

# 重量값이 精密水準網에 미치는 影響 Effect of the Weight in Precise Levelling Net

李 石 贊\* 曹 圭 田\*\*  
Lee Suck-Chan Cho Kyu-Jon  
崔 炳 吉\*\*\*  
Choi Byoung-Gil

## 要 旨

한 나라의 精密水準網을 구성, 완성하는데는 다양한 장비 및 기술, 오랜 시간이 요구되므로 각각의 측정값에는 각종 誤差가 내포되어있다. 따라서 精確한 水準網을 구성하기 위하여는 각각의 水準測量값에 대하여 그 精確도에 상응하는 重量값을 주어야 한다.

本 연구는 水準測量의 誤差傳播모델로부터 重量값을 推定하고 이를 우리나라 1等水準測量데이터에 적용시켜봄으로써 精確한 重量函數를 구하고자 하는데 그 목적을 두었으며 아울러 우리나라 1等水準測量에 대한 誤差分析을 실시하여 좀더 精確한 水準網을 구성하고자 하였다.

연구결과 우리나라와 같이 비교적 큰 定誤差가 내포된 水準網에서는 重量函數  $W=1/L$ 보다  $W=1/L^2$ 의 경우가 더 有效적임을 알 수 있었다.

## ABSTRACT

Observations to precise levelling nets contain different types of error because it has been carried out with various instruments and techniques, and also completed through long period. In order to establish a precise levelling nets, therefore, the weight function has to be selected adequately in the adjustment of nets. The purpose of the study is to determine a suitable weight function for the first order geodetic levelling nets in Korea and, therefore, the various numerical tests are performed with different statistical error models. The result of the study shows that the weight function,  $W=1/L^2$  is more efficient than  $W=1/L$  in the first order levelling nets in the Korea.

## 1. 序 論

한 국가의 精密水準網을 구성 완성하는 데는 다양한 기술 및 장비, 장기간의 시간등이 요구된다. 그러므로 측정된 水準測量데이터에는 個人的, 機械的, 自然的 원인에 따른 각종 誤差가 내포되어 있다. 비교적 國土面積이 좁은 우리나라에 있어서도 1910년대에 처음으로 精密水準網이 구성된 후 최근 이를 재 구성하는데는 14년이라는 장기간이 소요되었다. 이러한 測量作業의 장기성 때문에 水準測量데이터는

장비의 현대화, 기술수준의 향상, 地殼變動등 각종 측정상태의 변화등에 의하여 그 精確도를 달리하고 있다. 그러나 精密水準網에 의하여 정해진 標高는 지도제작, 토목공사등에 이용될 뿐만아니라 地殼變位の 測定등 地球物理學의 연구에도 광범위하게 쓰이기 때문에 그 의미가 매우 크며 아주 精確한 값을 갖지 않으면 안된다. 1)2)

精密한 水準網을 구성하기 위하여는 水準網을 調整하는 데 있어서 각각의 測定값에 그 精確도에 상응하는 重量값을 부여하여야만 한다. 그러나 水準測量은 三角測量作業 등에 비하여 비교적 그 測定作業이 쉬운 반면 그 精確도를 추정하는 데 있어서는 타 측정보다 어려움을 가지고 있다. 즉 三角測量의 경우에 있어서는

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

그 기하학적 조건 등에 의해 그때 그때 誤差를 짐작해낼 수 있으나, 水準測量에 있어서는 往復水準測量값의 차이와 環閉合差가 誤差檢測의 유일한 방법이기 때문에 그 正確度의 계산이 쉽지 않다.<sup>9)18)</sup>

본 연구는 이러한 성질을 갖는 水準網의 각 測定값에 대하여 그 誤差를 推定하고 이로부터 그 測定값의 正確度를 구함으로써 이에 상응하는 測量값을 찾아 좀 더 정확한 精密水準網을 구성하는데 그 목적을 두었다. 즉 이러한 重量函數를 우리나라 1等水準網에 적용하여 正確度를 분석하고 이에 알맞는 重量函數를 구하고자 하였다.

본 연구에 사용된 우리나라 1等水準測量데이터는 14년간이라는 장기간에 걸쳐 측정된 것으로 이에대한 事前分析 및 檢討가 이루어졌으며 이의 調整을 위한 컴퓨터 프로그램은 1987년 국가기관의 요청에 의하여 연구한 바 있는 “精密水準網의 調整에 관한 연구”에서 개발된 바 있다.<sup>5)6)</sup> 본 연구에서는 이 프로그램을 수정하고 보완하여 사용하였다.

