

우리나라 1등 수준망 조정(2006년)

Adjustment of 1st order Level Network of Korea in 2006

이창경¹⁾ · 서용철²⁾ · 송창현³⁾ · 전부남⁴⁾

Lee, Chang Kyung · Suh, YoungCheol, · Song, Chang Hyun · Jeon, Bu Nam

¹⁾ 군산대학교 공과대학 토목환경공학부 교수(E-mail: leeck@kunsan.ac.kr)

²⁾ 부경대학교 환경·해양대학 위성정보공학과 교수(E-mail: suh@pknu.ac.kr)

³⁾ 군산대학교 대학원 토목환경공학과 석사과정 (E-mail: sug8318@kunsan.ac.kr)

⁴⁾ 국토지리정보원 측지과 (E-mail: jbunam@moc.go.kr)

Abstract

The 1st order vertical network of Korea was adjusted in 1987 at first time . This is the second adjustment of the 1st order vertical network of Korea by National Geographic Information Institute. All the levelling data were acquired by digital level with invar staff. The number of 1st order level lines are 36, and 34 level lines comprise 11 circles of level network. Backward and forward error of a few level lines are larger than the regulations of NGII, Korea. Also, 3 circles of vertical network has circuit closure error that is exceed the regulation. As the result of 1st order vertical network adjustment, the reference standard error of the vertical network was 1.8mm/ $\sqrt{\text{km}}$.

1. 서 론

우리나라의 수준망은 1910년대에 청진, 원산, 목포, 인천, 진남포의 평균해면을 표고기준으로 한 수준점 성과(KLN1910)가 나온 이래로, 1933년에 원산에 수준원점 설치, 1937년 - 1943년 만주와 수준망 연결사업이 시초이다.

해방과 6.25 동란 중에 대부분의 수준점이 망실되어, 1957년 수준점 복구사업(건설부 국립건설연구소, 1969년) 조사보고서에 의하면 수준점 732점 중 86%인 610점이 망실되었다. 이 사업에 따라 연차적으로 기설 수준점 중 보존상태가 양호한 수준점에 근거하여 복구한 성과 및 전면 개측을 통하여 얻은 잠정적인 성과(KLN1957)를 1988년까지 이용하였다.

우리나라 근대화사업의 모체인 국토개발계획을 수립할 때에 가장 기초적이고 시급한 자료가 국토 기본도였고, 국토 기본도 제작에 필요한 기준점의 위치좌표(평면 및 표고)를 정비하기 위한 기준점측량 정비사업(건설부 국립건설연구소, 1960)이 착수되었다. 1963년 인천항의 평균조위를 표고기준으로 하여 수준원점이 설치되었고, 1등 수준점번호부여 방법이 개정되었다. 즉, 해방이전의 수준노선의 명칭은 노선 양단의 지명에서 1자를 따서 조합하였고, 수준점 번호도 일정한 규칙이 없이 부여되어 현재의 노선-수준점 체계가 수립되었다. 이어 1967년 2등 수준노선 및 수준점 번호부여 방법이 개정되었다. 이 당시 수준망은 수준점 4,806점(1등 수준점 806점, 2등 수준점 4,000점)으로 계획되었다.

국토지리정보원(당시 국립지리원)에서는 1974년부터 1986년의 1등 수준측량 왕복측량 관측값에 타원 보정하여 정규정표고로 환산한 후 인천 수준원점을 1점고정하여 망조정하였다(국립지리원, 1987년). 이때의 1등 수준망은 11개 환, 38개 노선, 1등 수준점 439점, 1등 수준 총연장 3,306km로 구성되었고, 기준 분산 표준오차는 4.9mm/ $\sqrt{\text{km}}$ 이었다. 이어 1967년부터 1987년간의 2등 수준측량사업에서 획득한 관측값을 환별로 1등 수준망 연결점을 고정한 다정고점 망 조정하여 2등 수준망 성과를 산출하였다(국립지리원, 1988년). 이때의 2등 수준망은 15개 환(9환 미관측), 306노선, 2등 수준점 3,748점, 2등 수준 총연장 8,309 km로 구성되었고, 환별 기준분산 표준오차 평균값은 9.1mm/ $\sqrt{\text{km}}$ (1점 고정)이었다. 1987년 1등 수준망 조

정성과와 1988년 2등 수준측량 조정성과를 KLN1987이라 하며, 현재까지 그 성과를 이용하고 있다.

