

LAMBDA 기법을 활용한 L1 반송파의 GPS 기선해석 프로그램 개발

Development of a GPS Baseline Analysis Software for L1 Carrier Phase Using LAMBDA Method

박정현¹⁾ · 이용욱²⁾ · 권재현³⁾ · 강준묵⁴⁾

Park, Jung Hyun · Lee, Young Wook · Kwon, Jae Hyoun · Kang, Joon Mook

Abstract

As the utility value of GPS in surveying field is on the increase after the conversion into the world geodetic system, most of the baseline processing programs seeking the relative baseline vector for the roving point based on the base point are dependent on the foreign software, and such dependence remains a stumbling block to its wide application. In this study an algorithm was established settling ambiguity through LAMBDA techniques and the baseline processing program was developed for L1 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 4.9 cm over the short baseline of 4.9 km or shorter when compared with other commercialized programs.

요 지

세계측지계로의 전환으로 GPS는 측량분야에서 그 효용성이 크게 증가되고있는 현 시점에서, 기준점을 기준으로 이동점에 대한 상대적인 기선벡터를 구하는 기선해석프로그램은 대부분 외국 소프트웨어에 의존하고 있어 보다 폭넓은 활용에 걸림돌이 되고 있다. 본 논문에서는 LAMBDA 기법으로 미지정수를 해결하는 알고리즘을 정립하고, 객체지향언어인 Visual C++ 6.0을 이용하여 L1 반송파에 대한 기선해석 프로그램을 개발하였으며, 15km 이하의 단기선에서 상용프로그램과 비교하여 4.9센티미터 이하의 차이를 확인하였다.

핵심용어(Keywords) : 기선해석, LAMBDA, 미지정수, 반송파

1. 서 론

GPS는 위성을 기준으로 한 위성측량시스템으로 코드와 반송파를 이용하여 측점의 3차원 위치를 결정한다. 코드에 의한 상대 위치 결정은 1m 정도로 정확도가 낮지만 단순하기 때문에 자동차의 항법 등 여러 분야에서 응용되고 있다.(강준묵, 2002)

반송파에 의한 상대위치 결정은 밀리미터까지 정확하게 위치를 측정할 수 있으나 관측 초기에 위성과 수신기간 파장의 수인 미지정수를 알아야 하는 단점이 있다.(Paul de Jonge, 1996) 미지정수를 결정하는 방법에는 미지정수

함수 기법(Ambiguity Function Method), 최소제곱법을 이용한 미지정수 검색기법(Least Square Ambiguity Search Techniques), 빠른 미지정수 해결 기법(Fast Ambiguity Resolution Approach)등 여러 방법(B. Hofmann-Wellenhof, 2001 ; Gilbert Strang, 1998)이 있으며, Galileo, GLONASS 등 다른 위성시스템과의 조합 활용을 목적으로 미지정수 결정에 대한 연구가 진행 중이다.(Peter Teunissen, 2002)

LAMBDA 기법은 1993년 P.J.G Teunissen에 의해 소개된 방법으로, 미지정수를 비 상관화 시켜 미지정수 검색 시간을 단축시킬 수 있는 매우 효과적인 방법이다.(Peter Joosten, 2000) 1997년 Kai. Borre에 의해 Matlab으로 프

- 1) 정회원 · 동강대학 토지정보관리과 겸임교수(E-mail:parkjh70@empal.com)
- 2) 정회원 · 선문대학교 건설환경산업 공학부 겸임교수(E-mail:leeyoungwook@empal.com)
- 3) 정회원 · 세종대학교 지구정보공학과 조교수(E-mail:jkwon@sejong.ac.kr)
- 4) 정회원 · 충남대학교 토목공학과 교수(E-mail:kang_jm@cnu.ac.kr)

로그래밍 되었으며, 국내에서도 Matlab으로 기선해석 소프트웨어를 개발한 적이 있다.(이재원, 2001) Matlab은 행렬 연산에 많은 장점을 갖고 있는 프로그램으로 대부분의 수학함수가 기본적으로 제공되기 때문에 프로그래밍하기 쉬우나, 실행화일을 만들 수 없으므로 Matlab 프로그램이 없으면 실행하여 결과를 볼 수 없는 단점이 있다.

