

국가기준점망의 KGD2002성과산출과 현지검측에 의한 분석 Examination of KGD2002 Results of the National Geodetic Network Adjustment

이영진¹⁾ · 최윤수²⁾ · 고흥곤³⁾ · 황병철⁴⁾

Lee, Young-Jin · Choi, Yun-Soo · Koh, Hyoung-Kon · Hwang, Byoung-Chul

Abstract

This paper focuses on examining and evaluating results of the Korean Geodetic Datum 2002 (KGD2002) of the national horizontal network adjustment. To this end, 137 geodetic control points were independently observed by GPS technology. After processing all the observations, their results were compared with ones derived by the national network adjustment which was recently performed to determine new KGD 2002 coordinate sets over the national geodetic control points. The comparisons results showed that RMSE was ± 2.7 cm and ± 6.5 cm in horizontal and vertical component in the case of GPS network, whereas RMSE was ± 3.0 cm. in horizontal component in the case of EDM network.

Keywords : GPS Network, EDM network, Network adjustment, KGD2002

초 록

건설교통부 국토지리정보원에서는 한국측지계2002(KGD2002)의 성과를 산출하기 위해 전국의 대규모 삼각점에 대한 국가기준점의 망조정을 실시하였다. 본 연구에서는 수평망조정의 결과를 분석 및 점검하고 성과를 고시하여 실용성과로 사용이 가능한지 여부를 검토하였다. 이를 위해 점검지역의 137개 삼각점에서 GPS방식으로 관측을 실시하고, 데이터의 처리과정을 거쳐 점검을 위해 관측된 137점의 정밀한 망조정성과를 산정하여 KGD2002성과와 좌표차를 비교하였다. 결과를 살펴보면 GPS망조정 지역의 경우 RMSE의 평균이 수평방향과 수직방향에서 각각 ± 2.7 cm, ± 6.5 cm로 나타났고, EDM망조정 지역의 경우 RMSE의 평균이 수평방향에서 ± 3.0 cm로 나타났으나 지역적으로 GPS고정점이 부족한 EDM지역의 경우에는 정확도 확보대책이 요망된다.

핵심어 : GPS망, EDM망, 망조정, 한국측지계2002

1. 서 론

국토지리정보원에서는 전국 1,2등기준점을 대상으로 정밀1차기준점망을 구성하고 1975년부터 1994년까지 약 1,300여점의 삼각점을 EDM측량작업으로 완료하였다. 또한, 전국 3,4등기준점을 대상으로 정밀2차기준점망을 구성하고, 1987년부터 1998년까지 약 5,600여점의 삼각점에 대해 정밀 1,2차기준점측량 작업규정에 따라 EDM측량작업을 시행하였다(국립지리원, 1988; 국립지리원, 1994).

1990년대 중반에 GPS측위기술이 도입되면서 1997년부터 2000년까지 전국의 약 200여점에 대한 정밀1차기준점측량이 시행되었고, EDM기준점측량이 이루어지지 않은 지역을 대상으로 1997년부터 2005년까지 정밀2차기준점측량이 GPS에 의한 기준점측량 작업규정에 따라 GPS방식으로 시행되었으며 전국의 약 9,500여점이 관측되었다(국립지리원, 2001).

이들 정밀 1, 2차기준점측량 데이터는 GPS망과 EDM망으로 구분될 수 있으며 지난 30여년에 걸쳐 시행된 귀

1) 연결저자 · 정회원 · 경일대학교 건설정보공학과 교수(E-mail:yjlee@kiu.ac.kr)
2) 정회원 · 서울시립대학교 공간정보공학과 교수(E-mail:choiys@uos.ac.kr)
3) 정회원 · (주)범아엔지니어링 전문이사(E-mail:ziin55@hanmail.net)
4) 정회원 · 국토지리정보원 측지과(E-mail:phwang@moc.go.kr)

중한 자료이고, 1910년대 토지조사사업에서 삼각측량작업의 일환으로 시행된 이후 전국 모든 지역을 포괄한 데이터가 우리 손으로 확보한 것이다.

관측작업 외에도 학술적으로 다양한 망조정기법에 대한 연구 이루어져 왔으며(이석찬 등, 1987; 이영진 등, 1989), 국가기준점의 성과갱신방안과 세계측지계 성과산정에 관한 연구가 이루어져 왔다(이영진 등; 최재화, 이영진 등, 1992).

국토지리정보원과 (사)한국측량학회에서는 EDM지역과 GPS지역의 망조정을 위해 철저한 사전준비와 검증된 절차를 거쳐 성과를 산정하였고, 그 결과 세계측지계 기반의 실용성으로 고시할 수 있게 되었다. 이 과정에서 새롭게 산출된 실용성과에 대한 점검과 평가를 위하여 국토지리정보원에서는 (주)범아엔지니어링과 함께 2006년 6월부터 10월까지 전국의 삼각점 중 137점을 선정하여 GPS방식으로 현지관측을 실시하였고 이를 토대로 다양한 평가를 시도하였다.

본 연구에서는 KGD2002성과를 산출하는 여러 공정을 제시하고 GPS망조정의 성과산출 절차와 EDM망조정의 성과산출 절차를 고찰하고, GPS 현지관측에 의해 산정된 조정결과와 실용성으로 고시에정인 KGD2002성과와 비교, 점검하는데 연구목적이 있다.

