

2등 측지기준점 GPS 관측데이터의 기선벡터 추정 GPS Baseline Estimation of the 2nd Order Geodetic Control Network

이영진¹⁾ · 이흥규²⁾ · 권찬오³⁾ · 차상현⁴⁾

Lee, Young Jin · Lee, Hung Kyu · Kwon, Chan Oh · Cha, Sang Heon

Abstract

GPS baseline analysis is a mathematical procedure which estimates a baseline vector from carrier-phase double-differenced observations. Least squares technique is generally applied for the processing and integer ambiguities in the observations should be resolved to obtain maximum accuracy of the solution. In GPS control surveying, after assembling the baseline solutions into a network, adjustment is performed to derive final coordinate sets of unknown points. This paper deals with details of GPS baseline analysis for the 2nd order national geodetic network adjustment. After reviewing GPS campaigns carried out by National Geographic Information Institute (NGII) and their observations, technical issues and considerations for the GPS baseline analysis are presented with emphasis of selecting the processing strategies and software. Finally, the analyzed results will be evaluated by examining the close of figures formed by joining the processed baseline vectors.

Keywords : Geodetic network, GPS baseline analysis, Baseline vector

초 록

GPS기선해석은 반송파 관측값에 수학적 이중차분을 적용하고 미지정수 결정과정을 거쳐 최소제곱법에 의해 두 측점 사이의 기선벡터를 추정하는 수학적 절차이다. GPS기준점측량에서는 기선벡터망의 형성과 조정작업을 통하여 미지점들의 좌표를 계산한다. 본 논문에서는 2등 측지기준점의 세계측지계 성과산정 시 망조정에 필요한 기선벡터의 생성을 위한 GPS관측데이터 기선해석에 관한 내용을 설명하고 있으며 기선해석에 사용된 GPS관측데이터에 대한 사업내용, 관측방법을 요약하고 기선해석방법과 소프트웨어의 선정에 필요한 기술적 문제를 검토한 후 해석을 실시하고 결과를 분석 정리하였다.

핵심어 : 측지망 조정, GPS 기선해석, 기선벡터

1. 서 론

우리나라에서는 측량법령의 개정을 통하여 지구중심측지계인 한국측지계2002(Korean Geodetic Datum 2002 : KGD2002)를 2003년 1월 1일부터 도입하였으며, 2009년까지의 유예기간을 거쳐 2010년 1월 1일부터 전면 시행될 예정으로 있다. KGD2002의 구현을 위해 VLBI 및

GPS관측데이터의 처리를 통하여 대한민국 경위도원점과 국토지리정보원에서 운영 중인 14개의 GPS상시관측점(1등측지기준점)의 성과를 ITRF2000의 특정시점(Epoch) 2002.0에 대한 계산을 통하여 이루어 졌으며 2002년 12월에 고시 되었다.

국토지리정보원에서는 기준점망의 정비 및 새로운 측지계의 도입을 대비하고 국토지리정보원 내규인 'GPS에

1) 정회원·경일대학교 건설정보공학과 교수(E-mail:yjlee@kiu.ac.kr)

2) 연결저자·정회원·창원대학교 토목공학과 교수(E-mail:hkyulee@changwon.ac.kr)

3) 정회원·경일대학교 대학원 박사과정(E-mail:kambel@hanmail.net)

4) 정회원·국토지리정보원 측지과(E-mail:sanghunc@mocet.go.kr)

의한 기준점측량 작업규정'을 준용하여 삼각점과 수준점을 2등과 3등 기준점으로 나누어 GPS관측을 실시하였다. GPS 2등 기준점측량은 기존의 정밀 1, 2차기준점 및 1등 수준점에 대하여 선택적으로 실시되었기 때문에 기준점 사이의 기선장이 일부 도서지역을 제외하고는 대부분 20~30km 정도이다(이영진 등, 2007). 이에 반해, 3등 기준점측량의 경우는 GPS 2등 기준점을 제외한 정밀 1, 2차 기준점과 1, 2등 수준점에 대하여 높은 밀도로 관측이 이루어졌기 때문에 기준점 사이의 기선장이 대부분 2~5km 정도이다(이영진 외, 2006 ; Lee et al., 2006).