본 논문에서는 LAMBDA기법에 의한 미지정수 결정 알고리즘을 정립하고, 객체지향형 프로그램인 Visual C++ 6.0을 이용하여 L1 반송파에 의한 이중차 정수해 계산 프로그램을 개발하고자 한다.

2. 기본이론

2.1 이중차

미지정수 결정은 이중차 반송파 위상에 대한 파장의 수를 정수로 결정하는 과정을 말한다. 이중차 관측 방정식을 선형화하여 개념적인 구조로 나타내면 식 (1)과 같다.(P.J.G Teunissen, 1998)

$$y = A \times a + B \times b + e \quad (1)$$

여기서,

- y : 측정된 이중차 반송파 위상 측정값과 계산된 이중차 위상 측정값 사이의 차
- a : 이중차 미지정수 벡터
- b : 위치보정 성분벡터
- A, B : 미지정수와 위치벡터 관련 행렬,
- e : 모델화 되지 않은 오차

식 (1)에 최소제곱법을 적용함에 의해 이중차 실수 미지정수 계산값 \hat{a} , 위치해 \hat{b} , 그리고, 각각의 공분산 행렬 $Q_{\hat{a}}$, $Q_{\hat{b}}$ 를 구할 수 있다.(Paul R. Wolf, 1997) LAMBDA 방법을 이용한 미지정수 결정에는 식 (1)에서 획득된 실수 미지정수 \hat{a} 와 공분산 행렬 $Q_{\hat{a}}$ 이용하며, 식 (2)의 조건을 최소로 하는 정수 미지정수 \check{a} 를 계산하게 된다.

$$\min \| \hat{a} - a \|^2_{Q_{\hat{a}}^{-1}}, a \in Z^n \quad (2)$$

LAMBDA 방법을 이용하여 미지정수가 올바르게 해결되면, 식 (3)을 이용하여 미지점의 좌표를 구할 수 있다.(P.J.G Teunissen, 1997)

$$\check{b} = \hat{b} - Q_{\hat{b}\hat{a}} Q_{\hat{a}}^{-1} (\hat{a} - \check{a}) \quad (3)$$

$$Q_{\check{b}} = Q_{\hat{b}} - Q_{\hat{b}\hat{a}} Q_{\hat{a}}^{-1} Q_{\hat{a}\hat{b}}$$

2.2 LAMBDA

GPS의 경우 주로 반송파 관측값에 대한 이중차를 형성하여 미지점의 위치를 구하지만, 이중차는 큰 상관관계를 갖고 있다. LAMBDA 방법은 크게 상관되어 있는 이중차 미지정수를 Z 행렬을 통해 비 상관화 시킨 후 타원 영역의 검색 범위를 지정하여 실수 미지정수에 가장 근접한 정수의 미지정수를 결정하는데 이용된다.

비 상관화 과정은 임의 행렬을 대각행렬의 형태로 변환시킬 수 있는 Z 행렬을 구함에 의해 이루어진다. Z 행렬은 일대일 정수 변환관계가 성립하고 검색 공간의 체적을 보존하기 위해 모든 원소가 정수이고 행렬식(Determinant)이 1 이어야 한다. 이러한 제한조건을 지닌 Z 행렬에 의해 완벽한 비상관화는 이루어질 수 없지만 부분적인 비 상관화가 이루어지므로 불필요한 검색시간을 줄일 수 있게 된다.(한훈택, 2000)

따라서, Z 행렬을 이용하면 실수 미지정수 \hat{a} 는 식 (4)에 의해 새로운 정수 미지정수 \hat{z} 로 변환되며, 공분산 행렬도 식 (5)를 이용하여 변경된다.(Jonge, 1996 ; Pratalp Misra 2001)

$$\hat{z} = Z^T \hat{a} \quad (4)$$

$$Q_{\hat{z}} = Z^T Q_{\hat{a}} Z \quad (5)$$

정수 미지정수 검색은, 식 (2)의 검색조건을 최소화하는 것으로, 식 (6)과 같이 미지정수의 분산-공분산 행렬에 의해 정의된 n 차원 미지정수로 이루어진 타원 영역의 검색 범위 내부에 있는 정수 격자점들에 대해 수행된다.