2. 국가기준점의 성과산출

2.1 한국측지계2002

우리나라는 2001년 12월 측량법이 개정되기 이전까지 국가 측지기준계로서 동경측지계를 사용해왔다. 그러나, 우주측지기술의 고도화 및 실용화에 따라 전 세계가 세계측지계(지구중심좌표계)를 도입하여 위치기준을 재정립하였다. 이는 전 세계적인 추세 뿐 아니라 위치정보를 사용하는 다양한 사용자들의 요구가 있었기 때문이다. 이에 우리나라는 측량법 제5조를 개정하여 측량의 기준으로 세계측지계 도입을 명시하였고, 한국측지계2002(Korea Geodetic Datum 2002 : KGD2002)를 공표하였다.

세계측지계란 세계에서 공통으로 이용할 수 있는 위치의 기준이다. 즉 세계 공통의 측지기준계(측지계)를 말하는 것이다. 세계측지계라는 말은 세계 공통의 것에 중점을 둔 표기인데 대해, 지구중심계라는 말은 좌표계의 원점을 지구중심점으로 둔다는 표현이다.

현재 우리나라에서 개정된 측량법 제5조에서는 세계측

지계를 다음과 같이 정의하고 있다(법제처, 2007).

- ① 회전타원체의 장반경 및 편평률은 다음과 같을 것
 - 장반경 : 6,378,137m
 - 편평률 : 1/298.257222101
- ② 회전타원체의 중심이 지구의 질량중심과 일치할 것
- ③ 단축이 지구의 자전축과 일치할 것

세계측지계는 국제지구기준좌표계인 ITRF2000좌표계(International Terrestrial Reference Frame)와 측지기준계 1980(Geodetic Reference System 1980)타원체를 사용하여 나타낸다. 세계측지계에 의한 수평위치는 우주측지기술을 구사한 VLBI(Very Long Baseline Interferometry)나 GPS를 이용한 GPS상시관측점의 관측값에 근거하여 전국의 삼각점 성과를 새로 계산하여 구하게 된다.

세계측지계 기반의 좌표산출을 위하여 측지VLBI 관측 결과를 기초로 우리나라 경위도원점의 세계측지계좌표를 산출하여 2002년도에 측량법 시행령에 반영하였다. 그 수치는 동경 127° 03'14.8913", 북위 37° 16'33.3659", 원방위각은 3° 17'32.195"(서울산업대 GPS상시관측점)이다.

2.2 GPS망조정 성과산출 절차 및 Tool

GPS망조정은 국토지리정보원에서 설치·운영하고 있는 국가 1등측지기준점인 14개의 GPS상시관측소 고시성과(2002년 12월 30일 고시)에 근거하여 GPS 2등망과 3등망을 순차적으로 조정하여 성과를 산출하였다(이영진 등, 2006; 이영진 등, 2007)

그림 1은 GPS망조정의 성과산출 절차를 나타내며, 세부 내용은 다음과 같다.

- ① 납품성과물의 정리 및 안테나고와 점명 등을 점검한다.
- ② 2등기준점 전체와 일부 3등기준점 중 재기선처리를 실시한다.
- ③ 2등기준점의 최소제약조정을 이용하여 과대오차의 검출 및 소거와 최종성과 산정을 위한 통계모형을 결정한다.
- ④ GPS상시관측점 13점을 고정하여 다점고정에 의한 망조정으로 2등기준점의 최종성과를 산정한다.
- ⑤ 총 69개의 3등기준점측량 사업지구를 각각 최소제약조정으로 망조정을 실시하고, 과대오차를 검출한다.
- ⑥ 3등기준점측량 사업지구 중 가야지구를 테스트지역으로 선정하여 통계모형을 결정한다.
- ⑦ 3등기준점측량 사업지구를 16개의 블록으로 구성 후, 블록별 최소제약조정으로 과대오차의 검출 및 소거와

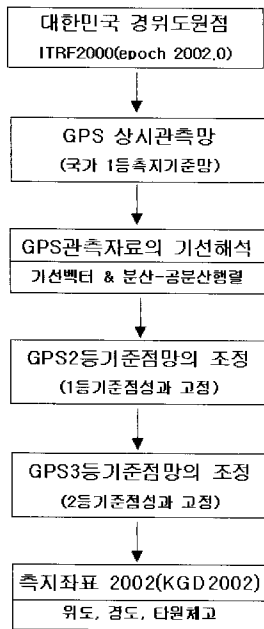


그림 1. GPS망조정에 의한 국가기준점의 세계측지계 성과산정 절차

최종성과 산정을 위한 통계모델 결정한다.

⑧ 블록 내 2등기준점과 중복 성과 방지를 위한 인접블록의 중복점을 고정점으로 한 다점고정에 의한 방식으로 3등기준점의 최종성과를 산정한다.

2등기준점망의 전면 재처리에 사용할 기선해석 소프트웨어로는 LGO(Lecia Geomatics Office)와 TGO(Trimble Geomatics Office)의 스테틱 모듈(static processing module)과 스위스 베른공과대학교에서 개발한 과학기술용 초고정밀 기선해석 소프트웨어인 BERNESE가 가지는 특성들을 비교하여 최종적으로 LGO를 선정하여 사용하였다.

이에 반해 3등기준점망의 경우는 69개의 사업지구로 나눈 후, 중복점을 포함하여 11,012점에 대한 관측을 수행하였기 때문에 모든 데이터를 재처리하는 것이 불가능하여 납품성과물의 점검을 통하여 데이터의 재처리가 필요한 지역에서의 효율성을 높이기 위해서 원칙적으로 사업수행자가 사용한 소프트웨어를 사용하고 다만 Leica와 Trimble계열 이외의 소프트웨어를 사용한 경우는 LGO로 재처리를 실시하였다. 따라서 3등기준점의 기선해석에 사용된 기선해석 소프트웨어는 Leica의 SKIPro와 LGO, 그리고 Trimble의 GPSurvey와 TGO이다.

