

GPS망조정에 의한 3등측지기준점의 세계측지계 성과산정 The 3rd Order GPS Network Adjustment for Determining of KGD2002 Coordinate Sets

이영진¹⁾ · 정광호²⁾ · 이흥규³⁾ · 권찬오⁴⁾ · 송준호⁵⁾ · 조준래⁶⁾ · 남기범⁷⁾ · 차상현⁸⁾

Lee, Young-Jin · Jeong, Kwang-Ho · Lee, Hung-Kyu · Kwon, Chan-Oh
Song, Jun-Ho · Cho, Jun-Rae · Nam, Gi-Beom · Cha, Sang-Heon

Abstract

This paper deals with issues of GPS network adjustment for the purpose of determining the 3rd order national geodetic control points based on the Korean Geodetic Datum which has newly adopted in the country since early 2003. After examining and arranging all the observations, GPS baseline analyses were performed to estimate baseline vectors between two control points. All the observations were divided into 17 block networks in order to accelerate the adjustment efficiency. After applying a minimally constrained adjustment technique to each of the block networks for the sake of detecting outliers and examining network precision, over constrained adjustments by fixing all of the 2nd order control points within the block network were carried out to derive final coordinate sets. The final solutions indicated that the accuracy of the adjusted coordinates was better than 1 cm and 2 cm in the horizontal and vertical component, respectively.

Keywords : 3rd order point, GPS baseline analysis, GPS network adjustment, Official coordinates

초 록

우리나라 국토지리정보원에서는 3등측지기준점의 세계측지계 전환을 위해 1997년에서 2005년까지 총 69개 사업지구에서 관측된 약 11,000여개 삼각점의 GPS관측데이터를 확보하였다. 본 연구에서는 3등측지기준점 관측 데이터와 관련된 사항을 요약하고, 연도별 사업지구별 데이터를 분석한 후 40개 지구의 데이터를 재처리하였다. 또한, 과대오차 검출과 통계모델의 추정을 위해 사업지구별로 최소제약조건에 의한 망조정을 실시하고 추정된 정확도는 수평 5mm ± 0.5ppm, 수직 10mm ± 1ppm을 얻었다. 한국측지계 2002(KGD2002)의 최종성과 산정을 위한 GPS망조정은 GPS기선벡터를 기선해석 S/W별로 구분하여 총 17개의 블록으로 구성하고 블록별 최소제약 조정에 의해 평가하였으며, 다점조정 조정에 따라 최종성과를 산정하고 절대정확도 점검을 실시하였다.

핵심어 : 3등측지기준점, GPS기선해석, GPS망조정, 성과

1. 서 론

우리나라의 국가기준점(national control point)은 1910

년대 토지조사사업 이후 약 100여년간 동경측지계를 위치표준으로 사용되어 왔다. 2002년도에는 위성측지 및 우주측지기술의 활용과 정확한 위치정보의 필요성이 증

-
- 1) 정회원 · 경일대학교 건설정보공학과 교수(E-mail:yjlee@kiu.ac.kr)
 - 2) 연결저자 · 정회원 · 경일대학교 대학원 박사과정(E-mail:51tk9301@hanmail.net)
 - 3) 정회원 · 창원대학교 토목공학과 교수(E-mail:hkyullee@changwon.ac.kr)
 - 4) 정회원 · 경일대학교 대학원 박사과정(E-mail:kambel@hanmail.net)
 - 5) 정회원 · 경일대학교 대학원 석사과정(E-mail:teufelsong@gmail.com)
 - 6) 정회원 · 경일대학교 대학원 석사과정(E-mail:yjhjyr@hanmail.net)
 - 7) 경일대학교 건설정보공학과 학부과정(E-mail:gipom@nate.com)
 - 8) 정회원 · 국토지리정보원 측지과(E-mail:sanghunc@mocet.go.kr)

가함에 따라 측량법 제5조를 개정하여 세계측지계 기반의 한국측지계2002(KGD2002 : Korean Geodetic Datum of 2002)를 도입하고, ITRF2000체계와 GRS80타원체를 채택하였으며, 2002년 1월 1일 0시 기준시점의 대한민국 경위도원점 수치를 정하였다. 또한, 전국 GPS상시관측점의 성과를 고시하고, 모든 국가기준점의 성과를 지구중심측지계인 세계측지계 성과로 전환 중에 있다.

3등기준점측량은 1970년대에서 1980년대에 EDM방식으로 관측되었고, 1990년대 중반부터 GPS방식으로 대체되었으며, 관측시기와 방식에 따라 GPS지역과 EDM지역으로 구분된다. GPS3등기준점측량은 EDM으로 관측되지 않은 지역을 대상으로 총 69개의 사업지구에서 중복점을 포함하여 약 12,000여점의 삼각점에서 실시되었다.

국가 3등기준점의 성과산정을 위한 GPS기선해석과 망조정을 효율적으로 수행하기 위해서는 방대한 관측데이터를 체계적이고 일목요연한 정리가 필요하며, 망조정을 실시할 경우 과대오차의 유발을 방지하기 위해 관측점명과 안테나고의 점검이 필요하다(이영진 등, 2007).

기선해석 소프트웨어에 의해 제공되는 분산-공분산행렬은 망조정에서 관측값으로 사용되는 기선벡터의 실제 정밀도에 비해 극히 양호하기 때문에 망조정을 통해 추정된 좌표의 정확도가 실제보다 상당히 높게 평가될 수 있다(Rizos, 1996). 이러한 문제의 해결은 조정에 사용되는 기선벡터의 실제 정밀도를 나타낼 수 있도록 기선해석 소프트웨어가 제공하는 분산-공분산행렬을 수정하는 것으로 해결할 수 있다. 가장 대표적인 방법은 최소제곱법을 사용하여 최소제약조정을 실시하고 조정에 사용되는 기선벡터의 과대 오차를 검출/소거한 후 계산되는 사후분산값(a posteriori variance)을 최초의 분산-공분산행렬에 곱하여 스케일링(scaling)하는 방법이 사용된다. 이 경우 기선벡터의 우연오차 성분은 수정된 분산-공분산행렬에서 고려될 수 있으나, 기선해석 소프트웨어에서 충분히 모델링되지 않은 대기권의 영향과 안테나고 측정에 포함되어 있는 오차들은 통계모델에 고려할 수 없다.

따라서 본 연구에서는 GPS기선벡터의 수평과 수직방향의 절대오차와 상대오차의 크기가 χ^2 검정에 만족할 때까지 분산-공분산행렬의 대각선 요소인 분산값을 재계산하여 수정하는 경험적 모델링 방법을 사용하였다. 추정에 사용된 함수적 그리고 통계적 모델의 적합성 점검과 과대오차의 검출과 축소에 필요한 정보인 추정값의 잔차와 그 분산-공분산행렬 그리고 사후분산값 관련식을 이용하여

구하였다(Lee et al., 2006).

