

## 단기선에서 L1/L2 반송파를 이용한 GPS 기선해석

### The Baseline Analysis of GPS Using L1/L2 Carrier Phase In Short Baseline

강준목<sup>1)</sup> · 박정현<sup>2)</sup> · 신재현<sup>3)</sup>

Kang, Joon-Mook · Park, Joung-Hyun · Sun, Jae-Hyun

1) 충남대학교 공과대학 토목공학과 교수(E-mail: kang\_jm@cnu.ac.kr)

2) 동강대학 토지정보관리과 겸임교수(E-mail: parkjh70@empal.com)

3) 충남대학교 공과대학 토목공학과 박사과정(E-mail: civilsun@hanmail.net)

#### Abstract

As the utility value of GPS in surveying field is on the increase after the conversion into the world geodetic system, it is attracting the interest of many people involved in the application of GPS. In this study an algorithm was established settling ambiguity through LAMBDA techniques and the baseline processing program was developed for L1/L2 carrier phase using visual c++ 6.0, which is an object-oriented language. And the developed program proved that it maintained a difference of less than 3mm over the short baseline of 1.5m or shorter when compared with other commercialized programs.

## 1. 서론

GPS는 인공위성으로부터 신호를 수신하여 측정점의 3차원 위치를 신속·정확하게 결정할 수 있기 때문에 전세계적으로 선박 및 비행기 등의 항법 등에 많이 사용되고 있으며, 기준점 재정비 및 지각변동 감지 등을 목적으로 망을 형성하여 정기적으로 관측이 수행되고 있다. 우리나라에서도 1990년대부터 GPS에 대한 연구가 시작되었으며, 현재는 국립지리원, 행정자치부, 해양수산부 등에서 상시관측소를 설치하여 운영하고 있다. 2007년부터 GPS를 일반측량에 이용할 수 있도록 측량법이 개정됨에 따라 앞으로 GPS의 활용은 크게 증가할 것으로 기대되며, 보다 효율적으로 활용하기 위해 보다 폭넓은 연구의 필요성이 증대되고 있다.

높은 정밀도를 요구하는 측량분야에서는 mm의 정밀도를 갖고 있는 반송파를 이용하며, L1과 L2 반송파를 모두 수신할 수 있는 이주파 수신기를 활용하면 전리층 지연오차를 소거할 수 있기 때문에 보다 높은 정밀도를 얻을 수 있다. GPS 측량 성과를 이용하여 3차원 기선벡터를 획득하기 위해서는 기선해석 소프트웨어를 이용하여 GPS 관측데이터를 처리하여야 한다. 기선해석 소프트웨어에는 GPSurvey, Trimble Geomatic Office, SKI-PRO, Pinnacle 등 여러 가지가 있다. 그러나 모두 외국의 수신기 제조회사에서 개발한 것이기 때문에 기선해석에 대한 개략적인 순서와 기선해석 결과만 알 수 있을 뿐 내부적으로 어떠한 과정을 거쳐 결과가 산출되는지를 명확하게 알고자 하는 경우에는 많은 어려움이 따르게 된다.

본 논문에서는 이주파 수신기에 의한 기선해석 진행과정을 알아보고 단기선에서 파장별 기선해석 정밀도를 분석하기 위해, L1/L2 반송파를 이용한 GPS 기선해석 소프트웨어를 개발하고 L1, L2 로 각각 처리한 결과와 Wide Lane 또는 Narrow Lane을 형성하여 처리한 결과를 비교하고자하며, 상용프로그램과 기선해석 결과를 비교하여 개발된 소프트웨어의 신뢰성을 검증하고자 한다.

## 2. 기선해석 이론

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 측점에서 거의 동일하기 때문에 보다 정밀한 위치 결정이 가능하게 된다.(Teunissen,1998)

반송파에 의한 위성과 수신기 사이의 관측 방정식은 다음과 같이 표시된다.

