

GPS 기선처리에 대한 한계범위 검증

Verification of Limit Range for GPS Baseline Processing

홍정수¹⁾ · 박운용²⁾ · 이용희³⁾ · 오창수⁴⁾

Hong, Jung Soo · Park, Woon Yong · Lee, Kee Boo · Jeong, Gong Uhn

¹⁾동아대학교 토목공학과 박사과정(E-mail:jungsoo0515@hanmail.net)

²⁾동아대학교 토목해양공학부 교수(E-mail:uyupark@daunet.ac.kr)

³⁾양산대학 토목조경과 교수(E-mail:yhlee@yangsan.ac.kr@mail.donga.ac.kr)

⁴⁾광주대학교 토목환경공학부 교수(E-mail:csoh@hosim.kwangju.ac.kr)

요 지(Abstract)

현재 4차원 정밀측정이 가능한 GPS는 데이터 처리와 사용기기 면에서 많은 발전을 이루고 있으며, 정밀한 데이터 결과를 제공하고 있다. 처리 방식에 따른 기선거리별 한계치에 대한 재검증을 실시하고자 하였으며, 측지용 GPS 수신기를 이용한 기선측정에 있어, L_1 주파수 수신 GPS 시스템의 유효측정거리에 대하여 논하였다. 또한 일반적인 기선처리방식 이외의 다양한 처리기법들을 적용하여 각 단·중·장기선에 대해 가장 알맞은 처리방식을 도출하려고 하였으며 결과를 도출하는 과정에서 GPS 상대거리 관측데이터에 대해 양호한 데이터를 선별할 수 있는 기준안을 마련하고자 하였다.

1. 서 론

GPS 수신기를 사용하는 많은 일반적인 사용자들은 본래 P(Y) 코드의 신호 획득을 보조할 목적으로 설계된 L_1 C/A 코드에만 의지하고 있다. 하지만 L_1 만을 사용하여 관측을 하는 경우 많은 한계점이 존재하게 된다. 우선 정확도면에서 L_1 의 단일 주파수만을 사용할 경우 GPS 신호의 전리층 지연을 제거할 수 없다. 또한 L_1 코드의 교차 상관 특성이 좋지 않아 수신환경이 좋지 않은 곳에서 L_1 신호만을 이용하여 측량을 실시하는데 한계가 있다.

따라서, 본 연구는 측위 정밀도에서 많은 발전을 보이고 있는 GPS 관측을 통해 L_1 에 대한 한계성에 대한 문제를 다시 한번 재검토하고자 하였으며, 더불어 일반적으로 사용되지 않는 다양한 처리모드를 통한 비교분석도 실시하였다. GPS 측정을 함에 있어 보편화되어 있는 Automatic 처리와 단기선처리에 우수함을 보이는 L_1 & L_2 , 모호정수 솔루션과 ionosphere-free 조합에 가장 강한 프로세싱 유형인 L_1 & L_2 C를 사용하여 기선거리를 관측하였으며, 전리층에 대한 영향을 보정한 상태에서 상대적인 거리를 산출하고 각각의 기선처리 모드를 사용하여 기선해석을 실시하였고, 전리층 영향을 보정하지 않은 상태의 상대거리를 계산하므로써, 상대거리를 비교하여 어느 정도 차이가 나는지 그리고 이 차이값을 지표로 하여 기선길이에 따른 허용 오차별로 L_1 관측만으로도 기선 측정이 가능한 범위의 도출을 그 주요 내용으로 한다.

2.1 선형자료 처리(LINECOMP Data Processing)

2.1 Widelane 처리(Wild processing : Wide L_N)

Widelane 기술이 사용되는 기선처리는 ionosphere-free, 바이어스 결정(ambiguities-fixed) 해를 얻기 위한 편리함을 제공하고 있다. 이 옵션은 대부분 P-code 수신기에 효과가 뛰어나고, codeless 수신기와

조합된 P-code, codeless 수신기 어느 것에도 사용이 가능하다. 그러나, 조합된 P-code, codeless 수신기의 데이터는 codeless 모드에서 처리가 되고 있다.