$$(\hat{a} - \check{a})^T Q_{\hat{a}}^{-1} (\hat{a} - \check{a}) \leq \chi^2 \quad (6)$$

Z 변환으로 변경된 검색영역에서 식 (2)의 검색조건을 만족하는 미지정수가 결정되면, 식 (7)을 이용하여 본래의 미지정수를 계산한다.

$$\check{a} = Z^{-T} \cdot \check{z} \quad (7)$$

3. 프로그램 구성

LAMBDA 기법을 이용한 L1 반송파 기선해석 프로그램

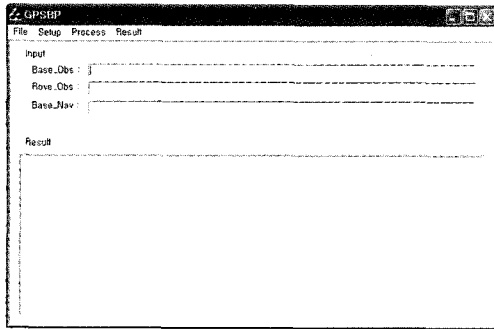


그림 1. 자료처리 메인 윈도우

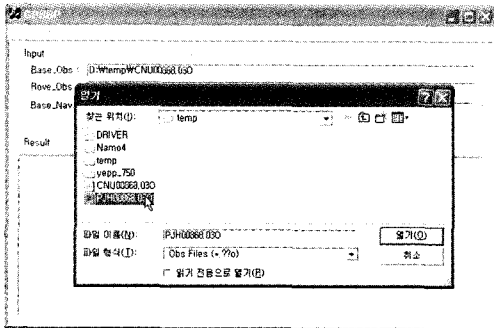


그림 2. 관측 및 항법 파일 선택

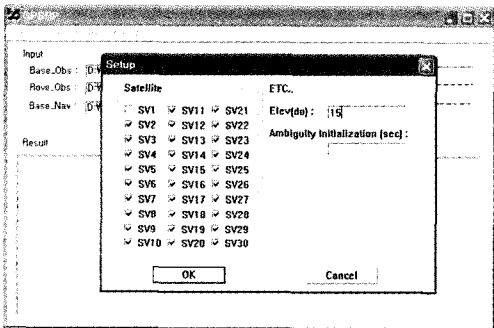


그림 3. 환경설정

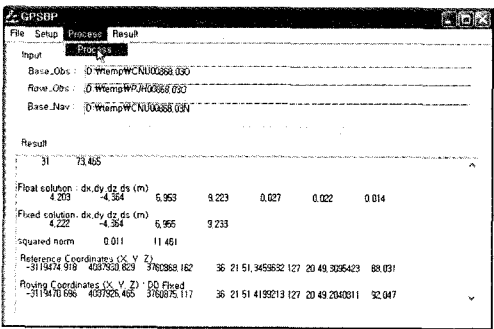


그림 4. 기선해석 결과

(GPSBP)은 크게, 다이얼로그 박스를 통한 데이터 입출력 부분(CGPSDlg 클래스), LAMBDA 기법을 활용한 미지정수 해결부분(CLambda 클래스), 기선길이 및 좌표를 계산하는 부분(CGPS 클래스)으로 나누어 프로그램하고, 객체 지향 언어인 Visual C++ 6.0을 이용하여 실행파일을 작성