국가기준점의 성과산정을 위해서는 우선, 사업지구별로 최소제약조정을 실시하여 과대오차를 검출하고 소거하는 절차를 거쳐야 하며, 사업지구를 통합한 블록망단위로 망조정을 실시하는 특성에 따라 사업지구의 결합으로 인하여 발생할 수 있는 과대오차를 소거하기 위해 블록망의 최소제약 조정도 필요하다(이석찬 등, 1987; 이영진 등, 1999).

이 논문의 목적은 국토지리정보원 작업규정에 따라 실시한 관측데이터 등의 자료를 이용하여 GPS3등기준점에 대한 성과를 산정하는 것이다. 이를 위해 GPS관측사업과 납품자료에 대한 내용을 검토하고, 필요에 따라 기선해석 등 데이터처리를 다시 수행하였으며 최소제약조정을 통하여 사업결과인 기선벡터의 과대오차를 검토하는 등 평가를 실시하여 통계모델(stochastic model)을 추정한 후, 17개로 구성된 블록을 블록내 2등기준점과 인접블록간의 중복점을 고정하는 방식으로 순차적으로 GPS3등기준점의 성과를 산출하였다.

2. GPS 3등 기준점측량사업과 관측데이터

2.1 GPS 3등 기준점측량사업

GPS 3등 기준점측량사업은 1997년에 4개 지구를 시작으로 2005년까지 총 69개 사업지구에 대하여 인접한 사업지구와의 중복점을 포함하여 그림 1의 지역에서 11,012개의 삼각점을 관측을 실시하였다. 또한 삼각점의 정표고 결정을 위한 측표수준측량(GPS leveling)을 위하여 총 1,138점의 수준점에 대한 관측이 함께 이루어졌다. 관측은 “GPS에 의한 기준점측량 작업규정”에 따라 충분한 중복도를 고려하여 30초의 저장간격으로 4시간이상 실시되었다. 상위등급 기준점과의 연결을 위해 2등기준점과 연결관측이 이루어져 국가기준점의 계층적 구성이 가능한 형태이다. 표 1은 GPS 3등 기준점측량사업의 기간과 사업지구의 수, 그리고 관측점의 개수 등을 요약하고 있다.

3등기준점측량사업의 성과품은 1997년~2000년에는 2등의 경우와 동일하나 2등기준점측량사업이 종료된 2000년 이후에는 성과품 중의 많은 부분들이 전산파일로 제출되었다. 특히 3등기준점측량의 성과품들에 대한 정리와 점검은 기선해석이 필요한 지구의 선정을 위한 기초 자료로 사용되었다.

1997년부터 2005년 사이에 69개 사업지구에서 측표수

사업기간		사업지구		관측점의 수	
연도	구분	구분	구분	삼각점	측표수준점(수준점)
1997년	1997.05.13 ~ 1997.12.17	4	454	-	-
	1998.04.01 ~ 1998.11.29	7	504	-	-
1999년	1999.03.12 ~ 1999.10.12	7	460	-	-
	2000.04.19 ~ 2000.11.26	6	417	69	69
2001년	2001.03.30 ~ 2001.12.14	7	1048	61	61
	2002.03.29 ~ 2002.12.04	9	1347	123	123
2003년	2003.04.10 ~ 2003.12.20	11	2201	194	194
	2004.04.23 ~ 2004.12.28	11	2498	323	323
2005년	2005.02.24 ~ 2005.11.30	7	2083	368	368
합계		69	11,012	1,138	1,138

그림 1. GPS3등기준점측량 사업지구의 인덱스

표 1. GPS3등기준점 측량사업 내용의 요약

사업연도	사업기간	사업지구수	관측점의 수	
			삼각점	측표수준점(수준점)
1997년	1997.05.13 ~ 1997.12.17	4	454	-
1998년	1998.04.01 ~ 1998.11.29	7	504	-
1999년	1999.03.12 ~ 1999.10.12	7	460	-
2000년	2000.04.19 ~ 2000.11.26	6	417	69
2001년	2001.03.30 ~ 2001.12.14	7	1048	61
2002년	2002.03.29 ~ 2002.12.04	9	1347	123
2003년	2003.04.10 ~ 2003.12.20	11	2201	194
2004년	2004.04.23 ~ 2004.12.28	11	2498	323
2005년	2005.02.24 ~ 2005.11.30	7	2083	368
합계		69	11,012	1,138

준측량을 위한 수준점 관측을 포함하여 총 12,150점에 대하여 실시된 GPS3등기준점측량의 성과품을 정리·분류하여 GPS망조정의 기본자료가 되는 관측데이터와 관측망도, 관측기록부, 기선해석 결과파일, 그리고 기선해석 프로젝트 파일의 존재 여부를 중점적으로 파악하여 정리하였다.

2.2 GPS관측데이터 및 점검

효율적인 GPS기선처리 및 망조정을 위해서는 10여년간 관측사업을 통해 획득된 방대한 규모의 GPS관측데이터에 대하여 체계적인 분류와 정리작업이 필요하다. 3등기준점측량사업으로부터 획득된 성과품은 표 2와 같이 전산파일이나 문서로 제출되었는데, 그 중 관측데이터(Raw, RINEX), 관측망도 및 세선도, 관측기록부(관측수부) 등은 GPS기선처리 및 관측데이터의 점검을 위해 정리하였다(그림 2 참조).

프로젝트 백업파일과 기선해석 결과파일은 망조정 과정에서 기선벡터를 획득하고자 할 경우에 필요하다. 또한, 관측점의 이설 및 재설여부 등을 점검하기 위해 삼각점 대장과 용역보고서를 정리하였으며, 나중에 망조정 블록의 구성을 위하여 기선처리 S/W 종류별로 구분하고 점검하였다. 이와 같이 분류된 관측데이터의 성과품들 중 전산파일은 그림 3과 같이 년도별, 사업지구별로 폴더를 구성하여 저장하였으며, 문서파일 역시 체계적으로 분류하였다. 관측데이터와 관측기록부는 사업지구의 재기선

해석을 실시할 경우에 사용되며, 관측망도와 세선도는 관측점명의 확인 및 망의 구성, 그리고 중복점의 확인을 위해 필요하다.

