

GPS L1/L2 반송파를 이용한 기선해석 Baseline Analysis Using L1/L2 Carrier Phase of GPS

박정현¹⁾ · 강준목²⁾

Park, Joung Hyun · Kang, Joon Mook

¹⁾ 동강대학 토지정보관리과 겸임교수 (parkjh70@empal.com)

²⁾ 충남대학교 공과대학 토목공학과 교수 (kang_im@cnu.ac.kr)

요 지

As an application of GPS is increased by world geodetic system introduction gradually, in this time, It is increased necessary of GPS baseline analysis program development. In this study, I developed a baseline analysis program by L1/L2 carrier. And I compared a baseline analysis result with a commercial program. I showed precision of approximately $\pm 1\text{cm}$ in a baseline length in case of Narrow lane as a result that a baseline analysed a developed program.

1. 서 론

세계 측지계로의 전환으로 좌표변환없이 GPS 성과를 직접 활용할 수 있게 됨에 따라 지형정보구축 분야에서 GPS의 활용성이 크게 증가되고 있다. 우리나라에서는 현재 국토지리정보원, 천문연구원, 해양수산부, 행정자치부 등에서 상시관측소를 설치하여 운용하고 있으며, 관측 데이터를 보다 편리하게 이용할 수 있도록 하기 위해 다양한 연구를 수행하고 있다. 높은 정밀도를 요구하는 측량분야에서는 mm의 정밀도를 갖고 있는 반송파를 이용해야 한다. L1과 L2 반송파를 모두 수신할 수 있는 이주파 수신기를 활용하면 다양한 선형조합으로 미지정수를 보다 쉽게 결정할 수 있고 전리층 지연오차도 소거할 수 있기 때문에 보다 높은 정밀도를 얻을 수 있다. GPS 측량 성과를 이용하여 3차원 기선벡터를 획득하기 위해서는 기선해석 소프트웨어를 이용하여 GPS 관측데이터를 처리하여야 하며, 현재 국내에서는 Trimble Geomatic Office, SKI-PRO, Pinnacle 등의 외국에서 개발된 프로그램을 이용하고 있다. 그러나, 국내에서도 기선해석 프로그램 개발의 필요성을 인식하여 서울대학교, 인하대학교, 충남대학교, 천문연구원 등 여러 학교 및 연구소에서 기선해석 프로그램을 개발하고 있다.(박정현, 2003; 이재원, 2001; 안용원, 1997) 그러나, L1/L2 반송파에 대한 기선해석 프로그램 개발 현황은 아직 초보단계에 머무르고 있다.

본 연구에서는 GPS L1/L2 기선해석 프로그램 개발을 위해 wide lane과 narrow lane을 형성하고 대류층 오차를 보정하여 3차원 기선벡터를 산출할 수 있는 프로그램을 개발하고자 한다. 그리고 상용프로그램과 기선해석 결과를 비교하여 개발된 프로그램의 신뢰성을 검증하고자 한다.

2. 기본이론

위성과 수신기 사이의 거리를 측정할 목적으로 관측되는 반송파는 전리층 및 대류권 지연 오차, 위성 및 수신기 시계오차, 위성좌표 오차 등 많은 오차를 내포하고 있으나, 상대위치결정의 경우 여러 오차들이 소거되거나 매우 축소됨으로 보다 정확한 위치 결정이 가능하게 된다. 이중차분을 형성하면 수신기 시계오차와 위성시계오차가 소거되는 장점이 있으며, 단기선의 경우 전리층 및 대류권 지연오차의 영향이 두 측정점에서 거의 동일하기 때문에 보다 정밀한 위치 결정이 가능하게 된다.

