

1 주파수에 의한 기선측정 유효범위에 관한 연구

A Study on Effective Range of Baseline Measurement Using Single Frequency

김용일* · 박민호** · 김동현***

Kim, Yong-Il · Park, Min-Ho · Kim, Dong-Hyun

要 旨

측지용 GPS 수신기를 이용한 기선측정에 있어서, 저가의 L1 주파수 수신 GPS 시스템의 유효측정거리에 대하여 논하였다. L1/L2에 의해 전리층 영향이 보정된 기선데이터와 비교할 때 L1에 의한 기선데이터는 약 15 km 범위까지 L1/L2에 의한 결과와의 기선차가 2 cm 이내로 거의 비슷하였으며, 18 km 이내에서는 오히려 L1에 의한 측정결과가 보다 양호하였다. 또한 불명확 정수(Integer Ambiguity)의 수렴한계, 즉 Double difference fixed solution을 사용할 수 있는 한계는 대략 18 km로 나타났으며 20 km 이상에서는 전리층 영향을 심하게 받고 있음을 알 수 있었다. 이상의 결과를 도출하는 과정에서 GPS 상대거리 관측데이터에 대해 양호한 데이터를 선별할 수 있는 기준안을 마련할 수 있었다.

ABSTRACT

As for the baseline measurement using geodetic GPS receiver, this paper puts forth the effective measurement range of a low-priced GPS system receiving L1 frequency only. Compared with the data of baseline eliminated the ionospheric effects with L1/L2 frequencies, the results with L1 frequency approximate to those with dual frequency within the range of 15 km (the baseline discrepancy of the two methods is less than 2 cm). The results with L1 frequency are better within the range of 18 km. Based upon the analysis of data, we find that the convergence limit of integer ambiguity -applicable to double difference fixed solution- is about 18 km and the ionospheric effects have a great influence on the results when the baseline are longer than 20 km. This study also presents a standard which makes it possible to select the favorable data from the results of the GPS relative distance measurements.

1. 序 論

원래 GPS는 군사용 항법과 시간측정을 목적으로 개발되었으나 최근들어 전세계적으로 3차원 위치결정, 기선측정등의 측지 측량분야에서 보다 높은 정밀도로 종래의 측량방법을 대신하는 것은 물론 민간용 자동차 항법장치 등에서도 매우 유용하게 이용되고 있다. 국내에서도 학교, 연구소, 기업체 등에서 그 유용성으로 인해 정밀 측지 측량분야와 자동차 항법 분야, 선박항법분야에서 GPS에 대한 연구 및 적용이

활발히 진행 중이다.^{4,7,8)} 따라서 본 연구에서는 이상의 관심분야 중 측지 측량분야에서의 3차원 위치결정 및 기선측정에서 GPS를 이용함에 있어 측지용 GPS 수신기 중에서는 저가라 할 수 있는 L1 주파수대만을 수신하는 GPS 시스템으로도 종래의 측량방법을 대신할 수 있는 지에 대해 고찰하고자 한다.

GPS 위성에 대한 핵심내용은 L1=1575.42 MHz 주파수대와 L2=1227.6 MHz 주파수대에 두가지 형태의 코드와 항법메시지 등의 정보를 변조하여 방송한다는 것이다.¹⁾ 여기서 두가지 형태의 코드를 P코드와 C/A코드를 말하며 이때 사용자에게 중요한 두가지 관측값이 있다.¹⁾ 이 중 하나는 의사거리(pseudo range)로서 신호가 발신되는 순간의 위성과 수신기

*서울대학교 전임강사
**서울대학교 박사과정
***서울대학교 박사과정

간의 거리를 말하며 여기에는 위성시계오차, 수신기 시계오차, 전리층전달지연, 대류권 전달지연이 포함된다.¹⁾ 따라서 4개의 의사거리와 위성의 위치가 정해지면 수신기의 위치 및 수신기 시계오차를 알게 되는데 이것이 GPS 관측의 위치측정의 기본개념이라 할 수 있다.¹⁾ 다른 하나는 반송파 위상(carrier phase)이라 하며 측정순간에 위성에 의해 보내진 반송신호의 위상과 수신기발전기의 위상과의 차이이다.¹⁾ 의사거리가 일반적으로 항법용으로 사용되는데 반해 반송파 위상은 고정밀 측량에서의 상대위치, 즉 기선벡터를 구하는데 사용되며 특히 선형적인 결합방법을 응용한다. 그러므로 본 연구에서는 위의 반송파 위상을 사용하여 GPS 측정을 함에 있어 L1과 L2를 동시에 관측하여 전리층 영향을 보정한 상태의 상대거리를 계산하고 L1 관측값 만을 따로 사용하여 전리층 영향을 보정하지 않은 상태의 상대거리를 계산하므로써, 이 두 가지 경우의 상대거리를 비교하여 어느 정도 차이가 나는지 그리고 이 차이값을 지표로 하여 기선길이에 따른 허용오차별로 L1 관측만으로도 기선측정이 가능한 범위의 도출을 그 주요 내용으로 한다. 물론 L1 주파수의 위상측정데이터만을 이용하여 기선측정이 가능한 대략적인 범위들이 최근의 외국자료들에서 간략하게 소개되기는 하나 이러한 내용들은 그 값이 자료마다 서로 다르고 또한 각각의 경우에 대한 분명한 원인 규명이 되어 있지 않다.^{2,3,5)} 따라서 본 연구에서는 L1에 의한 기선측정범위 결정에 있어 가능한 한 많은 양의 기선데이터들을 사용하여 기선길이에 따라 double difference fixed solution, double difference float solution, triple difference solution의 3가지 값 중 어느 값을 사용해야 하는지와, 통계적으로 판단될 수 있는 적절한 기선측정범위를 정하고자 한다.