GPS방식에 의한 국가기준점의 성과 산정은 기선벡터를 사용한 3차원 벡터망 조정을 통해 이루어지기 때문에 망조정 작업에 앞서 관측데이터의 기선해석을 실시하여야 한다. GPS관측데이터의 기선해석은 동일한 시간에 두 측점에서 취득된 반송파 관측값에 수학적 이중차분을 적용한 후 미지정수결정 과정을 거쳐 최소제곱법에 의하여 두 점사이의 기선벡터 ΔX , ΔY , ΔZ 를 추정하는 수학적 방법과 절차이다(Leick, 2004 ; Rizos, 1996 ; 이영진, 1993). 특히 GPS기선해석 방법은 반송파 이중차분 관측데이터의 오차의 크기에 따라 단기선(short baseline), 중기선(medium baseline) 그리고 장기선(long baseline)으로 분류하여 적용이 이루어진다(Teunissen & Kleusberg, 1998).

GPS기선해석에서 오차는 전리층효과와 절대적 대류권 지연과 같이 두 수신기 사이의 기선장 증가에 비례하여 영향이 증가되는 "기선장에 따른 오차(distance-dependent error)"와 상대적 대류권지연, 다중경로, 안테나 위상변동 및 수신기 관측 잡음과 같이 수신기 사이의 이격 거리에는 관련이 없는 "관측지점에 따른 오차(site-dependent error)"로 나눌 수 있다. 일반적으로 단기선의 경우 기선장에 따른 오차들의 합이 관측지점에 따른 오차의 합보다 작은 경우로 단일주파수 GPS수신기의 사용에 의해 센티미터 수준이상의 정확도를 가지는 정지측량이 가능한 범위로 정의되며 중위도 지방에서는 약 15km정도이다. 중기선의 경우 기선장에 따라 증가하는 오차의 합이 관측지점에 따른 오차보다 커지는 범위부터 측지기준계와 위성의 궤도오차 등이 전리층효과 보다 그 영향이 커져 이중주파수 수신기를 사용하더라도 정확한 미지정수를 결정할 수 없는 범위로 일반적으로 10km~1000km이며 중기선의 범위인 1000km이상의 기선을 장기선이라 한다. 따라서 최적의 기선해석 결과를 얻기 위해서는 처리에 사용

되는 관측데이터의 특성을 충분히 반영하여 가장 적합한 방법을 사용하는 것이 필수적이다.

GPS기선해석의 절차는 관측데이터의 점검과 정리, 소프트웨어에 의한 기선해석, 그리고 결과의 점검으로 나눌 수 있다. 관측데이터의 점검과 정리단계에서는 관측점명을 확인하여 통일하고 안테나고를 점검한 이후 기선해석이 용이한 형태로 관측파일의 정리가 필요하다. 기선해석은 관측데이터의 특성을 반영한 적합한 해석방법과 최적의 소프트웨어의 선정을 통해 이루어진다. 기선해석 결과의 점검은 미지정수 결정여부와 기선벡터의 폐합차와 교차 분석을 통해 이루어진다.

본 논문은 2등 측지기준점의 세계측지계 성과계산을 위한 망조정에 필요한 GPS기선벡터의 추정용 목적으로 한다. 이를 위하여 GPS 2등 기준점측량사업과 관측데이터를 개발 한 이후 해석방법을 결정하고 소프트웨어 선정을 위한 비교 분석과 기선장에 따른 오차의 영향에 대한 검토가 이루어 졌다. 최종적으로 GPS 2등 기준점측량의 관측데이터의 기선해석을 실시하고 중복기선 및 폐합차의 결과를 점검하여 추정된 기선벡터의 정확도를 제시하였다.

2. GPS 2등 기준점측량 관측데이터

2.1 GPS 2등 기준점측량사업

GPS 2등 기준점 측량사업은 1996년에 전국에 걸쳐 31개의 삼각점에 대한 관측이 시작된 이후로 2000년까지 중복점을 포함하여 표 1에서와 같이 총 275점에 대하여 실시되었다. 관측의 작업방법과 규격을 통일하고 필요한 정확도를 확보하기 위하여 국토지리정보원 내규인 "GPS에 의한 기준점측량 작업규정"을 적용하고 관측데이터의 저장간격을 30초로 하여 8시간 이상 관측하였다.

본 연구에서는 1996년을 제외한 1997년~2000년 관측데이터를 사용하며 관측점의 수는 중복점을 제외한 총 200점이다. 그림 1은 연도별로 실시된 GPS 2등 기준점측량 사업지구를 도시한 것이다.