망조정을 통한 최종성과 산정을 위해서는 캐나다 Microsearch사에서 개발한 Geolab™ Version 2001을 원

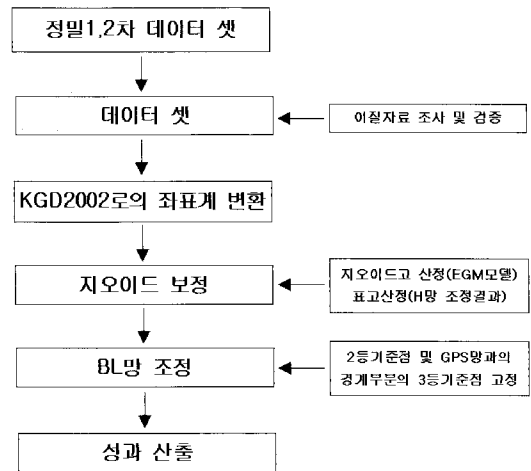


그림 2. GPS망조정에 의한 국가기준점의 세계측지계 성과산정 절차

칙적으로 사용하였다. Geolab은 모든 종류의 측량데이터의 조정이 가능하고, 조정에 사용되는 데이터의 수 제한이 없어서 신속하고 안정적으로 처리할 수 있으며, 특히 대규모 측지망의 조정에 매우 적합한 소프트웨어이다.

2.3 EDM망조정 성과산출 절차 및 Tool

EDM망조정은 현재까지 관측된 기준점 중에서 EDM관측지역에 해당하는 지역을 대상으로 하기 때문에 정밀1, 2차기준점측량 데이터 중에서 GPS관측지역에 해당하지 않는 지역의 관측데이터를 사용하였다.

그림 2는 EDM망조정에 의한 국가기준점의 세계측지계 성과산정 절차를 보여주고 있고, 세부 내용은 다음과 같다.

- ① EDM단일지역의 관측데이터 추출 및 지역별 망구성, 이설 및 재설 데이터를 이용하여 구축된 데이터를 갱신한다.
 - ② 측표수준점 전점을 고정하여 재산출한 표고 결과를 사용한다.
 - ③ 지오이드고의 보정을 수행한다.
 - ④ GPS망조정 결과 확보 및 GPS부분과의 중복점을 검토한다.
 - ⑤ GPS2등기준점과 경계부분의 중복점을 고정으로 한 다점고정에 의한 방식으로 최종성과를 산정한다.
- 수행한 EDM부분 망조정은 KTN87성과산출에 사용된 프로그램을 수정하여 FORTRAN으로 개발된 Net7000을

이용하였고, 컴파일러는 Lahey Fortran90을 이용하였다. 본 프로그램은 초기 입력좌표로 거리 및 각을 계산하여 입력 데이터인 거리 및 각 관측치와 비교를 통하여 예비 계산을 수행하고, 입력된 고정점 좌표를 이용하여 망조정을 수행하며, 조정량과 측정량 사이의 오차의 분배, 평면 직각좌표의 산출 등을 수행할 수 있다. 망조정의 핵심적인 부분은 주 프로그램 내에서 수행되며, 부 프로그램을 통하여 부수적인 데이터 처리가 수행된다.

3. GPS현지검측

삼각점의 망조정성과의 현지점검과 추가적인 자료를 제공하기 위하여 EDM사업지구 내의 7개의 테스트지역에서 총 137점을 선정하여 2006년 6월 15일~10월 27일에 GPS현지관측을 실시하였다. 현지관측에서 사용된 GPS수신기와 안테나 형태는 모두 Leica계열이며, 1점에 대한 관측시간을 2~3시간으로 하였다.

표 1은 현지검측을 위해 실시된 GPS관측을 요약하고 있으며, 그림 3에서 그림 9까지는 7개 테스트지역의 GPS 현지검측망 및 기선해석도를 보여주고 있다.

각각의 사업지구에서 취득된 GPS관측데이터는 LGO static data processing 모듈을 이용하여 GPS상시관측점

을 고정하고 메뉴얼 방식의 기선해석을 실시하였으며, 측정점 사이의 기선장을 고려하여 정밀궤도력을 사용하였다(국립지리원, 2001). 다만 사업지구 내에 상시관측점이 없는 경우는 GPS2등기준점 망조정에서 산정된 좌표를 사용하였다.

기선해석을 통해 얻어진 기선벡터는 LGO network adjustment 모듈을 이용하여 최소제약조정 이후 사업지구내의 상시관측점과 모든 2등기준점을 고정하여 조정을 실시하고 최종적인 결과를 산출하였다.

4. KGD2002 망조정성과의 점검

4.1 KGD2002 망조정성과의 점검

GPS망조정의 최종성과를 점검하기 위해 GPS현지관측 데이터 중 GPS망조정지역에 포함되는 20점의 기준점을 대상으로 GPS상시관측점 혹은 2등기준점을 고정하는 방식기선해석 방식으로 좌표를 산정하였다.

GPS기선해석의 경우 기선장을 고려하여 IGS에서 제공하는 정밀궤도력을 사용하였고, 자료처리의 결과 모두 미지정수 고정해를 얻을 수 있었다. 표 2는 GPS망조정성과의 점검을 위해 사용될 20개의 점들에 기선의 요약을 나타내는 것이다.