2. 研究遂行過程

2.1 연구 방법

연구의 진행방법은 그림 1의 연구 수행흐름도에서 보인 바와 같다.

그림 1에서 Quality Summary 파일은 관측된 각 기선들의 계산결과중 기선에 대한 판단의 기준이 될 수 있는 요소들 중 대표적인 것들 만을 따로 추출하여 만든 파일이다.

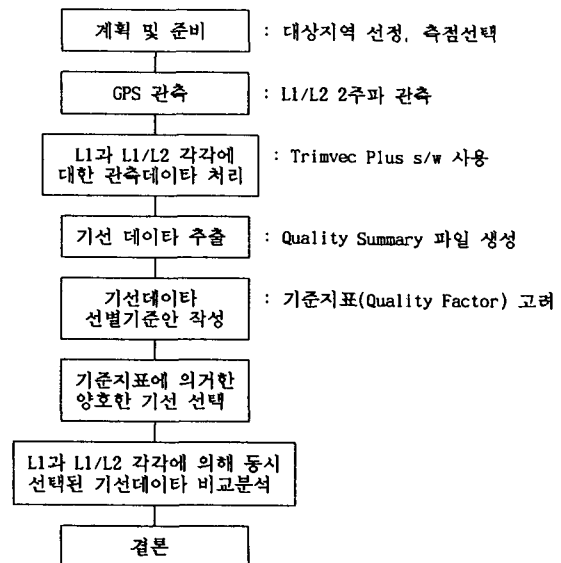


그림 1. 연구수행 흐름도

이 대표적인 요소가 기선데이터에 대한 공식적인 Quality Factor이며, 여기서는 이 요소와 실제 기선데이터를 함께 고려하여 새로운 적절한 기선데이터 판단기준을 정한다.

2.2 관측방법

관측은 1992년도 5월, 7월, 11월에 각각 실시되었으며 충청남, 북도 일대와 전라북도 그리고 전라남도 일부, 대전시 부근의 지역을 대상으로 수행되었다.

관측점으로는 속리산 1등 삼각점 1개, 1등 삼각점에 준하는 기지점 6개, 2등 삼각점에 준하는 도로변상 기지점 12개, 이 외에 건물 모서리, 산, 논, 밭, 다리, 도로 교차점 및 기타 위치에 100개의 신설점을 매설하여 총 119점을 사용하였다.

관측된 시간은 동시 관측되는 상대거리와 위성수를 고려하여, 대략 장기선이며 위성수가 적은 경우 약 100분 정도, 단기선이며 위성수가 많은 경우 약 60분 정도로 하였다. 이렇게 관측된 경우 총 203개의 기선이 생성되며, 이 기선들 중 관측시기만 다르고 동일측점을 가진 기선이 몇개 중복된다. 그러나 본 연구에서는 관측시기가 다른 경우 서로 다른 기선으로 취급하였다. 관측된 기선 길이는 단기선으로는 약 1.5 km부터 장기선으로는 약 115 km까지에 걸쳐 망라되었다.

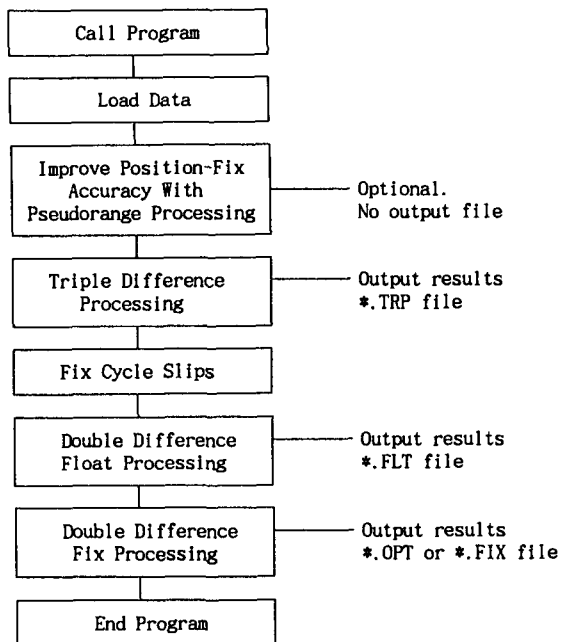


그림 2. 기선데이터처리 흐름도³⁾

2.3 데이터 처리

관측된 데이터는 Trimvec Plus 소프트웨어에 의해 처리되었으며 처리방법은 가장 일반적인 Automatic Processing 방법을 선택하였다.

데이터 처리과정에 대한 흐름도는 그림 2와 같다.

위 그림 2의 처리과정은 Single frequency와 Dual frequency에 대해 각각 적용되었다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 전체적인 처리과정을 통하여 최종적으로 3개의 결과파일이 생성된다. 3개의 결과파일은 확장자가 .trp, .flt, .opt인 파일이며 각 기선당 위의 3개 파일이 생성된다.

