를 반복적으로 계산하여 목표 백분위 수에 해당하는 버퍼의 크기도 조사하였다. 이를 분석 결과에 적용한다면 각 장비에 대한 위치 정확도(오차의 범위)는 다음 표 7과 같다.

표 7. 길이 비율(p) 별 버퍼의 크기(x)

버퍼에 포함된 측점 비율(p)	버퍼크기(m)		
	PP	DGPS	GPS/INS
68.3%	8.6	9.5	6.4
90%	14.5	16.9	18.4
95%	18.1	18.5	18.5
99.9%	21.3	34.1	21.3

건물이 밀집된 도심지를 대상으로 관측된 위치 정확도를 종합해 볼 때 기준을 90%로 설정한 경우 장비별 오차는 14.5m, 16.9m, 18.4 m 내외의 오차를 가지고 있고 95%인 경우에는 약 18.1m, 18.5m, 18.5m 정도의 오차를 가지고 있는 것으로 나타났다. 연구 지역의 도로 위치 정확도를 절대적인 기준에 맞추어 분석하기는 어렵지만, 공공측량 작업 규정 세부기준(47조)에서 제시하는 지도 정확도의 기준을 근거하여 평가할 수 있을 것이다. 즉, 평면의치의 경우 1/1,000 이하의 평면 위치 오차는 0.7mm 이내로 해야 한다고 정하고 있다.

표 8. 지도 정확도(공공측량 작업규정 세부기준)

항목	1/500 이상	1/1,000 이하	비고
평면위치	0.5mm 이내	0.7mm 이내	도상거리
표고점	△h/4 이내	△h/3 이내	△h 주곡선 간격
등고선	△h/2 이내	△h/2 이내	

이 기준에 따른 축척별 위치오차와 실험 결과를 비교하여 보면, 단독측위의 경우 14.5m의 오차는 1:20,000, 18.1m 오차는 1:25,000 축척의 오차 범위 정확도를 가진다. 또한 DGPS의 16.9m와 18.5m의 오차는 1:25,000 축척의 오차 범위를 가지며, 마지막으로 GPS/INS의 18.4m와 18.5m의 오차는 1;25,000 축척 오차 범위의 정확도를 가짐을 확인할 수 있다.

4) 국토해양부 고시 제 2009-665호 (2009 개정) : 공공측량 작업 방법에 과한 기준과 규격을 통일하고 측량성과의 정확도 확보를 위한 기준임

5. 결 론

버스 노선 형상을 측점하기위한 동적 관측의 경우 특정 지점에 대한 공간적 위치 비교가 어렵기 때문에, 단순히 통계적 모형을 이용하여 측정된 위치 정확도를 분석하는 것은 상당히 어려운 일이다. 이러한 문제를 해결하기위해 본 연구에서는 단일 버퍼링 기법을 이용하여 GPS에 의해 실시간 측정된 버스 노선의 정확도 평가 방안을 제시하고자 하였다. 이를 위해 단독 측위, DGPS, GPS/INS 장비를 이용하여 경기도 안양시 일대를 대상으로 노선 위치 측정 결과를 상호 비교하고 정확도와 오차의 영향을 분석하였다. 연구 결과로서 첫째, 정류소 위치에 대한 단독측위의 경우 실시간 DGPS 관측과 GPS/INS DGPS 관측과 비교하여 2개의 관측성과 모두 5m 이내 정확도 범위 내에 결과를 얻을 수 있었다. 특히, 노선의 경우 공공측량 작업 규정 세부기준의 축척별 위치 오차에 근거하여 단독측위 14.5m의 오차는 1:20,000 , 18.1m의 오차는 1:25,000 축척의 오차 범위의 정확도를 가지며, DGPS의 16.9m와 18.5m의 오차는 1:25,000 축척의 오차 범위, GPS/INS의 18.4m와 18.5m의 오차는 1;25,000 축척의 오차 범위의 정확도를 가짐을 확인할 수 있었다.

참고문헌

박경식, 임인섭, 최석근 (2001), 수치일반화 위치정확도 품질평가, **한국측량학회지**, 제19권, 제2호, pp. 173-181.

주용진, 함창학 (2011), 고급 대중교통 정보 제공을 위한 버스 기반 정보 DB의 정확도 향상 방안, 2011 NSDI **공동추계학술대회 논문집**, 한국지형공간정보학회, pp. 65-66.

최병길 (1999), 이동차량에 탑재된 GPS의 동적 위치측정에 관한 연구, **한국측량학회지**, 제 17권, 제 4호, pp. 373-381.

Goodchild, M. F. and G. J. Hunter (1997), A simple positional accuracy measure for linear features, *International Journal of Geographical Information Science,* Vol.11, No.3, pp. 299-306.

Park, S. H. and H. S. Kim (2001), Measuring the Positional Accuracy of Linear Feature in 1:5,000 Digital Topographic Maps, *The Journal of GIS Association of Korea,* Vol. 9, No. 4, pp. 617-628.

(접수일 2011. 12. 08, 심사일 2011. 12. 15, 심사완료일 2011. 12. 16)