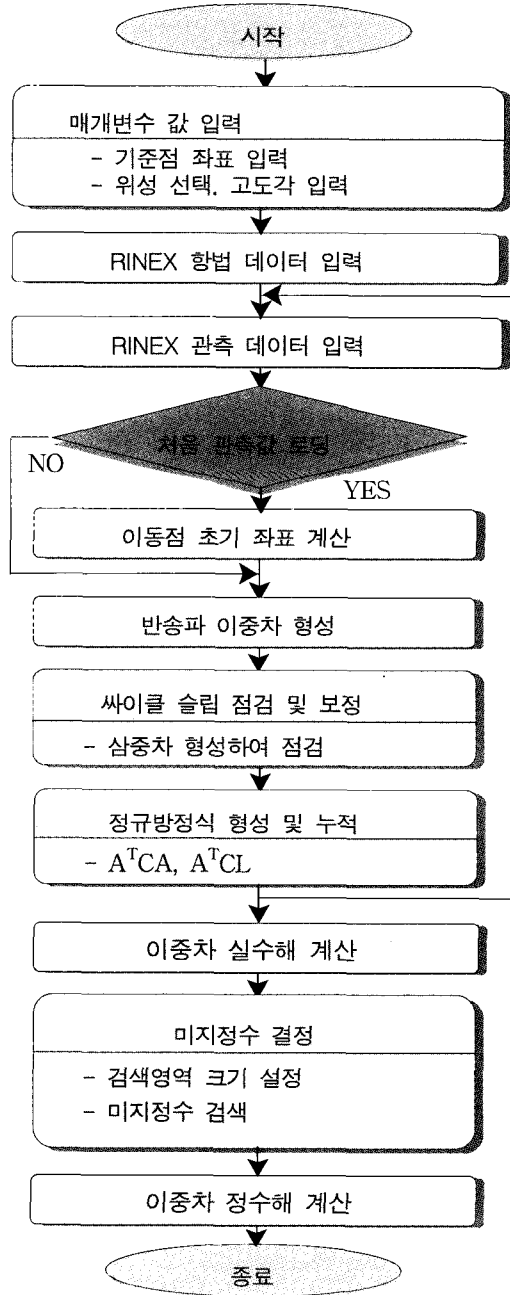


그림 5. 기선해석 흐름도

표 1. CLambda 구성 함수

함수명	기능
Lambda	미지정수 결정의 메인 함수
Ltdl	Q->L'DL로 분할
Re_order	Z 변환 매트릭스 계산
Chistart	미지정수 검색영역 설정
Search	미지정수 검색 메인 함수
Ztransi	Z Transpose의 역행렬 계산
L_inv	L 매트릭스의 역함수 계산
Backtrac	미지정수 검색부분의 일부
Collects	미지정수 후보 및 거리 수집
Stores	미지정수 후보 및 거리 저장

하였다.

기선해석 프로그램의 메인윈도우는 그림 1과 같이 다이알로그 기반으로 작성하였다. 그림 2는 관측 데이터 파일을 선택하는 부분이며, 그림 3은 기선해석에 대한 환경설정 부분으로 자료처리에서 제거할 위성을 선택하고 위성 고도각을 입력하여 고도가 낮은 위성이 포함된 경우 기선해석시 제거되도록 하였다. 그림 4는 기선해석이 완료된 이후 관측 위성에 대한 초기 위성 고도각, 이중차 실수해, 이중차 정수해, 기준점 좌표와 이동점좌표 등의 기선해석 결과를 편집박스에 출력한 결과이다.

CGPS 클래스는 크게, 사이클 슬립 점검, 이중차 실수해 산출, CLambda 클래스를 이용한 미지정수 결정, 이중차 정수해 계산 등의 단계로 이루어진다. 프로그램의 개략적인 흐름도는 그림 5와 같으며, CLambda 클래스에 포함된 함수들은 표 1과 같다.

4. 기선해석 및 결과분석

4.1 LAMBDA 기법을 활용한 미지정수 결정

2003년 3월 26일 23시부터 1시간 동안 일주파 수신기

(Trimble 4000SE)로 관측된 데이터를 DAT2RIN.EXE를 이용하여 RINEX 형식으로 변환하였으며, 개발된 프로그램(GPSBP)을 이용하여 사이클 슬립을 점검한 후 이중차 실수해를 산출하였다.

1시간동안 연속적으로 6개의 위성이 관측되었으며, 관측 초기에 18번 위성이 84°로 가장 높이 위치하였기 때문에 이를 기준위성으로 선택하여 이중차분하였다. 계산된 실수 미지정수는 표 2의 (a)와 같으며, 타원 중심부에 실수 미지정수가 위치하도록 하기 위해서 (b), (c)와 같이 정수 부분과 실수부분으로 나눈 후, 실수부분만을 이용하여 계산을 진행하였다. (d)는 미지정수를 비 상관화 시킨 결과이며, Chistart 함수를 이용하여 2개 이상의 미지정수를 갖도록 하는 적절한 χ^2 값을 결정한 후 Search 함수에 의해 실수 미지정수에 가장 근접한 정수 미지정수를 검색하게 된다. (e)는 검색된 2개의 미지정수중 실수미지정수에 가장 근접한 미지정수를 표시한 것이며, 식 (7)을 이용하여 계산된 정수 미지정수는 (f)와 같다.