본 연구는 국토지리정보원에서 2001년 ~ 2006년까지 재관측된 1등 수준측량자료의 왕복차 및 환폐합차 분석, 타원보정, 최소제곱법에 의한 망조정에 관한 연구의 일부이다.

2. 자료처리 및 분석

2.1 수준측량 관측자료

2.1.1 일반사항

본 연구의 1등 수준망 조정에 사용된 수준측량자료는 2001년 이후 국토지리정보원의 1등 수준측량사업으로 관측된 것이며, 수준노선 총연장은 3,342km에 달하고, 교점 및 수준기점을 포함한 1등 수준점 총수는 1,127점이며, 이 중 2006년 1등 수준측량사업으로 1등 수준노선의 89%에 달하는 약 3,000km 수준측량이 수행되었으며, 더불어 1등 수준점의 약 31%인 350점이 재설되었다. 이와 더불어 1등 수준점으로부터 우리나라 주요항만에 국립해양조사원에서 설치한 9개 검조소 기본수준점(TBM)을 연결하는 수준측량 자료는 1등 수준노선에 속하지 않으나 본 수준망 조정자료에 포함되었다.

우리나라 1등 수준망의 노선명칭은 수준측량작업규정에서 정한 바에 따라 국토의 남서부에서 북동방향으로 증가하는 일련번호로 1노선부터 38노선까지 부여되었다. 이 중 33노선은 14환 2노선과 중복되어 결측되었고, 36노선은 결번으로 현재 36개 노선의 왕복수준측량이 완료되었다. 수준노선의 양 끝점인 교점은 노선번호부여방법과 동일하게 ①부터 ㉞까지 일련번호로 부여되어 있다. 이 중 ㉞과 ㉟ 교점은 결번이므로 1등 수준망의 교점은 총 22점이다.

1등 수준망의 수준노선 36개 노선 중 1등 수준환을 구성하지 않는 개방노선인 1노선과 38노선을 제외한 34개 1등 수준노선은 교점에서 서로 연결되어 11개의 1등 수준환을 구성한다. 수준환도 수준노선과 마찬가지로 국토의 서남단에서부터 동북방향으로 증가하는 일련번호를 환번호로 부여하였다. 단, 수준원점과 교BM18, 교BM17, 교BM15를 연결하는 환번호는 0환이다. 1등 수준환의 평균 환거리는 438km이다.

2.1.2 수준측량자료 특징

본 수준망 조정에 사용된 1등 수준측량('01~'06) 자료는 최신성과 신뢰성을 갖춘 수치수준측량자료로 제1차 1등 수준망 조정(1987년) 1등 수준측량('74 ~ '86) 자료 및 제1차 2등 수준망 조정(1988) 수준측량('67 ~ '87) 자료와 비교되는 특징은 다음과 같다.

- 2006년 수준망 조정에 사용된 1등 수준측량자료는 2001년부터 2006년 사이에 수행된 1등 수준측량사업 결과로 36개 노선 중 2001년에 2구간, 2002년에 2구간, 2004년에 1구간, 2005년에 2구간을 제외한 전 구간이 2006년에 관측된 최신의 자료이다.
- 2004년 이후에 수행된 1등 수준측량은 최신장비인 정밀전자레벨(DNA03, DINI12)과 바코드 인바표척(GPCL3, LD13)을 사용하였기에 읽음 및 기록과정의 오차를 이전의 광학레벨과 육안 읽음값을 수기한 수준측량자료에 비해 획기적으로 줄인 신뢰성있는 자료이며, 관측수부, 수준차계산부, 수준측량계산부를 수치형태로 납품받아 자료관리혁신을 이루었다.
- 2006년에 실시한 1등 수준점은 주위 반경 100m 이내에 1점의 보조점을 설치하여, 수준점의 변동확인 및 망실 또는 훼손 시 복구와 재설의 편리를 도모하였다.
- 2005년 이후에 실시한 수준측량은 수준점의 경위도좌표(WGS84기준)를 간이 GPS로 측정하였다.
- 2006년 수준측량에서는 왕복관측값의 교차(왕복차)가 허용오차한계를 초과하더라도 성과를 납품받아, 신뢰성 있는 수준측량자료이다.
- 2006년에 관측된 1등 수준점 1127점 중 약 31%인 350 점이 재설되었다. 즉, 2006년 1등 수준측량수행으로 1등 350점이 성과고시를 할 수 있게 되었다.

