

## 가중측점망 조정법의 적용에 관한 연구

### An Investigation on Densification by Modified Weighted Station Approach

백은기\* · 이영진\*\*

Baick, Eun Kee · Lee, Young Jin

#### Abstract

The empirical method is used to integration adjustment for the coordinates revision of a national control point but the existing values are not to be changed or changed with small variation by suitable datum selection (for example, fixed points).

This paper treats the modified weighted station parameter adjustment by quasi-observations, and the method used only variance elements of existing coordinates which is substituted for all covariance elements.

The movement detection of unstable points and the junction adjustment of new networks are successfully executed by the method, in integration of new secondary networks to old-secondary-triangulation points which are in the absence of the original observations in Korea.

The investigation results reveal that the accuracy of old-secondary-triangulation points is  $\pm 1.6'' (\pm 0.08\text{m})$ , which results from the densification of test network and the analyses of old survey specifications, and is  $\pm 2.3''$  in fixing of old-secondary-triangulation points.

#### 요 지

실용성과를 갱신하기 위하여 새로운 측지망을 국가 기준점망에 결합하는 문제는 조정원점의 선택 방법에 따라 조정결과가 바뀌는 측지망의 독특한 특성때문에 경험적인 최선의 방법을 채용해 오고 있다.

이 논문에서는 기지점의 좌표를 가상의 측점량으로 고려하여 미지점으로 취급하는 가중측점망(Weighted Station Parameter Network) 방식을 적용하고자 하였으며, 기설 기준점의 공분산 행렬을 사용하는 대신에 대각선 요소만을 고려하는 개선된 방법을 제안하였다.

기설삼각망의 측정량이 미지인 국내의 측지망에서는 개선된 방법이 변동점 검출과 결합조정에 효과적으로 적용될 수 있음을 보여주고 있으며, 작업규정과 테스트망에 대한 분석을 통하여 기설 2등 삼각점의 정확도는  $\pm 1.6'' (\pm 0.08\text{m})$ 의 정확도를 갖는 것으로 평가되었다. 또한 정밀 2차 기준점망을 1, 2등 삼각점에 결합할 경우에  $\pm 2.3''$ 의 정확도를 확보할 수 있을 것으로 기대된다.

\* 정희원 · 서울시립대 공대 교수

\*\* 정희원 · 서울시립대 공대 강사

## 1. 서 론

측지망은 조정원점(datum)의 선택에 따라 거동이 다르게 되는 특징이 있기 때문에 조정결과가 변화하며, 망의 특성에 따라 기존의 성과를 유지하면서 결합조정하는 문제는 현재까지도 복잡한 문제점을 안고 있다.<sup>(6,9,17)</sup>

특히 정밀 1, 2차 기준점 측량 사업에 따라 1910 년대에 설정된 국가기준점망의 구성체제와 실용성과를 전면 갱신해야 될 우리나라의 상황에서는 시급히 해결되어야 할 과제중의 하나이다. 물론 전국 규모의 기준점망을 동시조정(simultaneous adjustment)<sup>(12,18)</sup>할 수 있다면 문제의 해결이 간단하겠지만 전산처리 규모면에서 거의 불가능에 가까운 실용상의 단점이 있기 때문에 상위등급의 망을 우선적으로 조정하고 순차적으로 여기에 결합해 나가는 결합조정법(densification or junction adjustment)이 보편화 되어 있다.

이 결합조정법으로는 조정원점의 특성에 따라 다음 여러가지의 형태가 적용될 수 있다. 첫째로는 상위 등급의 기준점에 고정시키는 고정망조정법(fixed adjustment)이 가장 일반적이며 조정결과가 독립적인 특징이 있다. 다음으로는 최소제약망조정법(minimum constraint adjustment)이 있으며 자유망에 의한 방법이나 1점 1방향 고정에 의한 방법, 또는 특수하게 2점 고정에 의한 방법<sup>(10)</sup>이 해당되며 이 방법의 가장 큰 특징은 고밀도 측지망(densification network)에 대하여 독립적인 통계분석이 가능하다는 점이다.

세째로는 근사해법으로서 기준점망의 고밀도망과 상호간에 존재하는 공통점에 대한 좌표차를 적합시키는 변환방법(transformation method)<sup>(11,15)</sup>이 있으며 상위의 망에 대한 정확도가 훨씬 높을 때 사용할 수 있으며 통계분석이 불가능한 단점이 있다.

네째로서 새로운 측정량이 추가될 때 마다 재조정을 실시하는 단계별 조정법(sequential on step-by-step adjustment)<sup>(14)</sup>은 동시조정법과 동일한 결과를 줄 수 있기 때문에 오차분석에서 장점을 갖는다.