4.2 상용프로그램과의 기선벡터 비교

개발된 L1 반송파 기선해석 프로그램(GPSBP)의 신뢰성 검증을 위해, Trimble사의 기선해석 프로그램인 GPSurvey 2.35와 자료처리 결과를 비교하였다. Trimble사의 일주파 수신기(4000SE)와 이주파 수신기(4700, 4800)로 관측된 이진파일을 RINEX 형식으로 변환한 후, L1 코드와 반송파만을 이용하여 기선벡터를 산출하고 GPSBP와 기선해석 결과를 비교하였다.

GPSBP의 경우 L1 반송파만을 이용하였기 때문에 1~15km의 비교적 단기선을 선택하였으며, 거리가 비교적 가깝기 때문에 이온층 지연과 전리층 지연 오차는 고려하지 않고 기선해석 되도록 하였다. 상용프로그램의 경우, 이주파 수신기로 관측된 데이터들은 L1과 L2 신호를 조합하여 이온층 지연오차를 보정할 수 있으므로, L1 반송파만을 이용하도록 하였다. 그러나, 모델을 이용한 전리층오차 보

표 2. 미지정수 검색과정

(단위: cycle)

기준위성~관측위성	이중차 실수 미지정수(a)	실수 미지정수의 정수부분 (b)	실수 미지정수의 소수부분 (c)	변환된 실수 미지정수(d)	변환된 미지정수 검색결과(e)	정수 미지정수(f)
18 ~ 9	20.915	20	0.915	2.067	2	21
18 ~ 14	-10233.634	-10233	-0.634	0.94	1	-10234
18 ~ 15	-16.776	-16	-0.776	1.082	1	-17
18 ~ 23	254395.94	254395	0.94	-1.036	-1	254396
18 ~ 30	1480.844	1480	0.844	-1.95	-2	1481

정과 대류층 오차 보정은 가능하도록 하였으며, GPSBP와 동일한 위성만이 자료처리 되도록 환경을 조정하여 기선 해석 하였다.

GPSBP를 이용한 자료처리 결과는 표 3~표 5와 같으며, 동일한 기선들에 대해 상용프로그램으로 자료처리한 결과는 표 6~표 8과 같다.

표 3. 1~5km 기선해석 결과 (GPSBP)

기선	해법	DX(m)	DY(m)	DZ(m)	DS(m)	norm2	위성 PRN
1.837km	실수해	-1278.367	-1272.225	352.881	1837.744		29,14,22,25,6
	정수해	-1278.332	-1272.334	352.861	1837.791	1.379,9.636	
2.972km	실수해	1834.643	2176.787	-853.726	2972.064		18,9,14,5,21
	정수해	1834.676	2176.805	-853.729	2972.098	0.242,16.907	
3.410km	실수해	-2302.219	538.988	-2457.273	3410.120		18,9,14,5,21,30
	정수해	-2302.207	538.982	-2457.272	3410.109	0.104,27.204	
3.712km	실수해	-1525.538	-2825.338	1863.221	3712.330		30,14,21,25,29,5
	정수해	-1525.615	-2825.464	1863.201	3712.447	0.450,5.161	

표 4. 6~10km 기선해석 결과 (GPSBP)

기선	해법	DX(m)	DY(m)	DZ(m)	DS(m)	norm2	위성 PRN
8.715km	실수해	7111.637	799.625	4973.947	8715.212		25,3,22,1,29
	정수해	7111.574	799.662	4973.949	8715.165	1.048,7.128	
8.849km	실수해	-5291.531	2252.539	-6726.259	8849.678		3,1,13,22,31
	정수해	-5291.731	2252.558	-6726.227	8849.777	2.391,12.077	
9.069km	실수해	-7937.503	-3065.437	-3140.532	9069.939		3,1,13,15,22
	정수해	-7937.486	-3065.427	-3140.545	9069.925	0.802,27.567	
9.622km	실수해	7680.418	5796.464	77.683	9622.570		25,6,22,1,29
	정수해	7680.356	5796.417	77.632	9622.492	1.763, 3.860	