.trp 파일은 Triple difference 방식에 의해 기선의 최초의 반송파 위상해를 얻은 결과 파일이며 .flt 파일은 Double difference 방식에 의한 계산과정시의 불명확 정수 N이 정수로 확정되기 전에 생성되는 결과파일이고 .opt 파일은 위에서 얻어진 실수 편이량이 정수로 확정된 상태에서 계산되어 생성된 결과 파일이다. 여기서 .opt 파일이 관측된 데이터의 질을 판단할 수 있는 지표를 기준으로 허용치내에 들어온다면 이 파일을 최종 결과파일로 결정하게 된다.

이상과 같이 생성된 결과파일들에서 본 연구의 목적상 필요한 값은 계산결과물의 질을 나타내는 지표들인

ratio, rms, rdop 등이다. 따라서 이상의 결과파일들로부터 Single frequency 처리와 Dual frequency 처리 각각에 대해 .opt, .flt, .trp 파일별로 프로그램에서 제공되는 Quality Summary 기능을 사용하여 총 6개의 summary 파일을 전체기선에 대해 생성한다.

3. 結果 및 分析

3.1 결과

관측데이터의 최종결과인 6개의 summary 파일 중 대표적으로 Dual frequency 처리에 의해 생성된 .opt 파일의 Quality Summary 파일의 형태는 다음 표 1과 같다.

표 1에서 Ratio 항목은 fixed solution의 질을 나타내는 값으로서 .opt 파일에서만 존재한다. RMS 항목은 관측데이터의 잡음을 나타내는 지표로서 일반적으로 기선길이가 길 수록 값이 커진다. 또 RDOP (Relative Dilution of Precision)은 관측이 일정기간 수행될 때 기선해에 관한 위성의 기하학적 배치를 변화시키는데 대한 효과를 판단키 위해 사용되는 값으로 수학적으로는

$$RDOP = \frac{\sqrt{(\sigma_{Dx}^2 + \sigma_{Dy}^2 + \sigma_{Dz}^2)}}{\sigma_{DD}} \quad \text{이다.}^{3)}$$

여기서 σ_{Dx}^2 , σ_{Dy}^2 , σ_{Dz}^2 는 각 기선길이의 X, Y, Z 방향별 공분산 값이며 σ_{DD} 는 RMS이다. 따라서 RDOP의 단위는 m/cycles이다.³⁾ 또한 double difference의 noninteger bias solutions(즉 .flt 파일)에서의 RDOP 값은 fixed bias solutions(즉 .opt 파일)에서의 RDOP 값보다 훨씬 크다.³⁾

이상의 지표들에서 Ratio는 3 이상의 값이면 계산 결과를 신뢰할 수 있으며 값이 클 수록 좋다. RMS와 RDOP은 값이 작을 수록 신뢰성이 높다.³⁾

3.2 분석

3.2.1 데이터 선별기준

표 1에 나타난 바와 같은 결과에 대해 분석에 이용될 수 있는 데이터를 골라내기 위해서는 우선 결과 데이터의 질의 수준을 결정할 수 있는 기준지표가 있어야 한다. 따라서 본 연구에서는 외국에서 다년간의 실험을 거쳐 경험적인 수치로 채택된 지표들을 1차적인 데이터 선별기준으로 삼았으며 이를 바탕으로

표 1. Dual Frequency 처리에 의한 .opt 파일의 Quality Summary

(5 km 이내만 표시)

Session	From	To	RMS	RDOP	Ratio	Distance (m)
1120	0	8	0.059	0.067	9.65	1557.158
1161	3	5	0.038	0.037	24.64	2544.105
1153	3	6	0.051	0.06	8.93	2870.183
1124	0	5	0.064	0.054	9.85	3014.05
1121	0	4	0.054	0.061	12.01	3098.433
1114	13	14	31.97	0.046	17.96	3186.21
1090	0	4	146.94	0.074	1	3501.677
1091	0	9	0.042	0.062	15	3612.8
1092	0	1	0.054	0.062	25.05	3972.526
1143	5	3	0.051	0.053	13.47	4619.38
5041	249	321	0.038	0.041	27.36	4802.078
1123	0	6	19.074	0.053	1	4991.69
∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴
∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴

표 2. Quality checking criteria³⁾

ASPECT	GOOD	POOR
RDOP	.OPT -- 0.02 to 0.1 .FLT -- 1.0 to 1.8	>1 >2
RMS	0.02 to 0.06	>0.12
RATIO	>3	<2.2

표 3. 기선장범위에 따른 세부 지표³⁾

Distance (km)	Ratio	RMS	RMS Range
0-10	>3.0	0.02+(0.004*L)	0.02-0.06
10-20	>2.8	0.03+(0.003*L)	0.06-0.09
20-30	>2.6	0.04+(0.0025*L)	0.09-0.115
30-40	>2.4	0.04+(0.0025*L)	0.115-0.14
40-60	>2.2	0.08+(0.0015*L)	0.14-0.17
60-100	>2.2	0.17	0.17
>100	>2.2	0.20	0.20

Note: L=기선장(km)

로 반복적인 선별을 수행하여 데이터 결과에 대해 기선길이에 따른 규칙을 찾음으로써 측정데이터에 대한 선택 기준안을 만들었다.

외국에서 채택하고 있는 일반적인 지표는 다음 표 2와 같다.

또한 기선장 범위에 따른 세부적인 지표는 다음 표 3의 내용이 추천되고 있다.

이상의 기준지표를 기본으로 하여 최종적으로 기선데이터 선택기준은 다음과 같은 순서를 따르도록 함이 좋은 결과를 나타낼 수 있음을 알아내었다.