또 다른 방법으로는 가중측점망 조정법(weighted station adjustment)이 있는데 이는 최신의 기법으

로서 기설 기준점망에 대한 정확도보다 더 높은 경우에도 적용할 수 있으며 가중측점의 변동여부를 검사할 수 있는 장점을 갖고 있는 것으로 보고되어 있다. 이영진 등(1989)<sup>(6,6)</sup>에서 제시된 제약망은  $\text{partical } X^T X = \min$ 의 조건이 추가되어 오차만을 최소화시키고 망의 형상의 제약이 미소한 단점을 보완시킬 수 있다.

이 논문에서는 가중측점망 조정법을 개선하여 국내의 측지망에 적용함으로써 실용성과의 산정방향을 제시하고 가중측점의 오차를 부여할 수 있도록 기설 삼각점의 정확도를 추정코자 하였다.

## 2. 가중측점망 조정법

가중측점에 대한 조건방정식은 기설 기준점의 좌표를 가상의 측정량으로 고려하여 구성할 수 있다. 즉, 기지의 공분산 행렬과 관측량을 사용하여 작성된 관측방정식은 각, 거리 등의 일반적인 관측방정식에 포함시킬 수 있다.

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

기지의 기준점의 좌표를  $l_x$ 라 하고 대응되는 공분산 행렬을  $C_{l_x}$ 라고 할때 결합조정후의 조정된 미지좌표를  $X$ 라 하면 다음과 같은 가중측점에 대한 관측방정식이 된다.

즉

$$X = l_x + V_x \quad (2)$$

이때 초기좌표로서  $X_0 = l_x$ 로 선택하면 측정량 (O-C)에 대응되는 선형화된 관측방정식,

$$X = 0 + V_x \quad (3)$$

가 성립되므로 일반적인 최소제곱해를 위한 정규방정식을 가중측점만을 분리시켜 행렬로 나타내면 아래와 같다.

$$A = \begin{bmatrix} A_c & A_b \\ I & 0 \end{bmatrix}, \quad X = \begin{bmatrix} X_c \\ X_b \end{bmatrix}, \quad L = \begin{bmatrix} L_1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (4)$$

이때 아래첨자  $c$ 는 기설망에 대응되며  $b$ 는 고밀도 망에 대한 것이고  $l$ 은 가중측점을 제외한 측정량의 상수항을 나타낸다. 또한 중량행렬은

$$P = \sigma_0^2 \begin{bmatrix} C_1^{-1} & 0 \\ 0 & C_{ix}^{-1} \end{bmatrix} \quad (5)$$

이며 기설측지망의 가중측점에 대한 공분산이 적용된다. 실제의 최소제곱조정에서는 기지좌표를 초기치로 가정하므로 가중측점에 대응되는 상수항이 0이지만 반복계산에서는 변화된 값이 부여된다.

조정의 결과인 잔차와 조정좌표에 대한 공분산 행렬은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$V = \begin{bmatrix} V_1 \\ V_x \end{bmatrix} = AX - L \quad (6)$$

$$C_x = (A^T P A)^{-1} \quad (7)$$

이때 분산계수(variance factor)는 기지이거나 1인 것으로 가정한다. 가중측정에 대한 조정좌표로 부터 좌표이동량은

$$\Delta X = \hat{X} - L_x \quad (8)$$

이며 잔차의 경우도  $A_{ix} = I$ 이므로 동일함을 알 수 있다. 이때의  $\Delta X$ 는 기대치가 0이므로 통계적으로 검정이 필요하며 이를 위한 공분산 행렬의 계산이 필요하다. 즉 잔차의 경우를 고려하면 오차전과 법칙으로 부터 다음 식이 된다.<sup>(3)</sup>

$$C_V = C_{\Delta x} = C_1 - AC_x A^T \quad (9)$$

최종적으로 가중측점에 대해서는 다음의 관계가 성립한다.

$$C_{Vx} = C_{\Delta x} = C_{ix} - C_x \quad (10)$$

다시 대각선 요소만을 고려하여 나타내면 다음과 같이 단순화시킬 수 있다.

$$\sigma_{Vx}^2 = \sigma_{\Delta x}^2 = \sigma_{ix}^2 - \sigma_{xc}^2 \quad (11)$$

첨자를 다시 정리하면,

$$\sigma_v^2 = \sigma_{\Delta}^2 = \sigma_x^2 - \hat{\sigma}_x^2 \quad (12)$$

식 (11)로 부터 Baarda의 과대오차 검정법<sup>(3)</sup>에 의해 변동여부를 판정할 수 있다. 여기서 우리나라 삼각점의 경우에는 1910년에 측정된 자료가 없고 좌표성파만이 존재하므로 기설망의 공분산 행렬을 적용하는데 문제가 있다.