반송파에 의한 위성과 수신기 사이의 관측 방정식은 다음과 같이 표시된다.

$$\lambda\Phi = \rho + \lambda N + dts + dtr - dion + dtrop + dmp + \epsilon \quad (1)$$

여기서, λ : 파장, Φ : 반송파, ρ : 위성과 수신기 간 실제거리

N : 미지정수, dts : 위성시계오차, dtr : 수신기 시계오차, $dion$: 전리층 오차,

$dtrop$: 대류권 오차, dmp : 다중경로에 의한 오차, ϵ : 잔여 오차

정지측량의 경우는 대부분 반송파에 대한 이중차분을 이용하게 되며, 이러한 경우 위성시계오차와 수신기 시계오차 등이 소거됨으로 보다 정확한 위치 결정이 가능하게 된다. 매우 단기선이라 가정하면 전리층 및 대류권 오차도 매우 작아지게 된다. L1과 L2 반송파를 더하면 11cm 의 파장을 갖는 Narrow lane이 형성되며 위 식은 다음과 같이 변경된다.

$$\lambda_n\Phi = \rho + \lambda_n N - dion + dtrop + \epsilon \quad (2)$$

여기서, λ_n : Narrow lane 파장 = 10.7cm .

또한, L1 반송파와 L2 반송파의 차를 이용하면 86.2cm의 Wide lane을 형성할 수 있으며 식(3)과 같은 형태로 나타낼 수 있다.

$$\lambda_w\Phi = \rho + \lambda_w N - dion + dtrop + \epsilon \quad (3)$$

여기서, λ_w 은 Wide lane 파장 = 86.2cm.

기준점 A와 미지점 B에 GPS 수신기를 설치하고 위성 j, k로부터 반송파를 수신한 경우, 위에 기술된 파장들에 대한 이중차분식은 (4)와 같이 표시된다. (Hofmann-Wellenhof, 2001)

$$\lambda\Phi_{AB}^{jk}(t) = \rho_{AB}^{jk}(t) + \lambda N_{AB}^{jk} - dion_{AB}^{jk} + dtrop_{AB}^{jk} \quad (4)$$

여기서, $\Phi_{AB}^{jk} = \Phi_A^j - \Phi_A^k - \Phi_B^j + \Phi_B^k$, $\rho_{AB}^{jk} = \rho_A^j - \rho_A^k - \rho_B^j + \rho_B^k$, $N_{AB}^{jk} = N_A^j - N_A^k - N_B^j + N_B^k$

위 식에서 위성과 수신기 간의 거리를 선형화하고, 미지수를 등호의 우측에 모아서 재 정리하면 식 (5)과 같이 표시된다.

$$\begin{aligned} \lambda\Phi_{AB}^{jk}(t) - [\rho_A^j(t) - \rho_A^k(t) - \rho_B^j(t) + \rho_B^k(t)] + dion_{AB}^{jk} - dtrop_{AB}^{jk} \\ = \alpha_{XB}^{jk}(t)\Delta X_B + \alpha_{YB}^{jk}(t)\Delta Y_B + \alpha_{ZB}^{jk}(t)\Delta Z_B + \lambda N_{AB}^{jk} \end{aligned} \quad (5)$$

$$\text{여기서, } \alpha_{XB}^{jk}(t) = -\frac{X^k(t) - X_{B0}}{\rho_{B0}^k(t)} + \frac{X^j(t) - X_{B0}}{\rho_{B0}^j(t)}, \quad \alpha_{YB}^{jk}(t) = -\frac{Y^k(t) - Y_{B0}}{\rho_{B0}^k(t)} + \frac{Y^j(t) - Y_{B0}}{\rho_{B0}^j(t)}$$

$$\alpha_{ZB}^{jk}(t) = -\frac{Z^k(t) - Z_{B0}}{\rho_{B0}^k(t)} + \frac{Z^j(t) - Z_{B0}}{\rho_{B0}^j(t)}$$

위성이 추가되면 위 식을 이용하여 $Ax = \ell$ 과 같은 매트릭스 형태로 나타낼 수 있다.

그러나, 미지수의 수가 방정식보다 많기 때문에 코드와 같이 한번만 데이터를 수신해서는 미지점의 위치를 구할 수 없다. 미지정수는 관측 초기에 위성과 수신기 사이의 파장의 수로 신호가 단절되지 않는다면 일정한 값을 갖게 된다. 따라서 장시간 동안 데이터를 축적하여 방정식의 수를 증가시키면 이중차

실수해를 얻을 수 있다.(Gilbert Strang ,1998) 실수해의 경우는 최소제곱법을 통해 실수로 나타나기 때문에 이를 정수로 변경하는 과정을 미지정수 해결이라 한다. 이중차분의 경우 많은 상관성이 있기 때문에 실수 미지정수를 정수로 근사시켜 사용하면 올바른 해를 산출할 수 없으며, 실수 미지정수와 공분산 행렬을 이용하여 올바른 미지정수를 해결해야 된다. 이런 미지정수 해결 방법에는 여러 가지가 있으나, 미지정수를 비상관화시켜 검색시간을 단축시킬 수 있는 LAMBDA 기법을 이용하여 미지정수를 결정하였다. (Tiberius, 1996 ; Teunissen, 1998) 미지정수가 해결되면 이를 기지값으로 하여 이중차 정수해를 얻을 수 있다.