1. Ratio는 기선장 범위에 따른 최소값 이상, RMS는 기선장범위에 따른 rms range의 최대값 이하, R dop은 0.1 이하로 하여 이상의 3가지 조건이 동시에 만족 되면 질이 좋은 측정값으로 판단하고 .opt 파일에서 선택.

2. 1항을 만족하지 않을 경우 30 km 이내에서는

Ratio≥2.2, RMS<0.1, RDOP<0.1이면 .opt 파일에서 선택.

3. 1, 2항에 의해 선택이 안될 경우 대략 18 km 이상에서는 각 기선장 범위에 따른 RMS range의 최대값 이하일 때 .flt 파일에서 선택하며, 따라서 대략 18 km 이하의 기선 데이터는 .opt 파일이 선택되지 않으면 선택에서 제외한다.

4. 3항에 의해서도 선택되지 않는 기선은 .trp 파일에서 각 기선에 따른 RMS range의 최대값 이하일 때 선택.

5. 위의 4가지 상황 중 어느 조건에도 들지 않는 데이터는 선택에서 제외한다.

이상의 선택 기준안에서 벗어나는 데이터는 관측 데이터의 질이 좋지 않은 것으로 간주할 수 있다. 선택 기준안에 의해 선택된 데이터의 구성 성분들을 살펴 보면 .flt 파일에 의해 선택된 기선은 R dop 값이 모두 0.7 이하인 분포를 가지고 있으며 선별되기 전의 데이터에서도 95% 이상이 0.7 이하의 값을 가지고 있음을 알 수 있다. 또한 .trp 파일에 의해 선택된 기선은 R dop 값이 모두 1 이상 10 이하의 값으로 분포하고 있으며 선별되기 전의 데이터에서 L1 파에 의한 데이터는 약 70%가 5 이상 10 이하의 값을 나타내고 있으며 L1/L2 파에 의한 데이터는 95% 이상이 1 이상 5 이하의 분포를 가지고 있다.

3.2.2 분석결과

위의 새로운 선택기준안에 의해 최종적으로 선정된 기선데이터는 다음 표 4와 같이 Single frequency 데이터와 Dual frequency 데이터를 비교하여 나타낼 수 있다. 이는 총 203개 기선데이터중 본 연구에서 새롭게 선정한 선택기준안에 의해 추출된 결과로서 L1 및 L1/L2 각각에 대해 이 기준안을 적용하여 L1과 L1/L2에서 동시에 선택된 기선 129개에 대한 내용을 기선길이 순서로 나열하여 20 km 이내의 67개 기선만을 보인 것이다.

또한 표 5는 Dual frequency 데이터가 전리층 영향이 보정된 데이터이므로 이를 기준치로하여 L1과 L1/L2 데이터를 비교한 결과이고, 표 6은 L1 데이터의 기선길이에 따른 유효여부결과이다.

표 4, 5, 6의 내용을 기선길이에 따라 그래프로 표시하면 다음 그림 3, 4, 5와 같다.

표 4, 5, 6의 내용을 분석해 보면 다음과 같다.

1. 대략 18 km 이내의 기선에 대해서는 .opt 파일만 선택되었다.

2. L1에 의한 데이터는 .opt 파일이 선택된 외에는 거의 모두 .flt 파일에서 선택될 수 있다.

3. L1/L2에 의한 데이터는 .opt 파일이 선택된 외에 나머지 데이터에 대해서는 .flt와 .trp 파일이 거의 비슷하게 선택되었다.

4. .opt 파일로 채택되는 단기선 범위에서 L1과 L1/L2 각각에 의한 ratio를 비교해 볼 때 ratio(1)이 ratio(2)보다 전체적으로 약간 높은 값을 나타내고 있다. 이는 L1/L2에 의한 데이터가 전리층 영향 보정시 L1

에 비해 추가적인 오차요소를 가지게 되므로 보다 많은 Noise를 포함하고 있음을 명시해 주는 것이다. 따라서 단기선 범위에서는 L1에 의한 기선측정이 L1/L2에 의한 기선측정보다 오히려 안정적이며 보다 정확한 값을 계산해 낼 수 있음을 추정할 수 있겠다.

5. L1에 의한 기선장에서 L1/L2에 의한 기선장을 감한 차이값은 .opt 파일에 의한 데이터의 경우 80% 이상이 음의 값을 가지고 있으며 나머지 .flt와 .trp에서 선택된 기선은 약 46% 정도만이 음의 값을 나타내고 있다.

6. 기선차의 절대값분포를 보면 대략 6 km 대까지는 80% 이상이 1 cm 이하의 차를 보이고 있으며 약 9 km 이상부터 대부분이 1 cm 이상의 차를 나타내고 있다.

7. 본 연구의 결과를 분석함에 있어 고려되어야 할 사항은 관측되는 기선들의 길이가 일반적인 통계법칙이 잘 적용될 수 있도록 일정한 갯수별로 측정되지 않았다는 것이며 GPS 관측에서 기선에 대한 분류기준도 단기선, 중기선, 장기선 등의 용어를 사용하여 큰 범위로 분류하고 있다는 것이다. 따라서 본 논문에서는 위의 사항을 고려하여 단기선은 20 km 이하, 중기선은 20~50 km, 장기선은 50 km 이상으로 분류하였다. 또한 20 km 이하에서는 5 km 간격으로 데이터의 범위를 세분하였으며 20 km 이상부터는 측정 기선수가 많지 않고 기선장도 골고루 분포되어 있지 않으므로 20~30 km, 30~50 km, 50 km 이상으로 하여 전체적으로 총 7개의 그룹별 분류를 하였다. 이렇게 함으로써 각 그룹별로 데이터들을 동등한 특성을 갖는 집합으로 취급하였으며 그룹별로 통계적 분석을 수행하여 기선범위간의 변화를 알아보고자 하였다.