두 P-code 수신기의 처리는 codeless 수신기에서 전파장(full-wavelength)의 L_1 과 반파장(half-wavelength)의 L_2 데이터가 역으로 처리됨에 따라 전파장 L_1 , L_2 데이터를 제공한다. 전파장 L_1 과 L_2 는 정해진 바이어스를 더욱 쉽게 처리할 수 있게 만들 수 있다. Widelane 자표처리로 L_1/L_2 의 고정된 바이어스 값을 산출하는 목적은 ionosphere-free(L_C) 조합 때문이다. 이것을 실행하기 위한 선형조합은 Widelane (L_1-L_2) 바이어스를 해결하기 위해 사용된다. Widelane의 바이어스가 정해지면 선형 조합은 L_C (Linear combination)라 불리우는 조합된 L_1 , L_2 를 통해 L_1 에 대한 바이어스를 정하려고 한다. 근본적인 원리를 묘사하기 위해, 다음과 같은 식이 고려된다. 여기서, N_x 는 관측에서 주어진 바이어스를 나타낸다.

$$(a) N_{1-2} = N_1 - N_2 \text{ or } N_2 = N_1 - N_{1-2}$$

$$(b) N_{L_c} = N_1 + AN_2$$

(c) 방정식 (b)는 다음에 보여 지는 식에 의해 방정식 (a)와 조합할 수 있다.

$$N_{L_c} = N_1 + A(N_1 - N_{1-2})$$

여기서, A = 전리층에 대한 부분을 제거하기 위한 주파수율(frequency ratio)

위의 방정식에 의해 Widelane 바이어스(N_{1-2})가 정해지면, L_1 바이어스는 ionosphere-free 조합을 통해 얻어질 수 있다. 장파장 L_1 과 L_2 데이터를 위한 Widelane 바이어스는 대략 86cm이다. 장파장 L_1 과 반파장 L_2 수신기를 위한 이 Widelane 파장은 34cm이다. 위 사항은 파장의 길이가 길수록 바이어스에 대한 값을 정하기가 쉽다는 것을 나타낸다.

2.2 선형 조합, Ionosphere-free 관측(Linear Combination, Ionosphere-free Observable)

ionosphere-free 관측은 다음 식에서 나타내고 있듯이 L_1 과 L_2 관측에 의한 조합이다.

$$L_C = L_1 - \alpha L_2$$

여기서, $\alpha = F_1/F_2 \Rightarrow$ 전파장 관측(P-코드 L_2) $\alpha = F_2/(2.0 * F_1) \Rightarrow$ 반파장 L_2 관측

$$F_1 = L_1 \text{의 주파수}(1.57542\text{MHz})$$

$$F_2 = L_2 \text{의 주파수}(1.22760\text{MHz})$$

그리고, $\alpha = 0.7792 \Rightarrow$ 전파장 관측

$\alpha = 0.3895 \Rightarrow$ 반파장 L_2 관측

관측이 위와 같은 방식을 통해 조합되었기 때문에, L_2 의 고정되지 못한 slip은 주기의 우수리부분에 따른 잔차 플롯으로 나타나게 되며, 고정되지 못한 L_1 과 L_2 slip 차분 조합은 L_1 과 L_2 에서 slip차이를 식별하는 것이 더 어렵게 된다.

2.3 Widelane 처리 과정(Widelane Sequence)

1. 삼중차분 L_C 차분해는 정해진 동일한 cycle slip과 경계벡터에 대한 값을 자동으로 산출한다.