표 1. GPS에 의한 현지관측 요약

테스트지역	관측기간	관측점수	고정점 종류	고정점
부산	2006.07.17 ~ 2006.7.26	38	상시관측점	-
			2등기준점	HE04, BM01
대구	2006.07.25 ~ 2006.07.27 2006.10.25	26	상시관측점	TEGN
			2등기준점	WD03, DD22
대전	2006.07.28 ~ 2006.07.31	21	상시관측점	-
			2등기준점	BH05, GS06
광주	2006.07.16 ~ 2006.07.17	19	상시관측점	KWNJ
			2등기준점	GX03
광양	2006.10.26 ~ 2006.10.27	7	상시관측점	-
			2등기준점	GW01, NF06, GQ03
서산	2006.06.15 ~ 2006.06.16	6	상시관측점	SEOS
			2등기준점	MB05
서울	2006.07.11 ~ 2006.07.14 2006.09.19 ~ 2006.09.20	20	상시관측점	SOUL
			2등기준점	SH01, SN06

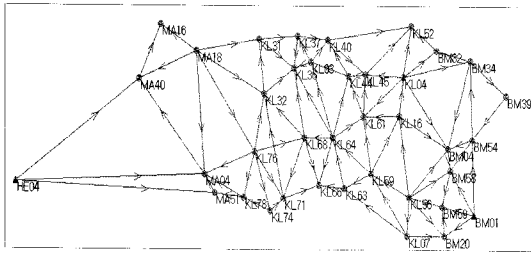


그림 3. 부산지역의 GPS현지검측망

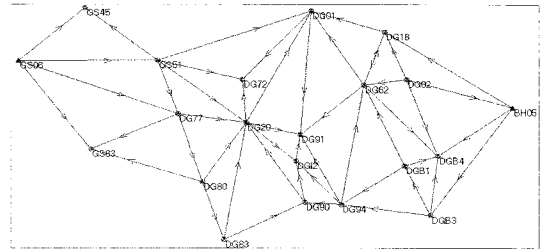


그림 4. 대구지역의 GPS현지검측망

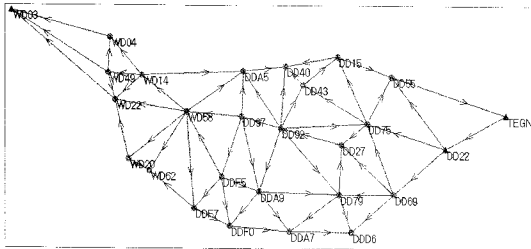


그림 5. 대전지역의 GPS현지검측망

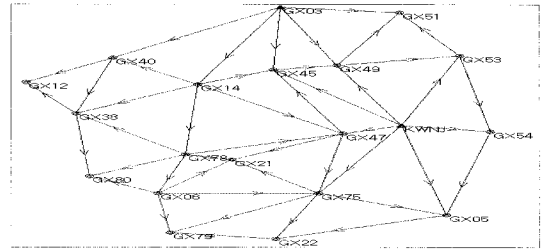


그림 6. 광주지역의 GPS현지검측망

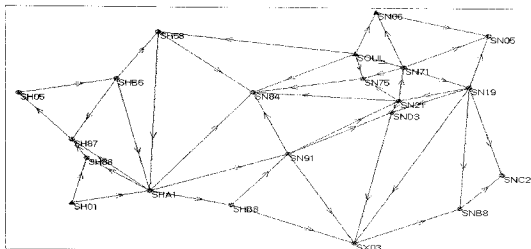


그림 7. 서산지역의 GPS현지검측망

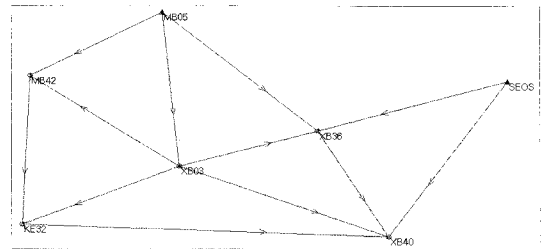


그림 8. 서울지역의 GPS현지검측망

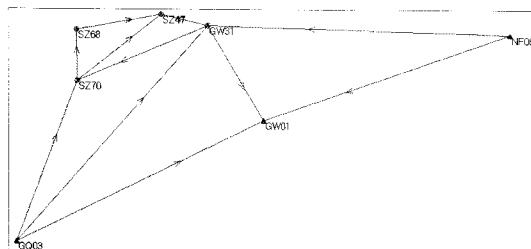


그림 9. 광양지역의 GPS현지검측망

GPS현지관측 데이터의 기선해석 결과와 본 연구에서 얻어진 조정성과 사이의 차이를 비교하여 표 3에, 그리고 통계값은 표 2에 나타내었으며 모두 공간위치 정확도 평가법(이영진 등, 2005)에 따라 계산하였다.

표 2에 나타난 바와 같이 KGD2002성과와 점검성과간의 좌표차는 수평방향의 경우 평균 2.3cm의 차이를 보였으며, RMS 값은 2.7cm이므로 일치하고 있음을 알 수 있

표 2. KGD2002성과와 현지검측 점검결과의 비교 통계표 (단위 : m)

좌표성분	평균	RMS	최대
수평방향	0.023	0.027	0.057
수직방향	0.055	0.065	0.122

다. 이에 반하여 수직방향의 차이는 평균 5.5cm, 그리고 RMS는 6.5cm 정도였다. 수평에 비하여 수직방향의 정확도가 낮은 것은 GPS측량 자체가 가지는 문제이며, 이에 추가하여 본 연구에서는 두 측점 사이의 기선장에 비하여 관측시간이 충분하지 않은 것이 하나의 요인으로 보인다.