망조정작업에 필요한 프로젝트 백업파일과 기선해석 결과파일, 그리고 RINEX형식의 GPS관측파일은 사업연도별로, 그리고 기선해석에 사용된 소프트웨어 별로 구분하였고, 사업지구에 해당하는 폴더를 생성한 후 전산파일

표 2. GPS 3등기준점 성과품 목록

성과품	비고
관측망도	1:50,000 지형도
관측세선도	dxf 파일, dwg 파일
관측기록부	MS 엑셀파일
관측데이터	Raw 데이터, RINEX 데이터
점의 조서	한글(hwp) 파일
성과표 파일	MS 엑셀파일
디지털 사진파일	jpeg 파일
기준점 현황	MS 엑셀파일
기선해석 결과 파일	텍스트 파일
프로젝트 백업파일	AI 파일
망조정결과 파일 계산결과 정리파일	MS 엑셀파일
수준측량 기록부	MS 엑셀파일
폐합차 계산부	MS 엑셀파일
약도 스캐닝	gif 파일
용역 보고서	출력물

사업 연도	사업지구	원시 데이터	RINEX 데이터	프로젝트 백업파일	기선해석 결과파일	망도	기선해석 SW구분
1997년	부안	○	○	-	○	○	Trimble
	고창	○	-	○	○	○	Trimble
	법성	○	○	○	○	-	Trimble
	한산	-	○	-	-	○	
1998년	동곡2지구	○	○	○	-	○	Leica
	밀양2지구	○	○	-	○	○	Trimble
	밀양	○	○	○	-	-	Leica
	양산	○	○	○	-	-	Leica
	연양	○	○	○	-	○	Leica
1999년	동곡	-	○	-	-	○	
	담양	○	○	○	○	○	Trimble
	목포	○	○	○	○	○	Trimble
	무안	○	○	○	-	○	Trimble/Leica
	영암-1	○	○	○	○	○	Trimble
	영암-2	○	○	○	-	○	Trimble
	화도	○	○	○	-	○	Trimble
	장성	○	○	-	-	○	
청풍	○	○	○	-	○	Trimble/Leica	

그림 2. 성과품의 점검현황의 예

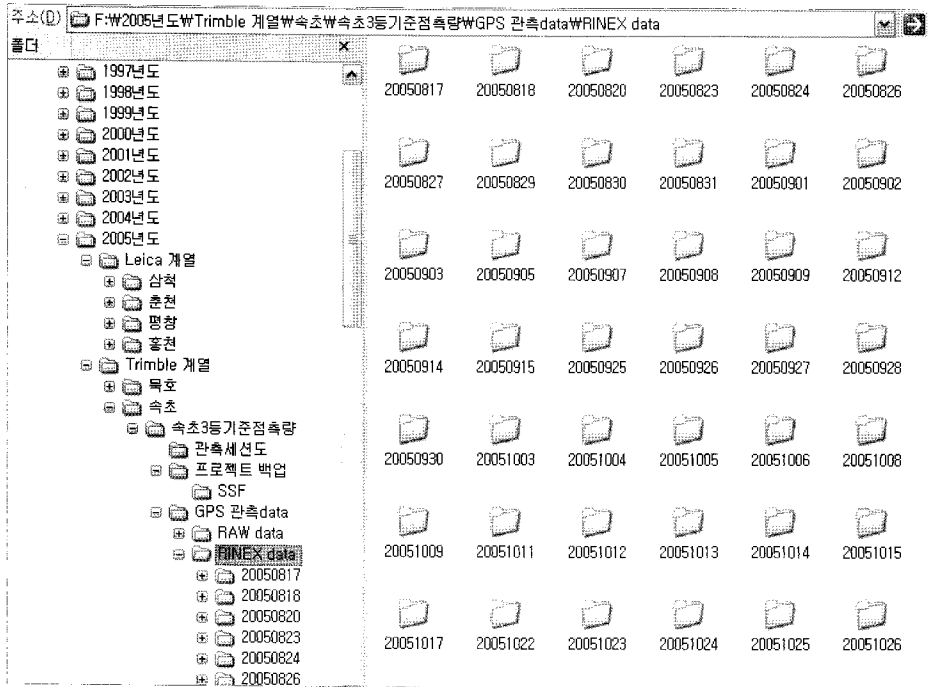


그림 3. GPS 3등기준점측량 관측데이터의 분류와 저장

의 종류로 구분하여 하드디스크 내에 체계적으로 정리하여 이후 수행되는 망조정의 효율성을 높이고 본 과업의 종료 후에도 GPS기준점측량사업 성과품의 관리와 사용이 용이하도록 하였다.

본 연구에서는 대량의 GPS관측데이터를 사용하는 망조정에 해당하기 때문에 중복점의 측점명이 불일치하는 경우에는 기선의 연결을 부적절하게 하여 종종 전산처리의 오류를 유발하고, 부적절하게 입력된 GPS안테나가 있는 경우에는 3차원 벡터망조정에서 연직방향에 과대오차를 발생시키기 때문에 보다 철저한 검토를 기쳤다.

국토지리정보원에서 2001년 1월에 고시한 1:50,000수치지형도의 도엽명코드 두 자리와 삼각점코드 두 자리를 조합하여 측점명을 통일하고 2등측지망에서 뿐만 아니라 추후 3등망과의 연결을 고려하였다. GPS안테나고는 관측에 사용되는 수신기에 따라 다양한 방식으로 이루어지기 때문에 관측기록부의 확인 과정을 거쳐 모든 측점과 안테나 위상중심점 사이의 연직거리로 일괄 계산하였다. 변경된 측점명과 안테나고는 RINEX형식의 관측파일을 재편집하여 관측사업 지구별로 구분하여 기선해석이 용이하도록 하였다.

3. GPS3등기준점 기선해석 재처리 및 기선해석 결과의 점검

3.1 기선해석 재처리지역 선정

GPS관측데이터의 재처리를 Leica사의 LGO로 실시한 2등기준점과 달리, 3등기준점은 데이터와 사업지구의 수, 관측데이터의 방대성으로 인하여 전면적인 재처리에 어려움이 있었다. 따라서 GPS상대측량의 단기선에 해당되는 3등기준점의 경우는 삼각점 사이의 거리가 2km~5km 정도이기 때문에 기선장에 따른 오차의 크기가 미소하여 어떠한 처리기법을 사용하더라도 거의 동일한 결과가 예상되어 기존에 제출된 기선해석 결과의 사용이 가능할 것으로 판단하고, 안테나고와 같은 입력값에 문제가 없다면 모든 양호한 결과를 예상할 수 있다(이영진 외, 2006).

따라서 본 연구에서는 69개 사업지구의 성과품의 점검을 통하여 아래와 같은 원칙으로 기선재처리가 필요한 사업지구를 선정하고 기선해석을 하였다.

- ① 프로젝트 백업파일이 확보되지 못한 경우 : 기선해석에 필요한 입력값과 사용옵션을 점검할 방법이 없기 때문에 우선적으로 재처리를 실시하였다.
- ② 프로젝트 백업파일을 신뢰할 수 없는 경우: 사업지

구내의 일부 측점이 기선해석에 누락되었거나 정확한 안테나고의 입력에 오류가 있는 경우로 오류를 수정한 이후 재처리를 실시하였다.

③ Leica사 혹은 Trimble사 이외의 소프트웨어를 사용한 경우 : 가장 광범위하게 사용되고 있는 Leica사와 Trimble사 이외의 소프트웨어를 기선해석에 사용한 경우로 일관된 기선해석 결과의 확보와 망조정에서 통계모델링 과정을 간단하게 하기 위하여 재처리를 실시하였다.