2. Widelane 유동 이중차분해는 cycle slip과 불확정 정수값에 대한 Widelane 바이어스를 결정하게 된다.
3. Widelane 정수 고정 이중차분해는 정수값에 대한 Widelane 바이어스를 결정하려고 하며, 정확도의 신뢰 수준을 해결하려 한다.
4. 미지정수의 해석이 성공하지 못하였다면, 처리는 멈추게 되고 Narrow lane에 대한 바이어스 해를 연속적으로 할 수 없게 된다.
5. 위성 상태가 나쁜 데이터는 삭제되며 Widelane 모드에서 다시 재처리된다.
6. 문제들이 소거되면, L_1C 모드에서 재처리된다
7. L_1 을 거쳐 L_C 유동 이중차분해는 Widelane 바이어스를 결정하기 위해 사용된다.
8. Narrow lane 유동 이중차분해는 불확정 정수값에 의해 Narrow lane 바이어스를 결정하려고 한다.
9. Narrow lane 정수 고정 이중차분해는 정수값에 의해 Narrow lane 바이어스를 결정하려고 하며, 정확도의 신뢰수준을 해결하여 한다.
10. L_1 을 거쳐 L_C 고정 이중차분해는 Narrow lane 바이어스를 결정하기 위해 사용된다.
11. 마지막으로 Narrow lane 바이어스를 결정하기 위한 L_C 고정 이중차분 해는 마지막 해석을 통해 최상의 값으로 산출된다.

2.4 L_1C 처리(L_1C Processing)

L_1C 처리는 ionosphere-free 해를 제공하기 위한 L_C 관측에 사용한다. 그러나, 바이어스를 결정하지는 않는다. L_1C 는 일반적으로 바이어스를 결정하는 것이 불가능한 widelane 처리를 하는 장기선에 사용된다. L_1C 모드에서의 순서 과정은 다음과 같다.

1. 삼중차분해는 정해진 동일한 cycle slip과 경계벡터에 대한 값을 자동으로 산출한다.
2. 유동 이중차분 L_C 해는 cycle slip과 불확정 정수값에 대한 L_C 바이어스를 결정하려고 하며, 최종 결과치를 제공한다.

3. 관측 및 기선해석

본 연구는 상대위치결정을 위한 최적의 망구성을 위하여 국가 기준삼각점을 기선거리에 대해 선점하고, 국립지리원에서 규정하고 있는 “3등 기준점” 방식으로 측량을 실시하였다. 각 기선은 봉래산의 1등 삼각점을 기준으로 기선거리를 산출하였고, 기선범위에 따라 2점 이상의 기지점을 사용하여 그룹별 통계적 분석을 수행하여 기선범위간의 변화를 알아보려고 하였다. 관측된 시간은 동시 관측되는 위성의 가시성, 위성의 기하학적 배치상태 등을 고려하여 최적의 동일한 시간대에 관측하였다. Table. 1은 각 삼각점에 대한 고시성과를 나타내고 있으며, Fig. 1은 연구수행 흐름도를 나타내고 있다. Table. 2, 3, 4, 5에서 나타낸 바와 같이 데이터를 선별하기 위한 경험적 수치로 채택된 지표들을 선별기준으로 삼았으며, 다음과 같은 3가지의 조건을 만족하는 데이터를 질이 좋은 측정값으로 판단하고 한계에 대한 검증을 실시하였다.

RMSE는 잔차의 제곱을 산술 평균한 값을 말하며, 독립관측의 경우 분산의 제곱근 형식으로 나타내고 있다. Ratio는 최상의 방법과 차선의 방법에 의해 해결시의 비율을 나타내며, 아래의 표에서 보면 벡터가 고정해(Fixed)를 얻은 경우 Ratio의 결과치는 95이상의 값을 나타내고 있다. 또한 자료처리를 통하여 직교좌표기선벡터와 각각의 요소에 대한 SD가 산출된다. 여기서 얻어지는 소프트웨어에서 다량의 관측량들에 대한 우연오차만을 다루고 GPS 관측값에 영향을 주는 많은 다른 오차들이 고려되지 않기 때문에 실용적 목적에 상용하기에는 부적합하다. GPS 데이터 처리는 미지정수의 다양한 조합을 사용하여 많은 해를 만들며 일단 해가 얻어지면 각각의 위상측정량에 대하여 측정 잔차가 계산된다.