그러므로 가중측점의 성과는 서로 독립적인 것으로 가정함으로써 다음의 수정된 가중측점 방정식(modified weighted station equation)을 사용할 수 있을 것이다. 즉

$$X_i = L_{xi} \quad (P_{xi} = \sigma_x^{-2}) \quad (13)$$

또한 변동점 검출을 위한 잔차에 대한 표준오차는 식 (12)를 활용할 수 있게 된다.

### 3. 2등 삼각점의 정확도

가중측점망 조정에서는 기설기준점 망에 대한 공분산 행렬을 알아야 하며 본 연구에 제시된 식 (12)와 식 (13)의 개선된 방법을 사용하더라도 2차 기준점망을 기설 2등 삼각망에 결합시키기 위해서는 2등 삼각점의 정확도를 알아야 한다.

그러므로 「조선총독부 토지조사 사업 보고서」<sup>(4)</sup>에 기술되어 있는 작업규정을 근거로 하고 일본 삼각망의 평가자료<sup>(7,8)</sup>를 참고하여 2등 삼각점에 대한 근사적인 평가를 시도하였다.

표 1에서는 우리나라 대삼각 보점(현재 2등 삼각점)과 일본의 2등 삼각점의 측량규정을 요약한 것이다.

실제로 일본의 경우에 삼각형 폐합차를 통계분석한 결과를 보면 2등점의 규정 5"보다 약 2.5배 작은  $\pm 2.1"$ 가 제시되고 있다. 따라서 오차전과식에 의해 1방향에 대한 오차는 다음과 같이 계산될 수 있으며, 이는 우리나라 2등 삼각측량의 정확도를 나타낸다.

$$\frac{7''/2.5}{\sqrt{6}} = \pm 1.1'' \quad (\text{측량정확도}) \quad (14)$$

또한 일본의 2등~4등 삼각망의 경우 조정에 의한 정확도는 기지점의 오차를 포함하므로 폐합차에 의해 계산된 것보다 약 1.5배 큰 수치를 보여주고 있

표 1. 2등 삼각점의 측량규정

구 분	대삼각 보점	2등 삼각점(일본)
평균변장	10 Km	8 Km
관측법	6대회	6대회
배각차	10"	10"
삼각형 폐합차	7"	5"

다는 사실을 고려하면 우리나라 2등 삼각점의 조정 정확도는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$1.1'' \times 1.5 = 1.6'' \quad (\text{조정 정확도}) \quad (15)$$

결과적으로 평균변장 10 km로 부터 우리나라 2등 삼각점은 위치오차  $\pm 1.1''$ 의 정확도로 측량 작업된 것이며 조정의 결과  $\pm 0.08$  m인  $\pm 1.6''$ 의 정확도를 갖는 것으로 기대된다.

이 결과는 현재 시행되고 있는 정밀 2차 기준점망이  $1.6''$ 의 정확도로서 기설 2등 삼각점과 동일한 정확도를 갖기 때문에 2차망을 2등 삼각점에 결합시킬 경우에는 약  $\pm 2.3''$ 의 정확도를 가질 수 있다고 보여지며 이는 일본의 3등 삼각점의 정확도와 동일한 값에 해당된다.

#### 4. 적용 및 분석

가중측점망 조정법을 실제로 적용하기 위하여 우리나라 정밀 2차 기준점망 2개년도의 측량분<sup>(2)</sup>을 각각의 테스트망으로 선정하였으며 그림 1과 그림 2는 이를 보여주고 있다. NET 1은 420점 규모이며 NET 2는 623점 규모의 망이다.

두 테스트망을 활용할 수 있도록 하기 위하여 먼저 기하학적인 망의 구조를 면밀하게 검토한 후 Baarda의 방법에 따라 과대오차의 검출이 수행되

으며, 이 과정에서 3개의 측점과 1개의 측정량이 소거되었다.

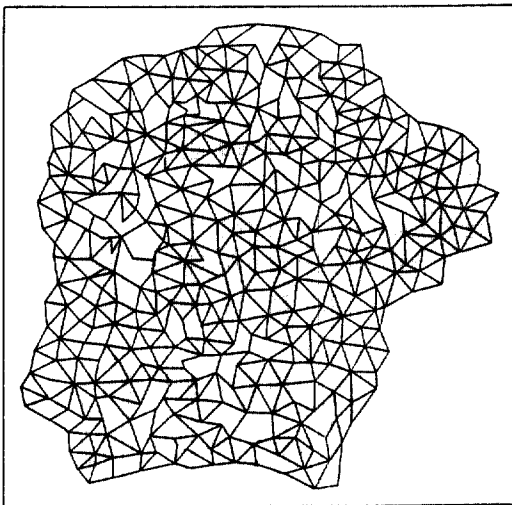
이하에서는 변동점 검출의 과정, 한계 변동량(movement criteria), 결합조정 기준 표준오차에 대하여 각각의 내용을 설명하고 있다.