2.2 GPS관측데이터

본 연구에서와 같이 대량의 GPS관측데이터를 사용하는 망조정의 경우 중복점의 측점명의 불일치는 기선들의 연결을 부적절하게 하여 종종 전산 처리의 오류를 유발하고, 부정확하게 입력된 GPS안테나고는 3차원 벡터망조

표 1. GPS 2등 기준점측량사업 요약

사업연도	사업기간	관측점수	사업지역
1996년	1996.05.21 ~ 1996.11.06	31	전국
1997년	1997.05.13 ~ 1998.01.21	46	경상도 지역
1998년	1998.04.01 ~ 1998.10.17	39	강원도 지역
			울릉도·독도 지역
1999년	1999.03.12 ~ 1999.09.17		전라남도·제주도 지역
			인천공항 지역
2000년(1지구)	2000.04.21 ~ 2000.11.06		전라북도·충청도 남부지역
2000년(2지구)	2000.04.21 ~ 2000.11.26	39	충청도 북부·경기도 지역
2000년(남해)	2000.07.03 ~ 2000.12.09	10	남해 도서지역
2000년(서해)		29	서해 도서지역
합계		275(200)*	전국

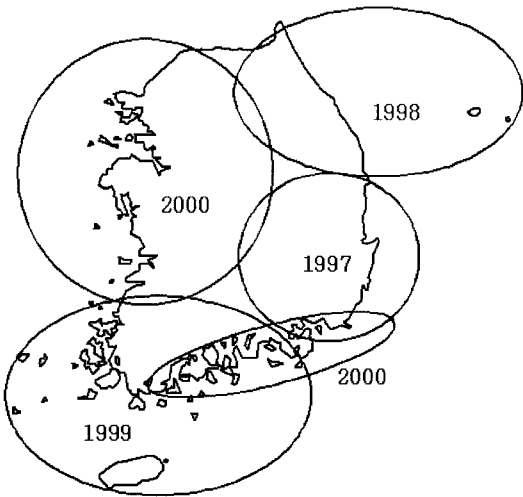


그림 1. GPS 2등 기준점측량 연도별 사업지구

정에서 연직방향에 과대오차를 발생하기 때문에 철저한 검토가 필요하다. 측점명을 통일하기 위하여 국토지리정보원에서 2001년 1월에 고시한 1:50,000 수치지형도의 도명명 코드 두 자리와 삼각점 코드 두 자리를 조합하여 일괄부여하고, 2등 측지망 내부 뿐만 아니라 추후 3등측지망과의 연결을 고려하였다. GPS안테나고는 관측에 사용되는 수신기에 따라 연직거리 혹은 경사거리 등 다양한 방식으로 측정이 이루어졌기 때문에 관측기록부의 확인 과정을 거쳐 모든 안테나고를 측점과 안테나 위상센터 사이의 연직거리로 일괄 계산하였다. 변경된 측점명과 안테나고는 RINEX형식의 관측파일에서 재편집 되었고 관측사업 지구별로 구분하여 기선해석이 용이하도록 하였다.

4. 소프트웨어 선정 및 성능분석

4.1 소프트웨어 비교

국내에서 GPS기선해석에 광범위하게 사용되고 있는 상용S/W는 Leica사의 LGO(Leica Geomatic Office)와 Trimble사의 TGO(Trimble Geomatic Office)이다. 기선처리 S/W의 비교를 위해 이 두 소프트웨어를 사용하여 50~200km의 중기선에 해당하는 GPS 2등 기준점의 기선해석을 실시하고 그 결과를 스위스 베른대학교에서 개발된 과학기술용 초고정밀 GPS기선해석 소프트웨어인 Bernese와 비교하고 소프트웨어 선정의 참고자료로 활용하였다(이영진 외, 2005). 기선해석에 사용된 GPS관측데이터는 국토지리정보원에서 1996년에 실시한 GPS 2등 기준점측량 관측데이터이며, 총 9개의 기선으로 구성되어 있다.

기선해석에서 고정점은 국토지리정보원 구내의 상시 관측점인 SUWN으로 정하였으며 위성의 궤도오차를 줄이기 위하여 IGS의 정밀궤도력(precise ephemeris)을 사용하였다. 전리층효과를 최소화하기 위하여 ionosphere-free 선형결합 관측값을 형성하여 최종좌표를 추정하였고 대류권지연을 최소화하기 위하여 Hopfield모델을 적용하여 건조부분 지연을 최소화 한 후 좌표의 추정단계에서 ionosphere-free선형결합의 잔차로부터 1시간 간격으로 대류권 습윤지연의 크기를 추정하였다.

표 3은 Bernese와 LGO 그리고 TGO에 의해 얻어진 기선해석 결과를 비교한 통계값을 정리하여 나타낸 것이며 각기 다른 소프트웨어에 의해 얻어진 기선벡터들이 통계

적으로 차이가 있는지의 여부를 검토하기 위하여 가설검정을 실시하였다. 각기 다른 두 소프트웨어에서 얻어진 X_i 와 X_j 의 차이를 $d=X_i-X_j$ 라 할 때 영가설(zero hypothesis)과 대안가설(alternative hypothesis)은 다음과 같이 정의할 수 있다.