위 기준에 의해 선정된 3등기준점측량의 재기선해석 사업지구는 69개 중에서 40개 지구이며, 총 16,000여개의 기선에 대하여 재처리하였다. 재기선해석 시 망조정을 위해 구성된 블록에 맞게 Leica사의 LGO S/W와 Trimble사의 TGO S/W를 사용하였으며, 2등기준점망의 경우와 같이 static data processing module로 처리하였다.

GPS3등기준점의 간격이 단기선에 해당하기 때문에 정밀력(precise ephemeris)을 대신하여 방송력(broadcast ephemeris)을 사용하였고, 관측값에 이중차분을 적용하면 관측잡음과 다중경로를 제외한 모든 오차들이 대부분 소거되기 때문에 미지정수 결정의 효율성을 높이기 위하여 L1과 L2의 이중주파수를 모두 사용하고 최종 기선벡터의 해를 구하기 위해서 L1 반송파만을 사용하는 기선해석 방식을 채택하였다. 이러한 기선 재처리를 통하여 모두 미지정수 고정해(ambiguity fixed solution)를 구할 수 있었다.

위와 같은 방법으로 기선해석의 재처리가 필요한 지역으로 선정된 40개 사업지구에서 약 16,000개 이상의 기선에 대해 재처리가 이루어졌다.

3.2 기선해석의 결과 및 분석

GPS3등기준점에 사용되는 기선해석 결과가 방대하기 때문에 조정작업에서 블록망 구성의 적절성을 파악하기 위하여 인접된 사업지구간의 중복기선에 대해 수평성분인 타원체면의 거리차와 수직성분인 타원체고의 차이를 모두 계산하여 그 결과들에 대한 각종 통계값을 표 3에 나타내었다.

비교결과를 살펴보면, 수평방향의 경우 1cm 정도의 일치를 보여주고 수직방향의 경우 대체로 약 2cm 정도의 일치함을 보여준다. 이러한 결과는 2등기준점의 결과에 비해 매우 양호한 것으로 3등기준점망의 기선이 상대적으로 매우 짧기 때문에 얻을 수 있는 결과였다.

4. GPS3등기준점 망조정 준비

4.1 기선벡터의 포맷통일

성과산정을 위한 망조정을 위해서는 캐나다의 Microsearch에서 개발한 Geolab™ 버전 2001을 사용하였다. Geolab™은 망조에 필요한 관측자료 뿐만 아니라 처리 옵션들과 관련된 스크립트들을 Microsearch 고유의 ASCII 형식인 IOB파일에 의해 입력을 하도록 되어있다(Microsearch, 2001).

그러나 GPS 자료처리 소프트웨어들은 결과물인 기선벡터와 분산-공분산행렬들을 IOB파일형식이 아닌 소프트웨어 고유의 파일형식으로 출력하기 때문에 이에 대한 변환방법이 검토되어야 한다.

Leica사의 상용 GPS기선해석 소프트웨어인 SKI™와 SKIPro™ 그리고 LGO의 경우는 기선해석 결과를 Leica사 고유의 SKI형식으로 ASCII파일을 출력해 준다. Geolab은 SKI형식을 IOB형식으로 변환시킬 수 있는 변환필터를 제공하기 때문에 이를 이용해 쉽게 변환할 수 있다. 그러나 SKI형식은 망조에 사용되는 기선벡터와 분산-공분산행렬뿐만 아니라 다양한 정보를 포함할 수 있고 Geolab의 변환필터는 그 중에서 가장 기본적인 정보만을 인식하기 때문에 Leica사의 기선해석 소프트웨어에서 SKI형식으로 파일을 출력할 때 옵션의 선택에 주의가 필요하다.

Trimble사의 GPSurvey이후에 출시된 TGO와 TTC에서는 Trimble계열 소프트웨어 사이의 상호 데이터전송과 기선해석 결과를 다양한 망조정과 같은 응용분야에 지원하기 위하여 ASCII형식의 Trimble Data Exchange(TDE) 형식을 가지는 출력파일을 제공하고 있다. 따라서 TGO와 TTC의 경우 기선해석 결과를 TDE형식으로 출력하면 Geolab이 변환필터를 제공하기 때문에 직접 기선해석 결과를 입력할 수 있으나, GPSurvey의 경우에는 다음과 같이 기선해석 결과를 IOB파일로 변환하여야 한다.

1) SSF 형식의 파일만 있는 경우

① TGO 혹은 TTC에서 SSF파일을 입력하여 TDE형식의 파일로 출력한다.

② Geolab변환필터를 사용하여 TDE형식을 IOB형식으로 변환한다.