2.2 왕복차 및 환폐합차

2.2.1 노선 왕복차

1등 수준노선 왕복수준측량 관측 값은 제 3장 수준측량 관측 자료의 정리에서 착오를 검출하여 정정 또는 소거하였다 하더라도, 기계적 원인, 관측자의 원인 및 자연적 원인에 의해 발생한 정오차와 우연오차를 포함하고 있다. 주지하다시피 노선 왕복차는 수준점간 구간 왕복차의 누적이며, 구간 왕복차는 전·후시 표적간 왕복차의 누적이므로, 수준측량 오차의 근원은 표적간 전·후시 왕복차라 할 수 있다. 본 수준망 조정에서 기본자료로 이용한 “수준측량계산부”의 근간은 수준점간 구간 왕복차이므로 수준점간 구간 왕복차로부터 수준측량 오차분석을 하였다.

1등 수준측량('01~'06) 왕복차(교차) 가 허용 왕복차를 초과하는 1등 수준노선은 전체 36개 노선(사업년도별 구분 노선은 49개 노선) 중 7개 노선으로 전체의 약 15%이며, 서남부 해안, 중부 백두대간, 북부 영동산간을 따라 분포한다. 허용 왕복차를 초과하는 노선의 분포를 보면, 그 원인이 지형적 요인(고지대 및 급경사, 연약지반 등)과 관계가 있어 보이거나 이와 유사한 지형을 지나는 다른 노선에서는 허용 왕복차 규정을 만족하는 노선들이 있으므로 지형적 요인과 기타 요인들이 복합적으로 영향을 미친 결과라 할 수 있다. 한편 미국 NAVD88사업에서는 특정장비가 지구자기장에 의한 영향으로 관측값의 표준오차를 증가시킨 사례가 있었다(Zilkoski et al, 1992).

2.2.2 환폐합차

1등 수준측량('01~'06) 자료로 구성되는 1등 수준환은 총 11개환 이며, 이중 3개 환(4환, 5환, 10환)의 환 폐합차가 허용 환 폐합차를 약간씩 초과하고 있다. 한편, 타원보정된 수준측량 왕복차를 이용하면 1등 수준망 전체적으로 환 폐합차가 축소되나 이들 3개 수준 환은 여전히 허용 환 폐합차를 초과한다. 참고로 1987년 1등 수준망('74~'86)의 환폐합차는 타원보정으로 인하여 오히려 환 폐합차가 증가한 바 있다(그림 1).

우리나라 1등 수준망의 환 거리는 0환을 제외하고는 모두 300 ~ 700km이므로 Vignal(1936)의 제안식에 의하여 환 폐합차의 표준오차를 구할 수 있다. 1등 수준망('90~'99)의 환 폐합차의 표준오차 η_2 는 6.0 mm/ $\sqrt{\text{km}}$ 로 계산되었고, 1등 수준망('01~'06)의 환 폐합차의 표준오차는 η_2 는 1.8 mm/ $\sqrt{\text{km}}$ 로 계산되었다. 즉, 환 폐합차의 표준오차를 기준으로 1등 수준측량('01~'06)은 IAG 고정밀 수준측량기준(3mm/ $\sqrt{\text{km}}$)을 만족하였다.