H_0 : en 기선벡터가 크게 다르지 않다.(즉, $d \leq \sigma$)

H_1 : 두 기선벡터가 다르다.(즉, $d > \sigma$)

위의 가설에 대해 χ^2 에 의한 한쪽 꼬리검정(one-tailed test)을 실시하여 영가설이 채택될 때 두 소프트웨어에 얻어진 기선벡터는 통계적으로 차이가 없다고 할 수 있으며, 가설검정에 사용될 통계값은 식 (1)에 의해 계산되었다(Agustan & Featherstone, 2004).

$$\chi^2 = \frac{(n-1)s^2}{\sigma^2} \quad (1)$$

위의 식에서 n 은 기선벡터 요소의 수이며 본 검정에서는 27(3×9기선)이고, s 는 표 3에서 나타낸 기선벡터 요소들의 차이에 대한 표준편차, 그리고 σ 는 모집단의 표준편차이며 본 검정에서는 GPS3차원기선해석 결과의 평균제곱오차를 3cm까지 허용한다고 가정하여 하나의 기선벡터 요소에 대해 0.017cm로 고려하였다. 이때 세 가지 소프트웨어의 차이에 대해 χ^2 에 의한 가설검정을 위한 통계값들이 표 3의 마지막 행과 같이 계산되었다. 신뢰수준 95%, 자유도 26일 때 가설검정을 위한 임계값은 15.4이고, 표 3의 마지막 행의 통계값 모두가 임계값에 비해 작기 때문에 영가설이 채택된다. 따라서 Bernese, LGO, TGO에 의해 처리된 50~200km에 이르는 기선벡터의 결과는 통계적으로 크게 차이가 없다고 볼 수 있으며 미소한 차이들도 조정 절차에서 최소화될 수 있기 때문에 기선해석에 사용할 소프트웨어의 선정을 위해서 사용의 편의성과 같은 요인에 대한 비교가 필요하다.

표 3. 세 가지 기선해석 소프트웨어에 얻어진 결과비교의 통계값

	LGO-Bernese	TGO-Bernese	LGO-TGO
평균	10.2mm	7.2mm	10.3mm
표준편차	±12.9mm	±10.0mm	±12.7mm
최대	29mm	30.1mm	25.5mm
최소	0.5mm	0.5mm	0.5mm
χ^2 통계값	14.9	9.0	14.5

Bernese의 경우 인공위성의 궤도결정, 지각변동, 대기권 모니터링과 같은 과학기술 분야의 응용을 위하여 개발된 소프트웨어로 상대적으로 사용이 복잡하다. 물론 해외의 사례에서 GPS기반의 고정밀 측지망의 구축에 사용되기는 하지만 주로 기선장이 수백에서 수천 킬로미터에 이르는 기선에 대해 모두 사용되기 때문에 기선장이 대부분 20~40km 정도인 우리나라의 2등 기준망과 2~5km 정도인 10,000여개의 3등 기준점의 기선해석에 효율적으로 사용하기는 힘들다. 따라서 사용이 상대적으로 용이한 LGO와 TGO와 같은 상용 소프트웨어의 사용을 고려될 수 있으며, 앞서 비교된 바와 같이 기선해석 결과는 통계적으로 차이는 없으나 처리 속도를 펜티엄IV 2.0GHz의 CPU와 512MB메모리를 가지는 PC에 의해 처리 속도를 비교해 본 결과 LGO가 약 15배 이상 신속한 처리 속도를 보였다. 이러한 검토를 바탕으로 향후 3등 기준점의 기선해석을 고려할 때 처리되어야 할 기선의 수가 약 16,000개이고 자료의 처리에서 문제가 발생할 때 마다 다양한 조건에 따라 반복 처리가 가능함을 고려할 때 LGO를 기선해석에 사용하는 것이 적절할 것으로 판단되었다.

4.2 중기선 해석 성능 분석

본 연구의 기선해석에 사용될 LGO의 100km 이상인 중기선에 대한 처리성능을 검토하기 위하여 국토지리정보원에서 1996년 관측한 GPS 2등 기준점측량 데이터를 이용하여 기선해석을 실시하고 그 결과를 분석하였다. 기선해석에 사용된 데이터는 한 세션으로 관측된 12개의 기선이며, 그림 2와 같다.