#### 4.1 변동점 검출의 과정

변동점 검출을 위하여 사용된 자료로서는 테스트망 지역내에 존재하는 1, 2등 삼각점에 대한 국립지리원의 고시성과 및 성과표에 기재된 삼각점의 이력사항과 조선총독부의 1910년대의 성과표이다. 따라서 정밀 2차 기준점망을 1910년대의 기설 1, 2등 삼각점에 결합시키는 형태를 사용하였는데, 이 과정에는 수 많은 검토와 분석이 뒤따랐으며 성과와 삼각점간의 차이에 대한 추적작업이 병행되었다.

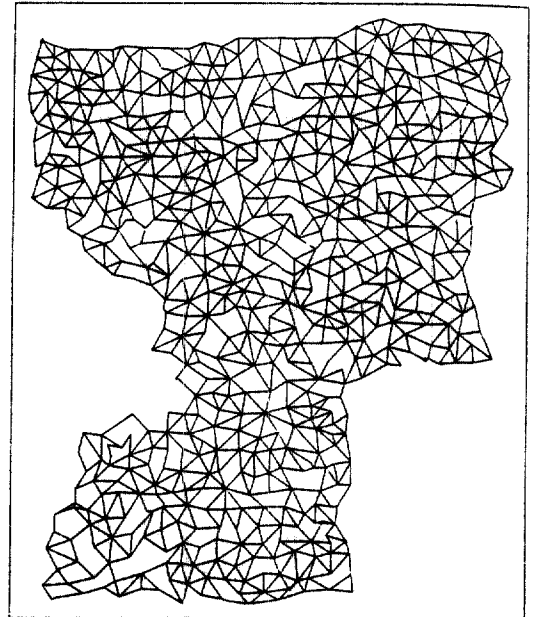
먼저 2차 기준점측량이 시행될 당시에 재설된 1, 2등 삼각점은 우선적으로 가중측점에서 제외시킨 다음에 1974~5년도에 정밀 1차 기준점측량을 시행할 당시의 재설점을 모두 배제시켜 미지점으로 가정하였다.

다음 단계에서는 1950년대~1970년대 초까지의 재설점을 성과표의 이력사항을 토대로 하여 배제한



Configuration of net

그림 1. 테스트망도(NET 1)



Configuration of net

그림 2. 테스트망도(NET 2)

표 2. 테스트 지역의 재설점 파악

구 분	NET 1	NET 2
총 삼각점수	420	623
1, 2등 삼각점수	18	50
재설점수(1차시)	3	21
재설점수(2차시)	4	10
재설점수(1차전)	2	4
재설점수(1차후)	2	0
불량점*	0	2
완전점수	7점	13점

후 1910년~1950년까지의 총독부 시대의 재설점을 추가로 제외하였다. 이밖에 정밀 1차 기준점측량이 실시된 이후부터 정밀 2차 기준점측량의 실시이전까지의 기간에 대한 재설점을 추적 조사하였으며 이때의 재설점도 제외시켰다(표 2).

이상의 복잡한 검토와 조사를 통하여 모든 재설점을 불완전점으로 모두 배제시킨 후에 남은 완전점(복구점 포함)만이 변동점 검출을 위한 검정에 사용되었다.

검정에서는 기설 2등 삼각점의 표준오차를 0.01 m로 가정하고 가중측점망 조정법에 따라 과도한 변동이 발생된 측점을 중심으로 성과표와 역사적 변천과정을 규명하는데 초점을 맞추었다.

특히 82538.78이 82583.78로 기입오류인 성과가 검출된 경우와 같이 입력 및 기입상의 오차를 바로 잡았다. 또한 Km단위로 성과가 변동된 경우 및 수 m 이상의 큰 수치를 나타내는 확실한 경우도 표 1의 불량점으로 추출되었다.

결과적으로 테스트망내에 있는 1, 2등 삼각점 68점 중에서 약 30%인 20점만이 재설되지 않은 완전점으로 파악되었다.

4.2 한계변동량의 분석

Baarda의 방법에 의해 변동점을 검출하기 위해서는 좌표차에 대한 한계변동량을 정해야 하는데 이는 기설망의 정확도를 알아야 가능하다.<sup>(16,17)</sup> 그러나 국내의 삼각망에 대한 정확한 평가가 곤란하기 때문에  $\sigma_x=0.08$  m,  $\sigma_x=0.10$  m,  $\sigma_x=0.14$  m의 세 경우에 대하여 적용하고 식 (12)의 잔차에 대한 분산값은

