

우리나라 2等水準網의 調整 Adjustment of the Korean Secondary Level Net

李 石 贊* 曹 圭 田**

Lee Suck-Chan Cho Kyu-Jon

李 榮 鎮*** 李 昌 京****

Lee Young-Jin Lee Chang-Kyung

要 旨

본 연구는 지난 21년간 ('67년~'87년)의 南韓全域에 대한 2等 水準測量 外業資料를 정리하여 최소제곱법의 원리에 의해 同時調整하는데 목적이 있다. 이를 위해 기본데이터의 면밀한 분석과 재편집이 실시되었으며, 1987년 시행된 정밀수준망의 조정결과에 근거하여 2等網의 環別 調整이 실시되었다. 조정결과, 전국대표값으로서 平均偶然誤差 $\eta=1.99\text{mm}/\sqrt{\text{km}}$, 平均定誤差 $\xi=2.09\text{mm}/\sqrt{\text{km}}$, 事後基準標準偏差 $\hat{\sigma}_0=9.12\text{mm}/\sqrt{\text{km}}$ 를 얻었으며 이는 2등 수준측량으로서 만족할 만한 결과였다.

ABSTRACT

The main objective of the study is to execute the simultaneous adjustment of the secondary level net on the basis of the 1st order level net adjustment carried in 1987. Moreover, the basic raw field data obtained during last 21-years('67~'87) is to be analyzed, corrected and edited in order to carry out a reasonable adjustment of the 2nd order level net.

As the result of the study, we obtained mean random error $\eta=1.99\text{mm}/\sqrt{\text{km}}$, mean systematic error $\xi=2.09\text{mm}/\sqrt{\text{km}}$, square root of the posterior reference variance $\hat{\sigma}_0=9.12\text{mm}/\sqrt{\text{km}}$ and concluded that the accuracy obtained is good enough for the category of precision levelling.

1. 序 論

水準網을 형성하는 각 水準點의 標高는 각종 지도제작, 토목공사 및 산업 전분야에 이용되며, 精密水準測量에 의해 정해진 경우, 지각변위, 평균 해수면 변동 및 기타 지구물리학적 연구에 광범위하게 이용되고 있어 그 파급효과와 중요성이 크게 인식되고 있다. ^{4,5)} 따라서 세계 각국은 제나라 형편에 맞는 수준망을 구성하여 이의 유지관리 및 반복측정에 힘쓰고 있다. 우리나라의 경우 1910년대에 구성된 수준망이 6.25사변등으로 그 기능을 완전히 상실한 바 있어, 현재의 수준망은 '60~'80년에 걸

쳐 재정비된 것이며 '87년부터 이의 반복측량이 계획 실시되고 있다. ¹⁶⁾

일반적으로 수준측량의 외업과 망조정은 삼각망이나 삼차원 측지망보다 간단하나 수준측량은 삼각측량보다 중력 및 빛굴절의 영향을 크게 받아 이로인한 誤差(정오차 또는 우연오차)가 망에 축적되며, 삼각측량에서는 기하학적 조건에 따라 작업 과정중에 오차를 검색할 수 있으나, 수준측량에는 往復差와 環閉合差에 의해서만 검색이 가능하다. 따라서 작은 착오라도 이를 찾아 바로 잡는 데 소요되는 시간과 비용이 다른 측량에 비해 크다. 망의 보존관리 면에서도 대개 삼각점은 산정에 있으나, 수준점은 도로변에 매립되어 인위적인 훼손 및 변동이 잦다. 한편 지각변위를 감지하는 중요한

* 漢陽大學校 工科大學 教授
** 京畿大學校 工科大學 助教授
*** 漢陽大學校 大學院 博士課程
**** 漢陽大學校 大學院 博士課程

수단중의 하나가 수준점의 계속적인 반복측정이다. 현재까지 이분야의 국내연구가 미진하나, 앞으로 큰 진전이 기대 된다.^{2,3)}

본 연구의 목적은 1987년 기확정된 1등 수준망의 조정결과를 근거로하여 2등수준망을 조정하여 2등 수준점들의 最確標高를 구하고 正確度를 분석평가함으로써 1,2등 수준측량의 신뢰성을 높이고 기술혁신과 효율적인 시행방법을 찾는 데 그 일차적인 목적이 있다. 이를 위해 지난 20여년간의 각종 기초자료가 분석, 검토되었으며, 일차적으로 검토가 완료된 자료는 전산처리를 위한 재편집이 이루어졌다. 재편집된 기초자료들은 각 노선별 왕복차 분석에 사용되었으며, 계속해서 과대오차 검출을 위한 예비조정이 시행되었다. 이와같은 기초자료의 취합선택과정을 거쳐 본 조정계산이 시행되었으며 최종적으로 망조정결과에 대한 각종 통계 분석과 오차의 재분배를 통하여 2등 수준점의 최확표고를 구하였다.