3. 프로그램 개요

GPS 기선해석 프로그램은(GPSBP)은 크게, 다이얼로그 박스를 통한 데이터 입출력 부분(CGPSDig 클래스), LAMBDA 기법을 활용한 미지정수 해결부분(CLambda 클래스), 기선길이 및 좌표를 계산하는 부분(CGPS 클래스), CGPS 클래스를 상속한 L2 기선해석 클래스(GPSL2), Wide lane 기선해석 클래스(GPSW), Narrow lane 기선해석 클래스(GPSN)를 작성하였다. 그리고, Visual C++ 6.0을 이용하여 실행 파일을 작성하였다.

기선해석 프로그램의 메인윈도우는 다이얼로그 기반으로 작성하였다. 그림 1은 기선해석에 대한 환경설정부분으로 기준점의 좌표를 입력하고, 자료처리에서 제거할 위성을 선택하도록 하였다. 위성 고도각을 입력하여 고도가 낮은 위성이 포함된 경우 기선해석에서 제거되도록 하였으며, 대류층 오차 보정은 수정 Hopfield 모델을 이용하였다. 그림 2는 기선해석이 완료된 이후 관측 위성에 대한 초기 위성 고도각, 이중차 실수해, 이중차 정수해, 기준점 좌표와 이동점좌표 등의 기선해석 결과를 편집박스에 출력한 결과이다.

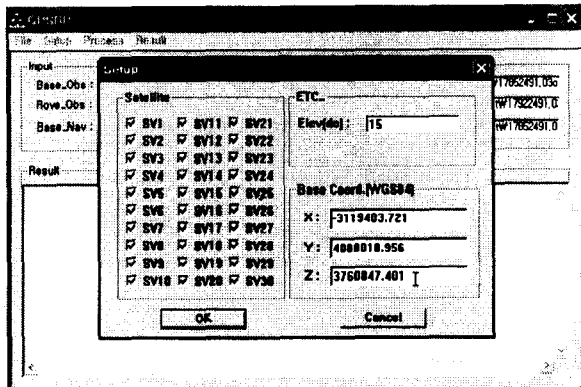


그림 1. 환경설정

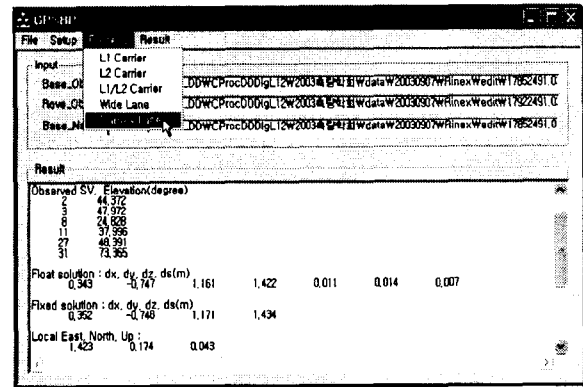


그림 2. 기선해석 결과

그림 3은 프로그램의 개략적인 자료처리 흐름도를 나타낸 것으로, RINEX 형식의 관측 및 항법 데이터를 로딩하여 이중차 실수해를 산출하고 미지정수를 해결하여 이중차 정수해를 산출하는 과정을 표시한 것이다.