2) 프로젝트 백업 파일만 있는 경우

① Trimble의 유틸리티 소프트웨어인 A1 Viewer를 사

표 3. 사업지구간 중복기선 비교 통계표

사업 년도	사업지구	타원체면 거리차		타원체 고차이		사업 년도	사업지구	타원체면 거리차		타원체 고 차이	
		평균	RMSE	평균	RMSE			평균	RMSE	평균	RMSE
1997	부안-고창	0.005	0.006	0.011	0.023	2003	덕산-음성	0.001	0.002	0.077	0.098
	법상-고창	0.003	0.003	0.011	0.022		음성-미원	0.005	0.007	0.024	0.030
1998	양산-밀양	0.006	0.007	0.019	0.023		미원-덕산	0.003	0.004	0.022	0.031
	동곡-밀양	0.000	0.000	0.003	0.006		덕산-문경	0.003	0.005	0.090	0.099
	동곡-연양	0.001	0.001	0.004	0.007		미원-문경	0.010	0.012	0.018	0.025
	연양-밀양	0.008	0.008	0.019	0.019		미원-보은	0.003	0.004	0.028	0.037
	동곡-밀양2	0.008	0.008	0.012	0.012		상주-보은	0.001	0.002	0.004	0.008
	양산-밀양2	0.020	0.020	0.019	0.027		문경-상주	0.003	0.006	0.023	0.033
1999	밀양-밀양2	0.016	0.016	0.018	0.022		보은-문경	0.003	0.003	0.001	0.001
	담양-장성	0.004	0.005	0.028	0.037		보은-금산	0.005	0.010	0.014	0.022
	와도-무안	0.012	0.013	0.010	0.013		보은-영동	0.003	0.004	0.012	0.020
	영암-무안	0.008	0.009	0.004	0.004		금산-영동	0.001	0.002	0.006	0.008
	복포-무안	0.006	0.007	0.018	0.018		영동-상주	0.001	0.002	0.003	0.017
	목포-영암	0.004	0.004	0.018	0.022		구마-영동	0.002	0.003	0.031	0.048
2000	청풍-영암	0.005	0.006	0.010	0.011		상주-구미	0.003	0.004	0.009	0.014
	청풍-목포	0.004	0.005	0.027	0.038		금산-무주	0.002	0.004	0.020	0.040
	왜관1-왜관2	0.006	0.008	0.012	0.015		가야-무주	0.002	0.004	0.033	0.041
	왜관2-창녕	0.007	0.009	0.063	0.072		영동-가야	0.002	0.003	0.021	0.029
	창녕-청도1	0.003	0.004	0.029	0.040		금산-가야	0.001	0.002	0.069	0.090
	청도1-청도2	0.005	0.008	0.013	0.019		안동-의성	0.003	0.005	0.018	0.028
2001	청도2-청도3	0.003	0.003	0.022	0.031	안동-영양	0.002	0.003	0.010	0.021	
	회원-강진	0.007	0.010	0.032	0.047	의성-영양	0.001	0.001	0.080	0.080	
	강진-북내	0.004	0.008	0.013	0.023	의성-청송	0.002	0.003	0.017	0.024	
	북내-순창	0.012	0.015	0.017	0.020	의성-군위	0.002	0.004	0.027	0.034	
	순창-남원	0.007	0.009	0.028	0.037	삼척-정선	0.005	0.007	0.019	0.025	
	순창-구례	0.006	0.008	0.033	0.041	삼척-울진	0.005	0.006	0.023	0.031	
2002	남원-구례	0.010	0.012	0.028	0.040	정선-울진	0.003	0.005	0.004	0.005	
	구례-진주	0.008	0.013	0.031	0.037	군위-청송	0.002	0.003	0.021	0.033	
	남원-진주	0.024	0.024	0.039	0.039	청송-영양	0.001	0.002	0.037	0.049	
	임실-함양	0.002	0.004	0.026	0.032	청송-포항	0.002	0.003	0.016	0.025	
	함양-합천	0.003	0.004	0.027	0.039	영양-포항	0.002	0.004	0.011	0.022	
	함양-삼가	0.004	0.007	0.004	0.007	속초-목호	0.002	0.004	0.013	0.025	
2005	합천-삼가	0.004	0.006	0.032	0.043	춘천-홍천	0.004	0.004	0.008	0.010	
	합천-창원	0.006	0.008	0.015	0.019	홍천-평창	0.003	0.004	0.014	0.019	
	삼가-함안	0.004	0.005	0.025	0.037						
	삼가-남해	0.002	0.003	0.007	0.010						
	함안-창원	0.002	0.004	0.062	0.082						
	함안-남해	0.003	0.004	0.031	0.038						

용하여 프로젝트 백업파일로부터 기선해석 결과인 SSF 파일을 추출한다.

② TGO 혹은 TTC에서 추출된 SSF파일을 입력하여 TDE형식의 파일로 출력한다.

③ Geolab 변환필터를 사용하여 TDE를 IOB로 변환한다.

4.2 블럭별 조정데이터의 구성

3등 기준점망조정에서는 조정작업을 효율적으로 수행하기 위하여 사업지구의 기선벡터를 하나의 입력파일로 작성한 이후 파일의 확장자를 “GPS”로 하여 저장하였다. 각각의 사업지구 망조정을 위해서는 기선벡터 파일과 동일한 이름을 사용하고 확장자를 IOB로 하는 컨트롤 파일

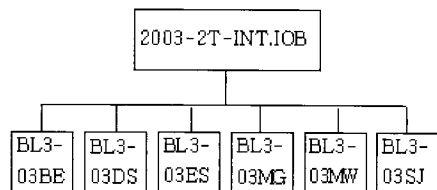


그림 4. 조정데이터의 구성(Trimble 지역의 경우)

을 작성하여 Geolab의 “include” 명령을 사용하여 입력하도록 하였다.

이에 반해 블럭망의 조정에서는 그림 4와 같이 컨트롤 파일인 “INT-ALL.IOB” 파일을 작성하여 모든 사업

지구에 해당하는 기선벡터 파일을 “include” 명령을 사용하여 입력할 수 있도록 계층적으로 구성하였다(Lee et al., 2006).

3등기준점망의 경우 2개 이상의 사업지구를 하나로 통합하여 구성하는 블록망이 조정의 기본단위이기 때문에 각 사업지구 단위로 기선벡터 입력파일을 작성하고 블록망의 조정을 위해 하나의 컨트롤 파일을 작성하여 블록망에 포함되는 모든 사업지구에 해당하는 기선벡터 파일을 입력하도록 하였다. 이러한 입력파일의 구성은 추후의 3등기준점망을 하나의 망으로 구성하여 통합 망조정 계산 절차를 대비하도록 하였다. 기본적으로 3등기준점의 사업지구망조정은 기선해석 소프트웨어의 망조정모듈을 사용하기 때문에 조정을 실시하고 검출되는 과대오차들을 모두 소거한 후 IOB형식의 파일로 변환하였다.

4.3 블록망의 구성내용

GPS3등기준점은 69개 사업지구에 대해 중복점을 포함

하여 총 11,012점의 삼각점에 대한 관측이 이루어졌으며 망조정에 사용될 기선벡터는 약 16,000개이다. 이러한 방대한 자료를 하나의 통합망으로 하여 처리하는 것에 많은 어려움이 있기 때문에 본 연구에서는 전체 GPS기준점측량 사업지구를 17개의 블록망으로 구성하였다.

블록망의 구성은 동일한 년도에 관측사업이 이루어진 인접 사업지구들에 대하여 기선해석에 사용된 소프트웨어가 동일한 사업지구를 통합하는 것을 원칙으로 블록망을 구성하였다. 1997년~2001년에 관측점의 수가 많지 않았기 때문에 각 사업연도에 이루어진 모든 사업지구를 하나의 블록망에 포함시켰으며, 2002년 이후의 사업지구에 대해서는 년도별 관측점의 수가 방대하여 한 년도에 두 개의 블록으로 구분하였으며, 1997년 한산지구, 2004년 울릉지구, 그리고 2005년 제주지구는 다른 사업지구와의 연결이 없었기 때문에 독립 블록으로 구성하였다.

그림 5와 표 4는 3등기준점망의 조정을 위해 구성된 16개의 블록망의 현황과 블록구성도이다.