국토지리정보원 구내에 위치한 GPS상시관측점 SUWN을 고정점으로 사용하고 처리 옵션은 앞 절에서 사용된 것과 동일하게 적용하여 기선해석을 실시하였다. 결과의

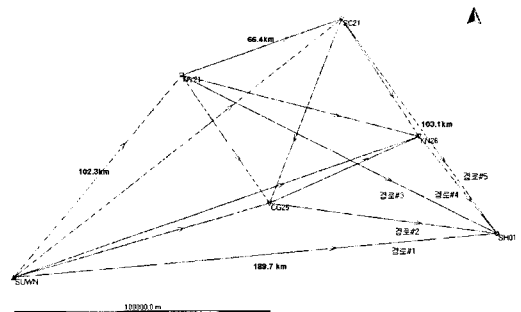


그림 2. 기선해석에 사용된 GPS관측망

정확도를 평가하기 위하여 두 가지 방법을 사용하여 분석을 실시하였다. 첫 번째는 다양한 경로에 의하여 고정점에서 가장 먼 곳에 위치한 SH01점의 3차원 직각좌표를 구하여 비교하는 것이고, 두 번째는 세 개의 기선벡터로 구성되는 삼각형망의 폐합차를 계산하는 것이다.

표 4는 그림 2와 같이 SH01의 3차원 직교좌표 계산을 위해 SUWN을 고정점으로 하여 189.7km의 기선을 한번의 처리(경로 1)를 통하여 구하는 방법과 SUWN과 SH01점 사이의 중간점들을 두어 최종적으로 SH01점의 3차원 직교좌표를 구하여 SUWN-CG25-SH01(경로2)에 의하여 얻어진 좌표를 비교한 것이다. 경로 2를 기준으로 비교한 이유는 일반적으로 GPS기선해석에서 기선장이 길어지면 그에 따른 오차는 증가하기 때문에 해석된 기선 중에서

상대적으로 짧은 약 100km인 두 개의 기선으로 구성되어 다섯 가지 경로 중에서 그 정확도가 가장 높을 것으로 예상되기 때문이었다. 다섯 가지의 경로에 의해서 얻어진 SH01 좌표의 각 성분 차이를 비교해보면 그 차이가 최대 6mm로부터 최소 0.2mm가 있음을 알 수 있고, 또한 기선벡터의 차이를 비교하더라도 어떤 경로를 사용하더라도 1cm이내로 일치하는 결과를 얻을 수 있었다. 표 5는 관측망(그림 2)의 기선해석을 LGO를 이용하여 수행하고 각각의 다각형 망에 대한 폐합차 계산 결과와 국토지리정보원 내규인 'GPS기준점측량 작업규정'에 허용된 기선해석망의 폐합차를 계산하여 나타낸 것이다. 결과는 허용된 폐합차와 기선해석 결과의 폐합차를 비교할 때 허용된 차에 비해 매우 양호한 결과를 보여 주고 있다. 이러한 두

표 4. 5가지 다른 경로에 의해 계산된 SH01의 3차원 직각좌표 비교

경로명	총기선장	SH1의 3차원 직각좌표	좌표차이(mm)	기선벡터차이(mm)	비고
SUWN-SH01	189.7km	-3204526.5055	0.2	6.4	최대: 6.0mm 최소: 0.2mm 평균: 2.8mm 편차: ±1.9mm
		3930842.9444	5.1		
		3854917.8554	3.9		
SUWN-CG25-SH01	193.9km	-3204526.5053	-	0.0	
		3930842.9395	-		
		3854917.8515	-		
SUWN-NY21-SH01	240.1km	-3204526.5082	1.2	5.0	
		3930842.9468	4.5		
		3854917.8571	1.7		
SUWN-NY21-KN26-S01	246.6km	-3204526.5055	0.2	3.3	
		3930842.9402	0.7		
		3854917.8483	3.2		
SUWN-NY21-SC21-SH01	271.8km	-3204526.5071	3.6	7.8	
		3930842.9455	6.0		
		3854917.8539	3.4		

표 5. 다각형망의 폐합차 계산 결과

망의 구성	기선장(km)	폐합차(mm)	ppm	폐합차(mm)			허용차(mm)
				Δ위도	Δ경도	ΔH	
SUWN-SH01-CG25-SUWN	383.6	6.3	0.016	-0.6	2.8	-5.6	28.3
SUWN-SH01-NY21-SUWN	429.8	3.9	0.009	-0.6	0.7	3.8	29.9
SUWN-KN26-NY21-SUWN	365.9	5.8	0.016	3.9	2.3	-3.7	28.4
SUWN-KN26-SC21-SUWN	385.3	15.9	0.041	0.1	0.1	15.9	28.3
SUWN-SH01-KN26-SUWN	406.0	8.1	0.020	-7.5	0.2	-3.2	29.1
SUWN-SH01-NY21-SUWN	428.8	3.9	0.009	-0.7	0.6	3.8	29.9
SUWN-SH01-SC21-NY21-SUWN	461.5	2.4	0.005	2.3	0.6	0.5	25.5

비교 결과를 고려 할 때 LGO를 GPS 2등 기준점측량의 기선해석용으로 사용함에 충분할 것으로 판단되었다.