## 2. 基本理論

### (1) 誤差傳播모델 및 重量

水準網에 있어서 각 測定값은 여러가지 誤差를 포함하게 되므로 그 正確度가 서로 다르다. 따라서 水準網의 調整時 각 測定값에는 그 正確度에 상응하는 測量값(weight)을 부여하여야 한다. 그러나 水準網의 測定값에 포함된 誤差의 다양성으로 인하여 각 測定값에 정확한 重量값을 推定한다는 것은 쉬운 일이 아니다.

水準網조정에서 처음 채택된 誤差傳播모델은 測定된 高低差에 偶然誤差만이 존재한다는 가정에서 출발하였으며, 이 모델은 1912년 Hamburg에서 열린 IAG 총회(International Association of Geodesy Conference)에서 새로운 誤差모델을 제시하여 채택될 때까지 精密水準網의 誤差傳播모델로 사용되었다. 이 誤差傳播모델에 의하면 거리 L(km)인 두 水準點

간을 往復水準測量하였을 경우 그 高低差 ΔH의 分散 σ<sub>ΔH</sub><sup>2</sup>는 偶然誤差의 傳播法則에 의하여

$$\sigma_{\Delta H}^2 = \sigma_0^2 L \quad (2-1)$$

가 된다. 여기서 σ<sub>0</sub><sup>2</sup>은 단위거리당 分散값이다. 따라서 이 경우 각 노선의 測定값 ΔH에 부여되는 重量 W는

$$W = K/L \quad (2-2)$$

로써 노선길이 L에 반비례하게 된다. 여기서 K는 임의의 상수로서 基準分散(reference variance)이라고 부르며 重量값 W를 1로 만드는 값이다.<sup>8)10)15)</sup>

1912년 M. Lallenand는 水準測量에서 測定된 두 水準點간의 高低差에는 偶然誤差뿐만 아니라 定誤差(systematic errors)도 포함된다고 제안하였다. 즉 誤差傳播法則에 의하여 노선길이의 평방근에 비례하는 偶然誤差와 거리에 비례하는 定誤差가 往復水準測量값에 동시에 존재한다는 모델을 제시하였던 것이다.

따라서 이 모델에서는 두 종류의 誤差에 의한 단위거리당(km) 分散값을 각각 η<sup>2</sup> 및 σ<sup>2</sup>이라 할 때 往復水準測量의 分散값 σ<sub>ΔH</sub><sup>2</sup>은

$$\sigma_{\Delta H}^2 = \eta^2 L + \sigma^2 L^2 \quad (2-3)$$

가 되어 重量값 W는

$$W = 1/(\eta^2 L + \sigma^2 L^2) \quad (2-4)$$

의 식으로 나타나게 된다.<sup>10)18)</sup>

1948년 Vignal은 Oslo에서 열린 IAG총회에서 Lallemand모델의 수정안을 제안하였다. Vignal은 노선의 길이가 길어짐에 따라 定誤差는 偶然誤差的인 성격을 띠는 誤差로 변한다고 가정하였다. 즉 식(2-3)에서 定誤差를 나타내는 σ의 값이 노선의 길이에 따라 변한다고 가정하였다. 이 모델에 의하면 往復水準測量값의 分散σ<sub>ΔH</sub><sup>2</sup>은

$$\sigma_{\Delta H}^2 = \eta^2 L + \xi^2 L = (\eta^2 + \xi^2) L \quad (2-5)$$

의 식으로 표시된다. 여기서 ξ는 Lallemand식의 σ에 상응하는 값으로 노선의 길이에 따라 변하게 된다. 따라서 식(2-5)는 다음과 같이 3가지 경우로 나누어지게 된다.

$$\begin{aligned} \text{(i)} \quad \sigma_{\Delta H}^2 &= \eta^2 L & (L : 1 \sim 5 \text{Km}) \\ \text{(ii)} \quad \sigma_{\Delta H}^2 &= \tau^2 L & (L < Z) \\ \text{(iii)} \quad \sigma_{\Delta H}^2 &= \tau^2 L & (L > Z) \end{aligned} \quad (2-6)$$