표 3. NET 1에 대한 가중측점의 변동검정

St.	$\sigma_x$	0.14	0.10	0.08	0.08
	A1		0.001	0.001	0.001
A2		0.188	0.186	0.185	0.151
		-0.104	-0.103	-0.101	-0.080
A3		-0.112	-0.112	-0.111	-0.138
		0.304	0.301	0.297*	--
A4		0.018	0.017	0.016	--
		-0.165	-0.163	-0.162	-0.057
A5		-0.030	-0.030	-0.029	-0.041
		0.020	0.020	0.019	0.069
A6		-0.043	-0.043	-0.042	0.008
		-0.124	-0.123	-0.121	-0.093
A7		0.004	0.004	0.004	0.011
		0.068	0.068	0.067	0.103
		-0.024	-0.024	-0.023	0.009

$$\sigma_v^2 = \sigma_x^2 - \sigma_y^2 \tag{16}$$

이므로  $\sigma_x=0.03$  m인 경우의 한계값  $3.29\sigma_v$ 는 각각 다음값이 사용되었다.

$$\begin{aligned} &0.25 \text{ m} (\sigma_x=0.08 \text{ m}), \quad 0.31 \text{ m} (\sigma_x=0.10 \text{ m}), \\ &0.45 \text{ m} (\sigma_x=0.14 \text{ m}) \end{aligned} \tag{17}$$

표 3과 표 4는 NET 1, NET 2에 대한 변동점 검출의 검정과정을 순차적으로 나타내주고 있다.

먼저  $\sigma_x$ 를  $\pm 0.14$  m로 가정한 경우에는 NET 1의 경우 변동이 없다는 귀무가설이 채택되고 있으나 NET 2의 경우에는 1개의 점에서  $-0.65$  m의 변동이 검출되었는 바 이에 대한 검토결과 성과표에서 BL 좌표와 XY 좌표간의 변환에 차이가 존재하므로 과도차인 것이 분명하다(표 4에서 B4 점이 해당됨).

$\sigma_x$ 를  $\pm 10$  m로 가정한 경우에는 두개의 망이 모두 어떠한 변동점도 검출되지 않는 정상적인 상태를 나타낸다. 이는 기설 2등 삼각점의 정확도가 0.10 m 이하라는 타당성의 측면에서 중요한 가치를 갖는다.

또한  $\sigma_x$ 를  $\pm 0.08$  m로 가정한 경우에는 NET 1에서 1개의 측점에 대한 변동이 검출되었으며 NET 2에 있어서는 4개의 측점에 대한 변동이 검출되었다(NET 1의 A2점, NET 2의 B13, B7, B8, B9점이 추출되었다.).

표 4. NET 2에 대한 가중측점의 변동검정

St.	$\sigma_x$							
	0.14	0.14	0.10	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
B 1	-0.153	-0.234	-0.224	-0.214	-0.194	-0.161	-0.103	-0.067
	0.200	0.188	0.185	0.181	0.163	0.162	0.160	0.230
B 2	-0.039	-0.109	-0.105	-0.100	-0.086	-0.053	-0.007	0.001
	0.053	0.047	0.045	0.043	0.021	0.020	0.012	0.072
B 3	-0.219	-0.296	-0.289	-0.282*	-0.264*	-0.230	-0.174	-0.148
	0.063	0.066	0.063	0.061	0.035	0.031	0.012	0.048
B 4	-0.644*	-	-	-	-	-	-	-
	0.119	-	-	-	-	-	-	-
B 5	-0.187	-0.249	-0.248	-0.246	-0.234	-0.202	-0.162	-0.173
	0.235	0.241	0.239	0.237	0.209	0.204	0.181	0.209
B 6	0.230	0.183	0.180	0.177	0.187	0.215	0.237	0.196
	-0.159	-0.145	-0.142	-0.139	-0.174	-0.181	-0.215	-0.206
B 7	0.360	0.308	0.297	0.286*	0.297*	-	-	-
	-0.072	-0.028	-0.029	-0.029	-0.054	-	-	-
B 8	0.308	0.260	0.248	0.236	0.249	0.286*	-	-
	-0.156	-0.116	-0.115	-0.113	-0.140	-0.162	-	-
B 9	-0.177	-0.223	-0.218	-0.213	-0.207	-0.182	-0.162	-
	0.306	0.288	0.281	0.274*	0.257*	0.260*	0.266*	-
B10	0.113	0.081	0.084	0.087	0.086	0.107	0.109	0.022
	-0.085	-0.085	-0.085	-0.086	-0.111	-0.113	-0.128	-0.083
B11	0.113	0.067	0.066	0.065	0.073	0.099	0.119	0.072
	-0.094	-0.088	0.088	0.088	0.116	0.120	0.141	-0.110
B12	0.137	0.091	0.088	0.085	0.094	0.122	0.143	0.098
	-0.082	-0.061	-0.057	-0.052	-0.091	-0.101	-0.147	-0.158
B13	0.159	0.121	0.121	0.120	-	-	-	-
	-0.329	-0.308	-0.298	-0.288*	-	-	-	-

이들 변동점은 모두 정밀 2차 기준점망의 측량 시에 망의 강도<sup>(4)</sup>가 국부적으로 불완전하거나 2개 이상의 절기선 또는 트래버스로 형성된 측점이었다. 따라서  $\pm 0.8$  m를 가정하면 기설 1, 2등 삼각망의 원래 측점에 결합시킬 수 있음과 동시에 2차점을 1, 2등점에 결합할 때의 불안전성을 검토할 수도 있을 것으로 판단된다.