2. 기초 데이터의 分析 및 再編輯

본 연구에 사용된 우리나라 2등 수준측량자료는 전설부 국립지리원에서 '67~'87년에 걸쳐 남한전역(9환 및 11환 일부 제외)에 실시하였던 수준측량으로부터 작성된 것이다. 우리나라의 수준망은 1등 38개 및 2등 350개 노선으로, 총 16개환으로 구성되어 있으며, 2등 수준점의 평균간격은 약 2km이다. “測量成果審査 基準案 및 同解設(4. 水準測量)”에 의하면 2등 수준측량은 1등 수준측량과 사용레벨, 최소임음단위, 타원보정 및 허용왕복차 등에서 구별되며, 수준측량의 成果品으로는 관측수부, 점의 조서, 수준차 계산부, 수준측량 계산부 등이 있다.¹³⁾ 재편집시의 기초자료는 “관측수부”로부터 작성된 “수준측량 계산부”를 근간으로 하였으나, 그간 복구 및 이설점이 많아, 관측수부나 계산부의 복잡함은 물론이고, 몇몇의 오기, 착오등으로 인하여 어려운 점이 많았다. 따라서 최대한의 신뢰성을 부여하기 위하여 이들 자료의 면밀한 분석과 검토가 필요하였다.

다음은 이들 자료의 재편집과정에서 적용한 원칙들이다.

동일 노선에 대한 수준측량이 두번 이상 실시된 경우, 1987년 1등 수준망 조정결과 최신의 자료에서 신뢰도가 높았던 사실에 유의하여, 최근의 자료 하나만을 택하고 이외의 자료는 보조자료로만 활용하였다.^{14,17)} 또한 임의 노선에 대한 측량이 완결된 이후 수준점의 이설 또는 복구측량이 부분적으로 실시된 경우에는 구 성과와 신 성과가 겹치는 부분만 신 성과로 대처하여 현존하는 수준점의 표고가 구해질 수 있도록 하였다. 특히 여러노선이 연결되는 교점이 이동된 경우에는 교점에 인접하고 이동되지 않은 임의의 점을 신 교점으로 택하여 구간 수준차를 재편성하였고, 이런 점을 찾을 수 없거나, 1등 연결점이 이동된 경우는 그 이동량만큼을 보정하였다. 또한 효율적인 망조정을 위하여 한 노선의 중간에 위치한 임의 수준점이 다른 노선과 연결될 때에는 그 노선은 그 수준점을 임시교점으로하여 분할하였다. <표 1>은 채택된 데이터의 기본사항에 대한 환별 집계이며, <그림 1>은 그 연도별 작업량이다.

표 1. 2등 수준망 환별 집계(채택된 데이터)

구분 환	총노선 거리 (km)	노선수	수준 점수	구간수	비 고
1	735.710	26	330	345	1노선 누락
2	1049.770	37	487	507	
3	507.340	12	223	232	
4	659.492	20	284	295	
5	770.530	26	368	382	
6	287.816	13	136	143	
7	858.357	34	365	380	
8	462.870	20	212	223	
9	—	—	—	—	
10	505.816	24	236	250	13-36노선측량 미 실시
11	163.542	12	73	74	
12	488.932	30	222	232	
13	380.330	14	158	166	
14	585.550	23	270	275	
15	482.561	11	232	228	
16	314.976	4	152	156	
계	8309.014	306	3748	3898	

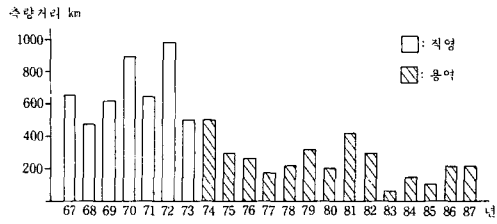


그림 1. 연도별 작업량(채택된 데이터)

3. 豫備計算 및 分析

재편집된 데이터는 PRECOM88 프로그램에 의해 노선별로 구간의 시점 및 종점, 구간간격 및 고저차, 작업년도등을 읽어 왕복고저차의 평균값, 왕복차, 노선 왕복차, 왕복차의 표준화값, 노선간격, 왕복차의 부호별 개수, 왕복차의 표준오차, 노선 고저차 및 허용왕복차 등을 계산하였고, 각 환별로 <표2>와 같이 종합

표가 작성되었다. 구간별, 노선별 왕복차의 예비분석 결과를 보면 몇개의 구간에서 허용왕복차를 초과하고 있으나, 그 양이 미소하여 전체 망조정에는 큰 영향을 주지 못하였다. 왕복차의 표준오차에 대해서는 2등 수준측량이 21년간이라는 긴 기간에 걸쳐 진행되어 왔고 각 환마다 부분적으로 실시되었기 때문에 연도별 추이가 환별추이보다 주목된다. <그림 2>는 왕복