式(2-6)에서 (i)은 노선길이 L이 상당히 짧은 경우의 誤差式이며, (iii)는 노선길이 L이 어느 限界값 Z에 이르면 定誤差的 성격을 띠는  $\xi$ 의 값이 일정한 값이 되어 偶然誤差的 성격을 띠는 값으로 변화됨을 나타낸다. 즉 어느 限界값 Z이상에서는 往復水準測量값에는 偶然誤差的 성격의 誤差만이 존재함을 나타낸 것이며, (ii)는 어느 限界값 Z에 이를 때까지  $\xi$ 의 값이 거리에 따라 변함으로써  $\tau_L$ 의 값이 거리에 따라 달라짐을 가정한 식이다. Vignal식은 여러 학자들에 의하여 그 문제점이 제기 되었음에도 불구하고 아직까지 이에 대체될만한 명확한 水準測量의 誤差傳播모델이 없기 때문에 널리 이용되고 있다.

이 모델의 경우 重量은 다음과 같이 나타내어진다.<sup>1018)</sup>

$$W = K / (\eta^2 + \xi^2)L \quad (2-7)$$

이상과 같이 식(2-2), (2-4), (2-7)에서 표시된 여러가지 重量값을 정리해 보면 다음과 같은 식으로 표시될 수 있음을 알 수 있다. 즉,

$$W = K/L^\alpha \quad 1 < \alpha < 2 \quad (2-8)$$

여기서  $\alpha$ 는 1~2사이의 값을 갖는 상수로서 그 값이 1인 경우 往復水準測量값에는 偶然誤差만이 존재함을 나타낸다. 즉 두 水準點間의 高低差는 서로 獨立임을 나타낸다.  $\alpha$ 가 2인 경우는 두 水準點間의 高低差가 完全種屬(totally dependent)되어 往復水準測量값에는 定誤差的 성격을 띠는 誤差만이 존재함을 나타낸다. 따라서  $\alpha$ 의 값은 往復水準測量값 상호간의 종속정도에 따라 결정된다고 할 수 있으며 이에 대한 연구가 Vanicěk 등에 의해 실시되고 있다.<sup>16)</sup>

일반적으로 水準網을 調整할 때 가장 많이 사용되는 重量式은  $W=1/L$ 이며 우리나라 精密水準網의 調整에서도 이 식을 사용한 바 있다. 그러나 水準網에 존재하는 誤差의 형태는 다양하기 때문에  $W=1/\text{Log } L$ 과 같은 重量函數가 반드시 부적합하다고 말할 수는 없겠다. 따라서 본 연구에 있어서는 식(2-8)이외의 重量函數에 대하여도 그 연구검토가 이루어졌다.

## (2) 重量函數의 評價 方法

水準網의 測定값에 주어진 重量을 評價하는 方法은 적합한 重量式을 찾는 데 있어서 매우 중요한 일이라 할 수 있다. 왜냐하면 잘못 세워진 重量모델이라 할지라도 그 評價方法을 잘못 선택했을 경우 오히려 적합한 모델식으로 評價判斷될 수 있기 때문이다.

일반적으로 誤差調整에 있어서 測定값과 誤差 그리고 最確값과의 관계는 일련의 線型方程式

$$AX + V = L \quad (2-9)$$

으로 표현된다. 여기서 X는 미지의 값으로 구하고자 하는 각 水準交點의 標高값이며 A는 X에 대한 係數行列(coefficient matrix)이다. L은 각 수준노선의 高低差로서 관측값의 벡터이고 V는 殘差(residuals) 또는 補正量에 해당하는 벡터이다. 일반적으로 水準網을 調整할 때 最小 제곱法(least square adjustment)이 가장 널리 이용되며 본 연구에서도 重量값을 評價하기 위하여 基準값을 얻는데 이 方法이 사용되었다.<sup>1)14)20)</sup>

最小제곱法이란 殘差의 제곱의 합이 최소가 되도록 X의 最確값을 결정하는 誤差調整法으로 重量 W를 고려하면 식(2-9)는

$$WAX + WV = WL \quad (2-10)$$

로 되며 그 해 X는 정규방정식(normal equation)

$$NX = t \quad (2-11)$$

$$\text{단, } N = A^tWA$$

$$t = A^tWL$$

로부터

$$X = N^{-1}t$$

가 된다.