Table 1. Baseline length of National reference point(m)

Number	Baseline	Length
1	YOUD - JUNS	20,577.632
2	YOUD - BONH	8,639.150
3	YOUD - MILY	42,143.041
4	YOUD - DAEG	95,336.249
5	YOUD - JINJ	92,600.061
6	YOUD - DAEJ	222,729.853
7	JUNS - BONH	17,790.055
8	JUNS - MILY	23,166.884
9	JUNS - DAEG	76,003.976
10	JUNS - JINJ	78,161.771
11	JUNS - DAEJ	202,248.771
12	BONH - MILY	36,277.765
13	BONH - DAEG	89,049.134
14	BONH - JINJ	94,483.226
15	BONH - DAEJ	219,160.135
16	MILY - DAEG	53,211.809
17	MILY - JINJ	78,271.580
18	MILY - DAEJ	184,271.456
19	DAEG - JINJ	91,865.302
20	DAEG - DAEJ	140,108.330
21	JINJ - DAEJ	156,737.116

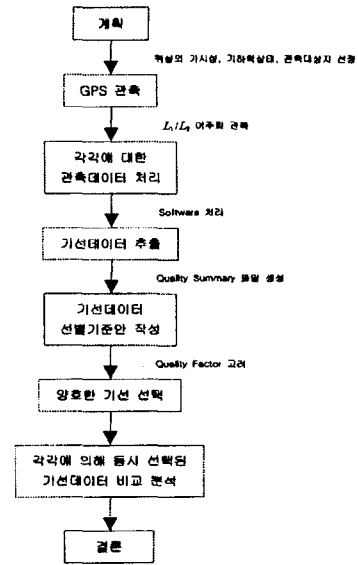


Fig. 1. Processing Flow chart

취득된 GPS 자료는 상용 소프트웨어를 이용하여 처리하였으며, 좌표에 대한 결과값 등 여러 가지 자료를 획득할 수 있었다. 기선해석 결과는 프로그램 상의 Static Engine을 통해 의사거리에 대한 처리과정으로 위치에 대한 정확도를 증가시켜, 삼중차분(Triple Difference)으로 사이클 슬립을 제거하게 된다. 다음 과정에서 기선에 대한 일중차분(Single Difference)을 수행하게 되며, 여기서 처리하지 못한 결과들이 다음 과정인 이중차분 유동해(The Float Double Difference Solution)를 거치게 된다. 여기서 미지정수 N 이 정수로 결정되게 되며 GPS 반송파와 코드파에 대한 이중차분 고정해(The Fixed Double Difference Solution)를 얻게 된다.

Table 2. The analysis of vector(Auto)(m)

Baseline	Solution	Length	Ratio	RMSE	SD
YOUD - JUNS	Fixed(L_1)	20,577.607	95	0.024	0.023
YOUD - BONH	Fixed(L_1)	8,629.137	100	0.013	0.019
YOUD - MILY	Fixed(L_1 & L_2)	42,143.000	96	0.038	0.024
YOUD - DAEG	Fixed(L_1 & L_2)	95,336.175	95	0.144	0.039
YOUD - JINJ	Fixed(L_1 & L_2)	92,599.988	95	0.133	0.037
YOUD - DAEJ	Fixed($W L_n$)	222,729.699	97	0.127	0.068
JUNS - BONH	Fixed(L_1)	17,790.039	96	0.020	0.018
JUNS - MILY	Fixed(L_1 & L_2)	23,166.857	97	0.032	0.026
JUNS - DAEG	Fixed($W L_n$)	76,003.908	96	0.101	0.024
JUNS - JINJ	Fixed(L_1 & L_2)	78,161.708	97	0.136	0.028
JUNS - DAEJ	Fixed($W L_n$)	202,248.624	97	0.136	0.032
BONH - MILY	Fixed(L_1 & L_2)	36,277.735	95	0.041	0.023
BONH - DAEG	Fixed(L_1 & L_2)	89,049.066	98	0.076	0.029
BONH - JINJ	Fixed(L_1 & L_2)	94,483.142	99	0.102	0.024
BONH - DAEJ	Fixed($W L_n$)	219,159.978	99	0.126	0.023
MILY - DAEG	Fixed(L_1 & L_2)	53,211.746	96	0.044	0.029
MILY - JINJ	Fixed(L_1 & L_2)	78,271.499	96	0.056	0.035
MILY - DAEJ	Fixed($W L_n$)	184,271.321	96	0.125	0.052
DAEG - JINJ	Fixed(L_1 & L_2)	91,865.195	99	0.091	0.040
DAEG - DAEJ	Fixed($W L_n$)	140,108.206	95	0.128	0.041
JINJ - DAEJ	Fixed($W L_n$)	156,736.962	98	0.116	0.069