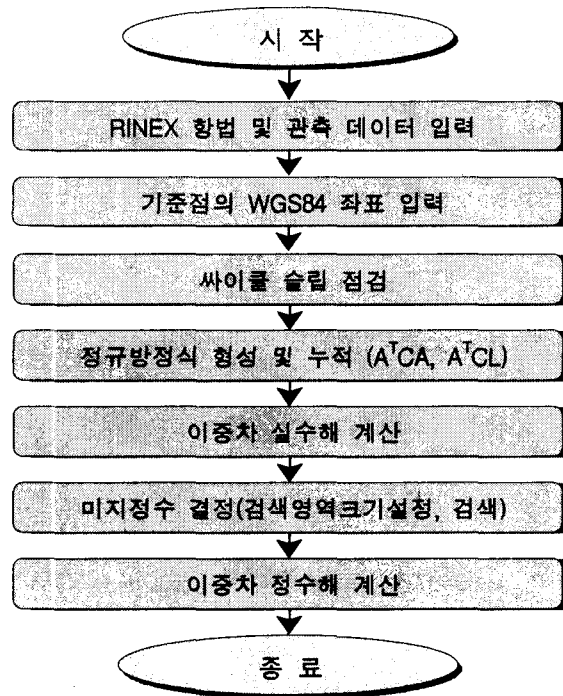


그림 3. GPSBP의 기선해석 흐름도

4. 기선해석 및 결과분석

기선길이 1.4m 정도 떨어진 위치에서 트림블 4800수신기로 30분 동안 관측된 데이터를 RINEX 형식으로 변환하여 GPSBP로 기선해석 하였다. 산출된 기선벡터를 기준으로 각각의 epoch에 대한 축방향 변동량을 계산하여 그래프로 표시하면 그림 4, 그림 5와 같다. Wide lane의 경우 X, Y, Z 축 방향의 정밀도(1σ)는 $\pm 0.0131m$, $\pm 0.0183m$, $\pm 0.0160m$, Narrow lane은 $\pm 0.0029m$, $\pm 0.0041m$, $\pm 0.0036m$ 을 나타내었다.