표 5. 11~15km 기선해석 결과 (GPSBP)

기선	해법	DX(m)	DY(m)	DZ(m)	DS(m)	norm2	위성 PRN
13.533km	실수해	-4291.185	6797.982	-10887.429	13533.770		14,25,29,30,6
	정수해	-4291.250	6797.953	-10887.435	13533.781	0.854,13.352	
13.699km	실수해	-6555.223	5064.309	-10911.722	13699.776		3,31,27,13,22
	정수해	-6555.097	5064.353	-10911.694	13699.709	0.491,2.542	
13.810km	실수해	-9170.666	2335.479	-10059.093	13810.898		21,14,5,29,30,18
	정수해	-9170.693	2335.588	-10059.049	13810.903	3.653,10.428	
14.052km	실수해	-1975.688	8579.811	-10952.089	14052.216		22,1,3,15,25
	정수해	-1975.866	8579.956	-10952.004	14052.263	0.690,3.751	

표 6. 1~5km 기선해석 결과 (GPSurvey)

기선	해법	DX(m)	DY(m)	DZ(m)	DS(m)	위성 PRN
1.837km	정수해	-1278.336	-1272.331	352.873	1837.795	29,14,22,25,6
2.972km	정수해	1834.682	2176.791	-853.742	2972.096	18,9,14,5,21
3.410km	정수해	-2302.208	538.985	-2457.262	3410.103	18,9,14,5,21,30
3.712km	정수해	-1525.620	-2825.449	1863.212	3712.444	30,14,21,25,29,5

표 7. 6~10km 기선해석 결과 (GPSurvey)

기선	해법	DX(m)	DY(m)	DZ(m)	DS(m)	위성 PRN
8.715km	정수해	7111.598	799.625	4973.943	8715.179	25,3,22,1,29
8.849km	정수해	-5291.754	2252.570	-6726.248	8849.810	3,1,13,22,31
9.069km	정수해	-7937.520	-3065.413	-3140.544	9069.951	3,1,13,15,22
9.622km	정수해	7680.376	5796.422	77.623	9622.510	25,6,22,1,29

표 8. 11~15km 기선해석 결과 (GPSurvey)

기선	해법	DX(m)	DY(m)	DZ(m)	DS(m)	위성 PRN
13.533km	정수해	-4291.240	6797.957	-10887.484	13533.820	14,25,29,30,6
13.533km	정수해	-6555.102	5064.360	-10911.728	13699.741	3,31,27,13,22
13.810km	정수해	-9170.671	2335.552	-10059.075	13810.901	21,14,5,29,30,18
14.052km	정수해	-1975.870	8579.970	-10952.036	14052.297	22,1,3,15,25

표 9. 상용프로그램과 GPSBP의 기선해석 결과에 대한 기선벡터성분과 기선길이의 차이

기선길이	DX(m)		DY(m)		DZ(m)		DS(m)	
	실수해	정수해	실수해	정수해	실수해	정수해	실수해	정수해
1.837km	-0.031	0.004	0.106	-0.003	0.008	-0.012	-0.051	-0.004
2.972km	-0.039	-0.006	-0.004	0.014	0.016	0.013	-0.032	0.002
3.410km	-0.011	0.001	0.003	-0.003	-0.011	-0.010	0.017	0.006
3.712km	0.082	0.005	0.111	-0.015	0.009	-0.011	-0.114	0.003
8.715km	0.039	-0.024	0.000	0.037	0.004	0.006	0.033	-0.014
8.849km	0.223	0.023	-0.031	-0.012	-0.011	0.021	-0.132	-0.033
9.069km	0.017	0.034	-0.024	-0.014	0.012	-0.001	-0.012	-0.026
9.622km	0.042	-0.020	0.042	-0.005	0.060	0.009	0.060	-0.018
13.533km	0.055	-0.010	0.025	-0.004	0.055	0.049	-0.050	-0.039
13.699km	-0.121	0.005	-0.051	-0.007	0.006	0.034	0.035	-0.032
13.810km	0.005	-0.022	-0.073	0.036	-0.018	0.026	-0.003	0.002
14.052km	0.182	0.004	-0.159	-0.014	-0.053	0.032	-0.081	-0.034