Table 3. The analysis of vector(L_1 Only)(m)

Baseline	Solution	Length	Ratio	RMSE	SD
YOUD - JUNS	Fixed(L_1)	20,577.589	95	0.024	0.024
YOUD - BONH	Fixed(L_1)	8,639.137	100	0.013	0.019
YOUD - MILY	Fixed(L_1)	42,142.956	95	0.031	0.030
YOUD - DAEG	Float(L_1)	95,336.091	81	0.147	0.046
YOUD - JINJ	Float(L_1)	92,599.899	89	0.137	0.036
YOUD - DAEJ	Float(L_1)	222,729.373	59	0.367	0.072
JUNS - BONH	Fixed(L_1)	17,790.025	95	0.020	0.018
JUNS - MILY	Fixed(L_1)	23,166.829	95	0.029	0.028
JUNS - DAEG	Float(L_1)	76,003.802	64	0.169	0.032
JUNS - JINJ	Float(L_1)	78,161.584	88	0.146	0.030
JUNS - DAEJ	Float(L_1)	202,248.325	77	0.218	0.042
BONH - MILY	Fixed(L_1)	36,277.704	96	0.042	0.033
BONH - DAEG	Float(L_1)	89,048.924	84	0.140	0.030
BONH - JINJ	Float(L_1)	94,482.827	83	0.114	0.025
BONH - DAEJ	Float(L_1)	219,159.728	58	0.246	0.023
MILY - DAEG	Fixed(L_1)	53,211.683	98	0.042	0.030
MILY - JINJ	Float(L_1)	78,271.402	64	0.156	0.057
MILY - DAEJ	Float(L_1)	184,271.065	75	0.225	0.052
DAEG - JINJ	Float(L_1)	91,865.083	89	0.129	0.043
DAEG - DAEJ	Float(L_1)	140,107.905	75	0.133	0.048
JINJ - DAEJ	Float(L_1)	156,736.719	67	0.126	0.074

Table 4. The analysis of vector($L_1&L_2$)(m)

Vector	Solution	Legnth	Ratio	RMSE	SD
YOUD - JUNS	Fixed($L_1&L_2$)	20,577.589	95	0.025	0.022
YOUD - BONH	Fixed($L_1&L_2$)	8,639.118	100	0.013	0.019
YOUD - MILY	Fixed($L_1&L_2$)	42,142.956	96	0.038	0.024
YOUD - DAEG	Fixed($L_1&L_2$)	95,336.091	95	0.094	0.035
YOUD - JINJ	Float($L_1&L_2$)	92,599.899	67	0.133	0.037
YOUD - DAEJ	Float($L_1&L_2$)	222,729.373	74	0.325	0.070
JUNS - BONH	Fixed($L_1&L_2$)	17,790.025	95	0.020	0.018
JUNS - MILY	Fixed($L_1&L_2$)	23,166.829	96	0.033	0.025
JUNS - DAEG	Fixed($L_1&L_2$)	76,003.802	96	0.161	0.026
JUNS - JINJ	Float($L_1&L_2$)	78,161.584	84	0.146	0.030
JUNS - DAEJ	Float($L_1&L_2$)	202,248.325	86	0.198	0.033
BONH - MILY	Fixed($L_1&L_2$)	36,277.704	99	0.043	0.025
BONH - DAEG	Fixed($L_1&L_2$)	89,048.924	95	0.076	0.029
BONH - JINJ	Float($L_1&L_2$)	94,482.827	84	0.102	0.024
BONH - DAEJ	Float($L_1&L_2$)	219,159.728	78	0.226	0.023
MILY - DAEG	Fixed($L_1&L_2$)	53,211.683	99	0.044	0.029
MILY - JINJ	Fixed($L_1&L_2$)	78,271.402	97	0.056	0.035
MILY - DAEJ	Float($L_1&L_2$)	184,271.065	76	0.225	0.052
DAEG - JINJ	Fixed($L_1&L_2$)	91,865.083	78	0.091	0.040
DAEG - DAEJ	Float($L_1&L_2$)	140,107.905	76	0.128	0.041
JINJ - DAEJ	Float($L_1&L_2$)	156,736.719	68	0.116	0.069