현지검측의 주된 목적인 조정성과의 정확도의 평가보다는 조정작업에서 부주의로 인하여 발생 가능한 과대오차의 점검이기 때문에 검측결과는 GPS망조정에 심각한 문제가 없음을 확인해 준다.

표 3. KGD2002성과와 현지검측 점검결과의 비교(단위 : m)

사업 지구	측점명	dP	dL	dh	사업 지구	측점명	dP	dL	dh
부산	BM01	0.012	0.020	0.054	대전	GS06	0.000	0.013	0.108
	KL31	0.035	0.031	0.003		DG83	0.008	0.029	0.077
	HE04	0.027	0.017	0.067		DGB4	0.011	0.041	0.122
	KL52	0.055	0.013	0.063		BH05	0.024	0.017	0.101
대구	DD22	0.010	0.035	0.120	광주	GX03	0.002	0.003	0.032
	WD04	0.002	0.007	0.027	광양	NF06	0.007	0.002	0.059
	WD20	0.019	0.011	0.019		GW01	0.012	0.015	0.032
	WD22	0.004	0.003	0.051		GQ03	0.030	0.012	0.049
	WD49	0.006	0.008	0.002	서울	SH01	0.010	0.018	0.026
서산	MB05	0.011	0.007	0.062		SN06	0.001	0.004	0.016

* dP는 위도차, dL은 경도차, dh는 타원체고 차이임.

표 4. 현지검측 데이터와 기선해석 요약

사업지구	처리기선	관측시간	기선장	기선해석 후 산정된 3차원 직각좌표		
				X	Y	Z
부산	JINJ-KL31	3h 44m	66km	-3266991.758	4066310.919	3658479.671
	JINJ-KL52	6h 14m	84km	-3280344.723	4054573.000	3659359.175
	JINJ-BM01	3h 11m	92km	-3292430.032	4057819.836	3645610.205
	JINJ-HE04	3h 16m	38km	-3249492.142	4089898.932	3647927.540
대구	TEGN-DD22	3h 10m	35km	-3237986.474	4035309.360	3717806.234
	TEGN-WD04	2h 50m	33km	-3212304.870	4049437.020	3724791.076
	TEGN-WD20	2h 49m	34km	-3216934.505	4052677.677	3717190.197
	TEGN-WD22	2h 06m	34km	-3214361.505	4051339.487	3720839.418
	TEGN-WD49	3h 21m	40km	-3213127.778	4050708.533	3722464.125
대전	CNJU-GS06	2h 56m	43km	-3102140.917	4098670.743	3763991.452
	CNJU-DG83	2h 46m	34km	-3120107.985	4096251.505	3751503.514
	CNJU-DGB4	2h 03m	30km	-3130634.480	4082936.512	3757324.895
	CNJU-BH05	2h 24m	9km	-3133832.488	4077737.168	3760875.422
광주	KWNJ-GX03	6h 04m	91km	-3128966.882	4171557.750	3660480.908
광양	JINJ-GQ03	4h 19m	58km	-3178177.855	4179187.598	3609534.377
	JINJ-GW01	5h 00m	32km	-3196878.027	4154632.322	3621685.769
	JINJ-NF06	4h 32m	24km	-3216879.160	4131806.292	3630176.542
서산	SEOS-MB05	3h 09m	24km	-3021868.436	4123361.639	3801527.247
서울	SOUL-SH01	2h 48m	23km	-3039551.393	4052869.709	3862221.135
	SOUL-SN06	2h 39m	4km	-3049334.590	4032634.782	3876285.926

4.2 EDM망조정성과의 점검

2등기준점 및 3등경계점 좌표를 모두 고정하여 산출된 EDM지역의 최종성과와 GPS현지관측 데이터를 GPS2등 기준점을 고정하여 산출된 결과를 비교하여 최종성과의 정확도를 검증하였다.

좌표의 비교는 경위도좌표와 평면직각좌표를 이용하였다. 우선 경위도좌표의 각 지역별 최대, 최소, 평균 2D-

RMSE를 구하여 표 5와 그림 10으로 나타내었다.

검측데이터와 EDM최종성과와의 차이를 경위도 2D-RMSE평균을 기준으로 했을 때, 부산에서 6.4cm로 가장 크게 나타났고, 대구에서는 1.4cm로 가장 작게 나타났다. 또한 서울, 대전, 부산에서는 검측데이터와 EDM최종성과사이의 차이가 최대 14cm까지 차이가 발생하는 데이터도 있었다.

표 5. 검측데이터와 최종성과의 비교(경위도)

구 분		P(m)	L(m)	2D-RMSE
서울	최대	0.110	0.086	0.140
	평균	0.038	0.032	0.049
서산	최대	0.060	0.071	0.093
	평균	0.033	0.040	0.052
대구	최대	0.032	0.025	0.041
	평균	0.010	0.010	0.014
광주	최대	0.058	0.035	0.068
	평균	0.014	0.022	0.026
대전	최대	0.111	0.098	0.148
	평균	0.025	0.040	0.047
부산	최대	0.124	0.061	0.138
	평균	0.059	0.024	0.064
광양	최대	0.021	0.026	0.034
	평균	0.013	0.008	0.015

표 6. 관측데이터와 최종성과의 비교(XY)

구 분		dY(m)	dX(m)	2D-RMSE
서울	최대	0.089	0.108	0.140
	평균	0.030	0.037	0.048
서산	최대	0.072	0.063	0.095
	평균	0.041	0.034	0.053
대구	최대	0.026	0.037	0.046
	평균	0.010	0.012	0.016
광주	최대	0.037	0.035	0.051
	평균	0.022	0.019	0.028
대전	최대	0.100	0.106	0.146
	평균	0.041	0.025	0.047
부산	최대	0.062	0.127	0.141
	평균	0.025	0.060	0.065
광양	최대	0.027	0.029	0.040
	평균	0.008	0.016	0.018

* dX와 dY는 좌표차임.