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

여기서,  $\lambda$  : 파장,  $\Phi$  : 반송파,  $\rho$ : 시간  $t$ 가 경과함에 따른 측점 A,B와 위성 j,k간의 거리,

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

$dtrop$  : 수신기 시계오차,  $dmp$  : 다중경로에 의한 오차,  $\epsilon$  : 잔여 오차

식(1)에 L1과 L2 반송파를 적용한 후 두 식의 차이를 구하면 파장이 86cm 정도 되는 Wide Lane 이 되며, 두 식을 더하면 11cm 정도의 Narrow Lane이 획득된다.

기준점 A와 미지점 B에 GPS 수신기를 설치하고 위성 j,k로부터 반송파를 수신한 경우, 위에 기술된 파장들에 대한 이중차분식은 (2)와 같이 표시된다. (Hofmann-Wellenhof, 2001)(이재원, 2001)

$$\lambda\Phi_{AB}^{jk}(t) = \rho_{AB}^{jk}(t) + \lambda N_{AB}^{jk} \quad (2)$$

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 (3)과 같이 표시된다.

$$\begin{aligned} \lambda\Phi_{AB}^{jk}(t) - [\rho_A^j(t) - \rho_A^k(t) - \rho_B^j(t) + \rho_B^k(t)] \\ = \alpha_{XB}^{jk}(t)\Delta X_B + \alpha_{YB}^{jk}(t)\Delta Y_B + \alpha_{ZB}^{jk}(t)\Delta Z_B + \lambda N_{AB}^{jk} \end{aligned} \quad (3)$$

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

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

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. (Borre,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 공분산행렬을 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) 미지

정수가 해결되면 이를 기지값으로 하여 이중차 정수해를 얻을 수 있다.(Teunissen, 1998)

### 3. 프로그램의 구성

GPS 기선해석 프로그램(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.(박정현, 2003) 그리고, 객체지향 언어인 Visual C++ 6.0을 이용하여 실행파일을 작성하였다.

기선해석 프로그램의 메인윈도우는 다이얼로그 기반으로 작성하였다. 그림 1은 관측 데이터 파일을 선택하는 부분이며, 그림 2는 기선해석에 대한 환경설정부분으로 기준점의 좌표를 입력하고, 자료처리에서 제거할 위성을 선택 하도록 하였다. 그리고, 위성 고도각을 입력하여 고도가 낮은 위성이 포함된 경우 기선해석시 제거되도록 하였다. 그림 3은 기선해석이 완료된 이후 관측 위성에 대한 초기 위성 고도각, 이중차 실수해, 이중차 정수해, 기준점 좌표 와 이동점좌표 등의 기선해석 결과를 편집박스에 출력한 결과이다.

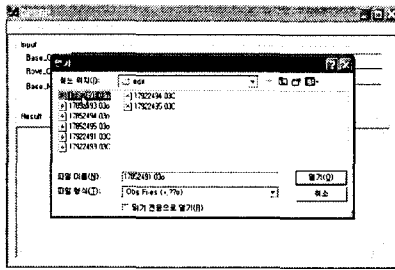


그림 1. 관측 및 항법 파일 선택

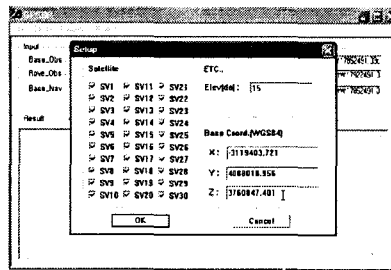


그림 2. 환경설정

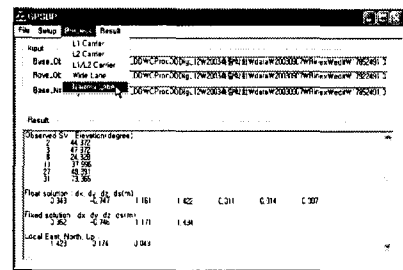


그림 3. 기선해석 결과

그림 4는 프로그램의 개략적인 자료처리 흐름도를 나타낸 것이며, RINEX 형식의 관측 및 항법 데이터를 로딩하여 이중차 실수해를 산출하고 미지정수를 해결하여 이중차 정수해를 산출한다.