Table 5. The analysis of vector($L_1&L_2c$)(m)

Vector	Solution	Legnth	Ratio	RMSE	SD
YOUD - JUNS	Fixed($L_1&L_2$)	20,577.534	95	0.027	0.024
YOUD - BONH	Fixed($L_1&L_2$)	8,639.083	100	0.018	0.022
YOUD - MILY	Fixed($L_1&L_2$)	42,142.868	96	0.041	0.027
YOUD - DAEG	Fixed($L_1&L_2$)	95,335.938	95	0.146	0.041
YOUD - JINJ	Float($L_1&L_2$)	92,599671	67	0.133	0.037
YOUD - DAEJ	Fixed($L_1&L_2$)	222,728.940	96	0.127	0.073
JUNS - BONH	Fixed($L_1&L_2$)	17,789.836	95	0.023	0.018
JUNS - MILY	Fixed($L_1&L_2$)	23,166.774	96	0.035	0.028
JUNS - DAEG	Fixed($L_1&L_2$)	76,003.674	96	0.163	0.024
JUNS - JINJ	Float($L_1&L_2$)	78,161.369	84	0.246	0.030
JUNS - DAEJ	Fixed($L_1&L_2$)	202,248.152	98	0.198	0.033
BONH - MILY	Fixed($L_1&L_2$)	36,277.631	99	0.046	0.023
BONH - DAEG	Fixed($L_1&L_2$)	89,048.786	95	0.076	0.029
BONH - JINJ	Float($L_1&L_2$)	94,482.539	84	0.102	0.024
BONH - DAEJ	Fixed($L_1&L_2$)	219,159.367	95	0.124	0.021
MILY - DAEG	Fixed($L_1&L_2$)	53,211.553	99	0.044	0.029
MILY - JINJ	Fixed($L_1&L_2$)	78,271.149	78	0.056	0.035
MILY - DAEJ	Fixed($L_1&L_2$)	184,270.776	76	0.223	0.050
DAEG - JINJ	Float($L_1&L_2$)	91,864.761	78	0.091	0.040
DAEG - DAEJ	Fixed($L_1&L_2$)	140,107.548	95	0.127	0.037
JINJ - DAEJ	Float($L_1&L_2$)	156,736.287	68	0.113	0.067

가장 일반적으로 사용하고 있는 Auto Processing의 경우 전체적인 기선처리에서는 고정값을 산출하여 안정적인 결과치를 보이고 있으며, 각 기선거리별 처리에 대해 다양한 기선처리방법들을 적용하여 결과치를 나타내고 있다. L_1 Only의 처리과정에서는 53.211km이내의 값에 대해서는 고정값을 보이며 다른 기선거리의 결과와 비교했을 때 동등한 결과치를 얻었으나, 그 이상의 기선거리에 대해서는 고정해를 얻지 못하였다. $L_1&L_2$ 의 경우 95.336km의 결과에 대해서는 고정된 값을 산출하여 100km 이내의 단·중기선에 우수한 값을 보임을 알 수 있었고, $L_1&L_2c$ 의 경우는 기선거리 92.600km 이내에서는 다른 처리방법보다 조금 높은 값을 나타내고 있지만, 처리과정에서의 정확도에는 문제가 되지 않았다. 그리고 92.600km 이상의 기선거리에 대해 값이 안정적으로 변화하는 것을 볼 수가 있다. 아래의 Fig. 2는 각 기선거리 결과치에 대한 고시성과와의 잔차량을 나타내고 있다.