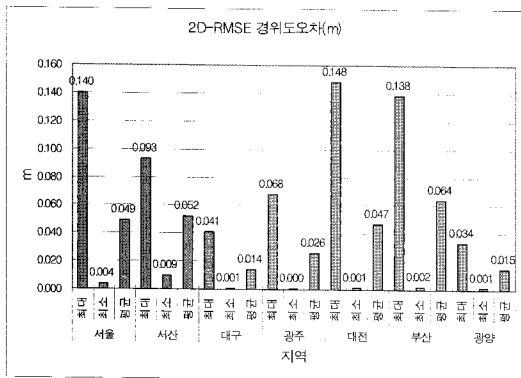


그림 10. 검측데이터와 최종성과의 비교(경위도)

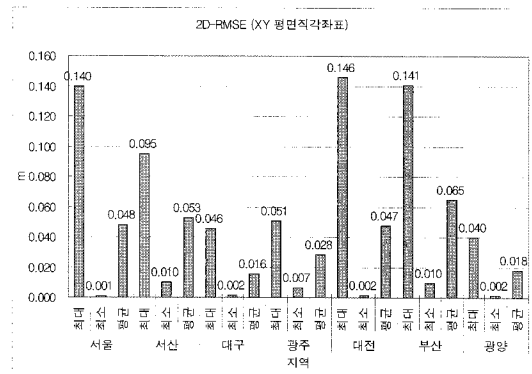


그림 11. 검측데이터와 최종성과의 비교(XY)

다음으로 평면직각좌표의 각 지역별 최대, 최소, 평균 2D-RMSE를 구하여 표 6과 그림 11로 나타내었다. 검측 데이터와 EDM최종성과와의 차이를 평면직각좌표 2D-RMSE의 평균을 고려하여 판단하였을 경우에도, 부산에서 6.5cm로 가장 크게 나타났고, 대구에서는 1.6cm로 가장 작게 나타났다. 또한 서울, 대전, 부산에서는 검측데이터와 EDM최종성과사이의 차이가 최대 14cm까지 차이가 발생하는 데이터도 있었다.

각 지역별로 오차의 분포를 도표로 표현하면 서울의 경위도좌표를 이용한 2D-RMSE는 5cm이하인 점이 약 61%였으며, 최대 14cm의 차이가 있는 점이 있었다. 서산의 경위도좌표를 이용한 2D-RMSE는 5cm이하인 점이 전체 5점 중 1점이었고, 최대 9.3cm의 차이가 있는 점이

있었다. 대전의 경위도좌표를 이용한 2D-RMSE는 5cm이하인 점이 50%였고, 최대 14.8cm의 차이가 있는 점이 있었다.

또한 대구의 경위도좌표를 이용한 2D-RMSE는 23개 모든 점이 5cm이하인 것으로 나타났고, 최대가 4.1cm의 차이를 가졌다.

광주의 경위도 좌표를 이용한 2D-RMSE는 5cm이하인 점이 전체 16개 중에서 15점이었고, 최대 6.8cm의 차이를 나타내었으며, 광양지역 또한 대구와 마찬가지로 4점 모두 5cm이내의 차이를 가짐을 확인할 수 있었다. 부산은 다른 지역에 비하여 EDM 최종좌표와 검측한 데이터 사이에 차이가 크게 발생하였다. 평균 6.4cm의 차이가 나타났고, 5cm이상의 차이가 발생하는 점이 60%이상 나타

났다.

그림 12에서 그림 17까지는 각 지역별 오차의 분포를 도표로 나타낸 것이다. 한편 지역별로 평면직각좌표의 2D-RMSE를 분석한 결과는 모두 경위도 좌표의 2D-RMSE와 비슷한 추세 및 값을 갖고 있다.

5. 검측성과를 이용한 EDM망 조정기법

본 연구에서는 2등기준점을 고정점으로 사용한 결과, 2등 및 3등 경계점을 고정점으로 사용한 결과 등을 비교하여 최종으로 2등 및 3등 경계점을 고정점으로 조정한 결과를 최종성으로 결정하여 EDM지역의 성과를 산출하였다. 다만, 다양하고 많은 데이터를 이용하여 좀 더 나은 성과의 도출, 혹은 선택한 고정점이 최적인지를 판단하기 위하여 검측데이터 또한 고정점으로 사용하여 망조정을 수행하고 그 결과를 분석하여 판단의 근거를 확보하는데 목적이 있었다.

검측데이터를 고정점으로 사용하여 망조정을 실시한 지역은 부산마산지역, 나주광주지역, 광양순천지역, 대구경남지역 등 4개 지역이다.

이들 지역은 망의 구성이 다른 지역의 망보다 소규모이고 2등 삼각점만을 고려한 경우 고정점의 수가 적다. 따라서 2등점과 3등경계점을 고정점으로 사용한 경우(본 연구의 최종성과), 2등기준점과 검측데이터를 사용한 경우, 2등기준점과 검측데이터 그리고 3등 경계점 좌표를 고정점으로 사용한 경우로 분류하여 망조정 결과를 분석하였다.