이렇게 하면 단기선 범위로서 5 km 이하에서는 약 4.4 mm, 5~10 km에서는 약 8.4 mm, 10~15 km에서는 약 16.8 mm, 15~20 km에서는 약 22.1 mm를 나타내고 있다. 중기선 범위에서는 20~30 km에서 214.5 mm, 30~50 km는 230.4 mm를 나타내고 있고, 50 km 이상의 장기선에서는 277.6 mm의 값을 보이고 있다. 이상의 값의 분포를 가지고 판단해 볼 때 대략 20 km 이상에서는 기선장의 차가 절대적으로 심한 차이를 나타내고 있으므로 L1 만에 의한 데이터는 거의 사용할 수 없음을 알 수 있겠다. 또한 5 km 마다의 기선차 절대값의 평균값은 5 km 간격으로 15 km까지

표 4. 최종 선정된 Single frequency 데이터와 Dual frequency 데이터

No.	rms(1)	rdop(1)	ratio(1)	dist(1)	rms(2)	rdop(2)	ratio(2)	dist(2)
1	0.027	0.066	9.87	1557.161	0.059	0.067	9.65	1557.158
2	0.024	0.035	28.3	2544.094	0.038	0.037	24.64	2544.105
3	0.042	0.056	7.25	2870.186	0.051	0.06	8.93	2870.183
4	0.032	0.047	11.95	3014.05	0.064	0.054	9.85	3014.05
5	0.031	0.061	11.89	3098.427	0.054	0.061	12.01	3098.433
6	0.024	0.061	15.98	3612.8	0.042	0.062	15	3612.8
7	0.024	0.054	37.9	3972.523	0.054	0.062	25.05	3972.526
8	0.024	0.051	15.42	4619.393	0.051	0.053	13.47	4619.38
9	0.019	0.04	26.09	4802.077	0.038	0.041	27.36	4802.078
10	0.041	0.049	10.72	5352.048	0.053	0.05	11.16	5352.054
11	0.029	0.046	12.85	5621.141	0.049	0.047	13.73	5621.146
12	0.041	0.051	5.27	6168.816	0.061	0.053	5.29	6168.814
13	0.022	0.063	16.68	6221.86	0.053	0.062	16.36	6221.863
14	0.042	0.048	8.9	6474.824	0.061	0.048	8.74	6474.818
15	0.042	0.043	11.81	6638.996	0.051	0.044	11.9	6639.003
16	0.028	0.05	27.7	6648.388	0.049	0.05	27.07	6648.4
17	0.054	0.047	4.34	7262.831	0.065	0.048	3.98	7262.835
18	0.047	0.051	4.75	7396.277	0.065	0.053	4.71	7396.266
19	0.027	0.046	15.82	7423.277	0.062	0.047	15.45	7423.283
20	0.032	0.046	10.8	7773.317	0.049	0.048	11.4	7773.318
21	0.037	0.051	8.48	8261.824	0.05	0.053	8.57	8261.83
22	0.047	0.052	2.5	8443.218	0.069	0.054	2.69	8443.235
23	0.035	0.052	7.06	8476.129	0.068	0.053	7.1	8476.125
24	0.035	0.057	7.33	8597.6	0.038	0.059	7.29	8597.603
25	0.073	0.061	3.09	8888.443	0.069	0.061	3.08	8888.454
26	0.052	0.047	7.67	8952.512	0.049	0.057	3.29	8952.538
27	0.028	0.062	26.39	9207.694	0.035	0.064	23.32	9207.697
28	0.04	0.045	11.47	9262.852	0.04	0.046	11.19	9262.872
29	0.061	0.06	6.48	9585.126	0.065	0.067	5.65	9585.115
30	0.062	0.056	3.63	9883.753	0.06	0.06	3.57	9883.765
31	0.03	0.043	9.38	10311.123	0.044	0.039	8.74	10311.147
32	0.033	0.047	10.21	10329.334	0.078	0.054	10.75	10329.34
33	0.052	0.061	2.2	10496.246	0.058	0.063	2.28	10496.257
34	0.048	0.059	2.5	11027.68	0.058	0.056	2.51	11027.693
35	0.041	0.061	10.13	11545.56	0.034	0.066	10.33	11545.598
36	0.056	0.05	3.32	11749.853	0.057	0.055	3.01	11749.864
37	0.046	0.045	4.41	11775.927	0.036	0.045	4.34	11775.934
38	0.095	0.06	2.44	11882.119	0.07	0.061	2.38	11882.137
39	0.043	0.047	12.15	12371.631	0.055	0.062	13	12371.659
40	0.056	0.041	4.48	12585.287	0.047	0.04	3.77	12585.317
41	0.071	0.046	4.27	12662.489	0.03	0.047	4.16	12662.521
42	0.048	0.045	7.1	12743.146	0.059	0.045	7.05	12743.153
43	0.056	0.067	5.23	12833.267	0.044	0.081	5.05	12833.281
44	0.051	0.048	3.37	13053.396	0.05	0.051	3.15	13053.413
45	0.045	0.041	6.87	13295.229	0.064	0.037	3.06	13295.24
46	0.039	0.06	15.12	13306.975	0.069	0.067	13.95	13306.99