5. 2등 측지기준점의 GPS기선해석 및 결과

국토지리정보원에서 1997년에서 2000년 사이에 실시한 GPS 2등 기준점측량 사업에서는 다양한 종류의 수신기와 소프트웨어를 사용하여 관측결과와 처리가 이루어졌다. 특히 기선장의 대부분이 GPS중기선에 해당하여 처리옵션에 따라서 그 결과의 차이가 발생할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 앞서 검토된 GPS기선해석에서 ‘기선장에 따라 증가하는 오차’를 충분히 감소시킬 수 있는 기법을 적용하여 LGO를 사용, 모든 관측데이터에 대한 기선해석을 재실시하고 결과를 분석하였다.

5.1 기선해석

2등 측지기준점망은 측점사이의 기선장의 대부분은 20~40km이고 일부 100km이상인 경우도 있다. 이 경우 GPS기선벡터의 정확도를 충분히 확보하기 위해서는 ‘기선장에 따라 증가하는 오차’를 최대한 감소시킬 수 있는 기법들이 적용되어야 한다. 이를 위하여 국토지리정보원의 ‘GPS정밀기준점측량 작업규정’에 의거하여 다음과 같은 방법을 사용하였다.

표 6의 방법을 적용하여 처리되어야 할 기선의 수는 중복기선을 포함하여 약 800개로 작업량이 방대하여 다음과 같이 다섯 단계로 나누어 각각의 기선에 대해 매뉴얼 방식(수동방식)으로 해석을 실시하였다.

- ① 사업지구별 기선해석: 관측데이터를 8개 사업지구로 나눈 다음, 사업지구 내의 1점을 고정하고 연결 기선해석을 실시하여 중복기선의 비교와 폐합차를 점검한다.
- ② 전국망의 기선해석: 사업지구별 기선해석을 통해 발견된 오류를 수정한 후 전국을 하나의 단일 망으로 구성하여 GPS상시관측점인 SUWN을 고정하고 기선해석을 실시하여 사업지구 사이의 통합을 위한 중복점의 확인 및 중복기선을 점검한다.

- ③ 상시관측점 연결: 관측사업종료 이후 설치된 상시관측점과의 연결을 위한 기선해석을 수행한다.
- ④ 최소제약조정: SUWN을 고정하고 최소제약조정을 실시하여 관측점들의 초기좌표를 추정한다.
- ⑤ 최소제약조정 좌표를 사용한 기선해석: 기선해석에서 기준점좌표의 부정확성에 의해 유발되는 영향의 최소화를 위하여 최소제약조정에 의해 얻어진 좌표의 사용에 의한 기선해석을 재실시 한다.

위와 같은 절차를 통해 GPS상시관측점을 포함하여 총 214점 763개의 기선해석을 실시하여 미지정수 고정해의 결과를 구하였으며 그림 3은 기선해석 망도를 보여주고 있다.

5.2 결과의 분석

최종 기선해석 결과의 일치성을 분석하기 위하여 모든 사업지구내의 총 123개의 중복기선벡터를 표 7과 같이 수평과 수직성분으로 나누어 비교하였다.

기선벡터의 수평방향에 대한 평균차이는 2000년 제주연결(1.5cm)을 제외하면 1cm이내이고 67.8%확률에서 발생할 수 있는 기선벡터 차이를 나타내는 RMS에서도 1997년(1.3cm)과 2000년 제주연결(1.6cm)을 제외하고는