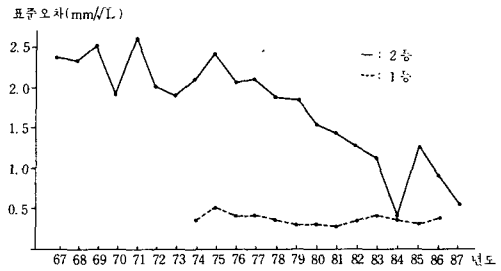


그림 2. 왕복차의 표준오차의 연도별 평균

표 2. 환별 예비계산 종합표(예)

SUMMARISED RESULTS OF PRELIMINARY COMPUTATION

*** CIRCUIT NO. 5 ***

YEAR	LINE	F R O M	T O	DISTANCE	INTERVAL	ST.ERR	HEIGHT DIFF
1971	1	00-00-16-05	00-00-00-08	40.545	20	3.54	10.0325
1971	2	00-00-16-05	05-06-00-00	25.922	14	3.46	189.0210
1971	3	05-06-00-00	05-05-00-00	26.359	14	3.25	-81.4490
1971	4	00-00-13-13	05-05-00-00	32.148	16	3.40	59.5675
1970	5	00-00-13-25	05-05-00-00	48.562	23	1.94	25.5640
1970	6	05-05-00-00	05-04-00-00	30.953	16	1.33	50.0925
1970	7	05-04-00-00	05-03-00-00	22.596	12	.90	-147.3310
1970	8	05-01-00-00	00-00-13-14	22.599	11	2.26	-8.0615
1970	9	05-03-00-00	05-01-00-00	16.556	8	1.20	27.2840
1971	10	05-03-00-00	05-02-00-00	27.157	15	2.34	-14.8725
1970	11	05-01-00-00	05-02-00-00	28.066	14	2.31	-42.1985
1970	12	05-02-00-00	00-00-14-08	51.586	16	1.70	68.7710
1971	13	05-10-00-00	05-03-00-00	22.276	12	3.36	-35.0620
1971	14	05-06-00-00	05-07-00-00	11.152	6	2.65	-39.5445
1971	15	05-07-00-00	05-04-00-00	49.996	25	2.59	8.1785
1971	16	05-07-00-00	05-08-00-00	16.732	9	2.46	-81.7725
1971	17	05-08-00-00	00-00-16-15	13.730	10	2.42	41.0390
1971	18	05-08-00-00	05-09-00-00	24.590	11	2.38	108.9755
1983	19	00-00-19-20	05-09-00-00	26.436	10	1.32	98.3280
1971	20	05-10-00-00	05-09-00-00	38.173	19	3.69	131.2920
1971	21	05-11-00-00	05-10-00-00	22.996	12	2.65	-3.5730
1971	22	05-11-00-00	00-00-14-15	63.644	32	2.35	-33.2330
1971	23	05-12-00-00	05-11-00-00	4.180	2	1.93	7.0885
1971	24	05-12-00-00	00-00-14-16	32.678	17	2.16	5.0520
1971	25	00-00-09-10	05-12-00-00	28.655	14	3.32	-59.7100
1982	26	05-12-00-00	00-00-19-11	57.163	24	1.22	48.9385

TOTAL NUMBER OF LEVEL LINES	26
TOTAL NUMBER OF INTERVALS FOR ALL LEVEL LINES	382
TOTAL DISTANCE OF ALL LEVEL LINES	770.530 KM
STANDARD ERROR AGAINST TOTAL OF 382 INTERVALS	2.548 MM
STANDARD ERROR AGAINST TOTAL OF 26 LEVEL LINES	2.539 MM

차의 표준오차를 연도별로 그 평균을 구하여 도시한 것으로 최근년으로 다가올수록 완만한 감소추세를 보이고 있다. 이는 장비, 기술의 향상이 이루어지고 있음을 의미하며 특히 1982년의 작업규정의 강화에서 효과가 있었다고도 볼 수 있다.¹²⁾

각 노선구간의 왕복차분포특성은 無作為性檢定, 正規分布檢定, 平均檢定등을 통해 알 수 있으며, 각각에 대해 여러가지의 방법이 있으나 본 연구에서는 각 방법에 하나씩, 즉 유의수준 5%의 경향검정(Trend-Test)방법에 의한 무작위성 검정, 모멘트비 검정방법에 의한 정규분포 검정, t-검정방법에 의한 평균검정들을 실시하였다. 무작위성 검정에서 歸無假說(H₀; 왕복차는 임의추출되었다.)이 기각되는 노선의 특징은 왕복차 부호의 배열순서가 (+) (-) 교대로 나타나거나, 표준화한 왕복차의 절대값이 큰 기록을 보이는데 있으나, 본 연구의 기초데이터의 노선구간수가 대부분 20이하

여서 그 분포에는 한계가 있었다.