표 7에서 표 9까지는 각각의 고정점에 따라 지역별 망조정 결과를 보여준다. 망의 규모에서는 고정점의 수는 2등기준점 및 3등경계점 그리고 검측 데이터를 모두 고정점한 경우가 가장 많고, 2등기준점 및 검측데이터만을 고정점한 경우에 고정점의 수가 가장 적었는데 이는 정확도측면 뿐만 아니라 망내에 내재된 오차의 쏠림 현상이 발생할 수 있으므로 고정점의 수와 배치상태가 매우 중요하다.

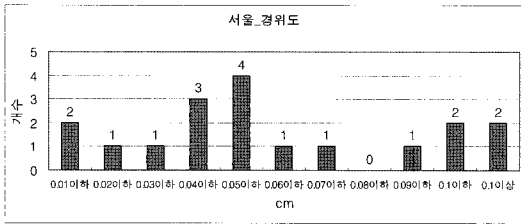


그림 12. 서울지역의 2D-RMSE

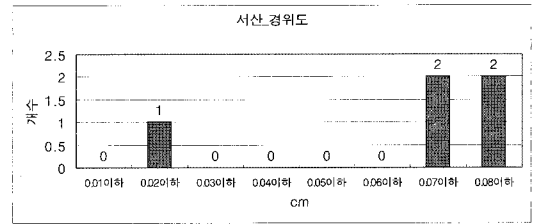


그림 13. 서산지역의 2D-RMSE

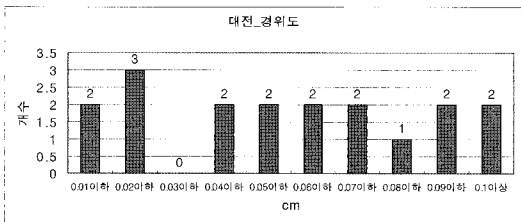


그림 14. 대전지역의 2D-RMSE

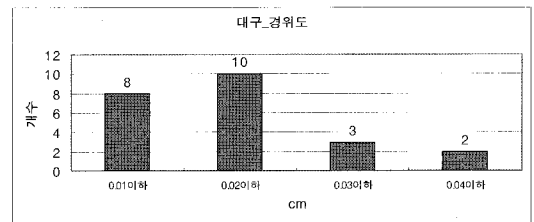


그림 15. 대구지역의 2D-RMSE

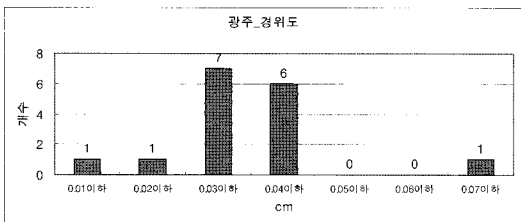


그림 16. 광주지역의 2D-RMSE

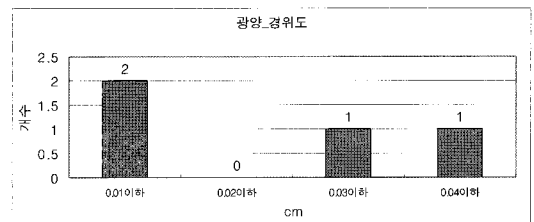


그림 17. 광양지역의 2D-RMSE

표 7. 2등기준점 및 3등경계점좌표를 고정한 결과

2등 기준점 + 3등 경계점을 고정한 경우				
파일명	지역	미지점(수)	고정점(수)	RMSE(단위 : 초)
95PC.dat	부산·마산	189	24	2.13
96KY.dat	광양·순천	137	40	1.71
96NK.dat	나주·광주	217	48	1.86
552.dat	대구·경남	687	137	1.37

표 8. 2등기준점 및 검측성과를 고정한 결과

2등 기준점 + 검측 데이터를 고정함 경우				
파일명	지역	미지점(수)	고정점(수)	RMSE(단위 : 초)
95PC.dat	부산·마산	175	38	2.40
96KY.dat	광양·순천	173	4	1.41
96NK.dat	나주·광주	248	17	1.39
552.dat	대구·경남	787	37	1.25

표 9. 2등기준점 및 3등경계점과 검측성과를 고정한 결과

2등 기준점 + 검측 데이터 + 3등 경계점을 고정한 경우				
파일명	지역	미지점(수)	고정점(수)	RMSE(단위 : 초)
95PC.dat	부산·마산	156	57	2.85
96KY.dat	광양·순천	134	43	1.71
96NK.dat	나주·광주	201	64	1.95
552.dat	대구·경남	667	157	1.42

표 7, 표 8, 표 9는 각각 2등기준점과 3등경계점좌표를 고정한 경우, 2등기준점과 검측성과를 고정한 경우, 2등기준점과 3등경계점 및 검측성과를 고정한 경우를 보여주고 있다. 이 표들을 비교분석해 보면, 부산지역은 2등기준점 및 3등경계점을 고정한 경우에 가장 좋은 결과를 보여주고 있으며, 얻었고, 2등기준점 및 검측성과를 고정한 경우 또는 2등기준점과 검측성과 및 3등경계점 모두를 고정한 경우에는 결과가 좋지 않았다. 따라서 부산지역의 경우에는 2등기준점과 3등 경계점을 고정하는 방식이 선택될 수 있다. 그러나 바다를 연하고 있는 지역적인 특징을 볼 때 땅의 외곽부에 고정점이 추가되어야 할 필요가 있으며 아울러 산악지역을 끼고 있는 지역특성으로 EDM보정계산에 한계가 있었을 수도 있으므로 보다 신중한 판단이 요망된다.