표 4. 계속

No.	rms(1)	rdop(1)	ratio(1)	dist(1)	rms(2)	rdop(2)	ratio(2)	dist(2)
47	0.04	0.062	11.46	14029.666	0.044	0.063	12.18	14029.696
48	0.057	0.043	7.49	14220.713	0.044	0.043	6.2	14220.721
49	0.047	0.063	3.9	14240.797	0.055	0.061	3.95	14240.797
50	0.035	0.062	17.83	14422.54	0.037	0.064	17.75	14422.557
51	0.058	0.046	5.2	14833.044	0.056	0.045	5.04	14833.059
52	0.063	0.05	2.44	15238.799	0.055	0.054	2.23	15238.797
53	0.079	0.04	2.65	15330.873	0.063	0.043	2.65	15330.897
54	0.039	0.039	8.4	15378.833	0.034	0.039	8.11	15378.85
55	0.043	0.066	11.95	16325.81	0.034	0.084	10.18	16325.821
56	0.074	0.046	4.59	16868.127	0.061	0.047	4.52	16868.138
57	0.053	0.06	8.15	17499.698	0.077	0.06	7.9	17499.706
58	0.047	0.045	5.82	17859.718	0.051	0.047	5.69	17859.729
59	0.051	0.046	4.65	17899.817	0.088	3.123	trp	17899.811
60	0.089	0.212	flt	17932.145	0.042	0.221	flt	17932.141
61	0.067	0.337	flt	18340.169	0.044	0.297	flt	18340.154
62	0.039	0.191	flt	18368.974	0.035	0.186	flt	18369.03
63	0.085	7.889	trp	18853.282	0.049	0.664	flt	18853.225
64	0.081	0.287	flt	19274.537	0.073	0.299	flt	19274.512
65	0.05	0.376	flt	19274.643	0.036	0.359	flt	19274.653
66	0.046	0.631	flt	19653.522	0.03	0.597	flt	19653.519
67	0.08	0.038	2.31	19725.61	0.064	0.267	flt	19725.516
:	:	:	:	:	:	:	:	:

Note: (1)은 L1만에 의한 결과이고 (2)는 L1/L2에 의한 결과임.

표 5. L1과 L1/L2 데이터의 비교

No.	D1-D2	ABS(D)	ppm	P.E.(dual)	No.	D1-D2	ABS(D)	ppm	P.E.(dual)
1	3	3	1.9	9.0	20	-1	1	0.1	14.8
2	-11	11	4.3	9.9	21	-6	6	0.7	15.2
3	3	3	1.0	10.2	22	-17	17	2.0	15.4
4	0	0	0.0	10.3	23	4	4	0.5	15.4
5	-6	6	1.9	10.4	24	-3	3	0.3	15.5
6	0	0	0.0	10.9	25	-11	11	1.2	15.8
7	-3	3	0.8	11.2	26	-26	26	2.9	15.9
8	13	13	2.8	11.8	27	-3	3	0.3	16.1
9	-1	1	0.2	12.0	28	-20	20	2.2	16.2
10	-6	6	1.1	12.5	29	11	11	1.1	16.5
11	-5	5	0.9	12.7	30	-12	12	1.2	16.8
12	2	2	0.3	13.3	31	-24	24	2.3	17.2
13	-3	3	0.5	13.3	32	-6	6	0.6	17.2
14	6	6	0.9	13.5	33	-11	11	1.0	17.3
15	-7	7	1.1	13.7	34	-13	13	1.2	17.8
16	-12	12	1.8	13.7	35	-38	38	3.3	18.3
17	-4	4	0.6	14.3	36	-11	11	0.9	18.5
18	11	11	1.5	14.4	37	-7	7	0.6	18.5
19	-6	6	0.8	14.4	38	-18	18	1.5	18.6