정규분포 검정에서 빈도곡선은 $\beta_1 < 0$ 이면 (-)쪽으로 긴 꼬리를 그리고 $\beta_1 > 0$ 이면 (+)쪽으로 긴 꼬리를 그리며 $\gamma_2 > 0$ 이면 뾰족한 머리와 양편으로 긴 꼬리 모양을, $\gamma_2 < 0$ 이면 머리 부분이 두툽고 꼬리가 짧은 모양으로 나타난다.⁹⁾ 본 연구에 쓰인 데이터는 歪度는 거의 보이지 않으나(1개 노선만 기각됨) 陽의 尖度를 보이는 노선이 몇개 있다는 점이 특이 하였다.

평균에 대한 검정에서 허용왕복차를 초과하는 노선은 귀무가설(H₀: 왕복차의 평균은 0이다) 역시 기각되고 있다. 즉 평균이 0에서 편위되었다는 것은 왕복차에 어떤 정오차가 내포되어 있음을 암시한다. (표 3)

4. 水準網의 調整

통계학적인 의미에서 조정이란 측정값의 표

표 3. 왕복차 검정 결과(예)

SECONDARY LEVEL NET CIRCUIT NO. -- 05

LINE	YEAR	DIST	INTER	VA	Ur	SKEW	KURT	t-STAT.
05-01	1971	40.545	20	6.877	-2.265*	-.305	-.949	1.093
05-02	1971	25.922	14	6.854	-1.631	.755	-.249	-.500
05-03	1971	26.359	14	6.393	-2.010	-.295	-1.019	.695
05-04	1971	32.148	16	6.541	-2.070	-.529	-1.137	1.104
05-05	1970	48.562	23	3.763	-3.029*	-.095	-.651	1.191
05-06	1970	30.958	16	3.316	-1.383	-.666	.083	1.817
05-07	1970	22.596	12	1.791	-1.147	.150	-.981	.135
05-08	1970	22.599	11	4.006	-2.318	.575	-.121	.732
05-09	1970	16.556	8	2.138	-1.277	-.833	-.022	-1.348
05-10	1971	27.157	15	4.667	-.800	.055	-.912	.302
05-11	1970	28.066	14	3.865	-2.025	.738	.256	.999
05-12	1970	31.586	16	3.323	-1.584	-.823	.082	-.795
05-13	1971	22.276	12	7.097	-.488	.545	-.607	-.305
05-14	1971	11.152	6	4.995	-1.062	.600	-.722	.789
05-15	1971	49.996	25	5.022	-1.471	-.583	-.101	1.261
05-16	1971	16.732	9	4.923	-.742	-.453	-1.192	.105
05-17	1971	18.700	10	3.572	-.630	-.599	-.489	-2.769*
05-18	1971	24.690	11	4.547	-1.446	-.174	-.812	.999
05-19	1983	26.436	10	2.587	-.355	-1.643	1.925	-.662
05-20	1971	38.178	19	7.058	-3.234	.483	-1.136	-1.784
05-21	1971	22.996	12	5.289	-1.911	.599	-.710	.120
05-22	1971	63.644	32	4.062	-1.430	-.476	.240	.855
05-24	1971	32.678	17	5.271	-2.474	-.002	-.939	1.268
05-25	1971	28.655	14	5.898	-2.193	-.328	-1.050	.810
05-26	1982	57.163	24	2.420	-.722	-.041	-.471	-.495

본으로 부터 추계학적 변수들(stochastic variables)의 추정값과 변수들의 분포모수(distribution parameter)를 유도해 내는 것이다. 여러가지 방법중에서 최소제곱법(least square method)은 보편적으로 사용되고 있는 방법이며 근래 컴퓨터의 보급과 행렬의 의미 및 통계 개념과의 접목으로 강력한 조정수단이 되고 있다.”

특히 컴퓨터에 의해 방정식의 구성이 간편한 관측방정식에 의한 조정법(adjustment by observation equations)이 널리 보급되어 있으며, 이 방법은 조정결과의 분석이 용이한 특징이 있다.