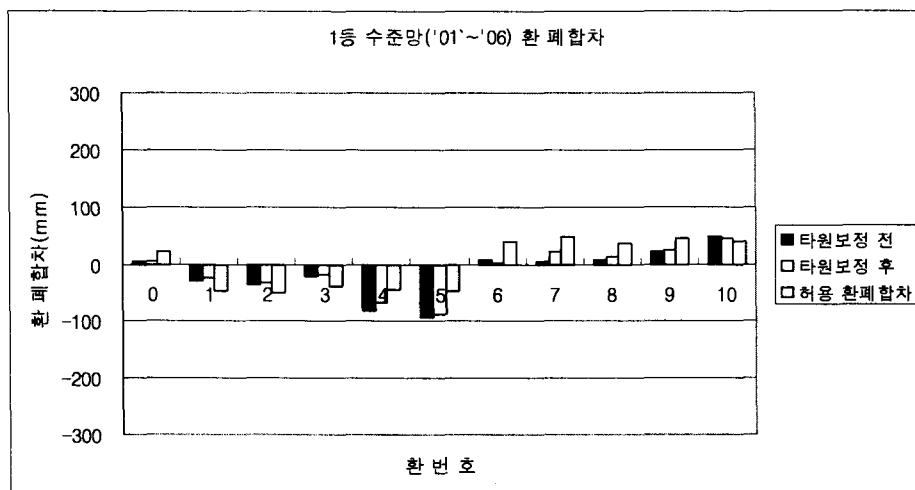


그림 1. 1등 수준망('01~'06) 환 폐합차

2.3 수준망 조정

2.3.1 과대오차검정

1등 수준측량('01~'06) 노선 왕복차 평균값에 타원보정하여 수준망 조정 입력자료를 작성하고, 수준망 조정 프로그램(KORVD2006)을 실행하여 과대오차를 검정하고 정확도를 계산하였다. 이때에 고정점은 1점(수준원점)이고, 1등 수준노선 중 분할된 노선이 있어 관측 노선 수는 47, 미지점(교점) 수는 36점으로 자유도는 11이다.

과대오차의 검정은 1점 고정 망조정에서 수행하고, Global Test가 기각될 경우에 Local Test를 실시하였다. Global Test 결과를 보면 검정통계량(T)가 1.43으로 유의수준 $\alpha_0=0.05$ 일 때의 검정임계값($\chi^2_{(f, 1-\alpha_0)}$) 31.17보다 작으므로 귀무가설 H_0 를 만족한다. 즉, 1등 수준측량('01~'06)으로 구성된 수준망은 과대오차를 포함하고 있지 않을 확률이 95%이다. 따라서 Local Test가 필요 없었다.

한편 수준 망 조정의 과대오차검정에서 사전기준분산 표준오차(σ_0)를 $5mm/\sqrt{km}$ 로 가정하였는데, 수준망 조정의 결과 사후기준분산 표준오차($\hat{\sigma}_0$) $1.8mm/\sqrt{km}$ 로 가정한 값보다 2.5배 적다. 사전기준분산 표준오차(σ_0)를 $2mm/\sqrt{km}$ 로 가정하더라도 Global Test 검정통계량(T)는 $13.58(=22/1.82 \times 11)$ 로 검정임계값($\chi^2_{(f, 1-\alpha_0)}$) 31.17보다 작았다.

2.3.2 수준망 정확도

수준망 조정 정확도 1등 수준망의 망조정 목적 중 하나는 과대오차가 없다고 선별된 관측값만으로 수준망 조정하여 우리나라 1등 수준망의 망조정 정확도를 추정하는데 있다. 1등 수준망 조정(1점 고정)에서 과대오차가 포함되었다고 추정되는 1등 수준측량('01~'06) 관측값이 없었으므로, 전체 1등 수준측량('00~'05)자료 중 개방노선인 1노선과 38노선만을 제외한 수준측량 관측값이 1등 수준망의 정확도를 추정하기 위한 1등 수준망 조정(수준원점 1점 고정)에 이용되었다. 1등 수준측량('01~'06) 조정결과로 계산된 1등 수준망(2006)의 정확도는 사후기준분산 표준오차($\hat{\sigma}_0$) $1.8mm/\sqrt{km}$, 노선 높이차 표준오차 1.57mm, 교점 표고 표준오차 20.5mm이다.

3. 결 론

국토지리정보원에서 2001년 ~ 2006년까지 재관측된 1등 수준측량자료의 오차분석 및 망조정 결과는 다음과 같다.

1등 수준망 관측자료 중 일부 노선은 허용왕복차를 초과하였으며, 3개환이 허용환폐합차를 초과하지만, 수준망 조정결과 기준표준오차는 $1.8mm/\sqrt{km}$ 년 제1차 1등 수준망 조정결과보다 2배 이상 향상되는 결과를 보였다.

참고문헌

- 건설교통부 국립지리원(1987), "정밀수준망의 조정에 관한 연구"
- 건설교통부 국립지리원(1988), "2등수준망의 조정에 관한 연구"
- Vignal J. (1939), Evaluation de la précision d'une méthode de nivellement, Bull. géod, No. 49, pp.1-159.
- Zilkoski D. B., Richards J. H. & Young, G. M (1992) Result of the General Adjustment of the North American Vertical Datum of 1988, Surveying and Land Information Systems, American Congress on Surveying and Mapping, Vol. 52, No. 3, pp. 133-149.