표 5. 계속

No.	D1-D2	ABS(D)	ppm	P.E.(dual)	No.	D1-D2	ABS(D)	ppm	P.E.(dual)
39	-28	28	2.3	19.1	85	-20	20	0.7	34.0
40	-30	30	2.4	19.3	86	599	599	20.8	34.7
41	-32	32	2.5	19.4	87	194	194	6.6	35.2
42	-7	7	0.5	19.5	88	-488	488	16.4	35.6
43	-14	14	1.1	19.5	89	-80	80	2.6	36.8
44	-17	17	1.3	19.8	90	25	25	0.8	36.8
45	-11	11	0.8	20.0	91	34	34	0.9	43.8
46	-15	15	1.1	20.0	92	200	200	5.2	44.1
47	-30	30	2.1	20.7	93	-74	74	1.9	44.3
48	-8	8	0.6	20.9	94	390	390	10.0	44.5
49	0	0	0.0	20.9	95	-20	20	0.5	44.7
50	-17	17	1.2	21.0	96	-220	220	5.5	45.2
51	-15	15	1.0	21.4	97	-638	638	14.2	50.2
52	2	2	0.1	21.8	98	-569	569	12.6	50.2
53	-24	24	1.6	21.9	99	-165	165	3.4	53.6
54	-17	17	1.1	22.0	100	4	4	0.1	53.6
55	-11	11	0.7	22.9	101	-524	524	10.7	54.0
56	-11	11	0.7	23.4	102	283	283	5.7	54.8
57	-8	8	0.5	24.0	103	41	41	0.8	55.2
58	-11	11	0.6	24.3	104	1154	1154	22.7	55.7
59	6	6	0.3	24.3	105	368	368	7.2	56.2
60	4	4	0.2	24.4	106	-130	130	2.5	56.3
61	15	15	0.8	24.8	107	-6	6	0.1	58.3
62	-56	56	3.0	24.8	108	-150	150	2.7	60.0
63	57	57	3.0	25.3	109	-142	142	2.5	60.8
64	25	25	1.3	25.7	110	-132	132	2.3	60.9
65	-10	10	0.5	25.7	111	-91	91	1.6	60.9
66	3	3	0.2	26.0	112	51	51	0.9	63.7
67	94	94	4.8	26.1	113	18	18	0.3	64.0
68	51	51	2.5	26.9	114	-882	882	14.3	65.9
69	88	88	4.2	27.4	115	-249	249	4.0	67.0
70	-62	62	2.7	29.5	116	-93	93	1.5	67.0
71	-27	27	1.1	30.1	117	168	168	2.7	67.4
72	497	497	20.2	30.8	118	-244	244	3.9	67.4
73	-244	244	9.9	30.8	119	151	151	2.3	69.2
74	250	250	10.0	31.2	120	-457	457	6.8	71.6
75	-427	427	17.0	31.2	121	-784	784	11.2	74.0
76	479	479	18.4	32.1	122	-305	305	3.8	83.5
77	-42	42	1.6	32.3	123	-54	54	0.6	88.9
78	-44	44	1.7	32.3	124	1	1	0.0	98.4
79	-33	33	1.3	32.3	125	-1323	1323	13.5	100.8
80	13	13	0.5	32.3	126	80	80	0.8	104.8
81	648	648	23.3	33.7	127	131	131	1.3	104.8
82	26	26	0.9	33.8	128	265	265	2.3	117.6
83	-8	8	0.3	33.9	129	-25	25	0.2	117.6
84	265	265	9.5	33.9					

Note: D1-D2는 표 4의 dist(1)과 dist(2)의 기선차(mm 단위), ABS(D)는 기선차의 절대값, ppm은 ABS(D)를 dist(2)로 나눈 값, 즉 L1에 의한 기선장의 정확도, P.E.(dual)은 L1/L2에 의한 기선장에 따른 관측정확도(확률오차)

표 6. L1 데이터의 유효여부 결과

기선 범위	mean (ppm)	mean (ABS(D))	허용 오차	유효 여부
5 km 이하	1.4	4.4 mm	9.0 mm	○
5~10 km	1.1	8.4 mm	12.5 mm	○
10~15 km	1.4	16.8 mm	17.2 mm	○
15~20 km	1.2	22.1 mm	21.8 mm	×
20~30 km	8.1	214.5 mm	26.9 mm	×
30~50 km	5.3	230.4 mm	36.8 mm	×
50 km 이상	4.2	277.6 mm	55.2 mm	×

Note: mean(ppm)은 L1 데이터의 기선범위별 평균정확도, mean(ABS(D))은 기선범위별 평균기선차(평균오차), 허용오차는 2주파관측시 기선길이에 따른 장비정확도(확률오차) 중 각 기선범위내에서 최소값을 선택함.

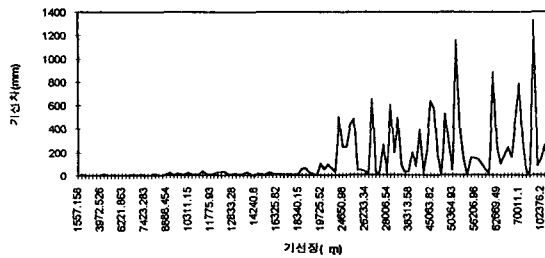


그림 3. 기선장에 따른 기선차 분포도

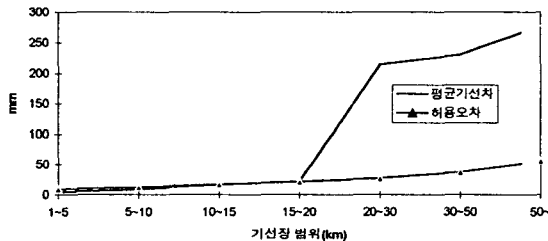


그림 4. 기선범위별 평균기선차-허용오차 관계도

약 2배로 증가함을 알 수 있다.

8. 기선차의 절대값을 L1/L2에 의한 기선장으로 나눈 값은 L1/L2에 의한 기선장을 기준으로 한 L1에 의한 기선장의 정확도로 볼 수 있으며 이 값의 분포는 평균적으로 약 20 km까지는 대략 1.3 ppm 정도의 분포를 나타내고 있으며 20~30 km는 평균 8.1 ppm, 30~50 km는 평균 5.3 ppm, 50 km 이상은 평균 4.2 ppm으로 계산되며 이 값들의 분포 특성은 20 km까지는 1 ppm 대를 유지하나 그 이후부터 훨씬 큰 오

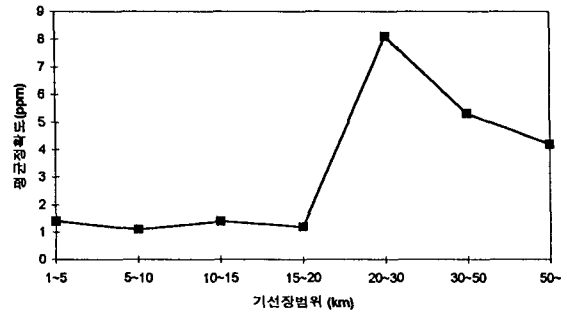


그림 5. 기선범위별 기선차의 평균정확도 분포도

차를 보이고 있으며 오히려 20~30 km에서 가장 큰 오차를 나타내고 그 이후부터 조금씩 오차비율이 줄어들음을 알 수 있다.