오차조정에 있어서 측정값과 오차, 그리고 최확값과의 관계는 다음과 같은 선형 방정식으로 표현된다.

$$AX=L+V(W) \quad (1)$$

- 단, A : X에 대한 계수행렬
- X : 미지량 벡터
- L : 측정량 벡터
- V : 잔차벡터

이때 W는 중량행렬이며 보통 각 측정값이 서로 독립된 것으로 가정하고 수준망의 경우에는 수준노선의 길이 S에 반비례하는 것으로 가정한다. 최소제곱법의 원리에 따라 미지량 X의 최확값 \hat{X} 는

$$\hat{X}=(A^TWA)^{-1} A^TWL \quad (2)$$

$$V=A\hat{X}-L \quad (3)$$

$$\hat{L}=A\hat{X}=L+V \quad (4)$$

이상의 각 값에 대한 분산은 오차전파법칙에 따라 다음과 같이 중량계수행렬(cofactor matrix)이 구해진다.

$$Q_{\hat{x}}=(A^TWA)^{-1} \quad (5)$$

$$Q_{\hat{L}}=A(A^TWA)^{-1}A^T=AQ_{\hat{x}}A^T \quad (6)$$

$$Q_v=Q-Q_{\hat{L}} \quad (7)$$

여기서 Q는 W^{-1} 로서 사전분산값을 나타낸다. (식2)~(식7)에 대응하는 분산-공분산행렬은 각각의 중량계수행렬에 기준분산값 σ_0^2 이 곱

해져야 한다. 기준분산값이 알려져 있지 않을 경우에는 아래의 추정값이 조정결과로 부터 구해질 수 있으므로 대응할 수 있다.”

$$\hat{\sigma}_0^2=\frac{V^T WV}{n-u} \quad (8)$$

본 연구에서의 조정은 관측방정식을 사용하여 환별로 1점고정인 예비조정계산과 환내에 모든 1등점을 고정하는 본조정계산으로 나뉘어 수행되었다.

(1) 과대오차의 검출

1) Global Test

측정값들이 서로 독립이며 정규분포를 이룬다고 가정할 때 Global Test는 사후분산(posteriori variance) $\hat{\sigma}_0^2$ 와 사전분산(priori variance) σ_0^2 를 비교하기 위한 통계량

$$T=\frac{V^T WV}{\sigma_0^2}=\frac{f\hat{\sigma}_0^2}{\sigma_0^2}\sim\chi^2(f) \quad (9)$$

을 사용한다.¹⁵⁾ 윗 (식9)에 의한 귀무가설 H_0 가 기각될 때에는 측정값에 착오등이 내포되어 있는 것으로 보고 과대오차의 검출을 하게 된다.

2) Local Test

조정계산에서 구한 $\hat{\sigma}_0^2$ 은 항상 부정확한 모델로부터 구해지므로 다음 관계가 성립한다.

$$E(\hat{\sigma}_0^2)\geq\sigma_0^2 \quad (10)$$

이때 내포된 오차 Δ 를 직접 구할 수 없기 때문에 검정기법을 사용하게 된다. 즉 Δ 가 구해질 수 있다면 자유도 $f(n-r)$ 이고 비심도모수(non-centrality parameter) λ 인 χ^2 분포가 된다.

$$V^T WV/\sigma_0^2\sim\chi^2(f,\lambda) \quad (11)$$

이때 λ 는 Δ , W, Q_v , σ_0^2 의 함수이므로 다차원의 경우에는 해석이 어려우므로 관용적인 대립가설인 과대오차만이 내포되어 있다고 가정하여 1차원으로 단순화시킬 수 있다.⁶⁾ (식 11)에 $\alpha=\alpha_0$ 로 고정하고 $\beta=\beta_0$ 인 Baarda 검정방법에 있어서는 잔차가 정규분포를 이루며 σ_0^2 를 알고 있다고 가정되므로 아래의 식이 성립한다.

$$U_i = V_i / \sigma_{vi} = V_i / (\sigma_0 \sqrt{Q_{vi}}) \sim N(0, 1) \quad (12)$$

이때 U_{α_0} 는 임계값이며 $\alpha_0 = 0.001$ 일 때 3.29의 값을 갖는다. (식 12)는 (식9)가 기각될 때만 검정되어야 한다.

(2) 예비 조정

예비조정은 각 환별로 1점고정인 상태에서 1등노선과 2등노선을 조합하여 처리되었다. 또한 각 노선의 중량은 1/거리로 하고, 사전분산값의 평방근인 σ_0 은 2등 수준망의 경우 허용 왕복차가 1등의 2배이므로, 1987년 1등망의 분석결과 $\sigma_0 = 5\text{mm}/\sqrt{\text{km}}$ 로 나타났던 사실에 근거하여 $10\text{mm}/\sqrt{\text{km}}$ 로 가정하였다.¹¹⁾