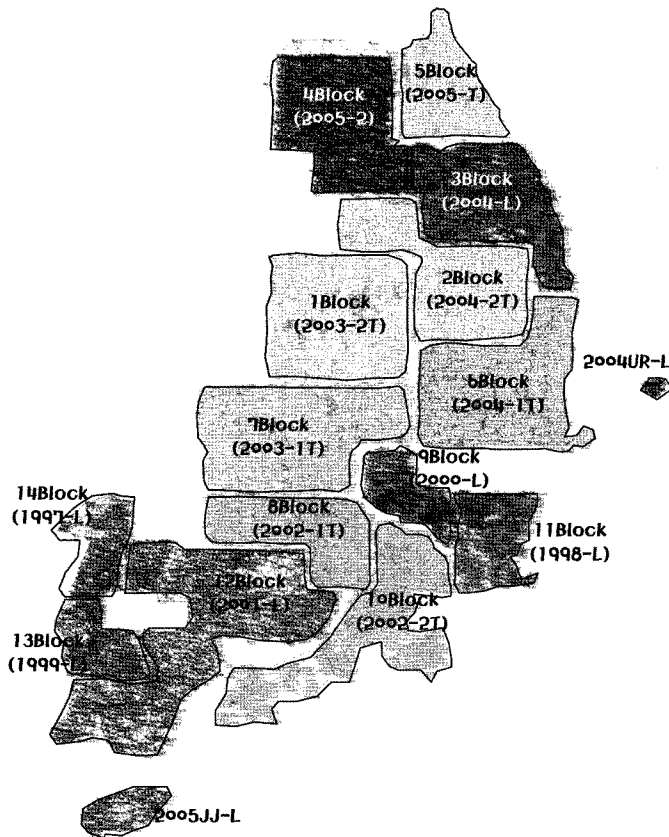


그림 5. GPS 3등기준점 블록망의 구성도

표 4. GPS3등기준점 블록망의 구성표

블록명	사업지구	처리 S/W	블록명	사업지구	처리 S/W
1997-L	부안, 법성, 고창	LGO	2003-2T	보은, 덕산, 음성, 문경, 미원, 상주	TGO
1998-L	동곡, 밀양1, 밀양2, 언양, 양산	LGO	2004-1T	청송, 의성, 군위, 포항	TGO
1999-L	청풍, 무안, 목포, 와도, 영암	LGO	2004-2T	안동, 영주, 영월, 영양	TGO
2000-L	청도1, 청도2, 청도3, 창녕, 왜관1, 왜관2	LGO	2004-L	정선, 울진, 삼척	LGO
2001-L	북내, 강진, 구례, 하원, 진주, 남원, 순창	LGO	2004UR-L	울릉	LGO
2002-1T	합천, 함양, 임실, 삼가	TGO	2005-T	목호, 속초	TGO
2002-2T	창원, 고흥, 거제, 함안, 남해	TGO	2005-L	춘천, 홍천, 평창	LGO
2003-1T	금산, 가야, 구미, 영동, 무주	TGO	2005JJ-L	제주	LGO

5. 3등기준점망의 조정 및 계산

5.1 조정계산의 절차

3등기준점의 성과산정을 위한 망조정은 2등기준점망에 서와 같이 최소제약조정과 다점고정에 의한 조정으로 나누어 4단계로 실시하고 최종성고를 산정하였다(그림 6 참조).

① 69개의 각 사업지구를 하나의 망으로 하여 1점의 2 등기준점을 고정하여 최소제약조정을 실시하고 4장 1절에 설명된 Tau검정을 사용하여 과대오차를 검출하여 소거하였다.

② 16개의 블록망을 형성한 후 각 블록망에 대해 최소 제약조정을 실시하고 사업지구 통합시 불일치를 일으키는 과대오차를 검출하여 소거하였다.

③ 한 사업지구(2003년 가야지구)를 선정하여 LGO와 TGO에 의해 처리된 기선벡터를 사용하여 경험적모델링을 실시하여 모든 분산-공분산행렬을 수정하였다.

④ 블록내의 모든 2등기준점을 고정하여 블록별로 다 점고정에 의한 조정을 실시한 이후 두 블록의 중복점의 좌표를 비교하여 블록망 사이의 일치 정도를 평가하였다.

⑤ 블록내의 모든 2등기준점과 중복점에 대한 이중의 성과가 산정되는 것을 방지하기 위하여 이전 단계에서 산정된 중복점의 좌표를 모두 고정하는 다점고정 망조정을 실시하고 3등기준점의 최종성고를 산정하고, 망조정 결과의 정확도를 분석하였다.

5.2 최소제약 조정계산

GPS기선에 포함되어 있는 과대오차의 검출과 소거를 위하여 우선 69개의 사업지구 각각을 하나의 망으로 하여 사업지구내의 2등기준점 1점을 고정하여 최소제약조

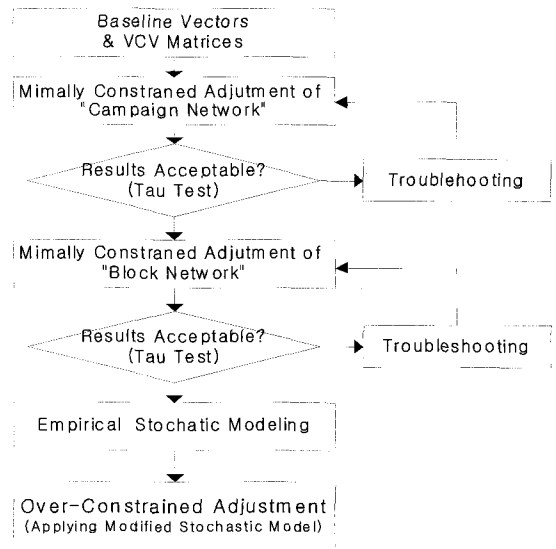


그림 6. GPS 3등기준점 망조정 흐름도

정을 실시하였다. 조정 작업의 효율성을 높이기 위하여 GPS관측데이터의 기선해석에 사용한 LGO 혹은 TGO의 망조정 모듈을 이용하여 최소제약조정을 실시하였고, 기선해석 결과파일을 분석하여 표준화잔차에 대한 Baarda 검정을 실시한 후 과대오차를 검출하여 소거하였다.

사업지구망의 연결을 통하여 블록망을 형성할 때 중복점의 불일치를 야기하는 기선벡터들을 과대오차로 검출하여 소거하기 위해 3개의 독립 블록을 제외한 14개의 블록망에 대해서 Geolab™을 사용하여 블록망내 1점의 2 등기준점을 고정하여 최소제약조정을 실시하였다.

표 5는 사업지구망과 블록망의 최소제약조정을 통해 검출 소거된 기선벡터의 수이며, 이 과정을 통하여 총 78개의 기선이 망조정을 위한 입력데이터 파일로부터 삭제되었다.

표 5. 최소제약조정에 의해 검출 및 소거된 기선벡터의 수

블록명	측점수	검출/소거된 기선수			블록명	측점수	검출/소거된 기선수		
		지구별 조정	블록별조정	합계			지구별 조정	블록별조정	합계
1997-L	241	5	1	6	2003-2T	1192	1	0	1
1998-L	435	4	2	6	2004-1T	1004	3	5	8
1999-L	292	1	1	2	2004-2T	1057	0	0	0
2000-L	430	12	0	12	2004-L	824	4	6	10
2001-L	1117	5	10	15	2004UR-L	43	0	0	0
2002-1T	569	0	0	0	2005-T	820	0	1	1
2002-2T	792	3	0	3	2005-L	1062	5	6	11
2003-1T	702	1	2	3	2005JJ-L	194	0	0	0

5.3 중량추정

사업지구망과 블록망의 최소제약조정 이후에 최종 성과산정에 사용될 경험적 통계모델링에 필요한 기선벡터의 절대오차 크기(a)와 상대오차 크기(b)의 결정을 위하여 전체 사업지구 중에서 2003년 가야지구를 선정하여 LGO와 TGO에 의해 기선해석을 두 번 실시하고 각각 최소제곱제약 조정을 실시하였다.