따라서 측정벡터 L의 重量係數(weight coefficient; cofactor)를 Q라고 할 때 調整된 標高 X의 重量係數  $Q_{xx}$ 는 誤差傳播法則에 의하여 다음과 같이 유도할 수 있다.

$$Q_{xx} = N^{-1}Q_{tt}N^{-1}$$

$$Q_{tt} = A^tWQWA$$

$$\therefore Q_{xx} = N^{-1}(A^tWQWA)N^{-1}$$

$$=N^{-1} \quad (2-13)$$

또한 調整된 高低差  $\hat{L}$ 의 重量係數  $Q_{ii}$  다음과 같이 구하여진다.

$$\hat{L} = L - V, \quad V = L - AX$$

이므로

$$\begin{aligned} Q_{ii} &= Q - Q_{VV} \\ Q_{VV} &= Q - AQ_{XX}A^t \\ \therefore Q_{ii} &= AQ_{XX}A^t \end{aligned} \quad (2-14)$$

이때 調整된 標高 및 高低差의 共分散  $\Sigma_{XX}$ 와  $\Sigma_{ii}$ 은 基準分散값  $\sigma_0^2$ 을  $Q_{XX}$  및  $Q_{ii}$ 에 각각 곱해주므로써 구해지는데 事前基準分散값(prior reference variance)  $\sigma_0^2$ 이 존재하지 않는 경우는 調整結果로부터 基準分散값의 不偏推定값(unbiased estimate)

$$\hat{\sigma}_0^2 = V^t W V / r \quad (2-15)$$

를 사용한다. 즉,

$$\begin{aligned} \Sigma_{XX} &= \hat{\sigma}_0^2 Q_{XX} \\ \Sigma_{ii} &= \hat{\sigma}_0^2 Q_{ii} \end{aligned} \quad (2-16)$$

로 나타낼 수 있다. <sup>13)15)17)</sup>

最小제곱法에 의한 水準網의 調整에서 最適解는 調整標高 X의 共分散行列  $\Sigma_{XX}$ 의 trace가 최소일 때 얻어진다고 말할 수 있다. 또 적절한 重量값이 測定값에 주어졌을 때 調整結果 얻어지는 基準分散값은 가정된 값과 매우 근사한 값이 얻어질 것이다.

따라서 본 연구에서는 重量값을 評價하는데 있어서 식(2-17)과 같이 調整標高 X의 平均標準偏差(men standard deviation)  $\sigma_1$  및 調整된 高低差  $\lambda$ 의 平均標準偏差  $\sigma_2$ 를 사용하였다. <sup>11)17)</sup>

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= \sqrt{(\text{Trace}(\Sigma_{XX})/n)} \\ \sigma_2 &= \sqrt{(\hat{\sigma}_0^2 / \Sigma W)} \end{aligned} \quad (2-17)$$

여기서, n은 調整標高點의 數  
w는 重量값

아울러 본 연구에서는 最大잔차 값을 重量函數 評價의 基準으로 사용하였으며 調整된 高低差의 分散값과 노선거리와의 상관관계를 조사함으로써 주어진 重量函數의 적합여부를 비교 검토하였다.

### 3. 數值解析試驗

#### (1) 適用데이터 및 重量函數

본 연구에서 수행된 數值 試驗은 최적의 重量函數를 찾기 위한 시험으로서 크게 두 단계로 구분되어진다.

제 1 단계의 시험에서는 水準測量 基礎데이터를 檢索하는 예비계산으로서 우리나라 1등수준망에 대하여 환별, 노선별 예비조정 계산을 수행하여 이들에 내포된 全誤差를 査출하고 正確度를 分析하여 제 2 단계 시험을 위한 基礎데이터를 確定하는 작업이며 제 2 단계의 본 시험에서는 이를 여러가지 重量函數에 적용하여 서로 비교평가가 가능하도록 함으로써 적합한 重量函數를 찾는 작업이다.

본 연구에서 사용된 데이터는 우리나라 1等 水準測量데이터로서 총 11개의 環과 42개의 노선 및 30개의 交點(junction point)으로 구성되어 있다. 본 水準網은 水準基點과 연결되는 4개의 개방노선 및 두노선만이 연결된 2개의 交點을 포함하고 있으며 제일 짧은 노선의 길이는 7.991km, 제일 긴 노선의 길이는 189.088 km이다. 노선의 平均길이는 79km, 環의 平均길이는 428km였으며 조정에 앞서 각 노선에 대하여 橢圓補正이 이루어졌다.