9. 끝으로 L1 파에 의한 유효측정범위를 구하기 위해 다음의 내용을 기준으로 삼았다.

첫째, 7항의 분류기준을 적용하여, L1/L2에 의한 값을 기준값으로 고려하기 위하여 각 기선범위별로 평균오차 개념을 도입하므로써 각 기선범위별 기선차 절대값의 평균값(평균오차)을 구한다.⁶⁾

둘째, 각 기선범위의 개개 기선들을 km 단위까지만 고려하여 L1/L2 파에 의한 관측정확도(확률오차)를 각 기선범위에서 가장 짧은 기선, 즉 1, 5, 10, 15, 20, 31, 50 km에 대해서 계산한다. 본 논문에서 사용한 GPS 장비의 경우 $\pm 0.6745\sqrt{((5 \text{ mm} + 1 \text{ ppm} \times \text{기선장})^2 + (1 \text{ cm} + 1 \text{ ppm} \times \text{기선장})^2)}$ 이다. 여기서 허용오차를 표준오차대신 확률오차로 채택한 이유는 L1에 의한 유효측정한계를 기선영역에 따라 포괄적으로 구할 수 밖에 없으므로 보다 안전율을 고려하여 결정하기 위해서이다.⁶⁾

셋째, L1/L2 파에 의한 측정값이 분포하고 있는 범위내로 L1 파에 의한 측정값이 포함되었을 때 L1 파에 의한 값은 L1/L2에 의한 값과 동등한 의미를 갖는 값으로 인정될 수 있다. 그러므로 처음에 구한 평균오차가 기선범위별 최단기선의 L1/L2에 의한 값의 확률오차(0.6745σ)이내에 들면 L1에 의한 값이 L1/L2에 의한 값과 동등한 의미를 갖는 것으로 추정된다. 결과적으로 15 km까지의 기선차가 허용기준 안에 들므로 15 km까지를 L1에 의한 유효측정한계로 생각할 수 있다.

4. 結 論

본 연구에서 얻은 결론 및 성과는 다음과 같다.
첫째, GPS 관측에 있어 기선길이에 따른 불명확 정수의 수렴한계는 ratio 3을 기준으로 결정되며 약 18 km이다. 즉 18 km 이상부터는 Double difference float solution과 Triple difference solution이 유효하다.

둘째, 단기선 범위, 즉 18 km 이내에서는 L1에 의한 기선측정이 L1/L2에 의한 기선측정보다 ratio 값이 전체적으로 높게 나타나므로 보다 안정적이며 정확한 값을 추정해낼 수 있다.

셋째, 20 km 이상부터는 L1과 L1/L2에 의한 기선차가 현저히 크게 나타나므로 전리층 영향을 심하게 받음을 알 수 있고 따라서 L1 파에 의한 기선측정은 20 km 이상에서는 의미가 없다.

넷째, 기선장에 따른 기선차의 비율은 기선범위별로 볼 때 20 km까지는 약 1.3 ppm으로 거의 같다.

다섯째, 기선차의 기선범위별 평균은 15 km까지는 거의 2배로 증가하며 20 km와 30 km 사이에서는 약 10배로 급격한 증가를 보이고 30 km 이후부터는 거의 비슷한 분포를 나타낸다.

여섯째, L1 파만을 사용할 수 있는 GPS 장비로는 대략 15 km의 기선장까지 측정 가능하다.

끝으로 GPS 상대거리 관측 데이터에 대한 적합성의 기준이 마련되었다.

감사의 글

본 연구를 위해 필요한 자료를 협조해 주신 주식회사 범아엔지니어링 부설 국토정보시스템 연구소에 깊은 감사를 드립니다.

參考文獻

1. Alfred Leick, "GPS SATELLITE SURVEYING", John Wiley & Sons, 1990, pp. 204-226.
2. David Wells, "Guide to GPS Positioning", CANADIAN GPS ASSOCIATES, 1987, pp. 3-11.
3. Trimble Navigation, "TRIMVEC PLUS GPS Survey Software Release Notes", 1991, chap. 3, Appendix A, Appendix D.
4. Remondi, B.W., Using the Global Positioning System Phase Observable for Relative Geodesy: Modeling, Processing and Results, Ph. D. Thesis, University of Texas at Austin, USA, 1984, pp. 1-12, 86-148.
5. 日本測地學會, "GPS-人工衛星による精密測位システム", 日本測量協會, 1986, pp. 49-52, 147-153.
6. 石川甲子男外 2人, "測量のための最小二乗法", 實教出版株式會社, 1988, pp. 9-16.
7. 金東炫, GPS를 이용한 絕對座標 解析에 관한 研究, 서울大學校 工學碩士學位論文, 1993.
8. 金星旭, GPS-PHASE 데이터를 이용한 精密測位시스템 開發에 관한 研究, 서울大學校 工學 碩士學位論文, 1994, pp. 4-10.