두 가지 기선해석 소프트웨어에 의해 얻어진 기선벡터를 사용한 조정을 실시하고, 통계모델의 결정에 사용될 수평과 수직방향의 절대오차와 상대오차의 크기를 표 6과 같이 결정하였다. 이 작업을 위하여 GPS기선해석으로부터 얻어진 기선벡터와 분산-공분산행렬을 수정할 수 있는 소프트웨어를 개발하여 사용하였다.

표 6의 값을 사용하여 모든 분산-공분산행렬을 수정한 이후 각각의 블록망에 대해 최소제약조정을 다시 실시하였다. 사용된 통계모델의 적합성과 추정된 좌표들의 개략적인 절대 정확도를 살펴보기 위하여 블록망조정에서 산정된 2등기준점의 성과와 GPS상시관측점의 좌표를 고정하여 산정된 GPS2등기준점망조정(2등기준점 1점 고정)의 조정성과를 비교하였고, 표 7은 좌표결과를 통계값으로 나타낸 것이다.

5.4 다점고정 조정계산

3등기준점의 최종성과 산정을 위한 블록망의 조정은 전체망의 중앙부에 해당하는 2003-2T 블록으로부터 순차적으로 14개의 블록을 조정하며(그림 5 참조), 고정점의 사용은 블록내의 2등기준점과 인접한 블록의 중복점 성과가 이중으로 산정되는 것을 방지하기 위하여 이전 블록에서 조정된 중복점의 성과를 사용한다. 그리고 1997년 한산지구와 2004년 울릉지구, 2005년 제주지구는 블록망

표 6. GPS3등기준점망 조정의 경험적 통계모델링에 오차와 상대오차의 크기

절대오차 크기(a)		상대오차 크기(b)	
수평방향	수직방향	수평방향	수직방향
5mm ($a_E = a_N = 2.8\text{mm}$)	10mm	0.5ppm ($b_E = b_N = 0.28\text{ppm}$)	1ppm

표 7. GPS2등기준점과 GPS3등기준점내에 포함된 2등기준점의 좌표 결과의 통계표

좌표성분	평균	RMS	최대	최소
수평방향	0.036m	0.044m	0.108m	0.004m
수직방향	0.038m	0.048m	0.148m	0.001m

내의 2등기준점만을 고정하여 최종 조정하는 방식으로 총 9,296점(중복점 제외)의 GPS3등기준점 성과를 산정하였다(이영진 외, 1989).

최종성과를 산정할 경우 블록간의 중복점을 고정점으로 사용하기 위해 먼저 블록내의 모든 2등기준점만을 고정하여 블록망조정을 실시하여 총 601개의 블록 간 중복점의 좌표차이를 비교하여 중복점의 좌표 일치여부와 중복점의 변동여부를 판단하였다.

그 결과 수평(표 8 참조)과 수직(표 9 참조)에서 각각 1mm~4mm, 0.3mm~69mm의 차이가 발생하였으며, 4개의 변동점과 4개의 측정점의 오류가 발생한 중복점을 검출하였고, 이설 및 재설된 점에 대해서는 최종조정에서 사용될 고정점에서 제외하였다.

모든 절차를 걸쳐 모든 블록망에 대해서 다점고정조정을 실시하여 GPS3등기준점의 최종성과를 산정하였고, 망조정결과를 분석하였다. 그 결과, GPS3등기준점의 각 블록에 대해 95%확률에 대한 조정좌표의 절대정확도를 나타내는 측점의 절대오차타원의 장축과 오차크기의 평

표 8. GPS 2등기준점 다점고정에 의한 블록간 중복점의 좌표차

중복블록	평균(수평성분)	RMS	최대값	최소값
1997-L과 1999-L	0.0012	0.0012	0.0015	0.0007
1999-L과 2001-L	0.0005	0.0006	0.0014	0.0001
2002-1T와 2002-2T	0.0023	0.0023	0.0027	0.0015
2000-L과 2002-2T	0.0012	0.0014	0.0022	0.0003
1998-L과 2002-2T	0.0034	0.0034	0.0037	0.0030
1998-L과 2000-L	0.0003	0.0004	0.0010	0.0000
2000-L과 2003-1T	0.0014	0.0015	0.0021	0.0003
2002-1T와 2003-1T	0.0009	0.0009	0.0015	0.0003
2003-1T와 2003-2T	0.0006	0.0007	0.0020	0.0000
2003-1T와 2004-1T	0.0019	0.0019	0.0024	0.0016
2003-2T와 2004-2T	0.0017	0.0019	0.0028	0.0000
2004-2T와 2005-L	0.0005	0.0006	0.0012	0.0001
2004-1T와 2004-2T	0.0008	0.0009	0.0017	0.0002
2004-1T와 2004-L	0.0013	0.0013	0.0016	0.0005
2004-2T와 2004-L	0.0010	0.0012	0.0021	0.0001
2004-L과 2005-L	0.0009	0.0010	0.0016	0.0003
2004-L과 2005-T	0.0007	0.0007	0.0011	0.0003
2005-L과 2005-T	0.0006	0.0006	0.0010	0.0001
2003-2T와 2004-1T	0.0017	0.0017	0.0021	0.0014
2000-L과 2002-1T	0.0012	0.0013	0.0017	0.0006
2002-2T와 2001-L	0.0014	0.0015	0.0023	0.0009
2001-L과 2002-1T	0.0010	0.0012	0.0024	0.0000
1997-L과 2001-L	0.0007	0.0008	0.0019	0.0001

* 수평성분이며 단위는 m임.

표 9. GPS 2등기준점 다점고정에 의한 블록간 중복점의 좌표차

중복블록	평균(수직성분)	RMS	최대값	최소값
1997-L과 1999-L	0.0408	0.0415	0.0520	0.0270
1999-L과 2001-L	0.0162	0.0196	0.0410	0.0010
2002-1T와 2002-2T	0.0558	0.0625	0.1070	0.0060
2000-L과 2002-2T	0.0516	0.0583	0.1010	0.0120
1998-L과 2002-2T	0.0459	0.0500	0.0780	0.0090
1998-L과 2000-L	0.0129	0.0152	0.0280	0.0020
2000-L과 2003-1T	0.0192	0.0232	0.0430	0.0020
2002-1T와 2003-1T	0.0265	0.0312	0.0660	0.0020
2003-1T와 2003-2T	0.0233	0.0291	0.0670	0.0000
2003-1T와 2004-1T	0.0267	0.0320	0.0580	0.0020
2003-2T와 2004-2T	0.0282	0.0391	0.1400	0.0000
2004-2T와 2005-L	0.0331	0.0360	0.0680	0.0080
2004-1T와 2004-2T	0.0256	0.0304	0.0700	0.0010
2004-1T와 2004-L	0.0435	0.0535	0.1100	0.0020
2004-2T와 2004-L	0.0699	0.0784	0.1490	0.0040
2004-L과 2005-L	0.0165	0.0254	0.0710	0.0020
2004-L과 2005-T	0.0292	0.0407	0.0910	0.0010
2005-L과 2005-T	0.0284	0.0396	0.1420	0.0010
2003-2T와 2004-1T	0.0450	0.0513	0.0910	0.0200
2000-L과 2002-1T	0.0465	0.0519	0.0880	0.0110
2002-2T와 2001-L	0.0330	0.0380	0.0590	0.0050
2001-L과 2002-1T	0.0186	0.0235	0.0600	0.0000
1997-L과 2001-L	0.0343	0.0355	0.0510	0.0230

* 수직성분이며 단위는 m임.