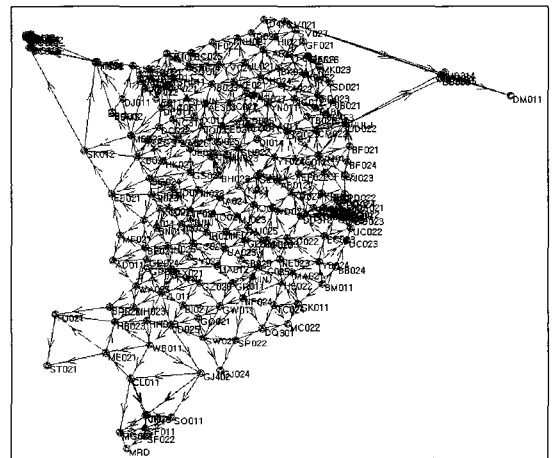


그림 3. 2등 측지기준점 기선해석 망도

표 6. 기선해석에 사용된 ‘기선장에 따른 오차’ 감소대책

오차의 종류	감소대책
위성궤도오차	IGS의 정밀궤도력 사용
대류권지연	광범위하게 활용되고 있는 Hopfield모델을 적용 기선장이 100km이상인 경우 지연량의 추정
전리층효과	반송파 L1, L2의 미지정수 결정 후 기선벡터 추정에 Ionosphere-free선형결합을 사용

모두 1cm이내로 매우 높은 일치성을 보였다. 중복기선의 수직방향에 대한 평균차이를 살펴보면 2000년의 남해, 서해 그리고 제주연결을 제외하고는 2.5cm이내의 일치를 보이고 있는데 이 사업지구는 일부 도서지역의 삼각점을 포함하고 있어 상대적으로 측점 사이의 거리가 멀기 때문

인 것으로 보인다. 수직방향의 RMS는 2000년 1지구와 2지구의 경우는 3cm이내, 1997~1999년은 4cm, 그리고 2000년의 도서지구의 경우 약 5cm정도였다. 중복기선의 비교에서 불일치 정도가 상대적으로 큰 경우는 관측에서 안테나의 설치 혹은 안테나고 측정에 문제가 있거나 부정

표 7. 사업지구 내의 중복기선 점검 통계분석표

사업지구	비교기선의 수	비교성분(m)	평균	RMS	최대	최소
1997년	45	수평	0.008	0.013	0.057	0.000
		수직	0.026	0.034	0.117	0.000
1998년	20	수평	0.007	0.009	0.020	0.000
		수직	0.026	0.039	0.123	0.000
1999년	14	수평	0.003	0.004	0.011	0.000
		수직	0.022	0.031	0.085	0.006
2000년 1지구	20	수평	0.005	0.007	0.018	0.000
		수직	0.016	0.019	0.044	0.000
2000년 2지구	8	수평	0.006	0.007	0.021	0.000
		수직	0.018	0.023	0.046	0.002
2000년 남해지구	3	수평	0.002	0.003	0.004	0.001
		수직	0.039	0.046	0.057	0.005
2000년 서해지구	10	수평	0.009	0.010	0.018	0.003
		수직	0.044	0.051	0.083	0.002
2000년 제주연결	3	수평	0.015	0.016	0.019	0.005
		수직	0.045	0.052	0.070	0.012

표 8. 사업지구 내의 폐합차 점검 통계분석표

사업지구	폐합망의 수	비교성분(m)	평균	RMS	최대값	최소값
1997년	30	수평	0.004	0.014	0.031	0.000
		수직	0.006	0.017	0.032	0.000
1998년	15	수평	0.007	0.010	0.023	0.000
		수직	0.011	0.015	0.035	0.000
1999년	8	수평	0.002	0.003	0.005	0.000
		수직	0.06	0.009	0.017	0.000
2000년 1지구	15	수평	0.010	0.021	0.075	0.000
		수직	0.024	0.036	0.088	0.002
2000년 2지구	16	수평	0.008	0.014	0.015	0.000
		수직	0.012	0.017	0.047	0.000
2000년 남해지구	4	수평	0.010	0.013	0.014	0.000
		수직	0.033	0.041	0.064	0.001
2000년 서해지구	10	수평	0.06	0.038	0.099	0.001
		수직	0.025	0.047	0.116	0.002
2000년 제주연결	3	수평	0.016	0.017	0.025	0.003
		수직	0.015	0.018	0.028	0.004

표 9. 중복기선 및 폐합차 점검을 통해 삭제된 기선의 목록

사업지구	삭제기선의 수	삭제 기선
1997년	1	MA03-YB06
1998년	2	IF04-NH03
		GF08-GF03
1999년	3	UA02-GX03
		UA02-GR01
		UA02-GZ08

확한 미지정수를 사용하여 기선벡터를 추정할 경우에 발생할 수 있다. 따라서 이러한 문제기선은 폐합차 점검을 통해 과대오차로 검출하여 망조정 이전에 삭제하여야 한다.