노선별 豫備調整結課 42개 노선의 標準誤差는  $0.60\text{mm}/\sqrt{\text{km}}$ 였으며 11개의 環에 대한 표준화된 環閉合差

$$m = \Sigma \Delta H / \Sigma L \quad (3-1)$$

단,  $\Delta H$  : 交點사이의 고저차

L : 노선거리

를 구하여 環에 대한 오차檢定을 실시한 결과 상당히 큰 定誤差가 기대되어지는 環이 존재함을 알 수 있었다. 즉 往復水準測量값에 定誤差는 존재하지 않고 偶然誤差만이 존재한다고 가정했을 때 環閉合差 m은 그 平均값 및 標準偏差가 각각 0 및 단위거리당 標準偏差  $\sigma_0$ 로 기대되어지는 正規分布를 이룬다고 할 수 있는데 이를 바탕으로 檢定을 실시한 결과 2環, 8環,

10環 등은 有意水準 5%에서 歸無假說이 棄却 되었으며 이는 큰 定誤差가 내포되어 있음을 나타낸다. 표준화된 環閉合差의 平均값은  $0.21 \text{ mm}/\sqrt{\text{km}}$ , 標準偏差는  $4.84 \text{ mm}/\sqrt{\text{km}}$  였다. <sup>2)57)</sup>

제 2 단계 수치시험에서 처음 사용된 6개의 重量函數는 다음과 같다.

- (i)  $W=1/L$       (ii)  $W=1/L^2$
- (iii)  $W=1/\sqrt{L}$       (iv)  $W=1/\text{Log } L$
- (v)  $W=1.0$       (vi)  $W=L$       (3-2)

식 (3-2)에서 (i)과 (ii)식을 제외한 나머지 식들은 일반적인 誤差傳播法則과는 완전히 일치하지 않는 重量函數이지만 2-1절에서 설명한 바와 같이 水準網에 포함된 誤差는 매우 다양하기 때문에 그 다양성을 비교 검토하기 위하여 추가로 선택되었다.

위 重量函數에 의한 비교 검토가 이루어진 다음 이로부터 推定된 調整高低差의 分散값을 계산하고 그들의 역을 重量函數로 한 數值試驗이 다시 이루어졌으며, 또한 예비계산에서 얻어진 環의 平均제곱誤差(MSE)를 事前分散값으로 하여 (i)에 곱하여 준  $W=1(L \times \text{MSE})$ 의 重量函數가 數值試驗되었다.

## (2) 컴퓨터 프로그램

컴퓨터 프로그램은 Microsoft Fortran 77프로그래밍언어를 사용하여 작성되었는데, 그 방대한 양과 복잡성으로 인하여 본 논문에서는 생략하였으며, 그 개략적인 흐름도는 그림 1과 같다. (자세한 내용은 참고 문헌 5, 6참조)

2의 (2)절에서 설명한 바와 같이 重量값이 水準網에 미치는 영향을 조사 연구하기 위하여는 水準網의 調整이 이루어져야 하므로 본 연구에 적용된 우리나라 1等水準網에 대한 調整 프로그램이 작성되었다. 본 연구에 적용된 最小제곱法의 해는 정규방정식에 의하여 구하였으며 이 정규방정식의 해는 가장 널리 사용되고 있는 Cholesky방법에 의하여 數值處理되었다. 또 측정값의 검증과 최종調整값을 統係分析하기 위한 부프로그램이 작성되어 重量값

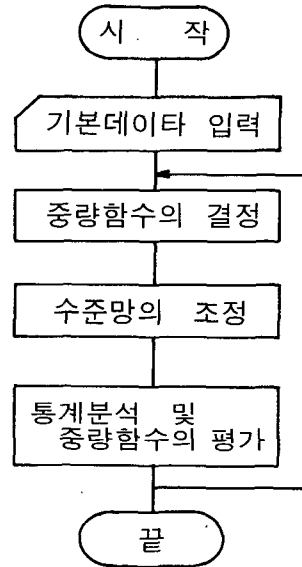


그림 1. 컴퓨터 프로그램 흐름도

의 評價에 필요한 각종 基準값을 구하게 하였다.