부산·마산 지역을 제외하고 나머지 3개 지역은 2등기준점과 검측성과를 고정점으로 사용한 경우가 다른 고정점을 사용한 경우보다 양호한 결과를 얻었고, 2등기준점과 3등경계점을 고정한 경우와 2등기준점, 3등경계점 그리고 검측 데이터를 모두 고정한 경우는 매우 유사한 결

과를 얻었다. 따라서 부산지역을 제외한다면 2등기준점과 검측점을 고정한 경우가 성과산정방법으로 선택될 수 있으나 검측기선의 길이가 멀고 수평위치에 대한 재점검이 이루어져야 하는 등 추가검토가 필요하므로 우선 2등기준점과 경계점을 고정하여 성과를 산출하는 것이 타당한 것으로 보여진다.

분석내용을 종합하면, 부산지역을 제외하고는 고정점의 선택에 따라 정확도면에서 수치에는 다소 차이가 있으나 실용적인 측면에서는 거의 동등하다고 판단할 수 있다고 보여진다. 그러므로 본조정에서는 2등점과 GPS망 성과를 고정하는 방식으로 EDM성과를 산정하는 것이 타당하다고 사료된다.

이 결과를 종합해보면 전반적으로 GPS사업지구의 경우에는 망조정 성과가 양호하다고 볼 수 있으나, 특히 부산지역, 수도권 등 개방된 형태의 EDM사업지구는 추가적인 GPS관측을 실시하여 고정점의 수를 늘리는 대책을 마련하고 표고(높이)성과를 재산출할 수 있도록 지속연구가 필요하다.

6. 결 론

본 연구에서는 KGD2002성과의 산정을 위한 GPS와 EDM망조정 성과산출 절차를 고찰하고, GPS 현지관측으로 산정된 조정결과를 이용하여 실용성으로 고시에정인 KGD2002성과와 비교, 분석하는데 목적이 있다. 연구결과와 내용을 요약하면 다음과 같다.

첫째, KGD2002산정을 위한 GPS망 지역의 성과산출 절차와 EDM망 지역의 성과산출 절차를 고찰하였으며, KGD2002 최종성과의 점검을 위해 EDM사업지역 중 7개의 테스트지역에서 137점의 GPS현지관측을 실시하였다.

둘째, GPS망지역에 포함되는 현지관측 데이터 20점 성과를 GPS망조정 최종성과와 비교한 결과, 수평방향에서 평균 2.3cm, 2D-RMS는 2.7cm로 전반적으로 GPS사업지역의 경우에는 망조정 성과가 양호하다고 볼 수 있으며, 수직방향에서는 평균 5.5cm, 2D-RMS가 6.5cm의 차이가 다소 크게 나타났다.

셋째, EDM망지역에서 2등기준점과 3등기준점과의 중복점을 고정하여 산출된 최종좌표와 GPS현지검측성과를 비교한 결과, 수평성분에서 부산 2D-RMS 6.4cm로 가장 크게 나타났고, 대구 2D-RMS 1.4cm로 가장 작게 나타났다.

넷째, EDM성과 산정에서는 부산지역을 제외하고는 정확도 수치에서 다소 차이가 있으나 실용적인 측면에서는 거의 동등하므로 2등점과 GPS3등성과를 고정하는 방식으로 EDM성과를 산정할 수 있다고 판단된다.

다섯째, 부산지역, 수도권 등 개방된 형태의 EDM사업지역은 추가적인 GPS관측을 실시하여 고정점의 수를 늘리는 대책을 마련하고 표고(높이)성과를 재산출할 수 있도록 하는 연구가 필요하다.

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

- 국립지리원 (1988), 정밀1차기준점측량 작업규정, 국립지리원.
국립지리원 (1994), 정밀2차기준점측량 작업규정, 국립지리원.
국립지리원 (2001), GPS에 의한 기준점측량 작업규정, 국립지리원.
이석찬, 조규전, 고영호, 이영진 (1987), 이질측지망의 동시조정과 신뢰도의 적용, 한국측지학회지, 제5권, 제1호, pp. 66-72.
이영진, 이석찬 (1989), 국가기준점망의 고밀도화를 위한 결합체계, 한국측지학회지, pp. 27-34.
이영진, 이흥규, 정광호 (2006), GPS망조정에 의한 세계측지계의 국가기준점 성과산정, 대한토목학회 정기학술대회 논문집, pp. 275-278.
이영진 외 (2007), 국가기준점 망조정을 위한 GPS 3등기준점 기선해석, 한국측량학회 춘계학술발표회 논문집, pp. 3-6.
이영진, 조규전, 김원익 (1996), 한국측지좌표의 재정립에 관한 연구, 한국측지학회지, 제14권, 제2호, pp. 141-150.
이영진, 정의훈, 이준혁, (2005), 공간정보의 위치정확도 평가 방법에 관한 연구, 한국지적학회지, 제21권, 제2호, pp. 155-166.
최재화, 이영진, 최윤수 (1992), 국가삼각점 성과의 갱신방안에 관한 연구, 한국측지학회지, 제10권, 제2호, pp. 13-24.

(접수일 2007. 10. 2, 심사일 2007. 10. 26, 심사완료일 2007. 10. 29)