과대오차의 검출에는 <그림 3>에 설명된 검출과정을 통하여 Baarda방법, Pope방법, Crane방법이 사용되었다. 그러나 전국의 14개

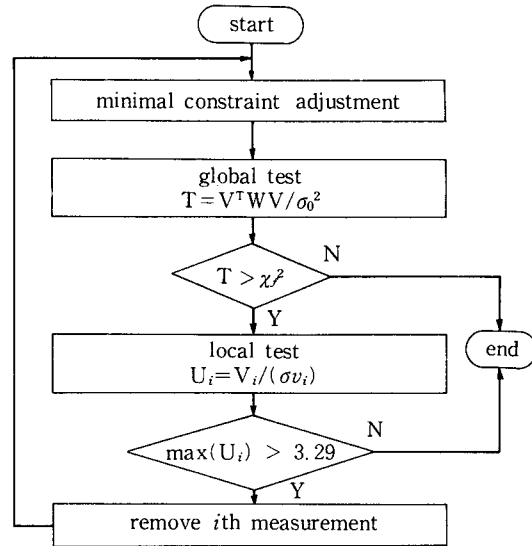


그림 3. 과대오차 검출과정

표 4. 환별 과대오차 검출 노선 및 통계값

환 단계	2환	3환	6환	10환	13환
1 단계	◎ ** Crit=47.87 Valu=—	◎ Crit=28.45 Valu=128.87	◎ Crit=25.30 Valu=41.59	◎ Crit=37.37 Valu=42.37	◎ Crit=24.71 Valu=31.12
	㉠ ** $U_6 = 50.610$ (unpassed)	㉠ $U_{10} = 8.359$ (Unpassed)	㉠ $U_7 = 6.744$ (Unpassed)	㉠ $U_1 = 5.857$ (Unpassed)	㉠ * $U_{12} = U_{13-1} = 4.817$ (Unpassed)
2 단계	◎ Crit=46.33 Valu=—	◎ Crit=26.69 Valu=59.00	◎ Crit=23.46 Valu=0.89	◎ Crit=35.74 Valu=8.06	◎ Crit=22.87 Valu=7.91
	㉠ $U_{31} = 37.015$ (unpassed)	㉠ $U_1 = 5.997$ (Unpassed)	㉠ $U_8 = 0.673$ (passed)	㉠ $U_{12} = 1.551$ (passed)	㉠ $U_9 = 2.220$ (passed)
3 단계	◎ Crit=44.78 Valu=11.31	◎ Crit=24.89 Valu=23.04			
	㉠ $U_{33} = 2.287$ (passed)	㉠ $U_{12} = 3.385$ (passed)			
과대 오차 판정	6노선, 31노선	10노선, 1노선	7노선	1노선	13-1노선

* 13-1 노선을 제외함 ** ◎ global test, ㉠ local test

표 5. 환별 $\hat{\sigma}_0$ 및 기타 통계량

환	구분	$\hat{\sigma}_0(mm/\sqrt{km})$	RMSE of H.D(mm)	RMSE of H(mm)	D.F
1		11.45	5.36	82.06	15
2		7.72(137.02) *	3.77(66.50)	56.43(990.76)	19(21)
3		16.97(33.90)	11.33(23.45)	105.11(214.31)	8(10)
4		10.15	6.22	69.72	12
5		7.44	4.38	48.70	15
6		3.57(22.80)	1.90(12.05)	21.47(133.66)	7(8)
7		2.74	1.44	17.95	16
8+11**		10.23	4.69	66.13	13
10		7.59(16.81)	4.01(8.85)	44.36(97.70)	14(15)
12		7.16	3.69	55.41	8
13		10.63(19.72)	6.54(11.15)	62.92(107.26)	7(8)
14		9.29	6.56	73.17	5
15		11.06	6.56	97.36	6
16		6.53	15.88	26.98	4

* ()안에 값은 과대오차 검출하기 전의 값임.

** 11환은 자유도가 1이되어 8환과 연계시켜 조정한 값임.

환별로 균일한 조건의 검정이 필요하였으므로 Baarda방법을 주로하고 다른 두 방법은 판단의 근거로만 활용하였다.⁸⁾ 이때 사용된 유의수준은 local test에서 $\alpha_0=0.001$, global test에서 $\alpha=0.05$ 이다.

〈표 4〉는 검출결과를 요약한 것으로 총 5개 환 7개 노선에서 과대오차를 내포하고 있는 것으로 판정되었다. 이들 7개 노선은 본 조정에서 제외되었다.

과대오차의 검출이 완료된 상태의 1점고정망으로 부터 각 환별 데이터에 대한 평가가 이루어 질 수 있다. 즉, 각 2등망에 대해 1등망 1개 환을 포함시켜 조정계산하였으며, 그 결과는 〈표 5〉와 같이 $\hat{\sigma}_0=2.74\sim 16.97mm/\sqrt{km}$ 의 분포를 보이고 있다.

(3) 본조정

최종 성과계산을 위한 조정에서는 환별로 1등수준점의 표고를 모두 고정점으로 하는 방법이 채택되었다. 이때 1등수준점의 표고는 '87년에 수행된 "정밀수준망의 조정에 관한 연구"의 조정표고에 근거하였다.