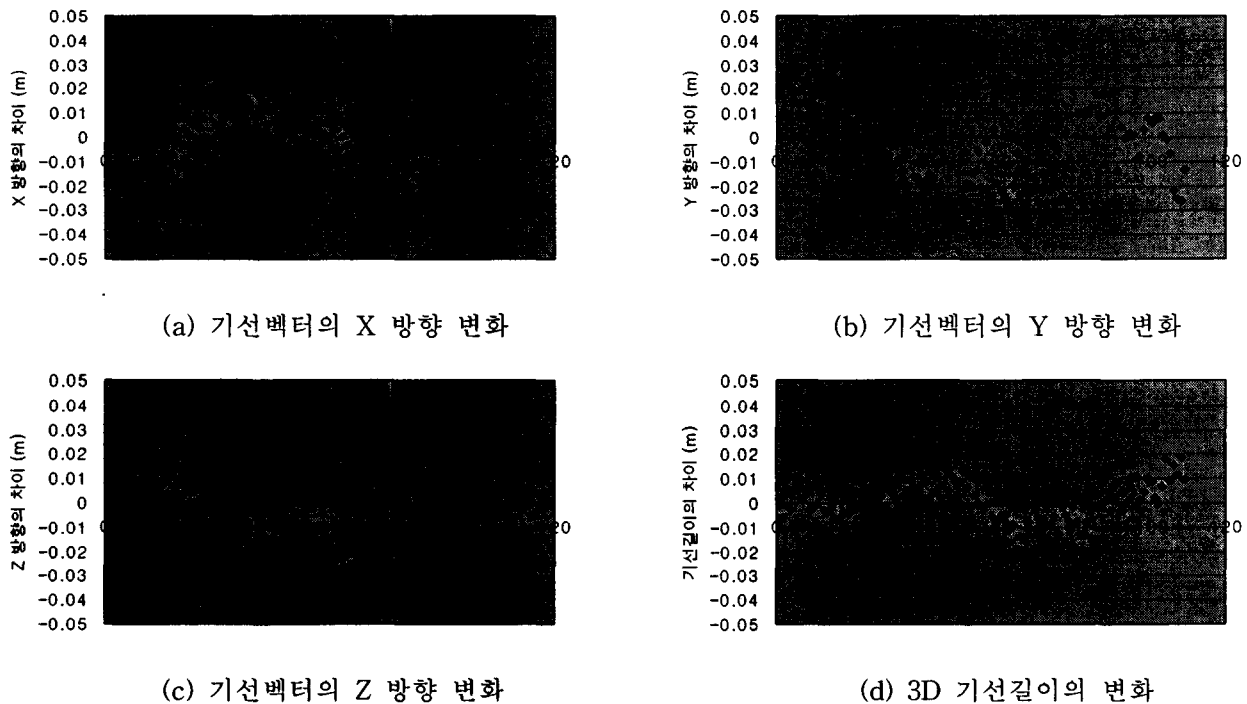


그림 4. Wide lane에 대한 각 epoch별 기선벡터의 변동량

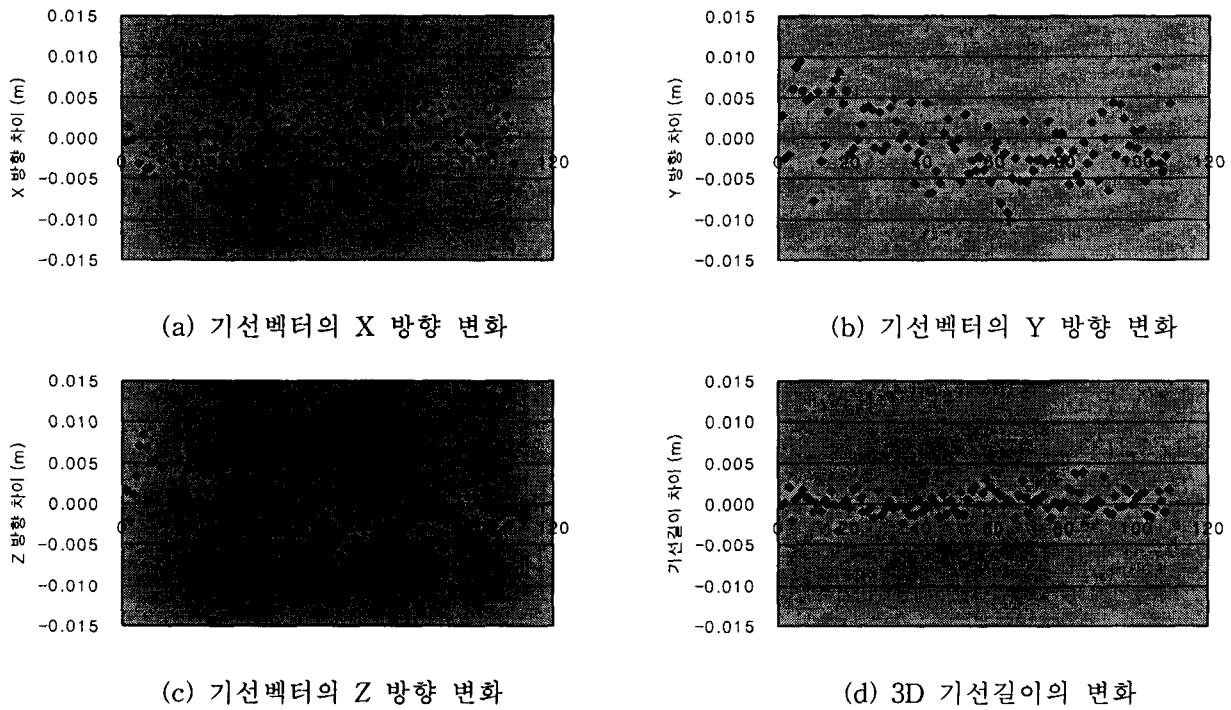


그림 5. Narrow lane에 대한 각 epoch별 기선벡터의 변동량

기선길이 15km 이하에서 40분 이상 관측된 5개 기선에 대해 GPSBP로 기선해석한 결과는 표 1과 같으며, 동일기선을 상용프로그램인 TGO로 기선해석한 결과는 표 2와 같다. Wide Lane의 경우는 상용 프로그램과 최대 5cm 까지 차이를 나타내고 있으나, Narrow Lane의 경우는 대부분 1cm 이하로 매우 근소한 차이를 나타내고 있다.