사업지구별로 삼각형과 사각형 형태의 폐합망을 형성하여 폐합차를 계산하여 아래의 표 8에 나타내었다. 표 8에 보이는 바와 같이 수평방향에서 평균 차이는 약 1cm, 그리고 수직방향의 평균차이는 1997년~1999년의 경우 1cm이내, 2000년의 모든 사업지구의 경우는 약 2~3cm 정도였다. RMS는 수평방향의 경우 1997년~1999년은 약 1cm, 그리고 2000년에 이루어진 관측사업의 경우 약 2~3cm, 수직방향은 1997~1999년의 경우 약 2cm, 그리고 2000년대에는 2~5cm 정도임을 알 수 있다. 2000년의 경우 다수의 도서지구의 연결 관측을 포함하고 있어 상대적으로 긴 기선장들을 포함하고 있기 때문인 것으로 보인다. 이들 중에서 의심스러운 결과들은 중복기선의 비교 및 폐합차 분석을 통해 표 9와 같이 총 6개의 기선이 과대오차로 판명되어 삭제되었다.

6. 결 론

본 논문은 국토지리정보원에서 실시한 GPS 2등 기준 점측량의 관측데이터를 처리하여 2등 측지기준점의 세계 측지계 성과산출에 필요한 기선벡터의 추정하는 것으로 그 결과는 다음과 같이 요약할 수 있다.

첫째, 기선장이 50~100km로 중기선에 해당하는 GPS 관측데이터를 세 가지의 소프트웨어에 의해 처리하고 결과에 대한 가설검정을 통하여 통계적으로 차이가 없음을 확인하였다. 이를 통해 사용의 편의성과 처리속도를 고려하여 Leica의 LGO를 기선해석 소프트웨어로 선정하고 성능평가를 실시한 결과 기선장이 200km에 이르더라도

센티미터 수준 이내의 정밀도로 기선해석을 수행할 수 있음을 확인 하였다.

둘째, GPS상시관측점을 포함한 214점에서 이루어진 관측데이터를 사용하여 763개에 대한 기선해석을 실시하고 123개의 중복기선을 비교한 결과 수평방향에 대한 평균차이는 2000년 제주연결(1.5cm)을 제외하면 1cm이내였고 RMS의 경우 1997년(1.3cm)과 2000년 제주연결(1.6cm)을 제외하고는 모두 1cm이내로 매우 높은 일치성을 보였다.

셋째, 사업지구별 삼각형과 사각형 형태의 폐합망을 형성하여 폐합차를 계산한 결과 수평방향에서 평균 차이는 약 1cm 그리고 수직방향의 평균차이는 1997년~1999년의 경우 1cm이내, 2000년의 모든 사업지구의 경우는 약 2~3cm정도였다. RMS는 수평방향의 경우 1997년~1999년은 약 1cm, 그리고 2000년에 이루어진 관측사업의 경우 약 2~3cm, 수직방향은 1997~1999년의 경우 약 2cm, 그리고 2000년대에는 2~5cm 정도임을 알 수 있다.

참고문헌

- 이영진 (1993), GPS위성의 P코드/위성측정용 2주파수 수신기에 의한 정밀측위, 대한토목학회 논문집, 제13권 제2호, pp. 219-228.
- 이영진, 이준혁, 윤동희 (2005), GPS 망조정 S/W의 비교시험에 관한 연구, 한국지적학회지, 제21권 제2호, pp. 105-112.
- 이영진, 이홍규, 정광호 (2006), GPS망조정에 의한 세계측지계의 국가기준점 성과산정, 대한토목학회 정기학술대회 논문집, pp. 275-278.
- 이영진, 정광호, 이홍규, 권찬오, 송준호, 조준래, 남기범, 차상현 (2007), GPS망조정에 의한 3등 측지기준점의 세계측지계 성과산정, 한국측지학회지, 제25권, 제5호, pp. 437-449.
- Agustan, Featherstone, W.E. (2004), Reprocessing the Western Australian Statefix GPS network using commercial software, 3rd FIG Regional Conference, Jakarta, Indonesia, 3-7October.
- Lee, Y.J., H.K., Lee, G.H. Jung (2006), Realization of new Korean horizontal geodetic datum: GPS observation and network adjustment, *Proceedings of IAIN/GNSS 2006*, Jeju, Korea, 18-20 October, pp. 529-534.
- Leick, A. (2004), *GPS satellite surveying*, John & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, p. 435.
- Rizos, C. (1996), *Principle and practice of GPS surveying*, School of Surveying and Spatial Information Systems, The University of New South Wales, Sydney, Australia, pp. 555
- Teunissen, P.J.G., Kleusberg, A. (Eds.) (1998), *GPS for geodesy (2nd edition)*, Springer, p. 650.

(접수일 2008. 2. 11, 심사일 2008. 2. 25, 심사완료일 2008. 3. 11)