본 프로그램은 PC에 의하여 수행되어 졌으나 대형컴퓨터에서도 약간의 수정을 통하여 처리될 수 있을 것이다. 또 노선길이와 調整된 高低差의 分散의 관계를 비교검토하기 위하여 그려진 그래프 작성은 별도의 패키지를 사용하였다.

## 4. 結果 및 分析

表 1의 (A) 및 (B)는 제 3장에서 설명한 바 있는 수치시험에 대한 결과를 나타낸 것이다. (A)는 각종 重量函數를 水準測量값(즉 高低差)에 주었을 때의 調整結果이며, (B)는 調整된 高低差의 分散값의 역수를 다른 重量函數로 하여 再調整한 結果이다. 또한 環閉合差의 分散값(MSE)을 基準分散값으로 한 重量函數,  $W=1/(L \times \text{MSE})$ 를 적용한 數值試驗 結果  $\sigma_0$ 은 1.0136이 됨을 알 수 있었다. (이 경우 다른 評價基準값들은  $W=1/L$ 의 경우와 일치)

(표 1)에서  $M_{\max}|R|$ 은 최대 잔차값이며  $\delta_0$ 은

基準標準偏差이고  $\sigma_1$ 과  $\sigma_2$ 는 각각 調整된 標高 및 高低差의 平均標準偏差이다.

표 1. 중량함수와 수준망의 정확도

(A)

평가 기준	중량					
	1/L	1/L <sup>2</sup>	1/√L	1/LogL	1.0	L
M <sub>max</sub>  R	68.7	73.6	67.0	65.7	61.9	89.2
$\hat{\sigma}_0$	4.90	0.52	14.79	32.14	43.41	362.27
$\sigma_1$	57.70	54.96	60.35	62.03	63.31	74.04
$\sigma_2$	4.98	2.31	6.15	6.49	6.49	6.30

(B)

평가 기준	중량					
	1/( $\sigma^2 L$ )	1/( $\sigma^2 L^2$ )	1/( $\sigma^2 \sqrt{L}$ )	1/( $\sigma^2 \text{Log} L$ )	1/ $\sigma^2$	L/ $\sigma^2$
M <sub>max</sub>  R	65.5	66.4	63.7	62.7	60.3	56.7
$\hat{\sigma}_0$	1.22	1.28	1.20	1.19	1.19	1.25
$\sigma_1$	58.16	55.53	60.60	62.29	63.81	79.05
$\sigma_2$	5.51	2.87	6.40	6.64	6.77	6.83

표 1(A)에서 重量函數,  $W=1/L^2$ 를 적용했을 경우 다른 重量函數보다  $\sigma_2$ 의 값이 상당히 작음을 보여준다. 그러나  $\hat{\sigma}_0$ 의 경우는 서로 차원이 다르기 때문에 비교의 대상이 될 수 없으며 M<sub>max</sub>|R|과  $\sigma_1$ 의 경우 모든 重量값이 비슷한 정도를 보여주고 있기 때문에  $W=1/L^2$ 의 重量函數가 가장 적합한 重量函數라고 단정할 수는 없을 것 같다. 그러나 水準測量데이터에 대한 基礎分析에서 環閉合差에 대한 標準偏差가 往復水準測量의 차이에 의하여 分析된 標準偏差보다 상당히 크다는 사실과 연관시켜 볼 때 우리나라 1等水準測量데이터에는 誤差傳播 모델에서 定誤差적 성격을 띠는 誤差가 크게 내포되어 있다고 사료된다.<sup>5)</sup>

표 1(B)는 어떠한 重量函數를 적용하거나 調整된 高低差의 分散값을 重量값으로 하여 水準網을 再調整할 경우 그 事後 分散값  $\hat{\sigma}_0^2$ 이 定된 單位값에 근접함을 보여주며 표 1(A)에서와 마찬가지로  $\sigma_2$ 의 경우  $W=1/(\sigma^2 \times L^2)$ 의 重量函數가 제일 양호한 正確度를 나타냄을 알 수 있다. 그러나 이 경우는 調整을 두번에 걸쳐 실시함으로써 그 소요시간이 배가될 뿐 아

니라 컴퓨터 작업중 誤謬가 발생할 수 있는 단점이 있다.