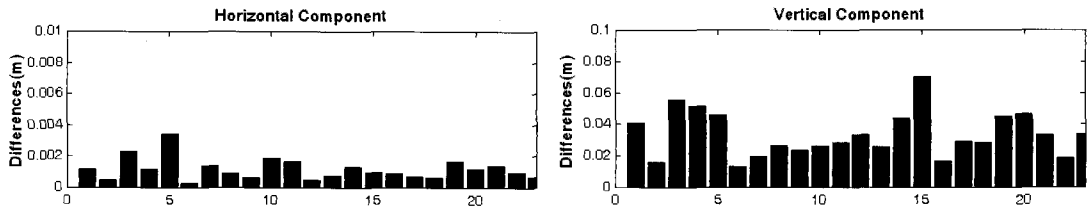


그림 7. GPS2등기준점 다점고정에 의한 블록간 중복점의 좌표차

표 10. 블록당별 다점조정 결과(단위 m)

블록	수평정확도(95%)		수직정확도(95%)	
	평균	표준편차	평균	표준편차
1997-L	0.006	0.001	0.023	0.003
1998-L	0.007	0.002	0.016	0.004
1999-L	0.007	0.002	0.015	0.004
2000-L	0.008	0.003	0.017	0.007
2001-L	0.007	0.002	0.017	0.005
2002-1T	0.006	0.001	0.015	0.003
2002-2T	0.007	0.002	0.016	0.004
2003-1T	0.006	0.001	0.014	0.003
2003-2T	0.006	0.001	0.014	0.003
2004-1T	0.006	0.001	0.014	0.003
2004-2T	0.007	0.001	0.015	0.003
2004-L	0.006	0.001	0.015	0.003
2004UR-L	0.006	0.001	0.015	0.003
2005-T	0.006	0.001	0.014	0.002
2005-L	0.006	0.001	0.015	0.003
2005JI-L	0.007	0.004	0.016	0.009

균값과 표준편차를 고려할 때 수평방향의 경우 1cm, 그리고 수직방향의 경우는 2cm정확도로 조정좌표가 산정되었음을 알 수 있었다(표 10 참고).

6. 결 론

이 논문에서는 국토지리정보원에서 실시한 GPS 3등기준점 데이터를 기초로 기선해석과 망조정을 수행하여 GPS관측지역에 대한 3등기준점의 성과를 산출하는 것이며 그 내용을 요약하면 다음과 같다.

첫째, 1997년에서 2005년까지 관측된 총 69개 지구의 총 약 12,000여점에 대한 GPS 3등기준점의 데이터를 체계적으로 정리하고 분석과 점검을 실시하여 GPS3등기준점의 기선해석과 망조정을 위한 기본데이터를 정립하였다.

둘째, GPS 3등기준점의 기선해석이 다시 필요한 40개

지구를 선정하여 재기선해석을 실시한 결과, 인접사업지구와의 중복기선의 수평성분인 타원체면 거리차와 수직성분인 타원체고 차이에서 각각 1cm, 2cm의 차이가 나타났다. 또한, 사업지구별로 최소제약조정을 실시하여 기선에 포함된 과대오차를 검출하는 등 사업지구별 데이터 분석이 이루어졌다.

셋째, 2003년 가야지구를 통계모델의 결정을 위한 테스트지역으로 선정하여 LGO와 TGO S/W에서 각각 산정된 기선해석 결과의 최소제약조정을 통해 통계모델을 추정한 결과 수평방향 5mm ± 0.5ppm, 수직방향 10mm ± 1ppm로 결정되었다.

넷째, 기선해석 S/W별과 사업지구의 인접성을 고려하여 총 17개의 조정블럭을 구성하고, 블록별로 2등기준점 고정에 의한 다점고정조정을 실시하여 총 601개 중복점의 조정좌표를 비교한 결과, 수평과 수직에서 각각 1mm~

4mm, 0.3mm~69mm의 차이가 발생하였으며, 4개의 변동점과 4개의 점명오류를 검출하였다.

다섯째, 블록내에 포함된 모든 2등 기준점과 블록간 중복점의 이중성과를 방지하기 위한 블록별 중복점을 고정점으로 사용하여 다점고정조정을 실시하고 GPS 3등기준점의 최종 성과를 산정하였다. 조정좌표는 95%확률에 대해 수평방향의 경우 1cm, 수직방향의 경우 2cm의 절대정확도로 조정좌표가 산정되었다.

감사의 글

이 논문은 2006년도에 (사)한국측량학회에서 수행한 “국가기준점의 망조정에 관한 연구”의 일부이며, 본 연구를 지원해 주신 건설교통부 국토지리정보원 및 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

- 이석찬, 고영호, 이영진 (1987), 돌출오차의 검출과 측지망의 신뢰도, *대한토목학회 논문집*, 제 7권 제 1호, pp. 1-9.
- 이영진, 이석찬 (1989), 국가기준점망의 고밀도화를 위한 결합체계, *한국측지학회지*, 제 7권 제 2호, pp. 27-34.
- 이영진, 이준혁 (1999), GPS기준점망의 안정점 추출과 조정, *한국측지학회지*, 제 15권 제 2호, pp. 25-34.
- 이영진, 이흥규, 정광호 (2006), GPS망조정에 의한 세계측지계의 국가기준점 성과산정, *대한토목학회 정기학술대회 논문집*, pp. 275-278.
- 이영진 등 (2007), 국가기준점 망조정을 위한 GPS 3등기준점 기선해석, *한국측량학회 춘계학술발표회 논문집*, pp. 3-6.
- 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.
- Microsearch (2001), *Microsearch Geolab 2001 field manual*, Microsearch, Canada, 197pp.
- Rizos, C. (1996), *Principle and practice of GPS surveying*, School of Surveying and Spatial Information Systems, The University of New South Wales, Sydney, Australia, 555pp.

(접수일 2007. 10. 2, 심사일 2007. 10. 10, 심사완료일 2007. 10. 29)