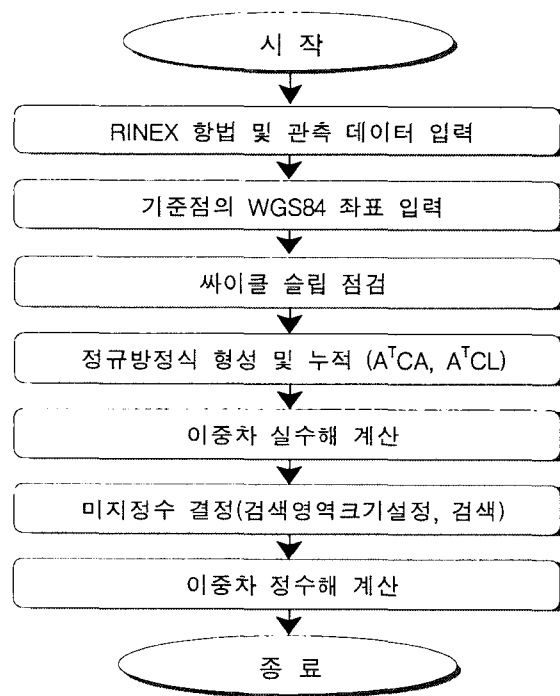


그림 4. GPSBP의 기선해석 흐름도

#### 4. 기선해석 및 비교분석

개발된 프로그램의 신뢰성 검증을 위해 L1, L2, Wide Lane, Narrow Lane 으로 각각 기선해석하였으며 트림블사의 상용프로그램인 GPSurvey 2.35와 기선해석 결과를 비교하였다.

2대의 트림블 4800 수신기로 정지한 상태에서 30분씩 4회 관측된 데이터를 RINEX 형식으로 변환한 후, GPSurvey 2.35와 GPSBP로 각각 기선해석한 결과는 표 1, 표 2와 같다.

표 1. GPSurvey 기선해석 결과

	DX	DY	DZ	DS
1	0.354	-0.750	1.169	1.433
2	0.350	-0.745	1.174	1.434
3	0.352	-0.747	1.175	1.436
4	0.351	-0.744	1.177	1.436

(a) L1

	DX	DY	DZ	DS
1	0.352	-0.750	1.172	1.435
2	0.347	-0.745	1.175	1.434
3	0.350	-0.749	1.172	1.434
4	0.346	-0.743	1.172	1.431

(b) L2

	DX	DY	DZ	DS
1	0.356	-0.749	1.166	1.431
2	0.356	-0.745	1.172	1.434
3	0.355	-0.744	1.178	1.438
4	0.356	-0.745	1.182	1.442

(c) Wide Lane

	DX	DY	DZ	DS
1	0.353	-0.750	1.170	1.434
2	0.349	-0.745	1.174	1.434
3	0.351	-0.748	1.174	1.435
4	0.349	-0.744	1.175	1.434

(d) Narrow Lane

1. 2003년 9월 6일 21:03~21:34, 위성 6대, 기준위성 31.
2. 2003년 9월 6일 22:34~23:02, 위성 6대, 기준위성 11.

3. 2003년 9월 6일 22:34~23:02, 위성 6대, 기준위성 11.
4. 2003년 9월 6일 23:03~23:33, 위성 5대, 기준위성 11.