環閉合差의 分散값을 事前分散값으로 하여 실시한 數值試驗의 경우  $\hat{\sigma}_0$ 가 1.0136로 표 1(B)의 모든 경우보다 그 正確度가 좋게 나타남으로써 環閉合差를 이용한 重量函數의 적용 방법이 다른 방법보다 더 합리적인 방법이 아닌가 사료된다. 이러한 結果는 環閉合差의 分散값이 표 1(A)에서 重量함수  $W=1/L$ 를 적용했을 때의  $\hat{\sigma}_0^2$ 값과 거의 일치함을 보여주어 예상할 수 있었던 결과였다.

그림 2(A)~(F)는 좀더 자세하게 重量函數를 비교검토하기 위하여 노선길이와 그 노선고저차의 分散값과의 상관관계를 조사한 것이다.

그림에서와 같이 分散값과 노선길이와의 관계는 주어진 重量函數와 어느정도 일치함을 알 수 있다. 이는 環의 수가 비교적 적기때문에 水準網調整時 誤差의 分배가 重量函數에 강하게 영향을 받은 결과로 생각된다. 따라서 우리나라 1等水準網과 같이 環의 수가 적은 精密水準網에서는 그 重量函數를 정하는데 있어서 더욱 주의하지 않으면 안된다고 생각한다.

## 5. 結 論

본 연구의 수행 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 우리나라 1等水準網에는 誤差傳播 모델에서 定誤差的 성격을 띠는 誤差가 비교적 많이 포함되어 있으며 따라서  $W=1/L^2$ 의 경우가 비교적 합리적인 重量函數로 생각된다.
- (2) 調整된 高低差에 대한 分散값의 역을 重量값으로 주었을 경우 주어진 重量값에 관계없이 基準分散값이 單位값에 근접함을 알 수 있었으며 環閉合差를 事前分散값으로 하여 重量값을 주었을 경우 상당한 정도의 正確度 향상이 있었다.
- (3) 우리나라 1等水準網과 같이 비교적 環의 수가 적은 경우 重量函數가 水準網 調整