이 결과는 캐나다의 적용성과에서 망의 강도가 낮은 외곽부의 측점들이 불량하게 나타나고 있다는 점에서 타당성을 갖는다.<sup>(7)</sup>

이 변동점 검출의 과정과 한계변동량의 타당성을 입증하기 위하여 NET 1과 NET 2를 합한 1065점 규모의 망에 다시 적용하였다. 이 결과  $\sigma_x = 0.10$  m인 경우에는 B13, B7의 두 점이 기각되어 두 망을 독자적으로 처리할 때 변동점이 검출되지 않았던 사실과 비교된다.

그러나  $\sigma_x = 0.08$  m를 사용한 경우에는 B13, B7, B9, B8이 기각되었는데 이는 두 망을 독자적으로 처리할때와 순서만 약간 다를 뿐 동일한 결과를 나타냈다.

표 5. 기준 표준오차(가중측점)

구 분	NET 1	NET 2	NET 1+NET 2
$\sigma_x=0.14$	1.32"	1.48"	-
$\sigma_x=0.10$	1.34	1.51	1.47"
$\sigma_x=0.08$	1.33	1.49	1.44"

\* $\sigma_x$ 는 변동검정후의 값임.

표 6. 결합조정의 결과(고정점)

구 분	NET 1	NET 2	NET 1+NET 2
$\sigma_x=0.14$	2.61"	2.84"	-
$\sigma_x=0.10$	2.61	2.84	2.93"
$\sigma_x=0.08$	2.06	2.36	2.27"

\* $\sigma_x$ 는 변동검정후의 값임.

따라서 기설 2등 삼각점의 정확도는 변동점이 검출되지 않은  $\pm 0.10$  m보다는 작업규정으로 부터 추정된  $\pm 0.08$  m가 타당한 것으로 판단할 수 있으며, 이 경우는 테스트망에 포함되어 있는 총 68점의 1, 2등 삼각점 중에서 20%만이 안정점임을 보여준다.

### 4.3 결합조정의 분석

가중측점에 의해 추출된 변동점을 미지점으로 고려하면 결합조정을 수행할 수 있는데 이 때 고려할 수 있는 방법으로는 가중측점 조정된 망의 결과를 직접 이용하는 방법과 안정된 가중측점을 고정점으로 하여 고정망 조정을 실시하여 이 결과를 이용하는 두가지 방법이 고려될 수 있다.

표 5는 NET 1과 NET 2에 대하여 가중측점망으로 결합조정된 결과를 요약한 것이며, 표 6은 고정망에 대한 것이다. 이때의  $\sigma_x$ 는 기준 표준오차이다.

표 6에서  $\sigma_x=0.10$ 인 경우가 변동점이 검출되지 않는 상태의 결과이며 현재의 기설 2등점에 고정망으로 결합시켰을 때의 정확도를 보여줄 수 있으나 조합된 경우의 정확도가 개개의 경우보다 낮은 비정상적인 값을 나타내고 있다. 이는 고정점 가운데에도 변동점이 포함되어 있기 때문이라고 생각된다.

또한  $\sigma_x=0.08$ 인 경우에는  $\pm 2.3$ "의 정확도에서 상당하므로 2차망의 정확도를 1.6"로 본다면 근사적으로

$$\sqrt{2.3^2 - 1.6^2} = 1.6"$$

표 7. 가중측점의 이동량(RMSX)

$\sigma_x$	NET 1	NET 2
0.14	$\pm 0.092$	$\pm 0.186$
0.10	$\pm 0.091$	$\pm 0.181$
0.08	$\pm 0.082$	$\pm 0.137$

가 된다. 결과적으로 식 (15)와 같은 수치가 되는  $\sigma_x=0.08$  m를 기설 2등 삼각점의 정확도로 추정할 수 있으며 2차망을 2등 삼각점에서 결합시키면 2.3" 정확도가 나타나므로 규정으로 부터의 추정값과 일치되고 있다.

이밖에 다음 표 7은 가중측점에 대한 변동점 검출후의 이동량을 평균재평균 값에 의해 분석한 것이며  $\sigma_x=0.08$  m인 경우를 보면 NET 2가 NET 1 보다 1.6배의 이동량을 보여주고 있다. 이는 NET 2지역이 산악지대가 많고 측량정확도(표 5참조)와 낮고 2등 점과의 결합되는 망의 강도가 낮는데 그 원인이 있을 수 있을 것으로 생각되나 앞으로 더 연구되어야 할 사항이다.