표 6~표 8에 기술된 상용프로그램의 기선해석 결과를 기준으로 표 3~표 5의 GPSBP 기선해석 결과와의 X, Y, Z 축방향 차이를 계산한 결과는 표 9와 같으며, 이를 그래프로 나타내면 그림 6~그림 8과 같다. 이중차 정수해의 기선해석 결과는 1~5km 기선의 경우 최대 1.5cm 이하로 매우 양호한 성과를 얻을 수 있었으나, 6~10km 기선의 경우는 최대 3.4cm, 11~15km 기선의 경우는 최대 4.9cm로 기선길이가 증가함에 따라 상용프로그램과의 기선벡터 차이가 점차 커짐을 알 수 있었다. 이는 상용프로그램의 경우 기본적으로 대류층 및 전리층 지연 오차, 보다 정밀한 싸이클 슬립, 다중경로 등 여러 오차들을 보정하지만, 현재 GPSBP는 이런 영향을 고려하지 않았기 때문인 것으로 사

료된다.

이중차 실수해의 기선해석 결과는 1~5km 기선에서 최대 11.1cm, 6~10km 기선에서 최대 22.2cm, 그리고 11~15km 기선에서도 최대 18.2cm의 차이를 내고 있어 단기선에서 미지정수가 올바르게 해결되지 않을 경우 정수해에 비해 상대적으로 큰 오차를 나타내고 있음을 확인할 수 있었다.

표 9의 기선길이 차이(DS)를 기선거리별로 표시하면 그림 9와 같으며, 실수해의 경우 최대 13.2cm, 정수해는 최대 3.9cm 이하의 차이를 나타내어 기선길이의 변동량이 기선벡터성분의 변동량보다 적음을 알 수 있었다.

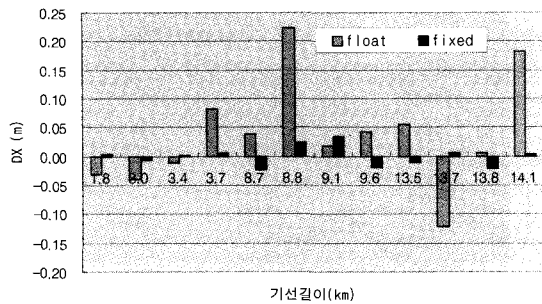


그림 6. X방향의 기선벡터 차이

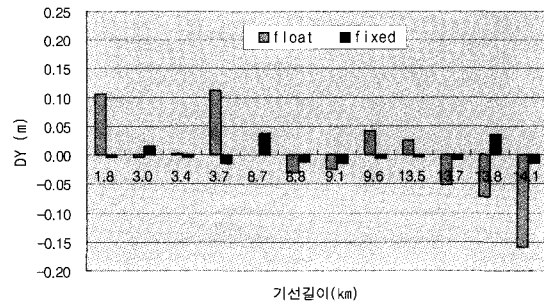


그림 7. Y방향의 기선벡터 차이

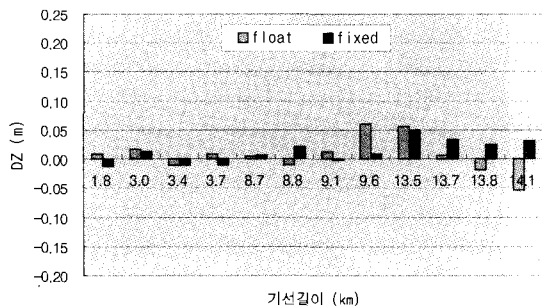


그림 8. Z방향의 기선벡터 차이

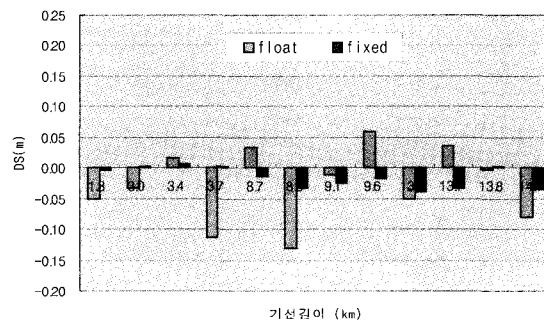


그림 9. 기선길이 차이

5. 결론 및 고찰

본 논문에서는 객체지향언어인 Visual C++6.0을 이용하여 L1 반송파에 의한 GPS 기선해석 프로그램을 개발한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 이중차 실수 미지정수와 공분산 행렬을 초기값으로 하여 LAMBDA 기법에 의한 이중차 정수 미지정수를 결정할 수 있는 프로그램을 개발하였다.