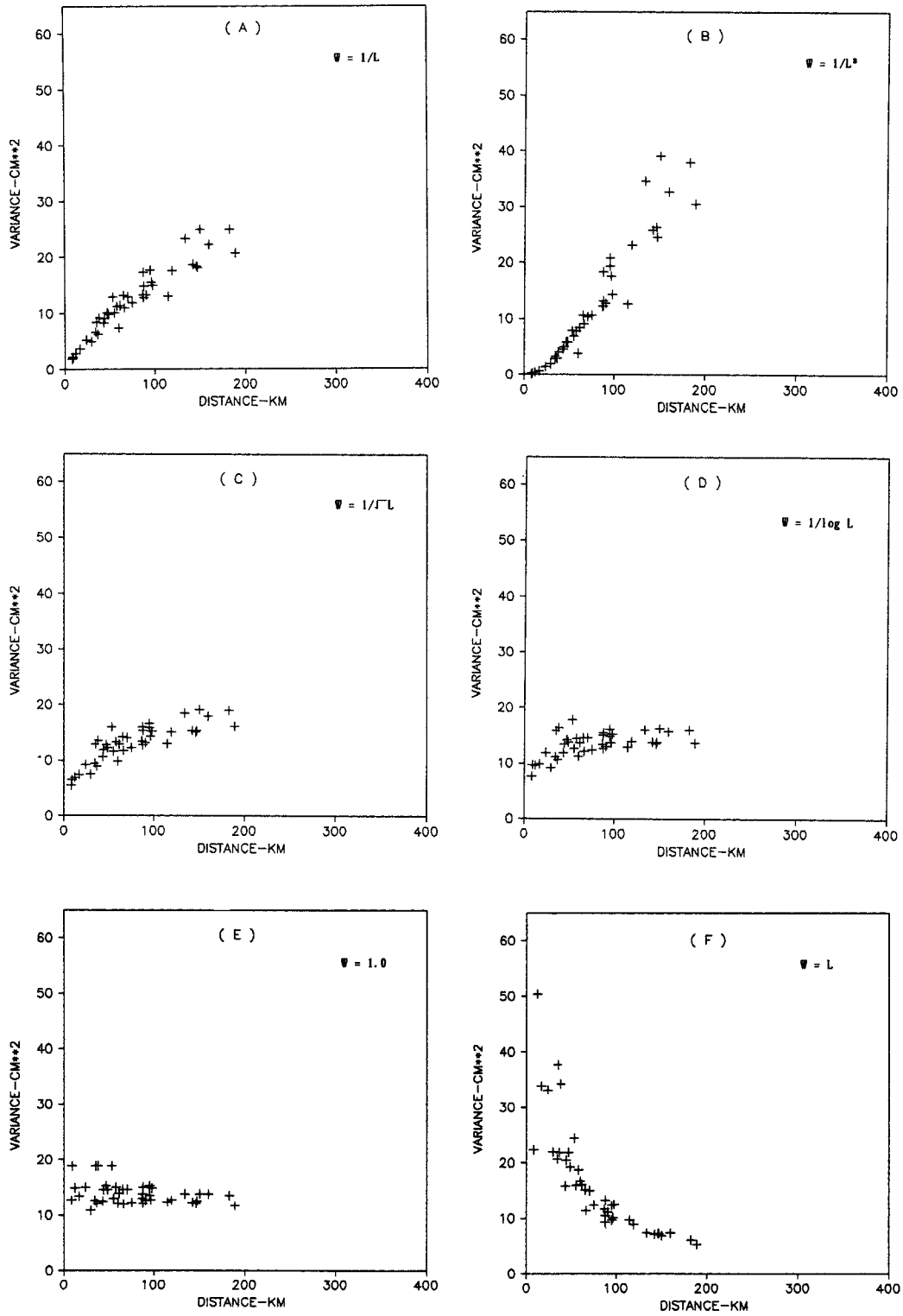


그림 2 노선거리와 고저차의 분산값과의 상관관계

結果에 크게 영향을 줄 수 있었으며, 따라서 重量값을 부여하는데 있어서 더욱 신중을 기해야 할 것으로 생각된다.

#### 参考文献

1. 국립지리원, 1980, "한국지지(총론)".
2. 조규전 외 3인, 1987, "이질측지망의 동시조정과 신뢰도의 적용", 한국측지학회지, 제 5권 제 1호, pp. 66-72.
3. 최병호, 1983, "우리나라 정밀수준망에 관한 연구", 국립지리원·한국측지학회.
4. 조선총독부 임시토지조사국, 1918, "조선토지조사사업보고서".
5. 조규전 외 3인, 1987, "우리나라 1등 수준망의 조정계산", 한국측지학회지, 제 5권 제 2호.
6. 조규전 외 3인 1988, "우리나라 2등 수준망에 관한 연구", 한국측지학회지, 제 6권 제 2호.
7. Barnett, V. et al., 1983, "Outliers in Statistical Inference(2nd ed.)", Macmillan Publishing Co.
8. Barry, R.A., 1978, "Errors n Practical Measurement in Scince, Engineering and Technolog", John Wiley & Sons.
9. Blachut, T.J. et al., 1979, "Urban Surveying nd Mapping", Springer-Verlag.
10. Bomford, G., 1980, "Geodesy(4th ed.)", Oxford.
11. Ebong, E.B., 1984, "A Repot of the Nigrian Geodetic Leveling", Survey Review Vol. 27, No. 213, pp. 323-332.
12. Ebong, E.B., 1986, "The Chbyshev Adjustment of a Geodeti Levelling Network", SurveyingReview, Vol. 28, No. 220, pp. 315-321.
13. Hogg, R.V. et al., 1978, "Introduction o Mathematical Statistics(4th ed.)", Macmillan ublishing Co.
14. Kok, J.J., 1980, "Adjustmet of UELN and Its Analysis of Precsion nd Reliability", Proc. of 2nd NAVD Symposium, Ottawa, pp. 455-483.
15. Mikhail, E.M. et al., 1981, "Analysis nd Adjustment of Survey Measurements", VNR.
16. Remmer, O., 1983, "New Errr Parameters or Levelling Netwrks", Report of Special Study Group 1.53 of IAG, Hamburg, pp. 116-122.
17. Taylor, J.R., 1982, "An Introduction to Error Analysis", University Science Books.
18. Vanicek, P. et al., 1982, "Geodesty : the concepts", North-Holland.
19. Vanicek, P., 1980, "On the Weight Estimation in Levelling", NOAA Technical Report NOS 86 NGS 17.
20. Wolf, P., 1980, "Adjustment Computation(2nd ed.)", P.B.L. Publs.