이 과정에서 가장 큰 문제점은 1등점과 2등

노선과의 연결측량시 작업년도의 차이에 따라 1등점이 이설된 경우이다. 이설점에 대한 보완을 실시하지 않은 경우와는 차이가 있었으므로 이미 데이터의 기초분석에서 설명된 바와 같이 보완 하였다. 동시에 2등교점에 대해서도 같은 문제점이 노출 되었으며 새로운 교점을 설정할 때에도 이설점에 대한 사항을 보완하였다. 그러므로 최종 망조정에 사용된 데이터는 이설점 여부가 확인하고 보완된 것으로서 망조정은 다점고정(1등점고정)의 형태가 된다. 이러한 방법은 자유망의 경우에서 조정성도가 2가지로 관리되어야 하는 문제점이 제거되는 장점이 있는 반면에 오차가 누적되는 단점이 있다.

앞에서의 보완과정을 통해 조정계산된 결과, $\hat{\sigma}_0$ 는 $3.81\sim 21.47mm/\sqrt{km}$ 로 나타나고 있다. 조정표고의 계산결과는 다음절의 조정잔차의 재분배를 위해 POSCOM88 프로그램의 데이터 파일에 입력되었다.

(4) 조정잔차의 재분배

다점고정조정인 경우 미지점에 대한 조정표고는 각 노선의 교점이므로 이로부터 각 수준점의 표고를 구해야 한다. 이를 조정잔차의 재

분배 (back distribution of residuals from the adjustment)라 한다.⁴⁾

이 과정에서 조정에 따른 잔차는 수준점간의 거리에 비례하도록 분배하였다.

5. 2等水準網의 正確度

2등 수준망을 평가하는 방법은 1등망의 경우와 같은 방법을 사용할 수 있다. 구간왕복차의 표준오차를 계산하는 식은 Δ_i 를 구간왕복차, n_r 을 구간수, r_i 을 구간거리라고 할 때,

$$u_r^2 = (1/(4n_r)) \sum (\Delta_i^2/r_i) \quad (13)$$

이다.^{3,10,11)}

본 연구에서는 각 환별로 계산된 결과이므로 전국망을 대표할 수 있는 값이 제시되어야 한다. 즉,

$$U_r^2 = \sum_i^n (n_{ri} U_{ri}^2) / \sum_i^n (r_i) \quad (14)$$

$$U_r = 2.130\text{mm}/\sqrt{\text{km}}$$

이 된다.

노선왕복차에 의한 총오차는 노선길이 L_i , 노선왕복차 S_i , 노선수 n_L 이라고 할 때

$$U_L^2 = \sum (S_i^2/L_i) / (4n_L) \quad (15)$$

이므로 <표 2>의 결과로 부터,

$$\tau_1^2 = U_L^2 = \sum_i^n (n_{Li} U_{Li}^2) / \sum (L_i) \quad (16)$$

$$\tau_1 = u_L = 2.883\text{mm}/\sqrt{\text{km}}$$

가 된다. 또한 $r_m = 2\text{km}$, $z = 30\text{km}$, $k = 2$ 를 채택하면

$$j^2 = (k/Z)r_m = 0.133 \quad (17)$$

이므로 평균우연오차와 평균정오차를 구하면 각각 다음과 같다.

$$\eta = ((u_r^2 - j^2 u_L^2) / (1 - j^2))^{1/2} = 1.989\text{mm}/\sqrt{\text{km}} \quad (18)$$

$$\xi_1 = (\tau_1 - \eta^2)^{1/2} = 2.087\text{mm}/\sqrt{\text{km}} \quad (19)$$

환에 대해서는 2등수준망으로만 환을 구성하는데 한계가 있어 처리가 어려웠다. 또한 조정 결과에 대한 ω_0 은 1점고정인 경우와 다점고정인 경우의 2가지가 있으며 이는 다음 원리에 따라 구해질 수 있다. 즉, 각 환이 서로 독립되어 있다고 가정할 때 다음식이 성립하므로

$$\omega_0 = (\sum f_i \hat{\omega}_i^2) / (\sum f_i) \quad (20)$$

분산값에 대한 자유도 f_i 의 중량 평균 개념이 된다. 계산된 결과는 아래와 같다.

$$\hat{\omega}_0 (1\text{점고정}) = 9.116\text{mm}/\sqrt{\text{km}}$$

$$\hat{\omega}_0 (\text{다점고정}) = 12.051\text{mm}/\sqrt{\text{km}}$$

<표 6>은 이상의 결과를 요약한 것이다. <표 6>의 결과에서 보여주고 있는 바와 같이 2등망의 경우도 1등망의 경우와 유사한 판단이 가능하다. 노선왕복차 τ_1 이 $2.883\text{mm}/\sqrt{\text{km}}$ 인 반면에 $\hat{\omega}_0$ 가 $9 \sim 12\text{mm}/\sqrt{\text{km}}$ 인 것은 아직도 망내에 소거되지 않은 정오차가 내재되어 있음을 의미한다. 이는 앞으로 반복측량과 철저한 왕복측량을 통하여 향상될 수 있는 것으로 사료된다.