표 1. 기선길이에 따른 파장별 기선해석 결과 (GPSBP) (단위:m)

파장	기선길이	DX	DY	DZ	DS
WL	2506	1189.063 ± 0.054	-991.990 ± 0.082	1971.257 ± 0.054	2506.745 ± 0.035
	3022	-1516.151 ± 0.041	-2315.545 ± 0.062	1213.522 ± 0.053	3022.101 ± 0.029
	5032	1219.400 ± 0.049	3856.972 ± 0.062	-2994.370 ± 0.056	5032.834 ± 0.029
	5602	-1732.289 ± 0.047	2933.802 ± 0.041	-4448.030 ± 0.049	5602.944 ± 0.020
	12896	11063.542 ± 0.025	2527.826 ± 0.048	6126.639 ± 0.047	12896.805 ± 0.025
NL	2506	1189.066 ± 0.020	-992.014 ± 0.025	1971.240 ± 0.014	2506.743 ± 0.011
	3022	-1516.179 ± 0.013	-2315.492 ± 0.018	1213.548 ± 0.017	3022.085 ± 0.012
	5032	1219.402 ± 0.012	3856.935 ± 0.016	-2994.380 ± 0.014	5032.812 ± 0.005
	5602	-1732.284 ± 0.028	2933.782 ± 0.024	-4448.036 ± 0.032	5602.937 ± 0.011
	12896	11063.502 ± 0.011	2527.866 ± 0.019	6126.645 ± 0.024	12896.781 ± 0.016

표 2. 기선길이에 따른 파장별 기선해석 결과 (TGO) (단위:m)

기선길이	DX	DY	DZ	DS
2506	1189.065 ± 0.001	-992.013 ± 0.002	1971.240 ± 0.002	2506.741 ± 0.001
3022	-1516.172 ± 0.002	-2315.496 ± 0.003	1213.546 ± 0.003	3022.084 ± 0.002
5032	1219.403 ± 0.003	3856.948 ± 0.004	-2994.371 ± 0.003	5032.817 ± 0.002
5602	-1732.286 ± 0.003	2933.782 ± 0.003	-4448.031 ± 0.003	5602.934 ± 0.001
12896	11063.499 ± 0.001	2527.865 ± 0.002	6126.644 ± 0.002	12896.778 ± 0.001

5. 결론 및 고찰

기선길이 15km 이하의 단기선에서 관측된 GPS 데이터를 기선해석할 수 있는 GPS 프로그램(GPSBP)을 개발하였으며 상용프로그램과 기선벡터의 차이를 비교한 결과 Narrow Lane을 이용한 경우 측방향으로 각각 1cm 이하의 차이를 나타내었다. 앞으로 중·장거리에 대한 기선벡터를 결정하기 위해서는 IonoFree 선형조합 등에 대한 연구가 필요할 것으로 생각된다.

참고문헌

- 박정현, 이용욱, 권재현, 강준묵 (2003), "LAMBDA 기법을 활용한 L1 반송파의 GPS 기선해석 프로그램 개발", 한국측량학회지, 한국측량학회, 제 21권 제 2호, pp. 173~180.
- 이재원 (2001), L1 반송파의 GPS 기선해석 소프트웨어 개발, 대한토목학회논문집, 대한토목학회, 제21권, 제6-D호, pp. 851~860.
- 안용원, 김천휘, 박필호, 박종욱, 조정호 (1997), "GPS의 반송파 위상을 이용한 상대측지 S/W 개발", 한국우주과학회지, 한국우주과학회, 제 14권 제 2호.
- B. Hofmann-Wellenhof, H. Lichtenegger, and J. Collins (2001), *GPS Theory and Practice*, Springer-Verlag Wien New Work, pp. 189~252.
- Alfred Leick (1995), *GPS Satellite Surveying*, Second Edition, A Willey-InterScience Publication, pp. 317~380.
- Gilbert Strang and Kai Borre (1998), *Linear Algebra, Geodesy, and GPS*, Wellesley-Cambridge Press. pp. 481~505.
- Paul de Jonge and Christian Tiberius (1996), The LAMBDA method for integer ambiguity estimation: implementation aspects, Technical report. LGR Series, No. 12, Delft Geodetic Computing Centre, Delft University of Technology, The Netherlands. pp.1~45.
- P.J.G. Teunissen, A.Kleusberg (1998), *GPS for Geodesy*, Springer, pp. 319~385.