### 5. 고 찰

현재 새로운 체계에 따라 구성되고 있는 정밀 기준점망은 궁극적으로 기설 삼각망의 성과를 대체시킬 수 있을 것으로 기대되고 있으나 이 작업이 완료되는 데에는 십년이상의 오랜 기간이 필요하기 때문에 도중에 실용성과를 갱신할 필요가 있다.

특히 기설 삼각망은 역사적 변천과정에서 대단히 불안정한 상태이므로 부분적인 갱신작업을 병행해야 할 필요가 있으며 3, 4등 삼각점중에서 24%만이 안정점이라는 연구결과는 주목되어야 하며 2차망의 구성에서도 약 38% 정도가 고정점이라는 사실이 이를 입증하고 있다.<sup>6)</sup> 또한 본 연구에서 사용된 테스트망 지역에서는 1, 2등 삼각점 중에서 재설점을 제외한 완전점이 20~30%밖에 되지 않는 사실도 고려되어야 한다.

결합조정범으로는 정밀 2차 기준점망을 구성해 나가면서 1, 2등 삼각점에서 결합시키는 방안과 1, 2, 3, 4등 삼각점 모두에 결합시키는 방안을 우선적으로 고려할 수 있으며 1차망의 구성을 시급히 완료하고 여기에 2차망을 결합시키는 방안도 추진할

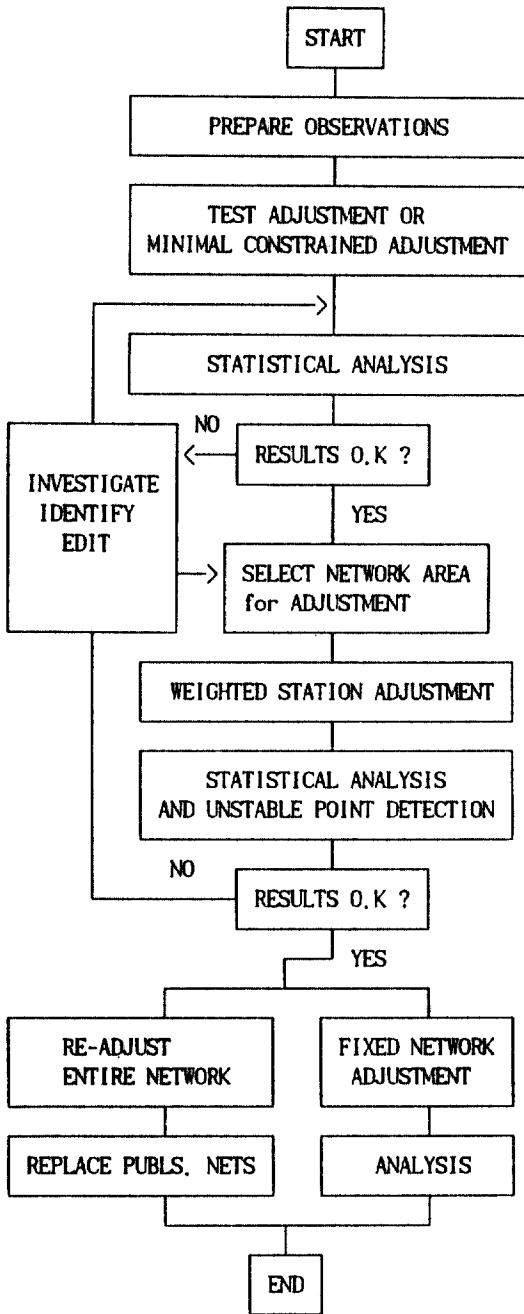


그림 3. 제안된 결합조정 체계

수 있다. 그러나 후자의 방법은 이상적인 방안이 될 수 있으나 기존성과와의 호환관계에 난점이 있다.

망의 규모가 작다면 3, 4등급 중에서 안정점을 검출하여 2차망을 결합시킬 수 있으나 구소삼각점

지역등에 대한 어려움과 정오차의 처리에 어려움이 있을 것이다.

따라서 본 연구에서는 2차망을 기설 1, 2등 삼각점에 결합시켜 처리하는 방안을 제안하고 있으며 (그림 3참조), 통계적인 변동검정이 가능한 가중측점망 조정법에 근거하고 있다. 이때 기설 2등 삼각점의 정확도는  $\pm 0.08$  m가 합리적인 것이다.

안정점만으로 가중측점망 또는 고정망에 의해 최종적인 실용성과를 산정할 수 있으나 500점 이상의 중대규모의 형태로 조정을 실시해야 하는 단점이 있다. 이는 대규모가 되지 않으면 1, 2등 삼각점중에서 안정점의 수가 너무 부족한 형태가 되기 때문이다.