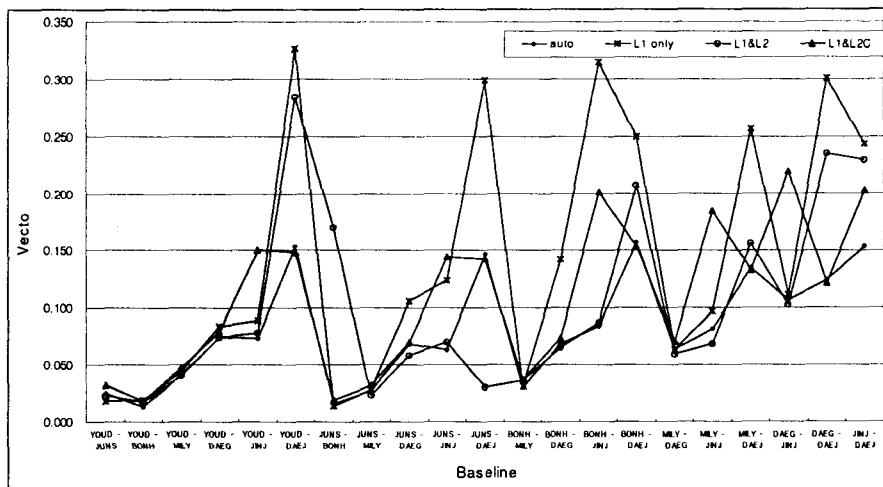


Fig. 2. Residual of Baselines

4. 결 론

본 연구는 각 기선거리에 따른 삼각점에 대해 이주파 수신기로 관측을 한 후 각각의 기법별로 데이터 처리를 실시하였으며, 기선거리에 대한 잔차량을 산출하고 기기에 대한 허용오차와의 비교를 통하여 일주파 수신기의 활용성과 정확도를 비교·검증하고자 하였으며, 단·중·장기선에 대한 데이터 분석을 통한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. L_1 처리를 사용하였을 때 기선거리 53.211km 안의 관측데이터는 거의 이주파 수신기와 동일한 형태인 0.0376~0.1077m의 잔차량을 보이며, 일반적인 국소측량의 경우에 기선거리에 대한 허용오차를 고려하였을 때 사용성이 우수한 것으로 검증되었다.
2. L_1 & L_2 의 경우 기선거리 95.336km 이내의 지역에서는 0.035~0.127m의 잔차량을 통해 다른 어느 처리보다 우수한 결과치를 보이고 있으며, L_1 & L_2c 의 경우는 기선거리 92.600km 이내에서는 다른 결과치보다 다소 높은 잔차량을 보이고 있으나 그 이상의 거리에 대해서는 우수한 결과치를 보이고 있다.
3. 현재 GPS 장비가 고가인 이유로 많은 사용자에게 비해 그 보급이 널리 이루어지지 않고 있는 실정에 있다. 한 지역의 국소측량 경우에는 저가의 일주파 수신기를 사용해서 그 처리만으로도 만족스러운 관측치를 얻을 수 있으며, 경제적인 면에서도 많은 이점을 가져다 줄 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 측량연구회, 2000, 실용측량학, 형설출판사, p. 28~35.
2. 국립지리원, GPS 에 의한 기준점 측량 작업규정, 내규 제 93호.
3. 김용일의 2인. "1주파수에 의한 기선측정 유효범위에 관한 연구", 한국측량학회지, 제 12권, 제 2호.
4. Remondi, B. W., "Using the Global Positioning System (GPS) Phase Observable for Relative Geodesy : Modeling, Processing and Results" , PhD Thesis, Center for Space Research, University of Texas at Austin, May, 1984.
5. Yang Gao, James McLellan, and Pulsesearch Navigation Systems, Ins, " Correlation of Dual-Frequency and Accuracy Analysis of Single-Frequency for Positioning Accuracy", The Institute of Navigation, Part 2 of 1, pp. 215~224, 1998.