이밖에 1점고정인 2등망의 $\hat{\omega}_0$ 도 실질적으로 1등망을 2등과 동일한 정확도로 가정하고 계산되었으므로 약간 차이가 있을 수 있음을 밝혀둔다.

표 6. 우리나라 2등 수준망의 정확도

등 급	η	ξ_1	τ_1	τ_2	$\hat{\sigma}_{01}$ (1점고정)	$\hat{\sigma}_{02}$ (다점고정)
1등*	0.349	0.500	0.610	4.450	4.910	—
2등**	1.989	2.087	2.883	—	9.116	12.051
IAG (고정밀)	—	—	2~3	2~3	2~3	2~3
IAG (정밀)	—	—	3~9	3~9	3~9	3~9

* 1987년 1등수준망 조정결과

** 본 연구의 결과임

6. 結 論

(1) 觀測手簿 및 計算簿의 記載와 管理는 甚초이면서도 가장 중요한 측량기록이기 때문에 수준점의 표고와 같은 비중으로 처리됨이 바람직하다.

(2) 1등점과의 連結點이나 交點 또는 移設點의 측량에 대해서는 인접점까지의 연결측량이 수반되어야 하며 이설점을 비롯한 모든 수준점에 대해 埋設, 測定, 計算, 告示의 각 단계별 成果管理의 체계화가 필요하다.

(3) 網調整결과 전국대표값으로 平均偶然誤差 $1.99\text{mm}/\sqrt{\text{km}}$, 平均定誤差 $2.09\text{mm}/\sqrt{\text{km}}$,

事後基準標準編差 $9.12\text{mm}/\sqrt{\text{km}}$ 를 얻었으며, 이는 IAG규정에서 精密水準測量 한계와 유사함을 보여준다.

* 감사의 글 *

본 연구는 국립지리원의 1988년도 측지연구사업의 일환으로 수행된 “2等水準網의 調整에 관한 研究”의 일부로 본 연구를 도와주신 국립지리원에 감사드립니다.

참고문헌

1. Blachut, T. J., A. Chrzanowski, and J.H. Saastamoinen, Urban Surveying and Mapping, Springer-Verlag, 1979, Chap. 4.
2. Bomford, G., Geodesy, Oxford, 1980, Chap. 3.
3. Department of Commerce (U.S.A.), 1948, Manual of Leveling Computation and Adjustment, Special Publication of the NGS of the NOAA, No. 240, 1948.
4. Ebong, M.B., 1981, A Study and Analysis of Geodetic Leveling of Nigeria, Univ. of Newcastle Upon Tyne, Ph. D. theseis.
5. Kok, J.J., 1980, 1979 Adjustment of UELN and Its Analysis of Precision and Reliability, Proc. of 2nd NAVD Symposium, Ottawa, pp. 455-483.
6. Lucas, J.R., J. M. Bengston, and D.B. Zlkoski, Estimation of Variance Components in Leveling Using Iterated Almost Unbiased Estimation, Proc. of 3rd NAVD Symposium, Rockvill, 1985, pp. 375-387.
7. Mikhail, E.M., 1976, Observation and Least Squares, IEP, Chap. 5.
8. Pope, A.J., 1976, The Statistics of Residuals and the Detection of Outliers, Noaa Technical Report, NOS65, NGS,
9. Soong, T.T., 1981, Probabilistic Modeling and Analysis in Science and Engineering, Wiley, pp. 89-93.
10. 일본측량협회, 1981, 제2편 제4장.
11. 일본측량협회, 현대측량학(측지측량1), 1988, 제2편 제4장.
12. 건설연구소, 수준측량 작업규정, 1962.
13. 국립지리원, 측량성과 심사기준(안) 및 동해설(4. 수준측량), 1980.
14. 고영호, 1987, 정밀수준측량의 오차분석에 관한 연구, 한양대학교, 박사학위논문.
15. 이석찬·고영호·이영진 1987, 돌출오차의 검출과 측지망의 신뢰도, 대한토목학회논문집 7(1), pp. 1-9.
16. 이석찬, 1987, 정밀수준망의 조정에 관한 연구(우리나라 1등 수준망의 조정), 국립 지리원.
17. 이석찬·조규전·고영호·이영진, 1987, 우리나라 1등수준망의 조정계산, 한국측지학회지 5(2), pp. 12-23.