따라서 본 연구의 테스트망에서의 적용결과 완전점의 수가 20~30점이 될 수 있는 1000~2000점 규모가 되어야 할 것으로 판단된다.

## 6. 결 론

정밀 2차 기준점망을 기설 1, 2등 삼각점에 결합시킬 수 있도록 가중측점망 조정법을 테스트망에 적용한 본 연구의 결론을 요약하면 다음과 같다.

1) 기설점의 공분산 행렬을 사용하는 대신에 대각선 요소만을 고려하는 개선된 가중측점망 조정방법이 기설삼각망의 관측자료가 없는 국내의 경우에 효과적이며 가중측점에 대한 변동검정으로 부터 추출된 안정점에 의해 결합조정이 가능하므로 실용성과의 갱신에 대단히 합리적이다.

2) 1910년대 작업규정으로 부터 기설 2등 삼각망의 측량정확도는  $\pm 1.1''$ 이며, 조정정확도는 위치오차  $\pm 0.08$  m인  $\pm 1.6''$ 로 추정되었으며 정밀 2차 기준점망인 테스트망에 대한 변동점 검출과정을 통하여 확인되었다.

3) 정밀 2차망을 기설 1, 2등 삼각점에 결합시키기 위해서는 역사적 변천에 따른 삼각점의 이력사항을 세심하게 검토하고 재설된 1, 2등 삼각점을 우선적으로 배제할 필요가 있다.

4) 완전점의 수가 20~30점이 될 수 있도록 2차망의 규모를 1000~2000점으로 선택하여 변동점을 검출하고 결합조정하는 것이 타당하다.

5) 정밀 2차 기준점망을 2등 삼각점에서 결합시킬



경우에는  $\pm 0.25$  m의 한계변동량을 사용하는 것이 합리적인 결과를 제시한다.

### 감사의 글

본 연구가 성공적으로 수행될 수 있도록 테스트망의 자료제공 및 아낌없는 토의에 대하여 국립지리원 측지과 여러분께 감사드린다.

### 참 고 문 헌

1. 국립지리원, 조선총독부 토지조사사업 보고서(국역판), 지반측량편, 1980.
2. 국립지리원, 정밀 2차 기준점 측량 작업규정, 1986.
3. 이석찬, 고영호, 이영진, 돌출오차의 검출과 측지망의 신뢰도, 대한토목학회 논문집, 7(1), 1-9, 1987.
4. 이석찬, 조규진, 고영호, 이영진, 이질측지망의 동시적용과 신뢰도의 적용, 한국측지학회지, 5(1), 62-72, 1987.
5. 이영진, 고밀도 측지망의 결합조정에 대한 연구, 한양대 박사학위 논문 1989.
6. 이영진, 이석찬, 국가기준점망의 고밀도화를 위한 결합체계, 한국측지학회지, 7(2), 27-34, 1989.
7. 日本測地學會, 測地學概觀, 1985.
8. 武田通治, 測量學 概論, 山海堂, 1968.
9. Anderson, O. and W.L. Weng, Computation and Data-Management of National Densification Network, *Proc. of FIG XVII International Congress*, Sofia, 506(5), 1-10, 1983.
10. Buiten, H.J. and P. Richardus, Junction of Control Surveys by Adjustment Compared with Coordinate Transformation, in *Forty Years of Thought* (Vol. 2), Delft, 345-372, 1982.
11. Chrzanowski, A., N. Canellopoulos, Problems Arising from Redefinition in Densification Surveys, *The Canadian Surveyor*, 28(5), 732-738, 1974.
12. Lugoe, F.N., Rigorous Densification of Horizontal Geodetic Networks, *UNB Technical Report No. 118*, 1985.
13. Mikhail, E.M., *Observations and Least Squares*, Harper and Row publs, 1976.
14. Nickerson, B.G., W.R. Knight, A. Voon, and R. Caldwell, Horizontal Geodetic Network Densification, *The Canadian Surveyor*, 40(1), 13-22, 1986.
15. Richardus, P., *Project Surveying (2nd ed.)*, Balkema, A.A., Publishers, 1984, chap. 14.
16. Schurrman, K.W., J.F. McLellan, and J.A. Huliganga, Stability Monitoring, *papers for the Precise Engineering and Deformation Surveys Workshop*. The Canadian Institute of Surveying, 1985.
17. Steeves, R.R., C.A.M. Chamberlain, and M. Berube, Future Network Maintenance in Canada, *papers for the CISM Seminars on the NAD '83 Redefinition in Canada and the Impact of Users*, CISM, 1-34, 1988.
18. Vanicek, P. and Lugoe, F.N., Rigorous Densification of Horizontal Network, *J. of Surveying Engineering (ASCE)*, 112(1), 18-29, 1986.

(接受 : 1991. 10. 29)