표 2. GPSBP 기선해석 결과

	DX	DY	DZ	DS
1	0.352	-0.748	1.171	1.433
2	0.350	-0.745	1.175	1.435
3	0.351	-0.746	1.177	1.437
4	0.350	-0.744	1.177	1.435

(a) L1

	DX	DY	DZ	DS
1	0.351	-0.749	1.172	1.435
2	0.348	-0.747	1.173	1.434
3	0.35	-0.749	1.172	1.434
4	0.346	-0.744	1.173	1.431

(b) L2

	DX	DY	DZ	DS
1	0.356	-0.741	1.168	1.428
2	0.359	-0.739	1.179	1.437
3	0.354	-0.734	1.195	1.446
4	0.364	-0.743	1.191	1.450

(c) Wide Lane

	DX	DY	DZ	DS
1	0.352	-0.748	1.171	1.434
2	0.349	-0.746	1.174	1.434
3	0.350	-0.747	1.175	1.436
4	0.349	-0.744	1.175	1.433

(d) Narrow Lane

상용프로그램의 기선해석 결과를 기준으로 GPSBP의 기선해석 결과와의 차이를 계산하여 도시하면 그림 5와 같다. L1, L2, Narrow Lane 의 경우는 각각의 기선벡터 성분이나 기선거리에서 2mm 이상 차이를 나타내지 않고 있다. 반면에 Wide Lane의 경우는 1,2,4번째로 관측된 데이터의 경우는 각각의 성분에서 최대 9mm 까지 차이가 나고 있으며, 3번째 관측된 데이터의 경우는 Z방향 성분에서 17mm의 차이를 나타내고 있었다.

그림 6은 상용프로그램에 의해 자동으로 기선해석된 4개의 기선벡터 및 기선거리를 평균하여 정확한 기선벡터를 계산한 후, 상용프로그램에 의해 L1, L2, Wide Lane, Narrow Lane으로 각각 기선해석한 결과와 기선벡터 및 기선길이 차이를 계산하여 나타낸 결과이다.

L1과 Narrow Lane으로 기선해석한 결과는 각각의 기선벡터 성분에서 3mm 이하의 차이를 나타내고 있으며, L2는 6mm 이하의 차이를 나타내었다. 반면에 Wide Lane의 경우는 기선벡터 성분에서 최대 21mm정도의 차이를 나타내었다.