2. L1 반송파를 이용한 GPS 기선해석 알고리즘을 정립하고 프로그램을 개발하였으며, 15km 이하의 단기선에서 관측된 데이터를 기선해석하여 상용프로그램과 비교한 결과 4km 이하에서는 1.5cm 이하의 차이를 보인 반면, 전리층 및 대류층 영향 등으로 6~10km 기선의 경우는 최대 3.4cm, 11~15km 기선의 경우는 최대 4.9cm로 기선길이 증가함에 따라 상용프로그램과의 기선벡터 차이가 점차 커짐을 알 수 있었다.

3. 이중차 실수해는 정수해에 비해 기선벡터성분에서 최대 22.2cm의 상대적으로 큰 차이를 나타내었으므로, 정밀한 측량의 경우 반드시 정수해를 이용해야 함을 확인할 수 있었다.

앞으로, 중·장기선의 기선해석을 위해서는 L1/L2 조합에 의한 자료처리 모듈의 추가가 필요하며, 자동화된 Cycle Slip 데이터 편집, 과대오차 검출, 다중경로 오차 보정, 망조정, 좌표변환 등의 기능이 추가된다면 GPS 자료처리 프로그램의 국산화에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

강준목, 이용욱, 박정현, 이은수 (2002), 이동체의 효율적 모니터링을 위한 인터넷 DGPS 모의 구현, 대한토목학회논문집, 대한토목학회, 제 22권 제 5-D호, pp. 969-974.

이재원 (2001), L1 반송파의 GPS 기선해석 소프트웨어 개발, 대한토목학회논문집, 대한토목학회, 제21권, 제6-D호, 대한토목학회, pp. 851-860.

한훈백 (2000), 실수 미지정수 추정을 이용한 실시간 동적 측위 알고리즘 개발, 석사학위논문, 건국대학교, pp. 21-24.

B. Hofmann-Wellenhof, H. Lichtenegger, and J. Collins (2001), *GPS Theory and Practice*, Springer-Verlag Wien, pp. 189-252.

Gilbert Strang and Kai Borre (1998), *Linear Algebra, Geodesy, and GPS*, Welldxldy-Cambridge Press. pp. 481-505.

Jonge, P.J. de, C.C.J.M. Tiberius and P.J.G. Teunissen (1996), Computation aspects of the LAMBDA method for GPS Ambiguity resolution, *Proceeding ION-GPS 96*, The Institution

- of Navigation, Kansas City Convention Center, Kansas City, Missouri, USA, pp. 935-944.
- 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.
- Paul R. Wolf and Charles D. Ghilani (1997), *Adjustment Computation*, Wiley-Interscience Publication, pp. 217-320.
- Peter Joosten (2000), The LAMBDA-Method: Matlab™ Implementation, *Mathematical Geodesy and Positioning*, Civil Eng. and Geosciences, Delft Univ. of Technology, The Netherlands, pp. 1-14.
- Peter Teunissen, Peter Joosten and Christian Tiberius (2002), A Comparison of TCAR, CIR and LAMBDA GNSS Ambiguity Resolution, *ION GPS 2002*, September 24-27, Oregon Convention Center, Portland, Oregon, USA.
- P.J.G. Teunissen (1997), A Canonical Theory for Short GPS Baseline, Part I: The baseline precision, *Journal of Geodesy*, pp. 320-336.
- P.J.G. Teunissen, A.Kleusberg (1998), *GPS for Geodesy*, Springer, pp. 319-385.
- Pratalp Misra and Per Enge (2001), *Global Positioning System signals, Measurements, and Performance*, Ganga-Jamuna Press, pp. 233-247.

(2003년 5월 17일 원고접수)