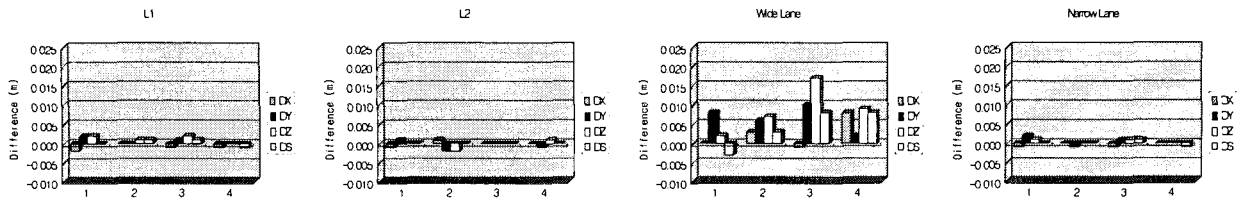


그림 5. 상용프로그램을 기준한 GPSBP의 기선해석 결과 차이

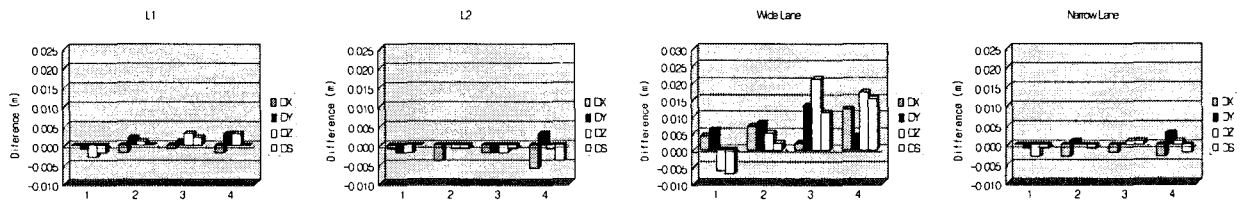


그림 6. 상용프로그램의 파장별 기선해석 결과 차이

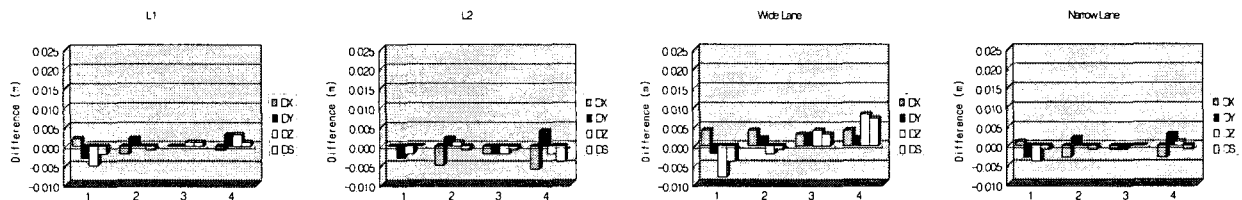


그림 7. GPSBP의 파장별 기선해석 결과 차이

상용프로그램에 의해 자동으로 기선해석된 4개의 기선벡터 및 기선거리를 평균하여 정확한 기선벡터를 계산한 후, GPSBP를 이용하여 L1, L2, Wide Lane, Narrow Lane 으로 각각 기선해석한 결과와의 기선벡터 및 기선길이 차이를 계산한 후 그래프로 나타낸 결과는 그림 7과 같다. L1은 기선벡터 성분에서 5mm 이하, L2의 경우는 6mm 이하, Narrow Lane의 경우는 4mm 이하의 차이를 보이고 있으며, Wide Lane의 경우는 8mm로 상대적으로 약간 높은 차이를 나타내었다.

이상의 결과로부터, 상용프로그램과의 기선벡터 차이를 비교한 그림 5의 경우 Wide Lane에서 21mm의 차이를 나타낸 것은 상용프로그램의 Wide Lane 기선해석 결과가 L1, L2, Narrow Lane 결과에 비해 상대적으로 10~20mm 정도의 상대적으로 큰 오차가 발생한 때문이며, GPSBP의 Wide Lane 오차가 적게 나온 것은 매우 단기선이기 때문에 전리층과 관련된 항목을 미지수로 고려하지 않은 때문으로 사료된다.

## 5. 결론

GPS 위성의 항법 정보를 포함하고 있는 Rinex 형식의 항법파일과 관측파일을 이용하여 위성의 위치를 계산하고 CA코드를 이용하여 수신기의 초기위치를 결정한 후, L1, L2, Wide Lane, Narrow Lane 으로 각각 이중차 실수해 및 정수해를 산출할 수 있는 기선해석 프로그램을 개발하였으며, 상용프로그램과 비교하여 mm의 정밀도를 확인할 수 있었다. 그리고 매우 단기선인 경우, Wide Lane에 의한 이중차분을 형성하면 미지정수를 쉽게 얻을 수 있으나, mm의 정밀도를 나타내는 L1, L2, Narrow Lane 등에 비해 10mm~20mm 정도의 오차를 갖고 있음을 알 수 있었다.

앞으로 전리층에 무관한 선형조합, 다중경로, 신호단절 등에 대한 연구가 진행된다면 보다 완전한 기

선해석 프로그램을 개발할 수 있을 것으로 기대된다.

### 참고문헌

- 박정현, 이용욱, 권재현, 강준목, (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.
- B. Hofmann-Wellenhof, H. Lichtenegger, and J. Collins (2001), *GPS Theory and Practice*, Springer-Verlag Wien New Work, pp. 189~252.
- Gilbert Strang and Kai Borre (1998), *Linear Algebra, Geodesy, and GPS*, Wellesley-Cambridge Press. pp. 481~505.
- P.J.G. Teunissen, A.Kleusberg (1998), *GPS for Geodesy*, Springer, pp. 319~385.
- 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.